

电气设备试验及 故障处理实例

DIANQI SHEBEI SHIYAN JI
GUZHANG CHULI SHILI

● 主 编 单文培
副主编 王 兵
单欣安



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电气设备试验及 故障处理实例

◎ 主 编 单文培
 副主编 王 兵
 单欣安



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是根据国家及行业的相关标准、规程和当前电气设备的技术发展实际精心编写而成。本书内容新颖、言简意赅、图文并茂、深入浅出,列举了大量的工程实例,同时介绍了国内外的新技术与新试验设备,具有很强的实用性。

全书共分十八章,内容包括:高压电气设备试验的基本知识、发电机定子绕组试验、发电机转子绕组试验、发电机特性试验及参数测定、励磁机及永磁机试验、异步电动机试验、电力变压器试验、互感器试验、高压断路器试验、电力电缆试验、电力电容器试验、绝缘子与套管试验、避雷器试验、接地装置试验、架空线路试验、电瓷防污、电气绝缘安全工具试验和油中溶解气体色谱分析。另外,在附录中还介绍了绝缘在线监测新技术及应用,介质损失角、直流电阻、绝缘电阻等的温度换算参考值;以及西林电标的使用和常见故障及其排除等。

本书可供电厂(变电站)、泵站、机械、冶金、石化、轻工等从事电气设备安装、运行、维护与管理的工程技术人员查阅使用,也可供大中专院校相关专业师生学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备试验及故障处理实例/单文培主编. —北京:
中国水利水电出版社, 2006
ISBN 7-5084-3328-9

I. 电... II. 单... III. ①电气设备—试验②电气设备—故障修复 IV. TM64-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 001218 号

书 名	电气设备试验及故障处理实例
作 者	主编 单文培 副主编 王兵 单欣安
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 30 印张 711 千字
版 次	2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	49.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

近几年,国家就电力体制改革出台了新的政策与举措,为电力工业的迅速发展创造了良好的环境。加上长江三峡水电站等大型机组不断投产,将我国电网电压提高到500kV等级,对推进我国西电东送、改善全国电力供需矛盾具有重要的战略意义。同时,在电气设备高压试验中,广大电力职工积累了许多宝贵的经验,如在线监测、带电测试、红外测温等。

2004年发布了Q/CSG10007—2004《电力设备预防性试验规程》,电力设备预防性试验工作必将按新规程进一步深入开展,这就要求高压试验工作者不断提高试验技术,研究新的测试方法与装置,正确地分析试验中出现的异常现象,对被试电气设备作出正确综合判断测试结果,保证电气设备在电力系统中安全运行,为我国经济建设提供可靠的能源。本书就是为此目的而编写的。

本书的内容来源于试验实践,又以服务高压电气试验为目的。在编写过程中以GB50150—1991《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》、Q/CSG10007—2004《电力设备预防性试验规程》、GB/T311—2002《高压输变电设备的绝缘配合》等新的国家标准与行业规程为依据,结合编者从事机电安装总监理工程师的实践,每个问题从概述、试验方法与步骤、试验标准、试验设备的选择、注意事项、试验结果分析与评估及经验交流等方面来阐明。为使读者吸取经验教训,本书还列举了许多工程实例,力求较全面地介绍高压电气设备试验中的疑难问题与故障处理方法,并介绍当前试验的新技术、新方法、新装置。关于高深理论分析问题并未详细赘述。

在本书编写过程中查阅了大量文献、资料、国家及行业新标准、规范与规程,并参考和引用了许多单位与个人的研究成果与试验数据,由于篇幅限制,不能一一列举,仅在此向他们表示衷心的感谢。

本书由单欣安(江西省南昌县供电局)编写第二章的第一节~第三节,第三章的第一节与第二节,第六章的第一节~第四节,第七章的第一节与第二节,第九章的第一节与第二节,第十章的第一节,第十三章的第一节,并担任副主编;王兵(江西省南昌洪城水业股份有限公司)编写第六章的第六节~第九节,第七章的第三节~第五节,第八章的第一节与第二节,第十章的第二

