

复杂条件下沿江电厂码头与 取水口共用岸线方案研究

董焱赫¹, 艾菁², 宋莉莉¹, 赵鹏³, 李歌清¹

(1. 交通运输部规划研究院, 北京 100028; 2. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032;
3. 交通运输部天津水运科学研究所, 天津 300456)

摘要: 针对复杂约束条件下沿江电厂专用码头与取水口共用深水岸线布置问题, 以无锡(江阴)港石利港区利港电厂散货码头改建为例, 结合工程区域通航、水文条件及改建项目特点, 进行电厂散货码头不同布置方案的比选研究。采用数值计算与理论研究相结合, 分析码头上跨取水口方案条件下, 不同工况对码头前沿水动力条件的影响, 结果表明: 当码头采用透空结构并上跨取水口时, 取水口对码头前沿水动力条件影响较小, 基本不影响船舶正常靠泊和作业, 且码头与取水口共用岸线可实现沿江港口岸线的集约高效利用, 为类似工程规划和设计提供参考借鉴。

关键词: 电厂码头; 取水口; 总平面布置; 共用岸线

中图分类号: U651+.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)01-0067-09

Scheme for sharing shoreline between wharf and water intake of power plants along river under complex conditions

DONG Yanhe¹, AI Jing², SONG Lili¹, ZHAO Peng³, LI Geqing¹

(1. Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing, 100028, China;

2. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai, 200032, China;

3. Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Ministry of Transport, Tianjin, 300456, China)

Abstract: To solve the problem of shared deep-water shoreline between the wharf and the water intake, taking the reconstruction of Ligang power plant bulk cargo terminal in Shili Port District of Wuxi (Jiangyin) Port as an example, combined with the navigation and hydrological conditions of the project area and the characteristics of the reconstruction project, this paper analyzes different proposals of power plant bulk cargo terminal. Adopting the method of numerical calculation and theoretical research in different working conditions, the influence of hydrodynamic conditions in front of wharf under the scheme of wharf structure spans over the water intake is analyzed. The results show that when the wharf built with a transparent structure and spans over the water intake, the water intake has little influence on the hydrodynamic conditions of the wharf apron, and basically does not affect the normal berthing and operation of ships. It will achieve intensive and efficient utilization of shoreline, which provides a reference for the planning and design of similar projects.

Keywords: power plant terminal; water intake; general layout; shared shoreline

华东、华南地区经济发达, 国民经济的快速发展有力地拉动电力需求的增长, 由于区域内能

源资源禀赋少, 煤炭资源十分匮乏, 火力发电厂所需燃煤需从北方或国外调入, 为降低物流成本,

收稿日期: 2024-03-28

作者简介: 董焱赫(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口、航道工程规划、设计与咨询工作。

燃煤电厂多布置于沿海或沿江地区,火力发电厂多配备建设电厂专用码头,且电厂发电工艺需占用电厂周边岸线,设置取排水口以满足循环水冷却需求。在沿江地区,特别是长江沿线区域环保优先的形势下,受水利、环境相关政策约束,可利用港口深水岸线资源条件有限,在坚持生态优先、绿色发展、严格保护、集约高效利用的沿江岸线开发原则下,电厂专用码头与取水口共用港口岸线的布置方案研究已成为迫切需要解决的课题。

黄文良^[1]提出取水口与港口码头结合工程能达到功能共存、港口资源充分利用的效果;徐甜等^[2]针对九江神华国华电厂配套码头工程,提出将电厂码头与取水口进行结构整体设计,节约长江岸线资源;冯璐等^[3]提出利用沉箱结构靠近码头岸侧开设进水窗进行引水,兼具取水口功能的重力式码头结构设计方案;孟祥玮等^[4]开展了取水口与码头共用岸线的相关问题研究,提出采用高桩码头结构形式,可有效减小取水对大型船舶

产生的吸附力。

1 工程概况

江苏利港电厂位于江阴市临港经济开发区,现有 8 台机组,总装机规模 404 万 kW,是目前江苏省最大的单体火力发电厂之一,电厂用煤通过 1 号及 3 号码头完成。

利港电厂 3 号码头紧邻电厂前沿布置,为 7 万吨级散货泊位,长度 273.0 m,采用高桩梁板式结构。该码头与周边设施关系见图 1。3 号码头下游和 1 号码头之间建有利港电厂一二期取水口,该取水口上距 3 号码头结构边线 97.0 m,下距 1 号码头结构边线 149.5 m,取水口基础为混凝土扩大基础+桩基结构;3 号与 1 号码头内侧建有 500 吨级干灰综合利用码头,干灰码头进出航道布置于 1 号码头与一二期取水口之间,航道宽 75.0 m;3 号码头内侧自上游至下游依次布置电厂三期排水口、一二期排水口及四期排水口。

