

全自动运行城市轨道交通线路建设 管理关键环节的若干思考

李江莉

(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 国内许多城市轨道交通全自动运行(FAO)线路的建设呈现快速发展趋势。从FAO的技术特征、系统工程、实施关键条件等展开分析,以建设者的角度,应用系统生命周期模型,在项目需求策划与管理、系统集成和系统保证管理、基于运营场景功能验证的联调联试管理等关键环节,提出重视项目需求及运营场景的策划与管理、实施系统集成和系统保证管理、强化基于运营场景功能验证的联调联试管理、培养以系统工程师为核心的项目管理团队等应对措施。

关键词 城市轨道交通;全自动运行;建设关键条件;项目需求;系统集成管理;系统保证管理

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.06.002

Research on the Key Links in the Construction and Management of Urban Rail Transit Fully Automatic Operating Lines

LI Jiangli

Abstract In recent years, the development trend of urban rail transit fully automatic operation (FAO) line construction is accelerating in China. With an analysis of the technical characteristics, system engineering and key conditions of FAO line construction, and by applying the system life cycle model from the perspective of builders, the key links such as planning and management in terms of project requirements, management of system integration and system assurance, as well as management of joint commissioning based on functional verification of operation scenarios are discussed. It is pointed out that the above-mentioned key links should be further emphasized and implemented, the management team with system engineer as the core should be cultivated.

Key words urban rail transit; FAO; key construction condition project requirement; system integration management; system assurance management

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

全自动运行(FAO)系统,是基于先进的通信、计算机、控制和系统集成等技术实现列车运行全过程自动化,以提升运营服务水平和运营安全与效率为目的的新一代的城市轨道交通系统。有关国际标准及国际公共交通协会(UITP)从自动化程度角度定义了城市轨道交通线路的5个自动化等级(GoA),从低到高分别为GOA0(人工目视列车运行)、GoA1(非自动化列车运行)、GoA2(半自动化列车运行)、GoA3(无人驾驶列车运行)和GoA4(无人干预列车运行)。其中,GoA3和GoA4均可纳入FAO范畴。在正常的GoA3与GoA4工况下,设备自动完成各项操作;在故障或应急工况下,GoA3由列车上的多职能人员进行处置故障,GoA4则需由系统自动处置或由地面派人员上车进行处置。FAO线路的建设必将面临着如何从系统生命周期认识FAO系统关键技术和技术难点、如何选择适合的拟建线路、如何提供设计的技术输入、如何抓住项目建设管理的重点环节等问题。本文从FAO线路建设的关键条件入手,分析建设管理关键环节存在的一些不足,并尝试提出应对措施。

1 FAO线路建设的关键条件分析

1.1 从技术特征看

FAO线路是城市轨道交通相关机电系统协调配合、相关团队紧密协作的安全高效的系统工程。它的实现须基于系统运营场景和功能需求,更多地依赖于机电核心系统(车辆、信号、通信、综合监控等)的深度融合,对系统构架、系统功能、接口架构、接口功能等方面进行重新规划,从而实现高安全、高可靠的自动化控制和联动。与常规城市轨道交通线路相比,FAO线路的核心系统应从RAMS(可靠性、可用性、可维护性、安全性)上进行加强:可靠性要求系统关键设备具备冗余配置;可用性要求系

统具有高集成、联系密切、信息处理和操控平台;可维护性要求完善自动化系统的维护功能;安全性要求完善自动化系统的安全防护。尤其是在故障或应急工况下的运营处置上,要求 FAO 线路具备高集成化的应对技术支持。

1.2 从系统工程看

系统工程(SE)是组织管理的技术,将“系统”的规划、研究、设计、制造、试验和使用均纳入到技术流程中。对于 FAO 线路而言,“设计 UTO(无人值守的列车自动运行)”,未必可以“运营 UTO”。基于 FAO 线路的技术特征,其项目建设须采用系统工程的思维方法,从技术和管理角度促进需求实现与确认的面向系统生命周期的过程,并对系统生命周期进行管理和控制,以满足各利益相关方的需求。

