



矿石码头钢便桥稳定性研究

王正喜¹, 马家骏², 李 猛¹, 刘俊伟², 李成川¹

(1. 青岛港建设管理中心有限公司, 山东 青岛 266500; 2. 青岛理工大学 土木工程学院, 山东 青岛 266520)

摘要: 钢便桥作为码头施工中的临时桥梁, 起着交通通道跟承载施工器械作用, 能够迅速解决施工中的交通及施工问题。文章依托青岛港某矿石码头工程, 通过对钢便桥在设计、施工以及运维期间采取一系列措施, 并安装检测仪器监测钢便桥倾斜及沉降, 对钢便桥进行自动化监测, 用以研究钢便桥在施工过程中的稳定性。研究表明: 1) 钢便桥桩选取上采用更大直径与壁厚的钢管桩, 选取更可靠构件连接方式, 更高要求的钢管桩打设条件, 并加强日常维护。这些措施行之有效, 为延长便桥的使用寿命提供了有力保障。2) 通过自动化监测手段, 安装静力水准仪及智能倾角传感器, 对沉降及倾斜数据进行分析, 发现施工过程中钢便桥形变控制在设计范围内, 经施工现场反馈, 极大保障了钢便桥防护安全施工并提高经济效益。

关键词: 钢便桥; 稳定性措施; 沉降; 倾斜

中图分类号: U652.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)06-0054-06

doi:10.13402/j.gcjs.2025.06.075

Stability study of steel temporary bridge at ore wharf

WANG Zhengxi¹, MA Jiajun², LI Meng¹, LIU Junwei², LI Chengchuan¹

(1. Qingdao Port Construction Management Center Co., Ltd., Qingdao 266500, Shandong, China;

2. School of Civil Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, Shandong, China)

Abstract: The steel temporary bridge provides a convenient traffic channel for the construction of the wharf, which can quickly solve the traffic and construction problems in the construction. Relying on an ore wharf project in Qingdao Port, the tilt and settlement of the steel temporary bridge are monitored by installing testing instruments, and the data is accurately uploaded to the supervision platform through intelligent collection equipment to realize the automatic monitoring of the steel temporary bridge. The settlement and inclination data are analyzed, and it is found that the deformation of the steel temporary bridge is controlled within the design range during the construction process, and the feedback from the construction site greatly ensured the safe construction of the steel temporary bridge and improved the economic benefits, and ensured the safety control in the construction and operation process.

Key words: steel temporary bridge; stability measures; sedimentation; incline

港口是经济发展的重要支柱和全球互联互通的枢纽节点。码头作为港口工程重要的组成部分, 是连接铁路、公路、航空和管道等多种运输方式的重要枢纽, 对促进国际贸易和地区经济社会发

展具有重要作用^[1-2]。

码头施工过程中常需跨越水域, 而钢便桥作为一种快速搭建的临时桥梁, 可解决施工中的交通问题, 为码头施工提供了便捷的交通通道^[3-4]。

收稿日期: 2025-06-13

基金项目: 泰山学者工程专项经费资助项目(tsqn202211176)

作者简介: 王正喜(1972—), 男, 高级经济师, 从事港口工程方面的管理。

通信作者: 刘俊伟(1983—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事滨海岩土防灾减灾方面的研究。

它不仅能够承载施工所需的机械设备、材料和人员,还具有一定的安全保障作用^[5]。钢便桥服役期间,可承受一定的风力和海水冲击,保证作业人员和机械设备的安全。为此,钢便桥的设计需要充分考虑其结构稳定性和安全性,使其能够在恶劣的海洋环境中保持良好的使用性能^[6]。陈舜杰等^[7]采用 Midas 有限元软件研究了上承式和下承式两种型式贝雷片钢便桥,论证了钢便桥布置型式对其稳定性的影响,为贝雷片钢便桥设计和施工提供借鉴;黄文等^[8]结合工程实例对贝雷梁桥梁静动载试验,提出限载限行,加强结构的建议;时党勇等^[9]运用有限元软件 ANSYS 研究了装配式钢桥受力情况和承载力,发现运用偏心受压法利用影响线进行计算比有限元法要方便高效,可采用偏心受压法来计算钢便桥主桁架的内力;孙洪岩^[10]研究了钢便桥受力性能,进行了数值模拟,对影响钢便桥受力性能的横梁间距 D 、横梁间剪刀撑设置方式、横梁跨径 L 进行单因素敏感性分析。

