

运营高铁无砟轨道临时支撑系统研究

倪国章

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要: 为保障运营高铁无砟轨道维护施工过程中列车运营安全,设计一种临时支撑系统。该临时支撑系统由 WJ-7 型扣件系统、钢垫板支承层、填充找平层和锚固系统组成,利用数值模拟受力分析和顶推试验,对支撑系统的结构稳定性进行计算分析和模拟。研究结果表明,在 51 kN 横向顶推作用下,支撑系统变形量小于 2 mm。在无砟轨道变形整治工程中,应用该支撑系统代替既有轨枕承载。监测结果表明,该支撑系统能够有效保持施工过程中轨道几何尺寸稳定。

关键词: 高速铁路; 无砟轨道; 支撑系统; 变形量; 轨枕

中图分类号: U216.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)11-0247-06

高铁作为一种高效、舒适、安全、环保的出行方式,越来越受到欢迎,成为人们主要出行方式之一^[1]。无砟轨道结构以其高平顺性、高稳定性、高耐久性等优点在高速铁路中得到广泛应用^[2-3]。在高铁运营过程中,由于受到地质条件变化、周边工程建设、极端自然环境等各种外界不良因素影响,导致无砟轨道出现开裂、破损、变形等病害^[4-5]。这些病害产生后,需要及时对病害部位进行整治处理,如将开裂伤损的无砟轨枕、道床破除,然后重新浇筑进行恢复。为保证施工过程中,列车能够正常开通运行,需要在伤损修复部位加装临时支撑代替伤损的道床和轨枕进行承载。

高铁对轨道平顺性和几何尺寸控制要求高^[6-7],无砟轨道铺设时需要经过多轮的精调定位,以确保其铺设施工精度满足轨道几何形位允许偏差^[8-9]。支撑系统作为直接承受钢轨载荷的基础,保证临时支撑系统的安装精度、结构稳定性满足要求,尤其对于双块式无砟轨道现场浇筑道床结构,道床表面设置有排水坡,且表面不平整,保证安装的临时支撑能够与现浇道床表面密贴,保持受力均匀,并且保持支撑系统上扣件系统的坡度满足要求是一个技术难题。潘自立等^[10]采用钢调高垫板和 WJ-7 型扣件配合使用制作无砟轨道钢制承轨台,用于轨道拨接施工承载。但是该种临时支撑结构只能整体调高或调低,不具备调节找平或者调坡功能,导致支撑结构的支撑面和

道床面不贴合,支撑结构上的扣件坡度难以控制,因此不适用现浇无砟轨道结构。

本文结合无砟轨道结构特点,尤其是针对双块式无砟轨道现浇道床,研究设计一种新型的临时支撑系统。该支撑系统包含 WJ-7 型过渡扣件、钢垫板支承层、填充找平层,通过受力计算分析、模拟试验以及工程应用对临时支撑系统的结构稳定性、安装精度、几何尺寸保持效果等进行试验研究。

1 支撑系统结构设计

支撑结构包含 4 个部分,如图 1 所示,从上到下依次为 WJ-7 扣件系统、钢垫板支撑层、填充找平层、锚固系统。

(1)过渡扣件系统采用 WJ-7 型标准扣件,两固定孔中心间距 382 mm。与扣件连接固定的圆孔直径 55 mm,螺孔直径 30.5 mm。

(2)钢垫板采用宽 210 mm,厚度 20 mm 实心钢

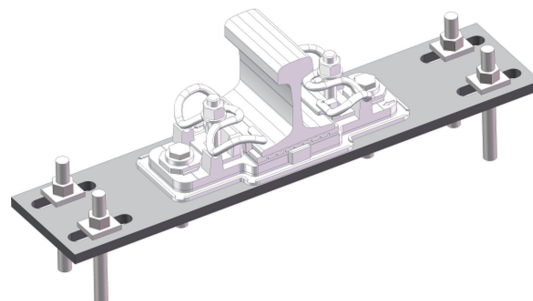


图 1 支撑系统结构

收稿日期: 2024-03-04

基金项目: 中国铁建股份有限公司科研计划项目(17-C39)

