

宁波地铁5号线全自动运行系统人员防护开关设计

常 峰¹ 刘雪萍²

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都; 2. 成都地铁运营有限公司, 610041, 成都//第一作者, 工程师)

摘 要 为保证作业人员能够在全自动运行区域安全作业, 针对地铁全自动运行系统的特点及需求, 以宁波地铁5号线为例, 提出了合理的人员防护开关整体设计方案。所提方案采取了出入段线、折返区域划分单独防护分区, 正线按照上下行方向分别防护, 人员防护开关控制电路采用双接点采集、双线圈驱动及旁路按钮双确认操作等优化措施, 研究分析了人员防护开关电路设计的安全性和可靠性。研究结果表明: 所提方案能够较好地适应出入段线等复杂运营场景, 提高折返作业的灵活性, 且符合信号系统的“故障-安全”原则。

关键词 城市轨道交通; 全自动运行; 人员防护开关

中图分类号 U284.48; R136

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2023.01.032

Staff Protection Key Switch Design for FAO System of Ningbo Metro Line 5

CHANG Feng, LIU Xueping

Abstract In order to ensure that operators can work safely in the FAO (fully automatic operation) area, considering the characteristics and requirements of metro FAO system, Ningbo Metro Line 5 is taken as example, a reasonable overall design scheme of SPKS (staff protection key switch) is proposed. The proposed scheme adopts optimization measures including dividing individual protection zones for entry/exit section lines and turn-back areas, protecting the main line according to up and down directions respectively, adopting double connection point collection, double coil drive and double confirmation of bypass button of SPKS control circuit. The safety and reliability of SPKS circuit design are studied and analyzed. Research results show that the proposed operation scheme can adapt well to complex operation scenarios such as entry/exit lines, improve the flexibility of turn-back operation, and is in accordance with the 'fault-safety' principle of signaling system.

Key words urban rail transit; FAO; SPKS

First-author's address China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610031, Chengdu, China

全自动运行系统将成为城市轨道交通建设的趋势。全自动运行系统需要多系统联动, 信息反馈系统、监督系统、远程干预系统互相结合, 因此更加强调系统的安全性。应用全自动运行系统后对既有运营模式的影响有: 减少运营人员总量、强调工作职责一专多能、对运营人员的技能要求有所提高; 行车组织和系统维护更需要适应全自动运行的特点, 更依赖于中央集中管理。

已有不少科研人员对全自动运行信号系统的 SPKS (人员防护开关) 设计进行了研究。文献[1]结合线路配线、道岔设置及列车自动防护原理, 根据常规线路运营方式, 对 SPKS 设置方法进行了理论研究, 提出 SPKS 设置方案, 但其 SPKS 的防护应用场景考虑不全面, 未对存车线及出入段线等复杂运营场景进行分析。文献[2]通过对具体全自动运行安全区域防护场景进行分析, 结合 SPKS 的实现原理提出了安全防护策略, 但其对涉及安全的 SPKS 旁路操作只采用总旁路, 未实现总旁路和单个开关旁路的双确认安全操作功能。文献[3]从列车自动防护角度出发, 分析了 SPKS 的设计原理, 研究了不同运营场景下的 SPKS 设计方案和实现方式, 但其在安全型电路设计上存在缺陷。

鉴于此, 本文针对全自动运行系统下轨旁作业人员的安全和运营效率矛盾问题, 结合宁波地铁5号线工程的具体实施情况, 对全自动运行系统的 SPKS 应用场景、设计原理、防护区域划分、与门禁联锁等方面进行了分析研究, 提出了合理的 SPKS 整体设计方案。本文研究可为全自动运行线路的建设提供工程经验与技术指导。

1 人员防护开关应用场景

全自动运行系统需要设置人员防护区域, 主要由所设置的 SPKS 实现区域防护功能。SPKS 通常设置于室内或轨旁, 为运营及维护人员进入全自动

随着城市轨道交通信号系统的逐步发展, 采用

运行区域提供安全防护。SPKS 的主要应用场景有库内计划或临时清扫/检修作业、登乘车场列车、车场自动化区域施工作业、车辆段内从自动化区至非自动化区调车作业、轨行区维检修作业和区间故障停车等。在上述几个场景下,需要激活 SPKS 以建立全自动运行安全防护区域。

2 人员防护开关系统设计

2.1 人员防护开关设计原理

SPKS 激活后,全自动运行系统为其建立安全防护分区,分区内的列车立即停车或保持静止状态不发生移动,分区外的列车不允许进入分区内。经由安全防护分区的所有列车及调车进路始端信号机不允许开放,已开放的信号应立即关闭。经由安全防护分区的保护区段状态设置为未锁闭。