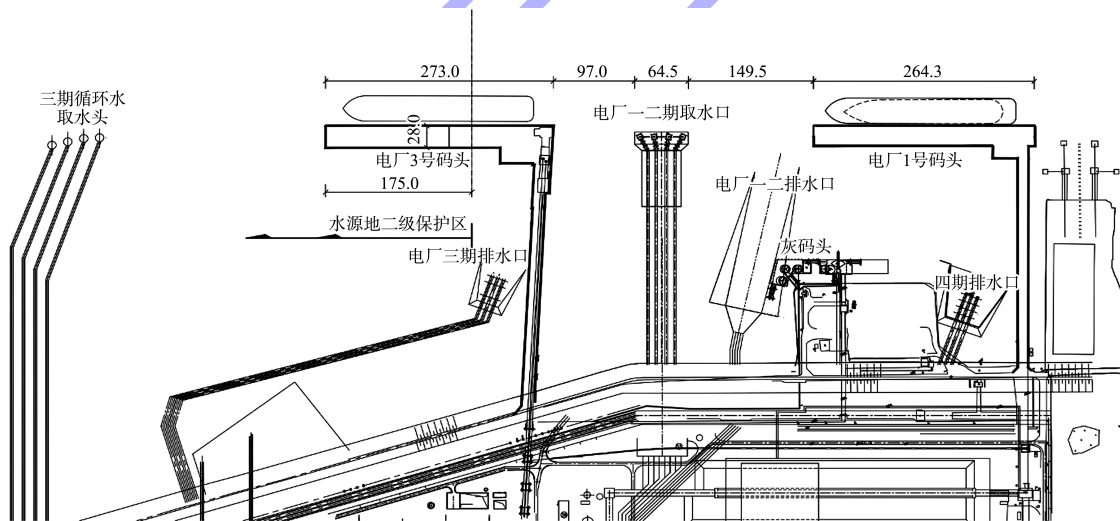


图 1 利港电厂 3 号码头与周边设施关系 (单位: m)

Fig. 1 Relationship between terminal 3 of Ligang Power Plant and surrounding facilities (unit: m)

根据最新划定的饮用水水源地保护区范围,禁止在饮用水水源二级保护区内从事煤炭等散货装卸作业。3 号码头上游段约 175.0 m 结构被划入水源保护地二级保护区内,不符合环保政策要求,须退出该范围内码头的散货装卸功能。

为确保电厂正常运营对煤炭的需求,项目拟利

用电厂前沿深水岸线,将 3 号码头上游侧 175.0 m 码头结构退出散货装卸作业,并向下游延伸,维持码头泊位等级不变。改造后码头岸线与电厂一二期取水口重叠,由于区域边界条件复杂,且改建方案不能影响电厂正常运营,必须对电厂专用码头与取排水口共用港口岸线的布置方案进行研究。

2 设计要点

2.1 总平面布置

2.1.1 建设规模确定

目前南京以下 12.5 m 深水航道沿江电厂煤炭运输主要来源于北方沿海煤炭下水港,运输船型以 5 万吨级的大灵便型船舶为主,7 万吨级船舶逐步增加,近年来靠泊利港电厂 3 号码头实载量 5 万吨级以上船舶已达到 36%。综合考虑船舶大型化趋势及外贸进口煤炭需要,改建方案需维持 1 个 7 万吨级散货泊位的建设规模^[5]。

2.1.2 平面布置方案演化思路

现状电厂 3 号码头泊位长 273.0 m,由于既有码头结构上游段 175.0 m 范围需退出散货装卸功能,剩余 98.0 m 码头结构无法满足 7 万吨级散货船靠泊作业要求,需将码头结构向下游延伸,距离 3 号码头下游 97.0 m 处为电厂一二期取水口,在码头总平面布置中,需要考虑的因素主要包括:码头与下游取水口的空间关系、码头前沿线的位置、码头卸船作业范围、码头延伸后对内侧灰码头通航影响等。

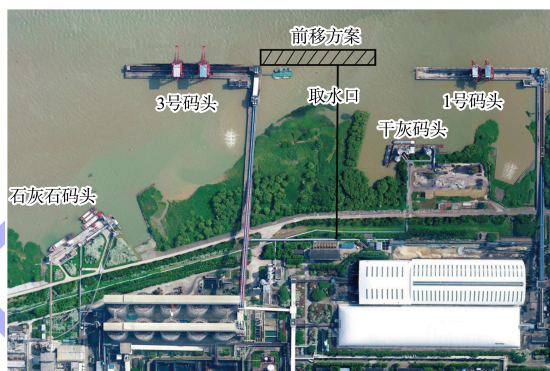
电厂一二期取水口采用 4 根 DN3000 钢管,处于河床自然高程之下,取水头部圆形结构直径 7 m,取水窗上沿高程-4.20 m,下沿高程-6.70 m,取水头结构前沿距离码头前沿约 11.0 m。取水头基础结构沿顺岸方向长约 64.5 m。

