山东海阳核电项目 3、4 号机组工程

环境影响报告书

（建造阶段）

（下册）



中电投山东核电有限公司

二 O 一三年八月

山东海阳核电项目3、4号机组工程

环境影响报告书

（建造阶段）

中电投山东核电有限公司

法定代表人：余剑锋

地址：山东省海阳市海阳核电厂

邮编：265116

山东海阳核电项目3、4号机组工程

环境影响报告书

（建造阶段）



上海核工程研究设计院　编制



建设项目环境影响评价资质证书

机构名称：上海核工程研究设计院
住　　所：上海市虹漕路29号
法定代表人：郑明光
证书等级：甲级
证书编号：国环评证甲　字第　1815　　号
有效期：至2017年3月9日
评价范围：环境影响报告书类别 — 甲级：核工业***
环境影响报告表类别 — 一般项目环境影响报告表；特殊项目环境影响报告表***

中华人民共和国环境保护部

二〇一二年五月二日

项目名称：山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书（建造阶段）

评价单位：上海核工程研究设计院

法人代表：郑明光

证书编号：国环评证甲字第1815号

经环境保护部环境影响评价工程师职业资格登记管理办公室审查，杜凤雷具备从事环境影响评价及相关业务的能力，准予登记。

职业资格证书编号：0002823

登记证编号：B18210021300

有效期限：2008年08月29日至2010年04月14日

所在单位：上海核工程研究设计院

登记类别：核工业类环境影响评价

中华人民共和国环境保护部

2008年08月29日



2823

再次登记记录

时间	有效期限	签章
2010.07.28	延至 2013 年 04 月 14 日	
2013.12.05	延至 2016 年 04 月 14 日	
	延至 年 月 日	
	延至 年 月 日	

经环境保护部环境影响评价工程师职业资格登记管理办公室审查，**王茹静**具备从事环境影响评价及相关业务的能力，准予登记。

职业资格证书编号：**0009481**

登记证编号：**A18150111300**

有效期限：**2010年01月05日至2013年01月04日**

所在单位：**上海核工程研究设计院**

登记类别：**核工业类环境影响评价**

中华人民共和国环境保护部

2010 年01 月05 日



再 次 登 记 记 录

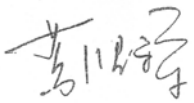
时间	有效期限	签章
2013.06.26	延至2016 年01 月04 日	
	延至 年 月 日	
	延至 年 月 日	
	延至 年 月 日	

山东海阳核电项目3、4号机组工程
环境影响报告书
(建造阶段)

批准：苗富足



审定：葛鸿辉



上海核工程研究设计院　编制

二〇一三年八月

山东海阳核电项目3、4号机组工程
环境影响报告书
(建造阶段)

上海核工程研究设计院编制

职责分工		姓名	环评工程师登记证号或环评上岗证书号	本人签名
项目负责人		杜风雷	A18150021300	
章节编制人员	第一章 概述	王茹静	A18150111300	
	第二章 厂址与环境	王　雪	A18150034	
		黄程鹏	A18150017	
		吴春蕾	A18150030	
	第三章 电厂	陈　丽	A18150091300	
		宋春景	A18150101300	
		章　莉	A18150081000	
		虞　宏	A18150061000	
		施　伟	A18150121300	
		林宇清	A18150071000	
	第四章 电厂施工建设过程对环境的影响	鲍文杰	A18150035	
		裴　娟	A18150131000	
	第五章 电厂运行的环境影响	王　雪	A18150034	
		傅小城	A18150036	
		王　炫	A18150032	
	第六章 电厂事故的环境影响	鲍文杰	A18150035	
		印舒蔚	A18150018	
		黎　辉	A18150024	
	第七章 流出物监测和环境监测	鲍文杰	A18150035	
		邱志靓	A18150031	
	第八章 公众参与	王　雪	A18150034	
	第九章 电厂建设和运行的效益分析	顾　翔	A18150020	
	第十章 环境风险评价	黄晓冬	A18150016	
	第十一章 结论	王　雪	A18150034	

山东海阳核电项目3、4号机组工程
环境影响报告书
(建造阶段)

上海核工程研究设计院编制

校核：

邱忠明 环评工程师登记证 A18150011300 号
注册核安全工程师登记证 ZSNDC07-11

梅其良 环评岗证字 A18150013 号
注册核安全工程师登记证 ZSNDC06-11

邱启运 环评岗证字 A18150003 号

申　森 环评岗证字 A18150028 号
注册核安全工程师登记证 ZSNDB01-11

史国宝 环评岗证字 A18150029 号
注册核安全工程师登记证 ZSNDE05-11

何芃蔚 环评岗证字 A18150014

陈　斌 环评岗证字 A18150006 号

审核：

杜风雷 环评工程师登记证 A18150021300 号

罗兰英

王健峰

目　录

第一章　概述

1.1 核电厂名称和建设性质

1.2 建设规模和规划

1.3 建设目的

1.4 环境影响报告书编制依据

1.5 福岛事件响应

第二章　厂址与环境

2.1 厂址地理位置

2.2 人口分布

2.3 土地利用及资源概况

2.4 气象

2.5 水文

2.6 地质地震

2.7 环境质量现状

第三章　电厂

3.1 厂区规划及平面布置

3.2 反应堆和蒸汽-电力系统

3.3 电厂用水和散热系统

3.4 输电系统

3.5 专设安全设施

3.6 放射性废物系统和源项

3.7 非放射性物质排放

3.8 放射性物质运输

第四章　电厂施工建设过程对环境的影响

4.1 土地利用

4.2 水的利用

4.3 施工影响的控制措施

4.4 水土保持

第五章　电厂运行的环境影响
5.1 散热系统运行的影响
5.2 正常运行的辐射影响
5.3 海水放射性核素浓度影响
5.4 正常运行对水生生物的辐射影响
5.5 其它影响
5.6 退役
第六章　电厂事故的环境影响
6.1 电厂放射性事故
6.2 放射性物质运输事故
6.3 其它事故
6.4 应急计划和准备
第七章　流出物监测和环境监测
7.1 运行前环境监测
7.2 运行期间的放射性流出物监测
7.3 运行期间的辐射环境监测
7.4 应急辐射环境监测
7.5 运行期间的非放射性流出物监测
7.6 质量保证计划
第八章　公众参与
8.1 概述
8.2 实施过程
8.3 公众参与结果分析
8.4 小结
第九章　电厂建设和运行的效益分析
9.1 直接效益
9.2 间接效益
9.3 代价分析
9.4 总结

第十章　环境风险评价

10.1 概述

10.2 环境风险评价

10.3 环境风险防范和应急措施

10.4 应急措施

10.5 结论

第十一章　结论

11.1 厂址环境特征

11.2 施工期间的环境影响

11.3 电厂正常运行的辐射影响

11.4 电厂事故工况的辐射影响

11.6 非放射性因素的环境影响

11.7 公众参与

11.8 环境风险

11.9 结论

表目录

表 1.4-1　山东海阳核电厂 1、2 号及 3、4 号核电机组正常运行工况下的排放量
表 2.2-1　厂址半径 80km 范围内各子区人口数（2009 年）
表 2.2-2　厂址半径 80km 范围内人口增长率
表 2.2-3　厂址半径 80km 范围内各子区人口数（2016 年及以后）
表 2.2-4　厂址半径 5km 范围内村庄及人口
表 2.2-5　厂址半径 15km 范围内千人以上居民点
表 2.2-6　厂址半径 80km 范围内万人以上城镇
表 2.2-7　厂址半径 80km 范围内各子区陆地面积
表 2.2-8　按厂址周围人口密度法对厂址类型的判别
表 2.2-9　厂址半径 80km 范围人口分布（< 1 岁）
表 2.2-10 厂址半径 80km 范围人口分布（1~7 岁）
表 2.2-11 厂址半径 80km 范围人口分布（8~17 岁）
表 2.2-12 厂址半径 80km 范围人口分布（≥ 18 岁）
表 2.2-13 厂址周围各居民组抽样调查户数人数表
表 2.2-14 厂址半径 5km 范围内不同职业人群食物消费量调查结果
表 2.2-15 厂址半径 5km 范围内不同年龄组人群食物消费量调查结果
表 2.2-16 厂址半径 5km 范围内不同年龄组的生活习惯因子
表 2.2-17 邵家庄居民组不同年龄组人群食物消费量调查结果
表 2.2-18 张家庄居民组不同年龄组人群食物消费量调查结果
表 2.2-19 外岛居民组不同年龄组人群食物消费量调查结果
表 2.2-20 大辛家居民组不同年龄组人群食物消费量调查结果
表 2.2-21 南庄居民组不同年龄组人群食物消费量调查结果
表 2.2-22 小滩居民组不同年龄组人群食物消费量调查结果
表 2.2-23 邵家庄居民组的生活习惯因子
表 2.2-24 张家庄居民组的生活习惯因子
表 2.2-25 外岛居民组的生活习惯因子
表 2.2-26 大辛家居民组的生活习惯因子
表 2.2-27　南庄居民组的生活习惯因子

表 2.2-28 小滩居民组的生活习惯因子
表 2.2-29 各居民组渔民食物消费量调查结果
表 2.2-30 厂址半径 5km 范围内居民的食物来源比例
表 2.2-31 厂址 80km 半径范围烟台和海阳市城镇居民和农民年平均食物消费量
表 2.2-32 厂址 80km 半径范围城镇居民和农民平均食物消费量
表 2.3-1 厂址半径 15km 范围内主要工业企业情况表
表 2.3-2 厂址附近高速公路、过道、铁路情况
表 2.3-3 厂址半径 15km 范围内危险品仓储设施情况简表
表 2.3-4 厂址半径 15km 范围内的学校及幼儿园情况
表 2.3-5 厂址附近医院及卫生院情况
表 2.3-6 厂址半径 15km 各个方位离反应堆最近的居民点和农牧场
表 2.3-7 厂址半径 80km 范围内各子区大牲畜出栏量
表 2.3-8 厂址半径 80km 范围内各子区猪出栏量
表 2.3-9 厂址半径 80km 范围内各子区家禽出栏量
表 2.3-10 厂址半径 80km 范围内各子区产肉量
表 2.3-11 厂址半径 80km 范围内各子区奶牛饲养量
表 2.3-12 厂址半径 80km 范围内各子区产奶量
表 2.3-13 厂址半径 80km 范围内各子区禽蛋产量
表 2.3-14 家畜生长期、饲养方式、饲料种类及消耗
表 2.3-15 厂址半径 80km 范围内各子区粮食种植面积
表 2.3-16 厂址半径 80km 范围内各子区粮食产量
表 2.3-17 厂址半径 80km 范围内各子区油料种植面积
表 2.3-18 厂址半径 80km 范围内各子区油料产量
表 2.3-19 厂址半径 80km 范围内各子区蔬菜种植面积
表 2.3-20 厂址半径 80km 范围内各子区蔬菜产量
表 2.3-21 厂址半径 80km 范围内各子区果园种植面积
表 2.3-22 厂址半径 80km 范围内各子区水果产量
表 2.3-23 农作物生长期及产品储存销售情况
表 2.3-24 厂址附近海域鱼类品质结构简表
表 2.3-25 厂址半径 15km 范围及其周围沿海主要渔港分布简表

表 2.3-26 厂址附近海域鱼卵、仔稚鱼名录简表
表 2.3-27 厂址周围海域底栖生物种名录简表
表 2.3-28 厂址周围海域潮间带生物种名录简表
表 2.3-29 厂址附近海域各季度月主要赤潮种数量统计简表
表 2.3-30 施工前后海洋生物对比表
表 2.4-1 厂址区域气象站位置及观测高度、时次
表 2.4-2 厂址气象要素特征表
表 2.4-3 厂址气象塔各高度风速特征值
表 2.4-4 厂址气象塔各高度风向频率
表 2.4-5 500km 范围内热带气旋的逐月分布
表 2.4-6 袭击厂址区域的热带气旋及出现的强度
表 2.4-7 厂址四维联合频率
表 2.4-8 低空逆温特征
表 2.4-9 各类稳定度时的平均混合层厚度
表 2.4-10 传感器性能指标
表 2.4-11 气象要素采集指标
表 2.5-1 冬季各测站实测流的平均流速
表 2.5-2 夏季各测站实测流的平均流速
表 2.5-3 波要素逐月和年统计特征值
表 2.5-4 留格河流域水库特征值表
表 2.5-5 厂址周围可能最大风暴潮增水和基准洪水位
表 2.6-1 近区域范围内断裂活动鉴定表
表 2.6-2 厂址半径 5km 范围内断层（长度≥300m）能动性鉴定结果
表 2.6-3 岩石主要物理力学参数建议值表
表 2.6-4 岩体动态参数建议值表
表 2.6-5 微风化岩体模量推荐值表
表 2.6-6 地基承载力建议值一览表
表 2.7-1 海阳核电厂辐射本底调查方案
表 2.7-2 陆地介质、海洋介质和指示生物监测点位置
表 2.7-3 γ 辐射剂量率仪的宇宙射线响应值

表 2.7-4　本底调查监测项目、监测内容及样品处理分析方法汇总表
表 2.7-5　气溶胶样品 γ 谱探测下限
表 2.7-6　沉降灰样品 γ 谱探测下限
表 2.7-7　空气中 ^{131}I 样品 γ 谱探测下限
表 2.7-8　淡水样品γ谱探测下限
表 2.7-9　海水样品γ谱探测下限
表 2.7-10　沉积物样品γ谱探测下限
表 2.7-11　土壤（潮间带土）样品 γ 谱探测下限
表 2.7-12　动植物灰样品 γ 谱探测下限
表 2.7-13　放射化学分析各种样品探测下限（水和沉积物部分）
表 2.7-14　放射化学分析各类样品的探测下限
表 2.7-15　2011 年 3～5 月气溶胶放射性水平 γ 谱分析结果
表 2.7-16　福岛事故期间沉降灰样品与全部样品的 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr 调查结果的比较
表 2.7-17　环境空气质量监测结果
表 2.7-18　施工期海洋环境监测结果
表 2.7-19　施工期废水排放监测结果
表 2.7-20　施工期地下水监测结果
表 2.7-21　核电厂界噪声监测结果
表 2.7-22　敏感点噪声监测结果
表 2.7-23　220KV 备用电源输变电工程送电线路工频电场、工频磁场、无线电干扰监测结果
表 3.2-1　山东海阳核电项目 3、4 号机组工程总参数
表 3.2-2　AP1000 型燃料组件基本性能参数
表 3.2-3　蒸汽发生器、压力容器、稳压器和主泵的主要设计参数
表 3.3-1　不同电厂运行模式下，厂用水系统流量和带走热量负荷
表 3.3-2　海水淡化系统设计参数表
表 3.6-1　平衡循环堆芯放射性总量
表 3.6-2　计算设计基准一回路裂变产物活度浓度所需参数
表 3.6-3　设计基准一回路冷却剂中核素的活度浓度
表 3.6-4　平衡循环主回路中氚的年产生量

表 3.6-5　主回路中 C-14 的年产生量
表 3.6-6　计算现实源项所需的参数
表 3.6-7　一回路及二回路冷却剂现实源项
表 3.6-8　计算设计基准二回路冷却剂活度浓度所需的参数
表 3.6-9　设计基准二回路冷却剂液相核素的活度浓度
表 3.6-10 设计基准二回路蒸汽侧的核素活度浓度
表 3.6-11 放射性液体废物处理系统（WLS）设备参数
表 3.6-12 WLS 废液输入和处理方式
表 3.6-13 WLS 去污因子
表 3.6-14 蒸汽发生器排污系统（BDS）参数
表 3.6-15 蒸汽发生器排污系统（BDS）主要设备参数
表 3.6-16 放射性废水疏排系统设备主要参数
表 3.6-17 化学和容积控制系统（CVS）设计参数
表 3.6-18 化学和容积控制系统设备参数
表 3.6-19 SFS 系统设计参数
表 3.6-20 乏燃料池冷却系统的主要设备
表 3.6-21 PWR-GALE 程序的输入参数
表 3.6-22 单台机组放射性废液年排放量
表 3.6-23 放射性气体废物处理系统参数
表 3.6-24 放射性气体废物处理系统设备参数
表 3.6-25 安全壳空气过滤系统主要设备
表 3.6-26 单台机组气载放射性年释放量
表 3.6-27 单台 CAP1000 机组预计固体废物量
表 3.6-28 放射性固体废物处理系统设备参数
表 3.7-1　生活污水处理前水质日平均值
表 3.7-2　污水排放控制指标
表 4.1-1　山东海阳核电厂一期工程公用建构筑物清单
表 4.1-2　山东海阳核电项目 3、4 号机组工程新增子项清单
表 4.1-3　核电厂厂区占用土地的类型和面积
表 4.2-1　施工前后海洋水质对比表

表 4.2-2　施工前后海洋生物对比表
表 4.3-1　施工期环境监测计划
表 4.4-1　水土保持措施效益计算表
表 5.1-1　取排水工程布置方案
表 5.1-2　不同季节各潮型下取水温升特征值
表 5.1-3　夏季工况典型潮型温升包络面积
表 5.1-4　冬季工况温升等值线包络面积
表 5.1-5　黄渤海主要经济渔业资源种类的适应水文环境（温度/盐度）
表 5.1-6　 厂址附近的养殖区受温排水影响情况及处理措施表
表 5.1-7　厂址半径 5km 范围内的养殖场分布
表 5.2-1　Kr-85 的长期大气弥散因子
表 5.2-2　Xe-133 的长期大气弥散因子
表 5.2-3　I-131 的长期大气弥散因子
表 5.2-4　Cs-137 的长期大气弥散因子
表 5.2-5　厂址半径 80km 范围内年均沉积因子（干湿沉积所致）　元素碘
表 5.2-6　厂址半径 80km 范围内年均沉积因子（干湿沉积所致）　粒子态核素
表 5.2-7　用于计算气体辐射剂量的有关参数
表 5.2-8　Roulea2.0 计算公式中各主要参数含义和取值
表 5.2-9　排水口周围不同海域组合半月潮平均稀释倍数
表 5.2-10 计算液态辐射途径所用的剂量转换因子
表 5.2-11 液态途径剂量的利用因子
表 5.2-12 海阳核电厂 3、4 号机组所致厂址附近各居民组最大个人有效剂量
表 5.2-13 山东海阳核电厂 3、4 号机组各种核素经气载照射途径对邵家庄居民（儿童）所致最大个人有效剂量
表 5.2-14 山东海阳核电厂 3、4 号机组各种核素经气载照射途径对邵家庄居民（青少年）所致的最大个人有效剂量
表 5.2-15 山东海阳核电厂 3、4 号机组各种核素经气载照射途径对邵家庄居民（成人）所致的最大个人有效剂量
表 5.2-16 山东海阳核电厂 3、4 号机组各种核素经气载照射途径对邵家庄特殊人群（渔民）所致的最大个人有效剂量

表 5.2-17 山东海阳核电厂 3、4 号机组各种核素经液态照射途径对邵家庄居民（儿童）所致的最大个人有效剂量
表 5.2-18 山东海阳核电厂 3、4 号机组各种核素经液态照射途径对邵家庄居民（青少年）所致的最大个人有效剂量
表 5.2-19 山东海阳核电厂 3、4 号机组各种核素经液态照射途径对邵家庄居民（成人）所致的最大个人有效剂量
表 5.2-20 山东海阳核电厂 3、4 号机组各种核素经液态照射途径对邵家庄居民（渔民）所致的最大个人有效剂量
表 5.2-21 山东海阳核电厂 1~4 号核电机组最大个人有效剂量汇总
表 5.3-1 5 种放射性核素总排放口浓度
表 5.4-1 生物浓集因子
表 5.4-2 各核素的分配系数
表 5.4-3 各水生生物的居留因子
表 5.4-4 水生生物内照射剂量率
表 5.4-5 水生生物外照射剂量率
表 5.4-6 水生生物总辐射剂量率
表 5.4-7 水生生物危害商
表 6.1-1 堆芯源项
表 6.1-2 反应堆冷却剂源项
表 6.1-3 并发碘尖峰释放相关参数
表 6.1-4 事故后安全壳内气溶胶的去除系数
表 6.1-5 用于计算 MSLB 事故放射性后果的主要参数
表 6.1-6 MSLB 事故放射性释放量
表 6.1-7 用于计算主泵卡转子/断轴事故放射性后果的主要参数
表 6.1-8 主泵卡转子/断轴事故放射性释放量
表 6.1-9 用于计算弹棒事故放射性后果的主要参数
表 6.1-10 弹棒事故放射性释放量
表 6.1-11 用于计算 SGTR 事故放射性后果的主要参数
表 6.1-12 SGTR 事故放射性释放量
表 6.1-13 安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故放射性释放量

表 6.1-14 用于计算燃料操作事故放射性后果的主要参数
表 6.1-15 燃料操作事故放射性释放量
表 6.1-16 用于计算设计基准 LOCA 事故放射性后果的主要参数
表 6.1-17 设计基准 LOCA 事故放射性释放量
表 6.1-18 厂址非居住区边界 0－2 小时事故大气弥散因子
表 6.1-19 厂址规划限制区边界 30 天内事故大气弥散因子
表 6.1-20 事故后果与国家标准的比较
表 6.4-1 应急岗位替代表
表 6.4-2 场外有关部门和单位对海阳核电厂的支援关系
表 6.4-3 应急组织有关应急岗位人员的启动到岗地点
表 6.4-4 海阳核电厂场区的应急集合点安排
表 7.3-1 山东海阳核电厂 3、4 号机组工程运行期间环境辐射监测方案
表 7.3-2 海阳核电厂大气 γ 辐射监测站分布表
表 7.3-3 γ 辐射剂量率参考点位
表 7.3-4 气象观测系统气象传感器参数
表 7.4-1 环境监测车及环境介质采样车上的主要配备
表 7.4-2 场内巡测仪表和物资清单表
表 8.3-1 公众参与调查对象统计表
表 8.3-2 公众参与调查结果统计
表 9.1-1 利润和利润分配表
表 9.1-2 主要财务指标汇总表
表 9.3-1 总投资概算表
表 9.3-2 核电厂主要环境保护设施及相关投资
表 10.2-1 0~80km 范围内集体剂量风险

图目录

图 1.4-1　山东省海洋功能区划烟台海洋功能区划图
图 1.4-2　山东海阳核电厂近岸海域环境功能区调整示意图
图 2.1-1　山东海阳核电厂厂址地理位置图
图 2.1-2　山东海阳核电厂陆域征地边界及非居住区边界示意图
图 2.2-1　厂址半径 80km 范围内人口分布图（2009 年）
图 2.2-2　厂址半径 5km 半径范围内居民点或自然村分布图
图 2.2-3　厂址半径 15km 半径范围内千人以上行政村分布图
图 2.2-4　厂址半径 80km 半径范围重要居民点分布图
图 2.3-1　留格庄镇产业布局规划示意图
图 2.3-2　厂址半径 15km 范围内公路交通现状示意图
图 2.3-3　厂址附近范围交通示意图
图 2.3-4　厂址 5km 半径交通现状示意图
图 2.3-5　海阳港港区现状图
图 2.3-6　乳山港港区总平面布置示意图
图 2.3-7　海阳港进出船舶航道示意图
图 2.3-8　乳山港进出船舶航道示意图
图 2.3-9　厂址附近海域水下地形示意图
图 2.3-10 厂址半径 15km 范围内各方位离厂址最近的居民点、菜田、农田和养殖场分布情况
图 2.3-11 厂址周围海域水产资源和水生态现状调查示意图
图 2.3-12 厂址周围索饵场与产卵场分布
图 2.3-13 厂址周围海域渔港分布示意图
图 2.3-14 厂址附近海域叶绿素 a、初级生产力含量分布示意图
图 2.3-15 厂址附近海域浮游植物细胞数量平面分布示意图
图 2.3-16 厂址附近海域浮游动物生物量平面分布示意图
图 2.3-17 厂址附近海域底栖生物生物量平面分布示意图
图 2.3-18 施工期海洋生物调查站位
图 2.3-19 浮游动物生物量的平面分布

图 2.3-20 底栖生物生物量的分布
图 2.3-21 底栖生物丰度的平面分布
图 2.4-1 厂址区域气象台站分布示意图
图 2.4-2 气象站累年四季、年各风向频率玫瑰图
图 2.4-3 厂址气象塔 10m 高度全年降水期风向频率玫瑰图
图 2.4-4 厂址气象塔各高度全年风向频率玫瑰图
图 2.4-5 进入研究海区的热带气旋路径分类图
图 2.4-6 厂址区域龙卷风分布及分区
图 2.4-7 现场大气测试得到的垂直大气扩散参数与 P-G 垂直扩散参数比较结果图
图 2.4-8 现场大气测试布点图
图 2.5-1 核电厂周围海域水下地形图
图 2.5-2 全潮同步综合水文测验站位置图
图 2.5-3 核电厂厂址周围海域涨、落潮流态图
图 2.5-4 厂址近岸流场（大潮）示意图
图 2.5-5 厂址近岸流场（中潮）示意图
图 2.5-6 厂址近岸流场（小潮）示意图
图 2.5-7 核电厂水文专用站各向波频率图
图 2.5-8 核电厂水文专用站各向波高图
图 2.5-9 核电厂水文专用站(1997.3~1998.2)年各向各级波高玫瑰图
图 2.5-10 海水温度、盐度、泥沙四季大面取样站位图
图 2.5-11 留格河流域水系及工程位置图
图 2.6-1 近区域地质构造图
图 2.6-2 标高-3.6m 工程地质切面图
图 2.6-3 区域历史地震震中分布图
图 2.6-4 区域地震构造图
图 2.7-1 山东海阳核电厂周围固定监测点分布示意图
图 2.7-2 山东海阳核电厂 5～50km 内监测点分布示意图
图 2.7-3 山东海阳核电厂地表水监测点分布示意图
图 2.7-4 海水海底泥监测布点图
图 2.7-5 海洋生物和潮间带土监测布点图

图 2.7-6　土壤和陆地植物监测布点图
图 2.7-7　饮用水和地下水监测布点图
图 2.7-8　指示生物监测布点图
图 2.7-9　道路和原野γ空气吸收剂量率比较
图 2.7-10 海洋环境监测布点图
图 2.7-11 厂界噪声监测布点图
图3.2-1　厂区总平面布置图
图 3.2-1　首循环堆芯燃料组件装载图
图 3.2-2　AP1000 型燃料组件和燃料棒的垂向布置图
图 3.2-3　反应堆冷却剂系统流程简图
图 3.3-1　厂区雨水总排出口示意图
图 3.3-2　厂用水系统流程简图
图 3.3-3　淡水水量平衡图
图 3.5-1　非能动堆芯冷却系统流程图
图 3.5-2　非能动安全壳冷却系统流程图
图 3.6-1　放射性液体废物处理系统流程简图
图 3.6-2　蒸汽发生器排污系统流程简图
图 3.6-3　放射性废水疏排系统流程简图
图 3.6-4　化学和容积控制系统系统流程简图
图 3.6-5　乏燃料池冷却系统简图
图 3.6-6　除氚和 C-14 外其它核素通过液态途径的排放量衡算图
图 3.6-7　氚的放射性排放量衡算图
图 3.6-8　C-14 的放射性排放量衡算图
图 3.6-9　放射性气体废物处理系统流程简图
图 3.6-10 安全壳气过滤系统流程图
图 3.6-11 惰性气体的放射性排放量衡算图
图 3.6-12 碘通过气态途径的排放量衡算图
图 3.6-13 放射性固体废物处理系统流程简图
图 3.6-14 废物流流程简图
图 3.6-15 SRTF 固体废物处理流程图

图 3.7-1　污水处理流程图
图 5.1-1　二维数值模拟、物理模型范围图
图 5.1-2　物理模型布置图
图 5.1-3　流速、流向测点位置图
图 5.1-4　数值模拟夏季实测潮位验证曲线
图 5.1-5　数值模拟冬季实测潮位验证曲线
图 5.1-6　数值模拟典型潮潮位验证曲线
图 5.1-7　物模夏季典型潮位验证曲线
图 5.1-8　山东海阳核电厂 1~4 号机组夏季工况温升包络面积图
图 5.1-9　山东海阳核电厂 1~4 号机组冬季工况温升包络面积图
图 5.1-10 山东海阳核电厂 1~4 号机组温升包络范围与海域功能区划叠加图
图 5.2-1　正常运行气载放射性流出物对人体的照射途径
图 5.2-2　正常运行时液态放射性流出物对人体的照射途径
图 5.2-3　等浓度线包络图（4×1250MWe 典型大潮 半衰期 8d）
图 5.2-4　等浓度线包络图（4×1250MWe 典型大潮 半衰期 70d）
图 5.2-5　等浓度线包络图（4×1250MWe 典型大潮 半衰期 250d）
图 5.2-6　等浓度线包络图（4×1250MWe 典型大潮 半衰期 2a）
图 5.2-7　等浓度线包络图（4×1250MWe 典型大潮 不衰减）
图 5.2-8　等浓度线包络图（4×1250MWe 典型中潮 半衰期 8d）
图 5.2-9　等浓度线包络图（4×1250MWe 典型中潮 半衰期 70d）
图 5.2-10 等浓度线包络图（4×1250MWe 典型中潮 半衰期 250d）
图 5.2-11 等浓度线包络图（4×1250MWe 典型中潮 半衰期 2a）
图 5.2-12 等浓度线包络图（4×1250MWe 典型中潮 不衰减）
图 5.2-13 等浓度线包络图（4×1250MWe 典型小潮 半衰期 8d）
图 5.2-14 等浓度线包络图（4×1250MWe 典型小潮 半衰期 70d）
图 5.2-15 等浓度线包络图（4×1250MWe 典型小潮 半衰期 250d）
图 5.2-16 等浓度线包络图（4×1250MWe 典型小潮 半衰期 2a）
图 5.2-17 等浓度线包络图（4×1250MWe 典型小潮 不衰减）
图 5.2-18 等浓度线包络图（4×1250MWe 组合半月潮 半衰期 8d）
图 5.2-19 等浓度线包络图（4×1250MWe 组合半月潮 半衰期 70d）

图 5.2-20 等浓度线包络图（4×1250MWe 组合半月潮 半衰期 250d）
图 5.2-21 等浓度线包络图（4×1250MWe 组合半月潮 半衰期 2a）
图 5.2-22 等浓度线包络图（4×1250MWe 组合半月潮 不衰减）
图 5.5-1 余氯等相对浓度线包络图
图 6.1-1 放射性转移的示意图
图 6.1-2 放射性转移的数学模型
图 6.1-3 SGTR 事故一次侧到二次侧破口流量
图 6.1-4 SGTR 事故累计破口闪蒸量
图 6.1-5 SGTR 事故破损蒸汽发生器向大气排放蒸汽的质量流量
图 6.1-6 SGTR 事故完整蒸汽发生器向大气排放蒸汽的质量流量
图 6.4-1 海阳核电厂应急响应组织机构图
图 6.4-2 海阳核电厂应急响应组织的岗位组成
图 6.4-3 海阳核电厂应急响应组织与场外应急组织的接口关系图
图 6.4-4 场内撤离线路、应急集合点分布图
图 6.4-5 场外应急撤离路线示意图
图 6.4-6 场外公众防护行动建议的决策逻辑流程图
图 7.2-1 电厂烟囱辐射监测仪示意图
图 7.2-2 管内辐射监测仪示意图
图 7.2-3 管旁辐射监测仪示意图
图 7.3-1 海阳核电厂气象和环境监测系统相关子项平面布置图
图 7.3-2 厂区内大气 γ 辐射监测站分布示意图
图 7.3-3 厂区外大气 γ 辐射监测站分布示意图
图 7.4-1 环境监测系统总体结构
图 7.4-2 陆上应急巡测路线图
图 7.5-1 核电站非放监测布点图
图 8.2-1 公众参与第一次信息公告
图 8.2-2 公众参与第二次信息公告
图 8.2-3 公众参与座谈会签到表

第四章　电厂施工建设过程对环境的影响

4.1 土地利用

国土资源部以《关于山东海阳核电厂项目建设用地预审意见的复函》（国土资预审字〔2005〕476 号）明确，山东海阳核电项目用地已列入当地土地利用总体规划，同意通过用地预审。山东海阳核电厂的用地采用一次全部征用的方案，《关于山东海阳核电一期工程项目（申请报告）的核准评估报告》（资能源〔2009〕700 号）中明确了规划建设 6 台核电机组所征用的厂区用地面积。

在山东海阳核电 1、2 号机组建设期间，基本完成了 6 台机组的场地平整工作，山东海阳核电厂 1、2 机组工程已完工或正在建设中的公用施工项目见表 4.1-1。本项目 3、4 号机组建设的工程量和土石方量将大大减少，3、4 号机组工程拟新建的子项清单见表 4.1-2。

4.1.1 陆域工程概况

山东海阳核电项目总用地面积为 202.78ha，满足规划 6 台机组的用地。一期工程已按照核准评估的要求办理了全部土地的征用手续，3、4 号机组是规划容量内的扩建工程，未新增建设用地。

核电厂主要进厂道路（核电一路）和应急道路（核电二路）均已建成通车。

山东海阳核电厂的场地平整工程在 1、2 号机组建造时已经完成。施工承包商人员的生活用地以及核电建设配套的机械加工厂、管道预制厂等均已建造完成，设置在海防路与核电一路附近。电厂投产后，可作为检修承包商的生活营地。

3、4 号机组建设过程中，主要的土石方工程有 3、4 号机组主厂房区的负挖和泵房负挖等。3、4 号机组工程总计土石方开挖实方工程量为 131.08 万 m^3，回填工程量为 48 万 m^3。土方和石方的松散系数按照 1.28 和 1.40 估算（回填取 1.06），回填完毕后，余方约为 200.52 万 m^3。因海阳核电厂区内已经没有消纳多余土石方的能力，必须考虑多余土石方的外运处理。初步考虑将多余土石方运至厂区外的采石场，运距约 17 公里。

4.1.2 施工活动对环境的影响

4.1.2.1　社会环境的影响

本工程的建设将永久占用土地。厂址非居住区边界范围内无常住居民，因此无搬迁人口。此外，由于本工程新征地较少，对社会环境的影响十分有限。山东海阳核电厂建设将永久占用土地，原厂址附近的董家庄和冷家庄现都已搬迁，分别搬迁到厂址NNW方位约6.8km和7.6km处，电厂建设对村民的生活基本没有影响。

核电厂工程建设期间需要大量的工程施工人员，大量外来施工人员将进驻施工现场，并在该地区居住和生活，这将增加该地区的消费能力，增加当地居民的就业机会，一定程度上将促进该地区经济的发展。与此同时对当地居民的物价指数可能会带来一定影响。

4.1.2.2　水土流失

在本项目建设过程中，水土流失主要发生在施工期。期间，将有开挖和填筑裸露面产生，裸露面表层结构疏松，植被覆盖度较低，使区域内土壤抗侵蚀能力下降；同时，大量土石方的搬运和堆置，也将造成工程区及其附近施工区域的局部水土流失加剧。工程施工结束后，因施工引起水土流失的各项因素逐渐消失，地表扰动也基本停止，施工区域的水土流失将明显减少，但仍存在一定量的水土流失因素。因此，本工程水土流失的重点时段为工程施工期，同时植被恢复期也会有一定程度的水土流失。相关内容参见 4.4 节。

4.1.2.3　大气环境的影响

本工程建设将永久占用土地，核电厂场地的开挖和填充，以及核电厂建构筑物的建设，将改变当地的局部地形和下垫面粗糙度，但与当地的地形相比，还不足以影响厂址边界以外的大气环境。

土石方工程施工过程中，由于爆破、开挖、填充、道路的修建、渣土的堆放以及车辆运输会造成施工区域尘土飞扬，大气中粉尘含量增高。必须采取必要的防护措施，以减少粉尘的影响。施工过后，当地的大气环境质量将很快得以恢复。因此，施工过程中产生的粉尘对大气环境的影响是局部的和暂时的。

4.1.2.4　水环境的影响

本工程建设期间对水环境（地表水和黄海）的污染主要来自于施工期间土石方和建筑材料的流失以及生产废水和施工人员的生活污水排放。

工程施工期间，由于外界条件（如大风、降水等）的作用，容易造成开挖的土石方和堆放的建筑材料随风或水扩散，其中部分将落入附近的水体，污染水环境。

本工程施工期间将造成局部海域海水含沙量和浊度的增加。

施工期间的生产废水来自场地冲洗水、混凝土搅拌水、设备洗涤用水。这部分施工生产废水量不大，但其中含有一定量的油污和泥沙，如果废水进入厂址附近黄海海域将会给厂址周围水环境造成一定的影响。

施工人员的生活污水含有一定量的有机物和细菌，处理不善也会造成对周围水环境的二次污染。

因此，施工期间产生的水土和材料流失、生产废水和生活废水均会对当地水环境造成一定的影响。必须采取合理有效的预防措施，如加强对材料和废水的管理、建设临时施工废水沉淀池和生活污水处理设施等，将上述影响降到最低程度。随着施工的结束，水环境质量将得到恢复。

4.1.2.5 噪声的影响

土石方工程施工期间，开挖爆破以及各类施工和运输机具所产生的噪声对厂址周围的声学环境将产生较大的影响。但由于爆破施工是阶段性的，集中在施工初期，其影响时间短，因此影响范围有限。

施工期噪声主要来自不同施工阶段所使用的施工机械的非连续作业噪声。施工阶段所使用的打桩机、空压机、大型施工运输设备行驶时均会产生不同程度的噪声影响。距施工场地最近的居民点（邵家庄）位于厂址 NNW 方位 1.0km 处，施工的噪声影响仅限于施工人员，不会出现扰民现象。因此，核电厂施工噪声对环境的影响是可以接受的。

4.1.2.6 固体废物的影响

本项目施工阶段产生的工业固废主要为建筑类固体废物，主要分为弃土、废渣、废钢材、废木材、废塑料、废纸等 6 类，各类固体废物产生量均较小。

- 弃土：在厂区外规划了土石方堆放场，集中堆放开挖土石方和弃土；
- 废渣：由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，定期清理出厂区，运至当地垃圾处理场处理；

- 废钢材、废木材、废塑料、废纸等：具有一定的回收利用价值，由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，由废品回收单位进行回收处理；
- 建筑垃圾：均由施工单位自行运至当地垃圾处理场处理，现场不设立集中的垃圾中转场地。

施工单位在其施工临建区内设立危险废物集中存放区域，废油、废油漆等危险废物集中堆放在该区域，由供货商定期回收并进行后续的处理。

在施工期间，施工现场生活垃圾主要为现场办公室、食堂、施工现场等部位产生的生活垃圾。在上述部位设置垃圾箱，分类堆放生活垃圾，及时清理，并就近运至荣成市孔家垃圾处理场进行无害化处置。

4.1.2.7　生态环境的影响

在海阳核电 1、2 号机组建设时已经基本完成了海阳核电 3、4 号机组的场地平整，去除了原有的植被，在 3、4 号机组的建设中主要是主厂房的负挖施工，这些工程将完全改变当地局部生态环境，由于当地并无特殊生态环境，本身资源贫乏，在施工完成后，业主将对整个厂区实施绿化，建造全新的人文景观，从工程施工前后的生态比较来看，工程对当地局部生态环境的影响是可以接受的。

表 4.1-1　山东海阳核电厂一期工程公用建构筑物清单

标识	子项名称	建设情况	标识	子项名称	建设情况	标识	子项名称	建设情况
011	500kV 开关站	完工	31	海水淡化厂房	建设中	697	气象观测站	完工
012	220kV 开关站	完工	32	除盐水厂房	完工	698	垃圾中转站	完工
014	网控楼	完工	37	生活污水处理设施	完工	699	永久车库	完工
021	重件码头	完工	41	运行和维修技术支持大楼	完工	734	循环水排水口	完工
023	取水明渠	完工	51	厂址废物处理设施	建设中	801	施工供热站	完工
024	排水渠	完工	52	特种汽车库	建设中	802	110kV 施工变电站	完工
025	厂区护堤	完工	53	去污和热检修车间	建设中	803	施工供水站	完工
026	码头门岗	完工	65	综合办公楼	建设中	804	建设办公楼 A 座	完工
031	化学品库	完工	651	培训中心及档案馆（含模拟机厂房）	建设中	805	建设办公楼 B、C 座	完工
06	应急指挥中心	建设中	66	仓库	完工	807	建设办公区食堂	完工
09	警卫室	完工	671	综合检修厂房	完工	808	现场临时办公区	完工
091	办证中心	完工	672	修车库	完工	811	换热站	完工
092	保护区出入口	建设中	673	模拟体厂房	设计中	82	模块拼装场地	完工
093	控制区出入口	建设中	694	警卫营房	完工	87	混凝土预制区	完工
25	辅助锅炉房	正在建设	695	消防站	完工	871	砂石料堆场及搅拌站	完工
29	非放射性化验室及维修巡检人员办公室	建设中	696	环境监测站	建设中	88	安全壳拼装场地	完工
30	水处理厂	完工						

表 4.1-2　山东海阳核电项目 3、4 号机组工程新增子项清单

标识	子项名称	标识	子项名称
015	变压器区域构筑物	28	消防水箱 B
033	低压氢气站	29	非放射性化验室及巡检人员办公室
034	事故放油池	31	海水淡化厂房
036	高压氢气站	40	附属厂房
037	氮气站	41	运行与维修技术支持大楼（扩建）
038	二氧化碳气体站	50	放射性废物厂房
041	架空线及 GIL 电缆沟	533	流出物实验室
042	电缆沟	60	柴油发电机厂房
05	保卫控制中心及要害区出入口	61	柴油储存罐 A、B
09	警卫室	658	现场食堂
		673	模拟体厂房（扩建）
11	反应堆厂房	695	消防站（扩建）
12	辅助厂房	71	循环水泵房
13	除盐水储存箱	72	循环水压力供水管
14	硼酸箱	731	循环水排水管（汽机厂房至虹吸井）
15	非能动安全壳冷却水辅助贮存箱	732	虹吸井
16	凝结水箱	733	循环水排水管(虹吸井至排水口)
20	汽机厂房	74	加氯车间
21	汽机厂房第一跨	809	重件道路
22	贮油箱	810	力能区检修用房
26	柴油驱动消防泵		
27	消防水箱 A		

4.2 水的利用

4.2.1 水的相关工程

4.2.1.1 淡水取水工程

山东海阳核电 3、4 号机组工程全厂淡水用水分别由水处理厂和海水淡化厂提供。海水淡化厂建成后，1~4 号机组除盐水原水、工业水等淡水由海水淡化厂提供；1~4 号机组生活用水等由一期水处理厂供应；施工期搅拌站用水由力能区水厂提供，其他施工用水由水处理厂提供。

1）水处理厂

水处理厂取水水源为盘石水库，设计年取水量为 236 万 m^3，设计取水保证率 97%，3、4 号机组施工期年需水量约为 123 万 m^3。

电厂施工期用水水源为盘石水库，水库总库容 1568 万 m^3，其中兴利库容 945 万 m^3。盘石水库上游水土保持较好，除水库养殖需要投放化肥和饵料对水库有一定污染外，上游无任何污染源。水库为贫营养化水体，满足本建设项目取水水源水质要求。其取水流程为盘石水库→塔式进水口→放水隧洞→输水管线→厂区净水站。

输水管线从盘石水库接引，全长约 23km，盘石水库至留格庄之间选用两条 DN400 管道，留格庄至厂址之间采用两条 DN350 管道。

水处理厂设计规模为 8000 m^3/d，海水淡化厂建成投运后，水处理厂水量分配包括一期、二期全厂生活水、绿化洗车浇洒道路用水以及全厂 BOP 的消防用水。

水处理厂供水水质为浊度小于 1 NTU，余氯浓度约为 1.5 mg/l 以下。

水处理厂主要处理流程为：

原水→提升泵房→配水井→机械加速澄清池→均质滤料滤池→清水池→二级泵房→用水点。

水处理厂主要单体子项有：

提升泵房、配水井、机械加速澄清池、均质滤料滤池、清水池、二级泵房、加药间、排水排泥池、污泥平衡池、污泥处置间以及其它附属配套设施。

2）海水淡化系统

海水淡化系统采用膜法海水淡化技术，淡化水主要用于工业水、除盐水处理原理、绿化用水和消防用水。系统主要流程如下：

海水（夏季为原海水，冬季为机组冷却水温排水）→絮凝沉淀池→V 型滤池→清水池→海水反渗透给水泵→卧式细砂过滤器→海水反渗透高压泵（含能量回收装置及高压泵）→海水反渗透装置→淡水池→水泵→用户。

海水淡化取水系统在 1、2 号机组循环式泵房共设置 4 台海水淡化取水提升泵，3 号机组循环水泵房设置 2 台，夏季和春季运行；1、2、3 号汽机厂房各设 2 台海水淡化取水提升泵，冬季运行。循环水泵房海水淡化取水提升泵组与汽机房内海水淡化取水提升泵组在必要条件下，可互为机械事故备用。

淡化系统排水在淡化区域采用废水收集池收集，收集后的废水通过废水输送泵送至循环水排放口，在循环水排放口混合后排放。废水输送泵布置在海水淡化厂房附近的废水输送泵间内。

海水淡化系统 1~4 号机组正常平均取海水量：1610t/h；

海水淡化系统 1~4 号机组正常平均排水量：1098t/h；

系统浓缩倍率约为：1.67 倍。

4.2.1.2 其它工程

山东海阳核电厂的废水处理站、取排水工程、重件码头、围填海工程在山东海阳核电厂 1、2 号机组开工时一次建成。因此，山东海阳核电项目 3、4 号机组工程不涉及海工工程施工。

4.2.2 施工活动对水环境的影响评价

4.2.2.1 淡水取水对环境的影响

山东海阳核电项目3、4号机组工程的淡水考虑海水淡化，不会对当地的区域水资源和其他用户产生影响。

4.2.2.2 施工活动对水质环境的影响

1）海阳核电一期工程施工活动对水质的影响分析

山东海阳核电厂一期工程施工期对海洋环境的影响的主要来自于海工工程施工，包括循环水取排水工程（取水工程、排水工程，防波堤、取水明渠、取水

泵房施工围堰、导流堤和排水口护岸等水工构筑物的建设）以及重件码头的建设工程，产生的主要污染物有抛石和基槽挖泥产生的悬浮泥沙、施工船舶产生的油污水。

根据国家海洋局北海环境监测中心2006年开展的海洋环境质量现状调查和国家海洋局第一海洋研究所2010年度开展的施工期海洋环境影响跟踪监测的调查结果，山东海阳核电厂一期工程施工前后的海洋环境质量对比如表4.2-1所示。

由表可见，施工期前后，表层和底层水温和COD无显著差异，且均满足《海水水质标准》（GB3097-1997）中的二类水质标准；施工期海水悬浮物有所增加，经比较分析，厂址近岸和离岸点位悬浮物含量基本相当，因此其超标原因可能是由于降水所致的地表径流将陆源悬浮物带至海中所致。施工期仅有2个站位的石油类超过《海水水质标准》（GB3097-1997）中的二类水质标准限值的（50μg/L）15.2%，且超标的2个点位一个为近岸点位，一个为离岸点位，因此其超标原因估计是受途经轮船等影响而发生的偶发现象。

2）海阳核电3、4号机组工程施工活动对水质的影响

山东海阳核电项目3、4号机组工程建设期间对环境的水污染主要来自于施工时土石方和建筑材料的流失以及生产废水和施工人员的生活污水排放，可能对环境造成不利影响，但由于土建施工期有限，其影响的程度和持续时间都较为有限。

施工期间的生产废水来自场地冲洗水、混凝土拌合水、砂石料及设备洗涤用水。这部分施工生产废水量不大，但其中含有一定量的油污和泥沙，如果进入附近水域将会造成厂址周围水环境的污染，临时施工将建设废水沉淀池，以去除固体污染物。

施工期间的生活污水主要来自于厂区正常的工作人员和施工人员的生活用水。施工期间的生活污水含有一定量的无机盐类氯化物、硫酸盐和钠、钾、钙、镁等的重碳酸盐；有机物质有纤维素、淀粉、糖类、脂肪、蛋白质和尿素等；此外，还含有各种微量金属和各种洗涤剂、多种微生物。这些物质多为无毒，但处理不善也会造成对周围水环境的污染。

在后续工程建设阶段，由于施工人员大量集中，施工人员和电厂管理人员的生活污水可统一纳入污水处理设施进行处理。

厂区已建成 4 座地埋式污水处理站，污水处理能力分别是 400 吨/天、200 吨/天、160 吨/天、150 吨/天。其中 160 吨/天污水处理站已投入运行；400 吨/天污水处理站和 150 吨/天污水处理站已于 2012 年 11 月完成所有调试工作，即将投入正式运行；200 吨/天污水处理站正在进行调试。

厂区内污水处理站、污水管网已基本完成建设并投用，对于污水管网能够覆盖的区域，生活污水直接排入污水管网，经污水处理站处理达到污水排放标准GB8978-96《污水综合排放标准》中的一级排放标准及DB37/676-2007《山东省半岛流域水污染综合排放标准》的要求后就近排入雨水管网；对于污水管网不能覆盖的区域，生活污水由施工承包商用车辆运输至厂外处理。

含油废水主要来自管道冲洗，含油量较低，排入污水管网，经污水处理站处理后达标排放。

4.2.2.3 对海洋生态环境的影响

山东海阳核电厂的取排水工程、重件码头、围填海工程将在山东海阳核电厂 1、2 号机组开工时一次建成，因此山东海阳核电项目 3、4 号机组工程的建设不会对海洋生态环境产生明显影响。

根据国家海洋局北海环境监测中心于 2006 年 9 月 7~8 日开展的海洋环境质量现状调查和国家海洋局第一海洋研究所在 2010 年 6 月、9 月和 2011 年 7 月、10 月开展的海阳核电一期工程施工期海洋环境影响跟踪监测的调查结果，施工前后海洋生物的变化差异见表 4.2-2。由表可见，施工前后调查海域浮游动物、底栖动物和潮间带生物的优势种、生物量和丰度有一定的变化，这可能与两次观测的点位与时间差异有关（同一次采样的不同样点间生物组成、生物量的差异就比较大）。

一期工程施工对海域影响范围较少，不会导致厂址附近海域海洋生态产生明显影响。从两次调查报告结果也可以看出，厂址附近海域生物类群总体无明显异常，符合中纬度近岸海域海洋生物的一般规律。

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程施工时将充分吸取 1、2 号机组的施工经验，严格控制和减少本工程对海域的环境影响。

表 4.2-1 施工前后海洋水质对比表

时间 / 因子	2006 年 9 月	2010 年 9 月
水温（表层）	23.36~25.08℃	23.0~25.9℃
水温（底层）	23.75~24.60℃	23.6~25.5℃
COD_{Mn}（表层）	0.856~1.45mg/L	0.84~1.76mg/L
COD_{Mn}（底层）	0.824~1.30mg/L	0.96~1.4mg/L
悬浮物（表层）	3.6~24.3 mg/L	21.2~71.8mg/L
悬浮物（底层）	8.3~27.8 mg/L	37.2~87.8mg/L
石油类	11.5~30.6μg/L	5.4~57.6μg/L

表 4.2-2 施工前后海洋生物对比表

调查时间 调查项目	2006 年 9 月	2010 年 6 月	变化情况
浮游植物	浮游植物的生态类型较为单调，绝大多数种类属于北温带近岸广布类型。浮游植物细胞数量组成中，硅藻、甲藻和金藻分别占浮游植物总细胞数的 92.2%、7.6%和 0.2%。密度在 24.30~938.93×10^4 个/m^3 之间。	浮游植物的种类组成，硅藻占优势。浮游植物细胞密度组成，甲藻占优势。优势种是夜光藻和圆筛藻；密度在 0.39～29.2×10^4 个/m^3 之间。调查海域浮游植物的种类组成及密度的分布，无明显异常，符合中纬度近岸海域浮游植物分布的一般规律。	优势种发生变化，密度有一定减小。
浮游动物	优势种为强壮箭虫；生物量（湿重）变化范围在 22.5~200.0mg/m^3 之间。	优势种为双毛纺锤水蚤、小拟哲水蚤和夜光虫；生物量的变化范围在 187.50～1216.67mg/m^3 之间。	优势种发生变化，生物量明显增加。
底栖生物	常见种（出现频率在50%以上者）有纵沟纽虫、寡鳃齿吻沙蚕、不倒翁虫、西方似蛰虫、丝异须虫、双唇索沙蚕、蛇杂毛虫、脆壳理蛤和蜾蠃蜚等。生物量变化范围在（1.90~66.90）g/m^2之间。生物量组成以软体动物为主，棘皮动 物次之，多毛类居第三位。	优势种是寡节甘吻沙蚕 Glycinde gurjanovae (丰度是 26.00 个/m^2，站位出现率为 50%)；生物量的变化范围在 0.20～304.20g/m^2 之间。生物量的组成以软体动物最高；其次是多毛类；甲壳动物和其它种类的生物量相同居第三位，没有采集到棘皮动物。	优势种发生变化，生物量变化不明显，组成上较为稳定。
潮间带生物	大型定生藻 10 种。潮间带动物以软体动物、甲壳类和多毛类为主，各调查断面出现的种类数差异较大。	以软体动物、甲壳类和多毛类为主，平均生物量是 399.40g/m^2，调查海域潮间带大型底栖生物密度、生物量的分布不均匀。	调查海域潮间带大型底栖生物种类组成、生物量和栖息密度的分布无明显异常，属于正常水平，符合中纬度潮间带大型底栖生物分布的一般规律。

4.3 施工影响的控制

4.3.1 噪声污染的控制

施工期间可以通过以下措施来降低噪声水平或减少噪声对敏感点的影响：

— 使用低噪声的施工设备；

— 合理安排施工进度，施工期间加强对高噪声设备的管理，避免同时使用多个高噪声设备；

— 关注噪声敏感点，采用距离衰减的方式，必要时建立隔声屏障以降低施工噪声对公众的影响；

— 合理施工流程，尽量避免在夜间使用具有较高噪声影响的施工设备。

4.3.2 大气污染的控制

施工期间对大气污染的防治主要是减少扬尘和尾气的释放，相应的防治措施包括：

— 施工区和相关道路上散落的灰土应及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润；

— 在环境保护目标附近，应使用隔离板使施工区与周围环境隔离；

— 开挖出的土方应尽可能及时运至填方地段充填，尽量减少土方的堆置时间；

— 渣土临时堆放场应加盖布条进行防护；

— 水泥等粉状建筑材料应妥善保管，不得露天随意存放；

— 对必须废弃的渣土，将严格按照当地政府主管部门的规定倾倒在指定的区域，渣土运输车辆将加盖防尘罩；

— 加强施工管理，合理调度运输车辆等。

4.3.3 水污染的控制

电厂施工期间对水环境的污染虽然短暂而且有限，但还是需要采取适当的防治措施以使污染最小化。控制水污染的措施包括：

— 建造污水沉淀池，建筑污水在排放前必须经过沉淀以去除固体污染物；

— 施工材料妥善保管，堆放地宜远离水体，且需采取一定的防护措施；

— 加强对生活污水的管理，在电厂施工初期将首先建造适当规模的污水处

理站，施工期间产生的生活污水经过净化处理达标后，经专门排放管道排入受纳水体，严禁直接排入环境；

— 加强对车辆和设备使用的油品管理，防止油品进入施工废水，进而污染水环境。对存在含油的污水，将进入隔油池处理达标后，才允许排入受纳水体。

4.3.4 固体废弃物的控制

电厂施工期间将产生施工人员的生活垃圾和一些工业固体废物，如果不合理处置也将对环境造成破坏。

1）生活垃圾的控制方式

——生活垃圾存放在桶类容器内，不随意抛弃垃圾；有毒、有害垃圾则单独存放在容器内；

——生活垃圾。核电厂区、生活区生活垃圾放在垃圾桶等容器内，用垃圾运输车运至市政指定地点处理；

2）工业固废的控制方式

工业固废主要为建筑类固体废物，主要分为弃土、废渣、废钢材、废木材、废塑料、废纸等 6 类，各类固体废物产生量均较小。

——弃土。在厂区东部规划了土石方堆放场，集中堆放开挖土石方和弃土，可用于工程回填；

——废渣。由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，定期清理出厂区，运至当地垃圾处理场处理；

——废钢材、废木材、废塑料、废纸等。具有一定的回收利用价值，由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，由废品回收单位进行回收处理；

——建设阶段产生的所有建筑垃圾均由施工单位自行运至当地垃圾处理场处理，现场不设立集中的垃圾中转场地。

4.3.5 海洋生态的保护措施

山东海阳核电厂的取排水工程、重件码头、围填海工程将在山东海阳核电厂 1、2 号机组开工时一次建成，因此山东海阳核电项目 3、4 号机组工程的建设不会对海洋生态环境产生明显影响。

4.3.6 加强施工期间的环境监测

建议加强施工过程中的环境监测。通过制定并实施环境监测计划，了解施工过程中的环境质量现状，可有效监督各项环保措施的落实情况，及时准确地掌握环境质量和污染源动态，及时发现存在问题，以便进一步修正、改进环保工程措施，控制施工活动对环境的影响，使施工行为对环境的影响减低到最小，更好地贯彻执行有关环保法律法规和环保标准，确实保护好环境资源和环境质量，实现经济建设和环境保护的协调发展。

根据山东海阳核电厂 1、2 号机组施工期间环境监测的经验反馈并结合本工程特征和区域环境现状，制定了 3、4 号机组施工期环境监测计划（见表 4.3-1），山东核电有限公司应委托相关的有资质的监测机构进一步完善并实施环境监测计划。

表 4.3-1　施工期环境监测计划

序号	监测内容	监测因子	监测频次	监测点位
1	水质	水温、盐度、浊度、pH、DO、COD_{Mn}、BOD_5、SS、粪大肠菌群、无机氮、氨氮、非离子氮、活性磷酸盐、石油类	每年选择大潮期和小潮期各进行一次水质监测	可参考一期工程施工期环境监测点位。
2	施工废气、扬尘	NO_2、SO_2、TSP、PM_{10}	每季一次	邵家庄、小滩、梁家、林家各设置 1 监测点
3	施工噪声	Leq(A)	分别在厂界和附近村庄进行监测，每季一次	厂界噪声监测点位图可参考一期工程施工期监测点位，另在邵家庄村、小滩村设置噪声监测点。
4	水土保持	按已批复的《山东海阳 3、4 号机组水土保持方案报告书》（批文号：水保函[2009]376 号）开展		

4.4 水土保持

4.4.1 水土流失现状

海阳市在山东省人民政府公告的三区划分中属于水土流失重点治理区。

本工程地处滨海，场地已经平整，经现场调查，水土流失属轻度水力侵蚀。土壤容许流失量为 200t/km^2·a。

本工程侵蚀模数的取值是根据区域水土保持规划资料、土壤侵蚀资料、遥感资料、并结合项目区地形地貌、土地类型、降雨情况、土壤母质、植被覆盖等进行综合分析，经现场踏勘、调查及必要的实测，并咨询当地水保专家意见，综合确定的比较接近现场实际的侵蚀模数背景值。各分区的土壤侵蚀模数确定为：主厂区、施工生产区和弃土场区的土壤侵蚀模数均为 800t/km^2·a。

4.4.2 水土流失的影响

1）水土流失可能造成的影响

本工程水土流失可能造成的影响主要表现在对区域生态环境、厂址安全、电站建设安全营运等三个方面：

— 电站在建设过程中，将大范围地扰动地表，地表土层和植被将完全剥离，大大降低了项目占地范围内的土壤抗蚀能力；厂内道路、输水管线工程建设产生的开挖和土壤、泥土的堆弃将占压耕地和植被，并将对项目区的环境造成不利影响，遇大风和大雨易产生严重的水土流失，直接影响项目建设范围及周边群众的生产和生活。

— 基础的开挖和回填，防波堤的修筑等均影响当地土层的稳定性，破坏了原有地面物的蓄水保土功能，如不采取水土保持措施，将造成新增水力侵蚀和重力侵蚀，从而对工程安全施工造成影响，进而为厂区安全造成隐患。

— 根据防波堤、护岸堤的设计情况，考虑开挖边坡的坡度、施工工艺等因素，对换填泥土、基础处理等进行分析，并采取相应的措施，减少因电站挖填方、临时堆土堆渣、施工扬尘、污染水质等对电站安全运行的不利影响。

海阳核电厂一期工程在建设过程中进行了水土保持监测，开展了水土流失量监测、弃渣场监测、植物样地监测、水土流失危害监测和水土保持防治措施监测。北京华夏山川生态环境科技有限公司编制的《山东海阳核电厂一期工程水土保持

监测报告（2012 年度）》表明，厂区内水土流失在可控状态下进行，水土流失因子（径流系数、侵蚀强度、水土流失量等）都在正常范围内，弃渣场及其他各分区通过检测点的数据反映，水土流失量都在控制范围内；水土保持工程措施、植物措施、临时措施及时到位，各项目区没有新增水土流失面积，未造成水土流失危害，项目区水土保持总体情况良好。

2）水土流失预测

根据《山东海阳核电厂 3、4 号机组水土保持方案报告书》中的预测结果，本期工程主要的扰动范围在厂区、海水淡化车间、施工生产区和弃土场区，根据土石方量平衡，本期工程挖方 80.66 万 m^3、填方 13.45 万 m^3，弃方 67.21 万 m^3。建设期可能造成的水土流失量为 3.42 万 t，新增水土流失量为 2.72 万 t。

4.4.3 防治责任范围及防治分区

按照《开发建设项目水土保持方案技术规范》（GB 50433-2008）的规定，将本工程水土流失防治责任范围划分为项目建设区和直接影响区。

本期工程主要的水土流失区域为：厂区、海水淡化车间、施工生产区和弃土场区，这一区域已建成围墙，通过现场调查分析本区域无影响区。

本工程项目建设区内可以满足施工要求，经分析无影响区，防治责任范围为 112.78hm^2，均为永久占地。一期工程已一次性征，厂平已完成，本期占地类型为建筑用地。

4.4.4 水土保持投资估算及效益分析

4.4.4.1 水土保持投资估算

本工程水土保持工程总投资 1252.61 万元。

4.4.4.2 效益分析

本工程水土保持方案实施后，形成综合防护体系，将有效地控制因工程建设造成的新增水土流失，保护项目区及周边的生态环境。恢复和重建因工程建设而破坏的植被和水土保持设施。改善工程建设区及周边地区的生产和生活环境，促进区域的经济发展。

1）生态效益

本项目生产建设扰动地表面积 112.78hm^2，防治责任范围面积 112.78hm^2，

造成水土流失面积 112.78hm^2，可能造成的水土流失量为 3.42 万 t，新增水土流失量为 2.72 万 t。采取相应的水土流失治理措施后，水土保持措施防治面积 55.70hm^2，防治责任范围内可绿化面积 34.98hm^2，已采取的植物措施面积 34.76hm^2。

水土保持措施效益见表 4.4-1。

2）社会效益

实施水保方案后，对确保电厂安全生产、提高当地土地利用率、改善项目建设区生态环境起到积极重要的作用。另外为电厂绿化创造了良好的环境，有利于电厂职工和周边群众的身心健康，提高劳动生产率。

3）经济效益

实施水保方案后，由于电厂建设采取了有效的水土保持措施，并有可靠的资金作保障，可减少建设区域内的水土流失，减少泥沙量。除此之外，方案的实施还具有潜在的间接经济效益。

