

电 力 工 业 标 准 汇 编

电气卷

第一分册

电气通用及基础

中国电力企业联合会标准化部 编

中国电力出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电力工业标准汇编：电气卷 第一分册：电气通用及基础/中国
电力企业联合会标准化部编.-北京：中国电力出版社，1996

ISBN 7-80125-061-3

I. 电… II. 中… III. ① 电力工业-标准-汇编 ② 电气工业-通
用化-标准-汇编 IV. TM-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 16716 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)
北京市朝阳区小红门印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

1996 年 6 月第一版 1996 年 6 月北京第一次印刷
787×1092 毫米 16 开本 56 印张 1383 千字
印数 0001—8110 册 定价 109.00 元

版权专有 翻印必究

《电力工业标准汇编》 编辑委员会

顾 问： 陆廷昌 潘家铎
主 任： 张绍贤
副 主 任： 叶荣泗 郑企仁
委 员： 毛文杰 邴凤山 阙宗藩 刘 俭
张克让 辛德培 顾希衍

《电力工业标准汇编·电气卷》 编辑委员会

主 编： 刘惠民
编辑委员： 毛文杰 孙 林 苏竹荆 辛德培
姚抚城 张树文 马承厚 许文青
盛昌达 李 泽 吕 斌 李文毅
邵泽溪 金文龙 崔江流 曹小军
郭国川 陈德文 徐晓东 李 勃
黄志明 隗克功 马长瀛 马长山
沈玉娟 王之昌 徐介宪 向 标
郭英毅 邦兴庆

电力标准化的一件大事

代 前 言

我国第一部经过审订的《电力工业标准汇编》在电力工业部领导下，经过几十位专家近两年的努力，终于付梓，即将出版发行了。这是电力工业标准化工作中值得庆贺的一件大事。

电力行业历来重视标准化工作。新中国建立以来，逐步形成的相对完整的电力技术法规体系，对保证发供电设备的安全、经济运行和保证电力建设工程质量起了重要作用。改革开放以来，电力生产和建设规模不断扩大，电力装备和技术水平迅速提高。随着电力工业管理体制的改革，一个统一、开放、竞争、有序的电力市场正在形成之中，改革和发展的新形势又对电力标准化提出了新的更高要求。电力工业部成立伊始就十分重视标准化工作，在改革标准化管理体制、抓紧标准建设的同时，更重视标准的贯彻实施。近年来，由于大量新建电力企业不断涌现，现有企业装备与人员的迅速更新，电力企业对标准的需求十分迫切，出现了标准供应难以满足电力发展和电力企业需求的现象；另一方面，一些单位和个人由于各种原因，编辑、出版了各种各样的电力标准汇编。这些出版物没有经过主管部门的审订认可，也没有解决版权问题，所收的标准或不全，或对其有效性不能肯定，或编辑、印刷错误，对标准使用极易发生误导，贻害极大。这就提出了编辑出版一部规范的《电力工业标准汇编》的客观要求。这部由中国电力企业联合会标准化部组织编辑、审查，由中国电力出版社出版的《汇编》，不论在其完整性或准确性方面都不失为一套权威性的工具书，相信它将会在满足电力标准用户的需求和纠正偏差方面发挥应有的作用。

在建立社会主义市场经济的过程中，标准化工作更有其独特的重要性。它不仅是统一、开放、竞争、有序的市场的需要，对电力工业而言，它更是保证电力设备和电力系统安全经济运行的需要；是保证电力生产符合环境保护与节约能源的需要；是保证电力建设工程质量和合理造价的需要；是把成熟的科技成果迅速转化为现实生产力、促进电力工业技术进步的需要。也就是说，是提高经济增长的质量和效益的需要。同时，也是我国电力工业开展国际合作、技术交流和与国际接轨的需要。总之，标准化工作是发展社会主义市场经济，促进技术进步，保证产品和服务质量，提高经济效益和社会效益，维护生产者与消费者双方利益的

保证。电力行业各单位都应该重视标准化工作，支持标准化工作，严格贯彻执行有关标准，以此来规范我们的技术行为，规范电力行业和社会的关系，从而使我们的工作更安全、更经济、更高效，为国民经济和社会生活提供更高质量的服务。

