



# 滨海核电厂海域工程总平面布置设计要点

张俊, 李秀英, 杨云兰, 夏悟民, 叶剑

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 5102301)

**摘要:** 结合近年来国内实施的若干个滨海核电厂设计实例, 从核电厂海域工程构筑物承担的防洪、取排水和大件吊卸运输等功能展开论述, 重点分析厂址防洪与厂坪高程、护岸高程设计之间的关系, 不同取排水方式的优缺点和适应性, 取排水构筑物常用的平面布置方式及所考虑的取水安全、温排水、潮流、泥沙和波浪等因素, 大件码头平面布置考虑的因素。

**关键词:** 滨海核电厂海域工程; 总平面布置; 护岸; 取排水工程; 大件码头

中图分类号: U 651<sup>+</sup>.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)02-0130-06

## Key points of general layout for nuclear power plant' marine engineering

ZHANG Jun, LI Xiu-ying, YANG Yun-lan, XIA Wu-min, YE Jian

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 5102301, China)

**Abstract:** Based on several design cases of nuclear power plants in China, this paper expounds the the function of flood protection, intake and outlet and heavy-cargo unloading and transportation undertaken by the marine engineering structures of nuclear power plants, analyzes the relationships among flood protection, site elevation and revetment elevation design; the advantage, disadvantage and adaptability of different intake and outlet types, the common general layout of intake-outlet structures and water safety, warm water discharge, tide, sand, waves and other factors considered; as well as factors in the general layout of heavy cargo wharf.

**Key words:** nuclear power plant' marine engineering; general layout plan; bank protection; intake and outlet engineering; heavy cargo wharf

滨海核电厂海域工程通常由护岸、取排水构筑物和配套的大件码头组成, 其中护岸承担厂址防洪的功能, 取排水构筑物承担取排水的功能, 大件码头承担核电厂大件设备吊卸的功能。

目前滨海核电厂海域工程设计主要依据核安全法规的要求, 参考港口工程设计规范以及NBT 25002—2011《核电厂海工构筑物设计规范》。海域工程总平面设计工作中, 存在一些现有规范指导不足的地方, 现结合近年来若干个核电厂工程实例, 谈谈总平面设计中的要点。

### 1 厂区护岸(防浪海堤)布置

厂区护岸(防浪海堤)需承担厂址防洪

功能<sup>[1-2]</sup>, 目前大多数国家均按照核安全导则(HAD101/09)<sup>[2]</sup>提出的“将所有安全重要物项建造在DBF水位以上, 并考虑风浪的影响”来防御设计基准洪水(DBF)。

实际案例通常将厂址地坪高程确定为高出DBF水位0.5 m以上; 对于风浪作用, 主要由厂区周围护岸顶部的挡浪墙来防止或减少护岸墙顶的越浪量, 挡浪墙的顶高程基本为越浪量控制。当护岸外侧存在取排水渠道的外防波堤时, 取排水防波堤起到第2道屏障作用<sup>[3]</sup>。

国内滨海核电厂实际案例中承担核电厂址防洪功能的护岸采用的越浪量标准见表1, 核电厂的厂坪高程、护岸挡浪墙高程与设计基准洪水位和

收稿日期: 2013-11-12

作者简介: 张俊(1984—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口与航道工程总平面专业设计工作。

最大可能台风浪之间的关系见表2。

另外, 厂坪高程增加和降低引起的土石方工程费用和电厂寿命期循环水泵等设备运行费用的

变化也是厂坪高程确定的重要因素, 通常厂坪高程通过经济技术比较来确定<sup>[4]</sup>。

表 1 护岸挡浪墙越浪量控制标准

工况	水位和波浪标准	允许越浪量/( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )	说明
设计工况	设计高水位+100 a一遇波高	0	不越浪
校核工况	DBF水位+可能最大台风浪	通常<0.05	要求越浪洪水不对厂址构成威胁

