

[微动开关]

基于失效案例分析的双断点微动开关在真空断路器的应用研究

文/廖灿茹
厦门华电开关有限公司

以LXW20-11M微动开关为例，分析双断点微动开关在高压真空断路器产品开发及应用过程中出现的两种失效类型。结合触头控制开关元件特性与真空断路器工作原理，采用试验法分别对两种失效类型进行原因分析并提出解决方案。可为分析解决双断点触头结构微动开关应用中存在的技术风险提供参考。

微动开关是具有速动操动系统及微小间隙的控制开关元件，用来控制开关设备或控制设备的操作。LXW20-11M为双断点触头开关元件，带磁吹灭弧，体积小，转换灵敏，应用于高压真空断路器电磁铁及储能电动机的控制及信号转换。在真空断路器产品开发及应用过程中，出现过不同类型微动开关烧蚀导致产品功能失效的案例。通过对不同失效类型进行总结并分析失效原因，有效解决故障问题，对提高真空断路器产品可靠性具有重要意义。

研究背景

高压真空断路器为弹簧储能操动机构，选用上海飞力LXW20-11M微动开关作为储能信号转换元件，触头类型为Za型，主要技术参数见表1。断路器标准配置有三组储能微动开关，即S1:11-12/13-14、S1:21-22/23-24及S1:31-32/33-34，选用3个LXW20-11M微动开关并排安装。

1. 微动开关应用方式

储能微动开关S1:13-14工作于真空断路器合闸回路。当合闸条件满足，即弹簧已储能（S1:13-14触头接通）、断路器处于分闸状态（S3:53-54触头接通）时，合闸回路得到外部合闸命令带电后，合

闸脱扣器Y3铁心动作，推动合闸半轴转动，实现断路器合闸并带动合分闸辅助开关S3、储能微动开关S1完成触头位置转换。S1:21-22、S1:31-32分别串接于储能电动机电源两侧形成回路双断点，储能弹簧能量释放（即S1:21-22、S1:31-32闭合）后，两组触头接通，储能电动机回路带电完成弹簧储能操作。此外，储能微动开关其余转换触头S1:23-24/S1:33-34/S1:11-12分别接到航空插端子，供断路器外部控制、信号回路使用。真空断路器合闸与储能回路电气原理图如图1所示，机械传动结构示意图如图2所示。

表1 LXW20-11M微动开关特性参数

项目	技术参数				
使用类别	AC-12	AC-15	DC-12	DC-13	
额定绝缘电压 U_i/V	AC 380				
约定发热电流 I_{th}/A	16				
额定工作电压 U_e/V	AC 380	AC 400	DC 250	DC 220	DC 48
额定工作电流 I_e/A	16	3	5	1.2	6
机械寿命/万次	≥30				
电气寿命/万次	≥10				
使用环境温度/℃	-25~85				

