

# 惠州开发区调整规划后的 LNG 电厂取排水工程研究

黄健东 江洧 倪培桐 陆耀辉 李瑞生 钟伟强 陈卓英

(广东省水利水电科学研究院, 广州, 510610)

**摘要:** 本文通过建立惠州 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、取排水工程布置及电厂取水升温、温排水的环境温升影响进行了研究<sup>[1]</sup>。认为围垦工程实施后对海域流场影响不大, 海区总体流势依然是南北向的往复流。围垦工程仅对岸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加强。取水升温值潮周平均值均在 0.6 以下, 最大约为 0.6, 一期装机下平均取水升温仅为 0.2。水面温升高于 0.5 面积均在 30km<sup>2</sup> 左右; 高于 2.0 以上面积均在 3km<sup>2</sup> 左右或以以下。一期装机下水面温升面积约为 15km<sup>2</sup> (等超 0.5) 、0.5km<sup>2</sup> (等超 2.0)。

**关键词:** 惠州 LNG 电厂 冷却水 试验 数值计算 围垦

## 1 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, 经冷凝器升温后又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决定电厂规模的关键问题。该项目曾于 2000 年进行过物模试验与数值模拟研究, 并已取得相应成果<sup>[2][3][4]</sup>, 且已基本确立了“东取西排”的整体布局。目前惠州市拟沿大亚湾北岸进行围垦造地工程, 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。

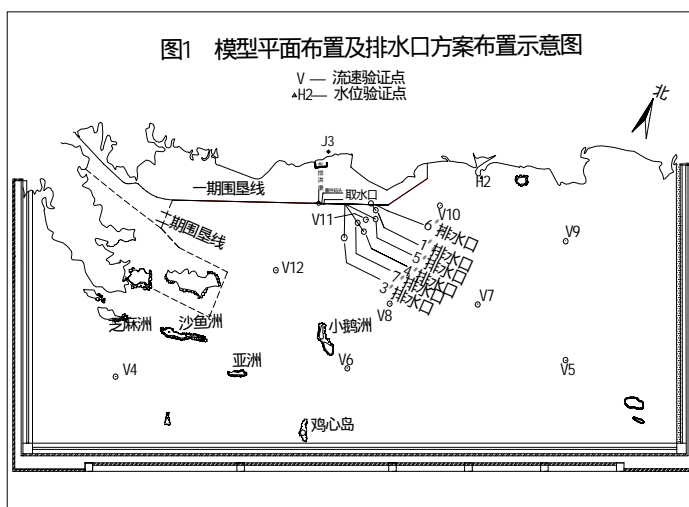
据 2001 年惠州市对大亚湾经济开发区总体规划所作的调整, 填海面积约 6.56km<sup>2</sup>, 填至海区水下-4.0m 线附近, 新岸线为原岸线向海区前移了约 1.2km。围垦工程分二期, 一期为北端围垦线, 二期为包括纯州岛区域围垦线。

惠州 LNG 电厂一期工程建设 3 台 350MW 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 56.37m<sup>3</sup>/s, 电厂排水取水升温 7.8。

## 2 海域地形、水文、气象特征

大亚湾为内陆海湾, 湾口宽约 15km, 湾口距厂址所在的湾顶约 21km。大亚湾海床高程由北向南逐渐降低, 湾口处水深达 20m 以上, 北海岸近区海床平缓, 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。大亚湾潮汐属不正规半日潮, 水域潮差较小, 具有越向湾里潮差越大的特征。霞涌站最大潮差 2.43m, 海域平均潮差在 0.8m ~ 1.1m 之间。

大亚湾水域涨潮历时均长于落潮历时, 霞涌站涨潮历时 6 时 32 分, 落潮历时 6 时 16 分。大亚湾流场基本呈往复流流态, 涨潮时, 主要潮流由大辣甲岛以东通道流进东大亚湾, 并向北推



进直至湾顶，潮流在霞涌附近辐散成东西两支，东支向范和港方向流去，西支流向荃湾半岛附近海域。落潮时，大亚湾内的水体基本上沿与涨潮流相反方向流出湾口，显示湾顶处形成辐散复合流的显著特征。湾顶浅水区潮流则有如下几个特点：流速小，流场弱，5.0m等深线附近如V<sub>10</sub>、V<sub>11</sub>等测站流速值为0.1m/s左右；流向不稳定，流态紊乱；存在明显的辐散复合流；东部（霞涌以东）流场强，西部流场弱。

海域水温特征显示，近岸水域的水温较高，离岸愈远水温愈低，多年平均水温为23.4℃，多年月平均最高水温为29.6℃，小潮实测表层瞬时水温超过32.0℃。历史实测最高水温为34.5℃（1985年7月14日）。

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，全年最大风速出现在7月，风向S向；其次为5月和8月，当月最大风速为16.0m/s，风向为SSE与ESE；月平均风速最大值出现在7月份，为4.5m/s；较小值出现在4月份，为2.3m/s，其余月份的风速变化不大，全年平均风速3.2m/s。历年最高气温37.5℃（1980年7月10日），历年最低气温为0.4℃（1961年1月18日）。

台风是影响电厂附近海域的主要天气系统，以台风路径分类可分为六类，其中有五类台风路径可引起SE（或SSE，或S，或SSW）主波向的波浪。

### 3 模型规划与设计

#### 3.1 物理模型

鉴于本工程取排水工程总体布局思路已基本清晰，厂址近区岸线的改变不会从根本上改变工程海区水流特性，因此本次模型选取的平面比尺L<sub>r</sub>=400，垂向比尺Z<sub>r</sub>=70，变态率e=5.7，综合散热系数比尺K<sub>r</sub>=1.46，模拟原型范围20×8 km<sup>2</sup>。

模型按重力相似和浮力相似准则设计，要求满足

$$\text{佛氏数} \quad (F_r)_r = \left( \frac{V}{\sqrt{gh}} \right)_r = 1 \quad (1)$$

$$\text{密度佛氏数} \quad (F_\Delta)_r = \left( \frac{V}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} gh}} \right)_r = 1 \quad (2)$$

(1)、(2)式同时满足，要求

$$\text{相对密度差比尺} \quad \left( \frac{\Delta\rho}{\rho} \right)_r \approx 1 \quad (3)$$

$$\text{要求试验控制相对温度差比尺} \quad \left( \frac{\Delta T}{T} \right)_r = 1 \quad (4)$$

#### 3.2 数学模型

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，模拟原体水域面积约550km<sup>2</sup>。模型应用目前通行的垂向平均平面二维数学模型进行温排水的数值计算，求解采用建立在三角形单元网格上的破开算子有限元法进行离散求解，该方法的优点是能适应复杂边界地形，且收敛速度快，计算精度高。

### 4 试验（计算）选取的潮型

电厂冷却水的控制条件是夏季高温季节，本次试验（计算）的潮型仍选取1999年8月夏季实

测资料为依据，选定的三个日周潮（大、中、小）潮型及其潮位特征见表 1。

## 5 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幅散与复合流态。幅散（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，从物模观察到的幅散（复合）点实际上为幅散（复合）区域，该区域较原位置（取水头部前沿 1km）有所西偏。

(3) 相比较一、二期围垦岸线而言，一期围垦对近区流场的影响较小；二期围垦主要切断了纯洲岛与内陆半岛间的潮流通道的，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。

## 6 温排水布置比较方案试验

### 6.1 排水位置及方向比较试验

#### 6.1.1 方案及试验条件

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，本次设计单位提出的初步方案以及试验提出的比较方案，计有 1#、3#、4#、5#、6# 几个。取水口位置已大体确定，为岸区深取。考虑到小潮潮流相对较弱，对温排水方案试验而言偏于安全，且参考前次试验大、中、小潮的取水升温成果，试验选取小潮作为方案比较潮型；工况选取最大取排水流量 56.37m<sup>3</sup>/s。

#### 6.1.2 温排水流态

1#排水口方案：温排水排入海域后借助其出流动量（出流流速为 1.76m/s）向排水方向输送，排入海域的温排水在排水口一定范围内仍起到一定的推动水流运动的作用，之后温排水随涨落潮流缓慢输移及向四周扩散，受热水体的区域靠近岸区。由于排水口靠近潮流较弱的岸区且近区水流受围垦东侧岸线的影响，涨潮时

显示温排水极易受涨潮流的影响向霞涌湾输移，落潮时该温排水带又难以输向外海，致温排水窝积于湾内。经若干潮周后扩散的温排水运动看，落潮时温排水向西向和南向扩散，涨潮时受涨潮动力推动，部分温排水向取水口岸区逐渐输移，大部分向北及东北向运移。影响取水升温的热水资源，主要在落潮西移及涨潮北上的掺混水体。由于岸区基本不形成冷水通道，因而取水升温相对较高。

3#排水口方案：排水口离岸约 950m，该处潮流较强，为温排水向外海输移创造了有利条件，试验显示在落潮时温排水经排水口出流后由潮流带离岸区向海区扩散，但在涨潮时由于出流方向正对潮流来向，潮流动力抵消了部分出流动量，部分温排水向岸区回归，其余则向东北向扩散，

表 1 大、中、小潮型及其潮位特征

潮型	测时	测站	最高潮位(m)	最低潮位(m)	最大潮差(m)
大潮	11 日 16:00~12 日 17:00	霞涌	0.75	-1.42	2.17
中潮	14 日 13:00~15 日 13:00	霞涌	0.46	-1.12	1.58
小潮	17 日 12:00~18 日 13:30	霞涌	0.12	-0.73	0.85

表 2 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	1661
3#	950	950	670
4#	987	770	1297
5#	987	469	1549
6#	0	0	1507

由于该方案的排水口离取水头部较近，回归温排水影响取水头部的程度必然相对较大。

4#排水口方案：温排水经排水管（口）出流后，先随其出流动力输移一段距离后方随涨落潮流向四周扩散，温排水无短路现象。在出流动量消散前，温水出流流路随涨落潮流摆动：涨潮时向北摆动；落潮时向南摆动。热水排放 2~3 个潮周后，温水扩散的边界西端已至小鹅洲附近，南端已有部分受热水体溢出边界，北端围垦岸线附近仍有部分清水通道；在经过 4~5 潮周后，受热水体方靠近取水头部。从温排水流态看，该方案通过较长管路并挟其出流动力将温排水输送至主潮流区，温水随潮流的主流向（南-北向）向外海扩散，因而温排水扩散效果较好。

5#排水口方案：5#排水管长与 4#方案的管长相同，出流方向则以 4#排水管向逆时针方向旋转了约 23°，与围垦岸线夹角约 28°。改变温排水出流角度后，排水口近区的温水流态与 4#差异不大，在出流动量消散前，温水出流流路仍随涨落潮流摆动，温排水无短路现象。由于该方案出流方向较 4#方案往北偏移，涨潮时扩散的温水区域较 4#方案整体要往东北向偏移，且更逼近岸区，落潮时近岸温水随落潮流向南与西南输移与扩散，试验显示受热水体向西侧及取水头部近区扩散的强度稍大于 4#方案，另一方面温水向东南方向扩散的范围较 4#为大，温水随涨落潮流向外海输送的温水带较 4#方案宽且往东南偏移。

6#排水口方案：该方案由 1#近岸排放缩为岸排，试验表明温排水排放后造成温水区域的向岸偏移。温排水在注入海域后，在涨潮流的影响下很快沿岸区向霞涌湾输移，落潮时受岸线影响，近区潮流较弱，温水难于被潮流输送至外海，形成温水在霞涌湾及岸区窝积，对环境影响较大。同时窝积于近岸区的温水在潮流作用下，随沿岸的东西向流动（面流）逐渐向取水头部输移，对取水不利。在有东向不利风的作用下对取水将更为不利。

### 6.1.3 取水温升

温排水流态表明影响电厂取水温升的是经数个潮周稀释、掺混的回归温排水，温排水排放不存在直接流向取水口的短路现象，取水温升来自于温水排放后热量累积而引起的周边水体的环境温升的升高。各方案取水温升差异不大，相比之下 4#略低一些。

