

文章编号: 1006—2106(2009)02—0056—04

双块式无砟轨道桥梁梁端扣件系统力学分析

张 岷^{***}

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

摘要: 研究目的: 桥上无砟轨道结构梁端产生位移时将梁缝附近扣件产生附加作用力, 扣件系统作为无砟轨道结构的重要传力部件, 扣件扣压力及垫层压缩变形量均有相应的限值要求, 所以需对无砟轨道梁端位移产生的扣件附加力进行检算。

研究结论: 结合郑西客运专线桥上双块式无砟轨道结构建立有限元模型进行扣件附加力的检算, 检算结果表明, 梁端位移引起的扣件附加力将影响扣件型号的设计选择。

关键词: 双块式无砟轨道; 梁端位移; 扣件附加力

中图分类号: U44 文献标识码: A

Mechanics Analysis of the Rail Fastening of Bi-block Ballastless Track on the Bridge Terminal

ZHANG Min

(China Railway First Survey and Design Institute Group Ltd, Xi'an Shanxi 710043 China)

Abstract: Research purposes: When the terminal of ballastless track bridge produces some deformation, the fastenings near the bridge joint will produce additional force. The fastening is an important part of the ballastless track to transfer the force. Both the toe load of fastening and pressure deformation of resilient pad have corresponding limits, so it is necessary to analyze the additional force of fastening near the bridge joint.

Research conclusions: Combined with bi-block ballastless track of Zhengzhou—Xi'an Passenger Dedicated Line, this paper calculates the additional force of fastener near the bridge joint with the finite element analysis method. The result indicates that the additional force of fastener produced by bridge deformation will make influence on choosing the type of fasteners near the bridge joint.

Key words: bi-block ballastless track; deformation of bridge terminal; additional force of fastening

随着我国客运专线无砟轨道技术的普遍应用,加之桥梁所占的比例越来越高,由于无砟轨道结构基础均为刚性混凝土道床板,当桥梁梁端产生变形时将直接通过扣件使钢轨产生变形,对梁缝附近扣件及钢轨产生附加力,根据德国规范规定对梁端竖向转角产生的轨道扣件上拔力必须进行检算,规定梁端支座截面产生竖向位移不得超过 1 mm。根据《新建时速 300~350公里客运专线铁路设计暂行规定》桥梁结构在静

活载作用下梁端支座截面竖向转角限值为 1‰,竖向相对位移限值为 1 mm^[1]。

郑西客运专线全线桥梁比例达到 70%以上,本文以郑西客运专线中 2×32 m 简支梁+(32+48+32) m 连续梁+2×32 m 简支梁的典型桥梁布置方案,分别铺设常阻力扣件或小阻力扣件 2 种工况,进行扣件附加力分析。

* 收稿日期: 2008—12—05

*** 作者简介: 张岷, 1981 年出生, 男, 助理工程师。

1 计算模型

ZUBLN双块式无砟轨道由钢轨、扣件、轨枕块、混凝土道床板及混凝土底座板组成。如图 1 所示。底座采用门形钢筋与混凝土保护层牢固联结^[2]。

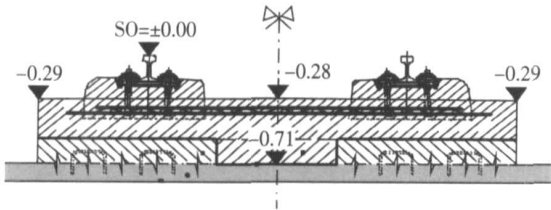


图 1 ZUBLN双块式无砟轨道结构图

根据桥上 ZUBLN双块式无砟轨道结构特点可假设道床板和底座与桥梁变形一致, 在分析梁端变形时将道床板、底座和桥梁作为一个整体结构进行建模, 模型如图 2 所示。

