

路基上 CRTS III 型板式无砟轨道设计方案比较分析

高亮, 赵磊, 曲村, 蔡小培

(北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044)

摘要: 路基上 CRTS(China railway track system) III 型板式无砟轨道结构存在单元式和纵连式两种设计方案。通过建立纵横垂向空间耦合有限元计算模型, 对两种设计方案在温度荷载、列车荷载、混凝土收缩及基础沉降变形作用下的力学特性进行了计算与对比分析。计算结果表明: 对于严寒地区, 基于温度荷载的影响较大以及轨道的可维修性, 建议采用单元式结构。

关键词: CRTS(China railway track system) III 型; 板式无砟轨道; 设计方案; 单元式; 纵连式

中图分类号: U213.244

文献标志码: A

Analysis on Design Scheme of CRTS III Slab Track Structure on Roadbed

GAO Liang, ZHAO Lei, QU Cun, CAI Xiaopei

(School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: A longitudinal-transverse-vertical spatial coupled model was established. A comparative study was made of the mechanical characteristics of two design schemes, unit style and longitudinal continued style, under the action of temperature load, vehicle load, concrete shrinkage and foundation settlement deformation. Analysis results show that the unit style is recommended for the severe cold area due to the influence of temperature load and maintainability of track.

Key words: China railway track system III (CRTS III); slab track; design scheme; unit style; longitudinal continued style

近年来,我国新建的高速铁路客运专线主要采用的轨道型式包括单元式的 CRTS(China railway track system) I 型板式无砟轨道、双块式无砟轨道和纵连式的 CRTS II 型板式无砟轨道,各种无砟轨道结构型式各有其优缺点。

CRTS I 型板式无砟轨道可采用预制板进行施工,结构简单,施工速度较快,维修方便,但在较大的温度梯度作用下轨道板可能产生翘曲变形,CA 砂浆层也相对较为薄弱^[1-3]。

CRTS II 型板式无砟轨道通过采用纵连的轨道结构和滑动层,可以减小钢轨受力,使可适应的混凝土梁温度跨长大为增加,但是在列车荷载和温度压力的共同作用下,纵连的轨道板和底座板可能发生竖向失稳,一旦发生断板,也会对桥梁及墩台产生相当大的纵向力^[4-6]。

双块式无砟轨道的道床板较厚,采用隔离层可以减小桥梁变形对轨道结构的影响,但支承层在列车荷载、温度效应、基础不均匀变形等作用下容易产生开裂,现浇混凝土道床板在施工后也易产生裂缝^[7-9]。

随着国内对无砟轨道结构的认识和研究逐渐深化,完全有基础和条件研究开发一种新型无砟轨道结构,使该结构在受力状态、经济性、施工性、可维修性及耐久性等方面,兼备各种无砟轨道结构型式的优点,并尽可能克服其缺点。我国在总结无砟轨道再创新成果的基础上,提出了 CRTS III 型板式无砟轨道结构,并已成功应用于成灌快铁线路。

目前,路基上 CRTS III 型板式无砟轨道结构存在两种设计方案:单元式方案,自密实混凝土与轨道板在板缝处不纵连,每两块轨道板下的底座板断开,底座板之间设置八根 $\phi 28$ 的剪力棒,进行纵连及抵抗剪切变形;纵连式方案,自密实混凝土与轨道板在板缝处用预留钢筋进行纵连,并在板缝处填充树脂砂浆材料,材料弹性模量取为 300 MPa,底座板全纵连。本文在考虑温度荷载、车辆荷载、混凝土收缩变形、基础沉降变形等基础上,对轨道板纵连与否两种方案下轨道板、自密实混凝土、底座板等结构的应力

与变形进行对比分析,从而对两种方案进行结构选型。

1 计算参数

1.1 钢轨和扣件参数

钢轨采用 CHN60 轨,扣件为 WJ-8 型扣件系统,扣件间距为 630 mm,每组扣件提供的纵向力为

9.0 kN,横向静刚度为 $50 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$,垂向静刚度为 $35 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。

1.2 轨道板参数

轨道板采用预制预应力钢筋混凝土结构,混凝土强度等级为 C60。单块轨道板的尺寸为 5.6 m(长)×2.5 m(宽)×0.21 m(厚)。单元式方案的轨道板之间的板缝为 70 mm。

