

辽红核函〔2021〕170号附件

# 建设项目环境影响报告表

(污染影响类)

项目名称：辽宁红沿河核电厂机组运行方式优化项目


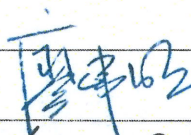


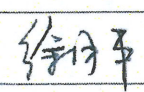
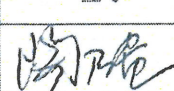
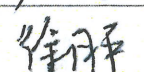
建设单位（盖章）：辽宁红沿河核电有限公司

编制日期：2021年11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	pp5187		
建设项目名称	辽宁红沿河核电厂机组运行方式优化项目		
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		
<b>一、建设单位情况</b>			
单位名称（盖章）	 辽宁红沿河核电有限公司		
统一社会信用代码	91210200782478913k		
法定代表人（签章）	郝宏生 		
主要负责人（签字）	 廖伟明		
直接负责的主管人员（签字）	 张劲松		
<b>二、编制单位情况</b>			
单位名称（盖章）	 苏州热工研究院有限公司		
统一社会信用代码	913205084669547113		
<b>三、编制人员情况</b>			
<b>1. 编制主持人</b>			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
徐月平	2017035320350000003511320681	BH016833	
<b>2. 主要编制人员</b>			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
陶乃贵	第四章	BH022957	
徐月平	第一~三章、第五、六章	BH016833	

## 一、建设项目基本情况

建设项目名称	辽宁红沿河核电厂机组运行方式优化项目		
项目代码	/		
建设单位联系人	张劲松	联系方式	0411-82340678
建设地点	辽宁省瓦房店市红沿河镇辽宁红沿河核电厂内		
地理坐标	(121度28分19秒, 39度48分09秒)		
国民经济行业类别	核力发电/D4413	建设项目行业类别	167-核动力厂
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 <sup>2</sup> )	/
专项评价设置情况	无		
规划情况	1、《辽宁省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》，辽宁省政府，辽政发[2016]20号； 2、《辽宁省环境保护十三五规划》，辽宁省生态环境厅，辽政办发[2016]76号； 3、《辽宁省国民经济和社会发展十四五个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》，辽宁省政府，辽政发[2021]9号。		
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	1、根据《辽宁省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》（辽政办发[2016]20号），指出“加快红沿河核电厂二期工程建设进度”； 2、根据《辽宁省环境保护十三五规划》（辽政办发[2016]76号），指		

	<p>出“科学推进热能、风能、核能等清洁能源利用”；</p> <p>3、根据《辽宁省“十三五”节能减排综合工作实施方案》（辽政发[2017]21号），指出“稳步推进红沿河二期工程”；</p> <p>4、根据《辽宁省国民经济和社会发展十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》（辽政发[2021]9号）指出，红沿河核电二期属于重大能源工程，推进核电等重大项目建设，优化能源供给结构，安全稳妥发展核电，确保红沿河二期工程投产，新增装机量224万千瓦。</p>
其他符合性分析	<p>1、根据《大连市海洋功能区划（2013-2020年）》（辽政[2016]48号）及自然资源部有关用海的批复（自然资办函[2019]2087号），项目用海符合海域功能区划要求；</p> <p>2、根据辽宁省环境保护厅《关于大连市调整部分近岸海域环境功能区划请示的复函》（辽环函[2014]374号），项目符合环境功能区划要求；</p> <p>3、根据辽宁省三线一单及辽宁省渤海海洋生态红线要求，本项目核电厂机组优化运行方案的实施主要为放射性流出物对环境的辐射影响和温排水对受纳水体的温升影响，项目不新增用地用海，项目实施有利于国家碳中和碳达峰的实现，温排水造成的三类水质温升影响范围不进入辽宁省渤海海洋生态红线划定范围内，符合三线一单及海洋生态红线有关要求。</p>

## 二、建设项目工程分析

建设内容	<p><b>1、项目基本情况</b></p> <p>辽宁红沿河核电厂位于辽宁省瓦房店市红沿河镇红沿河村，厂址建设 6 台百万千万级核发电机组。1~6 号机组自西向东布置，其中 1 号反应堆地理位置坐标为东经 121°28'19"，北纬 39°48'09"；3 号反应堆地理位置坐标为东经 121°28'34"，北纬 39°48'09"；5 号反应堆地理位置为东经 121.4825°，北纬 39.7956°。厂址地处渤海辽东湾东海岸，北、西、南三面临海，东侧与陆地接壤。厂址 ESE 方位距红沿河镇 7km，距复州城 20km，距瓦房店市 49km；南距大连市 110km，北距沈阳 270km。厂址地理位置见附图 1。</p> <p>辽宁红沿河核电厂由辽宁红沿河核电有限公司（以下简称建设单位）负责运营。核电厂一期工程建设四台百万千万级压水堆核发电机组，1、2、3、4 号机组已分别于 2013 年 6 月、2014 年 5 月、2015 年 8 月和 2016 年 6 月投入商业运行，二期工程（5、6 号机组）分别于 2015 年 3 月 31 日和 2015 年 8 月 31 日浇注第一罐混凝土，其中 5 号机组已经于 2021 年 7 月 31 日正式商运。</p> <p>辽宁红沿河核电厂一期工程 1~4 号机组的两份运行阶段环境影响报告书已分别于 2012 和 2014 年取得原环境保护部批复（环审[2012]296 号、环审[2014]224 号），二期工程（5、6 号机组）运行阶段环境影响报告书已获生态环境部批复（环审[2021]38 号）。根据运行环评批复（环审[2021]38 号）要求，红沿河核电厂应严格落实运行机组不超过五台（一期工程四台和二期工程一台机组）的运行方式以满足现行有效的近岸海域环境功能区划水质管理要求，整个厂区内已实现 5 台机组（一期 1~4 号机组+二期 5 号机组）满功率运行。</p> <p>在保证辽宁红沿河核电厂接纳海域内温排水温升影响满足相关管理要求的前提下，为进一步提高核电厂全厂机组运行的经济性、灵活性和环境效益，建设单位拟对电厂机组运行方式进行优化，即投入运行 6 号机组，并对全厂 6 台机组采用低功率运行方式（ELPO）的组合或合理运行全厂 5 台机组的组合运行方式，通过控制 6 台机组总的运行功率方式来控制全厂余热排放总量，以实现核电厂温排水影响满足厂址周围近岸海域环境功能区划要求。</p> <p><b>2、建设项目内容和规模</b></p> <p>辽宁红沿河核电厂一期工程 4 台机组采用 CPR1000 技术方案，二期工程 2 台机组采用 ACPR1000 技术方案。电厂机组蒸汽供应系统（NSSS）的额定功率为 2905MWth，堆芯额定热功率为 2895MWth，发电机额定电功率为 1118.79MWe。核电厂运行期间主要是反应堆堆芯内的核燃料发生裂变反应，可能会产生极少量的裂变产物，包括惰性气体和卤素等，并通过燃料包壳泄漏至一回路后进入二回路，气态和液态放射性流出物将最终排放至外环境，包括各类惰性气体、气态碘、粒子、气态碳 14、气态氚，以及液态氚、液态碳 14 和气态各类液态核素，同时运行期间产生一定量的放射性固体废物。此外，堆芯裂变反应产生的热能除一部分通过汽轮机做功发电外，另一部分通过凝汽器作为余热排入渤海海域。</p> <p>辽宁红沿河核电厂散热系统采用直流冷却方式，按照“北取南排”总体布置。电厂取水口位于厂区正北、紧临深水海域的陡崖处，半岛南侧岸边明排，排水口位于厂区西南方向，一</p>
------	--

一期工程 4 台机组和二期工程 2 台机组分设两个取水口和排水口，其中一期工程从一期取水口取水，从温坨子排水口排水；二期工程从二期取水口取水，从南排水口排水，排水口设排水导流堤；取水口西南侧设隔热堤。

根据原辽宁省环境保护厅《关于大连市调整部分近岸海域环境功能区划请示的复函》（辽环函[2014]374 号），厂址附近的“辽宁红沿河核电厂排放口混合环境功能区”水温执行混合区海水水质标准，其他指标从严执行二类海水水质标准；“辽宁红沿河核电厂三类环境功能区”水温执行三类海水水质标准，其他指标从严执行二类海水水质标准。根据上述区划要求，在现有 5 台机组运行工况条件下（一期工程 1~4 号机组+二期工程 5 号机组），电厂温排水温升影响满足功能区划要求。在 6 台核电机组满功率运行情况下，温排水夏季 1℃、冬季 2℃温升包络线不能完全被红沿河核电厂工业用水区（三类）所包络。

为确保机组运行产生的温排水影响能够满足近岸海域环境功能区划的要求，同时兼顾辽宁红沿河核电厂二期工程机组投运需求，红沿河核电厂拟采用机组优化运行方案的实施，通过控制六台机组运行功率总量的方式来控制全厂余热排放总量。

相比于现阶段全厂 5 台机组运行方案而言（一期工程 4 台 +二期工程 1 台），在满足电厂温排水对近岸海域环境功能区划要求的前提下，实施机组运行方式优化后，可以满足二期工程 6 号机组投运需求，也可以进一步结合机组运行工况合理安排机组大修等时间窗口，可以提高整个核电基地的机组运行的灵活性，能够有效增加电厂的整体发电效率。

辽宁红沿河核电厂机组运行方式优化项目将实现下述目标：通过采用优化机组运行方案，合理确定电厂运行期间的各台机组运行工况组合，有效控制厂址机组运行功率总量，以确保余热排放总量的控制并使温排水满足近岸海域环境功能区划的要求。同时，确保机组低功率运行方式（ELPO）时的安全性及可行性。

根据环审[2021]38 号文，红沿河核电厂已经批准的机组运行方案为一期 400%+二期 100%（5 台），根据电厂发电功率的不同，结合环评批复要求及电厂实际运行需要，拟实施机组运行方式优化方案的组合工况条件如下：

运行工况组合	优化运行方案			备注
	运行时期	运行电功率	机组运行数量或状态	
1	正式运行期 (低功率运行)	一期 400%+二期 100%	5 台	环评批复方案
2		一期 270%+二期 200%	5 台	优化方案 1
3		一期 300%+二期 175%	5 台或 6 台	优化方案 2
4	6 号机组调试期*	一期 4×100%+二期 (1×100%+0%)	6 号机≤5%堆功率	调试期方案 1
5		一期 375%+二期 (1×100%+6%)	6 号机≤15%堆功率	调试期方案 2
6		一期 363%+二期 (1×100%+24%)	6 号机≤30%堆功率	调试期方案 3
7		一期 350%+二期 (1×100%+50%)	6 号机≤50%堆功率	调试期方案 4

注：在 6 号机组堆功率在 50~75%额定功率期间，按运行期降功率方案的优化方案 2 一期 4 台总功率降至 300%、二期 175%工况运行；在 6 号机组堆功率在 75~100%额定功率期间，按优化方案 1 一期总功率降至 270%+二期 200%工况或优化方案 2 一期 4 台总功率降至 300%、二期 175%工况运行。

电厂采用低功率运行方式（ELPO）可使红沿河核电厂具备较长时期内 6 台机组总功率不超

	<p>过能量输出要求的能力，且不会对核电厂正常运行及安全性造成不可接受的影响，分析结果仍符合 FSAR 结论；同时在合理的机组优化运行方案下，电厂散热系统产生的温排水温升影响能够满足厂址附近近岸海域环境功能区划水质管理要求。针对电厂功率运行方案的调整，主要是对电厂机组进行降功率运行，该运行工况是包络在电厂正常功率运行平台的工况之一，不改变原生产工艺或新增机组子项设施，不对原有生产工艺发生重大变动。总体而言，辽宁红沿河核电厂机组实施优化运行方案后，核电厂原有的相关系统在工程设计方面没有变化。</p> <p>本次运行方式优化项目不新增任何系统、厂房，不涉及土建施工工作。本项目充分利用已有的机组生产设施和功能子项，不新增厂房或对厂区总平布局发生变动，厂区总平面布置见附图。</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">工艺流程和产排污环节</p>	<p><b>1、施工期</b></p> <p>本项目不新增任何系统、厂房，不涉及土建及工程施工作业，不涉及污染物的排放及有关生态环境影响。</p> <p><b>2、营运期</b></p> <p>一、主要生产工艺流程</p> <p>辽宁红沿河核电厂建设 6 台百万千瓦级压水堆核电机组，1~4 号机组采用 CPR1000 技术方案，5、6 号机组采用 ACPR1000 技术方案。电厂每台机组由核岛（NI）、常规岛（CI）和全厂配套设备（BOP）三大部分组成。NI 包括反应堆厂房、核辅助厂房、核燃料厂房、电气和连接厂房、柴油发电机厂房和辅助给水箱厂房及其厂房内的系统设备；CI 主要指汽轮机厂房及其厂房内的系统设备；而 BOP 则是指 NI、CI 以外的系统设备。</p> <p>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，正常工况下裂变产生的放射性裂变产物基本上都包容在燃料元件的包壳内，只有极少量的裂变产物通过包壳缺陷泄漏到一回路冷却剂中；同时裂变产生的中子使一回路冷却剂、控制棒、硼酸和其它结构材料受到激活而产生中子活化产物。这些裂变产物和活化产物形成反应堆冷却剂中的放射性源。它们通过冷却剂的净化、蒸汽发生器传热管束的泄漏等过程造成对核辅助系统和二回路的污染。</p> <p>放射性废气管理系统的泄漏、定期排放、各厂房通风系统的持续通风和定期扫气等都会向环境排放气载放射性物质，硼回收系统调硼下泄以及各厂房潜在的跑冒滴漏将通过放射性废液处理系统处理后以槽式排放方式向环境排放液态放射性物质，核电厂在正常运行和检修过程中还将产生一定量的中低放射性固体废物。</p> <p>核电厂运行期间，装载在堆芯内的核燃料发生链式裂变反应，放出热量，在反应堆主泵的作用下，一回路冷却剂流经堆芯并将其产生的热量带走，随后一回路冷却剂在蒸汽发生器内将热量传递给二回路侧的流体，冷却后的一回路冷却剂随后再返回堆芯形成循环。二回路侧的流体在蒸汽发生器中被加热成蒸汽后，推动汽轮机做功，在实现热能向机械能的转化后，二回路侧的流体进入冷凝器，在冷凝器中被海水冷却后再返回蒸汽发生器。汽轮机驱动发电机转动，实现由机械能向电能的转化，电能通过电网向外界输出。</p> <p>辽宁红沿河核电厂机组营运期间的工艺流程简图可参见下图。</p>

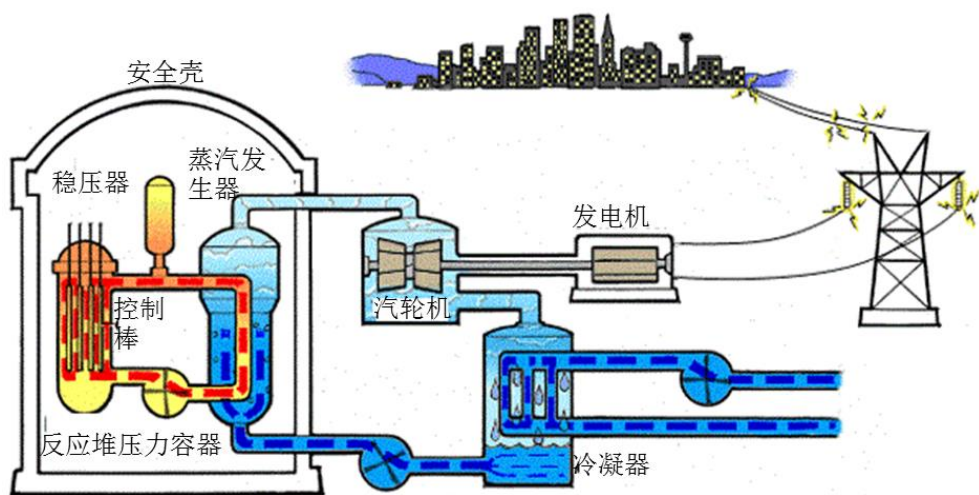


图 2-1 压水堆核电站营运工艺流程示意图

红沿河核电站散热系统采取一次直流循环冷却方式，采用北侧隧洞取水，取水口位于厂区正北、紧临深水海域的陡崖处，半岛南侧岸边明排，排水口位于厂区西南方向，一期工程 4 台机组和二期工程 2 台机组分设两个取水口和排水口，其中一期四台机组从一期取水口取水，从温坨子排水口排水；二期两台机组从二期取水口取水，从南排水口排水。取排水的主要流程为：辽东湾→短明渠→隧洞取水构筑物→隧洞→联合泵房→循环水管→凝汽器→排水沟→排水口→辽东湾。辽宁红沿河核电站取、排水口位置见图 2-2。具体取排水工程方案如下：

- 一期工程 4 台机组的循环冷却水取水口合并集中布置在厂区北部岸边，采用隧洞取水方案，排水口集中布置在厂区西侧护岸外以喇叭式集中排放，口门向西南布置，排水口位于温坨子岛对岸；二期工程 2 台机组取水口位于一期取水口以东约 300m，紧临深水海域的陡崖处，排水口设于半岛南侧岸边，与一期排水口相距约 1.0km，排水口设有排水导流堤；取水口西南侧设有一隔热堤，位于取、排水口之间向外海突出的岬角处，隔热堤全长约 300m；
- 一期工程 4 台机组和二期 2 台机组循环冷却水设计取水流量分别为  $198\text{m}^3/\text{s}$  和  $99\text{m}^3/\text{s}$ ，夏季总取水量为  $297\text{m}^3/\text{s}$ ，冬季总取水量为  $237.8\text{m}^3/\text{s}$ （冬季考虑  $59.2\text{m}^3/\text{s}$  温排水回流至取水口），满功率状态下取排水温升为  $8.9^\circ\text{C}$ ；单台机机组的温排水量为  $49.5\text{m}^3/\text{s}$ 。



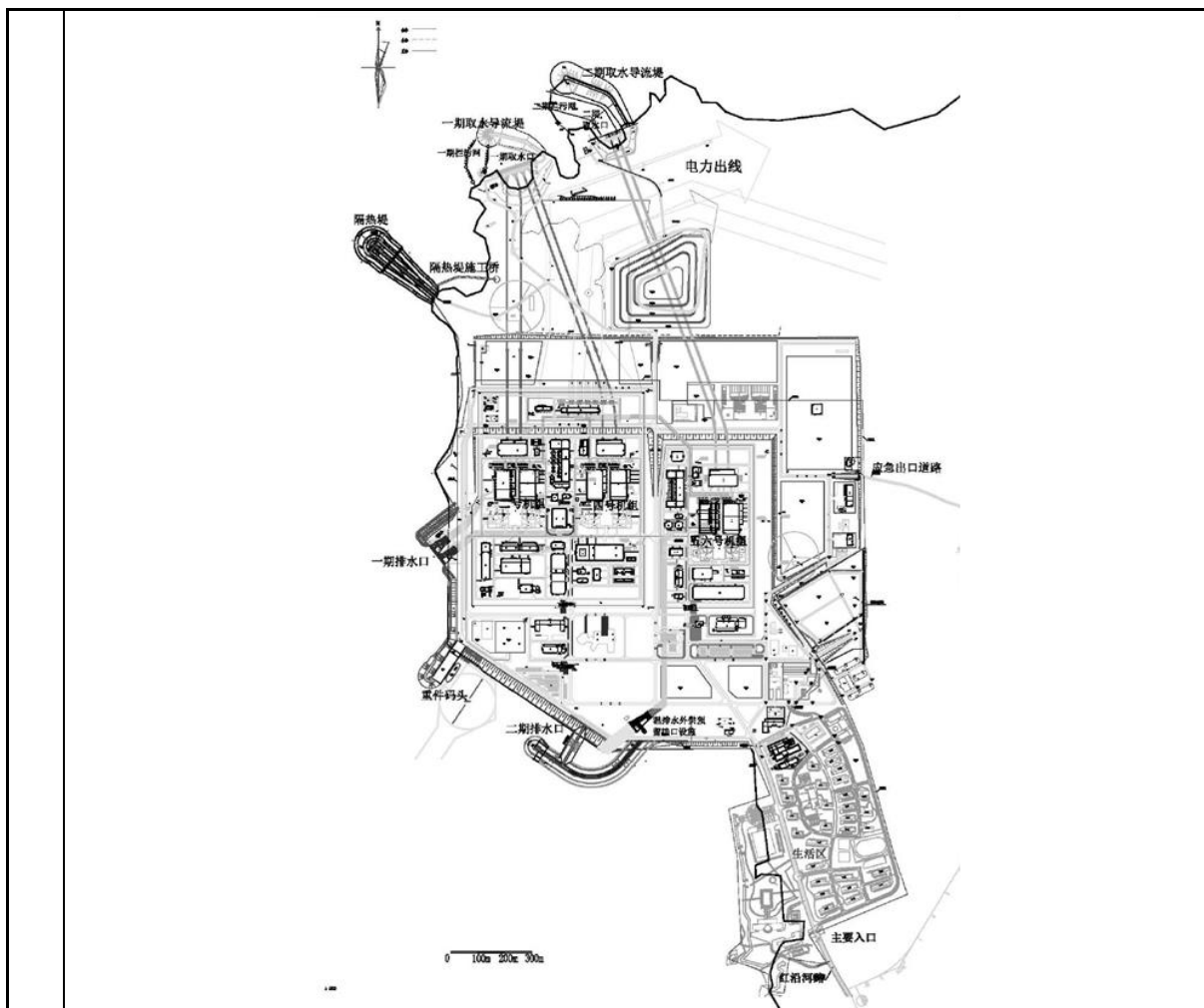


图 2-2 取排水工程平面布置示意图

## 二、优化运行工程方案分析

辽宁红沿河核电厂六台机组均为百万千瓦级压水堆，堆芯装载 157 个燃料组件，反应堆热功率为 2895MW，发电机额定电功率约为 1118.79MWe。核电厂 1~6 号机组的三废处理系统包括放射性废液系统、放射性废气系统以及放射性固体废物系统，均可以实现对三废的有效处理，并满足达标排放要求。放射性源项涉及反应堆堆芯积存量、一回路和二回路冷却剂中的放射性核素的比活度以及气态、液态放射性物质的排放量和固体放射性废物的产生量。

