



高桩梁板码头初期雨水收集方案研究

沈树茂¹, 苑 艺²

(1. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080; 2. 辽宁筑港交通工程技术研究有限公司, 辽宁 大连 116023)

摘要: 针对罗泾集装箱码头装卸区事故初期雨水收集问题, 对码头初期雨水收集方案及其对码头影响进行研究。设计两侧向中部和中部向两侧的初期雨水汇流收集方案, 采用对比分析法, 定性比较两种方案对排水功能、使用功能、水工结构及造价投资方面的影响。研究表明: 两侧向中部集水方案通过中部双排水沟设计, 实现初期雨水重力流高效汇集与自动化收集管理, 结构布置简洁, 但中部双排水沟盖板对车辆行驶存在一定影响; 中部向两侧集水方案通过前、中、后 3 排水通道布局, 虽减少中部排水沟盖板对车辆行驶的影响, 却因前沿空间紧张导致集水方案复杂化。无论是分散集水池的污水车人工收集, 还是增加前轨与码头前沿线距离的连续集水设计, 均面临集水效率降低、结构复杂度增加以及潜在装卸能力、效率受限等问题; 两种集水方案仅对码头细部结构产生影响, 造价相较码头投资可以忽略。研究表明高桩梁板结构码头事故初期雨水收集与结构协同设计的重要性, 可为后续类似码头设计提供借鉴。

关键词: 集装箱码头; 初期雨水收集; 高桩梁板码头

中图分类号: U656.1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0130-07

Initial rainwater collection scheme of high-pile beam-slab wharf

SHEN Shumao¹, YUAN Yi²

(1. Shanghai International Port (Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China;

2. Liaoning Port Design Institute for Transportation Engineering Technology Co., Ltd., Dalian 116023, China)

Abstract: Aiming at the problem of initial accident rainwater collection in goods loading and unloading area of Luojing container terminal, the initial rainwater collection scheme and its influence on the terminal are studied. The collection schemes of initial rainwater confluence from both sides to the middle and from the middle to both sides are designed. The comparative analysis method is used to qualitatively compare the effects of the two schemes on drainage function, usage function, hydraulic structure and cost investment. The research shows that the water collection scheme from both sides to the middle realizes the efficient collection and automatic collection management of the initial rainwater gravity flow through the design of the double drainage ditch in the middle. The structure layout is simple, but the cover plate of the double drainage ditch in the middle has a certain influence on the driving of the vehicle. The water collection scheme from the middle to both sides is arranged through the three drainage channels of the front, middle and rear. Although the influence of the cover plate of the middle drainage ditch on the driving of the vehicle is reduced, the scheme of collecting water is complicated due to the shortage of the front space. Whether it is the manual collection of the sewage vehicle scattered in the collecting pool or the continuous water collection design that increasing the distance between the front rail and the front line of the wharf, they are faced with the problems of reduced water collection efficiency, increased structural complexity, potential loading and unloading capacity and limited efficiency. The two water collection schemes only affect the detailed structure of the wharf, and the cost can be ignored compared with the wharf investment. This study shows the importance of initial rainwater collection and structural collaborative design of high-pile beam-slab wharf, and provides reference for subsequent similar wharf design.

Keywords: container terminal; initial rainwater collection; high-pile beam-slab wharf

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 沈树茂(1984—), 男, 高级工程师, 研究方向为港口工程建设管理。

码头前沿的事故初期雨水收集问题,多在煤炭、矿石和油气化工码头中出现,以往该方面研究均针对以上货种码头;此外,过去集装箱码头基本不设置初期雨水收集相关设施设备。根据 JTS 149—2018《水运工程环境保护设计规范》^[1]的相关要求,“集装箱、件杂货等码头,其所在地环境保护主管部门对水环境保护有特殊要求的,装卸区的冲洗水、初期雨水应按相关规定收集处理”。随着我国环境保护要求不断提高,各省市地区也加大了水环境的保护力度,集装箱、件杂货等码头涉及冲洗水、初期雨水收集的工程也会越来越普遍。此外近年来随着码头岸电、船舶油污水接收等配套功能日趋完善,码头前沿配套设施、管线

