

摘要 从服务表现指标与系统保证 RAMS(可靠性、可用性、可维护性及安全性)的联系切入,采用由上而下分解法和由下而上验证法,论述表现轨道交通运营服务质量的宏观指标(行车准点率)与反映机电系统设备性能的微观指标(可靠性)之间的联系。以屏蔽门为例,定性并定量地论证行车准点率与可靠性之间的相关性,分析行车准点率与 RAMS 可靠性之间相互作用和相互依存的紧密关系,探索基于 RAMS 建立运营服务指标体系的理论和实践依据。

关键词 城市轨道交通 运营 服务表现指标 行车准点率 可靠性 RAMS

1 服务表现指标与 RAM S

1.1 基本概念

服务表现指标是衡量地铁运营服务质量和管理水平的重要工具(由一整套量度铁路在主要方面的表现指标及相应的目标组成),分为列车服务指标、车站服务指标和乘客舒适度指标。

系统保证 RAMS(Reliability,Availability,Maintainability and Safety)的主要工作是以一个科学化的管理方法,有系统地在项目的整个生命周期的不同阶段进行不同的可靠性分析、可用性分析、可维护性分析及安全分析,以确保项目在完成后可达到预期的安全性、可靠性和可维护性。

1.2 两者的联系

实际上,透过 RAMS 的目标确定、分析与管理,代表运营服务质量的表现指标可以转化为地铁机电建设的具体要求。于是,地铁机电系统的建设质量可以定性并量化地反映未来地铁运营的服务质量,从而体现地铁建设服务于地铁运营的终极理念。表 1 是在借鉴国内外标准基础上制定的成都地铁服务表现指标及对应的 RAMS 要求。由表 1 可知:RAMS 的目标不但可以反映核心的服务表现指标,而且要略高于服务表现指标。这是因为服务指标还受到除机电系统以外其他因素的影响,所以只有提高机电系统 RAMS 的目标,最终运营服务表现指标才可能得以实现。

2 列车准点率与系统可靠性

列车准点率是表现轨道交通运营服务质量的宏观指标,是轨道交通在运营时期关注的重点;可靠性是反映机电系统设备性能的微观指标,是轨道交通在建设期关注的重点。两者处于不同的阶段,看似没有太多联系,但在运营指导建设、建设服务于运营理念的指导下,通过由上而下、由下而上的分析,或许可以挖掘出它们之间内在的相关性。

2.1 基本概念

在众多的运营服务指标中,列车准点率是反映运营服务质量和水平的关键指标。它被定义为列车准时旅程的百分比,由下式计算得出:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100\%$$

式中:A 是列车准点率;B 是实际列车旅程(始发及到达终点站);C 是终点站延误大于或等于 2min 列车的旅程。

通常,国内地铁公司以大于 2min 或 5min 以上延误的旅程来统计行车准点率,如果在评估期内实际列车旅程是 2 000 km,其中大于 2min 以上的延误旅程为 40 km,则评估期内列车准点率为 98%。

可靠性是指产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。对系统而言,可靠性目标是基于不同的故障模式(如重大、主要和微小)与表现方式(如平均无故障时间,百万小时故障率或百万周期故障率等)的,且在确定的范围内涵盖所有的系统、子系统、设备和部件。



表 1 地铁服务表现指标及对应的 RAMS 要求

服务表现指标		成都地铁	香港地铁	RAMS 要求
与列车服务相关	列车服务供应(列车实际车程相对计划车程) %	98	99	不适用
	列车准点率 %	98	99	99
与车站服务相关	储值票 IC 卡可靠性 %	25 000	20 000	100 000
	自动检票机可靠性 %	99	99	100
	自动售票机可靠性 %	96	99	98
	自动扶梯可靠性 %	98	99	99
	电梯可靠性 %	98	99.50	99
与乘客舒适度相关	温度在 28℃及以下,保持凉爽、舒适、宜人的列车环境 %	97	97	
	除极其炎热的天气外,通常设定站台温度在 28℃及以下,站厅温度在 29℃及以下 %	90	90	
	列车清洁程度列车车厢:每日清洁 %	98.5	98.50	
	车体:每 2 天冲洗 1 次 %	98	99	

2.2 由上而下分解法

在国内轨道交通机电系统的招标过程中,系统的功能需求是招标要求的重点,且易于明确,但在性能方面,特别是可靠性方面却缺乏具体、科学和合理的要求。如何界定故障、区分重要性及影响,什么样的指标是合理的、可接受的,甚至是优异的,这些问题一直困扰并阻碍用户提出系统的可靠性目标。

