

平海电厂冷却水工程物理模型试验研究

罗岸 黄健东 陈卓英 陆汉柱

(广东省水利水电科学研究院, 广州, 510610)

摘要:广东粤电平海电厂拟建于惠东县大亚湾东岸南部、稔平半岛平海镇的西南端,处于大亚湾湾口。大亚湾旅游资源及渔业资源丰富,是广东省划定的水产资源保护区和重点海洋功能保护区,电厂所处水域,潮流流速大、潮流强、三维流态复杂,这给电厂的取排水口布置带来很大困难。本文通过物理模型的试验研究,明确了适合电厂的取排水方式,试验提出的推荐方案取水升温低、对海区水域热污染少、并能适应未来碧甲港建设,为电厂的设计和环保评价提供科学依据。

关键词: 取水升温 热量累积 环境水域 海龟自然保护区 碧甲港

1 工程概况

广东粤电平海电厂厂址位于广东省惠东县大亚湾东岸南部、稔平半岛平海镇的西南端,处于大亚湾湾口,它西港 19 公里,北距巽寮镇 8km,东距平海镇 13km,隔海 (21km)相望大亚湾核电站,西北距中央列岛马鞭洲 20×10^4 t 级油码头 14km。电厂规划总装机容量为 6×1000 MW,分两期建设,第一期建设为 4×1000 MW,二期建设为 2×1000 MW。电厂机组采用直流冷却系统,冷却水取自大亚湾海水,冷却水流量一期为 $132 \text{ m}^3/\text{s}$,二期为 $66 \text{ m}^3/\text{s}$,规划总装机容量条件下冷却水总流量为 $198 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2 试验研究的目的是任务

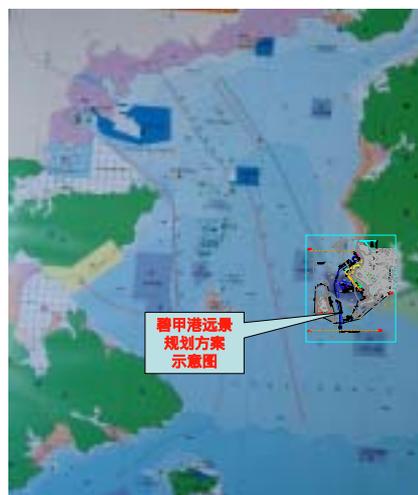
试验研究的目的是通过物理模型试验研究,分析温排水在厂址附近海区随潮流运动的基本规律以及各种装机组合工况条件下,不同取、排水方案温度场的分布特性、取水升温变化规律,籍此提出取、排水口的优化布置和形式,为工程的设计和环评工作提供科学的依据。

物理模型试验研究的主要任务:

- (1) 结合工程特点及厂址海域水文特性,建立冷却水工程试验物理模型;
- (2) 研究取水口和排水口局部水域水力、热力特性,推荐取、排水口的结构型式及几何尺寸;
- (3) 通过温排水的扩散和回归试验研究,提出在大、中、小三种典型潮型及不同工况组合条件下,电厂的取水升温值及特征潮时的水面温升分布情况;
- (4) 研究不同装机容量时电厂温排水对工程水域的热影响(污染)情况,给出详细的影响范围及污染程度,为环保部门提出环境评价依据;
- (5) 根据厂址海区水文、气象条件,分析不利风向、波浪、余流及太阳辐射对取水升温的影响。

3 模型规划及试验潮型的选择

模型规划:考虑到厂址靠近大亚湾湾口,边界条件复杂,湾口的桑洲岛对厂区附近的潮流产生较大影响,本工程海区潮流表现较复杂。实测资料表明,口门处流速大,潮流强,三维流态变化复杂,考虑到数学模型可以为远区水域给出比较符合实际的结果,因此,本物理模型把重点放



平海电厂地理位置图

在近区与中区范围，以更为有效地模拟工程近区的三维流态，为此在模型设计中尽可能选用小的模型几何比尺。根据海域地形特征、潮汐潮流特征及现有的试验场地等条件建立整体变态模型，选取平面比尺 $L_r=400$ ，垂向比尺 $Z_r=80$ ，模型变态率 $e=5$ 。模型的截取范围：以厂址为中心，北面截取约 8km，南面约 12km，西面约 6km，东面约 2km。

试验潮型的选择：试验潮型选用南海海洋研究所 2005 年 7 月实施的全潮水文观测资料：小潮潮型：2005-7-15 11:00~2005-7-16 12:00；中潮潮型：2005-7-18 13:00~2005-7-19 14:00；大潮潮型：2005-7-21 15:00~2005-7-22 16:00。

