

城市轨道交通机电建设管理数字化转型研究

唐史峰

(上海申通地铁建设集团有限公司, 200070, 上海//高级工程师)

摘要 分析了城市轨道交通机电建设管理数字化转型的需求,并研究了其中的关键技术。以上海轨道交通15号线为工程背景,通过机电建设管理数字化平台,基本实现了机电建设管理数字化转型目标,并达到了良好的应用效果。后续需不断对该平台进行优化,以提升其可用性。

关键词 城市轨道交通;机电建设管理;数字化转型

中图分类号 F530.31

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.02.001

Research on Digital Transformation of Urban Rail Transit Electromechanical Construction Management

TANG Shifeng

Abstract The requirements for digital transformation of urban rail transit electromechanical construction management are analyzed, and the required key technologies are studied. Taking Shanghai Rail Transit Line 15 as the project background, through the electromechanical construction management digital platform, the goal of digital transformation has been practically achieved, and good application results have been obtained. The platform should be continuously optimized to improve its availability.

Key words urban rail transit; electromechanical construction management; digital transformation

Author's address Shanghai Shentong Metro Construction Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

随着人工智能、大数据等新一代信息技术与城市轨道交通的深度融合,FAO(全自动运行)等新技术也被广泛应用。伴随着上述新技术的使用,城市轨道交通机电系统打破了原来固有界面,在需求、设备、功能、接口等方面变得更加复杂,这就需要机电建设单位同步提升软实力,以确保智能化、智慧化成果的有效落地。本文通过分析机电建设管理数字化转型的需求,研究其中关键技术,提出适用于城市轨道交通的机电建设管理数字化转型方案。

1 机电建设管理数字化转型的需求分析

城市轨道交通机电建设管理数字化转型应聚焦于机电建设管理的主要对象——设备与功能,以数字化管理平台为载体构建设备与功能的数字化模型,将机电建设全过程信息与之关联,形成可落地的数字化资产,以提升整个机电建设的精细化管理水平,确保各种新技术及其效益的有效落地。本文结合近年来城市轨道交通机电建设中主要新技术的应用情况(见表1),提出了现阶段机电建设管理数字化转型需实现的目标:

1) 从时间维度,对机电建设全过程进行精细化管理,实现对机电建设节点的精准把控,确保向运维单位及时交付工程。

2) 从需求维度,对运营场景及功能需求进行全过程闭环管理,力争一次性向运维单位交付完整场景和全部功能,包含新技术对应的场景和功能。

3) 从接口维度,将无形的接口界面转化为对设备和功能的有形管理流程,打破专业间的壁垒。

4) 从空间维度,数字化管理平台应打通BIM(建筑信息模型)、资产管理等平台,将BIM与建设全生命周期信息、资产管理信息相融合,为BIM的数字化模型赋能。

1.1 进度管理的数字化

目前,城市轨道交通机电建设管理仍然采用电子表单统计进度,借助微信群沟通工作,通过工程例会协调问题。面对智慧运维、智慧车站等新技术应用带来的接口界面、设备数量、监控点位的爆发式增长,上述管理手段已捉襟见肘。与此同时,随着土建工程不断压缩机电工期,机电建设逐渐失去了合理的工期,但又缺乏应对与反馈措施,甚至出现机电调试“零工期”的现象。上述情况将直接影响新机电系统功能的实现及交付,最终导致在运营阶段不断对建设遗留问题进行消缺。

