

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.08.040

悬挂式轨道梁拱桥顶推施工方法研究

赵斌,李潭

(中铁重工有限公司,湖北武汉430000)

摘要:武汉光谷空轨“飘带拱”桥是一种新型悬挂式轨道梁拱桥结构。因轨道梁梁轨合一且底板断开的结构形式,导致其刚度较差,设计精度要求很高,该桥跨越武汉绕城高速,采用的是带拱顶推的施工方式,按照常见的顶推施工方法,施工将存在诸多困难,很难达到设计精度要求。该研究是在普通钢箱梁顶推施工工艺基础上,通过增加梁底约束装置、改进大高差落梁工艺,使拱桥在保证安全性的前提下,顺利完成施工,解决了悬挂式轨道梁拱桥带拱顶推的难题,为今后类似工程的施工提供了参考。

关键词:悬挂式轨道梁;施工方法;顶推施工

中图分类号:U445

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)08-0170-04

0 引言

悬挂式轨道交通系统是一种新型公共交通方式,其构造灵活,建设相对简单,一般采用高架结构、“梁-轨”合一的轨道系统^[1]。国内悬挂式单轨作为城市轨道交通的发展刚刚起步,在大跨度轨道梁施工方法方面的研究还十分匮乏。为此,本项目尝试将传统钢梁顶推施工方法应用在悬挂式轨道梁的现场安装施工中,并可以在今后类似工程实践中推广。

1 工程概况

光谷生态大走廊旅游配套设施——旅游专线一期工程,是国内首条悬挂式轨道运营线路,线路北起九峰山森林公园,南至龙泉山,线路全长约10.5 km,设站6座。包含9座大跨度桥梁,其中跨绕城高速桥梁为一座80 m跨简支拱桥,见图1。



图1 桥梁效果图

2 结构特点

轨道梁路径位于半径为1 000 m的曲线段,轨

收稿日期:2023-05-23

作者简介:赵斌(1977—),男,硕士,工程师,从事钢结构桥梁制造及施工技术研究与应用工作。

道梁右线跨度80 m,左线因平曲线影响有所缩短。拱桥采用外静定的简支钢桁拱结构,单片桁架的腹杆采用两组飘带状的三角形布置形式,桁架居于端横梁中点,两端四个支座置于端横梁下方,支座横向间距3.704 m,见图2。

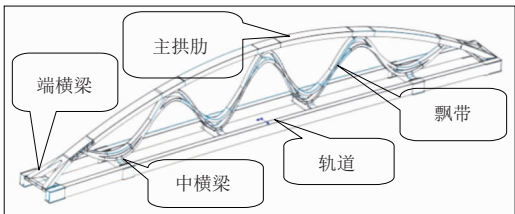


图2 桥梁上部结构组成

悬挂式轨道梁为开放式结构,采用顶部箱型开口截面,主体截面净梁高1 676 mm,宽1 216 mm,腹板净距836 mm,顶底板间设置一道16 mm的隔板将梁体内分隔为两部分,底板间隔宽度230 mm,用于通行列车,为提高底板刚度,在底板下方布置了通常纵肋和横向小加劲肋,见图3。

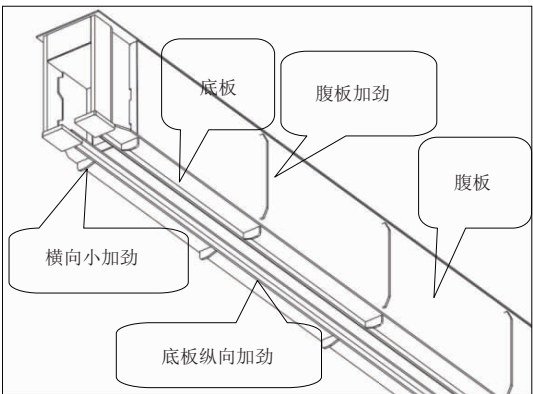


图3 轨道梁主要结构组成

3 施工工艺及流程

随着钢梁的跨度增加,以及施工条件的限制越来越多,顶推施工方法应用的越来越普遍。顶推法思路源于纵向拖拉施工方法^[2],按照顶推原理,可以分为滑移式和步履式,其中步履式顶推由于其安全便捷的特点应用的更加广泛,其原理是在顶推路径上布置若干组千斤顶,通过千斤顶的上升,前进,下降,回复的循环过程,将钢梁移动至设计位置上方,再通过落梁施工过程,标高降至设计桥位。