一般而言，标准化工作包括三个内容：制订标准；组织实施标准；对实施标准进行监督。实施标准是整个标准化的核心和最终目的。制订标准完全是为了贯彻实施；监督是促进标准的实施和正确使用标准。因此，企业应是标准化活动的主体。各级电力企业都应该在进一步提高对标准化认识的基础上，以《电力工业标准汇编》的出版为契机，进一步加强标准化管理，健全标准化工作机构，认真贯彻执行电力国家标准和电力行业标准，建立和完善企业标准体系，把标准化工作提高到一个新水平。

汇 编 说 明

为了适应电力事业发展的需要,加强电力行业标准的管理,促进标准的推广和使用,满足电力系统工程技术人员和科技管理人员对成套标准的需求,中国电力企业联合会标准化部在清理已有电力行业标准的基础上,对现行标准进行了汇总整理,组织编辑了这套《电力工业标准汇编》,共四卷:《综合卷》、《电气卷》、《火电卷》、《水电卷》。本卷为《电力工业标准汇编·电气卷》。

《电力工业标准汇编·电气卷》汇编了截止到1994年底颁布的全部现行电气类行业标准(包括规程、规范、导则、技术规定等);同时,考虑到电力企事业单位和广大工程技术人员需要,还编入部分与电力行业密切相关的国家标准和少量的企业标准以及相应的编制说明、条文说明等。《电力工业标准汇编·电气卷》内容有:电气通用及基础;电力网、电力系统及变电所;电机及变压器类;开关设备;继电保护及自动装置和仪器仪表;电网调度自动化及通信;带电作业及工器具;电力线路和电力金具;电力电容器及避雷器;施工及安装;共10个分册。本卷汇编的总体框架基本上按专业划分,但考虑到施工和安装工作的特殊性,将各专业中的此类标准归并起来,单独编成一个分册,以便于查找。

收入本卷汇编中的所有标准都是现行的、有效的;其名称和代号均采用已颁布标准的最新版本用名、代号,并顺序列出,以方便查检使用。但是,每一标准内容中提到的有关标准,其代号中的年份号可能不是最新的,请读者在使用时注意。此外,这次汇编各标准时,对原标准中使用的名词术语、文字符号、图形符号、计量单位等,均按最新的有关规定作了修改或注释,对原标准内容中明显的疏漏、错误也尽可能地进行了改正。

《电力工业标准汇编·电气卷》的编辑和出版工作,是在电力工业部标准化领导小组、中国电力企业联合会和电力工业部有关司局的关心和指导下进行的,并得到国家调度通信中心、电力机械局、各网局、电力规划设计总院、电力信息研究所、电力建设研究所、中国电力出版社等单位以及各标准化技术委员会的领导和支持,在此谨致诚挚的谢意。

由于标准的整理和编辑出版工作量较大,时间紧迫,加之编者水平有限,不当之处恳请读者指正。

《电力工业标准汇编·电气卷》编辑委员会

1995年6月

目 录

代前言

汇编说明

GB 311.7—88 高压输变电设备的绝缘配合使用导则	1
GB 2706—89 交流高压电器动热稳定试验方法	39
GB/T 5582—93 高压电力设备外绝缘污秽等级	47
GB 8905—88 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则	53
GB 12325—90 电能质量 供电电压允许偏差	79
GB 12326—90 电能质量 电压允许波动和闪变	83
GB/T 14549—93 电能质量 公用电网谐波	91
DL 407—91 农村电气化标准	101
DL 408—91 电业安全工作规程（发电厂和变电所电气部分）	109
DL 409—91 电业安全工作规程（电力线路部分）	151
DL 416—91 用于测量直流高电压的棒—棒间隙	181
DL 417—91 电力设备局部放电现场测量导则	187
DL 418—91 绝缘液体雷电冲击击穿电压测定法	215
DL 474.1~6—92 现场绝缘试验实施导则	227
DL 475—92 接地装置工频特性参数的测量导则	281
DL 477—92 农村低压电气安全工作规程	291
DL 493—92 农村安全用电规程	319
DL 499—92 农村低压电力技术规程	345
DL 503、504—92 电力工程设计及规划设计任务来源代码	401
DL 558—94 电业生产事故调查规程	405
DL 5001—91 火力发电厂工程测量技术规程	439
DL/T 5026—93 电力工程计算机辅助设计技术规定	547
电气设备预防性试验规程	603
NDGJ 8—89 火力发电厂、变电所二次接线设计技术规定	663
SD 119—84 500kV 电网过电压保护绝缘配合与电气设备接地暂行技术标准	701
SD 137—85 配电系统供电可靠性统计办法	729
SD 240—87 电力系统部分设备统一编号准则	747
SD 258—88 全国地方小型火力发电厂 绝缘监督实施细则	761
SD 301—88 交流 500kV 电气设备交接和预防性试验规程	767
SD 334—89 高压带电显示装置技术条件	785
SDGJ 56—83 火力发电厂和变电所照明设计技术规定	795
ZBF24001—90 冲击电压测量实施细则	823
ZBF24002—90 现场直流和交流耐压试验电压测量装置（系统）的使用导则	865
ZBF24003—90 便携式直流高压发生器通用技术条件	875

