

五环履历管理体系在上海轨道交通运营设备运维中的应用

谢颖婷

(上海申通地铁集团有限公司运营设施设备管理部, 201103, 上海//工程师)

摘 要 基于全生命周期管理理论,构建了满足上海超大规模城市轨道交通网络化运营需求的运营设备五环履历管理体系。首先,按照上海轨道交通运营设备的管理要求,规范了运营设备的编码格式。其次,利用大数据技术构建数据宽表,将运营设备五环履历的各部分信息有机串联起来,通过微服务平台和大数据总线技术实现了运营设备各阶段信息的数据开放和信息共享。最后,举例说明了运营设备五环履历管理体系在上海轨道交通中的应用效果。实践表明:运营设备五环履历管理体系打破了目前上海轨道交通运营设备数据孤岛的困境,各设备间可协同运行,有效提升了运营设备运维的质量及效率。

关键词 城市轨道交通;设备履历管理体系;大数据宽表;微服务平台;大数据总线技术

中图分类号 U231.92

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.03.044

Application of Five-ring Resume Management System in the Operation and Maintenance of Shanghai Rail Transit Operating Equipment XIE Yingting

Abstract Based on full life cycle management theory, a five-ring resume management system of operating equipment that meets the requirements of Shanghai ultra-large scale urban rail transit networking operation is constructed. First, according to the management requirements of Shanghai rail transit operating equipment, the equipment coding formats are standardized. Then, the data wide table is constructed using big data technology, to connect all the information of the operating equipment five-ring resume organically. Data opening and information sharing of the operating equipment information at each stage is realized through micro-service platform and big data bus technology. Finally, the application effect of the operating equipment five-ring resume system is illustrated through example. Practice shows that the system breaks the data island dilemma of Shanghai rail transit operating equipment, and all equipment can operate synergistically, effectively improving

equipment operation and maintenance quality and efficiency.

Key words urban rail transit; resume management system of equipment; big data wide table; micro-service platform; big data bus technology

Author's address Operating Facilities and Equipment Management Department, Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

目前,上海城市轨道交通各专业设备的履历管理平台在功能上不能相互关联、协同,信息也不能共享。运营设备的数据孤岛导致设备运维难以适应城市轨道交通超大网络的管理要求。本文基于全生命周期管理理论,构建满足上海超大规模城市轨道交通网络运营需求的运营设备五环履历管理体系,采用大数据宽表技术有效解决了设备数据孤岛问题,利用微服务平台和大数据总线技术封装各专业设施设备的履历,以实现上海城市轨道交通各专业设备的统筹与管控。

1 上海轨道交通运营设备面临的管理问题

上海轨道交通已步入了超大规模网络运营阶段,运营设备数量多、制式多样化。随着运营规模的持续扩充及设备服役年限的增加,运营设备的维护难度也越来越大。其运维管理主要存在2方面的问题:①运营设备的管理水平参差不齐,运维效率较低;②运营设备由各专业网管系统分散管理,集成化水平较低。

因此,上海轨道交通现有的运营设备管理模式难以适应上海轨道交通超大规模网络运营的要求,需要利用现代化信息手段,构建全生命周期的运营设备维保管理体系,以提升上海轨道交通运营设备的管理水平和管理效率。

2 运营设备履历管理体系

2.1 亟需打通运营设备数据孤岛

上海轨道交通运营设备数据孤岛如图1所示,

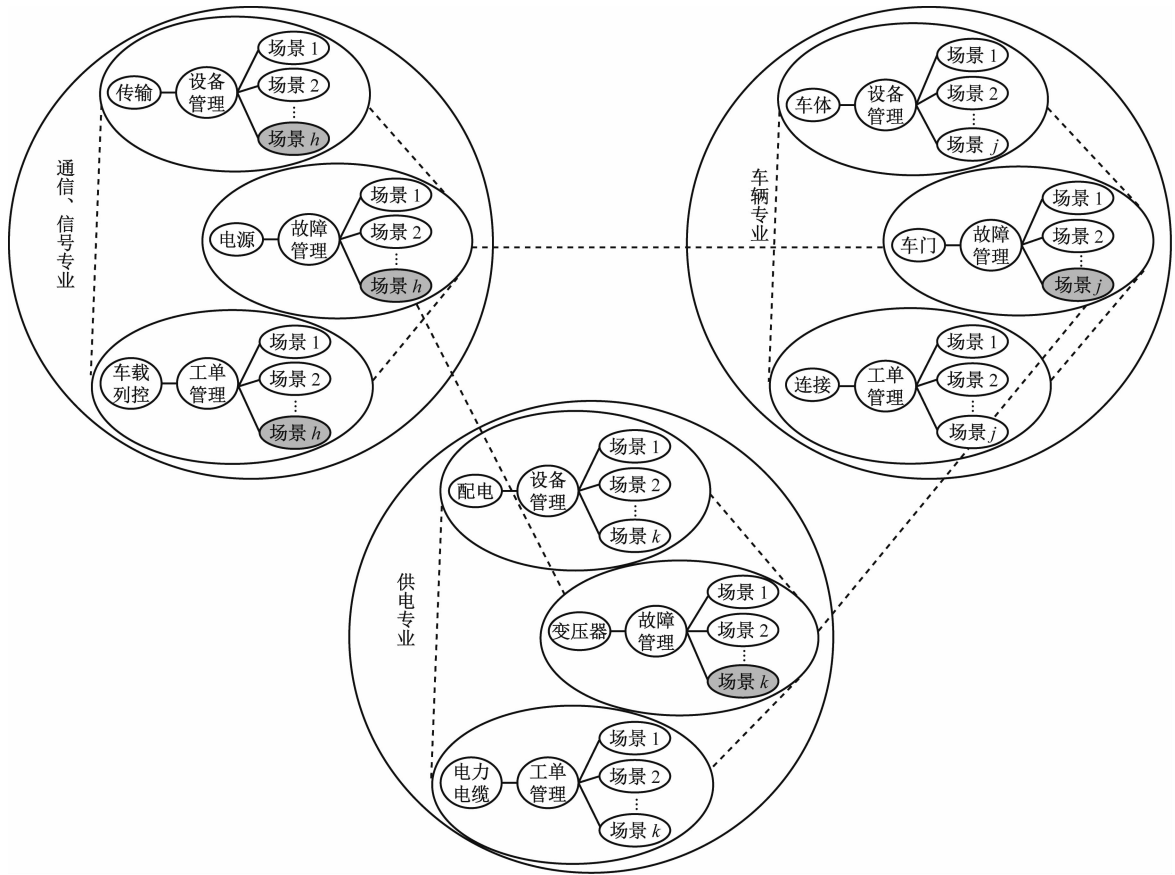


图1 上海轨道交通运营设备间数据孤岛示意图

Fig. 1 Diagram of data islands among Shanghai rail transit operating equipment

各专业设备的运维信息分散在各自系统中,亟需对这些数据进行融合,以便对设备进行统一管理。

2.2 构建运营设备五环履历管理体系

本文基于全生命周期管理理论,构建满足上海轨道交通超大规模网络化运营需求的运营设备五环履历管理体系,对运营设备履历数据一管到底,实现运营设备的全生命周期管理。运营设备五环履历管理体系包括5个部分:

- 1) 设备编码(Code,以下简称“C”)信息,主要包括位置代码、设施设备代码、序号代码、设备名称及扩展码等数据字段,每个设备有1个唯一的编码,设备编码与其他厂商的编码可兼容。
- 2) 设备生产(Made,以下简称“M”)信息,主要包括设备类型、设备品牌、设备型号、设备数量等通用信息,以及各设备的专项生产信息。
- 3) 设备运行(Operation,以下简称“O”)信息,主要包括网络拓扑、资源占用、运行状态、设备在用/停用情况、设备运行健康度、设备实时位置等通