4 温排放试验的条件

大、中、小潮潮型的率定：模型试验对各测站的流速流态及潮位进行率定，率定的结果表明，模型与原体具有较好的相似性，可用于方案试验，其成果是可信的。

热水系统及温排水控制：热水系统由微型潜水泵、供水管、流量计、控制阀、可调温电加热箱、排水管等构成取水—加热—排放恒温热水的闭路循环水系统，根据不同的工况施放排水流量（8 温差的恒温水）。

5 工程海区的潮流特性

根据中国科学院南海海洋研究所本次全潮水文泥沙观测资料，该海区潮流具有如下特征：

(1) 涨潮时涨潮流以 NW 方向自平海湾经过桑洲、玻沙山之间的通道经工程海区进入大亚湾。经中央列岛的涨潮流由南向北进入湾内，落潮时潮流沿相反方向退出大亚湾。

(2) 受湖头角和玻沙山的屏蔽作用，玻沙山与厂址之间的烟卤湾为一低流速区，由于邻近厂区，因此它将是电厂取排水口布置的一个制约因素。

(3) 观测期间调查海域流速不大，普遍在 50cm/s 以下，本海区表、中、底三层的实测海流的最大值分别为 73.3cm/s、63.6cm/s、49.0cm/s，它们都出现在大潮观测期间的 V6、V7 站上的落潮流。各站涨、落潮平均流速基本相当，最大流速基本发生于平均潮位附近，最小流速多发生于平潮时。

(4) 调查海区的潮流性质基本上为不正规半日潮流，分潮流中主要以 M2 半日分潮流的量值较大，其它 S2、O1、K1、M4 和 MS4 的量值彼此大体相当。主要分潮流的流速方向（即潮流椭圆长半轴方向）与等深线走向基本一致，潮流主要为略带旋转的往复流。

6 影响取排水口方案布置的主要因素

大亚湾面临南海，湾内天然水质良好，水深、少淤积，是我国对外贸易的主要港湾，以南海石化厂为主的一系列滨海工业在湾内应运而生，未来的大亚湾将是我国经济发展的一个亮点。同时，大亚湾旅游资源及渔业资源丰富，是广东省划定的水产资源保护区和重点海洋功能保护区，其中，港口海龟自然保护区是国家划定的保护区。随着港口建设、滨海工业和城市的发展，必然带来船舶排污和港口污染以及城市废水污染。目前，我省加强了对大亚湾环境保护的力度，对大亚湾的海洋功能进行了详细的区域划分，要求湾内新上的建设项目都必须严格执行大亚湾保护区的有关环境保护的规定，确保大亚湾渔业资源的良好繁衍栖息环境，满足大亚湾的可持续发展。平海电厂厂址北面（湾内）有多个重要的水产养分殖场及多个旅游风景区，南面近玻沙山角的平海湾内有省级乌龟自然保护区，大亚湾湾口的桑洲洲岛远期规划成大型的港口-碧甲港，对湾内的潮流运动影响较大。因此，满足大亚湾水域环保及电厂运行要求、适应未来碧甲港的发展是电厂取排水口方案布置要考虑的主要因素。

7 原设计方案的试验成果

7.1 取排水口原设计方案布置

方案一（北取南排）：引水明渠与厂区的北面岸线平行，约长 680m，渠底高程为 -8.0m，明渠引水口位于厂区西北角，引水口至港池开挖一条 60m 宽的深槽（底高程 -8.0m）。引水明渠南侧共设置了三个独立的水泵房（每两台机组配置一个循环水泵房），通过 6 条 3.5m×3.5m 的取水箱涵

从引水明渠引水进入泵房前池，取水箱涵底高程为-7.5m。排水系统采用6条3.8m×3.8m管的管排方式（每台机组1条管），排水出口管底高程为-4.0m。排水出口位于厂区南端，管口左侧设一导流堤，右侧为港池防波堤，堤顶高程为7.0m，港池与排水口被防波堤分隔。

方案二（南取北排）：引水明渠与厂区的南面岸线平行，约长680m，渠底高程为-8.0m，防波堤把港池与引水明渠隔开，引水明渠口设在方案一的排水口处。泵房、取水管涵的布置形式及标高与方案一相同。明渠排水口布置在厂区北面岸线的西端，相当于方案一引水明渠口的位置，排水出流与厂区北面岸线垂直，朝向西北，出口设置有一导流堤，排水口底宽60m，底标高-4.0m。港池的布置与方案一差别较大，防波堤的平面布置成折线，堤顶高程设计为7.0m。

方案三（北取北排）：取水系统、港池及防波堤维持方案一的布置形式。排水明渠布置在厂区北面岸线的中部，排水出流与厂区北面岸线垂直，朝向西北，排水口底宽60m，底标高-4.0m。

