

新会 LNG 电厂冷却水工程物理模型试验研究

钟伟强 陈灿辉 黄健东 林佑金
(广东省水利水电科学研究院, 广州, 510610)

摘要: 本研究通过建立新会 LNG 电厂取排水工程的物理模型, 对电厂温排水在潮汐过程中的运动情况及其对江水水温的影响进行了研究, 并通过多方案对比, 提出了较优的取排水口布置方案。试验研究成果, 对一般在潮汐河旁的温排水工程研究具有参考价值。

关键词: 新会电厂 冷却水 潮汐河道 取水温升 表面温升 掺混

1 前言

沿海地区是我国政治、经济、文化较繁荣的地方, 随着人民生活水平的不断提高, 需要的供电量越来越多, 火电厂、核电厂等必将更多地建立起来, 这些电厂大都利用潮汐河道作冷却水源。在规划设计这类冷却水工程时, 要求解决的问题可归结为确定最优工程布置、预估工程冷却效果。工程布置的核心是对冷却水排水口及取水口的安排, 它直接影响到整个电厂的水工投资、经济运行和冷却水接纳水域的水面开发及利用效率, 有时还关系到电厂总体规划, 其中包括厂址和最终装机容量的选定。

2 工程概况

广东新会 LNG 电厂厂址位于新会市南部银洲湖西岸、工业发展区兰屋村附近, 北距会城和新城区分别为 27km 和 20km, 南离崖门水道出海口约 6km (见图 1)。拟建电厂规划总装机容量为 $8 \times 350\text{MW}$ 。计划分两期建设: 一期工程先建设 $4 \times 350\text{MW}$ 机组, 冷却水量为 $30\text{m}^3/\text{s}$; 二期工程扩建 $4 \times 350\text{MW}$ 机组, 最终容量 $8 \times 350\text{MW}$ 时冷却水量为 $60\text{m}^3/\text{s}$ 。电厂冷却水取自于银洲湖, 采用直流供水系统。取排水工程采用“深取浅排”方案, 经冷凝器升温后的温水再排入湖中。冷却水取排水温差为 $8.3 \sim 9.5$ 。为具体确定该工程布置方案, 特开展本项模型试验研究工作。目的是通过试验研究, 分析温排水在崖门水道随潮流运动的规律以及在不同装机组合工况条件下, 不同取、排水方案温升分布特性、取水温升的变化规律, 寻求电厂取水温升高、对环境影响小及工程投资省的最佳取排水工程布置方案, 为设计单位及环保部门提供科学依据。



图 1 厂址地理位置及物理模型截面范围图

3 模型规划与设计

冷却水整体变态模型要求能反映流场整体流态的中远区问题, 能模拟温排水一定的热量回归和热量累积效应, 因此, 要求温排水尽量少溢出开边界。根据冷却水模型相似率, 结合电厂规模、场地等因素, 本次试验最终确定模型比尺见表 1。

模型截取银洲湖顶端至崖门口外 (黄茅海) 全长约 27km 河 (海) 道, 银洲湖上游 60km 河道和虎跳门水道 40km 河道则用概化地形扭曲水槽制作。该模型基本满足最小水深、最小雷诺数等各项要求, 虽仍有少量低温温水从开边界流出, 但对模型水域温升影响不大。

表 1 模型比尺

平面 L_r	垂向 Z_r	变率 e	流速 V_r	流量 Q_r	时间 t_r	糙率 n_r
400	100	4	10	400000	40	1.0739

4 模型率定与验证

本模型为开边界潮汐物理模型，工程厂址所在河段是潮汐河流，整个河段呈往复流流态。潮流率定是模型率定中相对较难且又是最重要的一项，模型率定将潮流率定与潮位率定同时进行，率定采用原体观测的 3 个断面资料进行潮流的同步率定。试验通过多次反复调试模型边界的进出流量，使模型与原体潮位相似。流速按照原体观测三个断面 10 条垂线共 30 个测点进行同步监测，重点以中层（0.6H）流速作验证依据。经过不断调整河床阻力（糙率）和边界进出潮量，直至模型验证点潮位过程及各点流速过程线与原体基本吻合。试验成果显示，除个别测点流向、流速出现短时的偏离外，其余各测点试验值（包括潮位和相位）与原型流场相似性良好。

