

「开关设备」

高压断路器型式试验机械行程特性曲线的监测

文/辽宁高压电器产品质量检测有限公司 赵靖波

型式试验是新产品鉴定中必不可少的一个环节，是验证产品能否满足技术规范全部要求所进行的试验，所以型式试验报告数据必须准确无误。而型式试验报告部分重要数据的获得必须以行程曲线为参考，因此，测试机械特性行程曲线传感器的安装十分必要。

高压交流断路器作为电力系统上的保护设备，当电力线路或设备出现任何故障时，都应将故障部分从电网中快速切除，保证电网中无故障部分正常运行，统计表明，80%的高压断路器故障是由于机械特性不良造成的，故障主要集中在操动机构部分，操动机构的机械特性，动作特性通过机械行程特性曲线可以准确反映，所以，型式试验时机械行程特性曲线必须监测。

为了试验方便，型式试验前，在开断用的最低功能压力下，断路器进行O-t-CO或CO操作，记录空载分合时间及机械行程特性曲线，检测人员可以根据以往试验经验对产品开断能力做一下评估，这样既保证了试验质量，也可以让厂家节省试验费用。同时，以空载机械行程特性曲线作为参考。用来确认断路器在机械、关合、开断和开合型式试验中是否使用同一厂家样品进行试验，防止弄虚作假。

型式试验断路器机械行程特性曲线监测的重要性

1. 机械行程特性曲线监测的原因

由于国内检测单位试验能力的限制，不可能所有断路器所有试验项目都进行三相直接试验，部分电压等级断路器的部分试验项目利用单相合成试验代替。而三极断路器能否利用单相试验代替三相试验，首先要进行的是非对称的和对称的关合操作和开断操作的验证性试验，在这些关合和开断的验证试验过程中，应记录触头的运动轨

迹。在相同条件下如果单相试验时的触头运动轨迹在三相试验时的分闸操作从触头分离时刻到触头运动终止间和合闸操作从触头接触时刻到触头运动终止间的机械行程特性曲线的包络线内，用单相合成试验代表三相直接试验是有效的。

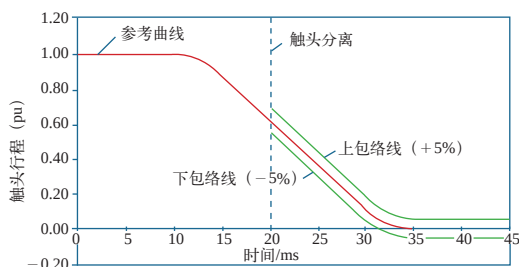


图1 具有以参考曲线为中心的规定的包络线（+5%，-5%）的参考机械行程特性（理想曲线），本例中触头分离时刻为 $t=20\text{ ms}$

同时，机械行程特性曲线表明了断路器触头行程与时间之间的关系，反映了考核区内触头的瞬时速度，而断路器的分合闸速度是保证断路器开断和关合性能的主要技术参数之一，在研发过程中被高度关注，是灭弧室开断电弧的关键，它与灭弧室的流场结构共同确定并形成了满足开断所必须的气流条件，一般说来，断路器动触头的运动速度越大越好，动触头运动速度越高，动静触头之间在开断过程中介质绝缘强度恢复速度能够保持大于触头间恢复电压的上升速度，这样才能使熄灭了的电弧不再重燃，有利于开断电流时电弧熄灭。同时，动触头运动速度越快，断路器关合时预击穿时间就越短，提高了断路器的关

合能力，但是断路器动触头的运动速度不可能无限制提高，它将受到包括运动和静止的全部部件的机械强度承受能力的限制，因为动触头运动速度越快，它的机械惯量和冲量也就越大，这种过大的冲量对断路器部件产生强烈的冲击振动作用，当这种机械作用产生的力超过这些零部件的机械强度极限时，将会使某些部件遭到不同程度的损坏，长期这种过大机械作用效应的累积，将使产品使用寿命降低。