本次优化运行项目不涉及工程设计的变化，不改变原生产工艺或新增机组子项设施，不对原有生产工艺产生重大变动，主要为在 6 号机组投入运行后，全厂各机组运行功率进行优化，部分机组处于低功率运行状态，并严格控制全厂机组总运行功率能量输出要求。

### I、技改前的机组运行管理

辽宁红沿河核电厂目前已经正式运行 5 台机组，其中包括一期工程 4 台机组和二期工程 5 号机组，其运行机组功率对应为 400%+100%。5 台机组运行产生的热能，一部分在汽轮机做功发电，另一部分通过凝汽器作为余热排入外海。

### II、技改后的机组运行管理

本项目针对现状 5 台机组满功率运行进行全厂机组的运行方式优化，将其由共 5 台机组

(1~4号+5号)满功率发电变更为一期+二期机组(共6台机组)不同机组低功率组合方式下的优化运行发电方案。为确保机组运行产生的温排水影响能够满足近岸海域环境功能区划的要求,兼顾二期工程机组投运需求,优化机组运行方案通过控制六台机组运行功率总量的方式来控制全厂余热排放总量。

### (一) 优化运行方案

红沿河单台机组配置2台循环水泵,采用定倍率运行,无论机组是否降功率运行,总的循环水量不变。机组的余热均通过循环水排入外海,而水量维持不变,排放的余热量与凝汽器进出口温差成正比。

机组运行方式优化方案主要是考虑二期工程6号机组运行以后,电厂其余各机组的降功率运行,并考虑了6台机组从装料到正式100%满功率运行期间的装料调试期过程。根据分析,经过优化的机组降功率运行方案能满足当前近岸海域环境功能区划的要求,6号机组首次装料后可以分为运行期和调试期,优化运行方案及运行过程如下:

#### (1) 运行期降功率运行方案:

- 已批准方案:一期400%+二期100%(5台)
- 优化方案1:一期270%+二期200%(5台)
- 优化方案2:一期300%+二期175%(5台或6台)

#### (2) 调试期降功率运行方案

根据6号机组调试期(首次装料-商运阶段)堆功率不同,采取不同降功率方案:

##### 1) 调试期方案1(6号机≤5%堆功率)

电功率:一期 $4 \times 100\%$ +二期 $(1 \times 100\%+0\%)$

##### 2) 调试期方案2(6号机≤15%堆功率)

电功率:一期 $375\%$ +二期 $(1 \times 100\%+6\%)$

##### 3) 调试期方案3(6号机≤30%堆功率)

电功率:一期 $363\%$ +二期 $(1 \times 100\%+24\%)$

##### 4) 调试期方案4(6号机≤50%堆功率)

电功率:一期 $350\%$ +二期 $(1 \times 100\%+50\%)$

##### 5) 优化方案2(6号机≤75%堆功率)(同运行期方案)

电功率:一期 $300\%$ +二期 $(1 \times 100\%+75\%)$

##### 6) 优化方案1或2(6号机≤100%堆功率)(同运行期方案)

电功率:一期 $270\%$ +二期 $200\%$ 或一期 $300\%$ +二期 $175\%$

### (二) 优化运行方案分析

针对机组优化运行方案的详细分析如下:

#### (1) 优化运行方法影响因素

温排水的扩散范围与余热总量、潮流特征、地形地貌、余热排放点相关。以下依次对六台机组运行方案进行可行性研究论证:

##### 一 机组降功率与余热排放的特征研究:

堆芯产生的热能,一部分通过汽轮机做功转化为电能,另一部分通过凝汽器的热交换作

为余热排入外海，分析机组系统的热力平衡特征，以研究确定机组降功率与余热排放之间的关系特征。

— 温排扩散敏感因素的研究

依托温排水扩散数值模拟技术，针对不同因素下的温排水扩散特征进行对比分析，并总结温排扩散的敏感性要素，以便合理制定降功率运行方案。

— 开展降功率运行方案的温排数模研究

通过温排水扩散数值模拟分析，组合不同工况下的降功率运行方案，根据温排水的温升影响筛选确定合理的运行方案。

— 结合数模成果制定合理的运行计划

依托温排水数模成果，结合机组建设状态，制定合理、可行的运行计划方案。

**(2) 优化运行方案影响因素分析**

**a、机组功率与余热排放的特征研究**

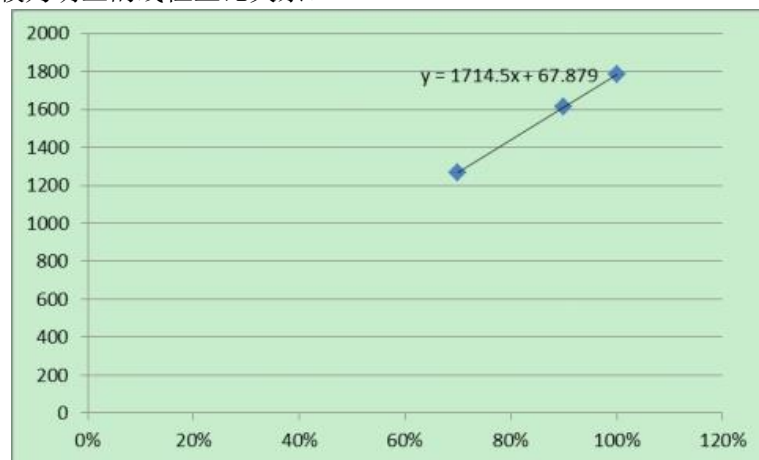
1) 系统设计分析

堆芯产生的热能，一部分在汽轮机做功发电，另一部分通过凝汽器作为余热排入外海。根据红沿河汽轮机供应商提供的热平衡图（一、二期相同），单台机组运行的不同功率运行平台（30%，50%，70%，90%，100%共5个典型值）对应的余热排放量如下表所示。

**表 2-1 典型功率运行平台下余热排放量**

机组运行功率平台 (%)	余热排放量 (MW)	余热排放 (%)
30%	587.06	32.9%
50%	966.12	54.2%
75%	1267.87	71.1%
90%	1611.34	90.4%
100%	1782.07	100.0%

考虑到机组长期运行的功率平台是75%以上，故只进行75%负荷以上的ELPO，所以取70%以上的点来拟合。以70%、90%、100%共3个典型功率平台，拟合得到机组功率与余热排放关系图（如图2-3所示）。从该图中可以看出，机组功率运行平台与其对应的温排水余热排放量呈现出较为明显的线性正比关系。



**图 2-3 机组功率与余热排放的线性关系示意图**

经拟合后的线性比例公式为：

$$Y=1714.5X+67.879 \quad (\text{式 1})$$

$$P=(1714.5X+67.879)/1782.07 \quad (\text{式 2})$$

式 1、式 2 中：Y，余热排出量，MW；X，功率平台，%；P，余热排放量相当于一台机组满发余热排放量的百分比，%。

### 2) 拟合复算

根据拟合公式复算发电功率与排放余热，如下表所示。可以发现拟合公式的计算值与余热排放量偏差在 0.013~0.026%之间，偏差极小。

**表 2-2 拟合公式对比分析**

机组运行功率平台	余热排放		拟合公式计算值	偏差
	余热排放量 (MW)	余热排放 (%)		
70%	1267.87	71.1%	1268.029	0.01%
90%	1611.34	90.4%	1610.929	-0.03%
100%	1782.07	100.0%	782.379	0.02%

通过复算对比结果再次说明，机组功率与余热排放是呈现明显的线性关系。

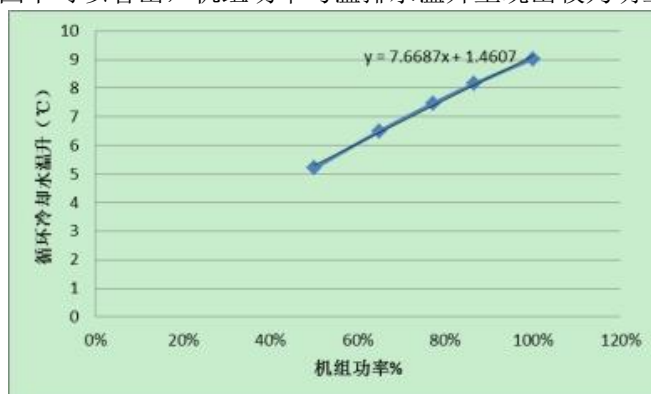
综上所述，当机组运行在 75% 以上功率平台时，其运行功率与余热排放量呈现明显的线性关系，拟合线性方程后复算说明，其偏差量极小 (<0.1%)。

此外，根据电厂 3 号机组于 2020 年 10 月 30 日~11 月 1 日进行的调功率运行，实测凝汽器进出口水温得出不同功率下对应的循环冷却水进出口温差，如下表所示。

**表 2-3 不同功率与其对应循环冷却水温差**

发电功率 (MW)	功率%	入口水温 (°C)	出口水温 (°C)	温差 (°C)
559	50%	16.16	21.37	5.21
725	65%	15.97	22.47	.5
861	77%	15.74	23.2	7.46
966	87%	15.84	23.99	8.15
1116	100%	15.85	24.88	9.03

通过上述实测值，拟合得出机组功率由 50% 至 100% 功率调整运行中，对应的温升关系，如下图所示。从该图中可以看出，机组功率与温排水温升呈现出较为明显的线性关系。



**图 2-4 机组功率与循环冷却水温升线性关系示意图**

2020 年 4 月 19 日~20 日，电厂 1 号机组维持在 860MW 运行，实测凝汽器前后温差 6.925~6.981°C。860MW 功率为满功率的 77.06%，结合拟合得出的线性比例公式计算，排放

的余热量为满功率余热量的 77.95%，理论计算温差应为 6.938℃。实测值与理论值的偏差仅为 0.18%~0.62%，实测值与理论值是相吻合的，即给出拟合的线性公式与实测值相符。

由于红沿河核电厂循环水采用一机两泵无阀系统，循环水量无法调节，循环水总量基本不变，机组功率与排放余热的正比关系特性，直接显现为机组功率与温排水温升的线性关系。

### b、温升扩散敏感性因素研究

根据中国水科院依托数模研究温排扩散特性，分析各不同要素对温升面积的敏感性影响，总结温排扩散规律。一期和二期的排放口不同，同一厂址，影响温排水稀释扩散的主要有 3 个因素，余热量、排水点以及排水量。

结合数模计算成果，夏季半月潮时 1℃面积最大，故而数模按夏季半月潮作为不利潮型进行研究。

#### 1) 余热量敏感性分析

按排水量、排水点相同，余热量不同，设定 4×100%+2×100%（6 台机余热量）与 4×100%+2×50%（5 台机余热量）两种运行方式，并通过数模计算夏季半月潮（不利潮型）的温升扩散范围进行对比分析，如表 2-4 所示。

表 2-4 余热量敏感性分析对比表

运行容量 (余热)	季节潮型	类 别	温升包络面积 (km <sup>2</sup> )				
			4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃
4×100%+2×100%	夏季半月潮	全潮平均	0.65	1.58	5.67	15.1	98.8
		全潮最大	2.36	6.09	22.2	48.1	204
4×100%+2×50%		全潮平均	0.16	0.53	2.76	7.78	69.1
		全潮最大	1.23	3.51	13.6	32.3	157

从上表可以发现，排水量、排水点一致，4×100%+2×50%工况相对 4×100%+2×100%工况余热量减少 16.7%（相对 6 台机满发，减少 1 台机的余热量），夏季半月潮潮流条件下，二期工程减少一台机组的热负荷，则 1℃温升最大包络面积减少 32.8%，4℃温升最大包络面积减少 47.9%。

#### 2) 排水点敏感性分析

不同的排水点，其水动力条件不同，其流场强度、方向存在差异，故而会对温排水扩散形态、面积产生影响。

按余热量、排水量相同，排水点不同，设定 4×100%+1×100%（5 台机余热量）和 3×100%+2×100%（5 台机余热量）两种运行方式。前一运行工况是二期停运一台，后一运行工况是一期停运一台，通过数模计算夏季半月潮（不利潮型）的温升扩散范围进行对比分析，如表 2-5 所示。

表 2-5 排水点敏感性分析对比表

运行容量 (余热)	季节潮型	类 别	温升包络面积 (km <sup>2</sup> )				
			4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃
4×100%+1×100%	夏季半月潮	全潮平均	0.17	0.57	2.65	7.61	68.6
		全潮最大	1.32	3.52	13.7	31.9	156
3×100%+2×100%		全潮平均	0.18	0.55	2.38	5.67	60.8
		全潮最大	1.41	3.03	12	27.9	140

从上表可以发现，3×100%+2×100%运行工况相对 4×100%+1×100%运行工况，余热排放总量相同、排水量相同，仅是排水点不同，夏季半月潮流条件下，1℃温升最大包络面积减少 12.5%，4℃温升最大包络面积增加 6.8%。采用 4+1 满功率运行时与 3+2 满功率运行相比，排放口不同，温排水近区高温升区包络面积较小、远区低温升区包络面积较大。

➤ 高温升区 (>4℃)

温排水在高温升区扩散主要是 2 个方面，一方面是天然潮流掺混作用，另一方面是温水团与自然水体的温差引起浮力、对流的相互作用。故而，强劲的潮流场、良好的水动力条件好，能促使温排水与自然水体快速掺混，能减少降低高温升区面积。

➤ 低温升区 (1℃)

温排水在低温升区的扩散，由于其温水团与自然水体的温差不明显，其浮力、对流作用不明显，其主要是伴随着潮流进行扩散。厂址在强潮流挟流作用下，加大了 1℃温升扩散范围。

3) 排水量敏感性分析

按余热量、排水点相同，排水量不同，设定 4×100%+2×50% (5 台机余热) 与 4×100%+1×100%两种运行方式。前者是 6 台机排水量，后者是 5 台机排水量。通过数模计算对比夏季半月潮 (不利潮型) 的温升扩散范围，如表 2-6 所示。

**表 2-6 排水量敏感性分析对比表**

运行容量 (余热)	季节潮型	类别	温升包络面积 (km <sup>2</sup> )				
			4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃
4×100%+1×100%	夏季半月 潮	全潮平均	0.17	0.57	2.65	7.61	68.6
		全潮最大	1.32	3.52	13.7	31.9	156
4×100%+2×50%		全潮平均	0.16	0.53	2.76	7.78	69.1
		全潮最大	1.23	3.51	13.6	32.3	157

从上表可以发现，余热总量、余热排放点相同，4×100%+2×50% (6 台机) 运行工况相对 4×100%+1×100% (5 台机) 运行工况，排水量增加 20% (增加 1 台排水量)，夏季半月潮流条件下，1℃温升最大包络面积增加约 1.2%左右，4℃温升最大包络面积减少约 6.8%。

核电厂排水量相对自然环境潮流流量相对较小，故而低温升区 (1℃) 的扩散范围主要受到排放余热以及潮流影响较大。当余热总量以及排放点相同，排水量对 1℃温升面积影响极小，即 1℃温升面积对排水量不敏感。当排水量增加时，入海水温相对较低，故而其高温升区 (>4℃) 面积略有缩小。

4) 温升扩散敏感性因素小结

温排扩散的主要要素是余热量、排水点、排水量，而排水点不同相应的潮流条件不同，归根到底是余热量、潮流场、排水量等 3 个要素。表 5-7 给出了温排水温升扩散影响因素总结。通过上述不同因素的对比分析后，可以形成如下认识：

1) 余热量对温升面积影响最大

温排扩散面积对余热总量极为敏感，呈现非线性关系，温升面积减少的比例远大于余热减少的比例。

2) 排水点对温升面积影响次之

温排水的排水点不同，水动力条件不同，潮流场不同。排水点不同对 1℃面积的影响相对更大，而对 4℃面积的影响相对较小。

3) 排水量相对不敏感

排水量对 1℃温升面积影响极小，即 1℃温升面积对排水量不敏感。排水量增加，降低了入海水温，故而高温升区面积 (>4℃) 有所缩小。

**表 2-7 温排扩散敏感性分析表**

影响因素	高温升区 (>4℃)	低温升区 (1℃)
余热量	<b>敏感</b> 余热量增加，4℃面积大幅增加 余热量减少，4℃面积大幅减小	<b>敏感</b> 余热量增加，1℃面积大幅增加 余热量减少，1℃面积大幅减少
潮流场 (排水点)	<b>有影响</b> 强潮流排水点，4℃面积减少 弱潮流排水点，4℃面积增加	<b>敏感</b> 强潮流排水点，1℃面积大幅增加 弱潮流排水点，1℃面积大幅减小
排水量	<b>有影响</b> 排水量增加，4℃面积减少 排水量减少，4℃面积增加	<b>基本无影响</b>

**(3) 运营期降功率运行方案研究**

**a、已批复运行方案（原方案）说明**

红沿河核电厂二期工程运行阶段环境影响报告书中的温排水数模计算是按照 5、6 号机组外供 400 万 m<sup>3</sup>/d 规划，而单台机机组的温排水量为 49.5m<sup>3</sup>/s，即 428 万 m<sup>3</sup>/d，外供 400 万 m<sup>3</sup>/d 的温排水余热量约为一台机组温排水余热排放量的 93.5%。即 400%+106.5%的工况满足当前近岸海域环境功能区划水质管理要求，但目前外供方案已不具备可实施性。

**b、工况拟定**

根据已批复方案，“4×100%+1×100%”运行方式时的温排水温升影响范围能满足当前近岸海域环境功能区划的要求。

根据温升扩散影响因素研究的结论可以发现，热负荷“300%+200%”工况相对热负荷“400%+100%”工况，电厂散热系统的余热集中在二期排水口进行排放，而二期排水口处的水动力条件相对略弱，故而 4℃面积略有上升。为此考虑，在热负荷“300%+200%”工况基础上，适当降低全厂总的余热排放量以降低温升面积，可分为一期降负荷（5 台机运行）、二期降负荷（5 台机运行）、以及一二期共同降负荷（6 台机运行）等 3 种方式。另外，机组长期运行中电功率不宜低于 75%，工况拟定时需要一并考虑。

**c、拟选工况**

1) 温排水影响分析的余热排放条件

— **满负荷运行：**

红沿河核电厂机组循环水量为 49.5m<sup>3</sup>/s，机组满负荷运行时通过常规岛凝汽器排入水体的余热量为 1782MW，按海水比热容 4.2×10<sup>3</sup>kJ/℃·m<sup>3</sup>计，则排水温升为 8.6℃。另外，根据《电力工程水务设计手册》中的经验公式，并考虑少量设备余热将通过循环水系统排放，温排水数值模拟中的排水温升按 8.9℃确定。

— **降功率运行：**

当机组降功率时，需要调整堆芯功率的下降，汽轮机发电量下降，排放的余热量也将下降。红沿河核电厂机组循环水系统采用无阀系统，无法实现循环水量的调节，即循环冷却水量是固定不变的 49.5m<sup>3</sup>/s，排入水体的余热量与排水温升成正比，根据机组功率与余热排放特征关系研究，机组降功率运行时的排水温升见表 2-8。

**表 2-8 机组降功率运行排水温升**

机组电功率	热负荷	循环水量 (m <sup>3</sup> /s)	排水温升 (°C)
100%	100%	49.5	8.9
90%	90.6%	49.5	8.06
75%	76%	49.5	6.76

2) 降功率运行拟选工况

根据分析，电厂机组运行工况主要可包括“3+2 满发”、“3+2 一期降功率”、“3+2 二期降功率”、“4+2 降功率”等 4 种工况。结合排水点因素的敏感性分析结果，以及热负荷“300%+200%”工况相对热负荷“400%+100%”工况下 4°C 温升面积略有上升的分析结果，不考虑“3+2 满发（热负荷 300%+200%、电功率 3×100%+2×100%）”的工况条件，因此可形成如下运行期拟选工况。

**表 2-9 运行期拟选工况表**

类别		热负荷	机组电功率	备注
降功率	3+2 一期降功率	272%+200%	270%+2×100%	优化方案 1
	3+2 二期降功率	300%+176%	3×100%+175%	优化方案 2a
	4+2 降功率	304%+176%	4×75%+175%	优化方案 2b

**d、优化运行方案**

针对电功率方案，根据上述论证分析，其运行工况中一、二期发电功率的不同，可分为 3 个机组优化运行方案：

**已批准方案：**一期 400%+二期 100%（5 台）

**优化方案 1：**一期 270%+二期 200%（5 台）

**优化方案 2：**一期 300%+二期 175%（5 台-优化方案 2a 或 6 台-优化方案 2b）

其中优化方案 1，一期工程的 3 台机组的总排放热负荷不应大于 272%，考虑到 75% 以上功率运行时，排放的余热与机组电功率存在明显的线性特征，只要 3 台机组的电功率总和为 270% 就能满足要求，即总功率为 270%，单台机组的功率可以平滑调节。下表所罗列的 4 个典型组合工况，充分说明优化方案 2 中一期 3 台机组的电功率可以平滑调节。

**表 2-10 优化方案 1 典型组合工况**

序号	类别	机组功率			总和
1	电功率	100.0%	95.0%	75.0%	270.0%
	热负荷	100.0%	95.2%	76.0%	271.2%
2	电功率	100.0%	90.0%	80.0%	270.0
	热负荷	100.0%	90.4%	80.8%	271.2%
3	电功率	100.0%	85.0%	85.0%	270.0%
	热负荷	100.0%	85.6%	85.6%	271.2%
4	电功率	97.5%	97.5%	75.0%	270.0%
	热负荷	97.6%	97.6%	76.0%	271.2%



#### (4) 调试期降功率运行方案

6 号机组首次装料至商运期间，需要进行降负荷优化运行，以保证温排水温升影响面积能满足当前近岸海域环境功能区划的要求。通过对 6 号机组装料至商运期间的调试期论证，并满足近岸海域环境功能区划要求为基础，分析确定调试期合理的降功率运行方案。

##### a、拟选工况

结合 6 号机组装料至商运期间运行的各不同功率平台，概化为 4 个典型堆芯功率平台（5%、15%、30%、50%），并根据 6 号机组的不同排放余热结合温排水温升影响因素总结规律，形成如下拟选的不同降功率运行工况。

