



中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z 16935.2—2013/IEC/TR 60664-2-1:2011

低压系统内设备的绝缘配合 第 2-1 部分：应用指南 GB/T 16935 系列应用解释， 定尺寸示例及介电试验

**Insulation coordination for equipment within low-voltage systems—
Part 2-1: Application guide—Explanation of the application of the
IEC 60664 series, dimensioning example and dielectric testing**

(IEC/TR 60664-2-1:2011, IDT)

2013-12-17 发布

2014-04-09 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 GB/T 16935 系列标准用于确定低压设备绝缘尺寸的原则和实际应用	7
5 进行恰当的设备内绝缘定尺寸的四个示例	21
6 特定情况下 GB/T 16935 系列标准的实际应用	27
7 定尺寸表单示例(基于 GB/T 16935.1—2008 中情况 A)	30
附录 A (资料性附录) GB/T 16935.1 中要求技术委员会对事项进行确定,规定选项或要求 制造商责任的章节概览	39
附录 B (资料性附录) GB/T 16935.4 中要求技术委员会进行规定的章节概览	43
附录 C (资料性附录) GB/T 16935.5 中要求技术委员会对事项进行确定,规定选项或要求 制造商责任的章节概览	44
附录 D (资料性附录) 超过 1 000 V 直流电压下对电气间隙和爬电距离定尺寸	49
参考文献	50

前 言

GB/T 16935《低压系统内设备的绝缘配合》分为以下 5 个部分：

- 第 1 部分：原理、要求和试验；
- 第 2-1 部分：应用指南——GB/T 16935 系列应用解释，定尺寸示例及介电试验；
- 第 3 部分：利用涂层、灌封和模压进行防污保护；
- 第 4 部分：高频电压应力考虑事项；
- 第 5 部分：不超过 2 mm 的电气间隙和爬电距离的确定方法。

本部分为 GB/T 16935 的第 2-1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60664-2-1:2011《低压系统内设备的绝缘配合应用指南——IEC 60664 系列应用解释，定尺寸示例及介电试验》。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国低压设备绝缘配合标准化技术委员会(SAC/TC 417)归口。

本部分起草单位：上海电器科学研究院。

本部分主要起草人：章建兵、吴庆云、包革。

引 言

本部分提供与绝缘配合相关的信息,GB/T 16935 系列标准对绝缘配合进行了描述,本部分将使技术委员会及制造商受益。本部分包含了确定设备电气间隙、爬电距离及固体绝缘的一般信息。

本部分的目的在于当技术委员会及制造商应用 GB/T 16935 系列标准时,突出该系列标准的应用,增进对该系列标准的理解。

设备绝缘配合意味着估算电气间隙、爬电距离及固体绝缘的最小必要尺寸以确保设备在其使用寿命内的安全性,并考虑可预见的环境条件影响。

理解 GB/T 16935 系列标准所需考虑的主要因素包括:

- 所需耐受的最大电压应力以避免在电气间隙上发生闪络;
- 考虑电痕化的固体绝缘特性及环境条件。GB/T 16935.3 给出了改善爬电距离处微观环境的方法;
- 穿过固体绝缘的电场应力,其与局部放电及节电损耗危险有关,介电损耗可导致由于过热产生的击穿危险。尤其是当跨过绝缘材料的最大峰值电压超过 700 V,且电场强度峰值超过 1 kV/mm 时,技术委员会及制造商应考虑局部放电试验。由于随着频率上升,局部放电现象与介电损耗的重要程度随之上升,一项专门的标准——GB/T 16935.4 适用于超过 30 kHz 的频率。

注: GB/T 16935.4 给出了频率超过 30 kHz 时电气间隙、爬电距离、固体绝缘及试验的信息。

- 需耐受的长时最大电压应力以避免绝缘材料表面发生电痕化;
- 除电痕化外,在较高湿度环境条件下,闪络的重要性也随着爬电距离的减小而上升。

GB/T 16935.5 引入了湿度水平对湿度对不超过 2 mm 的电气间隙和爬电距离的影响进行分级。

其他应力,如热、振动、机械冲击、辐射等也可影响使用中的绝缘材料的性能。技术委员会及制造商在对使用在特殊场合设备的试验进行规定时应考虑与此类应力相关的危险。

低压系统内设备的绝缘配合

第 2-1 部分:应用指南

GB/T 16935 系列应用解释, 定尺寸示例及介电试验

1 范围

本部分规定了 GB/T 16935 系列应用解释,定尺寸要求时的应用指南。

需考虑的重要事项如下:

- a) 标称系统电压或额定绝缘电压;
- b) 产品过电压类别(OV cat.);
- c) 任意类型过电压;
- d) 电压频率;
- e) 固体绝缘材料特性;
- f) 污染等级与湿度水平。

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 16895.10—2010 低压电气装置 第 4-44 部分:安全防护 电压骚扰和电磁骚扰防护 (IEC 60364-4-44:2007, IDT)

GB/T 16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第 1 部分:原理、要求和试验 (IEC 60664-1:2007, IDT)

GB/T 16935.3—2005 低压系统内设备的绝缘配合 第 3 部分:利用涂层、罐封和模压进行防污保护 (IEC 60664-3:2003, IDT)

GB/T 16935.4—2011 低压系统内设备的绝缘配合 第 4 部分:高频电压应力考虑事项 (IEC 60664-4:2005, IDT)

GB/T 16935.5—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第 5 部分:不超过 2 mm 的电气间隙和爬电距离的确定方法 (IEC 60664-5:2007, IDT)

GB/T 17045—2008 电击防护 装置和设备的通用部分 (IEC 61140:2001, IDT)

IEC 60085:2007 电气绝缘 耐热性评估与指定 (Electrical insulation—Thermal evaluation and designation)

IEC 60112:2003 固体绝缘耐电痕化指数和相比电痕化指数的测定方法 (Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials)。

修正件 1 (2009)

IEC 60216 (all parts) 电气绝缘材料 耐热特性 (Electrical insulating material—Property of thermal endurance)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

注：所有定义均可在 GB/T 16935 系列中的各个部分中找到，如下所示。

3.1

近似均匀电场 approximately homogeneous field

当某一电场的频率超过 30 kHz，且其导电部分的弯曲半径大于或等于电气间隙的 20%，则该电场被视为近似均匀电场。

[GB/T 16935.4—2011，定义 3.1]

3.2

基材 base material

一种绝缘材料，在这种材料上可形成导电图形。

[GB/T 16935.3—2005，3.1]

3.3

基本绝缘 basic insulation

设置在危险的带电部件上，提供基本保护的绝缘。

[GB/T 16935.1—2008，3.17.2]

注：本概念不适用于专门用作功能目的之绝缘。

3.4

电气间隙 clearance

两导电部件之间在空气中的最短距离。

[GB/T 16935.1—2008，3.2]

3.5

涂层 coating

组件表面的例如清漆或干膜绝缘材料。

[GB/T 16935.3—2005，3.5]

注：涂层和印制板的基材构成了具有类似固体绝缘特性的绝缘系统。

3.6

导体 conductor

导电图形中的单条导电路径。

[GB/T 16935.3—2005，3.3]

3.7

爬电距离 creepage distance

两导电部件之间的沿固体绝缘材料表面的最短距离。

[GB/T 16935.1—2008，3.3]

3.8

双重绝缘 double insulation

由基本绝缘和附加绝缘两者组成的绝缘。

[GB/T 16935.3—2005，3.17.4]

3.9

电击穿 electrical breakdown

当放电完全跨接绝缘时在电应力下绝缘失败，导致电极间的电压下降至接近零。

[GB/T 16935.1—2008,3.20]

3.10

电场强度

单位长度上的电压梯度,通常表示为 kV/mm。

[GB/T 16935.4—2011,3.7]

3.11

环境 environment

可能影响设备或系统性能周围情况。

注:如气压、温度、湿度、污染、辐射和振动。

[GB/T 16935.1—2008,3.12]

3.12

闪络 flashover

在气体或液体介质中沿着固体绝缘表面的电击穿。

[GB/T 16935.1—2008,3.20.2]

3.13

功能绝缘 functional insulation

导电部件之间仅适用于设备特定功能所需要的绝缘。

[GB/T 16935.1—2008,3.17.1]

3.14

均匀电场 homogeneous field

电极之间的电压梯度基本恒定的电场(一致电场),例如两个球之间每一球的半径均大于两者之间的距离的电场。

[GB/T 16935.1—2008,3.14]

3.15

冲击耐受电压 impulse withstand voltage

在规定的条件下,不造成绝缘击穿、具有一定形状和极性的冲击电压最高峰值。

[GB/T 16935.1—2008,3.8.1]

3.16

非均匀电场 inhomogeneous field

电极间的电压梯度基本上不恒定的电场(非一致电场)

注1:关于电压耐受能力,尖端对平面电极结构的非均匀电场条件是最差的情况,被称为情况A,它可以由一个具有半径为 30 μm 的点电极和一个 1 m×1 m 的平面电极来代表。

注2:频率超过 30 kHz 时,导电部分的弯曲半径小于电气间隙的 20%,则电场被视为非均匀电场。

[GB/T 16935.1—2008 3.1.5 修正,及 GB/T 16935.4—2011,3.2]

3.17

绝缘 insulation

电工产品中用于分离具有不同电势的导电部件。

[GB/T 16935.1—2008,3.17]

3.18

绝缘配合 insulation coordination

考虑了预期微观环境及其他影响作用的情况下电气设备绝缘特性的相互关系。

[GB/T 16935.1—2008,3.1 修正]

3.19

宏观环境 macro-environment

设备安装或使用的房间或其他场所的环境。

[GB/T 16935.1—2008,3.12.1]

3.20

微观环境 micro-environment

特别会影响爬电距离尺寸的绝缘附近的环境。

[GB/T 16935.1—2008,3.12.2]

3.21

过电压 overvoltage

峰值大于在正常运行条件下最大稳态电压的相应峰值的任何电压。

[GB/T 16935.1—2008,3.7]

3.22

过电压类别 overvoltage category

用数字表述瞬时过电压条件。

[GB/T 16935.1—2008,3.10 修正]

3.23

局部放电 partial discharge

PD

部分桥接绝缘两端的放电。

[GB/T 16935.1—2008,3.18]

3.24

局部放电起始电压 partial discharge inception voltage

U_i

当试验电压上升至高于未发生放电的下限值,而视在电荷大于规定的放电量的试验电压最小峰值。

注:对于交流试验,可用有效值。

[GB/T 16935.1—2008,3.18.4]

3.25

污染 pollution

使绝缘的电气强度和表面电阻率下降的外来物质(固体、液体或气体)的任何组合。

[GB/T 16935.1—2008,3.11]

3.26

污染等级 pollution degree

用数字表征微观环境受预期污染的程度。

[GB/T 16935.1—2008,3.13]

3.27

印制板 printed board

对完全加工过的印制电路和印制线路结构的通称。

注:印制板包括具有刚性、挠性以及刚挠性混合基材的单面、双面和多层板。

[GB/T 16935.3—2005,3.2]

3.28

保护 protection

可以减小环境影响的任何方式。

[GB/T 16935.3—2005,3.4]

3.29

有效值耐受电压 **r.m.s withstand voltage**

在规定的条件下,不造成绝缘击穿的电压的最高有效值。

[GB/T 16935.1—2008,3.8.2]

3.30

额定冲击电压 **rated impulse voltage**

制造商对设备或其部件规定的冲击耐受电压值,以表征其绝缘规定的耐受瞬时过电压的能力。

[GB/T 16935.1—2008,3.9.2]

3.31

额定绝缘电压 **rated insulation voltage**

制造商对设备或其部件规定的耐受电压有效值,以表征其绝缘规定的(长期)耐受能力。

注:额定绝缘电压不一定等于设备的额定电压。而额定电压主要与设备的操作性能有关。

[GB/T 16935.1—2008,3.9.1]

3.32

额定再现峰值电压 **rated recurring peak voltage**

制造商对设备或其部件规定的再现峰值耐受电压值,以表征其绝缘规定的耐受再现峰值电压的能力。

[GB/T 16935.1—2008,3.9.3]

3.33

额定暂态过电压 **rated temporary overvoltage**

制造商对设备或其部件规定的暂时耐受过电压值,以表征其绝缘规定的短时耐受交流电压的能力。

[GB/T 16935.1—2008,3.9.4]

3.34

额定电压 **rated voltage**

制造商对元件、电器或设备规定的电压值,它与运行(包括操作)和性能等特性有关。

注:设备可由一个以上的额定电压或可具有额定电压范围。

[GB/T 16935.1—2008,3.9]

3.35

再现峰值电压 **recurring peak voltage**

U_p

由于交流电压畸变或由于叠加在直流电压上的交流分量使电压波形发生周期性偏移的最大峰值电压。

注:随机的过电压(例如:由于偶然操作产生的过电压)不认为是再现峰值电压。

[GB/T 16935.1—2008,3.6]

3.36

再现峰值耐受电压 **recurring peak withstand voltage**

在规定的条件下,不造成绝缘击穿的再现电压的最高峰值。

[GB/T 16935.1—2008,3.8.3]

3.37

加强绝缘 **reinforced insulation**

设置在危险的带电部分上,提供与双重绝缘相等的电击防护等级的绝缘。

注:加强绝缘可由多层组成,而这些层次不能按基本绝缘或附加绝缘单独地进行试验。

[GB/T 16935.1—2008,3.17.5]

3.38

常规试验 routine test

对每个电器在制造中和/或制造后进行的试验,以判断其是否符合某些准则。

[GB/T 16935.1—2008,3.19.2]

3.39

抽样试验 sampling test

从一批电器中随即抽取若干个电器所进行的试验。

[GB/T 16935.1—2008,3.19.3]

3.40

固体绝缘 solid insulation

插在两个导电部件之间的固体绝缘材料。

注:当印制板带有涂层时,固体绝缘包含印制板本身和涂层。其他情况下,固体绝缘则指密封材料。

[GB/T 16935.3—2005,3.6]

3.41

间距 spacing

电气间隙、爬电距离和通过绝缘的绝缘距离的任意组合。

[GB/T 16935.3—2005,3.7]

3.42

规定的放电量 specified discharge magnitude

根据本部分规定的作为极限值的视在电荷量。

注:应计算最大幅度的脉冲。

[GB/T 16935.1—2008,3.18.2]

3.43

附加绝缘 supplementary insulation

除了用于故障保护的基本绝缘外,另外再设置的独立绝缘。

[GB/T 16935.1—2008,3.17.3]

3.44

暂态过电压 temporary overvoltage

持续相对长时间(对应于瞬时过电压)的工频过电压。

[GB/T 16935.1—2008,3.7.1]

3.45

暂时耐受过电压 temporary withstand voltage

在规定条件下,不造成绝缘击穿的暂态过电压的最高有效值。

[GB/T 16935.1—2008,3.8.4]

3.46

试验 test

按照规定的程序,用于确定已给定产品、过程或服务的一个或多个特性值的技术操作。

注:对某一实体施加一组环境和操作条件和/或要求进行试验,以此对该实体的特性或性质进行测量或分类。

[GB/T 16935.1—2008,3.19]

3.47

瞬时过电压 transient overvoltage

振荡的或非振荡的、通常为高阻尼的持续时间只有几毫秒或更短的时间过电压。

[GB/T 16935.1—2008,3.7.2]

3.48

型式试验 type test

对按某一设计而制造的一个或多个电器进行试验,以表明这一设计符合某些规范。

[GB/T 16935.1—2008,3.19.1]

3.49

峰值 peak value

U_{peak}

跨接在绝缘层两端的任一类型的周期性峰值电压的峰值。

[GB/T 16935.4—2011,3.3]

3.50

吸水性 water absorption

绝缘材料吸附其表面水分的能力。

[GB/T 16935.5—2008,3.1]

3.51

耐受电压 withstand voltage

在规定的试验条件下施加在样品上的电压,该电压不会引起样品的击穿和/或闪络。

[GB/T 16935.1—2008,3.8]

3.52

工作电压 working voltage

在额定电压下,在设备的任何特定绝缘两端可能产生的交流电压或直流电压的最高有效值。

注1:不考虑瞬时现象。

注2:开路和正常运行两种情况都要考虑。

[GB/T 16935.1—2008,3.5]

4 GB/T 16935 系列标准用于确定低压设备绝缘尺寸的原则和实际应用

4.1 基本原则

绝缘配合指的是按照设备的应用场合及其所处环境选择电气绝缘特性。

绝缘配合只有在设备的设计是以设备在其预期使用寿命内电压及微观环境条件下所可能遭遇到的应力为基础的前提下方可实现。

对于电压,应考虑以下因素:

- 低压电源系统内存在的电压,包括工作电压(有效值及峰值),暂态过电压(峰值)及冲击电压(峰值);
- 由设备自身生成的电压(可能对低压电源系统内的其他设备形成不利影响);
- 稳态电压的频率。不超过 30 kHz 时,GB/T 16935.1 充分适用,若频率超过 30 kHz,则也应考虑 GB/T 16935.4;
- 所需的供电状态连续性水平;
- 人身财产安全。由电压应力导致的不利事件不致产生不可接受的损失。

