

# 全自动运行防护区域人员防护开关的电路设计优化

王玉玺

(苏州市轨道交通集团有限公司,215004,苏州//工程师)

**摘 要** 全自动运行区域 SPKS(人员作业防护开关)可以解决 UTO(无人值守的全自动运行)模式下轨旁作业人员的作业安全防护问题。分析了不同供应商的 SPKS 电路设计方案;通过对比分析,提出了针对较为冗杂的电路设计的优化方案。该优化方案可进一步提升 SPKS 电路设计的合理性。

**关键词** 城市轨道交通;全自动运行系统;人员防护开关;电路设计

**中图分类号** TP17:U279.3

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2022.05.018

## Circuit Design Optimization of Staff Protection Key Switch of Fully Automatic Operation Protection Area

WANG Yuxi

**Abstract** SPKS (staff protection key switch) in FAO (fully automatic operation) area can solve safety protection issues for trackside operating personnel under UTO (unattended train operation). SPKS circuit design schemes of different suppliers are analyzed. Through comparative analysis, an optimization scheme for a relatively complicated circuit design is proposed. The optimization scheme can further improve the rationality of SPKS circuit design.

**Key words** urban rail transit; FAO (fully automatic operation) system; SPKS (staff protection key switch); circuit design

**Author's address** Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd., 215004, Suzhou, China

在城市轨道交通全自动运行(FAO)系统中,列车自动休眠、唤醒、准备、自检、自动运行、停车和开关车门。当列车处于全自动驾驶模式下,工作人员进入站台、区间、停车场和车辆段等轨行区作业时,须对工作人员进行必要的自动安全防护,以免发生人员伤亡以及财产损失。各全自动运行防护区域都设置有人员防护开关(SPKS)。本文通过对比分析不同供应商的 SPKS 的电路设计方案,提出针对

较为冗杂电路的优化方案。

## 1 SPKS 使用场景和功能描述

通常情况下,SPKS 有主路和旁路 2 个主要回路。主路有一个常态吸起的 SPKS 继电器,当某防护区域的 SPKS 被转到“启用”位时,该 SPKS 继电器因回路失电而落下,联锁机采集该 SPKS 继电器接点状态变化,此信息将在联锁逻辑中产生 1 条报警信息,同时告知 WCU\_ATP(轨旁列车防护子系统);WCU\_ATP 根据 TDB(轨道数据库)中的配置,在该防护区域内激活 RAUZ(运行授权区域)限制;运行在该防护区域内的 CTC(连续式控制)级别列车施加紧急制动;运行在该防护区域外的 CTC 级别列车将无法进入该区域。当某防护区域 SPKS 主路回路因故失效时,会激活旁路开关,驱动旁路继电器吸起,联锁机采集该 SPKS 旁路继电器接点状态变化,并告知 WCU-ATP;WCU\_ATP 激活该防护区域内 RAUZ;该防护区域内 CTC 级别列车正常运行,避免因 SPKS 电路故障降低行车效率,提高信号系统可靠性。

另外,鉴于普速铁路和高速铁路在天窗点内作业时,事故发生频率较高。为避免在天窗内作业时,因各种原因造成列车进入作业区域而造成伤害,亦可采用该防护手段。

## 2 SPKS 电路设计方案

### 2.1 方案一 SPKS 电路设计

方案一的设备供应商为卡斯柯公司。在方案一 SPKS 电路(见图 1)中,1 个站点共使用 10 个继电器,包括 4 个方向的 SPKS 按钮采集继电器 SPKS-D1(下行)、SPKS-D2(下行)、SPKS-U1(上行)和 SPKS-U2(上行),1 个 SPKS 旁路按钮采集继电器 SPKS-siding,另外还有联锁机输出 4 个 SPKS 状态继电器(SPKS-D1、SPKS-D2、SPKS-U1 和 SPKS-U2)和 1 个联锁机旁路输出旁路状态继电

