

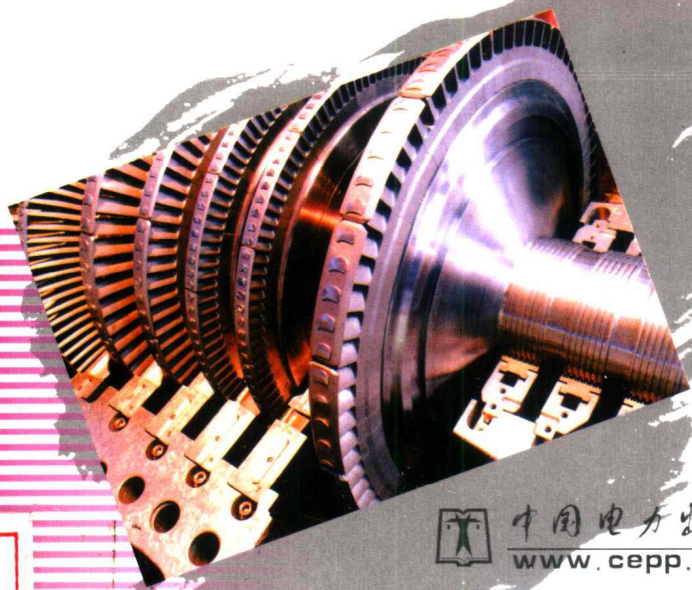
DIANLISHEBEI
YUFANGXIN SHIYAN
JISHU
CONGSHU

电力设备预防性试验技术丛书

第一分册

金海平 编

旋转电机



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电力设备预防性试验技术丛书

第一分册

旋转电机

金海平 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为进一步提高高压电气设备绝缘状况诊断的有效性和准确性,能反映每一设备的具体试验过程,结合工作实际经验和《电力设备预防性试验规程》的要求,特组织编写了这套《电力设备预防性试验技术丛书》,共8册。本套图书的特点是:①对每一设备的每一试验,均从试验目的、试验周期及判断标准、试验方法、试验注意事项及异常情况处理、结果分析判断等方面予以介绍;②精简试验原理及有关结构的讲解,细化试验步骤;③给出一些具体的试验范围,方便读者参照进行试验;④引入了实际工作中行之有效的新工艺和新方法;⑤附录中给出了预规中的相关条文,可便于查阅。

本书为《电力设备预防性试验技术丛书》的第一分册,共4章,主要介绍了同步发电机和调相机、直流电机、中频发电机及交流电动机的各种预防性试验。本书可供发、供电部门和电气设备制造单位从事高压设备试验技术和管理人员,以及各电力试验研究院(所)技术人员使用,也可供高校有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

旋转电机/金海平编. - 北京:中国电力出版社, 2003

(电力设备预防性试验技术丛书; 1)

ISBN 7-5083-1456-5

I. 旋… II. 金… III. 电机-安全试验 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 023735 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003年5月第一版 2003年5月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 32开本 3.25印张 66千字

印数 0001—5000册 定价 8.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



《电力设备预防性试验技术丛书》

前 言

电力设备的绝缘预防性试验是保证设备安全运行的重要措施，是绝缘监督工作的基础。通过试验，可以掌握电力设备的绝缘状况，及时发现缺陷，进行相应的维护与检修，以免运行中的设备绝缘在工作电压或过电压作用下击穿，造成事故。为了进一步提高绝缘监督管理人员和高压试验人员技术业务素质，满足电力行业技术人员等级培训和岗位培训的需要，特组织编写了《电力设备预防性试验技术丛书》。

丛书的分册结构与《电力设备预防性试验规程》的章节对应，内容突出电力行业技术等级培训和岗位培训的特点，深入浅出，针对性、适应性较强，密切联系生产实际，反映现场新技术。本套图书的特点是：①对每一设备的每一试验，均从试验目的、试验周期及判断标准、试验方法、试验注意事项及异常情况处理、结果分析判断等方面予以介绍；②精简试验原理及有关结构的讲解，细化试验步骤；③给出一些具体的试验范例，方便读者参照进行试验；④引入了实际工作中行之有效的新工艺和新方法；⑤附录中给出了预规中的相关条文，可便于查阅。全书共分8册：第一分册为《旋转电机》；第二分册为《电力变压器与电抗器》；第三分册为《互感器与电容器》；第四分