### 6.1.4 水面温升分布

方案 4#、5#、6# 的潮周平均水面温升分布显示，6#排水口 0.5 以上温升区域明显比 4#、5#偏向岸区，排水口东西两侧一定范围内成为高温或次高温区；5#与 4#相比，前者 0.5 线显得更肥大，1 线稍靠近岸区。方案 1#、3# 的温排水流态较差，试验未作水面温升测试。

表 3 各排水口方案潮周取水温升特征表

排水口方案	平均取水温升	最大取水温升	最小取水温升
1#	0.7	0.9	0.5
3#	0.7	0.9	0.5
4#	0.6	0.8	0.5
5#	0.7	0.8	0.5
6#	0.7	0.9	0.5

### 6.1.5 方案比较

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，对取水温升影响较大；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#方案送近至岸区，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见这一点。6#方案与 5#方案有类似的特征。综合考虑建议 4#排水口方案作为初步建议方案

## 6.2 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。试验条件仍选取小潮潮型,取排水流量仍取最大流量  $56.37\text{m}^3/\text{s}$ 。

### 6.2.1 温排水流态

7#方案排水口近区的温排水流态与方案 4#总体上类似,温排水出流后挟其出流动力在排水口近区形成出流流路形态,并随涨落潮流往复摆动,所不同的是:前者在落潮时头部流路相对瘦长,后者头部稍肥大,且摆动角度较大;涨潮时前者头部流路形态较落潮时宽阔,头部位置与出口基本平齐,后者则与其落潮时差异不大,只是尾部向北偏移。说明方案 4#温排水比方案 7#易于向外海扩散,7#方案温排水则相对易于向岸区扩散。

从经过同等的几个潮周后温水的扩散范围看,7#与 4#亦差异不大,温水主要的扩散方向均朝南与西南方向,但 7#排水口稍靠近岸区,温水扩散至岸区的速度较 4#方案快。

方案 7#与 4#均不出现温排水短路现象,说明影响取水温升的因素,一是来自于环境水体热量累积后引起的环境温升;二是岸区温水在东西向潮流多次往复输送影响下向取水头部的缓慢扩散与输移的影响。

### 6.2.2 取水温升与水面温升分布

两个方案的全潮平均取水温升差异不大,方案 4#比方案 7#略低 0.1,最小取水温升相当,最大相差亦为 0.1;取水温升潮周过程线显示温升起伏均不大,但 7#排水口方案基本上在各潮时均略高于 4#方案。

两个方案的全潮平均水面温升分布显示,0.5 温升范围方案 7#比 4#略大,西端与东端边线位置均较 4#方案往西和往东,南边线相差不大。1.0 线 7#方案紧靠岸线,4#方案则离岸线尚有一定距离。

### 6.2.3 方案 4#与 7#的综合比较

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) 厂址不利风向为 E 向风,据资料统计月平均风速最大值出现在 7 月份,为  $4.5\text{m/s}$ ;风速最大的不利风(E 向)风速为  $9.35\text{m/s}$ 。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,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稳定与高质量是为有利。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#排水口方案较 7#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,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。

综合考虑,认为 4#排水口方案可作为推荐方案。

表 4 4#、7#排水口方案参数比较

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)
4#	987	770	1297
7#	787	615	1172

表 5 4#、7#排水口方案潮周取水温升特征( )

排水口方案	平均取水温升	最大取水温升	最小取水温升
4#	0.6	0.8	0.5
7#	0.7	0.9	0.5

## 7 温排水推荐方案(4#)系统测试与成果

### 7.1 温排水流态特征

不同潮型下温排水的排放流态：大、中、小潮代表了三种不同强度的流场，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。

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（ $56.37\text{m}^3/\text{s}$ ）的五分之二，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情形。

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南与西南端。

一、二期围垦下流态：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。

### 7.2 取水温升

各组次工况的取水温升值显示取水温升均不大，全潮平均值均在  $0.6$  以下，最大排水流量条件下平均取水温升值为  $0.6$ ，最高为  $0.8$ 。一期装机（ $3 \times 350\text{MW}$ ）下平均取水温升仅为  $0.2$ ，最高为  $0.3$ 。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  $0.5$ 。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。

