

全自动运行关键技术运营后评估体系研究

李俊¹, 黄秀玲^{2*}

¹上海地铁维护保障有限公司, 上海

²上海应用技术大学轨道交通学院, 上海

收稿日期: 2024年6月5日; 录用日期: 2024年9月3日; 发布日期: 2024年9月11日

摘要

近年来, 为了使城轨交通能达到安全、高效、舒适的目的, 全国各大城市已开始投入建设城轨全自动运行(Full Automatic Operation, FAO)线路, 然而FAO系统在使用过程中仍会发生故障和事故, 从而影响运营安全和效率。为了完善、提升FAO系统, 需要基于已投入运营的FAO线路运营情况开展运营后评估, 并进一步挖掘和探索引起故障和事故的根本原因, 解决问题, 优化关键技术, 提升FAO系统质量。以此为目的, 本文主要探讨了如何科学、合理地建立FAO关键技术运营后评估范围、对象、维度等运营后评估体系内容, 以及如何应用运营后评估结果优化FAO系统, 从而有助于FAO关键技术运营后评估的开展, 进一步加速FAO技术在全国范围内的推广。

关键词

全自动运行, 运营后评估, 评估维度, FAO系统关键技术

Research on the Post-Operation Evaluation System of the Key Technology of Full Automatic Operation

Jun Li¹, Xiuling Huang^{2*}

¹Shanghai Metro Maintenance and Support Co., Ltd., Shanghai

²School of Railway Transportation, Shanghai Institute of Technology, Shanghai

Received: Jun. 5th, 2024; accepted: Sep. 3rd, 2024; published: Sep. 11th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 李俊, 黄秀玲. 全自动运行关键技术运营后评估体系研究[J]. 交通技术, 2024, 13(5): 291-298.
DOI: 10.12677/ojtt.2024.135033

Abstract

In recent years, to make urban rail transportation safe, efficient and comfortable, major cities across the country have begun to invest in the construction of urban rail Full Automatic Operation (FAO) lines. However, there are still some faults and accidents leading by FAO systems during use, which may affect operational safety and efficiency. In order to perfect and improve the FAO system, it is necessary to conduct post-operation evaluation based on the data of FAO lines that have been operating, which can help to further excavate and explore the root causes of failures and accidents, solve problems, optimize key technologies, and improve the quality of the FAO system. For this purpose, this article mainly discusses how to establish post-operation evaluation system, including the post-operation evaluation scope, objects, and dimensions for FAO key technologies scientifically and reasonably, and how to optimize the FAO system through post-operation evaluation, so as to contribute to the development of the post-operation evaluation of FAO's key technologies and further accelerate the implementation of FAO technology nationwide.

Keywords

Full Automatic Operation, Post-Operation Evaluation, Evaluation Dimension, Key Technology of FAO System

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2018 年, 国务院办公厅印发的《关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》[1] (国办发[2018] 52 号文) 强调高质量发展城轨交通。2020 年, 《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》表达了 FAO 系统是未来的发展方向, 但目前还需要不断地完善、优化和推广 FAO 系统, 且建立科学的 FAO 系统标准[2], 因此, 需要进一步提升 FAO 系统的质量和性能。

根据戴明环(PDCA)理论[3] (如图 1 所示) 可知, 通过有效地开展全自动运营后评估, 发现问题、分析问题、改进技术并将改进后的技术应用在系统中进入下一个循环, 可不断地提升全自动运行系统的服务质量。此外, 张春明等人则提出通过 FAO 系统的风险评估、安全需求分析、风险控制以及风险评估修订这样的闭环控制方法可以有效提升 FAO 系统的安全性[4]。因此, 运营后评估对系统性能的提升非常重要和必要。然而, 目前全自动运营后评估并无完整的评估体系或方法, 尤其以提升 FAO 系统关键技术水平为目标的运营后评估相关研究相对较缺乏。因为, 运营后评估根据用途的不同可分为多种情况, 每个后评估有各自的核心内容。目前运营后评估研究主要集中在两个方面: 一方面从提升系统安全性的角度开展研究[5] [6], 另一方面, 则从提升运营效率的角度。如: 张珏对上海轨道交通网络客流进行了后评估, 并表示通过后评估即对预测和实际客流的差异分析可进一步改进客流预测模型[7]。