表 2 已建和拟建滨海核电厂DBF水位、厂坪高程及护岸挡浪墙高程

工程项目	DBF水位/m	台风浪 $H_{1/100}$ /m	厂坪高程/m	挡浪墙顶面高程/m	越浪量标准/( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )	说明
广东岭澳	6.35		7.0	8.2	基本不越浪	珠江基准
江苏田湾	7.18	5.18	7.6	9.5	$3.3 \times 10^{-2}$	56黄海
辽宁徐大堡	5.27	6.66	9.1	9.1	$3.5 \times 10^{-3}$	85高程
广东陆丰	6.67	14.65	14.8	16.5	$5 \times 10^{-2}$	85高程
山东石岛湾	3.30	5.85	7.2	7.7	干厂址, 基本不越浪	85高程

注: 台风浪 $H_{1/100}$ 指可能承担厂址防洪作用的最外侧构筑物前处的波高。

## 2 取排水工程平面布置

### 2.1 核电厂循环冷却方式

国内外核电厂的循环冷却主要采用两种方式: 一次循环冷却(直流冷却, 直接排入自然水体)、二次循环冷却(利用冷却塔冷却)<sup>[5]</sup>。目前

国内所有运行和在建核电厂均为滨海厂址, 采用以海水为最终热阱的一次循环冷却方式。

### 2.2 取水排水方式

常见的取排水方式为明渠取排水、暗管取排水或明渠与暗管相结合取排水, 优缺点见表3。

表3 明渠、暗管取排水方式优缺点

取排水	方式	优点	缺点	适用条件
取水方式	明渠取水	水力损失小, 海生物影响小, 厂用电负荷低, 工程量小, 施工、运行、维护方便	需考虑波浪对取水安全的影响, 对近岸潮流场的影响大, 可引起明显的泥沙冲淤变化	取水量大, 海水含沙量少小, 深水区距岸较近, 海底沉积层薄
	暗管取水	可不考虑波浪对取水安全的影响, 对近岸潮流场基本无影响	施工难度大, 成本高, 检修不方便	近岸水深浅, 漫滩长, 含沙量大, 淤积严重
排水方式	明渠排水	工程投资低, 水头损失小, 运行维护方便	对近岸潮流场和泥沙冲淤影响大, 排水附近掺混扩散条件较差, 混合区面积较大	水深条件好, 近岸排放即可满足排水温升要求
	暗管排水	对海域海流和泥沙冲淤影响小	施工难度大, 成本高	取水温升难以满足需要远排, 避免对周边工程带来影响

### 2.3 取排水构筑物平面布置案例介绍

下面以国内典型的6个核电厂项目为例, 介绍核电厂海域工程取排水工程布置思路(表4), 对应平面布置见图1~5。

## 3 取排水构筑物平面布置考虑因素

取排水工程首要考虑保证核电厂取水安全, 其次是温排水满足取水温升和环境保护要求。总

体设计中重点考虑潮流、泥沙和波浪等因素对取水安全和温排水的影响。

### 3.1 取水安全要求

1) 在极限地震、设计基准洪(低)水位工况下, 有充足的重要厂用水取水量及取水深度(海域工程构筑物可能一定程度发生破坏); 2) 在非极限地震、设计高低水位工况下, 满足循环水、厂用水、鼓网冲洗、水和海水淡化水等的水量及

表4 国内核电厂海域工程平面布置思路

核电厂	取水	排水	大件码头	厂址特点
大亚湾	港池南侧取水	明渠东侧排水	码头、港池和取水口相结合	厂址水深条件良好，风浪条件差
岭澳	明渠西侧取水	明渠东侧排水	与大亚湾共用	与大亚湾共用排水明渠
田湾	取水隧洞+取水明渠	明渠近岸排水	结合护岸布置	近岸水深较浅，海漫滩长，泥沙淤积严重
徐大堡	明渠东侧取水	明渠西侧排水	结合排水导流堤布置	工程海域海床平缓；波浪条件较好；涨潮流向偏东北向，落潮流向偏西南向；
石岛湾	明渠北、南两侧取水	明渠东侧排水	结合护岸布置，另建防波堤	厂址水深条件良好，东侧有深槽，厂区有南北两个固定端，由两侧向中间扩建
陆丰	近岸南侧明渠取水	离岸隧道西南侧深排	结合护岸布置，另建防波堤	外海水深变化快；波况恶劣；涨潮流方向为偏NW向，落潮流方向为偏SE向；余流流向小、中潮期表层以东向为主，中、底层以西向为主