本桥制定的主要施工流程见图 4。

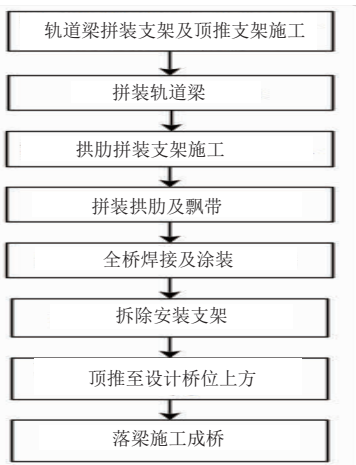


图 4 拱桥施工流程图

4 施工关键技术

4.1 带拱顶推施工工艺

由于拱肋安装时间长,且高空作业风险大,因此本项目拱肋是在顶推施工前安装完成。成桥后的重心在轨道梁上方 2.6 m 处,因此带拱顶推增加了倾覆的风险,见图 5。

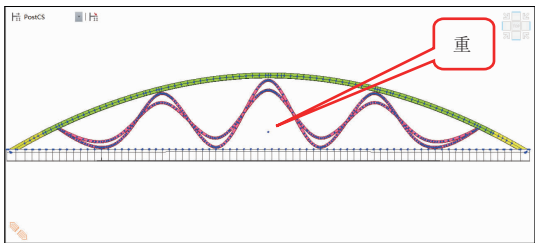


图 5 飘带拱桥重心位置示意图

为减少顶推过程中桥梁倾覆的风险,顶推最大跨径减少到 21 m 左右,并减小抄垫的高度至 0.5 m 以内。拱桥施工时在高速的一侧设置临时拼装区,区域内支架基础、吊车站位、梁车行驶区域都进行地基处理,以满足施工要求。临时支架分为拼装支架和顶推支架 2 种基本形式,拼装支架在顶推前与拱桥脱离完成体系转换。本项目施工临时支架布置见图 6。

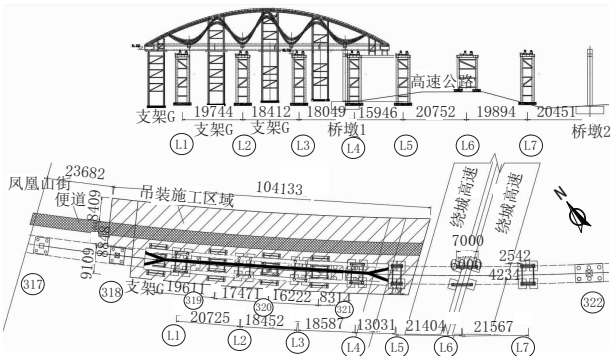


图 6 施工临时支架布置图(单位:mm)

顶推过程考虑风荷载的影响,根据《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01—2018),当地风速 $V=27.7\text{ m/s}$,故风荷载取值如下:

- 钢梁横向风荷载取 2 kN/m 。
- 钢主拱横向风荷载取 1.2 kN/m 。
- 钢飘带横向风荷载取 0.6 kN/m 。
- 在桥梁支撑点约束 X、Y、Z 方向平动。
- 采用 MIDAS Civil 有限元软件计算,模型见图 7。

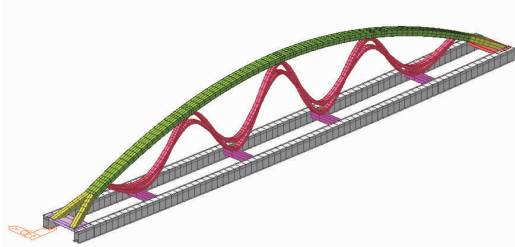


图 7 飘带拱桥计算模型

计算应力时,荷载组合 $=1.2 \times \text{恒载} + 1.4 \times \text{风载}$ 荷,计算位移和反力时,荷载组合 $=1.0 \times \text{恒载} + 1.0 \times \text{风载}$ 荷,顶推施工过程中的计算工况如下:

拼装完成→主梁即将上 L6 临时墩→主梁完成上 L6 临时墩→主梁即将上 L7 临时墩→主梁完成上 L7 临时墩→顶推到位→落梁。

典型工况见图 8 至图 11。

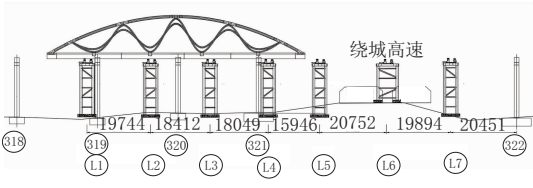


图 8 拼装完成(单位:mm)

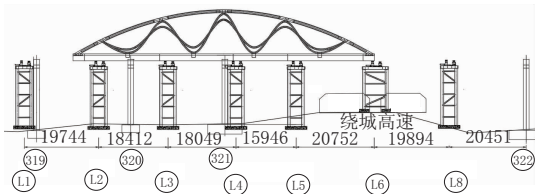
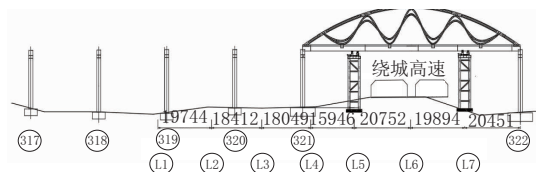
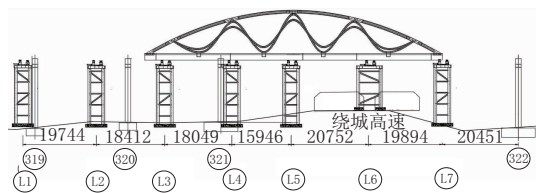
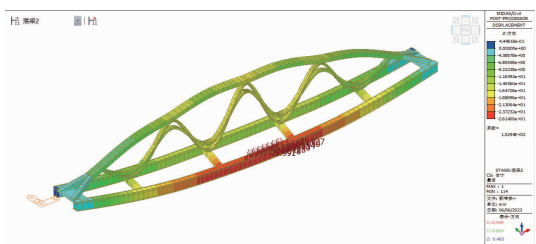
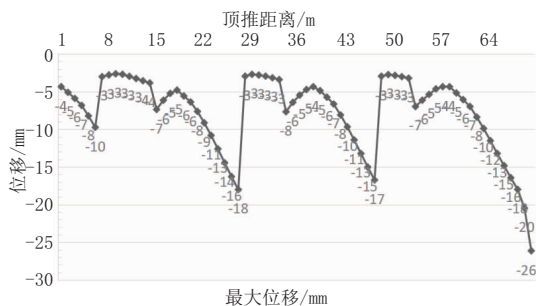
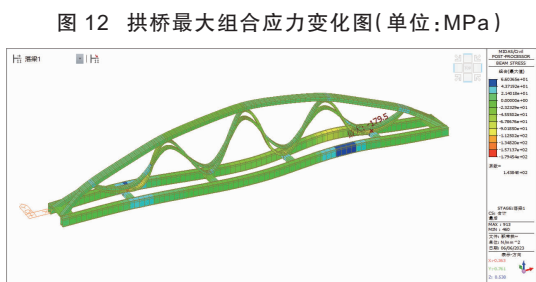
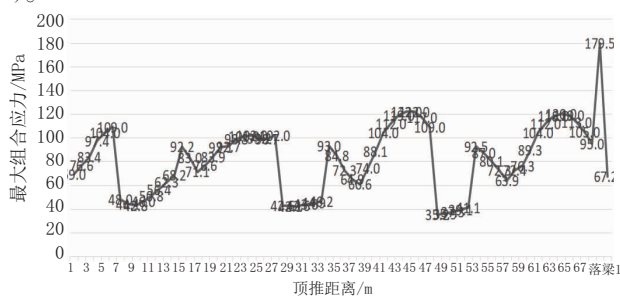