2. 实例分析

2014年5月28日晚11点，在沈阳虎石台试验站合成试验室对一台LW35B-126型SF₆断路器进行小电流开断，以检查近区故障L90试验线路参数的合理性，经过验证发现试验线路正常，但断路器却出现不能开断小电流且电弧持续燃烧的异常现象，多次试验出现同样情况，最终停止试验，试验人员根据试验波形图中监测到机械行程特性曲线分析试验失败是因为分闸速度降低引起的，具体试验情况如表1所示。设计工程师根据试验人员的建议复核试品相关特性参数，结果如表2所示。

表1 L90试验参数表

序号	操作 时序	设置燃弧 时间/ms	试验电流 /kA	充电电压 /kV	试验 状态
1	O	12.5	14.5	103	未开断
2	O	13.5	14.5	103	未开断

表2 特性参数复核表

特性 参数	回路电阻 / $\mu\Omega$	SF ₆ 气压 /MPa	机构凸轮 间隙/mm	分闸速度 / (m/s)
试前	37.5	0.5	1.3	5.3
试后	37.3	0.5	0.9	4.8

注：对比T100s (b) 试验时的速度为5.3 m/s，与L90对比速度为差异较大。

由表2可知：①断路器试品主回路电阻试验前、后基本无变化且均在合格范围内 ($\leq 50 \mu\Omega$)，表明断路器灭弧室的总体装配及连接配合试验中没有异常且试品装配状态良好。②试验前后SF₆气压无变化，均处于最低功能压力，表明L90试验时SF₆气压对断路器的开断性能没有造成影响。③相比T100s (b) 全电流开断试验，试品在L90试验时速度较低 (4.8 m/s为设计速度的下限)，分析主要是由于机构的凸轮间隙变小，造成断路器的分闸速度降低。考虑到试品的灭弧室的为自

能式与压气式相结合的混合式灭弧原理，压气室压力的建立，对分闸速度要求较高，因而分析低分闸速度情况下较大程度地影响了断路器的开断性能。由此可见，机械行程特性曲线监测的重要性，为试验人员与设计人员分析断路器型式试验时开断失败的原因提供了方便。

燃弧时间的计算

国家标准明确规定，利用单相合成试验代替三相直接试验的断路器，成功开断试验的燃弧区间必须满足GB1984—2003高压交流断路器6.102.10.2规定，偏差见附录B的表B.1，否则试验视为失败，所以燃弧时间的测量必须准确。

受短路试验时大电流产生电磁场的影响，有些断路器负载时的分闸时间与空载时的分闸时间有很大差别，如果仅仅依照负载的开断时间和空载的分闸时间之差来确定燃弧时间不一定准确，只有通过行程特性曲线才能准确地确定燃弧时间。以图2、图3为例，设S1为空载时动静触头刚

