

非密

建设项目环境影响报告表

(污染影响类)

(送审件)

项目名称：福建福清核电华龙一号（5、6号机）

灵活换料及功率提升项目

建设单位（盖章）：福建福清核电有限公司

编制日期：2024年4月

中华人民共和国生态环境部制

编制单位和编制人员情况表

项目编号	32grc2		
建设项目名称	福建福清核电华龙一号(5、6号机)灵活换料及功率提升项目		
建设项目类别	55--167核动力厂(核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等);反应堆(研究堆、实验堆、临界装置等);核燃料生产、加工、贮存、后处理设施;放射性污染治理项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称(盖章)	福建福清核电有限公司		
统一社会信用代码	913501817869480708		
法定代表人(签章)	赵皓		
主要负责人(签字)	耿飞		
直接负责的主管人员(签字)	张羽		
二、编制单位情况			
单位名称(盖章)	中国核动力研究设计院		
统一社会信用代码	12100000450716858P		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
胡伟	06355143505510306	BH022345	胡伟
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
胡伟	结论、报告审核	BH022345	胡伟
张翔	概论、工程分析、环境质量现状、影响分析和环保措施	BH022264	张翔

**福建福清核电华龙一号（5、6号机）灵活换料及功率
提升项目环境影响报告表目录**

一、建设项目基本情况.....	3
二、建设项目工程分析.....	8
三、区域环境质量现状、环境保护目标及评价标准.....	22
四、主要环境影响和保护措施.....	39
五、环境保护措施监督检查清单.....	57
六、结论.....	59

附件

附件 1：燃料组织管理策略

附件 2：放射性源项

附件 3：正常运行的辐射环境影响计算参数

附件 4：正常工况放射性计算后果

附件 5：事故工况放射性计算参数

附件 6：事故工况放射性计算后果

附件 7：计算模型

一、建设项目基本情况

建设项目名称	福建福清核电华龙一号（5、6号机）灵活换料及功率提升项目														
项目代码	无														
建设地点	福建省（自治区） <u>福州福清</u> 市 <u> </u> 县（区） <u>三山镇</u> （街道） <u>前薛村</u>														
地理坐标	（ <u>东经 119 度 26 分 08 秒</u> ， <u>北纬 25 度 26 分 12 秒</u> ）														
国民经济行业类别	D4414 核力发电	建设项目行业类别	五十五、核与辐射-167 核动力厂（核电厂、核电热厂、核供汽供热厂）												
建设性质	<input type="checkbox"/> 新建（迁建） <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input checked="" type="checkbox"/> 技术改造	建设项目申报情形	<input checked="" type="checkbox"/> 首次申报项目 <input type="checkbox"/> 不予批准后再次申报项目 <input type="checkbox"/> 超五年重新审核项目 <input type="checkbox"/> 重大变动重新报批项目												
项目审批（核准/备案）部门（选填）	/	项目审批（核准/备案）文号（选填）	/												
总投资（万元）	/	环保投资（万元）	/												
环保投资占比（%）	/	施工工期	/												
是否开工建设	<input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是：_____	用地（用海）面积（m ² ）	无新增占地面积												
专项评价设置情况	<p style="text-align: center;">根据建设项目环境影响报告表编制技术指南（污染影响类）（试行）中表 1（下表 1-1），对照本项目与专项评价设置原则，确定本项目设置专项评价类别情况。</p> <p style="text-align: center;">表 1-1 本项目与专项评价设置原则对照表</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">专项评价类别</th> <th style="width: 40%;">设置原则</th> <th style="width: 30%;">本项目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">大气</td> <td>排放废气含有有毒有害污染物、二噁英、苯丙芘、氰化物、氯气且厂界外 500m 范围内有环境空气保护目标的建设项目</td> <td style="text-align: center;">不涉及</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">地表水</td> <td>新增工业废水直排建设项目（槽罐车外送污水处理厂的除外）；新增废水直排的污水处理厂</td> <td style="text-align: center;">不涉及</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">环境风险</td> <td>有毒有害和易燃易爆危险物质存储量超过临界量的建设项目</td> <td style="text-align: center;">不涉及</td> </tr> </tbody> </table>			专项评价类别	设置原则	本项目	大气	排放废气含有有毒有害污染物、二噁英、苯丙芘、氰化物、氯气且厂界外 500m 范围内有环境空气保护目标的建设项目	不涉及	地表水	新增工业废水直排建设项目（槽罐车外送污水处理厂的除外）；新增废水直排的污水处理厂	不涉及	环境风险	有毒有害和易燃易爆危险物质存储量超过临界量的建设项目	不涉及
专项评价类别	设置原则	本项目													
大气	排放废气含有有毒有害污染物、二噁英、苯丙芘、氰化物、氯气且厂界外 500m 范围内有环境空气保护目标的建设项目	不涉及													
地表水	新增工业废水直排建设项目（槽罐车外送污水处理厂的除外）；新增废水直排的污水处理厂	不涉及													
环境风险	有毒有害和易燃易爆危险物质存储量超过临界量的建设项目	不涉及													

	专项评价类别	设置原则	本项目
	生态	取水口下游500m范围内有重要水生生物的自然产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道的新增河道取水的污染类建设项目	不涉及
	海洋	直接向海排放污染物的海洋工程建设项目	不涉及
<p>根据上表及本项目的排污情况及所涉及的敏感程度，从而确定本项目不需要设置专项评价类别。</p>			
规划情况	无		
规划环境影响评价情况	无		
规划及规划环境影响评价符合性分析	无		
其他符合性分析	“三线一单”符合性分析见表1-2。		
	表 1-2 “三线一单”符合性分析表		
	内容	符合性分析	符合性
	生态保护红线	<p>本项目位于福清市三山镇福清核电厂厂区内，对照《福建省生态功能红线划定工作方案》及《福建省人民政府办公厅关于印发福建省生态保护红线划定成果调整工作方案的通知》（闽政办〔2017〕80号），项目所在地不涉及国家公园、自然保护区、饮用水水源地一级保护区等生态红线区域；对照《福建省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》（闽政〔2020〕12号）及《福州市人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》（榕政综〔2021〕178号）的要求，本项目所在地不涉及优先保护单元，符合生态保护红线要求。</p>	符合
环境质量底线	<p>① 大气环境质量底线 根据福清市公布的空气环境质量月报，福清市2022年空气质量环境中SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO和O₃浓度均未超过国家二级标准。本工程施工期对大气的主要影响因素为施工扬尘，在采取本报告提出的降尘抑尘措施后，本工程对周围环境空气基本无影响。本工程运营期无非放射性废气产生，不会导致区域大气环境质量下降。因此，本项目的建设符合大气环境质量底线的要求。</p> <p>②水环境质量底线 根据《福建省水功能区划》，本工程未涉及该方案中划分的水源保护区等水功能保护区。本项目实施后不新增生活污水。本项目不会导致区域地表水环境质量下降，符合水环境质量底线的要求。</p>	符合	

	<p>③土壤环境风险防控底线</p> <p>本项目对所在地土壤性质有可能产生影响的施工活动包括施工机械冲洗废水的排放、固体废物未妥善处置等，在施工过程中采取的相应环境保护措施能有效控制对土壤环境产生的不利影响。项目运行期不会造成区域土壤污染。因此，本工程建设不会对周边区域土壤环境造成污染，符合土壤环境风险防控底线。</p>	
资源利用上线	<p>本项目主要利用的资源为水、电，在整个项目建设及运行过程中，以“节能、降耗、减污”为目标，提高资源利用率。因此，项目符合资源利用上限要求。</p>	符合
生态环境准入清单	<p>项目位于福建省福清市三山镇，根据《福建省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》（闽政〔2020〕12号）附件中“全省生态环境总体准入要求”，本项目不属于“全省生态环境总体准入要求”中“空间布局约束”特别规定的行业或项目，项目建设符合《福建省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》（闽政〔2020〕12号）生态环境准入要求。</p> <p>根据《福州市人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》（榕政综〔2021〕178号）附件中“福州市生态环境总体准入要求”的规定，本项目不属于“福州市生态环境总体准入要求”中“空间布局约束”特别规定的行业或项目，项目建设符合《福州市人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》（榕政综〔2021〕178号）。</p>	符合
<p>经过福建省生态环境分区管控数据应用平台查询，本项目所在地三线一单环境管控单元编号为 ZH35018120008（详见下图 1-1），即福州市福清市重点管控单元 1，其管控要求如下：</p> <p>（1）空间布局约束</p> <p>1.严禁在城镇人口密集区新建危险化学品生产企业；现有不符合安全和卫生防护距离要求的危险化学品生产企业 2025 年底前完成就地改造达标、搬迁进入规范化工园区或关闭退出。城市建成区内现有有色金属、印染、原料药制造、化工等污染较重的企业应有序搬迁改造或依法关闭。</p> <p>2.严格控制包装印刷、工业涂装、制鞋等高 VOCs 排放的项目建设，相关新建项目必须进入工业园区。</p> <p>3.禁止开发利用未经评估和无害化处理的列入建设用地污染地块名录及开发利用负面清单的土地。</p> <p>（2）污染物排放管控</p>		

落实新增二氧化硫、氮氧化物和 VOCs 排放总量控制要求。

(3) 环境风险防控

单元内现有化学原料和化学制品制造业、有色金属冶炼和压延加工业等具有潜在土壤污染环境风险的企业退役后，应开展土壤环境状况评估，经评估认为污染地块可能损害人体健康和环境，应当进行修复的，由造成污染的单位和个人负责被污染土壤的修复。

(4) 资源开发效率要求

高污染燃料禁燃区内禁止燃用高污染燃料，禁止新建、扩建燃用高污染燃料的设施。已建的燃用高污染燃料设施，限期改用电、天然气、液化石油气等清洁能源。

本次技术改造满足环境管控单元 ZH35018120008 的空间布局约束要求、污染物排放管控及环境风险防控要求以及资源开发效率要求。因此本次技术改造满足“三线一单”的技术管控要求。



图 1-1 本项目所在地三线一单管控单元示意图

二、建设项目工程分析

2.1 项目基本情况

1、建设单位基本情况

福建福清核电厂（以下简称“福清核电厂”）位于福清市三山镇前薛村，规划容量为 6×1000MWe 级核电机组，其中 1-4 号机组采用 4×1000MWe 级“二代加改进”技术路线的压水堆核电机组；5、6 号机组采用 2×1000MWe 级“华龙一号”自主化三代压水堆核电机组。1 号机组于 2014 年 11 月投入商运，2 号机组于 2015 年 10 月投入商运，3 号机组于 2016 年 7 月投入商运，4 号机组于 2017 年 9 月投入商运，5 号机组于 2021 年 1 月投入商运，6 号机组于 2022 年 3 月投入商运。

本项目所在地理位置示意图详见下图 2-1。

建设内容



图 2-1 本项目所在地理位置示意图

2、项目由来

随着核电技术的不断进步及核电设备加工制造水平的不断提高，在役核电厂通过技术改造和采用先进安全评价方法技术均可提升核电厂安全性及经济性。其中效益最为明显的手段是通过有限且合理的改造提升核电机组的发电功率。

目前，虽然我国还未开展在役核电机组的功率提升工作，但国外已经对在役核电机组的功率提升开展了大量研究，并积累了相当丰富的应用经验，许多国家的核电厂都已经进行了不同幅度的功率提升，对于提升核电厂的经济性非常直接有效。

福清 5、6 号机组是我国自主化设计的第三代核电机组华龙一号，也是全球头两台建成发电的华龙一号机组，出于安全裕量大、建设进度快等需求，在确保安全性的前提下保留了一定的设计裕量；在漳州华龙一号机组设计工作中开展了改进设计，在堆芯设计一致（均为 177 个堆芯燃料棒）的情况下充分挖掘裕量、成功提高堆芯额定功率。

在本次技改前，福清核电 5、6 号机组于第 4 循环进入 18 个月换料，工程设计时仅考虑此一种燃料装载方式，即 68 组富集度为 4.45% 的新燃料组件，不具备可调整性。设计的平衡循环长度为 475EFPD。因受福建电网外部条件限制因素和福清基地 6 台核电机组管理的现实要求，出现类似机组重叠大修及迎峰度夏大修。因此对福清核电厂 5、6 号机组进行灵活换料及功率提升技术改造，技改后使得反应堆热功率提高 2.6% 左右。

按《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》及《建设项目环境保护管理条例》等法律法规的规定，本项目应进行环境影响评价。根据中华人民共和国生态环境部部令第 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于五十五、核与辐射-167 核动力厂（核电厂、核电热厂、核供汽供热厂）中主生产工艺或安全重要构筑物的重大变更。但源项不显著增加，本项目的环境影响评价文件形式为环境影响报告表。本项目建设单位福建福清核电有限公司委托中国核动力研究设计院（以下简称“核动力院”）开展环境影响评价工作。接受本项目环境影响评价工作委托后，核动力院根据福清核电有限公司提供的资料，在工程分析、调查项目现场及周边环境后，根据国家的法律法规和环境影响评价导则，编制本项目环境影响报告表。

2.2 建设内容

本次功率提升工作仅仅对福清核电厂 5、6 号机组实施灵活换料及功率提升循

环管理策略，仅是燃料管理方案有所改变，对堆芯燃料管理的技术实施改进，提高堆芯燃料富集度，改变堆芯燃料装载方式，提高机组功率，**使两台机组的名义功率从 1161MWe 提升至 1191MWe**，整个技改过程中不对核电厂既有的系统、设备及其运行工艺和管理进行改变，也不对福清核电厂现有的系统和设备实施改造。

1、技改前项目概况

福建福清核电厂（以下简称“福清核电厂”）位于福清市三山镇前薛村，规划容量为 $6 \times 1000\text{MWe}$ 级核电机组，其中 1-4 号机组采用 $4 \times 1000\text{MWe}$ 级“二代加改进”技术路线的压水堆核电机组；5、6 号机组采用 $2 \times 1000\text{MWe}$ 级“华龙一号”自主化三代压水堆核电机组。1 号机组于 2014 年 11 月投入商运，2 号机组于 2015 年 10 月投入商运，3 号机组于 2016 年 7 月投入商运，4 号机组于 2017 年 9 月投入商运，5 号机组于 2021 年 1 月投入商运，6 号机组于 2022 年 3 月投入商运。

福清核电 5、6 号机组采用“华龙一号”型压水堆核电机组。该核电机组包括核反应堆及其核辅助设施的核岛、包括汽轮发电机及其辅助设施的常规岛和 BOP 组成。反应堆堆芯由 177 组经过修改的 AFA-3G 燃料组件及其相关组件组成。堆芯等效直径 3.23m，堆芯活性段高度 3.66m。为了展平功率分布，首循环按铀-235 富集度的不同分三区装载；后续循环使用固体可燃毒物钐，并采用低泄漏或部分低泄漏的装载方式。

福清核电 5、6 号机组目前采用的燃料管理策略为：采用 AFA-3G 燃料组件，堆芯等效直径 3.23m 堆芯活性段高度 3.66m，通过提高堆芯燃料组件 ^{235}U 的富集度（新燃料组件芯块中 ^{235}U 的富集度由 3.7% 提高到 4.45%），增加燃料的卸料燃耗，采用 18 个月换料。从第三循环开始，每次装入 68 组富集度为 4.45% 的新燃料组件，同时卸出 68 组富集度较低或燃耗较深的燃料组件。反应堆经过两次换料，到第五循环时达到了 18 个月平衡换料。

福清核电厂 5、6 号机组在正式投运前编制了环境影响评价报告文件，生态环境部以文件《关于福建福清核电厂 5、6 号机组环境影响报告书(运行阶段)的批复》（环审[2020] 105 号）对其环评文件进行了批复。

2、技改后项目概况

拟进行功率提升改造，仍然采用经过修改的 AFA-3G 燃料组件，通过提高堆芯燃料组件 ^{235}U 的富集度（提升功率后新燃料组件芯块中 ^{235}U 的富集度为 4.45% 和 4.95%），增加燃料的卸料燃耗，采用 18 个月换料。第三循环，装入 68 组富集度

为 4.45% 的新燃料组件，同时卸出 68 组富集度较低或燃耗较深的燃料组件。从第四循环开始，每次装入 60 组富集度为 4.45% 和 12 组富集度为 4.95% 的新燃料组件，同时卸出 72 组富集度较低或燃耗较深的燃料组件。反应堆经过三次换料，到第七循环达到 18 个月平衡换料。

3、福清核电 5、6 号机组基本建设情况

福建福清核电厂厂址位于福清市三山镇前薛村的岐尾山前沿，北、南、西三面环海，东北侧与陆地连接。经纬度坐标为北纬 $25^{\circ}25'53.32''\sim 25^{\circ}27'07.54''$ ，东经 $119^{\circ}25'36.59''\sim 119^{\circ}27'10.09''$ ；厂址北北西距福州市 71km，北距长乐区 58km，距福清市 32km，西距莆田市 43km（均为直线距离）。

清核电厂 5、6 号机组工程采用自主化三代百万千瓦级压水堆核电机组“华龙一号”，电站设计寿命 60 年。福建福清核电 5、6 号机组工程是在福清核电在 1-4 号机组工程的基础上进行建设的，充分利用了 1-4 号机组有关设施，如取排水工程，海工工程、防护工程、厂外道路、施工场地、部分 BOP 子项等；随着 5、6 号机组的建成投用，整个厂址区域形成了一址多堆的核电基地。福清核电对多堆厂址的环保设施进行了统筹安排。

- 统一规划并设立非居住区边界和规划限制区边界；
- 设置了统一的取、排水口，并从设计上综合考虑六台机组取、排水设计方案，既保证机组满功率的需要，又有利于减少环境的影响；
- 整个厂区的总平面布置中功能分区明确，统一合理布置了放射性区域、非放射性区域和相关设施；
- 针对所有机组实施了统一的流出物排放管理、设置了统一的环境监测中心、应急指挥中心和放射性废物库等。

福清核电 5、6 号机组位于现有 4 号机组西北侧，厂坪设计标高为 11m（该标高已通过核安全审评，满足防洪要求）。2 台机组反应堆厂房中心经纬度分别为：

5 号机组反应堆厂房：东经 $119^{\circ}26'31''$ ，北纬 $25^{\circ}26'31''$

6 号机组反应堆厂房：东经 $119^{\circ}26'37''$ ，北纬 $25^{\circ}26'36''$

六台机组的主厂房建筑群由西向东平行布置，5、6 号机组布置在厂区东部（以下方位按建北描述）。主厂房区包括核岛厂房、常规岛厂房，核岛、常规岛南北向一字型布置，核岛南向、常规岛北向。

福清核电 5、6 号机组反应堆厂房产生的放射性废气经过处理达标后，通过 5、6

号机组反应堆排风烟囱排入大气。5号机组反应堆排风烟囱坐标为东经 119°26'31"，北纬 25°26'31"，排风口绝对标高为 76.53m，距离陆域地产边界线最小距离为东向边界线 1090m，南向边界线 156m，西向边界线 1233m，北向边界线 340m；6号机组反应堆排风烟囱坐标为东经 119°26'37"，北纬 25°26'36"，排风口绝对标高为 76.53m，距离陆域地产边界线最小距离为东向边界线 870m，南向边界线 399m，西向边界线 1453m，北向边界线 429m。

废液排放点:本工程循环冷却水和重要厂用水的排水口为废液排放口。液态流出物通过地下管沟排至虹吸井，经循环水排水暗渠排至排水明渠，最后通过排水明渠排至排水口(废液排放点)，进入厂址南部海域(受纳水体)；废液排放点在核电厂海域地产界线内，排放口坐标为东经 119°26'12.84"，北纬 25°24'56.88"，距征海边界最近距离分别为:东向边界线约 1293m、南向边界线约 2806m、西向边界线约 1725m、北向边界线约 1338m，距陆域征地边界最近距离为 1855m。

福清核电厂产生的生活污水经污水处理站处理达标后，就近排放至厂区雨水系统，经虹吸井最终排至厂址南部排水明渠；非放射性含油废水经含油生产废水油水分离池处理达标后，就近排放至厂区雨水系统，经虹吸井最终排至厂址南部排水明渠。

本次实施灵活换料及功率提升循环管理策略，上述工程不发生改变。

本次技改不改变现有总平面布置，福清核电厂总平面布置详见图 2-2。



图 2-2 福清核电厂总平面布置图

2.3 项目组成和建设内容

本次技改不改变核电厂总的工艺流程，仅进行灵活换料及功率提升等技术性改造。

1、总工艺流程

福清核电厂是由反应堆回路（一回路）、汽轮机回路（二回路）和发电机回路（三回路）三个基本部分组成。

反应堆回路主要由反应堆、蒸汽发生器和主泵等组成密闭式的高压循环回路。其作用是将反应堆堆芯内核裂变所释放的大量热能导出，传给蒸汽发生器二次侧的给水，使之产生饱和蒸汽送入汽轮发电机。

汽轮机回路的主要设备有汽轮发电机、凝汽器、凝结水泵、低压加热器、除氧器、主机水泵和高压加热器等与核岛部分的蒸汽发生器组成封闭的汽水循环回路。这个循环回路的流程原理与火力发电厂的流程原理基本相同，只是由核岛部分的蒸汽发生器代替了火力发电厂的蒸汽锅炉。

发电机回路的主要设备为发电机、励磁机、主变压器、厂用变压器、高压开关站等。

工艺流程图见下图 2-3。

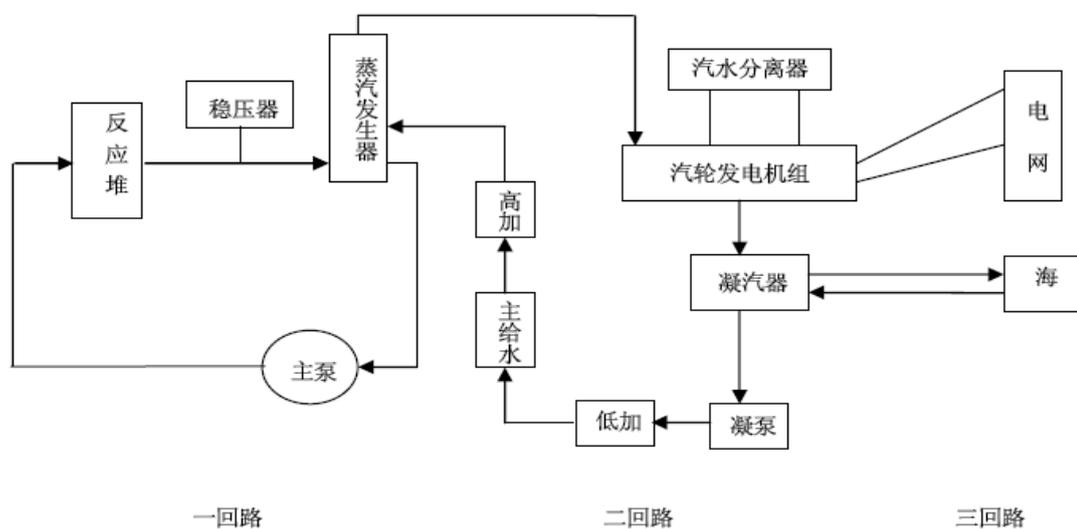


图 2-3 核电厂工艺流程图

2、燃料管理策略

本次技改前后换料方式均为 18 个月换料制。技改前后堆芯燃料管理策略如下。

(1) 技改前燃料管理策略

福清核电站 5、6 机组的反应堆堆芯均由 177 组经过修改的 AFA-3G 燃料组件

及其相关组件组成，换料周期为 18 个月。堆芯等效直径 3.23m，堆芯活性段高度 3.66m。为了展平功率分布，首循环按铀-235 富集度的不同分三区装载；后续循环使用固体可燃毒物钐，并采用低泄漏或部分低泄漏的装载方式；通过提高堆芯燃料组件 ^{235}U 的富集度（新燃料组件芯块中 U-235 的富集度由 3.7% 提高到 4.45%），增加燃料的卸料燃耗，从第三循环开始，每次装入 68 组富集度为 4.45% 的新燃料组件，同时卸出 68 组富集度较低或燃耗较深的燃料组件。反应堆经过两次换料，到第五循环时达到了 18 个月平衡换料。

技改前燃料管理的主要设计参数如下：

- 1) 换料组件富集度：3.7%~4.45%；
- 2) 平衡循环换料组件数：68 组；
- 3) 平衡燃料循环的循环长度 475EFPD。

(2) 技改后燃料管理策略

福清核电站 5、6 机组换料周期仍为 18 个月。堆芯等效直径 3.23m，堆芯活性段高度 3.66m。为了展平功率分布，首循环按铀-235 富集度的不同分三区装载；后续循环使用固体可燃毒物钐，并采用低泄漏或部分低泄漏的装载方式；通过提高堆芯燃料组件 ^{235}U 的富集度提升功率后新燃料组件芯块中 ^{235}U 的富集度为 4.45% 和 4.95%，增加燃料的卸料燃耗，第三循环，装入 68 组富集度为 4.45% 的新燃料组件，同时卸出 68 组富集度较低或燃耗较深的燃料组件。从第四循环开始，每次装入 60 组富集度为 4.45% 和 12 组富集度为 4.95% 的新燃料组件，同时卸出 72 组富集度较低或燃耗较深的燃料组件。反应堆经过三次换料，到第七循环达到 18 个月平衡换料。

技改后反应堆堆芯燃料组件采用带改进型定位格架的 M5 型 AFA3G 燃料组件，燃料组件数不变、技术参数没有变化，为了补偿堆芯后备反应性和展平堆芯径向功率分布，在燃料组件中布置了可燃毒物。可燃毒物材料为 Gd_2O_3 与 UO_2 均匀弥散的载钐燃料棒。根据堆芯装载需要，在燃料组件中，分别含有 8 根、12 根、16 根和 20 根载钐燃料棒。

技改后燃料管理的主要设计参数如下：

- 1) 换料组件富集度：4.45% 和 4.95% 混合使用；
- 2) 平衡循环换料组件数：72 组；
- 3) 堆芯换料模式：采用部分低泄漏装载模式；

4) 平衡燃料循环的循环长度 490EFPD。

3、项目组成和主要环境影

本次技改不改变核电厂总的工艺流程，仅改变堆芯燃料管理策略，不新增设备、构建筑物，不新增环保设施。项目运行的主体工程、环保工程以及公辅工程均完全依托福清核电站 5、6 号机组现有设备设施，上述工程的环境影响评价报告文件与 2020 年被生态环境部以文件《关于福建福清核电厂 5、6 号机组环境影响报告书(运行阶段)的批复》（环审[2020] 105 号）进行了批复。本文不再赘述相关内容。

4、主要设备

本次技改不新增各类设备，原有设备本文不再赘述。

2.4 劳动定员及工作制度

本次技改不改变福清核电厂原有的劳动定员和工作制度，不新增工作人员。

2.5 施工期工艺流程及产污环节

本次功率提升工作仅仅对福清核电厂 5、6 号机组实施灵活换料及功率提升循环管理策略，仅是燃料管理方案有所改变，对堆芯燃料管理的技术实施改进，提高堆芯燃料富集度，改变堆芯燃料装载方式，提高机组功率，使两台机组的名义功率从 1161MWe 提升至 1191MWe，整个技改过程中不对核电厂既有的系统、设备及其运行工艺和管理进行改变，也不对福清核电厂现有的系统和设备实施改造。

因此施工期不产生各类污染物。

2.6 运营期工艺流程及产污环节

本次功率提升工作仅仅对福清核电厂 5、6 号机组实施灵活换料及功率提升循环管理策略，仅是燃料管理方案有所改变，不改变劳动定员，不改变电站整体工艺，不改变项目现有的环境保护措施，因此除了燃料管理方案导致的放射性污染物排放有少量变化外，本项目的非放射性环境影响和功率提升技改前没有变化。

因此本次评价将不再对非放射性环境影响进行赘述。

(一) 放射性物质的产生分析

核电厂放射性物质最根本的来源是反应堆燃料芯块内的链式裂变反应，裂变产生的放射性核素基本上都包容在燃料元件芯块与包壳之内，只有极少量的裂变产物会由于燃料元件破损而泄漏到反应堆冷却剂中，或者由极少量的燃料元件加工制造过程中的表面铀沾污而直接进入主冷却剂。同时裂变产生的中子使反应堆冷却剂自身以及腐蚀产物、控制棒、硼酸和其它材料受到激活而产生中子活化及活化腐蚀产物。这些裂变产物和活化及活化腐蚀产物是主冷却剂系统及相关系统的主要放射性来源，其中蒸汽发生器传热管束的泄漏还有可能造成二回路系统的污染。

(二) 放射性废物的处理及排放情况

本次技改不改变福清核电厂原有三废处理、排放设施，三废的处理处置及排放情况详见本环境影响报告表后附件 2。以下仅列出排放量。

1、放射性废液

放射性液态流出物排入环境的排放量分为硼回收系统、废液处理系统、二回路系统三个途径分别估算。

放射性液态流出物排放量设计值汇总及技改前**排放量设计值**见下表。

液态流出物		氚 (Bq/a)	碳-14 (Bq/a)	其余核素 (Bq/a)
排放量 设计值	技改前	9.18E+13	5.62E+10	1.44E+10
	技改后	8.94E+13	5.24E+10	1.43E+10
批复的排放限制		8.26E+13	5.06E+10	1.30E+10
GB6249-2011 控制值		3.00E+14	6.00E+11	2.00E+11

注：

(1)：设计值与技改前环评报告选取方式一致，为两倍保守工况源项；

(2)：申请值取值原则为设计值*0.9。

由上表可见，技改后，液态放射性流出物各类核素的年排放量设计值较技改前

均有所降低，均能满足 GB6249-2011 的控制值要求。

鉴于福清核电厂 5、6 号机组技改前批复的排放限值可以包络技改后的设计值，因此不调整原申请值。

液态流出物	氡 (Bq/a)	碳-14 (Bq/a)	其余核素 (Bq/a)
批复的排放限值	8.26E+13	5.06E+10	1.30E+10

2、放射性废气

放射性气载流出物排入环境的排放量分为放射性废气处理系统排放、反应堆厂房排风、核辅助厂房排风、核废物厂房排风、燃料厂房排风以及二回路的排放等六个途径分别估算。

放射性气载流出物排放量设计值汇总及技改前后排放量设计值对比见下表。

气载流出物		惰性气体 (Bq/a)	碘 (Bq/a)	粒子(半衰期 ≥8d) (Bq/a)	碳-14 (Bq/a)	氡 (Bq/a)
排放量设计值	技改前	1.28E+14	1.22E+09	1.87E+08	7.68E+11	9.18E+12
	技改后	1.23E+14	1.18E+09	1.87E+08	7.14E+11	9.94E+12
批复的排放限值		1.15E+14	1.10E+09	1.68E+08	6.91E+11	8.26E+12
GB6249-2011 控制值		2.40E+15	8.00E+10	2.00E+11	2.80E+12	6.00E+13

注：

(1)：设计值与技改前环评报告选取方式一致，为两倍保守工况源项；

(2)：申请值取值原则为设计值*0.9。

由上表可见，除氡之外，各种类型核素的排放量均比技改前有所减少，氡也仅增加了 8.28%。数据差异一方面是由于技改造成的，同时也有计算方法差异所造成的影响。由上表可见，技改后，气载放射性流出物各类核素的年排放量设计值均满足 GB6249-2011 的控制值要求。

鉴于福清核电厂 5、6 号机组技改后排放量设计值比起技改前排放量设计值有所变化，技改前批复的排放限值可以包络技改后除氡以外的设计值，因此需对氡的原批复值进行调整。新申请值取值方法与技改前一致：新申请值取值方法为：惰性气体、粒子（半衰期≥8d）、碳-14 的申请值不变，氡核素申请值就是设计值*0.9。新申请值见下表。

气载流出物	惰性气体 (Bq/a)	碘 (Bq/a)	粒子(半衰期 ≥8d) (Bq/a)	碳-14 (Bq/a)	氡 (Bq/a)
申请值	1.15E+14	1.10E+09	1.68E+08	6.91E+11	8.95E+12*

注：(*) 仅需调整气载流出物中氡的申请值。

2.7 现有工程的放射性流出物实际排放量

福清核电厂 5、6 号机组自投入商运以来，三废处理设施运行正常。根据《福建福清核电厂流出物及环境监测评价年报（2021~2022 年）》，福清核电厂 5、6 号机组 2022 年放射性气载、液态流出物排放量见表 2-1~2-4。

表 2-1 2021 年福清核电厂 5、6 号机组放射性气载流出物排放量统计表

月/季度	体积(m ³)	惰性气体(Bq)	碘(Bq)	粒子(Bq)	氚(Bq)	碳-14(Bq)
1	2.32E+08	3.45E+09	1.31E+09	1.25E+10	2.02E+04	7.57E+04
2	2.20E+08	6.66E+09	2.20E+09	1.83E+10	2.87E+04	6.61E+04
3	2.36E+08	9.84E+09	8.20E+08	1.50E+10	2.31E+04	7.55E+04
第一季度	6.88E+08	2.00E+10	4.33E+09	4.58E+10	7.20E+04	2.17E+05
4	2.36E+08	1.57E+10	7.52E+08	1.20E+10	3.25E+04	6.49E+04
5	2.50E+08	2.42E+10	9.34E+08	1.56E+10	3.53E+04	8.57E+04
6	2.36E+08	3.02E+10	4.28E+09	2.00E+10	2.82E+04	7.85E+04
第二季度	7.22E+08	7.01E+10	5.97E+09	4.76E+10	9.60E+04	2.29E+05
7	2.41E+08	3.87E+10	1.18E+09	1.75E+10	3.01E+04	5.60E+04
8	2.45E+08	3.06E+10	1.22E+09	1.82E+10	2.88E+04	6.48E+04
9	2.36E+08	5.25E+10	1.29E+10	2.41E+10	2.99E+04	6.77E+04
第三季度	7.22E+08	1.22E+11	1.53E+10	5.98E+10	8.88E+04	1.89E+05
10	2.47E+08	3.08E+10	1.39E+09	1.49E+10	2.51E+04	5.94E+04
11	4.17E+08	2.49E+10	3.92E+09	2.86E+10	1.25E+06	9.83E+04
12	3.94E+08	3.52E+10	4.83E+10	3.34E+10	5.45E+04	1.26E+05
第四季度	1.06E+09	9.09E+10	5.36E+10	7.69E+10	1.33E+06	2.84E+05
全年合计	3.19E+09	3.03E+11	7.92E+10	2.30E+11	1.59E+06	9.19E+05
批准排放值*	/	1.15E+14	1.10E+09	1.68E+08	8.26E+12	6.91E+11

*自《关于福建福清核电厂 5、6 号机组环境影响报告书(运行阶段)的批复》(环审[2020] 105 号)

表 2-2 2021 年福清核电厂 5、6 号机组放射性液态流出物排放量统计表

月/季度	排放体积(m ³)	氚 (Bq)	碳-14 (Bq)	其余核素 (Bq)
1	852	1.27E+11	3.96E+07	1.26E+06
2	855	4.76E+11	1.03E+08	1.71E+06
3	858	6.96E+11	8.25E+07	1.60E+06
第一季度	2565	1.30E+12	2.25E+08	4.57E+06
4	836	7.43E+10	1.36E+07	2.85E+06
5	1283	1.64E+11	1.48E+07	4.43E+06

6	1267	3.07E+11	2.70E+07	3.97E+06
第二季度	3386	5.45E+11	5.54E+07	1.13E+07
7	2115	1.67E+12	2.37E+08	1.78E+07
8	2062	1.39E+12	6.06E+07	8.27E+06
9	3280	1.32E+12	2.96E+08	6.54E+06
第三季度	7457	4.38E+12	5.94E+08	3.26E+07
10	2430	1.19E+12	4.97E+08	4.11E+06
11	1222	4.13E+12	1.59E+09	1.77E+06
12	2412	3.31E+12	1.10E+09	7.27E+07
第四季度	6064	8.63E+12	3.19E+09	7.86E+07
全年合计	19472	1.49E+13	4.06E+09	1.27E+08
*批准年排放值	/	8.26E+13	5.06E+10	1.30E+10

*自《关于福建福清核电厂5、6号机组环境影响报告书(运行阶段)的批复》(环审[2020]105号)

表 2-3 2022 年福清核电厂 5、6 号机组放射性气载流出物排放量统计表

月/季度	体积(m ³)	惰性气体(Bq)	碘(Bq)	粒子(Bq)	氚(Bq)	碳-14(Bq)
1	3.86E+08	2.28E+10	5.13E+04	1.27E+05	1.32E+10	4.01E+10
2	3.87E+08	2.54E+10	5.57E+04	1.49E+05	1.19E+10	3.34E+10
3	3.90E+08	2.54E+10	5.11E+04	1.17E+05	6.65E+09	1.74E+10
第一季度	1.16E+09	7.36E+10	1.58E+05	3.93E+05	3.18E+10	9.09E+10
4	3.80E+08	2.56E+10	6.25E+04	1.31E+05	1.58E+10	9.92E+09
5	3.95E+08	2.45E+10	5.81E+04	1.14E+05	2.95E+10	6.67E+09
6	3.77E+08	2.25E+10	5.51E+04	1.16E+05	4.06E+10	7.09E+09
第二季度	1.15E+09	7.26E+10	1.76E+05	3.61E+05	8.59E+10	2.37E+10
7	3.91E+08	2.93E+10	5.16E+04	1.00E+05	5.55E+10	6.36E+09
8	3.85E+08	2.76E+10	5.16E+04	1.11E+05	7.03E+10	4.00E+09
9	3.74E+08	2.80E+10	6.23E+04	1.17E+05	5.65E+10	5.97E+09
第三季度	1.15E+09	8.49E+10	1.66E+05	3.28E+05	1.82E+11	1.63E+10
10	3.94E+08	2.75E+10	6.23E+04	1.36E+06	5.08E+10	1.21E+10
11	3.82E+08	3.01E+10	5.55E+04	1.64E+05	5.03E+10	1.71E+09
12	3.91E+08	3.52E+10	5.05E+04	2.05E+05	5.33E+10	7.64E+09
第四季度	1.17E+09	9.28E+10	1.68E+05	1.73E+06	1.54E+11	2.15E+10
全年合计	4.63E+09	3.24E+11	6.68E+05	2.81E+06	4.54E+11	1.52E+11
批准排放值*	/	1.15E+14	1.10E+09	1.68E+08	8.26E+12	6.91E+11

*自《关于福建福清核电厂 5、6 号机组环境影响报告书(运行阶段)的批复》(环审[2020] 105 号)

表 2-4 2022 年福清核电厂 5、6 号机组放射性液态流出物排放量统计表

月/季度	排放体积(m ³)	氚 (Bq)	碳-14 (Bq)	其余核素 (Bq)
1	1598	9.18E+11	1.57E+08	1.38E+08
2	2091	1.13E+12	1.59E+08	1.66E+08
3	2068	6.05E+11	1.47E+08	4.27E+07
第一季度	5757	2.65E+12	4.63E+08	3.47E+08
4	1184	7.65E+10	2.64E+07	1.63E+07
5	797	1.10E+11	2.84E+07	9.90E+06
6	3004	2.55E+11	6.23E+07	2.18E+07
第二季度	4985	4.42E+11	1.17E+08	4.80E+07
7	5175	8.09E+11	1.40E+08	2.18E+07
8	4554	8.00E+12	1.23E+09	2.22E+07
9	3132	6.04E+12	4.97E+08	1.49E+07
第三季度	12861	1.48E+13	1.87E+09	5.89E+07
10	1210	1.29E+12	9.96E+06	5.97E+06
11	1000	3.79E+11	8.80E+06	1.46E+07
12	391	2.17E+10	1.89E+06	1.48E+06
第四季度	2601	1.69E+12	2.07E+07	2.21E+07
全年合计	26204	1.96E+13	2.47E+09	4.76E+08
*批准年排放值		8.26E+13	5.06E+10	1.30E+10

*自《关于福建福清核电厂 5、6 号机组环境影响报告书(运行阶段)的批复》(环审[2020] 105 号)

由表 2-1~2-4 可见,福清核电 5、6 号机组在 2021~2022 年度放射性流出物排放情况良好,放射性流出物的年排放量小于国家批准的排放申请值;并且,每个季度的排放总量小于批准的年排放申请值的二分之一,每个月的排放总量小于批准的年排放申请值的五分之一,满足《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)中对放射性流出物排放量的控制要求。

2022 年福清核电厂放射性固体废物工作总体情况安全可控,全年度放射性固体废物货包产生量(6台机组总计)为14.8m³,根据本年度原生废物(见表2-3放射性废物月度产生量统计表)产生量估算,放射性固体废物货包产生量预计为129.6m³,低于180m³的年度管理目标值。2022年福清核电厂产生的放射性固体废物类型主要

包括废树脂、水过滤器芯、可燃干废物、不可燃可压干废物、通风滤芯、浓缩液、非金属（大尺寸废物）、碘吸附器、废油和废有机溶剂等。

放射性废物处理系统为间歇运行，目前该系统运行状态良好，放射性固体废物处理系统（OTES）年度运行时间约 600 小时，共处理产生 200L 桶装初压放射性可燃技术废物 190m³（超压固定后体积减容为 95m³）。

福清核电站对放射性废物进行了妥善整备、处理、暂存、处置，所使用的包装容器以及废物包性能满足国家标准要求，废物暂存库设计满足国家标准要求。

三、区域环境质量现状、环境保护目标及评价标准

区域
环境
质量
现状

3.1 环境空气质量现状与评价

依据闽环辐射函〔2015〕42号文件的相关要求，项目所在区域空气质量为二类功能区，环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准。

根据福清市空气质量月报数据，六类基本污染物监测值如表 3-1 所示。由表中数据可知，福清市 2022 年空气质量环境中 SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO 和 O₃ 浓度均未超过《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准。本项目所在区域为空气质量达标区。

表 3-1 福清市空气质量监测月报数据

监测月份	月日均值 (mg/m ³)					
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	O ₃
2022 年 1 月	0.002	0.020	0.037	0.020	0.8	0.060
2022 年 2 月	0.002	0.014	0.025	0.013	0.6	0.073
2022 年 3 月	0.003	0.020	0.048	0.020	0.6	0.112
2022 年 4 月	0.004	0.019	0.038	0.019	0.6	0.116
2022 年 5 月	0.003	0.013	0.024	0.012	0.6	0.116
2022 年 6 月	0.002	0.013	0.022	0.009	0.4	0.078
2022 年 7 月	0.003	0.014	0.031	0.014	0.8	0.154
2022 年 8 月	0.004	0.014	0.027	0.012	0.7	0.140
2022 年 9 月	0.004	0.012	0.030	0.014	0.8	0.145
2022 年 10 月	0.003	0.009	0.024	0.011	0.6	0.108
2022 年 11 月	0.003	0.016	0.023	0.011	0.9	0.092
2022 年 12 月	0.003	0.013	0.027	0.013	0.6	0.09
平均值	0.003	0.015	0.030	0.014	0.7	0.107
备注：CO 为日均值第 95 百分位数，O ₃ 为日最大 8 小时值第 90 百分位数						
二级浓度限值 (mg/m ³)	0.06	0.04	0.07	0.035	4	0.16

3.2 地表水环境质量现状与评价

根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018），对于评价等级为三级B的项目可以不用调查项目所在区域的地表水环境质量现状，但评价工作应能满足依托污水处理设施环境可行性分析要求。本项目地表水环境评价影响评价等级为三级B，无需对区域水环境质量现状及区域污染源开展调查工作。

本项目在运营期无新增生活污水产生。福清核电厂现有的污水处理设施运行正常。厂区生活污水收集至生活污水处理站后，经生化工艺处理，其出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级A标准后，排放至生产废水和雨水系统管道，最终通过虹吸并排至大海。

3.3 声环境质量现状

根据《建设项目环境影响报告表编制技术指南（污染影响类）（试行）》：“厂界外周边 50 米范围内存在声环境保护目标的建设项目，应监测保护目标声环境质量现状并评价达标情况”，本项目厂界周边 50 米范围内不存在声环境保护目标，可不开展声环境质量现状监测工作。

3.4 辐射环境质量现状与评价

本项目所在区域的辐射环境质量现状引用《福建福清核电厂环境监测年报（2022 年度）》中的数据。环境本底数据引用中国辐射防护研究院《福建福清核电厂 1、2 号机组工程申请装料许可证阶段环境放射性本底调查报告》（2012 年）中的数据。

1、陆地 γ 辐射空气吸收剂量率

2022 年，厂址所在区域即时 γ 辐射空气吸收剂量率设置了 44 个监测点位（其中 1 个为对照点）进行 1 次/季的监测，44 个点位的平均值范围在（48.6~125）nGy/h 之间，在本底（69~146）nGy/h 涨落范围内。

2、大气、沉降物和降水

2022 年 1-10 月，对厂区外 3 个气溶胶监测点进行了 2 次/月的取样监测，11 月改为大流量气溶胶采样后，监测频次改为 1 次/月，监测项目为总 α 、总 β 、 γ 谱分析、 ^{131}I 。结果表明：厂区外监测点的气溶胶总 α 监测结果平均值在（ $<0.023\sim 0.092$ ）mBq/m³ 之间，在本底（0.10~1.71）mBq/m³ 涨落范围内；总 β 监测结果平均值在（0.117~1.99）mBq/m³ 之间，在本底（0.091~4.91）mBq/m³ 涨落范围内； γ 谱分析人工核素监测值均低于探测限； ^{131}I 监测值均低于探测限。

2022 年，对厂区外 2 个空气中 ^3H 、 ^{14}C 监测点进行了 1 次/季的取样监测，结果表明：厂区周围环境空气中 ^3H 的监测结果平均值在（ $<0.0058\sim 0.06$ ）Bq/m³ 之间，在本底（6.69~78.0mBq/m³）涨落范围内。 ^{14}C 监测平均值在（0.144~0.244）Bq/g 之间，在本底（0.13~0.25）Bq/g 涨落范围内。

2022 年，对厂区外 3 个沉降灰监测点进行了 1 次/季的取样监测，监测项目为总 β 、 ^{90}Sr 、 γ 谱分析。结果表明：沉降灰总 β 监测结果平均值在（0.0934~0.339）Bq/(m²·d)之间，在本底（10.6~55）Bq/(m²·月)涨落范围内；沉降灰 ^{90}Sr 监测结果平均值在（8.31~54.2）mBq/(m²·d)之间，与本底（0.079~0.84Bq/m²·月）值在同一水平； γ 谱分析人工核素均低于探测限。

2022年,对厂区外3个降水监测点进行了1次/季的取样监测,监测项目为 ^3H 、 γ 谱分析。监测结果显示: ^3H 的监测值仅在第二季度在前薛村监测点为 0.93Bq/L ,与本底($0.31\sim 0.75\text{Bq/L}$)值在同一水平,其余监测结果均低于探测限; γ 谱分析人工核素监测值均小于探测限。

3、地表水、地下水、饮用水

2022年,对厂区外4个地表水监测点进行了1次/半年取样监测,监测项目为 γ 谱分析、 ^3H 。地表水监测结果表明: ^3H 监测值低于探测限, γ 谱分析人工核素均低于探测限。

2022年,对厂区外2个地下水监测点进行了1次/半年取样监测,监测项目为 γ 谱分析、 ^3H 。地下水监测结果表明: ^3H 监测值低于探测限, γ 谱分析人工核素均低于探测限。

2022年,对厂区外3个饮用水监测点进行了1次/半年取样监测,监测项目为 γ 谱分析、总 β 、 ^3H 。饮用水监测结果表明:总 β 监测结果平均值在($0.0882\sim 0.406$) Bq/L 之间,其中前薛村和泽岐村上半年的监测值超出本底涨落范围($0.15\sim 0.24$) Bq/L ,其余时段各监测点值在本底涨落范围($0.15\sim 0.24$) Bq/L 内;各测点 ^3H 、 γ 谱分析人工核素均未检出。

4、土壤

2022年,对厂区外5个监测点的陆地土壤进行了1次/年的取样监测,监测项目为 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 γ 谱分析,分析结果表明:地表土壤中 ^{90}Sr 的活度浓度范围为($<0.156\sim 0.667$) Bq/kg ,在本底($0.25\sim 7.06$) Bq/kg 涨落范围内;北岭村检出 ^{137}Cs ,活度浓度为 0.96Bq/kg ,其余监测点未检出 ^{137}Cs ; ^{238}U 的活度浓度范围($<23.4\sim 113$) Bq/kg ,与本底值($6.47\sim 53.1$) Bq/kg 在同一水平; ^{236}Ra 的活度浓度范围($23.1\sim 126$) Bq/kg ,与本底值($5.86\sim 44.9$) Bq/kg 在同一水平; ^{232}Th 的活度浓度范围($29.3\sim 165$) Bq/kg ,与本底值($11.1\sim 97.1$) Bq/kg 在同一水平,其余核素均未检出。

5、海水及海洋沉积物

2022年,对厂区附近海域6个海水监测点(其中1个为对照点)进行了半年一次的取样监测(其中排水口监测点监测频次为每月一次),监测项目为 γ 谱分析。监测结果表明:排水口部分月份检出 ^{137}Cs ,监测结果平均值为($1.23\sim 1.80$) mBq/L ;厂址以西、厂址以北、气象站以东及对照点海域监测点下半年检出 ^{137}Cs ,监测结

果平均值分别为 1.27mBq/L、1.94 mBq/L、1.56 mBq/L 及 1.60 mBq/L，其余时间段人工核素均未检出；厂址以东海域监测点人工核素未检出。对排水口、对照点海水监测了 ^{90}Sr ，监测频次为半年一次，监测结果表明：排水口海水中 ^{90}Sr 活度浓度监测平均值为 (0.46~0.54) mBq/L，略高于对照点监测平均值 (0.34~0.42) mBq/L。

对取水口、排水口海水中的 ^3H 进行监测，监测频次为每月两次。监测结果表明：取水口海水中 ^3H 监测平均值为 (<0.732~12) Bq/L；排水口海水中 ^3H 活度浓度范围为 (1.12~12.8) Bq/L，高于本底 (0.2~1.02) Bq/L 涨落范围。

2022 年，对厂址附近海域 6 个监测点的海洋沉积物（其中 1 个为对照点）进行了一年一次的取样监测，监测项目为 ^{90}Sr 、 γ 谱分析，监测结果表明：气象站东海域监测点的海洋沉积物， ^{90}Sr 的活度浓度为 0.276Bq/kg（干重），在本底 (1.34~2.17) Bq/kg（干重）涨落范围内，其余监测点未检出 ^{90}Sr ；各监测点 ^{137}Cs 的活度浓度范围为 (<0.232~1.13) Bq/kg（干重），在本底 (0.89~1.57) Bq/kg（干重）涨落范围内。 ^{236}Ra 的活度浓度范围 (29.6~34.1) Bq/kg（干重），在本底 (21.3~39.6) Bq/kg（干重）涨落范围内； ^{232}Th 的活度浓度范围 (44.4~55.1) Bq/kg，在本底 (38.7~91.9) Bq/kg（干重）涨落范围内；其余核素未检出。

2022 年，对厂区外 3 个监测点的岸边沉积物进行了一年一次的取样监测，监测结果表明， ^{90}Sr 活度浓度范围为 (0.84~1.92) Bq/kg（干重），在本底 (0.25 ~7.06) Bq/kg（干重）涨落范围内， ^{137}Cs 活度浓度范围为 (<0.554~0.96) Bq/kg（干重），在本底 (<LLD~2.70) Bq/kg（干重）涨落范围内，其他人工放射性核素未检出。

6、生物

(1) 海洋生物

2022 年，对厂区外海域的 10 种海洋生物进行了 1 次/年的取样监测，监测项目为 ^{14}C 、 γ 谱分析、 ^{90}Sr 放化分析。海洋生物中沙浦镇附件海域乌母鱼和江镜镇红鱼样品检出 ^{137}Cs ，鲜样中 ^{137}Cs 活度浓度分别为 (0.033±0.011) Bq/kg 和 (0.0393±0.0091) Bq/kg，测量结果与本底值 (<0.004~0.05) Bq/kg 在同一水平；指示生物牡蛎中 ^{90}Sr 活度浓度为 (0.0357±0.0039) Bq/kg，测量结果在本底 (0.18~0.38) Bq/kg 涨落范围；其余人工核素未检出。各类海洋生物鲜样中 ^{14}C 活度浓度范围为 (6.16~24.8) Bq/kg，测量结果均在本底 (16.59~27.2) Bq/kg 涨落范围。

(2) 陆生生物

2022年，对厂区外14种陆生生物样品进行1次/年的取样监测，陆生生物样品品种包含了粮食类、蔬菜类、肉类、牛奶、鱼类、树叶、水果等。监测项目为 ^{14}C 、 γ 谱分析、 ^{90}Sr 放化分析、 ^{131}I 放化分析。监测结果表明， γ 核素测量中除草鱼检出 ^{137}Cs 外，其余样品均未检出 ^{137}Cs ，其中草鱼鲜样 ^{137}Cs 活度浓度为 (0.037 ± 0.011) Bq/kg，测量结果与本底值 $(0.012\sim 0.018)$ Bq/kg在同一水平；其余人工核素在样品中均未检出。花生、豆角、甜瓜、羊肉和相思树叶中人工放射性核素 ^{90}Sr 活度浓度范围为 $(0.0139\sim 0.738)$ Bq/kg，测量结果与本底值 $(<0.01\sim 0.17)$ Bq/kg在同一水平；牛奶、叶菜中 ^{131}I 放化分析结果均小于探测限。各类陆生生物鲜样中 ^{14}C 活度浓度范围为 $(3.37\sim 95)$ Bq/kg，测量结果均与本底值 $(6.87\sim 83.70)$ Bq/kg在同一水平。

7、结论

根据环境监测结果，2022年福清核电厂厂址外围空气吸收剂量率在历年涨落范围内，处于本底水平；环境介质中的人工放射性核素活度浓度未见异常。厂址外围环境辐射水平与本底水平相比，无明显变化。

5、6号机组排气筒距厂区东、西、南、北边界的距离分别约为381m、326m、1291m、594m。距厂址中心最近、人口最多的前薛村位于厂址NNE方向，前薛村村委会距该排气筒的距离为3.11km，以上距离均为直线距离。该排气筒外侧500m范围落在核电厂厂区内，核电厂厂区内无自然保护区、风景名胜区、居住区、文化区和农村地区中人群较集中的区域以及地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源等。

环境保护目标

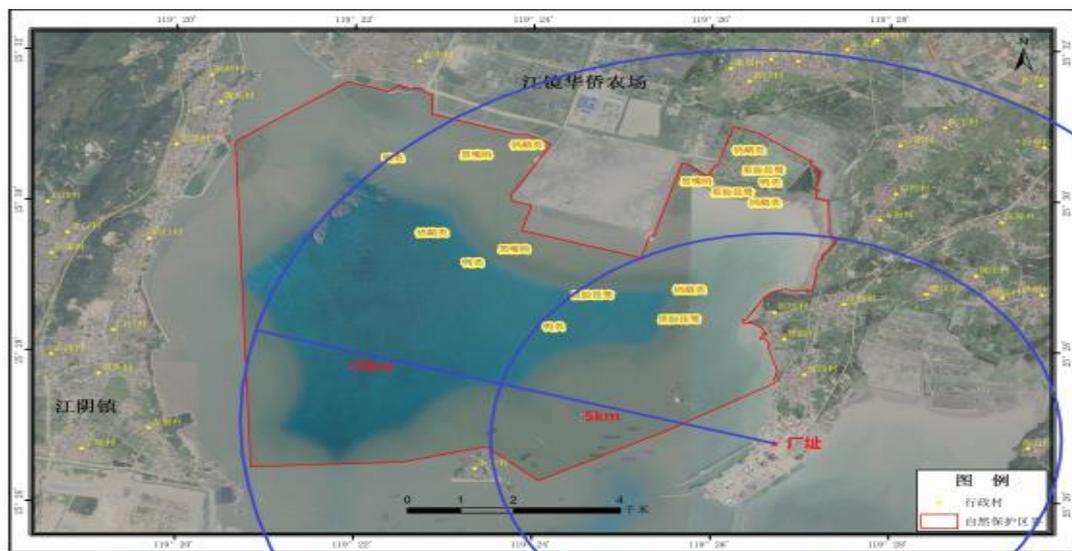


图 3-1 项目厂址周围示意图

1、大气环境保护目标

本项目位于福清核电厂内，福清核电厂界 500 米范围内无自然保护区、风景名胜區，前薛村部分区域在东厂界 500 米范围内，约 500 人。

2、声环境保护目标

本项目位于福清核电厂内，福清核电厂界 50 米范围内无声环境保护目标。

3、地下水环境保护目标

项目位于福清核电厂内，福清核电厂界 500 米范围内无地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源。

4、生态环境

本项目位于福清核电厂内，没有新增用地，不涉及生态环境保护目标。

表 3-2 项目环境要素及环境保护目标

环境要素	保护目标	人口数	距离/m	方位	保护级别
大气环境	前薛村村民	500	500	NNE	《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二类区
声环境	本项目厂界外 50 米范围内无声环境保护目标				/
地下水环境	本项目厂界外 500m 范围内无地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源				/
生态环境	核电厂区外无新增用地，不涉及生态环境保护目标。				/

5、辐射环境保护目标

依据《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》(HJ808-2016)，本次技改需要调查厂址半径 5km、15km 以及 80km 范围内的人口分布情况。

厂址半径 80km 范围内涉及福建省福州市鼓楼区、台江区、仓山区、马尾区、晋安区、长乐区、福清市、平潭县、连江县、闽侯县、永泰县，莆田市城厢区、涵江区、荔城区、秀屿区、北岸区管委会、仙游县和湄州岛，泉州市泉港区和惠安县，共计 3 市 20 个县（市、区）186 个镇（乡、街道、农场）。

厂址半径 15km 范围涉及福建省福州市福清市三山镇、江阴镇、江镜镇、港头镇、高山镇、东瀚镇、沙埔镇和江镜农场 8 个镇（乡、农场）的 133 个行政村。

厂址半径 5km 范围涉及三山镇前薛村、楼前村、韩瑶村、泽岐村、前庄村和沙埔镇的西山村 6 个行政村的 8 个自然村。

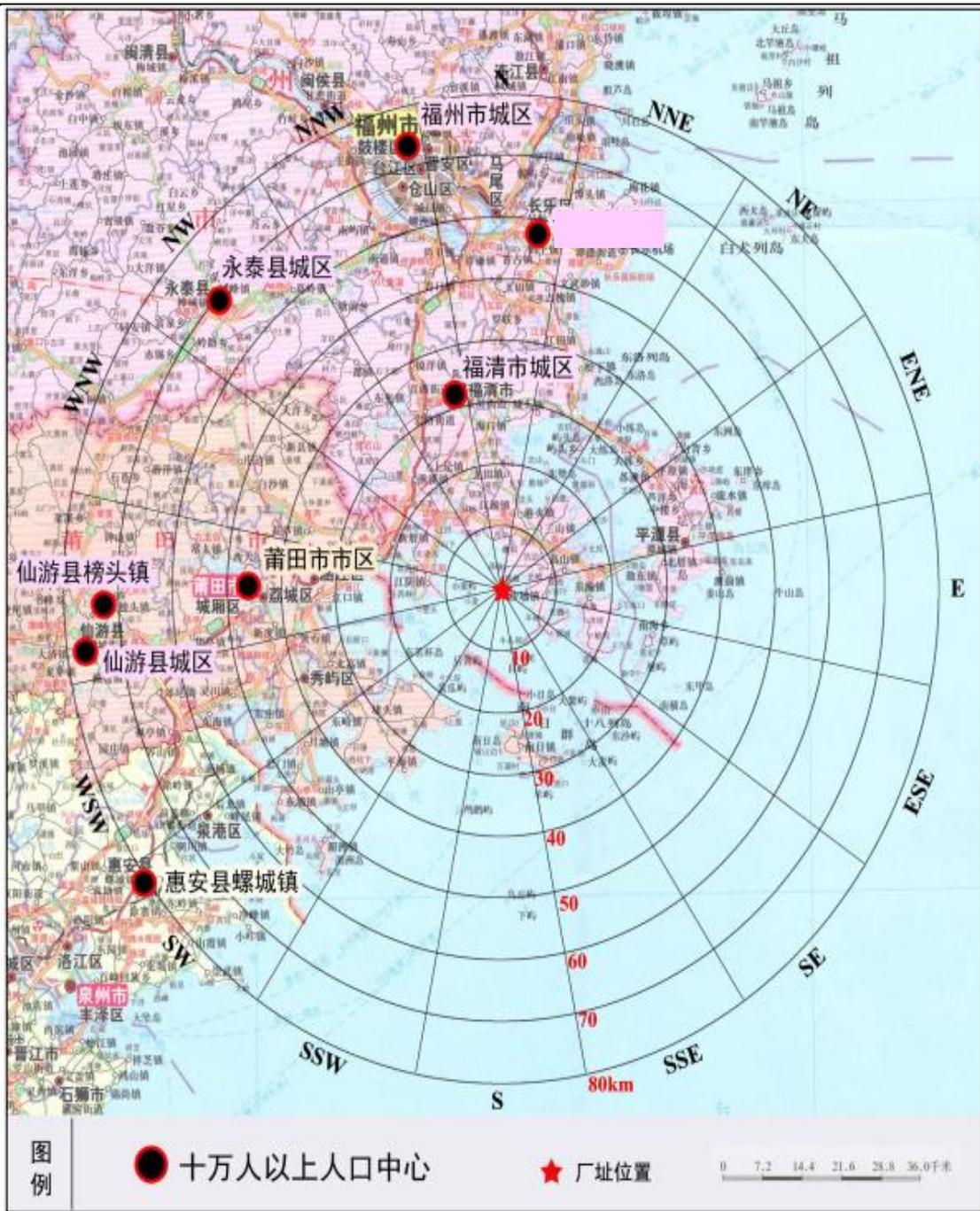


图 3-2 厂址半径 80km 范围内各自然人口分布示意图

厂址半径 80km 范围内总人口约为 10262110 人。厂址半径 80km 范围内十万人以上的城镇有 6 个，分别是福州市城区、莆田市城区、福清市城区、长乐区城区、仙游县城区和仙游县的榜头镇，其中，百万人口以上的城镇有 1 个，是福州市市区，位于厂址的 NNW 方向，距离厂址 71 km，有人口 191.66 万人；距离厂址最近的十万人以上的人口中心是福清市市区，距离厂址 32km，位于厂址的 NNW 方向，总人口数为 31.82 万人。厂址半径 80km 范围十万人以上的人口中心的分布情况表 3-3,厂址半径 80km 范围内总人口（2030 年）分子区统计见表 3-4。