5 温排水试验及成果分析

整个试验可分为三个阶段，第一阶段试验主要进行二个原设计方案的对比试验，论证设计方案的合理性。第二阶段试验对取、排水口的布置形式及体型尺寸进行修改对比试验，提出推荐方案。第三阶段试验对推荐方案进行各工况试验，给出详细的试验成果。

5.1 原布置方案试验及成果分析

5.1.1 方案布置

方案一（中间深取南北分排）：本工程设计方案一的循环水取排水采用中间取水（深取），两侧排水（浅排）的方式。在厂址中部对开海域离岸约 240m 处设置二个取水头部（ 、 期各用一个），两取水口相隔 70m 左右。取水头部为钢筋混凝土箱形结构，有效长度 25.0m，宽 6.0m，放置在 -9.0m 的河床高程上。排水口采取浅层表排方式， 期布置在取水口的南端， 期布置在北端。出口体型采用喇叭口形式，喇叭口尺寸：长 20.0m，管口宽 12.0m，喇叭口外缘宽 19.0m、底部高程 -1.0m，见图 2。

方案二（中间深取中间合排）：取水口布置和尺寸同方案一，排水以管排方式 、 期合排，布置于取水口中间，排水管断面 2.5m（高）×24.0m（宽），管口（高程为 0.0m）后接一喇叭口出流，底部高程为 -1.0m，见图 3。

5.1.2 温排水流态

方案一：温排水排出后，在厂址近区水域形成射流状温水带。电厂排出的热水随涨、落潮流流向南、北方向输移。落潮时段，热水随潮流往南输送，此时射流状的热水带随潮流扩散较强，热水到达主槽区时，热水主流继续南移。涨潮时，南行的热水折返北流，热水沿深槽随潮流回送， 期热水在取水口前远区经过，回归的部分热水向取水头部扩散，但历时较短， 期则背离取水口向北输送。纵观整个水域，由于排水口断面小，出口近区流速在低低潮时达 3.0m/s 以上，热水出流的动量较水域潮流动量大，而且出口高程偏高，在低潮位时产生跌水现象，温排水与河道水流强烈掺混，热水强射流直冲河中，扩散范围较大，在厂区对出的水域形成南北摆动的热水区。在一个完整的小潮历时中，从排水口排出的热水大部分时段是往南输送。

方案二：由于方案二采用 、 期合排的方式，属于差位式布置，因此温排水流态与方案一不同，特别是排水口近区，差别较大。但方案二排水口出流初始动量同样较大，排取水口与方案一相比间距较短，掺混激烈，温升相对较大，其间水域横向流速（相对于潮流方向）也较大。从流态观察到，无论是在涨潮还是落潮，热水从排水口向较远对岸输送，大部分热水随潮流在取水口前沿形成单向流动，只有当流场水流流速较小、潮位较低时，近区热水掺混才较强烈，热水亦明显下潜。