表 2-11 调试期的拟选运行工况表

工况	热负荷	机组电功率	调试工况
满发	400%+109.2%	一期 400%+二期 100%	6 号机 5%堆功率平台 (调试期方案 1)
一期降功率	376%+125.6%	一期 375%+二期 (100%+6%)	6 号机 15%堆功率平台 (调试期方案 2)
	365%+132.9%	一期 363%+二期 (100%+24%)	6 号机 30%堆功率平台 (调试期方案 3)
	352%+154.2%	一期 350%+ (100%+50%)	6 号机 50%堆功率平台 (调试期方案 4)

其中，在 6 号机组 5%堆芯功率平台，不启动汽轮机，反应堆余热和机械设备余热(17MW)均最终排入循环水系统。15%堆芯功率平台，考虑无电功率时排放余热最大，按保守考虑排放余热量。30%堆芯功率平台维持 24%的额定电功率，50%堆芯功率平台维持 50%的额定电功率。

##### b、优化运行方案

针对电功率方案，根据分析，6 号机组调试期间，根据调试期间 6 号机组的堆芯功率不同，一期机组的降功率略有不同，可分为 4 个运行方案。

###### 1) 调试期方案 1: 6 号机组 5%堆功率

热功率：一期 400%+二期 109.2%

电功率：一期 400%+二期 (1×100%+0%)

###### 2) 调试期方案 2: 6 号机组 15%堆功率

热功率：一期 376%+二期 125.6%

电功率：一期 375%+二期 (1×100%+6%)

###### 3) 调试期方案 3: 6 号机组 30%堆功率

热功率：一期 365%+二期 132.9%

电功率：一期 363%+二期 (1×100%+24%)

###### 4) 调试期方案 4: 6 号机组 50%堆功率

热功率：一期 352%+二期 154%

电功率：一期 350%+二期 (1×100%+50%)

其中调试期方案 3 中，一期降功率运行的 2 台机组的电功率总额为 163%，可保证这两台机组的热负荷总额≤165%。下表所罗列典型组合说明，2 台降功率运行的机组可以平滑调节。

**表 2-12 调试方案 3 典型组合工况**

序号	类别	机组功率		总和
1	电功率	81.5%	81.5%	163%
	热负荷	82.2%	82.2%	164.4%
2	电功率	75%	88%	163%
	热负荷	76.0%	88.5%	164.5%
3	电功率	78%	85%	163%
	热负荷	78.9%	85.6%	164.5%

因此，从 6 号机组装料至商运之间的调试阶段，需要采用机组降负荷的运行方式。6 号机组不同的堆芯功率平台，对应不同的降负荷运行方案。整个调试周期过程匹配如下：

- 1) 调试期方案 1（6 号机≤5%堆功率）
- 2) 调试期方案 2（6 号机≤15%堆功率）
- 3) 调试期方案 3（6 号机≤30%堆功率）
- 4) 调试期方案 4（6 号机≤50%堆功率）
- 5) 优化方案 2（6 号机≤75%堆功率）
- 6) 优化方案 1 或优化方案 2（6 号机≤100%堆功率）

说明：6 号机组自首次装料至 5%堆功率期间，按一期 4 台满发、二期 5 号机组满发的工况运行；6 号机组 5~15%堆功率期间，按一期 4 台机组总功率降至 375%、二期 5 号机组满发、6 号机组最大电功率 6%的工况运行；在 6 号机组 15~30%堆功率期间，按一期 4 台机组总功率降至 363%、二期 5 号机组满发、6 号机组最大电功率 24%的工况运行；在 6 号机组 30~50%堆功率期间，按一期 4 台机组总功率降至 350%、二期 5 号机组满发、6 号机组最大电功率 50%的工况运行。

在 6 号机组堆功率在 50~75%额定功率期间，按运营期降功率方案的“优化方案 2”一期 4 台总功率降至 300%、二期 175%工况运行；在 6 号机组堆功率在 75~100%额定功率期间，按“优化方案 1”一期总功率降至 270%+二期 200%工况运行，或优化方案 2 一期总功率降至 300%+二期 175%工况运行。

#### **(5) 全厂机组运行计划方案**

按照分析得出的机组功率方案，结合目前工程和运行实际情况，本项目考虑的机组优化运行时间段为自 6 号机组首次装料至 2022 年底，期间红沿河核电厂全厂六台机组运行计划如下图。如工程节点等进度安排发生变化，可适应性调整运行计划。

建设单位目前正积极协调辽宁省人民政府，力争在 2022 年 5、6 月完成调整近岸海域环境功能区划或国土空间规划审批。考虑相关工作的不确定性，机组优化运行方式运行延期至 2022 年底。如 2022 年底仍未完成调整审批，建设单位将再提前申请。

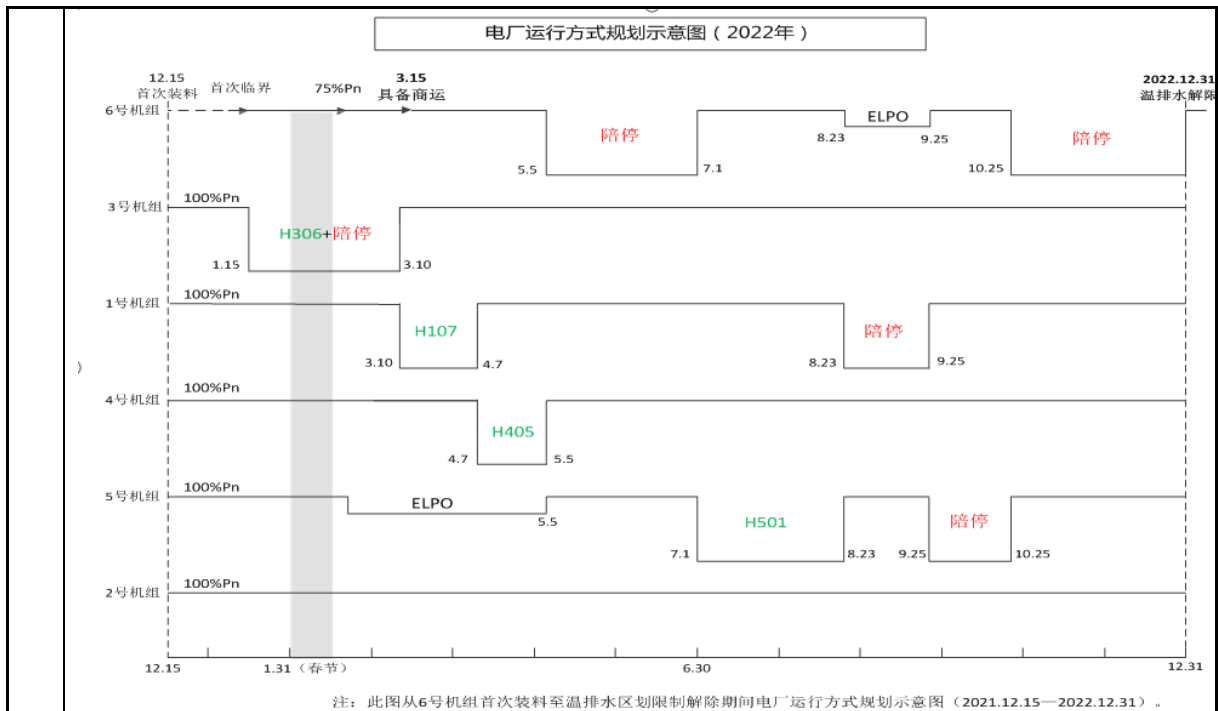


图 2-5 电厂 6 号机组调试期间和运行初期电厂运行方式规划示意图

### 三、放射性及余热的产生、处理和排放

本项目实施期间主要是产生一定的放射性气态、液态流出物及放射性固体废物，以及少量的余热排放。放射性源项涉及反应堆堆芯积存量、一回路和二回路冷却剂中的放射性核素的比活度以及气态、液态放射性物质的排放量和固体放射性废物的产生量。放射性废物的排放量主要取决于一回路冷却剂的放射性活度以及三废处理系统的设计处理能力及运行效能。本项目仅改变了核电厂的功率运行方式，对系统设计未作变更。同时，核电厂运行期间放出的余热随电厂温排水从不同排放口排放进入渤海海域。

电厂 1~6 号机组的三废处理系统包括放射性废液系统、放射性废气系统以及放射性固体废物系统，均可以实现对三废的有效处理。电厂正常运行期间气液态流出物源项计算假设和参数已经考虑了长期低功率模式，长期低功率运行与满功率运行相比，一回路冷却剂源项不变，计算模型及计算参数不变，因此，长期低功率运行的气液态流出物排放源项计算结果与满功率运行相同。从包络性角度来分析，满功率运行的相关参数考虑了机组负荷跟踪模式，因此，满功率运行的源项计算结果可以包络长期低功率运行。根据上述分析，在 ELPO 期间，核电厂可严格控制放射性流出物排放满足国家批复的限值要求。红沿河核电厂 1~6 号机组三废处理系统和散热系统配置基本相似，以下以 5、6 号机组的三废系统和散热系统设计为例进行描述。

## I、放射性三废处理系统

### (一) 放射性废液

红沿河核电厂 5、6 号机组放射性废液由放射性废液系统提供控制、收集、处理、输送、贮存及处置正常运行期间（包括预期运行事件）产生的放射性废液的能力，并将放射性废液的比活度和化学浓度降低到可排放或电站可重复利用的水平。废液管理系统主要包括下列几

个处理系统：硼回收系统（TEP）、废液处理系统（TEU）、废液排放系统（TER）、常规岛废液贮存和排放系统（SEL）等。

#### （1）TEP 系统

硼回收系统（TEP）是通过过滤、除盐和除气工艺将来自化学和容积控制系统（RCV）和核岛排气和疏水系统（RPE）的未污染的含氢反应堆冷却剂进行净化、贮存，然后通过蒸发工艺，制取反应堆补给水和 4%（重量百分比）的硼酸溶液返回反应堆硼和水补给系统（REA）复用。硼回收系统每两台机组共用，位于核辅助厂房内。系统设置两条生产线，每条生产线由净化、水与硼分离和除硼三部分组成，其中净化部分是一条生产线对应一个机组，水和硼酸分离部分为两个机组共用。

TEP 产生的蒸馏液经过取样分析后有如下几种出路：

- 若水质满足反应堆补给水要求，即，离子（钠、镁、钙、铝）浓度低于 0.015mg/kg，溶氧浓度低于 0.1 mg/kg，氯化物+氟化物浓度低于 0.1 mg/kg，硫酸盐浓度低于 0.05 mg/kg，溶硅浓度低于 0.2 mg/kg，则由蒸馏液泵 013PO（012PO）将其直接送往反应堆硼和水补给系统（REA）作为补给水使用；
- 若蒸馏液不合格（氧含量 $\geq 0.1\text{ppm}$ ），需要再处理时，则利用蒸馏液泵 013PO（012PO）打回中间贮槽去，重新在本系统的蒸发装置中处理；
- 为了维持反应堆冷却剂中（15GBq/t）氚浓度，通过 TEU 的排放管将含氚高的蒸馏液送到 TER 排放。

TEP 产生的浓缩液经过取样分析后有如下几种出路：

- 若浓缩液合格（硼浓度在 7000~7700mg/kg），则利用浓缩液泵 014PO 送到 REA 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（氧含量 $\geq 0.1\text{ppm}$ ），则经浓缩液泵（014PO）返回到中间贮槽中去，重新用蒸发器处理（仅限于低硼含量 $< 4\%$ 的浓缩液）；
- 若浓缩液不合格，TEP 系统的蒸发器又不能运行时，也可用泵将其送往 TEU 工艺排水接收槽后进行处理（仅限于硼含量 $< 4\%$ 和低放射性浓度 $\leq 1.85\text{TBq/m}^3$ 的浓缩液）；
- 正常运行期间，红沿河浓缩液放射性活度远低于  $1.85\text{TBq/m}^3$ ，在浓缩液放射性浓度太高（ $> 1.85\text{TBq/m}^3$ ）的情况下，送往固体废物处理系统 TES 处理。

#### （2）TEU 系统

TEU 系统位于核辅助厂房，为两台机组共用。用于贮存、监测和处理来自反应堆冷却剂系统的不可复用废液以及核电厂正常运行及预期事件中产生的其它放射性废液，并将处理合格的废液送入废液排放系统（TER）排放。TEU 的设计基准是确保核电厂放射性液体流出物年排放量低于国家规定限值，对公众和运行人员造成的辐射剂量满足“可合理达到尽量低”水平的要求。TEU 容量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、并留有适当的裕量进行设计。

TEU 系统处理三类放射性废液：工艺排水、化学排水和地面排水。工艺排水进入工艺排水接收槽（TEU001/002BA），地面排水进入地面排水接收槽（TEU003/004BA），化学排水由化学排水接收槽（TEU005/006BA）接收。每类贮槽中总有一个贮槽处于接收状态。贮槽装

满后要进行搅拌、取样分析、添加化学试剂等，然后进行处理。

工艺排水为化学杂质含量低的放射性废液，可采用除盐工艺处理。化学排水的化学杂质含量及放射性浓度均较高，可用蒸发工艺处理。采用外热式强制循环型蒸发器，设备去污性能好（去污系数为  $10^3$ ）。地面排水和服务排水的放射性浓度较低，含悬浮固体和纤维物质等，可采用过滤工艺进行处理。

### （3）TER 系统

废液排放系统（TER）收集、贮存和监测电厂核岛产生的废液，以及异常情况下蒸汽发生器排污系统（APG）产生的废液，提供排放通道。TER 系统位于核岛外 BOP 区的 QA 厂房内，由两台机组共用。

TER 系统收集的废液包括：

- 硼回收系统（TEP）蒸发装置的蒸馏液；
- 核岛排气和疏水系统（RPE）的疏水；
- 放射性废水回收系统（SRE）的废液；
- 废液处理系统（TEU）排放废液；
- 蒸汽发生器排污系统（APG）的排污液（当 SEL 不可用或者放射性超标时）。
- 其它废液：如 TER 泵房间（QA201）地坑内的废液，TER 贮存罐滞留间（QA202）地坑内的废液，SEL 贮存罐滞留间（QB202）地坑内的废液。

TER 系统每两台机组设置三个废液贮存罐 TER001/002/003BA 和三台排放泵 TER001/002/003PO，地坑泵 TER004/005PO 安装在地坑 TER001PS 内，地坑泵 TER006PO 安装在 NX 厂房的地坑 TER002PS 内，地坑泵 TER007PO 安装在地坑 TER003PS 内。

正常运行时，三个 TER 贮存罐中的一个接收废液，一个混合、取样分析和监测排放废液，另一个备用。各系统来的废液在贮存罐内经充分混合使其成分均匀，取样分析后根据废液放射性水平及环境的接收要求来确定废液的排放流量。

排放管上的 KRT 监测系统对贮存罐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。

贮存罐废液放射性浓度超过排放限值时，废液被送回 TEU 系统化学排水槽重新进行处理。

### （4）SEL 系统

常规岛废液排放系统每两台机组共用，位于 QB 厂房内，其功能为：

- 将常规岛的排放废液收集、混匀、取样分析、监测后有控制地排放。
- 当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（KRT）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（TEU）处理。

SEL 系统为两台机组共用。排放管上的 KRT 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 TEU 系统化学排水接收槽再作处理。

## （二）放射性废气

放射性废气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后排入大气。

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。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（特别是在冷却剂除气处理时），裂变气体就会挥发出来，随溶解的氢气或氮气一起释出，从而被收集到缓冲罐中成为含氢废气。

另一类废气为含氧废气（含空气废气），主要来自核辅助系统特别是三废处理系统可能进入空气的各种设备等有关系统容器的呼排气、吹扫气、鼓泡排气或抽气（保持负压）等，由核岛排气和疏水系统集中在一条管路上，通过系统排气风机吸入本系统，经除碘后排至通风系统 DVN。含空气废气所含的放射性核素主要以气溶胶的形式存在，含有元素碘和有机碘等。

放射性废气系统主要包括：

- 废气处理系统（TEG）；
- 凝汽器真空系统（CVI）；
- 空调、加热冷却及通风系统（HVAC）。

#### （1）TEG 系统

废气处理系统（TEG）的作用是收集和处理惰性气体、卤素和微粒，以便将预期的年排放量降至尽可能低的水平。TEG 由两个独立的子系统组成：含氢废气子系统和含氧废气子系统。

含氢废气主要是由氢气、氮气和反应堆冷却剂中产生的放射性惰性气体和碘等组成。含氢废气有两大来源：

- 冷却剂在硼回收系统（TEP）除气塔中脱出的气体，这部分气体流量小（ $<2\text{m}^3/\text{h STP}$ ），但除气次数较多（每天两至三次）；
- 容控箱、卸压箱、含氢反应堆冷却剂疏水箱等设备因箱内液位变化或需要更换覆盖气体而进行吹扫的气体。

经压缩和冷却后的含氢废气最后被送至八个衰变箱中的一个。含氢废气在衰变箱内贮存衰变时间为 60 天，在负荷跟踪运行时，废气的贮存衰变时间为 45 天。

含氧废气主要为空气，含有少量放射性碘及其同位素。含氧废气经核岛排气和疏水系统（RPE）集气管汇集后，由本系统风机抽入，使其通过碘吸附器，再送入核辅助厂房的通风系统（DVN）。

#### （2）CVI 系统

CVI 系统的主要功能是保持冷凝器的真空度在正常运行所要求的水平。同时，把抽出的气体输送至 DVN 系统或在起动时抽出气体直接排入大气。该系统本身不具备放射性废气的贮存、处理功能。

当蒸汽发生器传热管破损时，一回路冷却剂从蒸汽发生器一次侧向二次侧泄漏，从而造成 CVI 系统抽出的气体带有放射性。系统为此设置了放射性气体监测系统。

#### （3）HVAC 系统

厂房通风系统除了对各厂房通风换气，维持各厂房空气的温度、湿度以外，也对通风排

气进行过滤和除碘处理，以减少气载放射性物质向大气环境的排放。并且，HVAC 系统控制空气气流从污染较少的区域流向污染逐渐增加的区域，使各厂房内可能被污染区域的全部通风空气经监测后，通过烟囱排放。

### （三）放射性固废

辽宁红沿河核电厂 TES 是为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）、压缩、包装和临时贮存而设计的。

TES 处理蒸发浓缩液、废离子交换树脂、废过滤器芯子和其它干废物，并按其性质进行处理：

- 湿固体废物（浓缩液、废树脂）在 400L 钢桶中进行水泥固化；
- 表面剂量率大于 2mSv/h 的废滤芯用水泥浆固定在 400L 钢桶中；表面剂量率不大于 2mSv/h 的废滤芯装入 200L 钢桶内，送 QS 厂房用超级压缩机压缩成桶饼，再装入 400L 钢桶中用水泥浆进行灌浆固定；
- 干废物先在 200L 钢桶内进行初级压缩，经 200L 钢桶超级压缩成桶饼后，再装入 400L 钢桶中用水泥灌浆固定处理；
- 蒸汽发生器排污系统（APG）产生的废树脂仅受轻微污染，通过 APG 树脂贮槽（TES004BA）收集后，装在 400L 钢桶中进行暂存和衰变，待其达到清洁解控水平后进行清洁解控。

TES 系统主要包括两大部分：废物分拣压缩打包线位于废物辅助厂房（QS）内，为全厂共用；水泥固化线位于核辅助厂房（NX）内，为两台机组共用。

辽宁红沿河核电厂废物处理辅助厂房（QS）设计用于处理全厂六台机组产生的放射性固体废物。QT 厂房贮存辽宁红沿河核电厂 6 台机组产生的 400L 桶装废物。QT 厂房的贮存容量按照六台机组运行五年产生的废物量加适当裕量进行设计。

## II、散热系统及电厂取排水工程

红沿河核电厂散热系统采用直流供水冷却方式，利用海水作为冷却介质进行热交换，保证机组运行在一个正常的、稳定的工况下工作。电厂冷却水系统是从环境中取冷却水，并将电厂中产生的废热（由汽轮机排出、已做过功的蒸汽挟带）通过各种方式最终排入环境中的系统，冷却水自水源经过循环水泵、冷却器吸热后再排入水源。电厂运行期间，经取水口从渤海海域中取冷却水，冷却水流过冷凝器，将电厂的余热在冷凝器中进行热交换，冷却水吸收余热而水温升高后，由温排水通过排放口直接排至附近的渤海海域。

红沿河核电厂取排水系统按照“北取南排”的取排水方案，冷却水源为厂址附近的辽东湾海域海水。辽宁红沿河核电厂取水口位于电厂北部天然小海湾内，取水头部为敞开式的取水方式，排水口布置在厂区南侧护岸处，为敞开式结构，排水口口门向西，二期工程口门与一期排水口相距约 1000m，设有排水导流堤。根据红沿河核电厂工程设计方案，一期工程 4 台机组和二期 2 台机组循环冷却水设计取水流量分别为 198m<sup>3</sup>/s 和 99m<sup>3</sup>/s，取排水温升为 8.9℃；单台机机组的温排水量为 49.5m<sup>3</sup>/s。