表 4.4-1　水土保持措施效益计算表

项目	内容	方案目标值	计划达到值
扰动土地治理率	扰动土地整治面积+加建筑面积（112.75hm^2） 扰动土地面积（112.78hm^2）	95％	99.97％
水土流失治理度	水保措施防治面积（55.70hm^2） 造成水土流失面积（55.73hm^2）	87％	99.95％
土壤流失控制比	容许土壤侵蚀模数（200 t/km^2·a） 治理后的平均土壤侵蚀量（200 t/km^2·a）	1.0	1.0
拦渣率	设计拦挡弃土量（72.5 万 m^3） 弃土总量（73.3 万 m^3）	95%	98.9%
植被恢复系数	植物措施面积（34.76hm^2） 可绿化面积（34.98hm^2）	97％	99.4％
厂区林草覆盖率	林草总面积（34.76hm^2） 项目建设区面积（112.78hm^2）	22％	30.8％

第五章　电厂运行的环境影响

5.1 散热系统运行的影响

山东海阳核电厂规划容量为 6 台百万千瓦级压水堆核电机组，分三期建成。本项目在一期工程建设两台 AP1000 机组的基础上，扩建两台 CAP1000 核电机组。

山东海阳核电厂的取排水方案是按厂址规划容量进行论证的，并在山东海阳核电厂一期工程设计阶段的环评报告中审评通过。

在山东海阳核电厂一期工程设计阶段已针对山东海阳厂址开展了温排水、放射性液态流出物的数模和物模研究工作和取排水口岸滩稳定性的分析研究工作，对多种取排水方案进行了比对分析，并对取排水方案进行了优化。中国水利水电科学研究院在 2006 年开展的温排水、放射性液态流出物物模研究专题中针对 7 种取排水方案进行了论证分析，开展了大、中、小潮条件下暗管排水-取水明渠进口段防浪墙型式的比对试验、暗管排水方案和明渠排水方案的比对试验以及明渠取排水方案-排水明渠出流影响的比对试验。经综合分析比较，最终推荐方案 3 为最优方案。

山东海阳核电厂施工期间，厂址半径 5km 范围内岸线基本无变化，但 10km 范围内有一新建的海阳港。海阳港由东、西 2 个港区组成，西港区建设于老龙头基岩岬角上，目前其防波堤已延伸至水深 6m 范围，海阳东港于 2010 年 4 月正式开工，目前正在建设中，预计 2015 年投用。海阳东港对核电厂工程海域的流场及温排水、放射性液态流出物扩散可能有一定的影响，目前已委托专题单位开展工作，复核温排水、放射性液态流出物对环境水体的影响。

5.1.1 取排水工程方案简介

根据一期工程所开展的取排水方案论证，本期工程与一期工程相同，即采用明渠东取、西排的方式。取水明渠在一期工程时已统一规划建成，取水明渠从循环水泵房前沿延伸至－7.0m 海床标高海域。明渠底标高为-7.0m，取水明渠的宽度从取水口处至三期循环水泵房进水口为 120m，三期进水口至本期进水口为 100m，本期取水口至一期工程取水口为 80m；取水明渠总长度约 1500m，设计与施工分界线在厂址取水护岸处。

排水工程包括排水口构筑物、导流堤、排水口护岸等组成。排水口平面布置

呈喇叭型，排水口进水口宽度为 40.0m，出水口宽度为 150m，底标高-3.0m，两侧翼墙与轴线夹角一致，顶标高为 0.00m，排水口翼墙之间为排水口底板。在排水明渠两侧布置排水导流堤，导流堤由南导流堤、北导流堤组成。南北导流堤长均为 744m，堤顶高程均为 3.0m。在排水口构筑物两侧布置排水口南、北护岸，长度分别为 549.7m 和 419.1m。

5.1.2 物理影响

本工程循环冷却水采用海水直流循环供水系统（一次循环冷却水系统），从厂址南侧黄海海域明渠取水，从厂址西侧海域采用排水口＋排水明渠排水。本工程夏季冷却水流量为 134.0m^3/s，取排水温升为 8.09℃；冬季冷却水流量为 102.0m^3/s，取排水温升为 10.79℃。

5.1.2.1 取水对流场影响的分析

取水口位于大辛家岬角东南部，在厂区南部沿护岸方向设置一条防波堤，该防波堤长约 1872.6m。每两台机组共用一座循环水泵房，每期引水明渠底宽 100m，延伸至-7m 等深线海域。明渠设计进水流速与自然潮流速度相当。因此，由于取水引起的局部流态变化与海底冲蚀效应相比是可以忽略的。

5.1.2.2 温排水温升影响分析

2005 年~2006 年，中国水利水电科学研究院受中国电力投资集团公司委托，完成了山东海阳核电厂温排水、放射性液态流出物数学模拟计算以及物理模型试验。2008 年中国水利水电科学研究院在 2006 年同一工程研究成果的基础上，针对 AP1000 工程方案，进行了“山东海阳核电厂可行性研究阶段温排水、放射性液态流出物数模计算”工作。

本报告书根据 2008 年的“山东海阳核电厂可行性研究阶段温排水、放射性液态流出物数模计算”和 2006 年的“山东海阳核电厂工程温排水、放射性液态流出物物模试验研究”的相关结果进行论述。

5.1.2.2.1 数值模拟和物模试验结果

表 5.1-3 和图 5.1-8 给出了山东海阳核电厂 1~4 号机组正常运行时夏季典型潮条件下全潮最大温升包络线和全潮平均温升包络线分布结果。由上述图表可知，山东海阳核电厂 1~4 号机组正常运行时，夏季：

— 1℃全潮最大温升包络面积为 32.5km^2；

— 2℃全潮最大温升包络面积为 19.8km^2；

— 3℃全潮最大温升包络面积为 11.4km^2；

— 4℃全潮最大温升包络面积为 6.0km^2。

由于物模没有冬季试验结果，冬季采用 2008 年二维数模计算结果，表 5.1-4 和图 5.1-9 给出了山东海阳核电厂 1~4 号机组正常运行时冬季典型潮条件下全潮最大温升包络线和全潮平均温升包络线分布的数值模拟计算结果。由上述图表可知，山东海阳核电厂 1~4 号机组正常运行，冬季：

— 1℃全潮最大温升包络面积为 29.3km^2；

— 2℃全潮最大温升包络面积为 8.34km^2；

— 3℃全潮最大温升包络面积为 4.91km^2；

— 4℃全潮最大温升包络面积为 3.80km^2。

5.1.2.2.2 温排水影响评价

根据国务院关于山东省海洋功能区划（2011-2020）的批复（国函）[2012]165 号，山东海阳核电厂所在海域为“海阳临港工业与城镇用海区”，该区域基本功能为工业与城镇用海，在基本功能未利用时兼容农渔业等功能。控制围填海规模，并接受围填海计划指标控制，保障河口行洪安全。该区域开发利用期执行海水水质不劣于三类标准，海洋沉积物质量、海洋生物质量不劣于二类标准。该区域用海面积为 86.34km^2，岸段长度为 40.16km。

根据山东省环境保护局《关于同意调整山东海阳核电厂附近海域环境功能区划的复函》（鲁环发[2009]21 号），海阳核电厂厂址西侧 9.6 平方公里的海域和厂址东侧 7.7 平方公里的海域，其环境功能区类别由原来的二类调整为混合区。核电厂厂址周围剔除混合区后，面积为 40.4 平方公里的海域其环境功能区类别由原来的二类调整为三类，主要水质指标除水温执行三类海水水质标准外，其它指标仍执行二类海水水质标准。山东海阳核电厂近岸海域环境功能区调整示意图见图 1.4-1。

由表 5.1-3、表 5.1-4 可见，夏季 4℃以上温升区最大面积为 6.0km^2，冬季 4℃以上温升区最大面积为 3.80km^2。山东海阳核电厂 1~4 号核电机组 4℃以上温升区位于批复文件所规定的混合区范围内，1~4℃温升区位于批复文件所规定的III类功能区范围内，能满足海洋功能区划和海域环境功能区划的要求，参见图

5.1-10。

5.1.3 生物效应

山东海阳核电厂取排水系统主要包括取水头部、拦污栅、引水隧洞、水泵、冷凝器、排水明渠和排水口等部分。取排水系统各个部分对海洋生物可能产生的影响主要为热因素、机械因素和化学因素影响。在所有这些影响因素中，最主要的是核电厂温排水的热影响，以及取水系统的卷吸撞击效应的影响。

5.1.3.1 排水系统影响的分析

核电站运行过程中，大量的冷却水经过散热装置后升温（夏季约 8.09℃，冬季约 10.79℃），其后排入周围水体中，将导致周围水体有一定的温升。如果环境水体升温后超过海洋生物生长的适宜温度，温度的升高将可能导致海洋生物的生长受到抑制或死亡。另外，自然水体经过冷却系统后骤然形成的高温差，亦有可能使海洋生物不适应而造成死亡。但如果在适温范围内，环境水体温度的升高，则会促进海洋生物的生长和繁殖。

1）温排水对鱼类的影响

鱼类是变温水生动物。与陆生生物相比，其适温习性较窄，决定了鱼类生活史特性受温度的制约作用尤为突出。温度对鱼类生活的影响，有些是直接的，有些是间接的。温度直接影响有机体的体温，体温的高低又决定了鱼类新陈代谢过程的特点，如鱼类的生长和发育速度、繁殖、行为、数量和分布。间接影响如温度影响海流、潮汐等，从而影响鱼类的生存条件。在黄渤海区 20m 等深线以内，底层温度是决定鱼类群落结构的第一控制因素。根据历史资料的综合分析，黄渤海区属典型暖温性节侯带，鱼类群落以暖温性种类居多数，暖水性种类其次，冷温性种类最少。

从海洋生态学上，温度的生态学作用首先表现在鱼类的季节性洄游和生殖，以及鱼类群落的季节性分布规律对温度的适应能力（表 5.1-5）。在黄海胶州湾，3~5 月间温度的逐步升高，至 8 月份温度达到最高值。进入 9~2 月份，温度较低。这种周期性水温的变化，与黄渤海区鱼类繁殖种类的数量密切相关。以 5~6 月间，进入黄渤海沿岸水域生殖鱼种为全年最多，分别为 26~36 种。

因此，在春季沿岸水域温度的升高，将会引起鱼类生殖期的早日到来。对同

一鱼类种群而言，生长期的提前，将会延长生长期。在冬季，自然水温的下降是引起鱼类游出近海，进入深水越冬的直接因素。如果温度的适当升高，将延缓越冬鱼群的离岸时期。从另一方面，温度对鱼类繁殖发育也具有负作用。鱼卵的孵化和仔稚鱼的发育，与温度的关系密不可分。首先，温度与鱼卵孵化时间成倒数关系，即孵化水温越低，孵化时间越长。其次，决定鱼类补充资源量的因素是成活率和生长率。成活率与温度成反比例关系。虽然生长率与温度成正比例，但由于高温致使种群死亡率升高，进而影响鱼类资源量。总之，温度对鱼类种群的影响是双向的，既有正效应，也有负效应。

鱼卵、仔鱼的分布受到亲鱼的产卵行为（包括各种环境及生态因子）的影响，同时也会受到海流等物理因子的影响。国内学者认为，温排水调查海域鱼卵和仔鱼的总数量及季节变化均无明显影响，鱼卵死亡率的影响也不显著，说明温升对鱼卵和仔鱼的生存影响不大，这与日本海洋生物环境研究所的研究结果一致。鱼、贝类的卵被吸入以后，由于在管内停留时间较短，也能忍受比环境高出 7℃的水温，故影响不显著。

根据历年海阳市和乳山市水产统计资料，厂址海区没有具有一定经济价值的资源生物记录。因此，该海区并非主要水产渔场，核电厂的建设对水产资源没有明显的影响。

2）温排水对浮游生物的影响

在高温升区（>2℃），冬季海域温度分布趋势为近岸低、远岸高，高温升区的本地水温约为 4.0℃，如果温升 ΔT 为 2℃以上，即海区水温可达 6.0℃以上，越近岸温升越高；春季海域温度分布与冬季相反，近岸水温较高，高温升区原海域水温为 15~16℃，温升 ΔT 为 2.0℃以上，海区水温可升至 17~18℃以上，秋季高温升区原海域水温为 22.5℃，温升 ΔT 为 2℃以上，可升至 24.5℃以上。

对于冬、春和秋季增温 2℃以上后的海水温度都在浮游生物范围内，估计对浮游生物不会有不利的影响，相反在一定程度上有促进生长和繁殖的作用。在夏季，海域自然水温高达 26℃，受温排水影响再增温 4℃而达到 30℃以上，已超过许多浮游生物最适生长的温度范围，可能引起活性有机质钝化，光合作用减弱。据美国核电站观测表明，当进水温度为 27℃，温升 ΔT 为 6℃时，浮游植物碳同化率下降了 30%。但高温升区所包络面积很小，在夏季大于 4℃温升包络面积为

3.3km^2，大于 1℃为 20.8km^2。

在低温升区（0.5℃~2℃），浮游生物量和初级生产力均要高于正常海域，但溶解氧含量仍略低于正常水平。同样的在本海区水温的适当升高，可加强浮游生物的新陈代谢，提高浮游植物的光合作用速率，促进生物的生长和繁殖，提高海域的生产力和物种的多样性。浮游动物中最主要的类群挠足类完成一个世代所需要的时间随水温的高低而变化，如双齿许水蚤在 13℃~21℃下需 30 天，但在 19℃~27.5℃下仅需 13 天。东北师范大学的现场观测结果亦表明，春季的弱增温区（ΔT≤3℃）的浮游生物生物量最高，为自然水温区的 1.3 倍，而冬季为自然水温区的 2.4 倍。较高的初级生产力和丰富的基础饵料生物对提高整个水域的生产力，无疑将是有利的。根据海区浮游植物多样性指数分析得知，四个季度月多样性指数呈冬、春、夏、秋增加趋势，夏季水温达 26℃以上，不同程度影响某些藻类生长，多样性指数和均匀度亦高于春季而低于秋季，主要是水温变化的影响。海域处于北半球中纬度温带海区，浮游生物区系成分丰富，除一些广布性种类外，对温度要求不同的种类会分别在一年四季中形成优势，由于低温升影响，低温升区浮游生物种类更替时间比自然海区会略有提前，区内种类分布数量亦略不同于周围海区。在小于 0.5℃低温升区，初级生产力及浮游生物量会略有提高，温升起到提高生物量的正效应，但其影响甚微。

在山东沿海通常在 5 月份开始进入可能暴发赤潮的季节。但在现场调查中，发现浮游植物数量较低，平均仅为 31.71×10^4 个/m^3。主要赤潮生物夜光藻在冷家庄附近的 14 号站数量较多，达到 23×10^3 个/m^3，8 月夜光藻数量更小。与暴发赤潮的密度（30×10^6 个/m^3）相差甚远。各季度月赤潮生物数量差异较大，表现出明显的季节性。2 月份主要种类为中肋骨条藻，其密度范围为 4.58×10^6~1.5×10^8 个/m^3，在浮游植物中所占比例较大（60.2~98.9%），主要赤潮种有夜光藻、尖刺菱形藻等，8 月主要赤潮种为扁面角毛藻（平均 1.1×10^6 个/m^3）、短角弯角藻等；10 月主要赤潮种为爱氏辐环藻（平均 4.2×10^5 个/m^3），上述主要赤潮种，虽数量占有一定优势，但均低于形成赤潮阈值。同时由于核电温排水口水交换好，扩散快，再加上有科学的环境管理，不会造成严重影响。但从长远观点看核电站运行后，应严格加强工业污水和生活污水的排放管理，防止海区富营养化赤潮的发生。

综上所述，核电站运行过程中，在高升温区对浮游生物会造成一定的损失，

但影响范围是很有限的。相反，温排水造成大面积低升温区对浮游生物的繁衍与种群发展是有利的，应加强海域环境科学管理，合理开发，维护生态结构平衡。

3）温排水对底栖生物的影响

厂址海域主要底栖生物为软体动物、甲壳动物和多毛类。软体动物双壳类和多毛类主要是底埋性栖息类群，运动性低。软体动物中的腹足类如红螺，为底爬性生态习性，具备一定的爬行运动能力。

厂址海域底栖生物中，出现主要经济价值底栖生物种类包括：脉红螺、香螺、青蛤、异白樱蛤、毛蚶、褐蚶、凸镜蛤、菲律宾蛤仔、贻贝、缢蛏、牡蛎、脊腹褐虾、脊尾白虾、鹰爪虾和棘锚海参等。厂址海域出现的底栖生物种类，均为暖温带生物种类，春季产卵，最适宜的海水温度为 14~25℃，在 28℃以下海水温度条件下，能正常生存。核电厂厂址周围附近海域，夏季 7~8 月为最高海水温度，其平均温度为 24℃左右，若核电厂排水口周围海域温升 4℃的话，海水温度将超过一些重要底栖生物正常生存温度的上限，对底栖生物可产生一定损害，同时海水的温升效应会使底栖生物的繁殖期提前。

牡蛎是厂址海域出现的重要经济贝类，对温度适应范围较广，在 3℃~32℃范围内，均能存活，适宜的生长温度为 6~25℃，夏季在水温达 34℃，能安全度过，对高温具有很强的适应能力。核电厂的温排水对牡蛎的生存和生长不会造成不利影响。

贻贝相对于牡蛎，更适应于较低的温度环境，贻贝的生长适宜水温范围为 5~23℃，最适水温范围为 10~20℃，水温高于 25℃时，壳的生长逐渐迟缓，30℃以上，贻贝出现大量死亡。温排水对贻贝成体基本不会产生不利的影响。贻贝的早期发育，温排水对其有促进发育的影响。在 13~16℃条件下，贻贝变态并向成体过渡需要 20 多天，而在 20℃条件下，只需要 2 天的时间。

缢蛏在 8~30℃水温范围具有正常的生理活动，水温降至 5℃时，缢蛏活动力减弱，水温超过 30℃时，缢蛏心脏跳动加速，在 34℃时，生理机能呈现不协调现象，其适温上限为 39℃，下限为 0℃。在 39℃时，缢蛏能存活 2 小时，在 0℃条件下，1 小时死亡。

毛蚶的最适宜温度为 18~23℃，对温度的适应范围为 2~30℃，25~27℃是适宜的繁殖温度范围。菲律宾蛤仔对温度具很强的适应能力，适应范围为 5~35℃，

以 18~30℃为最适宜。在水温 36℃以上或 0℃以下便停止摄食，当水温升到 44℃时，死亡率为 50%，在 45℃水温下，死亡率为 100%。生活在-2~3℃条件下，蛤仔 2 周内的死亡率为 10%。菲律宾蛤仔春季排卵，在 24℃时，受精卵发育到 D 型幼虫需要约 16 小时，而水温为 21℃时，需要 22 小时。

青蛤适宜的海水温度为 0~30℃，以 22~30℃为生长最适水温。水温 25~28℃时，青蛤开始繁殖，26℃条件下，受精卵经过 16 小时可发育到 D 形幼虫。

核电厂厂址周围附近海域，夏季 7 月为最高海水温度，其平均温度为 24℃左右，即使核电厂排水口周围海域温升 4℃，海水温度不会超过上述重要底栖生物正常生存温度的上限，而且底栖生物生境海水温度会低于上层海水温度，底栖生物会有向下垂直运动，以对过高的海水温度产生自我保护，温升不会对其生存产生明显的不利影响，底栖生物在温升影响范围内能够正常的生存。春季是底栖生物的繁殖季节，温排水带来的海水温升对底栖生物的早期发育和生长均有促进作用。底栖生物的繁殖主要受海水温度的影响，春季海水温度开始回升，是底栖生物繁殖的诱发环境因子，因此温排水会使上述重要底栖生物种类原有的繁殖时间提前。冬季，大多数底栖生物会有迁移现象，向深水方向迁移，以避开冬季寒冷的不利影响，温排水的海水温升效应可使底栖生物冬季深水迁移程度降低，使近岸底栖生物的生物量相对增加。

4）温排水对潮间带生物的影响

潮间带周期性地潮涨潮落，潮间带生物周期性地暴露于外部严寒和酷热空气环境，由于长期适应于潮间带剧烈周期性变化的环境，潮间带生物对环境的适应能力特别强，核电厂温排水效应对上述重要潮间带生物不会产生明显不利影响。核电厂温排水效应会对潮间带冬季繁殖的种类，如短滨螺的繁殖季节的时间产生影响，使其繁殖时间提前。

5）温排水对周围养殖的影响

厂址所在海阳市近海海域，滩涂广阔，潮滩多为沙、泥沙底质和部分岩礁，总面积 44.7km^2。全市养殖主要分布在沿海 5 个乡镇，即留格庄镇、凤城街道办事处、大阎家镇、辛安镇、行村镇。厂址 15km 半径范围内主要是留格庄镇，有滩涂养殖、池塘养殖、工厂化养殖和网箱养殖，其中池塘养殖和工厂化养殖场所主要建在沿岸陆地上，滩涂养殖主要在沿岸潮间带区域，网箱养殖主要在大于

15m 水深海域。

山东核电有限公司于 2010 年按照《山东海阳核电厂温排水用海所涉养植物和构筑物征用补偿协议》，补偿 1~4 号机组海域用海范围内的养植物及养殖设施。

此外，项目用海范围 5km 内的 3 个海水养殖区均位于 1~4 号机组 1℃温升区范围外，且 3 个海域使用证将在 2017 年 12 月底到期，届时根据最新的《山东省海洋功能区划（2011~2020）》，3 个海水养殖区所在海域为海阳临港工业与城镇用海区，海阳市海洋局将不再为该 3 个养殖场颁发新证。

5.1.3.2 卷吸效应的分析

山东海阳核电厂循环冷却水的取排水系统主要包括取水头部、自流引水管、闸门、拦污栅、鼓形滤网、水泵、冷凝器和排水明渠等。一般，取水产生的卷吸效应只对那些能通过滤网的鱼卵、仔鱼、仔虾、浮游生物及其它游泳类生物幼体产生明显的伤害。这种伤害主要包括机械碰撞、温升和冷却水氯化的毒性等。

1）卷吸效应对浮游生物的影响

关于机械冲击，法国沿海电站的观测表明，对浮游植物并未产生明显的影响，对浮游动物的影响亦很小，死亡率低于 10%。但据东北师范大学的观测报告，机械冲击对进入冷却系统中的浮游植物造成的损伤率达到 11.98%-27.08%。经过 72 小时后，浮游藻类损伤后恢复的数量与自然海水中的数量相同，经过 3 天后即可恢复到原来的数量。浮游动物个体相对较大，对机械冲击较为敏感，经过冷却系统，其损伤率可能重些，其中部分个体立即致死。浮游动物的总损伤率为 55%，高于浮游植物。但浮游动物生殖周期短（一般 1~7 天），繁殖快，生物量周转率较高，浮游动物各种类恢复到原来数量的时间为 30 小时~6 天。

根据上面分析初步预测，山东海阳核电厂运行期间其取水系统产生的卷吸效应将对浮游生物产生一定程度的损伤，使取水口附近小范围内的浮游生物，尤其是浮游动物的生物量有所减少，局部范围的海洋初级生产力会有所降低，其中夏季的影响较重，而冬季的影响较轻。但由于浮游生物的生殖周期较短，繁殖较快，其损伤后的恢复也较快。因此，卷吸造成的损伤对厂址海区的浮游生物总量及种群结构等的影响将是有限的。

2）卷吸对鱼卵、仔鱼、甲壳类幼体的影响

核电厂利用自然海水进行冷却作用，无疑将对水体中经济资源的补充资源产生一定的影响。对鱼类浮游生物来说，主要是鱼卵和仔稚鱼资源。国内若干电厂的现场实测结果，进入电厂冷却系统的梭鱼幼鱼（体长 25~40mm）的损伤率为31.6%~46.3%。国外有关报道认为，卷吸效应造成的幼鱼致死率与幼鱼的体长有关，两者呈负相关关系。幼鱼体长在 14~40mm 范围内体长每增加 lmm，幼鱼因卷吸而造成的死亡率减少约 3%。冷却系统对仔虾的损伤实验表明，因卷吸进入冷却系统的仔虾致死率为 24.3%~56.9%，平均为 40.7%。仔虾损伤率随其密度的增加而增加，两者呈正相关关系。然而，在加氯情况下，进入冷却系统的海洋生物的死亡率要大于上述结果。

山东海阳核电厂 3、4 号机组运行后，夏季冷却水流量将达到约 134.0m^3/s。由于海阳核电厂采用表层取水，因而生活于核电厂取水口附近上层水体的鱼卵、仔鱼、甲壳类幼体将可能被吸入。但是，由于海洋鱼虾类属生态型，具有繁殖能力强，产卵多的特点，在自然环境下其幼体阶段的自然死亡率亦很高。根据人工育苗的经验，多数情况下鱼虾卵及其幼体达到商品苗规格的存活率为 10%。在自然环境下，鱼卵的存活率在十万分之一与百万分之一之间。根据调查厂址附近产卵场和幼鱼密集区离山东海阳核电厂取水口有相当一段距离，加上鱼卵和幼鱼随时间的变化和成长过程以及鱼的逆流性，海水运移的时间因素，实际的吸入量将大为减少。

3）卷吸效应对底栖生物的影响

底栖生物成体由于底表生活方式，受核电站取水口卷吸作用甚微，不会产生明显影响。底栖生物在繁殖季节，其早期发育阶段主要以浮游幼虫方式度过，浮游幼虫的个体大小一般为 50~100 微米，个体非常微小。从法国沿海电站观测表明，卷吸的机械冲击对个体微小的浮游植物并未产生明显的影响，对浮游动物的影响亦很小，死亡率低于 10%，因此卷吸的机械冲击损伤对个体微小底栖生物浮游幼虫不会产生明显影响。

因此，山东海阳核电厂取水系统的卷吸效应对厂址海域的鱼卵和仔幼鱼会造成一定程度的损伤，但相对于广阔海域仔幼鱼蕴藏量，其损伤量是有限的。卷吸效应对于核电站取排水口近区影响相对较大，但这种较大影响的范围是局部的，有限的。

表 5.1-3　夏季工况典型潮型温升包络面积

装机容量	潮型	全潮最大温升包络线面积（km^2）					
		4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃	0.1℃
2×1250MW	典型大潮	3.2	7.8	13.3	20.0	23.5	220
2×1250MW	典型中潮	3.3	7.8	13.3	20.5	30.4	202
2×1250MW	典型小潮	3.3	7.9	13.7	20.8	32.0	170
4×1250MW	典型大潮	5.7	10.9	19.6	31.5	56.3	387
4×1250MW	典型中潮	5.9	11.4	19.7	31.6	66.4	367
4×1250MW	典型小潮	6.0	11.4	19.8	32.5	63.3	326
装机容量	潮型	全潮平均温升包络线面积（km^2）					
		4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃	0.1℃
2×1250MW	典型大潮	1.1	2.5	5.6	9.4	9.86	147
2×1250MW	典型中潮	1.3	3.1	7.1	11.7	16.5	145
2×1250MW	典型小潮	1.4	3.5	7.2	11.9	19.7	133
4×1250MW	典型大潮	5.7	5.4	10.9	15.3	30.1	286
4×1250MW	典型中潮	5.9	5.7	11.0	15.5	41.1	285
4×1250MW	典型小潮	6.0	6.1	11.0	16.4	45.8	270

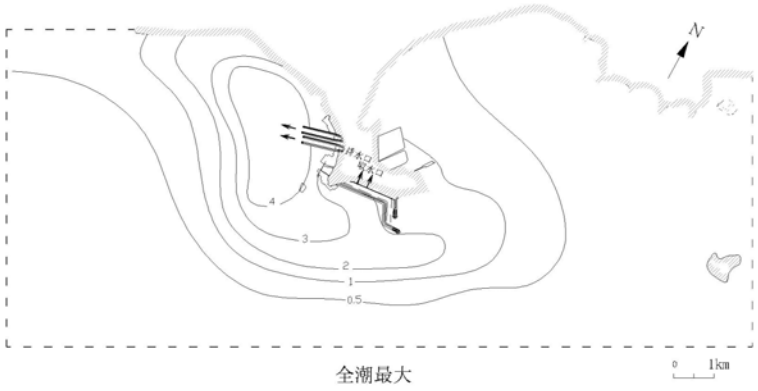
表 5.1-4　冬季工况温升等值线包络面积

装机容量	潮型	全潮最大温升包络线面积（km^2）					
		4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃	0.1℃
2×1250MW	典型大潮	0.87	1.87	3.81	7.21	28.2	271
2×1250MW	典型中潮	1.51	2.63	4.13	11.0	37.5	251
2×1250MW	典型小潮	1.79	2.85	4.42	12.7	37.6	211
4×1250MW	典型大潮	2.85	4.25	6.75	25.2	70.3	473
4×1250MW	典型中潮	3.57	4.88	7.58	27.2	84.1	453
4×1250MW	典型小潮	3.80	4.91	8.34	29.3	79.6	401
装机容量	潮型	全潮平均温升包络线面积（km^2）					
		4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃	0.1℃
2×1250MW	典型大潮	0.33	0.40	0.88	2.89	12.4	189
2×1250MW	典型中潮	0.47	0.92	1.97	4.80	20.5	186
2×1250MW	典型小潮	0.63	1.29	2.83	6.63	22.3	163
4×1250MW	典型大潮	0.56	1.23	2.87	11.2	38.5	360
4×1250MW	典型中潮	1.24	2.66	4.82	14.4	53.6	358
4×1250MW	典型小潮	2.08	3.18	5.88	19.0	57.9	335

表 5.1-5　黄渤海主要经济渔业资源种类的适应水文环境（温度/盐度）

单位：℃ / ‰

鱼种	产卵场	索饵场	越冬场
带鱼	14—19/27—31		14—18/33—34.5
小黄鱼	10.5—14/30—32	14—26/	>8/33—34
绿鳍马面鲀	17—19/34.5—34.8		18—18.3/34.1—34.6
太平洋鲱	2—6/30—32	6.5—9.5/30—32	6.5—9.5/30—32.5
蓝点马鲛	13—20/	10—14/	12—13/32—33
鳀	16—22/28—31		11—13/
中国对虾	13/		8—10/30—33.5
海蛰		18—24/14—20	



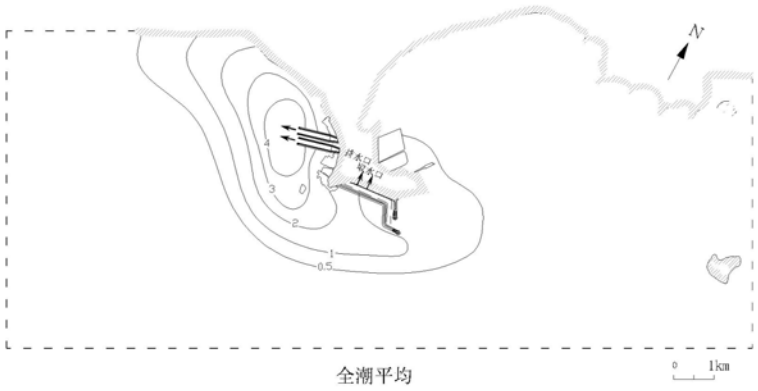
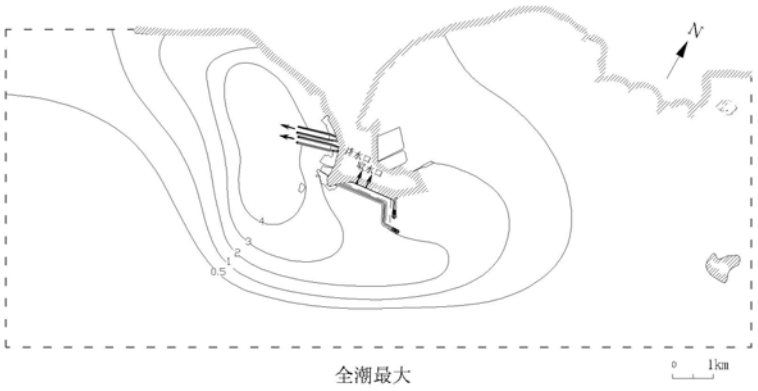


图 5.1-8（1/6）　山东海阳核电厂 1~4 号机组夏季工况温升包络面积图（物模、典型大潮）



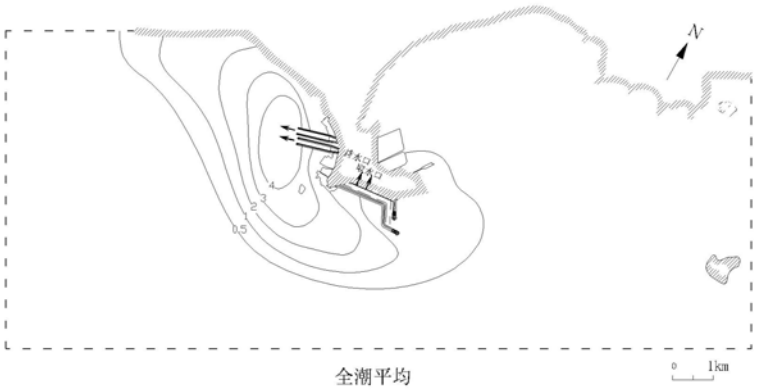
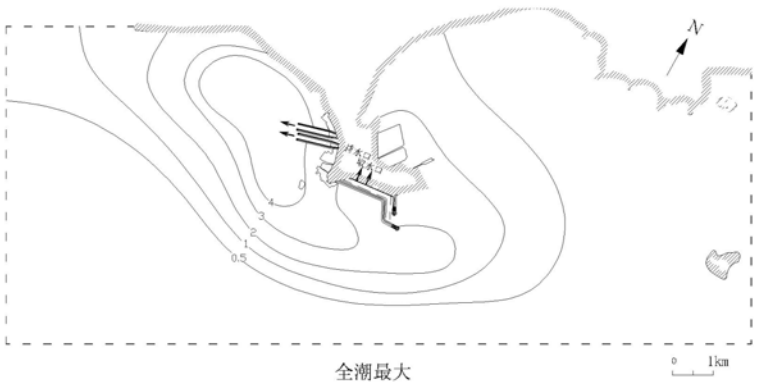
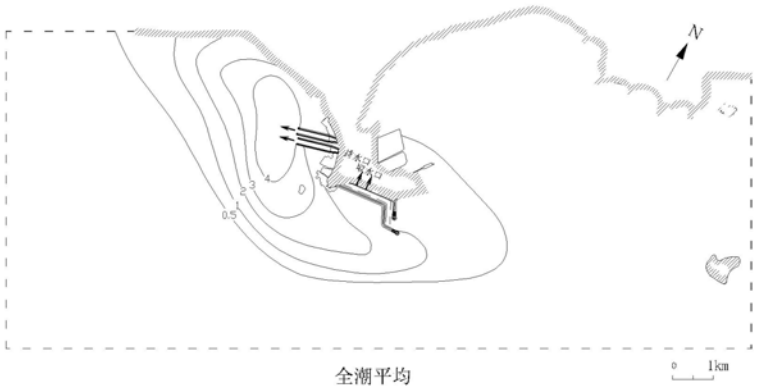


图5.1-8（2/6）　山东海阳核电厂1~4号机组夏季工况温升包络面积图
（物模、典型中潮）

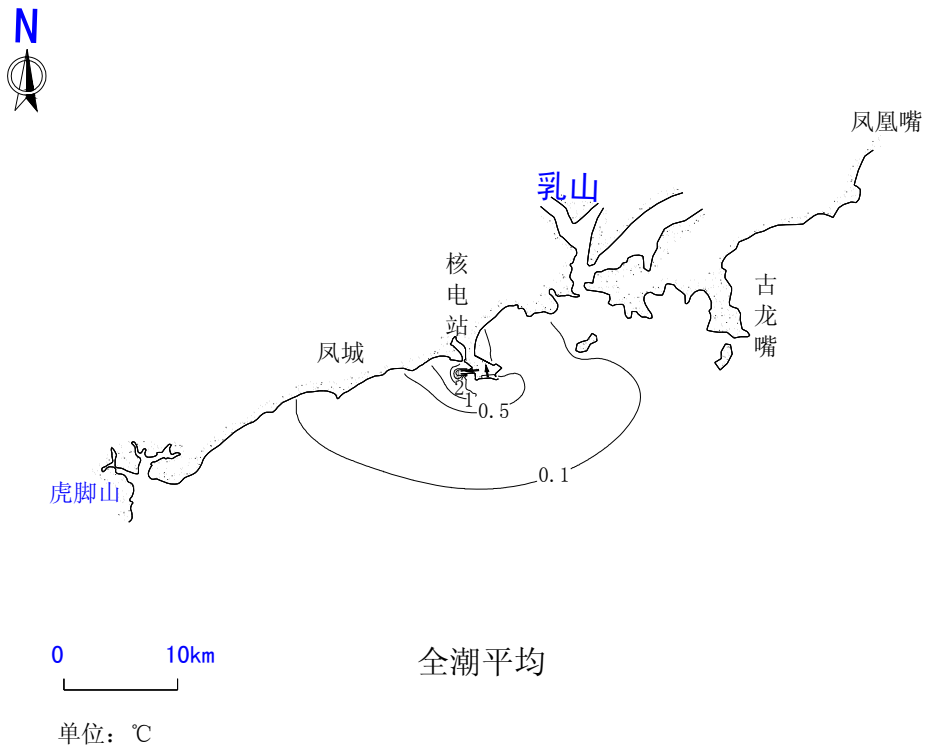


全潮最大



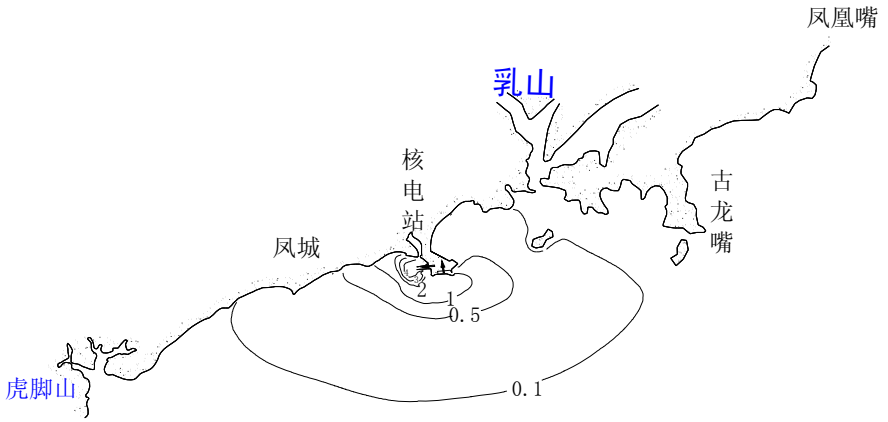
全潮平均

图5.1-8（3/6） 山东海阳核电厂1~4号机组夏季工况温升包络面积图（物模、典型小潮）



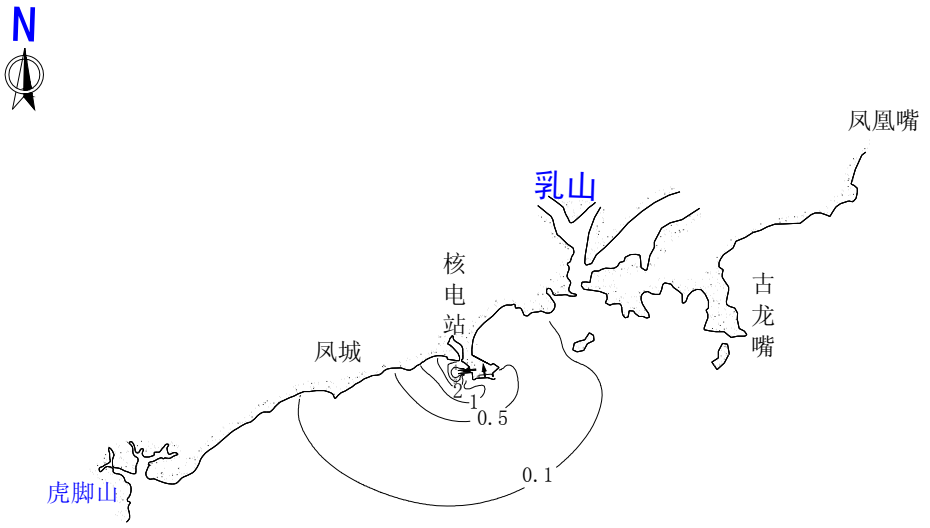
全潮平均

单位：℃



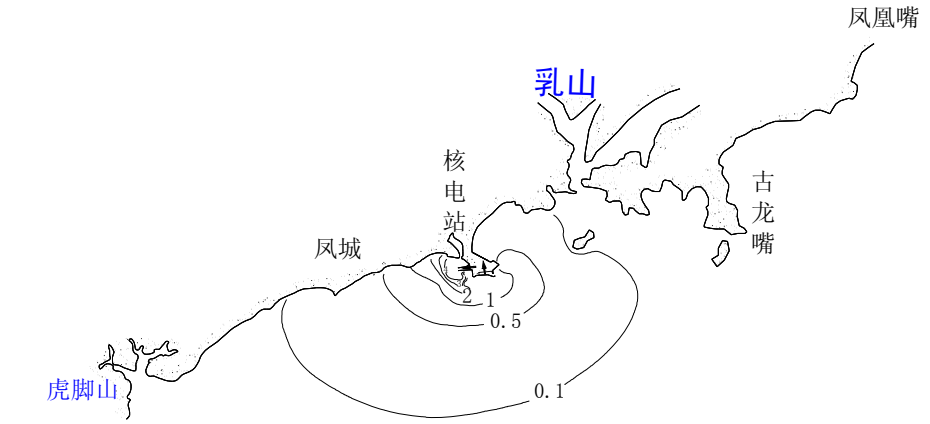
全潮最大

图5.1-8（4/6）　山东海阳核电厂1~4号机组夏季工况温升包络面积图（数模、典型大潮）



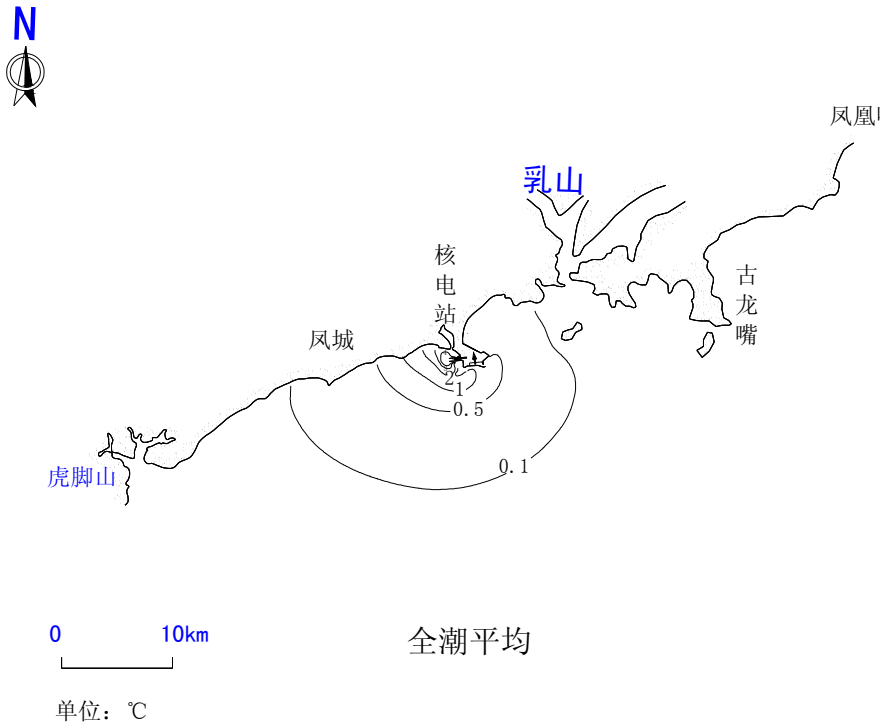
全潮平均

单位：℃



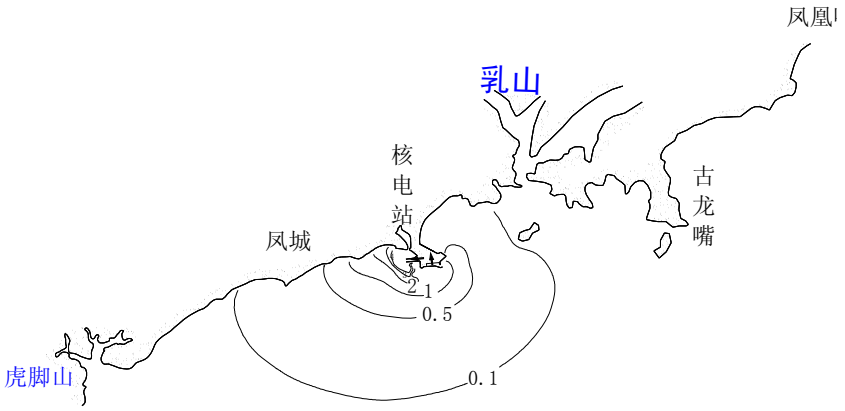
全潮最大

图5.1-8（5/6）　山东海阳核电厂1~4号机组夏季工况温升包络面积图
（数模、典型中潮）



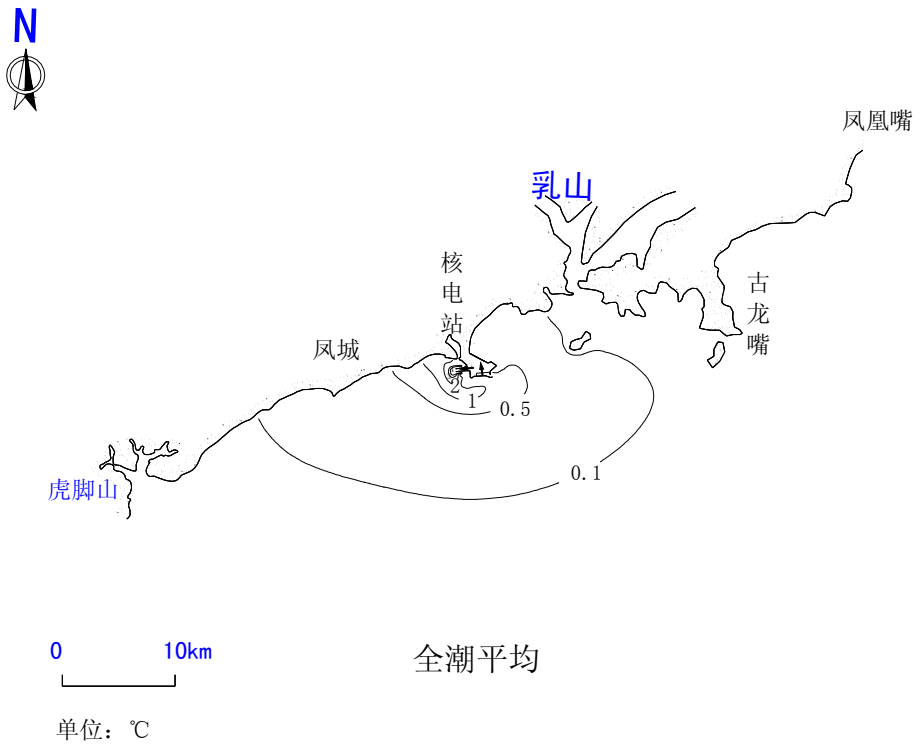
全潮平均

单位：℃

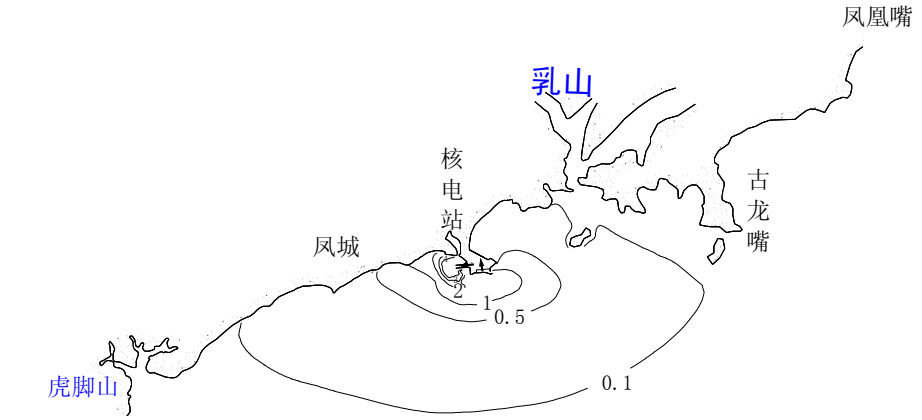


全潮最大

图5.1-8（6/6）　山东海阳核电厂1~4号机组夏季工况温升包络面积图（数模、典型小潮）

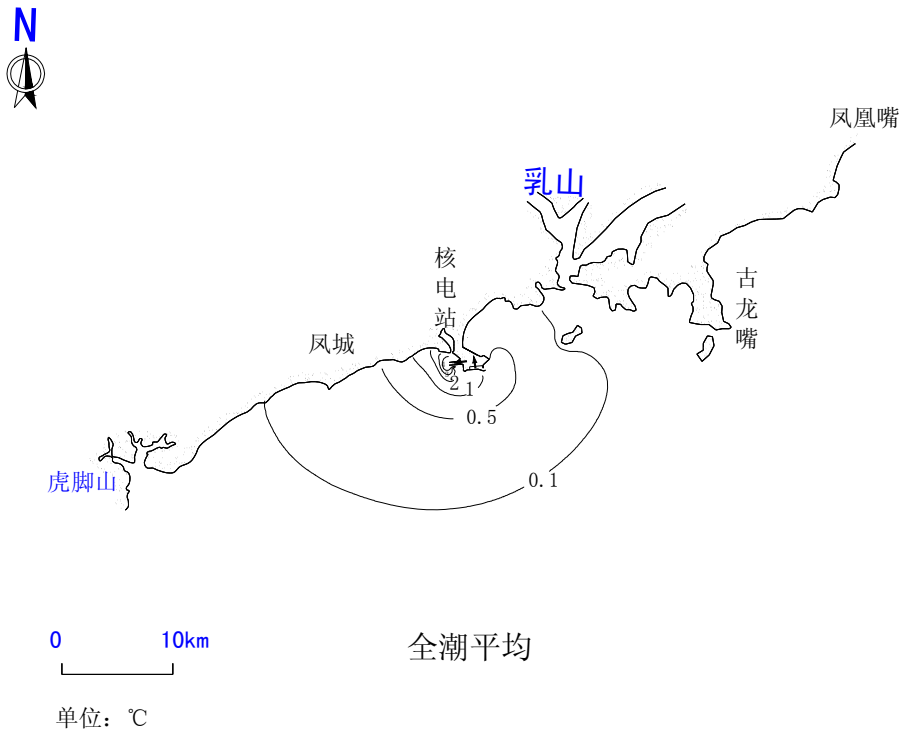


全潮平均



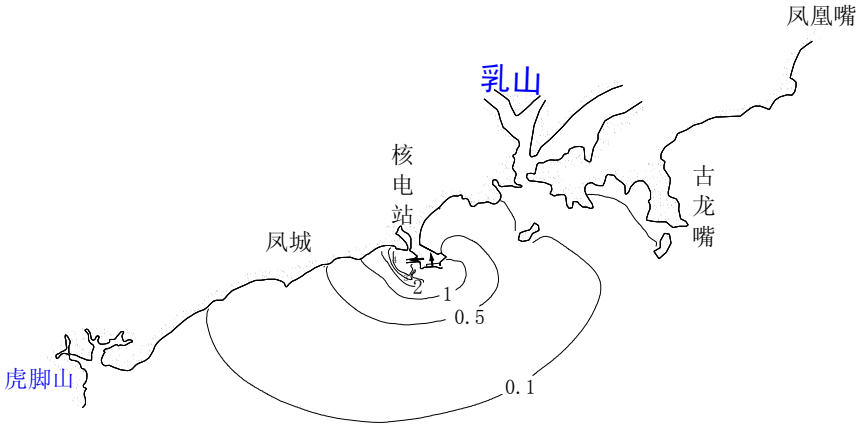
全潮最大

图 5.1-9（1/3）　山东海阳核电厂 1~4 号机组冬季工况温升包络面积图（数模、典型大潮）



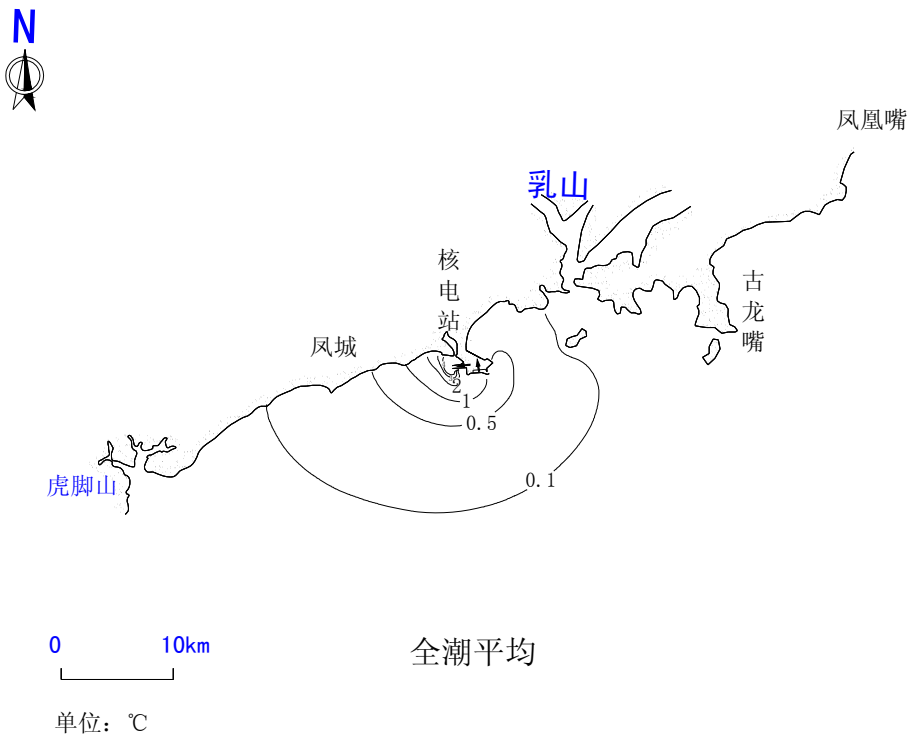
全潮平均

单位：℃



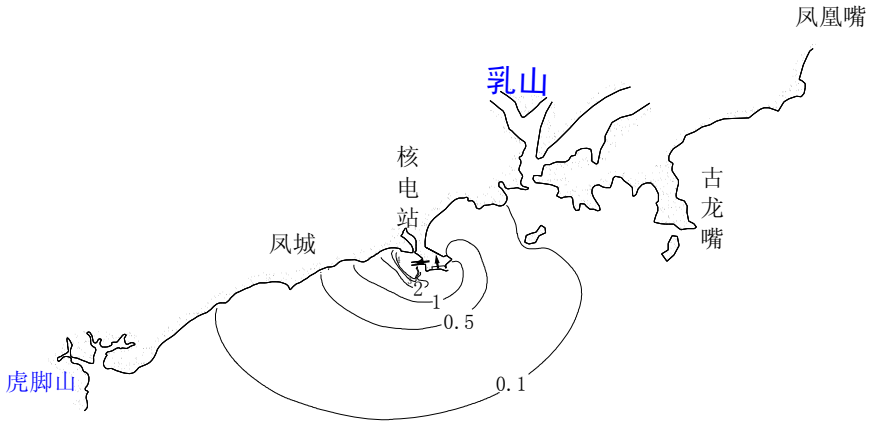
全潮最大

图5.1-9（2/3）　山东海阳核电厂1~4号机组冬季工况温升包络面积图（数模、典型中潮）



全潮平均

单位：℃



全潮最大

图5.1-9（3/3）　山东海阳核电厂1~4号机组冬季工况温升包络面积图（数模、典型小潮）

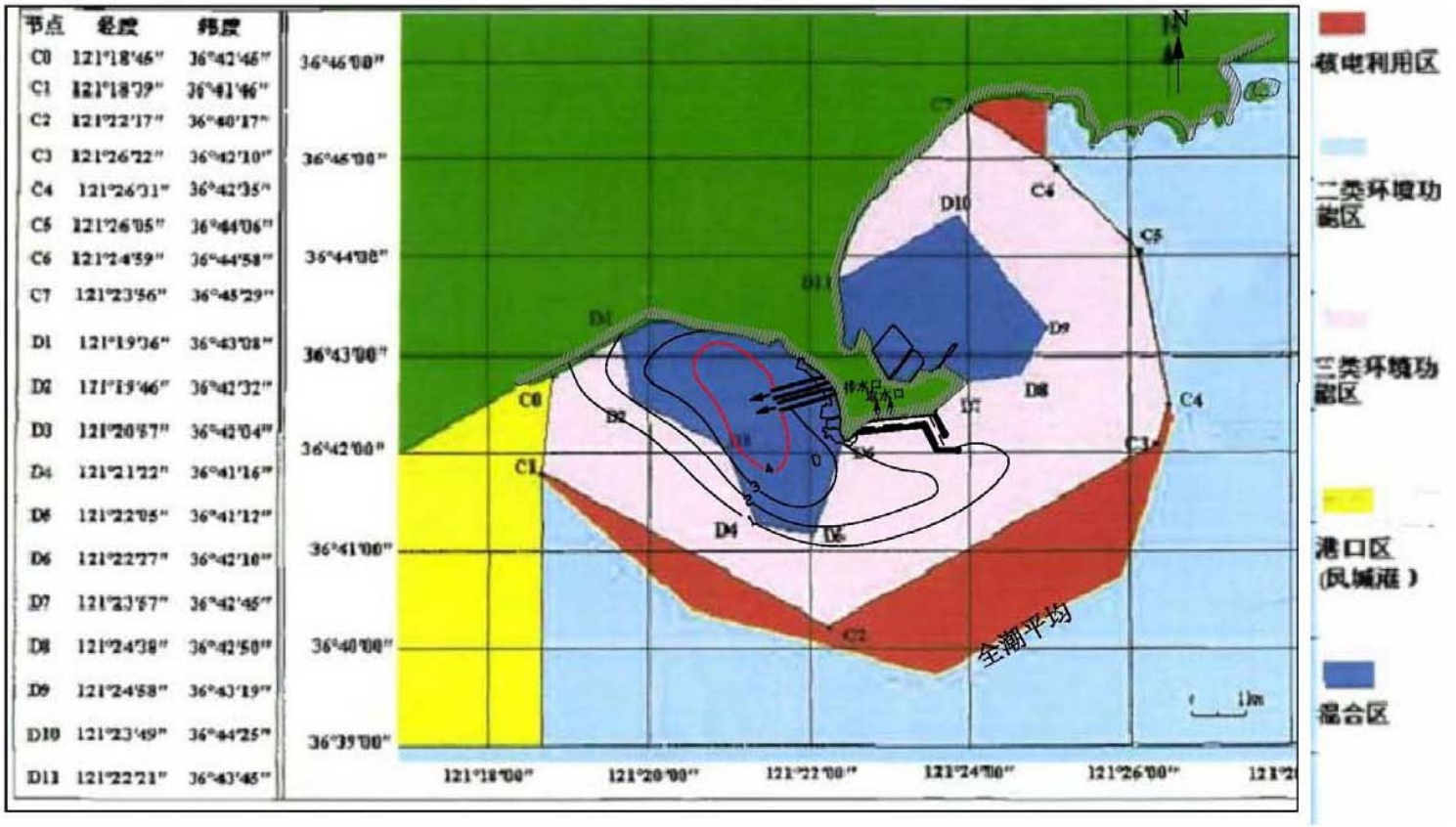


图5.1-10（1/2）　山东海阳核电厂1~4号机组温升包络范围与海域功能区划叠加图
（夏季典型小潮，全潮平均）

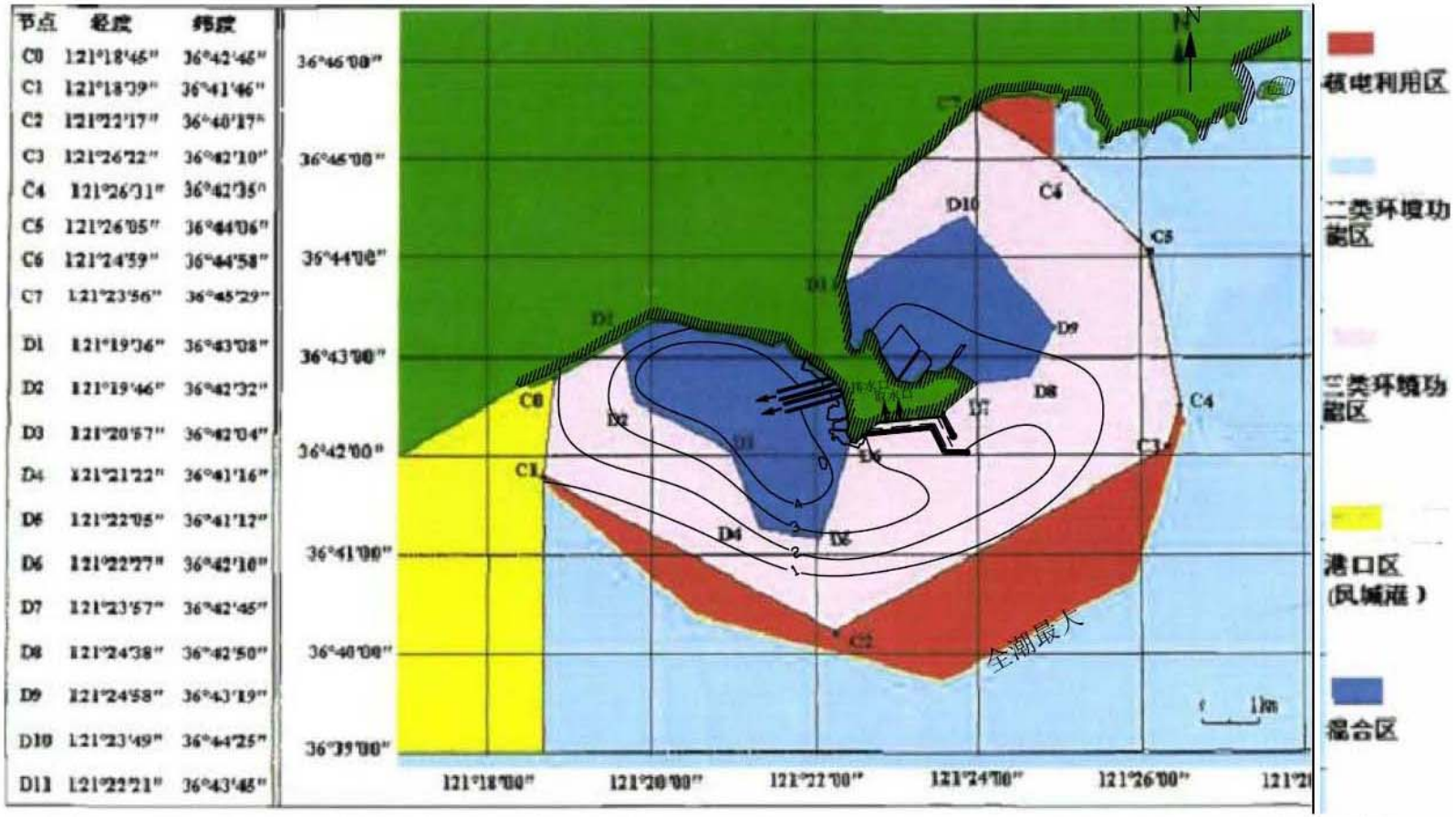


图5.1-10（2/2）　山东海阳核电厂1~4号机组温升包络范围与海域功能区划叠加图
（夏季典型小潮，全潮最大）

5.2 正常运行的辐射影响

本节将对山东海阳核电厂 3、4 号机组正常运行工况下气载和液态放射性流出物所造成的辐射影响进行估算及评价。

5.2.1 照射途径

5.2.1.1 气载途径

核电厂在正常运行工况下，通过气载途径释放到大气中的放射性流出物在大气弥散过程中对公众造成辐射照射的途径如图 5.2-1 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

