

文章编号: 1674—8247(2018)06—0060—05

## 临近系杆拱架梁受力检算及加固方案研究

刘建敏

(蒙冀铁路有限责任公司, 呼和浩特 010000)

**摘 要:**文章以张呼客运专线卧佛山跨京藏高速立交特大桥箱梁架设为研究背景,系统介绍了运架一体机临近大跨度简支系杆拱架梁的施工检算与现场加固方案。根据系杆拱的设计资料和运架一体机装备参数,采用有限元软件对架设过程中的桥梁受力情况进行模拟检算,对检算不满足要求部位进行加固、验算,按照验算方案对现场梁体实施加固,可为工程中各种复杂桥梁型式、架桥机种类的组合案例提供借鉴。

**关键词:**系杆拱; 架梁; 检算; 加固

**中图分类号:**U445.7+2      **文献标志码:**A

## Study on Stress Checking and Strengthening Scheme of Girder Erection Adjacent to Tied Arch

LIU Jianmin

(Mengji Railway Co., Ltd., Huhhot 010000, China)

**Abstract:**Based on the box girder erection of Wofoshan Super Major Bridge of ZhangHu passenger dedicated line overpassing the interchange on the Beijing-Tibet Expressway, this paper systematically introduces the construction checking calculation and on-site reinforcement scheme for box girders erection with transport-erection machine adjacent to large-span simply-supported tied arch. According to the design data of tied arch and the equipment parameters of transport – erection machine, the finite element software is used to simulate and check the stress of the bridge during the erection, reinforce and check the parts that do not meet the requirements. The field girder bodies are reinforced according to the checking scheme, which can provide a reference for the combination cases of various complex bridge types and bridge erection machine types in the project.

**Key words:**tied arch; girder erection; check; reinforcement

张呼客运专线卧佛山跨京藏高速立交特大桥箱梁架设过程中,由于第4孔为1–80 m简支系杆拱,第1–3孔箱梁采用运架一体机架设,均会对拱桥产生不利影响。因此,需对各种工况下拱桥受力状况采用MIDAS/CIVIL软件进行模拟分析,进而采取相应的加固措施,对架桥机作用支点集中荷载进行扩散分配,对拱桥梁底进行补偿支撑<sup>[1–2]</sup>,以防止系梁局部受力过

大而破坏。

### 1 概况

张呼客运专线卧佛山跨京藏高速立交特大桥为设计时速250 km有砟轨道1–80 m双线简支组合拱,主拱为钢箱拱,计算跨度80 m,梁长83 m,矢高16 m,矢跨比1/5,拱肋采用等高度钢箱截面。横撑为钢箱截

收稿日期:2017-12-26

作者简介:刘建敏(1987-),男,工程师。

引文格式:刘建敏. 临近系杆拱架梁受力检算及加固方案研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(6):60–64.

LIU Jianmin. Study on Stress Checking and Strengthening Scheme of Girder Erection Adjacent to Tied Arch [J]. High Speed Railway Technology, 2018,9(6):60–64.

面,高 1.2 m,宽 1.2 m,拱肋、横撑、吊杆采用 Q345 钢材,吊杆钢绞线采用 1 670 MPa 高强低松弛镀锌钢丝。

系梁采用开口截面,纵横梁体系,主纵梁高 2.4 m,支座处加高至 2.6 m,宽 1.5 m,次纵梁高 1.8 m,宽 0.5 m,中横梁 A 高 2.2 m,宽 0.55 m,中横梁 B 高 2.4 m,宽 1 m,端横梁为高 2.4 m 的箱形结构。系梁纵横向均采用高强度低松弛预应力钢绞线,标准强度 1 860 MPa,系杆拱各设计参数如图 1 所示。

