



中华人民共和国国家标准

GB 311.1—2012
代替 GB 311.1—1997

绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则

Insulation co-ordination—Part 1: Definitions, principles and rules

(IEC 60071-1:2006, MOD)

2012-06-29 发布

2013-05-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 正常和特殊使用条件	2
4 术语和定义	2
5 符号和缩略语	9
6 绝缘配合	10
7 耐受电压试验的要求	20
附录 A (规范性附录) 保证规定的冲击耐受电压的空气间隙	23
附录 B (规范性附录) 海拔修正因数	26

前 言

本部分的全部技术内容为强制性,其余部分为推荐性。

GB 311《绝缘配合》分为4个部分:

- 第1部分:定义、原则和规则;
- 第2部分:高压输变电设备的绝缘配合使用导则;
- 第3部分:高压直流换流站绝缘配合程序;
- 第4部分:电网绝缘配合及其模拟的计算导则。

本部分是GB 311的第1部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分修改采用IEC 60071-1:2006和IEC 60071-1 Aml:2010《绝缘配合 第1部分:定义、原则和规则》。

本部分是对GB 311.1—1997《绝缘配合 第1部分:定义、原则和规则》的修订。

本部分与GB 311.1—1997相比,除编辑性修改外主要技术变化如下:

- 增加了有关术语(见第4章);
- 给出了绝缘配合程序及各相关电压的确定原则(见6.2、图1);
- 给出了代表性过电压波形和参数(见6.3);
- 增加了 U_m 为800 kV和1 100 kV输变电设备的绝缘水平(见表3);
- 增加了附录A:保证规定的冲击耐受电压的空气间隙;
- 增加了附录B:海拔修正因数,采纳IEC 60071-2的公式和曲线。

本部分与IEC 60071-1:2006和IEC 60071-1 Aml:2010的主要差异如下:

- 按GB/T 1.1—2009的规定,对标准的语言表述和格式做了修改;
- 删除了国际标准的前言,增加了本标准的前言;
- IEC 60071-1频率范围为48 Hz~62 Hz,考虑到60 Hz对我国电网不适用,故将频率范围定为45 Hz~55 Hz,以便与GB/T 16927.1相一致(见4.18.1);
- 增加标准额定耐受电压系列中部分标准电压值(见6.7、6.8);
- 调整了标准绝缘水平(见表2、表3);
- 增加了不同类型输变电设备的额定耐受电压(见表4、表5和表6)。
- 标准冲击耐受电压试验对设备非自恢复绝缘与自恢复绝缘并存时,优先选用GB/T 16927.1中的耐受电压试验程序B(见7.3)。
- 增加了附录B:海拔修正因数,采纳IEC 60071-2的公式和曲线。

本部分与IEC 60071-1的上述主要差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(|)进行了标示。

本部分代替GB 311.1—1997《绝缘配合 第1部分:定义、原则和规则》。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会(SAC/TC 163)归口。

本部分负责起草单位:西安高压电器研究院、国网电力科学研究院。

本部分参加起草单位:昆明电器科学研究院、中国电力科学研究院开关所、河南平高电气股份有限公司、保定天威保变电气股份有限公司、山东电力研究院、湖南省电力试研院、西门子输配电中压部、陕西电科院、国家绝缘子避雷器质量监督检验中心、日升集团有限公司、华仪电器集团有限公司、库柏耐吉

GB 311.1—2012

(宁波)电气有限公司、广州白云电器设备股份有限公司、南方电网技术研究中心、江西省电力科学研究院、西安交通大学电气学院、杭州杭开电气有限公司、沈阳变压器研究所、湖北省电力试验研究院、深圳电气科学研究所。

本部分主要起草人：王建生、谷定燮、崔东、周沛洪、贾涛、郭洁、李世成、戴敏、何慧雯、霍锋。

本部分参加起草人：王亭、赵磊、周琼芳、孔祥军、阎关星、张建新、张喜乐、郭志红、周卫华、张德勤、张鹏、危鹏、石维坚、潘永成、祝存春、刘成学、杨成懋、吕金壮、蔡汉生、崔金灵、童军心、郭洁、周红东、李世成、邓万婷、林志伟、邓永辉、肖敏英。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB 311—1964、GB 311.1—1983、GB 311.1—1997。

绝缘配合 第1部分:定义、原则和规则

1 范围

本部分规定了三相交流系统中的高压输变电设备和设施的相对地绝缘、相间绝缘和纵绝缘的额定耐受电压的选择原则,规定了这些设备的标准额定耐受电压,并给出了标准额定耐受电压的系列,额定耐受电压原则上宜从该系列中选取。

本部分适用于标称电压在 1 kV 以上的三相交流系统。

选取的额定耐受电压应与设备的最高电压相关联。该关联仅是为了绝缘配合的目的。本部分中不包括对人员安全的要求。

本部分的原则也适用于输电线路的绝缘配合,但其耐受电压值可以与本部分规定的标准额定耐受电压不同。

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

注:在 GB/T 311.2“使用导则”中阐明了本部分给出的绝缘配合的规则,特别是设备最高电压与标准额定耐受电压之间的关系。如果同一设备最高电压对应几组标准额定耐受电压时,给出了选取最佳一组标准额定耐受电压的导则。

1.1 适用范围

本部分适用于设备最高电压在 1 kV 以上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、限流电抗器、消弧线圈和电磁式电压互感器、电流互感器;
- b) 高压电器类:断路器、隔离开关、负荷开关、接地开关、熔断器、预装式变电站、封闭式开关设备、封闭式组合电器、组合电器等;
- c) 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;
- d) 高压电力电缆;
- e) 支柱绝缘子、穿墙套管等。

1.2 不适用范围

- 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 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 311.2 绝缘配合 第2部分:高压输变电设备的绝缘配合使用导则(IEC 60071-2:1996, EQV)

GB/T 2900.19—1994 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合(IEC 60071-1:1993, NEQ)

GB/T 11022 高压开关设备和控制设备标准的共同技术要求(GB/T 11022—2011, IEC 62271-1:2007, MOD)

GB 11032 交流无间隙金属氧化物避雷器(GB 11032—2010,IEC 60099-4:2006,MOD)

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第1部分:一般试验要求(GB/T 16927.1—2011,IEC 60060-1:2010,MOD)

GB/T 26218.1 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第1部分:定义、信息和一般原则(GB/T 26218.1—2010,IEC/TS 60815-1:2008,MOD)

IEC 60060-1:2010 高电压试验技术 第1部分:一般定义和试验要求(High-voltage test techniques—Part 1: General definitions and test requirements)

IEC 60071-2 Am 1 Ed. 3.0 绝缘配合 第2部分:应用导则(Insulation co-ordination—Part 2: Application guide)

IEC 60721-2-3 环境条件分类 第2部分:自然环境条件 第3节:气压(Classification of environmental conditions—Part 2-3: Environmental conditions appearing in nature—Air pressure)

3 正常和特殊使用条件

3.1 正常环境条件

从表2和表3中选取耐受电压的正常环境条件如下:

- a) 周围空气温度不超过40℃且24 h内测到的平均值不超过35℃。最低周围空气温度,分为三级:—10℃、—25℃和—40℃;
- b) 海拔不超过1 000 m;
- c) 周围空气没有显著地被灰尘、烟雾、腐蚀性气体、蒸汽或盐雾污染。污秽等级不超过C级污秽(见GB/T 26218.1);
- d) 通常会出现凝露和沉积。考虑了以露水、凝露、雾、雨、雪或积霜形式出现的沉积物。

3.2 标准参考大气条件

标准化的耐受电压适用的标准参考大气条件为:

- a) 温度: $t_0=20\text{℃}$;
- b) 压力: $p_0=101.3\text{ kPa}(1\ 013\text{ mbar})$;
- c) 绝对湿度: $h_0=11\text{ g/m}^3$ 。

3.3 特殊环境条件

3.3.1 对周围环境空气温度高于40℃的设备,其外绝缘在干燥状态下的试验电压应取本部分的额定耐受电压值乘以温度修正因数 K_T 。

$$K_T=1+0.003\ 3(T-40)$$

式中:

T ——环境空气温度,℃。

3.3.2 对于海拔高于1 000 m,但不超过4 000 m处的设备的外绝缘的绝缘强度应进行海拔修正,修正方法见附录B。

3.4 设备适用的电力系统中性点的接地方式

最高电压126 kV以下为非有效接地系统或有效(直接)接地系统;最高电压126 kV及以上应为有效(直接)接地系统。

4 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

4.1

绝缘配合 insulation co-ordination

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强度。

[修改 GB/T 2900.19—1994,定义 3.23]

