

粤东海门岬角动力及取排水工程比选研究

倪培桐^{1,2,3}, 陈卓英^{1,2,3}

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510630; 2. 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广东 广州 510630; 3. 河口水利技术国家地方联合工程实验室, 广东 广州 510630)

摘要: 基于流动结构特征进行火/核电厂优化取排水口工程布置, 对于提高工程运行效率、降低工程投资有重要意义。本文建立了粤东海门岬角附近海域水域温排水数学模型, 对四种类型 14 个分列式取排水口布置方案进行了比较分析, 并提出类似地形、流动结构条件下取排水口的布置原则。结果表明南取北排方案符合粤东沿岸流及海门岬角西侧广澳湾近岸潮流运动规律, 是合理的布置方案。防波堤阻隔作用不足以使南取北排方案成立。其他方案不成立原因是取排水口之间的距离稍短, 存在一次“短路”现象。

关键词: 电厂取排水工程; 取排水口布置; 温排水; 方案优选; 粤东海门岬角

中图分类号: TV131.2; X143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2019)03-0153-07

Analysis on the dynamic process and intake and drainage outlets engineering application of Haimen Cape in East Guangdong

NI Peitong^{1,2,3}, CHEN Zhuoying^{1,2,3}

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510630, China;
2. Hydrodynamic Research Key Lab of Guangdong Province, Guangzhou 510630, China;
3. State-province Joint Engineering Laboratory of Estuarine Hydraulic Technology, Guangzhou 510630, China)

Abstract: Optimizing the layout of intake and drainage outlets of thermal or nuclear power plans based on flow structure is of great significance to improve the operation efficiency and reduce the project investment. In this paper, a numerical model of cooling water is established in the sea area near the Haimen Cape in eastern Guangdong Province. The layout schemes of 14 separate intake and drainage outlets of four types were compared and analyzed, and the layout principles of intake and drainage outlets under similar topography and flow structure conditions were put forward. The results showed that the South - intake & North - drainage drainage scheme is a reasonable layout scheme, which accords with the coastal current of Eastern Guangdong and the tidal current movement law of Guang'ao Bay on the west side of Haimen Cape. The barrier function of the breakwater was insufficient to enable North - intake & South - drainage scheme. Other schemes were infeasible due to the short distance between the intake and outlet, and there is a "short circuit" phenomenon in the water intake.

Key words: diversion and drainage water in power plant; layout of the intake and drainage outlets; thermal discharge; scheme optimization; Haimen Cape in East Guangdong

1 研究背景

滨海火/核电厂抽取海水作为循环冷却水, 并通过凝汽器进行热交换, 海水吸收的废热通过排水口排出, 并随海水输运扩散。滨海火/核电厂较优的取排水工程布置方案需要具备 3 个条件: (1) 较少废

热进入取水口, 电厂冷却效率高, 可增加发电量; (2) 废热窝积区域面积小, 对海洋生态环境影响小; (3) 取排水口工程的工程量及造价低。温排水扩散输运研究是电厂取排水口工程布置重要研究专题。

基岩岬角是华南海岸典型的滨海地貌单元, 由于滨海直流火/核电厂对地质、水深、航运条件要求

收稿日期: 2018-09-27; 修回日期: 2019-02-25

基金项目: 广东省水利科技创新项目(2016-12)

作者简介: 倪培桐(1971-), 男, 山东泰安人, 博士, 高级工程师, 研究方向: 环境水力学、河口动力学。

较高,因此实践中多以基岩岬角作为优选厂址。潮流在岬角地形作用下形成环流、射流、分离流等复杂动力结构,往往会影响水体的扩散运输模式,并进一步影响取排水口工程的布置方案。国内外很多学者研究了复杂动力结构下的输运问题,吴超羽^[1]提出华南沿海广泛存在地形作用下的小尺度动力结构。Wei Xing等^[2]指出大亚湾的动力结构与其核电厂的废热输运路径密切相关。岳均堂^[3]、陈惠泉等^[4]提出了基于辐散、辐合流的差位式取排水口工程布置原则。陈凯麒等^[5]研究了海岸凸体形成的分离流及其输运作用。国内广泛用数学模型研究废热随潮流的运动规律及优化取排水口布置问题^[6-13]。

海门电厂位于海门岬角东侧,于2010年建成投产,冷却水工程运行良好。本文总结了电厂在初步设计阶段取排水工程布置比选、确定过程^[14],为类似水文、地貌边界下的电厂取排水工程设计提供借鉴。

