

[断路器]

一种大转角高压断路器机械特性测试方法

文/平高集团有限公司 何保营 何大伟 孔志武 田会青 闫飞跃 刘 宇

高压断路器机械特性是衡量开断性能的重要参数，也是型式试验和出厂试验的必检项目，但是目前的特性测试仪器无法准确测量大转角的高压断路器机械特性。因此结合德国KOCOS公司生产的ACTAC P6特性测试仪以及利用余弦定理通过计算获得大转角断路器的机械特性数据。

高压断路器是电力系统中重要的设备之一，主要用于电力系统的控制和保护，既可根据电网的运行需要将一部分电力设备投入或者退出运行，也可在电力设备或线路故障时，将故障部分快速切除，从而保证电网的安全。因此良好的开关机械特性，对于断路器开断和关合至关重要。故国家标准和行业标准中均规定高压开关机械特性是型式试验和出厂试验必检项目之一。

目前各开关厂家均采用机械特性测试仪，来测量高压开关的机械特性。使用较多的特性测试仪包括德国KOCOS ACTAC P14/P6、瑞典保伽玛的TM1600、西安博能高压开关测试仪和石家庄汉迪高压开关测试仪等。

目前高压断路器的转轴转角多在 60° 以内，但是经过实际应用对比发现，使用这些特性测试仪测量大转角的（如旋转 180° ）高压开关时，输出的合闸和分闸速度是低于实际速度值的。如何正确测量大转角高压开关的速度是目前需要解决的问题。

选取测试模型

本文选取某高压开关厂生产的126 kV高压断路器为例，该产品采用电动机驱动机构直接驱动

拐臂和绝缘拉杆运动，从而带动灭弧室完成分闸和合闸操作。该产品运动过程中主轴旋转 180° ，超出常规产品的旋转角度。如下表所示。

表 126 kV高压断路器技术参数

名称	数值
额定电压/kV	126
额定电流/kA	3.15
最大开断电流/kA	40
动触头行程/mm	80 ± 3
刚分速度/(m/s)	3.7 ± 0.5
拐臂长度/mm	40
绝缘拉杆长度/mm	1 913
主轴旋转角度($^\circ$)	180

1. 选取特性测试仪

本文选取德国KOCOS ACTAC P6作为测试仪器，来测量电动机驱动断路器，伺服电动机所带旋变输出的速度跟P6特性测试仪输出的速度不同，P6输出的速度要低于实际速度。下面通过P6特性测试仪结合公式计算，来测量断路器的真实速度。P6特性测试仪如图1所示。



图1 P6特性测试仪

基金项目：国网科技项目：新型电磁驱动关键技术研究及系列化样机研制（B491BG180029）

2. 断路器模型

断路器传动部分的简化模型如图2所示,其中A点为传动轴,B点为拐臂和绝缘拉杆铰接点,C点为断路器动端; L_1 为拐臂长度, L_2 为绝缘拉杆和动端拉杆有效长度;断路器动触头在合闸位时 $\alpha = 0^\circ$,断路器动触头在分闸位置时 $\alpha = 180^\circ$ 。

定义为从合闸位置开始计算行程, $\alpha = 0^\circ$ 时动触头位置C到转轴A的位置为 $CA = L_1 + L_2$,随着分闸运动 α 从 0° 转向 180° ,动触头位置C距离A点的长度 $CA = L_3$ 。因此,当动触头运动到任意角度时($0^\circ \sim 180^\circ$),动触头走过的行程为 $L = L_1 + L_2 - L_3$,其中 L_1 (40 mm)和 L_2 (1 913 mm)长度已知,所以要想知道一定时间内动触头走过的行程,重点就是计算 L_3 的长度。

