

城市轨道交通全自动运行线路的功能测试与验证

吴妍燕

(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 对南宁、苏州和上海 3 个城市典型城市轨道交通 FAO(全自动运行)线路的功能测试与验证进行了对比分析,剖析了目前该工作中存在的问题。运用关键事件法梳理了各项工作的接口,理清了 FAO 线路在功能测试与验证间的逻辑关系,论述了综合联调和场景验证这两种工作的区别。通过类比法描述了在不同管理模式下功能测试与验证工作开展的优缺点,并对目前城市轨道交通行业内该工作存在的问题提出了有效的实施建议。

关键词 城市轨道交通;全自动运行线路;功能测试

中图分类号 U231.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.02.019

Function Testing and Trial of Urban Rail Transit FAO Line

WU Yanyan

Abstract Through comparative analysis of function testing and trial of typical urban rail transit FAO (fully automatic operation) lines in Nanning, Suzhou and Shanghai, the practical problems in current work are analyzed elaborately. The interface of each work is sorted using critical incident method, as well as the logic relation between function testing and trial operation of FAO line. The differences between integrated joint commissioning and scenario verification are discussed. Through analogy method, the advantages and disadvantages of carrying out the work under different modes are expounded, and effective implementation suggestions targeting the existing problems in current urban rail transit industry are put forward.

Key words urban rail transit; FAO line; function testing

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

相较于传统有人驾驶线路,城市轨道交通 FAO(全自动运行)线路在运营需求导入和运营验证环节等均有了较大不同。运营方作为重要角色,从工程项目的设计阶段到建设阶段乃至初期运营筹备阶段均需深入地参与到其中,其话语权和决策力得到了前所未有的认可。为了适应全新 FAO 系统的

构建理念,充分利用适应于本线的场景说明书文件,还有诸多从运营角度出发的验证工作需要从根本上调整思路。本文主要对 FAO 线路在工程实施过程中的功能测试和试运行,特别是从运营角度出发的运行场景验证进行探讨。

1 典型 FAO 线路功能测试与试运行现状

与传统有人驾驶线路的功能测试与试运行具备的分工明确及职责明晰相比较,FAO 线路由于场景说明书的存在,增加了与 FAO 特性相关的工作量,但增量部分的功能测试与验证工作目前并没有稳定的归属责任方,行业内对此做法亦不一。

不同城市的管理架构、组织流程不同,因此对线路增量部分的工作安排亦有所差异。现以近期开通运营的多条 GOA4(无人干预列车运行)^[1]级 FAO 线路为例,对其进行功能测试与验证环节的对比分析。

1.1 上海轨道交通 15 号线

上海轨道交通 15 号线于 2021 年 1 月 23 日开通运营。该线路由建设管理主体部门提供各系统单体调试报告、综合联调评估报告、FAO 功能测试报告、交办运[2019]17 号《城市轨道交通初期运营前安全评估技术规范第 1 部分:地铁和轻轨》^[2](以下简称“17 号文”)专项测试报告等文件,由运营管理主体部门提供试运行评估报告、初期运营准备综合报告等文件,但无场景验证文件。上述文件形成了适用于上海申通地铁集团有限公司的补充文件。

1.2 苏州轨道交通 5 号线

苏州轨道交通 5 号线于 2021 年 6 月 28 日开通运营。该线路初期运营评审时由建设管理主体部门提供各系统单体调试报告等文件,由运营管理主体部门提供试运行准备报告、开通运营组织方案等文件。值得关注的是,在该线路的试运行准备报告中含有依据场景文件内容实施的功能验证报告和场景验证报告,但无综合联调评估报告。上述文件

形成了适用于苏州本地企业的地方标准苏交[2021]61 号《苏州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》。

1.3 南宁轨道交通 5 号线

南宁轨道交通 5 号线于 2021 年 12 月 16 日开通运营。该线路由建设管理主体部门提供各系统单体调试报告、综合联调评估报告、FAO 功能测试报告、17 号文专项测试报告等文件,由运营管理主体部门提供试运行评估报告、初期运营准备综合报告等文件。在梳理 17 号文的基础上,上述文件形成了适用于南宁本地企业的补充文件。

