

文章编号: 1674—8247(2023)01—0059—04

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.01.011

## 铁路钢—混结合梁下平联布置形式研究

魏程峰 艾宗良 戴胜勇 钟亚伟 徐 硕

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**为提高高速铁路钢—混结合梁的抗扭转性能,采用数值模拟对下平联布置形式进行了研究,建立了双工字形、三工字形和双槽形3种截面形式钢—混结合梁的有限元模型,分析了单线列车偏载作用下梁体扭转引起的轨面不平顺值及两片主梁的位移比,结果表明:(1)双槽形钢—混结合梁抗扭性能较好,不需设置下平联即可满足高速铁路行车要求;(2)工字形钢—混结合梁设置下平联后,抗扭性能得到显著改善;(3)建议200 km/h及以下速度铁路工字型截面钢—混结合梁下平联选择桁式结构的形式,200 km/h以上速度铁路选择混凝土底板的形式。

**关键词:**铁路钢—混结合梁;抗扭性能;轨面不平顺;桁式平联

中图分类号:U448.36

文献标识码:A

## A Study on Bottom Laterals Arrangement of Railway Steel-concrete Composite Girder

WEI Chengfeng AI Zongliang DAI Shengyong ZHONG Yawei XU Shuo

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** In order to improve the torsional resistance of steel-concrete composite girders for high-speed railways, the layout of the bottom laterals was studied by numerical simulation, and the finite element models of steel-concrete composite girders with double-I-shaped, triple-I-shaped and double-groove sections were established, and the rail surface irregularity caused by girder torsion under the eccentric load of a single-track train and the displacement ratio of two main girders were analyzed. The results show that: (1) The double-channel steel-concrete composite girder has good torsional performance and can meet the train operation requirements of high-speed railways without setting the bottom laterals. (2) After the I-shaped steel-concrete composite girder is set with the bottom laterals, the torsional performance is significantly improved. (3) It is recommended to select the truss structure for the bottom laterals of the steel-concrete composite girder of I-shaped section for the railway with a speed of 200 km/h and below, and select the concrete floor for railways with a speed of above 200 km/h.

**Key words:** railway steel-concrete composite girder; torsional performance; rail surface irregularity; truss bottom laterals

20世纪60年代以来,钢—混结合梁因其整体受力的经济性、发挥两种材料各自优势的合理性以及便于施工的突出优点得到了广泛的应用<sup>[1-6]</sup>。目前,国

内外铁路中小跨度钢—混结合梁桥采用的截面形式有工字形和槽形两种。

结构设计需保证结构的强度、刚度、稳定性等满

收稿日期:2021-09-27

作者简介:魏程峰(1991-),男,工程师。

引文格式:魏程峰,艾宗良,戴胜勇,等.铁路钢—混结合梁下平联布置形式研究[J].高速铁路技术,2023,14(1):59-62.

WEI Chengfeng, AI Zongliang, DAI Shengyong, et al. A Study on Bottom Laterals Arrangement of Railway Steel-concrete Composite Girder[J]. High Speed Railway Technology, 2023,14(1):59-62.

足要求。目前,国内外规范对钢-混结合梁的承载力、竖向和横向刚度、连接件计算等有比较详尽的描述<sup>[7-8]</sup>,而针对钢-混结合梁的抗扭转计算提及的较少。TB 10072-2017《铁路桥涵设计规范》<sup>[9]</sup>对列车竖向静活载作用下梁体扭转引起的轨面不平顺限值做了规定,但对轨面不平顺值计算方法未做描述。吴志勇等根据薄壁结构扭转理论推导了钢-混结合梁的截面扭转常数,用以分析结构扭转时扭矩产生的剪应力等指标。Q/CR 9300-2018《铁路桥涵设计规范(极限状态法)》<sup>[10]</sup>规定了工字形和槽形截面钢-混结合梁的抗扭惯性矩计算方法。

上述研究主要基于自由扭转理论推导钢-混结合梁结构扭转常数计算公式,与实际结构受力存在一定出入。同时,上述研究主要分析梁体因扭转产生的剪应力,而对梁体扭转引起的轨面不平顺值计算方法提及较少。

本文以某 200 km/h 客货共线铁路 32 m 跨、5 m 线间距、有砟轨道钢-混结合梁为例,采用有限元分析方法,计算不同下平联布置形式下,不同截面形式钢-混结合梁在单线列车偏载作用下梁体扭转引起的轨面不平顺值及两片主梁的位移比,并以此评价铁路工字形和槽形钢-混结合梁的抗扭转性能,并对铁路钢-混结合梁下平联设置形式给出建议,供设计参考。