- 浸没于空气中受到的外照射；
- 由于干、湿沉降导致地面放射性沉积物引起的外照射；
- 吸入空气造成的内照射；
- 食入因干、湿沉降导致放射性沉积的粮食、蔬菜等食物造成的内照射；
- 食入由干、湿沉降导致放射性沉积的饲料所喂养的家畜肉、奶及其制品造成的内照射。

5.2.1.2 液态途径

山东海阳核电厂 4 台百万千瓦级核电机组产生的放射性液态流出物，经处理合格后与循环冷却水混合后一起由厂址西面排入黄海。在辐射环境影响评价中，液态放射性物质对人造成辐照的途径如图 5.2-2 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

- 食用由受纳水域生长的水产品（或水生生物）所致的内照射；
- 在受纳水域中游泳或划船等造成的直接外辐照；
- 岸边沉积的放射性物质对岸边活动公众所造成的外照射。

5.2.2 剂量估算

5.2.2.1 气载途径

山东海阳核电厂放射性流出物通过气载途径对公众所致剂量是采用 Roulea2.0 程序，程序的计算模式、主要输入参数和计算结果见下面的描述。

1）气载放射性流出物在大气中弥散。

（1）烟云抬升

计算中考虑了动力抬升，对于高架排放，根据下式确定有效烟囱高度：

$$h_e = h_s + \Delta h \quad (5.2\text{-}1)$$

式中：

h_e： 有效烟羽高度（m）

h_s： 烟囱高度（m）

Δh： 烟羽抬升高度（m）

使用 Briggs（1969）给出的公式计算由于动量引起的烟羽抬升。

对于中性或者不稳定情况，按如下关系式计算烟羽抬升：

$$\Delta h = 1.44 \cdot (\frac{W_0}{u})^{2/3} \cdot (\frac{x}{D})^{1/3} \cdot D \quad (5.2\text{-}2)$$

式中：

Δh： 烟羽抬升高度（m）

W_0： 烟囱出口处速度（m/s）

u： 排放高度的风速（m/s）

x： 下风向距离（m）

D： 烟囱出口内径（m）

当出口速度小于风速的 1.5 倍时，公式（5.2-2）中导入一个减去下洗气流的修正（Gifford，1972）：

$$C = 3 \cdot (1.5 - \frac{W_0}{u}) \cdot D \quad (5.2\text{-}3)$$

式中，C 是被减去的值，而其它项如公式（5.2-2）定义。公式（5.2-2）根据需要与否按公式（5.2-3）修正后的结果与公式（5.2-4）比较，并取较小的Δh：

$$\Delta h = 3 \cdot (\frac{W_0}{u}) \cdot D \quad (5.2\text{-}4)$$

对于稳定情况，公式（5.2-2）和公式（5.2-4）的结果与如下两个公式的结果比较：

$$\Delta h = 4 \cdot (\frac{F_m}{S})^{1/4} \quad (5.2\text{-}5)$$

和

$$\Delta h = 1.5 \cdot (\frac{F_m}{u})^{1/3} \cdot S^{-1/6} \quad (5.2\text{-}6)$$

式中：

F_m：动量流量参数（m^4/s^2）

$$F_m = (\frac{W_o \cdot D}{2})^2 \quad (5.2\text{-}7)$$

S：大气中绝热运动每单位垂直位移的恢复性加速度（$1/s^2$）

程序中，S 对 E 稳定度设置为 8.7×10^{-4}，对 F 稳定度设置为 1.75×10^{-3}，计算后使用公式（5.2-2），（5.2-5）和（5.2-6）计算的最小的 Δh 值。

（2）风速修正

高架排放使用排放高度处测得的风速，地面排放使用 10m 处风速。如果为混合排放，使用下列公式来修正风速。

$$COR = (\frac{SL}{PL})^{EX} \quad (5.2\text{-}8)$$

式中：

COR：用于测得风速的修正因子

PL：测量风速的高度（m）

SL：风速期望高度（m）

EX：对不稳定或者中性大气状况为 0.25；对稳定状况为 0.50

（3）烟云的扩散

程序计算高架和地面连续排放导致的浓度，如果是混合排放，需要同时计算高架和地面排放，计算结果根据排放类型发生的时间分配比相加。对于高架排放，浓度计算使用如下公式：

$$\frac{\bar{x}}{Q}(x,k) = \frac{2.032}{x} \cdot RF(x,k) \sum_{i,j}^{N,7} \frac{DEPL_{ij}(x,k) DEC_i(x) f_{ij}(k)}{U_i(x)\sigma_{zj}(x)} \cdot \exp\left[-0.5\left(\frac{h_e^2}{\sigma_{zj}(x)^2}\right)\right] \quad (5.2\text{-}9)$$

式中，

$\frac{\bar{x}}{Q}(x,k)$：k 方位 x 距离处的大气扩散因子（s/m^3）

x：下风向距离（m）

$RF(x,k)$：x 距离和第 k 方位的环流和滞流的修正因子

k：第 k 方位

i：第 i 风速级

j：第 j 大气稳定度

$DEPL_{ij}(x,k)$：x 距离、第 i 风速级、第 j 稳定度和第 k 方位由于烟羽损耗的因子

$DEC_i(x)$：x 距离和第 i 风速级由于放射性衰变的损耗因子

$f_{ij}(k)$：第 i 风速级、第 j 稳定度和第 k 方位的联合频率

U_i：第 i 风速级的中值

h_e：有效烟羽高度（m）

$\sigma_{zj}(x)$：距离 x 处稳定度 j 的垂直烟羽扩散系数（m）

地面排放的浓度则由 Slade 给出的如下两个公式计算：

$$\frac{\bar{x}}{Q}(x,k)=\frac{2.032}{x}\cdot RF(x,k)\sum_{i,j}^{N,7}DEPL_{ij}(x,k)DEC_i(x)f_{ij}(k)\left[U_i\left(\sigma_{ij}^2(x)+CD_Z^2/\pi\right)^{1/2}\right]^{-1} \quad (5.2\text{-}10)$$

$$\frac{\bar{x}}{Q}(x,k)=\frac{2.032}{x}\cdot RF(x,k)\sum_{i,j}^{N,7}DEPL_{ij}(x,k)DEC_i(x)f_{ij}(k)\left[\sqrt{3U_i}\sigma_{zj}(x)\right]^{-1} \quad (5.2\text{-}11)$$

式中，$\frac{\bar{x}}{Q}(x,k)$、i、j、U_i、$\sigma_{zj}(x)$、$f_{ij}(k)$、$DEC_i(x)$、$DEPL_{ij}(x,k)$ 和 $RF(x,k)$ 定义如前，此外 D_Z 为建筑物高度（m）。

式（5.2-11）表示了由于建筑物尾流的最大附加扩散。比较式（5.2-10）和式（5.2-11）的结果，并取保守的较大的 χ/Q 值。

式（5.2-9）、（5.2-10）和（5.2-11）中要用到由于放射性衰变的损耗因子，$DEC_i(x)$，按 Slade（1968）给出的如下关系式计算：

$$DEC_i(x)=EXP(-0.693t_i/T) \quad (5.2\text{-}12)$$

式中：

t_i：传输时间（d），$t_i=x/(86400\cdot u_i)$，其中 x 为下风向距离（m），u_i 为第 i 风速级的中值（m/s）

T：放射性元素的半衰期（d）

烟羽沉积损耗的因子 $DEPL_{ij}(x,k)$ 采用《轻水堆气体排放物大气转移与弥散计算》（US NRC RG1.111，1977）中图 3~图 6 中给出的值。

（4）相对沉积

- 干沉积

对每一方位扇形的相对干沉积按如下公式计算：

$$\frac{\overline{D}}{Q}(x,k)=\frac{RF(x,k)\sum_{ij}^{N7}D_{ij}f_{ij}(k)}{(2\pi/16)x} \qquad (5.2\text{-}13)$$

式中：

$\frac{\overline{D}}{Q}(x,k)$：$x$ 距离和 k 方位处单位面积的相对干沉积因子（m^{-2}）

D_{ij}：按《轻水堆气体排放物大气转移与弥散计算》（US NRC RG1.111，1977）表 7 到 10 第 i 风速级和第 j 稳定度的相对沉积速度（m）

其余参数同上。

- 湿沉积

湿沉积因子采用下列公式计算：

$$W(x,k)=\frac{N}{2\pi x}\left[\sum_{jkl}f_{ijkl}\frac{\lambda_i}{u_{ijkl}}\right] \qquad (5.2\text{-}14)$$

式中：

$W(x,k)$：x 距离和 k 方位处单位面积的相对湿沉积因子（m^{-2}）

x：下风向距离（m）

f_{ijkl}：第 i 风速级、第 j 稳定度、第 k 风向和第 l 降雨强度的联合频率

u：第 i 风速级的中值

λ_i：冲洗系数（1/s），$\lambda=\lambda_0\cdot I^{0.8}$。$\lambda_0$ 取值：对于元素碘和气溶胶，$\lambda_0=7\times10^{-5}$，对于有机碘，$\lambda_0=7\times10^{-7}$；I 为降雨强度（mm/h）

（5）高、低架排放的时间分配

当烟囱高度高于邻近建筑物，且低于其 2.5 倍时，视为混合排放，即部分时间为高架排放，部分时间为地面源排放，两者的分配由计算值 E_t 决定。

按如下关系式确定烟羽高架排放和地面排放的份额：

$E_t=1.0$　　当 $W_0/\bar{u}\le1.0$

$$E_t = 2.58 - 1.58(W_0 / \bar{u}) \quad \text{当} 1.0 < W_0 / \bar{u} \le 1.5 \qquad (5.2\text{-}15)$$

$$E_t = 0.3 - 0.06(W_0 / \bar{u}) \quad \text{当} 1.5 < W_0 / \bar{u} \le 5.0$$

$$E_t = 0.0 \quad \text{当} \quad W_0 / \bar{u} \ge 5.0$$

式中，

E_t：排放为地面的时间份额

W_0：烟羽排出速度（m/s）

$\bar{u}$：出口处平均风速（m/s）

2）气载放射性流出物对人体造成的剂量

山东海阳核电厂 3、4 号机组在正常运行时，按照图 5.2-1 所示照射途径计算放射性流出物通过气载途径释放对人的受照剂量。

气载放射性流出物对居民所致的剂量计算模式描述如下：

（1）空气浸没外照射剂量

$$D_{ea} = \sum_i \chi_i \cdot DF_{ai} \qquad (5.2\text{-}16)$$

式中：

D_{ea}：计算点处公众个人浸没于污染的半无限烟云中所致的有效剂量（Sv/a）

χ_i：地面空气中核素 i 的浓度（Bq/m^3）

DF_{ai}：公众个人浸没于污染的半无限烟云中放射性核素 i 的有效剂量转换因子[（Sv/a）/（Bq/m^3）]

（2）地面沉积外照射剂量

$$D_{eg} = 8760 \cdot \sum_i W_i \cdot [1 - \exp(\lambda_{gi} \cdot t_g)] \cdot \lambda_{gi}^{-1} \cdot DF_{si} \qquad (5.2\text{-}17)$$

式中：

D_{eg}：污染的地面对公众个人所致的有效剂量（Sv/a）

W_i：核素 i 的地面沉积率[Bq/（m^2·d）]

λ_{gi}：放射性核素 i 在陆地环境的有效去除常数（1/d），$\lambda_{gi} = \lambda_i + \lambda_g$,其中，$\lambda_i$ 为放射性核素 i 的衰变常数（1/d），λ_g 为放射性核素 i 在陆地环境中的物理去除常

数（1/d）

t_g：放射性核素在地面上沉积的累积时间（d）

DF_{si}：沉积物中放射性核素 i 的有效剂量转换因子[（Sv/h）/（Bq/m^2）]

8760：h/a 的换算系数

（3）吸入内照射剂量

$$D_{eh} = 8760 \cdot \sum_i \chi_i \cdot B_r \cdot DF_{hi} \qquad (5.2\text{-}18)$$

式中，

D_{eh}：公众个人吸入污染的空气所致的有效剂量（Sv/a）

χ_i：地面空气中核素 i 的浓度（Bq/m^3）

B_r：公众个人的呼吸率（m^3/h）

DF_{hi}：公众个人吸入核素 i 的有效剂量转换因子（Sv/Bq）

8760：h/a 的换算系数

（4）食入陆地动植物内照射剂量

$$D_{ee} = D_{ee1} + D_{ee2} + D_{ee3} \qquad (5.2\text{-}19)$$

式中，

D_{ee}：公众个人摄入陆地动植物所致的有效剂量（Sv/a）

D_{ee1}：公众个人摄入除 ^{3}H 和 ^{14}C 外的放射性核素所致的有效剂量（Sv/a）

D_{ee2}：公众个人摄入 ^{3}H 所致的有效剂量（Sv/a）

D_{ee3}：公众个人摄入 ^{14}C 所致的有效剂量（Sv/a）

a）食入陆地动植物所致的有效剂量

$$\begin{aligned} D_{ee1} = \sum_i [& U_v \cdot (F_{v_1} \cdot C_{v_{1i}} + F_{v_2} \cdot C_{v_{2i}}) \cdot \exp(-\lambda_i \cdot T_v) \\ & + U_l \cdot (F_{l_1} \cdot C_{l_{1i}} + F_{l_2} \cdot C_{l_{2i}}) \cdot \exp(-\lambda_i \cdot T_l) \\ & + U_f \cdot (F_{f_1} \cdot C_{f_{1i}} + F_{f_2} \cdot C_{f_{2i}}) \cdot \exp(-\lambda_i \cdot T_f) \\ & + U_m \cdot (F_{m_1} \cdot C_{m_{1i}} + F_{m_2} \cdot C_{m_{2i}}) \cdot \exp(-\lambda_i \cdot T_m)] \cdot DF_{hi} \end{aligned} \qquad (5.2\text{-}20)$$

式中：

U_v、U_l、U_f 和 U_m：分别表示公众个人作物、蔬菜、肉类和牛奶消费量（kg/a 或 L/a）

F_{v_1}、F_{l_1}、F_{f_1}和F_{m_1}：分别表示公众个人食用本子区内生产作物、蔬菜、肉类和牛奶的份额（无量纲）

F_{v_2}、F_{l_2}、F_{f_2}和F_{m_2}：分别表示公众个人食用评价区（不包括本子区）内生产作物、蔬菜、肉类和牛奶的份额（无量纲）

$C_{v_{1i}}$、$C_{l_{1i}}$、$C_{f_{1i}}$和$C_{m_{1i}}$：分别表示本子区生产的作物、蔬菜、肉类和牛奶内放射性核素i的含量（Bq/kg 或 Bg/L）

$C_{v_{2i}}$、$C_{l_{2i}}$、$C_{f_{2i}}$和$C_{m_{2i}}$：分别表示评价区（不包括本子区）内生产作物、蔬菜、肉类和牛奶的加权平均放射性核素i的含量（Bq/kg 或 Bg/L），其通用计算公式为$C_{2i}=\sum_k C_{ki}\cdot P_k / \sum_k P_{vk}$，其中，$C_{ki}$表示不包括本子区的评价区内$k$子区生产的作物、蔬菜、肉类和牛奶内放射性核素$i$的含量（Bq/kg 或 Bg/L），$P_k$分别表示不包括本子区的评价区内$k$子区作物、蔬菜的种植面积（$m^2$）、产肉和产奶动物头数（头）

T_v：作物从收获到被消费的时间间隔（d）

T_l：蔬菜从收获到被消费的时间间隔（d）

T_f：产肉动物从屠宰到被消费的时间间隔（d）

T_m：从挤牛奶到牛奶被消费的时间间隔（d）

λ_i：放射性核素 i 的衰变常数（1/d）

DF_{hi}：公众个人摄入放射性核素i的有效剂量转换因子（Sv/Bq）

b）食入 ^3H 和 ^{14}C 所致的有效剂量

与其它核素相比，^3H 和 ^{14}C 与环境的相互作用很特殊。^3H 和 ^{14}C 的稳态形式在人类身体、人们的食物和饮水中构成了它们元素的非常大的份额。用于计算其它放射性核素在土壤、植物、动物和人体内含量的迁移模式并不能应用于这两种核素，因为它们的稳定形态以饱和形式存在，它们的饱和效应是相当显著的。

（a）氚的剂量

氚以 HT 或 T_2 的形态被释放到大气中，氚原子会与空气中水分子中的氢原子进行交换，因此，烟云中就含有 HTO，然后氚随水一起在环境中迁移。考虑食入食物途径 ^3H 的剂量贡献时，采用和其它核素完全不同的处理方法，因为它们的稳定形态以饱和形式存在，认为食物中的 ^3H 和空气中的 ^3H 达到平衡，食入 ^3H 导致

的剂量正比于环境中 ^{3}H 的浓度。

$$D_t = D_v + D_b + D_c \quad (5.2\text{-}21)$$

$$D_v = r_v \cdot C_f(f_{v1} \cdot \chi + f_{v2} \cdot \chi_v) \quad (5.2\text{-}22)$$

$$D_b = r_b \cdot C_f(f_{b1} \cdot \chi + f_{b2} \cdot \chi_b) \quad (5.2\text{-}23)$$

$$D_c = r_c \cdot C_f(f_{c1} \cdot \chi + f_{c2} \cdot \chi_c) \quad (5.2\text{-}24)$$

其中：

D_t：^{3}H 的食入剂量（Sv/a）

D_v：食入蔬菜中的 ^{3}H 导致的剂量（Sv/a）

D_b：食入肉中的 ^{3}H 导致的剂量（Sv/a）

D_c：食入牛奶中的 ^{3}H 导致的剂量（Sv/a）

C_f：^{3}H 的食入剂量转换因子[（Sv/a）/（Bq/m^3）]

r_v：来自于蔬菜的 ^{3}H 的份额

r_b：来自于肉的 ^{3}H 的份额

r_c：来自于牛奶的 ^{3}H 的份额

$$r_v = \frac{0.824 \times T_v}{0.824 \times T_v + 0.623 \times T_b + 0.875 \times T_c} \quad (5.2\text{-}25)$$

$$r_b = \frac{0.623 \times T_b}{0.824 \times T_v + 0.623 \times T_b + 0.875 \times T_c} \quad (5.2\text{-}26)$$

$$r_c = \frac{0.875 \times T_c}{0.824 \times T_v + 0.623 \times T_b + 0.875 \times T_c} \quad (5.2\text{-}27)$$

0.824 为蔬菜的含水量（假设），T_v 为每天蔬菜的消费量（kg）

0.623 为肉的含水量（假设），T_b 为每天肉的消费量（kg）

0.875 为牛奶的含水量（假设），T_c 为每天牛奶的消费量（kg）

f_{v1}、f_{b1}、f_{c1}：食入本子区内蔬菜，肉和牛奶的份额

χ：本子区地面空气中的 ^{3}H 浓度（Bq/m^3）

f_{v2}、f_{b2}、f_{c2}：食入不包括本子区的评价区内蔬菜，肉和牛奶的平均的份额

χ_v、χ_b、χ_c：评价区（不包括本子区）内地面附近空气中加权平均 ^{3}H 的含

量（Bq/m^3），其计算公式为 $\chi_v = \sum_k \chi_{vk} \cdot P_k / \sum_k P_k$，其中，$\chi_{vk}$ 表示不包括本子区的评价区内 k 子区地面附近空气中加权平均 ^{3}H 的含量（Bq/m^3），P_k 表示不包括本子区的评价区内 k 子区蔬菜的种植面积（m^2）、产肉和产奶动物头数（头）

（b）^{14}C 的剂量

如果 ^{14}C 以 CO_2 的形态释放，它将和空气中的 CO_2 混合，参与植物的光合作用。牛、羊吃草，将摄入草中的 ^{14}C，人吃这些动物的肉和奶或食入蔬菜，将食入 ^{14}C。在计算 ^{14}C 的剂量时，认为食物内的 ^{14}C 和空气中的 ^{14}C 达到平衡。

$$D_t = D_v + D_b + D_c \qquad (5.2\text{-}28)$$

$$D_v = \frac{79.96T_v}{79.96T_v + 238.16T_b + 68.9T_c} \cdot C \cdot (f_{v1} \cdot \chi + f_{v2} \cdot \chi_v) \qquad (5.2\text{-}29)$$

$$D_b = \frac{238.16T_b}{79.96T_v + 238.16T_b + 68.9T_c} \cdot C \cdot (f_{b1} \cdot \chi + f_{b2} \cdot \chi_b) \qquad (5.2\text{-}30)$$

$$D_c = \frac{68.9T_c}{79.96T_v + 238.16T_b + 68.9T_c} \cdot C \cdot (f_{c1} \cdot \chi + f_{c2} \cdot \chi_c) \qquad (5.2\text{-}31)$$

其中：

D_t：^{14}C 的食入剂量（Sv/a）

D_v：食入蔬菜中的 ^{14}C 导致的剂量（Sv/a）

D_b：食入肉中的 ^{14}C 导致的剂量（Sv/a）

D_c：食入牛奶中的 ^{14}C 导致的剂量（Sv/a）

T_v：每天的蔬菜消费量（kg）

T_b：每天的肉消费量（kg）

T_c：每天的牛奶消费量（kg）

C：^{14}C 的食入剂量转换因子[（Sv/a）/（Bq/m^3）]

f_{v1}、f_{b1}、f_{c1}：食入本子区内蔬菜，肉和牛奶的份额

χ：本子区地面空气中的 ^{14}C 浓度（Bq/m^3）

f_{v2}、f_{b2}、f_{c2}：食入不包括本子区的评价区内蔬菜，肉和牛奶的平均的份额

χ_v、χ_b、χ_c：评价区（不包括本子区）内地面附近空气中加权平均 ^{14}C 的含

量（Bq/m^3），其计算公式为 $\chi_v = \sum_k \chi_{vk} \cdot P_k / \sum_k P_k$，其中，$\chi_{vk}$ 表示不包括本子区的评价区内 k 子区地面附近空气中加权平均 ^{14}C 的含量（Bq/m^3），P_k 表示不包括本子区的评价区内 k 子区蔬菜的种植面积（m^2）、产肉和产奶动物头数（头）

（5）气载放射性流出物对公众个人总的照射剂量

$$D_e = D_{ea} + D_{eg} + D_{eh} + D_{ee} \quad (5.2\text{-}32)$$

D_e：气载放射性流出物释放对公众个人所致的有效剂量（Sv/a）

D_{ea}：公众个人浸没于污染的半无限烟云中所致的有效剂量（Sv/a）

D_{eg}：污染的地面对公众个人所致的有效剂量（Sv/a）

D_{eh}：公众个人吸入污染的空气所致的有效剂量（Sv/a）

D_{ee}：公众个人摄入陆地动植物所致的有效剂量（Sv/a）

（6）气载放射性流出物释放对公众群体的集体剂量

$$D = \sum_k D_{ek} \cdot P_k \quad (5.2\text{-}33)$$

式中：

D：评价区域内公众群体受到的集体有效剂量（人·Sv/a）

D_{ek}：第 k 子区中公众个人受到的有效剂量（Sv/a）

P_k：评价区域内第 k 子区中公众人口数（人）

气载途径剂量计算采用的剂量转换因子见表 5.2-7。Roulea2.0 模式中各主要参数的含义和取值见表 5.2-8。山东海阳核电厂厂址半径 5km 范围内各村庄居民的食入量取第 2 章的表 2.2-17~表 2.2-22。

剂量转换因子采用我国国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和美国联邦导则 12 号报告《空气、水和土壤中核素导致的外照射》的推荐值。

根据 CAP1000 压水堆核电机组正常运行工况下气载放射性核素释放源项、各种放射性核素的平均长期大气弥散因子、地面沉积因子、食物摄入量、剂量转换因子等数据，计算山东海阳核电厂 3、4 号机组在正常运行工况下由气载途径对厂址半径 5km 范围内各村庄的居民可能造成的最大个人有效剂量。

5.2.2.2 液态途径

为了计算人体通过食用水生生物、在厂址附近被放射性物质污染的岸滩上活动等水环境途径所致的内外照射剂量，本报告采用美国核管理委员会 R.G 1.109 中推荐的计算模式，剂量转换因子采用我国国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和美国联邦导则 12 号报告《空气、水和土壤中核素导致的外照射》的推荐值，见表 5.2-10。

计算采用由美国核管理委员会和美国国立橡树岭实验室合作研制的 LADTAP－II 程序。用于计算海阳核电厂厂址附近居民中个人最大受照有效剂量和居民集体剂量的利用因子分别列于表 5.2-11。

海阳核电厂液态放射性释放对附近居民中个人造成的受照剂量和集体剂量的计算模式如下：

（1）计算液体途径所致个人放射性剂量的通用方程式

$$R_{aip}=C_{ip}\cdot U_{ap}\cdot D_{aip} \qquad (5.2\text{-}34)$$

式中：

R_{aip}—核素 i 经途径 p 对年龄组 a 所致的年剂量，mSv/a；

C_{ip}—核素 i 在途径 p 介质中的浓度，按需要选用 Bq/l，Bq/kg 或 Bq/m^2；

U_{ap}—年龄组 a 在途径 p 中的利用因子，按需要选用 h/a，1/a 或 kg/a；

D_{aip}—核素 i 经途径 p 对年龄组 a 所致的剂量转换因子，以 mSv/Bq 表示摄入放射性核素所致剂量转换因子；以 $mSv/h/Bq/m^2$ 表示沉积物中一定浓度的放射性核素所致的剂量转换因子。

（2）食入水生生物所致的个人内照射剂量

$$R_{aip}=\frac{U_{ap}\cdot M_p}{F}\sum_i Q_i\cdot B_{ip}\cdot D_{aip}\cdot\exp(-\lambda_i t_p) \qquad (5.2\text{-}35)$$

式中：

R_{aip}—核素 i 经途径 p 对年龄组 a 所致的年剂量，mSv/a；

M_p—排出流与受纳水体的混合比，即稀释倍数的倒数；

U_{ap}—年龄组 a 在途径 p 中的利用因子，kg/a；

F—排出流的流量，1/a；

Q_i—核素 i 的年释放率，Bq/a；

B_{ip}—核素 i 在途径 p 中的生物浓集因子，Bq／kg／Bq／1；

D_{aip}—核素 i 经途径 p 对年龄组 a 所致的剂量转换因子，mSv/Bq；

λ_i—核素 i 的衰变常数，h^{-1}；

t_p—食物链转移和食品加工的时间，t_p＝24h。

（3）岸边沉积物所致的个人外照射剂量

$$C_{is} = Kc\frac{C_{iw}[1-\exp(-\lambda_i t_b)]}{\lambda_i} \qquad (5.2\text{-}36)$$

式中：

C_{is}—沉积物中核素 i 的浓度，Bq/kg；

C_{iw}—沉积物邻近水域中核素 i 的浓度。Bq/l；

Kc—从水到沉积物的转移常数，1/kg·d；

λ_i—核素 i 的衰变常数，d^{-1}；

t_b—沉积物受到污染水的影响时间，取 t_b＝20 年（即 t_b＝7300 天）。

假定表面污染只在沉积物顶部以下 2.5cm 之间（表面质量为 40kg/m^2），深度在 2.5cm 以下的核素对剂量的贡献忽略不计，所得方程式为：

$$S_i = 100T_i \cdot C_{iw} \cdot W[1-\exp(-\lambda_i t_b)] \qquad (5.2\text{-}37)$$

式中：

S_i—用于以年计算的实际表面污染，Bq/m^2；

T_i—核素 i 的放射性半衰期，d；

W—岸边宽度因子，对于海岸来说，W＝1；

100—转换常数，l/m^2·d；

C_{iw}—核素 i 在水中的浓度，Bq/l；

λ_i—核素 i 的衰变常数，d^{-1}；

t_b—污染水浸没土壤的时间，d。

组合方程（5.2－36）和（5.2－37）并代入方程式（5.2－34），导出用于计算岸边沉积物所致的外照射剂量的方程式（5.2－38）。

$$\begin{aligned} R_{aip} &= U_{ap} \cdot \sum_i S_i \cdot D_{aip} \\ &= 100U_{ap} \cdot w\sum_i C_{iw} \cdot T_i \cdot D_{aip}[1-\exp(-\lambda_i t_b)] \end{aligned} \qquad (5.2\text{-}38)$$

式中：$C_{iw}=\frac{Q\cdot M_p}{F}\exp(-\lambda_i t_p)$ 代入（5.2－11）式得到下列关系式：

$$R_{aip}=100\frac{U_{ap}\cdot M_p\cdot W}{F}\sum_i Q_i\cdot T_i\cdot D_{aip}[\exp(-\lambda_i t_p)]\cdot[1-\exp(-\lambda_i t_b)] \quad (5.2\text{-}39)$$

式中各符号的物理意义同上列方程式。

（4）游泳和划船所致个人剂量

居民在受纳水域中游泳（淹没在水中）或划船（水表面）所受外照射剂量公式如下：

$$R_{aip}=\frac{U_{ap}\cdot M_p}{F\cdot K_p}\sum_i Q_i\cdot D_{aip}\exp(-\lambda_i t_p) \quad (5.2\text{-}40)$$

式中：

R_{aip}—核素 i 通过途径 p 对年龄组 a 所致年剂量，mSv/a；

U_{ap}—年龄组 a 在途径 p 中的利用因子，h/a；

M_p—排出流与受纳水体的混合比，即稀释倍数的倒数；

F—排出流的流量，1/a；

K_p—几何因子，对于游泳 K_p=1，对于划船 K_p=2；

Q_i—核素 i 的年释放率，Bq/a；

λ_i—核素 i 的衰变常数，h^{-1}；

t_p—核素转移时所耗时间，t_p=0.5h。

（5）计算居民集体剂量的通用方程式如下：

$$D_{ip}=0.001P\sum_a D_a\cdot f_a \quad (5.2\text{-}41)$$

式中：

D_{ip}—核素 i 通过途径 p 所致的居民年集体剂量，人·Sv/a；

P—80km 半径范围内居民数，人；

D_a—年龄组 a 中个人所接受的年剂量，mSv/a；

f_a—居民中年龄组 a 所占的份额；

0.001—mSv 转换成 Sv 的换算因子。

在 80km 半径范围内居民食用水产品所致的年集体剂量可用下式计算：

$$D_i = 0.001 P_p \sum_a f_a \cdot C_{ip} \cdot U_{ap} \cdot DF_{ai} \qquad (5.2\text{-}42)$$

式中：

D_i—居民食用水生物受到的年集体剂量，人·Sv/a；

p_p—消耗水产品 p 的居民数，人；

f_a—年龄组 a 所占居民中的份额；

C_{ip}—80km 范围内核素 i 在水产食品 p 中的平均浓度，Bq/kg 或 Bq/l；

U_{ap}—年龄组 a 中个人对水产食品 p 的平均利用因子或消耗因子，kg/a 或 l/a；

DF_{ai}—年龄组 a 的核素 i 剂量转换因子，mSv/Bq；

0.00l—mSv 转换成 Sv 的换算因子。

岸边沉积所致居民的集体剂量可用下列方程式计算：

$$R_{aip} = 0.1 \frac{U_{ap} M_p W}{F} \sum_i Q_i T_i D_{aip} [\exp(-\lambda_i t_p)][1 - \exp(-\lambda_i t_b)] \qquad (5.2\text{-}43)$$

式中：

R_{aip}—核素 i 通过途径 p 对年龄组 a 居民产生的集体剂量，人·Sv/a；

U_{ap}—年龄组 a 居民在岸边沉积途径 p 中的利用因子，人·h/a；

M_p—排出流与受纳水体的混合比，即稀释倍数的倒数；

其他参数的物理意义同上列方程式。

居民在受纳水域中游泳及划船所致的集体剂量可由下列方程计算：

$$R_{aip} = 0.001 \frac{U_{ap} M_p}{F \cdot K_p} \sum_i Q_i D_{aip} [\exp(-\lambda_i t_p)] \qquad (5.2\text{-}44)$$

式中：

R_{aip}—核素 i 通过游泳或划船途径 p 对年龄组 a 居民所致的年集体剂量，人·Sv/a；

U_{ap}—年龄组 a 居民在游泳或划船途径 p 的利用因子，人·h/a；

M_p—排出流与受纳水体的混合比，即稀释倍数的倒数；

其他参数的物理意义同上列方程式。

5.2.3 本工程年辐射剂量

根据厂址附近各居民点的食谱调查和生活习性调查结果，计算得到海阳核电厂

3、4 号机组正常运行期间放射性物质由气载途径和液态途径排放所致最大个人有效剂量为 3.80E-03mSv/a。

5.2.4 年辐射剂量汇总

国家标准 GB6249-2011 规定：正常运行工况下，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，每年应小于 0.25mSv 的剂量约束值。山东海阳核电厂 1、2 号机组已确定的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将小于 0.08mSv/a。为了给未来山东海阳核电厂的 5、6 号核电机组建设留有余地，本次环境影响评价确定山东海阳核电厂 3、4 号压水堆核电机组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将小于 0.08mSv/a，确定山东海阳核电厂 1~4 号百万千瓦级压水堆核电机组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将小于 0.16mSv/a。

参考山东海阳核电厂一期工程 1、2 号机组的剂量取上海核工程研究设计院编制的《山东海阳核电厂一期工程环境影响报告书》（运行阶段），山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行期间放射性物质由气载途径和液态途径排放可能造成的最大个人有效剂量为 1.00E-02mSv/a，为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 4.00%，为 1~4 号核电机组剂量目标值（0.16mSv/a）的 6.25%。

上述计算、分析结果表明，山东海阳核电厂建设 1~4 号 4 台百万千瓦级压水堆核电机组，在正常运行期间所致最大个人的有效剂量仅占 0.25mSv 的一个很小份额，也远小于 4 台机组的剂量目标值。因此，本项目在正常运行期间，对环境的辐射影响是可以接受的。

表 5.2-7　用于计算气体辐射剂量的有关参数

核素	衰变常数（1/s）	空气浸没[a]（Sv/s）/（Bq/m^3）	沉积[a]（Sv/s）/（Bq/m^2）	吸入[b]（Sv/Bq）			食入[b]（Sv/Bq）		
				儿童	青少年	成人	儿童	青少年	成人
Kr-85	2.09E-09	1.19E-16	------	------	------	------	------	------	------
Kr-85m	4.30E-05	7.48E-15	------	------	------	------	------	------	------
Kr-87	1.52E-04	4.12E-14	------	------	------	------	------	------	------
Kr-88	6.78E-05	1.02E-13	------	------	------	------	------	------	------
Xe-131m	6.81E-07	3.89E-16	------	------	------	------	------	------	------
Xe-133	1.53E-06	1.56E-15	------	------	------	------	------	------	------
Xe-133m	3.55E-06	1.37E-15	------	------	------	------	------	------	------
Xe-135m	7.55E-04	2.04E-14	------	------	------	------	------	------	------
Xe-135	2.15E-05	1.19E-14	------	------	------	------	------	------	------
Xe-138	1.20E-03	5.77E-14	------	------	------	------	------	------	------
Ar-41	1.05E-04	6.50E-14	------	------	------	------	------	------	------
I-131	9.98E-07	1.82E-14	3.76E-16	7.2E-08	1.9E-08	7.4E-09	1.8E-07	5.2E-08	2.2E-08
I-133	9.25E-06	2.94E-14	5.97E-16	1.8E-08	3.8E-09	1.5E-09	4.4E-08	1.0E-08	4.3E-09
Cr-51	2.89E-07	1.51E-15	3.08E-17	1.9E-10	6.4E-11	3.7E-11	2.3E-10	7.8E-11	3.8E-11
Mn-54	2.57E-08	4.09E-14	8.12E-16	6.2E-09	2.4E-09	1.5E-09	3.1E-09	1.3E-09	7.1E-10
Co-57	2.96E-08	5.61E-15	1.15E-16	3.7E-09	1.5E-09	1.0E-09	1.6E-09	5.8E-10	2.1E-10
Co-58	1.13E-07	4.76E-14	9.50E-16	7.5E-09	3.1E-09	2.1E-09	4.4E-09	1.7E-09	7.4E-10
Co-60	4.17E-09	1.26E-13	2.35E-15	8.6E-08	4.0E-08	3.1E-08	2.7E-08	1.1E-08	3.4E-09
Fe-59	1.80E-07	5.97E-14	1.12E-15	1.3E-08	5.8E-09	4.0E-09	1.3E-08	4.7E-09	1.8E-09
Sr-89	1.59E-07	7.73E-17	2.27E-18	3.0E-08	1.2E-08	7.9E-09	1.8E-08	5.8E-09	2.6E-09
Sr-90	7.67E-1	7.53E-18	2.84E-19	4.0E-0	1.8E-0	1.6E-0	7.3E-0	8.0E-0	2.8E-0

核素	衰变常数（1/s）	空气浸没[a]（Sv/s）/（Bq/m^3）	沉积[a]（Sv/s）/（Bq/m^2）	吸入[b]（Sv/Bq）			食入[b]（Sv/Bq）		
				儿童	青少年	成人	儿童	青少年	成人
	0			7	7	7	8	8	8
Zr-95	1.25E-07	3.60E-14	7.23E-16	1.9E-08	8.3E-09	5.9E-09	5.6E-09	1.9E-09	9.5E-10
Nb-95	2.29E-07	3.74E-14	7.48E-16	5.2E-09	2.2E-09	1.5E-09	3.2E-09	1.1E-09	5.8E-10
Ru-103	2.04E-07	2.25E-14	4.63E-16	1.0E-08	4.2E-09	3.0E-09	4.6E-09	1.5E-09	7.3E-10
Ru-106	2.18E-08	------	------	2.3E-07	9.1E-08	6.6E-08	4.9E-08	1.5E-08	7.0E-09
Sb-125	7.93E-09	2.02E-14	4.25E-16	3.8E-08	1.6E-08	1.2E-08	6.1E-09	2.1E-09	1.1E-09
Cs-134	1.07E-08	7.57E-14	1.52E-15	6.3E-08	2.8E-08	2.0E-08	1.6E-08	1.9E-08	1.9E-08
Cs-136	6.12E-07	1.06E-13	2.09E-15	1.1E-08	4.4E-09	9.7E-09	9.5E-09	4.4E-09	3.0E-09
Cs-137	7.32E-10	7.74E-18	2.85E-19	1.0E-07	4.8E-08	3.9E-08	1.2E-08	1.3E-08	1.3E-08
Ba-140	6.32E-07	8.58E-15	1.80E-16	2.2E-08	8.6E-09	5.8E-09	1.8E-08	5.8E-09	2.6E-09
Ce-141	2.47E-07	3.43E-15	7.38E-17	1.2E-08	5.3E-09	3.8E-09	5.1E-09	1.5E-09	7.1E-10
H-3	1.79E-09	3.31E-19	------	2.7E-10	8.2E-11	4.5E-11	4.8E-11	2.3E-11	1.8E-11
C-14	3.84E-12	2.24E-19	1.61E-20	1.7E-08	7.4E-09	5.8E-09	1.6E-09	8.0E-10	5.8E-10

注：（a）取自《空气、水和土壤中核素导致的外照射》（美国联邦导则 12 号报告，1993）；

（b）取自电离辐射防护与辐射源安全基本标准；

表 5.2-8　Roulea2.0 计算公式中各主要参数含义和取值

符号	含义	参数取值
h_s	烟囱高度	75m
W_0	烟囱出口处速度	11.3m/s
D	烟囱出口内径	2.5m
S	大气中绝热运动每单位垂直位移的恢复性加速度	S 对 E 稳定度设置为 $8.7\times10^{-4}1/s^2$，对 F 稳定度设置为 $1.75\times10^{-3}1/s^2$
EX	风廓线指数	对不稳定或者中性大气状况为 0.25；对稳定状况为 0.50
U_i	第 i 风速级的中值	静风（0.5m/s）、0.95m/s、2.45m/s、3.95m/s、5.50m/s、6.0m/s
D_Z	建筑物高度	55.8m
λ_0	冲洗系数计算	对于元素碘和气溶胶，$\lambda_0=7\times10^{-5}$，对于有机碘，$\lambda_0=7\times10^{-7}$
F_{v_1}、F_{l_1}、F_{f_1} 和 F_{m_1}	分别表示公众个人食用本子区内生产作物、蔬菜、肉类和牛奶的份额（无量纲）	保守取 1.0
F_{v_2}、F_{l_2}、F_{f_2} 和 F_{m_2}	分别表示公众个人食用评价区（不包括本子区）内生产作物、蔬菜、肉类和牛奶的份额（无量纲）	保守取 0.0
T_v	作物从收获到被消费的时间间隔（d）	0.1
T_l	蔬菜从收获到被消费的时间间隔（d）	1.0
T_f	产肉动物从屠宰到被消费的时间间隔（d）	1.0
T_m	从挤牛奶到牛奶被消费的时间间隔（d）	1.0
f_{v1}、f_{b1}、f_{c1}	食入本子区内蔬菜，肉和牛奶的份额	保守取 1.0
f_{v2}、f_{b2}、f_{c2}	食入不包括本子区的评价区内蔬菜，肉和牛奶的平均的份额	保守取 0.0

表 5.2-10　计算液态辐射途径所用的剂量转换因子

核素	淹没在水体 [a]（Sv/h）/（Bq/m^3）	岸边沉积 [a]（Sv/h）/（Bq/m^2）	食入 [b]（Sv/Bq）		
			儿童	青少年	成人
Na-24	4.73E-16	3.61E-15	2.3E-09	7.7E-10	4.3E-10
Cr-51	3.30E-18	3.08E-17	2.3E-10	7.8E-11	3.8E-11
Mn-54	8.88E-17	8.12E-16	3.1E-09	1.3E-09	7.1E-10
Fe-55	------	------	2.4E-09	1.1E-09	3.3E-10
Fe-59	1.29E-16	1.12E-15	1.3E-08	4.7E-09	1.8E-09
Co-58	1.03E-16	9.50E-16	4.4E-09	1.7E-09	7.4E-10
Co-60	2.74E-16	2.35E-15	2.7E-08	1.1E-08	3.4E-09
Zn-65	6.29E-17	5.53E-16	1.6E-08	6.4E-09	3.9E-09
W-187	4.97E-17	4.69E-16	4.3E-09	1.3E-09	6.3E-10
Np-239	1.70E-17	1.63E-16	5.7E-09	1.7E-09	8.0E-10
Br-84	2.04E-16	1.60E-15	5.8E-10	1.6E-10	8.8E-11
Rb-88	7.26E-17	5.95E-16	6.2E-10	1.7E-10	9.0E-11
Sr-89	1.49E-19	2.27E-18	1.8E-08	5.8E-09	2.6E-09
Sr-90	1.46E-20	2.84E-19	7.3E-08	6.0E-08	2.8E-08
Y-90	3.63E-19	5.32E-18	2.0E-08	5.9E-09	2.7E-09
Sr-91	7.48E-17	6.77E-16	4.0E-09	1.2E-09	6.5E-10
Y-91m	5.54E-17	5.23E-16	6.0E-11	2.1E-11	1.1E-11
Y-91	5.44E-19	5.74E-18	1.8E-08	5.2E-09	2.4E-09
Y-93	1.03E-17	9.12E-17	8.5E-09	2.5E-09	1.2E-09
Zr-95	7.82E-17	7.23E-16	5.6E-09	1.9E-09	9.5E-10
Nb-95	8.11E-17	7.48E-16	3.2E-09	1.1E-09	5.8E-10
Mo-99	1.58E-17	1.47E-16	3.5E-09	1.1E-09	6.0E-10
Tc-99m	1.31E-17	1.21E-16	1.3E-10	4.3E-11	2.2E-11
Ru-103	4.89E-17	4.63E-16	4.6E-09	1.5E-09	7.3E-10
Ru-106	------	------	4.9E-08	1.5E-08	7.0E-09
Ag-110m	2.94E-16	2.65E-15	1.4E-08	5.2E-09	2.8E-09
Te-129m	3.39E-18	3.78E-17	2.4E-08	6.6E-09	3.0E-09
Te-129	5.99E-18	6.01E-17	4.4E-10	1.2E-10	6.3E-11
Te-131m	1.52E-16	1.37E-15	1.4E-08	4.3E-09	1.9E-09
Te-131	4.44E-17	4.10E-16	6.6E-10	1.9E-10	8.7E-11
I-131	3.98E-17	3.76E-16	1.8E-07	5.2E-08	2.2E-08
Te-132	2.28E-17	2.28E-16	3.0E-08	8.3E-09	3.8E-09
I-132	2.43E-16	2.21E-15	2.4E-09	6.2E-10	2.9E-10
I-133	6.39E-17	5.97E-16	4.4E-08	1.0E-08	4.3E-09

核素	淹没在水体 [a]（Sv/h）/（Bq/m^3）	岸边沉积 [a]（Sv/h）/（Bq/m^2）	食入 [b]（Sv/Bq）		
			儿童	青少年	成人
I-134	2.82E-16	2.53E-15	7.5E-10	2.1E-10	1.1E-10
Cs-134	1.64E-16	1.52E-15	1.6E-08	1.4E-08	1.9E-08
I-135	1.73E-16	1.47E-15	8.9E-09	2.2E-09	9.3E-10
Cs-136	2.31E-16	2.09E-15	9.5E-09	4.4E-09	3.0E-09
Cs-137	1.49E-20	2.85E-19	1.2E-08	1.0E-08	1.3E-08
Ba-140	1.87E-17	1.80E-16	1.8E-08	5.8E-09	2.6E-09
La-140	2.54E-16	2.16E-15	1.3E-08	4.2E-09	2.0E-09
Ce-141	7.62E-18	7.38E-17	5.1E-09	1.5E-09	7.1E-10
Ce-143	2.83E-17	2.79E-16	8.0E-09	2.4E-09	1.1E-09
Pr-143	4.04E-20	7.01E-19	8.7E-09	2.6E-09	1.2E-09
Ce-144	1.91E-18	2.03E-17	3.9E-08	1.1E-08	5.2E-09
Pr-144	4.15E-18	3.78E-17	3.5E-10	9.5E-11	5.0E-11
H-3	------	------	4.8E-11	2.3E-11	1.8E-11
C-14	4.39E-22	1.61E-20	1.6E-09	8.0E-10	5.8E-10

注：（a）取自《空气、水和土壤中核素导致的外照射》（美国联邦导则 12 号报告，1993）；
（b）取自国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002）。

表 5.2-11　液态途径剂量的利用因子

项目		利用因子			
		儿童	青少年	成人	渔民
个人最大剂量（邵家庄）	食用鱼（kg/a）	20.8	52	91	104
	无脊椎动物 （kg/a）	26	65	67.6	109.2
	海藻（kg/a）	2.6	2.6	13	13
	岸边活动（h/a）	114	104	114	520
	游泳（h/a）	0	0	0	0
	划船（h/a）	0	0	0	4992
集体剂量	食用鱼 （人·kg/a）	4.82E+07			
	无脊椎动物 （人·kg/a）	6.08E+07			
	岸边活动 （h/a）	9.8E+06			
	游泳（h/a）	0			
	划船（h/a）	0			

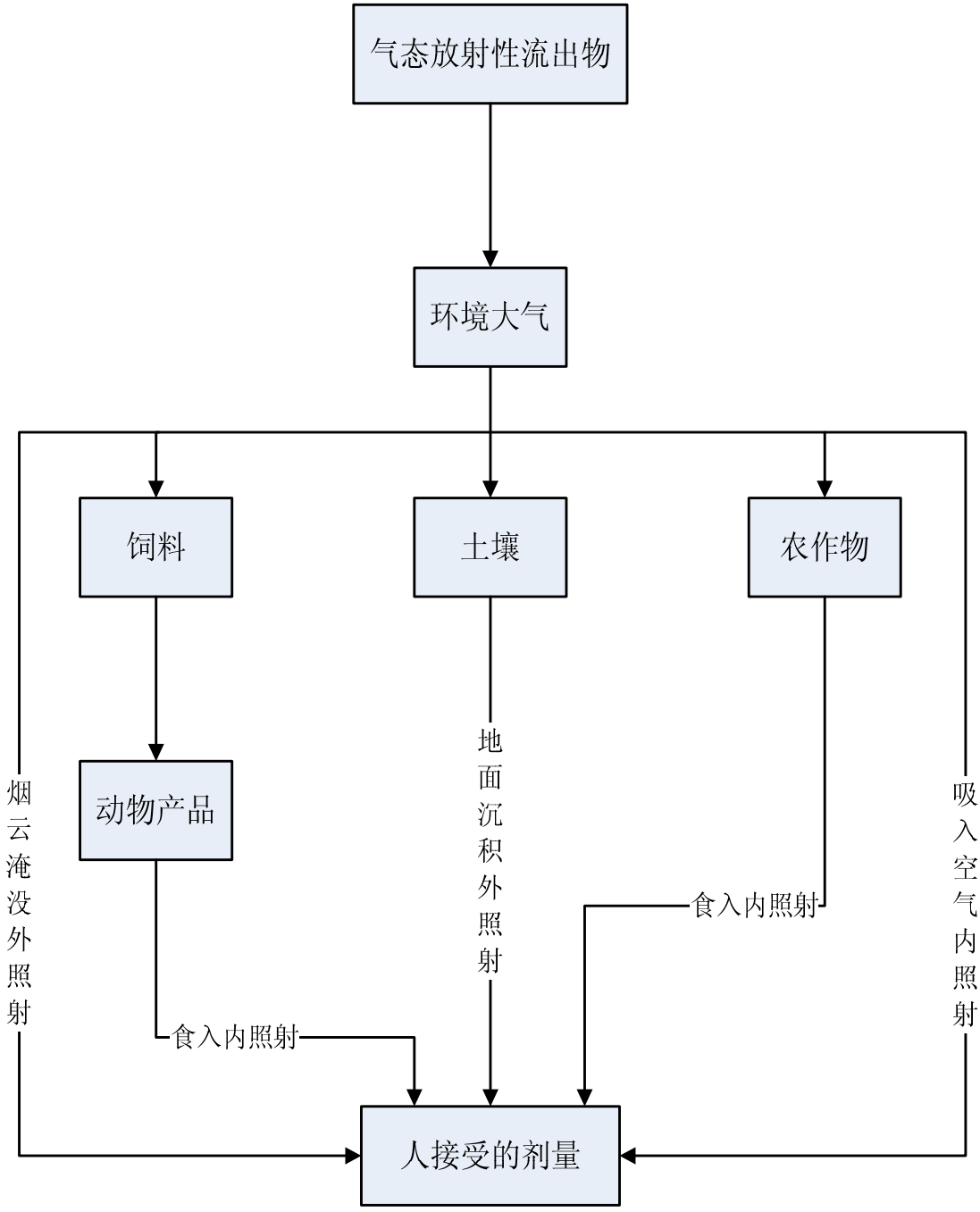


图5.2-1　正常运行气载放射性流出物对人体的照射途径

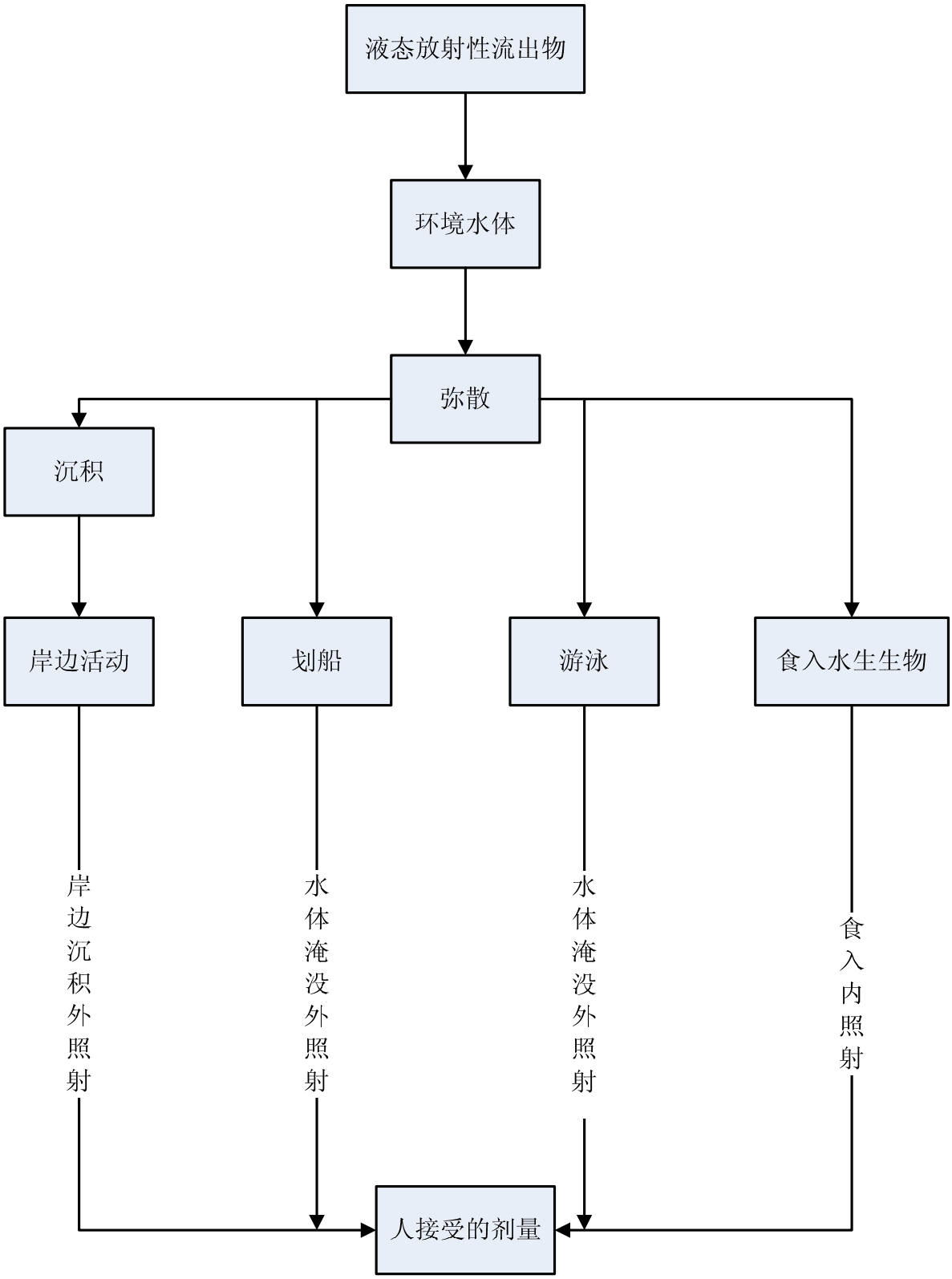


图5.2-2　正常运行时液态放射性流出物对人体的照射途径

5.3 海水放射性核素浓度影响

单台 CAP1000 核电机组的废液年排放量约为 3000m^3，冬季冷却水流量约为 51m^3/s（1.61E+09 m^3/a）。《海水水质标准》（GB 3097-1997）中规定了 5 种放射性核素的限值，根据 5 种核素的年排放量计算得到山东海阳核电厂总排放口各核素的浓度见表 5.3-1。由表 5.3-1 可见，总排放口 5 种核素的浓度均远小于《海水水质标准》（GB 3097-1997）中规定的限值。

表 5.3-1　5 种放射性核素总排放口浓度

放射性核素	Ⅰ~Ⅳ类海域浓度标准（Bq/L）	单机组排放量（Bq/a）	总排放口浓度（Bq/L）
^{60}Co	0.03	2.22E+06	＜0.00001
^{90}Sr	4	/	/
^{106}Ru	0.2	/	/
^{134}Cs	0.6	8.73E+07	5.54E-05
^{137}Cs	0.7	4.59E+08	2.85E-04

5.4 正常运行对水生生物的辐射影响

水生生物受到的辐射照射主要来自宇宙射线、天然放射性及核设施液态放射性流出物，这些照射导致了水生生物的外照射剂量和内照射剂量。其中外照射剂量来源于水体照射和底泥照射；内照射剂量来源于生物直接摄入放射性核素并通过代谢过程在生物体内浓集。

2000 年 11 月~2003 年 10 月欧共体完成了 FASSET 计划，这个计划的目的是发展评价电离辐射生物和生态系统影响的方法和工具，以及支持防护辐射对环境有害效应的努力。计划分为 4 个方面：1）环境计量学；2）放射性核素在生态系统中的转移；3）电离辐射生物效应；4）建立评价的框架。欧共体在完成 FASSET 计划后，在 2004 年 3 月制定了一个 ERICA 计划，计划实施从 2004 年 1 月到 2007 年 2 月，计划分为 5 个方面：1）提供评价工具；2）提供生态危害评价危害特征方法学；3）提供管理导则，支持电离辐射的环境保护；4）在 5 个不同场址事例研究情景中，应用和检验评价的方法学；5）总的管理和计划进展评价。

基于欧洲模式的 ERICA 程序采用了危害商的定义，危害商的定义是剂量估算值与参考值的比值，具体公式如下：

$$RQ = \frac{\text{预测的生物剂量率}}{\text{认定安全的剂量率基准值}} \qquad (5.4\text{-}1)$$

由公式（5.4-1）可知，如果危害商小于 1，说明生物的辐射影响是可以接受的。

基于欧洲模式的 ERICA 程序由三级筛选组成：一级筛选中只需输入要评价的生态系统、选择核素、输入核素在介质中的活度浓度，导出危害商，若危害商大于 1 则进入二级筛选；二级筛选在一级筛选的基础上增加了生物种类的选择，同时程序还允许用户进行核素参数设置（包括分布系数、生物参数设置等）；三级筛选的特点是用户在进行核素参数设置时，不但可以输入或采用程序提供的默认值，也可以根据选择的分布类型计算其分布值（可选择 7 种，包括指数分布、正态分布、三角分布、均匀分布、对数正态分布、对数三角分布、对数均匀分布）。

根据欧共体的 ERICA 评价软件对山东海阳核电厂 1~4 号核电机组的水生生物的辐射剂量进行了计算。本次计算采用二级筛选模式，相关参数采用程序提供的默认值。ERICA 程序中水生生物辐射剂量计算模式和参数如下所述：

1）浓度平衡比和分配系数

浓度平衡比：

$$CR = \frac{\text{放射性核素在生物体中的浓度}(Bq/kg\text{干重})}{\text{放射性核素在水中的浓度}(Bq/L)} \quad (5.4\text{-}2)$$

分配系数：

$$K_{\mathrm{d}} = \frac{\text{放射性核素在沉积物中的浓度}(Bq/kg\text{干重})}{\text{放射性核素在水中的浓度}(Bq/L)} \quad (5.4\text{-}3)$$

2）剂量转换因子

（1）对于单能源的剂量转换因子

内照射剂量转换因子：

$$DCC_{\mathrm{int}} = 5.77\times10^{-4}\times E\times\Phi_E \quad (5.4\text{-}4)$$

外照射剂量转换因子：

$$DCC_{ext} = 5.77\times10^{-4}\times E\times\left(1-\Phi_E\right) \quad (5.4\text{-}5)$$

式中：

DCC ——剂量转换因子（$\mu Gyh^{-1}/Bq\ kg^{-1}$）；

E ——单能源的能量（MeV）；

Φ_E ——特定能量的吸收系数；

5.77×10^{-4} ——转换因子。

（2）对于多能量源的剂量转换因子

$$DCC_{\mathrm{int}} = wf_{low\beta}\times DCC_{\mathrm{int},low\beta} + wf_{\beta+\gamma}\times DCC_{\mathrm{int},\beta+\gamma} + wf_{\alpha}\times DCC_{\mathrm{int},\alpha} \quad (5.4\text{-}6)$$

$$DCC_{\mathrm{ext}} = wf_{low\beta}\times DCC_{ext,low\beta} + wf_{\beta+\gamma}\times DCC_{ext,\beta+\gamma} \quad (5.4\text{-}7)$$

式中：

wf ——各能量源的权重因子（β，β+γ 和 α）。

3）水生生物辐射剂量

（1）内照射剂量率

$$D_{\mathrm{int}}^{\mathrm{b}} = \sum_i C_i^b\times DCC_{\mathrm{int},i}^b \quad (5.4\text{-}8)$$

式中：

$D_{\mathrm{int}}^{\mathrm{b}}$ ——生物体 b 的内照射吸收剂量率；

C_i^b——核素 i 在生物体 b 内的平均浓度（Bq/kg 干重）；

$DCC_{\text{int},i}^b$——内照射剂量转换因子。

（2）外照射剂量率

$$D_{ext}^{b} = \sum_z V_z \sum_i C_{zi}^{ref} \times DCC_{ext,Zi}^{b} \qquad (5.4\text{-}9)$$

式中：

V_z——占有系数，即生物体 b 在介质 Z 所停留时间的份额；

C_{zi}^{ref}——核素 i 在介质 Z 中的平均浓度（Bq/kg 干重或 Bq/l）；

$DCC_{ext,Zi}^b$——外照射剂量转换因子。

（3）总照射剂量

$$D = D_{\text{int}} + D_{ext} \qquad (5.4\text{-}10)$$

表 5.4-1~表 5.4-3 给出了 ERICA 程序中生物浓集因子、分配系数和居留因子的取值。

表 5.4-4~表 5.4-6 分别给出了山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行时各核素对厂址邻近海域的水生生物造成的内照射剂量率、外照射剂量率及总辐射剂量率。表 5.4-7 给出了山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行时放射性液态流出物排放对厂址邻近海域的水生生物造成的危害商，本次评价保守的采用 ERICA 程序中默认的剂量率基准值：10μGy/h。

由表 5.4-7 可知，山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行时放射性液态流出物排放对厂址邻近海域的水生生物造成的危害商最大为 2.58E-02，该值远小于 1。因此可以初步预测，山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行工况下，液态放射性流出物排放对厂址邻近海域中的水生生物造成的辐射影响非常有限，不会对环境产生危害。

表 5.4-1　生物浓集因子（$Bq\cdot kg^{-1}/Bq\cdot L^{-1}$）

水生生物 / 核素	深海鱼	软体动物	甲壳类	大型海藻	浅海鱼	浮游植物	多毛类	脉管类植物	浮游动物
Ag	2900	32000	16000	1300	2900	56000	27000	1300	17000
Co	5600	5100	1800	2100	5600	3100	8300	2100	4800
Cs	86	66	41	120	86	130	180	22	110
I	3.6	14	3.6	4100	3.6	960	14	4100	3000
H	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nb	83	850	100	610	83	1000	850	610	22000
Mn	740	11000	5900	7900	740	3500	3200	30000	2500
Sr	23	120	13	42	23	210	0.47	42	4.6
Zr	83	4600	220	1700	83	33000	4600	1200	22000
Ru	26	1600	320	1200	26	200000	1600	1200	34000
Te	1000	1000	1000	10000	1000	13000	1000	10000	1000
Ce	120	2200	3400	2100	120	90000	3400	160	6000
C	12000	10000	10000	8000	12000	5600	10000	8000	10000
Fe	30000	500000	500000	20000	30000	400000	500000	400000	700000

表 5.4-2　各核素的分配系数

核素	**分配系数(Kd)(L/kg)**
Ag	10000
Co	300000
Cs	4000
I	70
H	1
Nb	800000
Mn	2000000
Sr	8
Zr	2000000
Ru	40000
Te	1000
Ce	3000000
C	1000
Fe	300000000

