

文章编号: 1674—8247(2012)06—0040—04

梁端无砟轨道扣件系统受力分析

易南福 殷明旻

(中铁二院工程集团有限责任公司土木建筑设计研究三院, 成都 610031)

摘 要:文章利用有限元软件,建立了梁轨一体化无砟轨道有限元模型,分析计算了相邻墩台不均匀沉降位移、相邻墩台伸缩量之差位移、大坡道桥梁梁端相对位移和梁端转角位移工况下梁端扣件系统的受力。得出结论:固定支座侧的扣件系统所受的附加上拔力较活动支座侧的扣件系统要小,两者之比约 1:4;对于小阻力扣件,当双侧竖向位移超过 4 mm,或单侧竖向位移超过 0.8 mm(20‰坡,温度跨度 200 m)时,梁端扣件应进行特殊设计;对于常阻力扣件,双侧竖向位移超过 7 mm 或单侧竖向位移超过 1.28 mm(20‰坡,温度跨度 320 mm)时,梁端扣件应进行特殊设计。

关键词:无砟轨道;梁端位移;扣件系统;有限元模型

中图分类号:U213.5⁺3 **文献标识码:**A

Analysis on Fastening Force of Ballastless Track System of the Beam End

YI Nan-fu YIN Ming-min

(Third Civil Construction Design & Research Institute, China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract:In the paper, ballastless track finite element model of integration of beam and track is established by use of the finite element software, and the forces of fastening systems under different beams displacement are analyzed and calculated, including uneven settlement displacement of adjacent piers and abutments, the displacement of difference of expansion amount of adjacent piers and abutments, the relative displacement of the beam ends on large ramp bridge and the rotation displacement of the beam ends. The results are: the additional pulling force of fastening system by the side of the fixed bearing is smaller than it by the side of the expansion bearing, and the rate is about 1:4; For small resistance fasteners, when bilateral vertical displacement is more than 4mm or unilateral vertical displacement is over 0.8mm (20‰slope, and 200 m temperature span), the fasteners of beam ends should be specially designed; For regular resistance fasteners, when bilateral vertical displacement is more than 7mm or unilateral vertical displacement is over 1.28mm (20‰slope, and 320m temperature span), the fasteners of beam ends should be specially designed.

Key words:ballastless track; displacement of beam end; fastening system; finite element model

1 简述

相邻墩台基础不均匀沉降、温度荷载、车辆荷载、支座弹性变形、施工误差等都会引起梁端支座处截面发生位移,包括竖向位移与转角位移。如果桥上铺设的是有砟轨道,这种微小的位移对轨道结构扣件系统的影响可以忽略不计;但对于无砟轨道来说,由于轨道

结构与桥梁连接的刚度较大,轨道结构对梁的变形非常敏感,这种微小的变形将造成梁端局部钢轨隆起,从而引起钢轨和扣件系统的附加拉力或压力。当扣件附加拉力大于扣件系统扣压力时,将导致钢轨与垫板间脱空,扣件失效;当扣除附加压力超过一定限值后,在列车重复荷载作用下将导致弹性垫板疲劳破损^[1-5]。因此,对这一工程问题的研究显得必要而有意义。

2 扣件系统的受力与变形过程

扣件系统通常由铁垫板、轨下弹性垫板、弹条(2

收稿日期:2012-04-20

作者简介:易南福(1985-),男,助理工程师。

根)及紧固螺栓组成。扣件系统的受力状态可分为3个阶段,假设扣件系统节点刚度记为 K_F 、弹性垫板刚度记为 K_p 、单侧弹条刚度记为 K_s 、初始扣压力记为 F_0 ^[3-4]。

2.1 第一阶段

当扣件系统承受较大的下压荷载,扣件系统弹性垫板压缩量大于弹条有效弹程 $F_0/2K_s$ 时,弹条弹性失效,扣件系统节点弹性仅由弹性垫板提供,扣件节点刚度为弹性垫板刚度 K_p 。

2.2 第二阶段

扣件系统受力方向由向下往向上逐渐变化,表现为钢轨由下压作用向上抬作用过渡,弹性垫板压缩量逐渐减小直至为零。此时,扣件系统弹条及弹性垫板共同参与受力,扣件系统节点弹性由弹条及弹性垫板共同提供。此时,弹条变形及弹性垫板变形量相等,可以将其视为两个并联弹簧,因此扣件系统节点刚度为 $K_p + 2K_s$ 。

2.3 第三阶段

当扣件系统承受的上拔力大于扣件的扣压力,钢轨与弹性垫板脱离时,弹性垫板失效。扣件系统节点弹性仅由弹条提供,扣件系统节点刚度为弹条刚度 $2K_s$ 。

综上所述,扣件系统刚度解析式如式(1)。

$$K_F = \begin{cases} K_p & \Delta y < -F_0/2K_s \\ K_p + 2K_s & -F_0/2K_s < \Delta y < F_0/K_p \\ 2K_s & F_0/K_p < \Delta y \end{cases} \quad (1)$$

3 计算模型^[1]

根据梁轨共同作用原理建立梁端轨道结构受力计算模型,梁体采用梁单元在梁体中性轴处建立,梁高用上、下刚臂模拟,采用纵向非线性弹簧模拟线路纵向位移阻力,扣件系统节点刚度采用竖向非线性弹簧实现。

在梁轨一体化模型中,梁与底座连接、底座与轨道板连接均近似为刚性。当梁端发生竖向转角时,在小角度范围内,由梁高因素造成的梁轨间竖向位移变化量对钢轨支点附加力影响较小,梁轨纵向相互作用对梁端轨道结构竖向附加力的影响也较小。因此,可不考虑梁高因素及线路纵向阻力的影响,将计算模型进一步简化,扣件系统节点刚度采用竖向线性弹簧模拟。由于梁端位移只对梁端一定范围内的轨道结构产生影响,因此,模型中只考虑梁缝两侧各7个扣件长度,扣件编号从左至右分别为-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,扣件处钢轨节点编号也按此编号进行,模型整体示意图如图1所示。

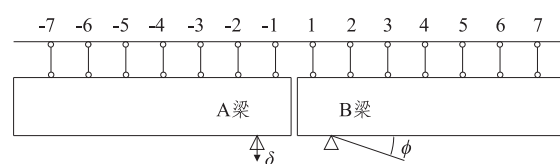


图1 梁端位移模型整体示意图

本文主要对简支梁桥不同支座工况下梁端位移作用下的扣件系数受力进行计算,梁端悬臂长为0.75 m,梁缝宽0.1 m。梁中心轴至上翼缘距离2.5 m,中心轴至下翼缘距离3.5 m,梁截面的抗弯刚度为75 m⁴,扣件系统刚度取为35 kN/mm,扣件间距及梁缝处扣件间距均取0.65 m。

4 梁端支座处位移对扣件系统受力的影响分析

引起梁端支座处位移的因素很多,如相邻墩台不均匀沉降差、相邻墩台在温度荷载作用下的伸缩量之差、坡道梁纵向位移引起支座截面竖向相对位移、车辆荷载引起支座变形、悬臂端轮载作用引起梁端竖向位移和施工误差、伸缩徐变引起梁端转角位移、温度翘曲引起转角位移、车辆荷载引起梁挠曲、预应力混凝土梁的残余徐变上拱(对扣件受力有利)等。

4.1 计算分析

4.1.1 相邻墩台不均匀沉降差

根据《高速铁路设计规范》规定,无砟轨道相邻墩台不均匀沉降差限值为5 mm。根据此限值要求,计算无砟轨道梁端扣件系统的受力情况,计算结果如图2所示。

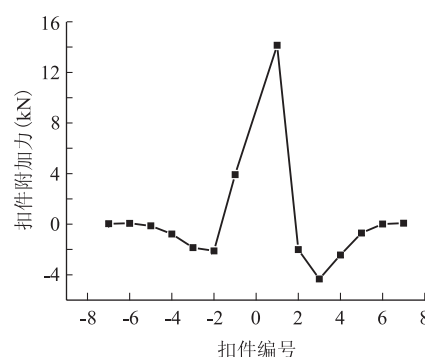


图2 相邻墩台不均匀沉降差为5 mm时扣件附加力图

4.1.2 相邻墩台温度变形差

在山区铁路中,当桥梁跨越峡谷时,相邻墩台的高度差可能达到几十米。当温度变化时,墩台在温度的作用下会产生伸缩,由于墩台高度差而产生伸缩量之差,从而使梁端扣件受到较大的拉力。伸缩量之差 $\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot \Delta H$,式中 α 为墩台混凝土的线膨胀系

数,取 1×10^{-5} ; ΔT 为墩台温度变化幅度,取 20°C ; ΔH 为墩台高度差。根据不同墩台高度差计算所对应的墩台伸缩量之差如表1所示。根据不同墩台伸缩量之差计算出无砟轨道梁端扣件受力情况如图3所示。

表1 不同墩台高度差所对应的墩台伸缩量之差表(单位:mm)

墩台高度差 ΔH (m)			
10	20	30	40
2	4	6	8

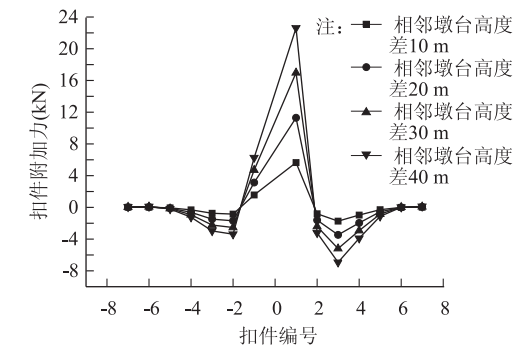


图3 相邻墩台不同高度差时扣件附加力图

4.1.3 坡道梁纵向位移引起支座截面竖向相对位移

上述两种工况是墩台两侧梁同时发生相同的竖向位移,并没有产生相对位移。而在坡道梁上,当温度变化使梁体在活动支座端产生纵向位移时,由于支座垂直设置,梁体只能纵向水平移动,导致梁端支座截面产生竖向相对位移(错台)。此种相对位移与温度变化幅度、温度跨度和线路坡度有关。当梁体整体温度变化幅度为 20°C 时,计算几种工况下梁端支座截面处的相对位移,如表2所示。选取几个位移值计算出梁端扣件附加力结果如图4所示。

表2 梁端支座截面处的相对位移表(单位:mm)

坡度 (mm)	温度跨度(m)						
	80	120	160	200	240	280	320
坡度 10‰	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64
坡度 20‰	0.32	0.48	0.64	0.8	0.96	1.12	1.28

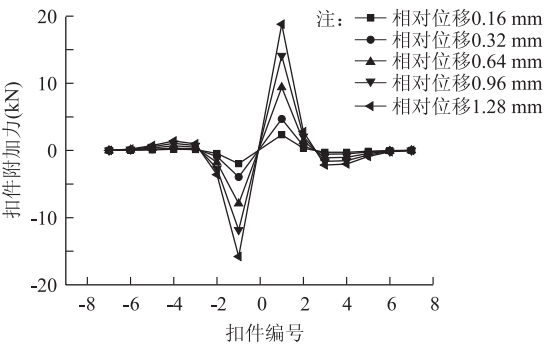


图4 支座截面处相对位移时扣件附加力图

4.1.4 梁端支座处转角位移

梁端支座单位转角位移考虑2种情况:一种是墩台处两侧支座同时发生相同方向的单位转角位移;另一种是墩台处单侧支座发生单位转角位移。根据《高速铁路设计规范》规定,当梁端悬出长度 $0.55\text{ m} < L \leq 0.75\text{ m}$ 时,单侧梁端转角限值为 1‰ ,因此计算取转角位移值为 1‰ ,分别计算上述2种转角位移工况下的扣件系统受力情况,计算结果如图5所示。

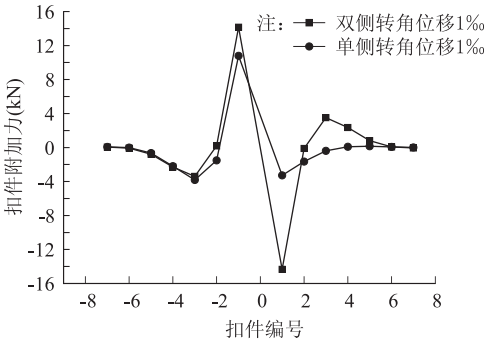


图5 转角位移工况下扣件附加力图

表3 梁端支截面处竖向位移工况下的扣件最大上拔力表

扣件系统最大 上拔力(kN)	双侧梁相同竖向位移(mm)				
	2	4	5	6	8
	5.66	11.31	14.14	16.97	22.63
	单侧梁竖向位移(mm)				
	0.16	0.32	0.64	0.96	1.28
	2.35	4.70	9.40	14.10	18.80
	双侧转角位移		单侧转角位移		
	-1‰		-1‰		
	14.16		10.79		

注:竖向位移以向下为正,转角位移以梁端悬壁端向上转为负。

4.2 结果分析

从计算结果中,很容易发现,梁端支座处发生位移时,对轨道扣件系统的影响范围仅限于梁端两个扣件范围,扣件系统受力最大的是梁缝两侧的-1和1号扣件,这与物理概念相符合。

