



IEC 1312—1

---

# 雷电电磁脉冲的防护

## 第一部分 一般原则 (通则)

国际电工委员会(IEC) 1995.2 第一版

广东省防雷中心  
北京华云克雷雷电防护工程技术有限责任公司 编译  
一九九七年八月

# 国际电工委员会 雷电电磁脉冲的防护

## 第一部分 一般原则 (通则)

### 前 言

1) IEC(国际电工委员会)是一个由各国电工委员会(IEC 国家委员会)组成的全球标准化组织。IEC 的目标是促进所有关于电气、电子领域标准化问题的国际合作。为此,除其它工作外,IEC 出版国际标准。这些标准的编制是委托给各委员会成员进行的,对所涉及的主题,感兴趣的任一 IEC 国家委员会均可参与这一主题的编制工作。与 IEC 有联系的国际的、政府的和非政府的组织也可参与这种编制工作。IEC 根据与国际标准化组织(ISO)之间的协议而决定的情况与该组织进行紧密协作。

2) IEC 有关技术问题上的正式决定或协议是由各技术委员会中代表了对这些问题特别关切的所有国家委员会提出的,它们尽可能地表达出对所涉及的问题在国际上的一致意见。

3) 这些正式的决定或协议以标准、技术报告或指南的形式作为推荐标准供国际上使用,并在此意义上为各国家委员会所接受。

4) 为促进国际上的统一,同意采用 IEC 国际标准的 IEC 国家委员会应尽最大可能地将其作为他们的国家标准或地区标准,IEC 标准和相应的国家标准或地区标准之间的任何分歧,应在国家标准或地区标准中明确指出。

IEC1312-1 国际标准现已编成 IEC 第 81 技术委员会防雷文件。

#### 此标准的文本基于下列文件

DIS(国际标准草案)	投票报告
81(CD)21	81/66/RVD

投票赞成本标准的全部信息可从上表所指出的投票报告中找到。

IEC1312-1 是总题目《雷电电磁脉冲的防护》系列出版物的一部分。

附录 A、B、C、D、E 仅提供信息。

### 引 言

鉴于各种形式电子系统的应用在不断增加,使本国际标准的制定成为必须。这些系统包括计算机、通讯设备、控制系统等(在本标准中将它们归纳为信息系统)。这些系统用于商业

和工业的许多部门,包括相当大的资金投入、规模和复杂性很大的工业控制系统。出于代价和安全的考虑,雷电对其造成的运转停顿的影响是不可估量的。

对于建筑物雷电防护的一般原则 IEC1024-1 是有效的,但此基本标准不包括对电气、电子系统的防护。所以本雷电电磁脉冲(LEMP)标准提供信息系统防护的基础并补充现行标准(缩写 LEMP 用于本标准中)。

由于信息系统的设备所采用的固体元件比过去采用的元件对于雷电电涌更为敏感,而且为简化手工操作作业,并达到自动过程的最优化,计算机正被设计用于很复杂生产过程的全面控制。计算机也执行安全功能,例如核反应堆的安全系统。

雷电作为干扰源是一个能量极高的大气物理现象。多次雷击释放许多个数百兆焦耳能量,这一能量与足可影响敏感的电子设备也许与毫焦耳量级的能量差别悬殊,所以需要有一种合理的工程保护方法,本标准试图表明瞬间雷电耦合机理,并给出减少瞬间干扰进入信息系统(如电子系统)的原则。

## 1 总则

### 1.1 适用范围及目标

IEC1312-1 为建筑物内或建筑物顶部信息系统有效的雷电防护系统的设计、安装、检查、维护提供信息。

下列情形不属于本标准范围:车辆、船舶、飞行器以及离岸装置,它们由专门管理机构制定的规则管理。

信息系统设备本身不在本标准考虑之内。然而,为了达到最佳的防护效果,对于信息系统的设计者和抗 LEMP 系统设计者之间的合作,本标准的内容有指导作用。

### 1.2 引用标准

下面的标准文件,在本文本的贯彻中作为参考,它含有构成 IEC1312-1 规定的规定。在本标准出版时所指出的引用标准的版本是有效的。所有标准文件从属于修订本,鼓励对那些与 IEC1312-1 一致的部分加以研究,采用下面标准文件最新版本的可能性。IEC 和 ISO 各成员国保存有现行有效国际标准的目录。

.....

IEC1024-1:1990 建筑物防雷——第一部分:一般原则(通则)

### 1.3 术语及定义

以下定义以及 IEC1024-1 所规定的定义适用于本标准。

**1.3.1 等电位连接网络:**由对一个系统的外露导电部件做等电位连接的导体所组成的网。

**1.3.2 共用接地系统:**建筑物接至接地装置的所有相互连接的金属装置、包括外部防雷装置(LPS)。

**1.3.3 接地基准点(ERP):**共用接地系统与一系统的等电位连接网之间唯一仅有的连接点。

**1.3.4 环境区:**被规定电磁条件的区。

1.3.5 等电位连接:IEC1024-1中定义的连接和 IEC1024-1.的 3.1.1 中说明用等电位连接线或过电压保护器连接的连接。

1.3.6 雷电流:雷击点的电流。

1.3.7 雷电电磁脉冲(LEMP)作为干扰源的闪电电流和闪电电磁场。

1.3.8 防雷区(LPZ):闪电电磁环境需要限定和控制的那些区。

1.3.9 局部等电位连接带:设在 LPE<sub>0</sub> 区以后的各防雷区交界处的等电位连接带。

1.3.10 长时间雷击:电流时间(电流从波头 10%幅值起至波尾 10%幅值止的时间)大于数十 ms 且小于 1s 的雷击(见图 1)。

1.3.11 短时间雷击:波尾电流降至半值的时间小于 1ms 的雷击(见图 1)。

1.3.12 电涌保护器(SPD):抑制传导来的线路过电压和过电流的装置。与 IEC1024-1 定义的过电压保护器同类,也包括放电间隙、压敏电阻、二极管、滤波器等。