1.3 从建设及运营的核心能力看

1) 系统的 RAMS 要求。系统应具备能够替代列车驾驶员所承担的安全功能需要;在没有列车驾驶员处理传统系统故障的情况下,系统可靠性仍能满足运营需要;应在实现系统可靠性指标基础上为系统的维护提供相应条件。

2) 对建设管理的能力要求。应具备确保实现系统 RAMS 要求和系统集成要求的建设管理能力。

3) 对运营管理的能力要求。应具备系统正常运行、降级运行和灾害工况等运营管理能力;应具备确保系统可靠性指标要求的维护管理能力。

2 FAO 线路的建设现状及不足

截至 2018 年 3 月 UITP 统计,全球已有 39 座城市、共计 63 条城市轨道交通线路采用 FAO 模式,已开通运营 FAO 线路的总长度约 1 000 km。国外 75% 的在建新线、40% 的既有线改造将采用 FAO 技术。在国内,上海、北京、广州、武汉、香港等地多条线路以 GoA3 或 GoA4 等级建成,并以 DTO(有人值守的列车自动运行)或 UTO 的运营模式投入运营;此外,北京、上海、广州、成都、南京、苏州、南宁、福州等地的 FAO 线路正以 GoA4 为标准进行建设,西安、徐州等地的 FAO 线路在规划中。这些 FAO 线路的累计线路总长度约 900 km。

随着国内 FAO 线路大规模投建,线路是否具备 FAO 建设的三个关键条件,特别是 FAO 线路所要求的建设及运营核心管理能力是否具备,值得深入思考。对标国际上安全性要求很高的研发项目、重大工程项目或创新性项目,欧洲标准推荐采用系统

“V”型周期控制方法(见图 1),我国部分 FAO 线路在建设管理的关键环节上仍存在一些不足。

2.1 欠缺项目前期的需求策划与管理

国内许多城市轨道交通线路采用 FAO 装备技术,往往是在项目可行性研究之后,甚至是在项目初步设计批复之后的决策。即使在项目立项之初决策,其决策仍然沿用传统的城市轨道交通线路的建设模式,注重研究项目建设方案的必要性和可行性,仅重视基于规划条件、客流规模、线路特征、与建设环境相关的建设需求等。而对客流特征、运营习惯、乘客行为,与城市经济、文化、政策相关的运营需求,以及与装备技术水平、运营管理体制相关的系统需求的关注尚停留在概念上,三者未能形成完整的项目需求作为决策依据。另一方面,在工程设计时所执行的技术标准、规范也与运营需求没有直接的逻辑关联关系,目前包括国际标准在内的许多标准虽然对城市轨道交通的自动化等级进行了很多分类和定义,但可直接应用或参考的内容并不多,其原因主要在于每个 FAO 项目都会有自己特定的显性或隐性的运营需求和系统需求。

因此,在 FAO 线路建设项目前期既缺乏恰当的项目需求及与之相匹配的技术标准作为设计输入,也缺乏相应的项目需求管理程序,从而直接或间接地影响了 FAO 项目未来的运营服务水平和质量。

2.2 欠缺系统集成(SI)和系统保证(SA)管理

应用图 2 的控制方法开展 SI 和 SA 管理,是项目建设管理和控制的关键环节。是否能够实现 FAO 线路 RAMS 更高目标的要求,成为建设管理必须解决的问题。然而,这个道理“知易行难”。目前国内 FAO 项目建设管理中,SI 管理欠缺分析识别项目需求,以及从技术和管理两方面促进需求实现与确认的建设全过程管理。SA 管理欠缺通过运营服务指标及系统可能潜在的危害识别,难以指导设备系统设计、制造、调试及初期运营的全过程管理。由于 SI 和 SA 管理工作需要参建各方协调配合才能顺利进行,而国内的项目建设管理模式大多采用非工程总承包模式,这大大地增加了建设者 SI 和 SA 总体工作的内容和难度。为此,需进一步发挥建设者的主导作用,强化其在 SI 和 SA 工作中的管理职责。

