

[断路器]

一种断路器三相不一致保护时间继电器校验方法

文/郭 巍
扬州供电公司

通过理论分析与试验验证，证明了基于机械特性测试仪的三相不一致保护整定时间校验方法具有可行性。提出了两种接线方式，可根据实际需要进行选择。该方法可对动作时间和最低动作电压进行校验，仪器参数设置均可参照真空断路器机械特性试验。

为保证电网可靠性，220 kV及以上电压等级一般采用分相操作的线路断路器。受运行工况、人为操作等因素影响，断路器可能出现断开一相或两相的情况，造成系统非全相运行，导致电气设备损坏、保护误动作和越级跳闸等严重后果。为避免此类事故的发生，220 kV及以上电压分相操作的断路器应附有三相不一致（非全相）保护回路。

为确保三相不一致保护可靠动作，对其动作时间有严格要求。GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》规定“三相不一致保护动作时间应为0.5~4.0 s可调，以躲开单相重合闸动作周期”。国家电网规定“断路器三相位置不一致保护的動作时间应与相关保护、重合闸时间相配合”。江苏省公司规定“500 kV、1 000 kV与线路有关的断路器统一取2.5 s；220 kV出线断路器：单相重合闸线路为线路单相重合闸时间+1 s，三相重合闸线路保护动作时间为0.6 s；220 kV电气联动的主变压器/母联/分段断路器的保护动作时间为0.6 s”。

目前，断路器三相不一致保护回路已较完善，基本消除了因回路设计、磁场干扰和环境等因素导致的误动作等隐患，出现的问题多由时间继电器所致。时间继电器作为断路器本体三相不一致保护的核心元件，受产品质量、运行环境和老化等因素影响，在运行中易出现动作延时与整定值不符的情

况，引起断路器误跳闸或重合闸失败。因此，检修人员通常会结合断路器例行检修工作，对三相不一致时间继电器动作时间进行校验。

常用校验方法

三相不一致保护对时间继电器的准确度有较高要求，DL/T 478—2013《继电保护和安全自动装置通用技术条件》规定“装置时间整定值的准确度不应大于1%或40 ms（满足一项即可）”。南方电网公司规定“断路器本体不一致保护采用的时间继电器质量良好，继电器时间刻度范围0~5 s内连续可调，刻度误差与时间整定值静态偏差不大于 ± 0.1 s”。

目前，三相不一致时间继电器的现场校验尚无统一的方法，常用的可概括为以下三种。

1) 人工计时。由检修人员手动启停秒表，继电器得电瞬间开始计时，触头动作瞬间停止。因整定时间一般仅2.0 s左右，计时人员反应时间对测量结果影响很大，因此该方法误差大，校验结果准确性低。对于时间特性试验，GB/T 7261—2008《继电保护和安全自动装置基本试验方法》曾规定“大于1 s时用电动秒表或数字秒表”，而GB/T 7261—2016中已将此条目删除。

2) 使用专用时间继电器测试仪器进行校验。该方法测量结果准确可靠，但需将继电器从回路中拆

下,增加了工作环节,工作效率低;拆装过程可能造成元件损坏、复线错误等。此外,该方法通常需在实验室进行,周期长、成本高,难以满足现场工作需求。

3) 通过故障录波器的记录计算动作时间。该方法操作简单,满足现场工作需求。但所测结果不是时间继电器的实际动作时间,而是时间继电器、出口继电器及断路器本体动作的总时间,误差较大。此外,若出口继电器或断路器本体动作异常,可能对校验结果准确性产生较大影响。

基于断路器机械特性测试仪的校验方法

机械特性试验是断路器常规检修项目,通过测量断路器分合闸时间、行程、速度和弹跳等特征量,实现对断路器状态的判断与评价。

1. 机械特性测试仪的测量原理

断路器机械特性试验的接线如图1所示。

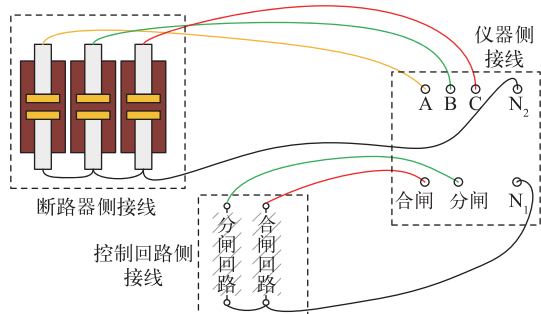


图1 断路器机械特性试验接线示意图

断路器合闸、分闸控制回路两端分别连接测试仪的合闸、分闸端子及公共端子 N_1 ;断路器主触头一端的A、B、C三相分别连接测试仪的A、B、C端子,另一端三相短接后与测试仪 N_2 连接。

