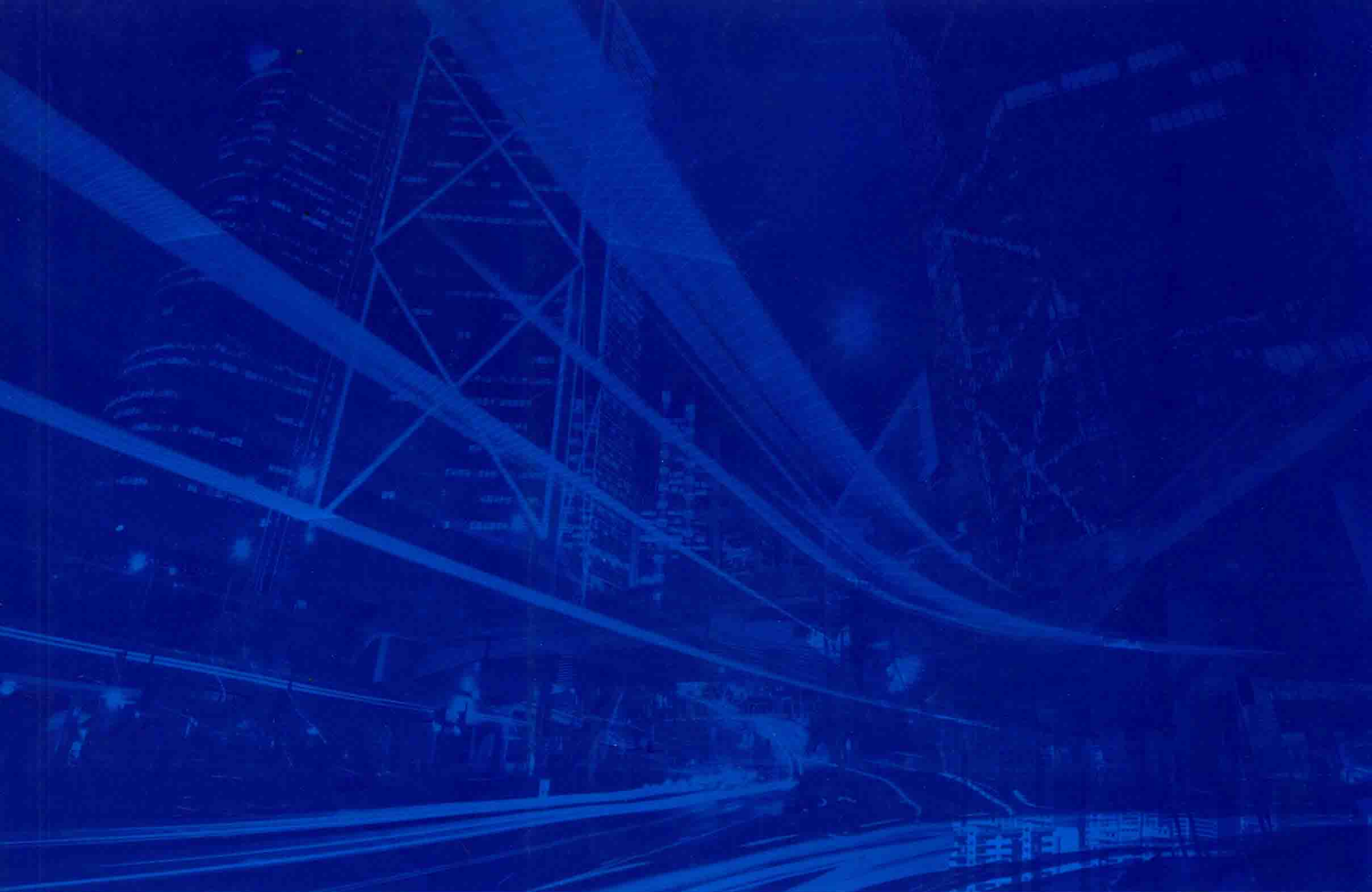




中国城市科学研究会数字城市专业委员会轨道交通学组 编

智慧城市 与轨道交通

2017



中央民族大学出版社
China Minzu University Press



中国城市科学研究会数字城市专业委员会轨道交通学组 编

智慧城市 与轨道交通

2017



中央民族大学出版社
China Minzu University Press

图书在版编目(CIP)数据

智慧城市与轨道交通. 2017/中国城市科学研究会数字城市专业委员会
轨道交通学组编. —北京:中央民族大学出版社,2017.5

ISBN 978-7-5660-1357-6

I. ①智… II. ①中… III. ①现代化城市—城市铁路—轨道交通—
研究 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 108488 号

智慧城市与轨道交通. 2017

编 者 中国城市科学研究会数字专业委员会轨道交通学组

责任编辑 舒 松

封面设计 汤建军

出 版 者 中央民族大学出版社

北京市海淀区中关村南大街 27 号 邮编:100081

电话:68472815(发行部) 传真:68932751(发行部)

68932218(总编室) 68932447(办公室)

发 行 者 全国各地新华书店

印 刷 厂 北京盛华达印刷有限公司

开 本 889×1194(毫米) 1/16 印张:33.25

字 数 850 千字

版 次 2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5660-1357-6

定 价 186.00 元

版权所有 翻印必究

《智慧城市与轨道交通》编委会

顾问 许溶烈 陈祥福 李 迅

主任委员 李爱敏

副主任委员 (按姓氏笔画为序)

王志刚 朱敢平 朱 玲 余 乐 吴学增 吴焯鹏 张建全 张艳英 李 京
肖培龙 苏立勇 邵 斌 林必毅 赵 炜 段旭初 段祥明 徐勇烈 黄 静
喻正秋 廖龙英 薛晨洋

主 编 段祥明

副 主 编 廖龙英

编 委 (按姓氏笔画为序)

