

## 连续箱梁桥上下部结构偏位修复与加固技术研究

陈海兵<sup>1</sup>, 曹宇鹏<sup>1</sup>, 唐海霞<sup>1</sup>, 王美又<sup>2</sup>

(1.江西省交通投资集团有限公司吉安管理中心, 江西 吉安 343700;

2.江西省建筑材料工业科学研究设计院, 江西 南昌 330031)

**摘要:**桥梁在主梁整体滑移后会产生主梁移位、桥墩偏位、支座破坏和桥面损坏等现象,导致桥梁承载能力减弱。文中以江西兴国县陈屋高架桥第3联左右幅为背景,对桥梁进行主梁滑移加固技术研究,提出在11<sup>#</sup>~14<sup>#</sup>桥墩两侧设置临时钢支架体系并在盖梁上布置同步顶升系统整体顶升第3联主梁、在钢支撑顶及10<sup>#</sup>、15<sup>#</sup>墩台上安装四氟滑板支座临时支撑主梁、设置顶推系统纵向顶推第3联主梁和11<sup>#</sup>~14<sup>#</sup>桥墩、更换第3联所有支座、对裂缝进行修补的维修加固方案。

**关键词:**桥梁;连续箱梁桥;桥墩偏位;主梁移位;临时支撑;同步顶升;复位

中图分类号:U445.7

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2023)02-0115-04

随着服役年限的增长,桥梁出现各种病害,如梁体滑移、支座顶钢板脱落、桥墩柱倾斜、裂缝等,直接威胁桥梁运营安全<sup>[1]</sup>。对存在病害的桥梁进行拆除重建不仅投资巨大,且施工周期较长。采用高精度的监控设备实施专业性检测,进行选择性的加固显得尤为重要。本文以江西兴国县陈屋高架桥第3联左右幅上下部结构偏位修复为例,研究适用于连续箱梁桥上下部结构偏位的维修加固技术。

## 1 工程概况

陈屋高架桥位于江西省兴国县鼎龙乡龙头村王竹背组北约200 m,横跨一沟谷凹地,地面标高为

217.60~257.05 m,地形起伏较大。设计荷载等级为公路—I级<sup>[2]</sup>,全桥长398.20 m。上部采用跨径25 m的装配式预应力混凝土连续箱梁,共3联15跨,左右幅对称;下部采用由2× $\phi$ 160 cm墩柱组成的柱式墩,桩基采用 $\phi$ 180 cm C25混凝土钻孔灌注桩(除右幅15<sup>#</sup>桥台为摩擦桩外),按嵌岩桩设计。桥梁平面依次位于半径 $R=700$  m左偏圆曲线、曲线长 $L_s=160$  m的左偏缓和曲线和 $L_s=160$  m右偏缓和曲线、 $R=700$  m右偏圆曲线上,桥面纵向坡度为2.90%,桥型布置见图1。