信号联锁子系统与 SPKS 接口,采集 SPKS 按钮继电器,并纳入联锁进路检查条件。工作人员通过 SPKS 实施封锁区域后,联锁不允许办理经由该封锁区域的列车进路,对于已办理的进路立即关闭相应信号,并将封锁区域的信息发送至轨旁 ATP (列车自动防护)设备及 ATS(列车自动监控)设备。SPKS 采集电路如图 1 所示。



图 1 SPKS 采集电路
Fig. 1 SPKS collection circuit

根据 TB/T 2615—2018《铁路信号故障—安全原则》,当 SPKS 未激活时,SPKS 按钮继电器常态处于得电励磁吸起状态。SPKS 控制电路如图 2 所示。当把 SPKS 旋钮旋至激活状态时,SPKS 按钮继电器失电落下,同时当联锁条件也满足时,驱动 SPKS 继电器励磁吸起,接通 SPKS 指示灯电路,SPKS 室内外指示灯(每个开关提供两组接点)点亮后,表示该防护区域已封锁。

SPKS 控制电路纳入联锁,其操作及状态条件直接关系到行车安全,为了防止 SPKS 因故处于激活状态或误操作后影响列车的正常运营,设置 SPKS 旁路按钮(带铅封的自复式按钮)和 SPKS 总旁路按钮(带铅封的非自复式按钮)。在进行 SPKS 旁路操作时,需要先按下 SPKS 总旁路按钮,再按下

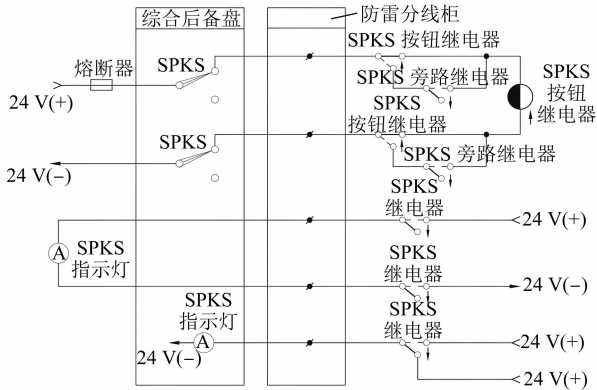


图 2 SPKS 控制电路
Fig. 2 SPKS control circuit

对应的 SPKS 旁路按钮,实现双确认安全操作。SPKS 总旁路控制电路和旁路控制电路分别如图 3 和图 4 所示。

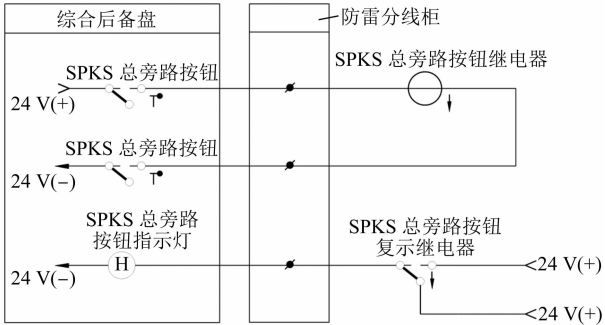


图 3 SPKS 总旁路控制电路
Fig. 3 SPKS general bypass control circuit

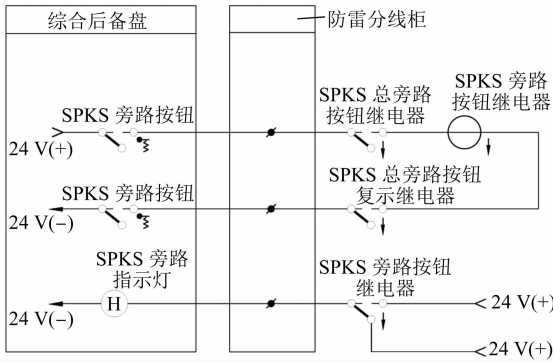


图 4 SPKS 旁路控制电路
Fig. 4 SPKS bypass control circuit

SPKS 故障未恢复前,当联锁设备采集到 SPKS 旁路按钮继电器励磁时,不管 SPKS 处于什么状态,将不再驱动 SPKS,室内外 SPKS 指示灯将熄灭。同时,将 SPKS 非激活状态发送至 ZC(区域控制器),并在人机界面上显示 SPKS 旁路状态,此时可以办理并开放相关进路,列车根据移动授权行车。

2.2 正线人员防护区域设计原则

每个站台的每个区间下轨行区入口设置一个 SPKS,防护范围为本站站台区域的轨道区段和区间所有轨道区段。本站 SPKS 防护范围不能影响其他车站列车正向进站,SPKS 的区间防护范围不对其他车站正向出站信号机的保护区段进行防护。

