

文章编号: 1674—8247(2024)06—0122—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.06.020

马鞍山长江公铁大桥栈桥结构设计及结构特性研究

温希华

(中国铁路上海局集团有限公司, 上海 200000)

摘 要:本文以马鞍山长江公铁大桥施工栈桥为案例,对施工栈桥设计要点及结构特性进行研究分析,得到以下研究成果:栈桥结构创新设计了可拆卸式桩头,方便了钢管桩的安装以及重复利用;桥台采用钢管桩+挡板结构形式,既充分利用杆管桩横向抗弯能力,还有效节省挡土墙结构材料;通过建立有限元计算模型,分析栈桥在各种横向、竖向荷载作用下的受力及变形情况,计算结果满足要求。研究结果对类似河床高程变化大、强冲刷条件下的栈桥设计具有一定的推广和借鉴意义。

关键词:施工栈桥;可拆卸式桩头;有限元计算模型;栈桥设计

中图分类号:U44

文献标志码:A

Study on the Design and Structural Characteristics of the Trestle Structure for the Ma'anshan Yangtze River Highway-Railway Bridge

WEN Xihua

(China Railway Shanghai Bureau Group Co., Ltd., Shanghai 200000, China)

Abstract: Taking the construction trestle of Ma'anshan Yangtze River Highway and Railway Bridge as a case study, this paper analyzed the design points and structural characteristics of the construction trestle. The trestle structure innovatively designs a detachable pile head, which facilitates the installation of steel pipe piles and the reuse of steel pipe piles. The abutment adopts a steel pipe pile + baffle structure, which not only fully utilizes the lateral bending resistance of the steel pipe piles, but also effectively saves the structural materials of the retaining wall. A finite element calculation model was established to analyze the stress and deformation of the trestle under various lateral and vertical loads, and the calculation results met the requirements. The research findings have certain promotional and referential significance for the design of trestles under similar conditions of large variations in riverbed elevation and strong scour.

Key words: construction trestle; detachable pile head; finite element calculation model; trestle design

随着我国经济的飞速发展,基础设施建设取得了长足的进步,桥梁工程建设尤其是基础设施建设跨越式发展的典范。在跨江、跨海的大型桥梁建设过程中,施工栈桥作为关键通道不可或缺。栈桥受力情况较为复杂,在竖向需承受各种大型机械走行作业,而其横向受水流力、风荷载等影响较为明显^[1-5]。因此,大型栈

桥结构与施工是建设水上桥梁的重难点。

马鞍山长江公铁大桥施工栈桥具有河床高程变化大、强冲刷等特点,结构受力复杂、施工难度大。参考类似工程经验^[6-8],拟采用钢管桩+贝雷梁结构形式。为确保栈桥施工和使用过程中的安全性以及稳定性,对该施工栈桥受力情况进行计算分析。

收稿日期:2024-08-13

作者简介:温希华(1981-),男,高级工程师。

引文格式:温希华. 马鞍山长江公铁大桥栈桥结构设计及结构特性研究[J]. 高速铁路技术,2024,15(6):122-126.

WEN Xihua. Study on the Design and Structural Characteristics of the Trestle Structure for the Ma'anshan Yangtze River Highway-Railway Bridge[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(6):122-126.

1 工程概况

马鞍山长江公铁大桥位于常合高速马鞍山长江公路大桥上游约 2.3 km 处跨越长江,跨江段采用巢马铁路+预留铁路+城市快速路多通道合建的桥梁方案^[9],总长 9.799 km。主航道桥为三塔钢桁梁斜拉桥,跨度布置为(112+392+2×1 120+392+112) m,大桥立面布置如图 1 所示。

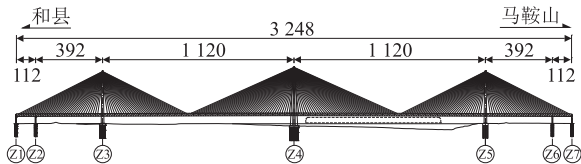


图1 马鞍山长江公铁大桥主航道桥立面布置图(m)

