

交通运输

客运专线无砟轨道梁端扣件上拔力研究

丁敏旭

(西安铁路职业技术学院,西安 710014)

摘 要 针对客运专线无砟轨道梁端转角和竖向相对位移对梁端轨道结构设计的影响,分析了无砟轨道梁端扣件上拔力产生的机理。建立了无砟轨道梁端扣件上拔力计算的有限元模型。分析了梁端转角、竖向相对位移、梁缝处扣件间距、梁端悬出长度、梁高等对扣件上拔力的影响规律,为客运专线梁端无砟轨道结构设计提供理论参考。

关键词 无砟轨道 梁端转角 扣件 上拔力

中图法分类号 U213.244 U213.53; **文献标识码** A

桥梁受荷载作用将引起梁端位移,包括梁端转角和竖向相对位移(错台)。对于有砟轨道,由于道砟的流动特性,这种微小的位移一般不会对轨道结构产生影响;但是对于无砟轨道,轨道系统与桥梁处于较大的刚性连接状态,桥梁的梁端转角和竖向相对位移(错台)将对扣件、钢轨及无砟轨道产生不利影响,引起梁端扣件的上拔力或下压力^[1]。当上拔力大于钢轨扣件的扣压力时,将导致钢轨与轨下垫板脱开;当钢轨下压时,将增大垫板所受压力。该压力大于垫板材料疲劳允许应力时,将导致其发生疲劳破坏。梁端转角和竖向相对位移的结果将直接反映到扣件节点上,使两梁梁端扣件支承点产生高度差,将影响到梁端轨面的平顺性。客运专线无砟轨道梁端扣件的上拔力问题必须引起足够的重视,无砟轨道设计必须考虑梁端转角和竖向相对位移对轨道系统的影响。

为了保证线路安全,减少维修工作量,梁端转角引起的上拔力不应大于钢轨扣件的扣压力,垫板所受压应力应控制在垫板疲劳允许应力范围之内。目前,国内对于梁端转角引起扣件上拔力研究较少。梁端转角和竖向相对位移引起的扣件上拔力

计算是无砟轨道设计中的关键技术之一,国内尚缺乏成熟的计算理论和设计方法,开展无砟轨道梁端扣件上拔力研究对于客运专线无砟轨道的研究与应用具有重要意义。

1 无砟轨道梁端扣件上拔力产生的机理分析

1.1 梁端竖向转角引起扣件上拔力的机理分析

在列车荷载作用下桥梁发生挠曲变形,产生梁端转角,梁端无砟轨道随同梁端一起发生偏转,通过扣件系统带动钢轨,引起轨面高低起伏变化,梁端局部扣件承受拉力或压力,梁缝处钢轨由于承受弯矩而产生附加应力,恶化梁端轨道结构状态,加速了扣件的疲劳或破坏。如图1所示。

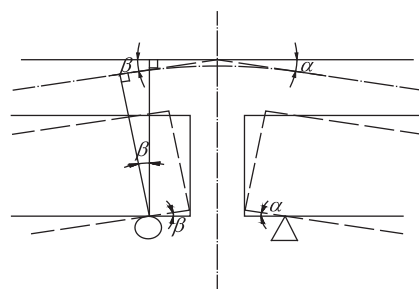


图1 桥梁梁端转角引起梁端轨道受力和变形

列车竖向静活载作用、梁体徐变上拱、相邻墩台的不均匀沉降差异、桥梁上下梁面的梯度温差、

2011年3月14日收到

作者简介:丁敏旭(1970—),男,陕西兴平人,讲师,硕士;研究方向:铁道工程;E-mail:dmx1970@163.com。

轨道板(道床板)温度梯度等因素都可能引起梁端
支座截面产生竖向转角^[2]。

(1)列车竖向静活载作用引起的梁端转角。梁
体在列车荷载作用下将发生挠曲变形,在梁端支座
截面产生竖向转角,如图 2 所示。

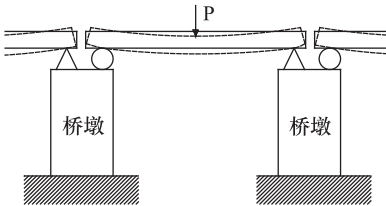


图 2 列车竖向静活载作用引起梁端转角

(2)徐变上拱引起的梁端转角。由于桥上无砟
轨道在铺设时预应力混凝土梁的收缩徐变尚未全
部完成,在铺轨后的运营过程中,预应力混凝土简
支梁会产生残余徐变上拱,梁体跨中拱起,在梁端
支座截面产生竖向转角,如图 3 所示。