绝缘配合适用于连接到公共低压系统上的设备,但建议对所有其他的未连接到公共低压系统上的设备使用相同准则,在此类情形下,其他过电压类别及暂态过电压可适用于设备。

注:使用 GB/T 16935 系列标准的技术委员会在应用此系列标准时宜确定可能发生的适合的最大的冲击电压。包括电压源性质、电压源分布、地理位置(户内、户外)及线缆长度。应特别注意在非电源系统中的冲击耐受电压并

不一定取决于上述最大冲击电压。技术委员会应考虑独立于最大冲击电压的一个最小冲击耐受电压。

绝缘配合也适用于受特殊保护的区域(如 GB 3826 中描述的区域),在此情形下,可规定一些附加要求,尤其是有关过电压类别和环境条件的要求。

4.2 设备内过电压类别配合

对于直接由电网供电的设备,适用以下对产生自电网的瞬态过电压的配合规定:

- 对于直接由电源线供电的电路;设备的过电压类别适用于定尺寸;
- 若电路由隔离变压器次级(此变压器次级绕组接地)供电,或为电路供电变压器在初级与次级之间采用了接地屏蔽,则此不认为此电路直接由电网供电,可使用比 GB/T 16935.1—2008 中 4.2.3 中的优选额定冲击电压序列低一级的冲击耐受电压。

注 1:可在过电压类别的数字内,或在 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1 的排列内考虑一个层次。

注 2:选择过电压类别时不考虑变压器的传输比。

若使用浪涌保护电器(SPD)使非直接由电网供电而是在设备内获取电源的电路适用较低过电压类别,则应通过适当的试验检验电路是否具有正确性能,试验中使用具有 $2\ \Omega$ 虚拟阻抗的混合发电机。

注 3:浪涌保护电器(SPD)的正确功能取决于相关电路内的串联阻抗。因此,要求在相关电路内对 SPD 进行试验。

4.3 使用 GB/T 16935 系列用于电气间隙尺寸确定的实际应用

4.3.1 概述

GB/T 16935.1 或 GB/T 16935.5 中的数值均为最小数值,在设备整个寿命期内都应维持这些数值,且应考虑制造允差。此外,对于一些特殊场合,如大型设备现场安装,当现场添加接线或保护性导电外壳时,应考虑必要的允差。

注 1:在确定对绝缘材料的可触及表面的电气间隙的数值时,假定此表面覆有金属箔。更详尽规定可由各技术委员会提出。

对于设定在 GB/T 16935.1 中的情况 A 及情况 B 数值之间的电气间隙,在任意情形下均应进行电压试验以确定此电气间隙不发生任意闪络。若试验在成套设备内以冲击电压下进行,需要一个极低阻抗的发电机。为此,可使用一个具备 $2\ \Omega$ 虚拟阻抗的混合发电机。然而,在任意情形下,均应测量直接施加在电气间隙上的试验电压的准确数值。

注 2:建议在设计中采用情况 A。若不适用,则必须进行脉冲试验。

注 3:在实际应用中,一些设计情形可介于情况 A 及情况 B 之间,在此情况下,各技术委员会应注意 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.2.2.1.2。

注 4:情况 A 是最不理想情形,在此情形下,尖针与水平平面之间的电场绝对不均匀;情况 B 是最理想情形,在此情形下,两个水平平面间的电场完全均匀。此情形在现实中不可能达到。

4.3.2 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 及 F.7 用于电气间隙尺寸确定的实际应用

4.3.2.1 概述

电气间隙应具备适合尺寸以承受规定的冲击耐受电压,可通过以下选项之一满足要求:

- 要求尺寸数值不小于情况 A 数值,或
- 要求通过脉冲试验(见 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.2.2.1.2)进行检验。

基本绝缘及附加绝缘的电气间隙数值各自按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 规定进行确定,并对应:

- GB/T 16935.1—2008 中 4.3.3.3 或 4.3.3.4.1 中的额定冲击电压,或
- GB/T 16935.1—2008 中 4.3.3.4.2 中的冲击耐受电压要求。

加强绝缘的电气间隙数值按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 确定,并对应额定冲击电压,但其在

GB/T 16935.1—2008 中 4.2.3 的优选序列数值比基本绝缘数值高一阶。

若按 GB/T 16935.1—2008 中 4.3.3.4.2 确定的基本绝缘的冲击耐受电压与从优选序列中取出的数值不同,则加强绝缘条件下的电气间隙应可耐受基本绝缘冲击耐受电压的 160%。

注 1: GB/T 16935.1—2008 中表 F.1 规定的额定冲击电压取決与适合的过电压类别。过电压类别 I 不适用于任何直接由主线供电的电路。

注 2: 直流电压情形下,额定冲击电压也可从 GB/T 16935.1 中表 F.1 中选取。过电压类别的选择可遵循与技术委员会用在交流系统中的同样的规则。

对于直接连接到电源主电路的设备,要求的冲击耐受电压即为基于 GB/T 16935.1—2008 中 4.3.3.3 的额定冲击电压。电气间隙应按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7a 确定,应可承受稳态电压(直流或 50/60 Hz)峰值,暂态过电压或再现峰值电压。对按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7 及表 F.2 确定的数值进行比较,并考虑污染等级影响,取其较大电气间隙数值。

注 3: 按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7 确定尺寸时建议留出一个安全尺寸,因为表 F.7 给出的是在稳态电压条件下的最小尺寸值。

建议技术委员会考虑直流低压系统中闪络的影响以确定是否有必要引入适当的安全举措。

注 4: 直接由电网供电的设备可为直接连接到电网上的固定设备或通过插头插座由电网供电的普通的插拔式设备。

注 5: 从以下适用于大部分使用在直接连接到 230/400 V 三相系统中的电气安装环境中的设备的示例中可得出设备承受的最高过电压为 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1 给定的额定冲击电压,并可得出基本绝缘的下电气间隙的适合的尺寸。

——示例 A: 直接连接到中性线 230 V 电网的,额定电压为 250 V 的单相设备,在过电压类别 III 情况下应按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1 要求承受 4 kV 的额定冲击电压。电气间隙应按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 情况 A 要求为 3 mm。

——在此特例中,稳态电压峰值与再现峰值电压数值相同,即为电网峰值电压 350 V,由此,按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7 情况 A 要求电气间隙为 0.013 mm。

——GB/T 16935.1—2008 中 5.3.3.2.3 给出了短时暂态过电压情形下的暂态过电压数值: $U_n + 1\ 200\ V$,峰值电压则为 2.050 kV,电气间隙按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7 情况 A 要求为 1.27 mm。

——基本绝缘的电气间隙长度则为按照额定冲击电压确定。

污染等级对电气间隙的定尺寸无较大影响。从 GB/T 16935.1—2008 表 F.2 中可看出,在一定的最小数值之上,对于选取的任意污染等级,电气间隙的数值均相同。但对于一些较小的电气间隙,固体颗粒、粉尘及空气凝结可跨越空气间隙,故不可忽视污染等级。

注 6: 有关小于 2 mm 的电气间隙的定尺寸的详细细节可见 GB/T 16935.5,其中考虑了湿度的效应。示例可见本部分第 7 章。

对于稳态电压、再现峰值电压及暂态过电压,加强绝缘下的电气间隙按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7a 规定进行,应可耐受基本绝缘下耐受电压的 160%。

注 7: 应注意,加强绝缘下的电气间隙应耐受基本及附加绝缘下的暂态过电压的 160%,但检验加强绝缘下电气间隙的试验电压应为基本及附加绝缘下试验电压的两倍。

4.3.2.2 超过 2 000 m 高海拔考虑

电气间隙定尺寸中应选取可在不同电压水平上两个部件间空气间隙上承受最大峰值电压的空气间隙。根据帕邢定律(Paschen's Law),空气间隙耐受最大电压值的特性与气压有关。GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 及表 F.7 中的海拔高度最高至 2 000 m。针对超过 2 000 m 的海拔高度的修正系数在 GB/T 16935.1—2008 表 A.2 中给出。当采用上述修正系数确定电气间隙尺寸时,也应对进行冲击电压试验的试验电压进行相应修正。从而,应通过对 GB/T 16935.1—2008 中表 A.2 进行插值并运用 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.2.2.1.3 中的运算公式来确定冲击电压试验中试验电压的数值。

4.3.3 GB/T 16935.5—2008 中表 2 及表 3 用于电气间隙定尺寸的实际应用

对基本绝缘下的要求不超过 2 mm 的电气间隙, GB/T 16935.5 中给出的定尺寸方法比 GB/T 16935.1 中给出的方法更精确。但若不要求 GB/T 16935.5 中给出的定尺寸精度, 也可使用 GB/T 16935.1 中的方法。

电气间隙上的闪络是由跨过电气间隙的最大电压的峰值引发的。从而应按制造商声明, 在额定条件下选取可能在电气间隙上发生的最大电压的峰值。直接由低压电网供电的电路所要求的冲击电压可直接从 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1 读取。

污染等级的选取应与设备在宏观环境的正常使用相适应。

对于污染等级, 湿度是一个影响参数。对于不超过 2 mm 的间距, GB/T 16935.5 着重于可导致导电性及可能的闪络的湿度。本部分中 4.4.3 在按 GB/T 16935.5—2008 中表 5 进行与闪络相关的爬电距离确定时考虑了以上影响。

注 1: GB/T 16935.5—2008 中表 1 给出了湿度水平与微观环境的相对湿度之间的关系。

GB/T 16935.5—2008 中表 2 给出了与瞬时过电压相关的电气间隙的定尺寸方法。GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 中适用于污染等级 2, 3(及 4)的最小电气间隙数值已被删去, 以本部分中 4.4.3 中描述的与并联爬电距离上可能发生的闪络(可见 GB/T 16935.5—2008 表 5)相关的更精确的定尺寸方法替代之。

对于与稳态电压相关的电气间隙的定尺寸, 制造商应评估稳态电压的最大峰值、暂态过电压或再现峰值电压, 并从 GB/T 16935.5—2008 中表 3 选取适合的数值。

注 2: 对 GB/T 16935.1—2008 中 5.1.3 的表 F.2 及 GB/T 16935.5—2008 中表 2 情况 A 及情况 B 的考虑也适用于本表。

注 3: 在按 GB/T 16935.5—2008 中表 3 定尺寸时, 建议留出一个安全空间, 原因在于此表给出的与稳态电压相关的最小尺寸。

将此数值与按 GB/T 16935.5—2008 中表 2 的适用程序确定的数值进行比较。

4.4 GB/T 16935 系列用于爬电距离定尺寸的实际应用

4.4.1 概述

GB/T 16935.1 中的定尺寸数值未考虑最小绝缘电阻影响。从而, 出于功能原因, 应要求采用较大的定尺寸数值或改善爬电距离上的微观环境, 尤其是在电子设备内。GB/T 16935.5—2008 中表 A.1 及表 A.2 给出了与最小绝缘电阻相关的定尺寸信息。

对于仅使用在污染等级 1 及污染等级 2 下的印制线路材料的爬电距离, 按照 GB/T 16935.1, 缩小的定尺寸数值适用。应注意由于部件造成的爬电距离缩减或形成其他路径的爬电距离。

在按 GB/T 16935.5 对不超过 2 mm 的爬电距离进行定尺寸, 考虑到材料表面发生了电痕化或闪络时, 定出的距离可被缩减。

4.4.2 GB/T 16935.1—2008 中表 F.4 及 GB/T 16935.5—2008 中表 4 用于爬电距离定尺寸的实际应用

一般认定材料表面的干燥污染物不具导电性。但若材料表面存在水分, 则其将改变污染物的导电性。更高的导电性使得材料表面的上的电流或在导电部件之间或在导电部件与地之间进行流动。此类电流称作电痕化电流。在干燥过程中, 电痕化电流将中断, 从而致使材料表面产生火花, 此过程中产生的高温(约 1 200 °C)是造成绝缘材料表面劣化的根源。此过程即为电痕化。

注: 显然污染等级 4 不可用于爬电距离的定尺寸, 原因在于污染等级 4 表面是连续导电的。

某些材料, 如陶瓷及玻璃, 不会发生电痕化, 其原因在于火花不会破坏此类材料表面的化学键。经验显示具有相对较高的电痕化性能的材料在相对电痕指数(CTI)方面也具有近似相同的等级。

IEC 60112 给出了测量 CTI 的方法。

出于实用目的,GB/T 16935.1 中引入了 4 个不同材料组别:

- 材料组别 I: $600 \leq \text{CTI}$;
- 材料组别 II: $400 \leq \text{CTI} < 600$;
- 材料组别 IIIa: $175 \leq \text{CTI} < 400$;
- 材料组别 IIIb: $100 \leq \text{CTI} < 175$ 。

基于以上阐述,可按以下步骤使用 GB/T 16935.1—2008 中表 F.4:

- 步骤 1: 根据设备的正常使用选取最适合的污染等级;
- 步骤 2: 选取一种绝缘材料,并根据其 CTI 将其归类至某一材料组;
- 步骤 3: 估算跨过爬电距离的长时方均根电压的最高数值。若设备具有多个额定电压,则上述最高数值可为工作电压抑或最高额定电压。在直流额定电压情况下,等效的额定方均根电压从 GB/T 16935.1—2008 中表 F.4 选取;
- 步骤 4: 读取选取的纵栏与横排交叉处的数值;

爬电距离或是大于关联的电气间隙或是小于关联的电气间隙,在此需考虑两种情形:

- 若爬电距离大于关联的电气间隙,则无需进行进一步试验;
- 若爬电距离小于要求的电气间隙,且电场介于均匀电场及非均匀电场情形之间(介于 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 及表 F.7 中情况 A 及情况 B 之间),应按 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.2 对关联的电气间隙进行试验,以确定在关联的电气间隙上不会发生闪络(见 GB/T 16935.1—2008 中 5.2.2.6)。其解释如下:当电场为均匀电场时(情况 B),GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 及表 F.7 给出了可承受规定电压的最小电气间隙。从而不可将爬电距离降至比从 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 及表 F.7 中读取的电气间隙数值更低的数值。因此,在实际应用中电场一般为非均匀电场,但非均匀程度不至如 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 及表 F.7 情况 A。所以,对于与爬电距离关联的电气间隙,上述的电场条件可使得受试设备可承受最大电压应力。应通过冲击电压试验检验上述结论。

4.4.3 GB/T 16935.5—2008 中表 5 用于爬电距离定尺寸的实际应用

在潮湿条件,一种被称作“吸水”的表面现象可在绝缘材料表面吸纳水分,从而形成较高的发生闪络的危险。可按绝缘材料吸水性对其进行分类。GB/T 16935.5—2008 中附录 B 给出了一个可按绝缘材料吸水性对材料进行分类的试验。材料存在 4 类吸水组(WAG)。

表面的水分情况取决于 WAG 及湿度水平(HL)。绝缘材料表面的爬电距离上发生闪络的危险性随着湿度水平及材料吸水性的增加而升高。

对于 HL1,由于水分的影响不致显著提高闪络危险,故可使用 GB/T 16935.5—2008 中表 2 及表 3 的电气间隙定尺寸方法。

对于 HL2 及 HL3,GB/T 16935.5—2008 中表 5 给出了考虑“WAG(吸水组别)”的爬电距离的定尺寸方法,以避免发生闪络。由于表面闪络发生在空气中,故 GB/T 16935.5—2008 对于不超过 2 000 m 的海拔高度有效。若海拔超过 2 000 m,则应使用 GB/T 16935.1 中给出的修正系数。

爬电距离应选取 GB/T 16935.5—2008 中表 4 及表 5 中的较大值。对于均匀电场条件,显然,在任何情况下,爬电距离都不可小于关联的电气间隙。对于非均匀电场条件,比 GB/T 16935.5—2008 中表 2 要求的关联电气间隙小的爬电距离仅可适用于 HL1 及 HL2 情形。

注 1: 上述定尺寸应通过冲击电压试验进行检验。

注 2: 在直流电压情况下,GB/T 16935.5—2008 中表 5 选取的峰值即为跨过爬电距离的最大直流电压。

4.4.4 GB/T 16935.1—2008 用于检验与承受电压应力时间相关的爬电距离定尺寸的实际应用

GB/T 16935.1—2008 中表 F.4 给出的爬电距离用于预期承受长时连续电压应力的绝缘类型。

注 1: 若负责的设备的绝缘仅需承受短时电压应力,则技术委员会可考虑允许使用比 GB/T 16935.1 中表 F.4 给出的爬电距离数值更小的爬电距离值。

基本绝缘及附加绝缘的爬电距离值从 GB/T 16935.1—2008 中表 F.4 中选取,用于:

——GB/T 16935.1—2008 中表 F.3a 的第 2 及第 3 纵栏及 GB/T 16935.1—2008 中表 F.3b 中的第 2、第 3 及第 4 纵栏中的合理化电压值,对应低压电网电源的标称电压;

——GB/T 16935.1—2008 中 4.3.2.2.1 的额定绝缘电压;

——GB/T 16935.1—2008 中 4.3.2.2.2 中规定的电压。

注 2: 对于附加绝缘,其污染等级、绝缘材料、机械应力及使用环境条件可与基本绝缘下不同。

加强绝缘下的爬电距离是 GB/T 16935.1—2008 中表 F.4 中基本绝缘下爬电距离的两倍。

4.4.5 GB/T 16935.3—2005 用于受限微观环境下的爬电距离定尺寸的实际应用

对导体间的间隙定尺寸取决于环境条件。对于电痕化,污染等级的选择与微观环境条件相关。

宏观环境对绝缘材料表面处的微观环境具有影响。在不具备任何保护措施情况下,微观环境条件即与宏观环境条件相同。

可按 GB/T 16935.3 描述使用涂层、灌封和模压改善绝缘材料表面上的微观环境。此种保护措施可形成更为有利的微观条件,可降低电气间隙及爬电距离数值。

注 1: GB/T 16935.3 主要阐述在印制线路板(PWB)上使用涂层的评估和试验,此标准也涵盖了通过灌封或模压实现保护时的评估和试验。对于后一种情况,技术委员会应审慎地考虑 GB/T 16935.3 中描述的验证和试验程序的相关性。可能需对验证和试验程序进行修改以反映具体应用情况。

GB/T 16935.3 描述了 2 种适用于所有受保护印制板的永久保护方法的要求及试验步骤,受保护印制板区域可包括多层板的内层表面、底层及类似受保护组合。

两种类型的保护如下所示:

类型 1:该保护类型改善受保护部件的微观环境。在被保护情况下,对电气间隙及爬电距离的定尺寸执行 GB/T 16935.1 或 GB/T 16935.5 中对污染等级 1 的距离要求。在两个导电部件之间,要求其中一个或全部两个导电部件,连同导电部件之间的所有间隙均受保护。

类型 2:该保护类型被视为类同于固体绝缘。在此保护类型下,GB/T 16935.1 中规定的固体绝缘要求适用,间隙不得小于 GB/T 16935.3—2005 中表 1 规定的值。GB/T 16935.1 或 GB/T 16935.5 中电气间隙及爬电距离要求不适用。在两个导电部件之间,要求全部两个导电部件,连同导电部件之间的所有间隙均受保护,以确保在保护性材料与导电部件及印制板之间不存在任何空气间隙。

注 2: 频率 30 kHz 以上时,GB/T 16935.4 中对固体绝缘的附加要求适用于类型 2 保护。

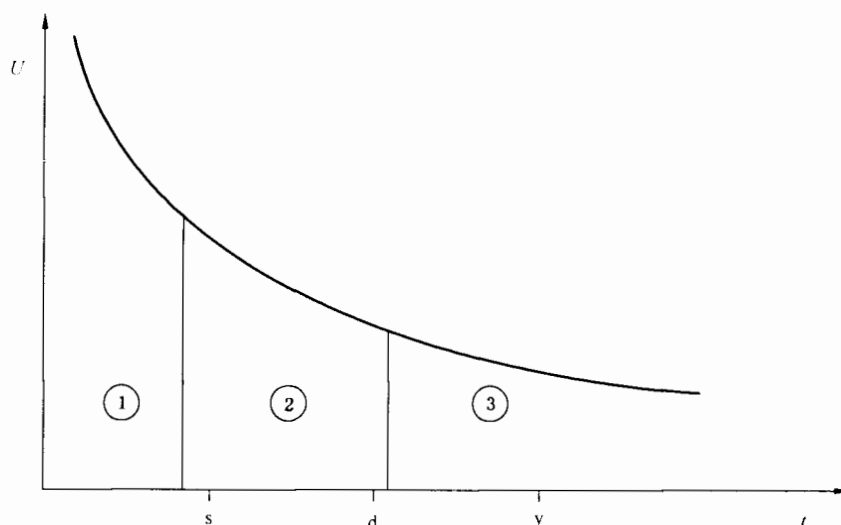
4.5 GB/T 16935 系列用于固体绝缘定尺寸的实际应用

4.5.1 概述

在某些场合,固体绝缘是按照绝缘材料制造商提供的击穿数据设计的。在使用此类数据时,应考虑到该数据是在特殊及相当理想化的条件下获取的:

- 通常使用的是均匀电场分布;
- 在试验中使用的通常是环境室温;
- 通常进行的是短时试验;

——在许多场合下,使用了直流电压进行试验。
试验时间对击穿电压的总体影响如图 1 所示。
时域对工频电压适用。



说明:

s 秒; d 天; y 年; t 时间; U 电压。

区段① 电气击穿;

区段② 过热造成的击穿;

区段③ 老化造成的击穿(如通过局部放电)。

图 1 取决于电压应力时间的固体绝缘的击穿电压

与实际设备内条件相比较,该数据与此绝缘的长时耐受特性之间的偏差可达几个数量级。从而,不可直接采用此数据进行固体绝缘定尺寸。

对于 GB/T 16935.1 中描述的绝缘配合,总体上,只有在以下情况下方可按照厚度和相关击穿电场强度设计固体绝缘:

- 电场为均匀分布,且在绝缘系统内不存在任何缝隙或空气间隙(见应用于高频电压应力的 GB/T 16935.4);或
- 电场强度足够低,以至于没有局部放电发生。

4.5.2 电气间隙及固体绝缘配合

在许多场合下,电气间隙与固体绝缘承受相同的电压应力,在此情况下,在定尺寸过程中宜考虑到:与固体绝缘不同,电气间隙可自行恢复。从而电气间隙的耐受能力宜低于固体绝缘,以使得电气间隙的击穿发生在固体绝缘被破坏之前。

4.5.3 检查固体绝缘定尺寸正确性的实用信息

4.5.3.1 根据击穿电场强度定尺寸

原则上,固体绝缘定尺寸可基于击穿电场强度数据。然而,此种做法需要预先知晓实际使用条件中

的数据,如长时电压应力及累积效应的额外影响(如上升的环境温度、湿度及机械应力)。即使可获取此类数据,则也仅可在固体绝缘内的电场分布为近似均匀分布条件下方可运用简易定尺寸规则。否则,固体绝缘内的电场强度将不可计算。

例:

E_{peak} 固体绝缘的击穿电场强度(峰值): 45 kV/mm。(由绝缘材料制造商规定);

d 固体绝缘厚度: 0.1 mm;

U_{peak} 最高电压应力(峰值): 4.5 kV。

然而,若固体绝缘内存在空气间隙,则在实际应用中此步骤可具有很强的误导性,见 4.5.3.4.2。

这是由绝缘系统内的非均匀的电压分布以及空气的较低耐受特性(相比于无空气间隙的固体绝缘)造成的(见 4.5.3.4.2,尤其是情况 b))。

4.5.3.2 根据试验定尺寸

若对于预期用途条件下的固体绝缘的击穿电场强度未知,和/或固体绝缘内的电场分布未知,则固体绝缘的准确性能仅可通过进行 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3 的适当试验获知。在此过程中,要求按 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.2 进行预处理。

以下试验可适用:

- a) 冲击电压耐受试验(见 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.3),检验固体绝缘耐受额定冲击电压的能力(见 GB/T 16935.1—2008 中 5.3.3.2.2)。
- b) 交流电压试验(见 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.4),检验固体绝缘耐受以下类别的最高电压值的能力:
 - 短时暂态过电压(见 GB/T 16935.1—2008 中 5.3.3.2.3);
 - 最高稳态电压;
 - 再现峰值电压(见 GB/T 16935.1—2008 中 5.3.3.2.4)。

若交流试验电压的峰值等于或大于额定冲击电压,交流电压试验也涵盖冲击电压试验。

若电压应力持续上升,则固体绝缘相比电气间隙具有不同的耐受特性。一般情况下,耐受能力将显著下降。从而不可用冲击电压试验替代检验固体绝缘耐受能力的交流电压试验。

- c) 局部放电试验(见 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.5),检验固体绝缘内在以下情况下不存在任何持续的局部放电:
 - 在最高稳态电压下;
 - 在长时暂态过电压下(见 GB/T 16935.1—2008 中 5.3.3.2.3);
 - 在再现峰值电压下(见 GB/T 16935.1—2008 中 5.3.3.2.4)。
- d) 高频电压试验(见 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.7),按 GB/T 16935.1—2008 中 5.3.3.2.5 检验不致因介电发热而失败。

对于连接到不同低压电网的设备,若为简化目的不进行局部放电试验及高频电压试验,则以下试验电压可适用。

额定电压 100 V 和 230 V 及过电压类别 II 举例见表 1。

表 1 额定电压 100 V 和 230 V 及过电压类别 II 举例

绝缘 (GB/T 16935.1—2008 中 5.1.6)	冲击电压 V (GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.3)		涵盖冲击电压试验				用于 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.1 ^b 中的提及的最高 电压值		
			交流电压 V (r.m.s.) ^c				GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.4 的交流电压 V (r. m.s.)		
	额定电压		时间	额定电压		时间	额定电压		时间
	100 V ^e	230 V		100 V	230 V		100 V	230 V	
基本及附加绝缘	800 (1 500)	2 500	a	800 (1 500)	1 768	60 s ^d	1 300	1 430	60 s ^d
加强绝缘	1 500 (2 500)	4 000		1 500 (2 500)	2 828		2 600	2 860	

^a 间隔至少 1 s 的单个极性的 5 个脉冲。
^b 电压为短时暂态过电压、最高稳态电压及再现峰值电压。两个纵栏里的数值是针对短时暂态过电压规定的,此通常为最严酷要求。
^c 此类电压峰值与额定冲击电压相等。
^d 若短时暂态过电压确可导致最严酷要求,则试验持续时间可降至 5 s。
^e 圆括号内的数值应用于日本。见 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1 脚注 5)。

4.5.3.3 电气间隙与爬电距离的串联连接

4.5.3.3.1 概述

可存在三种情况。

在第一种情况中,电气间隙与爬电距离的串联连接是出于产品设计。在这种情形下,通常使用相当大的电气间隙。

在第二种情况中,电气间隙与爬电距离的串联连接是出于绝缘系统的特定设计,如使用数层薄膜绝缘材料。

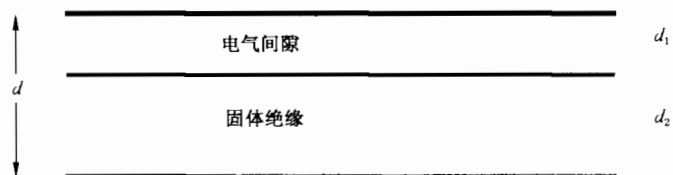
在第三种情况中,电气间隙与爬电距离的串联连接是出于固体绝缘(包括与导电部件之间的界面)的制造缺陷。

在后两种情况中,存在极小的空气间隙或小的气泡与固体绝缘串联连接。所有三种情况下都应按照相应阻抗计算跨过串联连接绝缘体的电压分布。

对于直流电压,上述阻抗是取决于绝缘电阻。在空气中,绝缘电阻近于无穷大,空气间隙的阻抗远远大于固体绝缘体。从而,几乎整个直流电压是施加在电气间隙上。

对于交流电压,串联绝缘体的阻抗取决于其电容。对于 GB/T 16935.1 中考虑的极低频率,通常在计算电压分布式不需考虑介电损耗。从而固体绝缘的介电常数对电压分布具有决定性影响。

为便于计算电容性电压分布,电容被设想为面对面电容,且具有均匀电场分布。此情形如图 2 描述:

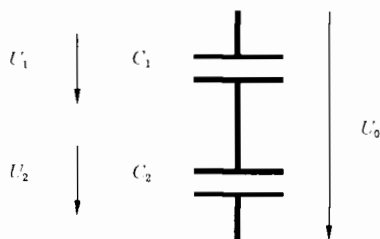


说明:

- d ——总距离;
- d_1 ——电气间隙;
- d_2 ——固体绝缘厚度。

图 2 电气间隙与爬电距离的串联连接

根据图 3, C_1 和 C_2 形成了一个电容性分压器, 施加的交流电压 U_0 。按照公式(2)及公式(3)分为 U_1 及 U_2 。



说明:

- U_0 ——施加的交流电压;
- C_1 ——电气间隙电容;
- U_1 ——跨过电气间隙的电压;
- C_2 ——固体绝缘电容;
- U_2 ——跨过固体绝缘的电压。

图 3 电容性分压器

$$U_0 = U_1 + U_2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$U_1 = U_0 \frac{C_2}{C_1 + C_2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$U_2 = U_0 \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

电容 C_1 及 C_2 由公式(4)及公式(5)给出:

$$C_1 = \epsilon_0 \frac{A}{d_1} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d_2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- A ——面对面电容器 C_1 及 C_2 的面积;
- ϵ_0 ——为空气介电常数;
- ϵ_r ——为固体绝缘介电常数。

对于分压,公式(6)给出的电容比率具有相关性。

$$C_1 = C_2 \frac{d_2}{d_1} \frac{1}{\epsilon_r} \quad \dots\dots\dots(6)$$

电气间隙的击穿电场强度(E_1)可用过交流击穿电压及 GB/T 16935.1—2008 中表 A.1 中的对应电气间隙计算。为简化计算,本部分中给出的示例基于均匀电场条件。固体绝缘击穿电场强度(E_2)宜由材料制造商规定。

准确计算电场分布要比上述过程复杂的多,以上的公式在考虑均匀电场条件情况下仅作为一种近似结果。对于不超过 0.1 mm 的小间隙,上述近似结果相当精确。对于较大间隙,此近似计算不合适。

4.5.3.3.2 设计电气间隙与固体绝缘串联连接

以下的示例是有关设计于设备内部的电气间隙与固体绝缘的串联连接。

4.5.3.3.3 用于直流电压设计的电气间隙与固体绝缘的串联连接

对于直流电压,如前所述几乎全部电压施加在电气间隙上,从而电气间隙被设计单独承受此电压。在电气间隙发生闪络情况下,全部电压将被施加到固体绝缘上。

规则:为防止固体绝缘在此情形下劣化,固体绝缘也被设计可承受全部电压。

4.5.3.3.4 用于交流电压设计的电气间隙与固体绝缘的串联连接

对于交流电压,电压分布按照相关的电容进行计算。在以下的示例中,尺寸设定是按照最常见的情形,即较大的电气间隙与固体绝缘薄层串联连接。

以下示例相比 4.5.3.1 中的实例对上述情形给出更具现实意义的描述。

示例:

$$d_1 = 3 \text{ mm}, d_2 = 0.1 \text{ mm}$$

$$\epsilon_r = 4.5$$

运算公式(6)得出的结果为: $C_1 = 0.0074 C_2$

运算公式(2)得出的结果为: $U_1 = 0.993 U_0$

运算公式(3)得出的结果为: $U_2 = 0.007 U_0$

结果显示几乎全部的电压施加在电气间隙上。从而电气间隙应具有可单独承受此电压的尺寸。在电气间隙发生闪络情况下,全部电压施加至固体绝缘上。

规则:为确保在此情形下固体绝缘不致劣化,固体绝缘也应被设计可承受全部电压。

4.5.3.4 由空气间隙或气泡形成的电气间隙与固体绝缘的串联连接

以下的实例是有关由于绝缘系统的特殊设计(如使用数层薄膜绝缘材料),和/或由于固体绝缘(包括导电部件之间的界面)的存在缺陷的制造形成的电气间隙与爬电距离的串联连接。在此情形下,较小的空气间隙或小的气泡被串联连接至电气间隙。

4.5.3.4.1 直流电压情形下的由空气间隙或气泡形成的电气间隙与固体绝缘的串联连接

对于直流电压,相关阻抗是由绝缘电阻决定的。在空气中绝缘电阻近于无穷大,空气间隙的阻抗远大于固体绝缘。从而几乎全部的直流电压被施加在电气间隙上,这会导致电气间隙内发生局部放电,其将导致邻近的固体绝缘发生劣化。然而,上述局部放电的重复频率很低,其原因是跨过电气间隙的电压的再次充电所需的时间很长。因此,固体绝缘发生劣化的潜在可能相当低,发生绝缘击穿的时间相当长。

