

上跨桥钢混组合梁顶推施工关键技术研究

黄 祥

(中铁十一局集团第二工程有限公司,湖北 十堰 442000)

摘 要: 以某上跨桥钢混组合梁顶推施工为例,提出了钢混组合梁顶推施工及临时支架设计方案,借助数值模拟手段开展了顶推施工过程的受力分析。结果表明,顶推施工中支架最大综合应力位于支架主立柱顶端分配梁位置,为 59.92 MPa,低于设计允许值 205 MPa,为设计允许值的 29.2%,最大变形量位于分配梁中心位置处,为 1.92 mm。顶推施工中叠合梁和导梁最大组合应力分别为 77 MPa 和 74MPa,分别为各自容许应力的 28% 和 39%。叠合梁最大前悬下挠、后悬下挠和跨中挠度分别为 60、38、22 mm,导梁最大位移为 163 mm,在设计规范预警值范围内。叠合梁最大前悬和后悬抗倾覆比分别为 2.48 和 2.99,均大于规范要求的 1.3,分别为规范允许值的 190% 和 230%,表明叠合梁能满足抗倾覆稳定性的要求。研究成果可为钢混组合梁支架设计和顶推施工提供参考。

关键词: 钢混组合梁;顶推施工;临时支架设计;有限元分析

中图分类号: U445.462;TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)12-0226-05

Study on Key Technologies in Incremental Launching Construction of Overpass Steel-Concrete Composite Beams

HUANG Xiang

(China Railway 11th Bureau Group Second Engineering Co., Ltd., Shiyan 442000, China)

Abstract: Taking the incremental launching construction of steel-concrete composite beams of overpass as an example, an incremental launching construction scheme of the steel-concrete composite beam and a design scheme of temporary support are proposed. The force analysis of the incremental launching construction process is carried out by means of numerical simulation. The results indicate that the maximum comprehensive stress in the support during the incremental launching construction is located at the top distribution beam position of the main column of the support, which is 59.92 MPa, and is below the design allowable value of 205 MPa, representing 29.2% of the design allowable value. The maximum deformation is located at the center of the distribution beam, which is 1.92 mm. During the incremental launching process, the maximum combined stresses in the composite beam and the guide beam are 77 MPa and 74 MPa respectively, accounting for 28% and 39% of their respective allowable stresses. The maximum deflections of the composite beam at the front cantilever, rear cantilever and mid-span are 60 mm, 38 mm and 22 mm respectively, and the maximum displacement of the guide beam is 163 mm, all within the warning values of the design specifications. The anti-overturning ratios of the composite beam at the front and rear cantilevers are 2.48 and 2.99 respectively, both exceeding the code requirement of 1.3, representing 190% and 230% of the allowable values respectively, which indicates that the composite beam can meet the requirements of anti-overturning stability. The research findings can provide a reference for the design of supports and the incremental launching construction of steel-concrete composite beams.

Keywords: steel-concrete composite beam; incremental launching construction; design of temporary support; finite element analysis

0 引 言

大跨度桥梁的建设中,钢混组合梁因其结构强度高、经济性好、适应性强,逐渐成为主流的桥梁结

构形式。为缩短施工周期、提高施工效率,钢混组合梁施工中广泛采用顶推施工技术^[1-4]。但因受力不均、支架稳定性不足、顶推力的合理分配等问题,常常影响施工的安全性和施工进度。因此,顶推施工过程中的支架设计及受力分析至关重要。

近年来,国内在钢混组合梁顶推施工技术方面的研究不断深化,涵盖了受力分析、支架设计、施工

收稿日期: 2025-02-27

作者简介: 黄祥(1990—),男,本科,工程师,从事施工信息化管理工作。

优化^[5-7]等多个方面。易善德等^[8]提出一种双向超宽变腹板钢箱梁的顶推施工新工艺,将钢箱梁的拼装、提升、顶推与提梁站结构有机结合,成功解决了钢箱梁截面变化及分联顶推过程中的受力与施工难题。吴志强^[9]对跨扩建高速公路钢箱梁施工中的步履式顶推技术进行了深入研究,明确了步履式顶推技术对钢箱梁受力状态的影响,并验证了该技术在施工过程中的安全性与可靠性。宋显锐等^[10]以某大跨钢箱梁跨越高速公路的顶推施工为背景,对顶推施工过程中的临时支架受力性能进行了详细分析,并提出通过优化钢管立柱截面尺寸和横撑间距来提高支架的稳定性和安全性。此外,项进^[11]针对大吨位钢梁顶推施工过程中支架设计问题,提出永临结合的创新型支墩方案,有效提高了顶推施工的安全性和经济性。田昱^[12]以实际工程为背景,建立钢混组合梁桥有限元模型,通过受力分析优化了施工及成桥阶段的设计方案。颜巍^[13]通过研究装配式钢混组合梁桥顶推施工过程中关键截面受力情况,为顶推过程提供了更加精细的分析方法和数据支撑。叶建良^[14]针对槽形钢梁顶推施工技术难题,提出了相应的技术措施,提升了顶推施工过程的安全控制水平。金球运^[15]则深入分析了槽形钢混组合梁现浇桥面板的临时支架结构设计和验算方法,为临时支架的稳定性评估提供了理论依据。