用信息,以及各设备的专项运行信息。

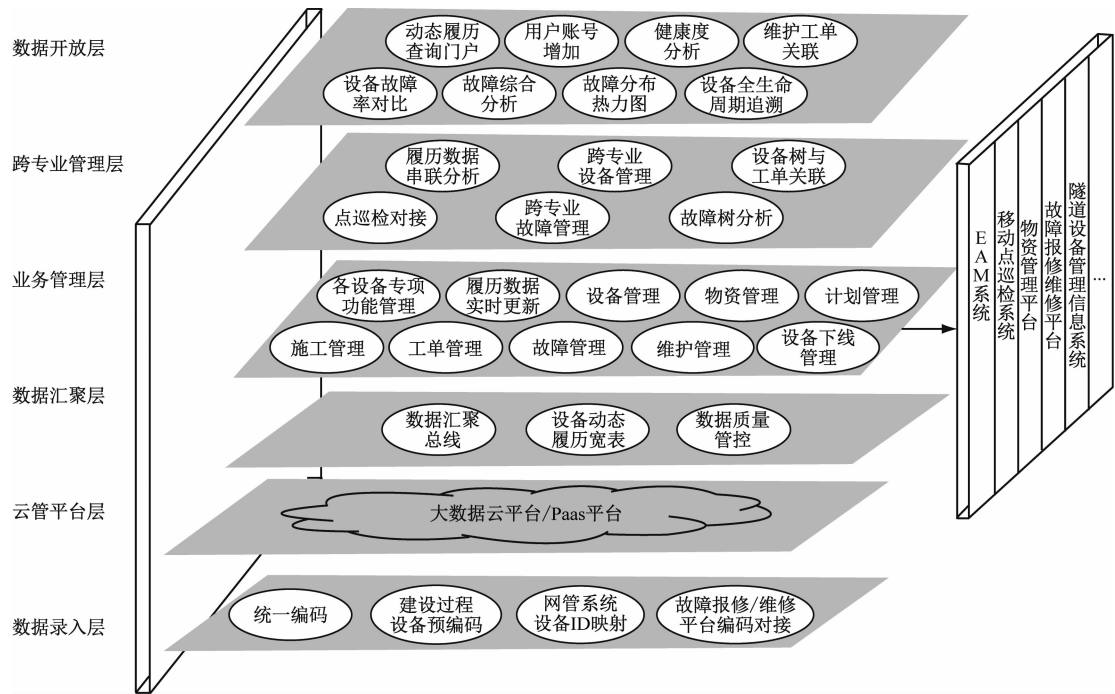
4) 设备维护(Service,以下简称“S”)信息,主要包括设备故障时间、设备故障现象、设备维修时间、设备修复时间、设备维修内容、设备维修人员等通用信息,以及各设备的专项维修信息。

5) 设备下线(End,以下简称“E”)信息,主要包括设备报废时间、设备报废原因、设备报废申报人员、设备割接、后续处理流程等通用信息,以及各设备的专项下线信息。

通过采用上述的C、M、O、S、E(以下简称“CMOSE”)五环履历管理体系,对运营设备生命周期进行全过程管理,可确保运营设备的平稳、安全、优质、高效运行,从而保障城市轨道交通运营单位的经营和生产活动的顺利开展。

2.3 CMOSE 五环履历管理体系的技术架构

CMOSE 五环履历管理体系采集汇聚了上海轨道交通各专业设施设备的数据,对数据进行融合后开放给各设备专业使用。其技术架构如图2所示。



注：EAM——企业资产管理；Paas——平台即服务；ID——身份标识号；点巡检——设备的点检和巡检。

图2 CMOSE 五环履历管理体系技术架构示意图

Fig. 2 Technical architecture diagram of CMOSE five-ring resume management system

2.4 规范运营设备的编码格式

按照 GB/T 37486—2019《城市轨道交通设施设备分类与代码》的主要分类原则，为全面实现上海轨道交通各专业运营设备系统的结构分级及设备父子层次的分解，需建立可覆盖运营设备最小更换单元及最小维护单元的结构树，并规范与之对应的设备编码规则。这可为运营设备的台账管理、工单管理、诊断信息、故障管理、履历管理、统计分析、维护规程、维护定额及备件库存等业务的标准化和信息化提供基础标准。