资料来源：上海飞力LXW20产品手册（2021年）。

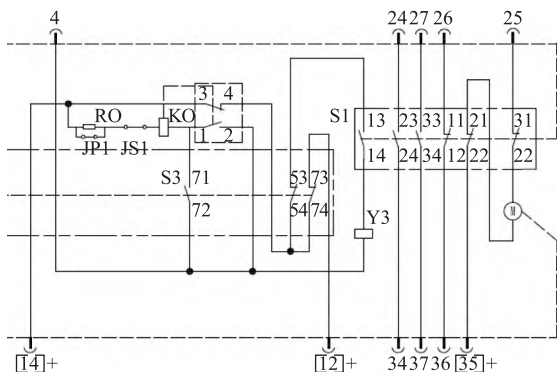


图1 真空断路器合闸与储能回路电气原理图

S1—储能微动开关 S3—断路器主触头分闸辅助开关 Y3—合闸脱扣器 M—储能电动机 KO—防跳继电器

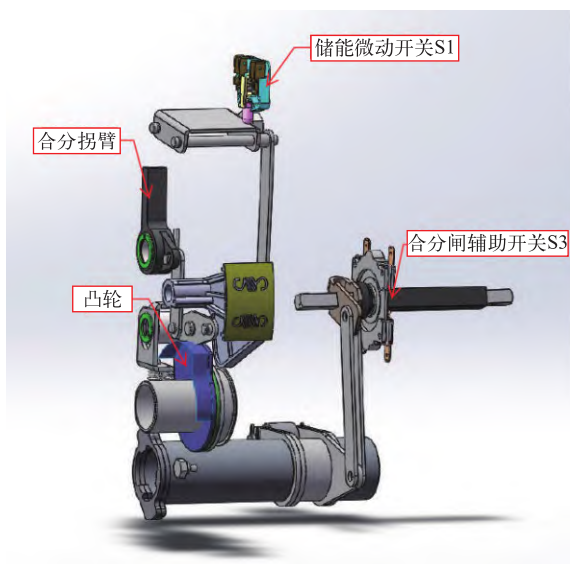


图2 真空断路器合闸与储能机械传动示意图

2. 微动开关失效类型

在真空断路器的开发与应用过程中，三组储能微动开关均出现过触头烧蚀故障。在真空断路器内部控制回路中，储能微动开关触头信号分别应用于合闸回路与储能电动机回路。根据回路应用不同，对储能微动开关S1历史失效案例进行归纳统计，主要失效类型可以分为两种。

第一种失效类型为断路器合闸回路微动开关失效。具体失效现象为电动合闸时，第1组微动开关触头烧损，部分未及时切断控制电源的故障案例中，出现白烟或有刺鼻气味，伴随合闸线圈烧损或断路器跳闸。微动开关触头烧蚀内外部状态如图3所示。

第二种失效类型为断路器储能回路微动开关失效。具体失效现象为断路器储能完成或能量释放

后，第2组或第3组触头烧损，储能电动机失电无法完成弹簧储能操作，外部控制信号回路无法采集到准确的储能信号。微动开关内部烧蚀状态与第一种失效类型相同。



(a) 外部



(b) 内部

图3 微动开关触头烧蚀内外部状态

合闸回路失效

1. 失效原因分析

将故障组微动开关转换触头工作的两个回路简化，合闸微动开关触头简化回路如图4所示。S1:13-14所在合闸回路负载为合闸电磁铁Y3（负载类型DC-13），额定工作电流为1.1 A。转换触头S1:11-12工作于外部信号指示回路，回路负载为普通LED指示灯或微机信号采集装置等。使用示波器采集S1:11/13两端的工作电流，回路间工作电流接近1.2 A，尖端最大电流为1.36 A。

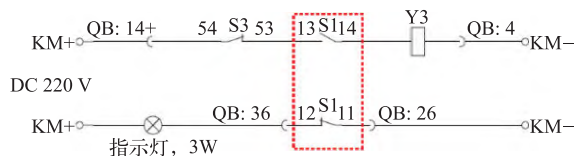


图4 合闸微动开关触头简化回路图

由表1可知，在DC-13的使用类别中，LXW20-11M额定工作电流为1.2 A，S3:13-14实际工作电流接近于微动开关极限负载电流开断能力。当转换触头同时使用时，参照微动开关Za型触头结构，合闸时动触头从静触头13-14离开，两组静触头间间隙（1.2~1.4 mm）无法满足熄弧间隙要求，电弧熄灭之前动触头与静触头11-12接通，电弧通过动触头进入下一回路，两个回路之间通过电弧短路，从而烧蚀微动开关触头。

