

城市轨道交通 42[#] 特殊减振单开道岔铺设的关键技术^{*}杨文民^{**} 刘 洋 杨 淦 邓 杰

(中国水利水电第五工程局有限公司, 610031, 成都//第一作者, 高级工程师)

摘 要 鉴于常用的道岔已不能完全满足我国城市轨道交通运营需求,成都轨道交通 19 号线二期工程首次使用了 42[#] 特殊减振单开道岔。该型道岔作为长大异形轨件,大大增加了吊装、运输及铺设难度。为解决 42[#] 特殊减振单开道岔施工技术难题,需要对其铺设的关键技术进行研究。建立了 42[#] 特殊减振单开道岔吊装过程检算模型,并对其进行了吊装过程的监测试验,以及吊装完成后的平直度检测。结果表明:在该吊装方案下,道岔组件的最大应力远小于其屈服强度,最大位移符合施工要求;道岔吊装位移监测数据与仿真位移结果基本一致;吊装结束后,在直向过岔方向,轨面的高低不平顺最大值处于接头夹板位置,其余位置都小于 1 mm,符合道岔静态铺设平顺度允许偏差;在侧向过岔方向,轨面高低不平顺最大值的绝对值为 4 mm,处于轮载位置,略大于道岔静态铺设平顺度允许偏差。

关键词 城市轨道交通; 42[#] 特殊减振单开道岔; 道岔铺设; 关键技术

中图分类号 U215.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.06.017

Urban Rail Transit Key Technology for Laying No. 42 Special Damping Single-slip Turnout

YANG Wenmin, LIU Yang, YANG Gan, DENG Jie

Abstract Due to the fact that commonly used turnouts can no longer fully meet the operational demands of urban rail transit in China, the Chengdu Rail Transit Line 19 phase II project used No. 42 special damping single-slip turnout for the first time. As a long and large irregular rail component, this type of turnout increases the difficulty of lifting, transportation and laying largely. To solve the construction technical difficulties of the No. 42 special damping single-slip turnout, it is necessary to study the laying key technologies. A calculation model for the hoisting process of the above turnout is established, and the hoisting process is monitored and tested, as well as the flatness detection after hoisting. Results show that under the hoisting scheme, the maximum stress of the turnout component is far

less than its yield strength, and the maximum displacement met the construction requirements; the displacement monitoring data of the turnout is basically consistent with the simulated displacement results; after the hoisting, in the turnout-passing longitudinal direction, the maximum rail surface irregularity is located at the joint clamp position, and the irregularity of other positions is less than 1 mm, which is in accordance with the allowable deviation of turnout static laying flatness; in the turnout-passing lateral direction, the maximum absolute value of rail surface irregularity is 4 mm, which is located at the wheel load position, and slightly larger than the allowable deviation of turnout static laying flatness.

Key words urban rail transit; No. 42 special damping single-slip turnout; turnout laying; key technology

Author's address Sinohydro Bureau No. 5 Co., Ltd., 610031, Chengdu, China

随着我国城市轨道交通的发展,列车运行速度逐渐提高,过去城市轨道交通中常采用的 9[#]、12[#]、18[#]道岔^[1]已不能完全满足运营需求。成都轨道交通 19 号线二期工程设计速度为 160 km/h,为保证列车越行过站不降低速度,首次使用了 42[#] 特殊减振单开道岔。

42[#] 特殊减振单开道岔由于各部件尺寸加大、加长,对岔区减振要求及平顺度要求提高,导致道岔运输及铺设难度大,精度难以控制。为解决 42[#] 特殊减振单开道岔施工技术难题,相关学者进行了大量的研究。文献[2]结合新建达成铁路施工,总结了客运专线有砟轨道 42[#] 特殊减振单开道岔的施工工艺;文献[3]通过精细化控制保证铺设质量,归纳了严寒地区客运专线 42[#] 特殊减振单开道岔铺设的施工质量控制要点;文献[4]改进了道岔铺装时长大杆件吊装及工装设备,通过轨检车动态检测验证了 42[#] 特殊减振单开道岔原位铺装技术的可行性;

^{*} 国家自然科学基金项目(52122810,51978586,U1734207,56778542)

^{**} 通信作者

文献[5]采用理论方法检算了在12‰坡道上铺设42#特殊减振单开道岔的结构安全性,指出可在山区高速铁路上铺设大号码道岔。综上,关于42#特殊减振单开道岔的施工研究还仅停留在高速铁路上,且研究方向主要集中在施工步骤及工艺上,对于施工过程中道岔变形检测和监测的研究较少。

