

# 轨道交通信号系统变更安全管理流程优化

梁俊秀 马瑞红 王 瑞 张晓秦

(卡斯柯信号有限公司, 100070, 北京//第一作者, 工程师)

**摘 要** 信号系统的整个生命周期中伴随着大量的变更,直接影响轨道交通的安全运行,且该系统的变更是引发轨道交通安全问题的重要原因。阐述了适用于信号系统的通用变更安全管理流程,将信号系统变更分为 Type 1(增量型变更)、Type 2(纠正型变更)、Type 3(错误修改)、Type 4(更新)等4类,并对每种变更进行了详细说明;介绍了不同类型变更影响的生命周期阶段,并对其进行了风险分析和评估;对不同类型变更进行了决策优化,并提出了相应的安全证明要求。在对变更原因进行分类和分析的基础上,进一步提出了基于变更原因分类的信号系统变更安全管理优化流程。对4个已交付的信号系统项目变更原因进行了统计,确认了各类型变更占比。信号系统变更安全管理优化流程,可大大降低不必要的投入,提升了变更安全管理的效率。

**关键词** 轨道交通;信号系统;变更;安全管理流程

**中图分类号** U284: X92

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2023.06.028

## Optimization of Safety Management Process for Rail Transit Signaling System Modification

LIANG Junxiu, MA Ruihong, WANG Rui, ZHANG Xiaoqin

**Abstract** Signaling system undergoes large amount of modification throughout lifespan, which not only affects rail transit operation safety directly, but also become the crucial reason triggering rail transit safety issues. The general modification safety management process applicable for signaling system is proposed. The signaling system modification is classified into 4 types: Type 1 (incremental change), Type 2 (corrective change), Type 3 (error revision), Type 4 (upgrade), and detailed explanation is provided respectively. The lifecycle phase affected by each type is introduced, risk analysis and assessment are carried out. Decision optimization is conducted for each type of modification and corresponding safety confirmation requirements are put forward. On the basis of categorizing and analyzing modification reasons, the signaling system modification safety management optimization process based on reason categorization is further proposed. The modification rea-

sons for 4 delivered signaling system projects are counted and the proportion of each type is confirmed. Signaling system modification safety management optimization process can greatly reduce unnecessary investment, improving modification safety management efficiency.

**Key words** rail transit; signaling system; modification; safety management process

**Author's address** CASCO Signal Ltd., 100070, Beijing, China

变更产生于系统生命周期的各个阶段,且具有不可避免性。为确保变更不会对产品和服务产生不利影响,ISO 9000:2008 系列标准明确要求“组织应对产品和服务在设计 and 开发期间以及后续所作的更改进行适当的识别、评审和控制”。目前,大部分轨道交通信号企业也遵循“变更的提出和记录—变更分析和决策—变更规划和实施—变更发布和生效”的一般要求和步骤建立变更管理流程。然而,信号系统变更管理实践中,仍常常发生变更风险评估滞后、变更危害分析缺失等问题,使得返工成为不得不采取的措施,甚至引发安全事故。究其原因,根本上是由于变更管理流程未能与系统安全管理要求有效融合,流程制定者对安全过程活动的理解有偏差且要求不合理。

另外,一般的变更管理都遵循同样的变更管理程序。完整的变更安全管理程序较为复杂且参与人员众多,但通常变更提出时其信息并不充分,常用于信号系统变更分类依据的变更严重程度、复杂程度、风险等级等信息实际上也未能明确。管理要求与实际情况不一致使得变更管理成为事后管理或单纯的文件记录,起不到真正的控制作用。大量无效的管理要求也会使执行人员懈怠和麻痹,导致在风险等级较高的变更过程中产生管理失效。

当前针对信号系统变更过程的安全管理研究较少,主要集中在对变更具体的影响分析和验证上,未形成统一的变更安全管理规范和实践指导。



鉴于此,本文提出规范化的变更安全管理流程和明确的安全管理活动要求,对信号系统工程实施过程中的变更进行合理可行的分类,并根据不同类型变更的风险和对应的安全管理要求,对变更安全管理流程进行优化。