Fig. 1 SPKS circuit diagram of scheme No.1

方案四的设备供应商为南京恩瑞特实业有限

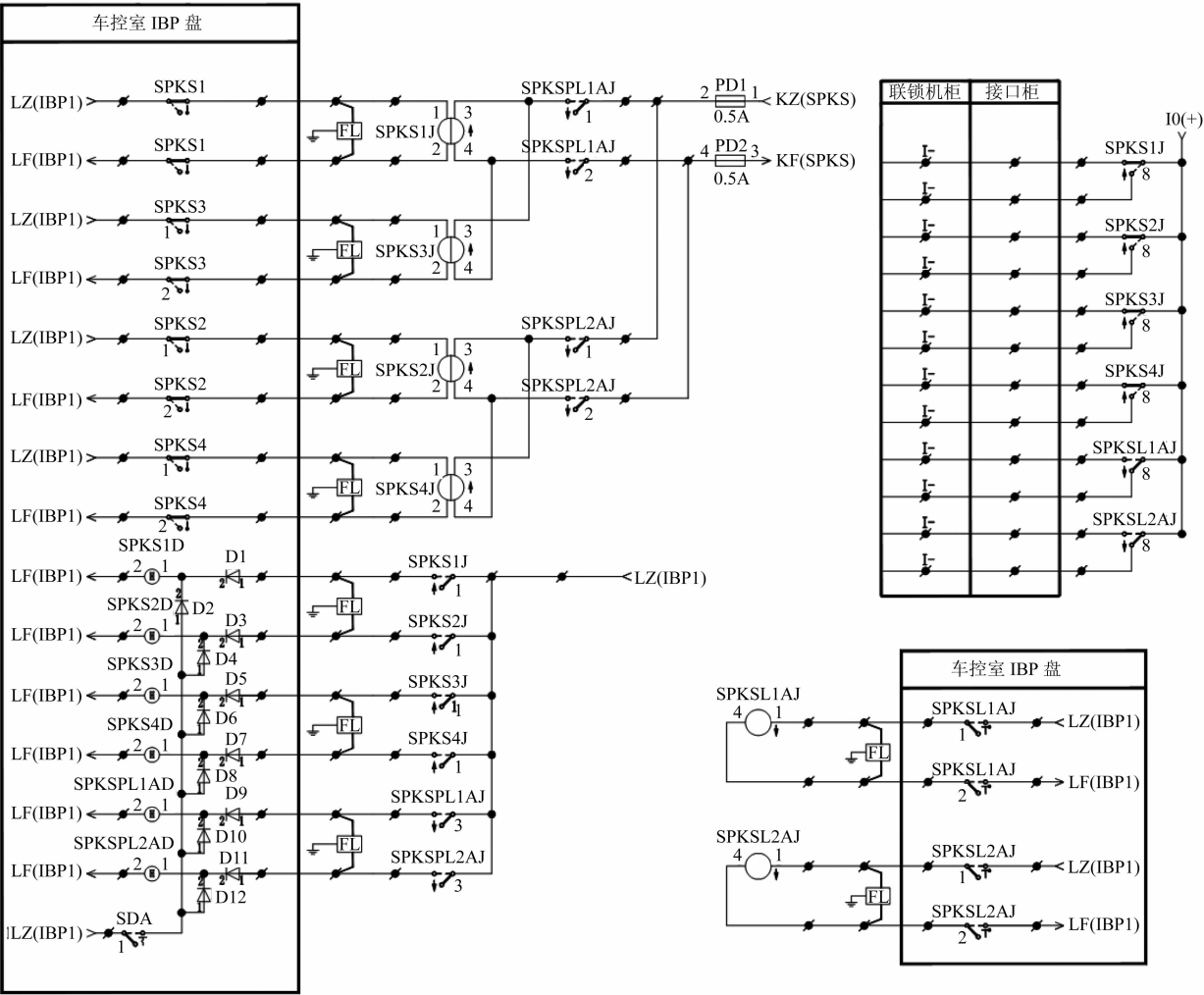


图 2 方案二 SPKS 电路图  
Fig. 2 SPKS circuit diagram of scheme No.2

公司。在方案四(见图 3)电路中,1 个站点共使用 32 个(集中站)或 40 个(非集中站)继电器。继电器较多的原因是继电器型号不同,1 个小继电器共有 2 组接点,导致使用继电器较多,但主要原因还是电路设计不合理,电路冗杂、繁多。

方案四 SPKS 的主路电路简单,驱动电路采集电路清晰明了,符合 SPKS 人员防护设计初衷;其旁路的设计初衷是在主路故障后,操作旁路开关即可忽略主路故障,以此来保证信号系统的高可靠性。然而,实际上 SPKS 的旁路电路冗杂,继电器驱动采集冗杂繁多,驱动采集电路中接点多,涉及机柜、端子多,导致设备失效率增高,可靠性降低,一旦线路出现故障,严重拉长排查故障时间。

