

# 地铁接触网隔离开关直流传动电机 监控装置的设计与应用

康学剑

(广州地铁集团有限公司, 510220, 广州//工程师)

**摘 要** 目的:地铁接触网隔离开关是接触网停、送电控制的重要部件,隔离开关的稳定分合工作直接关系到停、送电流程的准确执行。因此,要提升接触网系统隔离开关设备的故障侦测手段,尽早发现故障的前期潜在表征,降低该类问题的发生概率。**方法:**运营维护中,隔离开关故障可区分为机械类故障与电气类故障。对于多数故障部件的拆解分析显示,隔离开关设备在故障前存在诸多肉眼不易察觉的潜在隐患。及早发现、提先预警、提前介入,可以在很大程度上降低故障的发生并提升设备运行的可靠性。本项目的技术路线为通过在电机主回路中前置采样单元,开展开关电机分合时的电流-时间曲线录波,之后通过后台数字处理单元学习不同情况下的故障波形并开展关键特征比对,最终输出异常结果形成预警。**结果及结论:**本项目通过模拟隔离开关的典型故障,利用示波器开展设计与模型验证,最终制作出成熟、可靠的工业产品,大幅度地提升了现场在线设备的可靠性。**关键词** 地铁;接触网;隔离开关;状态监控

**中图分类号** U225.4<sup>+</sup>5; U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.07.048

## Design and Application of DC Motor Monitoring Device for Metro OCS Disconnect Switch

KANG Xuejian

**Abstract** **Objective:** In metro OCS (overhead catenary system) disconnect switch is an important component controlling electrical current flow interruption or delivery. The stable operation of the disconnect switch directly affects the accurate execution of current interruption and delivery. Therefore, the fault detection means of OCS disconnect switch device needs to be improved to identify the potential early symptoms of these faults as soon as possible, which can lower the probability of problem occurrence and reduce the emergency response of the disconnect switch device before. **Method:** In operation and maintenance, disconnect switch faults can be divided into mechanical and electrical faults. The disassembly analysis of most faulty parts exposes many potential hazards that are difficult to detect with the naked eye before the fault occurs in the dis-

nect switch device. Early detection, early warning, and early intervention can greatly reduce the occurrence of faults and improve the reliability of equipment operation. The technical route of this project is to record the current-time curve of the switch motor opening and closing by pre-sampling the unit in the main circuit of the motor, and then study the fault waveforms in different situations through the back-end DPU (data processing unit) and compare key features, ultimately outputting abnormal results to form an early-warning. **Result & Conclusion:** By simulating typical faults of disconnect switches and using oscilloscopes for design and model validation, mature and reliable industrial products are ultimately developed, greatly improving the reliability of in-situ on-line equipment. **Key words** metro; OCS; disconnect switch; condition monitoring

**Author's address** Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510220, Guangzhou, China

隔离开关是地铁接触网停送电控制的重要部件,而隔离开关的稳定分合工作直接关系到停、送电流程的安全和精准执行。运营维护中,伴随设备运行年限及不同设备厂家的产品结构差异,往往会遇到隔离开关拒动、分合执行不到位和现场刀闸位置与主控系统后台不一致等问题。

这些问题的根源都在于隔离开关机械部件与电气部件的相互匹配运作不佳。结合各类故障现象作进一步深究可以发现,故障的表象均属于匹配运作质变的结果,在此之前很长一段时间内都有潜在故障的量变积累。增加新的手段监控这类量变的积累过程,做好隔离开关运行的健康管理 with 故障预测就显得尤为重要。

### 1 地铁某线路接触网隔离开关典型故障统计

地铁某线路先后分6次分段开通,在用的隔离

开关分属 3 个国家,共计 4 个品牌型号。统计所有      类型隔离开关的故障数据如表 1 所示。

表 1    2005 年至 2021 年分批次投入的各种型号隔离开关故障统计

Tab. 1    Fault statistics of various isolation switchs put into operation in batches from 2005 to 2021									
隔离开关 型号	台数/台	故障部件 1		故障部件 2		故障部件 3		故障部件 4	
		部件名	故障次数/次	部件名	故障次数/次	部件名	故障次数/次	部件名	故障次数/次
G 型	66	传动皮带	12	缓冲垫片	15	关节轴承	2	进线空开	7
M 型	18	减速齿轮	4	行程开关	4	电磁制动器	3	电机本体	2
C 型	6	传动拐臂	1	继电器	1	接触器	1		
D 型	30	传动丝轴	9	位置开关	1	时间继电器	2	位置未定义	7

