

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.10.043

小半径高、宽渐变钢箱梁跨高速公路顶推方案研究

米孝生,陈伟,陈海斌,胡智敏,郭泰广
(广东省建筑设计研究院有限公司,广东 广州 510016)

摘要:上跨现状高速公路常采用顶推法施工,对于小半径高、宽渐变钢箱梁传统做法采用曲线顶推方案,传统做法存在顶推工艺复杂、技术难度大、工期长、下部结构造价高等问题,应用范围有限。以白云五线匝道主桥上跨广清高速钢箱梁为工程背景,详细分析小半径高、宽渐变钢箱梁结构特点,提出变宽曲梁直顶的新方案,同时根据顶推梁变宽特点,对墩顶垫梁宽度进行合理布置,以满足受力明确和减少用钢的设计要求。对钢箱梁在顶推过程各工况的受力进行分析,验证顶推方案的合理性。曲梁直顶很好的环境适应性、工期短、受力明确和良好的经济性,可为同类型顶推方案提供参考。

关键词:桥梁工程;顶推;变宽曲梁;曲顶;直顶;垫梁

中图分类号: U445.462

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)10-0192-04

0 引言

桥梁跨越江河、既有路线、通航河道,当采用吊装法施工受限时,通常采用顶推法施工。顶推法 40 多年来在我国得到了大量的应用,推动了桥梁建造技术的巨大进步,其中具有代表性的桥梁有:杭州九堡大桥^[1,3,4,17,19,20]是国内首座采用梁拱整体顶推法施工的桥梁,项目研制了步履式千斤顶设备及计算机同步控制系统,其主跨跨径 210 m,顶推过程最大悬臂 94 m;此外,顶推工艺在大跨轨道钢箱叠合梁桥^[1],钢桁梁^[6],宽幅钢箱梁^[5]等均得到了成功应用。以上代表性案例均采用步履式顶推法施工,且均为等宽直线桥梁。

近年来,顶推法在曲线小半径高、宽渐变钢箱梁得到一定的应用,如福建省沙埕湾跨海大桥南引桥为大跨曲线钢—混组合连续钢箱梁桥^[2,16,18]和新冠桥,采用单向多点同步顶推作为步履式顶推施工方案,针对曲线桥和变宽截面钢梁^[7]拱桥的临时墩布置和临时结构与主体结构的合理连接方式进行了研究。

目前采用顶推法施工的大跨、曲线、变宽、变高的钢箱梁案例较少,而采用常规的曲梁曲顶存在工艺复杂、工期长、造价高等问题,不适宜应用于本项目。本文以白云五线上跨广清匝道桥位工程背景,研

究大跨、曲线、变宽、变高钢箱梁顶推新工艺,以期为类似工程提供可靠参考。

1 背景工程

白云五线 A、B 匝道桥上跨广清高速匝道桥采用小半径高、宽渐变钢箱梁,中分带过小无法设桥墩,因此结合预留远期车道,主跨需一跨跨越道路,A、B 匝道主跨达 70 m 和 75 m。广清高速路政管理部门不允许中断交通,不具备封路条件无法采用吊装施工,对该桥跨高速公路部分仅可采用顶推法进行施工。白云五线 A 匝道桥第三联为 (47.5+70+47.5)m 钢箱连续梁,平曲线半径为 211 m;B 匝道桥为第四联 (44+75+44)m 钢箱连续梁,平曲线半径为 207 m。为减小主跨顶推悬臂长度,在广清高速两侧设置两个临时墩,上跨高速段采用顶推施工,其余钢箱梁采用吊装施工,其中 A 匝道顶推段长 56 m,B 匝道顶推段长 61 m,如图 1 所示。