节，第九章的第一节与第二节，第十四章的第一节与第二节，并担任副主编；刘茂福（江西省南昌县供电局）编写第十五章的第一节，第十六章的第一节与第二节；段平鑫（江西省南昌县供电局）编写第十五章的第二节，附录九；吴成林（江西水电学校）编写第一章的第一节与第三节；徐桂珍（江西水电学校）编写第五章的第一节，第十一章的第二节；刘洪林（江西水电学校）编写第九章的第一节；肖海平（江西水电学校）编写第十三章的第一节；黄荣贵（江西水电学校）编写第十四章的第一节；罗忠、聂建清（江西水电学校）分别编写附录一，附录二；陈家瑀、珂磊（均为江西电力职业技术学院）分别编写第十五章的第五节、第十二章的第一节；单文培（原江西水电学校）编写各章的提纲与其余各章节内容，最后负责统稿工作，并担任本书主编；王智园和黄燕担任绘图工作。

由于编者水平有限，加上时间较紧，本书难免存在缺点与疏漏之处，欢迎读者与专家批评指正。

编者

2005年8月

前言

第一章 高压电气设备试验的基本知识	1
第一节 高压试验的基本任务	1
第二节 绝缘劣化或损坏的主要原因	2
第三节 对试验人员的基本要求	3
第二章 发电机定子绕组试验	5
第一节 绕组的干燥	5
第二节 定子绕组直流电阻的测定及绕组焊接头的检查	7
第三节 定子绕组绝缘电阻和吸收比或极化指数测量	11
第四节 定子绕组直流耐压及泄漏电流试验	15
第五节 定子绕组交流耐压试验	19
第六节 定子绕组端部手包绝缘施加直流电压测量其表面对地电压及泄漏电流试验	25
第七节 定子绕组槽部防晕层对地电位测量	27
第八节 发电机轴电压测量	28
第九节 定子绕组绝缘老化鉴定试验方法	29
第十节 发电机绝缘故障在线监测装置	34
第十一节 大型发电机定子绕组超低频耐压试验问题	35
第十二节 经验交流	38
第三章 发电机转子绕组试验	54
第一节 绝缘电阻的测量	54
第二节 交流耐压试验	55
第三节 直流电阻测定	56
第四节 磁极接头接触电阻的测定	56
第五节 工频交流阻抗的测定	57
第六节 转子绕组接地故障点的寻找方法	58
第四章 发电机特性试验及参数测定	60
第一节 发电机空载特性试验	60
第二节 发电机短路特性试验	63
第三节 同步电抗测量	65
第四节 定子漏电抗 X_d 的测定	70
第五节 次暂态(超瞬变)电抗 x_d'' 与 x_q'' 的静测法	73

第六节	低电压突然三相短路试验求取参数	76
第七节	用电压恢复法求取参数	80
第八节	负序电抗 x_2 及负序电阻 r_2 的测定	84
第九节	零序参数的测定	87
第十节	发电机灭磁时间常数测定	92
第十一节	发电机定子铁心损耗试验	97
第十二节	发电机定子绕组极性测定与绕组相序检查	103
第五章	励磁机及永磁机试验	105
第一节	直流励磁机试验	105
第二节	交流励磁机的特点与试验项目	115
第三节	永磁机试验	117
第六章	异步电动机试验	119
第一节	绝缘电阻的测定及交流耐压试验	119
第二节	绕组的直流电阻的测量	120
第三节	定子绕组极性检查试验	121
第四节	电动机空载试验	122
第五节	电动机短路(堵转)试验	125
第六节	电动机定子绕组匝间绝缘试验	129
第七节	鼠笼型转子笼条故障的检查	130
第八节	定子绕组泄漏电流和直流耐压试验	131
第九节	电动机的启动试验	131
第七章	电力变压器试验	133
第一节	绝缘电阻与吸收比测定	133
第二节	直流电阻的测量	135
第三节	泄漏电流测量	140
第四节	介质损耗因数 $\tan\delta$ 测量	142
第五节	交流耐压试验	144
第六节	变压器三倍频耐压试验	149
第七节	电压比试验	157
第八节	变压器极性与组别测定	161
第九节	空载特性试验	166
第十节	短路特性试验	172
第十一节	绝缘油的电气试验	181
第十二节	零序阻抗测量	186
第十三节	变压器分接开关	188
第十四节	变压器噪音测量	190