作者简介: 倪国章(1989—),男,河南信阳人,硕士,工程师,研究方向为运营高铁工程运维修复技术。

板,钢材料选择 Q345。

(3)锚固螺杆采用直径 24 mm,8.8 级高强度,六角螺母两平角距离 35 mm,螺母厚度 21 mm,竖向固定螺杆长度 300 mm。

(4)竖直方向对应紧挨小垫块长 100 mm,宽 50 mm,厚 10 mm,螺孔直径 26 mm。

2 理论计算与模拟试验

2.1 理论计算

根据我国《高速铁路设计规范》(TB 10621—2014)相关规定,作用于钢轨上的列车横向荷载为 $0.8P$, P 为静轮载,取 85 kN。考虑荷载分配系数,计算单个挡肩承受的横向荷载^[11-12]。

$$Q = 0.8P \times 0.5 \quad (1)$$

式中: Q 为挡肩横向荷载,kN; P 为静轮载,kN。

计算得到横向荷载为 34 kN,横向荷载检算中,考虑 1.5 倍的增加系数,以保证在可能出现的附加动荷载效应及其他不利条件下的安全冗余,在此条件下挡肩横向荷载 $Q=51$ kN。

将螺母与螺杆、螺母与小垫块、小垫块与钢垫梁表面接触设置为绑定。施加 51 kN 横向的推力,同时考虑钢垫梁自身重力。钢垫梁与道床板接触部分设置竖向约束,竖向螺杆与道床板接触表面施加固定约束。

