

文章编号 :1006 - 2106( 2007 )06 - 0035 - 04

# 石太客运专线板式无碴轨道参数影响分析<sup>\*</sup>

管吉波<sup>\*\*</sup> 闫红亮 刘玉祥

( 铁道第三勘察设计院集团有限公司 , 天津 300142 )

**摘要** 研究目的 :石太客运专线作为国内唯一一条集高速客运与重载货运于一体的客运专线 ,将首次大规模铺设板式无碴轨道 ,而当前国内尚没有形成规范的无碴轨道计算理论 ,因此需深入研究板式无碴轨道受力规律 ,以保证设计经济、合理。

**研究方法** :采用有限元理论 ,建立了板式无碴轨道的梁—板模型 ,应用大型有限元工具软件 ansys 对模型进行求解。

**研究结果** :总结了荷载作用位置、扣件刚度、轨道板宽度、CA 砂浆弹性模量、地基弹性系数等主要参数对轨道板、CA 砂浆和底座的受力影响规律 ,求得列车竖向荷载作用下轨道板和底座的最不利弯矩。

**研究结论** :对于石太线板式轨道设计 ,扣件节点动刚度取 60 kN/mm、轨道板宽度取 2.4 m、地基弹性系数采用  $K_{30}$  取 190 MPa/m 是合理的。计算列车竖向荷载作用下轨道板和底座的最不利弯矩时 ,荷载作用位置分别考虑位于板中及板端 2 种工况 ;CA 砂浆弹性模量考虑离散性 ,按 100 MPa 和 300 MPa 分别计算。

**关键词** :客运专线 ;无碴轨道 ;梁—板模型 ;力学计算 ;参数分析

中图分类号 :U213 文献标识码 :A

## Parameters Effect Analysis of Slab Ballastless Track for Shijiazhuang - Taiyuan Passenger Special Line

GUAN Ji - bo , YAN Hong - liang , LIU Yu - xiang

( The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation , Tianjin 300142 , China )

**Abstract** **Research purposes** : Slab ballastless track will be cosmically paved for the first time in Shijiazhuang - Taiyuan passenger special line which is the only line combining high - speed passenger transport with heavy loads freight in China. There is no canonical calculational theory of ballastless track , so the mechanical rules of slab ballastless track should be studied thoroughly , which can make the design economical and reasonable.

**Research methods** : Using the finite element theory , beam - slab model of slab ballastless track is built and the model calculation is caught by the finite element tool software ANSYS.

**Research results** : The mechanical rules of slab ballastless track affected by some main parameters , such as acting position of loads , stiffness of fastener , breadth of slab , elastic modulus of CA mortar and elastic coefficient of foundation , are concluded and the worst moments of slab and pedestal under vertical load of train are calculated.

**Research conclusions** : The calculational parameters are put forward in this paper as follows : dynamic stiffness of fastener is 60 kN/mm , breadth of slab is 2.4 m ,  $K_{30} = 190$  MPa is adopted as elastic coefficient of foundation , which are suitable for slab track in Shijiazhang - Taiyuan passenger special line. In order to get the worst moments of slab and pedestal under vertical load of train , acting position of loads and elastic modulus dispersal of CA mortar should be considered , acting position of loads includes the middle of slab and the side of slab , and the elastic modulus dispersal of

\* 收稿日期 :2007 - 05 - 14

\*\* 作者简介 :管吉波 , 1977 年出生 , 男 , 工程师。

CA mortar contains 100 MPa and 300 MPa.

**Key words** : passenger special line ; ballastless track ; beam – slab model ; mechanical calculation ; parameters analysis

无碴轨道是以混凝土或沥青砂浆取代散粒道碴道床而组成的轨道结构型式,它具有轨道稳定性高,刚度均匀性好,结构耐久性强和维修工作量显著减少等特点,对于高速铁路较传统的有碴轨道有更好的适应性。

作为最主要的无碴轨道结构型式之一,板式轨道在日本新干线应用广泛。经过 30 余年的经验积累,日本新干线板式轨道在设计、施工及养护维修等方面日趋成熟。自 20 世纪至今,累计铺设里程已达 2 700 多千米。国内对板式无碴轨道的研究是随着对高速铁路的研究不断深入进行的,目前只在秦沈线狗河特大桥( 741 m )、双何特大桥( 740 m )、赣龙线枫树排隧道( 719 m )以及遂渝线无碴轨道综合试验段上铺设,但尚无大规模铺设先例。