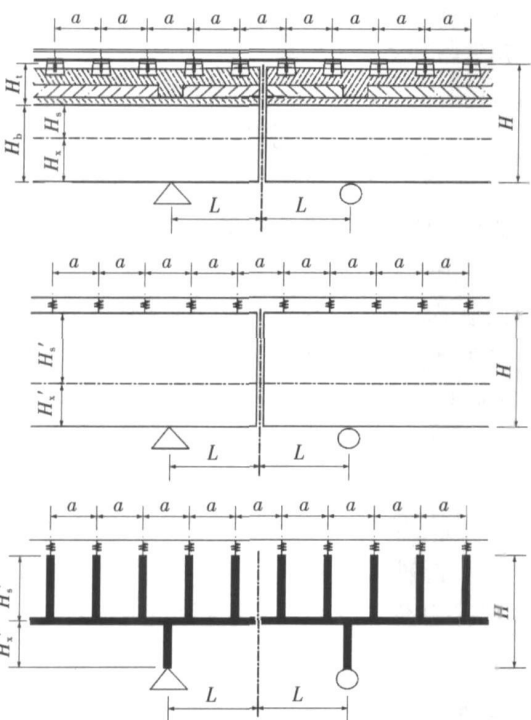


图 2 梁端变形轨道受力模型示意图

由于梁端变形的幅度较小, 为了较准确的模拟分析梁端变形的影响, 钢轨及桥梁梁单元均以其中性轴位置建立, 以刚臂模拟桥梁上下翼缘距中性轴距离。

扣件作为主要分析对象采用非线性弹簧模拟^[3], 如图 2 所示以扣件节点间距为弹簧间距。扣件刚度曲线根据扣件工作状态分为 4 部分, 如图 3 所示。

1.1 初始状态 0

即扣件仅受扣件弹条扣压力, 以该工作状态为刚度曲线原点。

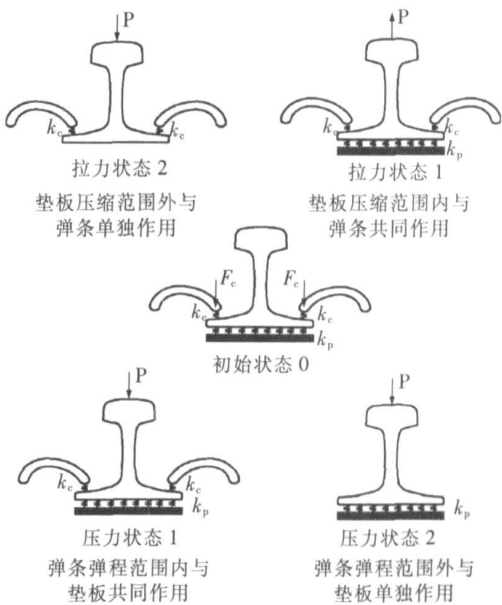


图 3 扣件工作状态示意图

1.2 拉力状态 1

垫板在压缩范围内并与弹条共同作用, 属正常工作状态。

$$k = k_p + 2k_c \quad 0 \leq F_c \leq 2F_c$$

1.3 拉力状态 2

垫板无压缩受力, 仅弹条单独作用, 上拔力已超出弹条扣压力范围, 将产生较大的竖向位移, 可能拔出扣件或破坏弹条, 属非正常工作状态。

$$k = 2k_c \quad 2F_c \leq F_c$$

1.4 压力状态 1

弹条弹程范围内并与垫板共同作用, 属正常工作状态。

$$k = k_p + 2k_c \quad -2F_c(1 + k_p/2k_c) \leq F_c \leq 0$$

1.5 压力状态 2

弹条弹程范围外, 仅垫板单独作用, 此时垫板压缩量过大, 容易在疲劳荷载作用下失去弹性, 属非正常工作状态。

$$k = 2k_c \quad F_c \leq -2F_c(1 + k_p/2k_c)$$

综上所述, 可得扣件非线性弹簧单元刚度曲线如图 4 所示。

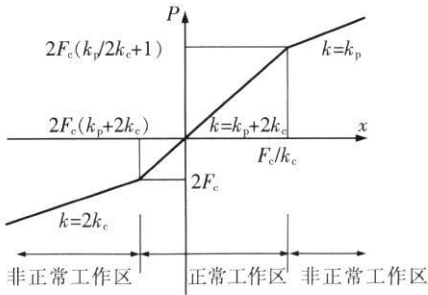


图 4 扣件刚度曲线图

注: 扣件节点受压为正, 受拉为负; x 表示扣件压缩上拔位移量

2 计算参数及工况

2.1 计算参数

本文结合郑西客运专线实际工程实例,以典型桥梁布置情况(如图 5)为例进行分析研究。

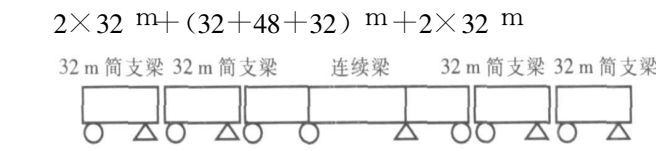


图 5 桥梁孔跨及支座布置示意图

桥梁参数如表 1 所示。
简支梁桥梁支座距梁端距离为 0.55m,连续梁为 0.75m,桥梁截面参数如表 1 所示。

表 1 桥梁截面参数表

梁型	I/m^4	H_s/m	H_x/m
32 m	16 237.6	1.253 4	1.796 6
32+48+32 m	18 684.9	1.348	1.902