参考前述研究结果,本研究以某上跨桥钢混组合梁顶推施工为例,探讨了顶推施工过程中临时支架结构设计及受力分析。通过分析钢混组合梁顶推施工中临时支架和顶推过程的受力特性,识别支架设计中的薄弱环节,提高顶推施工的安全性和结构稳定性,同时为今后类似工程的顶推施工提供借鉴和参考。

1 工程概况

本文依托某在建高速公路全长约 23.197 km,设计速度为 120 km/h,涉及 4 个大跨度钢箱桥梁施工。所研究桥梁采用 30 m+50 m+30 m 钢混组合梁形式,梁高 2.014 m,桥面横坡值为 2.0%。桥宽 12 m,横断面采用单箱双室,箱室每室宽 3.4 m,左、右侧悬臂长均为 1.3 m。施工现场地质条件多变,部分地区土质松软,地下水位较高,给基础施工和支撑结构的稳定性带来了较大困难。施工期间需采取交通疏导措施,保证施工和通行的双重需求。

2 钢混组合梁顶推施工难点

钢混组合梁顶推施工过程中,存在多个技术难点,主要问题集中在顶推力分配、临时支架稳定性以及施工环境的适应性等方面。

(1)钢混组合梁重量大,特别是在大跨度桥梁施工时,梁体重量可达 654.2 t。顶推力分配必须精确,防止产生过大的不均匀力,影响梁体稳定性。顶推施工过程中每个环节都需要保证顶推力均匀分布,避免因不平衡力导致支架结构偏移或损坏。

(2)在顶推过程中,临时支架承受荷载较大,尤其在梁体推送过程中,支架受力随着梁体推进不断变化。如何确保临时支架在整个施工过程中保持稳定,是施工中的另一大难点。

因此,如何针对工程所在区域的地质特点和施工环境,在进行钢混组合梁顶推施工同时,制定顶推施工和支架施工方案及工艺,是本工程顺利推进的关键所在。

3 钢混箱梁顶推施工工艺

3.1 顶推施工方案

顶推作业前,各节段箱梁被吊装至拼装胎架上,进行拼装、焊接、涂装、导梁安装等工序。随后,根据现场施工环境和工况需求,确定顶推方向,并分阶段实施顶推作业。在钢梁顶推就位后,再进行剩余钢梁节段的吊装作业。

顶推施工时采用步履机系统进行推进,步履机主要包括顶升支撑油缸、顶推纵移油缸、横向调整油缸、纵移滑块、横移滑块、横移底座等结构,通过计算机控制和液压驱动来实现组合和顺序动作,以满足施工要求。

平推式顶推装置进行顶推,即竖向千斤顶顶起钢混组合梁,水平千斤顶完成向前顶推,落梁后搁置于垫块上,千斤顶回油完成一个行程的顶推工作,顶推过程中是一个自平衡的顶推动作过程,具体步骤如下。

步骤一(顶升):开启支撑顶升油缸,使得支撑顶升油缸同步上升,直到钢混组合梁脱离落梁调节支座。

步骤二(平推):开启顶推油缸,使钢混组合梁与上部滑移结构整体前移,直至平推油缸完成一个行程。

步骤三(下降):开启顶升油缸,使得钢混组合梁

与上部转移结构整体下降,直到顶升油缸完全脱离钢混组合梁。

步骤四(回缩):开启顶推油缸,使上部转移结构向后回位,回到初始位置,并开始下一个往复行程。

3.2 支架施工

3.2.1 施工方案

支架施工包括有顶推前的拼装支墩施工和顶推支架施工以及后期的支架拆除施工。如图 1 所示,采用多根 $\phi 609\times 16$ 钢管,钢管立柱材质为 Q235b,各立柱之间采用 20a 槽钢连接成整体,保证临时墩整体稳定性。分配梁受力结构采用工字钢 H700 $\times$ 300 的 3 拼结构作为分配梁。