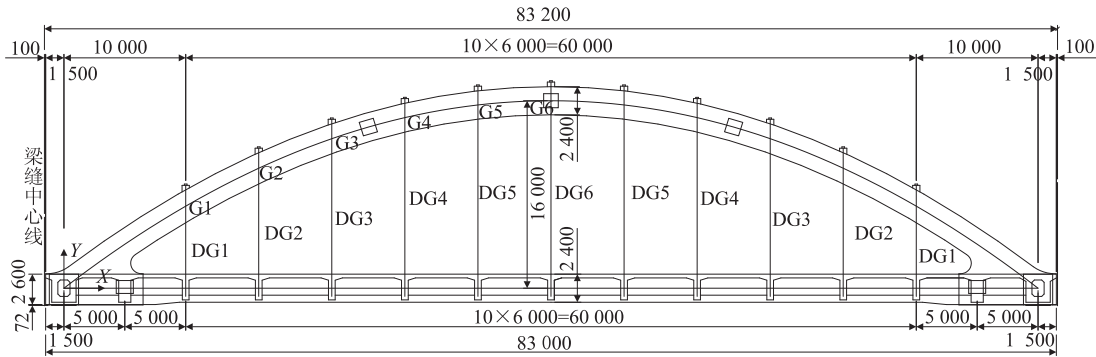


图 1 系杆拱示意图 (mm)

其中,第 3 孔箱梁采用预制架设施工,架设示意如图 2 所示。由于第 4 孔 1-80 m 系杆拱净空尺寸以及

原设计系梁承载力均无法满足架桥机通过条件,需进行检算、加固,架桥机参数如表 1 所示。

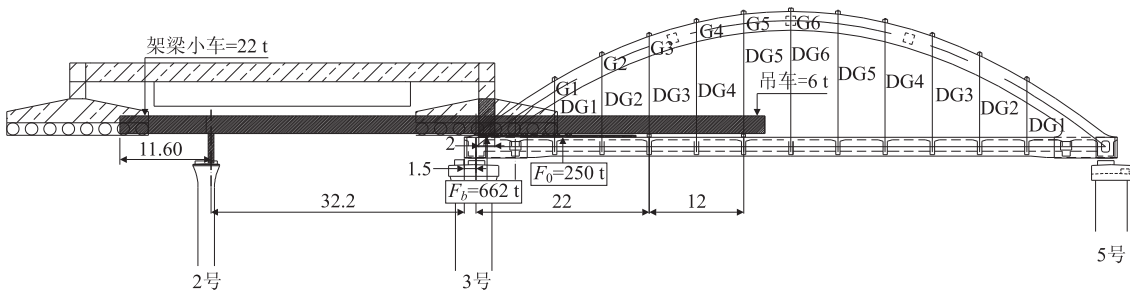


图 2 第 3 孔架设示意图 (m)

表 1 架桥机与导梁机参数

运架梁机	参数	导梁机	参数
吊具下额定起吊能力	900 t	长度	82 m
跨度	51.9 m	满载架梁小车行走速度	0~3.0 m/min
爬坡能力	3.0%	非满载时架梁小车速度	0~6.0 m/min
满载吊梁小车油缸调节速度	0~0.5 m/min	发电机功率	80 kw
最小转向半径	≤150 m	设计总重量(包括支腿)	352 t
满载吊梁天车横/纵向微量	±200 mm		
满载吊钩提升速度	0~1.0 m/min		
满载平地行走速度	0~4 km/h		

2 施工检算

2.1 计算参数<sup>[3]</sup>

(1) 结构自重:混凝土容重取 26 kN/m<sup>3</sup>,钢材取

78.5 kN/m<sup>3</sup>,由程序自动计算,二期恒载为 155 kN/m。

(2) 运梁车根据荷载位置采用静力加载。

(3) 温度荷载

检算过程中系统升温 25 ℃,系统降温 -25 ℃。拱肋、吊杆的局部温度变化(升温或降温)分别为 15 ℃和 10 ℃。桥面板厚 320 mm,局部升温按桥面板顶面 10 ℃,底面 0 ℃线性变化。