目前在钢便桥稳定性研究方面,多数学者主要采用有限元软件进行研究分析,然而对实际工程中钢便桥使用状况的现场研究较为欠缺。在前人研究的基础上,本文通过安装传感器,对钢便桥在服役期间的变形及沉降进行动态实时监测,从而保障工程项目能够安全顺利地运行。

1 工程概况

青岛港某矿石码头工程,其灌注桩及钢管桩施工区域示意如图 1 所示。该工程与既有引桥相邻,本工程拟建施工钢便桥一座(图 2),作为引桥设备、材料运输及施工作业通道。根据当地的潮位水文资料可知,潮汐特征比值为 0.35,该海区属于规则半日潮类型,其具体数据:年最高高潮位为 5.19 m;年最低低潮位为 -0.15 m;平均高潮位为 4.27 m;平均低潮位为 1.46 m;年最大潮差为 4.79 m;年平均潮差为 2.94 m;年平均海平面为 2.75 m。本场地地下水类型主要为承压水,主要赋存于②₂ 粉土、③₂ 粉土、粉砂夹层及基岩裂隙中,①₁ 淤泥质粉质黏土、②₁ 粉质黏土、③₁ 粉质黏土及③₄ 粉质黏土为相对隔水层,地下水侧向

径流、越流为其主要补给与排泄方式。根据地质钻探资料,采用中粗砂层和全风化岩层作为持力层。



图 1 施工区域示意图



图 2 钢便桥施工现场示意

钢便桥由桥台、钢管桩、主横梁、主纵梁、桥面和附属设施组成,主要用于施工人员、车辆、材料的通行。该桥结构设计标准:

- (1) 设计车辆荷载:110 t;汽车通行荷载 80 t、履带吊工作荷载(80+20)t 吊重。
- (2) 设计行车速度为 10 km/h。
- (3) 设计使用年限为 12 个月。
- (4) 桥面净宽度为 6.6 m,桥长度为 453 m,桥面标高为 13.4~8.4 m(85 高程系)。
- (5) 振动锤采用 DZ120。

2 钢便桥设计、施工及运维稳定性措施

2.1 钢便桥结构设计稳定性措施

2.1.1 钢管桩

钢便桥整体剖面示意如图 3、4 所示,基础采用钢管桩,为增强钢便桥的稳定性,每墩采用两根 $\varnothing 820$ mm、壁厚为 10 mm 的钢管桩。相较于一般码头施工所采用的 $\varnothing 630$ mm、壁厚为 8 mm 的钢管桩^[3],更大的直径与壁厚的钢管桩大幅提升了钢便桥的稳定性。G1~G12 桩底标高为 -24.72 m;G13~G60 桩底标高为 -26.82 m。考虑到钢管桩长细比较大,为增强体系刚度,桩顶之间采用焊接支撑连接(2×[18 a 型槽钢)。所有钢管桩内灌满砂,提高其抵御海浪冲击的稳定性。

