

钢-混组合连续梁桥负弯矩区桥面板抗裂措施应用

赵政耀

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:以某城市快速路钢-混组合连续梁桥为背景,对钢-混组合连续梁桥负弯矩区桥面板抗裂措施的应用进行研究。通过MIDAS建模分析,研究顶落梁技术、负弯矩区桥面板后浇技术、抗拔不抗剪连接技术、加强配筋技术对预防负弯矩区桥面板开裂及钢梁受力的影响。各项单一抗裂措施的应用结果表明,顶落梁技术通过对桥面板施加预压力的方式预防桥面板开裂,其效果最为显著,各项抗裂措施的综合应用可以充分发挥各项技术的优点,有效阻止负弯矩区桥面板的开裂。

关键词:钢-混组合连续梁;顶落梁;抗拔不抗剪连接;抗裂措施

中图分类号: U448.215

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0119-04

Application of Cracking Resistance Measures for Bridge Deck in Negative Bending Moment Zone of Steel-concrete Composite Continuous Beam Bridge

ZHAO Zhengyao

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Taking an urban expressway steel-concrete composite continuous beam bridge as the background, the application of crack resistance measures for bridge deck in the negative bending moment zone of steel-concrete composite continuous beam bridge is studied. Through MIDAS modeling and analysis, the effects of top-down beam technology, post-pouring technology for bridge deck in negative bending moment zone, anti-pull and non-shear connection technology and reinforcement strengthening technology on preventing the bridge deck cracking and steel beam stress in negative bending moment zone are studied. The application results of various crack resistance measures indicate that the top-down beam technology has the most significant effect on preventing the bridge deck cracking by applying prepressure to the bridge deck. The comprehensive application of various crack resistance measures can fully play the advantages of various technologies and effectively prevent the bridge deck cracking in the negative bending moment zone.

Keywords: steel-concrete composite continuous beam; top-down beam; anti-pull non-shear connection; crack resistance measures

0 引言

近年来随着城市高架快速路的飞速发展,横向跨越道路、河道的大跨径桥梁显著增多。钢-混组合梁^[1-2]具有充分发挥钢材与混凝土材料性能、造价相对较低、装配化程度高、施工速度快、高跨比小等优点,因此在大跨径桥梁的建设中应用广泛。

钢-混组合连续梁^[2]相较于钢-混组合简支梁在提高行车平顺性的同时具有更大的跨越能力,适用性更强,但负弯矩区桥面板存在拉应力,桥面板裂缝

的开展会影响结构的力学性能与使用功能。目前,解决负弯矩区桥面板开裂问题的措施主要有以下4种:抗拔不抗剪连接技术^[1,3]、顶落梁技术、负弯矩区桥面板后浇技术以及加强配筋技术。随着桥梁跨径的不断增加,抗裂措施单独应用难以满足负弯矩区桥面板的抗裂要求,郑和晖^[4]等对港珠澳大桥浅水区6×85 m引桥组合梁的研究表明多个抗裂措施的综合应用可以有效减少负弯矩区桥面板的裂缝。聂鑫^[3]等将抗裂措施综合应用于某(68+120+68)m钢混组合连续梁,裂缝宽度仅为0.1 mm,抗裂效果显著,适用跨径不断增加。

本文以某城市快速路钢-混组合连续梁桥为工程背景,分析单一抗裂措施的应用对桥面板抗裂性

收稿日期: 2024-03-01

作者简介: 赵政耀(1992—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

能与钢梁受力的影响,并结合工程实际,分析综合应用顶落梁技术、抗拔不抗剪连接技术、加强配筋技术以及负弯矩区桥面板后浇技术后,桥面板抗裂性能与钢梁的受力情况。

1 结构设计及数值计算

1.1 工程概况

某城市快速路钢-混组合连续梁桥,跨径布置为(40+60+40)m,桥宽25.5m。采用钢混组合结构,横桥向由4片箱梁组成,每片箱梁为单箱单室,梁距6.2m。箱室内外设置标准间距为10m的横隔板与横梁。钢梁墩顶截面高度为3.05m,跨中截面高度1.65m,桥面板厚0.3m,标准断面如图1所示。

本项目综合采用抗拔不抗剪连接技术、顶落梁技术、负弯矩区桥面板后浇技术、加强配筋技术^[3]预防负弯矩区桥面板开裂。

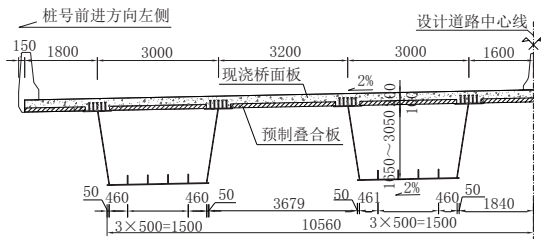


图1 标准断面图(单位:mm)