(4) 运梁车检算中系杆拱状态

系梁施工完成、拱肋合龙、系梁预应力钢束张拉完成、吊杆一次张拉完成、拱肋和系梁施工支架已拆除,尚未铺设二期恒载、尚未进行吊杆二次张拉<sup>[4]</sup>。

2.2 检算标准

运架一体机实施第 3 孔架梁时,系梁安全系数及检算标准如表 2 所示,以此标准进行最不利工况强度及抗裂检算<sup>[4]</sup>。

分析采用梁格模型,根据纵横梁的位置,采用 T 形截面梁单元模拟小纵梁和中横梁,采用倒 L 形截面

模拟主纵梁,带翼缘箱形截面模拟端横梁,桥面板作为纵横梁的翼缘<sup>[5]</sup>,系杆拱有限元划分如图3所示。

表2 系梁安全系数及各阶段应力检算标准

设计安全系数 (含施工、成桥 运营阶段)	强度安全系数	$K_{主} \geq 2.2$
		$K_{主+附} \geq 1.98$
	抗裂安全系数	$K_{主} \geq 1.2$
		$K_{主+附} \geq 1.2$
预应力 钢绞线应力 /MPa	预加应力时锚下钢绞线控制应力	$\sigma_{con} \leq 0.75f_{pk}$
	传力锚固时钢绞线控制应力	$\sigma_p \leq 0.65f_{pk}$
	运营荷载下钢绞线应力	$\sigma_p \leq 0.60f_{pk}$
	疲劳荷载作用下钢束应力幅	$\Delta\sigma_s \leq 140$
钢筋应力幅/MPa	疲劳荷载作用下带肋应力幅	$\Delta\sigma_p \leq 150$
混凝土应力 /MPa	传力锚固时混凝土压应力	$\sigma_c \leq 0.75f'_c$
	传力锚固时混凝土拉应力	$\sigma_{ct} \leq 0.70f'_{ct}$
	架桥机荷载下混凝土压应力	$\sigma_c \leq 0.80f'_c$
	架桥机荷载下混凝土拉应力	$\sigma_{ct} \leq 0.80f'_{ct}$
	架桥机荷载下混凝土最大剪应力	$\tau_c \leq 0.17f_c$
	架桥机荷载下混凝土主压应力	$\sigma_{cp} \leq 0.60f_c$
	架桥机荷载下混凝土主拉应力	$\sigma_{tp} \leq f_{ct}$

注: $f_{pk}$ ——钢绞线抗拉强度标准值; $f'_c$ 、 $f'_{ct}$ ——预加应力时混凝土轴心抗压、抗拉极限强度; $f_c$ 、 $f_{ct}$ ——混凝土轴心抗压、抗拉极限强度。

运梁车过桥检算的分析步骤:主梁、拱肋施工→张拉第一批预应力筋→吊杆一次张拉→张拉第二批预应力筋→系梁支架拆除→运架梁施工<sup>[4,6]</sup>。

根据分析结果,系梁支架拆除后的吊杆张力如表3所示。

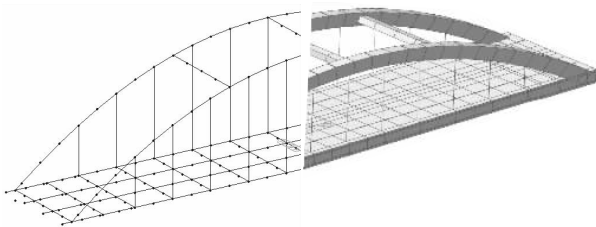


图3 系杆拱有限元划分

表3 支架拆除后吊杆张力

吊杆编号	DG1	DG2	DG3	DG4	DG5	DG6
吊杆索力/kN	1383	964	1229	1520	1046	1372

2.3 最不利工况检算

经分析,下面工况1、工况2为最不利受力组合,因此需对两工况进行受力检算。

(1) 工况1

喂梁到位后,运架一体机升起悬挂前轮组着地, $F_b = 640\text{ t}$ ,通过前轮组将力传递至系杆拱桥,准备导梁前抽。此时 $F_b$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 组合受力示意如图4所示。

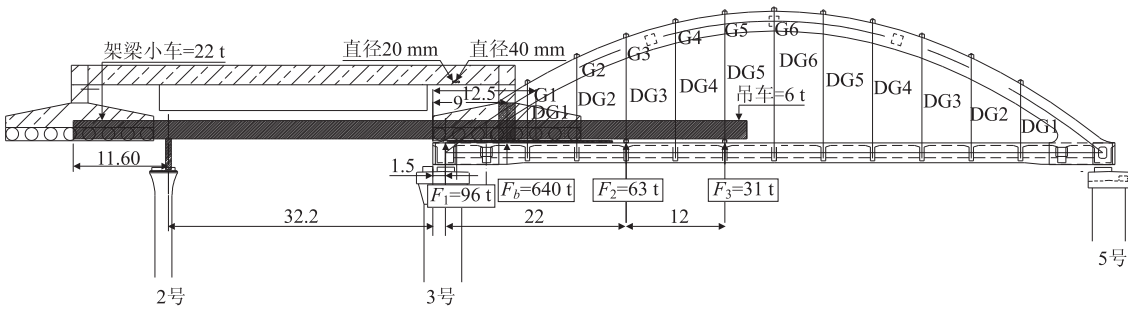


图4 工况1受力示意图(m)