### 1 信号系统通用变更安全管理流程

作为安全苛求系统,信号系统对安全风险的控制

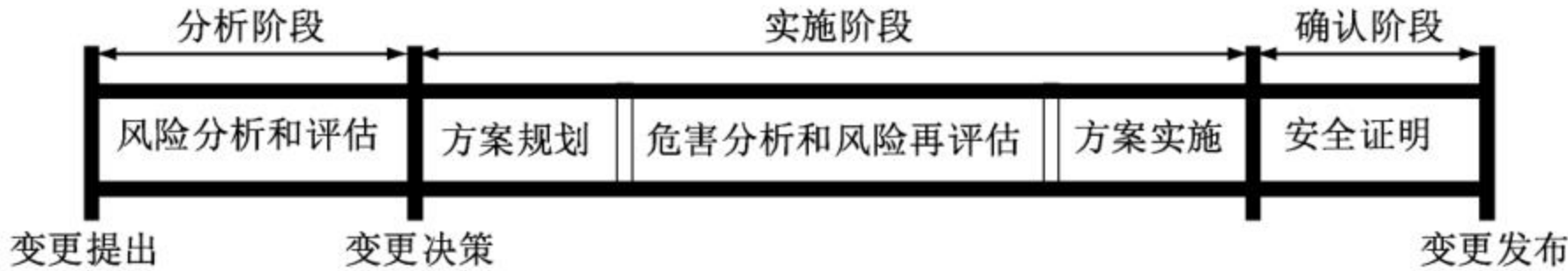


图 1 信号系统变更安全管理流程

Fig. 1 Signaling system modification safety management process

### 2 基于变更原因的变更分类及其详细说明

本文提出基于变更原因的信号系统变更分类,一方面,变更原因可随变更的提出一同确定,使得变更及时受控;另一方面,变更原因在很大程度上决定了变更对信号系统的风险影响。即使对于同样的变更方案,变更提出的原因不同,对系统的安全风险影响也不同。变更分类可为变更安全管理的有效性提供保障。

#### 2.1 基于变更原因的变更分类

根据信号系统的应用特征,变更可根据提出的原因归纳为以下 4 类:

**Type 1(增量型变更):**在当前系统表现与预期一致的情况下,为确保系统表现符合未来应用需求而提出的变更。增量型变更主要来源于用户及行业发展的需求。

**Type 2(纠正型变更):**系统性能与预期出现偏差,或方法、流程及工具等不能满足当前系统的需求而提出的变更。纠正型变更主要来源于对系统的分析、测试、审查,以及由于相关系统变更的适应性调整。

**Type 3(错误修改):**系统实施过程中可观察的输入值、计算值、测量值、记录值、过程条件与上游活动的规定值、理论正确值、真实值、条件要求出现不一致而提出的变更。错误修改型变更主要由于人为随机失效或系统上游活动的变更造成。

**Type 4(更新):**对不直接影响系统输出的相关正式受控文件的变更,以使其与系统要求或系统表现相一致。更新型的变更主要由人为随机失效或

制是该系统变更管理的核心。根据 EN 5012X 系列轨道交通 RAMS(可靠性、可用性、可维护性和安全性)标准对安全过程的要求,信号系统及安全相关子系统的变更分析和变更规划的实施,应充分考虑变更的风险分析与评估,以及变更的危害分析和风险再评估,其变更确认也应包括变更的安全符合性证明。信号系统变更安全管理流程如图 1 所示。

输入文件的变更造成。

#### 2.2 变更详细说明示例

通过对信号系统的实施方法及生命周期阶段活动的分析,结合大量工程实践变更统计,信号系统项目不同变更类型下的详细变更说明示例见表 1。值得注意的是,系统并不特指完整的信号系统,也包括可清晰定位的子系统。

表 1 信号系统项目变更详细说明  
Tab.1 Detailed description for signaling system project modification