马鞍山长江公铁大桥是巢马铁路控制性工程,桥址处于地基下卧层土质较差的长江冲积、湖积平原区,船舶机械无法直接在 Z3 号墩位处作业。为提高水上作业工效,提出 Z3~Z4 号主墩基础采用长栈桥连接钻孔平台施工方案,栈桥设置由和县侧大堤至施工码头处,大堤侧栈桥端部与施工便道连接,将水上施工转化为栈桥及平台施工。运输机械、履带吊机等通过长栈桥到达墩位处进行作业,施工栈桥全长 1 361 m。

2 栈桥设计难点

- (1) 栈桥处河床高程变化大,其中 Z3 号主墩位于滩地,滩地高程为 +1.23 ~ +5.98 m,枯水期大部分滩地露出水面;Z4 号主墩位于江中心位置,河床高程为 +1.44 ~ -7.10 m,施工期间最高水位 +9.27 m。
- (2) 栈桥处水流急,洪水期最大流速达 2.0 m/s,流速容易引起较大冲刷,对栈桥桩基础稳定性产生不利影响。
- (3) 栈桥端部设置于既有江堤,河道部门对于江

堤保护要求高,栈桥桥台无法按照常规混凝土护坡处理。

3 栈桥设计原则

栈桥使用年限 5 年。栈桥考虑双向车道通行,需满足公路 I 级、混凝土罐车通行荷载,100 t 履带吊走行及作业荷载,170 t 旋挖钻机走行荷载。风力 ≥ 7 级风时栈桥为非工作状态,栈桥禁止施工及吊装作业。对于临时结构可采用容许应力法进行计算^[10],采用的材料类型及容许应力如表 1、表 2 所示。

表 1 材料基本容许应力表(MPa)

材料种类	弯曲应力	剪应力
Q235B	170	100

表 2 贝雷梁容许内力表

杆件名	材料	断面	理论容许内力值/kN
弦杆	16Mn	2[10	560
竖杆	16Mn	I8	210
加强竖杆	Q235B	2[10	417
斜杆	16Mn	I8	170

4 栈桥设计荷载及工况组合

根据实际使用情况,桥面板处涉及主要荷载:(1) 结构自重;(2) 公路 I 级荷载,车辆限速 10 km/h,不计冲击作用;(3) 100 t 履带吊机,自重加配重共 133 t,最大吊重 ≤ 20 t;(4) TR550 旋挖钻机走行荷载,自重 170 t(不含钻杆);(5) 水流力,工作状态 1.5 m/s 流速,非工作状态 2.0 m/s 流速;(6) 风载:栈桥工作状态下风载按 6 级风计算,相应风速为 13.8 m/s,非工作状态下风荷载按 8 级风计算,相应风速为 20.7 m/s;根据栈桥结构使用过程中的受力状态,结构设计共分 2 个工况计算,如表 3 所示。

表 3 栈桥结构各状态下的计算工况表

设计状态	工况	荷载组合		
		恒载	基本可变荷载	其他可变载
公路 I 级组合	工况一	结构自重	公路 I 级	工作状态下的水流力、风力
履带吊组合	工况二	结构自重	100 t 履带吊机通行、作业	工作状态下的水流力、风力
TR550 旋挖钻机组	工况三	结构自重	TR550 旋挖钻机	工作状态下的水流力、风力
非工作状态	工况四	结构自重	-	非工作状态下的水流力、风力

5 栈桥结构设计

5.1 栈桥总体设计

栈桥全长 1 361 m,采用钢管桩+贝雷梁结构,根据水位以及栈桥结构形式,分为 A、B、C、D、E 共 5 段设置,桥跨布置为:(7×15) m+0.2 m+(6×15+3×

12) m+0.2 m+(4×12+8×15) m+0.2 m+(8×15) m+0.2 m+(8×15) m+0.2 m+(8×15) m+0.2 m+(8×15) m+0.2 m+(8×15) m+0.2 m+(3×15+12+2×15+12+6) m,共 11 联,在联间交界处设置制动墩及 0.2 m 伸缩缝。其中 A~D 段栈桥直线段中心