对工况1进行检算,检算结果如下:

①纵梁正截面抗裂验算

纵梁下缘出现拉应力,最大值2.91 MPa,大于规范限值 $0.8f_{ct} = 2.48\text{ MPa}$ ,最大值位置如图5所示。

②纵梁斜截面抗裂验算

最大主拉应力为3.97 MPa,大于规范限值 $f_{ct} = 3.1\text{ MPa}$ ,最大值位置如图6所示。

③横梁正截面抗裂验算

横梁下缘出现拉应力,最大值2.95 MPa,大于规范限值 $0.8f_{ct} = 2.48\text{ MPa}$ ,最大值位置如图7所示。

④斜截面抗裂验算

最大主拉应力为4.07 MPa,大于规范限值 $f_{ct} = 3.1\text{ MPa}$ ,最大值位置如图8所示。

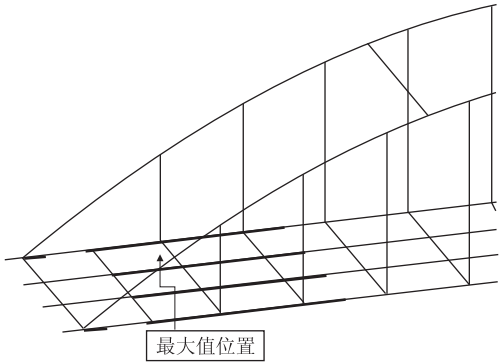


图5 正截面抗裂验算

(2) 工况2

安置1号、2号、3号、4号滚轮组后,前抽导梁到

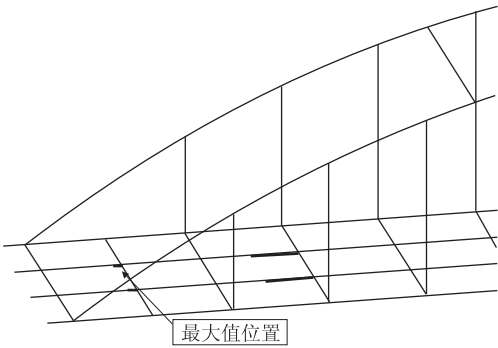


图6 纵梁斜截面抗裂验算

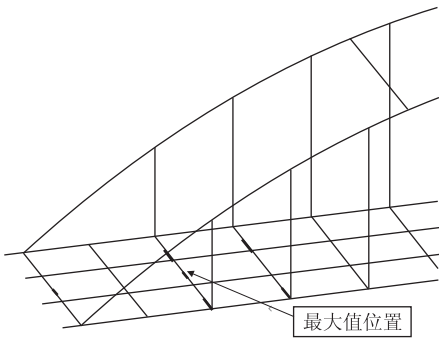


图8 横梁斜截面验算

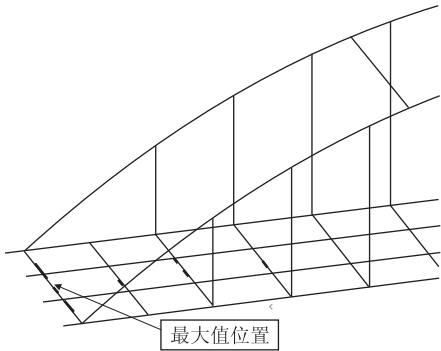


图7 横梁正截面验算

位,受力示意如图9所示。  
同样,对工况2进行相应位置检算,结论如下:  
①纵梁均满足规范要求。  
②横梁斜截面抗裂验算通不过。横梁斜截面抗裂最大主拉应力为 3.93 MPa,大于规范限值  $f_{ct} = 3.1 \text{ MPa}$ 。