轨道板的具体布置见图 1 所示。

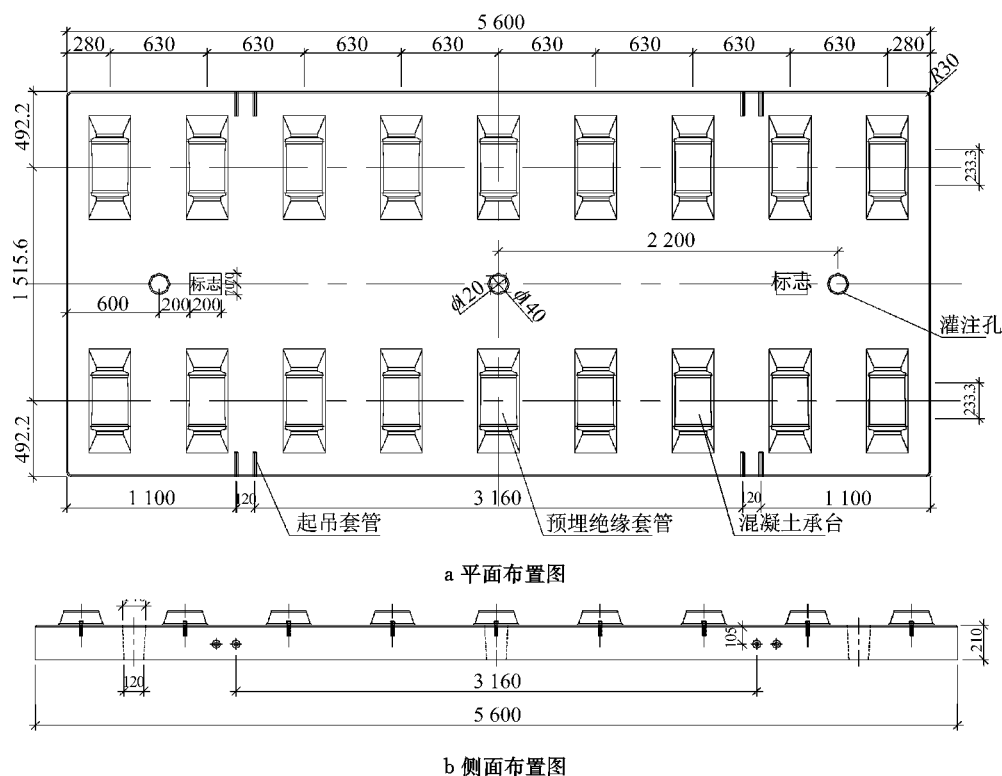


图 1 轨道板布置图(单位:mm)

Fig.1 Layout chart of the track slab(Unit:mm)

1.3 自密实混凝土层参数

自密实混凝土层的混凝土强度等级为 C40,尺寸为 5.6 m(长)×2.5 m(宽)×0.1 m(厚),并在靠近两端部位置设置向下的凸台与底座板相连。底座板上的凹槽尺寸为 0.7 m(长)×1.0 m(宽)×0.1 m(深)。

自密实混凝土层与底座板之间设置两层土工布,考虑其垂向抗压刚度极大,认为没有垂向相对变形。土工布间纵横向摩擦系数根据铁科院参数试验研究,取为 0.7。

自密实混凝土层的具体布置如图 2 所示。

1.4 底座板参数

底座板的混凝土强度等级为 C40,单元式方案的尺寸为 11.32 m(长)×3.1 m(宽)×0.3 m(厚),

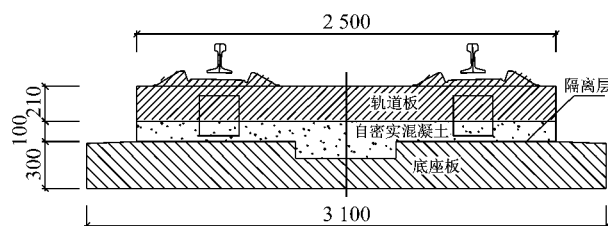


图 2 自密实混凝土层布置图(单位:mm)

Fig.2 Layout chart of the self compacting concrete layer(Unit:mm)

底座板间缝宽 0.02 m。单元式方案的底座板中部设置四个凹槽,与上部自密实混凝土层相连。凹槽内侧填充弹性垫层。底座板之间设置八根 $\phi 28$ 的剪力棒,长度为 0.4 m,进行纵连以及抵抗剪切变形。

底座板下路基的支撑面刚度为 $76 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{-1}$ 。底座板及限位凹槽的具体布置如图 3 所示。

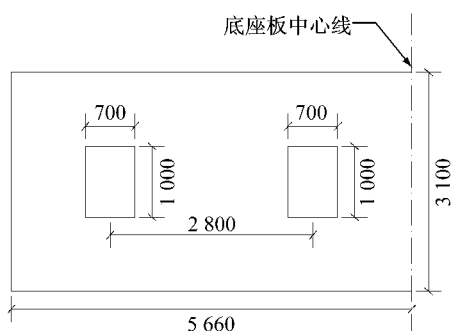


图 3 底座板及限位凹槽布置图(单位:mm)

Fig.3 Layout chart of the bed plate and the restricted groove(Unit:mm)

2 模型的建立

本文利用 ABAQUS 软件建立路基上 CRTSⅢ型板式无砟轨道的纵横垂向空间耦合有限元计算模型. 模型主要包括钢轨、扣件、轨道板、自密实混凝土层、底座板、限位凹槽和弹性垫层等结构. 其中, 部分结构的模型如图 4~8 所示.