由于重复频率很低,对于直流电压应力进行局部放电试验相当困难。

4.5.3.4.2 交流电压情形下的由空气间隙或气泡形成的电气间隙与固体绝缘的串联连接

对于交流电压,电压分布按照相关的电容进行计算。在以下的示例中,尺寸设定是按照最常见的情

形即较小的电气间隙与相对较厚的固体绝缘层串联连接。

以下示例相比 4.5.3.1 中的实例对上述情形给出更具现实意义的描述。

示例：

$$d = 0.1 \text{ mm}$$

$$\epsilon_r = 4.5$$

$$E_{2\text{peak}} = 45 \text{ kV/mm}$$

情况 a)

$$d_1 = 0.01 \text{ mm}, d_2 = 0.09 \text{ mm}$$

$$E_{1\text{peak}} = 33 \text{ kV/mm}$$

注 1：考虑 GB/T 16935.1—2008 表 A.1 中 $d_1 = 0.01 \text{ mm}$ 的均匀电场分布条件下的相关交流击穿电压峰值。

运算公式(6)得出的结果为： $C_1 = 2C_2$

运算公式(2)得出的结果为： $U_1 = 0.333 U_0$

运算公式(3)得出的结果为： $U_2 = 0.666 U_0$

电气间隙的击穿场强 E_1 为：

$$E_{1\text{peak}} = \frac{U_1}{d_1} = 0.333 \frac{U_{0\text{peak}}}{d_1} = 33 \frac{\text{kV}}{\text{mm}}$$

从而，电气间隙的击穿发生在：

$$U_{0\text{peak}} = \frac{E_{1\text{peak}} d_1}{0.333} = 33 \frac{0.01}{0.333} \text{ kV} = 0.99 \text{ kV}$$

这可能是局部放电起始电压。交流电压应力下，局部放电的重现频率至少等于电压频率。因此发生劣化的潜在可能比在直流电压情形下大得多，击穿可在短得多的时间内发生。为避免击穿，在此绝缘系统内不得存在任何大于 0.99 kV 的稳态电压峰值。

根据 4.5.3.1 中的示例，应要求击穿电压峰值 4.5 kV，具有显著提升性能的固体绝缘。

结论是：对于绝缘系统的每一设计，包括由于使用数层薄膜绝缘材料和/或由于固体绝缘的缺陷制造而产生的空气间隙，都应检验其不存在局部放电危险。

情况 b)

$$d_1 = 0.05 \text{ mm}, d_2 = 0.05 \text{ mm}$$

$$E_{1\text{peak}} = 11.2 \text{ kV/mm}$$

注 2：对于 $d_1 = 0.05 \text{ mm}$ ，计算时采用 GB/T 16935.1—2008 中表 A.1 的均匀电场分布条件下的相关交流击穿电压峰值。

运算公式(6)得出的结果为： $C_1 = 0.222 C_2$

运算公式(2)得出的结果为： $U_1 = 0.818 U_0$

运算公式(3)得出的结果为： $U_2 = 0.182 U_0$

电气间隙的击穿电场强 E_1 为：

$$E_{1\text{peak}} = \frac{U_1}{d_1} = 0.818 \frac{U_{0\text{peak}}}{d_1} = 11.2 \frac{\text{kV}}{\text{mm}}$$

从而，电气间隙的击穿发生在：

$$U_{0\text{peak}} = \frac{E_{1\text{peak}} d_1}{0.818} = 11.2 \frac{0.05}{0.818} \text{ kV} = 0.685 \text{ kV}$$

这可能是局部放电起始电压。从而，在此绝缘系统内不得存在任何大于 0.685 kV 的稳态电压峰值。

注 3：应将此 685 V 的数值与 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.1 给出的作为局部放电要求的 700 V 的数值进行比较。根据 4.5.3.1 中的示例，应要求击穿电压峰值 4.5 kV，具有显著提升性能的固体绝缘。这表明较大

的空气间隙尤其会导致此类绝缘极差的性能。

结论是：对于绝缘系统的每一设计，包括由于使用数层薄膜绝缘材料和/或由于固体绝缘的缺陷制造而产生的空气间隙，都应检验其不存在局部放电危险。

4.6 GB/T 16935 系列用于功能绝缘设计的实际应用

4.6.1 概述

GB/T 16935 系列标准中为固体绝缘规定的最小电气间隙、最小爬电距离及最低要求也可适用于功能绝缘。出于功能原因，对于如最小绝缘电阻(见 GB/T 16935.5—2008 中附录 A)等方面，可能需要适用其他附加要求。

然而，对功能绝缘的耐受电压要求可与基本绝缘下的要求不同。

4.6.2 功能绝缘的定尺寸及试验，与基本绝缘进行比较

功能绝缘定尺寸的原则在 4.1 中给出。

对于功能绝缘的电气间隙，要求的耐受电压是在设备的额定条件下(尤其是额定电压及额定冲击电压下)的可能发生的跨过电气间隙最大冲击电压(见 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2)或稳态电压(参考 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7)或再现峰值电压(见 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7)。

功能绝缘的爬电距离是按照 GB/T 16935.1—2008 中表 F.4 有关规定进行定尺寸，GB/T 16935.1—2008 中表 F.4 中应对应跨过考虑的爬电距离的工作电压。

若使用 GB/T 16935.5，则功能绝缘的爬电距离应按照 GB/T 16935.5—2008 中表 4 及电痕化相关工作电压和 GB/T 16935.5—2008 中表 5 有关避免发生闪络的最高峰值电压确定，取其较大值。

当使用工作电压定尺寸时，允许对中间电压进行插值。在此情况下，使用线性插值，数值被圆整化至与从上述各表中取出的数值的相同的位数。

对于仅在较短时间内承受电压应力的设备，功能绝缘下的爬电距离可具有缩减的尺寸，如可比 GB/T 16935.1—2008 中表 F.4 中的电压规定低一阶。

对功能绝缘的试验同样遵循 GB/T 16935.1—2008 中 6.1 规定的程序。但试验电压可与基本绝缘下试验电压不同。

4.7 GB/T 16935 系列用于受电压频率影响的定尺寸的实际应用

4.7.1 频率对耐受特性的总体影响

在 GB/T 16935.1 范围内，通过在最高不超过 30 kHz 的频率下给出的最小数值的方式考虑了电压频率的影响。对于更高的频率，应考虑各绝缘类型的耐受能力的下降的效应，并在定尺寸过程中对此效应予以考虑。

对于超过 30 kHz 而不超过 10 MHz 的电压频率，应配合使用 GB/T 16935.4 及 GB/T 16935.1 或 GB/T 16935.5。

4.7.2 频率对电气间隙耐受特性的影响

GB/T 16935.4 范围内的电压耐受能力仅受周期电压频率影响。对于瞬态过电压，定尺寸按照 GB/T 16935.1 或 GB/T 16935.5 足可满足要求。

在 GB/T 16935.4 范围内的超过 30 kHz 的频率下，电气间隙的电压耐受能力在均匀或近似均匀电场分布条件下最高可降低 20%。频率超过 30 kHz 时，若导电部分的弯曲半径大于或等于电气间隙的 20%，则认为存在近似均匀电场。

在近似均匀电场分布条件下定尺寸过程中,应考虑 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7 或 GB/T 16935.5—2008 中表 3 的情况 A 电气间隙耐受电压的 125%。不要求进行耐受电压试验。

对于小于近似均匀电场分布条件下尺寸(GB/T 16935.1—2008 中表 F.7 或 GB/T 16935.5—2008 中表 3 中的情况 A 数值)的定尺寸过程中,要求按照 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.2 或 GB/T 16935.5 进行耐受电压试验。但电气间隙最小不得小于按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7 或 GB/T 16935.5—2008 中表 3 中情况 B 电气间隙耐受电压的 125%确定的电气间隙数值。

频率超过 30 kHz 时,若导电部分的弯曲半径小于电气间隙的 20%,则认为存在非均匀电场。在非均匀分布电场条件下,电气间隙的电压耐受能力的下降幅度将大得多。非均匀电场情况下定尺寸应选取 GB/T 16935.4—2011 中表 1 在所要求的耐受电压下的电气间隙。不要求进行耐受电压试验。

非均匀电场条件下,对高电压应力(>1 kV)进行定尺寸将使得定出的尺寸非常不符合实际,故在此情况下应优先考虑选取可改善电场分布(转为近似均匀电场分布)的设计方案。

4.7.3 频率对爬电距离耐受特性的影响

电压频率超过 30 kHz 时,除电痕化外,对于爬电距离的耐受能力还应考虑热效应。定尺寸过程中应同时按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.4 的爬电距离的耐受电压有效值,及 GB/T 16935.4—2011 表 2 中的峰值耐受电压进行,此峰值耐受电压应为跨过爬电距离的任意周期电压峰值的最高数值。两者中取其较大距离。

在 GB/T 16935.4—2011 表 2 中,允许对频率进行插值。GB/T 16935.4—2011 表 2 中数值适用于污染等级 1。适用于污染等级 2 及污染等级 3 的爬电距离数值可通过对污染等级 1 数值分别使用乘数因子 1.2 及 1.4 获取。

对于所有可受热效应破坏的绝缘材料,均可按 GB/T 16935.4—2011 表 2 进行定尺寸,包括用于印制线路板的环氧树脂制成的典型基础材料。对于不受热效应影响且不会发生电痕化的绝缘材料,按 4.7.2 描述的电气间隙要求进行定尺寸即可满足要求。

4.7.4 频率对固体绝缘耐受特性的影响

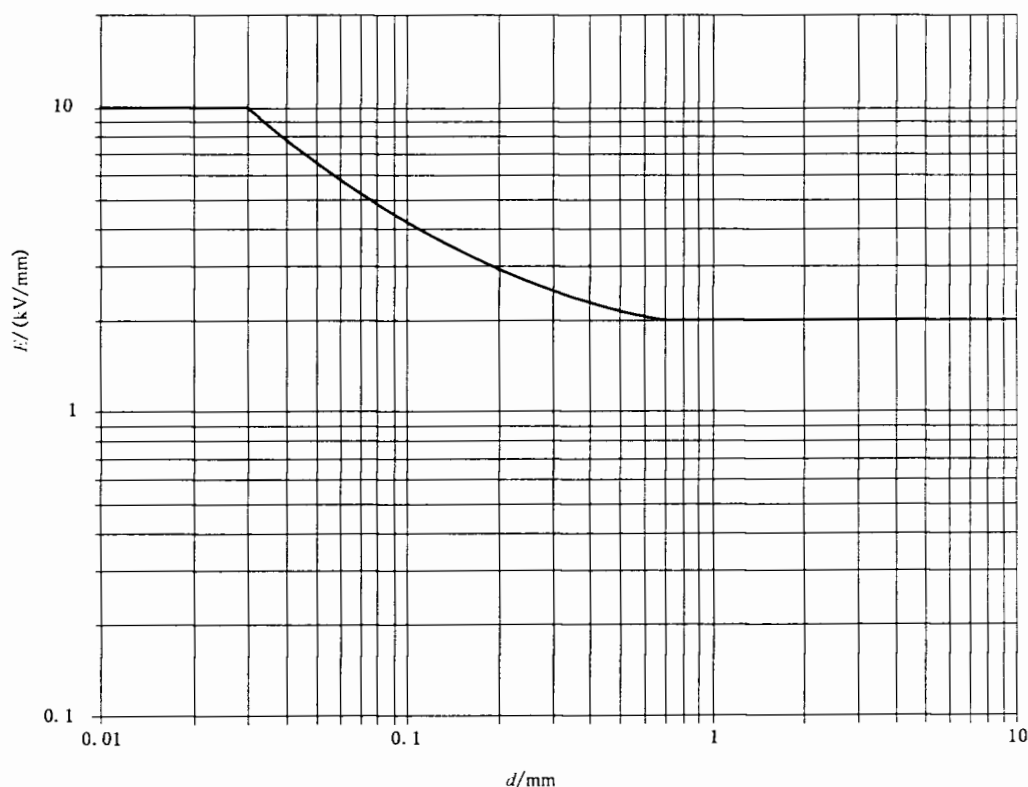
频率超过 30 kHz 时,在定尺寸过程中也应考虑固体绝缘耐受能力的下降。固体绝缘耐受能力的下降是由两种不同的效应造成的。第一种效应是由于介电损耗导致的固体绝缘材料的发热量增大,这对于一些诸如层压纸之类的具有高损耗因子的材料尤为突出。第二种效应是由于高频局部放电引起的材料加速劣化。因此,在正常工作条件下不允许任何局部放电现象发生。此外,应考虑到随着频率上升,局部放电起始电压出现下降。

出于上述原因,对固体绝缘进行准确定尺寸需要进行高频电压试验,但进行此试验较为困难且需要专门设备。为此,GB/T 16935.4—2011 中也提出了一个简化的固体绝缘定尺寸方法。

此简化定尺寸方法可用于替代 GB/T 16935.4—2011 中第 7 章的高频试验,此方法适用于最高 10 MHz 的电压频率,前提是场强近似均匀且不超过公式(7)中规定的数值或图 4 中的数值,且固体绝缘间不存在任何孔穴或空气间隙。在此背景下,若与场强平均数值之间的偏差小于±20%,则认为电场近似均匀。

对于固体绝缘厚层 $d_1 \geq 0.75$ mm,场强 E 的峰值应小于或等于 2 kV/mm。对于固体绝缘薄层 $d_2 \leq 30$ μm,场强 E 的峰值应小于或等于 10 kV/mm。对于 $d_1 > d > d_2$,则使用公式(7)对某一厚度 d 进行插值(也可见图 4):

$$E = \left(\frac{0.25}{d} + 1.667 \right) \frac{\text{kV}}{\text{mm}} \dots\dots\dots (7)$$



说明：

E —— 场强；

d —— 厚度。

图 4 按公式(7)进行固体绝缘定尺寸允许的场强

要在固体绝缘定尺寸中使用场强数值需要电场分布为近似均匀，且固体绝缘间无孔穴或空气间隙。若电场强度无法计算(由于电场为非均匀)，或场强峰值大于公式(7)或图 4 中数值，或无法排除孔穴或空气间隙，或频率超过了 10 MHz，则要求进行高频电压耐受试验或局部放电试验。根据 GB/T 16935.1—2008，电压耐受试验适用于短时应力；局部放电试验适用于长期应力。

在 GB/T 16935.3 中，使用了两种类型的保护以实现较小的绝缘尺寸。类型 2 保护被认为类似于固体绝缘。由于 GB/T 16935.3 是建立于 GB/T 16935.1 基础之上，其频率范围相应地也限制至 30 kHz。因此，若类型 2 保护预备用于超过 30 kHz 的频率，则 GB/T 16935.4 中的附加要求适用于固体绝缘。

5 进行恰当的设备内绝缘定尺寸的四个示例

5.1 概述

图 5a 至图 5d 给出了 4 个电气间隙定尺寸的示例，每一图中分别阐释了影响电气间隙定尺寸的最重要因素，包括：额定电压、稳态耐受电压，冲击耐受电压，过电压类别，污染等级及绝缘类型。

一些产品标准没有规定由安全特低电压(SELV)供电的电路的电气间隙数值。图 5a 至图 5d 显示电气间隙是建立在自电网电压确立的过电压类别基础上,其冲击耐受电压水平比变压器低一级。详细信息见 4.2。

GB/T 16935.1—2008 中 4.3.3.2 给出了四类过电压类别。“过电压类别”与 GB 16895.10 中的“冲击耐受类别”是同义词。设备的额定冲击电压的选择应对应规定的过电压类别及设备的额定电压。见 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1 及表 F.2。

GB/T 16935.1—2008 中 4.6.2 给出微观环境中的四种污染等级。

在以下例子中,使用过电压类别 III(图 5b 及 5c)及过电压类别 II(图 5d)及污染等级 2 阐述按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 及表 F.7 对电气间隙进行定尺寸的过程。

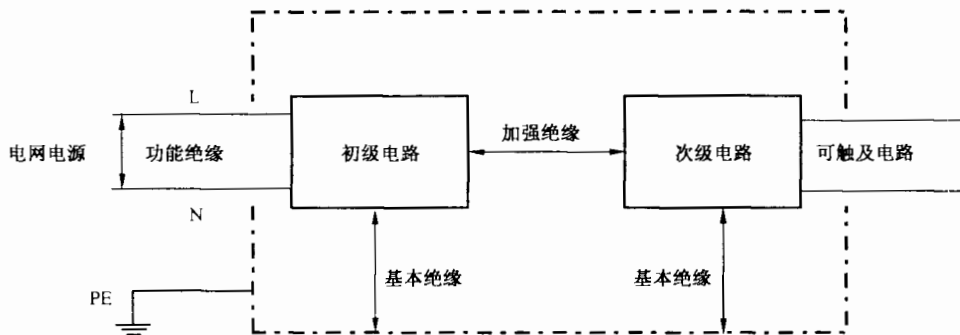
在图 5b 中,以下规则适用于 I 类设备:

——对于未直接连接到电网(变压器次级部分)的非接地电路,基本绝缘的定尺寸应与电路直接连接到电网情况下相同的冲击耐受电压进行。(对于冲击耐受电压削减,有关变压器的详细信息见 4.2)

在图 5c 及 5d 中,以下规则适用于 II 类设备:

——对于未直接连接到电网(变压器次级部分)的非接地电路,基本绝缘的定尺寸应与电路直接连接到电网情况下相比低一阶冲击耐受电压进行。(对于冲击耐受电压削减,有关变压器的详细信息见 4.2)