分析表 1 的故障数据,从故障现象的维度发现,与机械部件存在强关联因素的有 6 项,与电气部件存在强关联因素的有 9 项;从故障次数的维度统计

发现,机械部件相关故障 41 次,电气部件相关故障 28 次,如图 1 所示。

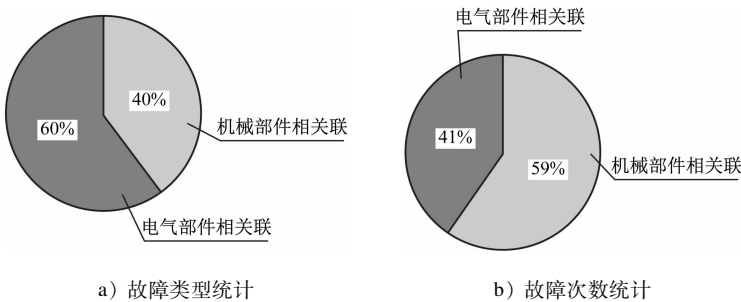


图 1    隔离开关故障统计数据分布图

Fig. 1    Data distribution diagram of isolation switch fault statistics

由图 1 可见,机械部件导致的隔离开关故障类型占比约 40%,次数占比高达 59%,整体上隔离开关故障以机械传动部件的异常工况有关。通过进一步拆解分析隔离开关电气元件的故障,发现多数故障下线的制动器、继电器和电机本体也与高机械负荷的运行磨损有所关联。

2    隔离开关直传动电机监控装置的设计

接触网隔离开关由顶部高压刀闸部分、底部电气机构箱及上下部连动的传动杆等组成。故障统计信息表明,加强对于传动力臂机械部分的监控与管理可避免故障的产生。本项目设计初期,考虑用粘贴应变片或替换具备应变检测的关键螺栓来实现采样,但如此改动引出的高低压隔离及型式试验校核可能会增加隔离开关动作可靠性的变数,将导致得不偿失的结果。经过多重论证,本项目最终选择了监控传动电机的动作电流曲线来间接反馈机械部件动作受力过程的技术路线,同时预留接口,远期实现通过全线可视化接地系统信道上送相关信息。

2.1    监控装置的初步设计论证

2.1.1    理论论证

各类型的隔离开关均满足通过驱动操作机构中永磁电机来将电能转换为机械能,以实现刀闸动作这一单一的工作方式。在时间序列中,隔开车闸动作的过程可直接与直流永磁电机中电流的瞬时变化相对应。通过在永磁电机电源端接入高速采样模块,记录并采集开关刀闸动作时的采样模块输出波形,即可换算取得电机的电气功率特性曲线。

2.1.2    搭建示波器简易平台试验论证

为进一步验证理论模型,获得可变的机械载荷,本项目通过调节永磁电机制动模块的调节螺栓深度来改变负载转矩,并对应记录永磁电机在模拟机械部分异常工况下的电气功率特性。隔离开关负载功率曲线截屏如图 2 所示。

示波器捕捉图像峰值表征,永磁电机的最大的荷载出现在隔离开关开始动作的瞬间,即电机的启动时;分析后续波形趋势,也同时能在时序中印证刀闸动作的全过程,与设计之初的理论预想一致。

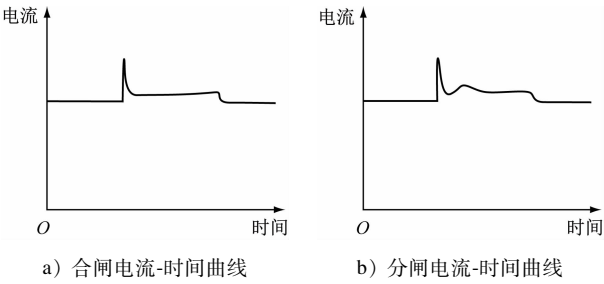


图 2 隔离开关负载功率曲线截屏  
Fig. 2 Screenshot of load power curve of isolation switch

2.2 电机工作电流模拟量采样设计

通过初步设计分析可见,隔离开关通过将电机转动的力矩进行减速变矩来驱动高压部分刀闸的分合操作,电机电流的变化可直接反应出机械负荷的变化情况。隔离刀闸动作期间存在合刀闸(启动-悬空-闭合)和分刀闸(启动-脱离-悬空-到位)2 种变化,动作全过程中用时约为 2 s。考虑到多种隔离开关型号使用不同功率的电机,设计采用分辨率为 20 kHz、最小分辨率应达到 0.05 A 的霍尔传感器。对于有源霍尔元件的供电,选取直接采用隔离开关机构箱内 DC(直流电)110 V/AC(交流电)220 V 电