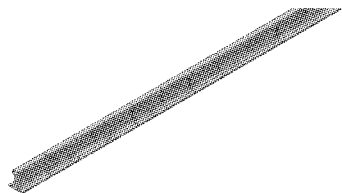


图 4 钢轨模型图

Fig.4 Model diagram of the rail

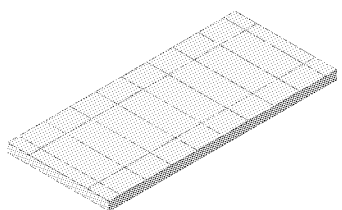


图 5 轨道板模型图

Fig.5 Model diagram of the track slab

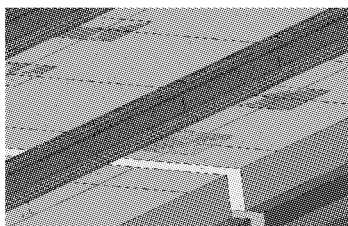


图 6 扣件及垫板模型图

Fig.6 Model diagram of the fastener and backing plate

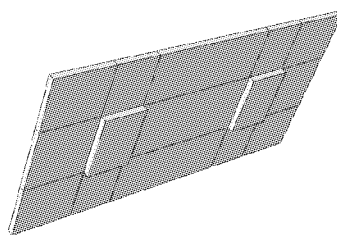


图 7 自密实混凝土层模型图

Fig.7 Model diagram of the self-compacting concrete layer

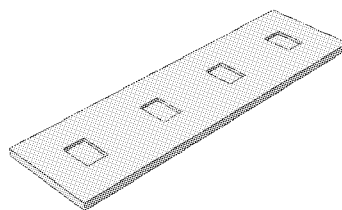


图 8 底座板及限位凹槽模型图(单元式方案)

Fig.8 Model diagram of the bed plate and the restricted groove (unit style scheme)

3 荷载取值

3.1 温度荷载取值

本文中的整体温度变化幅度主要以严寒地区的年温差为例. 根据《民用建筑热工设计规范》(GB50176—93)^[10], 严寒地区定义为最冷月平均温度 $\leq -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地区. 我国的严寒地区主要分布在新疆北部、新疆南部、西藏北部和青海, 甘肃北部、内蒙古大部分地区, 陕西、山西、河北和辽宁北部, 以及黑龙江和吉林全部地区. 以盘营地区为例, 考虑最大升温为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最大降温 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. 温度梯度根据《高速铁路设计规范(试行)》^[11]取为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$.

为设计安全考虑, 取最不利情况进行计算分析: 在考虑整体温度荷载时, 对轨道板、自密实混凝土层、底座板整体进行加载; 采用温度梯度荷载进行计算时, 考虑自密实混凝土层为结构层, 温度梯度加载在轨道板以及自密实混凝土层上.

3.2 列车荷载取值

列车设计荷载取为单轴双轮加载方式, 计算荷载主要取垂向荷载、横向荷载以及制动力等.

结合目前客运专线设计时速 350 km , 根据客运专线无砟轨道技术再创新理论研究成果^[12], 单独检算列车荷载时, 设计轮载选取 3 倍静轮载即 255 kN , 加载方式为单轴双轮作用在轨道板中间和板端两种

情况. 与其他荷载进行组合时,垂向荷载取常用轮载,即 1.5 倍静轮载. 根据再创新理论,单元式无砟轨道结构在进行荷载组合时主要考虑常用轮载与温度梯度的组合.

横向荷载取为 0.8 倍轮重,即 68 kN.

制动力按最不利加载方式,在每个扣件节点上加载 9 kN 的纵向力.

3.3 混凝土收缩取值

根据《高速铁路设计规范(试行)》^[11],混凝土收缩以等效降温 10 °C 取值.

3.4 基础沉降变形取值

本文按照客运专线无砟轨道技术再创新理论^[12]对基础沉降变形进行计算分析,考虑基础沉降为 $15 \text{ mm} \cdot (20 \text{ m})^{-1}$. 当自密实混凝土层与轨道板结成完整的一体时,可将自密实混凝土层作为结构层考虑;当自密实混凝土破碎后,可将其视为调整层. 分析计算结果表明,作为结构层考虑时为最不利状态,基础沉降时与垂向荷载同时考虑.