钢轨采用 60 kg/m 钢轨,截面惯性矩 $3.217 \times 10^{-5} m^4$ 。
扣件分别采用 WJ-8B 型常阻力或小阻力扣件,具体参数如表 2 所示。

表 2 扣件参数表

	WJ-8B 常阻力扣件	WJ-8B 小阻力扣件
弹条扣压力/kN	9	6
弹程/mm	14	12
垫板静刚度/(kN·mm ⁻¹)	20~30	20~30
预埋套管抗拔力/kN	≥60	≥60

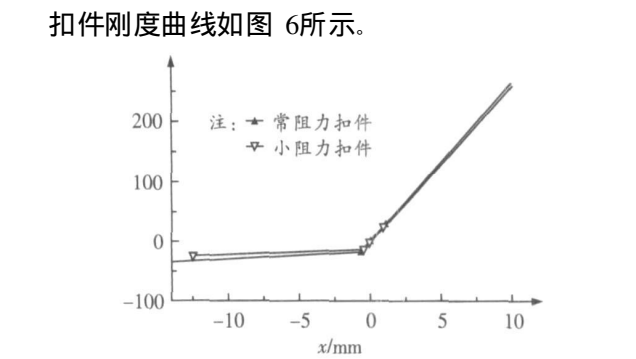


图 6 扣件刚度曲线图

2.2 工况

桥梁受荷载作用后引起的梁端位移包括转角和竖向位移两大类,如图 7 所示。

转角工况分析内容分别考虑梁端单侧转动及两侧转动两种情况,转角值取 0.5‰、1.0‰、1.5‰、2.0‰。
竖向位移工况分别考虑简支梁与连续梁单侧沉降位

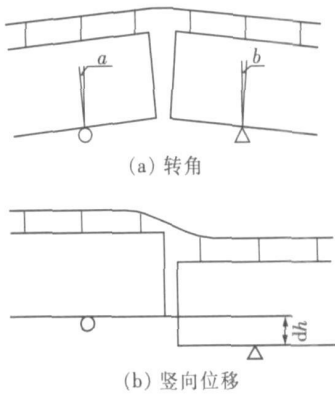


图 7 桥梁孔跨及支座布置示意图

移,竖向相对位移分别取 0.25 mm、0.5 mm、0.75 mm、1 mm。

3 检算内容

扣件系统附加力检算项目主要针对扣件附加上拔力、扣件弹性垫板压缩变形量进行检算。

3.1 扣件附加上拔力检算

扣件附加上拔力应小于弹条扣压力设计值。

$$F_{\text{附加拉力}} \leq 2F_c \begin{cases} \text{小阻力扣件 } 2F_c = 12 \text{ kN} \\ \text{常阻力扣件 } 2F_c = 18 \text{ kN} \end{cases}$$

3.2 扣件弹性垫板压缩变形量检算

由于扣件弹性垫板压缩变形过大将影响其疲劳寿命,所以限定压缩变形不能超过自身厚度的 20% (WJ-8B 型扣件弹性垫板厚度 10 mm)。根据 WJ-8B 扣件节点静刚度 35 kN/mm,并考虑静动刚度比为 1.3,扣件节点动刚度 50 kN/mm,可计算得当扣件胶垫压缩变形 2 mm 时,扣件节点压力允许值为 100 kN,并考虑列车荷载作用影响,按扣件间距 654 mm,列车轴重 17 t 计算可得列车荷载作用下扣件节点压力 54 kN,即梁端位移下扣件节点附加压力允许值为:

$$[F_E] = 46 \text{ kN}$$

4 计算分析

利用有限元分析软件建立有限元模型如图 8 所示。

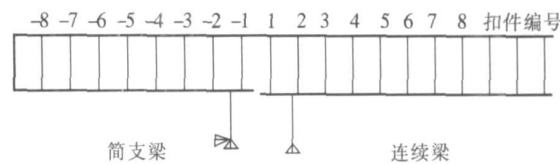


图 8 有限元梁端分析模型

4.1 梁端转角

简支梁单侧转动情况下扣件附加力(即扣件上拔力或节点压力)如图 9 所示。

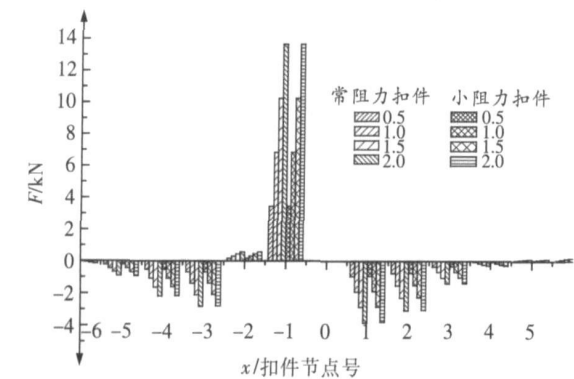


图 9 简支梁单侧转动钢轨附加力

常阻力扣件和小阻力扣件最大上拔力均为 4.0 kN，最大节点压力均为 13.5 kN，满足扣件使用要求。
连续梁单侧转动情况下扣件附加力如图 10 所示。

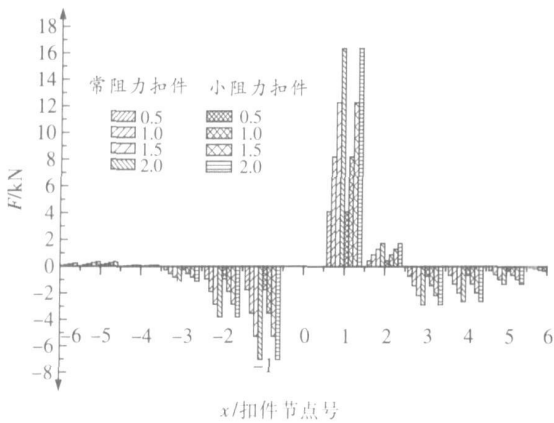


图 10 连续梁单侧转动钢轨附加力

常阻力扣件和小阻力扣件最大上拔力均为 7.0 kN，最大节点压力均为 16.5 kN，满足扣件使用要求。
简支梁和连续梁同时同向或异向转动工况下扣件最大附加力如表 3 所示。

表 3 梁端两侧转角钢轨最大附加力表

	转角	常阻力扣件		小阻力扣件	
		压力 / kN	拉力 / kN	压力 / kN	拉力 / kN
同向	0.5	3.13	1.08	3.13	1.08
	1	6.26	2.15	6.26	2.15
	1.5	9.4	3.23	9.4	3.23
	2	12.52	4.3	12.52	4.3
异向	0.5	5.15	5.06	5.15	5.06
	1	10.3	10.12	10.3	10.12
	1.5	15.45	15.18	15.3	14.9
	2	20.8	18.0	20.6	20.2

由表 3 可见，梁端异向转动情况下扣件受力状态较同向转动更加不利。当采用常阻力扣件时，在异向转角达到 2.0% 时，扣件附加上拔力已达到弹条扣压力设计值；当采用小阻力扣件时，在异向转角达到

