

文章编号:1671-1637(2016)01-0055-08

CRTSⅢ型板式无砟轨道底座合理纵连长度计算

蔡小培¹, 赵磊¹, 高亮¹, 钟阳龙¹, LAU Albert²

(1. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044; 2. 挪威科技大学 土木与交通工程系,
南特伦德拉格 特隆赫姆 7491)

摘要:根据路基上CRTSⅢ型板式无砟轨道设计方案,考虑了轨道多层结构间非线性相互作用关系,基于有限元方法建立了不同底座板纵连长度的轨道结构空间耦合模型,计算了轨道结构横向稳定性与整体升降温作用下轨道板、自密实混凝土和底座板的受力与变形,分析了底座板的合理纵连长度。分析结果表明:底座板纵连长度为2块及以上轨道板长度时,可满足结构横向稳定性的要求;在升温45℃荷载作用下,随着底座板长度的增大,轨道板纵向位移线性增大,最大增幅约为58%,但是应力与弯矩变化不明显;自密实混凝土受力与变形的变化幅度较轨道板稍大,最大拉应力为0.949 MPa;在降温40℃荷载作用下,底座板应力受纵连长度的影响显著,当长度达到5块轨道板长度时,其纵向拉应力达到2.67 MPa,接近混凝土容许拉应力。综合考虑横向稳定性与结构强度因素,底座板合理纵连长度应控制在2~5块轨道板长度范围内。

关键词:CRTSⅢ型板式无砟轨道;底座板;纵连长度;结构强度;横向稳定性

中图分类号:U213.213

文献标志码:A

Calculation of reasonable-longitudinal-continuous length for bed plate of CRTSⅢ slab ballastless track

CAI Xiao-pei¹, ZHAO Lei¹, GAO Liang¹, ZHONG Yang-long¹, LAU Albert²

(1. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Department of Civil and Transport Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim 7491, Sør-Trøndelag, Norway)

Abstract: According to the design scheme of CRTSⅢ slab ballastless track on subgrade, the nonlinear interaction between multilayer structures was considered, and the spatial coupled models of track structure with different longitudinal-continuous lengths of bed plate were established based on finite element method. The lateral stability of track structure and the stresses and deformations of slab, self-compacting concrete layer and bed plate under the temperature load were computed, and the reasonable-longitudinal-continuous length of bed plate was analyzed. Analysis result shows that the lateral stability of slab track is satisfied when the continuous length of bed plate is greater than or equal to the connected length of 2 track slabs. Under the condition of temperature increasing 45℃, when the length of bed plate increases, the changes of stress and moment in track slab are not obvious, while the longitudinal displacement linearly increases, and the maximum increasing value is about 58%. For the self-compacting concrete layer, the changes of stress and deformation are more obvious than the values of track slab, and the maximum value of tensile stress is 0.949 MPa. Under the condition of temperature

收稿日期:2015-09-10

基金项目:国家自然科学基金项目(51578053);北京市科技新星计划项目(XX2013012);中国铁路总公司科技研究开发计划项目(2014G001-F)

作者简介:蔡小培(1982-),男,江苏徐州人,北京交通大学副教授,工学博士,从事轨道结构理论与轨道测试技术研究。

decreasing 40 °C, the influence of continuous length on the bed plate stress is obvious. When the continuous length of bed plate reaches the connected length of 5 track slabs, the longitudinal tensile stress of bed plate increases to 2.67 MPa, which is close to the allowable limit of concrete tensile strength. In summary, based on taking into the factors of lateral stability and structural strength, the reasonable-longitudinal-continuous length of bed plate should be the connected length of 2-5 track slabs. 7 tabs, 15 figs, 23 refs.

Key words: CRTSⅢ slab ballastless track; bed plate; longitudinal-continuous length; structural strength; lateral stability

Author resume: CAI Xiao-pei(1982-), male, associate professor, PhD, +86-10-51683893, caixiaopei@126.com.

0 引 言

无砟轨道由于其高平顺性、少维修的特点^[1-3]在国内外高速铁路设计中得到了较广泛的应用,成为高速铁路的主要轨道结构形式^[4-6]。高速铁路发达国家都对无砟轨道开展了研究,并拥有自己的轨道类型^[7-10]。中国在总结现有无砟轨道应用的基础上,自主研发了具有自主知识产权的 CRTSⅢ型板式无砟轨道结构^[11-12]。

路基上 CRTSⅢ型板式无砟轨道的轨道板与自密实混凝土为单元结构,底座板在设计中初步提议为单元式。CRTSⅠ型板式无砟轨道的轨检数据表明,线路存在波长等于底座板长度的周期性不平顺^[13],而 CRTSⅡ型板式无砟轨道则无此明显特征,由此可见底座纵连对保持轨面平顺性具有较明显的优势。但是纵连板在运营阶段,由于异常温差底座板容易出现局部拱起或者裂缝^[14-15],甚至断裂,严重影响轨道系统的稳定性^[16-17]。同时,底座板采用全纵连结构,其自身维修难度大,且耗时较多。基于以上原因,在设计 CRTSⅢ型板式无砟轨道时考虑对底座板进行局部纵连,在有效提高线路平顺性的同时,降低线路运营期间的维修难度。

目前,国内外的研究主要倾向于无砟轨道的设计参数^[5,18-19]与荷载作用下的静动力行为^[20-22]。Steenbergen 等从优化无砟轨道动力性能的角度研究了轨道动刚度与抗弯刚度等关键设计参数^[5];Yen 等基于 ABAQUS 软件开展了无砟轨道参数辨识^[19];Esvelld 等考虑车辆-轨道耦合作用,分析了无砟轨道的动力特性^[20]。CRTSⅢ型板式无砟轨道相关研究主要关注轨道结构方案设计与不同荷载下的结构受力分析^[20,22]。高亮等基于有限元法建立 CRTSⅢ型板式无砟轨道空间耦合有限元分析模型,分析了结构力学特性与底座板限位凹槽设

置^[11];孙璐等分析了 CRTSⅢ型板式无砟轨道结构静力特性,提出了最不利荷载作用位置^[23]。既有研究鲜有针对底座板纵连及区域纵连问题进行专项分析。基于以上分析结果,本文分析了多种设计因素对底座板纵连长度的影响,计算了底座板合理的纵连长度。

1 计算模型的建立

路基上 CRTSⅢ型板式无砟轨道(图 1)主要组成部分有钢轨、扣件系统、轨道板、自密实混凝土、隔离层与底座板等^[12]。

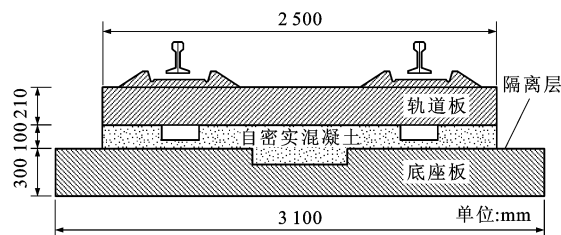


图 1 轨道横断面

Fig. 1 Cross-section of track

1.1 钢轨与扣件系统

钢轨为标准 CHN60 轨,采用实体单元进行模拟,按实际截面尺寸进行建模,两端对称约束,见图 2。扣件为 WJ-8 型,间距为 0.63 m,采用三向弹簧-阻尼单元模拟,横向静刚度为 50 kN · mm⁻¹,垂向静刚度为 35 kN · mm⁻¹。扣件纵向刚度为非线性(图 3),单个扣件提供最大纵向阻力为 9 kN。

1.2 轨道板、自密实混凝土与底座板

轨道板、自密实混凝土采用实体单元建模,轨道板为 C60 混凝土预制板,单块轨道板长度为 5.6 m,宽度为 2.5 m,厚度为 0.21 m。自密实混凝土层厚度为 0.1 m,宽度为 2.5 m,长度与轨道板相同,并在两端设置向下的凸台与底座板相连,凸台四周填充弹性橡胶材料。自密实混凝土与底座板接触水平

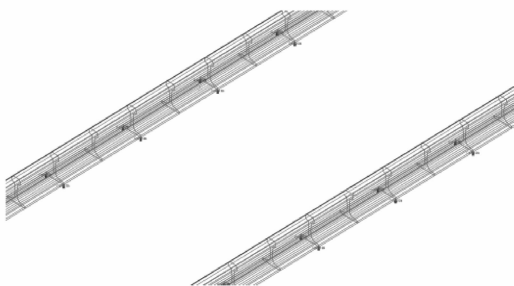


图 2 钢轨有限元模型

Fig. 2 Finite element model of rail

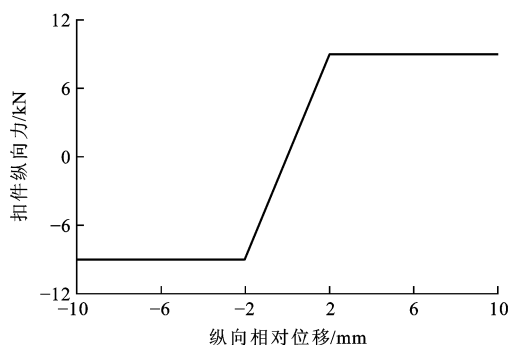


图 3 扣件非线性刚度

Fig. 3 Nonlinear stiffness of fastener

面上设置隔离层,隔离层采用接触单元模拟,滑动摩擦因数取为 0.7。

底座板采用实体单元进行模拟,厚度为 0.3 m,宽度为 3.1 m。路基采用实体单元模拟,根据无砟轨道再创新理论研究成果,底座板底部路基刚度取为 $76 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{-1}$ 。底座板与路基之间采用接触单元模拟,考虑底座板与路基面离缝的最不利情况。接触面摩擦因数按最不利原则取为 0.5。模型长度取底座板纵连长度。模型两端钢轨、路基的横断面进行对称约束,路基底部完全固结。不同纵连长度底座板分别见图 4、5。

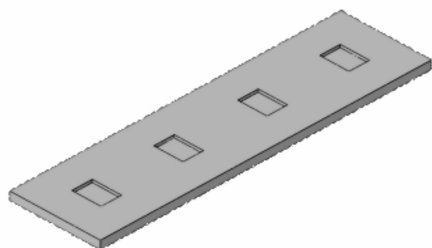


图 4 二块纵连的底座板模型

Fig. 4 Model of bed plate with 2 longitudinally connected track slabs

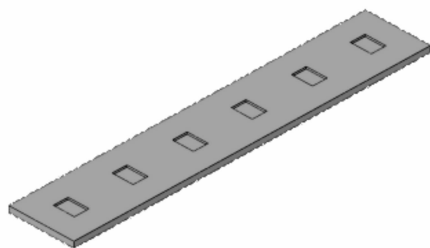


图 5 三块纵连的底座板模型

Fig. 5 Model of bed plate with 3 longitudinally connected track slabs

证,因此,底座板的合理纵连长度应首先保证轨道横向稳定性。

底座板与路基之间的摩擦因数,本文取为 0.5,即横向抵抗力限值是上部结构总体重力的一半。根据无砟轨道再创新理论与《高速铁路设计规范》(TB 10621—2014),横向受力主要包括无缝线路钢轨横向力 P_s 、车辆横向摇摆力、离心力 P_c 与风力 P_w 等。其中列车横向摇摆力按照上述规范取为 100 kN,其他各荷载计算方法分别为

$$P_s = 4.96 \Delta t FL / R \quad (1)$$

$$P_c = \frac{GV^2}{127R} \quad (2)$$

$$P_w = WA \quad (3)$$

式中: Δt 为钢轨升温幅度,取为 60°C ; F 为钢轨断面面积; L 为轨道长度; R 为最小曲线半径,取为 7 000 m; G 为计算轨道长度上分担的列车重力; V 为行车速度; W 为最大风压强度,按照《铁路桥涵设计基本规范》(TB 10002.1—2005)取为 1 250 Pa; A 为列车受风面积,按照高度为 3 m 的长方带计算。

风力通过列车轮轴作用到轨道上,因此,需要根据轨道长度上所布置的轮轴数量进行换算。按照以上各种荷载计算方法,得到不同纵连长度下横向力计算结果见表 1。从表 1 可见,当底座板长度为 11.34 m 及以上时,横向抵抗力能够满足设计要求,即 2 块轨道板范围内底座板纵连时能够满足横向稳定性要求,此时横向力富余量为 60 kN。横向力计算时仅考虑了底座板底部所能提供的横向约束,并没有考虑钢轨的横向抗弯,将其可作为一定的安全储备。基于表 1 计算结果,本文选取底座板在 2~6 块轨道板范围内纵连及全部纵连共 6 种工况进行对比分析。由于底座板内力产生的主要原因为温度荷载,底座板纵连后应力也主要受温度荷载的影响,因此,本文选取整年升温与降温荷载工况。根据无砟轨道再创新理论与相关研究结果,整体升、降温荷载选取当地年温差并考虑轨道结构的施工温度,

2 最小纵连长度的确定

当底座板纵连长度较短时,由于底座板底部所能承受的横向力较小,其横向稳定性可能得不到保

表 1 底座板纵连长度对轨道横向稳定性影响

Tab. 1 Impact of longitudinal-continuous length for bed plate on lateral stability of track

纵连长度/m	轨道结构 重力/kN	横向最大 抵抗力/kN	无缝线路钢轨 横向力/kN	列车横向 摇摆力/kN	离心力/ kN	风力/ kN	轨道总体 横向受力/kN	富余量/ kN
5.67(1 块)	247	123	2	100	42	41	185	-62
11.34(2 块)	494	247	4	100	42	41	187	60
17.01(3 块)	741	370	6	100	42	41	189	181
22.68(4 块)	988	494	7	100	84	82	273	221
28.35(5 块)	1 234	617	9	100	84	82	275	342
34.02(6 块)	1 481	741	11	100	84	82	277	464
39.69(7 块)	1 728	864	13	100	84	82	279	585

以沈阳市为例,选取最大升温荷载为 45 ℃,最大降温荷载为 40 ℃。

3 整体升温荷载下的计算结果分析

对不同底座板纵连长度下的轨道结构进行整体升温加载,其内力与变形计算结果见表 2~4,正应力为拉应力,负应力为压应力,垂向位移的正和负分别表示向上和向下,纵横向位移的正和负表示正、反向,位移差为两方向位移的代数差,下表皆同。

由 2 可以看出,随着底座板纵连长度的增大,轨道板纵、横向应力及其变化量均较小。纵向拉应力为 0.013~0.016 MPa,纵向压应力为 0.450~0.557 MPa;横向拉应力为 0.120~0.145 MPa,横向压应力为 0.130~0.146 MPa。当纵连长度由 2 块

增加到 4 块轨道板时,轨道板位移增加明显;当纵连长度由 4 块增加至 6 块时,轨底板位移逐渐趋于稳定。当底座板全纵连时,轨底板位移下降。

在整体升温荷载下,轨道板内力均为轴向压力,随着纵连长度的增大而增大,见图 6。在 4 块纵连后增加趋势逐渐减缓,轨道板轴力稳定在 280 kN 左右。随着底座纵连长度的增大,轨道板附加弯矩均有一定程度的增大,但增大幅度均未超过 25%。图 7 分别为 2 块与 6 块纵连时的横向弯矩分布。相对于 2 块纵连工况,当底座板 6 块纵连时,轨道板弯矩较大。底座板两端弯矩较大,中部区域较小。