电厂反应堆堆芯产生的热能，一部分通过汽轮机做功转化为电能，另一部分通过凝汽器

	<p>的热交换作为余热排入外海。红沿河单台机组配置 2 台循环水泵，采用定倍率运行，无论机组是否降功率运行，总的循环水量不变，机组的余热均通过循环水排入外海，而水量维持不变，排放的余热量与凝汽器进出口温差成正比。根据分析，机组功率与余热排放是呈现明显的线性关系。</p> <p>红沿河核电厂已经批复的运行方案为一期工程 4 台机组和二期工程 5 号机组共 5 台机组运行工况，其热负荷条件为 <math>4 \times 100\% + 1 \times 100\%</math>。在红沿河核电厂二期工程运行阶段环境影响报告书中，温排水数模计算是按照 5、6 号机组外供 400 万 <math>\text{m}^3/\text{d}</math> 规划，而单台机机组的温排水量为 <math>49.5\text{m}^3/\text{s}</math>，即 428 万 <math>\text{m}^3/\text{d}</math>，则外供 400 万 <math>\text{m}^3/\text{d}</math> 的温排水余热量约为一台机组温排水余热排放量的 93.5%，即 <math>400\% + 106.5\%</math> 的工况满足当前近岸海域环境功能区划。</p> <p>根据本工程机组优化方案可知，投入运行 6 号机组后，对全厂 6 台机组采用低功率运行方式后，通过控制 6 台机组运行功率总量的方式来控制全厂余热排放总量。</p> <p>根据机组运行方式优化方案，对于调试期的拟选运行工况，在 6 号机组调试期间，在 6 号机 5%、15%、30%、50% 典型堆功率平台下，电厂一期工程 4 台机组和二期工程 2 台机组产生的热负荷分别为 <math>400\% + 109.2\%</math>、<math>376\% + 125.6\%</math>、<math>365\% + 132.9\%</math>、<math>352\% + 154.2\%</math>；在正式商运期间，降功率运行方式分别包括 3+2 一期降功率（电功率 <math>270\% + 200\%</math>）、3+2 二期降功率（电功率 <math>3 \times 100\% + 175\%</math>）、4+2 降功率（电功率 <math>4 \times 75\% + 175\%</math>），其热负荷分别为 <math>272\% + 200\%</math>、<math>300\% + 176\%</math>、<math>304\% + 176\%</math>。</p>
与项目有关的原有环境污染问题	<p>辽宁红沿河核电厂 1~5 号机组运行期间，向环境排放的气载和液态放射性流出物始终处于严格受控状况，并严格遵守国家相关法规标准的要求，运行期间产生的低中放固体废物在厂内妥善暂存。已开展的辐射环境监测结果表明，核电厂放射性流出物排放没有给厂区附近地区产生可觉察到的影响，辽宁红沿河核电厂的辐射环境水平相对于运行前的本底值而言变化不大。</p> <p>辽宁红沿河核电厂运行期间以温排水形式向海域释放热量。建设单位已委托环境保护部卫星环境应用中心针对核电厂温排水开展了海水水温监测。从 2013 年开始实施红沿河核电附近海域多年温排水卫星调查，从监测结果来看，温排水温升满足厂址附近近岸海域环境功能区划和相应的海水水质标准要求，未发现大面积明显人为热污染现象。</p> <p>辽宁红沿河核电厂定期对厂址区域非放射性环境现状进行监测，根据 2019 年期间的监测结果显示，厂址区域环境空气质量及声环境质量等满足相关标准限值要求。</p> <p>本项目的实施仅涉及全厂所有机组间不同机组低功率运行及机组功率分配调整的变化，相对已批复的二期工程运行阶段环评，红沿河核电厂 1~6 号机组的反应堆堆芯设计、专设系统和三废系统设计、环保设施运行等均无变更，机组运行方式优化后，红沿河核电厂将严格控制核电厂运行期间产生的放射性流出物，将其严格控制在已批复的核电厂 6 台机组放射性流出物排放量限值范围内，并对厂址机组运行功率总量及余热释放量有效控制，确保满足近岸海域环境功能区划水质管理要求。</p>



### 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	<p>辽宁红沿河核电厂 1~5 号机组自投运以来, 机组安全稳定运行。在三废处理系统运行方面, 核电厂工作人员严格按程序对其加强管理和控制, 三废处理设施的性能指标保持在良好状态, 放射性污染物和非放射性污染物实现达标排放。</p> <p>一、放射性环境质量现状</p> <p>辽宁红沿河核电厂的放射性气载流出物和液态流出物排放处于较低的水平, 全厂现有机组的放射性排放量满足生态环境部批复的排放限值要求。</p> <p>根据 2017 年 11 月至 2018 年 12 月厂址环境辐射水平现状调查, 总体监测数据分析如下:</p> <p>(1) <math>\gamma</math> 辐射剂量率</p> <p><math>\gamma</math> 辐射剂量率连续监测数据处于正常水平。瞬时剂量率监测结果范围为 33.8~103.7nGy/h; 所有点位各季度 TLD 剂量率监测结果的范围为 58.8~133.1nGy/h, 各点位的监测结果平均值范围为 62.8~128.6nGy/h。</p> <p>(2) 空气中放射性</p> <p>气溶胶中所有人工 <math>\gamma</math> 放射性核素均低于探测限, <math>^{90}\text{Sr}</math> 的测量结果范围为 &lt;0.56~0.95<math>\mu\text{Bq}/\text{m}^3</math>; 沉降灰中的 <math>^{137}\text{Cs}</math> 的监测结果均低于探测下限, <math>^{90}\text{Sr}</math> 监测结果范围为 &lt;0.21~3.36 mBq/(<math>\text{m}^2\cdot\text{d}</math>); 空气中 <math>^3\text{H}</math> 的结果范围为 0.88~2.11Bq/(L·水), <math>^{14}\text{C}</math> 的结果范围为 0.22~0.24Bq/(g·C); 所有样品中的 <math>^{131}\text{I}</math> 监测结果均低于探测限。对降水样品, 所有点位 <math>^3\text{H}</math> 的结果范围为 &lt;1.1Bq/L, 所有关注的人工 <math>\gamma</math> 放射性核素结果均低于探测限, <math>^{90}\text{Sr}</math> 的监测结果范围为 0.26~0.54mBq/L。</p> <p>(3) 地表水及沉积物</p> <p>地表水中 <math>^3\text{H}</math> 的结果范围为 &lt;0.55~1.09Bq/L, <math>^{14}\text{C}</math> 的结果范围为 0.25~0.40Bq/(g·C), <math>^{90}\text{Sr}</math> 的结果范围为 3.02~11.29mBq/L, 所有关注的人工 <math>\gamma</math> 放射性核素结果均低于探测限。</p> <p>地表水沉积物(岸边沉积物)中 <math>^{90}\text{Sr}</math> 的监测结果均低于探测限; <math>^{137}\text{Cs}</math> 的监测结果范围为 &lt;0.50~0.98Bq/kg; <math>^{239+240}\text{Pu}</math> 的结果范围为 &lt;0.014~0.058Bq/kg。</p> <p>(4) 饮用水/地下水</p> <p>对地下水和饮用水中 <math>^3\text{H}</math> 的监测结果范围为 &lt;0.55~1.05Bq/L, <math>^{14}\text{C}</math> 的监测结果范围为 6.37~16.6mBq/L (0.18~0.39Bq/g·C), <math>^{90}\text{Sr}</math> 的监测结果范围为 &lt;0.25~2.69mBq/L, 总 <math>\alpha</math> 的监测结果范围为 &lt;0.020~0.201Bq/L, 总 <math>\beta</math> 监测结果范围为 0.043~0.558Bq/L, 所有总 <math>\alpha</math>、总 <math>\beta</math> 监测结果均低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006) 对饮用水总 <math>\alpha</math>、总 <math>\beta</math> 的指导值分别为 0.5Bq/L 和 1Bq/L 的要求。饮用水和地下水所有关注的人工 <math>\gamma</math> 放射性核素监测结果均低于探测下限。</p> <p>(5) 土壤</p> <p>监测项目包括 <math>^{90}\text{Sr}</math> 和 <math>\gamma</math> 核素, 同时在 5km 范围内的最近点位采样监测 <math>^{239+240}\text{Pu}</math>。结</p>
----------------------	--

果表明， $^{90}\text{Sr}$  结果范围为 $<0.14\sim 1.12\text{Bq/kg}$ ， $^{239+240}\text{Pu}$  结果范围为 $0.014\sim 0.271\text{Bq/kg}$ ； $^{137}\text{Cs}$  的监测结果范围为 $<0.48\sim 10.35\text{Bq/kg}$ ；除  $^{137}\text{Cs}$  外其他核素监测结果均低于探测限。

#### (5) 陆地生物

陆地生物类别包括谷类、蔬菜、水果、动物，同时增加松针作为指示生物。各样品中 OBT 的监测结果均最大为  $3.15\text{Bq/(L}\cdot\text{燃烧水)}$ ；TFWT 的最大结果约为  $2.1\text{Bq/(L}\cdot\text{水)}$ ， $^{14}\text{C}$  的最大结果为  $0.26\text{Bq/(g}\cdot\text{C)}$ 。对各类生物样品中的  $^{90}\text{Sr}$  和  $^{137}\text{Cs}$ ，整体处于正常水平。

#### (6) 海水

海水中  $^3\text{H}$  监测结果范围为 $<0.53\sim 134.6\text{Bq/L}$ ， $^{14}\text{C}$  监测结果范围为  $0.23\sim 1.69\text{Bq/(g}\cdot\text{C)}$ （或  $6.8\sim 45.6\text{mBq/L}$ ）。除排水口监测到的数据外，其他结果均处于正常水平。 $^{131}\text{I}$  所有监测结果均低于探测限。 $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围为 $<0.20\sim 1.69\text{mBq/L}$ 。 $^{137}\text{Cs}$  监测结果范围为 $<2.7\sim 3.2\text{mBq/L}$ 。对除  $^{137}\text{Cs}$  外的其他人工  $\gamma$  核素，所有的监测结果均低于探测限。

#### (7) 海洋沉积物

海洋沉积物监测项目为  $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$  和  $^{239+240}\text{Pu}$ 。 $^{90}\text{Sr}$  监测结果的范围为 $<0.12\sim 0.37\text{Bq/kg}$ ， $^{137}\text{Cs}$  的结果范围为 $<0.33\sim 0.84\text{Bq/kg}$ ，其他人工  $\gamma$  放射性核素监测结果均低于探测限。对  $^{239+240}\text{Pu}$ ，各点位的监测结果范围为  $0.021\sim 0.059\text{Bq/kg}$ 。

#### (8) 海洋生物

海洋生物种类包括海藻类、海带、黑鱼、鲆鱼、虾、蟹、牡蛎、花甲、海螺、海兔，共 9 种。监测项目包括 OBT、TFWT、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$  谱核素分析。各样品中 OBT 的监测结果均最大为  $7.48\text{Bq/(L}\cdot\text{燃烧水)}$ （来自老渔窝的海螺样品）；对 TFWT，其最大结果约为  $2.49\text{Bq/(L}\cdot\text{水)}$ （来自老渔窝的海螺和紫菜样品）， $^{14}\text{C}$  最大结果为  $0.28\text{Bq/(g}\cdot\text{C)}$ （来自谢屯对照点的牡蛎样品），主要来源于天然贡献。对各类生物样品中的  $^{90}\text{Sr}$  和  $^{137}\text{Cs}$ ，整体上结果均处于正常水平。

在核电厂周围环境中，所有环境  $\gamma$  辐射水平、各环境介质中的放射性核素浓度监测结果均为正常水平，整体上处于运行前本底调查结果范围内，未检测出来自核电厂排放的可能的影响。

## 二、受纳水体环境质量现状

### 1、海域海水水质环境状况

2019 年，建设单位委托国家海洋环境监测中心开展了核电厂一期工程在役改造工程邻近海域水体水质环境、水生生态与渔业资源调查，海水水质调查共布 24 个海水监测点，共监测春、秋两季，春季选在 2019 年 5 月，秋季选在 2019 年 10 月，分别安排在大潮期监测。监测点位见图 3-1。

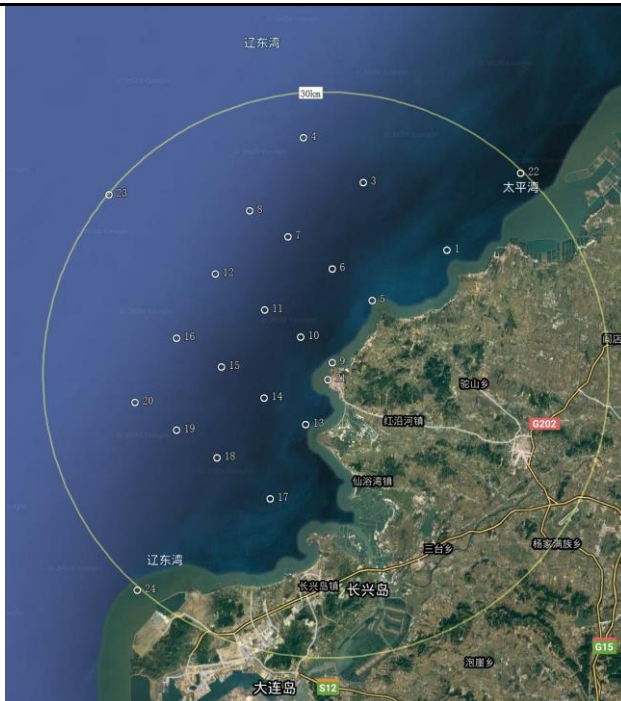


图 3-1 海域水质监测站点布置示意图

根据对受纳海域内水质现状调查结果：

1) 春季海水水质评

价结果

- 大连斑海豹保护区（第一类海水水质标准）有 17 个站位，结果显示：
  - COD：16 底水质超过第一类海水水质标准，超标率为 2.33%（满足二类水质标准）；
  - BOD<sub>5</sub>：2 表、2 底、6 表、6 中、6 底、7 中、8 表、8 中、8 底、11 中、12 表、12 中、12 底、14 表、14 中、14 底、16 表、16 底、20 中、20 底、22 表、23 表、23 中、23 底调查站位的 BOD<sub>5</sub> 超过一类海水水质标准（满足二类水质标准），超标率为 55.81%；
  - Hg：3 底、4 底、11 中、11 底、14 底站位水质超过第一类海水水质标准（全部满足第二类水质标准），超标率为 11.63%；
  - 各调查站位其他各评价因子均满足一类海水水质标准。
- 混合区、驼山外海农渔业区、红沿河口外海保留区、红沿河工业与城镇用海区共有 6 个站位，执行二类海水水质标准。评价结果显示：
  - pH：1 表、9 表、13 表水质超过二类海水水质标准，超标率为 27.27%（满足三类水质标准）；
  - COD：21 表水质超过二类海水水质标准（满足三类水质标准），超标率为 9.09%；

	<p>           ➤ 区域内其他所有调查站位其他各评价因子均满足二类海水水质标准；         </p> <p>           一 长兴岛港口航运区（第三类海水水质标准）有 1 个调查站位。评价结果显示，该站位各评价因子均满足三类海水水质标准的要求。         </p> <p>           2) 秋季海水水质评价结果         </p> <p>           一 大连斑海豹保护区（第一类海水水质标准）有 17 个站位，结果显示：         </p> <p>           ➤ COD：7 底水质超过第一类海水水质标准（满足二类水质标准），超标率为 2.27%；         </p> <p>           ➤ BOD<sub>5</sub>：全部超过第一类海水水质标准，超标率为 100%（其中 6 表、6 中、7 表、8 中、8 底、14 底、15 表、15 底、17 表、19 表和 23 表站位 BOD<sub>5</sub> 超过第二类海水水质标准，满足第三类海水水质标准；其余站位 BOD<sub>5</sub> 超过第一类海水水质标准，满足第二类海水水质标准）；         </p> <p>           ➤ 无机氮：除 4 中、6 中、7 表、8 中、8 底、11 表、18 底、22 表海水满足一类海水水质标准，其他均超过第一类海水水质标准，超标率为 81.82%（其中，14 表、16 底超过二类海水水质标准，满足三类海水水质标准）；         </p> <p>           ➤ 活性磷酸盐：全部超过一类海水水质标准，超标率为 100%（其中，6 中、8 中、11 表满足三类海水水质标准，16 底、17 底、19 中、19 底、20 底超过四类海水水质标准，其他均满足四类海水水质标准）；         </p> <p>           ➤ 其余调查站位各评价因子均满足第一类海水水质标准。         </p> <p>           一 混合区、驼山外海农渔业区、红沿河口外海保留区、红沿河工业与城镇用海区共有 6 个站位，执行二类海水水质标准。分析表明：         </p> <p>           ➤ BOD<sub>5</sub>：13 表水质超过第二类海水水质标准（满足第三类海水水质标准），超标率为 9.1%；         </p> <p>           ➤ 活性磷酸盐：除 5 底站位外满足二类海水水质标准外，其余站位的活性磷酸盐全部超过第二类海水水质标准，超标率为 90.9%。其中，1 表、13 底的活性磷酸盐超过第四类海水水质标准，其余超标站位均符合第四类海水水质标准；         </p> <p>           ➤ 区域内各调查站位其余各评价因子均满足第二类海水水质标准。         </p> <p>           一 长兴岛港口航运区（第三类海水水质标准）有 1 个调查站位。其活性磷酸盐超过第三类海水水质标准，其他各指标均满足第三类海水水质标准。         </p> <p>           分析表明，该次调查中春季海水水质相对较好，秋季调查海域部分营养盐指标现状超标情况较严重。2014 年国家海洋监测中心对海域水环境质量调查结果表明，大连斑海豹保护生态红线区所在区域水体超标率表底层均为 100%，秋季为 86%，春季和秋季超标水质要素均主要包括 pH、BOD<sub>5</sub>、无机氮、活性磷酸盐等。2006 年国家海洋局第一海洋研究所开展的核电厂海域海水水质调查结果表明，大连斑海豹保护生态红线区所在区         </p>
--	--

	<p>域海水无机氮和活性磷酸盐指标在春季、秋季和冬季均存在超标现象。因此，厂址周围海域部分营养盐超标现象由来已久。</p> <p>根据辽宁红沿河核电厂附近海域的历史调查资料，大连斑海豹保护生态红线区的BOD<sub>5</sub>、无机氮、活性磷酸盐等超标的原因可能与附近养殖有关。根据该水质和水生态调查专题报告（调查时间为2019年），厂址周边20km范围内分布养殖场614家，养殖方式为围海养殖和开放养殖，主要以养殖、繁育海参为主，养殖面积9300多公顷。其中厂址东北侧20km范围内共计116处养殖场，包括围海养殖场36处，开放式养殖80处，养殖面积达到4900多公顷；厂址东南侧20km范围内共计498处养殖场，包括围海养殖485处，开放式养殖13处，养殖面积达到4400多公顷。</p> <p>2、海水温升情况</p> <p>从2013年开始至2018年8月，建设单位委托生态环境部卫星环境应用中心对红沿河核电厂附近海域温排水卫星调查，开展共118次有效的温排水遥感监测，获得了5个时段红沿河核电厂近岸海域温度场分布及温排水温升区分布等成果。从遥感监测结果冬夏季1℃以上温升面积与功能区关系分析来看，红沿河核电厂温排水温升状况，满足厂址附近近岸海域环境功能区划有关水质温升标准要求。</p>
<p>环境保护目标</p>	<p>本项目为针对机组优化运行方案的技术改进项目，通过控制六台机组运行功率总量，采用低功率运行等方式来调整电厂机组总体运行的能量输出，不涉及土建施工工程，本项目主要是涉及运行期间放射性物质的排放，以及优化运行后温排水的余热排放，评价主要考虑核电厂运行期间放射性释放和温排水对环境的影响。</p> <p>本项目的<b>主要环境保护目标</b>为：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 辽宁红沿河核电厂厂址附近公众及陆生和海洋生物；</li> <li>— 厂址附近海域内的斑海豹保护区及其保护物种。</li> </ul> <p>厂址评价区内的人口分布、保护区及陆生及海洋生物情况简要描述如下：</p> <p><b>1、人口分布及公众</b></p> <p>截至2016年年底，厂址半径80km范围内的总人口数为2430907人，其中ESE方位人口最多，达到550336人，这主要是由于瓦房店市市区位于该扇形区域内。</p> <p>厂址半径5km范围内离厂址最近的自然村为位于厂址ENE方位1.4km处的红沿河村大衣屯，有居民362人，该范围内人口最多的自然村为ENE方位5.0km处的前大地村陡坎，有居民505人。厂址半径5km范围内没有万人以上的乡镇，厂址半径10km范围内没有超过10万人的重要居民点。</p> <p>厂址半径15km范围涉及红沿河镇、仙浴湾镇和驼山乡三个乡镇，除红沿河核电厂外，区域内无大的工业区和商业区，当地居民以农业、海洋捕捞、海上养殖为生，流动人口主要为因务工经商而流动，其中红沿河镇2017~2018年流入人口约4047人，流出人口2027人，暂住人口（发证）106人。仙浴湾镇建有大连仙浴湾旅游度假区（SSE方位11.1km），为国家级海洋公园，每年7月中下旬~8月下旬是旅游高峰期，平时接待人</p>

口数 3000~4000 人/天，周末接待人口数 7000~8000 人/天，年接待人口数约 10 万人。

## 2、海域保护区及生物概况

厂址半径 15km 范围内涉及一个海域自然保护区，即辽宁大连斑海豹国家自然保护区。该保护区 1992 年经大连市人民政府批准建立，1997 年晋升为国家级，是我国渤海有关斑海豹的三个保护区之一，主要保护对象为斑海豹及其生态环境。保护区总面积 561975ha，其中核心区面积 279690ha，缓冲区面积 209400ha，实验区面积 72885ha，其中核心区东侧距厂址最近约 5km。

辽宁红沿河核电厂 15km 范围内无陆域生态保护红线。辽宁红沿河核电厂附近主要有三个海洋生态红线区，分别为大连斑海豹保护生态红线区、驼山旅游休闲生态红线区、仙浴湾旅游休闲生态红线区。

- 大连斑海豹保护生态红线区，最近处位于厂址 NW 方位约 5km，为禁止开发区，保护目标为斑海豹，其海水水质、沉积物质量和海洋生物质量执行不低于一类标准。
- 仙浴湾旅游休闲生态红线区，最近处位于厂址 SSE 方位 11.1km，为限制开发区，保护目标滨海旅游资源，其海水水质执行不低于二类标准。
- 驼山旅游休闲生态红线区，最近处位于厂址 ENE 位 11.8km，为限制开发区，保护目标滨海旅游资源，其海水水质执行不低于二类标准。

厂址附近海域分布的保护性海洋生物主要为斑海豹和江豚。其中：斑海豹属鳍足目海豹科，是国家二级保护野生动物。斑海豹分布区主要在北太平洋的北部和西部海域及其沿岸和岛屿，在我国主要分布于渤海、黄海的广大海区。斑海豹为广食性的动物，春季捕食鲱、玉筋鱼、小黄鱼等，秋冬季节则多以梭鱼为食。斑海豹大部分的时间是在海水中度过的，仅在生殖、哺乳、休息和换毛时才爬到岸上或者冰块的边缘上；斑海豹在冬季生殖，属冰上产仔类型的冷水性海洋哺乳动物。斑海豹换毛地位于离双台子河入海口约 10km 的河西岸附近，繁殖区和换毛地均在大连斑海豹自然保护区的实验区和核心区以北，距厂址分别在 20km 和 80km 以上。江豚属鲸目鼠海豚科，是国家二级保护野生动物，从已有的观测情况来看，厂址附近海域不是江豚的集中索饵和繁殖场所。