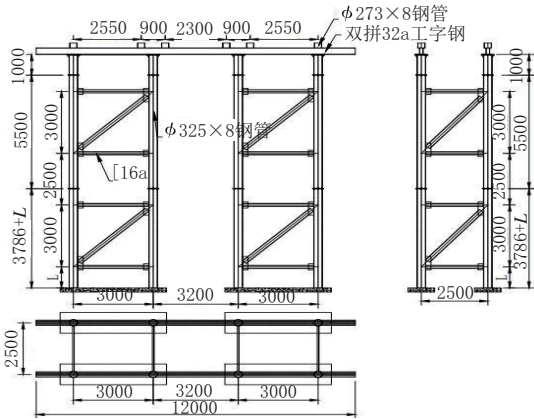


图 1 支架设计图(单位:mm)

3.2.2 注意事项

(1) 支架施工过程中,需注意对支架的精确调整,尤其是在顶推过程中支架受力情况发生变化时,调整支架结构是保障施工顺利进行的关键。

(2) 在支架施工过程中,需实时监测结构安全,尤其是在支架安装后和顶推过程进行中。通过传感器等监测设备,及时掌握支架的受力情况、位移变化、变形量以及倾斜度等参数,确保其处于安全范围内。

(3) 支架卸载施工由中间向两侧对称进行,需防止个别支承点集中受力,根据各支撑点结构自重挠度值,分阶段卸载,卸载完成后,拆除临时支架。

4 顶推施工受力分析

4.1 计算方法与模型

本文采用 MIDAS Civil 对梁体顶推施工开展有限元数值分析,顶推过程中梁体受到顶推力、重力、支架反力等多种力的作用,图 2 所示为梁体顶推施工的三维数值模型。在模型中钢混组合梁被简化为刚性梁单元,支架和导梁则采用弹性体单元进行模拟,

计算了 7 种不同工况结果,模拟工况见表 1。

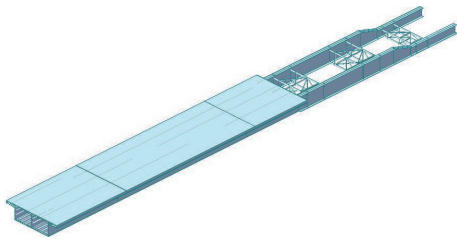


图 2 桥梁计算模型图

表 1 计算工况设计

编号	具体工况
1	拼装完成,准备顶推
2	向大里程方向顶推 16.8 m,叠合梁处于最大后悬状态
3	继续向大里程方向顶推 19.8 m,叠合梁系统处于最大前悬状态
4	继续向大里程方向顶推 8 m,导梁过墩 1/3
5	继续向大里程方向顶推 8 m,导梁过墩 2/3
6	继续向大里程方向顶推 6 m
7	继续向大里程方向顶推 15.1 m,顶推到位

4.2 钢箱梁内力分析

图 3 所示为表 1 中工况 1~工况 7 不同工况下模型计算得到的钢箱梁和导梁的组合应力、位移、弯矩和剪力结果。可见,叠合梁最大组合应力为 77 MPa 小于容许应力 275 MPa,最大后悬下挠度为 38 mm 小于叠合梁前悬 60 mm,最大跨中挠度 22 mm 小于 66 mm。导梁最大组合应力为 74 MPa 小于容许应力 190 MPa,最大位移为最大前悬时 163 mm 小于 165 mm,因此,叠合梁及导梁结构均满足使用要求。此外,在钢箱梁与导梁的顶推施工过程中,导梁的应力、弯矩和剪力变化较为剧烈,特别是在工况 3 和工况 4 时,导梁的组合应力由 74 MPa 减小至-46 MPa;同时在这两种工况下,导梁的位移也出现了较大波动,由 163 mm 减小至 15 mm。这显示出顶推过程中导梁的受力不均和变形较大。可以看出,在工况三时,导梁位移已经接近设计规范预警值 165 mm,这可能会导致局部结构的应力集中和失稳。相比之下,钢箱梁应力变化较为平稳,受力分布较均匀。。然而钢箱梁在个别工况下也出现了较大的位移波动,需关注其稳定性。因此,建议在顶推过程中加强对钢箱梁和导梁的应力和位移的监测频率,及时关注钢箱梁和导梁应力和位移的变化,特别是在工况 3 和工况 4 下,为确保荷载分配均匀,可通过增设支架数量等措施,避免过大的应力集中和变形,确保施工的安全性和稳定性。

