

无缝接触轨在城市轨道交通中的应用

曾 鉴 周明哲 姜兴振

(湖南华品轨道交通有限公司, 412007, 株洲//第一作者, 高级工程师)

摘 要 介绍了无缝接触轨方案及其技术特点。该技术采用了无预留伸缩缝的新型膨胀接头, 安装精度高, 受流面大, 可在道岔折点处连续敷设。通过试验验证了膨胀接头的优良性能、受流的稳定性及道岔区的轨面平顺性, 并对道岔区接触轨的内应力进行分析, 验证了其安全性。探讨了轨面预留伸缩缝、受流面平顺性及无缝接触轨道岔对列车运行等方面的影响, 验证了无缝接触轨的优良性能。

关键词 城市轨道交通; 无缝接触轨; 牵引供电系统

中图分类号 TM922.65

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.08.047

Application of Seamless Contact Rail in Urban Rail Transit

ZENG Jian, ZHOU Mingzhe, JIANG Xingzhen

Abstract The seamless contact rail and its technical characters are introduced. This technology adopts the new expansion junction with no reserved expansion joint, featuring high installation accuracy and large current collecting surface, and can be laid continuously at the break point of switch shaft. Test results show that the expansion joint has good performance with stability of current collection and rail surface smoothness in turnout area. The safety of which is also verified by an analysis of the internal stress of contact rail in turnout area. On this basis, influences of the reserved rail surface expansion joint, the smoothness of current receiving surface and the seamless contact rail turnout on train operation are discussed, the good performance of seamless contact rail is verified.

Key words urban rail transit; seamless contact rail; traction power supply system

Author's address Hunan Huapin Rail Transit Co., Ltd., 412007, Zhuzhou, China

城市轨道交通通常采用接触轨系统作为车辆牵引供电载体。新型城市轨道交通要求接触轨系统不仅应具备足够的载流能力^[2,4], 还应具有更好的受流稳定性、平顺性及环境友好性。

针对上述要求, 本文提出了新的无缝接触轨系

统方案。该系统采用一种新型的无缝膨胀接头来连接锚段。所用轨具有精确的尺寸和较宽的授流面, 其附件整体性较强, 能实现接触轨系统的高精度安装及大范围调节。

1 无缝接触轨的技术特点

1.1 新型无缝膨胀接头

新型无缝膨胀接头由限位导向体和接触面滑块机导电体等组成, 其工作原理图如图 1 所示。当膨胀接头两侧的接触轨发生热胀冷缩时, 沿线路方向的接触轨位移将使接触面滑块产生垂直于两个接触轨段长度方向上的位移, 以此来适应接触轨的热胀冷缩。无缝膨胀接头由绝缘支撑装置固定支撑, 最终能实现无缝接触轨系统无邻接力、无变形、无伸缩缝的伸缩导电连接, 可消除伸缩缝对受流器的冲击。

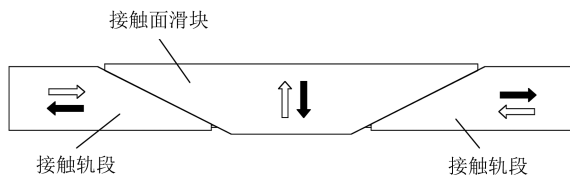


图 1 无缝膨胀接头原理图

1.2 高精度安装及调节

无缝接触轨系统的高精度安装采用如下综合方案: 在安装时采用便携的高精度安装夹具来定位支点; 导电轨刚柔适度, 在小半径曲线处无需预弯^[4], 经加工后应确保其两端尺寸一致; 采用分体式中间接头来连接导电轨, 以消除中间接头夹板的影响, 使导电轨能够自对中; 确保轨体授流面平顺。

无缝接触轨系统采用多向调节支架, 既能在 X、Y、Z 三个方向上调节, 也能俯仰调节, 且调节范围较大。这种支架可提高接触轨系统安装精度, 降低施工难度, 消除由于梁体误差等引起的安装

误差。

1.3 宽幅有效受流面

无缝接触轨系统的导电轨有效授流面宽度大于受流器滑块宽度^[4],且不存在弧面,可确保接触轨和受流靴在静态和动态工况下的良好匹配关系。在正常工况下,受流器滑块完全贴合导电轨授流面,使授流面与滑块均匀磨耗,以降低拉弧的频率,保证车辆稳定受流。

1.4 附件及其特点

无缝接触轨系统除导电轨外还包括绝缘支撑装置、中间接头、中间锚结、无缝膨胀接头、端部弯头及上电连接等附件。这些附件整体性较好,安装占空小,便于高空安装调节,能有力降低施工人员的劳动强度。