1.2 有限元模拟与裂缝计算

1.2.1 有限元模拟

基于桥梁结构计算软件MIDAS Civil 2022,考虑施工阶段,将桥面板与钢箱梁采用梁单元,依据《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG/T D64—2015)^[5]第11.3.2条,考虑负弯矩区桥面板混凝土开裂退出工作,中墩墩顶0.15L附近桥面板单元仅考虑钢筋作用不考虑混凝土作用,建立空间有限元双单元开裂模型如图2所示。

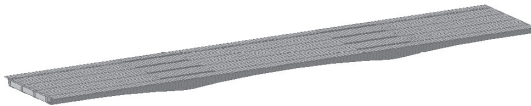


图2 有限元模型

桥梁MIDAS模型中施工阶段顺序如下:一是架设钢梁;二是梁端压重;三是支座顶升;四是预制叠合板施工;五是施加正弯矩区桥面板湿重荷载;六是激活正弯矩区桥面板单元;七是施加负弯矩区桥面板湿重荷载;八是激活负弯矩区桥面板单元;九是落梁;十是施工二期恒载;十一是收缩徐变10a。

在以上模型的基础上采取控制变量法,调整施工顺序与荷载工况,开展对钢-混连续组合梁负弯矩

区桥面板抗裂措施应用的研究。

1.2.2 裂缝计算

根据《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG/T D64—01—2015)^[6]第7.5条,钢-混组合连续梁负弯矩区混凝土桥面板在正常使用极限状态下最大裂缝宽度 w_n 应采用开裂模型按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)^[7]的6.4.3条计算。

采用MIDAS模型中考虑负弯矩区混凝土开裂退出工作后得到的钢筋应力值,代入裂缝计算公式可以得出负弯矩区桥面板的裂缝计算宽度。

2 抗裂措施应用结果对比

本文按照控制变量的原则,分析单一抗裂技术的应用对桥面板抗裂性能与钢梁应力的影响,以不采取任何抗裂措施的模型作为本文研究的基础模型(后文称此模型为基础模型)。基础模型下计算结果如图3所示(计算结果由上而下依次为负弯矩区桥面板钢筋应力、钢梁顶板最大应力、钢梁底板最大应力),钢筋最大应力为173MPa,对应负弯矩区桥面板最大裂缝宽度为0.304mm。钢梁顶板最大应力为136.1MPa,钢梁底板最大应力为129.8MPa。

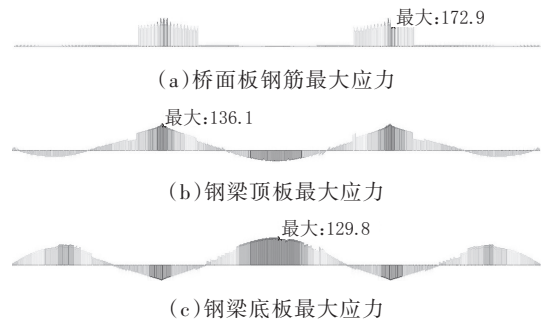


图3 无抗裂措施应力计算结果(单位:MPa)

2.1 负弯矩区桥面板后浇技术

负弯矩区桥面板后浇技术是指,在混凝土桥面板施工过程中首先浇筑正弯矩区桥面板混凝土,待正弯矩区桥面板混凝土达到设计强度后,再浇筑负弯矩区桥面板混凝土^[3]。通过调整模型中混凝土激活时间对比分析负弯矩区桥面板后浇对裂缝的影响。该技术应用后桥面板钢筋及钢梁应力如图4所示,桥面板钢筋最大应力为142.4MPa,对应最大裂缝宽度为0.252mm,较基础模型减少17.6%,钢梁顶板最大应力为152.6MPa,较基础模型增加10.8%,钢梁底板最大应力130.3MPa,与基础模型基本一致。

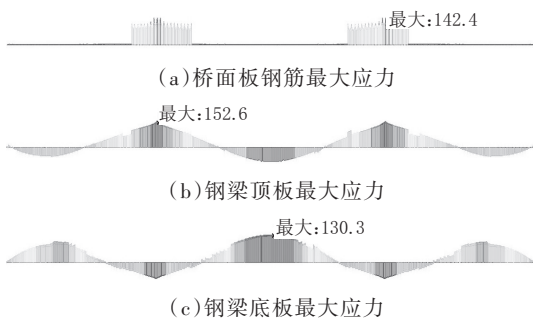


图4 负弯矩区桥面板后浇技术应力计算结果(单位:MPa)