注:设备的“绝缘强度”是指分别按 4.35 和 4.36 中定义的额定绝缘水平或标准绝缘水平。

4.2

外绝缘 external insulation

空气间隙及设备固体绝缘外露在大气中的表面,它承受作用电压并受大气和其他现场的外部条件,如污秽、湿度、虫害等的影响。

[GB/T 2900.19—1994,定义 3.24]

注:外绝缘可以是气候防护的或者非气候防护的,分别设计运行在保护体的内部或外部。

4.3

内绝缘 internal insulation

不受大气和其他外部条件影响的设备的固体、液体或气体绝缘。

[GB/T 2900.19—1994,定义 3.25]

4.4

自恢复绝缘 self-restoring insulation

在试验期间的破坏性放电后,经过短的时间,可完全恢复其绝缘特性的绝缘。

[修改 GB/T 2900.19—1994,定义 3.28]

注:此类绝缘一般是外绝缘,但不是必须的。

4.5

非自恢复绝缘 non self-restoring insulation

在试验期间的破坏性放电之后,丧失或不能完全恢复其绝缘特性的绝缘。

[GB/T 2900.19—1994,定义 3.29]

注:4.4 和 4.5 的定义仅适用于绝缘试验期间由试验电压的作用而引起的放电。然而,在运行时产生的放电可能引起自恢复绝缘部分或完全丧失其原来的绝缘特性。

4.6

绝缘结构端子 insulation configuration terminal

可将电压施于绝缘上的任何两个端子间的任一端子。端子的种类有:

- a) 相端子:运行时在其和中性点之间施加系统的相对中性点电压的端子;
- b) 中性点端子:相当于系统中性点或是接到系统的中性点的端子(变压器的中性点端子等);
- c) 接地端子:在运行中总是固定接地的端子(变压器的箱体、隔离开关的基座、杆塔的构架、接地板等)。

4.7

绝缘结构 insulation configuration

运行中由绝缘体和全部端子组成的绝缘的完整的几何结构。它包括影响介电特性的全部元件(绝缘件和导电件)。绝缘结构分以下几类:

4.7.1

三相绝缘结构 three-phase insulation configuration

具有三个相端子、一个中性点端子和一个接地端子的结构。

4.7.2

相对地(p-e)绝缘结构 phase-to-earth (p-e) insulation configuration

不计两个相端子的一个三相绝缘结构,且除特殊情况外,中性点端子是接地的。

4.7.3

相间(p-p)绝缘结构 **phase-to-phase (p-p) insulation configuration**

不计一个相端子的一个三相绝缘结构。在特殊情况下,中性点端子和接地端子也忽略不计。

4.7.4

纵(t-t)绝缘结构 **longitudinal (t-t) insulation configuration**

具有两个相端子和一个接地端子的绝缘结构。(两个)相端子属于三相系统中的同一相,其被暂时地分为两个独立的带电部分(例如,分闸的开关装置)。属于其他两相的4个端子不计或接地。在特殊情况下,认为两个相端子之一是接地的。

4.8

系统标称电压 **nominal voltage of a system**

U_n

用于表示或识别系统的合适而近似的电压值。

[GB/T 2900.19—1994,定义 2.4]

4.9

系统最高电压 **highest voltage of a system**

U_s

在正常运行条件下,系统中任一点在任一时刻所出现的相间最高运行电压的有效值。

[修改 GB/T 2900.19—1994,定义 2.5]

4.10

设备最高电压 **highest voltage for equipment**

U_m

根据设备绝缘以及与之相关的设备标准有关联的其他特性设计的相间最高电压的有效值。在正常运行条件下由有关技术委员会规定,该电压可以持续施加到设备上。

[修改 GB/T 2900.19—1994,定义 2.7]

4.11

中性点绝缘系统 **isolated neutral system**

除经保护、测量用的高阻抗接地外,中性点不接地的系统。

[GB/T 2900.19—1994,定义 3.13]

4.12

中性点固定接地系统 **solidly earthed neutral system**

中性点直接接地的系统。

[修改 GB/T 2900.19—1994,定义 3.14]

4.13

(中性点)阻抗接地系统 **impedance earthed(neutral)system**

为限制接地故障电流,中性点通过阻抗接地的系统。

[修改 GB/T 2900.19—1994,定义 3.16]

4.14

(中性点)谐振接地系统 **resonant earthed(neutral)system**

一个或多个中性点通过电抗器接地的系统,电抗器近似补偿单相接地故障电流的容性分量。中性点通过能够近似补偿单相接地故障电流的容性分量的电抗器接地的系统。

[修改 GB/T 2900.19—1994,定义 3.15]

注:谐振接地系统中流过故障点的残余电流被限制到空气中弧光接地故障通常能够自熄的程度。

4.15

接地故障因数 earth fault factor k

在一给定系统结构的三相系统的给定点上,在对系统任一点的一相或多相均有影响的故障期间,健全相的相对地最高工频电压有效值与无故障时该点相对地工频电压有效值之比。

[GB/T 2900.19—1994,定义 3.17]

4.16

过电压 overvoltage

以 U_0 表示三相系统的最高电压,则峰值超过系统最高相对地电压峰值($U_0 \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$)或最高相间电压峰值($\sqrt{2}U_0$)的任何波形的相对地或相间电压分别为相对地或相间过电压。

当过电压值用标么值表示时,相对地、相间过电压的基准值分别为 $U_0 \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$ 和 $\sqrt{2}U_0$ (以 p. u. 表示)。

[修改 GB/T 2900.19—1994,定义 3.1]

注:除非另有明确说明,例如对于避雷器,通常过电压值用 p. u. (等于 $U_0 \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$)表示。

4.17

电压和过电压分类 classification of voltage and overvoltage

按其波形和持续时间,电压和过电压可分为下列几种:

注:表 1 中给出了关于下述 6 个电压和过电压更详细的情况。

4.17.1

持续(工频)电压 continuous(power frequency)voltage

有着稳定有效值、持续作用在某一绝缘结构的任一对端子上的工频电压。

4.17.2

暂时过电压 temporary overvoltage; TOV

较长持续时间的工频过电压。

[修改 GB/T 2900.19—1994,定义 3.6]

注:过电压可能是无阻尼或弱阻尼的。在某些情况下,其频率可能比工频低数倍或高数倍。

4.17.3

瞬态过电压 transient overvoltage

几毫秒或更短持续时间的过电压,通常是高阻尼振荡的或非振荡的。

[GB/T 2900.19—1994,定义 3.7]

注:暂时过电压可能紧随瞬态过电压出现,在这种情况下,认为这两种过电压是两个独立的过程。

瞬态过电压分为下列几种:

4.17.3.1

缓波前过电压(操作) slow-front overvoltage; SFO

一种瞬态过电压,通常为单向的,到达峰值的时间为 $20 \mu\text{s} < T_p \leq 5\,000 \mu\text{s}$,而波尾持续时间 $T_2 \leq 20 \text{ ms}$ 。

4.17.3.2

快波前过电压(雷电) fast-front overvoltage; FFO

一种瞬态过电压,通常为单向的,到达峰值时间为 $0.1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$,波尾持续时间 $T_2 < 300 \mu\text{s}$ 。

4.17.3.3

特快波前过电压 very-fast-front overvoltage; VFFO

一种瞬态过电压,通常为单向的,到达峰值的时间 $T_i \leq 0.1 \mu\text{s}$,有或者没有叠加振荡,振荡频率在 $30 \text{ kHz} < f < 100 \text{ MHz}$ 之间。

注:特快波前过电压 VFFO 也称为特快速瞬态过电压 VFTO(very-fast-transient overvoltage)。

4.17.4

联合过电压 combined overvoltage

由同时作用于相间(或纵)绝缘的两个相端子的每个端子和地之间的两个电压分量组成。它被归于具有较高峰值分量(暂时、缓波前、快波前和特快波前)的一类。

4.18

用于试验的标准电压波形 standard voltage shapes for test

4.18.1~4.18.5 电压波形已经标准化。

注:关于下述 4.18.1~4.18.3 三个标准电压更详细的情况在 GB/T 16927.1 以及表 1 中给出。

4.18.1

标准短时工频电压 standard short-duration power-frequency voltage

具有频率在 $45 \text{ Hz} \sim 55 \text{ Hz}$ 之间,持续时间为 60 s 的正弦电压。

注:IEC 60071-1 频率范围为 $48 \text{ Hz} \sim 62 \text{ Hz}$,考虑到 60 Hz 对我国电网不适用,故将频率范围定为 $45 \text{ Hz} \sim 55 \text{ Hz}$,以便与 GB/T 16927.1 相一致。

