

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2015.03.024

UR36/40M型直流断路器低电压分闸试验不合格解析

王义平¹, 梁汉城²

(1. 广州华润热电有限公司, 广州 511455; 2. 广东电网公司电力科学研究院, 广州 510080)

摘要: UR36/40M型直流断路器在国内较多大中型电厂用作发电机灭磁开关。从该型直流断路器分闸控制回路的电路元件选型设计和实际试验数据分析, 得出其主分闸线圈额定动作电压的设计值为 $13.8\%U_e$ (U_e 为额定电压)的结论, 且在最低分闸电压试验中存在实际动作电压低至 $9.3\%U_e$ 的情况, 不符合中国GB 50150—2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》和DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》中小于 $30\%U_e$ 时不应分闸的规定, 并对UR36/40M型直流断路器在国内电厂试验中可能出现的误区进行说明。

关键词: UR36/40M型直流断路器; 灭磁开关; 低电压分闸; 机械特性; 电气试验

Analysis of Failure in Low-voltage Tripping Electric Test of UR36/40M DC Circuit Breaker

WANG Yiping¹, LIANG Hancheng²

(1. Guangzhou CR Thermal Power Co., Ltd., Guangzhou 511455, China;

2. Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510080, China)

Abstract: The DC circuit breaker with type of UR36/40M is mainly used in large-size and medium-size power plants. Through the analysis of the elements in the control circuit and test data, it is obtained that the design value of the rated action voltage of the main opening coil is $13.8\% U_e$ (U_e is the rated voltage). But the real action voltage would be low down to $9.3\% U_e$ in the minimum opening voltage test, which does not meet the specified value of $30\% U_e$ in GB 50150—2006 *Commission test of electric equipment installation engineering* and DL/T 596—1991 *Preventative test specification for electric equipment* in China. Some man-made mistakes are described in mechanical characteristic test.

Key words: UR36/40M DC breaker; magnetic blow-out breaker; low-voltage tripping; mechanical characteristic; electrical test

0 引言

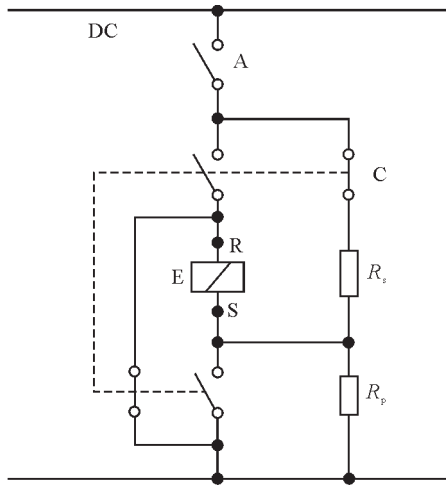
低电压合、分闸动作特性试验是高压断路器的一项重要试验项目。IEC 60694—2002《common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards》中对并联分闸脱扣器规定在额定电源电压的70%到110%(直流)之间应能正确动作, 未对低电压分闸电压范围进行规定^[1]。而在GB 50150—2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》、DL/T 593—2006《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》和DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》中规定在额定电源电压的65%到110%(直流)之间应能正确动作, 同时规定电源电压小于

30%的额定电源电压时, 并联分闸脱扣器均不应分闸脱扣^[2-4]。

1 UR36/40M型直流断路器简介

UR36/40M型直流断路器是单极、带灭弧罩、自然冷却的直流高速限流空气断路器。该型直流断路器合闸线圈和主分闸线圈分时公用, 并配置副分闸线圈。灭磁开关的合闸采用永磁保持原理, 合闸回路和主分闸回路的控制原理见图1, 正常合、分闸操作时, 公用线圈E分别正、反向带电并触发动作^[5]。

灭磁开关是发电机励磁系统的重要部件, 对机组安全运行有非常重要的作用。UR36/40M型直流断路器应用在国内多家大中型火、水电厂机组励磁系统, 而励磁系统的直流控制电源电压等级一般为