图 9 主梁上 L6 临时墩(单位:mm)



4.2 结果统计

(1)各工况下的结果汇总及结论如下(见图 12~图 17)。



经计算,顶推过程中,最大应力为 179.5 MPa,最大竖向位移为 26 mm,最大支反力为 1 453.4 kN,均

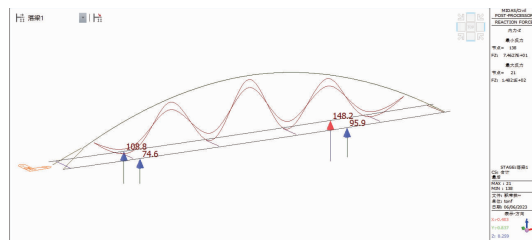
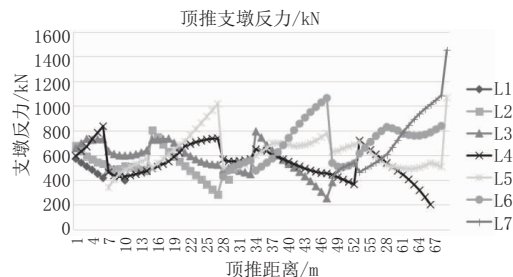
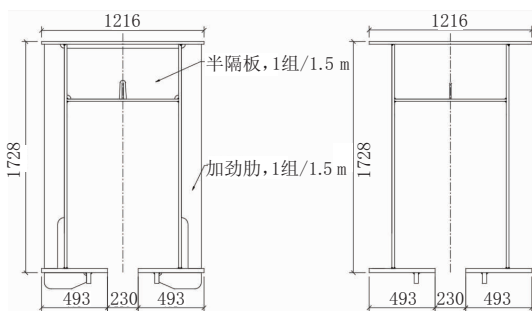


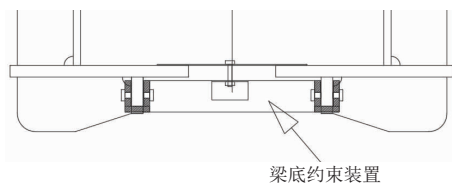
图 17 拱桥临时墩最大反力图

(2) 轨道梁在顶推过程中的变形控制

由于轨道梁特殊的结构形式,其刚度弱于普通钢箱梁,然而,其对变形的要求又远高于钢箱梁的要求,例如,轨道梁的平面度要求为 1.5 mm/m ,而普通钢箱梁允许达到 2.5 mm/m ,轨道梁的截面形式见图 18。



为解决此问题, 本文在梁底加装了梁底约束装置, 见图 19。



其原理是,每隔 0.5 m 采用该装置固定底板纵肋的平面位置,从而对底板的变形产生约束,为方便施工,采用了螺栓固定的方式进行约束,且在钢梁和装置间放置了橡胶垫,以保护涂装。

