

黄毅¹ 黄岳²

(1. 西门子交通技术(北京)有限公司株洲分公司, 412001, 株洲;

2. 广东粤电茂名新能源有限公司, 525099, 茂名//第一作者, 工程师)

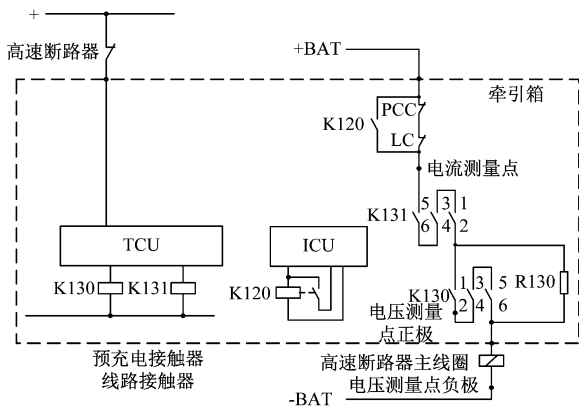
DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.07.042

HUANG Yi, HUANG Yue

First-author's address Siemens Mobility Technologies
(Beijing) Co., Ltd. Zhuzhou Branch, 412001, Zhuzhou, China

1.1 高速断路器控制原理

宁波地铁 1 号线列车采用西门子牵引传动系统。该系统是基于 SIBAS32 平台来实现的,高速断路器的控制功能大部分是通过软件实现的。在列车激活、司机室占用及受电弓升起的条件下,列车的 ICU(牵引逆变器)进行自检,检查高速断路器、LC(线路接触器)和 PCC(预充电接触器)的状态。高速断路器的控制原理如图 1 所示。



注:TCU——牵引控制单元;BAT——蓄电池。

图 1 高速断路器控制原理图

如图 1 所示,在与接触网断开的情况下,LC 和 PCC 的常闭触头保持闭合。如果运行正常,经济电阻的旁路接触器 K130 闭合,将限流经济电阻旁路,高速断路器在大电流激励延时闭合。当 TCU 收到

高速断路器闭合的反馈信号,K130 将断开。此时经济电阻将持续串联到高速断路器回路,高速断路器线圈通过小电流保持主触头吸合状态,从而减少高速断路器线圈的功率损耗。

当 TCU 接收到 ICU 高速断路器闭合的反馈信号后,TCU 将控制 ICU 闭合接触器(K120)。这时 TCU 控制 ICU 闭合 PCC,将牵引系统连接到接触网。

ICU 持续监视预充电进程。在中间环路预充电结束后 ICU 将控制闭合 LC,并打开 PCC,整个牵引系统上电初始化完成。

1.2 高速断路器应用说明

根据高速断路器的用户手册,高速断路器线圈闭合电流满足范围为 $4.1 \sim 12.9 \text{ A}$,脉冲持续时间为 $0.5 \sim 1.0 \text{ s}$ 。

如图 2 所示,高速断路器线圈的工作原理为:

1) 时刻 A:闭合脉冲起始时刻,此时继电器 F、G 闭合,线圈 H 获得闭合脉冲。

2) 时段 B:闭合脉冲 $0.5 \sim 1.0 \text{ s}$,高速断路器在该闭合电流下稳定吸合。

3) 时刻 C:保持电流起点。当收到高速断路器稳定吸合,接触器 G 打开。

4) 时段 D:线圈 H 获得电阻限制后的保持电流,该保持电流为闭合电流的 5%。

5) 时刻 E:当高速断路器需要分断情况下,接触器 F 打开,切断保持电流。

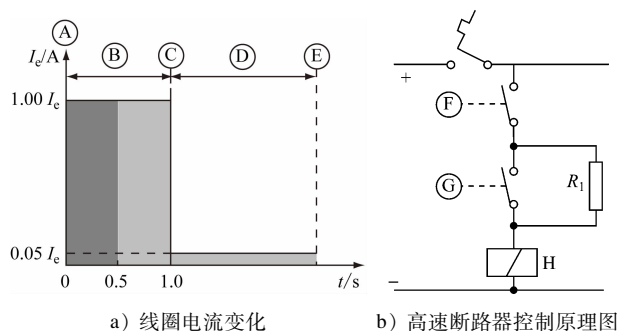


图 2 高速断路器线圈工作原理

1.3 K130 接触器的选型依据

根据功能设计和负载需求,K130 的选型依据如下:①主触点为 3 对常开触点;②主触点额定电压为 110 V DC ;③主触点可承受的电流最大值为 12.9 A 。

K130 主触头应用于高速断路器线圈电路直流感性负载,3 对主触点串联的最大直流工作电流为

15.0 A ,通过高速断路器线圈的电流值范围为 $4.1 \sim 12.9 \text{ A}$ 。此电流值范围在接触器允许的电流范围内,满足技术要求。

在高速断路器主触头的正常闭合过程中,K130 采用 3 对主触头串联的形式切断和连接高速断路器线圈负载。在断开负载时,将高速断路器线圈磁场能量变化引起的高能电弧分断为 3 段进行灭弧,增大电弧抑制能力,提高其直流分断能力,降低触头的磨损程度,延长触点寿命。

在正常的牵引箱内,对 K130 主触点的电压、电流进行实测,测量点见图 1。在高断闭合稳定后,吸合时测量点的电压约为 125 V 。K130 主触头闭合后负载稳定电流约为 8.0 A 。