表 5.4-3　各水生生物的居留因子

水生生物	水表	水体	沉积物表面	沉积物内
深海鱼	0	0	1	0
软体动物	0	0	1	0
甲壳类	0	0	1	0
大型海藻	0	0	1	0
浅海鱼	0	1	0	0
浮游植物	0	1	0	0
多毛类	0	0	0	1
脉管类植物	0	0	1	0
浮游动物	0	1	0	0

表 5.4-4　水生生物内照射剂量率

单位：μGy/h

水生生物 / 核素	深海鱼	软体动物	甲壳类	大型海藻	浅海鱼	浮游植物	多毛类	脉管类植物	浮游动物
Ag-110m	2.98E-06	1.86E-05	2.11E-05	4.70E-07	3.48E-06	6.44E-10	1.32E-05	8.32E-07	4.65E-06
Co-58	8.04E-06	4.41E-06	3.20E-06	1.24E-06	9.10E-06	7.24E-11	6.20E-06	1.87E-06	2.38E-06
Co-60	4.52E-06	2.38E-06	1.80E-06	6.79E-07	5.06E-06	4.43E-11	3.36E-06	9.96E-07	1.27E-06
Cs-134	1.20E-06	6.51E-07	6.74E-07	9.35E-07	1.34E-06	3.60E-11	1.63E-06	2.35E-07	7.62E-07
Cs-136	9.01E-08	4.62E-08	5.39E-08	6.37E-08	9.85E-08	3.17E-12	1.16E-07	1.54E-08	5.06E-08
Cs-137	1.59E-06	1.07E-06	7.96E-07	1.69E-06	1.67E-06	6.16E-11	2.72E-06	3.57E-07	1.42E-06
I-131	2.72E-09	9.76E-09	2.93E-09	2.38E-06	2.72E-09	2.29E-11	8.94E-09	2.86E-06	1.71E-06
I-132	8.60E-09	2.73E-08	9.74E-09	5.93E-06	9.28E-09	2.42E-11	2.46E-08	7.99E-06	3.21E-06
I-133	1.22E-08	4.39E-08	1.32E-08	1.02E-05	1.27E-08	5.01E-11	4.02E-08	1.29E-05	6.26E-06
H-3	7.60E-05	7.60E-05	7.60E-05	7.60E-05	7.60E-05	4.83E-09	7.60E-05	7.60E-05	7.60E-05
Nb-95	8.61E-09	5.74E-08	1.28E-08	3.17E-08	9.70E-09	2.69E-12	5.04E-08	4.22E-08	9.97E-07
Mn-54	2.70E-07	1.95E-06	2.88E-06	7.88E-07	3.12E-07	1.28E-11	4.45E-07	5.79E-06	1.79E-07
Sr-89	4.24E-09	2.14E-08	2.47E-09	6.06E-09	4.38E-09	4.60E-13	7.83E-11	7.50E-09	4.77E-10
Zr-95	1.44E-08	6.53E-07	4.57E-08	2.07E-07	1.58E-08	1.89E-10	6.14E-07	1.73E-07	2.48E-06
Ru-103	6.69E-08	3.43E-06	9.16E-07	2.35E-06	7.06E-08	2.16E-08	3.35E-06	2.61E-06	6.34E-05
Ru-106	7.35E-06	4.10E-04	9.68E-05	2.10E-04	7.74E-06	2.96E-07	3.72E-04	3.16E-04	2.69E-03
Te-129m	2.34E-07	2.21E-07	2.41E-07	1.87E-06	2.34E-07	5.86E-11	2.14E-07	2.27E-06	1.47E-07
Te-132	9.62E-07	7.78E-07	1.09E-06	6.15E-06	1.02E-06	2.06E-10	7.17E-07	7.98E-06	4.71E-07
Ce-141	6.79E-09	1.23E-07	1.93E-07	1.12E-07	6.79E-09	2.29E-10	1.89E-07	8.96E-09	3.09E-07
Ce-144	1.39E-06	2.39E-05	4.22E-05	1.67E-05	1.47E-06	9.98E-09	3.40E-05	1.76E-06	2.59E-05
C-14	3.06E-03	2.47E-03	2.55E-03	1.97E-03	3.06E-03	8.85E-08	2.47E-03	1.97E-03	2.47E-03
Fe-55	1.59E-06	2.64E-05	2.66E-05	1.04E-06	1.59E-06	1.98E-05	2.64E-05	2.12E-05	3.59E-05
Fe-59	5.56E-06	6.75E-05	1.09E-04	2.20E-06	6.04E-06	2.19E-05	6.25E-05	5.53E-05	6.96E-05

表 5.4-5　水生生物外照射剂量率

单位：μGy/h

水生生物 / 核素	深海鱼	软体动物	甲壳类	大型海藻	浅海鱼	浮游植物	多毛类	脉管类植物	浮游动物
Ag-110m	3.22E-05	3.22E-05	3.00E-05	3.43E-05	8.00E-09	9.15E-09	6.86E-05	3.22E-05	9.15E-09
Co-58	1.13E-03	1.19E-03	1.11E-03	1.24E-03	9.83E-09	1.14E-08	2.43E-03	1.19E-03	1.10E-08
Co-60	6.95E-04	7.49E-04	6.95E-04	7.49E-04	6.18E-09	7.13E-09	1.50E-03	7.49E-04	6.65E-09
Cs-134	1.01E-04	1.07E-04	9.75E-05	1.11E-04	6.66E-08	8.11E-08	2.17E-04	1.07E-04	7.48E-08
Cs-136	9.40E-06	1.03E-05	9.40E-06	1.03E-05	6.29E-09	7.43E-09	2.06E-05	1.03E-05	7.43E-09
Cs-137	4.87E-05	5.19E-05	4.71E-05	5.52E-05	3.14E-08	5.09E-08	1.07E-04	5.19E-05	3.79E-08
I-131	3.11E-08	3.26E-08	2.95E-08	3.58E-08	1.16E-09	1.92E-09	6.71E-08	3.26E-08	1.34E-09
I-132	2.02E-07	2.19E-07	2.02E-07	2.36E-07	7.55E-09	1.01E-08	4.29E-07	2.19E-07	8.80E-09
I-133	1.15E-07	1.22E-07	1.08E-07	1.40E-07	4.18E-09	7.71E-09	2.48E-07	1.22E-07	5.62E-09
H-3	6.41E-12	2.34E-11	5.96E-14	2.09E-10	7.62E-14	3.17E-05	2.01E-11	2.10E-11	1.47E-12
Nb-95	1.94E-04	2.08E-04	1.90E-04	2.14E-04	6.46E-10	7.59E-10	4.17E-04	2.08E-04	7.10E-10
Mn-54	2.49E-03	2.65E-03	2.44E-03	2.71E-03	3.24E-09	3.62E-09	5.31E-03	2.60E-03	3.62E-09
Sr-89	3.02E-11	5.65E-11	1.69E-11	1.78E-10	5.47E-12	1.96E-10	1.52E-10	5.04E-11	8.62E-11
Zr-95	5.07E-04	5.32E-04	4.94E-04	5.46E-04	6.58E-10	8.49E-10	1.09E-03	5.32E-04	7.44E-10
Ru-103	1.03E-04	1.07E-04	9.87E-05	1.11E-04	6.60E-09	9.33E-09	2.14E-04	1.07E-04	7.42E-09
Ru-106	1.28E-03	1.63E-03	9.31E-04	2.85E-03	6.59E-08	3.64E-07	3.95E-03	1.57E-03	2.87E-07
Te-129m	1.26E-08	1.63E-08	1.06E-08	2.96E-08	2.95E-11	2.62E-10	3.98E-08	1.55E-08	1.18E-10
Te-132	1.06E-06	1.13E-06	9.80E-07	1.13E-06	2.61E-09	3.61E-09	2.26E-06	1.13E-06	3.21E-09
Ce-141	2.44E-05	2.75E-05	2.37E-05	3.06E-05	2.17E-11	7.77E-11	5.61E-05	2.69E-05	2.89E-11
Ce-144	2.14E-03	2.92E-03	1.26E-03	6.21E-03	1.24E-09	1.34E-08	7.76E-03	2.71E-03	9.13E-09
C-14	5.83E-08	2.33E-07	6.80E-08	5.18E-07	1.98E-10	2.50E-07	4.66E-07	2.01E-07	3.71E-09
Fe-55	1.08E-05	4.49E-05	1.27E-05	1.24E-04	1.24E-13	3.69E-12	1.08E-04	3.86E-05	1.94E-12
Fe-59	1.09E-01	1.14E-01	1.05E-01	1.17E-01	9.52E-10	1.10E-09	2.32E-01	1.14E-01	1.05E-09

表 5.4-6　水生生物总辐射剂量率

单位：μGy/h

生物 / 核素	深海鱼	软体动物	甲壳类	大型海藻	浅海鱼	浮游植物	多毛类	脉管类植物	浮游动物
Ag-110m	3.51E-05	5.08E-05	5.10E-05	3.48E-05	3.49E-06	9.78E-09	8.16E-05	3.30E-05	4.66E-06
Co-58	1.13E-03	1.20E-03	1.11E-03	1.24E-03	9.10E-06	1.15E-08	2.44E-03	1.20E-03	2.39E-06
Co-60	7.00E-04	7.51E-04	6.97E-04	7.50E-04	5.06E-06	7.18E-09	1.51E-03	7.50E-04	1.28E-06
Cs-134	1.02E-04	1.08E-04	9.82E-05	1.12E-04	1.41E-06	8.11E-08	2.18E-04	1.07E-04	8.32E-07
Cs-136	9.54E-06	1.03E-05	9.47E-06	1.03E-05	1.05E-07	7.44E-09	2.06E-05	1.03E-05	5.81E-08
Cs-137	5.03E-05	5.30E-05	4.78E-05	5.68E-05	1.71E-06	5.09E-08	1.10E-04	5.23E-05	1.47E-06
I-131	3.38E-08	4.25E-08	3.25E-08	2.42E-06	3.88E-09	1.94E-09	7.60E-08	2.90E-06	1.71E-06
I-132	2.11E-07	2.46E-07	2.12E-07	6.16E-06	1.68E-08	1.01E-08	4.53E-07	8.21E-06	3.21E-06
I-133	1.27E-07	1.66E-07	1.22E-07	1.03E-05	1.69E-08	7.75E-09	2.87E-07	1.30E-05	6.27E-06
H-3	7.60E-05	7.60E-05	7.60E-05	7.60E-05	7.60E-05	3.17E-05	7.60E-05	7.60E-05	7.60E-05
Nb-95	1.94E-04	2.08E-04	1.90E-04	2.14E-04	1.04E-08	7.61E-10	4.17E-04	2.08E-04	9.97E-07
Mn-54	2.49E-03	2.66E-03	2.44E-03	2.71E-03	3.16E-07	3.63E-09	5.32E-03	2.60E-03	1.83E-07
Sr-89	4.27E-09	2.15E-08	2.49E-09	6.23E-09	4.38E-09	1.97E-10	2.31E-10	7.56E-09	5.63E-10
Zr-95	5.07E-04	5.34E-04	4.94E-04	5.46E-04	1.65E-08	1.04E-09	1.09E-03	5.33E-04	2.48E-06
Ru-103	1.03E-04	1.11E-04	9.96E-05	1.14E-04	7.72E-08	3.09E-08	2.18E-04	1.10E-04	6.34E-05
Ru-106	1.28E-03	2.04E-03	1.03E-03	3.06E-03	7.81E-06	6.60E-07	4.33E-03	1.89E-03	2.69E-03
Te-129m	2.47E-07	2.37E-07	2.51E-07	1.90E-06	2.34E-07	3.21E-10	2.54E-07	2.29E-06	1.47E-07
Te-132	2.02E-06	1.91E-06	2.07E-06	7.28E-06	1.03E-06	3.82E-09	2.98E-06	9.11E-06	4.75E-07
Ce-141	2.44E-05	2.76E-05	2.39E-05	3.07E-05	6.82E-09	3.07E-10	5.64E-05	2.69E-05	3.09E-07
Ce-144	2.14E-03	2.93E-03	1.30E-03	6.22E-03	1.47E-06	2.34E-08	7.79E-03	2.71E-03	2.59E-05
C-14	3.06E-03	2.47E-03	2.55E-03	1.97E-03	3.06E-03	3.39E-07	2.47E-03	1.97E-03	2.47E-03
Fe-55	1.24E-05	7.14E-05	3.92E-05	1.25E-04	1.59E-06	1.98E-05	1.34E-04	5.98E-05	3.59E-05
Fe-59	1.09E-01	1.15E-01	1.05E-01	1.17E-01	6.04E-06	2.19E-05	2.32E-01	1.14E-01	6.96E-05

表 5.4-7　水生生物危害商

水生生物名称	危害商
深海鱼	1.21E-02
软体动物	1.28E-02
甲壳类	1.16E-02
大型海藻	1.34E-02
浅海鱼	3.17E-04
浮游植物	7.45E-06
多毛类	2.58E-02
脉管类植物	1.27E-02
浮游动物	5.45E-04

5.5 其它影响

核电厂运行对环境的其它影响主要是化学物质排放引起的影响，这些影响较之放射性流出物和温排水对环境的影响是很小的。

核电厂排放的化学物质来自下列工艺过程产生的废水中：

— 除盐水处理；

— 凝结水精处理；

— 化学加药处理；

— 非放射性废水处理；

— 氯化处理；

— 海水淡化系统；

— 硼酸排放。

5.5.1 除盐水处理系统排放的废水

除盐水处理系统排放的化学物质主要有二类，一是反渗透浓盐水；二是酸碱性废水。

1~4 号核电机组反渗透浓盐水的年排放量约为 68 万吨，出水含盐量约为 1500mg/l，其废水经海水淡化系统回收。

1~4 号核电机组酸碱性废水的年排放量约为 6 万吨，其废水就地中和，将 pH 值调至 7~9 后，经循环冷却水稀释后入海，因此不会对厂址附近海域的水质产生明显影响。

5.5.2 凝结水精处理系统排放的废水

凝结水精处理系统排放的废水主要为酸碱性废水，1~4 号核电机组酸碱性废水的年排放量约为 42 万吨，其废水就地中和，将 pH 值调至 7~9 后，排至非放射性废水处理系统（WWS）经监测合格后排放。因此，凝结水精处理系统排放的废水不会对厂址附近海域的水质产生明显影响。

5.5.3 化学药剂供给系统排放的废水

化学药剂供给系统排放的废水主要为含 NH_3 或 N_2H_4 的废水，1~4 号核电机组的年排放量约为 2t，其废水排至凝结水精处理系统的废水池，经监测箱收集后监测排放。山东海阳核电厂 4 台百万千瓦级核电机组的循环水量为 268.0m^3/s，化学药剂供给系统排放的含 NH_3 或 N_2H_4 的废水与循环冷却水混合稀释后浓度很

低，不会对厂址附近海域的水质产生明显影响。

5.5.4 非放射性废水的排放

这类排放物主要指电厂生活污水及其它非放射性废水处理的排放物，本工程产生的生活污水经污水处理站处理后达到《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）中的一级标准后排放。这类排放物不会对厂址附近海域产生明显的影响。

5.5.5 余氯排放

为保护循环冷却水系统不受海洋附着生物的堵塞，山东海阳核电厂在冷却水中注入次氯酸钠，次氯化物的注入，会在海水中产生下列产物：

— 次氯化物与海水中的溴盐作用，产生次溴化物离子；

— 在海水中产生少量游离溴或游离氯；

— 次溴化物或次氯化物与海洋中的含氮有机化合物作用，产生化合态的氧化物，从而造成低值氧化剂残留量。

根据法国格拉芙林核电站的研究结果，余氯浓度为 0.05mg/L 时，藻类的初生组织就开始受到影响。根据海阳核电厂附近海域的海洋环境质量调查，厂址附近海域污损生物较少，山东核电有限公司可以通过控制加药量的方式使排水口余氯的浓度小于 0.05mg/L。即使在污损生物量较大的夏季，需要提高循环水中的加氯量以进一步抑制生物的生长，参考目前国内运行核电厂的运行情况，余氯随循环冷却水系统的温排水排入水环境前，水体中余氯的浓度经降解（半衰减期 1.5h）一般均可降至 0.15mg/L 以下。山东核电有限公司将根据海阳厂址附近海域的实际污损生物量尽可能减少加氯量，尽可能降低排水口处的余氯浓度。

关于余氯对水生生物的影响，曾江宁[1]等人对余氯造成水生生物的损伤开展了一定的研究，研究发现余氯对浮游植物的损害较大，0.2mg/L 的氯可以直接杀死水中 60~80%的藻类；0.1mg/L 的余氯会使浮游植物光合作用下降 50%；当余氯稀释到 0.03mg/L 以下时，水中初级生产力可完全恢复。浮游动物对余氯较敏感，48h 的半致死浓度乘以安全因子 0.5 可确定余氯的安全浓度。25℃时余氯对海水中浮游动物 96h 的半致死浓度（LC_{50}）为 0.062~0.267mg/L。张穗[2]等人则选

[1] 曾江宁等，余氯对水生生物的影响，生态学报，2005（10）：2717-2724。
[2]张穗等，大亚湾核电站余氯排放对邻近海域环境的影响，海洋环境科学，2000（2）：14-18。

择若干养殖经济动物进行了余氯毒性胁迫试验。以 0.5 为安全因子，余氯胁迫作用时间不超过 30min 时，游离余氯对平鲷、黑鲷仔鱼的安全容许浓度约为 0.10mg/L，对斑节对虾幼苗为 0.86mg/L；余氯胁迫作用不超过 60min 时，化合态余氯对平鲷、黑鲷仔鱼的安全容许浓度约为 0.30mg/L，对斑节对虾幼苗约为 2.86mg/L。

根据中国水利水电科学研究院开展的《山东海阳核电厂可行性研究阶段温排水、低放废水数模计算报告》（2008年7月），海阳核电厂4台核电机组排放的余氯其10倍稀释因子对应的最大和平均包络面积约为3.45km^{2}和0.85km^2，核电厂排放的余氯稀释10倍后其浓度已远小于各类生物的安全阈值。4台A核电机组排放的余氯在附近海域中各相对浓度典型大潮最大和平均包络范围见图5.5-1。由图可见，山东海阳核电厂1~4号4台AP1000核电机组余氯排放的影响仅局限于厂址以西排水口附近的局部海域，因此不会厂址附近海洋生态环境造成不良影响。

5.5.6 海水淡化工程

海水淡化工程运行期产生的环境影响有：

1） 固体废物

主要为废弃的反渗透膜，在达到使用寿命后，由生产厂家负责回收。

2） 噪声

采用在高噪声设备（能量回收装置和罗茨风机）处设置隔音罩，使噪声小于85dB(A)。海水淡化系统内其他设备的噪声均满足《工业企业噪音控制设计规范》（GBJ87-1985）的要求，且海水淡化厂房距附近村庄较远（大于 1km），经距离衰减后不会对环境敏感点产生影响。

3） 废水

海水淡化工程排放的废水包括：沉淀过滤水、SWRO 浓盐水和反渗透清洗水。海水淡化系统正常运行排水量为 1098m^3/h（0.31 m^3/s），浓缩倍率为 1.67 倍，而 4 台百万千瓦级核电机组夏季冷却水排水流量为 268.0m^3/s，海水淡化系统的排水量仅占冷却水排水量的 1.16‰，经计算冷却水循环水排水口的含盐量仅增加了 1.93‰，因此海水淡化系统排放的含盐水对环境的影响可以接受。

对于海水预处理生成的含泥废水则进入污泥浓缩池，经浓缩池高浓度泥水排

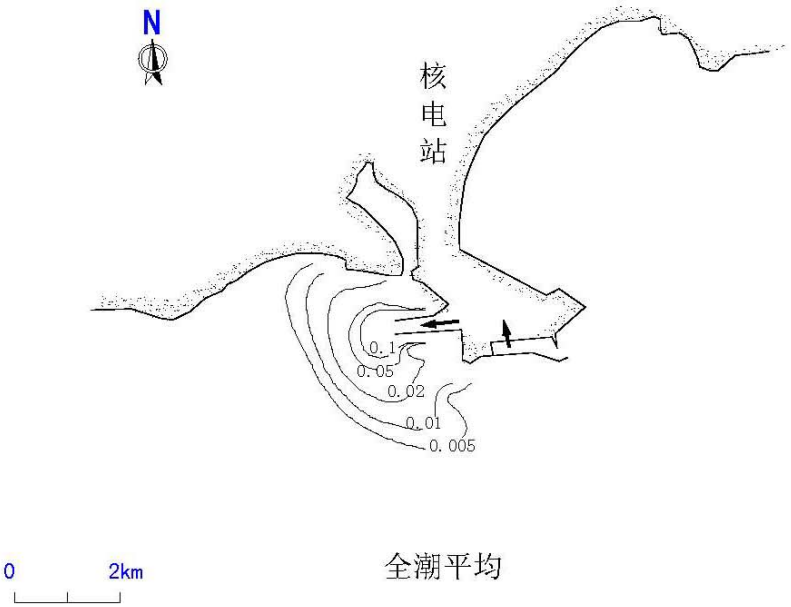
入附近专用脱泥设备，脱水后的泥饼则由有资质的单位按规定进行处置。

5.5.7 硼酸排放

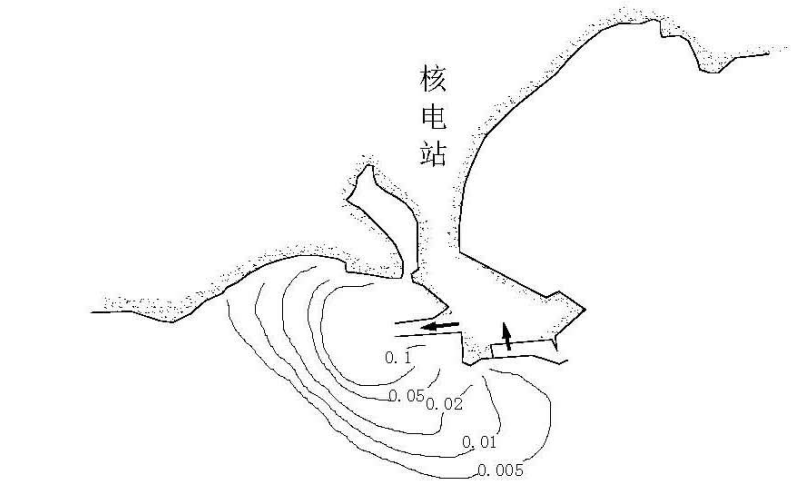
CAP1000 核电机组不设置硼回收系统。由于调硼动作造成的化学和容积控制系统（CVS）下泄流以及泄漏出的反应堆冷却剂中的硼进入放射性废液系统（WLS），并最终随放射性废液一起与循环冷却水混合后排入大海。

由于《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）和《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中均未对硼排放的浓度制定限值，因此本报告参考《上海市污水综合排放标准》（DB31/199-2009），该标准规定总排放口的硼排放限值为 5ppm。

单台 CAP1000 机组每年向海水排放的硼质量约为 1t（见本报告 3.7 节），山东海阳核电厂单台 CAP1000 核电机组夏季冷却水流量为 67m^3/s，冬季冷却水流量为 51m^3/s。经计算，山东海阳核电厂总排放口处硼的浓度最大仅为 6.2×10^{-4}ppm，远小于海水本身含硼量 4~7ppm，因此不会对厂址附近海域的水质产生影响。



全潮平均



全潮最大

图 5.5-1　余氯等相对浓度线包络图（4×1250MWe　典型大潮）

5.6 退役

随着核电厂运行时间的增长，反应堆系统中机械和电器设备将出现老化现象，尤其是其中的一些不可更换设备的性能因老化而不断劣化，最终将中止反应堆的使用。本电站采用第三代CAP1000技术方案，核电机组的设计寿期为六十年，届时将实施退役。

核电厂反应堆的退役是一项新的复杂的技术工作，其全部退役活动将在充分保护从事退役工作的人员和周围公众的健康，以及保护环境和保证安全的情况下进行。根据《中华人民共和国放射性污染防治法》的要求，核设施营运单位在进行核设施退役活动前应当编制环境影响报告书报国务院环境保护行政主管部门审查。因此，两台机组的反应堆的详细退役方案的制订及环境影响评价将在反应堆退役阶段开展。此外，随着科学技术的不断进步，在今后的几十年时间内核电厂退役技术必将会发展到一个新的水平。鉴于核电厂退役的重点是反应堆退役，它的影响因素又是多方面的，包括安全、技术、经济、国家的政策法规、核电厂本身的特点等诸多因素，本节将简要给出退役资金的筹措方案以及设想的退役方案。

5.6.1 退役的一般原则

世界各国的反应堆退役方案各不相同，退役中各阶段的定义和技术也存在差异，但基本都是采用三级退役的方式，即反应堆退役分为Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ级逐级开展。

Ⅰ级退役是在核电厂最终停闭不久后有计划进行的活动，此阶段的主要工作是厂房的安全维护，运行废物（包括固体废物、污泥和树脂等）的清理，以及主回路、辅助设施和工艺厂房的去污等活动。然后，对反应堆实施安全封存，即反应堆进入安全检测阶段。

Ⅱ级退役是在Ⅰ级退役的基础上进行的，其任务就是将生物屏蔽层以外的全部放射性和非放射性系统及建筑物拆除、或去污至允许水平，按规定处理、贮存或处理放射性废物，对遗留的堆本体结构进行屏蔽隔离，使厂址达到限制性开放的标准。

Ⅲ级退役的主要任务是拆除堆本体、生物屏蔽层、预应力混凝土，并最后清理现场，恢复绿地或新建新厂。由于反应堆本体具有较强放射性且结构坚固，因

此拆除这些设施需要采用专门的遥控操作设备。

5.6.2 退役方案设想

根据“废物最小化”和“安全退役”的原则，核电厂在技术设计、设备材料的选取等方面需针对退役特点进行如下考虑：

— 整个电厂设计成能在最终停堆后有一段时间维持反应堆处于安全状态（监护封存），并具备可靠的监视措施；

— 反应堆设计成能在最终停堆后的某些规定的时间内完成有关的拆除工作，并使在这期间所需要的监督工作量最小；

— 反应堆的布置和材料的选择便于拆除工作，并使放射性废物量和可能导致工作人员和公众的辐射剂量可合理达到尽量低；

— 在退役期间对放射性物质从反应堆中实际和可能的泄漏具有控制和监督的能力；

— 具备对估算反应堆寿期内放射性积存量和退役过程中辐照剂量所需要的主要参数进行监督的能力；

— 设计上对核电厂的放射性物质和非放射性物质进行严格区分。

根据目前的技术经济条件，海阳核电厂可初步考虑以下三种退役方案：

1）立即退役方案

从反应堆最终停闭起4~5年内连续完成第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级退役工作。

此方案的前提是尽快利用旧厂址，例如在旧厂址上新建核电厂。其优点是能尽快利用场地和部分利用现场原有设备和辅助设备。但是，由于停堆时间较短，还存在高放射性核素，需要广泛采用远距离遥控操作和屏蔽来拆除构建、处理放射性废物，操作困难，费用昂贵。

2）推迟第Ⅲ级退役方案

在最终停闭反应堆后连续完成第Ⅰ、Ⅱ级退役，而第Ⅲ级退役工作推迟30～50年进行。该方案的优点是能利用现有的设施和设备拆走大部分非放设备、建筑物以及放射性污染相对较低的设备和建筑物，而大部分放射性核素保留在生物屏蔽和压力壳内使其衰变。清理出的现场可以改作它用，以减少第Ⅲ级退役的费用。缺点是需要对遗留的结构进行长期的监测和维护。

3）推迟第Ⅱ、Ⅲ级退役方案

在最终停闭反应堆后接着完成第Ⅰ级退役，而将第Ⅱ、Ⅲ级退役延迟50年或更长时间进行。优点是第Ⅰ级退役在短时间内完成，可不再另建服务性设施，而放射性核素的衰变和技术措施方面的收益则在第Ⅱ、Ⅲ级退役中得到体现。但长期维护大量的服务性设施和保持系统处于良好状态，在第Ⅱ、Ⅲ级退役时使用，费用昂贵。

本项目两台机组运行寿期满后，具体采用何种退役方案，还需要根据技术经济的发展情况，对退役方案不断进行跟踪修订完善，此外，海阳核电厂核电机组在决定退役前还需向国家主管部门提交《反应堆退役报告》，在获得退役许可证以后，才允许开展退役工作。

5.6.3 退役资金

核电站的退役基金按固定资产原值的 10%计提，存入电厂退役资金专有帐户。

第六章　电厂事故的环境影响

6.1 电厂放射性事故

6.1.1 事故描述和事故源项

6.1.1.1 事故分类

根据国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的要求：按可能导致环境危害程度和发生概率的大小，将核动力厂的事故工况分为设计基准事故和严重事故，其中设计基准事故包括稀有事故和极限事故，核动力厂事故工况的环境影响评价采用设计基准事故。

1）稀有事故

在核电厂运行寿期内发生频率很低的事故（预计为 10^{-4}~10^{-2}/堆年），这类事故可能导致少量燃料棒损坏，但单一的稀有事故不会导致反应堆冷却剂系统或安全壳屏障丧失功能。

此类事故包括：

- 蒸汽系统管道的小破裂；
- 完全丧失反应堆冷却剂强迫流动；
- 额定功率下一束控制棒组件误提升；
- 燃料组件装错位；
- 自动卸压系统误启动；
- 在反应堆冷却剂压力边界内不同尺寸的管道破裂引起的失水事故（小破口失水事故）；
- 放射性气体废物处理系统泄漏或破损；
- 放射性液体废物处理系统泄漏或破损；
- 乏燃料运输容器跌落事故；
- 蒸汽发生器传热管破裂（事故并发碘尖峰）。

2）极限事故

在核电厂运行寿期内发生频率极低的事故（预计为 10^{-6}~10^{-4}/堆年），这类事故的后果包含了大量放射性物质释放的可能性，但单一的极限事故不会造成应对事故所需的系统（包括应急堆芯冷却系统和安全壳）丧失功能。

此类事故包括：

- 主蒸汽管道大破口；
- 主给水管断裂；
- 反应堆冷却剂泵轴卡死（主泵卡转子）；
- 反应堆冷却剂泵轴断裂（主泵断轴）；
- 控制棒组件弹棒事故；
- 蒸汽发生器传热管破裂（事故前碘尖峰）；
- 在反应堆冷却剂压力边界内不同尺寸的管道破裂引起的失水事故（大破口失水事故）；
- 设计基准的燃料操作事故。

6.1.1.2 事故分析说明

1）保守性说明

在对核电厂进行假想的事故分析中，为了使结果具有代表性和包络性，在分析中作一定的假设，使结果处于合理保守的程度。主要包括以下四个方面：

（1）失去厂外电源

这个假设对本项目事故分析中的影响包括：二回路蒸汽旁排至冷凝器的导热失效，为了导出堆芯余热保证堆芯的完整性，此时蒸汽直接排向大气环境，放射性就混合于蒸汽释放，保守地考虑事故放射性后果。

（2）最大价值棒卡在堆外

此时停堆系统引入的负反应性最小，使停堆深度最小，从反应性的角度使事故放射性后果更加保守。

（3）仅考虑安全级设备的缓解作用

本项目为了提高整个核电厂的经济性，很多系统设计为非安全级，如：正常余热排出系统（RNS）、柴油机供电系统、二回路辅助给水系统(本项目对应为启动给水系统（SFW Startup Feed Water）)。事故分析中均保守假设这些系统在事故后失效。如果这些系统的投入反而会导致事故剂量的增加，则要分别进行计算。如主泵卡转子/断轴事故，当 SFW 可用时，蒸汽发生器传热管不裸露，则不发生一回路泄漏液在 SG 内的闪蒸，但事故将持续更长的时间，可能使最终的剂量结果比 SFW 不可用时更大，所以要对两种情况均进行分析。

（4）假设极限的单一故障

事故后，考虑某些系统设备失效，但只选择可能导致放射性后果最严重的设备失效，而不是所有设备均失效。如 SGTR 事故，事故后放射性通过二回路蒸汽管线的阀门释放，并假设其打开后失效（卡开不能回位），此时放射性释放将持续。当二回路压力继续降到一定程度，另外一种类型的隔离阀将在低压信号下隔离该释放管线，从而终止释放。

2）事故源项

（1）堆芯源项

采用堆芯核素放射性总量作为堆芯源项，热功率在 3400MWt 的基础上考虑了功率测量 1%的不确定性，增加到 3434MWt。

（2）一回路及二回路源项

事故发生时，认为反应堆已经运行足够长的时间，一回路冷却剂源项已经达到电厂允许的最大值。计算该源项的主要参数和假设有：

- 与时间相关的堆芯放射性总量作为输入条件之一；
- 假设堆芯存在 0.25%的燃料包壳破损率，破损燃料棒均匀分布在整个堆芯中，该值与电厂技术规格书中一致；
- 裂变产物逃脱率系数（裂变产物从燃料芯块释放到间隙的速率）、冷却剂下泄流量及除盐床净化效率等相关数据也为主要的输入条件之一；
- 根据上述假设，对冷却剂活度建立核素产生和消失的微分方程，求解得到各核素浓度随时间的变化关系，并取其最大值；
- 对碘同位素的活度浓度要进行一定的修正，使得该浓度下所有碘同位素产生的剂量等效于活度浓度为 3.70E+01GBq/t 的 I-131 产生的剂量，与技术规格书中的规定相一致；
- 对惰性气体，活度浓度修正到 1.04E+04GBq/t 剂量等效 Xe-133，与技术规格书中的规定相一致。

对于二回路的源项：保守地假定事故时二回路中核素的活度浓度为一回路的 10%。

3）分析中的假设与说明

（1）放射性物质形态分类

本项目事故分析时，假设放射性物质释放出来后以气体和气溶胶等形态存

在。对于碘核素，进一步分为三类：

粒子碘（Particulate） 95%

元素碘（Elemental） 4.85%

有机碘（Organic） 0.15%

核素形态的划分，主要是考虑到其在迁移及释放过程中的去除机制不同。对以气体形态存在的放射性物质，如惰性气体，释放后就直接进入安全壳或外环境。对于粒子碘、碱金属和其他放射性核素假设均以气溶胶形式存在，在空气中由于各种沉积机制被去除。对于有机碘假设不能被去除，元素碘则会由沉积去除。

（2）碘尖峰释放

堆芯内的燃料棒存在一定的破损，当运行出现瞬态时，由于堆芯功率、一回路的压力、温度等的变化，造成破损燃料棒中的放射性在短时间内向冷却剂的释放增加，使冷却剂中碘等同位素的活度浓度大幅增加。

在事故分析中考虑以下两种情况：

- 事故并发（accident-initiated）碘尖峰释放

这种情况认为，事故发生时出现瞬态，使碘尖峰释放与事故同时发生。根据 RG1.183，主蒸汽管道破裂事故及安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故假设碘同位素从燃料棒间隙向冷却剂的释放速率为反应堆冷却剂中放射性为 3.70E+01GBq/t 剂量等效 I-131 时平衡释放速率的 500 倍。而碘的平衡释放速率根据释放与去除作用的平衡方程求解得到。蒸汽发生器传热管破裂事故，认为破损燃料棒间隙的放射性在事故后 8h 内全部释放到冷却剂中，燃料棒破损率对应于一回路冷却剂中放射性为 3.70E+01GBq/t 剂量等效 I-131。

- 事故前（pre-accident）碘尖峰释放

考虑事故前碘尖峰时，认为在事故发生之前一回路已经发生了瞬态，使得一回路内碘同位素的浓度达到了技术规格书中规定的 2.22E+03GBq/t 剂量等效 I-131，这与 RG1.183 的规定是一致的。

（3）放射性的自然去除（natural removal）

除了衰变外，放射性核素在迁移过程中还存在其它形式的损耗。本项目在设计中，与现役核电厂相比，采用了“非能动”的先进理念。通过自然的力量来减轻事故后的后果，对放射性进行自然去除。本项目主要的非能动设计之一即为“非

能动安全壳冷却系统（PCS）”。

PCS 主要由钢安全壳和屏蔽厂房顶部的冷却水箱构成。事故后，如果安全壳出现高温高压，会触发该系统的投入。此时水箱的水就会通过重力作用流到钢安全壳的外表面，对钢安全壳起到冷却作用，以散热的方式带走事故后从堆芯释放到安全壳内的能量。而钢安全壳里面，由于事故后，大量高温冷却剂释放到安全壳大气内产生带有放射性的蒸汽。当这些高温蒸汽遇到温度较低的钢安全壳时，就会冷凝并顺着内壁流下，进入内置换料水箱，再流入地坑，然后回到堆芯，最终形成安全壳内的自然循环。与采用混凝土安全壳的传统电厂相比，这些设计的效果使得安全壳内的换热效率提高，从而加剧了事故后安全壳内流体的流动性，除了可以高效地导出热量外，还增强了对安全壳大气中放射性的去除效果。

对以气溶胶形态（粒子碘、碱金属和其它裂变产物）存在的放射性核素来说，主要有三种去除方式：

- 重力沉降（Gravitational sedimentation）

此去除机制主要是在重力的作用下，悬浮在安全壳大气中的气溶胶沉降在相关设备或构筑物的表面。

- 扩散电泳（Diffusiophoresis）

此机制主要是由于气溶胶载体-气体中的蒸汽在墙壁表面上凝结而引起的。蒸汽在墙壁表面的凝结导致了墙壁附近的蒸汽浓度减低，从而形成了一个离墙壁越远浓度越大的蒸汽浓度梯度。因为浓度梯度的存在及蒸汽凝结的持续，导致气溶胶向墙壁表面流动，当气溶胶接触到墙壁时被吸附到墙壁表面上，从而对安全壳内的气溶胶起到了去除的作用。

- 热电泳（Thermophoresis）

此机制是由于堆芯附近的温度高，而钢安全壳温度相对较低，在这样一个存在温度梯度的场内，气溶胶就会发生自然的定向运动，最终也是在钢安全壳内壁附着，随冷凝流经内置换料水箱回到地坑液相中。

综合考虑气溶胶的自然去除机制后，计算得到事故开始后 24 小时内的去除系数。

对元素碘的沉积去除，计算式为：

$$\lambda_{\mathrm{d}}=\frac{K_{\mathrm{w}}\times A}{V}$$

式中：

λ_d—表面沉积的一阶去除系数；

K_w—质量迁移系数，取4.9m/h；

A—安全壳内可供沉积的表面积，m^2；

V—安全壳的自由容积，m^3。

保守取安全壳内可供沉积的表面积约为2.03E+04m^2，自由容积为5.83E+04m^3。将上述数值代入公式计算得到元素碘的去除系数为1.7h^{-1}。元素碘去除可一直持续至去污因子达到200为止。

（4）闪蒸（flashing）现象与分配系数

事故分析中假设一回路冷却剂通过破口泄漏到压力温度较低的环境时，就会发生闪蒸，液相中的放射性在汽化时释放到气相中，形成气载放射性。此时保守假设释放到气相中的放射性份额与液相汽化的份额相同，称之为“闪蒸份额（flash fraction）”，其计算式为：

$$F_{flash}=\frac{h_{f1}-h_{f2}}{h_{fg}}$$

式中：

F_{flash}—闪蒸份额；

h_{f1}—泄漏液的比焓，kJ/kg；

h_{f2}—泄漏液进入环境的温度、压力对应的比焓，kJ/kg；

h_{fg}—与环境温度、压力对应的汽化潜热，kJ/kg。

根据泄漏液的泄漏率和闪蒸份额，就可计算出闪蒸到气相的放射性物质的释放率。泄漏液闪蒸后剩余的液相将与泄漏进入的液相混合，然后通过蒸发继续释放放射性。

低于饱和温度的液体蒸发比闪蒸轻微得多，此时液相中的放射性核素向气相的转移速率也慢得多。此时放射性活度存在一个分配效应：气相与液相中有一个稳定的核素浓度之比（分配系数）。事故分析中，根据液相的活度浓度和热工水力分析得到的蒸汽释放量，就可以求出释放到气相或环境的放射性总量。分析中选取的分配系数的具体数值见各事故的参数表。

6.1.1.3 事故描述和分析

参考安全分析报告，本节对 7 类具有代表性的、放射性后果为所属类型中最严重的设计基准事故进行分析，得到与不同释放时间相对应的放射性释放量，用来计算对电厂周围人员造成的剂量。

对 7 类事故分类如下所示：

事故	事故类别
MSLB-事故并发碘尖峰	极限事故
MSLB-事故前碘尖峰	极限事故
主泵卡转子/断轴事故-启动给水不可用	极限事故
主泵卡转子/断轴事故-启动给水可用	极限事故
弹棒事故	极限事故
SGTR-事故并发碘尖峰	稀有事故
SGTR-事故前碘尖峰	极限事故
安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故	稀有事故
燃料操作事故	极限事故
LOCA 事故	极限事故

1）安全壳外主蒸汽管道破裂事故（MSLB）

主蒸汽管道大破口是“一次侧热输出增加”这类事故中最严重的反应堆冷却剂降温瞬态，计算时选择最极限的安全壳外主蒸汽管道双端断裂事故。

主蒸汽管道破裂引起的蒸汽释放，起初引起蒸汽流量快速增加，而后，随着蒸汽压力下降，蒸汽流量逐渐减小。一次侧排出热量过多导致反应堆冷却剂系统降温降压。由于存在负的慢化剂温度系数，反应堆冷却剂降温将向堆芯引入正的反应性。分析时假设反应堆初始状态为热态无负荷状态并且不考虑衰变热的影响，这是因为衰变热可缓解反应堆冷却剂降温过程，从而降低了堆芯重返功率的可能性。

分析表明主蒸汽管道破裂事故满足堆芯偏离泡核沸腾设计准则的要求。根据该准则，主蒸汽管道破裂后，堆芯偏离泡核沸腾和包壳穿孔并非不可接受。但分析表明，主蒸汽管道破裂后，在假设一束具有最大反应性价值的控制棒组件卡在完全抽出位置的工况下，堆芯没有发生偏离泡核沸腾。反应堆最终将由非能动堆芯冷却系统带至停堆。

事故后的放射性释放分析假设破损回路的蒸汽发生器通过破口处在 10min 内喷放蒸干，该回路碘和碱金属全部释到环境中；热工分析表明完好回路蒸汽发生器的传热管不会裸露，也不会在短时间内蒸干，本文假设整个事故过程都伴随放射性释放，并且保守假设完好回路 SG 二次侧所有放射性在事故持续过程中（72h）线性的释放出来。同时，考虑事故期间从一回路按技术规格书中蒸汽发生器假想的设计泄漏率，泄漏到二回路的碱金属、碘（分别计算事故前碘尖峰和事故并发碘尖峰两种情况）及惰性气体。

本事故以下几种释放途径：

- 假设破损回路蒸汽发生器中的二回路冷却剂以蒸汽形式从破口释放出去，冷却剂中所有碘和碱金属全部释放出去；
- 虽然完好蒸汽发生器不会发生裸露，但是为了简化分析，也保守的假设二回路冷却剂以蒸汽形式从 PORV 释放出去，冷却剂中所有碘和碱金属全部释放出去；
- 假设泄漏到破损回路蒸汽发生器的反应堆冷却剂，不考虑汽水分配效应及在蒸汽发生器内的沉积，全部直接排放到环境；
- 假设泄漏到完好回路蒸汽发生器的反应堆冷却剂，考虑汽水分配效应后部分排放到环境。

考虑放射性物质在事故过程中的衰变，一旦释放到环境后，不再考虑衰变。

2）主泵卡转子/断轴事故

主泵卡转子/断轴事故是“反应堆冷却剂系统流量下降”这类事故中产生最严重放射性释放的事故，可以包络其他此类型事故造成的放射性后果。

该事故假设一台（一共四台）反应堆冷却剂泵转轴瞬时卡死。受影响环路的冷却剂流量迅速减小，将由冷却剂低流量停堆信号触发反应堆停堆。

随着反应堆停堆，储存于燃料棒中的热量持续传给冷却剂，这将导致冷却剂温度上升、体积膨胀。同时，故障环路蒸汽发生器传热管壳侧的传热量减少。

反应堆堆芯内冷却剂的快速膨胀以及蒸汽发生器传热量减少，将导致冷却剂的波动流量进入稳压器、整个反应堆冷却剂系统压力升高。波动流量进入稳压器压缩了蒸汽空间，将依次触动稳压器自动喷淋系统，并使得稳压器安全阀开启。基于保守考虑，分析中不考虑稳压器喷淋的降压效应。

热工水力分析结果显示，在瞬态期间，反应堆冷却剂系统的峰值压力小于使应力超过 ASME 第Ⅲ卷中故障条件下应力限值的压力，燃料包壳表面最高温度远低于 1482.2℃。表明事故中没有燃料棒损坏，所以燃料棒包壳间隙中的放射性不会释放到反应堆冷却剂中。但放射性分析中保守假定有 10%的燃料棒损坏。反应堆冷却剂活度考虑为事故前碘尖峰释放模式。

本事故释放到环境中的放射性包括：

- 二回路初始的碘和碱金属；
- 技术规格书中规定的蒸汽发生器的设计泄漏率，从一回路泄漏到二回路的碱金属、碘及惰性气体；
- 从破损燃料棒间隙中释放到反应堆冷却剂中的碱金属、碘及惰性气体，最终通过泄漏到二回路释放。

该事故释放到环境的主要放射性核素为碘、碱金属和惰性气体。其中从破损燃料棒间隙中释放出来的裂变产物的份额，对于 I-131 间隙中份额为总量的 8%，Kr-85 为 10%，其它的放射性碘和惰性气体为 5%，碱金属为 12%。另外，考虑到破损燃料棒的间隙份额可能在高于堆芯平均水平，因此源项还需考虑乘以径向功率峰因子。

事故放射性释放中有两个途径：

- 二回路中初始的放射性随蒸汽排放而释放；
- 假设泄漏到蒸汽发生器的反应堆冷却剂与二回路冷却剂混合，来自反应堆冷却剂的放射性与二回路冷却剂混合。蒸汽释放时，冷却剂中的部分放射性碘和碱金属被排放出去，所释放的放射性份额取决于蒸汽发生器假定的闪蒸因子和分配系数。进入二回路的放射性惰性气体均释放到环境。这些释放持续到蒸汽排放结束为止。

考虑放射性核素在事故过程中的衰变，一旦释放到环境后衰变不再考虑。

3）弹棒事故

该事故定义为一个控制棒机构承压壳套机械损坏导致一束控制棒组件及其驱动杆弹出堆芯。这种机械损坏的后果是在堆芯快速引入正反应性并且产生不利的堆芯功率分布，可能导致局部燃料棒损坏。该事故是堆芯“反应性和功率分布异常”这类型事故中最为严重的，最有可能导致燃料棒破损甚至部分熔化，造成

更大的放射性释放。其放射性后果可以包络此类型的其他事故造成的影响。

发生弹棒事故后，将导致堆芯反应性快速引入，使得中子注量率迅速增大，此时反应堆“保护和安全监测系统”将由高中子注量率停堆和中子注量率高的正变化速率停堆提供反应堆停堆保护，之后核功率激增被终止，使反应堆维持在安全状态。

通过大量的堆芯物理、热工水力分析结果表明，最不利工况下，发生燃料棒破损的份额将小于 10%，分析中保守认为最大发热点在发生弹棒前后重合。但预期发生弹棒事故不会导致燃料芯块发生熔化。放射性后果分析中仍然保守假设有0.25%的燃料发生熔化，燃料棒破损的份额也保守取 10%。

弹棒事故导致释放的重要放射性核素有碘同位素、碱金属及惰性气体。与部分堆芯损坏释放的裂变产物相比，初始反应堆冷却剂活度是次要的。反应堆冷却剂活度考虑为事故前碘尖峰释放模式。具体的初始源项包括：

- 二回路初始的碘和碱金属；
- 按技术规格书中规定的蒸汽发生器的设计泄漏率，从一回路泄漏到二回路的碱金属、碘及惰性气体；
- 从破损燃料棒间隙中释放到一回路冷却剂中的碱金属、碘及惰性气体，最终通过泄漏到二回路释放。

释放途径：

- 一回路的放射性先从压力容器顶盖破口处释放到安全壳内，然后通过安全壳再泄漏到外环境；
- 来自一回路的放射性通过蒸汽发生器泄漏到二回路，与二回路的初始放射性混合后，再通过蒸汽管道的安全阀或者大气释放阀释放到环境。

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“反应堆冷却剂系统装量减少”事故中放射性后果最为严重的两个事故之一（另一个是 LOCA 事故）。事故分析中，假设一根传热管完全断裂。事故发生时处于功率运行，反应堆冷却剂含有的放射性物质处于在技术规格书规定允许的有限数量的燃料棒破损情况下连续运行时的最大平衡浓度。由于带有放射性的冷却剂经由破口流入蒸汽发生器的二次侧，这将导致二回路系统放射性增加。如果在事故期间核电厂丧失厂外电源或者冷凝器蒸汽

旁排失效，放射性将通过蒸汽发生器大气释放阀或安全阀排至大气中。这种情况将导致最大的放射性释放。

在事故分析中，假设发生单根传热管完全断裂是保守的，因为蒸汽发生器传热管的材料是一种耐腐蚀的高韧性金属。蒸汽发生器传热管更加可能的破损模式是一个或多个小裂缝。在核电厂运行期间，二次侧的放射性是连续监测的，这样的泄漏引起的放射性积累不允许超过技术规格书规定的限值。

本项目设计为 SGTR 事故提供了自动保护措施。自动保护措施包括反应堆停堆、非能动余热排出系统（PRHR）热交换器投入、启动堆芯补水箱（CMT）、关闭稳压器电加热器、以及由蒸汽发生器（SG）高-3 水位信号或 SG 高水位与反应堆停堆(P-4)相符隔离化学和容积控制系统（CVS）和启动给水流量。这些保护措施可实现反应堆冷却剂系统（RCS）自动降温降压，以终止破口流量和向大气的蒸汽释放，并将 RCS 长期保持在稳定状态下。这些保护系统还可防止 SG 发生满溢以使厂外放射性剂量保持在设计基准事故所允许的限值范围内。

事故发生后通过一系列报警信号，操纵员可以很容易判断 SGTR 事故的发生，识别并隔离破损蒸汽发生器，并完成要求的恢复操作以稳定核电厂和终止一次侧向二次侧的破口流量。恢复规程必须在一定时间范围内完成，以便在破损蒸汽发生器发生满溢之前终止向二次侧的破口流量。核电厂为操纵员执行这些功能提供了足够的指示和控制。SGTR 事故后操纵员的这些操作进一步的缓解了事故的后果，使得预期的结果小于保守分析的情况。

分析中采取了下列保守假设：

- 反应堆处于满功率运行状态，并且假定一、二次侧的初始水装量为运行名义值减去允许的不确定度（使得放射性浓度更大）；
- 极限单一故障为破损蒸汽发生器大气释放阀失效，失效模式为阀门卡在开启位置，这将导致破损蒸汽发生器的不可控的降压，从而增大一次侧向二次侧的泄漏量和蒸汽向大气的排放量。假定破损蒸汽发生器的大气释放阀失效卡开发生在稳压器水位低-2 信号产生时，这将导致累积的一次侧向二次侧破口流量闪蒸量最大。随后，将由保护系统的主蒸汽低压力信号触动相关的隔离阀自动关闭，从而使该阀门隔离；
- 保守认为破口位置在传热管顶部，使可能的裸露时间更长（闪蒸更多的

放射性）。

最终，堆芯的剩余热量由非能动堆芯冷却系统导出，使得主系统压力最终将会降至破损 SG 二次侧压力。破口流量将终止，并且系统将稳定在安全状态，向环境排放的蒸汽也将停止。

SGTR 事故释放的主要放射性核素为惰性气体、气载的碱金属和碘，它们作为事故后的放射性释放到环境中。具体的源项包括：

- 事故过程中通过受损蒸汽发生器破口和完好蒸汽发生器正常泄漏到二回路的一回路源项，包括碘（分别计算事故前碘尖峰和事故并发碘尖峰两种情况）、碱金属和惰性气体；
- 二回路初始的源项，主要是碱金属和碘。

只要存在通向环境的出口，泄漏进入完好蒸汽发生器和通过破口进入破损蒸汽发生器反应堆冷却剂里的放射性惰性气体立即向环境释放。碘和碱金属的释放模式一共有三种：

- 完好环路的蒸发释放，考虑碘和碱金属的分配效应；
- 通过破损环路反应堆冷却剂的闪蒸释放，不考虑覆盖水层的水洗作用（保守假设破口位于传热管顶部）；
- 破损环路的蒸发释放，考虑闪蒸释放后余下的碘和碱金属的蒸发时的分配效应。

这些放射性最终都通过二回路的安全阀或者大气释放阀释放到环境，释放持续到蒸汽排放结束为止。在释放到环境之前考虑放射性核素的衰变。一旦释放到环境中，则不考虑放射性核素的衰变。

5）安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故

安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道包括反应堆冷却剂系统取样管和从化学容积控制系统至放射性液体废物处理系统的排放管。这些管道仅周期性使用。安全壳外没有含有反应堆冷却剂的仪表管道。

当因硼稀释运行产生过多的一次侧冷却剂时，化学和容积控制系统的净化流量将排至安全壳外的核岛放射性液体废物处理系统。在排出安全壳之前，流体将经过化学和容积控制系统热的交换器和除盐床。因此，排至安全壳外时，流体温度低于 60℃，而且已经经过化容混床净化。这些假想的管道破口流量受到化学

和容积控制系统 22.71m^3/h 净化流量的限制。由于流体温度低，而且经过除盐处理后碘的放射性活度降低，因此，对该事件不作分析。假想的取样管破裂事故是较不利的事故工况。

安全壳内、外的取样管道隔离阀只有在取样时才开启。假设取样管破口发生在安全壳外隔离阀和取样盘之间。因为隔离阀只在取样时打开，所以核电厂人员可根据丧失取样流量，判定出现破口。此外，取样管道破口也会导致放射性释放，从而导致区域和空气辐射监测器报警。丧失冷却剂将会使稳压器水位降低，需要对反应堆冷却剂系统进行补水。根据取样管破口指示，操纵员将会采取操作措施，隔离破口。

根据伯努利方程和取样管内外的压力差和流体的密度，计算出管道内流速。再根据管径得到管道内的流量，并将该流量保守作为液体取样管线的破口流量，为 5.63m^3/h。根据事故分析结果，保守假设在 30min 后隔离破口。

事故后释放到环境中有重要影响的放射性核素是碘、惰性气体和碱金属。分析假设反应堆在连续运行的条件下，反应堆冷却剂中的碘含量达到技术规格书所允许的最高水平。另外，事故时并发碘尖峰。反应堆冷却剂中惰性气体浓度达到平衡运行限值对应的值。反应堆冷却剂中的碱金属活度浓度达到设计基准的燃料破损水平（0.25%）对应的值。

假设从破口处释放的反应堆冷却剂为高温高压，则大部分流体将闪蒸为蒸汽，液体中的碘就变成气载碘。

尽管预期大部分的气载碘和气载碱金属将沉积在周围建筑物的表面，但假设碘、惰性气体和碱金属毫无损失地直接释放到环境。释放到环境后不再考虑放射性核素的衰变。

6）燃料操作事故

燃料操作事故是在换料期间装卸核燃料组件时，发生组件跌落，导致燃料棒损坏，包壳间隙内的放射性释放出来。

假想的燃料操作事故可发生在安全壳内或辅助厂房的燃料操作区域。事故定义为一个乏燃料组件跌落，保守认为组件中所有燃料棒包壳破损，燃料和包壳间隙中的放射性释放出来。

事故发生时，可能释放出的裂变产物总量与很多因素有关，如燃料组件的功

率历史、停堆到换料操作时经过的衰变时间和核素的挥发特性等。换料时，所有的组件操作都在安全壳内进行，为了使事故具有包络性，保守假定发生事故的组件中的所有燃料棒曾以最大燃料功率因子运行，即最大功率组件。根据技术规格书中的规定，燃料操作事故前裂变产物经历的衰变时间至少为 48h。

在功率运行过程中，燃料芯块中产生的一部分裂变产物会扩散到燃料棒和包壳的间隙中。间隙中裂变产物的份额由核素的扩散速率和其放射性衰变率共同决定。发生燃料操作事故时，间隙中的气体和挥发性放射核素直接释放出来，主要关注的放射性核素是惰性气体（Kr 和 Xe）与碘。

与 RG 1.183 中相一致，从破损燃料棒释放的碘的形态假设为：95%为粒子碘（碘化铯），4.85%为元素碘，0.15%为有机碘。碘化铯是非挥发性的，溶于水中，不容易变成气载形态。为了与 RG 1.183 相一致，假定碘化铯溶于低 pH 值的水中就立即转变成元素碘。分析中假设所有的碘化铯释放到池水后，立即转化为元素碘，并且将其当作初始元素碘一样处理。这时碘的形态变为：99.85%的元素碘和 0.15%的有机碘。

本事故放射性的释放途径假设为：

在水下释放出的放射性首先会受到至少 7.01m 深的水层的过滤。水层过滤对惰性气体和有机碘都不起作用，但对于元素碘有显著的去除作用。与 RG 1.183 相一致，假设碘的水洗去除因子为 200。

从水层释放出来的放射性，假设在 2h 内直接释放到环境，而不考虑其它任何对碘的去除作用。

如果燃料操作事故是在安全壳内发生，一旦探测到高放射性出现，安全壳净化管线就会立即隔离，终止放射性的释放。分析时保守认为该管线隔离失效，放射性继续释放，并且进一步忽略净化管线的过滤器对气载碘的去除作用。

对于发生在乏燃料水池的燃料操作事故，此时认为从乏燃料水池释放出的放射性物质直接通过厂房排风系统排向环境，而不考虑在厂房内滞留或延迟。

由于燃料操作中有许多的管理控制措施和设备操作限制，燃料操作事故的发生的可能性是很低的。分析中使用的参数和假设也是非常保守的：比如间隙份额取值较大；忽略了放射性物质在包壳内壁的附着作用；碘化铯向元素碘的转化也是瞬间完成；认为有机碘初始就存在于间隙内；操作的第一个组件就发生事故等。

7）设计基准 LOCA 事故

设计基准 LOCA 是反应堆冷却剂系统压力边界管道发生破损的事故。对于本分析，定义为总的破口横截面积大于或等于 0.09m^2 (1.0 ft^2)的破口。

在设计基准 LOCA 事故放射性后果分析中，热工分析表明在设计基准 LOCA 事故中堆芯能保持完整性，RG 1.183 中仍保守假设堆芯出现了严重降级和熔化，即堆芯放射性向安全壳内释放不但有间隙释放，还有堆芯熔化导致的早期容器内释放，这个属于严重事故现象，超出了设计基准事故的范畴。根据热工分析的结论，设计基准 LOCA 事故放射性后果分析中应合理的假定，放射性释放分为反应堆冷却剂系统中的放射性的初始释放和堆芯间隙释放两个阶段：

- 反应堆冷却剂放射性初始释放

假设反应堆冷却剂的活度达到技术规格书中的限值。本项目为“先漏后破（Leak-before-break）”型的电厂，假设反应堆冷却剂向安全壳喷放 10min，且在这 10min 内流量为常数。这段时间内释放到安全壳的放射性主要为一回路冷却剂中的碘、碱金属和惰性气体。

- 堆芯间隙释放

堆芯间隙释放，假设发生在反应堆冷却剂释放结束后（事故后 10min），持续 30min。如 RG 1.183 所述，间隙释放的放射性分三组核素：惰性气体、碘和碱金属（铯、铷），释放到安全壳大气的各类放射性核素份额均为 0.05。

碘的形态与 RG 1.183 的模型一致。模型中，碘的各形态中以非挥发性的碘化铯为主，附带少量元素碘。此外模型中还假设元素碘和安全壳内的有机物反应生成有机碘化合物。

如果事故后的冷却溶液的 pH 值小于 6，部分碘化铯将转化成元素碘形态。非能动堆芯冷却系统会向事故后冷却溶液中加入足够的磷酸三钠，维持事故后地坑溶液的 pH 值大于等于 7。

不考虑能动系统对安全壳内大气中放射性的去除。在安全壳内部，放射性元素碘和气溶胶考虑自然去除作用。元素碘通过表面沉积去除。气溶胶的去除方式有重力沉降、扩散电泳（蒸汽冷凝驱动的沉积）、热电泳（传热引起的沉积）等。有机碘假设不能去除。

事故后所有的放射性将释放到安全壳内，通过安全壳这个唯一的途径释放到

外环境。安全壳释放包括两种方式：安全壳净化管线泄漏和安全壳正常泄漏。事故开始到安全壳隔离之前，假设安全壳净化管线在运行，放射性的释放将持续到净化管线阀门关闭。不考虑净化管线的过滤作用。事故发生后 24h 内的安全壳泄漏率为设计泄漏率，此后的泄漏率为设计泄漏率的一半。

6.1.2 事故后果计算

6.1.2.1 事故大气弥散条件

海阳核电厂短期大气弥散因子采用下列一组地面释放轴线浓度公式计算：

$$(x/Q)_x = \frac{1}{u_{10}(\pi\sigma_y\sigma_z + CA)} \qquad (6.1.2\text{-}1)$$

$$(x/Q)_x = \frac{1}{u_{10}(3\pi\sigma_y\sigma_z)} \qquad (6.1.2\text{-}2)$$

$$(x/Q)_x = \frac{1}{u_{10}\pi\Sigma_y\sigma_z} \qquad (6.1.2\text{-}3)$$

式中：

$(\chi/Q)_x$—释放点下风向 x 米距离处烟羽中心线上的地面相对浓度，即大气弥散因子（s/m^3）

u_{10}—地面上方 10m 高度处的风速（m/s）

σ_y—烟羽水平弥散参数（m）

σ_z—烟羽垂直弥散参数（m）

A—反应堆建筑物最小迎风截面积（m^2）

C—反应堆建筑物几何修正因子（取 0.5）

Σ_y—考虑烟羽弯曲和建筑物尾流效应的烟羽水平弥散参数（m）

在用上列诸式作大气弥散因子计算时，χ/Q 按下述条件取值：

（1）对中性（D）和稳定（E、F）类大气稳定度，且 u_{10}<6m/s 的天气条件，考虑烟羽弯曲效应，χ/Q 由（6.1.2-1）与（6.1.2-2）两式计算结果的较大者再与（6.1.2-3）式的计算结果比较取较小者，即其取值表达式为：

$$\chi/Q = \min\left\{\frac{1}{u_{10}\pi\Sigma_y\sigma_z}, \max\left[\frac{1}{u_{10}(\pi\sigma_y\sigma_z + CA)}, \frac{1}{u_{10}(3\pi\sigma_y\sigma_z)}\right]\right\} \qquad (6.1.2\text{-}4)$$

（2）对不稳定（A、B、C）类大气稳定度或 u_{10}>6m/s 的天气条件，不考虑

烟羽弯曲效应，χ/Q 取（6.1.2-1）与（6.1.2-2）两式计算结果的较大者，即其取值表达式为：

$$\chi/Q = \max\left[\frac{1}{u_{10}\left(\pi\sigma_y\sigma_z + CA\right)}, \frac{1}{u_{10}\left(3\pi\sigma_y\sigma_z\right)}\right] \qquad (6.1.2\text{-}5)$$