1 工程概况

石太客运专线作为青太客运通道的重要组成部分,是我国铁路“四纵四横”快速客运网的骨架之一。线路起自石家庄北站,途经河北省石家庄市、鹿泉市、井陉县、阳泉市盂县、晋中地区寿阳县、太原市阳曲县、太原市区,终至太原站,正线长度 189.93 km。正线远期速度目标值在 250 km/h 以上,近期客货共线,客车最高运行速度 200 km/h,货车牵引质量 5 000 t。本线独特的技术特点在于,高速客运与重载货运集于一身,从而区别于其他客运专线,同时也给本线的设计、建设提出了更高的要求 and 标准。

按照无碴轨道宜集中铺设的原则,本线在长度大于 6 km 的隧道及相邻两铺设无碴轨道的隧道间小于 500 m 的桥梁和路基铺设板式无碴轨道。铺设范围包括“三隧两桥”(依次为石板山隧道、黑水坪大桥、南梁隧道、孤山大桥、太行山隧道)以及其间的路基,共计铺轨 95.045 km。其中太行山隧道全长 27.839 km,居亚洲在建铁路山岭隧道之首。

2 板式无碴轨道计算模型

2.1 板式无碴轨道结构组成

板式无碴轨道由 60 kg/m 钢轨、弹性分开式扣件、轨道板、乳化沥青水泥砂浆( CA 砂浆)、混凝土凸形挡台及混凝土底座等部分组成,轨下设置充填式垫板,详见图 1。

2.2 模型简述

我国对无碴轨道的研究尚处于起步阶段,没有形成规范的无碴轨道计算理论,在本线板式无碴轨道设

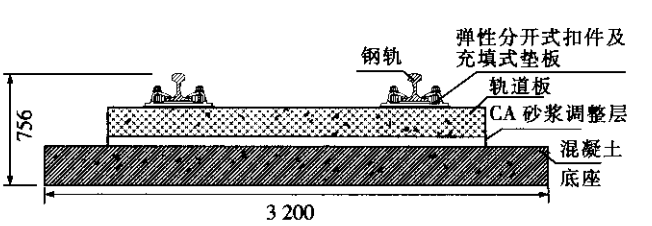


图 1 路基地段板式无碴轨道断面图( 单位: mm )

计过程中,我们在对国内的三重叠梁模型、德国的当量叠合梁模型深入研究基础上,采用更为接近实际的有限元梁—板模型。

如图 2 所示,应用有限单元理论建立板式无碴轨道结构的整体模型。钢轨采用弹性点支承梁模拟;扣件采用线性离散弹簧模拟;轨道板采用板单元进行模拟; CA 砂浆调整层采用实体单元模拟;底座采用弹性地基板模拟,以反映下部基础对轨道结构的支承作用。地基系数采用  $K_{30}$  进行计算。

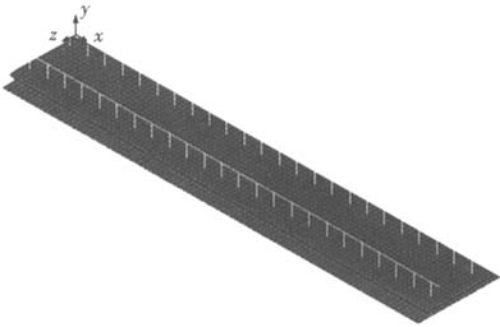


图 2 板式轨道梁板模型

为消除边界效应,模型选取 3 块相邻的轨道板进行计算,并以中间轨道板作为主要研究对象。计算时,采用大型工具软件 ansys 进行模型求解。

2.3 基本计算参数

根据板式无碴轨道结构特点,选取基本计算参数如表 1 所示。

表 1 基本参数表

项目	数值	备注
列车荷载	300 kN	单轮
钢轨	60 kg/m	
扣件间距	0.625 m	
扣件节点动刚度	60 kN/mm	
轨道板外型尺寸	4.93 m × 2.4 m × 0.19 m	
轨道板混凝土弹性模量	36 × 10 <sup>3</sup> MPa	C60
轨道板混凝土泊松比	0.2	
CA 砂浆厚度	5 cm	板下满布

续表 1 基本参数表

项目	数值	备注
CA 砂浆弹性模量	100 ~ 300 MPa	
底座外型尺寸	3.2 m×0.3 m	
底座混凝土弹性模量	$32.5 \times 10^3$ MPa	C40
底座混凝土泊松比	0.2	
路基弹性系数	190 MPa/m	$K_{30}$