表 3-3 厂址半径 80km 范围内的十万人以上城镇

省	市	县(区、市)	相对厂址位置		人口总数 (万人)	街道
			方位	距离 (km)		
福建省	福州市	福清市城区	NNW	32	31.82	玉屏、阳下、音西、石竹、龙山、龙江、宏路 7 个街道
	莆田市	莆田市市区	W	43.5	24.64	城厢区龙桥街道、凤凰山街道、霞林街道 和荔城区镇海街道、拱辰街道 5 个街道
	福州市	长乐区市区	N	54	22.90	吴航、营前、航城三个街道和首占镇、鹤上镇
	莆田市	仙游县榜头镇	W	70	16.64	/
	福州市	福州市市区	NNW	71	191.66	鼓楼区的鼓东街道、鼓西街道、温泉街道、东街街道、南街街道、安泰街道、华大街道、水部街道、五凤街道、洪山镇、台江区的壕洲街道、后洲街道、义洲街道、新港街道、上海街道、苍霞街道、茶亭街道、洋中街道、鳌峰街道、宁化街道、仓山区的仓前街道、东升街道、对湖街道、临江街道、三叉街街道、上渡街道、下渡街道、金山街道、仓山镇、城门镇、盖山镇、建新镇、螺洲镇、马尾区的罗星街道、马尾镇和晋安区的茶园街道、王庄街道、象园街道、新店镇、岳峰镇、鼓山镇，5 个区 30 个街道、10 个乡镇
	莆田市	仙游县城区	W	75	14.80	含鲤城街道、鲤南镇

表 3-4 厂址半径 80km 范围内总人口分子区统计 (2030 年: 单位/人)

方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	方位合计
N	0	1745	2114	1540	16404	106697	102773	242835	129021	385688	294073	240950	1523840
NNE	0	3490	2001	5885	14715	53293	20829	19365	30201	188858	133532	32633	504802
NE	0	0	0	946	25283	78264	8308	146038	2085	0	0	0	260924
ENE	0	0	0	0	10374	56710	11523	160843	12402	0	0	0	251852
E	0	0	0	1003	20309	30190	87395	120062	2661	0	0	0	261620
ESE	0	0	0	0	13510	22420	20512	0	0	0	0	0	56442
SE	0	0	0	0	6291	2331	0	0	0	0	0	0	8622
SSE	0	0	0	0	0	628	14496	25368	0	0	0	0	40492
S	0	0	0	0	0	0	32616	0	0	0	0	0	32616
SSW	0	0	0	0	0	0	15832	118312	0	0	0	0	134144
SW	0	0	0	0	0	0	63328	225466	184396	115679	101203	412502	1102574
WSW	0	0	0	0	0	0	13361	467567	101782	197330	558221	67364	1405625
W	0	0	0	0	945	51434	84204	281766	449970	176826	340907	292585	1678637
WNW	0	0	0	0	0	32492	30453	33184	51836	34285	59958	65000	307208
NW	0	0	0	0	0	25614	95248	35507	32556	24510	78834	25674	317943
NNW	0	0	0	0	0	93816	64296	255930	30252	67445	827511	1035519	2374769
环形段合计	0	5235	4115	9374	107831	553889	665174	2132243	1027162	1190621	2394239	2172227	10262110

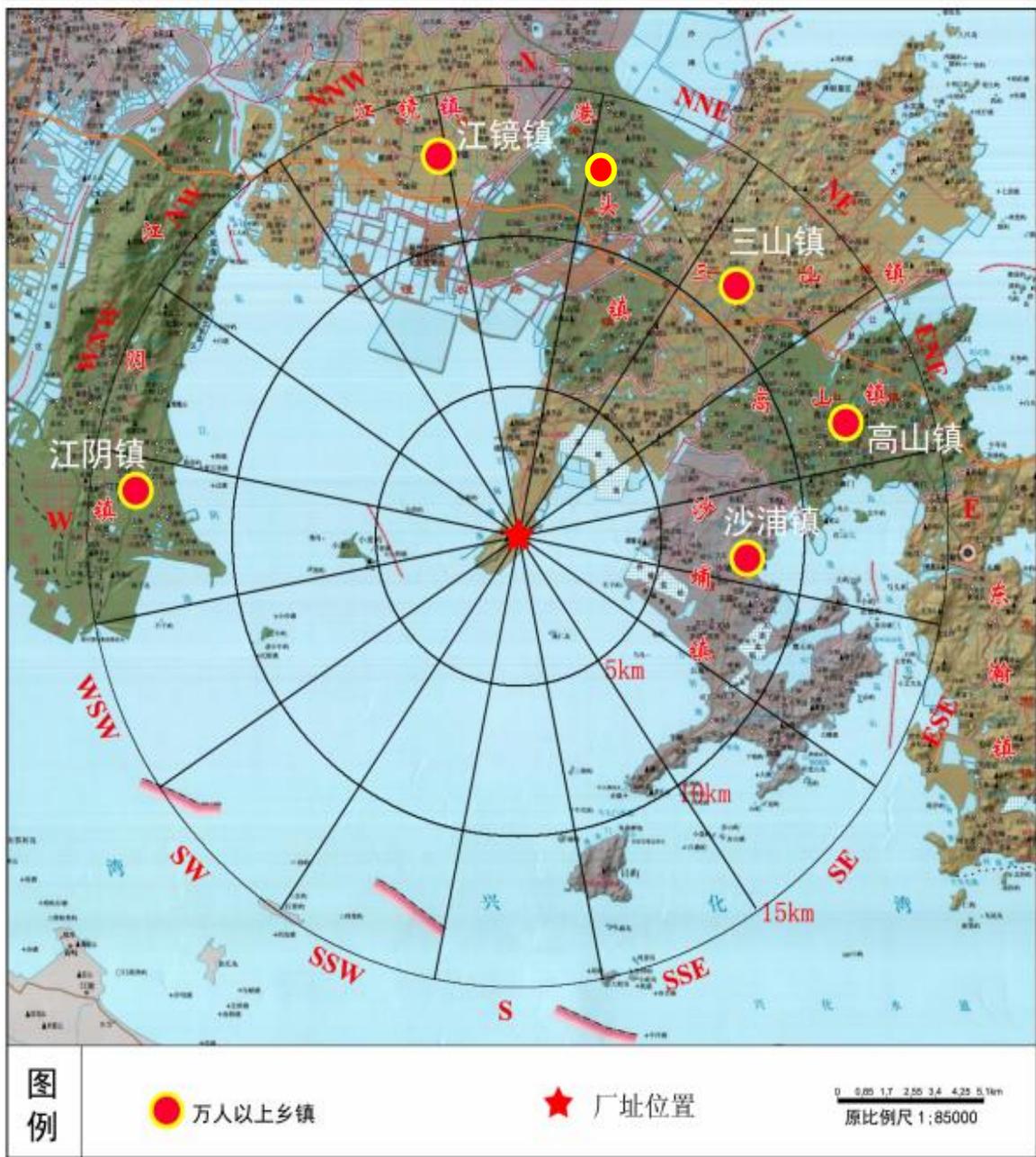


图 3-3 厂址半径 15km 范围内各自然人口分布示意图

厂址半径 15km 范围涉及福清市的三山镇、江阴镇、江镜镇、港头镇、高山镇、东瀚镇、沙埔镇和江镜华侨农场 8 个镇（乡、农场）的 133 个行政村，厂址 15km 范围内没有十万人以上的人口中心。万人以上的城镇有 6 个，三山镇、沙埔镇、江阴镇、江镜镇、高山镇、港头镇。距离厂址最近的万人以上城镇是沙埔镇，距离厂址 7.9km，位于厂址的 E 方向，2020 年末户籍总人口为 52845 人，城镇人口为 10441 人。厂址半径 15km 范围内共有 133 个行政村（居委会、农场），根据福清市公安局和各乡镇提供的资料，2020 年有总人口 409887 人。距离厂址最近的行政村是三山镇的前薛村，距离厂址 1.8km，方位 NNE，2020 年末户籍总人口数为 7306 人；人口最多的行政村是江阴镇的下石村，2020 年末户籍总人口数为 7790 人，距离

厂址 14.6km，方位 W。

表 3-5 厂址半径 15km 范围内各自然村人口（2020 年）

序号	乡镇	行政村	方位	距离（m）	人数（个）
1	三山镇	前薛村	NNE	1.8	7306
2	三山镇	楼前村	N	2.7	1331
3	三山镇	韩瑶村	N	3.5	906
4	三山镇	泽岐村	NNE	4.1	4793
5	三山镇	前庄村	NE	5	1712
6	三山镇	魏庄村	NE	5.5	1049
7	三山镇	虎邱村	NE	5.4	3403
8	三山镇	钟厝村	NE	5.9	2373
9	三山镇	任厝村	NE	6.0	1321
10	三山镇	后郑村	NE	6.8	3321
11	三山镇	坑边村	NE	9.0	6002
12	三山镇	道北村	NE	9.5	886
13	三山镇	塘北村	NE	11	1468
14	三山镇	平华居委会	NNE	11.8	639
15	三山镇	横坑村	NE	12	4493
16	三山镇	东郭村	NE	12.6	4498
17	三山镇	三山村*	NE	12.7	2634
18	三山镇	东埔村	NE	12.8	3850
19	三山镇	楼下村	NNE	13	4409
20	三山镇	官路村	NE	13.5	2130
21	三山镇	瑟江村	NE	14.8	6498
22	三山镇	沁前村	NNE	15	7667
23	三山镇	江厝村	NE	15	2750
24	沙埔镇	西山村	E	4.9	949
25	沙埔镇	赤礁村	E	6	5373
26	沙埔镇	西叶村	ENE	6.2	2487
27	沙埔镇	江南村	ENE	7.1	2030
28	沙埔镇	龙洋村	ESE	7.3	3294
29	沙埔镇	西岭村	E	7.5	2936
30	沙埔镇	和联村	E	7.6	2445
31	沙埔镇	江夏村	ESE	8	2662
32	沙埔镇	东盛村	ESE	8	1730
33	沙埔镇	文场村	ESE	8.3	1257
34	沙埔镇	沙埔村*	E	8.5	2747
35	沙埔镇	江下村	SE	8.5	3144
36	沙埔镇	官厅村	E	8.7	3023
37	沙埔镇	平林村	ESE	8.8	1240
38	沙埔镇	太武村	ESE	9	1911
39	沙埔镇	牛峰村	SE	9	3303
40	沙埔镇	和岐村	E	9.4	2022
41	沙埔镇	坑北村	ESE	10.2	2467
42	沙埔镇	青屿村	ESE	11	1809
43	沙埔镇	锦城镇	SE	11.9	2181
44	沙埔镇	四宝村	ESE	12	1942
45	沙埔镇	东陈村	ESE	12.5	1893
46	高山镇	北岭村	ENE	8.2	2723

47	高山镇	前岭村	ENE	9.5	1983
48	高山镇	院西村	ENE	10.3	4721
49	高山镇	杭中村	ENE	10.5	2124
50	高山镇	竹秀村	E	10.8	1058
51	高山镇	后安村	ENE	11.1	4084
52	高山镇	东进村	ENE	11.3	5646
53	高山镇	海门村	E	11.3	1231
54	高山镇	薛港村	ENE	11.7	4066
55	高山镇	高山村*	ENE	12.2	6092
56	高山镇	长安村	ENE	12.2	1405
57	高山镇	平南社区	ENE	12	2961
50	高山镇	竹秀村	E	10.8	1058
51	高山镇	后安村	ENE	11.1	4084
52	高山镇	东进村	ENE	11.3	5646
53	高山镇	海门村	E	11.3	1231
54	高山镇	薛港村	ENE	11.7	4066
55	高山镇	高山村*	ENE	12.2	6092
56	高山镇	长安村	ENE	12.2	1405
57	高山镇	平南社区	ENE	12	2961
58	高山镇	前王村	ENE	12.5	1732
59	高山镇	垄上村	ENE	13.5	2496
60	高山镇	洋门村	ENE	13.8	2272
61	高山镇	西江村	E	14	4903
62	高山镇	后耀村	ENE	14.2	1614
63	高山镇	西郑村	ENE	14.4	1041
64	高山镇	山后村	ENE	14.5	4244
65	高山镇	岑下村	ENE	14.9	3480
66	高山镇	门头村	ENE	15	2791
67	港头镇	玉坂村	NNE	5.6	2281
68	港头镇	后叶村	NNE	6.5	2560
69	港头镇	陈库村	NE	6.7	3029
70	港头镇	占阳村	NNE	7.5	5330
71	港头镇	杭下村	NNE	8.3	2994
72	港头镇	南门村	N	9	1796
73	港头镇	南郑村	N	9.2	2494
74	港头镇	后卓村	NE	9.3	1863
75	港头镇	芦华村	N	9.9	6984
76	港头镇	东元村	N	10	1597
77	港头镇	汕头村	N	10	2201
78	港头镇	西芦村	NNE	10.2	2423
79	港头镇	南芦村	NNE	10.3	1239
80	港头镇	北湾村	N	10.4	2094
81	港头镇	后园村	N	10.6	2271
82	港头镇	义庄村	NNE	11.2	2610
83	港头镇	洋边村	N	11.4	2876
84	港头镇	高东村	NNE	11.7	2835
85	港头镇	梓园村	NNE	12.2	1564
86	港头镇	沁塘村	N	12.4	3483
87	港头镇	玉田村	NNE	12.5	2079
88	港头镇	白玉村*	NNE	12.6	947
89	港头镇	前林村	NNE	12.9	1663

90	港头镇	湖山村	N	13	1231
91	港头镇	草柄村	N	13.5	1466
92	港头镇	东翁村	NNE	13.7	2831
93	港头镇	马湖村	NNE	13.8	2844
94	港头镇	五星村	NNE	14.1	2983
95	港头镇	东光村	NNE	14.8	6594
96	港头镇	光辉村	NNE	15	7163
97	江镜镇	江镜华侨农场	NNW	11	7039
98	江境镇	前华村	NW	11.8	3759
99	江境镇	岸兜村	NNW	12.4	3489
100	江境镇	城坂村	NNW	12.5	2172
101	江境镇	酒店村	NNW	12.5	6691
102	江镜镇	塘沁村	N	12.6	2231
103	江境镇	江镜村*	NNW	12.6	6651
104	江境镇	陈厝村	NW	13	3239
105	江境镇	雁湖村	NNW	13	1705
106	江境镇	吴塘村	NNW	13.2	5052
107	江境镇	后地村	NNW	13.5	1311
108	江境镇	玉仑村	N	13.5	3211
109	江镜镇	谢塘村	NNW	13.5	4148
110	江境镇	南城村	NW	14	1879
111	江境镇	前张村	NNW	14	3445
112	江境镇	玉桂村	N	14	5044
113	江境镇	张厝村	N	14.1	2407
114	江境镇	柏陈村	N	14.4	1290
115	江镜镇	鹤潭村	N	14.9	987
116	江镜镇	塘边村	NNW	15	815
117	江阴镇	小麦村	W	5.5	967
118	江阴镇	赤厝村	W	11.8	5044
119	江阴镇	岭口村	WNW	12.5	3945
120	江阴镇	门口村	WNW	12.6	5374
121	江阴镇	田头村	W	12.6	6097
122	江阴镇	下堡村	W	12.7	3857
123	江阴镇	浔头村*	W	13.1	2563
124	江阴镇	莆头村	NW	13.1	2563
125	江阴镇	沾泽村	W	13.6	6038
126	江阴镇	北郭村	WNW	13.6	3576
127	江阴镇	高岭村	NW	13.8	3232
128	江阴镇	龙门村	WNW	14	2350
129	江阴镇	何厝村	W	14	7739
130	江阴镇	后陈村	WNW	14.2	2961
131	江阴镇	下石村	W	14.6	7790
132	东瀚镇	南浔村	E	14	2113
133	东瀚镇	北盛村	E	14.5	1837
合计					409887
注：“*”位置为村委会所在地。					



图 3-4 厂址半径 5km 范围内各自然人口分布示意图

厂址半径 5km 范围统计涉及福清市三山镇 5 个行政村、沙埔镇 1 个行政村，共 6 个行政村 8 个自然村，前薛村和泽岐村各有两个自然村，两个村的自然村居民居住区已相连居片，因此不在区分自然村，按行政村给出人口数据。受当地地理环境影响，村民住房只能因地势而建，其中韩瑶村和楼前村居民住房基连接在一起了，呈北北西向带状分布，可以看作集中居住人群，两村共有户籍人口 2249 人，其他村庄相对独立分布。厂址半径 5km 范围内 2020 年有户籍人口共 19667 人。距离厂址最近的行政村是前薛村，同时也是人口最多的行政村，位于厂址的 NNE 方向，

距离厂址 1.8km，有人口 7297 人，前薛村居民居住区边界距离厂址最近处 0.96km。前薛村有 5 户居民位于厂址半径 1km 范围内，有人数 22 人，前薛村、韩瑶村和西山村是渔业村，专职渔业人员分别有 700 人、55 人和 110 人。楼前村有渔业人口 42 人，兼职渔民 14 人，泽岐村有渔业人口 105 人，兼职渔民 35 人。上述各村的其余人员主要从事农业及其他行业，间或有赶海等活动。江阴镇的小麦村是距厂址中心最近的岛屿村落，位于厂址 W 方位，其村委会距厂址中心 5.2km。根据福清市公安局提供的人口数据，2020 年有户籍人口 967 人，小麦村有专职渔民 110 人。

表 3-6 厂址半径 5 km 范围行政村及下辖自然村情况

乡镇	行政村	自然村	位置		总人数 (人)	备注
			方位	距离* *(km)		
三山镇	前薛村	前薛村*、 东薛村	NNE	1.8	7306	前薛村距离厂址最近处 0.96km, 此处中 5 户 22 人
	泽岐村	泽岐村*、 洋坪村	NNE	4.1	4793	
	楼前村	楼前村	N	2.7	1331	
	韩瑶村	韩瑶村	N	3.5	906	
	前庄	前庄	NE	5.0	1712	
沙埔镇	西山村	西山村	E	4.9	949	
0~5km 合计			16997			
江阴镇	小麦村	小麦村	W	5.2	967	

注：*村委会所在地；**距离是指村委会所在地到厂址的距离，前薛村居民区距离厂址最近距离为 0.96km。

污染物排放控制标准

(一) 质量标准

1) 海水水质标准

依据福建省人民政府文件闽政文[2011]45 号文《福建省人民政府关于印发福建省近岸海域环境功能区划（修编）的通知》，福清核电周围海水环境质量执行《海水水质标准》(GB3097-1997)中的三类标准。

海水中放射性核素浓度限值如下：

Co-60: 0.03Bq/L, Sr-90: 4.0Bq/L, Ru-106: 0.2Bq/L, Cs-134: 0.6Bq/L, Cs-137: 0.7Bq/L。

2) 环境空气质量标准

执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012)的二级标准。

3) 声环境质量标准

项目区的声环境质量执行《声环境质量标准》(GB3096-2008) 3 类标准，项目区外周边村庄的声环境质量执行 2 类标准，交通噪声执行 4a 类标准。

(二) 排放标准

执行《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)中规定的放射性流出物排放量控制值，根据第 6.2、6.3 和 6.4 条款的规定，福清核电站所有机组的年放射性排放量应控制在 6.2 条款规定值的 4 倍以内，福清核电站建设 6 台核电机组，其中 5、6 号机组运行状态下的排放量控制值如下：

控制指标		GB 6249-2011 规定的排放控制值	申请值 (5、6 号)
气载流出物	惰性气体 (Bq/a)	2.40E+15	1.15E+14
	碘 (Bq/a)	8.00E+10	1.10E+09
	粒子 (半衰期≥8d) (Bq/a)	2.00E+11	1.68E+08
	碳-14 (Bq/a)	2.80E+12	6.91E+11
	氚 (Bq/a)	6.00E+13	8.95 E+12*
液态流出物	氚 (Bq/a)	3.00E+14	8.26 E+13
	碳-14 (Bq/a)	6.00E+11	5.06E+10
	其余核素 (Bq/a)	2.00E+11	1.30 E+10

放射性液态流出物排放限值：根据 GB6249-2011《核动力厂环境辐射防护规定》的相关规定，槽式排放出口处的放射性流出物中除氚和 C-14 外其他放射性核素浓度不超过 1000Bq/L。

(三) 剂量约束值

运行状态：

(1) 公众剂量约束值：执行《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中“任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量，每年必须小于0.25mSv的剂量约束值。”其中5、6号机组的年剂量约束值为0.08mSv。

事故工况：

执行《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）关于设计基准事故、选址假想事故的潜在照射后果的规定，具体如下：

在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量控制在 50mSv 以下。

在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量控制在 0.1Sv 以下，甲状腺当量剂量控制在 1Sv 以下。

福清核电厂流出物年排放量总量控制指标见下表。

表 3-7 福清核电厂放射性流出物排放总量控制值

控制指标		6 台机组总量控制值 (Bq/a)
气载放射性流出物	惰性气体	2.40E+15
	碘	8.00E+10
	粒子（半衰期≥8d）	2.00E+11
	碳-14	2.80E+12
	氚	6.00E+13
液态放射性流出物	氚	3.00E+14
	碳-14	6.00E+11
	其余核素	2.00E+11

总量
控制
指标

四、主要环境影响和保护措施

施工期环境保护措施	<p>本次技改不改变核电厂总的工艺流程，仅涉及灵活换料及功率提升等技术性改造，不涉及施工期环境影响。</p>
运营期环境影响和保护措施	<p>4.1 运营期辐射环境影响评价</p> <p>福清核电厂 5~6 号两台机组正常运行时，气载流出物排放到环境后对公众的照射途径详见下图 4-1，可归纳为地面沉积外照射、吸入空气内照射和食入农牧产品内照射等途径。</p> <p>福清核电厂 5~6 号两台机组正常运行时，液态流出物与循环冷却水混合后排入兴化湾海域，在其稀释和扩散的过程中，对公众的照射途径详见下图 4-1，可归纳食入海产品内照射、岸边沉积外照射以及在海域内游泳、划船或从事水上作业活动时受到的外照射等途径。</p> <p>福清核电厂为滨海厂址，海水不作为农业灌溉和人畜饮用水，因此对饮用水和灌溉的照射途径不予考虑。</p> <p>本项目气、液态放射性流出物对公众的照射途径详见下图 4-1。</p>

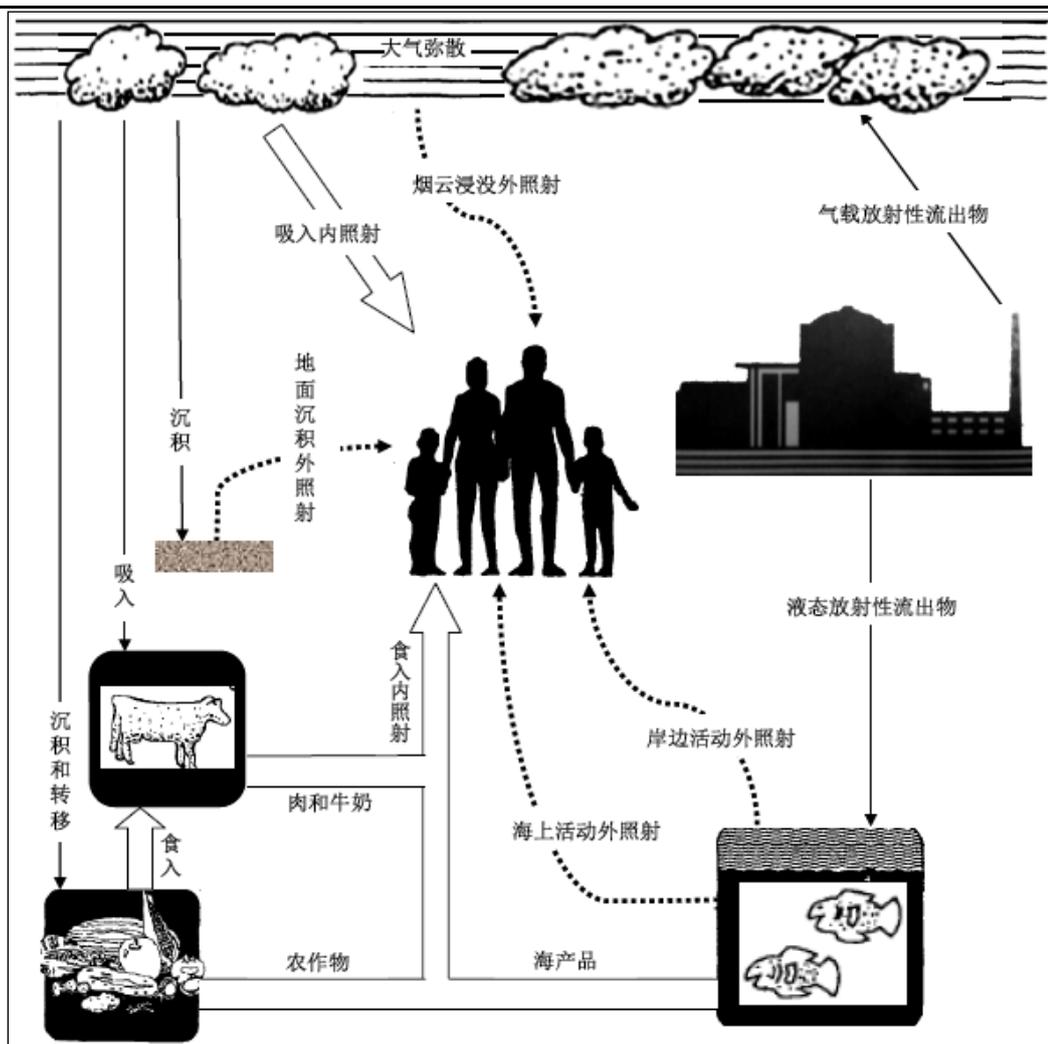


图 4-1 气、液态放射性流出物对公众的照射途径

4.1.1 放射性废气环境影响分析

福清核电厂 5、6 号机组正常运行时，气载放射性流出物主要通过核辅助厂房的烟囱排入大气环境。

4.1.1.1 排放源项

按照 HJ808-2016 的要求，在运行阶段，用于计算评价范围内的公众剂量的流出物排放源项采用排放量申请值；在分析关键人群组、关键核素、关键照射途径时源项采用流出物排放源项的预期值（现实值），两种源项值见本节后附件 2（表 2-19~20）。

鉴于福清核电厂 5、6 号机组功率提升技术改造后排放量的设计值比起功率提升技术改造前的排放量设计值有所变化，故需调整原排放控制值，其中液态流出物中的 C-14、氙以及其他核素不调整申请值，气载流出物中的惰性气体、碘、粒子（半衰期 $\geq 8d$ ）、C-14 不调整申请值，氙申请值为技改后设计值的 90%。

4.1.1.2 照射途径

计算考虑的气态途径有：空气浸没外照射，地面沉积物外照射，吸入污染空气受到的内照射和食入污染食品受到的内照射。

4.1.1.3 评价模式及参数

本项目运行状态下，气载放射性流出物在大气中的扩散采用高斯烟羽模式计算，在大气弥散计算模式中，考虑了风摆效应、静风的分配、混合层高度以及建筑物尾流；同时考虑了放射性衰变及干、湿沉积在地表的累积、清除和转移。计算模式及参数见附录 C；对公众所致有效剂量的计算模式及参数见附录 D。

计算剂量所用的惰性气体空气浸没外照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），其余核素的空气浸没外照射剂量转换因子取自美国联邦导则 12 号报告（1993），食入、吸入内照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），地表沉积剂量转换因子取自美国联邦导则 12 号报告，各核素的转移系数和浓集因子取自 IAEA 安全丛书 19 号报告中的数据。居民食谱、生活习性数据采用《福建福清核电厂 7、8 号机组厂址周围人口和人口分布及食谱调查和统计专题报告》（2021 年 10 月）的调查数据，人口分布数据选用厂址 2030 年的预期人口数。

4.1.1.4 剂量估算

(1) 大气弥散因子及地面沉积因子

大气弥散因子及地面沉积因子采用厂址气象站 2021 年 1 月~2022 年 12 月逐时气象数据计算。采用高度为 70m 梯度的风向、风速、稳定度三维联合频率，以及高度为 70m 梯度的风向、风速、稳定度、降雨量四维联合频率。详见本节后附件三。

厂址半径 80km 范围内各子区年均大气弥散因子计算值见本节后附件 4；代表性放射性核素 I-131 和 Cs-137 的地面沉积因子计算值见本节后附件 3。

(2) 剂量估算结果

基于饮食、生活习性以及剂量转换因子的不同，将一般公众分为四个年龄组，即成人组（>17 岁）、少年组（7~17 岁）、儿童组（2~7 岁）、婴儿组（≤2 岁），分别对厂址 80km 范围内各方位各距离所在子区的上述年龄组的个人年有效剂量进行估算。

经计算得到的各年龄组、各子区公众个人所受的年有效剂量本节后附件四。可知，气态途径释放的放射性核素对成人、青少年、儿童和婴儿组造成的最大

个人有效剂量分别为 $4.68 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 、 $4.71 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 、 $4.00 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 和 $3.99 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，位于 NNE 方位 1~2km 处。

4.1.2 液态流出物的辐射环境影响

4.1.2.1 排放源项

按照 HJ808-2016 的要求，在运行阶段，用于计算评价范围内的公众剂量的流出物排放源项采用排放量申请值；在分析关键人群组、关键核素、关键照射途径时源项采用流出物排放源项的预期值（现实值），两种源项值见本节后附件 2（表 2-14~15）。

4.1.2.2 照射途径

本项目在运行状态下，液态放射性流出物排放到兴化湾，在其稀释和扩散的过程中，对公众的照射途径包括：食入海生生物造成的内照射、岸边沉积造成的外照射、在海域中游泳、划船和从事水上作业时受到的外照射。

福清核电厂为滨海厂址，海水不作为农业灌溉和人畜饮用水，因此对饮用水和灌溉的照射途径不予考虑。

4.1.2.3 评价模式及参数

本项目海水稀释因子取自中国水利水电科学研究院于 2018 年 4 月完成了《福清 5,6 号机组运行环评专题液态流出物数值模拟复核研究报告》成果报告，根据研究成果报告，厂址排放口不同范围海域放射性核素的稀释因子见本节后附件四，可知，在液态剂量计算中各类核素的海水稀释因子选取最不利潮型-冬季小潮时的相应结果。根据研究成果报告，在液态剂量计算中选取厂址排放口不同范围海域放射性核素的稀释因子选取最不利潮型-典型小潮时的相应结果。

对公众所致有效剂量的计算模式及参数见附件 7 中的附录 E。食入有效剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），地表沉积和水中浸没剂量转化因子取自美国联邦导则 12 号报告（1993），海产品沉积吸附分配系数 K_d 、海产品浓集因子 B_p 取自 IAEA 安全丛书 19 号报告中的数据。

4.1.2.4 剂量估算

由于膳食、生活习性以及剂量转换因子的不同，将公众个人分为四个年龄组，即成人组（>17 岁）、青少年组（7-17 岁）、儿童组（2~7 岁）、婴儿组（≤2 岁）。

经计算得到的各年龄组、各子区公众个人所受的有效剂量见本节后附件 4。

由表可知，液态途径释放的放射性核素对成人、青少年、儿童和婴儿造成的个人最大有效剂量分别为 $6.76 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 、 $3.66 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 、 $1.86 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 和 $8.62 \times 10^{-8} \text{Sv/a}$ 。

4.1.3 海水水质评价

福清核电厂 5、6 号机组共用一套低放废液排放系统，低放废液年排放量为 58000m^3 。按间歇排放方式计算得到总排放口处循环冷却水内的放射性核素浓度见本节后附件四。可知，本工程运行状态下排放海域中 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{106}Ru 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 五个核素浓度小于《海水水质标准》（GB3097-1997）规定的浓度限值。

本次环评同时给出了福清核电厂 5、6 号机组运行前放射性环境本底调查对排放海域内的海水放射性浓度监测结果。可知，即使考虑排放海域内放射性本底与 5、6 号机组低放废水排放的叠加，海水中放射性核素的浓度也仍然符合 GB3097-1997 中相应指标要求。

4.1.4 本工程所致公众年辐射剂量汇总

将气、液态途径释放的放射性核素对厂址半径 80km 范围内各年龄组、各子区公众个人所致的有效剂量叠加后的结果见本节后附件四。可知，厂址半径 80km 范围内最大个人有效剂量出现在 EN 方位 1-2km 处，此处居住的是三山镇前薛自然村的村民，各年龄组（成人、青少年、儿童和婴儿）受到的个人最大有效剂量分别为 $1.14 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 、 $8.37 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 、 $5.86 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 和 $4.85 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 。在各年龄组中成人组的剂量最大，其中，气态途径所致的剂量为 $4.68 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，液态途径所致的剂量为 $6.76 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 。

对于关键人群组，气、液态综合各途径、各核素的剂量贡献见本节后附件。可以看出，关键人群组受到的个人最大有效剂量为 $1.08 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，关键途径为食入海产品造成的内照射，其所致剂量为 $7.24 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，约占总剂量的 67.04%；其次为地面照射途径，约占气液态途径总剂量的 12.07%。各核素中的关键核素为 C-14，它所致的剂量约占气液态剂量的 55.21%；其它贡献较大的核素为氚和 Co-60，分别占气液态途径总剂量的 25.99% 和 7.62%。详见附件四表 4-5。

4.1.5 本工程对生物的辐射影响

4.1.5.1 对水生生物的影响

对水生生物而言，辐射效应主要来自外照射和内照射。其中外照射主要分为水体照射和底泥照射，内照射主要来自于生物体的食入照射。福清核电厂 5、

6号机组正常运行时,液态放射性流出物对周围水体中水生生物的辐射剂量采用 ERICA 程序计算。

本次评价根据厂址所在海域代表性水生生物的具体情况,选择底栖软体动物、甲壳类动物、大型藻类、浅水鱼、深水鱼、浮游植物、浮游动物、多毛纲动物蠕虫、珊瑚虫、珊瑚虫群落等 10 类水生生物进行计算。

4.1.5.2 对陆地生物的影响

放射性流出物排放对陆地生物的辐射影响主要考虑气载途径的内照射、外照射两个途径,其中内照射剂量来源于土壤中食入照射,外照射来源于土壤照射。福清核电厂 5、6 号机组正常运行时,液态放射性流出物对周围陆地中水生生物的辐射剂量采用 ERICA 程序计算。

本次评价根据厂址所在区域代表性陆地生物的具体情况,选择了鸟类、哺乳动物、爬行动物等 3 类陆地生物进行计算。

4.1.5.3 计算结果

用福清核电厂 1~6 号机组(其中 5、6 号为技改后)的流出物申请值估算对水生生物及陆地生物的辐射剂量率进行计算。福清核电厂 1~6 号机组流出物中各核素对评价范围内海域内不同类型水生生物(鱼类、软体动物、甲壳生物、蠕虫、珊瑚虫、藻类、浮游动、植物等)及陆地生物(鸟类、哺乳动物及爬行动物等)造成的总照射剂量率的最大值见本节后附件 4。

计算可知,在评价范围内三类陆地生物中哺乳动物受到的总剂量率最大,为 $5.74 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$,贡献最大的核素为 Fe-59,该核素对多毛纲动物蠕虫造成的总剂量率 $5.60 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$;十类水生生物中多毛纲动物蠕虫受到的总剂量率最大,为 $6.99 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$,贡献最大的核素为 Co-58,该核素对多毛纲动物蠕虫造成的总剂量率 $6.72 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 。上述各类生物所受的总剂量率均小于 ERICA 推荐的筛选值 ($10 \mu\text{Gy/h}$)。

4.2 运营期非放射性环境影响评价

本次技改不改变核电厂总的工艺流程,仅改变堆芯燃料管理策略,本次技改的非放射性环境影响不会发生改变,因此本次评价引用《福清核电站扩建工程 5、6 号机组环境影响报告书(运行阶段)》中关于非放射性环境影响的有关内容,详情如下:

1: 散热系统环境影响

冬、夏季气象条件下 1~6 号机组运行时所致的受纳水体温升约为 1~2℃，符合海域环境功能区划现状，由温排水导致的海水温升仅局限在有限的范围内，海水温升对于目前此海域可见的海洋生物仍在适温范围。温排水排放不会对厂址半径 80km 海域内的海珍品种类产生影响。

2: 污水排放环境影响

①: 除盐水加氨过程中产生的废水量很少，仅出现在 pH 和电导率不合格时。加氨不合格所产生的少量废水经过废水中和处理，满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排放至电站污水系统，再由电站污水系统外排，不会影响福清周围的海水环境质量。

②: 循环水及重要厂用水系统的余氯来自次氯酸钠生产系统，福清核电站 1~6 号机组余氯排放的影响区域仅在排水口附近海域，对海洋生物的影响范围有限。

福清核电周围海域水质状况符合《海水水质标准》（GB3097-1997）中三类标准。余氯是核电厂排放量最大的化学物质，且具有生物毒性，《海水水质标准》（GB3097-1997）中尚未对余氯的允许排放浓度作出规定。福清核电站释放到环境中的化学物质主要以 NaCl、NH₄Cl 或(NH₄)₂SO₄ 的形式排放，且化学物质排放的浓度非常小，远小于 I 类海水水质标准规定的浓度。因此，福清核电站 5、6 号机组排出的余氯对厂址周围海域中的余氯浓度几乎没有影响。

③: 本工程其它生产废水主要为汽机厂房、主变压器和降压变压器平台等子项的非放射性含油废水，经过油水分离设施处理满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准(含油类<5mg/L)后排至兴化湾；分离出来的油污在污油池内贮存，定期通过污油泵输送至污油车运走。

本工程生活污水由生活污水排水系统收集后经南北区污水处理站集中处理后满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）中城市绿化水质标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准后，用于绿化，剩余水量排入兴化湾，福清核电站 6 台机组运行后最大生活污水量约为 1016m³/d。

满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准的生活污水和满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中一级标准的生产废水均允许排入《海水水质标准》（GB3097-1997）中海水二类功能区域。本工程

海水区域为三类功能区域，满足排放条件。

综上，本工程生产废水和生活污水排放不会对附近海域的海水质量造成明显影响。

3: 噪声环境影响

福清核电站 5、6 号机组运行后，声源对北厂界的贡献值为 50.4dB(A)，对南厂界的噪声贡献值为 33.8dB(A)，对西厂界和东厂界的噪声贡献值分别为 42.4dB(A)和 36.8dB(A)，声源对各厂界的噪声贡献值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中规定 3 类标准限值(昼间 65 dB(A)和夜间 55 dB(A))。

福清核电站 5、6 号机组正常运行对离厂址最近的自然村的贡献值为 30.6 dB(A)。叠加贡献值后的昼夜间噪声分别在 55.1~56.7 dB(A)和 44.6~48.8dB(A)，工程运行对该自然村的影响可忽略不计，该村满足声环境质量《声环境质量标准》(GB 3096-2008)中的 2 类标准。

4: 电磁环境影响

福清核电站 5、6 号机组建成投运后 500kV 开关站对周围环境的电磁辐射影响满足国家相关标准要求。

4.3 事故工况下的辐射环境影响

根据《核动力厂环境辐射防护规定》GB 6249-2011 中事故工况下的辐射防护要求，需对核电厂设计基准事故的潜在照射后果进行评价。福清核电厂 5、6 号机组采用华龙一号机组，本章根据《福清核电华龙一号灵活换料及功率提升论证-放射性后果—剂量评价报告》确定的设计基准事故源项，采用福清核电厂厂址气象数据，计算各设计基准事故对公众造成的潜在放射性后果，并评价各事故的剂量后果是否满足 GB6249-2011 中的有关要求。

福清核电厂 5、6 号机组所考虑的主要设计基准事主要考虑了失水事故(LOCA)、控制棒弹出事故(CREA)、主蒸汽管道断裂事故(MSLB)、蒸汽发生器传热管破裂事故(SGTR)、安全壳外含有一次冷却剂的小管道破损事故、卡轴事故(LRA)、燃料操作事故(FHA)、废气系统破损事故(TEGA)、化学容系统容积控制箱破裂事故(RCVA)等 9 个事故。

其中，失水事故(LOCA)、控制棒弹出事故(CREA)、卡轴事故(LRA)、主蒸汽管道断裂事故(MLSB)、燃料操作事故(FHA)五个事故属于 GB6249-2011

中规定的**极限事故**：蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）、安全壳外含有一次侧冷却剂小管道破损事故、废气处理系统衰变箱破裂事故（TEGA）和化学容系统容积控制箱破裂事故（RCVA）四个事故属于 GB 6249-2011 中规定的**稀有事故**。

4.3.1 设计基准事故描述及源项

4.3.1.1 失水事故(LOCA)

假想的失水事故中，假定一根主冷却剂管道双端断裂，反应堆冷却剂通过管道的破口大量泄出，安注系统投入以确保堆芯的完整性，最大限度地降低裂变产物的释放。裂变产物通过安全壳环形空间通过应急排风和旁通进入环境中。该事故属于**极限事故**。

分析中的主要假设条件和参数如下：

- 1) 事故导致的燃料棒破损数目及其中的放射性活度
 - 堆芯热功率为 3130MWt；
 - 燃料破损份额为 100%；
 - 各区燃料在堆内的辐照时间分别为 1 个循环、2 个循环、3 个循环。
- 2) 从破损燃料元件释放的裂变产物
 - 放射性通过间隙释放，释放开始时间为 10min，持续时间为 30min；
 - 惰性气体的释放份额为 5%；
 - 碘的释放份额为 5%。
 - 碱金属的释放份额为 5%。
- 3) 内层安全壳裂变产物的去除

假设通过一回路释放到安全壳中的碘 95%CsI, 4.85%元素碘, 0.15%有机碘。不考虑碘在冷却剂中的滞留和在结构上的沉积；考虑了喷淋对碘的去除，对元素碘去除速率为 11.8h^{-1} ，最大去污因子为 200，计算得到去污时间为 0.441h，对气溶胶去除系数为 5.9h^{-1} ，当去污因子达到 50 时，去除系数为 0.59h^{-1} 。

- 4) 环形空间内碘的去除
 - 假设环形空间体积为自由空间体积的 50%，环形空间通风系统的体积流量为 $300\text{m}^3/\text{h} \sim 3000\text{m}^3/\text{h}$ ，这里保守取为 $3000\text{m}^3/\text{h}$ ；
 - 环形空间到环境通风过滤系统对三种形态的碘的去除效率均为 99%。
- 5) 内层安全壳的泄漏

内层安全壳泄漏率前 24h 为 0.3%/d, 24h 后减半, 并且考虑了 10%的安全壳旁通效应, 即内层安全壳的泄漏 90%泄漏至环形空间, 10%泄漏直接到环境。

4.3.1.2 控制棒弹出事故 (CREA)

该事故是由于控制棒驱动机构耐压壳机械损坏, 导致控制棒组件和驱动轴弹出堆芯外。这种机械损坏将导致正反应性的快速引入和不利的堆芯功率分布畸变。事故可能引起局部的燃料棒破损。该事故属于**极限事故**。

计算该事故向环境的排放源项采用了如下的假设和参数:

——随着假想的控制棒弹出, 燃料中的放射性物质将释放进入反应堆冷却剂, 并假定在反应堆冷却剂中瞬时均匀混合。

——假定释放到安全壳中的放射性物质 (通过破裂的控制棒机构承压外壳释放) 在安全壳中瞬时均匀混合, 然后泄漏入大气。在安全壳内考虑的去污过程包括碘沉积、放射性衰变、安全壳泄漏以及通过安全壳喷淋的除碘, 喷淋系统在事故开始后 6 小时手动启动。

释放到环境的放射性物质包括:

- 通过安全壳途径泄漏的放射性物质;
- 通过主蒸汽安全阀和释放阀泄漏的放射性物质。

主要计算参数如下:

- 1) 事故前一回路冷却剂中的碘发生尖峰释放, 比活度为 $2.22\text{E}+06\text{Bq/g}$ I-131 剂量当量, 一回路冷却剂中惰性气体的比活度为瞬态值。
- 2) 事故开始前, 二回路冷却剂的比活度为一回路中比活度的 10%。
- 3) 破损燃料棒间隙中全部放射性 (碘、惰性气体和碱金属)、熔化燃料中 100%惰性气体、50%碘和铯迅速与一回路混合, 并通过一回路向二回路泄漏。
- 4) 假设从一回路到二回路的泄漏量在三台蒸汽发生器之间平均分配, 泄漏率为 72kg/h , 事故过程中, 一回路向二回路的泄漏率不变。
- 5) 碘的汽水分配因子为 0.01。
- 6) 事故期间释放的总蒸汽流量如下: 0~23s 为 11.0t, 0~28s 为 13t, 0~53s 为 17.3t, 0~83s 为 21.6t, 0~900s 为 65.2t。

通过二回路释放的假设参数, 如事故后 200 秒通过二回路安全阀喷射了 3.4 吨蒸汽, 事故后 30 分钟内通过二回路释放阀释放 6.75 吨蒸汽, 一、二回路平衡

时间保守地按 2500 秒考虑。

由于通过二回路主蒸汽安全阀和释放阀的环境释放源项远小于安全壳直接向环境的排放量，因此仅计算了安全壳释放造成的剂量。

4.3.1.3 主蒸汽管道断裂事故（MLSB）

主蒸汽系统管道失效是由主蒸汽管道断裂引起的，蒸汽系统管道损坏最保守的假设是导致最快降温冷却的双端剪切断裂。

假设安全壳外一根主蒸汽管道完全切断。事故期间，与断裂的蒸汽管相连的受影响蒸汽发生器在很短的时间内完全排空，随后产生的蒸汽通过破口直接向大气喷放，直到工作人员把受影响蒸汽发生器隔离为止。主蒸汽管道隔离阀、其旁路阀以及蒸汽排放管线阀在接到主蒸汽隔离信号后将未受影响蒸汽发生器和主蒸汽管道隔离。未受影响蒸汽发生器可以通过卸压阀将蒸汽排入大气来去除堆芯衰变热。排气持续进行直到反应堆冷却剂的温度和压力降到余热排出系统能用于冷却反应堆为止。

事故期间释放到环境的放射性核素是由受影响蒸汽发生器通过管道破口和未受影响蒸汽发生器通过释放阀排放到大气二回路蒸汽带出的。二回路蒸汽中的放射性核素是由反应堆冷却剂通过蒸汽发生器传热管的泄漏而带入的。

该事故属于**极限事故**。

计算该事故向环境的排放源项采用了如下的假设和参数：

1) 源项计算考虑事故前碘尖峰和事故触发碘尖峰两种情况。事故前碘发生尖峰释放，一回路冷却剂比活度为 $2.22\text{E}+06\text{Bq/g}$ I-131 剂量当量，见附表 2。事故触发碘尖峰情况下，碘的峰值因子为 500，平衡状态下碘的释放速率见附表 3。

2) 一回路冷却剂中惰性气体的比活度为瞬态值，具体核素的比活度见附表 2。

3) 受影响蒸汽发生器主给水隔离时间为 22.7 秒，辅助给水隔离时间为 30 分钟。

4) 假设冷凝器失效，事故后通过二回路安全/蒸汽释放阀向环境释放水和蒸汽来保证机组的冷却。事故后二回路通过释放阀向环境释放的蒸汽的量见附表 8。

5) 事故发生后蒸汽发生器排污立即终止。

6) 假设受影响的蒸汽发生器对外排放的 319 秒内，该蒸汽发生器内所有的

水都被蒸汽携带至环境，因此一次侧向二次侧的泄漏直接释放至大气。

7) 假设一回路冷却剂到二回路的泄漏率等于 72kg/h。

8) 事故后未受影响蒸汽发生器释放蒸汽和放射性活度的时间为 8 小时，此时，余热排出系统启动。

4.3.1.4 蒸发器传热管破裂事故 (SGTR)

该事故假设蒸汽发生器一根传热管完全双端断裂。假定事故出现在功率运行时，反应堆冷却剂被裂变产物污染的程度相当于具有有限数量破损燃料棒连续运行的情况。由于该事故使放射性冷却剂从 RCS 向二回路系统泄漏，导致二回路系统放射性增加。如果在发生该事故的同时又失去厂外电源或蒸汽向冷凝器的排放系统失效，则放射性活度将通过蒸汽发生器的安全阀和大气释放阀向大气排放。该事故属于**稀有事故**。

计算该事故向环境的排放源项采用了如下的假设和参数：

- 假定事故发生前反应堆为 100% 额定功率；
- 假定在紧急停堆瞬间凝汽器不可用；
- 根据事故分析的结果，一回路冷却剂经破口漏失总量为 81.6t，在事故开始后 4875.1s，受影响蒸汽发生器一次侧压力和二次侧压力达到平衡；受影响蒸汽发生器被隔离，不再有放射性从该蒸汽发生器中排出；
- 假定在事故开始瞬间蒸汽发生器排污和一回路下泄流便关闭；
- 受影响蒸汽发生器向环境排放的蒸汽量和水量分别为 135.3t 和 0t；
- 从事故开始到紧急停堆这段时间，由受影响蒸汽发生器产生的蒸汽污染了二回路和其它蒸汽发生器中的水；
- 事故开始后 8 小时，余热排出系统开始冷却堆芯，大气释放阀和主蒸汽安全阀关闭，因而不再有蒸汽和放射性物质向环境释放；
- 考虑二次侧碘的汽水分配因子为 0.01；
- 假设事故期间受影响蒸汽发生器中一次侧泄漏流会发生闪蒸释放现象，闪蒸份额取 0.005。

4.3.1.5 容积控制箱破裂事故 (RCVA)

当化容系统容积控制箱破裂时，容控箱内的放射性液体和气体不可控制地释放到它所在的房间内，并且在操作员隔断 RCV 下泄管之前，放射性液体以一确定流量连续释放。为了减轻容器溢流、泄漏或破损造成的影响，在厂房设计

上采取了一系列设施，可以防止放射性液体扩散，因此，在事故分析中，只考虑气态放射性释放对环境的影响。该事故属于**稀有事故**。

1) 事故前和事故期间一回路冷却剂活度

假设事故发生在事故前瞬变造成的最大碘峰时，RCV 箱冷却剂活度在一回路冷却剂峰值时最大。

2) RCV 箱液相和气相的活度

在最大下泄流量的稳态工况下，考虑碘通过混合床除盐器的去污因子等于 10，计算了在 RCV 箱运行工况下 RCV 箱液相和气相的活度。

对于稳态工况下的碘，假设其分离因子 FPg 为 10^4 。

对于稳态工况下的气体，假设氙的分离因子 FPg 为 15，氪的分离因子 FPg 为 25。

3) 释放到 RCV 箱房间的裂变产物

释放到 RCV 房间的裂变产物如下：

RCV 箱气相中包含的所有惰性气体和碘；

RCV 箱液相中包含的所有惰性气体和碘，以及下泄管线隔离前排出的水容积中包含的所有惰性气体和碘；

从 RCV 箱中蒸发、具有某个 FPg 分离因子(气相中同位素数量/该同位素总量)的碘；

从下泄管线排出的水容积中蒸发、具有某个 FPg 分离因子的碘，假设该管线在 1h 内(操纵员根据 RCV 低-低信号和非常低压力的报警找到破口位置，并在控制室内关闭隔离阀的反应时间)被隔离。

4.3.1.6 废气衰变箱破裂事故 (TEGA)

放射性废气处理系统 (ZGT) 的功用在于滞留衰变反应堆冷却剂中的裂变气体，以及处理和控制在环境释放。该系统由废气缓冲罐、过滤器、废气压缩机和废气衰变箱等部件组成。废气处理系统或设备破损事故中可能导致较为严重的放射性释放是废气衰变箱或与之相联的管道发生破损的事故。事故发生时，废气衰变箱破裂导致容器内全部放射性气体排放出来，并且在操作员隔离该废气衰变箱上充管之前，仍有放射性物质不断地从进气管线进入衰变箱再通过破口处连续释放出来。该事故属于**稀有事故**。

计算该事故向环境的排放源项采用了如下的假设和参数：

——机组分别采用基本负荷运行方式和负荷跟踪运行方式。在基本负

荷运行方式下，在事故发生前，硼回收系统（ZBR）除气塔连续运行。含氢废液的产生量为每天 15m^3 ，其中的放射性全部积累在 ZGT 衰变箱中，一回路水的活度对应于基本负荷运行工况的活度。

——假设在停堆 2h 后发生 ZGT 废气系统衰变箱破裂事故，并假设事故发生 1 小时后才能隔离破损的衰变箱，在这 1h 期间 ZBR 除气塔仍在除气并将不断将裂变气体送入 ZGT 衰变箱，此时气相中的放射性活度对应于一回路冷却剂比活度为 37GBq/t I-131 当量条件下的瞬态值。

——为保守考虑，在负荷跟踪运行方式下，假设停堆时刻即发生衰变箱破裂事故。含氢废液的日产量为基本负荷运行方式下的 10 倍。

——假定 RCV 及 ZBR 除盐器对碘的去污因子等于 100；

——RCV 容控箱内和 ZGT 缓冲罐内碘的分配因子为 10^{-4} ；

——ZBR 除气塔碘的分配因子为 10^{-3} 。

4.3.1.7 燃料操作事故（FHA）

燃料操作事故是指一组乏燃料组件跌落在乏燃料水池内（这种情景后果最大）导致经过辐照的这组乏燃料组件燃料棒包壳破损，致使放射性裂变产物释放到燃料厂房，并通过厂房通风系统释放到环境。假定事故发生在停堆后 100h，这是停堆后将乏燃料送至贮存池的最短时间。事故导致组件内所有的燃料棒包壳破损，包壳间隙中的放射性物质全部立即释放到乏燃料水池中。裂变产物中惰性气体不滞留水中，乏燃料水池对元素碘和有机碘两种化学形态的滞留因子不同。该事故属于**极限事故**。

计算该事故向环境的排放源项采用了如下的假设和参数：

损坏的燃料组件是堆芯内运行功率水平最高的待卸料组件，按照热功率和燃耗的包络结果计算。

事故发生在停堆后 100 小时，即乏燃料首次运到燃料储存区的最短时间；

事故导致一个燃料组件中的所有燃料棒破损，使得燃料包壳间隙中的所有裂变产物装量都被释放。

裂变产物装量

燃料包壳间隙中的裂变产物装量在事故发生时释放到燃料储存区的水中。

这一装量为：

惰性气体（Kr-85 除外）：燃料装量的 5%；

Kr-85: 燃料装量的 10%;

I-131: 燃料装量的 8% (其中有机碘 0.15%, 元素碘 4.85%, 气溶胶碘 95%)。

考虑了停堆后的放射性衰变。

假设从燃料释放的 CsI 完全溶于水池中。因为水池水的低 pH 值, 碘再演变成元素碘。假设该过程瞬时发生。

燃料厂房内裂变产物的释放

由于卤素的可溶性和水解作用, 燃料包壳间隙中的大部分卤素滞留在了燃料储存池的水中。惰性气体由于不产生水解作用, 不会留在水中。

当气体通过燃料贮存池中溶液本身上升到池表面时, 碘就从释放的气体中排出。碘排出多少取决于从气相到周围液相的质量迁移, 并受气泡直径以及气泡同溶液接触时间的控制。

计算中采用以下去污因子

对于元素碘为 500;

对于有机碘为 1。

元素碘 (99.85%) 和有机碘 (0.15%) 去污因子的差异使得水上方碘的组成为 57% 元素碘和 43% 有机碘。

4.3.1.8 卡轴事故 (LRA)

卡轴事故假设一台反应堆冷却剂泵的泵轴意外卡住, 受影响环路的反应堆冷却剂流量快速下降, 导致触发反应堆冷却剂流量低信号而紧急停堆。该事故为 RCC-P IV 类工况, 是一个**极限事故**。

该事故所释放的裂变产物停留在反应堆冷却剂系统中而不排放到环境, 仅由于在反应堆冷却剂系统压力降至二次侧压力之前存在着从反应堆冷却剂向二次侧泄漏释放的裂变产物。

假设事故前一回路冷却剂中的碘发生尖峰释放, 比活度为 $2.22E+06Bq/g$ I-131 当量, 具体核素的比活度见附表 2。

事故过程中发生 DNB 的燃料棒份额为 9.43%, 叠加丧失厂外电情况下事故发生 DNB 的燃料棒份额为 23.9%, 源项分析中保守的考虑燃料包壳破损份额为 30%。假设在破损燃料棒中, 裂变产物的释放份额 Kr-85 为 10%, 其余惰性气体为 5%, I-131 为 8%, 其余碘的同位素为 5%, 铯为 12%。同时假设这些放射性核素瞬时释放到一回路中并混合均匀。

假设一回路向二回路的泄漏在三台蒸汽发生器之间均匀分配，总泄漏率为72kg/h。

事故期间各时间段内，蒸汽发生器向汽轮机排放的蒸汽量、向环境排放的蒸汽量，蒸汽发生器的给水流量见附表 14。

保守假设事故发生时蒸汽发生器排污立即终止。

假定蒸汽发生器中碘的汽水分配因子为 0.01。

4.3.1.9 安全壳外载有一回路冷却剂的小管线破裂事故

安全壳外载有一回路冷却剂的小管线包括反应堆冷却剂核取样管线和从化容控制系统到液态放射性废物处理系统的化容控制系统净化流排放管线。没有仪表管贯穿安全壳并直接与反应堆冷却剂系统连接。因此，发生这类事故可能由以下两种原因造成：核取样管线破裂，或是化容控制系统管线及与化容控制系统相连的管线破裂。这类小截面管道破裂引起的冷却剂排放流量可以由一台上充泵来补充，稳压器内维持运行水位，允许操作员实施正常停堆。排放物所含放射性核素浓度与一次冷却剂的相同。该事故属于**稀有事故**。

在分析中使用的主要假设和参数如下：

- 假设从事故发生开始，30min 后信号触发，再过 30min 后操纵员完成干预；
- 假设事故触发碘尖峰，碘的释放速率为平衡状态下的 500 倍；
- 假设在核取样管线破损的情况下，最大破口流量为 1.203kg/s；在化容系统净化流排放管线破损情况下，最大破口流量为 8.98kg/s；
- 对于核取样管线破损的情况，液体从破口喷放时的温度为 345℃、压力为 15.5MPa，破口处环境温度为 40℃、压力为常压。根据计算公式：

$$h_{f1}(345.0^{\circ}\text{C}, 15.5\text{Mpa}) = 2121.1 \text{ KJ/kg}$$

$$h_{f2}(40^{\circ}\text{C}, 0.1\text{Mpa}) = 417.52\text{KJ/kg}$$

$$h_{g2}(0.1\text{Mpa}) = 2675.14\text{KJ/kg}$$

$$\text{闪蒸份额} = (h_{f1} - h_{f2}) / (h_{g2} - h_{f2})$$

计算得出闪蒸份额为 0.7546，即从取样管线喷放出的冷却剂中 75.46% 闪蒸变成蒸汽，剩下的 24.54% 的冷却剂以液态存在；

对于化容系统净化流排放管线破损的情况，液体从破口喷放时的温度为 193℃、压力为 4.3MPa，破口处环境温度为 40℃、压力为常压。根据计算公式：

$$h_{f1}(193^{\circ}\text{C}, 4.3\text{Mpa}) = 822.3 \text{ KJ/kg}$$

$$h_{f2}(40^{\circ}\text{C}, 0.1\text{Mpa}) = 417.52 \text{ KJ/kg}$$

$$h_{g2}(0.1\text{Mpa}) = 2675.14 \text{ KJ/kg}$$

$$\text{闪蒸份额} = (h_{f1} - h_{f2}) / (h_{g2} - h_{f2})$$

计算得出闪蒸份额为 0.179，即从取样管线喷放出的冷却剂中 17.9% 闪蒸变成蒸汽，剩下的 82.1% 的冷却剂以液态存在；

考虑碘的汽水分配因子为 0.1；

不考虑放射性核素在管道中的衰减。

4.3.2 事故后果

4.3.2.1 计算模式

事故工况下的大气弥散因子计算采用 PAVAN 程序。由于事故时的释放高度小于相邻建筑物高度的 2.5 倍，按照 RG1.145 的规定，采用地面释放模式。事故大气弥散因子取各方位 99.5% 概率水平和全厂址 95% 概率水平的最大值。联合频率采用厂址气象站 2021 年 1 月~2022 年 12 月的风向、风速、大气稳定度统计的 10m 高度三维联合频率。

事故工况下的剂量计算考虑空气浸没外照射、地面沉积外照射以及吸入内照射三个途径。计算模式及参数见附件七附录 F。

4.3.2.2 剂量计算结果及评价

大气弥散因子计算结果、现实模型和保守模型下各种事故所致剂量的详细计算结果见附件六。计算结果**最大值**汇总见下表。

事故名称		0h-2h, 500m		0d-30d, 5000m	
		有效剂量 (Sv)	甲状腺当量剂量(Sv)	有效剂量 (Sv)	甲状腺当量剂量(Sv)
稀有事故	SGTR	5.74E-04	4.25E-03	3.43E-05	3.16E-04
	RCVA	3.12E-04	4.17E-04	2.30E-05	3.08E-05
	TEGA	4.58E-04	2.23E-04	3.38E-05	1.65E-05
	小管道破裂	1.05E-03	9.59E-03	7.78E-05	7.08E-04
极限事故	LOCA	1.40E-03	9.15E-03	1.35E-03	1.63E-03
	CREA	8.16E-04	2.65E-03	5.94E-04	7.03E-04
	MSLB	4.74E-04	5.60E-03	8.14E-05	9.67E-04
	FHA	8.84E-03	1.24E-01	6.52E-04	9.15E-03
	LRA	1.29E-03	9.89E-03	3.47E-04	3.78E-03

根据《核动力厂环境辐射防护规定》GB 6249-2011 的规定，在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在

整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在5mSv以下，甲状腺当量剂量应控制在50mSv以下。在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后2h内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在0.1Sv以下，甲状腺当量剂量应控制在1Sv以下。

由计算结果可以得到：在各类极限事故中，放射性后果最严重的是燃料操作事故。在一系列的保守假设下，该事故导致在非居住区边界上公众中任何个人在事故后2h内可能受到的最大有效剂量为 $8.84 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量为 $1.24 \times 10^{-1} \text{Sv}$ ；导致规划限制区外边界上公众中任何个人在整个事故持续时间内可能受到的最大有效剂量为 $6.52 \times 10^{-4} \text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量为 $9.15 \times 10^{-3} \text{Sv}$ 。

在各类稀有事故中，放射性后果最严重的是小管道破裂事故。在一系列的保守假设下，稀有事故导致在非居住区边界上公众中任何个人在事故后2h内可能受到的最大有效剂量为 $1.05 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量为 $9.59 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ；导致规划限制区外边界上公众中任何个人在整个事故持续时间内可能受到的最大有效剂量为 $7.78 \times 10^{-5} \text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量为 $7.08 \times 10^{-4} \text{Sv}$ 。

综上所述，极限事故和稀有事故的放射性后果均低于GB6249-2011中规定的剂量控制值。因此，福清5、6号机组提升功率技改后设计基准事故的环境影响满足GB 6249-2011的要求。将厂址非居住区半径设置为500m、将规划限制区半径设置为5km在技术改造后仍然是适宜的。

