

[电动机]

高压开关电动操动机构的电气制动技术

文/西安西电高压开关操动机构有限责任公司 陈旭 刘新军 李东涛

介绍了高压开关电动操动机构中典型电气制动技术的原理、方法及特点，并使用LabVIEW软件对样机的制动参数进行了测试与分析。通过将电动机转换为他励发电机的制动方法可以实现了电动机构的电气制动。制动电流的大小与制动电阻、电动机转速相关，且制动电流持续时间 $<0.3\text{ s}$ 。在相同的制动回路中，电动机回路输入直流电源比输入交流电源产生的制动效果好。

直流电动机是电动机的重要类型之一。当前，与电力电子技术相结合具有直流电动机性能的电动机不断涌现，使直流电动机有被取代的趋势，但是在高压开关行业，电动操动机构（以下简称电动机构）仍普遍采用直流电动机及其制动方法，因此对电动机构的制动技术的研究仍具有一定价值。在电动机构中电动机是动力源，当电动机断电后，转子还会继续转动一定的角度才能停止，造成传动误差的现象。操动机构分合闸操作时（转动惯量不变的情况下），速度越快，传动部分的动能就越大，若多余的动能无法消除，将会引起传动系统的冲击、反弹现象，降低机构的可靠性。因此，电动机断电及分合闸到位后应采取制动措施，阻止转子继续转动，以消除该现象给机构带来的不良影响。

电动机构的直流电动机应用

直流电动机按励磁方式的不同划分为他励、并励、串励、复励四种。一般情况下，永磁直流电动机特性较硬，转速稳定，在电动机构中普遍使用；并励电动机作为储能电动机个别应用在液压机构和气动机构中；串励电动机用于弹簧机构或对转速要求不严的隔离开关或接地开关电动机构中；复励电动机常用于弹簧储能式液压机构

中。目前，用于敞开式隔离开关、接地开关的电动机构分合闸速度 $\geq 4\text{ s}$ ，常采用三相笼型感应电动机，其转速低，转动平稳，设计缓冲结构可以达到消除剩余动能的目的；而用于GIS中隔离开关、接地开关的电动操动机构分合闸速度 $< 4\text{ s}$ ，常采用永磁直流电动机与串励电动机，其转速高，分合闸速度快，需要设计相应制动措施。电动机构中常用抱闸（电磁制动器制动）及电气制动方法实现停车。电磁制动器制动时将制动器安装在电动机尾部，电动机断电瞬间抱闸转轴实现制动，该方式需要接入直流电源，在工程使用中受到制约。电气制动是通过电机本身产生的制动转矩来实现停车的方法。目前，电动机构中普遍采用电气制动方法实现能耗制动，为此，本文针对性的讨论关于高压开关电动机构的永磁直流电动机及直流串励电动机的电气制动技术。

直流电动机的电气制动方法

直流电动机的电气制动方法分为三类：反接制动、回馈制动、能耗制动。

反接制动需要改变电枢的电压方向，反接时，因电枢电压反向，随之产生很大的制动电磁转矩，使电动机停转。当转速下降到0时，必须及时断开电源，否则机组将反转。反接制动的优点

是制动时的电磁转矩大,制动效果好,缺点是不能准确停车。由于反接制动准确停车困难,且存在反向转动的可能,因此不适用于电动机机构。

回馈制动是当电动机转速高于某一数值,电枢电动势 $E > U$ 时,电动机进入发电机状态;此时产生的电磁转矩将起制动作用,使转速保持恒定,避免转速不断上升,制动时,电枢接到电网上,将串励电动机改为他励发电机,并提供专用电源进行励磁。回馈制动需要接入限流电阻,将能量回馈于电网,对电网产生一定影响,因此也不适用于电动机机构。

能耗制动就是将电机断电后的剩余动能转换为制动时所需要的电能,由电阻发热耗能来实现制动,其制动回路简单可靠,安全经济,适用于电动操动机构的制动场合。图1所示为永磁直流电动机的工作状态,图2为其能耗制动状态。制动时,将电枢两端电源切除,电枢与电阻 R_1 接通。电机的主磁通不变,电枢因惯性继续旋转,产生与电动状态相反的电枢电流,电动机由电动状态变为发电状态,此时转子所受的电磁转矩 T 与转向 n 相反,起到制动的的作用,使转速迅速下降,当 n 为0时, I_a 为0,制动转矩消失。能耗制动效果与制动电阻 R_1 的大小有关, R_1 小,则 I_a 大, T 大,制动距离短,停机快。

