



中华人民共和国国家标准

GB/T 1311—2008
代替 GB/T 1311—1989

直流电机试验方法

Test procedure for direct current machines

2008-07-16 发布

2009-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 试验电源、仪表选择及试验前检测	1
4 绕组对机壳及绕组相互间绝缘电阻的测定	3
5 绕组在实际冷状态下直流电阻的测定	3
6 轴电压的测定	5
7 电感的测定	5
8 空载特性的测定	7
9 整流电源供电时电机的电压、电流纹波因数及电流波形因数的测定	8
10 额定负载试验	9
11 热试验	10
12 效率的测定	13
13 电机偶然过电流和电动机的短时过转矩试验	19
14 发电机的外特性和固有电压调整率的测定	19
15 电动机的转速特性和固有转速调整率的测定	20
16 转动惯量的测定	21
17 无火花换向区域的测定	22
18 电枢电流变化率的测定	24
19 超速试验	26
20 噪声的测定	26
21 振动的测定	26
22 电磁兼容性测定	26
23 匝间绝缘试验	26
24 短时升高电压试验	26
25 耐电压试验	27
附录 A (规范性附录) 输入电流及输入功率的修正方法	28
附录 B (规范性附录) 测功机转矩读数的修正	30
附录 C (规范性附录) 直流电机的短路方法	31
附录 D (资料性附录) 电机的换向火花等级判定	34

前 言

本标准代替 GB/T 1311—1989《直流电机试验方法》。与前版相比,主要变化如下:

——引用标准为现行有效标准。

——3.2 仪表选择中对仪表准确度要求进行了修改,比前版的要求提高了。

——第 7 章电感的测定中增加了负载状态下电枢饱和和电感的测定。

——第 16 章转动惯量的测定中增加了双钢丝法。

——前版式(20)、式(B.1)、式(B.2)、式(B.3)有误,进行了修改。

——增加了附录 D 火花等级的描述。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 为规范性附录,附录 D 为资料性附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国旋转电机标准化技术委员会(SAC/TC 26)归口。

本标准负责起草单位:上海电器科学研究所(集团)有限公司、上海南洋电机有限公司、西安西玛电机(集团)有限公司、卧龙电气集团股份有限公司、永济新时速电机电器有限责任公司、哈尔滨电机厂交流直流有限责任公司、杭州金鳞电机制造有限公司、上海电科电机科技有限公司负责起草。

本标准参加起草单位:杭州恒力电机制造有限公司。

本标准主要起草人:金惟伟、邱毓鸿、庄晓芬、陈伟民、张锦伟、孟凡民、钟幼康、盛君、韩荣灿。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 1311—1989

直流电机试验方法

1 范围

本标准适用于 GB 755 规定范围内的一般用途直流电机。对特殊用途或有特殊试验要求的电机,凡本标准未规定的试验方法,应在该类型电机的标准中作补充规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 755 旋转电机 定额与性能(GB 755—2008,IEC 60034-1:1996,IDT)

GB 4824—2004 工业、科学和医疗(ISM)射频设备电磁骚扰特性 限值和测量方法(CISPR 11:2003, IDT)

GB 10068 轴中心高为 56 mm 及以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值(GB 10068—2008,IEC 60034-14:1996,IDT)

GB/T 10069.1—2006 旋转电机噪声测定及限值 第 1 部分:噪声测定方法旋转电机噪声测定方法(ISO 1680:2000,MOD)

3 试验电源、仪表选择及试验前检测

3.1 试验电源

3.1.1 普通电源

试验用普通电源包括直流发电机组、蓄电池。

3.1.2 整流电源

试验用整流电源的电流纹波因数或波形因数应符合被试电动机技术条件的要求,整流器交流输入电压应对称,输出电压、电流波形应平衡、稳定,无干扰。

3.2 仪表选择

3.2.1 测量仪器的准确度

试验时,采用的电气测量仪器、仪表的准确度应不低于 0.5 级(兆欧表除外);转速表读数误差在 ± 1 r/min;转矩测量仪及测功机的准确度应不低于 0.5 级;测力计的准确度应不低于 1 级;温度计的误差应不超过 ± 1 °C。

选择仪表时,应使测量值位于 20%~95% 仪表量程范围内。

对小功率直流电动机,应按附录 A 对输入电流和功率的测量值进行修正。

3.2.2 电压电流的测量

电压、电流平均值用磁电式仪表或能读出平均值的其他仪表包括数字式仪表来测量。电压、电流有效值用电动式仪表或能真实读出方均根数的其他仪表包括数字式仪表来测量。

测量电枢回路电压时,电压表应直接接在绕组出线端上。用分流器测量电流时,测量线的电阻应按所用毫伏表选配。

3.2.3 电动机输入功率的测量

输入功率用电压乘电流来计算,试验电源为整流电源时应用真实读数瓦特表或指示电压、电流瞬时值乘积平均值的其他测量装置直接测取电枢回路输入功率,也可分别测量直流功率分量和交流功率分

量(见 12.3)然后相加求得。

3.3 试验前检测

3.3.1 一般检查

试验前应检查电机的装配质量和轴承运行情况,以保证各项试验能顺利进行,试验线路和设备应能满足试验要求。

3.3.2 中性线的测定

中性线的测定有感应法、正反转发电机法、正反转电动机法。试验前,电刷与换向器工作表面的接触应良好。

3.3.2.1 感应法

- a) 电枢静止,励磁绕组他励,将毫伏表接在相邻的两组电刷上,并交替地接通和断开电机的励磁电流(图 1),逐步移动刷架的位置,在每一个不同位置上测量电枢绕组的感应电势,当感应电势最接近零时,即可认为电刷位于中性线上,毫伏表的读数推荐以励磁电流断开时的读数为准。

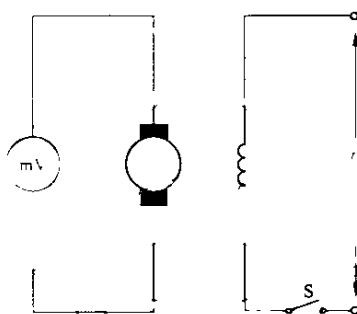


图 1

- b) 电枢静止,励磁绕组他励,交替地接通和断开电机的励磁电流,在距离等于或接近于一极距的两片换向片上测量感应电势,沿换向器圆周移动,正负感应电势各量取几点读数,然后按图 2 所示的作图法求出中性线位置。

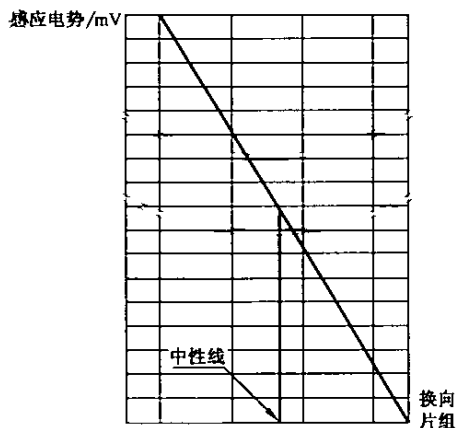


图 2

3.3.2.2 正反转发电机法

试验时,电机励磁绕组他励,在保持转速、励磁电流及负载(接近额定值)不变的情况下,逐步移动刷架位置,在每一个不同位置上测量电机在正转及反转时的电枢电压,直到两个电压数值最接近时为止,

此时即可认为电刷位于中性线上。

3.3.2.3 正反转电动机法

试验时,在保持电机电枢电压、励磁电流及负载(接近额定值)不变的情况下,逐步移动刷架位置,在每一个不同位置上测量电机在正转及反转时的速度,直到两个方向的转速最接近时为止,此时即可认为电枢位于中性线上。

4 绕组对机壳及绕组相互间绝缘电阻的测定

4.1 测量时电机的状态

测量电机绕组的绝缘电阻时,应分别在实际冷状态和热状态下测量。

检查试验时,可仅测量冷态绝缘电阻,但应保证热态绝缘电阻不低于该类型电机标准的规定。

4.2 兆欧表的选用

电机额定电压为 36 V 及以下的用 250 V 兆欧表测量,额定电压为 36 V 以上至 500 V 的用 500 V 兆欧表测量,额定电压在 500 V 以上的用 1 000 V 兆欧表测量。

4.3 测量方法

电枢回路绕组(不包括串励绕组)、串励绕组和并励绕组对机壳及其相互间的绝缘电阻应分别进行测量。

测量时,兆欧表的读数应在仪表指针达到稳定以后读出。

5 绕组在实际冷状态下直流电阻的测定

5.1 实际冷状态下直流电阻的测定

将电机在室内静置一段时间,用温度计(或埋置检温计)测量电机绕组的温度,当所测温度与冷却介质温度之差不超过 2 K 时,此时被测绕组的温度即称为实际冷状态下绕组的温度,若绕组的温度无法测量时,允许用机壳的温度代替,对大、中型电机温度计的放置时间应不少于 15 min。

5.2 绕组直流电阻的测量方法

5.2.1 绕组的直流电阻用双臂电桥或单臂电桥测量,测量 1 Ω 及以下的电阻时,应采用双臂电桥。

5.2.2 当采用电流表和电压表法测量电阻时,接线如图 3 或图 4 所示。

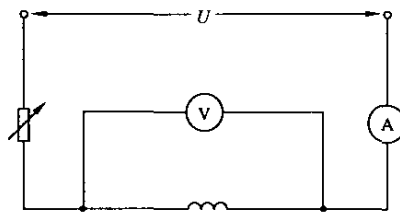


图 3

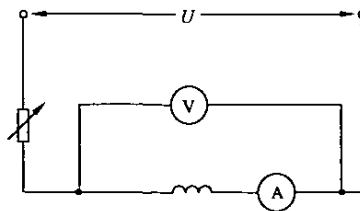


图 4

当测量电压表内阻与被测绕组电阻之比大于或等于 200 时,应采用图 3 的接线测量绕组的电阻;当测量电流表内阻与被测绕组电阻之比小于 1/200 时,应采用图 4 的接线测量绕组的电阻。测量时电压

表与被测绕组应接触良好,电流必须保持恒定,通过被测绕组的电流应不超过额定电流的10%,通电时间应不超过1 min。

5.2.3 当采用数字式微欧计测量绕组电阻时,测棒与被测绕组的接触应良好,通过被测绕组的电流不应太小,但不能超过额定电流的10%,通电时间应不超过1 min。

5.2.4 测量电机各部分绕组直流电阻时,转子应静止不动,每一绕组测量三次,每次读数与三次读数的平均值之差,应在平均值的±0.5%范围内,取其平均值作为绕组电阻的实际值,并同时记录绕组温度。