为此,针对城市轨道交通中铺设42#特殊减振单开道岔施工的关键技术进行研究,为保证道岔平面线型、轮轨关系、道岔区轨道刚度符合设计要求,基于有限元理论对道岔吊装方案进行检算,并通过试验监测吊装过程中道岔的变形情况,同时铺设完成后采用测量小车检测道岔静态铺设的平整度。研究结果可为42#特殊减振单开道岔在城市轨道交通应用中提供一定的理论基础及工程经验。

1 基于有限元模型的42#特殊减振单开道岔组件吊装方案检算

42#特殊减振单开道岔作为一种长大异形轨件,吊装过程尤为重要,是施工过程中一个关键环节。由于跨度大、构件复杂,需对42#特殊减振道岔在吊装前进行受力分析,找出最不利位置,确定其在道岔组件吊装过程中是否会超过应力、变形的限值,如若超过,可采用必要措施,以保证施工安全。

根据吊装过程的3个典型阶段,基于ANSYS有限元软件,采用梁单元模拟尖轨、辙叉及导轨。在重力的作用下对3个典型阶段道岔组件的应力、变形进行分析。

1.1 42#特殊减振单开道岔组件吊装模型

如图1所示,采用ANSYS软件建立了42#特殊减振单开道岔组件吊装三维有限元模型。该模型模拟了吊装过程中吊点的布置、吊点位置处的捆绑方式,精确刻画了不同部位的连接特性。将汽车吊简化为固定约束直接施加在定滑轮位置处,同时在吊点位置处吊绳与托梁采用铰接方式连接。模型中考虑了尖轨组件、吊绳、捆绑槽钢及托梁,其中尖轨组件为曲基本轨与直、曲尖轨。同时在新增吊点位置时,考虑了龙门架的几何尺寸,其组合方式如图1所示。为了消除尖轨组件和槽钢硬接触的影响,考虑了采用柔性胶垫进行接触,并采用螺栓将上下槽钢连接。

1.2 42#特殊减振单开道岔组件吊装各典型阶段计算结果分析

1.2.1 第1阶段

第1阶段吊车指挥人员指挥吊车缓慢起钩,动

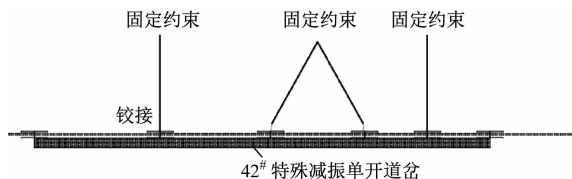


图1 42#特殊减振单开道岔组件吊装三维有限元模型示意图

Fig. 1 3D finite element model of No. 42 special damping single-slip turnout component hoisting

作应匀速,起吊过程中保持道岔设备基本水平,将道岔尖轨组件吊运横移约11 m至吊入井上方,吊装示意图如图2所示。在吊装第1阶段,设备水平吊装过程中尖轨组件受力及变形计算结果见图3。

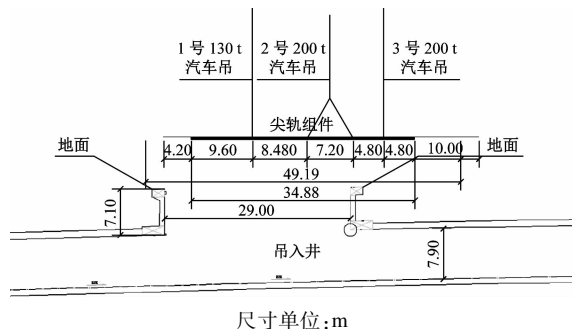


图2 尖轨组件第1阶段吊装示意图

Fig. 2 Diagram of switch rail component first phase hoisting installation

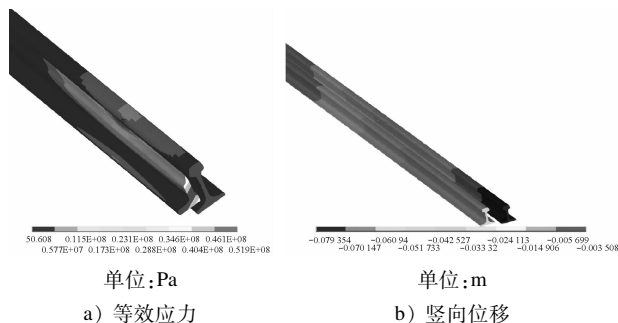


图3 尖轨组件第1阶段计算结果云图

Fig. 3 Nephogram of switch rail component first phase calculation results

由图3可见:

1) 当尖轨组件在吊装第1阶段,设备基本保持水平过程中,尖轨组件每隔一定距离则受力较大,但整体受力相对均衡,最大等效应力出现在托梁端部位置处,最大等效应力为51.9 MPa,远小于U75V钢轨的屈服强度值510 MPa,因此在吊装第1阶段,尖轨组件受力符合检算要求。