由表 3 可见,自密实混凝土受力和变形与轨道板相近,变化幅度比轨道板稍大。当底座板纵连长

表 2 升温条件下轨道板受力与变形

Tab. 2 Stresses and deformations of track slabs under heating load

工况	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	轴向力/kN	弯矩/(kN·m)
2 块纵连	0.013/-0.450	0.125/-0.140	1.094/-1.426	0.600/-0.570	0.224/-0.016	0/-226	1.836/-6.246
3 块纵连	0.013/-0.498	0.120/-0.137	1.300/-1.829	0.619/-0.651	0.296/-0.002	0/-250	1.719/-6.720
4 块纵连	0.015/-0.553	0.129/-0.144	1.617/-1.394	0.758/-0.612	0.350/-0.006	0/-277	1.911/-7.611
5 块纵连	0.016/-0.553	0.130/-0.145	1.701/-1.513	0.866/-0.594	0.372/-0.004	0/-280	1.947/-7.562
6 块纵连	0.016/-0.557	0.131/-0.146	1.725/-1.631	0.699/-0.598	0.374/-0.003	0/-281	2.135/-7.635
全纵连	0.013/-0.494	0.145/-0.130	1.272/-1.276	0.589/-0.618	0.278/-0.020	0/-248	2.270/-6.813

表 3 升温条件下自密实混凝土受力与变形

Tab. 3 Stresses and deformations of self-compacting concretes under heating load

工况	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	轴向力/kN	弯矩/(kN·m)
2 块纵连	0.357/-0.319	0.154/-0.167	1.054/-1.488	0.594/-0.564	0.188/-0.060	38.3/-78.6	0.000/-1.151
3 块纵连	0.714/-0.390	0.165/-0.279	1.319/-1.844	0.618/-0.649	0.247/-0.072	45.9/-91.1	0.000/-1.371
4 块纵连	0.902/-0.701	0.179/-0.228	1.634/-1.412	0.756/-0.610	0.302/-0.078	55.8/-100.5	0.000/-1.955
5 块纵连	0.885/-0.521	0.206/-0.317	1.721/-1.530	0.864/-0.572	0.323/-0.076	56.7/-104.2	0.100/-1.422
6 块纵连	0.949/-0.805	0.181/-0.355	1.745/-1.645	0.698/-0.596	0.326/-0.073	56.9/-109.0	0.200/-1.420
全纵连	0.320/-0.737	0.054/-0.490	1.288/-1.291	0.586/-0.616	0.229/-0.040	47.9/-121.3	0.200/-1.297

表 4 升温条件下底座板受力与变形
Tab. 4 Stresses and deformations of bed plates under heating load

工况	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	轴向力/kN	弯矩/(kN·m)
2 块纵连	0.207/-2.255	0.150/-0.417	2.378/-2.379	0.718/-0.717	0.064/-0.554	0/-1 492	30.010/-4.404
3 块纵连	0.303/-4.600	0.399/-0.459	3.220/-3.249	0.732/-0.730	0.083/-0.740	0/-2 950	40.630/-8.846
4 块纵连	0.311/-6.975	0.734/-0.573	3.829/-3.834	0.746/-0.745	0.102/-0.863	0/-4 515	47.870/-14.810
5 块纵连	0.375/-9.257	1.032/-0.696	4.213/-4.225	0.760/-0.759	0.112/-0.949	0/-5 955	52.590/-20.170
6 块纵连	0.399/-11.071	1.300/-0.813	4.462/-4.468	0.772/-0.772	0.116/-1.001	0/-7 149	55.450/-25.410
全纵连	0.000/-17.880	2.236/-1.412	0.288/-0.287	0.821/-0.820	0.172/-0.441	0/-11 530	60.340/-43.680