2 数据与方法

2.1 研究区自然概况

广澳湾和海门湾位于广东省汕头市潮阳区境内,两个海湾之间的尖山、大烟墩、龙头山等低山丘陵构成了两个海湾之间的岬角,本文称为海门岬角。练江在潮阳区海门镇附近注入海门湾。广澳湾是复式螺线海湾,西侧为龙头角,湾的东西两侧第一岬角分别为马耳角和海门角,其湾口弦长16 km。两岬角的基岩海岸为侵蚀供沙海岸,由于花岗岩抗蚀能力强,后退缓慢,海岸侵蚀供沙及附近陆地供沙都不多,堆积海岸淤泥也慢,至今仍为限于岬角之间平衡岸线以内的袋状海滩。虎仔至龙头山,以深海湾地形平缓,坡降为1%~2%。

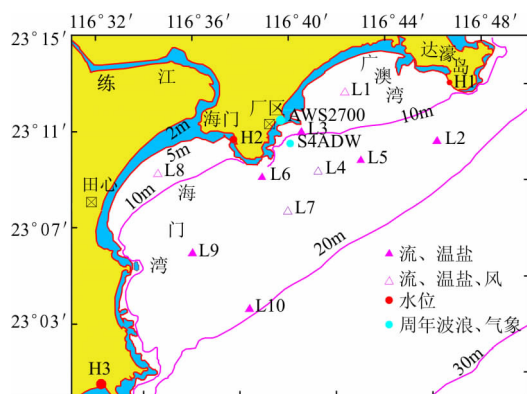


图1 工程附近海区地形及水文测点图

2.2 水文观测与地形数据

研究采用的水文资料为2004年9月(夏秋

季)、2005年7月(夏季)海门岬角附近海域大、中、小潮水文观测资料^[15],观测站位见图1。对比附近海域水文观测资料,如惠来电厂1993、2004年水文观测资料,可以看出2005年7月实测资料可较好地代表夏季潮型。研究采用的地形资料为1:25000、1:120000两种不同比例海图,海门岬角近区水下地形图采用实测1:2000地形图。

2.3 水文与气象特征

本地区属亚热带海洋性气候,气候比较温和,年平均气温21.6℃。本地区常风向为ENE和NE向,频率分别为21.9%、14.5%。季风变化明显,冬季多偏北风,夏季多偏南风,春末和夏初季节,受冷暖气团交替影响,风向多变,其强风向和常风向为NEN向,频率在20%以上。

附近海域西侧的海门湾为不规则日潮混合潮,而东侧的广澳湾为不规则半日潮混合潮。西侧潮差较小,东侧潮差较大。海门湾的涨潮历时比落潮历时短,广澳湾的湾口东侧附近的涨潮历时比落潮历时长。

海门湾内的潮流为不规则半日混合潮流,其他区域测站各层潮流均为规则半日潮流。除了广澳湾和海门湾的湾顶邻域的潮流较弱外,其他区域的潮流均较强。根据2005年7月水文观测数据^[14],湾口东侧L2站表层最大可能潮流流速、流向为99 cm/s、237°;在湾内的岬角西南方,广澳湾与海门湾间的岬角附近L6站的表层最大可能潮流流速、流向为67 cm/s、224°。岬角附近海区的余流主要受夏季粤东沿岸流的影响。海门湾口的L10站表层余流最强,其最大表层余流流速、流向为37.6 cm/s、22.0°。在湾内岬角的西南方,广澳湾与海门湾间的岬角附近L7站表层最大余流流速、流向分别为34.4 cm/s、30.6°。

2.4 取排水工程概况

电厂的规划总装机容量为6×900MW,取水、排水流量为189.6 m³/s,排、取水温差为8.12℃。排水口、取水口布置设计方案与防波堤布置形式密切相关,根据防波堤平面布置方案,取、排水工程平面布置有14种组合方案:(1)与防波堤由东北防波堤+南防波堤方案对应的排取水口有4种组合方案(图2(a))。方案1、方案2均为在港池内取水,方案1的排水口位于龙头角以北,方案2的排水口位于龙头角以南。方案13、方案14均为南防波堤以南排水,方案13的取水口位置位于港池内,方案14的取水口位置位于龙头山以南。