为避免码头结构与取水口相互影响,可考虑将取水口向岸侧或上游迁改,见图 2a)。如将取水口向岸侧收缩 30.0 m,单位发电煤耗将增加约 3~6 g,影响机组运行经济性;如果向上游迁改,需穿越 3 号码头引桥,由于引桥桥墩间距为 20.0 m,需对引桥结构进行改造,影响码头正常运营。同时,取水口迁改期间,取水口将停止运营,影响电厂机组正常运营,因此采用不迁改取水口方案。

在不迁改取水口的前提下,码头平面布置可考虑将码头前沿线前移,避开取水口布置或将码头上跨取水口布置,见图 2b)。



a) 取水口迁移



b) 码头前沿线前移

图2 利港电厂3号码头改建方案演化思路

Fig. 2 Evolution of reconstruction scheme for terminal 3 of Ligang Power Plant

如将码头前沿向江侧平移 28.0 m,码头结构可避开现有取水口,需新建泊位长 282.0 m、宽 28.0 m,布置码头平台、系缆墩和钢便桥。该方案虽然施工相对便捷,运营期码头运营与取水口之间影响较小,但新建码头平台前沿线与现有码头不平顺,导致施工期既有码头不能正常靠离泊作业,对生产运营影响大;同时,码头前沿线向江侧前移将使新建码头与下游 1 号码头前沿不平顺,对主航道及上下游码头通航安全产生不利影响^[6],且不满足 JTS 180-4—2020《长江干线通航标准》^[7]的要求。

经综合比选,最终采用码头下延并上跨电厂取水口布置方案。

2.2 码头设计方案

码头设计方案如图 3、4 所示,将电厂 3 号码头向下游延长,上跨取水口,新建码头平台。拆除上游码头结构范围内装卸工艺设施,仅供船舶

带缆使用;新建码头结构拟分为 3 部分,分别为码头平台、转运站平台及系靠船墩,均采用高桩梁板结构,将 3 号码头向下游接长 97.0 m 码头平台至取水口结构,并在取水口下游新建 25.0 m 转运站平台,接长部分与新建平台之间布置系靠船墩。系靠船墩与码头平台之间、码头平台与转运

站平台之间通过钢结构桥连接,满足带式输送机布置要求^[8]。

改建后的 7 万吨级散货码头泊位总长 311.5 m,向下游延长 186.5 m,码头轴线走向 111°~291°。延长后码头距离下游 1 号码头约 112.0 m,可满足内侧灰码头 500 吨级船舶进出口门要求。

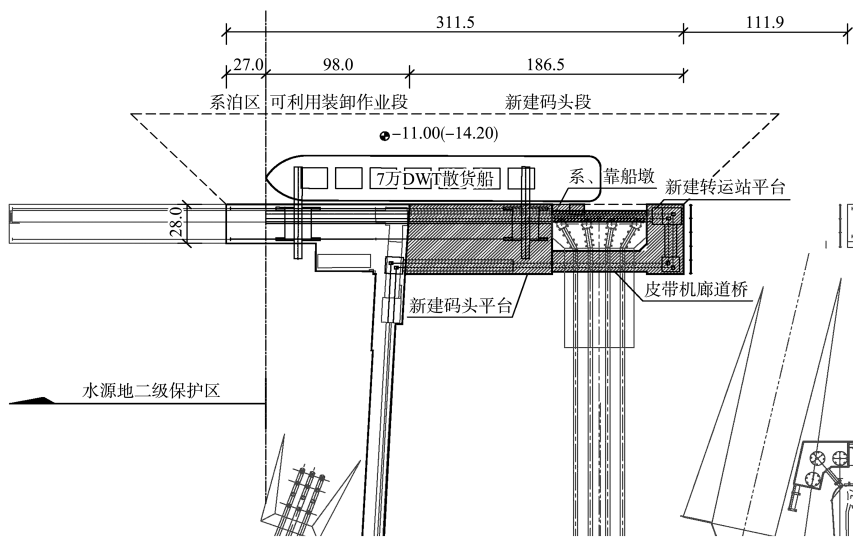


图 3 利港电厂 3 号码头改建方案布置 (单位: m)

Fig. 3 Layout of reconstruction scheme for terminal 3 of Ligang Power Plant (unit: m)

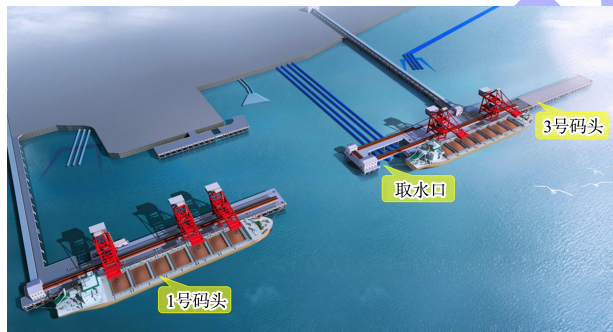


图 4 利港电厂 3 号码头改建实施效果

Fig. 4 Implementation effect of reconstruction for terminal 3 of Ligang Power Plant