高压输变电设备的绝缘配合使用导则

Application guide for insulation co-ordination
of high voltage transmission and
transformation equipment

GB 311.7—88

目 次

1 范围及引用的现行标准	3
2 运行中的作用电压	3
3 绝缘耐受能力	8
4 过电压保护装置.....	10
5 对 3~500kV 电压范围内均适用的作用电压与耐受电压间的配合	12
6 3~220kV 电压范围内作用电压与耐受电压间的配合	12
7 330~500kV 电压范围内作用电压和耐受电压间的配合	16
附录 A 经变压器绕组波的传递 (补充件)	23
附录 B 试验有效性 (补充件)	27
附录 C 应用举例 (参考件)	32
附录 D 不对称接地时暂态过电压计算 (参考件)	35
附录 E 故障率与统计安全因数的关系 (参考件)	36

中华人民共和国国家标准

高压输变电设备的绝缘配合使用导则

Application guide for insulation co-ordination
of high voltage transmission and
transformation equipment

UDC 621.316.9
: 621.311
GB 311.7—88

1 范围及引用的现行标准

1.1 范围

本导则是执行 GB 311.1《高压输变电设备的绝缘配合》的指导性文件，只适用于设备的相对地绝缘，其目的在于给出合理地、经济地确定交流输变电设备电气强度、选择过电压保护装置（如避雷器、放电间隙等）及过电压限制措施等问题的指导原则，而不是要给出有关绝缘配合和绝缘设计的严格规定。

由于对非正规设计的设备或电力系统中具有例外的特性时，需要进行专门的研究，故本导则主要考虑的是一些基本情况。

本导则以其出版时使用的输变电设备型式及其额定值为基础，故当设备及其特性有新的改善并经验证时，应允许使用。

与 GB 311.1 相对应，本导则按额定电压分下列两个范围论述。

- a. 3~220kV；
- b. 330~500kV。

1.2 引用标准

- GB 311.1 高压输变电设备的绝缘配合
- GB 311.2 高电压试验技术 第一部分 一般试验条件和要求
- GB 311.3 高电压试验技术 第二部分 试验程序
- GB 311.4 高电压试验技术 第三部分 测量装置
- GB 4876 交流高压断路器的线路充电电流开合试验
交流系统用碳化硅阀式避雷器
- GB 5582 高压电力设备外绝缘污秽等级

2 运行中的作用电压

2.1 作用电压类型

设备在运行中可能受到下述各类电压的作用：

- a. 正常运行条件下的工频电压；

- b. 暂时过电压（包括工频电压升高）；
- c. 操作过电压；
- d. 雷电过电压。

在 GB 311.1 中主要按电压波形将过电压分类，因为电压波形决定了对设备绝缘和保护装置的影响。

“暂时过电压”是指其频率为工频或某谐波频率，且在其持续时间范围内无衰减或衰减慢的过电压。

“操作过电压”、“雷电过电压”通常分别由操作（或故障）及雷电放电所引起，但未必总是如此。例如，当变压器一侧有雷电波作用时，经绕组间耦合的电感性传递过电压，会有接近于操作过电压的长波前；而当单相接地时，依靠相间的电、磁耦合，可在正常相上产生接近于雷电过电压的短波前。同时，作用电压对绝缘和保护装置的影响，主要取决于其波形、幅值和持续时间，故在本导则中的所谓“操作”“雷电”过电压是指可分别用长波前的操作冲击和短波前的雷电冲击来代表的过电压。