3 板式无碴轨道参数影响分析

为获得最优的轨道结构 ,采用有限元梁—板模型研究了主要参数对轨道结构各组成部分力学响应的影响规律。如果没有特殊说明 ,荷载作用于板中 ,CA 砂浆弹性模量取 300 MPa ,其它基本参数同表 1 ,计算结果中轨道板或底座弯矩均为每米范围所受的弯矩值 ,单位取 kN · m/m。

3.1 荷载作用位置

根据试算 ,荷载作用于板中和板端两个位置时轨道结构受力为最不利情况 ,因此选取这 2 种工况进行研究。

表 2 不同荷载作用位置下轨道板、底座弯矩和 CA 砂浆反力

项目	荷载作用于板中	荷载作用于板端
轨道板纵向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	9.062	7.344
轨道板纵向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	2.166	2.393
轨道板横向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	10.106	11.385
轨道板横向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	3.218	4.891
CA 砂浆最大反力/MPa	0.308	0.359
底座纵向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	20.876	22.880
底座纵向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	9.406	7.962
底座横向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	12.568	13.159
底座横向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	0.643	0.288

表 4 不同轨道板宽度下轨道板、底座弯矩和 CA 砂浆反力

轨道板宽度/m	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
轨道板纵向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	9.721	9.378	9.062	8.737	8.486
轨道板纵向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	2.654	2.334	2.166	2.124	2.112
轨道板横向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	8.432	9.835	10.106	9.696	8.977
轨道板横向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	3.325	3.186	3.218	3.259	3.274
CA 砂浆最大反力/MPa	0.445	0.320	0.308	0.308	0.309
底座纵向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	22.335	21.492	20.876	20.673	20.548
底座纵向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	9.574	9.474	9.406	9.358	9.323
底座横向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	16.864	14.301	12.568	11.449	11.163
底座横向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	0.647	0.645	0.643	0.641	0.645

由表 4 可知 ,随着轨道板宽度的增大 ,轨道板纵向弯矩逐渐减小 ,轨道板横向正弯矩当轨道板宽度小于 2.4 m 时随轨道板宽度的增大而增大 ,当轨道板宽度大于 2.4 m 时随轨道板宽度的增大而减小 ,轨道板横向负弯矩当轨道板宽度小于 2.2 m 时随轨道板宽度的增大而减小 ,当轨道板宽度大于 2.2 m 时随轨道板宽度的增大而增大。CA 砂浆反力当轨道板宽度小于 2.4 m

由表 2 可知 ,荷载作用于板中时 ,轨道板纵向正弯矩、底座纵横向负弯矩较大 ;荷载作用于板端时 ,轨道板纵向负弯矩、轨道板横向正负弯矩、CA 砂浆最大反力以及底座横向纵横向正弯矩较大。设计中 ,应该综合考虑这两种荷载作用工况下的最大值。

3.2 扣件刚度

扣件刚度分别采用 20 kN/mm、40 kN/mm、60 kN/mm、80 kN/mm 进行分析。

表 3 不同扣件刚度下轨道板、底座弯矩和 CA 砂浆反力

扣件刚度/( kN · mm <sup>-1</sup> )	20	40	60	80
轨道板纵向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	6.534	8.075	9.062	9.800
轨道板纵向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	1.612	1.860	2.166	2.357
轨道板横向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	8.177	9.369	10.106	10.642
轨道板横向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	2.567	2.969	3.218	3.398
CA 砂浆最大反力/MPa	0.241	0.282	0.308	0.327
底座纵向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	16.066	19.138	20.876	22.059
底座纵向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	7.249	8.647	9.406	9.805
底座横向正弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	10.725	11.905	12.568	13.019
底座横向负弯矩/( kN · m · m <sup>-1</sup> )	0.436	0.624	0.643	0.625

由表 3 可知 ,轨道板和底座的弯矩以及 CA 砂浆最大反力都随着扣件刚度的增大而增大 ,但是当扣件刚度大于 40 kN/mm 时 ,随着扣件刚度增大 ,轨道板和底座的弯矩变化趋缓 ,底座的横向负弯矩当扣件刚度大于 60 kN/mm 时反而有所减小。