线距主桥中心线 27.5 m,E 段栈桥直线段中心线距主桥中心线 67.5 m,栈桥顶面高程为 +12 m,栈桥桥面净宽为 8 m,栈桥总体及断面布置如图 2、图 3 所示。

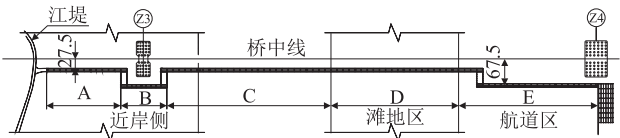


图2 栈桥总平面布置图(m)

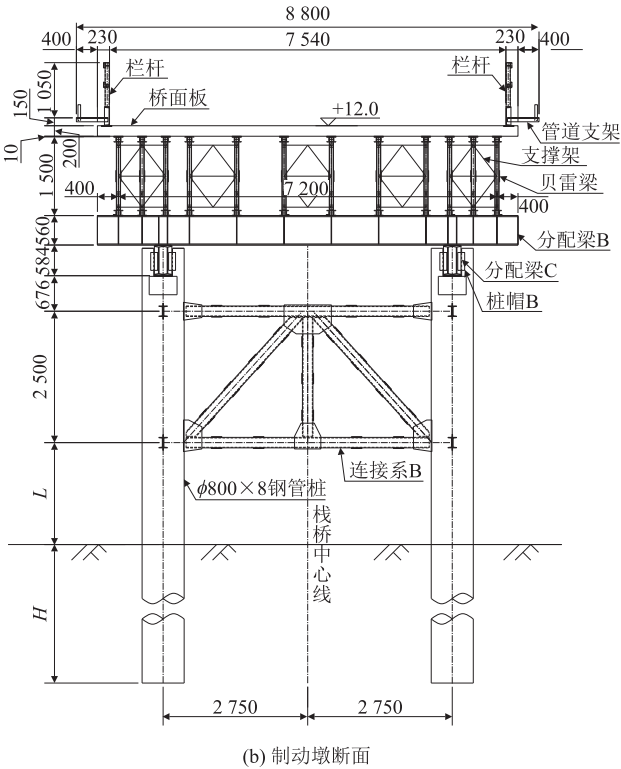
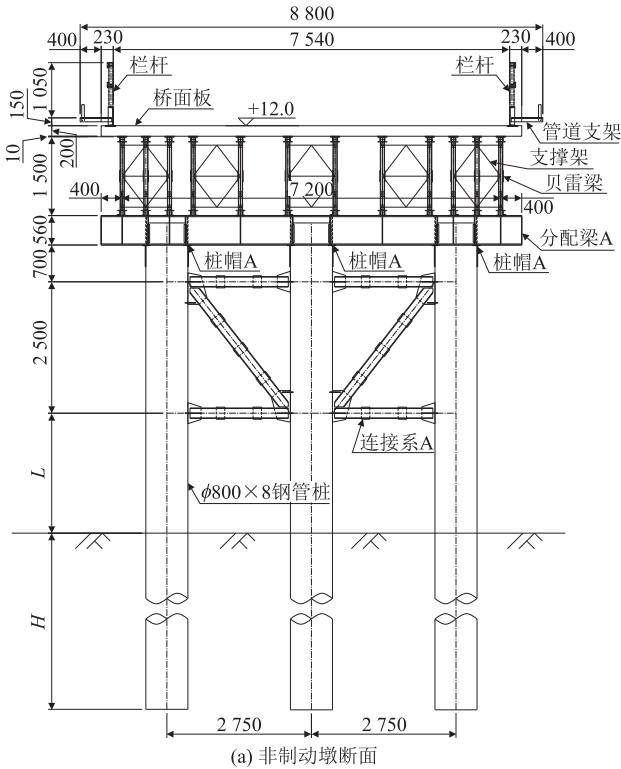


图3 栈桥断面布置示意图(mm)

