

专用铁路简支梁桥上铺设50 m长钢轨预留轨缝研究

仇超¹, 杨耕¹, 谢铠泽²

(1. 淮河能源(集团)股份有限公司淮南铁路运输分公司, 安徽 淮南 232082;

2. 石家庄铁道大学大型结构健康诊断与控制研究所, 河北 石家庄 050043)

摘要:为确定常用跨度简支梁桥上50 m长钢轨合理的预留轨缝,基于梁轨相互作用原理,建立了钢轨-接头-轨枕-桥梁-墩台一体化计算模型,并从 5×32 m简支梁桥上梁轨相互作用引起的钢轨及桥墩纵向受力两方面验证了模型的正确性。以某专用线上的 10×32 m简支梁桥为例,分析了轨温变化幅度、基本轨接头阻力、护轨阻力等对桥上50 m长钢轨接头轨缝改变量的影响。研究表明:梁轨相互作用对桥上50 m长钢轨接头轨缝会产生显著影响,并且影响程度与接头所处位置相关;轨缝改变量随着基本轨接头阻力和护轨扣件阻力的增加而降低,受护轨接头阻力和墩台纵向水平刚度的影响较小;跨度为24 m、32 m简支梁桥上铺设50 m长钢轨的接头螺栓扭矩应按照 $900\text{ N}\cdot\text{m}$ 设计,且运营中还应该加强螺栓扭矩检查,确保降幅不超过15%。

关键词:专用铁路;梁轨相互作用;简支梁桥;轨缝;接头阻力

中图分类号: U213.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2020)03-0097-06

0 引言

专用铁路作为我国铁路运输网的重要组成部分,为我国经济建设发挥着巨大作用^[1]。随着无缝线路技术的不断发展与完善^[2-3],企业运营的专用铁路也逐渐开展线路的无缝化建设,但因线路条件、经济投入、企业效益等的限制,采用了将25 m标准长度钢轨焊接成50 m长钢轨的方式,以减小钢轨普通接头数量,达到节约成本、改善线路服役状态、减小养护维修工作量、增加经济效益的目的^[4]。文献^[4]从钢轨强度、线路稳定性及预留轨缝设计等角度开展了路基段矿区铁路铺设50 m长钢轨的可行性研究。然而专用铁路为了减小占用耕地,桥梁所占比例往往较大,因桥梁变形会改变钢轨纵向位移^[2-3],影响预留轨缝设计方法,给桥上铺设50 m长钢轨带来了挑战。

目前针对12.5 m及25 m标准长度钢轨,国内外均按照钢轨自由伸缩的方式进行预留轨缝的设计,对于路基上无缝线路伸缩区及缓冲区钢轨预留轨缝则考虑了接头阻力和线路阻力的约束作用^[5-7];尹成斐建立了25 m标准长度75 kg/m钢轨普通接头的三维分析模型,研究了轨温变化对轨缝预留量的影响^[8];贺原义在考虑隧道内轨温变化幅度低于隧道外轨温变化幅度的基础上,提出通过减小隧道内25 m长钢轨接头预留轨缝值来降低钢轨重伤发生频率的方案,并进行了现场铺设验证^[9]。可见,当前研究中均未考虑钢轨与桥梁之间的相互作用,不足以支撑桥上50 m长钢轨预留轨缝的设计。梁轨相互作用是桥上无缝线路设计的基础,已经发展相对成熟,其分析对象从简支梁桥、连续梁桥、刚构桥到大跨柔性桥梁^[10-12],分析模型也从一维杆件模型发展到三维实体模型^[13-15]等,然而这些研究注重桥上无缝线路处于固定区或桥上设置钢轨伸缩调节器条件的钢轨受力与变形,未曾考虑桥上存在普通钢轨接头时对钢轨伸缩变形的影响。

鉴于此,本文建立能考虑桥上钢轨接头影响的钢轨-接头-轨枕-桥梁-墩台一体化梁轨相互作用计算模

收稿日期:2020-01-02 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.20200003

基金项目:河北省自然科学基金(E2019210185);河北省高等学校科学技术研究项目(QN2019124)

作者简介:仇超(1981—),男,工程师,研究方向为铁路线路工程。E-mail:achao2003@163.com

仇超,杨耕,谢铠泽.专用铁路简支梁桥上铺设50 m长钢轨预留轨缝研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2020,33(3):97-102.

