



海上油气公共管廊高桩引桥结构设计

李 达, 白云香

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对海上油气公共管廊高桩引桥结构设计, 结合工程实例, 对不同的桩基形式、引桥上部结构、管架结构对引桥结构造价的影响。研究表明: 增大排架间距可以降低桩基工程费用, 但排架间距增大使上部结构造价增大, 综合分析排架间距 18 m 比 9 m 引桥造价降低 2.43%, 造价降低不明显; 大管桩比灌注桩引桥结构造价降低 10.79 万元/m, 具有较大的造价优势; 钢结构管架比混凝土管架造价增加 32%, 采用混凝土管架的公共管廊造价比采用钢结构管架降低 3.12%, 造价降低不明显。对于类似工程, 可优先选择大管桩等打入桩; 管架结构形式和排架间距对造价影响不明显, 可对比分析后综合确定方案。

关键词: 海上油气公共管廊; 引桥结构; 高桩结构; 造价

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)11-0060-07

Structural design of high-pile approach trestle for offshore oil and gas public pipe gallery

LI Da, BAI Yunxiang

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

Abstract: Regarding the design of the high-pile approach trestle structure for offshore oil and gas public pipe gallery, This article combines engineering examples to conduct structural design on different high-pile approach trestle structures. Through spatial model calculation and analysis, cost analysis, and scheme comparison, the influence of different framed bent spacing, pile foundation types, upper structures of approach trestle, and pipe frame structures on the cost of approach trestle structures is studied. The research results indicate that increasing framed bent spacing can reduce the cost of pile foundation engineering, but framed bent spacing increases the cost of the upper structure. Comprehensive analysis shows that the framed bent spacing of 18 m reduces the cost of the 9 m approach trestle structures by 2.43%, but the cost reduction is not significant. The cost of the large pipe pile approach trestle structure is reduced by 107,900 yuan per metre compared to the cast-in-place pile, and the large pipe pile has a significant cost advantage. The cost of steel structure pipe racks is 32% higher than that of concrete pipe racks, and the cost of public pipe galleries using concrete pipe racks is 3.12% lower than using steel structure pipe racks, but the cost reduction is not significant. For similar projects, priority can be given to using large pipe piles or other driven piles. The pipe frame structures type and framed bent spacing have no significant impact on the cost, and a comprehensive plan can be determined after comparative analysis.

Keywords: offshore oil and gas public pipe gallery; approach trestle structure; high-pile structure; cost

2014 年, 国家发改委印发了《石化产业布局方案》, 重点发展七大石化产业基地^[1]。石化产业基地普遍依托港口建设, 码头与石化产业基地之间建有长距离海上公共管廊^[2]。海上公共管廊主

要输送石油化工原材料及产品, 并为其他公用物料、配套管线等提供架设通道^[3]。现有相关研究主要集中在某一类特定码头的引桥, 如杨凯等^[4]研究了不同跨度和补偿平台间距下 LNG 码头引桥

收稿日期: 2025-02-11

作者简介: 李达(1994—), 男, 硕士, 工程师, 从事水运工程规划设计工作。

的设计特点;柯维林等^[5]研究了大型原油码头引桥在不同跨度下结构受力及造价情况。这些研究的上部管线相对单一,对管线复杂的海上公共管廊引桥的研究较少。海上公共管廊距离较长,工程范围内自然条件、施工条件、相邻工程等因素变化较大,应根据具体情况,选择合适的结构分段及结构方案。本文以连云港某海上油气公共管廊工程为例,结合当地自然条件及使用需求,对不同的引桥结构进行结构设计、空间模型计算分析、造价分析及方案比选,并研究不同管架结构对引桥结构造价的影响,以供类似工程参考。

1 工程概况

1.1 平面布置

连云港某海上油气公共管廊工程在防波堤(已建1#管廊)西侧建设1座海上油气公共管廊(AF段),两条管廊平行布置,中心线距离83.6 m,平面布置见图1。公共管廊南起已建海堤与陆上管廊相连,北接已建2#管廊,全长5 322.5 m,将石化基地与4#~7#液体散货泊位连接,提供物料管线敷设服务,并兼顾应急消防通道功能。公共管廊主要由下部引桥结构与上部管架结构组成。

