

城市轨道交通机电核心系统建设环节的 电磁兼容问题探讨

陈光宇

(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 从城市轨道交通建设者的角度,梳理总结了机电核心系统建设环节中存在的电磁兼容问题。从电磁环境影响、机电核心系统、重点设备机房评价、频带干扰等方面,详细阐述了招标采购阶段选择的电磁兼容评价标准。针对工程实施阶段,建议成立管理小组,并对管理计划、隐患分析报告、测试计划及测试报告等环节提出了完善电磁兼容管理的建议。

关键词 城市轨道交通; 机电核心系统; 电磁兼容

中图分类号 U231.7; U284.26⁺1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.08.010

Discussion on Electromagnetic Compatibility Issue of Urban Rail Transit Electromechanical Core System Construction

CHEN Guangyu

Abstract From the perspective of urban rail transit construction, the electromagnetic compatibility issue of electromechanical core system during construction phase is sorted and summarized. From aspects including electromagnetic environmental impact, electromechanical core system, key equipment room evaluation, frequency band interference, the electromagnetic compatibility standard adopted during bid and proposal phase is expounded. Targeting the project implementation phase, a management group is suggested to establish, proposing advice on completing electromagnetic compatibility management, from aspects including management plan, hazards and risk analysis report, test plan and test report.

Key words urban rail transit; electromechanical core system; electromagnetic compatibility

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

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》提出:“全自动运行系统是基于现代计算机、通信、控制和系统集成技术,由信号、车辆、综合监控、通信、站台

门等与列车运行相关的设备组成,实现列车运行全过程自动化的系统。”由此可知,城市轨道交通的信号系统、车辆、综合监控系统、通信系统、站台门等共同构成机电核心系统。这是个强电与弱电共存的复杂系统,存在着各种类型的电磁干扰,可能给机电核心系统运行的可靠性、列车运行的安全性及人员健康带来严重的影响。如果能在机电核心系统的建设环节,正确识别电磁干扰隐患,从技术上采取相应的抑制或防护措施,就能有效避免或降低 EMC(电磁兼容)问题带来的危害,从而确保城市轨道交通机电核心系统设备能在电磁环境中安全、稳定、可靠地工作,有效降低对乘客及工作人员健康的影响。

1 EMC 问题研究的相关现状

国际电工委员会(IEC)对 EMC 的定义为:电子、电气系统或设备在所处的电磁环境中能正常工作,同时不会对其环境中的其他事物产生不能承受的电磁干扰的能力。EMC 包括 EMI(电磁干扰)及 EMS(电磁耐受性)两部分。EMI 是指系统或设备本身在执行应有功能的过程中,伴随电压、电流作用而产生的,不利于其他系统、设备、有生命或无生命物体的电磁骚扰。EMS 是指处在一定环境中的系统或设备,在执行应有功能的过程中,承受相应标准、相应规定范围内的电磁能量干扰的能力。

目前,在城市轨道交通机电核心系统建设环节,对 EMC 问题及其影响的理解通常不够全面和深刻。这主要表现在:

1)在机电核心系统的采购阶段,业主方会编制各系统的电磁兼容要求,并纳入招标文件用户需求书中的“通用技术要求”章节。而该要求所参照的 EMC 标准、涉及的范围及深度缺乏统一的认识和筹划。

2)在机电核心系统的设计阶段,各系统供货商缺少对城市轨道交通运行环境中存在的干扰源及其干扰机理进行定量、定性分析,缺少对所有易受干扰源干扰的设备进行有效的界定。

3)在机电核心系统设计、制造及安装阶段,大多数系统供货商仅仅向业主方提供部分设备的 EMC 第三方实验室检测报告,并未提出针对 EMC 隐患分析结果而采取的 EMC 优化措施和方法。

4)在机电核心系统调试及试运行阶段,各系统供货商未对现场的 EMC 环境(包含机房和轨旁)进行充分测试和评估,也未采取有效隔离手段来降低电磁干扰到可接受的程度,而是往往等到出现了影响运行的电磁骚扰事件时才进行补救。

