ICS 29.080.30
CCS K 30

中华人民共和国国家标准

GB/T 16935.1—2023/IEC 60664-1:2020
代替 GB/T 16935.1—2008

低压供电系统内设备的绝缘配合 第1部分:原理、要求和试验

Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems—Part 1: Principles, requirements and tests

(IEC 60664-1:2020,IDT)

2023-09-07 发布　　2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅴ
引言 …… Ⅵ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义、缩略语 …… 2
3.1　术语和定义 …… 2
3.2　缩略语 …… 7
4　绝缘配合的基本技术特性 …… 7
4.1　一般要求 …… 7
4.2　电压 …… 7
4.3　过电压类别 …… 10
4.4　频率 …… 10
4.5　污染 …… 11
4.6　绝缘材料 …… 11
4.7　环境因素 …… 13
4.8　电压应力持续时间 …… 14
4.9　电场分布 …… 14
5　绝缘配合设计 …… 14
5.1　一般要求 …… 14
5.2　电气间隙的确定 …… 15
5.3　爬电距离的确定 …… 17
5.4　固体绝缘的设计要求 …… 20
6　试验和测量 …… 22
6.1　一般要求 …… 22
6.2　验证电气间隙 …… 22
6.3　验证爬电距离 …… 24
6.4　验证固体绝缘 …… 24
6.5　整台设备的介电试验 …… 28
6.6　其他试验 …… 29
6.7　瞬态过电压衰减的测量 …… 30
6.8　电气间隙和爬电距离的测量 …… 30
附录A（资料性）　电气间隙耐受特性的基本参数 …… 35
附录B（资料性）　不同过电压控制方式的电网电源的标称电压 …… 40

附录 C（规范性） 局部放电试验方法 …… 42
C.1 试验电路 …… 42
C.2 试验参数 …… 43
C.3 测量仪器的要求 …… 43
C.4 校准 …… 44
附录 D（资料性） 局部放电试验方法补充资料 …… 47
D.1 局部放电初始电压和熄灭电压的测量 …… 47
D.2 局部放电试验电路的说明（见图 D.1） …… 47
D.3 降低干扰的保护措施 …… 48
D.4 试验电压倍率系数的应用 …… 48
附录 E（资料性） 表 F.5 中规定的爬电距离和表 A.1 中电气间隙的比较 …… 50
附录 F（规范性） 表 …… 51
附录 G（资料性） 根据 5.2 确定电气间隙尺寸 …… 60
附录 H（资料性） 根据 5.3 确定爬电距离尺寸 …… 62
参考文献 …… 64

图 1 再现峰值电压 …… 9
图 2 筋的宽度（W）和高度（H）尺寸 …… 19
图 3 试验电压 …… 27
图 4 跨过槽的测量 …… 31
图 5 沿着槽轮廓的测量 …… 31
图 6 沿着具有角度的槽轮廓的测量 …… 31
图 7 沿着筋轮廓的测量 …… 32
图 8 具有未粘合接缝宽度小于 X 的槽的测量 …… 32
图 9 具有未粘合接缝宽度等于或大于 X 的槽的测量 …… 32
图 10 具有未粘合接缝一边宽度小于 X 的槽的测量 …… 33
图 11 通过未粘合接缝的爬电距离和电气间隙的测量 …… 33
图 12 与螺钉头之间大于 X 的爬电距离和电气间隙的测量 …… 33
图 13 与螺钉头之间小于 X 的爬电距离和电气间隙的测量 …… 34
图 14 具有导电浮动部件的爬电距离和电气间隙的测量 …… 34
图 A.1 在高于海平面 2 000 m 处的耐受电压 …… 37
图 A.2 在接近海平面处测得的非均匀电场实验数据及其下限值 …… 38
图 A.3 在接近海平面处测得的均匀电场实验数据及其下限值 …… 39
图 C.1 接地的试品 …… 42
图 C.2 不接地试品 …… 42
图 C.3 接地试品的校准 …… 45
图 C.4 不接地试品的校准 …… 45

图 D.1　局部放电试验电路 …… 47
图 E.1　表 F.5 中规定的爬电距离和表 A.1 中电气间隙的比较 …… 50
图 G.1　根据 5.2 确定电气间隙 …… 60
图 H.1　根据 5.3 确定爬电距离 …… 62

表 1　槽的尺寸 …… 31
表 A.1　海拔 2 000 m 处的耐受电压(kV) …… 35
表 A.2　电气间隙的海拔修正系数 …… 36
表 B.1　内在控制或相当的保护控制 …… 40
表 B.2　需要保护控制的情况及由电涌保护器控制[保护电压与额定电压之比不小于 IEC 61643(所有部分)规定值]的情况 …… 41
表 F.1　直接由电网电源供电的设备的额定冲击耐受电压 …… 51
表 F.2　耐受瞬态过电压的电气间隙 …… 52
表 F.3　单相(三线或二线)交流或直流系统 …… 53
表 F.4　三相(四线或三线)交流系统 …… 54
表 F.5　避免由于电痕化故障的爬电距离 …… 55
表 F.6　不同海拔处验证电气间隙的试验电压 …… 57
表 F.7　固体绝缘试验环境条件严酷度 …… 57
表 F.8　耐受稳态峰值电压、暂时过电压或再现峰值电压[b] 的电气间隙的确定 …… 58
表 F.9　避免局部放电的电气间隙的确定的附加资料 …… 58
表 F.10　电气间隙的海拔修正系数 …… 59

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是GB/T 16935《低压系统内设备的绝缘配合》的第1部分。GB/T 16935已经发布了以下部分:

——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2-2部分:交界面考虑　应用指南;

——第3部分:利用涂层、罐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。

本文件代替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》,与GB/T 16935.1—2008相比,除结构调整和编辑性改动外,主要技术变化如下:

——更改了范围(见第1章,2008年版的第1章);

——增加了“低压供电系统”“电网电源”“稳态工作电压”等术语(见3.1.1、3.1.2、3.1.8等),更改了“工作过电压”“闪络”“电击穿”等术语(见3.1.7、3.1.46、3.1.44等,2008年版的3.7.2、3.20.2、3.20等),删除了“操作过电压”“雷电过电压”“功能过电压”等术语(见2008年版的3.7.3、3.7.4、3.7.5等);

——在附录B和附录F的表格中增加了1 500 V DC;

——更改了海拔1 000 m处的修正系数,将0.844修改为0.884(见表F.10,2008年版的表F.8)。

本文件等同采用IEC 60664-1:2020《低压供电系统内设备的绝缘配合　第1部分:原理、要求和试验》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动:

——在6.4.6.3中将原文中U_t更正为$U_{试验电压}$与图3对应一致。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国低压设备绝缘配合标准化技术委员会(SAC/TC 417)归口。

本文件起草单位:上海电器科学研究院、施耐德电气(中国)有限公司上海分公司、常熟开关制造有限公司、上海良信电器股份有限公司、万可电子(天津)有限公司、杭州电力设备制造有限公司余杭群力成套电气制造分公司、上海西门子线路保护系统有限公司、中机国际工程设计研究院有限责任公司、宁波奇乐电气集团有限公司。

本文件主要起草人:黄兢业、季慧玉、贾峰、周斌、褚泼、李生爱、汪芳、郭强、胡金利、王维、冯家明。

本文件于1997年首次发布,2008年第一次修订,本次为第二次修订。

引　言

低压系统内设备需要保障绝缘配合,《低压系统内设备的绝缘配合》系列标准是低压系统设备绝缘配合的基础安全标准,包括适用于低压系统设备绝缘配合的基本要求和试验方法,相关的产品标准参考本系列标准。

GB/T 16935《低压系统内设备的绝缘配合》是指导低压系统内设备的绝缘配合的重要系列标准,拟由6个部分构成。

——第1部分:原理、要求和试验。目的在于为各产品技术标委会提供有关绝缘配合的指导资料,能够保证低压系统设备的安全使用,提高绝缘配合领域的可靠性水平,规范生产和使用行为准则。

——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。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。

——第2-2部分:交界面考虑　应用指南。目的在于为各技术委员会在考虑与绝缘配合相关的交界面问题时提供了通用基础导则。

——第3部分:利用涂层、罐封和模压进行防污保护。目的在于规定利用涂层、罐封和模压进行防污保护的组件的绝缘配合要求及试验程序。

——第4部分:高频电压应力考虑事项。目的在于概括总结有关高频绝缘应力的一些最为重要的数据,阐释高频绝缘应力对绝缘材料及其尺寸的影响,规定电气间隙、爬电距离及固体绝缘的数据,并给出有关高频应力的试验方法。

——第5部分:不超过2 mm的电气间隙和爬电距离的确定方法。目的在于规定印制线路板和类似结构件中不超过2 mm的电气间隙和爬电距离的尺寸确定方法。

低压供电系统内设备的绝缘配合 第1部分:原理、要求和试验

1 范围

本文件规定了设备的绝缘配合,该设备用于连接额定电压交流不超过1 000 V或直流不超过1 500 V的低压供电系统。

本文件适用于额定频率不超过30 kHz的设备。

注1:额定频率高于30 kHz的低压供电系统内设备的绝缘配合见IEC 60664-4规定。

注2:设备内部电路可能会出现较高的电压。

本文件适用于海拔不超过2 000 m的设备,超过2 000 m的使用见5.2.3.4。

本文件为各技术委员会提供了确定电气间隙、爬电距离和固体绝缘的要求规定,包括有关绝缘配合的电气试验方法。

本文件规定的最小电气间隙不适用于具有电离气体之处。有关这种情况的特殊要求可由相应的技术委员会自行处理。

本文件不涉及确定以下几种距离:

——通过液体的绝缘;

——通过除空气以外的气体;

——通过压缩空气。

本基础安全标准聚焦于必不可少的安全性要求,主要供各技术委员会根据IEC Guide 104和ISO/IEC Guide 51中规定的原则编制标准时使用。

如适用,技术委员会有职责在编制出版物时使用本基本安全标准。

如相关产品标准没有规定电气间隙、爬电距离的数值以及对固体绝缘的要求,或在没有标准的情况下,本文件适用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 2423.22—2012 环境试验 第2部分:试验方法 试验N:温度变化(IEC 60068-2-14:2009,IDT)

IEC 60068-2-2 环境试验 第2-2部分:试验 试验B:高温(Environmental testing—Part 2-2: Tests—Test B: Dry heat)

注:GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验B:高温(IEC 60068-2-2:2007,IDT)

IEC 60068-2-78 环境试验 第2部分:试验 试验Cab:恒定湿热试验(Environmental testing—Part 2-78: Tests—Test Cab: Damp heat, steady state)

注:GB/T 2423.3—2016 环境试验 第2部分:试验方法 试验Cab:恒定湿热试验(IEC 60068-2-78:2012,IDT)

IEC 60270 高电压试验技术 局部放电测量(High-voltage test techniques—Partial discharge measurements)

注：GB/T 7354—2018 高电压试验技术 局部放电测量(IEC 60270:2000,MOD)

IEC 61180:2016 低压电气设备的高电压试验技术 定义、试验和程序要求、试验设备(High-voltage test techniques for low-voltage equipment—Definitions, test and procedure requirements, test equipment)

注：GB/T 17627—2019 低压电气设备的高电压试验技术 定义、试验和程序要求、试验设备(IEC 61180:2016,MOD)

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 的标准术语数据库地址如下：

- IEC 电子开放平台：http://www.electropedia.org/
- ISO 在线浏览平台：http://www.iso.org/obp

3.1.1

低压供电系统 low-voltage supply system

发电、输电及配电的所有装置和设备的组合。

[来源：GB/T 2900.50—2008,601-01-01,有修改]

3.1.2

电网电源 mains supply

为设备提供工作电源的交流或直流配电系统(设备外部)。

注：除非本文件另有规定,电网电源包括公共或私人使用的设备、等效电源,如电动发电机和不间断电源。

3.1.3

绝缘配合 insulation coordination

考虑了预期微观环境及其他影响应力的电气设备绝缘特性的相互关系。

注：按 3.1.7 至 3.1.16 规定的特性来表示预期电压应力。

[来源：IEC 60050-442:2014,442-09-01,有修改]

3.1.4

电气间隙 clearance

两个导电零件之间空气的最短距离。

[来源：GB/T 4210—2015,581-27-76]

3.1.5

爬电距离 creepage distance

沿两个导电部分之间的固体绝缘材料表面的最短距离。

[来源：GB/T 2900.83—2008,151-15-50]

3.1.6

固体绝缘 solid insulation

插在两导电部件之间或导电部件和主体部分之间的固体绝缘材料或固体绝缘材料的组合。

[来源：IEC 60050-903:2015,903-04-14,有修改]

3.1.7

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：不考虑瞬态过电压。

注 2：开路和正常运行二种情况都要考虑。

[来源：IEC 60050-851:2008，851-12-31]

3.1.8

稳态工作电压　steady-state working voltage

瞬态过电压现象消退后的工作电压，不考虑短期电压变化。

3.1.9

稳态峰值电压　steady-state peak voltage

稳态工作电压的峰值。

3.1.10

再现峰值电压　recurring peak voltage

U_{rp}

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，由于偶尔操作产生的过电压)不认为是再现峰值电压。

[来源：IEC 60050-442:2014，442-09-15]

3.1.11

过电压　overvoltage

峰值大于在正常运行下最大稳态工作电压的相应峰值的任何电压。

3.1.12

暂时过电压　temporary overvoltage

持续相对长时间的工频过电压。

[来源：IEC 60050-614:2016，614-03-13，有修改]

3.1.13

瞬态过电压　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短时间过电压。

[来源：IEC 60050-614:2016，614-03-14，有修改]

3.1.14

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绝缘击穿和/或闪络。

3.1.15

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。

[来源：IEC 60050-442:2014，442-09-18，有修改]

3.1.16

暂时耐受过电压　temporary withstand overvoltage

在规定的条件下，不造成绝缘击穿的暂时过电压的最高有效值。

[来源：IEC 60050-442:2014，442-09-19]

3.1.17

额定电压　rated voltage

U_n

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：设备可有一个以上的额定电压或可具有额定电压范围。

[来源：IEC 60050-442:2014，442-09-10，有修改]

3.1.18

额定绝缘电压　rated insulation voltage

U_i

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：额定绝缘电压等于或大于设备的额定电压，而额定电压主要与设备的功能特性有关。

[来源：IEC 60050-312:2014，312-06-02，有修改]

3.1.19

额定冲击耐受电压　rated impulse withstand voltage

U_{imp}

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态过电压的能力。

3.1.20

过电压类别　overvoltage category

用数字表示的瞬态过电压条件。

注：用Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ表示过电压类别，见4.3.2。

[来源：GB/T 4210—2015，581-21-02，有修改]

3.1.21

环境　environment

可能影响设备或系统性能的周围情况。

示例：如气压、温度、湿度、污染、辐射和振动。

3.1.22

宏观环境　macro-environment

设备安装或使用的房间或其他场所的环境。

[来源：IEC 60050-442:2014，442-01-55]

3.1.23

微观环境　micro-environment

直接影响电气间隙和爬电距离尺寸的环境条件。

3.1.24

污染　pollution

可能影响介电强度或表面电阻率的固体、液体或气体(电离气体)的任何情况。

3.1.25

污染等级　pollution degree

用数字表征微观环境受预期污染程度。

[来源：GB/T 4210—2015，581-21-07，有修改]

3.1.26

均匀电场　homogeneous field

电极之间的电压梯度基本恒定的电场。

注：均匀电场条件在附录F中表F.2和表F.8中被称为情况B，见4.9。

3.1.27

非均匀电场　inhomogeneous field

非一致电场

电极之间的电压梯度基本上不恒定的电场。

注：见4.9。

[来源：IEC 60050-442:2014，442-09-03，有修改]

3.1.28

电气绝缘 electric insulation

电工产品中,用以隔离运行中不同电位的导电部件或使这些部件与外界隔绝的部分。

[来源:IEC 60050-212:2010,212-11-07,有修改]

3.1.29

功能绝缘 functional insulation

仅为了设备所需的正常功能,在可导电部分之间设置的绝缘。

[来源:GB/T 2900.73—2008,195-02-41,有修改]

3.1.30

基本绝缘 basic insulation

能够提供基本防护的危险带电部分上的绝缘。

注:本概念不适用于仅用作功能性目的的绝缘。

[来源:GB/T 2900.71—2008,826-12-14]

3.1.31

附加绝缘 supplementary insulation

除了基本绝缘外,用于故障防护附加的单独绝缘。

[来源:GB/T 2900.71—2008,826-12-15]

3.1.32

双重绝缘 double insulation

既有基本绝缘又有附加绝缘构成的绝缘。

[来源:GB/T 2900.71—2008,826-12-16]

3.1.33

加强绝缘 reinforced insulation

危险带电部分具有相当于双重绝缘的电击防护等级的绝缘。

注:加强绝缘可以由几个不能像基本绝缘或附加绝缘那样单独测试的绝缘层组成。

[来源:GB/T 2900.71—2008,826-12-17]

3.1.34

局部放电 partial discharge;PD

部分桥接绝缘两端的放电。

注 1:局部放电可能发生在绝缘层内部或导体附近。

注 2:在绝缘材料表面的低能量闪烁通常被描述为局部放电,但更被视为低能量破坏性放电,因为根据物理学惯例,它们是高电离密度的局部电介质击穿或小电弧的结果。

[来源:IEC 60050-442:2014,442-09-05,有修改]

3.1.35

视在电荷 apparent charge

q_{app}

在试品接线端子处能够测量到的电荷。

注 1:视在电荷比局部放电小。

注 2:测量视在电荷要求在试品接线端子处有一个短路条件(见附录 D 中 D.2)。

[来源:IEC 60050-442:2014,442-09-06,有修改]

3.1.36

规定的放电量 specified discharge magnitude

作为限值的在电荷量。

注：宜计算最大幅度的脉冲。

[来源：IEC 60050-442:2014,442-09-07]

3.1.37

脉冲重复率 pulse repetition rate

视在电荷量大于测量水平的每秒钟脉冲平均数。

注：在本文件范围内，不允许用脉冲重复率来估算放电量。

3.1.38

局部放电初始电压 partial discharge inception voltage

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。

[来源：IEC 60050-212:2014,212-11-41]

3.1.39

局部放电熄灭电压 partial discharge extinction voltage

当试验电压降至低于发生放电的上限值，而视在电荷小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。

3.1.40

局部放电试验电压 partial discharge test voltage

局部放电试验中(该试验中视在电荷小于规定的放电量)的电压峰值。

注：对于交流试验，可用有效值。

[来源：IEC 60050-212:2014,212-11-62，有修改]

3.1.41

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的试验，以检查这一设计符合某些规范。

3.1.42

常规试验 routine test

对制造中或完工后的每一个产品所进行的符合性试验。

[来源：GB/T 2900.83—2008,151-16-17]

3.1.43

抽样试验 sampling test

在同一批产品中随机地提取几台电器所进行的试验。

[来源：GB/T 2900.25—2008,411-53-05，有修改]

3.1.44

电击穿 electric breakdown

当放电完全桥接绝缘时在电应力下绝缘失效，导致电极间的电压下降接近至零。

3.1.45

击穿跳火 sparkover

在气体或液体介质中的电击穿。

3.1.46

闪络 flashover

在气体、液体或真空中两个导体之间发生的至少有部分是沿着固体绝缘表面的电击穿。

[来源:IEC 60050-212:2010,212-11-47]

3.1.47

击穿 puncture

贯穿固体绝缘的电击穿。

[来源:IEC 60050-614:2016,614-03-17,有修改]

3.2 缩略语

下列缩略语和符号适用于本文件。

U_i:额定绝缘电压(rated insulation voltage)。

U_{imp}:额定冲击耐受电压(rated impulse withstand voltage)。

U_n:额定电压(rated voltage)。

U_{rp}:再现峰值电压(recurring peak voltage)。

PD:局部放电(partial discharge)。

q_{app}:视在电荷(apparent charge)。

4 绝缘配合的基本技术特性

4.1 一般要求

绝缘配合要求根据设备的应用及其周围情况和环境条件来选择设备的电气绝缘技术特性。

绝缘配合是人员、牲畜和财产安全的一个方面,因此,由电压应力引起事故的可能性不能导致不可接受的损害风险。

本文件涉及对任何类型的危险的绝缘配合。对于涉及危险类型的特定风险,技术委员会宜考虑电气间隙、爬电距离和固体绝缘的概念,也要考虑功能绝缘、基本绝缘、附加绝缘、双重绝缘和加强绝缘的概念。

技术委员会应进行风险评估,以确定功能绝缘故障时的危害。当功能绝缘故障产生不可接受的危害风险时(如由于机械条件、老化等引起的危害),功能绝缘应至少按照基本绝缘的要求设计,在这之后,需要再次进行风险评估来评估残余风险。见5.2~5.4。当功能绝缘故障不产生任何危害时,技术委员会可选择不采用本基本安全出版物的要求。

注:风险评估和不可接受的危害风险的进一步详细信息见ISO/IEC Guide 51和IEC Guide 116。

电气绝缘技术特性包括:

——跨接绝缘的电压,见4.2;

——过电压类别,见4.3;

——频率,见4.4;

——污染等级,见4.5;

——绝缘材料,见4.6;

——环境因素,见4.7(如海拔见4.7.2,温度见4.7.3,振动见4.7.4,湿度见4.7.5,电压应力持续时间见4.8);