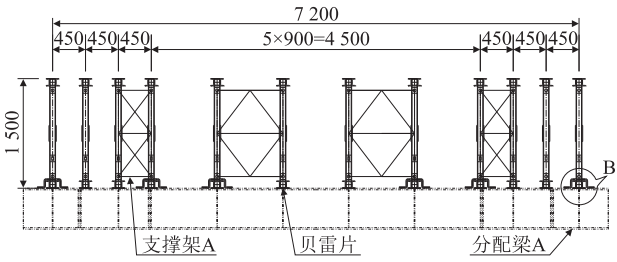


图4 贝雷梁横向布置示意图(mm)

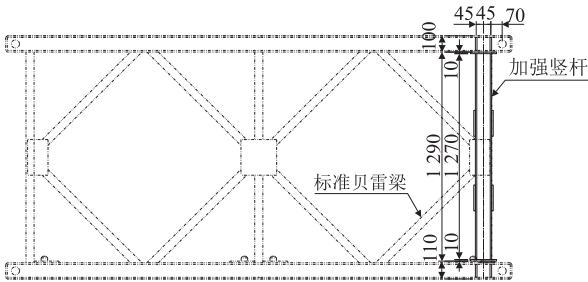


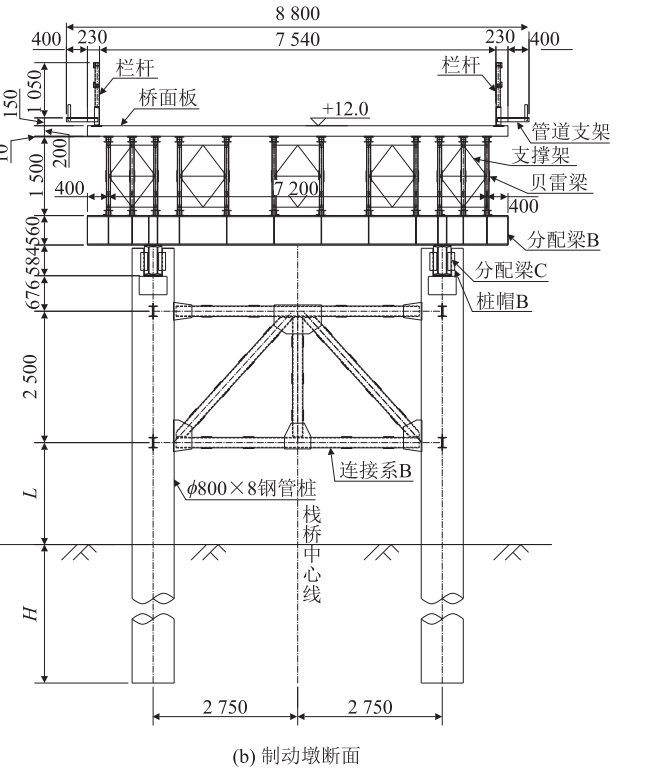
图5 竖杆加强型贝雷梁示意图(mm)

5.3 桩头设计

桩头主要用于将贝雷梁传递给分配梁的荷载传递给钢管桩,因此需确保足够的强度及稳定性^[11],同时钢管桩属于施工高周转构件,为提高施工便利性,栈桥采用槽口式桩头,将分配梁直接沿槽口嵌入钢管桩,钢管桩桩头如图 6 所示。

5.2 贝雷梁支架设计

贝雷梁横向布置 8 榀贝雷梁,其中履带吊及旋挖钻走行轮压处横向间距 450 mm,其他位置横向间距 900 mm,各横向贝雷片支架通过支撑架连成整体,其上设置混凝土桥面板,通过限位与面板连接。计算中考虑到此栈桥通行荷载大于常规栈桥(旋挖钻通行荷载 170 t),为保证栈桥结构安全,在桩顶位置对贝雷梁竖杆进行补强。贝雷梁布置如图 4、图 5 所示。



由图 6 可知,采用槽口式桩头结构,N1 和 N3 将分配梁竖向重量均匀分配给钢管桩,N2 板与分配梁加劲板共同实现分配梁横向和纵向限位。与常用的井字桩头相比,槽口式桩头与分配梁的连接可以实现快捷安拆,在保证结构稳定的同时减少现场焊接桩头的工作量。

