

惠州 LNG 电厂取排水工程布置研究

黄健东, 江 涌, 倪培桐

(广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510610)

摘要:通过建立惠州 LNG 电厂取排水工程的物理与数学模型, 对大亚湾经济开发区重新规划及近岸区围垦后的岸区流场特性、取排水工程布置进行研究, 推荐了较优的工程布置形式。

关键词:惠州; LNG 电厂; 冷却水; 试验

中图分类号: TV137 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-0112(2009)08-0006-03

引言

惠州 LNG 电厂位于广东省境内大亚湾北海岸、惠州市大亚湾经济开发区, 电厂冷却水取自大亚湾, 经冷凝器升温后直接排入大亚湾海域。大亚湾是一个半封闭的海湾, 湾内潮差小、潮流弱、水流的输运稀释能力差, 属于弱潮流海域。电厂排出的废热在大亚湾内如何扩散以及对电厂本身取水升温的影响是电厂建设的关键问题。该项目曾于 2000 年进行过物理模型试验与数值模拟研究, 并已取得相应成果^[2-4], 且已基本确立了“东取西排”的整体布局。由于惠州市沿大亚湾北岸进行围垦造地, 电厂厂区附近陆域边界条件发生较大变化, 因而需要对电厂取排水布置重新规划。

惠州 LNG 电厂一期工程建设 3 台 350MW F 级燃气-蒸汽联合循环发电机组, 规划装机容量为 6×350 MW 及预留 2 台 300MW 级抽汽供热机组的扩建可能, 最大冷却水流量为 $56.37 \text{ m}^3/\text{s}$, 电厂排取水升温为 7.8°C 。

1 海域自然条件特征

大亚湾北海岸近海区海床平缓, 高程则由西向东逐渐降低, 厂址附近水域水深较浅, 离岸 2km 处水深仍小于 5m。潮汐属不正规半日潮, 水域潮差较小, 平均潮差在 0.8~1.1m 之间, 涨潮历时长于落潮历时。

大亚湾湾顶浅水区潮流有如下几个特点: ①流速小, 流场弱, 5.0m 等深线附近如 V_{10} 、 V_{11} 等测站流速值为 0.1m/s 左右; ②流向不稳定, 流态紊乱; ③存在明显的辐散复合流; ④东部(霞涌以东)流场强, 西部流场弱。

电厂厂址在夏季处于西南季风与副热带东南季风的过渡区, 夏季盛行 S 风和 SSE 风向的风, 全年平均风速为 3.2m/s。台风路径有五类可引起 SE(或 SSE, 或 S, 或 SSW)主波向的波浪。

2 模型规划与设计

物理模型按重力相似和浮力相似准则设计, 模型平面比尺 $L_r = 400$, 垂向比尺 $Z_r = 70$, 变态率 $e = 5.7$, 模拟原型范围为 $20\text{km} \times 8\text{km}$ 。

数学模型的模拟范围为 大亚湾湾口以北的整个大亚湾水域, 大亚湾湾口作为计算的开边界, 模拟原水体域面积约 550km^2 , 采用平面二维数学模型进行温排水的数值计算。

试验和计算的潮型均选取 1999 年 8 月夏季实测资料。

3 围垦工程前、后的流场变化

试验对围垦工程前、后的海区流场进行了研究, 其变化特征总体上表现为:

1) 海区流场的总体流势未因围垦工程的实施而有所改变, 海区流势依然是涨潮时潮流流向为北或偏北向, 落潮时流向为南或偏南向, 总体流势依然是南北向的往复流。

2) 涨落潮期, 在鳄鱼洲与纯洲岛间涨落潮流的水体, 依然有一分支流向(退自)惠州港, 与东北方向潮流形成辐散与复合流态。辐散(复合)点的位置视潮流的强弱有所不同, 同时亦因围垦一、二期岸线的不同而有所不同, 由于潮流较弱, 从物模观察到的辐散(复合)点实际上为辐散(复合)区域, 该区域较原位置(取水头部

