

上跨既有电气化铁路顶推施工仿真模拟

刘华东

(中铁二十二局集团第一工程有限公司,黑龙江 哈尔滨 150000)

摘要: 顶推施工是桥梁工程中一种重要的施工方法,常在施工条件复杂的情况下应用,其施工时的安全问题尤为重要。以哈尔滨东三环滨绥线钢箱梁的顶推施工项目为例,该项目上跨工程由4层立体交通组成,施工时间受铁路行车严重制约,施工难度极大,故对其整个顶推过程中钢箱梁和导梁的受力进行仿真模拟分析,以确保项目的顺利实施。经分析得到以下结论:在钢箱梁拼装阶段,拼装第二节钢箱梁时导梁和钢箱梁的拉压应力同时达到最大值;在钢箱梁顶推至顶推支墩前但还未上墩的最大悬臂状态下,导梁在各段钢箱梁顶推悬臂状态下的受力基本不变;在钢箱梁顶推至顶推支墩之上及成桥状态下,导梁在第二个顶推支墩之上受力最大;在钢箱梁落梁至永久支撑时即成桥时,钢箱梁的受力最大。模拟结果显示最大受力均满足规范要求,可保证施工的安全性,分析过程可为类似项目提供借鉴意义。

关键词: 桥梁;顶推施工;仿真模拟

中图分类号: U445.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)10-0221-04

0 引言

顶推施工是桥梁工程中一种重要的施工方法,能够有效跨越空间限制完成桥梁的安装与拼接,常应用于施工条件复杂的情况。

对于钢箱梁的顶推施工工程相关的各类问题,研究者们一直保持着高度关注。胡青松等^[1]的研究主要集中在大跨度网络式吊索钢箱拱桥的顶推建造工艺上,他们详细阐述了大型桥梁顶推施工的特性与管控要点,并对整个顶推流程中的墩台反压力、钢构件应力和桥梁移动情况进行了数值分析,还针对顶推进程中的顶推内部力量变动、顶推线路调整和落梁定位等问题提出了合理的指导意见;易翔等^[2]使用 MIDAS Civil 软件对钢箱梁顶推施工的过程进行了仿真实验,特别强调了单次顶推长达 1 m 的钢箱梁在模拟阶段的位置、应力和反压问题,接着进一步使用顶推的长度(如 2 m 或 3 m)作为变量,再次进行了模拟试验,结果表明当顶推长度逐渐增长时,最大位移和应力也会相应上升;王泽能等^[3]选择了一个大型梁拱结合体桥的拱肋顶推案例,利用有限元算法对其进行了研究,提倡在拱脚部分设置临时的平衡物以增强拱肋在顶推操作期间的稳定性和

抵抗倾倒的能力,并且比较了三种不同的临界重量下拱肋的受力状况及其抗倾斜能力,以探究临界重量对拱肋结构内的负荷和横向防倾翻能力的潜在影响。卢成龙^[4]针对钢桁梁桥的顶推施工问题进行了现场应力试验,通过有限元软件建立了钢桁梁桥数值模型,研究了钢桁梁桥节点的内力变化情况,并指出在实际顶推施工中,应注意与千斤顶的同步,避免过大的节点应力出现。王洪彪等^[5]指出在顶推施工过程中为保证施工安全、减少辅助墩数量,一般需要设置较长的导梁进行辅助施工,以某一桥梁顶推项目为例,利用 MIDAS Civil 软件对其施工关键工况进行模拟分析,模拟表明在施工过程中钢梁和导梁必须有足够的刚度来满足施工要求。

通过以上对以往研究的总结可知,桥梁顶推施工过程中的安全问题是整个项目的重中之重。下面将以东三环^[4]滨绥线钢箱梁的顶推施工工程为例,对施工过程中钢箱梁及导梁的各项顶推阶段进行详细的研究,并应用 MIDAS Civil 软件对其进行数值模拟仿真分析^[5],来确保整个顶推施工过程的安全可靠。