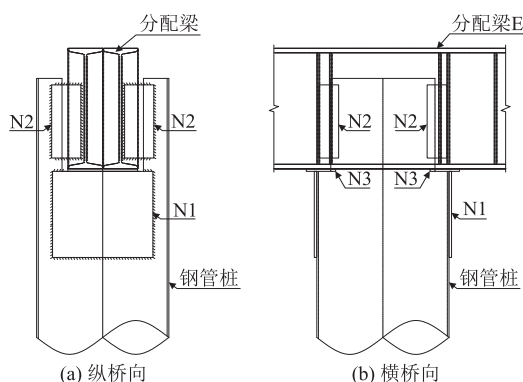


图6 桩头结构纵/横桥向立面图

5.4 桥台设计

栈桥桥台通常采用混凝土护坡锥或者挡土墙结构,该结构形式复杂,施工难度较大,且对于临时结构面临拆除困难的问题^[12]。本文创新采用钢管桩+挡土板组合形式桥台,栈桥桥台结构如图7所示。

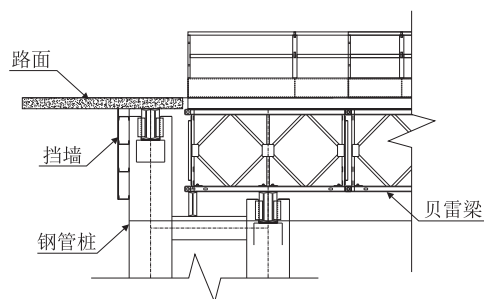


图7 桥台结构示意图

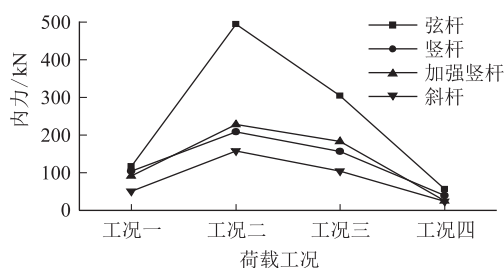
由图7可知,钢管桩后钢结构挡墙板对台后土压力由限位提供,钢管桩作为主要受力结构同时承受栈桥上部结构荷载及台后土压力,端头处钢管桩为双排制动墩,同时承受栈桥上部结构荷载及台后土压力。

5.5 栈桥结构计算分析

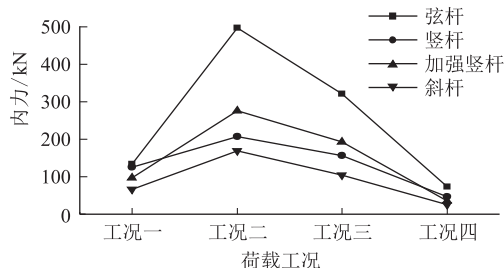
采用Midas Civil软件建立有限元模型,钢管桩、分配梁和贝雷梁及连接系采用梁单元模拟,混凝土桥面板采用板单元,钢管桩所在位置河床以下主要为粉砂层,由于河床冲刷较大,考虑冲刷4.5 m,根部为固结,计算嵌固点距泥面的高度为4.5 m,因此固结点取河床面以下9 m(含冲刷深度4.5 m)。

分别选取12 m跨以及15 m跨结构进行计算分析,各构件最大内力值如图8所示,分配梁及钢管桩应力如图9所示。

由图8可知,贝雷梁弦杆最大内力值 $498\text{ kN} \leq 560\text{ kN}$,竖杆最大内力值 $208\text{ kN} \leq 210\text{ kN}$,加强竖杆最大内力值 $277\text{ kN} \leq 417\text{ kN}$,斜杆最大内力值 $169\text{ kN} \leq 170\text{ kN}$,均出现在工况二。贝雷梁各构件在各工况下的内力值均低于容许内力,贝雷梁受力满足