——电场分布,见4.9。

只有设备的设计基于在其期望寿命中所承受的应力时才能实现绝缘配合。

4.2 电压

4.2.1 基本要素

当考虑绝缘性能时,应关注下列方面。

——在系统中可能出现的电压：

- 瞬态过电压(见 4.2.2)和过电压类别(见 4.3)；
- 暂时过电压(见 4.2.3)。

——设备产生的电压(该电压可能会反过来影响系统中的其他设备)：

- 瞬态过电压(见 4.2.2)；
- 再现峰值电压(见 4.2.4)；
- 稳态工作电压(见 4.2.5)；
- 稳态峰值电压(见 4.2.6)。

4.2.2 瞬态过电压

4.2.2.1 一般要求

为了适用绝缘配合的概念，宜考虑瞬态过电压。宜考虑的瞬态过电压包括：

——由大气干扰(例如间接雷击)产生并由电网电源配电系统传输的瞬态过电压；

——电网电源中负载通断产生的瞬态过电压；

——由外部电路产生的瞬态过电压；

——设备内部产生的瞬态过电压。

绝缘配合采用的冲击电压优选值如下：

330 V、500 V、800 V、1 500 V、2 500 V、4 000 V、6 000 V、8 000 V、12 000 V。

瞬态过电压的绝缘配合主要依据可控过电压的条件。主要有下面两种控制。

——内在控制：要求电气系统特性能将预期瞬态过电压限制在规定水平的条件。

——保护控制：要求电气系统中特定的过电压衰减措施能将预期瞬态过电压限制在规定水平的条件。

见附录 B 中表 B.1 和表 B.2。

4.2.2.2 通过电网电源进入的瞬态过电压

为了确定大气干扰或电网电源中负载通断产生的预期瞬态过电压，通常使用额定电压(U_n)和过电压类别作为确定所需冲击耐受电压的基准。

对于承受超过冲击耐受电压的瞬态过电压的设备，应计及这些瞬态过电压的影响。

4.2.2.3 由外部电路产生的瞬态过电压

应确定任何外部电路(例如同轴电缆或双绞线网络)上可能出现的瞬态过电压的适用值。如果存在一个以上的外部电路，则最高瞬态过电压适用。

如果已知外部电路瞬态过电压高于此类设备典型定义的过电压类别中的过电压，则应使用这些已知瞬态过电压的最高值。

4.2.2.4 设备内部产生的瞬态过电压

对于可能产生高于预期进入设备的瞬态的过电压的设备，例如开关设备，所需的冲击电压宜考虑设备中产生的瞬态电压。应采用设备内部产生的瞬态过电压值，而不考虑 4.2.2.1 中的优选值。

4.2.2.5 瞬态过电压水平的衰减

设备或设备部件可用在需减少瞬态电压的情况。存在各种元件技术，如电涌保护器(SPD)、变压器、电容、电阻，在瞬态过电压衰减方面可采取不同的方式。应验证这些各种技术，并根据相关产品标准

确定传播测量方法。

值得注意的是,装置内或设备内的电涌保护器可能需要消耗比装置受电点处具有较高保护水平(钳位电压)的电涌保护器更多的能量。这尤其适用于具有最低保护水平(钳位电压)的电涌保护器。

如果预期的瞬态衰减,跨接绝缘的瞬态过电压的测量在可通过对设备进行所需的冲击电压试验,测量绝缘层上的实际剩余瞬态,见 6.7。测量值可以用作预期的瞬态过电压。执行测试时设备在额定电压下通电,且宜考虑两种极性的瞬态。

4.2.3 暂时过电压

由于电网电源故障,线和地/中性点之间会产生几秒钟的暂时过电压,在应用绝缘配合概念时宜进行考虑。

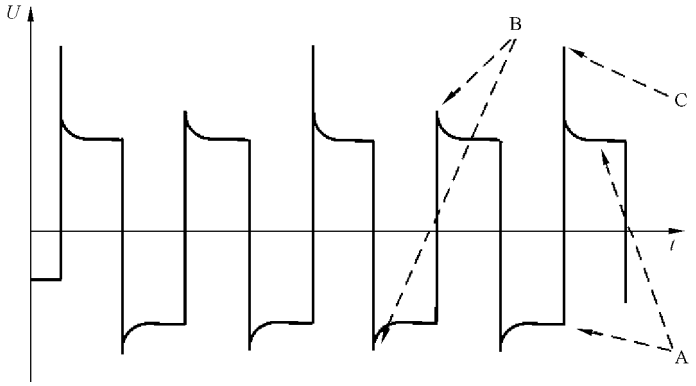
有关暂时过电压的绝缘配合以 IEC 60364-4-44:2007 中 442 规定的暂时过电压为基础。低压设备由于高压系统的接地故障而引起的暂时过电压的数值见 5.4.3.2。

4.2.4 再现峰值电压

由于特定产品的预期操作模式,内部产生的电压也可能包括叠加到工作电压上的再现峰值电压。应用绝缘配合概念时,宜考虑这些再现峰值电压。

有关再现峰值电压的绝缘配合宜考虑固体绝缘内可能发生的局部放电(见 4.6.2.3)或沿绝缘表面可能发生的局部放电(见表 F.9)。

可通过具有足够带宽的示波器测量再现峰值电压波形,如图 1 所示,从波形上可确定电压峰值。



标引序号说明:

A ——稳态电压;

B ——稳态峰值电压;

C ——再现峰值电压。

图 1 再现峰值电压

4.2.5 稳态工作电压

宜考虑通以额定电压的设备跨接绝缘的最高稳态工作电压(交流有效值或直流值)。这种稳态工作电压可低于、等于或高于设备的额定电压。内部电路的稳态工作电压是产品设计的直接结果,可能明显高于额定电压值。

4.2.6 稳态峰值电压

宜考虑设备在额定电压下,跨接绝缘的稳态工作电压峰值。内部电路的稳态峰值电压是产品设计的直接结果。

4.3 过电压类别

4.3.1 一般要求

直接由低压电网电源的设备应采用过电压类别的概念。

过电压类别具有概率含义，并非指下游设备内瞬态过电压的物理衰减。

注：该过电压类别概念已被 IEC 60364-4-44:2007 中 443 和 IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015 采用。

连接其他系统（例如，电信和数据系统）的设备也能采用类似概念。

4.3.2 直接由电网电源供电的设备

各技术委员会应以下列过电压类别的基本说明为基础来确定过电压类别。

——过电压类别Ⅳ的设备是使用在配电装置电源端的设备。

注 1：此类设备包含如电表、前级过电流保护设备和纹波控制单元。

——过电压类别Ⅲ的设备是固定式配电装置中的设备，以及设备的可靠性和适用性必需符合特殊要求者。

注 2：此类设备包含如安装在固定式配电装置中的开关电器和永久连接至固定式配电装置的工业用设备。

——过电压类别Ⅱ的设备是由固定式配电装置供电的耗能设备。如果此类设备的可靠性和适用性具有特殊要求时，则采用过电压类别Ⅲ。

注 3：此类设备包含如器具、可移动式工具及其他家用和类似用途负载。

——过电压类别Ⅰ的设备不应直接连接于电网电源中。

采取措施确保能够充分限制所产生的暂时过电压，其峰值不应超过表 F.1 中的相关额定冲击耐受电压。

注 4：除非电路设计时考虑了暂时过电压，否则过电压类别为Ⅰ的设备不能直接连接于电网电源中。

4.3.3 非直接由电网电源供电的系统和设备

如适合，建议各技术委员会规定该系统和设备的过电压类别或额定冲击耐受电压。推荐采用 4.2.2.1 中的优选值。

注：电信或工业控制系统或载运装置中的独立系统是此类系统的范例。

4.4 频率

4.4.1 一般要求

随着频率的增加，电气间隙、爬电距离和固体绝缘的电压耐受能力会减小，该影响从 1 kHz 开始。本文件中电气间隙、爬电距离和固体绝缘的设计包含了不超过 30 kHz 的频率产生的影响，对于超过 30 kHz 的频率，见 5.1.2。

4.4.2 固体绝缘

电压频率会影响固体绝缘的电气强度，介质发热和热不稳定性的概率基本上与频率成正比，提高频率会降低大多数绝缘材料的电气强度。

在开关型供电电源中该处绝缘材料在频率至 500 kHz 下重复承受峰值电压，就能观察到这一情况。

4.5 污染

4.5.1 一般要求

微观环境决定污染对绝缘的影响，然而在考虑微观环境时应计及宏观环境。

有效地使用外壳，封闭式或气密封闭等措施可减少对绝缘的污染。这些减少污染的措施对设备受凝露或正常运行中其本身产生的污染时可能无效。安装于室外和室内的外壳，预期在高湿和温度变化较大的地点使用时，应提供适当的布置（自然通风、强制通风、内部加热、排水孔等），以防止外壳内发生有害凝露。根据 IEC 60529 规定的等级，外壳提供的防护等级（IP 代码）不一定能改善微观环境中的污染。

技术委员会应根据各自的标准提供信息来验证封闭系统的性能。

固体微粒、尘埃和水能完全桥接小的电气间隙，因此凡微观环境可存在污染之处都要规定最小电气间隙。

4.5.2 微观环境的污染等级

为了计算爬电距离和电气间隙，微观环境的污染等级规定有以下 4 级：

——污染等级 1

无污染或仅有干燥的、非导电性的污染，该污染没有任何影响；

——污染等级 2

一般仅有非导电性污染，然而必须预期到凝露会偶然发生短暂的导电性污染，这种凝露可能发生在设备的通断负载循环期间；

——污染等级 3

有导电性污染或由于预期的凝露使干燥的非导电性污染变为导电性污染；

——污染等级 4

造成持久的导电性污染，例如由于导电尘埃或雨或其他潮湿条件所引起的污染。

4.5.3 导电性污染条件

当持久导电污染存在时（污染等级 4），无法规定爬电距离的尺寸。对于暂时导电污染（污染等级 3），绝缘表面可通过设计来避免导电污染的连续通路，例如采用筋或槽（见 5.3.3.7）。

4.6 绝缘材料

4.6.1 固体绝缘

绝缘配合可通过适当的绝缘材料来实现。固体绝缘的固有材料特性能直接影响其绝缘性能。宜考虑在产品寿命期间可能影响绝缘性能的电应力、机械应力和其他应力。

由于固体绝缘的电气强度远远大于空气的电气强度，故在设计绝缘系统时可能不会引起注意。另一方面，通过固体绝缘材料的绝缘距离通常大大地小于电气间隙而产生高的电应力。另一点需考虑的是实际上很少采用高电气强度的材料。在绝缘系统中，电极与绝缘之间和不同的绝缘层之间均可能会产生间隙，或绝缘材料本身有气隙。在这些间隙或气隙中，在电压远小于击穿水平时，仍可能发生局部放电，这就会影响固体绝缘的使用寿命。然而当峰值电压小于 500 V 时，一般不可能发生局部放电。

具有同等重要意义的事实是与气体相比，固体绝缘不是一种可恢复的绝缘介质，例如偶尔发生的高压峰值就可能对固体绝缘造成破坏性影响。这种情况会发生在运行及常规高电压试验中。

4.6.2 应力

4.6.2.1 一般要求

许多不利影响会在固体绝缘的使用寿命期间累积。由此形成复杂的过程,且最终导致绝缘老化。所以电应力和其他应力(例如热、环境)的叠加会造成绝缘老化。

可结合适当的条件用短期试验(见 6.4.3)来模拟固体绝缘的长期性能。

固体绝缘的厚度与前面所述的失效机理之间存在一定的联系。当固体绝缘的厚度减少,电场强度随之增加,失效的风险也随之上升。由于材料的独特的电气特性,无法计算出固体绝缘的所需厚度,因此只能通过试验来验证性能。

4.6.2.2 机械冲击

如果材料不具有足够的抗撞击强度,机械冲击会造成绝缘损坏。下述原因引起的材料撞击强度降低也会造成机械冲击的损坏:

——当温度下降至低于其玻璃化转变温度时,材料就会变脆;

——长期暴露在高温下会造成材料的塑化剂损失或造成原料聚合物老化。

各技术委员会在规定运输、贮存、安装和使用的环境条件时要考虑此情况。

4.6.2.3 局部放电(PD)

某些类型的固体绝缘可承受放电现象,而其他一些固体绝缘不能承受放电现象。电压、放电重复率以及放电量均是重要的参数。

注:陶瓷绝缘子通常能耐受局部放电。

局部放电特性受外施电压的频率的影响。在增高频率的条件下进行加速寿命试验,可证实失效时间大约与外施电压的频率成反比。然而,实际经验仅包括 5 kHz 及以下的频率,因为在较高的频率下,也会存在其他一些失效机理,例如电介质发热。

4.6.2.4 其他应力

许多其他应力均会损坏绝缘,各技术委员会必须考虑。

这些应力包括如下举例:

——紫外线辐射和电离辐射;

——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;

——细菌、霉菌或菌类的作用;

——机械蠕变。

4.6.3 相比电痕化指数(CTI)

4.6.3.1 闪烁作用下绝缘材料的性能

关于电痕化,由于污染表面干燥使表面泄漏电流分断而产生闪烁时,其闪烁过程中集中释放的能量使绝缘材料受到损伤,绝缘材料的特性可根据其损伤程度大致显现出来。在闪烁作用下绝缘材料可能有以下性能:

——绝缘材料发生分解;

——放电作用使绝缘材料蚀损(电腐蚀);

——绝缘材料表面上电介质导电性污染和电场强度的综合效应,在其表面上逐渐形成导电通道(电

痕化)。

注:电痕化或电腐蚀发生在以下条件:

——承载表面泄漏电流的液膜破裂时;和

——外施电压足以击穿小间隙,该间隙在液膜破裂时形成;和

——表面泄漏电流必须大于限值,以便提供足够能量,以热的方式局部地分解液膜下的绝缘材料。

绝缘的恶化随着电流通过的时间增长而加剧。

4.6.3.2 用于绝缘材料分类的 CTI 值

根据 4.6.3.1 规定的性能无法对绝缘材料进行分类,在各种不同的污染和电压下绝缘材料的性能是非常复杂的。在各种不同条件下许多材料可能呈现出两种甚至三种上述特性。绝缘材料与 5.3.2.4 所述材料组别实际上无直接关系。然而,经验和试验表明,具有较高相关性能的绝缘材料的排列也与按相比电痕化指数(CTI)相应等级的排列大致相同。因此本文件采用 CTI 值进行绝缘材料分类。

4.6.3.3 相比电痕化指数(CTI)试验

按 IEC 60112 中相比电痕化指数(CTI)试验比较各种绝缘材料在试验条件下的性能,可提供定性比较,同时就绝缘材料具有形成漏电痕迹的趋向来说,相比电痕化指数试验也可给出定量比较。

4.6.3.4 无电痕化材料

对于玻璃、陶瓷或其他无机绝缘材料,不会发生电痕化,爬电距离无须大于其相应的为实现绝缘配合而要求的电气间隙。

4.7 环境因素

4.7.1 一般要求

设备的物理和地理位置会对绝缘系统产生重大影响。需要考虑海拔、温度、振动和湿度等环境因素,以确保在设备寿命期内绝缘配合保持可靠。

4.7.2 海拔

根据帕邢定律,空气中电气间隙的击穿电压正比于电极间距离和大气压的乘积。对于均匀电场和非均匀电场,本文件所要求的电气间隙是按海拔 2 000 m 与海平面之间的大气压差异进行修正的,海拔高于 2 000 m 的电气间隙尺寸的确定见 5.2.3.4,在验证海拔非 2 000 m 的电气间隙时,海拔的考虑见 6.2.2.1.4。

4.7.3 温度

温度可能导致:

——由于内应力的消除造成机械上的变形;

——热塑性塑料的软化;

——由于塑化剂损失造成某些材料脆裂;

——某些交联材料的软化,特别是当超过材料的玻璃化转变温度时;

——介电损耗增加,导致热不稳定和故障。

较大的温度变化(例如在短路期间)可能导致机械故障。

4.7.4 振动

在运行、贮存或运输过程中,由于振动或冲击产生的机械应力会造成绝缘材料的脱层、断裂或断开

(见 5.4.4.2)。

4.7.5 湿度

有水蒸气的地方可能会影响绝缘电阻和放电熄灭电压,加剧表面污染,发生腐蚀和外形变化。对于某些材料,高湿度会大大地降低电气强度。在某些情况下,低湿度也可能是不利的,例如会增大静电电荷的滞留,且会降低某些材料(如聚酰胺)的机械强度。

4.8 电压应力持续时间

电压应力的持续时间尤其影响爬电距离和固体绝缘的长期绝缘性能。爬电距离见 5.3.3.4。

对于电气间隙,电压会瞬间造成绝缘击穿,持续时间一般不影响电气间隙。

4.9 电场分布

电场分布会影响绝缘的电气强度。

——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。

——均匀电场分布是两个球体之间电场完全均匀的最有利的理论情况(见 3.1.26)。通常,为了在两个球体之间实现均匀场条件,每个球体的半径应大于它们之间的距离。均匀场条件在实际设计中很难实现。

实际上,电场的分布通常介于均匀电场和非均匀电场之间。

5 绝缘配合设计

5.1 一般要求

5.1.1 绝缘配合方法

绝缘配合设计应采用下列方法:

——电气间隙(见 5.2);

——爬电距离(见 5.3);和

——固体绝缘(见 5.4)。

并适用于所考虑的每个单独绝缘。

5.2 和 5.3 中电气间隙和爬电距离的设计要求是基于附录 A 和附录 F 中所示经验试验数据的最小距离。在设计过程中,应计及生产公差。

注:IEC 61140 认为隔离装置要求适用于过电压类别Ⅲ和Ⅳ,而不适用于类别Ⅰ和类别Ⅱ。

5.1.2 高于 30 kHz 频率

额定频率高于 30 kHz 的低压系统内设备的绝缘配合见 IEC 60664-4 规定。

5.1.3 使用涂层或灌封减小距离

IEC 60664-3 中给出了低压系统内设备使用涂层、灌封或模压防止污染,并减小电气间隙和爬电距离的绝缘配合要求。

5.1.4 未连接公共低压系统的设备

绝缘配合适用于直接连接至公共低压系统上的设备,但建议对所有其他的未直接连接至公共低压

系统的设备使用相同准则(IEC TR 60664-2-1)。

5.2 电气间隙的确定

5.2.1 通则

在确定电气间隙时宜考虑以下影响因素:

——冲击耐受电压(见 5.2.2.2 和 5.2.2.3);

——暂时过电压的峰值电压(见 5.2.2.4);

——稳态峰值电压或再现峰值电压(见 5.2.2.4);

——电场条件(见 5.2.3.2 和 5.2.3.3);

——海拔(见 5.2.3.4);

——微观环境中的污染等级(见 5.2.3.5)。

机械影响,例如振动和外施力等,则要求有较大的电气间隙。

附录 G(图 G.1)给出了按照 5.2.1 的要求如何确定电气间隙。

5.2.2 电气间隙的确定准则

5.2.2.1 一般要求

电气间隙应由承受以下情况的最大尺寸确定:

——对于直接连接到电网电源的额定冲击耐受电压,基于 5.2.2.2 和 5.2.2.3 确定尺寸;

——对于稳态峰值电压、暂时过电压的峰值(见 5.2.1)或再现峰值电压,基于 5.2.2.4 确定尺寸。

5.2.2.2 设备额定冲击耐受电压的选择

应根据表 F.1,对应于规定的过电压类别和设备的额定电压来选择设备的额定冲击耐受电压。

注 1:具有特定额定冲击耐受电压和多于一个额定电压的设备可适用于不同的过电压类别。

注 2:对于开关过电压方面的考虑,见 4.2.2.4。

5.2.2.3 耐受瞬态过电压的尺寸确定

应根据表 F.2 来确定能够承受所要求冲击耐受电压的电气间隙。对于直接连接于电网电源的设备,所要求的冲击耐受电压为 5.2.2.2 基础上的额定冲击耐受电压。

5.2.2.4 耐受稳态峰值电压、暂时过电压或再现峰值电压的尺寸确定

应根据表 F.8 确定耐受稳态峰值电压、暂时过电压的峰值或再现峰值电压的电气间隙。

5.2.3 有关电气间隙的其他因素

5.2.3.1 一般要求

导电部件(电极)的形状和布置会影响电场的均匀性(见 4.9),进而影响到耐受规定的电压所需要的电气间隙(见表 F.2、表 F.8 和表 A.1)。

建议按照 5.2.3.2 设计为非均匀电场(情况 A),如果设计为均匀电场(情况 B),5.2.3.3 适用(见 6.2.2.1)。

5.2.3.2 非均匀电场条件(表 F.2 中情况 A)

选用不小于表 F.2 中非均匀电场的电气间隙可不必考虑导电部件的形状结构,也不必用电压耐受

试验进行验证。

由于不能控制形状结构，可能会对电场的均匀性产生不利影响，因此通过绝缘材料的外壳开口的电气间隙应不小于非均匀电场条件规定的电气间隙。

5.2.3.3 均匀电场条件(表 F.2 中情况 B)

表 F.2 中情况 B 的电气间隙之值仅适用于均匀电场。只有当导电部件(电极)的形状结构设计成使该处电场强度基本上为恒定的电压梯度时才能采用此值。

电气间隙小于非均匀电场条件要求之值，需要通过电压耐受试验进行验证(见 6.2.2.1)。对于小电气间隙，污染存在可能会影响电场的均匀性，必须增大电气间隙至大于情况 B 之值(见表 A.2 和表 A.3)。

5.2.3.4 海拔修正

本文件规定的电气间隙对从海平面至 2 000 m 之处是有效的。

表 A.2 规定的海拔修正系数适用于海拔高于 2 000 m 以上的电气间隙。6.2.2.1.4 给出了有关电气间隙的海拔修正的计算方法。对于表 A.2 中的值允许线性插值法。

注：这种现象是非线性的，各技术委员会的负责在两个海拔值之间确定插值。

5.2.3.5 微观环境中的污染等级

在微观环境的污染等级下(根据 4.5.2)，电气间隙应从表 F.2 中选择。污染等级对确定电气间隙影响不大，但是，对于小间隙而言，不能忽略这一点，因为固体颗粒、灰尘和凝露等污染可能会桥接气隙。

表 F.2 给出了污染等级 2 和污染等级 3 下的最小电气间隙值。

5.2.4 功能绝缘的电气间隙的确定

对于功能绝缘的电气间隙，要求的耐受电压应是设备在额定条件下(特别是额定电压和额定冲击耐受电压，见表 F.2)跨电气间隙两端预期发生的最大冲击电压或稳态峰值电压(见表 F.8)或再现峰值电压(见表 F.8)。