数量较以前也有所提高。研究集装箱高桩梁板结构码头事故水汇流收集方案对码头的意义重大,本文旨在为后续类似工程的设计提供借鉴。

1 工程概况

上海港罗泾港区集装箱码头改造工程内档 1 万吨级码头采用引桥式平面布置形式^[2],引桥长 419 m,码头采用高桩梁板结构形式,长 210 m、宽 48 m,码头前沿顶高程 7.5 m,前沿底高程 -8.9 m。前沿设置 41 t-30 m 集装箱岸桥,轨距 16 m。码头排架间距 7 m,每个排架设置 11 根直径 800 mm PHC 桩,4 对叉桩 3 根直桩。上部布置轨道梁、纵梁、前边梁和排水沟梁^[3],断面见图 1。

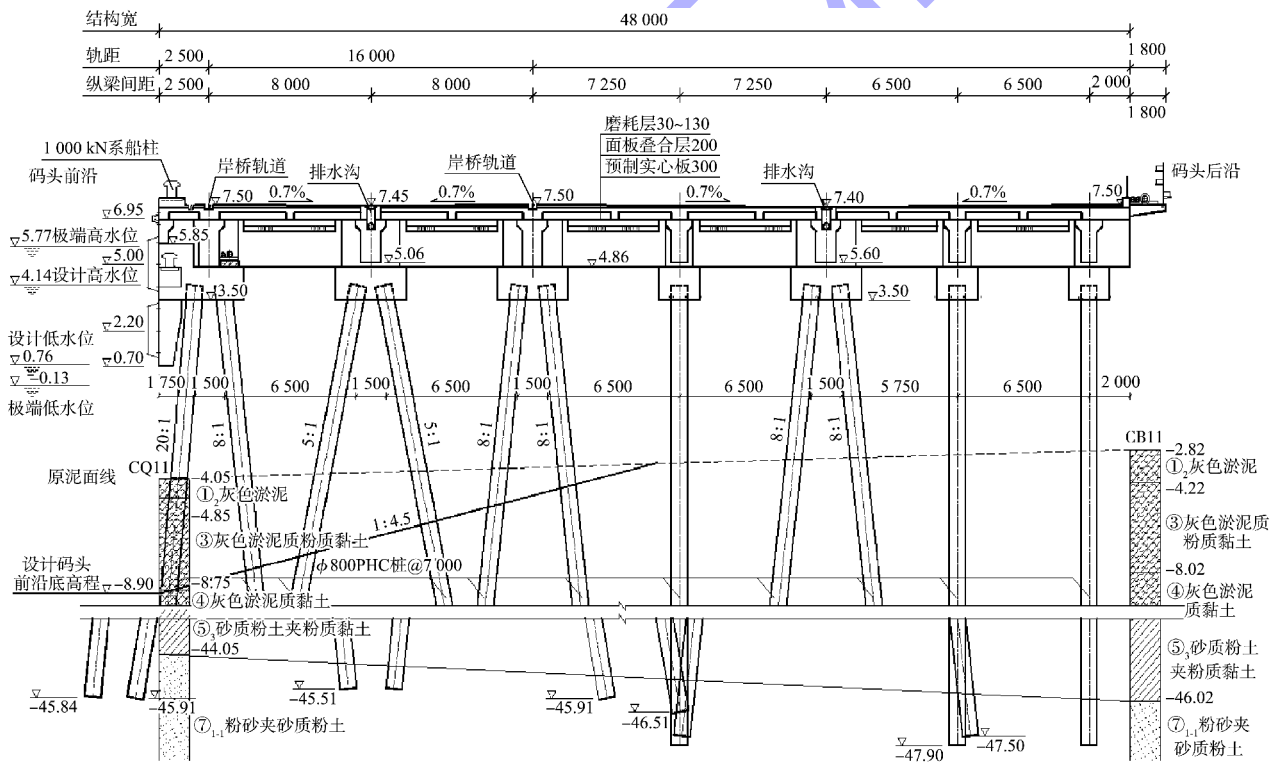


Fig. 1 Structural cross-section of 10,000 DWT inner berth (dimension: mm; elevation: m)