有关基本保护及基本绝缘的信息见 GB/T 17045。

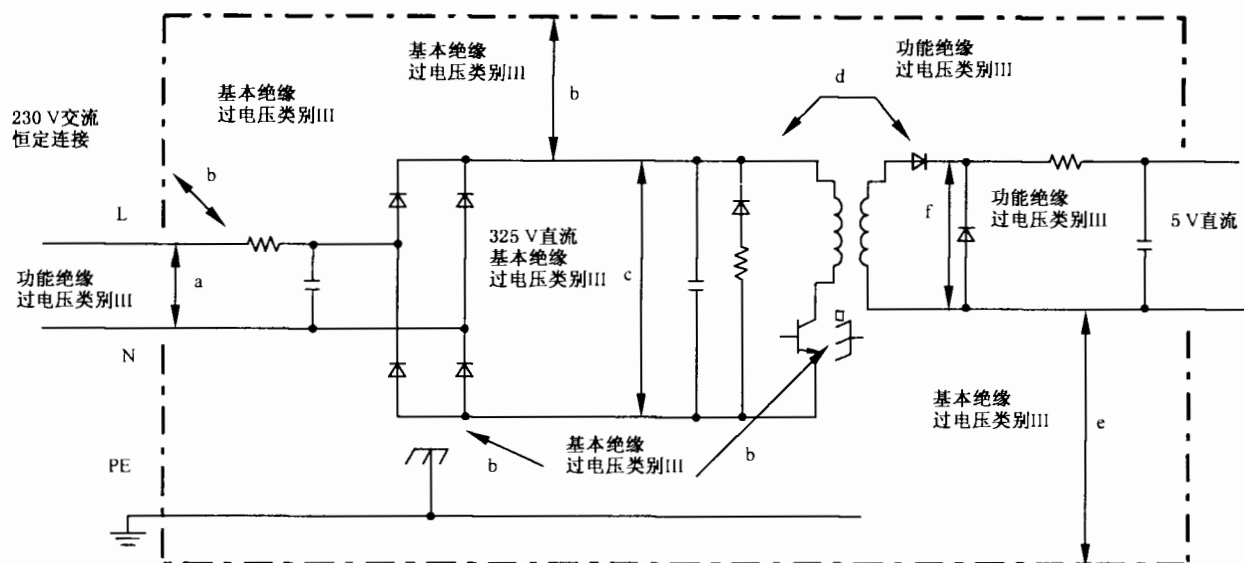


说明:

- L —— 线导体;
- N —— 中性导体;
- PE —— 保护导体。

图 5a 示例 1——适用于 I 类设备的包含功能绝缘,基本绝缘及加强/双重绝缘的绝缘系统的简单图例

5.2 按 GB/T 16935.1 对 I 类设备进行电气间隙定尺寸示例



说明：

— — — 通过将导电性外壳连接到保护性接地(PE)对直接接触进行防护。

图 5b 示例 2——基于过电压类别 III,对 I 类设备电气间隙定尺寸

表 2 示例 2——按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2(污染等级 2)对电气间隙定尺寸(见图 5b 示例 2)

示例 2	绝缘类型 ^a	冲击耐受电压 V	电气间隙 mm
a	功能绝缘	4 000	3.0
b	基本绝缘	4 000	3.0
c	功能绝缘	4 000	3.0
d	加强绝缘	6 000	5.5
e	基本绝缘	4 000	3.0
f	功能绝缘	800 ^b	0.2 ^b

^a 可对 TN 系统适用。
^b 依据相线对中性线电压 50 V。

对于以浪涌保护电器的方法防护过电压的电路,功能绝缘的电气间隙(a 及 c)可取比 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 情况 A 规定的数值更小的值。

然而在此情形下,仍应以规定的冲击耐受电压进行冲击耐受试验。脉冲试验中的发电机应具有 2 Ω 的低阻抗。

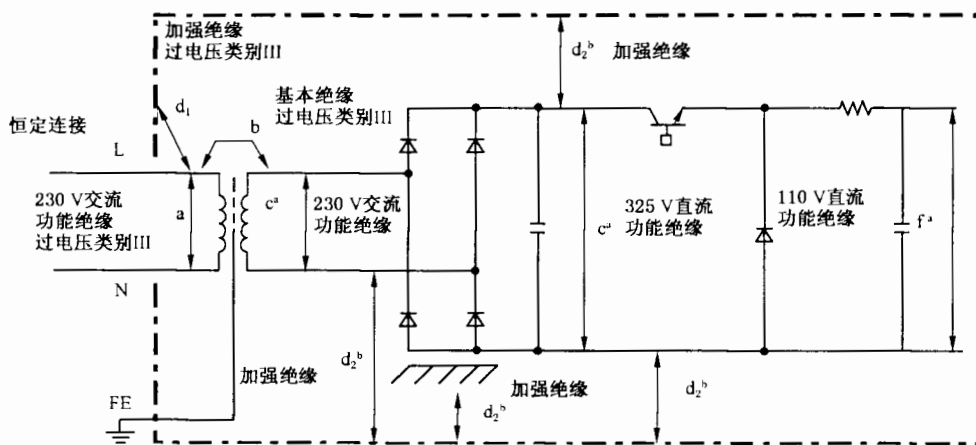
加强绝缘下电气间隙的定尺寸应基于 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 情况 A 规定,应选取高一水平的冲击电压(优选数值)。

表 3 示例 2——在 GB/T 16935.1—2008 中 5.3.3.2.3 的暂态过电压($U_a + 1 200 V$)下按 GB/T 16935.4—2011 中表 F.2 及表 F.7a 对电气间隙定尺寸(见图 5b 示例 2)

示例 2	绝缘类型	脉冲耐受电压 V	暂态过电压(峰值)/ 工作电压 (峰值) ^b V ^d	电气间隙 (GB/T 16935.1—2008 中 表 F.2) (冲击耐受电压) mm	电气间隙 (GB/T 16935.1—2008 中 表 F.7) (暂态过电压/工作电压) mm ^e	电气间隙 ^a mm
a	功能绝缘	4 000	NA/325	3.0	NA/0.01	3.0
b	基本绝缘	4 000	2 022/325	3.0	1.3/0.01	3.0
c	功能绝缘	4 000	NA/325	3.0	NA/0.01	3.0
d	加强绝缘	6 000	4 044/650 ^f	5.5	3.9/0.078 ^f	5.5
e	基本绝缘	4 000	NA/5	3.0	NA/0.001	3.0
f	功能绝缘	800 ^e	NA/5	0.2	NA/0.001	0.2

^a 将按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7 及表 F.2 确定的定尺寸值进行比较,并考虑污染等级,取其较大电气间隙值。
^b 当对绝缘系统从工作电压方面进行评估时,应考虑再现峰值电压。在此示例中,认为再现峰值电压可忽略,仅考虑正弦电网电压峰值。
^c 定尺寸基于暂态过电压峰值。
^d 使用暂态过电压峰值用作定尺寸。
^e 依据 50 V 的线对中性点电压。
^f 宜注意:虽然加强绝缘下的电气间隙定尺寸中考虑基本绝缘及附加绝缘下暂态过电压的 160%,但用于检验加强绝缘电气间隙的试验电压则为检验基本绝缘及附加绝缘电气间隙试验电压的两倍。

5.3 按 GB/T 16935.1 对 II 类设备进行电气间隙定尺寸示例



说明:

——通过采用非导电性外壳(固体绝缘)或可提供加强绝缘的电气间隙对直接接触进行防护。

FE——功能接地导体。

注:变压器执行 4.2 规定。

图 5c 示例 3——电气间隙定尺寸(II 类设备)

表 4 示例 3——按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2(污染等级 2)对电气间隙定尺寸(见图 5c 示例 3)

示例 3	绝缘类型	冲击耐受电压 V	电气间隙 mm
a	功能绝缘	4 000	3.0
b	基本绝缘	4 000	3.0
c ^a	功能绝缘	2 500	1.5
d ₁	加强绝缘	6 000	5.5
d ₂ ^b	加强绝缘	4 000	3.0
f ^a	功能绝缘	2 500	1.5

^a 电气间隙基于自电网电压(230 V 交流,过电压类别 III)确定的过电压类别,其冲击耐受电压比变压器低一水平。经过整定后的实际直流水平不影响用于绝缘系统设定的冲击耐受电压。

^b 加强绝缘电气间隙基于自电网电压(230 V 交流,过电压类别 III)确定的过电压类别,其冲击耐受电压比变压器低一水平。详细信息见 4.2。

表 5 示例 3——在 GB/T 16935.1—2008 中 5.3.3.2.3 的暂态过电压($U_n + 1\ 200\ V$)下按 GB/T 16935.1—2011 中表 F.2 及表 F.7a 对电气间隙定尺寸(见图 5c 示例 3)

示例 3	绝缘类型	脉冲耐受电压 V	暂态过电压(峰值)/ 工作电压 (峰值) ^b V	电气间隙 (GB/T 16935.1—2008 中 表 F.2) (冲击耐受电压) mm	电气间隙 (GB/T 16935.1—2008 中 表 F.7) (暂态过电压/工作电压) mm ^c	电气间隙 ^a mm
a	功能绝缘	4 000	NA/325	3.0	NA/0.01	3.0
b	基本绝缘	4 000	2 022/325	3.0	1.3/0.01	3.0
c	功能绝缘	2 500	NA/325	1.5	NA/0.01	1.5
d ₁	加强绝缘	6 000	4 044/650 ^d	5.5	3.9/0.078 ^d	5.5
d ₂	加强绝缘	4 000	4 044/650 ^d	3.0	3.9/0.078 ^d	3.9
f	功能绝缘	2 500	NA/110	1.5	NA/0.004	1.5

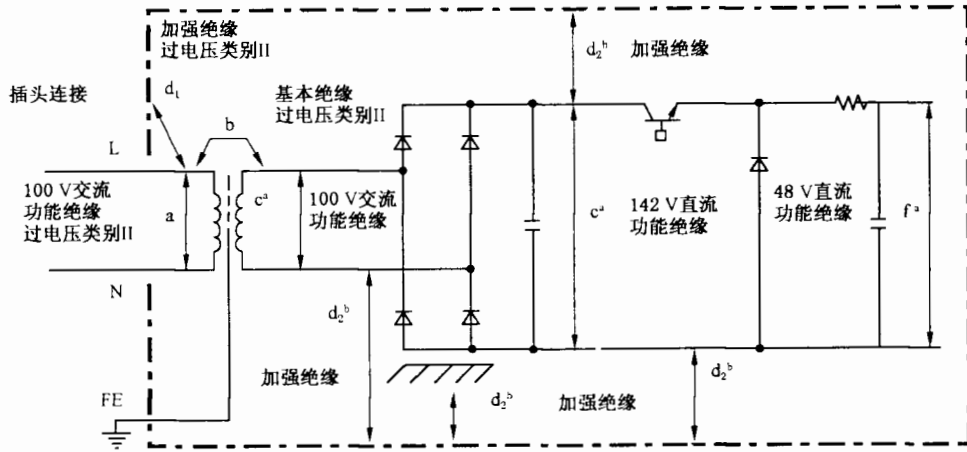
^a 将按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7 及表 F.2 确定的定尺寸值进行比较,并考虑污染等级,取其较大电气间隙值。

^b 当对绝缘系统从工作电压方面进行评估时,应考虑再现峰值电压。在此示例中,认为再现峰值电压可忽略,仅考虑正弦电网电压峰值。

^c 定尺寸基于暂过电压峰值。

^d 应注意:虽然加强绝缘下的电气间隙定尺寸中考虑基本绝缘及附加绝缘下暂态过电压的 160%,但用于检验加强绝缘电气间隙的试验电压则为检验基本绝缘及附加绝缘电气间隙试验电压的两倍。

5.4 按 GB/T 16935.5 对 II 类设备进行电气间隙定尺寸示例



说明：

--- 通过采用非导电性外壳(固体绝缘)或可提供加强绝缘的电气间隙对直接接触进行防护。

注：变压器执行 4.2 规定。

图 5d 示例 4——电气间隙定尺寸(II 类设备)

表 6 示例 4——按 GB/T 16935.5—2008 中表 2 对电气间隙定尺寸(见图 5d 示例 4)

示例 4	绝缘类型	冲击耐受电压 ^c V	电气间隙 ^c mm
a	功能绝缘	800(1 500)	0.1(0.5)
b	基本绝缘	800(1 500)	0.1(0.5)
c ^a	功能绝缘	500(800)	0.04(0.1)
d ₁	加强绝缘	1 500(2 500)	0.5(1.5)
d ₂ ^b	加强绝缘	800(1 500)	0.1(0.5)
f ^a	功能绝缘	500(800)	0.04(0.1)

^a 电气间隙基于自电网电压(100 V 交流, 过电压类别 II)确定的过电压类别, 其冲击耐受电压(kV)比变压器低一水平。经过整定后的实际直流水平不影响用于绝缘系统设定的冲击耐受电压。

^b 加强绝缘电气间隙基于自电网电压(100 V 交流, 过电压类别 III)确定的过电压类别, 其冲击耐受电压(kV)比变压器低一水平。详细信息见 4.2。

^c 圆括号中数值在日本使用。见 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1 中脚注 5)。

表 7 示例 4——在 GB/T 16935.1—2008 中 5.3.3.2.3 的暂态过电压($U_n + 1\ 200\ V$)下按 GB/T 16935.5—2008 中表 2 及表 3 对电气间隙定尺寸(见图 5d 示例 4)

示例 4	绝缘类型	脉冲耐受电压 ^d V	暂态过电压(峰值)/ 工作电压 (峰值) ^b V	电气间隙 ^d (GB/T 16935.5—2008 中 表 2) (冲击耐受电压) mm	电气间隙 (GB/T 16935.5—2008 中 表 3) (暂态过电压/工作电压) mm	电气间隙 ^{ad} mm
a	功能绝缘	800 (1 500)	NA/141	0.1 (0.5)	NA/0.05	0.1(0.5)
b	基本绝缘	800 (1 500)	1 838/141	0.1 (0.5)	1.1 ^c /0.005	1.1
c	功能绝缘	500 (800)	NA/141	0.04 (0.1)	NA/0.005	0.04(0.1)
d ₁	加强绝缘	1 500(2 500)	3 676/282 ^c	0.5(1.5)	3.4 ^c /0.01 ^c	3.4
d ₂	加强绝缘	800 (1 500)	3 676/282 ^c	0.1(0.5)	3.4 ^c /0.01 ^c	3.4
f	功能绝缘	500(800)	NA/48	0.04(0.1)	NA/0.001	0.04(0.1)

^a 将按 GB/T 16935.5—2008 中表 2 及表 3 确定的定尺寸值间进行比较,取其较大电气间隙值。
^b 当对绝缘系统从工作电压方面进行评估时,应考虑再现峰值电压。在此示例中,认为再现峰值电压可忽略,仅考虑正弦电网电压峰值。
^c 通过在 GB/T 16935.1—2008 中 F.7a(情况 A)中进行插值确定。
^d 圆括号中数值在日本使用。见 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1 中脚注 5)。
^e 宜注意:虽然加强绝缘下的电气间隙定尺寸中考虑基本绝缘及附加绝缘下暂态过电压的 160%,但用于检验加强绝缘电气间隙的试验电压则为检验基本绝缘及附加绝缘电气间隙试验电压的两倍。

6 特定情况下 GB/T 16935 系列标准的实际应用

6.1 概述

本部分中第 4 章给出了有关功能绝缘、基本绝缘、附加绝缘、双重绝缘和加强绝缘下的电气间隙、爬电距离和固体绝缘的定尺寸的信息,其定尺寸过程是基于包括跨过绝缘的再现峰值电压、暂态过电压及瞬态过电压的工作电压。本章给出了一些典型的示例阐述如何在一些典型应用场合下对电气间隙和固体绝缘进行试验。

本章未给出有关爬电距离试验的信息,其原因在于此试验在一般情况下无法进行。对爬电距离进行试验的更为现实的方式是对有效距离进行评估。

6.2 在有部件跨接基本绝缘情况下对成套设备进行试验

应首先对设备进行处理,按 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.4.1 要求断开所有可跨接基本绝缘的部件,如浪涌保护电器。随后,在产品标准给定的条件或限制内按 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.4 进行试验。

应保证可跨接基本绝缘,且已在试验基本绝缘的冲击电压试验中断开的部件,不致破坏设备正常使用时基本绝缘的特性和安全性。

将已断开连接的部件重新连接到设备,按以下步骤对设备进行试验,并引入一个交流试验,其目的是检查可跨接基本绝缘的部件在考虑短时暂态过电压时不致降低安全性。

试验电压频率为 50/60 Hz。对于基本绝缘,试验电压的有效值与短时暂态过电压的值相等,为 $1\ 200\ V + U_n$, U_n 为线与中性线之间的标称电压。试验持续时间的描述可见 GB/T 16935.1—2008 中