2) 当尖轨组件在吊装第1阶段,设备基本保持水平过程中,尖轨组件在每隔一定距离与吊钩连接的位置处均出现向上的位移,最大向上位移为3.5 mm;在尖轨两端出现向下的位移,最大向下位移为

7.93 cm,出现在尖轨跟端处。由此可见,该阶段符合后续施工要求。

1.2.2 第2阶段

第2阶段2号中联 QAY200 吊车吊绳保持不动,3号中联 QAY130 吊车上抬,上抬高度约6 m,吊绳向2号吊车方向摆臂约2 m,1号中联 QAY130 吊车下降,下降约4 m,吊绳向2号吊车方向摆臂约0.6 m。为使道岔尖轨组件达到倾斜状态以方便下井,倾斜后钢轨两端高差约25 m,倾斜角度为31°。该过程中吊车主钩与钢丝绳采用定滑轮连接,钢丝绳的长度随钢轨组件倾斜程度机动变化。

尖轨组件第2阶段吊装示意如图4所示。在吊装第2阶段,即尖轨组件调整为倾斜状态过程中,尖轨组件应力及位移计算结果如图5所示。由图5 a)可见:当尖轨组件在吊装第2阶段,将其调整为倾斜状态,尖轨组件每隔一定距离受力较大,但整体受力相对均衡,最大等效应力出现在托梁端部位置处,最大等效应力为51.9 MPa,根据规范得到U75 V钢轨的极限强度510 MPa,因此在第2阶段,尖轨组件受力符合检算要求。

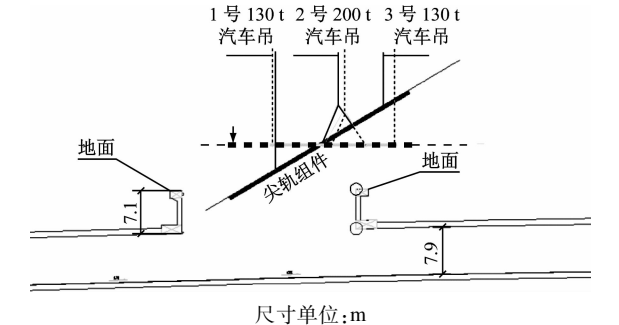


图4 尖轨组件第2阶段吊装示意图

Fig. 4 Diagram of switch rail component second phase hoisting installation

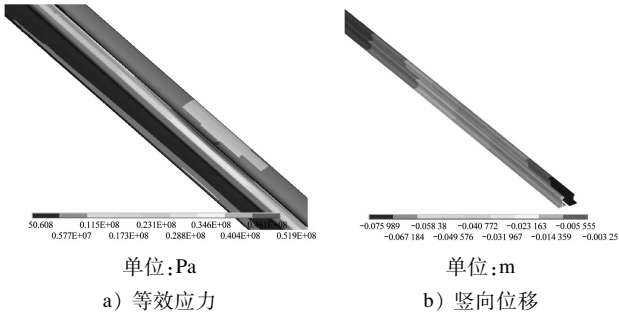


图5 尖轨组件第2阶段计算结果云图

Fig. 5 Nephogram of switch rail component second phase calculation results

由图5 b)可见:当尖轨组件在吊装第2阶段,将其调整为倾斜状态,尖轨组件在每隔一定距离与吊钩连接的位置处均出现向上的位移,最大向上位

移为3.25 mm;在尖轨两端出现向下载移,最大向下载移为7.59 cm,出现在尖轨跟端处。由此可见,该阶段符合后续施工要求。

1.2.3 第3阶段

3台吊车同时下降,并向1号吊车横向摆臂,至1号吊车钢丝绳距离挡墙边缘1 m位置时终止;同时缓慢下降3、2、1号吊车至钢轨上端离边坡1 m处,并往1号吊车方向缓慢摆臂,待1号吊车钢丝绳距离挡墙边缘1 m时停止操作。在尖轨组件最底端距离轨面约1 m时停止吊装,在托梁下端新增1个龙门架吊点。当龙门架受力后,1号吊车下降的同时摘除其吊绳。尖轨组件第3阶段吊装示意如图6所示。在吊装第3阶段,吊装井边缘新增1个吊点,新增吊点采用龙门架方式,此时尖轨组件应力及位移计算结果如图7所示。龙门架应力云图见图8。