型,采用控制变量法分析不同因素对桥上钢轨接头轨缝变化量的影响规律,确定 24 m 与 32 m 跨度简支梁桥上不同轨温变化幅度下的钢轨伸缩量包络值,提出简支梁桥上铺设 50 m 长钢轨的技术要求和预留轨缝建议值,为 50 m 长钢轨技术在专用铁路的推广应用奠定理论基础。

1 模型建立与验证

1.1 梁轨相互作用分析模型

基于桥上无缝线路梁轨相互作用基本原理,考虑专用铁路桥梁、轨道结构和接头阻力等因素,建立如图 1 所示的钢轨-接头-轨枕-桥梁-墩台一体化分析模型。

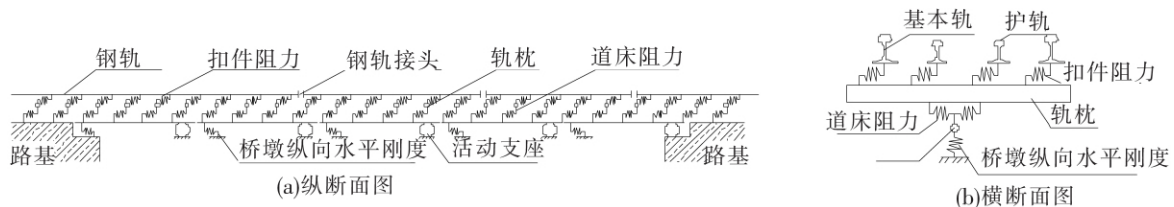


图 1 钢轨-接头-轨枕-桥梁-墩台一体化分析模型

模型中钢轨(基本轨、护轨)、轨枕、梁体均采用空间梁单元模拟;墩台纵向水平刚度采用线性弹簧单元模拟;扣件阻力、道床阻力、钢轨接头阻力均采用非线性弹簧单元模拟,其中接头阻力因具有摩擦阻力的性质,故通过设定极小的滑移位移来实现,滑移位移设为 1×10^{-6} m。由于钢轨接头与桥梁的相对位置会对接头轨缝变化产生影响,因此模型中考虑了梁缝大小和梁端悬出长度等因素。模型中虽考虑了桥上护轨的影响,但因其结构的特殊性还需做出如下假定:

- (1) 护轨弯折段简化为直线,并忽略护轨梭头的影响;
- (2) 护轨各接头阻力均相等;
- (3) 护轨温度变化量始终与基本轨相同。

1.2 模型验证

在所建立模型中将护轨与轨枕之间的扣件阻力值设置为零,并且将钢轨接头阻力设置为极大值时,则对应的模型就是桥上无缝线路梁轨相互作用分析模型,从而基于此验证所建立模型的正确性。采用文献[2]中的 5×32 m 简支梁桥为例,线路阻力及桥梁温度变化与文献取值相同。伸缩工况下钢轨及桥墩纵向力对比结果如图 2 所示。其中图 2(a)为桥梁温度升高 15°C 时钢轨及墩台纵向受力对比结果,图 2(b)为钢轨及桥台纵向受力随桥梁温度变化的对比结果。