收稿日期: 2009-06-23

作者简介: 黄健东(1964-), 男, 高级工程师, 长期从事水动力学、泥沙及电厂温排水研究。

前沿1km)有所西偏。

3)比较一、二期围垦岸线的情况,一期围垦对近岸区流场的影响较小;二期围垦主要切断了纯洲岛与内陆半岛间的潮流通道,对惠州港区域的水流影响较大。

4)围垦工程实施后,取水口前沿沿围垦线的东西向流动加强。一期围垦后该东西向流动较弱,与工程前差异不大,二期后明显加强。

4 温排水布置比较方案试验

4.1 排水位置及方向比较试验

试验比较方案:惠州LNG电厂取排水工程布置,经前期的试验和数值计算研究已基本确立了“西取东排”格局,本次试验的初步方案以及试验提出的比较方案,计有1[#]、3[#]、4[#]、5[#]、6[#]等(见图1、表1)。取水口位置已大体确定,为岸区深取。

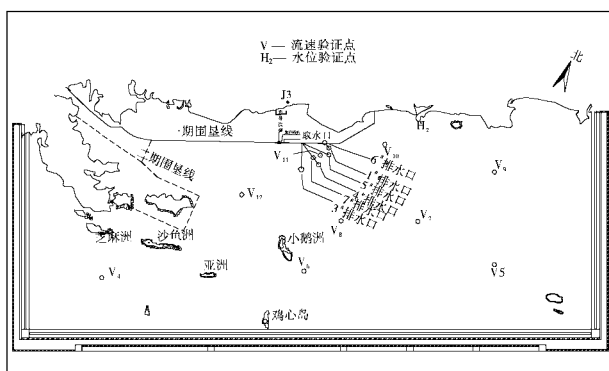


图1 模型平面布置及排水口方案布置示意

表1 各排水口方案的具体参数

排水口方案	离岸排水管长/m	排水口与岸线垂直距离/m	取水头部与排水口垂直岸线点距离/m
1 [#]	250	193	1 661
3 [#]	950	950	670
4 [#]	987	770	1 297
5 [#]	987	469	1 549
6 [#]	0	0	1 507

方案比较结果:1[#]排水口虽出流方向较好,但由于排水管路偏短,排放温排水在涨潮时易窝积于岸区,落潮时又难于被潮流输移至外海,对环境影响较大,同时窝积温排水在岸区扩散,对取水水温影响较大;3[#]排水口则受涨潮流顶托的影响大,温排水扩散亦不理想;4[#]排水口排放温排水直接进入主潮流区,并兼顾了涨落潮流的流势,较好地将温排水控制在外海海域中扩散,虽然在经过10~12个(日)潮周后,水体受热量累积引

起周边水体温度升高形成环境温升的影响,取水仍受回归温排水的影响,但相比其它方案取水温升较低;5[#]方案的排水方向,虽然在涨潮时有利于温排水向东输送,但因排水口较4[#]靠岸(垂直距离约短300m),温排水出来后在涨潮流的推动下,温排水必然要比4[#]方案较快送至近岸区,在落潮时,由于靠近岸区的水流向南运动的强度较弱,停滞于岸区的热排水较难向外海输移,相反在落潮流的影响下较易输向取水口,在涨落潮流的循环作用下,5[#]岸区的温升值及其取水温升会稍高于4[#],这从方案的取水温升特征及水面温升分布形态亦可看到这一点;6[#]方案与5[#]方案有类似的特征。取水温升各方案差异不大,平均取水温升约0.6℃~0.7℃,相比较4[#]略低一些。综合考虑拟定4[#]排水口方案作为初步建议方案。

4.2 排水管长的比较试验

在初步选取4[#]排水方向的情形下,对排水管长的比较选取退缩200m的方案(7[#])进行比较。试验选取小潮潮型,排水流量仍取最大流量为56.37m³/s。

综合比较4[#]与7[#]两个排水口方案的取水温升、热水排放流态、水面温升分布以及工程布置等,基本上有如下几个特点:

1)4[#]排水口方案潮周取水温升较方案7[#]低0.1℃,潮周过程线显示各潮时4[#]亦低于7[#]排水口方案。

2)温排水流态及其温升分布显示,4[#]排水口所在位置的潮流特性更有利于温水向海区输送,温水范围较7[#]方案要远离岸区,对电厂取水更有利。

3)厂址不利的风向为E向,据资料统计月平均风速最大值出现在7月份,为4.5m/s;风速最大的不利风(E向)风速为9.35m/s。同时统计的台风路径引起的波浪主浪向其中之一为SE向。在不利风向及波浪影响下,由东往西沿围垦岸线的水流要强于试验室模拟的流动,从该意义上说,热水范围远离岸区对保证电厂取水的稳定与高质量是有利的。从4[#]与7[#]排水方案的温排水水面温升范围看,4[#]方案具有较明显的抵抗这种不利影响因素的特点。

4)从电厂温排水对近岸海域的环境影响看,4[#]方案对环境的影响较小。

5)从工程造价看,4[#]方案较7[#]方案长200m,排水口离岸距离较7[#]方案长155m。经初步估算,方案4[#]直接工程造价比方案7[#]大约多800多万元,但综合考虑相差0.1℃取水温升带来的发电效益后的相对造价大约多150多万元。

综合考虑,认为4[#]排水口方案可作为推荐方案。

5 温排水推荐方案(4[#])系统测试与成果

5.1 温排水流态特征

1) 不同潮型下温排水的排放流态:大、中、小潮代表了3种不同强度的流场,大潮潮差大,小潮潮差小。潮差愈大,潮流愈强,温排水排入水域后其扩散亦愈快;反之则愈慢。试验观察到,大潮时温排水向南(或西南)及向东北(或东)漂流较远,温排水往复摆动的范围较大;小潮时温水漂流则较近和摆动范围较小。中潮介于大潮与小潮之间。

2) 不同排放流量时流态:由于一期装机 $3 \times 350\text{MW}$ (排水流量 $23.4\text{m}^3/\text{s}$)时排放流量约为最大排放流量($56.37\text{m}^3/\text{s}$)的 $2/5$,出流总动量与总热量的减少,必致热影响范围与程度降低。试验亦反映出其温升范围明显小于大排放流量时的情形。

3) 不同特征潮时温排放流态:温水的输移除在排水口近区依借其出流量外,在海域的输移主要靠潮流动力与热扩散完成。不同特征潮时的温排放流态与其特征潮时的潮流流态紧密相关。试验观察到,涨潮时温水区域靠向东北与北端;落潮时温水区域摆向西南与西南端。

4) 一、二期围垦下的流态:一、二期围垦下排水口近区的流场特征并无大的差异,围垦区域的增加,对流场的影响范围主要反映在惠州港区域与岸线前沿的局部区域,主要是东西向流动略有变化,对排水口近区温排水排放的扩散形态影响不大。

5.2 取水温升

各组次工况的取水温升值显示取水温升均值不大,全潮平均值均在 0.6°C 以下,最大排水流量条件下平均取水温升值为 0.6°C ,最高为 0.8°C 。一期装机($3 \times 350\text{MW}$)下平均取水温升仅为 0.2°C ,最高为 0.3°C 。大、中、小潮下取水温升起伏不大,曲线较为平坦,仅在大潮时变幅相对稍大,最大与最小差约为 0.5°C 。在同一潮型及相同的排水流量条件下,一、二期围垦下的取水温升差异不大。

5.3 水面温升分布与温升面积

试验显示规划容量时水面温升高于 1.0°C 的面积在 10km^2 左右,一期工程装机时高于 1.0°C 的面积均在 4.0km^2 左右。

6 不利风向影响下的温排水试验

6.1 流场数值计算

针对本工程取排水口的特性,不利风向影响下的流场计算,风速取定常风。另据工程近域大坑和港口站的资料统计,不利风(ESE、ENE)出现的频率分别为

31.1%、23.4%,80%以上的不利风持续时间分别不大于18h与32h,不利风的平均风速分别为 3.3m/s 、 5.8m/s 。计算取2站的平均值 4.6m/s ,风向为ENE;最大风速取霞涌站观测的最大不利风速 9.35m/s ,风向为E向。

计算结果显示一期围垦小潮条件下,在不利风向的平均风速影响下,工程海区的流场变化较大,具体表现在潮流的幅散复合点整体上较无风时西移,取排水口近区的潮流方向往西北方向偏转,流速约为 $5 \sim 6\text{cm/s}$,其中风生流增量流速约为 $3 \sim 3.5\text{cm/s}$,流向为东往西向;在风速为 9.35m/s 时,取排水口近区的流场则基本上呈现为东往西方向的单向流特征,流速约为 $10 \sim 11\text{cm/s}$,其中风生流增量流速约为 $5 \sim 6\text{cm/s}$ 。

