

# 温州市域铁路 S1 线车辆制动系统的 第三方独立安全评估

王晓东<sup>1</sup> 齐万明<sup>2</sup> 张红萍<sup>1</sup>

(1. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 266031, 青岛;

2. 浙江幸福轨道交通运营管理有限公司, 325088, 温州//第一作者, 正高级工程师)

**摘要** 根据温州市域 S1 线一期工程车辆合同的要求, 车辆制动系统需要通过第三方的独立安全评估。介绍了该线车辆制动系统安全评估所进行的主要工作, 分别从制动系统需求规范、制动系统详细设计规范、制动系统软件质量保证计划、制动系统设计阶段及之前的验证报告、制动系统需求测试规范五个方面, 介绍了制动系统安全评估的过程。

**关键词** 安全评估; 需求规范; 详细设计规范; 验证报告; 软件质量保证计划; 需求测试规范

**中图分类号** U239.5; U270.35; F530.69

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2020.08.036

## Third Party Independent Safety Assessment for Vehicle Brake System of the Regional EMU S1 Line in Wenzhou City

WANG Xiaodong, QI Wanming, ZHANG Hongping

**Abstract** As required by the Phase 1 project vehicle contract on Wenzhou Regional EMU S1 Line, the safety of vehicle brake system needs to be assessed independently by a third party. With an introduction of the main works related to the safety assessment of vehicle brake system for the EMU S1 Line, the brake safety assessment process is explained from 5 aspects, including brake system requirement specification, brake system detailed design specification, brake system software quality insurance plan, validation report of brake system in the design phase and the previous phases, as well as brake system requirement testing specification. Finally, the process of brake system safety assessment is introduced.

**Key words** safety assessment; requirement specification; detailed design specification; validation report; software quality insurance plan; requirement testing specification

**First-author's address** CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., 266031, Qingdao, China

温州市域铁路 S1 线(以下简为 S1 线)车辆以高速动车组技术平台为基础, 充分借鉴城市轨道交通

成熟经验, 采用了完全自主化的制动系统。为保证工程的安全性、可靠性、先进性及经济性, 根据 EN 50126:1999《铁路应用-铁路设备可靠性、可用性、可维修性和安全性(RAMS)的规范和说明》、GB/T 19001—2008《质量管理体系要求》及相关专业的安全性标准, 对 S1 线车辆进行整车独立安全评估<sup>[1]</sup>。本文重点讨论其制动系统第三方独立安全评估问题。

制动系统安全评估工作主要依据 EN 50126:1999《铁路设施可靠性、可用性、可维修性和安全性(RAMS)的规范和说明》、EN 50128:2011《铁路应用-通信、信号和处理系统-铁路控制和防护系统软件》、EN 50129:2003《铁路应用-通信、信号和过程控制系统-信号的安全相关电子系统》; 评估内容包含五部分: 制动系统需求规范<sup>[2]</sup>, 制动系统需求测试规范<sup>[3]</sup>, 制动系统详细设计规范<sup>[4]</sup>, 制动系统软件质量保证计划<sup>[5]</sup>, 制动系统设计阶段及之前的验证报告<sup>[6]</sup>。

## 1 制动系统需求规范

制动系统需求规范主要描述了车辆的基本条件、系统的功能、性能、RAMS 要求以及其他要求等。制动系统需求规范包括制动系统的描述、功能需求, 安全性需求、接口需求和其他非功能性需求(如性能需求, 及可靠性、维修性、可用性需求)的描述。制动系统需求规范适用于制动系统的设计与开发, 并作为测试、验证和确认的依据。

### 1.1 制动系统边界条件

制动系统边界条件为列车对制动系统的要求, 具体包含以下内容: ①车辆控制电源供电电压——DC 110 V(-30%~25%); ②紧急牵引模式——列车线得电, 制动系统激活紧急牵引模式; ③回送模

式——列车线得电,制动控制系统激活回送模式;  
④信号系统最大常用制动——列车线得电,制动控制系统激活 ATP(列车自动保护)最大常用制动;⑤快速制动——列车线失电,制动控制系统激活快速制动;⑥紧急制动——安全环路失电,制动控制系统激活紧急制动;⑦车辆总风压力为 750 kPa~900 kPa,如低于 600 kPa,则触发紧急制动和封锁列车牵引;⑧信号传输——网络通过 MVB(多功能车辆总线)将信号系统模式、制动状态、牵引状态、常用制动指令及时间等信息下发至制动控制系统。