经分析,采取负弯矩区桥面板后浇技术可以有效降低负弯矩区桥面板钢筋拉应力,进而有效减小裂缝宽度,但该技术仅能降低一期恒载作用下负弯矩区桥面板钢筋拉应力,无法降低二期恒载与活载作用下产生的负弯矩作用。

2.2 抗拔不抗剪连接技术

抗拔不抗剪连接技术是指在传统剪力钉的外表面包裹一层低弹模材料,使得混凝土桥面板与钢梁顶板间的纵向剪切刚度大大降低,实现混凝土桥面板与钢梁之间的纵向滑动,进而改变组合截面的受力状态^[9]。钢混组合截面在应用抗拔不抗剪连接技术前后受力状态如图5所示。

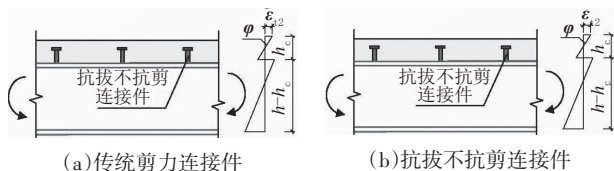


图5 桥面板受力状态图示

在MIDAS模型中将钢箱梁与桥面板单元间连接的纵横向刚度取为0,模拟抗拔不抗剪剪力钉的连接。桥面板钢筋及钢梁应力如图6所示,桥面板钢筋最大应力163.2 MPa,对应最大裂缝宽度为0.287 mm,较基础模型减少5.7%,钢梁顶板最大应力为150.7 MPa,较基础模型增加10.7%,钢梁底板最大应力131.6 MPa,与基础模型基本一致。

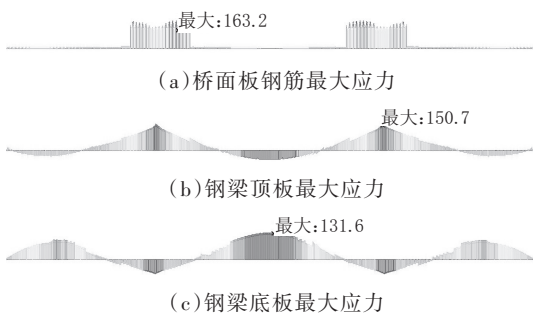


图6 抗拔不抗剪连接技术应力计算结果(单位:MPa)

采用抗拔不抗剪连接技术,可以有效减少运营阶段活载产生的墩顶负弯矩,进而减少活载作用下

桥面板裂缝的开展。但该技术无法减少运营期间温度、收缩等荷载引起的桥面板拉应力。

2.3 顶落梁技术

顶落梁技术^[7-8]是在桥面板混凝土浇筑前对钢梁中支点顶升一定的高度,待桥面板混凝土达到设计强度后,将钢梁回落至设计标高,回落钢梁相当于对负弯矩区桥面板混凝土施加正弯矩,使桥面板处于受压状态。该技术实质上是一种为负弯矩区桥面板施加预应力的手段,通过钢梁的强迫弹性变形对混凝土板提供预压力,以防止混凝土桥面板的开裂。

在MIDAS模型中通过支点强制位移400 mm的方法,模拟施工过程中的顶落梁状态。由于收缩、徐变对顶落梁施加预应力的效果影响较大,下列计算结果取刚竣工、竣工后3 a、竣工后10 a的计算结果包络值。经过分析,桥面板钢筋及钢梁最大应力如图7所示,钢筋最大应力123.5 MPa,对应最大裂缝宽度为0.218 mm,较基础模型减少28.5%,钢梁顶板最大应力为121.9 MPa,较基础模型减少10.4%,钢梁底板最大应力172.3 MPa,较基础模型增加32.6%。

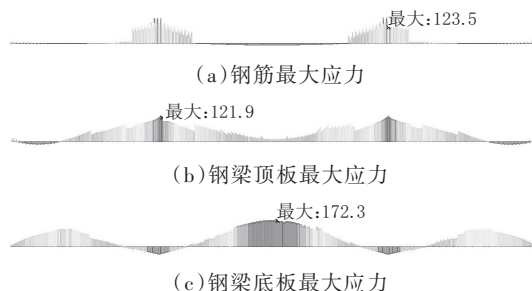


图7 顶落梁技术应力计算结果(单位:MPa)

顶落梁技术对桥面板产生的压应力储备可以有效防止负弯矩区桥面板裂缝的产生,且一定程度上降低了钢梁顶板的拉应力,但由于顶落梁过程在主梁中产生轴拉力,导致钢梁跨中底板拉应力增加。