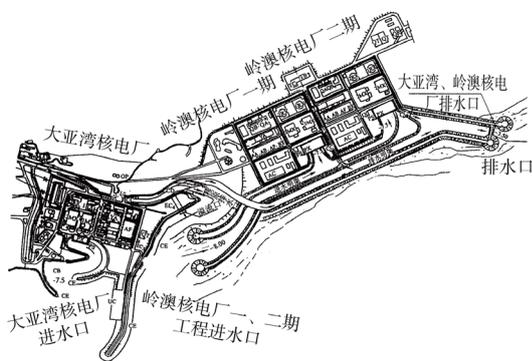


图1 广东大亚湾、岭澳核电厂取排水工程平面布置

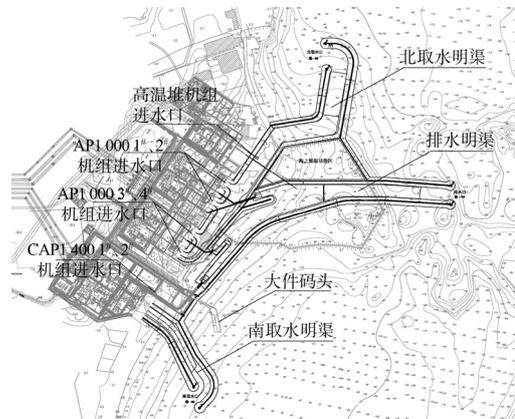


图4 石岛湾核电厂海域工程平面布置

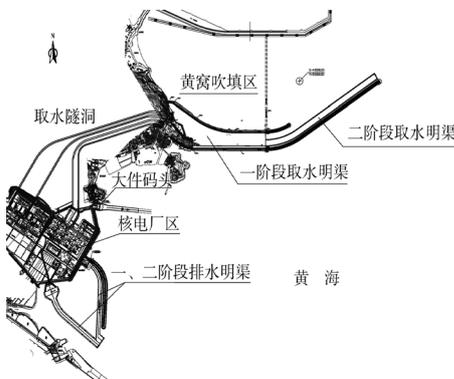


图2 田湾核电厂一、二期海域工程平面布置

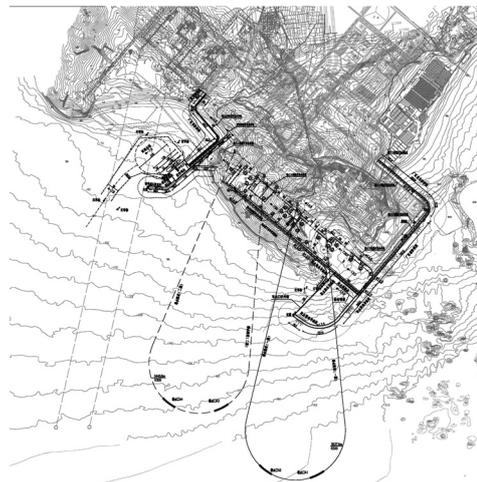


图5 陆丰核电厂海域工程平面布置

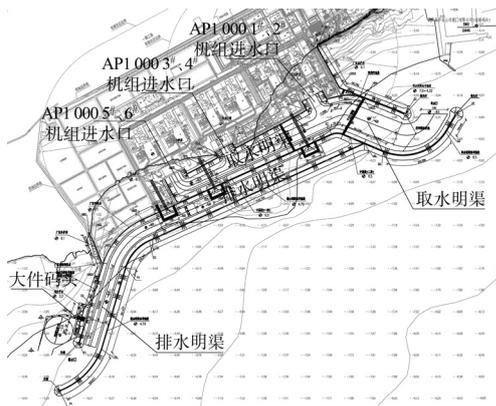


图3 徐大堡核电厂海域工程平面布置

取水深度要求。

### 3.2 温排水的要求

#### 1) 取水温升限值要求。

考虑到冷却水取水温度每增加1℃，机组出力大致要降低0.3%，为保证机组高效的运行，一般将夏季各潮平均温升限值定为2℃。国内核电厂平均取水温升与取、排水口位置关系实例见表5。