### 1.2 制动系统的需求

制动系统功能需求主要包含制动控制装置功能需求、辅助控制装置功能需求、主空压机装置功能需求、基础制动装置功能需求、辅助压缩机装置功能需求、空气制动管路需求。

制动系统接口需求主要包含制动控制装置接口、辅助控制装置接口、主空压机装置接口、基础制动接口及辅助压缩机装置接口等需求。

制动系统非功能性需求主要包含环境需求、可靠性与维修性需求、试验需求。

### 1.3 安全完整性等级要求

安全完整性等级要求是安全性需求的重要部分,是对安全设备的安全完整性等级(SIL)进行评估和确认的一种第三方评估、验证和认证,包含 SIL1、SIL2、SIL3 及 SIL4 共 4 个级别的要求。列车级的紧急制动控制功能满足 SIL4 要求,车辆级的紧急制动控制功能满足 SIL3 要求,防滑控制功能满足 SIL3 要求,常用制动控制功能满足 SIL2 要求。

### 1.4 其他要求

所有的材料、紧固件、工具等都采用公制标准,所有的尺寸采用国际单位制表示,密封管螺纹采用英制。设备外部油漆和清洗时所触及到的部位和零部件能耐受微酸、微碱清洗剂影响。所有电气配线采用低烟、无卤、阻燃电缆。所使用的电线和电缆是无卤低烟阻燃或无卤低烟耐火电缆,防火安全性能指标符合 DIN 5510-2—2009《轨道车辆防火测试标准》4 级要求。电器连接器具具备防插错功能。制动控制装置、辅助控制装置和主空压机装置的 IP(外壳防护等级)需满足 GB 4208—2008《外壳防护等级》相关要求。

## 2 制动系统需求测试规范

制动系统需求测试规范适用于制动控制装置

的试验验证,用于确认系统需求规范中各可测试性的需求(包括功能性的和非功能性的)。制动系统需求测试包括以下内容:

1) 制动控制装置测试,包含压力监测测试、常用/快速制动测试、保持制动测试、紧急制动测试、防滑试验测试、响应时间测试、绝缘耐压试验、振动冲击测试、温度试验测试、电磁兼容测试、防护等级测试、盐雾试验测试、外观尺寸检查测试、电气接口测试、泄露试验测试、人机接口及故障测试。

2) 辅助控制装置、主供风装置、辅助压缩机装置、钥匙箱装置的测试,主要确认辅助控制装置、主供风装置、辅助压缩机装置、钥匙箱装置的机械接口、电气接口、性能是否满足要求。

3) 空气制动管路测试,主要确认空气制动管路的性能是否满足要求。

## 3 制动系统详细设计规范

### 3.1 设计原则

1) 根据制动系统需求规范完成制动系统方案的设计,形成系统原理图、电气原理图及部件清单。

2) 根据各主要部件的应用情况,选取有着较好应用业绩的产品,完成各主要部件的选型设计。

3) 完成制动计算、耗风量计算、热容量计算。

4) 完成机械类部件的接口设计,形成部件外形图。

5) 对于电气类部件,形成《电子系统设计规范》,并进行后续设计。

### 3.2 制动系统技术方案

根据列车的技术要求制定制动系统技术方案,作为详细设计规范的重要组成部分。

S1 线车辆制动系统采用微机控制的直通式电空混合制动系统,以 1 动 1 拖为 1 个控制单元。制动控制采用架控方式。每辆车配有 2 套电空制动控制模块,其中空气制动系统的控制理念基于分布式的单个转向架控制。

S1 线车辆制动系统具有常用制动、快速制动、紧急制动、停放制动、保持制动、防滑保护以及载荷补偿等功能,并具有自诊断和故障记录功能,能在司机控制器及列车自动控制系统的控制下对列车进行制动与缓解。

制动系统设置空重车调整功能,能根据车重的变化,实时调整制动力,使 S1 线车辆按照设置的减速度进行制动,以保证制动距离在规定范围内。

3.3 输出文件

详细设计规范规定应输出如下文件进行评估：《温州 S1 线制动系统方案》、《气路原理图》、《电气原理图》、《部件清单》、《制动计算报告》、《耗风量计算报告》、《热容量计算报告》、《部件外形图》、《温州 S1 线制动控制系统功能图》、《制动电子系统》、《温州 S1 线系统需求参数配置表》。