3 取排水口运行对码头前沿靠离泊条件影响

3.1 边界条件设定

工程区域位于受潮汐影响河段,在分析电厂取排水作业与长江典型水流条件不同组合的码头前沿流场特征时,代表水流条件上游选取典型水文年的洪季和枯季流量,下游主要考虑潮流条件,选取典型的大潮组合。其中洪、枯水期水文条件

分别选取洪季 10%保证率和枯季 90%保证率流量对应的最大潮差。根据资料分析,长江枯季枯水流量为 $1.60 \text{ 万 m}^3/\text{s}$,洪季流量为 $6.00 \text{ 万 m}^3/\text{s}$,进行数学模型计算时采用这两种典型流量作为上游边界条件,下游边界采用两组流量下对应最大潮差作为下游边界的计算条件^[9]。

电厂 3 号码头下游侧一二期取水口最大取水流量 $13.52 \text{ 万 m}^3/\text{h}$,最小取水流量 $6.80 \text{ 万 m}^3/\text{h}$ 。一二期排水口设计排水流量 $13.20 \text{ 万 m}^3/\text{h}$,三、四期排水口设计排水流量均为 $14.50 \text{ 万 m}^3/\text{h}$ 。

3.2 计算工况

为重点对比分析电厂取排水对泊位水流条件的影响(表 1),进行最大取水流量(工况 1)与全部停运(工况 4)的模拟计算,并模拟研究取排水工况 2 和工况 3 对 3 号泊位水流条件影响。电厂取排水工况 1 为一二期取水口最大取水流量+其他取排水口正常运行;工况 2 为一二期取水口最大取

水流量+一二期排水流量+其他取排水口按暂停运行考虑; 工况 3 为一二期取水口最小取水流量+一二期排水流量+其他取排水口正常运行; 工况 4 为取排水口全部按暂停运行考虑。

表 1 取排水口对码头前沿水流条件影响工况
Tab. 1 Water-intake and outfall flow influence conditions in front of wharf

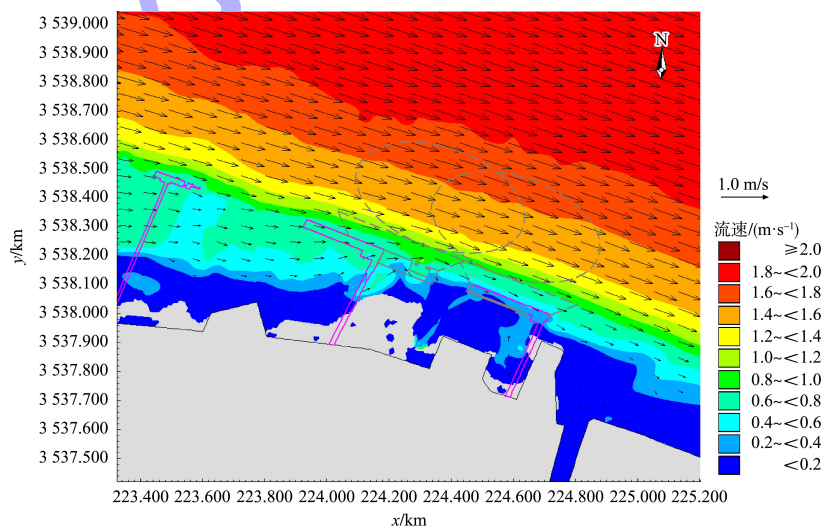
组次编号	方案	水文条件	取排水工况
1	工程现状	大潮期+洪季流量	工况 1
2		大潮期+枯季流量	
3	工程方案	大潮期+洪季流量	工况 1
4			工况 2
5			工况 3
6			工况 4
7		大潮期+枯季流量	工况 1
8			工况 2
9			工况 3
10			工况 4

