

采用抗拔不抗剪连接件的钢-混组合连续梁桥设计分析

刘晓奎, 顾民杰, 徐慧丹

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 钢-混组合连续梁桥能够充分发挥钢材和混凝土两种材料的优点,在受力性能、综合造价、施工速度及耐久性方面具有很多优势,在工程中应用越来越广泛。抗拔不抗剪技术通过释放连接件的抗剪作用,能够有效地解决钢-混组合连续梁桥负弯矩区混凝土的开裂问题。通过 Midas Civil 建模,研究分析了抗拔不抗剪连接件组合梁与普通剪力钉组合梁的受力区别。结果表明:抗拔不抗剪连接件对负弯矩区桥面板轴力、应力和裂缝宽度的消峰作用非常明显,但会导致组合梁挠度和钢梁应力有所增加,设计时应综合考虑其对结构受力的影响。

关键词: 钢-混组合连续梁;抗拔不抗剪连接件;普通剪力钉;应力分析;裂缝宽度

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)12-0089-04

0 引言

钢-混组合桥梁是钢梁和混凝土桥面板通过连接件连成整体并且在横截面内能够共同受力的桥梁^[1-2]。钢混组合梁能充分发挥混凝土材料的抗压性能和钢材的抗拉性能,规避了钢桥面铺装的疲劳问题,在中等跨径桥梁中优势明显。钢梁和桥面板均能实现工厂化制造、工业化生产和装配式施工,符合现代桥梁建设的发展趋势。

连续组合梁中支点附近受负弯矩作用,桥面板受负弯矩作用将产生拉应力,桥面板开裂与否直接影响结构的力学性能,实际工程中常采用施加预应力、支点顶升、高配筋等方法改善负弯矩区的受力性能。

刘文会等^[3]通过节段梁试验,发现减少负弯矩栓钉数量,可适当减弱钢梁和混凝土桥面板的连接作用,可以延迟桥面板的裂缝开展,并且不影响组合梁的承载力。但对普通组合梁来说,栓钉数量减少后,负弯矩区段桥面板可能发生竖向掀起,影响结构正常使用^[4]。

聂建国等^[5-9]提出了一种抗拔不抗剪连接件(见图 1),可释放桥面板与钢梁之间的剪应力,实现负弯矩区桥面板纵向滑移,保留连接件的抗拔作用以避免桥面板发生掀起破坏,并对其滑移和抗拔性能进行了试验研究。