变更类型	详细说明
Type 1	系统性能和特征变化
	系统组成和结构的变化
	系统功能要求变更
	系统接口要求变化
	用户操作和维护条件的变化
Type 2	系统运行环境条件不具备时的过渡解决方案及恢复
	对系统功能表现与用户需求、系统预期不一致的纠正
	设计和实施方案不满足安全性、可用性要求的纠正
	改变系统开发和实施管理流程、方法
	系统外部设计输入/接口设计输入的变化
Type 3	系统安全应用条件的变化
	系统配置过程中的输入值或计算错误
	线路测量值与实际值出现偏差
	上游活动输出变更造成下游活动输入不一致
Type 4	实施过程违背技术管理要求
	安全相关活动计划类文件更新
	安全相关验证和确认规范类文件
	危害日志等动态管理文件更新
	安全相关活动结论类文件更新



### 3 不同类型变更影响和安全管理要求分析

#### 3.1 不同类型变更影响的生命周期阶段

变更向系统引入的安全风险与变更所处的系统生命周期阶段紧密相关。变更所处的生命周期阶段越早,对系统影响的复杂程度就越高,由变更

控制过程失效带来的安全风险就越高。不同变更类型对应的系统生命周期阶段的确定,是变更安全管理要求的基础。根据 EN 5012X 系列标准定义的生命周期模型,上述 4 类变更影响的信号系统影响的生命周期阶段见表 2。本文讨论的生命周期阶段不考虑概念阶段与系统报废阶段。

表 2 信号系统变更影响的生命周期阶段  
Tab.2 Phases of life cycle influenced by signaling system modification

变更类型	变更所处阶段	变更影响阶段
Type 1	系统定义和运行环境定义阶段、系统需求规范阶段	系统定义和运行环境定义阶段、风险分析和评估阶段、系统需求规范阶段、系统架构和新要求分配阶段、设计和实现阶段、生产阶段、集成阶段、系统确认阶段、系统接受阶段、运行维护和性能监控阶段
Type 2	系统架构和新需求分配阶段、设计和实现阶段	系统架构和系统要求分配阶段、设计和实现阶段、生产阶段、集成阶段、系统确认阶段、系统接受阶段、运行维护和性能监控阶段
Type 3	设计和实现阶段、生产阶段、集成阶段、系统确认阶段	设计和实现阶段、生产阶段、集成阶段、系统确认阶段、系统接受阶段、运行维护和性能监控阶段
Type 4	包含 Type 1 阶段	变更所处阶段

#### 3.2 变更风险分析和评估要求

Type 1 类型的变更是由系统定义和系统运行环境的变化,以及系统需求规范的变化引起的。该变更可能引起信号系统边界危害的变化,变更提出后应对系统进行初步的风险分析和评估。2019 年 3 月 18 日,港铁荃湾线发生两列列车碰撞事件。该事故调查报告<sup>[1]</sup>指出“引入暖备用区间控制器所带来的潜在风险并未完全包含在系统承包商的风险评估内”。信号系统引入暖备用区间控制器为提高系统性能而提出。信号系统结构组成的变化,属于 Type 1 类型的变更,应在变更提出后进行风险分析和评估。

Type 2 类型的变更是由系统需求分配,以及设计和实现方案的变化引起的。变更不直接引起系统边界危害的变化,可沿用既有的系统风险分析和评估结论。

对于上述两类变更,若变更实施过程中识别出新的危害或产生新的系统安全应用条件,则需重新进行风险评估。

Type 3 类型的变更是对可观察的错误的修正。该变更不会引起系统边界危害的变化,且变更方案实际并不改变既有解决方案的安全性,可完全沿用既有的风险分析和评估结论。

Type 4 类型的变更不会直接影响系统的表现,无需进行风险分析和评估。

#### 3.3 变更决策优化

对于 Type 1、Type 2 类型的变更,变更影响较复杂且可能向系统引入新的危害,变更决策应综合考虑变更影响范围以及风险评估结论由变更评审委员会完成。对于 Type 3 和 Type 4 类型的变更,变更影响较简单且变更不会向系统引入新的危害,变更的决策流程可简化,由单人完成即可,无须由变更评审委员会完成。

#### 3.4 变更方案危害分析要求

对于 Type 1 和 Type 2 类型的变更,需根据变更的影响范围、系统层次结构等进行变更规划,并应对变更方案进行危害分析。变更方案的危害分析既应考虑风险分析和评估阶段识别的危害,也应考虑具体的变更方案及后续的方案实施过程中可能引入的危害。另外,危害分析阶段应同步考虑变更证明的方法和措施。