第十五节	局部放电测量	191
第十六节	全电压下空载合闸试验	200
第十七节	变压器常见故障综合判断方法	200
第十八节	电力变压器故障处理经验交流	202
第八章	互感器试验	222
第一节	电流互感器试验	222
第二节	电压互感器试验	235
第三节	互感器常见故障与综合判断实例	243
第四节	互感器故障处理经验交流	245
第九章	高压断路器试验	257
第一节	概述	257
第二节	绝缘试验	259
第三节	SF ₆ 气体检漏及含水量测量	263
第四节	断路器特性试验	266
第五节	操作机构检查	272
第六节	故障处理实例	273
第十章	电力电缆试验	283
第一节	概述	283
第二节	绝缘电阻的测量	283
第三节	直流耐压与泄漏电流试验	285
第四节	交联聚乙烯绝缘电缆预防性试验	288
第五节	检查电缆线路的相位	291
第六节	故障点的探测方法	291
第七节	故障处理实例	295
第十一章	电力电容器试验	302
第一节	两极对外壳绝缘电阻的测量	302
第二节	测量电容值	303
第三节	交流耐压试验	306
第四节	电容器介质损失角 $\tan\delta$ 测量	306
第五节	冲击合闸试验	307
第六节	耦合电容器的局部放电试验	307
第七节	电容器组现场投切试验	307
第八节	故障处理实例	309
第十二章	高压绝缘子和套管试验	317
第一节	概述	317
第二节	绝缘试验	317

第三节	套管试验	323
第四节	故障处理实例	324
第十三章	避雷器试验	328
第一节	概述	328
第二节	阀型避雷器试验	329
第三节	金属氧化物避雷器的试验	340
第四节	故障处理实例	344
第十四章	接地装置试验	359
第一节	接地装置的组成与作用	359
第二节	接地电阻测量	360
第三节	测量土壤电阻率的方法	364
第四节	接触电势、跨步电势及电位分布测量	365
第五节	降低地网接地电阻的新方法	366
第六节	经验交流	367
第十五章	架空线路试验	375
第一节	概述	375
第二节	导线接头试验	375
第三节	绝缘电阻测量与核对相色	376
第四节	参数测量	377
第五节	长输电线路参数计算	383
第十六章	电瓷防污	386
第一节	影响脏污表面沿面放电因素	386
第二节	污秽绝缘子受潮工频闪络电压试验	388
第三节	防止污秽闪络措施	389
第十七章	电气绝缘安全工具试验	390
第一节	带电作业工具试验	390
第二节	常用电气绝缘工具试验	391
第十八章	油中溶解气体色谱分析	396
第一节	概述	396
第二节	电力变压器	399
第三节	互感器、套管	429
附录		434
附录一	介质损失角正切温度换算系数参考值	434
附录二	各种温度下铝导线直流电阻温度换算系数 K_1 值	435
附录三	各种温度下铜导线直流电阻温度换算系数 K_1 值	436
附录四	绝缘在线监测方法	436
附录五	QS ₁ 型西林电桥	438
附录六	绝缘电阻的温度换算	445

附录七 直流泄漏电流的温度换算	447
附录八 阀型避雷器电导电流的温度换算	448
附录九 常用高压硅堆技术参数	449
附录十 球接地时的球隙放电电压表	450
附录十一 电气常用新旧图形符号对照表	453
附录十二 电气常用新旧文字符号对照表	464
附录十三 小母线新旧文字符号及其回路标号	467
参考资料	469

第一章 高压电气设备试验的基本知识

第一节 高压试验的基本任务

电力生产的特点是发、供、用电同时完成，任何一个环节发生故障都会使用户停电，给工农业生产与人民生活带来损失，对科技试验（例如航天发射载人卫星）带来严重损失，为此电力生产必须安全第一。

电力系统内的发、供、用电设备除了长期在额定电压下运行之外，还必须具备在过电压下的绝缘强度。过电压是指超过正常运行电压，它是电气设备或保护设备损坏的电压升高。在电力系统各种事故中，很大一部分是由于过电压造成设备的绝缘损坏引起的。当绝缘有缺陷时，若不及时排除，最终将导致设备损坏，而高电压试验的目的就是通过一定的手段，依靠仪器设备，采用模拟的方法检验电气设备绝缘性能的可靠程度。

电气设备的绝缘缺陷大致分为两类：一类是整体性缺陷，如绝缘老化变质、受潮和脏污等使绝缘性能普遍下降；另一类是局部缺陷，如绝缘局部损伤、受潮和存在气泡等局部性缺陷。不论何种绝缘缺陷，都能通过电气设备预防性试验检查出来。电气设备的绝缘经过一定时间运行后，都要进行定期试验，它是保证电气设备安全运行的重要措施。通过试验掌握电气设备绝缘变化规律，及时发现缺陷进行相应的维护与检修，以免设备绝缘在额定电压与过电压的作用下击穿而造成事故。绝缘性预防性试验起着预防绝缘事故的作用。