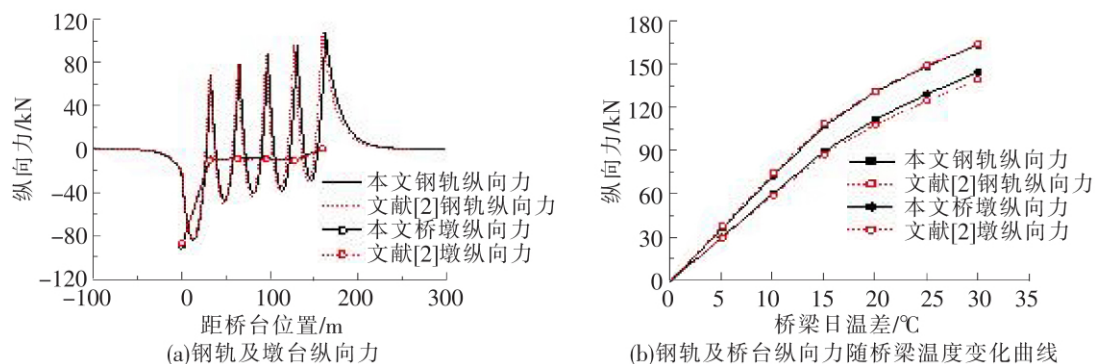


图 2 计算对比结果

从图 2(a)结果看出,2 种模型的计算结果无论是变化规律还是数值大小均非常吻合,但因所建模型考虑了梁缝宽度,因此钢轨纵向力幅值对应的位置与文献[2]结果存在一定的偏差;从图 2(b)结果看出,2 种模型对应的钢轨及桥台纵向受力随桥梁日温差变化的规律也是一致的,由于所建立模型考虑了钢轨与轨枕的相互作用及梁端悬出长度,因此会对钢轨纵向力及桥台受力产生一定的影响,其中钢轨纵向力最大相差不足 2.0 kN,桥台纵向受力最大相差不足 5.0 kN。可见,所建立的模型及求解能够满足工程

需求。

2 线路概况

2.1 桥梁概况

以某矿区铁路大桥为例,该大桥为双线桥,全长约330 m,由10孔32 m普通预应力混凝土简支T梁(专桥-2059梁)组成;单跨梁长32.6 m,支座中心距32.0 m,梁缝宽度为0.1 m,梁体纵向固定支座位于左侧,右侧为活动支座,如图3所示。桥墩为单线圆端型板式柱墩,桥墩高度相差较小,计算中桥墩纵向水平刚度均取为350 kN/cm,桥台刚度取为3 000 kN/cm;桥梁日温差取15 °C^[5]。

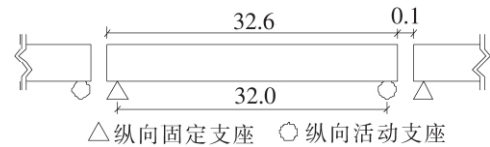


图3 梁跨及支座布置(单位:m)

2.2 轨道概况

由于专用铁路线路设计等级低,目前仍主要采用50 kg/m钢轨,轨枕为III型桥枕,并按照1 600根/km配置,轨枕平均间距为625 mm;桥上铺设25 m标准长度的43 kg/m钢轨作为护轨,横向与50 kg/m基本轨头部净距约为500 mm,纵向采用普通接头进行连接,护轨端部直轨部分伸出桥台挡砟墙外约10 m;考虑护轨扣件缺乏维修锈蚀较为严重,其纵向阻力与基本轨扣件纵向阻力取值相同,见图4所示。图4中也给出了单根轨枕的纵向阻力,其对应的滑移位移为2 mm。基本轨、护轨接头阻力与螺栓扭矩密切相关,分别按照400 kN、260 kN取值。

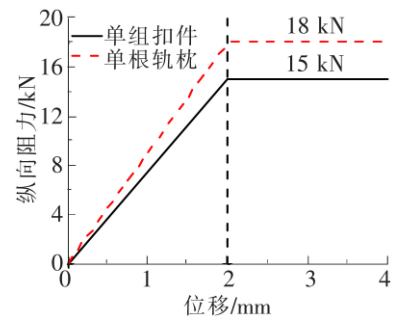


图4 扣件及轨枕纵向阻力

3 影响因素分析

预留轨缝应满足最高轨温时轨缝大于零,最低轨温时轨缝不大于构造轨缝(18 mm),因此当钢轨降温幅度与升温幅度相等时,所允许的极限轨缝变化量为构造轨缝一半9 mm,因此分析中以9 mm作为极限值。