五、环境保护措施监督检查清单

内容 要素	排放口(编号、名称)/ 污染源	污染物项目	环境保护措施	执行标准
大气 污 染 物	烟囱排气筒	惰性气体	废气系统对其进行收集、处理（含氢废气在废气处理系统衰变箱内衰变）和排放，且排放前取样分析和审批，排放时连续监测。	
		碘	废气系统对其进行收集、处理（含氢废气在废气处理系统衰变箱内衰变）和排放，且排放前取样分析和审批，排放时取样监测。	
		粒子 (半衰期 $\geq 8d$)	废气系统对其进行收集、处理（含氢废气在废气处理系统衰变箱内衰变；排气预过滤器、高效过滤器、高效颗粒过滤器过滤）和排放，且排放前取样分析和审批，排放时取样监测。	
		C-14	废气系统对其进行收集和排放，排放时取样监测。	
		H-3	废气系统对其进行收集和排放，且排放前取样分析和审批，排放时取样监测。	
水 污 染 物	排放槽	H-3	废液系统对其进行收集、暂存、输送、和排放，且排放前取样分析和审批，排放时取样监测。	
		C-14	废液系统对其进行收集、暂存、输送、和排放，且排放前取样分析和审批，排放时取样监测。	
		其余核素	废液系统对其进行收集、暂存、输送、处理（化学中和、蒸发净化、除盐净化、过滤净化）和排放，且排放前取样分析和审批，排放时取样监测。	
声环境	机械设备运行	噪声	本次技改不涉及。	

电磁辐射	本次技改不涉及。
固体废物	本次技改不涉及。
土壤及地下水污染防治措施	本次技改不涉及。
生态保护措施	本次技改不涉及。
环境风险防范措施	本次技改不涉及。
其他环境管理要求	不发生变化。

六、结论

一、建设项目概况

本次功率提升工作仅仅对福清核电厂5、6号机组实施灵活换料及功率提升循环管理策略，仅是燃料管理方案有所改变，对堆芯燃料管理的技术实施改进，提高堆芯燃料富集度，改变堆芯燃料装载方式，提高机组功率，使两台机组的名义功率从1161MWe提升至1191MWe，整个技改过程中不对核电厂既有的系统、设备及其运行工艺和管理进行改变，原则上不对核电厂现有的系统和设备实施改造。

二、产业政策符合性分析

本项目符合国家现行产业政策，符合福建省“三线一单”的管控要求，外环境对本项目无明显制约因素。

三、环保措施有效性分析

(1) 流出物排放

福清核电厂各机组运行正常，废气、废液和固体废物处理系统的处理性能满足设计要求，流出物排放控制有效，年排放量远低于国家核安全局批准的控制值。

福清核电厂5、6号机组在本次技改实施后的放射性流出物排放量设计目标值远低于GB6249-2011所规定的排放量控制值。

根据本次技改的技术特点，对气载流出物的核素氙提出新的申请值，其他核素申请值暂不变。福清核电厂5、6号机组在本次技改实施后的放射性流出物排放量设计值、申请值均低于GB6249-2011所规定的排放量控制值。

气载流出物					
申请值	惰性气体 (Bq/a)	碘 (Bq/a)	粒子 (半衰期 ≥8d) (Bq/a)	碳-14 (Bq/a)	氙 (Bq/a)
技改前	1.15E+14	1.10E+09	1.68E+08	6.91E+11	8.26E+12
技改后	1.15E+14	1.10E+09	1.68E+08	6.91E+11	8.95E+12
液态流出物					
申请值	/	/	其他核素 (Bq/a)	碳-14 (Bq/a)	氙 (Bq/a)
技改前	/	/	1.30E+10	5.06E+10	8.26E+13
技改后	/	/	1.30E+10	5.06E+10	8.26E+13

福清核电厂槽式排放出口处的放射性流出物中除氚和C-14外其他放射性核素浓度均小于1000Bq/L，满足GB6249-2011的要求。

(2) 剂量约束值

本次技改后气、液态途径释放的放射性核素对厂址半径 80km 范围内各年龄组、各子区公众个人所致的最大个人有效剂量出现在 EN 方位 1-2km 处（三山镇前薛自然村的村民）成人组，为 $1.14 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，远小于 5、6 号机组的年剂量约束值为 0.08mSv。

关键人群组为三山镇前薛自然村的村民成人，其所受到的个人最大有效剂量为 $1.08 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，关键途径为食入海产品造成的内照射，其所致剂量为 $7.24 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，约占总剂量的67.04%，关键核素为C-14，它所致的剂量约占总剂量的55.21%。

三、环境影响分析

(1) 运行状态下环境影响分析

技改后福清核电厂 5、6 号机组释放的放射性流出物对厂址半径 80km 评价范围内有人居住子区的公众所致最大个人年有效剂量为 $1.14 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，出现在 NNE 方位 1-2km 子区。关键人群组为三山镇前薛自然村的成人组，年有效剂量为 $1.08 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，约占本工程(5~6#机组)个人剂量约束值（0.08mSv/a）的 1.35%。

本工程(5~6#机组)剂量计算结果与技改前的结果对比见下表 6-1：

表 6-1 技改前后公众及关键人群组最大有效剂量对比表

	技改前	技改后
对公众个人所致最大有效剂量 Sv/a	1.23E-6	1.14E-6
占个人剂量约束值（0.08mSv/a）比例	1.54%	1.43%
关键人群组	三山镇前薛自然村成人组	
对关键人群组个人所致最大有效剂量 Sv/a	1.23E-6	1.08E-6
占个人剂量约束值（0.08mSv/a）比例	1.54%	1.35%

(2) 事故工况下环境影响分析

在本项目的事故工况辐射影响评价中，考虑了9个设计基准事故，事故后果预测结果表明，极限事故和稀有事故的放射性后果均低于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）中规定的剂量控制值，放射性后果是可以接受的。对选址假想事故的重新评价结果表明将厂址非居住区边界设置为500m、将规划限制区半径设置为5km是适宜的。

事故剂量计算结果与技改前的结果对比见下表 6-2:

表 6-2 技改前后事故所致最大有效剂量及最大甲状腺当量剂量对比表

稀有事故	0h-2h, 500m		0d-30d, 5000m	
	最大有效剂量 (Sv)	最大甲状腺当量剂量(Sv)	最大有效剂量 (Sv)	最大甲状腺当量剂量(Sv)
技改前	1.79E-03	1.90E-02	1.29E-04	1.37E-03
技改后	1.05E-03	9.59E-03	7.78E-05	7.08E-04
极限事故	最大有效剂量 (Sv)	最大甲状腺当量剂量(Sv)	最大有效剂量 (Sv)	最大甲状腺当量剂量(Sv)
技改前	8.60E-03	1.22E-01	6.21E-04	8.80E-03
技改后	8.84E-03	1.24E-01	6.52E-04	9.15E-03

四、评价结论

福清核电厂5、6号机组实施灵活换料及功率提升循环管理策略实施后，在燃料管理策略存在变化而电厂主辅系统设备不变的前提下，根据放射性流出物排放量设计值对环境影响的分析结果来看，其对环境的影响与本项目技术改造前的环境影响水平基本相当。在福清核电工程现行的三废控制措施及管理制度下，正常运行状态及事故工况下对电厂周围公众的辐射影响均满足国家相关标准的要求。非居住区、规划限制区边界的划分是适宜的。从环境保护角度考虑，本项目的实施是可行的。

**福建福清核电华龙一号（5、6号机）灵活换料及功率
提升项目环境影响评价报告表附件**

附件 1：燃料组织管理策略

福清核电厂 5、6 号机组以第 3 循环堆芯为初始循环，从第 4 循环开始装入富集度为 4.45%和 4.95%的新燃料组件。燃料管理的论证目标和准则如下：

- 1) 换料组件富集度：4.45%和 4.95%；
- 2) 平衡循环换料组件数：72 组。为增加运行灵活性，在平衡燃料循环的基础上考虑 ± 4 组新燃料组件；
- 3) 燃料组件类型：采用改进型格架的 AFA 3G 燃料组件；
- 4) 堆芯换料模式：采用低泄漏装载模式；
- 5) 平衡燃料循环的循环长度要求为 490EFPD；
- 6) 燃料组件最大卸料燃耗不大于 52000MWd/tU；
- 7) $F\Delta H \leq 1.63$ （考虑了+11.4%的不确定性）；
- 8) $FQ \leq 2.45$ （考虑了+11.4%的不确定性）；
- 9) 慢化剂温度系数 ≤ 0 pcm/ $^{\circ}\text{C}$ （未考虑不确定性）；
- 10) 最小停堆裕量必须满足事故安全分析的要求。

附件 2：放射性源项

1.2 放射性废物管理系统和源项

1.2.1 放射性源项

核电厂放射性物质最根本的来源是反应堆燃料芯块内的链式裂变反应，裂变产生的放射性核素基本上都包容在燃料元件芯块与包壳之内，只有极少量的裂变产物会由于燃料元件破损而泄漏到反应堆冷却剂中，或由极少量的燃料元件加工制造过程中的表面铀沾污而直接进入主冷却剂。同时裂变产生的中子使反应堆冷却剂自身以及腐蚀产物、控制棒、硼酸和其它材料受到激活而产生中子活化及活化腐蚀产物。这些裂变产物和活化及活化腐蚀产物是主冷却剂系统及相关系统的主要放射性来源，其中蒸汽发生器传热管束的泄漏还有可能造成二回路系统的污染。

1.2.1.1 堆芯主要裂变产物积存量

根据《福清核电华龙一号灵活换料及功率提升论证—堆芯裂变产物积存量计算报告》，堆芯裂变产物积存量计算使用PROFIP5程序(PROFIP5程序是CEA/DEN/SEN 在法国压水堆核电站燃料组件试验和运行经验反馈的基础上进行研制并经过验证的裂变产物和锕系元素源项计算程序)。该程序可以模拟裂变产物在燃料内的产生、逃脱、通过燃料元件的破损包壳向一回路冷却剂迁移过程以及在反应堆冷却剂系统中的行为)，对各循环各区采用燃耗分段的包络计算方法。主要计算参数如下：

堆芯额定功热功率：3130MWt；

燃料组件数：177；

燃料富集度：4.45 %、4.95%；

技改后由于堆芯燃料组件富集度、循环长度发生改变，导致堆芯积存量发生改变。堆芯主要裂变产物积存量见表2-1。

1.2.1.2 一回路源项

根据《福清核电华龙一号灵活换料及功率提升论证—一回路源项计算报告》，反应堆一回路冷却剂中裂变产物主要来源于反应堆运行时，燃料元件中产生的气态、固态放射性产物，在发生燃料包壳破损情况后以一定的几率释放到冷却剂中，主要包括惰性气体、卤素等。反应堆一回路冷却剂中的腐蚀产物主要来源于两个方面：一方面是堆内部件，另一方面是一回路管道和设备；前者，在发生腐蚀并释放到冷却剂中之前已经受到中子照射而具有放射性；后者的腐蚀产物在流经堆内并受到堆芯及其相邻区域的中子照射之后才具有放射性。

稳态工况下一回路冷却剂中裂变产物源项使用 PROFIP5 程序计算完成，腐蚀产物源项使用 PACTOLE 程序计算完成。

计算参数如下：

(1) 堆芯燃料管理描述

反应堆以第 3 循环堆芯为基础，从第 4 循环开始，每个循环装入 72 组富集度为 4.45%、4.95% 的带改进型格架的 AFA 3G 燃料组件，经历第 4、5、6 三个过渡循环，第 7 循环达到平衡循环。

(2) 反应堆特征参数

回路数目	3
总流量 (m ³ /h)	3×23790
热段表面积 (m ²)	45.4
U 型支路和冷段表面积 (m ²)	105.4
蒸汽发生器一次侧表面积 (m ²)	3×6494
一回路在通量照射下的面积(m ²)	5770
一次水在堆入口处的温度 (°C)	291.7
稳压器汽相容积 (m ³)	20.67
稳压器液相容积 (m ³)	31
化容系统容控箱汽相容积 (m ³)	6.5
化容系统容控箱液相容积 (m ³)	4.1
一回路系统容积 (不包括稳压器) (m ³)	248
一次水压力 (MPa)	15.5

反应堆各分区内的快中子通量与线功率密度之比(n/cm²/s)/(W/cm)

第 1 区 4.42E+11

第 2 区 4.96E+11

第 3 区 5.17E+11

(3) 燃料参数 (冷态)

堆芯总燃料棒数	46728
铀的质量 (t)	80.88
活性区高度 (cm)	365.76
包壳外径 (cm)	0.95
包壳内径 (cm)	0.836

芯块高度 (cm)	1.350
芯块半径 (cm)	0.4100
芯块内孔直径 (cm)	0.00001
燃料密度 (g/cm ³)	10.41
燃料的释热份额 (%)	97.4
换料堆芯燃料组件 U-235 富集度	4.45%, 4.95%
堆芯分区数	3

(4) 运行参数

破损的当量直径 (μm)	34
平均线功率密度 (燃料棒)	运行时 (W/cm) 178.4 停堆时 (W/cm) 0
化容系统的下泄流量(m ³ /h) (正常工况)	15.7
化容系统阳床除盐器中的流量(m ³ /h) (正常工况)	15.7
混床树脂效率	0.9
阳床树脂效率	0.9
硼锂协调曲线、各循环临界硼浓度随燃耗的变化	见表1
各循环的循环长度	见表2
平衡循环工况下, 反应堆换料参数	见表3
平衡循环工况下, 反应堆功率运行史	见表4

从安全观点来看, 各种放射性核素的重要性取决于产额、半衰期和辐射粒子能量、穿透三道屏障扩散到环境中的能力、在环境中的浓集机理和辐射生物效应等因素。在裂变产物中, 惰性气体 Kr、Xe 为气态, 极易穿透破损的包壳或屏障, 释放份额很高; I 元素大部分处于挥发状态, 不仅产额高, 半衰期中等, 挥发性强, 释放份额大, 而且化学性质活泼, 形态复杂较难去除, 在环境中浓集系数也高。在腐蚀产物中, 主要考虑的核素为 Cr-51、Mn-54、Fe-59、Co-58 和 Co-60 以及 Ag-110m 和 Sb-124。

表 1 各循环临界硼浓度随燃耗的变化

第四循环		第五循环		第六循环		平衡循环	
燃耗深度 /MWd·tU ⁻¹	硼浓度 /ppm						
0	1893	0	1763	0	1827	0	1810
150	1470	150	1339	150	1401	150	1385
500	1430	500	1297	500	1359	500	1343
1000	1391	1000	1256	1000	1317	1000	1301
2000	1331	2000	1192	2000	1253	2000	1236
3000	1263	3000	1123	3000	1183	3000	1167
4000	1192	4000	1053	4000	1111	4000	1096
5000	1121	5000	984	5000	1041	5000	1026
6000	1053	6000	917	6000	973	6000	958
7000	987	7000	853	7000	907	7000	893
8000	926	8000	795	8000	847	8000	834
9000	870	9000	741	9000	792	9000	779
10000	818	10000	693	10000	742	10000	730
11000	768	11000	646	11000	693	11000	681
12000	714	12000	593	12000	639	12000	627
13000	643	13000	522	13000	566	13000	555
14000	557	14000	436	14000	478	14000	468
15000	466	15000	346	15000	387	15000	378
16000	375	16000	255	16000	296	16000	286
17000	284	17000	166	17000	205	17000	196
18000	191	18000	73	18000	112	18000	103
19000	97	18684	9	19000	18	18990	10
19931	10			19081	10		

表 2 各循环的循环长度

	第四循环	第五循环	第六循环	平衡循环
循环长度 (EFPD)	515	483	493	491

表 3 平衡循环反应堆换料参数

区	换料分区		
	已经历 2 个循环燃料	已经历 1 个循环燃料	新燃料
燃料组件数	33	72	72
功率份额	0.397	1.066	1.211

表 4 平衡循环反应堆功率运行史

运行	停堆	运行	停堆	运行
491EFPD	45d	491EFPD	45d	491EFPD

在计算稳态运行一回路冷却剂裂变产物源项时,按 I-131 当量比活度定义的三种源项计算假设条件如下:

正常运行工况: 0.1GBq/t I-131 当量比活度

对于裂变产物稳态值，假定全堆 1g 包壳表面沾污铀，再考虑有 1 根燃料棒包壳破损，破口尺寸为 34 μm 。将包壳破损的计算结果进行归一化处理，使得叠加沾污铀贡献后 I-131 当量比活度为 0.55GBq/t。瞬态值采用与参考电站一样的峰值因子。

异常运行工况：4.44GBq/t I-131 当量比活度

对于裂变产物稳态值，假定全堆 3g 包壳表面沾污铀，再考虑有 19 根燃料棒包壳破损，破口尺寸为 34 μm 。将包壳破损的计算结果进行归一化处理，使得叠加沾污铀贡献后 I-131 当量比活度为 4.44GBq/t。瞬态值采用与参考电站一样的峰值因子。

限制运行工况：37GBq/t I-131 当量比活度

对于裂变产物稳态值，假定全堆 3g 包壳表面沾污铀，再考虑有 103 根燃料棒包壳破损（相当于 0.25%包壳破损率），破口尺寸为 34 μm 。将包壳破损的计算结果进行归一化处理，使得叠加沾污铀贡献后 I-131 当量比活度为 37GBq/t。瞬态值采用与参考电站一样的峰值因子。

假设需要归一化的 I-131 当量的目标值为 D_0 ，计算得出由破损燃料元件产生的裂变产物中的 I-131 当量为 D_1 ，由沾污铀产生的裂变产物中的 I-131 当量为 D_2 ，可以得出归一化因子 f 为：

$$f = \frac{(D_0 - D_2)}{D_1}$$

假设计算得出由破损燃料元件产生的裂变产物比活度为 A_1 ，沾污铀产生的裂变产物比活度为 A_2 ，归一化后得出裂变产物比活度 A_0 ，从而可以得出归一化后裂变产物的比活度为：

$$A_0 = A_2 + A_1 * f$$

正常运行工况的反应堆冷却剂放射性比活度取为 0.1GBq/t I-131 当量，法国 M310 压水堆电站约 200 个堆年运行的平均值 0.55GBq/t I-131 当量。因此，本项目中采用 0.1GBq/t I-131 当量比活度作为正常运行工况的源项是足够保守的。运行技术规格书规定，当稳态 I-131 当量比活度达到 4.44GBq/t 时，机组需加强监督；当稳态 I-131 当量比活度达到 37GBq/t 时，机组需 6 小时内到达热停堆。对于福清核电华龙一号灵活换料及功率提升论证，技术规格书保持不变，因此，采用 4.44GBq/t 和 37GBq/t 的 I-131 当量比活度作为异常运行工况和限制运行工况源项仍然是合适的，也足够保守。在计算稳态运行一回路冷却剂腐蚀产物源项时，根据同类型电站的假定，保守情况稳态工况下一回路冷却剂中的腐蚀产物比活度，可以认为是现实情况结果的 3 倍。在现实情况及保守情况下，Ag-110m 和 Sb-124 的稳态值、所有腐蚀产物核素的瞬态值和冷停堆值均为参考电站的设计值。

注：用于计算正常运行工况下排放到环境中的放射性气态和液态流出物的一回路源项，分为现实和保守两种情况。现实情况中关于燃料元件的行为、废物处理系统运行及其释放的假设均建立在运行经验反馈的基础上，其放射性活度值称为“预期值”。保守情况相应于运行状态下反应堆冷却剂活度的极限工况，其放射性活度值称为“设计值”，用于放射性废物处理系统的源项设计，也是最大设计源项值。

一回路源项计算结果见表2-2。

1.2.1.3 二回路源项

根据《福清核电厂技术改造—二回路源项计算报告》，在反应堆运行过程中，极少量的主冷却剂有可能会通过蒸汽发生器传热管一次侧向二次侧的微小泄漏进入二回路系统，从而造成二回路系统的污染。在二回路系统中进入液相的放射性核素通过蒸汽发生器排污系统及冷凝液净化系统得到净化，进入气相的放射性核素最终通过汽轮机泄漏直接排入汽轮机厂房或通过冷凝器抽真空进入核辅助厂房通风系统经过监测后由烟囱排放，因此在核辅助系统及汽轮机厂房的辐射防护设计中必须对这些污染加以考虑。

二回路系统的污染来自于蒸汽发生器传热管的微小泄漏。分析二回路系统放射性活度时，根据电厂运行经验，做如下假设：

1) 稳态工况：三台蒸汽发生器均存在0.001t/h的常年泄漏项；其泄漏时间为每个换料周期内11800h。三台蒸汽发生器中有一台在每个换料周期内发生两个月的附加泄漏，且附加泄漏的时间段与常年泄漏的末期重合，附加泄漏率为0-0.072t/h线性变化，其它时间附加泄漏为0。

2) 瞬态工况：瞬态工况发生在稳态工况结束后；瞬态工况持续2小时，假定三台蒸汽发生器中只有一台发生瞬态附加泄漏，期间总泄漏率保持0.075t/h不变。

3) 一回路向二回路的泄漏发生时，反应堆冷却剂系统运行在37GBq/t I-131当量工况下。需要说明，这种假设是非常保守的。根据运行技术规格书的规定，当主冷却剂中的放射性活度水平达到瞬态37GBq/t I-131当量时，必须在6小时内实现反应堆停堆。

二回路源项计算结果见表2-3。

1.2.1.4 H-3 源项

氚在核动力堆中引起关注的原因因为它的半衰期较长（12.3年），如果其留在电厂内的话，会导致放射性水平提高。氚主要以氚水形式存在，无论是液态或气态，氚水均可以因吸入、吞入或通过皮肤而进入人体，并构成危害。由于氚水的生物半衰期（12天）较短，并且其 β 衰变能量较低（18.6KeV），氚在核反应堆中产生的放射性核素中属于毒性最小之

列。

主回路中氚的主要产生途径包括：

(1) 燃料裂变（三元裂变）产生的氚通过燃料包壳扩散或燃料包壳破损处泄漏进入主冷却剂中；

(2) 在主冷却剂中中子与可溶硼的反应；

(3) 主冷却剂中中子与可溶锂的反应；

(4) 主冷却剂中中子与氘的反应；

(5) 二次中子源中铍受中子活化产生的锂进一步与中子发生反应产生氚，然后通过不锈钢包壳进入主冷却剂中。

根据《福清核电华龙一号灵活换料及功率提升论证—反应堆冷却剂系统H-3源项分析报告》，堆芯氚积存量采用ORIGEN-S程序计算。一回路冷却剂中核反应（产生氚相关）的反应率采用MCNP程序计算。分为现实和保守两种情况进行计算。各种情况下的计算假设如下：

氚源项计算考虑现实情况和保守情况两种假设条件：

1) 现实情况下假设堆芯中氚的释放份额（由燃料芯块释放到一回路冷却剂）为0.1%，Li-7的丰度为99.9%，B-10的丰度均取为19.8%，氘的丰度取0.015%，二次中子源中氚的释放份额（由二次中子源释放到一回路冷却剂）为50%。

2) 保守情况下假设堆芯中氚的释放份额为0.2%，Li-7的丰度为99.8%，B-10的丰度均取为19.8%，氘的丰度取0.015%，二次中子源中氚的释放份额为50%。

经过计算，得出单台机组氚的设计年排放量为：

现实情况：气态：4.47E+12Bq/a；液态：4.02E+13Bq/a。

保守情况：气态：4.97E+12Bq/a；液态：4.47E+13Bq/a。

1.2.1.5 C-14 源项

C-14 是碳的一种放射性同位素，是一种半衰期长达 5730 年的纯 β 源。在反应堆中存在多种可以产生 C-14 的核反应，主要由燃料、堆芯结构材料和冷却剂中的 N-14、O-17 和 C-13 与中子发生核反应产生。另外，C-14 也可以通过三元裂变产生，但这种途径产生的 C-14 的量可以忽略不计。

堆芯三元裂变产生的 C-14 以及燃料、结构材料活化产生的 C-14 几乎不会扩散到一回路冷却剂中，不会对核电厂的 C-14 环境排放构成贡献，因此不考虑三元裂变及燃料和结构材料活化产生 C-14 的排放。

冷却剂中的 O-17 和 N-14 可以通过中子反应生成 C-14，是压水堆核电厂中 C-14 排放源项分析主要考虑的产生途径：

根据《福清核电华龙一号灵活换料及功率提升论证—C-14 源项计算报告》，一回 路冷却剂中 C-14 的产生率采用 MCNP 程序进行计算。分为现实和保守两种情况进行 计算。各种情况下的计算假设如下：

(1) $^{17}\text{O}(\text{n}, \alpha)^{14}\text{C}$ ，水作为重要的慢化剂和冷却剂，在堆芯中大量存在，O-17 在 天然氧元素中的丰度约为 0.038%；

(2) $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p})^{14}\text{C}$ ，由于通常由氮气作为冷却剂补充水的覆盖气体，溶解在冷却 剂中的氮-14 主要来源于溶解氮气，此外在反应堆启动时冷却剂用联氨(N_2H_4)除氧时， 它会与氧反应或受热分解生成 N_2 和 NH_3 而溶于水中。N-14 在天然氮元素中的丰度为 99.64% 。

根据核电厂运行实践，负荷因子约为 90%，经分析 $^{17}\text{O}(\text{n}, \alpha)^{14}\text{C}$ 途径一个平衡循 环周期产生的 C-14 的活度为 454.99 GBq；考虑一个周期内主回路冷却剂中的平均含 氮量为 10ppm，则由于 $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p})^{14}\text{C}$ 反应产生的 C-14 活度为 43.64 GBq。一个循环产 生的 C-14 源项的活度为 498.63 GBq。折合到年产量，则 $^{17}\text{O}(\text{n}, \alpha)^{14}\text{C}$ 途径一年产生 C-14 活度为 349.86 GBq， $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p})^{14}\text{C}$ 途径一年产生的 C-14 活度为 33.55 GBq，一年产 生的 C-14 共 383.42 GBq(保守) 。

结合参考电站的气液态排放比例，得出单台机组 C-14 的设计年排放量为：

现实情况：气态：2.20E+11 Bq/a；液态：1.00E+10 Bq/a。

保守情况：气态：3.57E+11 Bq/a；液态：2.62E+10 Bq/a。

1.2.2 放射性废液管理系统及排放源项

本次技改不改变福清核电站 5、6 号机组原有废液处理、排放设施，废液处理、排放 设施的情况如下。

放射性废液系统用于控制、收集、处理、输送、贮存、监测和排放核电厂正常运行期 间（包括发生预计运行事件时）产生的放射性废液。废液管理系统由下列系统组成：

- 硼回收系统；（ZBR）
- 废液处理系统；（ZLT）
- 核岛液态流出物排放系统；（ZLD）
- 放射性废水回收系统；（WSR）
- 核岛疏水排气系统。（RVD）

其它已被污染或可能被污染的废液由下列系统收集、处理或排放：

- 化学和容积控制系统；（RCV）
- 反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统；（RFT）
- 蒸汽发生器排污系统；（TTB）
- 常规岛废液收集系统；（WLC）
- 常规岛液态流出物排放系统。（WQB）

1.2.2.1 硼回收系统（ZBR）

硼回收系统对来自化学和容积控制系统和核岛疏水排气系统的含氢反应堆冷却剂，先利用过滤、除盐和除气装置进行净化处理。然后，利用蒸发装置进行硼水分离处理，制取补给水和 4%(重量百分比)的硼酸溶液返回反应堆硼和水补给系统，复用于反应堆。

在燃耗末期，本系统还可对来自化学和容积控制系统的含硼浓度低的反应堆冷却剂下泄流用离子交换工艺进行除硼处理。

(1) 设计基准

硼回收系统为单机组布置，位于核辅助厂房。系统由净化、水与硼分离和除硼三部分组成。

本系统设计成能处理反应堆在基本负荷运行、负荷跟踪运行(50%满功率)、及各种运行瞬态时排放的含氢反应堆冷却剂。

本系统的前贮槽和净化部分可接收和处理来自化学和容积控制系统的最大下泄流(31.4m³/h)。中间贮槽的容积可以满足本系统前、后两部分独立运行，从而不影响反应堆的运行状态。中间贮槽共三个，每个贮槽的有效容积为 350m³；中间贮槽的容积能够容纳机组在燃料循环末期的两次冷停堆期间所产生的废液，即指：

- 冷停堆 6 小时，
- 温度升至反应堆零功率时的温度并保持反应堆零功率 1 小时，
- 返回冷停堆并保持此工况 6 小时，
- 升到满功率。

本系统蒸发部分将除气后的反应堆冷却剂分离为冷凝液和浓缩液 3.5m³/h。冷凝液含硼量低于 5ppm，经冷却后通常可作为反应堆补给水复用。为当一回路氘的浓度高于控制值时，硼回收系统冷凝液被送往核岛液态流出物排放系统监测、排放；浓缩液含硼量为 7000~7700ppm，质量合格时可作为 4%~4.4% 硼酸溶液复用。

(2) 系统描述

硼回收系统由三部分组成：

- 净化部分：包括前贮槽、过滤器、除盐器和除气装置。
- 水和硼酸分离部分：包括中间贮槽、蒸发装置、冷凝液监测槽和浓缩液监测槽。
- 除硼部分：包括阴床除盐器、混床除盐器。

反应堆排出的含氢反应堆冷却剂由两个前贮槽(001BA 或 008BA)接收。然后,用前贮槽泵(001PO、002PO)经除盐预过滤器(001FI)、阳床除盐器(001DE),混床除盐器(003DE)、树脂滞留过滤器(003FI)净化后,进入除气塔(001DZ)进行脱气。去除了裂变气体、氢气和氮气的反应堆冷却剂由除气塔疏水泵(003PO、004PO)输送,经再生热交换器(001EX)与除气塔液体冷却器(001RF)冷却后进入中间贮槽(002BA, 003BA 或 004BA)暂时贮存。

从除气塔排出的二次蒸汽经排气冷凝器(001CS)冷凝、冷却后,废气通过核岛疏水排气系统送到废气处理系统的含氢废气子系统进行贮存衰变。冷凝液返回除气塔。

三个中间贮槽(002BA 或 003BA, 004BA)共用一台输送和混合泵(007PO)。

用蒸发器供料泵(005PO、006PO)将除气后的反应堆冷却剂从中间贮槽送至外加热式自然循环蒸发器(001EV、002EV)的循环管线内,通过蒸发分离操作,得到浓度约4%的硼酸溶液和冷凝液,经过冷却后分别收集在浓缩液监测槽(007BA、016BA)和冷凝液监测槽(005BA, 006BA)内。经取样分析监测合格后,用浓缩液泵(014PO)和冷凝液泵(012PO、013PO)送到反应堆硼和水补给系统的4%硼酸贮存槽和反应堆补给水箱内待复用。

如果冷凝液中硼含量偏高(>5ppm)时,则可以在未被污染的混床除盐器(006DE)进行除硼处理。

硼回收系统的设备全部安装在核辅助厂房内。主要设备特性参见表2-4。

(3) 系统运行

1) 正常运行

前贮槽、除盐器和除气塔的操作都是自动连续进行的。蒸发和除硼操作是由操作人员按需要间歇进行的。

每个前贮槽在使用前,首先用氮气吹扫以降低气相中氧气的浓度。然后,再用硼酸溶液返回反应堆硼和水补给系统的除盐水从前贮槽开始,逐渐往后充填过滤器、除盐器,直至检查液体中氧的含量低于0.1ppm(100ug/L)时才算合格。

前贮槽001BA(008BA)覆盖着一定数量的氮气。在正常操作状况下,不排出气体,气体覆盖层压力随液位变化而变化,通常在0.12至0.32MPa(绝压)之间变化。前贮槽除了有压力与液位检测报警外,槽顶气相与槽底液相管路上均设有安全阀可以保护贮槽。

前贮槽001BA(008BA)的液位与压力检测系统自动控制除气塔001DZ的启动和停运。

前贮槽的正常液位控制在 10~30m³ 之间，以确保前贮槽在净化部分不能使用时，仍能贮存反应堆以最大排放速率(31.4m³/h)送来的冷却剂至少半小时的量。

当一个中间贮槽被注满时，则手动关闭该槽的进料阀，打开另一个中间贮槽的进料阀。

蒸发操作前，要先用输送和混合泵 007PO 将中间贮槽中的料液连续搅动混合。然后，取样分析。

蒸发器手动启动，操作稳定后，改为自动运行。

蒸发产生的二次蒸汽经二次蒸汽冷凝器 003CS (004CS)冷凝后，再经冷凝液冷却器 003RF (004RF)冷却至 50 °C，进入冷凝液监测槽 005BA (006BA)。

在冷凝液监测槽中的冷凝液通过取样分析后有以下几种出路:

—如果冷凝液的水质满足反应堆补给水要求，则由冷凝液泵 012PO (013PO)将其直接送到反应堆硼和水补给系统作补给水使用

—如果冷凝液中硼含量略高，则将其送到未被污染的混床除盐器 006DE 进一步除硼后送反应堆硼和水补给系统作补给水使用;

—如果冷凝液不合格，需再处理时，则用冷凝液泵 013PO (012PO)打回中间贮槽，重新经蒸发处理;

—为了维持反应堆冷却剂中合适的氘浓度，将含氘量高的冷凝液送到废液排放系统 (ZLD)排放。

蒸发器中的浓缩液自动排出，经浓缩液冷却器 005RF (006RF)冷却后进入浓缩液监测槽 007BA(016BA)。

在浓缩液监测槽中的浓缩液经取样分析后有以下几种出路:

—如果浓缩液合格，则用浓缩液泵 014PO 送到反应堆硼和水补给系统作为补给硼酸用;

—如果浓缩液不合格(硼含量远小于 7000ppm，但其他指标合格)，则经浓缩液泵 (014PO)返回到中间贮槽中去，重新用蒸发器处理;

—如果浓缩液不合格，送到废液处理系统工艺排水缓冲槽待处理。

2) 特殊运行

— 在打开反应堆压力容器前，利用除气塔对反应堆冷却剂进行除气。

当 RHR 系统运行时，将 RCV 系统容控箱 RCV002BA 的进料液转送到本系统的前贮槽，经本系统的净化部分处理后，再送回到容控箱 RCV002BA 。

这个工艺过程除了能减少反应堆开盖前的操作时间以外还可以增加净化效率。

—用蒸发器对除盐水分系统(WND)的除盐水除氧。

当 RBM 系统的水箱需补水时，可以用蒸发器对除盐水进行除氧，使其达到补给水要求。这是 ZBR 系统的一个特殊任务。此时，要求在蒸发器运行前，除盐水送入本系统的中间贮槽，蒸发后的二次蒸汽冷凝液送到 RBM 系统的补给水箱内。

—对氧含量高的 RBM 系统补给水除氧。

这项操作也是本系统的一个特殊任务。其要求与上述相同，须在蒸发器运行前，将需除氧的补给水经由输送和混合泵 007PO 送入中间贮槽。然后，向选定的蒸发器供料。除氧后的冷凝液用冷凝液泵 013PO(或 012PO)送回 RBM 系统的补给水箱。

1.2.2.2 废液处理系统 (ZLT)

废液处理系统收集、贮存和监测核电厂正常运行工况和预期运行事件下产生的含有放射性的废液，根据要求对各类废液进行处理，处理过的废液经监测合格后通过核岛液态流出物排放系统向环境排放。

(1) 设计基准

废液处理系统的设计基准是确保核电厂液体流出物的年排放量和排放浓度低于国家规定的限值，使公众和运行人员所受的辐射照射满足“可合理达到尽量低”的 ALARA 原则。

废液处理系统是按容纳和处理核电厂正常运行和预期运行事件时产生的最大预期废液量和最大预期放射性活度、并留有适当的裕量而进行设计的。

本系统工艺排水缓冲槽及其疏水泵以及化学排水缓冲槽及其疏水泵是单机组布置于核辅助厂房内，其他部分为两堆共用，位于核废物厂房内。所有贮槽均布置在相应的设备间内，设各间设计成可滞留贮槽泄漏或破损时流出的放射性废液。

(2) 系统描述

废液根据放射性浓度和化学成分由 RVD 系统分类收集，然后送至 ZLT 系统贮槽分别贮存。按照废液的特性分别采用下述方法进行处理。

- 地面排水、服务排水放射性浓度低，悬浮固体含量高，用过滤方法处理，处理能力为 $27\text{m}^3/\text{h}$ 。地面排水量约为 $5000\text{m}^3/\text{a}$ ，服务排水量约为 $1250\text{m}^3/\text{a}$ 。
- 工艺排水放射性浓度高，化学物质含量低，一般采用除盐工艺处理，处理能力为 $8\text{m}^3/\text{h}$ ，去污因子为 $1000\sim 10000$ 。工艺排水量约为 $2250\text{m}^3/\text{a}$ 。
- 化学排水放射性浓度高，化学物质含量也高，用蒸发方法处理，处理能力为 $3.5\text{t}/\text{h}$ ，去污因子为 1000 ，处理废液量约为 $1500\text{m}^3/\text{a}$ 。

设计中考虑了各类废液与每一种处理系列之间的横向联接，以便根据废液水质情况选择合适的处理方法。

地面排水接收槽的容积为 $3\times 50\text{m}^3$ ，化学排水接收槽的容积为 $3\times 50\text{m}^3$ ，工艺排水接

收槽的容积为 $2 \times 50\text{m}^3$ ，工艺排水缓冲槽 $1 \times 20\text{m}^3$ (单机组分别布置)，化学排水缓冲槽 $1 \times 20\text{m}^3$ (单机组分别布置)，监测槽的容积为 $2 \times 50\text{m}^3$ 。

a) 除盐工艺包括：

- 两个工艺排水接收槽 ZLT001/002BA。工艺排水在贮槽中混和、取样分析。
- 一台工艺排水泵 (001PO)，用于废液的混和搅拌、取样分析和输送。当废液需要除盐处理时，用其将废液送往除盐净化装置。当废液的放射性浓度低于排放管理限值时，也用其将废液送往过滤器 ZLT002/012FI 过滤后经 ZLD 系统监测、排放。
- 一台预过滤器 ZLT004FI。用于去除悬浮物质，以保证除盐器效率。
- 一套化学试剂注入装置，本装置用于连续注入化学试剂，以破坏较难去除胶体的稳定性，从而有利于下游的深床过滤器将这些杂质有效地去除。根据在线监测器取样结果调节化学试剂的注入量。
- 一台深床过滤器 ZLT001DE，经上游注入絮凝剂后，通过 001DE 去除废液中的悬浮物、胶体和部分离子。
- 四台串联的除盐器 ZLT002/003/004/005DE。
- 一台树脂滞留过滤器 ZLT005FI。

经过处理后的废液进入监测槽 ZLT009/010BA。

b) 蒸发工艺包括：

- 三个化学排水接收槽 ZLT006/007/008BA，用于废液的收集、贮存、混和、取样分析和预处理。
- 一台化学排水泵 ZLT003PO，用于 ZLT006/007/008BA 槽内废液的混合搅拌、取样分析和输送。
- 化学中和站由酸、碱试剂槽和两台计量泵组成，用于调节接收槽中废液的 pH 值。
- 蒸发处理设备包括：蒸发器供料泵 ZLT005PO，蒸发器预过滤器 ZLT001FI、预热器 ZLT001 EX，加热器 ZLT001 RE，蒸发器 ZLT001 EV、旋风式分离器 ZLT001 ZE、泡罩塔 ZLT002ZE，蒸馏液冷凝器 ZLT001CS，蒸馏液冷却器 ZLT001RF、冷凝水冷却器 ZLT002RF 和冷凝水平衡槽 ZLT014BA。

蒸发浓缩液由浓缩液槽 ZLT020BA 收集。然后，用泵送至 ZST 系统浓缩液槽。

蒸馏液由两个监测槽(ZLT009/010BA)接收。

蒸发净化单元包括化学试剂注入装置，可调节蒸发器内废液 pH 值；当蒸发器处理易起泡的废液时，也可由本装置注入消泡剂。

蒸发净化单元和除盐净化单元设有集中和就地取样点，通过取样分析来监测废液的特性及处理效果。

对监测槽 ZLT009/010BA 中的废液进行取样分析。如果其放射性浓度和化学特性符合排放要求，则排往核岛液态流出物排放系统(ZLD)监测排放。否则，送至蒸发器重新处理。

c) 过滤工艺包括：

- 三台地面排水接收槽 ZLT003/004/005BA，用于地面排水和服务排水的收集、贮存、混和、取样分析及化学中和。
- 地面排水泵 ZLT002PO，用于废液的混和搅拌、取样分析和输送。
- 两台并联使用的过滤器 ZLT002/012FI。可以在不停止处理废液的情况下更换过滤器芯。
- 当地面排水接收槽内废液的放射性浓度高于排放管理限值时，可采用蒸发工艺处理或由除盐单元处理。

与废液接触的设备的材料均为不锈钢，有较好的耐腐蚀性。

废液处理系统主要设备特性参见表 2-5。

(3) 系统运行

废液处理系统总的运行原则如下：

- 废液处理系统有手动控制和自动控制两种控制方式，操作人员可在 IAW 工作站监测系统的运行。
- 每类废液的接收槽（包括工艺排水接收槽、化学排水接收槽、地面排水接收槽）应保持有一个槽处于可接收废液的状态。接收槽充满后，要对槽内废液进行搅拌和取样。
- 根据取样分析结果，废液经过滤装置送往核岛液态流出物排放系统监测、排放；或由蒸发净化单元或除盐净化单元处理后送核岛液态流出物排放系统监测、排放。
- 蒸发净化单元由手动启动，运行稳定后，即进入自动控制状态。
- 除盐器是手动启动的，运行稳定后，进入自动控制状态。

1.2.2.3 核岛液态流出物排放系统（ZLD）

(1) 设计基准

1) 核岛液态流出物排放系统逐槽收集下列来源的废液，并将废液经混匀、取样分析、监测后有控制地稀释排放。

① 放射性废液

- 硼回收系统来的废液，蒸发器产生的冷凝液。

- 废液处理系统来的废液，包括蒸馏液、经除盐器处理的废液、经过滤器处理的废液。
- 放射性废水回收系统来的废液。
- 核岛疏水排气系统排水。
- 核岛液态流出物排放系统地坑疏排水。
- 固体废物处理系统的疏水。

② 常规废水

- 蒸汽发生器排污系统蒸汽发生器排污液。

2) 当因环境稀释能力不足而要求延迟排放、或当取样分析或辐射监测系统监测到废液放射性浓度超过规定排放限值时，可暂存废液。

3) 将超过排放限值的放射性废液送往废液处理系统处理。

(2) 系统描述

核岛液态流出物排放系统设置三个 500m³ 的废液排放贮槽 ZLD001/002/003BA，贮槽置于滞留池内，滞留池的容量大于三个贮槽同时破裂溢出的全部废液量。三个贮槽中一个用于接收废液，一个用于废液的混匀、取样分析和监测排放，另一个用于备用。

每个贮槽配有一台排放泵 ZLD001/002 /003PO，用于在取样、分析之前搅拌槽内料液和排放废液，或将废液送往废液处理系统（ZLT）重新处理。

地坑泵 ZLD004/005PO 安装在地坑 ZLD001PS 内，地坑泵 ZLD007PO 安装在地坑 ZLD003PS 内。地坑泵将地坑内废液送至贮槽。

三个贮槽有一根共用的排放管线及一根通往 ZLT 系统的管线。在排放管线上安装有一台辐射监测仪（IRM901MA）和受 IRM 控制的自动隔离阀、一个手动隔离阀、一个流量调节阀、一个止逆阀及一个累计流量计。

贮槽的材料为碳钢内外涂涂料，其余设备的材料均为不锈钢。

核岛液态流出物排放系统所有管线材料为不锈钢，核岛液态流出物排放系统主要设备特性参见表 2-6。

(4) 系统运行

正常运行时，三个 ZLD 排放槽中的一个接收液态流出物，一个混合、取样分析和监测排放液态流出物，另一个备用。各系统来的液态流出物在排放槽内经充分混合使其成分均匀，取样分析后根据液态流出物放射性水平及环境稀释能力来确定液态流出物的排放流量。

排放管上的 IRM 监测系统对排放槽内液态流出物有辅助监测作用，当排放液态流出物的放射性浓度大于 $2.7E+06MBq/m^3$ 时，IRM901 MA 报警；当排放液态流出物的放射性达到 $4.5E+06Bq/m^3$ 时，自动关闭排放隔离阀，终止排放。

当排放槽液态流出物放射性浓度超过排放限值时，液态流出物被送回 ZLT 系统化学排水接收槽重新进行处理。

ZLD 系统和 WQB 系统相连，互为备用。当 ZLD 系统的排放槽不能接收废水时，WQB 的备用排放槽将用于接收核岛的液态流出物。

1.2.2.4 放射性废水回收系统(WSR)

(1) 设计基准

本系统有选择地收集下列场所产生的放射性废液或可能带放射性的废液：

- 核岛厂房内放射性洗衣房排放废液，
- 核岛厂房内卫生出入口产生的放射性废液，
- 核岛厂房内可降解废物处理系统产生的放射性废液，
- 核岛辅助设施（BOP）的放射性机修及去污车间（AC 厂房）产生的机械去污废液和化学去污废液，
- 核岛辅助设施（BOP）的厂区实验室（AL 厂房）产生的废液。

收集的废液经贮存和取样分析后，废液被送往 ZLT 系统、ZLD 系统或 ZST 系统。

(3) 系统描述

WSR 系统核岛部分 AR 厂房部分为单机组设置，核废物厂房内部分为双机组共用。收集下列系统及场所的废液：

AR 厂房热淋浴间和热更衣间的地面排水靠重力收集于废水贮槽 WSR001 /002BA 中。WSR001/002BA 内的废液经混匀和取样分析后，如果需要处理，将其经核岛疏水排气系统 (RVD)送到废液处理系统(ZLT)进行蒸发或过滤处理，如果放射性水平低于排放限值，则直接由泵 WSR001 /002PO 送往 ZLD 系统排放。

废水贮槽 WSR001/002BA 房间内的地坑 WSR003PS 收集的废液由地坑泵 WSR008PO 送往 WSR001/002BA。

洗衣房洗衣和初次漂洗的排放废液，经粗过滤后借助于重力流入废水贮槽 WSR003BA。二次漂洗的排放废液，借助重力流入废水贮槽 WSR004BA。 WSR003/004BA 内的废液经混匀和取样分析后，如果需要处理，将其经核岛疏水排气系统(RVD)送到废液处理系统 (ZLT)进行蒸发或过滤处理，如果放射性水平低于排放限值，则直接由泵 WSR003/004PO 送往 ZLD 系统监测排放。

可降解废物处理系统产生的放射性废液直接进入 WSR003/004BA，经取样检测后，送往废液处理系统(ZLT)进行蒸发或过滤处理或直接送往 ZLD 系统监测排放。

洗衣房废水贮槽 WSR003/004BA 房间内的地坑 WSR903PS 收集来自洗衣房和可降解废物处理设施产生的地面排水，并由地坑泵 WSR908PO 送往 WSR003/004BA。

WSR 系统 BOP 部分为两台机组共用，收集下列系统及场所的废液：

a)放射性机修车间及去污车间排放废液

放射性机修及去污车间排放的化学去污废液靠重力流入化学去污水疏水箱 WSR202BA，经过混匀和取样分析后，由化学去污水排水泵 WSR202PO 送往 ZLT 系统的化学排水接收槽处理或送往 ZST 系统的浓缩液槽待固化处理。

放射性机修及去污车间排放的机械去污废液靠重力流入机械去污水疏水箱 WSR201BA，经过混匀和取样分析后，由机械去污水排水泵 WSR201PO 送往 5 号机组 ZLT 系统地面排水接收槽处理或送往 ZLD 系统排放。

b)厂区试验室排放废液

厂区试验室排放废液靠重力流入厂区试验室疏水箱 WSR203BA，经过混匀和取样分析后，由厂区试验室排水泵 WSR203PO 送往 5 号机组 ZLT 系统地面排水接收槽处理或送往 ZLD 系统排放。

放射性废水回收系统主要设备特性参见表 2-7。

(3) 系统运行

a) 核岛部分

当废水贮槽 WSR001/002BA 的液位达到高液位时，泵 WSR001/002PO 自动启动。当槽中液位达到低液位时，泵 WSR001/002PO 自动停运。每个贮槽均可就地取样，以检测废液的放射性浓度。

当废水贮槽 WSR003/004BA 的液位达到高液位时，泵 WSR003/004PO 自动启动。当槽中液位达到低液位时，泵 WSR003/004PO 自动停运。每个贮槽均可就地取样，以测量废液的放射性浓度。

b) BOP 部分

① 放射性机修及去污车间排放的化学去污废液

化学去污水疏水箱 WSR202BA 高液位报警信号通知操作人员水箱已充满。操作人员进行必要的处理后，根据取样分析结果，将废液送到 ZST 系统的浓缩液贮槽或 ZLT 系统的化学排水接收槽。出现低液位信号时，自动停泵。可注入化学试剂调节废液的 pH 值，以防止沉淀物在回路中沉积。

② 射性机修及去污车间排放的机械去污废液

机械去污水疏水箱 WSR201BA 高液位报警信号通知操作人员水箱已充满。操作人员可进行必要的处理, 根据取样分析结果, 将废液送往 5 号机组 ZLT 系统的地面排水接收槽或 ZLD 系统的贮槽。出现低液位信号时, 自动停泵。

③ 厂区试验室排放废液

厂区试验室疏水箱 WSR203BA 的高液位信号自动启动泵。根据取样分析结果, 将废液送往 5 号机组 ZLT 系统的地面排水接收槽或 ZLD 系统的贮槽。出现低液位信号时, 自动停泵。

1.2.2.5 核岛疏水排气系统 (RVD)

核岛疏水排气系统 (RVD) 除核废物厂房 (QX 厂房) 部分为两机组共用外, 系统其他部分均为单堆布置。

本系统收集核岛内产生的所有放射性废液和废气, 它们来自:

- 机组正常运行;
- 换料停堆、维修停堆各阶段及随后的启动;
- 设备维修及维修前设备排水;
- 正常泄漏和事故泄漏;
- 各种瞬态。

根据废物的特性 (可复用或不可复用的废液、含氢或含氧废气), 这些废物将分别由各自的管网输送到核辅助厂房的硼回收系统 (ZBR)、废液处理系统 (ZLT) 和废气处理系统 (ZGT)。在反应堆发生事故以后, 将放射性水平较高的废液再注入反应堆厂房。RVD 系统不直接履行安全功能 (安全壳贯穿件除外)。但它起到限制放射性废物释放到环境中去的作用。

(1) 设计基准

根据所收集的放射性物质的种类不同, RVD 系统分为六个独立的子系统: 反应堆冷却剂疏水子系统、工艺疏水子系统、地面疏水子系统、化学疏水子系统、含氢废气子系统、含氧废气子系统。

RVD 系统采用的设计基准如下:

- 从与安全有关设备间来的废水, 要防止由于疏水管线回流而造成与安全有关设备的淹没;
- 贯穿安全壳的疏水管线设置隔离阀;
- 非放射性疏水管道的的设计和布置应保证不会掺入放射性污染的物质;

- 地坑泵有足够的力量，以防止在正常预期疏水期间地坑溢流；
- 在事故发生后使较高水平放射性废液再注入反应堆厂房。

(2) 系统描述

1) 反应堆冷却剂疏水子系统

该系统收集含氢的反应堆冷却剂疏水和回路的泄漏。同时还收集当硼酸浓度发生变化时排出的反应堆冷却剂。这些废液被送至 ZBR 系统处理。

2) 工艺疏水子系统

该系统收集含氧的反应堆冷却剂疏水和泄漏以及树脂冲洗水。这些疏水通常是化学成分含量低的放射性废液。对这些废液的收集和输送方法是：

- 送至核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS），再用泵输送到 ZLT 系统；
- 由 ZLT 系统直接收集；
- 在事故工况时，一旦接收到高放射性信号，即将收集在核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS）和燃料厂房工艺疏水坑（RVD 008PS、009PS、012PS、013PS、508PS、509PS、512PS、513PS）的高放射性废液再注入反应堆厂房。

c) 地面疏水子系统

该系统收集反应堆厂房、安全厂房、燃料厂房、核辅助厂房、核废物厂房的地面疏水。这些疏水是化学成分含量不定的低放射性废水。这些废水按下述方法进行收集和输送：

- 由集水箱、排水沟和疏排管道收集；
- 用管道直接送至核辅助厂房地面疏水坑（RVD001PS）；
- 废水排至各自厂房的地面疏水坑中，用泵输送到 ZLT 系统；
- 核岛放化实验室来的放射性废水，同样也送到地面疏水坑，再用泵输送到 ZLT 系统；
- 在事故工况时，一旦接收到高放射性信号，即将收集在核辅助厂房地面疏水坑（RVD001PS）和安全厂房地面疏水坑（RVD014PS、514PS）的高放射废液再注入反应堆厂房。

4) 化学疏水子系统

该子系统收集核岛放化实验室、热机修实验室的废水和来自处理含有放射性化学物质系统的疏水，包括反应堆厂房的地面疏水。

这些疏水通常是含有高化学成份的放射性废水。

通常化学疏水被送至核辅助厂房的化学疏水坑(RVD003PS)，核废物厂房的化学疏水被送至化学疏水坑(RVD503PS/507PS)，再由泵输送到 ZLT 化学排水接收槽。

5) 含氢废气子系统

该系统收集反应堆冷却剂系统、ZBR 系统除气塔运行中产生的含氢废气及用氮气吹扫各种箱体的覆盖层所产生的含氢废气。这些废气被送到 ZGT 含氢废气子系统进行处理。

6) 含氧废气子系统

该系统收集反应堆在启动、冷停堆时设备排气及常压下贮槽、手套箱等排气，这些废气被送到 ZGT 含氧废气子系统进行处理。

(3) 系统运行

1) 反应堆冷却剂疏水子系统

该系统设计成间歇运行方式。它可在正常运行期间和预期瞬态期间保持连续运行。

反应堆厂房产生的反应堆冷却剂疏水被收集到反应堆冷却剂疏水箱（RVD001BA），并由两台并联安装的泵（RVD001PO、RVD002PO）输送。

2) 工艺疏水子系统

该系统设计成间歇运行方式。它可在正常运行期间和预期瞬态期间保持连续运行。

位置高于工艺疏水管安全壳贯穿件的系统和设备，工艺疏水靠重力收集到核辅助厂房的 ZLT 工艺排水接收槽。

在反应堆厂房位置低于工艺疏水管安全壳贯穿件的系统和设备，工艺疏水收集到工艺疏水箱（RVD003BA），再用泵（RVD014PO）将废液送到核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS）。工艺疏水箱（RVD003BA）有溢流管，可使超过溢流管的废水排到安全壳疏水坑（RVD031PS）。

其它厂房的系统和设备疏水输送方式：

- 送到核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS），再用泵（RVD023PO）输送到 ZLT 系统。
- 收集在 QX 厂房工艺疏水坑（RVD502PS），再用泵输送到 ZLT 系统工艺排水接收槽。
- 靠重力直接送到 ZLT 系统。

3) 化学疏水子系统

- 本系统靠重力收集疏水，这些废水被送到化学疏水坑（RVD003PS），再用泵输送到 ZLT 化学排水接收槽。
- 收集在 QX 厂房化学疏水坑（RVD503PS/507PS），再用泵输送到 ZLT 系统化学排水接收槽。

4) 地面疏水子系统

该系统设计成间歇运行方式。它能在正常运行期间和各种预期瞬态期间保持连续运行。

反应堆厂房地面疏水由重力收集到安全壳疏水坑（RVD011PS/RVD041PS）以及安全壳底层疏水坑（RVD031PS），疏水坑液位测量仪表，根据预先设定的高高和低液位整定值来分别控制两台泵的启动和关闭。这些疏水由泵将其送至核辅助厂房地面疏水坑（RVD001PS）。

燃料厂房和安全厂房中的地面疏水通过重力收集到各自厂房的疏水坑，再用泵送至核废物厂房 ZLT 系统地面排水接收槽(ZLT003、004、005BA)。

核辅助厂房地面疏水坑（RVD001PS）接收核辅助厂房的设备泄漏、疏水，及其它厂房地面疏水和房间地面疏水（一般情况下放射性水平低于排放标准），再用两台并联安装的泵将疏水坑中废液输送到 ZLT 地面排水接收槽。

核废物厂房地面疏水收集在核废物厂房地面疏水坑(RVD501PS)中，再由泵将疏水坑中的废液输送到 ZLT 系统地面排水接收槽。

5) 含氢废气子系统

维持本系统压力略高于大气压，以防止空气渗入。

6) 含氧废气子系统

位于反应堆厂房的本系统，通过安全壳换气通风系统（CSV）的排风机使系统在运行时保持负压。

机组在停堆期间本系统主要用来收集反应堆冷却剂系统中的饱和湿气，这些气体经过含氧废气疏水罐（RVD002BA）被分离后，气体排入安全壳换气通风系统（CSV），废水排入 RVD 工艺疏水子系统。

核辅助厂房的含氧废气排至废气处理系统（ZGT），由 ZGT 的排风机保持负压。

1.2.2.6 可降解废物处理系统（ZDT）

(1)设计基准

可降解废物处理系统的功能是将可降解防护用品进行溶解，并对溶解废水进行暂存、处理、取样分析，最终输送至废液处理系统（ZLT）处理或放射性废水回收系统(WSR)排放。

(2) 系统说明

可降解防护用品采用聚乙烯醇(PVA)制成，是醋酸盐的一种衍生物，具有水溶性，遇热水溶解。对可降解防护用品处理采用湿式氧化处理技术，处理过程分为三大部分:溶解、过滤和热氧化。

a)溶解部分包括:

- 两台溶解槽(7ZDT001/002BA)，用于溶解可降解防护用品。

- 两台溶解槽循环泵(7ZDT001 /002PO)及两台溶解槽辅助循环泵(7ZDT011/012PO) 用于促进可降解防护用品的溶解和溶解废液的混合。

b)过滤

- 过滤部分包括三台过滤器(7ZDT001 /002/003FI)，过滤效率 $\geq 98\%$ 。
- 一台 TPS 暂存槽(7ZDT003BA)，用于过滤后的 TPS 溶液的暂存。

c)热氧化

热氧化单元包括:

- 一台 TPS 暂存槽(7ZDT003BA)，用于过滤后的 TPS 溶液的暂存；
- 两套热氧化单元，用于去除 TPS 溶液的化学需氧量(COD)、生物需氧量(BOD)；
- 两台骤冷罐(7ZDT004/011 BA)，用于热氧化处理后废液的暂存、混合和取样分析；
- 两台循环泵(7ZDT008/014PO)，用于将缓冲槽内废液的搅拌、取样分析和输送。处理后溶液经骤冷罐过滤器(ZDT008F1)过滤后贮存于废液暂存槽(ZDT010BA)。取样后废液的放射性浓度低于排放控制值时，通过排水泵(ZDT009PO)送往放射性废水回收系统(WSR)。当废液的放射性浓度高于排放控制值时，则送至废液处理系统(ZLT)重新处理。

(3)系统运行

a)溶解

将用过的可降解防护用品放到溶解槽中，向溶解槽中注入加热超过 110℃的热水，可降解防护用品开始溶解，溶解循环泵连续运转促使混合和溶解。待 PVA 材料完全溶解后加入过氧化氢作为氧化剂，使溶解的 PVA 分解，溶解液转化为处理后的弱有机酸溶液 (TPS)。随后通过热交换器对溶液进行冷却，待冷却到合适的温度后，将溶液输送到过滤器进行过滤。此时 PVA 的含量接近于零。任何不溶解的物件都留在溶解槽中，在下次运行之前可以取出，作为固体废物进行处理。

b)过滤

溶解后的废液经 3 段机械过滤，每一段的过滤器会根据溶液中污物的直径分别进行过滤。过滤后的溶液进入 TPS 暂存槽，待进一步进行热氧化处理。

c)热氧化

首先，空气加热到 760℃后吹入到热氧化装置中。系统压力为一个大气压(表压)。处理后 PVA (TPS)计量加入到热氧化装置。高温会破坏 TPS 键，生成一氧化碳和二氧化碳。含有一氧化碳、二氧化碳和水蒸气的空气进入到催化处理室。在高温及催化剂(镀铂金属)条件下，一氧化碳转化成二氧化碳。最后，用冷却水系统将水蒸气进行冷凝。冷凝水进入

热水罐待复用或排至放射性废水回收系统。不凝性气体通过厂房通风系统排出。

1.2.2.7 化学和容积控制系统 (RCV)

(1) 设计基准

化学和容积控制系统 (RCV) 为反应堆冷却剂系统 (RCS) 提供以下服务:

- 反应堆冷却剂容积控制;
- 反应堆冷却剂化学控制:
 - 与硼和水补给系统 (RBM) 共同完成硼浓度的调节, 从而控制反应性;
 - 控制气体的浓度;
 - 净化和过滤;
 - 含氧量和 pH 值的控制 (与 RBM 系统一起)。
- 反应堆冷却剂泵密封水注入。

RCV 系统还提供以下服务:

- 为稳压器提供辅助喷淋;
- 稳压器满水时控制 RCS 压力;
- 为余热排出系统 (RHR) 的投运作准备;
- 为 RCS 系统充水、排水和进行水压试验。

(2) 系统描述

RCV 系统由两个子系统组成: 上充、下泄、密封水子系统和反应堆冷却剂净化和化学控制子系统。

1) 上充、下泄、密封水子系统

化学和容积控制系统的上充和下泄功能用于保持反应堆冷却剂系统稳压器中的水位, 从而在电厂所有的运行阶段内保持适当的反应堆冷却剂的容量。

反应堆冷却剂的下泄流从一个反应堆冷却剂回路的冷段排到化学和容积控制系统中, 在流过再生热交换器的壳侧时将流经管侧的上充流加热, 然后下泄流流过下泄孔板进行降压, 再流过下泄热交换器的管侧, 其温度进一步降低。在下泄热交换器的下游, 通过低压下泄阀使下泄流的压力进一步降低。低压下泄阀的功能是保持其上游的压力, 以防在下泄孔板的下游发生闪蒸。

