

前 言

GB/T 19271《雷电电磁脉冲的防护》分为五个部分：

- 第 1 部分：通则；
- 第 2 部分：建筑物的屏蔽、内部等电位连接及接地；
- 第 3 部分：对浪涌保护器的要求；
- 第 4 部分：现有建筑物内设备的防护；
- 第 5 部分：应用指南。

本部分为 GB/T 19271 的第 1 部分，对应于 IEC 61312-1:1995《雷电电磁脉冲的防护 第 1 部分：通则》(英文版)，在技术内容上一致性程度为等同，编排格式也与该标准一致。

本部分共分 3 章 5 个附录，所有附录均为资料性附录。

本部分系等同采用 IEC 61312-1，编排格式也与该标准一致，仅作了一些编辑性的修改，对原文明显的出错之处也作了改正。主要有：

- 将一些适用于国际标准的表述改为适用于我国标准(GB/T 1.1—2000《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规则》)的表述。如将“本国际标准……”改为“本标准……”；“IEC 61312 的本部分……”改为“本部分……”。
- 按照汉语习惯对一些编排格式作了修改。如“注后的连字符‘—’改为冒号‘:’”；英文名称的连字符‘—’改为空格；表编号、图编号与标题之间的连字符‘—’改为空格。
- 按 IEC 规定国际标准编号一律改为 1997 年后的编号。如“IEC 1024……”改为“IEC 61024……”。
- “规范性引用文件”的引导语也按 GB/T 1.1—2000 的规定编写。
- IEC 的标准体系将 IEC 61312 按 5 个部分编制，在本部分前言中将 GB/T 19271 标准也分成 5 个部分，与 IEC 标准一一对应。
- 对原文中图号明显不一致之处作了改正。如 3.3 中的“图 A6”改为“图 B.5”；附录 C 中的“见图 C.3、C.4”改为“见图 C.1”。
- “术语和定义”按 GB/T 1.1—2000 的规定编制。

本部分由全国雷电防护标准化技术委员会提出并归口。

本部分由广东省防雷中心负责起草。

本部分由清华大学物理系、总装备部工程设计院、中国电信集团湖南省电信公司、中国电力科学院、中国气象局监测网络司、厦门市祥云科技服务公司、中国华云技术开发公司等参加起草。

本部分主要起草人：杨少杰、张伟安、丘智炜、黄智慧、金良、潘正林、潘耀清、邓春林。

本部分 2003 年首次发布。

引 言

鉴于各种类型的电子系统包括计算机、电信设备、控制系统等(在本标准中称之为信息系统)的应用不断增加,使本标准的制定成为必需。这样的信息系统用于商业及工业的许多部门,包括高资金投入、大规模及高度复杂的工业控制系统,对这样的系统从代价及安全方面考虑都极不希望由于雷电导致运行的中断。

对于建筑物防雷的一般原则,IEC 61024-1 可资利用。然而,这部主要标准并未涵盖各种类型的电子、电气系统的防护。因此,“雷电电磁脉冲(LEMP)¹⁾的防护”这一标准提供了信息系统防护的基本原理并补充了现有的标准。

固态器件比过去所用电子元件对雷击浪涌更为敏感。而且,在工艺流程非常复杂的工厂中,为了简化操作人员的工作并实现自动化流程控制的最优化,正在采用计算机作全面的控制。计算机也承担安全防护功能,例如,核反应堆中的安全防护系统。

作为干扰源的雷电是一个能量极高的自然现象。雷击释放出几百兆焦耳的能量,这一能量与可能影响灵敏电子设备的也许仅为毫焦耳量级的能量相比差别悬殊。因此需要有一种合理的工程保护方法。本标准试图解释在瞬变过程中雷电的耦合机理并给出减小进入信息系统(如电子系统)的瞬态干扰的一些原则。

1) 本标准中采用缩略语 LEMP。

雷电电磁脉冲的防护

第 1 部分:通则

1 总则

1.1 范围

本部分为建筑物内或建筑物上的信息系统的有效的雷电防护系统的设计、安装、检查、维护及测试提供信息。

下列情况不属于本标准范围:车辆、船舶、航空器。各种离岸装置由专门机构制定的法规管理。

本部分不考虑系统设备本身。然而,本部分为信息系统的设计者与 LEMP 防护系统的设计者之间,为了达到最佳防护效能而进行的合作提供一些指导原则。

1.2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 19271 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

IEC 61024-1:1990 建筑物防雷 第 1 部分:通则

1.3 术语和定义

IEC 61024-1 中给出的术语和定义以及下列的术语和定义适用于本部分。

1.3.1

等电位连接网络 bonding network

将一个系统的诸外露可导电部分做等电位连接的导体所组成的网络。

1.3.2

共用接地系统 common earthing system

将各部分防雷装置、建筑物金属构件、低压配电保护线、设备保护地、屏蔽体接地、防静电接地和信息设备逻辑地等连接在一起的接地装置。

1.3.3

接地基准点 earthing reference points(ERP)

共用接地系统与系统的等电位连接网络间的唯一连接点。

1.3.4

环境区 environmental zone

规定了电磁条件的区域。

1.3.5

等电位连接 equipotential bonding

将分开的装置、诸导电物体用等电位连接导体或浪涌保护器连接起来以减少雷电流在它们之间产生的电位差。

1.3.6

雷电流 lightning current

流过雷击点的电流。

1.3.7

雷电电磁脉冲 lightning electromagnetic impulse (LEMP)

与雷电放电相联系的电磁辐射。所产生的电场和磁场能够耦合到电气或电子系统中,从而产生干扰性的浪涌电流或浪涌电压。

1.3.8

防雷区 lightning protection zone(LPZ)

需要规定和控制雷击电磁环境的区域。

1.3.9

雷电防护系统 lightning protection system(LPS)

用以对某一空间进行雷电效应防护的整套装置,它由外部雷电防护系统和内部雷电防护系统两部分组成。

注:在特定情况下,雷电防护系统可以仅由外部防雷装置或内部防雷装置组成。

1.3.10

局部等电位连接带 local bonding bar

在 LPZ O 区以后的两防雷区界面上的等电位连接带。

1.3.11

长时间雷击 long duration stroke

电流持续时间(从波头 10%幅值起至波尾 10%幅值止的时间)长于 10 ms 且短于 1 s 的雷击(见图 1)。

1.3.12

短时雷击 short duration stroke

脉冲电流的半峰值的时间短于 1 ms 的雷击(见图 1)。

1.3.13

浪涌保护器 surge protection device(SPD)

用于限制暂态过电压和分流浪涌电流的装置,它至少应包含一个非线性电压限制元件。也称电涌保护器。

2 干扰源

2.1 作为干扰源的雷电流

为了分析估算在 LPS 及与之等电位连接的装置中雷电流的分布,应将雷电流源看作一个向 LPS 的导体及与其相连装置注入雷电流(由若干个雷击组成)的电流发生器。

不但雷电通道的电流产生电磁干扰,而且这一传导电流也产生电磁干扰。附录 D 说明了这些电磁耦合过程。

2.2 雷电流参数

为了模拟的需要,依照一次闪电中的各次雷击(见图 2),假定雷电流由以下的三种组成:

- 正或负极性的首次雷击;
- 负极性的后续雷击;
- 正或负极性的长时间雷击。

对各种保护级别,雷击点的雷电流参数见下列各表:

- 表 1,用于首次雷击;
- 表 2,用于后续雷击;
- 表 3,用于长时间雷击。

表中各参数的定义见图 1。

确定雷电流参数的背景资料参见附录 A。

用于分析的雷电流时间函数参见附录 B。

用于测试的雷电流的模拟参见附录 C。

3 防雷区

应将需保护空间划分为不同的防雷区(LPZ),以界定具有不同的 LEMP 严酷程度的各个空间并指明各防雷区界面上等电位连接点的位置。

各防雷区以其边界处电磁条件有明显变化为特征。

3.1 防雷区的定义

LPZ O_A:本区内物体易遭到直接雷击,因而可能必须传导全部的雷电流。本区内电磁场没有衰减。

LPZ O_B:虽然本区内物体不易遭到直接雷击,但区内产生未被衰减的电磁场。

LPZ1:本区内物体不易遭到直接雷击,本区内所有导电部件上的雷电流比在 LPZ O_B 区内的雷电流进一步减小。本区内的电磁场也可能被衰减,取决于屏蔽措施。

后续防雷区(LPZ2 等),如果要求进一步减小传导电流或电磁场,就应引入若干后续防雷区。应根据被保护系统所要求的环境区来选择所需后续防雷区的个数。

通常,防雷区序号越高,其电磁环境参数就越低。

在各个防雷区的界面处,所有穿越的金属物应作等电位连接,也可采取屏蔽措施。

注: LPZ O_A、LPZ O_B 与 LPZ1 之间的界面处的等电位连接在 IEC 61024-1:1990 的 3.1 中规定。建筑物内部的电磁场受到如窗口这样的孔洞的影响,也受金属导体(如等电位连接带、电缆屏蔽层及电缆屏蔽管子)上的电流及电缆布线方式的影响。

将一个需要防护的空间划分成不同防雷区的一般原则示于图 3。

图 4 给出将一座建筑物划分为若干防雷区的例子。此例中所有的电力线及信号线均在一点进入被保护空间(LPZ 1),并在 LPZ O_A、LPZ O_B 与 LPZ 1 之间的界面处等电位连接至等电位连接带 1。此外,这些线路在 LPZ 1 与 LPZ 2 界面处等电位连接至内部等电位连接带 2 上。而且,建筑物的外屏蔽 1 等电位连接到等电位连接带 1,而内屏蔽 2 等电位连接到等电位连接带 2。电缆从一个 LPZ 穿到另一 LPZ,则需在每个界面处做等电位连接。LPZ2 的构成应使局部雷电流不能传入该空间也不能穿越过该空间。

3.2 接地要求

接地应遵守 IEC 61024-1 的规定。

如果在相邻的建筑物之间有电力和通讯电缆通过,应将其接地系统相互连接,并且,最好在接地系统间有多条并行通路,以减少流经电缆的电流。网格状接地系统可满足这种技术要求。

可用以下方法进一步减小雷电流效应,例如将所有电缆穿在金属管道或格栅型钢筋混凝土管道内,金属管道和钢筋必须汇集到网格形接地系统中去。

图 5 示出了附有一座塔的建筑物的网格形接地系统的典型例子。

3.3 屏蔽要求

应采用雷电流幅值密度(图 B.5 给出)及相应的磁场幅值密度来评估屏蔽效能。

屏蔽是减小电磁干扰的基本措施。

在图 6 中,原则上示出了为减小感应效应而采取的屏蔽及布线措施:

- 外部屏蔽措施;
- 适当的布线措施;
- 线路屏蔽措施。

这些措施可组合使用。

为了改善电磁环境,与建筑物相关联的所有大尺寸金属部件应连接在一起并且与 LPS 等电位连接,如金属屋顶及金属立面、混凝土内钢筋、门窗的金属框架等(见图 7 例示,其网孔宽度为几十厘米)。

若在被保护的空間內使用屏蔽电缆,它们的屏蔽层至少应在两端进行等电位连接,假如经过 LPZ,还应在其界面处再作等电位连接。

在分离的建筑物间布设的电缆应敷设在金属电缆槽中(如金属管、槽架或混凝土中的格栅形钢筋网),这些金属管槽应首尾电气贯通,并与各个建筑物的等电位连接带等电位连接。电缆屏蔽层应与这些等电位连接带相连接。如果电缆屏蔽层能承载可预见的雷电流,则可不敷设金属电缆槽。

3.4 等电位连接的要求

等电位连接的目的在于减小防雷空间内各金属部件及各系统之间的电位差。

不仅对 LPZ 内部的金属部件及系统,而且对穿越各界面的金属部件及系统均应在各 LPZ 区界面处作等电位连接。应采用连接导线和线夹在等电位连接带处做等电位连接,在需要的地方采用浪涌保护器(SPD)做等电位连接(见图 8,图中接地导体也作了等电位连接)。

3.4.1 防雷区界面处的等电位连接

3.4.1.1 防雷区 LPZ O_A、LPZ O_B 与 LPZ 1 间界面处的等电位连接

应对进入建筑物的所有外来导电部件作等电位连接。

当外来导电部件与电力线及通讯线路于不同处进入建筑物,从而需要若干个等电位连接带时,这些等电位连接带不仅应尽可能近地连接到钢筋及金属立面上,而且还应尽可能近地连接至环形接地体上(见图 9)。如果没有环形接地体,这些等电位连接带应分别连至各个单独的接地体并用一个内部环形导体(或用一局部环形导体,见图 10)互连。如果外来导电部件架空进入,则等电位连接带应连接至墙内或墙外的水平环形导体上,该环形导体不仅应连接至钢筋上(当使用了钢筋时),而且应连接至引下线(见图 11)。

当外来导电部件以及电力线和通讯线等在地面进入建筑物,建议在同一位置做等电位连接(见图 12 例示)。这点对几乎无屏蔽特性的建筑物尤为重要。设在设施入户处的等电位连接带不但应就近连接至钢筋上(当使用了钢筋时),而且应就近连接至接地体上。

环形导体应连接到钢筋或其他屏蔽构件上(如金属立面),典型的连接间距为 5 m。连接导体的最小截面见 IEC 61024-1:1990 表 6。铜或镀锌钢等电位连接带的最小截面应为 50 mm²。

内含信息系统的建筑物,在建筑物要求 LEMP 效应宜减至最小时,其等电位连接带最好采用金属板并多处连接至钢筋或其他屏蔽构件上。

LPZ O_A 与 LPZ 1 界面处等电位连接所用的线夹及 SPD,其电流参数值应根据表 1 至表 3 的参数来选取,有多个导体相连处应考虑分流的影响。

LPZ O_B 与 LPZ 1 界面处等电位连接所用的线夹及 SPD,其电流参数值应单独估算。

LPZ O_B 区内的外来导电部件预期流过感应电流及小部分的雷电流。

在地面进入建筑物的外来导电部件及电力线、通讯线,应估算在等电位连接点的各个局部雷电流。可按如下方法进行估算:

当不可能作个别估算时,可假定总雷电流 i 的 50% 流入所考虑建筑物的 LPS 的接地装置,而其余的 50% 即 i_s 在进入建筑物的各种设施(外来导电部件、电力线及通讯线等)间分配。流入每一种设施的电流 i_i 为 i_s/n , n 为上述设施的个数(见图 13)。为了估算无屏蔽电缆中各条芯线上的电流 i_c ,流入电缆的电流 i_i 要除以芯线数 m ,即 $i_c = i_i/m$ 。

对于屏蔽电缆,雷电流将沿屏蔽层流动。

对于民用建筑物,电话线可不列入 n 的计算,因为它并不影响其他设施承载电流的大小。虽然如此,电话线也应作等电位连接,在设计等电位连接时应以 5% 的雷电流作为最小值来估算。

等电位连接导体的截面积按 IEC 61024-1:1990 的表 6 及表 7 选取。大于或等于 25% 的雷电流流过导体时用表 6,小于 25% 的雷电流流过导体时则用表 7。

