

基于层次分析法的城市轨道交通全自动运行 核心机电系统数字化管理探讨

周 婧

(上海申通轨道交通研究咨询有限公司, 200070, 上海//高级工程师)

摘 要 阐述了FAO(全自动运行)系统的建设概况,提出基于“两化融合”的FAO核心机电系统数字化管理的设想。运用层次分析法,围绕FAO核心机电系统的“有‘度’实现”目标,通过对其建设管理目标、活动及业务流程分层解析,形成核心机电系统管理分层数字化结构,并进行系统数字化和管理数字化的注入和治理,助推FAO核心机电系统高等级交付及可持续运维。

关键词 城市轨道交通;全自动运行系统;核心机电系统;数字化管理;层次分析法

中图分类号 U231.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.02.020

Discussion on Digital Management of Core Electromechanical System of Urban Rail Transit FAO Based on Analytic Hierarchy Process ZHOU Jing

Abstract The overview of FAO (fully automatic operation) system construction is expounded, and the idea of digital management of FAO system core electromechanical engineering based on the ‘digital and mechanical convergence’ is proposed. By using analytic hierarchy process (AHP), centering the goal of ‘implementation based on grades’ for FAO system electromechanical, and by analyzing the management objectives, activities and business processes of the core electromechanical system construction layer by layer, the hierarchical digital structure of the core electromechanical system management is formed, and the injection and governance of system digitalization and management digitalization is carried out, so as to promote the high-level delivery and sustainable operation and maintenance of FAO system.

Key words urban rail transit; FAO system; core electromechanical system; digital management; AHP (analytic hierarchy process)

Author’s address Shanghai Shentong Rail Transit Research & Consultancy Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

FAO(全自动运行)作为现阶段主流的城市轨道交通系统,已在国内多个城市的轨道交通线路中建设或运营。该系统具有自动化等级高(采用GOA3^[1](无人驾驶列车运行)/GOA4(无人干预列车运行))、FAO场景复杂、系统集成度高、核心机电系统实施难度大、运管业务综合性强等特点。其中,核心机电系统是指以信号、车辆为主轴,且与行车直接相关的系统组合,可为实现工业自动化替代传统有人驾驶提供直接的系统支持。因此,FAO核心机电系统“有‘度’实现”(指核心机电系统建设功能达到GOA3目标的程度,或是达到GOA4目标的程度)是FAO系统建设与管理的重要特征。围绕“度”的识别与实现是当前FAO系统关注的焦点,因此,本文将对FAO核心机电系统数字化管理的支撑进行着重讨论。

1 FAO 系统建设概况

当前国内建设的FAO系统,其工程项目建设管理主要依据EN 50126-1:1999 *Railway applications—The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)—Part 1: Basic requirements and generic process* 中的V型周期控制方法开展。FAO系统的建设管理目标主要依据工程的定位和场景而特别设定,称为“有‘度’实现”。整个建设管理过程中的“有‘度’实现”主要体现在:①FAO系统RAMS(可靠性、可用性、可维护性和安全性)目标的实现;②DTO(有人值守的全自动运行)/UTO(无人值守的全自动运行)场景的分层、分级实现;③GOA3/GOA4的自动化等级达标。在初步设计、招标采购、设计及调试验收验证等各建设阶段,FAO系统围绕“有‘度’实现”目标,以满足FAO场景需求,且在符合各FAO场景对应的核心机电系统功能要求下开展建设管

理。核心机电系统可完成FAO系统工程项目各阶段的系统功能和可靠性指标,以及实现FAO运行场景要求的核心机电系统间集成联动、安全高效运行的目标。

根据上海、太原、南宁等多个城市已开通的FAO线路与传统轨道交通线路的建设经验,不同FAO系统的建设和目标在可达性上存在的差异主要体现在:①需要更多层级分职能的管理方和更多角色的参建方参与;②大量参建方在不同时间节点产出的数据信息量较大,需要更复杂的全流程接口管理;③数据信息的实时性与FAO系统的所有要素在可达性上需有效匹配,否则将影响决策制定和项目推进。