2. 解决方案

(1) 方案1：增加微动开关

由失效原因分析可知，微动开关的开断负载能

力无法满足两组触头同时使用，增加一个微动开关，两路负载分别通过两个微动开关工作，即可满足两个回路开断要求，消除两个回路电弧短路故障。

在三台出现过故障的真空断路器中，采用增加微动开关的方案后，每台断路器进行30次以上的合闸操作，故障消除。

(2) 方案2：调整回路开关元件动作时序

进一步分析合闸回路工作原理，回路中共串联S1、S3两种开关元件（见图1），对比S1（额定工作电流为1.2 A）与S3（额定工作电流为3 A）的开断能力可知，S3更适合作为主令元件，由S3承担开断合闸回路电流的任务，更符合两种开关元件的功能特性。因此，进一步开展操动机构中S1、S3动作时序的试验分析。

随机选取一台真空断路器，用普通锂电池、LED指示灯搭接外部辅助回路，如图5所示。示波器通道一（上）采集S1转换触头两端电压信号（反向），通道三（下）采集S3转换触头两端电压信号（反向），电压信号下降时间即为S1、S3触头转换时间。通过示波器同一时间轴上两个通道电压波形的对比，可以确定S1、S3触头切换时序及动作时间差。采集波形如图6所示，合分闸辅助开关S3触头转换时间约为8 ms，储能微动开关S1触头转换时间约为3.5 ms，S3动作约3 ms后S1开始动作。

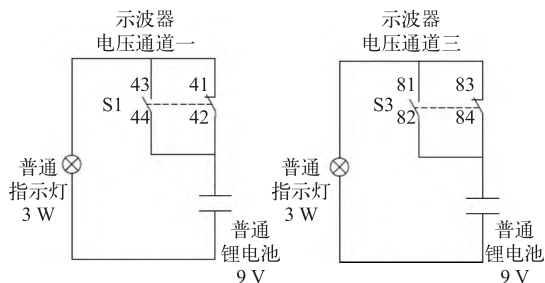


图5 时序试验外部辅助回路图



图6 S1、S3触头切换时序电压波形图

结合合闸回路电流波形与触头切换时序波形可知，合闸回路负载电流（1.1 A）由S1:13-14、S3:53-54共同开断。分析S1与S3机构传动结构（见图2）可知，通过调整凸轮角度可以改变S1、S3动作时序。设计多种角度凸轮如图7所示，采用同样的试验方法，将S1动作时间往前推移直至先于S3动作。经过试验结果对比分析可知，当S1相对于S3动作越早（即S1作为主令元件开断合闸电流），S1触头短路烧蚀的故障概率越高。同理，动作时间越晚（即S3作为主令元件开断合闸电流），S1故障概率越低。

综上分析，在现有微动开关特性不变的前提下，选取适当的凸轮角度，通过调整S1、S3动作时序，由S3作为主令元件完成合闸回路电流的开断，S1:13-14仅实现回路接通/断开功能，可降低S1触头烧蚀导致合闸失效的故障概率。

经过试验测试，选用图7中2号凸轮，调整动作时序后的电压波形如图8所示，S3触头转换完成（合闸回路电流下降为0）后，S1触头开始转换。

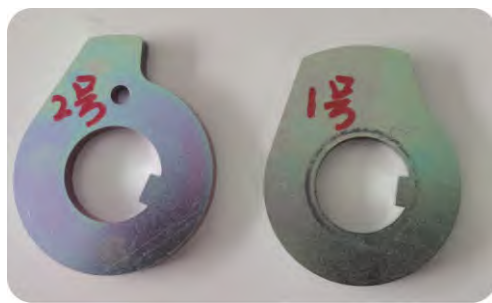


图7 不同角度凸轮示例



图8 调整时序后电压波形

储能回路失效

1. 失效原因分析

根据GB/T 14048.5—2017《低压开关设备和控

制设备 第5-1部分：控制电路电器和开关元件 机电式控制电路电器》的定义，微动开关的双断点触头类型是具有四个端子的转换触头元件，触头类型分为Za型与Zb型。其中，Za型触头具有相同极性，两组触头的静触头间通过同一个动触头进行转换；Zb型触头具有两个动触头，两个动触头在电气上分开。