SPD 必须经受得住局部的雷电流,应满足对浪涌的最大箝位电压的要求,同时 SPD 应具有“熄灭”来自电源的续流的能力。

建筑物设施入口处的最大浪涌电压 U_{\max} 应与所涉系统的耐压能力相协调。

为了获得足够低的 U_{\max} , 各线路应以最短的导线连接至等电位连接带(见图 14, 此处 U_A 、 U_L 不一定同相出现, 但 $U_A + U_L$ 必须保持低于 U_{\max})。

3.4.1.2 各后续防雷区界面上的等电位连接

LPZ O_A、LPZ O_B 与 LPZ 1 界面上的等电位连接的一般原则也适用于各后续防雷区界面的等电位连接。

进入防雷区界面的所有导电部件以及电力线、通讯线都应在界面处作等电位连接。应采用一局部等电位连接带作等电位连接, 屏蔽构件或其他局部金属结构(如设备外壳)也应连接到此局部等电位连接带上。

用作等电位连接的线夹及 SPD, 应分别估算其电流参数。LPZ 界面处的最大浪涌电压应与所涉系统的耐压能力相协调。不同防雷区界面的各个 SPD 在能量耐受能力方面也应相互协调。

3.4.2 需被保护空间内设备的等电位连接

3.4.2.1 内部导电部件的等电位连接

诸如电梯轨道、吊车、金属地板、金属门框、设施管线、电缆槽等所有大尺寸的内部导电部件都应以最短路径与最近的等电位连接带或其他已作了等电位连接的金属结构作等电位连接。各导电部件作附加的多重互连是有好处的。

等电位连接导体的截面积按 IEC 61024-1:1990 表 7 选取。

在各个等电位连接部件中, 预期仅流过一小部分的雷电流。

3.4.2.2 信息系统的等电位连接

将外部 LPS 并入建筑物的共用接地系统, 金属装置均与该共用接地系统等电位连接(见 3.4.2.1), 以获得一个低电感的网格状接地系统。

信息系统的各个外露导电部件应建立等电位连接网络。从原理上讲, 等电位连接网络不必连到大地, 但本标准所考虑的所有等电位连接网络均是接地的。

信息系统的金属部件如箱体、外壳、机架等与建筑物的共用接地系统的等电位连接有两种主要方法, 如图 15 所示。

应采用两种基本等电位连接网络结构中的一种(见图 15):

——S 型(星型)结构;

——M 型(网格型)结构。

当采用 S 型等电位连接网络时, 除了等电位连接点外, 系统的所有金属部件应与共用接地系统部件作充分的绝缘(或隔离)。

通常, S 型等电位连接网络用于相对较小的、限定于局部的系统, 所有设施及电缆仅在一点进入该系统。

S 型等电位连接网络应该仅以一点(按地基准点 ERP)连接方式并入共用接地系统, 从而构成 S₀ 型等电位连接网络(见图 15)。同时在此情况下, 为了避免构成感应环路, 各设备间的所有连接线路及电缆应与按星型布置的各条等电位连接线平行布线。由于是单点连接, 因而没有与雷电相关的低频电流能进入信息系统中, 此外, 信息系统内部的低频干扰源也不能产生地电流。此唯一的连接点亦是连接 SPD 以限制传导过电压的理想连接点。

采用 M 型等电位连接网络时, 系统的金属部件不应与共用接地系统部件绝缘。M 型等电位连接网络应以多点连接方式汇集到共用接地系统, 从而构成 M_m 型等电位连接网络。

通常, M 型等电位连接网络用于相对广延的开环系统, 在这种系统中各设备间连有许多线路及电缆, 各种设施及电缆从多个点进入信息系统。

M型结构,对于高频来说,也获得了一个低阻抗的网络。而且,等电位连接网络的多个短路环路对磁场也起到多个衰减环路的作用,从而对信息系统附近的原有磁场加以衰减。

在复杂的系统中,可将两种类型结构(S型和M型)的优点结合起来,如图16所示。

一个S型局部等电位连接网络可与一个网格状(M型)结构组合在一起,如图16的组合1。

此外,一个M型局部等电位连接网络可在ERP与共用接地系统相连(图16组合2)。在此组合中,局部等电位连接网络以及各设备的所有金属部件应与共用接地系统的各部件有足够的绝缘,而且所有设施及电缆在接地基准点ERP处进入该信息系统。

通常,等电位连接网络是在LPZ的界面处与共用接地系统相连,虽然这不是强制性的。

表1 首次雷击的雷电流参量

雷电流参数(见图1)	防雷类别		
	I	II	III~IV
峰值电流 I/kA	200	150	100
视在波前时间 $T_1/\mu s$	10	10	10
视在半峰值时间 $T_2/\mu s$	350	350	350
短时雷击电荷量 Q_1/C	100	75	50
单位能量 $W/R/(MJ/\Omega)^b$	10	5.6	2.5

a 因为总电荷量 Q_1 的大部分包含在首次雷击中,所以把所有短时雷击的电荷量都并入所给出的数值中。
 b 因为单位能量 W/R 的大部分包含在首次雷击中,所以把所有短时雷击的单位能量都并入所给出的数值中。

表2 后续雷击的雷电流参量

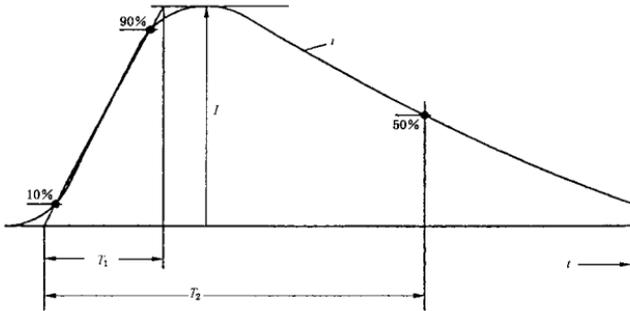
雷电流参数(见图1)	防雷类别		
	I	II	III~IV
峰值电流 I/kA	50	37.5	25
视在波前时间 $T_1/\mu s$	0.25	0.25	0.25
视在半峰值时间 $T_2/\mu s$	100	100	100
平均陡度 $I/T_1/(kA/\mu s)$	200	150	100