影响FAO系统建设管理的因素主要有:①管理数据与系统数据缺乏衔接融合,影响管理和实际应用;②管理数据标准缺失,无法形成驱动管理局面;③数据驱动应用不充分,影响工程建设辅助决策。

2 FAO系统中核心机电系统数字化管理设计的提出

在动态管理中,数字化的优势主要体现在通过信息化管理突破数据共享的壁垒,以及通过大数据在业务领域的深化应用,提升生产效率和辅助决策。通过汇聚融合FAO系统与管理数据资源、全场景全管理活动流程数字化、多角色有效协同业务应用等数字化、网络化、智能化技术手段,推进城市轨道交通建设管理精细化,从而达到FAO核心机电系统“有‘度’实现”的目标。

在FAO核心机电系统建设中引入数字化管理,运用“两化融合”的复杂机电系统集成实现的思路,做到系统数字化和管理数字化。

1) 系统数字化。主要指依据FAO系统运行场景对应核心机电系统功能实现时的数据支撑进行建设,并为系统建成后的有效运转及维护提供数据驱动、数据分析和辅助等。系统数字化的实现为系统数字孪生模型的构建和应用提供基础。

2) 管理数字化。主要指基于信息化管理的FAO核心机电系统的建设管理活动和目标的数字化驱动。在管理过程中,从可实现到推动实施等方面与FAO系统数字化进行有效衔接,有效完善FAO系统数字化架构,从而整体达到FAO系统交付与运用时的“两化融合”效果,为后续系统的可持续运作提供支撑。

FAO系统建设管理面对管理信息化和核心机电系统工业自动化两个领域,以FAO系统的建设管理数字化作业为桥梁,使管理目标数据与业务场景更为贴合和适应,同时充分理解数据能力和业务能力,构建业务到目标的融合闭环,发挥FAO的价值。

运用数字化支撑FAO系统建设管理,既能准确实现既定运营需求对应核心机电系统功能的目标,亦能将管理活动适时用于支撑业务。通过融合信息资源和业务知识资源,实现快速预见问题、实时监控调整、准确验证交付的目标,为管理者提供辅助决策。因此,开展“两化融合”的数字化建设与管理是必要的,亦符合整个城市轨道交通行业的发展趋势。

3 FAO核心机电系统管理层次分析结构模型的建立

AHP(层次分析法)^[2]是一种多目标复杂问题的定性与定量相结合、系统化、层次化的决策分析方法。该方法是将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统,通过梳理与决策相关的影响因素和决策对象之间的关系,建立有序的层次结构模型,从而得出复杂系统的建设思维。

AHP的关键环节是通过建立复杂系统的递阶层次关系,分析系统中目标层、准则层和方案层等各层之间的关系,为做出正确的决策奠定良好基础。其中:目标层是指要达到的预期目标或需要解决的问题,准则层是为了实现预期目标所需要考虑的准则及中间环节,方案层则提供用于解决问题的各种方案或措施。AHP递阶层次结构模型见图1。