6.1.3.4.1。

注 1: 作为一个示例, 对于一个具有额定电压 $U_n = 250 \text{ V}$ 的设备, 基本绝缘下的交流试验电压值为 $1\,200 \text{ V} + 250 \text{ V}$, 从而试验电压有效值为 $1\,450 \text{ V}$ 。

注 2: 若无法进行交流试验, 可考虑采用直流试验, 直流试验中的电压值等于或高于交流峰值电压。

注 3: 发电机的短路输出电流不小于 200 mA 。对于超过 3 kV 的试验电压, 试验设备的额定功率不小于 600 VA 即足可满足要求。应将发电机的脱扣电流调制 100 mA , 或在试验电压超过 6 kV 情况下, 调制可能的更高数值。

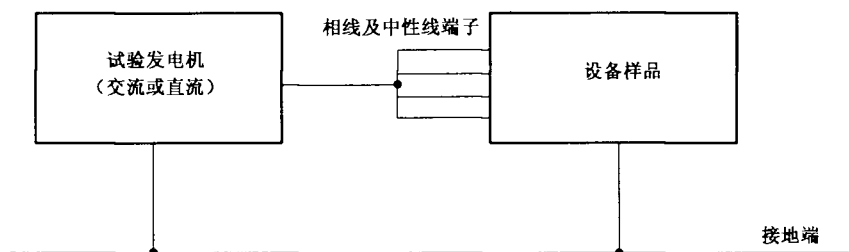


图 6 交流(或直流)电压试验框图

在 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.4.1 中给定的时间内充分地施加电压。

交流(或直流)电压试验图见图 6。

试验合格判别准则: 对设备进行可视化检查, 可跨接基本绝缘的部件没有任何可视变化。设备按制造商手册连接到电网。设备应按其用途正常工作。

注 4: 在设备连接到电网之间, 允许更换熔断器或类似的保护设施。若保护浪涌抑制器的熔断器断已损坏, 则亦允许更换浪涌抑制器。

6.3 在有部件跨接基本绝缘情况下对完整设备进行试验

6.3.1 概述

若设备的连接到电网的带电部件之间包含了可跨接功能绝缘的部件, 则应按 6.3.2 及 6.3.3 描述进行冲击试验。

6.3.2 检验电气间隙及爬电距离

检验绝缘距离的定尺寸是否准确, 首先是在不存在跨接绝缘的部件下进行试验。对设备进行处理, 按 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.4 断开所有可对导电部件之间的绝缘造成削减的部件, 如浪涌保护电器。

随后在产品标准给定的条件或限制内按 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.4 进行试验。

注: 发电机的短路输出电流不小于 200 mA 。对于超过 3 kV 的试验电压, 试验设备的额定功率不小于 600 VA 即足可满足要求。应将发电机的脱扣电流调制 100 mA , 或在试验电压超过 6 kV 情况下, 调制可能的更高数值。

6.3.3 检验跨接绝缘的部件

为检查在 6.3.2 试验中已断开的部件的安全特性, 将部件重新连接到设备, 并在同等条件下对设备进行二次试验。

注 1: 若可跨接功能绝缘的部件仅用于 EMC(如浪涌保护电器), 则允许使用一个具有最高 500Ω 内阻的发电机。

试验合格判别准则: 对设备进行了可视化检查, 可跨接功能绝缘的部件没有任何可视变化。然后设备按制造商手册连接到了电网。设备应按其用途正常工作。

注 2: 若跨接功能绝缘的部件仅用于 EMC(如浪涌保护电器), 则允许在将设备连接到主电路之前更换熔断器或类似保护器件。若在 6.3.2 试验中保护浪涌断开部件已损坏, 则亦允许更换此部件。

6.4 对设备的具有隔离功能的部件的绝缘距离定尺寸

6.4.1 概述

对低压设备的电气间隙定尺寸的一般规则在 4.1 中给出。

对设备内的断开触头上的电气间隙或设备内的可移动部件(如开关的极)之间的电气间隙定尺寸时,应遵循与基本绝缘下一致的要求。

注:如:可见 IEC 60947-1:2011 中 7.2.3.1, IEC 60669-1:1998 中 7.1.2 或 IEC 62019:1999。

6.4.2 对与声明适用于隔离的设备关联的电器定尺寸

若电器与声明适用于隔离的设备关联,或作为其辅助部件,则该辅助部件的移动块之间的电气间隙的最低要求遵循基本绝缘下的最低要求(见 GB/T 16935.1—2008 中 5.1.7 及 GB/T 17045 中 8.3.2)。技术委员会应考虑对专用于遥控指示的电路的最低要求。

6.4.3 对与未声明适用于隔离的设备关联的电器定尺寸

若电器与未声明适用于隔离的设备关联,或电器为独立设备且未声明适用于隔离,技术委员会可引入低于基本绝缘的要求。但设备应相应地进行标识。

注:例如,GB 16915.1 或 GB/T 20640 要求在电器上标以“m”。

6.5 高频电压应力下的试验

原则上,本部分中 4.7.1~4.7.4 也适用于 GB/T 16935.4 中规定的电压频率。

但应考虑到在频率影响下,电气间隙及爬电距离的击穿场强强度均出现下降。

对于本部分中 4.7.2 中的描述,应考虑到试验电压的频率与施加的电压频率相同。如同工频交流电压试验下的规定,试验最短持续时间为 60 s。某些情况下,尤其是对具有高介电损耗的材料(且由于介电损耗导致的过多发热是导致设备故障的决定性因素),可要求更长的试验持续时间。

对于在高频电压下进行的试验,由试品造成的容性负载是一个十分重要的因素。使用的试品应允许至少 100 pF 的容性负载,且其在输出上的压降可忽略,其对频率的影响可忽略。在更大型的装配组合或成套设备情形下,有必要仅在关键部件上进行试验。在此情形下,对成套设备进行的试验是通过使用工频电压进行的。

6.6 以交流或直流试验代替冲击耐受试验情形下的实用信息

6.6.1 概述

冲击耐受试验的目的是检验电气间隙是否可耐受规定的瞬态过电压。冲击耐受试验是以一个具有 1.2/50 μ s 波形,且具有 GB/T 16935.1—2008 中表 F.5 中的规定数值的电压进行的。

由于冲击电压试验结果的离散特征,应至少对每一极性的 3 个脉冲进行试验,脉冲间的间隔应至少为 1 s。

技术委员会可为特殊设备规定交流或直流电压试验,以代替冲击电压试验。

注:技术委员会应意识:虽然峰值与 GB/T 16935.1—2008 中表 F.5 规定的冲击试验电压相同交流及直流电压试验可检验电气间隙的耐受能力,其也增加了固体绝缘的应力,其原因是施加电压的持续时间更长,其可对某些固体绝缘造成过载和损坏。从而,技术委员会在规定替代 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.2.2.1 的冲击电压试验的交流或直流试验时应考虑上述影响。

6.6.2 替代介电试验的冲击耐受试验的交流电压的特征

特征如下:

——正弦工频试验电压的波形为充分的正弦形。若峰值与有效值之间的比例为 $\sqrt{2} \pm 3\%$ ，即认为满足要求。

——峰值与 GB/T 16935.1—2008 中表 F.5 中的冲击试验电压相等，且在交流试验电压的 3 个周期内施加。

注：若试验持续时间超过 3 个周期，则将无法降低交流电压试验的峰值电压。

6.6.3 替代介电试验的冲击耐受试验的直流电压的特征

特征应如下：

——直流试验电压应充分无波纹。若电压峰值与平均值之间的比例为 $1.0 \pm 3\%$ ，即认为满足要求；

——直流试验电压平均值与 GB/T 16935.1—2008 中表 F.5 中的冲击试验电压相等，且在交流试验电压的 3 个周期内施加，在每一极性中 10 ms 内施加 10 次。

7 定尺寸表单示例(基于 GB/T 16935.1—2008 中情况 A)

7.1 GB/T 16935.1—2008 用于直接或非直接连接到电网的设备中电路

该示例是基于这样的假设：最严酷的定尺寸要求得自冲击耐受电压。

表 8 GB/T 16935.1 中影响因素与规范性条目的关系

影响因素	选择依据	GB/T 16935.1—2008 中 条款	表中数值
电气间隙			
电压或额定 绝缘电压	设备过电压类别	表 F.1(见注)	表 F.2
爬电距离			
电压	额定电压或额定绝缘电压	表 F.3a 及表 F.3b	表 F.4
污染	污染等级 (微观环境)	4.6.2	表 F.4
绝缘材料	相比电痕化指数	4.8.1.3	表 F.4
注：若电路未直接连接至电网，则冲击耐受电压可由技术委员会规定，否则应由制造商进行评估。技术委员会应考虑 4.2 中内容。			

应采取以下步骤：

步骤 1：选择过电压类别；

步骤 2：选择冲击电压(表 F.1)；

步骤 3：建立最小电气间隙(c_l)数值(表 F.2)，若具有电气间隙的设备使用在海拔超过 2 000 m 的场合，使用海拔修正系数(表 A.2)；

步骤 4：选择爬电距离的额定电压(表 F.3a 及表 F.3b)；

步骤 5：自 GB/T 16935.1—2008 中 4.8.1 中确定污染等级及相比电痕化指数(CTI)；

步骤 6：建立最小爬电距离(c_r)数值(表 F.4)；

步骤 7：当 $c_r < c_l$ 时：

——若污染等级为 3，绝缘材料间隙满足 c_l 数值，见 GB/T 16935.1—2008 中 5.2.2.6。

——若污染等级为 1 或 2,如果绝缘材料间隙可耐受检验电气间隙的冲击耐受电压,则绝缘材料间隙可为 cr 数值。

GB/T 16935.1 中影响因素与规范性条目之间的关系见表 8。

7.2 GB/T 16935.5—2008 用于直接或非直接连接至电网电源的设备中电路

该示例是基于这样的假设:最严酷的定尺寸要求得自冲击耐受电压。

表 9 GB/T 16935.1 或 GB/T 16935.5 中影响因素与规范性条目的关系

影响因素	选择依据	GB/T 16935.1—2008 或 GB/T 16935.5—2008 中 条款	GB/T 16935.5—2008 表中数值
电气间隙			
电压或额定 绝缘电压	设备过电压类别	GB/T 16935.1 中 表 F.1(见注)	表 2
爬电距离			
考虑电痕化定尺寸			
电压	额定电压或额定绝缘电压	GB/T 16935.1 中 表 F.3a 及表 F.3b	表 4
污染	污染等级 (微观环境)	GB/T 16935.1 中 4.6.2	表 4
绝缘材料	相比电痕化指数	GB/T 16935.1 中 4.8.2.3	表 4
考虑闪络定尺寸			
最大峰值电压	由制造商评估 (可能在电路中产生的瞬态过 电压或最高峰值电压)		表 5
微观环境	湿度水平 信息可见 GB/T 16935.5 中表 1	GB/T 16935.5 中 4.6.4	表 5
绝缘材料	WAG(吸水组别)	GB/T 16935.5 中 4.8.6	表 5
注:若电路未直接连接至电网,则冲击耐受电压可由技术委员会规定,否则应由制造商进行评估。技术委员会应考虑 4.2 中内容。			

应采取以下步骤:

步骤 1:选择过电压类别;

步骤 2:选择冲击电压(GB/T 16935.1—2008 表 F.1);

步骤 3:建立最小电气间隙(cl)数值(GB/T 16935.5—2008 中表 2),若具有电气间隙的设备使用在海拔超过 2 000 m 的场合,使用海拔修正系数(GB/T 16935.1—2008 中表 A.2)。

考虑电痕化对爬电距离定尺寸:

步骤 4:选择爬电距离的额定电压(GB/T 16935.1—2008 中表 F.3a 及表 F.3b);

步骤 5:自 GB/T 16935.1—2008 中 4.8.1 中确定污染等级及相比电痕化指数(CTI);

步骤 6:建立最小爬电距离(cr)数值(GB/T 16935.5—2008 中表 5)。

考虑闪络对爬电距离定尺寸：

步骤 7: 评估可能在电路中产生的最大峰值电压；

步骤 8: 建立湿度水平(HL) 及吸水组别(WAG)；

步骤 9: 建立最小爬电距离(cr)数值(GB/T 16935.5—2008 中表 5)；

步骤 10: 选择考虑电痕化及闪络的较大的爬电距离(cr)数值；

步骤 11: 在 $cr < cl$ 处：

——若污染等级为 3, 绝缘材料间隙满足 cl 数值, 见 GB/T 16935.5—2008 中 5.3.2.6。

——若污染等级为 1 或 2, 如果绝缘材料间隙可耐受检验电气间隙的冲击耐受电压, 则绝缘材料间隙可为 cr 数值。

GB/T 16935.1 或 GB/T 16935.5 中影响因素与规范性条目之间的关系见表 9。

7.3 GB/T 16935.4—2011 用于直接或非直接连接至电网电源的设备中电路

表 10 GB/T 16935.1 或 GB/T 16935.4 中影响因素与规范性条目的关系

影响因素	选择依据	GB/T 16935.1—2008 或 GB/T 16935.4—2011 中 条款	表中数值
电气间隙			
电压或额定 绝缘电压	设备过电压类别	GB/T 16935.1 中 表 F.1(见注)	GB/T 16935.1 中表 F.2
最大稳态电压峰值	由制造商评估	GB/T 16935.1 中表 F.7a 或 GB/T 16935.4 中表 1, (取决于电场分布)	取决于电场分布
爬电距离			
考虑电痕化定尺寸			
电压	额定电压或额定绝缘电压	GB/T 16935.1 中 表 F.3a 及表 F.3b	GB/T 16935.1 中表 F.4
污染	污染等级 (微观环境)	GB/T 16935.1 中 4.6.2	GB/T 16935.1 中表 F.4
绝缘材料	相比电痕化指数	GB/T 16935.1 中 4.8.1.3	GB/T 16935.1 中表 F.4
考虑热效应定尺寸			
最大稳态电压峰值	由制造商评估		GB/T 16935.4 中表 2
微观环境	污染等级 (微观环境)	GB/T 16935.1 中 4.6.2	GB/T 16935.4 中表 2
绝缘材料	此类定尺寸数据对所有可能 受热效应破坏的材料适用	GB/T 16935.4 中第 5 章	GB/T 16935.4 中表 2
频率	由制造商评估	GB/T 16935.4 中第 5 章	GB/T 16935.4 中表 2
注：若电路未直接连接至电网，则冲击耐受电压可由技术委员会规定，否则应由制造商进行评估。			

应采取以下步骤:

步骤 1:选择过电压类别;

步骤 2:选择冲击电压(GB/T 16935.1 中表 F.1);

步骤 3:建立最小电气间隙(cl)数值(GB/T 16935.1—2008 中表 F.2),若具有电气间隙的设备使用在海拔超过 2 000 m 的场合,使用海拔修正系数(GB/T 16935.1—2008 中表 A.2)。

步骤 4:评估最大稳态电压峰值;

步骤 5:评估电场分布;

步骤 6:建立最小电气间隙(cl)数值(GB/T 16935.1—2008 中表 F.7a 中对应最大稳态电压峰值的 125% 的数值,或 GB/T 16935.4—2011 中表 1 对应最大稳态电压峰值的数值);

步骤 7:选择考虑瞬态过电压或稳态电压的较大电气间隙(cl)数值。

考虑污染对爬电距离定尺寸:

步骤 8:选择爬电距离的额定电压(GB/T 16935.1—2008 中表 F.3a 及表 F.3b);

步骤 9:自 GB/T 16935.1—2008 中 4.8.1 中确定污染等级及相比电痕化指数(CTI);

步骤 10:建立最小爬电距离(cr)数值(GB/T 16935.1—2008 中表 F.4);

考虑热效应对爬电距离定尺寸:

步骤 11:评估可能在电路中产生的稳态电压最大峰值;

步骤 12:自 GB/T 16935.1 中确立污染等级;

步骤 13:评估电压频率;

步骤 14:建立最小爬电距离(cr)数值(GB/T 16935.4—2011 中表 2);

步骤 15:选择考虑电痕化及热效应的较大爬电距离(cr)数值。

GB/T 16935.1 或 GB/T 16935.4 中影响因素与规范性条目之间的关系见表 10。

7.4 基于情况 A 条件(基本绝缘,设备使用场所海拔最高 2 000 m)按 GB/T 16935.1 及 GB/T 16935.5 对电气间隙及爬电距离定尺寸对比示例

从以下示例中,可推论出:

——对于印制线路板,GB/ 16935.1 允许更小的间距;