下泄流流过两台混合床除盐装置中的一台进行净化, 去除离子态腐蚀产物和多数裂变产物。在需要降低反应堆冷却剂中的铯和过量的锂时可以再流过阳床除盐装置。

下泄流流过反应堆冷却剂的过滤器并从容积控制箱顶部的一条喷淋接管进入容积控制箱。氢气连续不断地供给容积控制箱, 以扫除容控箱气相空间的裂变气体和控制堆芯

处由于水的辐射分解所产生的氧的浓度。

两台离心式上充泵中的一台从容积控制箱吸水并将被冷却、净化过的反应堆冷却剂返回到反应堆冷却剂系统。正常工况下上充流由一台上充泵输送，这股上充流被分成两路：一路经再生热交换器的管侧被注入到反应堆冷却剂系统。另一路通过轴封水流量调节阀进入轴封水。轴封水向下引到泵轴轴承和热屏蔽冷却盘管上部，一部分冷却下部轴承。然后，通过迷宫密封和热屏蔽进入反应堆冷却剂系统口其余的轴封水沿着泵轴向上流到密封水泄漏。密封水泄漏流排到位于安全壳内的一条公用集水管。然后，通过密封水返回过滤器和轴封水热交换器流到上充泵吸入侧或通过替换通道流到容积控制箱。

2) 反应堆冷却剂净化和化学控制子系统

化学和容积控制系统与反应堆硼和水补给系统共同完成对反应堆冷却剂中硼浓度的控制，以补偿因温度变化、燃耗和氡毒变化所引起的反应性的慢变化。

去除反应堆冷却剂中的腐蚀产物和裂变产物，以便将反应堆冷却剂中的杂质含量及放射性水平控制在允许的范围内。

控制反应堆冷却剂的 pH 值、氧含量和其它溶解气体的浓度。

RCV 系统定量基准及主要设备特性参见表 2-9~10。

(3) 系统运行

在反应堆启动时，化学和容积控制系统可为反应堆冷却剂系统充水、加压及排气。在充水和排气操作完成后，即可建立化容控制系统的上充和下泄流量。在反应堆启动和冷却剂系统升温时，利用余热排出系统和化容系统的低压下泄管线控制反应堆冷却剂的压力。

在正常运行期间，通过上充、下泄维持主回路化学容积条件。

在停堆过程中，在堆芯冷却期间，由于冷却剂的收缩要求增加上充流量进行补偿。同期，将硼浓度提高到冷停堆的数值。在达到冷停堆状态之前，如果必须打开反应堆压力容器，则通过用氮气置换容积控制箱中的氢气使反应堆冷却剂的含氢量降到 5mL/kg 以下，定期将容积控制箱的气体排到废气处理系统，释放出溶解的氢气。在电厂停堆时，如果要进行换料或维修操作，可利用化容系统的除盐装置净化放射性离子并采用扫气去除裂变气体，从而降低反应堆冷却剂的放射性水平。

1.2.2.8 反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统 (RFT)

(1) 设计基准

反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统按下列准则进行设计。

反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统的冷却回路要满足单一故障准则的要求。反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统冷却回路的安全等级为 3 级。

1) 乏燃料水池冷却回路

冷却回路取决于乏燃料水池中乏燃料组件的剩余功率，乏燃料水池剩余功率将根据换料工况和乏燃料组件贮存情况确定。

换料操作采用“全卸全装”的方式，即每次卸料时将堆芯的燃料组件全部卸入乏燃料水池。

在正常工况下，反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统用一个冷却系列（一台泵和一台热交换器）或两个冷却系列（两台泵和两台热交换器）冷却乏燃料水池水，并确保水池的水温不超过 50℃（按设备冷却水系统水温为 35℃考虑）。

热交换器的换热面积将根据正常换料工况确定。

2) 乏燃料水池过滤和除盐回路

最高温度：60℃；

处理能力：60m³/h；

过滤孔径：除盐装置前置过滤器过滤粒度为 5μm，除盐装置后过滤器过滤粒度为 25μm。

3) 反应堆换料水池过滤回路

处理能力为 100m³/h，过滤器的过滤粒度为 5μm。

(2) 系统描述

1) 服务于乏燃料水池的设施

乏燃料水池分为 4 个部分：燃料转运舱、乏燃料水池、乏燃料容器装载井、乏燃料容器冲洗井。

— 冷却回路：水泵 001PO 或 002PO 或 006PO 抽送乏燃料水池的水流过热交换器 001RF 或 002RF 或 003RF，然后返回到乏燃料水池

— 过滤和除盐回路

— 表面撇沫和过滤回路

— 充水回路

b) 服务于反应堆换料水池的设施

反应堆换料水池分成两个隔离室：反应堆换料水池和堆内构件存放区。

— 过滤回路

— 反应堆换料水池充水和排水

当反应堆换料水池需急速充水时，使用低压安注泵；缓慢充水则可用该系统的 002PO 水泵。

反应堆换料水池排水采用重力排水，直接排入内置换料水箱的方式，排水过程可根据池壁喷淋清洗的要求随时终止，并在池壁喷淋清洗之后恢复。反应堆换料水池排空后，必须将水池排水管上的隔离阀切换至开启。

RFT 系统主要设备特性参见表 2-11。

(3) 系统运行

乏燃料贮存水池通常是充满水的。在换料时，反应堆换料水池和燃料转运舱需充满水。当反应堆压力容器进行检查时，反应堆换料水池也需充满水。反应堆堆内构件存放区单独充水时，可用水闸门与反应堆换料水池隔离。

系统正常运行：

1) 乏燃料水池冷却、过滤和除盐回路

从乏燃料组件贮存在乏燃料水池起，冷却回路开始连续运行，水池的水温不高于 50℃。用一个冷却系列（一台泵和一台热交换器）冷却乏燃料水池。

冷却回路的流量为 450m³/h，由流量计监测。

水泵的工作流量为 510m³/h，其中 60m³/h 提供给过滤和除盐回路。

过滤和除盐回路连续运行，其处理流量 60m³/h 由流量计监测，手动调节阀根据过滤器和除盐装置的压降调节流量。

回路最高工作温度根据树脂要求定为 60℃。当温度高于 60℃时，温度控制器发出报警信号，要求隔离过滤和除盐回路。

根据乏燃料水池的水质情况，可以投运表面撇沫和过滤回路，其流量为 5m³/h。

2) 反应堆换料水池和附属回路

在整个反应堆压力容器开盖和换料水池充水过程中，应通过余热排出系统、化学和容积控制系统和硼回收系统对反应堆冷却剂进行去污处理，但要防止降低换料水池操作时的硼浓度。裂变气体和溶解的氢则通过化学和容积系统的容积控制箱和硼回收系统的除气塔去除。

当反应堆压力容器封头打开，反应堆换料水池充水后，过滤回路投入连续运行，过滤水量为 100m³/h，由流量计监测。

余热排出系统保持反应堆换料水池的冷却剂最高温度为 60℃。

根据反应堆换料水池的水质情况，可以投运表面撇沫和过滤回路，其流量为 6m³/h。

1.2.2.9 蒸汽发生器排污系统 (TTB)

(1) 设计基准

1) 在正常运行时, TTP 系统水处理设计流量最高能达到 73.5t/h, 三台蒸汽发生器的排污量是相同的, 每台蒸汽发生器的最大排污量约为额定蒸汽流量的 1.2%(即 24.5t/h)。

2) 经排污系统处理后的排污水质指标应与二回路系统补给水的指标一致。

(2) 系统描述

蒸汽发生器排污系统分为排污水收集、冷却、减压、处理、回收或排放五部分, 主要由热交换器、减压和流量控制阀、过滤器、离子交换器以及相应的管道和阀门等组成。

每台蒸汽发生器的排污水是靠两个径向对称的支管段在管板上收集的, 并在其中的一根支管上设置一根取样接管, 供取样分析用。两根支管在安全壳内合并后穿过安全壳。在安全壳外的排污管上设置了一根供蒸汽发生器保养用的氮气接管, 并在每一根排污管上安装了一个无泄漏的隔离阀和一个手动流量控制阀, 操作人员可以根据二次侧水质的好坏通过此阀控制排污量的大小。在功率运行时, 排污量在 10~73.5t/h 之间变化。

三根排污管在安全壳外合并为一根排污母管, 根据运行工况, 可将排污水输向再生热交换器, 或非再生热交换器。一般来说, 在电厂正常运行时, 为了回收其热量, 排污水应由再生热交换器来冷却; 而在热备用、热试验及与再生热交换器连接的设备或部件失效时, 排污水才由非再生热交换器进行冷却。再生热交换器的冷却水为凝结水抽取系统来的凝结水, 而非再生热交换器的冷却水则为设备冷却水。

排污水由热交换器冷却至与离子交换树脂相适应的温度(即 45~56°C 左右)之后, 通过一个减压和流量控制阀, 将热交换器下游的压力限制到 1.4MPa (表压)。

冷却和减压后, 排污水被引至处理系列, 即先通过一台过滤粒度为 5 μ m 的过滤器, 然后通过一条或两条并联的离子交换管路进行净化处理, 每条管路均串联有一台阳离子交换器、一台混合床离子交换器和一个手动流量调节阀。处理过的排污水再通过一台过滤粒度为 25 μ m 的树脂捕集过滤器, 清除掉水中破碎树脂。

处理后的排污水通过凝汽器真空保护装置送到凝汽器。

在反应堆冷却剂系统向二回路泄漏之后的一台或多台蒸汽发生器的疏水情况下, 处理后的排污水不能回到凝汽器, 而排往废液排放系统。

在特殊情况下, 也允许排污水不经处理直接排放。有以下三种特殊情况:

- 处理设施失效;
- 凝汽器失效
- 排污水只有轻微放射性。

在处理设施失效的情况下, 排污水要进行连续的放射性监测, 然后再送到废液排放系统。

TTB 系统主要设备特性参见表 2-12。

(3) 系统运行

1) 正常运行

正常运行工况下，蒸汽发生器二次侧的排污是连续的，排污水经过再生热交换器冷却后，经过减压、除盐处理后进入冷凝器。排污流量控制在 10~73.5t/h 之间。不论系统排污流量有多大，系统两条除盐管线必须同时运行。

2) 特殊稳态运行

① 使用非再生热交换器

在再生热交换器不可用或是反应堆处于冷凝器和凝结水泵不可用的情况下，排污水经过非再生热交换器冷却，一般排污流量限制在 37t/h。

② 向常规岛废液排放系统的排放

当向凝汽器的排污循环不可用时，排污将引向常规岛废液排放系统的贮存罐，进行分析后向环境排放，或者输送到废液处理系统处理后由废液排放系统排放。

③ 特殊瞬态运行

— 蒸汽发生器的疏水

当热交换器或减压阀失效时，可用临时接管旁通失效设备进行疏水，也可利用重力疏水，还可经过安全壳隔离阀下游的支路进行疏水。

— 蒸汽发生器传热管断裂

当蒸汽发生器传热管断裂时，该蒸汽发生器必须切断给水供应，保持最大排污流量以便完全排空。

1.2.2.10 常规岛液态流出物排放系统 (WQB)

(1) 设计基准

本系统收集以下来源的废液，并将废液经混匀、取样分析、监测后有控制地向环境排放：

— 常规岛废液收集系统 (WLC) 的废液：冷凝器热阱的疏水、汽轮机厂房汽水回路的疏水和排气冷凝液、疏水回收池中收集的排水、冷凝液集水坑中收集的疏水。

— TTB 系统排放的液态流出物。

— 其它：如 WQB 泵房间(QB201)地坑内的废液。

— 在异常情况下，WQB 系统的贮槽在三个 ZLD 系统的排放槽充满时收集核岛排放的液态流出物。

当要求延迟排放，或当取样分析或辐射监测系统(IRM)监测到废液的放射性浓度超过允许排放限值时，可暂存废液；

将超过允许排放限值的废液输送至废液处理系统(ZLT)处理。

(2) 系统描述

本系统设置三个废液排放贮槽 WQB001/002/003BA，贮槽置于滞留池内，滞留池的容量大于三个贮槽同时溢出的废液量。三个贮槽中一个用于接收废液，一个用于废液的混匀、取样分析和监测排放，另一个用于备用。

每个贮槽配有一台排放泵 WQB001/002/003PO，用于在取样和分析之前搅拌槽内废液，也用于废液排放，或将废液送回废液处理系统（ZLT）重新处理。

地坑泵 WQB004PO 安装在泵房地坑 WQB001PS 内。地坑泵 WQB005PO 安装在滞留池地坑 WQB002PS 内。地坑泵将地坑内的水输送至贮槽。

各贮槽有一根共用的排放管及一根通往 ZLT 的旁路管，在排放管上装有一台辐射监测仪（IRM902MA）和受 IRM 控制的自动隔离阀、一个手动隔离阀、一个流量调节阀及一个累计流量计。

排放管上的 IRM 监测系统对贮槽废液有辅助监测作用，当排放废液的放射性浓度达到第一报警值 0.2MBq/m^3 时，IRM902MA 报警；当排放废液的放射性达到第二报警值 0.4MBq/m^3 时，排放阀启动关闭，排放停止。

常规岛液态流出物排放系统（WQB）主要设备特性参见表 2-13。

(3) 系统运行

正常运行时，三个 WQB 贮槽中的一个接收废液，一个混合、取样分析和监测排放废液，另一个备用。废液在贮槽内经充分混合使其成分均匀，取样分析后根据废液放射性浓度及环境稀释能力确定废液的排放流量。

排放管上的 IRM 监测系统对贮槽废液有辅助监测作用，如果排放废液的放射性浓度超过预定值，监测系统会发出警报并自动关闭隔离阀。

贮槽废液放射性浓度超过排放限值，废液被送回 ZLT 系统化学排水接收槽作再处理。

当 WQB 系统的贮槽不能接收废水时，ZLD 的备用贮槽将用于接收常规岛的废液。

1.2.2.11 放射性废液的排放源项

排入环境的放射性废液主要来自：

- 主回路冷却剂中的放射性浓度；
- 与液体放射性释放有关的电厂设备性能，特别是泄漏率和净化工序的去污因子等。

- 废液的输运、收集、滞留、处理期间的衰变。

液态放射性流出物排放源项分两种方法考虑:第一种方法假设整个循环中主冷却剂比活度都处于 0.1GBq/t I-131 当量下,这种方法的结果称为现实排放源项;第二种方法假设整个循环主冷却剂比活度都处于 4.44GBq/t I-131 当量下,这种方法的结果称为保守排放源项。

液态放射性流出物的排放途径主要来自于硼回收系统、废液处理系统和二回路相关系统。

1)硼回收系统

在整个燃料循环时间内(18 个月), 硼回收系统的设计废水量处理量为:

- 直接来自于主回路的量(未经 RCV 净化):2000t/a;
- 运行状态时经 RCV 净化的量:508.8t/a;
- 热停堆(8 小时左右启堆)过程中经 RCV 净化的量:360.5t/a;
- 热停堆(90 小时后启堆)过程中经 RCV 净化的量:565t/a;
- 冷停堆过程中经 RCV 净化的量:375.5t/a。

硼回收系统将主冷却剂除盐、蒸发后, 蒸馏液进入硼水补给系统后等待复用, 当需降低反应堆冷却剂中的氚浓度时, 硼回收系统会将蒸馏液排往废液排放系统中, 构成硼回收系统的排放。主冷却剂在硼回收系统中处理的最短时间为 5 天。化容系统的除盐器的去污因子为 10; 化容系统前置过滤器对腐蚀产物的去污因子为 50; 硼回收系统的前置除盐器的去污因子为 100, 硼回收系统蒸发器的去污因子为 1000, 故硼回收系统总的去污因子为 10000。考虑到除盐器对 Ag-110m 的去污效率较低, 其去污因子较其他核素低一个量级。

在排放源项的估算中, 保守的假定硼回收系统处理后得到的蒸馏液全部排往废液排放系统中。

2)废液处理系统

废液处理系统中废液的化学性质和放射性因废液来源的不同而存在差异。根据废液的化学性质和放射性的不同, 将废液分类为工艺排水、化学排水、地面排水和服务排水, 正常处理方式如下:

- 工艺排水经除盐装置(连续注入絮凝+离子交换)处理;
- 地面排水经过滤装置排放;
- 化学排水经蒸发装置处理;
- 服务排水一般不处理即排放。

单台机组经废液处理系统处理的总水量为 10000m³, 其中工艺排水为 2250m³, 其相对

比活度(相当于主冷却剂比活度份额)为 100%;化学排水为 1500m³,其相对比活度为 67%;地面排水为 5000m³,相对比活度为 0.1%;服务排水为 1250m³,其放射性可忽略。

排放源项的估算考虑了各处理装置前置贮槽的废液收集期间以及处理期间的滞留衰变效应。其中收集时间是根据 GB/T 13976-2008 给出的方法推算的。对各单元的处理时间,除盐装置约为 7h、蒸发装置约为 20h、过滤装置处理时间约为 2h。

除盐装置的去污因子为 10000,蒸发装置的去污因子为 1000,计算中不考虑过滤装置的去污因子。考虑到除盐器对 Ag-110m 的去污效率较低,其去污因子较其他核素低一个量级。

3)二回路相关系统

二回路中的放射性来源于蒸汽发生器内一次侧向二次侧泄漏。运行期间的汽轮机厂房疏水排放、换料或维修冷停堆期间蒸汽发生器内死水的排空,可能导致放射性物质进入环境。

在二回路液态放射性流出物估算中,假定存在常年泄漏和附加泄漏。三台蒸汽发生器在整年中均存在 1kg/h 的常年泄漏;假定在停堆前的两个月内发生附加泄漏,附加泄漏率由 0~72kg/h 线性增大。在现实工况下,只考虑 0.5kg/h 的常年泄漏。

蒸汽发生器二次侧的水或随蒸汽发生器排污系统处理后进入凝汽器成为补给水,或随蒸汽携带进入汽轮机厂房中。这里考虑排污系统处理总流量为 52.5t/h,其除盐器去污因子为 10;并考虑 78%的蒸汽在汽轮机厂房做功后进入凝汽器,经凝结后在凝结水精处理系统中处理(精处理系统对铯的去污因子为 2,对碘和其他核素的去污因子为 10),22%的蒸汽旁路入低压给水加热系统、给水除氧器系统、高压给水加热等系统中。

考虑到排污系统及精处理系统除盐器对 Ag-110m 的去污效率较低,其去污因子较其他核素低一个量级。

平衡循环氙的年排放量设计值中假定 90%经由液态途径排放,10%由气态途径排放。实际设计中出于保守的考虑,认为主冷却剂中产生的氙全部经液态途径排放,仍然考虑 10%由气态途径排放。主冷却剂中产生的 C-14 大部分以气态形式排放,少量以液态形式排放,依据法国电厂实际运行排放源项中的气、液比为 150:11。

(4)放射性液态流出物排放量设计值

核电厂每年总的液体释放量(除氙和 C-14 外)为硼回收系统、废液处理系统和二回路系统释放量之和。

放射性液态流出物排放量计算模式与技改前所用模式相同,放射性液态流出物排放量与下列参数有关:

- 一回路冷却剂中的放射性比活度；
- 相关系统的设备性能，例如泄漏率、去污因子等；
- 液态放射性流出物相关系统的运行参数，例如废液处理系统处理的一回路冷却剂的数量、排污量、贮存时间等。

上述参数中除了一回路冷却剂中核素的比活度，其余参数与技改前相同。

计算模式及参数见附录。

根据上述模式及参数，计算得到现实、保守两种情况下的放射性液态流出物排放量（详见表 2-14~15）。将两台机组的保守情况下的排放量之和作为两台机组的排放量设计值。

放射性液态流出物排放量在技改前后的设计值见下表。

放射性液态流出物排放量设计值汇总及技改前排放量设计值见下表。

液态流出物		氚 (Bq/a)	碳-14 (Bq/a)	其余核素 (Bq/a)
排放量 设计值	技改前	9.18E+13	5.62E+10	1.44E+10
	技改后	8.94E+13	5.24E+10	1.43E+10
GB6249-2011 控制值		3.00E+14	6.00E+11	2.00E+11

由上表可见，技改后，液态放射性流出物各类核素的年排放量设计值较技改前均有所降低，均能满足 GB6249-2011 的控制值要求由上表可见。

1.2.3 放射性废气管理系统及排放源项

福清核电站 5、6 号机组废气处理系统为两台机组共用，用于收集、贮存并处理两座反应堆正常运行工况和预计运行事件时产生的放射性废气，处理后经监测符合国家标准及核电厂管理规范要求后排入大气。放射性废气分为含氢放射性废气和含氧放射性废气两大类。

裂变过程产生的放射性气体主要是氦和氙的各种同位素。由于少量的燃料包壳破损，燃料包壳内存积的裂变气体进入反应堆冷却剂。在高压下裂变气体溶解于冷却剂中，但当系统内存在气相空间时，裂变气体就会释放出来，特别是在对堆冷却剂进行除气处理时，几乎所有的裂变气体都将随着溶解的氢气或氮气一起解吸出来，形成为含氢放射性废气，被收集到缓冲罐中。

含氧放射性废气（含空气废气）主要来自于核辅助系统，特别是三废处理系统中可能进入空气的各种贮槽设备的呼排气、吹扫气、鼓泡排气或抽气（保持负压）等，由核岛疏水排气系统集中收集在一根管路里，通过系统排气风机吸入废气处理系统（ZGT），经碘过滤器处理后排到核辅助厂房通风系统（HVAC）。含空气废气所含的放射性核素主要以气

溶胶的形式存在，含有分子碘和有机碘等。

放射性废气处理系统主要包括：

- 废气处理系统（ZGT）；
- 厂房通风系统（HVAC）；
- 主冷凝器真空系统（TTV）。

1.2.3.1 放射性废气处理系统（ZGT）

(1) 系统功能

废气处理系统（ZGT）的功能是对核电厂产生的放射性惰性气体，卤素和空气中的悬浮粒子进行收集和处理，以便将预期的气载流出物年释放量低于国家规定的限值，核电站工作人员在控制区和非控制区内的受照剂量降低到“可合理达到尽量低”的水平。

ZGT 系统不直接履行安全功能。但由于 ZGT 系统处理的废气带有放射性，尤其是含氢放射性废气，除辐照危害外还存在爆炸和引起火灾的危险性，故在进行 ZGT 系统的设计时，考虑了防止该气体向环境泄漏、安全防火、防爆和通风排气等问题，并将放射性气体进行贮存衰变，使放射性气态流出物的排放保持在可接受的限值内。

(2) 设计基准

废气处理系统（ZGT）的设计基准如下：

- ZGT 系统提供足够的处理能力，使放射性气载流出物的排放低于国家标准 GB6249—2011《核动力厂环境辐射防护规定》中规定的限值；
- ZGT 系统是按照中华人民共和国核安全法规中的有关规定进行设计，并且满足了国家标准 GB/T22158-2008《核电站防火设计规范》的要求；
- ZGT 系统要能在主要设备停运检修(单一故障)期间和产生过多废气量期间提供足够的处理能力，所以主要能动设备都考虑冗余:含氢废气子系统的含氢废气压缩机的容量为 2×100%；含氧废气子系统的电加热器、碘过滤器和风机的容量为 2×100%；
- ZGT 系统不执行核安全相关功能，但含氢废气子系统设计成安全 3 级，因为该子系统的故障可能会导致正常贮存衰变的放射性气体的释放；
- ZGT 系统通过调整衰变箱排气速率、安装氢气和氧气检测仪表防范系统内潜在的氢氧混合爆炸危险。整个含氢废气子系统都保持正压，并且整个子系统和每个主要设备都有严格的密封措施，以防止空气渗入形成爆炸性的混合气体；
- ZGT 系统为单堆布置。主要设备位于 NX 厂房内。

(3) 系统组成

ZGT 系统由含氢废气子系统和含氧废气子系统两个独立的子系统组成。

a) 含氢废气子系统

含氢废气主要是由氢气、氮气、衰变过程中产生的放射性惰性气体（例如 Xe, Kr）和碘等组成。

这类废气有如下两个来源：

1：来自装有反应堆冷却剂的容器，即反应堆冷却剂系统（RCS）的稳压器卸压箱、化学和容积控制系统（RCV）的容积控制箱和核岛疏水排气系统（RVD）的反应堆冷却剂疏水箱。这类气体流量大，但每月只有一、二次。

2：来自硼回收系统（ZBR）的除气单元。这类气体流量小，约 1.2m^3 （STP）/h，但排气次数较多。

该类废气进入本系统后采用压缩贮存、衰变的方法降低废气的放射性浓度。贮存期满后进行分析，如符合要求即可将废气排至 NX 厂房的通风系统（VNA），经由 VNA 系统的主排风（空气）稀释后排向烟囱。

含氢废气子系统的主要工艺设备参数，详见表 2-16。

b) 含氧废气子系统

含氧废气主要由空气、少量放射性碘及其同位素组成。

这类废气来自与大气相通的容器（并可能含有放射性气体），详见表 2-17。

该类废气由核岛疏水排气系统（RVD）收集于含氧废气母管中，进入本系统后经碘吸附器进行除碘处理后排至通风系统（VNA），经由 VNA 系统的主排风（空气）稀释后排向烟囱（不经贮存）。

含氧废气子系统的主要工艺设备参数详见表 2-17。

(4) 系统运行

a) 含氢废气子系统

含氢废气子系统运行前用氮气吹扫净化。

含氢废气由 RVD 系统收集至缓冲罐（ZGT001BA）。缓冲罐可对无规律的来气（不同压力和流量）进行调节稳定，从而向含氢废气压缩机提供平稳的气流，并分离废气中夹带的冷凝水。

正常运行时，含氢废气压缩机（ZGT001/002CO）可以根据缓冲罐上的压力测量装置的设定值，进行自动操作（启动或停运）：

①当缓冲罐压力上升达到 0.025MPa （表压）时，第一台含氢废气压缩机启动。

②如果缓冲罐压力继续上升到 0.03MPa(表压)时,第二台含氢废气压缩机自动启动。

③在含氢废气压缩机运行时,当缓冲罐内压力回落到 0.005MPa(表压)时,正在运行的压缩机停运。

压缩后的气体经由压缩气体冷却器(ZGT001/002RF)冷却后,送至衰变箱(ZGT002/003/004/005BA)。

衰变箱在进气、贮存衰变、排气时的阀门操作均由远传手动进行。

向大气排放气载流出物之前,要进行取样分析监测气载流出物的放射性浓度等与安全排放有关的参数,并且要检查 VNA 系统的运行工况和大气环境条件是否满足排放要求。只有当两个串联的远传阀门已经被手动打开时,才能控制排放阀进行气载流出物排放。

如果 VNA 系统碘吸附器出现故障,NX 厂房的烟囱放射性超过阈值,或者假如正在排放的衰变箱内的压力下降到 0.02MPa(表压)时,则自动停止排放。衰变箱内压力低于 0.02MPa(表压)时停止排放是为了防止外部空气进入衰变箱发生爆炸事故。

衰变箱与两套并联的排气管网相连,确保箱内废气在 5~84 个小时内以预定的流量排放到 NX 厂房 VNA 系统的碘吸附器入口管线。排放总管上安装了测量废气排放流量和累积流量的流量计。

在基本负荷运行工况下,含氢废气在衰变箱内有 60 天的贮存期;在废气量大而放射性浓度低的负荷跟踪运行工况下,贮存期为 45 天。

b) 含氧废气子系统

正常运行时,一台电加热器,一台碘吸附器和一台排气风机串联投入运行。当信号显示第一台风机停运后,第二台风机即自动启动(包括与之相关的电加热器和碘吸附器)。

含氧废气干管内的负压由止回式调节风门维持;一旦风机停运,该阀就自动关闭。

含氧废气以及经由调节风门引入的空气,可经电加热器加热,用以降低气体的相对湿度,以保护碘吸附器中活性炭的活性。

经过碘吸附器处理后的含氧废气,经 VNA 系统的主排风稀释后,排向 NX 厂房的烟囱。

1.2.3.2 厂房通风系统(HVAC)

核岛厂房通风系统(HVAC)对各厂房进行采暖、通风和空调,维持各厂房内的环境条件和一定的换气次数。根据需要,除了维持各厂房空气的温度、湿度以外,还对排风进行过滤和除碘处理,减少了气载放射性物质向大气环境的排放。HVAC 系统控制气流从较低污染区域流向较高污染区域,而且使各厂房内被污染的空气全部经监测过滤后,通过烟

囱排放。这样可以确保运行人员的健康、安全及设备的有效运行以及对排入大气环境的空气的净化。

(1) 系统设计

a) 主要系统

主要的通风系统如下:

—核燃料厂房:

- 核燃料厂房通风系统(VFL)

—安全厂房:

- 安全厂房机械设备区通风系统(VMO)

—核辅助厂房:

- 核辅助厂房通风系统(VNA)

—放射性废物厂房:

- 核废物厂房通风系统(VRW)

—反应堆厂房:

- 安全壳连续通风系统(CCV)
- 安全壳内空气净化系统(CUP)
- 安全壳大气监测系统(CAM)
- 安全壳换气通风系统(CSV)
- 环形空间通风系统(CAV)

通风设计中所用的最小换气次数是由以下受控区的类别确定的:

- 高污染的房间每小时换气次数为 4 次;
- 轻微污染的房间每小时换气次数为 2 次;
- 极轻微污染的房间每小时换气次数为 3 次;
- 非污染房间每小时换气次数为 0.5 次。

一些高度危险区的排风量计算依据如下:

- 设有电气蓄电池的房间每小时换气次数为 12 次。

c) 设计基准

在污染区内,空气要排出之前,正常的气流路线是从低潜在污染区依次流向高潜在污染区。

每个厂房的通风系统,敷设排风管路时,应使排风口尽可能远离新风进风口。

从潜在放射性污染区域排放的空气不能进行再循环。

没有污染的空气可以从屋顶或墙上的通风口排至室外大气中。

所有可能来自污染区的空气，在排放之前要进行监测，并通过烟囱排放至室外环境中。在厂外电源丧失时，所有与安全相关的能动部件(包括仪表)分别备有 1E 级的 AC 电源。有抗震要求的设备部件采取特殊措施，如支吊架、基座等。设备安装符合空间的可达性、运行和维修计划的要求。

(2) 系统组成

a 进风预过滤器

为送风气流中的大气除尘设置了预过滤器。这些过滤器的效率较低，但至少为 85%。

b.排风预过滤器

排风预过滤器设在高效过滤器(或 HEPA 过滤器)上游，用来收集气流中粗颗粒灰尘，以提高高效过滤器的使用寿命，这些过滤器效率至少为 85%。

c.高效过滤器

高效过滤器用来捕集气流中的细小颗粒灰尘。其效率至少为 95%。

d 高效粒子空气过滤器(HEPA)

高效粒子空气过滤器用来捕集气流中超细小的颗粒灰尘。这些过滤器净化系数至少为 3000。

过滤器是一次性的，由标准尺寸的单元构成。除非另有说明，过滤器介质使用玻璃纤维材料。单元过滤器放在碳钢涂漆的框架上或放在密封过滤小室(或箱体)中。

e.碘过滤器(碘吸附器)

碘过滤器用于不同的 HVAC 系统，用来吸附气流中气载放射性碘。这些过滤器吸附分子碘的净化系数至少为碘吸附器采用的是 5000。

碘吸附器采用的是 III 型碘吸附器，吸附介质是含 1 %KI 的活性炭。厂房通风系统的送、排风量见附表 2-18。

(3) 系统运行

a) 燃料厂房通风系统 (VFL)

正常运行期间，VFL 系统是连续运行的“直流”式全新风系统。

事故工况下，VFL 系统以小流量碘排风过滤系统方式运行。在燃料装卸事故时，小流量排风与乏燃料水池大厅通风相连接。LOCA 时，小流量排风与-5.30m 以下房间的通风相连接。

在机组所有运行模式下，为了维持适当的环境，当任一风机或自动隔离阀出现单一能动故障时，系统的设计都能保持其功能。事故工况下使用的小流量排风子系统，设有应急

电源。

VFL 系统由主控制室远距离控制。

正常排风子系统：

排风机组包括两台 100%容量并联的机组，每个机组包括：

- 两台预过滤器：（过滤效率：85%）
- 两台高效空气粒子过滤器：（净化系数>3000）
- 两个阻塞补偿阀
- 两台 100%容量并联的排风机，装有止回阀。
- 一支通向烟囱的排风管，配有两个冗余设置的快速关闭的隔离阀，在事故时把系统与室外隔离。

低流量排风子系统

本机组与正常排风子系统的排风管道相连接，并接至烟囱。

本机组包括：

- 两台 100%容量的电加热器；
- 一个密闭调节阀；
- 一组高效空气粒子过滤器
- 一台碘吸附器；
- 两台 100%容量的风机，配有止回阀。

b) 安全注入和安全壳喷淋泵电机房通风系统（VMO）

VMO 系统是“直流”式全新风系统，对安全注入和安全壳喷淋泵电机房进行通风。

VMO 系统的设计是为了在设备维修和定期试验时，保持适当的环境条件，并保持电动机房的压力稍高于相应泵房的压力，以防电动机房被污染。即：

- 防止放射性产物释放到电动机房；
- 在安全壳喷淋系统和安注系统运行期间，允许维修人员进入；
- 保持 REB 系统设备间的环境条件。

接到安注指令时，正常送、排风系统停运，低流量排风分系统启动，保证相应区域负压，防止放射性物质外泄。排风经碘过滤机组排至烟囱。

VMO 系统的组成如下：

- 两台并联连接的 50%容量的空气处理机组(过滤器、冷却盘管、送风机)，配有止回阀；
- 两台并联风过滤器(预过滤器、高效粒子过滤器)；

- 三台循环冷却机组(冷却盘管、送风机);
- 两台并联连接的 50% 容量的排风机, 配有止回阀;
- 送、排风管道;
- 防火阀。

事故情况下运行的低流量排风分系统:

- 两台管道电加热器;
- 一组 100% 容量排风过滤器管线(高效粒子过滤器+碘吸附器);
- 两台并联的 100% 容量排风机;

c) 核辅助厂房通风系统 (VNA)

VNA 系统为直流式通风系统, 连续运行, 设计成能完成如下任务:

—反应堆正常运行期间, 维持核辅助厂房放射性区域的室内温度在规定的范围内以满足设备运行或工作人员的健康要求;

- 按辐射防护分级, 限制房间中的气溶胶放射性水平, 以便人员进入;
- 控制空气从潜在低污染区流向潜在高污染区;
- 减少释放到大气环境中的放射性污染物的浓度;

—当机组运行时, 维持厂房内的压力略低于大气压力, 以控制厂房中的放射性气溶胶泄漏最少, 并保证通过烟囱排放;

- 当冷停堆时, 确保安全壳换气通风系统(CSV)所需要的风量及过滤要求;
- 在厂房火灾的情况下, 从核辅助厂房的电气房间排烟;

房间的空气流量是根据设备和照明的散热量或用最少的换气次数计算而得。

VNA 系统由送风机组、无碘污染房间的排风机组(称“正常排风”)、潜在碘污染房间的排风机组(称“碘排风”)、排烟环路、送风管道和排风管道及烟囱组成。

1) 正常排风机组

正常排风机组由以下部件组成:

- 四台并联的预过滤器(过滤效率:85%);
- 四台并联的高效粒子空气过滤器(净化系数>3000) ;
- 四台 50% 冗余设置的风机, 并联连接, 并配置逆止阀(二用二备);
- 配有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管道;
- 一组末端加热盘管和冷却盘。

2) 碘排风机组

二套容量为 100% 的冗余机组, 并联连接, 每个机组的组成如下:

- 二台电加热器；
- 一台预过滤器(过滤效率:85%)；
- 一台高效粒子空气过滤器(净化系数>3000)；
- 一台碘吸附器(净化系数>5000)；
- 一台配有逆止阀的风机；
- 带有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管道。

当排除不含碘的气体时，可由旁通管跨越碘吸附器运行。

3)排烟环路

排烟环路的组成:

- 过滤器机组[预过滤器(过滤效率:85%) and 高效粒子空气过滤器(净化系数>3000)];
- 二台 100%容量并联连接的风机，并配置逆止阀；
- 从电气房间和阻火器来的排烟的管道。

4)排风烟囱

排风烟囱固定在反应堆厂房上，烟囱的顶标高为 76.53m，高出反应堆厂房 3m。

在烟囱中设有一个监测放射性气体和记录废气排放水平的系统。

5)特殊措施

在没有跟踪加热的输送硼酸的设备间安装了电散热器和电加热器，以防止发生任何结晶的可能。

在固体废物处理系统(ZST)排风管出口处的预过滤器，是用来截留固体废物装桶系统运行时所产生的水泥粉尘。

d) 环形空间通风系统(CAV)

除了冷停堆期间，CAV 系统是连续运行的。保证内外壳之间的空间(环行空间)的负压，保证来自内层安全壳内部的空气在排放前经过过滤，避免被污染的空气直接流向环境。

在事故后所有运行模式期间，为减少释放到周围环境中的放射性，用于事故工况的碘排风子系统，设计成在任一部件单一故障时，仍能保持其功能，并接有应急电源。

CAV 系统组成如下:

- 带有隔离阀和防火阀的排风管:
- 一个正常排风子系统；
- 两个碘排风子系统；
- 一条气密性风管连接到核辅助厂房通风烟囱。

CAV 包括以下两个子系统:

1)正常排风子系统由一台预过滤器(过滤效率:85%)、一台高效粒子过滤器(净化系数>3000)和配有逆止阀的排风机组成。

2)两个碘排风子系统的组成均包括:

——一台电加热器;

——一台预过滤器(过滤效率:85%);

——一台高效粒子过滤器(净化系数>3000);

——一台碘吸附器(净化系数(对分子碘)> 5000);

——一台 100%容量并联的排风机,并配有逆止阀。

e)安全壳连续通风系统(CCV)

反应堆正常运行时,需要由 CCV 系统冷却安全壳设备。

除设有独立通风的堆坑和控制棒驱动机构的热负荷外(见 CPV 和 RRV 系统),CCV 系统所考虑热负荷主要来自反应堆厂房内的设备。为使混凝土内应力低于容许极限,混凝土的内外温差不得超过 40℃。在反应堆厂房内,CCV 系统作为一个再循环系统运行。

f)安全壳内空气净化系统(CUP)

安全壳内空气净化系统的设计,考虑了反应堆厂房内部发生放射性污染时,要减少空气中放射性污染浓度,以便工作人员在一定时间范围内有可能进入。

CUP 系统取用 CCV 系统的部分空气,经绝对过滤器和碘吸附器进行净化来确保其功能。为了防止 CUP 绝对过滤器过早阻塞,空气吸自 CCV 送风干管,使其能利用安全壳连续通风系统(CCV)的预过滤器。只有在污染情况下,工作人员进入安全壳之前或进入期间才启动 CUP 系统。为维修人员提供保证安全工作的条件。

CUP 系统从控制室手动操作。

CUP 系统由安装在混凝土小室内的净化机组和混凝土小室外两台循环风机组成。

CUP 净化系统组成如下:

——一个手动平衡阀;

——一个电动隔离阀;

——一台电加热器;

——一台高效空气粒子过滤器;

——一台碘吸附器;

——两个防火阀(安装在碘吸附器上下游);

——两个并联的手动隔离阀;

——两台并联设置容量为 100%冗余配置的风机;

—两个并联的止回阀；

—一个电动隔离阀。

两台并联设置容量为 100% 冗余配置的风机。每台风机后装有止回阀，风机前装有隔离阀。当 CUP 系统运行时，两台风机中一台运行，一台备用。

g) 安全壳大气监测系统(CAM)

CAM 系统由以下四个子系统组成：

1)混合和取样子系统设计成在 LOCA 后作为安全壳大气的循环系统运行。

2)小扫气子系统是直流系统，在反应堆正常运行期间，它确保安全壳大气的净化，使排风经过绝对过滤器和碘吸附器的过滤。其功能为：

—降低安全壳内空气放射性水平；

—在反应堆启动和正常运行期间，根据安全壳内空气压力的变化，维持安全壳内外压差的最大值 60mbar。

—安全壳密封试验后，当相对压力低于 0.01 MPa 时，进行安全壳排气。

3)泄漏试验子系统使用压缩空气系统(WAS)的空气给安全壳加压。

4)安全壳大气监测子系统。本系统能够完成下述功能：

—监测安全壳大气的温度和压力。

—用 IRM(辐射防护监测系统)辐射监测设备监测安全壳的空气放射性污染水平。

h) 安全壳换气通风系统(CSV)

每个机组的反应堆厂房中，CSV 系统设计成：

—在冷停堆期间，为在反应堆厂房内工作的维修人员提供能承受的环境温度。

—减少反应堆厂房中裂变气体产物的浓度，以便在冷停堆期间尽可能快地允许工作人员持续进入。

—机组停运期间，维持疏水含氧废气罐(RVD 002 BA)处在轻微负压状态下。

CSV 系统是按直流通风系统的运行模式来完成上述功能的。从反应堆厂房排出的空气经过核辅助厂房通风系统(VNA)排至烟囱后向大气排放。

1.2.3.4 放射性废气的排放

气载放射性流出物主要来源于主冷却剂脱气(含氢废气)和各厂房的通风排放(含氧废气)，具体为：

—废气处理系统；

—反应堆厂房通风；

—辅助厂房通风；

- 核废物厂房通风；
- 燃料厂房通风；
- 二回路相关系统的排放。

气载放射性流出物排放源项也分现实排放源项和保守排放源项两种方法考虑，计算中使用主冷却剂比活度的假设与液态同。

1)废气处理系统

废气处理系统的大部分活度来源于主冷却剂在硼回收系统脱气而产生的含氢废气。废气处理系统将含氢废气压缩、衰变后排放。

主冷却剂在硼回收系统的脱气考虑了对直接来自主回路(不经 RCV 处理)的主冷却剂、功率运行期间经 RCV 处理的主冷却剂、热停堆(8 小时启堆和 90 小时启堆)过程中处理的主冷却剂、冷停堆过程中处理的主冷却剂的脱气，并考虑了冷停堆期间一回路全部主冷却剂经脱气塔的脱气。

对气载碘，考虑了脱气塔的汽水分配因子(10^{-3})，并考虑化容系统的去污因子(10)以及硼回收系统前置除盐器对碘的去污因子(100)。

考虑衰变箱的充满时间为 30d，贮存衰变时间为 60d。

对废气处理系统排放的气载粒子，是根据 GB/T 13976-2008 给出的模式和参数估算的。

2)反应堆厂房通风排放

安全壳内空气中的放射性来源于主冷却剂在安全壳厂房的泄漏。为维持安全壳内的压力，或降低安全壳大气中惰性气体、氙的放射性，需不定期启动安全壳大气监测系统进行小风量清洗(小扫气)，将部分壳内空气排往环境中，空气在排放前经过高效粒子过滤器和碘吸附器的净化。反应堆厂房中反应堆冷却剂的泄漏估计为 66kg/h，泄漏的碘的分配因子取 10^{-3} 。小扫气流量为 1800m³/h，每年运行 280h。

安全壳环形空间通风系统是华龙一号机组新增的系统，该系统使安全壳环形空间始终处于负压状态，这样可保证从内侧安全壳经贯穿件泄漏的气体进入环形空间，经高效过滤器过滤后排放。这里考虑运行期间向夹层空间的泄漏率为 6.1m³/h。

在停堆前，为保证工作人员安全进入安全壳内，需将进行壳内空气换气(大扫气)，排出的空气进入辅助厂房通风系统中，经高效粒子过滤器过滤后排放。

对反应堆厂房排放的气载粒子，根据 GB/T 13976-2008 给出的模式和参数估算的。

3)辅助厂房的通风排放

辅助厂房中直接处理主冷却剂的系统为化容系统。下泄流在化容系统中经降温降压(<60℃)后进入除盐器中(对碘的去污因子考虑为 10)，处理后的主冷却剂又经升温升压作为

上充流返回一回路中，在这些过程中都可能发生泄漏。

在核辅助厂房中反应堆冷却剂的泄漏率为：

—冷泄漏，31 kg/h；

—热泄漏，2kg/h。

泄漏的主冷却剂全部惰性气体、部分碘进入辅助厂房空气中，对热泄漏(>60℃)中的碘，汽水分配因子取 10^{-3} ；对于冷泄漏的碘，汽水分配因子取 10^{-4} 。

对辅助厂房排放的气载粒子，是根据 GB/T 13976-2008 给出的模式和参数估算的。

4)燃料厂房的排放

目前并没有成熟模式估算燃料厂房的通风排放，对燃料厂房排放源项的计算是根据 GB/T 13976-2008 给出的数据估算的。这里考虑运行期间燃料厂房碘排放与主冷却剂比活度的归一值为 0.038 (GBq/a)/(GBq/t)，停堆期间为 0.093 (GBq/a)/(GBq/t)。

5)二回路相关系统的排放

二回路的气载放射性流出物排放主要包括随汽轮机厂房的蒸汽泄漏和凝汽器真空系统排放的不凝性气体。

蒸汽发生器一次侧向二次侧泄漏构成了二回路的放射性来源，放射性物质随蒸汽进入汽轮机厂房后，部分蒸汽泄漏入环境中。蒸汽在做功后进入凝汽器中冷凝成水，不凝性气体经凝汽器真空系统抽走并排放。

汽轮机厂房的蒸汽泄漏是根据 GB/T 13976-2008 给出的参数估算的。对凝汽器真空系统，考虑对碘的气水分配因子为 10^{-3} 。

二回路相关系统气态流出物估算的其他假定与液态相同。

根据设计运行模式，针对以下两种运行工况和源项来考虑：

— 包括预期运行事件并允许计算在电站寿命期内的平均释放的水平的正常运行的工况 (Case A)，这里称为“预期值”。

— 反应堆在冷却剂最大活度下运行的工况 (Case B)，该活度可以用于计算相关释放的水平，这里称为“设计值”。

计算得到现实、保守两种情况下的放射性气载流出物排放量，分别见表 2-19~20。将两台机组保守情况下的年排放量之和作为两台机组的年排放量设计值。

放射性气载流出物排放量设计值汇总及技改前后排放量设计值对比见下表。

气载流出物		惰性气体 (Bq/a)	碘 (Bq/a)	粒子(半衰期 ≥8d) (Bq/a)	碳-14 (Bq/a)	氚 (Bq/a)
排放量 设计值	技改前	1.28E+14	1.22E+09	1.87E+08	7.68E+11	9.18E+12
	技改后	1.23E+14	1.18E+09	1.87E+08	7.14E+11	9.94E+12
GB6249-2011 控制值		2.40E+15	8.00E+10	2.00E+11	2.80E+12	6.00E+13

由上表可见，除氚之外，各种类型核素的排放量均比技改前有所减少，氚也仅增加了8.28%。数据差异一方面是由于技改造成的，同时也有计算方法差异所造成的影响。由上表可见，技改后，气载放射性流出物各类核素的年排放量设计值均满足 GB6249-2011 的控制值要求。

1.2.4 放射性固体废物管理系统及废物量

固体废物处理系统（ZST），是为核电厂运行和维修时所产生的放射性废物在处置之前提供收集、暂存、固化(固定)、压实、包装和临时贮存而设计的。ZST系统由位于核辅助厂房(NX)内部分、核废物厂房（QX）内部分、废物处理辅助厂房(Qs)和放射性固体废物暂存库(QT)组成。

NX厂房内ZST系统设备每台机组一套，用于收集和暂存NX厂房产生的废树脂和废过滤器芯。废树脂和废过滤器芯用屏蔽运输车送到QX厂房处理。QX厂房内ZST系统设备为两台机组共用，用于对湿废物(浓缩液、废树脂、废活性炭和废过滤器芯)进行处理后封装入400L钢桶内。

福建福清核电厂1、2号机组的QS厂房能够处理6台机组产生的干废物，本工程不再新建。福建福清核电厂1、2号机组QT库的库容按6台机组运行5年产生的废物量进行设计，本工程不再新建。

福建福清核电厂5、6号机组在运行和维修过程中产生的可燃不易爆的废油和废有机溶剂暂存在放射性废油暂存库(QR)中。

1.2.4.1 设计基准

固体废物处理系统（ZST）无安全功能，属非核安全级(NC)，设计基准如下：

— ZST 系统处理五种放射性废物：

- 废液处理系统(ZLT)蒸发器产生的浓缩液；
- 来自化学和容积控制系统（RCV）、硼回收系统(ZBR)、反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统(RFT)、废液处理系统(ZLT)和蒸汽发生器排污系统(TTB)除盐器产生的废树脂；

- 废液处理系统(ZLT)活性炭床产生的废活性炭；
- 来自化学和容积控制系统(RCV)、硼回收系统(ZBR)、反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统(RFT)、废液处理系统(ZLT)、反应堆硼和水补给系统 (RBM)、放射性废水回收系统(WSR)和蒸汽发生器排污系统(TTB)水过滤器的废过滤器芯；

- 核电厂各控制区产生的杂项干废物(包括抹布、塑料、纸、防护鞋套、口罩、手套、衣服等和废弃的设备零部件等)。

— 各种固体废物根据各自的性质进行处理，说明如下：

- 浓缩液收集到 QX 厂房的浓缩液贮槽中，然后送至 QX 厂房水泥固化线进行水泥固化处理；

- NX 厂房产生的废树脂收集在 NX 厂房的废树脂贮槽中，然后用屏蔽运输车送到 QX 厂房废树脂接收槽，随后送至 QX 厂房水泥固化线采用水泥固化处理。QX 厂房产生的废树脂直接收集在 QX 厂房的废树脂接收槽中，随后进行水泥固化处理；

- 正常情况下 TTB 系统的废树脂仅受轻微放射性污染，在 NX 厂房直接装入内衬有塑料薄膜的 200L 钢桶或原包装容器中。然后，送到固体废物暂存库贮存衰变，等待清洁解控。放射性水平异常的 TTB 废树脂收集在 NX 厂房的废树脂贮槽中。然后，送到 QX 厂房进行水泥固化处理；

- 废活性炭采用水泥固化工艺处理，在 QX 厂房用桶内批次混合器与水泥、添加剂和水混合均匀后装入 400L 钢桶；

- 表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 放射性废过滤器芯装入 400L 钢桶内。然后，在 QX 厂房用水泥浆(湿混料)固定；表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯装入 200L 钢桶送到福建福清核电厂 1、2 号机组的 QS 厂房，进行烘干、超级压实和水泥固定处理；

- 通风系统的废过滤器芯一般仅受轻微放射性污染，装入塑料袋送到固体废物暂存库进行贮存衰变，等待清洁解控；

- 本工程将采用可降解的一次性聚乙烯醇(PVA)防护用品代替传统棉质、纸质和塑料防护用品，可压实干废物产生量降低到运行核电厂的 1/3。穿用后的可降解防护用品送到可降解废物处理装置，处理后形成可以排放的废液和少量二次废物。

二次废物采用超级压实和水泥固定处理；

- 杂项干废物用专用运输车运送到福建福清核电厂 1、2 号机组的 QS 厂房，分成可压实杂项干废物、潮湿的可压实杂项干废物、可直接超级压实废物和不可压实废物四类进行处理:杂项干废物-分拣-烘干(必要时)-初级压实(必要时)-超级压实-水泥固定-400L 钢桶封盖-表面剂量率和表面污染检测-在 QS 厂房养护-送 QT 库暂存；

- 为了减少操作人员所受辐射照射，ZST 系统在就地控制室进行监测和控制；
- 常压贮槽考虑了足够的排气和溢流能力，以防贮槽出现超压或负压。浓缩液贮槽和贮槽的设备间设有滞留堰，以防止贮槽破损时废物外流；

固体废物处理系统主要设备参数见表 2-21 ；

每台机组每年待处理废物的体积及每年输出桶的平均值见表 2-22。

— 废物包暂存:

- 固体废物处理后产生的废物包送到福建福清核电厂 1、2 号机组的 QT 库暂存。QT 库的废物贮存区包括“贮存室”、“废物桶贮存区”和极低放废物贮存部分。“贮存室”用于贮存表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的 400L 废物桶；“废物桶贮存区”，用于贮存表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的 400L 废物钢桶；极低放废物贮存部分贮存 TTB 废树脂桶、轻微污染的大尺寸废物和通风废过滤器芯；

- 贮存的放射性废物贮存一定年限后，转运到低、中放固体废物处置场进行处置；
- 极低放废物储存部分中符合 GB/T28178-2011 规定的送规定地点填埋处置。

1.2.4.2 系统组成

废树脂和废过滤器芯主要收集在 NX 厂房，固体废物处理过程在 QX 厂房和 QS 厂房内进行，处理后产生的钢桶废物包运至 QT 库暂存。

1)位于核辅助厂房(NX)中的设备

废物处理站位于核辅助厂房(NX)内部，用于将 NX 厂房产生的废树脂和废过滤器芯收集后送到 QX 厂房处理，当废过滤器芯表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 时将其送到 QS 厂房处理。

废树脂收集和运输设备

ZST 系统在 NX 厂房设有两个废树脂贮槽(ZST002BA、003 BA)，接收和暂存从 RCV、ZBR 和 RFT 系统送来的废树脂。贮槽设有除盐水和压缩空气入口，来自核岛除盐水分配系统(WND)的除盐水和来自公用压缩空气分配系统(WAS)的压缩空气用于废树脂的松动，贮槽上部设有溢流管。

在废树脂贮槽 ZST002BA 和 ZST003BA 设备间，设置电厂辐射监测系统(2 个通道)测量废树脂贮槽的辐射剂量率。

在 TTB 系统除盐器下游设有一个移动式 TTB 废树脂贮槽(ZST004BA)，正常情况下，TTB 系统产生的废树脂仅受轻微放射性污染，可将其通过临时软管用水力输送进入 ZST004BA。贮槽边进树脂边通过容器下部的排水管排水，接收结束后，再经过一段时间，沥出所有表面水分后，将排完水的废树脂用真空装桶设备装入内衬有塑料薄膜的 200L 钢桶中或原包装容器中，送到 QT 库贮存衰变。若废树脂经衰变达到 GB27742-2011《可免

于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》规定的清洁解控水平和《放射性废物分类》(公告 2017 年第 65 号)豁免与解控的相关要求后,经审管部门批准,可作为非放废物处理:在异常情况下,TTB 系统产生的废树脂排至废树脂贮槽(ZST002BA 或 ZST003BA),通过排入屏蔽运输车的运输容器内再运送到 QX 厂房,采用桶内水泥固化处理后装在 400L 钢桶中。

相关系统冲排除盐器废树脂的水、冲洗废树脂输送管道的水、冲洗贮槽和计量槽的水以及反冲滤网的水均经核岛疏水排气系统(RVD)送往 ZLT 系统处理。贮槽内的废气由 RVD 系统收集。

废树脂贮槽(ZST002BA, 003BA)中的废树脂在 NX 厂房装入屏蔽运输槽车,运送到 QX 厂房并卸到废树脂接收槽中,等待后续进行桶内水泥固化处理。

从 NX 厂房向 QX 厂运送废树脂的废树脂运输槽车在德国卡尔斯鲁厄研究中心有着几十年的运输经验,证明是安全可靠的。屏蔽运输槽车采用双球阀结构的干式快速接头,确保软管和快速接头无泄漏;软管和快速接头在断开前用除盐水进行冲洗,确保软管和快速接头中无废树脂残留;这些措施保证了废树脂通过软管输送过程中无放射性物质泄漏。运输车的屏蔽运输容器由内箱体和外箱体构成,外箱体包括屏蔽加强的保护框架、接口箱和控制系统,内箱体由屏蔽箱和屏蔽箱内的奥氏体不锈钢的双层容器组成,双层容器配有搅拌装置、液位仪表和泄漏探测系统。

屏蔽运输槽车接收废树脂时,软管和快速接头都位于控制区内,软管和快速接头的结构确保输送和断开时不会发生滴漏,万一软管发生破裂或泄漏时,放射性物质收集在控制区,不会污染非控制区和厂房外的空间。废树脂运输时,运输槽车的泄漏探测系统和液位探测系统能够确保运输过程中无放射性物质泄漏,并且废树脂运输槽车将在厂内专门路线运输,并设置警告标识,其他人员未经允许不得靠近,从管理上确保废物运输安全。运输槽车的屏蔽能够使运输槽车的外表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$,能够有效控制工作人员在废物接收和运输时受到的剂量。

2)废过滤器芯更换和运输设备

废过滤器芯更换转运容器用于远距离更换和转运废过滤器芯。容器用铅作为屏蔽层(故又称铅容器或铅罐),外有不锈钢外壳,并设有一套定位装置、与过滤器芯运输通道连接的滑动底板和升降装置。

废过滤器芯从 NX 厂房(RCV, ZBR, RFT 和 TTB 系统)过滤器室的上部取出。利用吊车将废过滤器芯更换转运容器吊至废过滤器芯输送通道上。废过滤器芯输送通道的下端设有一个阀门,上端设有一个供过滤器芯更换转运容器连接的定位底座。废过滤器芯更换转

运容器的升降装置将废过滤器芯经输送通道放入带有废过滤器芯定位支架的 400L 钢桶中。

表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯用带有锁紧装置的屏蔽运输容器的专用运输车送到 QX 厂房的湿废物处理量装置进行水泥固定；表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯送到 QS 厂房进行烘干、超级压实和水泥固定。

3)位于核废物厂房(QX)中的设备

固体废物处理系统位于核废物厂房内的部分用于进行浓缩液、废树脂、废活性炭及废过滤器芯的处理。

a)湿废物接收设备

ZLT 系统蒸发器产生的蒸发浓缩液由浓缩液贮槽接收。为防止浓缩液在槽内产生结晶沉淀，贮槽设有两组电加热器及一个搅拌器。一台测量仪用于测量贮槽浓缩液贮槽的剂量率。

ZLT 系统产生的废树脂用管道输送到 QX 厂房的废树脂接收槽等待处理。废树脂接收槽设有除盐水和压缩空气入口，用除盐水和压缩空气松动废树脂，贮槽上部设有溢流管。QX 厂房内设有废树脂辅助运输设备用以接收 NX 厂房的废树脂，先将废树脂利用卸载至废树脂中间罐(7ZST750BA)，然后利用树脂输送泵(7ZST750PO)将废树脂和水的混合物泵送到废树脂接收槽(7ZST101BA)。

ZLT 系统产生的废活性炭用管道送到 QX 厂房的废活性炭收集槽待水泥固化处理。废活性炭接收槽设有除盐水和压缩空气入口，用除盐水和压缩空气松动废活性炭，贮槽上部设有溢流管。

废过滤器芯从 QX 厂房(ZLT 系统)过滤器室的上部取出。利用吊车将废过滤器芯更换转运容器吊至废过滤器芯输送通道上。废过滤器芯输送通道的下端设有一个阀门，上端设有一个供过滤器芯更换转运容器连接的定位底座。废过滤器芯更换转运容器的升降装置将废过滤器芯经输送通道放入带有废过滤器芯定位支架的 400L 钢桶中。表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯在 QX 厂房水泥固定；表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯送到 QS 厂房处理。

b)湿废物处理-水泥固化装置

水泥固化装置用来将湿废物装桶并处理。根据废物的特性，采取下列不同方法处理：

- 浓缩液、废树脂和活性炭分别和水泥及添加剂固化在 400L 钢桶内；
- 外表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯子用水、水泥和添加剂制成的湿混料固定在 400L 钢桶内。

- 外表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 杂项干废物在 QX 厂房水泥固化装置进行水泥固定。

水泥固化装置主要包括五个工作站：

1 站-容器进出站

本站设备包括转运车(7ZST301CX)和屏蔽 A 门。本站设有空的及装有废物的 400L 钢桶及其屏蔽容器装卸区,所有容器都在本站通过运输装置上的小车进出空气闸门间,已盛装废物的 400L 钢桶在这里暂存,然后送到 QT 库。本站设有一台用于吊运 400L 钢桶或装有 400L 钢桶的屏蔽容器的起重机。

2 站-空气闸门间

本站设备包括废物桶剂量率和桶表面检测装置、起重机、吊装 400L 钢桶和屏蔽运输容器盖子的抓具、屏蔽 B 门。为防止放射性气溶胶扩散并保持装桶区负压,在装桶走廊与外界之间设有两道门(屏蔽门 A 和屏蔽门 B)组成了一个空气闸门间。空气闸门间内设置的运输装置的起重机与运输装置的辊道一起完成 400L 钢桶的转运。运输车 and 输送装置均采用远距离控制。空气闸门间内的吊具可装卸 400L 钢桶屏蔽容器的盖子。2 站内设有表面剂量率及桶表面污染检测装置,外表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的桶需装入屏蔽容器后再运往 1 站。

从核辅助厂房运送来的废过滤器芯已经装入 400L 钢桶并封盖,通过 2 站的起重机从 1 站和 2 站之间带有屏蔽塞的孔洞吊装到水泥固化装置的辊道上,进行水泥固定处理。

3 站-400L 钢桶取/封盖

本站设有一套 400L 钢桶自动取封盖装置和振动台。取封盖装置应能对 400L 钢桶的桶盖进行缓存,取封盖装置能够自动定位和在控制室远距离控制。振动台用于使 400L 钢桶内的水泥浆均匀、密实。

4 站-灌浆站

本站包括湿料加注工位、桶内搅拌工位、水泥浆制备等设备。本站用于将湿废物、水泥、添加剂和水计量后装入 400L 钢桶通过桶内搅拌进行水泥固化,废过滤器芯在本站进行水泥固定。

本站分为湿料加注工位和桶内搅拌工位两部分。湿料加注工位用于向 400L 钢桶内加入计量好的废树脂、浓缩液、废活性炭或水泥固定用水泥浆,包括湿料加注保护罩和配套的辊道等,上游设备包括浓缩液计量装置、废树脂计量装置、减水剂计量装置和水泥浆制备装置等;桶内搅拌工位用于向装有浓缩液、废树脂、废活性炭的 400L 钢桶内加入石灰和水泥、并用桶内搅拌混合器搅拌均匀,包括桶内搅拌混合器和配套的辊道等,上游设备包括石灰计量设备、水泥计量设备和水泥输送设备等。

进行湿废物水泥固化时,在湿料加注工位先将经过计量装置计量的废树脂、浓缩液或废活性炭的混合物加入 400L 钢桶,然后加入减水剂,随后将 400L 钢桶移动至桶内搅拌工位并加入生石灰。将混合器桨叶降入 400L 钢桶,启动混合器搅拌一段时间完成湿废物预

处理，再不断加入水泥直到搅拌均匀。

固定废过滤器芯时，用水泥浆制备装置制成的水泥浆通过管道注入到从 5 站或 2 站运来的装有废过滤器芯的 400L 钢桶中。

5 站-废过滤器芯装桶站

本站包括一段废过滤器芯下降通道和一台隔离阀。当过滤器芯更换转运容器在废过滤器芯输送通道上就位后，将 QX 厂房 ZLT 系统产生的废过滤器芯经下降通道装入位于本站的 400L 钢桶内，然后把钢桶运往 4 站，注入水泥浆进行固定。

在废物处理、输送、冲洗等过程中产生的废液由 RVD 系统收集后送到 ZLT 系统处理。

各装桶站的操作作用设在控制间的监视器、摄像机控制系统和设在装桶站各处摄像机组成的视频监视系统监视并使用计算机在 ZST 控制室进行远距离控制，为避免误操作或设备误动作造成放射性物质无控制释放，在装桶站操作控制程序中包括了一系列联锁保护措施。

