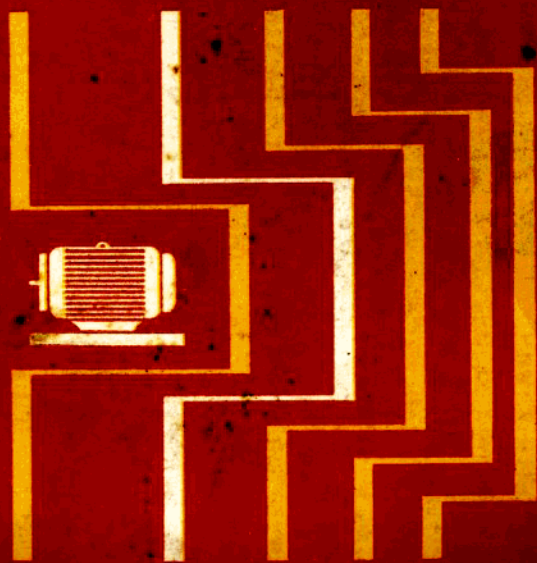


GAOYADIANJI
XIANCHANGSHIYAN

高压电机现场试验

江苏科学技术出版社



高压电机现场试验

程惠黎 编

江苏科学技术出版社

高压电机现场试验

程惠黎 编

江苏科学技术出版社出版

江苏省新华书店发行 江苏金坛印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张2.5 字数51,000

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数1—3,000册

书号: 15196·197 定价: 0.47元

责任编辑 程增础

内 容 提 要

本书提出了工业企业生产现场对6千伏及以上高压交流电机可能做的试验项目，并对这些试验的意义、方法、计算和标准作了阐述。本书可作高压电机用户电机修试时参考，也可作为工厂动力车间和电气试验室的专业培训教材。适合于高中以上文化程度、从事电气工作的技术人员和工人阅读。

前 言

交流异步电机主要作电动机用。它在工农业生产中已得到广泛的应用，其广度几乎占全部动力负荷的90%。在我国虽然6千伏及以上高压交流异步电机在大、中型工业企业中，特别是冶金、化工、发电、煤炭石油、重型机械等行业中已被大量采用，但是，由于当前我国各类工业企业的动力分厂、电气车间、电气试验室对待高压电机（也包括同步电机）的大中修试验和预防性试验的看法不同，试验项目和方法也不尽一样。譬如有些冶金类工厂，不是依靠对高压电机进行周期性的现场试验预测缺陷、防微杜渐，把事故消灭在萌芽状态，而是一旦投入运行就不忍停机，直至事故发生、被迫停产为止，致使高压电机的技术管理只起到“事故检修”、“抢修救火”的作用。

为了使电气试验作为指导检修、保证设备完好率、提高设备健康水平的依据，现按照GB1032—68规定，从工业生产现场的具体条件和实际需要出发，结合编者的经验，提出了必须和可行的试验项目及方法，其中试验电路便于现场接线，专用部件在现场有条件的可自行制作，各种参数在现场工作中可参考应用，试验标准同国家标准是一致的。

为了提高电气试验人员的素质，加强基础训练，统一试验方法、计算和指标，正确进行接线和操作，本书可以作为工业企业现场电气和电机修试人员的培训教材，但不适于高

压电机制造企业试验使用。

本书涉及的原理完全适用于380伏低压电机，但各种数据则必须作相应修正。关于这方面的问题已在书中作了说明。

编 者

一九八五年四月

目 录

- 第一章 高压电机绝缘电阻和吸收比试验…………… (1)
- 第二章 高压电机直流耐压试验…………… (9)
- 第三章 高压电机交流耐压试验…………… (17)
- 第四章 高压电机匝间绝缘试验…………… (26)
- 第五章 高压电机温升试验…………… (43)
- 第六章 高压电机铁芯试验…………… (57)
- 第七章 高压电机绕组直流电阻试验…………… (62)
- 第八章 高压电机空载试验…………… (66)

第一章 高压电机绝缘电阻 和吸收比试验

概 述

各类工业企业都会遇到高压电机因为停机绝缘可能受潮,开机前要不要烘烤的问题。由于没有统一的认识和标准,造成不置可否、宽严悬殊的状况。

通过绝缘电阻和吸收比的试验,可以判断绝缘是否受潮,有否贯穿性缺陷;同时,能鉴定停用电机能否不经过干燥而投入运行。本文提出了解决这个问题的依据。

这里所指的高压电机,是6千伏及以上的电动机和发电机。其试验仪器就是2500伏和10,000兆欧以上的兆欧表。不得使用电压低于2500伏的兆欧表。对低压电机也须进行本项试验,只是试验仪器改用额定电压为1000伏的,其余皆同。

1. 绝缘电阻的概念

任何绝缘体承受电压后,其上均有三部分电流通过,即几何电流、吸收电流和传导电流。如图1所示。

几何电流 $I_{几何}$ 的意义,在加压瞬间,介质发生极化,偶极子转动,正电荷沿电场方向位移,负电荷沿反方向位移。这种极化过程极为短暂,可认为是在瞬时完成的。这种因极化而产生的短暂电流在高电压工程中称为几何电流,等值来看好象是向一只电容器充电。没有能量损失。

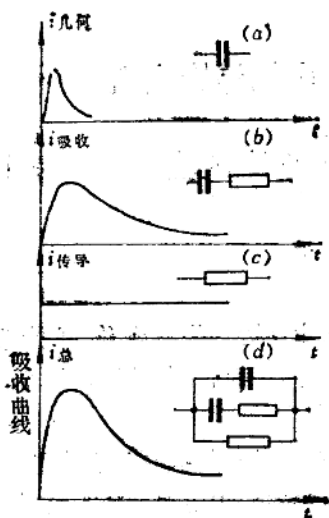


图1 绝缘体中的各种
电流和吸收曲线

吸收电流 $I_{\text{吸收}}$ 的意义：电机绝缘往往由几种介质复合制成。不同介质具有不同的介电常数和导电率。电压沿绝缘材料的分布状况在起初取决于其介电常数，后来则取决于其导电率。电压从第一种分布过渡到第二种分布时，在两种介质的交界面上产生电荷的位移，再加上介质在外电场作用下其中束缚离子随电场而产生的弹性位移，这两种位移构成了吸收电流。它必然随加压时间而减小，最后

衰减到零。但其衰减比几何电流慢得多，还有能量损耗。其值取决于绝缘体性质、不均匀程度和材料分子结构。等值电路可看作通过电阻向电容充电。

传导电流 $I_{\text{传导}}$ 的意义：工程介质都不是纯绝缘体，总含有一些自由离子，在外电场作用下，介质中正负离子分别向两极位移。它与时间无关，其值取决于直流电压作用下的电导率。它反映绝缘体的受潮、局部缺陷、表面污秽等。它能产生损耗。等值电路是一只电阻。

以上三部分电流之和与时间的关系曲线称为吸收曲线。

由图1可见，流过绝缘体的电流须在加压一段时间后方能达稳定值，最后只剩下传导电流。由于不同性质的绝缘体的

吸收曲线皆不相同，所以各种类型和规格的电机吸收曲线往往有很大差异。我们可利用此特点来考察高压电机或低压电机的绝缘水平和缺陷状况。

2. 试验原理

传导电流既然与时间无关，那么测出传导电流 $I_{\text{传导}}$ ，已知兆欧表电压 U ，就得到绝缘体之绝缘电阻 R ，

$$R = U / I_{\text{传导}} \quad (\text{兆欧})$$

当绝缘体局部过热、受潮、脏污、受伤开裂或机械磨损后，内部或表面的导电离子增加，传导电流增强（开裂和磨损导致潮气秽物进入，同样会使传导电流上升），这样，绝缘电阻 R 变小，以此就可大致判断其绝缘水平。

吸收比的理论值可以这样认为，我们以加压很长时间后测出的绝缘电阻为 R_{∞} ，以开始加压时测出的绝缘电阻为 R_0 ，那么，吸收比 R_{∞} / R_0 可按下列方法算出，即

$$\frac{R_{\infty}}{R_0} = \frac{I_{\text{传导}} + I_{\text{几何}} + I_{\text{吸收}}}{I_{\text{传导}}} = 1 + \frac{I_{\text{几何}} + I_{\text{吸收}}}{I_{\text{传导}}}$$

当绝缘发生受潮等缺陷后， $I_{\text{传导}}$ 增大， $I_{\text{几何}} + I_{\text{吸收}}$ 几乎不变， $\frac{R_{\infty}}{R_0}$ 显著减小，其极值为1。 $\frac{R_{\infty}}{R_0}$ 反映受潮特别灵敏。实际试验时可采用60秒及15秒时的比值，即 R_{60} / R_{15} ，其特性如图2所示。这个比值对良好的电机来说，约为1.3~3。

3. 试验方法

高压电机脱离电源后，首先将绕组对地放电，再擦净出线瓷瓶上的污垢。

尽量在热状态下测量。备用电机的检查性试验允许在冷态进行，然后换算。

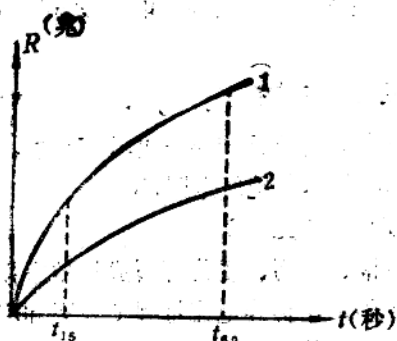


图2 吸收特性

1—干燥绝缘；2—潮湿绝缘

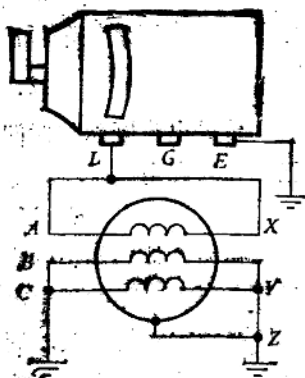


图3 试验接线图

要依此测出每相对地（机壳）和其它相绕组间的绝缘电阻和吸收比，正确的接线如图3所示。如各相绕组始末端没有分别引出，可一次测出全部绕组共同对地的绝缘电阻和吸收比。

在加压后15秒和60秒各读取一次数值。60秒后，要在继续摇动兆欧表（如系手摇兆欧表）的情况下断开L线，以免绕组上的静电荷反冲兆欧表。

绕线型电机的绝缘电阻应对定子和转子绕组分别测量。多速多绕组电机的各相绕组对机壳的绝缘电阻必须逐个进行测量。

试验结束后要放电和记下绕组温度。

4. 影响绝缘电阻和吸收比的因素

①湿度

当空气相对湿度增大时，由于毛细管的作用，绝缘体吸收较多水分，使 I 传导增加，尤其是使表面传导电流增加。在雾、阴气候下和晴朗气候下对同一台电机做试验的结果可能相差甚大。

例：某6000伏、320千瓦电机试验结果：

雾、阴天		晴天	
R_{60} (兆欧)	R_{60}/R_{15}	R_{60} (兆欧)	R_{60}/R_{15}
5	1.1	2500	2.5

可见，必须避免在雾、阴气候下做本试验。

②温度

绝缘电阻随温度上升而降低。因为温度升高使分子运动加速，蕴藏在纤维物质中呈线性的水分子伸长，增强了其导电性。绕组温度每升高 10°C ，绝缘电阻约降低到原来的 $1/2$ 。

为了便于比较，必须将绝缘电阻换算到同一温度。高压电机绝缘均系B、E级，可按以下公式，习惯上换算到 75°C 时的绝缘电阻 $R_{75^{\circ}\text{C}}$ ：

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = \frac{R_t}{\frac{75-t}{2}} = \frac{R_t}{K}$$

上式中， R_t 是温度在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的绝缘电阻，系数 $K = 2^{\frac{75-t}{10}}$ 可查下表：

对A级绝缘电机（低压电机）可按下式换算（不一定要换算到 75°C ）：

$$R_2 = R_1 10^{\frac{t_1 - t_2}{10}}$$

高压电机绝缘电阻温度换算系数表

$t^{\circ}\text{C}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
K	170	158	147	137	128	120	112	105	98	91	85	79	74	
$t^{\circ}\text{C}$	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
K	69	64	60	56	52	49	46	43	40	47	35	32	30	
$t^{\circ}\text{C}$	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
K	28	26	24	23	21	20	19	17	16	15	14	13	12	11

上式中， R_2 是换算到温度为 t_2 时的绝缘电阻， R_1 是温度为 t_1 时测得的绝缘电阻， α 是温度系数，约等于 $1/40$ 。

③绝缘等级对吸收比的影响

B级（片状云母粘结）和E级（聚酯纤维和薄膜）绝缘结构不均匀，吸收电流大，吸收比当然也大，可达3左右。发生受潮等缺陷后，传导电流猛增，会使 R_{60}/R_{15} 变小。从 R_{60}/R_{15} 的大幅度变化和逐年演变规律可以确切地判定绝缘情况。

A级（纸、棉）绝缘结构均匀，吸收电流本来就很小， R_{60}/R_{15} 变化范围也小。所以低压电机用 R_{60}/R_{15} 来判断绝缘水平，虽有一定效用，但不够灵敏。

5. 试验结果的分析

绝缘电阻和吸收比仅是反映绝缘状况的多个参数中的两个参数。它们不能揭示绝缘体的全部本质。如其系统中6台高压电机在交流耐压试验中被击穿，而其绝缘电阻在几十兆欧到几千兆欧范围内都有。另外有2台低于10兆欧的电机（虽然的确存在若干绝缘缺陷），却通过了交流耐压试验，长期运行良好。许多事例证明绝缘电阻及吸收比无法给出一个严格的标准。它仅是从一个侧面反映了事物的本质。必须根据以下四方面进行综合比较和分析：

①与出厂试验值比较

制造厂有时给出出厂时的试验数据，现场试验时可以换算到与出厂试验值相比较，看是否有明显下降。

②与历史试验结果比较

如出现绝缘电阻和吸收比突然降低现象，就表明绝缘受潮；如历次试验结果有规律地降低，可能就是逐步受潮或逐年老化。

③与同类型、同时期、同厂家的产品比较

这些同类型、同时期、同厂家的产品绝缘电阻往往相差不远，若个别电机的数值特别低时，可能就意味着有缺陷，可再解体（比如将中性点拆开）试验确定。

④同一设备三相之间互比

通过以上的比较，凡出现异峰突起处，就要视为怀疑对象，就要按上述四方面进行全面比较和分析。

根据电机运行的经验可知，凡满足以下四个条件的就是良好绝缘，但不能认定。凡不满足这些条件的就一定是不良绝缘。

①在相同温度下，绝缘电阻不得（尤其不得突然）降到前次测量结果的 $1/2$ 或更多，各相不对称系数不得大于 2 ；

②在接近运行温度时，定子绕组绝缘电阻不得低于每千伏 1 兆欧，转子绕组（不是鼠笼式）不得低于 0.5 兆欧；

③在工作温度 75°C 时，无论定、转子绕组的绝缘电阻不得低于下式计算值：

$$R = \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}} \quad (\text{兆欧})$$

式中 U 是该绕组额定电压（伏）；

P 是额定功率（千瓦）。

④关于吸收比，完好的B、E级绝缘均能在 1.3 以上。

6. 不经过干燥而开机的判据

对于以上四个“完好绝缘”具备的条件进行简化和归纳，并经过实践验证，我们认为符合下述规定就可以不经干燥处理而直接开机和投入运行。

①绝缘电阻折算到 75°C 不低于上次停机（不是绝缘事故停机）后试验值的 $2/3$ ；

②吸收比不得低于 1.3 以下。

例：某JK型电机， 630kW ， 2 极， Y 接，转子系鼠笼式。

上次刚停机时测得： $500\text{M}\Omega$ ， $R_{60}/R_{15} = 2.5$ ， 75°C 停机两月后，开机前测得（折算到 75°C ）： $320\text{M}\Omega$ ， $R_{60}/R_{15} = 1.5$

结论：可以不经干燥而开机。

第二章 高压电机直流耐压试验

概 述

直流耐压试验时，加在电机主绝缘上的直流高压比测量绝缘电阻时高得多，直流高压由专用的高压试验器或在现场自接试验电路输出，由此在绝缘体中流过的泄漏电流可外接微安表测出。这项试验的特点是：

①由于直流试验电压很高，对于一定电压等级的电机可施以相应的直流高压，就易发现（甚至交流耐压发现不了的）一系列绝缘缺陷。试验过程不存在介质损，绝缘体不会发热、受损。

②由于试验电压可调，可以测出电机主绝缘的伏安特性，如图4所示。提供了全面分析绝缘水平的根据。从图4可知，选择的最高试验电压 $U_{试}$ 应小于 U_p ，在此范围内，

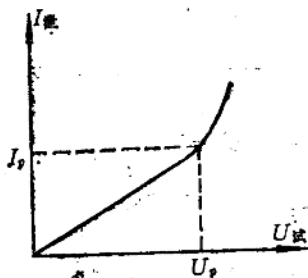


图4 良好电机绝缘的
伏安特性 $I_{泄} = f(U_{试})$

$I_{泄}$ 和 $U_{试}$ 呈线性关系。如绝缘存在受潮等缺陷， $I_{泄}$ 会引起弱点发热，绝缘电阻降低。即使 $U_{试} < U_p$ ， $I_{泄}$ 也会指数上升，使特性在到达 U_p 前就呈现非线性。所以通过这项试验画出曲线后能较准确地反映已经存在的缺陷。

③由于绕组对地电容很大，交流试验需用较大容量的设备，

直流试验不存在电容电流，设备容量可小到1千伏安以下，而且可以用精密微安表测出泄漏电流，其试验精确度高。

④必要时，还可测出 $I_{\text{泄}}$ 对加压时间的曲线关系， $I_{\text{泄}}$ 对温度的曲线关系，连同图4中的 $I_{\text{泄}} = f(U_{\text{试}})$ ，便于综合分析判断。

直流耐压和测量泄漏电流是一个试验项目，是同时进行的，试验接线也一样。两者都能反映电机绝缘受潮和劣化。由于这个项目对发现旋转电机绝缘缺陷具有特殊的功能，所以在本章中要分析其电路、仪器保护措施、扩大量程方法及试验技术问题。

1. 试验电路分析

试验电路如图5所示。其中DL是高压硅堆， R 是保护电阻，可限制电机击穿后的短路电流，其值为每伏10欧； C 为滤波电容器，其值为0.01~0.1微法； T 是试验变压器， ZT 是调压器； μA 是微安表，它处于高电位，表壳须屏蔽； V 是变压器初级电压表。

这是一个半波整流电路，当变压器 T 的次级绕组（高压）下端为正时，硅堆 DL 导通，负载 R_x （即被试电机的主绝

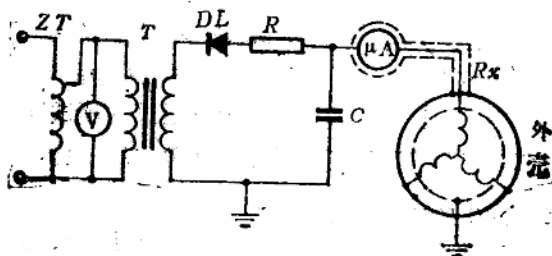


图5 直流耐压和泄漏电流试验电路