注：对于等于或小于 2 mm 的间距，IEC TR 63040 给出了绝缘距离的影响参数的试验研究。由技术委员会负责本文件的使用。

5.2.5 基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘的电气间隙的确定

基本绝缘和附加绝缘的电气间隙应按表 F.2 规定各自对应如下电压予以确定：

——按 4.2.2 或 5.2.2.2 的额定冲击耐受电压；或

——按 4.2.2.4，由设备内部产生的瞬态过电压相应的耐受电压要求。

及按表 F.8 规定各自对应如下电压予以确定：

——按 4.2.3 的暂时过电压的峰值；

——按 4.2.4 的再现峰值电压；

——按 4.2.6 的稳态峰值电压。

对于冲击耐受电压，加强绝缘的电气间隙应按表 F.2 对应于比基本绝缘确定的额定冲击耐压高一级(4.2.2.1 所列优选值序列)之值来确定，如果按 4.2.2.1 基本绝缘要求的冲击耐受电压不是优选值，则加强绝缘应按能承受基本绝缘要求的冲击耐受电压的 160%来确定。

注 1：在绝缘配合的系统中，对要求的冲击耐受电压而言电气间隙大于规定的最小值是没有必要，但是对于除绝缘配合以外的原因(例如由于机械影响)增大电气间隙是必要的。在此情况下试验电压仍保持在设备的额定冲击耐受电压基础上，否则有关的固体绝缘可能会出现过高的应力。

对于稳态峰值电压、再现峰值电压和暂时过电压，加强绝缘的电气间隙按表 F.8 规定的值确定，以承受 160％基本绝缘要求的耐受电压。

对具有双重绝缘的设备，在基本绝缘和附加绝缘不能分开进行试验之处，则该绝缘系统可考虑如同加强绝缘。

注 2：在确定可触及的绝缘材料表面的电气间隙时，可设想为该表面覆盖金属箔。具体细节由各技术委员会规定。

5.3 爬电距离的确定

5.3.1 一般要求

为了确定爬电距离，宜考虑以下影响因素：

——电压(见 5.3.2.2)；

——污染等级(见 5.3.2.3)；

——材料组别(见 5.3.2.4)；

——爬电距离的方向和位置(见 5.3.3.2)；

——绝缘表面的形状(见 5.3.3.3)；

——电压应力持续时间(见 5.3.3.4)；

——一种以上材料或污染等级(见 5.3.3.5)；

——浮动导电部件(见 5.3.3.6)；

——筋的使用(见 5.3.3.7)；

——安装在印制线路材料上的元件(见 5.3.3.8)。

附录 H(表 H.1)给出了根据 5.3 的要求如何确定爬电距离的指导。

注：表 F.5 中的数值来自现有实验数据，且适合大多数用途，然而对于功能绝缘，可选取其他爬电距离数值。

5.3.2 确定爬电距离准则

5.3.2.1 一般要求

爬电距离的尺寸应能承受所考虑绝缘的长期电压应力有效值，并考虑到污染等级和与爬电距离相关的材料组别(见 5.3.2.2～5.3.2.4)。还应计及机械形状、材料参数和电压应力持续时间(见 5.3.3)。

5.3.2.2 电压的确定

确定爬电距离以作用在跨接爬电距离两端的长期电压有效值为基础。此电压为稳态工作电压(见 4.2.5)、额定绝缘电压或额定电压的最大值。为确定额定绝缘电压，可使用表 F.3 和表 F.4。

瞬态过电压通常不会影响电痕化现象，因此忽略不计。然而对暂时过电压，或设备功能所需的任何过电压，如果他们的持续时间和出现的频度对电痕化有影响的话，则是要考虑(见 5.3.3.4)。

对于具有多个额定电压的设备，为了在不同的电网电源标称电压下使用，所选电压应适用于设备的最高额定电压。

应使用系统、设备或内部电路中可能出现的最高稳态工作电压。在额定电压和设备额定值范围内的最严酷运行条件下确定电压，不考虑故障条件。

5.3.2.3 污染等级的确定

当根据表 F.5 确定爬电距离时，应计及到微观环境(见 4.5.2)中的污染和湿度的组合对污染等级的影响。

注：在一个设备中，可能存在不同的微观环境条件。

5.3.2.4 材料组别的确定

本文件将绝缘材料按其CTI值划分为四组,CTI值是根据IEC 60112使用溶液A所测得的。具体分组如下:

绝缘材料组别Ⅰ　　600≤CTI;
绝缘材料组别Ⅱ　　400≤CTI<600;
绝缘材料组别Ⅲa　　175≤CTI<400;
绝缘材料别组Ⅲb　　100≤CTI<175。

5.3.2.5 爬电距离与电气间隙的关系

爬电距离不能小于相关的电气间隙,因此最小的爬电距离有可能等于要求的电气间隙。然而,除此选定尺寸极限外,空气中的最小电气间隙与容许的最小爬电距离之间并无物理联系。

在爬电距离能够承受相关电气间隙(表F.2)所要求的电压情况下,爬电距离小于表F.2中情况A要求的电气间隙仅可在污染等级1和污染等级2的条件下使用。相关试验见6.2。

5.3.3 有关爬电距离的其他因素

5.3.3.1 一般要求

各技术委员会宜考虑影响爬电距离的其他因素,例如绝缘表面的方向和形状。如果爬电距离有特定的影响因素,则宜考虑这些因素。

5.3.3.2 爬电距离的方向

如有必要,制造商应指明设备或元件预期使用的方位,以便在设计时考虑污染的积累对爬电距离的不利影响。

5.3.3.3 绝缘表面的形状

绝缘表面的形状仅在污染等级3情况下对确定爬电距离有影响。固体绝缘表面宜尽可能设置横向的筋和槽,用来阻断污染引起连续性的漏电路径。同时,筋和槽也可用于引导水远离承受电应力的绝缘。宜避免导电部件间插入槽和接缝,因为它们可能会使污染累积或积水。

5.3.3.4 电压应力持续时间

电压应力时间影响到在干燥时可能发生表面闪烁(其能量大的足以引起电痕化)的次数。当这类事件次数足够多时会在以下几个方面引起电痕化:

——预期持续使用但产生的热量不足以使其绝缘表面干燥的设备内;
——承受长期在凝露作用下频繁接通、分断操作的设备内;
——直接连至电网电源的开关设备输入侧以及该开关设备的进线端和负载端之间。

对预期长时间承受电压应力的绝缘,按表F.5确定其爬电距离。

如果设备内绝缘仅承受短时电压应力,各技术委员会可考虑允许降低爬电距离。

5.3.3.5 多种材料或多种污染等级情况下的爬电距离

如果爬电距离的某部分是按耐受全部电压来确定,或全部爬电距离是按具有最低的CTI和最高的污染等级的材料来确定,则一个爬电距离可分成几个不同的材料部分和/或具有不同的污染等级。

5.3.3.6 被浮动导电部件分开的爬电距离

由相同材料组成的爬电距离可分成几个部分，包括浮动导电部件或被浮动导电部件分开的部分，只要各单独部分的爬电距离之和等于或大于假定浮动导电部件不存在时所需值。见图 14。

5.3.3.7 使用筋减小所需的爬电距离

在污染等级 3 情况下，当所需的爬电距离等于或大于 8 mm 时，可通过使用筋减小爬电距离。减小的爬电距离值列于表 F.5 的括号内(见表 F.5 脚注 d)。筋的最小宽度(W)和最小高度(H)分别为所需爬电距离(包括筋)的 20%和 25%(见图 2)。

在使用多根筋情况下，爬电距离应分成与所需筋相同数量的几个部分，每部分爬电距离均应符合上述要求。各根筋之间的最小爬电距离应等于用于每个部分的筋从底部测得的最小宽度。

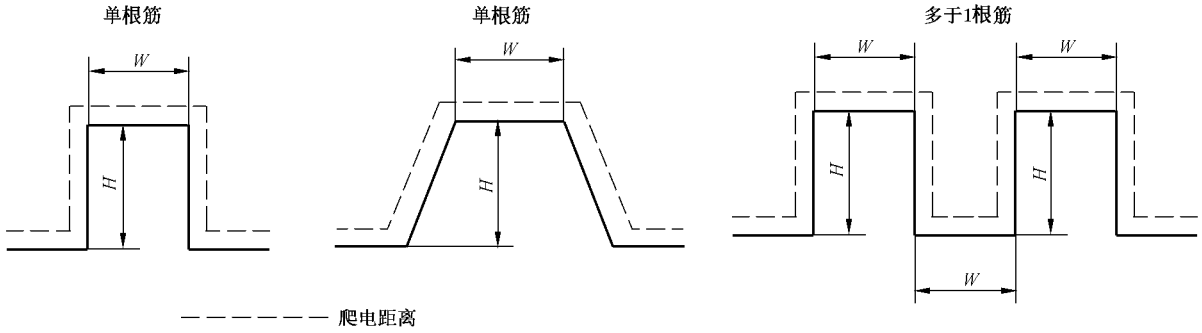


图 2 筋的宽度(W)和高度(H)尺寸

5.3.3.8 安装在印制线路材料上的元件的爬电距离

对于仅在污染等级 1 和污染等级 2 下使用的印制线路材料的爬电距离，允许减小爬电距离，可从表 F.5 中选择。需注意元件可能导致爬电距离减小或通过其他路径减小爬电距离。

在污染等级为 2(表 F.5 第 3 列)的印制线路材料上使用减小的爬电距离时，可能需要额外的污染防护。

5.3.4 功能绝缘的爬电距离的确定

功能绝缘的爬电距离应按表 F.5 规定的对应于跨接爬电距离两端的稳态工作电压予以确定。

注 1：表 F.5 中的值可用于功能绝缘，但选择其他不同的爬电距离值也是合适的。

注 2：对于等于或小于 2 mm 的间距，IEC TR 63040 给出了绝缘距离的影响参数的试验研究。由各技术委员会负责本文件的使用。

当用稳态工作电压来确定爬电距离时，允许用插入值确定中间电压的爬电距离。应使用线性插入法求插入值，并将所得值的位数圆整到表中之值的相同位数。

5.3.5 基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘的爬电距离的确定

基本绝缘和附加绝缘的爬电距离应根据下述电压从表 F.5 确定。

——在表 F.3 第 2 和 3 栏和表 F.4 第 2、3 和 4 栏中以对应于低压电网电源标称电压给出的合理化电压。

——额定绝缘电压。

——在 4.2.5 规定的电压。

当使用表 F.5 时，允许对中间电压进行插值。插值时，应使用线性插值，并将所得值的位数圆整到

表中之值的相同位数。

双重绝缘的爬电距离是基本绝缘之值和附加绝缘之值的总和，因双重绝缘是由基本绝缘和附加绝缘组成。

注 1：附加绝缘所采用的污染等级、绝缘材料、机械强度和环境条件均可与基本绝缘所采用的有所不同。

加强绝缘的爬电距离应为基本绝缘的爬电距离的二倍。

注 2：在确定可触及绝缘材料表面的爬电距离时，可假定为该表面覆盖有金属箔。具体细节由各技术委员会规定。

附录 E(图 E.1)给出了最小电气间隙和爬电距离的比较。

5.4 固体绝缘的设计要求

5.4.1 一般要求

基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘的固体绝缘应能持久地承受电场强度和机械应力，并能在设备的预期寿命期间承受可能产生的热影响和环境影响。

注：5.4 未提供任何有关固体绝缘用作功能绝缘的要求。

各技术委员会宜考虑在规定试验条件下的这些应力。

5.4.2 电压应力

固体绝缘应耐受下列电压应力：

——瞬态过电压(见 5.4.3.1)；

——暂时耐受过电压(见 5.4.3.2)；

——再现峰值电压(见 5.4.3.3)；

——稳态工作电压(见 5.4.3.4)。

5.4.3 耐受电压应力

5.4.3.1 瞬态过电压

基本绝缘和附加绝缘应具有：

——按表 F.1 对应于电网电源标称电压和相关过电压类别的冲击耐受电压要求(见 4.2.2.2)；或

——按电路中预期的瞬态过电压规定的设备内部电路的冲击耐受电压(见 4.2.2.4)。

加强绝缘应具有对应于额定冲击耐受电压但比基本绝缘规定值高一级(4.2.2.1 所列优选值序列)的冲击耐受电压。如果根据 4.2.2.1 基本绝缘要求的冲击耐受电压不是优选值中的数值，则应规定加强绝缘承受基本绝缘要求的冲击耐受电压的 160%。

验证试验见 6.4.4。

5.4.3.2 暂时耐受过电压

基本固体绝缘和附加固体绝缘应能承受下列暂时耐受过电压：

——U_0+1 200 V 短期暂时过电压时间至 5 s；

——U_0+250 V 长期暂时过电压时间大于 5 s。

其中，U_0 为中性点接地的电源系统的标称线对中性点的电压。

制造商可将额定暂时耐受过电压值规定为有效性能。

除非进行局部放电试验，加强绝缘应能承受 2 倍的基本绝缘所规定的暂时耐受过电压值。对于局部放电试验，系数见 6.4.6.1。

验证试验见 6.4.5。

注 1：这些数值取自 IEC 60364-4-44:2007 中 442。

注 2：这些值为有效值。

5.4.3.3 再现峰值电压

假定低压电网电源发生的最大再现峰值电压可暂定为 $F_4\times\sqrt{2}U_0$，即 U_0 峰值的 1.1 倍。当出现再现峰值电压时，局部放电熄灭电压应至少为：

——$F_1\times F_4\times\sqrt{2}U_0$，即基本绝缘和附加绝缘各为 $1.32\sqrt{2}U_0$；和

——$F_1\times F_3\times F_4\times\sqrt{2}U_0$，即加强绝缘为 $1.65\sqrt{2}U_0$。

注：$\sqrt{2}U_0$ 是中性点接地系统中电网电源标称电压下的线对中性点的基波（不失真）电压的峰值。本条中倍率的应用见附录 D 规定。

系数 F 的解释见 6.4.6.1。

对于内部电路，应计算其最高的再现峰值电压以取代 $F_4\times\sqrt{2}U_0$，且固体绝缘应满足相应的要求。

验证试验见 6.4.6。

5.4.3.4 稳态电压

稳态工作电压和稳态峰值电压是施加在固体绝缘上的长期电压应力。

在稳态工作电压为非正弦且具有再现峰值电压或稳态峰值电压的情况下（见图 1），宜考虑可能发生的局部放电。类似地，如果存在绝缘层，并且模压绝缘中可能存在空隙，则宜考虑可能发生的局部放电以及固体绝缘的退化。

验证试验见 6.4.6。

5.4.4 耐受环境应力

5.4.4.1 耐受短期热应力

在正常使用和非正常使用（适当时）中可能发生的短期热应力不应损坏固体绝缘。各技术委员会应规定严酷水平。

注：标准严酷水平在 IEC 60068（所有部分）中规定。

5.4.4.2 耐受机械应力

在预期使用中可能出现的机械振动或冲击不应损坏固体绝缘。各技术委员会应规定严酷水平。

注：标准严酷水平在 IEC 60068（所有部分）中规定。

5.4.4.3 耐受长期热应力

固体绝缘的热老化不应在设备预期的寿命期间损坏绝缘配合。各技术委员会应规定是否有必要进行试验。

注：也可见 IEC 60085 和 IEC 60216（所有部分）。

5.4.4.4 耐受湿度影响

设备在规定的湿度条件下应保持绝缘配合（也可见 6.4.3）。

5.4.4.5 影响固体绝缘的其他因素

设备可能承受其他应力，例如，4.6.2.4 列出的应力，这些应力可能会对固体绝缘产生不利的影响。各技术委员会应规定这些应力并规定试验方法。

6 试验和测量

6.1 一般要求

下列试验程序适用于型式试验。允许试品劣化并假定试品不再进行使用。

试验程序规定如下：

——电气间隙验证(见 6.2)；

——爬电距离验证(见 6.3)；

——固体绝缘验证(见 6.4)；

——整台设备介电试验(见 6.5)；

——其他试验(见 6.6)。

各技术委员会宜考虑除型式试验外，是否还应进行抽样或常规试验，并规定哪些试验应作为抽样试验和常规试验以便保证生产过程中的绝缘质量。应规定试验和合适的条件，所用试验参数足以检测出故障且不会引起绝缘损坏(见 6.6.2)。

6.2 验证电气间隙

6.2.1 一般要求

验证电气间隙，宜考虑下列两种情况：

——对于表 F.2 中情况 A 的值，按照 6.8 的要求进行验证，且无需通过电压试验进行进一步验证；

——对于小于表 F.2 中情况 A 且大于情况 B 的值，应按照 6.2.2.1 通过冲击电压试验进行验证。

由瞬态过电压引起的对于电气间隙的应力可通过冲击电压试验评估，此试验也可用一个交流电压试验或直流电压试验来代替，见 6.2.2.1.3。根据 5.2.2.4，如果耐受稳态工作电压、再现峰值电压或暂时过电压的峰值对于确定电气间隙是决定性的，而且确定的电气间隙小于表 F.8 情况 A 时，需要根据 6.2.2.1.3.2 规定的交流试验电压进行试验。

当通过冲击电压试验来验证设备内的电气间隙时，应保证所规定的冲击电压施加在被试电气间隙之间。

注 1：电气间隙的电气试验也会作用到相关的固体绝缘上。

注 2：某些情况下上述试验也适用于爬电距离，见 5.3.2.5。

注 3：整台设备的试验见 6.5。

6.2.2 试验电压

6.2.2.1 冲击电压介电试验

6.2.2.1.1 一般要求

本试验的目的是验证电气间隙能否承受规定的瞬态过电压。用 1.2/50 μs 波形及表 F.6 中规定的电压值进行冲击耐受电压试验。IEC 61180:2016 中 7.1 规定的波形适用。本试验模拟大气的过电压，同时也适用于在电网电源中开关操作所产生的过电压。

由于冲击电压试验结果的分散性，试验应每极性至少各施压 3 次，二次试验间的间隔时间至少 1 s。

冲击发生器的输出阻抗应不大于 500 Ω。对装有跨接在试验电路的元件的设备进行试验时，应规定更低的实际的冲击发生器阻抗值(见 IEC 61000-4-5:2014)。在这种情况下，由于可能的共振作用，会导致试验电压峰值升高，因此在规定试验电压值时应予计及。

各技术委员会可按 6.2.2.1.3 规定替代的介电试验。

注：表 F.6 中规定的值是根据 6.2.2.1.4 计算得出。为确保准确性这些值以高的精确度给出。各技术委员会在实际使用时，可选择圆整这些数值。

6.2.2.1.2 冲击试验电压的选择

如果设备的绝缘配合要求对于电气间隙(电气间隙小于表 F.2 规定的情况 A)进行介电试验，则该设备应以 5.2.2.3 规定的额定冲击耐受电压相对应的冲击试验电压进行试验。应采用表 F.6 中的冲击试验电压。对于海拔非 2 000 m 处的冲击试验见 6.2.2.1.4。

对于试验条件，各技术委员会应规定温度和湿度值。

6.2.2.1.3 冲击电压介电试验的代替试验

6.2.2.1.3.1 一般要求

对于特定设备，各技术委员会可规定交流或直流电压试验来代替冲击电压介电试验。

当以交流或直流电压(其峰值等同于表 F.6 中规定的冲击试验电压)来验证电气间隙的电压耐受能力时，由于试验电压施加时间较长，固体绝缘也承受了较严的考核。它们可能过负荷并损伤某些固体绝缘。当规定用交流或直流电压试验代替 6.4.5 所列冲击耐受电压介电试验时，各技术委员会宜考虑到这些情况。

尽管可用一个交流电压试验或直流电压试验代替冲击电压试验以验证电气间隙，但对于固体绝缘原则上不能用冲击电压试验代替交流电压试验。其主要原因在于冲击电压与工频电压的传播方式不同(特别是在复杂电路中)，以及固体绝缘的耐受特性取决于电压应力的形状和时间。

6.2.2.1.3.2 交流电压介电试验

正弦工频试验电压应基本上为正弦波形。当峰值和有效值之比为$\sqrt{2}(1\pm3\%)$时符合本要求。峰值应等于表 F.6 中的冲击试验电压，且交流试验电压应施加 3 周波。

6.2.2.1.3.3 直流电压介电试验

直流试验电压应基本上没有纹波。当电压的峰值和平均值之比为 1.0(1±3%)时符合本要求。直流试验电压的平均值应等于表 F.6 中的冲击试验电压，每极性各施加电压三次，每次持续时间 10 ms。

6.2.2.1.4 海拔非 2 000 m 处试验的海拔修正

根据 5.2.3.4，电气间隙的使用在海拔 2 000 m 及以下的设备是有效的。在海拔 2 000 m 处正常的气压为 80 kPa，而在海平面处之值为 101.3 kPa。也可见 4.7.2。

由于对气压的依赖性，根据 6.2.2.1 的电气间隙试验，在低于 2 000 m 的位置使用更高的冲击试验电压进行试验。表 F.6 给出了验证海拔低于 2 000 m 处电气间隙的冲击试验电压值。

试验时，只要是正常的实验室条件，可不考虑温度、湿度和正常气压的变化。

IEC 60068-1 规定了正常的实验室条件。

——温度：15 ℃～35 ℃。

——气压：海平面处 86 kPa～106 kPa。

——相对湿度：25%～75%。

海平面处和其他试验地点确定试验电压值的计算基于如下。

表 A.2 给出的海拔修正系数认为与图 A.1 的曲线有关，他们的关系公式(1)所示。

$$k_u=\left(\frac{1}{k_d}\right)^m \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

k_u ——耐受电压的海拔修正系数；

k_d ——电气间隙的海拔修正系数(见表 F.10)；

m ——图 A.1 中曲线 1 的有关直线之斜率(二坐标轴上对数刻度)，为下列值：

$m=0.916\ 3$ 当 0.001 mm$<d\leqslant$0.01 mm 时，

$m=0.330\ 5$ 当 0.01 mm$<d\leqslant$0.062 5 mm 时，

$m=0.636\ 1$ 当 0.062 5 mm$<d\leqslant$1 mm 时，

$m=0.853\ 9$ 当 1 mm$<d\leqslant$10 mm 时，

$m=0.924\ 3$ 当 10 mm$<d\leqslant$100 mm 时；

d 为电气间隙，单位为毫米(mm)。

采用海拔修正系数作为距离修正，其结果在图 A.1 中曲线 1 列出，不同的四个阶梯的电压仅随一个阶梯的距离变化。这个运算的数学公式如上所示。表 F.6 所列出值包括此计算值。