放射性物料装桶时能保证将装桶站的防护门闭锁，措施如下：

— 操作控制是联锁的，即输送装置(ZST301 CX)从 2 站出发经屏蔽门 B 输送到 3 站之后，要把屏蔽门 B 关闭，如屏蔽门 B 不能关闭，则后面的一切操作全部不能进行；

— 屏蔽门 A 和屏蔽门 B 都有手动驱动装置，能手动打开或关闭。

在失去动力源时，主要装卸动作不能进行，固化操作停止，但不会产生安全问题，偶尔停电，对正在操作的桶内产品质量可能产生影响，但不会对环境及人身安全产生影响。发生该情况的几率是很小的。

400L 钢桶废物包外表面剂量率和表面污染在空气闸门间测量。水泥固化装置采用了桶内混合器，装填工位和混合工位的定位环与顶升装置能够保证从废物的输送、加料、搅拌、放料过程均在相对密闭的条件下进行，避免了放射性气溶胶等放射性物质对废物桶外表面的污染；并且在水泥固化过程中可以用摄像头进行全程监视，只要没有观察到水泥浆溢出桶外，就不会发生表面污染。

400L 钢桶废物包特性(核素成分及活度、重量和表面污染水平)在 QT 库测量。

4)位于 QS 厂房中的设备

本工程与福建福清核电厂 1、2 号机组共用 QS 厂房，该 QS 厂房具有处理 6 台机组产生的杂项干废物的能力。QS 厂房内主要装有下列设备：

两桶干燥器；

分拣手套箱；

初级压实机和超级压实机；

混合配料设备；

桶、容器和料斗运输用起重机和车辆；

液压剪切机；

水泥灌浆固定装置。

QS 厂房按功能分为下述几部分：

a) 干废物的分拣、烘干干燥处理、压实和装桶

将由各系统收集、分检的被放射性污染的杂项干废物分为可压实干废物、浸湿的可压实干废物、可直接超级压实废物和不可压实废物四类，分别处理：

- 浸湿的可压实干废物先装入 200L 钢桶，用两桶干燥器烘干进行干燥处理，然后作为可压实干废物处理：

- 可压实杂项干废物用初级压实机压入 200L 钢桶，再经超级压实机压成饼状后装入 400L 钢桶。为了避免粉尘扩散，将压实机与废物处理辅助厂房通风系统(DVQ)的吸气管嘴相连，在压实装桶过程中产生的低放气溶胶由 DVQ 系统过滤后排出：

- 表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯在 QS 厂房，用两桶干燥器先进行烘干干燥处理，然后作为可直接超级压实废物处理；

- 可直接超级压实废物装入 200L 钢桶进行超级压实和水泥固定处理：

- 不可压实废物装入 400L 钢桶进行水泥固定处理。

b) 水泥灌浆固定

装有超级压实形成的废物饼或不可压实废物的 400L 钢桶需要进行水泥灌浆固定，水泥、添加剂和水混合后形成水泥浆，在 400L 钢桶加入一定量的水泥浆并震动密实，封盖后送到钢桶废物包暂存区存放，养护后送到 QT 库。

水泥固定废物体满足 EJ 1186-2005《放射性废物体和废物包的特性鉴定》的要求。

400L 钢桶符合 EJ1042-2014《低、中水平放射性固体废物包装容器 钢桶》的相关要求。

空金属桶贮存

空的 200L/400L 金属桶贮存在本厂房内，用起重机和叉车搬运。

5) 位于 QT 库中的设备

福建福清核电厂一期工程的放射性固体废物暂存库(QT)用于暂存福建福清核电厂 1~6 号机组在运行中产生的装有水泥固化和固定废物的 400L 钢桶废物包、轻微污染设备、通风过滤器芯以及轻微污染的 TTB 废树脂。贮存的低、中水平放射性废物最终转运到低、中水平放射性固体废物处置场处置。QT 厂房的废物包贮存部分设有钢桶内核素检测装置，

用于检测各废物桶内的核素。

福建福清核电厂一期工程的 QT 库建筑物设计使用寿命为五十年；库内废物的贮存以定型包装、分区贮存、监测管理、限期转运处置场为原则。

QT 库主体为单层，分为贮存区、人员工作区和辅助设施区共三部分，贮存区分为“废物桶贮存区”和“贮存室”。“废物桶贮存区”用于贮存表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的 200L、400L 废物钢桶及轻微污染设备。“贮存室”用于贮存表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ 的水泥固化废物钢桶，贮存室由混凝土墙分隔的贮存单元组成。每个贮存单元能够容纳 4 个垂直码放的 400L 金属桶，上方覆有金属防护盖板。放射性固体废物暂存库内设有一台双梁远距离数控起重机，用于吊运废物桶。

1.2.4.3 系统运行

(1) 废树脂、浓缩液、废活性炭的接收

NX 厂房 RCV, ZBR 和 RFT 系统除盐床中的废树脂用水力将除盐器中的废树脂输送至废树脂贮槽，再用废树脂运输车运送到 QX 厂房的废树脂接收槽；QX 厂房 ZLT 系统的废树脂直接用水力将除盐器中的废树脂输送至 QX 厂房的废树脂接收槽。

QX 厂房 ZLT 系统深床过滤器产生的废活性炭的混合物，用水力将输送至废活性炭接收槽。

QX 厂房 ZLT 系统蒸发器产生的蒸发浓缩液由浓缩液贮槽接收。

(2) 废树脂、浓缩液、废活性炭的水泥固化处理

— 首先，将 400L 钢桶移动到湿料加注工位；

— 打开废树脂接收槽出口阀和废树脂计量装置的进口阀，计量装置开始进料；当计量装置内的废树脂达到所需的量时，关闭计量装置进口阀，对废树脂进行脱水，将脱除水泵送到浓缩液计量槽准备复用，称量脱水后树脂的重量；如果第一次加入的树脂量不足，则重复加入废树脂和水的混合物并进行脱水直至计量装置内的脱水树脂达到要求的重量；

— 处理废活性炭的混合物时，打开废活性炭接收槽出口阀和计量装置的进口阀，计量装置开始进料；当计量装置内的废活性炭达到所需的量时，关闭计量装置进口阀，对废活性炭进行脱水，将脱除水泵送到浓缩液计量槽准备复用，称量脱水后活性炭的重量；如果第一次加入的活性炭量不足，则重复加入废活性炭和水的混合物并进行脱水直至计量装置内的脱水废活性炭达到要求的重量；

— 处理浓缩液时，打开浓缩液接收槽出口阀和浓缩液计量装置的进口阀，计量装置开始进料；当计量装置内的浓缩液达到所需的量时，关闭计量槽进口阀，称量浓缩液的重量；

— 然后，将计量装置内的湿废物加入到 400L 钢桶中，按配方要求的量加入补充水(如果需要)；

— 将 400L 钢桶移动到桶内混合器工位后，将桶内搅拌桨下降到 400L 钢桶中，启动桶内混合器，将要求重量的石灰和添加剂加到 400L 钢桶中搅拌一段时间；再将要求重量的水泥连续加入到 400L 钢桶中，直至混合均匀后，停止混合器，提升搅拌桨；

— 最后，将 400L 钢桶运至 3 站进行封盖。

(3)废过滤器芯的接收和处理

废过滤器芯是用一个衬有 14cm 铅的过滤器芯更换转运容器(铅容器)来拆卸的，拆卸后通过下降通道装入事先放置在辊道上的钢桶中，钢桶内设有定位架，用于装桶时使废过滤器芯定位，并保证均匀的生物防护。

过滤器芯的装卸利用吊车将过滤器室的密封盖板移走，并置于房间楼板上，打开过滤器顶盖。这些操作均由操作人员手动和遥控进行。

用吊车将过滤器芯子更换转运容器吊至过滤器室正上方。

用过滤器芯子更换转容器的升降装置将吊具下降到过滤器室里面，将芯子提起，并将它吊入过滤器芯子更换转容器内。

关闭过滤器芯子更换转容器底部滑板，将过滤器芯子更换转容器运至 5 站的废过滤器芯子输送通道上，在输送通道正上方定位后，将芯子下降并放入已就位于该站的 400L 钢桶内。

NX 厂房产生的废过滤器芯通过屏蔽容器和运输车送到 QX 厂房，再通过屏蔽容器和运输车送到 QX 厂房，用水泥浆制备设备配制水泥浆，水泥浆在 4 站的湿料工位加入到 400L 钢桶中。然后将 400L 钢桶送到 3 站进行封盖。QX 厂房产生的废过滤器芯不必使用运输车运输，在湿废物处理装置辊道上装有废过滤器芯的 400L 钢桶用桶外混合器配制的湿混料固定。

(4)杂项干废物处理

杂项干废物装入塑料袋运送到 QS 厂房进行处理，将由各系统收集、分检的被放射性污染的杂项干废物分为可压实干废物、浸湿的可压实干废物、可直接超级压实废物和不可压实废物四类，通过在产生地的预分拣和在本厂房手套箱的再次分拣来实现，各类干废物的处理方法如下：

- 浸湿的可压实干废物先进行干燥处理，然后作为可压实干废物处理；

- 可压实干废物用初级压实机(8~20t)压实在 200L 钢桶内，封盖后将 200L 钢桶用超级压实机(~2000t)压成圆饼后装入 400L 钢桶内，通常一桶装三个圆饼。然后向桶内注入一定量的湿混料并振实后封盖。可压实干废物的平均压实因子为 9，包括预压因子；

- 表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯在 NX 厂房装入 200L 钢桶，然后送到 QS 厂房，

用两桶干燥器先进行干燥处理，然后作为可直接超级压实废物处理；

- 可直接超级压实废物装入 200L 钢桶进行超级压实，超级压实产生的桶饼装入 400L 钢桶进行水泥固定和封盖；

- 不可压实废物装入 400L 钢桶进行水泥固定处理和封盖。

(5)废物包暂存

废物暂存库设有检测装置用于检测入库废物的表面剂量率、核素组成、重量和表面污染。然后，对废物进行分区存放。

从 QX 和 QS 厂房运出的 400L 钢桶废物包，在运往厂外进行最终处置之前，先在废物暂存库(QT)暂存。然后，送到低、中水平放射性固体废物区域处置场进行处置。

1.2.4.4 废物最小化

本工程在废物最小化方面主要通过源头控制、合理分类收集处理和改进处理工艺来实现，拟采取以下主要措施：

a)源头控制方面

- 对核岛内 16° 以下管道法兰密封含银垫片进行替换，从源头上减少 Ag-110m 对工艺系统和设备的污染及对排放废液剂量率的贡献。

- 采用高交换容量的树脂以减少废树脂的产生量。

b)合理分类

- 废过滤器芯根据放射性水平的不同，分类处理，表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯装入 400L 钢桶进行水泥固定；表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯送到 QS 厂房进行烘干、超级压实和水泥固定；通风系统的废过滤器芯表面剂量率水平很低，大部分核素是短寿命的，送到 QT 库的专门区域进行贮存衰变。

- 废树脂按放射性水平分类收集，较高放射性水平的废树脂在废树脂贮槽中储存衰变一段时间后再水泥固化。蒸汽发生器排污系统产生的废树脂一般仅受轻微放射性污染，装入内衬有塑料薄膜的 200L 钢桶或原包装容器中，送到 QT 库的专门区域进行贮存衰变。若废树脂经衰变达到清洁解控水平后，经审管部门批准可作为非放废物处理。

- 将干废物分为可压实杂项干废物、浸湿的可压实杂项干废物、可直接超级压实废物和不可压实废物四类，并根据废物可压实与否分别进行处理。浸湿的可压实杂项干废物先进行烘干，然后作为可压实杂项干废物处理；可压实杂项干废物经过初级压实和超级压实后装入 400L 钢桶水泥固定；可直接超级压实废物经过超级压实后装入 400L 钢桶水泥固定；不可压实废物装入 400L 钢桶水泥固定。

c)改进处理工艺

•采用可降解的一次性聚乙烯醇(PVA)防护用品代替传统棉质、纸质和塑料防护用品，可压实干废物产生量降低到运行核电厂的 1/3。

• 采用 400L 钢桶作为废物包装容器，湿废物增容少。

• 表面剂量率很低的大尺寸废物暂时不作为放射性废物处理，将其放在 QT 库的专门区域进行贮存衰变，并在贮存一定年限后进行去污和清洁解控。

• QS 厂房设有超级压实后的废物饼优化测量装置，提高 400L 钢桶内的废物填充率。

•福建福清核电厂 5.6 号机组废物最小化的设计目标是:在满足标准规范要求的同时，每年每台机组放射性废物包的设计值(整备后)约为 109.2m^3 ，每年每台机组产生的废物包的预期值约为 49.2m^3 。

1.2.4.5 废物最终处置

废物包从福清核电站扩建工程 5、6 号机组的废物暂存库 (QT) 送到放射性固体废物区域处置场处置，废物包符合 GB9132-2018《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》，放射性废物厂外运输应遵守 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》。

1.2.4.6 放射性固体废物的源项

(1) 废树脂

废树脂来源于下列系统的除盐器：

- 化学和容积控制系统 (RCV)
- 硼回收系统 (ZBR)
- 蒸汽发生器排污系统 (TTB)
- 反应堆换料水池和乏燃料水池的冷却和处理系统 (RFT)
- 废液处理系统 (ZLT)

这些废树脂按其放射性浓度可分为三类：

- RCV 和 RFT 系统的放射性浓度较高的废树脂；
- ZLT 和 ZBR 系统的中等放射性浓度的废树脂；
- TTB 系统的低放射性浓度的废树脂。

“华龙一号”单台机组年产生废树脂量设计值为 20m^3 (包含 TTB 废树脂 9m^3)。

废树脂的平均放射性比活度为：

废树脂的平均放射性活度浓度为：

RCV: $9.1\text{E}+03\text{ GBq/m}^3$

RFT: $2.4\text{E}+03\text{GBq/m}^3$

废树脂的最大放射性比活度为:

RCV: 2.2E+04GBq/m³

RFT: 3.8E+03GBq/m³

(2) 蒸发浓缩液

浓缩液是直接从废液处理系统蒸发器收集来的。它主要含硼酸钠、硼酸或其它化合物的水溶液。

“华龙一号”单台机组年产生浓缩液量设计值为 8m³。

浓缩液的放射性比活度为:

平均值: 37GBq/m³

最大值: 222GBq/m³

(3) 废过滤器芯子

电站内各系统的过滤器用来保持水质以及去除放射性裂变、腐蚀产物和溶液中的悬浮颗粒。

装有这些过滤器的系统主要有:

- 蒸汽发生器排污系统(TTB) ;
- 反应堆换料水池和乏燃料水池的冷却和处理系统(RFT);
- 化学和容积控制系统(RCV);
- 硼回收系统(ZBR) ;
- 废液处理系统(ZLT) ;
- 放射性废水回收系统(WSR);
- 反应堆硼和水补给系统(RBM)。

“华龙一号”单台机组年产生废过滤器芯约为 85 个。

根据压水堆核电厂的运行经验反馈, 在 RCV 废过滤器芯中的主要放射性核素中探测到了钴, 其中 Co-58 占 86% , Co-60 占 14%。

(4) 废活性炭

ZLT 系统采用了活性炭过滤技术处理工艺废液, 因此会产生一些废活性炭。

“华龙一号”单台机组年产生废活性炭量设计值为 1m³。

(5) 杂项干废物

核电厂内的其他被放射性污染的杂项干废物(受污染的工作服、纸、擦拭布、塑料和金属部件等), “华龙一号”核电厂单台机组年产生杂项干废物产量设计值为 140m³(包括可降

解废物), 其中 79m^3 为可降解废物, 40m^3 为可压实干废物, 21m^3 为不可压实干废物。它们在产生地分类收集在塑料袋内后送到 QS 厂房压实装桶或装桶水泥固定。

根据国内核电站的运行数据得出杂项干废物(包括可压实废物和不可压实废物)的放射性水平, 处理前杂项干废物的设计比活度按 $1.5\text{E}+06\text{Bq/kg}$ 计算, 各种核素的比例如下。

各种核素的活度比例如下表:

核素	活度比例
Cr-51	15%
Mn-54	5%
Co-60	27%
Cs-134	5%
Co-137	1%
Zr-95	35%
Nb-95	10%
Fe-59	2%

装有经过 10t 压实机压实干废物的 200L 钢桶平均表面剂量率约为 $300\mu\text{Sv/h}$, 最大表面剂量率为 2mSv/h 。

表 2-1 堆芯裂变产物积存量

单位: 10^8GBq

放射性核素	整堆芯	放射性核素	整堆芯
Kr-83m	4.62E+00	Sr-91	4.82E+01
Kr-85	4.07E-01	Sr-92	5.01E+01
Kr-85m	1.04E+01	Y-90	3.30E+00
Kr-87	2.10E+01	Y-91	4.57E+01
Kr-88	2.84E+01	Zr-95	5.65E+01
Xe-131m	4.35E-01	Nb-95	5.65E+01
Xe-133	6.52E+01	Mo-99	5.96E+01
Xe-133m	2.01E+00	Tc-99m	5.46E+01
Xe-135	2.04E+01	Ru-103	5.18E+01
Xe-135m	1.37E+01	Ru-106	2.00E+01
Xe-138	5.86E+01	Te-131m	6.26E+00
I-131	3.17E+01	Te-131	2.68E+01
I-132	4.67E+01	Te-132	4.48E+01
I-133	6.52E+01	Te-134	6.35E+01
I-134	7.50E+01	Ba-140	5.79E+01
I-135	6.18E+01	La-140	5.85E+01
Cs-134	6.70E+00	Ce-141	5.40E+01
Cs-136	2.17E+00	Ce-143	5.36E+01
Cs-137	4.38E+00	Ce-144	4.20E+01
Cs-138	6.31E+01	Pr-143	5.28E+01
Sr-89	3.61E+01	Pr-144	4.23E+01
Sr-90	3.18E+00		

表 2-2 (1/9) 正常运行工况下一回路冷却剂裂变产物比活度计算结果

惰性气体、碘和铯

放射性核素	比活度 (GBq/t)	
	稳态运行	瞬变
Kr-85m	9.15E-02	2.17E-01
Kr-85	4.51E-03	4.51E-03
Kr-87	1.27E-01	2.99E-01
Kr-88	2.15E-01	4.90E-01
Xe-133m	4.60E-02	1.02E-01
Xe-133	1.41E+00	2.67E+00
Xe-135	7.35E-01	9.91E-01
Xe-138	2.48E-01	7.06E-01
总惰性气体	2.88E+00	5.48E+00
I-131	6.53E-02	1.70E+00
I-132	7.16E-02	9.17E-01
I-133	9.81E-02	7.84E-01
I-134	5.80E-02	1.30E+00
I-135	6.61E-02	5.54E-01
总碘	3.59E-01	5.25E+00
I-131 当量	0.10	2.00
Cs-134	5.31E-03	8.25E-01
Cs-136	2.09E-03	1.24E-01
Cs-137	5.04E-03	6.72E-01
Cs-138	2.50E-01	7.26E-01

表 2-2 (2/9) 正常运行工况下一回路冷却剂裂变产物比活度计算结果

其它裂变产物

放射性核素	比活度 (GBq/t)
Sr-89	1.14E-04
Sr-90	1.64E-06
Y-90	1.91E-07
Y-91	4.19E-06
Sr-91	1.97E-03
Sr-92	4.59E-03
Zr-95	1.23E-05
Nb-95	5.19E-06
Mo-99	6.50E-03
Tc-99m	2.35E-04
Ru-103	2.04E-05
Ru-106	2.99E-06
Te-131m	7.14E-05
Te-131	9.35E-03
Te-132	2.37E-04
Te-134	1.29E-02
Ba-140	4.20E-04
La-140	1.04E-05
Ce-141	2.08E-05
Ce-143	3.24E-04
Pr-143	5.19E-06
Ce-144	5.21E-06
Pr-144	4.50E-06

表 2-2 (3/9) 正常运行工况下一回路冷却剂腐蚀产物比活度计算结果

腐蚀产物

同位素	比活度(GBq/t)		
	稳态工况	瞬态工况	冷停堆工况
Cr-51	2.82E-02	1.90E-01	3.70E+00
Mn-54	8.34E-04	5.10E-01	3.70E+00
Fe-59	5.95E-04	1.90E-02	1.90E+00
Co-58	3.67E-02	1.50E+00	2.30E+02
Co-60	4.77E-02	1.50E-01	1.10E+01
Ag-110m	6.00E-03	1.20E-01	2.00E-01
Sb-124	1.00E-02	2.00E-01	3.70E+01

表 2-2 (4/9) 异常运行工况下一回路冷却剂裂变产物比活度计算结果

惰性气体、碘和铯

放射性核素	比活度 (GBq/t)	
	稳态运行	瞬变
Kr-85m	4.58E+00	1.09E+01
Kr-85	1.72E-01	1.72E-01
Kr-87	5.42E+00	1.27E+01
Kr-88	1.04E+01	2.36E+01
Xe-133m	2.31E+00	5.14E+00
Xe-133	7.15E+01	1.35E+02
Xe-135	3.41E+01	4.60E+01
Xe-138	6.82E+00	1.94E+01
总惰性气体	1.35E+02	2.53E+02
I-131	3.18E+00	8.27E+01
I-132	1.86E+00	2.38E+01
I-133	4.09E+00	3.27E+01
I-134	3.41E-01	7.62E+00
I-135	1.64E+00	1.37E+01
总碘	1.11E+01	1.61E+02
I-131 当量	4.44	93.17
Cs-134	1.37E-01	2.12E+01
Cs-136	6.97E-02	4.13E+00
Cs-137	1.71E-01	2.28E+01
Cs-138	6.77E+00	1.97E+01

表 2-2 (5/9) 异常运行工况下一回路冷却剂裂变产物比活度计算结果

其它裂变产物

放射性核素	比活度 (GBq/t)
Sr-89	3.83E-03
Sr-90	5.75E-05
Y-90	5.38E-06
Y-91	1.16E-04
Sr-91	9.20E-03
Sr-92	1.56E-02
Zr-95	1.70E-04
Nb-95	1.47E-04
Mo-99	2.39E-02
Tc-99m	9.87E-04
Ru-103	1.76E-04
Ru-106	4.06E-05
Te-131m	6.06E-04
Te-131	2.85E-02
Te-132	4.99E-03
Te-134	3.99E-02
Ba-140	8.55E-03
La-140	2.79E-04
Ce-141	1.93E-04
Ce-143	1.10E-03
Pr-143	1.38E-04
Ce-144	1.01E-04
Pr-144	9.99E-05

表 2-2 (6/9) 异常运行工况下一回路冷却剂腐蚀产物比活度计算结果

腐蚀产物

同位素	比活度(GBq/t)		
	稳态工况	瞬态工况	冷停堆工况
Cr-51	8.46E-02	1.90E-01	3.70E+00
Mn-54	2.50E-03	5.10E-01	3.70E+00
Fe-59	1.79E-03	1.90E-02	1.90E+00
Co-58	1.10E-01	1.50E+00	4.00E+02
Co-60	1.43E-01	1.50E-01	2.50E+01
Ag-110m	1.80E-02	1.20E-01	8.00E-01
Sb-124	3.00E-02	2.00E-01	5.50E+01

表 2-2 (7/9) 限值运行工况下一回路冷却剂裂变产物比活度计算结果

惰性气体、碘和铯活度谱

放射性核素	比活度 (GBq/t)	
	稳态运行	瞬变
Kr-85m	3.85E+01	9.15E+01
Kr-85	1.45E+00	1.45E+00
Kr-87	4.57E+01	1.07E+02
Kr-88	8.69E+01	1.98E+02
Xe-133m	1.94E+01	4.31E+01
Xe-133	6.03E+02	1.14E+03
Xe-135	2.86E+02	3.85E+02
Xe-138	5.65E+01	1.61E+02
总惰性气体	1.14E+03	2.13E+03
I-131	2.67E+01	6.92E+02
I-132	1.49E+01	1.91E+02
I-133	3.40E+01	2.72E+02
I-134	1.69E+00	3.78E+01
I-135	1.31E+01	1.09E+02
总碘	9.03E+01	1.30E+03
I-131 当量	37.00	778.31
Cs-134	1.15E+00	1.79E+02
Cs-136	5.87E-01	3.48E+01
Cs-137	1.44E+00	1.93E+02
Cs-138	5.57E+01	1.62E+02

表 2-2 (8/9) 限值运行工况下一回路冷却剂裂变产物比活度计算结果

其它裂变产物活度谱

放射性核素	比活度 (GBq/t)
Sr-89	3.21E-02
Sr-90	4.84E-04
Y-90	4.54E-05
Y-91	9.71E-04
Sr-91	3.64E-02
Sr-92	3.08E-02
Zr-95	1.28E-03
Nb-95	1.24E-03
Mo-99	6.07E-02
Tc-99m	3.34E-03
Ru-103	1.15E-03
Ru-106	3.19E-04
Te-131m	3.74E-03
Te-131	3.22E-02
Te-132	3.88E-02
Te-134	4.91E-02
Ba-140	6.82E-02
La-140	2.30E-03
Ce-141	1.28E-03
Ce-143	2.13E-03
Pr-143	1.16E-03
Ce-144	8.26E-04
Pr-144	8.32E-04

表 2-2 (9/9) 限值运行工况下一回路冷却剂腐蚀产物比活度计算结果

同位素	比活度(GBq/t)		
	稳态工况	瞬态工况	冷停堆工况
Cr-51	8.46E-02	1.90E-01	3.70E+00
Mn-54	2.50E-03	5.10E-01	3.70E+00
Fe-59	1.79E-03	1.90E-02	1.90E+00
Co-58	1.10E-01	1.50E+00	4.00E+02
Co-60	1.43E-01	1.50E-01	2.50E+01
Ag-110m	1.80E-02	1.20E-01	8.00E-01
Sb-124	3.00E-02	2.00E-01	5.50E+01

表 2-3 二回路流体中的裂变产物比活度
(37GBq/t I-131 归一化当量运行期间)

核素	稳态 (GBq/t)		瞬态 (GBq/t)	
	水中的活度	蒸汽中活度	水中的活度	蒸汽中活度
Kr-85m	0.00E+00	4.70E-04	0.00E+00	4.90E-02
Kr-85	0.00E+00	1.80E-05	0.00E+00	1.30E-03
Kr-87	0.00E+00	5.60E-04	0.00E+00	7.20E-02
Kr-88	0.00E+00	1.10E-03	0.00E+00	1.20E-01
Xe-133m	0.00E+00	2.40E-04	0.00E+00	2.00E-02
Xe-133	0.00E+00	7.40E-03	0.00E+00	5.90E-01
Xe-135	0.00E+00	3.50E-03	0.00E+00	2.70E-01
Xe-138	0.00E+00	6.90E-04	0.00E+00	1.00E-01
I-131	4.20E-02	4.20E-04	7.80E-02	7.80E-04
I-132	1.20E-02	1.20E-04	4.80E-02	4.80E-04
I-133	4.90E-02	4.90E-04	6.70E-02	6.70E-04
I-134	7.80E-04	7.80E-06	1.00E-02	1.00E-04
I-135	1.60E-02	1.60E-04	2.70E-02	2.70E-04
Cs-134	1.80E-03	4.50E-06	1.10E-02	2.80E-05
Cs-136	9.20E-04	2.30E-06	2.80E-03	6.90E-06
Cs-137	2.30E-03	5.70E-06	1.20E-02	3.10E-05
Cs-138	1.80E-02	4.40E-05	4.50E-02	1.10E-04

表 2-4(1/5) ZBR 系统主要设备特性——槽类

特性 \ 贮槽名称	前贮槽 001BA/008BA	中间贮槽 002BA/003BA/004BA	冷凝液监测槽 005BA/006BA	浓缩液监测槽 007BA/016BA
数量 (个)	2	3	2	2
类型与特点	覆盖氮气	标准	薄膜, 浮顶	薄膜, 浮顶
有效容积 (m ³)	75	350	70	5
介质	含氢反应堆冷却剂	除气后的反应堆冷却剂	冷凝液	硼酸溶液
工作压力 (MPa) (绝压)	0.34+静压头	0.105+静压头	常压	常压
工作温度 (°C)	≤70	≤60	≤50	≤50
结构材料	不锈钢	不锈钢	不锈钢	不锈钢
核安全等级	3	NC	NC	NC
抗震类别	II	NO	NO	NO

表 2-4(2/5) ZBR 系统主要设备特性——泵类

泵的名称 特 性	前贮槽泵 001PO 002PO	除气塔疏水泵 003PO 004PO	蒸发器供料泵 005/006PO	输送和混合泵 007PO	冷凝液泵 012/013PO	浓缩液泵 014PO
数量 (个)	2	2	2	1	2	1
额定流量 (m ³ /h)	33.2	33.2	5	100	31.4	10
类型	离心式屏蔽泵	离心式屏蔽泵	离心泵	离心泵	离心泵	离心泵
介质	含氢的反应堆冷却剂	除气后的反应堆冷却剂	除气后的反应堆冷却剂	除气后的反应堆冷却剂	冷凝液	硼酸溶液
额定流量下的扬程 (m 水柱)	~105	~52	~56	~50	~60	~30
吸入口最高温度 (°C)	60	155	50	50	50	50
结构材料	不锈钢	不锈钢	不锈钢	不锈钢	不锈钢	不锈钢
核安全等级	3	3	NC	NC	NC	NC
抗震类别	II	II	NO	NO	NO	NO

表 2-4(3/5) ZBR 系统主要设备特性——除气塔和蒸发器

除气塔 (001DZ)

特 性	设 备
数量 (个)	2
介质	含氢的反应堆冷却剂
处理能力 (m ³ /h)	31.4
除气系数	10 ⁵
设计压力 (MPa) (绝压)	0.55/0.565
设计温度 (°C)	160
材料	不锈钢
核安全等级	3
抗震类别	II

蒸发器 (001/002EV)

特 性	设 备
数量 (个)	2
生产能力 (m ³ /h)	3.5
流体名称	除气后的反应堆冷却剂
浓缩液硼浓度 (ppm)	7000~7700
蒸馏液硼浓度 (ppm)	≤ 5ppm
设计压力 (MPa)	0.505
设计温度 (°C)	~160
除氧系数	100
净化系数	~1000
材料	不锈钢
核安全等级	NC
抗震类别	NO

表 2-4(4/5) ZBR 系统主要设备特性——过滤器

过滤器名称 特 性	除盐预过滤器 001FI	树脂滞留过滤器 003FI	浓缩液过滤器 005FI	树脂滞留过滤器 006FI
数量 (个)	1	1	1	1
额定流量 (m ³ /h)	31.4	31.4	10	31.4
介质	含氢的反应堆冷却剂	含氢的反应堆冷却剂	硼酸溶液	含氢的反应堆冷却剂
过滤粒度 (微米)	5	25	5	25
过滤介质	纤维制品	纤维制品	纤维制品	纤维制品
过滤效率 (%)	98	98	98	98
允许压力 (MPa) (绝压)	1.69	1.69	1.58	1.58
工作温度 (°C)	≤60	≤60	≤60	≤60
结构材料	不锈钢	不锈钢	不锈钢	不锈钢
核安全等级	3	3	NC	NC
抗震类别	II	II	NO	NO

表 2-4(5/5) ZBR 系统主要设备特性——除盐器

除盐器名称 特 性	阳床除盐器 001DE	混床除盐器 003DE	阴床除盐器 005DE	混床除盐器 006DE
数量 (个)	1	1	1	1
正常流量 (m ³ /h)	31.4	31.4	31.4	31.4
类型	阳床	混床	阴床	混床
介质	含氢的反应堆冷却剂	含氢的反应堆冷却剂	含氢的反应堆冷却剂	含氢的反应堆冷却剂
允许压力 (MPa) (绝压)	1.69	1.69	1.6	1.6
工作温度 (°C)	≤60	≤60	≤60	≤60
树脂容量 (m ³)	1.8	1.8	1.8	1.8
材料	不锈钢	不锈钢	不锈钢	不锈钢
核安全等级	3	3	3	3
抗震类别	II	II	II	II

表 2-5(1/5) ZLT 系统主要设备特性

工艺排水接收槽(001/002BA) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压)(槽体顶部) 最高工作温度, °C 主要材料	2 立式圆筒 50 0.005 70 不锈钢
地面排水接收槽(003/004/005BA) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压)(槽体顶部) 最高工作温度, °C 主要材料	3 立式圆筒 50 大气压 50 不锈钢
化学排水接收槽(006/007/008BA) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压)(槽体顶部) 最高工作温度, °C 主要材料	3 立式圆筒 50 大气压 50 不锈钢
监测槽(009/010BA) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压)(槽体顶部) 最高工作温度, °C 主要材料	2 立式圆筒 50 大气压 50 不锈钢
化学试剂槽(011BA) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压)(槽体顶部) 最高工作温度, °C 主要材料	1 立式圆筒 0.2 大气压 常温 不锈钢

表 2-5(2/5) ZLT 系统主要设备特性

除盐器(002/003/004/005DE)	
数量	4
型式	立式圆筒
树脂装量, m ³	1
流量, m ³ /h	8
最大允许压降, MPa	0.15
最高工作压力, MPa(表压)	1
最高工作温度, °C	50
主要材料	不锈钢
蒸发器预过滤器(001FI)	
数量	1
型式	滤芯式
流量, m ³ /h	4
最大允许压降, MPa	0.25
最高工作压力, MPa(表压)	0.65
最高工作温度, °C	70
过滤粒度, μm	100
过滤效率, %	98
主要材料	不锈钢
直接排放过滤器(002/012FI)	
数量	2
型式	滤芯式
流量, m ³ /h	27.2
最大允许压降, MPa	0.25
最高工作压力, MPa(表压)	1.05
最高工作温度, °C	70
过滤粒度, μm	5
过滤效率, %	98
主要材料	不锈钢
除盐器预过滤器(004FI)	
数量	1
型式	滤芯式
流量, m ³ /h	8
最大允许压降, MPa	0.25
最高工作压力, MPa(表压)	1.05
最高工作温度, °C	70
过滤粒度, μm	5
过滤效率, %	98
主要材料	不锈钢

表 2-5(3/5) ZLT 系统主要设备特性

树脂滞留过滤器 (005FI)	
数量	1
型式	滤芯式
流量, m ³ /h	8
最大允许压降, MPa	0.25
最高工作压力, MPa(表压)	1.05
最高工作温度, °C	70
过滤粒度, μm	0.45
过滤效率, %	98
主要材料	不锈钢
深床过滤器 (002/003/004/005DE)	
数量	4
型式	立式圆筒
树脂装量, m ³	1
流量, m ³ /h	8
最大允许压降, MPa	0.15
最高工作压力, MPa(表压)	1
最高工作温度, °C	50
主要材料	不锈钢
工艺排水泵(001PO)	
数量	1
型式	离心泵
流量, m ³ /h	8
扬程, m(水柱)	103
最高工作温度, °C	70
主要材料	不锈钢
地面排水泵(002PO)	
数量	1
型式	离心泵
流量, m ³ /h	27
扬程, m(水柱)	87
最高工作温度, °C	70
主要材料	不锈钢
化学排水泵(003PO)	
数量	1
型式	离心式
流量, m ³ /h	27
扬程, m(水柱)	87
最高工作温度, °C	70
主要材料	不锈钢

表 2-5(4/5) ZLT 系统主要设备特性

蒸发器供料泵(005PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	1 离心泵 5 56 70 不锈钢
监测槽泵(008PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	1 离心泵 15 40 70 不锈钢
化学试剂泵(011PO) 数量 型式 流量, L/h 最高工作温度, °C 主要材料	1 计量泵 0~160 95 不锈钢
碱液泵(010PO) 数量 型式 流量, L/h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	1 计量泵 0~160 ≥10 40 不锈钢
酸液泵(009PO) 数量 型式 流量, L/h 扬程, m (水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	1 计量泵 0~160 ≥10 40 不锈钢

表 2-5(5/5) ZLT 系统主要设备特性

蒸发器(001EV) 数量 处理能力, t/h 最高工作压力, MPa 最高工作温度, °C 主要材料	1 3.85 0.02 108 不锈钢
旋风分离器(001ZE) 数量 处理能力, t/h 最高工作压力, MPa 最高工作温度, °C 主要材料	1 3.85 0.02 108 不锈钢
泡罩塔(002ZE) 数量 流量, t/h 最高工作压力, MPa 最高工作温度, °C 主要材料	1 3.85 0.505 160 不锈钢

表 2-6 ZLD 系统主要设备特性

废液排放贮槽(001/002/003BA) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压) 最高工作温度, °C 主要材料	3 立式圆筒 500 大气压 60 碳钢
排放泵(001/002/003PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	3 离心泵 170 40 60 不锈钢
地坑泵(004/005PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	2 地坑潜水泵 10 32 70 不锈钢
地坑泵(007PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	1 地坑潜水泵 5 24 50 不锈钢

表 2-7(1/2) WSR 系统主要设备特性

废水贮槽(5/6WSR001/002BA) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压) 最高工作温度, °C 主要材料	2 立式立方体 10 大气压 50 不锈钢
排水泵(5/6WSR 001/002PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	2 离心泵 10 70 50 碳钢
地坑泵(5/6WSR 008PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	2 地坑潜水泵 5 36 50 不锈钢
热洗衣房废水槽(003/004BA) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压) 最高工作温度, °C 主要材料	2 立式立方体 20 大气压 50 不锈钢
热洗衣房排水泵(0031/004PO) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压) 最高工作温度, °C 主要材料	2 离心泵 10 70 50 碳钢

表 2-7(2/2) WSR 系统主要设备特性

厂区试验室疏水箱(203BA) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压) 最高工作温度, °C 主要材料	1 立式圆筒 2.5 大气压 70 不锈钢
实验室排水泵(203PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	1 离心泵 5 60 70 不锈钢
实验室地坑泵(302PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	5 地坑潜水泵 5 36 50 不锈钢

表 2-8 ZDT 系统主要设备特性

<p>ZDT 溶解槽(001/002BA)</p> <p>数量</p> <p>型式</p> <p>有效容积, m³</p> <p>处理能力, kg</p> <p>工作压力, MPa(表压)</p> <p>最高工作温度, °C</p> <p>主要材料</p>	<p>2</p> <p>立式圆筒</p> <p>2.7</p> <p>180</p> <p>大气压</p> <p>150</p> <p>不锈钢</p>
<p>ZDT-TPS 暂存槽(003BA)</p> <p>数量</p> <p>型式</p> <p>流量, m³/h</p> <p>扬程, m(水柱)</p> <p>最高工作温度, °C</p> <p>主要材料</p>	<p>1</p> <p>立式圆筒</p> <p>1.9</p> <p>大气压</p> <p>70</p> <p>不锈钢</p>
<p>ZDT 聚冷罐(004/011BA)</p> <p>数量</p> <p>型式</p> <p>有效容积, m³</p> <p>工作压力, MPa(表压)</p> <p>最高工作温度, °C</p> <p>主要材料</p>	<p>2</p> <p>立式圆筒</p> <p>0.4</p> <p>0.008</p> <p>45</p> <p>不锈钢</p>
<p>ZDT 催化剂泵(006/007PO)</p> <p>数量</p> <p>型式</p> <p>额定流量, m³/h</p> <p>扬程, m (水柱)</p> <p>最高工作温度, °C</p> <p>主要材料</p>	<p>1</p> <p>离心泵</p> <p>0.08</p> <p>200</p> <p>65</p> <p>不锈钢</p>

表 2-9 化学和容积控制系统 (RCV) 定量设计基准

设计参数	单位	参数值
三台反应堆冷却剂泵总的密封水注入流量		
—— 正常	m ³ /h	~5.76
—— 最大	m ³ /h	9
三台反应堆冷却剂泵总的密封水返回流量		
—— 正常	m ³ /h	2.4
—— 最大	m ³ /h	17
下泄流量:		
—— 正常	m ³ /h	15.7
—— 最大	m ³ /h	31.4
上充流量 (不包括密封水):		
—— 正常	m ³ /h	12.33
—— 最大	m ³ /h	28.04
反应堆冷却剂下泄流进入 RCV 系统的温度	°C	292
上充流进入反应堆冷却剂系统 (RCS) 的温度:		
—— 正常流量时	°C	266
—— 最大流量时	°C	233
每台上充泵旁路流量	m ³ /h	13.6
反应堆冷却剂系统水压试验所需的最大压力	MPa	22.9

表 2-10(1/2) RCV 系统主要设备特性

设 备	参 数
容积控制箱 (RCV002BA)	
数量	1
容积, m ³	10.6
设计压力, MPa (表压)	0.52
设计温度, °C	110
材料	奥氏体不锈钢
混合床除盐器 (RCV001DE, 002DE)	
数量	2
设计压力, MPa (表压)	1.4
设计温度, °C	110
流量, m ³ /h:	
— 正常	15.7
— 最大	31.4
树脂体积 (每台), m ³	1.08
材料	奥氏体不锈钢
阳床除盐器 (RCV003DE)	
数量	1
设计压力, MPa (表压)	1.4
设计温度, °C	110
最大流量, m ³ /h:	15.7
树脂体积, m ³	0.54
材料	奥氏体不锈钢

表 2-10(2/2) RCV 系统主要设备特性

设 备	参 数
反应堆冷却剂过滤器 (RCV001FI, RCV002FI) 数量 设计压力, MPa (表压) 设计温度, °C 流量, m ³ /h: —— 正常 —— 最大 颗粒滞留率 材料 (容器)	2 1.4 110 15.7 31.4 0.45μm 颗粒达 98% 5μm 颗粒达 98% 奥氏体不锈钢
密封水注入过滤器 (RCV003FI, RCV004FI) 数量 设计压力, MPa (表压) 设计温度, °C 流量, m ³ /h: —— 正常 —— 最大 颗粒滞留率 材料 (容器)	2 19.7 110 / 5.76 9 5μm 颗粒达 98% 奥氏体不锈钢
密封水返回过滤器 (RCV005FI) 数量 设计压力, MPa (表压) 设计温度, °C 流量, m ³ /h: —— 正常 —— 最大 颗粒滞留率 材料 (容器)	1 1.05 110 2.4 17 5μm 颗粒达 98% 奥氏体不锈钢

表 2-11(1/3) RFT 系统主要设备特性 (泵类)

服务区域	乏燃料水池		反应堆换料水池	
水泵名称	冷却回路用泵	撇沫回路用泵	撇沫回路用泵	过滤回路用泵
水泵编号	RFT 001PO, RFT 002PO, RFT 006PO	RFT 003PO	RFT 004PO	RFT 005PO
额定流量 (m ³ /h)	510	5	6	100
额定流量下扬程 (m)	90	32	20	42
净正吸入压头(m)	27.5	15	5	20
额定流量下最小 NPSH	7.0	2	2	6
主要材料	不锈钢	不锈钢	不锈钢	不锈钢

表 2-11(2/3) RFT 系统主要设备特性

冷却水热交换器 RFT001RF RFT 002RF RFT 006RF	冷 侧	热 侧
连接系统	WCC	RFT
额定流量 (m ³ /h)	450	450
入口温度 (°C)	35	50
换热量 (MW)	5.6	5.6
材料	碳钢	不锈钢

除盐器 RFT 001DE	
额定流量 (m ³ /h)	60
最高工作温度 (°C)	60
最高工作压力(表压) (MPa)	0.8
树脂体积 (m ³)	1.5
材料	不锈钢

表 2-11(3/3) RFT 系统主要设备特性 (过滤器)

过滤器名称	乏燃料水池 过滤器	乏燃料水池 过滤器	反应堆换料 水池过滤器	乏燃料水池 撇沫过滤器
过滤器编号	RFT 001FI	RFT 002FI	RFT 003/004FI	RFT 005FI
额定流量 (m ³ /h)	60	60	50	5
最大工作压力 (MPa)	0.75	0.75	0.75	0.35
设计温度 (°C)	80	80	80	80
过滤精度 (μm)	5*	25	5	5
过滤效率 (%)	98	98	98	98
截污容量 (g)	3750	3400	3750	400
材 料	不锈钢	不锈钢	不锈钢	不锈钢

*采用 25μm 过滤精度已经可以满足水质要求, 但是, 为了进一步改善水质, 采用 5μm 过滤精度 (除盐器内的碎树脂大于 25μm)。

表 2-12 TTB 系统主要设备特性

非再生热交换器 TTB001RF	壳侧	管侧
连接的系统	WCC	TTB
最大流量 (t/h)	193	37
最大进口压力 (MPa) 表压	0.8	7.5
最高进口温度 (°C)	35	291
最高出口温度 (°C)	83.3	56
再生热交换器 TTB002RF	壳侧	管侧
连接的系统	TFE	TTB
最大流量 (t/h)	190	73.5
最大进口压力 (MPa) 表压	2.9	7.5
最高进口温度 (°C)	45.2	291
最高出口温度 (°C)	178.4	56

除盐器	TTB001DE TTB002DE	TTB003DE TTB004DE
树脂类型	阳床	混合床
最大流量 (m ³ /h)	36.75	36.75
运行压力 (MPa) 表压	1.4	1.4
最高温度 (°C)	60	60
设计温度 (°C)	80	80

过滤器	TTB001FI, TTB002FI	TTB003FI
最大流量 (t/h)	73.5	73.5
运行压力 (MPa) 表压	1.4	1.4
最高温度 (°C)	60	60
设计温度 (°C)	80	80
过滤粒度 (μm)	5	25
过滤效率 (%)	98	98
滞留能力 (kg)	3.75	3.40

表 2-13 WQB 系统主要设备特性

废液排放贮槽(001/002/003BA) 数量 型式 有效容积, m ³ 工作压力, MPa(表压) 最高工作温度, °C 主要材料	3 立式圆筒 500 大气压 60 碳钢
排水泵(001/002/003PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	3 卧式离心泵 170 40 60 不锈钢
地坑泵(004PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	1 地坑潜水泵 10 32 70 不锈钢
地坑泵(005PO) 数量 型式 流量, m ³ /h 扬程, m(水柱) 最高工作温度, °C 主要材料	1 地坑潜水泵 5 24 70 不锈钢

表 2-14 (1/2) 本项目单台机组正常运行状态下放射性液态流出物排放量 (GBq/a) (现实情况)

核素	硼回收系统	废液处理系统	二回路	总计
I-131	2.74E-04	2.18E-01	4.83E-04	2.19E-01
I-132	1.55E-35	7.85E-19	2.40E-04	2.40E-04
I-133	1.12E-07	3.14E-03	5.04E-04	3.64E-03
I-134	0.00E+00	0.00E+00	1.21E-04	1.21E-04
I-135	2.65E-15	9.22E-08	2.92E-04	2.92E-04
Cs-134	2.99E-04	3.29E-02	3.10E-05	3.32E-02
Cs-136	2.72E-05	8.88E-03	1.07E-05	8.92E-03
Cs-137	2.46E-04	3.14E-02	2.95E-05	3.17E-02
Cs-138	0.00E+00	0.00E+00	1.02E-04	1.02E-04
Sr-89	8.66E-08	6.42E-04	6.04E-07	6.43E-04
Sr-90	1.43E-09	1.02E-05	9.01E-09	1.02E-05
Y-90	1.43E-09	1.02E-05	9.01E-09	1.02E-05
Y-91	3.24E-09	2.39E-05	2.23E-08	2.40E-05
Sr-91	4.21E-14	2.17E-07	2.87E-06	3.08E-06
Sr-92	8.28E-33	1.64E-17	4.79E-06	4.79E-06
Zr-95	9.61E-09	7.08E-05	6.57E-08	7.08E-05
Nb-95	3.71E-09	2.80E-05	2.71E-08	2.80E-05
Mo-99	4.55E-07	6.94E-03	2.03E-05	6.96E-03
Tc-99m	4.55E-07	6.94E-03	2.03E-05	6.96E-03
Ru-103	1.49E-08	1.12E-04	1.07E-07	1.12E-04
Ru-106	2.56E-09	1.84E-05	1.63E-08	1.84E-05
Te-131m	2.43E-10	1.06E-05	1.49E-07	1.08E-05
Te-131	0.00E+00	0.00E+00	3.10E-06	3.10E-06
Te-132	2.46E-08	3.30E-04	7.96E-07	3.31E-04
Te-134	0.00E+00	0.00E+00	6.32E-06	6.32E-06
Ba-140	2.13E-07	1.76E-03	2.01E-06	1.77E-03
La-140	1.46E-10	3.84E-06	2.53E-08	3.87E-06
Ce-141	1.46E-08	1.11E-04	1.08E-07	1.11E-04
Ce-143	1.82E-09	6.64E-05	7.08E-07	6.72E-05
Pr-143	2.71E-09	2.23E-05	2.50E-08	2.23E-05
Ce-144	4.43E-09	3.19E-05	2.84E-08	3.19E-05
Pr-144	4.43E-09	3.19E-05	2.84E-08	3.19E-05
Cr-51	1.30E-06	1.46E-01	1.45E-04	1.46E-01
Mn-54	3.63E-06	5.11E-03	4.56E-06	5.12E-03
Fe-59	1.26E-07	3.31E-03	3.14E-06	3.31E-03
Co-58	1.06E-05	2.13E-01	1.96E-04	2.13E-01
Co-60	1.59E-06	2.96E-01	2.62E-04	2.97E-01
Ag-110m	9.05E-06	4.85E-02	3.27E-05	4.85E-02
Sb-124	1.45E-06	5.72E-02	5.33E-05	5.73E-02
总计 (除氚、C-14)	8.75E-04	1.08E+00	2.57E-03	1.08E+00
氚				4.02E+04
C-14				1.00E+01

表 2-14 (2/2) 本项目单台机组正常运行状态下放射性液态流出物排放量 (GBq/a) (保守情况)

核素	硼回收系统	废液处理系统	二回路	总计
I-131	4.02E-02	4.37E+00	3.42E-01	4.75E+00
I-132	1.98E-33	7.31E-18	3.16E-02	3.16E-02
I-133	3.24E-05	4.92E-02	1.20E-01	1.69E-01
I-134	0.00E+00	1.40E-45	3.82E-03	3.82E-03
I-135	4.39E-13	8.36E-07	3.50E-02	3.50E-02
Cs-134	1.04E-02	3.60E-01	2.11E-02	3.92E-01
Cs-136	1.73E-03	1.23E-01	8.93E-03	1.34E-01
Cs-137	1.18E-02	4.53E-01	2.64E-02	4.91E-01
Cs-138	0.00E+00	0.00E+00	1.52E-02	1.52E-02
Sr-89	6.97E-05	9.11E-03	5.35E-04	9.72E-03
Sr-90	1.20E-06	1.52E-04	8.43E-06	1.62E-04
Y-90	1.20E-06	1.52E-04	8.43E-06	1.62E-04
Y-91	2.15E-06	2.80E-04	1.63E-05	2.99E-04
Sr-91	4.73E-12	3.72E-07	6.26E-05	6.30E-05
Sr-92	6.75E-31	2.01E-17	7.95E-05	7.95E-05
Zr-95	3.18E-06	4.14E-04	2.40E-05	4.41E-04
Nb-95	2.52E-06	3.34E-04	2.01E-05	3.56E-04
Mo-99	4.01E-05	1.01E-02	1.46E-03	1.16E-02
Tc-99m	4.01E-05	1.01E-02	1.46E-03	1.16E-02
Ru-103	3.08E-06	4.06E-04	2.42E-05	4.34E-04
Ru-106	8.32E-07	1.06E-04	5.92E-06	1.13E-04
Te-131m	4.95E-08	3.43E-05	1.47E-05	4.91E-05
Te-131	0.00E+00	0.00E+00	5.25E-05	5.25E-05
Te-132	1.24E-05	2.76E-03	3.48E-04	3.12E-03
Te-134	0.00E+00	0.00E+00	1.05E-04	1.05E-04
Ba-140	1.04E-04	1.49E-02	1.03E-03	1.61E-02
La-140	9.38E-08	3.97E-05	1.02E-05	5.00E-05
Ce-141	3.25E-06	4.33E-04	2.62E-05	4.62E-04
Ce-143	1.49E-07	8.62E-05	3.07E-05	1.17E-04
Pr-143	1.73E-06	2.46E-04	1.69E-05	2.65E-04
Ce-144	2.06E-06	2.62E-04	1.47E-05	2.79E-04
Pr-144	2.06E-06	2.62E-04	1.47E-05	2.79E-04
Cr-51	2.81E-05	1.85E-01	1.13E-02	1.96E-01
Mn-54	4.64E-06	6.51E-03	3.64E-04	6.88E-03
Fe-59	7.55E-07	4.20E-03	2.48E-04	4.45E-03
Co-58	5.28E-05	2.70E-01	1.56E-02	2.85E-01
Co-60	5.97E-05	3.78E-01	2.09E-02	3.99E-01
Ag-110m	8.03E-05	8.22E-02	2.61E-03	8.49E-02
Sb-124	1.25E-05	7.26E-02	4.22E-03	7.69E-02
总计(除氙、C-14)	6.46E-02	6.40E+00	6.64E-01	7.13E+00
氙				4.47E+04
C-14				2.62E+01

表 2-15 本项目两台机组正常运行状态下放射性液态流出物排放量 (GBq/a) (现实情况+保守情况)

核素	硼回收系统	废液处理系统	二回路	总计
I-131	4.05E-02	4.59E+00	3.42E-01	4.97E+00
I-132	2.00E-33	8.10E-18	3.18E-02	3.18E-02
I-133	3.25E-05	5.23E-02	1.21E-01	1.73E-01
I-134	0.00E+00	1.40E-45	3.94E-03	3.94E-03
I-135	4.42E-13	9.28E-07	3.53E-02	3.53E-02
Cs-134	1.07E-02	3.93E-01	2.11E-02	4.25E-01
Cs-136	1.76E-03	1.32E-01	8.94E-03	1.43E-01
Cs-137	1.20E-02	4.84E-01	2.64E-02	5.23E-01
Cs-138	0.00E+00	0.00E+00	1.53E-02	1.53E-02
Sr-89	6.98E-05	9.75E-03	5.36E-04	1.04E-02
Sr-90	1.20E-06	1.62E-04	8.44E-06	1.72E-04
Y-90	1.20E-06	1.62E-04	8.44E-06	1.72E-04
Y-91	2.15E-06	3.04E-04	1.63E-05	3.23E-04
Sr-91	4.77E-12	5.89E-07	6.55E-05	6.61E-05
Sr-92	6.83E-31	3.65E-17	8.43E-05	8.43E-05
Zr-95	3.19E-06	4.85E-04	2.41E-05	5.12E-04
Nb-95	2.52E-06	3.62E-04	2.01E-05	3.84E-04
Mo-99	4.06E-05	1.70E-02	1.48E-03	1.86E-02
Tc-99m	4.06E-05	1.70E-02	1.48E-03	1.86E-02
Ru-103	3.09E-06	5.18E-04	2.43E-05	5.46E-04
Ru-106	8.35E-07	1.24E-04	5.94E-06	1.31E-04
Te-131m	4.97E-08	4.49E-05	1.48E-05	5.99E-05
Te-131	0.00E+00	0.00E+00	5.56E-05	5.56E-05
Te-132	1.24E-05	3.09E-03	3.49E-04	3.45E-03
Te-134	0.00E+00	0.00E+00	1.11E-04	1.11E-04
Ba-140	1.04E-04	1.67E-02	1.03E-03	1.79E-02
La-140	9.39E-08	4.35E-05	1.02E-05	5.39E-05
Ce-141	3.26E-06	5.44E-04	2.63E-05	5.73E-04
Ce-143	1.51E-07	1.53E-04	3.14E-05	1.84E-04
Pr-143	1.73E-06	2.68E-04	1.69E-05	2.87E-04
Ce-144	2.06E-06	2.94E-04	1.47E-05	3.11E-04
Pr-144	2.06E-06	2.94E-04	1.47E-05	3.11E-04
Cr-51	2.94E-05	3.31E-01	1.14E-02	3.42E-01
Mn-54	8.27E-06	1.16E-02	3.69E-04	1.20E-02
Fe-59	8.81E-07	7.51E-03	2.51E-04	7.76E-03
Co-58	6.34E-05	4.83E-01	1.58E-02	4.98E-01
Co-60	6.13E-05	6.74E-01	2.12E-02	6.96E-01
Ag-110m	8.94E-05	1.31E-01	2.64E-03	1.33E-01
Sb-124	1.40E-05	1.30E-01	4.27E-03	1.34E-01
总计(除氚、C-14)	6.55E-02	7.48E+00	6.67E-01	8.21E+00
氚				8.49E+04
C-14				3.62E+01

表 2-16(1/2) ZGT 含氢废气的来源

序号	来 源	设 备 名 称	设 备 编 号
1	氮气覆盖的贮槽排气	<1>稳压器卸压箱 <2>前贮槽 <3>容积控制箱 <4>反应堆冷却剂疏水箱	RCS002BA ZBR001BA, 008BA RCV002BA RVD001BA
2	硼回收系统除气装置	排气冷凝器	ZBR001CS

表 2-16 (2/2) ZGT 含氧废气的来源

序号	来 源	设 备 名 称	设 备 编 号
1	常压贮槽的排气	<1>中间贮槽 <2>工艺排水接收槽 <3>废树脂贮槽 <4>疏水含氧废气罐	ZBR002BA, 003BA, 004BA 5ZLT001BA, 6ZLT601BA ZST002BA, 003BA RVD002BA
2	ZBR 系统蒸发排气	ZBR 二次蒸汽冷凝器	ZBR003CS
3	冷停堆时 ZBR 除气塔生产状态(状态五)前的排气	排气冷凝器	ZBR001CS
4	氮气覆盖的贮槽的排气(不含氢气)	硼酸贮存槽	RBM003BA, 004BA
5	过滤器更换过滤器芯子时的排气	<1>ZBR 系统的过滤器 <2>RCV 系统的过滤器	ZBR001FI, 003FI, 005FI, 006FI, RCV001FI, 002FI, 005FI,
6	除盐器更换树脂时的排气	<1>ZBR 系统的除盐器 <2> RCV 系统的除盐器	ZBR001DE, 003DE, 005DE, 006DE RCV001DE, 002DE, 003DE
7	反应堆启动时,RCV 系统设备排气(经 RVD 管道视镜 029IC, 030IC)	<1>下泄热交换器 <2>密封水热交换器	RCV002RF RCV003RF

表 2-17(1/2)ZGT 含氢废气子系统主要工艺设备参数

<p>——缓冲罐（001BA）</p> <p>数量 型式 容积 设计压力 设计温度 主要材料</p>	<p>1 台 卧式，圆筒型 5m³ 0.7MPa（表压） 50℃ 不锈钢</p>
<p>——含氢废气压缩机（001，002CO）</p> <p>数量 型式 设计流量 设计压力 设计温度 主要材料</p>	<p>2 台 隔膜压缩机 38m³ (STP)/h·台 0.7MPa（表压） 200℃ 不锈钢和碳钢</p>
<p>——压缩气体冷却器（001，002RF）</p> <p>数量 型式 气体额定流量 入口气体压力（内管） 入口设冷水压力（外管） 出口气体温度 主要材料</p>	<p>2 台 卧式套管 38m³(STP)/h·台 0.7MPa(表压) 1.2MPa（表压） 50℃ 不锈钢</p>
<p>——衰变箱（002，003，004，005BA）</p> <p>数量 型式 容积 设计压力 设计温度 主要材料</p>	<p>4 台 立式圆筒型 60m³/台 0.7MPa（表压） 50℃ 碳钢</p>

表 2-17(2/2) ZGT 含氧废气子系统主要工艺设备参数

——电加热器（001，002RS）	
数量	2 台
额定流量	2000m ³ (STP)/h·台
气体出口最高温度	70℃
主要材料	不锈钢
——碘吸附器（001，002PI）	
数量	2 台
额定流量	2000m ³ (STP)/h·台
去污因子（分子碘）	1000
主要材料	不锈钢
——排气风机（001，002ZV）	
数量	2 台
类型	离心式
额定流量	2000m ³ (STP)/h·台
静压（20℃）	5800Pa
主要材料	碳钢

表 2-18 厂房通风系统送、排风量表

系统名称与系统标识	正常送风量 (m ³ /h)	正常排风量 (m ³ /h)	碘排风量 (m ³ /h)	排风管路上的过滤、净化设备名称
核燃料厂房通风系统(VFL)	40000	44000	4400	正常排风：两台预过滤器，两台高效空气粒子过滤器（互为备用）。
	全新风	VNA 烟囱	VNA 烟囱	低流量排风：一台碘吸附器，一台高效空气粒子过滤器。
安全厂房机械设备间通风系统 (VMO)	16000	18000	3600	正常排风：两台预过滤器，两台高效空气粒子过滤器（×50%）。
	全新风	管网		低流量排风：一台高效空气粒子预过滤器，一台碘吸附器。
核辅助厂房通风系统(VNA)	120000	94000	碘排风 34000	正常排风：四台并联的预过滤器，四台并联的高效空气粒子过滤器。
	全新风	VNA 烟囱	VNA 烟囱	碘排风：一台预过滤器，一台高效空气粒子过滤器，一台碘吸附器（另有一套备用）。
环形空间通风系统(CAV)	无送风，只有排风	300~3000	300~3000	正常排风：一台预过滤器，一台高效粒子过滤器。
		VNA 烟囱	VNA 烟囱	碘排风：一台预过滤器，一台高效粒子过滤器，一台碘吸附器。
安全壳连续通风系统 (CCV)	210000	0	0	无（只有三台进风高效空气粒子过滤器，二用一备，为闭式空气循环系统）。
	全新风			
安全壳内空气净化系统(CUP)	23000	0		进风高效空气粒子过滤器一台，碘吸附器一台（为闭式回路的空气循环系统）
	从 CCV 引入			
安全壳空气监测系统 (CAM)	2800	2800		正常排风：一台预过滤器，一台高效空气粒子过滤器，一台碘吸附器(无备用)。
	从 VFL 引入	入 VNA 风机		
安全壳换气通风系统 (CSV)	60000	64000	碘污染：32000(送)	冷停堆期间，CSV 通风换气正常运行。在有碘污染的情况下，CSV 排风经过 VNA 系统碘吸附器。
	从 VNA 引入	入 VNA 风机	碘污染：34000(排)	

表 2-19 (1/2) 本项目单台机组正常运行状态下放射性气载流出物排放量 (GBq/a) (现实情况)

