

广东钢铁环保迁建工程自备电厂温排水物理模型试验研究

陆汉柱，麦栋玲，罗岸，付波

(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：未来的湛江市东海岛将发展成为大型的石化基地和钢铁基地。广东钢铁环保迁建工程自备电厂作为湛江钢铁项目的重要组成部分，对推动整个湛江钢铁基地项目的发展起到积极的作用。电厂位于东海岛的东北角，厂区码头林立，航运将极为繁忙，其取排水工程既要满足电厂取水和海洋环境的要求，又要满足航运要求。本次试验通过建立温排放物理模型，复演了工程海区原体潮流，测试了电厂取水升温并预测了电厂温排水对海域的影响范围与程度。试验对取排水口工程布置进行了修改和优化，提出了工程可行、投资较省的取、排水口方案，为工程设计与环境影响评价提供了参考依据。

关键词：温排水；航运影响；电厂；消能；海域

1 工程背景

湛江三面环海，湛江港是得天独厚的天然深水良港，也是我国西部地区对外贸易的重要口岸。湛江市东海岛未来将发展成为大型的石化基地和钢铁基地，作为钢铁行业的重大项目，湛江项目对钢铁行业的淘汰落后产能、结构调整、行业集中度、节能减排等重点问题的解决都将起到积极的推动作用。

广东钢铁环保迁建工程自备电厂厂址位于湛江市东海岛的东北角，滨临广州湾口门，紧靠海湾深水线，在湛江港出海航道的南岸，属南海海域，见图 1 所示。工程规划建设 4 台 350MW 掺烧煤气的供热机组和 2 台 160MWCCPP 燃气机组，分期建设，一期先建设 2 台 350MW 供热机组。电厂机组的冷却用水取自广州湾的海水，拟采用直流冷却供水系统。一期 2×350MW 机组（含钢铁厂主体工程冷却水）取排水流量为 $31.42\text{m}^3/\text{s}$ ；最终 4×350MW+2×160MW 机组的取排水量为 $73.28\text{m}^3/\text{s}$ ；取排水温差（即排汽和凝结水比焓差与冷却倍数之比） T 为 9。



图 1 电厂厂址地理位置示意图

2 试验研究的目的

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进行相关研究，论证和比较电厂取、排水工程布置方案的水力热力特性，确定与优化取、排水口的工程布置方案、结构形式和尺寸，为电厂取排水工程的设计和环境影响评价提供基础资料和科学依据。

3 技术路线

- (1) 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。
- (2) 对原设计方案的合理性进行验证，并通过多方案的对比，提出较佳的工程布置方案并进

一步优化取排水口结构形式。

(3) 测试电厂的取水温升值, 预测电厂温排水对工程水域的热影响(污染)范围和污染程度。

(4) 测试排水水流的沿程衰减情况, 分析温排水对航运的影响范围。

(5) 对试验成果进行综合分析, 为取、排水工程布置设计及工程安全运行提供依据。

4 模型规划及试验潮型的选取

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, 模型截取范围约为 15km (东西向) × 8km (南北向)(见图 2), 包含了电厂最终容量温排水 0.5 温升包络线, 确定的模型比尺为: $L_r=300$ 、 $Z_r=100$ 、 $e=3.0$ 。

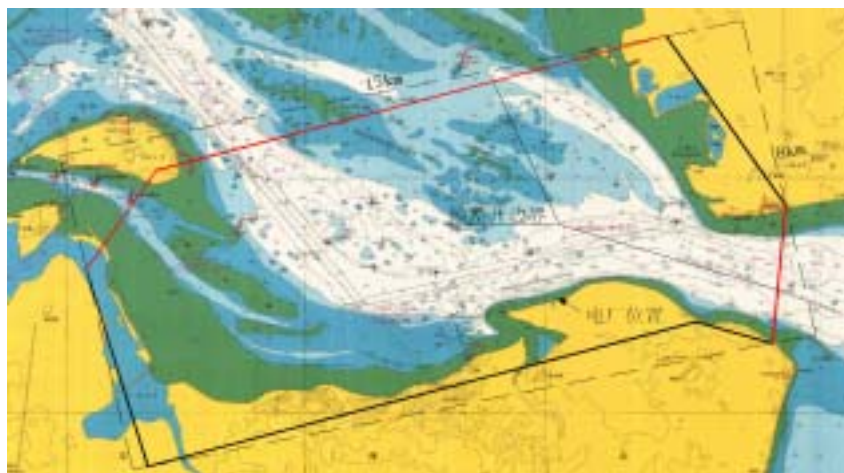


图 2 模型截取范围图

试验潮型: 模型的潮流率定是以广州三海海洋工程勘察设计中心 2004 年 8 月 23 日~8 月 31 日对该电厂附近海域全潮同步观测资料为基础, 综合水文测验报告进行, 试验选取潮型为夏季大、中、小潮。

