

# 大亚湾核电基地温排水物理模型试验研究

黄健东，罗岸，付波，陈丕翔，陆汉柱，麦栋玲，张婷

(广东省水利水电科学研究院；广东省水动力学应用研究重点实验室，广州，510610)

**摘要：**由于国家海产水产部门对大亚湾海区做了新的功能区划分，使得原有的大亚湾核电基地温排水不能适应新的海洋环境要求。为此，受岭东核电有限公司委托，我院开展大亚湾核电基地温排水试验研究，因制约大亚湾核电基地取排水工程布置的因素较多，工程海区可供利用的海区工程有限，给研究工作带来极大的困难。试验提出了四个方案布置思路，经大量的方案比选，形成了八个基本可行的方案，试验提出的推荐方案较好地解决了电厂的取水安全问题，并尽可能地减少温排放对海洋环境影响，试验成果可为设计与环境影响评价提供依据。

**关键词：**大亚湾；核电基地；温排水；推荐方案；取水安全

## 1 项目研究背景

广东大亚湾核电基地位于广东省大亚湾西部、大鹏澳的北岸（见图1），现已建有大亚湾核电站（装机 $2 \times 900\text{MW}$ ）和岭澳核电站一期（装机 $2 \times 1000\text{MW}$ ），岭澳核电站二期（装机 $2 \times 1000\text{MW}$ ）正在建设中。电厂冷却水采用直流冷却系统，以海水作为循环冷却水源，温排水近岸排放后由潮流带至附近海域扩散。

早期岭澳二期的温排水问题符合当时的法律、法规，大亚湾核电基地的取排水工程布置经过科学论证。但1998年7月国家颁布实施新的海水水质标准及2000年关于大亚湾水产资源自然保护区功能区划的粤海水[2000]23号文，大幅提高了海域温升的控制标准并设置了保护区范围（见图2），大亚湾核电基地现有的取排水工程布置变得与目前的环保法规的要求不相适宜了。在新的海水水质标准及海洋功能区规划条件下，大亚湾核电基地现有的取排水工程布置就变得与环境要求相悖了，因此，必须对现有的排水布置进行调整，以满足相关法规的要求。



图1 岭澳核电厂址地理位置示意图

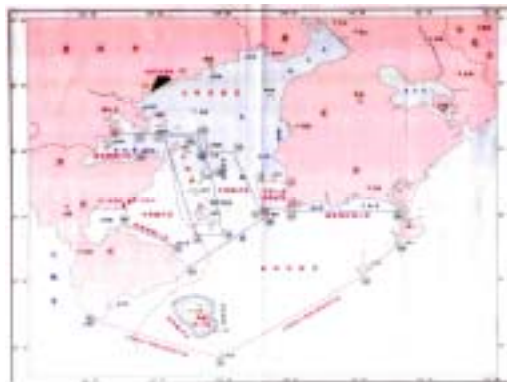


图2 海域功能区划图

## 2 试验研究目的与任务

结合工程特点以及厂址海域水文特性，建立温排水物理模型，本次研究的主要任务是探索与优化取、排水口布置方案并进行工程运行的取水温升测试与温排水在海区的热扩散输移运动规律研究，尤其要研究电厂温排水对大亚湾水产资源自然保护区中部及西南核心区的影响，提出满足现行法规及环保要求的方案，为设计单位和环保部门提供工程设计和环境影响评价的依据。

### 3 试验研究的技术难点

随着国民经济的快速发展，我国对核电的要求逐渐提高。本次物理模型试验比以往试验难度大大增加，主要体现在以下几方面：

- (1) 现有电厂排水明渠水位的限制；
- (2) 工程水域潮差小、潮流弱，不利于水流温排水稀释扩散；
- (3) 厂区东部及西南部两个自然核心保护区对温排放的限制；
- (4) 现有电厂对取水温升的限制（温升  $< 1$  ）。