应力位移云图如图 2 所示,最大位移为 0.05 mm,主要发生在 X 轴方向(水平横向),且最大变形发生在螺杆上部。

2.2 顶推模拟试验

选择 20 m 长双块式无砟轨道,安装支撑系统,

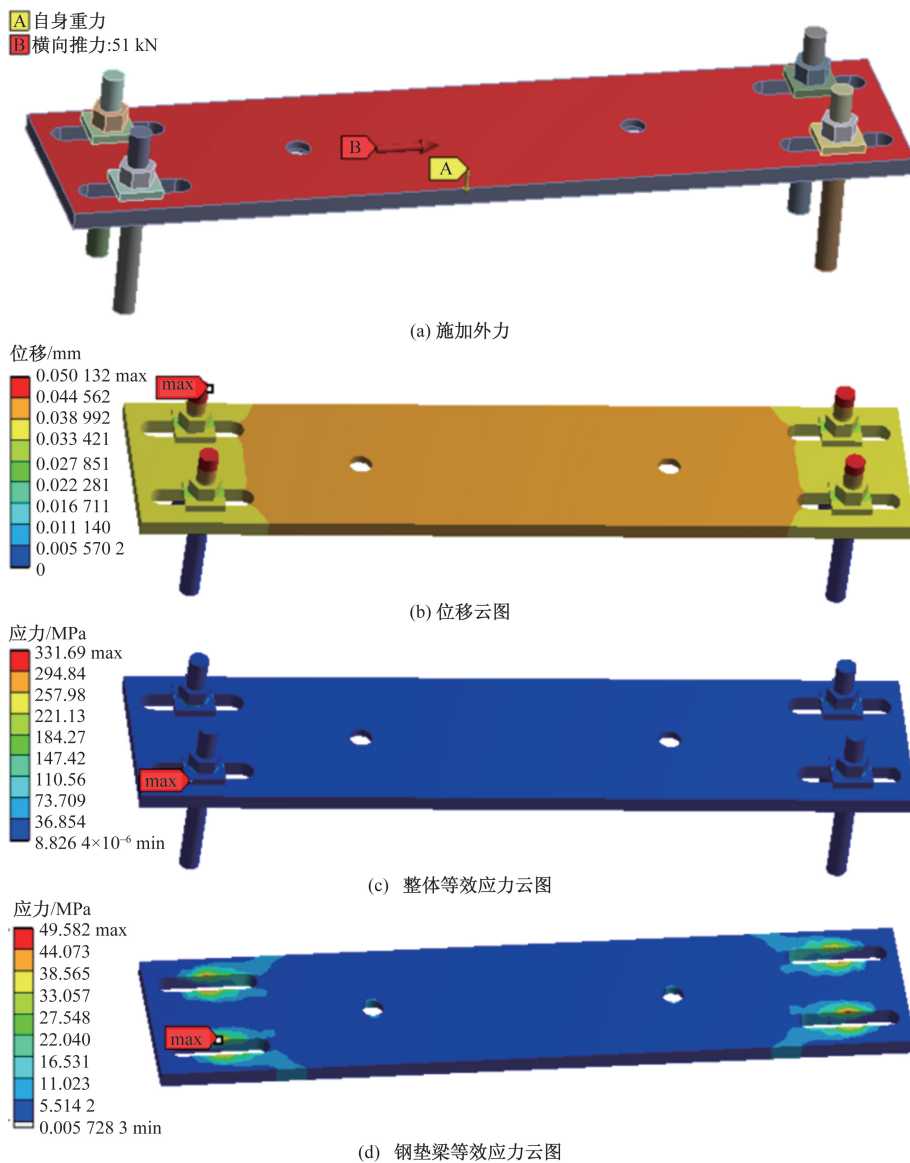


图2 模拟计算分析结果

然后拆除对应既有轨枕扣件,然后由 0、10、20、30、40、51 kN 逐级增加载荷对钢轨施加横向顶推力,记录钢轨横向变形量和加载力的关系,如图 3 所示。

变形量变化曲线如图 4 所示,随着加载力的逐级增加,钢轨横向变形量逐渐增大,当将加载力增加至 51 kN,对应的变形量为 1.25 mm,满足《高速铁路工程动态验收技术规范》(TB 10761—2013)最大允许值 2 mm 的技术要求。



图 3 横向加载顶推模拟试验

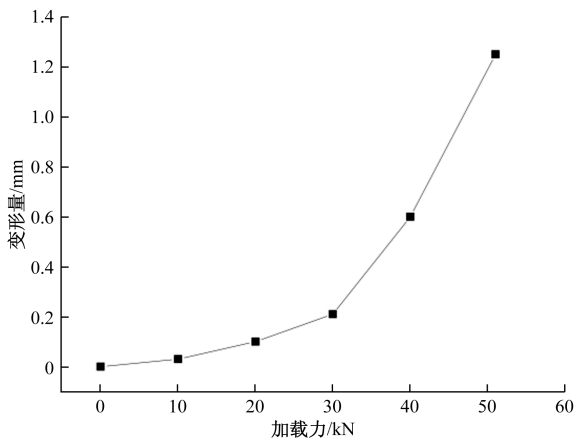


图 4 钢轨横向变形量与加载力的关系

3 工程应用

3.1 工程概况

贵广高铁提质改造工程洛香隧道变形整治项目,作业里程范围 K284~K285,区间铺设 CRTS I 型双块式无砟轨道,由 60 kg/m 钢轨、WJ-7 扣件、双块式轨枕、道床板等组成。由于受到复杂环境因素影响,导致隧道内无砟轨道发生变形,影响线路的平顺性和列车运行的速度,采用无砟轨道凿除重构技术进行修复处理。为保障施工过程中列车运行安全,维护施工过程中采用临时支撑系统代替既有轨枕进行承载。

3.2 临时支撑系统安装

由于该线路为双块式无砟轨道,道床为现场浇筑,道床上表面设置有排水坡并且不平整,为保障临时支撑结构能够完全代替既有轨枕承载,既能够保持钢轨 1/40 的轨底坡,又能够和现场浇筑的双块式无砟轨道道床保持密贴,实现下部结构的均匀受力,对支撑系统的安装顺序进行优化改进,在钢垫板下方设置填充找平树脂袋。