综上可见,上述 3 条线路均依据 17 号文、T/SHJX 0019—2020《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》中的系统核验和运营准备工作的相关要求开展工作。

17 号文对设备功能的调试工作有明确的要求,但缺乏从运营角度出发的对场景验证工作内容的要求。各家企业的测试工作均较为完整,验证工作却有所差别,这就导致了不同工程的质量和进度管理成效的巨大区别。

2 FAO 线路功能测试与验证的定义与关系

2.1 功能测试与验证的定义

在讨论关键内容之前,首先应明确测试与验证的区别。测试是指测试对象在制造过程中是否有缺陷,从而筛选出有问题的部件,再对其进行分类处理。验证是指通过提供客观证据对规定要求是否得到满足的认定,其认定的方法一般为同行评审、试验和演示等。

由于城市轨道交通具有线路设备多元化的特性,每条线路都需因地制宜地完成特性化设计,所以对于设备功能的测试环节是建设中必不可少的步骤;而源于用户需求的场景说明书亦需通过验证环节来认定场景文件要求是否得到满足。

2.2 功能测试与验证的关系

1) 结合行业特点,FAO 线路的功能测试(即测试环节)是由建设方牵头,实施单位基于设计文件和相关规范、标准完成的。FAO 线路的功能测试一般由实验室单系统测试、实验室多系统测试、现场单系统测试、现场多系统测试及 FAO 系统特有的场景测试组成。FAO 线路的试运行(即验证环节)是由运营方牵头,实施单位基于建设方递交的各类合

规性文件,在三权移交(或预移交)后实施。FAO 线路的试运行一般由场景验证、运营演练和跑图组成。FAO 线路功能测试与验证的关系如图 1 所示。

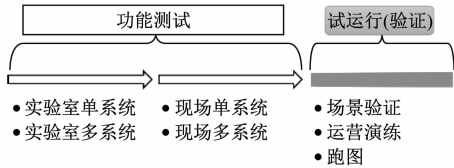


图 1 FAO 线路功能测试与验证关系图

Fig. 1 Diagram of FAO line function testing and trial relationship

2) 与既定认知比较,传统的单体调试、综合联调(或称系统联调)及试运行与上述 FAO 系统的功能测试和试运行并不违背,如图 2 所示。现场测试的部分内容可认为是综合联调的业务范畴。这里的单系统调试是指以集成商为实施方的系统本体测试;综合联调的现场多系统测试是在单系统调试板块完成且提供合格的报告后,开展的单系统核心功能测试和多系统功能测试。

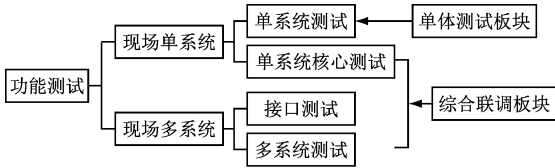


图 2 FAO 线路的功能测试与单体调试、综合联调的关系

Fig. 2 Relationship among function testing and single unit commissioning and integrated joint commissioning of FAO line

3) 对于 FAO 系统而言,新增的场景说明书是一份贯穿工程实施全过程的核心文件。它源于运营需求、糅合目标定位,通过深化设计和建设实施测试最终递交至运营方。此时场景说明书已通过多次勘正,其要求的整体功能亦已完全落实。运营方应以此份文件作为输入,对 FAO 线路开展验证阶段工作即试运行。值得注意的是,运营方牵头完成的验证环节是以验证设备运行、人员能力和规章制度等多者的关系为目标来开展的,其不同于建设方牵头的以测试设备功能完整性为目标的测试环节。

3 FAO 线路场景验证的必要性

FAO 线路初期运营安全评估前,建设方和运营方均应从 FAO 系统的正确性、完整性、可用性、可维护性及安全性等方面给出相关证明文件。

1) 经过设计、制造、安装后,对系统进行功能测试。其主要目的是检验系统的质量是否符合要求,功能是否符合设计要求,确保系统在后续的应用过程中能够正常工作。而对于不合格的设备,通过功能测试亦能发现问题,找到不合格的原因并加以整改。通常功能测试的结果应对标相关规范要求并出具单体调试和综合联调的分册质量报告。FAO 线路功能测试的组织由牵头方、实施方和监督方组成。一般而言牵头方为本线路工程中承担轨道交通建设主体管理的单位或部门,实施方一般为本线路工程中负责各专业系统实体建造、安装的设备供应商或集成商等单位,而监督方一般为线路工程中承担第三方监管的单位,如监理公司、安全认证公司等。