试验时,测试仪对合(分)闸控制回路输出一定时长的DC 220 V电压,控制回路导通,合(分)闸线圈得电,电磁铁吸合,触发断路器机构动作,实现其主触头的合(分)闸。控制回路导通与断路器本体动作之间的时间差,即为断路器的合(分)闸时间。

2. 用于时间继电器校验的可行性分析

(1) 接线原理

三相不一致时间继电器延时功能的工作原理为:在输入端施加DC 220 V电压,时间继电器开始计时,经整定的延时后,输出端动作(辅助触头闭合或断开)。此延时即为时间继电器的动作时间。

这与断路器的分合闸过程相似,均可概括为:输入端施加DC 220 V工作电压时开始计时,输出端动作后计时结束。因此,类比断路器机械特性试验,得到时间继电器校验的两种接线方式如下。

1) 时间继电器+断路器接线方式。如图2所示,继电器的输入端两侧分别连接测试仪的合闸与 N_1 接线端子,断路器主触头一端的A、B、C三相分别连接测试仪的A、B、C端子,另一端三相短接后与测试仪 N_2 连接。

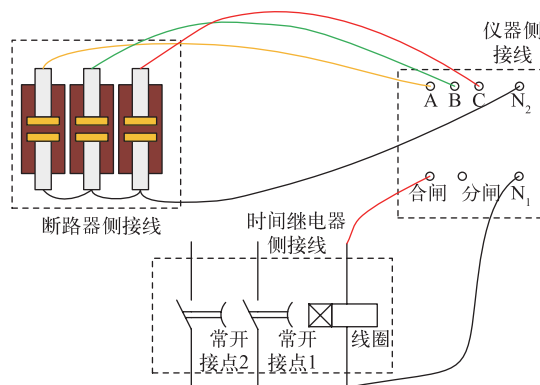


图2 时间继电器+断路器接线方式示意图

该方法只需对断路器动作特性试验的接线稍作改动,无须拆接时间继电器,结合断路器例行检修可有效提高工作效率。但该接线方式与读取故障录波器数据相似,测量的是时间继电器、出口继电器及断路器本体动作的总时间。

2) 时间继电器接线方式。如图3所示,继电器的输入端两侧分别连接测试仪的合闸与 N_1 接线端子,常开触头的两端连接A(或B、C相)端子及 N_2 端子。若需测量多对触头,则增加端子接线即可。

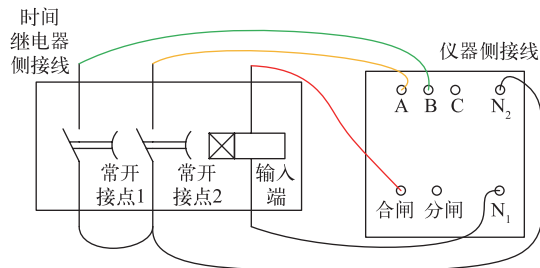


图3 时间继电器接线方式示意图

该接线方式测量结果为时间继电器的实际动作时间,数据准确可靠。但需对时间继电器拆接线,影响工作效率。

在检修工作中,可以综合考虑工作效率和测量

精度等因素，根据实际需要选择接线方式。

(2) 仪器参数要求

1) 时间量程。三相不一致保护动作时间应在0.5~4.0 s范围内可调，远大于断路器的分合闸时间。因此，若用于三相不一致时间继电器的校验，机械特性测试仪的时间量程须至少应大于被测时间继电器的整定时间。目前常见的断路器机械特性测试仪时间量程一般已达10s左右，满足测量要求；老旧型号的仪器可能存在时间量程不足。