册为《开关设备》；第五分册为《套管与绝缘子》；第六分册为《电线电缆》；第七分册为《避雷器与接地装置》；第八分册为《绝缘油》。

本书是《电力设备预防性试验技术丛书》中的第一分册，由金海平编写。全书共分4章，主要介绍同步发电机和调相机、直流电机、中频发电机及交流电动机的各种预防性试验。

本书由华东电力试验研究院周建国主审。在收资、编写和审查过程中，还得到华东六省一市电机工程（电力）学会联合编辑委员会陆桂婉及很多单位的领导、专家的大力支持与热心帮助，在此表示衷心感谢。

本书虽经数次审查修改，但由于编者经验所限，在编写中难免有疏漏之处，诚恳希望广大读者提出修改意见，并在教学、实践中进行调整和补充，使其更加完善。

编 者

2003 年 4 月



《电力设备预防性试验技术丛书》

目 录

前言

第一章

同步发电机和调相机 1

- 第一节 定子绕组的试验 1
- 第二节 转子绕组的试验 21
- 第三节 定子铁芯试验 28
- 第四节 轴电压测量 33
- 第五节 空载特性试验 34
- 第六节 三相稳定短路特性试验 37
- 第七节 发电机定子开路时的灭磁时间
常数测量 39
- 第八节 温升试验 40

第二章

直流电机 44

- 第一节 绕组的电阻测量 44
- 第二节 磁场可变电阻器的直流电阻
试验 47
- 第三节 直流发电机的特性试验 48
- 第四节 直流发电机的励磁电压增长
速度测量 52

第三章

中频发电机..... 54

- 第一节 绕组绝缘电阻和直流电阻
测量..... 54
- 第二节 绕组的交流耐压试验..... 55
- 第三节 中频发电机的特性试验..... 56
- 第四节 温升试验..... 59

第四章

交流电动机..... 62

- 第一节 定子绕组的试验..... 62
- 第二节 绕线式电动机转子绕组的交流
耐压试验..... 66
- 第三节 定子铁芯试验..... 67
- 第四节 电动机空转并测空载电流和
空载损耗..... 69
- 第五节 双电动机拖动时测量转矩—
转速特性..... 71

- 附录 A DL/T 596—1996《电力设备预防性
试验规程》相关条文摘录 74
- 参考文献 95



第一章

同步发电机和调相机

第一节 定子绕组的试验

一、定子绕组的绝缘电阻、吸收比或极化指数

1. 试验目的

发电机定子绕组绝缘目前大多数都采用环氧粉云母绝缘，属夹层复合绝缘。电机运行时绝缘材料受电场、机械、温度以及潮气、脏污的作用逐渐老化，绝缘性能逐步下降，故需在电机大、小修停役时，测量定子绕组的绝缘电阻、吸收比或极化指数，该方法是检查绕组绝缘状况最简便和最基本的方法，能有效地检测到绝缘受潮、脏污、击穿、接地、老化等缺陷。

2. 兆欧表的选择和要求

测量发电机定子绕组的绝缘电阻、吸收比或极化指数一般最常用的测量仪器是兆欧表。兆欧表的选择和要求可由被试电机的电压、容量、冷却方式来定。

(1) 兆欧表的型式。兆欧表一般分为手摇式和整流型

两种，小容量发电机可用手摇式兆欧表，而对于 125MW 及以上容量的发电机则最好采用整流型兆欧表，这可避免转速不匀造成测量误差，尤其是对测量极化指数更为重要。

对水内冷发电机的定子绕组需在充水条件下测量时，应采用专用兆欧表。

(2) 兆欧表的电压和量程。一般发电机定子绕组的额定电压为 6.3 ~ 24kV 时，应采用 2500V 兆欧表，其量程一般不低于 10000M Ω 。

(3) 兆欧表的容量。为能测得较准确的吸收比或极化指数，应选择最大输出电流 1mA 及以上的兆欧表。

3. 试验步骤

(1) 发电机停机后，拆除与发电机出线头连接的引出线，包括引出汇流排、封闭母线等，并将发电机定子绕组三相短路接地放电。

(2) 用干燥清洁的布将发电机出线头的绝缘板或瓷套管外表面擦拭干净。

(3) 检查兆欧表的零位与无穷大位。将兆欧表水平放稳，轻摇兆欧表，在低转速时用导线短接“L”和“E”端子，其指针应指零；兆欧表在开路时并为额定转速时指针应指“ ∞ ”。