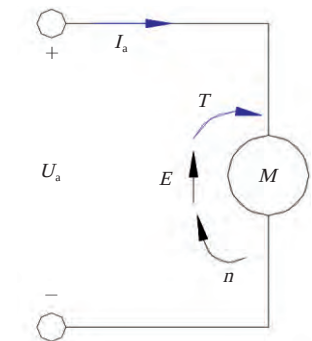


图1 永磁直流电动机的电动状态图

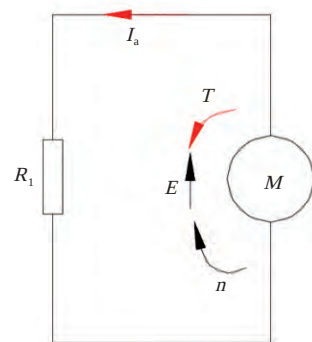


图2 永磁直流电动机的制动状态

以上三种制动方法的共同点是在回路中接入制动电阻;不同点是,回馈制动与能耗制动过程属于发电机工作状态,产生反向转矩来实现制动。反接制动过程属于电动机工作状态,通过电动机的反转实现制动。

在电动机机构中,图2所示的永磁直流电动机制动方法结构简单,应用广泛。此外,在高压开关工程实际中,还存在电动机电源回路要求交流AC220 V,机构中不允许加整流装置的情况。在这种技术条件下,电动机停电时的剩磁很弱,制动转矩小,制动效果不理想,因此设计了交流电源串励电动机的能耗制动方法,如图3、图4所示。该制动方式将原串励电动机接线方式改为他励电动机接线方式,电枢回路中接入 R_1 电阻,进行耗能,在定子回路中接入 R_2 电阻,进行限流。当电动机断电后,通过外加电源,使定子的磁场继续存在,将转子线圈接入耗能回路,使电动机瞬间变为发电机,将动能转化为电能,此时电磁转矩 T 的方向与电动机转向相反,起到制动作用。

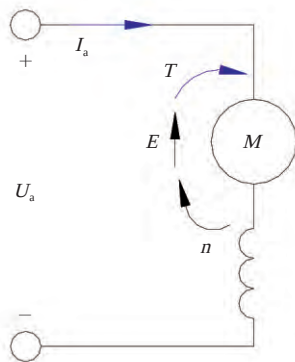


图3 串励电动机的电动状态

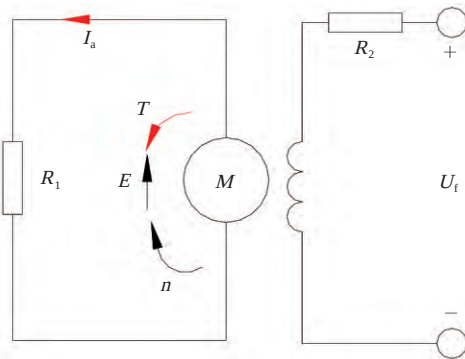
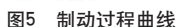


图4 串励电动机的制动状态

图4中,串励电动机制动时,通过调整 R_2 的大小,改变励磁电流,得到理想的感应电动势,进而通过调整 R_1 得到理想的制动电流与制动效果。串励电动机的他励制动方法可以满足在电动机电

若制动电阻为0, 相当于电动机起动状态, 显然不允许; 若制动电阻大, 则制动瞬间的冲击电流小, 制动转矩小, 制动时间长, 满足不了电动机机构的制动要求, 因此需要选择合适的制动电阻。串励电动机也有回馈制动方式及其他制动方式, 但因为电路复杂, 电机回路需要接入直流电源等限制, 在高压开关行业中使用较少, 本文不再讨论。


$$I_{aB} = - \frac{-E_a}{R_2 + R_1} \quad (1)$$

$$T_B = C_T \phi_N I_{aB} \quad (2)$$

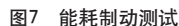
中, 转速是变化的, 如式3所示,

$$\frac{dn}{dt} = (T_2 \times T_F) \frac{375}{GD^2} \quad (3)$$
$$R_{\min} = \frac{E_a}{I_{\max}} - R_a \quad (4)$$

1. LabVIEW软件简介及方法

游标:	X	Y
游标0	58.1881	-2.839
游标1	76.4227	-6.543

能耗测试前将电动机构安装在模拟负载上,如图7所示。为了保证数据测试的准确性,试验前需要校验模拟负载的输出转矩。根据样机设计转矩值,调节模拟负载激磁电流的参考值,再通过数显扭矩扳手进行校验。调整结束后,启动电源,即可开始自动操作。测试时,通过霍尔电流传感器、采集卡进行数据采集,使用LabVIEW软件进行分析。测试装置的电流准确度为 $\pm 1\%$,时间准确度为 $\pm 0.01\text{ ms}$,采用频率为5000次/s。