根据使用要求,码头布置 3 组岸桥防风锚固装置,码头前沿顶面设有 1 000 kN 系船柱、高压接电箱坑、低压维修箱坑、岸电接电箱坑、船舶上水栓井、船舶压载水接水栓井、污水接收井、轨道梁拖缆槽等设施,见图 2,除系船柱外均下卧

至码头面以下。

结合后续使用需求,码头预留事故初期雨水收集设施,根据当地环保要求,后期洁净雨水可直接排海^[4]。

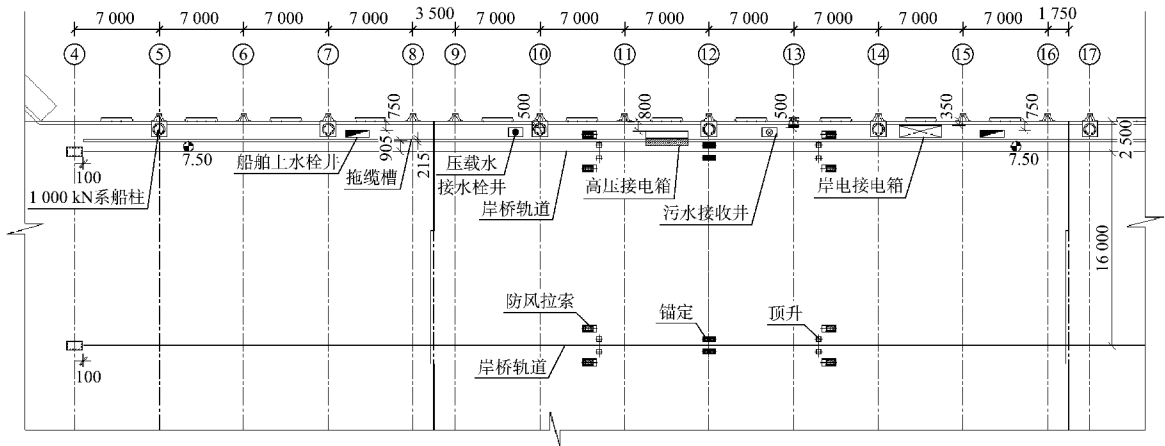


图 2 码头前沿局部设施布置 (尺寸: mm; 高程: m)

Fig. 2 Partial facilities layout at front of the wharf (dimension: mm; elevation: m)

2 码头初期雨水收集方案

本文案例工程为老码头改造工程,原码头为煤炭码头,由于部分码头建设时间较长存在损坏情况,且不满泊位升级的集装箱码头功能要求,因此予以拆除,本次研究均按照新建考虑。

码头初期雨水收集采取码头前方通过带算排水沟收集至前方集水池,设置潜水泵通过管线抽送至后方陆域事故水池^[5]。

结合上海当地暴雨强度及工程经验,48 m 宽码头至少需分成 2 个汇流区域,通过码头表面坡

度将事故水汇集至低处的排水沟内,再由排水沟汇集至集水池内,经潜水泵由码头后沿、引桥抽排至后方陆域事故水池内。码头设计以岸桥前、后轨道顶高程不变为原则,可将 48 m 码头面分成前、后两区域,每个区域码头面考虑由两侧向中部或由中部向两侧两种汇流方向收集初期雨水^[6]。