当过电压用标么值（p. u.）表示时，其基准值是设备最高电压的 $\sqrt{\frac{2}{3}}$ 。

2.2 正常运行条件下的工频电压

对设备绝缘和某些过电压保护装置（如无串联间隙的金属氧化物避雷器）长期运行性能的要求取决于这一电压，避雷器动作后，其瞬时值对作用于设备上的过电压亦有影响。工频电压的作用随电压等级的提高愈益重要。

正常运行条件下，工频电压会有某些波动，且系统中各点的工频电压并不完全相等，但不会超过设备最高电压。故在本导则中把工频电压看作是常数且等于设备最高电压。

2.3 暂时过电压

暂时过电压的严重程度取决于其幅值和持续时间。在进行绝缘配合时，应首先考虑暂时过电压，因为：

a. 在避雷器安装点的暂时过电压的幅值和持续时间对其额定电压（它决定了避雷器的保护水平）的选择很重要。

b. 持续时间较长的暂时过电压，即使其幅值较其他过电压为低，也可能决定设备内、外绝缘（如污秽表面）的设计，危及设备的安全运行。

c. 通常，如暂时过电压的幅值较大，操作过电压的幅值也较大。

为限制操作和雷电过电压，以降低设备的绝缘水平，有时需对暂时过电压进行限制。

暂时过电压的起因主要是：

- a. 接地故障；
- b. 负载突变；
- c. 谐振。

2.3.1 接地故障引起的暂时过电压

因单相接地故障出现的概率最大，且这一概率随系统额定电压的上升而增加，故主要考虑这一情况。系统中某一选定的故障点处正常相的暂时过电压与系统中性点的接地方式有关，其计算方法及有关的说明见附录 D。

2.3.2 负载突变引起的暂时过电压

当突然切除大的有功、无功负载时，会出现暂时过电压，其幅值及持续时间与失去负载后的系统配置、电源特性（电站的短路容量、发电机的调速及调压装置的特性）有关。

在长线末端突然失去全部负载时，由于短时间内发电机的转速增加和费兰梯（长线电容）效应等，这种电压升高可能特别严重，会影响到设备的安全运行。在超高压系统运行的初期，对这种过电压的严重性应给予充分重视。

2.3.3 谐振引起的暂时过电压

谐振可能是线性的、也可能是非线性的。这里非线性谐振是指铁磁谐振。

仅当系统中有故障或非全相操作，且参数又匹配时线性谐振才有可能发生。

例如：在架空线、电缆的系统内，单相接地后，由故障点望入，系统的零序电抗 X_0 、正序电抗 X_1 ，满足 $X_0 - 2X_1 = 0$ ；非全相操作时，由开关断口望入，系统的零序电抗 X_0 、正序电抗 X_1 ，满足 $X_0 + 2X_1 = 0$ （单相合闸）或 $2X_0 + X_1 = 0$ （单相开断）。

非线性谐振时，其谐振频率可能是电源频率（基频谐振）、或其分数（分次谐波谐振）、或其一定的倍数（偶次或奇次谐波谐振）。

在有大大电容元件（如串联补偿电容器、电缆等）和具有非线性磁化特性的电感元件（如变压器等）的回路内，由于操作或负载突变，可能激发起不同类型的非线性谐振过电压，其持续时间与激发的起因、回路本身的特性有关，或者是稳定的，或仅持续一定时间。

此类过电压出现的情况较为繁杂，在本导则中只能扼要说明一些最典型的例子。

2.3.3.1 基频铁磁谐振

例如，在非有效接地系统中，当空载母线合闸或单相接地，且由于各相电磁式电压互感器的饱和程度不同，可能产生基频铁磁谐振。又如，带有空载或轻载变压器的线路中，非全相操作或断线，形成电容与非线性电感的串联电路，且该回路总阻抗为容性时，过电压将较高。

基频铁磁谐振过电压通常为铁芯饱和所限制。

2.3.3.2 分次谐波谐振

在串联补偿电容器和并联电抗器的串联回路和电磁式电压互感器与母线对地电容的并联回路内，如作用电压，回路参数（电容值、含铁芯电感线圈线性部分的电感值、电阻值、饱和后的磁链—电流特性）满足一定条件时，可因操作而激发起分次谐波谐振过电压（一般为 $1/2$ 次谐波）。