收稿日期: 2022-03-08

作者简介: 刘晓奎(1982—),男,博士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

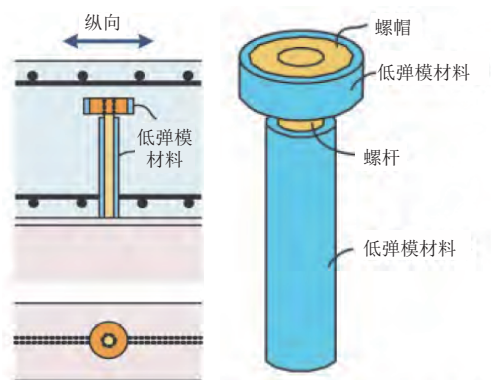


图 1 抗拔不抗剪连接件构造示意图

1 钢-混组合连续梁结构设计

1.1 工程概述

本文以某市快速路环线工程跨越某横向道路的钢-混组合连续梁桥为工程背景。

组合梁跨径布置为 40 m+60 m+40 m,采用多箱单室等截面结构,25 m 桥宽由 4 片钢梁组成,梁距 6.0 m,钢梁之间采用间距 10.0~12.5 m 的横梁连接。梁高 2.8 m,其中钢梁高 2.5 m,桥面板厚 0.3 m,桥面板采用 C50 低收缩混凝土。钢梁采用槽型断面,钢材采用 Q345D,上翼缘标准宽度 700 mm,厚度 20~40 mm;底板标准宽度 2150 mm,厚度 20~40 mm;腹板厚度 16~20 mm;底板、腹板均采用 I 字加劲肋。钢梁上翼缘及横梁顶面设置剪力钉与混凝土桥面板连为整体共同工作。正弯矩区采用传统圆柱头焊钉,在每道钢梁和横梁上翼缘布置 5 列 $\phi 22 \times 180$ 剪力钉;负弯矩区采用抗拔不抗剪连接件,型号为 M22 $\times$ 170-D60-T15,每道钢梁上翼缘布置 4 列,布置范围为中支点

两侧各 11.5 m, 以有效解决负弯矩区桥面板开裂问题。组合梁标准横断面如图 2 所示。

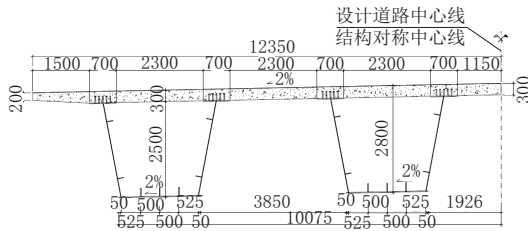


图2 组合梁横断面图(单位:mm)

1.2 抗拔不抗剪连接件

抗拔不抗剪连接件的结构主体与传统圆柱头焊钉一致,由螺杆与螺帽两部分组成,所采用的焊接工具和焊接方法也完全相同,在螺杆和螺帽周围套上一层弹性模量较低的材料,如泡沫塑料、橡胶等。低弹模材料的存在,使得桥面板与钢梁之间纵向剪切刚度减弱,几乎能自由滑动,由此释放负弯矩区混凝土桥面板中的拉应力,这是抗拔不抗剪连接件相比普通焊钉连接件的主要优势^[10-13]。

聂建国教授通过试验,抗拔不抗剪连接件的破坏模式主要有两种:螺杆颈缩破坏和混凝土锥体冲切破坏。前者属于延性破坏,后者属于脆性破坏。设计应保证延性破坏先于脆性破坏发生,可设置栓钉的长径比满足 $h/d > 7.5$ 以保证螺杆先发生延性破坏,提高混凝土配筋率以保证混凝土锥体承载力能充分发挥,避免发生脆性破坏^[8-9]。

2 组合连续梁结构分析

2.1 计算模型

采用 Midas Civil 建立钢-混组合连续梁的空间有限元模型,钢梁和桥面板采用双层梁单元模拟,对负弯矩区采用抗拔不抗剪连接件和全桥采用普通剪力钉连接件两种情况分别建模计算。对于抗拔不抗剪剪力钉,钢梁节点和桥面板节点采用“弹性连接”(一般)模拟,约束其竖向位移自由度(DX)、绕 Z 轴的转动自由度(RZ)、绕 X 轴的转动自由度(RX);释放其水平自由度(DZ、DY)、绕 Y 轴的转动自由度(RY)。对于普通剪力钉,钢梁节点和桥面板节点采用“弹性连接”(刚性)模拟,不考虑混凝土板与钢梁之间的滑移。空间杆系有限元模型如图 3 所示。

施工过程模拟顺序为:(1)架设钢梁;(2)铺设正弯矩区桥面板,施加桥面板湿重;(3)激活正弯矩区桥面板单元;(4)铺设负弯矩区桥面板,施加桥面板湿重;(5)激活负弯矩区桥面板单元;(6)施加二期恒载;(7)10 a 收缩徐变。