储能回路微动开关触头简化回路如图9所示。其中，S1:21-22/S1:31-32用于控制储能电动机（工作电源DC 220 V），S1:23-24/S1:33-34应用于外部控制/信号回路（工作电源AC 220 V），两个回路电源相位不同，不符合Za型触头元件对电源极性的要求。

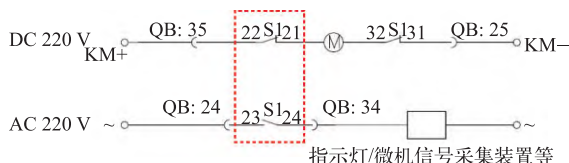


图9 储能回路微动开关触头简化回路

2. 解决方案

(1) 方案1：增加微动开关

当两个回路要求不同的电源极性时，Za型转换触头不能同时应用于两个回路。所以，增加一个微动开关用于外部回路，即可消除故障。

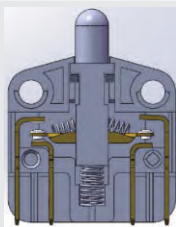
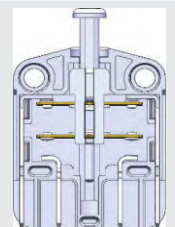
经过试验验证，增加一个微动开关，取消S1:23-24负载后，储能电动机电源回路（直流）与外部信号回路（交流）均能正常工作。

(2) 方案2：选用Zb型触头结构微动开关

由标准可知，当两个回路要求不同的电源极性时，宜选择Zb型触头元件。高压真空断路器中微动开关常闭触头固化用于储能电动机回路，而常开触头为备用，常开触头负载极性取决于外部回路设计。在真空断路器产品实际应用过程中，不同用户及不同场景下，各个回路电源设计有所差异，在无法保证转换触头所应用的外部回路电源与储能回路电源相位一致时，选用Zb型触头元件能一定程度上提高产品适用范围，有效降低反极性导致的储能回路故障概率。

选取同一厂家生产的LXW20C-11M微动开关（Zb型触头）进行对比试验，结果见表2。在不改变其他条件下，将LXW20-11M更换为LXW20C-11M后，故障消除。

表2 不同触头结构微动开关对比

型号	LXW20-11M	LXW20C-11M
结构	 Za型	 Zb型加大开距
主要电性能参数 (DC 负载)	U_i :400 V I_m :16 A DC-12 250 V 5 A DC-13 220 V 1.2 A	U_i :400 V I_m :16 A DC-12 250 V 5 A DC-13 220 V 2 A
试验结果	存在故障风险	故障消除
优缺点分析	体积小，成本低，适用范围较小	安装空间要求较高，成本较高，适用范围较大

结束语

基于中压真空断路器在产品开发与应用过程中双断点微动开关发生过的两类主要的功能失效案例分析，结合产品工作原理与触头开关元件特性要求，通过分析及试验研究，总结出合闸回路及储能回路微动开关功能失效原因，提出解决方案并通过试验验证。通过试验方法论证了中压真空断路器在选用双断点微动开关实现设备的控制时，需根据特性考虑功能回路中相配合的开关元件动作时序及不同类型双断点微动开关触头极性要求。EA

（收稿日期：2022-12-12）

参考文献

- [1] 低压开关设备和控制设备：GB/T 14048.5—2017[S].
- [2] 杨光. 真空断路器动热稳定试验分析及电动斥力仿真计算[J]. 电气应用, 2020, 39(5): 44-47.
- [3] 鲍鹏飞, 李晓明, 范文魁, 等. 干式变压器新型有载分接开关[J]. 电气应用, 2020, 39(1): 82-87.
- [4] 王昱婷, 郑馨怡, 马斌. 110 kV断路器控制回路存在问题分析及改造[J]. 电气应用, 2021, 40(11): 50-55.
- [5] 冯迎春, 杨晓滨, 任众楷. 基于故障录波的交流断路器燃弧故障检测方法有效性评估[J]. 电气应用, 2021, 40(7): 93-97.