2.3 欠缺与 SE 相匹配的组织保障和管理人才

FAO 线路建设需建立“需求、技术、管理”三位一体的项目管理组织架构,而国内大多数建设单位

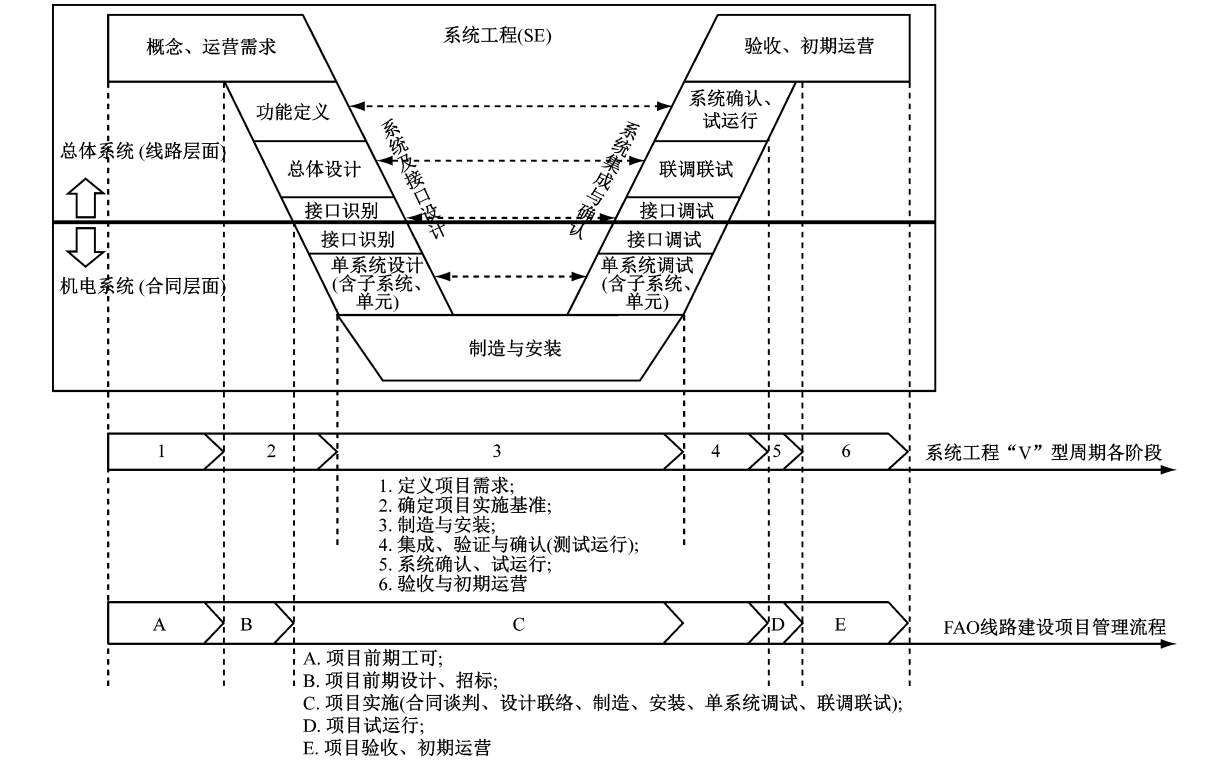
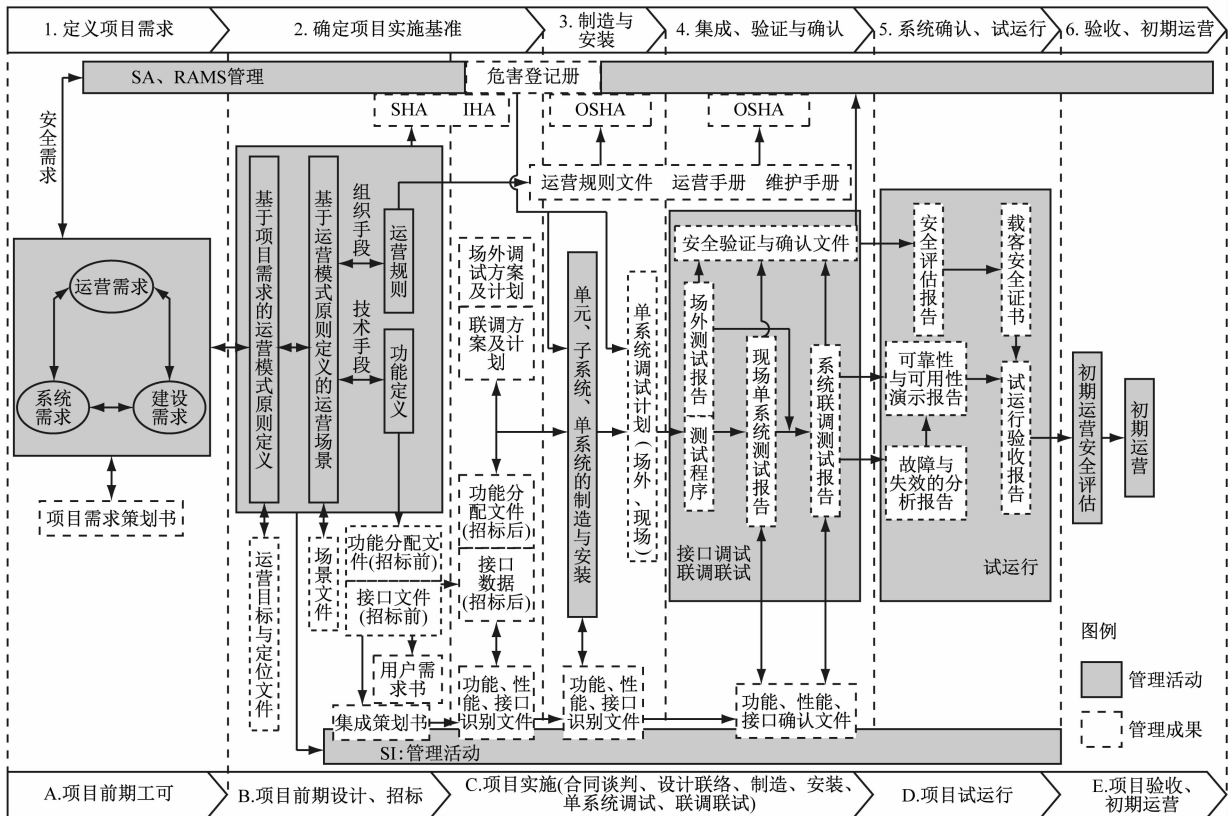