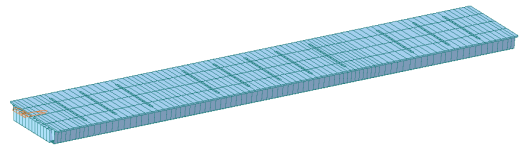
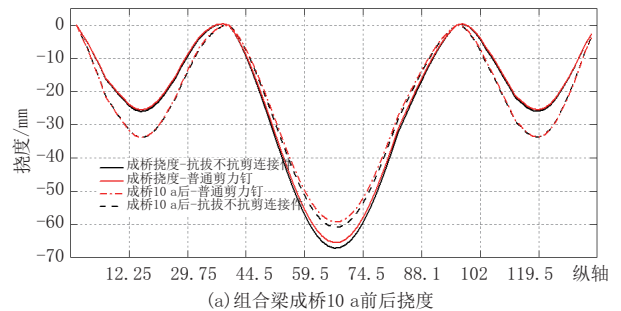


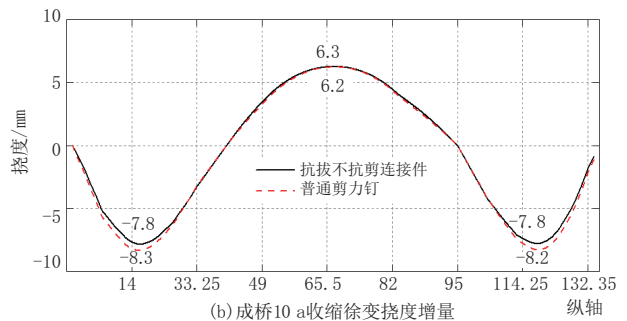
图3 组合连续梁空间有限元模型(40 m+55 m+40 m)

2.2 对成桥挠度的影响

对比抗拔不抗剪和普通剪力钉两种模型,计算成桥初期和成桥 10 a 后的挠度,结果如图 4 所示。从中可以看出,成桥后混凝土收缩徐变导致边跨挠度逐渐增加,中跨挠度逐渐减小,边跨挠度增加量略大于中跨挠度减小量,两种模型的挠度增量基本一致。



(a) 组合梁成桥 10 a 前后挠度



(b) 成桥 10 a 收缩徐变挠度增量

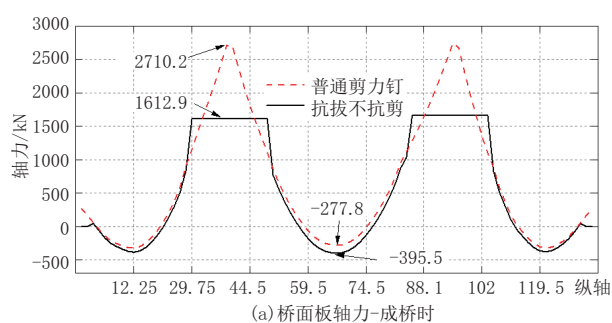
图4 组合梁主梁成桥 10 a 前后挠度图

2.3 对桥面板内力和应力的影响

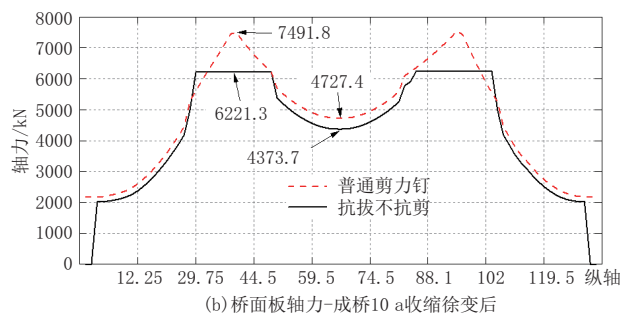
成桥 10 a 前后桥面板轴力和应力分别如图 5、图 6 所示,正值代表拉(应)力,负值代表压(应)力。从中可以看出,在“抗拔不抗剪”区域内,桥面板的轴力是相等的,其值相当于普通剪力钉组合梁桥面板轴力的平均值^[10],说明抗拔不抗剪连接件对桥面板轴力的消峰作用是非常明显的。在成桥时,抗拔不抗剪和普通剪力钉两种模型的支点桥面板轴力分别为 1 612.9 kN 和 2 710.2 kN,消峰幅度约 40%。成桥 10 a 后,桥面板轴力分别为 6 221.3 kN 和 7 491.8 kN,消峰幅度约 17%,桥面板拉应力分别为 3.6 MPa 和 4.5 MPa,说明随着混凝土的收缩徐变,组合梁内力产生重分布,支点桥面板轴力增大,“抗拔不抗剪”技术的消峰作用仍然明显,但幅度逐渐降低。