厂址的年逐时风向、风速、大气稳定度联合频率见第二章表 2.4-7。用上列诸式计算释放点下风向不同距离处的逐时大气弥散因子（χ/Q）值，把算得的每个方位某给定距离处的所有逐时（χ/Q）值由大到小顺序排列，则可截取相应于某累积概率水平的 χ/Q 值。对 16 个方位的某个给定距离，可得到 16 个相应于某概率水平的小时短期大气弥散因子。取其最大者，用于短期释放（持续时间在 1 小时以内）的后果评价。

对持续时间长于 1 小时的事故释放，按事故过程划分不同的时间段。各时间段的短期大气弥散因子，可由小时短期大气弥散因子与年均弥散因子对数线性内插求取。

对于设计基准事故先逐一计算非居住区边界和规划限制区边界处每个方位 95%累积概率水平的大气弥散因子，并从对应于 16 个方位的数值中取出最大者与相应位置的全厂址 50%累积概率水平的大气弥散因子相比较，择其大者作为评价用的事故大气弥散因子进行个人剂量评价。事故大气弥散因子计算采用 PAVAN 程序。

6.1.2.2 事故剂量

核电厂事故放射性释放造成的剂量后果估算主要考虑事故期间起主要作用的三个照射途径：

—烟云浸没外照射；

—吸入内照射；

—地面沉积外照射。

剂量的计算模式如下：

放射性后果分析的目的是确定由假想事故造成的总有效剂量。总有效剂量包括吸入气载放射性物质造成的待积有效剂量（也就是体内各种器官长期的剂量累积）和湮没在放射性烟羽中造成的有效剂量，以及地面沉积所造成的有效剂量。

a) 湮没照射

假设处于半无限大烟羽中，湮没剂量由下式计算：

$$D_{im} = \sum_i DCF_i \sum_j R_{ij} (\chi/Q)_j \qquad (6.1.2\text{-}6)$$

式中：

D_{im}=湮没剂量（Sv）

DCF_i=核素i的湮没剂量转换因子（Sv-m^3/Bq-s）

R_{ij}=核素i在时间段j内释放的放射性量（Bq）

（χ/Q）$_j$=时间段j内的大气弥散因子（s/m^3）

b) 吸入照射

吸入剂量用下式计算：

$$D_{CEDE} = \sum_i DCF_i \sum_j R_{ij} (BR)_j (\chi/Q)_j \qquad (6.1.2\text{-}7)$$

式中:

D_{CEDE}= CEDE剂量（Sv）

DCF_i=核素i的吸入剂量转换因子（Sv/Bq）

R_{ij}=核素i在时间段j内释放的放射性量（Bq）

（BR）$_j$=时间段j 内的呼吸率 （m^3/s）

（χ/Q）$_j$=时间段j内的大气弥散因子（s/m^3）

c)沉积物照射

由于干沉积产生的地面沉积因子如下：

$$D/Q = (x/Q)\, V_d \qquad (6.1.2\text{-}8)$$

式中：

D/Q — 地面沉积因子，$1/m^2$；

V_d — 放射性物质干沉积速度m/s；元素碘0.01，颗粒物和粒子碘取0.0015，有机碘取0.0001。

地面沉积外照射产生的剂量：

$$(D_{GE})_{dkn} = \sum_i Q_m \cdot (D/Q)_{dkn} \cdot [1 - \exp(-\lambda_i t)] \lambda_i^{-1} \cdot DF_{GEi} \qquad (6.1.2\text{-}9)$$

式中：

$(D_{GE})_{dkn}$ —为事故发生后第n个释放时段在扇形区d方向上第k个区段内由于

地面沉积外照射产生的个人有效剂量，Sv；

$(D/Q)_{dkn}$ — 扇形区d方向上第k个区段在第n个释放时段中某概率水平的地面沉积因子，$1/m^2$；

DF_{GEi} —沉积在地面的核素i的有效剂量转换因子，（Sv/h）/（Bq/m^2）；

λ_i —核素i的放射性衰变常数，h^{-1}；

t —地面沉积放射性积累时间，h。

6.1.2.3 事故后果计算和分析评价

山东海阳核电厂采用厂址陆域征地边界作为厂址非居住区边界。规划限制区范围为反应堆为中心、半径 5km 的区域。针对海阳核电厂非居住区边界和规划限制区外边界上公众进行事故放射性后果计算。

对于事故环境影响的评价标准，《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定：

核动力厂事故工况的环境影响评价可采用设计基准事故，在设计中应采取针对性措施，使设计基准事故的潜在照射后果符合下列要求：

— 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。

表 6.1-20 给出了事故后果与国家标准的比较。从表中可以看出，在本节所考虑的设计基准事故工况下，均能满足国家相关标准的要求。

从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，海阳核电厂的工程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《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的相应要求。

表 6.1-20　事故后果与国家标准的比较

事故	事故类别	非居住区边界				规划限制区边界（5km）			
		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）	
		最大剂量	限值%	最大剂量	限值%	最大剂量	限值%	最大剂量	限值%
SGTR-事故并发碘尖峰	稀有事故	6.15E-04	12.30%	9.18E-03	18.36%	1.18E-04	2.36%	1.18E-03	2.36%
小管道破裂事故	稀有事故	5.03E-04	10.06%	7.67E-03	15.34%	6.60E-05	1.32%	6.92E-04	1.38%
MSLB-事故并发碘尖峰	极限事故	5.27E-04	0.53%	4.64E-03	0.46%	3.16E-04	0.32%	3.16E-03	0.32%
MSLB-事故前碘尖峰	极限事故	5.01E-04	0.50%	4.28E-03	0.43%	9.60E-05	0.10%	8.17E-04	0.08%
卡转子事故-启动给水不可用	极限事故	4.91E-04	0.49%	6.82E-03	0.68%	6.13E-05	0.06%	6.15E-04	0.06%
卡转子事故-启动给水可用	极限事故	2.07E-04	0.21%	1.93E-03	0.19%	1.57E-04	0.16%	1.67E-03	0.17%
弹棒事故	极限事故	2.31E-03	2.31%	2.29E-02	2.29%	5.07E-04	0.51%	4.31E-03	0.43%
SGTR-事故前碘尖峰	极限事故	2.51E-03	2.51%	4.29E-02	4.29%	2.62E-04	0.26%	2.96E-03	0.30%
燃料操作事故	极限事故	4.94E-03	4.94%	8.73E-02	8.73%	5.77E-04	0.58%	7.87E-03	0.79%
DBA LOCA 事故	极限事故	2.56E-03	2.56%	2.64E-02	2.64%	3.43E-04	0.34%	3.18E-03	0.32%

6.2 放射性物质运输事故

6.2.1 新燃料运输事故

山东海阳核电项目3、4号机组工程采用在 17×17 Robust 和17×17 XL Robust 基础上加以改进的AP1000型燃料组件，首炉燃料组件供货方案尚未确定，由国内公司或西屋公司提供，后续燃料组件将由国内公司提供。对于国内新燃料的运输，建设单位须委托有资质的承运人承担，并及早开展新燃料运输容器在中国使用的申请批准手续。

待海阳核电厂一期工程确定采用何种运输方案后，3、4号机组将继续采用一期工程的运输方案。运输货包的设计和制造应同时满足我国《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2004）和IAEA《放射性物质安全运输条例》（IAEA NOTS-R-1）的要求。

根据国内其它核电厂燃料运输的经验表明，在严格遵循国家标准的技术规范下运输燃料组件时，组件的抗震和密封性能可确保不对环境产生任何有害的影响。

新燃料运输容器设计时应充分考虑可能的事故工况，即使发生运输事故，容器本身发生变形，燃料组件也不会产生临界反应，同时燃料棒包壳密封仍然保持完好，不会发生燃料散落。加上新燃料组件未经辐照，放射性水平很低。

总体而言，新燃料运输事故不会污染周围环境和危害人员健康，达到安全可靠。

6.2.2 放射性物质厂内运输事故

放射性物质厂内运输的情况主要包括：

1) 乏燃料的转移和运输：包括可能的燃料装卸事故和乏燃料罐坠落事故。

乏燃料运输容器的安全可靠是实现安全运输的前提。乏燃料厂内运输和厂外运输必须遵循《中华人民共和国核材料管制条例》（HAF501）、《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2004）、《放射性物质安全运输货包泄漏检验》（GB/T17230-1998）、《乏燃料运输容器技术条件》（EJ/T565-1991）、《核级容器制造质量保证》（EJ/T619-1991）和《放射性物质安全运输条例》（IAEA No.TS-R-1）等准则。应证实容器在承受正常运输条件下和运输中事故条件下的种种试验后，仍能保持符合密封性能与屏蔽性能的要求。

除了运输容器本身具有高的安全性外，乏燃料的安全运输还依靠运输过程中的正确操作和严格管理，为此，容器的设计制造和运输的操作管理两个方面均将履行规定的审批程序。

— 燃料装卸事故的放射性后果的计算分析表明其对公众的影响是可以接受的。

— 乏燃料容器坠落事故主要发生在由容器吊车进行的燃料装卸过程中，由于乏燃料组件在装入乏燃料容器之前要在乏燃料水池中至少贮存 5 年，事故发生后放射性的释放极少，事故后果可以被燃料装卸事故的后果包络，其后果也是可以接受的。

— 乏燃料厂外运输由专用的密封屏蔽运输容器、专用的铁路和公路车辆及配套的辅助操作工具进行，考虑采用陆路运输方案或铁路+公路联运方案运至国家规定的专用乏燃料后处理基地。即使乏燃料厂外运输事故发生后，运输容器也能提供足够的放射性物质包容和辐射屏蔽，从而避免给工作人员、公众及环境造成不可接受的辐射危害。

2）放射性固体废物的厂内转移和运输

放射性固体废物由放射性废物厂房送往厂址废物处理设施（SRTF）为内部转运，不涉及厂外道路运输。运输有严格的规程确保不发生事故；另一方面，即使发生事故，运输容器也可以确保放射性物质不外泄。

因此，预期的放射性物质厂内运输事故不会对周围环境和人员造成不可接受的后果。

6.2.3 固体废物运输事故

海阳核电3、4号机组工程运行产生的放射性固体废物储存在废物暂存库内。废物暂存库按中、低放废物进行分区储存。低放废物桶活度水平较低，一般无需屏蔽即可满足表面剂量率要求；中放废物桶可通过废物库的结构屏蔽后满足剂量率要求。固体废物经过一段时间暂存后最终将送往国家指定的区域中、低放废物处置场。

公路运输的经验表明，事故发生率以及预计事故次数都是很低的。另外，废物桶的设计和制造符合《低、中放水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-91）和《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2004）的要求，即

使废物桶从运输车辆上掉下来，只会造成废物桶的局部损坏，不会对环境造成污染。

6.3 其它事故

6.3.1 化学物质容器破裂、泄漏或爆炸

山东海阳核电厂运行期间使用的硼酸、氢氧化锂、盐酸、氢氧化钠、氨、联氨、三氯化铁、次氯酸钠、柴油、抗燃油、润滑油、氮、氢等物料中，包括了易燃易爆、有毒有害及较强的腐蚀性物料，在使用这些物料时存在发生爆炸、火灾、化学灼伤等潜在非放射性事故的风险。

由于核电厂在系统设计中考虑了运行期间所使用物料的安全性，并制定了严格的使用规范，可以最大限度地降低发生爆炸、泄漏等事故的发生，同时，电厂在设计和运行管理上采取的措施也可使火灾的发生概率及发生火灾后对安全和环境的影响降到最低。

1）核岛

核岛使用的危险化学品有：氢气、联氨和过氧化氢。参照《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2009）的规定，本工程各项化学品储存量均小于临界量，因此核岛内所用化学品及存储量不构成危险化学品重大危险源。

核电厂核岛生产工艺从核裂变到蒸汽发电的整个过程都是在密闭的容器和管道内进行的，除了放射性气溶胶外，主工艺过程基本不产生化学品危害。在辅助生产运行中可能使用或产生的化学品主要有硼酸、氢氧化锂和联氨等。这些物质有腐蚀性，可能产生有毒、有害气体、灼伤危害。此外，机加工车间可能使用多种焊材，在焊接过程中会接触电焊烟尘、有毒气体(如臭氧、一氧化碳、氮氧化物等)。

对硼酸、联氨和氢氧化锂等化学品的贮存和运送都是在密闭的容器管道内进行的，现场使用时加强管理和个人防护，避免人员直接接触。除上述措施外，设计中加强了加药处的通风，将可能逸出的有害气体排到室外。

辅助锅炉房化学加药的贮存和运送都是在密闭的容器管道内进行的，避免人员直接接触。锅炉的排污水直接排至室外降温池，同样避免与人员直接接触。

2）常规岛

常规岛使用的危险品有：氢、氢氧化钠、盐酸、氨和联氨。常规岛的危险化

学品储存数量均不构成重大危险源。

酸碱贮罐位于地面零米层，酸罐顶部设置酸雾吸收器，以使酸雾经酸雾吸收器洗涤吸收，不直接向大气挥发。酸、碱管道的法兰、接头处均采取防护措施，避免直接滴漏；酸、碱设施附近设置围堰及排水设施。酸碱间设置自然进风，机械排风的通风系统。通风量按不小于每小时 15 次换气。通风系统设备和管道均有防腐措施。

氨溶液箱、联氨溶液箱本体上设计有空气隔离装置，同时加药间设计有强制通风设备，以有效快速地降低挥发性气体在空气中的浓度。

酸碱贮存区域设有安全淋洗器、洗眼器、防毒面具和手套等。

除盐水厂房通风系统均采用自然进风、机械排风系统，将维持各区域及房间保持负压。

虽然上述化学物质使用量并不大，但如果忽视对其的防护，还是会对职业人员造成一定的伤害，但影响范围有限，不会对厂外公众和环境造成可察觉的影响。

6.3.2 火灾

为了隔离潜在的火灾发生，使火灾蔓延的风险和腐蚀气体、灭火产物、烟气、放射性污染合成的间接损害减到最小程度，把电厂划分为若干个防火区。防火区为三维的空间，设计成能抑制内部可能会出现的火灾。防火区通过防火屏障，防火屏障贯穿件防护和其它装置，例如空调通风管道内的防火阀进行隔离，这样就把火灾隔离在防火区内。

为了能对可燃物、火灾的探测以及灭火系统的类型及位置进行更精确的辨认，有些防火区再细分为若干个防火小区。防火小区是根据每个防火区内部墙体和楼板的外形轮廓以及主设备的位置细分的，是防火区内的一个三维空间，是与特定区域内其它的防火小区有着不同的防火特征或属性的唯一的区域。

辅助厂房被分为放射性控制区域和非放射性控制区域，由结构墙和楼板进行实体隔离，这些结构墙和楼板能够防止火灾通过防火区的边界进行蔓延。

辅助厂房被进一步细分为各防火区，由具有相应耐火极限的防火屏障进行隔离，这些防火屏障实现了 4 个 1E 级电气通道之间的实体隔离，以及这 4 个 1E 级电气通道和非安全相关区域的实体隔离。

在安全壳内，定义了火灾影响区，即容纳火灾的整个防火小区。安全壳内作

为一个防火区，通过结构件或距离划分为多个防火小区。对于任何一个防火小区，应认为小区内发生火灾时其所有设备均可能会失效，除非火灾危害性分析能够论证在足够的防护措施下防火小区内的某些设备不会受到火灾的影响。在安全壳外部，没有定义火灾影响区，在安全壳外部发生的火灾被假定为会影响它所在的整个防火区。

核电厂设置防火屏障，将不燃的耐火极限为3小时的防火屏障环绕容纳安全相关部件的防火区。耐火极限为3小时的防火屏障为冗余安全停堆部件提供了完全的隔离。

核岛厂房各区域设置自动灭火系统和人工灭火系统。反应堆厂房和含有安全停堆部件的核辅助厂房区域由非能动消防系统（抗震消防立管系统）保护，核辅助厂房其它区域、附属厂房、放射性废物厂房和柴油机厂房的等由能动的消防系统保护。

综上所述，预期不会有来自火灾造成的重大安全威胁和明显的环境影响。

6.4 应急计划和准备

山东海阳核电厂将执行统一的应急计划，设置统一的应急计划区。

山东核电有限公司根据国家《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002）、《核电厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01）的有关规定，已编制了《海阳核电厂场内应急计划》，并于2012年12月上报国家核安全局。

6.4.1 严重事故

严重事故是指事故严重程度超过设计基准事故并造成堆芯明显恶化的事故，它属于超设计基准事故。在严重事故下，专设安全设施失效将会导致堆芯熔化，裂变产物随着燃料组件的解体而从燃料中释放出来，在一回路系统迁移过程中，从破口、阀门等处进入安全壳并随着气体或液体扩散，其中部分裂变产物源项将在安全壳结构壁面冷凝、沉积，另一部分将通过破损的安全壳或正常泄漏进入环境中。

为了包络厂外放射性后果并减少需分析的事故序列数，将二级概率安全分析（PSA）产生的相似的裂变产物源项归为一个释放类别。为防止发生严重事故时放射性大量释放，安全壳设计特征提供了冗余且多样的严重事故的缓解措施。这些设计特征包括反应堆冷却剂自动卸压系统(ADS)、反应堆堆腔淹没功能、大型

干燥安全壳中氢气点火装置和非能动安全壳冷却系统(PCS)，用于维持反应堆冷却剂系统(RCS)的完整性，防止安全壳因氢气爆炸而超压，并从安全壳中排出衰变热。这些缓解措施使裂变产物从安全壳中释放出去的可能性保持很小。

在特定的严重事故下，裂变产物可能通过正常的安全壳泄漏、安全壳隔离失效、安全壳破裂或安全壳旁通释放。

在核电厂建造的调试阶段，将会进行安全壳泄漏率试验，在设计压力下，允许的最大泄漏率为 0.1%容积/天，因此，在安全壳完好工况下假设有极少量的裂变产物通过正常泄漏进入环境。

在事故前安全壳存在大开口或隔离失效，将会造成安全壳泄漏超过设计基准。此分析中假设大型排放管线隔离阀的失效会造成安全壳隔离失效。

假设安全壳破裂是否发生取决于安全壳内压力和安全壳失效的条件概率的对比，根据失效时间的不同，可分为安全壳早期、中期、晚期失效，其中氢气燃烧产生扩散火焰、氢气整体燃烧、安全壳超压、堆内熔融物滞留措施失效导致的堆外严重事故现象均有可能引起安全壳的破裂。

安全壳旁通是指裂变产物从 RCS 通过二次侧系统或其它旁通安全壳的界面系统直接释放到环境的事故序列，释放时间大约发生在燃料损坏开始的时候，并且源项的大小并没有因为自然沉降而减少。该序列通常是由蒸汽发生器传热管破裂始发事件发展至严重事故或由高温高压的堆芯损伤事件引发的蒸汽发生器传热管破裂造成的。

6.4.2 应急计划区

应急计划区为在事故时能及时有效地采取保护公众的防护行动，事先在核电厂周围建立的、制定有应急计划并作好应急准备的区域。我国目前将应急计划区分为两类：针对烟羽照射途径的烟羽应急计划区和针对食入照射途径的食入应急计划区。

烟羽应急计划区为针对烟羽照射途径（烟羽浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射）而建立的应急计划区，这种应急计划区又可分为内、外两区，在内区做好能在紧急情况下立即采取隐蔽、服用稳定碘和紧急撤离等紧急防护行动。

食入应急计划区为针对食入照射途径（食入被污染食品和水的内照射）而建立的应急计划区。但食品和饮水控制通常不属于“紧急”防护对策，一般情况下允

许根据事故释放后所进行的监测与取样分析来确定实施此类应急响应的范围，在应急计划阶段考虑食入应急计划区的范围和安排有关应急措施时应充分考虑这些因素。

根据山东省核事故应急协调委员会发布的《关于山东海阳核电厂应急计划区范围有关问题的通知》（鲁核应办[2012]），山东海阳核电厂的烟羽应急计划区为以反应堆为中心半径 10km 的范围，其中内区为以反应堆为中心半径 5km 的范围；食入应急计划区为以核电厂为中心，半径 50km 的范围。

6.4.3 应急状态分级

根据《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002）的规定，海阳核电厂的应急状态分为四级：

- 应急待命
- 厂房应急
- 场区应急
- 场外应急

1）应急待命

应急待命的特征是一些事件正在进展或已经发生，核电厂安全水平潜在下降，或对设施的保安威胁已经发生。除非进一步的安全系统降级发生，否则预期不会出现需要采取场外响应或监测的放射性物质释放。

核电厂安全水平可能下降主要是指超出了核电厂技术规格书中规定的运行限制条件，在这种情况下允许在规定的时间内变更运行模式。核电厂安全水平的可能下降还应包括一些重要事件的征兆（它们可能涉及一道裂变产物屏障泄漏、厂外电源丧失、发生可感地震等）。

确定进入应急待命状态的目的是：使电厂运行人员和应急组织有关人员启动或处于待命状态，保证必要的初始应急响应行动得以顺利实施，使事件或事故处理、信息传递和决策过程等有条不紊地纳入应急体系中去。

2）厂房应急

厂房应急的特征是事件正在进展或已经发生，电厂安全水平实际上或潜在的实质下降，或为包含因敌对行动而可能威胁现场人员生命的风险或损坏现场设备的保安事件。如有释放，预计其只相当于通用干预水平的很小部分。厂房应急时，

事故的辐射后果或可能的辐射后果仅限于电厂某些厂房内部或核电厂局部区域。

确定进入厂房应急状态的目的是：使场内应急组织全面或大部分启动，使场内应急响应人员能够保证迅速有效地做出响应，并按规定向场外有关应急组织提供和报告事件或事故的信息。

3）场区应急

场区应急的特征是事件正在进展或已经发生，导致保护公众所需的电厂功能实际上或可能大的失效，或以下导致蓄意损坏或恶意行为的敌对行动：（1）针对现场人员或可能导致设备失效；（2）阻碍有效接近保护公众所需设备。如有释放，预计场区边界以外照射水平不会超过通用干预水平。

确定进入场区应急的目的是：使场内应急组织保证及时派出环境监测人员进行环境监测；对场内非应急响应人员采取必要的防护行动；使场内应急组织按规定通过场外应急组织向公众提供必要且正确的信息；使场外应急组织保证得以及时启动。

4）场外应急

场外应急的特征是事件正在进展或已经发生，导致大量堆芯实际上或即将降级或熔化，并伴随安全壳完整性潜在丧失，或导致设施实体控制实际上丧失的敌对行动。预计释放可能导致场区边界及以外照射水平超过通用干预水平。

确定场外应急状态以核电厂重要安全系统功能为依据，同时用事故后果评价作为技术支持。

确定进入场外应急状态的目的是：及时建议并启动因为保护公众所预先确定的防护行动；持续评价核电厂的事故状态和环境监测数据，按实际或可能的放射性释放量补充或修改公众防护行动建议；与场外应急组织协调或配合场外应急响应；按规定通过场外应急组织向公众提供必要且正确的信息。

6.4.4 应急初始条件和应急行动水平

为了迅速且恰当地确定应急状态等级，基于海阳核电厂的设计和厂址特征以及相关编制导则，山东核电有限公司制定了确定应急状态等级的应急初始条件以及应急行动水平。

应急初始条件（IC）系指预先确定的用于决定核电厂发生或可能发生核应急而应当进入某一等级应急状态的所有初始条件。应急初始条件可以是超出《技术

规格书》限值的参数数值或征兆，如过高的一回路温度；也可以是某个事件或现象，如火灾或过高的海水水位；也可以是包容放射性屏障的失效，如一回路破口。

应急行动水平（EAL）系指对应于某一应急状态下的某个应急初始条件，对指定核电厂所确定的可衡量的某个参数的阈值或可界定的状态。应急行动水平可以是电厂仪表的读数、场内外可测量的参数值、某个设备的状态、可确认的事件或自然现象、分析计算结果、应急运行规程（EOP）的启用或其他应进入应急状态的情况。

海阳核电厂各应急状态的应急初始条件和应急行动水平分为下列五种识别类型：

1) 异常辐射水平/放射性流出物类——A 类；

2) 冷停堆或换料运行模式下系统故障类——C 类；

3) 裂变产物屏障降级类——F 类；

4) 影响电厂安全的灾害或其他条件类——H 类；

5) 系统故障类——S 类。

6.4.5 应急组织

6.4.5.1 海阳核电厂应急响应组织与职责

海阳核电厂核事故应急响应组织机构设置见图 6.4-1，应急响应组织的主要应急岗位组成见图 6.4-2。

应急响应组织主要岗位的担当人，应急指挥部总指挥、各副总指挥、秘书组以及各应急响应组组长等重要应急响应岗位的第一担当人见表 6.4-1。

海阳核电厂应急响应组织由应急指挥部（EH）及其领导下的运行控制组（GOP）、技术支持组（GTS）、应急抢修组（GEM）、辐射防护组（GRP）、后勤保卫组（GLS）、安全消防组（GSF）和公众信息组（GPI）等七个应急专业组组成。

1）应急指挥部（EH）的职责与组成

应急指挥部是海阳核电厂应急响应时的指挥核心，全面负责应急决策和指挥应急响应行动，以及与国家、地方及行业主管部门和其它应急组织的联络和协调。

应急指挥部主要由应急总指挥（ED）、常务副总指挥（AD）、运行副总指挥（OCD）、应急抢修副总指挥（EMD）、辐射防护副总指挥（RPD）、保卫消防副

总指挥（SSD）等六位应急指挥以及秘书组组成。

2）运行控制组的职责与组成

运行控制组由组长、机组主控室人员和运行部其他现场值班员组成。

运行控制组在事故情况下承担事故机组和非事故机组运行控制的任务，主要职责如下：

（1）初步评定应急状态，提供应急状态分级的建议；

（2）播放应急通知和应急报警；

（3）执行事故处理规程，控制和缓解事故，恢复和维持事故机组的安全状态，减轻事故的后果和影响；

（4）向应急指挥部和技术支持组、辐射防护组提供事故机组事故工况的数据；

（5）组织当值运行人员履行其各自厂房内的灭火和急救的初始响应行动；

（6）必要时组织进行化学取样分析，以提供燃料及堆芯损伤评估和事故释放源项估计所需化学分析数据；

（7）控制并维持非事故机组的安全状态或安全运行；

（8）保持与电网调度之间的联系，确保电厂与电网的安全；

（9）在应急指挥部启动就位前，组长和非事故机组当班值长依次暂时履行应急总指挥的职责。

3）技术支持组的职责与组成

技术支持组由组长、核安全助理、数名事故分析助理及机、电、仪管理助理等组成。

技术支持组主要承担应急状态下对主控室和其他系统运行人员的技术支持任务，主要职责如下：

（1）对事故机组状态进行诊断，对控制和缓解事故的措施提供技术支持；

（2）对事故机组燃料及堆芯损伤评价提供技术支持，并利用专业软件进行堆芯损伤评价；

（3）对事故机组的设备和系统状态诊断提供技术支持，对紧急维修和变通运行方案提出建议；

（4）严重事故管理；

（5）负责关键应急响应行动的核安全监督；

（6）对非事故机组确保安全运行提供技术支持。

4）应急抢修组的职责与组成

应急抢修组由组长、各相关专业助理以及维修或操作人员组成。

应急抢修组在应急响应期间承担机组设备和系统机、电、仪故障的维修与抢修，保障工业计算机网络系统畅通，通信联络保障等任务，主要职责如下：

（1）机组设备和系统机、电、仪故障的维修和抢修；

（1）工业计算机网络系统畅通；

（2）保障通信系统畅通；

（3）负责组织抢险和抗灾行动；

（4）负责厂区工艺厂房内失踪人员的搜寻。

5）辐射防护组的职责与组成

辐射防护组主要由组长、辐射防护助理、后果评价助理、环境监测助理、职业医疗助理以及机组当班辐射防护值班员、场区及场外应急辐射监测人员、厂区医务室当值医务人员等组成。

辐射防护组在应急响应期间的主要职责是：

（1）负责监督和检查电厂内人员的辐射安全；

（2）负责组织并实施场内辐射和化学监测，对场内污染区域进行调查、评价、划分、标记和控制；

（3）负责组织并实施场外辐射调查、取样、分析和评价；

（4）对核事故实际的或可能的放射性释放源项及其场外辐射后果进行评价或预测，提出场内、外辐射防护行动建议；

（5）协同执行场内非应急响应人员的应急防护行动方案（如非应急响应人员的室内隐蔽、撤离、服用碘片等）；

（6）组织实施医疗急救；

（7）组织适当人员、提供相关设备，支持核电厂应急运行和辐射防护应急响应行动；

（8）监督和控制应急工作人员的受照剂量；

（9）应急状态下其他辐射防护工作。

6）后勤保卫组的职责与组成

后勤保卫组由组长、行政助理、物资保障助理、交通保障助理、保卫助理、警卫助理、仓储管理人员和车队值班司机等组成。

后勤保卫组承担应急期间后勤与保卫等任务，主要职责是：

（1）提供生活后勤保障；

（2）提供物资供应保障；

（3）提供交通运输保障；

（4）电厂的保卫和出入控制；

（5）场内治安管制；

（6）负责组织非应急人员的集合、清点和撤离；

（7）负责利用应急广播车对应急广播无法覆盖的区域（如施工区）进行广播；

（8）负责厂区非工艺厂房内以及厂区室外失踪人员的搜寻；

（9）负责应对保安事件；

（10）参与抢险抗灾行动。

7）安全消防组的职责与组成

安全消防组由组长、工业安全助理、承包商协调助理、消防助理、消防队员等组成。

安全消防组承担应急期间工业安全、核安全、消防等任务以及与承包商应急响应的联络协调工作，主要职责是：

（1）负责监督和检查电厂内人员的工业安全；

（2）组织并实施防火与灭火行动；

（3）参与抢险抗灾行动；

（4）作为电厂与承包商（包括扩建工程相关承包商）的直接接口，负责承包商应急响应的联络协调工作，并及时向指挥部汇报有关情况；

（5）必要时按应急指挥部要求，组织对污染车辆进行洗消。

8）公众信息组的职责与组成

公众信息组由组长和公众信息助理组成。

公众信息组在应急响应期间的职责是：

（1）准备和草拟需向场外有关应急组织提供的公众信息；

（2）收集公众与媒体的舆论，向应急指挥部提出控制谣传和流言的措施建议。

6.4.5.2 应急总指挥的替代顺序

若应急指挥部有其他指挥启动，则按以下顺序替代：常务副总指挥、运行副总指挥；否则按以下顺序替代：运行控制组组长、非事故机组当班值长（若因为影响两个机组的事件进入应急状态，则规定 1 号机组当班值长）。

6.4.5.3 与场外应急组织及有关部门和单位的关系

1）与场外应急组织的接口关系

根据国务院《核电厂核事故应急管理条例》，我国核事故应急管理工作实行国家、地方、营运单位三级管理体系。该管理体系中，海阳核电厂应急响应组织与场外有关部门和场外应急组织的接口关系见图 6.4-3。

核事故应急期间，海阳核电厂应急指挥部有责任和义务及时向国家核事故应急协调委员会（国家核事故应急办公室）、环境保护部（国家核安全局）、国家能源局、环境保护部华东核与辐射安全监督站、山东省核事故应急协调委员会（山东省核事故应急办公室）、中国电力投资集团公司等部门和单位的应急机构（组织）通报和报告，并密切予以配合，协调一致地实施应急响应行动。必要时，海阳核电厂应急指挥部可请求和获得场外支援。

2）与有关部门和单位的支援关系

为进一步提高海阳核电厂的应急响应能力，特别是应对严重事故的能力，海阳核电厂与场外有关部门和单位签订了应急支援协议，以确保在应急期间获取外部支援。除此之外，中电投集团公司编制了《中电投集团核应急支援方案》，必要时海阳核电厂可以向集团公司请求支援。场外有关部门和单位对海阳核电厂的支援关系见表 6.4-2。

6.4.6 应急设施

海阳核电厂主要配备主控室、远方停堆工作站、应急指挥中心、备用应急指挥中心、技术支持中心、运行支持中心、公众信息中心、监测和评价设施、应急通信设施等主要应急设施，电厂同时还利用现场医务室、保卫控制中心及要害区出入口、警卫营房、消防站等设施作为相应的辅助应急设施。

1）主控室

主控室是核电厂在正常和事故工况下实施电厂运行控制的关键场所，也是核电厂应急响应期间运行控制组的主要工作场所。运行控制组在其中主要实现以下功能：

（1）集中控制、监测、分析和诊断机组的运行和事故状态，保证安全运行、维持安全状态或缓解事故后果；

（2）在应急指挥中心启动之前，履行应急启动、应急通知、应急指挥等功能。

2）远方停堆工作站

远方停堆工作站是独立于主控室的关键控制场所。当主控室人员不得不撤离主控室时，操纵员在这里实现如下控制机组的功能：

（1）可靠地控制反应堆的停堆过程直到其进入安全停堆状态，并确保反应堆余热的导出；

（2）触发安全系统并监视其工作过程；

（3）获取机组和反应堆状态的重要安全信息等。

3）技术支持中心

技术支持中心在平时用作电厂当班安全工程师的值班场所，在应急响应期间则是供电厂技术支持组成员工作的场所，在运行支持中心等丧失可居留性时，非事故机组的技术支持中心可作为相应的备用应急设施。技术支持组在其中主要实现以下功能：

（1）对已经发生或可能发生的事故工况（包括严重事故）的分析、预测和诊断提供技术支持和指导；

（2）对缓解事故或使机组或电厂恢复到安全状态可采取的控制措施提供建议；

（3）与机组主控室、电厂应急指挥中心进行信息交流，提供技术支持。

4）应急指挥中心

海阳核电厂应急指挥中心是在应急响应期间指挥场内应急响应和与场外协调应急响应行动的场所。应急指挥中心内的场内应急组织在其中主要实现以下功能：

（1）统一指挥核电厂内部各应急专业组和应急人员的响应行动；

（2）保持电厂与国家和地方政府有关部门、行业主管部门、中电投集团公司以及场外应急组织之间的通信联系，接收和传送有关信息，协调场内外应急响应行动；

（3）根据事故工况和事故释放源项，进行辐射后果评价，提出场外公众防护行动建议。

应急指挥中心内用于应急决策的主要系统包括：应急决策支持系统（包括关键信息显示、应急状态辅助分级、堆芯损伤评价、核事故场外辐射后果评价、场外防护行动建议等功能）及厂区环境辐射与气象监测系统等。应急决策支持系统为应急指挥人员提供包括机组参数、环境监测、气象数据、事故后果评价、堆芯损伤评价等信息，以便协助应急指挥人员快速而正确地决策。

5）备用应急指挥中心

备用应急指挥中心设在烟羽应急计划区之外的核电专家村环境监测楼，在现场应急指挥中心的可居留性丧失或可能丧失的情况下才需启动备用应急指挥中心。备用应急指挥中心配有多台应急决策支持系统终端。

6）运行支持中心

运行支持中心位于附属厂房地面一层，是应急抢修组的启动和集中地点。

运行支持中心内配置一台双平板显示屏 Ovation 操作员工作站，并有与主控室工作站相同的信息访问能力，但不具备控制功能。

7）公众信息中心

海阳核电厂将在专家村环境监测站内设置公众信息中心（距离核电厂8~9km），用于应急状态下接纳媒体和公众，以便按规定向新闻媒体和公众提供有关应急态势和公众防护行动的信息，对公众和新闻媒体的信息需求做出响应，以及澄清失真的传闻。公众信息中心配备有打印机、复印机及相应的通讯设备。

另外，海阳核电厂还在现场应急指挥中心设置公众信息室，用于搜集应急期间公众和媒体的舆论以及准备和草拟需向场外有关应急组织提供的公众信息。此外，还在烟台培训基地建有公众宣传中心，作为海阳核电厂日常对外宣传的窗口。

8）监测和评价设施

海阳核电厂的监测和评价设施主要包括机组事故工况监测与评价设施、环境

辐射监测设施以及应急决策支持设施，详见第九章。消防系统（包括火灾报警系统）和地震监测系统，属于特殊的事件/事故监测与评价设施。

9）通信系统

通信系统包括语音通信系统，数据通信系统和视频会议系统组成。

（1）语音通信系统由无线电话系统、呼叫通话系统、声力电话系统、自动电话系统、应急自动电话系统、时钟系统、警报系统、广播系统及电力调度电话系统等组成；

（2）数据通信系统由海阳核电厂运行数据网和电厂核应急专网构成。电厂核应急专网以应急指挥中心为核心，可保证电厂应急指挥中心、主控室、运行支持中心、技术支持中心、环境辐射监测楼、气象站等设施之间的数据通信，并与国家核应急办、山东省核应急办、国家核安全局、国家能源局、中国电力投资集团公司建立网络连接。

（3）海阳核电厂应急指挥中心设有视频会议系统。该系统可保证电厂应急指挥中心与国家核应急办、山东省核应急办、国家核安全局、国家能源局、中国电力投资集团公司建立网络连接。

6.4.7 应急报告和通知

6.4.7.1 应急组织的启动

1）应急组织的启动步骤及批准权限

海阳核电厂突发事件/事故导致相应应急状态时，海阳核电厂的应急组织按如下步骤启动：

（1）在电厂相关部门的配合下，由运行控制组识别和确认需进入的应急状态，并确定所需进入的应急状态等级；

（2）由运行控制组负责组织应用短信、有线广播、警笛报警和电话等手段，通知电厂应急响应组织各个应急岗位的值班和待命值班人员、重要应急岗位的第一担当人员以及电厂场内所有人员；

（3）所有应急岗位的值班和待命值班人员按规定的启动到岗地点迅速到岗。

进入不同级别应急状态的批准权限如下：

（1）凡进入应急待命、厂房应急和场区应急状态，应由事故机组当班值长向应急总指挥建议，并由应急总指挥批准；

（2）凡需进入场外应急状态，由事故机组当班值长向应急总指挥建议，在得到应急总指挥应急确认后，向山东省核应急指挥部及时提出进入场外应急状态的建议。若此时电厂应急指挥部已经启动，则该建议由应急指挥部向省核应急指挥部及时提出；若此时指挥部未启动，则该建议由运行控制组向省核应急指挥部及时提出。在省核应急指挥部尚未正式宣告进入场外应急状态以前，山东核电有限公司应急组织可按处理场外应急状态做出必要的响应，同时与场外应急组织做好必要的沟通。

对于电厂突发事件/事故导致应急后，应急状态逐步升级或直接从低级别升级到高级别应急状态，以及长时间应急状态需要换班的情况，启动步骤与上述步骤稍有不同。

2）应急状态等级的识别和确定

海阳核电厂应急状态等级的识别和确定基于《海阳核电厂应急状态分级初始条件和应急行动水平》，所需信息主要由机组主控室获取，此外，还应视导致应急的事件性质，电厂相关部门按下述方式配合提供：

（1）凡因保安条件或敌对行动导致需进入应急状态，由行政部请示分管副总经理同意后，将有关信息告当班机组值长；

（2）因火灾、爆炸事件导致需进入应急状态，除机组主控室人员借助于主控室火灾报警监视盘获取有关信息外，火灾或爆炸事件目击者、火灾现场灭火组织指挥者需按程序向当班机组值长报告有关信息；

（3）因大风或龙卷风以及电厂内部水淹导致需进入应急状态，由保健物理部负责向当班机组值长通告地方气象部门的气象预报信息以及电厂自身的气象铁塔/地面气象观测站的实时观测风速数据；

（4）因发生保护区边界内车辆撞击导致安全壳厂房、屏蔽厂房或辅助厂房等包含安全系统或部件的构建筑物有可见损坏，有毒、腐蚀性、窒息性或可燃性气体的释放，导致可能需进入应急状态时，由安全质保部迅速收集有关信息，向当班机组值长报告。

3）应急组织启动状态、到岗地点及启动时间要求

应急组织有关应急岗位人员的启动到岗地点列于表 6.4-3。根据 HAF102《核电厂设计安全规定》的要求，主控室、技术支持中心和应急指挥中心均在设计时

考虑了事故情况下的可居留性要求，而运行支持中心、保安控制中心、警卫营房等其它设施，则按各自的功能设计，未考虑事故情况下的可居留性要求。因此，在应急情况下，将根据事故发展和设施中以及厂区 γ 辐射和空气辐射监测的结果，对厂区有关设施中的应急响应人员在应急响应期间可能接受的剂量进行估算，当其所受剂量可能超过 20mSv 时，有关人员将转移到其它合适地点或采取合适照射控制措施。

接到应急通知或警报后，所有需启动的应急人员必须在规定时间内尽快启动到岗。

6.4.7.2 通知电厂场内人员

在应急组织启动过程中，主要采用有线广播、手机短信和警笛报警等手段通知场内人员（包括承包商人员）。

对于那些在海阳核电厂现场附近有驻留基地，并在现场承担相关建设或工作任务的承包商，或者那些在现场人员较多的承包商，每周均向电厂提供应急待命值班人员名单及其手机号码与电话号码。在海阳核电厂应急响应组织启动过程中，电厂将同时采用手机或电话等手段通知这些承包商应急待命值班人员，由场内应急组织中的安全消防组负责应急情况下与承包商的接口和联络。

6.4.7.3 通告和报告场外应急组织和相关单位

1）通告

在应急指挥部启动前且在确定或宣告进入应急状态（主要是应急待命或突发的应急待命以上等级应急状态）后 15 分钟内，由非事故机组值长组织人员在其主控室用电话及传真通告国家核应急办公室、国家核安全局、国家能源局、华东核与辐射安全监督站、山东省核应急办公室以及中国电力投资集团公司应急指挥中心。

在应急指挥部启动后且在确定或宣告相应的应急状态等级（主要是非突发的应急待命以上等级的应急状态）后 15 分钟内，由已启动的应急指挥部总指挥助理组织人员向场外应急组织和相关单位进行通告。

当需要中国电力投资集团公司、山东省和国家提供应急支援时，由电厂应急指挥部（经应急总指挥批准）向中国电力投资集团公司应急指挥部、省核应急指挥部和国家核应急办公室通告并提出请求。

对于已签订在具体事项方面（如医疗救护、数据共享、应急监测等）提供应急支援协议的外部单位，当需要其提供应急支援时，由电厂应急指挥部（或指令有关应急专业组）向他们通告并提出请求。

2）初始报告和后续报告

在进入厂房应急、场区应急和场外应急（注意：不包括应急待命）情况下，在确定或宣告进入应急状态后 45 分钟内，由已到达应急指挥中心的应急总指挥（若此时应急指挥部没有启动，则由事故机组当班值长）签发初始报告，通过传真报国家核应急办公室、国家核安全局、国家能源局、华东核与辐射安全监督站、山东省核应急办公室以及中国电力投资集团公司应急指挥中心。在此之后，每隔 1 小时用传真发一次后续报告。

在事故源项或应急状态级别变更时，亦立即用传真发出报告。之后，每隔 1 小时用传真发一次后续报告。

在确认核事故得到有效控制或事故状态变化相对缓慢后，可每隔 4 小时用传真发一次后续报告，直至应急状态终止。

当场外应急组织和有关单位与电厂的计算机网络联网后，场外应急组织还可以通过网络按规定方便地获取更详细的应急信息。

3）恢复期报告和应急总结报告

应急状态（不包括应急待命状态）终止后的恢复期（如果实际需要有恢复期的话）的报告和应急总结报告，按国防科工委发布的《核电厂核事故应急报告制度》中的有关规定执行。按其规定，应急状态（不包括应急待命状态）终止并进入恢复期（如果实际需要有恢复期的话）后，在最初数日（一周内），恢复期的报告每隔 24 小时用传真书面向国家核应急办公室、国家核安全局、国家能源局、华东核与辐射安全监督站、山东省核应急办公室以及中国电力投资集团公司报告一次；以后根据恢复情况，可将报告的间隔时间陆续延长；应急状态终止 30 天内，以行文方式向国家核应急办、国家核安全局、国家能源局、华东核与辐射安全监督站、山东省核应急办及中国电力投资集团公司提交书面核应急总结报告，如果第 30 天是节假日，则顺延节假日后第一个工作日递交或投递。

6.4.8 核事故应急防护措施

在海阳核电厂宣布进入厂房应急等级以上的应急状态后，为了保护场内职工

和场外公众的安全和健康以及保护环境，海阳核电厂应急组织除了对事故机组采取控制缓解措施以外，还将采取与当时应急状态相适应的保护场内员工的场内防护行动，并在进入场外应急状态情况下及时向山东省核应急组织提出场外公众防护行动的建议。

6.4.8.1 场内防护行动

场内防护行动区分为：非应急人员（即不承担应急响应任务的人员）的防护行动和应急人员（即承担应急响应任务的人员）的防护行动。场内非应急人员的防护行动必须在电厂应急组织的安排下，有组织地实施。

1）场区非应急人员防护行动的种类

场内非应急人员防护行动的种类主要包括：

（1）撤离事故场所；

（2）暂时隐蔽在场区建筑物内；

（3）服用碘片；

（4）撤离场区。

另外，为避免增加受事故影响的非应急人员，实施出入通道控制亦是有效的防护行动。

2）场区内非应急人员防护行动的确定

基于海阳核电厂的设计安全特性，场内非应急人员的防护行动一般按下述原则确定：

（1）应急待命状态下，对场内所有非应急人员不必采取防护行动，但应要求他们回到各自的办公室或工作岗位；

（2）在厂房应急状态下，与事故处理无关的所有人员必须离开受事故影响的场所或区域（注意：如果受事故影响场所或区域仅为某一厂房内的局部区域，有关人员只需离开该区域，而不必撤出该厂房）；

（3）在场区应急状态或场外应急状态下，场区所有非应急响应人员到就近应急集合点集合，进行人员清点，根据指令服用碘片，并在作为集合点的建筑物内暂时隐蔽，等待应急指挥部的进一步指示有序地进行撤离或按时下班。

场内非应急人员撤离的指令，由应急总指挥批准；其它场内防护行动，可根据实际情况由机组当班值长、运行控制组组长或辐射防护副总指挥确定并指令执

行。场内非应急人员撤离到场区以外后，其后的应急防护行动由场外应急组织负责。

3）场区非应急人员防护行动的实施

（1）应急集合点的安排

应急集合点的安排列于表 6.4-4。图 6.4-4 给出了这些集合点位置的分布。按照各相关承包商单位的应急预案，海阳核电厂厂区内或厂区附近的各承包商的固定工作或生活区均设本单位的应急集合点。对于发生应急时不在承包商单位固定工作或生活区的承包商人员，也可到任何一个就近的电厂应急集合点集合，服从该集合点负责人的指挥，同时向本单位通报自己所在位置。

（2）集合与清点

在厂房应急状态或发生火灾情况下，在事发场所内的非应急响应人员或不被指令参与灭火的人员，应按有关安全规定离开事发场所并撤到附近的安全区域内，或者按机组值长或工作负责人的指令撤到事发场所附近的指定安全区域内。对已撤到安全区域的人员，应由其中职务最高的人进行人数清点，并将清点结果报告工作负责人和机组值长。

在场区应急和场外应急情况下，在发出应急广播通知和报警后，场区内所有非应急工作人员应立即到就近的应急集合点集合，并进行人员清点。后勤保卫组对场区非应急人员的集合和清点负责总体组织实施。

（3）失踪人员的搜寻

在场区应急和场外应急情况下，在后勤保卫组汇总了所有集合点的人员清点结果之后，即可确定失踪人员名单，并组织对失踪人员进行搜寻。厂区内工艺厂房内失踪人员的搜寻由应急抢修组负责实施，运行控制组予以协助和配合；厂区非工艺厂房内和厂区室外失踪人员的搜寻由后勤保卫组负责，并由失踪人员所在部门予以协助和配合；进入高辐射和高污染区以及高危险区进行搜寻，须由辐射防护组予以监护；在承包商单位固定工作或生活区的人员搜寻，由承包商自行负责。

（4）碘片的贮存与发放

碘片的贮存与更新由电厂保健物理部环境监测处具体负责。在进入场区应急和场外应急情况下，由辐射防护组向应急指挥部提出向非应急人员和应急人员发

放碘片和服用碘片时间的建议，经应急指挥部批准后予以发放和服用。

（5）撤离

在进入场区应急或场外应急情况下，场区非应急人员的撤离由后勤保卫组负责总体组织实施。

a)车辆调配

进入场外应急状态以后，由后勤保卫组根据需撤离人数确定所需要的车辆，并进行车辆调配。车辆来源包括电厂所有车辆和服务公司车辆，其中电厂自有车辆 4 辆和服务公司大巴车约 30 辆。撤离人员时，车辆直达人员集合点供人员乘车。各承包商人员的撤离用车辆则由承包商自行解决。

b)撤离路线和撤离时间

场区内的撤离路线详见图 6.4-4，场区外的撤离路线（见图 6.4-5）主要为以下两条，通过这两条路线可撤离至专家村、海阳市等居住地：

撤离路线一：场区→核电一路→青威高速→海阳市

撤离路线二：场区→核电二路→专家村→凤城→海阳市

总的撤离时间包括：发出集合通知到所有人员都听到通知并开始行动的时间 T1（估计 10 分钟），所有人员到达应急集合点并上车完毕所需时间 T2（估计 30 分钟），车辆从启动到到达专家村或海阳市的时间 T3（估计为 30 分钟）。总计 70 分钟。因此，厂区人员可以在 1.5 小时内撤离完毕。

（6）出入通道控制

在进入应急状态后，由后勤保卫组组织实施电厂的出入通道控制。出入通道的相关设施主要包括电厂出入通道控制系统、闭路电视监控系统和专用保安通信系统等。后勤保卫组有关人员在保卫控制中心负责出入通道监控，当保卫控制中心丧失可居留性时，后勤保卫组有关成员将撤离到应急指挥中心应急保卫室。在此房间中，设有一台电厂实体保卫系统的显示终端，从该终端可获取保卫系统的完整信息，另外，此房间还有必要的电话等通信设备。

应急状态下厂区出入通道的控制应遵循如下原则：

a)根据应急状态等级在电厂厂区设置不同的控制区域，实施分区控制；

b)按工作人员承担的工作和应急响应任务，通过对其磁卡进行分类授权控制人员进入，既要控制与应急响应行动无关的人员进入设定的控制区域，又要保证

应急响应人员和物资能够进入响应区域；

c)对承担有应急响应任务的车辆发放“应急通行证”，控制无关车辆的进入。

6.4.8.2 场外公众防护行动

在电厂进入场外应急的情况下，用于确定场外公众防护行动建议的决策逻辑流程如图 6.4-6 所示。

需要强调说明的是，图 6.4-6 所示决策逻辑流程图虽然能用于果断又慎重地提出场外公众防护行动建议，但它仍然仅是进行一般决策的基础；在真正进入场外应急的情况下，电厂应急总指挥可根据事故的实际情况，对图中所示决策逻辑流程作调整或改变。

6.4.9 应急状态终止和恢复正常

6.4.9.1 应急状态的终止

1）应急状态终止的条件

当确认满足下列条件时，终止应急状态：

— 引发应急的故障、事件或条件已被排除，或对反应堆及其安全相关系统的安全已不再构成威胁；

— 反应堆及其安全相关系统处于稳定和安全状态；

— 向环境的放射性物质释放已经有效地控制在电站技术规范限值之内。

2）应急状态终止的批准

（1）应急待命、厂房应急和场区应急

在其他应急专业组的协助下，经运行控制组建议，应急总指挥在征询应急指挥部其他成员和有关应急响应组组长意见后，决定终止应急状态，并指令应急指挥部技术秘书通过全厂广播宣布应急状态终止。同时，立即通过电话和传真报告国家核应急协调委、国家核安全局、国家能源局、山东省核应急协调委、环境保护部华东核与辐射安全监督站、中电投集团公司。

（2）场外应急

在其他应急专业组的协助下，经运行控制组组长建议，电站应急总指挥在征询应急指挥部其他成员和有关应急响应组组长意见后，上报山东省核事故应急指挥部。待山东省核应急总指挥通告可宣布场外应急状态终止时，由应急总指挥指令应急指挥部技术秘书通过广播宣布应急状态终止。

6.4.9.2 应急状态终止后的恢复

电站应急状态终止后，凡出现按核安全法规和电站运行技术规范规定不允许立即重新投入运行的情况时，电站就进入了恢复阶段，电站需采取恢复措施或行动。

1）场内恢复组织的职责

场内恢复组织的主要职责是：

（1）组织实施恢复活动，使机组尽快回复到正常运行状态，若机组已严重损坏，则使其转入长期安全停堆冷却状态，同时继续监测和保障工作人员和场外公众的辐射安全；

（2）继续对厂内外进行辐射监测，维持出入口通道控制，根据恢复情况逐步撤回巡测队和警卫人员；

（3）场区应急和场外应急终止后实施场外食物和水源的定期监测和管理；

（4）调查机组损伤程度，制定和实施检修计划。确定污染区面积，制定和实施去污计划。调查事故过程，分析事件原因，估算场外居民所受剂量，提出事故后果评价报告；

（5）按规定定期向国家核应急办、国家核安全局、山东省核应急办和中电投集团公司报告恢复工作的实施情况；

（6）根据场外各部门的要求，编写事故后的报告和重新启堆计划，并按照规定，将事故后的报告和重新启堆计划呈送各部门；

（7）检查应急设施，补充各中心的消耗品；

（8）完成应急过程直到恢复阶段结束的原始记录和文件归档。

当核电厂应急状态终止命令发布后，核电厂就进入恢复阶段。需要说明的是，在恢复阶段初期，电厂的应急组织机构代行恢复组织的职责，之后再逐步将该职责转移给正常运行组织。

2）应急状态终止后采取的行动

应急状态终止后采取的行动：

（1）必要时制定恢复正常状态的计划，按规定上报国家有关部门审批后实施。恢复计划将按核事故对核电厂造成的损坏、安全性能的下降程度和造成场内、外环境放射性污染的严重程度来制定；

（2）评价引起应急状态的事故原因、事故发展过程和事故的后果；

（3）整理和评价所有的与核应急相关的日志、记录、书面信息等；

（4）审评应急期间场内所采取的一切活动，总结经验和教训；

（5）如有必要，应依据上述（2）、（3）、（4）和事故评价总结报告修改本场内应急计划。

3）应急状态终止后的恢复措施

主要恢复措施视情况可能包括：

（1）查明核事故造成海阳核电厂系统、设备损坏的程度和范围，实施维修及恢复运行的计划；

（2）继续监测场内和环境中的地表辐射水平以及土壤、植物、水等样品中的放射性污染水平，根据监测结果划分污染区和可以解除控制的区域，并估计和控制恢复期内对工作人员、公众造成的剂量；

（3）按程序规定对场内高辐射水平的区域，进行进出通道的控制；

（4）清除场内放射性污染，负责进行放射性废物的处理和处置；

（5）协调与场外的恢复活动；

（6）按规定向上级有关部门提交事故最终评价报告、恢复工作实施情况报告。

在采取上述（1）至（4）措施时，需满足辐射防护的三原则，其恢复阶段的剂量限值制度应当采用核电厂正常运行时的剂量限值。

恢复工作结束后，电站的重新启动运行应视情况按国家有关规定重新申请批准。

在采取上述恢复措施时，要对执行过程中获得的利益及付出的代价进行优化分析，使恢复行动行之有效，其重点是尽可能减少集体剂量，减少恢复组织工作人员在恢复工作中要接受新的照射。

表 6.4-1　应急岗位替代表

应急响应岗位	担当人选	第一担当人*
应急指挥部（EH）		
应急总指挥（ED）	公司总经理，其他公司领导	公司总经理
常务副总指挥（AD）	公司党委书记，其他公司领导	公司党委书记
运行副总指挥（OCD）	公司分管副总经理，运行部正、副经理及主任工程师，当班值长	公司分管副总经理
应急抢修副总指挥（EMD）	公司分管副总经理，维修部正、副经理及主任工程师	公司分管副总经理
辐射防护副总指挥（RPD）	公司分管副总经理，保健物理部正、副经理及主任工程师	公司分管副总经理
保卫消防副总指挥（SSD）	公司分管副总经理，安全质保部正、副经理，行政部正、副经理	公司分管副总经理
应急总指挥助理（EDA）	总经理工作部经理、副经理，保健物理部正、副经理及主任工程师	总经理工作部经理
技术秘书	核应急管理处处长、主管工程师、工程师	核应急管理处处长
应急指挥中心管理员	维修部机械处工程师	
应急指挥中心计算机管理员	总经理工作部信息处工程师	
文秘	总经理工作部秘书处秘书、各部门文员	
运行控制组（GOP）		
组长	运行部正、副经理及主任工程师、当班值长	运行部经理
1 号与 2 号机组当班值长	机组值长	
1 号与 2 号机组当班副值长	机组副值长	
1 号与 2 号机组主控室当班操纵员	主控室操纵员	
化学分析助理	化学处处长、副处长、主管工程师	
技术支持组（GTS）		
组长	技术部正、副经理及主任工程师	技术部经理
核安全助理	值班安全工程师	
事故分析助理（机组状态诊断与预测）	技术部系统技术处处长、副处长、一回路主管工程师、工程师，安全质保部安全工程师，培训部模拟机处模拟机教员	

应急响应岗位	担当人选	第一担当人*
事故分析助理（堆芯损伤评价）	技术部燃料处处长、副处长、核燃料主管工程师、燃料与换料方案管理工程师、堆芯运行监测工程师，安全质保部安全工程师，培训部模拟机处模拟机教员	
事故分析助理（堆物理与热工支持）	技术部燃料处处长、副处长、反应堆热工水力工程师、反应堆物理试验工程师	
事故分析助理（设备与系统）	技术部系统技术处处长、副处长、主管工程师，设备管理处处长、副处长、主管工程师	
事故分析助理（性能试验）	技术部性能处处长、副处长、震动诊断工程师、定期试验工程师、试验结果鉴定工程师	
机械管理助理	技术部设备管理处处长、副处长、机械设备主管工程师、机械设备管理工程师	
电气管理助理	技术部设备管理处处长、副处长、电气设备主管工程师、电气设备管理工程师	
仪控管理助理	技术部设备管理处处长、副处长、仪控设备主管工程师、仪控设备管理工程师	
辐射防护组（GRP）		
组长	保健物理部正、副经理及主任工程师	保健物理部经理
辐射防护助理	保健物理部辐射防护处和防护支持处处长、副处长、主管工程师、工程师	
环境监测助理	保健物理部环境监测处处长、副处长、主管工程师、工程师	
后果评价助理	保健物理部辐射防护处工程师，防护支持处工程师，环境监测处工程师，核应急管理处后果评价工程师	
职业医疗助理	保健物理部环境监测处职业医疗主管医师、职业健康医师	
应急抢修组（GEM）		
组长	维修部正、副经理及主管工程师	维修部经理
机械助理	维修部机械处处长、副处长、主管工程师、工程师	
电气助理	维修部电气处处长、副处长、主管工程师、工程师	

应急响应岗位	担当人选	第一担当人*
仪控助理	维修部仪控处处长、副处长、主管工程师、工程师	
维修支持助理	维修部维修支持处处长、副处长、主管工程师、工程师	
通讯助理	维修部通讯处处长、副处长、主管工程师、工程师	
后勤保卫组（GLS）		
组长	行政部经理、副经理	行政部经理
行政助理	行政部行政事务处处长、副处长、主管工程师、工程师	
物资保障助理	采购部物资管理处处长、副处长、主管工程师、工程师	
交通保障助理	总经理工作部秘书处处长、副处长、主管工程师、工程师	
保卫助理	行政部保卫处处长、副处长、主管工程师、工程师	
警卫助理	武警队队长、教导员，保安经理	
安全消防组（GSF）		
组长	安全质保部经理、副经理、主任工程师	安全质保部经理
工业安全助理	安全质保部安全监督处处长、副处长、主管工程师、工程师	
承包商协调助理	工程部经理、副经理、主任工程师，核岛施工处、常规岛施工处、矿山管理处以及质量控制和施工支持处处长、副处长、主管工程师、工程师	
消防助理	消防队队长、副队长，消防处处长、副处长、主管工程师、工程师	
公众信息组（GPI）		
组长	党群工作部经理、副经理	党群工作部经理
公众信息助理	党群工作部党建宣传处处长、副处长、工程师	

注*：应急启动时，如第一担当人无法按要求启动（如不在海阳市），则相应岗位的当周 ON-CALL 人员按要求启动到岗，并履行相应职责。

表 6.4-2　场外有关部门和单位对海阳核电厂的支援关系

序号	场外有关部门或单位	对海阳核电厂的支援内容	备注
	山东省核事故应急办公室	应急数据支援（场外辐射环境监测数据、场外气象数据及气象预报数据等）、应急环境监测支援（海上巡测船只、环境分析实验室及其分析设备、便携式辐射环境监测仪表）、应急通讯支援、自然灾害预报或预警支援等	双方之间有应急专线，可以传输数据和召开视频会议。
	解放军第四○一医院崂山分院	放射性医学救援	
	海阳市中医院	常规医学救援	
	田湾核电站	应急环境监测支援（环境分析实验室及其分析设备、应急监测车、便携式辐射环境监测仪表）、应急物资支援（防护用品、应急车辆、各类仪表）、应急人力支援	
	中电投集团公司	技术支持、物资支援、专家和人员支持等	双方之间有应急专线，可以传输数据和召开视频会议。

表 6.4-3　应急组织有关应急岗位人员的启动到岗地点(1)

场内应急组织及岗位		到岗地点
应急指挥部	应急总指挥、常务副总指挥、运行副总指挥、应急抢修副总指挥、辐射防护副总指挥、保卫消防副总指挥、应急总指挥助理、技术秘书、文秘、应急指挥中心计算机管理员、应急指挥中心管理员	应急指挥中心
运行控制组	组长、一号和二号机组当班值长与副值长、当班操纵员	主控室(2)
	一号和二号机组隔离经理	隔离办公室(3)
	现操	各自的值班室(3)
	化学分析助理、化学分析人员	化学分析实验室(3)
技术支持组	技术支持组所有成员	技术支持中心
辐射防护组	组长、各助理、场区辐射监测人员	应急指挥中心
	辐射防护值班员	主卫生出入口值班室 3)
	环境监测人员	环境监测站
	场区医务室当班人员	现场医务室(3)
应急抢修组	组长、机械助理、电气助理、仪控助理、维修支持助理、通讯助理	运行支持中心(3)
安全消防组	组长、工业安全助理、承包商协调助理	应急指挥中心
	消防助理、消防人员	消防站
后勤保卫组	组长、行政助理、物资保障助理	应急指挥中心
	保卫助理	保安控制中心(4)
	警卫助理	武警营房(4)
	仓储管理员	仓库(4)
	车队值班司机	应急指挥中心
公众信息组	组长、公众信息助理	应急指挥中心

注：

（1）应急启动时，如第一担当人无法按要求启动，则相应岗位的当周 ON-CALL 人员按要求启动到岗，并履行相应职责；

（2）若引发应急的为台风、保安事件等影响两个机组的事件，则到 1 号机组主控室，若 1 号机组大修则到 2 号机组主控室。

（3）当丧失可居留性时，转移到非事故机组技术支持中心，若该技术支持中也丧失可居留性则转移到应急指挥中心。

（4）当丧失可居留性时，转移到应急指挥中心。

表 6.4-4　海阳核电厂场区的应急集合点安排(1)

集合点编号	位　　置	所 集 合 的 人 员
1#	1 号机组主卫生出入口	1 号机组核岛建筑物内非应急人员
2#	2 号机组主卫生出入口	2 号机组核岛建筑物内非应急人员
3#	SRTF 办公区	要害区外、保护区内的非应急人员
4#	运行和维修技术支持大楼	保护区外、控制区内的非应急人员
5#	综合办公楼(2)	控制区外、综合办公楼附近的非应急人员
6#	建设办公楼 A 座(2)	控制区外、建设办公楼 A 座附近的非应急人员