(2)与无防波堤方案对应的取排水口布置组合方案为方案3~方案6(图2(b));与东北防波堤方案对应的取排水口方案为方案7~方案8(图2(c));与南防波堤方案对应的取排水口方案为方案9~方案12(图2(d))。

2.5 数学模型建立

采用平面二维数学模型进行冷却水工程方案比

选分析,离散求解方法为建立在三角形单元网格上的破开算子有限元法,该方法已经在多个电厂项目中应用^[9-12]。根据实测海流的流向及大小,考虑模型东边界为南澳岛,西边界为靖海镇,模型范围包括海门湾、广澳湾在内。模拟水域面积约1 500 km²,综合考虑计算效率及精度,计算范围内三角形网格高度最小约为20 m,模型计算范围与网格剖分见图3。

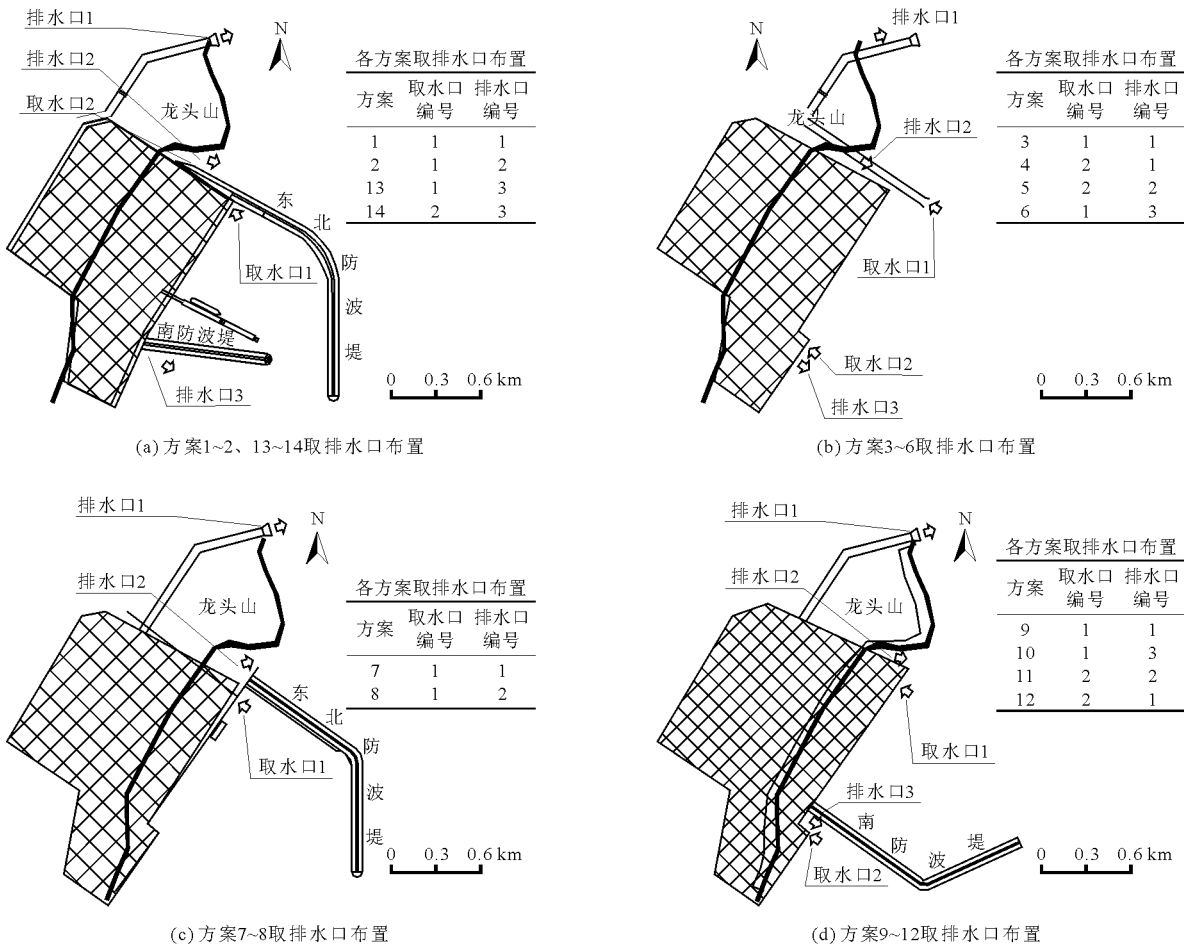


图2 各取排水口方案示意图

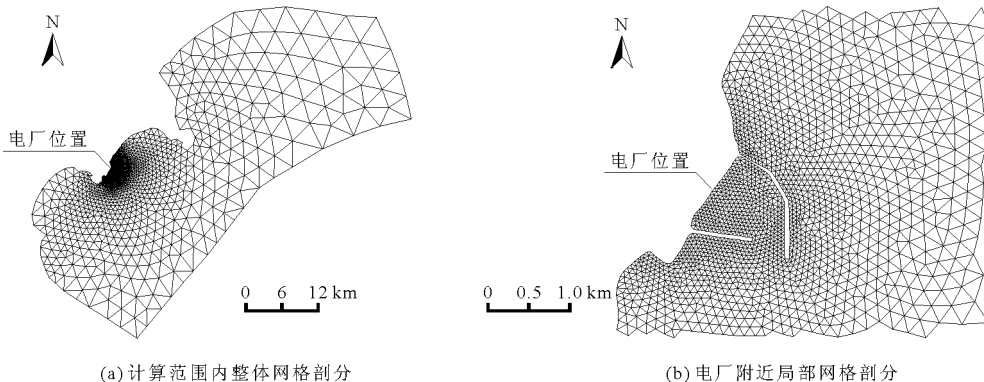


图3 模型计算范围与网格剖分

结合预报及实测潮位数据确定外边界条件,经过反复调试使各主要验证点潮位、流速均满足相关

规程规范要求。模型糙率取值为0.025~0.03,由smagorinsky公式计算紊动黏性系数。由以往经验

热扩散系数取值为 $5 \text{ m}^2/\text{s}$, 对于取排水口布置方案比选是可行的。按照全国统一公式计算水面综合散热系数, 夏季取值约为 $48.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ 。

利用2005夏季大、中、小潮测流数据对模型计算流速、潮位及流向进行了验证, 仅选择列出夏季中潮 H2 站潮位、岬角附近 L4、L7 站及外海区 L2、L10 验证点资料(图4), 其他测点验证数据参见文献6。

结果表明各个验证点的计算流速、潮位及流向过程线与原体实测数据基本吻合。图5给出了整个计算域内涨、落潮流的流速分布情况, 涨潮流自西南进入广澳湾, 落潮流相反; 海门岬角区流速较大, 海门湾、广澳湾湾顶位置流速较弱, 工程附近区域内整体计算流态与实测流态符合较好, 表明本模型能较好地反映计算水域的原体潮流运动特征。