核素	废气处理系统	反应堆厂房	核辅助厂房	燃料厂房	二回路	总计
Kr-85m	0.00E+00	3.36E-01	2.65E+01	0.00E+00	1.52E+00	2.83E+01
Kr-85	8.00E+00	2.59E+00	1.30E+00	0.00E+00	7.51E-02	1.20E+01
Kr-87	0.00E+00	1.33E-01	3.67E+01	0.00E+00	2.08E+00	3.89E+01
Kr-88	0.00E+00	5.02E-01	6.22E+01	0.00E+00	3.56E+00	6.62E+01
Xe-133m	2.60E-07	1.86E+00	1.33E+01	0.00E+00	7.66E-01	1.59E+01
Xe-133	8.24E-01	1.24E+02	4.08E+02	0.00E+00	2.35E+01	5.56E+02
Xe-135	0.00E+00	5.45E+00	2.12E+02	0.00E+00	1.22E+01	2.30E+02
Xe-138	0.00E+00	4.82E-02	7.17E+01	0.00E+00	3.81E+00	7.55E+01
I-131	8.45E-06	1.52E-03	1.60E-03	8.55E-06	1.61E-04	3.31E-03
I-132	0.00E+00	2.50E-05	1.76E-03	9.38E-06	1.12E-04	1.91E-03
I-133	1.98E-25	3.02E-04	2.41E-03	1.29E-05	2.29E-04	2.95E-03
I-134	0.00E+00	7.71E-06	1.43E-03	7.60E-06	5.67E-05	1.50E-03
I-135	0.00E+00	6.57E-05	1.62E-03	8.66E-06	1.36E-04	1.83E-03
Cr-51	5.18E-06	3.40E-03	1.18E-04	6.66E-05	0.00E+00	3.59E-03
Mn-54	7.77E-07	1.96E-03	2.89E-05	1.11E-04	0.00E+00	2.10E-03
Co-57	0.00E+00	3.30E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.30E-04
Co-58	3.22E-06	9.25E-03	7.03E-04	7.77E-03	0.00E+00	1.77E-02
Co-60	5.18E-06	9.62E-04	1.88E-04	3.03E-03	0.00E+00	4.19E-03
Fe-59	6.66E-07	9.99E-04	1.85E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.02E-03
Sr-89	1.63E-05	4.81E-03	2.78E-04	7.77E-04	0.00E+00	5.88E-03
Sr-90	6.29E-06	1.92E-03	1.07E-04	2.96E-04	0.00E+00	2.33E-03
Zr-95	1.78E-06	0.00E+00	3.70E-04	1.33E-06	0.00E+00	3.73E-04
Nb-95	1.37E-06	6.66E-04	1.11E-04	8.88E-04	0.00E+00	1.67E-03
Ru-103	1.18E-06	5.92E-04	8.51E-06	1.41E-05	0.00E+00	6.16E-04
Ru-106	9.99E-07	0.00E+00	2.22E-06	2.55E-05	0.00E+00	2.87E-05
Sb-125	0.00E+00	0.00E+00	1.44E-06	2.11E-05	0.00E+00	2.25E-05
Cs-134	1.22E-05	9.25E-04	2.00E-04	6.29E-04	0.00E+00	1.77E-03
Cs-136	1.96E-06	1.18E-03	1.78E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-03
Cs-137	2.85E-05	2.03E-03	2.66E-04	9.99E-04	0.00E+00	3.32E-03
Ba-140	8.51E-06	0.00E+00	1.48E-04	0.00E+00	0.00E+00	1.57E-04
Ce-141	8.14E-07	4.81E-04	9.62E-06	1.63E-07	0.00E+00	4.92E-04
总惰性 气体	8.82E+00	1.35E+02	8.32E+02	0.00E+00	4.75E+01	1.02E+03
总气载碘	8.45E-06	1.92E-03	8.82E-03	4.70E-05	6.95E-04	1.15E-02
总粒子 氚	9.49E-05	2.95E-02	2.58E-03	1.46E-02	0.00E+00	4.68E-02
C-14						4.47E+03
						2.20E+02

表 2-19 (2/2) 本项目单台机组正常运行状态下放射性气载流出物排放量 (GBq/a) (保守情况)

核素	废气处理系统	反应堆厂房	核辅助厂房	燃料厂房	二回路	总计
Kr-85m	0.00E+00	2.07E+01	1.32E+03	0.00E+00	4.50E+02	1.79E+03
Kr-85	7.58E+02	9.89E+01	4.97E+01	0.00E+00	1.70E+01	9.24E+02
Kr-87	0.00E+00	6.99E+00	1.57E+03	0.00E+00	5.26E+02	2.10E+03
Kr-88	0.00E+00	2.99E+01	3.01E+03	0.00E+00	1.02E+03	4.05E+03
Xe-133m	2.66E-05	1.14E+02	6.68E+02	0.00E+00	2.28E+02	1.01E+03
Xe-133	8.80E+01	7.58E+03	2.07E+04	0.00E+00	7.05E+03	3.54E+04
Xe-135	0.00E+00	3.11E+02	9.86E+03	0.00E+00	3.36E+03	1.35E+04
Xe-138	0.00E+00	1.63E+00	1.97E+03	0.00E+00	6.20E+02	2.59E+03
I-131	6.22E-04	1.67E-01	7.81E-02	4.17E-04	3.66E-02	2.83E-01
I-132	0.00E+00	1.46E-03	4.57E-02	2.44E-04	1.47E-02	6.21E-02
I-133	1.23E-23	2.83E-02	1.00E-01	5.36E-04	4.50E-02	1.74E-01
I-134	0.00E+00	1.02E-04	8.38E-03	4.47E-05	1.79E-03	1.03E-02
I-135	0.00E+00	3.67E-03	4.03E-02	2.15E-04	1.64E-02	6.05E-02
Cr-51	1.04E-05	6.80E-03	2.36E-04	1.33E-04	0.00E+00	7.18E-03
Mn-54	1.55E-06	3.92E-03	5.78E-05	2.22E-04	0.00E+00	4.20E-03
Co-57	0.00E+00	6.60E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.60E-04
Co-58	6.44E-06	1.85E-02	1.41E-03	1.55E-02	0.00E+00	3.55E-02
Co-60	1.04E-05	1.92E-03	3.76E-04	6.06E-03	0.00E+00	8.37E-03
Fe-59	1.33E-06	2.00E-03	3.70E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.04E-03
Sr-89	3.26E-05	9.62E-03	5.56E-04	1.55E-03	0.00E+00	1.18E-02
Sr-90	1.26E-05	3.84E-03	2.14E-04	5.92E-04	0.00E+00	4.66E-03
Zr-95	3.56E-06	0.00E+00	7.40E-04	2.66E-06	0.00E+00	7.46E-04
Nb-95	2.74E-06	1.33E-03	2.22E-04	1.78E-03	0.00E+00	3.33E-03
Ru-103	2.36E-06	1.18E-03	1.70E-05	2.82E-05	0.00E+00	1.23E-03
Ru-106	2.00E-06	0.00E+00	4.44E-06	5.10E-05	0.00E+00	5.74E-05
Sb-125	0.00E+00	0.00E+00	2.88E-06	4.22E-05	0.00E+00	4.51E-05
Cs-134	2.44E-05	1.85E-03	4.00E-04	1.26E-03	0.00E+00	3.53E-03
Cs-136	3.92E-06	2.36E-03	3.56E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.40E-03
Cs-137	5.70E-05	4.06E-03	5.32E-04	2.00E-03	0.00E+00	6.65E-03
Ba-140	1.70E-05	0.00E+00	2.96E-04	0.00E+00	0.00E+00	3.13E-04
Ce-141	1.63E-06	9.62E-04	1.92E-05	3.26E-07	0.00E+00	9.83E-04
总惰性 气体	8.46E+02	8.16E+03	3.91E+04	0.00E+00	1.33E+04	6.14E+04
总气载碘	6.22E-04	2.00E-01	2.73E-01	1.46E-03	1.15E-01	5.90E-01
总粒子	1.90E-04	5.90E-02	5.15E-03	2.93E-02	0.00E+00	9.36E-02
氚						4.97E+03
C-14						3.57E+02

表 2-20 本项目两台机组正常运行状态下放射性气载流出物排放量 (GBq/a) (现实情况+保守情况)

核素	废气处理系统	反应堆厂房	核辅助厂房	燃料厂房	二回路	总计
Kr-85m	0.00E+00	2.10E+01	1.35E+03	0.00E+00	4.52E+02	1.82E+03
Kr-85	7.66E+02	1.01E+02	5.10E+01	0.00E+00	1.71E+01	9.36E+02
Kr-87	0.00E+00	7.12E+00	1.61E+03	0.00E+00	5.28E+02	2.14E+03
Kr-88	0.00E+00	3.04E+01	3.07E+03	0.00E+00	1.02E+03	4.12E+03
Xe-133m	2.69E-05	1.16E+02	6.81E+02	0.00E+00	2.29E+02	1.03E+03
Xe-133	8.88E+01	7.70E+03	2.11E+04	0.00E+00	7.07E+03	3.60E+04
Xe-135	0.00E+00	3.16E+02	1.01E+04	0.00E+00	3.37E+03	1.37E+04
Xe-138	0.00E+00	1.68E+00	2.04E+03	0.00E+00	6.24E+02	2.67E+03
I-131	6.30E-04	1.69E-01	7.97E-02	4.26E-04	3.68E-02	2.86E-01
I-132	0.00E+00	1.49E-03	4.75E-02	2.53E-04	1.48E-02	6.40E-02
I-133	1.25E-23	2.86E-02	1.02E-01	5.49E-04	4.52E-02	1.77E-01
I-134	0.00E+00	1.10E-04	9.81E-03	5.23E-05	1.85E-03	1.18E-02
I-135	0.00E+00	3.74E-03	4.19E-02	2.24E-04	1.65E-02	6.23E-02
Cr-51	1.56E-05	1.02E-02	3.54E-04	2.00E-04	0.00E+00	1.08E-02
Mn-54	2.33E-06	5.88E-03	8.67E-05	3.33E-04	0.00E+00	6.30E-03
Co-57	0.00E+00	9.90E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.90E-04
Co-58	9.66E-06	2.78E-02	2.11E-03	2.33E-02	0.00E+00	5.32E-02
Co-60	1.56E-05	2.88E-03	5.64E-04	9.09E-03	0.00E+00	1.26E-02
Fe-59	2.00E-06	3.00E-03	5.55E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.06E-03
Sr-89	4.89E-05	1.44E-02	8.34E-04	2.33E-03	0.00E+00	1.77E-02
Sr-90	1.89E-05	5.76E-03	3.21E-04	8.88E-04	0.00E+00	6.99E-03
Zr-95	5.34E-06	0.00E+00	1.11E-03	3.99E-06	0.00E+00	1.12E-03
Nb-95	4.11E-06	2.00E-03	3.33E-04	2.67E-03	0.00E+00	5.00E-03
Ru-103	3.54E-06	1.77E-03	2.55E-05	4.23E-05	0.00E+00	1.85E-03
Ru-106	3.00E-06	0.00E+00	6.66E-06	7.65E-05	0.00E+00	8.61E-05
Sb-125	0.00E+00	0.00E+00	4.32E-06	6.33E-05	0.00E+00	6.76E-05
Cs-134	3.66E-05	2.78E-03	6.00E-04	1.89E-03	0.00E+00	5.30E-03
Cs-136	5.88E-06	3.54E-03	5.34E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.60E-03
Cs-137	8.55E-05	6.09E-03	7.98E-04	3.00E-03	0.00E+00	9.97E-03
Ba-140	2.55E-05	0.00E+00	4.44E-04	0.00E+00	0.00E+00	4.70E-04
Ce-141	2.44E-06	1.44E-03	2.88E-05	4.89E-07	0.00E+00	1.48E-03
总惰性 气体	8.55E+02	8.30E+03	3.99E+04	0.00E+00	1.33E+04	6.24E+04
总气载碘	6.30E-04	2.02E-01	2.82E-01	1.51E-03	1.16E-01	6.02E-01
总粒子 氚	2.85E-04	8.85E-02	7.73E-03	4.39E-02	0.00E+00	1.40E-01
C-14						9.44E+03
						5.77E+02

表 2-21 (1/3) 固体废物处理系统主要设备参数

NX 厂房内设备(每台机组一套)	
— 废树脂贮槽	
数量	2
形式	立式
有效容积, m ³	9
设计压力, MPa (g)	常压
最高温度, °C	45
主要材料	不锈钢
— 废树脂喷射器	
数量	2
喷射液体压力	0.3MPa
流量, m ³ /h	7.5
吸入液体	2.5
设计压力	常压
主要材料	不锈钢
—TTB 废树脂贮槽	
形式	立式
数量	1
有效容积, m ³	1.58
设计压力	常压
最高工作温度, °C	45
主要材料	不锈钢
— 废树脂转运装置	
数量	1
主要设备	中间罐、螺杆泵、接口箱
材料	不锈钢

表 2-21(2/3) 固体废物处理系统主要设备参数

QX 厂房内设备(两台机组用一套)	
— 废树脂贮槽	
数量	1
有效容积, m ³	9
主要材料	不锈钢
— 浓缩液接收槽	
数量	1
有效容积, m ³	5
主要材料	不锈钢
— 废活性炭接收槽	
数量	1
有效容积, m ³	3.9
主要材料	不锈钢
— 废过滤器芯更换转运容器	
数量	1
铅厚度 mm	140
材料	不锈钢
— 废树脂转运装置 (卸载树脂)	
数量	1
主要设备	中间罐、螺杆泵、接口箱
材料	不锈钢
— 废过滤器芯屏蔽运输车辆	
数量	1
主要设备	碳钢
安全措施	容器屏蔽盖可锁死
容量	400L

表 2-21(3/3) 固体废物处理系统主要设备参数

QT 库内设备（和 1、2 号机组共用）	
— 数控起重机	
数量	1
跨度, m	28.5
起重量, t	5
— 桥式起重机	
数量	1
跨度, m	16.5
起重量, t	5
— 废物桶检测装置	
数量	1
检测对象	400L 钢桶
检测内容	核素活度、表面剂量率、表面污染

表 2-22 (1/2) 每台机组每年待处理废物的体积及每年输出桶的平均值

a) 系统输入废物的总体积的设计值

来 源	ZST 输入物
浓缩液	8m ³
废树脂	20m ³ (1)
废活性炭	1m ³
废过滤芯	85 个(2)
压实前的各类干废物	140m ³ (3)

注:

(1)其中 9m³是 TTB 废树脂, 直接装入 200L 钢桶中; 其余采用湿法氧化和高效固化工艺。

(2)其中 40 个表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$, 进行烘干、超级压实和水泥固定处理; 其余 45 个表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$, 进行水泥固定处理。

(3)其中 79m³是可降解防护用品, 40m³为可压实废物, 21 m³为不可压实废物(3/4 为可直接超级压实废物)。

b) 每台机组每年输出桶数的设计值

	400L 钢桶	200L 钢桶
浓缩液	45	
废树脂	88	
废活性炭	8	
废过滤芯	58	
压实前的各类干废物	74	
总计	273	45 (1)
	109.2 m ³	

注:

(1)正常情况下 TTB 树脂仅受轻微放射性污染, 衰变后可以解控。不计入总的废物包产生量。

表 2-22 (2/2) 每台机组每年待处理废物的体积及每年输出桶的平均值

c) ZST 系统输入废物的总体积的预期值

来 源	TES 输入物
浓缩液	3m ³
废树脂	4m ³
废活性炭	0.5m ³
废过滤芯	40 个(1)
压实前的各类干废物	108m ³ (3)

注:

(1)其中 17 个表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ，进行烘干、超级压实和水泥固定处理；其余 23 个表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ ，进行水泥固定处理。

(2)其中 67m³是可降解防护用品，33m³为可压实废物，8 m³为不可压实废物(3/4 为可直接超级压实废物)。

d) 每台机组每年输出桶数的设计值

	400L 钢桶	200L 钢桶
浓缩液（约 50%体积包容率）	17	
废树脂（约 35%体积包容率）	32	
废活性炭	4	
废过滤芯	29	
压实前的各类干废物	41	
总计	123	/
	49.2 m ³	

附件 3：正常运行的辐射环境影响计算参数

表 3-1 (1/2) 厂址气象铁塔 10m 梯度风向、风速、稳定度联合频率 (%) (2021 年 1 月~2022 年 12 月)

稳定度	风速级	平均风速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
A	C	-	0.00																
	0.6~1.9	1.83	0.000	0.000	0.006	0.006	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2.0~2.9	2.61	0.000	0.000	0.006	0.046	0.034	0.006	0.006	0.000	0.029	0.023	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3.0~4.9	3.77	0.000	0.000	0.029	0.069	0.137	0.017	0.000	0.000	0.011	0.006	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5.0~5.9	5.44	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	≥6.0	6.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B	C	-	0.00																
	0.6~1.9	1.63	0.000	0.011	0.034	0.023	0.011	0.034	0.011	0.011	0.017	0.057	0.011	0.006	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000
	2.0~2.9	2.55	0.000	0.006	0.063	0.114	0.103	0.040	0.017	0.017	0.103	0.109	0.040	0.023	0.011	0.006	0.006	0.006	0.000
	3.0~4.9	4.13	0.023	0.029	0.137	0.234	0.091	0.017	0.011	0.034	0.497	0.503	0.086	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006
	5.0~5.9	5.51	0.029	0.011	0.223	0.303	0.080	0.011	0.000	0.103	0.211	0.171	0.069	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	≥6.0	6.82	0.006	0.023	0.571	0.360	0.051	0.000	0.000	0.046	0.017	0.166	0.126	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C	C	-	0.00																
	0.6~1.9	1.58	0.011	0.011	0.046	0.017	0.034	0.011	0.017	0.034	0.023	0.057	0.000	0.006	0.006	0.011	0.029	0.006	0.000
	2.0~2.9	2.50	0.006	0.046	0.097	0.051	0.011	0.006	0.023	0.040	0.114	0.149	0.091	0.011	0.006	0.029	0.017	0.000	0.000
	3.0~4.9	4.13	0.063	0.166	0.297	0.177	0.040	0.017	0.023	0.149	0.257	0.709	0.189	0.046	0.040	0.011	0.011	0.023	0.000
	5.0~5.9	5.52	0.034	0.091	0.320	0.091	0.011	0.017	0.000	0.074	0.080	0.577	0.046	0.011	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000
	≥6.0	8.12	0.011	0.206	3.554	1.200	0.023	0.000	0.000	0.086	0.137	1.331	0.337	0.011	0.000	0.000	0.023	0.006	0.000

表 3-1 (2/2) 厂址气象铁塔 10m 梯度风向、风速、稳定度联合频率 (%) (2021 年 1 月~2022 年 12 月)

稳定度	风速级	平均风速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
D	C	0.11	0.098															
	0.6~1.9	1.45	0.143	0.246	0.143	0.189	0.086	0.126	0.149	0.166	0.131	0.154	0.177	0.126	0.109	0.074	0.103	0.131
	2.0~2.9	2.54	0.309	0.360	0.549	0.354	0.097	0.086	0.126	0.143	0.211	0.429	0.257	0.206	0.120	0.063	0.097	0.120
	3.0~4.9	4.06	0.840	2.400	2.651	1.000	0.177	0.114	0.051	0.314	0.537	1.417	0.800	0.343	0.211	0.103	0.046	0.086
	5.0~5.9	5.51	0.526	1.983	2.480	0.360	0.017	0.000	0.011	0.091	0.143	1.097	0.606	0.126	0.011	0.006	0.017	0.046
	≥6.0	9.46	0.954	10.291	29.640	2.126	0.046	0.057	0.114	0.143	0.143	3.926	4.360	0.217	0.011	0.000	0.051	0.051
E	C	-	0.00															
	0.6~1.9	1.53	0.006	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.011	0.011	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000
	2.0~2.9	2.60	0.023	0.006	0.006	0.011	0.006	0.006	0.017	0.029	0.051	0.040	0.006	0.006	0.000	0.006	0.000	0.006
	3.0~4.9	4.15	0.091	0.200	0.160	0.046	0.006	0.011	0.029	0.074	0.217	0.183	0.120	0.023	0.034	0.017	0.023	0.029
	5.0~5.9	5.46	0.137	0.434	0.074	0.006	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.097	0.114	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
	≥6.0	6.69	0.103	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.069	0.166	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	C	0.22	0.024															
	0.6~1.9	1.41	0.046	0.063	0.069	0.086	0.063	0.040	0.040	0.069	0.063	0.063	0.063	0.051	0.109	0.103	0.051	0.074
	2.0~2.9	2.52	0.080	0.120	0.143	0.063	0.017	0.011	0.063	0.051	0.046	0.103	0.137	0.091	0.051	0.069	0.023	0.040
	3.0~4.9	3.69	0.114	0.251	0.229	0.051	0.029	0.000	0.006	0.046	0.051	0.091	0.126	0.040	0.006	0.017	0.011	0.023
	5.0~5.9	5.45	0.006	0.046	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.006	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006
	≥6.0	6.36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表 3-2 (1/2) 厂址气象铁塔 70m 梯度无雨时风向、风速、稳定度联合频率 (%) (2021 年 1 月~2022 年 12 月)

稳定度	风速级	平均 风速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
A	C	-	0.000																
	0.6~1.9	1.83	0.000	0.000	0.006	0.006	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2.0~2.9	2.61	0.000	0.000	0.006	0.046	0.034	0.006	0.006	0.000	0.029	0.023	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3.0~4.9	3.77	0.000	0.000	0.029	0.069	0.137	0.017	0.000	0.000	0.011	0.006	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5.0~5.9	5.44	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	≥6.0	6.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B	C	-	0.000																
	0.6~1.9	1.64	0.000	0.011	0.034	0.023	0.011	0.029	0.011	0.011	0.017	0.057	0.011	0.006	0.011	0.011	0.000	0.000	
	2.0~2.9	2.55	0.000	0.006	0.063	0.114	0.103	0.040	0.017	0.017	0.103	0.103	0.040	0.023	0.011	0.006	0.006	0.000	
	3.0~4.9	4.13	0.023	0.029	0.137	0.234	0.091	0.017	0.011	0.034	0.497	0.503	0.086	0.000	0.006	0.000	0.000	0.006	
	5.0~5.9	5.51	0.029	0.011	0.223	0.303	0.080	0.011	0.000	0.103	0.211	0.171	0.069	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	
	≥6.0	6.82	0.006	0.023	0.571	0.360	0.051	0.000	0.000	0.046	0.017	0.166	0.126	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	
C	C	-	0.000																
	0.6~1.9	1.58	0.011	0.011	0.046	0.017	0.034	0.011	0.017	0.034	0.023	0.057	0.000	0.006	0.006	0.011	0.029	0.006	
	2.0~2.9	2.50	0.006	0.046	0.097	0.051	0.011	0.006	0.023	0.040	0.114	0.149	0.086	0.011	0.006	0.029	0.017	0.000	
	3.0~4.9	4.13	0.063	0.166	0.280	0.171	0.040	0.017	0.023	0.143	0.257	0.703	0.189	0.046	0.040	0.011	0.011	0.023	
	5.0~5.9	5.52	0.029	0.091	0.309	0.091	0.011	0.017	0.000	0.069	0.074	0.577	0.046	0.011	0.000	0.000	0.017	0.000	
	≥6.0	8.13	0.011	0.206	3.543	1.200	0.023	0.000	0.000	0.086	0.137	1.326	0.337	0.011	0.000	0.000	0.023	0.006	

表 3-2 (2/2) 厂址气象铁塔 70m 梯度无雨时风向、风速、稳定度联合频率 (%) (2021 年 1 月~2022 年 12 月)

稳定度	风速级	平均 风速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
D	C	0.32	0.035															
	0.6~1.9	1.46	0.137	0.200	0.120	0.160	0.051	0.126	0.137	0.160	0.126	0.131	0.166	0.114	0.103	0.046	0.086	0.126
	2.0~2.9	2.54	0.251	0.280	0.457	0.291	0.091	0.074	0.120	0.143	0.194	0.423	0.257	0.177	0.103	0.040	0.080	0.097
	3.0~4.9	4.06	0.737	2.006	2.143	0.829	0.154	0.114	0.051	0.309	0.526	1.343	0.766	0.291	0.183	0.074	0.040	0.074
	5.0~5.9	5.52	0.463	1.703	2.051	0.320	0.011	0.000	0.011	0.086	0.143	1.057	0.583	0.109	0.006	0.006	0.011	0.046
	≥6.0	9.45	0.874	8.657	27.354	1.971	0.017	0.006	0.034	0.114	0.143	3.800	4.114	0.166	0.006	0.000	0.046	0.040
E	C	-	0.000															
	0.6~1.9	1.49	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000
	2.0~2.9	2.60	0.023	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.017	0.023	0.051	0.040	0.006	0.006	0.000	0.006	0.000	0.006
	3.0~4.9	4.16	0.080	0.194	0.149	0.040	0.000	0.006	0.029	0.074	0.211	0.183	0.120	0.017	0.034	0.017	0.017	0.029
	5.0~5.9	5.46	0.137	0.423	0.074	0.006	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.080	0.103	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
	≥6.0	6.62	0.103	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.069	0.137	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	C	0.22	0.024															
	0.6~1.9	1.42	0.046	0.057	0.063	0.069	0.057	0.029	0.040	0.069	0.063	0.057	0.063	0.051	0.103	0.097	0.051	0.074
	2.0~2.9	2.52	0.080	0.120	0.126	0.057	0.017	0.011	0.057	0.051	0.046	0.103	0.131	0.086	0.046	0.069	0.023	0.034
	3.0~4.9	3.72	0.114	0.246	0.223	0.051	0.017	0.000	0.006	0.046	0.051	0.086	0.120	0.034	0.006	0.017	0.011	0.023
	5.0~5.9	5.45	0.006	0.046	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.006	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006
	≥6.0	6.36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表 3-3 (1/2) 厂址气象铁塔 70m 梯度有雨时风向、风速、稳定度联合频率 (%) (2021 年 1 月~2022 年 12 月)

稳定度	风速级	平均 风速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
A	C	-	0.000																
	0.6~1.9	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2.0~2.9	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3.0~4.9	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5.0~5.9	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	≥6.0	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B	C	-	0.000																
	0.6~1.9	1.24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2.0~2.9	2.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3.0~4.9	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5.0~5.9	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	≥6.0	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C	C	-	0.000																
	0.6~1.9	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2.0~2.9	2.88	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3.0~4.9	4.29	0.000	0.000	0.017	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5.0~5.9	5.36	0.006	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	≥6.0	7.36	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表 3-3 (2/2) 厂址气象铁塔 70m 梯度有雨时风向、风速、稳定度联合频率 (%) (2021 年 1 月~2022 年 12 月)

稳定度	风速级	平均风速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
D	C	0.00	0.063															
	0.6~1.9	1.36	0.006	0.046	0.023	0.029	0.034	0.000	0.011	0.006	0.006	0.023	0.011	0.011	0.006	0.029	0.017	0.006
	2.0~2.9	2.59	0.057	0.080	0.091	0.063	0.006	0.011	0.006	0.000	0.017	0.006	0.000	0.029	0.017	0.023	0.017	0.023
	3.0~4.9	4.02	0.103	0.394	0.509	0.171	0.023	0.000	0.000	0.006	0.011	0.074	0.034	0.051	0.029	0.029	0.006	0.011
	5.0~5.9	5.46	0.063	0.280	0.429	0.040	0.006	0.000	0.000	0.006	0.000	0.040	0.023	0.017	0.006	0.000	0.006	0.000
	≥6.0	9.60	0.080	1.634	2.286	0.154	0.029	0.051	0.080	0.029	0.000	0.126	0.246	0.051	0.006	0.000	0.006	0.011
E	C	-	0.000															
	0.6~1.9	1.73	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2.0~2.9	2.59	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3.0~4.9	3.93	0.011	0.006	0.011	0.006	0.006	0.006	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.006	0.000
	5.0~5.9	5.41	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	≥6.0	7.59	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000
F	C	-	0.000															
	0.6~1.9	1.33	0.000	0.006	0.006	0.017	0.006	0.011	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.006	0.006	0.000	0.000
	2.0~2.9	2.57	0.000	0.000	0.017	0.006	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.006	0.000	0.000	0.006
	3.0~4.9	3.12	0.000	0.006	0.006	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
	5.0~5.9	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	≥6.0	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表 3-4 (1/3) 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子 (核素: Kr-85)

单位: s/m³

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	2.91E-06	4.91E-07	2.09E-07	9.40E-08	3.29E-08	9.11E-09	4.17E-09	2.49E-09	1.73E-09	1.27E-09	9.91E-10	7.91E-10
NNE	2.92E-06	4.89E-07	2.04E-07	8.99E-08	3.18E-08	8.38E-09	4.00E-09	2.46E-09	1.74E-09	1.29E-09	1.02E-09	8.25E-10
NE	1.44E-06	2.44E-07	1.01E-07	4.42E-08	1.58E-08	4.00E-09	1.94E-09	1.20E-09	8.56E-10	6.39E-10	5.08E-10	4.11E-10
ENE	8.77E-07	1.48E-07	6.12E-08	2.67E-08	9.62E-09	2.42E-09	1.18E-09	7.31E-10	5.21E-10	3.90E-10	3.10E-10	2.51E-10
E	4.71E-07	7.96E-08	3.36E-08	1.49E-08	5.37E-09	1.38E-09	6.54E-10	3.99E-10	2.80E-10	2.08E-10	1.64E-10	1.32E-10
ESE	6.00E-07	1.02E-07	4.46E-08	2.02E-08	7.23E-09	1.96E-09	8.80E-10	5.18E-10	3.55E-10	2.58E-10	2.00E-10	1.59E-10
SE	1.11E-06	1.91E-07	8.19E-08	3.67E-08	1.31E-08	3.46E-09	1.58E-09	9.45E-10	6.54E-10	4.79E-10	3.75E-10	2.99E-10
SSE	1.05E-06	1.82E-07	7.65E-08	3.37E-08	1.21E-08	3.09E-09	1.46E-09	8.86E-10	6.22E-10	4.60E-10	3.63E-10	2.92E-10
S	3.12E-06	5.29E-07	2.18E-07	9.43E-08	3.37E-08	8.38E-09	4.14E-09	2.59E-09	1.86E-09	1.39E-09	1.11E-09	9.03E-10
SSW	6.58E-06	1.10E-06	4.47E-07	1.92E-07	6.84E-08	1.68E-08	8.57E-09	5.46E-09	3.95E-09	2.99E-09	2.40E-09	1.96E-09
SW	5.31E-06	8.77E-07	3.59E-07	1.55E-07	5.52E-08	1.38E-08	6.98E-09	4.43E-09	3.20E-09	2.42E-09	1.94E-09	1.58E-09
WSW	2.24E-06	3.66E-07	1.50E-07	6.52E-08	2.33E-08	5.97E-09	2.98E-09	1.88E-09	1.35E-09	1.02E-09	8.16E-10	6.63E-10
W	6.50E-07	1.05E-07	4.44E-08	1.97E-08	7.00E-09	1.93E-09	9.18E-10	5.63E-10	3.97E-10	2.95E-10	2.33E-10	1.88E-10
WNW	3.82E-07	6.22E-08	2.64E-08	1.18E-08	4.22E-09	1.16E-09	5.45E-10	3.31E-10	2.32E-10	1.71E-10	1.35E-10	1.08E-10
NW	7.12E-07	1.21E-07	5.31E-08	2.43E-08	8.63E-09	2.43E-09	1.07E-09	6.22E-10	4.22E-10	3.04E-10	2.35E-10	1.86E-10
NNW	8.27E-07	1.36E-07	5.71E-08	2.53E-08	9.00E-09	2.43E-09	1.16E-09	7.08E-10	4.99E-10	3.70E-10	2.93E-10	2.36E-10

表 3-4 (2/3) 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子 (核素: I-131)

单位: s/m³

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	2.90E-06	4.83E-07	2.04E-07	8.99E-08	3.03E-08	7.71E-09	3.23E-09	1.78E-09	1.14E-09	7.80E-10	5.69E-10	4.24E-10
NNE	2.91E-06	4.82E-07	1.99E-07	8.65E-08	2.96E-08	7.23E-09	3.19E-09	1.82E-09	1.20E-09	8.34E-10	6.19E-10	4.68E-10
NE	1.43E-06	2.41E-07	9.90E-08	4.26E-08	1.48E-08	3.47E-09	1.56E-09	8.96E-10	5.92E-10	4.12E-10	3.06E-10	2.31E-10
ENE	8.73E-07	1.46E-07	5.97E-08	2.57E-08	8.93E-09	2.07E-09	9.24E-10	5.28E-10	3.46E-10	2.39E-10	1.76E-10	1.31E-10
E	4.69E-07	7.82E-08	3.26E-08	1.42E-08	4.91E-09	1.15E-09	4.92E-10	2.72E-10	1.74E-10	1.18E-10	8.49E-11	6.25E-11
ESE	5.96E-07	1.00E-07	4.31E-08	1.91E-08	6.52E-09	1.59E-09	6.33E-10	3.34E-10	2.06E-10	1.35E-10	9.52E-11	6.87E-11
SE	1.10E-06	1.88E-07	7.94E-08	3.49E-08	1.20E-08	2.86E-09	1.18E-09	6.37E-10	4.02E-10	2.69E-10	1.93E-10	1.41E-10
SSE	1.05E-06	1.79E-07	7.45E-08	3.23E-08	1.11E-08	2.63E-09	1.13E-09	6.30E-10	4.07E-10	2.78E-10	2.02E-10	1.51E-10
S	3.11E-06	5.22E-07	2.13E-07	9.12E-08	3.16E-08	7.38E-09	3.39E-09	1.99E-09	1.33E-09	9.42E-10	7.07E-10	5.41E-10
SSW	6.56E-06	1.09E-06	4.40E-07	1.87E-07	6.49E-08	1.52E-08	7.28E-09	4.39E-09	3.02E-09	2.17E-09	1.66E-09	1.29E-09
SW	5.29E-06	8.67E-07	3.52E-07	1.50E-07	5.21E-08	1.23E-08	5.83E-09	3.49E-09	2.38E-09	1.71E-09	1.30E-09	1.00E-09
WSW	2.23E-06	3.61E-07	1.47E-07	6.28E-08	2.18E-08	5.18E-09	2.40E-09	1.41E-09	9.44E-10	6.65E-10	4.99E-10	3.81E-10
W	6.47E-07	1.04E-07	4.31E-08	1.88E-08	6.40E-09	1.61E-09	6.95E-10	3.89E-10	2.52E-10	1.72E-10	1.26E-10	9.37E-11
WNW	3.79E-07	6.09E-08	2.55E-08	1.12E-08	3.79E-09	9.39E-10	3.89E-10	2.09E-10	1.30E-10	8.58E-11	6.04E-11	4.34E-11
NW	7.07E-07	1.18E-07	5.12E-08	2.29E-08	7.72E-09	1.95E-09	7.53E-10	3.87E-10	2.34E-10	1.50E-10	1.04E-10	7.36E-11
NNW	8.22E-07	1.34E-07	5.54E-08	2.41E-08	8.21E-09	2.02E-09	8.67E-10	4.81E-10	3.08E-10	2.09E-10	1.51E-10	1.11E-10

表 3-4 (3/3) 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子 (核素: Cs-137)

单位: s/m³

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	2.90E-06	4.83E-07	2.04E-07	9.01E-08	3.04E-08	7.77E-09	3.27E-09	1.81E-09	1.16E-09	7.96E-10	5.83E-10	4.36E-10
NNE	2.91E-06	4.82E-07	1.99E-07	8.67E-08	2.97E-08	7.28E-09	3.23E-09	1.85E-09	1.22E-09	8.51E-10	6.32E-10	4.79E-10
NE	1.43E-06	2.41E-07	9.91E-08	4.27E-08	1.48E-08	3.50E-09	1.57E-09	9.08E-10	6.02E-10	4.21E-10	3.13E-10	2.37E-10
ENE	8.73E-07	1.46E-07	5.98E-08	2.57E-08	8.96E-09	2.09E-09	9.34E-10	5.35E-10	3.52E-10	2.44E-10	1.80E-10	1.35E-10
E	4.69E-07	7.83E-08	3.27E-08	1.42E-08	4.93E-09	1.16E-09	4.98E-10	2.77E-10	1.78E-10	1.21E-10	8.74E-11	6.46E-11
ESE	5.96E-07	1.00E-07	4.31E-08	1.92E-08	6.55E-09	1.61E-09	6.42E-10	3.40E-10	2.11E-10	1.39E-10	9.84E-11	7.13E-11
SE	1.10E-06	1.88E-07	7.95E-08	3.50E-08	1.20E-08	2.89E-09	1.19E-09	6.49E-10	4.10E-10	2.76E-10	1.98E-10	1.46E-10
SSE	1.05E-06	1.79E-07	7.46E-08	3.24E-08	1.12E-08	2.65E-09	1.14E-09	6.40E-10	4.14E-10	2.84E-10	2.08E-10	1.55E-10
S	3.11E-06	5.23E-07	2.13E-07	9.14E-08	3.17E-08	7.42E-09	3.42E-09	2.01E-09	1.35E-09	9.58E-10	7.21E-10	5.53E-10
SSW	6.56E-06	1.09E-06	4.40E-07	1.87E-07	6.51E-08	1.52E-08	7.34E-09	4.44E-09	3.05E-09	2.20E-09	1.68E-09	1.31E-09
SW	5.30E-06	8.68E-07	3.52E-07	1.50E-07	5.22E-08	1.23E-08	5.88E-09	3.53E-09	2.41E-09	1.73E-09	1.32E-09	1.02E-09
WSW	2.23E-06	3.61E-07	1.47E-07	6.29E-08	2.18E-08	5.21E-09	2.42E-09	1.42E-09	9.59E-10	6.77E-10	5.09E-10	3.90E-10
W	6.47E-07	1.04E-07	4.32E-08	1.88E-08	6.43E-09	1.62E-09	7.04E-10	3.95E-10	2.57E-10	1.76E-10	1.29E-10	9.65E-11
WNW	3.80E-07	6.10E-08	2.56E-08	1.12E-08	3.81E-09	9.49E-10	3.95E-10	2.13E-10	1.34E-10	8.85E-11	6.26E-11	4.52E-11
NW	7.07E-07	1.18E-07	5.13E-08	2.30E-08	7.76E-09	1.97E-09	7.65E-10	3.96E-10	2.40E-10	1.55E-10	1.08E-10	7.67E-11
NNW	8.22E-07	1.34E-07	5.55E-08	2.41E-08	8.25E-09	2.04E-09	8.78E-10	4.89E-10	3.15E-10	2.14E-10	1.55E-10	1.15E-10

附表 3-5 (1/2) 厂址半径 80km 范围内地面沉积因子 (核素: I-131)

单位: m^{-2}

距离(km) 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
N	3.15E-08	5.73E-09	2.57E-09	1.22E-09	4.72E-10	1.48E-10	7.68E-11	5.05E-11	3.72E-11	2.93E-11	2.40E-11	2.03E-11
NNE	3.25E-08	6.01E-09	2.69E-09	1.28E-09	5.19E-10	1.68E-10	9.25E-11	6.31E-11	4.76E-11	3.82E-11	3.18E-11	2.72E-11
NE	1.64E-08	3.13E-09	1.42E-09	6.82E-10	2.85E-10	9.45E-11	5.33E-11	3.68E-11	2.80E-11	2.26E-11	1.89E-11	1.62E-11
ENE	9.87E-09	1.85E-09	8.31E-10	3.95E-10	1.64E-10	5.26E-11	2.96E-11	2.04E-11	1.55E-11	1.25E-11	1.05E-11	8.98E-12
E	5.12E-09	9.36E-10	4.18E-10	1.95E-10	7.86E-11	2.33E-11	1.25E-11	8.41E-12	6.28E-12	4.99E-12	4.13E-12	3.52E-12
ESE	6.61E-09	1.23E-09	5.72E-10	2.76E-10	1.11E-10	3.57E-11	1.85E-11	1.22E-11	8.97E-12	7.05E-12	5.79E-12	4.90E-12
SE	1.20E-08	2.21E-09	9.96E-10	4.68E-10	1.85E-10	5.44E-11	2.81E-11	1.84E-11	1.35E-11	1.06E-11	8.69E-12	7.34E-12
SSE	1.14E-08	2.13E-09	9.48E-10	4.42E-10	1.76E-10	5.18E-11	2.77E-11	1.85E-11	1.38E-11	1.10E-11	9.08E-12	7.73E-12
S	3.65E-08	7.09E-09	3.23E-09	1.57E-09	6.69E-10	2.30E-10	1.32E-10	9.21E-11	7.06E-11	5.72E-11	4.80E-11	4.14E-11
SSW	7.50E-08	1.41E-08	6.27E-09	2.98E-09	1.24E-09	4.07E-10	2.36E-10	1.66E-10	1.27E-10	1.03E-10	8.71E-11	7.51E-11
SW	6.25E-08	1.19E-08	5.41E-09	2.64E-09	1.13E-09	3.95E-10	2.30E-10	1.61E-10	1.24E-10	1.01E-10	8.49E-11	7.33E-11
WSW	2.52E-08	4.60E-09	2.05E-09	9.73E-10	4.03E-10	1.32E-10	7.54E-11	5.25E-11	4.02E-11	3.25E-11	2.73E-11	2.35E-11
W	7.06E-09	1.24E-09	5.52E-10	2.59E-10	1.02E-10	3.22E-11	1.74E-11	1.17E-11	8.77E-12	6.98E-12	5.79E-12	4.93E-12
WNW	6.99E-09	1.68E-09	8.96E-10	5.10E-10	2.51E-10	1.14E-10	6.71E-11	4.75E-11	3.67E-11	2.99E-11	2.52E-11	2.18E-11
NW	8.25E-09	1.59E-09	7.62E-10	3.83E-10	1.60E-10	5.74E-11	3.05E-11	2.04E-11	1.52E-11	1.20E-11	9.93E-12	8.44E-12
NNW	8.99E-09	1.60E-09	7.13E-10	3.34E-10	1.33E-10	4.13E-11	2.23E-11	1.51E-11	1.13E-11	8.98E-12	7.45E-12	6.35E-12

附表 3-5 (2/2) 厂址半径 80km 范围内地面沉积因子 (核素: Cs-137)

单位: m⁻²

距离(km) 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
N	5.09E-09	9.82E-10	4.60E-10	2.29E-10	9.54E-11	3.45E-11	1.89E-11	1.29E-11	9.68E-12	7.75E-12	6.44E-12	5.51E-12
NNE	6.03E-09	1.29E-09	6.35E-10	3.36E-10	1.55E-10	6.36E-11	3.69E-11	2.59E-11	1.99E-11	1.62E-11	1.36E-11	1.18E-11
NE	3.38E-09	7.76E-10	3.96E-10	2.17E-10	1.04E-10	4.47E-11	2.63E-11	1.86E-11	1.44E-11	1.17E-11	9.89E-12	8.55E-12
ENE	1.92E-09	4.25E-10	2.13E-10	1.14E-10	5.40E-11	2.26E-11	1.32E-11	9.34E-12	7.22E-12	5.87E-12	4.95E-12	4.28E-12
E	8.46E-10	1.66E-10	7.83E-11	3.91E-11	1.70E-11	6.11E-12	3.45E-12	2.38E-12	1.81E-12	1.46E-12	1.22E-12	1.05E-12
ESE	1.17E-09	2.44E-10	1.21E-10	6.36E-11	2.86E-11	1.13E-11	6.33E-12	4.37E-12	3.32E-12	2.67E-12	2.23E-12	1.92E-12
SE	1.89E-09	3.64E-10	1.69E-10	8.22E-11	3.41E-11	1.14E-11	6.14E-12	4.14E-12	3.10E-12	2.47E-12	2.04E-12	1.74E-12
SSE	1.88E-09	3.75E-10	1.76E-10	8.71E-11	3.74E-11	1.33E-11	7.48E-12	5.16E-12	3.92E-12	3.16E-12	2.64E-12	2.27E-12
S	8.21E-09	1.98E-09	1.03E-09	5.78E-10	2.83E-10	1.26E-10	7.46E-11	5.30E-11	4.11E-11	3.35E-11	2.83E-11	2.45E-11
SSW	1.53E-08	3.48E-09	1.76E-09	9.58E-10	4.59E-10	1.97E-10	1.17E-10	8.32E-11	6.45E-11	5.27E-11	4.45E-11	3.85E-11
SW	1.43E-08	3.42E-09	1.79E-09	1.01E-09	4.97E-10	2.23E-10	1.33E-10	9.43E-11	7.32E-11	5.98E-11	5.05E-11	4.37E-11
WSW	4.91E-09	1.07E-09	5.34E-10	2.87E-10	1.36E-10	5.75E-11	3.39E-11	2.40E-11	1.86E-11	1.52E-11	1.28E-11	1.11E-11
W	1.16E-09	2.20E-10	1.03E-10	5.15E-11	2.22E-11	8.22E-12	4.65E-12	3.21E-12	2.45E-12	1.97E-12	1.65E-12	1.42E-12
WNW	3.52E-09	1.08E-09	6.29E-10	3.86E-10	2.03E-10	9.96E-11	5.95E-11	4.25E-11	3.30E-11	2.70E-11	2.28E-11	1.98E-11
NW	1.79E-09	4.23E-10	2.25E-10	1.27E-10	6.10E-11	2.71E-11	1.57E-11	1.10E-11	8.44E-12	6.85E-12	5.76E-12	4.97E-12
NNW	1.50E-09	2.90E-10	1.36E-10	6.86E-11	2.97E-11	1.11E-11	6.29E-12	4.36E-12	3.32E-12	2.68E-12	2.25E-12	1.93E-12

附件 4：正常工况放射性计算后果

表 4-1 (1/4) 本工程运行状态下气载放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (成人组)

单位: Sv/a

方位\距离(km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	2.05E-07	7.84E-08	3.41E-08	1.42E-08	7.68E-09	5.90E-09	5.26E-09	4.94E-09	4.76E-09	4.63E-09	4.55E-09
NNE	**	4.68E-07	1.72E-07	7.01E-08	2.46E-08	1.05E-08	7.13E-09	6.00E-09	5.46E-09	5.16E-09	4.95E-09	4.82E-09
NE	**	**	**	3.09E-08	1.33E-08	7.33E-09	5.70E-09	5.12E-09	4.84E-09	**	**	**
ENE	**	**	**	**	6.90E-09	5.32E-09	4.77E-09	4.53E-09	4.41E-09	**	**	**
E	**	**	**	8.66E-08	6.06E-09	4.97E-09	4.58E-09	4.41E-09	4.32E-09	**	**	**
ESE	**	**	**	**	6.02E-09	5.11E-09	4.69E-09	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	6.73E-09	5.42E-09	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	4.98E-09	4.55E-09	4.38E-09	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	5.80E-09	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	9.01E-09	6.93E-09	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	8.64E-09	6.76E-09	5.92E-09	5.46E-09	5.19E-09	5.03E-09
WSW	**	**	**	**	**	**	5.15E-09	4.75E-09	4.57E-09	4.46E-09	4.39E-09	4.35E-09
W	**	**	**	**	6.71E-09	5.16E-09	4.68E-09	4.48E-09	4.37E-09	4.32E-09	4.29E-09	4.25E-09
WNW	**	**	**	**	**	4.72E-09	4.43E-09	4.31E-09	4.25E-09	4.22E-09	4.19E-09	4.18E-09
NW	**	**	**	**	**	5.39E-09	4.75E-09	4.51E-09	4.40E-09	4.33E-09	4.30E-09	4.27E-09
NNW	**	**	**	**	**	5.94E-09	5.00E-09	4.66E-09	4.49E-09	4.41E-09	4.36E-09	4.32E-09

**表示无人居住

表 4-1 (2/4) 本工程运行状态下气载放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (青少年组)

单位: Sv/a

方位\距离(km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	2.07E-07	7.90E-08	3.43E-08	1.42E-08	7.68E-09	5.89E-09	5.25E-09	4.93E-09	4.75E-09	4.62E-09	4.54E-09
NNE	**	4.71E-07	1.73E-07	7.08E-08	2.48E-08	1.06E-08	7.15E-09	6.00E-09	5.46E-09	5.14E-09	4.95E-09	4.82E-09
NE	**	**	**	3.11E-08	1.34E-08	7.35E-09	5.71E-09	5.13E-09	4.84E-09	**	**	**
ENE	**	**	**	**	6.91E-09	5.30E-09	4.76E-09	4.53E-09	4.40E-09	**	**	**
E	**	**	**	8.66E-08	6.06E-09	4.96E-09	4.57E-09	4.39E-09	4.31E-09	**	**	**
ESE	**	**	**	**	6.01E-09	5.09E-09	4.67E-09	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	6.72E-09	5.40E-09	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	4.96E-09	4.53E-09	4.37E-09	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	5.79E-09	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	9.03E-09	6.93E-09	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	8.68E-09	6.76E-09	5.91E-09	5.46E-09	5.20E-09	5.01E-09
WSW	**	**	**	**	**	**	5.15E-09	4.74E-09	4.55E-09	4.46E-09	4.38E-09	4.34E-09
W	**	**	**	**	6.71E-09	5.16E-09	4.66E-09	4.47E-09	4.36E-09	4.31E-09	4.27E-09	4.24E-09
WNW	**	**	**	**	**	4.72E-09	4.42E-09	4.30E-09	4.24E-09	4.21E-09	4.18E-09	4.17E-09
NW	**	**	**	**	**	5.39E-09	4.74E-09	4.49E-09	4.38E-09	4.31E-09	4.28E-09	4.26E-09
NNW	**	**	**	**	**	5.94E-09	4.97E-09	4.64E-09	4.48E-09	4.40E-09	4.34E-09	4.31E-09

**表示无人居住。

表 4-1 (3/4) 本工程运行状态下气载放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (儿童组)

单位: Sv/a

方位\距离(km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	1.75E-07	6.61E-08	2.84E-08	1.15E-08	5.95E-09	4.47E-09	3.90E-09	3.65E-09	3.49E-09	3.39E-09	3.32E-09
NNE	**	4.00E-07	1.46E-07	5.93E-08	2.05E-08	8.48E-08	5.55E-09	4.57E-09	4.10E-09	3.84E-09	3.68E-09	3.56E-09
NE	**	**	**	2.58E-08	1.09E-08	5.72E-09	4.31E-09	3.83E-09	3.58E-09	**	**	**
ENE	**	**	**	**	5.31E-09	3.97E-09	3.50E-09	3.31E-09	3.20E-09	**	**	**
E	**	**	**	6.78E-08	4.60E-09	3.67E-09	3.34E-09	3.20E-09	3.13E-09	**	**	**
ESE	**	**	**	**	4.54E-09	3.77E-09	3.42E-09	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	5.13E-09	4.03E-09	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	3.67E-09	3.32E-09	3.18E-09	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	4.36E-09	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	7.13E-09	5.35E-09	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	6.82E-09	5.20E-09	4.49E-09	4.09E-09	3.87E-09	3.71E-09
WSW	**	**	**	**	**	**	3.83E-09	3.48E-09	3.34E-09	3.24E-09	3.20E-09	3.15E-09
W	**	**	**	**	5.14E-09	3.83E-09	3.42E-09	3.25E-09	3.17E-09	3.12E-09	3.09E-09	3.06E-09
WNW	**	**	**	**	**	3.45E-09	3.21E-09	3.11E-09	3.06E-09	3.04E-09	3.02E-09	3.01E-09
NW	**	**	**	**	**	4.01E-09	3.48E-09	3.28E-09	3.19E-09	3.14E-09	3.10E-09	3.07E-09
NNW	**	**	**	**	**	4.49E-09	3.68E-09	3.41E-09	3.27E-09	3.21E-09	3.16E-09	3.12E-09

**表示无人居住

表 4-1 (4/4) 本工程运行状态下气载放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (婴儿组)

单位: Sv/a

方位\距离(km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	1.65E-07	6.13E-08	2.56E-08	9.59E-09	4.41E-09	3.02E-09	2.51E-09	2.26E-09	2.12E-09	2.02E-09	1.96E-09
NNE	**	3.99E-07	1.38E-07	5.51E-08	1.83E-08	6.87E-08	4.08E-09	3.16E-09	2.72E-09	2.46E-09	2.31E-09	2.19E-09
NE	**	**	**	2.33E-08	9.18E-09	4.26E-09	2.92E-09	2.45E-09	2.22E-09	**	**	**
ENE	**	**	**	**	3.83E-09	2.57E-09	2.12E-09	1.95E-09	1.84E-09	**	**	**
E	**	**	**	5.20E-08	3.14E-09	2.28E-09	1.96E-09	1.83E-09	1.77E-09	**	**	**
ESE	**	**	**	**	3.07E-09	2.36E-09	2.04E-09	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	3.62E-09	2.59E-09	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	2.27E-09	1.94E-09	1.81E-09	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	2.93E-09	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	5.56E-09	3.89E-09	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	5.28E-09	3.76E-09	3.07E-09	2.71E-09	2.48E-09	2.34E-09
WSW	**	**	**	**	**	**	2.43E-09	2.12E-09	1.96E-09	1.88E-09	1.83E-09	1.80E-09
W	**	**	**	**	3.66E-09	2.43E-09	2.05E-09	1.90E-09	1.81E-09	1.77E-09	1.74E-09	1.72E-09
WNW	**	**	**	**	**	2.07E-09	1.85E-09	1.76E-09	1.72E-09	1.69E-09	1.66E-09	1.65E-09
NW	**	**	**	**	**	2.60E-09	2.10E-09	1.92E-09	1.83E-09	1.78E-09	1.75E-09	1.73E-09
NNW	**	**	**	**	**	3.06E-09	2.29E-09	2.04E-09	1.91E-09	1.83E-09	1.80E-09	1.77E-09

**表示无人居住。

表 4-2 (1/4) 本工程运行状态下液态放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (成人组)

单位: Sv/a

方位\距离(km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	6.63E-07	5.59E-07	3.39E-07	1.34E-07	1.00E-07	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09
NNE	**	6.76E-07	5.59E-07	3.39E-07	1.34E-07	1.00E-07	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09
NE	**	**	**	3.39E-07	1.34E-07	1.00E-07	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	**	**	**
ENE	**	**	**	**	1.34E-07	1.00E-07	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	**	**	**
E	**	**	**	3.39E-07	1.34E-07	1.00E-07	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	**	**	**
ESE	**	**	**	**	1.34E-07	1.00E-07	3.26E-09	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	1.34E-07	1.00E-07	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	1.00E-07	3.26E-09	3.26E-09	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	3.26E-09	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	3.26E-09	3.26E-09	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09
WSW	**	**	**	**	**	**	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09
W	**	**	**	**	1.34E-07	1.00E-07	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09
WNW	**	**	**	**	**	1.00E-07	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09
NW	**	**	**	**	**	1.00E-07	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09
NNW	**	**	**	**	**	1.00E-07	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09	3.26E-09

**表示无人居住

表 4-2 (2/4) 本工程运行状态下液态放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (青少年组)

单位: Sv/a

方位\距离(km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	3.27E-07	2.75E-07	1.67E-07	5.58E-08	4.17E-08	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09
NNE	**	3.66E-07	2.75E-07	1.67E-07	5.58E-08	4.17E-08	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09
NE	**	**	**	1.67E-07	5.58E-08	4.17E-08	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	**	**	**
ENE	**	**	**	**	5.58E-08	4.17E-08	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	**	**	**
E	**	**	**	1.67E-07	5.58E-08	4.17E-08	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	**	**	**
ESE	**	**	**	**	5.58E-08	4.17E-08	1.34E-09	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	5.58E-08	4.17E-08	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	4.17E-08	1.34E-09	1.34E-09	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	1.34E-09	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	1.34E-09	1.34E-09	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09
WSW	**	**	**	**	**	**	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09
W	**	**	**	**	5.58E-08	4.17E-08	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09
WNW	**	**	**	**	**	4.17E-08	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09
NW	**	**	**	**	**	4.17E-08	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09
NNW	**	**	**	**	**	4.17E-08	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09	1.34E-09

**表示无人居住。

表 4-2 (3/4) 本工程运行状态下液态放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (儿童组)

单位: Sv/a

方位\距离(km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	1.59E-07	1.34E-07	8.14E-08	2.60E-08	1.94E-08	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10
NNE	**	1.86E-07	1.34E-07	8.14E-08	2.60E-08	1.94E-08	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10
NE	**	**	**	8.14E-08	2.60E-08	1.94E-08	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	**	**	**
ENE	**	**	**	**	2.60E-08	1.94E-08	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	**	**	**
E	**	**	**	8.14E-08	2.60E-08	1.94E-08	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	**	**	**
ESE	**	**	**	**	2.60E-08	1.94E-08	6.25E-10	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	2.60E-08	1.94E-08	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	1.94E-08	6.25E-10	6.25E-10	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	6.25E-10	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	6.25E-10	6.25E-10	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10
WSW	**	**	**	**	**	**	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10
W	**	**	**	**	2.60E-08	1.94E-08	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10
WNW	**	**	**	**	**	1.94E-08	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10
NW	**	**	**	**	**	1.94E-08	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10
NNW	**	**	**	**	**	1.94E-08	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10	6.25E-10

**表示无人居住

表 4-2 (4/4) 本工程运行状态下液态放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (婴儿组)

单位: Sv/a

方位\距离(km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	5.00E-08	4.21E-08	2.57E-08	2.20E-08	1.65E-08	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10
NNE	**	8.62E-08	4.21E-08	2.57E-08	2.20E-08	1.65E-08	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10
NE	**	**	**	2.57E-08	2.20E-08	1.65E-08	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	**	**	**
ENE	**	**	**	**	2.20E-08	1.65E-08	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	**	**	**
E	**	**	**	2.57E-08	2.20E-08	1.65E-08	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	**	**	**
ESE	**	**	**	**	2.20E-08	1.65E-08	5.20E-10	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	2.20E-08	1.65E-08	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	1.65E-08	5.20E-10	5.20E-10	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	5.20E-10	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	5.20E-10	5.20E-10	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10
WSW	**	**	**	**	**	**	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10
W	**	**	**	**	2.20E-08	1.65E-08	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10
WNW	**	**	**	**	**	1.65E-08	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10
NW	**	**	**	**	**	1.65E-08	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10
NNW	**	**	**	**	**	1.65E-08	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10	5.20E-10

**表示无人居住。

表 4-3 核电厂总排放口处放射性核素浓度与《海水水质标准》(GB 3097-1997) 比较表

单位: Bq/L

放射性核素	国标中放射性指标要求	排放的循环冷却水中的核素浓度		本底浓度*	与排放海域本底叠加后结果	
		核素浓度	所占国标份额		叠加后浓度	叠加后浓度所占国标份额
Co-60	0.03	1.70 E-02	56.59%	6.40E-04	1.76E-03	58.72%
Sr-90	4	6.24E-06	0.00%	1.34E-03	1.35E-03	0.03%
Ru-106	0.2	6.07E-06	0.00%	8.10E-03	8.11E-03	4.05%
Cs-134	0.6	2.34E-02	3.91%	8.90E-04	2.43E-03	4.06%
Cs-137	0.7	2.47E-02	3.53%	2.96E-03	2.77E-02	3.95%

*: 本列数据为<<福建福清核电厂海洋放射性环境本地调查报告(修订稿)>>, 中国辐射防护研究院, 2009年2月相关数据。

表 4-4 (1/4) 福清 5、6#机组运行状态下气、液态放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (成人组)

单位: Sv/a

方位\距离 (km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	8.68E-07	6.38E-07	3.74E-07	1.49E-07	1.08E-07	9.16E-09	8.52E-09	8.20E-09	8.01E-09	7.89E-09	7.81E-09
NNE	**	1.14E-06	7.31E-07	4.10E-07	1.59E-07	1.11E-07	1.04E-08	9.25E-09	8.72E-09	8.42E-09	8.21E-09	8.08E-09
NE	**	**	**	3.70E-07	1.48E-07	1.08E-07	8.95E-09	8.38E-09	8.10E-09	**	**	**
ENE	**	**	**	**	1.41E-07	1.06E-07	8.02E-09	7.79E-09	7.67E-09	**	**	**
E	**	**	**	4.26E-07	1.40E-07	1.05E-07	7.83E-09	7.67E-09	7.58E-09	**	**	**
ESE	**	**	**	**	1.40E-07	1.05E-07	7.95E-09	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	1.41E-07	1.06E-07	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	1.05E-07	7.81E-09	7.64E-09	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	9.06E-09	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	1.23E-08	1.02E-08	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	1.19E-08	1.00E-08	9.18E-09	8.72E-09	8.45E-09	8.29E-09
WSW	**	**	**	**	**	**	8.41E-09	8.00E-09	7.83E-09	7.71E-09	7.65E-09	7.61E-09
W	**	**	**	**	1.41E-07	1.05E-07	7.94E-09	7.74E-09	7.63E-09	7.58E-09	7.54E-09	7.51E-09
WNW	**	**	**	**	**	1.05E-07	7.68E-09	7.57E-09	7.51E-09	7.48E-09	7.45E-09	7.44E-09
NW	**	**	**	**	**	1.06E-07	8.00E-09	7.77E-09	7.66E-09	7.59E-09	7.55E-09	7.52E-09
NNW	**	**	**	**	**	1.06E-07	8.26E-09	7.92E-09	7.75E-09	7.67E-09	7.62E-09	7.58E-09

**表示无人居住

表 4-4 (2/4) 福清 5、6#机组运行状态下气、液态放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (青少年组)

单位: Sv/a

方位\距离 (km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	5.33E-07	3.54E-07	2.01E-07	6.99E-08	4.94E-08	7.24E-09	6.59E-09	6.27E-09	6.09E-09	5.97E-09	5.88E-09
NNE	**	8.37E-07	4.48E-07	2.37E-07	8.06E-08	5.23E-08	8.50E-09	7.34E-09	6.80E-09	6.49E-09	6.30E-09	6.17E-09
NE	**	**	**	1.98E-07	6.92E-08	4.90E-08	7.05E-09	6.48E-09	6.18E-09	**	**	**
ENE	**	**	**	**	6.27E-08	4.70E-08	6.10E-09	5.87E-09	5.74E-09	**	**	**
E	**	**	**	2.53E-07	6.18E-08	4.66E-08	5.91E-09	5.73E-09	5.66E-09	**	**	**
ESE	**	**	**	**	6.18E-08	4.68E-08	6.02E-09	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	6.25E-08	4.71E-08	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	4.66E-08	5.87E-09	5.71E-09	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	7.13E-09	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	1.04E-08	8.27E-09	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	1.00E-08	8.10E-09	7.26E-09	6.80E-09	6.54E-09	6.35E-09
WSW	**	**	**	**	**	**	6.49E-09	6.08E-09	5.89E-09	5.80E-09	5.72E-09	5.69E-09
W	**	**	**	**	6.25E-08	4.68E-08	6.01E-09	5.81E-09	5.70E-09	5.65E-09	5.61E-09	5.58E-09
WNW	**	**	**	**	**	4.64E-08	5.76E-09	5.64E-09	5.58E-09	5.55E-09	5.53E-09	5.52E-09
NW	**	**	**	**	**	4.71E-08	6.08E-09	5.84E-09	5.72E-09	5.66E-09	5.62E-09	5.60E-09
NNW	**	**	**	**	**	4.76E-08	6.32E-09	5.99E-09	5.83E-09	5.74E-09	5.69E-09	5.65E-09

