



罗泾集装箱码头改造对原码头的综合利用方案

刘国宝¹, 沈树茂², 苑 艺³

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080;
3. 辽宁筑港交通工程技术研究有限公司, 辽宁 大连 116023)

摘要: 针对高桩码头升级改造对原码头结构应如何有效利用的问题, 以上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程为依托, 提出原码头结构综合利用的原则及重点问题, 对原结构利用与现有规范的符合性、剩余使用寿命的判断方式、新老混凝土交界面的处理方式等问题进行了分析研究。提出改造时总图、工艺与水工结构综合解决问题的思路, 列出了改造时利用原结构的多个可行的技术路线。得出总体结论: 宜主要按照当年设计时规范复核结构构造要求, 结构剩余寿命应以检测评估方式确定; 在平面布局中将 3 个原有码头布置于荷载较小的行车通道位置, 采用了轻型设备减小岸桥荷载约 20%; 经实践可采用常规工法实现原结构拆除重建、补充桩基加固原结构、码头高程加高 0.2~1.6 m、引桥增加排架和更换面板、原结构下方新建水电管线路由等技术路线。

关键词: 高桩码头; 升级改造; 原结构利用

中图分类号: U658

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0082-08

Comprehensive utilisation of original terminal for container terminal renovation in Luojing

LIU Guobao¹, SHEN Shumao², YUAN Yi³

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

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

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

Abstract: Aiming at the problem of how to effectively utilize the original terminal structure in the upgrading and reconstruction project of high pile wharf, based on the phase I container terminal renovation project in Luojing port area of Shanghai Port, the principles and key issues of comprehensive utilization of the original terminal structure are put proposed. The compliance of the original structure with existing specifications, the judgment method of remaining service life, and the treatment method of the interface between new and old concrete are analyzed and studied. This paper proposes a comprehensive solution to the problems of general layout, process, and hydraulic structure during renovation, and lists multiple feasible technical routes for utilizing the original structure during renovation. The general conclusions are that it is advisable to mainly review the structural construction requirements according to the design specifications of the current year, and the remaining life of the structure should be determined through testing and evaluation. Three original wharves are arranged in the plan layout at the location of the less loaded driving channel, and lightweight equipment is used to reduce the load on the quay crane by about 20%. Through practice, conventional construction methods can be used to achieve technical routes such as dismantling and rebuilding the original structure, reinforcing the original structure with supplementary pile foundations, raising the dock elevation by 0.2–1.6 m, adding scaffolding and replacing panels to the approach bridge, and constructing new water and electricity pipeline routes under the original structure.

Keywords: high-pile wharf; upgrade and renovation; original structure utilisation

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 刘国宝(1981—), 男, 高级工程师, 从事水运工程设计工作。

过去二十年间，我国经济实现了高速发展，进出口贸易是拉动经济增长的动力之一，港口工程作为进出口的关键节点，也经历了快速发展扩张的过程。党的二十大报告强调要加快建设交通强国、海洋强国，提升产业链供应链韧性和安全水平；明确提出实施全面节约战略，推进各类资源节约集约利用。加快码头改建扩建，可充分发挥已有资源潜力，在基本不新增或少量新增岸线和水域、土地资源的基础上，实现码头靠泊等级、作业效率和安全环保水平的有效提升；对推动资源节约集约利用，实现基础设施建设从主要依靠传统要素驱动向更加注重创新驱动转变具有重要意义；是立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，服务构建新发展格局，加快建设交通强国，实现港口高质量发展的必然选择。上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程(简称罗泾改造一期工程)利用原有岸线和土地资源，将煤炭码头改造为自动化集装箱码头，是满足上述要求的典型案例，本文以其为背景介绍项目对原码头的综合利用思路，提出利用原则，分析重点问题及解决思路，列出技术路线。

1 码头整体升级改造方案

上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程^[1]，将原有的 14 个 2000 吨级至 12 万吨级专业化煤炭运输泊位改造为 1 个 10 万吨级集装箱泊位和 4 个 1 万吨级集装箱泊位，通过能力 266 万 TEU/a。原码头平面尺度、高程、上部装卸工艺系统均对应专业化煤炭泊位需求，为高桩结构。将其改造为全自动化集装箱泊位，需进行平面尺度及高程调整，以及工艺系统、水工结构、水电设施改造和新建。其码头总体升级改造平面见图 1。