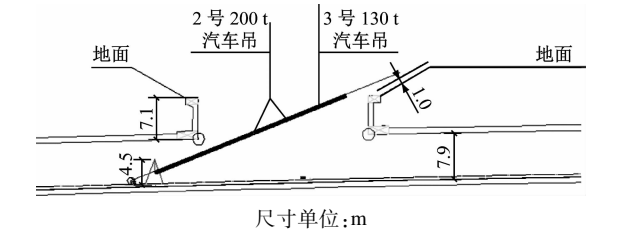


图6 尖轨组件第3阶段吊装示意图

Fig. 6 Diagram of switch rail component third phase hoisting installation

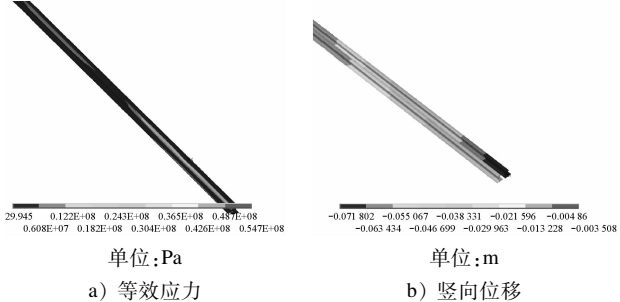


图7 尖轨组件第3阶段计算结果云图

Fig. 7 Nephogram of switch rail component third phase calculation results

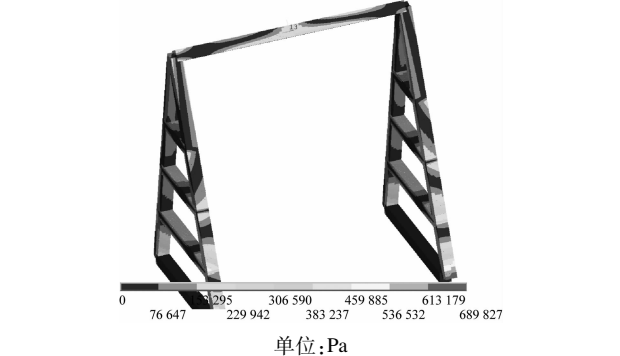


图8 龙门架第3阶段应力云图

Fig. 8 Nephogram of Longmen frame third phase stress

由图7—图8得出以下结论:

1) 当尖轨组件在吊装第3阶段,在吊装井边缘新增1个吊点,新增吊点采用龙门架方式,尖轨组件每隔一定距离受力较大,但整体受力相对均衡,最大等效应力出现在托梁端部位置处,最大等效应力为54.7 MPa。由于U75V钢轨的极限强度为510 MPa,因此在工况3条件下,尖轨组件最大应力为54.7 MPa,符合检算要求。

2) 当吊装尖轨组件时,龙门架最大应力出现在龙门架底部,最大应力为0.689 MPa,小于屈服强度,检算满足要求。已知门型钢材的截面面积,对其应力进行换算可得,龙门架所受最大荷载为30.1 kN。

3) 当尖轨组件在在吊装第3阶段,在吊装井边缘新增1个吊点,新增吊点采用龙门架方式,尖轨组件在每隔一定距离与吊钩连接的位置处均出现向上的位移,最大向上位移为3.50 mm;在尖轨两端出现向下的位移,最大向下位移为7.18 cm,位于尖轨跟端处。由此可见,该阶段符合后续施工要求。

2 42[#]特殊减振单开道岔组件吊装监测

为研究42[#]特殊减振单开道岔组件吊装过程中的变形问题,在已有仿真结果的基础上,设计出道岔组件监测试验装置,如图9所示。该试验装置由

高精度接触式加速度传感器、高精度数据采集仪、连接线及信息处理系统等构成。

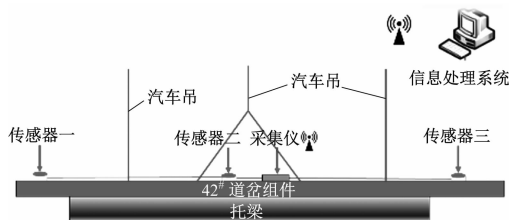


图9 42[#]特殊减振单开道岔组件监测试验装置示意图

Fig. 9 Diagram of No. 42 special damping single-slip turnout component monitoring test device

2.1 监测步骤

42[#]特殊减振单开道岔组件吊装的监测步骤(见图10)如下:

1) 在吊绳固定前,为了方便后期数据处理,在道岔组件上选取合适的测量点并记录。

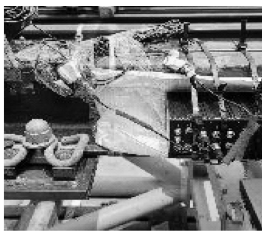
2) 在已确定的监测点处放置传感器(见图11),选取在监测点2[#]附近放置数据采集仪并将其固定,防止产生由于采集仪松动导致的噪声。