安装后的效果见图 20。

为计算底板在顶推过程中的变形,采用有限元软件建立 6 m 长的钢梁节段,采用板单元建模,垫块处约束重力方向位移,在钢梁端部约束水平方向位



图 20 梁底约束装置安装效果图

移。通过调整模型的重力使垫块的反力值和顶推计算反力值相等,从而模拟垫块对钢梁的顶升效果,计算模型见图 21。

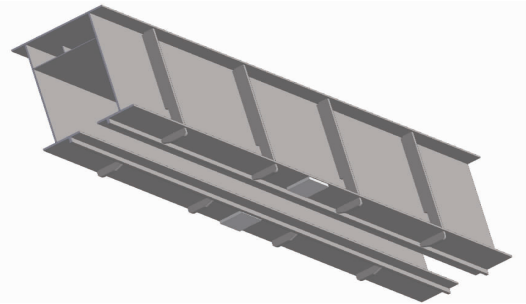


图 21 轨道梁未加约束装置的计算模型

计算表明,未加约束装置时,底板在水平方向的变形为 0.13 mm,见图 22。

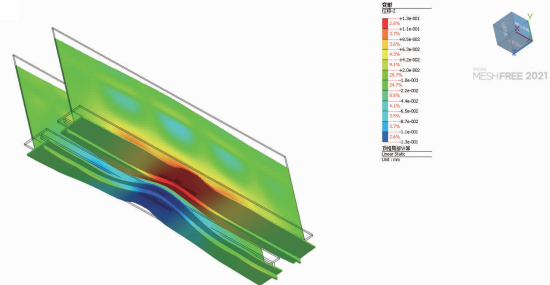


图 22 轨道梁未加约束装置的计算结果
当每隔 0.5 m 加装底板约束后,模型见图 23。

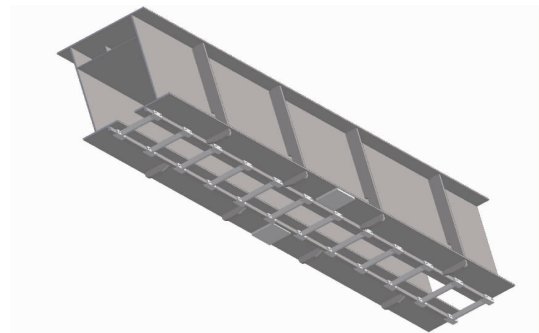


图 23 轨道梁底加约束装置后的计算模型

底板变形减少为 0.07 mm,变形减少了 46%,见图 24。

(3)悬挂式轨道梁落梁工艺

本项目钢梁的落梁高度达到了 1.5 m,由于拱桥

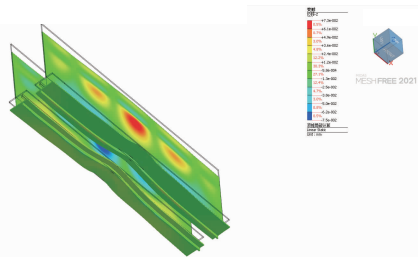


图 24 轨道梁底加约束装置后的计算结果
的重心偏高,为保障顶推施工安全,顶推的过程中,抄垫高度需要控制在 0.5m 以下,因此本文创造性地使用了逐级降低支架高度的落梁方式。

首先,将支架上部布置 2 个 0.5 m 高的可拆卸节段。然后,落梁前,在轨道梁上安装多个门形吊具,用于安装倒链。倒链的另一端连接至放置步履机的分配梁。使用时,倒链将步履机和分配梁与下方的顶推支架分离,拆卸 0.5 m 节段柱后,再重新固定步履机和分配梁,重复以上步骤,并配合垫块的高度逐级下降,即可实现支架的整体高度下降,见图 25 和图 26。

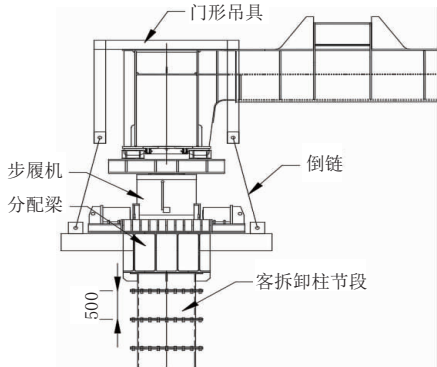


图 25 落梁装置示意图(单位:mm)



图 26 落梁装置安装效果图

5 现场施工及社会效益

本工程严格按照方案施工,施工过程顺利,质量满足要求,与常见的施工方法比较,安全性有保障,并节省了费用,达到了预期目标。

项目计划于 2023 年通车,是国内首条正式运营的悬挂施工轨道交通线路(见图 27),线路将串联光

(下转第 177 页)

必须要设计有效技术措施增加有效受拉主筋的面积。对预应力孔道不密实的主梁采用黏结性良好的高强材料注浆解决黏结问题,可以有效提高病害主梁承载力和截面刚度,并维持城市桥梁外观原貌,保持美观性。对开裂引起混凝土与主筋黏结滑移的病害梁,注浆效果不佳,应考虑在主梁底部增设补强受拉材料,才能恢复主梁承载力。