3.3 码头区流场特征

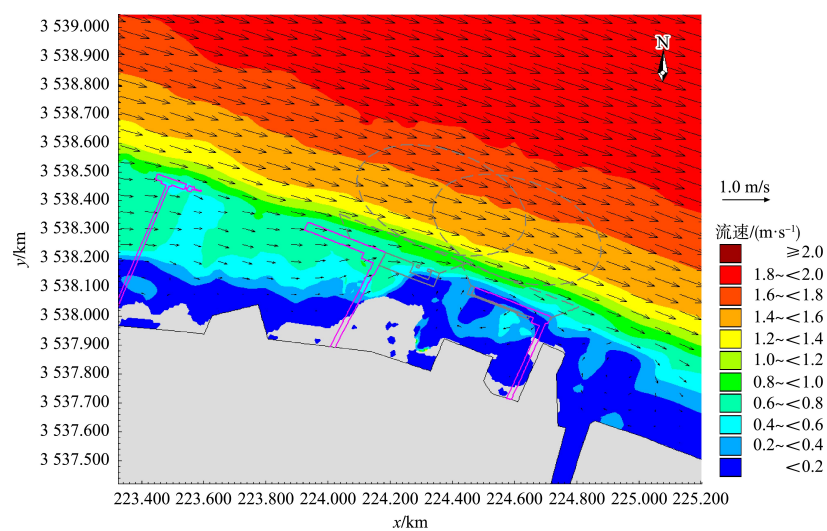
码头前沿及后方浅滩水域受径流、潮汐和电厂取排水的共同影响, 流态较为复杂。其中洪季流量条件下主槽径流作用较强, 但码头周边水域受浅滩影响仍呈现往复流特征; 枯水期流量条件下潮汐占主导作用, 工程河段呈往复流特征。典型工况流程特征见图 5。

对比工程前后码头前沿流态, 工况 1 情况下, 洪季条件下, 码头实施前最大流速 $0.79 \sim 1.19 \text{ m/s}$, 对应流向 $92^\circ \sim 153^\circ$, 平均流速 $0.53 \sim 0.69 \text{ m/s}$; 实施后泊位最大流速 $0.80 \sim 0.98 \text{ m/s}$, 对应流向 $98^\circ \sim 105^\circ$, 平均流速 $0.52 \sim 0.62 \text{ m/s}$ 。枯季条件下, 码头实施前最大流速 $0.81 \sim 1.00 \text{ m/s}$, 对应流向为 $269^\circ \sim 282^\circ$, 平均流速 $0.48 \sim 0.55 \text{ m/s}$; 实施后泊位最大流速 $0.72 \sim 0.88 \text{ m/s}$, 对应流向为 $277^\circ \sim 286^\circ$, 平均流速 $0.43 \sim 0.54 \text{ m/s}$ 。受近岸地形和岸线的影响, 水流顺岸或沿等深线方向流动, 呈往复流特征, 工程实施对码头前沿水域流速影响较小。

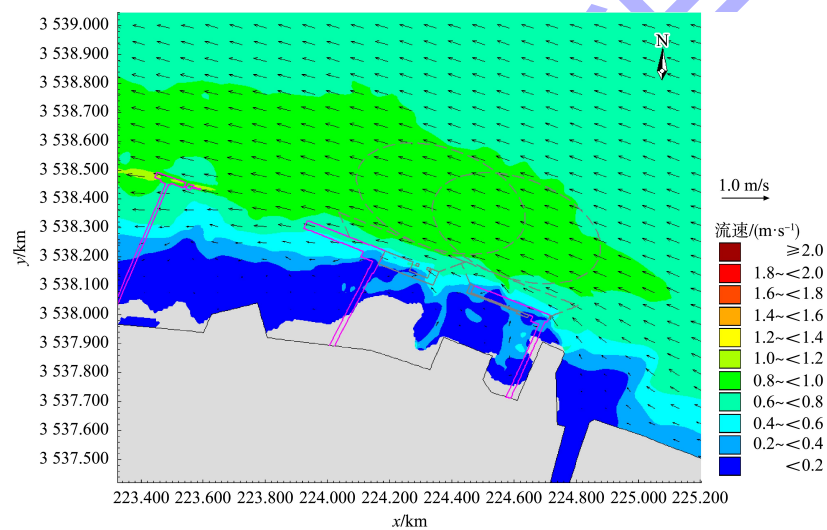
对比不同取排水工况下的流态, 洪季和枯季条件下, 工况 1~4 码头前沿流速总体变化不大, 以工况 4 为例, 洪季条件下码头前沿最大流速为 $0.81 \sim 0.84 \text{ m/s}$, 对应流向为 $93^\circ \sim 101^\circ$, 平均流速为 $0.51 \sim 0.56 \text{ m/s}$; 枯季条件下, 取排水口全部暂停运行, 涨潮流无电厂排水的顶托作用, 流速较其他工况有所增大, 最大流速为 $0.90 \sim 0.98 \text{ m/s}$, 对应流向为 $281^\circ \sim 290^\circ$, 平均流速为 $0.46 \sim 0.54 \text{ m/s}$ 。与工况 1 相比, 工况 4 流速总体变化较小。因此改建码头前沿流速主要受径流和潮流等主流控制, 取排水对码头前沿流速影响较小。