4.3 抗倾覆分析

对最大前悬及最大后悬时叠合梁抗倾覆进行验

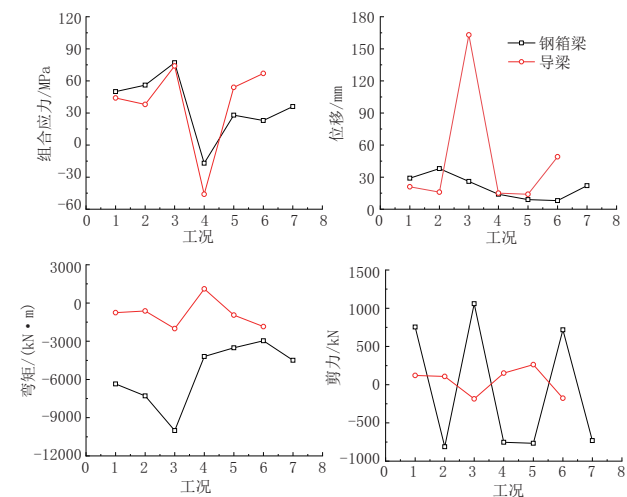


图3 不同工况下的计算应力及内力

算,纵向抗倾覆系数按《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ 025—1986)中结构设计规范规定的1.3取值。抗倾覆验算结果如表2所示。从表中可以看出,最大前悬和后悬抗倾覆比分别为2.48和2.99,均大于规范要求的1.3,分别为规范允许值的190%和230%,故最大后悬及最大前悬时叠合梁的抗倾覆系数均满足要求。

表2 最大前、后悬状态下叠合梁抗倾覆性结果

编号	项目	前悬	后悬
1	桥体延重/(t·m ⁻¹)	4.68	4.68
2	桥长/m	61.2	61.2
3	前梁长/m	10	43.2
4	后梁长/m	51.2	18
5	导梁/m	23	23
6	导梁重量/t	50	50
7	稳定力矩/(kN·m)	2 348.2	2 471.3
8	倾覆力矩/(kN·m)	948.6	825.6
9	抗倾覆比	2.48	2.99

5 支架受力分析

5.1 模型建立

支架的主要任务是支撑顶推过程中梁体重量,并保证顶推过程中梁体稳定推进。设计时,需考虑梁体最大重量和顶推力,确保支架满足承载力和抗倾覆要求。

采用结构有限元分析软件MIDAS Civil对拼装支架结构进行验算。根据节段重量考虑最不利工况为:支架两侧钢箱梁重量分别为35.4 t和32.45 t,支架载荷包括支架自重和梁段重量,工况以静恒载荷考虑。支架结构模型如图4所示。

5.2 支架受力分析

由支架结构验算可知(见图5),最大综合应力位于支架主立柱顶端分配梁位置,为59.92 MPa,仅为

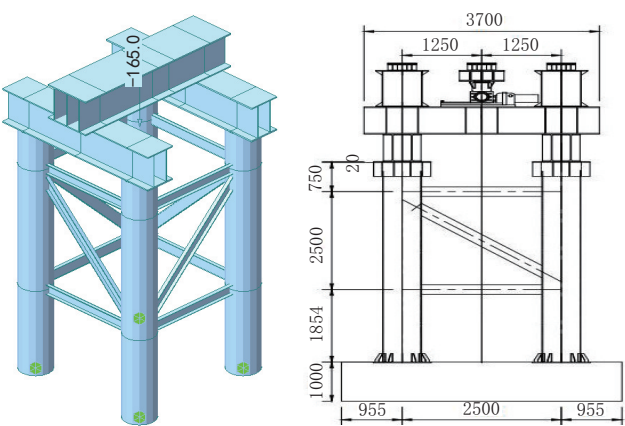
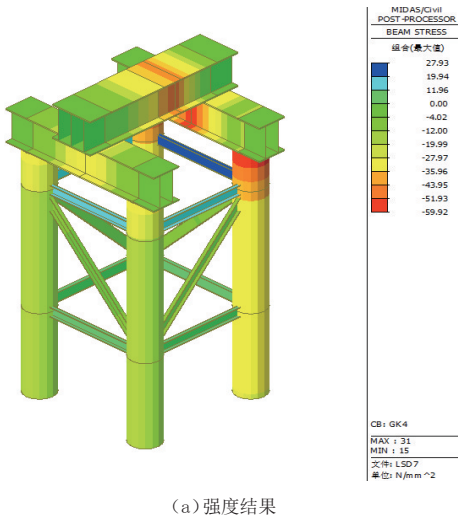
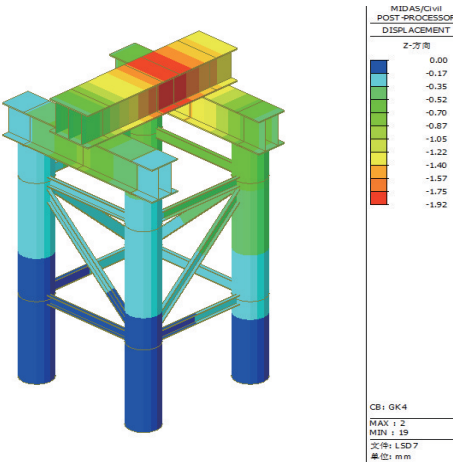