注：

(1) 本表不包括有关承包商《应急预案》中所规定的集合点。

(2) 5#和 6#应急集合点虽然距离较近，但由于每个建筑物内办公人员都在几百人，为便于集合清点，故分别设立集合点。

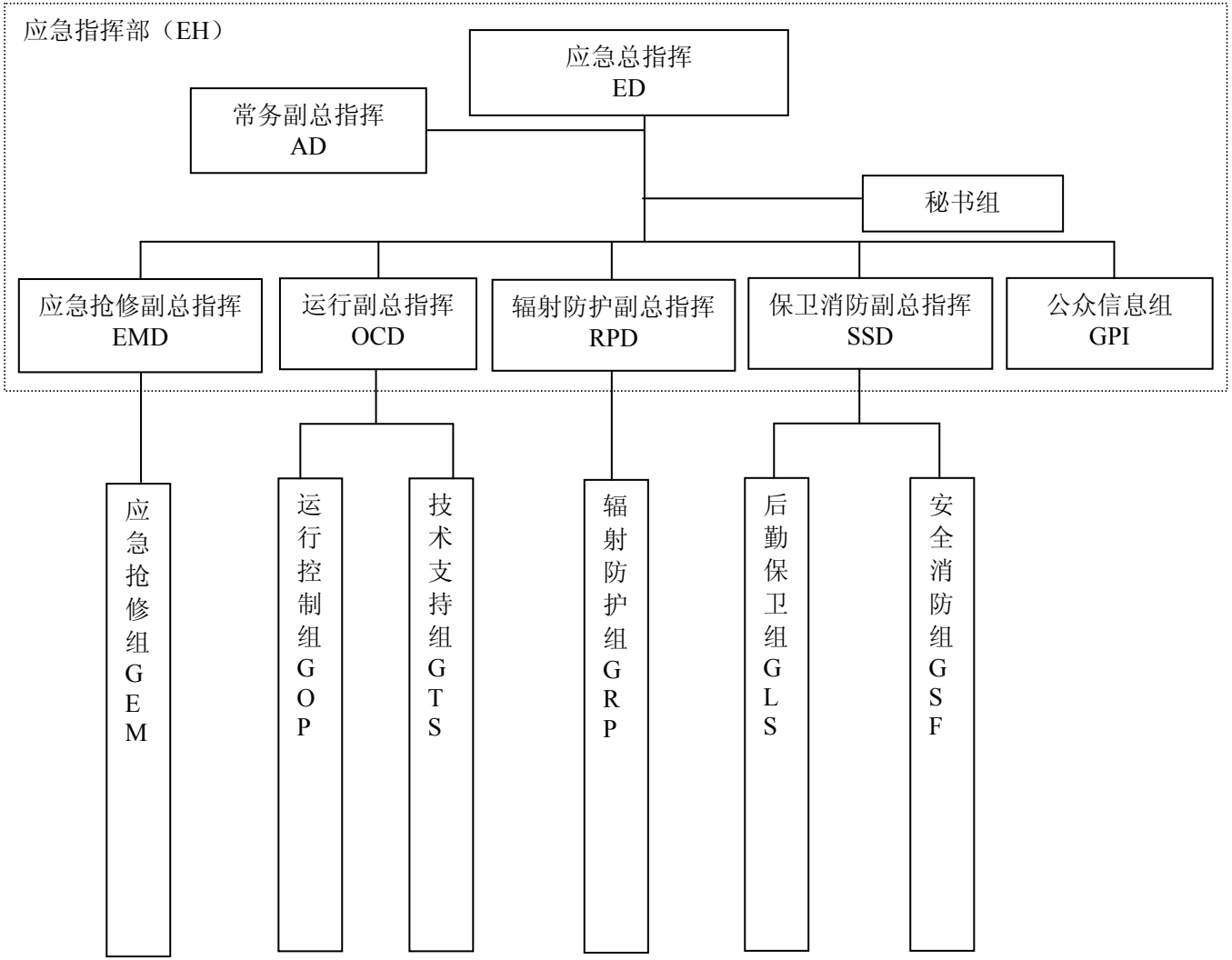


图 6.4-1　海阳核电厂应急响应组织机构图

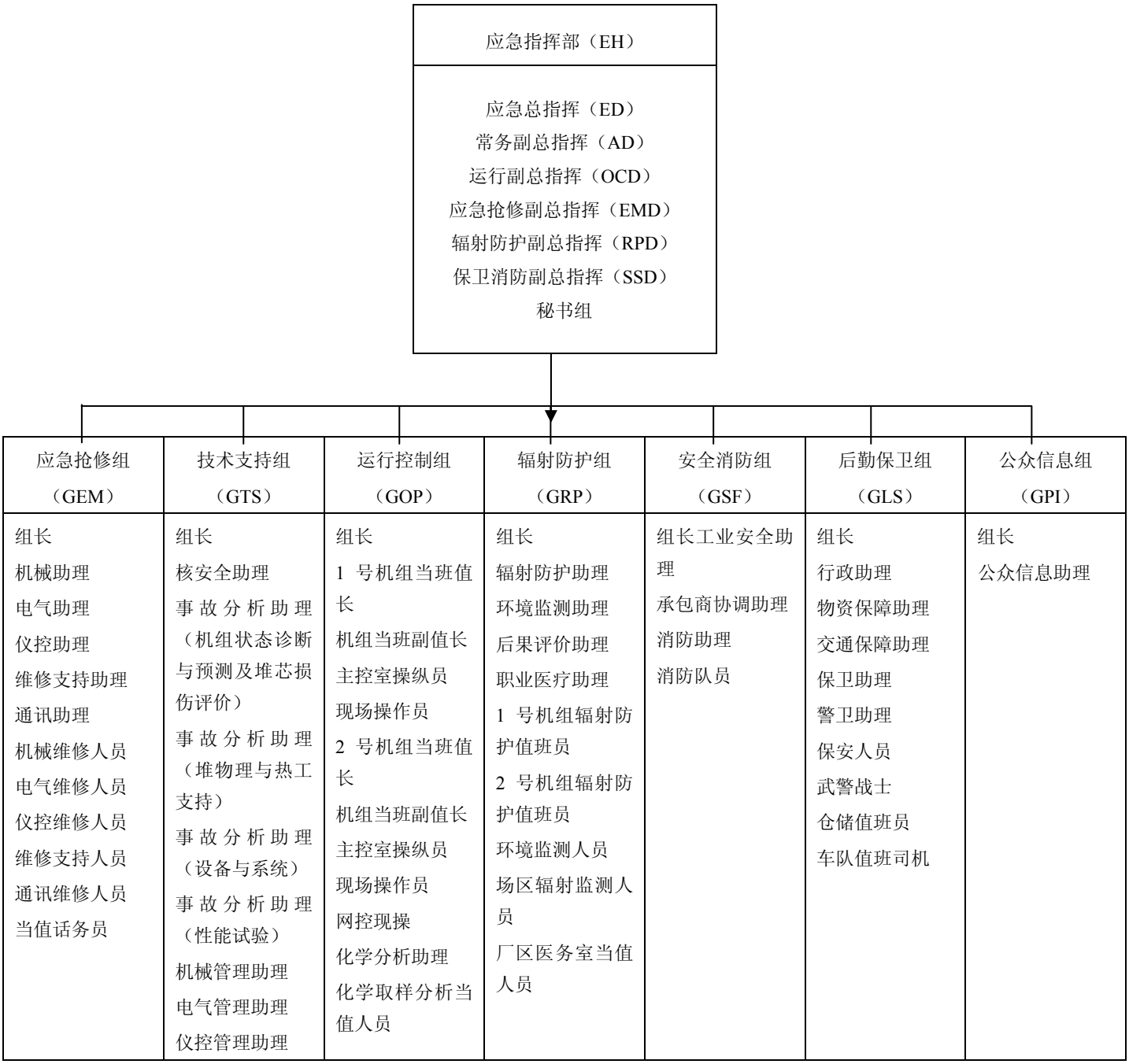
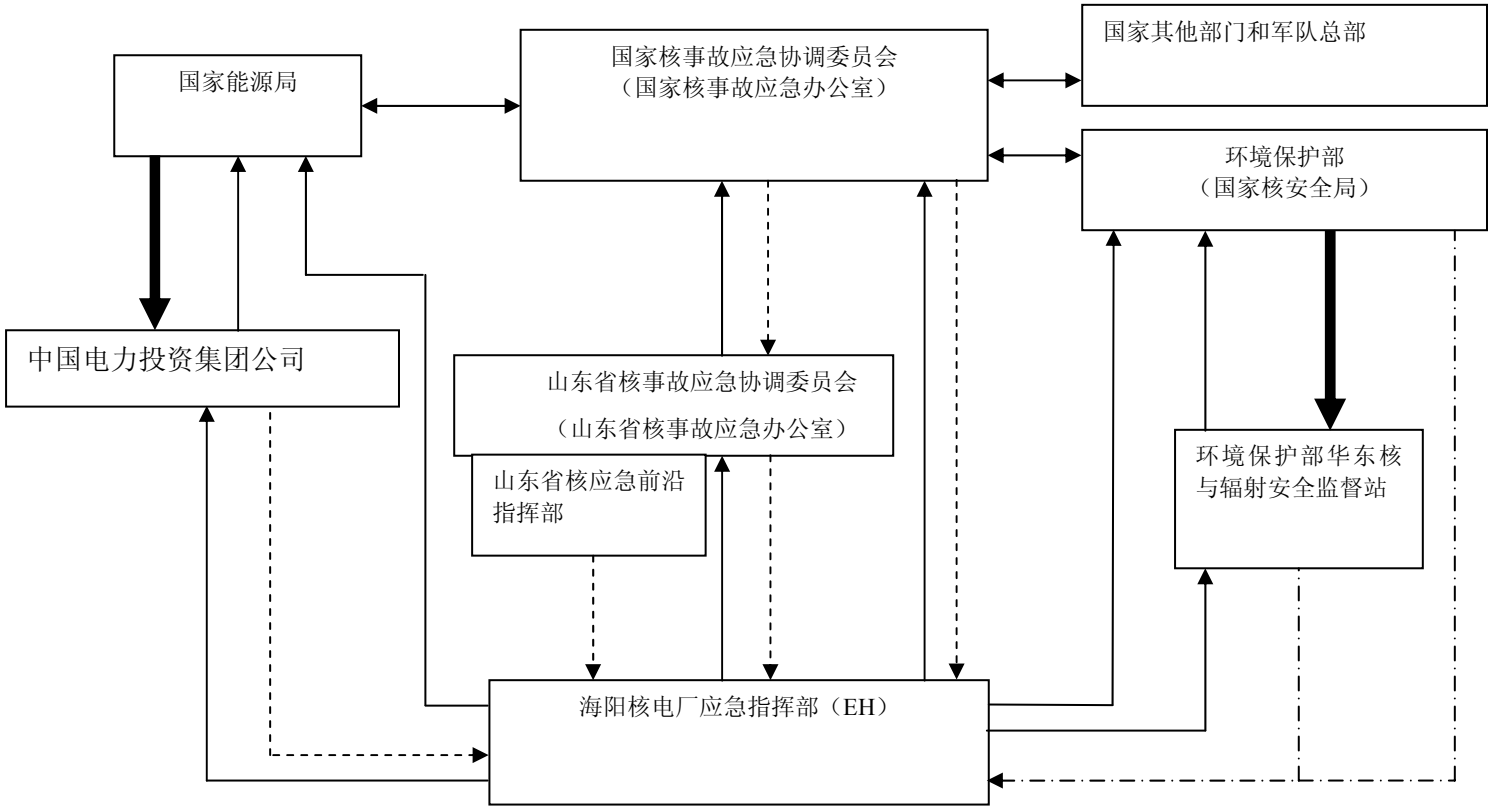


图 6.4-2　海阳核电厂应急响应组织的岗位组成



图例：指示　　监督和干预　　通知和报告　　支持和建议

（按职责分工）

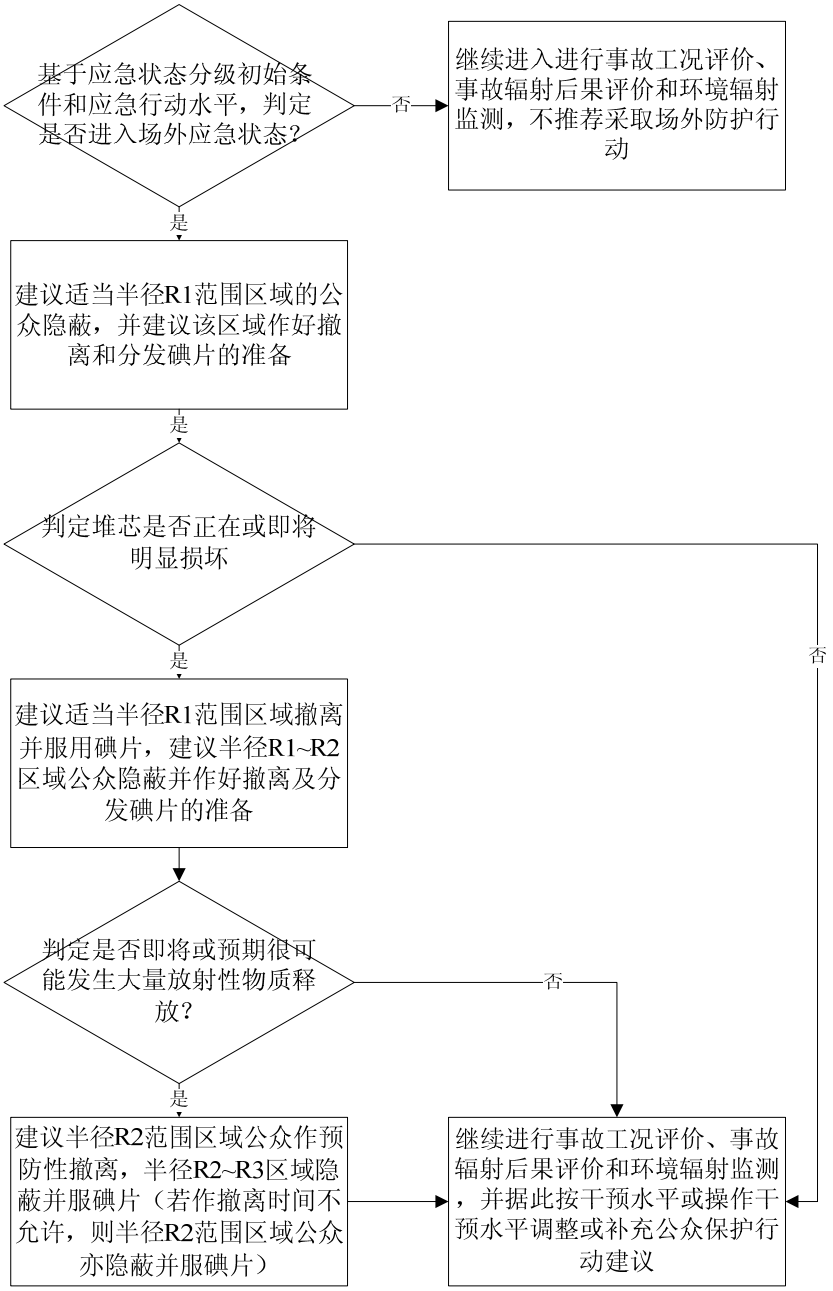
图 6.4-3　海阳核电厂应急响应组织与场外应急组织的接口关系图



图 6.4-4　场内撤离线路、应急集合点分布图



图 6.4-5　场外应急撤离路线示意图



注：图中所有 R1，R2，R3 需考虑事故实际工况和（或）事故实际释放情况而定，且下风向可适当扩大范围。

图 6.4-6　场外公众防护行动建议的决策逻辑流程图

第七章　流出物监测和环境监测

7.1 运行前环境监测

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的要求，在核动力厂厂址首台机组首次装料前，营运单位必须完成环境本底辐射水平的调查，至少应获得最近两年的调查数据。同一厂址后续建造的机组应至少获得最近一年的辐射环境水平现状调查数据。

山东核电有限公司已委托苏州大学卫生与环境技术研究所完成了一期工程装料前 2 年的环境本底辐射水平调查。本项目的运行前辐射环境现状调查监测点位将在一期运行期间辐射环境监测大纲的基础上进行优化。

7.1.1 厂址放射性本底调查

7.1.1.1 监测目的

运行前放射性本底调查的目的是：

1）获取厂址所在地的环境放射性本底数据，确定环境辐射及环境介质放射性本底水平及其变化，为调查核电厂运行后对环境放射性的影响程度提供比较数据；

2）为制定运行后环境监测方案和提出运行监测技术要求与设备性能要求提供依据；

3）为评价核电厂运行后对环境和公众的辐射影响提供本底依据。

7.1.1.2 调查范围、布点原则

环境 γ 辐射水平调查范围为厂址半径 50km 范围内区域，陆地介质放射性本底水平调查、海洋介质放射性本底水平调查和指示生物调查范围为厂址半径20～30km 范围内区域，重点关注核电厂厂址半径 10km 范围、核电厂排放口附近海域和水产养殖场。

山东海阳核电厂运行前辐射本底监测充分考虑了已开展的厂址环境调查资料和专题研究成果：

— 人口分布、土地利用和陆生资源、居民生活习惯和饮食结构；

— 水文气象观测成果；

— 海洋生态和水产资源调查成果；

—“三关键”分析结果等。

山东海阳核电厂运行前辐射本底监测的取样点和监测点根据厂址环境的自然条件和工程的总平面布置予以确定，其原则为：

— 最大风频下风向厂区边界附近区域；

— 最小风频下风向较少受核电厂排放影响的区域（对照点）；

— 关键居民组居住地区及环境敏感点；

— 距反应堆最近的厂区边界上，人群经常停留的地方；

— 电厂取排水口附近海域。

7.1.1.3 调查内容

由于本项目 3、4 号机组运行前，1、2 号机组已装料投产。因此，本项目 3、4 号机组工程将在一期工程运行期间的辐射环境监测大纲的基础上，实施 3、4 号机组运行前辐射环境现状调查。一期工程运行期间的辐射环境监测布点可以满足 3、4 号机组运行前辐射环境现状调查需要，暂不增加点位，将根据一期工程运行期间的辐射环境监测结果对点位进行优化调整。具体监测方案参见 7.3。

1）陆地 γ 辐射剂量率

包括连续 γ 辐射空气吸收剂量率，道路、原野瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率和 γ 辐射累积剂量。

按照《核动力厂环境辐射防护规定》(GB 6249-2011)，运行前环境 γ 辐射的调查范围的半径一般取 50km，在厂址 50km 范围内进行陆地 γ 辐射水平调查，原则上均匀布点，近密远疏，方位交错。在核电厂次主导下风向 NNE 方位多布点，人口稠密区等敏感区域相对加密布点，并考虑到应急监测，在核电厂核电一路上布设点位，并在相对周围环境状况可能长期不变的 WNW 方位 22km 处的海阳市区设立点位。

测点一般选择在居民点附近，尽量兼顾原野和道路。原野测点选择在距建筑物 30m 以外的开阔地带，一般为田地、草坪、山坡、空地。道路测点选择在道路面中心线上，尽量远离建筑物。固定监测点选择关键居民点和主要居民点中心场地。

2）陆地介质放射性本底水平

陆地介质包括气溶胶、沉降物、空气、雨水、饮用水、地表水、地下水、水下沉积物、土壤、农作物、动物和动物产品。分析项目包括总 α、总 β、^{90}Sr、^{3}H、

^{14}C、^{131}I 和 γ 谱。γ 谱分析包括 ^{131}I、^{134}Cs、^{137}Cs、^{58}Co、^{60}Co 和 ^{54}Mn 核素，对空气类介质增加 ^{7}Be，对土壤、沉积物类介质增加 ^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra 和 ^{40}K。

气溶胶、空气、沉降灰和降水等一般在固定监测点上采样，固定监测点选在居民点上，为了方便这些介质采样器取电和管理，本次调查采用同位布点，布点时以核电厂为中心，在次主导风下风向（主导风下风向为海域）按扇形布设固定监测点。土壤与植物、海水与沉积物之间有相互关系，尽量同位布点、同步采样，并充分注意对渔港相关项目的监测及对海阳市饮用水源相关途径的监测。陆地植物选择当地种植面积广、居民食入量多以及食物链上关键途经的一些品种，如小麦、花生、玉米、白菜、韭菜和干草等，陆地动物及动物产品选择当地的主要肉类食品猪肉和牛奶，这些陆地介质的点位同样布置在次主导风下风向厂址周围 20km 范围内。

3）海洋介质放射性本底水平

海洋介质包括海水、海洋生物、海洋底泥和潮间带土。分析项目包括 ^{90}Sr 和 γ 谱，对海水增加 ^{3}H 的监测。γ 谱分析包括 ^{131}I、^{134}Cs、^{137}Cs、^{58}Co、^{60}Co、^{54}Mn、^{106}Ru 和 ^{110m}Ag 核素，针对沉积物介质 γ 谱分析还包括 ^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra 和 ^{40}K 核素。

海水选择排放口附近海域，布点时考虑受纳水体的水文特性、距排放口的距离和居民点的分布等因素。海洋生物选择当地有代表性的海产品鲅鱼、蛤蜊、爬虾和乌贼，它们分别代表鱼类、贝壳类、甲壳类和软体类。

4）指示生物

指示生物分陆地和海洋两类介质。指示生物选择当地分布较广、对排放核素浓集度高的松针和牡蛎，采样点布设在厂址外主导风向下风向或次主导风向下风向最近的村镇。分析项目包括 ^{90}Sr 和 γ 谱。γ 谱分析包括 ^{131}I、^{134}Cs、^{137}Cs、^{58}Co、^{60}Co 和 ^{54}Mn 核素。监测频次为 1 次/年。

7.2 运行期间的放射性流出物监测

7.2.1 监测目的和制订监测计划方案的原则

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）的要求，核电厂运营单位必须制定运行期间的流出物监测方案，并在运行期间对所有气态和液态放射性流出物进行监测。监测的内容包括排放总量、排放活度浓度及主要核素分析。

流出物监测的主要依据包括：

- 《核电厂辐射防护设计》（HAD 102/12-1990）
- 《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）
- 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB 11216-1989）
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB 11217-1989）
- 《核电厂放射性液态流出物排放技术要求》（GB 14587-2011）
- 《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）
- 《轻水堆核电厂放射性废液处理系统技术规定》（GB 9135-1988）
- 《轻水堆核电厂放射性废气处理系统技术规定》（GB 9136-1988）
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第1部分：一般要求》（GB/T 7165.1-2005）
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第2部分：放射性气溶胶（包括超铀气溶胶）监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.2-2008）
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第3部分：放射性惰性气体监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.3-2008）
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第4部分：放射性碘监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.4-2008）
- 《核电厂事故及事故后辐射监测设备 第一部分：一般要求》（GB 12726.1-1991）
- 《核电厂事故及事故后辐射监测设备 第二部分：气态排出流中放射性惰性气体连续监测设备的特殊要求》（GB 12726.2-1991）
- 《核电厂事故及事故后辐射监测设备 第四部分：工艺流辐射监测仪》（GB/T 12726.4-1995）

- 《核电厂事故及事故后辐射监测设备 第五部分：空气放射性监测设备》（GB/T 12726.5-1997）
- 《Guide to Sampling Airborne Radioactive Materials in Nuclear Facilities》)（ANSI N13.1-1969）
- 《Measuring, Evaluating, and Reporting Radioactive Material in Liquid and Gaseous Effluents and Solid Waste》（RG 1.21-1974）

7.2.1.1 监测目的

- 证明释放到环境中的气载和液态放射性流出物的总量遵守国家批准的排放限值和核电厂本身规定的管理目标值；
- 为判明核电厂的运行以及放射性废物的处理和控制装置的工作是否正常有效提供数据和资料；
- 为应用适当的环境模式评价环境质量、估算公众所受的剂量提供源项数据和资料；
- 使公众确信核电厂的放射性排放确实收到严格的控制；
- 迅速发现和鉴别计划外排放的性质、种类及其程度，以便及时采取措施；
- 给出报警和必要的执行动作，以控制不合理排放，提供有关应急响应信息。

7.2.1.2 主要原则

- 根据核电厂流出物排放途径等特点，合理地确定监测点的位置、取样测量频度和需要监测的放射性核素；
- 在选择监测点的位置和取样时，确保监测结果能代表实际的排放；
- 考虑到计划外释放的可能性，用于常规监测的仪表具有足够宽的量程；
- 用于关键释放点的监测仪表，必须考虑冗余度；
- 为便于评价监测结果，除对释放的放射性物质监测外，还监测其他与评价和估算有关的参数，如流出物流量、温湿度以及气象参数等。

7.2.2 气载和液态放射性流出物监测

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）要求，气载放射性流出物净化处理后经由电厂烟囱释入大气环境。根据《核电厂放射性液态流出物排放技术要求》（GB 14587-2011）的要求，液态放射性流出物排放需采取槽式排放，排放前对槽内液态放射性流出物进行取样监测和在线连续监测，并在槽式排放口

和总排放口设明显标志。排放管线上安装自动报警和排放控制装置。

设置若干监测子系统来监测通过排气口排放的气载放射性流出物的放射性活度浓度和废液监测箱排放的液态放射性流出物的放射性活度浓度。流出物监测仪对电厂流出物中辐射水平的增加提供预警信息，以向电厂操纵员提供信息，自动或通过操纵员手动对高放射性信号做出响应，触发修正动作。

7.2.2.1 气载放射性流出物监测

1）电厂烟囱辐射监测仪

在正常运行和事故工况下，电厂烟囱是电厂向周围环境释放放射性物质的主要设计通道。电厂烟囱正常量程辐射监测仪 APP-VFS-JS-01（微尘探测器 APP-VFS-JE-RE101、碘探测器 APP-VFS-JE-RE102 和惰性气体探测器 APP-VFS-JE-RE103）和电厂烟囱事故量程辐射监测仪 APP-VFS-JS-02（事故中量程惰性气体探测器 APP-VFS-JE-RE104A 和事故高量程惰性气体探测器 APP-VFS-JE-RE104B）在覆盖正常和事故量程范围内连续测量电厂烟囱中放射性物质活度浓度。这些监测仪还用作 RG 1.97“Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Plants(2006)”中 C2 和 E2 类事故后监测仪。

电厂烟囱正常量程辐射监测仪(VFS-JS-01) 的微尘探测器采用 β 灵敏闪烁体探测器，主要测量核素为 Sr-90，Cs-137，测量范围 $3.7\times10^{-2}Bq/m^3$~$3.7\times10^{3}Bq/m^3$，碘探测器采用 γ 灵敏 NaI(Tl)闪烁体，主要测量核素为 I-131，测量范围 $3.7\times10^{-1}Bq/m^3$~$3.7\times10^{4}Bq/m^3$，惰性气体探测器采用 β 灵敏闪烁体探测器，主要测量核素为 Kr-85，Xe-133，测量范围 $3.7\times10^{3}Bq/m^3$~$3.7\times10^{8}Bq/m^3$。电厂烟囱事故量程辐射监测仪(VFS-JS-02) 采用 β/γ 灵敏闪烁体探测器，主要测量核素为 Kr-90，Xe-133，事故中量程惰性气体和事故高量程惰性气体测量范围分别为 $3.7\times10^{6}Bq/m^3$~$3.7\times10^{12}Bq/m^3$ 和 $3.7\times10^{9}Bq/m^3$~$3.7\times10^{15}Bq/m^3$。

在正常工况和 RG 1.97 中各种假定工况的整个放射性活度浓度范围内，都要对电厂烟囱进行连续取样。电厂烟囱辐射监测仪是事故后监测仪，满足 RG 1.97 和 NUREG-0737 的要求。当放射性活度浓度超过预置阈值时，监测仪将向主控制室发送报警信号。电厂烟囱辐射监测仪还为 RG 1.21 中规定的电厂排出流释放报告和编制 NUREG-0654 要求的大气弥散数据提供资料。

电厂烟囱辐射监测仪接收工艺流和样品流中电厂烟囱排出流流量和温度的传感器模拟信号。按要求这些信号用来控制取样流量，并计算标准状态下的放射

性气体活度浓度、释放量和流量。这些模拟信号还用来计算在操纵员选定的时间段内的总工艺流量、总取样流量和总排放量。样品的体积温度信号也可以用来对浓度进行修正。

事故量程监测装置(VFS-JS-02) 设置了两条并行固定的过滤器和气体手动取样连接器，用于收集样品中高放射性浓度活度的微尘和碘。当气体监测通道内的放射性活度浓度超过正常量程范围时，正常量程的微尘、碘和放射性气体探测器将自动失效。样品将被旁路绕过正常量程探测器，其中的一小部分将进入事故量程微尘和碘过滤器以及放射性气体探测器。这样可以防止正常量程探测器的损坏，以便在放射性水平降低后重新用它测量正常量程探测器范围内的放射性活度浓度。

此外，对经电厂烟囱向外排放的气态排出流，辐射监测系统还设置了氚和碳-14 连续取样装置。取样装置获取的氚和碳-14 样品将定期送至实验室进行测量和分析。

电厂烟囱辐射监测仪示意图见图 7.2-1。

2）常规岛通风排放辐射监测仪

常规岛通风排放辐射监测仪(TDS-JS-01) 连续测量冷凝器除气系统(CMS)通风排放管道中的放射性物质活度浓度。其中存在放射性，表明蒸汽发生器管道泄漏导致的一次侧向二次侧的泄漏。常规岛通风排放辐射监测仪根据管理导则 RG 1.21 规定，为气态放射性物质的释放报告提供测量数据。该监测仪还用作 RG 1.97 中 C2 和 E2 类事故后监测仪。常规岛通风排放辐射监测仪使用两个管内探测器，主要测量核素为 Kr-85，Xe-133，测量范围分别为 $3.7\times10^{4}Bq/m^{3}$~$3.7\times10^{10}Bq/m^{3}$ 和 $3.7\times10^{9}Bq/m^{3}$~$3.7\times10^{15}Bq/m^{3}$。

常规岛通风排放辐射监测仪属于管内辐射监测仪，示意图见图 7.2-2。

3）主蒸汽管道辐射监测仪

主蒸汽管道辐射监测仪 APP-SGS-JS-26（探测器 APP-SGS-JE-RE026A 和 RE026B）和 APP-SGS-JS-27（探测器 APP-SGS-JE-RE027A 和 RE027B）连续测量两条主蒸汽管道中放射性物质活度浓度。主蒸汽管道中存在的放射性物质来自于蒸汽发生器内一次侧向二次侧的泄漏。

主蒸汽管道辐射监测仪安置在蒸汽管道附近。探测器的布置便于其灵敏体积暴露在来自被测主蒸汽管道的辐射场中，并屏蔽掉另一个主蒸汽管道的辐射。

主蒸汽管道辐射监测仪（APP-SGS-JE-RE026A 和 027A）满足 RG 1.97 关于测量“从蒸汽发生器安全阀或大气释放阀释放的惰性气体”和 RG 1.97 规定的 C2 和 E2 类变量的要求。

当放射性物质活度浓度超过预置阈值时，主蒸汽管道辐射监测仪将在主控制室内产生报警。如果蒸汽发生器安全阀或大气释放阀打开，那么主蒸汽管道辐射监测仪的放射性活度浓度数据可以用来计算向环境释放的放射性。

主蒸汽管道辐射监测仪属于管旁辐射监测仪的示意图见图 7.2-3。

此外，SRTF 的排风总管中设置一套等速取样装置，对排风气体中的微尘和碘进行连续取样，样品送往电厂的有关实验室进行分析，以确认向环境的排放是否符合相关的要求，同时可为向环境排放的放射性物质提供数据。

7.2.2.2 液态放射性流出物监测

1）放射性液体废物排放辐射监测仪

放射性液体废物排放辐射监测仪(WLS-JS-229) 连续测量从放射性液体废物系统向环境排放的液体中放射性物质活度浓度。这些液体经过充分混合并在释放前取样后分批排放。在排放前必须就地取样分析，以便确认其排放物的放射性活度浓度和排放总量都在允许的范围内。液体放射性废物排放辐射监测仪是管内监测仪。当放射性活度浓度超过预置阈值时，监测仪将启动主控制室用于操纵员动作的一个报警，阻止液体放射性废物的排放，并关闭液体放射性废物排放系统相关的排放泵。液体放射性废物排放辐射监测仪采用 NaI(Tl) γ 灵敏闪烁探测器。主要测量核素为 Cs-137，测量范围 $3.7\times10^{3}Bq/m^{3}$~$3.7\times10^{8}Bq/m^{3}$。

放射性液体废物排放辐射监测仪属于管内辐射监测仪，示意图见图 7.2-2。

2）废水排放辐射监测仪

废水排放辐射监测仪(WWS-JS-21) 连续测量废水系统排放管中的放射性物质活度浓度。当放射性活度浓度超过预置阈值时，监测仪将启动主控制室一个报警，同时关闭汽轮机疏水储存箱泵。报警后，操纵员可手动切换废水排放到液体放射性废物系统(WLS) 进行重新处理。废水排放辐射监测仪采用 NaI(Tl) γ 灵敏闪烁探测器，主要测量核素为 Cs-137，测量范围 $3.7\times10^{3}Bq/m^{3}$~$3.7\times10^{8}Bq/m^{3}$。

废水排放辐射监测仪属于管内辐射监测仪，示意图见图 7.2-2。

3）废液采样站

在海阳核电 3 号机组和 4 号机组中，每台机组有 1 条进水管线和 2 条排水管

线。在每条进水和排水管线上均设有 1 套废液采样设备，2 台机组总共 6 套设备。

通过在核电厂进水管线和排水管线同时取样，可获得进水和排水中的放射性活度浓度值。进水中的放射性活度浓度值即为存在于自然界的天然放射性本底值。将排水中的放射性活度浓度值减去进水中的放射性活度浓度本底值，即可获得核电厂实际向环境排放的放射性活度浓度值。通过记录该数据和液态流出物排放量，可判断核电厂是否满足 GB 6249-2011 中有关液体放射性流出物年排放量限值的要求。在核电厂进水和排水中采集的液体样品将被送到环境实验室进行测量和分析。

7.2.3 排放控制

7.2.3.1 气载放射性流出物排放控制

气载放射性流出物的排放一直处于连续运行状态。放射性废物处理系统没有放射性废气贮存能力，因此不需要对释放时间和释放速率进行控制。

7.2.3.2 放射性液态流出物排放控制

放射性液态流出物经放射性废液系统处理后进入放射性废液监测箱，排放前对废液充分混合后进行取样分析，当废液放射性活度浓度和总量达到排放要求后，采用批量方式进行排放。放射性液态流出物排放速率被严格控制，放射性液态流出物的浓度也在可接受的范围内，从而阻止放射性的不可控排放。

此外，如果排放管线中放射性废液浓度达到报警阈值，排放管线上的辐射监测仪表可以采取多种方式停止废液排放。例如，关闭排放管线的隔离阀，也可以停止废液监测箱上的主泵等。

7.2.4 流出物实验室

流出物测量设备位于核岛放化实验室，主要功能用于对核电厂液态排出流和气态排出流样品的预处理、样品制备、γ 能谱分析、总 α/β 放射性测量和核素分析，以确定排放的液体和气体排出流的放射性水平，保证环境不受污染，并为编写核电厂放射性物质排放的年度评价报告提供数据。

主要配备下列主要仪器设备：

— 高纯锗 γ 谱仪；

— 碘化钠 γ 谱仪；

— α/β 测量仪；

— 液体闪烁计数器。

另外还有工作台、通风柜、干燥箱、电子天平、精密电加热板以及制备样品所需设备。

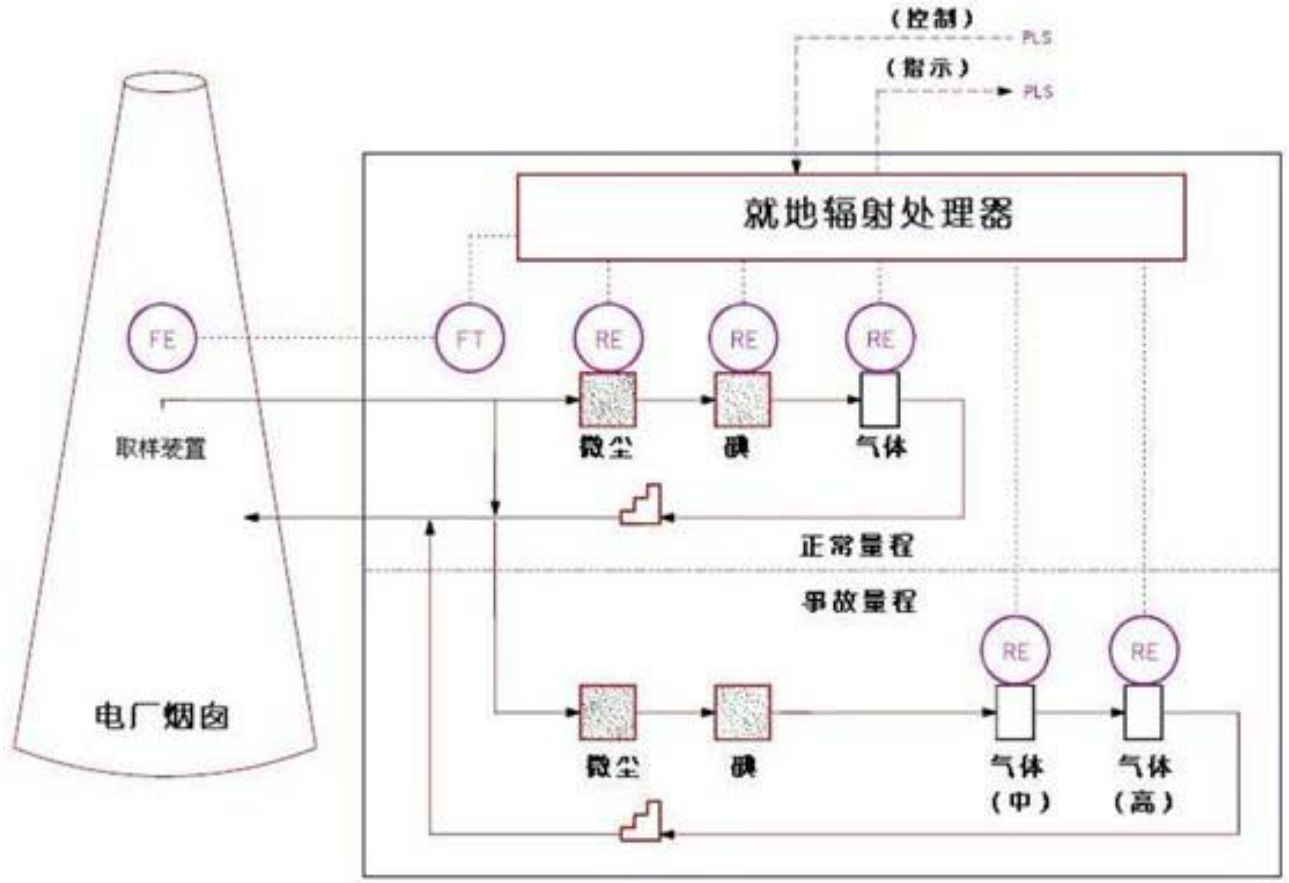


图 7.2-1　电厂烟囱辐射监测仪示意图

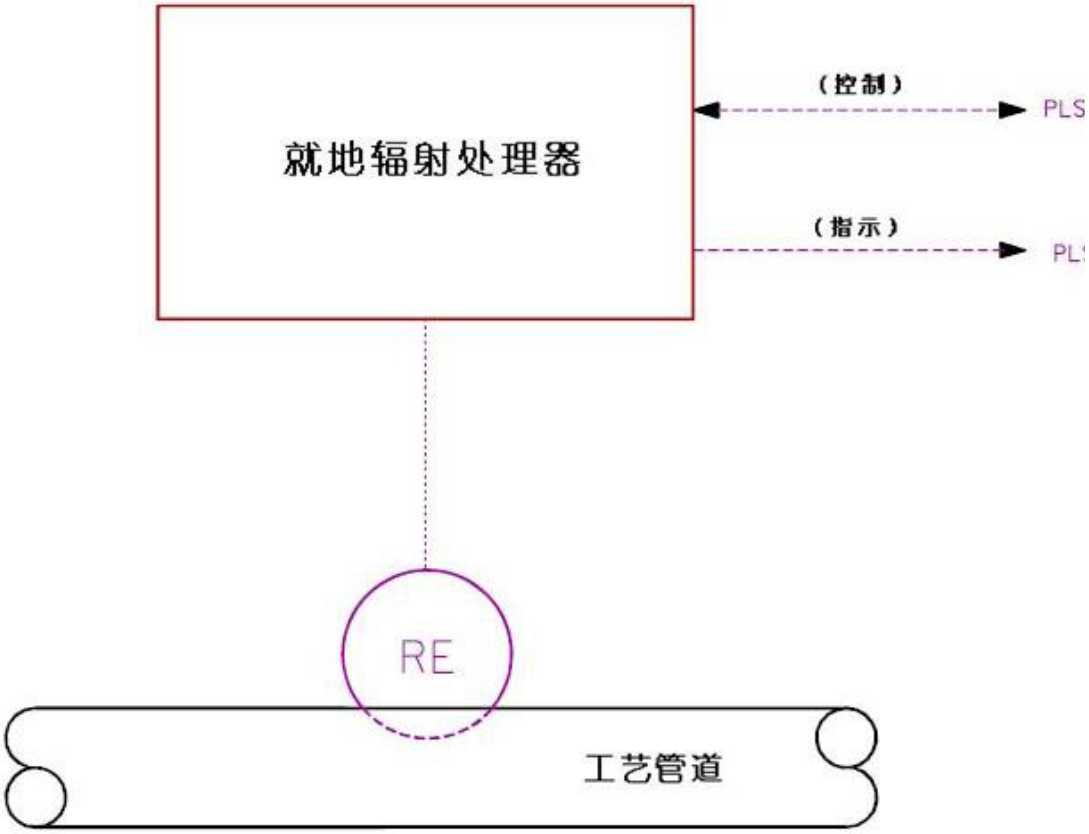


图 7.2-2　管内辐射监测仪示意图

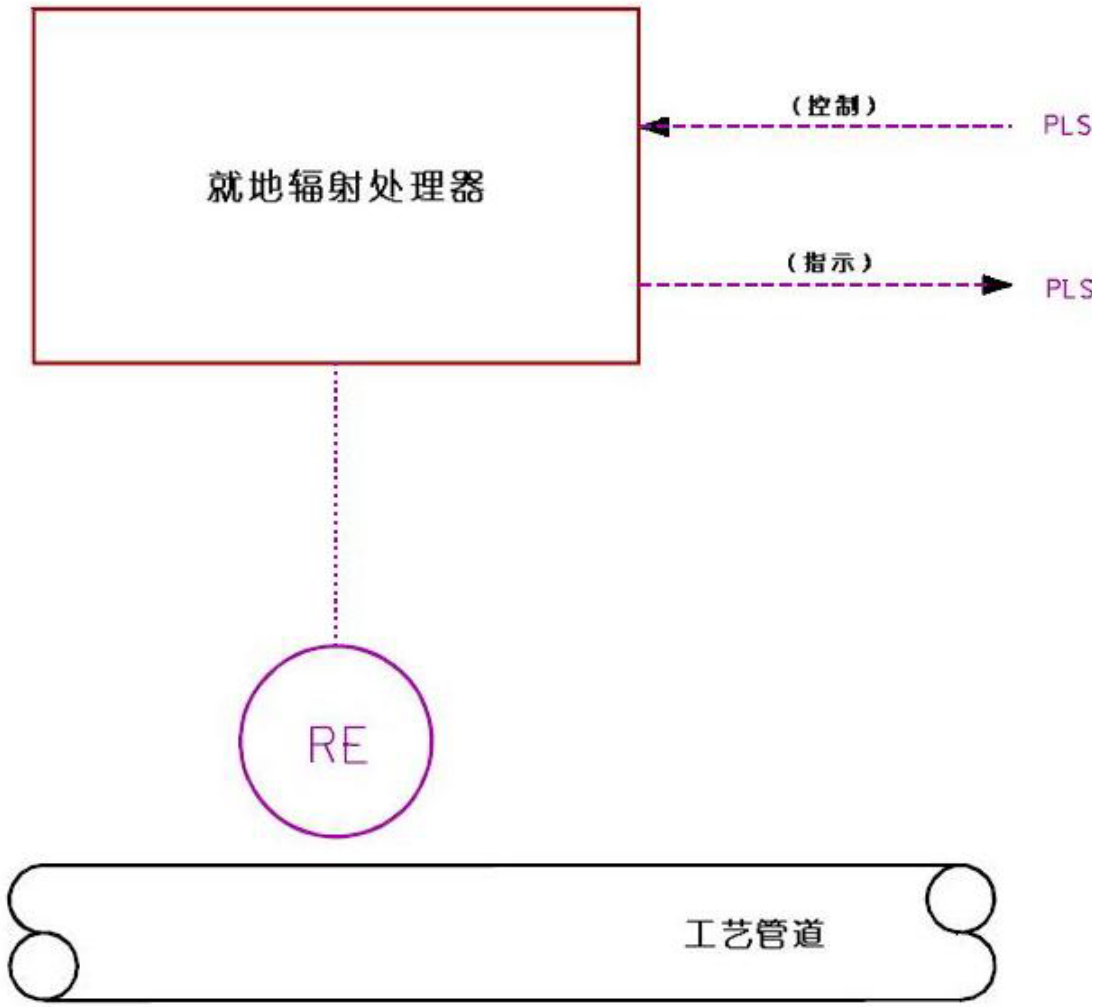


图 7.2-3　管旁辐射监测仪示意图

7.3 运行期间的辐射环境监测

7.3.1 概述

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定，在核动力厂首次装料前，营运单位必须制定环境监测大纲。运行期间的辐射环境监测包括常规辐射环境监测、应急辐射环境监测以及气象和环境监测系统的运行。电厂运行后的环境辐射监测由电厂专设的环境监测站负责。另外，电厂将积极配合和支持国家主管部门对电厂实施的监督性监测。

山东海阳核电厂1~4号机组运行期间将设立统一的环境辐射监测机构，建立统一的环境监测方案。

7.3.2 常规辐射环境监测

本项目运行期间环境监测范围、布点及监测项目与运行前的放射性本底监测范围和布点基本一致，并在运行前二年环境辐射水平本底调查和一、二号机组已开展的相关监测工作的基础上优化取样点

7.3.2.1 监测目的

运行期间的常规辐射环境调查的目的是：

1）获取电厂运行期间的辐射环境数据，确定环境辐射及环境介质放射性水平及其变化，作为评价核电厂运行后的环境放射性的污染程度的依据；

2）作为评价公众个人受照剂量的依据。

7.3.2.2 调查范围、布点原则

1）调查范围

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）、《环境核辐射监测规定》（GB12379-90）等标准的要求，环境 γ 辐射水平调查范围为厂址半径 20km 范围内区域，其余项目调查范围取半径 10km。海域调查重点关注核电厂废水排放口附近海域和水产养殖场。

2）布点原则

项目采样点要与运行前环境调查保持适当比例的同位点。

7.3.2.3 调查内容

环境监测关注的重点是对关键人群组影响较大的主要放射性核素和环境介质。常规环境辐射监测的环境介质、监测内容原则上与运行前环境监测相同。监

测方案参见7.1.2。

运行期间的辐射环境监测方案见表7.3-1。具体如下：

1）陆地 γ 辐射剂量率

监测项目如下：

- γ 辐射剂量率
- 环境贯穿辐射累积剂量（TLD）

（1）γ 辐射剂量率

山东海阳核电厂共设有 3 个厂区内环境 γ 辐射监测站和 6 个厂区外环境 γ 辐射监测站，监测方式为连续监测，环境 γ 辐射监测站位置见表 7.3-2。

山东海阳核电厂运行期间将对核电厂半径 50km 范围内进行 γ 辐射剂量率的监测，监测点位参见表 7.3-3，监测频率为 1 次/季。

（2）环境贯穿辐射累积剂量

山东海阳核电厂运行期间将对厂址半径 30km 范围内的 TLD 累积剂量进行监测，监测点位参见表 7.3-3，监测频率为 1 次/季。

2）陆地环境介质和海洋环境介质放射性核素监测

山东海阳核电厂运行期间将对陆地环境介质和海洋环境介质的放射性核素进行监测，采样点位与运行前辐射本底调查保持适当比例的同位点，具体监测方案参见表 7.3-1。

7.3.3 气象和环境监测系统

海阳核电厂的气象和环境监测系统（MES）包括气象观测系统和环境监测系统两个分系统。

7.3.3.1 气象观测系统

山东海阳核电厂的地面气象观测场和气象铁塔设在厂区的西南角，具体位置见图7.3-1。气象观测系统包括1个约100m的气象铁塔、1个地面气象观测场和一个气象观测站工作室。气象观测系统的测量项目包括：

- 气象铁塔上 10m、30m、80m 和 100m 四个高度处的风向、风速、温度；
- 地面气象观测站的气压、空气温度和湿度、降水、地表温度、天空总辐射和净辐射；

上述传感器的主要技术指标见表7.3-4。

气象观测站工作室内放置气象数据接收系统、气象梯度仪主机和自动气象站主机。气象数据接收系统包括一台气象专用计算机、相应的应用软件、打印机和专用网络接口。气象数据接收系统接受来自气象梯度仪主机和自动气象站主机的所有数据，并对这些数据进行储存、处理、显示、制表和打印。

7.3.3.2 环境监测系统

环境监测系统由环境γ监测系统、废液采样站、环境实验室和环境监测网等部分组成。

1）环境γ监测系统

环境γ监测系统由9个大气γ辐射监测站（厂区3个，厂外6个）、1辆环境监测车和1台环境γ监测计算机等组成。

海阳核电厂的9个大气γ辐射监测站的安装地点见表7.3-2、图7.3-2和图7.3-3。

在核电厂正常运行情况下，环境监测车主要用于对厂区及周围区域内的环境 γ 辐射水平进行巡测和对 MES 进行日常维护。在核电厂发生事故情况下，环境监测车用作快速应急监测。环境 γ 辐射水平实时测量数据及车载卫星全球定位系统的定位数据，通过车载通讯装置实时传送到环境 γ 监测计算机。

2）废液采样站

废液采样站包括本工程循环水泵房(3#机组和 4#机组共用) 附近的 2 台废液采样设备和本工程排水沟道护岸闸门井(3#机组和 4#机组共用) 附近的 4 台废液采样设备。

这些废液采样设备分别从水井内抽取具有代表性的水样，样品送环境实验室进行测量分析。废液采样设备的失电和故障信息可通过电气控制箱传送到环境 γ 监测计算机。

废液采样站主要设备包括废液采样设备和电气控制箱：

- 废液采样设备：

— 取样介质：核电站进水和排水；

— 取样频率：1 次/min；

— 取样压力：略大于常压；

— 单次取样量：10mL 左右；

— 工作方式：连续；

— 取样样品累计时间：　　24h；

— 供电电源：　　220VAC，50Hz；

— 防护等级：　　IP65；

— 潜水泵扬程：　　进水采样设备为 20m，排水采样设备为 15m。

● 电气控制箱

— 主要用于废液采样设备的供电和故障报警信号的转接。

— 供电电源：　　220VAC，50Hz；

— 防护等级：　　IP65；

— 将附近废液采样设备的故障信号，转接至环境γ监测计算机。

3）环境实验室

在距厂区约 9 公里的核电专家村设置一个环境监测站，环境实验室位于该监测站内。实验室共三层，其中一层为物理测量区，二层为办公和数据管理区，三层为样品处理和化学实验区。

环境实验室配置各种测量分析仪表，用于在核电厂正常运行期间对其周围环境介质中所含的放射性核素的种类、浓度进行监测，并对监测数据及时分析和评价，定期上报相关环境保护行政主管部门。

环境实验室还配备有环境监测车和采样车，用于核电厂正常运行期间作为移动式的环境辐射监测站，定期地对厂址周围 50km 范围内环境 γ 辐射巡检和采样等环境监测，对厂区及周围 20km 范围内的环境介质进行放射性核素测量以及对气象和环境监测系统(MES) 进行日常维护。。

在事故工况以及严重事故应急情况下，除环境监测和采样外，环境监测车可作为应急辐射监测使用，可快速前往事故发生时核电厂下风向监测该地区环境 γ 辐射水平，实时显示在电子地图上，并具有采集气溶胶、碘样品的功能。

根据国内运行核电厂的监测设备配置情况对环境实验室的主要设备提出如下建议：

(1)　高纯锗 γ 谱仪

配备 P 型同轴型高纯锗探测器和 N 型同轴型高纯锗探测器及配套的多道分析器、分析计算机及软件、冷却器、屏蔽容器、液氮罐、马林杯、样品容器和标定源等配件。用于环境样品的 γ 核素分析及总 γ 计数率测量，主要参数：

P 型同轴型高纯锗探测器：

— 测量能量范围：50keV~10MeV；

— 相对测量效率：60%；

— 能量分辨率：1.95KeV(在 1.33MeV 处)；

— 峰-康比：70：1(在 1.33MeV 处)；

N 型同轴型高纯锗探测器：

— 测量能量范围：5keV~3MeV；

— 相对测量效率：40%；

— 能量分辨率：1.95keV(在 1.33MeV 处)；

— 峰-康比：59：1(在 1.33MeV 处)。

多道脉冲幅度分析器和电子仪器：

— 道数：16384；

— 微分非线性：≤1.0%；

— 积分非线性：≤0.05%；

— 温度系数：增益<35ppm/℃、零点<3ppm/℃；

— 长期稳定性：峰漂≤1 道(24 小时) 。

(2) 低本底 α、β 测量仪

用于环境样品中的弱放射性活度测量，测量仪的技术性能满足 GB/T 5202 的要求，主要参数：

— 探测器类型：流气式正比计数器；

— 探测器通道数：8 个(在保证总通道数的情况下，仪器数量和单个设备的通道数可以根据实际设备情况进行调整) ；

— 探测器有效面积：~ 20cm^2；

— 仪器结构形式：落地式；

— 气路系统采用并联方式，各路之间完全独立；

— 本底计数：α：≤0.05cpm；

β：≤0.45cpm；

— 测量效率：α：≥42% (Am-241)；

β：≥55% (Sr-90/Y-90)。

还配套分析计算机及应用软件、校准源和样品盘等附件。

(3) 低本底液体闪烁计数器

用于测量环境介质中 H-3，C-14 等低能放射性样品的活度测量。测量仪表的性能满足 GB/T 10259 的要求。主要参数：

— 能量范围：0～2000keV。

— 本底计数：H-3≤1cpm；

C-14≤0.5cpm。

— 测量效率：H-3≥60%；

C-14≥95%。

还配套分析计算机及分析软件、校准源和闪烁液等附件。

(4) 热释光剂量测量系统

用于 TLD 测量，测量系统的技术性能满足 GB 10264 的要求。每套包括热释光剂量计、热释光剂量计读数器、退火炉和相应的校准装置。

(5) 高压电离室型 γ 剂量率仪

用于场外剂量率的瞬时测量，主要参数：

— 能量响应：50keV~3MeV，±30% (Cs-137)；

— 测量范围：3×10^{-8} Gy/h～0.1 Gy/h；

— 准确度：±10%；

— 响应时间：≤5s；

— 报警阈值：在测量范围内连续可调。

(6) 便携式 γ 剂量率仪

用于实时测量周围环境的 γ 剂量率，仪表的技术性能符合 EJ/T 984 的要求，主要参数：

— 被测射线类型：γ 射线；

— 测量范围：1×10^{-2}μGy/h~1×10^{4}μGy/h；

— 能量响应：60keV~2MeV；

— 显示单位：Hz 和 μGy/h；

— 电池容量：间断使用 40h(每天连续工作 8h，连续 5 天) ；

— 检查源：　　配置合适的检查用 γ 点源。

(7) 便携式表面 α/β 污染测量仪

用于对工作人员身体表面或物体表面的 α、β 放射性污染进行监测，测量仪的技术性能满足 GB/T 5202 的要求，主要参数：

— 被测射线类型：　　α/β；

— 探测效率：　　α＞30% (Pu-239)；

β＞40% (Sr-90/Y-90)；

— 探测窗面积：　　＞100cm^2；

— 电池容量：　　间断使用 40h(每天连续工作 8h，连续 5 天) ；

— 校准源：　　配置合适的 α/β 校准用面源。

(8) 环境监测车

用于对厂区及周围 50km 范围内的环境 γ 辐射水平进行巡测，对厂区及周围 20km 范围内的环境介质进行放射性核素测量以及对气象观测与环境监测系统 (MES) 进行日常维护。在核电厂发生事故情况下，环境监测车可用作快速应急监测。

车载配置：

— 车载 γ 辐射监测仪；

— 便携式多道 γ 谱仪；

— 便携式 γ 剂量率仪；

— 便携式表面 α/β 污染测量仪；

— 便携式气溶胶和碘取样装置；

— 便携式气象观测设备；

— 工作人员防护装备；

— 便携式数据采集计算机；

— 车载通讯装置；

— 车载卫星全球定位系统以及供电设备；

— 消防用品和应急医药箱等。

(9) 采样车

常规监测时环境采样时用。

(10) 原子吸收光谱仪

用于测量非放金属元素(需配置各种光源灯) ，光谱仪的技术性能满足 GB/T 21187、GB/T 15337 第 6 章和 JJG 694 的要求，主要参数：

— 波长范围： 190nm~900nm；

— 双光束系统、全自动 6 灯座，自动气体控制；

— 四线氘灯扣背景；

— 高能量、石英镀层带准直单色器的光学系统全温度补偿；

(11) 紫外可见分光光度计

用于对物质进行定量和定性分析，度计的技术性能应满足 JB/T 6777 的要求，主要参数：

— 波长范围： 190nm-900nm；

— 波长准确性： ±0.3nm；

— 波长重复性： 0.3nm；

— 计算机控制，带宽 1nm，全息母光栅。

(12) 其他辅助设备

其他常用的辅助设备包括：

— 纯水仪；

— 程控马弗炉；

— 程控烘箱；

— 电炉；

— 超声波清洗仪；

— 多参数水质监测仪；

— 电热板；

— 搅拌器；

— 电子天平；

— 水浴锅；

— 离心机；

— 球磨机；

— 四头行星球磨机；

— 氧弹燃烧样品处理装置；

— 冻干机；

— 移液器。

另外，还有通风柜和分析实验台等实验室家具。

以上设备的数量需根据分析介质的样品数量而确定。

4）环境监测网

环境监测网是一个局域网，由服务器、工作站、远距离显示和打印终端、交换机、网关、打印机及相应的操作系统和应用软件等组成。除了一台远距离显示和打印终端位于核电厂环境监测站内，环境监测网的其它设备均位于核电厂应急指挥中心的数据中心及后果评价室。

环境监测网实时接收核电厂正常运行期间和事故期间来自气象专用计算机的气象数据以及来自环境γ监测计算机的环境测量数据和报警信息等，并负责对这些数据进行集中管理、存储、显示、报警和传送。

环境监测网将通过通讯方式实时地将气象和环境监测数据传送到3号机组和4号机组的数据显示和处理系统以及运行和控制中心供电厂操纵员使用。

表 7.3-1　山东海阳核电厂 3、4 号机组工程运行期间环境辐射监测方案

监测对象			监测频次	监测点位	监测项目
陆地γ辐射	γ辐射连续监测		连续	详见表 7.3-2	γ辐射空气吸收剂量率
	瞬时γ辐射监测		1 次/季	详见表 7.3-3	
	环境贯穿辐射累积剂量		1 次/季	详见表 7.3-3	TLD
陆地介质	空气	空气	1 次/季度	AS1、BS1、BS2、BS5、BS6	^{131}I、^{14}C 、^{3}H
		气溶胶	1 次/季度		总 α、总 β、γ 谱
		沉降物	1 次/季度		总 β、^{90}Sr 、γ 谱
		雨水	1 次/季度		^{3}H、γ 谱
	地表水		1 次/半年	邵家庄、大辛家、南庄村、盘石水库	^{3}H、γ 谱
	地下水		1 次/半年	邵家庄、方里、凤城镇、现场三口井（P1、P2、P3）	^{3}H、γ 谱
			1 次/年		^{90}Sr
	饮用水		1 次/半年	邵家庄、大辛家、方里、凤城镇、海阳市区	总 α、总 β、^{3}H、γ 谱
	沉积物		1 次/年	邵家庄、大辛家、南庄村、盘石水库	^{90}Sr、γ 谱
	土壤		1 次/年	邵家庄、张家庄、外岛村、大辛家、南庄村、窑头村、寨前村、前山村、方里村、留格庄镇、凤城镇、海阳市区	^{90}Sr、γ 谱
	农作物	大白菜	1 次/年	邵家庄、南庄村、海阳市区	γ 谱
		小麦	1 次/年	外岛村、窑头村、留格庄镇	γ 谱
		花生	1 次/年	邵家庄、前山村、凤城镇	γ 谱
		玉米	1 次/年	张家庄、方里村、寨前村	γ 谱
		干草	1 次/年	海阳市区	γ 谱
	动物及产品	猪肉	1 次/年	大辛家、留格庄镇、方里村	γ 谱
		牛奶	1 次/年	海阳市区	^{131}I

海洋介质	海水	1 次/年	核电取水口、排放口 1、排放口 2、琵琶岛、小滩、邵家庄、寨前、凤城港	^{90}Sr
		1 次/半年		^{3}H、γ 谱
	海底泥	1 次/年	排放口 1、排放口 2、琵琶岛、小滩、邵家庄、寨前、凤城港	^{90}Sr、γ 谱
	鲅鱼	1 次/年	邵家庄水域、大辛家港、凤城港	γ 谱
	蛤蜊	1 次/年	邵家庄水域、大辛家港、凤城港	γ 谱
	爬虾	1 次/年	邵家庄水域、大辛家港、凤城港	γ 谱
	乌贼	1 次/年	邵家庄水域、大辛家港、凤城港	γ 谱
	潮间带土	1 次/年	邵家庄、小滩村、凤城港	^{90}Sr、γ 谱
指示生物	松针	1 次/年	邵家庄、凤城镇	^{90}Sr、γ 谱
	牡蛎	1 次/年	邵家庄、大辛家、凤城镇	^{90}Sr、γ 谱

注：γ 谱包括 ^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{131}I、^{134}Cs、^{137}Cs；对空气类介质增加 ^{7}Be；对土壤、沉积物类介质增加 ^{40}K、^{226}Ra、^{232}Th、^{238}U；对海洋介质增加 ^{110m}Ag、^{106}Ru。

表7.3-2　海阳核电厂大气γ辐射监测站分布表

序号	编号	地点	相对于一号反应堆位置
1	AS1	气象站	S 0.5km
2	AS2	电厂取水口附近	E 1.3km
3	AS3	电厂自备码头附近	ENE 1.8km
4	BS1	邵家庄	NNW 0.83km
5	BS2	前山村	NE 7.4km
6	BS3	小滩	N 5km
7	BS4	核电生活区	NNW 5km
8	BS5	核电专家村	W 8km
9	BS6	海阳市区	WNW 22km