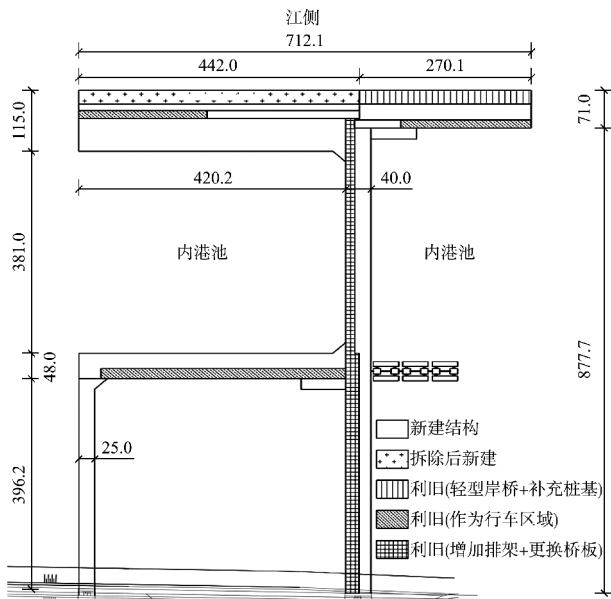


图 1 码头升级改造平面 (单位: m)

Fig. 1 Upgrade and renovation plan of wharf (unit: m)

2 对原码头的综合利用原则及重点问题

2.1 满足使用要求

码头升级改造的基础要求是实现既定的使用功能，可以按照设计能力运输目标货种，适应目标船型。原结构要实现新的功能要求，需进行检测评估和详细核算，如有必要应进行改造。

2.2 满足相关规范要求

对原有结构的利用，需满足国家、行业规范、规程要求的安全性、耐久性、适用性。原结构使用多年，当年设计时采用的规范与现行规范局部有所不同，因此如何判断原结构对规范的符合性是重点问题。

2.3 经济合理

应综合计算全生命周期的经济指标，对原有结构进行使用，必然导致项目的整体寿命受限于原有结构的剩余使用年限，因此需要对比利用原有结构和全部新建结构的全寿命周期内的经济指标。

2.4 低碳环保、集约使用资源

港口工程是大型基础设施,对其进行升级改造是未来多年内会经常面临的工程问题,原有结构在未满足设计使用年限时予以拆除会导致社会资源的实质性浪费,因此解决方案应充分考虑资源的节约和社会影响。

3 原有结构利用时重点问题的解决思路

3.1 原有结构与现行规范的符合性

原有码头结构设计时依据当时的规范,经多年使用,有些规范已经更新,对其升级改造时如果采用现行规范对原结构进行复核,必然会发现有不满足现行规范之处,见表 1。

基于现行规范复核按照当年规范设计的已有

码头结构,容易发现混凝土强度、钢筋保护层厚度、混凝土抗氯离子渗透性、最小配筋率等方面不满足现行规范要求的情况,从规范符合性角度,已有结构是否可以继续利用是面临的首要问题。

依据当时规范建设的码头结构,在检测评估满足要求的前提下,即使有构造、材料方面不满足现行规范之处,也应承认其基本具备原设计时所定的承载力、耐久性,可以予以继续利用。因为新规范发布后,现有的码头结构均会有不符合新规范之处,而业内对现有结构可以正常使用以及可以满足寿命要求不会有质疑。因此,不能以不满足现行规范为理由废弃原有结构,不考虑改造利用。

表 1 新老规范对钢筋混凝土的规定对比

Tab. 1 Comparison of old and new code provisions for reinforced concrete

规范	混凝土最低强度等级	混凝土保护层最小厚度	混凝土抗氯离子渗透性限值	纵向受力钢筋最小配筋率
JTJ 267—1998《港口工程混凝土结构设计规范》 ^[2]	钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C20	海水港,钢筋混凝土,南方,水下区,为 30 mm	无规定	受弯梁、板采用 II 级钢筋,为 0.15%。
JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》 ^[3]	基于耐久性要求的混凝土最低强度等级,海水环境下,不同部位的钢筋混凝土为 C30~C40	海水环境,钢筋混凝土,南方,水下区,为 40 mm	浪溅区,钢筋混凝土,南方,≤1 500 C	受弯构件,0.2% 和 $45f_t/f_y$ 中的较大值