基础不均匀沉降的形状取为下凹正弦型半波曲线

$$y = f_0 \sin \frac{\pi x}{l_0}$$

式中: f_0 为不均匀沉降幅值限值,取为 15 mm; l_0 为标准沉降长度,取为 20 m.

4 计算结果云图

本部分以整体升温作用下的单元式方案为例,给出部分静力计算的结果云图,如图 9~14 所示.

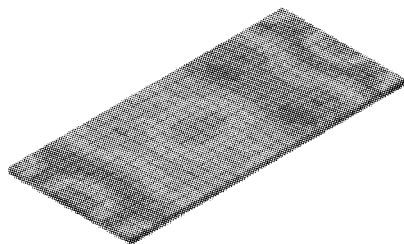


图 9 轨道板纵向应力

Fig.9 Longitudinal stress of the track slab

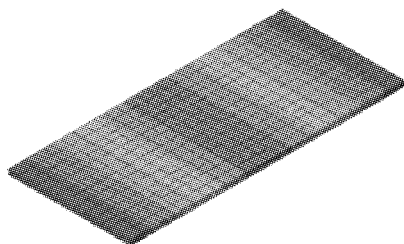


图 10 轨道板纵向位移

Fig.10 Longitudinal displacement of the track slab

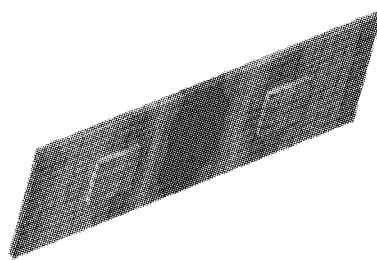


图 11 自密实混凝土层纵向应力

Fig.11 Longitudinal stress of the self-compacting concrete layer

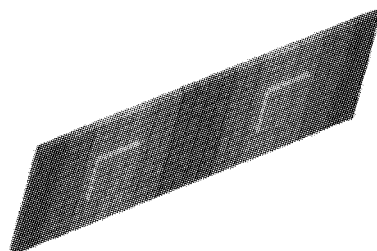


图 12 自密实混凝土层纵向位移

Fig.12 Longitudinal displacement of the self-compacting concrete layer

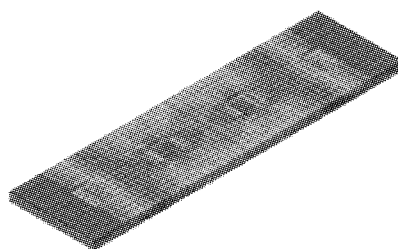


图 13 底座板纵向应力

Fig.13 Longitudinal stress of the bed plate

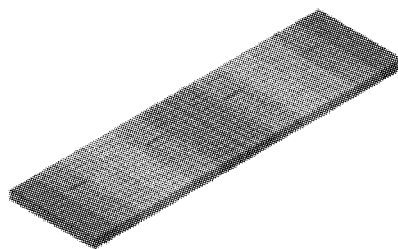


图 14 底座板纵向位移

Fig.14 Longitudinal displacement of the bed plate

5 计算结果对比

5.1 温度荷载作用下计算结果对比

考虑整体升温、正温度梯度和负温度梯度三种工况,温度荷载作用下单元式与纵连式两种方案的计算结果对比见表 1~3.

由表 1 可以看出,在整体升温作用下,相对于单元式方案,纵连式方案的纵横向应力值明显增大;纵横向位移差有所减小,垂向位移差有增大的趋势,但

表 1 整体升温作用下计算结果对比

Tab.1 Comparison of calculation results under the action of global temperature rising

结构层	结构方案	纵向应力/MPa		横向应力/MPa		纵向位移/mm		横向位移/mm		垂向位移/mm	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
轨道板	单元式	0.013	-0.450	0.125	-0.140	1.094	-1.426	0.600	-0.570	0.224	0.016
	纵连式	-6.904	-8.346	0.721	-3.357	1.203	-0.147	0.640	-0.656	0.246	-0.021
自密实混凝土	单元式	0.357	-0.319	0.154	-0.167	1.054	-1.488	0.594	-0.564	0.188	-0.060
	纵连式	-1.455	-8.635	0.698	-3.324	1.195	-0.155	0.626	-0.653	0.189	-0.076
底座板	单元式	0.207	-2.255	0.150	-0.417	2.378	-2.379	0.718	-0.717	0.064	-0.554
	纵连式	-1.125	-17.879	2.247	-1.144	0.306	-0.261	0.822	-0.821	0.130	-0.438