3 SPKS 电路设计方案对比分析

3.1 防护区域划分方式

常见的 SPKS 防护区域可根据影响范围划分,可分为一站一区间和一站两区间 2 种划分方式。图 4 为一站一区间的 SPKS 防护区域划分方式。将一个站点分为下行头部、下行尾部、上行头部和上行尾部 4 个防护区域。SPKS 激活后,对提前定义好的一站一区间轨行区进行防护。此方式中,SPKS 防护区域划分精细,轨行区施工作业管理灵活方便。当 SPKS 发生故障时,对正线运营行车组织的影响范围仅为一站一区间,影响范围小,线路行车组织调整时间充足。

图 5 为一站两区间的 SPKS 防护区域划分方式。以车站为中心,外加该站点两端的区间,将一个站点划分为上行和下行 2 个 SPKS 防护区域。SPKS 激活后,对提前定义好的一站两区间相关区域进行防护。此方式的 SPKS 防护区域较大,当 SPKS 发生故障时,对正线运营行车组织的影响范

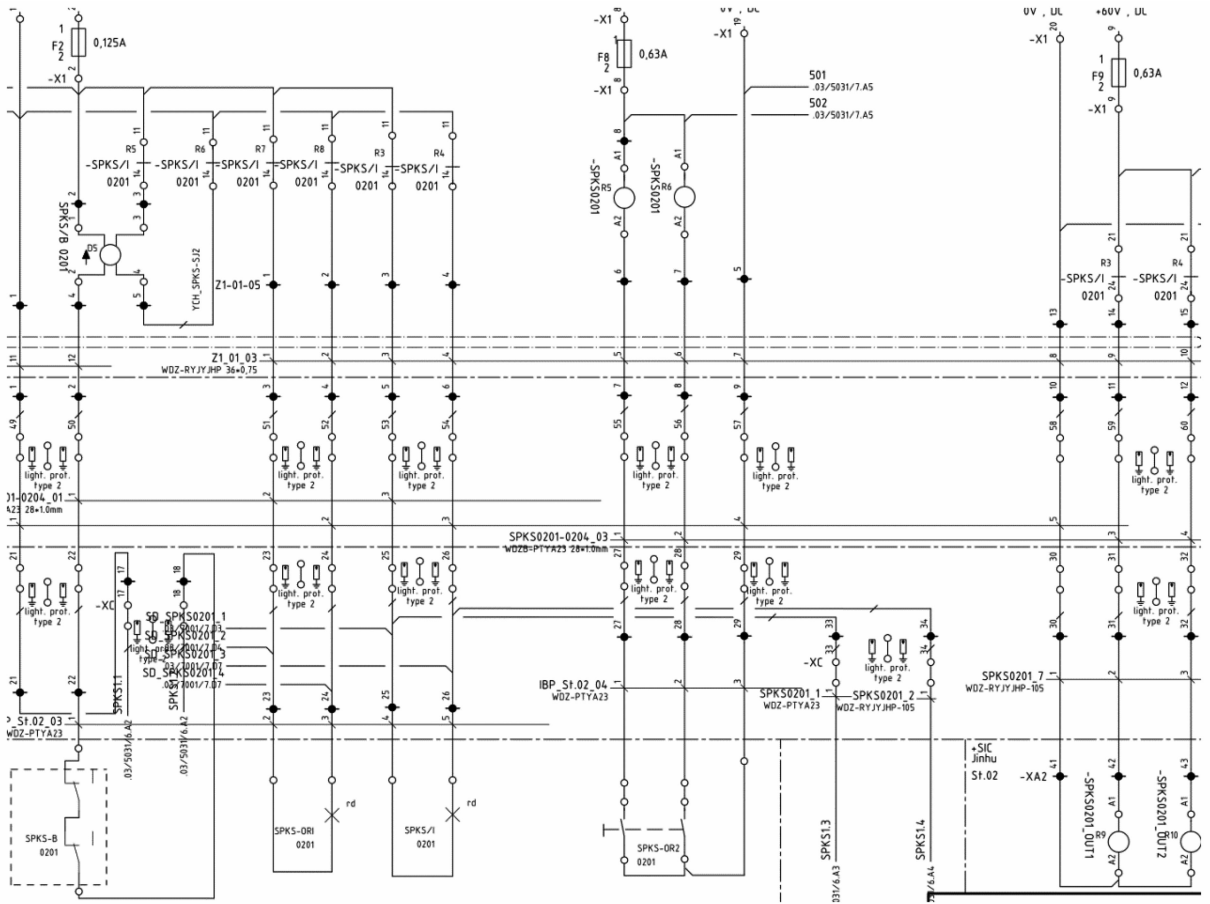


图3 方案四 SPKS 电路图

Fig. 3 SPKS circuit diagram of scheme No.4

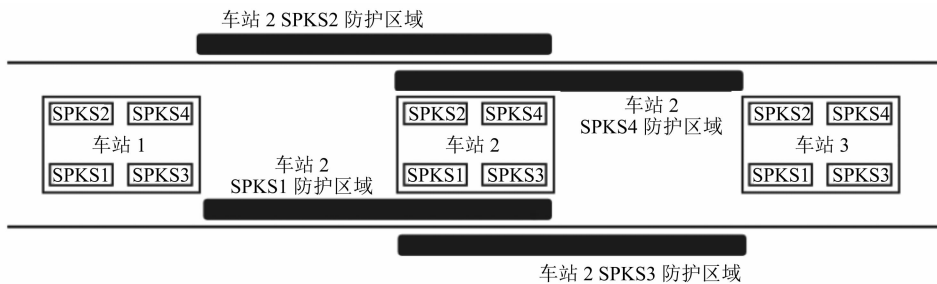


图4 一站一区间 SPKS 防护区域划分

Fig. 4 Protection area division of one-station-one-interval

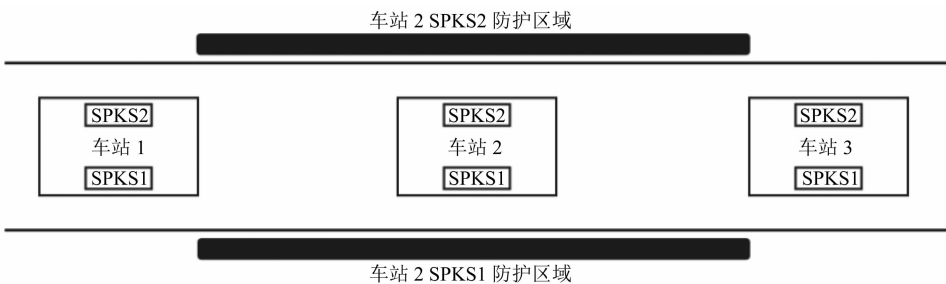