## 2 干扰源

### 2.1 作为干扰源的雷电流

为了分析估计 LPS 和做了等电位连接的装置中的电流分布,雷电流源应被看做这样的—一个电流发生器,它向 LPS 导体和与 LPS 做了等电位连接的装置射入一个包含数个雷击的雷电流。

此被导入电流以及雷电通道里的电流造成电磁干扰,此电磁耦合过程见附录 D 的说明。

### 2.2 雷电流参数

为了模拟所需,按照一次闪击中的各个雷击(图 2)应设定雷电流由下列雷击组成:

——一个正或负极性的首次雷击

——一个负极性的后续雷击(首次以后的雷击)

——一个正或负极性的长时间雷击

不同防雷级别下雷击点的雷电流参数见:

——表 1:首次雷击;

——表 2:后续雷击(首次以后的雷击);

——表 3:长时间雷击;

其定义见图 1。

所定雷电电流参数的根据见附录 A。

用于分析所需的雷电流时间函数见附录 B。

用于测试所需的雷电流模拟见附录 C。

## 3 防雷区(LPZ)

应将需要保护的—空间划分为不同的防雷区(LPZ),以规定各部分空间不同的 LEMP 的严重程度和指明各区交界处的等电位连接点的位置。

各区以在其交界处的电磁环境有明显改变作为划分不同防雷区的特征。

### 3.1 防雷区的定义

LPZ<sub>0A</sub>:本区内的各物体都可能遭到直接雷击,因此各物体都可能导走全部雷电流。本区内的电磁场没有衰减。

LPZ<sub>0B</sub>:本区内的各物体不可能遭到直接雷击,但本区内电磁场没有衰减。

LPZ<sub>1</sub>:本区内的各物体不可能遭到直接雷击,流往各导体的电流,比 0<sub>s</sub> 区进一步减小,本区内的电磁场也可能衰减,这取决于屏蔽措施。

后续的防雷区(LPZ<sub>2</sub>等):如果需要进一步减小所导引的电流和(或)电磁场,就应引入后续防雷区,应按照国家保护的场所所要求的环境区选择后续的防雷区的要求条件。

通常,防雷区的数越高,电磁环境的参数就越低。

在个防雷区的交界处,应对所有穿过交界处的金属物体做等电位连接,并可能采取屏蔽措施。

注:在 LPZ0<sub>A</sub>,LPZ0<sub>B</sub> 和 LPZ<sub>1</sub> 之间交界处的等电位连接定义规定于 IEC1024-1 之 3.1。

一建筑物内电磁场受到如窗户这样的洞的影响和金属导体(如等电位连接带、电缆屏蔽层和管子)上电流的影响以及电缆路线的影响。

需要保护的场所划分成不同防雷区的一般原则示于图 3。

将一建筑物划分为几个防雷区和作符合要求的等电位连接的例示见图 4。此处全部电力线和信号线从一点进入被保护空间(LPZ<sub>1</sub>)并在 LPZ0<sub>A</sub>、LPZ0<sub>B</sub> 和 LPZ<sub>1</sub> 交界处的等电位连接带 1 上做等电位连接,此外这些线路在 LPZ<sub>1</sub> 和 LPZ<sub>2</sub> 交界处的内部等电位连接带上再做等电位连接。还有,建筑物的外屏蔽 1 等电位连接到等电位连接带 1 上,内屏蔽 2 等电位连接到等电位连接带 2 上。在电缆从一个 LPZ 通到另一个 LPZ 处,必须在每一交界处进行等电位连接。LPZ<sub>2</sub> 是在这样一种方式下构成的,使雷电流不能导入此空间,也不能从此空间穿过。

### 3.2 接地要求

如果在互相邻近的建筑物之间有电力线和通讯电缆通过,应将其接地系统互相连接,并且这样有利于采用多条并行路径以减少电缆中的电流。一个网状接地系统可满足这种要求。接地应按照 IEC1024-1 执行

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内或敷设在钢筋成栅格状的钢筋混凝土管道内,金属管和钢筋必须组合到网状接地系统中去。

图 5 示出一典型例子是附设有一塔的建筑物的网状接地系统的外形。

### 3.3 屏蔽要求

应采用雷电流的幅值密度(见图 B.5)和相应的磁场幅值强度评估屏蔽效力。

屏蔽是减少电磁干扰的基本措施。

在图 6 中,给出了屏蔽和路线措施,在减少感应效应方面的原则:

- 外部屏蔽措施;
- 合适的路线;
- 线路屏蔽。

这些措施可联合使用。

为改进电磁环境,全部与建筑物组合在一起的大尺寸金属件都应等电位连接在一起,并与防雷装置相连。如屋顶金属表面、立面金属表面、混凝土内钢筋和金属门窗框架(图 7 例示,其网孔的宽度为几十厘米)。

在需要保护的场所内,采用屏蔽电缆的地方,它们的屏蔽层应至少在两端以及在防雷区交界处做等电位连接。

在各分开的建筑物之间的电缆应敷设在金属电缆管道内如敷设在金属管、金属格柵或钢筋 成格柵形的混凝土管道内,这些金属物应从一端到另一端应是导电贯通的,并连到各分开各建筑物的等电位连接带上。电缆屏蔽层应连接到这些带上。如有电缆屏蔽层能荷载可预见的雷电流,则可不敷设金属电缆管道。

#### 3.4 等电位连接的要求

等电位连接的目的在于减小需要防雷的空间内各金属部件和各系统之间的电位差。

穿过各防雷区交界的金属部件和系统,以及在一个防雷区内部的金属部件和系统都应在防雷区交界处做等电位连接。应采用等电位连接线和螺栓紧固的线夹在等电位连接带处做等电位连接,而且当需要时,应采用电涌保护器(SPD)做等电位连接(见图 8,图中的接地线也做等电位连接)。

##### 3.4.1 在防雷界处的等电位连接

3.4.1.1 在防雷区 LPZ0A、0B 和 LPZ1 交界处的等电位连接所有进入该建筑物的外来导电物都应做等电位连接。

当外来导电物和电力线、通讯线在不同地点进入该建筑物时,则需要设若干等电位连接带,它们应就近连接到环形接地体上,也应与钢筋和金属立面相连(见图 9)。如没有安装环形接地体,这些等电位连接带应连至各自的接地体,并用一内部的环形导体(或用一部分环形导体,见图 10)将其相互连接起来。对从地面以上进入的导电物,等电位连接带应连接到设于墙内侧或墙外侧的水平环形导体上,当有引下线和钢筋时该水平环形导体要连到引下线和钢筋上(见图 11)。

当外来导电物以及电力线、通讯线在地面进入建筑物时,建议在同一位置做等电位连接(见图 12 例示)这点对于那些建筑物结构几乎无屏蔽的建筑物是特别重要的。设在进入建筑物那一点上的等电位连接带,应就近连接到接地体,以及当有钢筋时连到钢筋上。

环状导体应连到钢筋或其它屏蔽构件上,如金属立面,典型的连接间距为每 5 米作一连接,连接线的最小截面见 IEC1024-1 中表 6。铜或镀锌钢等电位连接带的最小截面应为 50mm<sup>2</sup>。

当建筑物内有信息系统时,在那些对 LEMP 效应要求最小的地方,等电位连接带最好采用金属板,并多次连到钢筋或其它屏蔽构件上。

用于在 LPZ0A 和 LPZ1 交界处做等电位连接用的线夹和 SPD,应采用表 1 至表 3 中的电流参数值,并当有多种导体存在时考虑分流。

用于在 LPZ0B 和 LPZ1 交界处做等电位连接用的线夹和 SPD 应分别地估算电流参数值。

在 LPZ0B 区内的外来导电物,预期仅荷载感应电流和小部分雷电流。

对在地面进入建筑物的外来导电物以及电力线和通讯线,应估计在等电位连接点上的各分雷电流。其评估方法见下述。

在不可能个别估算的地方,可假定:全部雷电流  $i$  的 50%流入所考虑建筑物的 LPS 接地装置, $i$  的另 50% $i_s$  分配于进入建筑物的各种设施(外来导电物、电力线和通讯线等)。流入每一设施中的电流  $i_i$  为  $i_s/n$ ,此处  $n$  是上述设施(见图 13)的个数。为估算流经无屏蔽电缆芯线的电流  $i_v$ ,电缆电流  $i_i$  要除以芯线数  $m$ ,即  $i_v = i_i/m$ 。

对屏蔽电缆, 电流将沿屏蔽层流走。

对于住家性质的建筑物, 电话线可不考虑列入  $n$  的计算, 因为它不影响其它设施所荷载的电流。然而, 电话线仍应做等电位连接, 而且为设计其等电位连接之用, 应假设有作为最小值的 5% 的雷电流经其流走。

等电位连接导体的截面应采用 IEC1024-1 的表 6 和表 7。如果一个大于或等于 25% 雷电流的电流流过导体时应用表 6, 如该比例小于 25% 用表 7。

SPD 必须承受部分雷电流并应满足电涌最大箝压的附加要求, 而且应满足熄灭众电源“跟着来”的电流的能力。

建筑物入口处的最大电涌电压  $U_{max}$  应与所属的各系统的承受能力相一致。

为实现  $U_{max}$  足够低的值, 各线路应以最短的线与等电位连接带相连(见图 14, 此处  $U_A$  和  $U_L$  二者必然不会同时出现, 但它们之和必须低于  $U_{max}$ )。

#### 3.4.1.2 在各后续防雷区之间交界处的等电位连接

在 LPZO<sub>A</sub>、O<sub>B</sub> 和 LPZ1 之间交界处的等电位连接的一般原则, 也适用于各后续防雷区交界处等电位连接。

进入防雷区交界处的所有导电物以及电力线、通讯线均应在交界处做等电位连接。应采用一局部等电位连接带做等电位连接, 各种屏蔽结构或其它局部金属物(如设备外壳)也连接到该局部等电位连接带做等电位连接。

