

合肥轨道交通 4、6 号线信号系统拆分方案

刘 龙

(合肥市轨道交通集团有限公司, 230001, 合肥//高级工程师)

摘 要 目的:依据合肥轨道交通 4、6 号线信号系统拆分工程需求,需针对性研究拆分方案。方法:分析了 4、6 号线信号系统的拆分需求,以及拆分后两线在北雁湖站同站台换乘时 LTE(长期演进)系统相互干扰问题;介绍了 4、6 号线信号系统的拆分方案——拆分段轨旁设计方案,拆分站北雁湖站拆分设计方案,科学城车辆段拆分设计方案,DCS(数据通信系统)子系统拆分设计方案;介绍了北雁湖站两线 LTE 系统防干扰设计方案。结果与结论:工程实践表明,4、6 号线信号系统拆分工程的关键点在于前期的预留和拆分方案设计。通过提供完善的拆分条件预留,充分利用既有设备,可减少拆分实施时改造的工程量,避免调试时对既有线运营造成影响。

关键词 合肥轨道交通;信号系统;拆分方案;抗干扰

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.09.050

Hefei Rail Transit Line 4 and Line 6 Signaling System Splitting Plan

LIU Long

Abstract Objective: Based on the requirements of Hefei Rail Transit Line 4 and Line 6 signaling system splitting engineering, a targeted study on the splitting plan is necessary. Method: The demands for Line 4 and Line 6 signaling system splitting are analyzed, as well as the interference issue of LTE (long-term evolution) system between the two lines during same-platform interchange at Beiyanhushan Station after splitting. The splitting plans for Line 4 and Line 6 signaling system are introduced, including segmented wayside design plan, splitting plan for Beiyanhushan station as the splitting station, splitting design plan for Kexuecheng Depot, and splitting design plan for DCS (data communication system) subsystem. The anti-interference design scheme for LTE systems of the two lines at Beiyanhushan Station is also presented. Result & Conclusion: Engineering practice demonstrates that the key to Line 4 and Line 6 signaling system splitting lies in early preservation and splitting plan design. By providing complete preservation for splitting conditions and making full use of existing equipment, the amount of engineering work required for splitting implementa-

tion can be reduced, and potential impacts on existing line operation during testing and commissioning can be avoided.

Key words Hefei Rail Transit; signaling system; splitting plan; anti-interference

Author's address Hefei Rail Transit Group Co., Ltd., 230001, Hefei, China

合肥轨道交通 4 号线西起青龙岗站,东至综保区站,定位为市区骨干线;6 号线西起青龙岗,东至宾乐北路站,定位为城区快线。青龙岗站至北雁湖站 5 个车站将与 4 号线同期建设并贯通运营,当 4 号线南延伸段和 6 号线一期建设时,将青龙岗站至北雁湖站的 1 号站台和 2 号站台(含科学城车辆段)拆分给 6 号线贯通运营;4 号线南延伸段和 4 号线北雁湖站以东部分贯通运营组成新的 4 号线。本文主要研究 4、6 号线信号系统的拆分方案。

1 4、6 号线信号系统拆分需求分析

合肥轨道交通 4、6 号线线路拆分示意图如图 1 所示。

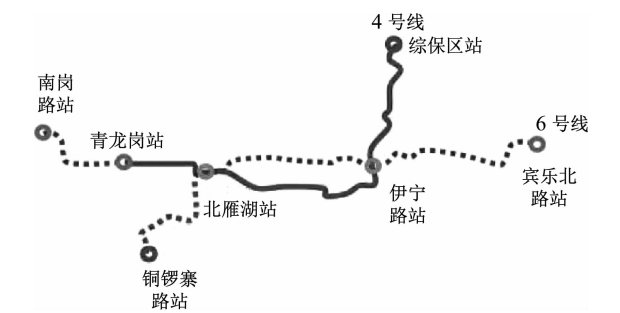


图 1 合肥轨道交通 4、6 号线线路拆分示意图

Fig.1 Diagram of Hefei Rail Transit line 4 and Line 6 splitting

合肥轨道交通 4、6 号线拆分线路长度为 7.7 km,包含 5 个车站、1 个车辆段、1 条试车线和 1 个维修中心。需要拆分的线路比较长,所涉及的设备比较多。为了保证未来进行拆分时青龙岗站至北雁湖站及科学城车辆段不停运,4 号线设计时必须