对于 UGT(城市轨道交通运输)系统而言,在 GB/T 32590.1—2016《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》中对 EMC 提出了明确的要求。可见,关注 EMC 问题是城市轨道交通建设过程中不可或缺的一环,将会对即将建成的机电核心系统的可靠性、可操作性以及安全性产生深远的影响。

2 招标采购阶段的 EMC 标准选择

在国际范围上,EMC 标准的制定已经有了 80 多年的发展历程。起初,由 CISPR(国际无线电干扰标准化特别委员会)对各种用电设备和系统提出了相关的电磁干扰发射限值和测量方法。随着电子、电气设备的迅速发展,为了解决日趋增多的 EMC 问题,世界各大标准化组织和各国标准化机构也陆续制定了许许多多的 EMC 标准,大致可分为:①基础标准,如 GB/T 6113《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范》系列标准等;②通用标准,如 GB 17799.4—2012《电磁兼容 通用标准 工业环境中的发射》等;③产品族标准,如 GB 9254—2008《信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法》等;④专用产品标准。

EMC 标准不仅种类繁多、专业性强,而且各专业系统间的接口还存在着复杂的关联性。因此,对不同专业的招标文件通用技术条件而言,难以选择合适的 EMC 标准。在建设环节的招标采购阶段,应从电磁环境影响、机电核心系统、重点设备机房评价、频带干扰等方面的评价来选择 EMC 标准。

2.1 对电磁环境影响评价的标准

城市轨道交通项目中可能影响人体健康的电

磁辐射,主要来自于牵引变电站高压设施产生的工频电磁场和高频电磁辐射,以及专用的无线电设施设备产生的射频电磁辐射等。

GB 8702—2014《电磁环境控制限值》定义了电磁环境中控制公众暴露的评价和管理方法。其中,下列产生电场、磁场、电磁场的设施或设备可以豁免:①100 kV 以下电压等级的交流输变电设施;②向无屏蔽空间发射 0.1 MHz~300 GHz 电磁场的,且其等效辐射功率小于规定上限值的设施或设备。

表 1 可豁免设施或设备的等效辐射功率上限	
Tab.1 Upper limit of equivalent radiated power of exempted facilities or equipment	
频率范围/MHz	等效辐射功率上限值/W
0.1~3.0	300
>3~300 000	100

由此可见,从电磁环境保护管理角度,城市轨道交通项目仅需要考虑 110 kV 变电站所产生的电磁场骚扰(其工频电场强度控制限值为 10 kV/m),并按 HJ 24—2014《环境影响评价技术导则 输变电工程》中的电磁环境影响评价工作等级进行三级评价。由于工频磁场强度控制限值未在 GB 8702—2014 中定义,故可参考 ICNIRP(国际非电离辐射防护委员会)制定的《限制时变电场、磁场及电磁场暴露的导则》,将对公众全天辐射时的限值 100 μT(如果用磁场强度表示,相当于 80 A/m)作为工频磁场的评价标准。

2.2 机电核心系统的评价标准

为确保各机电核心系统设备能在工作电磁环境中安全、稳定、可靠地工作,机电核心系统设备的电磁兼容性应满足 GB/T 24338《轨道交通 电磁兼容》系列标准或 EN 50121《铁路应用 电磁兼容》系列标准的要求。这 2 个标准虽存在对应关系,却也存在一定的差异。此外,同一标准的不同版本也存在差异。例如,GB/T 24338.4—2018 的“发射试验和限值”部分规定了机箱端口的发射限值,且该限值要求与 EN 50121-3-2:2015 的要求对应。但在最新版的 EN 50121-3-2:2016/A1:2019 标准中,“发射试验和限值”部分却取消了机箱端口的发射限值规定。故业主应选择统一的标准及版本来纳入各机电核心系统招标文件,以免产生矛盾,对评判造成不必要的困扰。

此外,有些业主在招标时采用 GB 4824—2019

《工业、科学和医疗设备 射频骚扰特性限值和测量方法》,或与之相对应的 EN 55011:2016《工业、科学和医疗设备-射频干扰特性-限值和测量方法》作为列车车载设备必须执行的电磁兼容标准。相较于 GB/T 24338.4 或 EN 50121-3-2 系列标准,GB 4824—2019 与 EN 55011:2016 将列车车载设备的传导发射限值提高了 20 dB。由此,业主方应该在实际项目中进一步确认该取值的合理性。