电厂的取排水工程方案既要满足取水要求，更要满足海洋环境要求，是本工程研究的重点。

### 4 模型规划及试验潮型的选取

模型规划：温排水整体变态模型要求能真实反映温排水热量累积效应，因此要求温排水不溢出或少溢出开边界，模型基本能覆盖 0.5 温升线。参考温排水先前数值计算的结果，从试验技术要求、模型规模、热水流量、模型变率以及模型最小水深等考虑，同时考虑到工程海区潮流呈沿岸往复流特点、海区潮汐呈日潮以及水文站点分布等因素，结合大纲评审专家意见，最终选取模型比尺为： $L_r=360$ 、 $Z_r=120$ 、 $e=3.0$ ，模型截取范围水域面积约为  $580\text{km}^2$ （见图 3），模型规模约为  $60\text{m} \times 75\text{m}$ ，模型截取范围内含 7 个潮流观测站点（夏季）且站点分布合适，能够反映模拟水流的流场状况。

试验潮型：根据全潮水文观测报告<sup>[2]</sup>，试验潮型选取 2008 年（夏季）和 2009 年（冬季）实测的大、中、小潮资料。夏季大潮为 2008 年 7 月 19 日 15:00~2008 年 7 月 20 日 15:00；夏季中潮为 2008 年 7 月 23 日 13:00~2008 年 7 月 24 日 13:00；夏季小潮为 2008 年 7 月 26 日 08:00~2008 年 7 月 27 日 08:00；冬季大潮为 2009 年 2 月 10 日 16:00~2009 年 2 月 11 日 16:00；冬季中潮为 2009 年 2 月 13 日 13:00~2009 年 2 月 14 日 13:00；冬季小潮为 2009 年 3 月 3 日 15:00~2009 年 3 月 4 日 15:00。

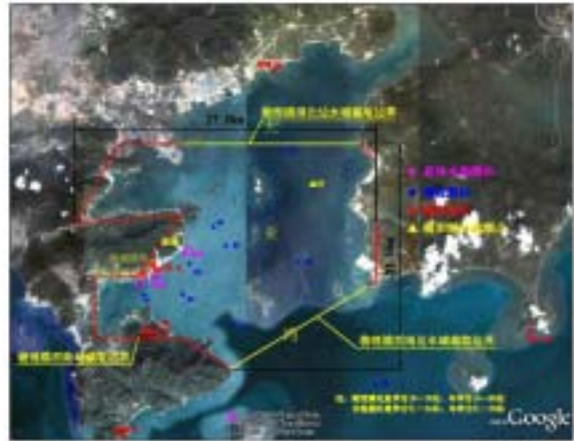


图 3 全潮水文观测站位与模型截取范围图

### 5 温排放试验基础

模型试验分别对夏、冬季大中小潮各测站的流速、流态、以及潮位进行率定，率定结果表明，模型能较好地复演原体潮流，在此基础上进行温排放工程方案试验，其成果是可信的。

试验控制与采集的主要设备由微机自动控制的三面生潮系统、温度量测系统、水位自动跟踪升降架系统、热水系统等组成。其中，热水系统由微型泵、流量计、控制阀、电加热箱、电力调压器等构成取水—加热升温—排水的闭路温控循环系统。试验采用这种循环系统根据不同工况施放排水流量(温差为  $8.5$  的恒温水)。

### 6 基本方案比选

#### 6.1 方案布置指导思想

由岭澳 3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>机组原设计方案可看出，从电厂排出的热水随东支辐散潮流往东及东北扩散，对中部核心区影响较大，1 温升线穿越覆盖了中部核心区的许洲、白头洲等。为降低温排水对核心区的影响，电厂排水不宜往东及往北排放，唯有往厂区东南向的湾口排放。同时考虑到工程厂区水域处于弱潮流区域，潮流移动及湾内外水体交换较慢，电厂温排放不易与外海水域发生热交换，厂址水域又位于潮流的辐散辐合区，以及中部核心区、西南核心区与现状取排水口工程布置

的平面分布特征等因素，提出如下方案布置思路：

(1) 采用较大流速向东南向排放，使温排水尽快往湾口外输送，以尽量减少温排水在工程海区的累积，从而实现降低温排水对中部核心区的影响程度。排水拟采用管排、明渠、明渠+管排的排水方式。