——对于印制线路板及在 GB/T 16935.5 范围内的等效结构,取决于材料组别特性(CTI 及 WAG),GB/T 16935.5 可提供更小的定尺寸数值。

注 1:在此类示例中,为简化目的选取污染等级 2 及湿度水平 HL 2。然而,湿度水平(HL)可不同于污染等级。

注 2:GB/T 16935.3 中的措辞“印制板”包括印制线路板。

7.4.1 未直接连接到电网电源的电路

7.4.1.1 按 GB/T 16935.1 对电气间隙及爬电距离定尺寸

按 GB/T 16935.1 对电气间隙及爬电距离定尺寸示例见表 11。

表 11 按 GB/T 16935.1 对电气间隙和爬电距离定尺寸示例

电气间隙			
冲击电压	1 500 V	电气间隙	0.5 mm
爬电距离(电痕化)			
污染等级	2		
绝缘材料	CTI GR III		
额定电压	200 V	爬电距离	印制线路材料上 0.63 mm 对于其他结构 2.00 mm
注：在电气间隙与爬电距离无法区分的场所(如印制线路材料)，采用较大间隙值。从而在印制线路材料上，最小电气间隙及爬电距离数值为 0.63 mm，在其他结构中为 2.0 mm。			

7.4.1.2 按 GB/T 16935.5 对电气间隙及爬电距离定尺寸

按 GB/T 16935.5 对电气间隙及爬电距离定尺寸的示例见表 12。

表 12 按 GB/T 16935.5 对电气间隙和爬电距离定尺寸示例

电气间隙			
冲击电压	1 500 V	电气间隙	0.5 mm
爬电距离(电痕化)			
污染等级	2		
绝缘材料	CTI GR III		
额定电压 (交流有效值或直流) 见注 2	200 V	爬电距离	0.63 mm
爬电距离(闪络)			
最大峰值电压	1 500 V		
湿度水平	2		
吸水组别	WAG1	爬电距离	0.93 mm
	WAG2		1.02 mm
	WAG3		1.11 mm
	WAG4		1.2 mm
注 1：在电气间隙与爬电距离无法区分的场所(如印制线路材料)，采用较大间隙值。从而，取决于绝缘材料吸水特性，最小电气间隙及爬电距离数值为 0.93 mm，在其他结构中为 1.20 mm。			
注 2：在直流供电情形下，技术委员会应在对爬电距离定尺寸过程中仔细考虑关联的电气间隙的定尺寸以避免闪络，其原因在于直流电路中闪络造成的后果比在交流电路中严重的多。			

7.4.2 未直接连接到电网电源的电路

7.4.2.1 按 GB/T 16935.1 对电气间隙及爬电距离定尺寸

按 GB/T 16935.1 对未直接连接至电网电源的电路的电气间隙和爬电距离定尺寸的示例见表 13。

表 13 按 GB/T 16935.1 对未直接连接至电网电源的电路的电气间隙和爬电距离定尺寸示例

电气间隙			
冲击电压	1 500 V	电气间隙	对于其他结构 0.20 mm 对于印制线路材料 0.04 mm
爬电距离(电痕化)			
额定电压	50 V	爬电距离	印制线路材料上 0.04 mm 对于其他结构 1.20 mm
污染等级	2		
绝缘材料	CTI GR III		
注：在电气间隙与爬电距离无法区分的场所(如印制线路材料),采用较大间隙值。从而在印制线路材料上,最小电气间隙及爬电距离数值为 0.04 mm,在其他结构中为 1.20 mm。			

7.4.2.2 按 GB/T 16935.5 对电气间隙及爬电距离定尺寸

按 GB/T 16935.5 对电气间隙及爬电距离定尺寸的示例见表 14。

表 14 按 GB/T 16935.5 对未直接连接至电网电源的电路的电气间隙和爬电距离定尺寸示例

电气间隙			
冲击电压	500 V	电气间隙	0.04 mm
爬电距离(电痕化)			
额定电压	50 V	爬电距离	0.04 mm
污染等级	2		
绝缘材料	CTI GR III		
爬电距离(闪络)			
最大峰值电压	500 V		
湿度水平	2		
吸水组别	WAG1	爬电距离	0.17 mm
	WAG2		0.18 mm
	WAG3		0.20 mm
	WAG4		0.22 mm
注 1：在电气间隙与爬电距离无法区分的场所(如印制线路材料),采用较大间隙值。从而,取决于绝缘材料吸水特性,最小电气间隙及爬电距离数值为 0.17 mm~0.22 mm。			
注 2：在直流供电情形下,技术委员会应在对爬电距离定尺寸过程中仔细考虑关联的电气间隙的定尺寸,以避免闪络,其原因在于直流电路中闪络造成的后果比在交流电路中严重的多。			

7.5 基于情况 A 条件(基本绝缘,设备使用场所海拔最高 2 000 m)按 GB/T 16935.1 及 GB/T 16935.5 对电气间隙及爬电距离定尺寸对比示例

从以下示例中,可推论出:

- 若考虑周期电压的电气间隙要求在定尺寸中具有决定意义,则按 GB/T 16935.4 定尺寸始终将得出比执行 GB/T 16935.1 要求定出的尺寸值大的间隙值;
- 若考虑电痕化的爬电距离要求在定尺寸中具有决定意义,则按 GB/T 16935.4 定尺寸与按 GB/T 16935.1 要求定出的尺寸值相同;此情形对极小的稳态电压适用,尤其是对除印制线路材料除外的结构。

7.5.1 未直接连接到电网电源的电路

7.5.1.1 按 GB/T 16935.1 对电气间隙及爬电距离定尺寸

按 GB/T 16935.1 对电气间隙及爬电距离定尺寸的示例见表 15。

表 15 按 GB/T 16935.1 对未直接连接至电网电源的电路中的电气间隙和爬电距离定尺寸示例

电气间隙			
再现峰值电压	1 000 V	电气间隙	0.26 mm
爬电距离(电痕化)			
稳态电压(有效值)	200 V	爬电距离	印制线路材料上 0.63 mm 对于其他结构 2.0 mm
污染等级	2		
绝缘材料	CTI GR III		
注 1: 在电气间隙与爬电距离无法区分的场所(如印制线路材料),采用较大间隙值。从而,对于印制线路材料最小电气间隙及爬电距离为 0.63 mm,对于其他结构为 2.0 mm。			
注 2: 在直流供电情形下,技术委员会应在对爬电距离定尺寸过程中仔细考虑关联的电气间隙的定尺寸,以避免闪络,其原因在于直流电路中闪络造成的后果比在交流电路中严重的多。			

7.5.1.2 按 GB/T 16935.4 对电气间隙及爬电距离定尺寸(近似均匀电场)

按 GB/T 16935.4 对电气间隙及爬电距离定尺寸示例见表 16。

表 16 按 GB/T 16935.4 对电气间隙和爬电距离定尺寸示例(近似均匀电场)

电气间隙			
再现峰值电压	1 000 V		
按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7a 定尺寸电压	1 250 V	电气间隙	0.48 mm
爬电距离(电痕化)			
稳态电压(有效值)	200 V	爬电距离	印制线路材料上 0.63 mm 对于其他结构 2.0 mm
污染等级	2		
绝缘材料	CTI GR III		

表 16 (续)

爬电距离(热效应)			
最大稳态电压(峰值)	1 000 V		
频率	30 kHz < f < 100 kHz	爬电距离	0.72 mm
	100 kHz < f < 200 kHz		1.38 mm
	200 kHz < f < 400 kHz		3.6 mm
	400 kHz < f < 700 kHz		21.6 mm
污染等级	2	将 GB/T 16935.4—2011 中表 2 的数值与系数 1.2 相乘	
注: 在电气间隙与爬电距离无法区分的场所(如印制线路材料),采用较大间隙值。从而,对于印制线路材料,在频率最高不超过 100 kHz 时,最小电气间隙及爬电距离为 0.72 mm;对于其他结构,在频率不超过 200 kHz 时,最小电气间隙与爬电距离为 2.0 mm。			

7.5.2 未直接连接到电网电源的电路

7.5.2.1 按 GB/T 16935.1 对电气间隙及爬电距离定尺寸

按 GB/T 16935.1 对电气间隙及爬电距离定尺寸的示例见表 17。

表 17 按 GB/T 16935.1 对未直接连接至电网电源的电路的电气间隙和爬电距离定尺寸示例

电气间隙			
再现峰值电压	500 V	电气间隙	对于其他结构 0.20 mm; 在印制线路材料上 0.04 mm
爬电距离(电痕化)			
稳态电压(有效值)	50 V	爬电距离	印制线路材料上 0.04 mm 对于其他结构 1.20 mm
污染等级	2		
绝缘材料	CTI GR III		
注 1: 在电气间隙与爬电距离无法区分的场所(如印制线路材料),采用较大间隙值。从而对于印制线路材料最小电气间隙及爬电距离为 0.04 mm,对于其他结构为 1.20 mm。			
注 2: 在直流供电情形下,技术委员会应在对爬电距离定尺寸过程中仔细考虑关联的电气间隙的定尺寸,以避免闪络,其原因在于直流电路中闪络造成的后果比在交流电路中严重的多。			

7.5.2.2 按 GB/T 16935.4 对电气间隙及爬电距离定尺寸(近似均匀电场)

按 GB/T 16935.4 对电气间隙及爬电距离定尺寸示例见表 18。

表 18 按 GB/T 16935.4 对电气间隙和爬电距离定尺寸示例(近似均匀电场)

电气间隙			
再现峰值电压	500 V		
按 GB/T 16935.1—2008 中表 F.7a 定尺寸电压	625 V	电气间隙	对于其他结构 0.2 mm; 在印制线路材料上 0.069 mm
爬电距离(电痕化)			
稳态电压(有效值)	50 V	爬电距离	印制线路材料上 0.04 mm 对于其他结构 1.20 mm
污染等级	2		
绝缘材料	CTI GR III		
爬电距离(热效应)			
稳态电压(峰值)	500 V		
频率	30 kHz < f < 100 kHz	爬电距离	0.22 mm
	100 kHz < f < 200 kHz		0.23 mm
	200 kHz < f < 400 kHz		0.3 mm
	400 kHz < f < 700 kHz		0.48 mm
	700 kHz < f < 1 MHz		1.80 mm
	1 MHz < f < 2 MHz		24.0 mm
污染等级	2	将 GB/T 16935.4—2011 中表 2 的数值与系数 1.2 相乘	
注: 在电气间隙与爬电距离无法区分的场所(如印制线路材料),采用较大间隙值。从而,对于印制线路材料,在频率最高不超过 100 kHz 时,最小电气间隙及爬电距离为 0.22 mm;对于其他结构,在频率不超过 700 kHz 时,最小电气间隙与爬电距离为 1.2 mm。			

附 录 A
(资料性附录)

GB/T 16935.1 中要求技术委员会对事项进行确定,规定选项或要求制造商责任的章节概览

A.1 由技术委员会确定的事项

引用 GB/T 16935.1 时,要求技术委员会对以下条目进行确定。

表 A.1 GB/T 16935.1 中章节标题及由技术委员会考虑的事项

GB/T 16935.1—2008 中的章节及标题	GB/T 16935.1—2008 中需考虑的事项
4.3.1 概述 4.3 电压及其额定值	应规定: 电压定额依据: 根据设备预期用途确立的过电压类别,考虑设备预期连接的系统的特性
4.3.2.2.1 直接由低压电网供电的设备	选择电压的依据为: ——线对线电压,或 ——线对中性点电压。 在后一种情形中,技术委员会应规定如何告知用户设备仅用于中性点接地系统
4.3.3.2.2 直接由电网供电的设备	根据过电压类别的一般描述规定过电压类别(也可见 GB/T 16895.10—2010 中 443 条)
4.7 设备提供的资料	规定随设备提供的相关信息及提供信息的方式
4.8.2 电气强度特性	考虑绝缘材料电气强度特性,并考虑 5.3.1,5.3.2.2.1 及 5.3.2.3.1 中描述的应力
4.8.3 热特性	考虑绝缘材料热特性,并考虑 5.3.2.2.2,5.3.2.3.2 中及 5.3.3.5 中描述的应力 注:也可见 IEC 60216 系列。
4.8.4 机械和化学特性	考虑绝缘材料机械和化学特性,并考虑 5.3.2.2.3, 5.3.2.3.3 中及 5.3.2.4 中描述的应力
5.3.2.2.3 机械冲击	在规定运输、贮存、安装和使用环境条件时,考虑材料的非充分冲击强度,机械冲击及削弱的冲击强度
5.3.2.4 其他应力	考虑其他应力,诸如: ——辐射,包括紫外线辐射及电离辐射; ——暴露于溶剂或活性化学剂中造成的应力裂纹或应力断裂; ——塑化剂迁移作用; ——细菌、霉菌或菌类的作用; ——机械塑性变形

表 A.1 (续)

GB/T 16935.1—2008 中的章节及标题	GB/T 16935.1—2008 中需考虑的事项
5.3.3.2.1 概述 5.3.3.2 耐受电压应力	规定分配给设备的适合的电压额定值
5.3.3.2.5 高频电压	规定是否有必要按照 6.1.3.7 进行试验
5.3.3.3 承受短期热应力	规定严酷水平
5.3.3.4 承受机械应力	规定严酷水平
5.3.3.5 承受长期热应力	规定是否有必要进行试验(也可见 IEC 60085:2007 及 IEC 60216 系列)
5.3.3.7 承受其他应力	对其他应力进行声明,并规定试验方法
6.1.2.2.1.2 冲击试验电压的选择	针对试验条件,规定温度及湿度值。 考虑在型式试验之外是否需增加抽样试验或常规试验
6.1.3.1 试验选择	规定在设备内产生的应力所要求的型式试验 规定以抽样及常规试验形式进行的确生产过程中的绝缘质量的试验。规定试验和合适的条件,所用的试验参数足以检测出故障且不会引起绝缘损坏
6.1.3.2 预处理	规定合适的预处理方法
6.1.3.4.1 试验方法	考虑是否将交流试验电压替换为与交流电压峰值相等的直流试验电压,并应考虑到直流试验的严酷程度低于交流试验
6.1.3.5.2 验证	根据试品种类,规定: ——试验电路(C.1); ——测量设备(C.3 和 D.2); ——测量频率(C.3.1 和 D.3.3); ——试验程序(6.1.3.5.3)
6.1.4.5 试验结果判别	规定是否可忽略电气间隙中不发生击穿的局部放电
6.1.5.1 用于绝缘配合目的以外的试验	规定试验电压不应高于绝缘配合所要求的电压值
6.1.5.2 抽样试验和常规试验	规定用于确保产品质量的抽样试验和常规试验。 规定试验电压在任何情况下均不得高于型式试验要求的试验电压值
C.2.1 概述 C.2 试验参数	应规定: ——试验电压的频率 f_1 (C.2.2); ——规定的放电量(6.1.3.5.4.1); ——局部放电的环境条件(C.2.3) 注:对型式试验和常规试验,可能需要不同的规范。
C.2.2 试验电压的要求	考虑频率可能对放电量的影响

A.2 技术委员会可选的规定

引用 GB/T 16935.1 时,技术委员会应考虑以下列表中的事项,并确定选项。

表 A.2 GB/T 16935.1 中章节标题及技术委员会考虑的可选规定

GB/T 16935.1—2008 中的章节标题	GB/T 16935.1—2008 中需考虑的事项
1 范围和目的	对发生电离气体情形的特殊要求的规定
4.3.3.2.3 非直接由低压电网供电的系统和设备	规定适合的过电压类别或额定冲击电压。推荐采用 4.2.3 中的优选序列
4.5 承受电压作用的时间	考虑对功能绝缘允许削减的爬电距离值,因其仅在短期内承受电压应力,例如仅承受比表 F.4 中所列低一阶的电压
5.1.1 概述 5.1 电气间隙定尺寸	应考虑在稳态电压有效值或再现峰值电压下定尺寸过程中将导致这样的情形:即在连续施加此类电压下,不会发生击穿
5.1.6 基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘的电气间隙的确定	在对绝缘材料的可触及表面的电气间隙定尺寸时,规定进一步信息
5.2.4 基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘的爬电距离的确定	在对绝缘材料的可触及表面的爬电距离定尺寸时,规定进一步信息
5.3.2.3.3 机械应力	在规定长期应力试验条件时,考虑机械应力
5.3.3.1 概述 5.3.3 要求	在考虑固体绝缘可触及表面的电气应力时规定进一步信息
6.1.1 概述 6.1 试验	对于在完成型式试验后预期或被要求用于未来使用的试品,考虑按 6.1.3.5 及附录 C 合并任意高压试验及局部放电测量
6.1.2.2.1.1 概述 6.1.2.2.1 冲击电压介电试验	根据 6.1.2.2.2 规定作为替代方案的介电试验
6.1.2.2.1.1 概述 6.1.2.2.1 冲击电压介电试验	在实际应用中,对表 F.5 中的脉冲试验电压数值进行圆整化
6.1.2.2.2.1 概述 6.1.2.2.2 冲击电压介电试验的代替试验	作为对 6.1.2.2.1 中给定的冲击电压试验的替代,可对特殊设备规定一个交流或直流试验,并考虑到其可对某些固体绝缘造成过载和损坏
6.1.3.1 试验选择	在进行介电试验之前,规定考虑振动和机械冲击的试验方法
6.1.3.4.1 试验方法	当短时暂态过电压导致了对试验电压幅度的最严酷要求时,可将试验的持续时间降至最低值 5 s
6.1.3.4.1 试验方法	在较高稳态应力,包括高再现峰值电压应力下进行试验时,应对试验电压引入一个安全余额
C.4.3 局部放电试验的校准	在规定再校准的时间间隔时,应考虑:在局部放电表计不够灵敏时,可能具有破坏性的放电可不被察觉
附录 F 表 F.4: 避免由于电痕化故障的爬电距离	对于表 4 中高于 1 000 V 的数值,可根据自己经验使用最小爬电距离尺寸