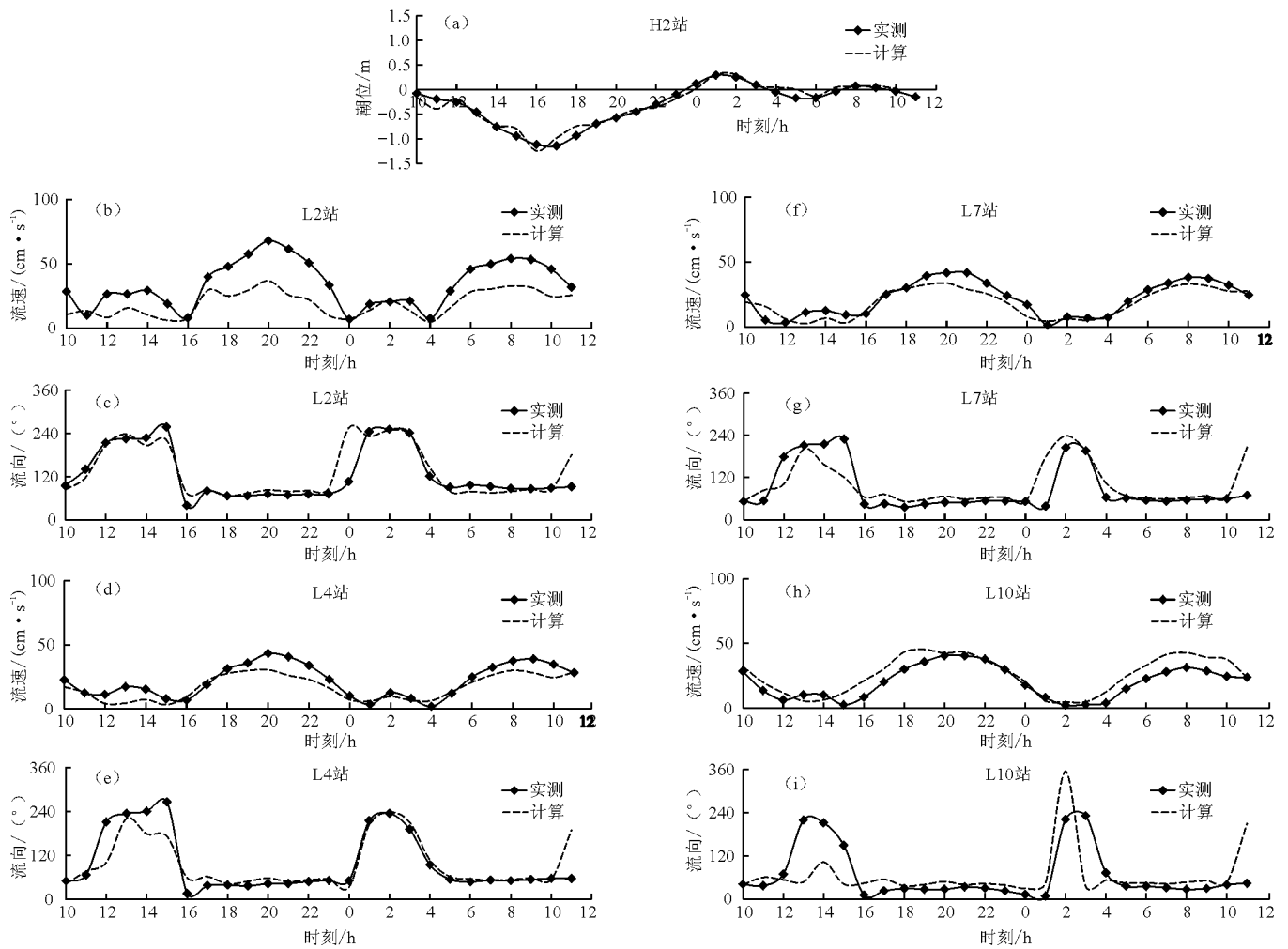
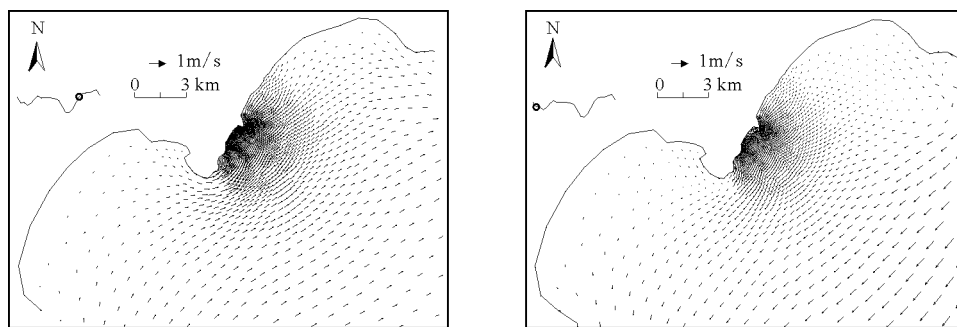


图4 模型计算与原体实测潮位、流速及流向过程线对比



(b) 涨潮流场图

(a) 落潮流场图

图5 夏季小潮流场图

3 结果与讨论

3.1 温排水运输扩散

由于小潮期间的潮流流速相对较小,热污染运输扩散较慢,废热容易窝积,从工程运行安全的角度,选择 2005 年夏季小潮作为排取水口布置方案比选的代表潮型,时间为 2005 年 6 月 30 日 10 时-7 月 1 日 11 时。不同取排水方案温升等值线图见图 6。从计算结果看,不同方案的温排水输运扩散有以下特点:

(1)各方案温排水的输运扩散形态总体上类似,特别是 1℃ 和 0.5℃ 等温升线形态。温排水主要分布在海门岬角东北的广澳湾内,很少向西越过海门岬角进入海门湾。这与广澳湾涨潮流强度大、持续时间较长,且落潮流较弱有关。不同方案取、排水口附近的等温升线有较大差别,反映了不同防波堤型式及取排水口布置方案形成的排水口附近的水流结构差异和废热输运能力不相同(图 6)。