A—合、分操作允许接点; C—转换开关;
E—合、分闸公用线圈; R_s —跳闸回路串联电阻;
 R_p —跳闸回路并联电阻。

图 1 UR36/40M 型断路器合、分闸接线图

Fig. 1 Closing and tripping wiring diagram, type UR36/40M

110 V 或 220 V。UR36/40M 型直流断路器生产厂家对这两个电压等级的断路器控制回路元件的推荐

参数见表 1^[5]。

对于分合闸操作中线圈的电源控制,生产厂家提供的电流参数值见图 2。合闸操作时电流脉冲时间 0.5~1.0 s;分闸操作时,对合闸线圈施加一个反极性的脉冲电流,脉冲持续时间为 0.5~1.0 s,电流大小为合闸电流的 20%^[5]。

图 2 中:合闸电流脉冲时间 0.5~1.0 s;分闸电流脉冲时间 0.5~1.0 s;脉冲幅值为合闸电流的 20%。

2 UR36/40M 型直流断路器分闸设计特点分析

在 GB 50150—2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》和 DL/T 596—1996《电气设备预防性试验规程》中,对自动灭磁开关低电压分闸性能均有直流分闸电磁铁在其线圈端钮处测得的电压小于额定值的 30%时不应分闸的规定^[2-4]。UR36/40M 型直流断路器在分闸时,厂家推荐的额定分闸电流值为 20% I_c (额定合闸电流值),将图 1 中 UR36/40M 型直流断路器的控制回路拟合成电路,见图 3。

表 1 合闸线圈特性参数

Table 1 Closing coil characteristics

线圈参数					分闸 (脉冲:1~2 s)				
U_n/V	R_l/Ω	U_{min}/V	U_{max}/V	I_n/A	R_s/Ω	I_c/A	I_{min}/A	I_{max}/A	R_p/Ω
110	9.4(1±8%)	77.0	137.5	11.70	40	1.61	1.01	2.26	20
220	37.6(1±8%)	154.0	275.0	5.85	160	0.81	0.50	1.13	80

注:电阻值参考温度为 20 ℃; R_s 、 R_p 允许误差为±10%。

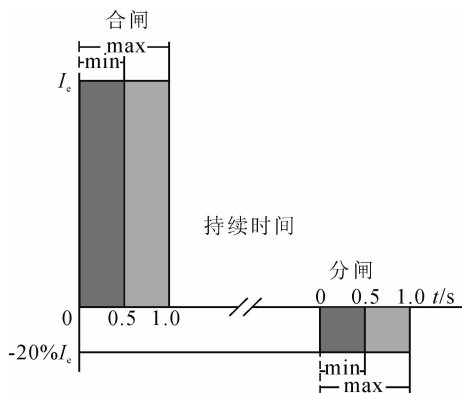
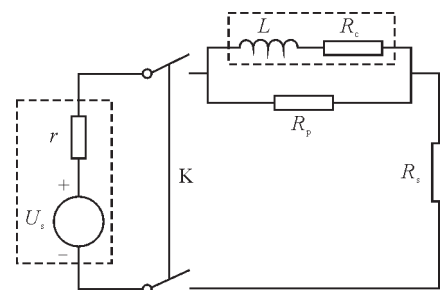


图 2 合、分闸电流脉冲特性图

Fig. 2 Closing and tripping current pulse characteristics

根据表 1 中厂家推荐分闸回路中串、并联 R_s 、 R_p 的阻值,在 UR36/40M 型直流断路器分闸控制回路中,主分闸线圈的稳态阻抗(忽略线圈的感抗)与控制回路总阻抗的比例见表 2。