因此,机电建设管理数字化转型需建立一个针

表 1 城市轨道交通近期主要新技术应用统计

Tab.1 Statistics of new technologies recently applied in urban rail transit

新技术	技术概况	应用效果	应用难点	涉及专业
FAO	基于现代计算机、通信、控制和系统集成等技术实现列车 FAO 的新一代城市轨道交通系统	进一步提升城市轨道交通运行系统的安全与效率	新增较多场景、功能,需机电建设全过程实施精细化管理及需求闭环管理	信号、车辆、通信、站台门等
智慧运维	利用传感器采集系统的数据信息,借助信息技术、人工智能推理算法来监控、管理和评估系统自身的健康状态,并在系统发生故障前进行预测	有效提升设备运营的安全性,同时降低设备的运营维护成本	新增较多传感器等终端设备及相关接口,需机电建设全过程实施精细化管理及接口闭环管理	信号、车辆、通信、供电、车站机电设备等
智慧车站	通过应用云计算、大数据、物联网、人工智能、5G(第五代移动通信技术)等新兴信息技术,全面感知、深度互联和智能融合乘客、设施、设备、环境等实体信息;面向车站、客运及设施设备的业务管理模型,构建具备智慧生命体的交互方式	提升车站安全、效率、效益及服务水平	新增较多传感器等终端设备及相关接口,需机电建设全过程实施精细化管理及接口闭环管理	综合监控、自动售检票、通信、车站机电设备等
BIM 平台	BIM 技术是涵盖建设项目策划、规划、方案、初步设计、施工图到招标、施工、竣工、运维的全生命周期的解决方案	提高了设计能力,该平台是建设项目管理过程的新方法	需对 BIM 建立的数字化模型进一步赋能	车站机电设备等

对机电设备与功能的数字化管理平台,面向全部参建单位,依托该平台围绕机电建设对象,按机电建设工序开展精细化管理,实现对机电建设节点的精准把控。同时在时间维度记录整个机电建设过程信息,并形成数字资产于后期交付运维单位。城市轨道交通机电建设主要工序及关键管控点如表 2 所示。

表 2 城市轨道交通机电建设工序及关键管控点

Tab.2 Stages and key control points of urban rail transit electromechanical construction

机电建设各阶段名称	关键管控点
招标采购阶段	用户需求书提交、招标文件统稿、合同签订等
技术锁定阶段	合同谈判、设计联络等
设备到货阶段	预付款、到货日期、到货数量、监理确认等
设备安装阶段	安装完成、接线完成等
设备单调阶段	上电完成、单调完成等
接口调试阶段	计划日期、调试日期、问题整改、问题复测等
综合联调阶段	计划日期、调试日期、问题整改、问题复测等
试运行及验收阶段	消防验收、场景功能验证等

注:机电建设所有阶段均涉及信号、车辆、供电、通信、综合监控、火灾自动报警、通风空调、动力照明、给排水,以及消防、电梯、自动扶梯、站台门及自动售检票等专业。

1.2 需求管理的数字化

随着 FAO 等新技术的应用,城市轨道交通机电建设引入了以运营需求为导向的理念,不再仅以标

准、规范作为机电建设的输入条件,其设计阶段还需将 FAO、智慧车站等技术对应的运营场景纳入其中。这些运营场景需经过功能分解、需求制定、技术锁定,再到现场调试、功能验证才能最终落地,各个环节缺一不可。但现阶段往往由于缺乏有效的全过程管理手段,导致运营场景与功能最终不能完全交付运维单位。

因此,机电建设管理数字化转型还需通过数字化管理平台实现对运营场景及其对应功能的闭环管理,并将其贯穿于整个机电建设过程中,确保新技术及其效益的真实落地。表 3 为上海轨道交通 15 号线(以下简称“15 号线”)新增的 FAO 核心功能。

1.3 接口管理的数字化

接口管理是长期困扰城市轨道交通机电建设的难题之一,究其根本原因还是缺少工具将无形的接口界面转化为有形的管理流程。若无工具作为抓手,随着机电工程建设的推进,接口细节将不断深化,产生的问题会越来越多,最终积重难返。因此,机电建设管理数字化转型亦需利用数字化管理平台将机电接口转化为平台上的管理流程,并对应到每个机电设备的每个监控点位上,才能确保接口功能的实现以及最终机电系统的协调运转。

1.4 数字化的成果落地

应用 BIM 技术,在建设阶段建立机电设备的数字空间模型,可以有效解决管线冲突等问题。但这些数字空间模型往往缺少相关的属性信息,如:设备

表 3 15 号线新增的 FAO 核心功能

Tab.3 Newly added FAO core functions of Line 15			
序号	新增功能	序号	新增功能
1	列车唤醒(含综合自检)	13	列车工况模式下人工设置
2	列车蠕动模式	14	自动洗车
3	列车站台自动发车	15	FAM(全自动运行模式)下的指示灯
4	列车自动开关门	16	信号授权释放逃生门
5	列车自动折返	17	站台再次开关门
6	终点站自动清客	18	列车与控制中心联动
7	列车自动出入库	19	控制中心远程广播乘客信息发布
8	列车休眠	20	乘客紧急对讲
9	列车远程在线检测	21	列车障碍物检测
10	车门/站台门对位隔离	22	远程限制模式驾驶列车
11	紧急制动自动缓解	23	控制中心远程停车
12	列车工况模式下自动转换	24	工作人员防护开关