3) 工作人员调试采集软件,确定采样频率,确保3个监测点都有良好的振动信号反馈。

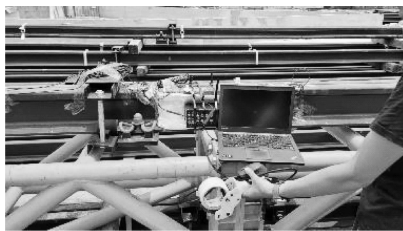
4) 在吊装结束后,将采集仪及传感器拆除,通过分析软件将采集数据保存并进行处理分析。



a) 监测点现场布置



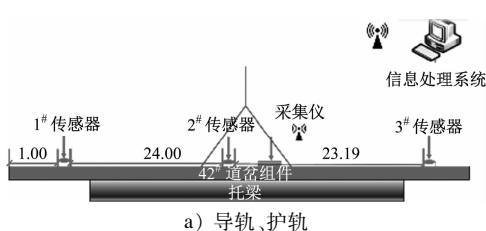
b) 采集仪固定



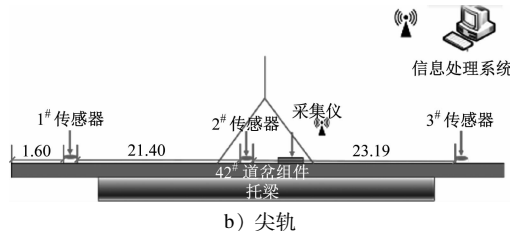
c) 软件调试

图10 42[#]特殊减振单开道岔组件吊装现场监测图

Fig. 10 Pictures of No. 42 special damping single-slip turnout component hoisting on-site monitoring



a) 导轨、护轨



b) 尖轨

单位:m

图11 传感器监测点布置示意图

Fig. 11 Layout diagram of sensor monitoring points

2.2 监测结果分析

导轨、护轨上3个监测点位置的垂向振动加速

度时程曲线如图12所示。由图12可见:对于道岔组件端部位置的传感器,即1[#]与3[#]传感器,测得其

振动加速度幅值较大,且其最大值大于 0.04 g (g 为重力加速度);而跨中位置的振动加速度幅值较小,约为 $5 \times 10^{-4}\text{ g}$ 。各监测点之间的相对位移如图 13 所示。由图 13 可知:监测点 1[#]、2[#]之间的最大相对位移为 0.23 m ,监测点 2[#]、3[#]之间的最大相对位移为 0.20 m 。