对于 Type 3 类型的变更,变更过程不会引入新的危害,无须重新进行危害分析,变更实施过程遵循既定的危害控制措施。

对于 Type 4 类型的变更,变更实施过程不会对系统的表现产生直接的影响,无须进行危害分析。

#### 3.5 变更安全证明要求

对于 Type 1 和 Type 2 类型的变更,除对变更实现的完整性和正确性进行验证外,还应对风险分析和危害分析过程中提出的安全需求符合性进行



确认。对于 Type 3 类型的变更,应对所遵循的既定安全需求的符合性重新进行确认。对于 Type 4 类型的变更,变更实施后仅需对其实现的完整性和正确性进行验证。

## 4 基于变更原因分类的变更安全管理优化流程

### 4.1 基于变更原因分类的变更安全管理流程

根据本文第 3 节对不同类型变更过程安全管理要求的分析,Type 1 类型的变更须执行完整的风险评估和危害控制过程。Type 2 类型的变更根据变更方案是否引入新的危害确定是否需要重新进行风险评估,并执行完整危害控制过程;Type 3 类型的变更可沿用既有的风险评估和危害分析结论,但应对变更安全需求的符合性进行证明;Type 4 类型的变更可完全沿用既有的风险分析和危害控制结论,仅需对变更的完整性和正确性进行验证。信号系统变更安全管理优化流程如图 2 所示。