1 工程概况

东三环快速路工程为滨绥线高架桥梁钢箱梁顶推工程,桥梁下方为4条铁路电气化区段,北侧起于东新下行线,途经滨绥线、孙新下行线,止于南侧孙新

收稿日期: 2023-10-09

作者简介: 刘华东(1983—),男,本科,高级工程师,主要从事桥梁施工工作。

上新线,起点里程节点为K33+394.462,延伸至K33+554.462的里程节点,总长度达到了160 m之上,采用跨度(48 m+64 m+48 m)的截面连续钢箱梁结构,梁宽为17.845 m×2=35.69 m,按沿桥梁中心对称设计分为左右两幅,单幅钢梁截面形式为单箱

三室,箱室高2.5 m,顶宽11.7 m,两侧设3.015 m悬臂,箱室底宽为10.528 m,单幅桥面为单向2%横坡,梁底横向为平坡,纵向坡度为3.5%。钢箱梁在横桥向分为4节段,顺桥向分为9节段,钢梁单幅总重为1 869.7 t。箱梁断面及立面图如图1、图2所示。

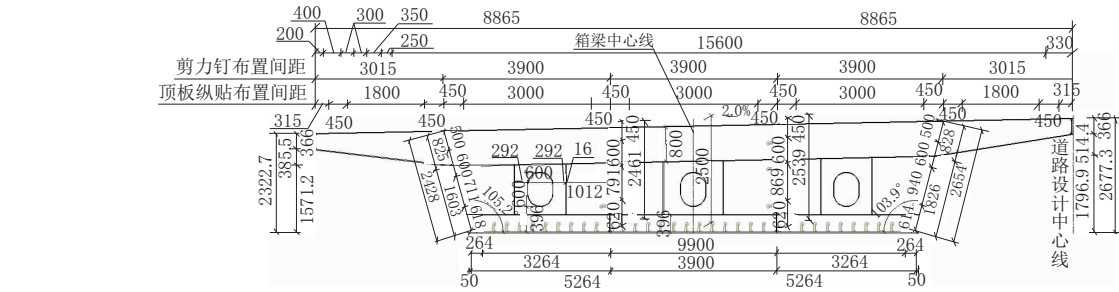


图1 钢箱梁横断面图(单位:mm)

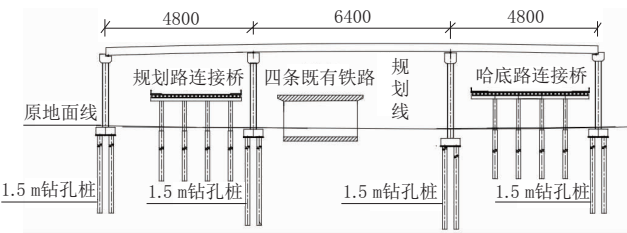


图2 钢箱梁立面图(单位:mm)

2 顶推施工模拟

2.1 顶推施工概述

顶推施工即采用步履式多点持续顶推的方法来进行钢箱梁的施工,并设置顶推支撑柱及组装支撑柱,同时在这些支撑柱上安置推进装置。在工作台上对顶推设备逐步进行焊接,通过使用多点多台的千斤顶协同推进的方式使钢箱梁逐渐前移,如此反复直至其达到预设的位置。

主梁在顶推时分四次拼装完成,拼装长度分别为51.42、38.8、35、34.89 m,主梁利用多次铁路封锁点内接触网停电时的时间间隙进行顶推。顶推施工中采取的临时结构措施即顶推临时支墩与拼装临时支架如图3所示,其中LSD1~LSD6为临时支墩,其余为拼装临时支架。

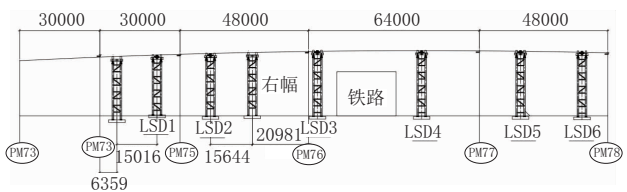


图3 临时支墩及拼装支架立面示意图(单位:mm)