表5 平均取水温升与取、排水口位置关系实例

核电厂	装机容量/ MW	取水口水深/m	排水口水深/m	距离/km	各潮平均(夏~冬) 取水温升/(°)	峰值
石岛湾	南200+4×1 250	-8.5	-10.0	距南1.2	南0.8~0.9	南1.3
	北2×1 400			距北3.2	北0.9~1	北1.3
徐大堡	6×1000	-6.5	-6.0	3.1		
陆丰	6×1000	-6.5	-20~-16		1.0	1.6

注:选用1985国家高程系统;石岛湾电厂采用南北两个取水口取水,中间合排。

## 2) 排水温升限值要求。

核电厂的热效率比较低,冷却水经过热交换器后通常排出高于环境接纳水体温度8~12℃的温排水<sup>[6-7]</sup>,在排水口附近区域形成不满足GB 3097—1997《海水水质质量标准》要求的高温升区,因此需根据《近岸海域环境功能区管理办法》中的要求(应当根据该区域的水动力条件,临近近岸海域功能区的水质要求,接纳污染物的种类、数量等因素确定)设置排污混合区<sup>[8]</sup>。

实际工作中每项核电厂海域工程温排水的环境影响均采取“一事一议”的办法确定其可接受性<sup>[9]</sup>,将1℃温升线范围作为评价温排水环境影响程度(并限定1℃温升区与I类环境功能区保持一定距离),将4℃温升线范围作为海域使用费征收依据。

### 3.3 取、排水构筑物布置考虑因素

#### 1) 潮流、泥沙。

研究工程建设前后潮流场的分布、变化和泥沙淤积问题,重点为解决以下问题:

①取、排水口位置选择。为满足取、排水温升条件,排水口通常布置在水动力弱的位置(减小温升区影响范围),取水口布置在水动力条件强的位置。

②取水口处和取水明渠、暗管内的冲淤情况。结合取水口处和取水明渠、暗管冲淤情况,确定是否有必要设置沉砂池;确定取水明渠或暗管的断面尺度(含备淤深度),避免因泥沙淤积导致取水量不足影响机组效率和安全。

③岸滩稳定性、冲淤平衡。评估工程建设后,对工程区域岸滩稳定性和相邻工程的影响。

④漂浮物(垃圾、冰)在取水口的堆积。研究涨潮流和沿岸流是否会将垃圾和冰带至取水口并造成堆积。

#### 2) 波浪。

取排水构筑物设计时,针对波浪作用,主要评估取水泵房前池有效波高、大件码头作业波高、破波线位置、波能集中和构筑物结构安全等项目(表6)。

表6 与波浪相关项目及评估

项目	评估内容	相关的专题试验	说明
泵房前池有效波高*	通常100 a一遇高潮位+100 a一遇波浪, $H_s \leq 0.5$ m; DBF水位+对应最大台风浪, $H_s \leq 1.5$ m		暗管取水时不考虑该项内容
大件码头作业波高	参见《海港总平面设计规范》	波浪整体数学模型试验	
破波线	取水口宜布置在破波线以外深水区,避免波浪掀沙导致取水口处的淤积	波浪整体物理模型试验	
波能集中	护岸、导流堤和码头引堤之间的夹角宜大于120°	波浪局部整体物理模型试验	
构筑物结构安全	根据是否承担核岛防洪功能和是否承担重要安全厂用水选用不同重现期的波浪和对应的水位	波浪局部整体物理模型试验 波浪断面物理模型试验	