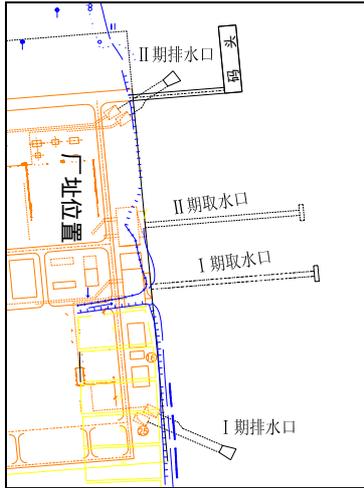


图 2 原设计方案一布置图

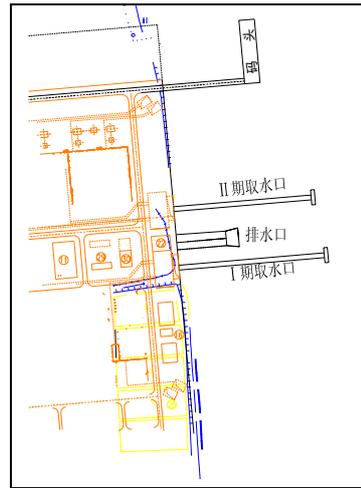


图 3 原设计方案二布置图

5.1.3 取水温升

方案一、方案二的平均取水温升存在差别，方案一的平均取水温升较低为 $T_2=0.5$ 。方案一在涨潮末段受南向涨潮流的推动，回归热水向取水头部扩散，此时电厂的取水温升达到极大值。方案二布置时，在憩流时排出热水在取水口附近掺混较强，由于潮流强度较弱，热水在喇叭口扩散后难于与远区水体进行热交换，环境温度较高，取水温升也较高，平均取水温升较方案一大，接近 0.9。

5.1.4 阶段试验小结

通过两个原设计方案的比较试验可知，方案一、方案二布置时的电厂取水温升都相对较低，方案二采用中间合排，排水口于取水口中部近岸区，距离 I 期取水口较近，排出的热水在取水口前沿扩散，与外部水体热量交换能力较方案一弱，电厂取水温升较高，平均取水温升比方案一高约 0.4。总的来讲，方案一和方案二出口流速较大，温度扩散范围也较大，散热较快，因而获得取水温升较低的效果，就取水温升而言，两方案均是可取的，但水域横向流速较大，对区域流场影响较大，对航运影响较明显，尤其在最低潮位时热水出口动量达到最大，温排水射流直冲河中，同时排水口出现跌流不良流态。因此，有必要对原设计方案作进一步的修改、优化。

5.2 修改方案试验及成果分析

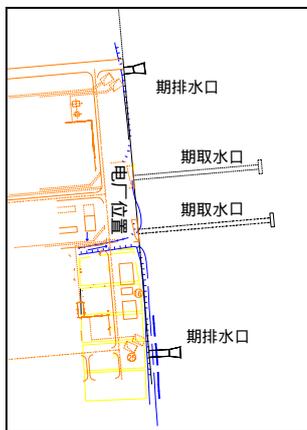


图 4 方案三布置

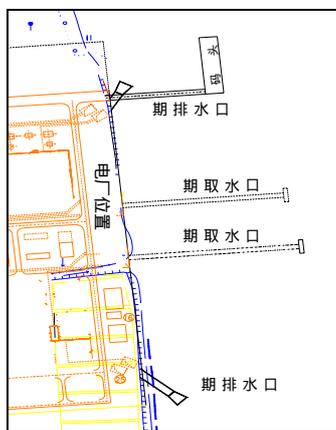


图 5 方案四（推荐方案）布置

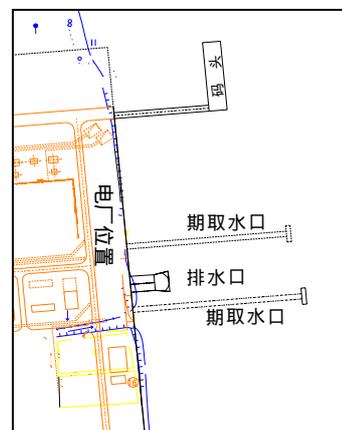


图 6 方案五布置图

5.2.1 工程布置

方案三：在方案一基础上，二期排水口后缩至离岸约 60m 处，排水口纵轴线与堤岸交角为 90°，排水口后接喇叭型出口，排水口高程降低至 -2.0m。各排水管断面 3.0m × 16.0m (见图 4)。

方案四：在方案三基础上作进一步修改，二期排水口同样设置于取水头部上、下游，排水口纵轴线与水流方向约成 45°角分别倾向南北向，排水口后接喇叭型出口，高程抬高至 -1.26m。排水管断面改为 2.5m × 16.0m (见图 5)。

