

# 射频识别技术在城市轨道交通车辆检修专业 信息化建设中的应用\*

刘斐然<sup>1\*\*</sup> 徐 栋<sup>2</sup> 田云峰<sup>1</sup> 陈万里<sup>2</sup> 尚 伦<sup>2</sup>

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司城市轨道交通中心, 100081, 北京;

2. 北京市轨道交通运营管理有限公司, 100068, 北京//第一作者, 工程师)

**摘 要** 目的: 为有效提高城市轨道交通车辆检修专业信息化管理水平和现场作业效率, 有必要结合 RFID(射频识别)技术开展相应的应用研究工作。方法: 从现场人员安全管理, 物资无人值守管理, 工具、工装、抢险设备动态管理, 走行部及车下高压部件, 线缆温度监控, 以及车辆部件全生命周期管理等方面, 总结了当前城市轨道交通车辆检修专业在运营管理过程中的“痛点”问题。简述了 RFID 技术的工作原理和技术特点, 以及基于 RFID 技术的车辆检修专业信息化平台构成, 并详细介绍了该平台应用层中的人员监控系统, 物资无人值守子系统, 工具、工装、抢险设备动态管理子系统, 温度监控系统, 以及车辆全生命周期履历管理子系统。从电子标签选型与安装、降低电子标签安装成本等方面介绍了 RFID 技术在车辆检修专业信息化建设应用中的关键问题。结果及结论: RFID 技术可以很好地应用于城市轨道交通车辆检修专业中, 为人员安全管理、物资管理、工器具及设备管理、温度采集、车辆全寿命周期履历建设提供支持, 在检修过程中真正实现降本增效, 为企业的数字化转型提供帮助。

**关键词** 城市轨道交通; 车辆检修专业; 信息化建设; 射频识别技术

**中图分类号** U279.3<sup>+</sup>23

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.10.026

## Application of RFID Technology in Information Construction of Urban Rail Transit Vehicle Maintenance Discipline

LIU Feiran, XU Dong, TIAN Yunfeng, CHEN Wanli, SHANG Lun

**Abstract** Objective: To effectively enhance the information management level and on-site operational efficiency of urban rail transit vehicle maintenance discipline, it is necessary to

conduct relevant research using RFID (radio frequency identification) technology. Method: From the aspects of on-site personnel safety management, unmanned material management, dynamic management of tools, equipment and emergency devices, monitoring of running gear, undercarriage high-voltage components and cable temperature monitoring, and full lifecycle management of vehicle components, the 'pain points' in the operation-management process of urban rail transit vehicle maintenance discipline are summarized. The working principle and technical characteristics of RFID technology is briefly introduced, along with the composition of an information platform for vehicle maintenance discipline based on RFID technology. The application layer of the platform is introduced in detail, including the personnel monitoring subsystem, unmanned material management subsystem, dynamic management subsystem for tools, equipment, and emergency devices, temperature monitoring subsystem, and the vehicle full lifecycle record management subsystem. Key issues related to the application of RFID technology in vehicle maintenance discipline information construction are discussed, such as electronic tag selection and installation, and electronic tag installation cost reduction. Result and Conclusion: RFID technology can be effectively applied to urban rail transit vehicle maintenance discipline, providing support for personnel safety management, material management, tools and equipment management, temperature collection, and vehicle full lifecycle record construction, which truly contributes to cost reduction and efficiency improvement in the maintenance process, supporting the digital transformation of enterprises.

**Key words** urban rail transit; vehicle maintenance discipline; information construction; RFID technology

**First-author's address** Urban Rail Transit Center, China

\*北京市自然科学基金-丰台轨道交通前沿研究联合基金项目(L221001);中国铁道科学研究院集团有限公司科研开发基金项目(2022YJ235)

\*\*通信作者

Academy of Railway Sciences Group Co., Ltd., 100081, Beijing, China

在城市轨道交通车辆信息化建设中,RFID(射频识别)技术并未广泛应用,依然存在大量人工录入、人工查找、人工测量、人工识别定位等工作,究其原因在于早期的RFID标签抗金属能力差、外壳防护能力弱、体积大、存储容量低,无统一的使用规范。而随着科技的发展,RFID标签已具备很好的抗金属能力,防护等级及使用寿命不断增加,体积逐步缩小,存储容量也在不断增大。2016年我国还发布了GB/T 32829—2016《装备检维修过程射频识别技术应用规范》<sup>[1]</sup>。因此,在RFID技术领域,针对车辆检修专业进行系统的应用研究,设计出对应的管理系统,解决现场“痛点”问题是非常必要的。