对用于等电位连接的线夹和 SPD 应个别估算其电流参数。在各防雷区交界处的最大电涌电压应与所属各系统的承受能力相一致。在不同交界处上的各 SPD 还应与其相应的能量承受能力相一致。

#### 3.4.2 需要保护的室内设备的等电位连接

##### 3.4.2.1 内部导电物的等电位连接

所有大尺寸的内部导电物, 如电梯轨道、吊车、金属地板、金属门框架、设施管路、电缆桥架的等电位连接应以最短的路线连到最近的等电位连接带或其它已做了等电位连接的金属物上。各导电物之间的附加多次相互连接是有益处的。

等电位连接线的截面按 IEC1024-1 中的表 7 选取。

在等电位连接各部件中预期仅流过较小部分的雷电流。

##### 3.4.2.2 信息系统的等电位连接

建筑物的共用接地系统包括外部 LPS, 为实现一个低电感和网状接地系统, 金属装置的等电位连接(见 3.4.2.1)也加入共用接地系统。

对信息系统的外露导电物应建立等电位连接网, 原则上一个等电位连接网不需要连到大地, 但此处所考虑的所有等电位连接网将有通大地的连接。

信息系统的各金属组件(如各种箱体、壳体、机架)与建筑物的共用接地系统的等电位连接, 有两个原则方法, 见图 15。

应采用下列等电位连接网的两种基本形式之一(图 15):

——S 型 星形结构;

——M 型 网型结构。

当采用 S 型等电位连接网时, 该信息系统的所有金属组件, 除等电位连接点外, 应与共

用接地系统的各组件有足够的绝缘。

通常, S 型等电位连接网用于相对较小、限定于局部的系统, 在那里所有设施和电缆仅在同一点进入该信息系统。

S 型等电位连接网应仅通过唯一的一点, (即接地基准点 ERP) 组合到共用接地系统中去形成  $S_s$  型(图 15)。在此情况下, 在设备的分项之间的所有线路和电缆应按照星形结构与各等电位连接线平行敷设, 以避免产生感应环路。由于采用唯一的一点进行等电位连接, 没有与闪电联在一起的低频电流能进入信息系统, 而且信息系统内的低频干扰源不能产生大地电流。做等电位连接的这唯一的点也是接 SPD 以限制传导来的过电压的理想连接点。

如果采用 M 型等电位连接网, 则该系统的各金属组件不应与共用接地系统各组件绝缘。M 型等电位连接网应通过多点组合到共用接地系统中去, 并形成  $M_m$  型。

通常, M 型等电位连接网用于延伸较大和开环系统, 而且在设备的各分项之间敷设许多线路和电缆, 设施和电缆在几个点进入该信息系统。

此处, 用于高频也能得到一个低阻抗网络。此外, 等电位连接网的多重短路环路对磁场起到衰减环路的作用, 从而在使信息系统的邻近区内减弱初始磁场。

在复杂系统中, 两种型式(M 型和 S 型)的优点可组合在一起, 其图解见图 16。

一个 S 型局部等电位连接网可与一个网状结构组合在一起, 其情况见图 16 的组合 1。此处, 一个 M 型局部等电位连接网可在一个 ERP 与共用接地系统相连(见图 16 的组合 2)。这里, 局部等电位连接网的所有金属组件和设备的各分项应与共用地各组件有足够的绝缘, 而且所有设施和电缆在 ERP 进入该信息系统。

正常情况下, 等电位连接网与共用接地系统的连接是在防雷区的交界处进行, 虽然这不是必须遵循的。



表 1: 首次雷击的雷电流参数

雷电流参数(见图 1)	保护级别		
	I	II	III - IV
I 幅值 (KA)	200	150	100
T <sub>1</sub> 波头时间 (μs)	10	10	10
T <sub>2</sub> 半值时间 (μs)	350	350	350
Q <sub>s</sub> 电荷量 <sup>1)</sup> (C)	100	75	50
W/R 单位能量 <sup>2)</sup> (MJ/Ω)	10	5.6	2.5

注: 1) 因为全部电荷量 Q<sub>s</sub> 的本质部分包括在首次雷击中, 故所规定的值考虑合并了所有短时间雷击的电荷量。  
2) 由于单位能量 W/R 的本质部分包括在首次闪击中, 故所规定的值考虑合并了所有短时雷击的单位能量。

编者注: 1)  $\int i dt$  2)  $\int i^2 dt$ 

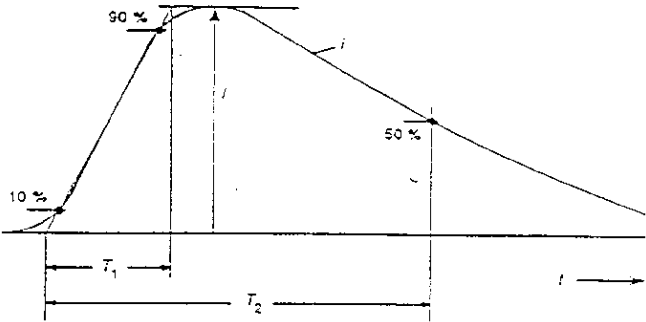
表 2: 首次以后雷击的雷电流参数

雷电流参数(见图 1)	保护级别		
	I	II	III - IV
I 幅值 (KA)	50	37.5	25
T <sub>1</sub> 波头时间 (μs)	0.25	0.25	0.25
T <sub>2</sub> 半值时间 (μs)	100	100	100
I/T <sub>1</sub> 平均陡度 (KA/μs)	200	150	100

