

某变截面连续钢-混叠合梁负弯矩区桥面板 顶升抗裂措施的应用研究

张 黎,俞国际,郑雅琴

(宏润建设集团股份有限公司,浙江 宁波 315000)

摘 要:鄞州大道跨南塘河节点采用 35 m+70 m+35 m 变截面连续钢-混叠合梁。鉴于此种梁桥中支点附近的负弯矩区桥面板容易开裂,采用了支点先同步顶升再回落的施工工艺,以使桥面板获得足够的压应力储备,提高桥面板的抗裂性能。为了确保工程质量和施工安全,采用 MIDAS Civil 有限元软件建立桥梁有限元模型,以模拟中支点先顶升再回落的施工过程,并通过比较来确定中支点合理的顶升高度。计算结果表明:中支点合理顶升高度为 40 cm,在频遇工况下,负弯矩区混凝土桥面板受压且不出现裂缝,端支座最小反力为 188.1 kN(不出现支座脱空),可以满足变截面连续钢-混叠合梁桥面板的抗裂要求。

关键词:变截面;钢-混叠合梁;同步顶升;抗裂措施

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)10-0196-05

0 引 言

连续钢-混叠合梁桥充分利用了钢材和混凝土两种材料特性^[1-2],具有提高桥梁结构承载能力、减轻桥梁结构自重、减少材料用量等优点。但在连续钢-混叠合梁桥中支点附近的负弯矩区,因混凝土受拉而存在桥面板开裂问题。近年来,针对此开裂问题有很多研究,所提出的或独立或组合的方法^[3]有:

(1)设置预应力法。采用此法可以有效提高桥梁结构的抗裂性和承载能力,减少桥梁结构的变形和裂缝宽度。但是需要使用专业的预应力筋和锚具等材料,施工难度较大,成本较高。

(2)负弯矩区设置超高性能混凝土。超高性能混凝土具有高强度、高韧性和高耐久性等优点,可以有效提高桥梁结构的承载能力和抗裂性。但是成本高、施工难度大,需要使用专业的材料和设备,对施工人员的技术要求高。

(3)预加荷载法(跨中压重)。采用此法可以增加桥梁结构的刚度和稳定性,减少桥梁结构的变形和裂缝宽度。但是需要使用额外的压重材料和设备,使施工难度、施工时长和成本增加。

(4)调整支点标高法^[4](支点顶升)。采用此法可

以改变桥梁结构受力状态,减少负弯矩的不利影响,从而减少裂缝的产生。缺点是会使桥梁结构本身产生一定损伤,落梁期间有较大的安全隐患,对控制梁体应力的均衡性带来不利影响。

(5)加强配筋并控制裂缝宽度法。通过增加配筋和提高混凝土强度,可以提高桥梁结构的承载能力和抗裂性,并控制裂缝宽度,从而减少裂缝对桥梁结构的影响。但是需要增加混凝土和钢筋的用量,增加成本和施工难度。

(6)负弯矩区设置抗拔不抗剪连接新技术法^[4]。采用此法可以有效提高桥梁结构的抗裂性和承载能力,减少桥梁结构的变形和裂缝宽度。该方法采用新型的连接技术,具有施工简便、成本增加较少等优点。但是需要使用专业的连接材料和技术,对施工人员的技能要求较高。

(7)边支点压重和中支点顶升。采用此法可以提高桥梁结构稳定性,减少负弯矩区域开裂,且施工难度适中。但是可能会增加桥梁结构重量,对于轻质结构或对重量有严格要求的结构可能不适用。

根据本工程现场条件和结构特性,本桥采用边支点压重和中支点顶升组合的方法。为避免桥梁结构重量增加,本项目巧妙利用了原设计桥面板作为边支点压重。由此既能节省施工周期,避免堆载压重的风险,同时又能增加负弯矩区混凝土桥面板压应力储备,提高桥面板的抗裂性能。

收稿日期:2023-10-12

作者简介:张黎(1982—),女,学士,高级工程师,从事桥梁施工工作。

1 工程概况和结构难点

1.1 结构概况

鄞州大道快速路(机场路—鄞横线)工程跨南塘河节点采用 35 m+70 m+35 m 变截面连续钢—混凝土叠合梁。叠合梁梁高按照 2 次抛物线变化,根部梁高 3.8 m(含混凝土顶板);跨中和边跨标准段梁高 2.5 m,为了与相邻跨小箱梁交接平顺,端部梁高调