厂址半径 15km 范围内有少量毛虾索饵场，根据辽东湾中国毛虾的洄游路线，有部分中国毛虾的洄游路线离厂址较近，约在 10km 范围以内。除此之外，厂址半径 15km 范围内无其他重要渔业品种的“三场一通道”。厂址附近海域海洋生物种类较丰富。

厂址半径 10km 陆域范围内主要的生态系统由森林生态系统、湿地生态系统、农田生态系统和城市生态系统，瓦房店市境内植被类型有低山丘陵植被、平原草甸植被、耐生植被、沿海沙生植被。其中低山丘陵植被主要集中在东部、南部及西南部沿海丘陵地带，所存天然林大部分是以柞树为主的天然次生林，厂址附近陆域动植物资源丰富。

厂址附近居民点分布见附图 3，近岸海域环境功能区划及斑海豹保护区见附图 4。

运行状态剂量约束值、事故工况剂量控制值、流出物排放控制标准及接纳水环境质量标准	<p><b>1、辐射环境影响评价标准</b></p> <p><b>(a) 运行状态下的剂量约束值</b></p> <p>按《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)的规定,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。</p> <p>红沿河核电厂厂址建设 6 台机组,生态环境部已分别以环审[2012]296 号、环审[2014]224 号和环审[2021]38 号批复了辽宁红沿河核电厂全厂六台机组的运行阶段环境影响报告书。其中,一期工程和二期工程机组运行期间向环境释放的放射性流出物对公众所造成的剂量约束值分别不超过 0.16mSv/a 和 0.08mSv/a。</p> <p><b>(b) 事故工况下的剂量控制值</b></p> <p>依据《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)针对设计基准事故的剂量控制要求:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 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。</li> <li>— 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。</li> </ul> <p><b>(c) 年排放量控制值</b></p> <p>《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011) 6.2 款的规定,核动力厂必须按每堆实施放射性流出物年排放总量的控制。对于同一堆型的多堆厂址,所有机组的年总排放量应控制在 6.2 条款规定值的 4 倍以内。</p> <p>辽宁红沿河核电厂 1~4 号机组采用 CPR1000 技术方案,5、6 号采用 ACPR1000 技术方案,生态环境部分别以环审[2014]224 号和环审[2021]38 号批复了一期工程 4 台机组和二期工程 2 台机组的排放量申请值。其后,在已获批复的 1、2 号机组 18 个月换料改造项目(环审[2015]219 号)中未对环审[2014]224 号批复的排放量限值进行调整。</p> <p>根据环审[2014]224 号和环审[2021]38 号批复要求:</p> <p>一期工程 4 台机组放射性流出物年排放量限值为:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 气载放射性流出物:惰性气体: <math>7.06 \times 10^{14} \text{Bq}</math>; 碘: <math>1.01 \times 10^{10} \text{Bq}</math>; 粒子(半衰期 <math>\geq 8\text{d}</math>): <math>6.12 \times 10^9 \text{Bq}</math>; 碳 14: <math>1.48 \times 10^{12} \text{Bq}</math>; 氦: <math>1.40 \times 10^{13} \text{Bq}</math>。</li> <li>— 液态放射性流出物: 氦: <math>1.26 \times 10^{14} \text{Bq}</math>; 碳 14: <math>2.00 \times 10^{11} \text{Bq}</math>; 其余核素: <math>8.00 \times 10^{10} \text{Bq}</math>。</li> </ul> <p>二期工程(5、6 号机组)放射性流出物年排放量限值为:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 气载放射性流出物:惰性气体: <math>5.49 \times 10^{14} \text{Bq}</math>; 碘: <math>5.92 \times 10^9 \text{Bq}</math>; 粒子(半衰期 <math>\geq 8\text{d}</math>): <math>3.06 \times 10^9 \text{Bq}</math>; 碳 14: <math>7.40 \times 10^{11} \text{Bq}</math>; 氦: <math>9.70 \times 10^{12} \text{Bq}</math>。</li> <li>— 液态放射性流出物: 氦: <math>8.73 \times 10^{13} \text{Bq}</math>; 碳 14: <math>1.00 \times 10^{11} \text{Bq}</math>; 其余核素: <math>4.0 \times 10^{10} \text{Bq}</math>。</li> </ul>
---	---

	<p>此外，辽宁红沿河核电厂为滨海厂址，遵循 GB6249-2011 第 6.8 款规定，对于滨海厂址，槽式排放出口处的放射性流出物中除氡和 C-14 外其他放射性核素浓度不应超过 1000Bq/L。如果浓度超过上述规定，营运单位在排放前必须得到审管部门的批准。</p> <p><b>2、海水水质标准</b></p> <p>根据原辽宁省环境保护厅《关于大连市调整部分近岸海域环境功能区划请示的复函》（辽环函[2014]374 号），厂址附近的“辽宁红沿河核电厂排放口混合环境功能区”水温执行混合区海水水质标准，其他指标从严执行二类海水水质标准；“辽宁红沿河核电厂三类环境功能区”水温执行三类海水水质标准，其他指标从严执行二类海水水质标准。</p> <p>厂址附近海水水质按照厂址近岸海域环境功能区划的要求执行《海水水质标准》（GB3097-1997）中的相应要求。其中海水中的放射性核素浓度控制值为：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— <math>^{60}\text{Co}</math>: 0.03Bq/L;</li> <li>— <math>^{90}\text{Sr}</math>: 4.0Bq/L;</li> <li>— <math>^{106}\text{Ru}</math>: 0.2Bq/L;</li> <li>— <math>^{134}\text{Cs}</math>: 0.6Bq/L;</li> <li>— <math>^{137}\text{Cs}</math>: 0.7Bq/L。</li> </ul>
<p>总量控制指标</p>	<p>无</p>



## 四、主要环境影响和保护措施

施工期环境保护措施	<p>本项目不新增任何系统、厂房，不涉及施工作业，不新增用地用海，不会在施工期对环境产生不利影响。</p>
运营期环境影响和保护措施	<p><b>1、运营期环境影响</b></p> <p>本项目的主要环境影响为放射性流出物对海水水质、公众和非人类物种的辐射影响，以及电厂温排水对受纳水体的温升影响。实施本工程后，一期工程4台机组和5、6号机组的放射性流出物排放量限值不改变，电厂所有机组总功率在运行期间不超过相应的反应堆能量输出要求，控制全厂6台机组总运行功率的方式可使余热排放总量得到严格控制。</p> <p><b>(一) 正常运行期间的辐射环境影响</b></p> <p>红沿河核电厂运行期间将向环境排放一定的放射性流出物。根据设计单位分析，长期低功率运行工况下一回路冷却剂源项与满功率运行一回路冷却剂源项保持不变；长期低功率运行工况下硼回收系统(TEP)所处理一回路冷却剂的主要特性和总量与功率运行期间处理情况相同。在长期低功率运行的气液态流出物源项计算假设和参数选取中，已考虑了长期低功率运行模式(TEP系统考虑最大废液产生量的慢负荷跟踪模式)，可以包络长期低功率时的TEP系统处理量。废气处理系统(TEG)处理的含氢废气主要来源于TEP系统的脱气，TEP系统最大废液产生量的慢负荷跟踪模式可包络长期低功率时含氢废气的脱气量。因此，TEG系统处理氢废气排放量与满功率运行期间TEG废气排放量相比保持不变。由于各厂房通风系统的运行、处理和计算假设也未发生变化，长期低功率运行时各厂房废气排放量的相关计算参数与满功率运行保持不变。</p> <p>考虑到反应堆主冷却剂中氚和碳-14的产生机理：</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 氚主要是燃料裂变和部分元素中子活化产生；</li><li>- 碳-14主要是氧化物燃料和慢化剂里的O-17的(n, α)反应以及三元裂变产生的。</li></ul> <p>根据核反应原理，反应堆功率越高，对应的堆内中子通量平均密度越大，进而会产生更多的氚和碳-14。因此，低功率长期运行工况下主回路冷却剂中的氚和碳-14比活度能够被满功率运行工况所包络，这样，长期低功率运行工况下液态放射性流出物中的氚和碳-14排放源项能够被满功率运行工况所包络。</p> <p>综上所述，长期低功率运行与满功率运行相比，一回路冷却剂源项不变，计算模型及计算参数不变。从包络性角度来分析，满功率运行的相关参数考虑了机组负荷跟踪模式，因此，满功率运行的源项计算结果可以包络长期低功率运行。</p>

原环境保护部以环审[2014]224号批复的一期工程4台机组放射性流出物年排放量限值如下：气载放射性流出物：惰性气体为 $7.06 \times 10^{14}$  Bq、碘为 $1.01 \times 10^{10}$  Bq、粒子为 $6.12 \times 10^9$  Bq、 $^{14}\text{C}$ 为 $1.48 \times 10^{12}$  Bq、 $^3\text{H}$ 为 $1.40 \times 10^{13}$  Bq；液态放射性流出物： $^3\text{H}$ 为 $1.26 \times 10^{14}$  Bq、 $^{14}\text{C}$ 为 $2.00 \times 10^{11}$  Bq、其余核素为 $8.00 \times 10^{10}$  Bq。该排放量限值沿用至今。

生态环境部以环审[2021]38号批复的二期工程5、6号机组放射性流出物年排放量限值如下：气载放射性流出物：惰性气体为 $5.49 \times 10^{14}$  Bq、碘为 $5.92 \times 10^9$  Bq、粒子（半衰期 $\geq 8\text{d}$ ）为 $3.06 \times 10^9$  Bq、碳14为 $7.40 \times 10^{11}$  Bq、氚为 $9.70 \times 10^{12}$  Bq；液态放射性流出物：氚为 $8.73 \times 10^{13}$  Bq、碳14为 $1.00 \times 10^{11}$  Bq、其余核素为 $4.00 \times 10^{10}$  Bq。

实施本项目后，各机组功率运行方式有所改变，但一期工程4台机组和5、6号机组的放射性排放量限值不改变，仍按上述限值执行。根据源项分析结果，满功率运行的源项计算结果可以包络长期低功率运行，核电厂可将ELPO期间的放射性流出物年排放量控制在不超过一期和二期各自的批复值要求。从保守角度，本报告表采用上述排放量限值评价红沿河核电厂六台机组造成的辐射环境影响。

《辽宁红沿河核电厂二期工程（5、6号机组）环境影响报告书（运行阶段）（C版）》（2021年4月，批复文：环审[2021]38号）采用了六台机组的排放量申请值进行辐射环境影响分析，对本工程实施后是相对保守包络的，因此，本节营运期的正常运行的环境影响分析引用该报告书进行评价。在该报告书中，厂址气象条件选取了2018年1月~2019年12月两整年的气象塔梯度观测数据以及地面站观测数据，根据厂址周围环境特征调查结果，采用一期工程4台机组和5、6号机组的放射性排放量申请值评价正常运行期间对一般公众的辐射影响。

### （1）环境介质影响

辽宁红沿河核电厂六台机组运行后，环境空气中放射性年平均浓度最大值位于SSW方位0~1km子区，核素 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ 在该子区的年平均浓度分布为 $3.90 \times 10^{-1}$  Bq/m<sup>3</sup>、 $2.37 \times 10^{-5}$  Bq/m<sup>3</sup>、 $9.36 \times 10^{-5}$  Bq/m<sup>3</sup>。

放射性液态流出物造成受纳水体中放射性浓度最大值位于排放口0~1km海域，核素 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 在该海域海水中的年平均浓度分别为20.6 Bq/L、 $1.26 \times 10^{-2}$  Bq/L。

《海水水质标准》（GB3097-1997）中规定了海水中部分放射性核素的浓度限值，其中与红沿河核电厂液态放射性流出物排放相关的有 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 五个核素，其水质指标限值分别为0.03 Bq/L、4.0 Bq/L、0.2 Bq/L、0.6 Bq/L和0.7 Bq/L。红沿河核电厂六台机组放射性液态流出物造成五个核素在排放口0~1km海域峰值浓度分别为 $4.79 \times 10^{-3}$  Bq/L、 $5.06 \times 10^{-6}$  Bq/L、 $3.38 \times 10^{-3}$  Bq/L、 $5.17 \times 10^{-2}$  Bq/L和 $5.16 \times 10^{-2}$  Bq/L，均满足《海水水质标准》（GB3097-1997）中相应的浓度限值要求。

### （2）非人类物种辐射影响

辽宁红沿河核电厂放射性流出物造成非人类物种辐射影响评价，采用欧盟ERICA项目水生和陆生生物在不同生境中的剂量学模型，运用Monte-Carlo方法计算不同体形尺寸生物体对 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 辐射的吸收比例，结合各核素的辐射能量得出各种核素对于不同生物体辐射的剂量贡献。

根据厂址周边海洋生态调查结果，海洋参考生物选取深海鱼类、甲壳类、藻类、软体类、浅水鱼、浮游植物、浮游动物进行评价。另外，由于厂址附近有斑海豹保护区，因此评价的海洋参考生物增加哺乳动物（斑海豹）。

根据厂址周围的陆域生态，陆域代表性生物选取两栖动物、环节动物、腐食节肢动物、鸟类、飞行类昆虫、草本植物、苔藓植物、大型哺乳动物、小型掘洞哺乳动物、腹足纲软体动物、爬行动物、灌木植物、乔木 13 类进行评价。

#### 1) 水生生物辐射影响

辽宁红沿河核电厂全厂六台机组正常运行状态情况下，厂址周围海域生物受到的附加剂量率值最大的为哺乳动物（斑海豹），为  $2.11 \mu\text{Gy/h}$ ，各类海洋生物受到的附加剂量率值均小于 ERICA 程序推荐的  $10\mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，对核电厂周围海域中的海洋生物总体上影响很小。

#### 2) 陆生生物辐射影响

辽宁红沿河核电厂全厂六台机组正常运行状态情况下，厂址周围陆域生物受到的附加剂量率值最大的为苔藓植物，为  $1.95\text{E-}02 \mu\text{Gy/h}$ ，各类陆域生物受到的附加剂量率值均远小于 ERICA 程序推荐的  $10\mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，对核电厂周围陆域中的生物总体上影响很小。

因此，辽宁红沿河核电厂六台机组运行状态下，就放射性流出物排放造成的环境辐射影响而言，对非人类生物的辐射影响有限，是可以接受的。

### (3) 公众辐射影响

气载放射性流出物对厂址评价区内公众造成的辐射影响考虑以下照射途径：

- 空气浸没外照射；
- 地面沉积物外照射；
- 吸入空气内照射；
- 陆生动植物食品食入内照射。

液态放射性流出物对厂址评价区内公众造成的辐射影响考虑以下照射途径：

- 海上活动外照射；
- 海水浸没外照射；
- 岸边沉积物外照射；
- 食入海产品内照射。

辽宁红沿河核电厂六台机组运行状态下，放射性流出物排放对于成人组公众个人造成最大有效剂量的居民点位于厂址 ENE 方位 1~2km 子区，六台机组对该子区成人组公众个人造成的年有效剂量为  $2.50 \times 10^{-6}\text{Sv}$ ，其中由气态和液态途径造成的年有效剂量分别为  $2.34 \times 10^{-6}\text{Sv}$  和  $1.57 \times 10^{-7}\text{Sv}$ 。

对于青少年组公众个人造成最大有效剂量的居民点位于厂址 ENE 方位 1~2km 子区，六台机组对该子区青少年组公众个人造成的年有效剂量为  $2.78 \times 10^{-6}\text{Sv}$ ，其中由气态和液态途径造成的年有效剂量分别为  $2.49 \times 10^{-6}\text{Sv}$  和  $2.93 \times 10^{-7}\text{Sv}$ 。

对儿童组公众个人造成辐射剂量最大子区为位于厂址 ENE 方位 1~2km 子区，所造成的年有效剂量为  $2.60 \times 10^{-6}\text{Sv}$ 。

对婴儿组公众个人造成辐射剂量最大子区为位于厂址 ENE 方位 1~2km 子区,所造成的年有效剂量为  $1.90 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。

六台机组放射性流出物排放对厂址半径 80km 评价区内公众群体造成的集体年有效剂量为  $6.45 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ , 其中气态途径和液态途径分别为  $5.56 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ 、 $8.93 \times 10^{-3} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ 。

辽宁红沿河核电厂全厂六台机组运行状态下,就一般公众的受照剂量而言,厂址 ENE 方位 1~2km 子区内的青少年组公众个人受放射性流出物造成的年有效剂量最大,为该子区的最大受照年龄组,受到六台机组的年有效剂量为  $2.78 \times 10^{-6} \text{Sv}$ , 占 GB6249-2011 中年剂量约束值 ( $0.25 \text{mSv/a}$ ) 的 1.11%, 满足相应的法规要求。

通过公众辐射剂量“三关键”分析,辽宁红沿河核电厂六台机组运行状态下,在制定环境辐射监测方案时,需要关注的关键居民组为位于 ENE 方位 1.4km 大衣屯老渔窝渔民人群,需要关注的照射途径包括:食入海产品内照射途径、食入陆生食品内照射途径和岸边沉积外照射途径,需要关注的放射性核素包括: $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 $^{14}\text{C}$  和  $^{60}\text{Co}$  等。

## 2. 事故影响及环境风险分析

实施本工程后,针对红沿河核电厂机组长期低功率运行方案,由于事故源项分析相关的参数,如堆芯积存量、燃料元件包壳破损和熔化份额、事故过程发生 DNB 的燃料棒份额、事故后向环境的汽水排放量以及一、二回路裂变产物放射性比活度等数据均未发生改变或能够被 FSAR (最终安全分析报告) 中的数据所包络,因此,事故源项无需重新分析,其结果均能被 FSAR 数据包络。因此,本节引用各机组原有各设计基准事故的分析,论述事故工况下的环境影响评价。

GB6249-2011 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  $5 \text{mSv}$  以下,甲状腺当量剂量应控制在  $50 \text{mSv}$  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  $0.1 \text{Sv}$  以下,甲状腺当量剂量应控制在  $1 \text{Sv}$  以下。

### (1) 红沿河核电厂 1、2 号机组

根据《辽宁红沿河核电厂 1、2 号机组 18 个月换料改造项目辐射环境影响评价专题报告(报批版)》(2015 年 10 月),根据 GB6249-2011 的相关要求,稀有事故和极限事故用于核电厂事故工况下的环境影响评价。稀有事故和极限事故可能有较大放射性物质释放的九类设计基准事故进行事故评价:

- 大破口失水事故 (LOCA);
- 控制棒弹出事故 (CREA);
- 燃料操作事故 (FHA);
- 蒸汽发生器传热管破裂事故 (SGTR);
- 蒸汽发生器传热管破裂并安全阀卡开事故 (SVSO);
- 安全壳外主蒸汽管道破裂事故 (MSLB);
- 容积控制箱破损事故 (RCVA);

- 废气衰变罐破损事故 (TEGA);
- 反应堆冷却剂泵轴卡住事故 (LRA)。

#### 1) 大破口失水事故 (LOCA)

大破口失水事故属于极限事故。

- 非居住区边界上 0-2h 公众的个人有效剂量最大值为  $2.20\text{E-}03\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $3.47\text{E-}02\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 2.20% 和 3.47%;
- 规划限制区外边界上事故期间公众的个人有效剂量最大值为  $9.89\text{E-}03\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $1.86\text{E-}02\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.99% 和 1.86%。

#### 2) 弹棒事故 (CREA)

弹棒事故属于极限事故。

- 非居住区边界上 0-2h 公众的个人有效剂量最大值为  $4.68\text{E-}03\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $8.16\text{E-}02\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 4.68% 和 8.16%;
- 规划限制区外边界上事故期间公众的个人有效剂量最大值为  $1.06\text{E-}03\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $1.94\text{E-}02\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 1.06% 和 1.94%。

#### 3) 主蒸汽管道破裂事故 (MSLB)

主蒸汽管道破裂事故属于极限事故。

- 非居住区边界上 0-2h 公众的个人有效剂量最大值为  $9.89\text{E-}05\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $1.91\text{E-}03\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.10% 和 0.19%;
- 规划限制区外边界上事故期间公众的个人有效剂量最大值为  $9.12\text{E-}06\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $1.76\text{E-}04\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.01% 和 0.02%。

#### 4) 蒸汽发生器传热管破裂事故 (SGTR)

蒸汽发生器传热管破裂事故属于稀有事故。

- 非居住区边界上 0-2h 公众的个人有效剂量最大值为  $7.85\text{E-}04\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $1.42\text{E-}02\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 15.70% 和 28.40%;
- 规划限制区外边界上事故期间公众的个人有效剂量最大值为  $6.86\text{E-}05\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $1.24\text{E-}03\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 1.37% 和 2.48%。

#### 5) 蒸汽发生器传热管破裂事故并安全阀卡开事故 (SVSO)

蒸汽发生器传热管破裂事故并安全阀卡开事故属于极限事故。

- 非居住区边界上 0-2h 公众的个人有效剂量最大值为  $8.83\text{E-}03\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $1.60\text{E-}01\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 8.83% 和 16.00%;
- 规划限制区外边界上事故期间公众的个人有效剂量最大值为  $1.02\text{E-}03\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $1.84\text{E-}02\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 1.02% 和 1.84%。

#### 6) 废液系统破损事故 (RCVA)

废液系统破损事故属于稀有事故。

- 非居住区边界公众上 0-2h 的个人有效剂量最大值为  $4.16\text{E-}04\text{Sv}$ , 甲状腺当量剂量最大值为  $4.69\text{E-}04\text{Sv}$ , 分别占 GB6249-2011 相应限值的 8.32% 和 0.94%;

- 规划限制区外边界上事故期间公众的个人有效剂量最大值为  $3.63\text{E-}05\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $4.09\text{E-}05\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.73% 和 0.08%。

#### 7) 废气系统破损事故 (TEGA)

废气系统破损事故属于稀有事故。

- 非居住区边界上 0-2h 公众的个人有效剂量最大值为  $2.99\text{E-}04\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $1.68\text{E-}05\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 5.98% 和 0.03%；
- 规划限制区外边界上事故期间公众的个人有效剂量最大值为  $2.61\text{E-}05\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $1.47\text{E-}06\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.52% 和 0.01%。