表3 长时间雷击的雷电流参量

雷电流参数(见图1)	防雷类别		
	I	II	III~IV
电荷 Q_1/C	200	150	100
持续时间 T/s	0.5	0.5	0.5

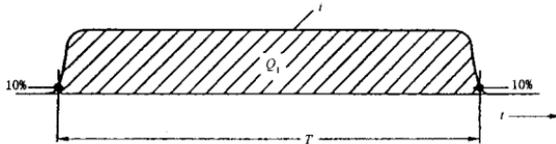
平均电流:近似等于 Q_1/T 。

注:我国标准 GB 50057—1994 把建筑物防雷类别划分为:一类(对应上表的I)、二类(对应上表的II)、三类(对应上表的III~IV)。



I ——峰值电流；
 T_1 ——视在波前时间；
 T_2 ——视在半峰值时间。

图 1a 短时雷击



T ——持续时间(由波前的 10% 幅值处至波尾 10% 幅值处)；
 Q_1 ——长时间雷击的电荷量。

图 1b 长时间雷击

图 1 雷击参数的定义

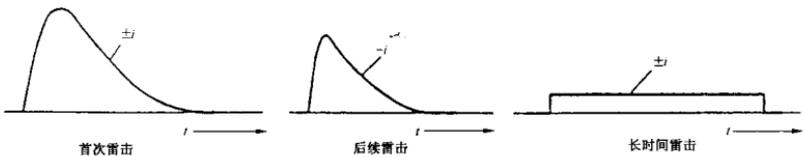


图 2 一次闪击中的几种雷击

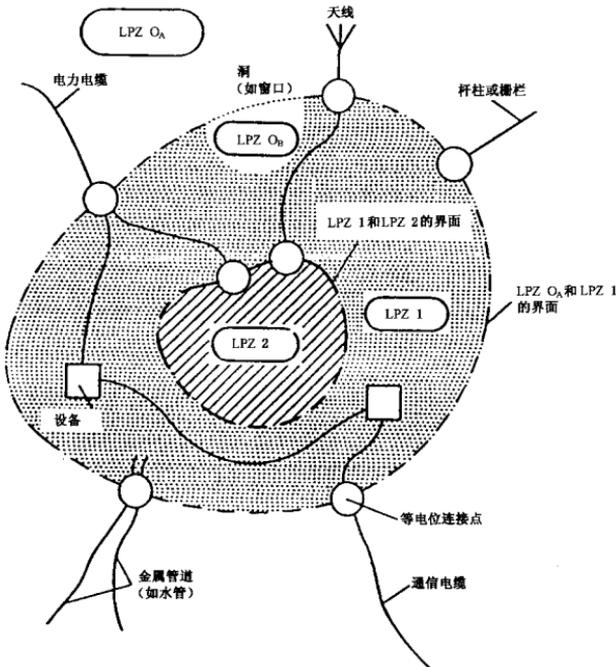


图 3 将一个需要保护的空間划分为不同防雷保护区(LPZ)的原则

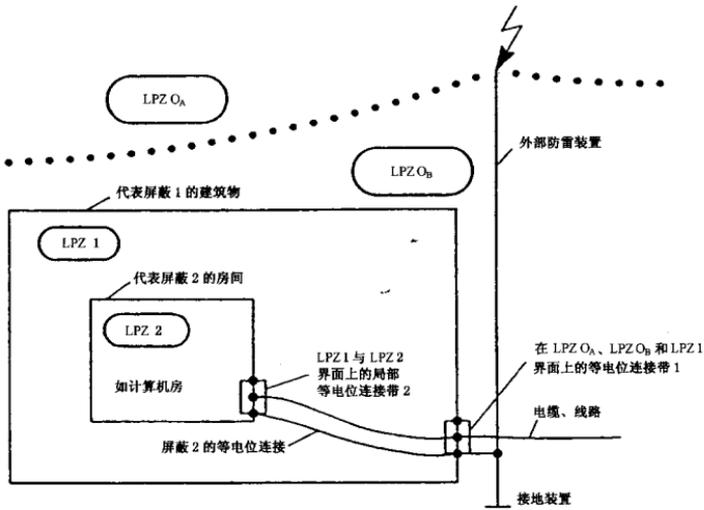


图 4 将一建筑物划分为几个 LPZ 并作适当等电位连接的示例

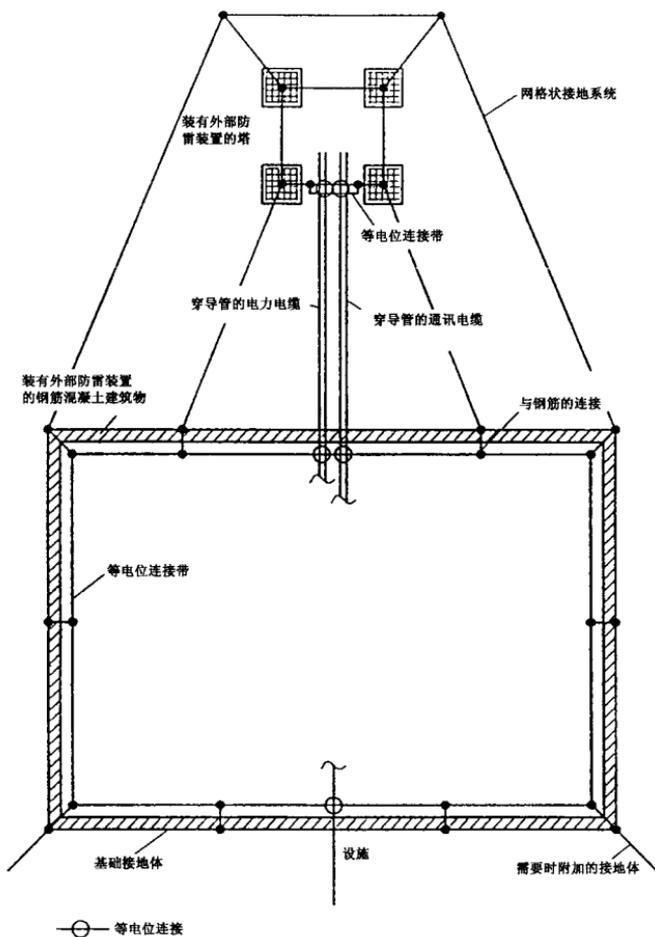


图 5 网格状接地系统的示例

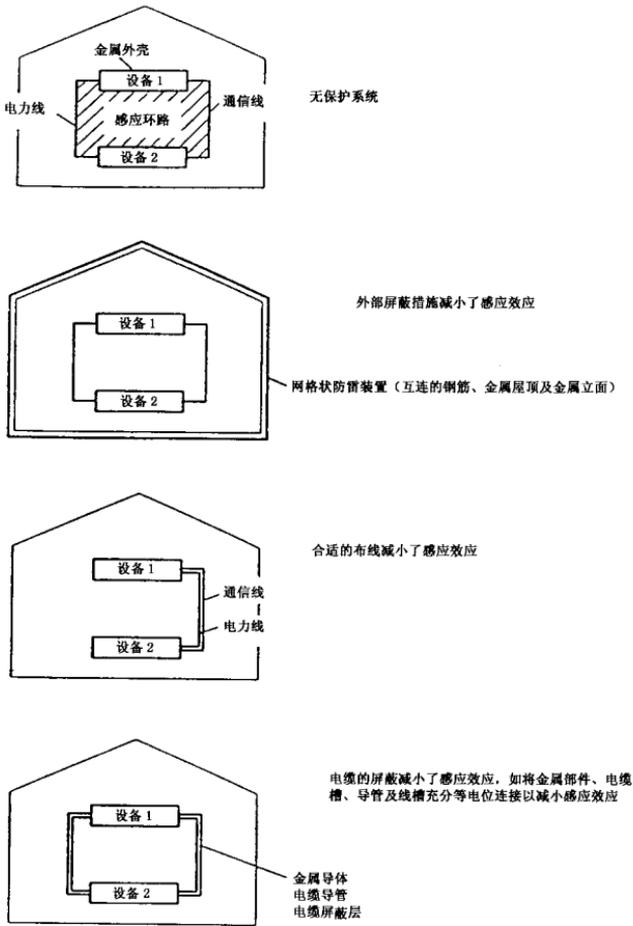


图 6 屏蔽及布线措施

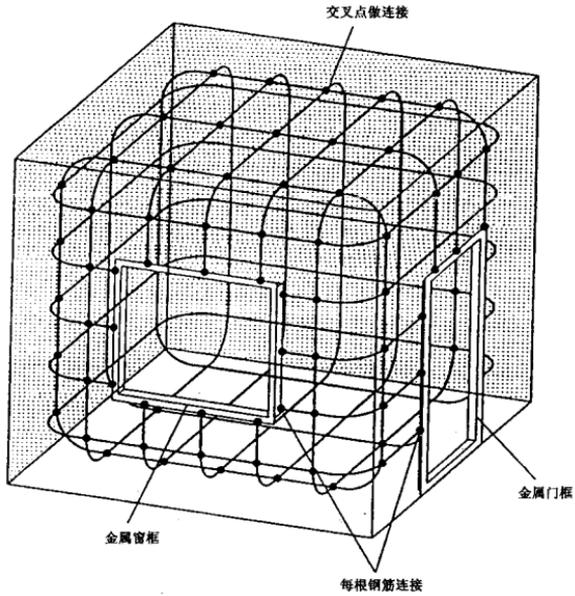


图 7 钢筋与金属框架相连减小内部磁场的示例