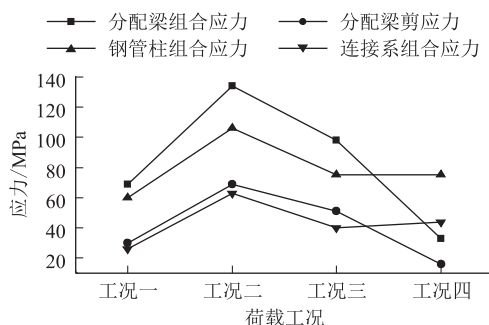


(a) 12 m跨栈桥

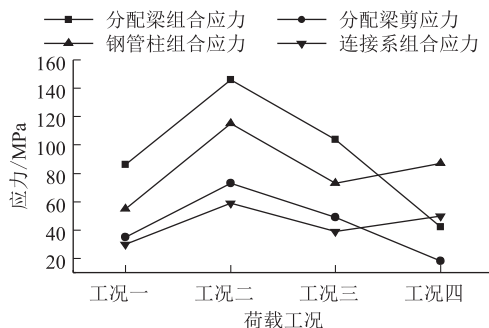


(b) 15 m跨栈桥

图8 贝雷梁轴力图



(a) 12 m跨栈桥



(b) 15 m跨栈桥

图9 分配梁及钢管桩应力图

要求。

15 m跨栈桥贝雷梁各工况作用下受力变化相近,工况一和工况四荷载作用下,各构件内力值较小,工况二和工况三荷载作用下内力较大。履带吊及旋挖钻机均具有大荷载,公路Ⅰ级荷载次之,非工作状态竖向荷载仅包含自重。结果表明,贝雷梁各杆件内力值受竖向荷载影响明显。

由图9可知,两类栈桥分配梁、钢管桩及连接系

各工况作用下的应力变化不同,分配梁应力变化规律与贝雷梁内力变化相近。以15 m跨栈桥为例,组合应力最大值146 MPa \leq 170 MPa,剪应力最大值73 MPa \leq 100 MPa,满足要求。分配梁应力变化与各工况主要竖向荷载变化相似。

12 m跨和15 m跨栈桥钢管柱及连接系应力变化与其余构件荷载变化不同。以15 m跨栈桥为例,钢管柱、连接系最大组合应力均出现在工况二,组合应力最大值115 MPa \leq 170 MPa、剪应力最大值59 MPa \leq 100 MPa,满足要求。比较两类栈桥工况四与工况三钢管柱和连接系应力可知,当竖向力减小,横向力增加时,钢管柱应力增加,表明横向力对钢管柱及连接系影响较大,结构设计时不可忽略水流量,风荷载的作用,以确保结构的可靠性和安全性^[13-14]。