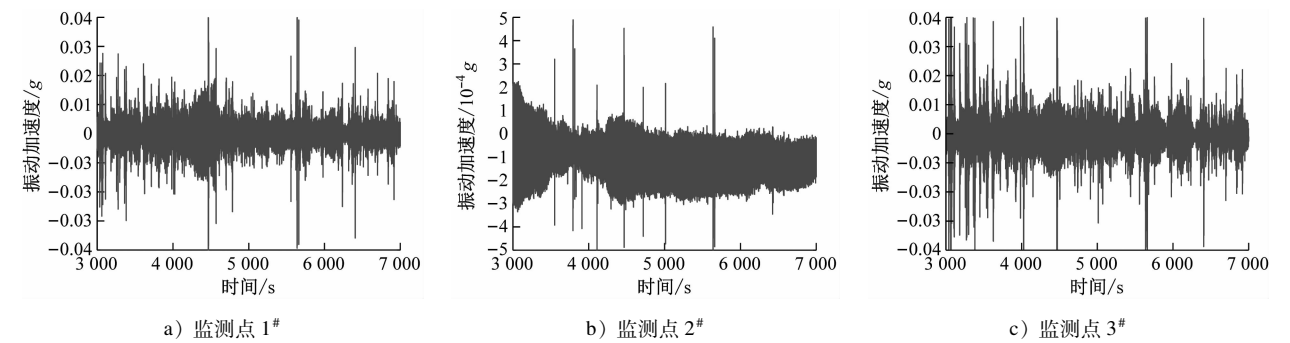


图 12 导轨、护轨垂向振动加速度时程曲线

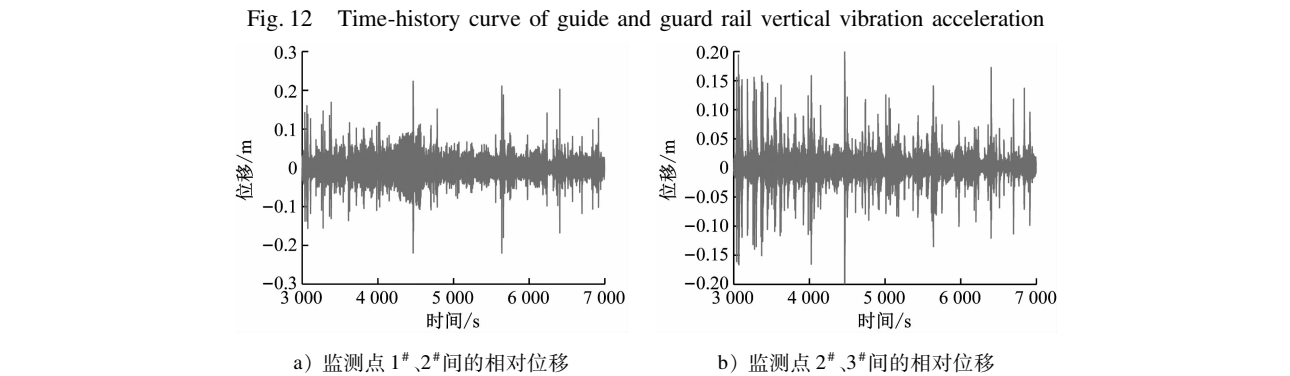


图 13 导轨、护轨监测点间的相对位移时程曲线

尖轨组件上 3 个监测点位置的垂向振动加速度时程曲线如图 14 所示。对于尖轨组件端部位置的传感器,即 1[#]与 3[#]传感器,测得其振动加速度幅值较大,最大值约为 0.300 g ;而跨中位置的振动加速度幅值较小,约为 0.015 g 。各监测点之间的相对位移如图 15 所示。由图 15 可知:监测点 1[#]、2[#]之间的最大相对位移为 0.08 m ,监测点 2[#]、3[#]之间的最大相对位移为 0.10 m 。

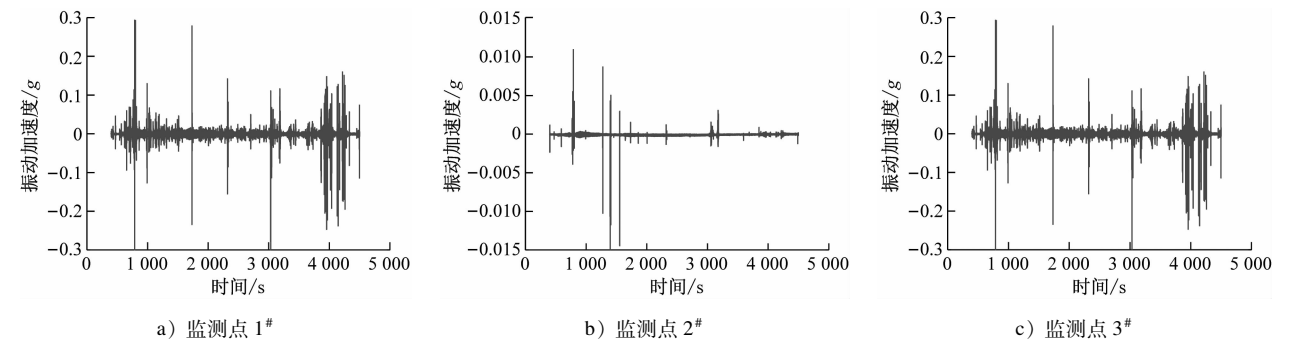


图 14 尖轨组件垂向振动加速度时程曲线

Fig. 14 Time-history curve of switch rail component vertical vibration acceleration

3 42[#]特殊减振单开道岔平直度检测

为研究 42[#]特殊减振单开道岔组件吊装过程中的变形问题,在已有检测结果的基础上,采用基于一弦 N 点弦测法的测量小车测量该道岔的静态铺

设平顺度。测量小车整体结构由小车载体、里程计、位移传感器、数据采集卡、上位机及电源等部分构成。测量小车可同时实现对双轨顶面的连续测量,使用方便且便于运输。具体检测时,由测量仪上安装的各种传感器采集数据并上传存储,通过滤

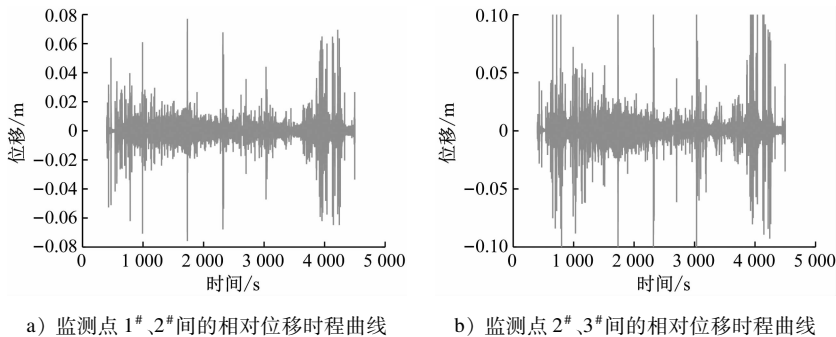


图 15 尖轨组件监测点相对位移时程曲线
Fig. 15 Relative displacement time-history curves of switch rail component monitoring points