本文基于上海地铁已投入运营的 FAO 线路的关键技术提出一种后评估方案, 详细分析如何科学、合理地建立关键技术运营后评估维度和评估对象, 从而有助于进一步提升城轨 FAO 关键技术水平, 有利于加快 FAO 线路建设的速度。



Figure 1. Deming ring theory
图 1. 戴明环理论

2. 运营后评估评价指标确定原则

由于城轨 FAO 系统具有复杂性、高耦合性、先进性、社会性等特点, 要为城轨 FAO 建立一套科学、合理的后评估体系, 基于一套合理的评估指标确定原则。

1) 完整性原则

上海地铁 FAO 线路作为全上海, 长三角甚至全国的全自动运行先例和榜样, 这些线路的运营情况将直接影响 FAO 线路建设在全国的推进速度, 因此后评估体系的建立必须全面、完整, 才能有效提升 FAO 关键技术的性能。

2) 通用性原则

每个城市轨道交通线路都有各自的特点, 即使是上海地铁 FAO 线路, 由于信号设备供应商不同, 信号系统的组成模块也存在差异, 因此, 后评估体系需要具备通用性, 能应用于不同城市、不同线路的全自动运营后评估。

3) 可行性原则

虽然全自动运行关键技术后评估体系建立需要具备通用性和完整性, 但更需要以可行性为前提。评估指标体系用于帮助评估工作的开展, 评估所需要的数据基于项目前期的设计, 因此评估指标的确定需要考虑数据获取的可行性。

4) 独立性原则

运营后评估的指标需要尽可能的独立, 每层所包含的指标在内涵上不交叉、不雷同[8]。每个指标具

有特定的含义,若同一层指标存在较大的关联,可选择其中一个。因此,需要对评价指标进行多层次分析,避免存在隐含关系交叉的情况。

3. 运营后评估指标体系分析

3.1. 运营后评估范围和对象

运营后评估是对前期运营情况的评估,因此需要选择具体的评估范围和评估对象,其中后评估范围包括后评估时间范围、空间范围和评估对象。

3.1.1. 运营后评估范围

本文针对 FAO 关键技术的运营后评估,因此后评估的时间范围应该为:开通到目前的时间范围,或上次后评估到此次评估之间的时间范围。评估的空间范围为:已投入运营,且期望提升技术性能的 FAO 线路。

3.1.2. 运营后评估对象

根据戴明环过程,有效的后评估能优化 FAO 的技术水平。城轨 FAO 的实现需要经过市场需求调研分析、场景文件设计、功能分配、功能实现、功能测试、试运营,最后再投入正式运营等一系列过程。因此,每个步骤的质量都会影响 FAO 的实现及技术水平。

1) 场景分析

根据沪地铁[2019]66号文[9],全自动运营场景包括123个场景。正常场景包括列车唤醒、出库、区间运行、进站停车、出站、折返、入库、休眠、洗车、列车加开等33个场景。列车全自动运行的实现除了需要这33个正常场景外,还需要69项故障场景和23个应急场景共同合作。故障场景涵盖了列车运行过程中可能发生的故障,且在故障情况,全自动运行系统该如何解决。应急场景则是考虑了由自然因素(如水灾、地震等)或人为因素(如火灾、列车事故等)引起的迫使列车停止运营所应采取的措施。