检查试验时,每一电阻可仅测量一次。

5.3 电枢绕组直流电阻的测定

5.3.1 按5.2测量电枢绕组电阻时,应将电刷自换向器上提起或与换向器绝缘,根据电枢绕组的型式按下列方法进行。

a) 对单波绕组应在距离等于或最接近于奇数极距的两片换向片上进行测定,测得的电阻即为电枢绕组电阻。

b) 对无均压线的单叠绕组应在换向器直径两端的两片换向片上进行测定。

电枢绕组的直流电阻 R_a 由式(1)计算:

$$R_a = \frac{R}{p^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

R ——测量的电阻值,Ω;

p ——极对数。

c) 对装有均压线的单叠绕组,应在距离等于或最接近于奇数极距,并都装有均压线的两片换向片上进行测定,测得的电阻即为电枢绕组电阻。

d) 对装有均压线的复叠或复波绕组应在距离最接近于一极距,并都装有均压线的两片换向片上进行测定,测得的电阻即为电枢绕组电阻。

e) 蛙绕组—单蛙绕组应在相隔一个极距的两换向片上测量;双蛙绕组应在相邻的两换向片上测量;三蛙绕组应在相隔一个极距的两换向片上测量。如 $K/2p$ 不是整数时应加修正值 $\pm m/2$ 。

电枢绕组的直流电阻 R_a 由式(2)计算:

$$R_a = \frac{R}{(\alpha/K + 1)m^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

R ——测得的电阻值;

α ——蛙绕组的电阻系数,见表1;

K ——换向片数;

m ——绕组的重路数。

表 1

$2p$	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
α	8.00	27.71	61.25	110.11	175.43	258.13	359.02	478.77	617.98	777.21	956.92

f) 其他型式电枢绕组直流电阻的测量方法应根据绕组的具体结构,采用相应的方法。

5.3.2 按5.2.1测量电枢绕组直流电阻时,电刷自换向器上提起或与换向器绝缘有困难而将电刷放在换向器上,应在位于两组相邻电刷的中心线下面,距离等于或最接近于一极距的两片换向片上进行测量。

5.3.3 用于温升试验的电枢绕组冷状态直流电阻的测定,可在位于相邻两组电刷之间,距离约等于极

距一半的两片换向片上进行测量,并在这两片换向片上做好标记。

大型电机测量电枢绕组冷状态直流电阻时,应在换向器上多选择几组不同位置的换向片。温升试验时,在电机断能停转后,总有一组换向片位于相邻电刷之间,可测量电枢绕组热状态直流电阻。

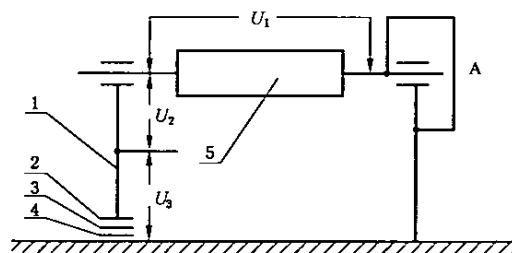
6 轴电压的测定

轴电压测定见图 5。

试验前应分别检查轴承座与金属垫片、金属垫片与金属底座间的绝缘电阻。

第一次测定时,被试电机应在额定电压、额定转速下空载运行,用高内阻毫伏表测量轴电压 U_1 ,然后用导线 A 将转轴一端与地短接,测量另一轴承座对地轴电压 U_3 ,测量完毕将导线 A 拆除。试验时测点表面与毫伏表引线的接触应良好。

第二次测定时,被试电机在额定电流、额定转速下短路或额定负载运行,测量轴承电压 U_2 。对调速电机可在最高额定转速下进行检查。



- 1—轴承座;
- 2—绝缘垫片;
- 3—金属垫片;
- 4—绝缘垫片;
- 5—转子。

图 5

7 电感的测定

7.1 电枢回路电感的测定

7.1.1 不饱和电感的测定

试验开始前电机电刷的安装应接触良好,并(他)励磁场的绕组应短路以避免绕组感应高压。

试验时,在电机电枢回路端子通以 50 Hz 或 60 Hz 的单相交流电。固定电枢防止转动,交流电流应限制在额定电流的 20% 左右,以避免在短暂的试验期间电刷和换向器过热。同时读取交流电压、交流电流、相角或功率,相角也可通过瓦特表间接求得。

7.1.2 饱和电感的测定

励磁绕组他励,通以额定励磁电流,励磁用直流电源的电流纹波因数不超过 6%。测定方法与不饱和和电感相同。

串励电机电枢回路仅进行饱和电感的测试,此时串励绕组由直流电源他励,通以额定电流,励磁用直流电源的纹波因数不超过 6%。求得的饱和电感并不包括由于串励磁场引起的附加电感。

7.1.3 负载状态下的饱和电感的测定

被试电机作为发电机,在特定的负载电流状态下运行,使用一台交流发电机,一个电容器 C 和一个电感 L,如图 6 所示,将 20% 左右额定电流的交流电流叠加在直流负载电流上。

电枢回路电感用交流电压、交流电流的有效值，按式(3)计算。

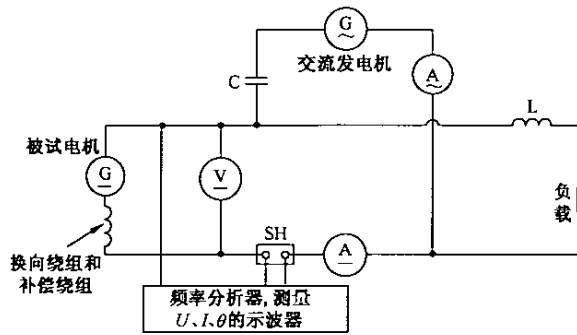


图 6

7.1.4 电枢回路电感试验值的计算

电枢回路电感试验值应按式(3)计算：

$$L_n = \frac{U \sin \theta}{2\pi f I} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- L_n ——电枢回路电感的试验值，H；
- U ——交流电压的有效值，V；
- θ ——交流电压，交流电流间的相角；
- f ——频率，Hz；
- I ——交流电流的有效值，A。

7.2 并(他)励磁绕组电感的测定

7.2.1 不饱和电感的测定

试验时，电机励磁绕组用一在被试电机额定励磁电流时电压调整率小于2%的电源他励，将电机驱动到额定转速，电枢两端开路，调节励磁使电枢电压至额定，在额定和零之间来回两次，然后降低电枢电压到50%额定值左右，记下励磁绕组电压为预定值，再将励磁电压减小到零，断开励磁回路，调节励磁电压到预定值，再合上励磁回路，观察并摄录励磁电压、励磁电流、电枢电压相对于时间的变化过程。

7.2.2 饱和电感的测定

试验线路见图 7。

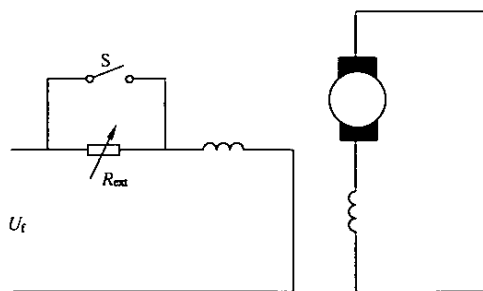


图 7

试验时,将电机驱动到额定转速,对调速电机,应驱动到最低额定转速,电枢两端开路,闭合开关 S,调节励磁电压 U_f ,使电枢两端产生 100% 额定电枢电压,然后打开开关 S,调节 R_{ext} 使电枢电压在 90%~110% 额定值之间变动两次,最终使之停止于 90% 额定值处。闭合开关 S,观察并摄录励磁电压、励磁电流、电枢电压相对于时间的变化过程。

7.2.3 励磁绕组电感试验值的计算

7.2.3.1 不考虑铁心涡流效应时励磁绕组电感按式(4)、式(5)计算:

$$L_f = R_f T_{fi} \dots\dots\dots (4)$$

$$L_{feff} = R_f T_{AV} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

L_f ——励磁绕组电感, H;

R_f ——励磁绕组直流电阻, Ω ;

T_{fi} ——励磁电流变化量达到最大值的 63.2% 时的时间, s;

L_{feff} ——励磁绕组有效电感, H;

T_{AV} ——电枢电压变化量达到最大值的 63.2% 时的时间, s。

7.2.3.2 考虑电机铁心涡流效应时励磁绕组电感按式(6)计算:

$$L_f = R_f \frac{a}{c} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

R_f ——励磁绕组直流电阻, Ω ;

a ——在半对数坐标 $I_{f\infty} - I_f / I_{f\infty}$ 与 t 的关系曲线上,曲线直线部分的延长线与纵坐标轴交点之值(见图 8);

$I_{f\infty}$ ——励磁电流的稳态值。

c 按式(7)计算:

$$c = \frac{\ln b_1 - \ln b_2}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

t_1 、 b_1 和 t_2 、 b_2 ——在曲线的直线部分任取两点 P 和 Q 的相应值(见图 8)。

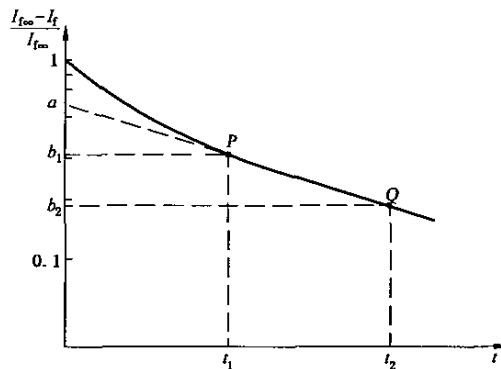


图 8

8 空载特性的测定

8.1 空载发电机法

试验时,电机以空载发电机方式运行,励磁绕组他励,保持额定转速不变,逐步增加电机的励磁电流,直到电枢电压接近额定值的 130% 时为止,然后逐步减小励磁电流到零,做上升或下降分支时各读

取 9 点~11 点,在电枢电压的额定值左右应多读取几点,每一点上同时读取电枢电压和励磁电流的数值。

如电机的磁路比较饱和,电枢电压不能调节到上述数值时,则应调节到可能达到的最大电压时为止,但须注意不使励磁绕组过热。

试验过程中,励磁电流只允许向同一方向调节,如需反向调节,应先将励磁电流回复到零(上升分支)或增加到最大值(下降分支),然后再调节到所需数值。

8.2 空载电动机法

此法仅限于中小型电动机的检查试验。

试验时,励磁绕组他励,并由其他可变电压的直流电源给电枢供电,作空载电动机运行,加在电枢上的电压从额定电压的 25%左右到 120%左右调节,保持额定转速不变,同时读取电枢电压和励磁电流的数值。在低电压时,电动机运行很不稳定,应注意不要使电机超速。