2017年定期检查发现该桥上下部结构存在偏位现象,技术状况等级为3类<sup>[3]</sup>。

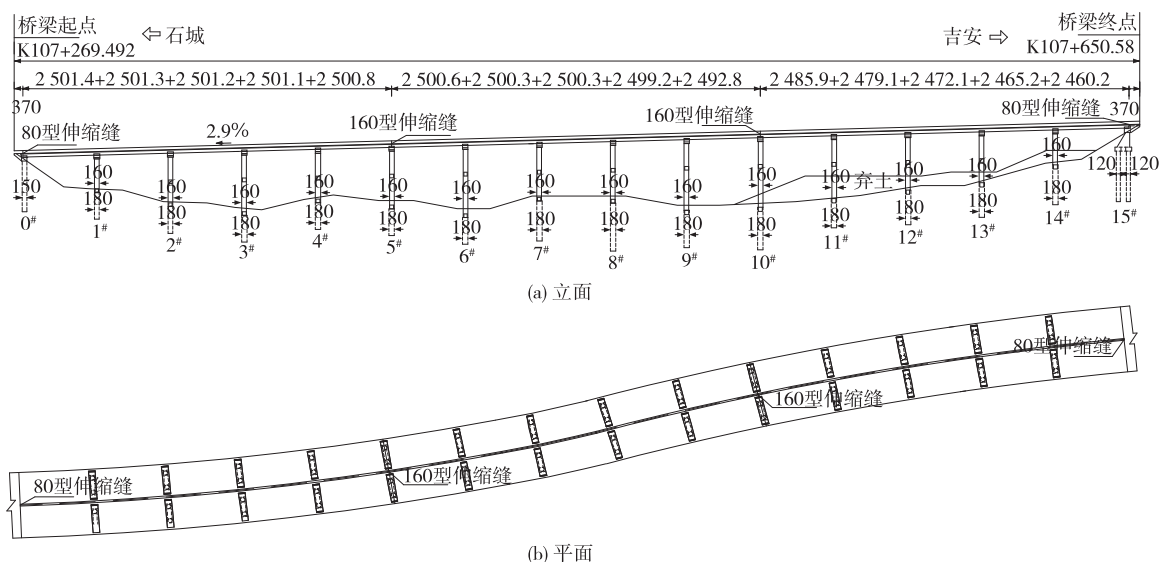


图1 陈屋高架桥桥型布置(单位:cm)

## 2 桥梁的主要病害

对陈屋高架桥第3联左右幅进行外观检查、结构检测、结构模拟分析计算及工作状态评估,分析其结构状况。

### 2.1 上部结构

第3联10<sup>#</sup>~15<sup>#</sup>墩台纵向移位,导致第3联上部结构箱梁梁体产生移位,第3联主梁沿小桩号方向纵向滑移5 cm。

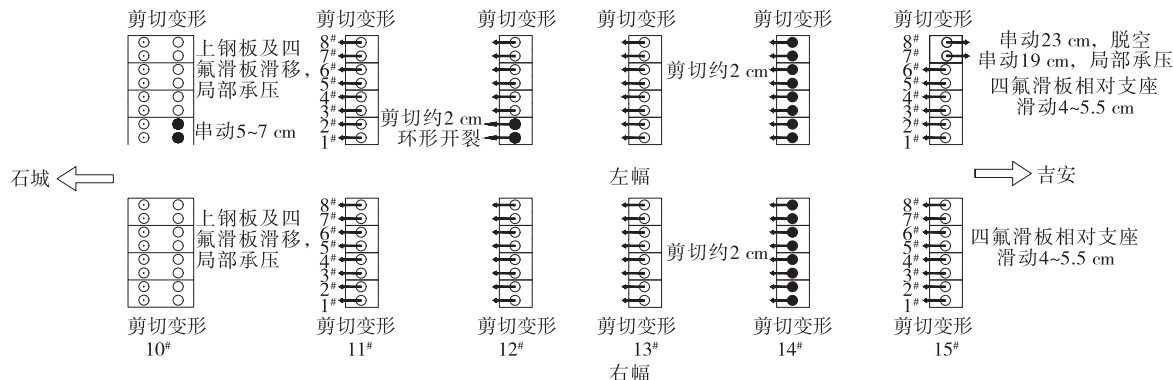


图2 支座病害示意图

移位,其中11<sup>#</sup>~13<sup>#</sup>墩移位5 cm,14<sup>#</sup>墩移位3 cm,且10<sup>#</sup>~14<sup>#</sup>墩附近地面存在竖向裂缝。

### 2.4 桥面系

桥面系主要病害如下:1) 10<sup>#</sup>墩处160型伸缩缝完全压缩,基本抵死;2) 15<sup>#</sup>桥台处80型伸缩缝宽度超过限值,止水带破损;3) 部分箱梁底板缺角,且存在纵向裂缝;4) 部分湿接缝露筋;5) 部分横隔板存在竖向、斜向裂缝,局部破损露筋。