3.1 轨温变化幅度

保持基本轨接头阻力和桥梁温度变化幅度不变,仅改变钢轨温度变化幅度的计算结果如图5所示。其中图5(a)为轨温变化幅度为30 °C条件下各钢轨接头处轨缝改变量。图5(b)为接头轨缝改变量与轨温变化幅度间的关系曲线。

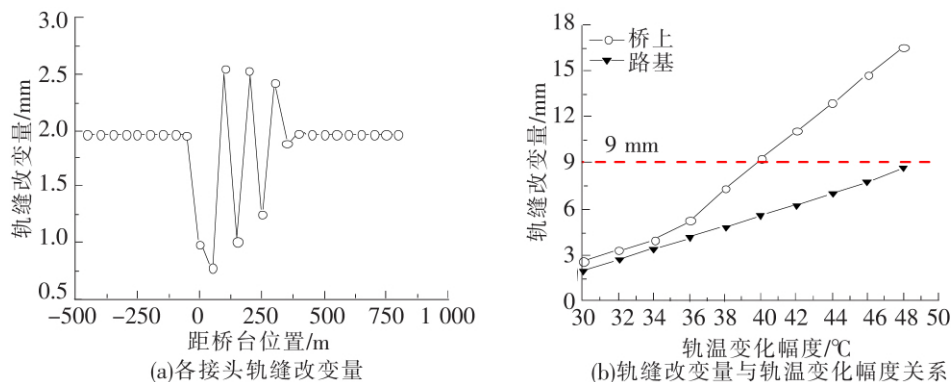


图5 轨温变化幅度影响

从图5(a)结果看出,路基上的接头轨缝改变量大致相等,而桥上接头轨缝会受到梁轨相互作用的影响,不同位置受影响程度不同;若钢轨接头靠近桥梁纵向固定支座或简支梁跨中位置,则轨缝改变量小于路基上对应值,而靠近活动支座的轨缝改变量则较大,其中距离桥台约97 m位置处接头轨缝变化量最大,达到2.6 mm,相对路基上轨缝改变量增幅达30.3%。因此,设计中应尽可能将接头布设在远离桥梁

活动支座的位置,以减小梁轨相互作用引起的轨缝改变量。

从图 5(b)结果看出,轨缝改变量随着轨温变化幅度的增加而增大;当轨温变化幅度小于 $34\text{ }^{\circ}\text{C}$,轨缝变化率约为 $0.34\text{ mm}/^{\circ}\text{C}$,当轨温变化幅度大于 $34\text{ }^{\circ}\text{C}$,轨缝变化率约为 $0.90\text{ mm}/^{\circ}\text{C}$;可见,轨缝变化率在 $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 发生了突变,这是该轨温变化幅度条件下钢轨中集聚的温度力和梁轨相互作用产生的附加力达到接头阻力限值。当轨温变化幅度达到 $39.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,轨缝改变量达到 9 mm 。对比桥上与路基上 50 m 长钢轨轨缝变化量,可以看出梁轨相互作用对轨缝的变化会产生显著的影响,并且其影响随着轨温变化幅度的升高而逐渐增大。轨温变化幅度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,两者相差仅 0.4 mm ;当达到 $48\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,两者差值已经达到了 5.0 mm ,相对路基对应轨缝变化量增幅高达 91.0% 。

3.2 接头阻力

接头螺栓扭矩会因钢轨振动而衰减,导致接头阻力减小。图 6(a)与图 6(b)分别为轨温变化幅度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,轨缝改变量与基本轨接头阻力、护轨接头阻力之间的关系曲线。