2.4 加固后检算

针对以上两种工况检算结果,对系杆拱梁体进行支墩加固,加固示意如图10所示。  
同样,按照2.3的方法对支墩加固后进行检算,检算结果如下:

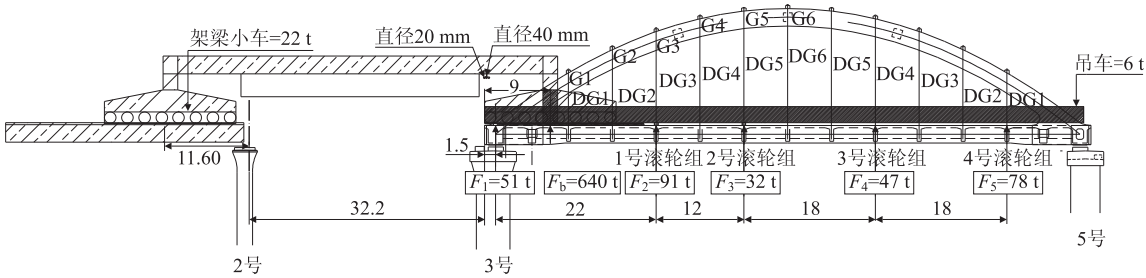


图9 工况2 受力示意图(m)

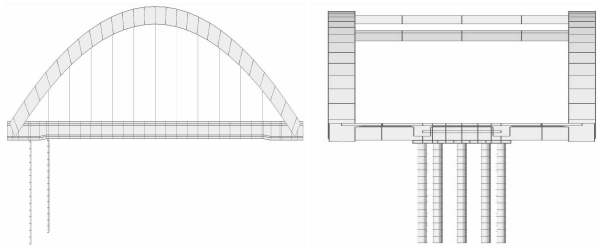


图10 支墩加固示意图

①纵梁  
满足规范要求。纵梁正截面抗裂拉应力出现在纵梁下缘,最大值 0.64 MPa,小于规范限值  $0.8f_{ct} = 2.48 \text{ MPa}$ ;纵梁斜截面抗裂验算最大主拉应力为 2.99 MPa,小于规范限值  $f_{ct} = 3.1 \text{ MPa}$ 。

②横梁  
满足规范要求。横梁正截面抗裂拉应力出现在端横梁下缘,最大值 0.96 MPa,小于规范限值  $0.8f_{ct} = 2.48 \text{ MPa}$ ;横梁斜截面抗裂验算最大主拉应力为 3.08 MPa,小于规范限值  $f_{ct} = 3.1 \text{ MPa}$ 。

3 施工方案

根据计算结果采取以下加固措施<sup>[7-8]</sup>:  
(1)核实吊杆索力与设计值一致,可适当调大吊杆2的张力。  
(2)桥宽8 m 范围内满铺钢板,并在钢导梁下满铺枕木,铺设范围为架桥机工作一侧距离系杆拱梁端17 m范围内。

(3)增设钢导梁下的滚轮组。

### 3.1 梁面加固方案

第3孔箱梁架设前,在系杆拱主梁梁面20 m范围内(距梁端0.6 m开始)铺设一层3 cm粗砂找平层,宽8.3 m,铺设时应确保顶面平整。在粗砂找平层顶面铺设厚16 mm钢板,粗砂两侧边缘采用角钢与钢板焊接进行封闭。钢板顶面横向铺设I20工字钢,纵向间距20 cm,工字钢与钢板焊接牢固,于钢板贴面设置 $\phi 20$  mm的HRB400工字钢纵向连接钢筋,连接筋横向间距0.8 m。工字钢间空隙采用粗砂填塞,工字钢顶面铺设16 mm钢板面层,钢板各部位连接处均焊接牢固,第二层钢板顶面铺设5 cm厚粗砂垫层,铺设长度20 m,宽度3 m,由线路中心往两侧铺设。现场系杆拱梁面铺设如图11所示。



图11 梁面加固图

### 3.2 梁体底部支撑补偿方案

基础处理完成后,采用倒链将柱顶双拼工字钢上提至横梁底,支立钢管立柱(立柱顶端预留1.5 m高度),立柱焊接加固并于柱顶搭建施工平台,同时于柱间焊接千斤顶作用支点,人工将柱顶预留部分钢管(1.5 m)焊接牢固,采用千斤顶将柱顶双拼工字钢顶至与横梁底部密贴,人工于缝隙处填塞钢板,周围小缝隙采用楔形钢板填塞,最后将工字钢与钢板接触处及钢板周边满焊牢固,梁底加固如图12所示。