首先将钢垫板通过扣件悬吊固定在钢轨上,然后往树脂袋中灌注具有低黏度自流平的填充树脂,树脂袋根据钢垫板支撑层和道床间的间隙大小膨胀,将支撑系统和道床面之间不平整的空隙填充密实,从而实现临时支撑系统的高效高精度安装。临时支撑系统安装步骤如下。

3.2.1 锚固系统施工

临时支撑系统与道床的锚固采用植筋方式施工,根据临时支撑系统钢垫板螺栓孔的位置,在道床上进行孔位布置和钻孔植筋。孔位布置完成后,采用钢筋探测仪探测轨道内部钢筋位置,根据需要适当调整孔位,避免破损轨道结构内部钢筋。

3.2.2 支撑系统安装

在道床上依次铺设填充树脂袋、钢垫板支撑层、WJ-7 型扣件系统,首先拧紧扣件系统螺栓以及扣件系统和钢垫板的连接螺栓,然后利用扣件系统的调高垫板调整钢垫板支撑层和道床面的最大距离在 2 cm 以内,最后利用扣将系统钢垫板悬吊固定在钢轨上,如图 5 所示。



图 5 临时支撑系统安装

3.2.3 填充找平树脂灌注

往钢垫板和道床之间的填充树脂袋中灌注自流平填充树脂,如图 6 所示,树脂袋不断膨胀直至将钢垫板和道床间间隙填充密实,树脂从溢流管中流

出时,停止灌注,等待树脂完全固化后,拧紧钢垫板四角的锚固螺栓,即完成临时支撑系统的安装。

3.3 施工效果

临时支撑系统安装完成后,对临时支撑系统和道床的密贴情况、WJ-7 型扣件系统的轨底坡控制等采用塞尺、坡度仪进行检测,安装效果显示临时支撑系统和钢轨轨底坡度匹配良好,与道床表面完全密贴。安装完成效果如图 7 所示。

临时支撑系统全部安装完成后,拆除既有轨枕扣件,利用临时支撑系统代替既有扣件系统进行承载,在高铁列车运行前后,利用轨道变形监测系统和轨检小车对轨道的几何尺寸进行监测。

钢轨变形监测结果如图 8 所示,列车运行过程中轨道的最大变形量在 2 mm 以内。轨道检测小车

检测结果见表 1,线路开通运行前后,轨道的几何尺寸各项参数保持良好,临时支撑系统能够有效保持列车运营过程中轨道几何尺寸的稳定。



图 7 临时支撑系统安装完成后效果

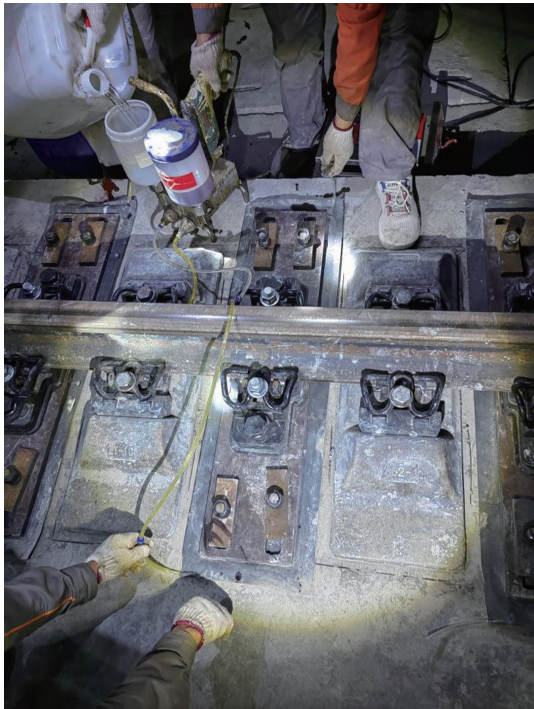


图 6 填充找平层树脂灌注

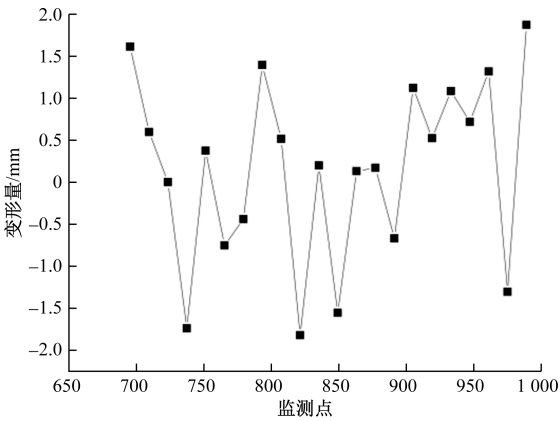


图 8 钢轨变形监测结果

表 1 轨道几何尺寸保持效果对比

作业时间	峰值	轨距偏差/ mm	轨距变化 率/%	水平偏差/ mm	三角坑/ mm	右高低偏 差/mm	右轨向偏 差/mm	左高低偏 差/mm	左轨向偏 差/mm	轨道质量 指数 TQI
施工前	最大值	0.64	0.66	3.33	1.23	1.36	1.63	1.77	1.53	4.99
	最小值	-1.73	-0.7	-0.67	-1.4	-1.01	-1.78	-0.92	-1.51	
施工后	最大值	0.67	0.66	3.36	1.12	1.28	1.55	1.51	1.41	5.26
	最小值	-1.65	-0.65	-0.58	-1.41	-1.47	-1.8	-1.29	-1.42	
施工前	最大值	0.49	0.62	3.19	1.14	1.33	1.54	1.79	1.44	5.02
	最小值	-1.69	-0.64	-0.64	-1.32	-1.19	-1.81	-0.9	-1.38	
施工后	最大值	0.66	1.81	3.22	1.11	3.38	1.62	2.01	1.47	5.24
	最小值	-1.69	-1.53	-2.1	-1.83	-1.22	-1.83	-0.86	-1.46	