丁德云 于纪利 王 欣 王 凌 王文斌 王仕春 王会发 王红艳 王纪红
邓中亚 石 林 白智强 李 悦 李 熙 肖 衍 张 骄 张 梅 张 超
张广鹏 张光明 罗 辉 金战军 梅佳琪 盛 良 韩 健 温法庆 雷 鹏

前 言

全国智慧城市与轨道交通学术会议已成功举办了三届，为学术界和实务界搭建了理论和实践交流的平台，邀请了国际国内的著名专家学者分享技术创新成果和规划建设经验，为促进智慧城市和轨道交通协同发展做出了贡献。

在我国城市轨道交通日益发展之际，为加强业内的学习交流、合作共赢，推进我国智慧城市与城市轨道交通可持续发展，中国城市科学研究会数字城市专业委员会轨道交通学组定于2017年4月16日—18日在天津市举办“第四届全国智慧城市与轨道交通学术会议暨轨道交通学组年会”，会议自2016年开始征集论文，广大会员积极参与撰写论文。到目前，共收到论文146篇，经专家审核本次论文集收录119篇。其中有部分质量很高的论文，我们选为优秀论文，拟在会上进行表彰。从数字可以看出，去年第三届学术会议收到论文投稿119多篇，收录了96多篇，今年大大增加，这反映出学组成员对参与学组活动和论文投稿很有积极性和热情。也反映出行业发展的前景越来越好。我们希望通过学术交流和论文征集活动，使学组更具有活力，并通过学组活动推动整个行业发展。同时，也希望学组成员通过学术活动和撰写论文，在事业上有收获，有进步。

《智慧城市与轨道交通2017》的形成是学组成员集体智慧的结晶。期间，编委会投入了大量的时间与精力，学组成员单位给予了积极的支持和帮助，专家顾问提出了宝贵的意见和建议。在此，我们对他们表示衷心的感谢。

轨道交通学组

2017年5月

目 录

第一部分 研究分析报告篇

刚性接触网 F + F4622 型膨胀接头烧蚀原因分析..... 盛 良 张文轩 王文斌 /002

合肥地铁 2 号线 BAS 系统组网方案的选择

 及优化研究 赵 健 林必毅 余承英 孙阳松 /013

天津地铁 1 号线车体结构稳定性研究 魏树春 付光涛 宋承昊 /019

城市轨道交通车辆运行平稳性评价方法的探讨 戴源廷 王文斌 /023

天津地铁 1 号线车载信号系统保障方案 宋承昊 李 实 付光涛 /028

地铁车辆检修管理信息化必要性及可行性分析 王强能 陈 俊 黄湛彦 /031

天津地铁 2、3 号线车钩缓冲装置异响分析与研究..... 赵 刚 户 斌 车宇翔 /034

城市轨道交通动态验收模式探讨 戴华明 王文斌 /038

天津 2、3 号线空调变频改造可行性与经济性分析..... 赵 刚 孙 兵 石鹏飞 /043

地铁车辆变频空调节能改造试验及应用前景分析 梁开义 郑传海 张振涛 /048

中庭式地铁车站消防问题解决策略研究 王 欣 /051

地铁车辆膜式干燥器故障分析及对策探讨 袁 磊 亓立敏 肖中历 /054

基于 LM 型踏面两种轮缘厚度磨损的比较 臧 磊 杜连超 /057

档案管理的重要性浅析 赵 祯茹 许逢时 /062

基于云计算的城市轨道交通信息安全预警防御系统研究 高成超 肖 衍 /064

城市轨道交通 PPP 项目补贴模式研究 姜晓锋 /068

PPP 模式下的城市轨道交通项目的资产证券化探讨 丁伯康 吴倩倩 /072

天津地铁 6 号线受电弓快排阀国产化探讨 李云波 刘东宇 杨小鑫 /078

基于地铁网络化运营车辆救援资源配置研究 刘东宇 冀祖卿 李文龙 /082

基于单片机的地铁客室车门检测装置研究 周志辉 丁晓峰 /084

试论地铁运营乘务电客车司机培训管理探究 只云翔 曹祥韬 /090

关于钢轨打磨车燃油压力低问题的讨论	只云翔	刘琦	/093
地铁列车制动数字指令控制策略的对比分析	卿立勇	石鹏飞	刘蔚 /096
加强学术研究推动智慧城市建设大有可为		罗辉	/100
地铁车辆车厢内标识应用研究	张丽	李熙	/108
浅谈轨道交通行业人员培训的管理与实施		李涛	/112
机场线 QKZ5 型车辆国产化基础制动装置制动能力分析	张骄	李熙	/115
某线列车齿轮箱漏油问题分析和研究		刘永旭	/120
地铁乘务管理标准化研究与分析		滕文光	/124
智慧城市 PPP 项目全过程运营风险管控实践	林必毅	赵瑜	王飞翔 /127
合肥 1 号线综合后备控制盘及车控室			
一体化改进研究	孙阳松	林必毅	余承英 赵健 /130
天津地铁车辆数据智能采集与分析研究	冯跃	叶鹏君	刘峥 /136
南京地铁 3 号线 PIS - ISCS 接口测试			
及 PIS 技术改进研究	余承英	林必毅	赵健 孙阳松 /141
机场线 QKZ5 型车辆制动系统可靠性分析	张骄	李熙	/147
地铁车辆接地技术分析	李绍国	于君	马永超 /152
浅谈企业人员激励机制的必要性	欧阳俊	刘哲	/156
城轨司机培训管理分析		张猛	/159
地铁司机工作标准与安全行车问题的探索研究	王志超	王英男	康策 /161
地铁车辆整体式和分体式齿轮传动装置的探讨	杨延鹏	罗新	/164
浅谈地铁新线设备总联调工作		于君	/167
关于 1 号线受流器回退机构改造的探究	李思睿	王为辉	/171
铝合金地铁车体性能可靠性研究	王为辉	孙兵	/174
天津轨道交通网络化运营下应急资源优化配置的构想	解晓东	左佳	/179
浅谈段场设备目视化管理	郭城浩	武乡	/181
列车广播系统损耗失效期维护方法	武星宇	刘素梅	段开锋 /183
地铁网络化运营下换乘车站客运组织分析		顾鉴超	/185
天津地铁安检现状及可行性提升分析		雷方舟	/190
浅谈地铁车站防汛应急措施		聂景东	/197
浅析城市轨道交通的现状与管理		王轩	/201
基于可靠度的轨道交通调度双层规划模型研究		张光明	/204
地铁网络化运营下标识系统优化研究		张胜鑫	/209
天津地铁 1 号线闸瓦国产化试验对比分析	郑传海	王景振	/213
国内外轨道交通杂散电流防护标准对比分析		周伟志	/216