2 试验验证

2.1 型式试验

该无缝膨胀接头的型式试验结果如表 1 所示。由表 1 可见,在保证无伸缩缝的情况下,膨胀接头各项技术指标均已达到标准要求。个别检测结果证明接头性能大大优于标准要求。

表 1 无缝膨胀接头型式试验结果

序号	检测项目	技术要求	检测结果
1	伸缩量	≥130 mm	150 mm
2	起始滑动力试验	≤650 N	609 N
3	20℃过渡电阻	≤6.6 μΩ/m	6.5 μΩ/m
4	升温机械-强度试验	加载最大允许直流电流,试验持续持续 4 h,当环境温度 为 40.0℃ 时,接头温度 ≤85.0℃	接头温度为 68.6℃
5	疲劳试验	5×10 ⁵ 次,无破损无分离	满足要求

无缝膨胀接头在中车四方车辆股份有限公司悬挂式单轨青岛试验线、吉林市轻型跨座式单轨融冰雪试验线及上海低速(城轨)磁浮交通试验线进行了现场测试。测试表现良好。这证明无缝膨胀接头能够满足多种环境下接触轨系统的苛刻要求,适合于钢铝复合接触轨系统的使用。

2.2 噪声分析

为了解伸缩缝对车辆运行时噪声的影响,本文针对国内某磁浮线路的某连续区段进行音频采集测试。测试段设有伸缩缝的膨胀接头噪声时域图如图 2 所示。

由图 2 可见,膨胀接头处的噪声时域图在中间位置出现了明显的特征峰(图中虚线所示位置),且该特征峰均出现了双峰的特征。峰 A 与峰 B 之

的时间间隔约为 1.6 s。依据车速计算,峰 A 与峰 B 的空间间距约为 35.6 m。这与车辆首尾安装的受流器之间的距离 37.8 m 非常吻合。据此可以判断,峰 A 与峰 B 是因车辆受流器撞击膨胀头产生的。

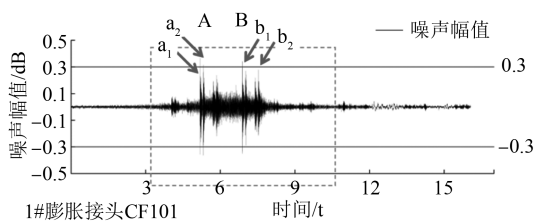


图 2 测试段有缝膨胀接头噪声时域图

进一步分析峰 A 与峰 B 不难发现,二者峰型略有不同,说明不同的受流器在撞击膨胀接头处时产生的噪声是有区别的。此外,在 A、B 两个特征峰区间内,均出现了 1 个最强峰(a₁、b₁处)和 1 个次强峰(a₂、b₂处)。最强峰与次强峰的峰型极其近似,仅在幅值上略有不同。经计算,最强峰与次强峰之间的空间距离约为 2.83 m。每组受流器由 2 枚受流器单元构成,单元之间的间隔为 2.80 m。由此可以推断,时域图中最强峰与次强峰的产生应该是因同一编组中不同受流器先后撞击膨胀接头而造成的。磁浮列车运行时的“咔嚓”噪声就来源于此。

无缝膨胀接头可有效降低此类噪声。在相关试验中,受流器以 100 km/h 速度分别通过有缝膨胀接头和无缝膨胀接头,以 160 km/h 速度通过无缝膨胀接头,受到冲击的轨体位移变化如图 3 所示。

由图 3 可见:无缝膨胀接头能显著减小受流器对膨胀接头轨体的冲击,从而降低噪声;受流器以 160 km/h 速度通过无缝膨胀接头时所产生的冲击明显小于以 100 km/h 速度通过有缝膨胀接头时产生的冲击。

2.3 受流稳定性试验

轨靴配合的目的是保证受流稳定,从而确保列车稳定运行。实际上,接触轨系统不可能是一条理想的直线,而是在安装后成为 1 条具有一定周期性变化的曲线^[8],则轨靴之间的受流情况也会随着供电轨的实际状况和列车的运行速度而变化。对此,本文开展了受流稳定性模拟试验,测量接触电阻的变化情况,进而评估无缝接触轨系统与受流器之间的耦合情况。