受固定支座的影响,当双侧梁发生相同竖向位移时,固定支座侧的扣件系统所受的附加上拔力较活动支座侧的扣件系统要小,两者的大小关系约为1:4。因此,固定支座对控制因梁端支座位移而产生的扣件系统附加力是有利的。

我国高速铁路常用扣件主要有WJ-7和WJ-8,这2种常阻力扣件的允许上拔力为18 kN,小阻力扣件的允许上拔力为12 kN。由表3可得出如下几条结论:

(1)当双侧梁发生相同竖向位移超过4 mm时,梁端扣件系统最大上拔力接近小阻力扣件的允许值;当其位移超过7 mm时,梁端扣件系统最大上拔力超过

常阻力扣件的允许值。因此,当梁端双侧发生相同竖向位移超过 4 mm 时,桥上不宜铺设小阻力扣件;当梁端双侧发生相同竖向位移超过 4 mm(相邻墩台不均匀沉降与相邻墩台温度伸缩之差叠加)时,宜对梁端扣件系统进行特殊设计;

(2)当温度跨度达到 320 m,同时又位于 20°的大坡道上的梁端扣件系统,梁端相对竖向位移达到 1.28 mm,此时扣件系统的附加力达到 18.80 kN,已超过常阻力扣件的允许值。对于此种特殊梁桥,无论其梁端支座截面处有无其它位移,梁端扣件系统均应进行特殊设计;

(3)当梁端仅发生 1‰的转角位移荷载时,扣件系统最大附加力达到 14.16 kN,在此单一位移工况下,仅当桥上铺设小阻力扣件时需进行特殊设计;

(4)若桥梁的相邻墩台高差较大,同时又位于大坡道上,且温度跨度较大时,需对上述位移值进行叠加计算分析。如:桥梁相邻墩高差 20 m,坡度 20‰,温度跨度 200 m,转角位移为 1‰时,扣件系统最大上拔力为 21.28 kN。

5 总结

本文采用梁轨一体化有限元模型,对桥上无砟轨道梁端扣件系统及钢轨的受力进行分析,得出主要结论如下:

(1)梁端位移作用下,对扣件附加力的影响很大,影响最大的是 -1 与 1 号扣件处,对梁端位移较大的特殊桥梁,梁端轨道结构应采取特殊设计,以保证扣件满足受力要求;

(2)采用小阻力扣件时,双侧竖向位移不应超过 4 mm;或单侧竖向位移不超过 0.8 mm(20‰坡,温度跨度 200 mm)。若实限位移不满足此要求时,应对梁

端扣件进行特殊设计或梁端几组扣件采用常阻力;

(3)采用常阻力时,双侧竖向位移不应超过 7 mm 或单侧竖向位移不超过 1.28 mm(20‰坡,温度跨度 320 mm),否则应进行特殊设计;

(4)若几种工况的位移同时发生时,应对位移进行叠加计算,确定梁端扣件系统附加抗拔力,以便指导梁端轨道结构设计。

参考文献:

- [1] 易南福. 高速铁路不同类型无砟轨道在不同荷载作用下的受力与变形研究[D]. 长沙:中南大学,2010.
Yi Nan-fu. The Load-carrying Capability and Deformation Research on Different Types of Ballastless Track Structures of the High-speed Railway Forced by Diverse Loads[D]. Changsha: Central South University, 2010.
- [2] 赵坪锐. 客运专线无砟轨道设计理论与方法研究[D]. 成都:西南交通大学,2009.
Zhao Ping-rui. Research on the Design Theory and Method for Ballastless Track on Passenger Dedicated Line[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2009.
- [3] 李志红. 广珠城际轨道交通梁端轨道结构受力变形分析[J]. 铁道建筑,2009(10):95-97.
Li Zhi-hong. Analysis of Stress and Deformation of Beam-end Track Structure For Guangzhou-Zhuhai Intercity Rail Transit[J]. Railway Engineering, 2009(10):95-97.
- [4] 马战国,许绍辉,龙瑞林. 梁端位移对明桥面桥扣件受力的影响分析[J]. 铁道建筑,2010(2):117-120.
Ma Zhan-guo, Xu Shao-hui, Long Rui-lin. Influence Analysis Beam End Displacement of Bridge Deck Bridge Fastener Stress[J]. Railway Engineering, 2010(2):117-120.
- [5] 张岷. 双块式无砟轨道桥梁梁端扣件系统力学分析[J]. 铁道工程学报,2009(2):58-61.
Zhang Min. Mechanics Analysis of the Rail Fastening of Bi-block Ballastless Track on the Bridge Terminal[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(2):58-61.