2) 测量精度。GB/T 7261—2016《继电保护和安全自动装置基本试验方法》对测量时间用仪表的精度要求为“当测量时间大于1 s时，相对误差不大于0.1%；测量时间不大于1 s时，误差不大于1 ms，测量时间仪表的分辨率不低于0.1 ms”。目前，常见的断路器机械特性测试仪的精度一般为0.05%~0.1%，可达到时间继电器测量的精度要求。为提高测量结果的准确性，应尽量选择精度更高的机械特性测试仪。

3) 输出电压。目前常见的机械特性测试仪具备电压调节功能，可输出连续可调的直流电压，因此亦可校验时间继电器的最低动作电压。

根据上述要求，对现有两台开关特性测试仪的相关技术参数进行对比，见表1。

表1 仪器参数对比

型号	时间量程/ms	精度	输出电压/V
EST-5E	1~3 000	±(0.1%t+2字)	24~265
HDKG401	1~20 000	±(0.05%t+0.1) ms	0~270

由表1可知，EST-5E开关特性测试仪的测量精度基本符合要求，但量程仅为3 s，量程不足。HDKG401开关特性测试仪的量程和精度均高于测量需求，更适用于时间继电器动作时间校验。

3. 小结

通过分析断路器机械特性试验原理及时间继电器的工作原理，证明了基于机械特性测试仪的三相不一致时间继电器校验方法原理上可行，类比得出了该方法的两种试验接线，并指出了机械特性测试仪应达到的相关技术参数。

试验验证

为进一步确认该方法的可行性，基于HDKG401断路器机械特性测试仪，采用时间继电器接线方式

进行试验验证。被试时间继电器型号为Weid Muller WTR220DC，其工作电压为DC 220 V；时间可调范围为0.1s~10 h。

1. 动作时间试验内容

根据接线原理，参照图3进行试验接线。继电器输入端A₁、A₂端子分别接仪器的合闸、公共端子，两对常开触头一端的15、25端子分别接仪器的A₁、B₁端子，另一端18、28端子短接后连接N₁端子。

时间继电器的常开触头闭合与金属触头断路器的合闸均为金属导通过程，因此可沿用真空断路器合闸试验时的默认参数，仅需将测试时间设置为大于所测整定时间。

2. 动作时间试验结果与分析

(1) 试验结果

对WTR220DC时间继电器的两个常开触头点在0.5~4.0 s整定时间内的实际动作时间 t_1 、 t_2 进行了测量，每个整定时间测量5次取平均值，并计算其相对误差 δ_1 、 δ_2 。结果见表2。

表2 时间继电器动作时间及误差

整定时间 T/ms	常开触头1		常开触头2	
	动作时间 t_1/ms	相对误差 $\delta_1(\%)$	动作时间 t_2/ms	相对误差 $\delta_2(\%)$
500	489.8	-2.04	492	-1.6
600	590	-1.67	590.5	-1.58
700	690.5	-1.36	691.1	-1.27
800	790.3	-1.21	790.9	-1.14
900	890.4	-1.07	890.7	-1.03
1 000	990.8	-0.92	991.5	-0.85
1 100	1 122.7	2.06	1 124.8	2.25
1200	1 223.3	1.94	1 225.1	2.09
1 300	1 312.4	0.95	1 314.5	1.16
1 400	1 413.1	0.94	1 415	1.07
1 500	1 492.8	-0.48	1 495	-0.33
1 600	1 573.2	-1.67	1 574.8	-1.58
1 700	1 683.6	-0.96	1 685.1	-0.88
1 800	1 783.8	-0.9	1 784.1	-0.88
1 900	1 893.6	-0.34	1 895.9	-0.22
2 000	1 990.6	-0.47	1 992.6	-0.37
2 100	2 120.3	0.97	2 122.2	1.06
2 200	2 221.2	0.96	2 223.5	1.07
2 300	2 315.5	0.67	2 316.7	0.73
2 400	2 413.4	0.56	2 415.1	0.63
2 500	2 492.3	-0.38	2 494.8	-0.21
3 000	2990.3	-0.32	2 991.5	-0.28
3 500	3 491.6	-0.24	3 493.1	-0.20
4 000	3 991.2	-0.22	3 992.1	-0.20