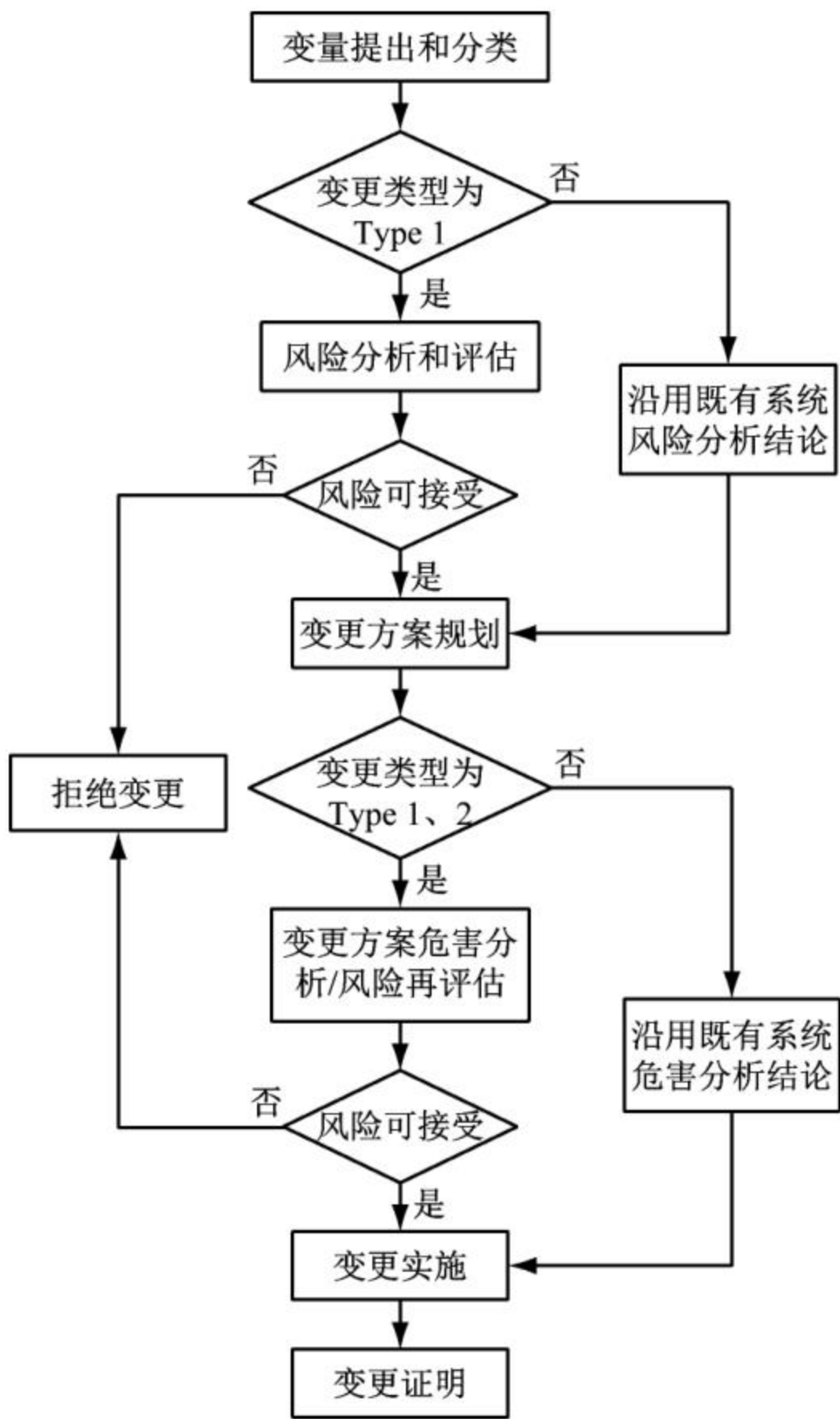


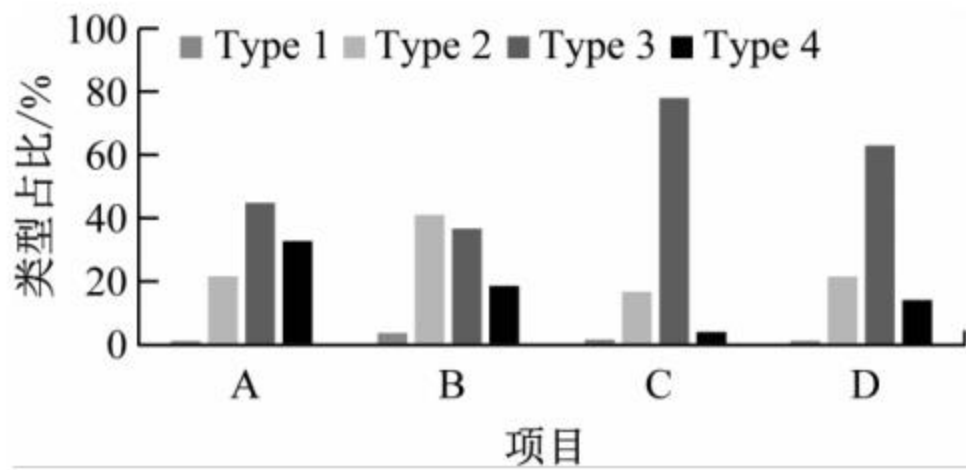
图 2 信号系统变更安全管理优化流程

Fig. 2 Signaling system modification safety management optimization process

### 4.2 变更安全管理优化效率分析

根据对 4 个已交付信号系统项目变更原因的统

计,各类型变更占比如图 3 所示。由图 3 可见:Type 1 中仅有平均约 2% 的变更需要执行完整的安全管理过程;Type 1 和 Type 2 中平均约 27% 的变更需要进行危害分析和风险评估,且需经过变更评审委员会进行决策;而 Type 3 和 Type 4 中平均约 73% 的变更无需进行危害分析和评估分析,变更决策也可由单人完成。使用本文提出的信号系统变更安全管理优化流程,可大大降低不必要的投入,提升变更安全管理的效率。



注:A 为成熟 CBTC(基于通信的列车控制)系统在青岛某轨道交通线路的应用项目;B 为新研发 CBTC 系统在呼和浩特某地铁线路的应用项目;C 为北京某地铁线路 CBTC 系统改造项目;D 为全自动运行系统在上海某轨道交通线路的应用项目。

图 3 各信号系统项目不同类型变更占比

Fig. 3 Proportion of modification types of different signaling system projects

## 5 结语

通过对轨道交通信号系统项目变更的安全管理现状和数据统计分析,在阐述通用信号系统变更安全管理流程的基础上,进一步提出了基于变更原因的变更分类方法和优化的变更安全管理流程。详细的信号系统变更说明可根据系统变化和技术的发展进行补充,并作为系统应用的实践指导。针对不同类别变更采用不同的安全管理流程,一方面确保了高风险变更完整的安全管理,另一方面降低了风险变更的安全管理资源投入。本文提出的基于变更原因分类的变更安全管理思路提高了变更管理的质量和效率,可供信号系统非安全子系统及其他系统参考使用。

## 参考文献

[1] 中国铁路总公司. 铁路信号运用管理办法:铁总运[2015] 105 号[A]. 北京:中国铁路总公司,2015.  
China Railway Corporation. Management rules for railway signal application: TZY [2015] No. 105 [A]. Beijing: China Railway Corporation, 2015.