注:应力正值为拉应力,负值为压应力,垂向位移正值和负值分别为向上和向下的位移,纵横向位移正值和负值为相应的正反向位移,位移差即为两方向位移的代数差,下表中皆同。

表 2 正温度梯度作用下计算结果对比

Tab.2 Comparison of calculated results under the action of positive temperature gradient

结构层	结构方案	纵向应力/MPa		横向应力/MPa		纵向位移/mm		横向位移/mm		垂向位移/mm	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
轨道板	单元式	0.400	-0.841	0.144	-0.238	0.221	-0.226	0.120	-0.118	0.274	-0.569
	纵连式	-0.780	-2.050	0.182	-0.621	0.206	-0.040	0.126	-0.128	0.204	-0.382
自密实混凝土	单元式	1.839	-0.162	0.671	-0.417	0.169	-0.147	0.065	-0.063	0.267	-0.569
	纵连式	0.803	-1.053	0.658	-0.419	0.167	-0.004	0.075	-0.075	0.196	-0.392
底座板	单元式	0.776	-0.859	0.422	-0.376	0.053	-0.053	0.020	-0.020	0.080	-0.556
	纵连式	0.644	-0.733	0.299	-0.326	0.020	-0.013	0.019	-0.019	-0.120	-0.345

表 3 负温度梯度作用下计算结果对比

Tab.3 Comparison of the calculated results under the action of negative temperature gradient

结构层	结构方案	纵向应力/MPa		横向应力/MPa		纵向位移/mm		横向位移/mm		垂向位移/mm	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
轨道板	单元式	0.704	-0.329	0.248	-0.127	0.236	-0.233	0.117	-0.118	0.849	-0.321
	纵连式	1.990	0.809	0.636	-0.140	0.046	-0.208	0.132	-0.130	0.526	-0.295
自密实混凝土	单元式	-0.007	-0.001	0.369	-0.671	0.154	-0.151	0.059	-0.060	0.851	-0.314
	纵连式	0.905	-0.716	0.385	-0.597	-0.004	-0.158	0.069	-0.067	0.530	-0.287
底座板	单元式	0.384	-0.434	0.558	-0.582	0.015	-0.015	0.012	-0.012	-0.061	-0.312
	纵连式	0.240	-0.277	0.461	-0.521	0.008	-0.017	0.012	-0.012	-0.114	-0.284

变化不明显。

由表 2 可以看出,在正温度梯度作用下,相对于单元式方案,纵连式方案的纵横向应力自上而下先增大后减小;纵向位移差和垂向位移差有减小趋势,轨道板及自密实混凝土层的横向位移有少量增加,但变形量相对不大。

由表 3 可以看出,在负温度梯度作用下,相对于单元式方案,纵连式方案的轨道板和自密实混凝土层的纵横向应力有明显增大趋势,纵向和垂向位移差有减小趋势,轨道板及自密实混凝土层的横向位

移有少量增加。

总的来说,温度梯度主要加载于轨道板和自密实混凝土层上,而自密实混凝土层与底座板间的隔离层降低了上下层之间的相互作用。因此,底座板在温度梯度荷载作用下,单元式与纵连式的区别相对较小。

5.2 列车荷载作用下计算结果对比

考虑垂向荷载、横向荷载和制动力作用在不同位置处的几种工况,列车荷载作用下单元式与纵连式两种方案的计算结果对比见表 4~8。

表 4 垂向荷载作用于轨道板端部计算结果对比

Tab.4 Comparison of the calculated results when vertical load acts on the end of track slab

结构层	结构方案	纵向应力/MPa		横向应力/MPa		纵向位移/mm		横向位移/mm		垂向位移/mm	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
轨道板	单元式	0.267	-0.197	0.210	-0.177	0.057	-0.007	0.019	-0.018	-0.122	-1.368
	纵连式	0.314	-0.398	0.174	-0.176	0.022	-0.020	0.017	-0.017	-0.153	-0.889
自密实混凝土	单元式	0.111	-0.711	0.561	-0.014	0.136	-0.009	0.023	-0.022	-0.122	-1.367
	纵连式	0.942	-0.490	0.536	-0.076	0.074	-0.068	0.016	-0.017	-0.153	-0.889
底座板	单元式	0.439	-0.456	0.333	-0.322	0.068	-0.069	0.016	-0.016	-0.124	-1.378
	纵连式	1.195	-1.244	0.416	-0.443	0.039	-0.040	0.008	-0.008	-0.150	-0.876

表5 垂向荷载作用于轨道板中部计算结果对比

Tab.5 Comparison of the calculated results when vertical load acts on the central of track slab