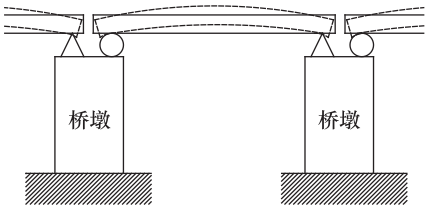


图 3 桥梁徐变上拱引起梁端转角

(3)相邻墩台的不均匀沉降差异引起的梁端转
角。在桥上无砟轨道铺设完成后的运营过程中,由
于相邻墩台的不均匀沉降会使得相邻墩台产生沉
降差,由此在桥梁端部产生竖向梁端转角,如图 4
所示。

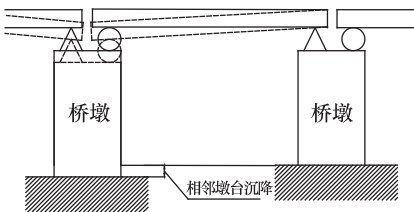


图 4 相邻墩台不均匀沉降引起的梁端转角

(4)桥梁上下梁面的梯度温差引起的梁端转
角,如图 5 所示。

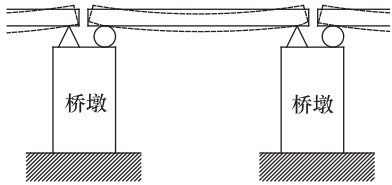


图 5 桥梁上下梁面的梯度温差引起的梁端转角

1.2 梁端竖向相对位移引起的扣件上拔力的机理

两相邻桥跨,当一侧梁端相对另一侧梁端发生
竖向位移时,相对下沉一端梁体通过扣件带动钢轨
下沉,引起梁缝左右钢轨的不平顺。相对下沉的一
端扣件承受上拔力,另一端承受下压力,如图 6
所示。

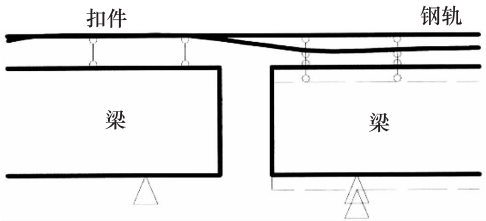


图 6 竖向相对位移引起梁端轨道受力和变形

纵坡地段桥梁的整体温度差引起的竖向相对
位移、同墩的两支座不均匀压缩等因素都是引起梁
端竖向相对位移的原因,如图 7、图 8 所示。

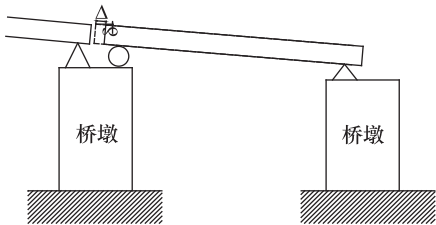


图 7 纵坡地段桥梁的整体温度差引起的竖向相对位移

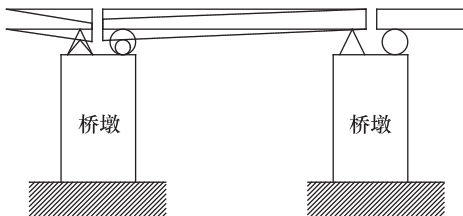


图 8 支座不均匀压缩引起的竖向相对位移

2 梁端扣件上拔力计算模型

为了分析梁端转角和竖向相对位移对扣件系统受力的影响,根据桥梁和钢轨的位移关系(图 9),本文建立了梁端扣件上拔力空间有限元计算模型,见图 10。该计算模型包括钢轨单元、扣件单元、无砟轨道单元、桥梁单元。