的调试过程中发现的问题、整改情况、测试报告等，而这些信息才是运维单位接管时最需要的资料之一。故机电建设管理数字化转型还需打通 BIM 平

台、资产平台,进一步深挖数据价值,将数字空间模型与机电建设过程信息、资产信息进行关联,最终形成一整套完整的数字资产并交付运维单位。

2 机电建设管理数字化转型的关键技术

2.1 精细化管理的落地

通过对机电建设管理数字化转型需求的分析,机电建设管理的主要对象为机电设备及其功能。通过建立数字化平台可以将上述对象在招标采购、技术锁定、设备到货、设备安装、设备单调、接口调试、综合联调、试运行及验收等机电建设阶段进行有效管理。但如何进一步挖掘这些数字资产的价值,真正实现机电建设的精细化管理以及对建设节点的精准把控,是机电建设管理数字化转型过程中需要重点研究的关键技术之一。

本文提出以里程碑节点为抓手,将上述数字资产与之关联,就可以实现对机电建设的精细化管理以及对建设节点的精准把控的目标。以机电建设过程中消防验收里程碑节点为例,其管理模型如图 1 所示。

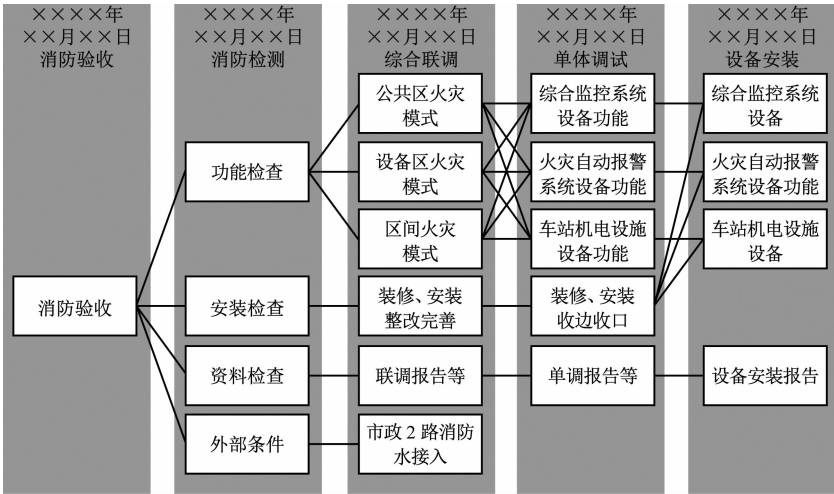


图 1 消防验收的里程碑节点管理模型

Fig. 1 Milestone node management model of fire protection acceptance

- 1) 将与消防验收里程碑节点相关的建设工序进行梳理。
- 2) 将上述程序中涉及的设备、功能、模式以及其他关键要素与消防验收节点进行关联。
- 3) 通过数字化管理平台对消防验收里程碑节点进行动态的精细化管理,也便于建设管理者精准把控节点,并及时解决推进过程中存在的制约点。

2.2 运营场景数据库的建立

通过建立运营场景数据库可以实现运营场景的数字化,同时通过机电建设管理数字化平台跟踪落实情况,可以实现对运营场景的闭环管理,这也是数字化转型过程中需要重点研究的关键技术之一。

运营场景数据库应针对正常、故障、应急这三

大类运营场景进行设计。每个场景的数据库应至少包含基本流程、功能分配、注意事项等三大部分,同时针对故障场景还需增加其对运营的影响等内容。其中,运营场景数据库中的功能分配可以在机电系统的单体调试、接口调试、综合联调阶段通过功能测试进行验证,以确保闭环;运营场景数据库

中的基本流程可以在试运行阶段通过运营演练进行验证。最终根据运营场景与功能验证结果,对数据库中既有的运营影响、注意事项等内容进行修订,形成适用于本线路的运营场景,并使其实现真实落地。表 4 为 15 号线 1 扇或多扇站台门故障场景数据库模型。