方案五：在方案二基础上，排水管断面放宽至 2.5m × 32.0m，排水管口接喇叭形布置，喇叭口由管口 32.0m (两期总宽) 按 15°角变宽至离岸约 60m 处，喇叭口外缘端设一弧形坎，坎顶高程为 -0.26m，弧形坎外岸坡开挖至 -1.26m 与天然河床顺接，排水口底部高程为 -1.26m (见图 6)。

5.2.2 温排水流态

方案三：涨潮时，热水随潮流往北输送，取水口正好处在二期温水带，吸取一次热水，二期则背离取水口顺着潮流向北输送；落潮则反之。纵观整个水域，由于方案三排水口断面加大、出水口高程降低，出口流速减弱，因此，从排水口排出的热水扩散范围较方案一明显减小，近区水体温升较高。

方案四：方案四的温排放流态较方案一有明显的改善，横向流速下降、流速小于 0.5m/s。方案四排水角度改为 45°，排水高程与方案三相比有所抬高，因此其表面排水流速较方案三大，散热也较快。从流态观察发现，电厂排出的热水随涨、落潮潮流向南、北方向输移。涨潮时，热水随潮流往北输送，二期热水从取水口前沿经过，二期则背离取水口向北输送；落潮则反之。涨潮时，二期温排水与潮流对冲；落潮时则二期排水与潮流对冲，此时冷热水掺混比较强烈。二期近岸出现短时热水窝积现象。由于崖门水道流速较弱，排水方向调整后，从流态看，在憩流与流速较低时有利于热水向南北远区水域扩散。

方案五：温排放流态与方案二相近 (见前面所述)，只是排水口经修改后，出口流速减弱，热水向湖中输送程度较方案二下降，取、排水口近区流态明显改善。试验观察到，潮涨或落潮时，从排水口排出的热水向北或向南扩散，热量往主流区输送的能力有所减弱，导致近区水体温升有所升高。

5.2.3 取水温升

各方案试验取水温升特征值见表 2。采用方案三布置时，因为温排水扩散较缓，范围较小，近区水体温升较高，因而取水温升较高，平均取水温升约 1.3。方案四布置取 45°偏角后，能较好利用排水动量的动力将热水向上、下游输送，从而扩散范围较大，近区水体温升较低，因而取水温升较低，平均取水温升为 1.0，较方案三低 0.3，取水温升过程线也比较平稳。方案五布置时的平均取水温升比原设计方案二高约 0.3。

表 2 各修改方案试验取水温升特征表 ()

排水口方案	平均取水温升	最大取水温升	最小取水温升
方案三	1.3	1.5	1.2
方案四	1.0	1.2	0.8
方案五	1.2	1.3	0.9

5.2.4 修改方案试验小结

从以上各方案的温排水流态及取水温升的情况综合分析可知，方案三修改的意图是想利用取水口与堤岸之间的潮流通道将热水向上、下游输送，但因该通道潮流较弱，而温排水出流动量依然较大，因此，未能形成事前所设想的流态，以致在涨落潮过程有相当热水覆盖在取水口附近水域，取水口直接吸取一次热水，导致取水温升较高。方案四布置取 45°偏角后，热水扩散范围较

大,近区水体温升较低,取水温升也较低,从图表可看出,采用方案四布置时,满荷发电下的电厂平均取水温升为 1.0,取水温升过程线都比较平稳。综合温排水流态和取水温升过程线等因素,认为排水口设置分排方案优于中间合排方案,而排水口与水流方向成 45°角放置比 60°、90°交角效果好,排水口高程设置合理,因此,建议方案四作为工程布置推荐方案。