2.1 初期雨水收集方案 1

两侧向中部集水方案:码头平台整体考虑由两侧向中部汇流集水方式,形成中部双排水沟的平面布局,汇流方向见图 3。

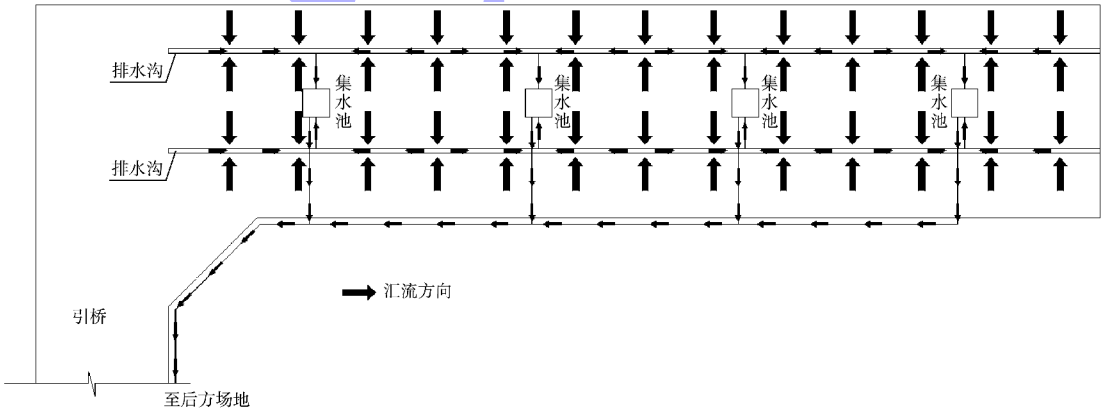


图 3 两侧向中部集水汇流

Fig. 3 Water flow converging from both sides towards central area

码头面坡度由码头磨耗层厚度控制,码头前沿顶高程 7.5 m,磨耗层厚度控制在 30~130 mm,码头面坡度取 0.7%,排水沟与纵向梁系结合形成排水沟梁。排水沟宽度 0.4 m,净高不小于 0.85 m,排水沟底坡度 0.2%,排水沟盖板采用 E600 球墨

铸铁盖板^[7],排水沟在横梁处通过预埋 DN400 镀锌钢管过水。

排水沟梁设置在纵向梁③、⑥处,码头面顶高程 7.40~7.50 m,横梁底高程 4.86 m。沿排水沟每隔 50 m 利用排架间纵横梁空间布置集

水池 $6.35\text{ m} \times 6.0\text{ m} \times 0.65\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高), 位于纵向梁④、⑤之间, 码头共 4 个。在码头面板下方排水沟外接 DN200 排水管横穿纵向梁系将排水沟内水体汇集至集水池^[8], 集水池内设

潜水泵, 码头面板下沿横梁外侧设置 DN150 雨水排水管, 穿过纵向梁系至码头后沿, 沿码头后沿通过引桥至后方陆域事故水池内。码头上部结构见图 4。

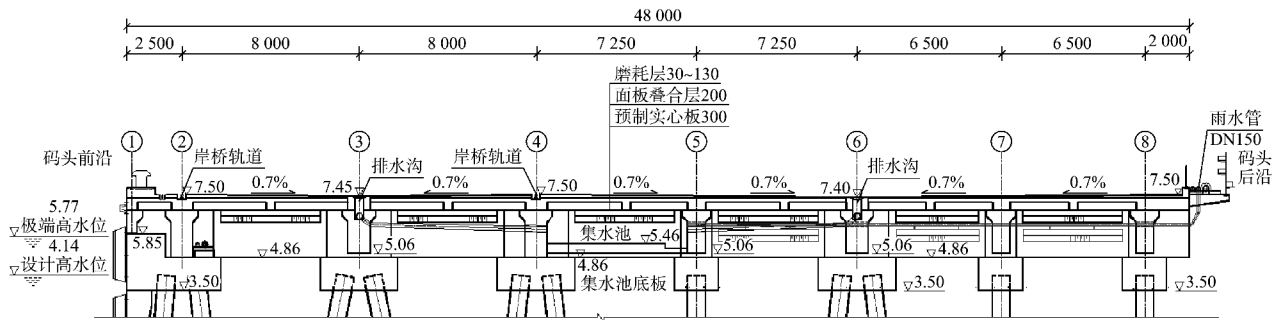


图 4 两侧向中部集水方案的码头上部结构 (尺寸: mm; 高程: m)

Fig. 4 Wharf superstructure for water collection scheme from dual-side to central (dimension: mm; elevation: m)