天津地铁网络化运营战略发展规划分析	元莎莎 / 221
城市轨道互联互通网络化调度指挥系统构建	韩 晓 / 224
城市轨道交通既有设备设施改造对正常运营的影响及控制措施研究	岳严良 / 229
轨道交通公务专用电话系统软交换应用浅析	陈文博 / 233
津滨轻轨分段绝缘器打火调整浅析	金战军 马海军 / 236
浅析电气化铁路接触网拉弧打火的原因及解决方法	金战军 马海军 / 239
受损车体钢结构检测方法研究	张 悦 / 244
泰达现代电车导轮异常磨损原因调查及防治措施研究	李 悦 / 249
天津地铁 9 号线司机轮乘方式探讨	张汉明 / 255
天津轻轨 9 号线电客车空调系统半载功能改造	刘忻述 焦 蕊 / 261
现代有轨电车供电系统谐波分析及抑制研究	张 梅 / 264
运营线路维检修作业时间控制与分配	南 山 / 269
京津冀地区城际铁路网建设投融资模式探究	刘 萍 王大力 / 273
地铁轨道交通建设安全案例分析与研究	管建国 / 279
津滨轻轨电客车受电弓检修模式的论证	侯振波 / 284
地铁新线建设运营筹备跟进的一般性流程及管理思路浅析	刘建刚 / 287
钢铝混合地铁车车体耐撞性分析及结构优化	侯云尧 / 292
津滨轻轨电客车塞拉门检修模式的论证	侯振波 / 297

第二部分 设计与施工篇

关于盾构机推进油缸中心直径与油缸撑靴板影响管片拼装质量的研究	雷 鹏 / 302
京津冀地区城市地铁的建设和发展	王 伟 / 306
盾构泡沫膨润土系统的优化设计	邵宪礼 温法庆 李春林 杨惠源 李海峰 / 310
基于北京地铁 16 号线出入口建筑标准化设计研究	白智强 冀 程 / 315
基于 EXCEL VBA 的车轮专家系统设计	杜 远 于广森 / 324
盾构推进地面塌陷事故处理及复推方案介绍	王 凌 张跃明 张宇亭 / 327
地铁车辆 TCMS 系统功能设计优化及实现	代保新 / 334
关于在地表密集建筑群或主干道实现地层注浆加固的措施	雷 鹏 / 337
地铁车辆用直线感应电机结构设计与强度分析	崔霆锐 宗立明 李 熙 谢 浩 / 343
浅谈地铁车辆段场安全行车组织与施工管理	张增杰 / 350
列车控制监控系统界面显示设计优化研究	冯 跃 叶鹏君 张自强 / 353
轨道交通车地无线通信 LTE 方案设计探讨	王飞翔 林必毅 赵 瑜 / 357

地铁车辆轴箱弹簧高度测量尺设计与应用 赵昆志 杨长建 /361

在地铁运营中基于目视化施工管理的布局图 李 东 /363

富水复合地层中的土压平衡盾构

 开仓技术探讨 温法庆 杨惠源 邵宪礼 胡 鹏 李春林 罗 灵 /365

第三部分 应用篇

城轨道交通轨道全生命周期综合管理智能平台 丁德云 曹卫东 李凡华 邵 斌 /378

地铁车辆客室服务设施优化 张振涛 李存东 付光涛 /383

城市轨道交通工程测量信息化管理的研究与应用 张 超 /386

智能化轨道交通运营与管理 刘国辅 /390

地铁车辆应急情况下制动切除优化 刘 蔚 石鹏飞 魏树春 /393

膜式干燥器在城市轨道交通车辆风源系统上的应用及思考 周光富 李 超 /396

基于天津地铁车辆的不同形式塞拉门的对比 李笑春 牛 超 朱 晨 /400

天津地铁6号线车钩钩缓装置应用介绍 杨小鑫 吴静申 /404

北京地铁机场线磁轨制动器的改进 李 熙 胡晓菲 /408

北京地铁机场线制动夹钳国产化研制及改进 胡晓菲 宗立明 谢 浩 /412

连锁区域信号故障下乘务安全分析框架体系介绍 刘 阳 /415

浅谈日报统计在地铁检修管理中的作用 张 勇 史 昭 吴卓勋 /418

浅谈天津地铁乘客诱导系统的发展应用 魏孝松 肖远东 吕 骁 /421

北京机场线车辆转向架振动监测试验 谢 浩 李 熙 陈 湘 /425

浅析城市轨道交通网络化运营管理 陈沛睿 /429

浅谈城市轨道交通供电安全防误联锁管理系统 周治里 郭茜茜 /434

地铁幅流风机自主化研制与应用试验 李 熙 /436

车辆中心电客车维修物资定额 邵 奇 陈青健 /440

“地铁运营关键设备监测平台”