(4) 发电机定子绕组绝缘电阻、吸收比或极化指数应分相进行测量，被测相绕组应头尾短接不接地，非被测相绕组头尾短路接地。将兆欧表的“L”端和“G”端分别接上屏蔽线的芯线和屏蔽层，屏蔽线另一端的屏蔽层接于发电机出线头绝缘外表或瓷套管的屏蔽环上，其芯线应悬空；兆欧表的“E”端应接地。

(5) 驱动兆欧表至额定转速，整流型兆欧表应接通电源使其有输出直流电压，当指针指“ ∞ ”时，用绝缘工具将屏蔽线的芯线立即接至被测相绕组导体，同时开始计时，分别读出 15s 和 60s（或 1min 和 10min）时的绝缘电阻。

(6) 测量结束，先断开接至发电机导体的屏蔽线，然后再停兆欧表，这对测量发电机绝缘电阻很重要，尤其是大容量发电机的电容量很大，顺序颠倒会引起发电机绕组电容电荷向兆欧表放电，损坏兆欧表。

(7) 被测相绕组立即接地放电。按同样方法测量其他两相绕组的绝缘电阻。

(8) 测量时应记录发电机定子绕组的温度、环境温度、湿度、气象条件、试验日期及使用仪表型号等。

4. 数据分析

发电机定子绕组的绝缘电阻因受脏污、潮湿、温度等诸多因素的影响，数值较为分散，故规程中未对绝缘电阻最低允许值作出规定。

一般把测得的绝缘电阻（60s 的值）在相近试验条件与历年绝缘电阻数值相对照，如降低至 1/3 以下时应查明原因，还有相间比较其差值不应大于最小值的 100%。

吸收比或极化指数：沥青浸胶及烘卷云母绝缘吸收比不应小于 1.3 或极化指数不应小于 1.5；环氧粉云母绝缘吸收比不应小于 1.6 或极化指数不应小于 2.0；水内冷定子绕组自行规定。

如需进行绝缘电阻的温度换算可按 IEEE Std 43—1974 推荐的公式进行，即

$$R_c = 10^{a(t-t_1)} R_t \quad (1-1)$$

式中 R_c ——换算至 75℃或 40℃时的绝缘电阻, MΩ;

R_t ——试验温度为 t 时的绝缘电阻, MΩ;

t ——试验时温度,℃;

t_1 ——换算温度值 (75、40℃或其他温度),℃;

α ——温度系数,℃⁻¹ (B 级绝缘为 0.03)。

5. 影响原因分析和消除措施

对发电机定子绕组的绝缘电阻影响因素较多, 其中主要的有温度、湿度、残余电荷、屏蔽线接法正确性、水内冷绕组带水测量时汇水管对地绝缘电阻的影响等。

(1) 发电机检修时因天气湿度高使定子绕组受潮, 绝缘电阻降低, 吸收比小或无吸收现象, 应进行烘潮。烘潮方式可用红外表面加热, 水内冷电机也可用通热水加热。

(2) 测量发电机定子绕组绝缘前一定要将残余电荷放尽, 一般至少放电 5min 以上才能消除影响。

(3) 发电机出线头或瓷套管的屏蔽环应尽量靠近导体, 并与绝缘表面或瓷套管紧密接触。一般用细铜丝或细熔丝紧扎 1~2 圈。

(4) 水内冷绕组充水测量绝缘电阻时, 应把汇水管与外部管道短接线拆除, 并且汇水管的对地绝缘电阻不小于 30kΩ。

6. 安全注意事项

测量发电机定子绕组绝缘电阻需 2 人进行, 如发电机两端端盖已打开, 则需有人看护, 测量时不能触及端部线圈。

发电机定子绕组对地电容量较大, 尤其是大容量发电机每相电容量达 0.3μF 以上, 测量结束放电时一定要用绝缘工具。

二、定子绕组的直流电阻

1. 试验目的

发电机定子绕组导体运行时承载额定电流的数值达数千安，大型发电机可达 20000A。定子的每相绕组通过线棒在端部焊接，汽轮发电机采用银焊，水轮发电机则用锡焊。由于焊接工艺质量和大电流长期作用的影响，导致某些焊接接头开焊，接触不良，直流电阻增大，引起该部位温度升高，甚至烧损线棒，故此在电机大修时或出口短路后，应测量发电机定子绕组的直流电阻。