5.3 推荐方案试验成果分析

5.3.1 取水温升

各工况取水温升特征值见表 3。试验结果显示,取水温升的高低随上游来流量的大小与潮型即流场强度的强弱而不同,上游来流量越大,取水温升越低;至于流场强度,由于潮流与上游来流的综合作用,流场表现得十分复杂,尤其是强潮流遭遇大径流时更是如此,但一般来说,潮流越强(大潮)温升越低,反之亦然。如当 $Q_{上}=300\text{m}^3/\text{s}$,大潮平均取水温升 0.9,小潮平均 1.2。 $Q_{上}=1200\text{m}^3/\text{s}$,大潮平均取水温升 0.7,小潮平均 0.8。可见上游来流量对电厂取水温升影响十分明显。这是因为来流强将温排水推向下流,回归上游温水减少,因而厂区水域热量累积减弱。上述这一特性,对电厂运行十分有利,因为制约电厂效率的是夏季高水温期,而这正是洪水季节,上游来流量大,由于温排水引起的温升相对较低,从而可降低冷却水温度。

表 3 推荐方案最终容量取水温升成果表

组次	上游来流量 (m^3/s)	温排水流量 (m^3/s)	潮型	取水温升()		
				最大	最小	平均
1	300	60	小潮	1.4	1.0	1.2
2	300	60	大潮	1.1	0.6	0.9
3	600	60	小潮	1.2	0.8	1.0
4	600	60	大潮	1.0	0.5	0.8
5	1200	60	小潮	1.0	0.6	0.8
6	1200	60	大潮	0.8	0.5	0.7

5.3.2 工程水域表面温升分布

试验表明,温升区域是在排水口近区的银洲湖水域,以排水口为中心作南北方向摆动并向南扩散。总的来说,小潮温升面积较大,温升较高。这是因为小潮潮流输运掺混稀释能力较弱的缘故。大潮沿水流方向影响范围较大,但沿横向影响较小,小潮反之。上游来流也是影响表面温升分布一个重要因素,上游流量越大,温排水向下游输运能力越强,热水上溯上游的能力越弱,工程海区的温升影响范围就越小。试验给出了多种工况多级温升成果。方案四布置时,在 期+ 期满荷发电工况下,试验测得 3 最大温升面积小于 0.7km^2 , 2.0 以上面积小于 4.0km^2 , 1.0 以上面积小于 17.0km^2 。电厂以流量为 $Q=60\text{m}^3/\text{s}$ 的热水注入银洲湖水道,使水域受热升温,对银洲湖产生一定影响,但引起的热污染不大。

6 结论与建议

(1)通过对电厂的取水温升、水域表面温升分布情况、排水工程水域流态的影响以及对航运影响等因素的试验研究,建议取、排水口工程布置采用方案四布置。

(2)推荐方案(方案四)条件下取水温升情况:满荷发电下的电厂平均取水温升为 0.7 ~ 0.9 (大潮,径流 $1200\text{m}^3/\text{s} \sim 300\text{m}^3/\text{s}$) 0.8 ~ 1.2 (小潮,径流 $1200\text{m}^3/\text{s} \sim 300\text{m}^3/\text{s}$)。

(3)推荐方案的表面温升情况:温排水引起的水域温升 3.0 以上面积较小,最大 0.7km^2 , 2.0 以上面积小于 4.0km^2 , 1.0 以上面积小于 17.0km^2 。

(4)推荐方案取水温升较低,取水高程较低是一个重要因素,因此,在条件允许情况下,建议取水口高程尽可能设置在较低位置。推荐方案排水口与水流方向成 45°偏角,温排水射流引起

的横向流速小于 0.5m/s，对航运影响较小。

(5) 建议工程实施后，加强原体水温观测，为电厂的安全运行及科学研究提供宝贵的数据资料。

参考文献

- [1] 《广东新会 LNG 电厂冷却水工程物理模型试验研究报告》，广东省水利水电科学研究院，2005 年 12 月
- [2] 江洧 林佑金，《惠州 LNG 电厂循环冷却水工程物理模型研究》，2000 年
- [3] 陈惠泉，《冷却水运动相似性原理和实践》，1978 年