**表示无人居住

表 4-4 (3/4) 福清 5、6#机组运行状态下气、液态放射性流出物对公众个人所致有效剂量（儿童组）

单位：Sv/a

方位\距离 (km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	3.34E-07	2.00E-07	1.10E-07	3.75E-08	2.54E-08	5.09E-09	4.53E-09	4.27E-09	4.11E-09	4.02E-09	3.94E-09
NNE	**	5.86E-07	2.80E-07	1.41E-07	4.65E-08	1.04E-07	6.17E-09	5.19E-09	4.72E-09	4.47E-09	4.30E-09	4.19E-09
NE	**	**	**	1.07E-07	3.69E-08	2.51E-08	4.94E-09	4.45E-09	4.21E-09	**	**	**
ENE	**	**	**	**	3.13E-08	2.34E-08	4.12E-09	3.93E-09	3.82E-09	**	**	**
E	**	**	**	1.49E-07	3.06E-08	2.31E-08	3.96E-09	3.82E-09	3.75E-09	**	**	**
ESE	**	**	**	**	3.06E-08	2.32E-08	4.05E-09	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	3.12E-08	2.34E-08	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	2.31E-08	3.94E-09	3.80E-09	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	4.99E-09	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	7.75E-09	5.97E-09	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	7.44E-09	5.82E-09	5.12E-09	4.71E-09	4.50E-09	4.34E-09
WSW	**	**	**	**	**	**	4.45E-09	4.10E-09	3.96E-09	3.87E-09	3.82E-09	3.77E-09
W	**	**	**	**	3.12E-08	2.32E-08	4.05E-09	3.88E-09	3.79E-09	3.75E-09	3.72E-09	3.69E-09
WNW	**	**	**	**	**	2.29E-08	3.83E-09	3.74E-09	3.69E-09	3.66E-09	3.64E-09	3.64E-09
NW	**	**	**	**	**	2.34E-08	4.10E-09	3.91E-09	3.81E-09	3.76E-09	3.73E-09	3.70E-09
NNW	**	**	**	**	**	2.39E-08	4.31E-09	4.04E-09	3.90E-09	3.83E-09	3.78E-09	3.75E-09

**表示无人居住

表 4-4 (4/4) 福清 5、6#机组运行状态下气、液态放射性流出物对公众个人所致有效剂量 (婴儿组)

单位: Sv/a

方位\距离 (km)	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	**	2.15E-07	1.03E-07	5.12E-08	3.16E-08	2.09E-08	3.54E-09	3.03E-09	2.78E-09	2.63E-09	2.54E-09	2.48E-09
NNE	**	4.85E-07	1.80E-07	8.08E-08	4.03E-08	8.52E-08	4.60E-09	3.68E-09	3.24E-09	2.98E-09	2.83E-09	2.71E-09
NE	**	**	**	4.90E-08	3.12E-08	2.07E-08	3.44E-09	2.97E-09	2.74E-09	**	**	**
ENE	**	**	**	**	2.58E-08	1.90E-08	2.64E-09	2.47E-09	2.36E-09	**	**	**
E	**	**	**	7.77E-08	2.51E-08	1.88E-08	2.48E-09	2.35E-09	2.29E-09	**	**	**
ESE	**	**	**	**	2.51E-08	1.88E-08	2.56E-09	**	**	**	**	**
SE	**	**	**	**	2.56E-08	1.91E-08	**	**	**	**	**	**
SSE	**	**	**	**	**	1.87E-08	2.46E-09	2.33E-09	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	**	3.45E-09	**	**	**	**	**
SSW	**	**	**	**	**	**	6.08E-09	4.41E-09	**	**	**	**
SW	**	**	**	**	**	**	5.80E-09	4.28E-09	3.59E-09	3.23E-09	3.00E-09	2.86E-09
WSW	**	**	**	**	**	**	2.95E-09	2.63E-09	2.48E-09	2.40E-09	2.35E-09	2.32E-09
W	**	**	**	**	2.56E-08	1.89E-08	2.57E-09	2.42E-09	2.33E-09	2.29E-09	2.26E-09	2.24E-09
WNW	**	**	**	**	**	1.85E-08	2.37E-09	2.28E-09	2.24E-09	2.21E-09	2.18E-09	2.17E-09
NW	**	**	**	**	**	1.91E-08	2.62E-09	2.44E-09	2.35E-09	2.30E-09	2.27E-09	2.25E-09
NNW	**	**	**	**	**	1.95E-08	2.81E-09	2.56E-09	2.43E-09	2.35E-09	2.32E-09	2.29E-09

**表示无人居住

表 4-5 福清 5、6#机组各途径、各核素对关键居民组剂量的贡献

单位: Sv/a

核素 /途径	气态途径				食入海产品				岸边活动	海上活动	总计	份额
	空气浸没	地面照射	吸入	农牧产品食入	鱼	甲壳	软体	藻				
H-3	1.22E-12	0.00E+00	2.48E-08	4.31E-08	1.73E-09	2.10E-07	7.34E-10	7.08E-10	0.00E+00	0.00E+00	2.81E-07	25.99%
C-14	1.36E-13	2.68E-08	8.14E-11	1.24E-07	1.69E-07	1.71E-07	5.97E-08	4.61E-08	3.47E-13	1.54E-14	5.96E-07	55.21%
Kr-85m	2.03E-10	0.00E+00	2.03E-10	0.02%								
Kr-85	2.86E-12	0.00E+00	2.86E-12	0.00%								
Kr-87	1.39E-09	0.00E+00	1.39E-09	0.13%								
Kr-88	6.63E-09	0.00E+00	6.63E-09	0.61%								
Xe-133m	2.06E-11	0.00E+00	2.06E-11	0.00%								
Xe-133	8.21E-10	0.00E+00	8.21E-10	0.08%								
Xe-135	2.43E-09	0.00E+00	2.43E-09	0.22%								
Xe-138	2.43E-09	0.00E+00	2.43E-09	0.22%								
I-131	6.24E-14	3.18E-11	6.36E-12	1.35E-10	2.90E-11	3.51E-11	4.78E-11	1.35E-08	4.12E-14	3.41E-12	1.38E-08	1.28%
I-132	1.37E-13	8.06E-13	2.89E-14	9.00E-25	2.12E-19	2.57E-19	3.50E-19	9.86E-17	2.07E-18	1.27E-14	9.85E-13	0.00%
I-133	7.85E-14	4.49E-12	1.01E-12	2.12E-16	4.42E-14	5.35E-14	7.27E-14	2.06E-11	1.19E-16	8.57E-14	2.64E-11	0.00%
I-134	7.56E-14	1.68E-13	6.60E-15	3.94E-36	1.91E-25	2.30E-25	3.15E-25	8.86E-23	2.74E-19	3.47E-15	2.54E-13	0.00%
I-135	9.58E-14	1.50E-12	9.58E-14	1.00E-19	9.43E-17	1.14E-16	1.56E-16	4.39E-14	4.90E-18	1.23E-14	1.75E-12	0.00%
Cr-51	5.12E-15	8.86E-12	3.17E-14	1.68E-12	2.32E-12	1.40E-12	9.79E-12	2.84E-11	2.26E-11	2.21E-13	7.54E-11	0.01%
Mn-54	8.21E-14	1.55E-09	7.56E-13	1.71E-11	6.88E-12	6.63E-11	4.33E-11	3.00E-11	4.69E-13	2.50E-13	1.71E-09	0.16%
Co-57	1.40E-15	3.38E-11	4.67E-13	1.43E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.57E-11	0.00%
Co-58	7.99E-13	3.45E-09	8.86E-12	3.46E-10	1.91E-09	7.42E-10	7.34E-10	2.93E-10	1.03E-11	1.03E-11	7.50E-09	0.69%
Co-60	4.99E-13	5.44E-08	3.10E-11	1.53E-09	1.36E-08	5.30E-09	5.26E-09	2.10E-09	4.21E-11	4.21E-11	8.23E-08	7.62%
Fe-59	4.38E-17	1.02E-10	6.31E-13	2.57E-11	4.18E-10	8.42E-09	2.95E-09	1.14E-10	3.32E-11	2.17E-13	1.21E-08	1.12%
Sr-89	2.46E-15	5.85E-11	1.11E-11	1.30E-10	7.49E-14	5.11E-14	1.66E-13	5.59E-14	7.34E-15	1.46E-16	2.00E-10	0.02%
Sr-90	2.17E-16	7.27E-11	8.86E-11	1.25E-08	1.22E-16	8.35E-17	2.70E-16	9.14E-17	2.28E-18	4.49E-19	1.26E-08	1.17%
Sr-91	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.64E-18	3.86E-18	1.25E-17	4.21E-18	1.09E-18	3.38E-17	6.11E-17	0.00%
Sr-92	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.65E-20	4.55E-20	1.47E-19	4.98E-20	7.49E-19	8.64E-17	8.75E-17	0.00%
Zr-95	1.05E-17	3.49E-11	4.36E-13	2.30E-12	5.99E-15	1.92E-14	1.40E-13	5.02E-14	5.92E-12	1.29E-15	4.38E-11	0.00%
Nb-95	5.00E-17	9.07E-12	4.78E-13	5.03E-12	1.79E-15	2.61E-15	7.78E-15	5.40E-15	8.50E-13	6.62E-16	1.55E-11	0.00%

核素 /途径	气态途径				食入海产品				岸边活动	海上活动	总计	份额
	空气浸没	地面照射	吸入	农牧产品食入	鱼	甲壳	软体	藻				
Ru-103	1.44E-17	2.84E-11	8.64E-13	5.64E-12	1.95E-15	2.90E-14	5.08E-14	3.68E-14	9.65E-16	1.09E-15	3.51E-11	0.00%
Ru-106	0.00E+00	0.00E+00	2.28E-12	3.31E-12	2.40E-15	3.58E-14	6.27E-14	4.54E-14	0.00E+00	0.00E+00	5.73E-12	0.00%
Sb-125	4.64E-19	2.48E-11	1.45E-14	4.51E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.49E-11	0.00%
Cs-134	1.27E-13	5.88E-09	8.42E-12	1.59E-09	6.34E-11	3.66E-11	2.07E-11	3.62E-11	6.47E-11	1.37E-12	7.70E-09	0.71%
Cs-136	0.00E+00	0.00E+00	5.72E-13	5.04E-10	3.71E-12	2.14E-12	1.20E-12	2.12E-12	2.11E-12	7.49E-13	5.17E-10	0.05%
Cs-137	9.07E-14	3.79E-08	3.07E-11	4.80E-09	6.68E-11	3.85E-11	2.17E-11	3.82E-11	1.41E-10	1.35E-15	4.30E-08	3.98%
Ba-140	1.40E-18	0.00E+00	3.63E-14	8.50E-13	5.84E-14	4.95E-15	2.48E-14	1.67E-13	5.04E-14	9.58E-15	1.20E-12	0.00%
Ce-141	1.27E-15	2.97E-12	7.14E-13	5.28E-13	9.14E-15	3.12E-13	7.09E-14	6.54E-14	8.93E-13	1.81E-16	5.57E-12	0.00%
Y-90	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.00E-18	3.63E-16	1.27E-16	1.23E-16	7.12E-16	3.13E-20	1.33E-15	0.00%
Y-91	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.69E-15	1.02E-13	3.59E-14	3.46E-14	2.59E-12	7.27E-18	2.77E-12	0.00%
Mo-99	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.71E-14	1.71E-14	0.00%
Tc-99m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.81E-19	2.40E-16	3.41E-17	1.11E-16	1.15E-21	5.95E-19	3.86E-16	0.00%
Ag-110m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.07E-10	4.72E-09	3.30E-09	1.30E-10	6.25E-11	5.51E-12	8.93E-09	0.83%
Sb-124	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.70E-11	5.65E-10	7.49E-11	2.18E-11	2.37E-11	5.74E-12	7.68E-10	0.07%
Te-131m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.92E-15	9.58E-15	3.35E-15	3.23E-14	2.11E-17	2.33E-16	5.34E-14	0.00%
Te-131	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.21E-34	9.86E-34	3.46E-34	3.35E-33	2.86E-20	8.35E-18	8.38E-18	0.00%
Te-132	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.05E-12	1.27E-12	4.46E-13	4.30E-12	4.32E-16	1.67E-15	7.07E-12	0.00%
Te-134	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.89E-26	2.28E-26	7.99E-27	7.70E-26	1.78E-19	4.96E-17	4.98E-17	0.00%
Cs-138	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.86E-29	1.65E-29	9.29E-30	1.63E-29	2.86E-17	3.21E-15	3.24E-15	0.00%
La-140	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.27E-16	2.27E-16	0.00%
Ce-143	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.51E-15	1.20E-13	2.73E-14	2.51E-14	6.49E-14	2.67E-16	2.41E-13	0.00%
Ce-144	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.04E-14	6.97E-13	1.58E-13	1.45E-13	3.77E-13	1.35E-17	1.40E-12	0.00%
Pr-143	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.43E-18	1.43E-18	0.00%
Pr-144	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.61E-22	2.61E-22	0.00%
总计	1.39E-08	1.30E-07	2.51E-08	1.89E-07	1.88E-07	4.00E-07	7.29E-08	6.31E-08	4.14E-10	7.00E-11	1.08E-06	100%
份额	1.29%	12.07%	2.33%	17.46%	17.39%	37.05%	6.75%	5.85%	0.04%	0.01%	100 %	

表 4-6 本工程(1~6 号机)气、液态流出物排放对生物的辐射剂量率

单位: $\mu\text{Gy/h}$

生物类 核素	深水鱼	鸟类	甲壳 动物	哺乳 动物	软体 动物	浅水鱼	浮游 植物	爬行 动物	导管 植物	浮游 动物	藻类	蠕虫类	珊瑚 虫类
I-134	4.34E-09	3.90E-10	7.96E-09	3.50E-10	7.60E-07	1.34E-09	1.35E-08	3.46E-10	5.69E-09	1.35E-07	3.02E-07	6.99E-07	6.39E-07
I-135	1.73E-08	1.56E-09	3.14E-08	1.41E-09	3.06E-06	5.25E-09	8.95E-08	1.39E-09	2.28E-08	6.89E-07	1.30E-06	2.87E-06	2.69E-06
Cs-134	2.60E-04	2.23E-03	2.51E-04	2.76E-05	2.74E-04	3.51E-06	2.87E-05	5.84E-05	2.73E-04	2.47E-06	2.79E-04	5.57E-04	2.84E-04
Cs-136	6.60E-05	4.81E-06	6.60E-05	6.65E-06	7.16E-05	7.09E-07	7.19E-08	1.41E-05	7.14E-05	4.67E-07	7.30E-05	1.44E-04	7.22E-05
Cs-137	1.11E-05	2.03E-05	9.82E-06	1.63E-05	1.01E-05	3.40E-06	2.14E-07	3.39E-05	8.83E-06	3.52E-06	1.17E-05	2.30E-05	1.59E-05
Cs-138	1.53E-06	2.94E-07	1.43E-06	2.23E-07	1.63E-06	4.86E-08	1.80E-09	4.75E-07	1.59E-06	2.06E-08	1.79E-06	3.40E-06	1.83E-06
Ba-140	2.11E-05	3.19E-08	2.04E-05	1.25E-06	2.27E-05	1.02E-07	1.79E-07	1.22E-06	2.22E-05	1.46E-07	2.32E-05	4.54E-05	2.34E-05
La-140	3.01E-05	3.20E-08	2.91E-05	6.69E-08	3.19E-05	2.87E-08	4.12E-09	6.55E-08	3.17E-05	1.24E-08	3.30E-05	6.49E-05	3.30E-05
Ce-141	7.23E-06	4.58E-08	7.06E-06	5.48E-08	8.20E-06	7.38E-09	1.44E-07	5.41E-08	7.97E-06	1.03E-07	8.58E-06	1.67E-05	8.52E-06
Ce-143	2.47E-06	1.01E-08	2.34E-06	1.29E-08	2.78E-06	1.72E-09	1.47E-08	1.26E-08	2.73E-06	1.73E-08	3.17E-06	5.89E-06	3.06E-06
Pr-143	1.35E-13	1.79E-13	1.05E-13	3.80E-14	3.50E-13	2.30E-13	1.14E-11	4.08E-14	3.11E-13	4.20E-12	9.53E-13	0.00E+00	7.11E-13
Ce-144	1.32E-05	1.91E-07	7.81E-06	2.03E-07	1.81E-05	3.32E-08	1.30E-07	2.00E-07	1.67E-05	1.79E-07	3.55E-05	4.81E-05	3.23E-05
Pr-144	3.66E-16	3.63E-16	2.03E-16	1.24E-16	5.26E-16	4.56E-16	4.92E-15	1.27E-16	4.78E-16	3.85E-15	1.04E-15	0.00E+00	9.68E-16
Cr-51	2.23E-05	1.09E-06	2.14E-05	2.01E-06	2.44E-05	1.00E-07	1.89E-06	1.94E-06	2.61E-05	3.89E-07	2.63E-05	4.87E-05	2.49E-05
Mn-54	1.43E-06	3.66E-06	3.23E-05	1.34E-05	3.16E-06	1.62E-06	2.98E-07	1.32E-05	8.53E-06	2.68E-07	1.94E-06	7.31E-07	4.33E-08
Fe-59	8.64E-05	3.46E-04	3.85E-04	5.60E-02	2.70E-04	1.75E-05	8.87E-05	9.11E-04	2.34E-04	2.02E-04	8.19E-05	3.31E-04	2.43E-04
Co-58	3.13E-02	3.17E-05	3.07E-02	1.04E-04	3.30E-02	2.67E-04	3.44E-05	9.96E-05	3.29E-02	7.40E-05	3.34E-02	6.72E-02	3.35E-02
Co-60	1.72E-04	1.84E-05	1.47E-04	6.00E-05	1.17E-04	1.53E-04	2.18E-05	5.85E-05	4.32E-05	4.09E-05	6.12E-05	1.79E-04	4.50E-05
Ag-110m	3.70E-05	1.04E-04	1.51E-04	3.58E-04	6.75E-05	4.17E-05	3.81E-05	3.49E-04	9.25E-06	5.20E-06	7.47E-06	4.45E-05	1.63E-06
Sb-124	6.47E-05	2.84E-04	5.56E-05	6.15E-04	5.93E-05	1.82E-05	5.71E-06	5.99E-04	5.40E-05	1.67E-05	5.66E-05	2.04E-04	5.54E-05
H-3	4.94E-05	4.96E-05	4.95E-05	5.01E-05	4.94E-05	4.94E-05	4.93E-05	4.95E-05	4.94E-05	4.94E-05	4.93E-05	4.94E-05	4.95E-05
C-14	1.74E-04	1.75E-04	1.44E-04	6.56E-05	6.47E-05	1.74E-04	2.39E-05	1.75E-04	1.29E-04	9.95E-04	1.32E-04	9.95E-04	1.70E-04

附件 5：事故工况放射性计算参数

事故工况下的大气弥散因子计算采用PAVAN程序。由于事故时的释放高度小于相邻建筑物高度的2.5倍，按照RG1.145的规定，采用地面释放模式。事故大气弥散因子取各方位99.5%概率水平和全厂址95%概率水平的最大值。联合频率采用厂址气象站2021年1月~2022年12月的风向、风速、大气稳定度统计的10m高度三维联合频率。

事故工况下的剂量计算考虑空气浸没外照射、地面沉积外照射以及吸入内照射三个途径。计算模式及参数见附录F。

附件 6：事故工况放射性计算后果

表6-1 失水事故后向环境的释放源项

核素	累积释放量 (Bq)						
	0h-2h	0h-8h	0h-12h	0h-1d	0h-4d	0h-10d	0h-30d
Kr-85m	1.91E+12	1.25E+13	1.72E+13	2.20E+13	2.26E+13	2.26E+13	2.26E+13
Kr-85	9.17E+10	1.03E+12	1.91E+12	4.84E+12	1.45E+13	3.26E+13	9.14E+13
Kr-87	2.39E+12	6.52E+12	6.78E+12	6.81E+12	6.81E+12	6.81E+12	6.81E+12
Kr-88	4.61E+12	2.33E+13	2.85E+13	3.17E+13	3.17E+13	3.17E+13	3.17E+13
Xe-133	1.46E+13	1.61E+14	2.94E+14	7.22E+14	1.87E+15	3.07E+15	4.00E+15
Xe-135	4.26E+12	3.69E+13	5.84E+13	9.96E+13	1.17E+14	1.18E+14	1.18E+14
Xe-138	9.17E+11	9.61E+11	9.61E+11	9.61E+11	9.61E+11	9.61E+11	9.61E+11
I-131	8.77E+11	1.62E+12	1.78E+12	2.16E+12	3.14E+12	4.45E+12	6.01E+12
I-132	9.56E+11	1.33E+12	1.35E+12	1.35E+12	1.35E+12	1.35E+12	1.35E+12
I-133	1.74E+12	3.11E+12	3.35E+12	3.82E+12	4.25E+12	4.30E+12	4.30E+12
I-134	9.65E+11	1.09E+12	1.09E+12	1.09E+12	1.09E+12	1.09E+12	1.09E+12
I-135	1.54E+12	2.52E+12	2.63E+12	2.77E+12	2.79E+12	2.79E+12	2.79E+12
Cs-134	6.70E+11	3.30E+12	5.10E+12	1.05E+13	2.69E+13	5.92E+13	1.63E+14
Cs-136	2.17E+11	1.06E+12	1.63E+12	3.33E+12	8.01E+12	1.53E+13	2.78E+13
Cs-137	4.38E+11	2.16E+12	3.33E+12	6.88E+12	1.76E+13	3.88E+13	1.08E+14

表 6-2(1/2) 弹棒事故后通过安全壳泄漏向环境的释放源项

核素	累积释放量 (Bq)						
	0h-2h	0h-8h	0h-12h	0h-1d	0h-4d	0h-10d	0h-30d
Kr-85m	1.62E+12	8.14E+12	1.09E+13	1.37E+13	1.41E+13	1.41E+13	1.41E+13
Kr-85	7.62E+10	6.51E+11	1.17E+12	2.89E+12	8.54E+12	1.91E+13	5.37E+13
Kr-87	2.18E+12	4.76E+12	4.92E+12	4.94E+12	4.94E+12	4.94E+12	4.94E+12
Kr-88	3.98E+12	1.55E+13	1.86E+13	2.05E+13	2.05E+13	2.05E+13	2.05E+13
Xe-133	1.22E+13	1.02E+14	1.81E+14	4.32E+14	1.10E+15	1.82E+15	2.36E+15
Xe-135	3.57E+12	2.39E+13	3.69E+13	6.20E+13	7.33E+13	7.34E+13	7.34E+13
Xe-138	1.43E+12	1.46E+12	1.46E+12	1.46E+12	1.46E+12	1.46E+12	1.46E+12
I-131	2.37E+11	5.03E+11	6.56E+11	1.10E+12	2.24E+12	3.80E+12	5.67E+12
I-132	2.94E+11	4.03E+11	4.16E+11	4.21E+11	4.21E+11	4.21E+11	4.21E+11
I-133	4.77E+11	9.53E+11	1.19E+12	1.72E+12	2.23E+12	2.28E+12	2.28E+12
I-134	3.76E+11	4.07E+11	4.07E+11	4.07E+11	4.07E+11	4.07E+11	4.07E+11
I-135	4.34E+11	7.61E+11	8.72E+11	1.03E+12	1.06E+12	1.06E+12	1.06E+12
Cs-134	3.61E+11	1.48E+12	2.25E+12	4.56E+12	1.15E+13	2.52E+13	6.97E+13
Cs-136	1.16E+11	4.75E+11	7.17E+11	1.43E+12	3.41E+12	6.51E+12	1.19E+13
Cs-137	2.36E+11	9.70E+11	1.47E+12	2.99E+12	7.55E+12	1.65E+13	4.62E+13

表 6-2(2/2) 弹棒事故后通过大气释放阀向环境的释放源项

核素	累积释放量 (GBq)	
	0min-30min	0h-5h
Kr-85m	2.25E+03	2.25E+03
Kr-85	9.00E+01	9.00E+01
Kr-87	4.27E+03	4.27E+03
Kr-88	6.06E+03	6.06E+03
Xe-133	1.45E+04	1.45E+04
Xe-135	4.52E+03	4.52E+03
Xe-138	8.71E+03	8.71E+03
I-131	8.38E+00	8.38E+00
I-132	1.03E+01	1.03E+01
I-133	1.58E+01	1.58E+01
I-134	1.41E+01	1.41E+01
I-135	1.37E+01	1.37E+01
Cs-134	4.37E-01	4.37E-01
Cs-136	1.44E-01	1.44E-01
Cs-137	2.97E-01	2.97E-01

表 6-3 主蒸汽管道断裂后蒸汽排放量

排放蒸汽及给水量	事故开始后的时间			
	0s-600s	600s-1800s	1800s-2h	2h-8h
由受影响蒸汽发生器排放的蒸汽	169.3 t	85.5t	0	0
由 2 台未受影响蒸汽发生器排放的蒸汽	16.9t	0	163.8t	382.3t
2台未受影响蒸汽发生器的给水	78.5t	103t	0	381.5t

表 6-4(1/2) 主蒸汽管道断裂事故触发碘尖峰向环境的累积释放源项

核素	累积释放量 (GBq)	
	0h-2h	0h-8h
Kr-85m	6.75E+00	1.21E+01
Kr-85	2.00E-01	4.80E-01
Kr-87	5.65E+00	6.99E+00
Kr-88	1.33E+01	2.11E+01
Xe-133	1.98E+02	4.72E+02
Xe-135	3.54E+01	7.33E+01
Xe-138	2.50E+00	2.50E+00
I-131	2.55E+02	9.65E+02
I-132	2.51E+02	1.08E+03
I-133	3.54E+02	1.45E+03
I-134	4.06E+01	1.42E+02
I-135	1.63E+02	7.21E+02
Cs-134	8.48E+00	8.56E+00
Cs-136	4.30E+00	4.37E+00
Cs-137	1.06E+01	1.07E+01

表 6-4(2/2) 主蒸汽管道断裂事故前碘尖峰向环境的累积释放源项

放射性核素	累积释放量 (GBq)	
	0h-2h	0h-8h
Kr-85m	6.20E+00	1.11E+01
Kr-85	1.12E-01	2.70E-01
Kr-87	5.37E+00	6.65E+00
Kr-88	1.24E+01	1.97E+01
Xe-133	8.85E+01	2.15E+02
Xe-135	3.14E+01	7.99E+01
Xe-138	2.44E+00	2.44E+00
I-131	3.23E+02	5.09E+02
I-132	1.62E+02	1.91E+02
I-133	4.06E+02	6.13E+02
I-134	1.62E+01	1.67E+01
I-135	1.52E+02	2.09E+02
Cs-134	8.48E+00	8.56E+00
Cs-136	4.30E+00	4.37E+00
Cs-137	1.06E+01	1.07E+01

表 6-5 (1/2) 蒸发器传热管破裂事故触发碘尖峰向环境的累积释放源项

核素	累积释放量 (GBq)	
	0h-2h	0h-8h
Kr-85m	4.51E+03	4.51E+03
Kr-85	7.54E+01	7.54E+01
Kr-87	4.61E+03	4.61E+03
Kr-88	9.40E+03	9.40E+03
Xe-133	5.93E+04	5.93E+04
Xe-135	1.95E+04	1.95E+04
Xe-138	3.57E+03	3.57E+03
I-131	1.84E+02	1.88E+02
I-132	3.53E+02	3.55E+02
I-133	3.00E+02	3.05E+02
I-134	7.47E+01	7.50E+01
I-135	1.74E+02	1.76E+02
Cs-134	1.35E+01	1.35E+01
Cs-136	2.63E+00	2.63E+00
Cs-137	1.45E+01	1.45E+01

表 6-5 (2/2) 蒸汽发生器传热管破裂事故前碘尖峰向环境的累积释放源项

核素	累积释放量 (GBq)	
	0h-2h	0h-8h
Kr-85m	4.51E+03	4.51E+03
Kr-85	7.54E+01	7.54E+01
Kr-87	4.61E+03	4.61E+03
Kr-88	9.40E+03	9.40E+03
Xe-133	5.93E+04	5.93E+04
Xe-135	1.95E+04	1.95E+04
Xe-138	3.57E+03	3.57E+03
I-131	6.85E+02	6.89E+02
I-132	3.17E+02	3.19E+02
I-133	8.56E+02	8.61E+02
I-134	2.69E+01	2.69E+01
I-135	3.15E+02	3.16E+02
Cs-134	1.35E+01	1.35E+01
Cs-136	2.63E+00	2.63E+00
Cs-137	1.45E+01	1.45E+01

表 6-6 安全壳外载有一回路冷却剂的小管线破裂事故后向环境的释放源项

核素	释放量 (GBq)	
	RCV 管线破损	取样管线破损
Kr-85m	3.05E+03	2.67E+02
Kr-85	4.83E+01	4.23E+00
Kr-87	3.57E+03	3.14E+02
Kr-88	6.58E+03	5.77E+02
Xe-133	3.80E+04	3.33E+03
Xe-135	1.29E+04	1.13E+03
Xe-138	5.36E+03	4.70E+02
I-131	4.09E+02	1.44E+02
I-132	9.61E+02	3.38E+02
I-133	6.86E+02	2.41E+02
I-134	2.46E+02	8.66E+01
I-135	4.20E+02	1.48E+02
Cs-134	1.06E+02	3.94E+01
Cs-136	2.07E+01	7.66E+00
Cs-137	1.14E+02	4.22E+01

表 6-7 卡轴事故后给水及蒸汽排放量

给水及排放蒸汽质量	事故开始后的时间			
	0s-2s	2s-30min	30min-2h	2h-8h
给水	3.51t	163.0t	196.8t	495.7t
向汽轮机排放的蒸汽量	3.51t	0.0t	0.00t	0.00t
向环境排放的蒸汽量	0t	163.0t	196.8t	495.7t

表 6-8 卡轴事故后向环境的累积释放源项

核素	累积释放量 (GBq)		
	0h-0.5h	0h-2h	0h-8h
Kr-85m	2.49E+03	9.11E+03	2.50E+04
Kr-85	2.02E+02	8.36E+02	3.45E+03
Kr-87	4.52E+03	1.28E+04	1.93E+04
Kr-88	6.62E+03	2.28E+04	5.14E+04
Xe-133	1.63E+04	6.69E+04	2.75E+05
Xe-135	5.22E+03	2.32E+04	1.11E+05
Xe-138	7.19E+03	9.33E+03	9.33E+03
I-131	6.51E+01	4.57E+02	4.67E+03
I-132	5.28E+01	2.89E+02	1.11E+03
I-133	8.27E+01	5.64E+02	5.16E+03
I-134	6.92E+01	2.67E+02	4.40E+02
I-135	7.36E+01	4.82E+02	3.43E+03
Cs-134	1.63E+00	1.19E+01	1.25E+02
Cs-136	5.29E-01	3.82E+00	4.00E+01
Cs-137	1.08E+00	7.78E+00	8.20E+01

表 6-9 废气处理系统破裂事故向环境的释放源项 (GBq)

核素	ZGT	RCV	停堆后 ZBR 除气器	ZBR	隔离前 ZGT 的排放	合计
	衰变罐	气相		前贮槽		
Kr-85 m	1.63E+03	5.64E+03	0.00E+00	0.00E+00	2.16E+03	9.43E+03
Kr-85	5.42E+05	2.36E+02	0.00E+00	0.00E+00	3.70E+01	5.42E+05
Kr-87	5.40E+02	2.57E+03	0.00E+00	0.00E+00	2.10E+03	5.22E+03
Kr-88	2.23E+03	8.99E+03	0.00E+00	0.00E+00	4.48E+03	1.57E+04
Xe-133	5.69E+05	1.07E+05	0.00E+00	0.00E+00	2.90E+04	7.05E+05
Xe-135	1.40E+04	2.52E+04	0.00E+00	0.00E+00	9.45E+03	4.87E+04
Xe-138	1.50E+02	7.86E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.32E+03	2.25E+03
I-131	1.22E+01	1.04E-02	0.00E+00	1.44E-01	4.07E-01	1.28E+01
I-132	8.14E-02	5.45E-03	0.00E+00	8.05E-02	1.97E-01	3.64E-01
I-133	1.68E+00	1.32E-02	0.00E+00	1.84E-01	5.12E-01	2.39E+00
I-134	3.51E-03	5.60E-04	0.00E+00	9.13E-03	1.78E-02	3.10E-02
I-135	2.05E-01	4.99E-03	0.00E+00	7.07E-02	1.90E-01	4.71E-01

表 6-10 容积控制箱破损事故释入环境的放射性活度 (GBq)

核素	RCV 气相	RCV 液相	下泄量	合计
Kr-85m	5.87E+03	1.42E+02	1.44E+03	7.45E+03
Kr-85	3.22E+02	5.94E+00	2.28E+01	3.51E+02
Kr-87	2.90E+03	6.47E+01	1.68E+03	4.64E+03
Kr-88	9.65E+03	2.26E+02	3.11E+03	1.30E+04
Xe-133	1.11E+05	4.51E+03	1.79E+04	1.33E+05
Xe-135	2.63E+04	1.06E+03	6.04E+03	3.34E+04
Xe-138	1.18E+03	3.28E+01	2.53E+03	3.74E+03
I-131	1.04E-01	4.05E+00	1.54E+01	1.95E+01
I-132	5.28E-02	2.10E+00	8.60E+00	1.07E+01
I-133	1.31E-01	5.12E+00	1.96E+01	2.49E+01
I-134	6.74E-03	2.12E-01	9.71E-01	1.19E+00
I-135	5.09E-02	1.94E+00	7.56E+00	9.55E+00

表 6-11 (1/2) 大气弥散因子 (现实模型) 单位: s/m³

方位	0-2h		0-8h		8-24h		1-4 天		4-30 天	
	500m	5000m								
S	4.13E-05	1.38E-06	2.35E-05	7.52E-07	1.78E-05	5.56E-07	9.66E-06	2.88E-07	4.03E-06	1.12E-07
SSW	2.18E-05	5.80E-07	1.93E-05	4.98E-07	1.81E-05	4.62E-07	1.58E-05	3.93E-07	1.30E-05	3.10E-07
SW	1.87E-05	4.87E-07	1.45E-05	3.66E-07	1.27E-05	3.18E-07	9.56E-06	2.33E-07	6.37E-06	1.50E-07
WSW	1.60E-05	3.56E-07	9.68E-06	2.15E-07	7.54E-06	1.67E-07	4.38E-06	9.68E-08	2.01E-06	4.41E-08
W	0.00E+00									
WNW	4.33E-05	1.57E-06	2.09E-05	7.23E-07	1.46E-05	4.92E-07	6.62E-06	2.13E-07	2.14E-06	6.40E-08
NW	3.78E-05	1.16E-06	2.01E-05	6.01E-07	1.46E-05	4.33E-07	7.34E-06	2.13E-07	2.74E-06	7.71E-08
NNW	2.56E-05	6.12E-07	1.63E-05	3.89E-07	1.30E-05	3.11E-07	7.98E-06	1.90E-07	3.95E-06	9.41E-08
N	2.05E-05	7.10E-07	1.57E-05	5.13E-07	1.37E-05	4.36E-07	1.02E-05	3.07E-07	6.73E-06	1.85E-07
NNE	2.26E-05	5.59E-07	1.57E-05	3.85E-07	1.31E-05	3.20E-07	8.88E-06	2.14E-07	5.06E-06	1.20E-07
NE	3.30E-05	9.22E-07	1.85E-05	5.01E-07	1.39E-05	3.69E-07	7.41E-06	1.90E-07	3.01E-06	7.34E-08
ENE	0.00E+00									
E	3.88E-05	1.26E-06	1.89E-05	5.93E-07	1.32E-05	4.06E-07	6.05E-06	1.79E-07	1.97E-06	5.52E-08
ESE	5.64E-05	2.08E-06	2.81E-05	9.92E-07	1.98E-05	6.86E-07	9.33E-06	3.08E-07	3.16E-06	9.73E-08
SE	5.33E-05	2.06E-06	3.23E-05	1.18E-06	2.52E-05	8.96E-07	1.46E-05	4.91E-07	6.70E-06	2.07E-07
SSE	0.00E+00									

表 6-11 (2/2) 大气弥散因子 (现实模型) 单位: s/m³

方位	0-2h		0-8h		8-24h		1-4 天		4-30 天	
	500m	5000m								
S	6.87E-05	3.43E-06	3.60E-05	1.61E-06	2.61E-05	1.10E-06	1.29E-05	4.86E-07	4.73E-06	1.50E-07
SSW	1.13E-04	7.28E-06	7.58E-05	4.12E-06	6.22E-05	3.10E-06	4.05E-05	1.67E-06	2.19E-05	6.89E-07
SW	7.88E-05	4.50E-06	4.79E-05	2.34E-06	3.74E-05	1.69E-06	2.18E-05	8.33E-07	1.00E-05	3.02E-07
WSW	3.24E-05	8.03E-07	1.75E-05	4.24E-07	1.28E-05	3.08E-07	6.56E-06	1.54E-07	2.51E-06	5.71E-08
W	0.00E+00									
WNW	2.11E-05	4.47E-07	1.15E-05	2.54E-07	8.47E-06	1.92E-07	4.39E-06	1.04E-07	1.70E-06	4.31E-08
NW	4.39E-05	1.49E-06	2.27E-05	7.43E-07	1.63E-05	5.25E-07	8.00E-06	2.47E-07	2.87E-06	8.35E-08
NNW	6.72E-05	3.29E-06	3.65E-05	1.58E-06	2.69E-05	1.10E-06	1.39E-05	4.98E-07	5.35E-06	1.60E-07
N	1.23E-04	9.01E-06	6.98E-05	4.28E-06	5.26E-05	2.95E-06	2.85E-05	1.31E-06	1.18E-05	4.12E-07
NNE	7.12E-05	3.40E-06	4.10E-05	1.74E-06	3.11E-05	1.24E-06	1.71E-05	6.00E-07	7.26E-06	2.11E-07
NE	4.87E-05	1.84E-06	2.56E-05	8.89E-07	1.86E-05	6.19E-07	9.25E-06	2.82E-07	3.40E-06	9.11E-08
ENE	0.00E+00									
E	2.51E-05	5.83E-07	1.31E-05	3.11E-07	9.50E-06	2.27E-07	4.71E-06	1.15E-07	1.72E-06	4.33E-08
ESE	4.56E-05	1.37E-06	2.36E-05	6.99E-07	1.69E-05	5.00E-07	8.27E-06	2.42E-07	2.95E-06	8.52E-08
SE	1.21E-04	9.08E-06	6.38E-05	4.08E-06	4.64E-05	2.74E-06	2.33E-05	1.15E-06	8.66E-06	3.31E-07
SSE	0.00E+00									

表 6-12 失水事故造成的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)

方位	保守模型				现实模型			
	0h-2h, 500m		0d-30d, 5000m		0h-2h, 500m		0d-30d, 5000m	
	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
S	7.81E-04	5.11E-03	3.74E-04	6.13E-04	4.70E-04	4.60E-04	2.08E-04	2.93E-04
SSW	1.28E-03	8.41E-03	1.35E-03	1.62E-03	2.48E-04	2.43E-04	1.13E-04	2.83E-04
SW	8.96E-04	5.86E-03	6.53E-04	9.02E-04	2.13E-04	2.08E-04	8.74E-05	1.76E-04
WSW	3.68E-04	2.41E-03	1.21E-04	1.64E-04	1.82E-04	1.78E-04	5.66E-05	8.71E-05
W	0.00E+00							
WNW	2.40E-04	1.57E-03	8.41E-05	1.00E-04	4.92E-04	4.82E-04	2.18E-04	2.76E-04
NW	4.99E-04	3.27E-03	1.91E-04	2.84E-04	4.30E-04	4.21E-04	1.70E-04	2.32E-04
NNW	7.64E-04	5.00E-03	3.84E-04	6.04E-04	2.91E-04	2.85E-04	1.00E-04	1.62E-04
N	1.40E-03	9.15E-03	1.01E-03	1.63E-03	2.33E-04	2.28E-04	1.25E-04	2.37E-04
NNE	8.10E-04	5.30E-03	4.68E-04	6.67E-04	2.57E-04	2.52E-04	9.55E-05	1.70E-04
NE	5.54E-04	3.62E-03	2.18E-04	3.39E-04	3.75E-04	3.68E-04	1.39E-04	1.95E-04
ENE	0.00E+00							
E	2.85E-04	1.87E-03	9.08E-05	1.20E-04	4.41E-04	4.32E-04	1.77E-04	2.26E-04
ESE	5.19E-04	3.39E-03	1.89E-04	2.69E-04	6.41E-04	6.28E-04	2.94E-04	3.78E-04
SE	1.38E-03	9.00E-03	8.85E-04	1.56E-03	6.06E-04	5.94E-04	3.18E-04	4.68E-04
SSE	0.00E+00							

表 6-13 弹棒事故造成的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)

方位	保守模型				现实模型			
	0h-2h, 500m		0d-30d, 5000m		0h-2h, 500m		0d-30d, 5000m	
	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
S	4.56E-04	1.48E-03	1.67E-04	2.43E-04	2.74E-04	8.89E-04	1.01E-04	1.25E-04
SSW	7.50E-04	2.43E-03	5.94E-04	7.03E-04	1.45E-04	4.69E-04	1.91E-04	1.51E-04
SW	5.23E-04	1.70E-03	2.89E-04	3.75E-04	1.24E-04	4.02E-04	9.99E-05	8.81E-05
WSW	2.15E-04	6.97E-04	5.36E-05	6.85E-05	1.06E-04	3.44E-04	3.54E-05	3.90E-05
W	0.00E+00							
WNW	1.40E-04	4.54E-04	3.70E-05	4.35E-05	2.87E-04	9.32E-04	7.32E-05	1.09E-04
NW	2.91E-04	9.45E-04	8.50E-05	1.16E-04	2.51E-04	8.14E-04	7.40E-05	9.62E-05
NNW	4.46E-04	1.45E-03	1.71E-04	2.42E-04	1.70E-04	5.51E-04	7.18E-05	7.46E-05
N	8.16E-04	2.65E-03	4.51E-04	6.50E-04	1.36E-04	4.41E-04	1.27E-04	1.16E-04
NNE	4.73E-04	1.53E-03	2.07E-04	2.75E-04	1.50E-04	4.86E-04	8.53E-05	8.17E-05
NE	3.23E-04	1.05E-03	9.68E-05	1.36E-04	2.19E-04	7.10E-04	6.66E-05	8.26E-05
ENE	0.00E+00							
E	1.67E-04	5.40E-04	4.01E-05	5.07E-05	2.57E-04	8.35E-04	6.15E-05	8.96E-05
ESE	3.03E-04	9.81E-04	8.36E-05	1.11E-04	3.74E-04	1.21E-03	1.06E-04	1.51E-04
SE	8.03E-04	2.60E-03	3.96E-04	6.06E-04	3.54E-04	1.15E-03	1.76E-04	2.04E-04
SSE	0.00E+00							

附表 6-14 (1/4) 蒸汽系统管道破裂造成的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)
(现实模型, 事故前碘尖峰)

距离	500m				5000m			
	0h-2h		0h-8h		0h-2h		0h-8h	
方位	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量
S	1.91E-04	2.31E-03	2.50E-04	3.04E-03	6.39E-06	7.72E-05	8.25E-06	1.01E-04
SSW	1.01E-04	1.22E-03	1.50E-04	1.82E-03	2.69E-06	3.24E-05	3.94E-06	4.80E-05
SW	8.66E-05	1.05E-03	1.23E-04	1.50E-03	2.26E-06	2.72E-05	3.17E-06	3.87E-05
WSW	7.41E-05	8.95E-04	9.82E-05	1.20E-03	1.65E-06	1.99E-05	2.18E-06	2.66E-05
W	0.00E+00							
WNW	2.01E-04	2.42E-03	2.52E-04	3.07E-03	7.27E-06	8.78E-05	9.05E-06	1.10E-04
NW	1.75E-04	2.11E-03	2.25E-04	2.74E-03	5.37E-06	6.49E-05	6.86E-06	8.37E-05
NNW	1.19E-04	1.43E-03	1.59E-04	1.94E-03	2.83E-06	3.42E-05	3.80E-06	4.64E-05
N	9.49E-05	1.15E-03	1.34E-04	1.64E-03	3.29E-06	3.97E-05	4.57E-06	5.57E-05
NNE	1.05E-04	1.26E-03	1.44E-04	1.75E-03	2.59E-06	3.13E-05	3.55E-06	4.33E-05
NE	1.53E-04	1.85E-03	1.99E-04	2.42E-03	4.27E-06	5.16E-05	5.51E-06	6.72E-05
ENE	0.00E+00							
E	1.80E-04	2.17E-03	2.26E-04	2.76E-03	5.83E-06	7.05E-05	7.30E-06	8.90E-05
ESE	2.61E-04	3.15E-03	3.31E-04	4.03E-03	9.63E-06	1.16E-04	1.21E-05	1.47E-04
SE	2.47E-04	2.98E-03	3.27E-04	3.99E-03	9.54E-06	1.15E-04	1.25E-05	1.52E-04
SSE	0.00E+00							

表 6-14 (2/4) 蒸汽系统管道破裂造成的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)
(现实模型, 事故触发碘尖峰)

距离	(500m)				(5000m)			
	0h-2h		0h-8h		0h-2h		0h-8h	
方位	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量
S	1.59E-04	1.88E-03	4.16E-04	4.94E-03	5.31E-06	6.28E-05	1.35E-05	1.61E-04
SSW	8.40E-05	9.92E-04	2.96E-04	3.50E-03	2.23E-06	2.64E-05	7.70E-06	9.12E-05
SW	7.20E-05	8.51E-04	2.31E-04	2.74E-03	1.88E-06	2.22E-05	5.89E-06	6.98E-05
WSW	6.16E-05	7.28E-04	1.67E-04	1.99E-03	1.37E-06	1.62E-05	3.72E-06	4.42E-05
W	0.00E+00							
WNW	1.67E-04	1.97E-03	3.95E-04	4.69E-03	6.05E-06	7.15E-05	1.39E-05	1.65E-04
NW	1.46E-04	1.72E-03	3.65E-04	4.33E-03	4.47E-06	5.28E-05	1.10E-05	1.31E-04
NNW	9.86E-05	1.17E-03	2.77E-04	3.28E-03	2.36E-06	2.79E-05	6.61E-06	7.84E-05
N	7.89E-05	9.33E-04	2.51E-04	2.97E-03	2.73E-06	3.23E-05	8.35E-06	9.90E-05
NNE	8.70E-05	1.03E-03	2.59E-04	3.07E-03	2.15E-06	2.54E-05	6.37E-06	7.55E-05
NE	1.27E-04	1.50E-03	3.29E-04	3.91E-03	3.55E-06	4.20E-05	9.02E-06	1.07E-04
ENE	0.00E+00							
E	1.49E-04	1.77E-03	3.56E-04	4.22E-03	4.85E-06	5.73E-05	1.13E-05	1.34E-04
ESE	2.17E-04	2.57E-03	5.24E-04	6.22E-03	8.01E-06	9.47E-05	1.88E-05	2.24E-04
SE	2.05E-04	2.43E-03	5.59E-04	6.63E-03	7.93E-06	9.38E-05	2.08E-05	2.47E-04
SSE	0.00E+00							

表 6-14 (3/4) 蒸汽系统管道破裂造成的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)
(保守模型, 事故前碘尖峰)

距离	非居住区边界(500m)				限制区边界(5000m)			
	0h-2h		0h-8h		0h-2h		0h-8h	
方位	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量
S	3.18E-04	3.84E-03	4.07E-04	4.97E-03	1.59E-05	1.92E-04	1.98E-05	2.42E-04
SSW	5.23E-04	6.32E-03	7.13E-04	8.69E-03	3.37E-05	4.07E-04	4.39E-05	5.36E-04
SW	3.65E-04	4.41E-03	4.84E-04	5.90E-03	2.08E-05	2.52E-04	2.66E-05	3.25E-04
WSW	1.50E-04	1.81E-03	1.93E-04	2.36E-03	3.72E-06	4.49E-05	4.77E-06	5.82E-05
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	9.77E-05	1.18E-03	1.26E-04	1.54E-03	2.07E-06	2.50E-05	2.70E-06	3.29E-05
NW	2.03E-04	2.46E-03	2.59E-04	3.16E-03	6.90E-06	8.33E-05	8.73E-06	1.07E-04
NNW	3.11E-04	3.76E-03	4.02E-04	4.90E-03	1.52E-05	1.84E-04	1.91E-05	2.33E-04
N	5.70E-04	6.88E-03	7.43E-04	9.06E-03	4.17E-05	5.04E-04	5.23E-05	6.38E-04
NNE	3.30E-04	3.98E-03	4.32E-04	5.26E-03	1.57E-05	1.90E-04	2.00E-05	2.45E-04
NE	2.26E-04	2.72E-03	2.89E-04	3.52E-03	8.52E-06	1.03E-04	1.07E-05	1.31E-04
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	1.16E-04	1.40E-03	1.49E-04	1.81E-03	2.70E-06	3.26E-05	3.47E-06	4.23E-05
ESE	2.11E-04	2.55E-03	2.70E-04	3.29E-03	6.34E-06	7.66E-05	8.07E-06	9.85E-05
SE	5.60E-04	6.77E-03	7.18E-04	8.76E-03	4.20E-05	5.08E-04	5.21E-05	6.35E-04
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

表 6-14 (4/4) 蒸汽系统管道破裂造成的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)
(保守模型, 事故触发碘尖峰)

距离	非居住区边界(500m)				限制区边界(5000m)			
	0h-2h		0h-8h		0h-2h		0h-8h	
方位	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量
S	2.65E-04	3.13E-03	6.58E-04	7.81E-03	1.32E-05	1.56E-04	3.08E-05	3.65E-04
SSW	4.35E-04	5.14E-03	1.26E-03	1.50E-02	2.80E-05	3.31E-04	7.31E-05	8.67E-04
SW	3.03E-04	3.59E-03	8.27E-04	9.81E-03	1.73E-05	2.05E-04	4.29E-05	5.09E-04
WSW	1.25E-04	1.47E-03	3.16E-04	3.75E-03	3.09E-06	3.65E-05	7.72E-06	9.17E-05
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	8.13E-05	9.60E-04	2.07E-04	2.46E-03	1.72E-06	2.03E-05	4.50E-06	5.34E-05
NW	1.69E-04	2.00E-03	4.17E-04	4.95E-03	5.74E-06	6.78E-05	1.38E-05	1.64E-04
NNW	2.59E-04	3.06E-03	6.58E-04	7.80E-03	1.27E-05	1.50E-04	2.99E-05	3.55E-04
N	4.74E-04	5.60E-03	1.24E-03	1.47E-02	3.47E-05	4.10E-04	8.14E-05	9.67E-04
NNE	2.74E-04	3.24E-03	7.22E-04	8.57E-03	1.31E-05	1.55E-04	3.21E-05	3.81E-04
NE	1.88E-04	2.22E-03	4.67E-04	5.55E-03	7.09E-06	8.37E-05	1.68E-05	1.99E-04
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	9.67E-05	1.14E-03	2.40E-04	2.85E-03	2.25E-06	2.65E-05	5.64E-06	6.70E-05
ESE	1.76E-04	2.08E-03	4.33E-04	5.14E-03	5.28E-06	6.24E-05	1.29E-05	1.53E-04
SE	4.66E-04	5.51E-03	1.16E-03	1.38E-02	3.50E-05	4.13E-04	7.94E-05	9.44E-04
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

表 6-15 (1/4) 蒸汽发生器传热管破裂事故后的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)
(现实模型、事故前碘尖峰)

方位	非居住区边界(500m)		限制区边界(5000m)	
	0h-2h		0h-8h	
	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
S	4.70E-04	4.89E-03	1.47E-05	1.64E-04
SSW	2.48E-04	2.58E-03	6.48E-06	6.90E-05
SW	2.13E-04	2.21E-03	5.35E-06	5.79E-05
WSW	1.82E-04	1.89E-03	3.82E-06	4.23E-05
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	4.93E-04	5.13E-03	1.64E-05	1.86E-04
NW	4.30E-04	4.47E-03	1.23E-05	1.38E-04
NNW	2.91E-04	3.03E-03	6.60E-06	7.27E-05
N	2.33E-04	2.43E-03	7.77E-06	8.44E-05
NNE	2.57E-04	2.68E-03	6.08E-06	6.64E-05
NE	3.75E-04	3.91E-03	9.79E-06	1.09E-04
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	4.41E-04	4.59E-03	1.32E-05	1.50E-04
ESE	6.42E-04	6.68E-03	2.18E-05	2.47E-04
SE	6.06E-04	6.31E-03	2.20E-05	2.45E-04
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

表 6-15 (2/4) 蒸汽发生器传热管破裂事故后的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)
(现实模型、事故触发碘尖峰)

方位	非居住区边界(500m)		限制区边界(5000m)	
	0h-2h		0h-8h	
	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
S	1.93E-04	1.43E-03	5.42E-06	4.82E-05
SSW	1.02E-04	7.53E-04	2.60E-06	2.04E-05
SW	8.73E-05	6.46E-04	2.09E-06	1.71E-05
WSW	7.47E-05	5.52E-04	1.43E-06	1.24E-05
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	2.02E-04	1.49E-03	5.93E-06	5.47E-05
NW	1.76E-04	1.31E-03	4.50E-06	4.05E-05
NNW	1.19E-04	8.84E-04	2.50E-06	2.14E-05
N	9.57E-05	7.08E-04	3.01E-06	2.49E-05
NNE	1.05E-04	7.80E-04	2.34E-06	1.96E-05
NE	1.54E-04	1.14E-03	3.62E-06	3.22E-05
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	1.81E-04	1.34E-03	4.78E-06	4.39E-05
ESE	2.63E-04	1.95E-03	7.92E-06	7.25E-05
SE	2.49E-04	1.84E-03	8.19E-06	7.19E-05
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

表 6-15 (3/4) 蒸汽发生器传热管破裂事故后的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)
(保守模型、事故前碘尖峰)

方位	非居住区边界(500m)		限制区边界(5000m)	
	0h-2h		0h-8h	
	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
S	7.82E-04	8.13E-03	3.60E-05	4.07E-04
SSW	1.29E-03	1.34E-02	7.76E-05	8.65E-04
SW	8.96E-04	9.33E-03	4.76E-05	5.34E-04
WSW	3.69E-04	3.84E-03	8.50E-06	9.54E-05
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	2.40E-04	2.50E-03	4.77E-06	5.31E-05
NW	4.99E-04	5.20E-03	1.57E-05	1.77E-04
NNW	7.64E-04	7.96E-03	3.46E-05	3.91E-04
N	1.40E-03	1.46E-02	9.46E-05	1.07E-03
NNE	8.10E-04	8.43E-03	3.59E-05	4.04E-04
NE	5.54E-04	5.77E-03	1.93E-05	2.18E-04
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	2.86E-04	2.97E-03	6.18E-06	6.92E-05
ESE	5.19E-04	5.40E-03	1.45E-05	1.63E-04
SE	1.38E-03	1.43E-02	9.49E-05	1.08E-03
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

表 6-15 (4/4) 蒸汽发生器传热管破裂事故后的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)
(保守模型、事故触发碘尖峰)

方位	非居住区边界(500m)		限制区边界(5000m)	
	0h-2h		0h-8h	
	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
S	3.21E-04	2.37E-03	1.30E-05	1.20E-04
SSW	5.27E-04	3.90E-03	2.88E-05	2.54E-04
SW	3.68E-04	2.72E-03	1.75E-05	1.57E-04
WSW	1.51E-04	1.12E-03	3.13E-06	2.80E-05
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	9.85E-05	7.28E-04	1.77E-06	1.56E-05
NW	2.05E-04	1.52E-03	5.73E-06	5.20E-05
NNW	3.14E-04	2.32E-03	1.25E-05	1.15E-04
N	5.74E-04	4.25E-03	3.43E-05	3.14E-04
NNE	3.32E-04	2.46E-03	1.31E-05	1.19E-04
NE	2.27E-04	1.68E-03	7.02E-06	6.41E-05
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	1.17E-04	8.67E-04	2.28E-06	2.03E-05
ESE	2.13E-04	1.57E-03	5.29E-06	4.78E-05
SE	5.65E-04	4.18E-03	3.41E-05	3.16E-04
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

表 6-16(1/2) 安全壳外载有一回路冷却剂的小管线破裂事故造成的有效剂量和甲状腺当量剂量(Sv)
(现实模型)

方位	非居住区边界(500m)		限制区边界(5000m)	
	0h-2h		0h-2h	
	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量
S	3.54E-04	3.22E-03	1.18E-05	1.08E-04
SSW	1.87E-04	1.70E-03	4.97E-06	4.52E-05
SW	1.60E-04	1.46E-03	4.17E-06	3.80E-05
WSW	1.37E-04	1.25E-03	3.05E-06	2.78E-05
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	3.71E-04	3.38E-03	1.35E-05	1.22E-04
NW	3.24E-04	2.95E-03	9.94E-06	9.04E-05
NNW	2.19E-04	2.00E-03	5.24E-06	4.77E-05
N	1.76E-04	1.60E-03	6.08E-06	5.54E-05
NNE	1.94E-04	1.76E-03	4.79E-06	4.36E-05
NE	2.83E-04	2.57E-03	7.90E-06	7.19E-05
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	3.32E-04	3.03E-03	1.08E-05	9.82E-05
ESE	4.83E-04	4.40E-03	1.78E-05	1.62E-04
SE	4.57E-04	4.16E-03	1.77E-05	1.61E-04
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

表 6-16 (2/2) 安全壳外载有一回路冷却剂的小管线破裂事故造成的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)
(保守模型)

方位	非居住区边界(500m)		限制区边界(5000m)	
	0h-2h		0h-2h	
	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量
S	5.89E-04	5.36E-03	2.94E-05	2.67E-04
SSW	9.68E-04	8.81E-03	6.24E-05	5.68E-04
SW	6.75E-04	6.14E-03	3.86E-05	3.51E-04
WSW	2.78E-04	2.53E-03	6.88E-06	6.26E-05
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	1.81E-04	1.65E-03	3.83E-06	3.49E-05
NW	3.76E-04	3.42E-03	1.28E-05	1.16E-04
NNW	5.76E-04	5.24E-03	2.82E-05	2.57E-04
N	1.05E-03	9.59E-03	7.72E-05	7.02E-04
NNE	6.10E-04	5.55E-03	2.91E-05	2.65E-04
NE	4.17E-04	3.80E-03	1.58E-05	1.43E-04
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	2.15E-04	1.96E-03	5.00E-06	4.55E-05
ESE	3.91E-04	3.56E-03	1.17E-05	1.07E-04
SE	1.04E-03	9.43E-03	7.78E-05	7.08E-04
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

表 6-17 (2/2) 卡轴事故造成的有效剂量和甲状腺当量剂量 (Sv)
(保守模型)

距离	非居住区边界(500m)				限制区边界(5000m)			
	0h-2h		0h-8h		0h-2h		0h-8h	
方位	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量	有效剂量	甲状腺剂量
S	7.22E-04	5.52E-03	2.88E-03	3.12E-02	3.60E-05	2.76E-04	1.31E-04	1.43E-03
SSW	1.19E-03	9.08E-03	5.85E-03	6.32E-02	7.65E-05	5.85E-04	3.24E-04	3.53E-03
SW	8.28E-04	6.33E-03	3.75E-03	4.05E-02	4.73E-05	3.62E-04	1.87E-04	2.03E-03
WSW	3.40E-04	2.60E-03	1.39E-03	1.51E-02	8.44E-06	6.45E-05	3.37E-05	3.67E-04
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	2.22E-04	1.70E-03	9.15E-04	9.91E-03	4.70E-06	3.59E-05	2.00E-05	2.17E-04
NW	4.61E-04	3.53E-03	1.82E-03	1.97E-02	1.57E-05	1.20E-04	5.97E-05	6.50E-04
NNW	7.06E-04	5.40E-03	2.91E-03	3.15E-02	3.46E-05	2.64E-04	1.28E-04	1.39E-03
N	1.29E-03	9.89E-03	5.52E-03	5.97E-02	9.46E-05	7.24E-04	3.47E-04	3.78E-03
NNE	7.48E-04	5.72E-03	3.23E-03	3.50E-02	3.57E-05	2.73E-04	1.39E-04	1.52E-03
NE	5.12E-04	3.91E-03	2.05E-03	2.22E-02	1.93E-05	1.48E-04	7.18E-05	7.83E-04
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	2.64E-04	2.02E-03	1.05E-03	1.14E-02	6.12E-06	4.69E-05	2.47E-05	2.69E-04
ESE	4.79E-04	3.67E-03	1.89E-03	2.05E-02	1.44E-05	1.10E-04	5.59E-05	6.09E-04
SE	1.27E-03	9.73E-03	5.10E-03	5.53E-02	9.54E-05	7.30E-04	3.34E-04	3.64E-03
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

表 6-18 (1/2) 废气处理系统破损的放射性后果 (Sv)
(现实模型)

方位	非居住区边界 (500m)		规划限制区边界(5000m)	
	0-2 小时		0-2 小时	
	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
S	1.54E-04	7.49E-05	5.14E-06	2.50E-06
SSW	8.11E-05	3.95E-05	2.16E-06	1.05E-06
SW	6.96E-05	3.39E-05	1.81E-06	8.83E-07
WSW	5.95E-05	2.90E-05	1.32E-06	6.46E-07
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	1.61E-04	7.85E-05	5.84E-06	2.85E-06
NW	1.41E-04	6.86E-05	4.32E-06	2.10E-06
NNW	9.53E-05	4.64E-05	2.28E-06	1.11E-06
N	7.63E-05	3.72E-05	2.64E-06	1.29E-06
NNE	8.41E-05	4.10E-05	2.08E-06	1.01E-06
NE	1.23E-04	5.99E-05	3.43E-06	1.67E-06
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	1.44E-04	7.04E-05	4.69E-06	2.29E-06
ESE	2.10E-04	1.02E-04	7.74E-06	3.77E-06
SE	1.98E-04	9.67E-05	7.67E-06	3.74E-06
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MAX	2.10E-04	1.02E-04	7.74E-06	3.77E-06

表 6-18 (2/2) 废气处理系统破损的放射性后果 (Sv)
(保守模型)