#### 8) 燃料操作事故 (FHA)

燃料操作事故属于极限事故。

- 非居住区边界上 0-2h 公众的个人有效剂量最大值为  $2.02\text{E-}04\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $4.56\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.20% 和 0.46%；
- 规划限制区外边界上事故期间公众的个人有效剂量最大值为  $2.11\text{E-}05\text{Sv}$ ，甲状腺剂量最大值为  $4.34\text{E-}05\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.02% 和 0.01%。

#### 9) 反应堆冷却剂主泵转子卡死事故 (LRA)

反应堆冷却剂主泵转子卡死属于极限事故。

- 非居住区边界上 0-2h 公众的个人有效剂量最大值为  $1.21\text{E-}03\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $3.22\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 1.21% 和 0.32%；
- 规划限制区外边界上事故期间公众的个人有效剂量最大值为  $4.75\text{E-}04\text{Sv}$ ，甲状腺剂量最大值为  $3.91\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.46% 和 0.39%。

由上述分析可知，在极限事故中，蒸汽发生器传热管断裂并安全阀卡开事故 (SVSO) 对非居住区边界上公众所造成的有效剂量和甲状腺当量剂量最大，弹棒事故 (CREA) 对规划限制区边界上公众所造成的有效剂量和甲状腺当量剂量最大。在稀有事故中，蒸汽发生器传热管破裂事故对非居住区边界、规划限制区边界上公众所造成的有效剂量和甲状腺当量剂量均最大。这些事故的放射性后果都满足国家标准 GB6249-2011 的相关要求。从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，辽宁红沿河核电厂 1、2 号机组专设安全设施的设计性能仍然可靠，厂址周围各类边界的设置合理，电厂设计基准事故导致的环境放射性后果满足 GB6249-2011 的相应要求。

### (2) 红沿河核电厂 3、4 号机组

根据《辽宁红沿河核电厂三、四号机组环境影响报告书（运行阶段）（报批版）》（2014 年 6 月），红沿河核电厂 3、4 号机组稀有事故和极限事故按下述八类设计基准事故进行事故评价：

- 大破口失水事故 (LOCA)；
- 控制棒弹出事故 (CREA)；
- 燃料操作事故 (FUHA)；
- 一根蒸汽发生器传热管破裂同时安全阀卡开事故 (SVSO)；
- 安全壳外主蒸汽管道断裂事故 (MSLB)；

- 蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）；
- 容积控制箱破损事故（RCVA）；
- 废气衰变罐破损事故（TEGA）。

对于上述所考虑的八类设计基准事故工况下：

- 对于极限事故，弹棒事故（CREA）对非居住区边界上公众造成的有效剂量和甲状腺剂量均最大，分别为  $5.23 \times 10^{-3} \text{Sv}$  和  $9.12 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 标准相应限值的 5.23% 和 9.12%；
- 对于极限事故，弹棒事故（CREA）对规划限制区外边界上公众造成的有效剂量和甲状腺当量剂量均最大，分别为  $1.22 \times 10^{-3} \text{Sv}$  和  $2.21 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ，占 GB6249-2011 标准相应限值分别为 1.22% 和 2.21%。
- 对于稀有事故，蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）对非居住区边界上公众造成的有效剂量和甲状腺当量剂量均最大，分别为  $1.36 \times 10^{-3} \text{Sv}$  和  $2.60 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ，占 GB6249-2011 标准相应限值分别为 27.20% 和 52.00%；
- 对于稀有事故，蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）对规划限制区外边界上公众造成的有效剂量和甲状腺当量剂量均最大，为  $1.14 \times 10^{-4} \text{Sv}$  和  $2.16 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ，占 GB6249-2011 标准相应限值分别为 2.28% 和 4.32%。

从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，辽宁红沿河核电厂三、四号机组的专设安全设施的设计性能可靠，厂址周围各类边界的设置是合理的，电厂设计基准事故导致的环境放射性后果满足 GB6249-2011 的相应要求。

### （3）红沿河核电厂 5、6 号机组

根据《辽宁红沿河核电厂二期工程（5、6 号机组）环境影响报告书（运行阶段）（C 版）》（2021 年 4 月），红沿河核电厂 5、6 号机组针对稀有事故、极限事故两类工况可能有较大放射性物质释放的以下设计基准事故进行事故评价。

- 大破口失水事故（LOCA）；
- 控制棒弹出事故（CREA）；
- 蒸汽系统管道破裂事故（MSLB）；
- 蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）；
- 一根蒸汽发生器传热管破裂并安全阀卡开事故（SVSO）；
- 容积控制箱破损事故（RCVA）；
- 废气衰变罐破损事故（TEGA）；
- 燃料操作事故（FHA）；
- 卡轴事故（LRA）。

GB6249-2011 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。

1) 大破口失水事故 (LOCA)

大破口失水事故属于极限事故。非居住区边界上 0-2h 公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $5.17\text{E-}03\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $5.45\text{E-}02\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 5.17% 和 5.45%；规划限制区外边界上事故期间公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $2.28\text{E-}03\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $2.56\text{E-}02\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 2.28% 和 2.56%。

2) 弹棒事故 (CREA)

弹棒事故属于极限事故。非居住区边界上 0-2h 公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $1.07\text{E-}02\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $9.16\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 10.7% 和 0.92%；规划限制区外边界上事故期间公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $2.09\text{E-}03\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $2.43\text{E-}02\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 2.09% 和 2.43%。

3) 主蒸汽管道破裂事故 (MSLB)

主蒸汽管道破裂事故属于极限事故。非居住区边界上 0-2h 公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $9.76\text{E-}05\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $1.25\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.10% 和 0.13%；规划限制区外边界上事故期间公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $8.66\text{E-}06\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $1.10\text{E-}04\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.01% 和 0.01%。

4) 燃料操作事故 (FHA)

燃料操作事故属于极限事故。非居住区边界上 0-2h 公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $2.77\text{E-}04\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $8.29\text{E-}04\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.28% 和 0.08%；规划限制区外边界上事故期间公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $2.66\text{E-}05\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $7.43\text{E-}05\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.03% 和 0.01%。

5) 卡轴事故 (LRA)

卡轴事故属于极限事故。非居住区边界上 0-2h 公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $3.26\text{E-}03\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $3.21\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 3.26% 和 0.32%；规划限制区外边界上事故期间公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $1.13\text{E-}03\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $5.76\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 1.13% 和 0.58%。

6) 蒸汽发生器传热管破裂事故并安全阀卡开事故 (SVSO)

蒸汽发生器传热管破裂事故并安全阀卡开事故属于极限事故。非居住区边界上 0-2h 公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $1.20\text{E-}02\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $1.32\text{E-}01\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 12.0% 和 13.20%；规划限制区外边界上事故期间公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $1.54\text{E-}03\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $1.73\text{E-}02\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 1.54% 和 1.73%。

7) 废气衰变罐破损事故 (TEGA)

废气衰变罐破损事故属于稀有事故。非居住区边界上 0-2h 公众 (成人) 的个人有效剂量最大值为  $6.02\text{E-}04\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $2.46\text{E-}05\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值



的 12.04% 和 0.05%；规划限制区外边界上事故期间公众（成人）的个人有效剂量最大值为  $4.85\text{E-}05\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $1.96\text{E-}06\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 0.97% 和 0.01%。

#### 8) 化容控制箱破损事故（RCVA）

化容控制箱破损事故属于稀有事故。非居住区边界上 0-2h 公众（成人）的个人有效剂量最大值为  $7.49\text{E-}04\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $6.79\text{E-}04\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 14.98% 和 1.36%；规划限制区外边界上事故期间公众（成人）的个人有效剂量最大值为  $6.04\text{E-}05\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $5.09\text{E-}05\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 1.21% 和 0.10%。

#### 9) 蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）

蒸汽发生器传热管破裂事故属于稀有事故。非居住区边界上 0-2h 公众（成人）的个人有效剂量最大值为  $2.70\text{E-}03\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $3.94\text{E-}02\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 54.0% 和 78.8%；规划限制区外边界上事故期间公众（成人）的个人有效剂量最大值为  $2.19\text{E-}04\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $3.20\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占 GB6249-2011 相应限值的 4.38% 和 6.40%。

由上述分析可知，辽宁红沿河核电厂二期工程（5、6 号机组）设计基准事故导致的环境放射性后果满足 GB6249-2011 的相应要求，厂址周围非居住区、规划限制区边界的设置合理。

### （二）温排水温升影响

#### （1）温排水对水体的物理影响

为分析电厂机组运行方式优化后的温排水影响，建设单位委托中国水科院开展了海域温排水数值模拟研究。机组不同不同功率运行平台下的余热排放量见表 2-1，不同热负荷及电功率情况见表 2-9。

厂址海区属不正规半日潮，潮流运动形式以往复流为主，涨、落潮主流向分别为东北向和西南向，厂址附近海域水弥散条件好。根据红沿河核电厂开展的 2014 年全潮水文观测结果，夏季观测期间，大潮符合潮差累积频率的要求，中潮期虽然日最大潮差偏高但基本符合潮差累积频率要求，小潮期间受风暴潮影响略为显著而未达到理想的日最大潮差累积频率。冬季观测期间，观测海区受风暴潮影响较为显著，各潮次的平均潮差和最大潮差均满足大潮最大、中潮次之、小潮最小的特征，但从潮位过程曲线图上并不能很直观地看出大、中、小潮潮位分布的典型规律。实际观测期间，大潮符合潮差累积频率的要求；中潮期实测日最大潮差符合，去掉增减水后的日最大潮差略低，小潮期在去掉增减水后的日最大差符合累计频率要求。

本次大、中、小潮观测日期是利用长兴岛海洋站潮位预报值来选择的，观测期间是观测期间具备可操作性、对应大、中、小潮的最具代表性和典型性的时段。根据平衡潮理论，朔、望为大潮，上、下弦为小潮。经推算，该海域潮龄约为 2 天 8 小时。从农历日期看，加上当地潮龄，2014 年夏季和冬季观测日期基本是符合典型潮日期的。值得指出的是，2014 年观测均开展了夏季和冬季的大潮、中潮和小潮的全潮水文观测，其中夏季观测时，是按相邻的小潮、中潮、大潮顺序顺次观测的，冬季观测是按照小潮、中潮和大潮的顺序观测的。总体说来，从潮

位分布的角度看，本次观测反映了海域的潮流特征，具有一定代表性。根据 2014 年期间的海域水文条件，对典型潮条件时不同工况条件下的排水温升进行模拟预测。以下根据相关模拟成果进行分析和评价。

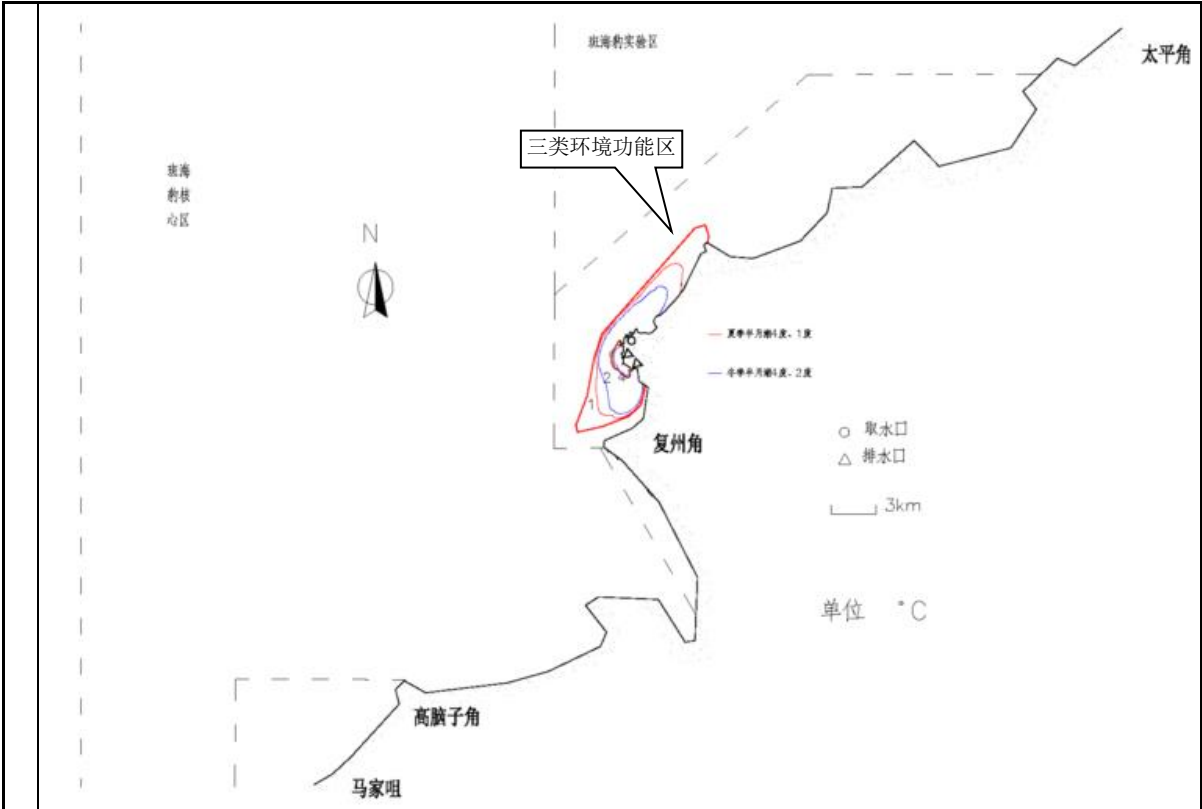
### a、运行期温排水温升影响

针对采用优化运行方案后运行期的温排水温升影响，根据对 3+2 一期降功率、3+2 二期降功率、4+2 降功率三种不同工况条件（见表 2-9）进行了模拟分析。根据数模计算结果分析，各机组运行方案的夏季 1℃、冬季 2℃温升均不会进入当前区划的二类海域；夏、冬季 4℃温升均在混合区范围内。

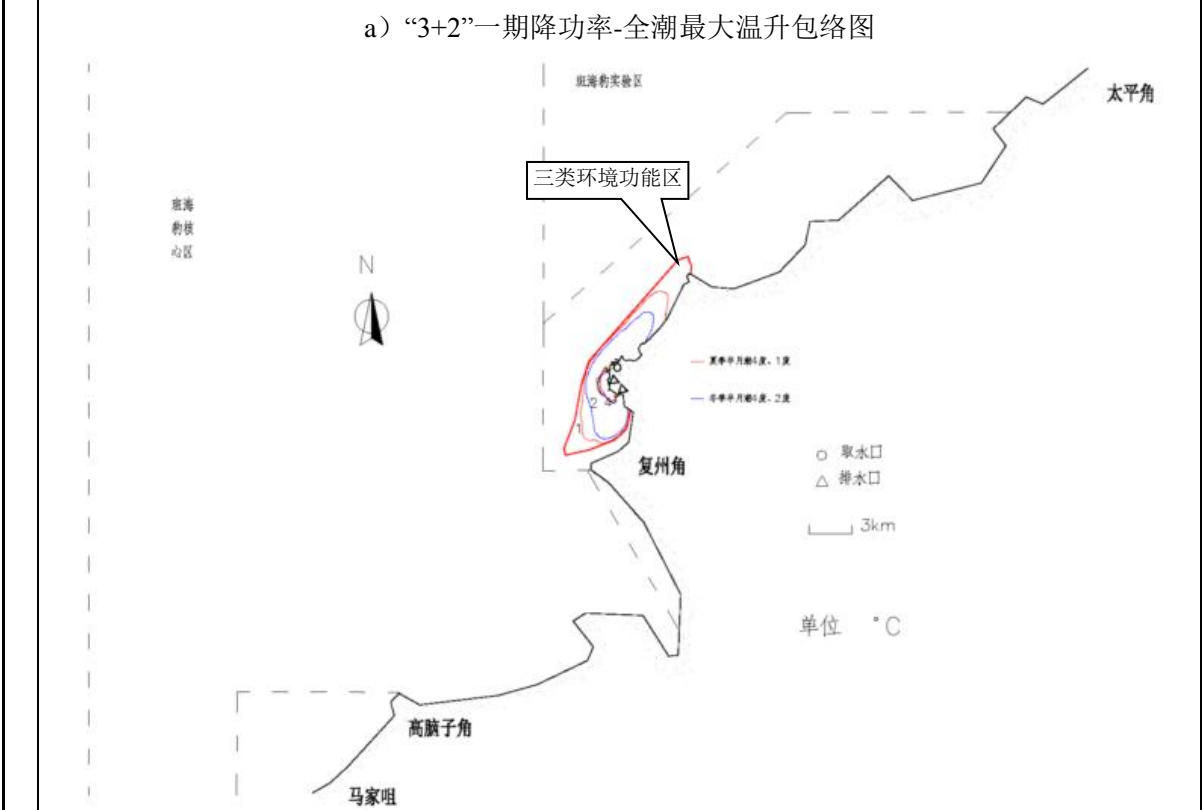
表 3-1 给出了运行期温排水温升影响包络面积，图 3-1 给出了运行期温升影响包络面积及与近岸海域环境功能区划的位置关系。图 3-2 给出了核电厂机组运行优化后的运行期温排水温升与海洋生态红线关系示意图，可以看出核电厂夏季 1℃、冬季 2℃温升包络线未进入辽宁省渤海海洋生态红线划定范围内。

**表 3-1 运行期温排水温升包络面积**

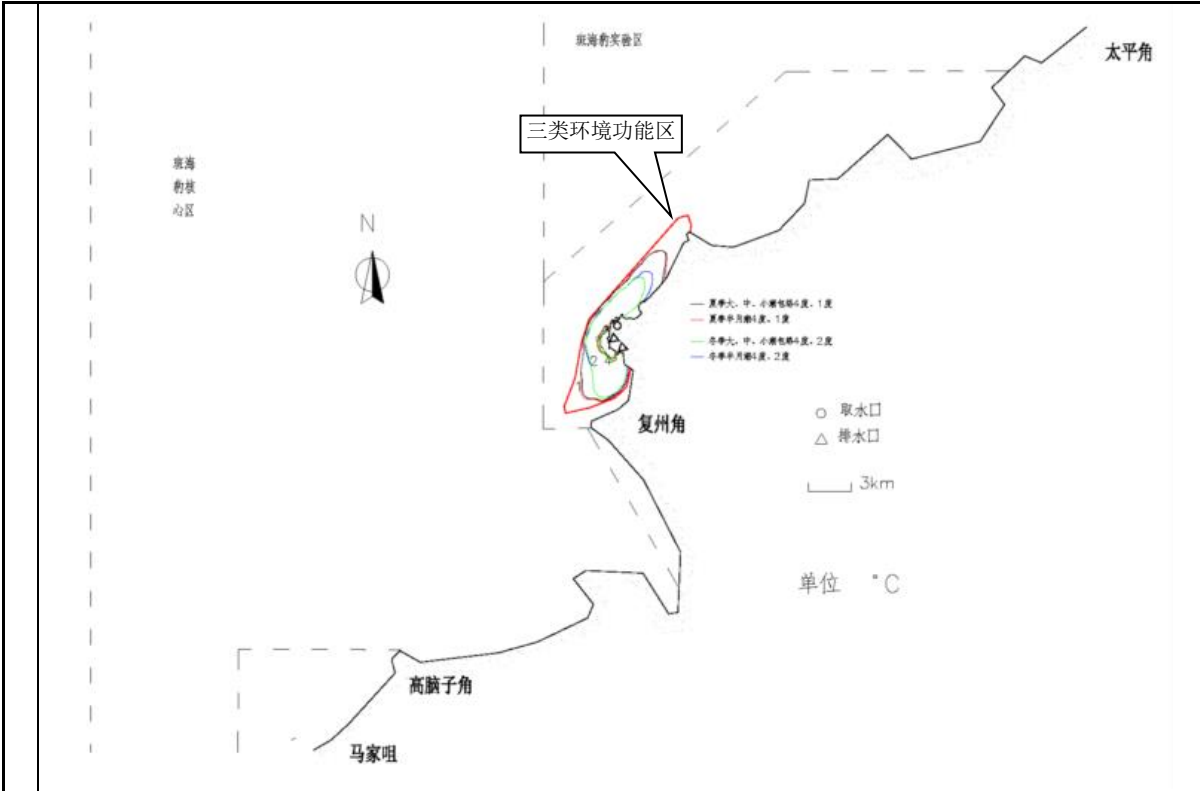
序号	模拟方案	运行工况	季节潮型	类别	温升包络面积 (km <sup>2</sup> )				
					4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃
1	优化方案 1	3+2 一期降功率 热负荷：272%+200% 电功率：270%+2×100%	夏季 半月潮	全潮平均	0.17	0.47	2.07	5.61	53.89
				全潮最大	1.26	3.00	10.5	24.7	127
			冬季 半月潮	全潮平均	0.18	0.68	3.45	12.3	115
				全潮最大	1.55	4.35	16.6	50.8	239
2	优化方案 2a	3+2 二期降功率 热负荷：300%+176% 电功率：3×100%+175%	夏季 半月潮	全潮平均	0.15	0.50	2.19	5.97	56.7
				全潮最大	1.28	3.13	10.9	25.9	133
			冬季 半月潮	全潮平均	0.19	0.72	3.69	13.9	120
				全潮最大	1.59	4.55	17.8	53.8	250
3	优化方案 2b	4+2 降功率 热负荷：304%+176% 电功率：4×75%+175%	夏季 大潮	全潮平均	0.12	0.35	1.51	4.40	50.9
				全潮最大	0.75	2.08	7.42	17.3	101
			夏季 中潮	全潮平均	0.15	0.57	2.78	7.81	68.3
				全潮最大	1.08	2.82	10.2	23.6	123
			夏季 小潮	全潮平均	0.18	0.67	3.09	8.54	63.6
				全潮最大	1.05	2.85	10.4	24.0	101
			夏季 半月潮	全潮平均	0.14	0.47	2.17	6.02	57.5
				全潮最大	1.15	3.07	11.0	26.2	133
			冬季 大潮	全潮平均	0.13	0.44	2.53	9.20	100
				全潮最大	0.83	2.52	10.2	25.7	185
			冬季 中潮	全潮平均	0.17	0.63	3.02	8.68	102
				全潮最大	1.13	2.92	10.5	24.4	156
冬季 小潮	全潮平均	0.31	1.24	6.66	21.3	119			
	全潮最大	1.43	3.92	15.0	42.2	158			
冬季 半月潮	全潮平均	0.17	0.69	3.68	14.0	121			
	全潮最大	1.48	4.48	17.8	53.9	251			