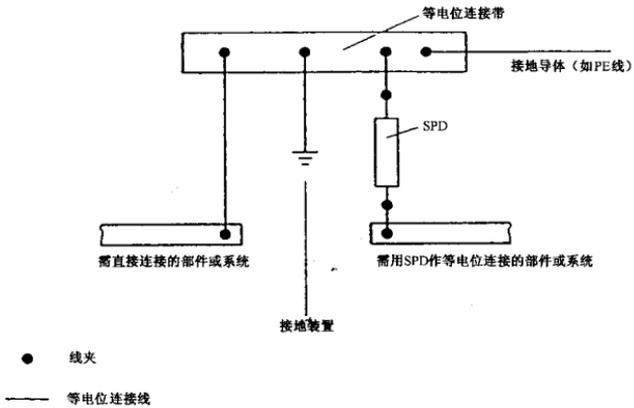


图 8 导电部件或电气系统与等电位连接带的连接

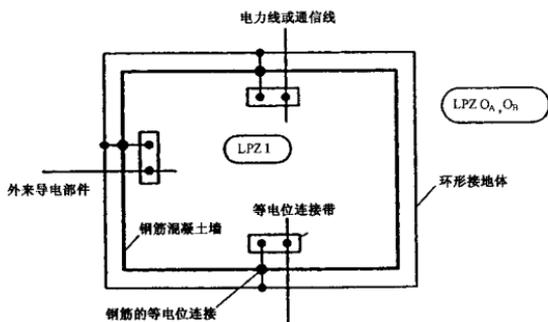


图 9 外来导电部件在地面上从多点进入建筑物的情况下，采用环形接地体实现等电位连接

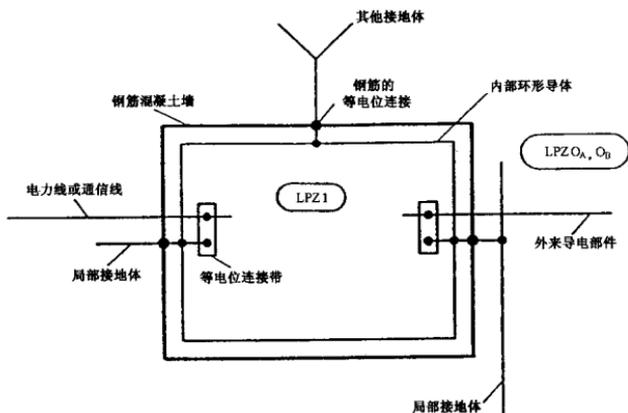


图 10 外来导电部件在地面上从多点进入建筑物的情况下，采用内部环形导体实现等电位连接

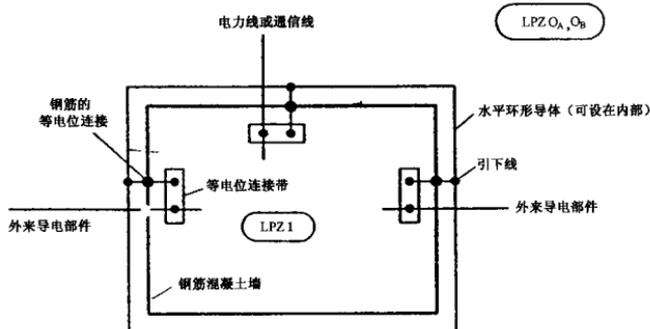


图 11 外来导电部件空中多点进入建筑物的情况下的等电位连接

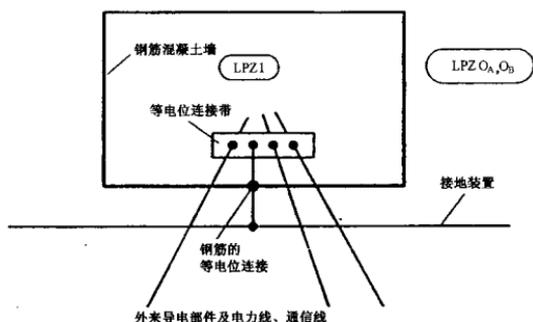


图 12 外来导电部件单点进入建筑物情况下的等电位连接

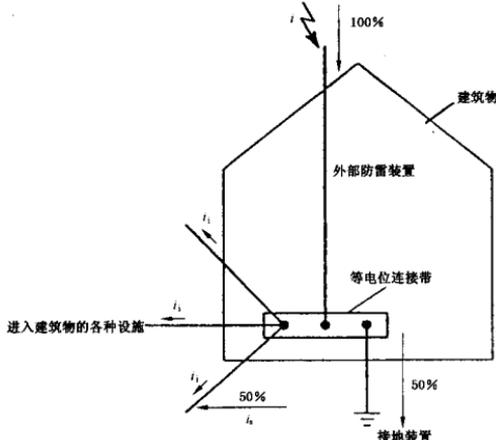
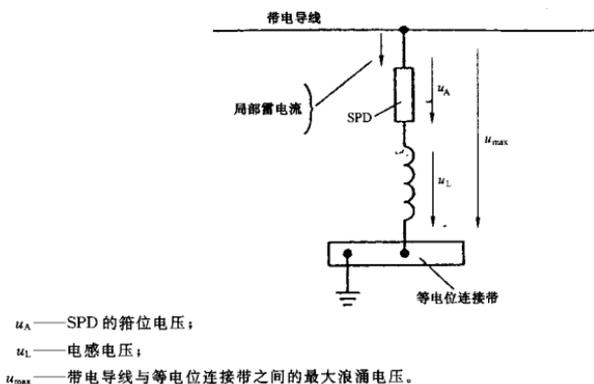


图 13 进入建筑物的各种设施之间雷电流的分配



U_A ——SPD的残压电压；

U_L ——电感电压；

U_{max} ——带电导线与等电位连接带之间的最大浪涌电压。

图 14 带电导线与等电位连接带之间的浪涌电压

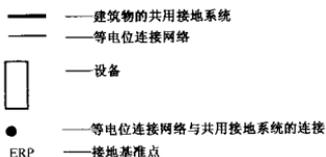
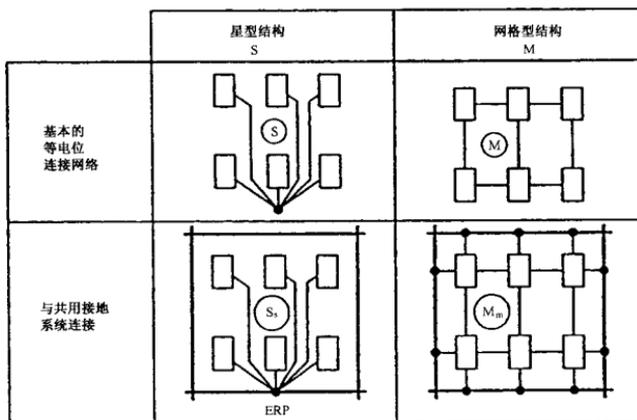


图 15 信息系统等电位连接的基本方法

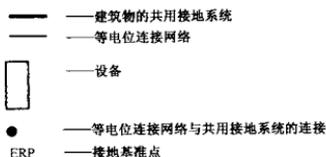
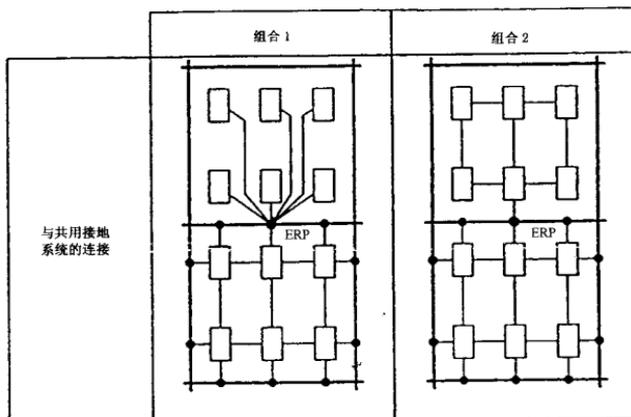