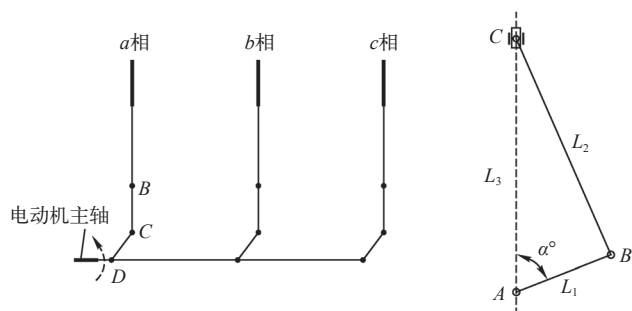


图2 断路器传动简化模型

计算原理

1. 余弦定理

余弦定理,是描述三角形中三边长度与一个角的余弦值关系的数学定理,是勾股定理在一般三角形情形下的推广。余弦定理是揭示三角形边角关系的重要定理,可以解决已知三角形两边和夹角求第三边,或者已知三个边求角的问题。余弦定理如图3所示,在 $\triangle ABC$ 中,余弦定理可以表示为

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma \quad (1)$$

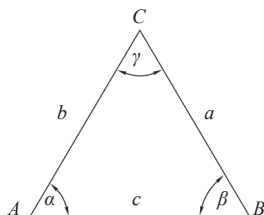


图3 余弦定理示意

2. 公式计算

由余弦定理可知

$$L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2 \cos \alpha = L_3^2 \quad (2)$$

式中, L_1 , L_2 和 α 已知,因此式(1)可变为一元二次方程

$$L_3^2 - 2L_1L_2 \cos \alpha + L_1^2 - L_2^2 = 0 \quad (3)$$

根据一元二次求根公式可得

$$L_3 = \frac{2L_1 \cos \alpha \pm \sqrt{(2L_1 \cos \alpha)^2 - 4(L_1^2 - L_2^2)}}{2} \quad (4)$$

由实际物理定义可知, $L_1 \ll L_2$,该式变为

$$L_3 = \frac{2L_1 \cos \alpha \pm \sqrt{(2L_1 \cos \alpha)^2 + 4(L_2^2 - L_1^2)}}{2} \quad (5)$$

同样因为

$$L_1 \ll L_2, 2L_1 \cos \alpha \ll \sqrt{(2L_1 \cos \alpha)^2 + 4(L_2^2 - L_1^2)}$$

且 L_3 只能为正,则

$$L_3 = \frac{2L_1 \cos \alpha + \sqrt{(2L_1 \cos \alpha)^2 + 4(L_2^2 - L_1^2)}}{2} \quad (6)$$

推出行程 L

$$L = L_1 + L_2 - \frac{2L_1 \cos \alpha + \sqrt{(2L_1 \cos \alpha)^2 + 4(L_2^2 - L_1^2)}}{2} \quad (7)$$

断路器速度计算

按照KOCOS的接线要求,分别将断路器的分合闸控制线、断路器断口线与P6测试仪进行连接;将传感器安装到本体旋转主轴上,将传感器线与测试仪连接,特性测试准备就绪。如图4所示。



图4 126 kV高压断路器特性测试图

1. 调试传感器

在实际应用中一般使用的是旋转传感器和直线传感器,根据传感器的测量方式不同又可以分为数字传感器和模拟传感器。本文选取IP6501模拟转角传感器,由于传感器能够识别的角度在 357° 左右,存在死点,模拟转角传感器原理如图5所示。

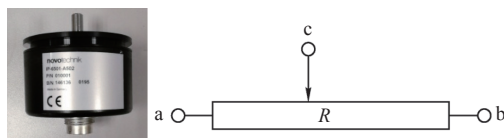


图5 IP6501传感器及原理简图

a-b间的电阻约为5 000 Ω ，通过测量a-c或者c-b之间的压差来输出传感器转动的角度。所以初次安装传感器时，需要定义传感器的初始位置在较小或较大的阻值上，防止在合闸或分闸曲线上出现过零点的情况。

2. 速度读取

速度计算需要选取合适的参考点，国内大部分的高压断路器合闸速度定义为刚合点前10 ms内的平均速度，分闸速度定义为刚分点后10 ms内的平均速度，所以本次测量也采用这种定义方式。如图6所示。