表7.3-3　γ辐射剂量率参考点位

编号	点位	方位	距离（km）
1	萧石口	E	22.4
2	赵家	ENE	17.7
3	南黄镇	ENE	47.1
4	宫家	ENE	33.5
5	前山	NE	7.2
6	桃源村	NE	10
7	旗杆石村	NE	14.4
8	东沟村	NE	7.7
9	琵琶岛	NE	10.8
10	乳山市	NE	27
11	大孤镇	NE	30.8
12	下初镇	NE	41.1
13	梁家村	NNE	7.4
14	方里村	NNE	8.3
15	人石村	NNE	13.7
16	横山后村	NNE	12
17	乳山寨镇	NNE	20.8
18	小疃	NNE	33
19	午极镇	NNE	41
20	大埠圈冷库	N	2.2
21	小滩村	N	4.7
22	前望海村	N	8.4
23	杜家村	N	9.8
24	江家村	N	11.6
25	南司马庄	N	21
26	磨山钟家	N	44.5
27	诸往镇	N	29.7
28	邵家庄村	NNW	0.9
29	张家庄	NNW	1.3
30	大辛家村	NNW	3.8
31	窑头	NNW	6.2
32	冷家庄村	NNW	7.8
33	留格庄镇	NNW	9.4
34	姜格庄村	NNW	11.5
35	院下村	NNW	13.8
36	东尚山	NNW	30.2
37	西古现	NNW	48.7
38	NW 向的 2km 处	NW	2.2
39	NW 向的 3km 处	NW	3.3
40	NC 区	NW	5.1

41	道台府	NW	5.7
42	河崖村	NW	13.9
43	塔儿庄村	NW	14.3
44	六甲村	NW	7.1
45	朱吴镇	NW	32.4
46	盘石水库	NW	20.8
47	河北	NW	35.3
48	留格林场	WNW	4.2
49	寨前	WNW	6.8
50	八里孙家村	WNW	9.1
51	西洼村	WNW	8.7
52	东迟格庄村	WNW	11.9
53	海阳市区	WNW	21.1
54	泉水头	WNW	42.2
55	西大滩村	W	17.5
56	凤城镇	W	12.2
57	刘家庄村	W	8.8
58	二十里店镇	W	26
59	石人夼	W	44.3
60	朝里	WSW	26.1
61	海头	WSW	38
62	气象站	S	场内

表 7.3-4　气象观测系统气象传感器参数

序号	仪表位号	测量参数	主要技术要求	备注
1	HYG-MES-JE-XE001	温度	-30℃～+50℃	气象铁塔 100m 高度
2	HYG-MES-JE-XE002	风速风向	风速：0 m/s～60m/s 风向：0°～360°	气象铁塔 100m 高度
3	HYG-MES-JE-XE003	温度	-30℃～+50℃	气象铁塔 80m 高度
4	HYG-MES-JE-XE004	风速风向	风速：0 m/s～60m/s 风向：0°～360°	气象铁塔 80m 高度
5	HYG-MES-JE-XE005	温度	-30℃～+50℃	气象铁塔 30m 高度
6	HYG-MES-JE-XE006	风速风向	风速：0 m/s～60m/s 风向：0°～360°	气象铁塔 30m 高度
7	HYG-MES-JE-XE007	温度	-30℃～+50℃	气象铁塔 10m 高度
8	HYG-MES-JE-XE008	风速风向	风速：0 m/s～60m/s 风向：0°～360°	厂区 10m 气象桅杆
9	HYG-MES-JE-XE009	气压	500 hPa ~ 1100 hPa	自动气象站主机内
10	HYG-MES-JE-XE010	温湿度	-30℃～+50℃ 湿度：0~100%	地面气象观测场 1.5m
11	HYG-MES-JE-XE011	雨量	0~4 mm/min	地面气象观测场 0.7m
12	HYG-MES-JE-XE012	总辐射	0~2 kW/m^2	地面气象观测场 1.5m
13	HYG-MES-JE-XE013	净辐射	-0.2~1.4 kW/m^2	地面气象观测场 1.5m
14	HYG-MES-JE-XE014	地表温度	-50℃～+80℃	地面气象观测场 0m

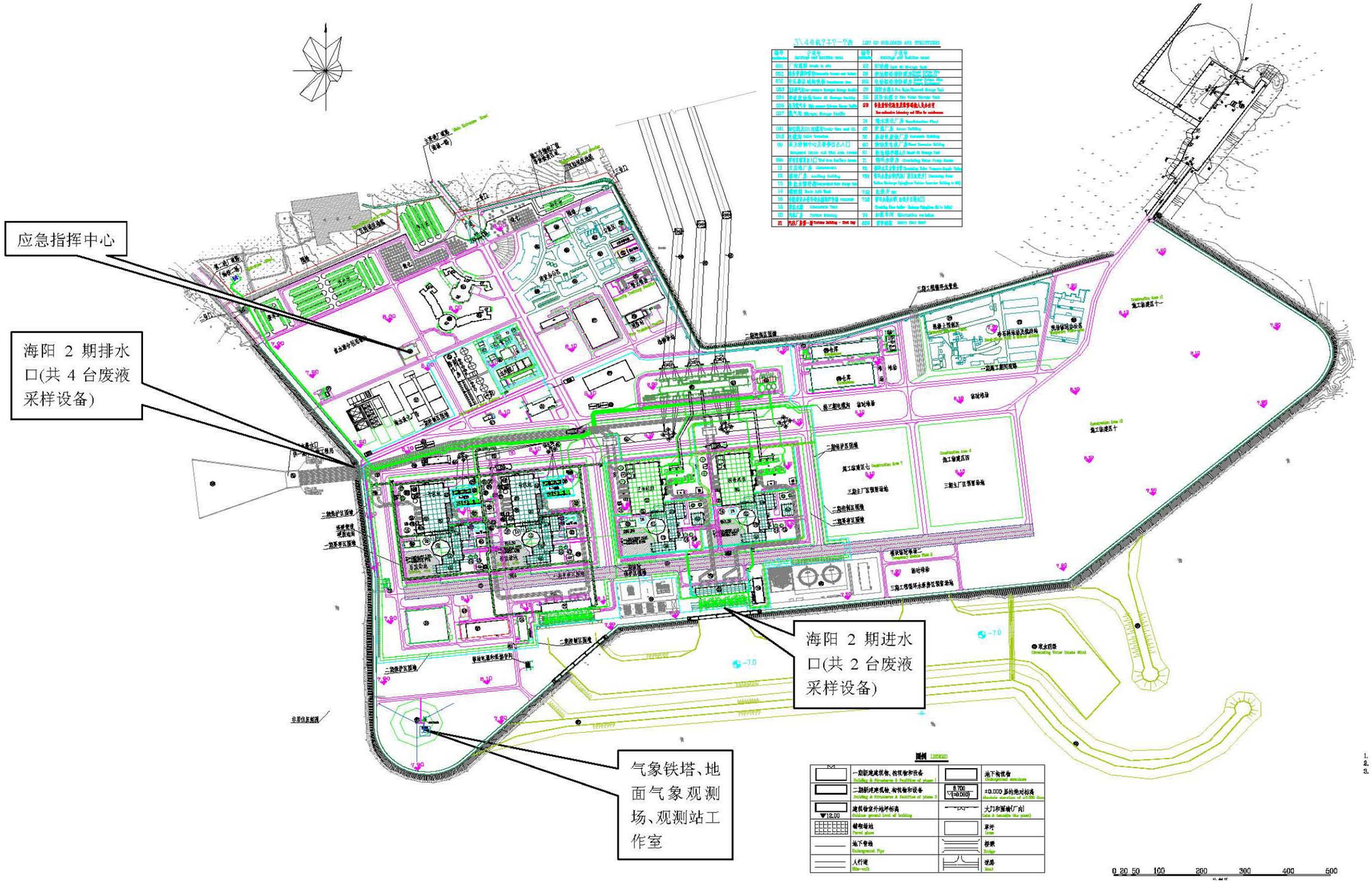


图 7.3-1　海阳核电厂气象和环境监测系统相关子项平面布置图

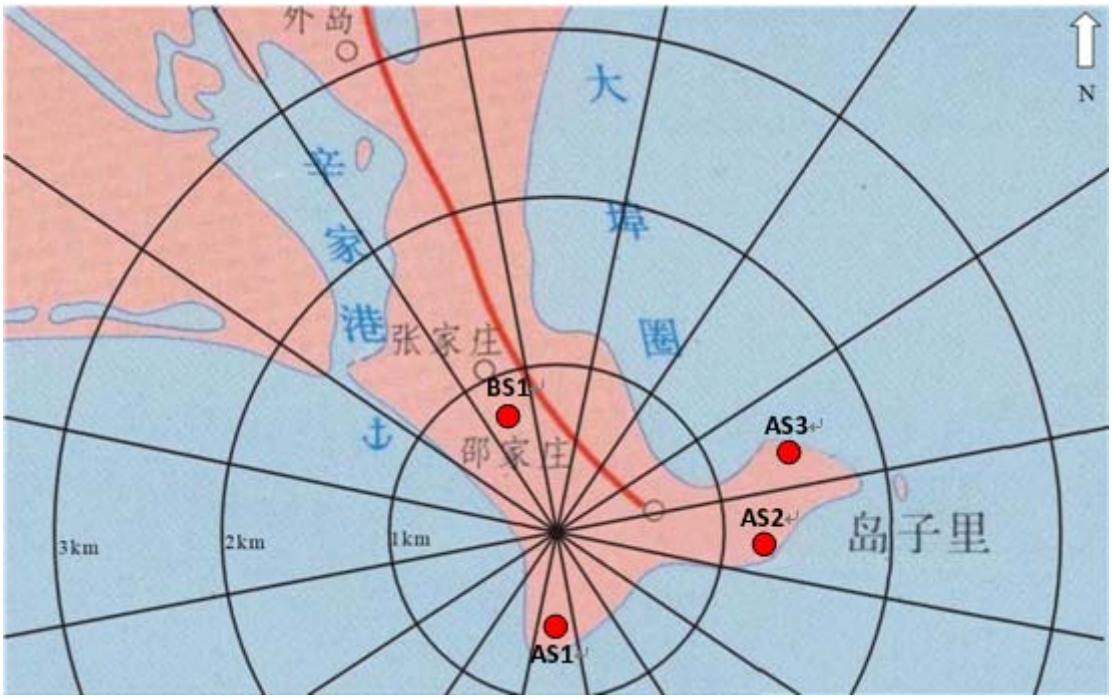


图 7.3-2 厂区内大气 γ 辐射监测站分布示意图

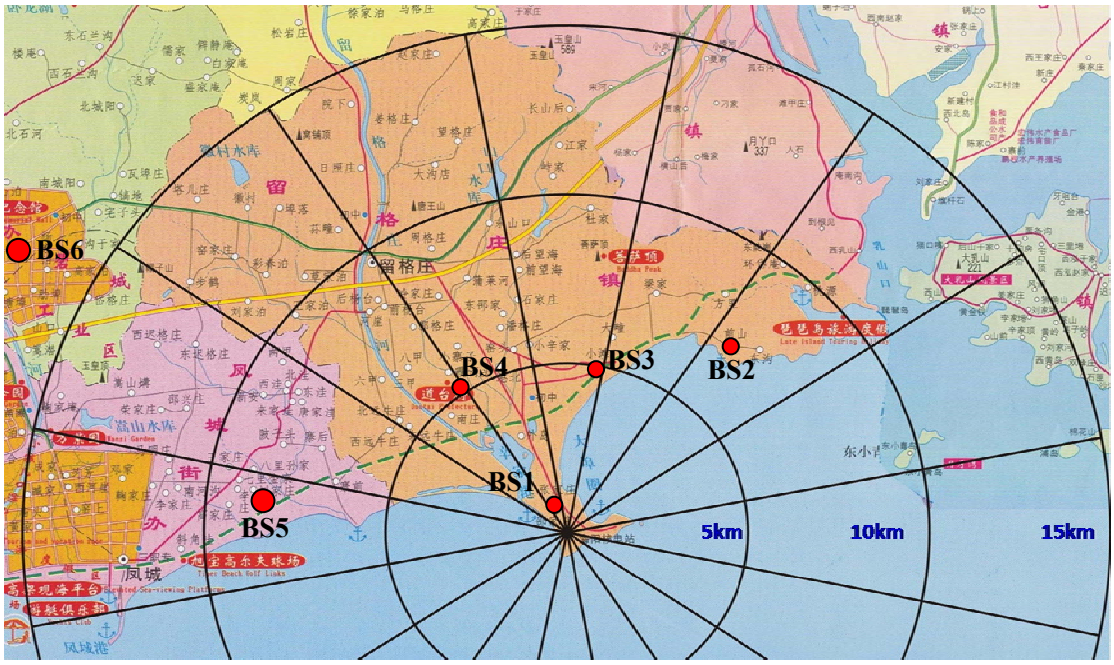


图 7.3-3 厂区外大气 γ 辐射监测站分布示意图

7.4 应急辐射环境监测

山东海阳核电厂制定了《海阳核电厂场内应急计划》。在事故期间，电厂将依据应急计划开展应急环境辐射监测，根据监测数据对事故后果及影响范围及时分析和评价，并及时上报相关环境保护行政主管部门。

海阳核电厂主要负责事故早期电厂应急监测任务。

7.4.1 监测目的

早期电厂应急监测的目的是：

1）对放射性物质事故释放的大小、核素组成进行监测，为评价事故的性质和源项提供数据；

2）对环境γ剂量率和空气的污染水平进行监测，确定污染区域和水平，为采取防护措施提供依据。

7.4.2 监测范围

应急环境辐射监测包括场区环境辐射监测和场区外的环境辐射监测。海阳核电厂场外应急环境监测的重点是厂址周围5公里左右的范围，必要时可扩大到10公里，并事先规划好巡测路线。应急时的实际巡测路线，将根据具体情况来选定。

7.4.3 监测内容

7.4.3.1 场区监测

场区监测的范围是山东海阳核电厂现场第一道围墙以内的区域。主要监测内容为：

1）近地表上部 γ 剂量率：

- 固定监测站连续测量；
- 便携式仪表瞬时测量；
- 抛投式监测站连续测量（视可能和需要）；

2）地表α、β污染水平（γ 剂量率异常时测量）。

7.4.3.2 外环境监测

在事故早期，山东海阳核电厂应急组织进行外环境应急辐射监测的范围重点是厂址周围半径5km之内的地域。出于与场外应急组织的监测结果进行对照、或为了追踪烟羽、或为了支援场外监测的需要，可视情况适当扩大监测范围，但监测半径一般不超过10km。

主要监测内容为：

1）近地表上部γ剂量率：

- 固定监测站连续测量；
- 便携式仪表瞬时测量；
- 抛投式监测站连续测量（视可能和需要）。

2）地表α、β污染水平（γ 剂量率异常时测量）。

3）空气中放射性污染浓度（主要测放射性气溶胶和碘，重点关注核素有 ^{131}I、^{137}Cs 等）。

4）热释光剂量计（TLD）测量累积剂量。

5）车载移动γ谱仪分析测量核素组成（视可能和需要）。

6）海水中放射性污染物浓度（视可能和需要，重点关注核素有^{90}Sr、^{137}Cs）。

7.4.4 监测设施和设备

海阳核电厂正常运行情况下用于环境监测的设施与设备全部可用于应急环境辐射监测。环境监测系统总体结构如图7.4-1所示，气象观测数据、γ监测数据（监测站和监测车）、取样设备供电故障信号以及废液取样站设备的供电故障信号通过γ监测计算机和气象数据采集计算机传输至环境监测网，并分别将信号送至应急指挥中心、主控室。

1）固定环境γ辐射监测站

固定环境γ辐射监测站包括厂区内三个，厂区外六个，共计九个，其安装地点见表7.3-2、图7.3-2和图7.3-3。

2）环境监测楼

为考虑事故时环境实验室的有效性，环境实验室将建在专家村，距离核岛约8~9km，位于烟羽应急计划区之外。这将减小异常释放对环境实验室的影响，也将减少工作人员接受辐射的风险，能有效进行环境放射性监测工作。环境实验室还为主要的测量仪器（如γ谱仪）配备有UPS电源，在失电情况下可为其提供应急电源。

环境监测楼主要功能是要完成正常运行情况下的环境介质样品的采样、制样和测量分析，以及在应急情况下利用监测楼的部分便携式仪表和车载监测设备实施应急监测。环境监测楼同时也是环境监测数据和信息集中处理、管理和汇总的

地方。环境监测楼计算机局域网络设在该楼的数据管理中心，可汇集有关环境监测的所有有关数据信息。

环境实验室仪器设备由辐射测量仪器及化学测量和分析仪器组成。辐射测量仪器设备主要有：高纯锗γ谱仪3套（N型2套，P型1套）；热释光剂量测量系统1套；低本底α/β测量仪3套；低本底液体闪烁计数器2套；高压电离室型γ剂量率仪1台；便携式γ剂量率仪5台；便携式表面α/β污染测量仪5台等。化学测量和分析仪器主要有：原子吸收光谱仪1台；紫外可见分光光度计1台；便携式溶解氧测量仪2台；pH/电导率仪2台；便携式余氯测定仪1台等。另外，该实验室还配有相应的取样、制样和其他分析仪器设备。

为避免应急样品传递及分析测量过程中发生交叉污染现象，将在环境监测楼内指定应急样品传递专用通道，并标明应急专用样品分析测量仪器。

3）环境监测车和环境介质采样车

海阳核电厂装备有一辆环境监测车和两辆环境介质采样车。前者由大功率高顶中巴改造而成，在正常运行情况下主要用于厂区及周围环境γ辐射水平巡测、地表污染水平及核素组成的就地快速测量。在应急情况下，用于快速应急监测任务。监测车装配有车载通讯装置，用于环境监测车与环境γ监测计算机之间的数据通讯。

环境介质采样车有两辆：一辆是大体积介质采样车，主要进行液体介质以及大体积固体鲜样样品的采集和运输；另一辆是小体积介质采样车，主要进行小体积鲜样样品的采集和运输，也可进行热释光元件（TLD）的布设及回收。应急情况下，采样车也可以配置便携式仪表和其它设备参与统一的应急行动。

环境监测车及两辆环境介质采样车上的主要装备配置见表7.4-1。车上备有的应急程序中包含有巡测线路图和常规环境监测方案中的测点标志图。而应急监测中临时选定的其它测点，则可由车上的GPS系统定位。

4）场内巡测仪表和物资

场内巡测仪表和物资见表7.4-2。

7.4.5 应急巡测路线及巡测要求

应急环境辐射监测在正常运行情况下的环境监测方案的基础上进行。场内应急巡测主要关注各安保出入口、各应急设施和应急集合点的剂量水平，并根据风

向优先选定巡测点。对于场外应急环境监测应重点补充安排针对烟羽照射的监测以及地表沉积放射性污染物照射的监测。为此，考虑了以下可供选用的 4 条陆上应急巡测路线（参见图 7.4-2）：

1#巡测线：核电一路→留格庄；

2#巡测线：核电一路→海防路→东凤路口；

3#巡测线：核电一路→桃源村；

4#巡测线：核电二路→东凤路口。

应急时的实际巡测路线，将根据具体情况来选定。巡测时主要监测 γ 剂量率水平和地表污染水平，并同时采集空气样品供实验室分析测量。

对于在正常运行环境监测方案中所布置的热释光剂量计（TLD）测点，在应急情况下将优先及时取回 10km 范围内的 TLD 进行测量，在取回 TLD 的同时在同一测点位置布放新的 TLD。

巡测期间，巡测人员应按照各自应急响应行动单和助理的指示采取相应的防护行动，并注意避免交叉污染和合理可行尽量的减少个人剂量。

7.4.6 应急环境辐射监测的组织与实施

在海阳核电厂宣布进入厂房应急以上应急状态以后，启动实施场区及场区外环境辐射监测。

在辐射防护组长领导下，场区监测队伍由辐射防护组的辐射防护助理、场区巡测小分队组成；外环境监测队伍由辐射防护组的环境监测助理、环境监测楼人员以及环境巡测小分队三方面组成。

对于场区环境监测，由场区巡测小分队负责按照辐射防护组组长的指令对场区巡测点近地表上部 γ 剂量率进行监测，并将监测数据报告给辐射防护助理。场区巡测以应急集合点和应急设施、各出入口为重点，以为可居留性提供依据；另外，还对场内污染区域进行监测，以对其进行评价、划分、标记和控制。辐射防护助理根据具体情况，决定需要巡测的地点。辐射防护助理负责对所有场区监测信息的分析汇总，并就场区的辐射水平、设施可居留性、污染区控制及是否采取场内防护行动建议等方面向组长建议和汇报。

对于外环境监测，所有监测岗位按指令开展工作，其中环境监测楼除了负责所有环境介质和 TLD 等样品的分析监测以及监视和分析十个固定 γ 监测站传回

的信息以外，还要为派遣出去的巡测小分队提供技术支援和咨询。巡测小分队则主要负责对γ辐射水平、地表污染水平的巡测以及海上或陆地样品的采集、TLD回取。辐射防护组的环境监测助理负责对所有外环境监测信息（包括自动连续监测系统、现场巡测、实验室分析等）的分析汇总，以及根据应急程序《操作干预水平的使用和修订》、《应急防护行动》和已取得的监测数据向辐射防护组组长提出场外防护行动建议，如有必要还需对操作干预水平进行修正。

应急指挥部将根据事故情况的进展，及时调整对应急监测工作的指令。

7.4.7 丧失应急监测能力情况下的应急监测

在严重事故情况下，电厂可能丧失部分或全部应急监测能力，此时需要采取以下措施。

1）启用烟台培训基地的应急监测物资

烟台培训基地距海阳核电厂直线距离约100km，其中储备有多台便携式监测仪表、一套抛投式自动监测系统（含五个监测终端）及其他相关物资。

上述物资一般在电厂丧失部分应急监测手段时投入使用，以确保电厂严重事故下的监测能力。

2）其他核电厂的应急监测支援

海阳核电厂与周围其他核电厂签订了应急支援协议，协议内容包括人员支持、监测车辆支持、监测设备和物资支持和样品分析支持，并可根据海阳核电厂的支援请求提供相应支援，以保证海阳核电厂能够完成相应的应急监测任务。

3）应急环境监测支援

若电厂环境监测系统丧失部分或全部功能，应急指挥部还将按照《核电厂核事故应急管理条例》、《国家核应急预案》等向地方或国家请求应急环境监测支援（如提供便携式监测仪表、巡测车辆支持、航测支持、海上巡测支持、应急通讯支持、共享应急巡测数据等），核电厂应急环境监测人员将积极配合监测。

表 7.4-1　环境监测车及环境介质采样车上的主要配备

	主要配备
环境监测车	车载 γ 辐射监测仪
	便携式 γ 谱仪
	便携式 γ 剂量率仪
	便携式表面 α/β 污染测量仪
	便携式气溶胶和碘取样装置
	便携式气象观测设备（便携式风速风向仪）、气象数据处理显示单元
	便携式数据采集计算机： ➢ 可与便携式多道 γ 谱仪进行连接，内置谱分析软件，可作谱分析用； ➢ 与车载 γ 辐射监测仪和 GPS 进行连接，实时显示环境监测车的地理位置和车载 γ 辐射监测仪的实时值、历史值、报警信息和工作参数等。
	车载通讯装置：主要用于环境监测车与环境 γ 监测计算机之间的数据
	车载卫星全球定位系统（GPS）
	供电设备：车载蓄电池（直流电源，计算机和仪表用）、车载变频发动机（取样器用）。
	工作人员防护装备：包括辐射防护服、防护工作鞋、防护眼镜、雨衣、电子个人剂量计、TLD、防护手套和防护口罩等。
	应急医药箱（医药箱及野外急救药品）
	消防用品（车载灭火器等）
	其他物资：应急程序、地图、记录用的表格、笔、手电筒等。
环境介质取样车	便携式液体取样装置，底泥采集器，土壤样品及其它环境采集用具；通信工具；应急程序、地图、记录用的表格和笔等；车载灭火器；医药箱及野外急救药品等常用物品等。

表7.4-2　场内巡测仪表和物资清单表

序	仪表和物资
1.	便携式 γ 剂量率仪
2.	便携式表面 α/β 污染测量仪
3.	工作人员防护装备：包括辐射防护服、防护工作鞋、防护眼镜、雨衣、电子个人剂量计、TLD、防护手套和防护口罩等。
4.	其他物资：记录用的表格、笔、手电筒、无线通讯设备等。

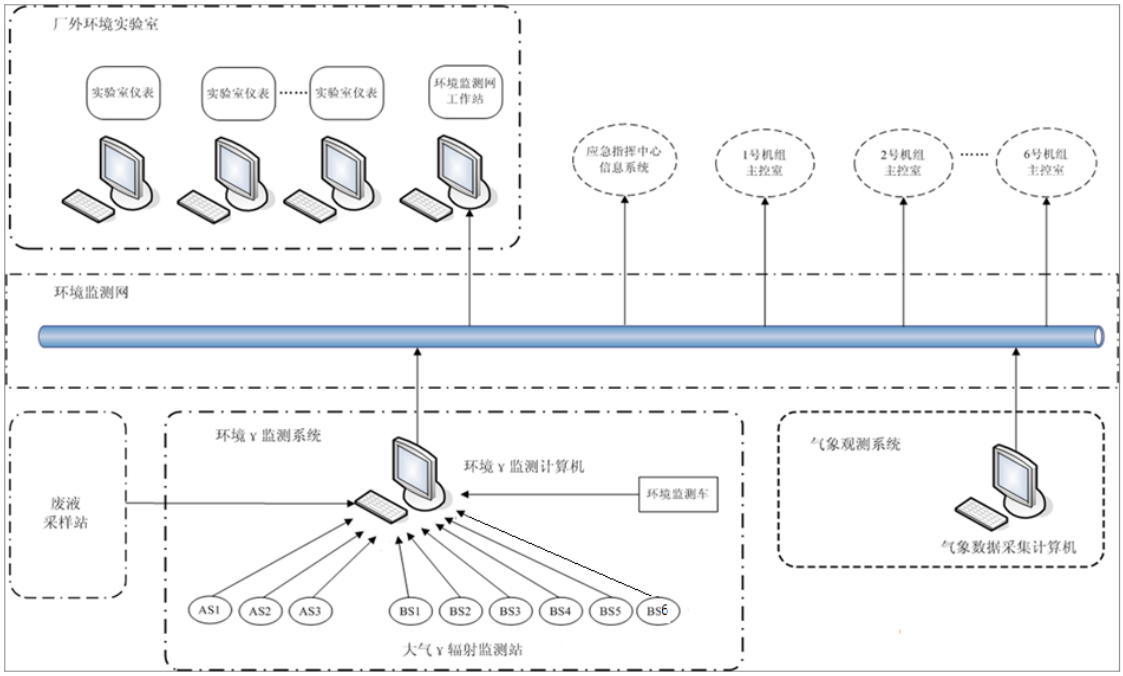


图 7.4-1　环境监测系统总体结构



图 7.4-2　陆上应急巡测路线图

7.5 运行期间的非放射性流出物监测

7.5.1 监测目的

1）反映海阳核电厂运行期间的非放射性流出物的排放情况；

2）判断海阳核电厂运行期间除放射性废物处理设施外的其它处理设施（如生产废水系统（WWS）等）是否正常运行。

7.5.2 气载非放污染物排放监测

核电厂食堂采用的锅炉为电锅炉。

核电厂无常规气态污染物排放，故不开展气载流出物监测。

7.5.3 液态非放污染物排放监测

主要对海阳核电厂排放的非放射性液态流出物开展常规监测。非放射性液态流出物监测包括排水口温度、水质理化参数、核电厂可能排放的化学物质的取样测量分析和生活污水排放前取样监测等。

7.5.3.1 循环冷却水排放监测

监测点位为电厂循环水取、排水口。

监测项目包括：

1）硼、油类、铁、硫酸盐、锂、镍、钠、阴离子洗涤剂，监测频度为1次/月；

2）溶解氧、余氯、电导率、pH值、正磷酸盐、联氨、氨氮，监测频度为1次/周。

监测点位布点见图7.5-1。

7.5.3.2 生产废水排放监测

生产废水排放口与电厂循环水排水口相同。

由于海阳核电厂在生产废水处理设施排出口处已设置了非放废水监测装置，定时在线进行监测，因此在生产废水排放口处不另设监测项目。

7.5.3.3 生活污水排放监测

海阳核电厂共有4套生活污水处理设施，分别位于仓库区、厂前区东面、厂前区西面和一期厂房西侧。电厂对收集的雨水和生活污水采取雨污分流的排放方式。

在生活污水处理设施进水口和生活污水排出口分别设置为生活污水监测点。

生活污水排出口监测点位布点见图7.5-1。

监测项目包括悬浮物、COD、BOD_5、动植物油、排水量。

监测频度为：除动植物油的监测频度为1次/季度外，其余监测项目为1次/月。

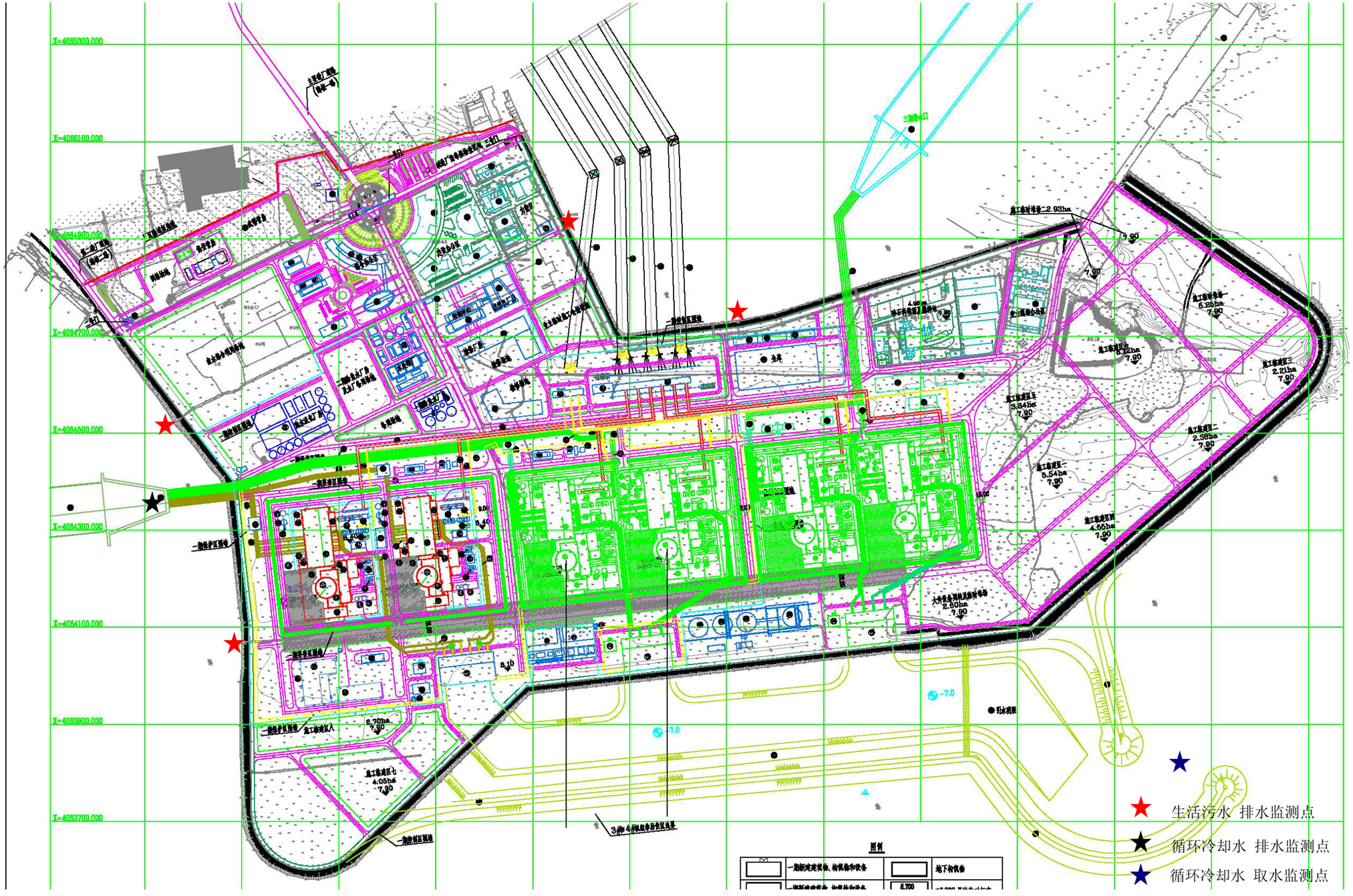


图 7.5-1　核电站非放监测布点图

7.6 质量保证计划

在核电厂正常运行情况下，需要对流出物和环境进行监测，以保障公众的安全，增加公众对核电的信心，确保核电厂的运行对环境不会造成不可接受的影响。因此流出物和环境监测质量保证是至关重要的，其目的是通过有计划的系统行动，对监测过程进行全面控制（如监测过程的组织管理，参与人员的素质要求与岗位培训，仪器设备的管理与维护，样品采集布点与频度的设计，分析过程的质量控制，监测数据的记录、复核与审核等），使测量结果具有适当置信度，保证测量结果的可信性、有效性和可比性。

流出物和环境监测的质量保证计划依据下列法规：

- 《环境核辐射监测规定》（GB 12379-1990）
- 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB 11216-1989）
- 《电离辐射监测质量保证一般规定》（GB 8999-1988）
- 《核设施水质监测采样规定》（HJ/T 21-1998）
- 《气载放射性物质取样一般规定》（HJ/T 22-1998）
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）
- 《水质采样 样品的保存和管理技术规定》（HJ 493-2009）
- 《水质 采样技术指导》（HJ 494-2009）
- 《水质 采样方案设计技术规定》（HJ 495-2009）

7.6.1 质量控制

1）样品采集、运输和贮存的质量控制

样品采集、运输和贮存的质量控制的目的是保证采集具有代表性并保持放射性核素在分析前的原始浓度。为此应该准确地测量样品的质量、体积和流量，其误差一般控制在±10%以内。为了确定采样的不确定度，应该定期采集平行的瞬时样品。各类常规样品应妥善保存，直至得出最终分析结论。

2）分析测量中的质量控制

样品的预处理和分析测量方法应采用标准方法或经过鉴定和验证过的方法。操作人员应严格按操作程序操作，防止样品间的交叉污染。为了确定分析测量过程中产生的不确定度，应该分析测量质量控制样品。为了发现和确定环境实验室

分析测量系统的不确定性，必须参加本地区和国家组织的实验室之间的分析比对，对存在的系统误差查明原因，并采取校正措施。分析测量装置的性能应定期送往国家计量站进行检定、校准和检验。

3）数据处理

每个样品从采集、预处理到分析测量、结果计算全过程中的每一步都应有清楚、详细和准确的记录。数据处理应采用标准方法，减少处理过程中产生的误差。对于偏离正常值的异常结果应及时向技术负责人报告，并在自己的职责范围内进行核查。监测数据的正式上报或使用，必须经有关技术负责人签发。

7.6.2 质量管理

1）组织机构

建立合适的辐射监测机构并实施管理是流出物和环境监测质量保证的重要因素。对管理和实施质量计划的人员设置及其职责、权力应有明确规定。

2）人员的资格和培训

辐射监测结果的准确性与操作人员的技术水平和经验有关，因此各类操作人员应有严格的资格要求，上岗前必须进行专业培训，取得有关技术操作资格后方可上岗。为保持和适应新技术发展的要求，对各类技术人员应进行反复的技术培训、考核和技能审评。

第八章 公众参与

8.1 概述

国家鼓励公众参与环境影响评价活动，并将公众参与作为提高公众环境保护意识和参与决策主动性的重要手段之一。《中华人民共和国环境影响评价法》第二十一条明确规定，建设项目批准立项前要举行论证会、听证会，或者采取其他形式，征求有关单位、专家和公众意见。为了全面落实法规要求，完善公众参与机制，原国家环保总局于2006年3月颁布的《环境影响评价公众参与暂行办法》对公众参与的方式提出了具体的规定，以提高公众参与的公开性、平等性、广泛性和便利性。

山东海阳核电厂厂址规划建设六台 AP1000 型压水堆核电机组，并留有扩建的可能性。建设将采用一次规划、分期建设的方式。

《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书（选址阶段）》于 2009 年 5 月开展了公众参与工作；在福岛事故后于 2013 年 2 月重新开展了公众参与工作。

2013 年 7 月-8 月，山东核电有限公司针对《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书（建造阶段）》开展了公众参与工作。

8.2 实施过程

8.2.1 1 号信息公告

“山东海阳核电厂3、4号机组环境影响评价工作（建造阶段）信息公告（第一号）”于2013年7月25日在烟台市政府网站（http://www.yantai.gov.cn/）以及山东核电有限公司网站（http://www.sdnpc.com/）进行了公示，同时刊登在7月25日的烟台日报上，参见图8.2-1。公示的主要内容包括建设项目的名称、规模及概要，建设单位名称和联系方式，承担评价工作的环境影响评价机构的名称和联系方式，环境影响评价的工作程序和主要工作内容，征求公众意见的主要事项，公众提出意见的主要方式。

8.2.2 2 号信息公告

“山东海阳核电厂3、4号机组环境影响评价二号信息公告” 于2013年8月12日在烟台市政府网站、山东核电有限公司网站和烟台日报上进行了公示，参见图8.2-2。公示的主要内容包括山东海阳核电厂3、4号机组的工程简况、建设项目对环境可能造成的影响，预防或者减轻潜在不良环境影响所采取的主要对策

和措施，环境影响评价的主要结论、公众参与的方式和期限。

8.2.3 公众意见征求

主要采用填写问卷调查表、召开座谈会方式公开征求公众意见。

1）填写问卷调查表

2013 年 8 月，由山东核电有限公司组织发放了 155 份“公众调查问卷”，收回有效问卷 150 份。本次公众调查问卷的发放范围重点考虑厂址半径 5km 规划限制区内的公众以及涉及征地拆迁的利益相关公众。

根据回收调查表的统计分析结果为8月21日召开的座谈会的主要议题提供参考意见。

2）召开座谈会

2013年8月21日，山东核电有限公司在山东省海阳市组织召开了“山东海阳核电厂二期工程环评公众参与座谈会”，会议根据国家环保总局颁布的《环境影响评价公众参与暂行办法》相关原则和要求，邀请了海阳市政府、海阳市核电办、海阳市政府相关职能部门、厂址半径5km范围自身利益与项目建设直接相关或间接相关的居民、村民、养殖户等公众代表共计18人，与会代表具有一定的代表性，基本可以反映各阶层公众的意见和建议。在会议正式召开前，山东核电有限公司向参会公众代表发放了核电科普宣传材料。会议由山东核电有限公司主持，本次座谈会的议程主要为：

- 建设单位向与会人员介绍山核电项目概况、项目进展情况等；
- 环境影响评价单位——上海核工程研究设计院介绍环境影响评价的基本过程、环评的基本内容和初步的评价结论，同时对群众关心的核安全等问题进行阐述说明；
- 与会代表发言，并与业主、编制单位、相关部门就环境问题进行充分的交流；
- 主持人总结性发言。

烟台日报 YANTAI DAILY 2013.7.25/星期四 要闻·综合 责任编辑:孙逸云 24小时读者热线:96110 9

“中国真强大,烟台真漂亮”

华裔青少年来烟“寻根”

提起烟台的豆腐脑,孩子们都“嘴馋了”

23日,2013年海外华裔青少年“中国寻根之旅”夏令营在烟台开营,来自美国、法国、德国等国家的40多名华裔青少年将在烟台进行为期十多天的生活和学习。记者在采访时发现,这些青少年大多是首次来中国,不过讲起汉语来可一点也不含糊。



YMG记者 覃凤楠

普通话讲得都挺好

汉语学习是“寻根夏令营”的课程之一,在开营仪式后,每个孩子都在老师面前展示了自己的汉语水平,以此作为分班的依据。记者看到,大多数孩子都有着不错的汉语表达能力,由此一个个都被划到了高班。

杜愚皓和杜愚仪兄妹俩来自美国洛杉矶,从小就在那儿长大。“一下飞机,就感觉这里的空气非常潮湿,跟洛杉矶的干爽比起来给人一种新的体验。”妹妹杜愚仪用比较流利的普通话向记者描述对烟台的初体验。

哥哥杜愚皓告诉记者,他们的汉语之所以说得还不错,是因为从小开始就一直没放下。“爸爸是台北人,妈妈是北京人,汉语都讲得非常好。我们在家里也都讲汉语,爸爸妈妈很鼓励我们学汉语。”其实,现年17岁的杜愚皓对学习汉语还有另一种理解:“中国很强大,烟台真漂亮,如果想从事商业活动,就绕不开中国,所以中文非常重要。”

提到豆腐脑“嘴馋了”

在采访中,记者还发现每个学员对中国、对烟台都有着不同的印象。今年13岁的谭楣出生在美国华盛顿州,在纽约长大,他对中国的了解来自一个个片段,而提供这些片段的或是教科书、或是父母,甚至也可能是一款游戏。

相比之下,中华美食可以说是谭楣最了解的与中国有关的事物。“我是吃妈妈做的中餐长大的,炒菜吃白米饭是家常便餐。”谭楣还给记者列举了几样自己喜欢的中华美食,其中包括红烧肉、豆腐脑等。“豆腐脑都是家里自己做的,我喜欢拌上辣椒酱吃……说着说着我都开始嘴馋了。我听老师说烟台的豆腐脑非常正宗,总算能吃到地道的了。”

寻根开始先学“剪纸”

在烟台的寻根之旅开行前,华裔青少年们在老师的教授下学习了“剪纸”,这也是他们“寻根”第一课。

对“剪纸”这门中华艺术,来自美国的张嘻怡却一点不陌生。“外公外婆都是烟台人,我来烟台的次数算是比较多的了,而且两三岁的时候还在烟台待过一年多。”张嘻怡说,正是因为有这样的生活经历,她对烟台剪纸才非常熟悉。在老师的教授下,很快,张嘻怡就完成了一个大大的“红双喜”。

“希望营员们能够积极融入夏令营这个大家庭,认真学习中华博大精深的灿烂文化,感受中国的日新月异,成为促进中国、烟台与世界交流与合作的使者。”市外侨办副主任王保国说。

YMG记者 韩杰
通讯员 王倩 唐千雯



日前,来自美国、澳大利亚等国的海客在棋湖桥畅游芙蓉湾,不清事业港城夏日风情。YMG记者 初阳 摄

高考录取通知书投递高峰将到

考生接录取通知书无需交纳任何费用

从即日起到8月中旬这段时间,是高校录取通知书的投递高峰期。昨天,记者从烟台邮政速递物流公司(烟台EMS)了解到,为保证录取通知书及时、安全送达考生手中,EMS安排专人对高考录取通知书进行单独处理,严禁积压、延误。同时,也提醒家长和考生,最近一段时间空保证家中有人、电话畅通,以免误事。

7月23日下午,烟台首批高考录取通知书抵烟。烟台EMS工作人员告诉记者,从即日起,芝罘、莱山、开发区、牟平、福山等5区的高校录取通知书将陆续开始投递,各县市区乡镇的录取通知书由市邮政局负责投递。预计,今年通知书投递的高峰期将一直持续到8月中旬。

不少家长担心,接收录取通知书有没有额外的收费?EMS工作人员介绍,录取通知书在投递过程中,EMS不会向考生收取费用,任何形式的搭载销售、捆绑销售行为都是严格禁止的,也不会向考生和家长强行推销任何考试类资料及产品。此外,在录取通知书邮件封面上粘贴、信封内夹寄、夹带与考生报到无关的商业广告等宣传材料、辅导教材等,并以此为借口向考生收取服务费,这些行为也是不允许出现的。家长如果发现,可以及时拨打11183投诉举报。

EMS工作人员还提醒说,有的考生在填报志愿时没有留下有效的联系方式,这使得投递员无法将通知书及时送到考生手中。还没有接到录取通知书的家长和考生,最近一段时间尽量保证家里留人,手机一定要保持畅通。

如果考生想要知道录取通知书何时送达,可以拨打EMS全国统一查询热线11183电话。如果存在什么疑问,也可以拨打这个电话进行咨询。

YMG记者 徐蕾 通讯员 纪晓莉

莱山区面向全国公开招聘初中校长

报名时间:2013年7月31日—8月2日

本报讯(YMG记者 李京益 通讯员 姜波伟)为进一步加强校长队伍建设,发挥优秀校长、副校长的引领和示范作用,全面提升教育教学质量,莱山区面向全国公开招聘初中校长1名,分管教学的副校长6名。

报名时间:2013年7月31日—8月2日;报名方式:现场报名或电子邮件报名(yutuxj@126.com);报名地点:莱山区教育体育局政工科。招聘的资格基本条件,要求热爱教育事业,全面贯彻落实党的教育方针,具有先进的教育理念,身体健康,责任心强,工作业绩突出,具有良好的职业道德素质,遵纪守法,廉洁自律;具有较高的管理水平,丰富的专业知识和较强的组织领导能力;具有团结协作和开拓创新精神;具有较好的学术素养和研究能力。

百余所艺术类院校本科生源不满

考生可于8月1日填报二次征集志愿

本报讯(YMG记者 魏文杰)昨日,省招考院公布了本科批次征集志愿的投档情况。今年,普通文理类本科一批征集志愿,艺术类本科一批、体育类本科批第一次征集志愿投档,共投出考生10856人。此次投档结束后,尚有百余所艺术类院校生源不满,考生可于8月1日填报二次征集志愿。

根据省招考院公布的信息,普通文理类本科一批征集志愿共投出考生835人。其中文科投出院校17所,投满17所,投出考生77人;理科投出院校35所,投满35所,投出考生758人。

在烟台也能领略西班牙居住风情

封闭式布局使社区内外景色一体化

本报讯(YMG记者 魏文杰)紧邻滨河的悦榕湾项目定位高端精品社区,项目负责人介绍,社区内规划有一线情景洋房、高层御宅,文化石加真石漆建筑立面,将西班牙风情贯穿整个社区。

整个社区采用完全封闭式布局,因势借景,巧妙将滨河景观带的广阔景致纳入社区中,使社区内外景色浑然一体。由于所临独具匠心,几乎每一个主卧室都有正面对园林的落地窗,可扩大从景中来,景入室中来,户户景观、家家赏水。另外,社区整体实现人车分流,两层地下车库有1:1.1的距离作业停车位,业主可以在地下直接电梯入户,独有的地下园林更是让人拥有“车入花房”的感觉。

社区配套方面,无论教育、医疗还是购物,休闲等都很齐全。教育方面,从幼儿园到中学,全体系教育配套,福美晨幼儿园、西关小学、实验小学均为区政府小学、初高中一体化的格迈纳尔中学和实验中学以及福山区重点中学福山一中。建设中的彩虹桥将社区与鲁莱一条街与青龙山文化广场紧密连接,家乐福、希尔城等大型商超,影院已在周边签约入驻,此外,社区还紧邻福山医院和福山宾馆,就医、会客均较为方便。 咨询电话:6303555

烟台市政府采购公告

一、招标人:烟台市博物馆
地址:芝罘区海大街61号
联系方式:0535-6938007
二、招标代理机构:山东省鲁成招标有限公司
地址:烟台市莱山区迎春大街163号 天和大厦1011室)
联系方式:0535-7353028 7353029
三、采购方式:公开招标
四、项目名称:烟台市博物馆安保及物业管理
五、获取招标文件时间:2013年7月22日起至2013年8月5日17:00时(北京时间)止
投标截止日期:2013年8月15日9时30分(北京时间)
开标日期:2013年8月15日9时30分(北京时间)
六、项目具体要求详见烟台市政府采购网网站http://cgbyantai.gov.cn/index.jsp。

烟台市政府采购公告

一、采购人:烟台市水利局
地址:烟台市南通路西院内25号
联系方式:0535-6927152
二、招标代理机构:山东省鲁成招标有限公司
地址:烟台市莱山区迎春大街163号(天和大厦1011室)
联系方式:0535-7353028 7353029
三、采购方式:竞争性谈判
四、项目名称:烟台市创建水生态文明城市汇报(介绍)片和画册
五、获取谈判文件时间:2013年7月22日起至2013年7月30日12时止
报价文件递交截止日期:2013年7月31日9时30分
谈判日期:2013年7月31日9时30分
六、项目具体要求详见烟台市政府采购网网站http://cgbyantai.gov.cn/index.jsp。

烟台市政府采购公告

一、招标人:烟台市市政养护管理处
地址:烟台市大海阳路时74号
联系方式:0535-6926567
二、招标代理机构:山东省鲁成招标有限公司
地址:烟台市莱山区迎春大街163号(天和大厦1011室)
联系方式:0535-7353028 7353029
三、采购方式:公开招标
四、项目名称:烟台市市政养护管理处3T装载机、沙滩清洁机
五、获取招标文件时间:2013年7月24日起至2013年8月3日11:00止。(北京时间)。
投标截止日期:2013年8月13日9时30分(北京时间)
开标日期:2013年8月13日9时30分(北京时间)
六、项目具体要求详见烟台市政府采购网网站http://cgbyantai.gov.cn/index.jsp。

烟台市政府采购公告

一、采购人:烟台市住房和城乡建设局
地址:烟台市莱山区观海路23号
联系方式:0535-6906597
二、采购代理机构:山东普来恩工程设计有限公司
地址:烟台开发区香山路8号
联系方式:0535-6393116,6393108
三、采购方式:询价
四、项目名称:烟台市2013年老旧小区绿化改造工程第二
五、报名时间:2013年7月24日起至7月29日下午14:30时止
投标截止及开标时间:2013年7月29日14时30分
六、项目具体要求详见烟台市政府采购网网站http://cgbyantai.gov.cn

烟台市政府采购公告

一、采购人名称:烟台市建城实业发展有限责任公司
地址:烟台市莱山区观海路75号附2号
联系方式:0535-6899937
二、采购代理机构名称:山东招标股份有限公司烟台办事处
地址:烟台市芝罘区环山路2号
联系方式:0535-6094261
三、采购方式:公开招标
四、项目名称:建城·颐湾智能化系统工程采购
项目编号:0627-YC13108
五、获取招标文件时间:即日起至2013年8月1日17:00止。方式:购买。售价:每份300元,招标文件概出不退。
六、递交投标文件截止日期及开标日期:2013年8月12日9:30(北京时间),逾期递交或未按规定提供的投标文件不予接受。
七、项目具体要求详见烟台市政府采购网网站http://cgbyantai.gov.cn

山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响评价工作 建造阶段)

信息公告(第一号)

根据原国家环保总局《关于进一步加强环境影响评价管理防范风险的通知》(环发[2012]98号)的要求,编制环境影响报告书的建设项目在建设单位确定了承担环境影响评价工作的环境影响评价机构后的7个工作日内,需对该项目进行第一次信息公告,开展公众参与征求公众意见。

本次信息公告为山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书(建造阶段)的一号公告,向公众公告以下信息:

一、建设项目的名称、规模及概要

1、建设项目名称

山东海阳核电项目3、4号机组工程。

2、规模

山东海阳核电厂规划建设6台百万千瓦级核电机组,一次规划、分期建设。本项目在1、2号机组建设的基础上,扩建两台AP1000核电机组,建设总工期为49个月,3号机组计划于2017年12月投产,4号机组计划于2018年10月投产。

本次信息公告为山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书(建造阶段)的1号公告。核电厂效果图见图1。

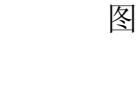


图1 山东海阳核电厂效果图

3、建设项目概要

山东海阳核电厂地处胶东半岛的黄海之滨,为高堆核电厂,厂址位于山东省烟台市海阳市留格庄镇闫家庄村以南、冷家庄和董家庄西北),处于三面环海的半岛东侧,东北有乳山湾,西南有凤城湖,东部和南部面临广阔的黄海。

厂址距海阳市留格庄镇约10.2km(厂址NW方位);距凤城街道办事处约12.4km(厂址W方位);距海阳市市区直线距离约21km(厂址WNW方位);距烟台市直线距离约93km(厂址N方位)。地理位置图见图2。

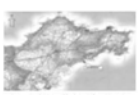


图2 山东海阳核电厂地理位置图

二、拟建核电厂建设单位的名称和联系方式

建设单位:中电投山东核电有限公司

联系地址:山东省海阳市海阳核电厂,邮政编码:265116

联系人:王彩霞

电话:0535-3870462

传真:0535-3870500

电子邮箱:wangcaixia@sdnpc.com

信息公开网站:www.yantai.gov.cn;www.sdnpc.com

三、承担评价工作的环境影响评价机构的名称和联系方式

评价机构:上海核工程研究设计院

持证:国环评证甲字第1815号

地址:上海市虹漕路29号

联系人:王雪

电话:021-61862329

传真:021-61860728

电子邮箱:wangxue@snerdi.com.cn

四、环境影响评价的工作程序和主要工作内容

1、环境影响评价工作程序:见下图。

2、环境影响评价主要工作内容:

《山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书(建造阶段)》将采用《核电厂环境影响报告书的内容和格式》(NEPA RG1)推荐的章节目录进行编制。编制的环境影响报告书主要包括下列内容:

概述:核电厂名称和建设性质、建设规模和规划、建设目的;编制依据、环境评价标准等;

厂址与环境:厂址地理位置;人口分布及居民饮食习惯(半径80公里内);土地利用及资源概况;气象;工程水文;地质、地震;居民健康状况;噪声等。

核电厂:厂区规划及平面布置;反应堆和蒸汽-电力系统、电厂用水和散热系统、输电系统;工程安全设施;放射性废物处理系统和源项;化学物质排放、生活废物;放射性物质运输。

电厂施工建设过程对环境的影响:土地利用;水的利用;施工影响的控制。

电厂运行的环境影响:散热系统运行的影响;正常运行的辐射影响;其它影响。

电厂事故的环境影响:核电厂潜在事故对环境的影响,包括电站放射性事故,放射性物质运输事故,其它事故,以及实施应急计划的可行性。

流出物监测和环境监测:运行前环境监测;运行期间的环境监测方案、运行期间流出物监测方案概述;质量保证计划。

电厂建设和运行的效益分析:利益分析;价价分析;效益分析。

公众参与。

环境风险评价。

结论:工程的正当性;辐射环境影响评价结论;非放环境影响评价结论;总的评价结论。

五、征求公众意见的主要事项

1、被调查者对该工程建设所持态度;

2、本工程建设对调查对象生活、工作的影响程度;

3、被调查者认为本工程施威的环境问题;

4、对工程建设的意见和建议。

六、公众提出意见的主要方式

可以通过发送电子邮件、电话、传真或信函等方式向中电投山东核电有限公司或上海核工程研究设计院提出意见。

公众提出意见的起止时间:2013年7月25日-8月7日。

图 8.2-1（1/4） 公众参与第一次信息公告（烟台日报）



图 8.2-1（2/4） 公众参与第一次信息公告（山东核电有限公司网站）



简体 繁体 English 日本語 한국어 Deutsch Français 用户 用户名 密码 登录 注册

中国烟台 www.yantai.gov.cn 信息公开

首 页 | 走进烟台 | 信息公开 | 网上办事 | 公众参与 | 便民服务 | 个性化服务 WWW.YANTAI.GOV.CN

当前位置：首页 >> 信息公开 >> 公告公示

山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响评价工作（建造阶段）信息公告（第一号）

中国烟台政府门户网站 www.yantai.gov.cn 2013-07-25 来源：

【字体：大 中 小】 打印本页 关闭窗口 本条评论 全部评论

根据原国家环保总局（现环境保护部）《环境影响评价公众参与暂行办法》（环发2006[28号]）的要求，编制环境影响报告书的建设项目在建设单位确定了承担环境影响评价工作的环境影响评价机构后的7个工作日内，需对该项目进行第一次信息公告，开展公众参与征求公众意见。

本次信息公告为山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书（建造阶段）的一号公告，向公众公告以下信息：

一、建设项目的名称、规模及概要

1、建设项目名称

山东海阳核电项目3、4号机组工程。

2、规模

山东海阳核电厂规划建设6台百万千瓦级核电机组，一次规划、分期建设。本项目在1、2号机组建设的基础上，扩建两台AP1000核电机组，建设总工期为49个月，3号机组计划于2017年12月投产，4号机组计划于2018年10月投产。

本次信息公告为山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书（建造阶段）的1号公告。核电厂效果图见图1。

图1 山东海阳核电厂效果图

3、建设项目概要

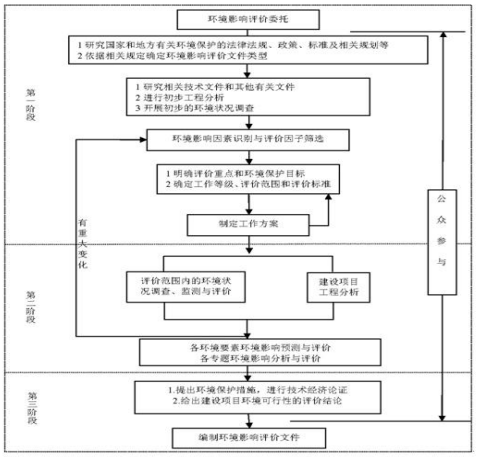
山东海阳核电厂地处胶东半岛的黄海之滨，为滨海核电厂。厂址位于山东省烟台市辖海阳市留格庄镇邵家庄村以南（冷家庄和董家庄原址），处于三面环海的岬角东端，东北有乳山湾，西南有凤城港，东部和南部面临广阔的黄海。

厂址距海阳市留格庄镇约10.2km（厂址NW方位）；距凤城街道办事处约12.4km（厂址W方位）；距海阳市市区直线距离约21km（厂址WNW方位）；距烟台市直线距离约93km（厂址N方位）。地理位置图见图2。

图2 山东海阳核电厂地理位置图

图 8.2-1（3/4） 公众参与第一次信息公告（烟台政府网站）

二、拟建核电厂建设单位的名称和联系方式
建设单位： 中电投山东核电有限公司
联系地址：山东省海阳市海阳核电厂，邮政编码：265116
联系人：王彩霞
电话：0535-3870462
传真： 0535-3870500
电子邮箱：wangcaixia@sdnpc.com
信息公开网站：www.yantai.gov.cn；www.sdnpc.com
三、承担评价工作的环境影响评价机构的名称和联系方式
评价机构：上海核工程研究设计院
持证：国环评证甲字第1815号
地址：上海市虹漕路29号
联系人：王雪
电话：021-61862329
传真：021-61860728
电子邮箱：wangxue@snerdi.com.cn
四、环境影响评价的工作程序和主要工作内容
1、环境影响评价工作程序：见下图。



2、环境影响评价主要工作内容：
《山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书（建造阶段）》将采用《核电厂环境影响报告书的内容和格式》（NEPA RG1）推荐的章节目录进行编制。编制的环境影响报告书主要包括下列内容：
概述：核电厂名称和建设性质、建设规模和规划、建设目的；编制依据、环境评价标准等；
厂址与环境：厂址地理位置；人口分布及居民饮食习惯（半径80公里内）；土地利用及资源概况；气象；工程水文；地质、地震；居民健康状况；噪声等。
核电厂：厂区规划及平面布置；反应堆和蒸汽-电力系统、电厂用水和散热系统、输电系统；工程安全设施；放射性废物处理系统和源项；化学物质排放、生活废物；放射性物质运输。
电厂施工建设过程对环境的影响：土地利用；水的利用；施工影响的控制。
电厂运行的环境影响：散热系统运行的影响；正常运行的辐射影响；其它影响。
电厂事故的环境影响：核电厂潜在事故对环境的影响，包括电站放射性事故，放射性物质运输事故，其它事故，以及实施应急计划的可行性。
流出物监测和环境监测：运行前环境监测；运行期间的环境监测方案、运行期间流出物监测方案概述；质量保证计划。
电厂建设和运行的效益分析：利益分析；代价分析；效益分析。
公众参与。
环境风险评价。
结论：工程的正当性；辐射环境影响评价结论；非放环境影响评价结论；总的评价结论。
五、征求公众意见的主要事项
1．被调查者对该工程建设所持态度；
2．本工程建设对调查对象生活、工作的影响程度；
3．被调查者认为本工程敏感的环境问题；
4．对工程建设的意见和建议。
六、公众提出意见的主要方式
可以通过发送电子邮件、电话、传真或信函等方式向中电投山东核电有限公司或上海核工程研究设计院提出意见。
公众提出意见的起止时间：2013年7月25日～8月7日。





图 8.2-1（4/4） 公众参与第一次信息公告（烟台政府网站）

8 责任编辑:唐丽霞 24小时读者热线:96110
2013.8.12/星期一
天下·纵览
YANTAI DAILY /WORLD·SURVEY 煙台日報

国务院部署加快发展节能环保产业

三年内总产值达 4.5 万亿

国务院印发《关于加快发展节能环保产业的意见》提出到 3 年促进节能环保产业加快发展的目标：到 2015 年，节能环保产业总产值要达到 4.5 万亿元，产值年均增速保持 15%以上，产业技术水平显著提升，为实现节能减排目标奠定坚实的物质基础和技术保障。



新华社北京 8 月 11 日电 经国务院常务会议讨论通过，日前，国务院印发《关于加快发展节能环保产业的意见》。这是新一届政府统筹稳增长、调结构、促改革、惠民生，持续推出的又一项既利当前又利长远的重大举措，对于缓解资源环境瓶颈制约、扩大有效需求、转变经济发展方式、促进产业转型升级、增强发展内生动力，都具有重要意义。

《意见》提出了近 3 年促进节能环保产业加快发展的目标：到 2015 年，节能环保产业总产值要达到 45 万亿元，产值年均增速保持 15%以上，产业技术水平显著提升，为实现节能减排目标奠定坚实的物质基础和技术保障。

《意见》明确了当前促进节能环保产业加快发展的四项重点任务。一是围绕重点领域，促进节能环保产业发展水平全面提升。加快发展节能、环保、资源循环利用技术装备，提高技术水平；创新发展模式，壮大节能环保服务业。二是发挥政府带动作用，引领社会资金投入节能环保工程建设。加强节能技术改造，实施污染治理重点工程，推进园区循环化改造，加快城镇环境基础设施建设，开展绿色建筑、交通行动，三是推广节能环保产品，扩大市场消费需求。继续实施并调整节能产品惠民政策，实施能效“领跑者”行动计划，完善环保产品认证制度，开展再制造“以旧换再”，拉动节能环保产品消费。四是加强技术创新，提高节能环保产业市场竞争力。重点支持企业技术创新能力建设，加快掌握重大关键核心技术，促进科技成果产业化转化，推动国际合作和人才队伍建设。

《意见》强调，要采取有效措施，强化约束激励，为节能环保产业发展创造良好的市场和政策环境。一是健全法规标准。加快制（修）订节能环保标准，完善法律法规，严肃查处各类违法违规行为。二是强化目标责任。落实节能减排目标责任制，完善节能评估和审查制度，加大对重点耗能企业的评价考核力度。三是加大中央预算内投资和中央财政节能减排专项资金对节能环保产业的投入。四是拓展投融资渠道，支持绿色信贷和金融创新，支持符合条件的节能环保企业发行企业债券，中小企业集合债券，超短融资券等债务融资工具。五是完善价格、收费和土地等政策，制定和落实鼓励余热余压余能发电及背压热电、可再生能源发展的上网和价格政策，落实燃煤电厂脱硝、脱硝电价和居民用电阶梯价格，完善城镇污水、垃圾处理收费等政策。六是推进改革创新，建立生产者责任延伸制度，探化排污权有偿使用和交易试点，开展生态文明先行先试，选择有代表性的地区开展生态文明先行示范区建设。七是加强节能环保宣传教育。加强生态文明理念和资源环境国情教育，普及节能环保知识和方法，倡导绿色消费新风尚。