图5 防护区域设计

Fig. 5 Protection area design

围为一站两区间,影响范围大,线路行车组织调整时间不足。因此,一站一区间的 SPKS 防护区域划分方式比一站两区间的更具有可行性。

3.2 旁路防护区域划分方式

旁路旨在避免因 SPKS 而影响行车组织和行车效率。当发生 SPKS 非人为激活故障时,由车控室操作旁路按钮,使 SPKS 故障无效。

方案一和方案二在一个站点设置 2 个 SPKS 继电器,对应 2 个防护区域,虽然可以一定程度上减少成本,但旁路下行头 SPKS 时,可能会旁路实际有人作业的下行尾防区,对下行尾作业人员产生生命威胁,不符合“故障导向安全”原则;方案三和方案四在 1 个站点设置 4 个 SPKS 旁路继电器,对应 4 个防护区域,不存在上述情况,符合“故障导向全”原则,故设置 4 个旁路防护区域方式更优。

3.3 按钮和箱盒对比

各方案 SPKS 按钮和指示灯数量,及与门禁联动关系如表 1 所示。方案一 4 个方向 SPKS 旁路共用同一回路和继电器,所以较方案二少 1 个按钮和指示灯,且只在车控室 IBP(综合后备盘)处设置相应按钮和指示灯,在落轨梯处未进行防护;方案四在 IBP 盘(激活按钮 4 个和旁路 4 个)、落轨梯处(激活 4 个)设置按钮和指示灯各 12 个,因在落轨梯处安装激活开关,且 4 个方向单独设置旁路回路,提供 IBP 和落轨梯双重防护,在提高安全度和可靠性的同时,也提高了成本。

