

王荣先 编

中小型电站电气设备试验

- 中小型火电站用
- 中小型水电站用
- 变配电站用

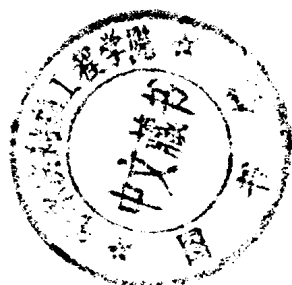
水利电力出版社

379257

中小型电站电气设备试验

- 中小型火电站用
- 中小型水电站用
- 变 配 电 站 用

王荣先 编



水利电力出版社

(京)新登字115号

中小型电站电气设备试验

- 中小型火电站用
- 中小型水电站用
- 变 配 电 站 用

王荣先 编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京四季青印刷厂印刷

*

787 × 1092毫米 32开本 14印张 308千字

1992年12月第一版 1992年12月北京第一次印刷

印数 0001— 5790 册

ISBN 7-120-01681-4/TM·452

定价 11.00 元

内 容 提 要

本书系统地介绍了电压为35kV及以下电气设备的调整试验技术。主要内容有高压电气设备、继电保护和电气测量仪表的试验项目、标准、接线、方法和对试验结果的分析判断等。

全书共分19章，第1~11章为同步发电机、电力变压器、高压断路器、电力电缆、电力电容器、互感器、避雷器和接地装置等的调整试验技术。第12~17章为保护继电器的一般性检查、电磁式继电器检验、继电保护整组试验等的试验方法。第18~19章为电气测量指示仪表和电度表的校验、调整和修理方法。

本书可供中小型火电站、水电站以及变配电站和工矿企业中从事电气设备安装、调整试验、运行维修专业人员阅读；也可作为电气技术工人培训教材。

DUSC/17

前 言

我国电力工业随着国民经济的发展不断增长,小型电站星罗棋布,发、供、用电能力大大提高,装机容量不断扩大,各种电气设备的制造厂大量出现。为了保证发、供、用电设备安全、经济和可靠运行,对电气设备进行调整试验工作事在必行。

按规定开展电气设备的调整试验工作,虽然不是一件难度很大的工作,但往往会遇到人员、试验设备和技术书籍不足的实际困难。以此出发,在大量收集资料特别是利用了很多电力试验研究所的技术资料与试验成果的基础上,编写了这本技术书籍。书中的试验项目和标准均以原水利电力部颁发的有关电气设备试验规程为依据。试验接线、试验方法和对试验结果的分析判断等,多为工程实际方法,使用时请注意它的局限性。

本书内容主要偏重于实际,着重介绍了35kV及以下高压电气设备、继电保护和常用电气测量仪表的调整试验方法,适当地叙述了使用的试验设备。在内容编排上,原则上每类设备独立成章,以试验项目分节,通用试验项目单独列出。将需要查阅的有关数据和资料编入附录。

本书在编写过程中,得到云南省电力局以及云南电力试验研究所的领导和同志们的大力支持和鼓励。承蒙各地电力试验所的大力支持,提供了许多资料。书稿经四川省水利电力厅地方电力管理处的同志们、云南省火电建设公司原总工

程师冉国富高级工程师和原水利电力部天津勘测设计院袁淼高级工程师的审阅，提出了许多宝贵意见，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误一定不少，恳切希望广大读者批评指正。

编者

1988年12月

目 录

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	(3)
第三节 对试验人员的基本要求	(5)
第二章 电气设备绝缘试验的基本方法	(8)
第一节 绝缘电阻和吸收比试验	(8)
第二节 泄漏电流及直流耐压试验	(16)
第三节 介质损耗因数试验	(27)
第四节 交流耐压试验	(44)
第五节 绝缘油的电气试验	(58)
第三章 同步发电机试验	(66)
第一节 概述	(66)
第二节 定子绕组绝缘电阻和吸收比测量	(67)
第三节 定子绕组直流耐压及泄漏电流试验	(71)
第四节 定子绕组交流耐压试验	(76)
第五节 转子绕组的绝缘试验	(81)
第六节 直流励磁机试验	(90)
第七节 发电机特性试验	(101)
第四章 电力变压器试验	(108)
第一节 概述	(108)
第二节 绝缘电阻和吸收比测定	(109)
第三节 测量泄漏电流	(112)
第四节 测量介质损耗因数	(115)
第五节 交流耐压试验	(118)

第六节	电压比试验	(122)
第七节	极性和接线组别试验	(127)
第八节	直流电阻的测量	(138)
第九节	空载特性试验	(146)
第十节	短路特性试验	(159)
第五章	高压断路器试验	(171)
第一节	基本概念	(171)
第二节	绝缘试验	(172)
第三节	测量导电回路直流电阻	(176)
第四节	断路器特性试验	(190)
第五节	操作机构检查	(199)
第六章	电力电缆试验	(202)
第一节	概述	(202)
第二节	绝缘电阻的测量	(203)
第三节	直流耐压和泄漏电流试验	(206)
第四节	检查电缆线路的相位	(210)
第七章	高压绝缘子试验	(211)
第一节	概述	(211)
第二节	绝缘试验	(211)
第八章	电力电容器试验	(222)
第一节	概述	(222)
第二节	两极对外壳绝缘电阻测量	(223)
第三节	测量电容值	(223)
第四节	交流耐压试验	(230)
第五节	冲击合闸试验	(231)
第九章	互感器试验	(232)
第一节	概述	(232)
第二节	电流互感器试验	(232)
第三节	电压互感器试验	(244)