4.18.2

标准操作冲击电压 standard switching impulse voltage

具有峰值时间为 $250 \mu\text{s}$ 和半峰值时间为 $2500 \mu\text{s}$ 的冲击电压。

4.18.3

标准雷电冲击电压 standard lightning impulse voltage

具有波前时间为 $1.2 \mu\text{s}$ 和半峰值时间为 $50 \mu\text{s}$ 的冲击电压。

4.18.4

标准联合操作冲击电压 standard combined switching impulse voltage

对于相间绝缘,有着相反极性的两个分量的联合操作冲击电压。

正极性分量是标准操作冲击电压,而负极性分量是峰值时间和半峰值时间不应小于正极性冲击电压的对应值的操作冲击电压。两个冲击应在同一瞬间到达峰值。因而联合电压的峰值是这些分量峰值之和。

4.18.5

标准联合电压 standard combined voltage

对纵绝缘,联合电压是一个端子上为标准冲击电压,另一个端子上为工频电压。冲击分量施加于反极性工频电压的峰值。

4.19

代表性过电压 representative overvoltage

U_{rep}

假设在绝缘上产生与在运行时由于各种原因产生的某一给定种类的过电压相同绝缘作用效果的过电压。

它们由相应类别的标准波形的电压组成并可以用表示运行条件特性的一个数值或一组数值或某一频率分布值来定义。

注:此定义也适用于表示运行电压对绝缘影响的持续工频电压。

4.20

过电压限制装置 overvoltage limiting device

用来限制过电压的峰值或持续时间或两者都限制的装置。它们可以分为预防护装置(如预接入电阻器)或保护装置(如避雷器)。

4.21

雷电(或操作)冲击保护水平 lightning(or switching)impulse protective level; LIPL 或 SIPL

U_{pl} (或 U_{ps})

在规定条件下,保护装置的端子上承受雷电(或操作)冲击的最大允许电压峰值。

4.22

性能指标 performance criterion

选择绝缘的基准,以使得作用于设备上的各类电压所引起损伤设备的绝缘或影响连续运行的概率降低到经济上和运行上可接受的水平。通常用术语绝缘结构可接受的故障率(每年故障数,两次故障之间年数,故障风险等)来表示这个指标。

4.23

耐受电压 withstand voltage

在规定的条件下进行耐压试验时施加的试验电压值。在耐压试验期间允许出现规定破坏性放电的次数。耐受电压为:

- 惯用设定耐受电压。此时允许发生破坏性放电次数为零,即其耐受概率 $P_w = 100\%$ 。
- 统计耐受电压。允许的破坏性放电次数与规定的耐受概率有关,本部分中规定的耐受概率 $P_w = 90\%$ 。

注:在本部分中,对非自恢复绝缘规定用惯用的设定耐受电压;而对自恢复绝缘规定用统计耐受电压。

4.24

配合耐受电压 co-ordination withstand voltage

U_{cw}

在实际运行条件下,对每种类型电压,绝缘结构满足性能指标的耐受电压值。

4.25

配合因数 co-ordination factor

K_c

必须与代表性过电压值相乘的因数以得到配合耐受电压值。

4.26

标准参考大气条件 standard reference atmospheric conditions

施加标准耐受电压的大气条件(见 3.2)。

4.27

要求耐受电压 required withstand voltage

U_{rw}

在标准耐受试验中,绝缘必须耐受的试验电压以保证绝缘在实际运行条件下和整个寿命期间内承受给定种类过电压时仍能满足性能指标。要求耐受电压具有配合耐受电压的波形,并且规定用按照所选择全部标准耐受试验条件来检验要求耐受电压。

4.28

大气修正因数 atmospheric correction factor

K_t

考虑到运行时平均大气条件和标准参考大气条件之间的差别,对配合耐受电压进行修正的因数。此因数仅适用于外绝缘。

注 1: 考虑到试验期间实际的大气条件和标准参考大气条件之间的差异, 允许用因数 K_1 对试验电压进行修正。对于因数 K_1 , 考虑的大气条件有大气压力、温度和湿度。

注 2: 对绝缘配合, 通常仅需要考虑空气压力修正。

4.29

海拔修正因数 altitude correction factor

K_a

考虑到运行时海拔相应的平均压力和标准参考压力之间绝缘强度的差异, 对配合耐受电压进行修正的因数。

注: 海拔修正因数 K_a 是大气修正因数 K_1 的一部分。

4.30

安全因数 safety factor

K_s

除大气修正因数 K_1 以外, 为了得到要求耐受电压, 与配合耐受电压相乘的总的因数, 该因数考虑到运行寿命期间的运行条件和标准耐受试验时的条件之间绝缘强度的所有其他差异。

4.31

设备或绝缘结构的实际耐受电压 actual withstand voltage of an equipment or insulation configuration

U_{aw}

标准耐受电压试验中能够施加到设备或绝缘结构上的试验电压的可能最高值。

4.32

试验换算因数 test conversion factor

K_{tc}

当选取标准耐受电压波形需要用不同类型的耐受电压波形替代时, 对于给定的设备或绝缘结构, 与该给定过电压类别的要求耐受电压相乘的因数。

注: 对一给定的设备或绝缘结构将标准电压波形 a 换算到标准电压波形 b 的换算因数必须高于或等于标准电压波形 a 的实际耐受电压和标准电压波形 b 的实际耐受电压的比值。

4.33

额定耐受电压 rated withstand voltage

标准耐受电压试验中施加的试验电压值, 用于验证绝缘能够承受一个或多个要求耐受电压。它是设备绝缘的额定值。

4.34

标准额定耐受电压 standard rated withstand voltage

U_w

本部分规定的额定耐受电压的标准值(见 6.7 和 6.8)。

4.35

额定绝缘水平 rated insulation level

表示绝缘介电强度的一组额定耐受电压。

4.36

标准绝缘水平 standard insulation level

本部分中规定的与 U_m 有关的一组标准额定耐受电压(见表 2 和表 3)。

4.37

标准耐受电压试验 standard withstand voltage test

在规定条件下, 为了验证绝缘满足标准额定耐受电压所进行的绝缘试验。

本部分中标准耐受电压试验包括:

——短时工频电压试验;

- 操作冲击电压试验；
- 雷电冲击电压试验；
- 联合操作冲击电压试验；
- 联合电压试验。

注 1: 在 GB/T 16927.1 中给出有关标准耐受电压试验更详细的资料(试验电压波形亦可见表 1)。

注 2: 如有要求,特快波前冲击标准耐受电压试验应由有关技术委员会规定。

5 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

5.1 下标

- p-e: 与相对地有关的；
- t-t: 与纵绝缘有关的；
- max: 最大的；
- p-p: 与相间有关的。

5.2 字母符号

- f : 频率；
- k : 接地故障因数；
- K_t : 大气修正因数；
- K_a : 海拔修正因数；
- K_c : 配合因数；
- K_s : 安全因数；
- K_{tc} : 试验换算因数；
- P_w : 耐受概率；
- T_1 : 波前时间；
- T_2 : 电压降低到半峰值的时间；
- T_p : 到峰值时间；
- T_t : 总的过电压持续时间；
- U_{aw} : 设备或绝缘结构的实际耐受电压；
- U_{cw} : 配合耐受电压；
- U_m : 设备最高电压；
- U_n : 系统标称电压；
- U_{pl} : 避雷器的雷电冲击保护水平；
- U_{ps} : 避雷器的操作冲击保护水平；
- U_{rp} : 代表性过电压；
- U_{rw} : 要求耐受电压；
- U_s : 系统最高电压；
- U_w : 标准额定耐受电压。

5.3 缩略语

FFO:快波前过电压

ACWV:设备或绝缘结构的标准额定短时工频耐受电压

LIPL:避雷器的雷电冲击保护水平

SIPL:避雷器的操作冲击保护水平

SFO:缓波前过电压

TOV:暂时过电压

VFFO:特快波前过电压

6 绝缘配合

6.1 绝缘配合方法

绝缘配合方法有确定性法(惯用法)、统计法及简化统计法。

由于在试验时设备绝缘需要施加的冲击电压次数较多,而且电压幅值可能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,特别是当操作过电压成为控制因素时,统计法才特别有价值。因此,在本部分中统计法仅用于 U_m 为252 kV以上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,一般只能施加有限次数的冲击(如在给定条件下施加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。