换言之，k_d(电气间隙的海拔修正系数)的每个值将基于作为电气间隙的五个不同耐受电压梯度(m) 产生五个不同的 k_u(耐受电压的海拔修正系数)(m 对每个电气间隙具有不同值，如上所述)。

6.3 验证爬电距离

根据 6.8 验证爬电距离。

对于某些情况，试验也适用于爬电距离，见 5.3.2.5。

6.4 验证固体绝缘

6.4.1 一般要求

在任何情况下，固体绝缘耐受电压应力的能力应通过电压试验验证。由瞬态过电压引起的应力通过冲击电压试验评估(见 6.4.4)。由交流稳态工作电压引起的应力仅能通过交流电压试验评估(见 6.4.5)。由于固体绝缘对交流和直流有不同的耐受特性，所以具有与交流峰值电压相同的试验电压的直流电压试验(见 6.4.7)不完全等同于交流电压试验(见 6.4.5)。然而在纯直流电压应力情况下，直流电压试验(见 6.4.7)是合适的。

6.4.2 试验选择

在运行、贮存、运输或安装过程中可能承受机械应力的固体绝缘应在进行介电试验之前先进行有关的振动和机械冲击试验。各技术委员会可规定有关的试验方法。

绝缘配合试验为型式试验，各技术委员会应就设备中发生的有关应力需要进行哪些型式试验作出规定。

注 1：IEC 60068(所有部分)中规定了标准严酷等级。

对于双重绝缘，在样品上进行如下试验：

——当两个绝缘可单独试验时，应进行两次试验测量以验证基本绝缘和附加绝缘；

——当两个绝缘不能单独试验时，应进行一次试验测量，以加强绝缘试验验证两个绝缘的串联。

注 2：如果每个绝缘两端的两个电容值相差很大，该测试的电压可能远大于两个绝缘其中一个的基本绝缘的电压。可增大这一绝缘，也可平衡每个绝缘层的电容。

试验目的如下：

a) 用冲击电压耐受试验验证固体绝缘耐受额定冲击耐受电压的能力(见 5.4.3.1)；

b) 用交流电压试验验证固体绝缘耐受下述电压的能力：

——短时暂时过电压(见 5.4.3.2);

——再现峰值电压(见 5.4.3.3);

——稳态工作电压(见 5.4.3.4);

——稳态峰值电压(见 5.4.3.4)。

如果交流试验电压的峰值等于或大于额定冲击耐受电压值,则冲击电压试验可由交流电压试验代替;

如果承受应力的时间持续增加,则固体绝缘相比于电气间隙有不同的耐受特性。通常耐受能力会显著下降。因此规定用于验证固体绝缘耐受能力的交流电压试验不允许由冲击电压试验来代替。

c) 用局部放电试验验证固体绝缘在下列电压下不会持续局部放电:

——长期暂时过电压的峰值电压(见 5.4.3.2);

——再现峰值电压(见 5.4.3.3);

——稳态工作电压(见 5.4.3.4);

——稳态峰值电压(见 5.4.3.4)。

d) 30 kHz 以上的高频电压试验是按 6.4.8 规定验证不会由于电介质发热和局部放电而发生故障。

注 3:IEC 60664-4 给出了高于 30 kHz 绝缘的耐受性能信息和试验方法。

如果 c)中所列电压的峰值超过 700 V 并且平均电场强度高于 1 kV/mm,应规定对固体绝缘进行局部放电试验。平均电场强度是峰值电压除以两个不同电位的部件之间的距离。

如在整台设备上进行试验,则采用 6.5 的试验程序。

各技术委员会应说明固体绝缘的交流电压试验是否涵盖固体绝缘的冲击试验,或是否需要进行单独的固体绝缘冲击电压试验。

6.4.3 环境条件试验

如果没有其他规定,试验应以新的试品进行。试品的环境试验条件应通过温度和湿度条件进行处理,其目的是:

——代表其最繁重的正常运行条件;

——暴露其在新的情况下可能不会出现的弱点。

各技术委员会应从下面推荐的方法中规定合适的环境条件处理方法:

a) 高温(按 IEC 60068-2-2),用以达到稳定的条件,该条件可能在产品制造后不会立即存在;

b) 规定变化速率的温度变化(按 GB/T 2423.22—2012 中试验 Nb),用以诱发空隙的产生,该空隙可能在贮存,运输和正常使用中产生;

c) 热冲击(快速温度变化,按 GB/T 2423.22—2012 中试验 Na),用以诱发绝缘系统内的绝缘脱层,该脱层可能在贮存、运输和正常使用过程中发生;

d) 恒定湿热(按 IEC 60068-2-78),用以评价材料吸水性对固体绝缘电气性能的影响。

对于冲击电压试验、交流工频电压试验和高频电压试验,最有效的环境条件处理方法是 a)和 d)的方法。对于局部放电试验,环境条件处理方法 b)和 c)最有效。

如果对固体绝缘的环境条件有要求的话,则应在型式试验前进行有关试验。有关的温度,湿度和时间之值应从表 F.7 中选取。如果需要,各技术委员会可指定更严酷的数值。

在电气试验之前可适当地对元件(例如:电气部件、分装组件、绝缘部件或材料)进行环境条件试验。如果元件已按 6.4.3 进行过型式试验,那么就不再要求进行环境条件试验。

6.4.4 冲击电压试验

6.4.4.1 试验方法

除表 F.6 中海拔修正系数不适用之外，6.2.2.1 中有关冲击电压试验的方法同样适用于固体绝缘，每极性各施加冲击电压五次，各次间隔时间至少为 1 s。应记录每个脉冲的波形(见 6.4.4.2)。

6.4.4.2 合格判别

试验期间固体绝缘应无击穿或局部击穿，但允许有局部放电。局部击穿现象(该现象发生在连续冲击电压施加前期)将在记录结果的波形图上的电压梯级上显示出来。

注：空隙中的局部放电可能会导致极短时间的局部凹痕，而它可能在施加冲击电压过程中重复发生。

6.4.5 交流工频电压试验

6.4.5.1 试验方法

正弦工频试验电压应基本上为正弦波形。当峰值和有效值之比为$\sqrt{2}$(1±3%)时符合本要求。峰值应与 6.4.2 b)中提及的电压最高值相等。

对于基本绝缘和附加绝缘，试验电压值与 6.4.2 b)提及的电压值相同。对于加强绝缘，试验电压值是用于基本绝缘试验电压值的二倍。

将交流试验电压在不超过 5 s 内均匀地从 0 V 上升至 5.4.3.2 中规定的电压值，并在此电压下保持 60 s。

在短期暂时过电压导致试验电压幅值至最严酷的情况下，各技术委员会可考虑减少试验时间，最低为 5 s。

注 1：对特殊型式的绝缘，可能需要更长时间的试验以测定固体绝缘内的薄弱点。

注 2：在高稳态应力(包括高再现峰值电压)试验情况下，技术委员会宜考虑试验电压的安全余量。

在某些情况下，交流试验电压需由等于交流电压峰值的直流试验电压代替，然而此试验的严酷度比交流电压试验低。各技术委员会宜考虑此情况(见 6.4.7)。

试验设备应符合 IEC 61180:2016 的规定。

6.4.5.2 合格判别

固体绝缘不应发生击穿。

6.4.6 局部放电试验

6.4.6.1 一般要求

试验设备应符合 IEC 61180 的规定，电压波形满足 IEC 61180:2016 中 6.1.1.1 的规定。局部放电试验电压应与 6.4.2 c)中提及的电压(根据实际情况乘上系数 F_1、F_3 和 F_4)的最高值相等。最终的数值见图 3 中的 $U_{\text{试验电压}}$。

局部放电试验方法在附录 C 中规定。试验时，应采用 F_1 到 F_4 的倍率系数。这些举例适用于再现峰值电压 U_{rp}，也可见附录 D。例中的系数同样也适用于稳态峰值电压和长期暂时过电压的峰值。

在局部放电试验中，应将暂时过电压的有效值转换为峰值。

F_1——局部放电试验和确定基本绝缘和附加绝缘尺寸的基础安全系数。

环境条件(诸如温度)可能会影响局部放电熄灭电压。考虑了上述影响因素取基础安全系数 F_1 为 1.2。因此基本绝缘或附加绝缘局部放电熄灭电压至少为 $1.2U_{rp}$。

F_2——局部放电滞后系数。

滞后现象发生在局部放电初始电压与局部放电熄灭电压之间。实际经验表明 F_2 不会大于1.25。因此，对于基本绝缘和附加绝缘，试验电压的初始值为 $F_1 \times F_2 \times U_{rp}$，即 $1.2 \times 1.25U_{rp} = 1.5U_{rp}$。

注：上述系数已考虑到局部放电可能被大于局部放电初始电压的瞬态过电压所引发并被如大于局部放电熄灭电压的再现峰值电压值所维持。这种情况要求用冲击电压和交流电压的组合进行试验。但这难以实行。因此进行交流试验时具有初始上升的电压。

F_3——局部放电试验和确定加强绝缘尺寸的附加安全系数。

对于加强绝缘，需要更严谨的危险评估。因此，要求附加安全系数 $F_3 = 1.25$。试验电压的初始值为 $F_1 \times F_2 \times F_3 \times U_{rp}$，即 $1.2 \times 1.25 \times 1.25U_{rp} = 1.875U_{rp}$。

F_4——电网电源标称电压 U_0 偏移系数。

对于接至电网电源的电路，本系数考虑了电网电源电压与其标称电压值之间的最大偏差。因此，标称电压 U_0 的峰值需乘上 $F_4 = 1.1$。

6.4.6.2 验证

本试验是验证在 6.4.2 c)中所列的最大电压值下不会维持局部放电：

注：对于某些情况，所要求的是局部放电的初始电压实际值和熄灭电压的实际值，他们的测量程序在 D.1 中规定。

试验时，通常将局部放电试验电压施加在元件、小组件和小型设备上。

最小放电熄灭电压要求的值乘上 F_1 系数后应大于 6.4.2 c)所列最高电压值。

根据试品的种类，各技术委员会应规定：

——试验电路(见 C.1)；

——测量设备(见 C.3 和 D.2)；

——测量频率(见 C.3.1 和 D.3.4)；

——试验程序(见 6.4.6.3)。

6.4.6.3 试验程序

试验电压值和不同系数的应用在 6.4.6.1 中规定。电压应均匀地从 0 V 升至初始试验电压，并保持规定时间 t_1，但不超过 5 s。如果不发生局部放电，则试验电压在经过 t_1 之后降至 0。如果发生局部放电，则把电压降至试验电压 $U_{试验电压}$，在该值下保持规定时间 t_2 直至测量到局部放电量为止。见图 3。

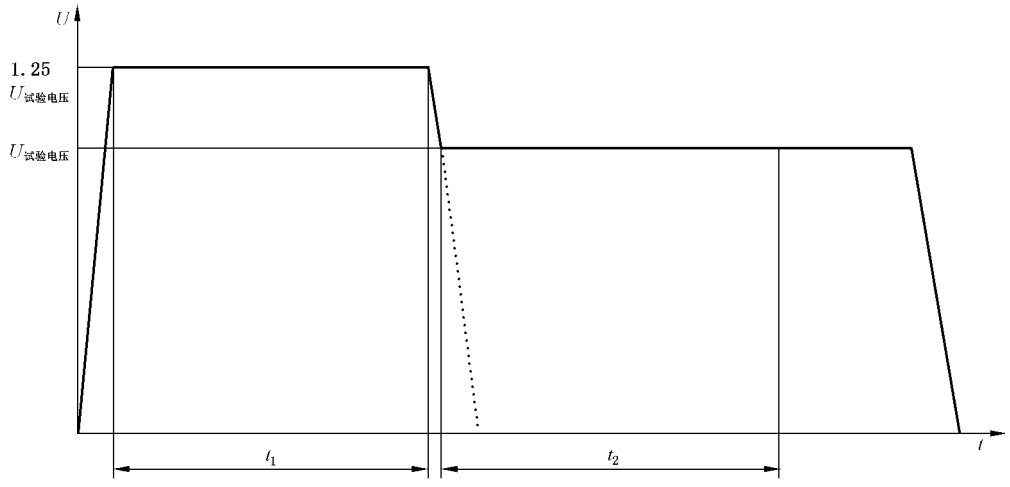


图 3 试验电压

6.4.6.4 合格判别

6.4.6.4.1 规定的放电量

由于试验目的是在正常运行条件下没有持续的局部放电，所以应规定出最低的实际可行之值(见附录D)。

注1：除了空气中电晕放电造成的放电(例如在非模压的变压器中)外，大于10 pC的值是不合适的。

注2：就目前的电气设备而言，小于2 pC值是可行的。

噪声水平不应从局部放电仪的读数中减掉。

6.4.6.4.2 试验结果

如果符合下列规定，则认为固体绝缘试验合格：

——没有发生绝缘击穿；和

——施加试验电压时没有发生局部放电，或在t_2后测得的放电量不大于规定值。

6.4.7 直流电压试验

由于固体绝缘对不同类型电压的耐受特性不同，试验电压与交流电压峰值相等的直流电压试验不完全等同于交流电压试验(见6.4.5.1)。然而在纯直流电压应力情况下，直流电压试验是合适的。

直流试验电压应基本上没有纹波。当电压的峰值和平均值之比为1.0且允差为±3%时符合本要求。直流试验电压的平均值应该等于6.4.2 b)中提及的交流试验电压的峰值。

对于基本绝缘和附加绝缘，试验电压与6.4.2 b)提及的试验电压相同。对于加强绝缘，试验电压是基本绝缘试验电压的二倍。

直流试验电压应在5 s内从0 V均匀地上升至5.4.3.2规定之值，并在此值下保持至少60 s。

注1：某些情况下，由于电容原因充电电流可能太高，电压上升可能需要更长时间。

试验设备在IEC 61180中规定。推荐发生器的短路输出电流不小于200 mA。

注2：对超过3 kV的试验电压，试验设备的额定功率等于或大于600 VA就足够了。

发生器的脱扣电流应调整至100 mA，对于超过6 kV的试验电压，脱扣电流应调整至可能的最高值。

注3：对于常规试验，脱扣电流可以调整至较低水平，但不小于10 mA。

6.4.8 高频电压试验

根据6.4.2 d)，对于高于30 kHz的高频电压，可能需要对根据6.4.5的交流电压试验或根据6.4.6的局部放电试验进行相应的附加试验或替代试验。

注：关于高频绝缘耐受性能的信息和试验方法在IEC 60664-4中规定。

6.5 整台设备的介电试验

6.5.1 一般要求

当整台设备进行冲击电压试验时，应计及试验电压的衰减或增幅。需要保证试验电压的要求值施加在受试设备的两端。

在进行介电试验前，应断开电涌保护器(SPD)。

注：在具有高电容的电容器与进行电压试验的部件并联的情况下，由于充电电流可能超过高压试验器(200 mA)的容量，此时进行交流电压试验是困难的或甚至不可能的。如果是不能进行试验，在试验前将并联的电容器拆开。如还不行，考虑进行直流试验。

6.5.2 部件的试验

介电试验电压应施加于设备的电气上相互分离的部分之间。

这些部分举例如下：

——带电部件；

——分离电路；

——接地电路；

——可触及表面。

可触及表面的非导电部分应覆盖金属箔。如果大型外壳不能实现完全覆盖金属箔，则只要局部覆盖金属箔就足够了，该金属箔应覆盖在提供电击保护的部分。

6.5.3 设备电路的准备

对于试验，设备的每个电路应作如下准备：

——电路的外部接线端子（如有）应连接在一起；

——设备内的开关装置或控制装置应处于闭合位置或被旁路；

——电压阻断元件（如整流二极管）的接线端子应连接在一起；

——类似射频干扰滤波器的元件可包括在冲击试验中，但在交流试验时可能有必要将它们断开。

对于试验，包括以下特定元件：

——可通过将端子短路使设备的任何电路中的电压传感元件（这些元件不桥接基本绝缘、附加绝缘或加强绝缘）旁路；

——已试验过的插入式印制电路板和具有多点连接的模块可取出、断开或用模拟试品代替，以便保证试验电压传送到设备内绝缘试验所必须考核的范围。

6.5.4 试验电压值

对接至电网电源的电路根据 6.2 和 6.4 规定进行试验。

设备的两个电路间的试验电压应采用对应于这些电路之间实际可能发生的最高电压值。

6.5.5 试验结果判别

试验过程中应无破坏性放电（击穿跳火、闪络或绝缘击穿）。除非各技术委员会另有规定，电气间隙中不发生击穿的局部放电可忽略不计。

注：使用示波器来观察冲击电压以便检测破坏性放电。

6.6 其他试验

6.6.1 用于绝缘配合目的以外的试验

各技术委员会可规定除用来验证绝缘配合以外的电气试验，规定的试验电压不应高于绝缘配合所要求的电压值。

6.6.2 抽样试验和常规试验

抽样试验和常规试验是为了保证产品质量而进行的试验。有关技术委员会（特别是制造商）负责规定这些试验。进行这些试验所用的电压水平和波形应能检查到缺陷且不会损伤电气设备（包括固体绝缘和元件）。

在规定抽样试验和常规试验时,各技术委员会在任何情况下都不应规定高于型式试验要求的试验电压值。

6.6.3 试验参数测量精度

为了提供详尽的和可比较的试验结果,全部重要的试验参数应具有高的测量精度。为此目的,本文件规定用于测量下述试验参数的仪器测量精度:

a) 试验电压(交流/直流) ±3%,
试验电压(冲击) ±5%;
b) 电流 ±1.5%;
c) 频率 ±0.2%;
d) 温度:
——100 ℃以下 ±2 K,
——100 ℃到 500 ℃ ±3%;
e) 相对湿度 ±3%;

注:规定的精度是指湿度测量仪器的精度。它不包括箱内的湿度均匀性和/或试品对湿度均匀性的影响。箱内的湿度仅在样品试验前在一个适当的位置测量。

f) 局部放电量: ±10%或±1 pC(两者取大者);
g) 时间(冲击电压) ±20%,
时间(试验时间) ±1%。

6.7 瞬态过电压衰减的测量

测量瞬态过电压(见 4.2.2.5)的衰减仅能通过使用具有低输出阻抗的脉冲发生器来实现。

可通过 IEC 61000-4-5 中规定的带 2 Ω 有效输出阻抗的“1.2/50 μs 组合波发生器”进行测量。

注:输出阻抗为 2 Ω 是最差的情况,参见 IEC 61000-4-5:2014 的 C.1 中每个耦合模式的不同的源阻抗。

6.8 电气间隙和爬电距离的测量

通过下列方法验证电气间隙和爬电距离:

——物理测量;或
——设计板、图纸检查;或
——(CAD 2D 或 3D)计算机辅助设计。

测量爬电距离和电气间隙的方法示于图 4～图 14 中,这些举例对在气隙和槽之间或在各种绝缘型式之间没有区别。此外,如果示例为角度,则这些情况可适用于任何角度。

可作以下假定:

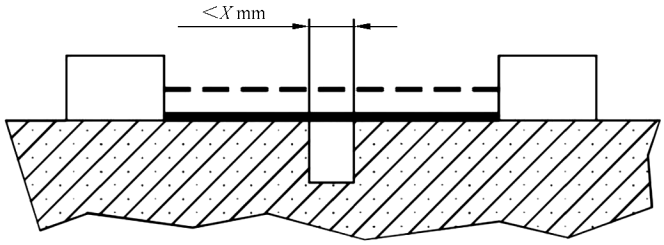
——当横跨槽的距离小于规定宽度 X(见表 1)时,直接跨过槽测量爬电距离,不考虑槽的轮廓(见图 4);
——当横跨槽的距离等于或大于规定宽度 X(见表 1)时,沿着槽的轮廓测量爬电距离(见图 5);
——假定任意凹槽被长度等于规定宽度为 X 的绝缘接线在最不利的位置下桥接(见图 6);
——假定相对运动的部件处于最不利的位置时,测定它们之间的爬电距离和电气间隙。

下列举例中的尺寸 X 是根据相应的污染等级规定的最小值。

表 1　槽的尺寸

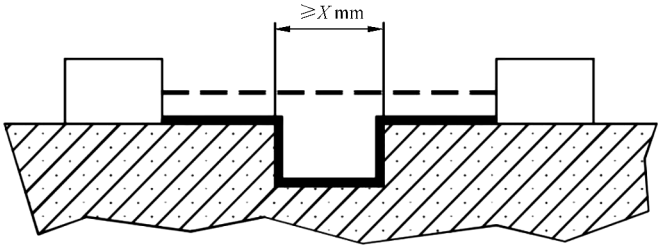
污染等级	尺寸 X 的最小值
1	0.25 mm
2	1.0 mm
3	1.5 mm

如果有关的电气间隙小于 3 mm，则尺寸 X 的最小值可减小至该电气间隙的 1/3。



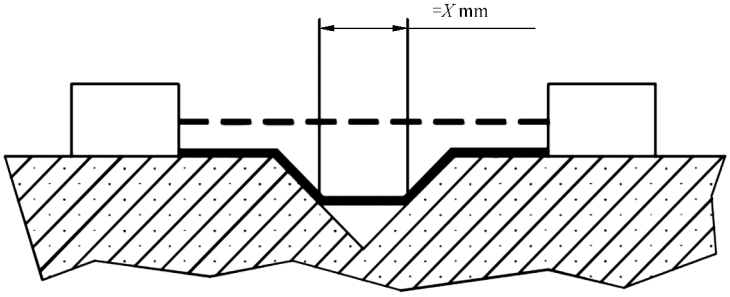
条件：所考虑的路径包括宽度小于 X mm 而深度为任意的平行边或收敛形边的槽。
规则：爬电距离和电气间隙如图所示，直接跨过槽测量。
– – – – – 电气间隙　　爬电距离