全自动运营场景的设计是经过需求调研后形成的,但这时的场景文件是否能将所有的场景考虑在内,只有运营一段时间后才能确定,而考虑场景越全面,全自动运行安全性更高;其次,明确的功能分配不仅可以帮助系统设计者更快地了解功能需求,更准确地实现全自动运营功能,且在运营过程中归责问题也显得清楚,可以提升FAO效率;最后FAO系统对于场景文件中设计的场景和功能分配的实现程度,可以直接体现FAO技术的水平。因此,全自动运营后评估的对象应该包括场景覆盖情况和功能实现情况。

2) 关键技术定位

城轨全自动运行系统是一个集成度和复杂度极高的现代化系统,结合全自动运行系统和技术规格书,可将相关技术按专业进行分划。按专业等级划分,全自动运行系统可分为8个系统[10],分别为信号、车辆、通信、供电、环控、给排水、综合监控和维护支持系统(Maintenance Support System, MSS),如图2所示。

由于FAO系统的复杂性和高耦合性,且每项技术有其特定的作用,但FAO系统所涵盖的各专业之间差距大,如车辆和信号系统,在实现技术上和功能上完全不同。而本文则是以提升FAO系统性能为主要目标而开展的后评估体系建立的研究,因此需要对FAO系统中的关键技术进行定位。

FAO系统中的信号系统、车辆系统、通信系统、供电系统以及相比于传统的系统在功能上有较大的扩展,且影响运营安全和效率。如:信号系统是FAO系统安全、高效运行的指挥;车辆系统则是FAO系统的基础载体;通信系统是FAO成功的通道,通信系统故障,将直接退出FAM模式;供电系统是整个FAO系统的动力源头;综合监控、MSS、环控和给排水是FAO系统减少人力资源投入的途径,对运营的安全性和效率没有直接影响。除此之外,FAO系统中的信号系统、车辆、通信和供电等在系统组成和功

能上进行了全面更新和升级, 因此, 本文主要针对这四项关键技术建立后评估指标。

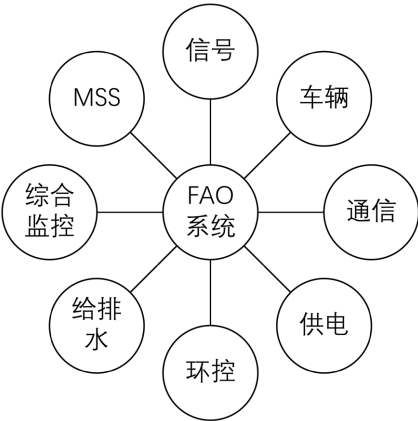


Figure 2. Fully automatic operation technology professional division framework
图 2. 全自动运行技术专业划分框架

3.2. 后评估维度分析

运营后评估是为了评估项目或系统是否达到设计目标(如图 3 所示), 以及其运营效果。因此, 后评估应该包括两个方面: 1) 与投入运营前目标的比较; 2) 运营后系统的应用效果。

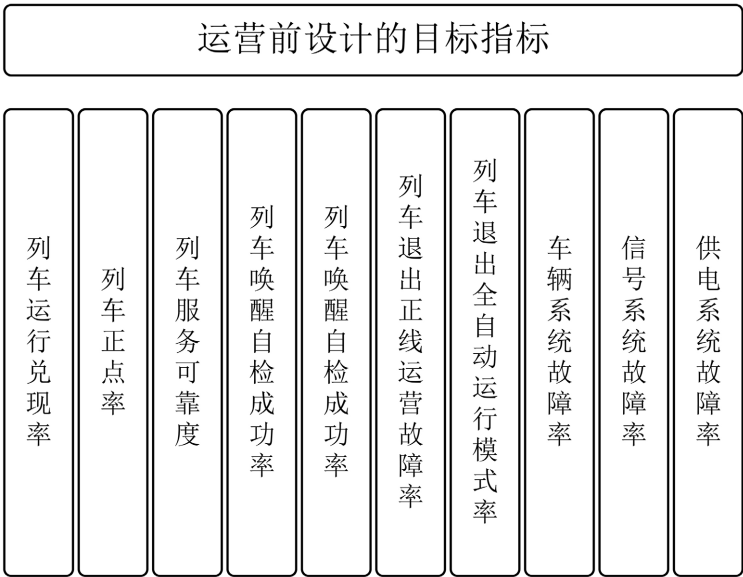


Figure 3. Indicators related to the goals set before operation
图 3. 运营前设定的目标相关的指标