 ——信号子系统功能简介 王红艳 霍苗苗 李 熙 宗立明 /446

浅析电力电子电容器在城轨车辆上的应用 赵俊伟 徐洪亮 薄少彬 /451

浅析智能轨道交通新技术的应用 王 帆 张 昕 /454

VESDA 系统在城市轨道消防系统中的应用 范博学 /460

轨道交通调度指挥体系下综合监控系统应用探讨 周 欣 /463

浅谈行车调度在轨道交通运营组织中的作用 付晓峰 /473

浅析地铁车站中的综合监控系统 张 岩 范博学 /477

天津地铁9号线屏蔽门控制系统介绍及典型故障处理 张长兵 /479

智慧城市之天津轨道交通乘务员司机的建设与培养 张春宇 /486

天津地铁电客车系统性提升智能化方案 王会发 周兴祥 /488

浅谈地铁防雷检测及预防措施 周治里 郭茜茜 /493

基于 BIM 的 RMP 在轨道交通运营管理中的应用 石 林 彭品入 张 岩 /496

浅析多种物探方法在城市轨道交通项目中的应用 陈露露 /499

无线定位系统在地铁日常及应急管理中的应用 杨 祎 /505

CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION METHOD OF MULTI - DIMENSIONAL
REAL - TIME INTEGRATED OPERATION MANAGEMENT
SYSTEM IN FUZHOU METRO Lin yunzhi Wu yanchun Qi xiaobing /511

1

第一部分

研究分析 报告篇

刚性接触网 F + F4622 型膨胀接头烧蚀原因分析

盛 良¹ 张文轩¹ 王文斌²

(1. 中国铁道科学研究院基础设施检测研究所; 2. 中国铁道科学研究院城市轨道交通中心)

摘 要: 针对我国某地铁线路刚性悬挂 F + F4622 型膨胀接头普遍烧蚀严重的问题, 通过对比新旧滑板廓形特征、膨胀元件结构及布置特征以及新旧滑板与膨胀元件动态弓网过程, 发现旧碳滑板中心区域集中磨耗的高差是引起该线膨胀接头烧蚀严重的直接原因, 并通过新旧滑板等多种工况的弓网动态试验验证了分析结论。为进一步查明碳滑板中集中磨耗产生的原因, 采用激光非接触检测系统对全线接触线平面布置进行动态测量, 通过对全线四种平面布置方案的拉出值分布特征及各自所占比例分析, 得出了膨胀接头拉出值零点布置的过高比例使用是造成碳滑板中心集中磨耗的直接原因, 也是该线 F + F4622 型膨胀接头烧蚀的根本原因。

关键词: 膨胀接头烧蚀; 拉出值; 滑板磨耗; 弓网动态检测

0 引言

为节约隧道净空, 我国多条地铁地下隧道内均采用刚性悬挂接触网。为改善高速区段锚段连接处弓网关系, 多条最高运行速度达 100km/h 及以上地铁线路采用滑道式膨胀接头进行机械分段, 以对锚段内汇流排温度变化所产生纵向的膨胀或收缩予以补偿, 并使受电弓在膨胀接头处可以平稳滑过而不产生机械或电气中断^[1-3]。但多条线路开通运行至今均出现膨胀接头的普遍烧蚀现象 (如图 1 所示), 经国内外专家多次反复精调后仍无法避免烧蚀现象出现, 极大地增加了运营单位的维护成本, 并严重影响线路安全运行^[4-7]。利用铁科院新研发的基于地铁运营车辆的弓网检测系统, 对安装有 F + F4622 型膨胀接头的国内某地铁线路进行了多工况的弓网动态检测, 在充分分析

各项试验数据后, 总结出了其烧蚀的根本原因。

1 膨胀接头

采用 Furrer + Frey 公司研制的 4622.2 型双辅助线膨胀接头, 膨胀接头全长 1 515mm, 由铝合金框架、镀银导电杆、动触头、静触头 and 附加导线夹板等部件组成, 其温度最大补偿范围为 1 000mm。膨胀接头单根重量达 58kg, 属于集中荷载。膨胀接头夹装在相邻两端的汇流排中间, 两端均存在主导线和辅助导线并行区段, 该区段三接触线高度相同, 水平间距为 35.4mm, 如图 2 (a) 所示。膨胀接头附加导线



图 1 膨胀接头烧蚀情况

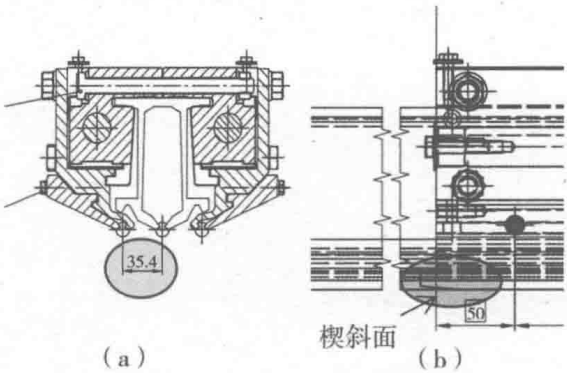


图 2 膨胀接头结构特征

两端和汇流排端部接触线均预打磨成长度50mm，高度6.8mm，外露20mm的楔形斜面作为滑板导入角，以引导受电弓平滑通过，如图2（b）所示。

为保证膨胀接头处汇流排能够自由伸缩，Furrer + Frey 公司要求膨胀接头应安装在轨道上尽可能直的中轴线、拉出值为零的位置上。为确保顺滑过渡，膨胀接头两支撑点相邻外侧一支点的拉出值也设置为零值。图3为该地铁线路膨胀接头的安装方案。这样，膨胀元件两端约各15米的接触线拉出值接近零值。