图 4　跨过槽的测量



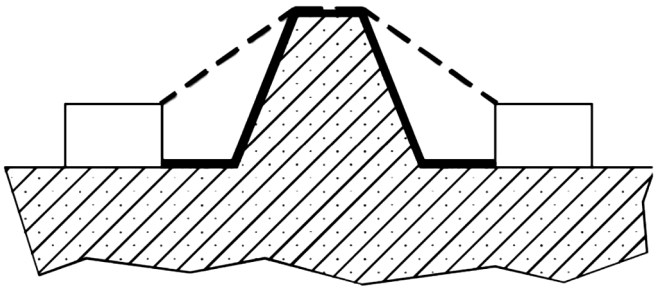
条件：所考虑的路径包括任意深度而宽度等于或大于 X mm 的平行边的槽。
规则：电气间隙是“虚线”距离，爬电路径沿着槽的轮廓。
– – – – – 电气间隙　　爬电距离

图 5　沿着槽轮廓的测量



条件：所考虑的路径包括一个宽度大于 X mm 的 V 形槽。
规则：电气间隙是“虚线”的距离，爬电路径沿着槽的轮廓但被 X mm 绝缘连接槽的底部。
– – – – – 电气间隙　　爬电距离

图 6　沿着具有角度的槽轮廓的测量

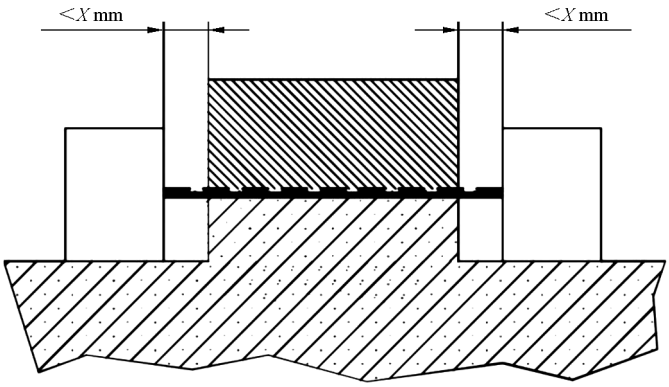


条件:所考虑的路径包括一条筋。

规则:电气间隙是通过筋顶的最短直接空气途径。爬电路径沿着筋的轮廓。

电气间隙　　爬电距离

图 7　沿着筋轮廓的测量

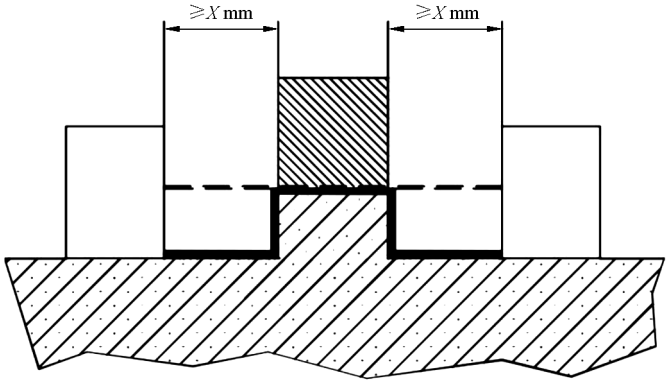


条件:所考虑的路径包括一未粘合的接缝以及每边的宽度小于 X mm 的槽。

规则:爬电距离和电气间隙的路径是所示的“虚线”距离。

电气间隙　　爬电距离

图 8　具有未粘合接缝宽度小于 *X* 的槽的测量

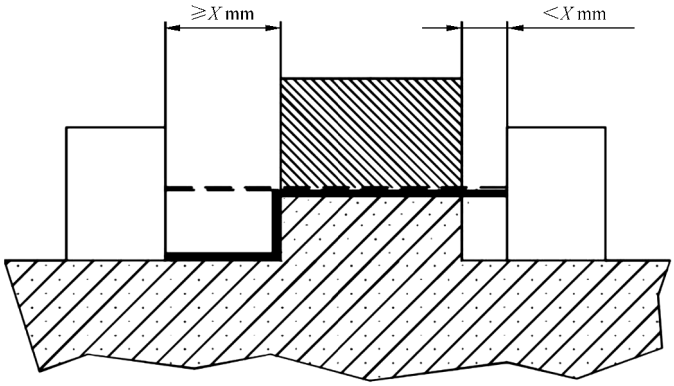


条件:所考虑的路径包括一未粘合的接缝以及每边的宽度等于或大于 X mm 的槽。

规则:电气间隙为“虚线”距离,爬电路径沿着槽的轮廓。

电气间隙　　爬电距离

图 9　具有未粘合接缝宽度等于或大于 *X* 的槽的测量

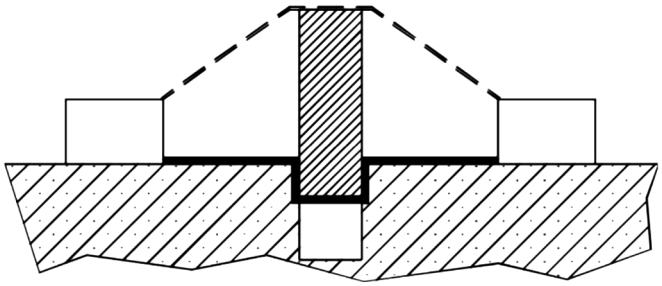


条件:所考虑的路径包括一未粘合的接缝以及一边的宽度小于 X mm,另一边的宽度等于或大于 X mm 的槽。

规则:电气间隙和爬电路径如图所示。

– – – – – 电气间隙　　爬电距离

图 10　具有未粘合接缝一边宽度小于 *X* 的槽的测量

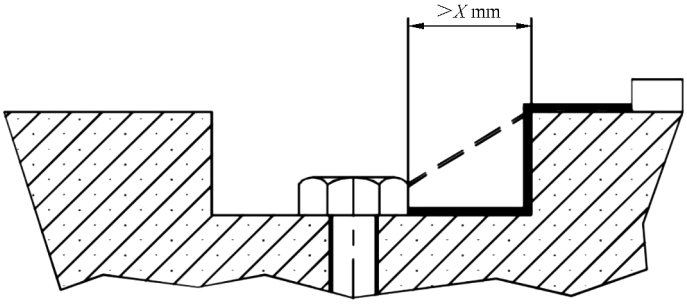


条件:穿过未粘合的接缝的爬电距离小于跨过隔板的爬电距离,但大于隔板顶部的电气间隙。

规则:电气间隙是通过隔板顶的最短直接空气路径。

– – – – – 电气间隙　　爬电距离

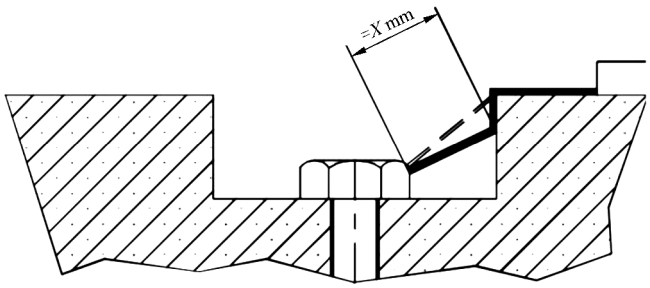
图 11　通过未粘合接缝的爬电距离和电气间隙的测量



螺钉头与凹壁之间的间隙足够宽时加以考虑。

– – – – – 电气间隙　　爬电距离

图 12　与螺钉头之间大于 *X* 的爬电距离和电气间隙的测量

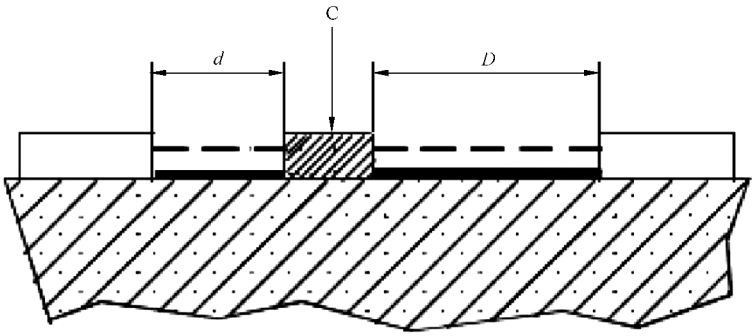


螺钉头与凹壁之间的间隙过分窄小时不被考虑。

当距离等于 X mm 时，测量从螺钉至壁的爬电距离。

电气间隙　　爬电距离

图 13　与螺钉头之间小于 *X* 的爬电距离和电气间隙的测量



标引序号说明：

C——导电浮动部件；

电气间隙；　　爬电距离。

电气间隙是距离 $d+D$

爬电距离也是 $d+D$

注：d 或 D 的最小值也见表 F.2。

图 14　具有导电浮动部件的爬电距离和电气间隙的测量

附 录 A
（资料性）
电气间隙耐受特性的基本参数

海拔 2 000 m 处的耐受电压见表 A.1，电气间隙的海拔修正系数见表 A.2。

表 A.1 海拔 2 000 m 处的耐受电压(kV)

电气间隙 mm	情况 A 非均匀电场			情况 B 均匀电场	
	交流 (50 Hz/60 Hz)		冲击 (1.2/50 μs)	交流 (50/60 Hz)	交流(50/60 Hz) 和冲击(1.2/50 μs)
	$U_{r.m.s}$	$\hat{U}$	$\hat{U}$	$U_{r.m.s}$	$\hat{U}$
0.001	0.028	0.040	0.040	0.028	0.040
0.002	0.053	0.075	0.075	0.053	0.075
0.003	0.078	0.110	0.110	0.078	0.110
0.004	0.102	0.145	0.145	0.102	0.145
0.005	0.124	0.175	0.175	0.124	0.175
0.006 25	0.152	0.215	0.215	0.152	0.215
0.008	0.191	0.270	0.270	0.191	0.270
0.010	0.23	0.33+	0.33+	0.23	0.33+
0.012	0.25	0.35	0.35	0.25	0.35
0.015	0.26	0.37	0.37	0.26	0.37
0.020	0.28	0.40	0.40	0.28	0.40
0.025	0.31	0.44	0.44	0.31	0.44
0.030	0.33	0.47	0.47	0.33	0.47
0.040	0.37	0.52	0.52	0.37	0.52
0.050	0.40	0.56	0.56	0.40	0.56
0.062 5	0.42	0.60+	0.60+	0.42	0.60+
0.080	0.46	0.65	0.70	0.50	0.70
0.10	0.50	0.70	0.81	0.57	0.81
0.12	0.52	0.74	0.91	0.64	0.91
0.15	0.57	0.80	1.04+	0.74	1.04
0.20	0.62	0.88	1.15	0.89	1.26
0.25	0.67	0.95	1.23	1.03	1.45
0.30	0.71	1.01	1.31	1.15	1.62
0.40	0.78	1.11	1.44	1.38	1.95
0.50	0.84	1.19	1.55	1.59	2.25
0.60	0.90	1.27	1.65	1.79	2.53
0.80	0.98	1.39	1.81	2.15	3.04
1.0	1.06	1.50+	1.95	2.47	3.50+
1.2	1.20	1.70	2.20	2.89	4.09
1.5	1.39	1.97	2.56	3.50	4.95
2.0	1.68	2.38	3.09	4.48	6.33
2.5	1.96	2.77	3.60	5.41	7.65
3.0	2.21	3.13	4.07	6.32	8.94
4.0	2.68	3.79	4.93	8.06	11.4
5.0	3.11	4.40	5.72	9.76	13.8
6.0	3.51	4.97	6.46	11.5	16.2
8.0	4.26	6.03	7.84	14.6	20.7

表 A.1　海拔 2 000 m 处的耐受电压(kV)(续)

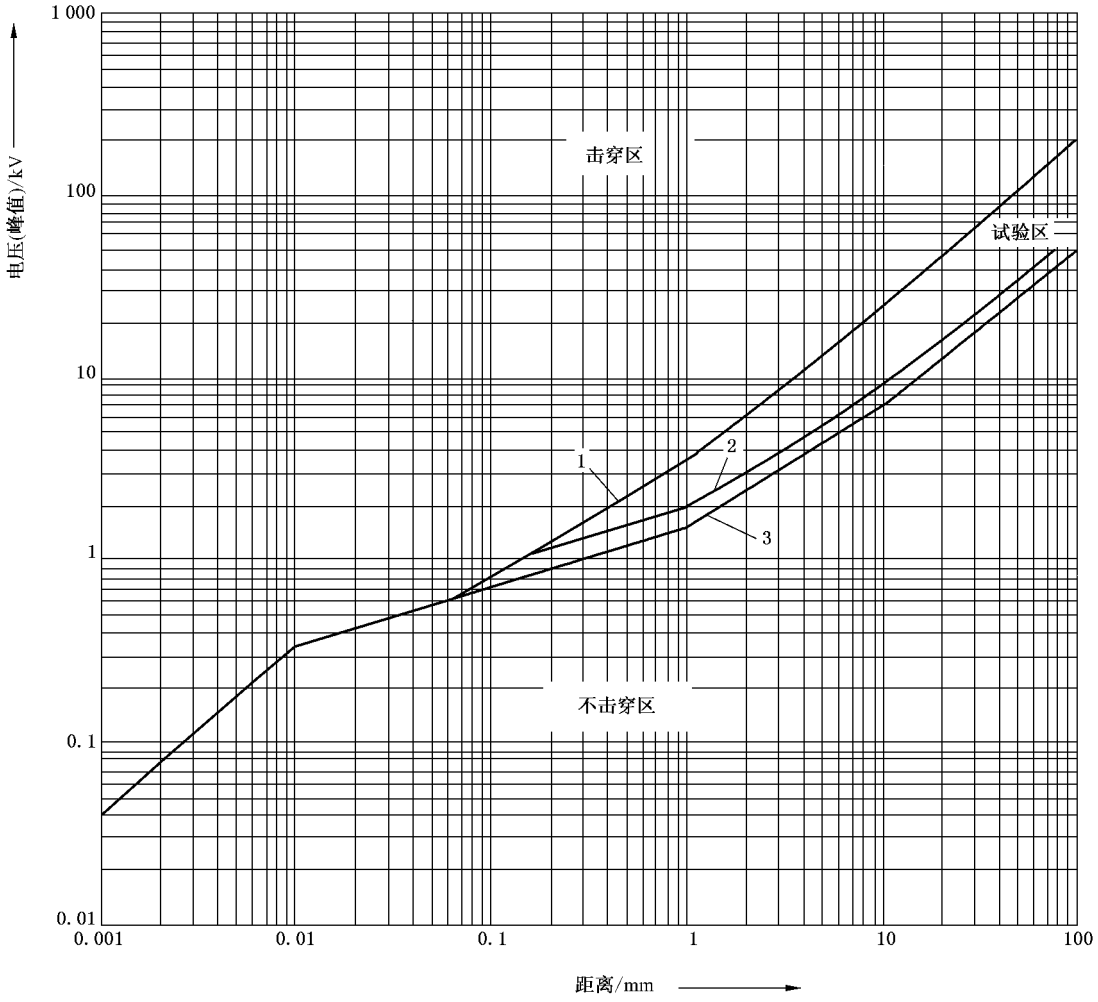
电气间隙 mm	情况 A 非均匀电场			情况 B 均匀电场	
	交流 (50 Hz/60 Hz)		冲击 (1.2/50 μs)	交流 (50/60 Hz)	交流(50/60 Hz) 和冲击(1.2/50 μs)
	$U_{r.m.s}$	$\hat{U}$	$\hat{U}$	$U_{r.m.s}$	$\hat{U}$
10.0	4.95	7.00+	9.10	17.7	25.0+
12.0	5.78	8.18	10.6	20.9	29.6
15.0	7.00	9.90	12.9	25.7	36.4
20.0	8.98	12.7	16.4	33.5	47.4
25.0	10.8	15.3	19.9	41.2	58.3
30.0	12.7	17.9	23.3	48.8	69.0
40.0	16.2	22.9	29.8	63.6	90.0
50.0	19.6	27.7	36.0	78.5	111.0
60.0	22.8	32.3	42.0	92.6	131.0
80.0	29.2	41.3	53.7	120.9	171.0
100.0	35.4	50.0+	65.0	148.5	210.0+

注：0.001 mm 至 0.008 mm 的电气间隙资料来源于文献《大气中各种气压下对微米级气隙的电击穿实验》(见参考文献[34])。更详细的资料参见《用于在周期冲击电压负载下固体绝缘故障分析的局部放电测量技术》(见参考文献[35])。

为了简化,以双对数坐标图(图 A.1)中本表“+”值之间的直线代替本表的统计测量值,该图考虑了 0 m～2 000 m 海拔修正系数。从图 A.1 取得的中间值围绕测量值具有小的安全裕度。表中的交流有效值 U_{rms} 是从交流峰值 $\hat{U}$ 除以 $\sqrt{2}$ 后获得的。

表 A.2　电气间隙的海拔修正系数

海拔 m	正常气压 kPa	电气间隙的倍增系数 k_d
2 000	80.0	1.00
3 000	70.0	1.14
4 000	62.0	1.29
5 000	54.0	1.48
6 000	47.0	1.70
7 000	41.0	1.95
8 000	35.5	2.25
9 000	30.5	2.62
10 000	26.5	3.02
15 000	12.0	6.67
20 000	5.5	14.5



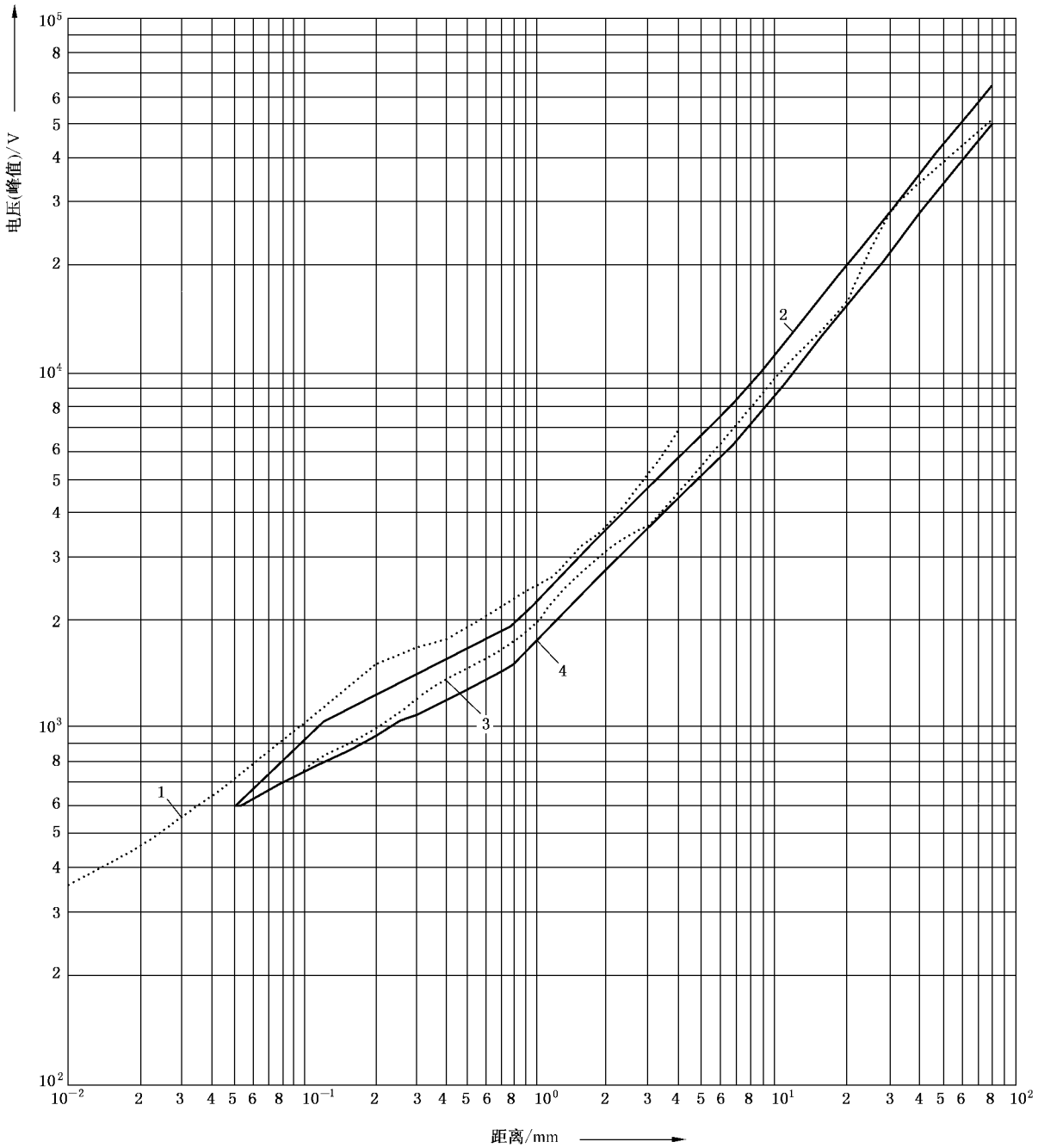
标引序号说明：

1——情况 B：$\hat{U}$1.2/50 μs 和 $\hat{U}$50/60 Hz；

2——情况 A：$\hat{U}$1.2/50 μs；

3——情况 A：$\hat{U}$50/60 Hz。

图 A.1　在高于海平面 2 000 m 处的耐受电压



标引序号说明：

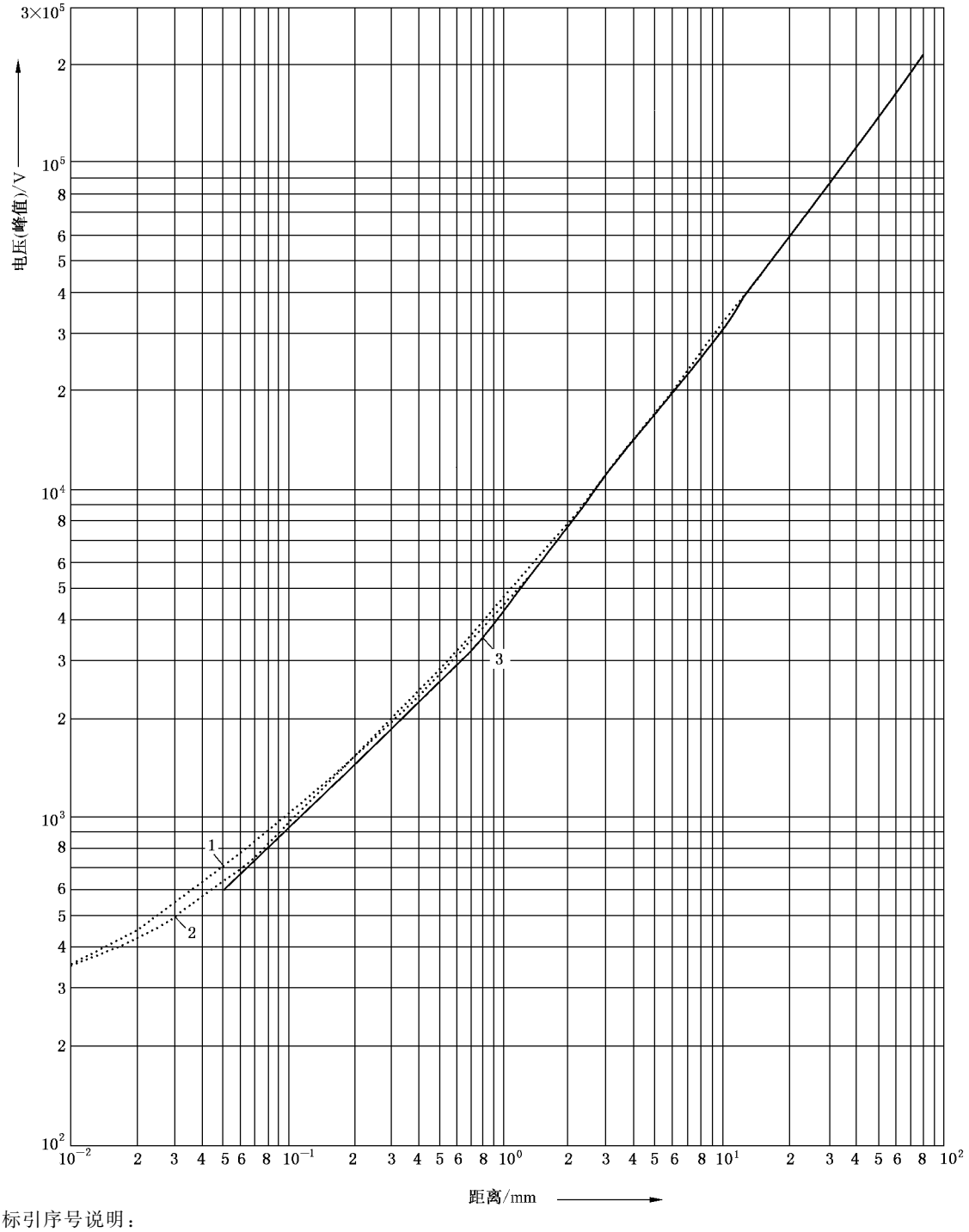
1——$\hat{U}$1.2/50 μs 根据 Pfeiffer，W.，ETZ-B，1976(见参考文献[31])；