预留充分的拆分条件(包括驳接的接口要求、倒切测试条件、线缆敷设预留、设备安装空间及机柜扩展空间等),也为未来拆分时6号线的系统升级改造、功能测试和拆分割接等不影响既有运营奠定基础。

拆分段轨旁设备的布置需要同时兼容4号线列车80 km/h最高运行速度和6号线列车100 km/h最高运行速度的要求,信号系统性能满足拆分前后的设计需求。拆分段信号系统需要按照互联互通规范进行设计,兼容未来6号线信号系统需求,包含但不限于轨旁设备布置、拆分分界点位置、控区配置、DCS(数据通信系统)的配置、系统容量等内容。

4号线信号系统为CBTC(基于通信的列车控制)系统,6号线信号系统为全自动运行信号系统,青龙岗站至北雁湖站及科学城车辆段预留全自动运行系统升级条件,在4、6号线拆分后,保证不停运平滑地升级至全自动运行系统。

北雁湖站为4、6号线拆分车站,拆分后4、6号线在北雁湖站同站台换乘,因此需要解决北雁湖站LTE(长期演进)网络干扰问题。

综合上述分析可知,该工程的关键是,在进行4号线设计时需提供完善的4、6号线拆分设计方案,以此保证拆分前4号线的工程实施和开通运营,同时为未来6号线建设时进行4、6号线拆分提供依据,保证拆分及相关系统升级的顺利完成。

2 4、6号线信号系统拆分方案

2.1 拆分段正线轨旁设计方案

4号线信号系统控制区域(以下简称“控区”)包括正线9个控区和科学城车辆段控区,其中拆分段信号系统控区包括正线3个控区(ZC1、ZC2、ZC3)和科学城车辆段控区。拆分段车站编号为独立编号,并预留未来拆分后两端延伸线车站编号。按照线路规划,青龙岗站编号为07,拆分后为6号线北雁湖站编号为11,4号线北雁湖站编号为21,相应的轨旁设备名称在4号线建设时即按照拆分后车站编号原则设计,保证拆分后不再修改设备名称。

为了方便未来拆分,4号线设计时,将青龙岗站至北雁湖站分为2个控区,控区1(ZC1)包括青龙岗站(集中站)、方兴大道站(非集中站)和长宁大道站(非集中站),青龙岗站预留继续向西延伸的线路条件。控区2(ZC2)和控区3(ZC3)为轨旁设备拆分区。拆分前,控区2(ZC2)仅包括创新大道站;

拆分后,控区2(ZC2)包括创新大道站和北雁湖站的1号站台和2号站台。控区3(ZC3)包括北雁湖站和玉兰大道站。规划时,北雁湖站已预留了4号线和6号线控区设备房,为了方便拆分,控区2(ZC2)和控区3(ZC3)室内设备均安装于北雁湖站,拆分后控区2(ZC2)成为6号线北雁湖站控区,控区3(ZC3)成为4号线北雁湖站控区。

为了解决拆分前后最高列车运行速度变化的问题,拆分段室外信号设备按照兼顾100 km/h和80 km/h两种列车最高运行速度设置,设备安装位置、防护区段距离及行车间隔按照两种列车最高运行速度进行计算,保证未来拆分时不再移动和增减室外设备。

在4号线建设时,拆分段需满足拆分接入6号线的全自动运行系统功能及互联互通功能需求;拆分车站预留SPKS(人员防护开关)按钮和站台门隔离接口;终点站青龙岗站预留清客按钮;完成预留硬件设备的安装和电路连接,不开通相应的软件功能;轨旁设备布置、软件设计、硬件设备及DCS网络接口等均按照未来升级全自动运行系统要求和互联互通规范进行设计。

2.2 北雁湖站拆分设计方案

北雁湖站为4、6号线的拆分车站,是拆分工程的关键。为了在拆分前对北雁湖站进行统一控制,北雁湖站4个站台全部由北雁湖站控区控制,控区边界划分点在北雁湖站至创新大道站区间。在拆分后,北雁湖站外侧2个站台及相应轨旁设备划归6号线控制,4、6号线控区间通过联络线接口联结。拆分前后北雁湖站控区划分示意图如图2所示。

4号线建设时,北雁湖站控区和创新大道站控区范围内室内信号设备(包括组合柜、计轴机柜和LEU(轨旁电子单元)机柜等)由4号线管辖,而6号线建设时需拆分给6号线的拆分设备,在2个控区信号设备室同时配置。将室外信号设备先连接到6号线北雁湖站信号设备室分线柜,再连接至4号线北雁湖站信号设备室分线柜,通过切换开关连接2个控区的室内控制设备,方便将来拆分阶段的切换测试和割接。