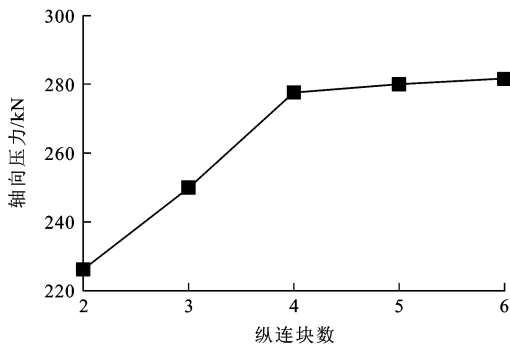


图 6 轨道板轴向压力

Fig. 6 Axial compressive force of track slab

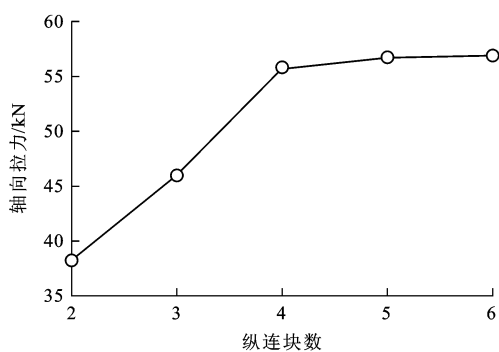


图 8 自密实混凝土轴向拉力

Fig. 8 Axial tensile force of self-compacting concrete

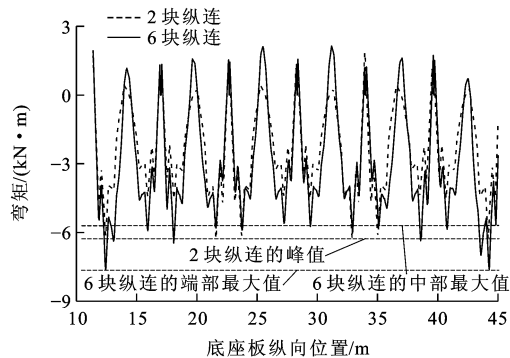


图 7 不同纵连长度下轨道板横向弯矩曲线

Fig. 7 Transverse moment curves of track slab in different longitudinal-continuous lengths

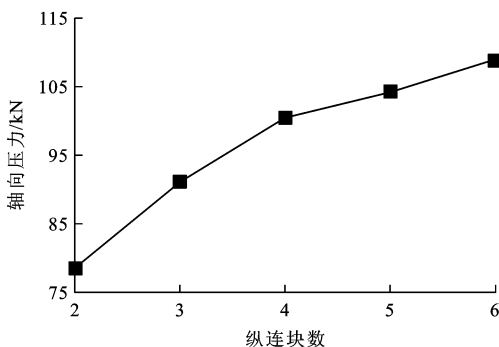


图 9 自密实混凝土轴向压力

Fig. 9 Axial compressive force of self-compacting concrete

度由 2 块增加至 6 块时,自密实混凝土纵向压应力从 0.319 MPa 增大到 0.805 MPa,增幅达 152%;当全部纵连时,自密实混凝土纵、横向拉应力均小于部分纵连工况。最大拉应力仅为 0.949 MPa,远小于结构容许拉应力。自密实混凝土轴向力随着底座板纵连长度增加呈增长趋势,并在 4 块纵连后逐渐趋于稳定,轴向拉力逐渐稳定在 55~60 kN,轴向压力逐渐稳定在 100~120 kN,分别见图 8、9。

由表 4 可见,随着自身纵连长度的增大,底座板受力与变形变化均较为明显。底座板纵向压应力变化趋势受轴向力影响,增加趋势较拉应力更明显,分别见图 10、11。当底座长度由 2 块纵连增加至 6 块

纵连时,底座纵向压应力从 2.255 MPa 增大到 11.071 MPa,增幅达 390%;底座板横向拉、压应力处于较低水平,但增加幅度明显。全纵连时,纵向基本无拉应力出现,底座全截面受压,压应力远小于抗压强度限值。纵连后底座板压应力最大,这与设计经验吻合。在本文计算模型中,6 块轨道板纵连也未能使底座板出现固定区,底座板轴向力峰值与固定区轴向力仍有一定差距。

图 12、13 分别为 2、3 块纵连工况的底座板横向弯矩。弯矩最大值位于底座板端部区域,在底座中间区域由于轨道板、自密实混凝土层的荷载传递而出现一定的弯矩峰值。相对于 2 块纵连工况,3 块纵连工况下底座板的横向弯矩明显增大,由 30.010 kN·m 增大到 40.630 kN·m。由表 4 可见,随着底座板

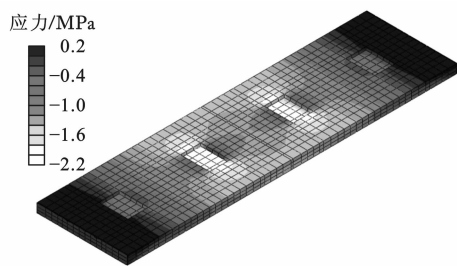


图 10 二块纵连的底座板纵向应力

Fig. 10 Longitudinal stress of bed plate with 2 longitudinally connected track slabs

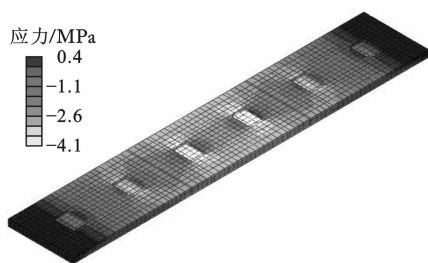


图 11 三块纵连的底座板纵向应力

Fig. 11 Longitudinal stress of bed plate with 3 longitudinally connected track slabs

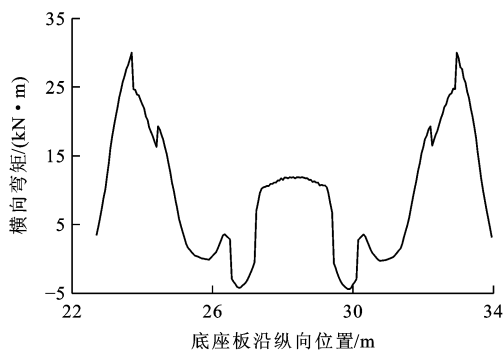


图 12 二块纵连的底座板横向弯矩

Fig. 12 Transverse moment of bed plate with 2 longitudinally connected track slabs