续表

作业时间	峰值	轨距偏差/ mm	轨距变化 率/‰	水平偏差/ mm	三角坑/ mm	右高低偏 差/mm	右轨向偏 差/mm	左高低偏 差/mm	左轨向偏 差/mm	轨道质量 指数 TQI
施工前	最大值	0.34	0.62	3.25	1.08	3.11	1.57	1.87	1.46	5.11
	最小值	-1.74	-0.72	-0.75	-1.59	-1.2	-1.78	-0.84	-1.33	
施工后	最大值	0.66	1.81	3.22	1.11	3.38	1.62	2.01	1.47	5.24
	最小值	-1.69	-1.53	-2.1	-1.83	-1.22	-1.83	-0.86	-1.46	
施工前	最大值	0.66	0.57	3.28	1.06	3.29	1.58	1.79	1.43	5.18
	最小值	-1.7	-0.65	-0.61	-1.75	-1.23	-1.8	-0.97	-1.45	
施工后	最大值	0.71	0.65	3.36	1.11	3.26	1.62	1.63	1.46	5.25
	最小值	-2.22	-0.84	-0.86	-2.07	-1.67	-1.8	-0.82	-1.39	
施工前	最大值	0.81	0.74	3.26	1.14	3.36	1.87	1.88	1.53	5.28
	最小值	-2.29	-0.93	-0.63	-1.84	-1.63	-1.78	-0.9	-1.35	
施工后	最大值	1.82	0.9	3.23	1.06	3.21	2.33	1.99	1.49	5.47
	最小值	-1.66	-1.01	-0.64	-1.92	-1.19	-2.48	-0.86	-1.4	
施工前	最大值	0.81	0.74	3.26	1.14	3.36	1.87	1.88	1.53	5.28
	最小值	-2.29	-0.93	-0.63	-1.84	-1.63	-1.78	-0.9	-1.35	
施工后	最大值	1.19	0.88	3.07	1.12	3.37	2.01	2.33	1.45	5.35
	最小值	-1.74	-0.98	-0.6	-1.78	-1.27	-1.94	-1.46	-1.36	
施工前	最大值	1.86	1.02	3.17	1.1	3.21	2.44	1.9	1.43	5.44
	最小值	-1.93	-1.15	-0.64	-2.02	-1.21	-2.27	-1.11	-1.4	
施工后	最大值	0.96	0.77	3.01	1.1	3.26	2.11	2.27	1.49	5.31
	最小值	-1.93	-0.85	-1.01	-1.89	-1.26	-1.96	-1.14	-1.4	
施工前	最大值	0.94	0.76	2.99	1.11	3.27	2.12	2.16	1.47	5.3
	最小值	-1.91	-0.86	-0.66	-1.88	-1.26	-1.96	-1.16	-1.41	
施工后	最大值	1.07	0.94	3.06	1.12	3.36	2.47	1.77	1.45	5.32
	最小值	-1.66	-0.97	-0.67	-1.75	-1.18	-2.04	-0.93	-1.41	
施工前	最大值	1.02	0.92	3.19	1.12	3.39	2.54	1.61	1.49	5.31
	最小值	-1.88	-1	-0.5	-1.96	-1.16	-2.04	-0.98	-1.38	
施工后	最大值	0.87	0.85	3.25	1.13	3.4	1.58	1.85	1.38	5.29
	最小值	-1.65	-1.1	-0.48	-1.93	-1.3	-1.82	-1.32	-1.32	
施工前	最大值	0.77	0.86	3.33	1.32	3.55	1.63	1.98	1.53	5.5
	最小值	-2	-1.37	-0.46	-1.97	-1.37	-1.81	-1.55	-1.11	
施工后	最大值	1.62	0.77	2.96	1.11	3.65	1.65	1.83	1.57	5.99
	最小值	-1.67	-1.15	-0.69	-2	-1.38	-1.78	-1.18	-1.11	
施工前	最大值	1.49	0.67	2.99	1.22	3.71	1.81	1.87	1.39	5.96
	最小值	-2.08	-1.12	-0.5	-2.11	-1.48	-1.9	-1.49	-1.03	
施工后	最大值	1.85	0.77	3.37	1.53	3.69	1.8	2.1	1.44	5.96
	最小值	-1.5	-1.06	-0.52	-1.93	-1.45	-2	-1.73	-1.16	
施工前	最大值	0.63	0.57	3.02	1.39	3.76	1.54	2.07	1.53	5.88
	最小值	-1.84	-0.7	-0.56	-1.79	-1.32	-1.81	-1.58	-1.12	
施工后	最大值	0.67	0.67	3.04	1.56	3.31	1.62	2.21	1.5	5.93
	最小值	-1.83	-0.83	-0.69	-2.09	-1.26	-1.79	-1.49	-1.18	
施工前	最大值	0.67	0.67	3.04	1.56	3.31	1.62	2.21	1.5	5.93
	最小值	-1.83	-0.83	-0.69	-2.09	-1.26	-1.79	-1.49	-1.18	
施工后	最大值	0.72	0.56	3.14	1.51	3.1	1.54	1.91	1.43	5.86
	最小值	-1.67	-0.68	-0.78	-2.14	-1.47	-1.8	-1.33	-1.21	
施工前	最大值	0.62	0.57	3.16	1.54	3.77	1.57	1.83	1.48	5.85
	最小值	-1.73	-0.82	-0.56	-2.01	-1.69	-1.79	-1.32	-1.06	
施工后	最大值	0.96	0.54	3.08	1.37	3.62	1.59	1.94	1.52	5.97
	最小值	-1.74	-0.67	-0.9	-1.84	-1.4	-1.77	-1.34	-1.08	
施工前	最大值	0.74	0.81	3.28	1.44	3.48	1.58	1.95	1.51	5.44
	最小值	-2.67	-0.68	-0.82	-1.71	-1.38	-1.74	-1.46	-1.47	
施工前	最大值	0.76	0.55	3.16	1.53	3.6	1.61	1.85	1.56	5.89
	最小值	-2	-0.82	-0.57	-1.79	-1.5	-1.77	-1.41	-1.07	
施工后	最大值	0.62	0.75	2.5	1.54	3.29	1.72	2.23	1.44	5.69
	最小值	-1.95	-0.87	-0.73	-2.06	-1.56	-1.82	-0.98	-1.29	