4 制动系统软件质量保证计划

制动系统软件质量保证计划需识别的内容包括：①所开发的软件；②人员及职责；③开发所采用

的方法和流程；④软件开发所采用的标准；⑤开发过程生成的软件文档；⑥为保证软件遵从需求和本计划的一致性，所采用的过程监控方法。

5 制动系统设计阶段及之前的验证报告

制动系统验证分为需求分析、风险分析、方案设计、技术设计及施工设计等 5 个阶段（见表 1）。安全评估主要针对制动系统设计阶段及之前的验证报告进行评估。S1 线车辆制动系统各阶段的验证报告包括验证对象、验证技术和方法、验证形式。

表 1 S1 线车辆制动系统的各阶段验证报告内容

验证阶段	输出文档名称	验证技术和方法	确认形式
需求分析阶段	温州市域铁路 S1 线车辆制动系统设计规划书	评审	各级签审确认
	列车充气时间、空气压缩机工作周期及气缸容积计算	计算	各级签审确认
	制动减速度、制动距离、停放制动计算	计算	各级签审确认
风险分析阶段	温州市域 S1 线 RAMS 文件-制动系统(包含:隐患登记册、安全原则及规范要求的符合性评估、故障模式影响与重要性分析)	评审	各级签审确认
方案设计阶段	温州市域 S1 线车辆风源系统设计评审报告	评审	会议评审
	温州市域 S1 线车辆制动系统设计评审报告	评审	会议评审
技术设计阶段	制动系统各部件图纸	评审	各级签审确认
	制动系统供货技术条件	评审	各级签审确认
	辅助空压机供货技术条件	评审	各级签审确认
	钥匙箱供货技术条件	评审	各级签审确认
	制动系统空气原理图	评审	签审存档
施工设计阶段	制动系统静调技术条件	评审	签审存档
	制动系统施工技术条件	评审	签审存档
	制动系统首件鉴定报告	首件鉴定	检验报告
	辅助空压机首件鉴定报告	首件鉴定	检验报告
	钥匙箱首件鉴定报告	首件鉴定	检验报告

6 结语

通过安全评估,尽早发现温州市域铁路 S1 线制动系统的隐患和风险,并进行风险分级,进而提供建议的隐患减轻措施和安全需求,以期把相应的风险降低到可接受的水平。安全评估通过识别产品的可能风险,并评估风险等级,确定产品需要控制的关键点,对产品设计过程需要执行的技术要求(包含将要的)做出明确要求。对产品中运行意外可能造成的危害一定要进行考虑,如:碰撞、断电等。通过功能和危害分析,识别每个功能的相关危害,持续评估危害的发生频率及严重性。根据相关危害的最高风险等级确定每个功能的安全完整性等级。通过安全评估分析得出制动系统常用制动、快速制动、紧急制动等功能的安全等级。

参考文献

[1] 中车青岛四方机车车辆股份有限公司. 温州市域铁路 S1

线一期工程车辆系统项目技术规格书[R]. 青岛:中车青岛四方机车车辆股份有限公司,2014.

[2] 中车青岛四方机车车辆股份有限公司. 温州市域铁路 S1 线一期工程车辆系统采购项目制动系统需求规范[R]. 青岛:中车青岛四方机车车辆股份有限公司,2018.

[3] 中车青岛四方机车车辆股份有限公司. 温州市域铁路 S1 线一期工程车辆系统采购项目制动系统需求测试规范[R]. 青岛:中车青岛四方机车车辆股份有限公司,2018.

[4] 中车青岛四方机车车辆股份有限公司. 温州市域铁路 S1 线一期工程车辆系统采购项目制动系统详细设计规范[R]. 青岛:中车青岛四方机车车辆股份有限公司,2018.

[5] 中车青岛四方机车车辆股份有限公司. 温州市域铁路 S1 线一期工程车辆系统采购项目制动系统软件质量保证计划[R]. 青岛:中车青岛四方机车车辆股份有限公司,2018.

[6] 中车青岛四方机车车辆股份有限公司. 温州市域铁路 S1 线一期工程车辆系统采购项目制动系统设计阶段及之前的验证报告[R]. 青岛:中车青岛四方机车车辆股份有限公司,2018.

(收稿日期:2020-01-03)