## 1 车辆检修专业信息化建设现状

目前,在车辆检修专业进行信息化建设中已基本对各个流程进行了数字化转型,抛弃了原有的纸质单据,但仍有大量工作需要进行人工识别、确认、批准及记录,无法真正实现自动化或半自动化,下述问题尤为明显。

### 1.1 现场人员安全管理

车辆检修专业人员主要在停车场和车辆段(以下简称“场段”)进行工作。场段的特点是面积大,存在大量高压和高空平台、平交道等危险作业场所,并有锅炉房、易燃品库、物资库、停车股道等重点区域。为保证安全,作业人员必须在控制中心进行施工登记并佩戴好相应劳动保障用品后才可进入。目前作业人员进入作业区域时主要通过安保人员进行管理,在管理过程中可能出现人员排队登记、非计划中人员混入、外来人员误入、未携带劳动保障用品等情况。同时因作业区域面积大、通信信号不稳定等问题,无法第一时间知晓作业人员位置,给管理带来不便。

### 1.2 物资无人值守管理

因车辆部件种类多,数量多,在物资采购、入库、领用、返还、返修时需耗费大量的人力进行昼夜不间断管理,而既有的物资管理系统很难做到无人值守,领用时也需逐一进行登记,影响作业效率,较难对物资使用情况进行追溯和分析。

### 1.3 工具、工装、抢险设备动态管理

车辆检修专业使用的工具和工装种类多,数量

多,部分工具还需要定期进行计量检定,一般会安排专人进行管理,耗时耗力。在结束作业时,也可能因人员疏忽出现工具遗留现场或丢失等情况,造成安全隐患和财产损失。同时,车辆检修专业往往还负责防汛、防雪及车辆复轨等抢险工作。而执行抢险作业时,因时间紧迫,易出现漏拿、错拿等问题,影响抢险效率。

### 1.4 走行部及车下高压部件、线缆温度监控

部分运营单位在列车回库时,会通过人工对轴箱、牵引电机等部件进行温度测量,并及时对异常发热点进行检查。部分单位还会在关键位置粘贴温度贴纸,但该贴纸只能在温度过高时记录最高温度,此时相应部件往往已受损,无法及时发现处理问题和降低损失。

### 1.5 车辆部件全生命周期管理

车辆检修专业主要对城市轨道交通列车进行如日检、列检、月修、定修、架修及均衡修等计划内的检查和保养工作,以及对各系统进行故障维修工作。在此过程中,各系统与各部件的检查记录、保养记录、维修记录、使用时间、运营公里、安装位置及存放位置等全寿命周期履历信息尤为重要,但在记录履历过程中也存在着一定困难,具体情况如下:

1) 部件级公里实时追踪。多数计划内工作均与车辆运营公里有关,但随着架修、故障修的出现,会造成部分部件未在原有列车上使用,造成该部件的运营公里记录混乱,因此易出现对新部件的过度维修或老部件的欠修。

2) 部件安装位置更新。周转件、故障件在进行外委或返厂维修后,基本无法安装在原车上。此时,需要人工将车辆履历进行更新,占用时间多,不宜管理。

3) 故障维修信息。在进行故障维修时,检修人员需要通过电脑检索、纸质文件查阅、电话咨询生产厂家及现场询问其他同事等方式,确认可能发生故障部件的历史故障信息、维修信息、生产日期、使用公里、使用时间及检修记录等内容,严重影响故障维修效率和质量,易出现漏修、错修等问题,造成相同故障频发。

## 2 RFID技术在车辆检修专业信息化建设中的应用

上述问题主要是由于目前无成熟、可靠、便捷的数据采集、追踪、记录等手段造成的。随着RFID

技术的不断发展与成熟,针对现有问题,可以结合 RFID 的技术特点在既有的信息化平台基础上进行建设。各应用层子系统在识别到 RFID 标签中的唯一编码及内置信息后,通过车辆段无线网络传输至