注: f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值; f_y 为钢筋抗拉强度设计值。

3.2 对原有结构剩余使用寿命的判断

JTS 153—2015《水运工程结构耐久性设计标准》^[4]、JTS 167—2018《码头结构设计规范》^[5] 规定“永久性码头结构的设计使用年限应采用 50 a”,并说明“设计使用年限时设计规定的结构或结构构件不需要进行大修就可以按预定目的使用的年限,为正常设计、正常施工、正常使用和维护下所达到的使用年限。”根据上述原则,现有码头结构如为正常设计、施工、使用、维护下的结构,其进行升级改造时,结构物的剩余使用年限理论上应不小于 50 a 减去已经使用的年限。

剩余使用年限的具体数值,应根据 JTS 304—2019《水运工程水工建筑物检测与评估技术规范》^[6],通过耐久性检测与评估确定,主要针对混凝土的氯盐引起的钢筋锈蚀、混凝土碳化、混凝土冻融等几项指标进行判断,这些指标主要与结构所处的环境,结构物保护层厚度和结构自身的裂缝情况相关。通过上述检测与评估确定的结构物剩余使用年限,与 50 a 减去已有的使用年限一般未必一致。以罗泾改造一期工程为例,1997 年建成的罗泾一期煤炭码头和 2007 年建成的二期煤炭码头,检测评估结果见表 2,表观质量见图 2。其中

根据实测的碳化深度，氯离子浓度计算结构剩余寿命均较长，上海地区又无冻融破坏，最终根据混凝土外观劣化情况判断其剩余寿命大于 50 a 减去已经使用的年限。

表 2 原码头结构检测及评估结果
Tab. 2 Inspection and assessment results of the original wharf structure

原码头	检测时 已用年限/ a	各主要部位 安全性评估 等级	各主要部位 适用性评估 等级	各主要部位 外观劣化 等级	碳化 深度/ mm	根据碳化 推算的剩余 使用年限/a	根据氯离子扩散 推算的剩余使用 年限/a	最终确定的主体 结构剩余使用 年限/a
罗泾一期煤炭码头	25	A	A 或 B	A 或 B	3.0	≥1 000	≥1 000	≥25
罗泾二期煤炭码头	15	A	A 或 B	A 或 B	2.5	≥1 000	≥1 000	≥36



a) 罗泾一期煤炭码头



b) 罗泾二期煤炭码头

图 2 表观质量
Fig. 2 Apparent quality

3.3 新老混凝土交界面的处理方式

在原有结构上浇筑混凝土，与原结构形成整体，对码头进行加固或加高，是码头结构改造过程中经常采用的措施。根据 JTS/T 311—2023《港口水工建筑物修补加固技术规范》^[7]，新老混凝土的结合面施工时应将原结构表面凿毛或打成沟槽，沟槽深度不宜小于 6 mm，间距不宜大于箍筋间距且不大于 200 mm。如按照上述方法实施，则可以

保证新老混凝土的结合良好。

但根据项目实际实施经验，在老结构上大面积浇筑新结构时，一般需采用机械施工，首先难以做到将原结构打成规范要求的沟槽，其次表面凿毛难以定量设计并指导施工，所以通过凿毛或打成沟槽实现结构的良好粘结难以保证质量。因此本项目采用植筋对结合面进行加固，先在老结构表面进行植筋，再浇筑新结构，植筋数量根据结合面的剪力数值布置，将结合面上所有剪力采用植筋承担，现场实施见图 3。



图 3 植筋连接新老混凝土效果
Fig. 3 Effect of reinforcement planting connecting new and old concrete

4 高桩码头升级改造时的综合解决思路

在进行升级改造时，应综合考虑平面、工艺、结构的总体方案，可以通过对平面和工艺的优化达到结构利用的目标。

1) 平面设计时尽量将原有结构布置在荷载较小的位置。原有码头结构的桩基和梁一般由装卸设备荷载和船舶荷载控制其设计内力。在改造工程平面设计时，应尽量以新建结构承受岸桥等装