2. 直阻仪或电桥的选择及要求

发电机定子绕组的直流电阻数值较小，大型发电机为毫欧级，故需用精度高的量程范围合适的直阻仪或电桥来测量。一般精度为 0.2 级，测量有效数字 4 位以上。

3. 试验步骤

拆除电机绕组出线头以外连接的所有导体，被试电机绕组温度与环境空气温度之差不大于 $\pm 3\text{K}$ 。绕组直流电阻应逐相进行测量。

(1) 将测量线或专用线接至发电机出线的头尾，另一端接至测量仪器。接线时应注意正确连接电流极与电压极导线，在发电机出线头上测量导线的电流极在外侧，电压极在内侧。

(2) 测量前对被测值应预先估计值或按历年的测量值，把电桥测量范围调至该值左右。先接通电源，再接通检流计，逐步放大灵敏度。因被测绕组属电感性负荷，并非是纯电阻，故有过渡过程，待检流计完全稳定后读取测量值，调小灵敏度，关闭检流计，切断电源。再改接线测量另外两相直流电阻。

(3) 定子绕组直流电阻测量完毕后, 记录测量数值、绕组温度、环境温度、试验日期和使用仪器型号等。

4. 数据分析

汽轮发电机测出的定子绕组直流电阻各相之间差别以及与出厂或交接试验时的测量值比较, 相差应不大于直流电阻最小值的 1.5%, 水轮发电机为 1.0%。汽轮发电机直流电阻各相之间差别及与历年测量值的相对变化大于 1% 时, 应引起注意。

5. 影响原因分析与消除措施

测量出的发电机定子绕组直流电阻各相之间比较, 或与初次测量值比较, 其差值超出试验要求的, 应进行分析, 查找原因。主要有下列原因及措施:

- (1) 校正引线长度不同引起的误差。
- (2) 测量仪器应在检验周期内使用, 电桥应更新电池。
- (3) 测量导线电流极引线不能太细。
- (4) 被测绕组温度应测量正确。

(5) 用电桥测量时, 一定要等检流计稳定后读数, 否则会引起误差。

6. 安全注意事项

(1) 测量仪器应操作正确。电桥的灵敏度旋钮、电源和检流计按钮操作顺序要正确, 否则可能会损坏仪器。

(2) 电机接线头较高, 接线时应做好安全措施, 测量时应 2 人进行。

三、定子绕组泄漏电流和直流耐压试验

1. 试验目的

定子绕组泄漏电流和直流耐压的试验原理与测量绝缘电阻基本一致, 所不同的是直流耐压电压较高, 泄漏电流

与电压关系成指数关系，故此直流耐压试验能挖掘和暴露绕组绝缘的隐患及缺陷。由于直流电压是按照电阻的大小分压的，所以更能有效地发现定子绕组端部缺陷和间隙性缺陷。直流耐压试验所需试验设备容量较小，对绕组绝缘损伤小，因此在电机大、小修时和更换绕组后，直流耐压试验是检查绕组绝缘状况的有效手段。

2. 对高压直流电源的要求

(1) 高压直流电源输出幅值应能满足预防性试验规程中，关于发电机定子绕组直流耐压的试验电压值。

(2) 高压直流电源输出的直流电压纹波系数应小于直流电压的 3%。

(3) 水内冷电机用低压屏蔽法进行直流耐压时，要求高压直流输出电流达毫安级（该电流大小受冷却水质导电率的影响）。

3. 试验步骤

(1) 检查定子绕组绝缘电阻、吸收比或极化指数是否达到规程所要求的数值，应在停机后清除污秽前的热状态下拆除引出线；检查氢冷电机应在充氢后氢纯度为 96% 以上或排氢后含氢量在 3% 以下进行；定子绕组为水内冷者，汇水管直接接地的电机应在排水吹净水后进行；汇水管有绝缘者应采用低压屏蔽法，带水进行直流耐压试验时，冷却水的导电率应符合规程要求。

(2) 直流耐压应分相进行，被试相的头尾相连后加高压，非被试相的头尾相连接地，转子绕组头尾相连接地（无刷励磁的电机应使用接地装置把转子绕组接地），定子绕组、铁芯的所有测温元件全部接地。试验电源一般采用直流发生器，高压测量采用直流分压器测量系统。如需另

接精度高、量程不同的微安表，则应接在高压回路中并接屏蔽。高压引线需采用屏蔽线，从直流发生器高压端接至发电机出线头，沿线应与地和周围物体保持足够的距离，用绝缘带固定；发电机出线头侧的接法，同测量绝缘电阻时的接法，采用屏蔽环以排除杂散电流。