2.2 初期雨水收集方案 2

中部向两侧集水方案: 码头平台整体考虑由

中部向两侧的汇流集水方式, 形成前中后各 1 条排水沟布局, 平面布置见图 5。

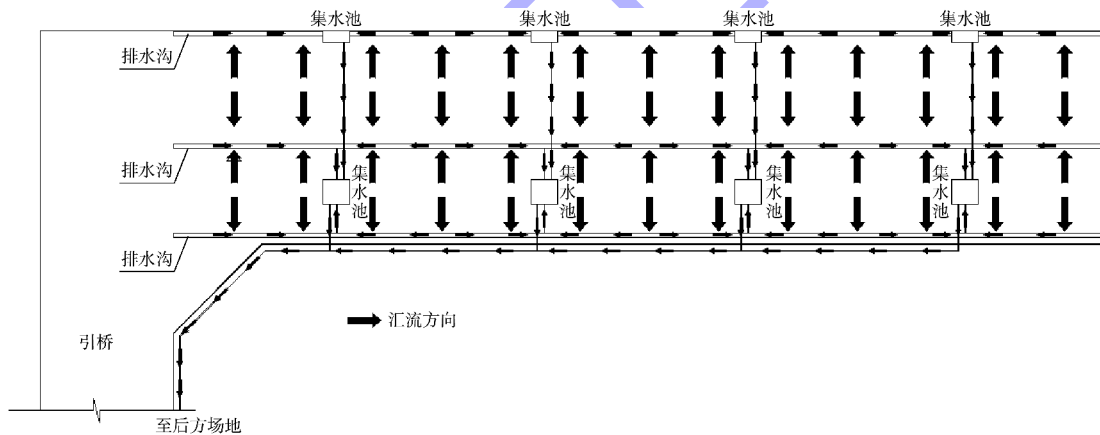


图 5 中部向两侧集水汇流

Fig. 5 Water flow diverging from central area to both sides

排水沟设置在纵向梁①、⑤、⑧处, 码头面顶高程 $7.45 \sim 7.55\text{ m}$, 横梁底高程 4.91 m 。沿排水沟每隔 50 m 利用排架间纵横梁空间布置集水池 $5.7\text{ m} \times 6.0\text{ m} \times 0.65\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高), 位于第 6、7 列纵向梁系间, 码头共 4 个。第 5、8 列排水沟外伸 DN200 排水管外穿纵向梁系将排水沟内水体汇集至集水池。集水池外排方式同方案 1。

工程岸桥前轨至码头前沿线 2.5 m 范围内布置有 $1\,000\text{ kN}$ 系船柱、高压接电箱坑、低压维修箱坑、岸电接坑、船舶上水栓井、船舶压载水接

水栓井、污水接收井、消防栓井、轨道梁拖缆槽、防风拉索、锚定、顶升设施。岸桥前轨前沿区域空间紧张, 难以布置通长排水沟, 前沿可采用以下两种方案集水:

前沿集水方案 A (集水池方案): 码头系船柱每隔 1 排架布置 1 个, 基础突出于码头面与护轮槛高度齐平, 系船柱基础将码头前沿表面分割成若干不连续区域, 在每个区域设置 1 个集水池 $1.5\text{ m} \times 0.8\text{ m} \times 1.1\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高), 单独收集汇集至前沿此区域的初期雨水, 整个码头前沿共需设 13 个集

水池。由于前沿集水池数量众多,且距离码头后部纵向梁⑥、⑦之间的收集水池较远,若将初期雨水送至后部集水池,前沿每个集水池内需设置潜水泵,并需铺设大量排水管线,导致排水管线走向复杂,排水管长度增加,集水效率低下;与