2.2 顶推施工流程

顶推施工的具体流程如下。

步骤一:利用1台500 t履带吊分别将钢箱梁吊

装至拼装支架及顶推支墩上,主梁第一次拼装长度为51.42 m。调整好线型后进行主梁节段间焊接,再将28 m前导梁按离主梁由近至远的顺序分节吊装,并与主梁焊接,做好顶推前准备。

步骤二:将已组装好的钢箱梁和导梁一同向前推进36.26 m,使得导梁的前端抵达LSD4,再调整其线型,组装第二节38.8 m的箱梁。

步骤三:将已拼装好的钢箱梁和导梁整体向前推进38.97 m,此刻导梁的前端已到达LSD5。再进行第三节箱梁拼装,拼装长度35 m。

步骤四:将拼装好的钢箱梁与导梁整体向前推进34.89 m,此时导梁前端抵达LSD6,与此同时,拆除前段10 m导梁。调整线型后拼装最后一节34.62 m箱梁。

步骤五:将拼装好的钢箱梁与导梁整体继续向前顶推16.5 m,调整线型,切除剩余导梁及2组拼装支架。

步骤六:推进到预设的位置后,调整线型,然后进行落梁。落梁时,应将推动装置下降,使得钢制箱体落在两边的支架上,随后移除推动装置上的一层橡胶垫块,如图4所示,再用顶推装置将钢箱梁顶起,抽调两个支架上的一层垫块,推动装置落下,使钢箱梁再次置于两个支架上,接着再次移除顶推装置上的一层橡胶垫块,重复上述过程直至所有设备与临时结构均被拆除为止。

2.3 顶推施工仿真模拟

2.3.1 模型简介

采用MIDAS软件进行对钢箱梁与导梁在施工阶段整体强度及刚度的验算分析,计算模型采用梁单元模型模拟施工阶段,共采用376个单元、377个

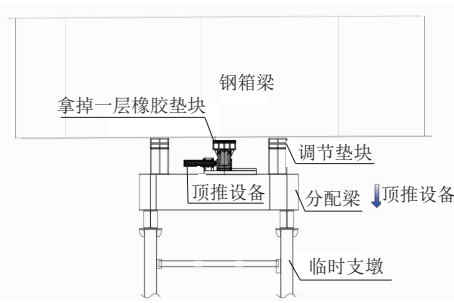


图 4 落梁示意图

节点。其中,双工字导梁按照单工字导梁截面建模,工字梁腹板高度不变,厚度为 32 mm;上下翼缘板厚度不变,宽度为 2 倍。工字梁模型考虑了对截面惯性矩有贡献的腹板纵向加劲肋,钢导梁结构图如图 5 所示。钢箱梁主梁模型除了考虑了顶底板及腹板,还考虑了顶板 U 型加劲肋与顶、底、腹板的纵向加劲肋,其他板件均按荷载考虑。

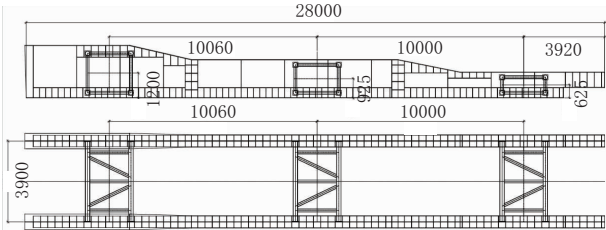


图 5 钢导梁立面与平面布置图(单位:mm)

2.3.2 仿真模拟结果

根据以上描述的顶推施工过程,在实际顶推施工过程中可以将每段钢箱梁的顶推分为三个阶段,第一阶段为钢箱梁拼装阶段,第二阶段为钢箱梁顶推至顶推支墩前但还未上墩的最大悬臂状态,第三阶段为钢箱梁顶推至顶推支墩之上及成桥,下面分别对三个阶段进行分析。