表 4 15 号线 1 扇或多扇站台门故障场景数据库

Tab.4 Fault scenario database of one or more platform doors of Line 15

项目	
基本流程	①对应车门停站过程中保护关闭,将此故障上报至运营控制中心;②系统自动向乘客播报故障站台门信息;③中央调度员派遣多职能队伍切除故障站台门后进行站台现场监护
功能分配	①信号:向车辆传输故障站台门信息,实现故障对位隔离。②站台门:向信号系统上传故障站台门信息,以实现故障对位隔离;向综合监控系统上传故障站台门信息。③车辆:执行车门和站台门故障对位隔离,不开启故障站台门对应车门;向车内提示故障对位隔离相关信息,支持执行远程人工广播。④通信:车站 PA(公共广播)播放故障站台门提示广播;车站 PIS(乘客信息系统)显示故障站台门提示信息,对列车和车站进行人工广播。⑤综合监控:显示站台门故障报警信息,调看故障设备区域的 CCTV(闭路电视)视频图像;向车站和车载 PIS 下发乘客服务信息
运营影响	FAO 主体功能不受影响,站台门及对应车门停站过程中保持关闭
注意事项	当一侧站台有超过一定数量站台门因故障无法正常开关,应由多职能队伍切除故障站台门后进行站台现场监护

2.3 机电系统接口的集成

对机电系统接口的集成管理可以通过数字化管理平台将接口界面实体化,将无形的接口具体转化为对接口设备与接口功能的管理流程,同时需对每个接口的牵头管理方进行全程跟踪管理。接口集成管理的主要程序如下:

1) 接口识别:在需求制定阶段,基于设计方案及运营需求,识别机电系统间的接口,将这些接口转化为结构化数据并导入平台。

2) 技术锁定:在设计联络阶段,对已识别接口的界面、协议等进行深化,形成技术锁定文件,并以附件的形式导入平台与相应的接口进行绑定。

3) 接口细化:在调试开始前,将已识别的接口所对应的设备或功能信息导入平台,将接口对应到实体可检查的设备或可验证的功能上。

4) 接口测试:对接口所对应的设备功能进行测试与验证,验证通过后将报告以附件形式上传平台,最终形成接口集成管理的闭环。

同时还可以不断将接口设计及接口调试中发现的典型问题设置为下次调试需要的卡控点。例如,在某条 FAO 线路联调阶段,发现控制中心缺失针对无线通信的集中告警功能。因此,可通过对运营场景数据库的更新及检查发现原运营场景的功能分配缺失项,以避免在后续线路中发生类似问题。

2.4 数字资产的交付

1) 与 BIM 平台的接口:BIM 技术已将机电设

备数字化,且该技术包含了空间信息。这时只需将机电建设全过程信息作为属性附加在 BIM 上,相应的机电设备即包含建设全过程的时空信息,这样的数字化资产将对运维单位有重要的参考意义。

2) 与资产平台的接口:数字化管理平台的信息亦可以通过设备资产代码与运维接管时使用的资产管理平台挂钩,实现数字资产的统一交付。

3 机电建设管理数字化转型案例分析

3.1 机电建设管理数字化平台的架构

基于上述需求分析及关键技术,15 号线研发了一个数字化管理平台,并在该线路 FAO 机电建设过程中成功试点应用。该平台的基本架构如图 2 所示。

机电建设管理数字化平台以机电设备、系统功能为管理对象,以机电建设流程为时间轴,以进度与计划管理为抓手,基本实现了对机电建设全过程的精细化管理,以及对建设节点的精准把控。同时预留了该平台与 BIM 和资产平台的接口,以便后续进一步实现数字化资产的落地。

3.2 机电建设管理数字化平台的功能

15 号线机电建设管理数字化平台包含:设计出图管理、采购合同管理、设备到货管理、设备安装管理、设备单调管理、接口调试管理、综合联调管理、问题闭环管理和信息发布管理等模块,并实现了以下功能:

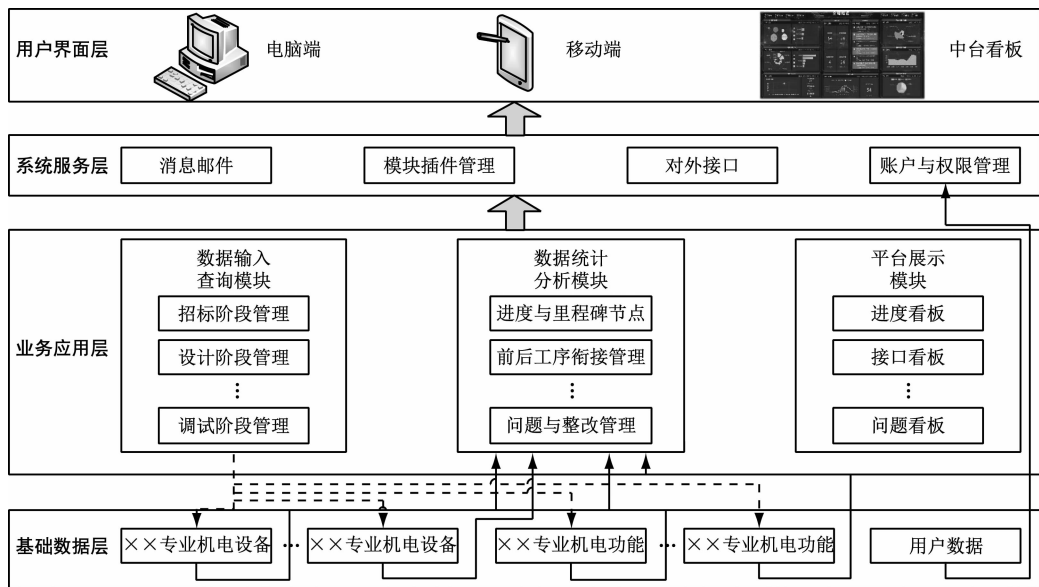


图 2 15 号线机电建设管理数字化平台的架构

Fig. 2 Architecture of electromechanical construction management digital platform of Line 15

1) 该平台设置了里程碑节点,并将每个里程碑所关联的设备安装、调试情况进行绑定,方便业主精准把控里程碑节点中的制约点。

2) 针对接口集成管理,实现了接口识别—技术锁定—接口信息的细化绑定—测试验证整个环节的信息化管理,确保了对机电系统接口的闭环管理。

3) 建立了 FAO 场景与功能库,最终将功能测试项点分解到接口调试、综合联调等模块,经测试完成后形成闭环管理。

4) 预留了与 BIM 平台以及资产平台对接的接口,便于后期平台间的对接。

3.3 机电建设管理信息化平台的应用效果

15 号线机电建设信息化管理平台基本实现了本文提出的机电建设管理数字化转型目标,并达到了以下应用效果:

1) 实现了对机电工程进度的精准管控,相较常规机电调试,调试周期缩短了约 2 个月。

2) 实现了对 FAO 场景及功能的精细化管理,在 15 号线开通初期试运营前 100% 实现了 FAO 功能。

3) 实现了对全机电建设过程中存在问题的闭环管理,在 15 号线开通初期试运营前实现了机电类问题 100% 的整改消缺。

今后需进一步提升机电建设管理信息化平台的可用性,以提高参建单位的参与度,故后续还需开发配套的 APP(应用软件)。同时还需考虑地下

环境无网络信号的应用场景,支持离线功能、上线时的数据校对功能,以及防止数据冲突等问题,使数据上传及发布更便捷。

4 结语

城市轨道交通的智能化、智慧化建设除了需不断提升硬件水平,还需不断提升机电建设管理能力,使硬件与软实力相匹配。采用数字化手段对城市轨道交通机电系统建设全过程进行管理,并与 BIM 平台、资产平台相互结合推动数字资产的落地,有助于提升精细化管理水平,从而打造精品工程。

参考文献

- [1] 雷江松. 城市轨道交通建设数字化转型实践[J]. 现代城市轨道交通, 2020(12): 5.
LEI Jiangsong. Practice of urban rail transit construction digitalization transformation [J]. Modern Urban Rail Transit, 2020 (12): 5.
- [2] 刘启刚. 城市轨道交通建设数字化转型分析[J]. 建材与装饰, 2021(29):145.
LIU Qigang. Analysis of digital transformation of urban rail transit construction [J]. Building Materials and Decoration, 2021 (29):145.
- [3] 陈诗, 高修强, 徐震. 轨道交通工程资产数字化移交技术应用研究[J]. 价值工程, 2020, 39(28): 215.
CHEN Shi, GAO Xiuqiang, XU Zhen. Research on the application of digital handover technology of rail transit engineering assets [J]. Value Engineering, 2020, 39(28): 215.

(收稿日期:2022-11-24)