5 模型率定

模型试验分别对夏季大、中、小潮各测站的潮位、流速以及流态进行率定, 率定结果表明, 模型能够较好的模拟原体海域潮流, 通过该模型进行温排水工程相关试验, 其成果是可信的。

6 工程海区的潮流特性

工程海域夏季流场总体趋势为往复流, 涨潮时, 潮流从东边的入海口进入广州湾后, 小部分潮流向北流动, 大部分沿主航道线向西移动, 进入厂址西北面海域后再折向北。退潮基本与涨潮流向相反, 主槽区落潮流速极大值 0.84m/s, 比涨潮流速极大值 0.6m/s 约大 1/3。主流位于深槽区, 潮流速最大; 近岸及浅海区流速约比主流区即深槽弱 1/3。厂区西北面近岸水域由于受南面大片凹岸区回流顶托的影响, 潮流进入该水域后, 流向折向西北, 涨潮流速比主槽潮流相对弱一些。

7 温排水试验及成果分析

7.1 取排水口布置

工程海区的潮流特性显示, 夏季潮的余流方向基本呈东向。本工程以尽可能使湾内热水与湾外潮流进行热交换, 减少湾内热水累积为主要原则, 电厂取、排水口拟采用西取东排的分列式平面布置形式。取水口采用深层取水, 布置于厂区岸线的西北角; 排水口采用表层排水方式, 布置于厂区岸线的东北角。取、排水口布置相隔较近, 相距约 700m (见图 3)。

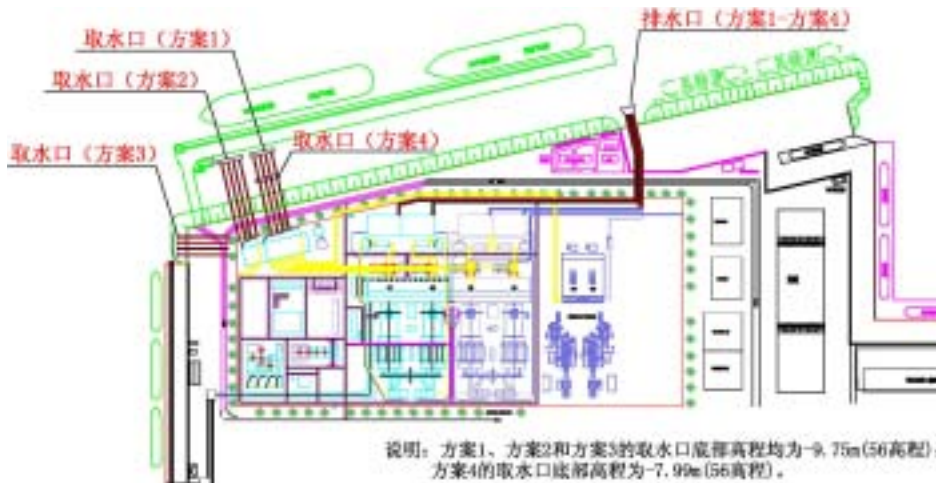


图3 取排水口平面布置图

7.1.1 取水口优化

初拟的取水口布置有4个基本方案(见图3)。各方案结构形式及尺寸完全相同,只是平面及垂向布置略有差异。取水头部均为箱涵结构,设置了12个取水窗口,每个窗口高4.5m,宽3m,取水口总净宽36m。

试验对4个取水口方案进行了比选分析,结果表明,由于各方案布置相距较近,除取水口附近局部流态略有差异外,总体的温排水流态基本相似。虽然取、排水口相距700m,稍有不足,但热水主流带离各方案取水头部尚有100多米距离,取水不会出现热水短路现象。从垂线温升的分布来看,温跃层多出现在水深3m~5m处,因此,取水口顶缘不宜高于-5m高程,以尽可能取到深层的低温水。