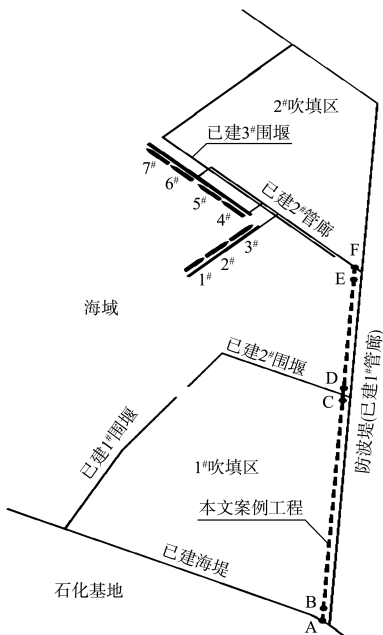


图1 工程平面布置

Fig. 1 Layout plan of the project

1.2 设计水位及水深

设计高水位: 5.41 m(高潮累积频率 10%); 设计低水位: 0.47 m(低潮累积频率 90%); 极端高水位: 6.56 m(50 a 一遇高潮位); 极端低水位: -0.68 m(50 a 一遇低潮位)。

1.3 设计波浪

1#吹填区内水深较小,掩护良好,基本不受波浪影响。吹填区外极端高水位 50 a 一遇 $H_{1\%}$ 设计波高为 2.64 m, 周期 T 为 5.0 s。

1.4 地质及地震

土层自上而下依次为②₁ 淤泥、③₁ 粉土/粉砂、③₂ 粉质黏土、③₃ 黏土/粉质黏土、③₄ 粉砂/粉土、④₁ 粉质黏土、④₂ 粉细砂、⑤₁ 粉质黏土、⑤₂ 粉细砂、⑥₁ 黏土。④₂ 层厚较薄,部分钻孔未揭露。⑤₂、⑥₁ 层厚较厚,埋深较深,工程地质性质好,适宜做桩端持力层。

抗震设防烈度为 7 度,设计基本地震加速度为 0.10g,设计地震分组为第 3 组。

1.5 工艺荷载

均载: 10 kPa; 检修通道人行荷载: 3 kPa。

流动机械荷载: 30 t 汽车、40 t 消防车、50 t 平板车、40 t 轮胎吊(吊重小于 16 t)。

管线荷载: 根据 4#~7#泊位管线敷设需求,公共管廊分 5 层敷设 49 根管道,结合公共管廊设计要点^[6],预留 6 根管道。管线布置见图 2。

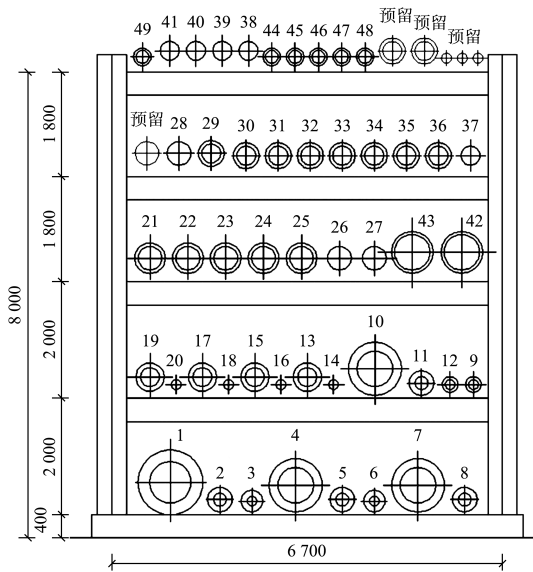


图2 管线布置 (单位: mm)

Fig. 2 Pipeline layout (unit: mm)

1.6 施工条件

根据水域测图,工程 AC 段位于已建的 1[#]吹填区,泥面高程为-2.2~2.0 m,平均泥面高程约为 0.20 m,水深条件较差,不具备打桩条件。DEF 段位于开阔水域,泥面高程为-3.7~-2.6 m,平均泥面高程约为-3.11 m,具备一定的水深条件,运桩船、打桩船可进入进行打桩作业。

2 结构方案

2.1 结构方案概述

公共管廊引桥顶高程为 8.5 m,总宽 15.9 m,其中,消防通道总宽 7 m,管架基础宽 7.4 m,检修通道总宽 1.5 m。消防通道两侧设置护轮槛和波形护栏,检修通道外侧设置护轮槛和电缆桥架。