拆分完成后,4、6号线信号系统室外设备的分界点设在两条单渡线的中点,外侧属于6号线北雁湖站控区控制,内侧属于4号线北雁湖站控区控制,拆分后这两条单渡线为4、6号线转线作业的联络线。在4号线建设时,预留所有联络线接口需要设

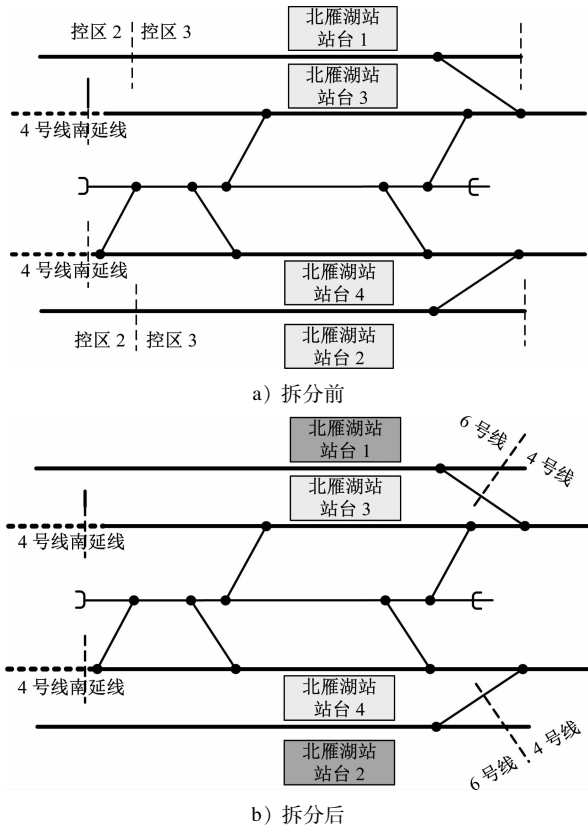


图2 拆分前后北雁湖站控区划分示意图

Fig.2 Diagram of control area division before and after splitting at Beiyanhushan Station

备的硬件电路和联锁输入输出条件,拆分时不再增加额外接口设备。

北雁湖站4、6号线信号设备室配置和室外信号设备线缆接入分成以下两部分:

1) 拆分后,北雁湖站属于4号线控制的室外信号设备(信号机、道岔、ESB(紧急停车按钮)、PSD(站台门)、DTI(发车计时器)、RRU(射频拉远单元)以及IBP(综合后备盘),通过室外电缆连接至4号线信号设备室的分线柜A,然后接入4号线北雁湖站控区系统。

2) 拆分前,北雁湖站属于4号线控制,拆分给6号线控制的室外信号设备(信号机、道岔、ESB、PSD)以及IBP盘,通过室外电缆连接至6号线信号设备室的组合柜,并通过倒接箱接入4号线北雁湖站信号设备室的组合柜,接入4号线控区系统。拆分给6号线的计轴磁头,采用共享计轴磁头的方式,从磁头输出的2路数据信号分别接入4、6号线信号设备室的组合柜和计轴机柜。由于4号线开通时,只在4号线计轴机柜软件中为这些磁头进行了输入配置,因此从这些磁头输入的数据信号只

对4号线可用,不影响6号线计轴功能。有源应答器先接入6号线信号设备室的分线柜,并并联到4号线信号设备室的组合柜,然后再接入4号线LEU柜,预留有接入6号线LEU柜的连接条件,待调试时一次性接入6号线LEU柜。北雁湖站信号设备连接示意图如图3所示。