2.2.1 出/入段线 SPKS 防护区域

经堂庵跟车辆段与布政站接轨,为了兼顾运行效率,出/入段线处作业不影响布政站正常进/出站作业,将出/入段线分别划分为两个防护区域,分别由 SPKS0105(其中 01 为车站编号,05 为顺序编号,其他同义)和 SPKS0106 防护,防护区域范围从交叉渡线岔尖前计轴延伸至转换轨处正线与车辆段的接口分界点计轴处。正线按照上下行方向分别防护的原则,考虑道岔区离站台端部较近,SPKS0101 防护范围由布政站进站计轴处延伸至车挡,并延伸至交叉渡线处两个计轴分界点处。单渡线处的 SPKS 防护区域划分与交叉渡线处的原则类似,以单渡线上的分界计轴点作为划分边界。出/入段线处 SPKS 防护区域划分示意图如图 5 所示。

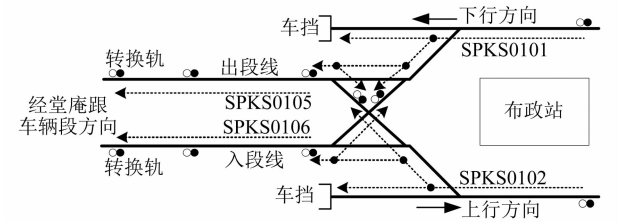


图 5 出/入段线处 SPKS 防护区域划分示意图
Fig. 5 Schematic diagram of SPKS protection area division of entry/exit line

2.2.2 Y 型出/入场线 SPKS 防护区域

前殷停车场由泗港站及曹隘站呈 Y 形与其接轨,SPKS 防护区域划分原则与车辆段出/入段线一致,Y 型出/入场线 SPKS 防护区域划分如图 6 所示。

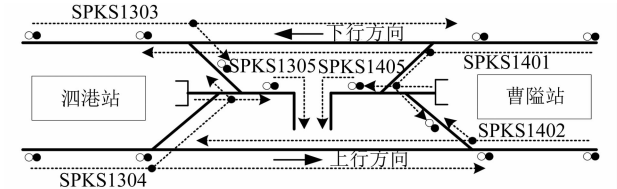


图 6 Y 型出/入场线 SPKS 防护区域划分
Fig. 6 SPKS protection area division of the Y-shape entry/ex-line

2.2.3 无岔站 SPKS 防护区域

三官堂站正向出站端 SPKS2101 防护范围考虑到进入轨行区作业需进入本站站台的情况,其防护范围涵盖本站站台,并延伸至下一站(盍孟港站)进站计轴处。三官堂站反向出站端 SPKS2102 防护范围从本站站台延伸至盍孟港站保护区段计轴处,当激活 SPKS2102 时,不影响盍孟港站列车正常作业,极大地提升了运营效率。无岔站 SPKS 防护区域划分如图 7 所示。

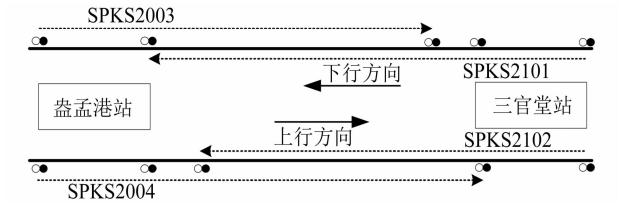


图 7 无岔站 SPKS 防护区域划分
Fig. 7 SPKS protection area division of station without turnout

2.2.4 有岔站(含存车线)SPKS 防护区域

考虑到存车线区域运营效率的影响,需要单独把存车线划分为一个防护分区,为正线每个站的存车线区域设置单独的 SPKS,防护范围为存车线区域和存车线的道岔区域(除正线道岔)。例如庙堰站 SPKS0605 防护分区包含两条存车线,当需要在存车线作业时,激活 SPKS0605 并封锁存车线区域,待作业人员维护检修完毕,确认安全无误后复位 SPKS0605,保证正线上下行列车的正常进出站作业,提高运营效率。有岔站(含存车线)SPKS 防护分区划分如图 8 所示。

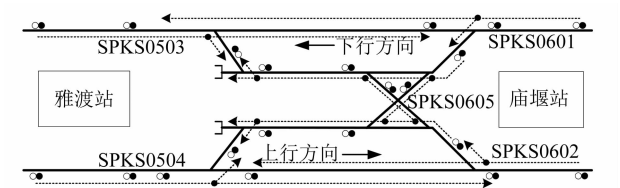


图 8 有岔站(含存车线)SPKS 防护区域分区划分
Fig. 8 SPKS protection area division of station with turnout (including train holding line)

2.3 自动化车辆段/停车场人员防护区域设计原则

2.3.1 SPKS 防护分区设置基本原则

经堂庵跟车辆段划分为自动化区域和非自动化区域,非自动化区因为有司机驾驶列车在段场内低速运行,无需设置 SPKS 进行防护。根据自动化区作业规则,需设置 SPKS 对作业人员进行安全防护^[4-5]。例如 SPKS 激活后,车载信号系统切除牵引并施加制动,信号系统在确保 SPKS 防护区域内列