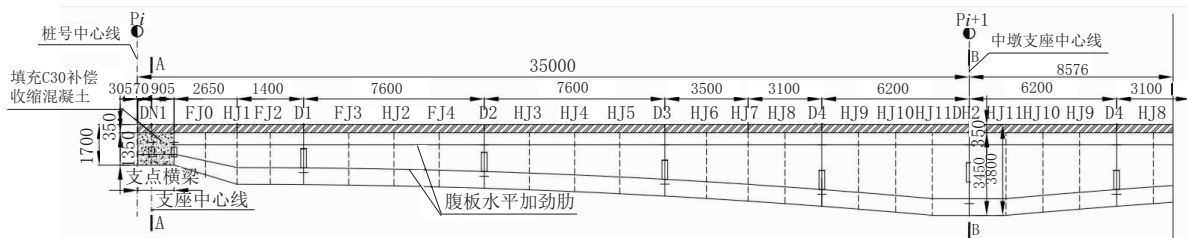


图 1 钢-混叠合梁桥纵断面图(单位:mm)

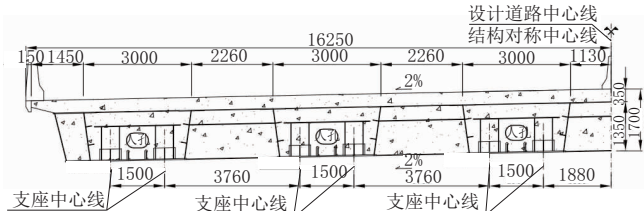


图 2 边支点横断面图(单位:mm)

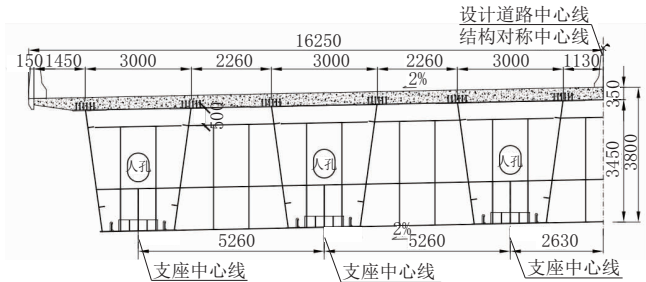


图 3 中支点横断面图(单位:mm)

1.2 环境特点和存在的问题

本工程新建桥梁跨越现状运营的地面桥以及主城区行洪通道,属地政府要求保留现状桥梁历史风貌,新建桥梁不容许拆除和改造现有老桥;水利部门则要求新建桥梁 1 跨跨越现状河道,且不得在行洪通道内设置桥墩。要满足上述要求,新建桥梁结构的单跨跨度需达到 70 m。显然,常规的简支梁桥难以满足受力、安全性和使用要求。工程建设单位在进行此节点的桥梁建设过程中,也在技术层面提出了技术可靠、经济合理、因地制宜、适度创新的要求。

2 问题分析

2.1 确定有限元分析模型

全桥采用 MIDAS Civil 有限元软件分析模型,其中钢梁采用板单元、混凝土桥面板采用实体单元,钢

整为 1.7 m (含混凝土顶板)。32.5 m 标准桥宽由 6 片叠合梁组成, 制作钢梁 U 型开口顶宽 3.0 m, 主梁中心距 5.260 m, 各片主梁之间中横标准间距 7.6 m。钢梁顶、底板均设置横坡, 底板通过楔形钢板进行调平和调坡; 钢梁现浇混凝土板厚 0.35 m, 剪力钉采用圆柱头焊钉, 桥梁钢板材质采用 Q355D。