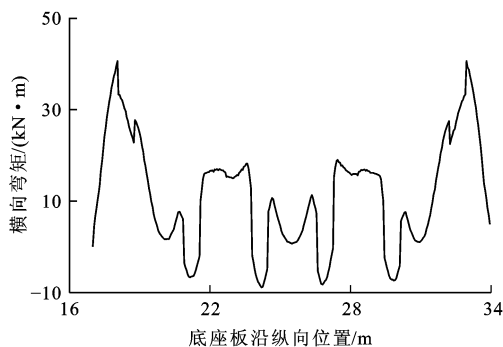


图 13 三块纵连的底座板横向弯矩

Fig. 13 Transverse moment of bed plate with 3 longitudinally connected track slabs

纵连长度的增大,其弯矩不断增大;全部纵连时,弯矩达到最大值。

4 整体降温荷载下的计算结果分析

在整体降温时,对于未进行预应力配筋的纵连结构,考虑一定的刚度折减,采用无砟轨道再创新理论中的刚度折减,为

$$E_r = \begin{cases} E_c(1 + n\rho) & \Delta T < \frac{f_t}{E_c\alpha} \\ \frac{f_t}{\alpha\Delta T} & \Delta T \geq \frac{f_t}{E_c\alpha} \end{cases} \quad (4)$$

式中: E_r 为折减弹性模量; E_c 为初始混凝土弹性模量; n 为钢筋弹性模量与混凝土变形模量之比; ρ 为配筋率; f_t 为混凝土抗拉强度; α 为混凝土线膨胀系数; ΔT 为降温幅度。

对应降温幅度下折减弹性模量 E_r 的取值见图 14,根据降温 40℃时底座板的换算弹性模量,计算不同底座板纵连长度时轨道结构的受力情况。在整体降温条件下,轨道板、自密实混凝土和底座板的受力与变形计算结果分别见表 5~7。

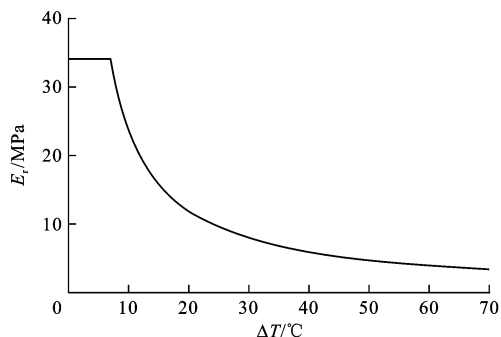


图 14 折减弹性模量与降温幅度的关系

Fig. 14 Relation of reduction elastic modulus and decreased magnitude of temperature

由表 5 可以看出,随着底座板纵连长度的增大,轨道板纵、横向应力有增大的趋势,但增大幅度不大,纵横向应力最大增幅约为 10%。在不同纵连工况下,轨道板纵向位移为 1.09~1.22 mm,横向位移为 0.51~0.57 mm,随底座纵连长度变化不明显。在降温条件下,轨道板弯矩为 2.1~3.2 kN·m,量值较小。

由表 6 可见,随着底座板纵连长度的增大,自密实混凝土受力与变形计算结果变化不明显。在不同纵连工况下,自密实混凝土纵向拉应力为 0.250~0.261 MPa,横向拉应力为 0.171~0.213 MPa,纵、横向压应力也均较小,均远小于自密实混凝土的容许应力。当整体降温荷载作用时,结构纵、横、垂向位移及弯矩变化较小。总体而言,底座板纵连长度的变化对自密实混凝土的受力与变形影响不大。

表 5 降温条件下轨道板受力与变形
Tab. 5 Stresses and deformations of track slabs under cooling load

工况	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	轴力/kN	弯矩/(kN·m)
2 块纵连	0.319/−0.014	0.135/−0.128	1.143/−1.145	0.510/−0.531	0.000/−0.606	156.0/−6.1	2.460/−2.110
3 块纵连	0.324/−0.022	0.140/−0.129	1.147/−1.090	0.547/−0.545	0.000/−0.615	156.2/−5.4	2.670/−2.060
4 块纵连	0.329/−0.021	0.142/−0.133	1.159/−1.218	0.547/−0.552	0.000/−0.621	164.3/−5.4	2.962/−2.060
5 块纵连	0.332/−0.020	0.142/−0.135	1.188/−1.221	0.543/−0.572	0.000/−0.625	165.8/−5.4	3.102/−2.090
6 块纵连	0.336/−0.020	0.142/−0.135	1.199/−1.214	0.544/−0.553	0.000/−0.625	222.6/−8.0	3.150/−2.110
全纵连	0.347/−0.004	0.104/−0.137	1.092/−1.074	0.546/−0.527	0.000/−0.630	173.9/−0.1	3.263/−1.850