综合试验成果并与设计单位协商讨论,最终对方案4略作修改,将该方案取水口底缘标高由-7.99m降低至-9.75m,维持其平面布置形式,作为取水口选用方案。

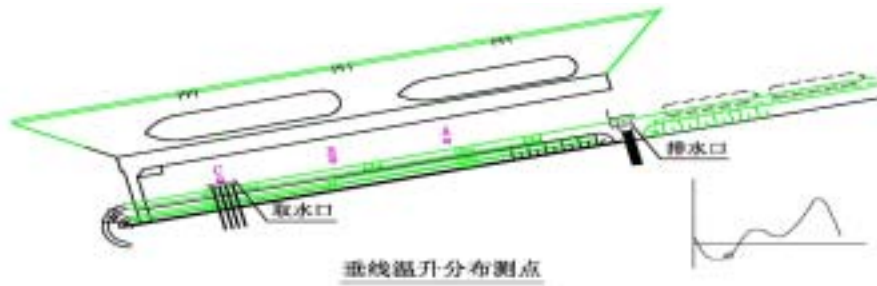
7.1.2 排水口优化

设计方案以5条2.6m(宽)×2.6m(高)的方管把厂房的温排水引至排水口,排水口轴线垂直于厂区岸线,排水口为喇叭形,喇叭口起始净宽13m,高2.6m,底缘高程-4.6m(黄基,下同),喇叭口出口末端净宽26m,高2.6m,底缘高程为-4.6m。

由文献[4]可知:为保证码头作业安全,要求电厂排水引起码头前沿横流流速不大于0.25m/s。设计的排水方案,电厂排放热水经码头前缘的横向流速 $V > 0.25\text{m/s}$,不能满足航运要求。试验将排水口高度由2.6m修改为3.5m,同时在排水口正前方20m处设置一道1:5的反坡,坎顶高程-3.5m,并在消力坎与排水口之间设置一排间隔8.45m的消力墩(3m×3m×3m),以消减排水能量,形成方案4-2。通过测试,该方案温排水引起的码头前沿横流流速 $V < 0.25\text{m/s}$,满足航运要求。

对电厂而言,排水口出流流速越大,热水离岸越远,对电厂取水影响越小。排水口设置了消能工后,削弱了排水口的出流动量,热水易在近岸区域累积,难以向远区扩散,对电厂运行不利。在方案4-2的基础上,于排水口西侧设一道顶高程为3.0m的挡热墙,以阻挡温排水向取水口扩散。为了测试各方案近岸水域的热水分布情况,在模型的取水口至排水口近岸水域分别布设三条垂线测温探头,测试结果见图4。

结果显示:二期工况,码头有船停泊、排水口西侧不设挡热墙时,取水口顶缘的温升最大达2.4,取水口中部温升达1.1;码头有船停泊,排水口西侧设挡热墙后,取水口顶缘的温升最大为1.2,取水口中部温升为0.8。从近厂区水域的热水流态、热水分布来看,就本工程而言,在排水口西侧设置挡热墙是非常必要的。结合试验成果并经过与设计单位协商,最终选用方案4-3为排水口方案。



码头有船停泊时取水口垂线最大温升分布

测点	水深 (m)	温升值 (°C)			
		无挡热墙		有挡热墙	
		无船停泊	有船停泊	无船停泊	有船停泊
A	1	3.9	5.4	2.7	3.6
	5	1.7	2.7	1.0	1.5
B	1	3.7	5.2	2.2	3.4
	5	1.5	2.2	0.8	1.2
C	1	3.0	4.5	1.6	2.5
	5	1.1	2.0	0.8	1.2

各测点对应的垂线温升值

图4 二期工况中潮各垂线温升分布

7.2 选用方案的温排水试验成果

7.2.1 电厂取水温升

由表 1 可见，各潮条件各期工况，电厂取水温升潮平均介于 0.1 ~ 0.6 ，码头有船停泊时取水温升较无船停泊时略高。小潮取水温升相对较大，大潮相对较小。

表 1 选用方案各试验组次取水温升特征值表

潮型	装机容量(MW)	码头情况	温升()		
			最大值	最小值	平均值
夏季大潮	2 × 350	无船停泊	0.3	0.1	0.1
		有船停泊	0.4	0.1	0.2
夏季中潮		无船停泊	0.5	0.1	0.3
		有船停泊	0.6	0.2	0.4
夏季小潮		无船停泊	0.5	0.1	0.3
		有船停泊	0.6	0.3	0.4
夏季大潮	4 × 350 +2 × 160	无船停泊	0.6	0.1	0.3
夏季中潮		有船停泊	0.7	0.2	0.4
		无船停泊	0.7	0.2	0.4
夏季小潮		有船停泊	0.9	0.3	0.5
		无船停泊	0.8	0.2	0.4
		有船停泊	1.0	0.4	0.6