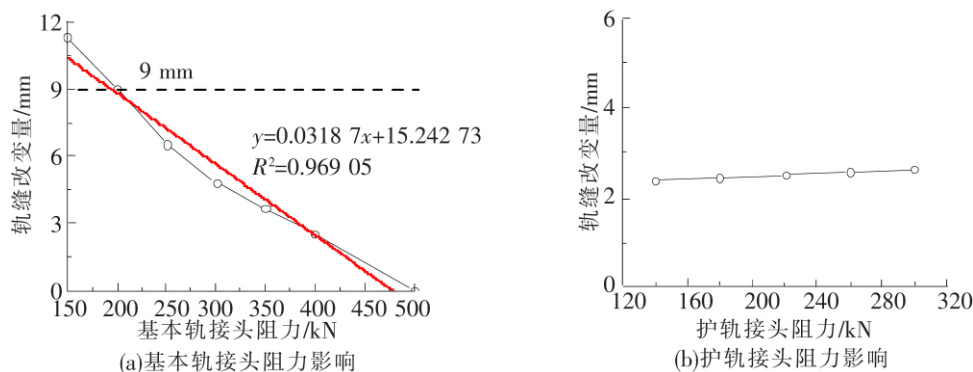


图 6 接头阻力影响

从图 6(a)结果看出,随着基本轨接头阻力的增加,轨缝改变量近似呈线性减小,其斜率约为 $-0.032\text{ mm}/\text{kN}$;接头阻力为 200 kN 时对应的轨缝改变量为 9.1 mm ,因此为满足轨温变化幅度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下 50 m 长钢轨铺设,必须保证基本轨接头阻力不小于 200 kN 。从图 6(b)结果看出,随着护轨接头阻力的增加,轨缝改变量呈现增加趋势,但是增加幅度较小;接头阻力从 140 kN 增加至 300 kN ,轨缝改变量仅增加 0.3 mm 。可见,护轨接头阻力对轨缝变化影响较小。

3.3 护轨扣件阻力

虽然护轨接头阻力对轨缝改变量影响较小,但护轨扣件阻力的存在增加了对轨枕的约束,因此会对基本轨轨缝变化量产生影响。图 7 为不同护轨扣件阻力对应的计算结果,其中图 7(a)为保持扣件阻力滑移位移 2 mm 不变时,改变极限阻力的结果;图 7(b)为保持极限阻力 15 kN 时,改变滑移位移的结果。

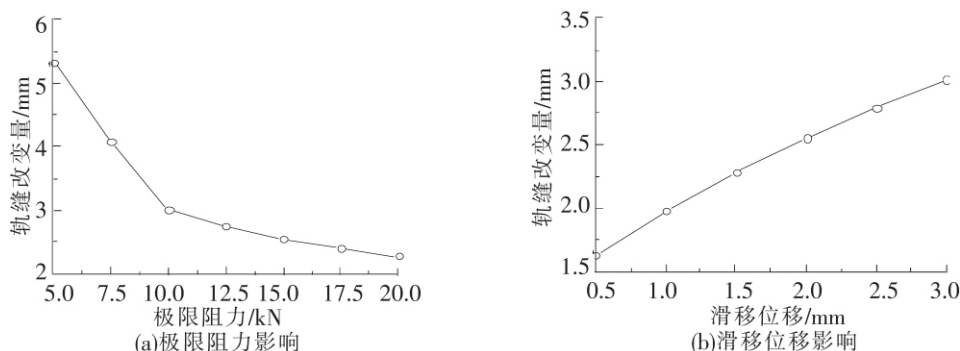


图 7 护轨扣件影响

从图 7(a)结果看出,随着极限阻力的增加,轨缝改变量减小。极限阻力从 5 kN 增加至 10 kN ,轨缝改变量减小 2.3 mm ,但是从 10 kN 增加至 15 kN ,轨缝改变量仅减小 0.5 mm 。可见,护轨扣件阻力增加至 10 kN 时,继续增加阻力值并未对轨缝改变量产生显著影响,故运营中无需过多关注护轨扣件阻力的