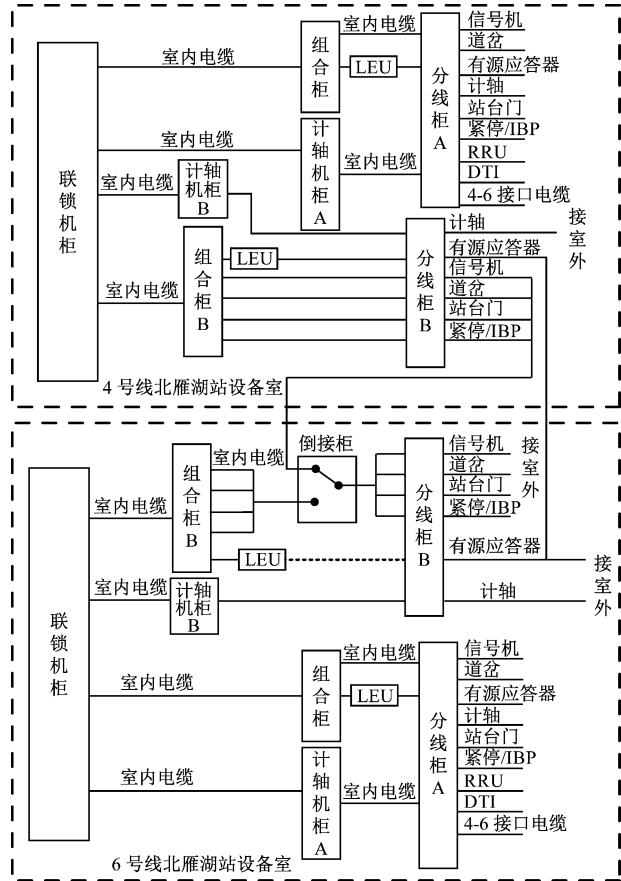


图3 北雁湖站信号设备连接示意图

Fig.3 Diagram of signaling equipment connection at Beiyanhushan Station

6号线北雁湖站信号设备室安装倒接箱,4号线开通时,倒接箱接通4号线北雁湖站控区的组合柜,实现4号线正常运营的所有信号系统功能。

6号线调试时,4号线北雁湖站控区仅需要在运营结束后,将倒接箱接通6号线北雁湖站控区的组合柜,实现6号线北雁湖站信号室外设备的倒接。调试结束后,将倒接箱切换至4号线的组合柜,将软件退回原版本,回归测试后即可投入运营。拆分段为全自动运行系统提供了预留,因此6号线进行全自动运行系统调试时,其他车站只需要进行软件升级,不需要增加硬件和进行硬件倒切。

6号线开通割接时,与调试步骤一样,拆分站通

过倒接箱快速切换,可避免硬件错误连接的风险。

2.3 科学城车辆段拆分设计方案

科学城车辆段与 4 号线正线青龙岗站接口,拆分前属于 4 号线信号系统控制,拆分后由 6 号线信号系统控制。

科学城车辆段设置了冗余计算机联锁设备、ATP(列车自动保护)/ATO(列车自动运行)设备、ATS(列车自动监控)设备、DCS 设备、MDS(监测诊断系统)站机及终端、电源屏、UPS(不间断电源)和电池等,设备配置与正线一致,因此拆分后升级到全自动运行时不需要再进行系统改造。

4 号线建设时,科学城车辆段即具备自动化场段功能,预留了 SPKS 按钮、自动洗车接口和唤醒信标安装位置。拆分时,通过安装唤醒信标、升级软件即可实现全自动化车辆段功能。车辆段内设置了一条试车线,在拆分调试时可以提前升级试车线系统,使其具备全自动试车功能。

2.4 DCS 子系统拆分设计方案

DCS 子系统网络设计遵循易于拆分及倒回测试的原则,并尽可能减少对信号系统的影响。

在拆分之前,4 号线和 6 号线采用各自独立的骨干网,包括 2 个 ATP 骨干网、2 个 ATS 骨干网、2 个 LTE 骨干网和 1 个 MDS 骨干网。考虑到前期 4 号线和 6 号线的信号设备需要进行数据交互,因此 DCS 在北雁湖站信号设备室设置 A/B 网三层交换机用于连通两条线的骨干网。其中三层交换机 A 负责连通骨干网 A,三层交换机 B 负责连通骨干网 B。北雁湖站骨干网设计示意图如图 4 所示。

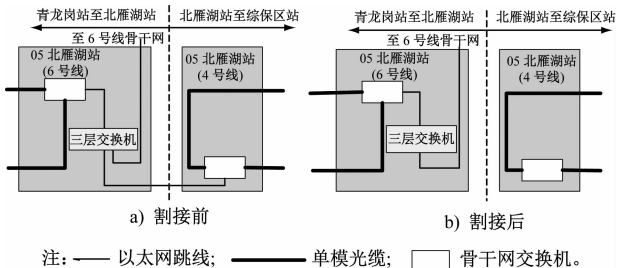


图 4 北雁湖站骨干网设计示意图

Fig. 4 Diagram of Beiyanhushan Station backbone network design

三层交换机连通两条线的骨干网,主要实现如下功能:

1) 割接的便利性:在做两条线路的网络割接测试及进行正式割接时,只需要转动网络切换器从一侧拨到另一侧即可,相比使用光纤跳接要简单

很多,避免了光纤及光模块的损坏,不容易发生人为操作错误。

2) 接入的便利性:使用三层交换机对接 6 号线延伸线网络,可适应 6 号线延伸线的各种网络构架,能避免使用纯二层环网时因各家交换机厂商的私有环网保护协议不兼容而造成的接入技术障碍。

在对接点北雁湖站,调试过程中,拨动网络切换器档位至 6 号线延伸线侧,即可断开三层交换机与 4 号线网络连接,将 4、6 号线共线部分网络与 6 号线延伸线联通。

调试结束后,拨动网络切换器档位至 4 号线侧,即可断开三层交换机与 6 号线延伸线网络连接。北雁湖站调试过程中网络切换示意图如图 5 所示。

拆分割接之后,4 号线和 6 号线采用物理隔离的骨干网,并可在合适的时间将网络切换器完全拆除,此后 4 号线网络即与 4、6 号线共线部分完全断开。新组建的 6 号线网络与 4 号线网络在骨干网层面彻底断开,互不影响。

3 4、6 号线 LTE 系统抗干扰方案

3.1 同站台抗干扰方案

拆分后,4 号线与 6 号线在北雁湖站同站台换乘,因此需要考虑 4 号线与 6 号线的 LTE 系统之间可能存在的同频干扰问题。针对此问题提出的无线抗干扰方案的核心思想是工程与系统相结合,主要使用空间隔离的方案实现抗干扰。

4 号线与 6 号线同站台换乘的站台足够宽,因此可采用空间隔离方案抗干扰。对 4 号线和 6 号线的 LTE 系统发射信号,采用等电平配置来解决干扰问题。此时空间隔离的干扰裕量为 $20 \lg(D/d)$ (D 和 d 分别为站台两侧漏缆天线至车载接收天线的距离),如果 $d=2\text{ m}$ 、 $D=10\text{ m}$,则 $20 \lg(D/d)=14\text{ dB}$ 。设计时,可以考虑将车载天线安装位置降低到站台下方,或安装到车顶上隧道顶部,有效利用站台地面、天花板、站台门、车体等障碍实现空间隔离,一般情况下隔离度可以达到 $10\sim15\text{ dB}$,总体上的隔离度可以达到 25 dB ,满足 LTE 系统对 CINR(载波干扰噪声比)裕量的要求。

3.2 拆分站台 LTE 网络布置方案

为了实现 4 号线和 6 号线拆分后 LTE 系统网络相互独立,在北雁湖站部署 LTE 系统基站时,两线使用不同的基站设备(BBU(基带处理单元)+RRU),两线独立敷设漏缆。BBU 和 RRU 设置示意