7.2.2 水面温升分布情况

试验表明,夏季大、中、小潮的水面温升都呈东西向带状分布。大潮的潮流强度较强,小潮的潮流强度最弱,小潮热水向北扩散较大潮宽,各梯度的水面温升覆盖范围相对大潮大一些。码头有船停泊时,近排水口区域的高温区覆盖范围相对会比无船停泊大些。在二期装机(2×650MW)容量下,各潮典型潮时4.0 水面温升面积在0.02km²以内,高于1.0 以上面积约在0.6km²以内;在二期装机(4×650MW+2×160MW)容量下,各潮典型潮时的4.0 水面温升面积均在0.08km²以内,高于1.0 以上面积约在2.3km²以内。

8 取、排水口补充试验

8.1 取水口补充设计方案优化

2010年2月2日,在上海市召开了《广东钢铁环保迁建工程自备电厂工程温排水物理模型试验研究报告》(以下简称“《报告》”)评审暨验收会,《报告》成果通过了专家评审,评审会上设计单位认为由于工期相对紧迫,原设计的取水头部结构方案施工(即《报告》中的取水口方案4)历时较长,难以满足工期要求。根据会议提出了两个取水口补充设计方案:取水渠近岸布置方案和远岸布置方案。

两方案的取水明渠布置基本相同,取水口结构型式及尺寸完全相同,取水头部设置4个喇叭形取水窗口,每个喇叭形取水窗口起始净宽3.6m,高3.6m,顶缘高程-5.25m;末端净宽4.4m,高4.4m,底缘高程-9.65m。与近岸布置的取水头部相比,远岸布置的取水头部向码头延伸了40m。

试验结果表明,两方案热水流态极为相似,取水口进口流速过大(约1.23m/s),取水头部面层的热热水被扰动,尤其在较低潮位时,取水口头部水面出现间歇性漩涡,面层的高温热水沿漏斗漩涡下潜,被取水口吸纳,引起取水温升上升,对电厂运行极为不利(见图5)。

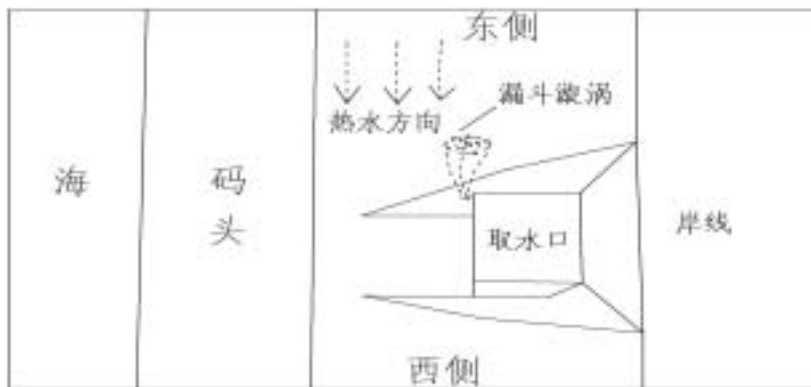


图5 取水口补充设计方案的取水口流态(远岸布置方案、侧面)

经过多方案的比较试验,通过采取工程措施消除了取水口面层漩涡,形成了如下取水口布置:维持喇叭形取水口的末端尺寸不变,将喇叭形的水平长度改为8m,对喇叭口首端的宽、高相对喇叭口末端各拓宽3.0m,首端顶缘高程为-4.75m,取水口的进口流速降低至0.43m/s。