上海轨道交通运营设备编码格式如图 3 所示。

其中，运营设备编码信息主要由位置代码、设施设备代码、序号代码、设备名称及设施设备扩展码等组成，位置代码、设施设备代码及序号代码可组合指向特定地点的唯一设施设备，亦可进行拆分查询，即可从位置代码查询特定位置曾经安装过的运营设备，亦能从设施设备代码及序号代码查询该运营设备安装过的位置。新增设施设备扩展码通过 JSON(JavaScript Object Notation，又称“JS 对象简谱”)格式对设施设备代码的后续扩展进行记录。设施设备扩展码支持树形结构的扩展，并可以自定义更多级别，用以满足个性化的编码需求。

| 设备编码信息 | | | | 设备生产信息 | | | | 设备运行信息 | | | 设备维护信息 | | | | | | | | | | 设备下线信息 | | | | | | | |
|--------|--------|------|------|---------|------|------|------|--------|-----|-----------|---------|-----|--------|--------|--------|--------|----------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 位置代码 | 设施设备代码 | 序号代码 | 设备名称 | 设施设备扩展码 | 设备类型 | 设备品牌 | 设备型号 | 投用日期 | ... | 设备在用/停用情况 | 设备运行健康度 | ... | 设备检修时间 | 设备检修内容 | 设备检修人员 | 设备检修类型 | 设备检修类型描述 | ... | 设备故障时间 | 设备故障现象 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障原因 | 设备报废原因 | 设备报废原因描述 | 设备报废申报人员 |
| | | | | | 设备类型 | 设备品牌 | 设备型号 | 投用日期 | ... | 设备在用/停用情况 | 设备运行健康度 | ... | 设备检修时间 | 设备检修内容 | 设备检修人员 | 设备检修类型 | 设备检修类型描述 | ... | 设备故障时间 | 设备故障现象 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障原因 | 设备报废原因 | 设备报废原因描述 | 设备报废申报人员 |
| | | | | | 设备类型 | 设备品牌 | 设备型号 | 投用日期 | ... | 设备在用/停用情况 | 设备运行健康度 | ... | 设备检修时间 | 设备检修内容 | 设备检修人员 | 设备检修类型 | 设备检修类型描述 | ... | 设备故障时间 | 设备故障现象 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障原因 | 设备报废原因 | 设备报废原因描述 | 设备报废申报人员 |
| | | | | | 设备类型 | 设备品牌 | 设备型号 | 投用日期 | ... | 设备在用/停用情况 | 设备运行健康度 | ... | 设备检修时间 | 设备检修内容 | 设备检修人员 | 设备检修类型 | 设备检修类型描述 | ... | 设备故障时间 | 设备故障现象 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障原因 | 设备报废原因 | 设备报废原因描述 | 设备报废申报人员 |
| | | | | | 设备类型 | 设备品牌 | 设备型号 | 投用日期 | ... | 设备在用/停用情况 | 设备运行健康度 | ... | 设备检修时间 | 设备检修内容 | 设备检修人员 | 设备检修类型 | 设备检修类型描述 | ... | 设备故障时间 | 设备故障现象 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障时间 | 设备故障原因 | 设备报废原因 | 设备报废原因描述 | 设备报废申报人员 |

图3 上海轨道交通运营设备的编码格式

Fig. 3 Coding formats of Shanghai rail transit operating equipment

2.5 建立动态履历大数据宽表

本文基于 Kudu 列存储技术建立大数据宽表。Kudu 技术的主要优势包括支持增量更新、秒级查询响应、支持动态扩展等，应用此技术可将运营设备

C、M、O、S、E 的信息有机串联起来，形成运营设备的动态履历大数据宽表。

2.5.1 基于 Kudu 列存储技术的大数据宽表

基于 Kudu 列存储技术的大数据宽表有预定义

的带类型的列,每张表有1个主键,主键带有唯一性限制,可作为索引,用以支持快速随机访问。利用 Kudu 列存储技术,可以实现上海轨道交通运营设备信息数据的串联、增量更新和列存储扩展。

1) 数据串联。目前上海轨道交通运营设备信息分散在不同的专业系统中,基于 Kudu 列存储技术的大数据宽表通过唯一的设备编码将运营设备的 C、M、O、S、E 信息串联起来。

2) 数据增量更新。利用大数据技术,直接采集运营设备信息的变化量,并将变化量写入大数据宽表。基于 Kudu 列存储技术的大数据宽表可根据运营设备的动态变化情况实现数据的增量更新,并支持网管系统数据库及台账数据的增量更新。