2——$\hat{U}$1.2/50 μs 下限值；

3——$\hat{U}$50 Hz 根据 Hermstein，W.，ETZ-A，1969(见参考文献[32])

4——$\hat{U}$50 Hz 下限值。

图 A.2　在接近海平面处测得的非均匀电场实验数据及其下限值



标引序号说明：

1——$\hat{U}$1.2/50 μs 根据 Pfeiffer，W.，ETZ-B，1976(见参考文献)；

2——$\hat{U}$50 Hz 根据 Dakin，T. et al.，Electra，1974(见参考文献)；

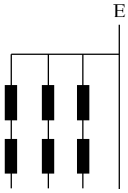
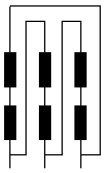
3——$\hat{U}$1.2/50 μs 和 $\hat{U}$50 Hz 下限值。

图 A.3　在接近海平面处测得的均匀电场实验数据及其下限值

附 录 B
（资料性）
不同过电压控制方式的电网电源的标称电压

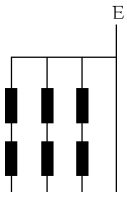
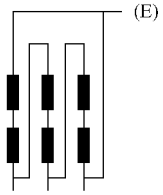
内在控制或相当的保护控制见表 B.1，需要保护控制的情况及由电涌保护器控制的情况见表 B.2。

表 B.1 内在控制或相当的保护控制

从交流或直流标称电压导出线对中性点电压[a]（小于或等于）V	世界上目前使用的标称电压				设备额定冲击耐受电压[a] V			
	三相四线系统中性点接地  V	三相三线系统不接地  V	单相二线系统交流或直流  V	单相三线系统交流或直流  V	过电压类别			
					Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
50			12.5，24，25，30，42，48	30～60	330	500	800	1 500
100	66/115	66	60		500	800	1 500	2 500
150	120/208[b] 127/220	115，120，127	100[c]，110，120	100～200[c] 110～220 120～240	800	1 500	2 500	4 000
300	220/380，230/400 240/415，260/440 277/480	200[c]，220，230，240，260，277，347 380，400，415 440，480	220	220～440	1 500	2 500	4 000	6 000
600	347/600，380/660 400/690，417/720 480/830	500，577，600	480	480～960	2 500	4 000	6 000	8 000
1 000		660 690，720 830，1 000	1 000		4 000	6 000	8 000	12 000
1 250[d]			1 250	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000
1 500[d]			15 00	1 500	6 000	8 000	10 000	15 000

[a] 表中这几栏来自表 F.1（该表规定了额定冲击耐受电压）。
[b] 美国和加拿大实施。
[c] 日本实施。
[d] 只适用于直流。

表 B.2　需要保护控制的情况及由电涌保护器控制[保护电压与额定电压之比不小于 IEC 61643(所有部分)规定值]的情况

从交流或直流标称电压导出线对中性点电压[a]（小于或等于）V	世界上目前使用的标称电压				设备额定冲击耐受电压[a] V			
	三相四线系统中性点接地	三相三线系统不接地	单相二线系统交流或直流	单相三线系统交流或直流	过电压类别			
	 V	 V	 V	 V	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
50			12.5，24，25，30，42，48	30～60	330	500	800	1 500
100	66/115	66	60		500	800	1 500	2 500
150	120/208[b] 127/220	115，120，127	100[c] 110，120	100～200[c] 110～220 120～240	800	1 500	2 500	4 000
300	220/380，230/400 240/415，260/440 277/480	200[c]，220，230，240 260，277	220	220～440	1 500	2 500	4 000	6 000
600	347/600，380/660 400/690，417/720 480/830	347，380，400，415，440，480 500，577，600	480	480～960	2 500	4 000	6 000	8 000
1 000		660 690，720 830，1 000	1 000		4 000	6 000	8 000	12 000
1 250[d]			1 250	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000
1 500[d]			1 500	1 500	6 000	8 000	10 000	15 000

[a] 表中这几栏来自表 F.1(该表规定了额定冲击耐受电压)。

[b] 美国和加拿大实施。

[c] 日本实施。

[d] 仅适用于直流。

附 录 C
（规范性）
局部放电试验方法

C.1 试验电路

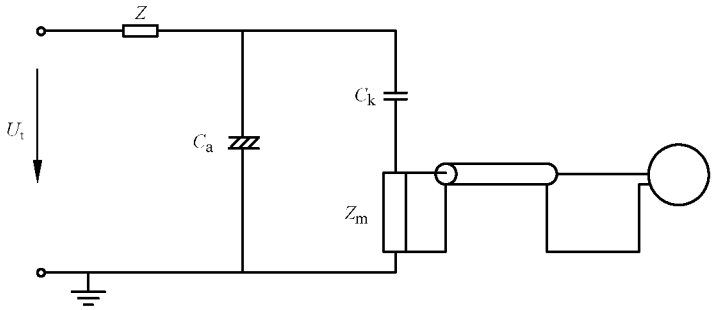
C.1.1 一般要求

试验电路应按 IEC 60270 规定布置。本附录给出的下述电路作为示例并符合该标准要求。

注 1：在大多数情况下，按本附录示例设计的试验设备足以满足要求。特殊情况（如存在极高的环境干扰）有必要参见 IEC 60270。

注 2：基本操作的说明见 D.2。

C.1.2 接地试品的试验电路（见图 C.1）



标引序号说明：

U_t ——试验电压；

Z ——滤波器；

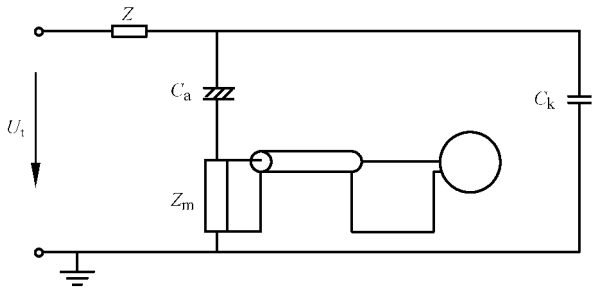
C_a ——试品（通常可看作为电容）；

C_k ——耦合电容器；

Z_m ——测量阻抗。

图 C.1 接地的试品

C.1.3 不接地试品的试验电路（见图 C.2）



标引序号说明：

U_t ——试验电压；

Z ——滤波器；

C_a ——试品（通常可看作为电容）；

C_k ——耦合电容器；

Z_m ——测量阻抗。

图 C.2 不接地试品

C.1.4 选择依据

两个电路基本上是一样的，但是试品的杂散电容影响灵敏度是不一样的。试品高压端的对地电容按 C.1.2 的电路会降低电路的灵敏度，而按 C.1.3 的电路会提高电路的灵敏度，因此，应根据情况选合适者。

C.1.5 测量阻抗

测量用阻抗在试验频率下应产生一个可忽略不计的低电压降。为了提供合理的灵敏度，根据 D.2 应选取对应测量频率的阻抗。

如果采用了电压限制元件，在测量范围内这些元件不应生效。

C.1.6 耦合电容器 C_k

该电容器应为低感型，其谐振频率大于 $3f_2$（见 C.3），且在所用的最高试验电压及以下不应有局部放电。

C.1.7 滤波器

不作强制要求。如果使用的话，则对于测量频率的阻抗应为高阻抗。

C.2 试验参数

C.2.1 一般要求

各技术委员会应规定：

——试验电压的频率 f_t（C.2.2）；

——规定的放电量（6.4.6.4.1）；

——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

通常采用交流电压。总谐波畸变应小于 3%。

注 1：正弦波小的畸变允许用标准的电压表测量，且以有效值读数计算出峰值。对于较高的畸变，要用峰值电压表测量。

通常在工频下进行试验。如果设备中有其他频率，则技术委员会宜考虑频率可能对放电量的影响。

注 2：不推荐用直流电压进行局部放电试验，因为很难达到完全没有电干扰的环境。另外，要注意到交流和直流的电压分布是大不相同的。

C.2.3 环境条件

建议在室温和平均湿度（23 ℃，50%相对湿度，见 GB/T 2421—2020 中 4.3）下进行试验。

C.3 测量仪器的要求

C.3.1 一般要求

可采用宽频带电荷测量仪也可采用窄频带测量仪（见 C.3.3）。根据 C.3.2 给定的保护措施，只可采用无线电干扰电压表。

试验电压的频率 f_t 和测量阻抗 Z_m 的频率特性(见 C.1.5)确定测量频率的下限值。它不应小于 $10f_t$。

测量频率的上限值由局部放电脉冲的形状及试验电路频率特性决定。它不需大于 2 MHz。对于窄频带局部放电测量仪,应根据窄频带的干扰源来选择测量频率(见 D.3.4)。

注:窄频带局部放电测量仪适用。

C.3.2 局部放电仪表的分类

对流过测量阻抗 Z_m 的电流积分,给出一个与 q_m 成比率的读数(见图 D.1)。

积分可通过测量阻抗来实现。在这种情况下,对高于测量频率下限值的所有频率测量阻抗代表一个电容。电容两端的电压(与 q_m 成比率)由脉冲放大器放大。同时还应给出周期性放电。

对高于测量频率下限值的所有频率来讲,如果测量阻抗是电阻性的话,则应在脉冲放大器内进行积分。

应测量单个脉冲并应估算具有最大值的脉冲。为限制由于脉冲重叠造成的误差,脉冲的分辨时间应小于 100 μs。

无线电干扰测量仪表应为窄频带峰值电压表。可用该表来测量无线电信号的干扰。该测量仪内有一个特殊的滤波电路,该电路能根据噪声对人耳的主观效应创立读数对脉冲重复率的依赖关系。

就测量局部放电而言,如果不接滤波电路,那么仅可使用无线电干扰测量仪。同时还要求一个合适的测量阻抗。

C.3.3 试验电路的频带宽度

局部放电测量仪通常会限制试验电路的频带宽度。局部放电测量仪根据他们的频带宽度可分为宽频或窄频。

a) 下限截止频率 f_1 和上限截止频率 f_2 是当采用宽频测量仪时频率特性比恒定值降低 3 dB。而当采用窄频测量仪时,频率响应从峰值降低 6 dB。

b) 对于窄频测量仪,测量频率 f_0 与频率响应中的谐振峰值是相等的。

c) 频宽度 Δf 为:

$$\Delta f = f_1 - f_2$$

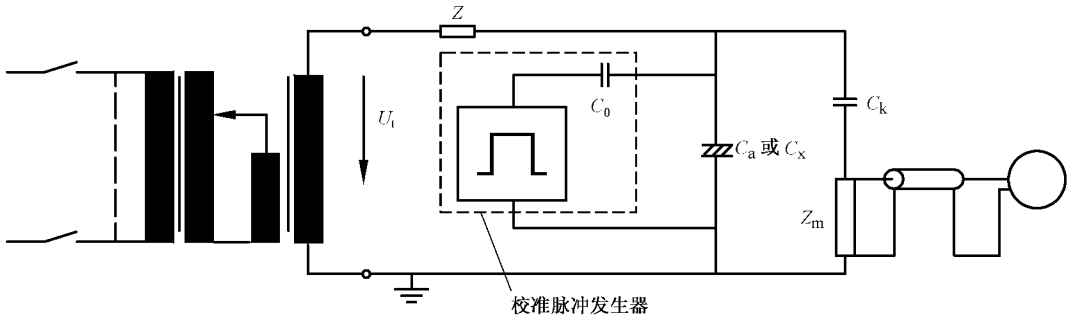
对于宽频带测量仪,Δf 与 f_2 是同一个数量级。对于窄频带测量仪,Δf 比 f_0 小得多。

C.4 校准

C.4.1 噪声水平测量前的放电量校准

试验电路(图 C.3 或图 C.4)应在规定的放电量下用没有局部放电的电容器 C_x 取代试品 C_a 进行校准。电容器 C_x 的阻抗应与试品 C_a 的阻抗相似。

变压器应按照规定的局部放电试验电压进行调整,但不激励,且其初级绕组应短路。用校准过的脉冲发生器将规定的放电量施加在电容器的端子上。放电探测器上的放电量显示应调整到对应于校准信号。



标引序号说明：

U_t ——试验电压；

Z ——滤波器；

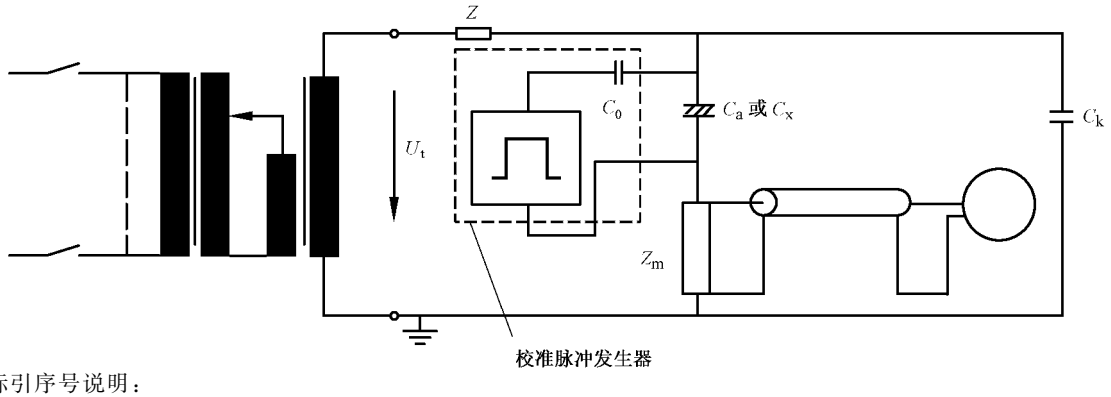
C_0 ——校准脉冲发生器的电容；

C_a 或 C_x ——试品(通常可看作为电容)；

C_k ——耦合电容器；

Z_m ——测量阻抗。

图 C.3 接地试品的校准



标引序号说明：

U_t ——试验电压；

Z ——滤波器；

C_0 ——校准脉冲发生器的电容；

C_a 或 C_x ——试品(通常可看作为电容)；

C_k ——耦合电容器；

Z_m ——测量阻抗。

图 C.4 不接地试品的校准

C.4.2 验证噪声水平

采用 C.4.1 的布置，局部放电试验电压应上升至最高试验电压。最大噪声水平应小于规定放电量的 50%。否则要求按 D.3 进行测量。

C.4.3 局部放电试验的校准

将试品接入电路中，重复 C.4.1 的程序。

如改变试验电路或更换试品，则需重新校准。对于许多相似的试品，如满足下列要求，偶尔进行重新校准可能就足够了：

——耦合电容器的阻抗小于试品阻抗的 1/10;或

——试品的阻抗与校准期间的数值偏差不超过±10%。

注:在规定重新校准的时间间隔时,各技术委员会要考虑到在局部放电测量仪的灵敏度不够的情况下,可能检测不到潜在的有害放电。

C.4.4 校准脉冲发生器

对于校准脉冲发生器,IEC 60270 给出了试验方法和应进行检验的特性。

附 录 D
（资料性）
局部放电试验方法补充资料

D.1 局部放电初始电压和熄灭电压的测量

试验电压从低于局部放电初始电压的值开始上升直至发生局部放电（局部放电初始电压）止。试验电压再上升 10%后，将该电压下降至局部放电小于规定的放电量（局部放电熄灭电压）止。因此，可不超过试品所规定的绝缘试验电压。

注：局部放电熄灭电压可能会受到大于局部放电初始电压值的电压应力作用时间的影响。在连续测量中，局部放电初始电压和局部放电熄灭电压可能均会受到影响。

本试验程序也适用于研究性测量。

D.2 局部放电试验电路的说明（见图 D.1）

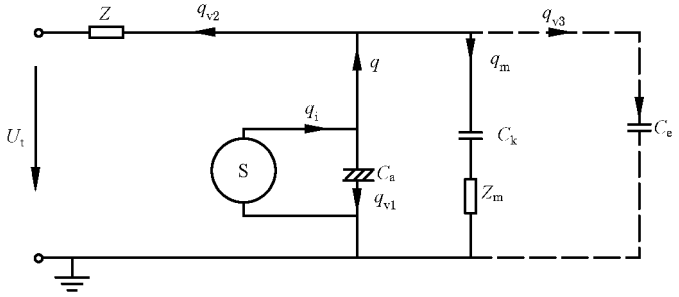
每个电路由下列器件组成：

——试品 C_a（在特殊情况下，也可以是阻抗 Z_a）；

——耦合电容器 C_k；

——由测量阻抗 Z_m，连接电缆和局部放电测量仪组成的测量电路；

——任选的滤波器 Z（用于减小由试验电压源旁路的电荷）。



标引序号说明：

U_t ——试验电压；

Z ——滤波器；

S ——局部放电电流源；

C_a ——试品电容；

C_k ——耦合电容器；

Z_m ——测量阻抗；

C_e ——对地杂散电容；

q_i ——内部电荷（不能测量）；

q ——视在电荷；

q_m ——可测量的电荷；

q_{v1} ——试品的两端损耗的电荷；

q_{v2} ——试验电压源两端损耗的电荷；

q_{v3} ——对地杂散电容两端损耗的电荷。

图 D.1 局部放电试验电路

直接测量视在电荷 q 要求在试品接线端子处进行短路以测量频率。这种条件可用下列方式近似实现：

——$C_k > (C_a + C_e)$；

——高阻抗 Z；

——低测量阻抗 Z_m。

否则会发生电荷 q_{v2} 和 q_{v3} 显著损耗。在校准时要考虑到这些电荷的损耗，但他们会限制灵敏度。

如果试品具有高的电容,这种情况会更加严重。

D.3 降低干扰的保护措施

D.3.1 一般要求

局部放电测量结果可能会极大地受到干扰的影响。这种干扰可能由电导耦合或电磁干扰引入。在没有屏蔽的工业性试验场所,由于干扰单个电荷脉冲可能会高达 100 pC。即使在良好的条件下,可能预计不小于 20 pC。

可实现小至 1 pC 的噪声水平,但要求对试验电路进行屏蔽,注意接地措施并对电网电源的输入进行滤波。

基本上有两种不同的干扰源,见 D.3.2 和 D.3.3。

D.3.2 非激励试验电路中的干扰源

这些干扰是由于例如接通分断邻近电路造成的。例如,这些干扰是由相邻电路中的通断引起的。在电导耦合情况下,只有当与电网电源连接时才会发生干扰。在电磁耦合的情况下,在分断电网电源(包括保护导体)的情况下,也会发生干扰。

D.3.3 激励试验电路中的干扰源

通常干扰是随着试验电压的增大而增大的,且由试品外面的局部放电造成。在试验变压器中,高压连接引线,衬套以及不良连接点处均可能发生局部放电。试验电压的谐波也可能影响干扰水平。

D.3.4 降低干扰的措施

在试验电路的中间馈线处采用线路滤波器能降低电导耦合造成的干扰。但不宜有对地回路。

电磁干扰,例如无线电信号,对于窄频带局部放电测量仪用一简单的方法即改变一下测量频率 f_0 就可排除。对于宽频带局部放电测量仪,可能需要有频带抑制滤波器,只有采取屏蔽措施才能抑制宽频带信号。采用高电导率的全密封屏蔽措施是最有效的方法。