电气设备的绝缘预防性试验一般分为绝缘性能的特性试验和绝缘强度试验两种。前者又称非破坏性试验，是指在较低电压作用下或用其他不会损伤绝缘的办法，从不同角度对绝缘的各种特性进行试验。例如绝缘电阻试验、泄漏电流试验与介质损耗因数试验等。制造厂对设备的绝缘进行质量监督，发现生产中的缺陷，同时掌握电气设备的绝缘特性。在运行单位，对绝缘进行维护管理（电气设备长期运行，绝缘会吸潮与老化），做到防患于未然，并通过各种试验取得有价值的技术数据。后者又称破坏性试验，是对电气设备的绝缘在较高电压作用下的一种耐压试验。例如直流耐压试验与交流耐压试验等。其目的是检验电气设备的绝缘在规定电压与时间下是否具有规定水平以上的绝缘强度。这种试验能将危害性较大的集中性的缺陷暴露出来，又是一种对绝缘有损伤性的试验，应慎重进行。

各种电气设备的绝缘缺陷通过不同的试验能够充分暴露出来。高压电气设备的试验是判断设备能否投入运行、预防设备绝缘损坏及保证安全运行的重要措施。电气设备因绝缘结构、绝缘材料及使用条件等差异而各不相同，要根据被试物的种类进行相应的高压试验。为了获得可靠的试验结果，要尽量采用正确的试验技术，严格按照最近行业公布的Q/CSG10007—2004《电力设备预防性试验规程》的规定，认真仔细地做好电气设备预防性试验，发现绝缘缺陷与薄弱环节；严格把住交接验收质量，按照GB50150—1991《电

气装置安装工程电气设备交接试验标准》执行。不使带有绝缘缺陷的设备投入运行,减少设备绝缘损坏事故,不断提高设备的可靠性,确保安全发电。以上是高压试验的基本任务。

第二节 绝缘劣化或损坏的主要原因

高压电气设备的运行条件比较恶劣,绝大部分安装在室外,受环境影响较大,致使电气设备的绝缘成为薄弱环节,容易损坏。电力系统中的事故很大一部分就是由于设备绝缘损坏造成的。

造成绝缘劣化或损坏的原因很多,归纳起来主要有化学、温度、机械与电气4种。

一、化学原因

电气设备的绝缘均为有机绝缘材料(如橡胶、塑料、纤维、沥青、油、漆、蜡)和无机绝缘材料(如云母、石棉、石英、陶瓷、玻璃)组成。这些在户外工作的绝缘材料长期地耐受着日照、风沙、雨雾、冰雪等自然因素的侵蚀,在高原工作的电气设备经常受温度、气压、气温的变化对绝缘产生的影响;在含有化学腐蚀性气体环境下工作的电气设备应有对各种有害气体的抵御能力。电气设备在长期运行中,在这些因素作用下,绝缘材料将引起一系列的化学反应,使绝缘材料的性能与结构发生变化,降低了绝缘的电气与机械性能。

二、温度原因

温度升高是造成绝缘老化的重要因素。电气设备的过负荷、短路或局部介质损耗过大引起的过热都会使绝缘材料温度大大升高,可能导致热稳定的破坏,严重时造成绝缘的热击穿。

电气设备在运行中,由于负荷的变化和冷却介质温度的脉动,使绝缘的温度产生非常有害的频繁变化。电气设备中广泛应用的有机绝缘材料,在长期温度脉动作用下会引起绝缘介质弹性疲劳和纤维折断,而使绝缘材料老化。

电气设备的绝缘是各种不同的材料做成的,它们各自的膨胀系数和导热系数不同。当温度发生剧烈变化时,会使绝缘龟裂、折断或密封不良。绝缘材料常与金属材料紧密结合在一起,由于两者的热膨胀系数相差甚大,当温度发生变化时,在绝缘材料的内部或两者的结合面处将产生很大应力,引起绝缘的损坏。

三、机械原因

电气设备的绝缘除了承受电场作用外,还要受到外界机械负荷、电动力和机械振动等作用。输电线的绝缘子起绝缘作用,还长期承受导线拉力的作用。隔离开关支柱绝缘子在分合闸操作时需承受扭曲力矩的作用。断路器的绝缘拉杆在分合闸操作时,承受很大的冲击力的作用,在外界机械力与电动力作用下,会造成绝缘材料裂纹,使绝缘的电气性能大大降低,甚至造成重大事故。