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%。

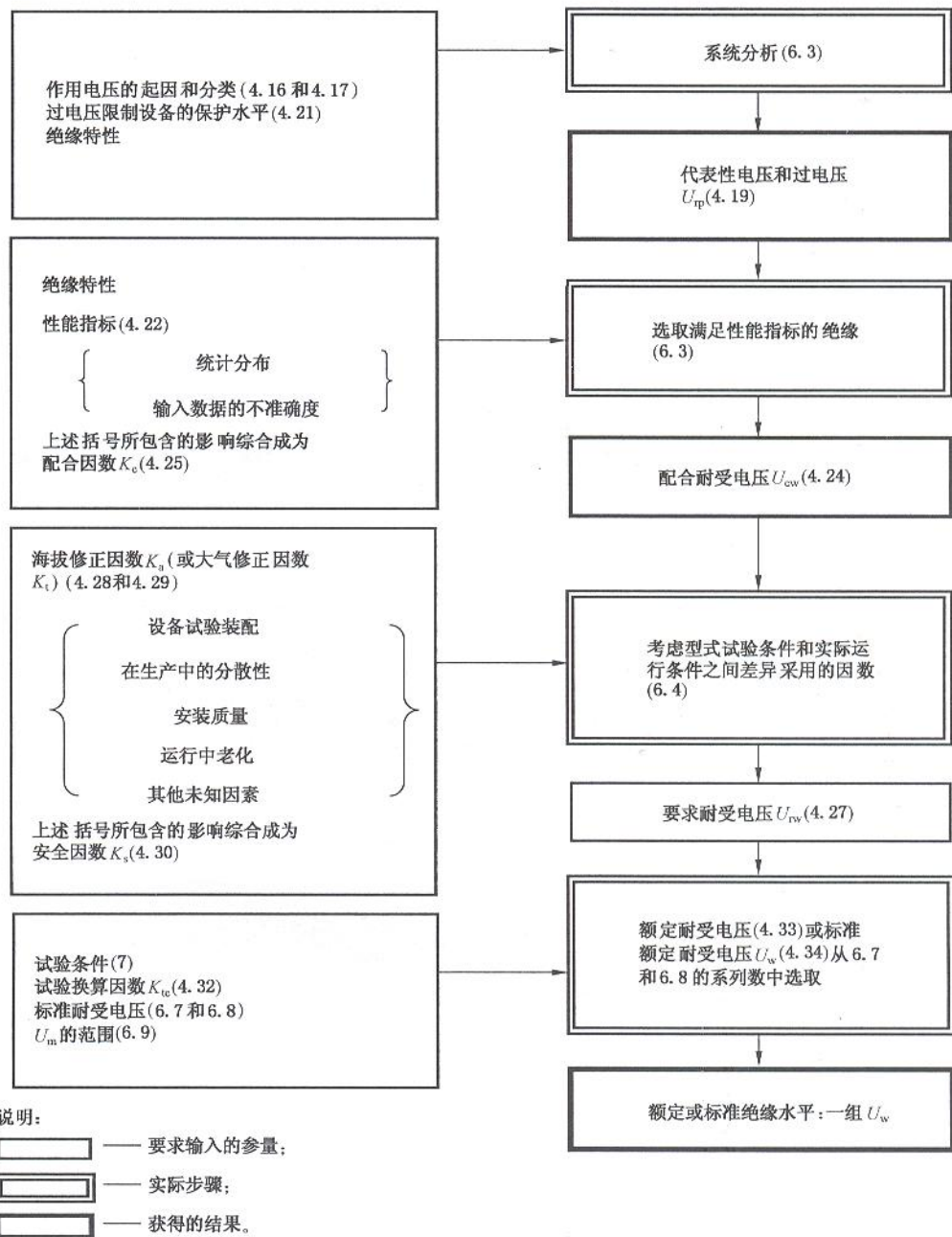
绝缘配合的简化统计法是对某类过电压在统计冲击耐受电压和统计过电压之间选取一个统计配合系数,使所确定的绝缘故障率从系统的运行可靠性和费用两方面来看是可以接受的。

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。

6.2 绝缘配合程序的一般概况

绝缘配合程序包括选取设备的最高电压以及与之相应的、表征设备绝缘特性的一组标准耐受电压。图1给出了程序的框图,6.3~6.6描述了其步骤。选择一组最优的 U_m 可能需要反复考虑程序的某些输入数据,并重复此程序的某些部分。

宜从6.7和6.8给出的标准额定耐受电压系列数中选取额定耐受电压。所选取的工频、冲击标准电压构成额定绝缘水平。按照6.10,如果多个标准额定耐受电压与相同的 U_m 相关联,则表2、表3中同一横栏中的电压构成标准绝缘水平。



注 1: 图中绝缘特性是指内绝缘、外绝缘、自恢复绝缘、非自恢复绝缘、相对地绝缘、相间绝缘、纵绝缘以及绝缘材料介质特性等。

注 2: 括号中的是相应条款号。

图 1 确定额定或标准绝缘水平的流程图

6.3 代表性电压和过电压(U_p)的确定

应当采用系统分析(包括过电压防护和限制装置的选择和位置)来确定作用于绝缘上的电压和过电压的幅值、波形和持续时间。

对于每一类型的电压和过电压,系统分析用于确定代表性电压和过电压,分析时应考虑在系统中电压和过电压波形作用下和表 1 中给出的标准耐受电压试验施加的标准电压波形作用下绝缘性能的差异。

表 1 过电压的类型和波形、标准电压波形以及标准耐受电压试验

类别	低频电压		瞬态电压		
	持续	暂时	缓波前	快波前	特快波前
电压波形					
电压波形范围	$f=50\text{ Hz}$ $T_1 \geq 3\ 600\text{ s}$	$10\text{ Hz} < f < 500\text{ Hz}$ $0.02\text{ s} \leq T_1$ $\leq 3\ 600\text{ s}$	$20\ \mu\text{s} < T_p$ $\leq 5\ 000\ \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20\text{ ms}$	$0.1\ \mu\text{s} < T_1 \leq 20\ \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300\ \mu\text{s}$	$T_p \leq 100\text{ ns}$ $0.3\text{ MHz} < f_1 < 100\text{ MHz}$ $30\text{ kHz} < f_2 < 300\text{ kHz}$
标准电压波形	 $f=50\text{ Hz}$ T_1^a	 $45\text{ Hz} < f \leq 55\text{ Hz}$ $T_1=60\text{ s}$	 $T_p=250\ \mu\text{s}$ $T_2 \leq 2\ 500\ \mu\text{s}$	 $T_1=1.2\ \mu\text{s}$ $T_2=50\ \mu\text{s}$	a
标准耐压试验	a	短时工频试验	操作冲击试验	雷电冲击试验	a

^a 由有关技术委员会规定。

代表性电压和过电压可以用下述方式表示其特性：

- 设定最大值；或
- 一组峰值；或
- 峰值的完整统计分布。

注：在最后一项情况下，可能必须考虑过电压波形的附加特性。

当认为采用设定最大值合适时，各种类型的代表性电压和过电压应是：

- 持续的工频电压的有效值等于系统最高电压，且持续时间与设备寿命相当的工频电压；
- 暂时过电压的有效值等于暂时过电压的设定最大值除以 $\sqrt{2}$ 的标准短时工频电压；
- 缓波前过电压具有峰值等于缓波前过电压设定最大峰值的标准操作冲击电压；
- 快波前过电压具有峰值等于相对地快波前过电压设定最大峰值的标准雷电冲击电压；

注：对于三相共箱的 GIS 和 GIL，且对于给定的 U_m 的绝缘水平选取其中最低的数值时，可能需要考虑相间过电压。

- 特快波前过电压：这类过电压的特性正在考虑中；
- 缓波前相间过电压：具有峰值等于缓波前相间过电压设定最大峰值的标准联合操作冲击电压；
- 缓波前或快波前纵向过电压：由标准操作[或雷电]冲击电压和工频电压组成的一种联合电压，其每一分量的峰值分别等于相应的设定最大峰值，而其冲击的峰值时刻与反极性工频峰值时刻相一致。