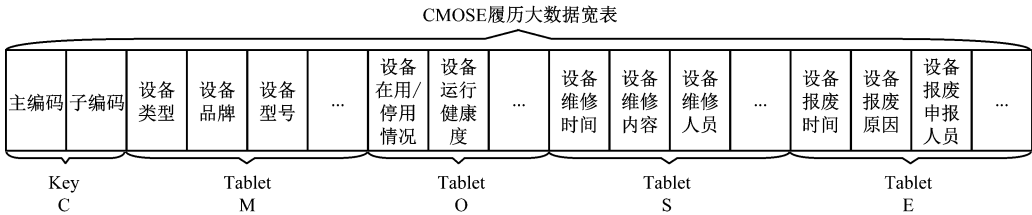
3) 数据列存储扩展。传统的关系数据库只能存储结构化数据,不能动态扩展数据的字段。基于

Kudu 列存储技术的大数据宽表可以根据需求,动态增加所记录数据的列字段,且数据列的数量可高达几千列甚至几十万列。动态列存储模式可以满足不同运营设备、不同特性的非结构化存储需求。

2.5.2 上海轨道交通运营设备 CMOSE 履历大数据宽表

本文基于 Kudu 列存储技术构建了上海轨道交通运营设备 CMOSE 履历大数据宽表,其数据结构定义如下:①数据库的关键字(Key)为运营设备的设备编码,通过搜索 Key 可针对不同的业务需求提供快速的数据检索和高效的数据处理;②数据库的列包括运营设备的生产信息、运行信息、维护信息及下线信息等,支持动态增加数据库的列。

上海轨道交通运营设备 CMOSE 履历大数据宽表的字段格式如图4所示。



注: Tablet——基于 Kudu 列存储技术的履历大数据宽表的水平分区。

图4 上海轨道交通运营设备 CMOSE 履历大数据宽表字段格式

Fig. 4 Field formats of CMOSE resume big data wide table of Shanghai rail transit operating equipment

2.6 运营设备五环履历信息共享

基于 Kudu 列存储技术的大数据宽表将上海轨道交通运营设备履历信息通过微服务平台和大数据总线技术实现数据开放和信息共享,建立了上海申通地铁集团有限公司运营设备 CMOSE 履历全生命周期的统一访问门户,实现了设施设备履历信息的互联互通,使既有的设备管理平台(如移动点巡检系统、EAM 系统、物资管理平台等)能够实现设备履历动态化、网络化的信息共享。

3 CMOSE 五环履历管理体系的应用

3.1 CMOSE 履历大数据宽表样例

CMOSE 五环履历管理体系通过采集上海轨道交通各运营设备的设备台帐,以及网管数据库及资产管理系统中的数据,根据管理需求生成 CMOSE

履历大数据宽表,将各运营设备全生命周期的数据信息全部写入表内,并将数据共享给其他相关系统,以提高运营设备养护维修的质量和效率,满足上海轨道交通超大规模网络化运营需求。本文以上海轨道交通 17 号线车辆专业所含的 5 种设备为例予以说明,其 CMOSE 履历大数据宽表样例如表 1 所示。

3.2 应用 CMOSE 五环履历管理体系分析运营设备的运维状态

CMOSE 五环履历管理体系可用于运营设备的运维状态分析,为运营设备养护维修提供数据支撑。

3.2.1 运营设备状态排名分析

目前上海部分轨道交通线路关键、核心的运营设备已陆续进入大修/更新改造阶段,科学、有效地评价关键设备全寿命周期的健康状态尤为重要。本文基于 HMM(隐马尔可夫模型)构建了上海轨道

表 1 上海轨道交通 17 号线车辆专业的 CMOSE 履历大数据宽表

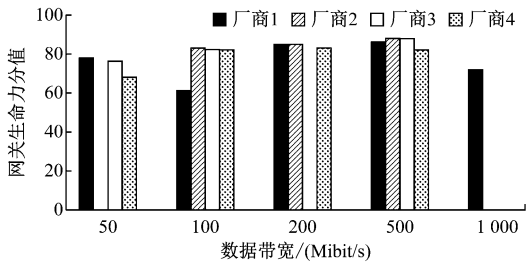
Tab.1 CMOSE resume big data wide table of vehicle profession for Shanghai Rail Transit Line 17