钢-混叠合梁桥纵断面图见图 1,边支点横断面图见图 2,中支点横断面图见图 3。

梁与混凝土板之间采用不考虑滑移效应的刚结形式连接。相关材料特性、荷载参数和加载方式依据现行规范执行。

2.2 施工阶段划分

钢梁分节段制作后,运输至桥位处进行吊装并焊接横梁。待钢主梁形成连续体系,并经设计方和施工方对接后进行顶升施工。整个顶升施工过程包括 5 个阶段。

(1)阶段一(见图4,图中1#、4#为边支点;2#、3#为中支点)。该阶段工作包括钢主梁形成连续体系→填充端部压重混凝土→拆除临时支墩。

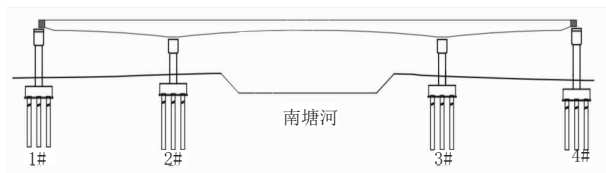


图 4 顶升施工阶段一

(2)阶段二(见图5)。该阶段工作是浇边跨①段桥面板,混凝土作为配重。

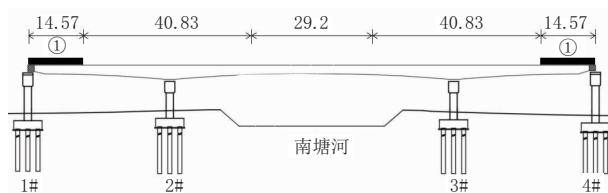


图 5 顶升施工阶段二(单位:m)

(3)阶段三(见图6)。该阶段工作是钢梁顶升,图中 Δ 是顶升高度。

(4)阶段四(见图7)。该阶段工作是绑扎钢筋并浇筑桥面混凝土,先浇①段,后浇②段。

(5)阶段五(见图8)。该阶段工作是待现浇混凝

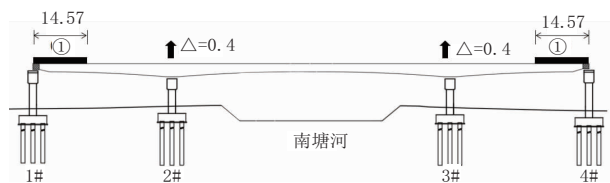


图6 顶升施工阶段三(单位:m)

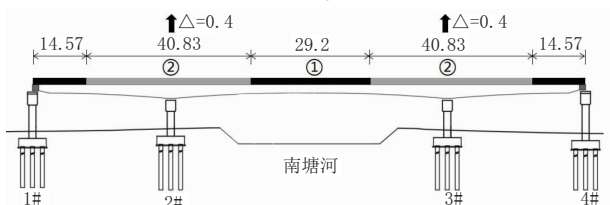


图7 顶升施工阶段四(中支点顶升,边支点不作顶升)(单位:m)
土强度达到要求后,恢复中墩墩顶支座, $\Delta=-40$ cm。落梁过程与顶升过程类似,也需采用全断面同步顶升方案同步落梁。

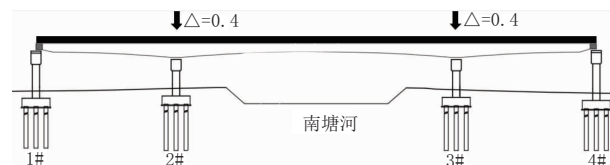


图8 顶升施工阶段五(单位:m)

2.3 支点同步顶升高度的理论分析

负弯矩区支点先同步顶升再回落施工控制技术的重要控制指标是顶升高度。顶升高度的取值既要保证施工阶段钢梁结构整体和局部的稳定性,又要满足成桥和运营阶段混凝土桥面板不出现裂缝的要求。因此,针对本桥建立有限元分析模型,进行10、20、30、40 cm这4种顶升高度下的分析计算。

不同顶升高度下,成桥阶段和运营阶段的有限元计算结果见图9~20。其中,图9~11是顶升高度为40 cm时的计算结果;图12~14是顶升高度为30 cm时计算结果;图15~17是顶升高度为20 cm时计算结果;图18~20是顶升高度为10 cm时计算结果。

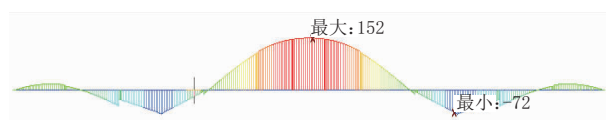


图9 成桥钢梁应力(上缘)(单位:MPa)