第十章	避雷器试验	(252)
第一节	概述	(252)
第二节	管型避雷器试验	(257)
第三节	阀型避雷器试验	(259)
第十一章	接地装置试验	(270)
第一节	概述	(270)
第二节	接地电阻标准的规定	(270)
第三节	接地电阻测量	(273)
第四节	土壤电阻率的测量	(279)
第十二章	保护继电器的一般性检查	(281)
第一节	外部及机械部分检查	(281)
第二节	绝缘检查	(283)
第三节	二次回路接线检查	(284)
第十三章	电磁式继电器检验	(287)
第一节	电流和电压继电器检验	(287)
第二节	各种系列中间继电器检验	(293)
第三节	DX型信号继电器检验	(307)
第四节	DS系列时间继电器检验	(307)
第五节	HY系列极化继电器检验	(312)
第六节	DH系列和DCH-1型重合闸继电器检验	(315)
第七节	CJ ₁ 型冲击继电器检验	(317)
第八节	转子一点接地继电器检验	(320)
第九节	差周率继电器检验	(322)
第十节	同步检查继电器检验	(325)
第十一节	气体继电器检验	(331)
第十四章	功率继电器检验	(335)
第一节	GG型功率继电器检验	(335)
第二节	LG型功率继电器检验	(340)

第三节	LLG 型功率继电器检验	(343)
第十五章	BCH 型差动继电器检验	(345)
第一节	概述	(345)
第二节	BCH-2 型继电器检验	(345)
第三节	BCH-1 型继电器检验	(354)
第十六章	线路纵联差动保护装置检验	(362)
第一节	保护装置的動作原理	(362)
第二节	成套保护装置检验	(367)
第十七章	继电保护整组检验	(377)
第一节	整组试验的内容和方法	(377)
第二节	用负荷电流和工作电压检验	(380)
第三节	移相器零位确定及一、二次侧相角关系判断	(387)
第十八章	电气测量指示仪表检验	(389)
第一节	仪表检验的一般规定	(389)
第二节	仪表的误差	(390)
第三节	配电盘仪表检验	(392)
第十九章	电度表检验	(407)
第一节	概述	(407)
第二节	检验电度表的接线	(408)
第三节	检验方法	(412)
附录		(426)
一、	直流电阻的温度换算	(426)
二、	绝缘电阻的温度换算	(428)
三、	直流泄漏电流的温度换算	(431)
四、	阀型避雷器电导电流的温度换算	(433)
五、	介质损失角正切值 $\tan \delta$ 的温度换算	(433)
参考文献		(436)

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

电业生产的特点是发、供、用电同时完成，任何一个环节发生故障，都会使用户停电，给工农业生产和人民生活带来损失。因此，电业生产必须安全第一，这不仅是电业生产自身的需要，而且是关系到国民经济各个部门和千家万户的大事。

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，可使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绝缘损坏引起的。当绝缘有缺陷时，若不及时检出，最终将导致设备损坏。而高压试验的目的就是通过一定手段、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；另一类是局部性缺陷，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，一般情况下都能够通过绝缘预防性试验检查出来。所谓绝缘的预防性试验是指对电气设备的绝缘经过一定时间运行后，不论运行情况如何，都要进行

的定期试验。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，进行相应地维护和检修，以免设备绝缘在额定电压和过电压的作用下击穿，造成事故。因此，绝缘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，大致分为绝缘特性试验和绝缘强度试验两种。绝缘特性试验又叫非破坏性试验，是指在较低电压作用下或用其它不会损伤绝缘的办法，从各种不同的角度对绝缘的各种特性进行的试验。例如绝缘电阻试验、泄漏电流试验和介质损耗因数试验等。在设备制造过程中，对设备的绝缘进行质量监督，以此发现生产中的缺陷，同时掌握设备的绝缘特性。在运行部门，是为了对绝缘进行维护管理（电气设备在长期运行中，绝缘会吸潮和老化），做到防患于未然，并通过各种试验取得有价值的技术数据。绝缘强度试验，又叫破坏性试验，是指对电气设备的绝缘在较高电压作用下的一种耐压试验。例如直流耐压试验和交流耐压试验等。其目的是检验供用电设备的绝缘在规定的电压和时间下是否具有规定水平以上的绝缘强度。这种试验能有效将危害性较大的集中性缺陷暴露出来，但它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的暴露出来。由此可见，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，所以，要根据被试物的种类，进行相应的高压试验。同时，为了得到可靠的试验结果，要尽量采用正确的试验技术。因此，要严格按照原水电部颁发的《电气设备预防性试验规