a) “3+2”一期降功率-全潮最大温升包络图



b) “3+2”二期降功率-全潮最大温升包络图



c) “4+2”降功率-全潮最大温升包络图

图 3-1 运行期温排水温升包络面积图

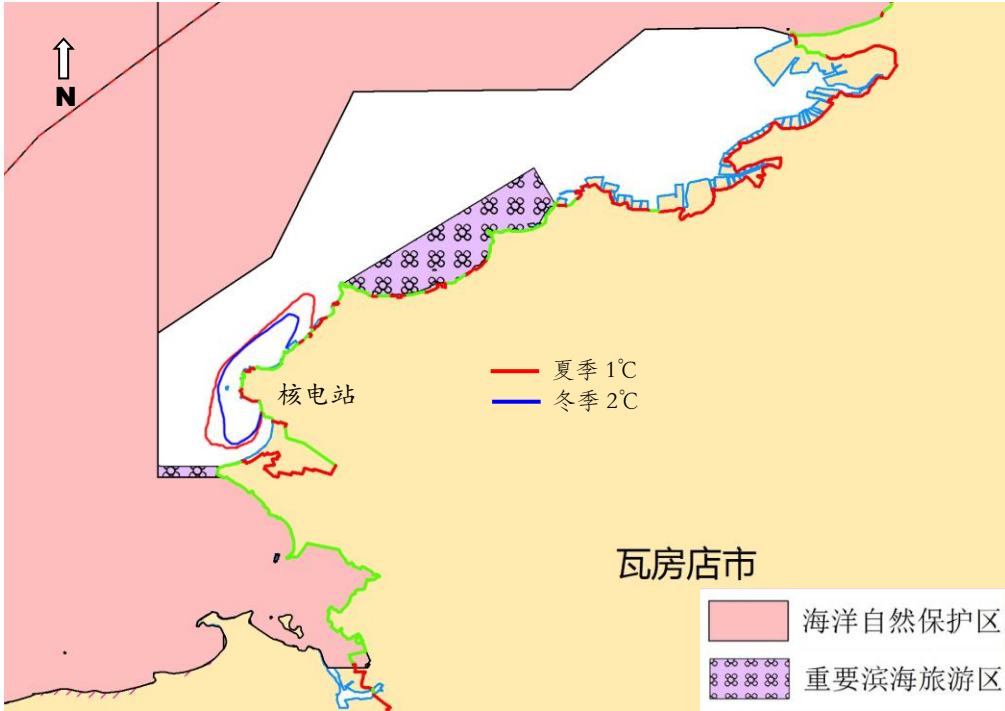


图 3-2 运行期温排水温升影响范围与海洋生态红线位置关系图

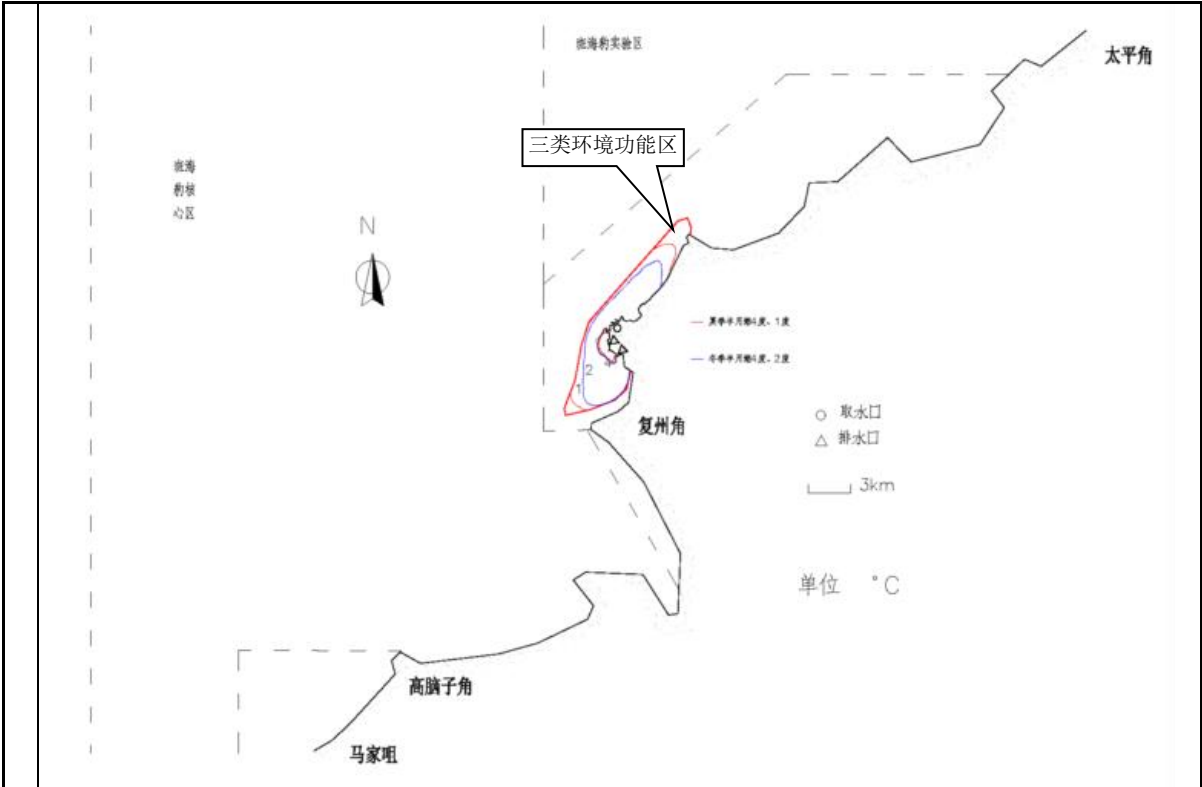
### b、调试期温排水温升影响

考虑到6号机组装料投运后，需要开展调试以及不同功率条件下的运行，模拟同时考虑了采用优化运行方案后调试期的温排水温升影响。根据对6号机5%堆功率平台、15%堆功率平台、30%堆功率平台、50%堆功率平台共四种不同工况条件（见表5-11）进行了模拟分析。根据数模计算结果分析，各机组运行方案的夏季1℃、冬季2℃温升均不会进入当前区划的二类海域；夏、冬季4℃温升均在混合区范围内。

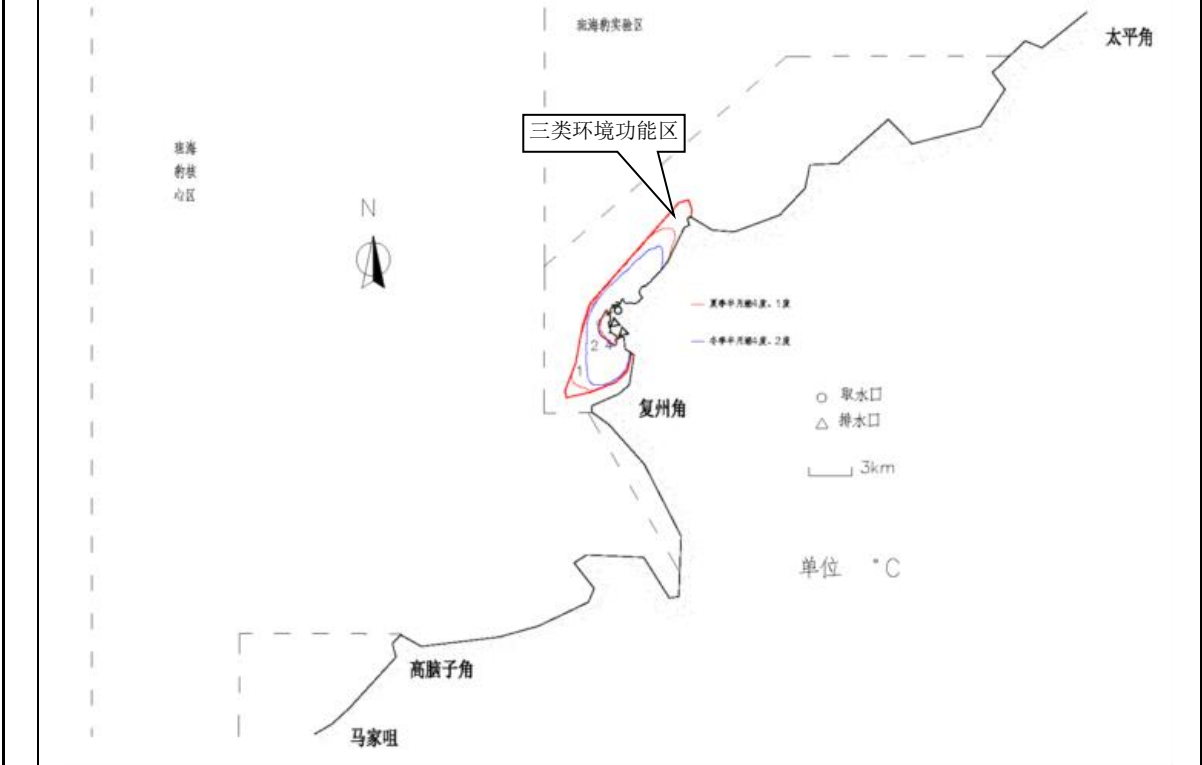
表3-2给出了调试期温排水温升影响包络面积，图3-3给出了调试期温升影响包络面积及与近岸海域环境功能区划的位置关系。图3-4给出了核电厂机组运行优化后的运行期温排水温升与海洋生态红线关系示意图，可以看出核电厂夏季1℃、冬季2℃温升包络线未进入辽宁省渤海海洋生态红线划定范围内。

**表 3-2 调试期温排水温升包络面积**

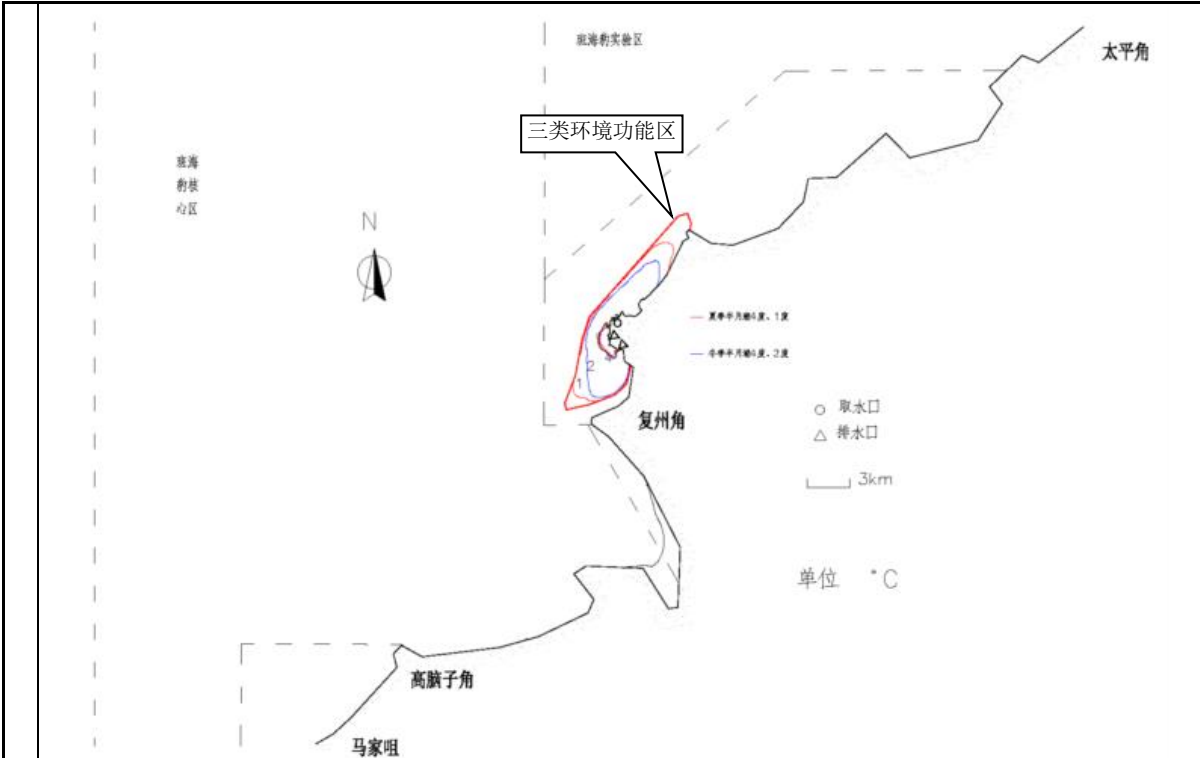
序号	6号机运行工况	季节潮型	类别	温升最大包络面积 (km <sup>2</sup> )				
				4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃
1	5%堆功率平台 (调试期方案1)	夏季半月潮	全潮平均	0.15	0.54	2.87	8.19	71.1
			全潮最大	1.25	3.62	14.1	33.4	159
		冬季半月潮	全潮平均	0.19	0.86	5.12	17.8	142
			全潮最大	1.71	5.28	23.3	61.3	284
2	15%堆功率平台 (调试期方案2)	夏季半月潮	全潮平均	0.15	0.52	2.72	7.57	67.7
			全潮最大	1.11	3.5	13.3	31.3	154
		冬季半月潮	全潮平均	0.18	0.83	4.72	16.6	135
			全潮最大	1.6	4.97	21.8	57.6	274
3	30%堆功率平台 (调试期方案3)	夏季半月潮	全潮平均	0.13	0.52	2.59	7.31	66
			全潮最大	1.09	3.41	12.9	30.6	151
		冬季半月潮	全潮平均	0.17	0.81	4.54	15.8	131
			全潮最大	1.55	4.82	21.3	56.8	269
4	50%堆功率平台 (调试期方案4)	夏季半月潮	全潮平均	0.15	0.53	2.57	7.29	65.5
			全潮最大	1.11	3.43	12.9	30.5	150
		冬季半月潮	全潮平均	0.19	0.82	4.49	15.6	130
			全潮最大	1.6	4.82	20.9	56.5	267



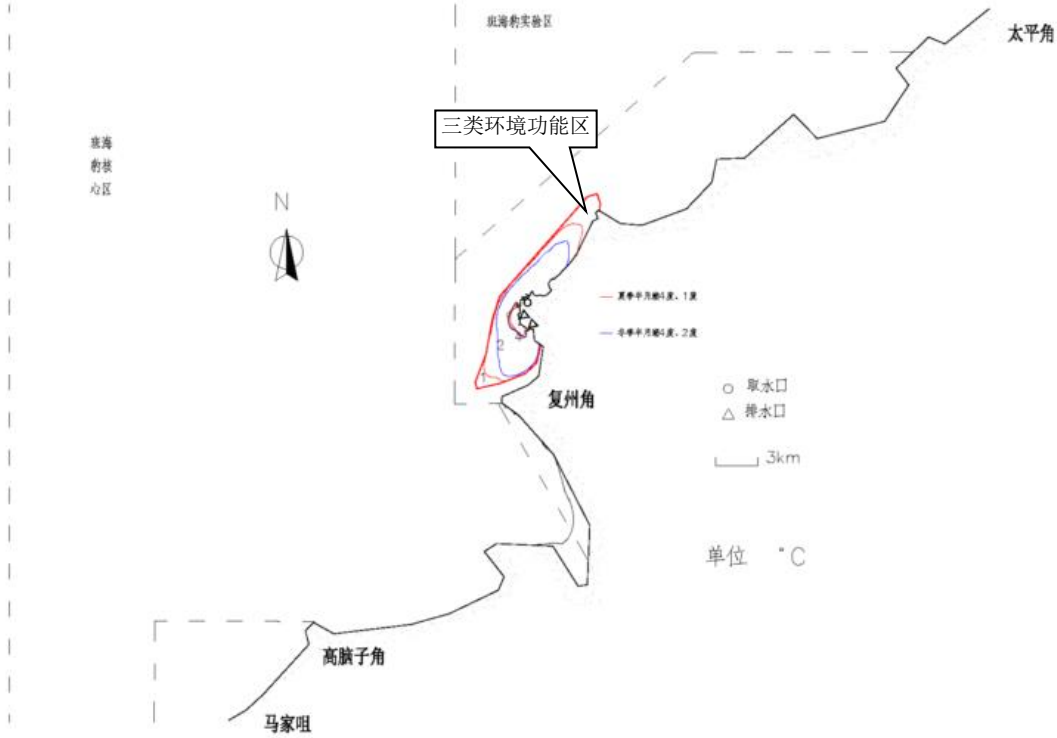
a) 6号机组 5%堆功率（调试期方案1）最大温升包络图



b) 6号机组 15%堆功率（调试期方案2）最大温升包络图



c) 6号机组 30%堆功率（调试期方案3）最大温升包络图



d) 6号机组 50%堆功率（调试期方案4）最大温升包络图

图 3-3 调试期温排水温升包络面积图

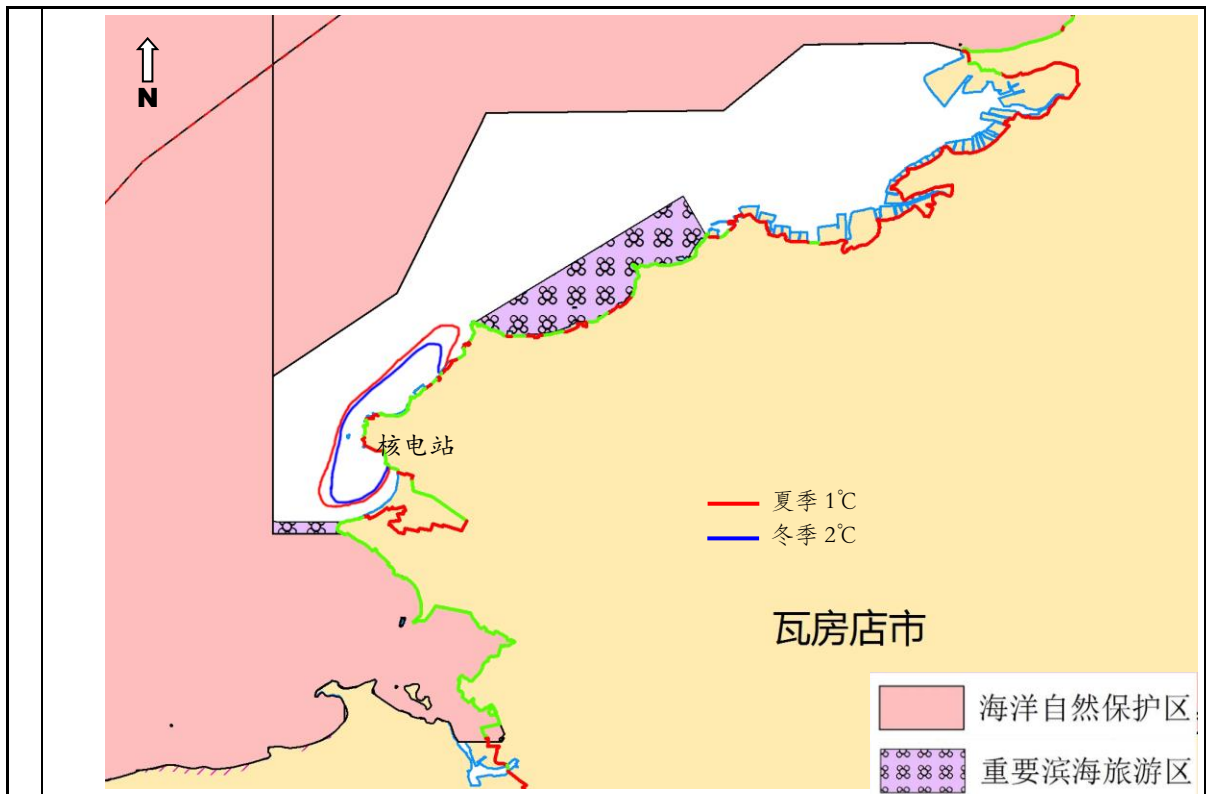


图 3-4 调试期温排水温升影响范围与海洋生态红线位置关系图

## (2) 温排水对水体生物的影响

根据对电厂采用机组运行方式优化后的运行期和调试期的温排水温升模拟预测结果可知，电厂温排水温升造成的夏季 1°C 温升包络线距离斑海豹实验区距离较远，对受纳海域造成的三类水质不会进入斑海豹保护区内。根据《辽宁红沿河核电厂二期工程（5、6 号机组）环境影响报告书（运行阶段）（C 版）》（2021 年 4 月，批复文：环审[2021]38 号）对厂址附近海域内斑海豹及其保护区的环境影响评价结果，考虑到本项目实施后，对全厂采用低功率运行方式后，通过控制 6 台机组运行功率来控制全厂余热排放总量，因此温排水不会对斑海豹生存造成不利影响，温排水造成的水温升高不会对斑海豹在该海域栖息造成不利影响。此外，厂址附近海域不是江豚的集中索饵和繁殖场所，因此核电厂温排水不会对江豚活动产生影响。

结合厂址附近海域渔业资源调查结果以及相关海洋生物适温性研究结果，厂址附近海域没有海洋生物的产卵场、洄游路线等，大多数鱼类都可回避较高温升区域，在本工程实施期间，温排水对厂址附近海域造成的温升影响不会超出近岸海域环境功能区划中三类水质功能区的范围，机组优化运行后电厂将严格控制全厂余热排放总量，因此，核电厂温排水引起的温升预计不会对厂址附近海洋生物构成明显的不利影响，不会对整体渔业资源不会产生明显影响。从总体上看，预计核电厂温排水对海洋生物的影响将是有限的。

本项目实施后，与已批复的红沿河核电厂二期工程（5、6 号机组）运行阶段环境影响报告书相比，不会增加对厂址周围公众和非人类物种的辐射影响，温排水温升影响满足近岸海域



环境功能区划水质管理要求，评价表明该影响在可接受的范围内。

## 2、环境保护措施及环境监测

### (一) 环境保护措施

本项目产生的放射性废液、废气和固体废物通过原有的三废处理系统处理并排放，运行期间将严格控制反应堆运行产生的放射性流出物并符合环境保护相关要求，严格控制运行产生的余热并通过排放口排入受纳海域，环境保护措施详见表 3-3。