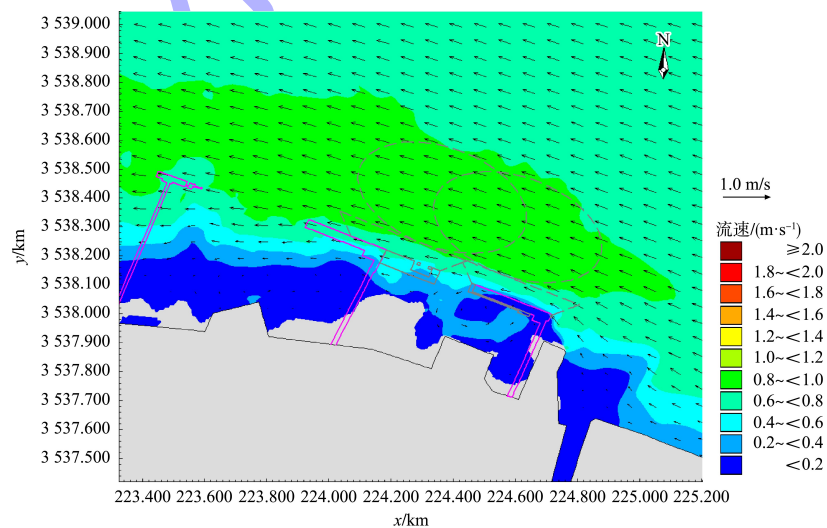
a) 洪季落急时刻流场(工况1)



b) 洪季落急时刻流场(工况4)



c) 枯季涨急时刻流场(工况1)



d) 枯季涨急时刻流场(工况4)

图5 洪枯季典型工况流场

Fig. 5 Flow field of typical conditions in flood and dry seasons

3.4 取水口对码头前沿靠离泊条件影响

电厂3号码头前沿计算点布置见图6、7,由于码头前沿及后方浅滩水域受径流、潮汐和电厂取排水的共同影响,流态较为复杂,因此采用历时曲线法分析大潮期内横流值,其中取水口周边计算点(C_1)横流-时间变化曲线见图8。

由图8a)、c)可知,在工况1条件下,码头前沿虽然仍为往复流特征,但受取水口工作影响,流场呈现一定的波动性,其中取水口周边计算点(C_1)受取水口工作影响;由图8b)、d)可知,在工况4条件下,码头前沿流场呈现较为规律的往复流特征,流向与码头前沿轴线大部分时间趋于平顺。与工况4相比,工况1拢流流速增加较为显著。最大横流出现在水流流向与码头轴线夹角较大的时刻,各计算点最大横流值见表2。