图 16 信息系统等电位连接方法的组合

附录 A

(资料性附录)

确定雷电流参数的背景资料

A.1 参数的概率

2.2 条所确定的雷电流参量是根据国际大电网会议(CIGRE)在 Electra 41(1975)及 Electra 69(1980)给出的结果而确定的。

在图 A.1 中,示出了若干参量的概率。这些概率本质上是相互独立的。

A.2 首次雷击和长时间雷击

表 1 将雷电流、电荷量、单位能量及持续时间等参数量组合在一起,因为它们中的每一个参数往往决定了一种事故机理。作为初步探讨,可认为所有雷击的 10% 是正极性的而 90% 是负极性的。尽管正极性雷击与负极性雷击之比是很低的,但正是正极性雷击(仅由首次雷击及长时间雷击构成)决定了所考虑的 I 、 Q 及 W/R 等参数的最大值。如果按照 I 级保护,要使差不多所有雷击的 99% 都被包括进去,则要以概率低于 10% 的正雷击来决定峰值电流 I 、雷击电荷 Q_1 、短时雷击电荷 Q_2 以及单位能量 W/R 等参数的最大值。(相对应的概率为 1% 的负雷击的这些参数值,远比概率为 10% 的正雷击的参数值小许多,故可不予考虑)。

注:一个更精确的雷电流参数的估算正在考虑中。

从图 A.1 的曲线 3、5、8 及 11 中概率稍小于 10% 的雷击可取下列整数:

$$I = 200 \text{ kA}$$

$$Q_1 = 300 \text{ C}$$

$$Q_2 = 100 \text{ C}$$

$$W/R = 10 \text{ MJ}/\Omega$$

对于指数衰减雷击电流可近似采用以下公式:

$$Q_2 = (1/0.7) \times I \times T_2$$

$$W/R = (1/2) \times (1/0.7) \times I^2 \times T_2$$

$$(T_1 \text{ 意义甚小})$$

此处 T_1 是雷电流的视在波前时间, T_2 是雷电流的视在半峰值时间(见图 1)。

I 、 Q_1 及 W/R 的值包含在首次雷击的参数中(见表 1)。

对于长时间雷击的电荷 Q_2 ,有如下的关系式:

$$Q_1 = Q_2 - Q_2 = 300\text{C} - 100\text{C} = 200\text{C}$$

(见表 3)

A.3 后续雷击

负极性的后续雷击决定了波前电流的平均上升速率的最大值。如果按照 I 级保护,要使大约 99% 的雷击都包括进去,则宜考虑概率小于 1% 的负极性后续雷击。

据图 A.1 曲线 15(波前的 30% 与 90% 间电流的平均上升速率概率曲线),概率略低于 1% 时的整数值为:

$$(\Delta i / \Delta t)_{30\%/90\%} = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

此值取作为波前电流上升速率的平均值 I/T_1 。

同样,根据图 A.1 曲线 2,概率略低于 1% 时 I 的整数值为 50 kA。由此得出对应的视在波前时

间为：

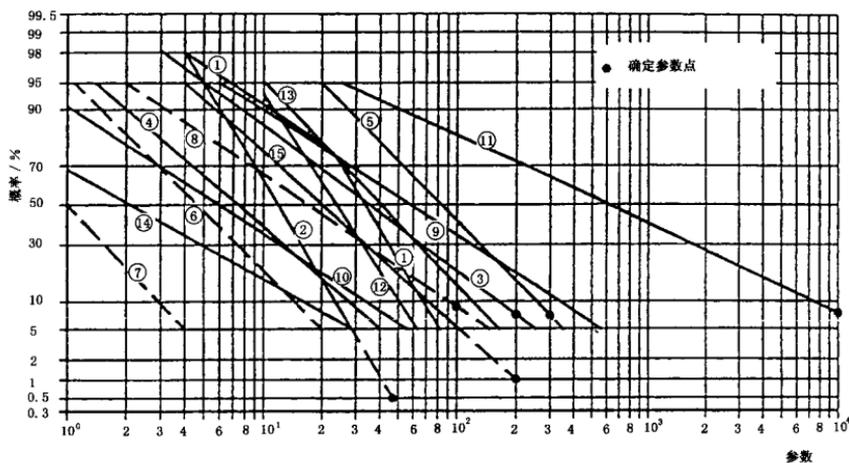
$$T_1 = 50 \text{ kA}/200 (\text{kA}/\mu\text{s}) = 0.25 \mu\text{s}$$

由此：
 $I = 50 \text{ kA}$
 $T_1 = 0.25 \mu\text{s}$
 $I/T_1 = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$

被确定为表 2 中后续雷击的参数。
 (T_2 意义甚小)

A.4 不同的保护级别

以保护级别 I 所确定的值的 75% 及 50% 作为保护级别 II 和保护级别 III~IV 的相应确定值。
 这些确定值列于表 1 至表 3 中。



参数	横坐标的单位	正闪击	首次正雷击	负闪击	首次负雷击	后续负雷击
I	kA		③ ·		①	② ·
Q_+	C	⑤ ·		④		
Q_-	C		⑧ ·		⑥	⑦
W/R	kJ/ Ω		⑪ ·		⑨	⑩
$(\Delta i/\Delta t)_{\max}$	kA/ μs		⑬		⑫	⑭
$(\Delta i/\Delta t)_{30\%/90\%}$	kA/ μs					⑮ ·

图 A.1 雷电流参数的概率

附录 B

(资料性附录)

用于分析的雷电流时间函数

为了进行分析,首次雷击(10/350 μ s)及后续雷击(0.25/100 μ s)雷电流波形可定义为:

$$i = \frac{I}{h} \times \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1 + (t/\tau_1)^{10}} \times \exp(-t/\tau_2)$$

式中:

I ——峰值电流;

h ——峰值电流校正系数;

t ——时间;

τ_1 ——波前时间常数;

τ_2 ——波尾时间常数。

为了得出各种不同保护级别的首次雷击及后续雷击的电流波形,应采用表 B.1 中给出的参数。得到的解析曲线绘于图 B.1~图 B.4。

长时间雷击可用平均电流为 I 、持续时间为表 3 中的 T 的矩形波来描述。

从这些解析曲线可导出雷电流的幅值密度,参见图 B.5。

表 B.1 用于附录 B 中等式的参量

参量	首次雷击			后续雷击		
	保护级别			保护级别		
	I	II	III~IV	I	II	III~IV
I/kA	200	150	100	50	37.5	25
t/h	0.930	0.930	0.930	0.993	0.993	0.993
$\tau_1/\mu s$	19.0	19.0	19.0	0.454	0.454	0.454
$\tau_2/\mu s$	485	485	485	143	143	143