为了更趋近于实际工况,在试验中,受流器与无缝接触轨的一段功能部分被置于振动试验台上;以受流器为定端,以接触轨作为动端,以频率 λ/v、

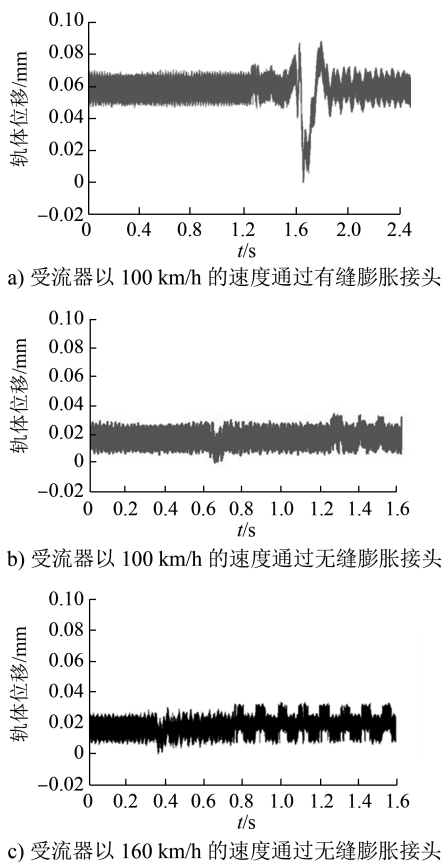


图3 不同工况下的轨体位移数据图谱

幅度 D 进行振动,从而产生速度为 v 的行波;受流器可被视为相对于接触轨以 v 的速度运动。模拟接触轨系统参数 y 为^[7]:

$$y = D \sin\left(2\pi \cdot \frac{\lambda}{v} \cdot x\right) \quad (1)$$

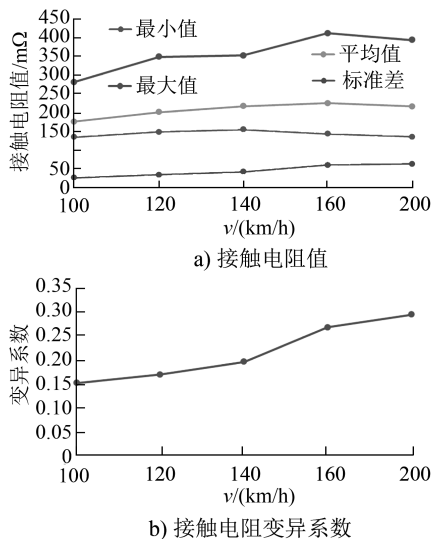
其中,幅度 D 即为接触轨两支点间的高差。按照无缝接触轨系统安装精度, $D=0.5$ mm; λ 为接触轨支点间距的 2 倍,工程常用跨距为 3 m,则 $\lambda=6$ m。

为了测试无缝接触轨系统在正常稳定工作时列车的极限速度,分别取 v 为 100 km/h、120 km/h、140 km/h、160 km/h 及 200 km/h 进行试验,得到其接触电阻变异系数的变化曲线,如图 4 所示。

由图 4 可见:随着 v 的增大,接触电阻变异系数逐渐增大;当 v 在 160 km/h 及以下时,变异系数较低,反映了车辆较为平稳的受流状态;当 v 为 200 km/h 时,变异系数已趋近 0.3,说明受流状态已开始不稳定^[11]。

2.4 道岔试验

无缝接触轨系统采用具有弹性良好、可跟随道岔转辙弹性弯曲的钢铝复合导电轨,在道岔转辙

图4 v 不同时的接触电阻数据统计与分析

处贯通铺设。根据道岔转辙的运动规律,在转辙轴线截面外将轨体分段,并通过无缝膨胀接头连接。轨体跟随转辙所产生的伸缩量被在分段处的无缝膨胀接头消除,从而使得在转辙区段的接触轨授流面依靠自身弹性变形形成了连续、平滑的曲面,以使受流器高速平顺地通过。道岔处接触轨系统通过滚动约束及限位约束,限制接触轨系统在道岔转动时沿 Y 向位移,并引导接触轨系统沿 X 向的位移,使道岔处接触轨系统保持良好的曲线形状。由于上述布置方式是通过接触轨的弹性变形而实现的,因此轨体内部存在内应力,对此本文对其进行了现场试验测试。

在道岔区接触轨两侧分别设置 14 个观测点,其布置情况如图 5 所示。

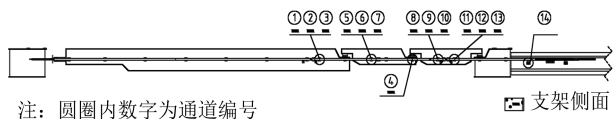


图5 测点布置图

试验结果显示,在道岔转辙过程中,接触轨最大纵向拉应力为 50.1 MPa,而因接触轨弯曲而产生的道岔横向附加力仅为 2.54 kN。

从上述结果可知,道岔转辙过程中因接触轨弯曲而产生的道岔横向附加力对道岔转辙性能影响甚微,对道岔转辙系统的驱动力无影响。道岔转辙使接触轨产生的最大纵向拉应力在材料安全许用范围内,故道岔区接触轨能保证其正常弹性弯曲,保证受流器快速平顺地通过。