四、电气原因

绝缘的作用是将电位不等的导体分隔开,绝缘的好坏也就是电气设备耐受电压的强弱。各种电压等级的电气设备都需要具有相应耐电压的能力,电气设备的绝缘强度应保证

绝缘在最大工作电压持续作用下与超过最大工作电压一定值的短时过电压作用下，都能安全运行。

第三节 对试验人员的基本要求

一、认真细致地做好电气设备的绝缘预防性试验工作

Q/CSG10007—2004《电力设备预防性试验规程》中规定的试验项目、周期与标准是我国电力工业近半个世纪经验的积累与总结，对预防性试验具有重要的指导意义，必须认真执行。

在试验项目的选择上应尽量全面，以防带有严重绝缘缺陷的设备投入运行。

由于电气设备的运行条件不同，绝缘的劣化速度也不一样。例如：经常操作的断路器需每年检修；在正常运行的变压器能在5~10年内安全运行；由浸胶云母做成的发电机定子绕组绝缘，由于绝缘本身不均匀与运行中振动等因素的影响，必须每年进行一次交流耐压试验。

二、提高分析判断能力

试验结果是分析判断的依据，正确地运用试验标准判断绝缘的优劣，估计出绝缘缺陷发展的趋势与严重程度，也是一件重要的工作。

一般地说，如果各项试验结果都能满足预防性试验规程的规定，则可以认为试验结果基本正确，电气设备绝缘良好，可投入运行。但是，个别项目的试验结果达不到规程的要求，或者此设备没有标准可供参考时，可按下列原则进行分析比较。

(1) 调查检修与运行情况。在设备检修过程中发现了哪些缺陷，已经处理了多少，还有什么缺陷未消除。了解设备在运行过程中的负荷变化、温度、周围环境与异常情况资料，这些资料对试验结果的分析判断有参考意义。

(2) 与历次试验结果比较。电气设备几乎每年都要进行预防性试验。若在运行中没有发现什么异常情况，则试验结果也应大致相同，特别是与上次试验结果比较更应相近。若两次试验结果相差过大，又超过标准很多时，而试验方法、接线与试验仪表没有问题，则说明绝缘存在缺陷。

(3) 同一设备相间比较。同一设备三相之间绝缘状况应该比较接近，如果有一相的试验结果与其他两相的不同，且超过一半以上时，可能该相绝缘有问题。

(4) 同类型电气设备比较。同类型电气设备由于结构相同，其绝缘性能也应近似。同类型电气设备试验结果相差较大，通过互相比对就可以发现问题。为了便于比较，两次试验都应在条件相近的情况下进行。

三、参加交接验收试验

交接验收试验是对电气设备制造质量、安装质量与施工工艺进行一次全面的检查，也是今后电气设备运行、检修与试验的依据，各项试验结果都要满足GB50150—1991的规定。

四、认真分析绝缘事故

经过绝缘预防性试验的电气设备虽然能够发现大部分绝缘缺陷，但限于所用试验方法

的灵敏度与绝缘缺陷的性质，有些隐形缺陷问题，还得靠运行的连续观测与设备的检修解体检查才能发现，因此，电气设备在运行中还会发生事故。

通过对绝缘事故的细致调查、分析、归纳，找出原因，提出防止的对策，坚决杜绝类似事故再次发生。

五、注意资料积累

技术资料是掌握电气设备运行情况，分析绝缘劣化趋势，总结电气设备运行、检修与试验的依据。对每个电气设备都应建立台账，包括产品制造说明书、交接验收记录、各次预防性试验记录与历次试验报告。

更主要的是对技术资料进行系统周密的分析，以摸清绝缘变化规律，指导电气设备安全经济运行与合理的检修工艺，使试验结果更能反映设备实况。

第二章 发电机定子绕组试验

第一节 绕组的干燥

一、概述

电机绕组的绝缘在长期存放、长期停机以及在运输安装过程中均有受潮的可能。受潮可以分为两种情况：一种是绕组绝缘表面受潮；另一种是绝缘内部受潮。后者是由于绝缘在毛细管的作用下，水分浸到绝缘体积之内所造成的。两种受潮都使得绕组的绝缘电阻大为降低。必须经过干燥，除去潮气，使绝缘电阻上升。