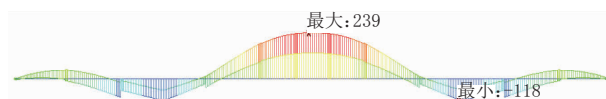


图10 运营阶段承载力极限状态钢梁应力(下缘)(单位:MPa)



图11 频遇工况桥面板轴力 $N=-576.5$ kN(桥面板受压,对应裂缝宽度 0 mm)

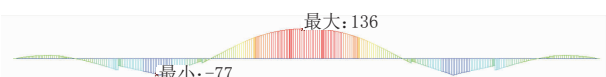


图12 成桥钢梁应力(下缘)(单位:MPa)

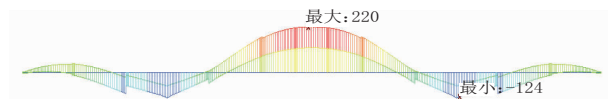


图13 运营阶段承载力极限状态钢梁应力(下缘)(单位:MPa)



图14 频遇工况桥面板轴力 $N=-576.5$ kN(桥面板受压,对应裂缝宽度 0 mm)

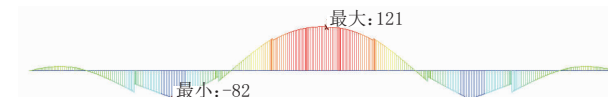


图15 成桥钢梁应力(下缘)(单位:MPa)

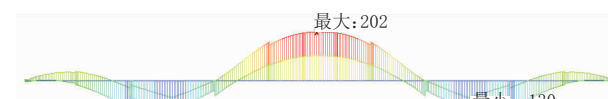


图16 运营阶段承载力极限状态钢梁应力(下缘)(单位:MPa)



图17 频遇工况桥面板轴力 $N=-2\ 119.7$ kN(桥面板受拉,对应裂缝宽度 0.06 mm)



图18 成桥钢梁应力(上缘)(单位:MPa)

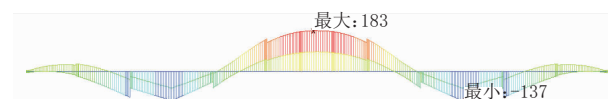


图19 运营阶段承载力极限状态钢梁应力(下缘)(单位:MPa)

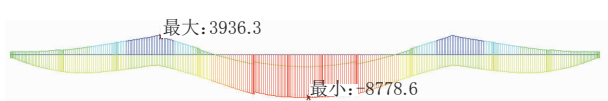


图20 频遇工况桥面板轴力 $N=-3\ 936.3$ kN(桥面板受拉,对应裂缝宽度 0.115 mm)

(1)由图9~11可见:当顶升高度达40 cm时,钢梁成桥阶段的最大应力为152 MPa;运营阶段承载力极限状态最大应力为239 MPa;频遇工况下桥面板轴力 $N=-576.5$ kN(桥面板受压,对应裂缝宽度 0 mm)。

(2)由图12~14可见:当顶升高度为30 cm时,钢梁成桥阶段最大应力为136 MPa;运营阶段承载力极限状态最大应力为220 MPa;频遇工况下桥面板轴力 $N=-576.5$ kN(桥面板受压,对应裂缝宽度 0 mm)。

(3)由图15~17可见:当顶升高度为20 cm时,钢梁成桥阶段最大应力为121 MPa;运营阶段承载力极限状态最大应力为202 MPa;频遇工况下桥面板轴力 $N=-2\ 119.7$ kN(桥面板受拉,对应裂缝宽度 0.06 mm)。

(4)由图18~20可见:当顶升高度为10 cm时,钢梁成桥阶段最大应力为104 MPa;运营阶段承载

力极限状态最大应力为 183 MPa; 频遇工况下桥面板轴力 $N=-3\,936.3\text{ kN}$ (桥面板受拉, 对应裂缝宽度 0.115 mm)。

2.4 顶升高度结论

从上述分析数据可知: 随着顶升高度的增大, 成桥阶段连续钢-混凝土叠合梁负弯矩区混凝土桥面板的压应力储备呈逐渐增大趋势, 而端支座反力不断减小; 当顶升高度为 40 cm 时, 墩顶桥面板未出现裂缝, 钢梁最大应力达到 239 MPa, 端支座支反力降至 188.1 kN; 若继续增加顶升高度, 将出现钢梁应力偏大且端支座脱空现象。因此, 为防止端支座脱空并达到较大混凝土桥面板压应力储备, 最终顶升高度定为 40 cm。