2.4 对钢梁内力和应力的影响

成桥时钢梁弯矩和应力如图 7 所示。从中可以看出,采用抗拔不抗剪连接件后,中支点钢梁承担的

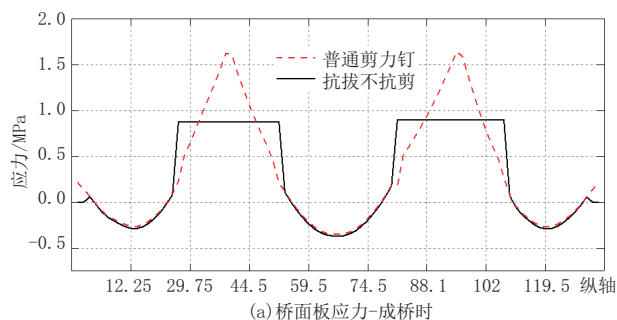


(a) 桥面板轴力-成桥时

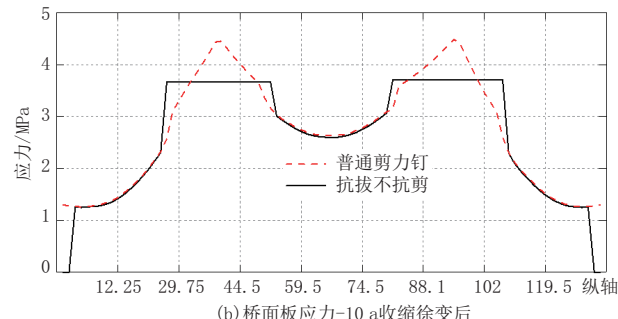


(b) 桥面板轴力-成桥10 a收缩徐变后

图5 桥面板成桥10 a前后轴力图

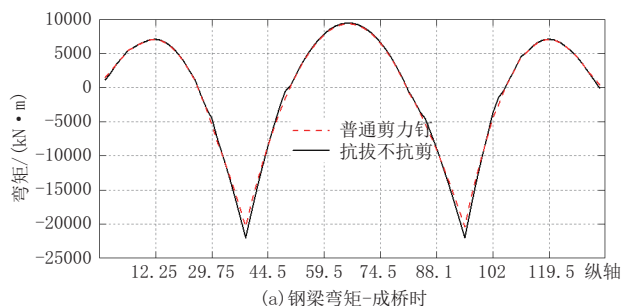


(a) 桥面板应力-成桥时

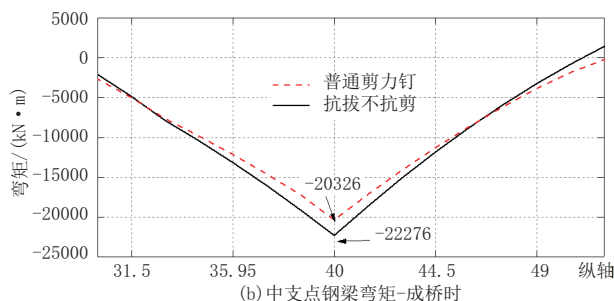


(b) 桥面板应力-10 a收缩徐变后

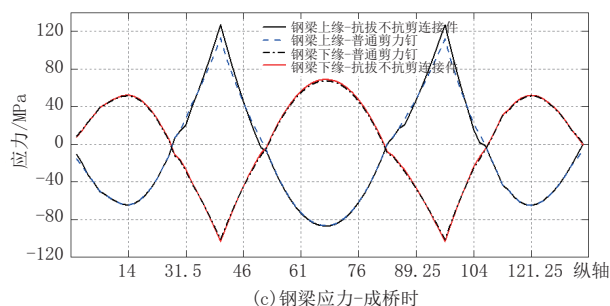
图6 桥面板成桥10 a前后应力图



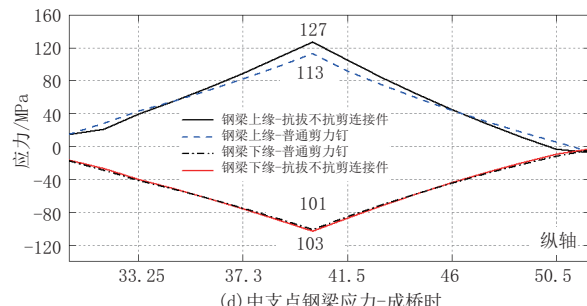
(a) 钢梁弯矩-成桥时



(b) 中支点钢梁弯矩-成桥时



(c) 钢梁应力-成桥时



(d) 中支点钢梁应力-成桥时

图7 钢梁成桥弯矩图和应力图

弯矩有所增加,从 20 326 kN·m 增加到 22 276 kN·m,增幅约 9.6%。钢梁上缘最大拉应力从 113 MPa 增加到 127 MPa,增幅约 12.4%,下缘最大压应力从 -101 MPa 增加到 -103 MPa,增幅约 2.0%。