第一阶段(钢箱梁拼装阶段):通过仿真模拟分析,在四节钢箱梁的拼装状态中,第二节钢箱拼装状态下的受力最大,且为导梁和钢箱梁同时达到最大值。在导梁上,最大拉应力和最大压应力分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=39.6 \text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-39.6 \text{ MPa}$,分别发生在导梁的上下缘;而在钢箱梁上,最大拉应力和最大压应力分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=18.2 \text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-21.2 \text{ MPa}$,同样分别发生在钢箱梁的上下缘。

第二阶段(钢箱梁顶推至顶推支墩前但还未上墩的最大悬臂阶段):通过仿真模拟分析,在第二阶段下钢箱梁和导梁的受力最危险,其受力情况如表 1 所示;由表 1 可知,导梁在各段钢箱梁顶推悬臂状态下的受力基本不变,其最大拉压应力分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=40.2 \text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-39.7 \text{ MPa}$,钢箱梁上的最大拉压应力分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=19.9 \text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-23.3 \text{ MPa}$,如图 6、

图 7 所示。

表 1 第二节钢箱拼装状态下上下缘应力表

阶段	部位	应力值 /MPa
落于 LSD4 前的最大悬臂阶段	导梁	上缘 拉应力 40.2
		压应力 0
	下缘	拉应力 0
		压应力 -39.7
	钢箱梁	上缘 拉应力 19.9
		压应力 -6.0
落于 LSD5 前的最大悬臂阶段	导梁	上缘 拉应力 40.2
		压应力 0
	下缘	拉应力 0
		压应力 -39.7
	钢箱梁	上缘 拉应力 16.5
		压应力 -11.9
落于 LSD6 前的最大悬臂阶段	导梁	上缘 拉应力 40.2
		压应力 0
	下缘	拉应力 0
		压应力 -39.7
	钢箱梁	上缘 拉应力 14.4
		压应力 -11.0
	钢箱梁	下缘 拉应力 12.8
		压应力 -16.7

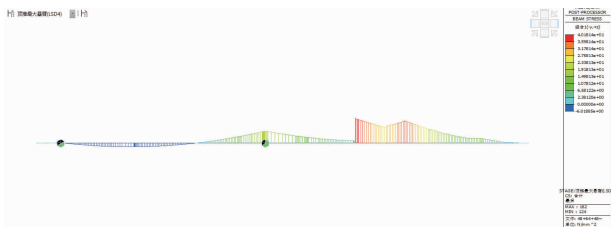


图 6 顶推最大悬臂(LSD4)阶段上缘应力图(导梁:40.2/0 MPa;钢箱梁:19.9/-6.0 MPa)

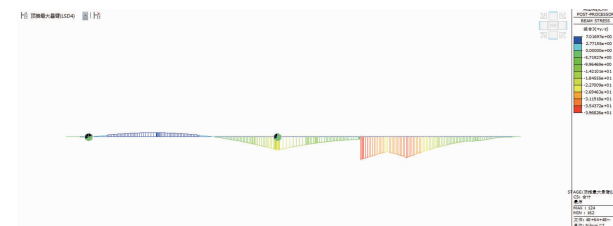


图 7 顶推最大悬臂(LSD4)阶段下缘应力图(导梁:0/-39.7 MPa;钢箱梁:7/-23.2 MPa)

第三阶段(钢箱梁顶推至顶推支墩之上及成桥阶段)。通过仿真模拟分析,导梁在第二个顶推支墩之

上的受力最大,分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=24.0\text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-23.7\text{ MPa}$;而在钢箱梁落梁至永久支撑时即成桥时,在钢箱梁的上翼缘产生最大拉应力 $\sigma_{\text{tmax}}=34.9\text{ MPa}$,在钢箱梁的下缘产生最大压应力 $\sigma_{\text{cmax}}=-40.6\text{ MPa}$,如图8、图9所示。