直流稳态回路的电压分布基本与阻抗分布一致。从表 2 中可以看出:无论 110 V 还是 220 V 控制电源,UR36/40M 型直流断路器主分闸线圈设计



U_s 、 r 分别为分闸回路直流电源和内阻;
 L 、 R_c 分别为分闸线圈等效电阻和电感;
K 为分闸操作输出开关。

图 3 分闸控制回路等效电路图

Fig. 3 Equivalent circuit diagram of tripping operation

表 2 分闸线圈和控制回路阻抗比例

Table 2 Percentage of tripping coil resistance value

电压等级/V	分闸线圈阻抗/ Ω	主分闸回路总阻抗/ Ω	阻抗值百分比/%
110	9.4	46.4	13.8
220	37.6	185.6	13.8

动作电压为控制电源电压的 13.8%,这不符合中国现行规程中小于 30%额定电压时不应分闸的要求。

3 UR36/40M 型断路器低电压分闸实际情况

在多家电厂机组灭磁开关交接和预防性试验中,发现 UR36/40M 型直流断路器主分闸线圈电压小于 $30\%U_e$ 也能可靠分闸的情况^[6-11]。以广东某 2×300 MW 热电厂(简称润州 B 厂)和四川某 6×550 MW 水电厂为例,两家电厂灭磁开关参数(部分)见表 3。

表 3 两家电厂灭磁开关参数表

Table 3 Parameters of magnetic blow-out breakers in two stations

电厂名称	灭磁开关型号	直流控制电源额定电压/V	R_p 阻值/ Ω	R_s 阻值/ Ω
润州 B 厂	UR36M-64S	110	20	40
某 6×550 MW 水电厂	UR40M-64S	220	80	160

润州 B 厂 1、2 号机组分别在 2013 年 3 月和 10 月份停机检修,试验人员在 2 台灭磁开关进行预防性试验中均发现主分闸回路低电压分闸性能不符合规程要求,试验期间对主分闸回路的试验电压进行录波,见图 4。其中开关特性测试仪器型号为 GKC-H,仪器输出设置为电压 110 V、时间 1 s,录波仪器采样频率设置为 2 kHz。

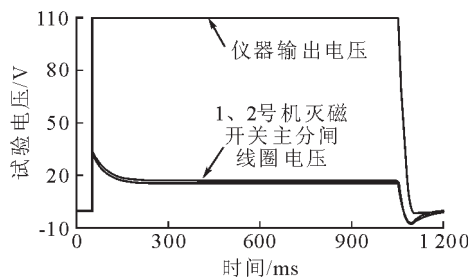


图 4 润州 B 厂 1、2 号机灭磁开关分闸电压波形
Fig. 4 Voltage waveforms of tripping operation for No.1,2 breaker in Runzhou B station

从图 4 中录波仪器显示:试验过程中仪器输出电压基本稳定为直流 110 V,两台灭磁开关主分闸线圈两侧的稳态电压分别为 15.1、15.7 V,与控制电源额定电压比例分别为 13.7%、14.3%,这与表 2 中稳态电压设计值 $13.8\%U_e$ 基本符合,但低于现行规程中不小于 $30\%U_e$ (即 33 V)的要求。为进一步确认灭磁开关实际最低动作电压特性,试验人员对 1、2 号机灭磁开关进行了多次测试,其中 2 台开关的合闸电压性能均能满足 $30\%U_e$ 可靠不动作、 $80\%U_e$ 可靠动作的要求,在低电压分闸试验中,试验仪器输出电压降低至 $65\%U_e$ (71.5 V)时均能可靠分闸,但将试验仪器输出电压继续降低至 $30\%U_e$ (33 V)时,2 号机灭磁开关仍能分闸,此时主分闸线圈最高电压为

10.2 V(由于时间和电压的因素,此时线圈的感抗不能忽略),与线圈额定电压的比例为 9.3%,其试验电压波形见图 5。

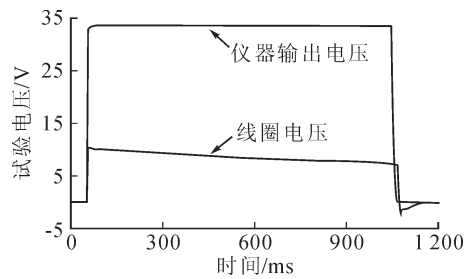


图 5 润州 B 厂 2 号机灭磁开关低电压分闸电压波形
Fig. 5 Voltage waveforms of low-voltage tripping test for No.2 breaker in Runzhou B station