(下转第 165 页)



共享以节省工程造价。

6) 应对车辆基地总平面及竖向布置设计进行优化,以控制列位总规模、车库长度,最大程度减少占地面积,控制工程造价。

## 参考文献

- [1] 刘丹. 城市轨道交通工程造价控制分析[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(6): 104.  
LIU Dan. Analysis of cost control of urban rail transportation construction[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 31(6): 104.
- [2] 李鹏. 城市轨道交通工程造价控制措施探讨[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(8): 89.  
LI Peng. Discussion on the construction cost control measures for urban rail transit[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(8): 89.
- [3] 张佩竹. 我国中低速磁浮交通工程的自主创新技术研究[J]. 铁道工程学报, 2009, 26(10): 90.  
ZHANG Peizhu. Research on the technology for the self-innovation of low/medium-speed maglev traffic engineering[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 26(10): 90.
- [4] 曾国保. 中低速磁浮交通的适应性及工程化发展方向[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(10): 111.  
ZENG Guobao. The adaptability and the improvement in engineering of the lower-medium speed maglev transit system[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(10): 111.
- [5] 肖飞. 中低速磁浮交通的技术经济性分析[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(3): 99.

XIAO Fei. Techno-economic analysis of low and medium-speed maglev transport[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(3): 99.

- [6] 梁潇, 陈峰, 傅庆湘. 160 km/h 中速磁浮交通系统的关键技术问题[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(9): 21.  
LIANG Xiao, CHEN Feng, FU Qingxiang. Key technical issues on 160 km/h medium-speed maglev transit system[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(9): 21.
- [7] 周晓明, 刘万明. 长沙中低速磁浮工程建设中的重要举措[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(5): 1.  
ZHOU Xiaoming, LIU Wanming. Key technologies in the construction of medium and low speed maglev in Changsha city[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(5): 1.
- [8] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 城市轨道交通工程项目建设标准: 建标 104—2008[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.  
Ministry of Construction of the People's Republic of China, National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. JB 104—2008[S]. Beijing: China Planning Press, 2008.
- [9] 湖南省住房和城乡建设厅. 湖南省中低速磁悬浮交通设计标准: DBJ 43/T007—2017[S]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2018.  
Hunan Provincial Department of Housing and Urban-Rural Development. Standard of Hunan for design of medium and low speed maglev transit: DBJ 43/T007—2017[S]. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 2018.

(收稿日期:2021-01-08)

## (上接第160页)

- [2] CENELEC. Railway Applications-the specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS) part 1: generic RAMS process: CEI EN 50126-1: 2017[S]. Brussels: CENELEC, 2017.
- [3] CENELEC. Railway applications-the specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS) part 2: systems approach to safety: CEI EN 50126-2: 2017[S]. Brussels: CENELEC, 2017.
- [4] 香港机电工程署. 港铁荃湾线新信号系统测试事故调查报告[R]. 香港: 香港机电工程署, 2019.  
Hongkong Electrical and Mechanical Services Department (EMSD). Investigation report on incident of the new signalling system testing on MTR Tsuen Wan Line[R]. Hongkong: Hongkong EMSD, 2019.

- [5] Project Management Institute. 项目管理知识体系指南(PMBOK 指南)[M]. 6版. 北京: 电子工业出版社, 2018.  
Project Management Institute. Project management body of knowledge (PMBOK guide)[M]. 6th ed. Beijing: Electronic Industry Press, 2018.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 质量管理体系要求: GB/T 19001—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Quality management systems—requirements: GB/T 19001—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

(收稿日期:2020-12-23)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821