卸设备荷载,将原码头结构尽量布置于行车通道位置,只承受水平运输荷载而不承受岸桥荷载和船舶荷载。由于水平运输荷载一般比原码头装卸设备荷载小,所以原有结构一般能满足改造后的承载力要求。该工程对3个区域的码头结构,均在平面布局时将其设置于行车通道位置予以利用。

2) 在满足使用要求前提下,可考虑装卸设备选取轮压较小的类型。以罗泾改造一期工程为例,项目采用了新研制的轻型岸桥,其荷载比外高桥五期(建成于2004年)采用的岸桥荷载减少了约20%,见表3。经核算原卸船二期码头可以通过轨道梁下方补充桩基加以利用,如不进行此工艺设备优化,则此结构需要进行大规模拆改。

表 3 罗泾改造一期工程与外高桥五期岸桥荷载对比
Tab. 3 Comparison of quay crane loads between phase I renovation project in Luoqing and Waigaoqiao Phase V

项目	最大轮压/(kN·轮 ⁻¹)				垂直轨道水平力/(kN·轮 ⁻¹)				平行轨道水平力/(kN·轮 ⁻¹)			
	工作状态		非工作状态		工作状态		非工作状态		工作状态		非工作状态	
	江侧	陆侧	江侧	陆侧	江侧	陆侧	江侧	陆侧	江侧	陆侧	江侧	陆侧
罗泾改造一期工程岸桥(A)	587	473	852	967	7.6	7.6	102	102	213	98	1 940	1 830
外高桥五期岸桥(B)	840	780	1 040	1 240	—	—	130	130	—	—	2 470	2 470
减少比例[(B-A)/B]	30%	39%	18%	22%	—	—	22%	22%	—	—	21%	26%

5 高桩码头改造技术路线

5.1 高桩码头拆除后原位新建

此技术路线的难点在于高桩结构物的拆除和在原有桩基中打入新桩。罗泾改造一期工程对这两个难点提出了技术路线,并经项目实践验证了其可行性。

高桩码头拆除技术路线为:梁板打孔→绳锯切割上部梁板→起重船兜底起吊梁板→汽车运输梁板→梁板破碎分解为混凝土块和钢筋→桩基间挖泥→抓斗船拆除桩基→驳船运输废桩→桩基破碎分解^[8-10]。拆除工程每平米单价为1 500~2 000元。

原有桩基中打入新桩的技术路线为:拆除结构梁板后对原桩基三维位置进行测量→建立原桩基三维模型→在三维模型中布设新桩基→在模型中进行碰桩验算并调整新桩位直至新老各桩都有合理间距→按照模型中新桩位绘制桩位图指导现场施工。项目新老桩基三维模型见图4。

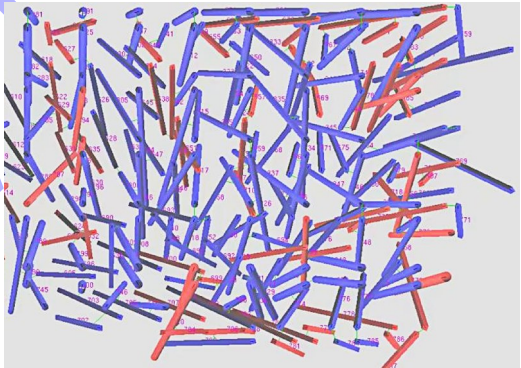


图 4 局部位置新老桩基三维模型
Fig. 4 3D model of new and old pile foundations at local locations

5.2 码头梁下方补充桩基加固

码头升级改造时,如上部工艺荷载增加,经核算原有结构承载力不足,可以在原有结构梁下方补充桩基进行加强^[11]。原码头基础和新补充的均为桩基,在自身重力作用下沉降量较小,因此只要新老桩基持力层一致,自重不均匀沉降会较小,两者可以形成受力整体,使原结构基础得到有效加强,该工程在部分原码头轨道梁下每个排架补充2根直径800mm钢管桩,见图5。