2.3 重点设备机房的评价标准

根据交通运输部 2019 年颁布的《交通运输部办公厅关于印发城市轨道交通初期运营前安全评估技术规范 第 1 部分:地铁和轻轨的通知》,在线路初期运营前,应对信号、通信等重点设备机房进行电磁兼容测试,可采用 GB 50174—2017《数据中心设计规范》作为机房电磁兼容的执行标准。

2.4 频带干扰的评价标准

为确保城市轨道交通车地无线通信系统有足够的保护,以防止其他在 ISM(工业、科学、医疗)频段及 LTE(长期演进)频段工作的无线通信设备干扰,需对城市轨道交通工程全线的车站(含站厅和站台)、隧道区间(含风井)、车辆段、停车场及控制中心等区域的无线电磁环境进行全面测试及评价,此项评价可采用 GB/T 51211—2016《城市轨道交通无线局域网宽带工程技术规范》和 T/CAMET 04005.1—2018《城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)总体规范第一部分:系统需求》等标准。

3 工程实施阶段的 EMC 管理

为了确保城市轨道交通机电核心系统所有电气和电子设备的设计和制造能满足电磁兼容的相关要求,也为了确保在工作电磁环境中运行的设备无质量和性能的退化或功能的损失,业主方应在建设环节的工程实施阶段,监督并参与各承包商的 EMC 管理活动。建议业主方能在建设环节增设专门的 EMC 管理小组,将技术和组织管理相结合,以解决 EMC 问题。

3.1 EMC 管理计划

城市轨道交通机电核心系统的承包商应在合同签订后 1 个月内,编制并向业主提交 EMC 管理计划。该计划包括 EMC 管理的组织机构、所提供的主要子系统涉及 EMC 的描述、列出所采用的 EMC 标准、工程各阶段为示范和保证 EMC 性能所执行的活动与任务、列出须提交给业主 EMC 成果

文件等内容。

3.2 EMC 隐患分析报告

城市轨道交通机电核心系统的承包商应在设计联络开始前 1 个月,编制各专业系统的 EMC 隐患分析初步报告。该隐患分析包括识别设备对 EMI 的易感性、EMI 的设备或系统来源、干扰发生的相应后果、缓解 EMI 的建议措施,还包括该系统同其他安装于城市轨道交通电磁环境中的接口系统之间的电磁兼容性,以及本系统内部的电磁兼容性等。

城市轨道交通机电核心系统的承包商应在设计联络过程中充分识别 EMC 的隐患,提出 EMC 的控制措施和解决方案,并在设计联络完成后 1 个月内,编制并向业主提交 1 份终版的 EMC 隐患分析报告。

3.3 EMC 测试计划

为了确保机电核心系统各专业承包商所交付的产品满足合同规定的电磁兼容标准,需要建立针对性的测试流程。通过测试来判定机电核心系统是否满足 EMC 的设计要求,是否与城市轨道交通的 EMC 环境相兼容,进而验证承包商在各专业系统设计中采用了合理、有效、安全的电磁兼容措施。

城市轨道交通机电核心系统的各专业承包商应在系统设备交付前 3 个月,编制并向业主提交本专业系统的 EMC 测试计划。测试计划应分为两个阶段:交付前测试和交付后测试。交付前的测试是指在第三方电磁兼容实验室或得到业主许可的厂内实验室进行的 EMC 测试。交付后测试是指在轨道交通安装现场的电磁环境中进行的 EMC 测试。

EMC 测试计划的编制应该严格契合 EMC 管理计划中的 EMC 标准依据,并结合 EMC 隐患分析报告中所关注的风险点进行定义、测试和验证。

3.4 EMC 测试报告

EMC 测试工作完成后,城市轨道交通机电核心系统的各专业承包商应在其系统设备交付前 1 个月向业主提交实验室 EMC 测试报告;在其系统开通试运营前 1 个月向业主提交现场 EMC 测试报告。EMC 测试报告应包含测试结果,并提供符合合同及已建立的 EMC 要求证据。EMC 测试报告通常包括以下内容:适用标准、被测设备、设备和电缆布置结构、测试场所、测试设备列表、度量单位、测试

(下转第 51 页)