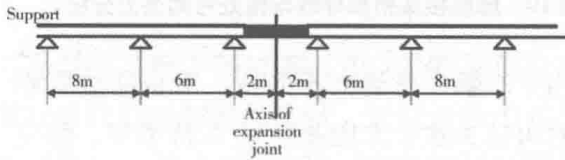


图3 膨胀元件安装方案

2 受电弓滑板

在受电弓的整个有效工作周期内，除碳滑板作为耗材部件不断更新替换外，受电弓其他部件均无需特殊调整。因此碳滑板是受电弓整个有效运行周期内最为显著的变量因素。同时，碳滑板作为受电弓的重要部件，负责与接触线滑动接触并将电能可靠传输至车内牵引系统，碳滑板状态的变化直接影响弓网关系，应重点分析旧滑板相对新滑板的差异。

如图4所示，为新碳滑板，其碳条宽度为800mm，工作范围内（-300mm—+300mm）碳条高度均为39mm，滑板工作区域为直线，滑板各点高度一致。



图4 新碳滑板实物图

如图5所示，为运维更换后的旧滑板，并且据现场调研发现，运维更换下的旧滑板磨耗

廓形基本一致。



图5 旧滑板磨耗实物图

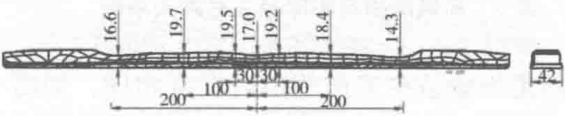


图6 旧碳滑板廓形3D扫描结果

利用3D扫描技术，对旧滑板廓形轮廓扫描，扫描结果如图6所示。分析发现，旧滑板共存在5个集中磨耗区域并有如下特征：

- (1) 位置1和位置5为拉出值 $\pm 200\text{mm}$ 位置区域，剩余高度分别为16.6mm和14.3mm，磨耗量分别达22.4mm和24.7mm；
- (2) 位置2和位置4为拉出值为 $\pm 100\text{mm}$ 位置区域，剩余高度分别为19.7mm和18.4mm，磨耗量分别达19.3mm和20.6mm；
- (3) 位置3为距弓碳滑板中心 $\pm 30\text{mm}$ 区域，剩余高度为17.0mm，磨耗量达22.0mm。

3 膨胀接头处弓网动态作用分析

根据膨胀接头结构及布置特征，滑板通过膨胀接头时需经历如图7所示的5个状态和4次过渡过程。过渡过程中滑板与膨胀接头接触的位置和数量均发生变化，易引起弓网关系变化。

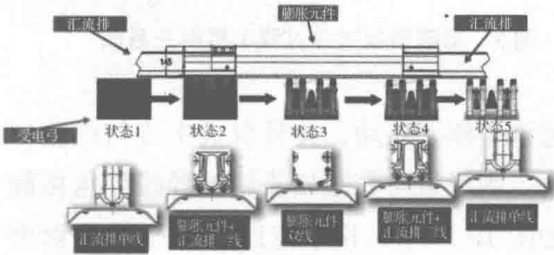


图7 新旧滑板与膨胀元件动态作用状态

3.1 新碳滑板与膨胀接头

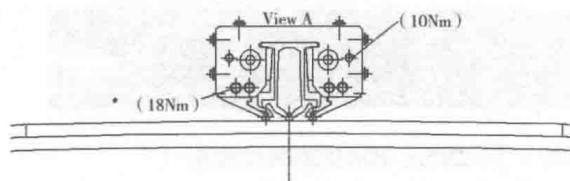


图8 新碳滑板与膨胀接头弓网关系图

新滑板碳条在工作范围内高度相同，当滑板通过膨胀接头时，四次过渡过程中，除因车体晃动引起的滑板中心区域高度小幅度变化外，滑板与膨胀接头条三接触线高度基本一致，并且膨胀接头主导线与附加导线端部设置的楔形斜面有助于平滑过渡。因此，新碳滑板与膨胀接头弓网受流质量应较为稳定，应无硬点、接触力及燃弧等超限。

3.2 旧滑板与膨胀接头

旧滑板碳条中心 -30mm— +30mm 区域存在集中磨耗，最大高差达 3mm。在过渡过程 1 中，弓网由单线接触转变为三线接触，滑板进入膨胀接头前，汇流排接触线已处于滑板中心位置，此时距滑板中心 ±35.4mm 位置高度超过膨胀接头两侧附件导线，最大高差达 3mm，如图 9 所示。

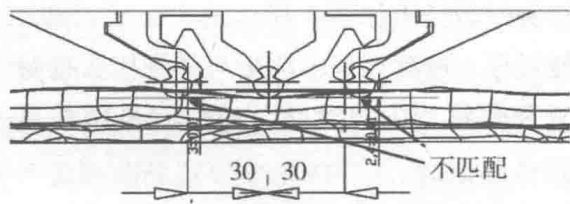


图9 旧碳滑板过渡过程1弓网关系图

假设车体无晃动，并且滑板中心与线路中心重合，则滑板与膨胀接头附加导线导角接触位置如图 10 所示，接触点距附加导线底面垂直距离最大 3mm，距导角拐点水平距离 22mm。对滑板进行受力分析，滑板受到附加导线楔形斜面垂直向下的冲击力 F_0 。在垂直和水平两个方向对其进行分解，得水平和垂直分力 F_x 和