结合以上的评估指标设计原则以及评估对象、运营前的目标等[8] [11], 全自动运营后评估一级指标包括先进性、适用性、可靠性等三个一级指标[12], 为了消除评价指标的隐性交叉, 将全自动运行关键技术运营后评估评价指标分为三级, 针对每个一级指标的分析具体如下:

1) 先进性: 评价城轨全自动运行线路自动化水平。FAO 系统中每个功能的设计皆是按 UTO 模式进行设计和投入运营, 因此场景完整性、场景实现度或功能的实现度可以反映出全自动运行技术水平, 且

场景越完整, 实现度越高, 先进性越好。

2) 可靠性: 评价 FAO 系统的可靠性。考虑系统的复杂性, 可按专业分析全自动运行系统的可靠性, 且系统发生故障越频繁, 可靠性越低。

3) 运营效率: 评价 FAO 系统的运营效果。当全自动运行系统故障引起停运事件, 退出正线运营或退出全自动运行模式时, 均可能影响运营效率。此外, FAO 运营模式中, 总是希望列车能按时刻表正确被唤醒, 并自动、准点运行, 这些因素直接影响运营质量, 影响乘客对 FAO 系统的评价。

因此, 运营后评估一共可以分为 3 个一级指标、5 个二级指标、18 个三级指标。具体关系如表 1 所示。

Table 1. Post-operation evaluation indicators of key technologies for fully automated operation

表 1. 全自动运行关键技术运营后评估指标

一级指标	二级指标	三级指标	目标
先进性	场景设计覆盖度	信号系统功能实现率	99%
		通信系统功能实现率	
		车辆系统功能实现率	
		供电系统功能实现率	
	功能实现率	信号系统功能实现率	
		通信系统功能实现率	
		车辆系统功能实现率	
		供电系统功能实现率	
可靠性	系统故障率	信号系统故障率	运营前设计的评估目标 ^[11]
		通信系统故障率	
		车辆系统故障率	
		供电系统故障率	
运营效率	列车服务质量	引起 5 分钟以上停运故障率	
		列车退出正线运营故障率	
		退出全自动运行模式故障率	
	运营质量	列车正点率	
		列车运行图兑现率	
		唤醒系统自检成功率	

3.3. 后评估维度计算公式分析

1) 场景设计覆盖率

场景设计覆盖率用来评估 FAO 系统场景设计的覆盖程度, 计算公式如式(1)所示:

$$\text{场景设计覆盖率} = \frac{\text{各专业已设计的场景数}}{\text{各专业已设计的功能数运营后新发现的场景数}} \quad (1)$$

因此, 场景设计覆盖率可以用来评估场景设计时考虑场景是否全面。若运营后未发现新的场景, 说明该原场景设计已非常全面, 只要 FAO 系统中的功能实现度够高, FAO 系统则可完全替代人工驾驶。

2) 功能实现率

全自动运行系统是根据场景文件中的功能分配实现运行自动化。因此, 功能实现率可以通过式(2)的计算获得。

$$\text{功能实现率} = \frac{\text{各专业已实现的功能数}}{\text{各专业所有功能数}} \quad (2)$$

此外, 各专业故障率、列车服务质量以及运营质量下的 10 项三级指标的计算公式可参考《城市轨道交通全自动运行线路初期运营前安全评估技术规范》。

4. 后评估报告组成要素分析

与运营前的预评估目的不同, 后评估的目的是去发现问题, 分析问题, 提出解决问题的方案, 并将解决好的系统重新投入到下一次运营过程, 从而不断提升关键技术水平。因此, 后评估报告中应至少包括以下 5 个要素:

- 1) 需求分析。分析 FAO 关键技术的需求。
- 2) 运营后评估指标的计算结果以及与目标的对比结果, 可以评价 FAO 关键技术性能是否达到预期的要求, 或者是否达到运营的要求。
- 3) 后评估过程中发现的问题, 如: 故障高发系统、未实现功能项等。
- 4) 分析问题存在的原因。如: 针对故障高发子系统, 根据运营期间记录的故障现象、故障解决方案等, 进一步分析其高发原因。
- 5) 给出相应的解决方案。根据故障发生频率以及故障发生的原因, 可以提出相应的解决对策。如: 场景或功能不完善, 可建议完善 FAO 场景; 设备软件存在缺陷, 可进一步升级该软件等。
- 6) 本文提出的后评估体系不仅包括对指标的计算以及与目标的对比, 还包括对评估指标的深度分析。

5. 结论

本文定性地分析了 FAO 关键技术运营后评估评价指标确定原则、后评估范围和对象、后评估维度分析及计算, 以及后评估报告组成要素, 形成了一套针对 FAO 关键技术运营后评估的评估体系, 具有一定的科学性和合理性。该体系可用于对 FAO 关键技术的运营后评估, 最终可发现 FAO 线路场景设计的全面性、FAO 系统功能的实现水平, 探索功能未实现的原因升级系统, 提升 FAO 技术水平; 发现 FAO 运营质量, 探索造成列车晚点、没有按运行图正常运行等的设备或原因, 调整运营管理方案, 提升运营质量; 掌握 FAO 系统中信号等各子系统的故障情况, 挖掘子系统故障原因及维护维修新方案; 了解运营效率情况, 探索影响运营的原因, 找出解决影响运营的故障的解决方案, 提升运营可靠度等。此外, 还能深度挖掘隐藏在指标计算结果背后的问题存在的根本原因, 拟定解决方案, 初步解决问题, 再次投入到运营中, 不断地优化 FAO 系统性能。

参考文献

- [1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见[EB/OL]. https://www.beijing.gov.cn/zhengce/gwywj/201905/t20190522_61250.html, 2018-06-28.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要[J]. 城市轨道交通, 2020(4): 8-23.
- [3] 明先承, 梅晓军, 杨进东. “戴明环”理论在设备预防维护中的应用探讨[J]. 设备管理与维修, 2013(9): 20-22.
- [4] 张春明, 王靖, 马能艺. 城轨 GOA4 级全自动运行系统运营风险闭环控制方法研究[J]. 铁道通信信号, 2024, 60(1): 14-21.
- [5] 赫聪聪. 面向 FAO 系统的列车运行场景安全评估方法[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2023.

- [6] 梁贺程. 上海轨道交通 10 号线全自动运行系统运营安全及技术评估[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(S2): 54-56.
- [7] 张珏. 上海轨道交通网络客流预测的后评估[J]. 交通与运输(学术版), 2010(2): 101-104.
- [8] 陈洪梅, 熊思勇. 应用技术类科技成果评价指标研究[J]. 科技管理研究, 2011, 31(8):35-37.
- [9] 沪地铁. 上海轨道交通全自动运行运营场景及功能分配[Z]. 2019.
- [10] 中国城市轨道交通协会. T/CAMET 04017.2-2019 城市轨道交通 全自动运行系统规范 第 2 部分: 核心设备产品[S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2019.
- [11] 交通运输部. DB32T 4320-2022 城市轨道交通全自动运行线路初期运营前安全评估技术规范[S]. 南京: 江苏省市场监督管理局, 2022.
- [12] 科学技术部, 教育部, 中国科学院, 中国工程院, 国家自然科学基金委员. 科学技术评价办法[J]. 中国科技产业, 2003(12): 72-76.