6.4 配合耐受电压(U_{cw})的确定

配合耐受电压的确定主要是要确定绝缘在运行条件下受到代表性过电压作用时能满足性能指标的最低耐受电压值。

绝缘的配合耐受电压具有相应类型的代表性过电压的波形,其值由代表性过电压值乘以配合因数求得。配合因数的数值取决于估计代表性过电压的准确性、经验,或采用统计法对过电压以及绝缘特性分布的评估。

配合耐受电压可用惯用设定耐受电压或统计耐受电压来确定,用不同的耐受电压(惯用设定或统计)会影响所采用的确定程序以及配合因数的值。

过电压的模拟计算同时结合对有关绝缘特性进行故障风险评估,则允许不经过确定代表性过电压的中间步骤而直接确定统计配合耐受电压。

6.5 要求耐受电压(U_m)的确定

确定绝缘的要求耐受电压时,需要把配合耐受电压换算到适当的标准试验条件。用配合耐受电压乘以弥补绝缘在实际运行和标准耐受试验时的条件之间的差别的因数来求得要求耐受电压。

该因数应包括通过大气修正因数 K_a 来补偿大气条件的差异以及通过安全因数 K_s 弥补下述影响。安全因数 K_s 中包括的影响有:

- 设备试验装配;
- 在生产中的分散性;
- 安装质量;
- 运行中老化;
- 其他未知因素。

然而,如果这些影响不能逐个地估算,应采用根据经验得出的总的安全因数(见 GB/T 311.2)。

大气修正因数 K_a 仅适用于外绝缘。考虑到标准参考大气条件和预期的运行条件之间的差别,必须用 K_a 进行修正。

对于海拔修正,海拔修正因数 K_h 仅考虑了设备所处地点相应海拔的平均空气压力。无论海拔如何,都必须用海拔修正因数 K_h 进行修正。

6.6 额定绝缘水平的选择

额定绝缘水平的选择是指选取足以证明绝缘满足全部要求耐受电压最经济的一组标准额定耐受电压(U_w)。

设备最高电压选为等于或高于设备安装处的最高运行电压的标准值 U_m 。

对于安装在与绝缘相关的正常环境条件中的设备, U_m 至少应等于 U_s 。

对于安装在与绝缘相关的正常环境条件以外的设备,根据其特殊需要,可以选择高于 U_m 的标准值,该值等于或高于 U_s 值。

注:作为例子,如果设备安装在海拔高于 1 000 m 的场合,为了补偿外绝缘耐受电压的降低,可以选择高于 U_m 的下一个标准值,该值等于或高于 U_s 值。

试验的标准化以及证明满足 U_m 的有关试验电压的选取,由有关技术委员会考虑(如污秽试验、局部放电试验等)。

为了验证满足要求的暂时、缓波前及快波前耐受电压的耐受电压,对于相对地、相间和纵绝缘的耐受电压的波形可与要求耐受电压的波形相同,也可以不同,最终应根据绝缘的固有特性来选取。

额定耐受电压值应从 6.7 和 6.8 给出的标准额定耐受电压的系列数中选取等于或高于下述情况的下一个标准值:

- 相同波形情况下的要求耐受电压；
- 不同波形情况下的要求耐受电压乘以有关的试验换算因数。

注：允许采用单个标准额定耐受电压验证满足多个类型要求耐受电压，因此可以减少额定耐受电压的数量，同时确定了额定绝缘水平（见 6.10）。

对于处在正常环境条件的设备，额定绝缘水平应优先从与适用的设备最高电压相应的表 2 和表 3 中选取，以满足这些额定耐受电压。

验证满足特快波前要求耐受电压的标准额定耐受电压的选择由有关技术委员会考虑。

对于避雷器，一般来说绝缘外套的要求耐受电压不应从 6.7 和 6.8 的系列数中选取，可按照 GB 11032 给出的保护水平 U_{pl} 和 U_{ps} 乘以适当的因数来求得。

6.7 标准额定短时工频耐受电压系列

下列数值是已经标准化了的以千伏(kV)表示的工频电压有效值：

10, 20, 28, 38, 42, 50, 70, 85, 95, 115, 140, 185, 230, 275, 325, 360, 395, 460, 510, 570, 630, 680, 710, 740, 790, 830, 900, 960, 975, 1 050, 1 100, 1 200。

6.8 标准额定冲击耐受电压系列

下列数值是已经标准化了的以千伏(kV)表示的耐受电压峰值：

20, 40, 60, 75, 95, 125, 145, 170, 185, 200, 250, 325, 380, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1 050, 1 175, 1 300, 1 425, 1 550, 1 675, 1 800, 1 950, 2 100, 2 250, 2 400, 2 550, 2 700, 2 900, 3 100。

6.9 设备最高电压的范围

设备最高电压分为两个范围：

范围 I：1 kV < U_m ≤ 252 kV（见表 2）。此范围包括输电和配电系统中的设备。因此，不同运行方式应在选取设备额定绝缘水平时予以考虑。

范围 II：252 kV 以上（见表 3）。此范围主要为输电系统。

6.10 标准绝缘水平的选择

为了加强标准化以及充分利用按标准设计的系统的运行经验，标准额定耐受电压与设备的最高电压之间的对应关系已标准化。

标准额定耐受电压与设备的最高电压相关联，对范围 I 按表 2，范围 II 按表 3。这些标准额定耐受电压仅适用于正常环境条件且已经修正到了标准参考大气条件。

只有表中同一横栏中的一组绝缘水平才能构成标准绝缘水平。

此外，下面是相间绝缘和纵绝缘的标准化组合：

——对于范围 I 内的相间绝缘，标准额定短时工频和雷电冲击耐受电压等于相应的相对地耐受电压（表 2）。然而，在括号内的数值可能不足以证明满足要求耐受电压而可能需要附加相间耐受电压试验。

——对于范围 II 内的相间绝缘，标准雷电冲击耐受电压等于相对地雷电冲击耐受电压。

——对于范围 I 内的纵绝缘，标准额定短时工频和雷电冲击耐受电压等于相应的相对地耐受电压（表 2）。

——对于范围 II 内的纵绝缘，联合耐受电压的标准操作冲击分量在表 3 中给出，而反极性工频分量的峰值为 $U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ 。

——对于范围 II 内的纵绝缘，联合耐受电压的标准雷电冲击分量等于相应的相对地耐受电压（表 3），而反极性工频分量的峰值为 $(0.7 \sim 1.0) \times U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ 。

考虑到不同的性能指标或过电压类型,对大多数设备的最高电压可预计到不只一种优先选用的组合。

对此种优先选用的组合,只需用两种标准额定耐受电压足以定义设备的额定绝缘水平:

- a) 对于范围 I 内的设备:
- 标准额定雷电冲击耐受电压;和
 - 标准额定短时工频耐受电压。
- b) 对于范围 II 内的设备:
- 标准额定操作冲击耐受电压;和
 - 标准额定雷电冲击耐受电压。

如果经过技术上和经济上的论证也可以采用其他组合,但均应遵循 6.1~6.9 中的建议。因此,把最后得到的这组标准额定耐受电压称为额定绝缘水平。特殊的例子是:

- 外绝缘,对范围 I 内较高的 U_m ,规定用标准额定操作冲击耐受电压代替标准额定短时工频耐受电压可能更经济;
- 对范围 II 内的内绝缘,高的暂时过电压可能要求规定标准额定短时工频耐受电压。

6.10.1 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惯用法,这些绝缘水平都可选用。

6.10.2 对同一设备最高电压,有的在表 2 和表 3 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。

6.10.3 在某些情况下,可能需要不同于表 2 或表 3 中的额定耐受电压值,此时宜从本部分 6.7 和 6.8 的标准值中选取。

6.10.4 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 4 和表 5 分类给出设备的额定耐受电压值。

6.10.4.1 各类设备的额定雷电冲击耐受电压列于表 4。

对变压器类设备应进行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。截波冲击试验系统的构成应使记录的冲击截波的跌落时间尽可能短。截波过零系数不大于 0.3;截断跌落时间一般不大于 $0.7 \mu\text{s}$ 。

6.10.4.2 各类设备的短时工频耐受电压列于表 5。

6.10.4.3 分级绝缘电力变压器中性点的绝缘水平列于表 6。

表 2 范围 I ($1 \text{ kV} < U_m \leq 252 \text{ kV}$) 的标准绝缘水平

单位为千伏

系统标称电压 U_n (有效值)	设备最高电压 U_m (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)
		系列 I	系列 II	
3	3.6	20	40	18
6	7.2	40	60	25
10	12.0	60	75 90	30/42°;35
15	18	75	95 105	40;45
20	24.0	95	125	50;55
35	40.5	185/200*		80/95°;85