该工程管架可分为滑动管架(HS)、固定管架(GS)、补偿管架(BS)、跨越管架。滑动管架为单榀独立管架,固定管架由 2 榀管架通过纵梁联系为框架结构,补偿管架由 3 榀管架通过纵梁联系为 π 形框架结构,在有通行或跨越需求处设置桁架式跨越管架。根据敷设需求,并适配引桥结构排架间距,管架标准段采用 76 和 90 m 两种布置形式。钢结构和混凝土结构是管架设计常用的形式^[7],工程按照两种方案进行设计比选。

该工程上部有较厚的软弱土层,持力层埋深较深,考虑邻近水工结构多采用桩基形式^[8],引桥采用高桩结构,主要进行桩型、排架间距、上部结构形式的比选。

管架结构、引桥结构设计使用年限为 50 a,结构安全等级为二级,结构重要性系数为 1.0。

2.2 引桥结构方案

结合工程范围内水深、地质、波浪、施工条件、相邻工程等条件,布置结构分段及结构方案如下。

AB 段、CD 段、EF 段分别与海堤、2[#]围堰、2[#]吹填区龙口护底衔接,此 3 段均采用高桩墩台结构,墩台厚度 2 m,桩基采用灌注桩。

DE 段(长 1 797 m)位于开阔水域,具备一定的水深,桩基采用周边应用普遍的大管桩。考虑引桥上部受波浪浮托力影响,采用整体性较好的高桩梁板结构。

BC 段(长 3 344 m)位于已建的 1[#]吹填区,泥

面较高,且龙口处水流较大,不具备打桩条件,采用灌注桩。该段掩护良好,基本不受波浪影响,引桥上部波浪浮托力较小,考虑排架间距 9 m 的高桩梁板结构与排架间距 18 m 的高桩预应力梁板结构对比,见图 3。高桩梁板结构上部设置现浇桩帽、预制横梁、预制纵梁、预制面板和现浇面板,纵横梁及面板均为叠合构件,在节点处现浇成整体。高桩预应力梁板结构上部现浇横梁,横梁两侧搭接预应力空心板和预应力管架梁,预应力管架梁中间位置支撑管架柱脚,顶面设置现浇面层和磨耗层。引桥结构方案汇总见表 1。

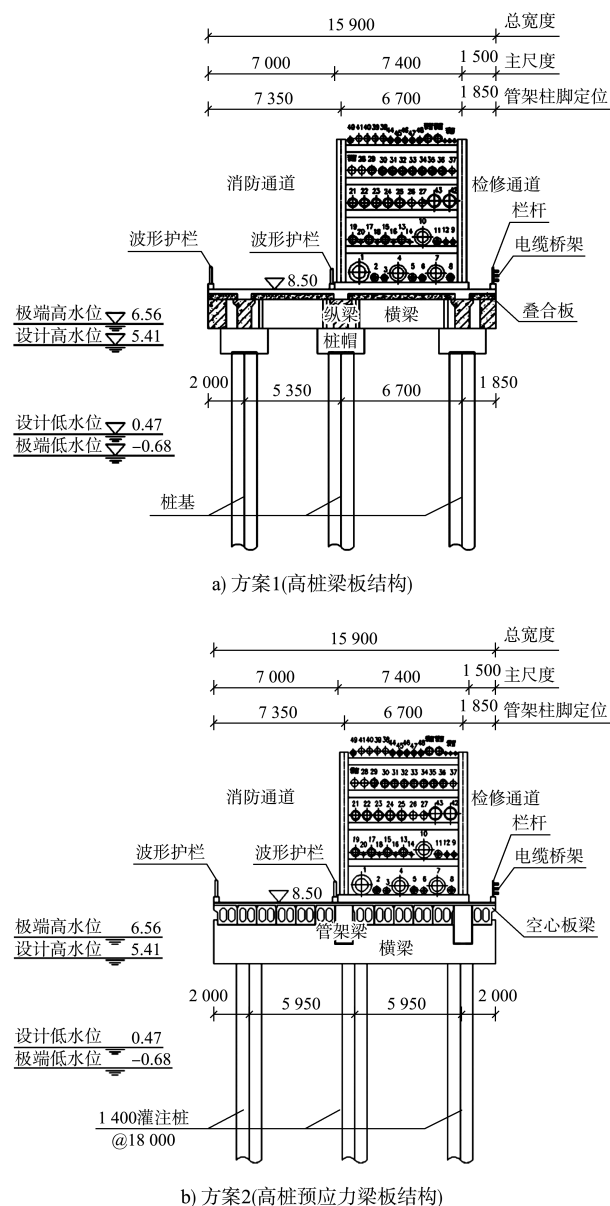


图 3 公共管廊标准断面 (单位: mm)