通过上述测试手段进行了电动机用直流永磁电动机和串励电动机的制动电流测试。

2. 永磁直流电动机的能耗制动测试

电动操动机构内部装永磁直流电动机并接入DC220 V电源,进行电动机机构的能耗制动测试,操动机构完成了正常的分合操动,未见反弹现象,其能耗制动电流测试波形如图8所示,负值为电动机正常工作电流,正值为制动电流,操动机构的分闸时间为1.5 s,符合 <4 s的技术要求,制动电流持续时间为0.2 s,最终衰减为0,电动机停转。

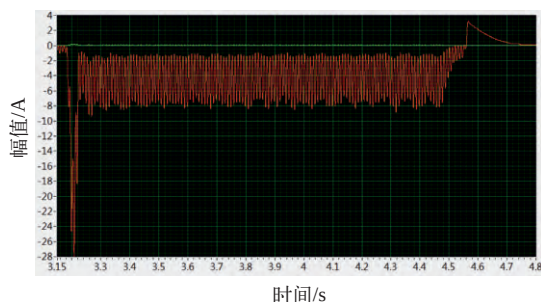


图8 永磁直流电动机分闸电流波形

图9为永磁直流电动机的合闸电流波形,电动机反转,故正值为电动机正常工作电流,负值为制动电流,分闸时间为1.4 s,制动电流持续时间为0.16 s,最终衰减为0,电动机停转。

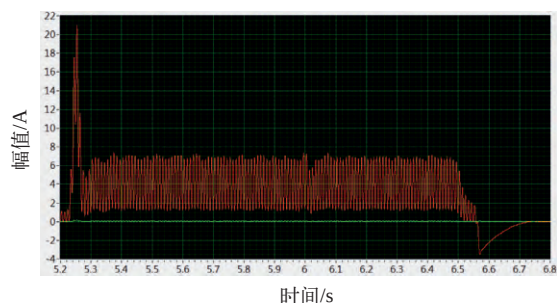


图9 永磁直流电动机合闸电流波形

图10所示为永磁直流电动机合闸制动电流的放大波形,该波形过0点陡升至负3.5 A后,迅速下降,直至衰减到零,电动机停转。

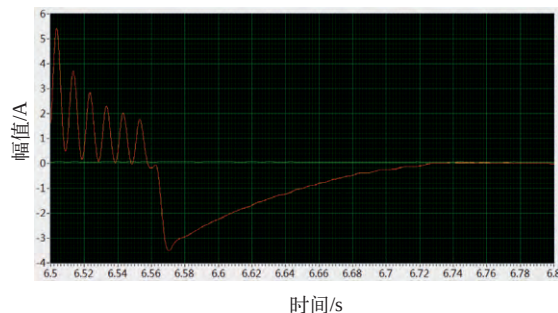


图10 永磁直流电动机合闸制动电流放大波形

3. 直流串励电动机的能耗制动测试

采用原电动操动机构样机进行测试,将机构内永磁直流电动机更换为串励电动机,设计了串励电动机制动二次回路。电动机回路分别接入AC220 V、DC220 V电源进行测试,操动机构均完成了正常的分合操动与制动,未出现反弹现象。

(1) AC220 V电机电源下的直流串励电动机的能耗制动测试

电动操动机构内部安装串励电机并接入AC220 V电源,串励电机分闸电流波形如图11所示,红色为制动电流交变波形,制动波形左侧为电动机正常工作电流,正常波形右侧绿色波形为电动机定子续流波形。操动机构的分闸时间为2 s,符合 <4 s的技术要求,制动持续时间为0.3 s,最终衰减为0,电动机停转。

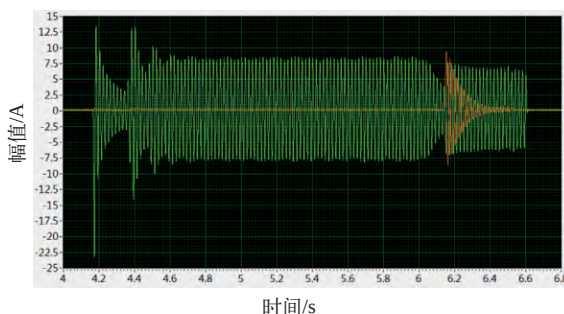


图11 AC220 V串励电动机分闸电流波形

如图中12中,操动机构的合闸时间为2.1 s,符合 <4 s的技术要求,制动波形为交变波形,即产生了交流电流。制动持续时间为0.3 s,最终衰减为0,电动机停转。