车已停稳且不会有列车闯入时,点亮对应的股道检修通道入口处指示灯,由系统保证作业人员进入车库以及上车过程中列车不会移动。

为便于场调操作,人员防护开关按钮设置于DCC(车场控制中心)室内。运用库的停车/列检线每两股道设置一个 SPKS 防护分区,其中双列停车库的 A 轨、B 轨在同一隔离分区中,防护范围包含隔离分区内的所有区段。每一条双周/三月检线设置一个 SPKS 防护分区。待修车停放线设置一个 SPKS 防护分区。咽喉区设置一个 SPKS 防护分区,防护范围包括咽喉区、自动化区与非自动化区的转换轨、洗车线、停车/列检线的 A 轨、双周/三月检线、待修车停放线。自动化区与非自动化区的转换轨设置一个 SPKS 防护分区,防护范围为转换轨。洗车线设置一个 SPKS 防护分区,防护范围包括洗车库所在的区段和洗车库后折返区段。在每个 SPKS 防护分区的入口处设置 SPKS 室外指示灯。

2.3.2 自动化区门禁与 SPKS 联锁功能

车辆段自动化区入口处门禁需与 SPKS 设置联锁^[6],信号专业提供 SPKS 继电器干接点,门禁系统从该接线端子处用硬线取干接点,串联接入增加的继电器控制回路,实现门禁与 SPKS 开关的联锁功能。门禁与 SPKS 联锁控制电路如图 9 所示。

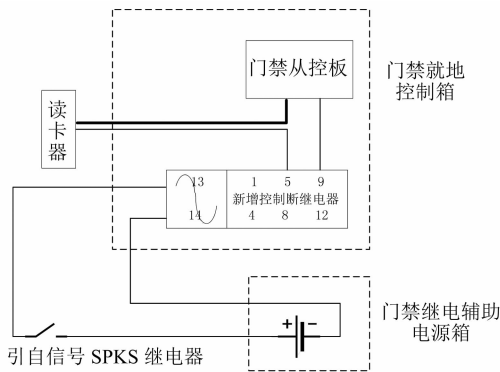


图 9 门禁与 SPKS 联锁控制电路

Fig. 9 Access control system and SPKS interlocking control circuit

3 结语

城市轨道交通全自动运行系统自动化程度高,需更多的技术系统参与提供服务和安全保障,在提

升运营效率的同时更多地需考虑对作业人员的安全防护。人员防护开关为保障作业人员的安全提供一种保障手段。本文结合宁波地铁 5 号线一期工程实施情况,对存车线及出入段线等复杂运营场景进行了全面分析,设置了更加合理的防护分区。在人员防护开关采集、驱动和控制电路设计中做了前后接点采集、双线圈驱动和双确认操作等方面的优化,提升了人员防护开关电路设计的安全性和可靠性。结合调度、维护等需求,增加了自动化区门禁与 SPKS 联锁功能,进一步提升了人员防护开关的可用性。为后续全自动运行线路人员防护开关的设计提供了有益的借鉴和指导。

参考文献

- [1] 陈绍文. 全自动运行系统 SPKS 设置方案研究[J]. 铁路计算机应用, 2018, 27(11): 56.
CHEN Shaowen. SPKS implementation of full automation operation system [J]. Railway Computer Application, 2018, 27(11): 56.
- [2] 李逸. 全自动运行系统安全防护策略在南宁 5 号线中的应用[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(4): 85.
LI Yi. Application of safety protection strategy for FAO system in Nanning Metro No.5 Line[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(4): 85.
- [3] 蔡宗加. 全自动无人驾驶系统作业人员防护开关设计分析[J]. 铁道通信信号, 2022, 58(2): 77.
CAI Zongjia. Design and analysis of SPKS in FAO system[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(2): 77.
- [4] 朱翔, 陈丽君. 地铁全自动运行系统运营场景的几点探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(10): 228.
ZHU Xiang, CHEN Lijun. Research of operation scenarios for metro fully automatic operation system[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(10): 228.
- [5] 张艳兵, 徐鼎, 杜薇. 自主化全自动运行系统工程建设实践[J]. 都市轨道交通, 2020, 33(1): 9.
ZHANG Yanbing, XU Ding, DU Wei. Engineering application of proprietary fully automatic operation system[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(1): 9.
- [6] 刘毅. 全自动运行城市轨道交通线路门禁系统设计要点[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(6): 139.
LIU Yi. Design points of the access control system for urban rail transit fully automatic operation lines[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(6): 139.

(收稿日期: 2022-03-14)