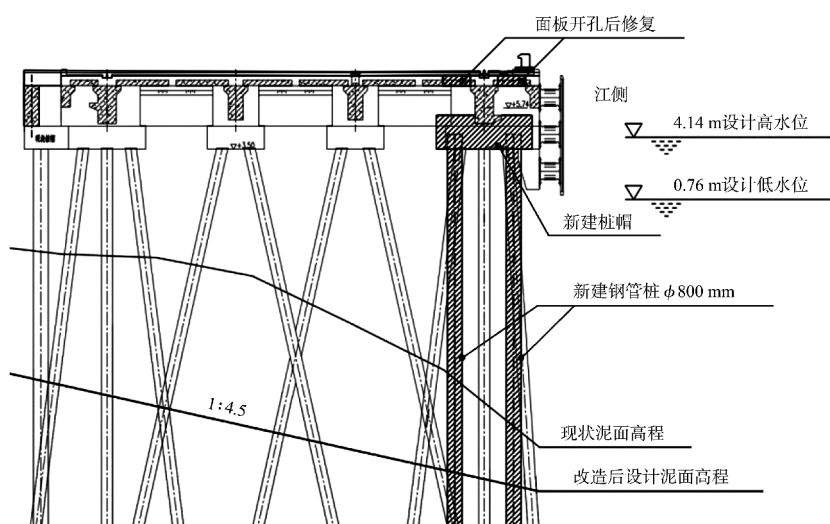


图 5 码头梁下方补充桩基加固断面

Fig. 5 Supplementary pile foundation reinforcement section underneath the wharf girder