结构层	结构方案	纵向应力/MPa		横向应力/MPa		纵向位移/mm		横向位移/mm		垂向位移/mm	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
轨道板	单元式	0.267	-0.197	0.210	-0.177	0.057	-0.007	0.019	-0.018	-0.122	-0.136
	纵连式	0.314	-0.398	0.174	-0.176	0.022	-0.020	0.017	-0.017	-0.153	-0.889
自密实混凝土	单元式	0.111	-0.711	0.561	-0.014	0.136	-0.009	0.023	-0.022	-0.122	-1.367
	纵连式	0.942	-0.490	0.536	-0.076	0.074	-0.068	0.016	-0.017	-0.153	-0.889
底座板	单元式	0.439	-0.456	0.333	-0.322	0.068	-0.069	0.016	-0.016	-0.124	-1.378
	纵连式	1.195	-1.244	0.416	-0.443	0.039	-0.040	0.008	-0.008	-0.150	-0.876

表6 横向荷载作用于轨道板端部计算结果对比

Tab.6 Comparison of the calculated results when lateral load acts on the end of track slab

结构层	结构方案	纵向应力/MPa		横向应力/MPa		纵向位移/mm		横向位移/mm		垂向位移/mm	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
轨道板	单元式	0.074	-0.073	0.206	-0.117	0.252	-0.269	0.077	-1.239	0.135	-0.269
	纵连式	0.320	-0.299	0.210	-0.136	0.048	-0.046	-0.225	-0.446	-0.159	-0.239
自密实混凝土	单元式	0.049	-0.093	0.056	-0.072	0.254	-0.270	0.084	-1.360	0.254	-0.270
	纵连式	0.318	-0.295	0.119	-0.113	0.048	-0.046	-0.223	-0.440	-0.159	-0.239
底座板	单元式	0.070	-0.047	0.088	-0.074	0.018	-0.014	0.014	-0.077	0.121	-0.288
	纵连式	0.095	-0.060	0.042	-0.042	0.004	-0.004	-0.012	-0.029	-0.150	-0.246

表7 横向荷载作用于轨道板中部计算结果对比

Tab.7 Comparison of the calculated results when lateral load acts on the central of track slab

结构层	结构方案	纵向应力/MPa		横向应力/MPa		纵向位移/mm		横向位移/mm		垂向位移/mm	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
轨道板	单元式	0.200	-0.141	0.208	-0.167	0.051	-0.053	0.003	-0.776	-0.139	-0.241
	纵连式	0.373	-0.311	0.209	-0.167	0.043	-0.043	-0.142	-0.388	-0.155	-0.228
自密实混凝土	单元式	0.213	-0.159	0.049	-0.069	0.052	-0.053	0.004	-0.769	-0.139	-0.241
	纵连式	0.378	-0.316	0.053	-0.048	0.043	-0.043	-0.140	-0.381	-0.155	-0.228
底座板	单元式	0.048	-0.036	0.080	-0.051	0.011	-0.010	0.005	-0.063	-0.126	-0.253
	纵连式	0.050	-0.046	0.044	-0.038	0.003	-0.004	-0.007	-0.027	-0.146	-0.236

表8 制动力作用下计算结果对比

Tab.8 Comparison of the calculated results under the action of braking force

结构层	结构方案	纵向应力/MPa		横向应力/MPa		纵向位移/mm		横向位移/mm		垂向位移/mm	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
轨道板	单元式	0.031	-0.053	-0.027	-0.027	1.576	1.524	0.047	-0.037	-0.155	-0.259
	纵连式	0.196	-0.142	0.083	-0.049	0.236	0.176	0.002	-0.009	-0.185	-0.201
自密实混凝土	单元式	0.297	-0.490	0.153	-0.091	1.591	1.493	0.048	-0.039	-0.155	-0.259
	纵连式	0.208	-0.117	0.058	-0.047	0.237	-0.209	0.001	-0.010	-0.185	-0.200
底座板	单元式	0.200	0.215	0.112	-0.125	0.100	0.077	0.009	-0.008	-0.152	-0.261
	纵连式	0.053	-0.046	0.032	-0.036	0.012	0.007	0.002	-0.002	-0.181	-0.200

由表4可以看出,垂向荷载作用于轨道板端部时,相对于单元式方案,纵连式方案的轨道板纵向拉压应力均有一定增加,自密实混凝土层及底座板的纵向拉压应力增加较为显著,单元式方案的底座板纵向拉应力为0.439 MPa,而纵连式方案的底座板纵向拉应力达到了1.195 MPa.纵连式方案的垂向位移差较单元式方案小,而横向位移差相差并不显著.

垂向荷载作用于轨道板中部时的计算结论与作用于端部时的结论相似.

由表6可以看出,横向荷载作用于轨道板端部时,相对于单元式方案,纵连式方案的纵向应力有较为明显的增加,横向应力变化不显著.纵连式方案各结构层的横、垂向位移差均小于单元式方案,其中轨道板及自密实混凝土层的横向位移降低较为明显.