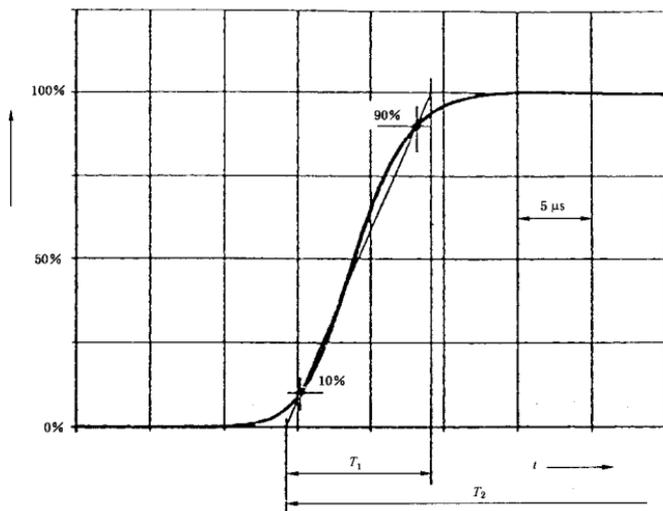


图 B.1 首次雷击的电流上升波形

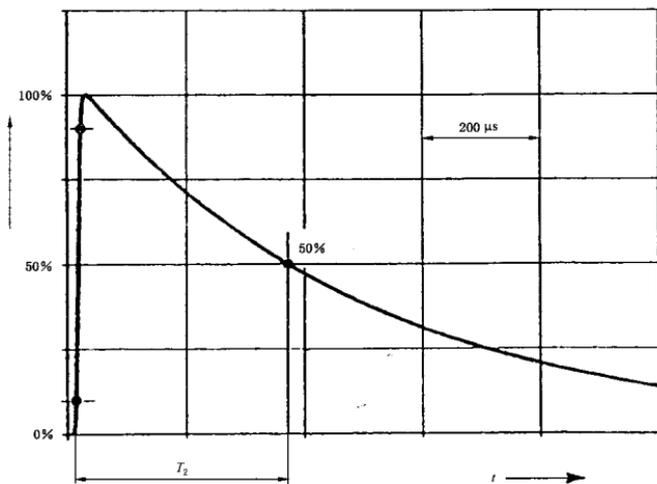


图 B.2 首次雷击的电流波尾波形

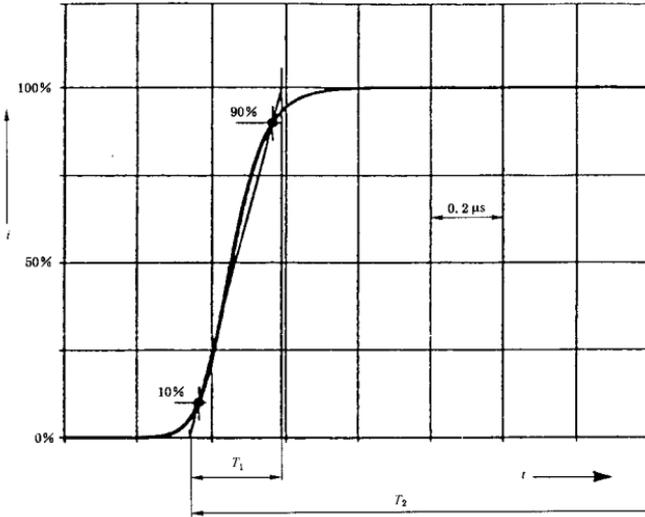


图 B.3 后续雷击的电流上升波形

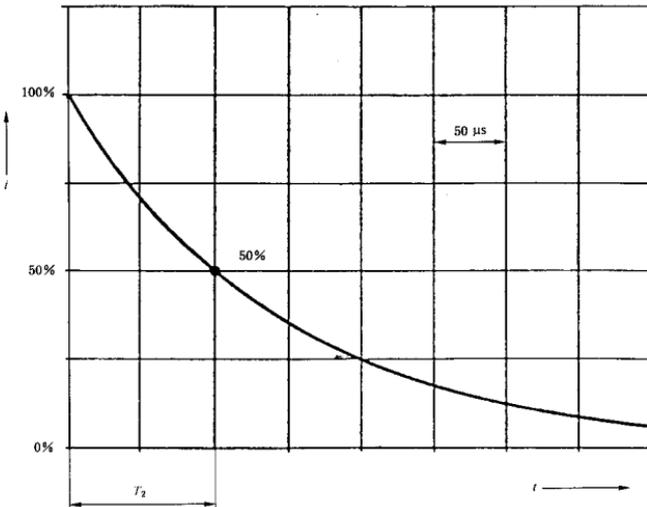
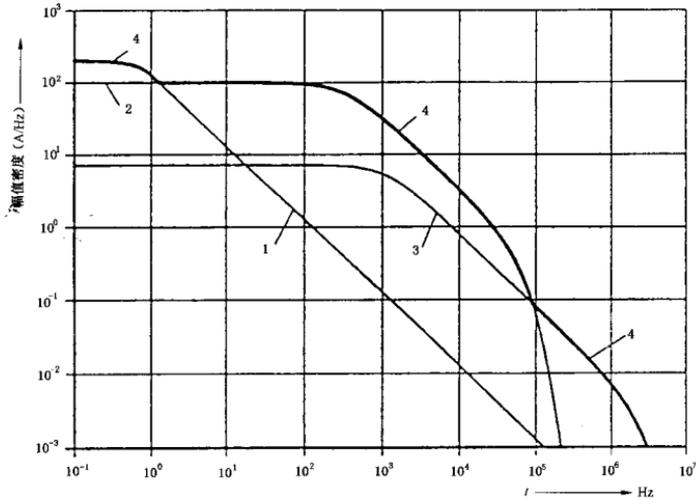


图 B.4 后续雷击的电流波尾波形



- 1——长时间雷击 400 A 0.5 s
- 2——首次雷击 200 kA 10/350 μ s
- 3——后续雷击 50 kA 0.25/100 μ s
- 4——包络线

图 B.5 保护级别 I 的雷电流幅值密度

附 录 C
(资料性附录)
用于测试的雷电流的模拟

C.1 雷电流高能量部分的模拟

表 C.1、表 C.2 定义了测试参数,图 C.1 给出了测试发生器电路图,利用这些参数及发生器可模拟与直接雷击相关的雷电流的高能量部分。

这些测试是用来评估被测试物的机械牢固性以及免除发生有害的发热及熔化效应的能力。这一模拟是用一个短时雷击及一个长时间雷击进行的。

依据本方法进行的模拟包括了以下的参数:峰值电流 I 、短时雷击电荷量 Q_0 、长时间雷击电荷量 Q_1 以及单位能量 W/R 。

短时雷击波形的定义见图 1。

短时雷击的测试参数(包括 I 、 Q_0 及 W/R)由表 C.1 给出。

要在同一个脉冲中获得 I 、 Q_0 及 W/R 等测试参数(具有相应的公差)。可以用一个 T_2 为 $350 \mu\text{s}$ 的近似指数衰减电流脉冲来获得这些参数。

长时间雷击波形的定义见图 1。

长时间雷击的测试参数(包括持续时间为 T 的能量 Q_1)由表 C.2 给出。

注:当一个系统遭雷击时,雷电流将在系统内部分配。当对系统的个别的输入及输出端进行测试时,必须考虑雷击时雷电流的分配,因而须为系统的各个部件选取适当的测试参数。为此,必须进行系统分析。

一个测试发生器的例子示于图 C.1。

测试应以一个短时雷击(参数如表 C.1)及一个长时间雷击(参数如表 C.2)进行。允许长时间雷击紧随在短时雷击之后。电弧熔化测试宜用两种极性的雷击进行。

C.2 雷电流快速上升的模拟

电流的上升速率连同耦合机理决定了在荷载雷电流的导体附近的环路中以及载流导体本身磁感应电压及电流的大小。本条只涉及雷电流的模拟。

规定了测试参数并示出了测试发生器的电路图,可利用这些参数及发生器来模拟与直接雷击相关的雷电流的快速上升部分。此模拟适用于首次短时雷击及后续短时雷击的模拟。

可单独地进行本测试或者与 C.1 所述的方法组合起来进行测试。

根据本方法所进行的模拟涉及短时雷击的电流上升速率 $\Delta i/\Delta t$ 。电流的波尾部分对这类模拟无关紧要。

短时雷击波形的定义见图 C.2。

测试参数为时间 Δt 内的电流变化量 Δi 。表 C.3 给出了这些参数。

注:当一个系统遭雷击时,雷电流将在系统内部分配。当对系统的个别的输入及输出端进行测试时,必须考虑雷击时雷电流的分配,因而须对系统的各个部件选取适当的测试参数。为此,必须进行系统分析。