3.3 轨道板宽度

轨道板宽度分别采用 2.0 m、2.2 m、2.4 m、2.6 m、2.8 m 进行分析。

时随轨道板宽度的增大而减小 ,当轨道板宽度大于 2.4 m 时变化不明显 ,随着轨道板宽度的增大 ,底座纵横向正弯矩均逐渐减小 ,纵横向负弯矩变化不明显。轨道板宽度为 2.0 m 时 ,各别力学指标明显偏大 ,说明轨道板不宜太窄 ,同时可以看到轨道板宽 2.2 ~ 2.4 m 是力学指标变化的一个转折点 ,因此结合力学计算及结构设计 ,从技术经济角度综合分析 ,轨道板宽

度取 2.2 ~ 2.4 m 是合适的。

3.4 CA 砂浆弹性模量

CA 砂浆弹性模量分别采用 100 MPa、300 MPa、500 MPa、1 000 MPa 进行分析。

表 5 不同砂浆垫层材料弹性模量下轨道板、底座弯矩和 CA 砂浆反力

砂浆垫层材料弹性模量/MPa	100	300	500	1 000
轨道板纵向正弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	10.796	9.062	8.478	7.835
轨道板纵向负弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	2.615	2.166	2.180	2.178
轨道板横向正弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	11.532	10.106	9.215	7.968
轨道板横向负弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	5.609	3.218	2.195	1.020
CA 砂浆最大反力/MPa	0.214	0.308	0.375	0.500
底座纵向正弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	20.094	20.876	21.224	21.608
底座纵向负弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	9.375	9.406	9.455	9.560
底座横向正弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	11.609	12.568	13.363	14.389
底座横向负弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	0.598	0.643	0.679	0.739

由表 5 可知,随着 CA 砂浆弹性模量的增大,轨道板弯矩减小,CA 砂浆本身的反力增大,底座弯矩增大,其中轨道板纵向负弯矩和底座纵横向负弯矩变化不明显。

当 CA 砂浆弹性模量大于 300 MPa 时,各力学指标变化趋缓,计算时其最大值可取 300 MPa,同时考虑 CA 砂浆弹性模量的离散性和轨道板受力的最不利情况,最小值取 100 MPa。

3.5 地基弹性系数

地基弹性系数采用  $K_{30}$ ,分别按 50 MPa/m、190 MPa/m、500 MPa/m、1 000 MPa/m 进行分析。

表 6 不同地基弹性系数下轨道板、底座弯矩和 CA 砂浆反力

地基弹性系数/(MPa·m <sup>-1</sup> )	50	190	500	1 000
轨道板纵向正弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	13.332	9.062	6.994	5.951
轨道板纵向负弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	3.288	2.166	1.855	1.516
轨道板横向正弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	10.419	10.106	9.835	9.637
轨道板横向负弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	2.416	3.218	3.965	4.510
CA 砂浆层最大反力/MPa	0.301	0.308	0.313	0.317
底座纵向正弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	36.269	20.876	13.280	9.379
底座纵向负弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	14.987	9.406	5.885	3.837
底座横向正弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	14.439	12.568	10.839	9.480
底座横向负弯矩/(kN·m·m <sup>-1</sup> )	1.379	0.643	0.394	0.846

从表 6 可知,随着地基弹性系数增大,除轨道板横向负弯矩增大外,轨道板其它弯矩减小,CA 砂浆反力变化不明显,底座弯矩减小。由此可知,隧道、桥梁地段由于基础刚度较土质路基大,对轨道结构整体而言受力是有利的。

4 列车竖向荷载作用下板式轨道最不利弯矩计算

按表 1 中的基本参数取值,同时考虑荷载作用位置以及 CA 砂浆弹性模量的离散性对计算结果的影响,计算列车竖向荷载作用下板式轨道的最不利弯矩如表 7 所示。

表 7 列车竖向荷载作用下板式轨道最不利弯矩

项目	结果/(kN·m·m <sup>-1</sup> )
轨道板纵向正弯矩	13.568
轨道板纵向负弯矩	2.803
轨道板横向正弯矩	17.797
轨道板横向负弯矩	8.244
底座纵向正弯矩	22.880
底座纵向负弯矩	9.406
底座横向正弯矩	19.360
底座横向负弯矩	0.643

5 结论

(1) 在板式轨道力学计算中,荷载作用位置、扣件刚度、轨道板宽度、CA 砂浆弹性模量以及地基弹性系数等基本参数的取值是影响计算结果正确与否的主要因素,只有基本参数合理才能保证计算结果的准确,为结构设计提供依据。

(2) 计算列车竖向荷载作用下轨道板和底座的最不利弯矩时,荷载作用位置应分别考虑位于板中及板端两种工况;CA 砂浆弹性模量应考虑离散性,按 100 MPa 和 300 MPa 分别计算。

(3) 路基地段地基弹性系数采用  $K_{30}$  时取 190 MPa/m 是最不利情况,计算结果较隧道和桥梁地段偏大。

参考文献:

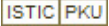
[1] 何华武. 无碴轨道技术[M]. 北京:中国铁道出版社, 2005.