| 管理信息 | 信息分类 | 1#设备 | 2#设备 | 3#设备 | 4#设备 | 5#设备 |
|--------|------------|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| 设备编码信息 | 隶属线路 | 17 号线 | 17 号线 | 17 号线 | 17 号线 | 17 号线 |
| | 初始位置编号 | 9797 | 9797 | 9797 | 9797 | 9797 |
| | 位置描述 | 17 号线朱家角车辆段 | 17 号线朱家角车辆段 | 17 号线朱家角车辆段 | 17 号线朱家角车辆段 | 17 号线朱家角车辆段 |
| | 序号代码 | 0000001 | 0000002 | 0000003 | 0000004 | 0000005 |
| | 设施设备代码 | CL010201000000 | CL010201000000 | CL010201000000 | CL010201000000 | CL010201000000 |
| | 列车号 | 1709 | 1710 | 1719 | 1708 | 1710 |
| | 设备名称 | 车门 | 车门 | 车门 | 车门 | 车门 |
| | | | | | | |
| 设备生产信息 | 设备厂商 | 上海法维莱交通车辆设备有限公司 | 上海法维莱交通车辆设备有限公司 | 上海法维莱交通车辆设备有限公司 | 上海法维莱交通车辆设备有限公司 | 上海法维莱交通车辆设备有限公司 |
| | 设备型号 | FT0046878-001 | FT0046878-001 | FT0046878-002 | FT0046878-002 | FT0046878-002 |
| 设备运行信息 | 设备在用/停用情况 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 设备运行健康度 | 优秀 | 优秀 | 优秀 | 优秀 | 优秀 |
| 设备维护信息 | 设备检修时间 | 2019 年 10 月 22 日 23 点整 | 2019 年 10 月 22 日 23 点整 | 2019 年 10 月 22 日 23 点整 | 2019 年 10 月 22 日 23 点整 | 2019 年 10 月 22 日 23 点整 |
| | 设备检修内容 | 对车门功能进行确认,手动进行车门开关门操作 | 对车门功能进行确认,手动进行车门开关门操作 | 对车门功能进行确认,手动进行车门开关门操作 | 对车门功能进行确认,手动进行车门开关门操作 | 对车门功能进行确认,手动进行车门开关门操作 |
| | 设备检修人员 | 人员 A | 人员 B | 人员 C | 人员 D | 人员 E |
| | 设备检修类型 | 部件修 | 部件修 | 部件修 | 部件修 | 部件修 |
| | 设备故障时间 | 2019 年 10 月 24 日 上午 9 点整 | 2019 年 10 月 24 日 上午 9 点整 | 2019 年 10 月 24 日 上午 9 点整 | 2019 年 10 月 24 日 上午 9 点整 | 2019 年 10 月 24 日 上午 9 点整 |
| | 设备故障现象 | 开门指令异常 | 开门指令异常 | 开门指令异常 | 关门指令异常 | 关门指令异常 |
| | 设备维修时间/min | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | 设备修复时间 | 2019 年 10 月 24 日 10 点整 | 2019 年 10 月 24 日 10 点整 | 2019 年 10 月 24 日 10 点整 | 2019 年 10 月 24 日 10 点整 | 2019 年 10 月 24 日 10 点整 |
| | 设备维修内容 | 检测未发现不良,刷新软件后正常 | 检测未发现不良,刷新软件后正常 | TC1 车 5A 门严重故障,对 R10、K2 进行测试后 K2 接触不良,将 K2 更换后设备恢复正常 | | 部件检修正常,刷新软件版本后设备恢复正常 |
| | 设备维修人员 | 人员 F | 人员 G | 人员 H | 人员 K | 人员 J |
| 设备下线信息 | 设备报废时间 | 2020 年 1 月 15 日 | 尚未报废 | 尚未报废 | 尚未报废 | 尚未报废 |
| | 设备报废原因 | 超出设计使用年限,且该设备已停产 | | | | |
| | 设备报废申报人员 | 人员 X | | | | |

注:设备在用/停用情况为“1”表示设备处于在用状态;R9、R10、R12——均为接插件编号;K2——零速继电器;TC1 车——一位端拖车;5A 门——以列车行驶方向为正前方、以激活端司机室为起点,该节车厢的第五扇车门。