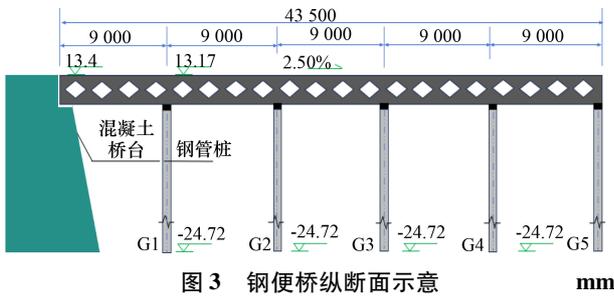


图 3 钢便桥纵断面示意 mm

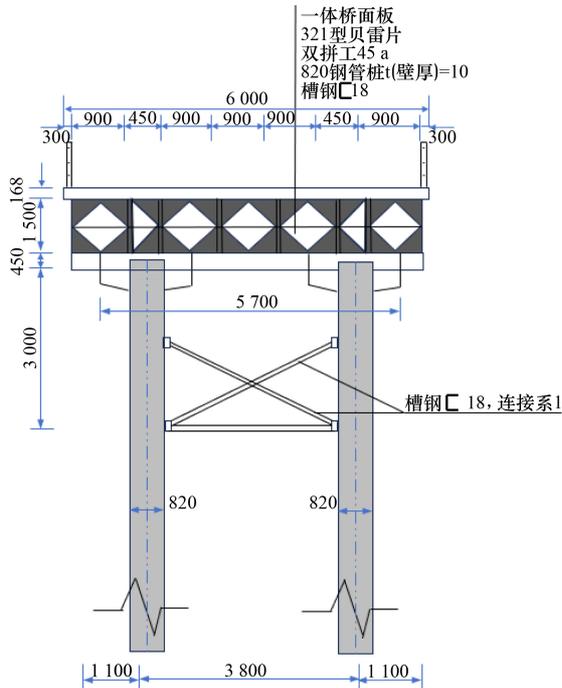


图 4 钢便桥横断面示意 mm

2.1.2 钢便桥主梁

主横梁设计上采用双拼 $2 \times I45$ 工字型钢, 长度为 5.7 m。为保障钢便桥的稳定性, 主横梁与钢管桩之间采用角钢限位焊接, 将主横梁放在钢管上, 并与三角钢焊接连接。主纵梁采用 321 型贝雷架 ($3 \text{ m} \times 1.4 \text{ m} \times 0.176 \text{ m}$), 钢便桥宽度方向铺设 8 榀贝雷架。贝雷片纵向用贝雷销连接, 横向用连接片联结以保证其整体稳定性, 贝雷片梁头与 145 a 工字钢下横梁间用型钢焊接限位挡并固定 (图 5), 贝雷片梁中用 U 型铁件与面板连接以防滑动^[11]。



图 5 工字钢与贝雷梁连接方式

2.2 钢便桥施工稳定性措施

钢便桥施工采用 80 t 履带吊, 钢管桩施工采用锤击沉桩, 振动锤型号为 DZ120 型。沉桩开始时, 桩轴依靠桩的重力作用始终处于垂直状态, 进入水中之后依据自重切入土中一定深度, 随后振动下沉。沉桩过程中, 如发现桩轴倾斜度超过控制范围或桩位偏差较大, 会立即将桩拔起, 重新锤击, 桩终止锤击的控制标准为最后 10 击的平均每击贯入量不超过 2~4 mm, 且总锤击数达到 3 500 击。传统的钢管桩打设由振动锤的最终贯入度控制, 最后一分钟振动锤连续振动, 若钢管桩的贯入度不大于 5 mm, 即可满足荷载要求, 或者根据振动锤的电流在 180~230 mA 及最后终打 10 min 的贯入度在 1 cm 内的标准来确定^[12-13]。项目钢便桥沉桩终止条件对最后贯入量的要求更高, 可以更好地保证钢便桥基础的安全性, 提高钢便桥的稳定性。

为了延长临时桥梁的服役寿命, 定期的维护保养是必不可少的。以下是一些关键的维护措施, 这些措施对于确保桥梁的使用安全和结构稳定至关重要^[14]。

(1) 施工阶段的监控。对桥梁的钢管桩进行定期的标高监测, 以评估其沉降状况。若监测到沉降超出设定的阈值, 施工应立即暂停, 并采取有效措施, 例如在贝雷梁下增设垫板以调整高度, 同时确保这些垫板与桁架及桩端横梁的连接牢固。

(2) 防冲刷措施。定期对桥梁钢管桩的冲刷状况进行观察, 对于冲刷较严重的区域, 应采取抛填砂袋或片石等防护措施, 以防止基础进一步侵蚀。

(3) 结构连接点的检查。对贝雷桁架的纵梁连接点进行定期检查, 确保销钉和定位销无松动或脱落, 以此维护结构的完整性。

(4) 螺栓连接的紧固性检查。定期检查桥梁的螺栓连接状况, 对于发现的松动或脱落的螺栓、螺帽, 需及时进行紧固或更换, 以确保连接的可靠性。

(5) 照明与警示设施的维护。定期检查桥梁上的警示灯和照明线路, 确保其功能完好。对于任何损坏的部件, 应及时进行修复或更换, 以保障夜间行车的安全。

(6) 桥面板的维护。对于桥面板出现的翘曲或损坏, 应及时进行修复或更换, 以保持桥面的平整和行车的舒适性。

(7) 极端天气的应对措施。在遭遇台风、龙卷风、洪水、大潮、大等极端天气时, 应优先确保水上作业设备和人员的安全撤离, 并及时关闭桥梁, 禁止一切交通通行。只有在天气警报解除后, 才能重新开放桥梁使用。