3 无缝接触轨新方案的影响

3.1 轨面预留伸缩缝对车辆运营的影响

目前常用的膨胀接头由于其固有的伸缩缝,使得车辆行驶过程中均不可避免的出现受流器冲击伸缩缝的现象^[5],导致其成为车辆受流噪声的主要来源。尽管优化安装可缓解由于高差等几何精度造成的受流器的撞击,但伸缩缝仍必须保留,以补偿接触轨系统的热胀冷缩,这使得其成为受流器冲击的主要位置,同样也是车辆行驶的主要噪声来源。这种冲击不仅带来了运行噪声的问题,同时也意味着受流器及接触轨系统在伸缩缝处受到异常的冲击磨损及潜在的电弧烧蚀,这种损伤将加剧受流器和接触轨系统的损耗,缩短受流器及接触轨系统的维护周期,进而增加了线路维护成本^[10]。

3.2 授流面平顺性对受流稳定性的影响

从上述模拟试验结果可知,随着车辆运行速度的提高,其受流装置对授流面平顺性要求也越高,接触轨系统不平顺是受流不稳定的主要激扰源,直接关系到列车受流的稳定性和受流器滑块的服役寿命。从实际工况和理论分析,轨道本身结构参数、轨道安装精度是影响接触轨系统授流面平顺性的主要因素^[9]。

3.3 无缝接触轨道岔对车辆运营的影响

按照无缝接触轨系统的道岔布置,当道岔转辙时,导电轨依靠自身弹性产生了弹性弯曲变形,在滚动约束及限位约束作用下,在道岔转折点前后区段呈现完整的平滑曲线,减少了对车辆集电装置的冲击^[6,11],有利于提高车辆通过道岔的速度,同时也减少了过渡电缆或电流连接器的使用。

道岔接触轨系统还可将端部弯头设置为绝缘过渡端头。这样不仅能够消除道岔复位误差,使道岔接触轨与正线接触轨平顺过渡,而且还可引导车辆集电装置,防止受流器通过时因其姿态变化而拉弧放电。

由上述分析可见,无缝接触轨系统在道岔区的布置可有效提高车辆的通行速度,降低接触轨和受流器的损耗。

4 结论

1) 膨胀接头伸缩缝和道岔接触轨折点不仅是受流器冲击的主要噪声来源,还会导致受流器及接触轨系统在伸缩缝处受到异常的冲击磨损及潜在的电弧烧蚀。采用无预留伸缩缝的膨胀接头和道岔接触轨系统连续通过方案,可消除传统接触轨系统的固有缺陷,提高接触轨授流稳定性。

2) 无缝接触轨系统的安装精度高,不仅可提高工程适应性,更重要的是能大幅提升受流器与接触轨轨面的接触受流平顺性,为车辆提速提供了保障。

3) 在满足车辆限界要求的情况下,尽可能提高受流面宽度,可满足车辆不同行驶条件下的平稳受流,使授流面与受流器滑块均匀磨损,降低拉弧的频率,提高二者的服役寿命。

参考文献

- [1] 沈炎炎. 城市轨道交通多种制式的特征与评价大纲[J]. 城市轨道交通研究, 2003(5): 1.
- [2] 赵金凤. 中低速磁浮钢铝复合接触轨侧向安装受流研究[J]. 电气化铁道, 2012(3): 36.
- [3] 罗健. 浅谈中低速磁浮交通供电系统接触轨设计选型[J]. 铁道标准设计, 2012(11): 92.
- [4] 王财华. 钢铝复合轨在磁浮交通工程中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2011(10): 92.
- [5] 宋文义. 钢铝复合接触轨膨胀接头的设置及计算[J]. 都市轨道交通, 2005(5): 40.
- [6] 袁青平, 王俊杰, 王财华, 等. 中低速磁浮交通道岔系统工程设计[J]. 都市轨道交通, 2009(1): 67.
- [7] 李宁. 中低速磁浮列车侧向受流器设计与分析[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.
- [8] 宋伟. 接触轨安装精度对中低速磁浮列车受流的影响[J]. 电气化铁道, 2014(5): 33.
- [9] 张耿, 李杰, 杨子敬. 低速磁浮轨道不平顺功率谱研究[J]. 铁道学报, 2011(10): 73.
- [10] 唐人寰. 受流器/第三轨摩擦振动特性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
- [11] 国家铁路局. 铁路电力牵引供电设计规范: TB 10009—2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

(收稿日期: 2018-10-23)