2.3.3.3 高次谐波谐振

由变压器供电的轻负载线路，如果由变压器或电磁式电压互感器的激磁支路望出，系统的线性部分的自振频率恰与变压器激磁电流的某一谐波频率相等时，会出现奇次谐波谐振过电压。

由于电感的周期性变化，在一定条件下可能激发起基频、偶次谐波谐振。

含铁芯电感线圈接入电源或开断故障时，其磁路内将有过渡过程和非周期性磁链出现，这将使激磁电流内有偶、奇次谐波，如其外的系统之线性部分的自振频率恰与激磁电流的某一谐波频率相等时，会出现偶次、奇次谐波谐振过电压。

为避免谐振过电压出现，应进行专门的研究，力图避免可能引起谐振的操作或破坏可能发生谐振的条件。

2.4 操作过电压

如前述，所谓操作过电压的特点是：波头部分等值频率低，不对称，也不是重复的，通常只有一个极性的一个峰值及其波前时间在选择绝缘时必须考虑。它们在设备绝缘各部分的分布大致与工频电压时相同。

操作过电压的起因通常是：

- a. 线路合闸与重合闸；
- b. 故障与切除故障；
- c. 开断容性电流和开断较小或中等的感性电流；
- d. 负载突变。

注：①异步运行时的解列过电压有时幅值较高；

②操作过电压与电网结构、设备特性，特别是开关设备的特性有关。由于许多随机因素的影响，其波形参数、幅值都是随机的（其结果不能预先确知）变数，但由大量的计算、模拟试验或在系统中实测可以给出它们位于一定范围内的概率。限制操作过电压的措施很多，以 a 为例，就有装并联电抗器，断路器中装合闸电阻，装避雷器以及重合前释放线路残余电荷等。究竟采用何种限压措施、需进行全面的、经济比较。对限压措施的具体要求，应由专门的计算来确定。

2.4.1 线路合闸和重合闸产生的操作过电压

线路合闸和重合闸（单相或三相）时，由于设备、线路对地等值电容上的初始电压与操作所引起的过渡过程结束后的强制电压可能不相等，将在强制电压上叠加一个幅值为强制与初始电压之差，且有一定衰减的瞬态电压，从而产生操作过电压。除开断较小或中等感性电流所引起的操作过电压外，其余各种操作过电压产生的原因均如此。

2.4.2 故障与切除故障产生的操作过电压

发生故障或切除故障时，设备和线路对地等值电容上的初始电压与其强制电压不相等，会产生操作过电压。当满足一定条件时，还将因谐振而产生较高的过电压（见 2.3.3）。

2.4.3 开断容性电流和开断较小或中等感性电流产生的操作过电压

当开断容性电流（如开断空载线路、电缆、电容器组的电流）时，如开关不能避免重击穿，将会产生过电压。

开断数值不大的感性电流时，如开关的去游离能力较强，会使电流在过零之前被截断，则可能产生较高的过电压。应特别注意下述操作所产生的过电压：

- a. 开断电容器组和空载电缆；
- b. 开断电动机的启动电流；
- c. 开断并联电抗器、空载变压器的励磁电流；
- d. 可能导致截流的电弧炉及其变压器的操作和运行；
- e. 用高压限流熔断器开断电流。

2.4.4 负载突变产生的操作过电压

负载突变会产生操作过电压，之后还会出现暂时过电压。

2.5 雷电过电压

如前述，雷电过电压是指可用波前为微秒级、波长为数十微秒的冲击来代表的过电压。

作用于输电线路的雷电过电压是由于雷直击于导线；雷击于塔顶或避雷线后反击于导线；或雷击于线路及其附近的地面（包括塔顶），由于电、磁场的激烈变化产生感应过电压。

作用于设备上的雷电过电压，在绝大多数情况下是沿线路而来的雷电波。

2.6 确定预期过电压水平的原则

在 3~220kV 电压范围内的设备绝缘水平主要由雷电过电压决定，但有时也要估计操作过电压的影响。当设备绝缘较弱或操作频繁，且操作电器又不够完善（如重击穿率不够低）时，设备在操作、谐振过电压下也可能有较高的事故率。