表 1 各方案 SPKS 按钮和指示灯数量及与门禁联动关系  
Tab.1 Number of buttons and indicators and access control linkage in each scheme

方案	按钮/开关/个	指示灯/个	与门禁联动	落轨梯子有无箱盒
方案一	5	5	不联动	无
方案二	6	6	不联动	无
方案三	12	12	不联动	无
方案四	12	12	联动	有

另外,方案四与门禁进行联动,当激活 SPKS 时,对应的门禁才可以被打开。考虑到防护区域内列车紧急制动所需时间及相关信息传输时间,为最大限度地确保人员安全,联锁系统在 SPKS 激活开关被打到“启用”位时仍无法确保防护区域内所有列车均已停车,因此延时 15 s 将 SPKS 防护激活指示灯点亮。SPKS 防护激活指示灯点亮前,对应的门禁无法被打开。

3.4 继电器对比

各方案 SPKS 电路中继电器使用情况如表 2 所示。如方案中联锁同时采集继电器同一组接点的前后接点信息,统计时则将继电器前后接点算 2 个节点数量。

表 2 各方案 SPKS 电路中继电器使用情况  
Tab.2 Relay usage condition of SPKS circuit in each scheme

方案	继电器/个	继电器型号	继电器接点使用数量/个	继电器接点总数/个	继电器接点使用率/%
方案一	10	JWXC1700	30	160	18.75
方案二	6	JWXC1700	22	96	22.92
方案三	8	JWXC1700	48	128	37.50
方案四	36	DOLD/JWXC1700	36	192	18.75

方案三采集 1 组继电器接点的前后接点,所以其接点利用率最高。方案四使用继电器数量最多,达 36 个,是因为继电器型号不同所致。1 个 DOLD 型继电器共有 4 组接点可以使用,而 1 个 JWXC1700 型继电器有 16 组接点可以使用,后者接点组数是前者的 4 倍,且单个 JWXC1700 继电器的可靠性高于多个 DOLD 继电器的可靠性,所以建议使用 JWXC1700 继电器,以提高整体可靠性。

4 方案四 SPKS 电路优化设计

对方案四电路进行简化,去掉 R3、R4、R7 和 R8 继电器,减少继电器的驱动、采集环节,减少线缆接点数量,以此来降低线路失效率,提高 SPKS 的可靠性,降低整个系统冗杂程度。

4.1 去掉 R3 和 R4 继电器的思考

4.1.1 R3 和 R4 继电器在方案四中的作用

R3、R4、R7 和 R8 继电器驱动电路如图 6 所示。首先分析 R3 和 R4 继电器在整个 SPKS 电路中的作用。R3 和 R4 继电器的驱动,分别由 R1 和 R2 继电器(R1 的 21-24 接点和 R2 的 21-24 接点)来驱动,其是 R1 和 R2 继电器的复示继电器。R3 和 R4 继电器的接点使用(采集)分 2 种情况:一是在集中站使用两组接点(R3 的 11-14 接点和 R4 的 11-14 接点)来构成激活指示灯的回路,另外两组组接点(R3 的 21-24 接点和 R4 的 21-24 接点)构成与门禁的接口回路;二是在非集中站先用 R3 和 R4 继电器的 21-24 分别驱动 R9 和 R10 继电器,再用 R9 和 R10 继电器的 21-24 这 2 组接点构成与门禁的接口回路。