F_z 。导角倾斜角度 $\theta = 8^\circ$ ，经计算 $F_x = 0.14F_0$ ， $F_z = 0.99F_0$ ，冲击力 F_0 主要作用于滑板垂直方向。

$$F_x = F_0 \sin \theta, F_z = F_0 \cos \theta$$

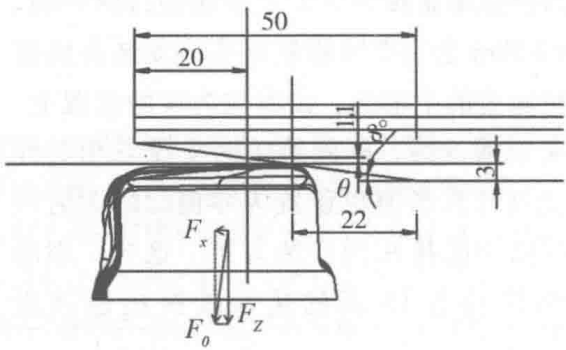


图10 膨胀接头附加导线导角处弓网受力分析

由于车辆质量远大于滑板，滑板通过膨胀接头时可认为水平方向速度 v_x 保持不变，假定 $v_x = 90\text{km/h}$ ，则滑板在垂直方向的运动速度 v_z 为：

$$v_z = v_x \tan \theta = 90\text{km/h} \times 0.136 = 12.24\text{km/h}$$

而滑板垂直加速度 a_z 是速度的时间微分，其大小取决于状态转变的时间 Δt ， a_z 随 Δt 变化曲线趣图如图 11 所示。当中 $\Delta t = 10\text{ms}$ 时，滑板垂向加速度 a_z 达 36g。

$$a = \frac{dv}{dt}$$

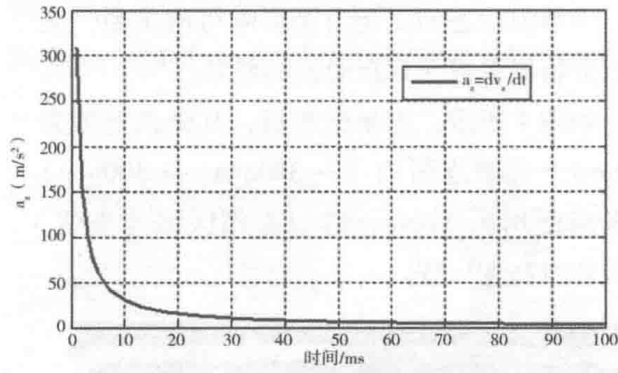


图11 垂直加速度 a_z 随作用时间 Δt 变化曲线

可见，该过渡过程 1，弓网不平顺一定存在，并且考虑到车体晃动等其他动态因素，不仅接触点位置可能会向上发展，同时随着车速

的增加，垂向不平顺性应不断加剧。

当滑板运动到导角拐点时，惯性作用使滑板垂向速度仍保持为 v_z ，这将引起滑板与膨胀接头辅助导线分离，造成弓网离线燃弧。且随着速度的增加，离线时间不断增加，持续燃弧施加增加。

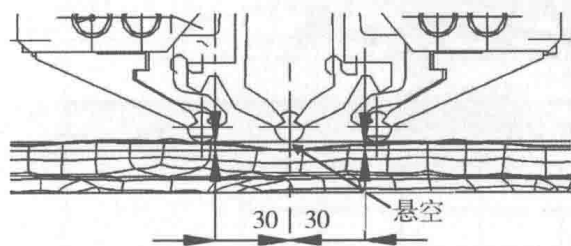


图 12 旧碳滑板过渡过程 2 弓网关系图

在过渡过程 2 到过渡过程 4，膨胀接头两侧附加导线始终与滑板接触，造成滑板中心与接触线悬空，如图 12 所示，过渡过程与滑板接触的导线数量的接触位置均未发生变化，弓网关系平稳。

4 弓网测试及分析

针对以上分析，设计开展了弓网动态检测试验，试验包括了新、旧碳滑板等共计 6 个工况试验。检测装置如图 13 所示，由激光非接触检测系统和动态作用参数检测系统组成，检测参数及精度，见表 1：

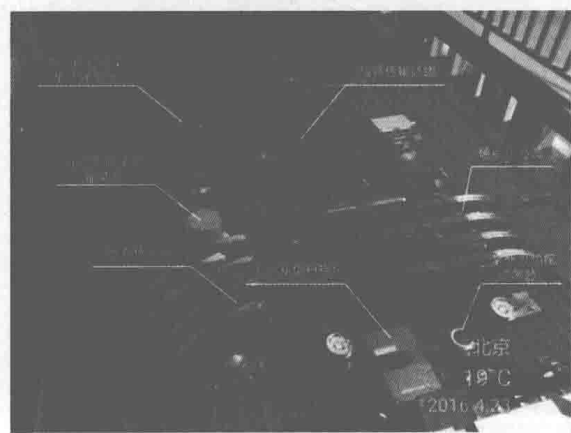


图 13 基于地铁运营车辆的接触网检测系统

表 1 检测系统测量技术指标

序号	检测项目	测量范围	最大允许误差
1	刚性导线高度	3900—5700mm	± 4mm
2	柔性导线高度	3900—5700mm	± 10mm
3	拉出值	± 500mm	± 10mm
4	导线水平距离	0—800mm	± 20mm
5	导线垂直距离	0—500mm	± 20mm
6	硬点	± 150g	≤ 1%
7	弓网接触力	0—250N	≤ 1%
8	弓网燃弧	0—3s	≤ 5%
9	速度	0—120km/h	± 0. 1km/h
10	里程	0—100km	≤ 1%

4.1 燃弧测试

弓网燃弧时温度高达上千度，是造成膨胀接头烧蚀的直接原因，其持续时间能直接反应膨胀接头的烧蚀程度^[8-10]。统计正线上下行剩余 26 处膨胀接头处燃弧数据，如图 14 所示。全线新旧滑板工况总燃弧时间分别为 5720ms 和 11672ms，旧滑板总燃弧时间明显高于新滑板。燃弧测试结果表明，旧滑板工况与膨胀接头弓网关系较新滑板恶劣。