排水管连接的水工结构异形梁种类增多,码头水工结构变得更为复杂,因此该方案前沿集水池内初期雨水需采用污水车现场收集方式。中部向两侧集水方案-前沿集水池方案见图6。

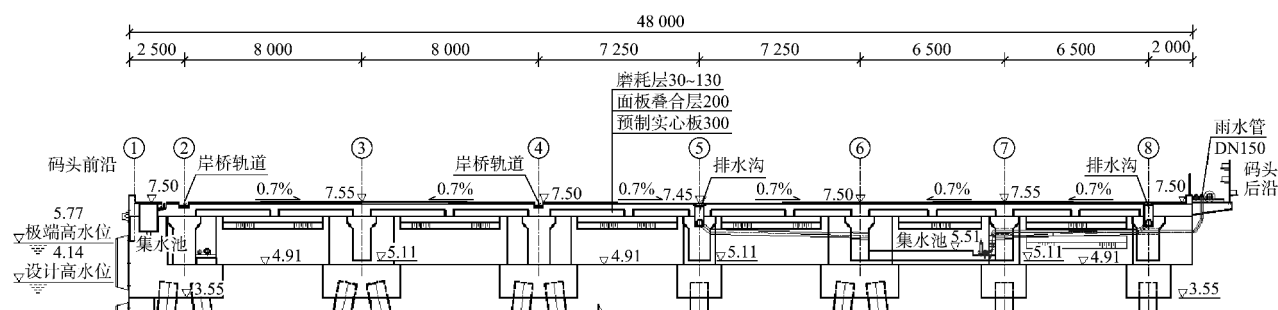


图6 中部向两侧集水方案-前沿集水池方案码头上部结构 (尺寸: mm; 高程: m)

Fig. 6 Wharf superstructure with central-to-dual-side water diversion scheme & berth-front sump system (dimension: mm; elevation: m)

前沿集水方案 B(排水沟方案)^[9]: 考虑增大岸桥前轨至码头前沿线距离至 3 m, 可在前边梁处布置宽度 0.2 m 排水沟。前沿排水沟汇水面积为中部排水沟汇水面积的一半, 因此 0.2 m 宽排水沟可满足要求, 排水沟在系船柱和横梁处通过预埋 DN200 镀锌钢管过水。排水沟前壁宽度 350 mm, 通过验算可满足规范要求^[10], 前沿排水沟方案见图7。沿排水沟每隔 50 m 设集水池 5.2 m×1.68 m×1.9 m(长×宽×高), 池内设潜水泵, 通过码头面板下横梁侧 DN150 排水管, 将初期雨水排至第 6、7 列纵向梁系间集水池内, 见图8。

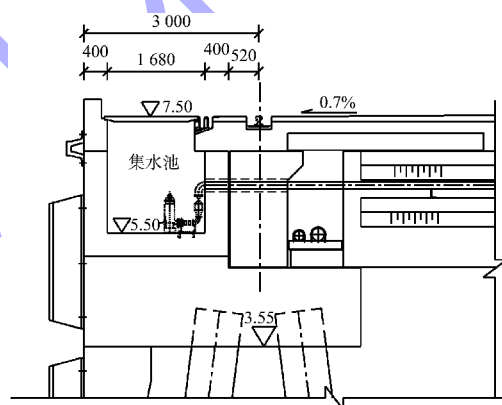


图8 前沿排水沟方案集水池大样图 (尺寸: mm; 高程: m)

Fig. 8 Detail drawing of sump for berth-front drainage ditch scheme (dimension: mm; elevation: m)

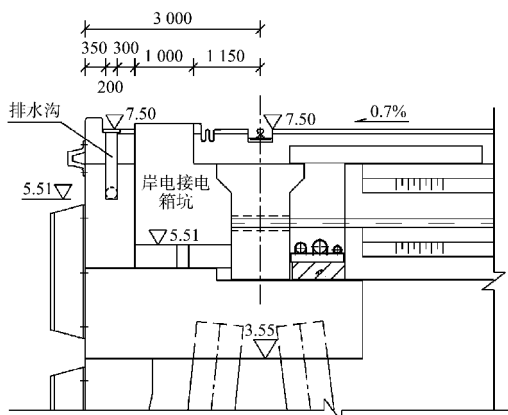


图7 前沿排水沟方案大样图 (尺寸: mm; 高程: m)

Fig. 7 Detail drawing of berth-front drainage ditch scheme (dimension: mm; elevation: m)