图12 支墩加固图

### 3.3 临时支墩施工方法

(1)基础施工

①根据测量点位,采用旋挖钻机钻进成孔,经验收合格后采用C30混凝土灌注成桩。

②凿除桩顶松散混凝土及基础范围内虚土、虚渣。

③按照设计尺寸及相关规范要求绑扎钢筋、支立

模板并加固牢靠,于支柱设计位置预埋锚固钢板,经验收合格后采用C30混凝土浇筑成型。

(2)上提柱顶横梁(双拼工字钢)

①于系梁顶面搭设固定支架,安装倒链。

②通过横梁两侧泄水孔下穿绳具至地面,将提前制作好的双拼I56b工字钢采用倒链上提至横梁底部,固定牢靠。

(3)支架搭建

①于系梁底采用吊车将制作好的钢管吊起,人工配合机械使其对准预定位置,采用靠尺检查钢管的垂直度,个方位垂直度均满足要求后,人工将其与预埋钢板焊接牢固。

②人工配合机械于柱间和柱顶焊接剪刀撑和施工平台,剪刀撑5 m设置1道,每排钢管纵向设置2道。操作平台尺寸为2.63 m×7.23 m,操作平台采用I20工字钢焊接在钢管立柱顶部,工字钢顶面铺设方木和竹胶板,焊缝采取满焊,焊接质量须满足相关规范要求。

③吊车将柱顶预留节段(1.5 m)调至柱顶施工平台,人工将其竖立立于柱顶,垂直度满足要求后焊接牢固,焊接完成后柱顶与工字钢底面保持2~3 cm缝隙,同时采用型钢于柱间焊接千斤顶作用支点。

(4)支墩体系完善

①采用千斤顶将提至横梁底的双拼I56b工字钢上顶至与梁底密贴,采用钢板填塞柱顶与工字钢底部缝隙,检查不密贴部位采用楔形钢板填塞,人工敲击使之尽可能入缝深度大。

②将工字钢与钢板接缝处以及钢板周围填塞楔形钢板接缝处满焊牢固。

③拆除千斤顶,完成支撑体系。

## 4 结果分析

目前,现场架梁已按加固方案施工完毕,严格按照预定方案实施,运架梁过程中吊杆、拱体、梁体、支墩均未出现异常。施工完毕拆除临时支墩后,对全拱吊杆力进行测定,实际值与理论值基本一致,表明施工过程中并未对梁体受力造成实质性影响,梁面加固、临时支墩设置科学合理。

## 5 结论

随着我国铁路施工工艺不断发展,各种复杂桥梁型式、架桥机种类不断涌现,会产生多种运架梁与桥梁型式结合的特殊案例。本文通过张呼铁路卧佛山特大桥1-80 m简支系杆拱与运架一体机的结合案例,通

(下转第79页)

GAO Liang, XIAO Hong. Track Engineering [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2014.

[3] 何华武. 无砟轨道技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.

HE Huawu. Ballastless Track Technology [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005.

[4] 陈小平, 王平, 陈嵘. 弹性支承块式无砟轨道的减振机理[J]. 铁道学报, 2005, 29(5): 69–72.

CHEN Xiaoping, WANG Ping, CHEN Rong. Damping Vibration Mechanism of the Elastic Bearing Block Track [J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 29(5): 69–72.

[5] 高志国, 李成辉, 肖庆彬. 客运专线弹性支承块式无砟轨道动力分析[J]. 路基工程, 2010, 28(4): 36–38.

GAO Zhiguo, LI Chenghui, XIAO Qingbin. Dynamic Analysis on Elastic Bearing Block Ballastless Track for Passenger Dedicated Line [J]. Subgrade Engineering, 2010, 28(4): 36–38.

[6] 杨晓宇, 刘光福, 史振华. 套靴式弹性支承块整体道床施工监理质量控制[J]. 铁道标准设计, 2005, 49(9): 121–123.

YANG Xiaoyu, LIU Guangfu, SHI Zhenhua. Construction Supervision Quality Control of Monolithic Track Bed with Golosh-type Elastic Supporting Block [J]. Railway Standard Design, 2005, 49(9): 121–123.

[7] 刘学峰. 重载铁路无砟轨道用弹性支承块施工质量控制[J]. 山西建筑, 2014, 40(11): 248–250.

LIU Xuefeng. Construction Measurement Technology of Double-wall Steel Cofferdams in Deep Water and Rapid Flow Area [J]. Shanxi Architecture, 2014, 40(11): 248–250.

[8] 徐锡江, 蔡文峰, 姚力. 弹性支承块式无砟轨道支承块的合理埋深研究[J]. 高速铁路技术, 2013, 4(3): 9–12.

XU Xijiang, CAI Wenfeng, YAO Li. Study on Rational Buried Depth of Bearing Block for Elastic Bearing Block Ballastless Track [J]. High Speed Railway Technology, 2013, 4(3): 9–12.

[9] 史建斌. 钢轨爬行的原因分析及防治措施[J]. 煤炭技术, 2002, 21(12): 90–91.

SHI Jianbin. Reasons Analysis and Prevention Measurement of Rail Crawling [J]. Coal Technology, 2002, 21(12): 90–91.

(编辑: 车晓娟 张红英)

(上接第64页)

过模拟计算,验证不同工况下的梁体受力状况,进一步进行相应加固、验证,此工法可为同类施工、装备制造等提供借鉴。

参考文献:

[1] 潘际炎. 钢桥设计(上)[J]. 铁道建筑技术, 2008, 25(6): 1–14.

PAN Jiyang. Steel Bridge Design (Part 1) [J]. Railway Construction Technology, 2008, 25(6): 1–14.

[2] 张雪锋. 穿隧式运架一体机在湘桂铁路箱梁架设施工中的应用[J]. 铁道建筑, 2013, 53(7): 33–35.

ZHANG Xuefeng. Application of Through-tunnel Transport-Erection Machine in Box Girder Erection Construction of Xianggui Railway [J]. Railway Engineering, 2013, 53(7): 33–35.

[3] 周德, 叶梅新. 高速铁路大跨度系杆拱桥结合梁构造形式[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2009, 40(1): 256–262.

ZHOU De, YE Meixin. Composite Deck Structure of Large Span Through Tied-arch Bridge on High-speed Railway [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2009, 40(1): 256–262.

[4] 史忠法, 王雄飞, 张林. TTYJ900t 运架一体机在铁路箱梁架设中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2012, 29(2): 144–147.

SHI Zhongfa, WANG Xiongfei, ZHANG Lin. The Application of TTYJ900t Transport-Erection Machine in Railway Box Girder Erection [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development (Application Technology Edition), 2012, 29(2): 144–147.

[5] 朱敏, 王玉珏, 杨咏漪, 等. 铁路系杆拱桥设计研究[J]. 铁道工程学报, 2009, 26(10): 32–36.

ZHU Min, WANG Yujue, YANG Yongyi, et al. Study on the Design of Railway Tied Arch Bridge [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 26(10): 32–36.

[6] 王先章. 谈运架一体机 30‰大坡道 900t 箱梁架设[J]. 山西建筑, 2015, 41(2): 167–168.

WANG Xianzhang. Discussion on Erection of 900t Box Girder with Transporting-Erecting Machine on 30‰ Long Slope [J]. Shanxi Architecture, 2015, 41(2): 167–168.

[7] 魏常宝, 钱铭. 某大跨度混凝土拱桥灾后加固及其效果评定[J]. 四川建筑科学研究, 2015, 41(1): 91–95.

WEI Changbao, QIAN Ming. Post-disaster Reinforcement of A Long-span Concrete Arch Bridge and Its Effect Evaluation [J]. Sichuan Building Science, 2015, 41(1): 91–95.

[8] 孙一新. 梅州梅江桥加固维修技术研究[J]. 建筑监督检测与造价, 2012, 5(2): 27–29.

SUN Yixin. Study on Reinforcement and Repair Technology of Meijiang Bridges in Meizhou [J]. Supervision Test and Cost of Construction, 2012, 5(2): 27–29.

(编辑: 刘会娟 张红英)