表 2 (续)

单位为千伏

系统标称电压 U_s (有效值)	设备最高电压 U_m (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)
		系列 I	系列 II	
66	72.5	325		140
110	126	450/480 ^a		185;200
220	252	(750) ^b		(325) ^b
		850		360
		950		395
		1 050		460

注：系统标称电压 3 kV~ 20 kV 所对应设备系列 I 的绝缘水平，在我国仅用于中性点直接接地(包括小电阻接地)系统。

^a 该栏斜线之下数据仅用于变压器类设备的内绝缘。
^b 220 kV 设备，括号内的数据不推荐使用。
^c 该栏斜线之上数据为设备外绝缘在湿状态下的耐受电压(或称为湿耐受电压)；该栏斜线之下数据为设备外绝缘在干燥状态下的耐受电压(或称为干耐受电压)。在分号“;”之后的数据仅用于变压器类设备的内绝缘。

表 3 范围 II ($U_m > 252$ kV) 的标准绝缘水平

单位为千伏

系统标称 电压 U_s (有效值)	设备最高 电压 U_m (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 ^b		相对地	纵绝缘	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 ^c
330	363	850	1 300	1.50	950	850	1 050	见 6.10 规定	(460)
		950	1 425	1.50		(+295) ^a			1 175
500	550	1 050	1 675	1.60	1 175	1 050 (+450) ^a	1 425		(630)
		1 175	1 800	1.50			1 550		(680)
		1 300 ^d	1 950	1.50			1 675		(740)
750	800	1 425	—	—	1 550	1 425	1 950		(900)
		1 550	—	—		(+650) ^a	2 100	(960)	
1 000	1 100	—	—	—	1 800	1 675	2 250	2 400 (+900) ^a	(1 100)
		1 800	—	—		(+900) ^a	2 400		

^a 栏 7 和栏 9 括号中之数值是加在同一极对应端子上的反极性工频电压的峰值。
^b 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。
^c 栏 10 括号内之短时工频耐受电压值 IEC 60071-1 未予规定。
^d 表示除变压器以外的其他设备。

表 4 各类设备的雷电冲击耐受电压

单位为千伏

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)						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	高压 电器类	母线支柱 绝缘子、穿 墙套管	变压器类设 备的内绝缘
3	3.6	40	40	40	—	40	40	45
6	7.2	60	60	60	—	60	60	65
10	12	75	75	75	—	75	75	85
15	18	105	105	105	105	105	105	115
20	24	125	125	125	125	125	125	140
35	40.5	185/200 ^a	185/200 ^a	185/200 ^a	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 ^a	450/480 ^a	450/480 ^a	450	450	450	530
		550	550	550	550	550		
220	252	850	850	850	850	850	850	950
		950	950	950	950 1 050	950 1 050	950 1 050	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	—
750	800	1 950	1 950	1 950	1 950	1 950	1 950	2 145
		—	2 100	2 100	2 100	2 100	2 100	2 310
1 000	1 100	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 550	2 400
		—	2 400	2 400	2 400	2 400	2 700	2 560

注 1: 表中所列的 3 kV~20 kV 的额定雷电冲击耐受电压为表 2 中系列 II 绝缘水平。
注 2: 对高压电力电缆是指热态状态下的耐受电压。

^a 斜线下之数据仅用于该类设备的内绝缘。

表 5 各类设备的短时(1 min)工频耐受电压(有效值)

单位为千伏

系统标称电压 (有效值)	设备最高电压 (有效值)	内绝缘、外绝缘(湿试/干试)				母线支柱绝缘子	
		变压器	并联 电抗器	耦合电容器、高压电器类、 电压互感器、电流和 穿墙套管	高压电力电缆	湿试	干试
1	2	3 ^a	4 ^a	5 ^b	6 ^b	7	8
3	3.6	18	18	18/25		18	25
6	7.2	25	25	23/30		23	32
10	12	30/35	30/35	30/42		30	42
15	18	40/45	40/45	40/55	40/45	40	57
20	24	50/55	50/55	50/65	50/55	50	68
35	40.5	80/85	80/85	80/95	80/85	80	100
66	72.5	140	140	140	140	140	165
		160	160	160	160	160	185
110	126	185/200	185/200	185/200	185/200	185	265
220	252	360	360	360	360	360	450
		395	395	395	395	395	495
					460		
330	363	460	460	460	460		
		510	510	510	510 570	570	
500	550	630	630	630	630		
		680	680	680	680	680	
				740	740		
750	800	900	900	900	900	900	
				960	960		
1 000	1 100	1 100 ^c	1 100	1 100	1 100	1 100	

注：表中 330 kV~1 000 kV 设备之短时工频耐受电压仅供参考。

^a 该栏斜线下的数据为该类设备的内绝缘和外绝缘干耐受电压；该栏斜线上的数据为该类设备的外绝缘湿耐受电压。

^b 该栏斜线下的数据为该类设备的外绝缘干耐受电压。

^c 对于特高压电力变压器，工频耐受电压时间为 5 min。

表 6 电力变压器中性点绝缘水平

单位为千伏

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	85
		经小电抗接地	325	140
750	800	固定接地	185	85
1 000	1 100	固定接地	325	140
			185	85

6.11 标准绝缘水平的背景

6.11.1 概述

表 2 和表 3 中给出的标准绝缘水平反映了世界的经验,并考虑了现代的保护装置和过电压限制措施。特定的标准绝缘水平的选取应该符合 GB/T 311.2 中规定的绝缘配合程序并考虑特定设备的绝缘特性。

在范围 I 中,标准额定短时工频耐受电压或者标准额定雷电冲击耐受电压应覆盖相对地和相间的操作冲击要求耐受电压以及纵绝缘的要求耐受电压。

在范围 II 中,如果有关技术委员会没有要求具体的数值,则标准额定操作冲击耐受电压应覆盖短时工频要求耐受电压。

为了满足这些一般要求,应该将要求耐受电压乘以换算因数换算到标准额定耐受电压波形下的相应值。对于额定耐受电压,根据现有试验结果确定的换算因数是一个偏保守的值。

验证设备内绝缘老化或外部污秽所需进行的长时间工频试验由有关技术委员会考虑。

6.11.2 标准额定操作冲击耐受电压

表 3 中,与每一个设备最高电压关联的标准额定操作冲击耐受电压是在考虑了下述因素后选取的:

- a) 对受避雷器保护的设备:
 - 暂时过电压的预期值;
 - 现有的避雷器特性;
 - 避雷器的保护水平或操作过电压的预期值与设备的操作冲击耐受电压之间的配合因数和
安全因数。
- b) 对不受避雷器保护的设备:
 - 考虑到设备安装地点可能出现的过电压的范围,破坏性放电的可接受风险;
 - 对过电压的控制程度通常要考虑经济性,可通过仔细选择开关装置和系统设计。

6.11.3 标准额定雷电冲击耐受电压

在表 3 中,与每一个设备最高电压关联的标准额定雷电冲击耐受电压是在考虑了下述因素后选取的:

- a) 对受紧靠避雷器保护的设备,可以选取较低的雷电冲击耐受电压值。但需考虑避雷器的雷电冲击保护水平和操作冲击保护水平的比值,且增加适当的裕度;
- b) 对不受避雷器保护(或者没有有效保护)的设备,应该选取标准雷电冲击耐受电压中较高的值。这些较高的数值基于设备(例如,断路器、隔离开关、互感器等)外绝缘的雷电和操作冲击耐受电压的典型比值。应该主要根据外绝缘耐受操作冲击试验电压的能力来确定绝缘设计。
- c) 在很少的极端情况下,对于较高的雷电冲击耐受电压值应采取必要的措施。这些数值应从 6.7 和 6.8 给出的标准值系列数中选取。

7 耐受电压试验的要求

7.1 一般要求

进行标准耐受电压试验的目的是为了证明在合适的置信度下绝缘的实际耐受电压不低于规定的相应耐受电压。除非有关技术委员会另有规定,在耐受电压试验中所施加的电压是额定耐受电压。

通常,耐受电压试验包括在标准情况下(由有关技术委员会规定的试验布置和标准参考大气条件)进行的干试验。然而,对无气候防护的外绝缘,标准短时工频耐受电压试验和操作冲击耐受电压试验包括 GB/T 16927.1 中规定条件下的湿试验。