表 6 4#排水口方案主要组次的取水温升特征值（潮周）

组次	潮型	围垦 工期	工况(MW)	温排水流 量( $\text{m}^3/\text{s}$ )	平均取水 温升( )	最大取水 温升( )	最小取水 温升( )
1	小潮	一期	$6 \times 350 + 2 \times 701\text{F}$	56.37	0.6	0.8	0.5
2	大潮		$6 \times 350 + 2 \times 701\text{F}$	56.37	0.5	0.8	0.3
3	中潮		$6 \times 350 + 2 \times 701\text{F}$	56.37	0.4	0.5	0.2
4	小潮	二期	$6 \times 350 + 2 \times 701\text{F}$	56.37	0.6	0.7	0.4
5	大潮		$6 \times 350 + 2 \times 701\text{F}$	56.37	0.5	0.6	0.3
6	小潮	一期	$3 \times 350$	23.4	0.2	0.3	0.2

### 7.3 水面温升分布与温升面积

试验显示高于  $0.5$  面积均在  $30\text{km}^2$  以下，小潮最大流量时约为  $30 \sim 35\text{km}^2$ ；高于  $2.0$  以上面积约在  $3\text{km}^2$  左右以下。

表 7 4#排水口方案主要组次工况的潮周平均等超温升面积统计

组次	潮型	围垦 工期	温排水流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	等超温升面积( $\text{km}^2$ )			
				3	2	1	0.5
1	小潮	一期	56.37	0.20	3.29	11.80	29.35
2	大潮		56.37	0.12	2.38	10.80	29.93
3	中潮		56.37	0.12	2.48	10.60	30.68
4	小潮	二期	56.37	0.14	2.34	10.95	28.73
5	大潮		56.37	0.13	2.70	11.03	28.45
6	小潮	一期	23.4	0.14	0.54	3.73	14.28

## 8 不利风向影响下的温排水试验

### 8.1 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 18 与 32 小时，不利风的平均风速分别为  $3.3\text{m/s}$ 、 $5.8\text{m/s}$ 。计算取两

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 9.35 m/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 5~6cm/s，其中风生流增量流速约为 3~3.5cm/s，流向为东往西向；在风速为 9.35 m/s 时，取排水口近区的流场则基本上表现为东往西方向的单向流特征，流速约为 10~11cm/s，其中风生流增量流速约为 5~6cm/s。

## 8.2 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 56.37m<sup>3</sup>/s。试验显示，在风生流流速变化不大条件下，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 潮周，温度场已基本稳定<sup>[2]</sup>。本次试验（风速为 4.6m/s）测得取水温升约为 0.3。风速为 9.35m/s 的不利风向条件，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。

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（一期围垦、小潮、排水流量 56.37m<sup>3</sup>/s、风速 4.6m/s、风向 ENE）。

## 9 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 以下，最大排水流量条件下（56.37m<sup>3</sup>/s）平均取水温升值为 0.6、最大不超过 0.8，一期装机（3×350MW，排水流量 23.4m<sup>3</sup>/s）下平均取水温升仅为 0.2、最大不超过 0.3。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，高于 0.5 平均温升面积均在 31km<sup>2</sup> 以下；高于 2.0 以上平均温升面积约在 3.3km<sup>2</sup> 以下。一期装机（3×350MW，排水流量 23.4m<sup>3</sup>/s）条件下水面平均温升面积约为 14km<sup>2</sup>（等超 0.5）\ 0.5km<sup>2</sup>（等超 2.0）。

（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（风速 4.6m/s、风向 ENE）；在风速为 9.35m/s 时（E 向风），取水温升的升高幅值约为 0.5。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。

（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。

参加试验工作的还有：何小惠、陆汉柱、罗岸、唐造造、陈味绿等

## 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，2003 年 12 月。
- [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，2000 年 8 月。

- [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，1998年3月。
- [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，2002年6月。
- [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，2004年1月。