5.3 码头结构加高

码头结构高程不足需要加高时, 可采用增加现浇层、新建实心面板、新建空心面板、新建架

空梁板等方式^[12]。其典型断面见图 6。这 4 种方式分别适用不同的加高高度, 适用条件及单价见表 4。

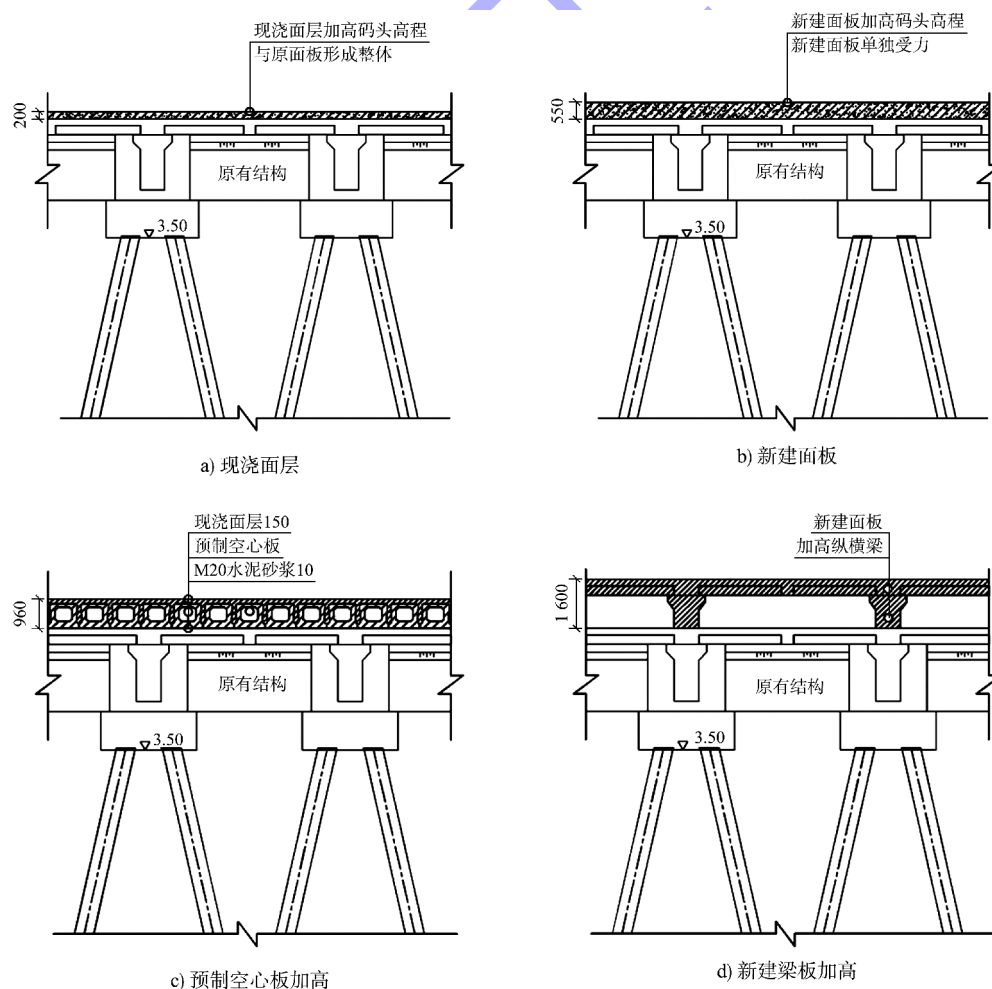


图 6 码头加高 4 种方案 (高程: m; 尺寸: mm)

Fig. 6 Four scheme options for wharf heightening (elevation: m; dimension: mm)

表 4 4 种加高方式适用条件及单价
Tab. 4 Applicable conditions and unit prices for 4 types of heightening methods

名称	加高方式	改造后对原结构物的使用情况	面板受力模式	一般适用条件	图示方案工程单价/(元·m ⁻²)
方式 1	现浇面层(单层筋)	原桩、梁、板均进行使用	与原面板形成整体,双向板受力	加高高度 150~400 mm	1 359
方式 2	新建面板(两层筋)	使用原桩、梁,不使用原面板	新建部分单独受力,双向板受力	加高高度 400~600 mm	1 562
方式 3	预制空心板加高	使用原桩、横梁,不使用原纵梁、面板	新建部分单独受力,单向板受力	加高高度 900~1 400 mm	4 181
方式 4	新建梁板加高	使用原桩、梁,不使用原面板	新建部分单独受力,双向板受力	加高高度大于 600 mm	4 288

5.4 引桥增加排架和更换桥板

对原有引桥结构可以采用增加排架和更换桥板方式进行改造。本文工程原引桥排架间距 27 m,上部为空心板结构,经复核桥板、桩基承载力难以满足集装箱运输车通行需要,考虑到原引桥结构桩基和承台状态良好可以利旧,采用原排架中间增加排架和更换桥板的方式予以改造。此方法比拆除新建方法节约投资约 20%,同时避免了在原有桩基中打设新桩时容易碰桩的问题,缩短了工期。方案剖面见图 7。

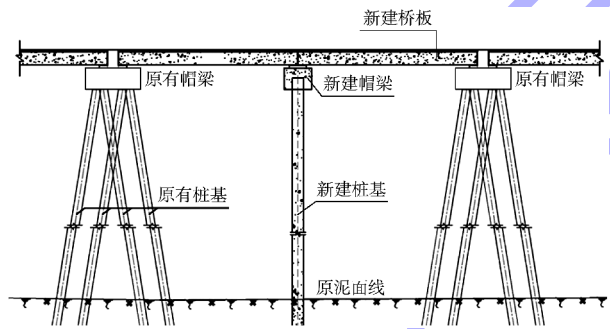


图 7 原引桥改造方案剖面
Fig. 7 Section of original approach bridge renovation scheme

5.5 原码头下方新建水电管线路由

原结构为专业化煤炭码头,水电管线一般沿皮带廊道敷设,改造为集装箱码头后,需要在原结构下方新建岸桥高压供电、船舶低压岸电供电、维修低压供电、通信等线路以及船舶上水管、船舶油污水收集管、船舶生活污水收集管、消防水管等管路,管线数量众多,直径较大,需穿越原高桩梁板结构,本项目采用了在结构上穿洞、沿