3 现场实施(中支点同步顶升施工)

3.1 顶升施工工艺

3.1.1 顶升设备

顶升设备为 EDX2002TA 双作用大吨位液压缸, 采用德国原装进口的优质超高压液压元件组成系

统。设计 1 泵 24 顶(1 泵为 24 个液压缸提供动力), 用三位四通手动换向阀实现液压缸顶升和缩回的动作, 泵上安装手控单向节流阀(EV23)、一拖二节流分流阀(EAC402F)、一拖二分配器(EAC102C), 由节流分流阀(EAC402F)实现调整顶升和下落的速度(此阀可以达到关闭断流的作用, 即当某路需要停止运动时可以手动关闭此阀截断油流)。

3.1.2 顶升荷载计算

根据设计图纸要求, 全桥共设置 24 个千斤顶, 单个千斤顶承载 2 500 kN, 则总承载力为 $24 \times 2\,500 = 60\,000\text{ kN}$ 。现考虑单个千斤顶承载 2 000 kN, 则千斤顶数量应调整为 $60\,000/2\,000 = 30$ 个。本工程预布置 48 个千斤顶进行顶升。

3.1.3 千斤顶和临时支撑垫块布置

根据梁体静载和桥面附着物荷载, 对每个盖梁均采用 24 台 200 t 千斤顶。在永久支座两侧各布置 24 个千斤顶, 合计 48 个千斤顶, 则总承载力为 $48 \times 2\,000 = 96\,000\text{ kN}$, 满足设计顶升要求。

千斤顶和临时支撑垫块布置图见图 21。

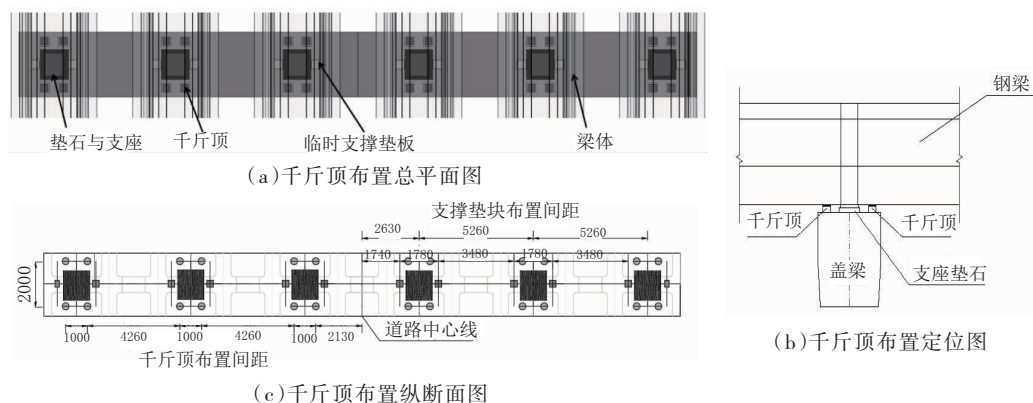


图 21 千斤顶和临时支撑垫块布置图(单位:mm)

3.2 试顶升和正式顶升

本次顶升因梁体总体抬高 40 cm, 需要在临时顶升位置和临时垫板支撑位置进行多次倒顶才能完成作业。大约需要 12~15 次顶升方能达到预计顶升高度。每次顶升后, 均在顶升位置垫上厚度为 5~20 mm 的钢垫块, 直到顶升至设计位置为止。