## 3 维修加固方案和施工难点

### 3.1 维修加固方案

考虑到该桥结构线形和受力复杂,采用“主梁复位+桥墩偏位处理+支座病害处理+混凝土表面病害处理+桥面系病害处理”的维修加固方案<sup>[4]</sup>;在11<sup>#</sup>~14<sup>#</sup>墩两侧设置临时钢支撑墩,并在盖梁上布设顶升系统整体顶升第3联主梁;在钢支撑顶及10<sup>#</sup>、15<sup>#</sup>墩台上安装临时四氟滑板支座临时支撑主梁<sup>[5]</sup>;设置“楔形钢板+双层四氟滑板支座+楔形钢板”组成的临时滑动支承,采用液压千斤顶纵向顶推第3联主梁<sup>[6]</sup>;在各墩墩顶处箱梁底面设置临时反力座,采用同步千斤顶逐墩纵向顶推11<sup>#</sup>~14<sup>#</sup>墩;更换第3联所有支座,拆除临时支座、支架;采用环氧树脂砂浆及裂缝修补胶进行表面修复。

### 2.2 支座

支座的主要病害有支座串动、剪切变形、外鼓、开裂、局部承压等。11<sup>#</sup>~14<sup>#</sup>墩支座发生剪切变形,其中14<sup>#</sup>墩支座沿小桩号方向剪切变形2 cm;10<sup>#</sup>墩、15<sup>#</sup>桥台支座发生剪切变形、滑移、窜动、局部承压现象。第3联支座病害见图2。

### 2.3 下部结构

在下穿枢纽高回填土纵向土压力的作用下,第3联10<sup>#</sup>~15<sup>#</sup>墩台沿小桩号方向发生纵向受力

### 3.2 施工难点

- (1) 该桥为纵横双向坡的曲线桥梁,桥墩高近20 m,对主梁复位顶推施工技术条件要求较高。
- (2) 主梁移位处理可参考的同类型工程案例较少,需根据工程实际及现有施工条件采取相应的维修加固措施。
- (3) 顶升支架搭设及拆除受空间位置制约,操作困难,安全风险较高。

## 4 施工关键技术

### 4.1 主梁复位

#### 4.1.1 临时钢管支架设计及安装

梁体顶升阶段,为使11<sup>#</sup>~14<sup>#</sup>墩处于自由状态,由临时支架承担主梁复位施工过程中的施工荷载、水平荷载、主梁自质量等。通过MIDAS/Civil对支架受力进行分析计算,建立由4根 $\phi 609$  mm $\times$ 16 mm钢管柱、横向系梁、纵向系梁和平联连接等组成的单侧支架体系(见图3)。钢管柱横向中心间距2.89 m,采用2[28a槽钢螺栓连接;纵向间距6.0 m,其横撑及斜撑采用[28a槽钢螺栓连接。钢管柱采用6 m长标准节段与柱底调节段组合搭设,节段间通过法兰盘连接。