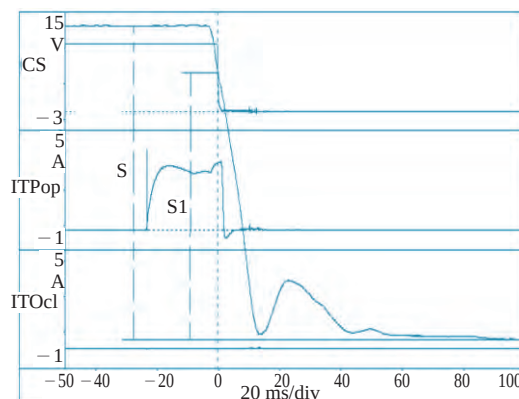


图2 空载波形图

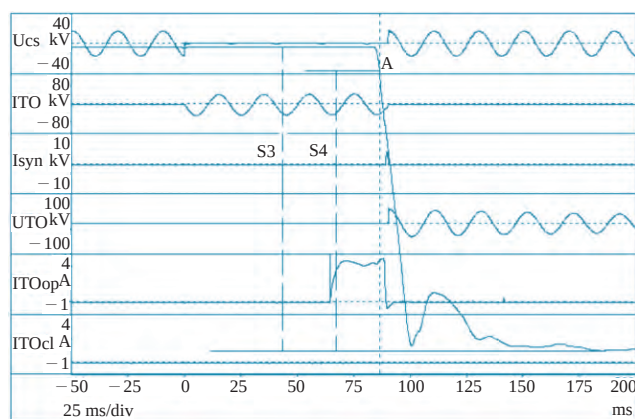


图3 负载波形图

分位置与动触头运动终止时刻所处位置纵坐标之差，S为动触头运动初始时刻位置与运动终止时刻所处位置纵坐标之差，S3为负载时动静触头刚分位置与动触头运动终止时刻所处位置纵坐标之差，S4为动触头运动初始时刻位置与运动终止时刻所处位置纵坐标之差，S，S1，S3的值在波形图上可以量出，无论动触头运动快慢，等价关系 $S4/S3 = S1/S$ 都是存在的，所以可以找出短路开断试验时动静触头刚分点的位置A，A点与短路电流最后熄弧半波零点之间的距离就是燃弧时间，对下一次开断试验燃弧时间的设定提供了可靠依据，进而保证了试验的顺利进行。

传感器的安装及工作原理

1. 传感器的安装

机械行程特性曲线测量的方法有很多种，目前国内大多数采用的是精密导电塑料位移传感器，这种传感器分为多种类型，断路器型式试验时通常采用的是角度位移传感器或直线位移传感器，安装方法如图4、图5所示。



图4 角度位移传感器安装位置



图5 直线位移传感器安装位置

由于断路器分合闸操作时会产生抖动，所以型式试验前试验人员应按国标规定将用于记录行程特性的传感器安装在适当的位置，传感器上的移动连杆或转轴与该位置固定连接，保证二者同步动作，以便能够直接或间接地提供最佳的机械行程特性曲线。

2. 传感器的工作原理

这两种位移传感器的工作原理是跟滑动变阻器一样，如图6、图7所示，共三个接线头，左右两边各一根接12 V直流电池，中间的滑动触点为输出，测量电阻两端电压变化来反映出断路器的动触头运动速度，即以动触头运动时间横坐标，以电压变化值为纵坐标的特性曲线，曲线斜率愈

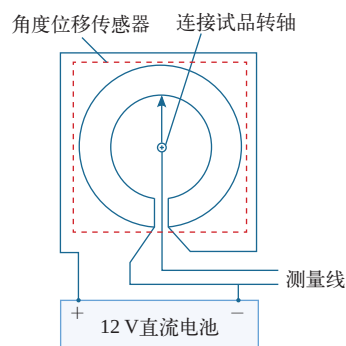


图6 旋转式传感器原理图

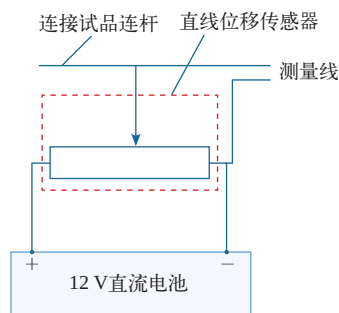


图7 直滑式传感器原理图

大，反映速度愈快。

值得一提的是，利用机械行程特性曲线求得的都是在一定行程段内断路器的平均速度。并非真正的瞬时速度，但是对有些产品刚分，刚合速度都是指瞬间的瞬时速度，尤其是在绘制断路器的行程和速度曲线或行程与时间曲线时，需要的是动触头在每一位置的瞬时速度，通常都是以测量一小段距离的平均速度来代替某一点的瞬时速度，如果代替某一点的一小段距离越

小，则所测得的速度值就越与瞬时速度的概念相接近，否则它们之间相差就越大，所以在实际测量中，可以用控制这一小段距离的大小来保证测量准确度符合要求。

结束语

通过以上断路器机械行程特性曲线测量方法的研究和结果分析可以看出分合闸速度对于断路器开断性能的影响是很大的，对于断路器的设计和试验也具有很好的参考意义。机械行程特性曲线也可以反映出断路器的某些异常，从而可以及时检查排除问题所在，避免发生事故。EA

(收稿日期：2014.09.05)