通过实施这些细致的维护措施, 可以有效地延长临时桥梁的使用寿命, 并确保其在使用期间的安全性和稳定性。

2.3 钢便桥运维稳定性措施

为保障钢便桥运维期间的安全及稳定性, 安装静力水准仪及智能倾角传感器, 实时监测钢便桥的沉降及倾斜, 钢便桥倾斜测量方法, 使用 WH-IMG 智能倾角传感器进行观测, 仪器单台精度 $< 0.05\% FS$, 分辨率为 0.01 mm 。钢便桥沉降采用水准测量方法, 使用 WH-HSL-V3.0 静力水准仪进行观测, 仪器单台精度 $0.1\% FS$, 分辨率为 0.001 mm 。钢便桥传感器安装位置示意如图 6 所示, 通过数据线连接到智能采集仪, 实现对钢便桥变形数据实时采集, 传感器安装示意如图 7 所示。采集钢便桥在码头施工过程中沉降及倾斜的数据变化, 与预警值进行对比分析, 若达到预警值, 需采取措施予以处理, 保证钢便桥的施工及运维安全。

钢便桥安装传感器实时监测变形是保障钢便桥墩台稳定, 判断钢便桥安全施工、正常使用的

一种重要措施, 同时可为施工中潜在的工程变更提供科学依据^[15]。对钢便桥的稳定状态进行监控和预警, 以确保施工过程中钢便桥及桥体形变控制在设计要求范围内, 并保证施工、服役过程中的安全控制。在钢管桩桩顶安装两个不均匀沉降点、两个倾斜点及 1 个基准点(图 6)。钢管桩静力水准仪及倾角传感器安装在桩头工字钢悬挑位置处。根据规范^[16]及设计文件要求, 现场数据采集频率如表 1 所示。

表 1 钢便桥变形观测频率表

观测阶段	观测周期	备注
初始数据	1 次/h	设置观测点, 首次观测
钢便桥沉降	1 次/h	平装式设置在 G4, G5/6
钢便桥倾角	1 次/h	平装式设置在 G4, G5/6

3 钢便桥变形数据分析

由于施工区持力层(风化岩层)埋藏深厚, 钢便桥钢管桩主要通过桩身与土体摩阻力提供承载力, 同时, 海流对钢管桩造成的局部冲刷深度不同, 导致不均匀沉降难以避免。为确保钢便桥平台安全, 对钢便桥平台沉降进行监测, 根据设计要求, 当钢便桥钢管桩桩顶沉降达到 35 mm 、变化速率达到 5 mm/d 、钢管桩桩顶倾斜达到 3° 时, 发出预警。

钢便桥变形数据采集共计 21 d, 其中 1#墩打桩钢平台的搭设阶段(图 8), 此过程是整个施工过程中钢便桥最不稳定的阶段。为此, 对此阶段钢便桥的稳定性进行监测, 以确保钢便桥防护结构