Fig. 3 Standard cross sections of public pipe gallery (unit: mm)

表 1 引桥结构方案汇总
Tab. 1 Summary of approach trestle structure schemes

分段	结构形式	排架间距/m	桩基	管架方案
AB 段	高桩墩台结构	9	1 400 mm 灌注桩	-
BC 段	方案 1 高桩梁板结构	9	1 400 mm 灌注桩	76 m 结构段
	方案 2 高桩预应力梁板结构	18	1 400 mm 灌注桩	90 m 结构段
CD 段	高桩墩台结构	9	1 400 mm 灌注桩	-
DE 段	高桩梁板结构	9	1 200 mm 大管桩	76 m 结构段
EF 段	高桩墩台结构	9	1 400 mm 灌注桩	-

高桩梁板结构见图 4a), 排架间距 9 m, 结构段长 76 m, 上部管架柱脚生根在节点处。高桩预应力梁板结构立面见图 4b), 标准排架间距 18 m, 结构段长度 90 m, 因固定管架处荷载较大, 下设大横梁, 间距 3 m 布置桩基, 上部管架柱脚生根在横梁和管架梁中点处。

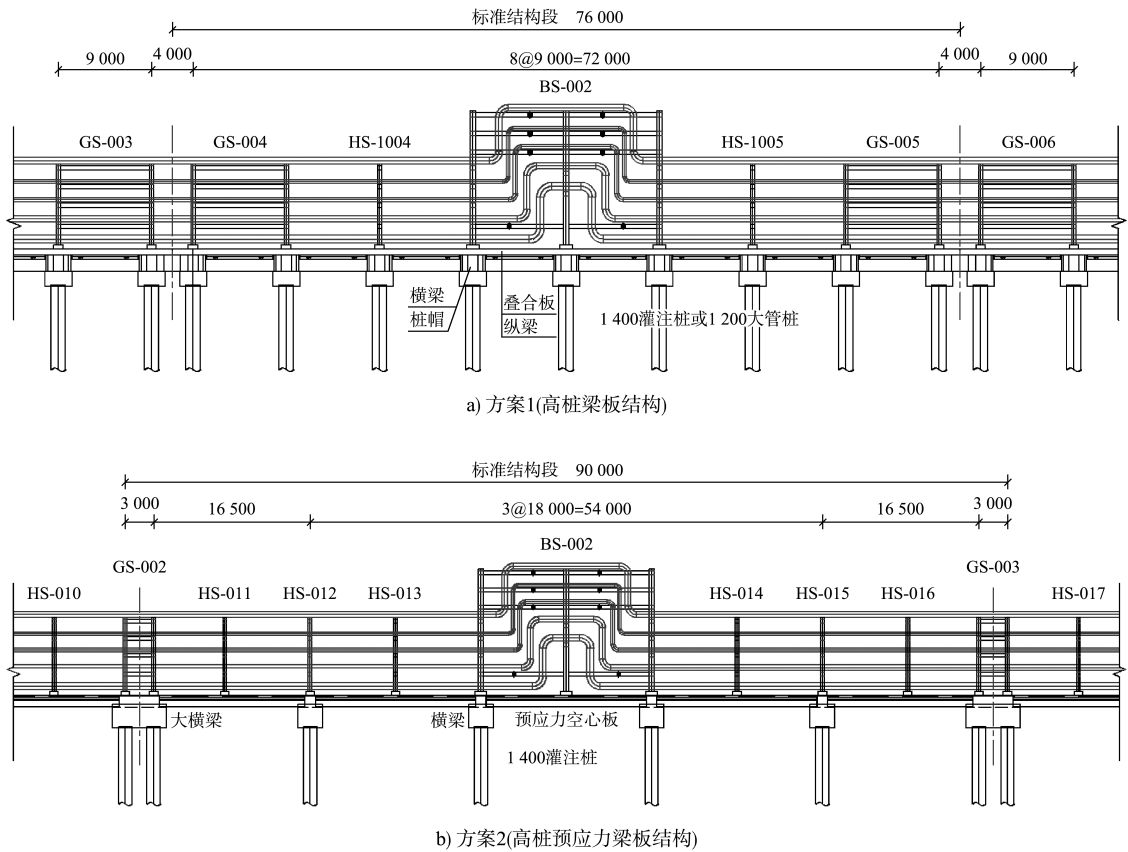


图 4 公共管廊立面 (单位: mm)
Fig. 4 Elevations of public pipe gallery (unit: mm)