方位	非居住区边界 (500m)		规划限制区边界(5000m)	
	0-2 小时		0-2 小时	
	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
S	2.56E-04	1.25E-04	1.28E-05	6.22E-06
SSW	4.21E-04	2.05E-04	2.71E-05	1.32E-05
SW	2.93E-04	1.43E-04	1.67E-05	8.16E-06
WSW	1.21E-04	5.88E-05	2.99E-06	1.46E-06
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	7.85E-05	3.83E-05	1.66E-06	8.11E-07
NW	1.63E-04	7.96E-05	5.55E-06	2.70E-06
NNW	2.50E-04	1.22E-04	1.22E-05	5.97E-06
N	4.58E-04	2.23E-04	3.35E-05	1.63E-05
NNE	2.65E-04	1.29E-04	1.27E-05	6.17E-06
NE	1.81E-04	8.83E-05	6.85E-06	3.34E-06
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	9.34E-05	4.55E-05	2.17E-06	1.06E-06
ESE	1.70E-04	8.27E-05	5.10E-06	2.48E-06
SE	4.50E-04	2.19E-04	3.38E-05	1.65E-05
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MAX	4.58E-04	2.23E-04	3.38E-05	1.65E-05

表 6-19 (1/2) 容控箱破损事故的放射性后果 (Sv)

(现实模型)

方位	非居住区边界(500m)		规划限制区边界(5000m)	
	0-2 小时		0-2 小时	
	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
S	1.05E-04	1.40E-04	3.50E-06	4.68E-06
SSW	5.53E-05	7.39E-05	1.47E-06	1.97E-06
SW	4.74E-05	6.34E-05	1.23E-06	1.65E-06
WSW	4.06E-05	5.42E-05	9.03E-07	1.21E-06
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	1.10E-04	1.47E-04	3.98E-06	5.32E-06
NW	9.58E-05	1.28E-04	2.94E-06	3.93E-06
NNW	6.49E-05	8.67E-05	1.55E-06	2.07E-06
N	5.20E-05	6.95E-05	1.80E-06	2.41E-06
NNE	5.73E-05	7.66E-05	1.42E-06	1.89E-06
NE	8.37E-05	1.12E-04	2.34E-06	3.12E-06
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	9.84E-05	1.31E-04	3.19E-06	4.27E-06
ESE	1.43E-04	1.91E-04	5.27E-06	7.05E-06
SE	1.35E-04	1.81E-04	5.22E-06	6.98E-06
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MAX	1.43E-04	1.91E-04	5.27E-06	7.05E-06

表 6-19 (2/2) 容控箱破损事故的放射性后果 (Sv)
(保守模型)

方位	非居住区边界(500m)		规划限制区边界(5000m)	
	0-2 小时		0-2 小时	
	有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
S	1.74E-04	2.33E-04	8.70E-06	1.16E-05
SSW	2.86E-04	3.83E-04	1.85E-05	2.47E-05
SW	2.00E-04	2.67E-04	1.14E-05	1.52E-05
WSW	8.21E-05	1.10E-04	2.04E-06	2.72E-06
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	5.35E-05	7.15E-05	1.13E-06	1.51E-06
NW	1.11E-04	1.49E-04	3.78E-06	5.05E-06
NNW	1.70E-04	2.28E-04	8.34E-06	1.11E-05
N	3.12E-04	4.17E-04	2.28E-05	3.05E-05
NNE	1.81E-04	2.41E-04	8.62E-06	1.15E-05
NE	1.23E-04	1.65E-04	4.66E-06	6.23E-06
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	6.36E-05	8.50E-05	1.48E-06	1.98E-06
ESE	1.16E-04	1.54E-04	3.47E-06	4.64E-06
SE	3.07E-04	4.10E-04	2.30E-05	3.08E-05
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MAX	3.12E-04	4.17E-04	2.30E-05	3.08E-05

表 6-20 (1/2) 燃料操作事故放射性后果 (Sv)

(现实模型)

方位	非居住区边界(500m)		规划限制区边界(5000m)	
	0-2h		0-2h	
	有效剂量	甲状腺 当量剂量	有效剂量	甲状腺 当量剂量
S	2.97E-03	4.16E-02	9.91E-05	1.39E-03
SSW	1.57E-03	2.20E-02	4.16E-05	5.84E-04
SW	1.34E-03	1.88E-02	3.50E-05	4.91E-04
WSW	1.15E-03	1.61E-02	2.56E-05	3.59E-04
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	3.11E-03	4.36E-02	1.13E-04	1.58E-03
NW	2.72E-03	3.81E-02	8.33E-05	1.17E-03
NNW	1.84E-03	2.58E-02	4.39E-05	6.17E-04
N	1.47E-03	2.07E-02	5.10E-05	7.15E-04
NNE	1.62E-03	2.28E-02	4.01E-05	5.63E-04
NE	2.37E-03	3.33E-02	6.62E-05	9.29E-04
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	2.79E-03	3.91E-02	9.05E-05	1.27E-03
ESE	4.05E-03	5.68E-02	1.49E-04	2.10E-03
SE	3.83E-03	5.37E-02	1.48E-04	2.08E-03
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MAX	4.05E-03	5.68E-02	1.49E-04	2.10E-03

表 6-20 (2/2) 燃料操作事故放射性后果 (Sv)

(保守模型)

方位	非居住区边界(500m)		规划限制区边界(5000m)	
	0-2h		0-2h	
	有效剂量	甲状腺 当量剂量	有效剂量	甲状腺 当量剂量
S	4.94E-03	6.92E-02	2.46E-04	3.46E-03
SSW	8.12E-03	1.14E-01	5.23E-04	7.34E-03
SW	5.66E-03	7.94E-02	3.23E-04	4.53E-03
WSW	2.33E-03	3.26E-02	5.77E-05	8.09E-04
W	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WNW	1.52E-03	2.13E-02	3.21E-05	4.50E-04
NW	3.15E-03	4.42E-02	1.07E-04	1.50E-03
NNW	4.83E-03	6.77E-02	2.36E-04	3.32E-03
N	8.84E-03	1.24E-01	6.47E-04	9.08E-03
NNE	5.12E-03	7.17E-02	2.44E-04	3.43E-03
NE	3.50E-03	4.91E-02	1.32E-04	1.85E-03
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	1.80E-03	2.53E-02	4.19E-05	5.87E-04
ESE	3.28E-03	4.59E-02	9.84E-05	1.38E-03
SE	8.69E-03	1.22E-01	6.52E-04	9.15E-03
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MAX	8.84E-03	1.24E-01	6.52E-04	9.15E-03

附件 7：计算模型

本附件含附录 A~附录 G 等 7 个附录。

附录 A 运行状态下放射性气载流出物排放量计算模式及参数

A.1 放射性废气处理系统的排放量

1) 压缩机的泄漏释放 (AGWT1)

$$AGWT1 = TFC \times SFIBRS \times Q$$

$$Q = \frac{QBRST \times PCANO}{DFICVC^2} + \frac{QBRST \times PCAT \times e^{-\lambda_L \times TCVC}}{DFICVC^2} + PCM \times PCCSN \times PCAT$$

$$\lambda_L = \lambda + \frac{QCVC \times (1 - DFICVC^{-1})}{PCM}$$

参数物理意义：

TFC：压缩机的泄漏率，用总流量的百分比表示；

SFIBRS：硼回收系统除气塔中碘或惰性气体核素的汽水分配因子；

QBRST：稳态运行时硼回收系统的年处理量，t；

PCANO：稳态运行工况下一回路冷却剂中碘或惰性气体核素的放射性比活度，GBq/t；

DFICVC：化容系统和硼回收系统除盐器对碘和惰性气体核素的去污因子；

QBRST：瞬态时硼回收系统的年处理量，t；

PCAT：瞬态工况下一回路冷却剂中碘或惰性气体核素的放射性比活度，GBq/t；

TCVC：*QBRST* 输送到硼回收系统之前化容系统的运行时间，h；

PCM：一回路冷却剂的质量，t；

PCCSN：一回路脱气的冷停堆次数；

λ ：核素衰变常数，1/h；

QCVC：化容系统的流量，t/h。

2) 衰变箱的清扫释放 (AGWT2)

$$AGWT2 = (1 - TFC) \times SFIBRS \times \frac{[1 - e^{-\lambda_1 \times FTDGWT}] \times e^{(-\lambda \times STDGWT)} \times Q}{\lambda_1 \times FTDGWT}$$

$$\lambda_1 = \lambda + \frac{XFUITR}{24}$$

参数物理意义：

FTDGWT：衰变箱的充满时间，h；

STDGWT：气态放射性流出物释放前在衰变箱中的贮存时间，h；

XFUITR：衰变箱的泄漏率，与日贮存量成正比，1/d。

3) 衰变箱的泄漏释放 (AGWT3)

$$AGWT3 = \frac{XFUITR}{24 \times \lambda_t} \times \left[\frac{(1-TFC) \times AGWT1}{TFC} - AGWT2 \right]$$

参数物理意义同上。

A.2 反应堆厂房通风系统的排放量

反应堆厂房通风系统的排放量:

$$ARB = ARB1 + ARB2$$

1) 停堆期间大流量清扫引起的释放 (ARB1):

$$ARB1 = \frac{SFIRB \times TAO \times QLRB \times PCANO \times (1 - e^{-\lambda_t \times TIRB})}{DFIRB \times \lambda_t \times TIRB}$$

$$\lambda_t = \lambda + (1 - DFIRB^{-1}) \times \lambda_v + \lambda_B$$

参数物理意义:

SFIRB: 反应堆厂房内碘或惰性气体核素的汽水分配因子;

TAO: 机组全年运行时间, h;

QLRB: 反应堆厂房内一回路冷却剂泄漏率, t/h;

TIRB: 进行反应堆厂房清扫的时间间隔, h;

DFIRB: 反应堆厂房通风系统对碘和惰性气体的去污因子;

λ_v : 内部过滤系统的时间常数 (系统带有碘捕集器), 1/h;

λ_B : 空气监测系统的时间常数 (系统带有碘捕集器), 1/h。

2) 机组运行时小流量清扫引起的释放 (ARB2):

$$ARB2 = \frac{\lambda_B}{\lambda_t} \times \left(\frac{SFIRB \times TAO \times QLRB \times PCANO}{DFIRB} - ARB1 \right)$$

参数物理意义同上。

A.3 核辅助厂房通风系统的排放量

核辅助厂房通风系统的排放量:

$$AAB = AAB1 + AAB2$$

1) 冷泄漏引起的排放 (AAB1):

$$AAB1 = \frac{QCLAB \times TAO \times PCANO \times SFICAB}{DFICVC}$$

参数物理意义:

QCLAB: 冷的一回路冷却剂泄漏率, t/h;

SFICAB: 冷的一回路冷却剂泄漏中碘或惰性气体的汽水分配因子。

2) 热泄漏引起的排放 (AAB2):

$$AAB2 = \frac{QHLAB \times TAO \times PCANO \times SFIHAB}{DFICVC}$$

QHLAB: 热的一回路冷却剂泄漏率, t/h;

SFIHAB: 热的一回路冷却剂泄漏中碘或惰性气体的汽水分配因子。

A.4 二回路系统的排放量

1) 真空泵抽气引起的惰性气体年排放量

$$ASEC(N) = \int_0^t PCANO(N) \times (BB + AA \times t) dt = PCANO(N) \times \left(BB \times t + \frac{AA \times t^2}{2} \right)$$

参数物理意义:

PCANO(N): 稳态运行工况下, 一回路主冷却剂中惰性气体核素的放射性比活度,

GBq/t;

BB: 一回路至二回路的初始泄漏率, t/h;

AA: 一回路至二回路的泄漏率系数, t/h²;

t: 一回路向二回路的泄漏时间。

2) 真空泵抽气引起的碘核素年排放量

$$\begin{aligned} ASECI(I) &= \int_0^t \frac{AGV(I_t) \times QCOND \times S_F \times F_H}{SGM} dt \\ &= \frac{QCOND \times S_F \times F_H}{SGM} \times \left\{ [AGV(I_0) + n(I)] \times \left[\mu(I) - \mu(I) \times e^{-t/\mu(I)} \right] - \frac{m(I) \times t^2}{2} - n(I) \times t \right\} \end{aligned}$$

$$m(I) = -\mu(I) \times AA \times PCANO(I)$$

$$n(I) = -(BB - \mu(I) \times AA) \times PCANO(I) \times \mu(I)$$

$$\mu(I) = 1 / \left(\lambda(I) + \frac{QFSG}{SGM} - \frac{QFSG}{SGM \times D} + \frac{F_H \times QFSEC \times (1 - S_F)}{SGM} + \frac{QCOND \times F_H \times S_F}{SGM} \right)$$

参数物理意义:

AGV (It): 蒸汽发生器水相中核素的总活度, GBq;

PCANO(I): 稳态运行工况下, 一回路冷却剂中碘核素的放射性比活度, GBq/t;

QCOND: 两台冷凝器的蒸汽总流量, t/h;

SF: 冷凝器中的碘的汽水分配因子;

FH: 蒸汽携带因子 (蒸汽发生器蒸汽中核素的比活度与蒸汽发生器水中核素的比活

度之比);

SGM: 两台蒸汽发生器中水的质量, t;

QFSG: 两台蒸汽发生器的排污率, t/h;

D: 蒸汽发生器排污系统除盐器净化因子;

QFSEC: 二回路泄漏率, t/h。

附录 B 运行状态下放射性液态流出物排放量计算模式及参数

B.1 硼回收系统的排放量

硼回收系统裂变产物的总排放量：

$$ABRS(F) = ABRS1 + ABRS2 + ABRS3 + ABRS4(F)$$

硼回收系统腐蚀产物的总排放量：

$$ABRS(C) = ABRS1 + ABRS2 + ABRS3 + ABRS4(C)$$

稳态运行时的释放 ($ABRS1$)：

$$ABRS1 = \frac{QBRs1 \times PCANO \times e^{(-\lambda \times TBRs1)}}{DFBRs}$$

参数物理意义：

$QBRs1$ ：稳态运行时硼回收系统的年处理量，t；

$PCANO$ ：稳态运行一回路冷却剂中裂变产物或腐蚀产物核素的放射性比活度，GBq/t；

λ ：核素的衰变常数，1/h；

$TBRs1$ ： $QBRs1$ 在硼回收系统内的贮存时间，h；

$DFBRs$ ：硼回收系统的去污因子。

瞬态工况（8 小时热停堆）时的释放 ($ABRS2$)：

$$ABRS2 = \frac{QBRs2 \times PCAT1 \times e^{[-(\lambda + \lambda_1) \times TPCB1]} \times e^{(-\lambda \times TBRs2)}}{DFBRs}$$

$$\lambda_1 = \frac{QCVC1}{PCM} \times (1 - DFCVC^{-1})$$

参数物理意义：

$QBRs2$ ：8 小时热停堆期间输送到硼回收系统的年处理量，t；

$PCAT1$ ：热停堆时一回路冷却剂中裂变产物和腐蚀产物的放射性比活度，GBq/t；

$TPCB1$ ：由于瞬态工况引起的一回路冷却剂中放射性峰值时刻与 $QBRs2$ 输送到硼回收系统相隔的时间，h；

$TBRs2$ ： $QBRs2$ 在硼回收系统内的贮存时间，h；

$QCVC1$ ：8 小时热停堆期间化容系统的流量，t/h；

PCM ：一回路冷却剂的质量，t；

$DFCVC$ ：化容系统的去污因子。

瞬态工况（90 小时热停堆）时的释放 ($ABRS3$)：

$$ABRS3 = \frac{QBR3 \times PCAT1 \times e^{[-(\lambda+\lambda_2) \times TPCB2]} \times e^{(-\lambda \times TBR3)}}{DFBRS}$$

$$\lambda_2 = \frac{QCVC2}{PCM} \times (1 - DFCVC^{-1})$$

参数物理意义:

QBR3: 90 小时热停堆期间输送到硼回收系统的年处理量, t;

PCAT1: 热停堆时一回路冷却剂中裂变产物和腐蚀产物的放射性比活度, GBq/t;

TPCB2: 由于瞬态工况引起的一回路冷却剂中放射性峰值时刻与 *QBR3* 输送到硼回收系统相隔的时间, h;

TBR3: *QBR3* 在硼回收系统内存储的时间, h;

QCVC2: 90 小时热停堆期间化容系统的流量, t/h。

瞬态工况 (冷停堆) 时的释放 (*ABRS4*):

裂变产物 (*ABRS4(F)*):

$$ABRS4(F) = \frac{QBR4 \times PCAT2(F) \times e^{[-(\lambda+\lambda_3) \times TPCBF3]} \times e^{(-\lambda \times TBR4)}}{DFBRS}$$

$$\lambda_3 = \frac{QCVC3}{PCM} \times (1 - DFCVC^{-1})$$

参数物理意义:

QBR4: 冷停堆期间输送到硼回收系统的年处理量, t;

PCAT2(F): 冷停堆时一回路冷却剂中裂变产物的放射性比活度, GBq/t;

TPCBF3: 由于冷停堆产生的裂变产物放射性峰值时刻与 *QBR4* 输送到硼回收系统相隔的时间, h;

TBR4: *QBR4* 在硼回收系统内贮存的时间, h;

QCVC3: 冷停堆期间化容系统的流量, t/h。

腐蚀产物 (*ABRS4(C)*):

$$ABRS4(C) = \frac{QBR4 \times PCAT2(C) \times e^{[-(\lambda+\lambda_3) \times TPCBC3]} \times e^{(-\lambda \times TBR4)}}{DFBRS}$$

参数物理意义:

PCAT2(C): 冷停堆时一回路冷却剂中腐蚀产物的放射性比活度, GBq/t;

TPCBC3: 由于冷停堆产生的腐蚀产物放射性峰值时刻与 *QBR4* 输送到硼回收系统相隔的时间, h。

B.2 废液处理系统的排放量

废液处理系统的排放包括化学排水、地面排水和工艺排水。

废液处理系统裂变产物的总排放量： $ALWT(F) = ALWT1 + ALWT2 + ALWT3(F)$

废液处理系统腐蚀产物的总排放量： $ALWT(C) = ALWT1 + ALWT2 + ALWT3(C)$

①蒸发器处理的化学疏水释放 ($ALWT1$):

$$ALWT1 = \frac{QCH \times PCANO \times e^{(-\lambda \times TCH)}}{DFLWT}$$

参数物理意义:

QCH : 经蒸发器处理的化学疏水当量, t;

TCH : QCH 在废液处理系统中的贮存时间, h;

$DFLWT$: 废液处理系统对裂变产物的去污因子。

②过滤器处理的地面疏水释放 ($ALWT2$):

$$ALWT2 = QFL \times PCANO \times e^{(-\lambda \times TFL)}$$

参数物理意义:

QFL : 经过滤器处理的地面疏水当量, t;

TFL : QFL 在废液处理系统中的贮存时间, h。

③除盐器处理的工艺疏水释放 ($ALWT3$):

裂变产物 ($ALWT3(F)$):

$$ALWT3(F) = \frac{QPR \times PCAT2(F) \times e^{[-(\lambda + \lambda_4) \times TPCQF]} \times e^{(-\lambda \times TPR)}}{DFLWT}$$

$$\lambda_4 = \frac{QCVC}{PCM} \times (1 - DFCVC^{-1})$$

参数物理意义:

QPR : 经除盐器处理的工艺疏水的当量, t;

$TPCQF$: 裂变产物放射性峰值出现至 QPR 输送到废液处理系统的时间间隔, h;

TPR : QPR 在废液处理系统内的贮存时间, h。

$QCVC$: 冷停堆期间在 $TPCQF$ 和 $TPCQC$ 两个时间间隔内化容系统的流量, t/h。

腐蚀产物 ($ALWT3(C)$):

$$ALWT3(C) = \frac{QPR \times PCAT2(C) \times e^{[-(\lambda + \lambda_4) \times TPCQC]} \times e^{(-\lambda \times TPR)}}{DFLWT}$$

参数物理意义:

$TPCQC$: 腐蚀产物放射性峰值出现至 QPR 输送到废液处理系统的时间间隔, h。

B.3 二回路系统的排放量

蒸汽发生器排污释放 (*ASCE*):

$$ASCE = AGV(I_t) = \left\{ [AGV(I_0) + n(I)] \times e^{-t/\mu(I)} - m(I) \times t - n(I) \right\} \times e^{-\lambda \times TD}$$

参数物理意义:

PCANO(I): 稳态运行一回路冷却剂中裂变产物或腐蚀产物核素的放射性比活度,

GBq/t;

TD : 排污前蒸汽发生器内核素的衰变时间, h。

附录 C 大气年均扩散因子、沉积因子的计算模式及参数

C.1 大气年均扩散因子计算模式

当气载流出物排放高度高于周围建筑物高度的 2 倍时为高架排放，大气年均弥散因子采用高架释放模式计算，见 C1.1 节。

当气载流出物排放高度低于周围最高建筑物高度时为低架排放，大气年均弥散因子采用低架释放模式计算，见 C1.2 节。

当气载流出物排放高度高于周围最高建筑物高度，但低于周围最高建筑物高度的 2 倍时，大气年均弥散因子采用混合释放模式计算，见 C1.3 节。

C.1.1 高架排放

根据烟羽扩散的下风距离 x 与烟羽边界初次到达混合层底时对应的下风距离 x_L 之间的关系分以下两种情况分别计算 i 风向、下风距离 x 处扇形弧段上高架点源污染物排放的大气年均弥散因子。

C.1.1.1 不受混合层限制的大气年均弥散因子模式

当 $x \leq x_L$ 时，烟羽扩散不会受到混合层顶的限制，年均大气弥散因子计算公式如下：

$$\left(\frac{\bar{X}}{Q}\right)_i = \frac{2.032}{x} \cdot \sum_{j=1, k=3}^{6,6} \frac{\exp\left(-\frac{H_s^2}{2 \cdot \sigma_{zj}^2(x)}\right)}{\sigma_{zj}(x)} \cdot \frac{P_{ijk}}{u_{jk}} \dots\dots\dots(C1.1)$$

式中：

$\left(\frac{\bar{X}}{Q}\right)_i$ —— i 风向的下风向扇形内的长期大气弥散因子， s/m^3 ；

x —— i 风向的下风向距离， m ；

H_s —— 有效释放高度， $H_s = H + \Delta H_j$ ， m ；

H —— 排风塔的几何高度， m ；

ΔH_j —— 考虑烟羽抬升， j 类稳定度、 x 下风距离处的烟羽抬升高度， m ；

$\sigma_{zj}(x)$ —— j 类稳定度、 x 下风距离处的垂直扩散参数， m ；

P_{ijk} —— i 风向、 j 类稳定度、 k 风速级出现的频率；

u_{jk} —— 流出物释放高度处、 j 类稳定度、 k 风速级对应的平均风速， m/s 。

C.1.1.2 受混合层限制的大气年均弥散因子模式

当 $x > x_L$ 时，烟羽经过较长时间的迁移扩散，将受到混合层顶的限制。根据烟羽物质的浓度在混合层内垂直方向分布情况分以下两种情况考虑：

(1)当 $x \geq 2x_L$ 时, 认为烟羽迁移的距离 x 足够大, 使得烟羽物质的浓度在混合层内垂直方向分布均匀。根据流出物有效释放高度 H_s 与大气混合层高度 H_m 之间的关系来确定此种情况下混合层对烟羽扩散的影响,:

$$\left(\frac{\bar{X}}{Q}\right)_i = \frac{2.546}{x} \cdot \sum_{j=1, k=3}^{6,6} \frac{w P_{ijk}}{u_{jk} \cdot H_{mj}} \dots\dots\dots (C1.2)$$

(2)当 $x_L < x < 2x_L$ 时, 长期大气弥散因子由根据(C1.1)式当 $x=x_L$ 时计算出的 $\left(\frac{\bar{X}}{Q}\right)_i$ 值, 与根据(C1.2)式或(C1.3)式当 $x=2x_L$ 时计算出的 $\left(\frac{\bar{X}}{Q}\right)_i$ 值内插得到。

C.1.2 地面释放

C.1.2.1 不受混合层限制的大气年均弥散因子模式

当 $x \leq x_L$ 时, 烟羽扩散不会受到混合层顶的限制, 在考虑建筑物尾流影响情况下, 地面释放的大气年均弥散因子计算公式如下:

$$\left(\frac{\bar{X}}{Q}\right)_i = \frac{2.032}{x \cdot \sum z_j(x)} \cdot \sum_{k=1, j=1}^{6,6} \frac{P_{ijk}}{u_{jk}} \dots\dots\dots (C1.5)$$

式中:

$\sum z_j(x)$ ——经建筑物尾流校正后的垂直大气扩散参数, m, 见(C1.6)式和(C1.7)式, 并择其中计算结果较小者;

$$\sum z_j(x) = \left(\sigma_{zj}^2(x) + \frac{0.5}{\pi} \cdot D_z^2 \right)^{0.5} \dots\dots\dots (C1.6)$$

$$\sum z_j(x) = \sqrt{3} \cdot \sigma_{zj}(x) \dots\dots\dots (C1.7)$$

式(C1.6)中:

D_z —— 排放点附近最高建筑物的高度, m。

其他参数含义同高架释放模式。

C.1.2.2 受混合层限制的大气年均弥散因子模式

当 $x > x_L$ 时, 烟羽经过较长时间的迁移扩散, 将受到混合层顶的限制, 此种情况下的模式与高架释放受混合层限制模式相同。

C.1.3 混合释放

当流出物释放高度高于邻近建筑物但低于邻近建筑物高度 2 倍时,部分时间视为高架释放,部分时间视为地面释放,其时间分配比例 E_t 取决于 W_0/u_{jk} 的比值(W_0 为烟囱出口处烟气流速, u_{jk} 为烟羽排放高度处的风速),此种情况称为混合释放方式。

时间分配比例 E_t 的计算公式如下:

$$E_t = \begin{cases} 1 & W_0/u_{jk} \leq 1.0, \text{ 地面释放} \\ 2.58-1.58(W_0/u_{jk}) & 1.0 < W_0/u_{jk} \leq 1.5, \text{ 混合释放} \\ 0.30-0.06(W_0/u_{jk}) & 1.5 < W_0/u_{jk} \leq 5.0, \text{ 混合释放} \\ 0 & W_0/u_{jk} > 5.0, \text{ 高架释放} \end{cases} \dots\dots\dots(C1.8)$$

式中,

E_t ——混合释放模式中高架释放所占比例。

C.1.4 烟羽损耗校正因子

由于存在放射性衰变、干沉积及湿沉积等过程,将造成烟羽中放射性物质减少(即烟羽损耗)。通过引入放射性衰变校正因子、干沉积校正因子及湿沉积校正因子来对源项加以校正。

C.1.4.1 放射性衰变校正因子

$$F_m = \exp(-\lambda \cdot \frac{x}{U_{jk}}) \dots\dots\dots(C1.9)$$

式中:

F_m ——放射性衰变校正因子;

λ ——核素放射性衰变常数, s^{-1} 。

C.1.4.2 干沉积校正因子

干沉积校正因子 F_d 采用 NUREG1.111 图 3~图 6 中给出的数据。

C.1.4.3 湿沉积校正因子

湿沉积校正因子 F_w 用下式计算:

$$F_w = \exp(-\Lambda \cdot \frac{x}{u_{jk}}) \dots\dots\dots(C1.10)$$

式中:

F_w ——湿沉积校正因子。

C.1.4.4 经烟羽损耗修正后的源项

$$Q' = Q \cdot F_m \cdot F_d \cdot F_w \dots\dots\dots(C1.11)$$

式中:

Q' ——经烟羽损耗修正因子修正后的源项, Bq/a;

Q ——项目释放的气载流出物源项, Bq/a。

C.1.5 计算大气弥散因子的有关参数

C.1.5.1 抬升高度 ΔH_j

本项目气载流出物排放为冷排放, 不考虑热力抬升, 仅考虑动力抬升。

(1)对于 A、B、C、D 类稳定度情况, 分别按下面两式计算, 取其小者为 ΔH_j 。

$$\Delta H_j = 1.44D \cdot \left(\frac{W_o}{u}\right)^{2/3} \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^{1/3} - C \dots\dots\dots(C1.12)$$

$$\Delta H_j = 3 \cdot \frac{W_o}{u} \cdot D \dots\dots\dots(C1.13)$$

式中:

W_o —— 烟囱出口处烟气流速, m/s;

D —— 烟囱出口处内径, m;

C —— 当 $W_o < 1.5u$ 时, 下曳校正因子, $C = 3 \cdot \left(1.5 - \frac{W_o}{u}\right) \cdot D$

(2)对于 E、F 类稳定度情况, 比较按式 C1.12 计算值与下面两式计算值, 取其最小者为 ΔH_j 。

$$\Delta H_j = 4 \cdot \left(\frac{F_m}{S}\right)^{1/4} \dots\dots\dots(C1.14)$$

$$\Delta H_j = 1.5 \cdot S^{-1/6} \left(\frac{F_m}{u}\right)^{1/3} \dots\dots\dots(C1.15)$$

$$F_m = W_o^2 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \dots\dots\dots(C1.16)$$

式中:

F_m —— 动量通量参数;

S —— 稳定度参数, E 类天气 S 取 8.7×10^{-4} , F 类天气 S 取 1.75×10^{-3} 。

C.1.5.2 排放参数

烟囱排放参数见表 C-1。

表 C-1 烟囱排放参数

烟囱高度	72.5m
烟囱内径	3.0m
烟囱出口排气速度	14.6m/s
临近建筑物高度	72.5m

C.2 年均沉积因子

正常运行状态下年均干沉积因子和湿沉积因子按(C)式和(C)式计算：

$$W_{D,i} = (x/Q)_i \cdot V_d \dots\dots\dots(C2.1)$$

$$W_{wi} = \frac{N}{2\pi x} \sum_{j,k,l} f_{i,j,k,l} \frac{\Lambda_l}{\bar{u}_{j,k}} \dots\dots\dots(C2.2)$$

式中：

W_{Di} ， W_{wi} —分别为 i 风向下的年均干沉积因子和湿沉积因子， m^{-2} ；

$(x/Q)_i$ —i 风向下的年均大气弥散因子， s/m^3 ；

V_d —放射性核素的干沉积速度， m/s ；

N —16 个扇形方位数($N=16$)；

Λ —相应于 1 降水强度组的冲洗系数 s^{-1} ；

$f_{i,j,k,l}$ —i 风向、j 稳定度、k 风速组、l 降水强度组的四维联合频率；

$\bar{u}_{j,k}$ —j 稳定度、k 风速组的年均风速， m/s 。

附录 D 运行状态下放射性气载流出物所致辐射剂量的计算模式及参数

D.1 空气浸没剂量

浸没在放射性烟云中所受到的外照射剂量按下式计算：

$$D_{Bi} = Q(X/Q)_i g_B \quad (1)$$

式中：

D_{Bi} —i 风向下风向扇形区内受照个人的年剂量，Sv/a；

Q—放射性核素的释放率，Bq/a；

$(X/Q)_i$ —i 风向下风向扇形区内 x 距离处的年均大气弥散因子，s/m³；

g_B —烟云浸没照射的有效剂量转换因子，Sv/(s·Bq·m⁻³)。

D.2 吸入剂量

放射性核素所致吸入内照射剂量按下式计算：

$$D_{Ai}^a = \frac{1}{3.15 \times 10^7} \cdot Ra \cdot Q(\chi/Q)_i \cdot g_{Aa} \quad (2)$$

D_{Ai}^a —i 风向下风向扇形区内年龄组 a 的个人年吸入待积有效剂量，Sv/a；

Ra—年龄组 a 的个人呼吸率，m³/a；

g_{Aa} —年龄组 a 的吸入剂量转换因子，Sv/Bq；。

D.3 地面沉积外照射剂量

地面沉积外照射剂量按下式计算：

$$D_{Gi} = 3.15 \times 10^7 \cdot S_F \cdot C_i^G g_G \quad (3)$$

式中：

D_{Gi} —i 风向下风向扇形区内由干、湿沉积外照射所致的年有效剂量，Sv/a；

C_i^G —i 风向下风向扇形区内放射性核素 i 的干、湿沉积量，Bq/m²， C_i^G 由下式计算：

$$C_i^G = \frac{(w_{Di} + w_{wi})Q}{\lambda_e^s} (1 - e^{-\lambda_e^s \cdot t_b})$$

式中： w_{Di} 和 w_{wi} 分别为 i 风向下风向扇形区内年干、湿沉积因子，m⁻²， t_b 为放射性核素的地面累积时间，a； λ_e^s 为放射性核素由地表面清除的有效速率常数，a⁻¹； $\lambda_e^s = \lambda + \lambda_s$ ， λ 为放射性核素的物理衰变常数，a⁻¹； λ_s 为除放射性衰变外其他清除过程的速率常数，a⁻¹。

g_G —沉积外照射有效剂量转换因子，Sv/(s·Bq·m⁻²)⁻¹。

D.4 食入内照射剂量

食入内照射剂量按下式计算：

$$D_{Fi}^a = g_{Fa} \sum_p u_p^a C_i^p \quad (4)$$

式中：

D_{Fi}^a —i 风向下风向扇形区内 a 年龄组个人的食入待积有效剂量，Sv/a；

g_{Fa} —a 年龄组的食入剂量转换因子，Sv/Bq；

u_p^a —a 年龄组个人对 p 类农产品的年摄入量，kg/a 或 L/a；

C_i^p —p 类农产品中放射性核素浓度，Bq/kg 或 Bq/L。

各类农产品中的放射性核素浓度计算公式如下：

1) 蔬菜、谷类、水果等农作物中核素浓度

$$C_i^p = Q(w_{Di} + w_{wi}) \left\{ \frac{RT_{iv} [1 - \exp(-\lambda_e^v \cdot t_e)]}{Y_v \cdot \lambda_e^v} + \frac{B_v [1 - \exp(-\lambda_e^s \cdot t_b)]}{p \lambda_e^s} \right\} \exp(-\lambda t_n)$$

式中：

T_{iv} —易位因子，即沉积于植物外部的放射性核素向植物食用部分的转移系数；

λ_e^v —放射性核素由植物清除的有效速率常数， a^{-1} ； $\lambda_e^v = \lambda + \lambda_w$ ， λ_w 为物理消除速率常数；

t_e —农作物在生长季节受污染的时间，a；

Y_v —收获时农作物的单位面积产量， kg/m^2 ；

B_v —农作物食用部分相对于土壤中核素的浓集因子，Bq/kg(鲜作物)/Bq/kg(干土壤)；

p —土壤有效表面密度， $kg(干土壤)/m^2$ ；

t_n —农作物由收获到消费的时间，a。

2) 饲料作物中的核素浓度

饲料作物中的核素浓度计算公式同前描述的农作物中核素浓度计算公式，但式中的参数取值不同。

3) 奶、肉等动物产品中的核素浓度

$$C_i^a = F_m C_i^p Q_F \exp(-\lambda t_f)$$

式中：

C_i^a —动物产品中核素浓度，Bq/kg 或 Bq/L；

C_i^p —动物饲料中核素浓度。Bq/kg(干重)；

F_m —动物每天摄入放射性核素出现在每千克(或每升)动物产品中的份额, d/kg 或 d/L;

Q_F —动物每天消耗的饲料量, kg(干重)/d;

t_F —放射性核素由屠宰或挤奶到人消费的平均迁移时间, a。

考虑到鲜饲料和贮存饲料的区别, 动物饲料浓度 C_i^P 由下式计算:

$$C_i^P = f_f C_{if}^P + f_s C_{is}^P$$

式中, f_f 为饲料中鲜饲料的份额, f_s 为饲料中贮存饲料的份额; C_{if}^P 为鲜饲料中放射性核素的浓度; C_{is}^P 为贮存饲料中放射性核素的浓度。

4) ^3H 在农作物中浓度

当计算 ^3H 在农作物中浓度时, 只考虑来自大气水中的氚, 未考虑经土壤向植物的转移。

$$C_i^T = \frac{1}{3.15 \times 10^4} \cdot Q_H \cdot (\chi/Q)_i \cdot 0.75 \cdot \frac{0.5}{H}$$

式中:

C_i^T —i 风向下风向扇形区内农作物中 ^3H 浓度, Bq/kg;

Q_H — ^3H 的年释放率, Bq/a;

$(\chi/Q)_i$ —i 风向下风向扇形区内在 x 距离处的大气弥散因子, s/m^3 ;

H—评价点的年均绝对湿度, g/m^3 ;

0.75—农作物总质量中水份所占的份额;

0.5—农作物水份中氚浓度与大气水份中氚浓度的比值;

$1/(3.15 \times 10^4)$ —单位转换系数。

5) ^{14}C 在农作物中浓度

农作物中 ^{14}C 的浓度是按农作物中 ^{14}C 浓度与天然 C 浓度的比值和农作物周围空气中 ^{14}C 浓度与天然 C 浓度的比值相同的假定进行计算。

$$C_i^T = \frac{1}{3.15 \times 10^4} \cdot p \cdot Q_C \cdot (\chi/Q)_i \cdot \frac{0.11}{0.16}$$

式中:

C_i^T —i 风向下风向扇形区内农作物中 ^{14}C 浓度, Bq/kg;

Q_C — ^{14}C 的年释放率, Bq/a;

$(\chi/Q)_i$ —i 风向下风向扇形区内在 x 距离处的大气弥散因子, s/m^3 ;

p—相对平衡比, 无量纲, 对于连续释放, $p=1$;

0.11—植物总量中天然 C 所占的份额；

0.16—大气中天然 C 的浓度， g/m^3 ；

$1/(3.15 \times 10^4)$ —单位转换系数。

剂量转换因子见表 D-1，转移系数和浓集因子表 D-2。

表 D-1 气态剂量转换因子

核素\途径	空气浸没 Sv.m ³ /Bq.s	地表沉积 Sv.m ² /Bq.s	食入				吸入			
			成人	青少年	儿童	婴儿	成人	青少年	儿童	婴儿
			Sv/Bq							
H-3	3.31E-19	*	4.20E-11	5.70E-11	7.30E-11	1.20E-10	2.60E-10	3.80E-10	6.30E-10	1.20E-09
C-14	2.65E-18	1.61E-20	5.80E-10	8.00E-10	9.90E-10	1.40E-09	5.80E-09	7.40E-09	1.10E-08	1.90E-08
Kr-85m	6.83E-15	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Kr-85	2.55E-16	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Kr-87	3.94E-14	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Kr-88	9.72E-14	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Xe-133m	1.27E-15	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Xe-133	1.39E-15	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Xe-135	1.11E-14	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Xe-138	5.44E-14	*	*	*	*	*	*	*	*	*
I-131	1.84E-14	3.82E-16	2.20E-08	5.20E-08	1.00E-07	1.80E-07	7.40E-09	1.90E-08	3.70E-08	7.20E-08
I-132	1.14E-13	2.29E-15	2.90E-10	6.20E-10	1.30E-09	3.00E-09	1.10E-10	2.20E-10	4.50E-10	1.10E-09
I-133	3.01E-14	6.34E-16	4.30E-09	1.00E-08	2.30E-08	4.90E-08	1.50E-09	3.80E-09	8.30E-09	1.90E-08
I-134	1.33E-13	2.63E-15	1.10E-10	2.10E-10	3.90E-10	1.10E-09	5.50E-11	1.10E-10	1.80E-10	4.80E-10
I-135	8.24E-14	1.52E-15	9.30E-10	2.20E-09	4.70E-09	1.00E-08	3.20E-10	7.90E-10	1.70E-09	4.10E-09
Co-58	4.82E-14	9.50E-16	7.40E-10	1.70E-09	2.60E-09	7.30E-09	2.10E-09	3.10E-09	4.50E-09	9.00E-09
Co-60	1.27E-13	2.35E-15	3.40E-09	1.10E-08	1.70E-08	5.40E-08	3.10E-08	4.00E-08	5.90E-08	9.20E-08
Cs-134	7.61E-14	1.52E-15	1.90E-08	1.40E-08	1.30E-08	2.60E-08	2.00E-08	2.80E-08	4.10E-08	7.00E-08
Cs-137	2.93E-14	2.85E-19	1.30E-08	1.00E-08	9.60E-09	2.10E-08	3.90E-08	4.80E-08	7.00E-08	1.10E-07

表 D-2 气态剂量计算转移系数和浓集因子

核素\途径	浓集因子		转移系数	
	牧草	农作物可食部分	奶 d/L	肉 d/kg
H-3	*	*	*	*
C-14	*	*	*	*
Ar-41	*	*	*	*
Kr-85m	*	*	*	*
Kr-85	*	*	*	*
Kr-87	*	*	*	*
Kr-88	*	*	*	*
Xe-133m	*	*	*	*
Xe-133	*	*	*	*
Xe-135	*	*	*	*
Xe-138	*	*	*	*
I-131	1.00E-01	2.00E-02	1.00E-02	5.00E-02
I-132	1.00E-01	2.00E-02	1.00E-02	5.00E-02
I-133	1.00E-01	2.00E-02	1.00E-02	5.00E-02
I-134	1.00E-01	2.00E-02	1.00E-02	5.00E-02
I-135	1.00E-01	2.00E-02	1.00E-02	5.00E-02
Co-58	2.00E+00	8.00E-02	1.00E-02	7.00E-02
Co-60	2.00E+00	8.00E-02	1.00E-02	7.00E-02
Cs-134	1.00E+00	4.00E-02	1.00E-02	5.00E-02
Cs-137	1.00E+00	4.00E-02	1.00E-02	5.00E-02

附录 E 运行状态下放射性液态流出物所致辐射剂量的计算模式及参数

E.1 放射性核素浓度计算模式

1) 海水中放射性核素浓度

$$C_{wki} = 3.17 \times 10^{-8} Q_i \cdot q^{-1} \cdot C_{ki} \quad (1)$$

式中,

C_{wki} --在 k 海域海水中放射性核素 i 的浓度, Bq/m³;

Q_i --液体废物中放射性核素 i 的年均释放率, Bq/a;

q --液体放射性废物的流量, m³/s;

C_{ki} --在 k 海域海水中放射性核素 i 的稀释因子, 无量纲;

3.17×10^{-8} --a/s 的换算系数。

2) 海产品中放射性核素浓度

$$C_{pki} = C_{wki} \cdot B_{pi} \quad (2)$$

式中,

C_{pki} --在 k 海域内的海产品中放射性核素 i 浓度, Bq/kg;

C_{wki} --在 k 海域海水中放射性核素 i 的浓度, Bq/m³;

B_{pi} --在海产品 p 中放射性核素 i 浓集因子, m³/kg。

3) 岸边沉积放射性核素浓度

$$C_{Bi} = \frac{(0.1)(0.001) \cdot K_{di} \cdot D_S \cdot C_{wi}}{1 + (0.001)S_S \cdot K_{di}} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_i \cdot Te}}{\lambda_i \cdot Te}$$

式中,

C_{Bi} --放射性核素岸边沉积量, Bq/m²;

C_{wki} --在 k 海域海水中放射性核素 i 的浓度, Bq/m³;

D_S --悬浮物在岸边的有效沉积密度, Kg/m³;

S_S --海水中悬浮物的浓度, 1×10^{-2} Kg/m³;

K_{di} --海水中悬浮物对核素 i 的吸附分配因子, L/ Kg;

B_{pi} --在海产品 p 中放射性核素 i 浓集因子, m³/kg。

λ_i --放射性核素 i 的衰变常数, 1/h;

Te --沉积物中的放射性累计时间, h, 缺失值取 8760h。

E.2 液态放射性物质释放的公众个人照射剂量计算模式

1) 食入海产品所致的个人内照射剂量

$$D_{ep} = \sum_i C_{pki} \cdot U_p \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_p) DF_{ei} \quad (3)$$

式中,

D_{ep} --公众个人食入 k 海域内海产品 p 所致有效剂量, Sv/a;

C_{pki} --在 k 海域内的海产品中放射性核素 i 浓度, Bq/kg;

U_p --公众个人的海产品 p 消费量, kg/a;

λ_i --放射性核素 i 的衰变常数, h^{-1} ;

t_p --海产品 p 从捕捞到被消费的时间间隔, h;

DF_{ei} --因食入海产品 p, 放射性核素 i 对公众个人的有效剂量转换因子, Sv/Bq。

2) 岸边沉积物所致的个人外照射剂量

$$D_{ES} = \sum_i C_{Bi} \cdot W \cdot Df_{ESi} \cdot T_S \quad (4)$$

式中,

D_{es} --岸边沉积物对公众个人所致有效剂量, Sv/a;

C_{Bi} --放射性核素岸边沉积量, Bq/m²;

K_{di} --核素 i 的吸附分配系数, m³/kg;

W --岸宽因子, 无量纲;

DS --有效沉积密度, kg/m²;

OF --岸边居留因子, 或个人一年内在受污染岸边度过的时间份额, 无量纲;

T_S --每年公众在岸边的有效活动时间, h/a;

Df_{ESi} --放射性核素 i 对人体的水体浸没有效剂量转换因子, (Sv/h)/(Bq/m³)。

3) 游泳和水上活动所致的个人外照射剂量

$$D_{ew} = \sum_i C_{wki} (U_{p1} + U_{p2} / 2) \cdot DF_{wi} \quad (5)$$

式中,

D_{ew} --在 k 海域内公众个人游泳和水上活动时, 受到的有效剂量, Sv/a;

C_{wki} --在 k 海域海水中放射性核素 i 的浓度, Bq/m³;

U_{p1} 、 U_{p2} --分别为公众个人在 k 海域内一年中游泳和水上活动时间份额, 无量纲;

DF_{wi} --在海中游泳和水上活动时, 放射性核素 i 对公众个人的有效剂量转换因子, (Sv·m³)/(Bq·a)。

4) 液态放射性释放物对公众个人总的照射剂量

$$D_e = D_{ep} + D_{es} + D_{ew} \quad (6)$$

式中,

D_e --放射性废液释放对公众个人所致有效剂量, Sv/a;

D_{ep} --公众个人食入 k 海域内海产品 p 所致有效剂量, Sv/a;

D_{es} --岸边沉积物对公众个人所致有效剂量, Sv/a;

D_{ew} --在 k 海域内公众个人游泳和水上活动时, 受到的有效剂量, Sv/a。

表 E-1 液态途径剂量转换因子和沉积吸附分配系数

核素	地面沉积	水中浸没	食入 Sv/Bq				沉积吸附分配系数
	Sv.m ² /Bq.s	Sv.m ³ /Bq.s	成人	青少年	儿童	婴儿	m ³ /kg
H-3	0.00E+00	0.00E+00	1.80E-11	2.30E-11	3.10E-11	6.40E-11	1.00E-03
C-14	1.61E-20	4.39E-22	5.80E-10	8.00E-10	9.90E-10	1.40E-09	2.00E+00
I-131	3.82E-16	3.98E-17	2.20E-08	5.20E-08	1.00E-07	1.80E-07	2.00E-02
I-133	6.34E-16	6.39E-17	4.30E-09	1.00E-08	2.30E-08	4.90E-08	2.00E-02
Sr-89	2.27E-18	1.49E-19	2.60E-09	5.80E-09	8.90E-09	3.60E-08	1.00E+00
Sr-90	2.84E-19	1.46E-20	2.80E-10	6.00E-08	4.70E-08	2.30E-07	1.00E+00
Cs-134	1.52E-15	1.64E-16	1.90E-08	1.40E-08	1.30E-08	2.60E-08	3.00E+00
Cs-136	2.09E-15	2.31E-16	3.00E-09	4.40E-09	6.10E-09	1.50E-08	3.00E+00
Cs-137	2.85E-19	1.49E-20	1.30E-08	1.00E-08	9.60E-09	2.10E-08	3.00E+00
Cr-51	3.08E-17	3.30E-18	3.80E-11	7.80E-11	2.30E-10	3.50E-10	5.00E+01
Mn-54	8.12E-16	8.88E-17	7.10E-10	1.30E-09	1.90E-09	5.40E-09	2.00E+02
Co-58	9.50E-16	1.03E-16	7.40E-10	1.70E-09	2.60E-09	7.30E-09	2.00E+02
Co-60	2.35E-15	2.74E-16	3.40E-09	1.10E-08	1.70E-08	5.40E-08	2.00E+02
Ag-110m	2.65E-15	2.94E-16	2.80E-09	5.20E-09	7.80E-09	2.40E-08	1.00E+00
Sb-124	1.71E-15	1.98E-16	2.50E-09	5.20E-09	8.40E-09	2.50E-08	1.00E+00
Zr-95	7.23E-16	7.82E-17	9.50E-10	1.90E-09	3.00E-09	8.50E-09	1.00E+03
Fe-59	1.12E-15	1.29E-16	1.80E-09	4.70E-09	7.50E-09	3.90E-08	5.00E+01

附录 F 事故工况下辐射剂量计算模式及参数

F.1 事故大气弥散计算模式

用于事故后果评价的事故（短期）大气弥散因子，根据 USNRC 的管理导则 RG1.145 推荐的模式和方法，采用 PAVAN 程序进行计算。

由于事故时的释放高度小于相邻建筑物高度的 2.5 倍，按照 RG1.145 的规定，采用地面释放模式。对于地面释放，其事故（短期）大气弥散因子（ X/Q ）通过以下公式来确定：

$$\frac{X}{Q}(r, k, j) = \frac{1}{u_{kj}(10)[\pi\sigma_{yj}(r)\sigma_{zj}(r) + A/2]} \quad (1)$$

$$\frac{X}{Q}(r, k, j) = \frac{1}{3 \cdot u_{kj}(10)\pi\sigma_{yj}(r)\sigma_{zj}(r)} \quad (2)$$

$$\frac{X}{Q}(r, k, j) = \frac{1}{u_{kj}(10)\pi M_{kj}(r)\sigma_{yj}(r)\sigma_{zj}(r)} \quad (3)$$

其中：

$X/Q(r, k, j)$ ：下风向距离 r 处， k 风速级， j 稳定度的大气弥散因子，(s/m³)；

$\sigma_{yj}(r)$ ： j 稳定度、 r 距离处烟羽水平弥散参数，(m)；

$\sigma_{zj}(r)$ ： j 稳定度、 r 距离处烟羽垂直弥散参数，(m)；

$u_{kj}(10)$ ：地面上方 10 米高度处、 k 风速级、 j 稳定度的平均风速，(m/s)；

A ：反应堆建筑物的最小迎风截面，(m²)；

$M_{kj}(r)$ ：风速级 k ，稳定度 j 在下风向距离 r 处水平烟羽弥散的风摆因子。

当距离 r 大于 800m 时， $M_{kj}(r)\sigma_{yj}(r) = \sigma_{yj}(r) + [M_{kj}(r) - 1]\sigma_{yj}(800)$ ，式中， $\sigma_{yj}(800)$ 是 j 稳定度，下风向 800m 处烟羽的水平弥散参数。

对于中性 D 或稳定的 (E、F、G) 大气稳定度天气，且 10m 高处风速小于 6m/s 时，大气弥散因子 X/Q 的值是由公式(1)和(2)求出的较大值与公式(3)的值比较，选其较小值。在非稳定 (A、B 或 C) 的大气稳定度情况或者 10m 高处风速 ≥ 6 m/s 时，不考虑风摆，则取公式(1)和公式(2)计算的较大值作为 X/Q 的值。

F.2 事故剂量计算模式

1) 放射性烟云浸没外照射

$$(DA)_{re} = \sum_n Q_{ne} \cdot (X/Q)_{re} \cdot DFA_n \quad (4)$$

其中:

$(DA)_{re}$: 事故发生后第 e 释放时间段内在 r 距离处的烟云浸没剂量(Sv);

Q_{ne} : 事故发生后第 e 释放时间段内核素 n 的释放活度(Bq);

$(X/Q)_{re}$: 事故发生后第 e 时间段、 r 距离处的事故大气弥散因子(s/m^3);

DFA_n : 放射性核素 n 的空气浸没剂量转换因子($Sv \cdot m^3$)/(Bq·s)。

2) 地面沉积外照射

$$(DG)_{re} = \sum_n Q_{ne} \cdot \omega_n^{\mp}(e) \cdot DFG_n \cdot \frac{1}{\lambda^2 + Te} [\lambda \cdot Te + \exp(-\lambda \cdot Tr) \cdot (1 - \exp(-\lambda \cdot Tr))] \quad (5)$$

其中:

$(DG)_{re}$: 由于事故后第 e 时间段内的放射性释放, 在 r 距离处由地面沉积的放射性核素在 t_r 照射时间内形成的剂量(Sv);

Q_{ne} : 事故发生后第 e 释放时间段内核素 n 的释放活度(Bq);

$\omega_n^{\mp}(e)$: 事故后第 e 时段核素 n 在距离 r 处的干沉积因子(m^{-2}); $\omega_n^{\mp}(e) = (X/Q)_{re} \cdot V_d$,

其中 V_d 为核素的干沉积速度(m/s);

DFG_n : 核素 n 的地面外照射剂量转换因子($Sv \cdot m^2$)/(Bq·s);

λ : 核素 n 的衰变常数(s^{-1});

Te : 第 e 时间段的释放时间 (s);

Tr : 沉积剂量的评价时间 (s), 取 30 天。

3) 吸入放射性物质引起的内照射

$$(DI)_{re} = \sum_n Q_{ne} \cdot (X/Q)_{re} \cdot BR_e \cdot DFI_n \quad (6)$$

其中:

$(DI)_{re}$: 事故发生后第 e 时间段在 r 距离处由于吸入烟云中放射性物质产生的剂量(Sv);

BR_e : 成人在 e 时段的呼吸率(m^3/s);

DFI_n : 放射性核素 n 的吸入剂量转换因子 (Sv/Bq)。

F.3 参数选取

1) 剂量转换因子

外照射剂量转换因子取自 GB 18871-2002 和美国联邦导则第 12 号报告中的推荐值，吸入内照射剂量转换因子取自 GB 18871-2002，甲状腺内照射剂量转换因子取自 ICRP71 号报告，ICRP71 号报告内缺少的核素的甲状腺剂量转换因子，则取用美国联邦导则 11 号报告中的推荐值。见表 F-1。

表 F-1 主要核素剂量转换因子

核素	烟羽 γ 外照 (Sv·m ³)/(Bq·s)	地表沉积 γ 外照 (Sv·m ²)/(Bq·s)	吸入内照射 (Sv/Bq)	甲状腺 (Sv/Bq)
Kr-83m	2.43E-18	5.09E-19	0.00E+00	0.00E+00
Kr-85	2.55E-16	1.06E-17	0.00E+00	0.00E+00
Kr-85m	6.83E-15	1.66E-16	0.00E+00	0.00E+00
Kr-87	3.94E-14	8.67E-16	0.00E+00	0.00E+00
Kr-88	9.72E-14	1.78E-15	0.00E+00	0.00E+00
Xe-131m	3.70E-16	2.10E-17	0.00E+00	0.00E+00
Xe-133	1.39E-15	4.68E-17	0.00E+00	0.00E+00
Xe-133m	1.27E-15	4.14E-17	0.00E+00	0.00E+00
Xe-135	1.11E-14	2.63E-16	0.00E+00	0.00E+00
Xe-135m	1.85E-14	4.38E-16	0.00E+00	0.00E+00
Xe-138	5.44E-14	1.16E-15	0.00E+00	0.00E+00
I-131 (气溶胶)	1.85E-14	3.82E-16	7.40E-09	1.50E-07
I-132 (气溶胶)	1.14E-13	2.29E-15	9.40E-11	1.40E-09
I-133 (气溶胶)	3.00E-14	6.43E-16	1.50E-09	2.80E-08
I-134 (气溶胶)	1.32E-13	2.63E-15	4.50E-11	2.60E-10
I-135 (气溶胶)	8.09E-14	1.52E-15	3.20E-10	5.70E-09
I-131 (元素碘)	1.85E-14	3.82E-16	2.00E-08	3.90E-07
I-132 (元素碘)	1.14E-13	2.29E-15	3.10E-10	3.60E-09
I-133 (元素碘)	3.00E-14	6.43E-16	4.00E-09	7.60E-08
I-134 (元素碘)	1.32E-13	2.63E-15	1.50E-10	7.00E-10
I-135 (元素碘)	8.09E-14	1.52E-15	9.20E-10	1.50E-08
I-131 (有机碘)	1.85E-14	3.82E-16	1.50E-08	3.10E-07
I-132 (有机碘)	1.14E-13	2.29E-15	1.90E-10	3.20E-09
I-133 (有机碘)	3.00E-14	6.43E-16	3.10E-09	6.00E-08
I-134 (有机碘)	1.32E-13	2.63E-15	5.00E-11	7.00E-10
I-135 (有机碘)	8.09E-14	1.52E-15	6.80E-10	1.30E-08
Cs-134	7.66E-14	1.54E-15	6.60E-09	6.30E-09
Cs-136	1.07E-13	2.12E-15	1.20E-09	1.00E-09
Cs-137	2.93E-14	6.06E-16	4.60E-09	4.40E-09

2) 干沉积速度

干沉积速度取自联邦德国辐射防护委员会第十七卷出版物：元素碘的干沉积速度为 1×10^{-2} m/s；有机碘的干沉积速度为 1×10^{-4} m/s；气溶胶取 1.5×10^{-3} m/s；气体取 0.0 m/s。

3) 呼吸率

呼吸率按照美国管理导则《评价压水堆失水事故的潜在辐射后果的假定》USNRC RG1.183 取值：

0~8h 时段， $BR=3.5 \times 10^{-4}$ m³/s；

8~24h 时段， $BR=1.8 \times 10^{-4}$ m³/s；

24h~30d 时段， $BR=2.3 \times 10^{-4}$ m³/s。

附录 G 生物辐射剂量计算模式及参数

(一) 水生生物

一、核素在悬浮沉积物中的浓度计算

核素在水中的浓度可以根据液态途径放射性核素浓度的计算得到，核素在悬浮沉积物中的浓度，可以根据核素的分配系数 K_d 利用如下公式从核素在水中的浓度推导出，根据 IAEA19 号报告，这样计算得到的核素在沉积物中的浓度是保守的。

$$C_s = \frac{K_d \times C_w}{1000}$$

式中： C_s 表示核素在悬浮沉积物中的浓度，Bq/kg；

C_w 表示核素在水中的浓度，Bq/m³；

K_d 表示分配系数，L/kg。

二、核素在生物体内的浓度计算

核素在生物体内浓度可以利用如下公式从核素在水中的浓度推导出：

$$C_o = \frac{C_w \times CR}{1000}$$

式中： C_o 表示核素在生物体内的浓度，Bq/kg；

C_w 表示核素在水中的浓度，Bq/m³；

CR 浓集比，(Bq/kg)/(Bq/L)。

三、水生生物辐射剂量计算

1. 内照射剂量

$$D_{\text{int}}^j = \sum_i C_{o,i}^j \times (DCC_{\text{int},i,\text{low}\beta}^j \times w_{\text{low}\beta} + DCC_{\text{int},i,\beta/\gamma}^j \times w_{\beta/\gamma} + DCC_{\text{int},i,\alpha}^j \times w_{\alpha})$$

式中： D_{int}^j 表示生物体 j 受到的内照射剂量率，μGy/h；

$C_{o,i}^j$ 表示核素 i 在生物体 j 内的浓度，Bq/kg；

$DCC_{\text{int},i,\text{low}\beta}^j$ 、 $DCC_{\text{int},i,\beta/\gamma}^j$ 、 $DCC_{\text{int},i,\alpha}^j$ 分别表示核素 i 在生物体 j 内的低能 β 、 β/γ 、 α 对应的内照射剂量转换因子，μGy·h⁻¹/Bq·kg⁻¹。

$w_{\text{low}\beta}$ 、 $w_{\beta/\gamma}$ 、 w_{α} 分别表示低能 β 、 β/γ 、 α 的辐射权重因子。

2. 外照射剂量

$$D_{\text{ext}}^j = \sum_i DCC_{\text{ext},i}^j \times [(v_w + 0.5v_{ws} + 0.5v_{ss}) \times C_{w,i} + (0.5v_{ss} + v_s) \times C_{s,i}]$$

式中： D_{ext}^j 表示生物体 j 受到的外照射剂量率，μGy/h；

$C_{w,i}$ 表示核素 i 在水中的浓度，Bq/L；

$C_{s,i}$ 表示核素 i 在底泥中的浓度，Bq/kg；

$DCC_{ext,i}^j$ 表示核素 i 在生物体 j 内的外照射剂量转换因子, $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}/\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

ν_w 、 ν_{ws} 、 ν_{ss} 、 ν_s 分别表示核素 i 在水中、水面、水底、底泥中的居留因子。

3. 生物体 j 受到的总照射剂量率

$$D^j = D_{int}^j + D_{ext}^j$$

(二) 陆地生物

陆生生物受照剂量包括内照射剂量和外照射剂量。其中内照射剂量来源于土壤中食入照射, 外照射来源于土壤中放射性物质的外照射。各种途径受照剂量的计算模式如下:

一、内照射剂量

$$Q_{t,i}(x) = Q_i \cdot W_s(x) \cdot \left(\frac{1 - \exp(-\lambda_b t_b)}{\lambda_b} \right)$$

$$C_{soil,i}(x) = \frac{Q_{t,i}(x)}{\rho m}$$

$$D_{int,i}^j = C_{soil,i}(x) \times CR_i^j \times \sum DCC_{int,i,low\beta}^j \times w_{low\beta} + DCC_{int,i,\beta/\gamma}^j \times w_{\beta/\gamma} + DCC_{int,i,\alpha}^j \times w_{\alpha}$$

式中:

$D_{int,i}^j(x)$ —— j 生物受到的内照射剂量率, $\mu\text{Gy}/\text{h}$;

$C_{soil,i}(x)$ ——土壤表层(地表10cm)核素 i 的浓度, Bq/kg ;

$Q_{t,i}(x)$ ——核素 i 的地面沉积量, Bq/m^2 ; 取值见表A7.1;

ρ ——土壤表层密度, kg/m^3 ; $1700\text{kg}/\text{m}^3$;

m ——土壤厚度, m ; 考虑的土壤表层厚度: 0.1m ;

CR_i^j ——核素 i 在 j 生物体内的浓集因子, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}/\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

$DCC_{int,i,low\beta}^j$ 、 $DCC_{int,i,\beta/\gamma}^j$ 、 $DCC_{int,i,\alpha}^j$ ——核素 i 对 j 生物的低能 β 、 β/γ 、 α 内照

射剂量率转换因子, $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}/\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

$w_{low,\beta}$ 、 $w_{\beta/\gamma}$ 、 w_{α} —— 分别表示低能 β 、 β/γ 、 α 的辐射权重因子, 分别取3、1、10。

二、外照射剂量率

$$D_{ext,i}^j(x) = DCC_{ext,i}^j \times C_{soil,i}(x) \times \nu_{os}^j$$

式中：

$D_{ext,i}^j(x)$ —— j 生物受到的外照射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

v_{os}^j —— j 生物在土壤表面的居留因子，取1；

$DCC_{ext,i}^j$ ——核素 i 对 j 生物的外照射剂量率转换因子， $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}/\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

委 托 书

中国核动力研究设计院：

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》的相关要求，经调查和研究，决定委托你院编制《福建福清核电华龙一号（5、6号机）灵活换料及功率提升项目环境影响报告表》。

特此委托

委托单位：福建福清核电有限公司（盖章）

二零二四年二月五日