梁新建牛腿、在原有梁板上设置钢结构吊架等方式敷设管线,见图 8。

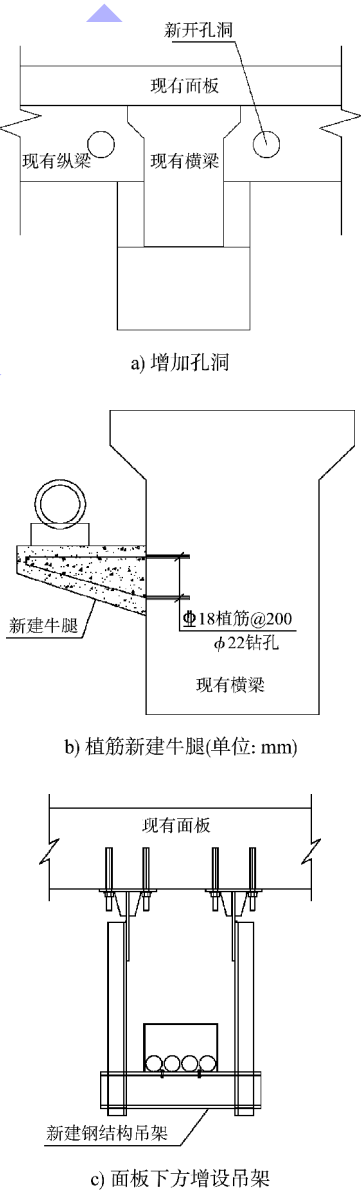


图 8 新建水电路由改造方案
Fig. 8 New utility routing renovation programme

6 结语

1) 高桩码头升级改造时宜从经济性、低碳环保角度考虑对原有结构充分利用, 尽量避免大拆大建。

2) 原有结构复核规范符合性时, 承载力宜按照新规范复核, 其他构造、材料和耐久性要求宜按照原设计时的规范进行复核。

3) 应以检测评估结论判断原结构安全、耐久、适用性和剩余使用年限。

4) 对原结构进行利用应综合考虑平面布局、工艺选型等方面, 尽量将结构置于受力较小位置, 选用荷载较小的设备。

5) 可以在结构升级改造时实现原位拆除新建, 下方补充桩基加固, 码头面加高, 引桥补充排架和更换桥板, 原结构下方新增孔洞和支架布置水电管线等技术路线。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司. 上海港罗泾港区集装箱改造一期工程初步设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
- CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Preliminary design for phase I container terminal renovation project in Luojing area of Shanghai Port [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [2] 港口工程混凝土结构设计规范: JTJ 267—1998[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- Design code for harbour engineering concrete structures: JTJ 267-1998[S]. Beijing: China Communications Press, 1998.
- [3] 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.
- [4] 水运工程结构耐久性设计标准: JTS 153—2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- Standard for durability design of port and waterway engineering structure: JTS 153-2015 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2015.
- [5] 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.
- [6] 水运工程水工建筑物检测与评估技术规范: JTS 304—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.
- Technical specification for detection and assessment of water transport engineering hydraulic structure: JTS 304-2019 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2019.
- [7] 港口水工建筑物修补加固技术规范: JTS/T 311—2023[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2023.
- Technical code for repair and strengthening of harbor and marine structures: JTS/T 311-2023 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2023.
- [8] 李小恒. 广州东江口某码头结构改造方案[J]. 中国水运(下半月), 2022, 22(4): 84-86.
- LI X X. Structural renovation plan for a wharf at Dongjiangkou in Guangzhou [J]. China water transport (the second half of the month), 2022, 22(4): 84-86.
- [9] 王绍胜. 码头结构拆除工艺流程及施工技术分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(19): 92-93.
- WANG S S. Demolition process and construction technology of wharf structures [J]. Engineering and technology research, 2021, 6(19): 92-93.
- [10] 芮城新, 刘功鑫. 旧码头拆除工艺在国外码头中的应用[J]. 珠江水运, 2020(14): 37-38.
- GUO C X, LIU G X. Application of demolition technology of old wharf in foreign wharf [J]. Pearl River water transport, 2020(14): 37-38.
- [11] 上海国际港务(集团)股份有限公司. 大型公共码头结构加固改造和能级提升成套技术研究及应用课题总报告[R]. 上海: 上海国际港务(集团)股份有限公司, 2014.
- Shanghai International Port (Group) Co., Ltd. Overall report on the research and application of complete technology for structural reinforcement and energy level upgrading of large public docks [R]. Shanghai: Shanghai International Port (Group) Co., Ltd., 2014.
- [12] 张弛, 张智山. 阳江港某码头升级改造方案简析[J]. 港工技术, 2021, 58(3): 66-68, 84.
- ZHANG C, ZHANG Z S. Analysis on the upgrading and reconstruction plan of a terminal in Yangjiang Port [J]. Port engineering technology, 2021, 58(3): 66-68, 84.

(本文编辑 赵娟)