D.4 试验电压倍率系数的应用

D.4.1 一般要求

6.4.6 定义的倍率系数值和 5.4.3.3 及 6.4.6 采用的倍率系数值的计算方法如下。

注:这些举例适用于再现峰值电压 U_{rp},例中的系数同样也适用于稳态峰值电压和长期暂时过电压的峰值。

D.4.2 例 1(接至电网电源的电路)

D.4.2.1 最大再现峰值电压 U_{rp}

$$U_{rp}=\sqrt{2}U_0\times F_4=1.1\sqrt{2}U_0$$

D.4.2.2 局部放电熄灭电压 $U_{extinction}$(基本绝缘)

$$U_{extinction}=\sqrt{2}U_0\times F_4\times F_1$$

$$U_{extinction}=\sqrt{2}U_n\times 1.1\times 1.2=1.32\sqrt{2}U_0$$

D.4.2.3 局部放电试验电压初始值 U_1(基本绝缘)

$$U_1=\sqrt{2}U_0\times F_4\times F_1\times F_2$$

$$U_1 = \sqrt{2}U_0 \times 1.32 \times 1.25 = 1.65\sqrt{2}U_0$$

D.4.3　例 2(带有最大再现峰值电压 U_{rp} 的内部电路)

D.4.3.1　局部放电熄灭电压 $U_{extinction}$(基本绝缘)

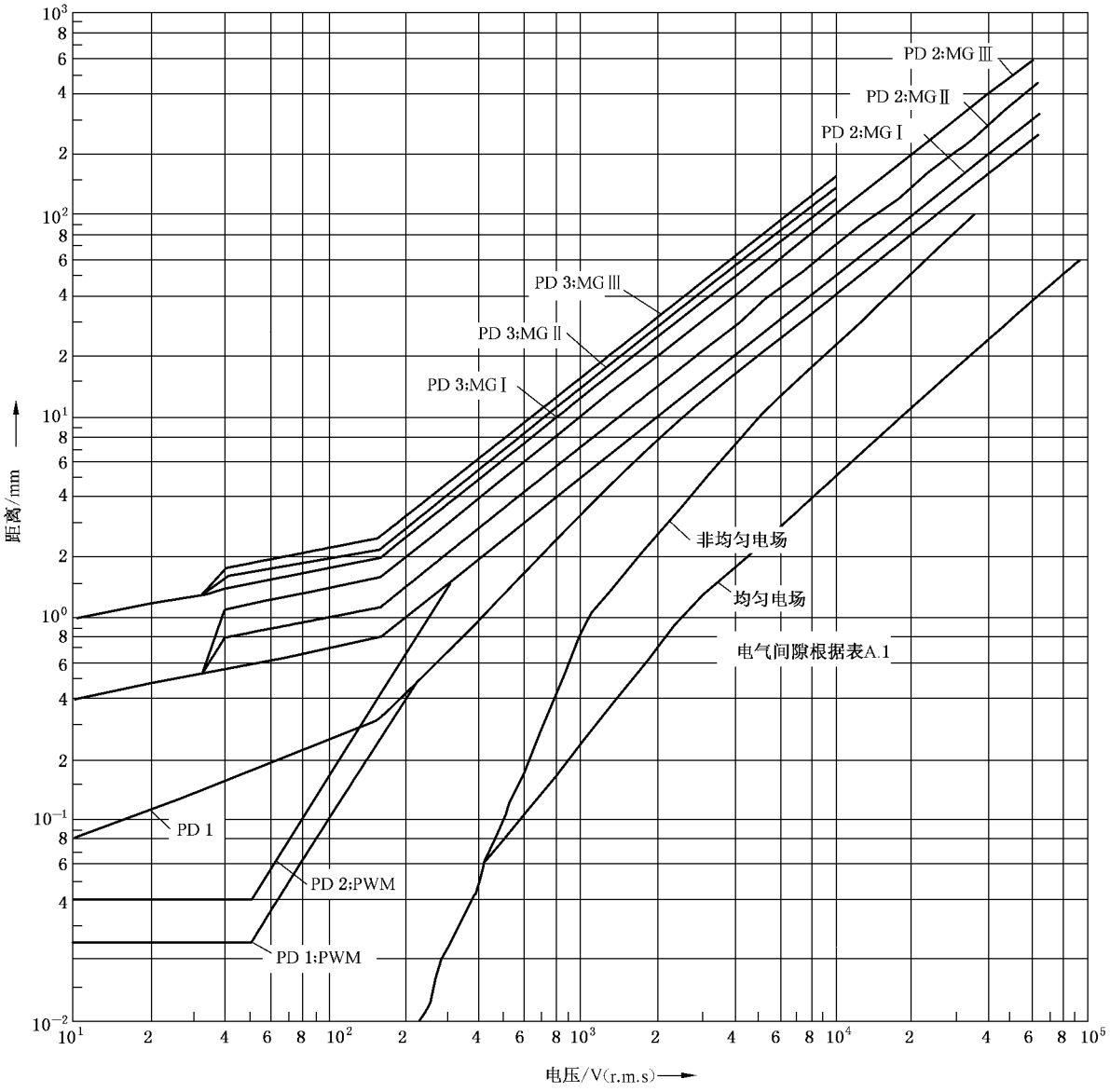
$$U_{extinction} = U_{rp} \times F_1 = U_{rp} \times 1.2$$

D.4.3.2　局部放电试验电压的初始值 U_1(基本绝缘)

$$U_1 = U_{rp} \times F_1 \times F_2 = U_{rp} \times 1.5$$

附 录 E
（资料性）
表 F.5 中规定的爬电距离和表 A.1 中电气间隙的比较

表 F.5 中规定的爬电距离和表 A.1 中电气间隙的比较见图 E.1。



标引序号说明：

PD ——污染等级；

MG ——材料组别；

PWM——印制线路材料。

图 E.1 表 F.5 中规定的爬电距离和表 A.1 中电气间隙的比较

附 录 F
（规范性）
表

直接由电网电源供电的设备的额定冲击耐受电压见表 F.1；耐受瞬态过电压的电气间隙见表 F.2；单相（三线或二线）交流或直流系统见表 F.3；三相（四线或三线）交流系统见表 F.4；避免由于电痕化故障的爬电距离表 F.5；不同海拔处验证电气间隙的试验电压见 F.6；固体绝缘试验环境条件严酷度见表 F.7；耐受稳态峰值电压、暂时过电压或再现峰值电压的电气间隙的确定见表 F.8；避免局部放电的电气间隙的确定的附加资料见表 F.9；电气间隙的海拔修正系数见表 F.10。

表 F.1 直接由电网电源供电的设备的额定冲击耐受电压

基于 IEC 60038[c] 电网电源系统[a] 的标称电压		从交流或直流标称电压导出线对中性点的电压（小于或等于） V	额定冲击耐受电压[b]			
			过电压类别[d]			
三相 V	单相 V		Ⅰ V	Ⅱ V	Ⅲ V	Ⅳ V
		50	330	500	800	1 500
		100	500	800	1 500	2 500
	120～240	150[e]	800	1 500	2 500	4 000
230/400 277/480		300	1 500	2 500	4 000	6 000
400/690		600	2 500	4 000	6 000	8 000
1 000		1 000	4 000	6 000	8 000	12 000
	＞1 000≤1 250[f]	1 250[f]	4 000	6 000	8 000	12 000
	＞1 250≤1 500[f]	1 500[f]	6 000	8 000	10 000	15 000

[a] 现有不同低压电网电源及其标称电压见附录 B。

[b] 有这类额定冲击耐受电压的设备可用于 IEC 60364-4-44 规定的装置中。

[c] 三相四线配电系统用符号“/”表示，较低值为线对中性点电压，较高值为线对线电压，仅有一个值的表示三相三线系统，并规定为线对线值。

[d] 过电压类别的解释见 4.3。

[e] 在日本，单相系统的标称电压是 100 V 或 100 V～200 V。然而，相对于该电压的额定冲击耐受电压由线对中性点电压 150 V 的那一栏确定（见附录 B）。

[f] 仅适用于直流。

表 F.2　耐受瞬态过电压的电气间隙

要求的冲击耐受电压[a] kV	大气中海拔从海平面至 2 000 m 的最小电气间隙					
	情况 A 非均匀电场(见 3.1.27)			情况 B 均匀电场(见 3.1.26)		
	污染等级[e]			污染等级[e]		
	1 mm	2 mm	3 mm	1 mm	2 mm	3 mm
0.33[b]	0.01	0.2[c,d]	0.8[d]	0.01	0.2[c,d]	0.8[d]
0.40	0.02			0.02		
0.50[b]	0.04			0.04		
0.60	0.06			0.06		
0.80[b]	0.10			0.10		
1.0	0.15			0.15		
1.2	0.25	0.25		0.2		
1.5[b]	0.5	0.5		0.3	0.3	
2.0	1.0	1.0	1.0	0.45	0.45	
2.5[b]	1.5	1.5	1.5	0.60	0.60	
3.0	2.0	2.0	2.0	0.80	0.80	
4.0[b]	3.0	3.0	3.0	1.2	1.2	1.2
5.0	4.0	4.0	4.0	1.5	1.5	1.5
6.0[b]	5.5	5.5	5.5	2.0	2.0	2.0
8.0[b]	8.0	8.0	8.0	3.0	3.0	3.0
10	11	11	11	3.5	3.5	3.5
12[b]	14	14	14	4.5	4.5	4.5
15	18	18	18	5.5	5.5	5.5
20	25	25	25	8.0	8.0	8.0
25	33	33	33	10	10	10
30	40	40	40	12.5	12.5	12.5
40	60	60	60	17	17	17
50	75	75	75	22	22	22
60	90	90	90	27	27	27
80	130	130	130	35	35	35
100	170	170	170	45	45	45

[a] 此电压：
——对功能绝缘，对直接承受电网电源瞬态过电压的基本绝缘(见 5.2.2.2，5.2.2.3 和 5.2.4)是指设备的额定冲击耐受电压；
——对其他基本绝缘而言(见 5.2.5)是指电路中可能发生的最大冲击电压。
对加强绝缘见 5.2.5。

[b] 优选值规定在 4.2.2.1。

[c] 印制电路材料可用表 F.5 中污染等级 1 的规定值，但其值应不小于 0.04 mm。通过高质量的阻焊剂进行保护是电气间隙减小的最低要求。

[d] 表中给出的污染等级 2 和 3 的最小电气间隙是在潮湿条件下(见 IEC 60664-5)相关爬电距离耐受特性降低的基础上提出的。

[e] 除了最小电气间隙为 1.6 mm 外，污染等级 4 的电气间隙同污染等级 3。

表 F.3　单相(三线或二线)交流或直流系统

电网电源系统的标称电压[b] V	表 F.4 中的合理化电压	
	线对线绝缘[a]	线对地绝缘[a]
	所有系统 V	三线中性点接地系统 V
12.5	12.5	
24 25	25	
30	32	
42 48 50[c]	50	
60	63	
30～60	63	32
100[c]	100	
110 120	125	
150[c]	160	
200	200	
100～200	200	100
220	250	
110～220 120～240	250	125
300[c]	320	
220～440	500	250
600[c]	630	
480～960	1 000	500
1 000[c]	1 000	
1 500[c,d]	1 500	

[a] 不接地系统或阻抗接地系统的线对地绝缘水平等于线对线绝缘水平,因为该系统任何线对地的工作电压实际上可能接近线对线全电压。这是因为线对地实际电压是由每个线对地的绝缘电阻和容抗所决定,因此绝缘电阻低(但是允许)的一线在效果上可认为接地,并把其他二线对地电压升高至线对线全电压。

[b] 与额定电压的关系见 5.3.2.2。

[c] 这些数值对应于表 F.1 所列值。

[d] 仅适用于直流。

表 F.4　三相(四线或三线)交流系统

电源系统的标称电压[c] V	表 F.5 中的合理化电压		
	线对线绝缘	线对地绝缘	
	所有系统 V	三相四线系统中性点接地[b] V	三相三线系统不接地[a]或 (电源)二线接地 V
60	63	32	63
110 120 127	125	80	125
150[d]	160	—	160
200	200		200
208	200	125	200
220 230 240	250	160	250
300[d]	320	—	320
380 400 415	400	250	400
440	500	250	500
480 500	500	320	500
575	630	400	630
600[d]	630	—	630
660 690	630	400	630
720 830	800	500	800
960	1 000	630	1 000
1 000[d]	1 000	—	1 000

[a] 不接地系统或阻抗接地系统的线对地绝缘水平等于线对线绝缘水平,因为该系统任何线对地的工作电压实际上可能接近线对线全电压。这是因为线对地实际电压是由每个线对地的绝缘电阻和容抗所决定,因此绝缘电阻低(但是允许)的一线在效果上可认为接地,并把其他二线对地电压升高至线对线全电压。

[b] 如果设备可兼用于接地和不接地、三相三线和三相四线供电电源,则仅用三相三线系统中的数据。

[c] 与额定电压的关系见 5.3.2.2。

[d] 这些数值对应于表 F.1 所列值。

表 F.5　避免由于电痕化故障的爬电距离

电压有效值[a,e] V	最小爬电距离								
	印制线路材料		—						
	污染等级								
	1	2[f]	1	2			3		
	所有材料组别 mm	所有材料组别，除Ⅲ[b] mm	所有材料组别 mm	材料组别			材料组别		
				Ⅰ mm	Ⅱ mm	Ⅲ mm	Ⅰ mm	Ⅱ mm	Ⅲ[b] mm
10	0.025	0.040	0.080	0.400	0.400	0.400	1.000	1.000	1.000
12.5	0.025	0.040	0.090	0.420	0.420	0.420	1.050	1.050	1.050
16	0.025	0.040	0.100	0.450	0.450	0.450	1.100	1.100	1.100
20	0.025	0.040	0.110	0.480	0.480	0.480	1.200	1.200	1.200
25	0.025	0.040	0.125	0.500	0.500	0.500	1.250	1.250	1.250
32	0.025	0.040	0.14	0.53	0.53	0.53	1.30	1.30	1.30
40	0.025	0.040	0.16	0.56	0.80	1.10	1.40	1.60	1.80
50	0.025	0.040	0.18	0.60	0.85	1.20	1.50	1.70	1.90
63	0.040	0.063	0.20	0.63	0.90	1.25	1.60	1.80	2.00
80	0.063	0.100	0.22	0.67	0.95	1.30	1.70	1.90	2.10
100	0.100	0.160	0.25	0.71	1.00	1.40	1.80	2.00	2.20
125	0.160	0.250	0.28	0.75	1.05	1.50	1.90	2.10	2.40
160	0.250	0.400	0.32	0.80	1.10	1.60	2.00	2.20	2.50
200	0.400	0.630	0.42	1.00	1.40	2.00	2.50	2.80	3.20
250	0.560	1.000	0.56	1.25	1.80	2.50	3.20	3.60	4.00
320	0.750	1.60	0.75	1.60	2.20	3.20	4.00	4.50	5.00
400	1.0	2.0	1.0	2.0	2.8	4.0	5.0	5.6	6.3
500	1.3	2.5	1.3	2.5	3.6	5.0	6.3	7.1	8.0 (7.9)[d]
630	1.8	3.2	1.8	3.2	4.5	6.3	8.0 (7.9)[d]	9.0 (8.4)[d]	10.0 (9.0)[d]
800	2.4	4.0	2.4	4.0	5.6	8.0	10.0 (9.0)[d]	11.0 (9.6)[d]	12.5 (10.2)[d]
1 000	3.2	5.0	3.2	5.0	7.1	10.0	12.5 (10.2)[d]	14.0 (11.2)[d]	16.0 (12.8)[d]
1 250			4.2	6.3	9.0	12.5	16.0 (12.8)[d]	18.0 (14.4)[d]	20.0 (16.0)[d]
1 600			5.6	8.0	11.0	16.0	20.0 (16.0)[d]	22.0 (17.6)[d]	25.0 (20.0)[d]
2 000			7.5	10.0	14.0	20.0	25.0 (20.0)[d]	28.0 (22.4)[d]	32.0 (25.6)[d]

表 F.5　避免由于电痕化故障的爬电距离（续）

电压有效值[a,e] V	最小爬电距离								
	印制线路材料		—						
	污染等级								
	1	2[f]	1	2			3		
	所有材料组别 mm	所有材料组别，除Ⅲ[b] mm	所有材料组别 mm	材料组别			材料组别		
				Ⅰ mm	Ⅱ mm	Ⅲ mm	Ⅰ mm	Ⅱ mm	Ⅲ[b] mm
2 500			10.0	12.5	18.0	25.0	32.0 (25.6)[d]	36.0 (28.8)[d]	40.0 (32.0)[d]
3 200			12.5	16.0	22.0	32.0	40.0 (32.0)[d]	45.0 (36.0)[d]	50.0 (40.0)[d]
4 000			16.0	20.0	28.0	40.0	50.0 (40.0)[d]	56.0 (44.8)[d]	63.0 (50.4)[d]
5 000			20.0	25.0	36.0	50.0	63.0 (50.4)[d]	71.0 (56.8)[d]	80.0 (64.0)[d]
6 300			25.0	32.0	45.0	63.0	80.0 (64.0)[d]	90.0 (72.2)[d]	100.0 (80.0)[d]
8 000			32.0	40.0	56.0	80.0	100.0 (80.0)[d]	110.0 (88.0)[d]	125.0 (100.0)[d]
10 000			40.0	50.0	71.0	100.0	125.0 (100.0)[d]	140.0 (112.0)[d]	160.0 (128.0)[d]
12 500			50.0[c]	63.0[c]	90.0[c]	125.0[c]			
16 000			63.0[c]	80.0[c]	110.0[c]	160.0[c]			
20 000			80.0[c]	100.0[c]	140.0[c]	200.0[c]			
25 000			100.0[c]	125.0[c]	180.0[c]	250.0[c]			
32 000			125.0[c]	160.0[c]	220.0[c]	320.0[c]			
40 000			160.0[c]	200.0[c]	280.0[c]	400.0[c]			
50 000			200.0[c]	250.0[c]	360.0[c]	500.0[c]			
63 000			250.0[c]	320.0[c]	450.0[c]	600.0[c]			

注：本表爬电距离的高精确性并不意味测量误差必须保持同样的精度级别。

[a] 此电压：
——对功能绝缘是稳态工作电压(见 5.3.4)；
——对直接由电网电源供电的电路的基本绝缘和附加绝缘(见 5.3.5)是设备额定电压通过表 F.3 或表 F.5 转化成的合理化电压或者是额定绝缘电压；
——对非直接由电网电源供电的系统，设备和内部电路的基本绝缘和附加绝缘(见 5.3.5)是在设备额定值范围内运行条件的最繁重的组合情况下和外施额定电压时可能发生在系统、设备或内部电路中的最高有效值电压。

[b] 材料组别Ⅲb 不推荐用于污染等级 3、电压超过 630 V。

[c] 基于外推法获得的临时数据，各技术委员会如果有其他的经验数据也可用其自己的数据。

[d] 括号中值适合于使用筋时减小的爬电距离(见 5.3.3.7)。

[e] 两个电压值之间可以采用插值法(见 5.3.4 和 5.3.5)。

[f] 见 5.3.3.8。

表 F.6　不同海拔处验证电气间隙的试验电压

额定冲击耐受电压 $\hat{U}$ kV	在海平面的冲击试验电压 $\hat{U}$ kV	在海拔 200 m 处的 冲击试验电压 $\hat{U}$ kV	在海拔 500 m 处的 冲击试验电压 $\hat{U}$ kV
0.33	0.357	0.355	0.350
0.5	0.541	0.537	0.531
0.8	0.934	0.920	0.899
1.5	1.751	1.725	1.685
2.5	2.920	2.874	2.808
4.0	4.923	4.824	4.675
6.0	7.385	7.236	7.013
8.0	9.847	9.648	9.350
10.0	12.309	12.060	11.688
12.0	14.770	14.471	14.025
15.0	18.464	18.091	17.533

注 1：关于电气间隙的电气强度的影响因素(气压、海拔、温度、湿度)的有关说明见 4.7,海拔修正见 6.2.2.1.4。

注 2：电气间隙试验时,相关的固体绝缘会承受试验电压。由于表 F.6 的冲击试验电压对额定冲击耐受电压而言有所增加,因此固体绝缘必须照此电压设计。其结果是增加固体绝缘承受冲击耐受能力。

表 F.7　固体绝缘试验环境条件严酷度

试验	温度 ℃	相对湿度 %	时间 h	循环次数
a)　高温	+55	—	48	1
b)　规定变化速率的温度变化(GB/T 2423.22—2012 中试验 Nb)	−10～+55	—	循环时间 24	3
c)　热冲击(快速温度变化,GB/T 2423.22—2012 中试验 Na)	−10～+55	—	[b]	
d)　恒定湿热	30/40[a]	93	96	1

注：对于湿热试验,一些产品标准仍使用 25 ℃。

[a] 湿热试验的标准温度按 IEC 60068-2-78。

[b] 温度变化时间与试品的发热时间常数有关,见 GB/T 2423.22—2012。

表 F.8　耐受稳态峰值电压、暂时过电压或再现峰值电压[b]的电气间隙的确定

电压[a]（峰值）[b] kV	大气中海拔从海平面至 2 000 m 的最小电气间隙	
	情况 A 非均匀电场条件（见 3.1.27） mm	情况 B 均匀电场条件（见 3.1.26） mm
0.04	0.001[c]	0.001[c]
0.06	0.002[c]	0.002[c]
0.1	0.003[c]	0.003[c]
0.12	0.004[c]	0.004[c]
0.15	0.005[c]	0.005[c]
0.20	0.006[c]	0.006[c]
0.25	0.008[c]	0.008[c]
0.33	0.01	0.01
0.4	0.02	0.02
0.5	0.04	0.04
0.6	0.06	0.06
0.8	0.13	0.1
1.0	0.26	0.15
1.2	0.42	0.2
1.5	0.76	0.3
2.0	1.27	0.45
2.5	1.8	0.6
3.0	2.4	0.8
4.0	3.8	1.2
5.0	5.7	1.5
6.0	7.9	2
8.0	11.0	3
10	15.2	3.5
12	19	4.5
15	25	5.5
20	34	8
25	44	10
30	55	12.5
40	77	17
50	100	22
60		27
80		35
100		45