(3) 首先测量空载泄漏电流，发电机出线头暂不接高压引线并与高压引线保持一定距离，按试验电压逐级加压，每级按 $0.5U_n$ （设备额定电压）分阶段加压，直至至规程规定的电压值，在这期间读取每级电压下的空载泄漏电流。然后将电压降至零，切除电源，在试验设备的高压端挂上接地线，发电机被试相放电。发电机被试相挂上高压引线，取下接地线，进行正式加压试验，试验电压按每级 $0.5U_n$ 发电机分阶段升高，直至到达所需的最高试验电压值，每阶段停留 1min，并读取泄漏电流值。

(4) 做完一相后降压至零，切断电源，对定子绕组进行接地放电，改试验接线，进行另一相的试验。

4. 数据分析

在规定试验电压下，各相泄漏电流的差别不应大于三相中最小值的 100%，最大泄漏电流在 $20\mu\text{A}$ 以下者，相间差值与历次试验结果比较，不应有显著的变化；泄漏电流不随时间的延长而增大。

定子绕组在直流耐压时，泄漏电流的表现及其数值的大小能反映出定子绕组的绝缘状况，一般来说可分以下几种情况。

(1) 泄漏电流随时间延长而增长，这说明绝缘有分层、脱壳等缺陷，这类绝缘已老化。

(2) 泄漏电流剧烈摆动，表明绝缘有贯穿性缺陷，一

般发生在槽口附近。

(3) 泄漏电流表现出无充电现象，即直流电压加至某一数值后，泄漏电流基本上稳定在一个数值而没有下降趋势，表明绝缘受潮。

5. 异常原因分析与消除措施

(1) 绝缘套管及绝缘物应接屏蔽线，并接触良好，否则会影响屏蔽效果。

(2) 水内冷电机定子绕组在排水后应反复进行吹水，使其绝缘引水管中残留水吹净，以免试验时泄漏电流波动很大（严重时可能会使绝缘引水管内壁闪络）。

(3) 在检修电源负荷小时进行，试验电源电压稳定。

6. 注意事项

按高压试验做好安全措施，高压引线对地应保持一定的安全距离，试验时应派人在发电机两端加强安全监护。改接线时试验电压应降压至零，并切断电源，高压端应立即短路放电接地。

四、定子绕组交流耐压试验

1. 试验目的

在定子绕组上施加高于运行电压的工频正弦波电压，是鉴定绝缘强度最有效、最直接的方法，能保持绝缘水平避免绝缘事故的发生。该试验在绝缘电阻、吸收比或极化指数、泄漏电流、直流耐压试验合格通过后进行，属破坏性试验，在大修前或更换绕组后进行。

2. 试验设备

发电机定子绕组交流耐压的试验设备一般由试验变压器、调压器、控制箱、过电压保护球隙装置、限流装置、高压测量装置等设备组成。大容量汽轮发电机和水轮发电

机为减少试验电源的容量,可用谐振装置及超低频(0.1Hz)装置进行耐压试验。试验电源的电压频率应为 50Hz 的交流电压,其波形由于试验变压器的磁饱和和调压器影响而产生畸变,使三次谐波与基波重叠,电压峰值增大,故此试验电压应采用峰值电压表来测,以免过高的峰值电压施加在发电机定子绕组的绝缘上。为避免试验电压的波形畸变,对试验设备应采取以下措施:

- (1) 避免采用移圈式调压器。
- (2) 试验电源的电压应为线电压。
- (3) 试验变压器一般应在规定的额定电压范围内使用,要避开铁芯饱和区。
- (4) 在试验变压器低压侧加装滤波装置。

试验设备除输出电压应能满足定子绕组交流耐压值外,还应估算试验时所需的试验容量。被试发电机绕组的电容量可由制造厂提供的技术资料中查得,也可用电桥测量。已知发电机绕组的电容量和试验电压,便可求得试验所需的容量 P , 即

$$P = \omega C_x U^2 \times 10^{-3} \quad (1-2)$$

式中 C_x ——发电机绕组每相电容量, μF ;

U ——试验电压, kV ;

ω ——角频率, $2\pi f$ 。

试验时按 P 值选择试验设备的容量,并留有一定的裕度。对于水内冷发电机在充水时进行交流耐压试验,其试验容量还有所增加,该增加量与冷却水的导电率有关,一般应考虑增加 20% 的容量。

3. 试验接线图

发电机定子绕组试验接线图如图 1-1 所示。