(2) 数据分析

由表2数据可知：总体而言，继电器的实际动作时间与整定时间的差值较小，一般在10~20 ms，最大值为26.8 ms。当整定时间 $T < 1$ s或 $T \geq 1$ s且为整数（ $T=1,2,3,4$ ）时，误差基本稳定在10 ms左右。当 $T > 1$ s且为小数时，误差普遍更大，达到了20 ms左右，且波动较大。

WTR220DC的时间设置方法如图4所示，其总延迟时间为

$$T=S_1(S_2+RV_2)$$

式中， T 为总延迟时间； S_1 为时间单位， S_2 为整数位， RV_1 为小数位。

时间设置：
可以用可调电位器 RV_1 和旋转
拨码开关 S_1 、 S_2 设置要定时的
时间，设定的时间是：
总延迟时间= $S_1 \times (S_2 + RV_1)$

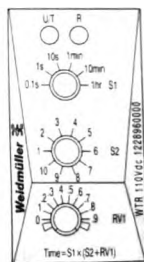


图4 WTR220DC的时间设置方法

其中 S_1 、 S_2 为旋转拨码开关，只能按示数间断调节（如0,1,2,...）； RV_1 为可调电位器，其数值可平滑可调。当 $T < 1$ s或 $T \geq 1$ s且为整数时，只需调节 S_1 、 S_2 ，仅有继电器本身的误差，因此误差较小；当 $T > 1$ s且为小数时，需调节 S_1 、 S_2 、 RV_1 ，除继电器本身误差外， RV_1 受实际调节位置影响，存在人为的操作误差，导致误差增大，且波动更大。

(3) 试验结论

1) 该时间继电器在4.0~0.5 s整定时间内的绝对误差小于 ± 30 ms，相对误差 $< \pm 2.5\%$ ，符合“不应大于1%或40 ms（满足一项即可）”及“刻度误差与时间整定值静态偏差 $\leq \pm 0.1$ s”的规定。

2) 同一整定时间下的5次测量结果及不同整定时间下的测量结果均比较稳定，数值波动较小。该测量方法具有较好的稳定性与可重复性，测量结果准确可靠，适用于三相不一致时间继电器动作时间的校验。

3. 最低动作电压试验

为避免继电器误动作与拒动作，需对其最低动作电压进行测量。WTR220DC说明书规定其在

0~55% U_N 一定不能动作，55~65% U_N 可能动作， $> 65\%$ U_N 一定动作。

对该时间继电器的最低动作电压进行测量，试验方法为：自120 V起手动升压，步进1 V，继电器开始动作时的电压即为其最低动作电压。为保证结果的准确性，应测量3次均稳定动作。

经实测，其最低动作电压为142 V，在121 V（55% U_N ）~143 V（65% U_N ）之间符合产品说明书要求。

4. 小结

通过试验，进一步证明了基于机械特性测试仪可以对三相不一致时间继电器的动作时间与最低动作电压进行校验，其结果准确可靠。

结束语

通过理论分析与试验验证，证明了基于机械特性测试仪的三相不一致保护整定时间校验方法具有可行性。提出了两种接线方式，可根据实际需要进行选择。该方法可对动作时间和最低动作电压进行校验，仪器参数设置均可参照真空断路器机械特性试验。该方法对机械特性测试仪的时间量程和精度等技术参数具有一定要求。

与其他现场校验方法相比，该方法测量误差小，数据准确可靠；无须另购仪器，成本低；可结合例行检修工作，与断路器机械特性试验同时开展，操作简单方便，工作效率高；接线方式灵活，可不拆卸继电器，降低了损坏元件或接线错误等风险。虽然与专用的校验仪器及方法相比功能相对单一，无法校验更多的专业参数，但已能基本满足三相不一致保护功能的现场校验需求，对于变电检修现场工作而言，仍不失为一种简单、有效的检验手段。

在实际应用中，可将该方法与专业校验方法相结合，以该方法进行现场校验，初步检测并判断时间继电器的状态；若动作异常，将其拆卸后以专业设备做更进一步的校验，从而在提高工作效率的同时，确保校验结果的准确可靠。

希望该方法能在变电检修工作中得到更多的推广与运用。EA

（收稿日期：2023-04-11）