横向荷载作用于轨道板中部时的计算结论与作用于端部时的结论相似.

由表8可以看出,在制动力作用下,相对于单元式方案,纵连式方案的轨道板纵横向拉压应力均有一定的增长,但本身处于一个较低的量级.自密实混

混凝土层和底座板的纵横向拉压应力相对有所降低,但变化不大.纵连式方案的纵横向位移在制动力作用下明显降低,垂向位移差有减小趋势.

5.3 混凝土收缩作用下计算结果对比

混凝土收缩作用下单元式与纵连式两种方案的计算结果对比见表 9.

表 9 混凝土收缩作用下计算结果对比

Tab.9 Comparison of the calculated results under the action of concrete shrinkage

结构层	结构方案	纵向应力/MPa		横向应力/MPa		纵向位移/mm		横向位移/mm		垂向位移/mm	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
轨道板	单元式	0.083	-0.006	0.042	-0.491	0.302	-0.309	0.126	-0.132	-0.200	-0.278
	纵连式	1.877	1.524	0.741	-0.166	0.033	-0.264	0.146	-0.142	-0.213	-0.278
自密实混凝土	单元式	0.092	-0.072	0.089	0.001	0.301	-0.307	0.124	-0.130	-0.189	-0.267
	纵连式	1.896	-0.270	0.741	-0.238	0.035	-0.266	0.145	-0.141	-0.190	-0.265
底座板	单元式	0.505	-0.001	0.100	-0.075	0.519	-0.518	0.161	-0.161	-0.151	-0.256
	纵连式	3.914	0.298	0.370	-0.483	0.054	-0.064	0.187	-0.188	0.054	-0.064

由表 9 可以看出,在混凝土收缩作用下,相对于单元式方案,纵连式方案的纵横向拉压应力均有明显增加,尤其是其纵向拉应力的增加最为显著.单元式方案的轨道板拉应力为 0.083 MPa,底座板拉应力为 0.505 MPa,而纵连式方案的拉应力分别为

1.877 MPa 和 3.914 MPa,底座板的拉应力超出了其所能承受的拉应力限值.

5.4 基础沉降变形作用下计算结果对比

基础沉降变形作用下单元式与纵连式两种方案的计算结果对比见表 10.

表 10 基础沉降变形作用下计算结果对比

Tab.10 Comparison of the calculated results under the action of foundation settlement deformation

结构层	结构方案	纵向应力/MPa		横向应力/MPa		纵向位移/mm		横向位移/mm		垂向位移/mm	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
轨道板	单元式	0.698	-0.970	0.183	-0.189	0.256	-0.235	0.016	-0.020	-7.120	-15.000
	纵连式	0.500	-0.564	0.138	-0.168	0.115	-0.114	0.012	-0.021	-10.534	-15.018
自密实混凝土	单元式	2.662	-0.043	0.596	-0.205	0.645	-0.535	0.018	-0.015	-7.119	-15.000
	纵连式	1.896	0.097	0.439	-0.126	0.332	-0.322	0.009	-0.018	-10.531	-15.018
底座板	单元式	1.256	-1.641	0.248	-0.356	0.288	-0.393	0.005	-0.004	-7.049	-15.000
	纵连式	0.742	-1.173	0.171	-0.210	0.263	-0.263	0.004	-0.005	-10.528	-15.005

由表 10 可以看出,在基础沉降变形作用下,相对于单元式方案,纵连后各结构层纵向拉压应力均有明显的降低,其中自密实混凝土层纵向拉应力由 2.662 MPa 减小为 1.896 MPa,底座板纵向拉应力由 1.256 MPa 减小为 0.742 MPa.横向拉压应力也有不同程度的降低.纵连后各结构层纵横向位移有所降低,垂向位移差较单元式方案有所减小.

6 结论及建议

(1) 在整体温度荷载作用下,相对于单元式方案,纵连式方案的纵横向应力值均有明显增大.在温度梯度荷载作用下,除了底座板由于隔离层降低了上下层之间的相互作用造成其单元式和纵连式方案的差别相对较小,轨道板和自密实混凝土层的应力

均有明显增大趋势.因此,对于严寒地区,考虑到整体温度和温度梯度荷载的影响均较大,建议采用单元式的设计方案.

(2) 在列车荷载作用下,相对于单元式方案,纵连式方案的各项应力值均有所增加.其中,在垂向荷载作用下,自密实混凝土层及底座板的纵向拉应力增加最为显著.由于较大的应力可能造成无砟轨道结构的破坏,从维修的角度考虑,建议采用单元式的设计方案.