既有的信息化平台中,该平台根据不同的作业场景对相应数据进行存储、修改或展示。基于 RFID 技术的车辆检修专业信息化平台构成如图 1 所示。

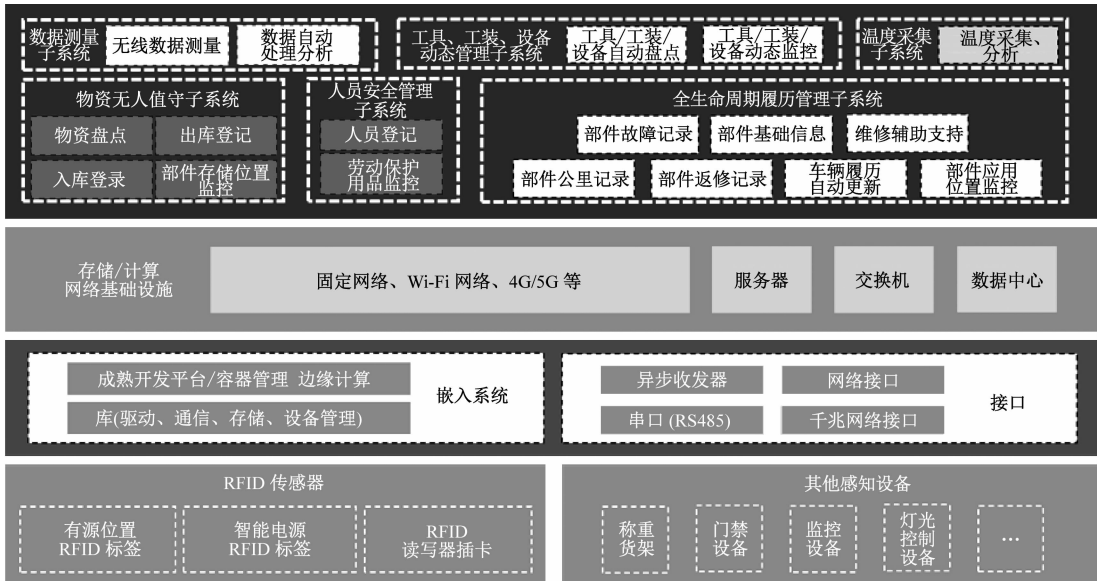


图 1 基于 RFID 技术的车辆检修专业信息化平台构成

Fig. 1 Composition of vehicle maintenance discipline information platform based on RFID technology

## 2.1 RFID 技术的工作原理

RFID 技术是读写器通过天线发送一定频率的射频信号,当电子标签进入天线工作区域时会产生感应电流,此时电子标签获得能量被启动并将自身编码等信息通过电子标签内置发送天线发送出去,电子标签的读取感知系统接收到从电子标签发送来的载波信号后,经天线调节器传送到读写器并对接收信号进行解调和译码。RFID 技术的工作原理如图 2 所示<sup>[2]</sup>。

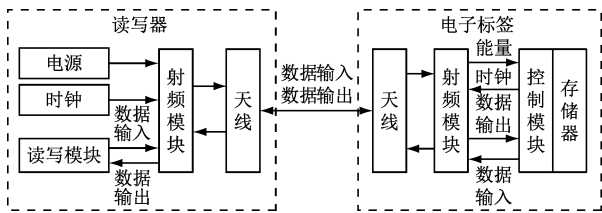


图 2 RFID 技术的工作原理

Fig. 2 Working principle of RFID technology

由电子标签线圈天线形成的谐振回路如图 3 所示。

该回路可通过谐振频率的载波实现双向数据通信。其中,谐振频率的计算公式为:

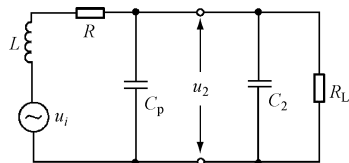
$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (1)$$

式中:

$f$ ——谐振频率,单位 Hz;

$L$ ——RFID 天线的线圈电感,单位 H;

$C$ ——寄生电容  $C_p$  和并联电容  $C_2$  的等效电容,单位 F。



注: $u_i$  为感应输入电源电压,单位 V; $u_2$  为电容端电压,单位 V; $R$  为 RFID 天线电阻,单位  $\Omega$ ; $R_L$  为链路电阻,单位  $\Omega$ 。