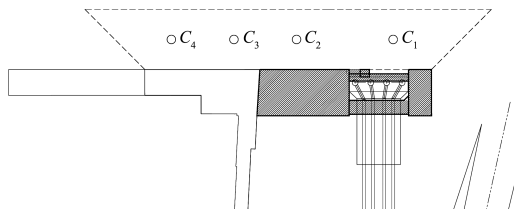


图6 计算特征点位置

Fig.6 Position of feature count point

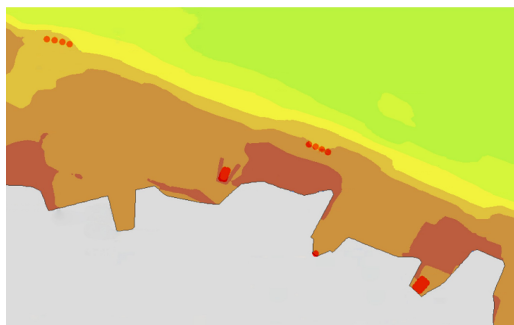
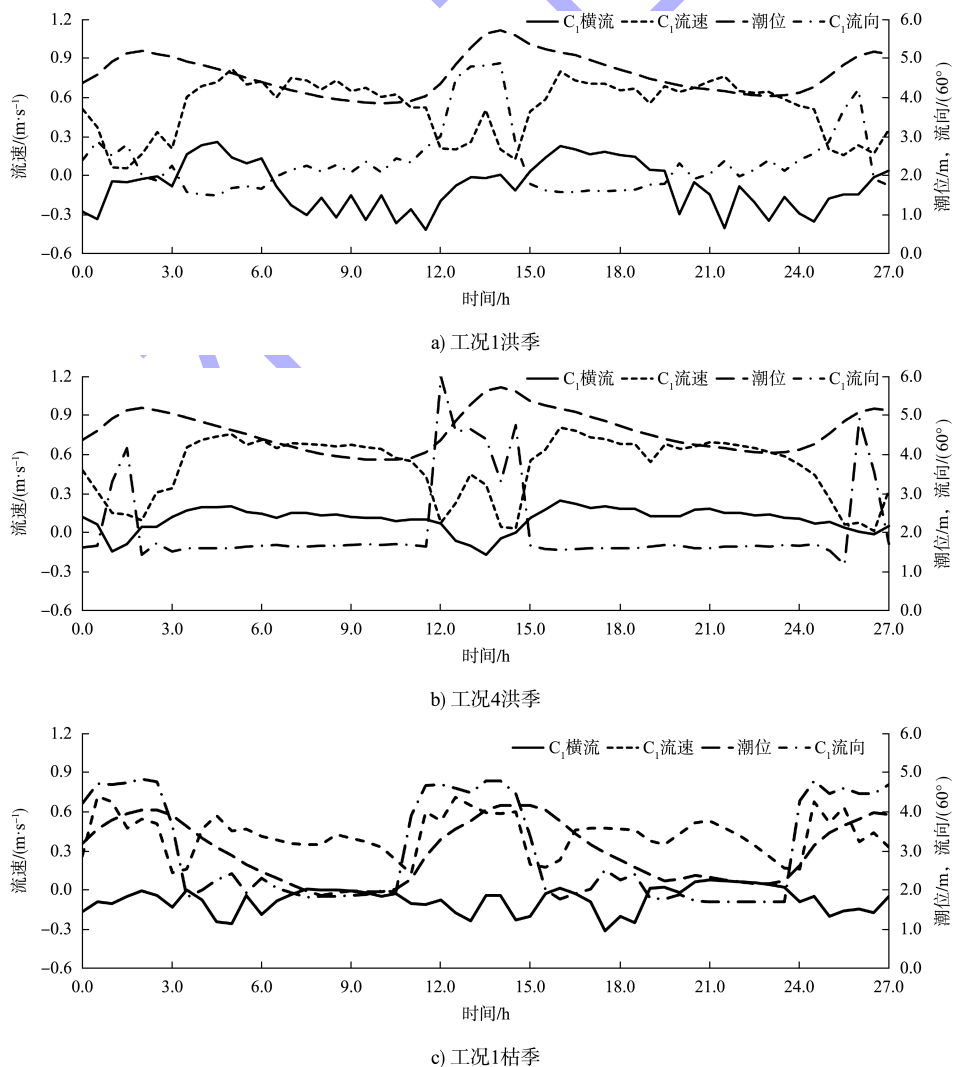
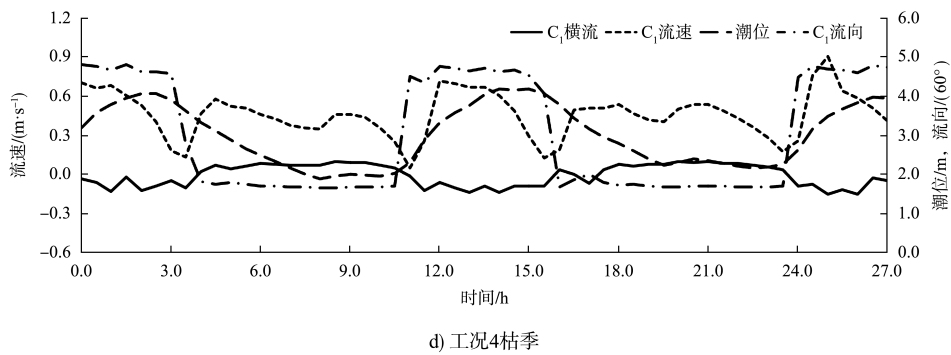


图7 模型计算取水排水口位置

Fig.7 Position of water-intake and outfall in calculation model





注:横流流速大于0表示开流,小于0表示拢流。

图 8 取水口周边计算点(C₁)横流-时间变化曲线

Fig. 8 Curves of cross current velocity at feature count point (C₁) around water-intake with time

表 2 3 号码头改建方案前沿最大横流

Tab. 2 Maximum cross current velocity before reconstruction plan for terminal 3

区域	编号	工况 1		工况 2		工况 3		工况 4	
		横向流速/ (m·s ⁻¹)	对应流向/ (°)	横向流速/ (m·s ⁻¹)	对应流向/ (°)	横向流速/ (m·s ⁻¹)	对应流向/ (°)	横向流速/ (m·s ⁻¹)	对应流向/ (°)
洪季	3 号码头 前沿拢流	C ₁	0.42	163	0.54	186	0.23	210	263
		C ₂	0.26	182	0.24	170	0.17	211	277
		C ₃	0.29	248	0.16	273	0.13	247	261
		C ₄	0.09	269	0.10	277	0.11	256	273
	3 号码头 前沿开流	C ₁	0.26	90	0.25	93	0.23	94	93
		C ₂	0.39	1	0.35	47	0.19	95	37
		C ₃	0.27	56	0.26	93	0.25	91	50
		C ₄	0.23	24	0.14	101	0.15	95	92
枯季	3 号码头 前沿拢流	C ₁	0.31	152	0.29	143	0.29	270	281
		C ₂	0.23	152	0.18	267	0.22	181	281
		C ₃	0.28	253	0.22	266	0.17	277	280
		C ₄	0.26	270	0.15	273	0.23	271	281
	3 号码头 前沿开流	C ₁	0.10	95	0.29	314	0.10	100	100
		C ₂	0.17	93	0.29	356	0.15	97	79
		C ₃	0.36	70	0.21	87	0.46	60	98
		C ₄	0.13	75	0.11	101	0.14	92	101