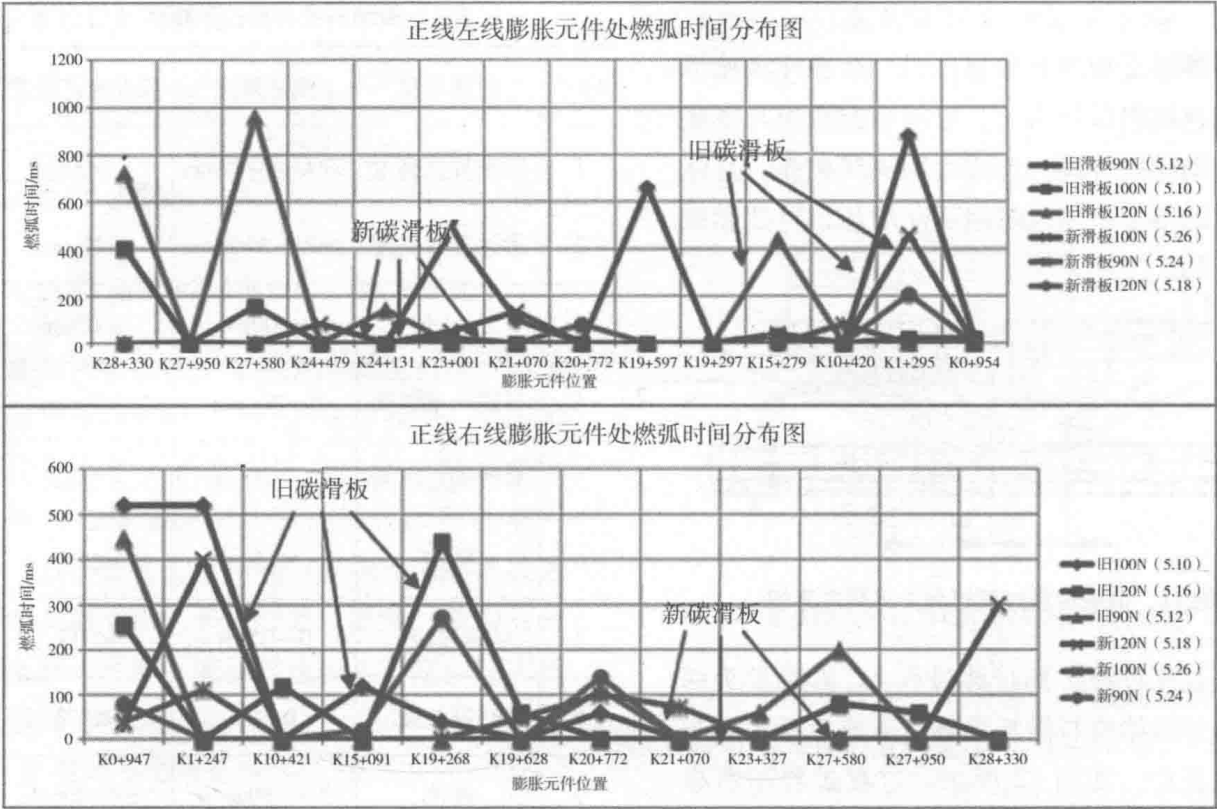
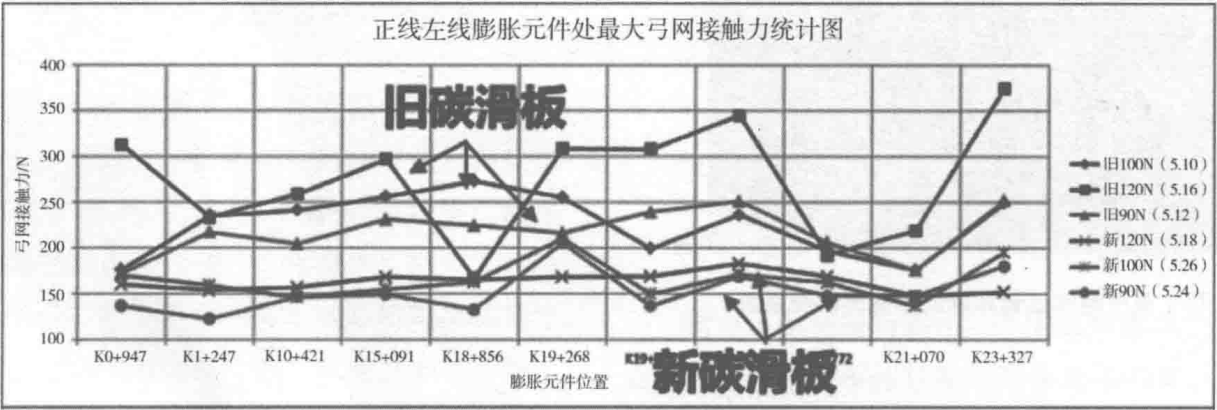


图 14 正线全线膨胀接头处燃弧分布图

4.2 弓网接触力测试

受电弓滑板与接触线属于一对摩擦副，二者的动态接触力直接影响弓网受流质量^[11-12]。统计正线上下行 26 处膨胀接头处弓网接触力最大值和最小值，分别如图 15 和图 16 所示。分析发现，新旧滑板与膨胀接头最大和最小弓网接触力均出现明显分界，其中旧滑板时弓网最大接触力主要分布在 200—400N，新滑板时弓网接触力主要分布在 100—180N；弓网最小

接触力旧滑板明显小于新滑板，尤其 90N 和 100N 静态抬升力工况下最为突出。参考《轨道交通受流系统受电弓与接触网相互作用准则》（GB/T 3271—2011）：最大弓网接触力≤300N，最小弓网接触力>0N。新滑板与膨胀接头弓网接触力处于合理范围，旧滑板与膨胀接头弓网最大接触力和最小接触力均有超标现象。弓网接触力测试结果表明，旧滑板与膨胀接头间弓网关系较新滑板显著恶劣。