图4 支架结构图(单位:mm)

设计允许值(205 MPa)的29.2%,故支架强度可满足设计要求。支架刚度分布存在较大差异,刚度较低的区域通常会承受更大的变形,分配梁中心位置处最大变形量为1.92 mm,仅为设计允许值(25 mm)的7.7%。可见,该工况下支架强度和刚度均具有较大富余,满足设计要求。



(a) 强度结果



(b) 刚度结果

图5 支架结构验算

6 结 语

本文以某上跨桥钢混组合梁顶推施工为例,探

讨了顶推施工过程中顶推施工及临时支架施工工艺,并借助数值模拟手段开展了顶推施工受力分析,主要结论如下。

(1)钢混组合梁顶推施工技术通过采用步履式顶推设备和合理的支架设计,确保顶推过程中梁体的稳定性和安全性。

(2)顶推施工中叠合梁和导梁最大组合应力分别为77 MPa和74 MPa,分别为各自容许应力的28%和39%。叠合梁最大前悬下挠、后悬下挠和跨中挠度分别为60、38、22 mm,导梁最大位移为163 mm,均满足设计要求。

(3)叠合梁最大前悬和后悬抗倾覆比分别为2.48和2.99,均大于规范要求的安全系数1.3,分别为规范允许值的190%和230%,顶推过程中不存在倾覆风险。

(4)顶推施工中支架最大综合应力位于支架主立柱顶端分配梁位置,为59.92 MPa,仅为设计允许值的29.2%,最大变形量位于分配梁中心位置处,为1.92 mm,仅为设计允许值的7.7%,满足设计要求。

参考文献:

[1] 杨晓钊,杜韵丘,马腾飞.钢箱梁顶推技术在高速公路跨线桥施工中的应用[J].建筑技术开发,2024,51(10):122-124.

- [2] 杨如刚,陈正,于志兵,等.宜宾临港长江公铁大桥主桥超宽钢箱梁施工关键技术[J].桥梁建设,2024,54(1):16-22.
- [3] 袁龙泉.跨江钢—混组合梁桥顶推施工关键技术研究[J].公路,2024,69(9):85-90.
- [4] 刁志强.多跨度钢混组合梁上跨既有高速公路顶推施工工艺研究[J].价值工程,2024,43(13):75-77.
- [5] 廖品博.钢混组合连续梁桥顶推施工受力特性分析[D].南京:东南大学,2017.
- [6] 严和仲,李林辉,楚民红.复杂竖曲线宽幅组合梁桥大跨度顶推施工控制技术[J].桥梁建设,2023,53(增刊2):156-162.
- [7] 金球运.槽形钢混组合梁现浇桥面板临时支架设计与验算[J].工程技术研究,2023,8(11):183-185.
- [8] 易善德,王德怀,文定旭,等.双向超宽变腹板钢箱梁顶推施工工艺[J].公路交通科技,2021,38(增刊1):112-117.
- [9] 吴志强.跨扩建高速公路钢箱梁施工方案研究—以京沪高速公路扩建工程为例[J].工程技术研究,2022,7(16):62-6.
- [10] 宋显锐,魏莹莹,方磊磊,等.大跨钢箱梁桥顶推临时支架结构受力分析[J].结构工程师,2023,39(5):17-24.
- [11] 项进.大吨位钢梁顶推施工永临结合顶推支墩创新设计[J].工程管理与技术探讨,2025,7(4):157-159.
- [12] 田昱.上跨高速公路简支钢—混结合梁桥精细化设计[J].城镇建设,2022(5):45-50.
- [13] 颜巍.装配式钢混组合梁桥顶推施工关键截面受力分析[J].交通科技与管理,2024,5(16):134-137.
- [14] 叶建良.瓯江北口大桥北引桥槽形钢梁顶推施工关键技术[J].桥梁建设,2020,50(增刊2):115-120.
- [15] 金球运.槽形钢混组合梁现浇桥面板临时支架设计与验算[J].工程技术研究,2023,8(11):183-185.