表 3-3 本项目拟采取的防治措施及预期治理效果

种类	排放源	防治措施	预期治理效果
气载放射性流出物	TEG 排放、各厂房通风系统排放	电厂现有放射性废气管理系统进行防治。均引至电厂烟囱向环境排放，TEG 设置由衰变箱对放射性废气进行贮存衰变，各厂房通风系统设有各式过滤器。	有效减少向环境的排放量，满足国家标准 GB6249-2011 有关的总量排放限制要求，显著减少对公众造成的辐射影响。
液态放射性流出物	TEP 下泄、各厂房疏水	电厂现有放射性废液管理系统进行防治。采用 TEU 系统（蒸发、除盐、过滤）对各厂房疏水进行处理，各放射性液态流出物在排放前将在 TER 中暂存衰变一段时间后再排入环境。	有效减少向环境的排放量，满足国家标准 GB6249-2011 有关的总量排放限制和浓度限制要求，显著减少对公众造成的辐射影响。
中低放射性固体废物	放射性固体废物处理系统等	在厂内暂存一段时间后，运往国家指定的中低放废物处置场处置。	对当地环境不产生影响
温排水余热	散热系统取排水设施的排水口	合理优化取排水方案及工程布置，严格控制余热排放总量，满足环境功能区划水质管理要求。	有效减少向环境的排放量，满足近岸海域环境功能区划水质管理要求，可尽可能减少对海域环境的影响。

### (二) 流出物监测和环境监测

#### (1)、放射性流出物监测和辐射环境监测

为确保辽宁红沿河核电厂的放射性流出物排放得到有效的监测、管理和控制，辽宁红沿河核电厂的流出物监测与环境监测均由辽宁红沿河核电厂化学环保处负责。本项目不改变核电厂原有流出物监测和环境监测的具体实施方案，本部分进行简要描述。

#### a、流出物监测

运行期间的流出物监测主要监测对象是核电厂向环境排放的气载和液态放射性流出物。流出物监测系统是电厂辐射监测系统（KRT）的重要组成部分，负责放射性流出物排放的监测与控制。气载放射性流出物监测子系统位于核辅助厂房的烟囱内，每台机组各有一套，两套气载流出物监测系统共同对烟囱排放的气载流出物进行连续在线监测和采样。液态流出物监测子系统在线监测 TER 与 SEL 排放管线上的放射性。

辽宁红沿河核电厂针对全厂机组已制定流出物监测计划，严格实行流出物监测与排放控制管理。针对气态流出物监测，分别针对 TEG（废气处理系统）、ETY（安全壳大气检测系统）、

连续排放样品 (DVN) 的气体、滤膜、碘盒、氡水等开展监测, 分析项目包括  $\gamma$  能谱、 $^3\text{H}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  和  $^{14}\text{C}$ ; 针对液态流出物监测, 分别针对 TER (废液排放系统)、SEL (常规岛废液排放系统) 和 SEL 季度混合样开展监测, 分析项目包括 pH、总  $\gamma$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$  能谱、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{63}\text{Ni}$  等。

### b、辐射环境监测

为分析和评价核电厂运行期间放射性流出物排放对厂址周围的辐射影响, 测定核电厂周围环境介质中的核素浓度和环境  $\gamma$  剂量率水平, 发现核电厂周围地区放射性物质变化异常现象, 查找原因及污染来源, 追踪污染趋势并修正监测方案。环境放射性监测由大气放射性监测、陆地放射性监测和海洋放射性监测三部分组成, 监测项目以环境辐射、空气、水、土壤、沉积物、陆生及水生生物为主, 核电厂排水口附近海域和附近海生物是重点关注。辽宁红沿河核电厂已制定有环境监测方案及监测大纲, 可有效对厂址周围的辐射环境进行监测。此外, 电厂还制定有完善的应急监测方案。

### (二) 海域海水监测

辽宁红沿河核电厂已委托相关单位在取水口建设冷源信息综合管理系统, 该系统将对取水口附近安全网主绳受力、海面实时影像、风速、浪高、水温、流速等水文参数进行实时监控。为了解厂址附近海域的水质状况, 辽宁红沿河核电厂已将海水监测方案纳入日常环境监测计划, 详见表 3-4。此外, 辽宁红沿河核电厂已委托辽宁省环科院 2016~2021 年期间开展了斑海豹监测专题研究工作。

为监测评价辽宁红沿河核电厂温排水对海水的温影响, 建设单位已委托原环境保护部卫星环境应用中心开展温排水影响监测, 自 2013 年 10 月至 2018 年 8 月共开展了 118 次有效的辽宁红沿河核电厂温排水遥感监测, 针对辽宁红沿河核电厂开展了遥感监测和实地监测, 获得了相应阶段的核电厂近岸海域温度场分布成果, 监测结果显示温排水温升状况满足近岸海域环境功能区划水质管理要求。

在本项目实施后, 红沿河核电厂还将持续关注核电厂温排水的热影响分布情况, 采用适当手段开展后续的温排水监测工作, 并严格按照生态环境部的批复 (环审[2021]38 号) 要求, 开展红沿河核电厂取排水环境影响后评价工作。

表 3-4 辽宁红沿河核电厂海水监测方案

介质	监测频度	采样点数	采样数/年	分析样品数/年	采样点	监测分析项目
海水	4 次/年	15	60	240	M1-M15	水温、盐度、pH、DO
		6	24	216	一期排水口、二期排水口、重件码头、取水口、老渔窝、红沿河入海口	pH、DO、COD、无机氮、非离子氨、活性磷酸盐、石油类、悬浮物、BOD <sub>5</sub>
		3	12	48	一期排水口、二期排水口、取水口	硼、铝、铁、镍
	月	2	24	24	一期循环出口海水、二期循环出口海水	残余氯 (取化学数据)
合计			120	528	\	\

## 五、环境保护措施监督检查清单

要素	内容	排放源	项目	环境保护措施	执行标准
气载放射性流出物		TEG 排放、各厂房通风系统排放	惰性气体	放射性废气管理系统处理，TEG 衰变箱对废气贮存衰变，厂房通风系统设置过滤器，各放射性气态流出物均引至电厂烟囱向环境排放。	《核动力厂环境辐射防护规定》 (GB6249-2011)
			碘		
			粒子（半衰期 $\geq 8d$ ）		
			氡		
			碳 14		
液态放射性流出物		TEP 下泄、各厂房疏水	氡	放射性废液管理系统处理，采用 TEU 系统（蒸发、除盐、过滤）对各厂房疏水进行处理，各放射性液态流出物在排放前将在 TER 中暂存衰变一段时间后通过循环水排放口排入海域。	《核动力厂环境辐射防护规定》 (GB6249-2011)
			碳 14		
			其余核素		
声环境		/	/	/	/
电磁辐射		/	/	/	/
放射性固体废物		放射性固体废物处理系统对各类废物处理，废物辅助厂房（QS）废物分拣压缩打包线、核辅助厂房（NX）水泥固化线对废物进行打包和固化，并在在 QT 厂内暂存一段时间后，最终运往国家指定的中低放废物处置场处置。			
土壤及地下水污染防治措施		/			
生态保护措施		/			

放射性事故及环境风险防范措施	<p>电厂机组设置有专设安全系统，建立有事故预防和缓解措施，并设置有非居住区和规划限制区，针对放射性核和非放射性风险均有完整的风险防范措施和应急预案，可有效预防和缓解事故带来的环境风险。</p>
其他环境管理要求	<p>辽宁红沿河核电厂一期工程 4 台机组和二期工程 2 台机组运行期间的放射性流出物排放应满足生态环境部批复的环审[2014]224 号和环审[2021]38 号排放限值要求。</p> <p>电厂机组运行方式优化后，严格控制机组总运行功率及余热排放总量，运行期间的温排水对受纳海域温升影响应符合厂址近岸海域环境功能区划水质管理要求。</p>

## 六、结论

辽宁红沿河核电厂的建设符合国家和地方的产业规划及环保规划，核电厂机组运行方式优化不改变原生产工艺或新增机组子项设施，运行期间严格控制余热排放总量。分析评价表明，辽宁红沿河核电厂机组实施运行方式优化项目后，正常运行和事故工况下对环境的辐射影响是可以接受的，运行期间的温排水温升影响符合厂址近岸海域环境功能区划水质管理要求，对海洋生物造成的影响是有限的，流出物监测和环境监测合理有效。就辐射环境影响和温排水温升影响的角度而言，辽宁红沿河核电厂实施机组运行方式优化是可行的。

附表

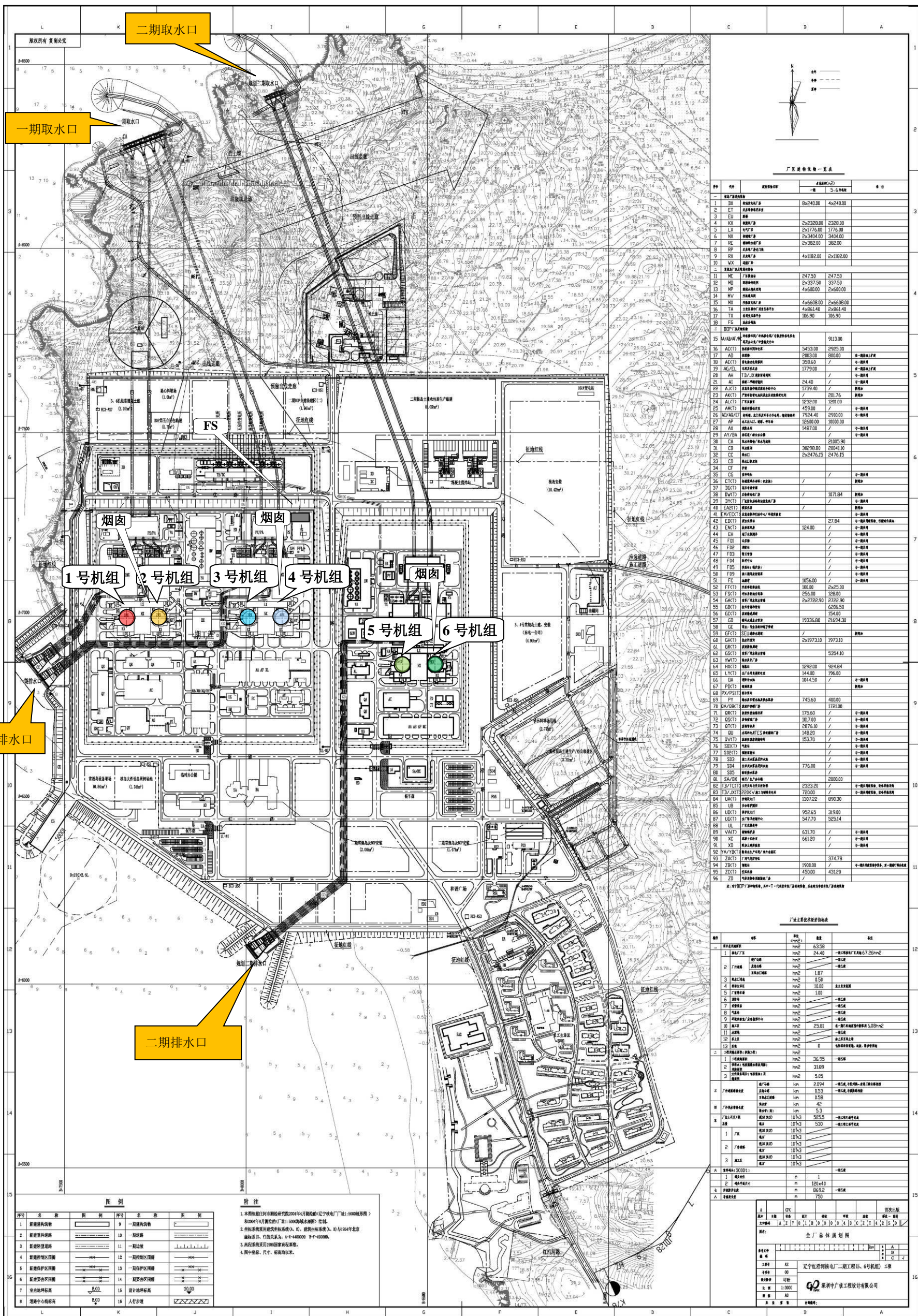
建设项目污染物排放量汇总表

分类	项目	放射性物质名称	现有工程排放量(固体废物产生量)①	现有工程许可排放量②	在建工程排放量(固体废物产生量)③	本项目排放量(固体废物产生量)④	以新带老削减量(新建项目不填)⑤	本项目建成后全厂排放量(固体废物产生量)⑥	变化量⑦
气载放射性流出物(Bq)		惰性气体	<1.26E+15	1.26E+15	-	-	-	<1.26E+15	0
		气态碘	<1.60E+10	1.60E+10	-	-	-	<1.60E+10	0
		粒子	<9.18E+09	9.18E+09	-	-	-	<9.18E+09	0
		气态氙	<2.37E+13	2.37E+13	-	-	-	<2.37E+13	0
		气态碳-14	<2.22E+12	2.22E+12	-	-	-	<2.22E+12	0
液态放射性流出物(Bq)		液态氙	<2.13E+14	2.13E+14	-	-	-	<2.13E+14	0
		液态碳-14	<3.00E+11	3.00E+11	-	-	-	<3.00E+11	0
		液态其它核素	<1.20E+11	1.20E+11	-	-	-	<1.20E+11	0
中低放固体废物(m <sup>3</sup> )		-	-	-	-	-	-	-	
一般工业固体废物		-	-	-	-	-	-	-	
危险废物		-	-	-	-	-	-	-	

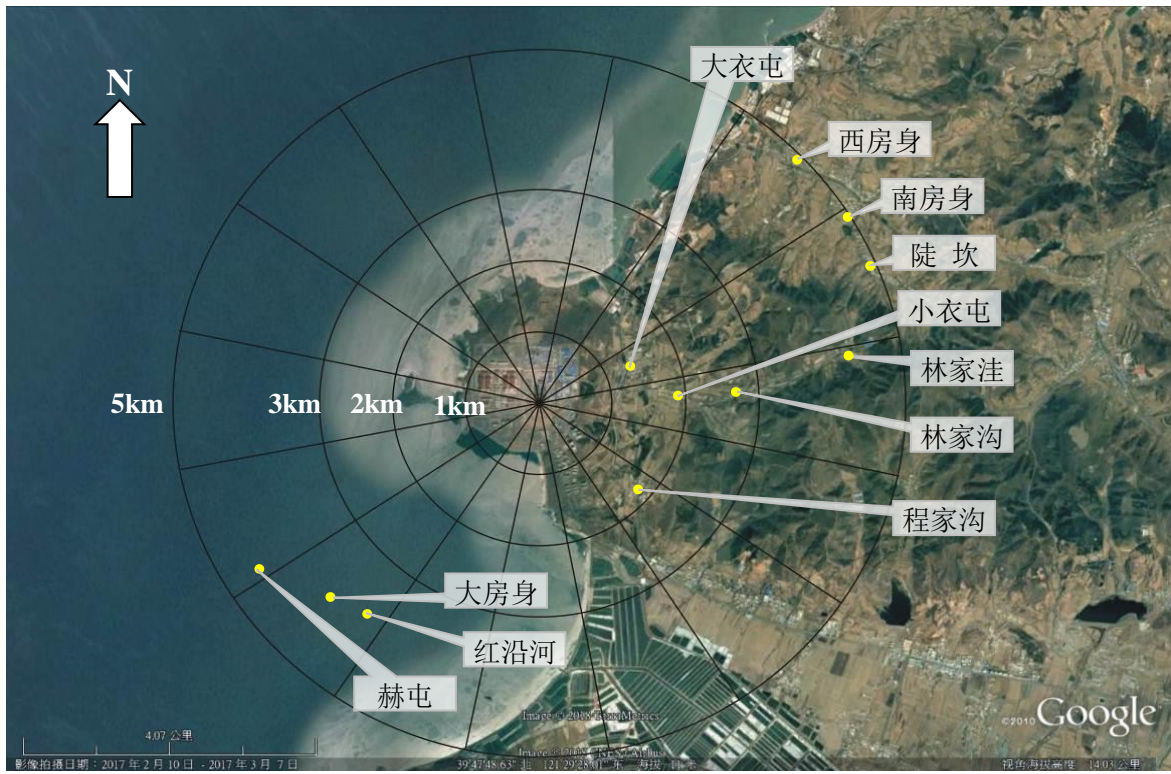
注：⑥=①+③+④-⑤；⑦=⑥-①；②为生态环境部批复的辽宁红沿河核电厂一期工程四台机和二期工程两台机排放量限值（环审[2014]224号、环审[2021]38号）。



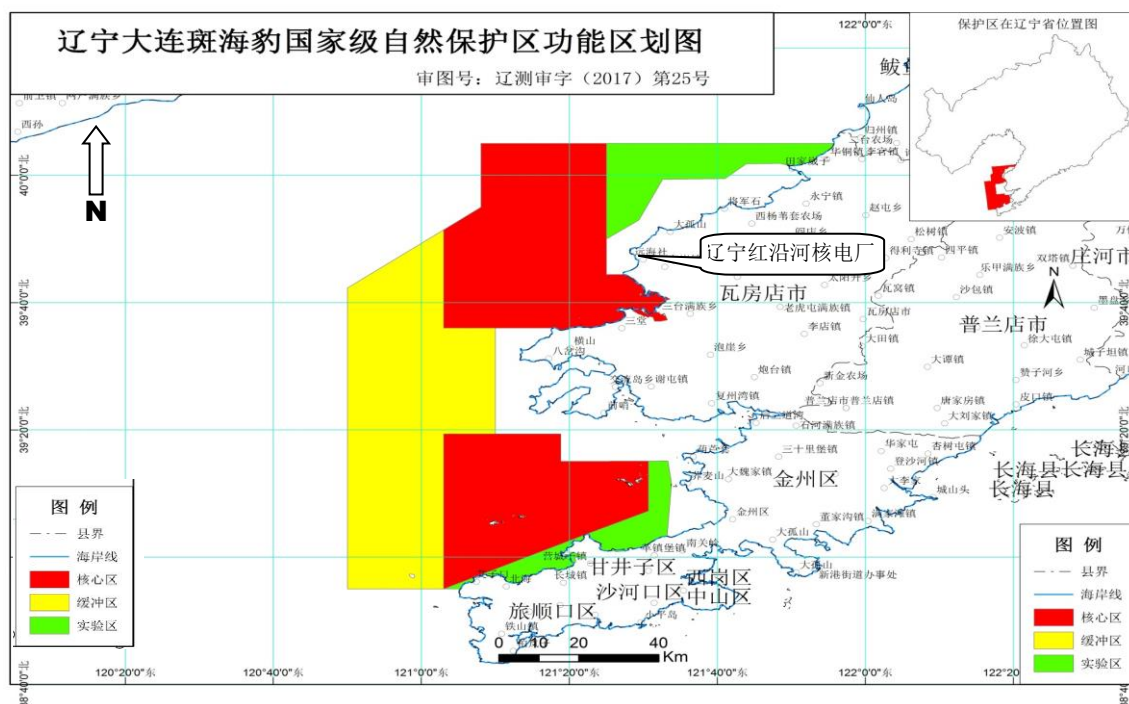
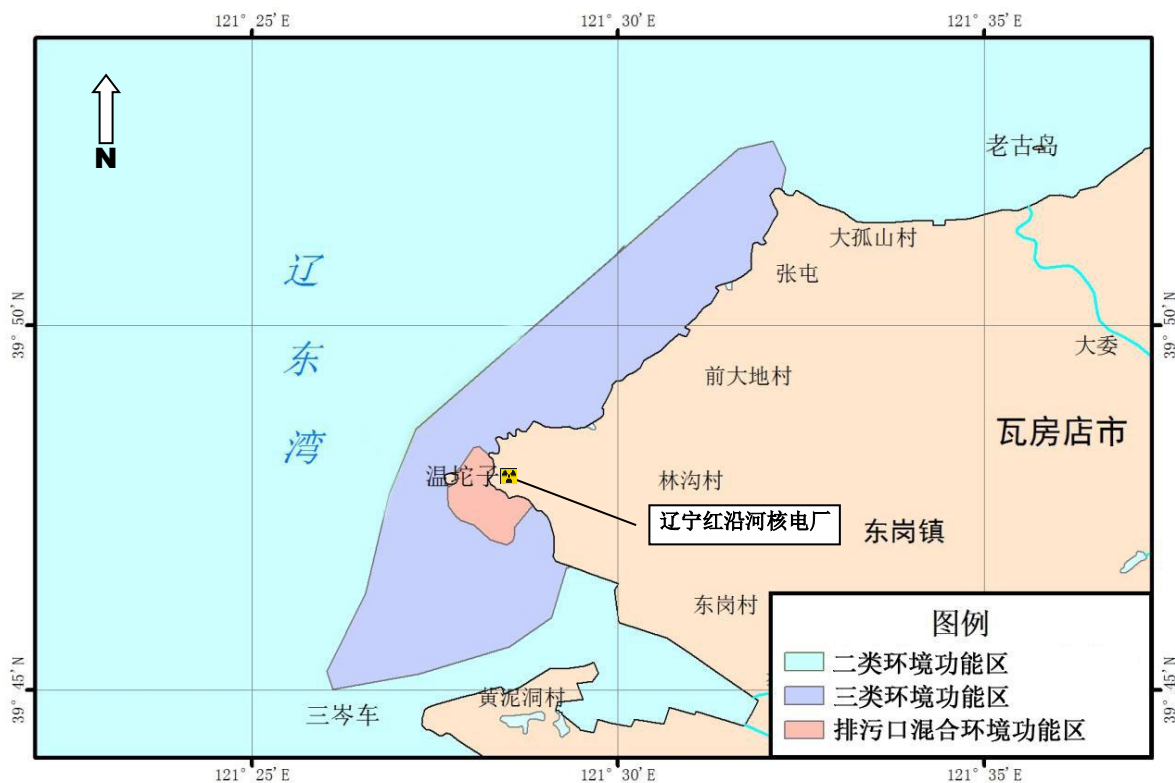
附图 1 辽宁红沿河核电厂地理位置图







附图 3 厂址周围居民点分布示意图



附图 4 厂址附近近岸海域环境功能区划及斑海豹保护区位置关系图