表 3: 长时间雷击的雷电流参数

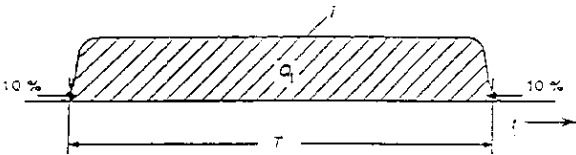
雷电流参数(见图 1)	保护级别		
	I	II	III - IV
Q <sub>L</sub> 电荷量 (C)	200	150	100
T 时间 (S)	0.5	0.5	0.5

平均电流  $I \approx Q_L/T$



I: 峰值电流(幅值)  
T<sub>1</sub>: 波头时间  
T<sub>2</sub>: 半值时间

图 1a: 短时雷击



T: 从波头达峰值 10% 至波尾降至峰值 10% 时之间的时间  
Q: 长时间雷击的电荷量

图 1b: 长时间雷击

图 1: 雷击参数定义

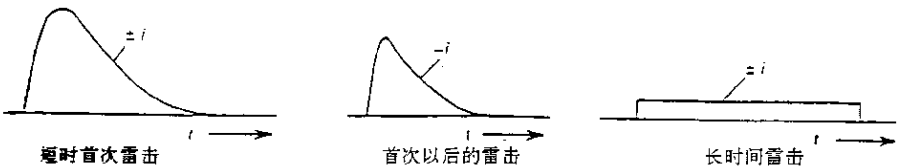


图 2: 一次雷击中可能出现的三种雷击  
闪

— 10 —

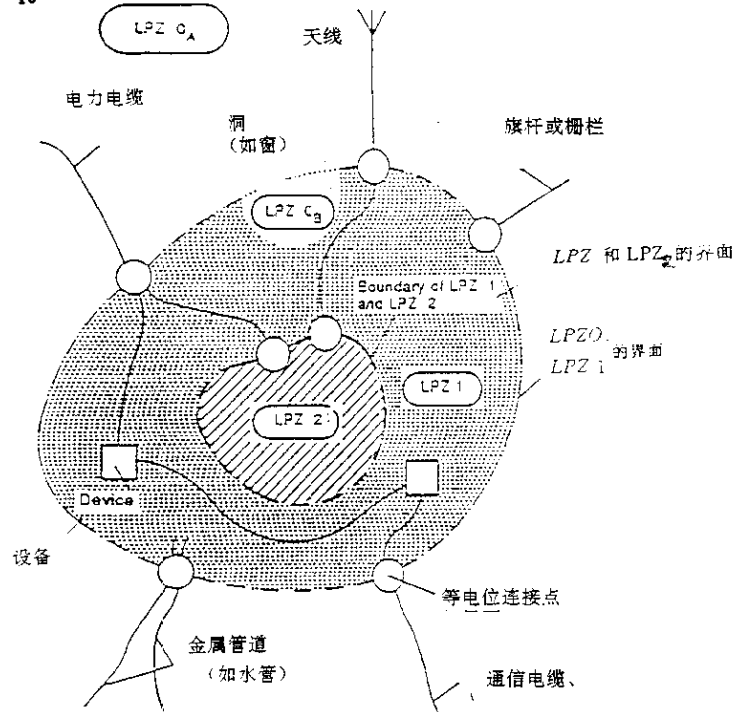


图 3: 将一个需要保护的空間划分为不同防区 (LPZ) 的原则

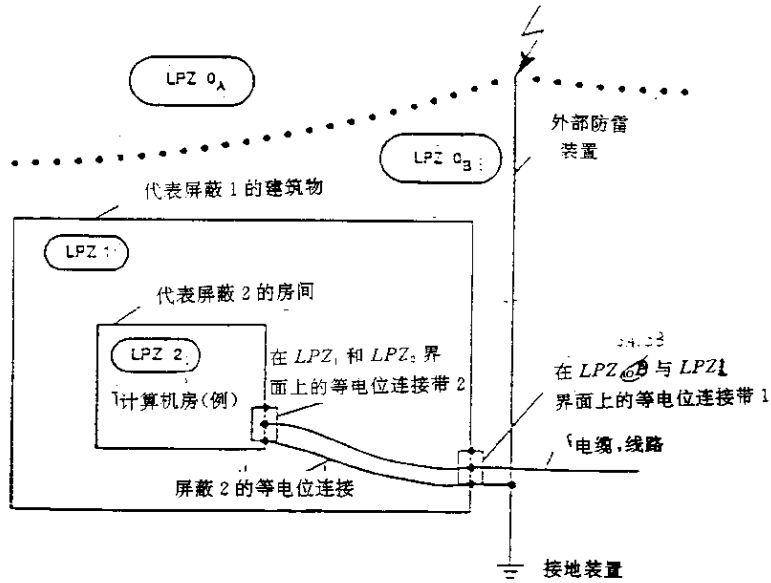


图 4: 将一建筑物划分为几个防区 and 做符合要求的等电位连接的例示

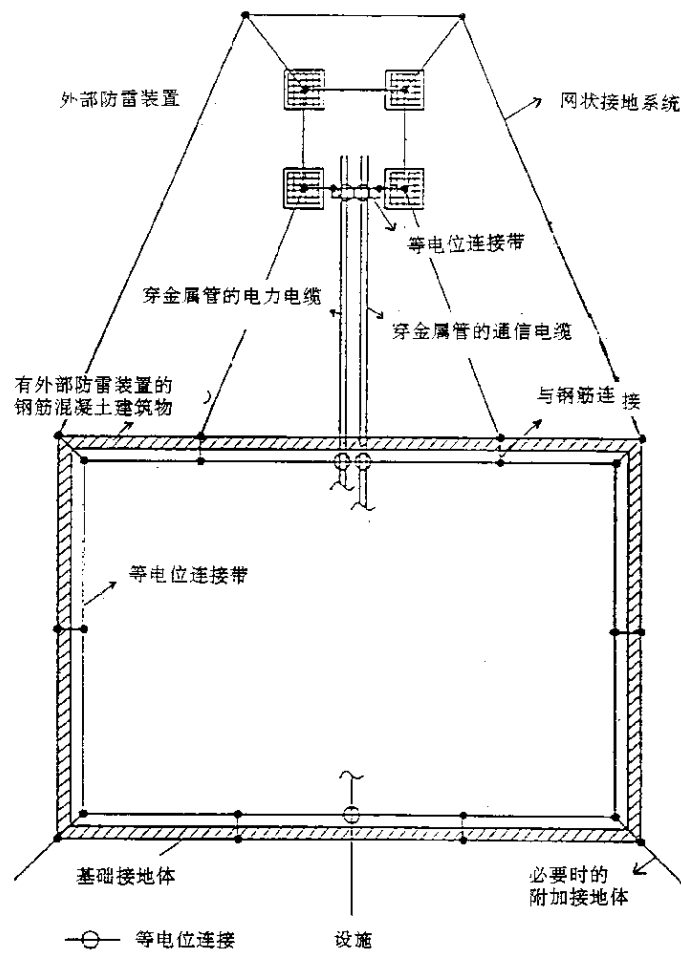
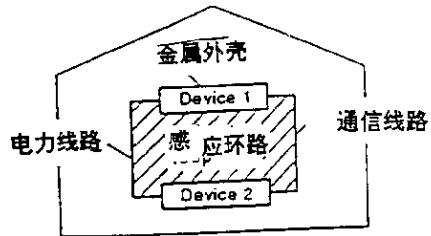