若绝缘只是表面受潮，当空气干燥时，只要温度一升高，绝缘电阻就会上升；若是内部受潮，则需要经过较长时间的加温干燥，绝缘电阻才能上升。

在 GB50170—1992《电气装置安装工程旋转电机施工及验收规范》中规定：新装电机的绝缘电阻或吸收比应符合现行国家标准 GB50150—1991，当不符合时，应对发电机进行干燥。

对于环氧粉云母绝缘的定子绕组，温度在 $10\sim 40^{\circ}\text{C}$ 情况下，同时满足下列两个条件时，发电机可不经干燥而直接进行交、直流耐压试验。

(1) 测得的绝缘电阻吸收比 $R_{60}/R_{15} \geq 1.6$ 。

(2) 定子绕组绝缘电阻在常温下不低于其额定电压每千伏 $1\text{M}\Omega$ 。如果不满足上述条件，则应进行干燥。对转子绕组绝缘电阻值不宜低于 $0.5\text{M}\Omega$ ，否则也应进行干燥。

二、两种直流干燥电源

1. 直流电焊机

(1) 电焊机的选用。感应电动机为动力带动直流电焊机。电焊机外特性 $U=f(I)$ 在端电压变化不大的范围内，可使负荷保持恒定，从而保证电焊机并联运行的稳定性，并按外特性的陡度来分配负荷。不同型号、不同容量的电焊机的外特性曲线是不同的，它们并列后，彼此间会产生极不均匀的负荷分配，易使个别电焊机因过负荷而烧毁。为避免此情况，应尽量选用同型号、同容量的电焊机并列。实践证明，同型号、同容量的电焊机并列能很稳定地运行。

(2) 电焊机并列操作及注意事项。

1) 根据计算准备好电焊机。为了并联运行的稳定，电焊机的主励磁线圈采用他励方式，由另外的直流电源（如硅整流装置）并联供电。每台电焊机的交、直流侧都有分开关，而且交流侧应有总开关。每台电焊机的直流侧应装一块电流表，并应有一块总电流的电流表；交流侧可公用一块钳形电流表，以便在运行中加以监视。

2) 各电焊机的引线应该尽量短，并有足够大的截面，以防导线过负荷，并减少电

压降。

3) 分别启动各台电焊机组, 检查转动方向及直流输出端的极性是否正确, 磁场调节电阻调试应正常。

4) 合总电源开关, 依次启动各台机组。若是串联、并联接线方式, 则应先把机组串联起来, 然后再并联。每台电焊机应在电压相差不大的范围内并入直流母线。

5) 全部电焊机并列完毕, 应调节磁场电阻, 使各机组输出的电流均匀, 并以钳形电流表测量各台电焊机的交流侧电流及总交流电流, 以监视有无负荷分配不均、相间电流不平衡等异常现象。

6) 当加至最大试验电流之后, 要密切监视各机组的电流及总电流, 并保持其稳定。试验完毕, 可依次降下各台机的电流。停机时应先断直流侧开关, 再分别切断各台机组的交流电源。

7) 运行中如有交流侧熔断器熔断, 使一台电焊机失去交流电源、直流电源受到扰动时, 应立即切断异常机组的交直流开关。各台机组的交流侧熔丝应按 1.5~2 倍额定电流选择, 接线应牢靠, 以免因接触不良发热而熔断。

8) 当发生特殊异常现象时, 需立即断电停机, 不允许在直流侧关联的条件下切断任意一台机组的交流电源。

2. 大电流硅整流器

实际运用的有两种方案: 一种是采用低压大电流整流变压器与大功率硅整流装置配套组成的装置; 另一种可控硅与二极管组成的整流桥, 直接将 380V 交流电整流为所需的直流电。

三、干燥方法及注意事项

1. 外加直流干燥法

在工地组装的水轮发电机, 当定子线圈全部下线完毕, 并且安放就位之后 (转子未吊入之前), 应进行一次交直流耐压试验。耐压前, 如果绝缘电阻值及吸收比不符合要求, 则应进行干燥, 此时可采用外加直流法干燥。