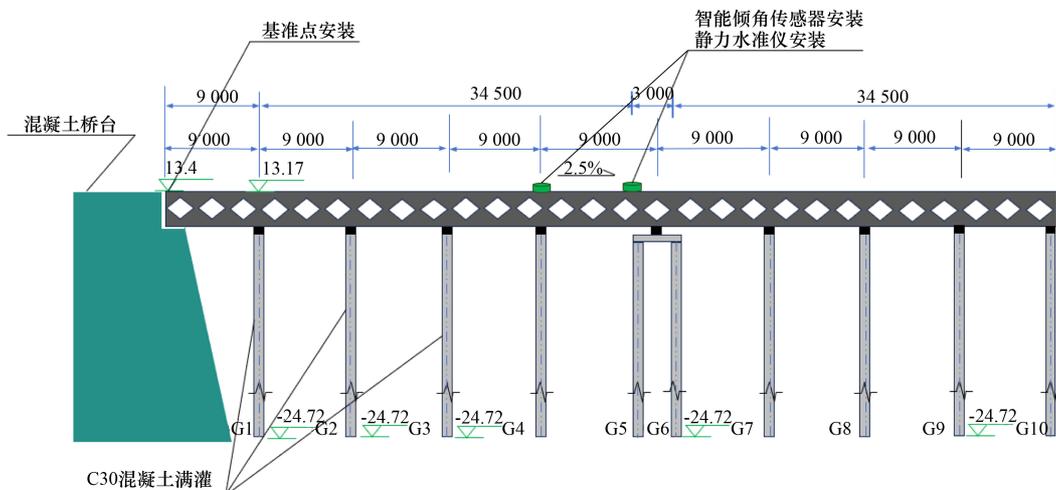


图 6 钢便桥传感器安装位置示意



图 7 钢便桥传感器安装示意图



图 8 1#墩打桩钢平台搭设现场

的安全。共设置 CJ1、CJ2 两个沉降监测点，以及 QX1、QX2 两个倾斜监测点，其中，QX2 测点的倾角传感器在现场施工中损坏。

沉降点 CJ1 数据变化如图 9、10 所示。其中，图 9 为累积沉降量随时间变化曲线，图 10 为沉降变化速率随时间变化曲线。沉降点 CJ2 数据变化如图 11、12 所示。其中，图 11 为累积沉降量随时间变化曲线，图 12 为沉降变化速率随时间变化曲线。倾斜点 QX1 数据变化如图 13 所示，为两个方向的倾斜累计变化量。

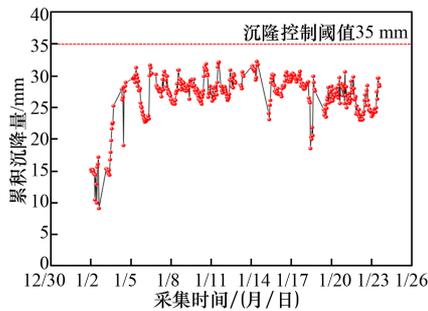


图 9 CJ1 累积沉降量

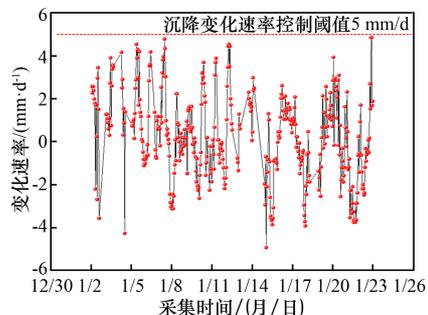


图 10 CJ1 沉降变化速率

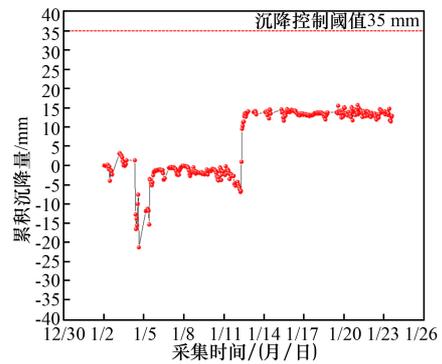


图 11 CJ2 累积沉降量

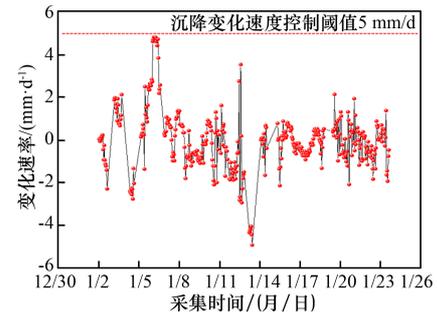
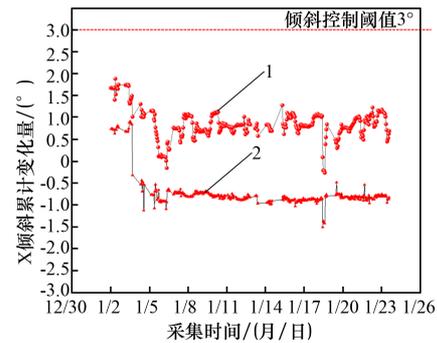


图 12 CJ2 沉降变化速率



1—X 倾斜累计变化量 (°)；2—Y 倾斜累计变化量 (°)。

图 13 QX1 倾斜累计变化量

结合各测点的沉降及倾斜曲线，对钢便桥稳定性分析如下：

(1) 由图 9 ~ 13 可知，钢便桥的监测过程中沉降累计变化量均小于 35 mm、变化速率均小于 5 mm/d、倾斜累计变化量均小于 3 mm。沉降及倾斜均小于设计文件要求，证明在此施工阶段钢便桥平台相对稳定，钢便桥结构安全。