A.3 要求制造商责任的章节

在具备或不具备产品标准情形下使用 GB/T 16935.1 时,要求制造商不仅进行所有的相关定尺寸和试验,还要进行以下列表中的项目。

表 A.3 GB/T 16935.1 中的章节标题及要求的制造商责任

GB/T 16935.1—2008 中的章节标题	要求的责任
3.9 额定电压	为作为操作和性能特性对象的部件、电器或设备分配电压值
3.9.1 额定绝缘电压	为设备或设备的某一部分分配耐受电压有效值,规定其绝缘的(长时)耐受特性
3.9.2 额定冲击电压	为设备或设备的某一部分分配冲击耐受电压,规定其绝缘抗瞬态过电压的耐受特性
3.9.3 额定再现峰值电压	为设备或设备的某一部分分配再现峰值耐受电压,规定其绝缘抗再现峰值电压的耐受特性
3.9.4 额定暂态过电压	为设备或设备的某一部分分配暂时耐受过电压,规定其绝缘抗再现峰值电压的耐受特性
5.2.2.4 爬电距离的方向和位置	如有必要,指示设备的或部件的预期方向,从而其爬电距离不受累积的污染物的不利影响
6.1.5.2 抽样和常规试验	规定用以确保生产质量的抽样试验和常规试验,试验中波形及电压水平的选取应试的可检测出故障而不致对设备(固体绝缘或部件)造成破坏

附 录 B
(资料性附录)

GB/T 16935.4 中要求技术委员会进行规定的章节概览

B.1 由技术委员会确定的事项

不适用。

B.2 技术委员会可选的规定

引用 GB/T 16935.1 时,技术委员会应考虑以下列表中的事项,并确定选项。

表 B.1 GB/T 16935.4 的章节标题与技术委员会考虑的可选规定

GB/T 16935.4 中章节标题	需考虑事项
1 范围和目的	规定发生电离气体情形下的特殊要求
7.3 预处理	规定一个试验

附录 C
(资料性附录)

GB/T 16935.5 中要求技术委员会对事项进行确定,规定选项或要求制造商责任的章节概览

C.1 由技术委员会确定的事项

引用 GB/T 16935.5 时,要求技术委员会对以下条目进行确定。

表 C.1 GB/T 16935.5 中章节标题及由技术委员会考虑的事项

GB/T 16935.5—2008 中的章节及标题	引用 GB/T 16935.1—2008	需考虑的事项 (在引用 GB/T 16935.1—2008 情况下,需考虑 GB/T 16935.1 中的相关章节)
4.3.1 概述 4.3 电压及额定值	GB/T 16935.1 中 4.3.1 适用	应规定电压定额依据: 根据设备预期用途确立的过电压类别,考虑设备预期连接的系统的特性
4.3.2.2.1 直接由低压电网供电的设备		选择电压的依据为: ——线对线电压,或 ——线对中性点电压。 在后一种情形中,技术委员会应规定如何告知用户设备仅用于中性点接地系统
4.3.3.2.2 直接由电网供电的设备	GB/T 16935.1 中 4.3.3.2.2 适用	根据过电压类别的一般描述规定过电压类别(也可见 GB 16895.10—2010 中 443 条)
4.7 设备提供的资料	GB/T 16935.1 中 4.7 适用	规定随设备提供的相关信息及提供信息的方式
4.8.1 概述 4.8 绝缘材料		按其 CTI 值将绝缘材料分为不同的组别 考虑绝缘材料的电气强度特性、热、机械、化学和吸水特性
4.8.3 电气强度特性	GB/T 16935.1 中 4.8.2 适用	考虑绝缘材料电气强度特性,并考虑 5.3.1,5.3.2.2.1 及 5.3.2.3.1 中描述的应力
4.8.4 热特性	GB/T 16935.1 中 4.8.3 适用	考虑绝缘材料电气强度特性,并考虑 5.3.2.2.2, 5.3.2.3.3 中及 5.3.3.5 中描述的应力。 注:也可见 GB/T 11026 系列。
4.8.5 机械和化学特性	GB/T 16935.1 中 4.8.4 适用	考虑绝缘材料机械和化学特性,并考虑 5.3.2.2.3, 5.3.2.3.3 中及 5.3.2.4 中描述的应力
5.4.2.2.3 机械冲击	GB/T 16935.1 中 5.3.2.2.3 适用	在规定运输、贮存、安装和使用环境条件时,考虑材料的非充分冲击强度,机械冲击及削弱的冲击强度

表 C.1 (续)

GB/T 16935.5—2008 中的章节及标题	引用 GB/T 16935.1—2008	需考虑的事项 (在引用 GB/T 16935.1—2008 情况下,需考虑 GB/T 16935.1 中的相关章节)
5.4.2.4 其他应力	GB/T 16935.1 中 5.3.2.4 适用	考虑其他应力,诸如: ——辐射,包括紫外线辐射及电离辐射; ——暴露于溶剂或活性化学剂中造成的应力裂纹或应力断裂; ——塑化剂迁移作用; ——细菌、霉菌或菌类的作用; ——机械塑性变形
5.4.3.2.1 概述 5.3.3.2 耐受电压应力	GB/T 16935.1 中 5.3.3.2.1 适用	规定分配给设备的适合的电压额定值
5.4.3.2.5 高频电压		规定是否有必要按照 6.1.3.7 进行试验
5.4.3.3 承受短期热应力	GB/T 16935.1 中 5.3.3.3 适用	规定严酷水平
5.4.3.4 承受机械应力	GB/T 16935.1 中 5.3.3.4 适用	规定严酷水平
5.4.3.5 承受长期热应力	GB/T 16935.1 中 5.3.3.5 适用	规定是否有必要进行试验(也可见 IEC 60085:2007 及 IEC 60216 系列)
5.4.3.7 承受其他应力	GB/T 16935.1 中 5.3.3.7 适用	对其他应力进行声明,并规定试验方法
6.1.2.2.1.2 冲击试验电压的选择		针对试验条件,规定温度及湿度值。 考虑在型式试验之外是否需增加抽样试验或常规试验
6.1.3.1 试验选择		规定在设备内产生的应力所要求的型式试验 规定以抽样及常规试验形式进行的确保生产过程中的绝缘质量的试验。规定试验和合适的条件,所用的试验参数足以检测出故障且不会引起绝缘损坏
6.1.3.2 预处理	GB/T 16935.1 中 6.1.3.2 适用	规定合适的预处理方法
6.1.3.4.1 试验方法		考虑是否将交流试验电压替换为与交流电压峰值相等的直流试验电压,并应考虑到直流试验的严酷程度低于交流试验
6.1.3.5.2 验证		根据试品种类,规定: ——试验电路(C.1); ——测量设备(C.3 和 D.2); ——测量频率(C.3.1 和 D.3.3); ——试验程序(6.1.3.5.3)
6.1.4.5 试验结果判别	GB/T 16935.1 中 6.1.4.5 适用	规定是否可忽略电气间隙中不发生击穿 的局部放电

表 C.1 (续)

GB/T 16935.5—2008 中的章节及标题	引用 GB/T 16935.1—2008	需考虑的事项 (在引用 GB/T 16935.1—2008 情况下,需考虑 GB/T 16935.1 中的相关章节)
6.1.5.1 用于绝缘配合目的以外的试验	GB/T 16935.1 中 6.1.5.1 适用	规定的试验电压不应高于绝缘配合所要求的电压值
6.1.5.2 抽样试验和常规试验	GB/T 16935.1 中 6.1.5.2 适用	规定用于确保产品质量的抽样试验和常规试验。 规定的试验电压在任何情况下均不得高于型式试验要求的试验电压值
	C.2.1 概述 C.2 试验参数	应规定: ——试验电压的频率 f_1 (C.2.2); ——规定的放电量(6.1.3.5.4.1); ——局部放电的环境条件(C.2.3) 注:对型式和常规试验,可能需要不同的规范。
	C.2.2 试验电压的要求	考虑频率可能对放电量的影响

C.2 技术委员会可选的规定

引用 GB/T 16935.5 时,技术委员会应考虑以下列表中的事项,并确定选项。

表 C.2 GB/T 16935.5 中章节标题及技术委员会考虑的可选规定

GB/T 16935.5 中的章节标题	引用 GB/T 16935.1—2008	需考虑的事项 (在引用 GB/T 16935.1—2008 情况下,需考虑 GB/T 16935.1 中的相关章节)
4.3.3.2.3 非直接由低压电网供电的系统和设备	GB/T 16935.1 中 4.3.3.2.3 适用	规定适合的过电压类别或额定冲击电压。 推荐适用 4.2.3 中的优选序列
5.2.1 概述 5.2 电气间隙定尺寸		应考虑在稳态电压有效值或再现峰值电压下定尺寸过程中将导致这样的情形:即在连续施加此类电压下,不会发生击穿
5.2.6 基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘的电气间隙的确定		在对绝缘材料的可触及表面的电气间隙定尺寸时,规定进一步信息
5.3.2.3.2 确定维持绝缘电阻的尺寸		在规定了设备带电部件之间或带电部件与可触及表面之间的最大泄漏电流情形下,应考虑定尺寸的绝缘电阻
5.3.4 基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘的爬电距离的确定		在对绝缘材料的可触及表面的爬电距离定尺寸时,规定进一步信息

表 C.2 (续)

GB/T 16935.5 中的章节标题	引用 GB/T 16935.1—2008	需考虑的事项 (在引用 GB/T 16935.1—2008 情况下, 需考虑 GB/T 16935.1 中的相关章节)
5.4.2.3.3 机械应力	GB/T 16935.1 中 5.3.2.3.3 适用	在规定长期应力试验条件时,考虑机械应力
5.4.3.1 概述 5.4.3 要求	GB/T 16935.1 中 5.3.3.1 适用	在考虑固体绝缘可触及表面的电气应力时规定进一步信息
6.1.1 概述 6.1 试验		对于在完成型式试验后预期或被要求用于未来使用的试品,考虑按 6.1.3.5 及附录 C 合并任意高压试验及局部放电测量
6.1.2.2.1.1 概述 6.1.2.2.1 冲击电压介电试验		根据 6.1.2.2.2 规定作为替代方案的介电试验
6.1.2.2.1.1 概述 6.1.2.2.1 冲击电压介电试验		在实际应用中,对表 F.5 中的脉冲试验电压数值进行圆整化
6.1.2.2.2.1 概述 6.1.2.2.2 冲击电压节点试验的代替试验		作为对 6.1.2.2.1 中给定的冲击电压试验的替代,可对特殊设备规定一个交流或直流试验,并考虑到其可对某些固体绝缘造成过载和损坏
6.1.3.1 试验选择		在进行介电试验之前,规定考虑振动和机械冲击的试验方法
6.1.3.4.1 试验方法		当短时暂态过电压导致了对试验电压幅度的最严酷要求时,可将试验的持续时间降至最低值 5 s
	C.4.3 局部放电试验的校准	在规定再校准的时间间隔时,应考虑:在局部放电表计不足够灵敏时,可能具有破坏性的放电可不被察觉
	附录 F 表 F.4 避免由于电痕化故障的爬电距离	基于表 F.4 数值对超过 10 000 V 电压定尺寸

C.3 要求制造商责任的章节

在具备或不具备产品标准情形下使用 GB/T 16935.1 时,要求制造商不仅进行所有的相关定尺寸和试验,还要进行以下列表中的项目。

表 C.3 GB/T 16935.5 中的章节标题及要求的制造商责任

GB/T 16935.5—2008 中章节标题	引用 GB/T 16935.1—2008	要求的责任 (在引用到 GB/T 16935.1—2008 时, 需考虑 GB/T 16935.1—2008 中的相关条款)
	3.9 额定电压	为作为操作和性能特性对象的部件、电器或设备分配电压值
	3.9.1 额定绝缘电压	为设备或设备的某一部分分配耐受电压有效值,规定其绝缘的(长时)耐受特性
	3.9.2 额定冲击电压	为设备或设备的某一部分分配冲击耐受电压,规定其绝缘抗瞬态过电压的耐受特性
	3.9.3 额定再现峰值电压	为设备或设备的某一部分分配再现峰值耐受电压,规定其绝缘抗再现峰值电压的耐受特性
	3.9.4 额定暂态过电压	为设备或设备的某一部分分配暂时耐受过电压,规定其绝缘抗再现峰值电压的耐受特性
5.3.2.4 爬电距离的方向和位置	GB/T 16935.1 中 5.2.2.4 适用	如有必要,指示设备的或部件的预期方向,从而其爬电距离不受累积的污染物的不利影响
6.1.5.2 抽样和常规试验	GB/T 16935.1 中适用	规定用以确保生产质量的抽样试验和常规试验,试验中波形及电压水平的选取应试的可检测出故障而不致对设备(固体绝缘或部件)造成破坏

附录 D
(资料性附录)

超过 1 000 V 直流电压下对电气间隙和爬电距离定尺寸

D.1 导论

GB/T 16935.1—2008 的对象是低压系统内设备的绝缘配合,额定电压直流不超过 1 500 V。GB/T 16935.1—2008 中未给出任何有关超过 1 000 V 而不超过 1 500 V 的直流电压的详细数值。本附录 D 修正了 GB/T 16935.1—2008 中的附录 F。

D.2 直接由低压电网供电的设备的额定冲击电压

表 D.1 在使用中可作为 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1 提供的信息的补充。

表 D.1 设备额定冲击电压

基于 GB/T 156 电源系统的标称电压	从直流标称电压导出 线对中性点的电压/V (小于或等于)	额定冲击电压			
		过电压类别 ^a			
单相 V		I V	II V	III V	IV V
引用 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1	最高 1 000 V, 引用 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1	引用 GB/T 16935.1—2008 中表 F.1			
1 500 直流 ^b	1 500	6 000	8 000	10 000	15 000
^a 过电压类别的解释可见 GB/T 16935.1—2008 中 4.3.3.2.2。 ^b 对于应用于铁路中的相关信息,应检查与 SAC/TC 205 之间的协调性。					

D.3 对基本绝缘、附加绝缘及加强绝缘的电气间隙定尺寸

基本绝缘和附加绝缘的电气间隙分别按照 GB/T 16935.1—2008 中表 F.2 规定进行。

考虑冲击电压,加强绝缘的电气间隙的定尺寸应按如 GB/T 16935.1—2008 中 5.1.6 中的要求进行。

D.4 爬电距离定尺寸

对于超过 1 000 V 的直流电压的爬电距离定尺寸,可见 GB/T 16935.1—2008 中表 F.4。

参 考 文 献

- [1] GB 14048.1—2012 低压开关设备和控制设备 第1部分:总则
 - [2] GB/T 16915.1 家用和类似用途固定式电气装置的开关 第1部分:通用要求
 - [3] GB/T 20640 电气附件家用断路器和类似设备 辅助触头组件
 - [4] IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary—Part 151: Electrical and magnetic devices*
 - [5] IEC 60050-212, *International Electrotechnical Vocabulary—Part 212: Electrical insulating solids, liquids, and gases*
 - [6] IEC 60050-604, *International Electrotechnical Vocabulary—Part 604: Production, transport et distribution de l'énergie électrique—Exploitation*
 - [7] IEC 60050-826, *Electrical installations*
 - [8] IEC 60038, *IEC standard voltages*
 - [9] IEC 60079 (all parts), *Explosive atmospheres*
 - [10] IEC 60194, *Printed board design, manufacture and assembly—Terms and definitions*
 - [11] IEC 60669-1:1998, *Switches for household and similar fixed-electrical installations—Part 1:General requirements* Amendment 1 (1999), Amendment 2 (2006)
 - [12] IEC 60947-1:2007, *Low-voltage switchgear and controlgear—Part 1:General rules*
 - [13] IEC 62019:1999, *Electrical accessories—Circuit-breakers and similar equipment for household use—Auxiliary contact units* Amendment 1 (2002)
 - [14] ISO/IEC Guide 2, *Standardization and related activities—General vocabulary*
-

中华人民共和国
国家标准化指导性技术文件
低压系统内设备的绝缘配合
第 2-1 部分:应用指南
GB/T 16935 系列应用解释,
定尺寸示例及介电试验

GB/Z 16935.2—2013/IEC/TR 60664-2-1:2011

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 3.5 字数 102 千字
2014 年 4 月第一版 2014 年 4 月第一次印刷

*

书号: 155066·1-48750 定价 48.00 元



GB/Z 16935.2-2013

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107