波以及数学模型分析计算并展现被测钢轨不平顺状态的实际情况;对钢轨顶面不平顺波长、幅值及周期性等进行分析和统计,其结果以波形图形式展现。该检测结果可为钢轨打磨参数设置及钢轨铣磨修理质量分析评估等工务养护作业提供参考。

3.1 检测工况

3.1.1 直向过岔

沿着直向过岔方向将轨检小车放置在钢轨表面,从直尖轨尖端区段处开始测量。为了保证测量结果的精确性,测量过程中尽量保持匀速慢行,防止遇到接头夹板,导致轨检小车振动剧烈。直向过岔方向道岔平直度检测平面示意如图 16 所示。

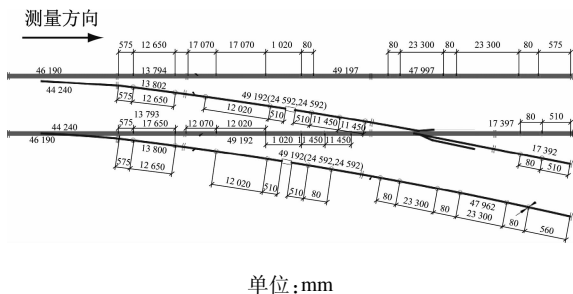


图 16 直向过岔方向道岔平直度检测平面示意图
Fig. 16 Diagram of turnout flatness turnout-passing detection in longitudinal direction

3.1.2 侧向过岔

在侧向过岔方向,轨距在不断变化,因此需要人为控制左、右两侧传感器的位置。同时由于辙叉过渡处无法测量,因此需人为将两侧的传感器平稳转换到心轨位置处,保证测量结果的连续性与准确性。侧向过岔方向道岔平直度检测平面示意如图 17 所示。

3.2 检测结果分析

直向过岔时轨检小车所测结果如图 18 所示。

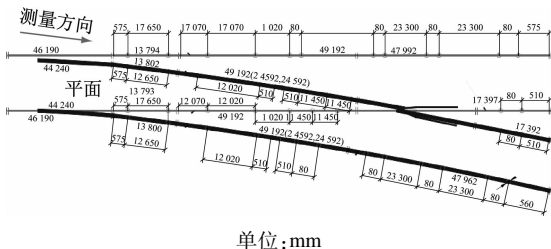


图 17 侧向过岔方向道岔平直度检测平面示意图
Fig. 17 Planar diagram of turnout flatness detection in lateral turnout-passing direction

由图 18 可见:在直向过岔方向,左、右直尖轨轨面的高低不平顺绝对值的最大值分别为 2.3 mm 和 1.5 mm,均出现在接头夹板位置,其余位置都小于 1 mm,符合道岔(直向)静态铺设平顺度允许偏差。侧向过岔时轨检小车所测结果如图 19 所示。由图 19 可见:在侧向过岔方向,左、右曲尖轨轨面高低不平顺绝对值的最大值分别为 3 mm 和 4 mm,均处于轮载位置,且该差异是由于人为搬动导致的;在侧向过岔方向,轨面高低不平顺值略大于道岔(直向)静态铺设平顺度允许偏差。

4 结论

1) 针对道岔组件吊装过程检算,通过分析可知:吊装 3 个阶段下,尖轨组件的最大等效应力可达 54.7 MPa,出现在托梁端部位置处,等效应力最大值远小于钢轨屈服强度 510 MPa;在第 1 阶段条件下,尖轨组件最大位移达到 7.93 cm,符合施工要求;在第 3 阶段条件下,龙门架所受最大荷载为 43.2 kN,符合施工要求。

2) 针对道岔组件吊装过程监测,通过分析可知:导轨、护轨两端监测点位置的位移较大,且最大位移的绝对值为 0.23 m;跨中监测点位置的位移较

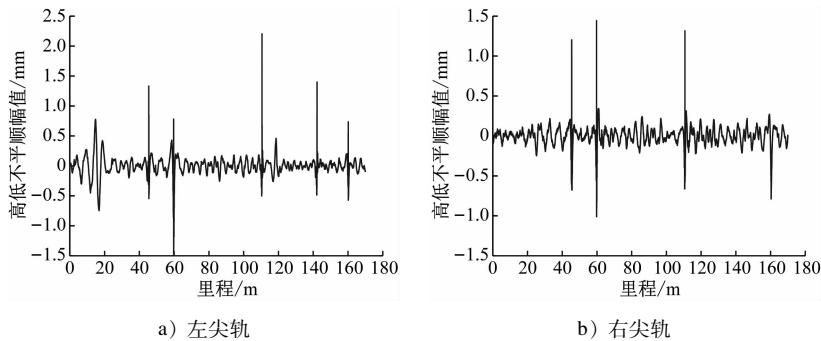


图 18 直向过岔时左、右尖轨轨面的高低不平顺

Fig. 18 Rail surface irregularity of left and right switch rails in longitudinal turnout-passing