注：如果电气间隙受到稳态电压 2.5 kV（峰值）及以上的电压应力，依据表 F.8 中击穿值确定的尺寸可能不能提供没有电晕放电（局部放电）的操作，特别是在非均匀电场中。为了提供无电晕放电操作，采用表 F.9 中给出的较大电气间隙或改善电场分布是很有必要的。

[a] 其他电压的电气间隙值可采用插值法获得。
[b] 稳态峰值电压和再现峰值电压见图 1。
[c] 这些值根据大气压下的实验数据得出。

表 F.9　避免局部放电的电气间隙的确定的附加资料

电压[a]（峰值）[b] kV	大气中海拔从海平面至 2 000 m 的最小电气间隙
	情况 A 非均匀电场条件（见 3.1.27） mm
0.04	同表 F.8 中情况 A 的规定
0.06	
0.1	
0.12	
0.15	
0.20	
0.25	
0.33	
0.4	
0.5	
0.6	
0.8	
1.0	
1.2	
1.5	
2.0	
2.5	2.0
3.0	3.2
4.0	11
5.0	24
6.0	64
8.0	184
10	290
12	320
15	[c]
20	
25	
30	
40	
50	
60	
80	
100	

注：如果电气间隙受到稳态电压 2.5 kV（峰值）及以上的电压应力，依据表 F.8 中击穿值确定的尺寸可能不能提供没有电晕放电（局部放电）的操作，特别是在非均匀电场中。为了提供无电晕放电操作，采用表 F.9 中给出的较大电气间隙或改善电场分布是很有必要的。

[a] 其他电压的电气间隙值可采用插值法获得。
[b] 稳态峰值电压和再现峰值电压见图 1。
[c] 非均匀电场条件下确定电气间隙不可能没局部放电现象。

表 F.10　电气间隙的海拔修正系数

海拔 m	距离修正系数 K_d
0	0.784
200	0.803
500	0.833
1 000	0.884
2 000	1.000

附 录 G
（资料性）
根据 5.2 确定电气间隙尺寸

根据 5.2 确定电气间隙见图 G.1。

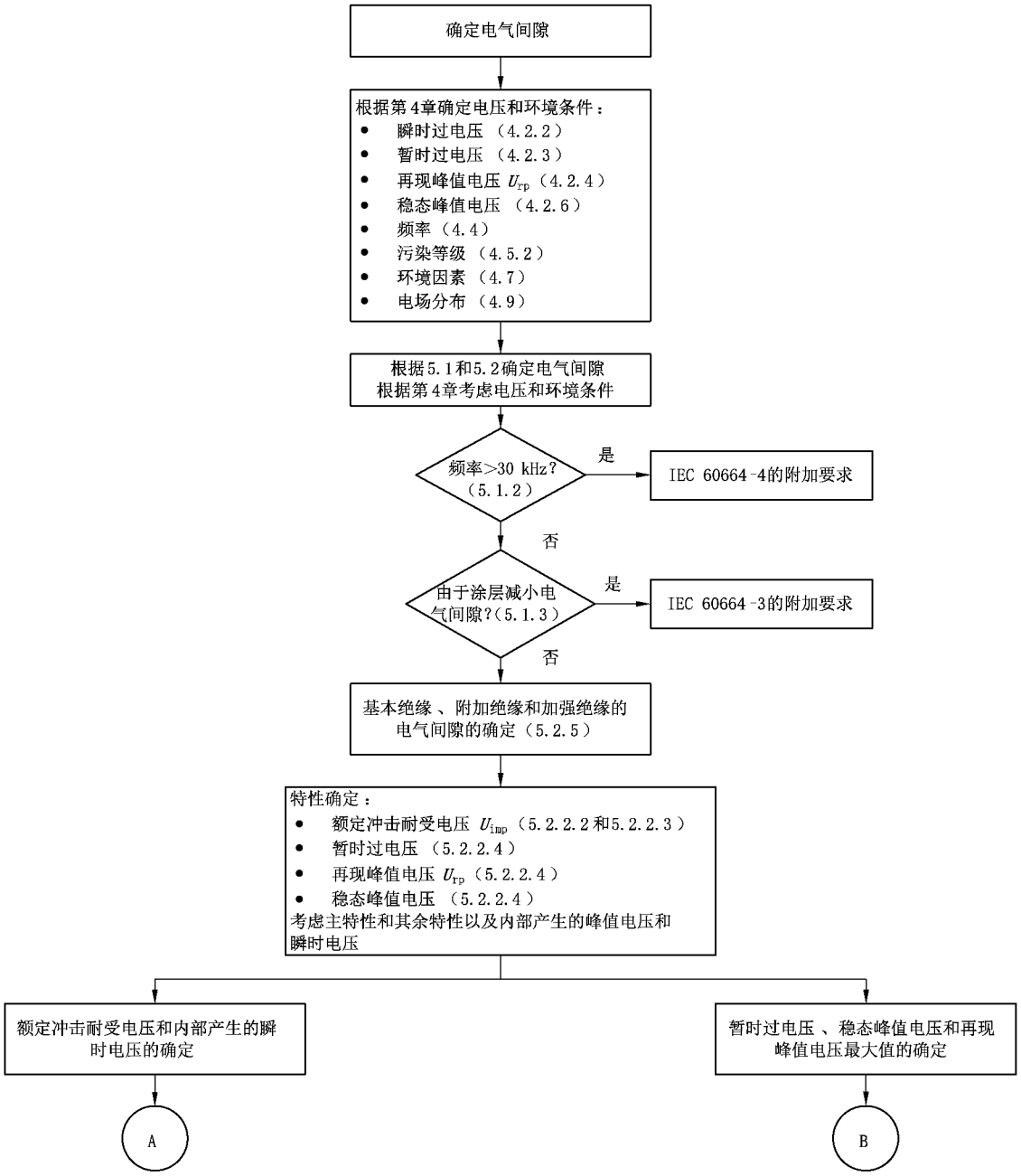
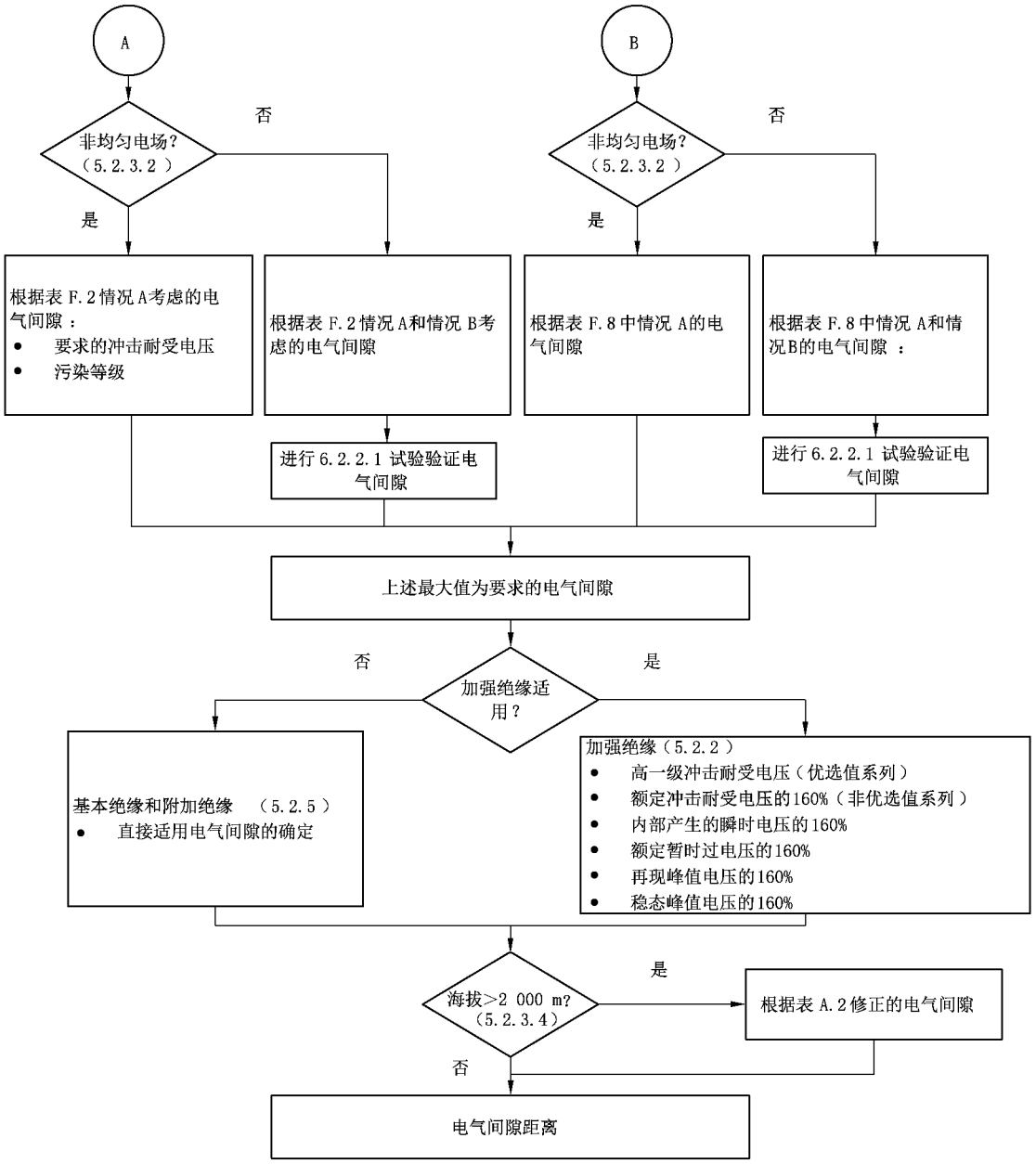


图 G.1 根据 5.2 确定电气间隙



注 1：该流程图仅为更好的理解 5.2，具体的要求见 5.2。

注 2：功能绝缘的确定可以采用类似的方法，见 5.2 和 5.2.4。

注 3：对于 IEC 60664-3 的 1 型保护，IEC 60664-1 中的污染等级 1 适用。

图 G.1 根据 5.2 确定电气间隙（续）

附 录 H
（资料性）
根据 5.3 确定爬电距离尺寸

根据 5.3 确定爬电距离见图 H.1。

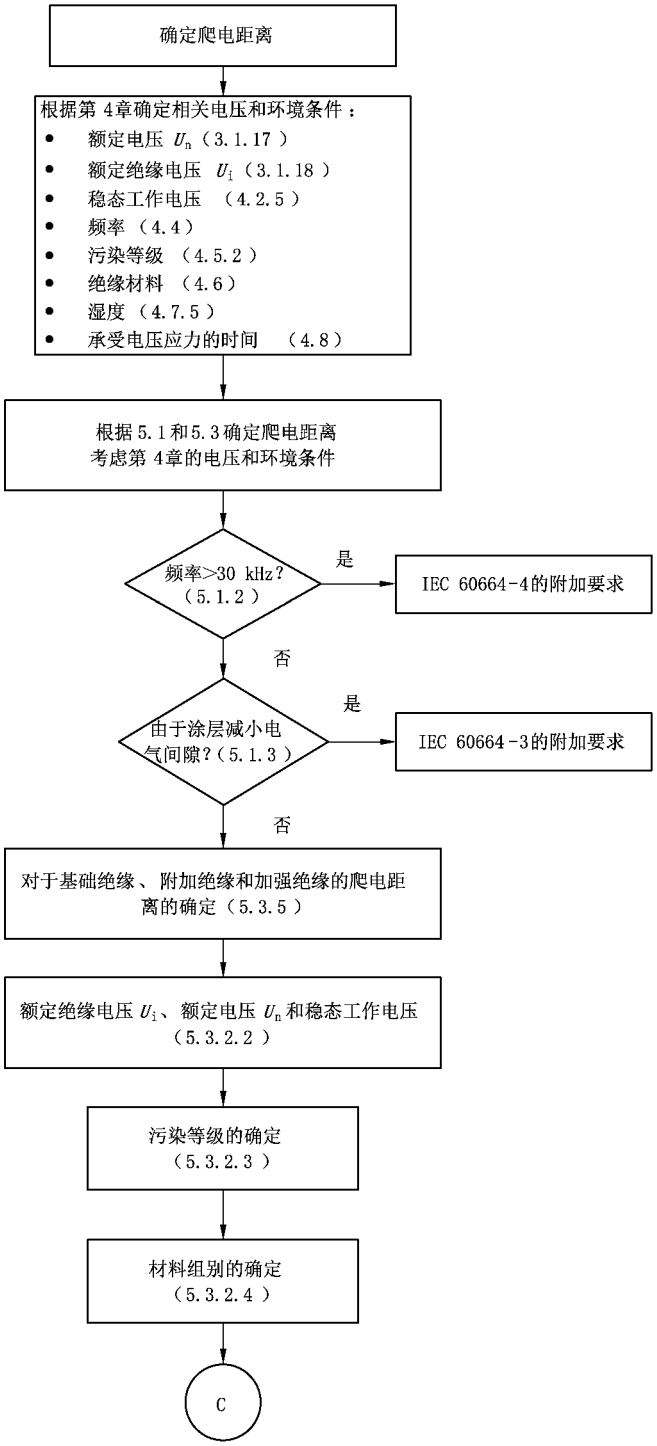
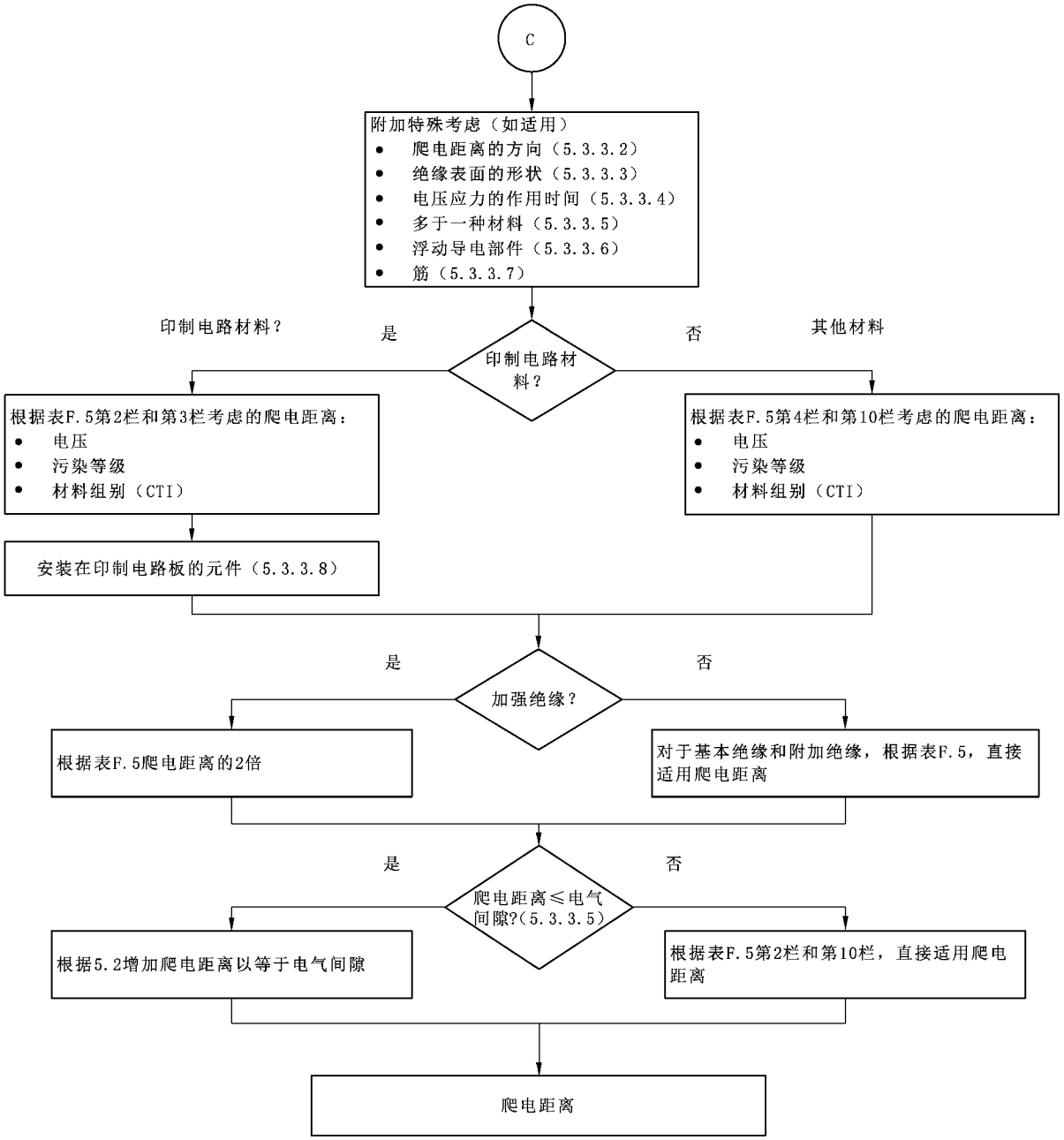


图 H.1 根据 5.3 确定爬电距离



注 1：该流程图仅为更好的理解 5.3，具体的要求见 5.3。

注 2：功能绝缘的确定可采用类似的方法，见 5.3 和 5.3.4。

注 3：对于 IEC 60664-3 的 1 型保护，IEC 60664-1 中的污染等级 1 适用。

图 H.1　根据 5.3 确定爬电距离（续）

参 考 文 献

[1] GB/T 2421—2020 环境试验 概述和指南(IEC 60068-1:2013,IDT)

[2] GB/T 2900.25—2008 电工术语 旋转电机(IEC 60050-411:1996/AMD 1:2007,IDT)

[3] GB/T 2900.50—2008 电工术语 发电、输电及配电 通用术语(IEC 60050-601:1985,MOD)

[4] GB/T 2900.71—2008 电工术语 电气装置(IEC 60050-826:2004,IDT)

[5] GB/T 2900.73—2008 电工术语 接地与电击防护(IEC 60050-195:1998,MOD)

[6] GB/T 2900.83—2008 电工术语 电的和磁的器件(IEC 60050-151:2001,IDT)

[7] GB/T 4210—2015 电工术语 电子设备用机电元件(IEC 60050-581:2008,IDT)

[8] IEC 60038 IEC standard voltages

[9] IEC 60050-212 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases

[10] IEC 60050-312 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 312: General terms relating to electrical measurements

[11] IEC 60050-442 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 442: Electrical accessories

[12] IEC 60050-614 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 614: Generation, transmission and distribution of electricity—Operation

[13] IEC 60050-851 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 851: Electric welding

[14] IEC 60050-903 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 903: Risk assessment

[15] IEC 60068 (all parts) Environmental testing

[16] IEC 60085 Electrical insulation—Thermal evaluation and designation

[17] IEC 60112 Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials

IEC 60112:2003/AMD1:2009

[18] IEC 60216 (all parts) Electrical insulating materials—Thermal endurance properties

[19] IEC 60364-4-44:2007 Low-voltage electrical installations—Part 4-44: Protection for safety—Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015 IEC 60364-4-44:2007/AMD2:2018

[20] IEC 60529 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

[21] IEC 60664-1 Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems—Part 1: Principles, requirements and tests

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

[23] IEC 60664-3 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems—Part 3: Use of coating, potting or moulding for protection against pollution

[24] IEC 60664-4 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems—Part 4: Consideration of high-frequency voltage stress

[25] IEC 61000-4-5:2014 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-5: Testing and meas-

urement techniques—Surge immunity test

[26] IEC 61140 Protection against electric shock—Common aspects for installation and equipment

[27] IEC 61643:2011 Low-voltage surge protective devices

[28] IEC TR 63040 Guidance on clearances and creepage distances in particular for distances equal to or less than 2 mm—Test results of research on influencing parameters

[29] IEC Guide 104:2019 The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications

[30] IEC Guide 116 Guidelines for safety related risk assessment and risk reduction for low voltage equipment

[31] ISO/IEC Guide 2:2004 Standardization and related activities—General vocabulary

[32] ISO/IEC Guide 51 Safety aspects—Guidelines for their inclusion in standards

[33] PFEIFFER, W. Die Stoßspannungsfestigkeit von Luftstrecken kleiner Schlagweite. Elektrotechnische Zeitschrift B, Vol.28(1976), p. 300-302

[34] HERMSTEIN, W. Bemessung von Luftstrecken, Insbesondere für 50 Hz-Wechselspannung. Elektrotechnische Zeitschrift. Vol.90(1969), p. 251-255

[35] DAKIN, T., LUXA, G., OPPERMANN, G., VIGREUX, J., WIND, G. WINKELNKEMPER, H. Breakdown of gases in uniform fields, paschen curves for nitrogen, air and sulfur hexafluoride. Electra (issued by CIGRE), Vol.32(1974), p. 61-82

[36] HARTHERZ, P., BEN YAHIA, K., MÜLLER, L., PFENDTNER, R., PFEIFFER, W. Electrical breakdown experiments in air for micrometer gaps under various pressures. Issued during the 9th International Symposium on Gaseous Dielectrics, Ellicot City, Maryland, USA 2001, p. 333-338

[37] HARTHERZ, P. Anwendung der Teilentladungsmeßtechnik zur Fehleranalyse in festen Isolierungen unter periodischer Impulsspannungsbelastung. Dissertation TU Darmstadt; Shaker Verlag, 2002

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
低压供电系统内设备的绝缘配合
第 1 部分:原理、要求和试验
GB/T 16935.1—2023/IEC 60664-1:2020
*
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(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)
网址:www.spc.net.cn
服务热线:400-168-0010
2023 年 9 月第一版
*
书号:155066·1-73942

版权专有 侵权必究

GB/T 16935.1-2023

码上扫一扫 正版服务到