(2)东北防波堤+南防波堤方案:取水温升随取排水口距离增加而降低,是分列式布置方案的典型特征。方案 1 的平均取水温升较方案 2 低约 0.21℃,主要是方案 1 的取水、排水口距离较方案 2 长约 1km。方案 13、14 取排水口距离较近,发生温排水的“短路”现象,表现为热水自排水口直接流入取水口,取水温升较高。与

方案 1、2 相比,排水口布置在南侧违反了分列式布置中排水口在下游的一般原则。

(3)无防波堤方案:方案 3、4、5 均为北排南取方案,温升分布等值线沿岸线分布,在落潮期间温排水随水流更易进入取水口,造成一次取水温升,出现温排水的“短路”效应,如方案 4 可达 3.97℃,而在涨潮期间温升较低,如方案 4 最低温升仅为 0.5℃,表明在无防波堤条件下,仍需要加大取排水口之间的距离,才可以降低取水温升。方案 6 为南排北取方案,无论涨潮落潮都呈现温排水的“短路”效应。

(4)单东北防波堤方案:温排水运动特点与方案 1、2 类似,方案 8 的排水口位于龙头角以南,与方案 7 相比,温升等值线偏南。方案 8 的平均取水温升较方案 7 高 0.2℃。

(5)单南防波堤方案:方案 9 的取、排水口均位于南防波堤的北侧,温排水受南防波堤的阻挡,窝积于南防波堤北侧,无论涨潮、落潮取水温升都较高。方案 10 的排水口位于南防波堤的南侧,属于南排北取方案,无论涨潮落潮都呈现温排水的“短路”效应。方案 11、12 属于北排南取方案,温排水向东北方向扩散为主,同时南防波堤阻止了温排水随落潮流进入取水口,两方案取水温升都较低,平均取水温升小于 0.6℃。