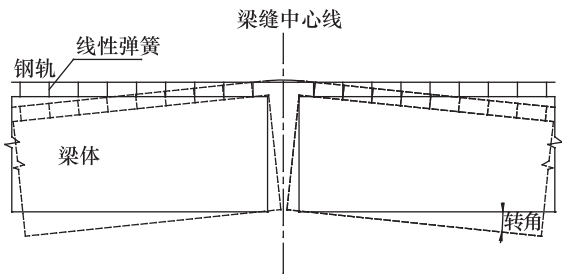


图 9 梁端位移示意图

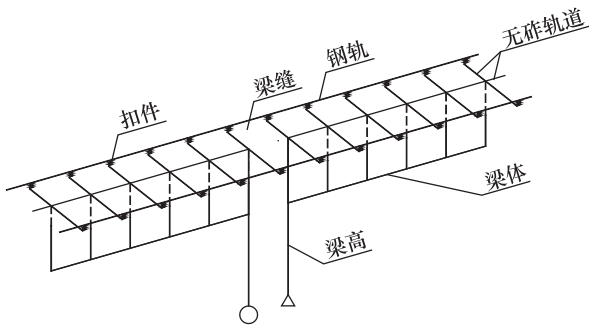


图 10 梁端扣件上拔力计算模型

模型中采用如下假设:

- (1)钢轨采用梁单元模拟,单元长度按照扣件节点划分。
- (2)无砟轨道采用梁和刚臂组合单元模拟,纵向为梁单元,横向为刚臂。
- (3)扣件采用弹簧单元模拟,弹簧刚度根据扣件荷载变形曲线确定。
- (4)梁体采用梁单元和刚臂组合单元模拟,刚臂高度代表梁高,梁体与无砟轨道在节点刚性连接。
- (5)左梁顺时针转动为负(-),逆时针转动为正(+);右梁顺时针转动为正(+),逆时针转动为负(-),见图 11。

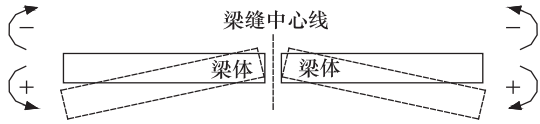


图 11 梁端转角符号图

根据以上计算模型,利用有限元结构分析软件 Ansys 的 APDL 参数化编程技术,实现自动建模、划分单元、建立刚度矩阵、自动求解和结果输出,这样可减少手工建模工作量,提高工作效率。

3 梁端扣件上拔力的主要影响因素及规律分析

梁端转角、竖向相对位移均会引起梁端处桥梁和轨道竖向的相互作用,对梁端扣件产生附加上拔力或下压力,附加上拔力和下压力受到梁端转角和竖向相对位移的大小、梁端悬臂长度、梁缝处扣件间距、梁高的变化等因素的影响,以下分析各因素的影响规律。

3.1 梁端转角对扣件系统受力的影响

《高速铁路设计规范(试行)》规定:对于无砟轨道,当梁端悬出长度 $l \leq 0.55\text{ m}$ 时,桥台与桥梁之间的转角 $\theta \leq 1.5\text{‰}$ 弧度,相邻两孔梁之间梁端转角 $\theta \leq 3.0\text{‰}$ 弧度;当梁端悬出长度 $0.55\text{ m} < l \leq 0.75\text{ m}$ 时,桥台与桥梁之间的转角 $\theta \leq 1.0\text{‰}$ 弧度,相邻两孔梁之间梁端转角 $\theta \leq 2.0\text{‰}$ 弧度^[3]。根据上述扣件上拔力有限元计算模型,假设左侧梁端转角分别为 0.5‰ 、 1.0‰ 、 1.5‰ 、 2.0‰ 弧度时的扣件受力分布、计算结果见图 12。(图 12 中 X 坐标为扣件的编号,自梁缝向左依次为 $-1, -2, -3, \dots, -9, -10$;向右依次为 $1, 2, 3, \dots, 9, 10$;扣件系统附加力符号规定拉力为正,压力为负)