源。模拟量采样霍尔元件的参考参数如表 2 所示。

表 2 模拟量采样霍尔元件的参考参数  
Tab. 2 Reference parameters of analog sampling Hall element

代码	参数名称	取值范围	备注
I <sub>pn</sub>	额定测量电流值	10 ~ 200 A	
I <sub>oc</sub>	过载能力	1 000 A	
V <sub>sn</sub>	额定输出电压	2.0 V	基准值 ± 1%
V <sub>c</sub>	电源电压	5.0 V	基准值 ± 5%
f	频率范围	DC 20 kHz	
R <sub>i</sub>	输入电阻	≥ 20 MΩ	DC 500 V

2.3 模块电路设计

霍尔元件采样后,传输至整套装置的数字处理单元,考虑到隔离开关箱体有限的内部空间,除采样单元外,其余模块均设置于箱体外侧,且有独立的供电保护设计。模拟量数字转换后绘制出电流-时间关系曲线,存储在单元内闪存中,外部设备具有展示界面。数据采集模块逻辑示意图如图 3 所示,单路输入的模块电路示意图如图 4 所示。

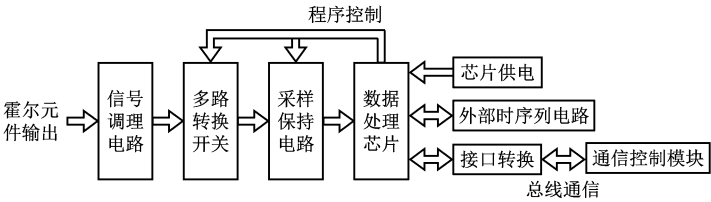
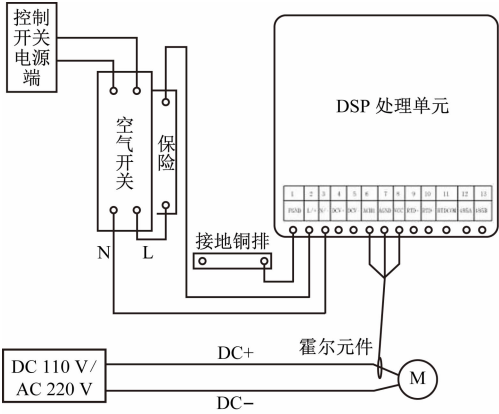


图 3 数据采集模块逻辑图  
Fig. 3 Logic diagram of data collection module



注: DSP—数字信号处理器; L、N—正、负装置电源。

图 4 单路输入的模块电路示意图

Fig. 4 Diagram of module circuit with single input

2.3.1 信号调理电路设计

依据现场工作环境特点,同一个 DSP 处理单元

需要具备接入至少 6 台隔离开关电机数据的能力。同时,隔离刀闸及上网电缆直流系统不可避免地会产生磁化干扰,故该套装置前端电路设置了信号调理模块来降低输入变量的失真水平。另外,考虑到前端采样设备故障时有可能造成处理单元核心部件不能承受的强电入侵,故在数据处理芯片前预设了隔离保护。

2.3.2 多路转换与采样保持电路设计

多路转换开关通过数据处理芯片来控制。考虑到隔离开关程控并发指令与单控同时存在,转换电路与采样保持电路中设有寄存功能模块,6 台隔离开关分别动作时,霍尔元件输出的电压信号可以按序上送 DSP 单元;6 台隔离开关中有部分同时动作时,电路设计通过寄存器暂存信号变化量,逐一按照地址编码排路上送至 DSP 处理单元。