各方案温升面积及取水温升值见表 1。

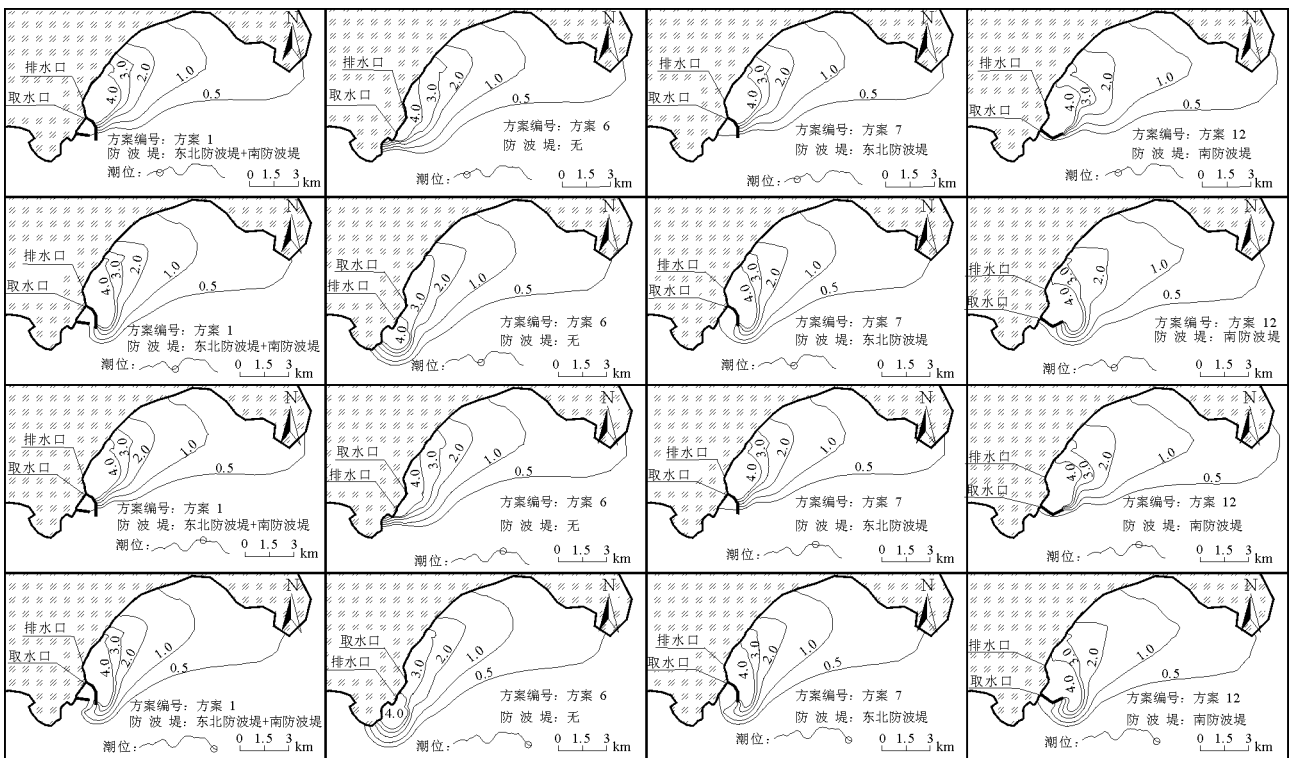


图 6 不同取排水方案温升等值线图

表1 潮平均等超温线面积及取水温升

方案	东北堤	南堤	排水口位置	取水口位置	温升面积/km ²					取水温升/°C		
					>4°C	>3°C	>2°C	>1°C	>0.5°C	最大	最小	平均
1	有	有	龙头山以北	港池内北端	5.23	7.88	13.43	28.75	59.06	0.85	0.61	0.71
2			龙头山以南		3.90	7.08	14.01	33.50	68.28	1.17	0.81	0.98
3	无	无	龙头山以北	港池北端	5.48	8.79	13.93	29.62	55.56	5.09	0.39	2.53
4			龙头山以北	港池南端	6.04	8.98	15.14	31.82	60.23	3.97	0.50	1.65
5			龙头山以南		6.51	9.68	16.00	34.53	65.63	4.34	0.95	2.11
6			南堤以南	港池北端	2.69	7.37	14.96	31.99	66.28	5.61	3.18	4.09
7	有	无	龙头山以北	港池内北端	4.85	7.18	12.87	27.99	59.37	0.82	0.74	0.78
8			龙头山以南		3.55	6.48	13.29	32.89	67.36	1.06	0.95	1.01
9			龙头山以北	港池内北端	5.03	6.80	12.28	29.92	62.75	5.92	4.93	5.43
10	无	有	南堤以南		1.77	4.42	8.75	29.19	67.26	3.43	2.89	3.17
11			龙头山以南	南堤以南	3.62	5.52	10.10	25.83	60.67	0.66	0.55	0.59
12			龙头山以北		3.29	5.19	10.88	29.94	63.74	0.60	0.50	0.53