在基本组合下,采用抗拔不抗剪连接件后,钢梁上、下缘最大应力分别为 181 MPa、-212 MPa,而普通剪力钉钢梁分别为 149 MPa、-206 MPa,增幅分别为 21.5%和 2.9%,钢梁应力均小于规范规定的应力限值 270 MPa(见图 8)。

2.5 对负弯矩区桥面板裂缝的影响

根据《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》^[1]第

7.5.2 条:组合桥梁负弯矩区桥面板工作性能接近于混凝土轴心受拉构件,可忽略混凝土的抗拉性能。本桥桥面板顺桥向配筋为顶、底缘 $\phi 28@100$ mm,桥面板频遇组合轴力如图 9 所示,桥面板轴力除以钢筋截面面积得到钢筋应力,可得到桥面板在正常使用极限状态下的最大裂缝宽度。

从图 9 可以看出,采用抗拔不抗剪连接件后,中支点桥面板轴力从 10 361.8 kN 降低到 8 622.9 kN,降幅约 16.8%;钢筋应力从 140.3 MPa 降低到 116.8 MPa,桥面板裂缝宽度从 0.139 mm 降低到 0.116 mm,满足规范裂缝宽度限值要求(I 类环境,0.20 mm)。

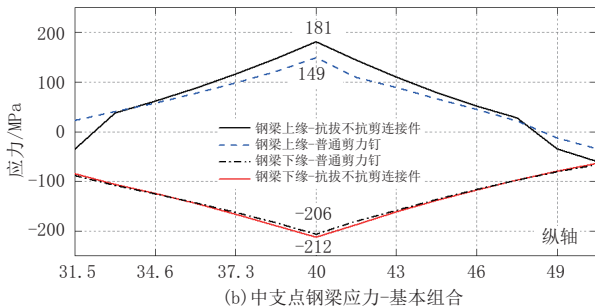
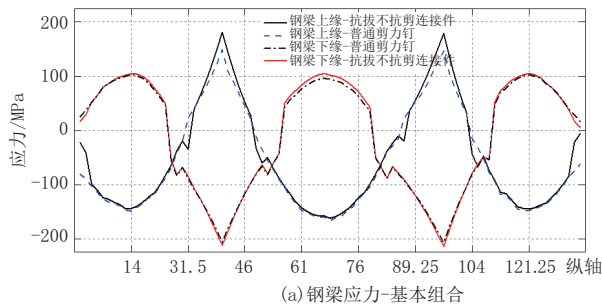