钢管柱采用1 042 cm $\times$ 350 cm $\times$ 100 cm钢筋

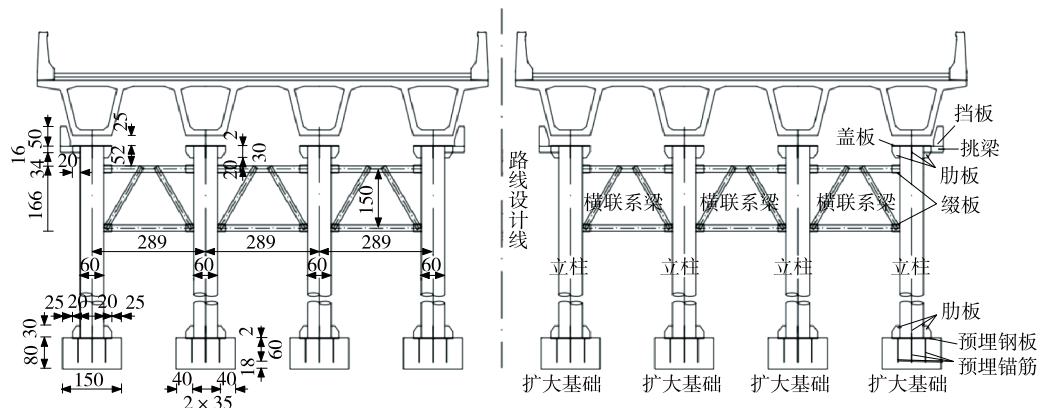


图3 支架立面示意图(单位:cm)

混凝土条形基础,且8根 $\phi 609$  mm钢管支撑在同一基础上,以形成整体结构,达到更高的稳定性。为提高桥梁移位处理过程的安全性,在钢管立柱顶设置加劲肋盖板及橡胶支座,并预留1~2 mm空间。

临时支架安装流程为场地平整硬化→临时支架条形基础施工→检查支架预埋件位置→钢管柱底安装→钢管柱标准节段安装→柱间纵横向平撑、斜撑安装→柱间下纵横、上纵横平联连接→各轮次钢管柱分节段拼装就位,调整钢管柱竖直度及整体平面位置→支架顶端安装加劲肋盖板、橡胶支座→盖板上安装千斤顶→搭设操作平台。

#### 4.1.2 主梁顶升

在桥墩盖梁上安装箱梁顶升系统顶升上部结构。为保证顶升过程中梁体同步顶起,采用可编程逻辑控制器(PLC)操作控制系统,该系统由液压系统、检测传感器、计算机控制系统等组成,可实现力和位移的综合控制<sup>[4]</sup>,保证顶升过程同步。布设顶升系统时,液压站设置在12<sup>#</sup>~13<sup>#</sup>墩桥面上,PLC操作控制系统安装在12<sup>#</sup>~13<sup>#</sup>墩桥面上,位移传感器安装在盖梁两端两侧千斤顶到梁底处。

梁底到盖梁高度为250 mm,根据该桥荷载及支架系统布置情况,选用高度为160 mm、顶升能力为150 t的液压千斤顶,千斤顶本体高度39.5 cm,直径29.5 cm,顶升缸体顶部有允许倾斜的转动球头,倾角为5°。10<sup>#</sup>、15<sup>#</sup>墩台上各布置4台千斤顶,11<sup>#</sup>~14<sup>#</sup>墩在箱梁底面腹板处各布置8台液压千斤顶。千斤顶顶部安装20 mm厚钢垫板,底座下安装10 mm厚钢垫板,上、下钢垫板中线与梁底中线及千斤顶中线重合。

合理布置顶升装置及临时支架体系后,调试顶升系统。顶升系统调试结束后,进行主梁顶升。步

骤如下:1)控制中心总指挥发出指令,每个墩的观察员作出指令回应,准备就绪。2)启动顶升油泵,梁体顶升5 mm并持续5 min,指挥各墩观察员检查各油管接头是否泄漏,检查拉线式传感器读数指标是否一致;PLC系统操作员在操作界面上记录各点顶升力大小反馈结果。各方面运行正常后,继续顶升至支座上方1 mm处。3)将钢支撑各点用垫块垫好,并保持钢支撑各点垫块到梁底高度为3 mm,然后将梁体落在钢支撑上。4)取出原支座,在原支座上安装双层四氟滑板,上、下四氟滑板加垫板的高度统一为75 mm。5)再次顶升,梁体离开钢支撑3 mm,取出钢支撑垫块,并将纵移反力座的千斤顶和端隔板的间隙塞死,防止梁体落至四氟滑板时发生反向移位。6)将梁体落在四氟滑板上,并将顶升油管转接至纵向顶推千斤顶(包含10<sup>#</sup>墩伸缩缝所安装的纵向顶推千斤顶)。