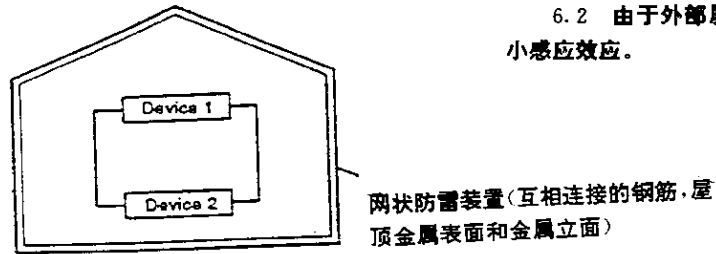
图 5:网状接地系统的例示

— 12 —

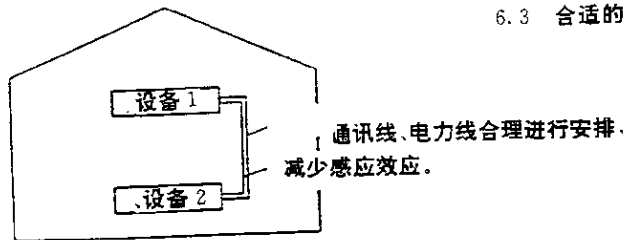
### 6.1 无保护装置



### 6.2 由于外部屏蔽措施而减小感应效应。



### 6.3 合适的路线而减小感应效应。



### 6.4 对电缆线路作屏蔽而减小感应效应,如采用完全等电位连接的金属组件、电缆桥架、管子和线槽(栈桥)。

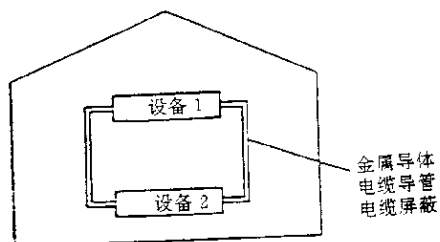


图 6: 屏蔽和线路措施

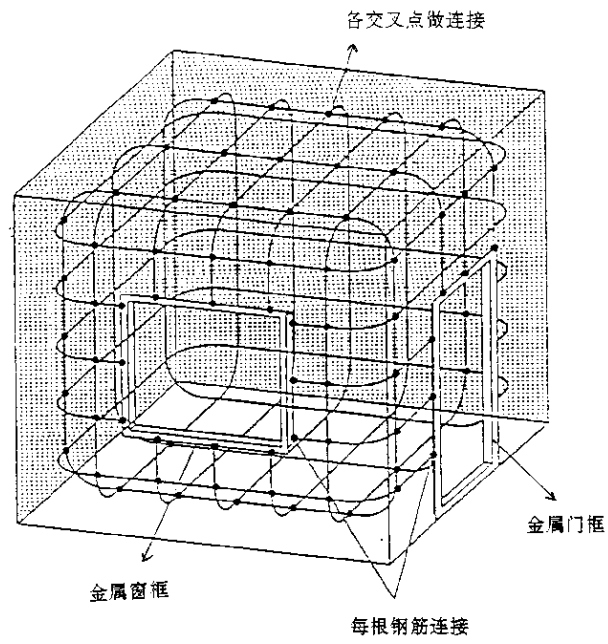