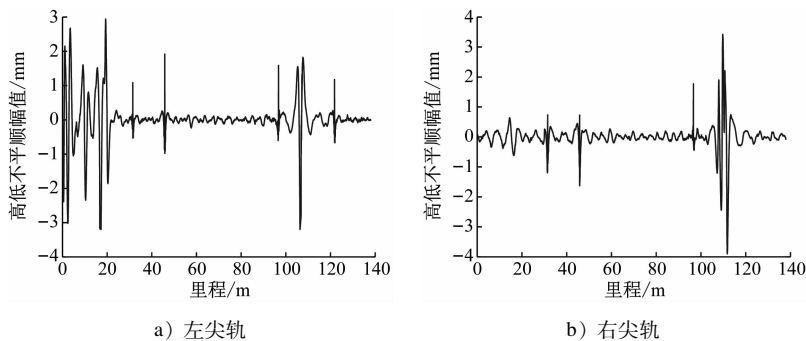


图 19 侧向过岔时左、右尖轨轨面的高低不平顺

Fig. 19 Rail surface irregularity of left and right switch rails in lateral turnout-passing

小,且最小位移的绝对值约为 4×10^{-4} m。导轨、护轨组件监测点 1[#]、2[#]之间的最大相对位移为 0.23 m,监测点 2[#]、3[#]之间的最大相对位移为 0.20 m。尖轨两端监测点位置的位移较大,且最大位移的绝对值为 0.11 m;跨中位置监测点位置的位移较小,且最小位移的绝对值为 9.8×10^{-3} m。尖轨组件监测点 1[#]、2[#]之间的最大相对位移为 0.08 m;监测点 2[#]、3[#]之间的最大相对位移为 0.10 m。

3) 针对道岔轨顶面平直度检测,通过分析可知:在直向过岔方向,左、右轨轨面高低不平顺绝对值的最大值分别为 2.3 mm 和 1.5 mm,均出现在接头夹板位置,其余位置均小于 1.0 mm,符合道岔(直向)静态铺设平顺度允许偏差;在侧向过岔方向,左、右轨轨面高低不平顺绝对值的最大值分别为 3.0 mm 和 4.0 mm,均出现在辙叉位置,且由于人为搬动导致其幅值波动;在侧向过岔方向,轨面高低不平顺值略大于道岔(直向)静态铺设平顺度允许偏差。

参考文献

[1] 王树国,司道林,葛晶,等. 中国和欧洲高速铁路道岔标准体

系及内容分析[J]. 铁道技术监督, 2014, 42(5): 2.

WANG Shuguo, SI Daolin, GE Jing, et al. China and Europe high-speed railway turnout standard system and content analysis [J]. Railway Quality Control, 2014, 42(5): 2.

[2] 苏兴. 42 号单开有砟道岔铺设施工技术[J]. 铁道建筑, 2010, 50(6): 114.

SU Xing. Laying technology of No. 42 simple turnout on ballast [J]. Railway Engineering, 2010, 50(6): 114.

[3] 敬永锋,张先军. 哈大铁路客运专线 42 号无砟高速道岔铺设质量控制[J]. 铁道标准设计, 2012, 56(5): 71.

JING Yongfeng, ZHANG Xianjun. Quality control over installation of 42# ballastless high speed switch on Harbin-Dalian passenger dedicated line[J]. Railway Standard Design, 2012, 56(5): 71.

[4] 丰成林. 沪宁城际高铁国产 42 号无砟道岔原位铺设技术研究[J]. 铁道建筑, 2012, 42(2): 90.

FENG Chenglin. Research on in-situ laying technology of domestic No. 42 ballastless turnout on the Shanghai-Nanjing Intercity High-speed Railway[J]. Railway Construction, 2012, 42(2): 90.

[5] 刘伟,刘春明. 12‰坡道上铺设 42 号道岔的理论研究与工程应用[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(10): 37.

LIU Wei, LIU Chunming. Theoretical study and engineering application of laying No. 42 turnout on a 12‰ ramp[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2020, 37(10): 37.

(收稿日期:2022-10-21)