2) 完成单体调试和综合联调后,对 FAO 线路进行试运行的主要目的是验证初期运营前的准备是否充分。运营方在筹备阶段已完成了大量的基础工作:通过教育培训完成了合格的运营人员(以下简称“人”)筹备,通过介入建设完成了扎实的设施设备(以下简称“机”)筹备,通过物资管理完成了适度的材料备件(以下简称“物”)筹备,通过文件编写完成了适应的规章制度(以下简称“法”)筹备,通过清理肃正完成了良好的环境空间(以下简称“环”)筹备。故在此阶段更重要的是通过场景验证、运营演练和跑图来确定筹备工作的开展情况。如图 3 所示,场景验证所囊括的三大板块分别偏重于“人、机”“人、法、物”“人、机、物、法、环”的验证。

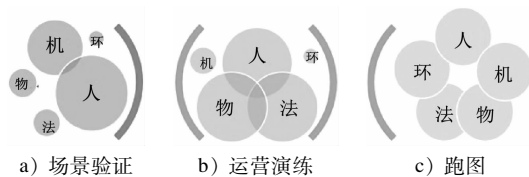


图 3 FAO 线路试运行所验证的对象

Fig. 3 The objects verified during FAO line trial operation

FAO 线路试运行的组织由牵头方和实施方完成。一般而言,牵头方为工程中承担运营主体管理的单位或部门;实施方为工程中负责各条业务线的设施设备维护、行车客运管理、安全管理、人资资源管理、技术管理和物资管理等筹备工作的设备供应商或集成商等单位。

4 FAO 线路综合联调与场景验证的区别

综合联调是单体调试后开展的测试工作,其原

则上是根据各类规范要求进行的设备功能和接口的全面测试。若单体调试是某组单一“动作”,则综合联调即可认为是一套整体“动作”,其测试的过程更注重 FAO 系统设计的接口功能是否实现。

不同于 FAO 线路的综合联调,场景验证是综合联调后开展的一项验证工作,其主要对标场景文件内容进行场景“事件”确认。它侧重的不再是“动作”是否准确,而是“事件”是否合理。

例如,在紧急手柄功能区间激活场景中,综合联调应关注在紧急手柄被激活后一系列的设备动作是否符合设计,列车车门是否在区间内保持关闭不开启等功能的准确实现;而场景验证则关注事件的结果处置,如列车停靠在下一站站台后如何恢复行车,特别是在故障恢复后确定使用哪种方法恢复列车正常运行。需注意的是,常见的故障场景功能测试是不含故障恢复后的运营调整手段测试的,在此场景验证工作中,曾出现列车清客完成后车门和站台门关闭直接发车的情况,这就与运营方的行车动态调整需求不匹配。而诸如此类功能无误却与运营需求不匹配的情况,只有通过场景文件的验证才能逐一发现并修正。

5 典型案例分析

采用关键事件法对 3 条 AFO 线路的功能测试及验证工作进行分析。3 条 FAO 线路的功能测试与验证对比如表 1 所示。

由表 1 可见,上述 3 条 FAO 线路的功能测试和试运行的分工存在较大差异。

苏州轨道交通 5 号线未组织严格意义上的综合联调,仅以运营方牵头完成的功能测试和场景验证报告作为材料的补充开展评审工作。运营方牵头完成了 6 项主要工作中的 4 项,承担了较大的准备和筹备工作;建设方牵头完成了 1 项工作,且运营方和建设方在此阶段工作量不均匀。由于运营方组织的两项工作是以验证运营准备情况为目标开展的,故其验证工作存在功能尽可能覆盖、点位场所抽查的情况,这就和综合联调的工作内容存在较大差距。从运营方参与建设角度分析,其采用的是相对分离的参建模式,优点是责权清晰,缺点是运营未全面铺开并参与功能测试,不能及时掌握第一手建设资讯。