程》的规定，认真、细致地做好电气设备的预防性试验。不断提高试验工作质量和技术水平，更好地发现绝缘缺陷和薄弱环节；严格把住交接验收质量关，不使带有绝缘缺陷的设备投入运行；配合检修人员进行分解试验，提高检修质量；改进运行维护、延长设备使用寿命，减少电气设备绝缘损坏事故，不断提高设备的可靠性，确保安全发供用电。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而容易损坏。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。因此，掌握电气设备的绝缘知识，弄清绝缘损坏原因，对减少绝缘事故就十分重要了。

虽然造成绝缘劣化或损坏原因很多，归纳起来主要有化学、温度、机械和电气四种。

一、化学原因

电气设备的绝缘均为有机（橡胶、塑料、纤维、沥青、树脂、油、漆、蜡）绝缘材料 and 无机（云母、石棉、石英、大理石、陶瓷、玻璃）绝缘材料组成。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。在高原工作的设备还要经受温度、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设备，还应对各种有害气体抵御的能力。电气设备在长期运行中，在这些因素的作用下，绝缘材料将引起一系列化学反应，特别是在高温和日光照射的不利条件下，将使绝缘材料的性能

和结构发生变化，降低了绝缘的电气性能和机械性能。

二、温度原因

温度的升高常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。设备中广泛应用的有机绝缘材料，在长期温度脉动的作用下，会引起绝缘介质弹性疲劳和纤维折断，而使绝缘老化。

电气设备的绝缘是由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，会因而使绝缘龟裂、折断或密封不良。在绝缘结构中的绝缘材料常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，在绝缘材料的内或两者的接合面处将产生很大应力，从而引起绝缘的损坏。

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、电动力或机械振动等的作用。输电线路的绝缘子不但起绝缘作用，还长期承受导线拉力的作用。电力电容器在系统短路电流的作用下产生绝缘损坏是经常发生的事。隔离开关的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需承受很大的冲击力的作用。在外界机械力和电动力的作用下，会造成绝缘的裂纹，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，都需要具有相应耐受电压的能力。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和超过最大工作电压一定值的短时过电压的作用下，都能安全运行。电力系统的运行方式千变万化，各种过电压的现象均可能发生，而它们作用的时间和幅值又很难掌握。过电压是造成绝缘损坏的重要原因。

第三节 对试验人员的基本要求

一、认真做好电气设备的绝缘预防性试验工作

对电气设备进行绝缘预防性试验，是查明设备绝缘缺陷的主要方法，已成为保证电气设备绝缘可靠性的重要手段。

《电气设备预防性试验规程》中规定的试验项目、周期和标准，是我国电力工业30多年经验的积累和总结，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。如果受停电时间限制，还应考虑以最少的试验项目，能有效地反映出绝缘状态的变化或运行中发生的绝缘缺陷。

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，常需每年检修几次；而在正常运行条件下的变压器，能在5~10年间安全运行。由浸胶云母做成的发电机静子绕组绝缘，由于绝缘本身的不均匀和运行中振动等因素，必须每年进行一次交流耐压试验。因此，要在认真执行规程的同时，结合中小型电站、变配电站电气设备绝缘的具体情况确定。

二、提高分析判断能力

试验结果是分析判断的依据。正确运用试验标准判断绝缘优劣，估计出绝缘缺陷发展趋势和严重程度，也是一件重要事情。

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，则可认为试验结果基本正确，设备绝缘良好，可以投入运行。

但是，如果个别项目的试验结果达不到要求，或老旧设备没有标准可供参考时，可按下列原则进行分析比较。

1. 调查检修和运行情况

在设备检修过程中，发现了哪些缺陷，已经处理了多少，还有什么缺陷没有消除。了解设备在运行过程中的负荷变化、温度、周围环境和异常情况等资料，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。如果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、接线和测量表计没有问题，则说明绝缘存在缺陷。实践证明，这一比较方法，很能说明问题。

3. 同一设备相间比较

同一设备三相之间的绝缘状况，应该比较接近的。如果有一相的试验结果与其它两相不同，且超出一半以上时，可能该相绝缘有问题。

4. 同类型设备比较

同类型设备，由于绝缘结构相同，其绝缘性能也应近似。

若同时进行试验，同类型设备试验结果相差很大，互相比对，就可以看出问题。

为了便于比较，最好两次试验都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，是对制造质量、安装质量和施工工艺进行一次全面的检查，也是以后运行、检修和试验的依据。试验人员应始终参加交接验收试验，严格把住交接验收质量关口，确保投入运行后正常生产。

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和绝缘缺陷的性质，有些隐形缺陷，还得靠运行的连续观测和检修的解体检查才能发现。因此，设备在运行中还会发生事故。

通过对绝缘事故的调查分析，找出原因，提出防止对策，杜绝类似事故再度发生。

五、注意资料积累

技术资料是掌握设备情况、分析绝缘劣化趋势、总结运行和检修经验的依据。对每种设备都应建立台帐，包括制造厂说明书、交接验收记录和历次试验报告。建立的方法，应该是由粗到细，由近到远，由主要设备到一般设备，逐步建立和充实。

更主要地还应对资料进行经常、系统的分析，以摸清绝缘变化规律，指导运行和检修工作。