图1 系统“V”型周期控制方法与项目建设管理关系示意图

系统工程“V”型周期各阶段



城市轨道交通线路建设项目管理流程

注：SHA为系统隐患分析;IHA为接口隐患分析;OSHA为操作与维护隐患分析

图2 FAO项目建设管理各环节的控制方法

的组织架构都是运营管理、建设管理、技术管理各自独立,尤其在项目工期压力较大的情况下,项目管理普遍存在因“需求、技术、管理”分离而带来的管理效率较低、需求及变更管理路径较长、过程管理缺失等问题。这些问题既不能适应 FAO 线路建设的要求,也不利于培养对现实问题具有科学视角、拥有较强系统意识、理解系统内各部分关联性的系统工程管理人才。系统工程管理人才匮乏已是当前 FAO 线路建设的突出短板。

3 FAO 线路建设管理关键环节的应对措施

与传统城市轨道交通线路建设项目相比,FAO 项目的建设管理更需要在项目前期(可研、工程设计、招标)、SI 和 SA 管理、系统验证管理等关键环节予以加强,将图 2 各阶段所开展的需求、技术与管理的活动及成果在各关键环节中加以策划和控制。

3.1 项目需求(运营需求)作为设计与招标的输入

如图 2 所示,在项目前期应开展“项目需求”及“基于运营模式原则定义的运营场景”的策划与控制。“项目需求”形成项目特定的需求基准,包括建设需求、运营需求、系统需求三个方面。

1) 建设需求。指根据线路的规划条件、客流规模及建设环境,包括最高运行速度、线路特征、车站区间特征、车场特征等。

2) 运营需求。指线路运营需达到最低的安全和效率要求,以满足线路的日均客流和高峰时段服务水平;在正常和降级模式下维持运营,在应急模式下保证安全疏散和救援。运营需求包括功能性运营需求和非功能性运营需求两方面:前者运营需求侧重于对行车功能的要求,源于运营场景;后者主要是指系统的 RAMS 要求。

3) 系统需求。包括对系统运行所要达到的自动化程度的要求、系统投用前的准备、运营结束或故障后维护等作业需求等。

“基于运营模式原则定义的运营场景”由“项目需求”决定,并最终通过技术手段(完整的功能定义)和组织管理手段(完善的运营维护规则)得以实施,所形成的场景文件、功能分配文件、接口文件等是工程设计与招标的输入。这个环节直接决定了该项目未来的运营情况,其重要性不言而喻,不能凭空想象,也不能照搬照抄。

3.2 建设全过程强化 SI 和 SA 管理

如图 2 所示,SI 和 SA 管理自“项目需求”及

“基于运营模式原则定义的运营场景”的定义开始贯穿于项目建设全过程。它是建立跨专业的过程(流程),以确保需求在系统生命周期内得到满足,体现了既重结果更重过程的管理思想。按照不同参建方的角色和职能,SI 和 SA 可以分为设计层面、供货商层面及业主层面,并以业主层面为管理核心,主导开展各类管理活动,控制相应的管理成果。

1) SI 管理。不论哪个层面的 SI 管理,其目标均是保证整个系统的完整性、一致性以及相应的安全及功能性能指标达到要求,其管理内容包括技术、功能、接口、配置、变更等。如图 2 所示,从需求定义到功能定义再到接口识别,为 SI 管理的策划阶段,用以实现需求目标;单系统设计、制造与安装及单系统调试、接口调试,为 SI 管理的实施阶段,用以实现方案定制、子系统功能分配;通过 SI 管理活动,可为系统联调及系统验证、确认直至验收、试运行提供输入和支撑。

2) SA 管理。SA 管理核心是 RAMS 保证工作,包含 RAM 保证和 S 保证两部分。如图 2 所示,系统工程“V”型周期有 6 个阶段 SA 管理需进行系统生命周期 RAMS 保证工作,以确保系统满足 RAMS 需求,持续保持其 RAMS 目标,提高系统安全性和服务质量。这包括了:图 2 的 1 阶段即定义项目需求阶段 RAMS 需求的提出;2~5 阶段 RAMS 的实施和管理;6 阶段 RAMS 需求验证确认的闭环管理和运营维护 RAMS 的监控管理。

3.3 加强基于运营场景功能验证的联调联试管理

图 2 的 4 阶段即“集成、验证与确认”阶段是自下向上的各个系统逐步集成、验证和确认的过程,遵循从非现场到现场测试的逻辑顺序,所有验证与确认的测试活动都可以追溯到设计需求。FAO 线路的联调联试更需体现这个管理理念。在管理过程中需加强基于“运营场景”功能需求为输入的关键集成功能的系统联调。在完成系统联调基本工作后,应重点测试系统在最大运载能力下的性能、模拟运营状况下可能会发生的各种故障,检查系统如何反应,实施关键功能的响应时间等压力性测试;在运营控制中心不干预的情况下,实施在正常时刻表模式下系统的表现及性能等连续性测试。FAO 线路的联调联试应以 SA 管理(RAMS 管理)为导向、以 SI 管理为驱动、以接口管理为手段、以整改清单为保障,最终实现早发现、早排查、及时消除安全隐患、降低运营风险的目的。