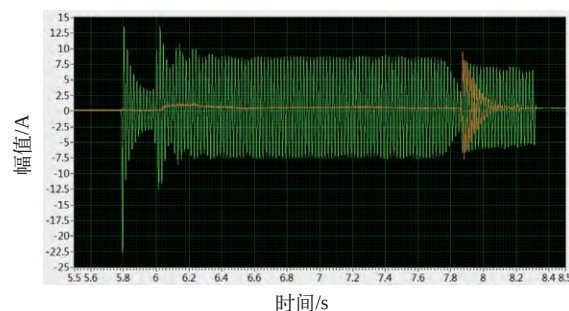


图12 AC220 V串励电动机合闸电流波形

如图13所示为串励电动机合闸制动电流的放大波形。在电机断电后,制动波形陡升至7 A左右,呈交变状态迅速下降,直至衰减到0,电动机停转。制动波形与定子波形均为交流,且频率相同。制动能量的释放主要集中在前段0.2 s区域,后半段0.1 s为时间继电器设定的时间裕度,延时0.1 s后切断电源。

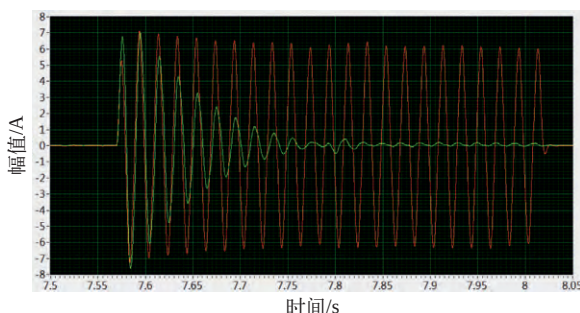


图13 AC220 V串励电动机合闸制动放大电流波形

(2) DC220V电机电源下的串励电动机的能耗制动测试

电动操动机构内部安装串励电动机并接入DC220 V电源,串励电动机分闸电流波形如图14所示,红色为制动波形,绿色为电动机正常工作电流,制动波形正下方为电动机定子续流波形。由于电动机回路输入电源为直流,因此波形均为负值。操动机构的分闸时间为2 s,符合 <4 s的技术要求,制动过程持续时间为0.3 s,最终衰减为0,电动机停转。

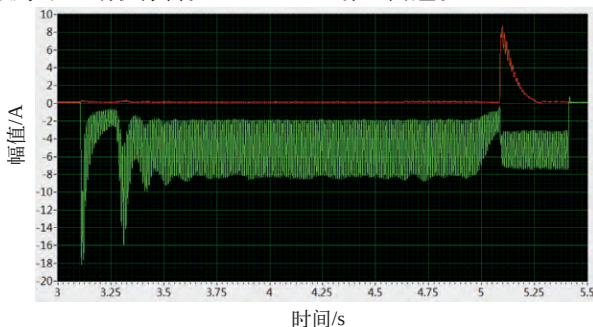


图14 DC220 V串励电机合闸电流波形

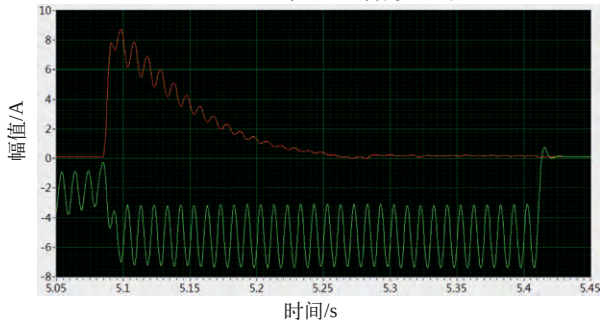


图15 DC220 V串励电机合闸制动放大电流波形

结束语

本文使用测试装置结合LabVIEW软件实现了对电动操动机构制动波形的测试,经对比分析发现:

a) 通过将电动机转换为他励发电机的制动方法可以实现电动机构的电气制动。

b) 制动电流持续时间 <0.3 s。制动电流的大小与制动电阻、电动机转速相关。制动开始时,电动机转速高,产生的制动电流大;随着电动机

如图15所示为串励电动机合闸制动电流的放大波形,在电动机断电瞬间该波形过0点陡升至正8.5 A左右,并迅速下降,直至衰减到0,电机停转。制动电流波形呈锯齿状小幅波动,随时间推移波动逐渐减少。制动能量的释放主要集中在前段约0.2 s区域,时间继电器延时0.1 s后切断电源。通过试验发现:相比交流AC220 V电动机电源测试情况,直流电源的制动效果好,制动距离短。

减速,制动电流减小,波形逐渐衰减;当电动机停转时,制动电流衰减为0。

c) 在相同的能耗制动回路中,电机回路的电源类别影响制动效果,输入直流电源比输入交流电源产生的制动效果好。

直流电动机的电气制动技术简单、可靠,可以满足电动操动机构的工程设计要求。EA

(收稿日期:2015.02.27)

(编辑:白文亭)