6.2 取水温升

试验据数值计算的风生流流场流态进行模拟,模拟条件选取恒定流,潮位为小潮平均潮位,温排放流量为最大排水流量 $56.37\text{m}^3/\text{s}$ 。试验显示,在风生流流速变化不大的条件下,温排水流态差异不大。试验选取风速为 4.6m/s 的风生流流场进行模拟,测得的取排水口工程近区东往西方向流速约为 3cm/s (原体)。

恒定流条件下温排水排放后运行相当于2~3个潮周,温度场已基本稳定^[2]。本次试验(风速为 4.6m/s)测得取水温升约为 0.3°C 。风速为 9.35m/s 的不利风向条件下,根据试验与前人的资料分析,认为取水温升的幅值约为 0.5°C 。

对方案4[#]、7[#]排水口方案在同等不利风向与风速条件下的取水温升比较,数学模型计算显示,7[#]排水口方案取水温升要高于4[#]方案约 0.3°C (计算条件为一期围垦、小潮、排水流量 $56.37\text{m}^3/\text{s}$ 、风速 4.6m/s 、风向ENE)。

7 结论

1) 试验对不同温排水出流方向及不同排水管长的各方案比较后认为,4[#]排水口位置及出流方向较佳,温排水易于向外海输送扩散,且取水温升较低,对环境的影响较小,抗干扰能力较强,建议4[#]排水口方案作为推荐方案。

2) 围垦工程实施后对海域流场影响不大,海区流势依然是涨潮时潮流流向为北或偏北向,落潮时流向为南或偏南向,总体流势依然是南北向的往复流。仅对围垦近区局部流场产生影响,表现为幅散复合点西移,近岸区的东西向流动略有加强。

3) 方案4[#]试验表明取水温升值不大,全潮平均值均在 0.6°C 以下, (下转第11页)

(上接第8页)

最大排水流量条件下($56.37\text{m}^3/\text{s}$)平均取水温升值为 0.6°C 、最大不超过 0.8°C ，一期装机(3350MW,排水流量为 $23.4\text{m}^3/\text{s}$)下平均取水温升仅为 0.2°C 、最大不超过 0.3°C 。大、中、小潮下取水温升起伏不大,温升过程平稳。

4)方案4[#]水面温升表明,规划容量时高于 1.0°C 平均温升面积在 10km^2 左右;一期装机条件下高于 1.0°C 水面平均温升面积约为 4.0km^2 。

5)方案4[#]在不利风向影响下,取水温升的升高幅值约为 0.3°C (风速 $4.6\text{m}/\text{s}$ 、风向ENE);在风速为 $9.35\text{m}/\text{s}$ 时(E向风),取水温升的升高幅值约为 0.5°C 。7[#]方案与4[#]方案在同等不利风向条件影响下(最终排水流量),前者取水温升约高 0.3°C 。

6)鉴于4[#]与7[#]排水口方案在正常海况条件下的温排水热力特性差异较小,4[#]排水管长可适当缩短,但其缩短长度不宜超过100m。

研究工作于2004年完成,参加工作的还有:陆耀辉、钟伟强、陈卓英、何小惠、陆汉柱、罗岸、唐造造、陈味绿等,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 广东省水利水电科学研究院. 惠州 LNG 电厂冷却水工程(整体)物理模型试验研究报告[R]. 2003.
- [2] 广东省水利水电科学研究所. 惠州 LNG 电厂冷却水工程物理模型试验研究报告[R]. 2000.
- [3] 广东省水利水电科学研究所. 广东惠州液化天然气电厂初步可行性研究循环冷却水工程数值模拟研究报告[R]. 1998.
- [4] 中国水利水电科学研究院. 广东惠州 LNG 电厂可行性研究——填海造地后循环冷却水数值模拟研究报告[R]. 2002.
- [5] 广东省水利水电科学研究院. 惠州 LNG 电厂冷却水工程(局部正态)物理模型试验研究报告[R]. 2004.

(本文责任编辑 马克俊)