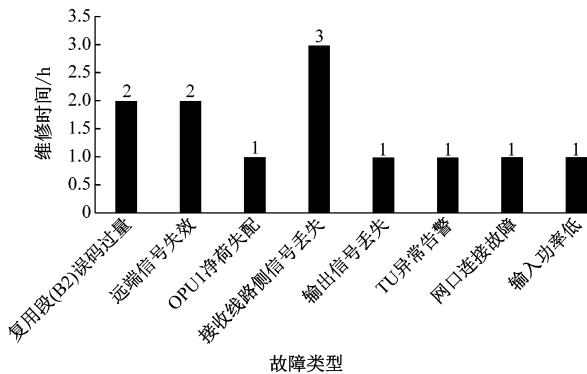
交通运营设备的健康评估模型,将运营设备的健康特征信息输入模型并进行训练,采用 KL 散度 (Kullback-Leibler 散度的简称) 来实现运营设备健康状态的智能评估。以通信系统的网间连接器 (又称为“网关”) 为例,在结合网关的在网时长、更换次数、软件版本数等在网运行数据的基础上,得到了

上海轨道交通通信设备相同技术指标网关的状态排名,如图5所示。由图5可知:在50 Mibit/s 和



注:网关生命力是指网关使用的质量及业务的适配度,其分值由在网时长、更换次数、软件版本数等在网运行数据确定。

图5 上海轨道交通通信设备网关生命力分值分布
Fig.5 Distribution diagram of Shanghai rail transit communication equipment gateway vitality score



a) 从维修时间角度分析

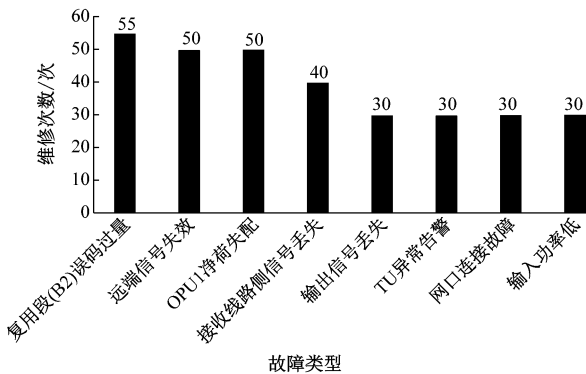
注:B2——负责复用段误码检测的字符;OPU1——光通道净荷单元等级1;TU——支路单元。

图6 上海轨道交通通信传输设备的典型故障和频发故障统计(2018—2019年)

200 Mibit/s 数据带宽下,厂商1所生产设备的网关生命力分值较高;在100 Mibit/s 和500 Mibit/s 数据带宽下,厂商2所生产设备的网关生命力分值较高。

3.2.2 运营设备典型故障/频发故障原因分析

以城市轨道交通通信传输设备发生故障为例,本文对上海轨道交通通信传输设备的维修次数、维修时间进行分析。以运营设备的维修次数、维修时间为评估指标,得到2018—2019年传输设备的典型故障和频发故障类型如图6所示。由图6可知:传输设备故障中,维修次数最多的故障是复用段(B2)误码过量;维修时间最长的故障是接收线路侧信号丢失。应根据图6的分析结果对典型/频发故障进行重点跟踪。



b) 从维修次数角度分析

4 结语

随着上海轨道交通进入超大规模网络运营阶段,其运营设备面临了规模体量大、制式多样化、管理多阶段并存及配置不均衡等难题。本文基于全生命周期管理理论构建了运营设备CMOSE五环履历管理体系,将运营设备5个管理环境的信息有机串联起来,实现了运营设备履历数据的全生命周期管理,保障运营设备的平稳、安全、优质、高效运行。

参考文献

[1] 温清. 上海城市轨道交通综合维修体制探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2008, 11(4): 1.

WEN Qing. On integrated maintenance system of Shanghai URT [J]. Urban Mass Transit, 2008, 11(4): 1.
[2] 刘伯鸿, 孙丽芳. 地铁设备维保模式综合评价的研究[J]. 兰州交通大学学报, 2010, 29(3): 91.
LIU Bohong, SUN Lifang. Study on comprehensive evaluation of maintenance model for metro equipment [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2010, 29(3): 91.
[3] 王瑞通, 李炜春. 大数据基础存储系统技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(8): 66.
WANG Ruitong, LI Weichun. Research on technology of basic large data storage system [J]. Computer Technology and Development, 2017, 27(8): 66.

(收稿日期:2020-12-08)