相较常见主梁恒载下开裂维修,主动压重下维修裂缝是主梁刚度允许、结构安全情况下,使裂缝充分暴露,从而消除耐久性隐患。该方法会引起裂缝病害一定程度的范围扩大,但维修较为彻底、经济,效果可靠,更适合承载力满足的钢筋混凝土结构维修。传统不压重维修开裂裂缝,维修后的裂缝常二次开裂并发展,需要辅助贴钢板、使用体外预应力等加固措施,较适合承载力不足的结构。因此,建议决策维修措施根据结构实际,科学论证。

参考文献:

- [1] 阮大伟,陈蛟,谢开仲,等.PC连续箱梁施工阶段裂缝检测及成因分析[J].公路,2020,65(3):132-136.
- [2] 刘昀.预应力混凝土箱梁桥腹板开裂参数影响分析[J].中外公路,2021,41(5):116-119.

- [3] 陈平燕.大悬臂薄腹板连续箱梁桥腹板开裂病害原因分析及加固方法研究[J].公路,2019,64(3):115-119.
- [4] 孙金更.铁路箱梁静载试验开裂原因分析及控制措施[J].铁道标准设计,2015,59(7):84-88.
- [5] 徐向锋,张峰,韦成龙.预应力混凝土箱梁开裂后的刚度损伤评估[J].工程力学,2015,32(7):95-102.
- [6] 徐向锋,张峰.带裂缝工作箱梁的刚度损伤评估[J].中外公路,2014,34(4):97-101.
- [7] 徐栋,孙远,吴佳璞.箱梁薄壁效应及腹板开裂成因分析[J].桥梁建设,2009(4):76-79.
- [8] 周勇,张峰,李术才,等.开裂后预应力混凝土连续箱梁计算模型[J].长安大学学报(自然科学版),2008(3):53-58.
- [9] 叶见曙,张峰.预应力混凝土连续箱梁开裂后的刚度退化模型[J].中国公路学报,2007(6):67-72.
- [10] 龙佩恒,陈惟珍,何雄君.PC箱梁桥受力开裂成因的数值分析[J].桥梁建设,2006(2):77-80.
- [11] 李彦伟,樊文林.无粘结预应力连续梁中钢绞线的应力[J].国外桥梁,2000(1):65-71.
- [12] 杜进生,赖国麟.无粘结部分预应力混凝土受弯构件正截面抗弯强度计算方法的研究[J].桥梁建设,1997(3):15-19.
- [13] 孙艺嘉,吴涛,刘喜.无粘结预应力CFRP筋钢纤维轻骨料混凝土梁受弯性能试验研究[J].工程力学,2022,39(3):64-74.
- [14] 赵煜,贺拴海,李春风,等.在役预应力混凝土箱梁开裂后承载力评估[J].同济大学学报(自然科学版),2010,38(9):1271-1275.

(上接第173页)

谷生态大走廊内山、水、文化区等特色区域,实现大走廊全域旅游节点资源的统筹开发运营,将产生了明显的经济和社会效益。



图27 桥梁实景图

6 结语

本文对光谷空轨项目跨绕城高速“飘带拱”桥的

顶推施工流程及关键技术进行了介绍,提出了一种适合悬挂式轨道梁拱桥的顶推施工方案,实践证明方案的实际效果较好,在满足安装质量的前提下,兼顾了经济性和安全性,达到了预期效果,为今后类似工程的施工提供了参考。同时,由于大跨度轨道梁桥的造型日新月异,还需要我们不断摸索总结悬挂式轨道梁桥的施工技术经验。

参考文献:

- [1] 杨翠屏,张津,邢扬.悬挂式单轨轨道梁制造工艺研究[J].城市轨道交通研究,2019(4):48-51.
- [2] 封晓平.桥梁顶推法施工的现状与发展趋势[J].交通世界,2018(27):122-123.