

文章编号: 1674—8247(2019)01—0083—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.01.017

山区隧道内双块式无砟轨道道床板分块长度研究

苏乾坤 江万红 巫江 卢野

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:针对复杂艰险山区高速铁路隧道内所采用的 CRTS I 型双块式无砟轨道,文章建立了 CRTS I 型双块式无砟轨道有限元模型,从列车荷载、温度荷载及基础变形等方面分析了双块式无砟轨道的受力情况,并结合工程实践经验,对不良地质条件下的隧道内双块式无砟轨道分块长度展开分析。结果表明:(1)当道床板长大于 4.375 m 时,列车荷载对道床板不同分块长度的意义不明显;(2)在温度荷载作用下,道床板分块长度不宜超过 32 m,为尽量避免基础变形对道床板造成影响,道床板分块长度宜较短。结合既有工程实践经验,建议隧道洞口 200 m 范围内道床板分块长度 6.25 m,隧道距洞口 200 m 往内,道床板分块长度为 25 m,同时加强道床板与仰拱回填层之间的连接。

关键词:CRTS I 型双块式无砟轨道;隧道;上拱;分块长度;层间连接

中图分类号:U213²+44 **文献标志码:**A

The Study on Block Length of Double-block Ballastless Track in Mountain Tunnel

SU Qiankun JIANG Wanhong WU Jiang LU Ye

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

Abstract:In view of the CRTS-I double-block ballastless track used in the tunnel of high-speed railway in complex and dangerous mountainous areas, this paper establishes the finite element model of CRTS-I double-block ballastless track, and analyzes the force situation of the double-block ballastless track from the aspects of train load, temperature load and foundation deformation, and in combination with engineering practice experience, analyzes the block length of double-block ballastless track in the tunnel under unfavorable geological conditions. The results show that when the trackbed slab length is greater than 4.375 m, the train load has little significance for the different block length of the slab; when under the action of temperature load, the block length of trackbed slab should not exceed 32 m. In addition, in order to avoid the influence of foundation deformation on trackbed slab, the block length of the slab should be shorter. Based on the existing engineering experience, it is suggested that the block length of the trackbed slab should be 6.25m within a range of 200 m at the portal and 25 m in the tunnel 200 m inward from the portal, and the connection between the trackbed slab and the inverted arch backfill layer should be strengthened.

Key words:CRTS I double-block ballastless track; tunnel; upwarp; block length; interlayer connection

收稿日期:2018-09-17

作者简介:苏乾坤(1992-),男,助理工程师。

引文格式:苏乾坤,江万红,巫江,等.山区隧道内双块式无砟轨道道床板分块长度研究[J].高速铁路技术,2019,10(1):83-86.

SU Qiankun, JIANG Wanhong, WU Jiang, et al. The Study on Block Length of Doubleblock Ballastless Track in Mountain Tunnel[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 83-86.

随着我国不断推动《铁路“十三五”发展规划》和西部发展战略,到 2020 年,我国高速铁路运营里程达 3×10^4 km,西南主要城市间将实现高速铁路的互通互达,基本形成布局合理、覆盖广泛、层次分明、安全高效的铁路网络^[1]。西南地区的高速铁路建设具有地质条件复杂、海拔高度相差较大、桥隧占比高、艰险山区多的特征,而高速铁路无砟轨道结构对平顺性、稳定性、耐久性有着更高的要求,因此在复杂山区铺设无砟轨道,受山区自然条件制约和铁路自身技术标准的限制,具有较高的技术挑战性。

无砟轨道作为列车荷载直接作用的下部结构基础,其结构功能性直接影响行车的舒适性和安全性。目前我国主要的无砟轨道型式有 CRTS I 型双块式、CRTS I 型板式、CRTS II 型板式和 CRTS III 型板式^[2-4]。其中,CRTS I 型双块式无砟轨道是直接将双块式轨枕浇注在混凝土道床中,并适应 ZPW-2000 轨道电路的单元轨道板式无砟轨道结构型式,其路基地段道床下设置支承层,桥梁地段设置混凝土底座,在隧道地段道床则直接浇注在仰拱回填层上或在底板上构筑。CRTS I 型双块式无砟轨道结构简单、对线路的适应性非常好、具有较好的平顺性,造价低于板式无砟轨道,且其施工工艺相对简单,采用预组装轨排定位,自上而下的施工可确保轨道最终的施工质量。从山区铁路的运输、施工便利性及工程投资等多方面综合考虑,西南山区高速铁路建设一般选用 CRTS I 型双块式无砟轨道。隧道内 CRTS I 型双块式无砟轨道断面如图 1 所示。

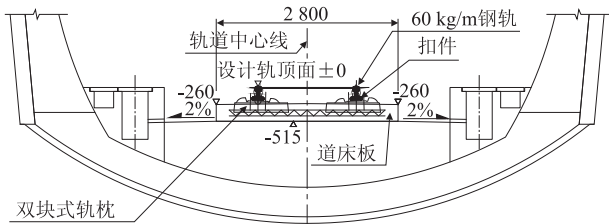


图 1 CRTS I 型双块式无砟轨道横断面图
(单线有仰拱隧道直线地段)(mm)

为更好地适应复杂地质条件下的隧道变形,减少运营期的养护维修工作量,本文对艰险山区高速铁路隧道内的 CRTS I 型双块式无砟轨道分块长度展开研究,研究结果具有一定的工程设计指导意义。

1 理论分析

对于单元式轨道,列车荷载为主要荷载,荷载弯矩为设计的主要依据。而连续式轨道,温度影响与列车

荷载同样重要,混凝土收缩与降温也是影响设计的重要因素^[5-6]。通常隧道内所采用的道床板为连续浇筑,线下基础刚度较大,主要考虑列车荷载和温度荷载(含混凝土收缩等效降温量),复杂地质条件(大变形高风险地段)下需考虑基础变形作用。

参考文献[7],设计轮载取列车运行在线路上的最大可能轮载再加上一定的安全裕量,本次计算列车荷载取单轮 300 kN。板底当量摩阻系数 μ ,隧道内道床板与支撑层间摩阻系数取 1.5;无载时扣件极限阻力为 24 kN/m/轨。轨道结构参数如表 1 所示。

表 1 隧道内 CRTS I 型双块式无砟轨道基本参数

参数		量值
CHN60 轨	弹性模量/(N/m ²)	2.06×10^{11}
	截面惯量/m ⁴	3.217×10^{-5}
扣件	刚度/(kN/mm)	30
	间距/m	0.625
道床板	弹性模量/(N/m ²)	3.25×10^{10}
	板长/m	作为研究变量
	宽度/m	2.8
	厚度/m	0.255
隧道基础	面刚度/(MPa/m)	1 200

1.1 列车荷载影响分析

采用 ANSYS 有限元软件建立梁板有限元模型^[8],荷载加载在板中间位置(两组扣件的中间位置),加载方式为单轴双轮,作用效果如图 2 所示。

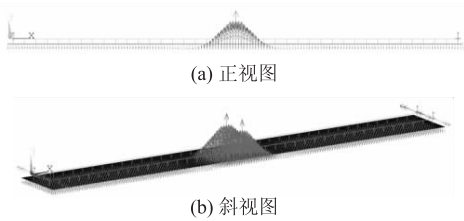


图 2 模型中荷载作用效果图

在轮载作用下,荷载作用影响明显的范围大约为左右各 3.5 组扣件间距离,即荷载作用的显著影响长度约为 4.375 m。在此范围内,基础反力在荷载作用点位置处最大,沿两侧以近似二次抛物线的型式衰减。即在板长大于 4.375 m 时,车载对板长的影响较小。荷载弯矩作为设计的控制因素,对板的结构参数起着重要的控制作用,不同板长弯矩计算结果如表 2 所示。

表 2 道床板不同分块长度下弯矩的计算结果

板长/m	最大正弯矩/(kN·m)	最大负弯矩/(kN·m)
20	13.623	2.953
25	13.623	2.953
50	13.594	2.924
75	13.587	2.921

由表2可知,板长大于20 m时,在轮载作用下板的内力几乎不发生变化。最大单宽正弯矩约为13.6 kN·m,最大单宽负弯矩约为2.9 kN·m。最大正弯矩出现在荷载作用处,最大负弯矩出现在距荷载作用点大约3~4组扣件间距的位置。当板长大于4.375 m时,列车荷载对道床板分段长度影响不大。纵向弯矩分布如图3所示。

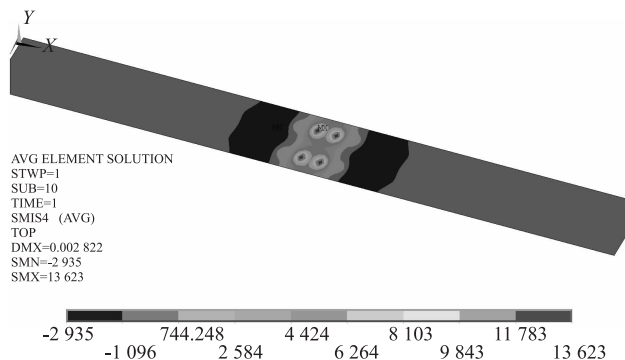


图3 20 m板长纵向弯矩分布图(N·m)

1.2 温度荷载影响分析

对于无限长板,在升降温作用下,当混凝土内部应力小于 σ_t 时,混凝土内部应力分布趋势如图4所示。

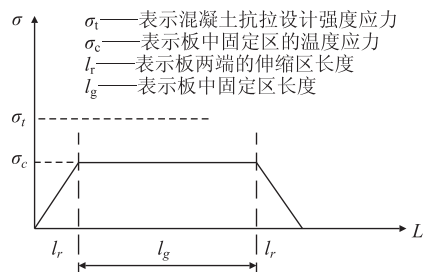


图4 无限长板温度应力示意图

板两端存在伸缩区 l_r ,伸缩区温度应力随着板长增加而线性增加,线性增加斜率与板底摩阻力和板上扣件纵向阻力相关。板中为固定区 l_g ,温度应力恒定。温度应力计算公式为:

$$\sigma_{tl} = E_c \alpha \Delta T \quad (1)$$

式中: σ_{tl} ——温度应力;

E_c ——混凝土弹性模量;

α ——混凝土线膨胀系数;

ΔT ——温度变化幅度。

道床板采用C40混凝土时,其设计抗拉强度为1.71 MPa,设计抗压强度为19.1 MPa,根据温度应力计算公式求得对应的降温幅度为5.26℃,升温幅度为58.77℃。

当温度不断降低(升高),混凝土达到设计抗拉(压)强度后,可能出现裂纹,无限长板断裂成2块板,

又各自形成1个伸缩板,继续降(升)温,循环断裂,直至板长减短至 $2l_r$,此时板长正好能够完全伸缩,应力分布如图5所示。

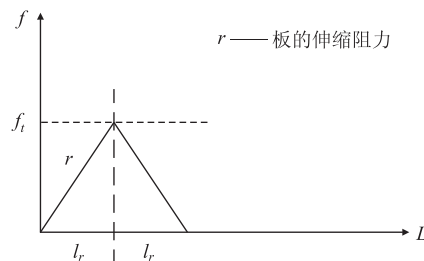


图5 完全伸缩板

此处考虑无载时扣件极限阻力为24 kN/m/轨,板底摩阻系数 $\mu = 1.5$ 。则有:

线路扣件阻力: $r_1 = 24 \times 2 = 48$ kN/m

板底摩阻力: $r_2 = A\gamma\mu = 26.775$ kN/m

恰好完全伸缩的板长:

$$L = 2l_r = \frac{2f_t A}{r_1 + r_2} = 32.66 \text{ m} \quad (2)$$

式中: γ ——道床板容重,取25 000 N/m³;

A ——道床板断面面积,取0.714 m²;

f_t ——C40混凝土设计抗拉强度,取1.71 MPa。

在温度荷载作用下,确定最优板长为32 m。当长度超过32 m时,温度荷载作用下的道床板分段意义不明显(与铺设连续道床板性质相似),可能出现裂纹。考虑到隧道内渗水离缝和防止板的垂向“拍打”作用,在道床板与支撑层的层间凿毛或植入预埋件,加强层间连接,相应的板底当量摩阻系数 μ 增加。为使板能够满足自由伸缩,板长应相应减短。

1.3 基础变形影响分析

针对艰险山区铁路隧道穿越区域受地震、活动断裂、大变形、岩溶等不良地质的影响,考虑基础变形对无砟轨道的影响具有实际意义。线下基础变形采用挠度随动法^[9],即认为在基础变形作用下,无砟轨道将发生与下部变形相同的变形,如图6所示。

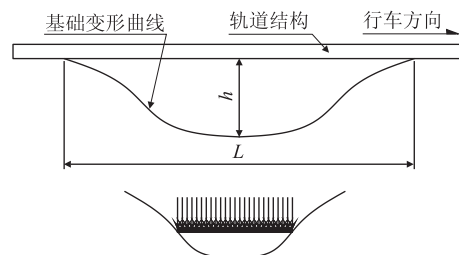


图6 基础变形计算示意图

此时,无砟轨道在跟随线下基础变形作用下的弯

矩为:

$$M = EI \times K \quad (3)$$

式中: EI ——无砟轨道结构层的抗弯刚度;

K ——变形曲率。

由式(3)分析可知,在一定的线下基础变形情况下,道床板弯矩值受下部基础变形曲率大小控制,道床板将在变形曲率最大处率先出现裂纹,若此处设置有道床伸缩缝,则基础变形引起的道床板变形将在道床伸缩缝处发生转角释放,从而避免道床混凝土出现裂纹。故从基础变形角度考虑,为尽量避免基础变形对道床板造成影响,道床板分块长度宜较短。

此外,影响隧道内道床板结构出现裂纹等病害的其它因素还有混凝土配合比、浇筑和养护等,但这些影响因素与道床板分段长度关系不大。

2 工程实践经验

依据铁路工程建设 CRTS I 型双块式无砟轨道通用参考图,隧道内 CRTS I 型双块式无砟轨道采用连续道床板方案为主,在仰拱沉降缝处对应设置道床伸缩缝,如厦深铁路、湘桂铁路、沪昆铁路、云桂铁路等均采用了此种轨道结构方案,投入运营后,轨道服役性能总体良好。但受道床混凝土浇筑、隧道变形等因素影响,道床板局部地段存在开裂现象,在个别隧道变形严重地段,引起无砟轨道上拱,形成限速点^[10-11]。

同时,也有部分铁路隧道双块式无砟轨道采用了分块式设计,如六沾铁路(12.5 m 分块)、广昆铁路(12.5 m 分块)、襄渝铁路(15 m 分块)。双块式无砟轨道分块式设计运行情况总体良好,道床裂纹较少,但局部地段由于地下水丰富,隧道渗漏水进入道床板与仰拱回填结合面,出现道床板拍打、翻浆冒泥等病害。

据调研,达成铁路云顶隧道、广昆铁路秀宁隧道、沪昆客运专线光照隧道及王家山隧道现场反馈的情况,复杂地质条件引起的隧道变形范围为 25 ~ 40 m,从后期维护角度考虑,道床板分块长度应小于此范围。