2.3 结构建模与计算

采用计算机软件 STAAD 构建引桥结构空间计算模型, 见图 5。软件建模主要分为空间模型建立、荷载输入、作用效应组合、模型检验及计算、输出计算结果 5 个步骤。

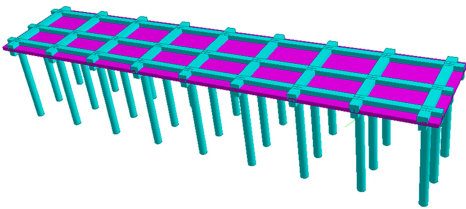


图 5 引桥结构空间计算模型
Fig. 5 Spatial calculation model of approach trestle structure

通过软件的节点、杆件、板、支座、材料属性等命令流构建空间模型。依据相关规范^[9-11]计算波浪力、地震荷载输入模型,并在模型中添加自重、均载、人行荷载、流动机械等荷载。采用计算机软件 PKPM 构建管架结构空间计算模型(图 6),计算管架结构的截面主要尺寸,并将不同工况下

的柱脚荷载输入引桥结构空间计算模型中。针对承载能力极限状态和正常使用极限状态,结合相应的设计状况进行作用效应组合输入,并按照规定选取相应的分项系数,进行模型检验及计算,并输出计算结果。计算不同分段及结构型式下引桥桩基主要内力,见表 2。

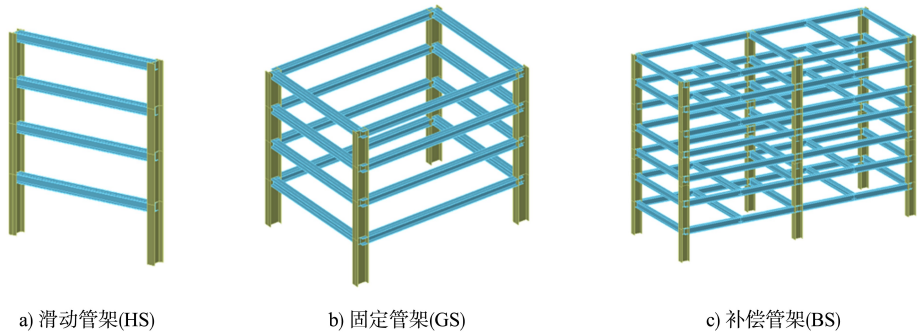


图 6 管架结构空间计算模型

Fig. 6 Spatial calculation model of pipe support structure

表 2 引桥桩基内力计算结果
Tab. 2 Internal force calculation result for approach trestle pile foundation

分段	桩基	最大压 桩力/kN	最大弯矩/ (kN·m)	设计 桩长/m
AB 段	1 400 mm 灌注桩	5 176	1 031	54
CD 段	1 400 mm 灌注桩	6 225	455	56
EF 段	1 400 mm 灌注桩	6 665	1 016	62
BC 段	方案 1 1 400 mm 灌注桩	6 571	292	60
	方案 2 1 400 mm 灌注桩	8 575	1 002	70
DE 段	1 200 mm 大管桩	4 697	986	50

注:桩力均无拔桩力。

3 方案比选及造价分析

3.1 引桥结构方案比选

采用水运工程概预算软件计算引桥结构的工程费用,见表 3。通过工程费用对比,得出以下结论。

1) BC 段方案 1 桩基数量比方案 2 多(排架间距不同),桩基工程费用比方案 2 增加 7 747.82 万元;方案 2 排架间距增大,为适应上部荷载条件,上部采用预应力管架梁和空心板梁,管架梁中间布置一个管架柱脚,致使方案 2 上部结构工程费用比方案 1 增加 5 896.2 万元;综合分析,方案 1 总工程费用比方案 2 增加 1 851.62 万元(增加 2.43%),平均每延米工程费用增加 5 600 元;表明排架间距 18 m 比 9 m 可以降低工程费用,但排架间距增大使上部结构造价增大,排架间距对总工程费用影响不明显。