3.2.1 试顶升

试顶升施工前首先对千斤顶的承载力、千斤顶与盖梁的连接进行可靠性试验。用千斤顶将梁体向上顶起 3 mm, 以检验顶升装置的承载能力。

3.2.2 正式顶升

- (1) 整个梁体由千斤顶和临时支撑垫板交替支撑。
- (2) 每个墩台 24 个顶升千斤顶同时启动, 分多

次顶升。

(3) 千斤顶每次抬升梁体 3~4 cm 后, 在其下加垫临时支撑垫板, 并回顶使梁体受载于临时支撑垫板; 待调整千斤顶高度后继续顶升, 如此循环往复, 将梁体上移至设计位置。

梁体顶升至设计高度后, 千斤顶回顶, 使梁体受载于中墩位置的 48 个临时支撑垫板上。在桥面整个施工期间均由这些临时支撑垫板受载。

3.3 落梁和设备拆除

待桥面系混凝土完成施工且强度达到要求后, 单个盖梁千斤顶同步落梁。整个落梁过程仍由同步控制系统控制, 各监测点监测数据同步误差控制在 $\pm 20\text{ mm}$ 。

监测数据、拆除顶升设备、复测盖梁与梁底的距离。达到设计要求后,撤出千斤顶和所有辅助设施,并清理施工现场杂物、垃圾。

3.4 监测监控

在 1#~4# 盖梁对应钢梁上方设置观测点(见图 22),贴反光贴;用全站仪测量观测点位移,用水准仪测量观测点高程变化。钢梁结构各观测点所测高程

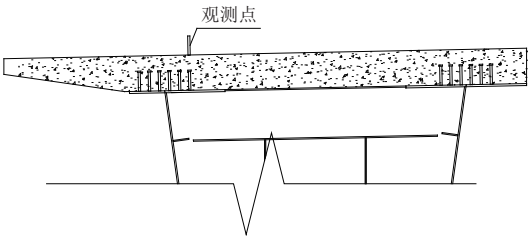


图 22 观测点示意图

等数据见表 1。

表 1 钢梁结构各观测点所测高程 单位:m

墩号	观测点位置	顶升初始高程	顶升结束高程	落梁结束高程	顶升量	落梁结束后与初始状态高差	部位
1#	南	16.513	16.513	16.513	0	0	边支点
	中	16.797	16.797	16.797	0	0	
	北	16.521	16.521	16.521	0	0	
2#	南	16.441	16.843	16.443	0.402	0.002	中支点
	中	16.877	17.275	16.878	0.398	0.001	
	北	16.451	16.847	16.449	0.396	-0.002	
3#	南	16.329	16.732	16.329	0.403	0	中支点
	中	16.787	17.185	16.785	0.398	-0.002	
	北	16.359	16.761	16.360	0.402	0.001	
4#	南	16.314	16.513	16.513	0	0	边支点
	中	16.624	16.797	16.797	0	0	
	北	16.309	16.521	16.521	0	0	

不同施工工况下的现场监控监测数据表明,混凝土桥面板无裂缝产生,最终桥面高程和桥梁结构受力均满足要求。

4 结 语

(1)结合施工流程和运营状态,为防止端支座脱空并达到较大混凝土桥面板压应力储备,确保桥梁结构安全,基于有限元分析结果,确定本桥梁的合理顶升高度为 40 cm。

(2)施工过程监控监测结果表明,本桥采用负弯矩区先支点顶升再回落的施工工艺后,桥面板无裂缝产生,实现了防止混凝土桥面板开裂的目标;同时最终桥面高程和桥梁结构受力均满足规范和设计要求。

(3)本工程通过对桥面板顶升抗裂措施的研究,

解决了此类桥型桥面板开裂的质量通病,为 3 跨连续钢结构桥梁的结构受力和安全性能达标提供了坚实保障;桥梁的设计和施工很好地兼顾了工程所处环境,桥梁建设经济合理。

(4)桥面板负弯矩区域顶升抗裂措施的成功应用,为新建桥梁跨越既有桥梁和城市内河行洪道复杂建设环境条件下桥梁的设计、施工、建设提供了重要的参考,为同类型桥梁的建设积累了成功的经验。

参考文献:

[1] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
[2] JTG/T 3650—2020,公路桥涵施工技术规范[S].
[3] 李泉彬.曲线钢-混凝土叠合梁架设及顶升分析[J].工程与建设,2016 (3):407-408.
[4] JTG/T D64-01—2015,公路钢混凝土组合桥梁设计与施工规范[S].