3 结论及建议

本文针对西南艰险山区高速铁路隧道内所采用的 CRTS I 型双块式无砟轨道,从列车荷载、温度荷载及基础变形条件下分析了双块式无砟轨道的受力情况,并结合工程实践经验,对不良地质条件下的隧道内双块式无砟轨道分块长度展开研究,主要结论及建议如下:

(1)当道床板长大于 4.375 m 时,列车荷载对道床板不同分块长度的意义不明显,但对裂纹的扩展有较大影响;在温度荷载作用下,确定最优板长为 32 m,

当长度超过 32 m 时,温度荷载下的道床板分段意义不明显(与铺设连续道床板性质相似),可能出现裂纹。因此,为了尽量避免基础变形对道床板造成影响,道床板分块长度宜较短。

(2)结合既有工程实践经验,复杂地质条件引起的隧道变形范围为 25 ~ 40 m,从后期维护角度考虑,道床板分块长度应小于此范围。

考虑到道床伸缩缝应处于轨枕间距正中,道床分块长度应为轨枕间距整数倍,本文建议复杂地质条件下的隧道洞口 200 m 范围内道床板分块长度 6.25 m;距隧道洞口 200 m 往内,道床板按 40 个轨枕间距进行分块设计,即分块长度为 25 m,同时应加强道床板与仰拱回填层之间的连接。

参考文献:

- [1] 周荣征. 中长期铁路网规划布局及优化方法研究[D]. 成都:西南交通大学,2011.
ZHOU Rongzheng. Research on the Planning and Optimization of the Medium-and-Long Term Railway Network [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.
- [2] 石现峰. 高速铁路无砟轨道结构的设计理论研究[D]. 北京:铁道部科学研究院,2007.
SHI Xianfeng. Research on Design Theory of Ballastless Track Structure of High-speed Railway [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2007.
- [3] 方宜,肖庆彬. 双块式无砟轨道动刚度特性及影响因素分析[J]. 高速铁路技术,2011, 2(1): 27-30.
FANG Yi, XIAO Qingbin. Analysis of Characteristics and Effect Factors of Bi-block Ballastless Track Dynamic Stiffness [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(1): 27-30.
- [4] 严少发,丁立金,王善高. 隧道内 CRTS I 型双块式无砟轨道施工关键技术[J]. 铁道工程学报,2009, 26(11): 13-16.
YAN Shaofa, DING Lijin, WANG Shangao. Key Construction Technology for CRTS I Double-block Ballastless Track in Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 26(11): 13-16.
- [5] 苏乾坤. 客货共线 CRTS III 型板式无砟轨道结构优化设计[D]. 成都:西南交通大学,2017.
SU Qiankun. The Optimized Structure Design of CRTS III Slab Ballastless Track for Mixed Passenger and Freight Railway [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.
- [6] 赵伟. 单元板式无砟轨道伤损及纵向受力分析[D]. 成都:西南交通大学,2008.
ZHAO Wei. Study on Damages and the Longitudinal Forces of Element Slab Ballastless Track [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.
- [7] 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,2008.
ZHAO Pingrui. Research on the Design Theory and Method for Ballastless Track on Passenger Dedicated Line [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.

(下转第 90 页)

方案^[8]。

(2)对基本稳定区的陡崖体,可采用系统锚杆挂网喷混凝土治理,其陡崖下部可考虑被动网拦截防护。

(3)对崩塌源左侧的欠稳定区,可采取系统锚杆加主动网或间插部分预应力锚索的治理方案。

(4)对崩塌源右侧的欠稳定区,可采取长锚杆或预应力锚索方案,且在靠近不稳定区的部位再加设部份主动防护网措施。

(5)对不稳定区的治理,应考虑以预应力锚索、结合长锚杆并施以主动网防护为主。

(6)对整个治理区的陡崖边坡,应考虑坡体排泄基岩裂隙水方案,即增设盲管排水孔。而对陡崖上部坡面应设置坡面截、排水工程。

(7)对陡崖下部的崩塌堆积区(落石堆),建议以清除为主,也可考虑在其中部和下部各设一道浆砌石挡墙或采用主动网进行罩护的治理方案,以防止暴雨、人文活动和放牧等外营力造成的坡面滚石和碎屑流地质灾害。