图8 基本组合钢梁应力包络图

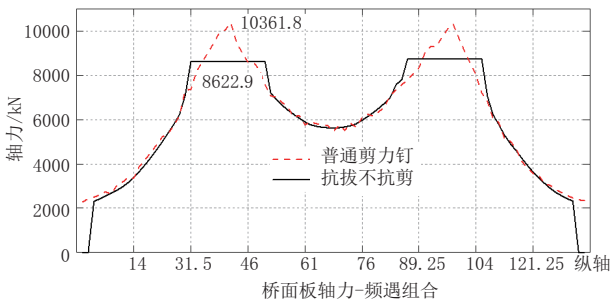


图9 桥面板频遇组合轴力图

3 结论

本文以某市快速路环线钢-混组合连续梁桥为工程背景,研究分析了抗拔不抗剪连接件和普通剪力钉两种连接件对组合连续梁挠度、内力和裂缝等的影响,得到如下结论:

(1)成桥后混凝土收缩徐变导致组合梁边跨挠度逐渐增加,中跨挠度逐渐减小,抗拔不抗剪连接件与普通剪力钉两种模型的挠度增量基本一致。

(2)在“抗拔不抗剪”区域内,混凝土板的轴力和

应力是相等的,抗拔不抗剪连接件对混凝土板轴力和应力的消峰幅度在成桥时约40%,成桥10a后约17%。随着混凝土的收缩徐变,抗拔不抗剪连接件的消峰作用仍然明显,但幅度逐渐降低。

(3)采用抗拔不抗剪连接件会增加钢梁内力,成桥时中支点钢梁弯矩增加约9.6%,上、下缘钢梁应力分别增加约12.4%和2.0%,钢梁应力增加,但仍在规范限值范围内。

(4)采用抗拔不抗剪连接件会降低桥面板裂缝宽度,裂缝宽度从0.139 mm降低到0.116 mm,桥面板受力得到改善。

参考文献:

- [1] JTG/T D64-01—2015,公路钢混组合桥梁设计与施工规范[S].
- [2] 聂建国.钢-混凝土组合结构桥梁[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [3] 刘文会,常大宝.组合梁混凝土板抗裂性能试验研究[J].吉林建筑工程学院学报,2008,25(3):1-3.
- [4] 段树金,王园园,梁显,等.负弯矩作用下钢-混凝土组合与叠合梁静力性能试验研究[J].铁道学报,2020,42(9):120-126.
- [5] 聂建国,马原.抗拔不抗剪栓钉连接件抗拔性能试验研究[J].特种结构,2015(3):6-12.
- [6] 聂建国,慕轩,聂鑫,等.抗拔不抗剪连接新技术及其应用[J].土木工程学报,2015(4):7-14.
- [7] 聂建国,李一昕,陶慕轩.新型抗拔不抗剪连接件的滑移特性及其滞回模型[J].工程力学,2014(11):46-52.
- [8] 聂建国,李一昕,陶慕轩,等.新型抗拔不抗剪连接件抗拔性能试验[J].中国公路学报,2014(4):38-45.
- [9] 聂鑫.钢-混凝土组合刚构桥关键结构受力性能研究[D].北京:清华大学,2013.
- [10] 郭夏,张根.“抗拔不抗剪”钢混组合梁受力特性浅析[J].四川水泥,2020(4):284.
- [11] 杨敏捷.新型连接件在轨道交通组合梁负弯矩区的应用[J].铁道建筑技术,2020(8):120-125.
- [12] 王园园.钢-混凝土组合与叠合梁静力性能试验研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2018.
- [13] 杨飞,谭少华,刘殿元,等.组合连续梁桥收缩徐变与滑移效应的影响分析[J].公路交通科技,2017(12):1-6.

《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

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com