在确定 330~500kV 电压范围内的设备绝缘水平时，操作过电压的影响已较为突出，因而要求对所考虑的系统中的每种显著的过电压进行估算，同时规定以更有代表性的操作冲击试验代替短时工频电压试验。

2.6.1 确定雷电过电压水平的原则

设备上的雷电过电压除主要取决于阀式避雷器的保护水平外，还受到下述系统构成和变电所布置有关因素的影响：

a. 线路的绝缘结构，它的放电电压决定了行波的幅值，而后者又决定了避雷器的保护水平。

b. 进线段的长度，当它较大时，可利用导线的波阻抗来限制流过避雷器中的雷电流，降低其保护水平；进线段内导线上的冲击电晕、地参数的频率特性可降低行波波前部分的陡度，既可降低避雷器的保护水平，又可减弱避雷器动作后的振荡，对减少预期过电压有利。

c. 与母线连接的同一电压等级、同一波阻抗（均对有行波袭来的导线而言）的总出线数 n 愈大，则母线上的电压幅值和波前部分的陡度愈小，故对减小预期过电压有利。在决定 n 值时，应考虑在整个雷雨期内变电所运行中可能出现的最小值。

d. 架空线与金属、铠装的电缆串联，或电站母线与被保护设备间用电缆连接，这一电缆能降低变电所侵入波的陡度，并可能影响侵入波幅值。

对电压等级较低的设备，尚需考虑由变压器的高压侧经电、磁耦合传递到低压侧的过电压，详见附录 A。

当无成熟的经验或设计规程可借鉴时，为了较准确地确定作用于设备上的雷电过电压，宜按系统结构及参数等实际情况进行分析计算，一般需考虑由线路的雷击点至变电所母线的进线段内的波过程和变电所内的波过程。对有绕组的设备，为决定其主，从绝缘上的雷电过电压，还应考虑绕组内的波过程。对重要的变电所，应估计近区雷击的后果。

2.6.2 确定预期操作过电压水平的原则

确定预期操作过电压水平时，应考虑以下几点：

2.6.2.1 操作过电压的类型

不同类型的操作过电压有不同的分布规律及参数，一定概率条件下的预期过电压倍数也不同，究竟按何种操作过电压进行绝缘设计，需视下列情况而定：

- a. 限制操作过电压的措施的完善及可靠程度；
- b. 有无进一步降低绝缘水平的需要；
- c. 预期操作的频数（年平均操作数）。

考虑到当前的设备型式、系统结构的特点和可选用的绝缘水平等，本导则推荐以合闸、重合闸过电压作为主要类型，但也要验算其它有显著影响的过电压。

2.6.2.2 操作过电压的估算

可用计算机及瞬态网络分析仪（TNA）对操作过电压进行预估，如有可能，最好以系统的实测数据检验所用的原始参数及模拟结果的正确性。

无论用计算机或用 TNA, 都不可能完全模拟系统的全部接线, 也不可能研究全部可能有的工作状况。因而, 允许选择典型的。有意义的工况, 或将系统简化为有适当数量的母线和线路。在简化时, 应尽可能使被操作线路的某些特性参数 (如自振角频率、入口阻抗等) 不变。过分的简化, 例如根据母线处的短路容量得出的等值电感来代表系统未操作的部分, 将使求得的过电压幅值偏高。

为估计操作过电压的分布规律及分布参数, 视随机影响因素的维数, 推荐进行不少于 100 ~ 200 次的随机操作。

2.6.2.3 操作过电压的分布规律

对操作过电压的分布规律, 应进行假设检验。为便于估算绝缘故障率, 本导则主要考虑常见的情况, 一般推荐采用正态分布。此时, 过电压的概率密度函数 $f_0(U)$ 为

$$f_0(U) = \frac{1}{\sigma_0 U_0 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{U - U_0}{\sigma_0 U_0}\right)^2\right] \quad (1)$$

式中 U_0 ——过电压的平均值;

σ_0 ——过电压的变异系数。

本导则取统计过电压 U_s 为

$$U_s = U_0(1 + 2.05\sigma_s) \quad (2)$$

式中 σ_s ——由试验或计算求出的变异系数近似值。

其意义是出现等于和大于统计过电压 U_s 的概率为 2%。

注: ①严格讲过电压即使服从正态分布, 也应是双侧切断的, 因为操作过电压的下限不小于 1.0p. u., 而超出某一上限值的过电压, 也将因概率很小, 事实上不会出现。但为了便于处理数据。估计分布参数, 以及计算故障率, 式 (1) 中用不切断的正态分布概率密度函数。

②取统计过电压出现的概率不大于 2% 的原因见 7.2。

③如仅为近似估计故障率和统计过电压, 当数据足够多时, 也可以不对过电压分布规律进行假设检验, 例如根据过电压出现的频率直方图计算故障率, 根据所得数据直接估计 U_s 等。

3 绝缘耐受能力

3.1 概述

3.1.1 自恢复和非自恢复绝缘

根据绝缘在试验中发生破坏性放电的特征, 在 GB 311.1 中把绝缘分成自恢复绝缘和非自恢复绝缘。

事实上, 一台设备的绝缘结构总是由自恢复和非自恢复两部分组成的。因此, 一般不能简单地把一台设备的绝缘说成是自恢复或非自恢复型的。仅当在所有感兴趣的电压范围内, 在一台设备的非自恢复绝缘部分发生沿面或贯穿性放电的概率可以忽略不计时 (此时整台设备的放电概率与其自恢复绝缘部分的放电概率一致), 才可以称其绝缘为自恢复型的, 或者相反。

对自恢复绝缘, 可在有一定放电概率的条件下进行试验, 例如用超过额定冲击耐受水平的电压决定放电概率与所加电压的相互关系, 可直接获得较多的设备绝缘特性的数据。

对非自恢复绝缘多次加某一电压, 如额定冲击耐受电压, 绝缘虽未必放电, 但可能发生不可逆的劣化, 故对非自恢复绝缘只能施加有限次数的冲击进行试验。

应注意, 绝缘类型的不同, 只决定了试验类型的不同, 并不要求两者具有不同的冲击耐

受水平。这是因为制造厂已考虑到非自恢复绝缘试验时发生损坏的重大经济后果，在设计时已注意到应使设备能有很高的概率通过试验。

3.1.2 试验类型的选择

对自恢复绝缘（如隔离开关的绝缘）应按 GB311.1 中的 4.4 进行 50%破坏性放电试验。

对同时具有恢复和非自恢复绝缘，但又不能分开试验的设备（如某些类型的套管和互感器），为了验证其自恢复部分的绝缘强度，并为避免过多次的冲击使非自恢复部分劣化的可能性，应限制加压的次数，按 GB 311.1 中的 4.5 进行 15 次冲击耐压试验。

对主要为非自恢复绝缘的设备（如电力变压器），则应按 GB 311.1 中的 4.6 进行惯用冲击耐压试验，但若其自恢复绝缘部分（如某些类型的套管）可单独进行试验时，则应按 GB 311.1 中的 4.4 进行试验。

本导则的附录 B 讨论了 GB 311.1 中的 4.4、4.5 和 4.6 几种试验的有效性。

3.2 在工频电压和暂时过电压下的绝缘性能

通常，仅当设备绝缘特性的逐步劣化或严重的环境条件使绝缘能力异常地下降时，才会使它在正常运行工频电压和暂时过电压下击穿。

设备绝缘的污秽程度对绝缘性能的影响，严格讲是随机的，但由于遇到一定的困难，对于受到污染的绝缘在工频电压、暂时过电压下的绝缘性能及对绝缘的要求，一般不用统计的概念。

3.3 在冲击电压下自恢复绝缘破坏性放电的概率

给定的绝缘对一定波形和幅值 U 的冲击电压的耐受能力，在大多数情况下是一个随机现象，只能按统计的方法用一条所加电压与放电（或耐受）概率间相互关系的曲线来表示，通常假定为正态概率分布曲线。

设在某一气象条件下，于时刻 t 进行试验，在试验持续时间 Δt 的范围内绝缘状况恒定，则可对绝缘施加波形、极性均不变，时间间隔（应足以使绝缘恢复初始状态）一定的冲击电压，按 GB 311.3 中 4.2 给出的方法进行试验，并按 GB 311.2 中 3.3 给出的大气校正因数将所得结果化为标准大气条件下的值，即可求得相应的绝缘 50%放电电压 U_{150} 和放电电压的变异系数 σ_1 。

U_{150} 与统计耐受电压 U_w （相应于放电概率为 10% 的电压 U_{110} ）的关系可表示为

$$U_w = U_{110} = U_{150}(1 - 1.3\sigma_1)$$

要求 $U_w \geq U_{rw}$ ， U_{rw} 为 GB 311.1 中给出的额定耐受电压。

但对现场运行的设备，更有意义的是绝缘在长时间范围 T 内的施加电压与放电概率的关系 $P_T(U)$ 。 $P_T(U)$ 以环境条件和绝缘状况为随机变量，并假定 $P_T(U)$ 仍符合正态分布，且其 50% 的放电电压 U_{T50} 等于 U_{150} 。但由于气候条件（风、霜、雨、露、雪、污、雾等）变化的影响，绝缘放电电压的分散范围会增大，即其变异系数 σ_T 较 σ_1 为大。对空气绝缘的雷电和操作冲击，当 σ_1 分别为 0.03 和 0.06 时，推荐 U_T 分别取 0.06 和 0.08。若有更准确的值，应予采用。

3.4 带有绕组的设备

带有电压绕组的设备，如变压器，并联电抗器等，若按只能耐受雷电冲击全波设计，则在一高幅值的截波冲击作用下，可能会在相邻的线匝和线盘间出现比冲击全波时更高的电压，受到一定程度的损伤。在变电所中，所有的对地闪络都会导致在变压器等有绕组的设备端部

对地出现不同幅值、陡度和过零系数的截断冲击波。这种波形对绝缘的作用可用截波试验来模拟，所以，在 GB 311.1 中将截波试验规定为变压器类设备的型式试验。

4 过电压保护装置

4.1 概述

为了限制作用于设备的过电压，可根据设备的电压等级、重要性、供电中断的后果等选用不同型的保护装置，即：

- a. 阀式避雷器；
- b. 排气式避雷器；
- c. 放电间隙。

4.2 阀式避雷器

阀式避雷器包括现在常用的以碳化硅为阀片主要材料并带有串联间隙的（简称为 CA）以及金属氧化物避雷器（简称 MOA）两大类。与前者相比，MOA 具有一系列的优点，主要有：

- a. 具有更强的非线性，在设备最高相电压的直接作用下，流过的电流很小（约数百微安），故不要串联间隙，直接接在系统内长期运行。
- b. 有更大的吸收操作过电压的能力。
- c. 由于有更强的非线性，故可将过电压限制到更低的水平，并降低过电压的分散性。
- d. 对陡波响应特性较好。

采用 MOA 后或可降低设备的绝缘水平，或可增加其安全运行的裕度系数。

4.2.1 阀式避雷器的选择

选择 CA 及 MOA 的一个共同的原则应是：使避雷器额定电压（它与设备、系统的额定电压不同）不低于避雷器安装点的暂时过电压（一般按其安装点处，一相接地后正常相的短时工频过电压来计算，计算时应考虑最不利的运行条件）。在中性点非有效接地的 3~63kV 系统中，通常取设备最高电压 U_m 的 100%~110%；在中性点有效接地的 110~500kV 系统，则取 U_m 的 75%~81%。

避雷器的额定电压选择不当，例如偏低时，将使 CA 无法在动作后切断续流，对 MOA 而言，将使其在一次过电压作用下吸收的能量过多，劣化加速，其寿命将大为缩短。反之，如其额定电压过高，则限压效果就变坏。

除上述的最基本的要求外，对 MOA 及带分路电阻的 CA 规定有可耐受的暂时过电压及持续时间，这些标准由有关的设备标准中规定。

对 MOA 还规定有持续运行电压，在中性点有效接地系统中，其值不低于设备最高相电压。

4.2.2 阀式避雷器的应用

所有电压等级的设备，都用阀式避雷器来限制作用于设备的雷电过电压，开断感性电流的过电压。并以其保护水平来决定设备的额定雷电冲击耐受电压。

在电压等级较高，主要是在 330~500kV 的系统中还用来限制一些操作过电压。

4.2.3 阀式避雷器的保护水平

无论在雷电冲击或操作冲击下，均应取其动作的全过程中避雷器两端的最大电位差作为它的保护水平。