图 1 白云五线上跨广清高速平面图

收稿日期: 2024-02-25

作者简介:米孝生(1981—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁结构设计工作。

本文选取跨度大、半径小的B匝道桥为研究对象包络设计。图2、图3所示为B匝道顶推段结构图。如图所示,B匝道顶推段两端4 m长段为变截面梁高2.92~2.6 m,其余53 m长段梁高为2.6 m。横断面采用单箱双室,顶板宽9 176~10 118 mm,悬臂长1.8 m,底板宽5 576~6 518 mm。

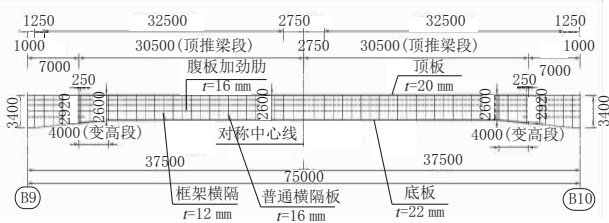


图2 B匝道顶推段立面布置图(单位:mm)

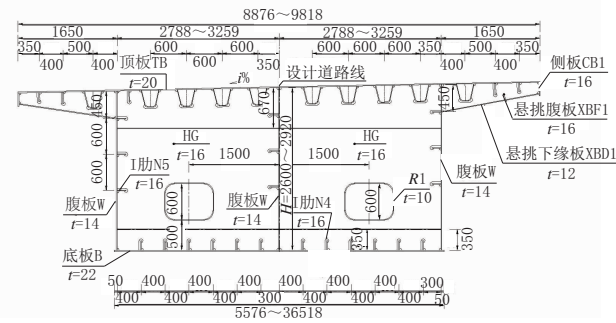


图3 B匝道顶推段横断面图(单位:mm)

2 顶推方案比选

本工程A、B匝道主跨上跨高速公路顶推施工,采用步履式顶推施工方法。对曲线段桥梁顶推可采用曲梁曲推法和曲梁直推法,以下从技术可行性、安全可靠、工期情况等方面,对上述两种方案进行比选分析,以期选择较优的顶推设计方案,用于指导实际施工。

2.1 曲梁曲顶法

顶推平面轨迹线按照成桥梁段的平面曲线的延长线上进行设置(见图4),顶推支架按曲线轨迹进行布置,利用步履式千斤顶顶推梁段就位。按成桥曲线的延长线,由此顶推时需先纵向顶推到位再横向移动至成桥位置。顶推过程中垫块位置相对固定。方案可行,但顶推至临时墩五时,临时墩四横向偏移9.9 m,另需在顶推再增加横移滑移就位。

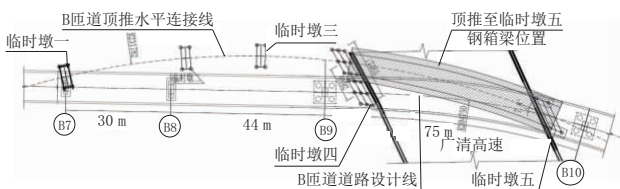


图4 B匝道曲梁曲顶平面图(单位:m)

2.2 曲梁直顶法

顶推平面轨迹线按照成桥梁段的平面两端连线

的延长线上进行设置,顶推支架按直线轨迹进行布置,利用步履式千斤顶顶推梁段就位,曲梁直顶顶推线如图5所示。

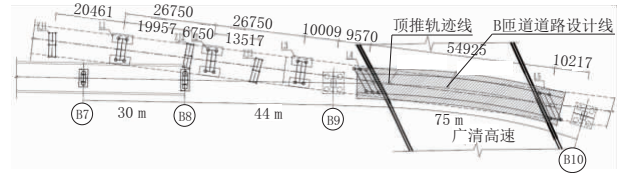


图5 B匝道曲梁直顶平面图(单位:mm)