行车准点率是反映运营质量的主要指标,机电系统故障、人为因素、土建结构以及其他外部因素都可能导致列车旅程的延误,最终影响行车准点率。本文只讨论机电系统对行车准点率的影响,以下从机电系统与行车准点率相关性的角度,探讨如何通过行车准点率来确定机电系统的可靠性目标。

大量运营数据统计显示,导致大于 2min 或 5mi 以上延误的机电设施主要是轨旁信号、车载信号、车辆、屏蔽门、轨道和供电。毋庸置疑,不同的机电系统,其故障对行车准点率的影响也截然不同。因此,借鉴拥有丰富运营经验的运营公司所统计的数据,得出各机电系统故障对列车旅程延误影响的权重:信号系统 38%,车辆 12%,屏蔽门 4%,以及每一次因机电系统故障而引起的列车服务延误对列车旅程延误的比重。此时,可以将列车准点率目标(98%)借助经验数据,转化并分解成各机电系统的可靠性要求(见表 2)即以满足运营列车准点率为目标,由上而下分解并量化为各机电系统可靠性的最低目标(见图 1),用于指导机电系统的招标、设计、制造、安装和调试。



表 2 列车准点率达 98% 所需的可靠性目标

子系统	分配权重 a	每月列车旅程延误次数 $b = a \times 408$	每一次列车服务延误引致列车旅程延误的数目 c	每月列车服务延误次数 $d = b/c$	可靠性目标	备注
轨旁信号	25%	102	15	6.83	≤ 0.22	每月每运营线路公里
车载信号	13%	51	10	5.13	≤ 1.56	每百万车公里每月每运营线路公里
轨道	2%	9	15	0.62	≤ 0.02	公里
供电	3%	10	30	0.34	≤ 0.011	每月每运营线路公里
车辆	12%	49	10	4.9	≤ 1.49	每百万车公里每百万次门循环每月每车站
屏蔽门	4%	17	6	2.77	≤ 0.30	
土建	0.30%	1	12	0.114	≤ 0.005	
员工出错	8%	33	12	2.73	≤ 0.0013	每月每名员工
其他	33%	135	不适用	不适用	不适用	
总数	100%	408	不适用	不适用	不适用	

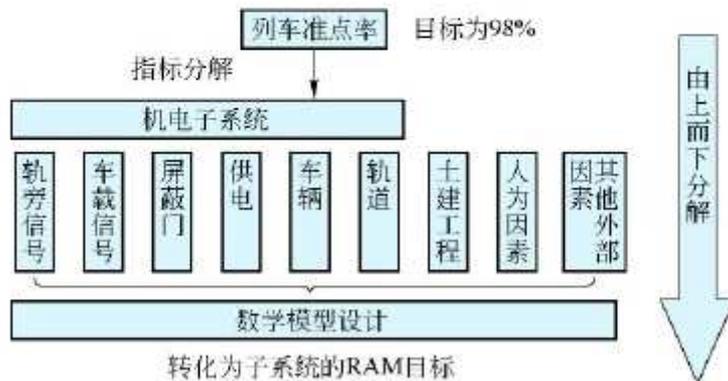


图 1 由上而下分解法

在表 2 中,“关联因素”指每一次列车服务延误引致列车旅程延误的次数,“百万次门循环”中每次门循环是指 1 对门进行 1 次完全开启及闭合动作,“其他”栏中的 33%,其中 10%是车辆或屏蔽门开关受阻,如乘客上落、外来物件等;20%是乘客需要站务员或司机帮助,如身体不适、争执、醉酒等; 3%是外界因素,如:电力、公安行动、误鸣等。

2.3 由下而上验证法

行车准点率目标分解并转换成机电系统的可靠性,只完成由上而下的数据理论分解工作。重要的是,需要由下而上地通过机电系统建设和运营的实践数据来证明并验证可靠性目标、经验数据,以及行车准点率目标的可行性、科学性和合理性。

通常,在机电系统的招标阶段,经由行车准点率分解的可靠性指标应纳入系统招标文件的要求范围。在机电系统的建设期,承包商需要分析系统的可靠性,判断其能否满足 RAMS 的可靠性目标。如果不能满足,则需找出系统设备的薄弱环节,提出改进建议和方案;如果能够满足,则需提供具体的证明计划和验证方法。当机电系统进入运营期,运营商需要收集并统计机电系统的实际故障数据,分析其对运营表现的影响,从而验证机电系统实际运行的可靠性是否与承包商的分析结果一致,是否满足运营的最终要求。与此同时,通过运营现场数据的收集、整理和分析,完整而准确的可靠性数据可以从下而上地服务于机电系统可靠性目标的制定,服务于机电系统影响行车准点率权重的确定,服务于行车准点率目标的制定。