大小。从图7(b)看出,随着滑移位移的增加,轨缝改变量增大,但是增幅较小;滑移位移从0.5 mm增加至3.0 mm,轨缝改变量仅增加1.4 mm。可见,护轨扣件对应的极限阻力的增加和滑移位移的减小都会增加对轨枕的纵向约束作用,并通过轨枕的连结作用减小基本轨的伸缩变形,减小了接头轨缝的变化。

3.4 墩台纵向水平刚度

在桥上无缝线路梁轨相互作用分析中,墩台纵向水平刚度是重要的影响因素^[2]。图8为墩台纵向水平刚度均按照一定比例改变时对应的轨缝改变量曲线。

从图8计算结果看出,随着墩台纵向水平刚度的增加,轨缝改变量有减小趋势,但是变化较小;墩台刚度从原来的0.1倍增加至2.0倍,轨缝改变量仅减小0.1 mm,可见墩台刚度对轨缝的影响极小,因此轨缝设计中无需考虑墩台刚度的影响。

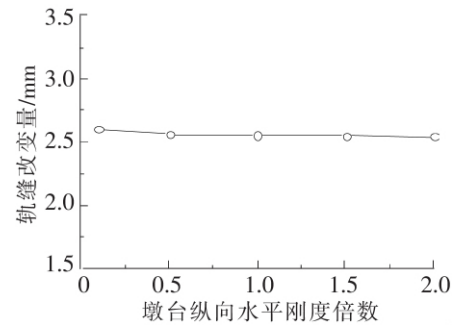


图8 墩台刚度影响

4 预留轨缝建议值

专用铁路常用简支梁桥的跨度主要为24 m与32 m,在上述各影响因素分析的基础上,考虑钢轨不同升、降温幅度下建议的预留轨缝值如表1所示。表1中数据考虑了一定安全余量,其中最小与最大预留轨缝分别按计算值取整后增加和减小1 mm来考虑护轨阻力的影响。表中“否”表示无法满足50 m长钢轨接头轨缝设计的要求。

表1 预留轨缝范围

升温幅度/℃	mm									
	降温幅度									
	24 m 简支梁					32 m 简支梁				
	30 ℃	35 ℃	40 ℃	45 ℃	50 ℃	30 ℃	35 ℃	40 ℃	45 ℃	50 ℃
30	4~14	4~12	4~10	4~7	否	4~14	4~12	4~7	否	否
35		6~12	6~10	6~7	否		6~12	6~7	否	否
40			8~10	否	否			否	否	否
45				否	否				否	否
50					否					否

从表1结果看出,24 m、32 m简支梁上铺设50 m长钢轨的轨温变化幅度应不超过80 ℃、75 ℃,相对于文献[4]中路基上铺设50 m长轨允许的轨温变化幅度降低了5 ℃与10 ℃,这即为梁轨相互作用的影响。建议实际应用中按照表1所列的预留轨缝范围的中间值进行设置。此外,表1中基本轨接头阻力按照400 kN计算,因此接头螺栓扭矩应不小于900 N·m,运营中确保螺栓扭矩降低值不得超过15%。

5 结论

(1)梁轨相互作用对50 m长钢轨轨缝改变量的影响随着轨温的升高而增大,当轨温达48 ℃时,相对路基上轨缝改变量增幅高达91.0%。

(2)基本轨接头阻力与轨缝改变量近似呈线性关系,接头阻力每增加1 kN,轨缝改变量约为-0.032 mm;为保证轨温30 ℃条件下的50 m长钢轨铺设,基本轨接头阻力必须大于200 kN。