测试发生器的例子示于图 C.3 及图 C.4。

注:用于测试的其他的参数、发生器以及测试方法正在考虑中。

表 C.1 短时雷击参量

参量	保护级别			容差
	I	II	III~IV	
峰值电流 I/kA	200	150	100	$\pm 10\%$
电荷量 Q_1/C	100	75	50	$\pm 20\%$
单位能量 $W/R/(MJ/\Omega)$	10	5.6	2.5	$\pm 35\%$

表 C.2 长时间雷击参量

参量	保护级别			容差
	I	II	III~IV	
电荷量 Q_1/C	200	150	100	$\pm 20\%$
持续时间 T/s	0.5	0.5	0.5	$\pm 10\%$

表 C.3 短时雷击参量

参量	保护级别			容差
	I	II	III~IV	
首次雷击 $\Delta i/kA$	200	150	100	$\pm 10\%$
$\Delta t/\mu s$	10	10	10	$\pm 20\%$
后续雷击 $\Delta i/kA$	50	38	25	$\pm 10\%$
$\Delta t/\mu s$	0.25	0.25	0.25	$\pm 20\%$

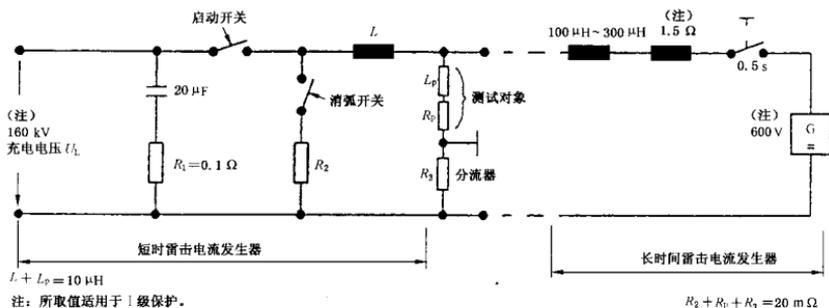


图 C.1 模拟短时雷击电流及长时间雷击电流的典型测试电路

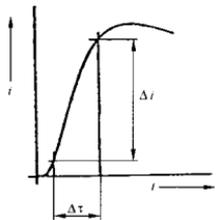
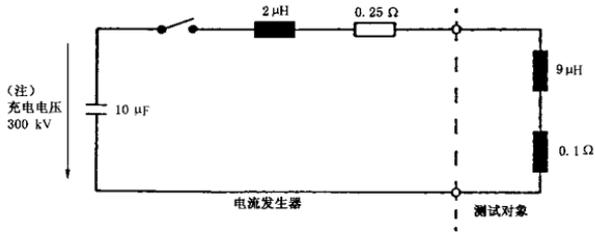
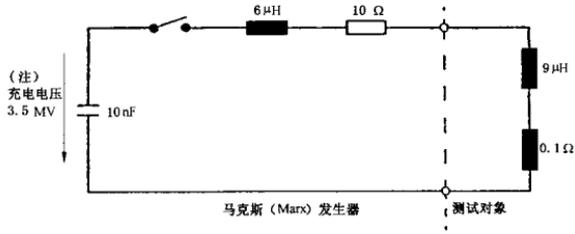


图 C.2 根据表 C.3 的电流上升波形



注：所取值适用于 I 级保护。

图 C.3 模拟首次雷击电流上升的典型测试电路



注：所取值适用于 I 级保护。

图 C.4 模拟后续雷击电流上升的典型测试电路

附录 D
(资料性附录)
电磁耦合过程

D.1 耦合机理

为了实用目的同时为了能用包含集总参数的等效电路来进行研究,将耦合过程分为电阻性耦合、磁场耦合及电场耦合是有好处的。

由于直接雷击而对信息系统的瞬态耦合可起因于下列不同的机理:

- 电阻性耦合(例如:由于接地电阻或电缆屏蔽层电阻引起的耦合);
- 磁场耦合(例如:由于装置构成的环路或连接线的电感引起的耦合);
- 电场耦合(例如:由于杆状天线引起的耦合)。

由建筑物内设备引起的电场耦合通常比磁场耦合小。

耦合受以下因素影响:

- 接地;
- 等电位连接;
- 屏蔽;
- 金属导体的走向与布局。

D.2 电阻性耦合

当建筑物遭到雷击时,入地的雷电流通常在 LPS 与远地之间产生几百 kV 量级的电压,此电压值取决于接地电阻值。这就是与建筑物有等电位连接并接至远处大地的外来导体(如电缆),有局部雷电流流过的原因。

电缆屏蔽层流过的局部雷电流导致在内部芯线与屏蔽层间产生电压。

D.3 磁场耦合

雷电流不论其在导体中流过或在雷电通道中流过,都产生磁场,该磁场在远至 100 m 的范围内,其强度正比于时变电流量。

磁场强度 $H(t)$ 与传导雷电流 i 的单一长直通路中心间的距离 r 成反比:

$$H(t) = i(t)/2\pi r$$

某些情况下可应用这一公式作简单的估算,但在大多数情况下宜对磁场作详细的分析。

在磁场与导体有交链的地方,它就在环路(由这些导体构成)中产生与 dH/dt 成正比的电压。这就称之为磁感应。

D.4 电场耦合

在形成主放电之前的瞬间必须考虑在整个雷击区(由雷击点起最远大约 100 m 范围)内达到空气击穿放电场强(在 500 kV/m 的范围内)的各个场强。

主放电形成后,就必须考虑电场的衰减消失以及电场变化(范围为 500 (kV/m)/ μ s)的影响。

附录 E
(资料性附录)
防护管理

一座新建建筑物或在现有建筑内安装一套新信息系统的规划的早期阶段就宜提出 LEMP 防护的问题。

通常,通过防雷专家的参与,从而与防雷设计相协调,这是建筑物的建筑设计师和工程师的职责。

为了建立并维持技术上、经济上都为最佳的 LEMP 防护系统设计,防护管理是需要的。LEMP 防护的设计宜与 LPS 的设计一起进行。

宜遵循的防护管理的各个步骤如表 E.1 所示。

表 E.1 新建建筑物以及建筑物结构或用途有重大改变的 LEMP 防护管理

步骤	目 标	执行者
LEMP 防护计划	制定防护方案,明确以下内容: ——保护级别; ——LPZ 以及它们的界面; ——空间屏蔽措施; ——等电位连接网络; ——在 LPZ 界面处各种设施和线路的等电位连接措施; ——电缆走向及其屏蔽。	防雷专家 ^a 与下列人员联系: ——业主; ——建筑师; ——信息系统安装人员; ——相关装置的规划人员; ——分包商。
LEMP 防护设计	总设计图及总体说明 编制投标清单 安装详图及安装时间进度表	如:工程公司。
LEMP 防护系统安装 (包括监督)	安装质量 文件 可能对详图作修改	系统安装人员和防雷专家、工程公司或监督机构。
LEMP 防护系统的认可	系统状况的检查并提供证明文件。	独立的防雷专家或独立的监督机构。
复查	确保系统是适当的。	防雷专家或监督机构。
^a 对 EMC 有广泛了解。		