从计算结果可以看出:

- (1)左侧梁端发生转角时, No. -1 号扣件承受最大上拔力, No. 1 号扣件承受最大下压力值,梁端扣件受转角的影响范围在梁缝两侧各 6 组扣件。
- (2)梁端转角越大,所引起的扣件最大上拔力和最大下压力也就越大。

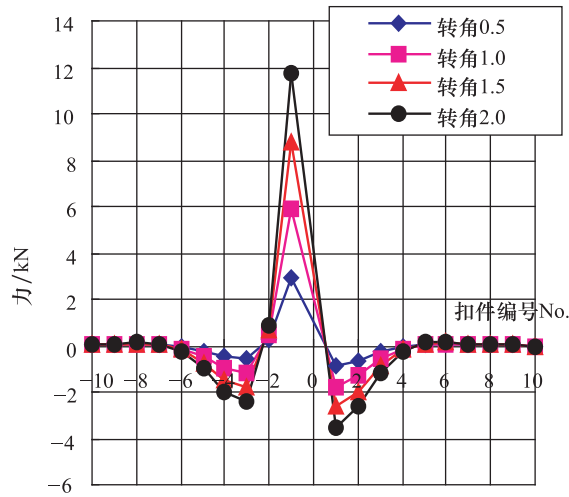


图 12 不同梁端转角时扣件系统受力分布

3.2 竖向相对位移对扣件系统受力的影响

竖向相对位移不但影响轨道平顺性和旅客舒适性,而且影响扣件的上拔力大小。《高速铁路设计规范(试行)》规定:对于设有纵向坡度的无砟轨道桥梁,应考虑梁体纵向伸缩引起的梁缝两侧钢轨支承点竖向相对位移对轨道结构的影响^[3]。假设桥梁梁缝两端竖向相对位移(右侧梁端不动,左侧梁端下沉)分别为0.2mm、0.5mm、1.0mm、2.0mm、3.0mm时,扣件系统受力如图13所示。

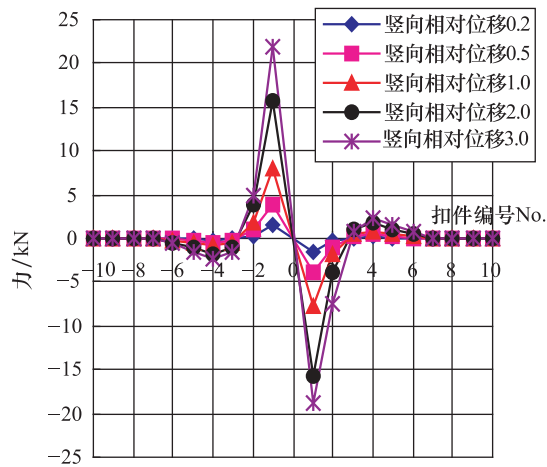


图 13 不同竖向相对位移时扣件系统受力图

从以上计算结果可以看出:

(1)当右侧梁端不动,左侧梁端下沉时,竖向相对位移引起的最大上拔力出现在右侧第一组扣件

位置,最大下压力出现在左侧第一组扣件位置。扣件中最大上拔压力和最大下压力基本相等。

(2)梁端最大上拔力、最大下压力随着竖向相对位移的增大而增大。

(3)竖向相对位移对扣件受力影响较为敏感,较小的竖向相对位移可以引起扣件中较大的上拔力、下压力。

3.3 梁端悬臂长度对轨道结构受力的影响

不同跨度的桥梁,其梁端悬臂长度也不相同。为了分析不同梁端悬臂长度对轨道结构受力的影响,计算悬臂长度分别为500mm、550mm、600mm、650mm、700mm、750mm、800mm时,左侧桥梁发生转角为1‰弧度的单侧转动时扣件系统受力如图14所示。不同悬臂长度的扣件最大上拔力、下压力见表1。