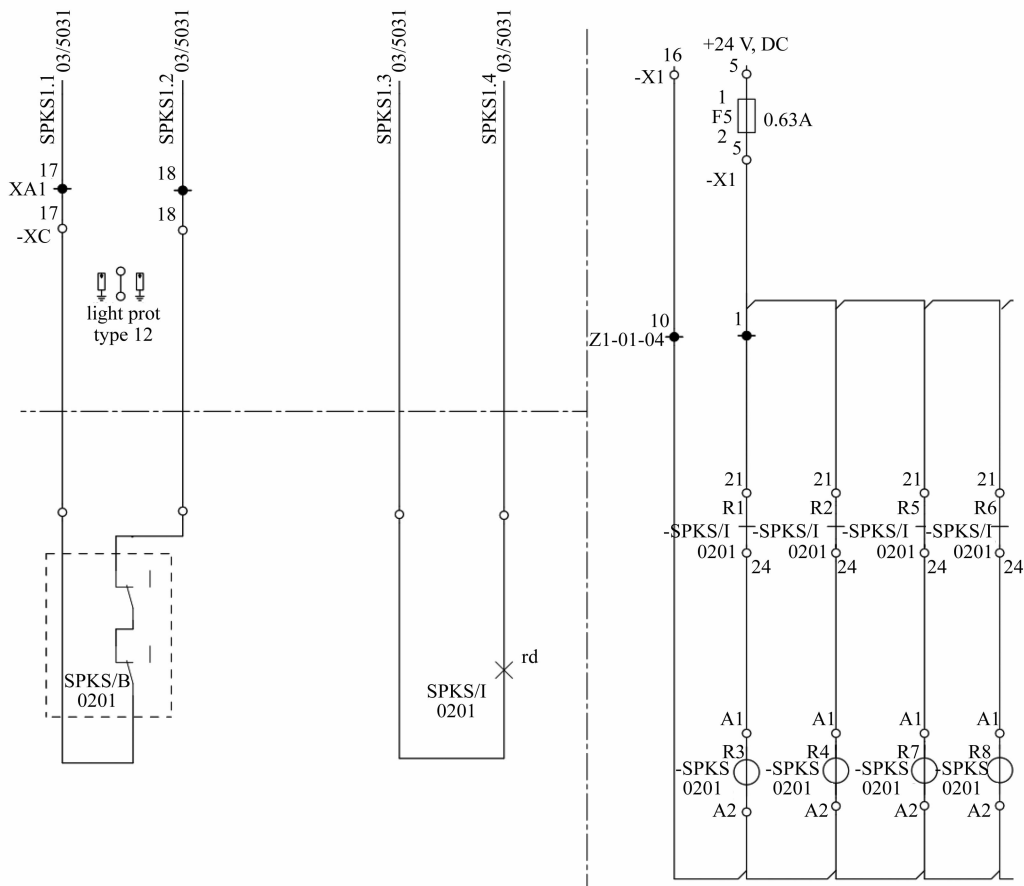


图 6 R3、R4、R7 和 R8 继电器驱动电路

Fig. 6 R3、R4、R7、R8 relay drive circuit

#### 4.1.2 去掉 R3 和 R4 继电器的优点

在激活指示灯回路中使用 2 组继电器接点(R3 的 11-14 接点和 R4 的 11-14 接点),此回路为安全侧(灯亮或者灯灭不直接影响列车正常运行和危机行车安全,仅对车控室或作业人员有提示作用),所以用 2 个继电器共 2 组接点(R3 的 11-14 接点和 R4 的 11-14 接点)来构成灯回路是完全没必要的;且指示灯理论上应直接反应 D1 继电器(JWXC1700 型继电器)的吸起或落下状态,也无需外加 R3 和 R4 继电器复示,再给出相应指示。

综上,若要去掉 R3 和 R4 继电器,且不影响 SPKS 正常功能,可使用现有继电器的空闲接点。SKPS 激活灯指示灯直接采用 D1 继电器(JWXC1700 型继电器)的接点,利用大继电器第三和第四组接点构成激活指示灯回路;集中站与门禁的接口用 R1 和 R2 继电器的 21-24 接点构成与门禁的接口;非集中站与门禁的接口用 R1 和 R2 继电器的 21-24 接点驱动 R9 和 R10 继电器,再用 R9 和 R10 继电器的接点构成与门禁的接口。如图 7 所示。

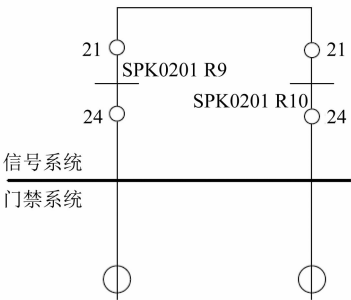


图 7 信号系统与门禁的接口

Fig. 7 Interface of signaling system and access control

#### 4.2 去掉 R7 和 R8 继电器的思考

##### 4.2.1 R7 和 R8 继电器在方案四中的作用

R7 和 R8 继电器分别由 R5 和 R6 继电器的 21-24 接点驱动,是 R5 和 R6 继电器的复示继电器;R7 和 R8 继电器接点使用情况:11-14 接点驱动旁路指示灯回路,21-24 向联锁板卡反馈信息。R5 和 R6 继电器共有 2 组接点,其中 11-14 接点用来驱动 D1 (JWXC1700 型继电器),21-24 接点用来驱动 R7 和 R8 继电器。