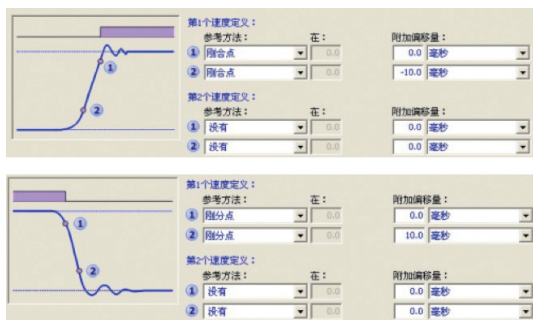


图6 P6内部速度定义

采用断路器固有的测量方式，将断路器的行程80 mm输入到软件内，测量出的速度2.49 m/s，小于断路器固有的速度3.7 m/s，这显然是不准确的。如图7所示。

Nr.	结果	A	B	C	单
1	行程	80.35	n.c.	n.c.	mm
1	分闸时间	26.3	26.6	26.8	ms
1	分闸速度	2.49	n.c.	n.c.	m/s
1	分闸超程	24.61	25.15	25.83	mm
1	分闸下冲	0.87	n.c.	n.c.	mm
BRK	分闸同期性	0.47			ms

图7 断路器分闸信息-1

3. 速度计算

首先采用旋转角度测量方式，调整软件设置。通过特性测试仪控制断路器完成合闸和分闸操作，输出的信息如图8所示。

Nr.	结果	A	B	C	单
1	行程	179.22	n.c.	n.c.	mm
1	分闸时间	26.2	26.4	26.7	ms
1	分闸速度	5.46	n.c.	n.c.	m/s
1	分闸超程	55.84	57.01	58.68	mm
1	分闸下冲	1.94	n.c.	n.c.	mm
BRK	分闸同期性	0.53			ms

图8 断路器分闸信息-2

图8中对本次测试计算有用的信息已被框选出，首先需要计算出断路器动触头从合闸位置到刚分点时动触头运动的行程（分闸超程） L_4 。

软件中已设置了角度和行程的对应关系为 1° 对应1 mm，所以刚分点是转过的角度 $\alpha_{超} = 55.84^\circ$ ，则

$$L_4 = L_1 + L_2 - \frac{2L_1 \cos \alpha_{超} + \sqrt{(2L_1 \cos(\alpha_{超}))^2 + 4(L_2^2 - L_1^2)}}{2} = 17.826 \quad (8)$$

第二步是计算动触头10 ms内走过的角度 $\alpha_{速}$ ，计算公式为

$$\alpha_{速} = \alpha_{超} + V_{分} \times 10 = 55.84 + 5.46 \times 10 = 110.44 \quad (9)$$

第三步是计算动触头从合闸位置到刚分的10 ms后运动的总行程 L_5 ，计算公式为

$$L_5 = L_1 + L_2 - \frac{2L_1 \cos \alpha_{速} + \sqrt{(2L_1 \cos(\alpha_{速}))^2 + 4(L_2^2 - L_1^2)}}{2} = 54.336 \quad (10)$$

第四步是计算断路器动触头在刚分的10 ms中运动的行程 L_6 （mm），计算公式为

$$L_6 = L_5 - L_4 = 54.336 - 17.826 = 36.51$$

第五步计算断路器的分闸速度 V （m/s）

$$V = L_6 / 10 = 36.51 / 10 = 3.651$$

计算出的速度3.651 m/s，在断路器技术要求的分闸速度 (3.7 ± 0.5) m/s范围内，说明计算出的速度是断路器的真实分闸速度。

结束语

1) 通过以上计算可以有效地解决大转角断路器的合、分闸速度计算问题，真实地反映断路器的实际速度特性。

2) 通过以上计算也可以计算出传统断路器真实的合、分闸速度

3) 当前这种计算方式比较烦琐，建议各大特性测试仪厂家根据大转角的断路器来开发新的产品。EA

（收稿日期：2019.10.25）

（编辑：朱金凤）