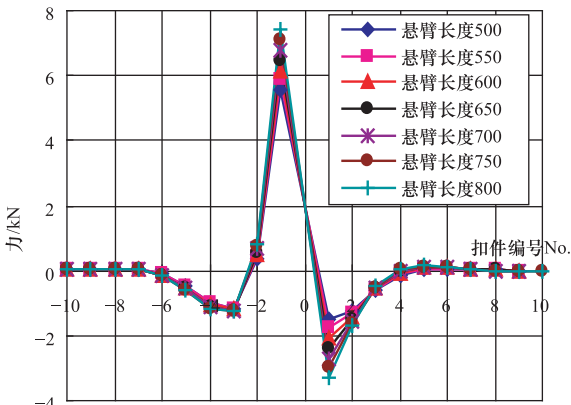


图 14 悬臂长度不同时扣件系统受力图

表 1 不同悬臂长度的扣件最大上拔力、下压力

悬臂长度/mm	500	550	600	650	700	750	800
最大上拔力/kN	5.544	5.856	6.168	6.478	6.788	7.096	7.403
最大下压力/kN	-1.470	-1.774	-2.078	-2.383	-2.688	-2.993	-3.298

从以上计算结果可以看出:梁端扣件上拔力和下压力均随梁端悬臂长度的增大而增大,因此,为减小梁端扣件的受力,应尽量控制梁端悬臂长度。

3.4 梁高对轨道结构受力的影响

当梁端转角相同时,桥梁高度不同引起得扣件上拔力和下压力也不同。当桥梁左侧梁端转动1‰弧度,桥梁高度分别为3m、3.5m、4m、4.5m、5m

时,扣件系统受力如图 15 所示。

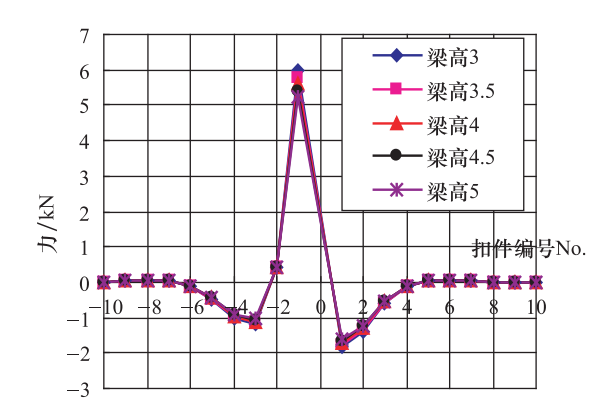


图 15 一侧梁端转角 1‰ 弧度梁高不同时扣件系统受力图

可以看出,一侧梁端转角为 1‰ 弧度时,扣件系统最大上拔力、最大下压力随梁高的增大而减小,但变化幅度并不大。可见,梁高对扣件上拔力影响很小。

3.5 梁缝处扣件间距对轨道结构受力的影响

当梁端转角相同时,梁缝处扣件节点间距的大小直接影响扣件的受力。当梁内扣件间距为 650 mm,梁缝处扣件间距分别为 500 mm、550 mm、600 mm、650 mm、700 mm 时,桥梁一侧梁端转动 1‰ 弧度引起扣件最大上拔力、下压力变化趋势如图 16 所示。不同梁缝扣件间距的最大扣件上拔力、下压力见表 2。

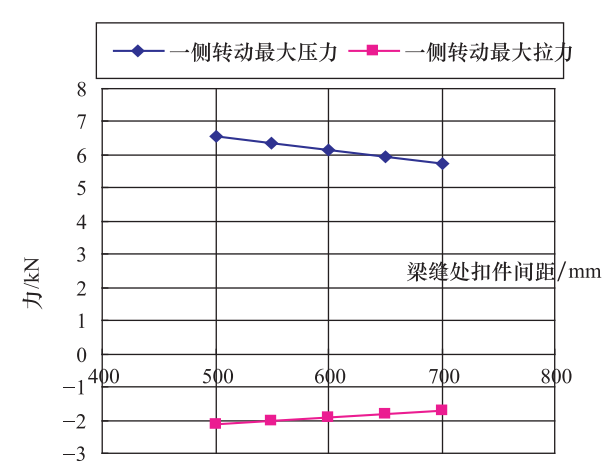


图 16 不同梁缝扣件间距时扣件最大上拔力、下压力

表 2 不同梁缝扣件间距的最大扣件上拔力、下压力

梁缝处扣件间距/mm	500	550	600	650	700
最大上拔力/kN	6.630	6.411	6.196	5.996	5.800
最大下压力/kN	-2.160	-2.055	-1.949	-1.849	-1.750