上海轨道交通 15 号线的功能测试和试运行的实施过程较为完整,建设方和运营方亦通过充分消

表 1 FAO 线路的功能测试与验证对比

Tab.1 Comparison of function testing and trial of FAO line

项目	综合联调	场景验证	运营演练	跑图	规范准备
上海轨道交通 15 号线	各系统单机、单系统调试报告等	综合联调评估报告、17 号文专项测试报告、FAO 功能测试报告等	以 FAO 功能测试报告替代	试运行评估报告、初期运营准备综合报告等	《上海轨道交通全自动运行线路运营评估补充技术条件》
苏州轨道交通 5 号线	各系统单体调试报告等	采用功能验证报告替代	场景验证报告等	试运行准备报告、开通运营组织方案等	《苏州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》
南宁轨道交通 5 号线	各系统单机、单系统调试报告等	综合联调评估报告、17 号文专项测试报告、FAO 功能测试报告等	场景验证报告等	试运行准备报告、开通运营组织方案等	《南宁轨道交通全自动运行线路初期运营前安全评估技术规范》(试行)

化场景文件内容较全面地完成了单体调试、综合联调、场景验证、运营演练及跑图等工作,为线路的顺利开通打下了良好基础。然而,由于运营方深层次地介入了大量建设工作,在 FAO 线路的功能测试中全面参与了场景文件的相关测试工作,故其缺失了以运营方牵头完成的场景验证工作。

反观南宁轨道交通 5 号线,因其在工程初期就引入了第三方咨询,运营方采用互为渗透型的参建模式运作,整体建设准备和运营筹备工作在双方互相协助的情况下,得到了较高的运作效率。运营方在演练前的 3 周内完成了百余项的场景验证内容,工作接口明确、信息准确、流程顺畅,工作量相对分布均匀,这就避免了承担较多职责的一方在短期的工程实施中面临计划周转不畅和实施效果不理想的情况。在 FAO 线路初期运营评估过程中各类文件准备充分,得到了专家们的高度认可。

从规章制度准备来看,3 条 AFO 线路均编写了 FAO 线路的新的补充文件,且作为企业标准发布。补充文件对工程的实施给予了更明确的指导。

结合上述案例,认为较合理的工程实施方案为在功能测试阶段由建设方牵头完成单体调试和综合联调工作。整个测试过程宜在初期合理规划、责任到人。特别是在多专业、多系统接口调试中,由于测试的系统和内容均较为繁复,更应筹建一支熟悉场景文件的联调专攻队伍开展此项工作。对于运营方,则宜考虑建立一支独立的、全专业配备的运营筹备小组充分、全面地介入建设工作,配合建设方在各类测试中及时记录调试结果并分类汇总。临管运营后,便由这支队伍负责实施试运行工作,特别是场景验证工作。由于有了大量的建设数据

积累和长期的设施设备接触,运营方在有限的时间内存能及时找准验证目标,有侧重地实施验证内容。

6 结语

在 FAO 技术被广泛接纳和采用的今天,合理的建设和运营合作模式与任务分配是高质量、高效率完成线路工程实施的重点。以本文探讨的 FAO 线路功能测试和试运行而言,适宜的参建深度、合理的任务分配、全面的工作筹划是重中之重。同时,场景验证作为运营方验证场景功能与人员素质的方法,是 FAO 线路的新增需求,期望后续相关部门能出台文件将其纳入标准。

参考文献

[1] BSI. Railway applications—urban guided transport management and command/control systems; BS EN 62290-1;2014[S]. Brussels; CENELEC, 2014.

[2] 交通运输部办公厅. 城市轨道交通初期运营前安全评估技术规范第 1 部分:地铁和轻轨:交办运[2019]17 号[S]. 北京:交通运输部办公厅,2019.

General Office of the Ministry of Transport. Technical specification for safety assessment before initial operation of urban rail transit. Part 1: metro and light rail; JBY[2019] No. 17[S]. Beijing: General Office of the Ministry of Transport, 2019.

[3] 上海市交通运输行业协会. 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:T/SHJX 0019—2020[S]. 上海:上海市交通运输行业协会,2020.

Shanghai Transportation Trade Association. Urban rail transit — fully automatic operation line-technical acceptance specification for trial operation; T/SHJX 0019—2020[S]. Shanghai: Shanghai Transportation Trade Association, 2020.

(收稿日期:2022-09-15)