图 3 由电子标签线圈天线形成的谐振回路

Fig. 3 Resonant circuit formed by electronic tag coil antenna

## 2.2 RFID 技术的技术特点

基于 RFID 技术生产出的电子标签具有很高的耐用性,理论寿命可大于 30 年。电子标签芯片内部的 COS(片内操作系统)本身采用了安全的体系设计,不易伪造。电子标签单体造价低,体积小,可通过不同方式安装在任何物品表面。电子标签工作时可远距离识别高速运动物件,并同时识别多个目标。电子标签在生产过程中会生成唯一代码且无

法修改,这对溯源、防伪等方面有极大帮助。在指定存储器上可以进行反复读写,重复使用性高。存储器主要分为 Reserved(保留)、EPC(电子产品代码)、TID(标签识别号)及用户等 4 个独立的存储区块。

电子标签种类繁多,需要从供能型式、数据读写类型、信号频率波段及封装型式等不同角度进行区分,不同类型电子标签有其特定的应用场景,只有充分了解不同类型电子标签的特点,才可选择出正确的电子标签种类。电子标签分类见图 4。

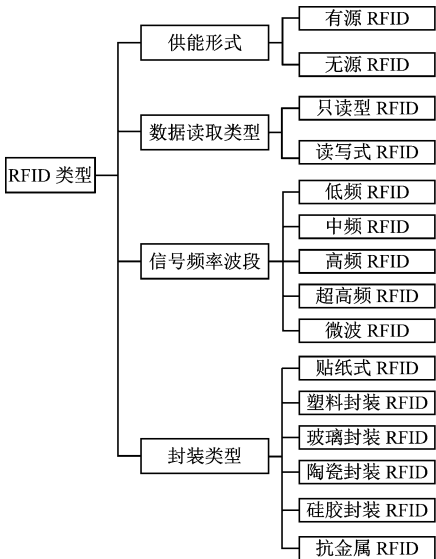


图 4 电子标签分类  
Fig. 4 Classification of electronic tags

### 2.3 人员监控系统

RFID 技术可以实现携带 RFID 标签卡人员在不主动刷卡且不主动停留的情况下,快速通过识别通道。在计划内作业人员行进过程中,人员监控系统会自动授权其通过。作业人员未授权或未携带 RFID 标签的劳动保护用品时,通道会发出声光报警,有效防止非法人员、违规人员进入,也能防止人员未登记离开等情况出现。通过此方式,可以避免排长队等情况,实现人员安全、高效流通。

### 2.4 物资无人值守子系统

通过 RFID 技术、称重货架及视频监控的综合应用,可实现对所有物资的无人值守。其中,所有大件物资可通过 RFID 标签进行实时追踪,螺栓、密封圈等小件物资可通过称重货架进行实时监控。采购人员只需在入库时进行 RFID 标签识别或将小件物资质量录入后,即可将相应物资入库,无需人工盘点。作业人员在领取物资前使用个人 ID(身份

标志号)卡进行授权后即可随意领取所需物资,此时称重货架或电子标签读取器会自动识别所取物资的种类和数量,省去了人工管理环节。未授权人员若私自拿取物资,称重货架或电子标签读取器会第一时间进行声光报警和视频记录,真正实现物资库的无人值守。

### 2.5 工具、工装、抢险设备动态管理子系统

工具、工装、抢险设备动态管理系统的设计思路与车辆物资管理相同,但应在该系统中根据工艺或抢险类型提前录入不同工况下所需物品的种类和数量,实现自动检查、自动提醒等功能,真正实现实时动态管理<sup>[3]</sup>。

### 2.6 温度监控系统

针对车下需要进行温度监控的部件,应使用 RFID 温感标签。在列车出入库时,轨旁、道心读取器可进行温度的全自动测量。并通过合理、有效的算法,自动发现部件异常,为检修人员提供数据支持和维修建议,减少人工成本<sup>[4]</sup>。

### 2.7 车辆全生命周期履历管理子系统

车辆全生命周期履历管理系统应结合上述系统一同开发,针对主要且具有维修性的部件实施一件一签,并可与运营单位既有的信息化系统联动,增加如运营公里实时更新、维修履历实时更新、部件安装位置更新及部件存放位置更新等功能。同时可利用该系统提前将部件生产日期、维护说明等内容写入电子标签中,方便作业人员在无网状态下读取相应数据,以及开展检修工作<sup>[5]</sup>。