图如图 6 所示。

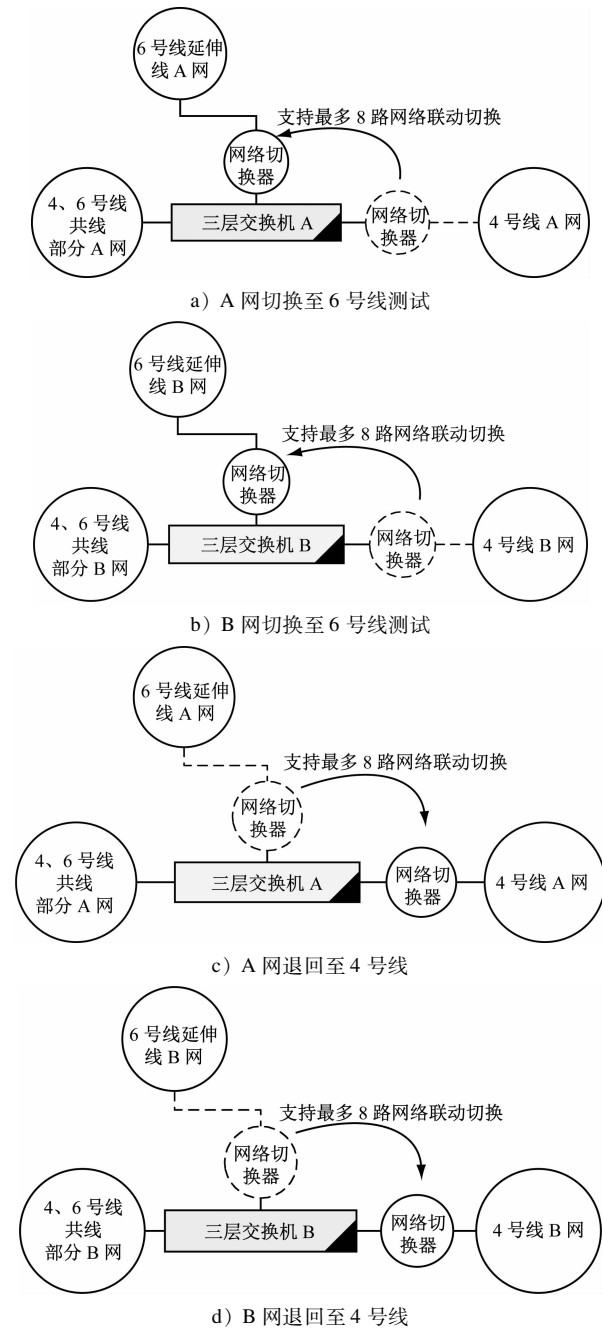


图 5 北雁湖站调试过程中网络切换操作示意图
Fig. 5 Diagram of network switching operation at Beiyanhushan Station during testing and commissioning

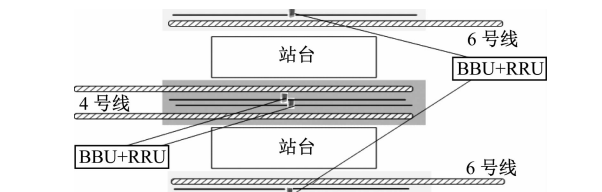


图 6 北雁湖站 LTE 系统基站 BBU 和 RRU 设置示意图
Fig. 6 Diagram of BBU and RRU configuration for LTE system base station at Beiyanhushan Station

初期两条线贯通运营的时候,6 号线的 LTE 系统基站(BBU + RRU)接入 4 号线的核心网;后期 2 条线路独立运营时,将 6 号线的 LTE 系统基站从 4 号线 LTE 系统核心网断开,转接到 6 号线新建的 LTE 系统核心网,不涉及室外设备改造。此时,由于 4 号线和 6 号线的 LTE 系统无线网络分属于不同的核心网,需要考虑彼此之间的干扰问题。

4 号线 2 股轨道位于两个站台之间,如果在轨道上方部署两根漏缆,4 号线与 6 号线的漏缆之间都相隔一个轨道和一个站台(大于 15 m),根据前文同站台 LTE 系统干扰情况分析可知,相互间的干扰不影响车地通信,因此 4 号线和 6 号线的 LTE 系统可以使用相同频率组网。

4 结语

合肥轨道交通 4、6 号线信号系统拆分工程的关键点在于前期的预留和拆分方案设计。在 4 号线设计和建设阶段考虑得越全面,拆分时对既有线运营的影响就越小。4 号线于 2021 年 12 月 26 日全功能开通运营,为拆分预留的设备均已完成安装,轨旁和室内设备兼容 4 号线和 6 号线信号系统。6 号线建设时,拆分段信号设备可以完全利用,避免资源浪费。拆分倒切设计方案,可减少拆分测试阶段硬件变更错误造成运营的风险,能确保拆分方案的顺利实施。4、6 号线拆分方案经过多轮的讨论和验证,并通过了行业专家的评审。合肥轨道交通 4、6 号线拆分方案对此类工程的实施有借鉴作用。

参考文献

[1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通全自动运行系统规范第一部分:需求:T/CAMET 04017.1-7—2019[J]. 北京:中国城市轨道交通协会,2019.
China Association of Metros. Urban rail transit fully automatic operation system specification. Part I: requirement; T/CAMET 04017.1-7—2019[J]. Beijing: China Association of Metros, 2019.

[2] 张郁. 基于 TSCBTC® 2.0 系统的上海轨道交通 5 号线信号系统大修改造工程[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(11):149.
ZHANG Yu. Large-scale reformation of Shanghai Rail Transit Line 5 signaling system based on TSCBTC® 2.0 system[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(11):149.

[3] 朱经纬. 上海轨道交通 5 号线信号系统改造工程风险管理[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(11):153.
ZHU Jingwei. Management of modification risks in Shanghai Rail Transit Line 5 signaling system[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(11):153.

(收稿日期:2023-06-20)