(3)轨缝变化量随着护轨接头阻力的降低和护轨扣件阻力的增大而减小,但是护轨扣件阻力影响较为显著。

(4)24 m、32 m简支梁桥上铺设50 m标准长钢轨的轨温变化幅度不应超过80 ℃与75 ℃,以保证存在可行的预留轨缝。

参 考 文 献

- [1]王世恒,王万玉. 加强专用铁路运营安全管理研究[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(S1):138-144.
- [2]王平,肖杰灵,陈嵘,等. 高速铁路桥上无缝线路技术[M]. 北京:中国铁道出版社, 2016.
- [3]郭磊,雷鸣,祁欣. 基于 DSTFT 的无缝线路稳定性分析[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版, 2017, 30(1):46-51.
- [4]杨耕,仇超,谢铠泽. 矿区铁路铺设 50m 长钢轨的可行性分析[J]. 铁道建筑, 2019, 59(10):135-139.
- [5]中华人民共和国铁道部. TB 10015—012 铁路无缝线路设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社, 2012.
- [6]国家铁路局. TB 10082—017 铁路轨道设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社, 2017.
- [7]Chandra S, Agarwal M M. Railway engineering[M]. England:Oxford University Press, 2007.
- [8]尹成斐. 75kg/m 钢轨接头预留轨缝与接头热应力场分析[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版, 2017, 30(2):89-95.
- [9]贺原义. 改进长大隧道内轨缝结构的研究与实践[J]. 铁道建筑, 2003, 43(11):77.
- [10]谢铠泽,王平,汪力,等. 地震动作用对桥上钢轨伸缩调节器的影响分析[J]. 铁道学报, 2016, 38(3):111-118.
- [11]何永昶. 混合梁斜拉桥钢轨扣件和伸缩调节器合理布置[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版, 2016, 29(2):12-16,38.
- [12]Yan B, Zhang G X, Han Z S, et al. Longitudinal force of continuously welded rail on suspension bridge with length exceeding 1000m[J]. Structural Engineering International, 2019, 29(3):390-395.
- [13]Esveld C. Modern railway track[M] Second Edition. The Netherlands MRT Press, 2001.
- [14]Liu H, Wang P, Wei K X, et al. Longitudinal seismic response of continuously welded track on railway arch bridges [J]. Applied Sciences, 2018, 8(5): 1-13.
- [15]高亮. 高速铁路无缝线路关键技术的研究与应用[M]. 北京:中国铁道出版社, 2012.

Research of Reserved Joint Gap of 50 m Rail on Simply Supported Beam Bridges for Access Railroad

Qiu Chao¹, Yang Geng¹, Xie Kaize²

(1. Huainan Railway Transportation Branch Company Huaihe Energy (Group) Co. Ltd, Huainan 232082, China;

2. Structure Health Monitoring and Control Institute, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: To determine the reserved joint gap of 50 m rail on common span simply supported beam bridges for access railroad, a rail-joint-sleeper-bridge-pier calculation model based on the theory of bridge-track interaction was established. A correctness study of the model was conducted via two aspects of longitudinal force of rail and piers caused by bridge-track interaction on a 5×32 m simply supported beam bridge. Taking a 10×32 m simply supported beam bridge for access railroad as an example, the influence of rail temperature variation, joint resistance of stock rail, resistance of guard rail on rail joint gap variation was analyzed with the calculation model. The results show that the bridge-track interaction has a significant impact on rail joint gap variation of 50 m rail on bridges. The degree of impact is also related to the location of rail joints. The variation of 50 m rail joint gap decreases with the increase of joint resistance of stock rail and fastener resistance of guard rail. The joint resistance of guard rail and longitudinal stiffness of piers have little effect on the variation of 50 m rail joint gap. When 50 m rail is laid on 24 m and 32 m simply supported beam bridges, the torque design value of joint bolts should be more than $900 \text{ N} \cdot \text{m}$. The torque also should be checked frequently to make sure the reduction is less than 15%.

Key words: access railway; bridge-track interaction; simply supported beam bridges; rail joint gap; joint resistance