3 初期雨水收集方案对码头的影响

3.1 对排水功能的影响

1) 两侧向中部集水方案: 码头前后汇流区域中部各设 1 条排水沟, 码头 4 座集水池纵向间距 50 m, 均位于两条排水沟中间, 集水池边缘距离排水沟约 8 m, 初期雨水通过码头面坡度汇自排水沟后可依靠重力流自流至集水池内, 经池内潜水泵抽送至陆域后方陆域事故水池。集水效率高, 能耗低, 通过对潜水泵的远程控制, 输水管线监测, 可实现码头初期雨水收集的自动化远程管理。

2) 中部向两侧集水方案: 根据码头面坡度, 分别将初期雨水汇至码头前中后部, 由于汇集位置分散, 距离集水池平均距离较长, 排水效率会降低, 且初期雨水自流至集水池将变得困难。该方案码头中部和后部分别设 1 条排水沟, 码头纵向 4 座集水池位于中部和后沿排水沟之间, 中后部初期雨水可自流至集水池内。前沿集水池方案码头前沿无法形成连续排水通道, 只能通过单独设置多个集水池集水。由于前沿集水池距离后部集水池距离均大于 32 m, 初期雨水无法自流至后部集水池内, 需在每个前沿集水池内设潜水泵, 通过纵横向管线将初期雨水汇集至码头后部集水池内, 管线布置复杂, 设备多且后期维护困难, 因此考虑前沿集水池内初期雨水采用污水车现场收集方式, 无法做到收集的全部自动化管理, 增加了初期雨水收集处理操作难度, 不便于管理, 更加降低了收集效率; 前沿排水沟方案码头岸桥前轨距离码头前沿线至少增加 0.5 m, 可形成码头前沿的连续排水通道, 前沿设集水池收集后, 也需通过泵送至码头中后部集水池内, 较两侧向中部集水方案增加了前方集水池收集和泵送过程, 集水效率降低、能耗增加、设备维护成本增加。

3.2 对码头使用功能的影响

1) 两侧向中部集水方案: 两条排水沟均位于码头中部, 码头上频繁往来的重载集装箱车辆在行驶过程中无可避免的会碾压排水沟球墨铸铁格栅盖板, 既增加了对排水沟边角及盖板的损耗与更换成本, 也会造成车辆颠簸, 产生噪音。中部向两侧集水方案的 3 条排水沟中, 前、后排水沟不在码头车辆常规通行区域内, 常规行驶区域内仅中部 1 条排水沟, 对车辆正常行驶影响较小。

2) 中部向两侧集水-前沿排水沟方案: 岸桥外伸作用范围减少 0.5 m, 前轨后装卸区宽度缩短 0.5 m, 对集装箱装卸能力、装卸效率均会产生不利影响。

3.3 对码头水工结构的影响

在码头前沿高程、磨损层最小厚度和结构梁

板高度一致的前提下, 两侧向中部集水方案较中部向两侧集水方案上部结构高程整体降低了 0.05 m, 对于波浪较大区域, 可能会导致结构受水平推力和竖向浮托力加大, 该码头位于受掩护区域, 高程的降低对结构几乎无影响。两方案由于汇水排水沟、集水池位置不同, 排水管分布不同, 导致产生很多异形梁结构, 中部向两侧集水方案中码头前沿结构更为复杂, 前边梁、节点、桩帽结构类型更多, 施工难度加大, 前沿设置通长管沟或集水池, 受空间限制, 前沿外壁普遍较薄, 受船舶撞击易损坏。

中部向两侧集水-前沿排水沟方案中, 前轨与码头前沿线距离增加 0.5 m, 此调整导致码头桩基承载力分配调整, 前轨下部桩基轴向力略微增大; 前排桩距离码头前沿线和靠船构件距离加大, 其桩斜度可根据需要适当加大, 增强桩基水平承载力。