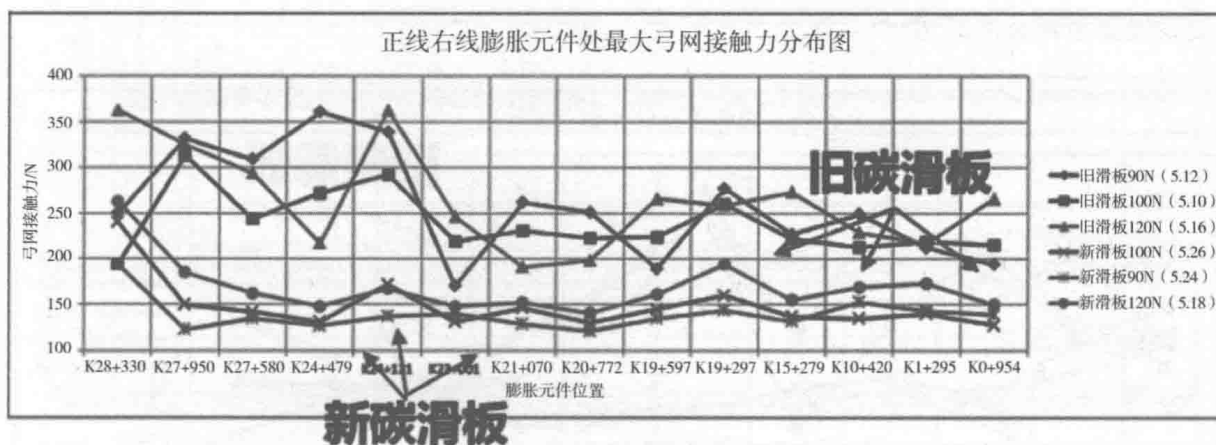


图 15 正线全线膨胀接头处弓网最大接触力分布图

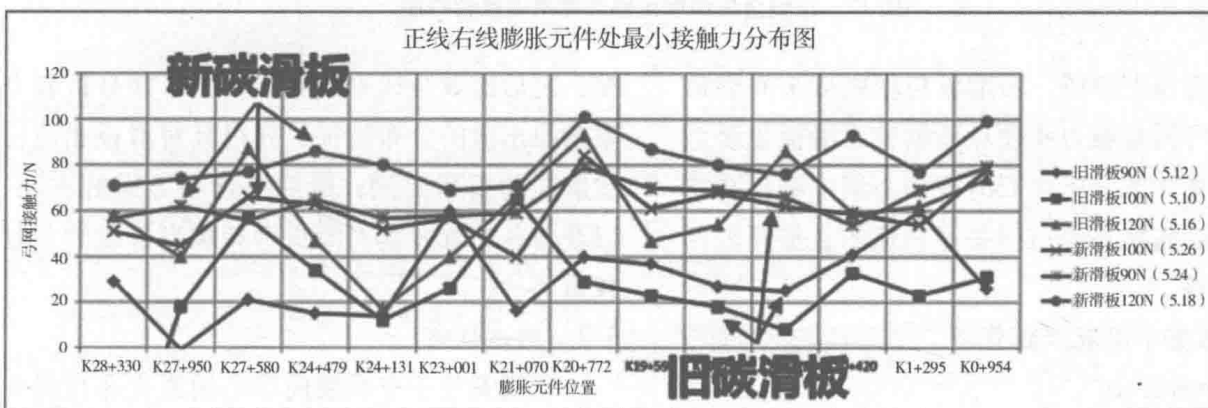
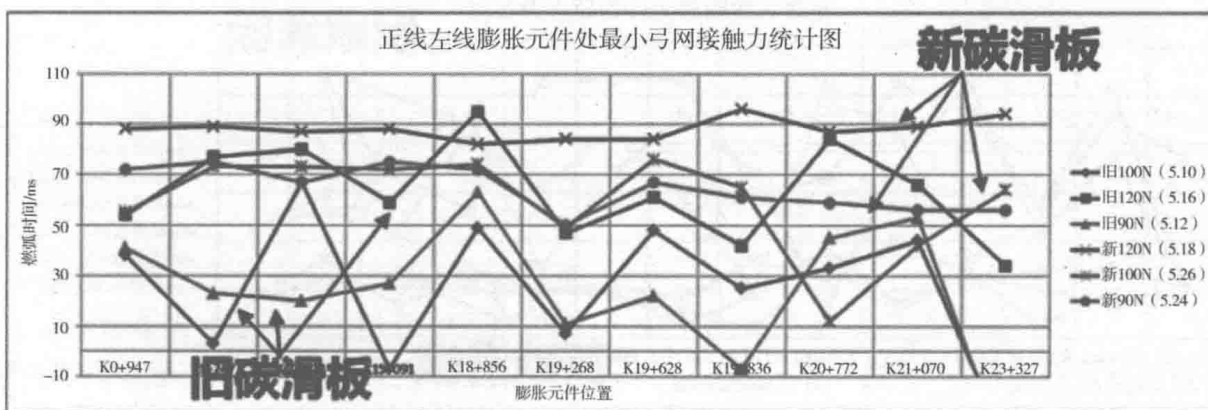


图 16 正线全线膨胀接头处弓网最小接触力分布图

4.3 硬点测试

硬点能够捕捉极短时间内的弓网运动变化,是表征弓网平顺性的重要参数^[11,12]。统计正线上下行 26 处膨胀接头处硬点数据如图 17 所示。分析发现,新滑板与膨胀接头间硬点主要集中在稳定在 5—20g 范围,而旧滑板与膨胀

接头间硬点则相对零散分布在 20—60g 范围。参考高速铁路动态验收标准,时速 160—200km/h 柔性接触网的硬点检测标准为小于 49g。新滑板通过膨胀接头时硬点值处于合理范围,旧滑板通过膨胀接头时硬点值超标严重。硬点测试结果表明,旧滑板工况与膨胀接