在顶推支架上设置步履式三维千斤顶进行顶推,可以直接顶推至成桥位置。顶推过程中需根据梁的曲线不断调整垫块横向位置。

2.3 摩阻力影响

在桥梁顶推过程中,摩阻力^[11]存在两种工况,第一种工况是步履式顶推设备中的支撑滑箱^[14-15]与底部固定的不锈钢板之间存在滑动摩阻力,该摩阻力大小直接影响桥梁顶推前进过程和横向纠偏过程是否顺畅;第二种摩阻力是由于曲线梁线形问题,在顶推过程中垫梁对曲线梁腹板产生不同的竖向反力,进而产生不同大小的切向摩阻力,使得曲线梁发生平面转动,造成曲线梁横向偏移不利影响。

参考上述已有研究,考虑最不利状态,水平风载87.4 kN,顶推自重约3 700 kN,钢梁与垫板摩阻力一般0.1~0.15,最小摩阻力为370 kN,可见顶推过程横向是安全的。

2.4 比选结果

分别对两种施工工艺技术难度、可靠性、工期等进行比较,结果见表1。

表1 施工工艺比选结果

项目	曲梁曲推法	曲梁直推法
方案可行性	顶推至临时墩,横向偏移大,需再增加横移施工	直接顶推至成桥位置。
安全可靠	横向偏移对主梁和临时墩有横向水平力,施工风险大	无附加水平力;安全风险可控
工期可控性	过程中需技术纠偏,纠偏占用顶推时间比例大,顶推速度慢	顶推过程按直线顶推,过程中纠偏频次少,顶推速度快
造价	临时墩造价偏大	临时墩相对较小

曲梁曲顶法虽然保证了垫梁位置相对固定,但是需要横移施工可能对主体结构产生影响,临时墩受力不均匀,偏载较大,需要增加局部加强费用,因此曲梁曲顶过程不可控因素多,施工设备及操作人员投入多,工期长,作业风险大。

综上所述,为确保安全、高效、如期完成钢梁施工,本工程选用曲梁直顶法完成钢箱梁施工。

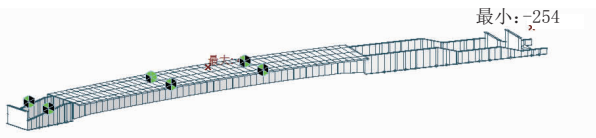


图 12 顶推最大竖向变形图(单位:mm)

(4)采用有限元软件 ABAQUS 对顶推过程临时墩钢垫梁与钢箱梁局部接触应力分析。图 13~ 图 14 为接触应力分析结果,从图中可知,钢梁边腹板支点最大 Mises 应力 137 MPa,钢箱梁与导梁连接部位最大 Mises 应力 50.1 MPa,均小于 215 MPa,满足设计要求^[8]。

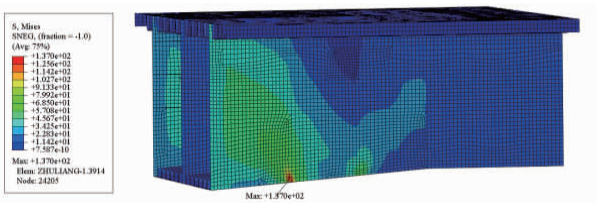


图 13 钢梁局部应力云图(单位:MPa)

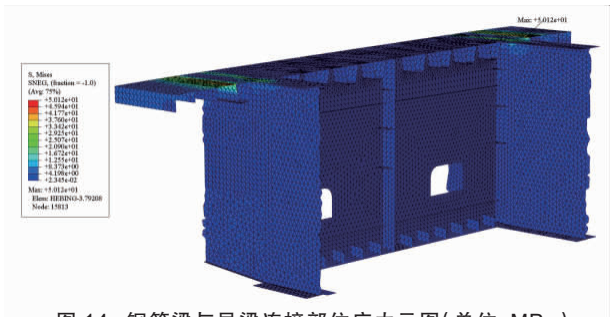


图 14 钢箱梁与导梁连接部位应力云图(单位:MPa)