## 1 铁路钢-混结合梁抗扭转性能评价标准

根据 TB 10072-2017《铁路桥涵设计规范》,高速、城际铁路列车竖向静活载作用下梁体扭转引起的轨面不平顺限值,在 3 m 长的线路范围一线两根钢轨的竖向相对变形量限值如表 1 所示。

表 1 竖向相对变形量限值表

铁路类型	竖向相对变形量 $t/\text{mm}$
高速铁路	1.5
城际铁路(设计速度 200 km/h)	3.0
城际铁路(设计速度 160 km/h)	3.7
城际铁路(设计速度 120 km/h)	4.5

根据表 1,以梁体在竖向静活载作用下因扭转引起在 3 m 长的线路范围一线两根钢轨的竖向相对变形量作为抗扭转性能评价标准,变形量与抗扭转性能成反比。

另外,在分析过程中提取了单线加载时,非加载侧主梁与加载侧主梁的竖向位移比,作为评价结构抗扭转性能的另一个标准,位移比与抗扭转性能成正

比,位移比越大,代表两片主梁在单线偏载作用下共同受力性能越好。

## 2 铁路钢-混结合梁下平联布置形式

从铁路钢-混结合梁的应用调研来看,槽形截面钢-混结合梁自身抗扭性能较好,一般不设置下平联,工字形截面钢-混结合梁自身抗扭性能较差,一般需通过设置下平联来提高结构的抗扭转性能,以满足铁路行车要求,下平联常见布置形式有桁式平联和混凝土底板平联两种形式。

桁式下平联由型钢杆件组成,与钢-混结合梁下翼缘通过螺栓连接,优点是杆件重量小、便于施工,不足之处是对结构抗扭转性能改善不如混凝土底板平联,较难满足高速铁路行车要求。

混凝土底板平联由沿纵向设断缝的混凝土预制板与钢-混结合梁下翼缘通过湿接缝连接,优点是能大幅改善结构抗扭转性能,满足高速铁路行车要求,不足之处是混凝土预制板重量较大,施工较繁琐。

## 3 结构方案和有限元模型

### 3.1 结构方案

某 200 km/h 客货共线铁路 32 m 跨、5 m 线间距、有砟轨道钢-混结合梁双工字形、三工字形、双槽形 3 种截面形式主要结构尺寸及参数如表 2 所示。

表 2 3 种截面形式钢-混结合梁主要结构尺寸和参数表

结构参数	双工字形	三工字形	双槽形
腹板中心距/mm	6 300	3 600 + 3 600	2 200 + 2 800 + 2 200
混凝土板厚度/mm	200 ~ 400	200 ~ 260	200 ~ 300
钢梁高度/mm	2 600	2 300	2 200
上翼缘尺寸/mm	1 000 × 24(28)	800 × 24(28)	400 × 20(24)
下翼缘尺寸/mm	1 200 × 30(46)	1 000 × 30(46)	2 280 × 24(28)
腹板厚/mm	20(22)	16(18)	14
横梁隔板布置	6 m 1 道	6 m 1 道	6 m 1 道

### 3.2 有限元模型

通过有限元分析软件,建立工字形和槽形截面钢-混结合梁有限元仿真模型如图 1、图 2 所示。其中,槽形截面钢-混结合梁不设置下平联,工字形截面钢-混结合梁设置下平联,包括桁式和混凝土底板两种下平联形式,另外,建立工字形截面钢-混结合梁不设置下平联的模型用于对比分析。

模型中通过列车单线单侧加载以考察结构的抗扭转性能。模型中桁式下平联采用等边角钢进行模拟,角钢截面规格 L 160 × 160 × 10,“x”型布置,3 m 左右 1 道;混凝土底板下平联纵向每 2 m 左右断缝,