6 结束语

由于该高边坡陡崖松散危石较多,陡崖边坡卸荷带厚度较大,综合性防治工程势在必行。本文通过地质勘查,对不同稳定性特征的陡崖,提出了具体针对性的综合治理设计方案。

总之,根据不同危岩特征,不同稳定性状况,应采取不同的防治工艺设计和施工组织设计。对斜长花岗岩高边坡崩塌陡崖进行综合性治理,其地质勘查工作具有典型意义。

参考文献:

[1] 蒋良文,王科. 西南地区铁路工程地质的基本特征[J]. 铁道工程

学报, 2010, 27(S1): 85-87.

JIANG Liangwen, WANG Ke. Basic Characteristics of Railway Engineering Geology in Southwest China [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010, 27(S1): 85-87.

[2] 中铁二院工程集团有限责任公司. 铁路工程地质实例(西南及相邻地区分册)[M]. 北京:中国铁道出版社,2011.

China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Examples of Railway Engineering Geology (Fascicule for Southwest and Adjacent Regions) [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2011.

[3] 刘佑荣. 岩土力学[M]. 北京:中国地质大学出版社, 2010. LIU Yourong. Geotechnical Mechanics [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 2010.

[4] TB 10027-2012 铁路工程不良地质勘察规程[S]. TB 10027-2012 Regulations for Unfavorable Geology Investigation of Railway Engineering[S].

[5] 李隽蓬. 铁路岩石边坡坡度确定及稳定性分析[J]. 铁道工程学报, 2005, 22(S1): 348-349.

LI Junpeng. Grade Determination and Stability Analysis of Railway Rock Slope [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005, 22(S1): 348-349.

[6] GB 18306-2015 中国地震动参数区划图[S]. GB 18306-2015 Seismic Ground Motion Parameter Zonation Map of China [S].

[7] 胡厚田. 崩塌落石研究[J]. 铁道工程学报, 2005, 22(S1): 387-389.

HU Houtian. Research on the Collapse and Falling Stone[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005, 22(S1): 387-389.

[8] 铁道部第一勘察设计院. 铁路工程地质手册(第2版)[M]. 中国铁道出版社, 1999.

First Survey and Design Institute of the Ministry of Railways. Handbook of Railway Engineering Geology (2nd edition) [M]. China Railway Publishing House, 1999.

(编辑:赵立红 张红英)

(上接第86页)

[8] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京:人民交通出版社, 2007.

WANG Xinmin. Numerical Analysis of ANSYS Engineering Structure [M]. Beijing: China Communications Press, 2007.

[9] 刘学毅,赵坪锐,杨荣山,等. 客运专线无砟轨道设计理论与方法[M]. 成都:西南交通大学出版社, 2010.

LIU Xueyi, ZHAO Pingrui, YANG Rongshan, et al. Design Theory and Method for Ballastless Track on Passenger Dedicated Line [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2010.

[10] 彭勇. 双块式无砟轨道床板上拱参数影响分析及整治技术方案研

究[D]. 成都:西南交通大学, 2013.

PENG Yong. Analysis on the Parameter Influences and Research on the Improvement Measures of Track Slab Upward of Double-block Ballastless Track [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.

[11] 姜鹏. 双块式无砟轨道结构道床板上拱的成因分析与整治措施研究[D]. 成都:西南交通大学, 2011.

JIANG Peng. Analysis on the Cause of Swelling Track Slab of Double-block Ballastless Track and Improvement Measures [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.

(编辑:车晓娟 白雪)