4 结论

研究设计了一种应用于无砟轨道的临时支撑系统,通过理论受力分析、模拟试验和工程应用对临时支撑系统的结构稳定性、安装效果、轨道几何尺寸保持效果等进行了研究,得到以下结论。

(1)理论计算和模拟试验结果显示,临时支撑系统在 51 kN 横向载荷作用下,保持钢轨产生的横向变形量小于 2 mm。

(2)工程应用结果显示,临时支撑系统能够将钢轨横向变形量控制在 2 mm 以内,有效保证列车运行过程中的轨道几何尺寸的稳定。

(3)针对双块式无砟轨道现浇道床,通过在钢垫板和道床之间设置填充找平层,采用先紧固扣件后填充找平层的方法,能够有效解决临时支撑系统和现浇道床不平整表面不密贴和钢轨轨底坡不匹配问题。

参考文献

- [1] 张馨艺, 伍曾, 余剑, 等. 无砟轨道 W1 型弹条疲劳性能的试验研究[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(17): 7527-7532.
- [2] 郭春梅, 郜永杰, 黄俊杰, 等. 无砟轨道路基基床翻浆注浆加固模型试验研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2019, 16(10): 2387-2394.
- [3] 张世杰. 框架板式无砟轨道梁端凸形挡台受力影响规律研究[J]. 铁道标准设计, 2021, 65(2): 26-31.
- [4] 易强, 尤瑞林, 姜子清, 等. 双块式无砟轨道轨枕伤损对轨道结构性能的影响[J]. 铁道建筑, 2023, 63(8): 12-16.
- [5] 崔旭浩, 杨怀志, 杜博文, 等. 路基不均匀沉降对 CRTS II 型板式无砟轨道损伤和变形影响分析[J]. 铁道学报, 2021, 43(10): 91-97.
- [6] 熊飞, 赵坪锐, 帅一丁. CRTS I 型双块式无砟轨道轨排框架法施工影响因素[J]. 铁道建筑, 2018, 58(12): 108-111.
- [7] 陈宪麦, 徐磊, 徐伟昌, 等. 高速铁路(京沪、沪宁、沪杭线)轨道不平顺谱分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2023, 10(4): 1-6.
- [8] 孙春雷. 双块式无砟轨道设计建造一体化技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2022(6): 75-77.
- [9] 刘强. CRTS I 型双块式无砟轨道板施工关键技术[J]. 施工技术, 2023, 52(6): 69-73.
- [10] 潘自立, 吴军, 刘在庆, 等. 高速铁路无砟轨道拨接技术研究[J]. 施工技术, 2022, 51(12): 63-67.
- [11] 高速铁路设计规范: TB 10621—2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [12] 姜子清, 杜香刚, 刘伟斌, 等. 高速铁路无砟轨道挡肩及承轨槽伤损维修技术[J]. 铁道建筑, 2018, 58(9): 94-97.

Research on Temporary Support System for Ballastless Track of Operating High Speed Railway

NI Guozhang

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

Abstract: To ensure the safety of train operation during the construction process of repairing ballastless tracks on high-speed railways, a temporary support system is designed. The temporary support system consists of WJ-7 type fastener system, steel pad support layer, filling and leveling layer, and anchoring system. By using numerical simulation force analysis and top push test, the structural stability of the support system is calculated, analyzed, and simulated. The research results show that the deformation of the support system under 51 kN lateral top push is less than 2 mm. In the deformation control project of ballastless track, the support system is applied to replace the existing rail sleepers for bearing. The monitoring results show that the support system can effectively maintain the geometric stability of the track during the construction process.

Keywords: high-speed railway; ballastless track; supporting system; deformation; sleeper