注:不同项目 $H_s$ 限值略有出入,宜根据旋转滤网抗浪能力确定;在石岛湾核电厂海域工程设计中提出了长周期波浪影响的新命题,在今后设计中尚需进一步研究。

## 4 大件码头平面布置

通常在核电厂址附近建设3 000吨级专用大件码头,满足核电厂建设期间核机组大件设备的

吊卸上岸要求。大件码头平面布置需考虑自然条件、大件运输道路的距离、厂区分期实施方向、建设条件、工程费用等因素(表7)。

表7 大件码头布置考虑因素

因素	评估内容
自然条件	是否满足大件运输船舶通航和作业条件：水深、风、浪、流、泥沙
大件运输道路长度	配套的大件运输道路长度愈短愈经济
核电厂分期实施方向	宜避免后期工程的大件运输穿过已运行的厂区
建设条件	地质条件、施工通道、大件码头能否先期建设
工程费用	大件码头通常在一期工程时建设，一次性投入的成本的越低越优

通常，平面布置从以下几个原则展开：

1) 大件码头优先考虑结合取水或排水导流堤布置在导流堤外侧，利用导流堤对波浪形成掩护，并将导流堤作为大件运输道路。

2) 厂址附近水深和波浪条件良好时，可从护岸处建设外伸栈桥或引堤布置大件码头，减小对取水排水构筑物的影响；厂址附近水深条件差

时，可利用取水或排水明渠作为进港航道，将大件码头布置在厂区护岸外侧或者导流堤根部。

3) 大件码头宜布置在核电厂址扩建末端侧（即后期工程处），避免后期工程的大件设备运输穿过已运行的厂区。

国内若干个核电厂大件码头布置实例和特点见表8。

表8 大件码头平面布置实例

核电厂	大件码头布置方案	说明
江苏田湾	厂区内护岸处（取水隧洞侧），长航道	长隧洞+取水明渠取水，取水明渠远离厂区，一期工程的排水明渠导流堤仅10 m，近岸排放，大件码头独立于取排构筑物
辽宁徐大堡	排水明渠导流堤外侧，利用导流堤作为大件运输道路，码头根部至厂区道路长约300 m	厂址扩建末端位于排水明渠后方
山东石岛湾	在南北取水明渠导流堤之间的护岸处外伸一道约185 m引堤，单独建设大件码头	南北两个取水口，厂址从南北两侧向中间扩建
广东陆丰	厂区后方西防洪堤外侧，通过319.1 m运输道路与厂区相接	大件码头独立于取排构筑物

## 5 其它

### 5.1 岸线使用

护岸、取排水构筑物、大件码头等占用了海岸线，属于工业用海，其中大件码头需向交通部门单独申报码头岸线。

### 5.2 海域使用

核电厂海域工程包含填海用海（厂区陆域）、非透水构筑物用海（护岸、导流堤、大件码头等）、围海用海（取排水明渠和港池）和温排水用海（取、排水口）。HY/T 124—2009《海籍调查规范》中尚无整体上完全对应的用海关系，需对应各项构筑物来鉴别和划分。

### 5.3 与岛礁的关系

随着国家加强对海礁的保护，沿海部分礁石纳入国家海礁保护名册，存在核电厂海域工程取排水构筑物临近岛礁的可能性，设计时需要考虑

施工方案对岛礁的影响，必要时需配合业主编制岛礁保护专题方案，提交海洋部门审核。

## 6 结语

1) 我国滨海核电厂海域工程通常采用将厂坪高程定为高于DBF水位0.5 m以上，利用护岸和导流堤（当导流堤对护岸外侧波浪承担防护时）承担风浪（控制越浪洪水量）来满足厂址防洪要求。

2) 国内滨海核电厂取排水通常采用一次循环冷却方式；取、排水方式为明渠或暗管取排水或两者相结合的方式，具体方式综合水深条件、潮流泥沙条件、波浪条件、地质条件和外部条件确定。取排水构筑物布置时需从温排水、潮流、泥沙和波浪等方向展开研究，以满足取水温升限值要求、评估排水温升的环境接纳度、保证取水深度、满足泵房前池的有效波高限值要求（明渠取