[2] 赵国堂. 高速铁路无碴轨道结构[M]. 北京:中国铁道出版社, 2006.

[3] 铁建设函[2005]754 号,客运专线无碴轨道设计指南[S].

[4] 赵经文,王宏钰. 结构有限元分析[M]. 北京:科学出版社, 2001.

(编辑 慕成娟 张 滨)

作者: 管吉波, 闫红亮, 刘玉祥, [GUAN Ji-bo](#), [YAN Hong-liang](#), [LIU Yu-xiang](#)  
作者单位: [铁道第三勘察设计院集团有限公司](#), 天津, 300142  
刊名: [铁道工程学报](#)   
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)  
年, 卷(期): 2007, 24 (6)

## 参考文献(4条)

1. [何华武](#) [无碴轨道技术](#) 2005
2. [赵国堂](#) [高速铁路无碴轨道结构](#) 2006
3. [铁建设函\[2005\]754号](#). 客运专线无碴轨道设计指南
4. [赵经文](#); [王宏钰](#) [结构有限元分析](#) 2001

## 本文读者也读过(10条)

1. [张生延](#), [王平](#), [陈小平](#), [ZHANG Shengyan](#), [WANG Ping](#), [CHEN Xiaoping](#) [轨道板厚度对板式轨道应力的影响分析](#) [期刊论文] - [铁道建筑](#) 2010 (7)
2. [曹利](#), [陈小平](#), [胡秋华](#) [刚性基础上板式轨道结构静力分析](#) [期刊论文] - [四川建筑](#) 2008, 28 (2)
3. [张庆](#), [Zhang Qing](#) [双向预应力轨道板的研究与设计](#) [期刊论文] - [铁道标准设计](#) 2006 (8)
4. [李艳](#), [金波](#), [LI Yan](#), [JIN Bo](#) [高速列车荷载作用下路基的动力分析](#) [期刊论文] - [山西建筑](#) 2008, 34 (33)
5. [李培刚](#), [王伟华](#), [杨荣山](#), [LI Pei-gang](#), [WANG Wei-hua](#), [YANG Rong-shan](#) [客运专线板式轨道轨道板配筋设计的检算方法](#) [期刊论文] - [路基工程](#) 2010 (4)
6. [罗震](#), [蔡成标](#), [姚力](#), [Luo Zhen](#), [Cai Chengbiao](#), [Yan Li](#) [路基参数对无砟轨道结构受力影响有限元分析](#) [期刊论文] - [路基工程](#) 2008 (5)
7. [邢明照](#), [张旭东](#), [胡志理](#), [刘前进](#), [XING Ming-zhao](#), [ZHANG Xu-dong](#), [HU Zhi-li](#), [LIU Qian-jin](#) [CRTS I 型轨道板裂纹分析及控制](#) [期刊论文] - [中国港湾建设](#) 2010 (3)
8. [向俊](#), [曹晔](#), [刘保钢](#), [赫丹](#), [曾庆元](#), [XIANG Jun](#), [CAO Ye](#), [LIU Bao-gang](#), [HE Dan](#), [ZENG Qing-yuan](#) [客运专线板式无碴轨道动力设计参数](#) [期刊论文] - [中南大学学报 \(自然科学版\)](#) 2007, 38 (5)
9. [石现峰](#), [李建斌](#), [安蕊梅](#), [Shi Xianfeng](#), [Li jianbin](#), [An Ruimei](#) [路基上双块式无砟轨道结构的参数影响分析](#) [期刊论文] - [石家庄铁道学院学报](#) 2008, 21 (2)
10. [曹利](#) [简支梁桥上博格板式无碴轨道纵向力分析](#) [学位论文] 2007

引用本文格式: [管吉波](#), [闫红亮](#), [刘玉祥](#), [GUAN Ji-bo](#), [YAN Hong-liang](#), [LIU Yu-xiang](#) [石太客运专线板式无碴轨道参数影响分析](#) [期刊论文] - [铁道工程学报](#) 2007 (6)