#### 4.2.2 去掉 R7 和 R8 继电器的优点

当旁路激活时,指示灯无论亮灯或灭灯,均不会为列车提供危险侧信号。值得注意的是,板卡采集 R7 和 R8 继电器的信息是异步采集,即采集 R7 继电器的后接点 21-22 和 R8 继电器的前接点 21-24。此时 R7 继电器的后接点和 R8 继电器的前接点空闲,可以利用这个特点来节约继电器数量。

综上,若要去掉 R7 和 R8 继电器,且不影响旁路功能,可使用现有继电器的空闲接点:2 组前接点来驱动 D1,即 R5 继电器的 11-14 和 R6 继电器的 11-14;2 组联锁板卡异步采集接点,即 R5 继电器的 21-22 和 R6 继电器的 21-24 接点;R5 继电器的 21-24 接点构成旁路指示灯回路。

此方案可将一个站点的继电器减少 16 个,继电器总数降至 20 个,继电器接点使用率由原来的 18.75% 提高至 28.00%,且在不改变电路原理的基础上,实现 SPKS 功能,一定程度上简化了继电器的驱动和采集,简化了故障处理步骤,降低了维护人员工作量。

## 5 结语

在 GoA2(半自动化列车运行)级别下,即列车运行模式为 AM(自动驾驶模式),控制级别为 CTC

(连续式控制级别)时,是否设置 SPKS,值得深思。列车按 AM-CTC 级别运行时,列车最高运行速度可达 80 km/h,一旦出现人员或异物侵入线路,在紧急情况下,司机不能及时让列车停稳,将造成不必要的伤害。所以对既有线改造时,亦可考虑加入 SPKS,来提高 GoA2 级别下安全性能。SPKS 还可以提高停车场和车辆段列车出库能力,可对防护场段内作业人员人身安全起到积极作用。不仅在城市轨道交通领域,甚至在普速铁路和高速铁路相应场景中亦可考虑其应用的可行性。

SPKS 既可用在 FAO 系统中保护人身和财产安全,又可实现信号系统高可靠性的和安全性,因此 SPKS 在 FAO 系统中不可或缺。而如何在确保 SPKS 电路安全可靠的前提下,节约建设成本、节约改造和维护成本、提高维护效率、降低系统冗余性至关重要。

## 参考文献

- [1] 苏州市轨道交通集团有限公司. 人员防护开关(SPKS)功能描述[R]. 南京:南京恩瑞特实业有限公司,2021.  
Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd. Functional description of staff protection key switch (SPKS) [R]. Nanjing: Nanjing NRIET Co., Ltd., 2021.

(收稿日期:2021-12-10)

(上接第 76 页)

议在正线各供电分区左右线间设置配线,在列车运行前方供电分区失电情况下,可通过配线调整行车交路,将故障影响降到最低。

## 参考文献

- [1] 闵道聪. 地铁段场出入线接触网供电分区设置优化方案[J]. 电气化铁道,2021(3):74.  
MIN Daocong. Scheme for arrangement optimization of OCS sub-switched sections of exit and entrance tracks in subway depot[J]. Electric Railway,2021(3):74.
- [2] 秦建伟,朱星光,陈善乐. 广州地铁 3 号线接触网供电分区改造优化设计[J]. 铁路通信信号工程技术,2015(6):83.  
QIN Jianwei, ZHU Xingguang, CHEN Shanle. Reconstruction

and optimization design solution to overhead catenary of Guangzhou Metro Line 3[J]. Railway Signalling & Communication Engineering,2015(6):83.

- [3] 王晓博,尚志坚,赵垒. 城市轨道交通直流牵引供电系统接触网残压研究[J]. 城市轨道交通研究,2015(9):55.  
WANG Xiaobo, SHANG Zhijian, ZHAO Lei. Analysis of contact net left-over voltage for metro DC traction power supply [J]. Urban Mass Transit,2015(9):55.
- [4] 陆世进. 地铁车辆段接触网残压测量分析及处置建议[J]. 电气化铁道,2019(4):61.  
LU Shijin. Analysis of measurement of OCS residual voltage in subway rolling stock depot and proposals for its treatment[J]. Electric Railway,2019(4):61.

(收稿日期:2021-12-10)