9 整流电源供电时电机的电压、电流纹波因数及电流波形因数的测定

9.1 脉动电压、脉动电流最大值、最小值的测定

脉动电压、脉动电流最大值、最小值可用示波器记录电压、电流波形进行测定。

9.2 电压、电流纹波因数的计算

9.2.1 电压、电流波形不间断时纹波因数的计算

电压、电流波形不间断时(见图 9),其纹波因数应按式(8)、式(9)计算:

$$K_{ocU} = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- K_{ocU} ——电压纹波因数;
- U_{max} ——脉动电压最大值, V;
- U_{min} ——脉动电压最小值, V。

$$K_{ocI} = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- K_{ocI} ——电流纹波因数;
- I_{max} ——脉动电流最大值, A;
- I_{min} ——脉动电流最小值, A。

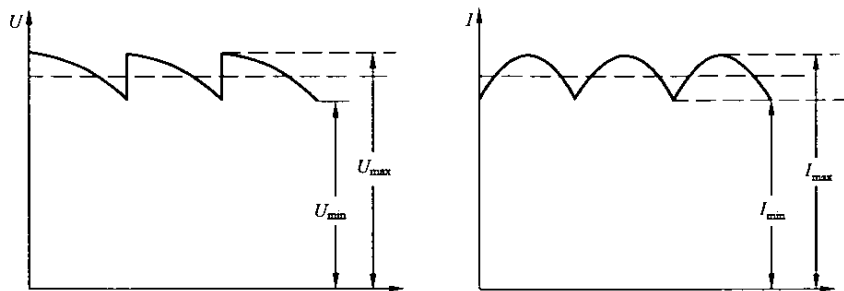


图 9

9.2.2 电压、电流波形间断时纹波因数的计算

电压、电流纹波间断式(见图 10),其纹波因数应按式(10)、式(11)计算:

$$K_{0CU} = \frac{U_{\max} - U_{aV}}{U_{aV}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

K_{0CU} ——电压纹波因数;

U_{\max} ——脉动电压最大值, V;

U_{aV} ——直流电压平均值, V。

$$K_{0CI} = \frac{I_{\max} - I_{aV}}{I_{aV}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

K_{0CI} ——电流纹波因数;

I_{\max} ——脉动电流最大值, A;

I_{aV} ——直流电流平均值, A。

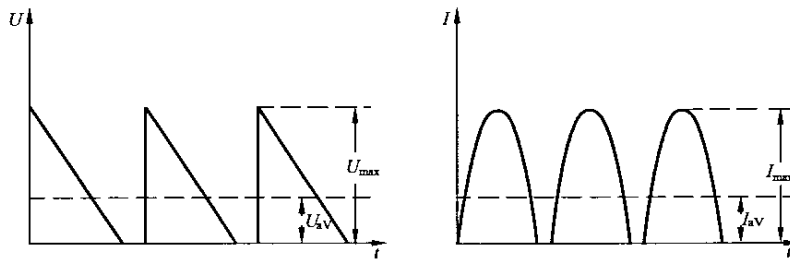


图 10

9.3 电流波形因数的计算

电流波形因数按式(12)计算:

$$K_f = \frac{I_{r.m.s}}{I_{aV}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

K_f ——电流波形因数;

$I_{r.m.s}$ ——电流的有效值, A;

I_{aV} ——电流的平均值, A。

10 额定负载试验

直流发电机的额定负载试验,是当发电机在额定电流、额定电压及额定转速下,确定额定励磁电流。

直流电动机的额定负载试验,是当电动机在额定电流,额定电压、额定励磁电流或额定励磁电压下(对不带磁场变阻器的并励电机)校核转速。

小功率直流电动机的额定负载试验,是当电动机在额定功率或额定转矩、额定电压、额定励磁电压下,确定额定电流及校核转速。

调速电动机的额定负载试验,应分别在最低额定转速及最高额定转速下进行。

试验时,应测定电枢电压、电枢电流、励磁电流及转速。

对保持额定功率进行试验的小功率直流电动机还应测定转矩。

在型式试验中,电机的额定负载试验,应在电机额定运行至各部分的温升达到热稳定时进行。

在检查试验中,电机额定运行的持续时间由该类型电机标准规定。

电机的换向检查应在电机额定负载试验中同时进行。检查的方法是将负载自空载或 1/4 额定负载(对不允许空载的电机)调节到额定负载。此时,在换向器及电刷上的火花等级应不超过 GB 755 或该

类型电机标准的规定(电机火花等级判定见附录 D)。

11 热试验

11.1 热试验时冷却介质温度的测定

11.1.1 开启式电机或无冷却器的封闭式电机(用周围环境空气或气体冷却)

环境空气或气体的温度应采用几个温度计来测量。温度计应分布在电机周围不同的地点,距离电机 1 m~2 m 处,其球部高度应为电机高度的二分之一,并应防止热辐射和气流的影响。

11.1.2 用独立安装冷却器及用远处的空气或气体通过管道冷却的电机

初级冷却介质温度应在进入电机处测量。

11.1.3 电机机座上或内部装内冷却器的封闭式电机

初级冷却介质的温度应在其进入电机处测量。次级冷却介质的温度应在其进入冷却器入口处测量。

11.1.4 试验结束时冷却介质温度的测定

11.1.4.1 对连续定额和断续周期工作制定额的电机,试验结束时的冷却介质温度应取在整个试验过程中最后四分之一时间内,按相等时间间隔测得的几个温度计读数的平均值作为试验中冷却介质温度。

11.1.4.2 对短时定额的电机,试验结束时的冷却介质温度,若定额为 30 min 及以下,取试验开始与结束时温度计读数的平均值;若定额为 30 min~90 min,取 1/2 试验时间,与试验结束时温度计读数的平均值,作为试验中冷却介质的温度。

11.1.4.3 为了避免由于大型电机的温度不能迅速地随着冷却介质温度相应变化而产生误差,应采取一切适当的措施以减少冷却介质温度的变化。

11.2 温升的测定方法

11.2.1 电阻法

利用被测绕组直流电阻在受热后增大的关系来确定绕组的温升,测得的温升是绕组的平均温升。

绕组的温升 $\Delta\theta(\text{K})$ 由式(13)决定:

$$\Delta\theta = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (k + \theta_1) + \theta_1 - \theta_s \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

R_2 ——试验结束时的绕组电阻, Ω ;

R_1 ——实际冷状态下的绕组电阻, Ω ;

k ——常数,对铜绕组为 235,对铝绕组除另有规定外,应采用 225;

θ_1 ——实际冷状态下的绕组温度, $^{\circ}\text{C}$;

θ_s ——试验结束时冷却介质的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

11.2.2 埋置检温计法

即将电阻检温计、热电偶或半导体热敏元件等在电机制造过程中,埋置于电机制成后所不能达到的部位,检温计应适当分布在电机绕组中,其数量应不少于 6 个。在保证安全的前提下,应尽可能使检温计埋置于预计绕组为最热点的各个部位,并应有效地防止检温计与初级冷却介质接触。埋置检温计诸元件的最高读数作为绕组温度的读数。

11.2.3 温度计法

温度计包括膨胀式温度计(例如:水银、酒精等温度计),半导体温度计及非埋置的热电偶或电阻温度计。有强交变磁场的地方不能采用水银温度计。用此法测量温度时,应将温度计贴附于电机被测部分可接触到最热点的表面,以测出接触点表面的温度,被测点与温度计的热传导应尽可能良好,并用绝热材料覆盖,以减少热量的泄漏。

11.3 热试验时电机各部分温度的测定

11.3.1 定子绕组

定子绕组温度应用电阻法测定。对低电阻绕组,如串励绕组换向极绕组及补偿绕组,也可用温度计法测定,各绕组所安放的温度计应不少于2支。

11.3.2 电枢绕组

电枢绕组的温度应用电阻法测定,应于电机断能停转后,在测量电枢绕组冷状态直流电阻的同样两片换向片上立即进行。

11.3.3 电枢铁心

电枢铁心齿部和钢丝扎箍的温度,用温度计法或埋置检温计法测定。测定时,应于电机断能停转后,立即测取不少于两点的温度。

11.3.4 换向器

换向器的温度应在电机断能停转后立即测定,测定时建议采用时间常数较小的温度计(如半导体点温计)。

11.3.5 轴承

轴承温度可用温度计法或埋置检温计法进行测量。测量时,应保证检温计与被测部位之间有良好的热传递,滑动轴承或滚动轴承温度的测量应按 GB 755 的规定进行。

11.4 电机断能停转后所测得温度的修正

11.4.1 用电阻法测量断能停转后的电机温度时,要求在热试验结束就立即使电机停转,为了能够迅速地获得可靠读数,需要有精心安排的操作程序和适量的试验人员,电机断能后如能在表2所规定的时间内测得第一点读数,则以该读数计算电机温升而不需要外推至断能瞬间。

表 2

电机的额定功率/kW	断能后间隔时间/s
≤50	30
>50~200	90
>200~5 000	120
>5 000	按专门协议

11.4.2 若在表2规定时间内不能测得第一点读数,则应尽快测得它,以后每隔约1 min 读取一次读数,直至这些读数开始明显地从最高值下降为止。将测得的读数作为时间的函数绘成曲线,并根据电机的额定功率,将此曲线外推至表2相应的间隔时间,所获得的电阻或温度即作为电机断能瞬间的电阻或温度值,绘制曲线时推荐采用半对数坐标,电阻或温度值标在对数坐标轴上,如图11所示。

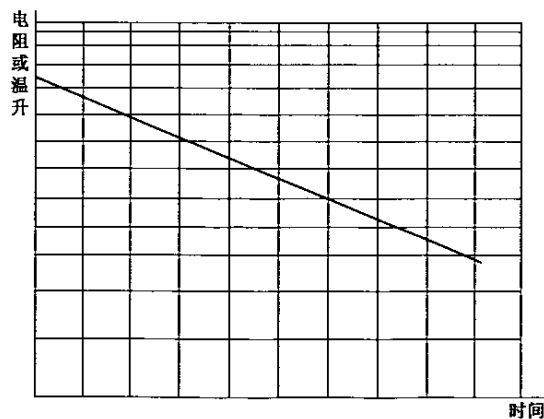


图 11

如电机断能后测得第一点读数的时间超过表 2 规定时间的两倍,则本条所规定的方法只有在制造厂与用户取得协议后才能采用。

11.4.3 若在断能后测得的电机个别部分的温度先上升,然后再下降,则应取测得温度中的最高数值作为电机断能瞬间的温度。

11.5 热试验方法

11.5.1 连续定额电机的热试验

11.5.1.1 连续定额电机的热试验应在额定功率或铭牌电流、额定电压及额定转速下用直接负载法进行,直到电机各部分温升达到热稳定时为止。试验过程中如有可能应测量机壳、并(他)励绕组、串励绕组、补偿绕组、换向绕组、轴承、进出风和冷却介质的温度,至少每小时一次。