7.2 原设计方案热水流态及存在的主要问题

方案一，排水口设在烟囱湾弱潮区内，因而引起较重的热量累积，导致烟囱湾水域水体水温升高，不仅直接影响电厂取水温升，而且该区域热水随潮流下泄将直接影响湾外的海龟自然保护区。未来碧甲港建成后，烟囱湾将成为高温的静水区，热水难以向外扩散；方案二，排水口外水面宽阔，出流顺畅，电厂温排水借助潮流的往复运动降温稀释，对取水口近岸水域的热影响明显减小，取水温升较低，也基本上免除了对海龟自然保护区的影响，但由于明渠排水出口断面大，出口初动量小，涨潮时段易于白沙湖发生热水窝积；方案三，由于排水出口的水域水深较浅，是一个低流速区，热水难以向外海扩散，造成厂区北面近岸一带水域热量大量窝积，恶化了环境。同时由于取、排水口相隔太近，取水口直接吸纳电厂排出的热水，热水短路，温升高、温升过程线波动大。

从原设计方案的试验中可以看出，北取南排方案不仅对海区水域环境特别是省级海龟保护区的影响较大，而且不能适应未来的碧甲港建设，方案不可行。北取北排方案排水口相隔近、干扰大，对厂区北面近岸热量窝积大，方案不可取。南取北排方案不仅对海龟保护区的影响较小，并能适应未来碧甲港的发展。因此，南取北排方案较为合理。

8 修改方案试验

8.1 方案的修改及与优化

原方案试验确定了南取北排为平海电厂取排水方式。因此，模型试验在方案二（南取北排）的基础上对方案进行多次的修改，最终的优化方案（方案二b）为：对排水出口略作小改动，出口段由明渠改为暗管，加大温排水的出口动量。港池防波堤采用原方案一的布置形式，取水明渠进口略往南移，通过绕厂区明渠把水引至北面的泵房。

8.2 修改方案温排放试验成果

碧甲港兴建前温排水流态：即使潮型不同，但厂区的潮流都表现着往复流的特性：涨潮时，潮流从东南角的平海湾朝西北经过桑洲岛、玻沙山之间的通道进入大亚湾，落潮流与涨潮流方向相反，向东南方向流动。在大、中、小潮作用下的温排水流态基本相似，潮流强度按大、中、小潮依次减弱，潮流强度越强热水南北向扩散的路径越远。涨潮时，排水背离取水，随涨潮流往西北方向（大亚湾内）扩散；落潮时，绝大部分热水随落潮主流经桑洲岛左侧水道向南海输送，烟囱湾内水体流动缓慢，随落潮流进入烟囱湾的热水很少。

碧甲港兴建后温排水流态：碧甲港建成后，烟囱湾的弱流区范围进一步扩大，受碧甲港的阻拦作用，落潮时段，一部分热水随落潮主流从靠桑洲岛东侧的500m宽出口输往南海，另一部分热水绕过桑洲岛，从岛的西侧往南海输送，烟囱湾内几乎成为“静水区”，进入湾内的热水比建碧甲港前少。涨潮时，从碧甲港航道北上的潮流，流速较大，于烟囱湾内产生环流，有利水体交换。取水温升：试验测得的电厂的取水温升较低，碧甲港兴建前，装机容量 $6 \times 1000\text{MW}$ 条件下，测得大、中小潮电厂平均取水温升分别为0.9、1.0、1.1，碧甲港建成后，大、中、小潮平均

取水温升分别为 0.7 、 0.8 、 0.9 ，比建港前约低 0.1~0.2 。

水面温升分布情况：碧甲港兴建前，热水沿南北向扩散较远，温升分布呈椭圆形，厂址上下游近岸水域热水窝积现象明显减弱，玻沙山角以东近岸水域水面温升 < 1 ，在 6×1000MW 装机容量下，

3 温升最大面积为 1.8 km²，0.5 约 75 km²。兴建碧甲港后，进出潮量大大减弱，热水沿南北向流程缩短，向西面扩散加大，热水主要集中在厂址与三角洲岛对出的海面上，高温热水基本上远离岸线向远区扩散（涨憩时，白沙湖岸线于出现短暂 2 水面温升），3 温升面积约 2.0~3.0 km²，0.5 约 73 km²；在 二期机组（2×1000MW）下，3 温升面积不超过 0.1 km²，0.5 约 15~20 km²。

9 结 语

通过模型试验，从电厂的取水温升及热水对海区水域环境的影响方面否决了北取南排、北取北排的两个设计方案，试验确定了南取北排为平海电厂取排水口布置的基本形式。经过对方案的多次修改、优化试验，提出了不论是对电厂取水温升，还是海域的环境温升影响都取得较佳效果的推荐方案，该布置方案不仅能满足电厂运行的要求，并能适应未来碧甲港的发展需要，对海区水域环境的热污染影响也较小。模型试验的成果可为电厂设计提供了科学依据。