(2) 采用近岸低流速排放，尽可能利用近厂址水域扩大高温区面积，以降低 1 温升面积和温排水对中部核心区的影响程度，必要时设置取、排水口间的隔堤。

(3) 于近岸设置一定面积的冷却池，扩大高温区面积，提高水面蒸发散热能力，从而减少热量向核心区的扩散。

(4) 利用现状排水口布置与远排布置组合分排，通过流量分配从而减少近岸排放的温水流量，降低温水对中部及西南核心区的影响程度。

## 6.2 基本方案形成过程

基于以上指导思想，试验对排水口的位置、型式及排水方向等进行了不同类型的多方案的探索与比较试验，同时对可能的多点排放思路亦进行了布置摸索比较。对排水比较了近岸均匀排、东南东北向分排，以及东南向等不同明渠长度不同排水型式的合排、分排方案，如离岸 150m 明渠排、500m 明渠排、2000m 明渠排、800m 管排、1km 明渠+500m 管排、底部取水+明渠排、单导墙低流速排放、冷却池管排等。经过多方案布置比较试验，取得了底部取水方案、近岸管排方案、冷却池方案、单导堤方案等较为可行的布置方案，经与设计单位沟通协商后，确定主要以如下 8 个基本布置方案进行各潮型的试验。基本方案分别为（各方案布置示意图 4~7）：

(1) 方案 -底部合取+明渠表排；(2) 方案 -明渠取水+冷却池；(3) 方案 -底部合取 +冷却池；(4) 方案 -底部分取+单导堤；(5) 方案 -明渠取水+800m 管排；(6) 方案 -明渠取水+大冷却池；(7) 方案 -现状明渠排+远排；(8) 方案 -近岸南向排+远排。



图 4 方案 1、2 取排水工程布置示意



图 5 方案 3、4 取排水工程布置示意



图 6 方案 5 取排水工程布置示意



图 7 方案 7、8 取排水工程布置示意

### 6.3 方案比选

通过对八个方案进行各潮型试验，取得了各方案的温排水运动规律、取水温升、温升分布等试验成果，经综合分析比较，试验建议将方案 作为推荐方案，理由如下：

(1) 试验表明，现有取排水工程布置的温排水对大亚湾水产资源自然保护区中部核心区影响较大，不满足现行的环保法规要求，而根据以上四种思路提出的八种修改方案均显著降低了 1 温升区对中部核心区的影响程度，各方案基本满足试验要求。

(2) 试验结果显示，各修改方案的核电厂取水温升较低，均可满足核电厂安全运行要求。

(3) 试验显示，在不考虑远排时，方案 ~ 基本满足试验要求。方案 、 、 、 、 、 各种潮型的电厂取水温升均小于 0.8 ；各方案电厂温排水 1 温升线进入中部核心区的面积为 0~6.13km<sup>2</sup>，比原设计方案 (43km<sup>2</sup>) 有显著的减少。综合考虑核电厂取水安全、温排水对中部核心区的影响及工程造价、方案对工程近岸水域影响等因素，6 台机组于近岸排放条件下，方案 较优。

方案 (底部合取+明渠表排): 夏季大、中、小潮平均取水温升为 0.5~0.6 ，冬季中、小潮取水温升为 0.6~0.7 ；夏季大、中潮条件下,1 温升区不进入中部核心区,小潮条件下仅有 1.66km<sup>2</sup>。

但需要说明的是，6 台机组近岸排放并在要求尽量少影响中部核心区的条件下，向外海输送的通道唯有大亚湾湾口西侧，温排水仍然影响西南核心区。

(4) 试验亦显示，在可考虑远排时，方案 -B (现状排“3+3”) 方案 -B (南向排“3+3”) 的电厂取水温升都较低，方案 -B 的取水温升略比方案 -B 低，在 6 台机组运行时，夏季潮大亚湾核电厂的取水温升为 0.4~0.7 ，岭澳核电厂为 0.7~0.9 ，满足电厂取水的设计要求；两方案夏季潮和冬季潮的热水分布均满足海洋环保要求。但两方案的投资颇大，施工难度大。

## 7 推荐方案温排水试验成果

### 7.1 方案布置

取水口布置：取水口段由四段弧形墙和一段直墙连接而成，其结构采用“桩+挂板”，取水窗口朝向为东南向，该处海床高程约为-12.5m，取水窗口尺寸为 3m×616m (高×净宽，窗口底缘高程为-11.5m，顶缘高程为-8.5m)，取水窗口底缘下部设置拦沙坎，其尺寸为 1.0m×616m (高×宽)，见图 8。