试验可以从电机在实际冷状态时开始,也可以从热状态开始。

对采用强迫通风或闭路循环冷却系统的电机,在电机断能时同时停止冷却介质的供给。

恒转矩调速电动机的温升试验,在最低额定转速及最高额定转速下按其相应的额定功率或按该类型电机标准的规定进行。

恒功率调速电动机的热试验,在最低额定转速下按其额定功率进行。

11.5.1.2 当试验电源为普通电源时,电机加负载的方法一般用回馈法,将被试电机与相应规格的另一台直流电机在机械上和电气上相互连接,其中一台电机作为电动机运行,而另一台则作为发电机运行。两台电机的损耗由线路电源或升压机供给,原理如图 12 或图 13 所示。两台电机的损耗也可由线路电源和升压机联合供给,如图 14 所示。

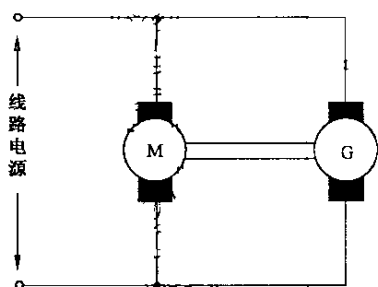


图 12

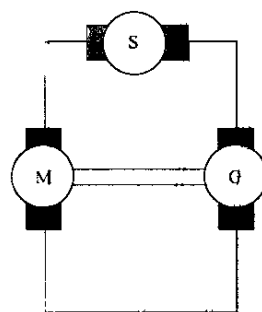
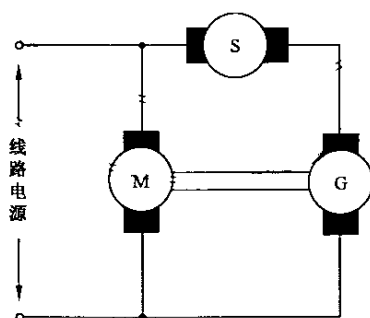


图 13



M——作为电动机的一台被试电机;
G——作为发电机的一台被试电机;
S——升压机。

图 14

对于小功率直流电动机,为了保持额定输出功率或转矩不变,一般应采用测功机作负载进行热试验。热试验时所用支架和散热板应按该类型电机标准的规定。

11.5.1.3 对于大中型电机,当受试验设备条件限制时,允许采用间接法(空载短路法)进行热试验。间接法热试验时,被试电机应在额定转速下,分别做额定电流时的短路温升、电枢电压为额定负载时内电势值的空载温升及不加励磁情况下的空转温升试验。在试验过程中如有可能应测量机壳、并(他)励绕组、串励绕组、换向极绕组、补偿绕组、轴承、进出风和冷却介质的温度,至少每小时一次,直到电机各部分温升达到热稳定为止。

电机断能后的要求同本标准 11.4。

电机各部分绕组在额定负载时的温升 $\Delta\theta$ (K)可用式(14)求得:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_d + \Delta\theta_0 - \Delta\theta_r \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$\Delta\theta_d$ ——额定电流时的短路温升,K;

$\Delta\theta_0$ ——电枢电压为额定负载时内电势值的空载温升,K;

$\Delta\theta_r$ ——不加励磁情况下的空转温升,K。

换向器温升由额定电流时的短路热试验求得。

11.5.1.4 电动机的热试验如在铭牌电流下进行,功率可能与额定功率略有不同。此时试验所得的电枢回路绕组温升数值 $\Delta\theta$ 由式(15)换算到额定功率时的数值 $\Delta\theta_N$:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta \left(\frac{I_N}{I_t} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

但 $\frac{I_N - I_t}{I_N} \times 100\%$ 应不超过 $\pm 5\%$

式中:

$\Delta\theta$ ——对应于试验电流 I_t 的绕组温升,K;

I_N ——电动机额定输出功率时的电流,A;

I_t ——电动机试验时电流,取试验过程中最后 1 h 内几个相等时间间隔时的电流读数的平均值,A。

11.5.2 短时定额电机的热试验

试验的持续时间即为该定额所规定的时限。试验开始时,电机应为实际冷状态。

在试验过程中,按照定额时间的长短每间隔 3 min~15 min 记录一次。

其他试验要求同 11.5.1 的规定。

11.5.3 周期工作定额电机的热试验

对断续负载,应按规定的负载周期连续运行,如无其他规定,试验时每一工作周期应为 10 min,直至达到实际上相同的温度循环,即将两个工作周期上的相应点连成直线,其梯度应小于每小时 2 K,电机各部分温度的测定应在最后一个工作周期内,产生最大热量时间一半时,切断电源立即进行测量。

对于几个不同负载持续率的周期工作定额的电机,其热试验应按每一负载持续率分别进行。对于他励电机,如果设计中规定他励绕组在全部工作周期内是接在线路中,则在断能停转时他励绕组不应自线路上断开。

其他试验要求同 11.5.1 的规定。

12 效率的测定

效率的测定方法有间接法(由各项损耗之和确定效率和由总损耗确定效率)和直接法。

12.1 由各项损耗之和确定效率

试验电源用普通电源。

12.1.1 电机各种损耗的确定

12.1.1.1 铜耗

电枢回路铜耗为电枢回路中所有绕组的电阻(换算到基准工作温度,见表 3)之和与电枢电流平方的乘积。

表 3

绝缘结构的热分级	基准工作温度/℃
A、E	75
B	95
F	115
H	130

12.1.1.2 电刷的电损耗

电刷的电损耗为电枢电流与电刷电压降的乘积,这一电压降的数值为:碳-石墨、石墨及电化石墨电刷 2 V;金属石墨电刷 0.6 V。

12.1.1.3 铁耗及机械损耗

铁耗和机械损耗可用下列方法之一测定:

a) 空载电动机法

电机空载运行一段时间,使电机的轴承及电刷摩擦损耗达到稳定。试验时,电机作空载运行,励磁建议采用他励,转速应保持在额定值,外施电压从 125%的额定电压开始,逐步降低至可能达到的最低值。在每一电压下测量电枢电压、电枢电流及励磁电流。试验后应立即测量电枢回路各部分绕组的电阻。

被试电机的铁耗(P_{Fe})及机械损耗(P_{fw})之和由式(16)计算:

$$P_{Fe} + P_{fw} = P_0 - P_{Cu\omega} - P_{Cub0} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

$P_0 = I_0 U_0$ (I_0 ——空载电枢电流, A; U_0 ——空载时电枢端电压, V), W;

$P_{Cu\omega}$ ——电枢回路中各部分绕组的铜耗,为试验后量得的电枢各绕组电阻之和与空载电流平方的乘积, W;

P_{Cub0} ——空载电刷电损耗, W。

为确定铁耗及机械损耗,应绘制铁耗及机械损耗之和对于电枢电压平方的曲线,并将其延长至与纵轴相交(见图 15),交点的纵坐标即为机械损耗。

被试电机的铁耗应按相应的感应电势求得,即为被试电机是发电机时,电枢感应电势等于额定电压加上电枢回路各部分绕组的电压降及电刷压降,当被试电机是电动机时,电枢感应电势等于额定电压减去电枢回路各部分绕组的电压降及电刷压降。

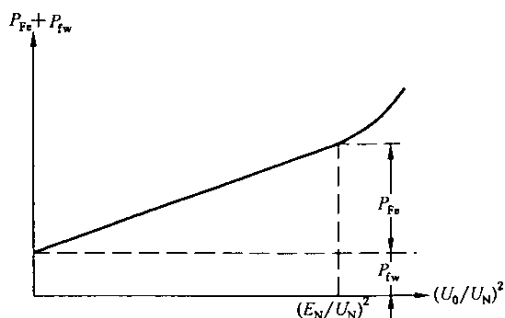


图 15

b) 空载发电机法

被试电机应在发电机方式下空载运行一段时间,使轴承及电枢摩擦损耗达到稳定。试验时,被试电机应他励,转速应保持在额定值,被试电机的空载电枢电压调节到等于被试电机在额定运行时的感应电势,此时测功机或转矩测量仪测得的功率即为被试电机的铁耗与机械损耗之和。再使被试电机在空载不励磁情况下运行,此时测功机或转矩测量仪测得的功率即为机械损耗。

上述两个损耗间的差值即为被试电机的铁耗。

12.1.1.4 励磁损耗

a) 励磁绕组铜耗

励磁绕组铜耗为励磁绕组的电阻(换算到基准工作温度)与励磁电流平方的乘积。

当计算电机在额定负载下的效率时,如励磁电流不能由直接负载试验测定,可取下列数值:

对并励或他励发电机(不论有无换向极)按电机空载电压等于额定电压加上额定电流时电枢回路(包括电枢绕组、电刷、换向绕组)的压降所需励磁电流的110%;

对带有补偿绕组的并励或他励发电机,按电机在空载电压等于额定电压加上额定电流时电枢回路(包括电枢绕组、换向绕组、补偿绕组及电刷)电压降时的励磁电流;

对平复励发电机,取空载电压等于额定电压时的励磁电流;

对过复励及欠复励发电机,由制造厂与用户协议;

对电动机,取额定电压、额定转速时的空载励磁电流。

b) 主励磁回路中变阻器损耗

主励磁回路中变阻器损耗为指定负载时变阻器的电阻数值与在该负载时的励磁电流平方的乘积,也可为指定负载时变阻器上的电压降与该负载时励磁电流的乘积。

c) 励磁机损耗

由被试电机驱动并为其专用的励磁机,其损耗应计入被试电机的励磁损耗内。此项损耗为励磁机的输入功率(除励磁机本身的机械损耗外)与励磁机输出功率间的差值加上励磁机的励磁损耗(如励磁机为他励时)。励磁机的输出功率即为上述a)项及b)项之和。

如励磁机可从被试电机轴上拆下而单独进行试验时,则励磁机在指定输出时的输入功率可用测功机或转矩测量仪来测定;如励磁机不能拆下时,则可将被试电机由独立的电源他励,在电动机状态下运行,测定励磁机在负载及空载不励磁时整个机组的损耗,两个损耗的差值即为励磁机的输入功率。

如上述方法都不能应用时,则励磁机损耗可以用本条所述的损耗分析法确定,但已计入在被试电机中的机械损耗不应计入。

12.1.1.5 杂散损耗

在额定负载时杂散损耗应按下列办法确定:

a) 无补偿绕组——额定输入的1%(电动机);