#### 4.1.3 主梁复位

上部主梁完成顶升,并设置由楔形钢板、双层四氟滑板支座、楔形钢板组成的临时滑动支承后,进行主梁复位。由于上部结构连续,主梁整体下滑5 cm,采取均匀同步顶推的原则进行纵向复位,将第3联主梁整体沿大桩号方向顶推5 cm。该桥第3联上部结构单幅质量为2 400 t(含桥面铺装和防撞护栏),根据设计要求,四氟滑板摩擦系数取5%,则纵向最大水平推力 $F=2\,400\times 5\%=120$  t。鉴于上部结构在临时支撑滑道设置3%反向纵坡,且纵向水平顶推力可能大于计算水平推力,水平顶推力以计算水平推力的3~4倍即360~480 t控制。根据计算结果,在10<sup>#</sup>墩伸缩缝凹槽内及端隔板之间均匀布置22个纵向顶推液压千斤顶,纵向推移进行主梁复位。

为防止顶推过程中梁体纵向位移,塞垫 10<sup>#</sup>、15<sup>#</sup>墩台伸缩缝,并在墩台位置安装纵向限位器。安装、调试顶推系统后进行顶推。步骤如下:1) 控制中心总指挥发出指令,每个墩的观察员作出指令回应,准备就绪。2) 启动顶推油泵,梁体顶推,指挥各墩观察员检查各油管接头是否泄漏,检查拉线式传感器读数指标是否一致,记录测控系统反馈的纵向顶推位移量。3) 顶推至距设计平面位置约10 mm 时暂停,精确测量各墩位处梁体的偏移情况,根据实测偏移量再次调整位移传感器纠偏量,直至位移传感器达到预设值,水平偏差控制在 3 mm 以内<sup>[7]</sup>。

建立完善的监控系统,对顶推施工过程中箱梁位移、墩顶位移、墩身应变等进行监控。

#### 4.2 桥墩偏位处理

上部主梁完成复位后,在小里程侧梁端安装临时反力座及顶推系统,对 14<sup>#</sup>~11<sup>#</sup>墩依次进行墩柱倾斜纠偏。利用 MIDAS/Civil 对桥墩纠偏进行控制,在 11<sup>#</sup>墩顶面施加 4 个顶推点,分别施加 1 t 水平荷载,在墩底产生 2.00 MPa 拉应力。由于 C30 混凝土抗拉强度标准值为 2.01 MPa,考虑临时荷载 1.25 倍增大系数,顶推过程采用位移控制,且总水平顶推力控制在 5 t 以内。

桥墩纠偏施工流程为油管转接至顶升千斤顶→梁体顶升至离四氟滑板 10 mm→钢支撑放置垫块,垫块统一到梁底余留 3 mm→梁体落至钢支撑→缓慢加载水平推力,并由监测单位及时反馈顶推位移量→达到预设值,千斤顶停止顶推。

质量把控关键点如下:1) 顶推前,对顶推相反方向的所有伸缩缝进行垫塞。2) 桥墩顶推时,梁体开始滑动后立即稳定千斤顶油压,保持顶推力不变,直至顶推到位。3) 顶推及持荷过程中,当桥墩任一指标达到监控阈值时,千斤顶应立即停止顶推。

#### 4.3 支座病害处理

支座更换与桥墩纠偏逐个墩台同步进行。桥墩纠偏完成后,在相应桥墩上安装板式橡胶支座,最后安装 10<sup>#</sup>、15<sup>#</sup>墩台支座。施工流程为旧支座取出、墩柱纠偏→重启顶升千斤顶,顶升离开钢支撑 3 mm→安装预制板式橡胶支座→拆除钢垫板,落梁至新支座→临时支架拆除→现场清理<sup>[8]</sup>。