3.4 培养以系统工程师为核心的项目管理团队

建立“需求、技术、管理”三位一体的组织架构,将传统项目管理配置的“专业工程师”团队转型为“系统工程师+专业工程师”的建设管理团队。专业工程师的主要职责是负责各系统专业的实施管理和合同履约,具有组织、协调和管理设计、施工、供货等职能;系统工程师的主要职责是以项目管理中工程计划和质量、安全控制为主线,创建和执行跨专业的管理活动,建立跨专业的管理流程,在专业工程师的配合下开展项目管理工作。

3.5 应用系统工具实现项目的全过程管理

在项目管理过程中运用特定的系统工具(如工程建模、系统仿真、数据收集与分析等),同时借助信息化手段把技术流程和管理流程工具化,以获得管理抓手。例如,对系统需求进行定义就是一个技术流程。对很多建设者来说,如果没有清晰、明确的需求来定义流程与活动,管理控制在整个过程中就没有控制点,各种控制要素无从获得,“把用户需求定义清楚”就成了一句空话。可利用基于DOORS软件的需求管理工具将技术流程、管理活动与输出要素加以清晰、明确的定义,使管理控制在需求定义这个技术过程中得以有效管理。

4 结语

目前,国内城市轨道交通项目的建设者已普遍了解了FAO技术特征和系统工程特征,但对于“建设UTO”是否能够“运营UTO”尚显信心不足。排除项目工期因素外,究其原因还是FAO系统管理能力、方法和人才的不足。虽然有些建设者已重视开展项目需求及运营场景的策划与管理,并

提供设计技术的输入条件,但在项目实施中仍欠缺SI和SA管理,使得需求与技术在实施过程中有可能偏离了原有的策划和方案。有些建设者虽已加强了系统工程的管理能力,选择“系统集成一致性行为”模式开展SI和SA管理,这也仅解决了供货商层面的集成问题,未能从完整性、连续性体现系统生命周期设计层面和业主层面上SI和SA管理思想和控制方法。因此,本文在项目的需求策划、设计输入、SI和SA管理、联调验证管理、系统工程人才等建设管理关键环节的控制方面,提出了实现系统RAMS和提升系统集成所要求的建设管理能力相关建议,供国内FAO项目建设者参考。

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,2016:4.
- [2] 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.轨道交通自动化的城市轨道交通(AUGT)安全要求第1部分 总则:GB/T 32588.1—2016[S].北京:中国标准出版社,2016:1.
- [3] 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.轨道交通可靠性、可用性、可维护性和安全性规范和示例:GB/T 21562—2008[S].北京:中国标准出版社,2008:5.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.城市轨道交通建设项目建设管理规范:GB 50722—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011:6.
- [5] 王众托.系统工程[M].2版.北京:北京大学出版社,2015:27.
- [6] 施亦进.城市轨道交通综合联调工作要点[J].城市轨道交通研究,2017(6):145.

(收稿日期:2019-08-19)

(上接第4页)

便捷出行体验,同时可实现客流预警、行车调度、故障维修、安全保障等的高水平综合运维管理,是城市轨道交通可持续发展的必由之路。在智慧地铁的建设过程中,也面临新兴技术融合、建设标准缺失、建设周期漫长、投资成本高昂等诸多挑战,但随着内生驱动力和外部技术的不断发展,智慧地铁定将走向成熟。通过坚持国家倡导、政府引导、协会辅导、企业主导的“四导原则”,智慧地铁的事业必将枝繁叶茂。

参考文献

- [1] 刘纯洁.上海智慧地铁的研究与实践[J].城市轨道交通研究,2019(6):1.
- [2] 刘纯洁.上海地铁自动扶梯智慧管控的创新与实践[J].中国市政工程,2019(6):105.
- [3] 刘纯洁,陆晨,陆渭歧.城市轨道交通工程建设单位现场管理操作手册[M].上海:同济大学出版社,2017:447.
- [4] 熊彼特.熊彼特:经济发展理论[M].北京:中国画报出版社,2012.

(收稿日期:2020-01-17)