图 7： 采用将钢筋连到金属框架的措施以实现的减小内部磁场的例示

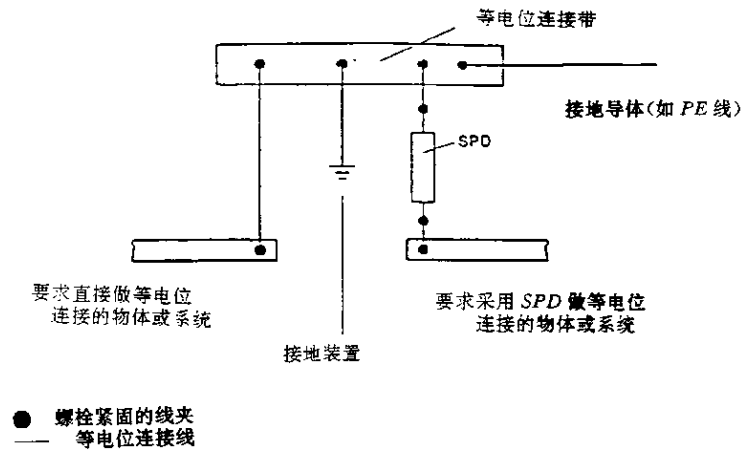


图 8：导电物体或电气系统连到等电位连接带的等电位连接

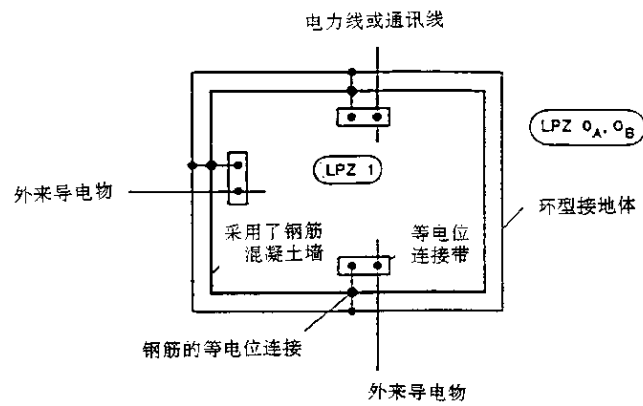


图 9：采用环型接地体时外来导电物在地面多点进入的等电位连接的例示

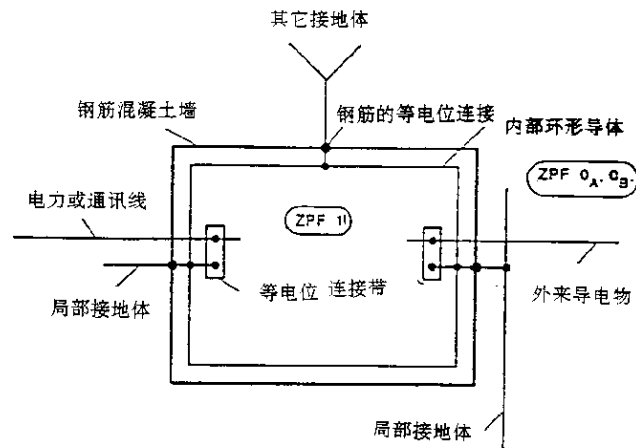


图 10: 采用一内部环形导体时外来导电物在地面多点进入的等电位连接

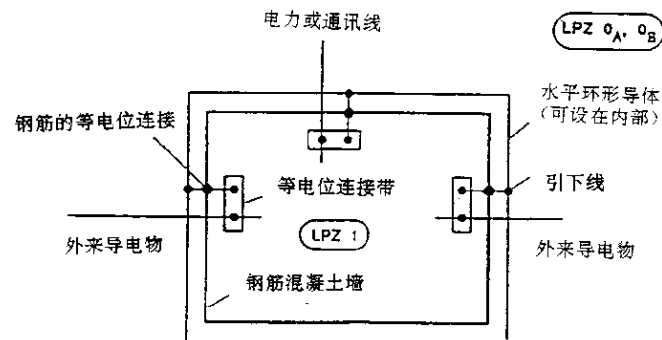


图 11: 外来导电物在地面上多点进入的等电位连接



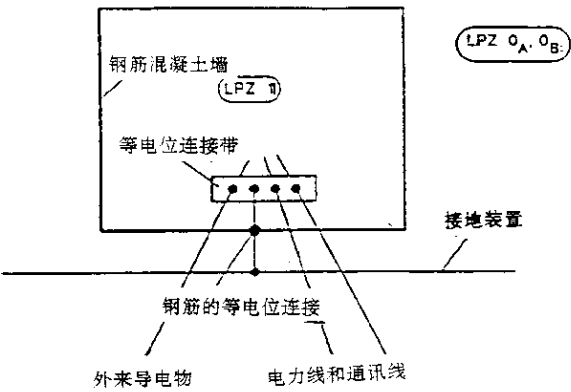