13	有	有	南堤以南	港池内北端	2.94	5.36	13.48	31.86	68.22	5.56	4.46	5.08
14			南堤以南	龙头山以南	3.58	5.66	11.69	30.47	68.86	2.81	2.18	2.56

注:潮平均等超温线面积是对全潮过程中,对每一位置的温升取平均后得到的温升包络线面积。

3.2 讨论

选择相对稳定的流动结构进行优化取排水口工程布置,对于降低工程投资、提高工程运行效率、减轻废热的环境生态影响有重要意义。上文的温排水扩散输运及取水温升结果说明了方案的优劣。为了进一步分析工程布置的合理性,需要分析不同时空尺度的流动结构对温排水输运的影响,其中粤东沿岸流、岬角分离流、潮流、排水口射流对均有重要意义。按照明渠宽 100 m、排水流速 2.5 m/s 估计射流核心区长度约 500 m,另外排水口附近回流有利于热水与环境水体的掺混,但尺度仅 10² m,对取排水口布置的方案比选影响较小。

夏季粤东沿岸流的空间尺度为 10⁴ ~ 10⁵ m,自西南流向东北方向。与潮流叠加后在广澳湾表现为涨潮流强于落潮流,且涨潮历时比落潮历时长。因此对于分列式取排水口布置而言,南取北排是合理的布置方案。如方案 1、2、7、8、11、12 的取水温升在整个潮周期内都较低,最大值小于 1.2°C,表明这些方案从取水温升的角度是可行的。

北取南排方案如方案 6、9、10、13、14,排水口布置在厂区的西南侧,受潮流及沿岸流影响,温排水向北、东输运为主,致使取水温升涨潮、落潮均较大,方案不可行。

分列式方案要求取水口与排水口之间有足够的距离和水域,以便温排水通过热气交换达到平衡。

如方案 3、4、5 虽然是北排南取方案,由于取排水口距离稍短,排水口排出的热水会随落潮流进入取水口,造成一次短路现象,表现为取水温升随潮波动较大。

防波堤体现了人工岬角作用,对于分列式而言,相当于延长了两侧热水涨落潮流的流线距离,防止温排水直接进入取水口,如方案 1、2、7、8、11、12 的取水温升较低且温升过程线平稳,从电厂取水温升角度看方案可行。