2) BC 段方案 1 与 DE 段方案上部结构基本相同,工程费用相差不大,但由于桩基形式不同,BC 段方案 1 平均每延米总工程费用比方案 2 增加 10.79 万元,表明大管桩比灌注桩具有较大的造价优势。

表 3 引桥结构工程费用对比
Tab. 3 Comparison of engineering cost for approach trestle structure

分段	总长/ m	桩基		上部结构		总工程	
		延米单价/万元	工程费用/万元	延米单价/万元	工程费用/万元	延米单价/万元	工程费用/万元
BC 段	方案 1 3 344	16.97	56 736.98	6.38	21 336.00	23.35	78 072.98
	方案 2 3 344	14.65	48 989.16	8.14	27 232.20	22.79	76 221.36
DE 段	1 797	6.57	11 824.07	5.97	10 740.95	12.56	22 565.01

从排架间距上分析, 工程 BC 段 9 m 排架间距与上部管架柱脚一一对应, 结构受力明确; 18 m 排架虽然基桩数量少, 工程费用略少, 但 18 m 排架预应力管架梁中间布置一个工艺管架, 导致预制梁断面大, 构件质量大, 并且预应力管架梁对上部管架荷载变化非常敏感。考虑未来管线需求存在一定不确定性, 工程采用方案 1。2024 年 3 月工程主体结构已完成交工验收。

3.2 管架结构对引桥结构造价的影响

选取 DE 段, 在钢结构管架和混凝土管架 2 种管架形式下, 对引桥结构进行设计, 并进行造价分析, 计算公共管廊结构工程费用, 见表 4。因钢结构管架比混凝土管架自重轻, 采用钢结构管架的引桥结构工程费用比混凝土管架减少 270.88 万元(减少 1.3%); 钢结构管架工程费用比混凝土管架增加 1 024.29 万元(增加 32%); 综合分析, 采用混凝土结构管架的公共管廊工程费用比采用钢结构管架减少 753.41 万元(减少 3.12%)。

表 4 DE 段公共管廊结构费用对比
Tab. 4 Comparison of structural costs for public pipe gallery in section DE

管架结构形式	引桥结构工程 费用/万元	管架结构工程 费用/万元	总工程 费用/万元
钢结构	20 646.43	4 240.92	24 887.35
混凝土结构	20 917.31	3 216.63	24 133.94
钢结构-混凝土结构	-270.88	1 024.29	753.41

总体而言, 钢结构管架能降低引桥结构的造价, 但由于钢结构管架本身造价高, 导致采用钢结构管架的公共管廊比采用混凝土结构的造价略高。2 种管架结构对引桥结构造价的影响不明显。

从施工周期、便捷性等方面综合考虑, 钢结构管架具有自重较轻、施工快捷、外形美观、形式灵活、适应性强等优点。在增加投资不大的前提下, 工程采用钢结构管架。

4 结论

1) 连云港某海上油气公共管廊工程排架间距 18 m 比 9 m 可以降低工程费用, 但排架间距增大, 使上部结构造价增大, 排架间距对总工程费用影

响不明显。

2) 对于高桩梁板结构, 大管桩比灌注桩具有较大的造价优势, 设计时可优先考虑大管桩。

3) 该工程钢结构管架比混凝土管架工程费用增加约 32%, 采用混凝土管架的公共管廊总工程费用更低, 但由于混凝土管架增加了引桥结构造价, 使得总工程费用降低不明显。

参考文献:

- [1] 国家发展和改革委员会. 石化产业规划布局方案: 发改产业[2014]2208 号[A]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2014.
National Development and Reform Commission. Petrochemical industry planning and layout scheme: Reform and development industry No. 2208 [2014] [A]. Beijing: National Development and Reform Commission, 2014.
- [2] 靳如刚, 翁纪红. 离岸海岛大型石化基地港口岸线利用[J]. 水运工程, 2021(5): 71-74.
JIN R G, WENG J H. Port shoreline utilization of large petrochemical bases on offshore islands [J]. Port & waterway engineering, 2021(5): 71-74.
- [3] 杨丽婕, 康晖, 王洁静, 等. 石化园区公共管廊项目技术经济分析[J]. 中国招标, 2022(8): 125-127.
YANG L J, KANG H, WANG J J, et al. Technical and economic analysis of public pipe gallery project in petrochemical park [J]. China tendering, 2022 (8): 125-127.
- [4] 杨凯, 芦志强, 刘杰, 等. LNG 码头引桥补偿平台间距与跨度分析[J]. 水运工程, 2014(8): 77-82.
YANG K, LU Z Q, LIU J, et al. Comparative study on span of trestles and compensating platform for large LNG jetty [J]. Port & waterway engineering, 2014(8): 77-82.
- [5] 柯维林, 杨克勤, 陈金木, 等. 大型原油码头引桥选型及跨度研究[J]. 水运工程, 2012(8): 62-66.
KE W L, YANG K Q, CHEN J M, et al. On span and type selection of trestles for large crude oil jetty [J]. Port & waterway engineering, 2012(8): 62-66.
- [6] 胡佳煜. 化工园区公共管廊及其管道设计[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(1): 144-146, 197.
HU J Y. Public pipe rack and pipe design in chemical industry park [J]. Chemical engineering design