板厚 150 mm。

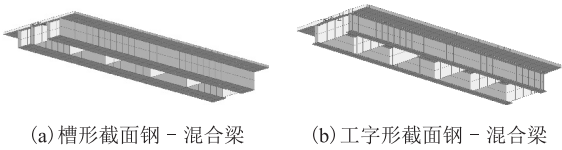


图 1 工字形和槽形截面钢-混结合梁有限元模型图

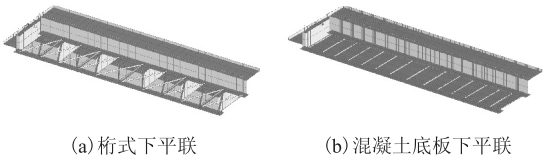


图 2 工字形截面钢-混结合梁下平联布置图

4 下平联设置对铁路钢-混结合梁抗扭转性能影响分析

4.1 无下平联的工字形和槽形截面钢-混结合梁抗扭转性能对比

不设置下平联的工字形和槽形截面钢-混结合梁在列车单线单侧加载下结构竖向变形如图 3 所示。

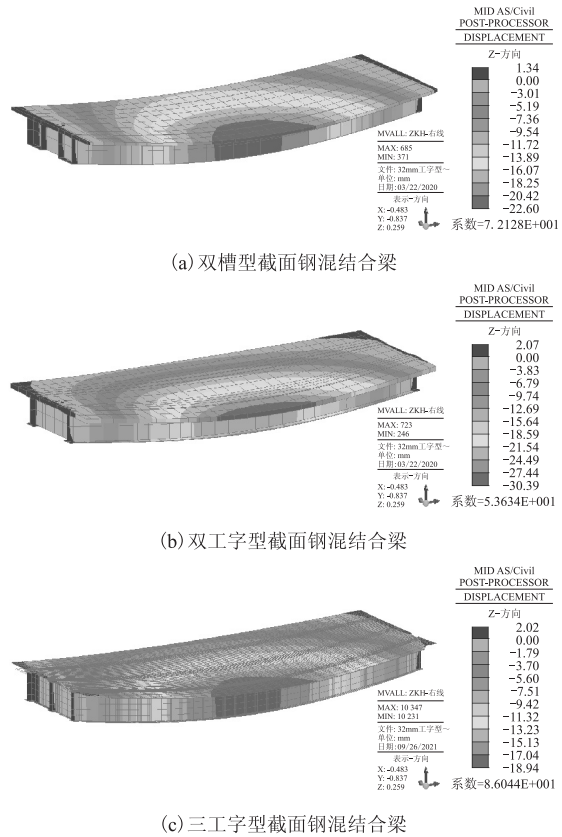


图 3 工字形和槽形截面钢-混结合梁竖向变形图

工字形和槽形截面钢-混结合梁抗扭转性能指

标对比如表 3 所示。不设置下平联时,列车单线单侧加载下双槽形截面钢-混结合梁因扭转引起的轨面竖向变形差较双工字形(三工字形)截面钢-混结合梁减小 48% (38%),双槽形截面钢-混结合梁的两片主梁位移比较双工字形(三工字形)截面钢-混结合梁增加 52% (27%)。

表 3 工字形和槽形截面钢-混结合梁抗扭转性能指标对比

结构扭转性能评价指标	双槽形截面	双工字形截面	三工字形截面
扭转引起的轨面竖向变形差/mm	1.21	2.36	1.94
单线加载两片主梁位移比	1:1.58	1:2.40	1:2.01

列车单线单侧加载下双槽型截面钢-混结合梁因扭转引起的轨面竖向变形差为 1.21 mm,满足高速铁路行车对结构扭转刚度要求,双工字形(三工字形)截面钢-混结合梁因扭转引起的轨面竖向变形差为 2.36 mm(1.94 mm),不满足高速铁路、但满足 200 km/h 铁路行车对结构扭转刚度要求;因此,双槽型截面钢-混结合梁不需设置下平联,工字形截面钢-混结合梁需设置下平联来提高结构抗扭转性能,从而满足高速铁路行车要求。

4.2 工字形截面钢-混结合梁下平联布置形式比选研究

由上一节的分析可知,为满足高速铁路列车行车要求,工字形截面钢-混结合梁需设置下平联。本节对设置桁式和混凝土底板两种形式下平联的工字形截面钢-混结合梁抗扭转性能进行对比分析,两种下平联布置形式下结构在列车单线单侧加载下结构竖向变形如图 4 所示。

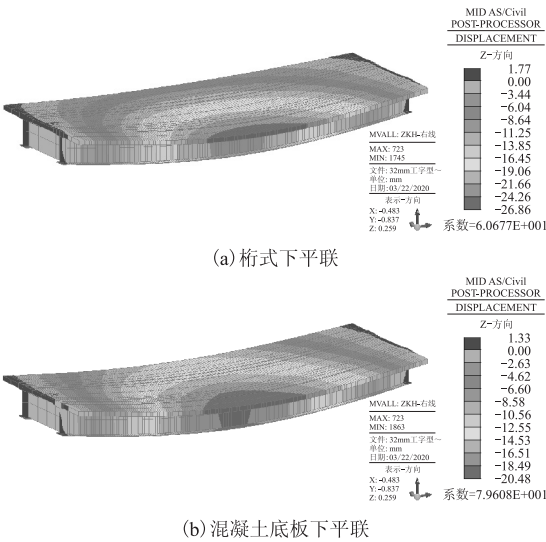


图 4 两种下平联布置形式下双工字形截面钢-混结合梁竖向变形图

两种下平联布置形式下工字形截面钢-混结合梁抗扭转性能指标对比如表 4 所示。

表 4 两种下平联布置形式下工字形截面钢-混结合梁抗扭转性能指标对比表

结构主要技术指标	桁式下平联	混凝土底板下平联
扭转引起的轨面竖向变形差/mm	1. 71(1. 43)	1. 05(0. 97)
单线加载两片主梁位移比	1 : 1. 92 (1 : 1. 61)	1 : 1. 46 (1 : 1. 33)