2 高速断路器故障原因及其解决措施

2.1 高速断路器故障原因分析

在宁波地铁 1 号线列车的实际运行期间,发生了多起高速断路器在获得闭合命令后无法闭合主触头的情况,进而引起牵引故障。经深入调查后发现,发生故障的同时出现了 K130 主触头发黑现象,分析具体原因如下:

1) 经调查,在故障车辆的控制软件中,TCU 接收到高速断路器闭合反馈后延迟 100 ms 断开 K130。基于高速断路器的技术要求,线圈得电持续时间达到 $0.5 \sim 1.0 \text{ s}$ 后,主触头方可稳定吸合。若小于此时间要求,则存在合闸不到位、主触头吸合压力偏小进而导致高速断路器主触头不能正常吸合的风险。经现场实测,该高速断路器线圈大电流加载时间约为 385 ms ,不能满足线圈得电主触头稳定吸合所需的时间要求,故在高速断路器闭合指令发出后,高速断路器吸合不稳定,从而引发了牵引故障。

2) 从接触器应用方面分析,主触头在不影响功能情况下的发黑属于正常现象。若发生熔焊导致主触头在吸合状态下不能正常分断,可以归结为此接触器非常规应用或负载电流超限。在实际应用中,高速断路器线圈作为 K130 主触头负载,在主触头接通或断开回路时发生的电流浪涌及电流冲击,由此产生的空气电离电弧烧蚀主触头,使接触面氧化发黑。主触头接触面在多次的断开操作中形成恶性循环,导致接触电阻变大,进而导致接触面温度过高。当接触电阻增大至一定数值后将造成分压过大,导致高速断路器主触头不能正常吸合或需

要多次发出吸合请求,最终导致牵引故障。

综合以上原因,高速断路器不能正常闭合的原因是 K130 闭合脉冲过短,小于高速断路器稳定吸合所需时间,以及 K130 主触头容量选型不当。TCU 控制系统软件设计中,因闭合脉冲时间过短,导致 K130 主触点在分断过程中由于不稳定电流和多次闭合后的恶性循环使电弧增强,主触头发生烧蚀发黑现象,影响了接触器的使用寿命。

2.2 高速断路器故障的解决措施

2.2.1 更换 K130 接触器型号

选用工作电流更大的接触器,对接触器采用降容应用。建议选用主触头工作电流为 20 A 的接触器。主触头容量增大,一方面可增加主触头在闭合状态的接触面积,在分断瞬间可降低单位面积上受到的能量冲击,降低拉弧能量;另一方面,可防止主触头发生熔焊故障,有效避免主触头发黑现象,确保接触器使用寿命。

2.2.2 升级 TCU 软件

考虑到更换接触器成本和工期的因素,还可尝试升级软件来解决高速断路器闭合故障。高速断路器的闭合和保持控制逻辑属 TCU 软件设计功能。通过升级 TCU 软件,增加高速断路器线圈得电持续时间,以达到高速断路器主触头吸合稳定状态。经

测算,软件升级后线圈得电时间平均值约为 778 ms。与软件更新前相比,线圈得电时间增加了 393 ms,满足了高速断路器主触头线圈得电时间 0.5 ~ 1.0 s 的要求,避免了主触头在接收闭合命令后不能正常吸合的风险。

3 结语

通过优化 TCU 控制系统软件,将经济电阻旁路接触器 K130 的断开延时参数由原来的 100 ms 调整为 500 ms。目前该措施已应用到宁波地铁 1 号线的列车上。经过实践证明,修改延时时间后,有效解决了该线列车高速断路器闭合故障和 K130 主触头发黑现象,同时避免了更换 K130 接触器带来的成本和工期压力,这对今后处理此类列车故障具有一定的参考和指导意义。

参考文献

- [1] Secheron S A. Secheron instructions manual DC high speed circuit-breaker UR 6[R]. Geneva: Secheron,2006.
- [2] Simens Mobility Technologies (Beijing) Co., Ltd. SIEMENS functional description HSCB control[R]. Zhuzhou: Simens Mobility Technologies (Beijing) Co., Ltd., 2011.

(收稿日期:2019-06-28)

(上接第 189 页)

参考文献

- [1] 曹建猷. 电气化铁道牵引供电系统[M]. 北京:中国铁道出版社,1983:1.
- [2] 李群湛. 新一代牵引供电系统及其关键技术[J]. 西南交通大学学报,2014(4):559.
- [3] 李群湛. 城市轨道交通交流牵引供电系统及其关键技术[J]. 西南交通大学学报,2015(2):199.
- [4] 李群湛,贺建闻. 牵引供电系统分析[M]. 成都:西南交通大学出版社,2007:243.
- [5] 李群湛,解绍锋,张丽,等. 电气化铁路供电系统及其电能质量控制技术[M]. 北京:中国电力出版社,2015:103.
- [6] 鲍英豪. 全并联 AT 供电系统馈线保护与故障测距方案研究

[D]. 成都:西南交通大学,2008.

- [7] 崔召华. 高速铁路牵引网分段测控系统研究与试验分析[D]. 成都:西南交通大学,2017.
- [8] 王旭光,李群湛,陈民武,等. 高速铁路全并联 AT 牵引网状态测控方案与仿真分析[J]. 电力系统保护与控制,2016(1):128.
- [9] 赵晴晴. 牵引网分段供电分布式保护与故障定位研究[D]. 成都:西南交通大学,2016.
- [10] 梁泽川. 电气化铁路牵引网分区段供电与测控方法研究[D]. 成都:西南交通大学,2015.
- [11] 彭晨. 高速铁路 AT 牵引供电系统的保护配置与整定[D]. 成都:西南交通大学,2009.

(收稿日期:2019-06-17)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn