

GB 311.1-1997

高压输变电设备的绝缘配合

Insulation co-ordination for high voltage
Transmission and distribution equipment

目 次

前言

- 1 主题内容与适用范围
- 2 引用标准
- 3 使用条件
- 4 绝缘配合基本原则
- 5 绝缘水平
- 6 试验规定

前 言

本标准是非等效国际电工委员会 IEC71-1: 1993《绝缘配合 第 1 部分: 定义、原理和原则》对 GB 311.1—83《高压输变电设备的绝缘配合》进行修订的。主要的修订内容有:

- 1) 标准中除设备的相对地绝缘外, 还增列了相间绝缘和纵绝缘;
- 2) 设备上的作用电压增加了“陡波前过电压”和联合过电压”, 前者主要是由 GIS 中隔离开关操作引起的, 后者则分别作用于相间绝缘和纵绝缘。相应的试验电压类型增加了“陡波前冲击试验”(在考虑中)和“联合电压试验”;
- 3) 据 IEC 71—1 给出了各类作用电压的典型波形(图 1);
- 4) 对 10kV 和 35kV 的设备的外绝缘干状态下短时工频耐受电压的数值分别提高到 42kV 和 95kV, 但这并不意味着对外绝缘的要求或绝缘水平提高, 因为在此电压范围内, 绝缘水平主要是由雷电冲击耐受电压决定的;
- 5) 据 IEC 71—1 增加 3/9 次冲击耐受电压试验程序(6.3.2);
- 6) 对变压器类设备的截断冲击, 提高了跌落时间, 一般不大于 $0.7\mu\text{s}$, 截波过零系数不大于 0.3 的要求, 这样的规定和同类国际标准一致, 技术上比较合理。

本标准和 IEC 71—1 的主要内容和技术要求基本上是一致的, 但也存在某些差异, 包括: ①IEC 71-1: 1993 为说明绝缘配合的过程引入了多个“耐受电压”的术语和配合程序图, 这虽对理解绝缘配合过程有一定帮助, 但过于烦琐, 未予采用; ② $U_m < 72.5\text{kV}$ 设备的外绝缘干状态短时工频耐受电压比 IEC 71-7 中的规定值高; ③范围 II 的设备纵绝缘的额定雷电冲击耐受电压的反极性工频电压的幅值为 $(0.7\sim 1.0)\sqrt{2/3}U_m$, IEC71-1 中规定仅为 $0.7\sqrt{2/3}U_m$, 也偏高。故本标准只能为非等效采用 IEC 71-1。

本标准自实施之日起, 代替 GB 311.1—83。

本标准由中华人民共和国机械工业部提出。

本标准由全国高压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会归口。

本标准由西安高压电器研究所和武汉高压研究所负责起草。

本标准主要起草人: 冯昌远、朱家骝、谷定燮、王秉钧、潘炳宇、郁祖培、弋东方。

中华人民共和国国家标准

GB 311.1—1997
neq IEC 71-1: 1993

高压输变电设备的绝缘配合

代替 GB 311.1—83

Insulation co-ordination for high voltage
transmission and distribution equipment

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容

本标准规定了三相交流系统中的高压输变电设备的相对地绝缘、相间绝缘和纵绝缘的额定耐受电压的选择原则，并给出了供通常选用的标准化的耐受电压值。

在制定各设备标准时，应根据本标准的要求，规定适合于该类设备的额定耐受电压和试验程序。

1.2 适用范围

1.2.1 本标准适用于设备最高电压大于 1kV 的三相交流电力系统中使用的下列户内和户外输变电设备。

- a) 变压器类：电力变压器、并联电抗器、消弧线圈和电磁式电压互感器；
- b) 高压电器：断路器、隔离开关、负荷开关、接地短路器、熔断器、限流电抗器、电流互感器、封闭式开关设备、封闭式组合电器、组合电器等；
- c) 组合式（箱式）变电站；
- d) 电力电容器：耦合电容器（包括电容式电压互感器）、并联电容器、交流滤波电容器；
- e) 高压电力电缆；
- f) 变电站绝缘子、穿墙套管；
- g) 阀式避雷器绝缘外套。

1.2.2 本标准不适用于：

- a) 安装在严重污秽或带有对绝缘有害的气体、蒸汽、化学沉积物的场合下的设备；
- b) 相对湿度较高且易出现凝露场合的户内设备。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 156—1993 标准电压

GB/T 16927.1—1997 高电压试验技术 第一部分：一般试验要求

GB/T 16927.2—1997 高电压试验技术 第二部分：测量系统

GB 11032—89 交流无间隙金属氧化物避雷器

GB 7327—87 交流系统用碳化硅阀式避雷器

GB 2900.19—94 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合

GB 311.7—88 高压输变电设备的绝缘配合使用导则

3 使用条件

3.1 标准参考大气条件

标准参考大气条件为:

- 温度 $t_0=20^{\circ}\text{C}$
- 压力 $p_0=101.3\text{kPa}$
- 绝对湿度 $h_0=11\text{g/m}^3$

本标准规定的额定耐受电压均为相应于标准参考大气条件下的数值。

3.2 正常使用条件

本标准规定的额定耐受电压,适用于下列使用条件下运行的设备:

- a) 周围环境最高空气温度不超过 40°C ;
- b) 安装地点的海拔高度不超过 1000m。

3.3 对周围环境空气温度高于 40°C 处的设备,其外绝缘在干燥状态下的试验电压应取本标准的额定耐受电压值乘以温度校正因数 K_t

$$K_t=1+0.0033(T-40)$$

式中: T ——环境空气温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

3.4 对用于海拔高于 1 000m,但不超过 4 000m 处的设备的外绝缘及干式变压器的绝缘,海拔每升高 100m,绝缘强度约降低 1%,在海拔不高于 1 000m 的地点试验时,其试验电压应按本标准规定的额定耐受电压乘以海拔校正因数 K_a

$$K_a = \frac{1}{1.1 - H \times 10^{-4}}$$

式中: H ——设备安装地点的海拔高度, m。

3.5 设备适用的电力系统中性点的接地方式,最高电压 72.5kV 及以下为非有效接地系统或有效(直接)接地系统,最高电压 126kV 及以上应为有效(直接)接地系统。

4 绝缘配合基本原则

4.1 绝缘配合

考虑所采用的过电压保护措施后,决定设备上可能的作用电压,并根据设备的绝缘特性及可能影响绝缘特性的因素,从安全运行和技术经济合理性两方面确定设备的绝缘水平。

4.2 设备上的作用电压

设备在运行中可能受到的作用电压,按照作用电压的幅值、波形及持续时间,可分为:

- 持续工频电压(其值不超过设备最高电压 U_m ,持续时间等于设备设计的运行寿命);
- 暂时过电压(包括工频电压升高、谐振过电压);
- 缓波前(操作)过电压;
- 快波前(雷电)过电压;
- 陡波前过电压;
- 联合过电压。

各类作用电压的典型波形如图 1。

4.3 设备最高电压 U_m 的范围

范围 I: $1\text{kV} \leq U_m \leq 252\text{kV}$

范围 II: $U_m > 252\text{kV}$

4.4 绝缘试验

4.4.1 绝缘试验类型

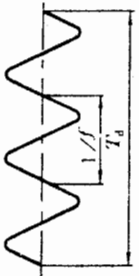
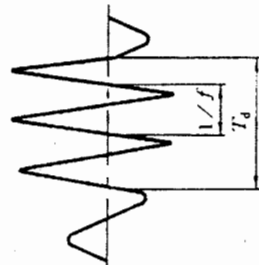
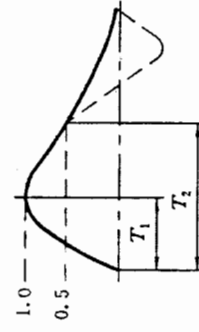
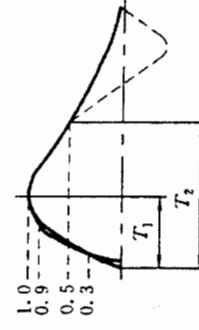
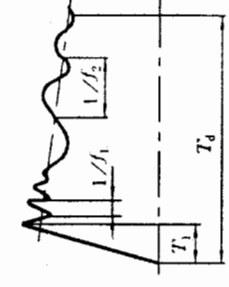
分类	低频电压		瞬态电压		
	持续	暂时	缓波前	快波前	陡波前
电压 波形					
电压 波形 范围	$f=50$ 或 60Hz $T_d \geq 1\text{h}$	$10 < f < 500\text{Hz}$ $0.03 < T_d < 3600\text{s}$	$20 < T_1 < 5000\mu\text{s}$ $T_2 < 20\text{ms}$	$0.1 < T_1 < 20\mu\text{s}$ $T_2 < 300\mu\text{s}$	$3 < T_1 < 100\text{ns}$ $0.3 < f_1 < 100\text{MHz}$ $30 < f_2 < 300\text{kHz}$ $T_d \leq 3\text{ms}$
标准电 压波形	$f=50$ 或 60Hz $T_d = (*)$	$40 \leq f \leq 62\text{Hz}$ $T_d = 60\text{s}$	$T_1 = 250\mu\text{s}$ $T_2 = 2500\mu\text{s}$	$T_1 = 1.2\mu\text{s}$ $T_2 = 50\mu\text{s}$	在考虑中
标准耐 受试验	(*)	短时工频试验	操作冲击试验	雷电冲击试验	在考虑中
(*) 在有关设备标准中规定。					

图1 各类作用电压的典型波形

本标准中考虑了下述几类绝缘试验:

- a) 短时 (1 min) 工频试验;
- b) 长时间工频试验;
- c) 操作冲击试验;
- d) 雷电冲击试验;
- e) 陡波前冲击试验;
- f) 联合电压试验。

操作和雷电冲击试验可以是耐受试验,也可以是 50%破坏性放电试验,此时,绝缘对额定冲击耐受电压的耐受能力可由其 50%破坏性放电电压的测量值中推出,它只适用于自恢复绝缘。

短时工频试验是耐受试验。

短时工频、操作和雷电冲击以及联合电压试验之额定耐受电压值均在本标准中规定。但对长时间工频耐受电压仅给出一般规定,供制定各类设备标准时考虑。

4.4.2 绝缘试验类型的选择

在本标准中,对不同的电压范围,选用不同类型的绝缘试验。设备的类型也会影响试验类型的选择。

4.4.2.1 范围 I 的设备在持续工频电压、暂时过电压和操作过电压下的相对地和相间绝缘性能,一般用短时工频和雷电冲击电压试验来检验。

在雷电过电压下,设备的相对地和相间绝缘性能用雷电冲击试验检验。

当内绝缘的老化和外绝缘的污秽对持续工频电压及暂时过电压下的设备绝缘性能有影响时,宜作长时间工频电压试验,并测量局部放电量。长时间工频电压试验在有关设备标准中规定。

注:220kV 变压器一般要作长时间工频电压试验。

4.4.2.2 范围 II 的设备在持续工频电压、暂时过电压和操作过电压下的绝缘性能用不同类型的试验予以检验。在持续工频电压及暂时过电压下,设备对老化或污秽的适应性宜用长时间工频试验检验,并测量局部放电量。长时间工频电压试验在有关设备标准中规定。

在操作过电压下设备的绝缘性能用操作冲击试验检验。

在雷电过电压下设备的绝缘性能用雷电冲击试验检验。

设备的相间绝缘性能用操作冲击试验检验。

4.4.2.3 开关设备的纵绝缘,按不同的电压范围,选用不同的绝缘试验类型:

a) 范围 I 的开关设备的纵绝缘性能用短时工频电压和雷电冲击电压或联合电压试验检验。

b) 范围 II 的开关设备的纵绝缘性能用雷电、操作冲击电压和工频电压的联合电压试验检验。

4.4.2.4 设备在陡波前过电压下的绝缘性能用陡波前冲击电压试验检验。关于陡波前冲击试验的规定,在考虑中。

4.5 绝缘配合方法的选择

绝缘配合方法有确定性法(惯用法),统计法及简化统计法。

由于在试验时对设备绝缘需要施加的冲击电压次数较多,电压幅值会超过额定耐受电压值,并需对系统的过电压进行广泛深入的研究,故绝缘配合统计法在实际应用上受到某些限制,但用于各种因素影响的敏感度分析是很有效的。

当降低绝缘水平具有显著经济效益,特别是操作过电压成为控制因素时,统计法才特别有价值。因此,在本标准中统计法仅用于范围 II 的设备的操作过电压下的绝缘配合。

在所有电压范围内,当设备绝缘主要是非自恢复型时,为检验耐受强度是否得到保证,一般只能加有限次数的冲击(如在给定条件下加 3 次),因此,尚不能考虑将绝缘故障率作为定量的设计指标,统计法至今仅用于自恢复型绝缘。

4.5.1 统计法

设备绝缘故障具有统计特性,统计法旨在对绝缘故障率定量并将其作为绝缘设计中的一个性能指标。

当对某种过电压计算绝缘故障率时,需要给出此过电压及设备的绝缘特性两者各自的分布规律。

4.5.2 简化统计法

在简化统计法中,对概率曲线的形状作了若干假定(如已知标准偏差的正态分布),从而可用与一给定概率相对应的点来代表一条曲线。在过电压概率曲线中称该点的纵坐标为“统计过电压”,其概率不大于2%;而在耐受电压曲线中则称该点的纵坐标为“统计冲击耐受电压”,设备的冲击耐受电压的参考概率取为90%。

绝缘配合的简化统计法是对某类过电压在统计冲击耐受电压和统计过电压之间选取一个统计配合系数,使所确定的绝缘故障率从系统的运行可靠性和费用两方面来看是可以接受的。

额定操作和雷电冲击耐受电压宜从本标准5.2条的标准值中选取。

4.5.3 确定性法(惯用法)

绝缘配合的确定性法(惯用法)的原则是在惯用过电压(即可接受的接近于设备安装点的预期最大过电压)与耐受电压之间,按设备制造和电力系统的运行经验选取适宜的配合系数,相应的耐受电压宜从5.1,5.2的标准值中选取。

4.6 持续工频电压和暂时过电压下的绝缘配合

对范围I的设备所规定的短时工频耐受电压,一般均能满足在正常运行电压和暂时过电压下的要求。

为检验设备老化对内绝缘性能、污秽对外绝缘性能的影响所进行的长时间工频试验,应在有关设备标准中规定,下面仅给出应遵循的一般规则。

4.6.1 对正常运行条件,绝缘应能长期耐受设备最高电压。

4.6.2 设备在预期的寿命期内不致因局部放电而使绝缘显著劣化以及在最苛刻的工况下,绝缘不会失去热稳定性。为尽可能符合实际,应用工频电压试验检验,试验时所加电压可高于 $U_m/\sqrt{3}$,而持续时间由系统工况决定。同时应使所有元件上的作用电压与运行时的值成比例。

4.6.3 在有关设备标准中可规定设备耐受工频电压升高的允许时间,并确定有关的试验程序、试验电压及试验条件。

4.7 操作和雷电过电压的绝缘配合

在所有情况下,进行绝缘配合时应考虑:设备安装点的预期过电压值、系统与设备的电气特性、类似的系统的运行经验以及所有保护装置的限压效果。

设备的相对地绝缘的额定耐受电压是确定设备的相间绝缘和纵绝缘额定耐受电压的基础。

4.7.1 雷电过电压下的绝缘配合

4.7.1.1 相对地绝缘

对受避雷器保护的设备,其额定雷电冲击耐受电压由避雷器的雷电冲击保护水平乘以配合因数 K_c 计算选定。

4.7.1.2 相间绝缘

在所有电压范围内,相间绝缘的额定雷电冲击耐受电压均取相应的相对地绝缘的耐受电压值。

4.7.1.3 开关设备的纵绝缘

a) 范围I的设备纵绝缘的额定雷电冲击耐受电压一般等于相对地绝缘的耐压值,但隔离断口的耐受电压可高于相应的相对地的数值,宜在开关设备标准中规定。

b) 范围II的设备纵绝缘的额定雷电冲击耐受电压由两个分量组成,一为相对地的额定雷电冲击耐受电压;另一为反极性的工频电压,其幅值为 $(0.7\sim 1.0)\sqrt{\frac{2}{3}}U_m$ 。

4.7.2 操作过电压下的绝缘配合

4.7.2.1 相对地绝缘

a) 范围 I 的设备

根据设备上的统计操作过电压水平或避雷器的操作冲击保护水平和设备的绝缘特性, 并取一定的配合因数 K_c 计算、选取额定短时工频耐受电压。

b) 范围 II 的设备

根据设备上的统计操作过电压水平或避雷器的操作冲击保护水平和设备的绝缘特性并取一定的配合因数 K_c 计算、选取设备的额定操作冲击耐受电压。

4.7.2.2 相间绝缘

a) 范围 I 的设备的相间绝缘额定短时工频耐受电压取相应的相对地绝缘的耐受电压值。应保证两类绝缘均满足要求。

b) 范围 II 的设备的相间绝缘的额定操作冲击耐受电压等于相应的相对地绝缘的耐受电压值乘以系数 K_{pe} , 通常 $K_{pe} \geq 1.5$ 。

4.7.2.3 开关设备的纵绝缘

a) 范围 I 的设备的纵绝缘的额定短时工频耐受电压一般取相应的相对地绝缘的耐受电压值, 但隔离断口的耐受电压可高于相应的相对地的数值, 宜在开关设备标准中规定。

b) 范围 II 的设备的纵绝缘的额定操作冲击耐受电压 (表 2 栏 7) 由两个分量组成, 其一为相对地的额定操作冲击耐受电压, 另一为反极性的工频电压, 其幅值为 $U_m \sqrt{\frac{2}{3}}$ 。

4.7.3 配合因数 K_c

选取 K_c 时应考虑到下列因素: 绝缘类型及其特性; 性能指标; 过电压幅值及分布特性; 大气条件; 设备生产、装配中的分散性及安装质量; 绝缘在预期寿命期间的老化, 试验条件及其他未知因素。

对雷电冲击: 根据我国情况, 一般取 $K_c \geq 1.4$;

对操作冲击: 一般取 $K_c \geq 1.15$ 。

5 绝缘水平

5.1 额定短时工频耐受电压的标准值 (有效值), kV

10 20 28 38 50 70 95 140 185 230 275

325 360 395 460 510 570 630 680 740

5.2 额定冲击耐受电压的标准值 (峰值), kV

20 40 60 75 95 125 145 170 250 325 450

550 650 750 850 950 1050 1175 1300

1425 1550 1675 1800 1950 2100 2250 2400

5.3 高压输变电设备的额定绝缘水平

5.3.1 范围 I 的设备的绝缘水平列于表 1

在此电压范围内, 选取设备的绝缘水平时, 首先应考虑雷电冲击作用电压, 和每一设备最高电压相对应, 给出了设备绝缘水平的两个耐受电压, 即:

a) 额定雷电冲击耐受电压;

b) 额定短时工频耐受电压。

5.3.2 范围 II 的设备的绝缘水平列于表 2

在此电压范围内, 选取设备的绝缘水平时, 要考虑操作冲击和雷电冲击作用电压, 和每一设备最高电压相对应, 给出了设备绝缘水平的两个耐受电压, 即:

a) 额定雷电冲击耐受电压;

b) 额定操作冲击耐受电压。

在表 2 中给出了设备相对地绝缘和相间绝缘的额定操作冲击耐受电压的组合。

5.3.3 设备的绝缘水平与所考虑的设备类型有关，并且无论用统计法或用惯用法，这些绝缘水平都可选用。

5.3.4 对同一设备最高电压，有的在表 1 和表 2 中给出两个及以上的绝缘水平。在选用设备的额定耐受电压及其组合时应考虑到电网结构及过电压水平、过电压保护装置的配置及其性能、设备类型及绝缘特性、可接受的绝缘故障率等。

5.3.5 在某些情况下，可能需要规定不同于表 1 或表 2 中的额定耐受电压值，此时宜从本标准 5.1 和 5.2 的标准值中选取。

5.4 各类输变电设备，可取与变压器相同的或高一些的绝缘水平，应在有关设备标准中规定。为便于制定有关设备标准，表 3 和表 4 分类给出设备的额定耐受电压值。

5.4.1 各类设备的额定雷电冲击耐受电压列于表 3。

对变压器类设备应作雷电冲击截波耐受电压试验，其幅值可比额定雷电冲击耐受电压值高 10% 左右。

截断冲击试验系统的构成应使记录的冲击截波的跌落时间尽量短。截波过零系数不大于 0.3；截断跌落时间一般不大于 $0.7 \mu s$ 。

5.4.2 各类设备的短时工频耐受电压列于表 4。

5.4.3 范围 II 的开关设备的纵绝缘的耐受电压列于表 2。

5.4.4 分级绝缘电力变压器中性点的绝缘水平列于表 5。

6 试验规定

6.1 总则

6.1.1 提出这些试验规定的目的在于验证设备是否符合决定其绝缘水平的额定耐受电压。

本章对短时工频试验及操作、雷电冲击试验提出一般规定。所有其他的试验，如长时间工频试验等在有关的设备标准中规定。

6.1.2 耐受试验电压的波形见 GB/T 16927.1《高电压试验技术 第一部分：一般试验要求》。

6.1.3 对各类设备均应在干燥状态下进行相应的额定耐受电压试验。对户外绝缘的还应按 GB/T 16927.1 中规定的淋雨条件进行工频短时或操作冲击耐受电压试验。但如已知在干或湿条件下，绝缘的破坏性放电电压较低，则可只在该条件下进行试验，对此应在有关设备标准中规定。

6.1.4 如果试验时的大气条件与标准参考大气条件不同，则设备外绝缘的试验电压应按 GB/T 16927.1 中的规定进行校正。

6.1.5 所有的冲击耐受电压一般应以两种极性进行试验。但如果已证明在某种极性下，绝缘的破坏性放电电压较低时，则允许只在该极性下进行试验，对此应在有关的设备标准中规定。

6.1.6 试验过程发生的绝缘故障是判断试品是否合格的依据。在 GB/T 16927.1 或在有关设备标准中应规定试验时检测绝缘故障的方法和绝缘损坏的判据。

6.2 短时工频耐受电压试验

短时工频耐受电压试验是对绝缘施加一次相应的额定耐受电压（有效值），其持续时间为 1 min。

除非在有关设备标准中另有规定，如果在试验过程中设备绝缘没有发生破坏性放电，则认为通过试验；而在湿试验过程中，如果仅在自恢复绝缘上发生一次破坏性放电，则可重复试验一次，若不再发生破坏性放电，则认为通过试验。

注

1 短时工频耐受电压试验包括频率达数百赫兹而持续时间不超过 1 min 的试验，如分级绝缘的变压器的感应电压试验。

2 电力电容器的短时工频耐受电压试验在有关设备标准中规定。

6.3 冲击耐受电压试验

冲击耐受电压试验是对绝缘施加规定次数和规定值的冲击电压。需要施加较多次数的冲击电压，以检验在可接受的置信度下实际的统计耐受电压不低于额定冲击耐受电压。

对自恢复绝缘可进行 50%放电电压试验。由此可得出具有良好置信度的实际统计（90%的耐受概率）耐受电压。

但对某些绝缘，如套管、互感器及开关设备等的绝缘，在 50%放电电压下可能是非自恢复的，而在额定耐受电压下是自恢复的，则只能以额定耐受电压进行检验。可以选用不同的试验方法证明设备以可接受的置信度耐受规定的电压，推荐下列四种冲击耐受电压试验。

6.3.1 3 次冲击耐受电压试验

对被试设备施加 3 次额定冲击耐受电压，不允许发生破坏性放电（耐受概率 P_w 设定为 100%）。本试验相应于绝缘配合的确定性法（惯用法），适用于非自恢复绝缘为主的设备。

6.3.2 3/9 次冲击耐受电压试验

对被试设备施加 3 次额定冲击耐受电压，若在非自恢复绝缘上未出现破坏性放电，而仅在自恢复绝缘上发生 1 次破坏性放电，则再追加 9 次冲击，如不再发生破坏性放电，则认为设备通过了试验。本试验适用于由非自恢复绝缘和自恢复绝缘组成的复合绝缘的设备。

6.3.3 15 次冲击耐受电压试验

对被试设备绝缘施加 15 次额定冲击耐受电压，如在自恢复绝缘中的破坏性放电不超过 2 次，而在非自恢复绝缘中未出现破坏性放电，则认为设备通过了试验。本试验适用于复合绝缘的设备。

这项试验说明设备的自恢复绝缘的实际统计耐受电压不低于额定冲击耐受电压，但其置信度低于 50%破坏性放电试验所达到的水平。

6.3.4 50%破坏性放电试验

本试验是在高于额定冲击耐受电压下进行的。对被试设备施加一定次数的冲击电压以得到绝缘的 50%破坏性放电电压 U_{50} 和变异系数 z ， U_{50} 应不低于额定冲击耐受电压乘以 $1/(1-1.3z)$ ，除非在有关设备标准中另有规定，对空气绝缘 z 值一般取：

a 操作冲击试验， $z=0.06$ ；

b 雷电冲击试验， $z=0.03$ 。

z 也可取实际试验得出的数值。

由于要求多次破坏性放电，故这项试验只适用于自恢复绝缘。

6.4 相间绝缘和纵绝缘的联合电压耐受试验

6.4.1 当相间绝缘和纵绝缘的额定耐受电压等于相对地绝缘的耐受电压值时，则将相间绝缘、纵绝缘试验和相对地绝缘试验一起进行。此时应将相邻的相端子和纵绝缘对应的相端子均接地。在评价试验结果时，应计及所有路径上的破坏性放电。

6.4.2 范围 I 的设备的试验

a) 短时的工频耐受电压试验

$126\text{kV} \leq U_m \leq 252\text{kV}$ 的某些设备的相间绝缘或纵绝缘的短时工频耐受电压，可能高于相对地绝缘的耐受电压值。此时，最好用两个电压源进行试验，一端加相对地工频耐受电压，另一端加相间绝缘或纵绝缘和相对地绝缘的工频耐受电压的差值。应将接地端子接地。

也可采用下列替代方法进行试验：

——用一个工频电压源。试验是允许运行中的接地端子对地承受一个电压，以防止对接地端子或对地的破坏性放电。

——用两个反相的工频电压源。每个端子上施加相间绝缘或纵绝缘的额定耐受电压的 $1/2$ 。应将接地端子接地。

b) 雷电冲击耐受电压试验

相间绝缘或纵绝缘可能要求较相对地绝缘高的雷电冲击耐受电压。此时，在相对地绝缘试验后，

应不改变布置并立即升高电压, 进行相间绝缘或纵绝缘试验。在估价试验结果时, 不计对地破坏性放电的次数。

当不允许对地放电时, 则应用联合电压耐受试验, 冲击分量等于相对地绝缘的额定雷电冲击耐受电压, 反极性工频电压分量的峰值等于相间绝缘或纵绝缘的额定雷电冲击耐受电压和相对地绝缘的雷电冲击耐受电压之差。

6.4.3 范围 II 的设备的联合耐受电压试验

a) 被试设备应满足下列要求:

——试品布置模拟运行情况, 尤其是要考虑接地平面的影响;

——试验电压的每个分量应为 5.3.2 中的规定值;

——接地端子应接地;

——相间绝缘试验时, 第三相的端子应接地或移开;

——给绝缘试验时, 其他两相的端子应接地或移开。

b) 除非证明由于电气上对称而无必要, 应对相端子所有可能的组合进行试验。

c) 纵绝缘试验时, 一端加工频电压, 另一端则在工频电压负峰值时施加 3 次正极性冲击电压。

范围 II 的设备的纵绝缘的雷电冲击耐受电压试验也证明了在断开位置时的相对地雷电冲击耐受能力。

d) 范围 II 的设备的相间绝缘进行操作冲击耐受电压试验时, 可用一台冲击电压发生器进行试验, 也可用两台冲击电压发生器同时施加两个反极性的操作冲击电压进行试验。对外绝缘, 两电压分量的幅值相等, 各为相间额定操作冲击耐压的 1/2。对内绝缘, 两电压分量的幅值在有关设备标准中规定。

6.5 型式试验和出厂试验

6.5.1 设备绝缘的型式试验和出厂试验项目在有关设备标准中规定。

6.5.2 型式试验应做本标准规定的全部试验和检验项目。

仅列为型式试验的项目有: 短时工频和操作冲击的湿耐压试验; 50%破坏性放电试验; 带有电压绕组的设备的截断雷电冲击耐压试验; 标准雷电冲击耐压试验、除特别规定外, 一般列为型式试验, 且在任何情况下只做干试验。

6.5.3 本标准规定的出厂试验项目有:

a) 范围 I 的设备的短时工频干耐受电压试验;

b) 除非在有关设备标准中另有规定, 范围 II 的设备的标准操作冲击耐受电压试验;

c) $U_m \geq 252\text{kV}$, 容量 $\geq 120\text{MVA}$ 的变压器的标准雷电冲击耐压试验;

d) $U_m \geq 252\text{kV}$ 设备, 在有关设备标准中宜对局部放电测量作出规定。

6.6 验收试验

用户可对出厂试验合格的设备进行出厂试验项目的验收试验。验收试验的耐受电压值在有关设备标准中规定。

表 1 电压范围 I ($1\text{kV} < U_m \leq 252\text{kV}$) 的设备的标准绝缘水平

kV

系统标称电压 (有效值)	设备最高电压 (有效值)	额定雷电冲击耐受电压 (峰值)		额定短时工频 耐受电压 (有效值)
		系统 I	系统 II	
3	3.5	20	40	18
6	6.9	40	60	25
10	11.5	60	75 95	30/42 ³⁾ ; 35

表 1 (完)

kV

系统标称电压 (有效值)	设备最高电压 (有效值)	额定雷电冲击耐受电压 (峰值)		额定短时工频 耐受电压 (有效值)
		系统 I	系统 II	
15	17.5	75	95 105	40; 45
20	23.0	95	125	50; 55
35	40.5	185/200 ¹⁾		80/95 ³⁾ ; 85
66	72.5	325		140
110	126	450/480 ¹⁾		185; 200
220	252	(750) ²⁾		(325) ²⁾
		850		360
		950		395
		(1050) ²⁾		(460) ²⁾

注: 系统标称电压 3~15kV 所对应设备的系统 I 的绝缘水平, 在我国仅用于中性点直接接地系统。
 1) 该栏斜线之下数据仅用于变压器类设备的内绝缘。
 2) 220kV 设备, 括号内的数据不推荐选用。
 3) 为设备外绝缘在干燥状态下之耐受电压。

表 2 电压范围 II ($U_m > 252\text{kV}$) 的设备的标准绝缘水平

kV

系统 标称 电压 (有效值)	设备 最高 电压 (有效值)	额定操作冲击耐受电压 (峰值)					额定雷电冲击耐 受电压 (峰值)		额定短时工频 耐受电压 (有效值)
		相对地	相间	相间与相 对地之比	纵绝缘 ²⁾		相对地	纵绝缘	相对地
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 ³⁾
330	363	850	1300	1.50	950	850 (+295) ³⁾	1050	见 4.7.1.3 条 的 规 定	(460)
		950	1425	1.50			1175		(510)
500	550	1050	1675	1.60	1175	1050 (+450) ³⁾	1425		(630)
		1175	1800	1.50			1550		(680)
							1675		(740)

1) 栏 7 中括号中之数值是加在同一极对应相端子上的反极性工频电压的峰值。
 2) 纵绝缘的操作冲击耐受电压选取栏 6 或栏 7 之数值, 决定于设备的工作条件, 在有关设备标准中规定。
 3) 栏 10 括号内之短时工频耐受电压值, 仅供参考。

表 3 各类设备的雷电冲击耐受电压

kV

系统标称电压 (有效值)	设备最高电压 (有效值)	额定雷电冲击（内、外绝缘）耐受电压（峰值）						截断雷电冲击耐受电压（峰值）
		变压器	并联电抗器	耦合电容器、电压互感器	高压电力电缆 ²⁾	高压电器	母线支柱绝缘子、穿墙套管	变压器类设备的内绝缘
3	3.5	40	40	40	—	40	40	45
6	6.9	60	60	60	—	60	60	65
10	11.5	75	75	75	—	75	75	85
15	17.5	105	105	105	105	105	105	115
20	23.0	125	125	125	125	125	125	140
35	40.5	185/200 ¹⁾	185/200 ¹⁾	185/200 ¹⁾	200	185	185	220
66	72.5	325	325	325	325	325	325	360
		350	350	350	350	350	350	385
110	126	450/480 ¹⁾	450/480 ¹⁾	450/480 ¹⁾	450	450	450	530
		550	550	550	550			
220	252	850	850	850	850	850	935	950
		950	950	950	950 1 050	950	950	1 050
330	363	1 050				1 050	1 050	1 175
		1 175	1 175	1 175	1 175 1 300	1 175	1 175	1 300
500	550	1 425			1 425	1 425	1 425	1 550
		1 550	1 550	1 550	1 550	1 550	1 550	1 675
			1 675	1 675	1 675	1 675	1 675	

- 1) 斜线下之数据仅用于该类设备的内绝缘。
2) 对高压电力电缆是指热状态下的耐受电压值。

表 4 各类设备的短时（1 min）工频耐受电压（有效值）

kV

系统标称电压 (有效值)	设备最高电压 (有效值)	内、外绝缘（干试与湿试）				母线支柱绝缘子	
		变压器	并联电抗器	耦合电容器、高压电器、电压互感器和穿墙套管	高压电力电缆		
1	2	3 ¹⁾	4 ¹⁾	5 ²⁾	6 ²⁾	7	8
3	3.5	18	18	18/25		18	25
6	6.9	25	25	23/30		23	32
10	11.5	30/35	30/25	30/42		30	42
15	17.5	40/45	40/45	40/55	40/45	40	57
20	23.0	50/55	50/55	50/65	50/55	50	68

GB 311.1-1997

表 4 (完)

kV

系统标称 电压 (有效值)	设备最高 电压 (有效值)	内、外绝缘 (干试与湿试)				母线支柱 绝缘子	
		变压器	并联电抗器	耦合电容器、高压电器、 电压互感器和穿墙套管	高压电力电缆	湿试	干试
35	40.5	80/85	80/85	80/95	80/85	80	100
66	72.5	140 160	140 160	140 160	140 160	140 160	165 185
110	126.0	185/200	185/200	185/200	185/200	185	265
220	252.0						
		360	360	360	360	360	450
		395	395	395	395	395	495
					460		
330	363.0	460	460	460	460		
		510	510	510	510 570		
500	550.0						
		630	630	630	630		
		680	680	680	680		
				740	740		

注：表中给出的 330~500kV 设备之短时工频耐受电压仅供参考。

1) 该栏中斜线下的数据为该类设备的内绝缘和外绝缘干状态之耐受电压。

2) 该栏中斜线下的数据为该类设备的外绝缘干耐受电压。

表 5 电力变压器中性点绝缘水平

kV

系统标称 电 压 (有效值)	设备最高 电 压 (有效值)	中性点接 地方式	雷电冲击全波 和截波耐受 电压(峰值)	短时工频耐受电压 (有效值) (内、外绝缘, 干试与湿试)
110	126	不固定接地	250	95
220	252	固定接地	185	85
		不固定接地	400	200
330	363	固定接地	185	85
		不固定接地	550	230
500	550	固定接地	185	858
		经小电抗接地	325	140