试验表明,在低潮位时段,取水口头部水面仅出现局部的弱环流,面层的热热水不受取水的影响而产生扰动,取水口能取到深层的低温水。

8.2 排水口4-3方案辅助消能工的修改

试验根据设计部门提供的最新岸线规划对模型进行了修改。由于新的岸线和港池疏浚线方案,取、排水口之间厂区的岸线较原方案向码头前靠约50m,尤其是排水口右(东)侧原规划的2万吨码头岸线开挖暂缓,缩窄了排水出口的近岸水域面积,试验测试排水4-3方案布置、一期工况条件下,码头前缘的横向流速为0.45m/s~0.50m/s,不能满足航运的要求($V < 0.25$ m/s)。试验对方案4-3排水口布置的消能工进行了修改:在方案4-3的基础上,向东延长消力坎的长度至86.65m,消力坎的反坡改为1:3,消力坎按坎高1.5m、2.0m、2.5m、3.0m等方案进行对比试验,测得码头

前缘的横向流速值变化见图 6。由图可见，消力坎高 2.5m、3.0m 两消能工方案布置时，码头前缘的热水出流满足航运要求。

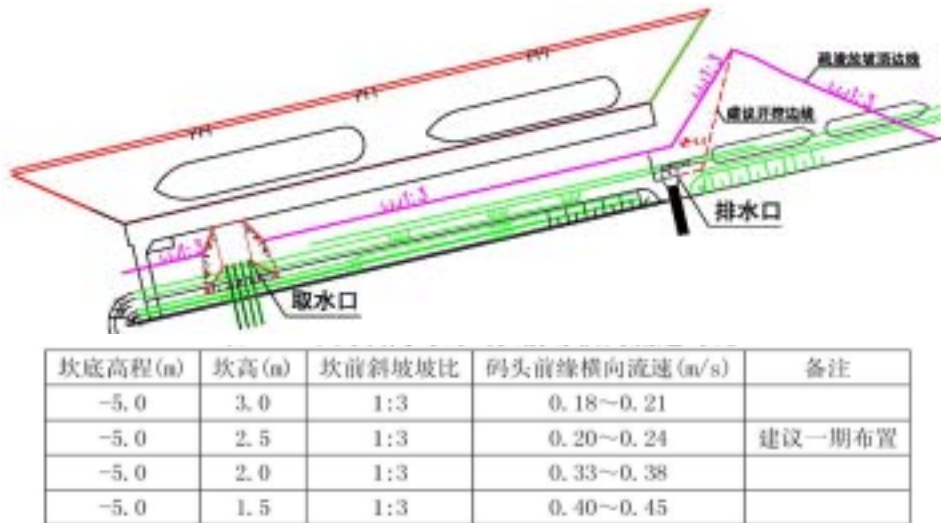


图 6 建议排水口开挖线及不同坎高码头前缘横向流速

9 结语

本次温排水试验成果已于 2010 年 2 月 2 日在上海市召开了《宝钢湛江钢铁基地自备电厂温排水物理模型试验研究报告》评审暨验收会，试验成果得到了与会专家的一致好评。本试验通过建立温排放物理模型，很好的复演了工程海区原体潮流，预测了电厂温排水对工程水域的热影响范围和程度。根据专家意见进行了取、排水口补充方案的优化试验，提出了工程可行、投资较省的取、排水口方案。不仅解决了取水口高温热水沿漏斗漩涡下潜的问题，保证了电厂安全运行，提出的排水口消能方案更满足了航运的要求，为工程设计与环境影响评价提供了参考依据。

参考文献：

- [1] 火电厂冷却水工程水力、热力模型试验规程 (SL160-95), 中华人民共和国水利部, 1995 年 7 月.
- [2] 杨树森等, 湛江钢铁基地码头工程方案二维潮流数值模拟及泥沙淤积计算可行性分析报告, 交通部天津水运工程科学研究所, 2004 年 3 月.
- [3] 李瑞生等, 湛江钢铁基地自备电厂冷却水工程数值模拟计算报告, 中国水利水电科学研究院, 2006 年 3 月 31 日.
- [4] 湛江钢铁自备电厂取排水对矿石专用卸船码头水流条件影响试验中间成果, 南京水利科学研究院, 2009 年 11 月 2 日.
- [5] 罗岸等, 广东钢铁环保迁建工程自备电厂温排水物理模型试验研究报告, 广东省水利水电科学研究院, 2010 年 3 月 1 日.
- [6] 罗岸等, 广东钢铁环保迁建工程自备电厂温排水物理模型补充试验研究报告, 广东省水利水电科学研究院, 2010 年 6 月.