湿试验期间,在加电压情况下雨水应同时淋在试品所在周围空间和绝缘表面上。

如果在试验室中的大气条件与标准参考大气条件不同,则试验电压应按照 GB/T 16927.1 进行修正。

所有冲击耐压试验应以两种极性进行,除非有关技术委员会规定仅需进行一种极性。

当证实在某一条件(干试或湿试)或某一极性或这些的组合情况下的试验呈现最低耐受电压时,则耐受电压试验可仅在这种特定条件进行。

在试验期间产生的绝缘损坏是判别试品合格与否的依据。有关技术委员会应对损坏的情况作出规定,并规定检测它的方法。

如果相间绝缘(或纵绝缘)的标准额定耐受电压等于相对地绝缘的标准额定耐受电压时,推荐相间(或纵)绝缘试验和相对地试验合并进行(两个相端子中的一个端子接地)。

7.2 短时工频耐受电压试验

短时工频耐受电压试验是对绝缘结构端子施加一规定的额定耐受电压,持续时间为 60 s。

除非有关技术委员会另有规定,如果没有出现破坏性放电,则认为绝缘通过试验。然而,如果在湿试验期间自恢复绝缘上发生一次破坏性放电,可再重复一次试验,如果不再发生破坏性放电,则认为设备通过了试验。

当试验无法进行时(例如具有非全绝缘的变压器),有关技术委员会可规定试验电压频率达数百赫兹持续时间小于 60 s。除非另有规定,试验电压值应是相同的。

7.3 标准冲击耐受电压试验

标准冲击耐受电压试验是对绝缘结构端子施加规定次数的标准额定耐受电压。可以选择不同的试验程序以验证耐受电压满足运行经验表明的可接受的置信度。

有关技术委员会应从下列标准化了的试验程序中进行选择(这些程序的详细说明可参

见GB/T 16927.1):

- 耐受电压试验程序 A: 3 次冲击耐压试验, 不允许有破坏性放电发生。
- 耐受电压试验程序 B: 15 次冲击耐受电压试验, 在自恢复绝缘上允许发生最多 2 次破坏性放电。
- 耐受电压试验程序 C: 3 次冲击耐受电压试验, 若在自恢复绝缘上发生 1 次破坏性放电, 则再追加 9 次冲击试验, 此时不允许发生破坏性放电。
- 耐受电压试验程序 D:

自恢复绝缘的 10% 冲击破坏性放电电压 U_{10} 可由以下关系式从 50% 冲击破坏性放电电压 U_{50} 导出:

$$U_{10} = U_{50} (1 - 1.3 s^*)$$

U_{50} 可以采用以下方法进行试验得出:

估算 U_{50} 的升降法: 每级冲击次数 $n=1$, 有效冲击次数 $m \geq 20$ 的升降冲击耐受试验。

这种方法仅在 GB/T 16927.1 中规定的标准偏差标么值 s^* 已知情况下推荐使用。使用时建议 s^* 的数值为: 对操作冲击 $s^* = 6\%$; 雷电冲击 $s^* = 3\%$, 而且只有在已知操作冲击 $s^* \leq 6\%$, 雷电冲击 $s^* \leq 3\%$ 时使用, 否则应该使用其他方法。

估算 U_{10} 的试验方法: 可采用每级不超过 7 次冲击, 至少 8 个有效电压级的升降法。

上述全部试验程序, 在非自恢复绝缘上均不允许发生破坏性放电。

对设备非自恢复绝缘与自恢复绝缘并存时, 优先选用 GB/T 16927.1 中的耐受电压试验程序 B。

注: 由于此部分内容对应的 IEC 60071-1:2006 版引用的是 IEC 60060-1:1989 版相应内容, 在本部分制定时 IEC 60060-1:2010 版中已经对此部分内容做了修订, 本部分进行了修改引用。

7.4 替代试验

当按标准试验条件进行耐受电压试验太昂贵或太困难, 或甚至不可能时, 有关技术委员会应该规定检验有关标准额定耐受电压的最好办法。一种可能的办法是进行替代试验。

替代试验由一个或多个不同的试验条件(试验布置、试验电压的数值和类型等)组成。因此必须证明破坏性放电发展的物理条件与标准条件一致。

注: 一个典型的例子是底座对地绝缘时对纵绝缘试验使用单个电压源代替联合电压试验。在这种情况下, 上述有关破坏性放电的发展对替代试验是非常严格的条件。

7.5 范围 I 内设备的相间和纵绝缘的标准耐受电压试验

7.5.1 工频试验

对于某些 $126 \text{ kV} \leq U_m \leq 252 \text{ kV}$ 的设备的相间(或纵)绝缘工频耐受电压可能高于表 2 中列出的相对地工频耐受电压。在此情况下最好用两个电压源进行试验。一端加相对地工频耐受电压而另一端加相间(或纵绝缘)工频耐受电压与相对地工频耐受电压的差值。接地端子应接地。

试验也可选择下述之一进行替代:

- 用两个相等的反相工频电压源, 每相端子上施加二分之一相间(或纵)绝缘工频耐受电压。接地端子应接地。
- 用一个工频电压源。接地端子对地绝缘, 且允许接地端子承受足以避免对地或对接地端子发生破坏性放电的对地电压。

注: 如果在运行中接地的端子在试验时承受电压对相端子上的电气强度有影响, (如 $U_m \geq 72.5 \text{ kV}$ 的压缩气体中的纵绝缘), 应采取措施使得该电压尽可能地接近于相间(或纵)绝缘试验电压和相对地绝缘试验电压之间的差值。

7.5.2 相间(或纵)绝缘雷电冲击试验

相间(或纵)绝缘的雷电冲击耐受电压可能要求高于表 2 中列出的标准相对地耐受电压。在这种情况下,应在相对地绝缘试验之后不改变试验布置进行有关的试验。在评价试验结果时,不考虑导致对地发生破坏性放电的冲击。

如果对地放电次数不允许进行试验时,应采用联合试验,其冲击分量等于相对地雷电冲击耐受电压,而具有反极性峰值的工频分量等于相间(或纵绝缘)雷电冲击耐受电压和相对地雷电冲击耐受电压之差。作为替代方式,对外绝缘,有关技术委员会可以规定加强相对地绝缘。

7.6 范围 II 内设备的相间和纵绝缘的标准耐受电压试验

应进行满足下列要求的联合电压耐受试验:

- 试验布置应适当再现运行布置,特别是有关接地体的影响;
- 试验电压的每个分量应为 6.10 规定的数值;
- 接地端子应接地;
- 在相间试验时,第三相的端子应移开或接地;
- 在纵绝缘试验时,其他两相的端子应移开或接地。

应对相端子所有可能的组合进行重复试验,除非证明电气上为对称的,没必要进行重复试验。

在评价试验结果时,任何破坏性放电均应计算在内。由有关技术委员会给出试验的更详细的建议。

对于特殊的应用,有关技术委员会可能将适用于范围 I 设备的相同试验程序扩展应用于范围 II 的纵绝缘雷电冲击耐受试验中。

附录 A
(规范性附录)
保证规定的冲击耐受电压的空气间隙

A.1 概述

对于不能作为整体进行试验的完整设施(例如,变电站),必须保证绝缘强度是足够的。

在标准参考大气条件下空气中的操作和雷电冲击耐受电压应该等于或大于本部分中规定的标准额定操作和雷电冲击耐受电压。根据该原则,确定了不同电极结构的最小距离。考虑到实际经验,采用了保守的方法来确定最小距离的规定值。

这些距离主要用于绝缘配合。安全要求可能导致距离明显增大。

表 A.1、表 A.2 和表 A.3 适合于一般应用,因为它们提供了保证规定的绝缘水平的最小距离。

如果通过对实际或类似结构的试验证明标准冲击耐受电压已经满足,考虑到所有相关的可能导致电极表面不规则的环境条件,例如,雨、污秽,可以采用较低的数值。因此,这些距离不适用于技术规范中包括强制性冲击型式试验要求的设备,因为强制的最小距离可能妨碍设备的设计、提高其成本并妨碍技术进步。

如果能够通过运行经验确认过电压低于选择标准额定耐受电压时预期的数值或者间隙结构比推荐的间隙距离所假定的结构更有利,也可以采用较低的数值。

对于棒-构架型的电极结构以及对范围 II 的导线-构架型的电极结构,表 A.1 给出了最小空气距离和标准额定雷电冲击耐受电压的关系。它们适用于相对地间隙以及相间的间隙(见表 A.1 下面的注)。