表 6 降温条件下自密实混凝土受力与变形
Tab. 6 Stresses and deformations of self-compacting concretes under cooling load

工况	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	轴力/kN	弯矩/(kN·m)
2 块纵连	0.250/−0.156	0.193/−0.009	1.138/−1.138	0.497/−0.520	0.000/−0.564	60.2/−0.1	0.9/−0.1
3 块纵连	0.250/−0.247	0.194/−0.042	1.147/−1.183	0.545/−0.532	0.000/−0.573	60.1/−3.2	0.9/−0.1
4 块纵连	0.261/−0.264	0.212/−0.053	1.154/−1.209	0.536/−0.541	0.000/−0.579	62.8/−3.0	1.1/−0.1
5 块纵连	0.258/−0.225	0.210/−0.043	1.182/−1.210	0.534/−0.559	0.000/−0.583	62.1/−2.7	0.9/−0.1
6 块纵连	0.259/−0.219	0.213/−0.030	1.193/−1.205	0.536/−0.539	0.000/−0.584	62.2/−2.6	0.9/−0.1
全纵连	0.259/−0.227	0.171/0.000	1.117/−1.100	0.538/−0.523	0.000/−0.588	62.2/−2.6	0.9/−0.1

表 7 降温条件下底座板受力与变形
Tab. 7 Stresses and deformations of bed plates under cooling load

工况	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	轴力/kN	弯矩/(kN·m)
2 块纵连	1.499/−0.005	0.230/−0.079	1.482/−1.480	0.698/−0.701	0.018/−0.516	820.0/0.0	1.380/−6.160
3 块纵连	2.138/−0.006	0.290/−0.128	1.644/−1.616	0.722/−0.722	0.067/−0.525	1 170.0/0.0	2.031/−6.830
4 块纵连	2.503/−0.006	0.311/−0.161	1.663/−1.663	0.737/−0.737	0.050/−0.533	1 369.0/0.0	2.441/−7.090
5 块纵连	2.666/−0.006	0.327/−0.178	1.676/−1.672	0.746/−0.745	0.054/−0.538	1 462.0/0.0	2.665/−7.240
6 块纵连	2.767/−0.006	0.332/−0.187	1.679/−1.677	0.750/−0.748	0.052/−0.538	1 517.0/0.0	2.728/−7.300
全纵连	3.784/0.000	0.340/−0.195	0.238/−0.234	0.754/−0.752	0.016/−0.545	1 580.0/0.0	2.930/−7.720

由表 7、图 15 可见,在降温荷载作用下,随着纵连长度的增大,底座板纵向拉应力明显增大;纵向压应力与横向应力较小,且变化不大。在 5 块纵连时,底座板纵向拉应力为 2.67 MPa,接近 C40 混凝土容许拉应力;当纵连长度超过 5 块时,底座板纵向拉应力超过混凝土容许应力,后期运营中易出现横向

裂纹与裂缝。

5 结 语

(1)CRTSⅢ型板式无砟轨道底座板纵连长度为 2 块及以上轨道板长度时,能够满足结构横向稳定性的要求。

(2)在升温条件下,底座板纵连长度的增大使得轨道板内力有小幅增大,且在 5、6 块轨道板长度时变化趋于稳定,底座板两端的轨道板受底座板伸缩影响较大。

(3)在温度荷载作用下,自密实混凝土受力与变形随纵连长度变化规律与轨道板基本一致,但由于直接与底座板相接触,其增大幅度较轨道板稍明显。

(4)在升温条件下,随着纵连长度的增大,底座板的内力急剧增大。在降温条件下,底座板纵向应力增大较为明显,底座板纵连长度超过 5 块轨道板长度时,纵向拉应力超出抗拉强度。

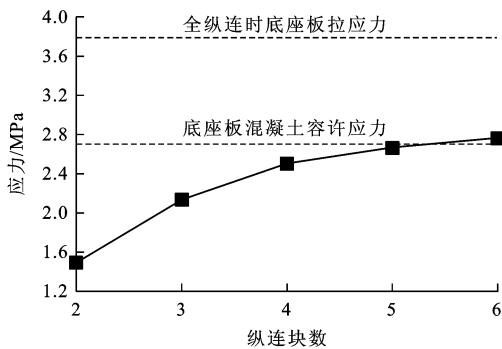


图 15 底座板纵向拉应力增长趋势
Fig. 15 Longitudinal stress's growth trend of bed plate

(5)综合考虑横向稳定性与混凝土结构强度等因素,CRTSⅢ型板式无砟轨道底座板的合理纵连长度应控制在2~5块轨道板长度范围内。

参考文献:

References:

- [1] 何华武. 建立中国高速铁路技术体系的研究[J]. 铁道运输与经济, 2006, 28(12): 1-10.
HE Hua-wu. Research on establishing technical system of China high-speed railways[J]. Railway Transport and Economy, 2006, 28(12): 1-10. (in Chinese)
- [2] 卢祖文. 高速铁路轨道技术综述[J]. 铁道工程学报, 2007, 24(1): 41-54.
LU Zu-wen. Overall comments on track technology of high-speed railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, 24(1): 41-54. (in Chinese)
- [3] ESVELD C. Recent developments in slab track[J]. European Railway Review, 2003, 9(2): 81-85.
- [4] EISENMANN J. Ballastless track as an alternative to ballasted track[J]. Rail International, 1995(11): 19-28.
- [5] STEENBERGEN M J M M, METRIKINE A V, ESVELD C. Assessment of design parameters of a slab track railway system from a dynamic viewpoint[J]. Journal of Sound and Vibration, 2007, 306(1/2): 361-371.
- [6] ANDO K, SUNAGA M, AOKI H, et al. Development of slab tracks for Hokuriku Shinkansen Line[J]. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, 2001, 42(1): 35-41.
- [7] BACHMANN H, MOHR W, KOWALSKI M. The RHEDA 2000: ballastless track system[J]. European Railway Review, 2003, 9(1): 44-51.
- [8] FREUDENSTEIN S. RHEDA 2000: ballastless track systems for high-speed rail applications[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2010, 11(4): 293-300.
- [9] 朱高明. 国内外无砟轨道的研究与应用综述[J]. 铁道工程学报, 2008, 25(7): 28-30.
ZHU Gao-ming. Overall comments on study and application of ballastless track at home and abroad[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008, 25(7): 28-30. (in Chinese)
- [10] BASTIN R. Development of German non-ballasted track forms[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers—Transport, 2006, 159(1): 25-39.
- [11] 高亮, 赵磊, 曲村, 等. 路基上CRTSⅢ型板式无砟轨道设计方案比较分析[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2013, 41(6): 848-855.
GAO Liang, ZHAO Lei, QU Cun, et al. Analysis on design scheme of CRTSⅢ slab track structure on roadbed[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2013, 41(6): 848-855. (in Chinese)
- [12] ZHU Kun-teng, ZENG Zhi-ping, WU Bin, et al. Study on the basic mechanical characteristics of CRTSⅢ slab ballastless track[C]//LIU Chang, CHANG Gui-ran, LUO Zhen. 2015 International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial, and Control Engineering. Paris: Atlantis Press, 2015: 1475-1478.
- [13] 康熊, 刘秀波, 李红艳, 等. 高速铁路无砟轨道不平顺谱[J]. 中国科学: 技术科学, 2014, 44(7): 687-696.
KANG Xiong, LIU Xiu-bo, LI Hong-yan, et al. PSD of ballastless track irregularities of high-speed railway[J]. Science China: Technological Sciences, 2014, 44(7): 687-696. (in Chinese)
- [14] ZHAO Ping-rui, LIU Xue-yi, LIU Guan. Experimental study of temperature gradient in track slab under outdoor conditions in Chengdu area[J]. Journal of Modern Transportation, 2014, 22(3): 148-155.
- [15] ZHAO Chun-fa, SONG Xiao-lin, ZHU Xiao-jia. Temperature deformation analysis of CRTS II ballastless slab track[C]//American Society of Mechanical Engineers. Proceedings of the Joint Rail Conference. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2013: 1-6.
- [16] 陈小平, 王芳芳, 赵才友. 纵连底座板断裂对桥上CRTSⅡ型板式无砟轨道受力的影响[J]. 交通运输工程学报, 2014, 14(4): 25-35.
CHEN Xiao-ping, WANG Fang-fang, ZHAO Cai-you. Fracture influence of longitudinal-continuous base layer on force characteristics of CRTSⅡ slab ballastless track on bridge[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014, 14(4): 25-35. (in Chinese)
- [17] ZHU Sheng-yang, CAI Cheng-biao. Interface damage and its effect on vibration of slab track under temperature and vehicle dynamic loads[J]. International Journal of Non-Linear Mechanics, 2014, 58: 222-232.
- [18] LIU Xue-yi, ZHAO Ping-rui, DAI Feng. Advances in design theories of high-speed railway ballastless tracks[J]. Journal of Modern Transportation, 2011, 19(3): 154-162.
- [19] YEN S T, LEE Y H. Parameter identification and analysis of a slab track system using 3D ABAQUS program[J]. Journal of Transportation Engineering, 2007, 133(5): 288-297.
- [20] ESVELD C, MARKINE V. Assessment of high-speed slab track design[J]. European Railway Review, 2006, 12(6): 55-62.
- [21] WANG Fa-zhou, LIU Zhi-chao, WANG Tao, et al. A novel method to evaluate the setting process of cement and asphalt emulsion in CA mortar[J]. Materials and Structures, 2008, 41(4): 643-647.
- [22] LEI Xiao-yan, ZHANG Bin. Analysis of dynamic behavior for slab track of high-speed railway based on vehicle and track elements[J]. Journal of Transportation Engineering, 2015, 137(4): 227-240.
- [23] 孙璐, 段雨芬, 杨薪. 高速铁路CRTSⅢ型板式无砟轨道结构受力特性研究[J]. 铁道工程学报, 2013, 30(11): 32-39.
SUN Lu, DUAN Yu-fen, YANG Xin. Static response analysis of CRTSⅢ ballastless track structure[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2013, 30(11): 32-39. (in Chinese)