质量把控关键点如下:1) 梁底在垫石顶面需平行、平整,使其与支座上、下表面全部密贴,不得出现偏压、脱空和不均匀支承受力现象。2) 若支座垫石存在蜂窝浆和倾斜度,用高标号水泥砂浆捣实、整

平。3) 预制箱梁与支座交接处底面预埋的钢板要保持水平、平整。

#### 4.4 混凝土表面病害处理

混凝土表面病害处理流程为混凝土表面缺陷调查→清除破损混凝土至清洁、坚固部位→钢筋除锈→清理剔凿后的混凝土及钢筋表面→配制环氧树脂基液→配制环氧树脂砂浆→原混凝土表面抹压环氧树脂砂浆→砂轮机打磨修补表面→环氧树脂砂浆表面涂刷防护涂料→验收。

质量把控关键点如下:1) 修补前应对缺陷进行处理,凿除缺陷混凝土,用喷砂或高压水枪清除所有灰尘、油污、泛碱、油漆、浮浆等杂物。喷砂或高压水枪施工后,用钢丝刷认真清除表面残留杂物,最后用清水冲刷施工表面。2) 对处于缺陷处的钢筋进行除锈,除锈后用钢筋阻锈剂涂刷钢筋 2 遍。3) 环氧树脂砂浆必须用力涂抹。

#### 4.5 桥面系病害处理

修补裂缝前做好裂缝调查及标注,现场核实裂缝数量、长度、宽度等,并记录裂缝的变化。对宽度≤0.15 mm 且深度较浅的细小裂缝,涂刷封闭胶进行修补,修补流程为凿 V 形槽→裂缝清理→丙酮清洗裂缝内槽→吹清缝内灰砂→烘干混凝土表面→配制封缝胶→涂刷、嵌入封缝胶→加压刮抹,使裂缝位置与原混凝土面齐平;对宽度>0.15 mm 的裂缝,采用压力灌注法进行修补<sup>[9-10]</sup>,修补流程为裂缝清理→钻孔→安装注浆嘴→密封注浆嘴及裂缝→气密性检查→配制环氧封缝胶→灌注封缝胶→确认注满→注浆结束后检查灌注质量→胶液固化后拆除注射器及注浆嘴。

### 5 结语

根据陈屋高架桥主梁整体滑移病害的实际情况,采用临时钢支架安装技术、梁体顶升技术、主梁复位技术、桥墩纠偏技术、支座更换技术、表面缺陷修补技术、裂缝修补技术等维修加固。主梁复位及桥墩纠偏采用液压同步顶推系统进行,该方法可靠性高,能高效率、高质量地提供滑移所需动力,有效提高施工效率和施工质量。

#### 参考文献:

- [1] 朱亚飞,徐泽平.公路桥梁高墩偏位检测与加固方案研究[J].交通世界(上旬刊),2021(2):165-166.

(下转第 126 页)

- [4] 刘占省,刘诗楠,赵玉红,等.智能建造技术发展现状与未来趋势[J].建筑技术,2019,50(7):772-779.
- [5] 王海蛟.装配式T梁工厂化生产基于传统梁场比对的可行性探讨[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2020,19(3):63-66.
- [6] 孙铎.预制梁场建设规模优化与内部布局问题研究[J].居业,2022(3):18-20.
- [7] 董玉胜,陈青荣.高速公路工程智慧梁厂的规划及应用创新[J].运输经理世界,2021(32):25-27.
- [8] 李法雄,郭毅霖,张鑫敏.用BIM“智”造特大型桥梁[J].中国公路,2018(11):78-79.
- [9] 席泉泉.城市路桥预制梁生产信息管理平台研究与开发[D].郑州:郑州大学,2020.
- [10] 俞园飞.建筑BIM在建筑工程管理中的应用研究分析[J].装饰装修天地,2021(13):121.
- [11] 马晓飞.基于云BIM的装配式建筑预制构件集成管理研究[D].武汉:武汉理工大学,2017.
- [12] 黄园.建设项目BIM应用成熟度评价研究[D].深圳:深圳大学,2017.
- [13] 张富泉,罗云.公路工程预制梁场生产信息化平台的设计与实现[J].科学技术创新,2021(28):130-133.
- [14] 陈嘉伦,韩晓峰,梁雨微.中国桥迎来“智造时代”[J].交通建设与管理,2021(4):50-55.
- [15] 赵金枝.高速公路桥梁建设中预应力混凝土连续T梁预制技术研究[J].黑龙江交通科技,2014(7):120-121.