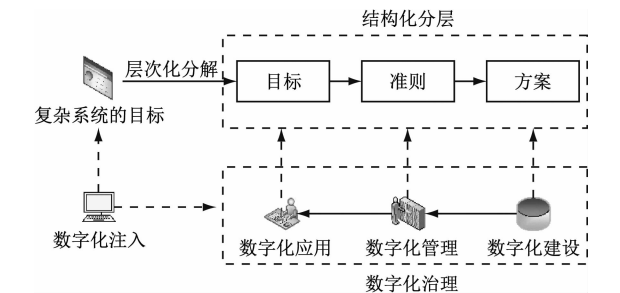


图1 AHP递阶层次结构模型
Fig. 1 AHP recursive hierarchical structure model

对标分析数字化建设管理需求,结合FAO核心机电系统数字化建设业务目标和管理流程,利用AHP的递阶层次化分解,提出核心机电系统管理层次分析结构模型,见图2。

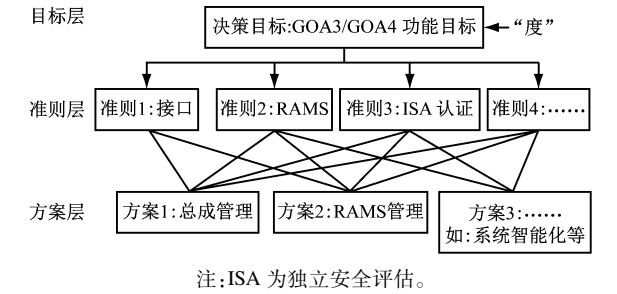


图2 FAO核心机电系统管理层次分析结构模型

Fig.2 Hierarchical analysis structure model of FAO system core electromechanical system management

4 基于AHP的FAO核心机电系统数字化管理

基于AHP的FAO核心机电系统数字化管理是围绕核心机电系统进行有“度”建设管理,同时强调系统功能的可达和过程管理的有效。分解建设管理目标与活动成为数字化管理的前提。

运用AHP对FAO核心机电系统的管理对象、管理流程、业务数据等进行自上而下的分析。FAO核心机电系统分层数字化建设管理目标与活动,如表1所示。

表1 FAO核心机电系统分层数字化建设内容

Tab.1 Contents of layered digital construction of FAO system core electromechanical system

层次	数字化建设内容	数据来源
决策层	FAO系统不同GOA(自动化等级)的功能项,并预先定义进度计划要求	建管方
	各核心机电系统接口功能、RAMS要求	设计院、运营方
准则层	接口功能设计、实现方案、RAMS证明	系统供应商
	接口功能测试结果等	实施牵头方
	ISA评估认证结果等	第三方独立认证
方案层	运行场景需求及对应的功能要求 RAMS管理指标要求等	建管方、运营方

针对FAO核心机电系统管理层次分析结构模型,分层开展“数字化治理”是实现数字化建设管理的主要手段。

1) 目标层:数据价值体现层。将系统数字化融入目标层,用于决策者对FAO系统基于运行场景需求对应核心机电系统“有‘度’实现”情况的评估提供辅助判断,同时也可对工程进度进行监管。目标层数字化的意义是:①FAO系统不同自动化等级

(GOA3/GOA4)功能项的数字化定义和识别,见表2;②FAO系统中核心机电系统管理进度计划的数字化定义和驱动。以上述两方面的输入为基础,结合准则层的数据输出,完成定性和定量分析。

表2 FAO系统目标层数字化建设内容

Tab.2 Digital construction content of target layer of FAO system

序号	GOA4级FAO系统的功能目标
1	列车唤醒(包括上电和自检)
2	蠕动
3	列车自动工况模式转换
4	列车工况模式人工设置功能测试
5	列车站台自动对位
6	列车站台门自动发车
7	列车自动开/关门
8	列车/站台车门控制
9	列车自动折返
10	站台自动清客功能测试

2) 准则层:对海量数据信息进行挖掘分析,FAO系统中核心机电系统管理需要通过接口管理、RAMS管理及ISA认证等环节的支撑实现。因此,需对核心机电系统的接口功能、RAMS管理指标、ISA准则要求进行数字化输入和持续更新。由于这3个模块的管理内容同业务管理方的职责、业务链流程及各阶段管理目标之间存在相互交叉的引用关系,因此,准则层的数字化输入方式采用多角色协同方式。例如:在接口管理中,各核心机电系统的接口功能和进度要求由管理方进行数字化录入;接口设计环节由各核心机电系统的供应商对接口功能要求的实现情况、进度计划及实现方案等进行数字化导入,再由管理方进行确认;在综合联调阶段,由牵头实施方对接口功能的测试结果进行数字化采集和录入。通过多角色协同,大量的管理活动可做到不漏项、缺项,亦可为目标层的决策判断提供依据。

3) 方案层:负责基础数据的产生与收集。主要负责识别数字化范围,统一标准进行数据全要素(含系统与管理)收集,确保数据的完整性、准确性和及时性,为数字化管理和应用打造数字底座支撑。FAO核心机电系统管理的关键问题体现在总成和RAMS的管理活动和系统实现上。例如,在总成管理方面,须将FAO场景需求对应的所有核心机