6 结论

马鞍山长江公铁大桥主航道桥为三塔钢桁梁斜拉桥,跨度布置为(112+392+2×1 120+392+112)m,为便于江中机械运输作业,结合上部施工荷载、桥位处水深、桥跨度以及河床冲刷情况进行综合分析,对大型施工栈桥进行设计。其中栈桥结构创新设计了槽口式桩头,方便了钢管桩的安装以及重复利用,桥台采用钢管桩+挡板结构形式,既充分利用了钢管桩横向抗弯能力,还有效节省挡土墙结构材料。经有限元仿真计算,栈桥在各类机械荷载以及水流量、风荷载等作用下受力及变形均满足要求;通过钓鱼法施工栈桥,解决了深水栈桥施工难题。马鞍山长江公铁大桥栈桥为河床高程变化大及强冲刷条件下的栈桥设计和修建做出了一些探索,具有一定的推广和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 张跃君,何柯,牟晓成,等.蓄洪区钢栈桥设计与施工[J].建筑技术,2020,51(10):1270-1273.
ZHANG Yuejun, HE Ke, MOU Xiaocheng, et al. Design and Construction of Steel Trestle Bridge in Flood Storage Area[J]. Architecture Technology, 2020, 51(10): 1270-1273.
- [2] 陈良江,阎武通.我国铁路桥梁建造技术的成就与展望[J].高速铁路技术,2022,13(4):1-7.
CHEN Liangjiang, YAN Wutong. Achievements and Prospects of Railway Bridge Construction Technology in China[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(4): 1-7.
- [3] 张振兴.艰险峡谷山区高墩桥梁混凝土运输方法研究[J].高速铁路技术,2016,7(3):49-53.
ZHANG Zhenxing. Research on Concrete Transportation for the High-pier Bridge in Difficult Canyon Mountainous Areas[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(3): 49-53.
- [4] 王东辉,张立超.平潭海峡公铁两用大桥栈桥设计[J].桥梁建设,2015,45(4):1-6.
WANG Donghui, ZHANG Lichao. Design of Trestle of Pingtan Straits Rail-Cum-Road Bridge[J]. Bridge Construction, 2015, 45(4): 1-6.
- [5] 程灿,熊明祥,李昌元,等.某特大桥钢栈桥设计和架设施工要点[J].价值工程,2017,36(22):115-116.
CHENG Can, XIONG Mingxiang, LI Changyuan, et al. Main Points of Design and Erection of a Special Bridge Steel Trestle[J]. Value Engineering, 2017, 36(22): 115-116.
- [6] 林冲,崔立龙.某高桩梁板式码头平台改造的施工技术[J].中国水运(下半月),2018,18(7):138-139.
LIN Chong, CUI Lilong. Construction Technology for the Renovation of a Platform with High-piled Beam-and-slab Wharf[J]. China Water Transport, 2018, 18(7): 138-139.
- [7] 阮泽莲.高桩码头钻孔钢平台强度及稳定性计算[J].公路交通技术,2017,33(3):52-54.
RUAN Zelian. Strength and Stability Calculation of Drilled Steel Platform for High-piled Wharf[J]. Technology of Highway and Transport, 2017, 33(3): 52-54.
- [8] 乔博.贝雷桁架及钢管桩组合在施工钢栈桥中的运用[J].价值工程,2018,37(17):147-150.
QIAO Bo. Application of Berray Truss and Steel Pipe Pile Combination in Construction Steel Trestle[J]. Value Engineering, 2018, 37(17): 147-150.
- [9] 徐京海,潘博.马鞍山公铁两用长江大桥Z3号墩承台施工关键技术[J].世界桥梁,2022,50(3):39-44.
XU Jinghai, PAN Bo. Key Construction Techniques for Pile Cap of Pier Z3 of Maanshan Changjiang River Rail-cum-road Bridge[J]. World Bridges, 2022, 50(3): 39-44.
- [10] 王东辉,胡雄伟.平潭海峡公铁两用大桥深水区栈桥下部结构设计[J].铁道标准设计,2015,59(10):76-80.
WANG Donghui, HU Xiongwei. Substructure Design of Deepwater Trestle Bridge of Pingtan Strait Highway-Rail Bridge[J]. Railway Standard Design, 2015, 59(10): 76-80.
- [11] 代红伟,郑尚敏,程海根.变跨变幅钢栈桥结构设计及受力性能分析[J].华东交通大学学报,2024,41(4):45-53.
DAI Hongwei, ZHENG Shangmin, CHENG Haigen. Analysis of Structural Design and Mechanical Performance in Steel Trestle with Variable Amplitude and Span[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2024, 41(4): 45-53.
- [12] 李学民,伍军,付香才.杭州湾跨海大桥南岸超长栈桥设计[J].铁道标准设计,2004,48(10):1-4.
LI Xuemin, WU Jun, FU Xiangcai. Design of Super Long Trestle Bridge for Hangzhou Bay Sea Bridge[J]. Railway Standard Design, 2004, 48(10): 1-4.
- [13] 王东辉,张立超.平潭海峡公铁两用大桥栈桥设计[J].桥梁建设,2015,45(4):1-6.
WANG Donghui, ZHANG Lichao. Design of Trestle of Pingtan Straits Rail-cum-road Bridge[J]. Bridge Construction, 2015, 45(4): 1-6.
- [14] 罗天洋,潘艳颜,高树清,等.新型钢管式栈桥结构的设计方法与施工工艺[J].钢结构,2016,31(8):71-74,104.
LUO Tianyang, PAN Yanyan, GAO Shuqing, et al. Design Method and Construction Technology of a New Steel Pipe Trestle Structure[J]. Steel Construction, 2016, 31(8): 71-74, 104.