- communications, 2023, 49(1): 144-146, 197.
- [7] 邵英. 化工项目厂区外管的设计浅析[J]. 浙江化工, 2017, 48(5): 39-43.
- SHAO Y. Analysis on the design of the external piping in plant area of chemical project [J]. Zhejiang chemical industry, 2017, 48(5): 39-43.
- [8] 庞亮, 李武. 连云港徐圩港区码头及驳岸结构选型[J]. 水利水运工程学报, 2014(2): 60-65.
- PANG L, LI W. Wharf and bulkhead structure selection of Xuwei harbor district in Lianyungang port [J]. Hydro-science and engineering, 2014(2): 60-65.
- [9] 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.
- [10] 港口与航道水文规范: JTS 145—2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- Code of hydrology for harbour and waterway: JTS 145-2015 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2015.
- [11] 水运工程抗震设计规范: JTS 146—2012[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
- Code for seismic design of water transport engineering: JTS 146-2012 [S]. Beijing: China Communications Press, 2012.
- (本文编辑 王传瑜)

~~~~~

(上接第 18 页)

- [13] 黄佳音, 马凯. 环保疏浚土资源化利用途径[J]. 水运工程, 2018(S1): 135-140.
- HUANG J Y, MA K. Resource utilization method of environmentally friendly dredging soil [J]. Port & waterway engineering, 2018(S1): 135-140.
- [14] 付桂, 丁健, 赵德招. 长江口疏浚土综合利用技术试验研究[J]. 水运工程, 2012(7): 8-14.
- FU G, DING J, ZHAO D Z. Experimental study on techniques of comprehensive utilization of dredged material in Yangtze estuary[J]. Port & waterway engineering, 2012(7): 8-14.
- [15] 季岚, 唐臣, 张建锋, 等. 长江口疏浚土在横沙东滩吹填工程中的应用[J]. 水运工程, 2011(7): 163-167.
- JI L, TANG C, ZHANG J F, et al. Application of Yangtze estuary dredged material to Hengsha east shoal reclamation projects [J]. Port & waterway engineering, 2011(7): 163-167.
- [16] 梁远博. 超细地聚合物对河湖疏浚淤泥固化和重金属固结效果的影响[J]. 水运工程, 2024(3): 15-19, 37.
- LIANG Y B. Effect of ultrafine geopolymer on solidification and heavy metal consolidation of dredged silt in rivers and lakes [J]. Port & waterway engineering, 2024(3): 15-19, 37.
- [17] 沈宇, 王瑞彩, 陶桂兰, 等. 矿渣和石灰固化疏浚淤泥效果的室内对比试验[J]. 水运工程, 2022(3): 38-43.
- SHEN Y, WANG R C, TAO G L, et al. Laboratory comparative test of solidification effects of slag and lime on dredged sludge [J]. Port & waterway engineering, 2022(3): 38-43.
- [18] 陈海斌, 郑世华, 钟煌亮. 湖泊疏浚淤泥固化试验研究[J]. 水运工程, 2012(12): 230-233.
- CHEN H B, ZHENG S H, ZHONG H L. Solidification test investigation on lake's dredging sludge [J]. Port & waterway engineering, 2012(12): 230-233.

(本文编辑 王传瑜)

~~~~~

征订通知

2026 年《水运工程》杂志征订工作已经开始, 请登录《水运工程》杂志官方网站 www.sygcc.com.cn 首页下载中心下载“2026 年《水运工程》征订通知单”, 有关要求和反馈信息一应俱全。

《水运工程》编辑部