(3) 在混凝土收缩作用下,相对于单元式方案,纵连式方案的多项应力增加明显.由于底座板采用了弹性模量较大的混凝土材料,其最大拉应力增加至 3.9 MPa 左右,已超出了其所能承受的拉应力限值.因此,不建议采用纵连式的设计方案.

(4) 在基础沉降变形作用下,相对于单元式方

案,纵连式方案的各项应力均有不同程度的降低,各项位移量也有所下降。因此,在地质条件极端不利、基础沉降较为明显的地段也可以采用纵连式的设计方案,以减少沉降变形对无砟轨道结构的不利影响。

根据以上结论,对于严寒地区,考虑到温度荷载的影响较大,以及轨道的可维修性,建议路基上的CRTSⅢ型板式无砟轨道结构采用单元式的设计方案。

参考文献:

- [1] 朱高明. CRTS I 型板式无砟轨道施工工艺研究[J]. 铁道标准设计, 2009(11): 31.
ZHU Gaoming. Research on construction technology of CRTS I slab ballastless track [J]. Railway Standard Design, 2009(11): 31.
- [2] 王继军, 尤瑞林, 王梦, 等. 单元板式无砟轨道结构轨道板温度翘曲变形研究[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(3): 9.
WANG Jijun, YOU Ruilin, WANG Meng, et al. Research on the slab temperature warping of the unit slab track system [J]. China Railway Science, 2010, 31(3): 9.
- [3] 胡华锋, 邵丕彦, 李海燕. 严寒地区水泥乳化沥青砂浆的低温性能及疲劳性能试验研究[J]. 中国铁道科学, 2011, 32(4): 1.
HU Huafeng, SHAO Piyan, LI Haiyan. Experimental study on the low temperature property and fatigue property of cement-emulsified asphalt mortar used in severe cold region [J]. China Railway Science, 2011, 32(4): 1.
- [4] 林红松, 刘学毅, 杨荣山. 大跨桥上纵连板式轨道受压稳定性[J]. 西南交通大学学报, 2008, 43(5): 673.
LIN Hongsong, LIU Xueyi, YANG Rongshan. Compressive stability of continuous-slab-track on long-span bridge [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2008, 43(5): 673.
- [5] 徐锡江. 大跨桥上纵连板式轨道断板力计算研究[J]. 四川建筑, 2010(2): 134.
XU Xijiang. Research on the slab breaking force of longitudinal connected slab track on long-span bridge [J]. Sichuan Architectural, 2010(2): 134.
- [6] 刘磊. CRTS II 型板式无砟轨道底座板滑动层起拱原因与对策分析[J]. 企业技术开发, 2011, 30(10): 131.
LIU Lei. Analysis of cause and treatment measure of bed plate sliding layer upwarp of CRTS II slab ballastless track [J]. Enterprise Technology Development, 2011, 30(10): 131.
- [7] 刘振民, 钱振地, 张雷. 双块式无砟轨道道床板混凝土裂缝的分析与防治[J]. 铁道建筑, 2007(6): 99.
LIU Zhenmin, QIAN Zhendi, ZHANG Lei. Analysis and prevention of bed slab concrete crack of double-block ballastless track [J]. Railway Engineering, 2007(6): 99.
- [8] 赵坪锐, 刘学毅. 双块式无砟轨道开裂支承层的折减弹性模量[J]. 西南交通大学学报, 2008, 43(4): 459.
ZHAO Pingrui, LIU Xueyi. Reduced elastic modulus of cracked support layer in twin-block ballastless track [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2008, 43(4): 459.
- [9] 周会学. 高速铁路双块式无砟轨道道床板裂缝成因及处理措施[J]. 民营科技, 2011(7): 259.
ZHOU Huixue. Cause and treatment measure of bed slab crack of double-block ballastless track in high-speed railway [J]. Private Science and Technology, 2011(7): 259.
- [10] 中华人民共和国建设部. GB50176—93 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
Ministry of Construction of the People's Republic of China. GB50176—93 Code for design of civil thermal construction[S]. Beijing: China Planning Press, 1993.
- [11] 中华人民共和国铁道部. TB10621—2009 高速铁路设计规范(试行)[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
Ministry of Railways of People's Republic of China. TB10621—2009 Code for design of high speed railway [S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2009.
- [12] 客运专线无砟轨道技术再创新组. 客运专线无砟轨道设计理论与方法研究[R]. 北京: 客运专线无砟轨道再创新组, 2009.
Further Innovation Group of Technology of Ballastless Track of Passenger Dedicated Line. Analysis on the design theory and method of ballastless track of passenger dedicated line [R]. Beijing: Further Innovation Group of Technology of Ballastless Track of Passenger Dedicated Line, 2009.