电系统功能转化为数字化列表等。

目标层是以判断自动化等级(GOA3/GOA4)功能为目标;准则层是为实现高可靠性、高安全性等要求考虑的核心机电系统接口管理、RAMS 管理和ISA 安全评估工作等准则;方案层用于实现 GOA3/GOA4 的功能目标,其采用的是核心机电系统总成管理和 RAMS 管理方案。

“数字化注入”是基础手段。按动态特性、数据属性、逻辑关系区分系统数字化和管理数字化。在系统数字化方面,基于 FAO 场景需求的核心机电系统功能的实现程度需要量化、定性化的数据。因此,在 FAO 系统建设管理过程中,核心机电系统(车辆、信号、综合监控、通信、站台门)的技术参数、功能要求、可靠性指标、设计方案及功能验证等数据信息需要全覆盖。

值得注意的是,为实现建设目标的业务链上核心机电系统的接口管理、系统安全等全过程管理,管理方围绕业务流程的管理活动和管理要求进行的闭环管理,以及各参建方根据不同的分工负责落实实施的任务管理,均需进行数字化定义,并与系统数字化做好自始至终、自上而下的衔接。

5 FAO 核心机电系统数字化建设建议

在 FAO 核心机电系统数字化建设实施过程中,建议关注如下方面:

1) 全面性。数据收集周期涵盖 FAO 线路立项、设计、建设及运营等各阶段。数据范围囊括重要指标性数据、运行场景的需求等,确保信息链贯穿。

2) 动态更新。对数据信息实时更新以便于进行监管,对建设阶段预设的进度计划偏差提供预警。

3) 交互性。多角色在数字化平台上进行远程交互,不同系统间数据共享并自动双向交互碰撞。

4) 标准化。构建完整的标准化体系,对机电系统定义数据属性和编码原则,达到数据结构统一。

5) 工业互联化。采用 B/S(浏览器/服务器)架构,在安全保障的前提下客户端可选用各类移动终端,开展数据从自动化到信息化的融合应用,支持多用户在不同地点同时在线操作交互,进行数据录入和查询等,实现信息的远程共享互动,从而保障系统长期健康运作。

6 结语

1) 数字化建设的关键驱动要素是数据,对 FAO 线路的初步设计、机电系统招标采购、设计生产、安装调试至试运营阶段的所有机电系统数据进行识别,对数据资源按统一的数字化标准要求要求进行采集,包括因变更带来的数据变化,从而实现数字化分类存储、全要素获得。

2) 数字化管理层通过提炼数字化管理业务流程,结合 FAO 核心机电系统的全要素数据进行数字化管理统筹,释放数据要素的价值,实现诸如进度计划管理及预警、任务执行管理、数据关联联动等功能。

3) 数字化应用层利用 FAO 核心机电系统管理业务数据化、工作流程化、任务可视化,通过数据自动对比、数据交互碰撞,提取分析结论,获得偏差预警等,并将其应用于进度监管和决策辅助。

4) FAO 核心机电系统数字化管理不仅可实现数据全面性、可追溯性,还能打通建设管理过程中业务流程的各个环节,降低信息不对称、不及时、不准确带来的协作困难,从而做到工业自动化和信息化相融合。同时数据的可视化可提高衔接效率和发挥决策辅助,确保 FAO 系统中 GOA3/GOA4 功能目标的实现。随着数字化的全面建设,利用逐步丰富的数据,围绕 FAO 核心机电系统的建设集成,推动 FAO 系统“数字孪生”的建立以及 FAO 系统智能化、智慧化发展。

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. 轨道交通城市轨道交通管理和指令/控制系统 第1部分:系统原理和基本概念:GB/T 32590.1—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016:6.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Railway applications—urban guided transport management and command/control systems—part 1: system principles and fundamental concepts: GB/T 32590.1—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016:6.
- [2] 何芙蓉. 层次分析法在施工招投标中的应用研究[D]. 成都:西南交通大学,2014.
HE Furong. Application of AHP in construction bidding[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.

(收稿日期:2020-09-15)