### 3 监测电流-时间曲线成果分析

通过不断调试和定型,该套装置的采样频率稳定在 1 600 Hz,纵坐标以游标形式绘制,在监控装置中录到理想波形如图 5、图 6 所示。

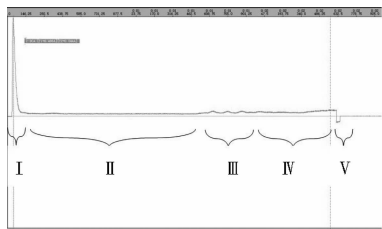


图 5 典型波形 1 截图

Fig. 5 Screenshot of typical waveform 1

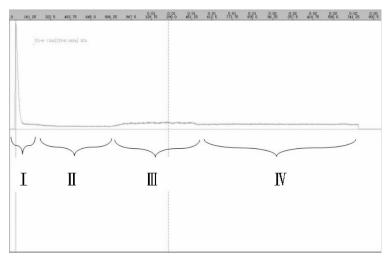


图 6 典型波形 2 截图

Fig. 6 Screenshot of typical waveform 2

图 5 波形为法国 G 型隔离开关合闸动作曲线,将整个过程分为 5 个阶段:

1) 阶段 I:启动阶段,电机主回路继电器吸合后,电机带刀闸负载启动,瞬时电流出现,数值为 6.486 A,是整个波形第一峰值。

2) 阶段 II:跌落式刀闸由静止变为运动,下坠过程主要由电机牵引与刀闸自重 2 个分力作用,同时永磁电机完成启动动作后,电机电流迅速回归常态,电流值在 0.1 A 以下。

3) 阶段 III:刀闸动静触头接触,弹簧压力作用下机械部分出现阻尼振荡,同时电流曲线上形成 3 处小波峰。

4) 阶段 IV:刀闸动静触头完全结合后,电机进一步运转形成刀闸预紧,电流尾端抬升,电流值为 0.044 A,是整个波形第二峰值。

5) 阶段 V:电机回路位置开关动作关断电流,惯性作用下直流永磁电机出现反向感应电动势,同时电机主轴相连的电磁制动器吸合,转子完全停转,电流归零。

图 6 波形为法国 G 型隔离开关分闸动作曲线,将整个过程分为 4 个阶段:

1) 阶段 I:启动阶段,瞬时电流出现,数值为

6.71 A,是整个波形第一峰值。

2) 阶段 II:由于合闸阶段 IV 的预紧作用,电机转动行程存在少部分虚位,电流波形显示未带明显负荷。

3) 阶段 III:刀闸动静触头开始脱离,电机电力克服弹簧压力作用下的机械弹性势能,同时跌落式刀闸由静止变为运动,刀闸上升过程中电机驱动刀闸克服自重而转化为重力势能。该阶段电机运动过程中带有较多负载,电流值为 0.049 A,是整个波形第二峰值。

4) 阶段 IV:刀闸动静触头完全脱离后,电机电力仅参与刀闸自重的重力势能转化,电流值下降,直至分闸到位后行程开关跳断电机主回路,未出现或未录到反向电动势。

本项目通过后台软件对以上 9 个阶段进行特征值的锐化提取,可明确分辨出隔离开关动作过程是否存在无负载空载、过负载、刀闸卡滞、机械部件阻滞、传动力臂异常阻尼、分合不到位和制动器抱死等各种故障或潜在故障。该套设备通过不断自学习丰富波形数据库,建立不同型号隔离开关的特征模型,可甄别出大量隔离开关运作过程中的隐患量变,能及时报警提示人工介入,避免了量变积累转化为系统性故障的质变结果。这样就大幅度地提升了接触网隔离开关动作的可靠性。

### 4 结语

我国城市轨道交通大发展已有数十年,包括接触网隔离开关等在内的重要组成部件已走过了引进、吸收和国产化的全过程。设备设施的保障工作也从计划性维护向状态性维护转变。本文提及的地铁接触网隔离开关直传动电机监控装置的设计与应用,仅供同业者研讨和交流。

### 参考文献

- [1] 刘昱,王向阳,郑禄锋,等. 提高接触网远动隔离开关监控可靠性的探究[J]. 电气铁道, 2020, 31(增刊 2): 250.  
LIU Yu, WANG Xiangyang, ZHENG Lufeng, et al. Discussion on improving the monitoring reliability of catenary telecontrol disconnector[J]. Electric Railway, 2020, 31(S2): 250.
- [2] 鄢羽,任振强,康学剑,等. 一种隔离开关的可视化监测装置[R]. 广州:广州地铁集团有限公司, 2019.  
Yan Yu, Ren Zhenqiang, KANG Xuejian, et al. A visual monitoring device for isolation switches[R]. Guangzhou: Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 2019.

(收稿日期:2021-02-20)