3.4 对码头造价的影响

汇流收集方案仅对码头细部水工结构产生影响, 水工投资变化不大。相较于码头结构投资, 不同汇流收集方式下潜水泵数量、供电、排水管线长度的变化投资可以忽略。

4 结语

1) 事故初期雨水收集方案的排水功能差异显著。两侧向中部集水方案通过中部双排水沟设计, 实现了初期雨水重力流高效汇集, 配合潜水泵远程控制与管线监测, 可达成自动化收集管理, 集水效率高且能耗低; 中部向两侧集水方案无论采用前沿集水池人工收集还是扩大前轨与码头前沿线距离的连续排水沟设计, 均存在集水效率低、能耗增加或管理难度大的问题, 难以实现全自动化收集。

2) 对码头使用功能的影响各有优劣。两侧向中部集水方案的中部两条排水沟盖板会受重载车辆碾压, 导致盖板损耗, 且引发车辆颠簸与噪声; 中部向两侧集水方案车辆通行区域仅 1 条排水沟,

对车辆通行影响较小,但前沿排水沟方案会因前轨距前沿线距离增大,导致岸桥外伸作业范围缩小,对集装箱装卸能力和效率产生不利影响。

3) 水工结构复杂度与施工难度不同。两侧向中部集水方案的上部结构高程整体略低于中部向两侧集水方案,结构布置更简洁;中部向两侧集水方案因前沿设施密集,排水沟与集水池布局复杂,导致前边梁、节点、桩帽等结构类型增多,施工难度加大,且前沿结构外壁较薄,易受船舶撞击损坏。中部向两侧集水前沿排水沟方案调整前轨位置,会使前排桩基轴向力增大。

4) 造价投资影响可忽略。两种汇流收集方案仅对码头细部水工结构产生影响,相较于码头工程总投资,潜水泵数量、管线长度、梁系混凝土结构等变化带来的投资差异可忽略不计。

5) 高桩梁板结构码头设计需协同考量。研究表明高桩梁板结构码头的初期雨水收集设计需与码头结构、前沿设施布局协同考量,两侧向中部集水方案在集排水效率、自动化管理及结构简洁性方面更具优势,为类似宽幅码头的事故初期雨水收集系统设计提供了可参考的技术方案与工程经验。

参考文献:

- [1] 水运工程环境保护设计规范: JTS 149—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- Specifications on environmental protection design for port and waterway engineering: JTS 149-2018 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [2] 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014.
- Design code of general layout for sea ports: JTS 165-2013[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2014.
- [3] 码头结构设计规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- Design code for wharf structures: JTS 167-2018 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [4] 王俊, 毛彩彩. 件杂货码头及堆场污水收集处理技术[J]. 水运工程, 2023(11): 71-75, 81.
- WANG J, MAO C C. Sewage collection and treatment technology of cargo terminals and storage yards[J]. Port & waterway engineering, 2023(11): 71-75, 81.
- [5] 室外排水设计标准: GB 50014—2021[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.
- Standard for design of outdoor wastewater engineering: GB 50014-2021[S]. Beijing: China Planning Press, 2021.
- [6] 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]. 2 版. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- GCCC First Harbor Consultants Co., Ltd. Handbook for design of sea harbours [M]. 2nd ed. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [7] 球墨铸铁复合树脂水箅: CJ/T 328—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- Spheroidal graphite cast iron composite resin water grate: CJ/T 328-2010[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [8] 沈建霞, 邵琪, 杨文浩. 高桩梁板码头排水方式探讨[J]. 水运工程, 2019(8): 89-91, 96.
- SHEN J X, SHAO Q, YANG W H. Discussion on drainage method of high piling beam-slab quay [J]. Port & waterway engineering, 2019(8): 89-91, 96.
- [9] 李华平, 汪莲. 越南某电厂新建煤码头排水系统设计方案优化[J]. 水运工程, 2020(5): 163-167.
- LI H P, WANG L. Design optimization of drainage system for new coal terminal of power plant in Vietnam [J]. Port & waterway engineering, 2020(5): 163-167.
- [10] 水运工程混凝土结构设计规范: JTS 151—2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- Design code for concrete structures of port and waterway engineering: JTS 151-2011[S]. Beijing: China Communications Press, 2011.

(本文编辑 赵娟)