收稿日期:2022-07-21

\*\*\*\*\*

(上接第118页)

- [2] 招商局重庆交通科研设计院有限公司.江西泉南高速石吉段陈屋高架桥处治工程一阶段施工图[Z].重庆:招商局重庆交通科研设计院有限公司,2019.
- [3] 江西省天驰高速科技发展有限公司.泉南国家高速公路石城至吉安段陈屋高架桥现场检测报告[R].南昌:江西省天驰高速科技发展有限公司,2017.
- [4] 江西嘉特信信息技术有限公司.江西泉南高速石吉段陈屋高架桥处治工程专项施工方案[Z].南昌:江西嘉特信信息技术有限公司,2020.
- [5] 李悦,李冲,李茜,等.桥梁板式橡胶支座剪切破坏及摩擦滑移性能试验研究[J].铁道学报,2020,42(8):130-137.
- [6] 杨杰,张俊,哨关路花庄河大桥主桥顶推滑移施工技术研究[J].价值工程,2018,37(36):148-150.
- [7] 黄胜,王朝阳,胡小勇,等.钢桁梁斜拉桥液压顶推滑移关键技术[J].施工技术,2012,41(11):6-10.
- [8] 崔晓磊.高速公路桥梁承载力不足的检测方法及加固措施[J].交通世界(上旬刊),2021(4):92-93.
- [9] 王丙堤.桥梁震害加固技术研究[J].铁道工程学报,2013(1):35-38.
- [10] 钟正强,陈敬智,刘卓泽.碳纤维加固二次受力混凝土梁理论计算方法[J].交通科学与工程,2022,38(1):21-26+69.

收稿日期:2022-02-11

\*\*\*\*\*

(上接第121页)

(2) 两种规范中疲劳车作用下,主压应力均在轮载作用在钢桥面板与纵肋双面焊焊接细节正上方时达到最大。

#### 参考文献:

- [1] 张清华,李俊,袁道云,等.深圳至中山跨江通道钢桥面板结构疲劳试验研究[J].土木工程学报,2020,53(11):102-115.
- [2] 罗鹏军,张清华,龚代勋,等.钢桥面板U肋与顶板双面焊连接疲劳性能研究[J].桥梁建设,2018,48(2):19-24.
- [3] 周维,于浩楠.顶板厚度参数对钢桥面板一肋接头疲劳应力影响分析[J].城市道桥与防洪,2021(10):193-195+221.
- [4] 郭亚文.钢桥面板横隔板处纵肋与顶板焊接细节疲劳性能研究[D].成都:西南交通大学,2019.
- [5] 吴波.钢桥面板一肋双面焊构造细节疲劳失效模式研究[J].城市道桥与防洪,2021(6):250-252+277.
- [6] International Institute of Welding. Recommendations for fatigue design of welded joints and components: IIW Document XIII-21514r4-07/XV-1254r4-07[S].International Institute of Welding,2015.
- [7] 中交公路规划设计院有限公司.公路钢结构桥梁设计规范:JTG D64-2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [8] European Committee for Standardisation. Eurocode 3: Design of steel structures—Part 2: Steel bridges: EN1993-2:2006[S].European Committee for Standardisation,2006.

收稿日期:2022-03-07