可以看出,桥梁在一侧转动工况下,当钢轨上扣件间距保持不变时,扣件最大上拔力、最大下压力随梁缝处扣件间距的增大而减小。

4 结论

(1) 梁端转角和竖向相对位移都将引起梁端扣件的附加上拔力和下压力。过大的扣件上拔力和下压力会影响扣件使用寿命,引起扣件的破坏及失效,甚至危及高速行驶的安全。

(2) 梁端发生转角引起的扣件最大上拔力、最大下压力出现在梁端第一组扣件位置,扣件最大上拔力和最大下压力随梁端转角的增大而增大。

(3) 竖向相对位移引起的最大上拔力、最大下压力也出现在梁端第一组扣件位置。梁端最大上拔力、最大下压力随着竖向相对位移的增大而增大。竖向相对位移对扣件受力影响较为敏感,较小的竖向相对位移可以引起扣件中较大的上拔力、下压力。

(4) 梁端悬臂长度、梁高、梁缝处扣件间距对扣件上拔力、下压力的影响较小。

参 考 文 献

1 赵坪锐、肖杰灵、刘学毅. 梁端位移对无砟轨道扣件系统的影响分析,铁道学报,2008;30(05):68—72

2 李志红. 广珠城际轨道交通梁端轨道结构受力变形分析,铁道建筑,2009;(10):95—97

3 TB 10621—2009. 高速铁路设计规范(试行);2009:58—60

(下转第 3724 页)

Numerical Study of Unsteady Aerodynamic Characteristics of Pitching Slender Body Using DES

XIA Ming^{1,2}, LI Dong^{1,3}, SONG Bi-feng¹, ZHONG Bo-wen², YE Rui¹

(National Key Laboratory of Aerodynamic Design and Research, NWPU¹, Xi'an 710072, P. R. China;

Department of Aerospace, Cranfield University², United Kingdom, MK43 0AL;

Department of Aerospace Engineering of Nagoya University³, 464-8603 Nagoya, Japan)

[Abstract] Numerical investigations of flow behavior for pitching – up and pitching – down slender body are performed in subcritical Reynolds number region. Sectional slow pattern is observed and corresponding flow mechanism is analyzed. It is found that the obvious aerodynamic hysteresis will arise when the pitching oscillation of the model goes through the different flow condition (symmetric and asymmetric vortices). Pitching motion delays the occurring angle of asymmetry and slows the transition of flowfield structure. Consequently the results are useful to the application of unsteady aerodynamic forces.

[Key words] unsteady aerodynamics slender body asymmetric vortices hysteresis characteristics

(上接第 3713 页)

Study on Uplift Force of the Fasteners for Bridge Ends of the Unballast Track on Passenger Dedicated Line

DING Min-xu

(Xi'an Railway Vocational & Technical Institute, Xi'an 710014, P. R. China)

[Abstract] Considering the influence of the angles of rotation and vertical relative displacement at bridge ends of the unballast track on passenger dedicated line to structural design for bridge end track, the mechanism of uplift force of the fasteners for bridge ends of the unballast track is analyzed, and established the finite element model for calculating uplift force of the fasteners for bridge ends of the unballast track. It is also analyzed the influencing laws of the various factors on uplift force of the fasteners. These factors include the angles of rotation at bridge ends, vertical relative displacement, fastener space in the bridge seam, overhanging length of bridge ends, the height of the bridge and so on. And it provides theory guide for structural design for bridge end unballast track on passenger dedicated line.

[Key words] the unballast track the angle of rotation at bridge ends the fastener uplift force