(2) 结合 CJ1、CJ2、QX1 这 3 个测点的累积沉降量曲线，由图 9、11、13 可知，变化均在设计要求范围内，在 1 月 3 日—6 日出现明显波动，这是由于监测点距离 1#墩打桩钢平台较近，1#墩打桩钢平台开始搭设，施工活动造成钢便桥变形较大。由图 10 可知，沉降变化速率在 1 月 13 日

再次出现明显波动,原因与1月3日—6日期间相同,其余时间段监测点数据相对平稳,呈波动变化趋势,其原因主要有三方面:1)由于波浪与潮汐的影响,当地全年主导风向为东南风,次导风向为东北风,平均风速为3.1 m/s,有时风速会达到10 m/s以上,波浪较大,引起钢便桥晃动较大;2)由于搭设钢平台及打桩过程不可避免会对已建好的钢平台的造成影响,引起周围结构晃动;3)由于吊车、混凝土搅拌车、材料运输车等大型车辆通过钢便桥造成桥面晃动及桥面沉降。由图10、12变化速率曲线可知,CJ1波动大于CJ2波动,主要是由于CJ1距离打桩平台较近,沉降变化速率都一直在0 mm/d上下波动,且在设计文件要求范围内。

4 结论

本文进行了施工过程中钢便桥稳定性的研究,通过对钢便桥在设计、施工以及运维期间采取一系列措施,来确保其在复杂施工及海洋环境下的结构安全。设计上,在钢便桥桩的选取上采用更大直径与壁厚的钢管桩,选取更可靠构件连接方式,以增强其在面对复杂荷载条件下的稳定性。施工过程中定期对便桥进行全方位的检查和保养,为便桥的使用寿命的提供了有力保障。同时在钢管桩打设时,沉桩终止条件对最后贯入量的要求更高。并通过自动化监测手段,安装静力水准仪及智能倾角传感器,设置多个观测点得到钢便桥的沉降及倾斜情况,对数据进行分析发现施工过程中两个测点的沉降均小于35 mm,倾角均小于3°,小于规范允许值,证明施工过程中钢便桥平台处于平稳状态,采取的稳定性措施到位,确保了施工、运营过程中的安全控制。可为相关工程提供有力的技术支持,保障钢便桥运维期间的安全及稳定性。

参考文献:

- [1] 殷翔宇,祝合良,曲明辉. 中国沿海港口港城关系发展及对城市经济增长作用[J]. 地理科学,2022,42(6): 984-992.
- [2] 张帅帅. 自动化码头对我国港口经济的影响及未来发展对策[J]. 中国储运,2023(7):205.
- [3] 刘闯. 高桩码头全平台施工[J]. 珠江水运,2022(3): 47-49.
- [4] 黄星. 跨河地区钢便桥设计与施工技术实际应用[J]. 科技创新与应用,2020(35):160-161.
- [5] 李成财. 钢便桥安全评估及养护管理要点研究[J]. 智能城市,2021,7(19):75-76.
- [6] 刘继文. 桥梁工程中水上钢平台与钢便桥的设计与施工技术[J]. 公路交通科技(应用技术版),2018,14(11):232-234.
- [7] 陈舜杰,关键,林壮宏. 贝雷片钢便桥结构稳定性有限元分析[J]. 珠江水运,2014(12):23-25.
- [8] 黄文,袁向荣. 钢便桥静载试验研究[J]. 长春工程学院学报:自然科学版,2010,11(4):27-29.
- [9] 时党勇,张志,周鹏. 装配式公路钢桥承载力的有限元分析[J]. 铁道建筑技术,2006(2):5-8.
- [10] 孙洪岩. 地铁车站交通疏散钢便桥应用及数值分析研究[D]. 南京:南京林业大学,2008.
- [11] 郝敏洁,周鹏. 贝雷钢便桥施工工艺及计算分析[J]. 科技视界,2020(11):169-171.
- [12] 刘热强. 水上钢平台及钢便桥的设计与施工[J]. 中国建设信息,2013(13):76-78.
- [13] 曾珍明. 钢便桥设计及施工分析[J]. 建筑技术开发,2020,47(23):111-112.
- [14] 任佩宏,宋俊伟. 浅谈钢便桥的稳定性计算与搭设[J]. 科技信息,2011(5):320-321.
- [15] 张力文,查小君. 临时铁路桥梁运营施工监测与结果分析[J]. 测绘地理信息,2018,43(6):113-116.
- [16] 工程测量标准:GB 50026—2020[S]. 北京:中国计划出版社,2020.