排水口布置：采用明渠排放方式，排水明渠轴线与正北向成 155 度角，排水流速为 1.9m/s，排水明渠长度为 300m，宽 24m，明渠底高程为-7.0m。



图 8 推荐方案取排水工程布置

### 7.2 温排水流态

试验显示，夏季大潮、中潮的潮流运动和热水输移规律基本一致。落潮时，温水往西南方向输移、扩散，温水主流带离中部核心区较远；涨潮时，到达湾口的部分温水随西支辐散流往大鹏湾运动，另一部分随东支辐散流缓慢往北推移，从排水口排出的热水随潮往东北移动，温水主流带距中部核心保护区西边缘尚有一定距离。夏季小潮相对夏季大、中潮，潮流较弱，无论是涨潮还是落潮，热水输移的距离均较大、中潮短。试验观察到，夏季潮时，进入中部核心区的温水相对较少。

近工程海区水域，冬季潮与夏季潮的潮流运动特性差异不大，热水随潮流运动规律冬夏两季差别也不大。

### 7.3 取水温升试验

推荐方案取水温升特征值见表 1。试验显示，在夏季潮型条件下，大亚湾+岭澳一、二期运行时，推荐方案电厂的温升过程线比较平稳，大亚湾核电、岭澳核电取水温升平均值夏季不超过 0.6 ，冬季不超过 0.7 ，满足电厂取水的设计要求。



表 1 推荐方案取水温升特征值

方案	季节	潮型	装机	大亚湾核电			岭澳核电		
				最大值	最小值	平均	最大值	最小值	平均
推荐方案	夏季	大	大亚湾+ 岭澳一、 二期	0.6	0.3	0.5	0.7	0.4	0.5
		中		0.7	0.4	0.6	0.7	0.4	0.6
		小		0.8	0.4	0.6	0.8	0.5	0.6
	冬季	大		0.7	0.4	0.6	0.7	0.5	0.6
		中		0.8	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7
		小		0.8	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7

#### 7.4 表面温升分布

推荐方案的温升区面积及 1 温升区影响中部核心区面积统计见表 2。试验显示,夏季大、中、小潮条件下,大亚湾+岭澳一、二期运行时,推荐方案的温升扩散呈东南向带状分布,1 全潮最大温升面积在 58.0km<sup>2</sup>~61.0km<sup>2</sup>之间(仅统计模型区域内值,下同),其中 1 温升区影响中部核心区的面积在 0.0km<sup>2</sup>~0.3km<sup>2</sup>之间。与其余方案相比,推荐方案的 1 温升区影响中部核心区的面积显著减小。

表 2 推荐方案温升区面积及 1 温升区影响中部核心区面积统计

装机	方案	潮型	潮时特征	水面温升面积(km <sup>2</sup> )				中部核心区 1 或 2 面积(km <sup>2</sup> )
				4	3	2	1	
大亚湾+ 岭澳一、 二期	推荐 方案	夏季大潮	包络	0.04	0.30	5.2	61.0	0
		夏季中潮	包络	0.04	0.30	5.8	59.0	0
		夏季小潮	包络	0.04	0.35	6.5	58.0	0.3
		冬季大潮	包络	0.04	0.35	6.1	60.4	0
		冬季中潮	包络	0.05	0.38	6.2	58.2	0
		冬季小潮	包络	0.05	0.42	6.9	57.7	0

注:表中统计进入中部核心区面积,夏季统计 1 温升面积,冬季统计 2 温升面积。

## 8 结语

本次温排水试验成果通过了 2010 年 11 月 5 日在广东省清远市召开的大亚湾核电基地温排水试验成果报告专家评审会,试验成果得到了与会各位专家的一致好评。与会专家建议对方案作进一步优化,本文的推荐方案(底部合取+明渠排)即为优化后的方案,该方案达到了试验目的,基本解决了大亚湾核电基地温排放与现有法规不相符的问题,试验成果可为工程设计与环境影响评价提供依据。

### 参考文献

- [1] 中国水利水电科学研究院,广东岭澳核电站初步设计阶段冷却水工程研究报告,1996 年 10 月;
- [2] 天津水运工程勘察设计院,岭澳核电三期工程大亚湾海域水文要素观测与分析报告,2009 年 7 月。