5 结 语

本文依托白云五线上跨广清高速工程,对小半径高、宽渐变钢箱梁跨高速公路顶推工艺、结构布置及力学性能进行了分析,实现并保证了施工过程结构安全、便利,本研究已申请相关专利,相关结论可为类似工程提供参考。

(1)对顶推工艺进行综合比选,曲梁直顶在施工可行性、可靠性、工期可控性及经济性方面具有优势,较适用于本工程钢梁顶推施工。

(2)针对曲线变宽梁顶推过程中步履式千斤顶垫梁支撑点随顶推过程不断变化的特点,提出根据顶推轨迹线求出受力范围包络线,以此包络线来布置垫梁,确保顶推过程无脱空现象,结构受力简单、明确。

(3)针对步履式多点顶推特点,合理布置钢箱梁横向加劲肋,较好地改善了底板局部应力。

(4)对钢箱梁和导梁在顶推施工各个工况的力学性能进行分析,验证了结构强度、刚度、抗倾覆系数满足结构受力要求。

参考文献:

- [1] 周建庭,李轩,吴月星,等.大跨轨道钢箱叠合梁桥顶推施工控制方法[J].世界桥梁,2021,49(3):64-71.
- [2] 杨增权.大跨曲线钢槽梁顶推施工关键技术[J].公路交通科技,2021,38(3):56-62,72.
- [3] 王锋.大跨度六线简支钢箱叠拱桥顶推施工关键技术[J].世界桥梁,2021,49(2):43-49.
- [4] 汪学进.大跨度圆曲线槽型钢梁顶推施工方案比选[J].世界桥梁,2020,48(2):51-55.
- [5] 李传习,陈卓,董创文,等.横向四滑道步履式顶推宽幅钢箱梁局部应力分析[J].公路交通科技,2019,36(4):72-79.
- [6] 刘玲晶,涂清明.沪杭甬钱塘江新建大桥钢桁梁步履式顶推施工关键技术[J].世界桥梁,2023,51(224):63-70.
- [7] 罗干生,张书亚,陈友生,等.变宽截面钢梁拱桥整体顶推施工的临时结构布置方法[J].城市道桥与防洪,2023(3):146-149.
- [8] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [9] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [10] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范[S].
- [11] 黄仕平,袁兆勋,唐勇.桥梁平转施工中球铰界面的摩擦力精确计算方法及验证[J].中国公路学报,2021,34(9):231-241.
- [12] 莫增模,黄仕平,王卫锋.桥梁转体施工中球铰接触应力分析研究[J].公路,2021,66(2):184-188.
- [13] 黄仕平,唐勇,袁兆勋,等.桥梁转体施工接触面应力分析及优化方法[J].哈尔滨工程大学学报,2020,41(12):1790-1796.
- [14] 左雁,彭云涌,万小龙.场地受限条件简支钢箱梁不等跨顶推对策及受力分析[J].中外公路,2021,41(6):137-140.
- [15] 张宏武,柯红军,陈卓异,等.不调整临时墩顶标高的双向纵坡竖曲线梁顶推方案研究及实施[J].中外公路,2023,43(4):118-123.
- [16] 宋曰建.高墩长联钢-混凝土梁顶推施工工期抖振响应及控制[J].中外公路,2022,42(5):102-109.
- [17] 左雁,彭云涌,万小龙.场地受限条件简支钢箱梁不等跨顶推对策及受力分析[J].中外公路,2021,41(6):137-140.
- [18] 马琼锋,刘海庆.变高截面钢箱梁顶推技术研究[J].中外公路,2019,39(5):149-152.
- [19] 唐杨.填充混凝土对顶推施工中的方形钢桥墩垂直度影响分析[J].中外公路,2019,39(3):89-93.
- [20] 陈军刚,王学勇,周洲,等.大跨钢-混凝土组合箱梁无支架顶推技术与控制计算[J].中外公路,2020,40(4):137-141.