2.4 加强配筋技术

加强配筋技术是通过增加钢筋直径或钢筋数量,增大负弯矩区混凝土桥面板中的配筋率。在整体计算中,钢筋应力随着钢筋面积的增加而减少,依据裂缝计算公式,裂缝也随着钢筋应力的降低而逐渐降低,主筋由22 mm调整为28 mm后,最大裂缝宽度为0.237 mm。随着钢筋直径的不断提高,加强配筋的对减少混凝土桥面板开裂的作用逐渐降低^[3]。

2.5 抗裂措施的综合应用

考虑到单独使用上述抗裂措施的局限性,在该桥的设计过程中考虑以下4种抗裂措施的综合应用。

(1)顶落梁技术:钢梁架设完成后,在中支点位置采用千斤顶将钢主梁顶升400 mm,待桥面板混凝土达到设计强度后,通过千斤顶控制桥梁中支点回落400 mm到设计高程。

(2)负弯矩区桥面板后浇技术:桥面板混凝土按照先浇筑中墩顶两侧20 m范围以外的正弯矩区混凝土,待混凝土强度达到90%后,浇筑中墩顶20 m范围内的负弯矩区混凝土。

(3)抗拔不抗剪连接技术:在中墩支座两侧各0.2L范围内采用 $\phi 22 \times 170$ -D60-T15抗拔不抗剪剪力钉,剪力钉横向布置间距100 mm,纵向布置间距200 mm。

(4)加强配筋技术:在中墩顶两侧0.2L范围内采用28 mm主筋代替标准段桥面板中纵向22 mm主筋,负弯矩区桥面板综合配筋率为0.04。

在MIDAS模型中精确模拟上述技术的综合应用,得到的计算结果如图8所示,钢筋最大应力为75.4 MPa,对应最大裂缝宽度为0.132 mm,较基础模型减少56.4%,钢梁顶板最大应力158.4 MPa,较基础模型增加16.4%,钢梁底板最大应力171.7 MPa,较基础模型增加32.1%。



图8 抗裂措施综合应用应力计算结果(单位:MPa)

抗裂措施的综合应用可以充分发挥各项技术的优势,有力解决恒载、活载、温度、收缩等荷载作用下负弯矩区桥面板开裂的问题。

3 结 语

以某城市快速路钢-混组合连续梁桥为背景,对钢-混组合连续梁桥负弯矩区桥面板抗裂措施的应用进行研究。通过MIDAS Civil建模分析,得到如下结论。

(1)顶落梁技术为负弯矩区桥面板施加预压力,对负弯矩区桥面板抗裂性能的提高效果最为显著,但由于顶落梁过程在主梁中产生的轴拉力,导致钢梁跨中底板拉应力增加。

(2)抗拔不抗剪连接技术对中墩顶桥面板负弯矩的消峰作用明显,负弯矩区桥面板后浇技术可以有效减少恒载作用下墩顶负弯矩,加强配筋技术作为主动措施可以提高负弯矩区混凝土桥面板的抗裂能力,以上抗裂措施的综合应用可以有效预防负弯矩区桥面板的开裂。

(3)随着抗裂措施的应用,在负弯矩区桥面板抗裂性能提高的同时,钢梁应力有一定程度的增加,设计过程中应综合考虑。

参考文献:

- [1] 聂建国. 钢-混凝土组合结构桥梁[M]. 北京:人民交通出版社, 2010.
- [2] 邵长宇. 梁式组合结构桥梁[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2015.
- [3] 聂鑫, 薛志超, 庄亮东, 等. 大跨钢-混组合连续梁桥负弯矩区桥面板抗裂技术研究[J]. 桥梁建设, 2022, 52(4): 22-30.
- [4] 郑和晖, 巫兴发, 黄跃, 等. 钢-混组合连续梁桥负弯矩区桥面板抗裂措施[J]. 中外公路, 2014, 34(5): 152-155.
- [5] JTG/T D64—2015, 公路钢结构设计规范[S].
- [6] JTG/T D64—01—2015, 公路钢混组合桥梁设计与施工规范[S].
- [7] JTG 3362—2018, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [8] 高建伟. 钢-混凝土组合梁桥支座位移法施加预应力技术[J]. 施工技术, 2005, 34(5): 23-26.
- [9] 刘晓鑫, 顾民杰, 徐慧丹. 采用抗拔不抗剪连接件的钢-混组合连续梁桥设计分析[J]. 城市道桥与防洪, 2022, 284(12): 89-92.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com