## 3 RFID 技术在车辆检修专业信息化建设应用中的关键问题

### 3.1 电子标签选型与安装

针对不同部件应采用不同类型的电子标签,一般选用 840.0 ~ 845.0 MHz 或 920.5 ~ 924.5 MHz 频率波段,并通过不同的安装方式将部件固定在特定的位置以保证使用效果。不同类型电子标签性能测试结果如图 5 所示。由图 5 可见:固定在厚 20 mm 钢板上的两种抗金属电子标签在相同频段内的可识别距离不同,A1、A2 型电子标签最大识别距离分别约为 5.5 m 和 8.5 m。

综上,结合电子标签性能测试和实物测试结果,从封装形式、识别距离、安装方式及安装位置等因素选择不同类型电子标签。不同车型应根据实际情况和应用需求进行适当调整。

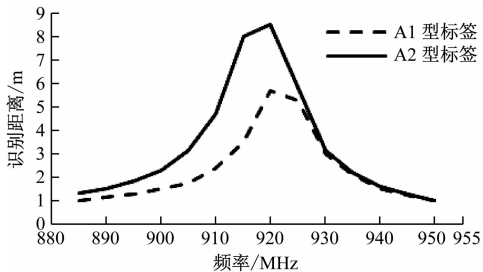


图5 不同类型电子标签识别距离-频率关系对比

Fig.5 Comparison of identification distance-frequency relationship of different electronic tag types

3.2 降低电子标签安装成本

目前,运营单位对 RFID 技术的需求最为迫切,但在实际应用过程中,需要大量人员对既有部件进行电子标签的临时安装,严重影响了 RFID 技术的应用发展。

针对此情况,若在部件生产过程中将电子标签有效安装在指定位置,可以最大限度地降低安装成本,也可最大程度地提高安装可靠度,并提前写入相应产品编号、生产日期及指导文件等只读信息。

城市轨道交通行业编码标准,可由相应的协会或部门进行统一管理,可按表 1 中的 EPC 区存储代码进行设计,便于零部件供应商写入相应编号,为日后的广泛性应用打好基础。

表 1 EPC 区存储代码设计

Tab.1 EPC area storage code design		
类别	存储容量/bit	最大存储数量/个
城市代码	24	367
线路代码	8	226
系统代码	16	65 536
生产/运营单位代码	24	4.29 亿
设备类型代码	16	65 536
设备识别代码	24	4.29 亿
备用存储区域	16	65 536

4 结语

RFID 技术可以很好地应用于城市轨道交通车

辆检修专业中,对人员安全管理、物资管理、工器具及设备管理、温度采集、全寿命周期履历建设提供支持,在检修过程中真正实现降本增效,为企业的数字化转型提供帮助。未来,应尽快开展系统性的实际应用,制定出统一的应用标准,将 RFID 技术应用在城市轨道交通中的各个环节,以完善现代综合交通运输体系,实现智能化管理、一体化服务及绿色化发展。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 装备检维修过程射频识别技术应用规范: GB/T 32829—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017:3. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization administration of China. Equipment maintenance and repair process of radio frequency identification technology specification: GB/T 32829—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017:3.

[2] 郭朝君,陶雨航. RFID(射频识别)技术在智慧工地中的创新运用[J]. 无线互联科技, 2021, 18(23): 96. GUO Chaojun, TAO Yuhang. Innovative application of RFID (radio frequency identification) technology in smart construction site [J]. Wireless Internet Technology, 2021, 18(23): 96.

[3] 王超. 基于无线射频识别技术的工器具管理系统设计[J]. 电子制作, 2020(1): 41. WANG Chao. Design of tool management system based on wireless RFID technology[J]. Practical Electronics, 2020(1): 41.

[4] 钱曙杰. 轨道交通 RFID 温度传感技术研究与应用[J]. 中国设备工程, 2020(18): 181. QIAN Shujie. Research and application of rail transit RFID temperature sensing technology[J]. China Plant Engineering, 2020 (18): 181.

[5] 张柏娜,高军伟. 基于 RFID 的轨道交通车轮识别系统设计[J]. 制造业自动化, 2019, 41(12): 58. ZHANG Baina, GAO Junwei. Design of rail transit wheel recognition system based on RFID[J]. Manufacturing Automation, 2019, 41(12): 58.

(收稿日期:2023-03-01)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821