额定输出的1%(发电机)。

b) 有补偿绕组——额定输入的0.5%(电动机);

额定输出的0.5%(发电机)。

当电机功率不等于额定值时,杂散损耗值应按电流平方成正比而进行修正。

对恒速电机,额定输入或额定输出是指最高额定电压及最大额定电流时的输入和输出。

对借调节外施电压改变转速的调速电动机,每一特定转速时的额定输入是指最大额定电流与该特定转速时的电压乘积。对借励磁改变转速的调速电动机,额定输入是指额定电压与最大额定电流的乘积。对借励磁保持恒压的调速发电机,额定输出是指额定电压与最大额定电流时的输出。上列百分数是指在最低额定转速时的杂散损耗。在其他转速时,应再乘以表4的校正系数。

表 4

速比	1.5 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1
系数	1.4	1.7	2.5	3.2

注：速比是指某一实际转速与连续运行的最低额定转速之比。对于未列出的转速比，其相应的校正系数可用插入法求取。

12.1.2 效率

12.1.2.1 电机总损耗

总损耗=铜耗+电刷电损耗+铁耗+机械损耗+励磁损耗+杂散损耗。

12.1.2.2 效率的计算

直流电动机的效率：

$$\eta_M = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

- η_M ——直流电动机的效率；
- P_1 ——电动机输入功率，W；
- ΣP ——总损耗，W。

直流发电机的效率：

$$\eta_G = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

- η_G ——直流发电机的效率；
- P_2 ——发电机输出功率，W；
- ΣP ——总损耗，W。

12.2 总损耗确定效率

试验电源用普通电源，由单电源回馈试验确定总损耗。

12.2.1 方法和要求

两台相同规格的电机，机械耦合并接在同一电源上，如图 16 所示。其中一台作为发电机运行，而另一台作为电动机运行。电机各部分的温度应接近热稳定，两台电机应由独立的直流电源他励，应调节励磁电流使电机在额定转速时满足下列要求：

- a) 两台电机电枢电流的平均值应等于电机在额定运行时的电枢电流；
- b) 两台电机的电枢感应电势应等于电机在额定运行时的电枢感应电势。电枢回路中的电压降由升压机补偿。

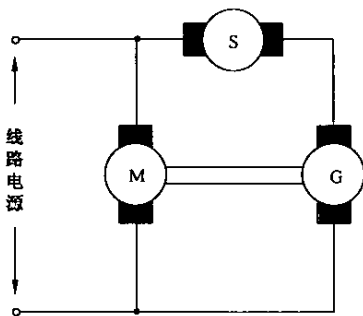


图 16

12.2.2 效率的计算

直流电动机的效率:

$$\eta_M = \left[1 - \frac{\frac{1}{2}(U_c I_c + U_s I_G) + U_T I_T}{U_M I_M} \right] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (19)$$

直流发电机的效率:

$$\eta_G = \left[1 - \frac{\frac{1}{2}(U_c I_c + U_s I_G) + U_T I_T}{U_G I_G + \frac{1}{2}(U_c I_c + U_s I_G) + U_T I_T} \right] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中:

- U_c ——线路电源的电压, V;
- I_c ——线路电源的电流, A;
- U_s ——升压机的端电压, V;
- I_G ——发电机的电枢电流, A;
- U_T ——他励励磁绕组的端电压, V;
- I_T ——他励励磁绕组的电流, A;
- U_M ——电动机的端电压, V;
- I_M ——电动机的电枢电流, A;
- U_G ——发电机的端电压, V。

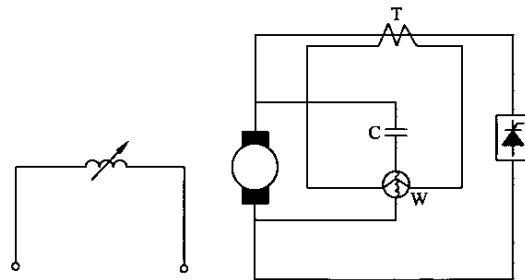
12.3 试验电源为整流电源时电动机效率的测定

12.3.1 电动机纹波损耗的测定

当电枢电流纹波因数超过 0.1 时, 必须考虑由交流分量引起的纹波损耗, 纹波损耗测定的接线如图 17。

在电枢回路里最好串入空心电流互感器。如用带有铁心的互感器, 互感器应有足够容量, 以避免直流电流通过互感器一次绕组而引起的磁饱和。互感器二次绕组串连于低功率因数瓦特表电流线圈中; 同时将用以隔离电压直流分量的电容器同低功率因数瓦特表的电压线圈串联后, 跨接在电枢的两端。电容器应有适当容量, 以使电容器两端的交流压降不大于被测电压交流分量的 2%。由低功率因数瓦特表读取的交流输入功率, 即为电动机的纹波损耗。

为得到比较准确的试验结果, 所用仪表和元器件的工作频率应在 300 Hz 以上。



- T——电流互感器;
- C——电容器;
- W——低功率因数瓦特表。

图 17

12.3.2 效率的计算

整流电源供电的直流电动机效率按式(21)计算:

$$\eta = \eta_M \frac{P_1}{P_1 + \Sigma P_-} \dots\dots\dots (21)$$

式中:

- η_M ——试验电源用普通电源时,按 12.1、12.2 确定的电机效率;
- P_1 ——试验电源用直流电源时的电动机的输入功率, W;
- ΣP_- ——由 12.3.1 测得的交流分量产生的纹波损耗, W。

12.4 效率的直接测定法

12.4.1 输入功率和输出功率的测量

直接测定效率时,电动机的输入功率用电工仪表测量(见 3.2.3),输出的机械功率用测功机、转矩测量仪测量;发电机的输出功率用电工仪表测量,输入功率用测功机、转矩测量仪测量。

测功机的功率,在与被试电机同样的转速下应不超过被试电机额定功率的三倍;转矩测量仪的标称转矩,应不超过被试电机额定转矩的三倍。测功机与被试电机之间应用弹性联轴器连接,连接应保证良好、同心。

12.4.2 试验方法

试验时,被试电机应在额定功率或额定转矩、额定电压及额定转速下运行至热稳定,读取输入或输出的电压、电流、功率、转速及转矩,并记录周围冷却空气温度,然后立即测定串励、并(他)励及电枢绕组的电阻,并将冷却空气温度换算至 25℃。

12.4.3 试验结果的计算

被试电动机的输出机械功率 P_2 按式(22)计算:

$$P_2 = \frac{T_M n_M}{9.55} \dots\dots\dots (22)$$

式中:

- T_M ——被试电动机输出转矩, N·m;
- n_M ——被试电动机转速, r/min。

被试电动机的效率 η_M 按式(23)计算:

$$\eta_M = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \dots\dots\dots (23)$$

式中:

P_1 ——被试电动机输入功率, W。

被试发电机的输入机械功率 P_1 (W) 按式(24)计算:

$$P_1 = \frac{T_G n_G}{9.55} \dots\dots\dots (24)$$

式中:

- T_G ——被试发电机输入转矩, N·m;
- n_G ——被试发电机转速, r/min。

如被试发电机为他励,则输入功率中还应加入励磁功率。

被试发电机的效率 η_G 按式(25)计算:

$$\eta_G = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \dots\dots\dots (25)$$

式中:

P_2 ——被试发电机输出电功率, W。

12.4.4 效率的温度换算

用直接法测定电机效率时,如试验时的冷却空气温度不是 25℃,应按下列公式换算到 25℃。

电机额定输出功率时,效率的温度换算应按式(26):

$$\eta_{25} = \frac{P_2}{P_{1(25)}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$P_{1(25)} = P_1 + I_a^2 R_{2a} \frac{(\Delta\theta_a + 25) - \theta_{2a}}{k + \theta_{2a}} + I_s^2 R_{2c} \frac{(\Delta\theta_c + 25) - \theta_{2c}}{k + \theta_{2c}} + I_f^2 R_{2f} \frac{(\Delta\theta_f + 25) - \theta_{2f}}{k + \theta_{2f}} \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中:

η_{25} ——冷却空气温度为 25℃时电机的效率;

P_2 ——效率测定时电机的额定输出功率, W;

$P_{1(25)}$ ——冷却空气温度为 25℃时电机的额定输入功率, W;

P_1 ——效率测定时电机的额定输入功率, W;

I_a ——效率测定时电机的额定电枢电流, A;

I_f ——效率测定时电机的额定励磁电流, A;

R_{2a} 、 R_{2c} 、 R_{2f} ——效率测定后立即测得的电枢绕组、串励绕组及并励绕组的电阻, Ω ;

$\Delta\theta_a$ 、 $\Delta\theta_c$ 、 $\Delta\theta_f$ ——额定输出功率时电枢绕组、串励绕组及并励绕组温升值, K;

θ_{2a} 、 θ_{2c} 、 θ_{2f} ——效率测定后立即测得的电枢绕组、串励绕组及并励绕组的温度, $^{\circ}\text{C}$;

k ——常数, 见 11.2.1。

θ_{2a} 按式(28)计算:

$$\theta_{2a} = \frac{R_{2a} - R_1}{R_1} (k + \theta_1) + \theta_1 \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中:

R_{2a} ——效率测定后立即测得的电枢绕组电阻, Ω ;

R_1 ——实际冷状态时电枢绕组电阻, Ω ;

θ_1 ——实际冷状态时电枢绕组温度, $^{\circ}\text{C}$;

k ——常数, 见 11.2.1。

θ_{2c} 与 θ_{2f} 的计算方法与 θ_{2a} 相同。

12.4.5 测功机转矩读数的修正

如果对测量准确度有更高要求时,则应按附录 B 对测功机所测的输出或输入转矩值进行修正,以便求得被试电机的实际输出或输入转矩值。

13 电机偶然过电流和电动机的短时过转矩试验

偶然过电流试验时,电机应在最高满磁场转速(发电机为额定转速)和相应的电枢电压下进行。

电动机短时过转矩试验时,电压应为额定值,励磁电流应调节到额定值(串励电动机除外)并保持不变。

偶然过电流和过转矩的倍数及其持续时间按 GB 755 或该类型电机标准的规定。试验时同时检查换向。

电动机的短时过转矩试验,当受试验设备条件限制时,可以用相应的过电流值代替。

对大中型电机当受试验设备条件限值时,可以在短路方式进行(短路方法见附录 C)。

调速电动机的短时过转矩试验应分别在最低额定转速和最高额定转速下,按其相应的过转矩值进行。

14 发电机的外特性和固有电压调整率的测定

被试电机应额定运行于热稳定,保持额定转速及励磁调节不变(对他励电机保持励磁电流不变),逐

步减少及增加负载电流,反复进行若干次,直到额定电流下电压相近为止。

14.1 发电机外特性的试验方法

发电机外特性的试验方法可按下列方法之一:

- a) 电机从额定负载开始,逐步减少负载电流到空载,然后逐步增加负载,每隔约 25% 额定负载读数,直至 1.2 倍~1.5 倍额定负载。
- b) 电机从额定负载开始,逐步增加负载到 1.2 倍~1.5 倍额定负载。逐步减小负载,每隔约 25% 额定负载读数,直至空载。

试验过程中,若在额定电流时的电压读数与开始值有明显差异时,则应重新进行试验。试验时,应同时读取电枢电压、负载电流、励磁电流和转速的数值,并绘制电压对负载电流的关系曲线。

14.2 固有电压调整率的测定

固有电压调整率的测定方法同 14.1。在检查试验中,允许只在满载及空载时读取两点读数。

固有电压调整率按式(29)计算:

$$\Delta U_N = \frac{U_0 - U_N}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中:

- ΔU_N ——固有电压调整率;
- U_0 ——空载时端电压, V;
- U_N ——额定电压, V。

15 电动机的转速特性和固有转速调整率的测定

被试电机应额定运行于热稳定,保持额定电压,对于他励或并励电机,保持励磁电流不变;对于复励电机,应保持励磁调节不变。逐步减少及增加负载电流,反复进行若干次,直到额定电流下转速相近为止。

15.1 电动机转速特性的试验方法

电动机转速特性的试验方法可按下列方法之一:

- a) 电机由额定负载和额定转速开始,逐步减少到空载(对不允许空载的电动机,减少到 1/4 额定负载),然后逐步增加负载电流,每隔约 25% 额定电流读数,直至 1.2 倍~1.5 倍额定负载;
- b) 电机由额定负载和额定转速开始,逐步增加到 1.2 倍~1.5 倍额定负载,然后逐步减少到空载(对不允许空载的电动机,减少到 1/4 额定负载),每隔约 25% 额定电流读数。

试验过程中,如在额定电流时的转速与开始值有明显差异时,则应重新进行试验。试验时应同时读取转速、负载电流、励磁电流和电枢电压的数值,并绘制转速对于负载电流的关系曲线。

15.2 固有转速调整率的测定

固有转速调整率的测定方法同 15.1。在检查试验中,允许只在满载及空载(对不允许空载的电动机,减少到 1/4 额定负载)时读取两点读数。

允许逆转的电动机,应在每个旋转方向测定固有转速调整率。

调速电动机应在最低额定转速及最高额定转速时测定固有转速调整率。

固有转速调整率按式(30)计算:

$$\Delta n_N = \frac{n_0 - n_N}{n_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中:

- Δn_N ——固有转速调整率;
- n_0 ——空载时的转速, r/min;
- n_N ——额定转速, r/min。

16 转动惯量的测定

16.1 自减速法

首先测定电机在额定转速时的空载铁耗和机械损耗。在额定励磁电流和高于额定转速 n_N 下,作空载运行(串励电机在他励情况下),待电机运行平稳后迅速地切断电枢电源,励磁电流保持不变,由其惯性而自然减速,建议用 x-y 记录仪测定其减速曲线(如图 18),在 1.1 倍~0.9 倍额定转速范围内进行计算。

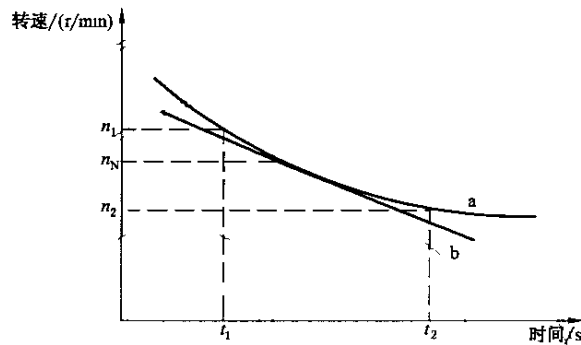


图 18

转动惯量 J 按式(31)计算:

$$J = \frac{P}{4 \times 1.37 \frac{n_1^2 - n_2^2}{t_2 - t_1}} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中:

J ——转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$;

P ——在额定转速时,机械损耗和空载铁耗之和, kW ;

n_1 ——时间 t_1 时的转速, r/min ;

n_2 ——时间 t_2 时的转速, r/min 。

另外,在减速曲线 a (图 18)上,由转速 n_N 点引起切线 b ,求出 n_N 处的速度变化率 dn_N/dt (r/min/s)

转动惯量 J 按式(32)计算:

$$J = \frac{P \times 10^4}{4 \times 2.74 \times \left(\frac{dn_N}{dt}\right) n_N} \quad \dots\dots\dots (32)$$

16.2 扭摆法

16.2.1 单钢丝法

采用单钢丝扭转摆动比较法测定电机转子的转动惯量。

选择密度均匀的金属制成假转子,假转子形状应为简单的圆柱体,以便能用式(33)较精确地计算出假转子的转动惯量。假转子的质量应能将所选用的钢丝拉直且钢丝不变形。把假转子可靠地悬挂在长度 $l \geq 0.5 \text{ m}$ 的钢丝一端,钢丝的另一端固定在支架上,钢丝轴线应与假转子轴线同心且垂直地面。

将假转子绕心轴扭转一个适当角度,仔细测量往复摆动次数 N 及所需时间 t (s),求得摆动周期平均值 T' ($T' = N/t$)。被试电机转子在相同的条件下,重复上述试验,按上方法求得其摆动周期的平均值 T ,按式(34)计算被试电机的转动惯量 J 。

假转子的转动惯量 J' ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)由下式计算:

$$J' = \frac{mD^2}{8} \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

m ——直径 D 部分的圆柱体质量, kg;

D ——圆柱体直径, m。

被试电机转子的转动惯量 J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) 按下式计算:

$$J = J' \frac{T^2}{T'^2} \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中:

T ——被试电机转子的摆动周期平均值, s;

T' ——假转子的摆动周期平均值, s。

16.2.2 双钢丝法

用两根平行的钢丝将被试电机转子悬挂起来,使其转轴中心线与地面垂直。扭转转子使其产生以轴线为中心的摆动。转轴中心线的扭角应不大于 10° 。仔细测取若干次摆动所需的时间,求出摆动周期的平均值 T 。转动惯量 J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) 按式(35)求取:

$$J = \frac{T^2 a^2}{l} \cdot \frac{mg}{(4\pi)^2} \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中:

a ——两钢丝之间的距离, m;

m ——被试电机转子的质量, kg;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

l ——钢丝的长度, m。

16.3 辅助摆锤法

此法用于测定具有滚动轴承电机的转动惯量。

试验必须在电刷全部提起时进行。

将一个质量已知的辅助摆锤用质量尽可能小的臂杆固定于被试电机转轴端面中心上,摆锤臂杆应与轴线成直角。当转子转轴上带有皮带轮或半个联轴器时,也可用它们来固定摆锤。

试验时,摆锤的初始位置与静止位置偏移应不大于 15° ,然后开始摆动,并在其后测量 2 次~3 次摆动所需的时间,求出摆动周期的平均值,以摆锤通过静止位置的瞬间作为测量摆动周期的起始点。

转动惯量 J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) 按式(36)求取:

$$J = mr \left(\frac{T^2 g}{4\pi^2} - r \right) \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中:

m ——辅助摆锤的质量, kg;

r ——辅助摆锤的重心到转轴中心线的距离, m;

T ——辅助摆锤摆动周期的平均值, s。

对功率为 10 kW~1 000 kW 的电机,选用辅助摆锤时,应使摆动周期为 3 s~8 s。

为了校核,试验应在摆锤质量较大或较小的情况下时重复进行。

17 无火花换向区域的测定

17.1 无火花换向区试验目的

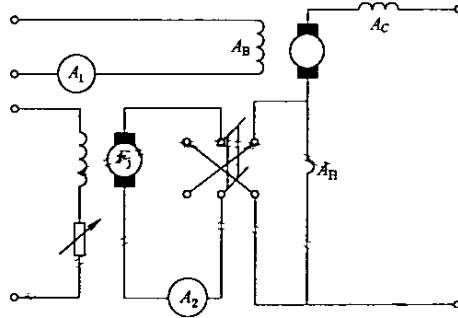
无火花换向区试验目的是求出换向极磁势的极限值,在换向极磁势的极限值之间负载电流从空载电流直到不小于额定电流的范围内可得到无火花换向。

17.2 无火花换向区试验步骤

无火花换向区试验适用于带换向极绕组的电机,测定时应最低额定转速下和最高额定转速下进行试验。如可能,试验应在负载状态下进行。对于额定功率 500 kW 及以上的电机,无火花换向区试验

可在发电机短路状态下进行。如被测电机在电动机状态下试验,应用平滑电流电源供电。

为了得到最可靠结果,推荐电机在热稳定状态下进行试验。试验前必须确保电刷和换向器接触良好。为改变换向极磁势强度,把低电压发电机并联接于换向极绕组(和补偿绕组,如有)(见图 19)。



- A_H——换向极绕组和补偿绕组;
- A_B——并(他)励绕组;
- A_C——串励绕组;
- F_J——附加电源。

图 19

如换向极绕组和(或)补偿绕组均分开,分别和电枢绕组两边相连,磁势变化将受到电枢绕组影响。用一台辅助发电机与被试电机电刷直接相连,来增大或减小电枢电流(见图 20)。

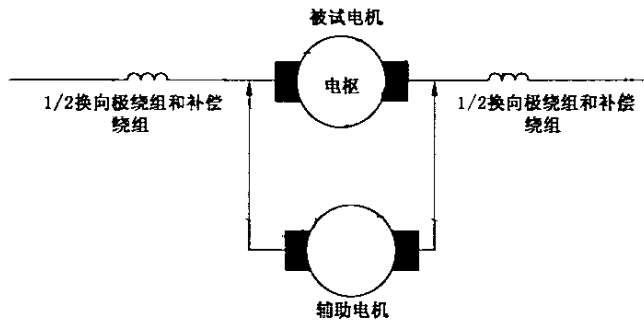


图 20

如果换向极绕组接在电枢绕组的一边,补偿绕组接在另一边,那么低电压发电机与换向极绕组并联,从而改变换向极绕组磁势。正向的附加电流(I_b)或反向的附加电流(I_{dv})按式(37)修正到等效电流(I_{beff}):

$$I_{beff} = \frac{W_z}{W_z + W_k a_z / a_k} I_b \text{ (或 } I_{dv} \text{)} \dots\dots\dots (37)$$

式中:

- W_z ——一个换向极绕组的匝数;
- W_k ——一个极补偿绕组的匝数;
- a_z ——换向极绕组并联支路数;
- a_k ——补偿绕组并联支路数。

当换向绕组电流增大或减小时,应维持转速和励磁电流不变。

17.3 测定换向极绕组磁动势最小值

为测定特定负载下换向极绕组最小磁动势,在换向极绕组加入正、反向附加电流,增大该电流直到换向器上能观察到火花,再渐渐减少该电流直到火花恰好消失时,量取该附加电流。用同样的方法,反复进行试验。

重复测试不同电枢电流值求出各点的附加电流,并作出其与电枢电流对应的关系曲线,求出无火花换向区域的最高值和最低值(见图 21)。

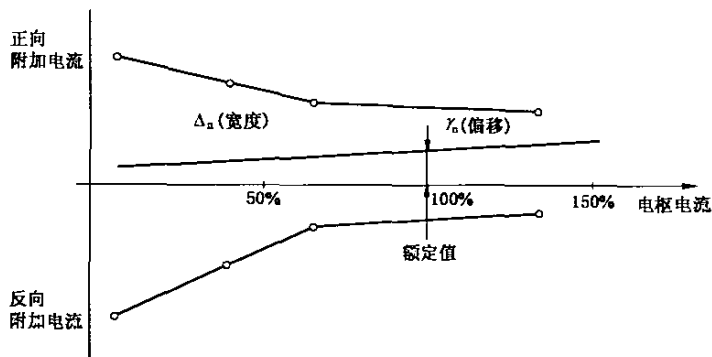


图 21

17.4 无火花换向区宽度和偏移的计算

每一个试验点无火花换向区宽度百分比应按式(38)表示:

$$\Delta_n = \frac{(I_b - I_{div})}{I_{aN}} \times 100\% \dots\dots\dots (38)$$

无火花换向区偏移的百分比应按式(39)表示:

$$\gamma_n = \frac{(I_b + I_{div})}{2I_{aN}} \times 100\% \dots\dots\dots (39)$$

式中:

I_b ——正向附加电流的最大值(相应于火花恰好熄灭时刻的数值,见 17.3);

I_{div} ——反向附加电流的最大值(相应于火花恰好熄灭时刻的数值,见 17.3);

I_{aN} ——额定电枢电流。

补偿绕组电流方向定义为正方向,因此正向附加电流为正,反向附加电流为负,分别以各自的符号代入公式。

若无火花换向区一半宽度比无火花换向区偏移小,就会出现火花。

一般认为理想状况是偏移等于零,即水平轴线位于两个限值中间。

17.5 整流电源供电电动机的无火花换向区试验

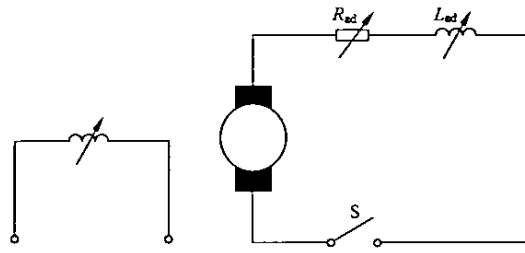
无火花换向区试验,最好用纯正的直流电源。当不可能用直流电源时,用整流电源供电,但在此情况下,需要在附加电流的回路里串联适当的阻抗,以避免电枢回路的交流分量在换向极绕组中被分流。

18 电枢电流变化率的测定

18.1 测定方法

电枢电流的最大变化率必须在电机允许的换向火花等级下测定。测定时,保持励磁电压不变,对复励电机应将串励绕组断开,对串励电机应有独立的直流电源作他励。

试验电路见图 22。



R_{ad} ——电机接线端接入电阻；
 L_{ad} ——电机接线端接入电感；
 S——回路开关。

图 22

当电机在电动机状态下空载运行达到额定转速时，断开电机电枢电源并将适当的电阻器和电抗器接入电枢回路，使电机处于能耗制动状态，同时进行换向检查，如果换向火花等级不是电机允许的等级，就要改变试验线路的参数反复进行测试，一直得到最大允许的电流变化率。改变电路参数可改变外接电阻器或电抗器的数值，也可以在测试前预先调节励磁电流的数值。

电流变化率可用记忆示波器或适当频率的记录仪记录下来，得到图 23 所示曲线。

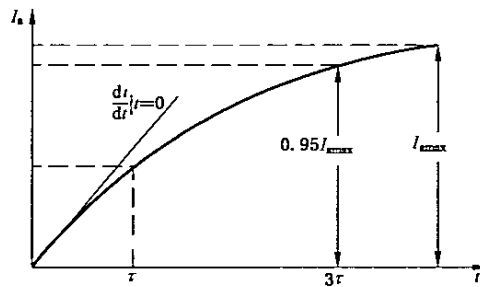


图 23

18.2 测试结果的计算(参见图 23)

电流变化的平均速率由式(40)计算：

$$\left(\frac{\Delta i}{\Delta t}\right)_{av} = \frac{0.95 I_{amax}}{T I_N} = \frac{0.95 I_{amax}}{3\tau I_N} \dots\dots\dots (40)$$

初始电流变化率由式(41)求取：

$$\left.\frac{di}{dt}\right|_{t=0} = \frac{I_{amax}}{\tau I_N} \dots\dots\dots (41)$$

式中：

$T=3\tau$ ，电流从零增加到 95% I_{amax} 的时间，s；

$$\tau = \frac{L_{ac} + L_{ad}}{R_{ac} + R_{ad}} \dots\dots\dots (42)$$

式中：

L_{ac} 、 R_{ac} ——电机内电枢回路的电感和电阻值；

L_{ad} 、 R_{ad} ——电机出线端接入的电感和电阻值。

18.3 电路参数的估算

所需制动电阻值的初步估算：

$$U_a = 3.16(L_{ac} + L_{ad}) \left(\frac{\Delta i}{\Delta t} \right)_{av} \times I_N \dots\dots\dots (43)$$

$$R_{ad} = \frac{U_a/I_N}{I_{max}/I_N} - R_{ac} \dots\dots\dots (44)$$

19 超速试验

19.1 超速方法

电机的超速试验应按 GB 755 或该类型电机标准的规定进行。

19.1.1 被试电机作为电动机运行时,以减小励磁电流及增加端电压的方法使电机超速,端电压的增加应小于 130% 额定电压,减小励磁电流时应使转速平稳上升。

19.1.2 被试电机用辅助设备驱动到所需转速。

19.2 转速测量及试验后的检查

试验时,应采取安全防护措施,尽可能远距离测量转速。

试验停止后,应检查轴承,定子与转子有无相擦,冷却风扇、换向器、绑线、紧固部件等有无异常情况出现。

20 噪声的测定

噪声的测定按 GB/T 10069.1—2006 进行。

21 振动的测定

振动的测定按 GB 10068 进行。

22 电磁兼容性测定

无线电干扰测定按 GB 4824—2004 进行。

23 匝间绝缘试验

电机电枢绕组匝间绝缘冲击耐电压试验,把电枢从电机中抽出,将由电容器放电产生的冲击电压直接施加于换向器片间,冲击次数和冲击电压峰值按有关标准的规定。试验时,电枢轴应接地,匝间短路的判别可采用波形比较法,以被试绕组波形与正常波形比较,波形一致者为合格。亦可采用其他有效的判别方法。

试验方法有跨距法和片间法,应根据绕组类型选择。

23.1 跨距法

在换向器上选取一段跨距(推荐 5 片~7 片),将冲击电压直接施加于该跨距首尾两片换向片上。

为了使每一片间都经受一个相同条件的冲击电压试验,推荐逐片进行试验(可根据均压线的连接方式减少试验次数)。

23.2 片间法

依次对换向器上一对相邻换向片进行试验。试验时,如未试线圈中产生高的感应电压,应在被试换向片两侧的换向片上设置接地装置,并良好接地。

24 短时升高电压试验

短时升高电压试验应按该类型电机标准的规定进行。

试验时,发电机可以用增加励磁电流及提高转速的方法来提高电压,但转速的数值应不超过 115% 额定转速。对磁路比较饱和的发电机,在转速增加至 115% 且励磁电流亦已增加至允许的限值时,如感

应电压仍不能达到所规定的试验电压,则试验允许在所能达到的最高电压下进行。

对电动机在提高外施电压时允许同时提高其转速,但转速的数值应不超过 115% 额定转速或超速试验中所规定的转速。允许提高的转速值应按该类型电机标准的规定。

对调速电动机,短时升高电压试验应在最高额定转速下进行。

25 耐电压试验

耐电压试验应按 GB 755 或该类型电机标准的规定进行。

25.1 试验一般要求

试验应在电机静止的状态下进行,试验前应先测定绕组的绝缘电阻,在冷状态下测得的绝缘电阻,按绕组的额定电压计算应不低于 $1\text{ M}\Omega/\text{kV}$ 。如需进行超速、偶然过电流或短时过转矩试验时,本项试验应在这些试验后进行;如需进行温升试验,则应在温升试验后立即进行。

试验时,电压应施加于绕组与机壳之间,此时其他不参与试验的绕组均应和铁心及机壳连接。

25.2 试验电压和时间

试验电压的频率为 50 Hz,波形尽可能接近正弦波。

试验电压的电源由试验变压器供给,变压器的容量,对每 1 kV 试验电压应不小于 1 kVA;对小功率电动机,每 1 kV 试验电压应不小于 0.5 kVA。

试验电压的数值应在试验变压器高压侧用静电电压表或通过电压互感器进行测量。

试验时,施加的电压应从不超过试验电压全值的一半开始,然后以不超过全值的 5% 均匀地或分段地增加至全值,电压自半值增加至全值的时间应不少于 10 s,全值电压试验时间应持续 1 min。

对额定电压为 660 V 及以下,大批连续生产的电机进行检查试验时,允许用标准规定试验电压数值的 120%,历时 1 s 的试验代替,并应突然施加试验电压。

附录 A
(规范性附录)

输入电流及输入功率的修正方法

A.1 直流电源供电时电动机输入电流修正方法

图 A.1 为永磁电动机、串励电动机及他励电动机测量线路,图 A.2 为并励电动机及复励电动机测量线路,为避免修正计算的麻烦,电压的测量应尽可能选用高内阻磁电式电压表。

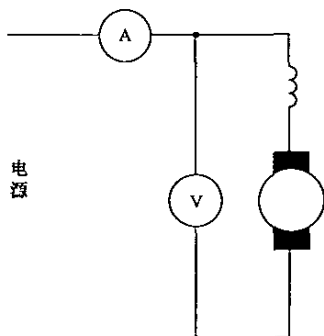


图 A.1

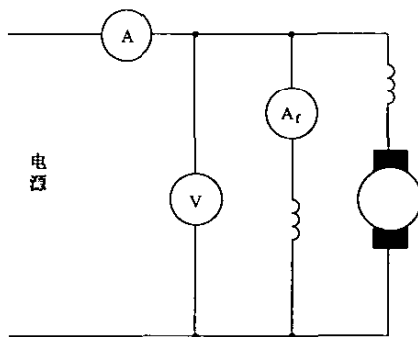


图 A.2

在效率测定、额定负载试验及温升试验中,当通过电压表的电流大于电动机输入电流的 0.5% 时,则应对被试电动机的实际输入电流 $I(A)$ 按式(A.1)和式(A.2)进行修正:

$$I = I_A - I_V \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$I_V = \frac{U}{R_V} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

I_A ——电流表 A 测得的电动机输入电流, A;

I_V ——通过电压表的电流, A;

U ——电压表测得的电压, V;

R_V ——电压表内阻, Ω 。

A.2 并励磁场电流的测定及电枢电流的计算

并励或复励电动机的电枢电流 I_a 按式(A.3)计算:

$$I_a = I_A - I_V - I_f \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

I_f ——电流表 A_f 测得的并励磁场电流, A。

并励磁场电流的测定应选用内阻较小的电流表, 电流表的电压降应不大于被试电动机额定电压的 0.5%, 测定时导线压降的影响应设法消除。

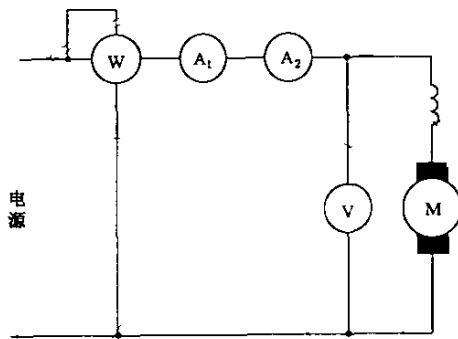


图 A.3

A.3 用整流电源供电时输入功率的修正方法

图 A.3 为永磁电动机、串励电动机及他励电动机用整流电源供电进行试验时的测量线路。电机电压用磁电式电压表测量, 通过电压表的电流应不大于被试电动机额定电流的 0.5%。电机电流的平均值及有效值分别用磁电式及电动式电流表进行测量, 电机的输入功率用真实读数的瓦特表测量。

被试电动机的实际输入功率 P_1 (W) 按式(A.4)修正:

$$P_1 = P - I^2 R \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

P ——瓦特表测得的输入功率, W;

I ——电动式电流表测得的电流, A;

R ——磁电式、电动式两只电流表和瓦特表电流线圈的总内阻, Ω 。

当 $I^2 R < 0.5\% P$ 时, 可认为 $P_1 = P$ 不作修正。

当试验结果要求特别准确时, 还应在式(A.4)中减去电压表损耗的功率。

附录 B
(规范性附录)
测功机转矩读数的修正

B.1 电动机输出转矩的修正

被试电动机的实际输出转矩按式(B.1)修正:

$$T_M = T'_M + T_{fw} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

T_M ——被试电动机实际输出转矩, $N \cdot m$;

T'_M ——试验时测功机测得的被试电动机输出转矩, $N \cdot m$;

T_{fw} ——测功机本身消耗的转矩, $N \cdot m$ 。

B.2 发电机输入转矩的修正

被试发电机的实际输入转矩按式(B.2)修正:

$$T_G = T'_G - T_{fw} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

T_G ——被试发电机实际输入转矩, $N \cdot m$;

T'_G ——试验时测功机测得的被试发电机输出转矩, $N \cdot m$;

T_{fw} ——测功机本身消耗的转矩, $N \cdot m$ 。

B.3 测功机转矩 T_{fw} 的测定计算方法

T_{fw} ($N \cdot m$)按式(B.3)计算:

$$T_{fw} = \frac{9.55(P_1 - P_0)}{n_t} - T_d \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

P_1 ——被试电机在接近额定电压下驱动测功机空转时的输入功率(此时,测功机的电枢及励磁回路应开路), W ;

P_0 ——被试电机在上述相同电压下空载运转时的输入功率, W ;

T_d ——测定 P_1 时测功机指示的转矩值, $N \cdot m$;

n_t ——测定 P_1 及 T_d 时被试电机的转速(此转速应调节到等于效率测定时的转速), r/min 。

上述 T_{fw} 的测定方法一般称为空拖试验,应在效率测定后机组安装状态不改变的情况下进行此项试验。

被试电动机的实际输出转矩 T_M 及被试发电机的实际输入转矩 T_G 求得后,即可按式(22)及式(24)算出较准确的输出及输入的机械功率,从而可求得较准确的效率。

附 录 C
(规范性附录)
直流电机的短路方法

由于直流电机在短路运行时的自动作用,将使电枢电流达到很大数值,可能使电机受到损害。为保证电机可靠运行及稳定的调节,可用下列方法之一进行短路。

C.1 具有串励绕组的电机在发电机方式下的短路方法

电机应接成他励,串励绕组反向接入(差复励)。用感应法检查其极性,在电机静止时,主极绕组中交替地接通、断开励磁电流(应不超过额定值的 20%),用直流电压表在串励绕组两端测量其感应电势的极性(图 C.1),如在接通励磁电流瞬时串励绕组中的感应电势使电压表正向偏转,则主极绕组中接电源正端和串励绕组中接电压表的正端为同极性。

将被试电机按空载发电机方式运行,励磁电源的极性与前相同,用电压表测电枢两端电压的极性,然后停机将串励绕组的正端与空载发电机电压的负端相连接,此时串励绕组即为反向接入(图 C.2)。

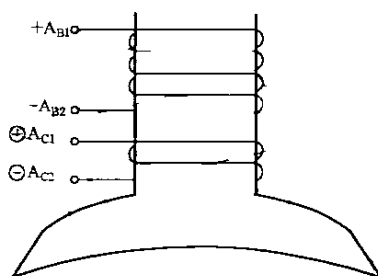


图 C.1

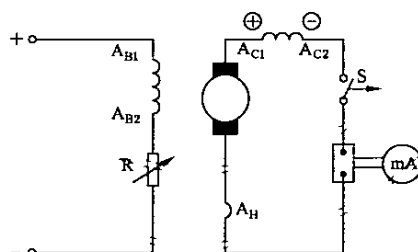


图 C.2

C.2 在发电机方式下用功率扩大机控制励磁的短路方法

试验电路见图 C.3。

按图 C.3 做负载试验时 R_4 应短接。

如果没有功率扩大机,可用复励直流发电机代替,将其串励绕组代替 A_{K3} 接成差复励,或者用两台互相串连(其电势方向相反)的励磁机供被试电机励磁(图 C.4)。

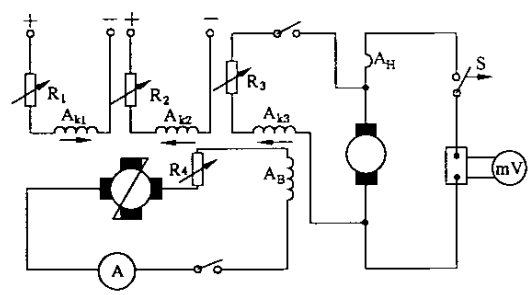


图 C.3

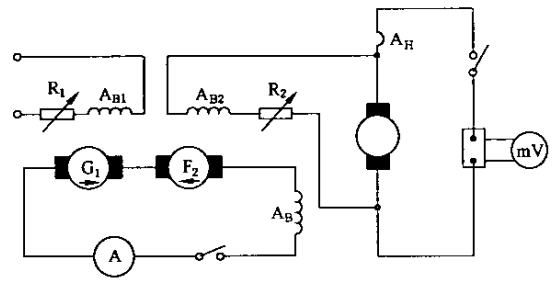


图 C.4

C.3 临时短绕串励绕组的短路方法

在主极上临时缠绕一个串励绕组,其极性仍用感应法确定(见图 C.5)。

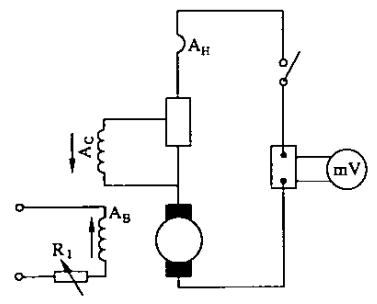


图 C.5

C.4 将一半主极绕组反接的短路方法

将并励或串励(对串励电机)绕组分成相同的两组,一组他励(为防止剩磁电压使发电机短路时冲击电流太大,励磁方向应与剩磁方向相反),另一组则并联在电枢两端(图 C.6)。

上述四种方法,不但在发电机方式下短路时是必需的,而且在大功率的直流电机作负载试验时,为使其安全可靠地调节,稳定地运行,也是常采用的,C.1和C.3两种方法适用于回馈运行时的辅助电机,C.2方法适用于被试电机及辅助电机。

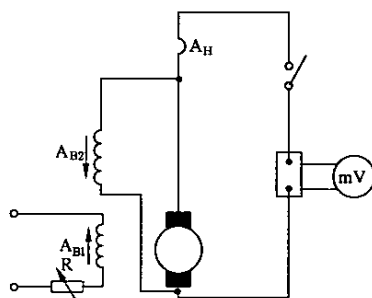


图 C.6

附 录 D
(资料性附录)
电机的换向火花等级判定

表 D.1

火花等级	电刷下的火花程度	换向器及电刷的状态
1	无火花	换向器上没有黑痕及电刷上没有灼痕
$1\frac{1}{4}$	电刷边缘仅小部分(约 1/5 至 1/4 刷边长)有断续的几点点状火花	
$1\frac{1}{2}$	电刷边缘大部分(大于 1/2 刷边长)有连续的、较稀的颗粒状的火花	换向器上有黑痕,但不发展,用汽油擦其表面即能除去,同时在电刷上有轻微的灼痕
2	电刷边缘大部分或全部有连续的、较密的颗粒状火花,开始有断续的舌状火花	换向器上有黑痕,用汽油不能擦除,同时在电刷上有灼痕;如短时出现这一级火花,换向器上不出现灼痕,电刷不烧焦或损坏
注:如所有电刷下的火花程度均匀,则可用一个等级表示,但在其中一个电刷下面有较高一级的火花出现,则应按较高一级的火花等级确定。如电刷下的火花程度与同等级换向器及电刷的表面状态不一致时,应以换向器及电刷的表面状态作为确定火花等级的主要依据,必要时可延长试验时间再行确定。		