3 屏蔽门案例分析

3.1 地铁设计规范对屏蔽门的要求

GB 50157—2003《地铁设计规范》8.7.15 条明确描述:屏蔽门无故障使用次数不小于 100 万次,即屏蔽门的 MCBF(mean cycles between failures)≥100 万次。但是,规范并没有定义屏蔽门的故障,没有界定故障的类型、范围及影响,因此其中的屏蔽门可靠性指标对运营管理缺乏实际的指导意义。

3.2 行车准点率的分解

由表 2 可知,屏蔽门故障对行车准点率影响的权重为 4%,每月因屏蔽门故障而导致列车旅程延误的次数等于权重数乘以每月列车旅程延误总次数,即 $4\% \times 408 = 17$ 。此外,根据经验,列车延误而导致列车旅程延误的次数为 6,因此每月因屏蔽门故障而导致列车服务延误的次数等于每月因列车旅程延误的次数除以列车延误而导致列车旅程延误的次数,即 $17 \div 6 = 2.77$,从而转化为屏蔽门的可靠性目标,即每百万开关周期的故障次数 ≤ 0.30。

3.3 可靠性的分析与证明

3.3.1 故障定义

系统故障的定义是 RAMS 计算并确定可靠性目标的基础。从运营行车服务的角度定义故障的内容和范围,其可靠性指标才具有可操作性。以屏蔽门为例,故障是指系统或设备出现问题而不提供基本功能,但不包含因外在原因(如供电系统出现故障)引起的故障,具体可分为 3 类。

1)屏蔽门服务失效。会导致行车大于 5min 的延误,其故障率为 λ_a 。当车辆停止或刚进车站时,1 个或一系列事件引发屏蔽门系统服务失效,从而导致列车 5min 或以上的延误。失效模式有屏蔽门供电停止、1 个门失效(不能人工恢复)、PSD 接口控制盘和本地控制盘故障等。

2)屏蔽门不可用。会导致行车 2~5min 的延误,其故障率为 λ_b 。当 1 个或一系列非故意事件引起 1 套独立的屏蔽门不可用时,需要员工介入,如手动关门或确保门的安全等。失效模式有 1 个门没有自动开/关、PSD 接口控制盘失效(使用本地控制盘)、安全回路保持开状态(使用本地控制盘)等。

3)其他故障。其故障率为 λ_c 。这类故障不会影响屏蔽门或者车辆运营,因此不需要操作人员的介入,而且故障可以在下一个运营日前被修复。故障模式有备用电源故障、仪表故障、密封条磨损、站台端头控制盘有缺陷等。

3.3.2 可靠性计算

根据法中轨道交通运输设备(上海)有限公司所提供的可靠性计算(见表 3)及故障定义,可以得到每月台屏蔽门系统的故障率 λ , FPMH(failure permillionhours,百万小时故障次数)。其中 $\lambda_a = 3.04, \lambda_b = 161, \lambda_{all}$ (所有故障)=614。

假设每个月台的滑动门数量 $n=24$,每小时平均开关次数 $m=30$,于是由下式可以计算出导致 2min 以上延误的故障率 λ_{d2} 和平均无故障间隔次数 M_d (百万次),即

$$\lambda_{d2} = \frac{\lambda_a + \lambda_b}{nm} = \frac{161 + 3.04}{24 \times 30} = 0.2278$$

$$M_d = \frac{nm}{\lambda_{all}} = \frac{24 \times 30}{614} = 1.172$$



探索并建立适合国内地铁的运营服务指标,建立数据模型将运营服务指标分解并转换为科学合理的 RAMS 目标,用于指导机电系统的建设,是一个需要长期积累、沉淀、总结且不断反复的过程。本文是研究 RAMS 目标与运营服务指标之间相关性的初步结果,抛砖引玉,希望未来出现更多的深入研究与探讨。

参考文献

- [1] GB 50157—2003 地铁设计规范[S].北京:中国计划出版社,2003.
- [2] GB/T21562—2008 轨道交通可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [3] Ebeling C E.可靠性与维修性工程概论[M].北京:清华大学出版社,2008.
- [4] EN 50126—3:2006 Guide to the application of EN 50126—1 for rolling stock RAMS[S]. British Standards Institution, 2006.
- [5] 香港铁路公司.2008 顾客服务指标[G].香港,2008.