海门岬角东西两侧分别是海门湾和广澳湾,涨、落潮流流向基本与岸线平行(与岬角延伸方向垂直),岬角两侧形成的岬角分离流结构。相对于管道取水、排水而言,近岸明渠取水、排水具有投资低、易于施工和易于维护等优点。本文比选的 14 种取排水工程方案均为分列式明渠取水、排水方案,这主要与工程厂区平面位置,偏于岬角东侧有关,取水口与排水口也都布置在厂区东侧。事实上,如果厂区平面位置西移 500 m 左右,使得取水口布置在海门湾、排水口布置在广澳湾,则可以利用岬角形成的分离流,使得取水和排水位于不同的流道,可以达到取水温升最佳的效果。虽然是明渠取水、排水模式,但是由于充分利用了岬角分离流结构,在取排水口布置上则定义为差位式取排水口布置方式,这种布置方式对于取排水工程而言,具有投资低、易于施工,易于维护等优点。

4 结 论

(1)粤东沿岸流及海门岬角西侧广澳湾涨潮流速及历时强于落潮流速及历时的近岸流动规律决定了分列式取排水方案中南取北排方案是合理的布置方案。防波堤体现了人工岬角作用,延长了两侧热水涨落潮流的流线距离,但不足以使南取北排方案成立。

(2)方案1、2、7、8、11、12从取水温升的角度是可行方案。方案6、9、10、13、14的排水口布置在南侧违反了分列式布置中排水口在下游的一般原则,方案不可行。方案3、4、5取排水口距离稍短存在一次短路现象,方案也不可行。另外取水、排水口也可选择分别布置在海门湾和广澳湾,明渠取水、排水模式,是适应海门岬角动力结构的差位式取排水口布置方式。

参考文献:

- [1] 吴超羽. 黄茅海河口小尺度动力结构及其沉积作用[J]. 中山大学学报(自然科学版),1995,34(2):86-94.
- [2] WEI Xing, NI Peitong, ZHAN Haigang. Monitoring cooling water discharge using Lagrangian coherent structures: A case study in Daya Bay, China[J], Marine Pollution Bulletin, 2013,75(1-2):105-113.
- [3] 岳钧堂. 差位式理论及工程应用——感潮水域冷却水运动及工程布置研究[J]. 水利学报,1993,24(12):10-17.
- [4] 陈惠泉,岳钧堂,陈燕茹. 我国电厂排取水口规划特点及其水力热力特性[J],水利学报,1993,24(10):1-11.
- [5] 陈凯麒,章本照. 沿岸凸体对污水排放影响的数值模拟[J]. 水动力学研究与进展,1996,11(3):352-360.
- [6] 段亚飞,赵懿珺,纪平,等. 温排水水槽试验与平面二维、准三维及三维数值模拟的比较[J],水力发电学报,2017,36(9):100-110
- [7] 张贝贝,周静,纪平. 滨海电厂温排水数值模拟研究现状[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2014,12(4):402-409.
- [8] 张良,徐世凯. 温排水试验数据处理方法[J],水电能源科学,2013,31(2):150-153.
- [9] 倪培桐,江洵. 潮州三百门电厂冷却水排放的数值模拟研究[J]. 中国农村水利水电,2004(5):25-27.
- [10] 倪培桐,陈丕翔,黄健东. 阳西海域温排水热扩散的三维数值模拟[J],广东水利水电,2015(6):18-24.
- [11] 倪培桐,陈丕翔,黄健东. 粤东陆丰海域温排水输运及取排水工程布置原则分析[J],水利水电技术,2016,47(10):129-133.
- [12] 倪培桐,陈丕翔,王扬,等. 黄茅海河口湾处某核电站取排水口布置分析[J],水电能源科学,2017,35(9):65-68.
- [13] 张晓艳,倪培桐. 电厂冷却水工程的取排水口布置研究及工程应用[J],广东水利水电,2012(4):23-25.
- [14] 广东省水利水电科学研究院. 华能汕头海门发电厂冷却水工程数学模拟计算报告[R]. 2006.
- [15] 中国科学院南海海洋研究所. 华能海门电厂工程海域夏秋水文泥沙观测分析报告[R]. 2004.