对比工况 1 和 4，在洪季及枯季条件下，工况 1 拢流最大值大于工况 4，但开流值变化较小，可见取水口工作对码头前沿拢流有一定影响。对比取水口周边计算点(C₁)与改建码头其他计算点(C₂~C₄)，可知，在工况 1~3 条件下，受取水口工作影响，C₁ 点拢流最大值大于 C₂~C₄ 点，开流最大值受径流、潮流、取排水和地形综合影响。

在洪季流量条件下，工况 1 最大横流为 0.42 m/s，工况 4 最大横流为 0.38 m/s；在枯水期流量条件

下，工况 1 最大横流为 0.36 m/s，工况 4 最大横流为 0.25 m/s。各工况大潮期内最大横流流速基本小于 0.50 m/s。

3 号码头散货船靠泊后，取水口中的上游 2 个取水头靠近停泊货船，但取水头最近距离码头前沿仍有 11.0 m，且不同于方涵进水，取水头的圆形取水窗四周均可进水。取水口附近泊位水域需疏浚至-11.0 m，也一定程度增加了取水的过流断面。码头结构采用高桩梁板的透空结构形式，减

小了取水口工作对船舶的吸附影响,因此船舶与取水口的相互影响较小。

综上分析,取水口对电厂3号码头前沿水流条件影响有限,该布置方案取水作业基本不影响船舶正常靠离泊和作业^[10]。

4 结语

1) 在复杂环境及多约束条件下,针对改建项目自身特点,综合考虑电厂及码头正常运营要求、通航安全影响、环境保护等因素,开展电厂码头改建平面布置方案的演化分析,对改建取水口、码头前移等各类布置思路进行全面分析,采用码头向下游延伸并上跨取水口布置方案,且满足码头装卸作业和环保要求,实现了电厂码头与取水岸线的高效集约利用。

2) 洪季及枯季条件下,取水口周边计算点较码头前沿其他计算点拢流最大值增加0.05~0.30 m/s,取水口周边计算点工况1较工况4拢流最大值增加0.15~0.25 m/s,各条件下开流最大值影响较小,说明取水口运行对码头前沿横流有一定影响,但最大横流流速基本小于0.50 m/s。考虑到选取洪季10%保证率流量和枯季90%保证率流量与大潮组合进行计算,均为较不利水文条件的组合,当上游边界采用多年平均流量或下游边界采用中、小潮进行组合时,横流流速将相应减小,因此取水口运行基本不影响船舶正常靠离泊和作业。

3) 沿江深水适港岸线受环境保护、水利防洪和通航安全等多因素控制,在进行沿江电厂码头与取水口共用岸线布置时,常规的码头布置方案往往难以实施,可采用码头上跨取水口的平面布置方案,方案应充分考虑码头装卸工艺的适应性,码头结构可根据取水口结构特点采用分段布置,并建议采用透空式结构,应高度重视取水口对码

头前沿流场条件的影响,开展工程区域的潮流数值分析,必要时可开展物理模型试验进一步验证,分析取水口与船舶之间的相互影响。

参考文献:

- [1] 黄文良. 厦门东部燃气电厂取水口与东部港区1#泊位结合工程研究[J]. 水运工程, 2005(8): 30-34.
- [2] 徐甜, 卢伟, 周侃. 国内某电厂配套码头工程设计[J]. 水运工程, 2018(3): 93-98.
- [3] 冯璐, 崔冠辰, 王玉红, 等. 兼具取水口作用的码头结构设计[J]. 港工技术, 2017, 54(3): 41-44.
- [4] 孟祥玮, 刘海成, 谭中华, 等. 取水口与码头共用岸线的有关问题研究[C]//中国海洋学会, 中国海洋工程学会. 第十八届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 舟山: [出版者不详], 2017: 1006-1010.
- [5] 交通运输部规划研究院. 无锡(江阴)港石利港区利港作业区规划局部调整方案[R]. 北京: 交通运输部规划研究院, 2023.
- [6] 长江航道勘察设计(武汉)有限公司. 无锡(江阴)港石利港区利港电厂3#码头改建工程航道通航条件影响评价报告[R]. 武汉: 长江航道勘察设计(武汉)有限公司, 2024.
- [7] 长江航道勘察设计(武汉)有限公司. 长江干线通航标准: JTS 180-4—2020[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.
- [8] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 交通运输部规划研究院. 无锡(江阴)港石利港区利港电厂3号码头改建工程工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2023.
- [9] 交通运输部天津水运科学研究院. 江苏利港电厂配套码头改扩建工程水流泥沙数模计算专题研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运科学研究院, 2023.
- [10] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港工程设计手册[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.

(本文编辑 赵娟)