四川某 6×550 MW 水电厂 6 台机组使用 UNITROL 5000 励磁系统,灭磁开关型号为 UR40M-64S,直流控制电源为 220 V,见表 3,2012 年度 4 号机检修时其分闸试验数据(部分)见表 4。

表 4 4 号机灭磁开关分闸试验数据

Table 4 Test data of No.4 breaker in low-voltage tripping test

试验对象	试验电压/V	占额定电压比例/%	分闸时间/ms
主分闸	30.0	13.6	77.2
线圈	32.0	14.5	71.8
	66.0	30.0	39.8

4 UR36/40M 型断路器现场试验的误区

无论从厂家设计还是现场应用的实际情况,UR36/40M 系列直流断路器均不能满足现行规程要求,但该类型断路器在国内很多电厂有应用,在设备安装交接验收时,如何通过《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》中小于 $30\%U_e$ 额定电压时不应分闸的试验要求,已无法查证。现从查阅的部分资料中,对现场试验可能存在的几个误区进行说明。

4.1 试验仪器容量偏小

当前各种开关特性测试仪已经普及,试验人员可方便调节输出电压进行试验,并记录试验仪器显示数据。开关的分合闸操作试验是一种短时、相对较大电流试验,电流大小与试验电压和回路阻抗有关。试验仪器设计为恒压源,但是在小阻抗、大电流回路中,试验仪器无法忽略自身内阻,见图 3 中的内阻 r ,所以在分合闸试验中,试验人员设置的输出电压,在仪器带负载的瞬间已经有所降低,以润州 B 厂 2 号机灭磁开关合闸试验为例,试验仪器输出电压设置为 110 V,回路负载电阻 6.4Ω (见表 1,线圈忽略感抗与回路电阻并联),试验仪器空载输出和合

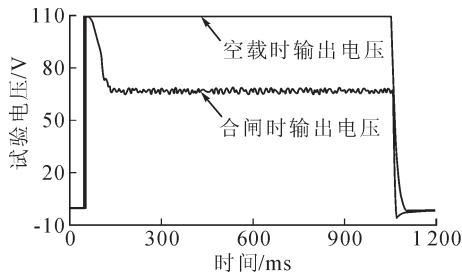


图 6 GKC-H 开关特性测试仪空载和负载试验电压波形图

Fig. 6 Voltage waveforms of no-load and load for GKC-H switch characteristic tester

闸操作时的电压波形见图 6。

图 6 中合闸操作时的试验仪器稳态输出电压为 68 V, 与设置输出电压 110 V 相比, 压降达到 32 V。大中型发电厂直流控制电源来自 110 V 和 220 V 的蓄电池组, 其容量较大且带有充电装置。对于单台灭磁开关操作时的电流, 蓄电池组的内阻基本可以忽略, 润州 B 厂 2 号机灭磁开关使用 600 A·h 容量的蓄电池组直流电源(带充电装置)进行合闸操作时的电压波形见图 7, 图 7 中直流系统电源电压为 116 V。

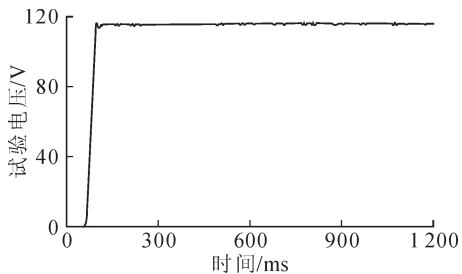


图 7 600 A·h 容量试验电源(带充电设备)合闸试验电压波形

Fig. 7 Voltage waveforms of 600 A·h power supply with charging device in closing test

文[12]中以葛洲坝换流站某 500 kV 断路器的试验为例, 开关测试仪型号为 TM1600/MA61, 分闸回路负载电阻为 57.4 Ω, 试验仪器设置输出为 110 V, 分闸操作时仪器输出电压仅为 98 V^[12], 因此试验仪器容量对试验电压数据有较大影响。