水时)和保证构筑物的安全。

3) 大件码头和大件运输道路需满足核电机组典型大件设备的吊卸运输要求,同时履行港口工程的报批手续。

4) 目前,参与海域工程设计的设计单位参与核电厂取排水工程的程度尚不够,通常是在电力院确定核电厂总体布置(含厂坪高程)、完成温排水试验和泥沙潮流试验、并推荐取排水口位置后介入设计工作,工作重点放在结合地形、地质和波浪条件,保证取、排水构筑物安全和满足泵房前池有效波高上。考虑到厂区护岸、取排水构筑物和大件码头平面布置是系统工程,分阶段设计易引起较大的方案修改,因此,海域工程设计单位宜在核电厂总体布置的前期介入,协助电力院确定并优化取排水工程和配套大件码头的总体布置。

#### 参考文献:

[1] HAF101 核电站厂址选择安全规定[S].

- [2] HAD101/09 滨海核电站厂址设计基准洪水的确定[S].
- [3] 张爱玲. 我国滨海核电站的防洪设计现状及技术探讨[J]. 核安全, 2011(2): 47-52.
- [4] 马志华, 南卫, 李岚. CPR1000核电机组重要厂用水泵功率变化对应急柴油发电机负荷影响分析[J]. 给水排水, 2011, 37(4): 58-61.
- [5] 张晓峰. 核电厂温排水环境影响评价及减缓措施[J]. 海洋技术, 2010, 29(4): 38-43.
- [6] 陈惠泉, 许玉麟, 贺益英. 火/核电厂冷却水试验研究50年的进展和体验[J]. 中国水利水电科学研究学报, 2008, 6(4): 288-298.
- [7] 刘永叶, 刘森林, 陈晓秋. 核电站温排水的热污染控制对策[J]. 原子能科学技术, 2009 (S1): 191-196.
- [8] 陈晓秋, 商照荣. 核电厂环境影响审查中的温排水问题[J]. 核安全, 2007(2): 46-50.
- [9] 李立立, 郭佩芳, 于宁. 滨海核电厂环境功能区调整问题分析[J]. 海岸工程, 2010, 29(3): 28-36.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第120页)

间的安全距离等要求的規定外,还需要考虑以下2个因素: 1) 根据工程所在海域台风路径,选择在台风来向有陆地遮蔽的海域; 2) 在防台锚地有可能“走锚”的下移方向,应有足够的防台纵深。

防台锚地的设计要点主要有: 防台锚地水深、半径和锚泊方式等。

为防止船舶触底、搁浅等情况的发生,防台锚地应有足够安全富裕水深。防台锚地的波浪较大,因此,防台锚地的安全富裕水深应比一般锚地大。

考虑到防台锚地所在海域波浪较大,防台锚地半径在一般锚地单锚系泊尺寸基础上适当扩大。防台锚地半径受海区的环境条件影响重大,本文建议通过试验作进一步论证。

锚泊方式大概可以分为4类: 单锚泊、双锚泊、多锚泊和无锚泊。选择港湾抛锚防台,尤其

是一点锚的锚泊防台方法,仍然是最佳避台方法; 若存在台风预报偏差及锚地紧张情况下,应提倡船舶在海上机动防台。

#### 5 结语

海洋保障基地是执法船舶的“家”,其功能是要满足船舶安全补给和轮值,设计要点主要为: 1) 完善物质补给和供油、供水设施,及船舶维修、指挥通信和监测预报等保障条件; 2) 增加作业天数和港内安全停靠天数; 3) 设置防台锚地。

由于这类项目的建设在我国目前尚处于起步阶段,其建设规模、保障条件以及设计标准等关键技术问题的确定还需在以后类似工程设计中不断研究和总结。

(本文编辑 郭雪珍)