1.5% 时，扣件附加上拔力超出弹条扣压力设计值。扣件节点压力均满足扣件使用要求。

4.2 梁端竖向位移

简支梁单侧竖向位移情况下钢轨附加力如图 11 所示。

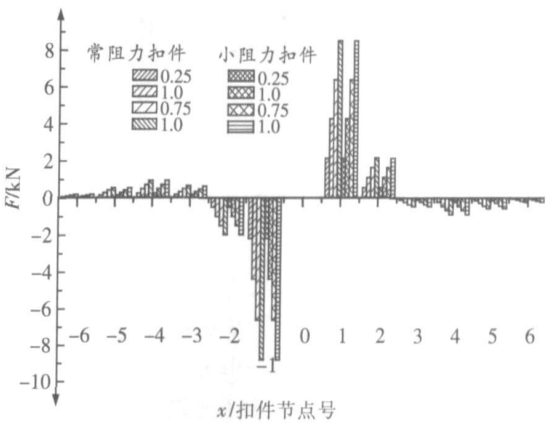


图 11 简支梁单侧竖向位移钢轨附加力

常阻力扣件和小阻力扣件最大附加上拔力均为 8.7 kN，最大节点压力均为 8.7 kN，满足扣件使用要求。

连续梁单侧竖向位移情况下钢轨附加力（即扣件上拔力或节点压力）如图 12 所示。

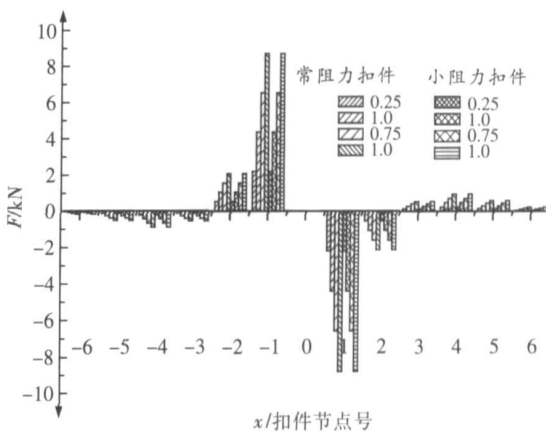


图 12 连续梁单侧竖向位移钢轨附加力

常阻力扣件和小阻力扣件最大上拔力均为 8.7 kN，最大节点压力均为 8.7 kN，满足扣件使用要求。

5 结论

(1) 由简支梁和连续梁单侧转动工况可知，桥梁梁端悬臂长度越长扣件附加力越大，所以桥梁梁端悬臂长度是影响梁端扣件附加力大小的关键因素。

(2) 按梁端转角各种工况分析结果可见，按《新建时速 300~350 公里客运专线铁路设计暂行规定》中

(下转第 63 页)

转向机动性、运行速度、自动导航精度等技术参数均优于进口产品。



图 4 900 t 轮胎式运梁车

2006年 2月中国中铁股份有限公司在合宁铁路成功架设我国第一孔 900 级 32 m 双线铁路箱梁,截至 2008年底,架桥机共投入使用 29 台套,累计运输和架设箱梁近 8 000 孔。整孔预制、运输、架设施工技术及设备已成功应用于京津城际、武广客运专线等线路建设,并正在哈大、京沪等国内所有在建高速铁路广泛推广使用,取得了很好的成效。

4 结论

国家中长期铁路网调整规划已于 2008 年 10 月

31 日经国家批准正式颁布实施。新规划将进一步扩大路网规模,完善布局结构,提高运输质量,体现了原规划快速扩充运输能力、迅速提高装备水平的要求。新调整的方案,将 2020 年全国铁路营业里程规划目标由 10 万 km 调整为 12 万 km 以上,其中客运专线由 1.2 万 km 调整为 1.6 万 km,主要繁忙干线实现客货分线,基本形成布局合理、结构清晰、功能完善、衔接顺畅的铁路网络,运输能力满足国民经济和社会发展需要,主要技术装备达到或接近国际先进水平。

我国铁路 50 多年预制梁一直以 T 梁为主,重量不超过 200 t。国外既有架桥机起重能力达到 900 级,但不适用于我国地域广阔、多样化的桥式布置以及复杂多变的施工条件。自主开发的铁路大吨位箱梁整体预制、运输、架设技术及研制的 900 级箱梁运架关键设备解决了目前我国铁路大规模建设需求的瓶颈问题,填补了国内空白,引领了我国大吨位整体箱梁建造技术的发展方向。

参考文献:

- [1] 郑健. 中国高速铁路桥梁 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008
- [2] 乔健, 张红旭, 陈良江. 中国高速铁路桥梁的技术路线和实践 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008

(上接第 59 页)

规定的“桥梁梁端在设计静活载下竖向转角应小于 1.0‰”, 本文所检算常阻力或小阻力扣件均可满足的梁端转角位移 1.0‰ 的要求。

(3) 按梁端竖向位移各工况检算结果可知, 连续梁或简支梁分别单侧竖向位移时, 常阻力或小阻力扣件附加力大小基本相同, 可见, 在梁端竖向位移工况下, 扣件附加力仅与梁端竖向位移大小有关。本文所检算的扣件附加力均可满足梁端相对竖向位移 1 mm 的要求。

综上所述, 本文分析的扣件附加力均满足《新建时速 300~350 公里客运专线铁路设计暂行规定》中规定的梁端转角及竖向位移要求, 但对于连续梁并采用小阻力扣件时扣件附加上拔力已接近限值, 所以有必

要对工程中相似情况进行检算, 若不满足限值要求, 需采取设置大扣压力扣件等相关措施进行加强以满足要求。

参考文献:

- [1] 铁建设 [2000] 47 号. 新建时速 300~350 公里客运专线铁路设计暂行规定 [S].
- [2] 哈特穆特·弗赖施泰因 马丁·明克 彼得·朔尔迈埃尔. 德国铁路基础设施设计手册 [K]. 北京: 中国铁道出版社, 2007
- [3] 佐藤吉彦 [日]. 新轨道力学 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001

(编辑 吕 洁)