《意见》要求，各地区、各部门要切实加强组织领导和协调配合，明确任务分工，落实工作责任，扎实开展工作，确保各项任务措施落到实处，务求使产业发展见到实效。



旱情蔓延

8 月 10 日，在广西桂林市全州县文桥镇江头村，响田园千亩已无法灌溉而枯死。受持续晴热高温无雨影响，广西桂林市全州县旱情蔓延，截至 8 月 11 日，全县受旱农作物达近 20 万亩，大量蔬菜和大棵苗出现枯水现象。7 月份以来，该县平均降雨量仅 9 毫米，为近 60 年来最低值。自地方 8 月启动抗旱Ⅱ级应急响应，投入大量人力、资金及机械设备抗旱，力保将旱情带来的损失降到最低。 新华社

伊拉克遭连环恐怖袭击

60多人死亡，近 300 人受伤



8 月 11 日，在伊拉克北部城市基尔库克，当地民众查看前一天发生爆炸袭击的现场。 新华社

伊拉克多座城市 10 日短时间内连续发生多次恐怖袭击事件，造成 60 多人死亡，近 300 人受伤。

至此，伊拉克今年前月期间发生的各类袭击已造成 671 人遇害，由此成为 2007 年以来安全形势最恶劣的一个两月。

有人同步策划恐怖事件

根据警方叙述，伊拉克全境当天发生至少 12 起针对集市、街道或公园等公共场所的汽车炸弹袭击，不少袭击间隔不到一个小时，一定程度反映出可能有人同步策划事件。

死伤最惨重的袭击发生在首都巴格达以北大约 200 公里的图兹胡尔马图镇。警方转述镇长沙拉勒·阿卜杜勒的话说，袭击者开着载满爆炸物的车实施自杀式爆炸，造成 8 人死亡、数十人受伤。

糟糕的开斋节

连环恐怖袭击正值伊拉克开斋节假期，民众原本举行庆祝活动，尤其是伊拉克人每天结束斋戒后聚集的小餐馆、诱告的煮熏寺，成为这轮袭击的主要目标。

“我有店的玻璃被打碎，整个商店都被烧毁，”巴格达一家糕点的店主赛义夫·穆萨说，“我非出商店，烟雾让我什么都不见……开斋节原本令人愉快，但最后我过了糟糕的一天。”

在巴格达金迪医院，一名士兵脸部、胸部和手臂布满鲜血，正接受医护人员治疗；其他医护人员用担架把运抵现场的伤者送入医院。

暴力冲突升级

伊拉克近来安全形势日趋恶化。根据联合国公布的数据，伊拉克境内今年 7 月发生的各类袭击造成 1000 多人死亡，成为 2008 年以来单月遇袭死亡人数最多的一个月。

政治分析师认为，伊拉克逊尼派人士一直指责什叶派主导的政府将逊尼派边缘化，并于 2012 年底举行大规模示威活动。逊尼派的不满情绪增加，是导致今年暴力活动频繁的主要原因。

伊拉克内政部发前警告，逊尼派与什叶派人士之间的教派对立严重，伊拉克正面临一场“公开战争”。

国际刑警组织当时警告，越狱可能使伊拉克境内安全局势进一步恶化。 据新华社供本报特稿

江苏沛县查处 9名教师“吃空饷”

违规领取工资被全额追缴

新华社南京 8 月 11 日专电 近日，江苏省沛县严肃查处了该县胡寨镇 9 名教师“吃空饷”行为，并全额追缴违规领取的工资，镇教委负责人被立案处理。

沛县是江苏省北部的一个大县，8 月初，该县纪委通过当地媒体发布消息称，根据群众举报，严肃查处了该县胡寨镇 9 名教师的“吃空饷”行为。

通报称，2012 年以来，沛县胡寨镇教委 6 名分流教师未到岗到位，3 名在编教师被其他单位越权借用，9 人均违规领取包括绩效考核工资在内的财政工资，违反人事管理规定，不在岗在位履行工作职责，属于“吃空饷”行为。

沛县教育局称，分流教师是一种约束师资的举措，是指由教师超编学校分流到其他学校，因胡寨中心小学还建，6 名分流教师被安排到还建指挥部参与胡寨中心小学的拆迁建设工作，但他们并没有到岗到位上班，却仍领取了工资，3 名借用教师被胡寨镇财政所、沛县人社局工资福利股、沛县中等职业技术学校图书馆等单位和部门越权借用，工资仍由原学校发放。

目前，沛县纪委、教育局已对这 9 名教师不在教师岗位期间领取的财政工资及绩效考核工资予以全额追缴；沛县教育局依据《教师法》及有关规定，对“吃空饷”人员是否具备从事教学或教育管理工作能力进行审核甄别，不合格者予以清退，留用者作重点管理。

韩拟放宽中国游客签证限制

新华社专电 韩国法务部 11 日说，韩国政府打算放宽对中国和东南亚国家游客的签证限制，并且允许外国“医疗游客”更方便地申请赴韩签证。

韩国联合通讯社报道，从 9 月 1 日起，法务部将扩大中国多次入境签证的发放范围，放松对东南亚游客多次入境签证的限制。

按照新规定，持多次入境签证的中国游客，其配偶和未成年子女可获得这类签证；拥有韩国公寓式酒店会员资格，且会员卡价值 3000 万韩元（约合 2.7 万美元）及以上，也可获得多次入境签证；有北京、上海户籍的中国游客，以及在“211 工程”现有 112 所大学就读的中国学生，均可获得多次入境签证。

东南亚国家游客一旦赴韩国游览，将获得有效期为期一年的多次入境签证。

法务部说，放宽中国和东南亚游客签证限制，背景是中国和东南亚赴韩旅游人数近年来在“韩流”文化影响下不断增多。

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书(建造阶段)公众参与信息公告(第二号)

根据国家环保总局《关于环境保护职（环境影响评价公众参与暂行办法）（环发[2006]28 号）的要求，本次信息公告为山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书（建造阶段）的二号公告，结合山东海阳核电项目 3、4 号工程环境影响报告书（建造阶段）的编制，在该报告书报送国家环境保护部审批前向公众公告如下信息，开展公众参与。

一、建设项目工程简述

1、项目基本信息

项目名称：山东海阳核电项目 3、4 号机组工程

建设性质：扩建

项目规模：广址规划容量为 6 台百万千瓦级核电机组，厂区一次规划，分期建设，本项目在一期 2 台 AP1000 机组建设的基础上，扩建 2 台 AP1000 型核电机组。

项目地点：广址位于山东省烟台市牟平区海阳市留格庄镇邵家庄村以南 冷家庄和徽家庄原址），处于三面环海的半岛东端，东北有乳山湾，西南有凤城湖，东部和南部面临广阔的黄海。广址距海阳市留格庄镇约 10.2km（厂址 NW 方位）；距凤城街道办事处约 12.4km（厂址 W 方位）；距海阳市区直线距离约 21km（厂址 WNW 方位）；距烟台市直线距离约 93km（厂址 N 方位）。

2、项目建设必要性

— 发展核能符合国家能源政策；

— 建设核电是满足山东电力负荷增长的需要，能优化山东省电网的电源结构；

— 可提高核电机组国产自主化设计能力，推动国内核电工业发展；

— 建设核电可缓解煤炭供应和运输压力，有助于保护、改善生态环境，核电作为清洁、安全的能源，可满足环境保护的需要，有助于减排 SO_2、NO_x、CO_2 等大气污染物。

3、工程概述：海阳核电厂规划容量为六台百万千瓦级核电机组，实行统一规划、机组分期建设。一期工程 1 号机组已于 2009 年 9 月 24 日浇灌第一罐混凝土，2 号机组已于 2010 年 6 月 20 日浇灌第一罐混凝土。本项目在 1、2 号机组建设的基础上，扩建 2 台 AP1000 型核电机组，3 号机组初步计划于 2013 年 11 月 30 日浇灌第一罐混凝土，建设总工期为 49 个月。3 号机组计划于 2017 年 12 月投产，4 号机组计划于 2018 年 10 月投产。

目前正处于建设中的海阳核电 1、2 号机组，是我国引进 AP1000 第三代核电技术的依托项目。通过 AP1000 技术的消化吸收，形成了国产化 CAP1000 设计。

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程技术方案主要技术特征如下：

◇机组额定电功率 1253MWe；

◇电站设计寿命 60 年；

◇电厂可利用率≥93%；

◇换料周期：18 个月。

二、建设项目对环境可能造成影响的概述

核电厂正常运行期间，山东海阳核电厂 1-4 号 4 台核电机组对厂址周围公众造成的个人年有效剂量满足国家标准的要求；核电厂温排水不会对厂址邻近海域产生明显的温升影响，不会对附近的海产养殖、海洋生物等带来不可接受的影响。核电机组放射性液态流出物对受纳海域水体中海洋生物造成的辐射影响甚微，更不会在种群上造成损伤。

三、预防或者减轻潜在不良环境影响所采取的主要对策和措施

海阳核电 3、4 号机组工程采用的 CAP1000 压水堆核电机组是先进的非能动核电厂，包括许多非能动的安全特性，简化大量的电厂系统，提升了电厂的安全性。设置了放射性废物处理系统，使进入环境的放射性流出物质可控。同时，又具有一般压水堆核电堆型所具有的安全性。

通过合理的运行设计、运行规程、监测系统、保安设备等，放射性后果缓解设施等五个层次有效地保障核电厂的安全稳定运行并使放射性物质的释放受到控制。布置了四道安全实体屏障：燃料芯块、燃料包壳、隔离放射性的一回路压力边界以及将圆可靠的安全壳，从实体隔离上保证放射性的释放量最小。

四、环境影响评价结论的要点

根据评价结果表明，海阳核电厂设置的厂址环境在区域可行的，在海阳核电厂规划限制区内不存在影响电厂安全和应急的不可克服的制约因素。海阳核电厂的废物处理系统的设计性能是有效的，专设安全设施的设计性能是可靠的。海阳核电厂 4 台机组建成后，正常运行工况下放射性和非放射性物质排放的环境影响均可以接受，设计基准事故对电厂附近公众产生的放射性后果能够满足国家相关标准的要求。就核电厂建设和运行对环境的影响而论，山东海阳核电厂在 1、2 号机组建设的基础上，在现有厂址扩建 2 台 CAP1000 核电机组是适宜的。

五、公众查阅环境影响报告书简本或索取补充信息的方式和期限

公众可以通过网络查阅环境影响报告书的简本，如需索取其他补充信息，请通过书面形式（信件或传真）申请，网络查阅期限为 2013 年 8 月 12 日~2013 年 8 月 23 日，联系方式：

建设单位：中电投山东核电有限公司
地址：山东省海阳市海阳核电厂
联系人：王彩霞
电话：0535-3870462 传真：0535-3870600
电子邮箱：wangcaixia@sdnpc.com
评价机构：上海核工程研究设计院
持证：国环评证甲字第 1815 号
地址：上海市虹漕路 29 号
联系人：王雪
电话：021-61862329 传真：021-61860728
电子邮箱：wangxue@snerdi.com.cn

六、征求公众意见的范围和主要事项

根据《环境影响评价公众参与暂行办法》的要求以及海阳核电 3、4 号工程环境影响评价（建造阶段）的评价范围，本次征求公众意见的范围主要为厂址半径 5km 规划限制区范围内，重点调查对象为留格庄镇的居民，同时兼顾其他居民。

本次征求公众意见的主要事项为：山东海阳核电项目 3、4 号机组工程建设和运行对公众的主要影响，公众对核电及海阳核电 3、4 号机组工程的了解程度，以及公众的其它建议和意见。

七、征求公众意见的具体形式

公众可以通过电话、传真、书信、电子邮件等形式反馈意见。

公告时间：2013 年 8 月 12 日 ~2013 年 8 月 23 日

图 1 地理位置

图 2 效果图

图 8.2-2（1/4） 公众参与第二次信息公告（烟台日报）



图 8.2-2（2/4） 公众参与第二次信息公告（山东核电有限公司网站）

简体 繁体 English 日本語 한국어 Deutsch Français 用户名 密码 登录 注册
中国烟台 www.yantai.gov.cn 信息公开
首 页 走进烟台 信息公开 网上办事 公众参与 便民服务 个性化服务 WWW.YANTAI.GOV.CN
当前位置：首页 >> 信息公开 >> 公告公示

山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书（建造阶段）公众参与信息公告（第二号）

中国烟台政府门户网站 www.yantai.gov.cn 2013-08-12 来源：

【字体：大 中 小】 打印本页 关闭窗口 本条评论 全部评论

山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书
（建造阶段）
公众参与信息公告（第二号）

根据原国家环保总局（现环境保护部）《环境影响评价公众参与暂行办法》（环发2006[28号]）的要求，本次信息公告为山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书（建造阶段）的二号公告，结合山东海阳核电项目3、4号工程环境影响报告书（建造阶段）的编制，在该报告书报送国家环境保护部审批前向公众公告如下信息，开展公众参与。

一、建设项目工程简述

1、项目基本信息

项目名称：山东海阳核电项目3、4号机组工程

建设性质：扩建

项目规模：厂址规划容量为6台百万千瓦级核电机组。厂区一次规划，分期建设。本项目在一期2台AP1000机组建设的基础上，扩建2台AP1000型核电机组。

项目地点：厂址位于山东省烟台市辖海阳市留格庄镇邵家庄村以南（冷家庄和董家庄原址），处于三面环海的岬角东端，东北有乳山湾，西南有凤城港，东部和南部面临广阔的黄海。厂址距海阳市留格庄镇约10.2km（厂址NW方位）；距凤城街道办事处约12.4km（厂址W方位）；距海阳市市区直线距离约21km（厂址WNW方位）；距烟台市直线距离约93km（厂址N方位）。



图1 地理位置

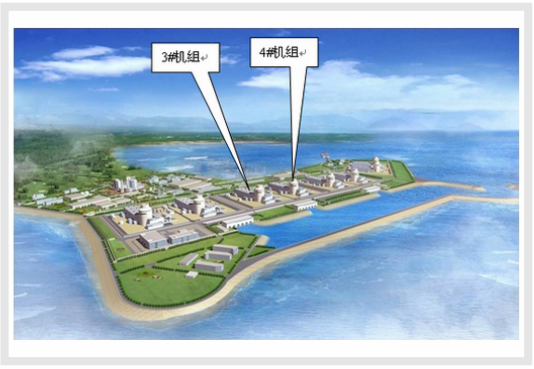


图2 效果图

图 8.2-2（3/4） 公众参与第二次信息公告（烟台政府网站）



2、项目建设必要性

- 发展核能符合国家能源政策；
- 建设核电是满足山东电力负荷增长的需要，能优化山东省电网的电源结构；
- 可提高核电机组国产自主化设计能力，推动国内核电工业发展；
- 建设核电可缓解煤炭供应和运输压力，有助于保护、改善生态环境，核电作为清洁、安全的能源，可满足环境保护的需要，有助于减排SO_2、NO_X、CO_2等大气污染物。

3、工程概述

海阳核电厂规划容量为六台百万千瓦级核电机组，实行统一规划、机组分期建设。一期工程1号机组已于2009年9月24日浇灌第一罐混凝土，2号机组已于2010年6月20日浇灌第一罐混凝土。本项目在1、2号机组建设的基础上，扩建2台AP1000型核电机组，3号机组初步计划于2013年11月30日浇灌第一罐混凝土，建设总工期为49个月。3号机组计划于2017年12月投产，4号机组计划于2018年10月投产。

目前正处于建设中的海阳核电1、2号机组，是我国引进AP1000第三代核电技术的依托项目。通过AP1000技术的消化吸收，形成了国产化CAP1000设计。

山东海阳核电项目3、4号机组工程技术方案主要技术特征如下：

- 机组额定电功率1253MWe；
- 电站设计寿命60年；
- 电厂可利用率：93%；
- 换料周期：18个月。

二、建设项目对环境可能造成影响的概述

核电厂正常运行期间，山东海阳核电厂1~4号4台核电机组对厂址周围公众造成的个人年有效剂量满足国家标准的要求；核电厂温排水不会对厂址邻近海域产生明显的温升影响，不会对附近的海产养殖、海洋生物等带来不可接受的影响。核电机组放射性液态流出物对受纳海域水体中海洋生物造成的辐射影响甚微，更不会在种群上造成损伤。

三、预防或者减轻潜在不良环境影响所采取的主要对策和措施

海阳核电3、4号机组工程采用的CAP1000压水堆核电机组是先进的非能动核电厂，包括许多非能动的安全特性，简化大量的电厂系统，提升了电厂的安全性。设置了放射性废物处理系统，使进入环境的放射性流出物质可控。同时，又具有一般压水堆核电堆型所具有的安全性。

通过合理的运行设计、运行规程、监测系统、专设安全设施、放射性后果缓解设施等五个层次有效地保障核电厂的安全稳定运行并使放射性物质的释放受到控制。布置了四道安全实体屏障：燃料芯块、燃料包壳、隔离放射性的一回路压力边界以及半圆可靠的安全壳，从实体隔离上保证放射性的释放量最小。

四、环境影响评价结论的要点

根据评价结果表明，海阳核电厂设置的厂址非居住区是可行的，在海阳核电厂规划限制区内不存在影响电厂安全和应急的不可克服的邮置性因素。海阳核电厂的废物处理系统的设计性能是有效的，专设安全设施的设计性能是可靠的。海阳核电厂4台机组建成后，正常运行工况下放射性和非放射性物质排放的环境影响均可以接受，设计基准事故对电厂附近公众产生的放射性后果能够满足国家相关标准的要求。就核电厂建设和运行对环境的影响而论，山东海阳核电厂在1、2号机组建设的基础上，在现有厂址扩建2台CAP1000核电机组是适宜的。

五、公众查阅环境影响报告书简本或索取补充信息的方式和期限

公众可以通过网络查阅环境影响报告书的简本，如需索取其他补充信息，请通过书面形式（信件或传真）申请，网络查阅期限为2013年8月15日~2013年8月23日，联系方式：

建设单位：中电投山东核电有限公司
地址：山东省海阳市海阳核电厂
联系人：王彩霞
电话：0535-3870462
传真：0535-3870500
电子邮箱：wangcaixia@sdnpc.com
评价机构：上海核工程研究设计院
持证：国环评证甲字第1815号
地址：上海市虹漕路29号
联系人：王雪
电话：021-61862329
传真：021-61860728
电子邮箱：wangxue@snerdi.com.cn

六、征求公众意见的范围和主要事项

根据《环境影响评价公众参与暂行办法》的要求以及海阳核电3、4号工程环境影响评价（建造阶段）的评价范围，本次征求公众意见的范围主要为厂址半径5km规划限制区范围内，重点调查对象为留格庄镇的居民，同时兼顾其他居民。

本次征求公众意见的主要事项为：山东海阳核电项目3、4号机组工程建设和运行对公众的主要影响，公众对核电及海阳核电3、4号机组工程的了解程度，以及公众的其它建议和意见。

七、征求公众意见的具体形式

公众可以通过电话、传真、书信、电子邮件等形式反馈意见。

公告时间：2013年8月12日~2013年8月23日

附件： 山东海阳核电项目3、4号机组工程环境影响报告书

发表评论 更多
署名 注册用户 用户名 密码
输入验证码 6478 提交 重置
（责任编辑：艾八） E-mail推荐 发送 打印本页 关闭窗口 本条评论 全部评论
站内查询 | 网站地图 | 用户登录 | 关于我们 | 在线帮助 | 网站声明
烟台市人民政府主办 Copyright © 2003-2008 烟台市人民政府办公室管理
烟台市经济和信息化委员会建设维护—烟台市综合信息中心创意设计和技术支持 鲁ICP备05000801号
欢迎 提出您的宝贵建议 或发电子邮件到以下地址：webmaster@yantai.net.cn

图 8.2-2（4/4） 公众参与第二次信息公告（烟台政府网站）

8.3 公众参与结果分析

8.3.1 问卷调查结果分析

2013年8月，山东核电有限公司共发放“公众调查问卷”155份，回收有效问卷150份，回收率为96.8%。调查对象情况见表8.3-1的统计结果。

表8.3-2给出了此次公众问卷调查表的统计结果，从表中可以看出：

— 在回答“本工程对本地区经济社会发展”这一问题时，71.2%的公众认为有明显的推动作用，24.7%的公众认为有一般的促进；

— 在回答“您认为本工程的总体效应”这一问题时，有 89.2%的公众认为本项目的建设利大于弊，4.7%的公众认为利弊相当；

— 在回答“您对本工程建设的态度”这一问题时，支持的占 92.0%，有条件支持的占 3.3%，无所谓的占 4.7%，无一人反对。

问卷调查的结果显示：多数公众认为本项目的建设会带来很大的好处，无人对本项目的建设表示反对，说明山东海阳核电项目 3、4 号机组工程得到了周围公众的认可。

8.3.2 座谈会结果分析

于 2013 年 8 月 21 日召开的“山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书（建造阶段）公众参与座谈会”上，建设单位、环境影响评价单位和与会代表进行了充分的沟通。建设单位和环境影响评价单位介绍了核电厂环境影响及放射事故预防措施、核电厂建设和运行期间的环境管理要求、公众参与调查的工作情况并对核电厂建设的意见和建议进行了收集。会议期间，公众代表提出了如下问题：

— 温排水和放射性液态对海洋生态的影响；

— 堆芯损伤的概率与严重事故放射性物质大量释放的概率问题；

— 核废料是如何处理的；

— 核电厂退役方案；

— AP1000核电机型与福岛核电厂的区别，AP1000的安全性；

— 高压输电线路电磁辐射是否对公众健康有影响。

座谈会上，建设单位和环境影响评价单位针对上述问题进行了解释，并得到了与会代表的认可，此次座谈会上公众代表未表示反对意见。

8.3.3 公众意见响应

1）公告期间公众意见

在公告期间，收集本次公众参与工作接受到的公众信息包括两类，一类是两次公告期间通过电子邮件和电话方式接受到的公众意见，另一类是通过公众参与调查活动问卷收集到的意见和建议。

在一号公告期间，有一位公民通过电话询问张家庄是否搬迁的问题并建议业主与周围居民积极沟通。在二号公告期间，收到一位公众通过电子邮件发来的问题，询问非居住区的范围、核电厂放射性废物处理流程、报告采用的国家标准、高压输电塔的影响、核电厂的退役、消费者对本地区农副产品的不信任以及搬迁等问题进行了咨询。

山东核电有限公司与上海核工程研究设计院有专人通过电话、邮件等方式积极解答公众的问题。主要问题答复如下：

— 关于张家庄村搬迁问题

山东核电有限公司对此问题做出了回应，说明山东海阳核电厂根据国家有关规定划定了非居住区边界范围，并对非居住区边界范围内的董家庄和冷家庄实施了搬迁。核电厂的运行不会对张家庄的居民造成明显不利的辐射影响，故不在搬迁范围内。

— 关于核电厂寿命期满后的问题

山东核电有限公司和上海核工程研究设计院对此问题做出了回应，说明在核电厂寿命期满后核电厂将进行退役，退役前将进行退役阶段的环境影响评价，保证核电厂退役造成的环境影响符合国家标准，产生的放射性废物将运至国家设立的放射性废物处置场进行处理处置。

— 关于高压线的辐射影响

山东核电有限公司和上海核工程研究设计院对此问题做出了回应，本次环评仅针对核电厂区内的主体工程，核电厂外输电线路的建设和环境保护不属于核电厂的管理范畴。国网山东省电力集团公司负责的海阳核电 500kV 送出工程的环境评价工作已开展，并由山东省环境保护厅出具批复意见(鲁环审【2012】60 号）。在环境保护方面，送出工程线路执行的是《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》（HJ/T24-1998）、《高压交流架空线路无线电干扰限值》

（GB15707-1995）、《声环境质量标准》（GB3096-2008）等相关标准，环境保护满足国家要求。

— 担心消费者对本地出产海产品及农产品的不信任

山东核电有限公司和上海核工程研究设计院对此问题做出了回应，说明山东海阳核电厂运行期间液态和气态放射性核素排放可以满足的要求相关标准要求，不会对周围环境，包括海产品和农产品造成不利影响。为避免温排水造成的海水温升对养殖场的影响，山东核电有限公司已对受影响区域内海水养殖场进行了征海补偿。山东核电有限公司在今后的工作中将进一步加强与公众的交流，宣传核电知识，增进公众对核电的理解，消除公众疑虑。根据国内已建成的核电厂，如秦山核电厂、大亚湾核电厂、岭澳核电厂和田湾核电厂的运行经验，以及当地部门开展的调查工作显示，核电厂对当地的经济有很大的促进作用，未发现对当地产品销售和公众心理造成影响。

2）利益相关者意见

海阳核电厂的利益相关者主要是征地拆迁移民和养殖补偿拆迁户，征地拆迁移民主要涉及冷家庄村和董家庄村的公民，养殖拆迁户分布在张家庄、冷家庄、邵家庄和董家庄等行政村中，在开展公众参与问卷调查工作中，并专门针对利益相关者发放了问卷调查表，征地搬迁户（冷家庄和董家庄）共发放并收回问卷 23 份，养殖拆迁户共发放并收回问卷 21 份。在公众参与座谈会邀请的代表中，也包括了利益相关者代表。调查结果和征询意见结果显示，核电厂建设利益相关者（征地拆迁移民和养殖补偿拆迁户）对核电厂的建设和运行持支持态度，没有反对意见。

表8.3-1　公众参与调查对象统计表

结构组成	类　别	比例，%
年龄	20 以下	7.5%
	21-40	19.2%
	41-60	49.3%
	60 以上	24.0%
性别	男	78.1%
	女	21.9%
文化程度	初中以下	16.1%
	初中	60.6%
	高中	14.6%
	大专及以上	8.8%
职业	农民	81.5%
	公务员	0.68%
	教师	8.2%
	工人	1.0%
	学生	6.2%
	企业主	0.68%
	离退休人员	0.68%
	其他	1.4 %

表8.3-2(1/2)　公众参与调查结果统计

调查内容	意见	比例%
您对本工程的了解程度	了解	33.8%
	知道	48.0%
	听说	17.6%
	不知道	0.7%
您是否了解核电是一种清洁、安全的能源	很清楚	31.3%
	知道一点	62.7%
	不了解	6.0%
您是否了解核电与火电相比有何优势	很清楚	35.3%
	知道一点	58.7%
	不了解	6.0%
您对国家目前安全高效发展核电的政策持什么态度？	积极支持	45.6%
	支持	54.4%
	无所谓	0.0%
	反对	0.0%
您认为当地的环境状况？	优	35.2%
	良好	27.6%
	一般	33.8%
	差	0.0%
	不知道	3.4%
您认为当地环境的主要污染物（多选题）	大气	42.0%
	水	19.3%
	噪声	19.3%
	电磁辐射	41.3%
	生态	16.7%
	其他	18.0%
您认为本工程的建设将对您的影响是	经济	46.3%
	心理	26.5%
	无影响	17.0%
	其他	10.2%
在前期 1、2 号机组建设中，您是否涉及工程征地移民？（若选“是”，继续回答下题）	是	15.4%
	否	84.6%
您认为征地移民后对您的工作、生活环境有何影响？	有很大改善	4.4%
	有所改善	78.3%
	没有变化	17.4%
	有不利影响	0.0%

表8.3-2(2/2)　公众参与调查表结果统计

调查内容	意　　见	比例，%
在前期 1、2 号机组建设中，您是否涉及海水养殖拆迁补偿？（若选“是”，继续回答下题）	是	14.0%
	否	86.0%
您认为海水养殖拆迁补偿后对您工作、生活有何影响？	有很大改善	4.8%
	有所改善	23.8%
	没有变化	71.4%
	有不利影响	0.0%
您认为本工程施工期间对您影响最大的因素是（多选题）	施工噪声	37.3%
	空气粉尘	24.7%
	交通不便	32.0%
	水质	12.7%
	其他	30.7%
您认为本工程对海洋生态环境的影响	有明显不利影响	6.1%
	有不利影响	33.3%
	无影响	15.6%
	不清楚	44.9%
对本工程，您最想了解的是（多选题）	对我有没有影响	34.0%
	会不会发生事故	72.7%
	事故影响的范围和程度	24.0%
	其他	0.0%
您认为本工程对环境影响主要是：（多选题）	无影响	23.3%
	不清楚	14.0%
	放射性污染	50.7%
	大气污染	22.7%
	水污染	18.7%
	噪声污染	11.3%
	生态	24.7%
	其他	4.0%
您认为本工程对本地区经济社会发展	有明显的推动	71.2%
	一般	24.7%
	无明显效益	4.1%
您认为本工程的总体效应？	利大于弊	89.2%
	利弊相当	4.7%
	弊大于利	6.1%
您对本工程建设的态度？	支持	92.0%
	有条件支持	3.3%
	无所谓	4.7%
	反对	0.0%

8.4 小结

从开展的公众参与活动中，可以看出所有参与调查的公众都对本项目的正式投入建造表示支持，无一人表示反对。山东核电有限公司在一期工程筹建和建设期以及本项目选址阶段均开展了有针对性的公众参与宣传工作，公众对于核电和本项目具有较深的了解和较高的认可度。在公众参与开展期间，公众通过各种途径反映了各自所关心的问题， 山东核电有限公司和上海核工程研究设计院公众关心的问题进行了解答。

通过公众参与工作，当地公众进一步增进了对本项目和核电的了解程度，并对本项目表示认可和支持。山东核电有限公司表示将在后续的建设过程中充分考虑公众提出的意见和建议，将核电厂工程的环境保护落到实处，注重核电与环境与人的和谐，达到经济与环保的双赢。同时，山东核电有限公司将继续做好公众参与工作，加强公众宣传，并建立良好的公众参与渠道。

第九章　电厂建设和运行的效益分析

9.1 直接效益

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程的投产能够为山东省的经济发展提供电力保障，不仅使山东电源结构多样化，也使电网的电源布局更趋合理，能有效改变山东省目前“西电东送”的局面，解决山东省的电力供应紧张问题。

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程新建 2 台 CAP1000 核电机组，机组的额定功率为 1250MW，按 80%的负荷因子估算，正常年份 2 台机组的年上网电量可达到 162 亿 KWh。山东海阳核电项目 3、4 号机组的 2 台机组设计寿命为 60 年，在其整个商业运行寿期内，将取得显著的经济效益。

9.2 间接效益

9.2.1 环境效益

核电给环境带来的间接效益主要来自于其替代燃煤发电带来的减排效应，煤炭燃烧的主要污染物是 CO_2、SO_2、NO_X 以及烟尘等。本项目的建成可有效替代燃煤机组，大量减少胶东半岛的 CO_2 排放量，并缓解酸雨现象。

按照 CO_2 减排因子为 997 克/kWh 考虑，本项目投产后正常年份可实现 CO_2 减排 1745 万吨，CO_2 减排效益参考近期国内 CO_2 排放权交易价格，取 95 元/吨，正常年份内 CO_2 减排可实现经济效益约 16.6 亿元。

9.2.2 项目能够促进关联产业发展

核电投资建设对相当多产业形成了直接和间接拉动。根据测算，1 元的核电建设投资，对关联产业的拉动作用如下：一是对 42 个行业门类中的 37 个行业产出的拉动作用超过 0.01 元；二是对通用、专用设备制造业等 14 个行业产出的拉动作用超过 0.1 元。核电生产运营也对相关产业产生较强的拉动，1 元的核电产出将拉动主要行业的产出增长为：石油加工、炼焦及核燃料业 0.11 元，农业 0.10 元，化学工业 0.08 元，金融保险业 0.08 元。由此可见，关联面较大的核电是拉动我国经济增长、促进经济结构优化与升级的难得的驱动项目。

9.2.3 项目带给区域经济的影响

核电项目能够推动和促进地方经济的发展，核电站对地方财政收入的影响主要来自于税收，包括营业税、城市维护建设税及教育费附加等，项目投产后可为

地方贡献年均 8000 多万的销售税金，以及年均 4 亿左右的所得税。除此之外，核电项目能够为地方创造大量的就业机会，不仅在建设期需要大量的不同层次的劳动力，而且运行期间也能直接或间接的提供大量的就业岗位。

9.2.4 项目带来的社会影响

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程投产后，核电厂职工的货币购房和生活消费等，将促进当地的房地产业、零售业、通讯、教育、医疗卫生及其他市政设施和社会福利事业的发展，繁荣当地经济。核电厂职工受教育水平和文化水平较高，在融入地方的过程中，也会产生积极的影响，带动整个社会发展水平的提高。

9.3 代价分析

9.3.1 经济代价

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程的建成价为人民币 3142433 万元。其中外币金额 51182 万美元，国内金额 2806865 万元。

9.3.2 环境代价

为了达到保护环境和保护公众的目的，山东海阳核电项目 3、4 号机组工程设置了各种放射性废物净化和处理系统、环境监测和流出物监测系统、屏蔽防护体系以及应急设施等，以控制并确保核电厂在正常运行期间和事故工况下向环境释放的放射性物质低于国家标准，对环境和公众的影响在可接受的范围内，环保设施组成和环保经费见表 9.3-2。本报告书的前述章节已对本项目的环境影响做出了详细的论证。

9.3.3 社会代价

山东海阳核电厂一期工程建设时已完成了全部 6 台机组的征地工作，移民搬迁和安置工作已妥善解决。因此，山东海阳核电项目 3、4 号机组工程建设时不存在与征地和移民有关的社会影响。

核电厂所需的施工设备、器材和人员的运输会增加当地交通网的负担，也可能会增加交通事故的频率。建设期间的大型设备运输和运行期间的燃料、乏燃料及放射性废物的运输，因其特殊的要求，会给所经线路的交通（包括陆路和海运）带来一定的影响。

核电厂建设期间，在工程现场会集结大量的施工队伍，高峰期约万余人，这些人员的生活消费会增加当地的市场供应负担，造成供需紧张，引起物价上涨，给当地居民的生活带来一定的负面影响。

9.4 总结

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程的效益分析和代价分析，可以得出，本工程的建设是必要的，也是合理可行的。该项目的建设和运行能以较小的代价获得显著的直接经济效益、环境效益和社会效益。

表 9.3-2　核电厂主要环境保护设施及相关投资

序号	项目名称	费用（万元）	备注
1	环境监测站	3018	全厂共用
2	流出物监测系统	2446	
2.1	流出物实验室和放射源库	1209	全厂共用
2.2	监督性流出物实验室	1237	全厂共用
3	厂址废物处理厂房及设施	20207	厂房为全厂共用，设施为3、4#
4	核岛三废处理	6813	3、4#
5	核岛安全设施	150230	3、4#
6	核岛通风系统	29140	3、4#
7	辐射监测系统	6526	3、4#
8	应急响应设施	14844	
8.1	应急指挥中心	1316	全厂共用
8.2	应急道路	13594	全厂共用
8.3	核事故应急准备金	1250	3、4#
9	生活污水处理设施	650	3、4#
10	特种汽车库	1071	全厂共用
11	化学品库	256	全厂共用
	共 计	235202	

第十章　环境风险评价

10.1 概述

山东核电有限公司拟在已开工建设的 1、2 号机组的基础上投资扩建 2 台 CAP1000 百万千瓦级压水堆核电机组（3、4 号机组），同时作为建设单位负责电厂建成后的运营和管理。

上海核工程研究设计院受山东核电有限公司委托对山东海阳核电项目 3、4 号机组工程开展环境影响评价工作，并根据原国家环境保护局发布的《核电厂环境影响报告书的内容和格式》（NEPA-RG1）的要求编制了《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书（建造阶段）》（以下简称“环评报告”）。

为进一步保护环境，切实有效防范环境风险，根据环境保护部文件“关于切实加强风险防范、严格环境影响评价管理的通知”（环发[2012]98 号）和“关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知”（环发[2012]77 号）的要求，根据 CAP1000 的相关设计资料并结合厂址特点，编制本章节，从环境风险方面分析和评价山东海阳核电项目 3、4 号机组选址的可接受性。

10.2 环境风险评价

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危险、有害因素，建设项目可能发生的突发性事件或事故，所造成的人身安全与环境影响和损害程度，提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使建设项目事故率、损失和环境影响达到可接受水平。核电厂区别于其他建设项目最主要的风险来自于潜在的放射性事故造成的放射性物质的释放。

10.2.1 风险识别

1）放射性风险源

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的规定，核动力厂事故工况指比预计运行事件更严重的工况，包括设计基准事故和严重事故：

— 设计基准事故：核动力厂按确定的设计准则进行设计，并在设计中采取了针对性措施的那些事故工况，且确保燃料的损坏和放射性物质的释放不超过事故控制值，包括稀有事故和极限事故两类；

— 严重事故：严重性超过设计基准事故并造成堆芯明显恶化的事故工况。

此外，在核动力厂选址阶段，定义了选址假想事故，作为确定厂址非居住区、规划限制区边界的依据。

2）扩散途径

评价中主要考虑事故所释放源项通过气态扩散，以烟云浸没外照射和吸入内照射途径对公众产生影响。

3）保护目标

山东海阳核电厂厂址半径 5km 范围内截止 2009 年底共有常住人口 6854 人，共涉及 6 个村庄，分别为邵家庄、张家庄、外岛、大辛家、南庄和小滩。厂址半径 5km 范围内距厂址最近的居民点为位于 3 号反应堆 NW 方位约 1km 处的邵家庄，2009 年底有人口 341 人；厂址半径 5km 范围内最大的居民点位于厂址 NNW 方位约 3.9km 处的大辛家村，2009 年底有常住人口 3169 人。

10.2.2 源项分析

1）选址事故源项

山东海阳核电厂在选址阶段采用全堆芯熔化的选址假想事故作为确定厂址非居住区和规划限制区边界的依据。

2）设计基准事故源项

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程初步安全分析报告（PSAR）第 15 章“事故分析”中选择了 6 类需进行放射性后果评价的设计基准事故，分别为大破口失水事故（LOCA）、弹棒事故（CREA）、安全壳外主蒸汽管道破裂事故（MSLB）、反应堆冷却剂泵轴卡死事故（主泵卡转子）（LRA）、燃料操作事故（FHA）和蒸汽发生器传热管破损事故（SGTR）。其中，以大破口 LOCA 事故的后果最严重，均可包络其它 5 类设计基准事故的放射性后果，并且大破口 LOCA 事故的放射性后果比其它事故要保守很多。

3）严重事故源项

严重事故发生后，烟羽中的放射性气体和气溶胶会随着风向在大气中输运。输运过程中，放射性物质会对人体产生辐照。为全面评价潜在的事故造成的厂外剂量风险，针对每一类别的释放，均选取了一个代表性源项，作为该释放类别的包络值。共确定 6 类典型的释放类别，概述如下：

- IC—事故中安全壳始终保持完整，放射性物质向环境的释放量与安全壳设计基准泄漏率相关。

- BP—裂变产物从反应堆冷却剂系统通过旁通安全壳的二回路系统和其它连接系统，释放到环境中。安全壳在堆芯开始损伤之前失效。
- CI—裂变产物通过那些失效的用于隔离安全壳与环境之间连接的系统和阀门释放。安全壳在堆芯开始损伤之前失效。
- CFE—裂变产物通过失效安全壳释放，安全壳失效由发生在堆芯开始损伤之后堆芯熔融物再就位之前的严重事故现象造成。这些现象包括：氢气爆炸、氢气扩散火焰、蒸汽爆炸以及压力容器失效。
- CFI—裂变产物通过失效安全壳释放，安全壳失效由发生在堆芯熔融物再就位之后 24h 之内的严重事故现象造成的。这些现象包括：氢气爆炸和氢气爆燃。
- CFL—裂变产物通过失效安全壳释放，安全壳失效由在 24h 后发生的一些严重事故现象造成的。这些严重事故现象包括：安全壳热排出失效(非能动安全壳冷却系统失效)。

10.2.3 后果预测与评价

结合本厂址气象条件、地形特征及人口分布特征，计算得到功率运行工况下，由于假想的裂变产物释放（堆芯损伤开始后初始 24 小时）造成 80km 范围内公众集体剂量总风险是 4.78E-04 人·Sv/堆年，各释放类别详细数据见表 10.2-1。

表 10.2-1　0~80km 范围内集体剂量风险——持续照射 24h

释放类别	释放频率（1/堆年）	平均剂量（人·Sv）	风险（人·Sv/堆年）	占总剂量风险的百分比
CFI	2.08E-10	4.90E+04	1.02E-05	2.13%
CFE	9.05E-09	1.69E+04	1.53E-04	32.00%
IC	1.78E-07	7.16E+00	1.27E-06	0.27%
BP	6.53E-09	4.50E+04	2.94E-04	61.49%
CI	3.19E-10	6.15E+04	1.96E-05	4.11%
CFL	5.96E-11	8.41E+01	5.01E-09	0.00%
总风险			4.78E-04	100.00%

10.3 环境风险防范和应急措施

10.3.1 核事故风险防范措施

1) 堆芯熔融物的堆内持留

通过对压力容器外壁的冷却来把堆芯熔融物持留在压力容器内是 CAP1000 设计中对严重事故的缓解措施之一。由于压力容器能够保持完整且熔融物被持留在下封头以内，防止了由堆芯熔融物迁移到堆腔中，从而避免了诸如熔融物与冷却剂相互作用以及堆外蒸汽爆炸之类的现象。

CAP1000 通过对压力容器的绝热层和安全壳结构的设计来延长熔融物的堆内持留。CAP1000 的安全壳的工程设计措施是：在事故情况下对安全壳堆腔注水，以使压力容器淹没在水中。发生 LOCA 时液体流出物也直接从破口流入堆腔。CAP1000 的功能恢复规程中有：在自动注入失效的情况下，通过操纵员手动操作将换料水箱（IRWST）中的水注入堆腔。因此，在事故状况下压力容器极可能是淹没在水中的。

2) 燃料/冷却剂相互作用（蒸汽爆炸）

对压力容器内蒸汽爆炸的研究分析主要集中在下封头失效方面，蒸汽爆炸导致压力容器失效的模式会减弱压力容器的堆内持留能力。ROAAM（(RiskOriented Accident Analysis Methodology，基于风险的事故分析方法）的分析结果表明，熔融物从堆芯上部区域迁移到下腔室则认为是由于堆芯围板和吊篮的侧壁失效导致的，由于活性区下面存在由燃料棒下腔锆合金端塞、组件下管座以及堆芯下支撑板组成的巨大热阱，所以向下的迁移被认为是不可能的，侧向失效的模式使得早期迁移到下腔室的熔融物质量很有限，由于存在非常大的裕量，由堆内蒸汽爆炸引起的下封头失效从根本上是不可能的。

3) 氢气燃烧和爆炸

CAP1000 对可能威胁到安全壳完整性的氢气扩散燃烧做了纵深防御。第一道防御是 RCS 系统中的自动泄压系统第 4 级（ADS stage4）管线，它能防止大量的氢气释放到换料水箱（IRWST）和非能动堆芯冷却系统（PXS）隔间。ADS 第 4 级管线为压力容器内产生的氢气释放到安全壳提供一条极少阻力的途径。ADS 第 4 级管线从 RCS 热端通风到环路隔间，该隔间是和安全壳壳体隔离开的，并有来自安全壳内自然循环的固定量的氧气流入。氢气可以在环路隔间内扩散燃烧而不威胁到安全壳的完整性。如果 ADS 第 4 级失效，AP1000 对 IRWST 通风口做了设计考虑来减弱

安全壳墙壁处的扩散燃烧。为了减弱氢气产生的扩散火焰威胁，非能动安注系统隔间和化容与控制系统隔间的通风口都布置在离安全壳壳体和贯穿件比较远的地方。

4) 高压熔融物喷射（HPME）

CAP1000 为防止高压堆芯熔化设计的措施包括非能动余热排除（PRHR）系统和 ADS。这些设计措施采用了为一回路排除热量和减压的方式来防止出现高压堆芯损坏情况。对高压熔融物喷射后果的缓解是通过安全壳的布置来实现的，安全壳的布置使得通往上面的隔间路线比较曲折并且没有可以让熔融物直接喷射到安全壳壳体的途径。

5) 堆芯熔融物的可冷却性

在未能防止堆芯压力容器失效的事故序列中，堆芯熔融物可能释放到堆腔。这类压力容器失效模式产生了对安全壳的低压熔融物喷射（LPME）。CAP1000 堆腔设计了一个堆芯熔融物的扩展区域。冷凝水从非能动安全壳冷却系统（PCS）重新流回堆腔，这样为堆芯熔融物的冷却水提供了长期补给。

6) 衰变热导致安全壳增压

CAP1000 安全壳是由 PCS 冷却的。通过蒸发水冷却安全壳壳体为安全壳提供了一个长期的冷却，并将除氢气燃烧（另外处理的）之外所有严重事故情况下安全壳压力限制在设计压力之下。安全壳水通过冗余、多样的管线、阀门系统送到安全壳顶部，包括一路能接到外部水源（如消防车）的管线。

在长时间没有水供给到安全壳壳体顶部这样不大可能的状况下，气流经过 PCS 环间的仅空气冷却也为安全壳提供了一种重要的冷却方式。在正常环境条件下，安全壳内预计会达到平衡压力，不会威胁到安全壳完整性。但是，从名义的环境条件到保守的环境条件，仅空气冷却的安全壳完整性并不能得到保证。在这种情况下，预计事故发生 24 小时以后出现安全壳失效。

操纵员有充足的时间按照严重事故管理规程（SAMG）来对安全壳通风。安全壳的通风可以缓解失效安全壳的不可控裂变产物释放。CAP1000 允许在 SAMG 特别规程下通过很多安全壳贯穿件通风。一旦通风结束，安全壳中增加的水蒸汽浓度也增强了 PCS 的空气冷却效果，这样就不再需要更进一步的通风了。对安全壳的通风也可以减少安全壳内不可压缩气体的部分压力，这样又出现一种新的安全壳低压失效模式，它可能在安全壳通风后被冷却时出现。

7) 高温（设备的耐受性）

CAP1000 安全壳压力边界在超设计基准情况下的性能分析结果中其它设备是可靠的，但不是安全壳环境条件没有超过发挥功能时设备的限制条件，而是设备的设计基准就是严重事故环境。安全壳内的安全相关设备的辐射环境上限基于 NUREG-1465 描述的堆内大量燃料熔化产生的严重事故源项。LERF 计算中认为设备可靠是指：设备能承受超过需要其发挥功能的时间段的事故相关放射剂量。

10.3.2 放射性物质运输风险防范措施

山东海阳核电厂运输的放射性物质包括新燃料组件、乏燃料和中低放固体废物。

新燃料组件可以通过铁路、公路和海运等不同方案运至海阳核电厂。乏燃料组件暂存在厂内至裂变产物活性降低到一定程度并经批准后方可外运时。以上运输均需使用专用容器，运输容器的设计和制造满足《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2004）和《放射性物品运输安全管理条例》的要求，且运输时容器表面需满足相应剂量率标准。容器从设计上充分考虑可能的事故工况，即使发生运输事故，容器本身发生变形，燃料组件不会产生临界反应，乏燃料也不会散落。海阳核电厂厂外运输的放射性废物主要是 200L 钢桶包装的桶装废物，运输方式拟采用公路运输。废物桶的设计和制造符合《低、中放水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-91）、《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2004）和《放射性物品运输安全管理条例》的要求，可有效防范运输过程中的环境风险。

10.4 应急措施

为了减少事故对公众的辐射影响，根据核安全导则《核动力厂营运单位的应急准备》（HAD002/01）和《地方政府对核动力厂的应急准备》（HAD002/02）的要求，事故应急应包括：隐蔽、简单的呼吸道和体表防护、服用稳定性碘、撤离；避迁、控制食品和水、控制通道、地区去污和人员去污等措施。为了快速有效地处理核事故发生后的各种问题，最大限度减少事故影响，在事故时便于执行上述应急措施，山东海阳核电厂在生产运行管理上将按照一址多堆的管理模式运营，在应急准备和应急响应方面建立统一的应急组织，按照国家“常备不懈，积极兼容，统一指挥，大力协同，保护公众，保护环境”的应急管理工作方针，进行统一的应急准备，在事故情况下实施统一的应急响应。

山东核电有限公司已对 1、2 号机组制订了场内应急计划，3、4 号机组建成后

将纳入统一的应急管理。

10.4.1 应急计划区

为在核电厂发生事故时及时有效地保护公众，依据国务院《核电厂核事故应急管理条例》及相关规定，在山东海阳核电厂周围划定应急计划区。应急计划区边界根据事故分析及厂址特征预先确定，制定有应急计划，做好相应的应急准备工作，在事故情况下能快速执行应急防护措施。

应急计划区分为烟羽应急计划区和食入应急计划区，两者分别针对烟羽照射途径（空气浸没外照射、烟云吸入内照射和地面沉积外照射）和食入照射途径（食入受污染的食品和水引起的内照射），其中烟羽应急计划区又分为内区和外区。

山东核电有限公司委托苏州热工研究院有限公司于 2010 年 1 月完成了《山东海阳核电厂应急计划区测算专题报告》，该“专题报告”中推荐的烟羽应急计划区内区半径为 3 公里，外区半径为 7 公里；食入应急计划区为半径 30 公里的范围。

根据山东省核事故应急协调委员会发布的《关于山东海阳核电厂应急计划区范围有关问题的通知》（鲁核应办[2012]），山东海阳核电厂的烟羽应急计划区为以反应堆为中心半径 10km 的范围，其中内区为以反应堆为中心半径 5km 的范围；食入应急计划区为以核电厂为中心，半径 50km 的范围。

10.4.2 应急组织和职责

山东海阳核电厂建立了完善的应急响应组织，其组织机构和具体职责详见本报告“6.4.5 节”

10.4.3 应急设施

海阳核电厂主要配备主控室、远方停堆工作站、应急指挥中心、备用应急指挥中心、技术支持中心、运行支持中心、公众信息中心、监测和评价设施、应急通信设施等主要应急设施，电厂同时还利用现场医务室、保卫控制中心及要害区出入口、警卫营房、消防站等设施作为相应的辅助应急设施。具体描述详见本报告“6.4.6 节”。

10.4.4 核事故应急防护措施

山东核电有限公司已编制完成了《山东海阳核电厂场内应急计划》，该计划已于 2012 年 12 月上报国家核安全局。山东海阳核电厂将执行统一的应急计划，其场内外防护行动详见本报告“6.4.8 节”。

10.5 结论

综上所述，山东海阳核电厂的环境风险均在可控和可接受的范围内。同时，山东海阳核电厂建立了完整的风险防范措施和应急预案，能有效的预防和缓解核电厂事故带来的环境影响。因此，从核电厂环境风险的角度讲，山东海阳核电项目 3、4 号机组工程的建设是可以接受的。

第十一章　结论

山东海阳核电厂地处胶东半岛的黄海之滨，为滨海核电厂。厂址位于山东省烟台市辖海阳市留格庄镇邵家庄村以南，处于三面环海的岬角东端，东北有乳山湾，西南有凤城港，东部和南部面临广阔的黄海。

山东海阳核电厂厂址规划建设六台百万千瓦级及以上压水堆核电机组。建设采用一次规划、分期建设的方式。本项目在1、2号机组建设的基础上，扩建两台CAP1000核电机组，3号机组初步计划于2018年投产，4号机组初步计划于2019年投产。

本报告书将针对山东海阳核电项目 3、4 号机组工程实施建造阶段环境影响评价工作，评价中考虑采用 CAP1000 压水堆核电机组。

本报告书遵循我国相关法律、法规和标准，按照核设施环境保护管理导则《核电厂环境影响报告书的内容和格式》（NEPA-RG1）的要求，结合山东海阳核电厂厂址的环境条件，对电厂建设和运行对环境的影响和环境对电厂的可能影响进行了分析评价，并对厂址的适宜性从环境的角度进行了论证。

11.1 厂址环境特征

1）人口分布

截止 2009 年年底，山东海阳核电厂厂址半径 80km 范围内陆域平均人口密度为 386 人/km^2，低于山东省同期平均人口密度（603 人/km^2）。

厂址半径 5km 范围内 2009 年度共有常住人口 6854 人，厂址半径 1km 范围内仅有 1 个居民点，为位于厂址 NW 方位约 1.0km 处的邵家庄，2009 年底常住人口为 341 人。厂址半径 5km 范围内无万人以上村镇，半径 15km 范围内无十万人以上城镇，半径 80km 范围内无百万人以上城市。

按《核电厂选择及评价的人口分布问题》（HAD101/04）中推荐的人口密度法评价，山东海阳核电厂厂址周围人口分布基本符合山东省 I 类厂址。

2）土地利用和资源

山东海阳核电厂厂址半径5km范围内无大型工业和文化设施。厂址半径5km范围（属留格庄镇管辖）内工业企业多为一些海产品加工、食品加工和机械制造单位，主要集中在大辛家村、外岛村和张家庄村附近。

山东海阳核电厂厂址所在地的海阳市交通发达。青威高速公路（青岛至威海）和 202 省道（乳山至即墨）横跨东西；县道高凤线（高家至凤城）纵贯南北。核电厂主要进厂道路——海核一路北接青威高速公路，南到海阳核电厂，全长 8km，已于 2004 年 8 月通车。核电厂应急道路——海核二路，全长约 14km，东西走向，东至核电厂，西方向可以通往凤城街道。该道路为双向四车道，已于 2009 年 8 月通车。两条公路通车后，出入厂址的陆上交通快捷便利，更有利于海阳核电厂的建设。

厂址 4km 范围内没有经过的航线或起落通道，厂址半径 16km 范围内无机场设施。

3）气象

山东海阳核电厂厂址区近地层各高度的年风向玫瑰分布趋势大体一致。厂址地区各方位风频都在 4%~12%之间，在偏南和偏北方位出现频率略高一些。厂址大气弥散条件较好。

4）水文

山东海阳核电厂地处三面环海的海岬岬角，海域向外海开敞。核电厂取排水区 5m 等深线距岸约 500m。潮流性质以规则半日潮流为主，多年平均潮差约为 2.39m。运动形式主要为往复流，涨潮期间的主流向为 WSW-WNW，落潮期间的主流向为 ENE-ESE。落潮流强度稍大于涨潮流，近岸流速略小于水深较大的近海点流速。厂址附近海域的稀释扩散能力相对较好。

5）地质地震

山东海阳核电厂厂址在大地构造上位于华北地台胶辽台隆鲁东断块隆起三级构造区内。区域范围不存在全新世火山活动，厂址半径 5km 范围内不存在能动断层，不存在具有开采价值的矿产资源，也不存在滑坡、塌陷、泥石流等不良地质现象；核岛、常规岛等主要建构筑物基础位于微风化~未风化的岩体上，岩体是均匀、稳定的，其地基参数满足主要建构筑物采用天然地基的要求；厂址区地震基本烈度为Ⅵ度。

6）外部人为事件

环境调查结果表明：厂址半径 16km 范围内无民用飞机场，4km 范围内无

民用飞机航线通过。

厂址筛选距离范围内的油库、加油站、液化气站、天然气输送管道等固定危险源和移动危险源的存在不会影响核电厂的安全运行。

11.2 施工期间的环境影响

海阳核电厂 3、4 号机组施工活动对周围环境的影响主要是征地对社会环境的影响、土石方工程负挖、道路建设、运输以及其他活动造成陆域生态的影响、水土流失的影响、噪声的影响、水环境的影响、大气环境的影响，同时还有使用化学物质对环境的影响和施工固体废弃物对环境的影响。

分析认为，3、4 号机组施工活动给环境带来的影响是局部的、短期的，对环境影响较小。同时在总结一期工程施工经验的基础上，通过有效的工程管理措施及相关工程管理制度的逐步完善，可使施工行为对环境的影响进一步降低到最小程度。

11.3 电厂正常运行期间的辐射影响

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）第 6.1 节规定：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。考虑到电厂的规划容量，山东海阳核电厂 1~4 号核电机组的剂量管理目标值为 0.16mSv/a。

山东海阳核电厂 3、4 号机组在正常运行期间放射性物质由气载途径和液态途径排放对个人所致最大有效剂量为 3.80E-03mSv/a，为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 1.52%。

山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行期间放射性物质由气载途径和液态途径排放可能造成的最大个人有效剂量为 1.00E-02mSv/a，为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 4.00%，为 1~4 号核电机组剂量目标值（0.16mSv/a）的 6.25%。

山东海阳核电项目一期工程及 3、4 号机组工程 4 台百万千瓦级核电机组正常运行时放射性液态流出物排放对厂址邻近海域的水生生物造成的危害商最大为 2.58E-02，远小于 1。因此，山东海阳核电项目一期工程及 3、4 号机组工程 4 台百万千瓦级核电机组正常运行工况下，液态放射性流出物排放对厂址邻近海域

中的水生生物造成的辐射影响非常有限，不会对环境产生危害。

11.4 电厂事故工况的辐射影响

山东海阳核电厂采用厂址陆域征地边界作为厂址非居住区边界。规划限制区范围为以反应堆为中心、半径 5km 的区域。

事故辐射影响评价涉及可能有较大放射性物质释放的七类设计基准事故，弹棒事故、安全壳外主蒸汽管道破裂事故、主泵卡转子/断轴事故、燃料操作事故、蒸汽发生器传热管破裂事故、安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故和设计基准的LOCA事故。

在本报告所考虑的设计基准事故工况下，经计算均能满足国家相关标准的要求。从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，山东海阳核电项目3、4号机组工程的安全设施设计性能可靠，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国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的相应要求

11.5 非放射性因素的环境影响

1）温排水的影响

根据中国水利水电科学研究院在 2008 年编制的“山东海阳核电厂可行性研究阶段温排水、低放废水数模计算”和 2006 年编制的“山东海阳核电厂工程温排水、液体放射性流出物物模试验研究”的相关结果，山东海阳核电厂 4 台机组正常运行时在夏季温排水超 1℃温升最大面积是 32.5km^2，超 4℃温升最大面积是 6.0km^2；冬季温排水超 1℃温升最大面积是 29.3km^2，超 4℃温升最大面积是 3.80km^2。我国《海水水质标准》（GB3097-1997）中有关水温的规定：对于第三类海水，人为造成的海水温升不超过当时当地 4℃。根据山东省环境保护局《关于同意调整山东海阳核电厂附近海域环境功能区划的复函》（鲁环发[2009]21号），海阳核电厂厂址西侧 9.6 平方公里的海域和厂址东侧 7.7 平方公里的海域，其环境功能区类别由原来的二类调整为混合区。核电厂厂址周围剔除混合区后，面积为 40.4 平方公里的海域，其环境功能区类别由原来的二类调整为三类，主要水质指标除水温执行三类海水水质标准外，其它指标仍执行二类海水水质标准。从海阳核电厂温排水造成的影响范围分析，山东海阳核电厂 1~4 号 4 台机组

运行后，4℃温升区位于批复文件所规定的III类功能区范围内，能满足海洋功能区划和海域环境功能区划的要求。

根据山东海阳核电厂附近海域水生物分布的调查结果，在厂址周围 20km 海域内，没有大型的海产品养殖场和重要的水生生物产卵场，也不是主要的捕鱼区。结合上述山东海阳核电厂温排水的可能影响范围分析，可以认为，山东海阳核电厂温排水对厂址附近海域的海洋生物的影响是有限的。

2）化学流出物的影响

核电厂排放的化学物质主要是余氯，具有生物毒性。我国《海水水质标准》（GB3097-1997）尚未对余氯允许排放浓度做出规定。根据余氯的排放以及余氯的半衰减特征，经计算，山东海阳核电厂1~4号百万千瓦级核电机组正常运行工况下，余氯排放对厂址附近水域影响有限，且范围仅局限在排放口附近的海域，不会对水生生物在种群上造成损伤。

除余氯外，海阳核电厂其它各类化学废水的排放量较小，且浓度较低，经电厂循环冷却水及受纳海域海水的稀释，不会影响电厂附近海域的海水水质，海阳核电厂所有的生活污水均需经污水处理系统处理达到《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）中的一级标准后排放，不会对厂址周围海域环境造成明显的影响。

3）固体废物的影响

山东海阳核电厂将对非放固体废物进行分类管理，定点收集，并委托有资质的单位专门处置，因此不会对环境产生明显影响。

4）大气环境的影响

山东海阳核电厂将采用电锅炉，且配置的柴油发电机 1 个月仅启动 1 次，每次 1h，因此山东海阳核电厂几乎不产生 SO_2、NO_X 等常规大气污染物，因此不会对厂址附近大气环境产生影响。

5）声环境的影响

山东海阳核电厂厂址边界距最近的邵家庄约有1km，距离较远，因此山东海阳核电厂的运行不会对厂址附近村庄产生明显的噪声影响。

11.6 实施应急计划的可行性

山东海阳核电厂全厂将执行统一的应急计划，山东海阳核电厂 3、4 号机组作为一期工程的扩建项目，其应急计划将纳入全厂统一的应急计划中。

山东海阳核电厂厂址 5km 范围内现有居民 6854 人，该区域范围内的人口分布特征有利于应急行动中组织执行撤离、发放碘片、隐蔽等应急措施。

厂址半径 5km 范围内大部分属乡村地区，5km 范围内耕地面积占总面积的 34.9%。该地区目前没有大型的工矿企业，也没有应急事故中难以撤离的人群。厂址周围的工业活动和农业活动不会对应急计划的实施造成困难。

厂址所在海阳市交通发达，核电一路和核电二路作为应急道路，两条不同方向的应急撤离路线均不在常年主导风向的下风向位置，风向特征对于核电厂应急准备及实施较为有利。厂址附近的海阳港可提供良好的海上运输通道，厂址周围具有良好的应急撤离、疏散和运输条件。

山东海阳核电厂所在的海阳市通讯网络发达，有线电话网络和无线电话网络均已覆盖厂址所在的周围地区，不会存在应急通讯的困难。

综上所述，从厂址周围的人口分布特征、土地利用情况、主导风向特征、应急道路设置情况和应急通讯等方面分析，认为山东海阳核电厂不存在不可克服的实施场外应急计划的困难。

11.7 公众参与

山东核电有限公司于 2013 年 7 月~8 月开展了山东海阳核电项目 3、4 号机组工程建造阶段的公众参与工作，通过公告、调查问卷和座谈会的形式向核电厂周边公众介绍了本项目的基本情况，加强了公众对核电和本项目的认识，收集了公众提出的意见和建议，解答了公众关心的问题。从开展的公众参与活动中，可以看出所有参与调查的公众都对本项目的建设表示支持，无一人表示反对。说明山东核电有限公司在前期的公众参与活动中已开展了大量的工作，公众对于核电、对于本项目具有较高的认可程度。山东核电有限公司将在后续的建设过程中充分考虑公众提出的意见和建议，将核电厂工程的环境保护落到实处，注重核电与环境与人的和谐，达到经济与环保的双赢。同时，山东核电有限公司将继续做好公众参与工作，加强公众宣传，并建立良好的公众参与渠道。

11.8 环境风险

从严重事故对环境和公众的影响来看本项目的环境风险均在可控和可接受的范围内。同时，山东海阳核电厂建立了完整的风险防范措施和应急预案，能有效的预防和缓解核电厂事故带来的环境影响。因此，从核电厂环境风险的角度讲，本项目的建设是可以接受的。

11.9 结论

综上所述，从山东海阳核电厂厂址的自然条件和社会条件分析，山东海阳核电厂厂址在 1、2 号机组建设的基础上，能满足 3、4 号机组建设的要求。本工程施工建设对环境的影响以及环境对电厂的可能影响以及从电厂正常运行和各类设计基准事故工况对环境的可能影响看，均符合我国有关法规、标准的要求。

因此，就核电厂建设和运行对环境的影响而论，山东海阳核电厂在 1、2 号机组建设的基础上，在现有厂址扩建 3、4 号 CAP1000 核电机组是可行的。