注: 括号内数字为三工字形截面钢-混结合梁取值

设置桁式下平联和混凝土底板下平联后, 列车单线单侧加载下双工字形(三工字形)截面钢-混结合梁因扭转引起的轨面竖向变形差较不设下平联分别减小 28% (26%) 和 56% (52%), 双工字形(三工字形)截面钢-混结合梁的两片主梁位移比较不设下平联分别提高 25% (24%) 和 64% (51%), 设置下平联对工字形截面钢-混结合梁的抗扭性能提升作用较明显。

设置混凝土底板下平联后, 列车单线单侧加载下双工字形(三工字形)截面钢-混结合梁因扭转引起的轨面竖向变形差较桁式下平联减小 38% (32%) 且满足高速铁路行车要求, 双工字形(三工字形)截面钢-混结合梁的两片主梁位移比较桁式下平联增加 32% (22%)。

5 结论

本文通过对下平联布置形式进行研究, 得出以下主要结论:

(1) 槽形截面钢-混结合梁具有较好的抗扭转性能, 无需设置下平联结构即可满足高速铁路行车要求。

(2) 设置下平联对工字形钢-混结合梁抗扭转性能提升较明显, 设置桁式下平联和混凝土底板下平联后, 列车单线单侧加载下双工字形(三工字形)钢-混结合梁因扭转引起的轨面竖向变形差较不设下平联分别减小 28% (26%) 和 56% (52%), 双工字形(三工字形)钢-混结合梁的两片主梁位移比较不设下平联分别提高 25% (24%) 和 64% (51%)。

(3) 设置混凝土底板下平联的工字形钢-混结合梁抗扭转性能优于设置桁式下平联的工字形钢-混结合梁。设置混凝土底板下平联后, 列车单线单侧加载下双工字形(三工字形)钢-混结合梁因扭转引起的轨面竖向变形差较桁式下平联减小 38% (32%) 且满足高速铁路行车要求。

(4) 建议高速铁路工字形钢-混结合梁下平联形式可考虑采用混凝土底板, 以满足列车行车要求; 非高速铁路工字形钢-混结合梁下平联形式可考虑采用桁式结构, 既能满足行车要求, 施工也较便捷。

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, 2011.  
NIE Jianguo. Steel-concrete Composite Bridges [M]. Beijing: China Communications Press, 2011.

[2] 吴志勇. 预制桥面板曲线钢-混凝土结合梁设计关键技术[J]. 铁道建筑, 2018, 58(7): 30-35.  
WU Zhiyong. Key Design Technology for Curved Steel-Concrete Composite Girder with Precast Deck [J]. Railway Engineering, 2018, 58(7): 30-35.

[3] 黄剑源. 薄壁结构的扭转分析(上册)[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.  
HUANG Jianyuan. Torsional Analysis of Thin-walled Structures part 1 [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1983.

[4] 彭岚平. 秦沈客运专线连续结合梁设计[J]. 铁道标准设计, 2001, 45(9): 18-20.  
PENG Lanping. Design of Continuous Composite Beam for Qinhuangdao-Shenyang Passenger Dedicated Line [J]. Railway Standard Design, 2001, 45(9): 18-20.

[5] 徐海清, 吴金池, 张汉华, 等. 欧洲结合梁[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.  
Xu Haiqing, Wu Jinchi, Zhang Hanhua, et al. European Combination Beam [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2009.

[6] 辛学忠, 张晔芝. 我国铁路钢-混凝土结合梁桥技术发展思考[J]. 桥梁建设, 2007, 37(5): 12-16.  
XIN Xuezhong, ZHANG Yezhi. Considerations of Technical Development of Railway Steel and Concrete Composite Girder Bridges in China [J]. Bridge Construction, 2007, 37(5): 12-16.

[7] 吴冲. 现代钢桥(上册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.  
WU Chong. Modern Steel Bridge (part 1) [M]. Beijing: China Communications Press, 2006.

[8] 谢红兵, 秦顺全. 结合梁钢与混凝土弹模比取值的探讨[J]. 桥梁建设, 1999, 29(2): 15-17.  
XIE Hongbing, QIN Shunquan. Study on Elastic Modulus Ratio of Steel and Concrete under Dead and Live Load for a Composite Bridge [J]. Bridge Construction, 1999, 29(2): 15-17.

[9] TB 10072-2017 铁路桥涵设计规范[S].  
TB 10072-2017 Code for Design of Railway Bridge and Culvert [S].

[10] Q/CR 9300-2018 铁路桥涵设计规范(极限状态法)[S].  
Q/CR 9300-2018 Code for Design of Railway Bridge and Culvert (Limit State Method) [S].