4.2 试验方法不妥当

润州 B 厂 2 号机灭磁开关的交接试验单位为湖南某火电建设公司调试部门, 时间为 2009 年 10 月, 分合闸试验报告数据(部分)见表 5^[13]。

使用继电保护测试仪测试最低动作电压是一种缓慢升高仪器输出电压直到开关动作的慢加电压法。大唐集团公司 2005 年和华北电网有限公司 2008 年都在其企业标准《电力设备交接和预防性试验规程》中均明确规定该试验“采用突然加压法”进行^[14-15]。文[16]中从断路器动作原理上分析慢加电压

表 5 润州 B 厂 2 号灭磁开关交接试验数据
Table 5 Hand over test data of No.2 breaker in Runzhou B station

操作类别	合闸	分闸(主回路)
最低动作电压/V	78.3	55.7
动作时间/ms	89.4	45.3

注: 试验仪器为 JBC-02 继电保护测试仪。

法测试最低动作电压的不合理性, 比开关特性测试仪器突加电压法测试得到的最低动作电压高^[16]。润州 B 厂 2 号机灭磁开关交接和预防性试验采用了两种试验方法得到的数据也证实了慢加电压法测试不合理。

4.3 试验漏项等其他原因

由于高压断路器低电压分闸特性不合格的情况比较少见, 该试验项目在现场往往被忽略, 这也导致部分 UR36/40M 系列直流断路器低电压分闸不合格问题未及时发现, 也存在少数未正确理解规程要求, 将 30% 额定电压施加于整个分闸回路试验而得出错误结论的情况, 还有少数试验审核不严的原因, 例如在 2009 年 9 月润州 B 厂 1 号机灭磁开关的交接试验中, 低电压分闸试验中其主分闸线圈 3 次动作电压均小于 30% U_c (33 V), 但试验仍然通过了审核^[17], 试验数据见表 6。

表 6 润州 B 厂 1 号机灭磁开关低电压分闸交接试验数据
Table 6 Hand over test data of No.1 breaker in Runzhou B station

操作类别	合闸	主线圈分闸
最低动作电压/V	50	29
试验次数	3	3
动作情况	可靠合闸	可靠分闸

注: 试验仪器为 GKC-B3 高压开关机械特性测试仪。

5 结语

UR36/40M 型直流断路器客观存在低电压分闸性能不满足中国现行规程要求的情况。中国规程中要求小于 30% 额定电压时断路器可靠不动作, 目的是防止直流系统接地、电磁干扰等情况下的误动作^[18]。对于配置小阻抗、大电流分合闸线圈的断路器, 现场试验时仪器内阻形成了压降, 导致其设置的输出电压与回路实际电压的偏差较大, 因此试验仪器的合理选择对试验结果的影响较大。目前 IEC 60694—2002 标准对断路器低电压分闸特性未作出明确规定^[1], 因此企业在引进国外断路器使用时, 应提出中国标准的相关要求。

参考文献:

- [1] IEC 60694—2002 Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards[S]. 2002.
- [2] GB 50150—2006 电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S]. 北京:中国计划出版社,2006.
GB 50150—2006 Electric equipment installation engineering standard for hand over test of electric equipment[S]. Beijing: China Planning Press, 2006.
- [3] DL/T 593—2006 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求[S]. 北京:中国质检出版社,2006.
DL/T 593—2006 Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards[S]. Beijing: China Zhijian Publishing House, 2006.
- [4] DL/T 596—1996 电气设备预防性试验规程[S]. 北京:中国电力出版社,1996.
DL/T 596—1996 Preventive test code for electric power equipment[S]. Beijing: China Power Press, 1996.
- [5] Secheron. High-speed DC circuit-breaker mounting and maintenance instructions[Z]. Version: C00 25.5, 2004.
- [6] 刘振东,段秦刚,陈茜. 光伏发电系统低电压穿越控制策略[J]. 陕西电力, 2013, 41(5):14-16.
LIU Zhendong, DUAN Qingang, CHEN Qian. The LVVRT control strategy of photovoltaic system[J]. Shaanxi Electric Power, 2013, 41(5):14-16.
- [7] 张富超,黄家栋. 基于关键线路识别的电力系统连锁故障风险评估模型[J]. 陕西电力, 2014, 42(8):55-58.
ZHANG Fuchao, HUANG Jiadong. Risk assessment model of cascading failures in power system based on identification of critical lines[J]. Shaanxi Electric Power, 2014, 42(8):55-58.
- [8] 欧阳旭东,柯春俊,杨贤,等. 变压器局部放电 UHF 传感器安装方式对检测灵敏度的影响理论分析[J]. 变压器, 2014, 51(5):56-58.
OUYANG Xudong, KE Chunjun, YANG Xian, et al. Theoretical analysis of impact to detection sensitivity for installation mode of UHF sensors in transformer PD test[J]. Transformer, 2014, 51(5):56-58.
- [9] 杨洁民,王振. 换流变绕组温度测量装置故障原因分析及测量装置原理介绍[J]. 变压器, 2014, 51(8):48-50.
YANG Jiemin, WANG Zhen. Reason analysis of measurement device for winding temperature of converter transformer and its principle introduction[J]. Transformer, 2014, 51(8):48-50.
- [10] 朱芳政,杨万格,肖其平. UR36 灭磁开关配套保护装置[J]. 湖南电力, 2004, 24(6):43-45.
ZHU Fangzheng, YANG Wange, XIAO Qiping. The matching protection device for UR36 field discharge switch[J]. Hunan Electric Power, 2004, 24(6):43-45.
- [11] 徐亮. UR 型磁场断路器检修试验及故障处理[C]/2012 年发电机励磁系统学术年会. 湖北:[s.n.], 2012:119-121.
XU Liang. Maintenance, test and fault treatment of the UR DC breaker[C]/2012 Academic Annual Conference of the Generator Excitation Systems. Hubei:[s.n.], 2012:119-121.
- [12] 郭贤珊,李仲夫. 试验电源在断路器机械特性试验中的影响[J]. 华中电力, 1999(2):15-17.
GUO Xianshan, LI Zhongfu. Influences of power source on circuit breaker testing[J]. Central China Electric Power, 1999(2):15-17.
- [13] 湖南火电建设公司. 润州 B 厂 2×300 MW 机组工程 2 机组发变组系统设备试验报告[R]. 长沙:湖南火电建设公司, 2009.
Hunan Provincial Thermal Power Construction Co. Hand over test report of No.2 unit in Runzhou B thermal power plant(2×300 MW)[R]. Changsha: Hunan Provincial Thermal Power Construction Co., 2009.
- [14] 中国大唐集团公司. Q/CDT 107 001—2005 电力设备交接和预防性试验规程[S]. 2005.
China Datang Corporation. Q/CDT 107 001—2005 Hand over and preventive test code of electric power equipment [S]. 2005.
- [15] 华北电网有限公司. Q/HBW 14701—2008 电力设备交接和预防性试验规程[S]. 2008.
North China Grid Company Limited. Q/HBW 14701—2008 Hand over and preventive test code of electric power equipment[S]. 2008.
- [16] 吴石书. 断路器最低动作电压测试方法的探讨[J]. 高电压技术, 2006, 32(1):119-120.
WU Shishu. Discussion on the testing method for the lowest tripping voltage of circuit breakers[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(1):119-120.
- [17] 广东火电工程总公司调试所. 润州 B 厂 2×300 MW 机组工程 1 机组交接试验报告[R]. 广州:广东火电工程总公司调试所, 2009.
Commission Institute of Guangdong Power Engineering Corporation. Hand over test report of No.1 unit in Runzhou B thermal power plant (2×300 MW) [R]. Guangzhou: Commission Institute of Guangdong Power Engineering Corporation, 2009.
- [18] 曹阳,高琳,周鹏. 断路器低电压分合闸测试方法探讨[J]. 山东电力技术, 2010(6):1-4.
CAO Yang, GAO Lin, ZHOU Peng. Discussion of low voltage test of circuit breaker[J]. Shandong Electric Power, 2010(6):1-4.

王义平(1982—),男,高级工程师,主要从事电厂电气设备技术管理工作。