(1) 定子三相绕组可以按相或按分支串联接线 (视电源及电机情况而定)。串接时的跨接线以连接方便为原则, 不必考虑绕组中原来的电流方向。

(2) 通入绕组的最大电流可以按相或按分支额定电流的 60% 考虑来选择电源。

(3) 加温过程中, 线圈的最高温度: 以酒精温度计测量时, 不应超过 70℃; 以检温计测量时, 不应超过 85℃, 温度应逐步升高, 在 40℃ 以下, 每小时温升不超过 5~8℃。以酒精温度计测线圈及铁心表面温度, 以检温计测铁心槽内温度, 两种测量可以互相校对, 取多个测温点的平均值。

(4) 每 4~8h 用兆欧表测三相绕组对机壳的总绝缘电阻一次, 读出 R_{15} 及 R_{60} , 算出吸收比, 并根据当时的温度折算为 75℃ 的绝缘电阻值。测量绝缘电阻时, 应停止外加电源, 注意勿将电焊机或整流装置的绝缘电阻测进去。

(5) 为了使温度能够均匀地上升, 应采取适当的保温措施。若水轮发电机定子已经放在机坑, 应将棉被或石棉布将机坑进入门等处密封, 防止温度对流。必要时在定子下部均匀设置若干个安全电炉, 以辅助加热, 温升可以改变绕组外加电流的大小及增减电炉的数

目来调节。

(6) 当达到前述条件时,干燥即可结束。

(7) 干燥完毕,降温的速度也不宜太快,每小时按 10°C 速率控制。

2. 三相短路干燥法

将发电机三相短路,短路点直接接在发电机出口,也可在出口断路器外侧。机组以额定转速运转,转子绕组加励磁电流,定子绕组电流随之上升,利用发电机自身电流产生热量对绕组进行干燥。为了升温的需要,空气冷却器应不给冷却水。发电机开始升流加温时,起始电流不超过定子额定电流的 50% 为宜,最大短路电流不超过定子绕组的额定电流。在干燥过程中,升(降)温率要求与外加直流干燥法的要求相同。测绝缘电阻时,在降下定子电流,跳开灭磁开关后测定,也可在不降电流的情况下测定。后一情况要采用带电作业措施。

对发电机进行短路干燥与测定发电机的短路特性可结合进行。

四、关于环氧粉云母绝缘的干燥问题

采用沥青云母带浸胶绝缘的发电机,在受潮时,不仅表面受潮,而且内部受潮,加温干燥往往要较长时间。

对于环氧粉云母绝缘的发电机,由于其具有加热固性的特点,在线圈制造过程中已固化成型,潮气不易浸入绝缘内部,受潮主要表现为表面受潮。

根据大量工程实践得知这种绝缘的发电机,只要略一加温度,泄漏电流大大下降,绝缘电阻与吸收比大大提高。因此,对表面受潮的环氧粉云母绝缘的电机,可采用简单的干燥法,温度不必过高,时间也不宜过长。例如用热风吹,灯泡(或安全电炉)烤及稍加电流等方法,加热到 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 时,一般只要几个小时,即可除去表面潮气,完成干燥的任务。

例:一台 75000kW,电压为 13.8kV,采用环氧粉云母绝缘的水轮发电机,在未经干燥时(29°C)测 U 相 $R_{15}=30\text{M}\Omega$, $R_{60}=48\text{M}\Omega$,吸收比 $R_{60}/R_{15}=1.60$;干燥后(37°C)U 相 $R_{15}=150\text{M}\Omega$, $R_{60}=500\text{M}\Omega$, $R_{60}/R_{15}=3.33$ 。干燥前,U 相加电压 34.5kV 时,60s 时泄漏电流为 $1350\mu\text{A}$;干燥后仅有 $47\mu\text{A}$,减少了近 28 倍。干燥加温时间用了 10h。证明干燥与否对绝缘电阻、吸收比、泄漏电流的影响很大。

第二节 定子绕组直流电阻的测定及绕组焊接头的检查

一、概述

定子绕组的总体直流电阻由绕组铜导线的电阻、焊接头电阻和引出连线电阻三部分组成。直流电阻的大小与电机的型号和容量有关。对于某一台发电机而言,线圈及引出线的长度均已固定不变,则绕组的直流电阻也不应变化(随温度变化除外),所以绕组总体直流电阻的变化一般是焊接头电阻变化的反映。

发电机在交接及大修时,在受严重的大电流冲击后,必须进行绕组直流电阻的测量。GB50150—1991 与 Q/CSG10007—2004 中规定:各相或各分支绕组的直流电阻在校正了由于引线长度不同而引起的误差后,相互间差别以及与初次(出厂或交接时)测量值比