对于导线-构架型和棒-构架型的电极结构,表 A.2 给出了最小空气距离和相对地标准额定操作冲击耐受电压的关系。导线结构涵盖了正常使用结构很大范围。

对于导线-导线型和棒-导线型的电极结构,表 A.3 给出了最小相间空气距离和标准额定操作冲击耐受电压的关系。非对称的棒-导线结构实际中经常遇到的最不利的结构。导线-导线结构涵盖了所有的两相中具有相似电极形状的对称结构。

适用于实际运行中的空气距离按下述原则确定。

A.2 范围 I

对于标准额定雷电冲击耐受电压相对地和相间的空气距离根据表 A.1 确定。如果标准额定雷电冲击耐受电压和标准额定短时工频耐受电压的比值高于 1.7,则标准额定短时工频耐受电压可以忽略。

表 A.1 标准额定雷电冲击耐受电压和最小空气距离之间的关系(海拔 1 000 m)

标准额定雷电冲击耐受电压 kV	最小空气距离 mm	
	棒-构架	导线-构架
20	60	
40	60	
75	120	
95	160	

表 A.1 (续)

标准额定雷电冲击耐受电压 kV	最小空气距离 mm	
	棒-构架	导线-构架
125	220	
145	270	
170	320	
200	380	
250	480	
325	630	
380	750	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 425	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900
2 250	4 500	4 200
2 400	4 800	4 500
2 550	5 100	4 800
2 700	5 400	5 100

注：标准额定雷电冲击耐受电压适用于相对地和相间。对于相对地，最小距离适用于导线-构架以及棒-构架。对于相间，最小距离适用于棒-构架。

A.3 范围 II

对于标准额定雷电冲击耐受电压和标准额定操作冲击耐受电压的相对地距离分别是根据表 A.1 和表 A.2 确定的棒-构架的较高值。

对于标准额定雷电冲击耐受电压和标准额定操作冲击耐受电压的相间距离分别是根据表 A.1 棒-构架和表 A.3 棒-导线确定的较高值。

这些数仅在确定要求耐受电压时所考虑的海拔内是有效的。

需要承受标准额定雷电冲击耐受电压的范围 II 中的纵绝缘的距离可以通过把 0.7 倍最高系统相对地电压峰值加上标准额定雷电冲击耐受电压后得到的电压除以 500 kV/mm 来求得。

对于范围 II 中的纵绝缘标准额定操作冲击耐受电压需要的距离小于相应的相间距离。该距离通常

仅出现在型式试验的设备中且本部分没有给出最小距离。

表 A.2 标准额定操作冲击耐受电压和最小相对地空气距离之间的关系

标准额定操作冲击耐受电压 kV	最小相对地距离/ mm	
	棒-构架	导线-构架
750	1 900	1 600
850	2 400	1 800
950	2 900	2 200
1 050	3 400	2 600
1 175	4 100	3 100
1 300	4 800	3 600
1 425	5 600	4 200
1 550	6 400	4 900
1 675	7 400	5 700
1 800	8 300	6 500
1 950	9 500	7 400

表 A.3 标准额定操作冲击耐受电压和最小相间空气距离之间的关系

标准额定操作冲击耐受电压			最小相间距离/ mm	
相对地 kV	相间值与相对地值之比值	相间值 kV	导线-导线 平行	棒-导线
750	1.50	1 125	2 300	2 600
850	1.50	1 275	2 600	3 100
850	1.60	1 360	2 900	3 400
950	1.50	1 425	3 100	3 600
950	1.70	1 615	3 700	4 300
1 050	1.50	1 575	3 600	4 200
1 050	1.60	1 680	3 900	4 600
1 175	1.50	1 763	4 200	5 000
1 300	1.70	2 210	6 100	7 400
1 425	1.70	2 423	7 200	9 000
1 550	1.60	2 480	7 600	9 400
1 550	1.70	2 635	8 400	10 000
1 675	1.65	2 764	9 100	10 900
1 675	1.70	2 848	9 600	11 400
1 800	1.60	2 880	9 900	11 600
1 800	1.65	2 970	10 400	12 300
1 950	1.60	3 120	11 300	13 300

附 录 B
(规范性附录)
海拔修正因数

B.1 绝缘配合的海拔修正

空气间隙的闪络电压取决于空气中的绝对湿度和空气密度。绝缘强度随温度和绝对湿度增加而增加；随空气密度减小而降低。湿度和周围温度的变化对外绝缘强度的影响通常会相互抵消。因此，作为绝缘配合的目的，本部分在确定设备外绝缘的要求耐受电压时，仅考虑了空气密度的影响。即：

$$K_t = \left(\frac{p}{p_0}\right)^m \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- p —— 设备安装地点的大气压力, kPa;
- p_0 —— 标准参考大气压力 101.3 kPa;
- m —— 空气密度修正指数(具体取值见 GB/T 16927.1)。

实际经验表明(参见 IEC 60721-2-3),气压随海拔高度呈指数下降。因此外绝缘电气强度也随海拔高度呈指数下降,于是在确定设备外绝缘水平时,可按式(B.2)进行海拔修正:

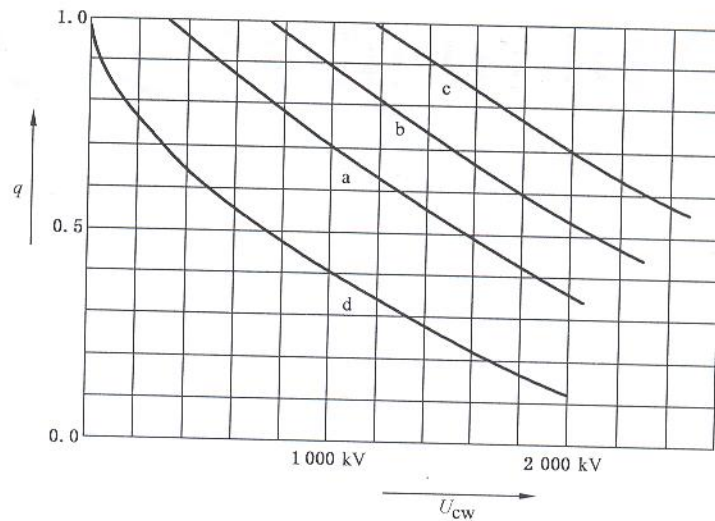
$$K_a = e^{\frac{H}{150}} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

- H —— 设备安装地点的海拔高度, m;
- q —— 指数,取值如下:
 - 对雷电冲击耐受电压, $q=1.0$;
 - 对空气间隙和清洁绝缘子的短时工频耐受电压, $q=1.0$;
 - 对操作冲击耐受电压, q 按图 B.1 选取。

注: 指数 q 取决于包括在设计阶段未知的最小放电路径在内的各种参数。但是,作为绝缘配合的目的,图 B.1 中给出了 q 的保守估算,可用作操作冲击耐受电压的修正。

对污秽绝缘子,指数 q 是探讨性的。对长时间和短时工频耐受电压试验标准绝缘子的 q 值最低可取至 0.5,防雾型绝缘子 q 值最高可取至 0.8。



说明:

a——相对地绝缘;

b——纵绝缘;

c——相间绝缘;

d——棒-板间隙(标准间隙)。

注: 对于由两个分量组成的电压,电压值是各分量的和。

图 B.1 指数 q 与配合操作冲击耐受电压的关系

本部分中外绝缘的要求耐受电压是将配合耐受电压乘以海拔修正因数 K_a 以及安全因数 K_s 来求得的。对外绝缘 K_s , GB/T 311.2—2002 规定为 1.05, 由此, 设备外绝缘的实际耐受电压不应低于按以上修正后的要求耐受电压。

B.2 运行在海拔低于 1 000 m 的设备

本部分给出的额定耐受电压是基于设备运行条件为正常环境条件。设备的额定绝缘水平已按 3.1 及 3.2 规定的使用条件(即海拔 1 000 m, 温度 40 °C)进行了修正, 因此, 额定耐受电压范围已涵盖所有海拔 1 000 m 及以下的外绝缘要求。

B.3 运行在海拔高于 1 000 m 的设备

对于设备安装在海拔高度高于 1 000 m 时, 本部分规定的耐受电压范围可能不满足设备外绝缘实际耐受电压的要求。此时, 在进行设备外绝缘耐受电压试验时, 实际施加到设备外绝缘的耐受电压应根据表 2 和表 3 的额定绝缘水平按公式(B.3)进行海拔修正:

$$K_a = e^{\left(\frac{H-1000}{8150}\right)} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

H ——设备安装地点的海拔高度, m;

q ——取值如 B.1 之规定。