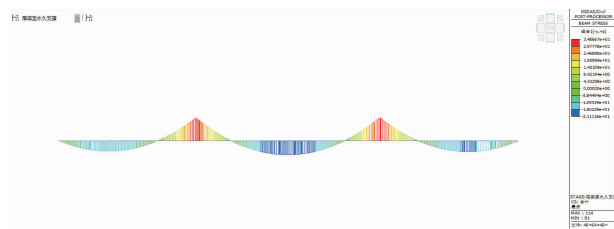


图8 落梁至永久支撑阶段上缘应力图(钢箱梁:34.9/-21.1 MPa)

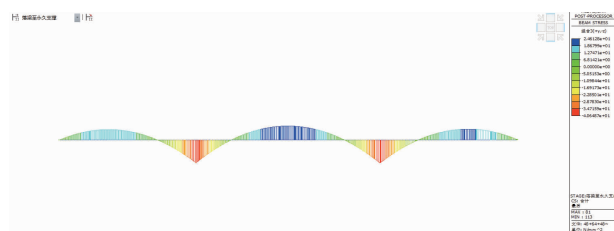


图9 落梁至永久支撑阶段下缘应力图(钢箱梁:24.6/-40.6 MPa)

3 结 语

本文通过对顶推施工项目进行仿真模拟,确保了主梁与导梁满足相关规范要求,为在4层立体交通的复杂条件下进行顶推施工提供了安全依据,分析过程可为类似项目提供借鉴意义。根据项目模拟得到以下结论:

(1)在钢箱梁拼装阶段,拼装第二节钢箱梁时,导梁和钢箱梁所受的拉压应力同时达到最大值,导梁

的拉压应力分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=39.6\text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-39.6\text{ MPa}$,钢箱梁的最大拉压应力分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=18.2\text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-21.2\text{ MPa}$,均满足相关规范要求,保证了施工的安全性;

(2)在钢箱梁顶推至顶推支墩前但还未上墩的最大悬臂阶段,导梁在各段钢箱梁顶推悬臂状态下的受力基本不变,其最大拉压应力分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=40.2\text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-39.7\text{ MPa}$,钢箱梁的最大拉压应力分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=19.9\text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-23.3\text{ MPa}$,均满足相关规范要求,保证了施工的安全性;

(3)在钢箱梁顶推至顶推支墩之上及成桥阶段,导梁在第二个顶推支墩之上的受力最大,其拉压应力分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=24.0\text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-23.7\text{ MPa}$;在钢箱梁落梁至永久支撑时即成桥时,钢箱梁的受力最大,其最大拉压应力分别为 $\sigma_{\text{tmax}}=34.9\text{ MPa}$ 、 $\sigma_{\text{cmax}}=-40.6\text{ MPa}$,均满足相关规范要求,保证了施工的安全性。

参考文献:

- [1] 胡青松,刘坤鹏,徐军,等.大跨度网状吊杆钢箱拱桥顶推施工技术[J].公路,2021,66(4):115-118.
- [2] 易翔,郑辉,柏观福.钢箱梁顶推施工控制与数值模拟[J].长沙大学学报,2021,35(5):18-22,33.
- [3] 王泽能,成魁.连续梁拱组合桥拱肋结构顶推力学性能分析[J].西部交通科技,2021(12):68-71.
- [4] 卢成龙.钢桁梁桥顶推施工过程节点受力分析[J].江西建材,2023(3):23-25.
- [5] 王洪彪,张全帅,王其林,等.大跨度钢箱梁步履式顶推施工安全研究[J].山西交通科技,2023(2):72-75.

(上接第176页)

- [4] 王革来.桥梁排水事故收集池设计探究[J].低碳世界,2016(9):215-216.
- [5] Lacey R F, Cole J A. Estimating water pollution risks arising from

road and railway accidents[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2003, 36(2):367-368.

- [6] GB 50015—2019,建筑给水排水设计标准[S].