图 12： 外来导电物体单点进入的等电位连接

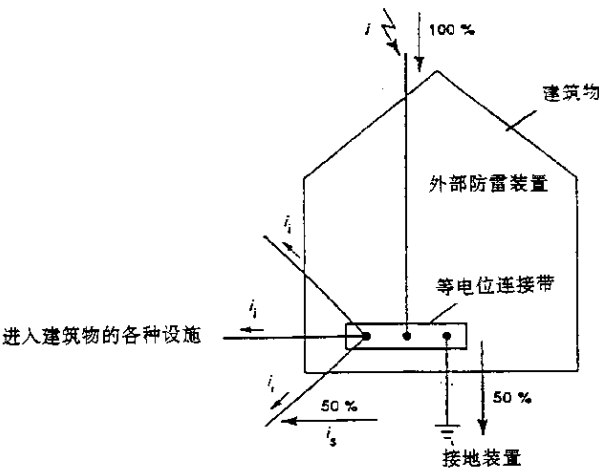


图 13： 在进入建筑物的各种设施之间的雷电流分配

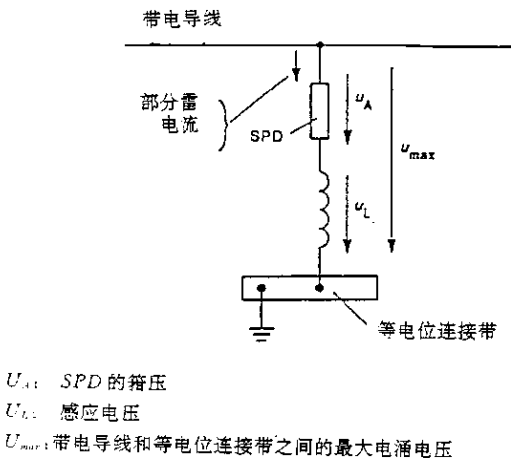


图 14： 带电导体与等电位连接带之间的电涌电压

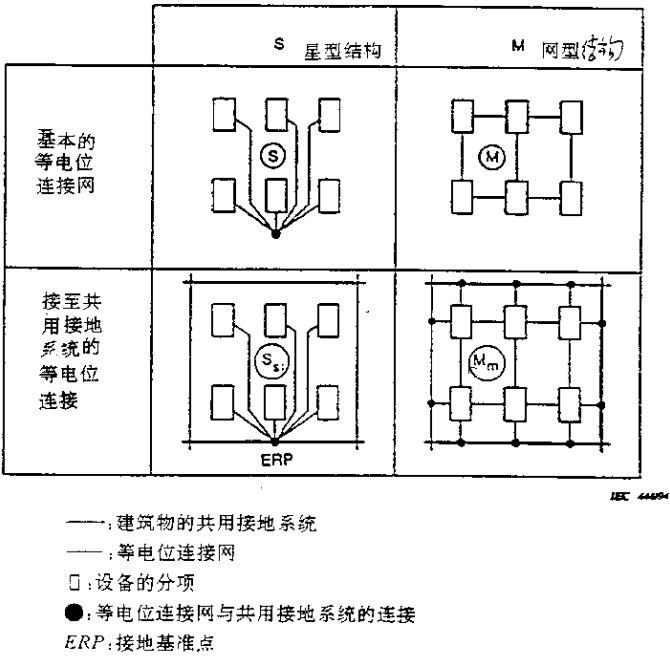


图 15： 信息系统等电位连接的基本方法

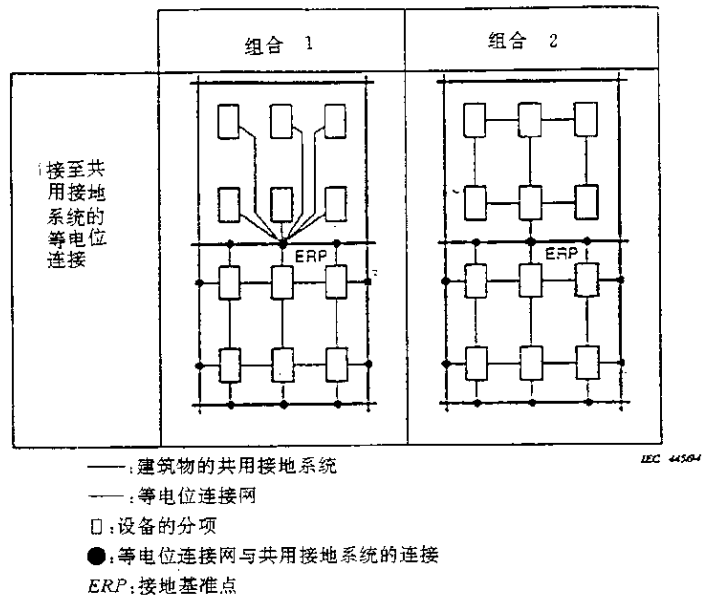


图 16 信息系统等电位连接的方法的组合

## 附录 A

## 所定雷电流参数的基础

## A.1 参数概率

条款 2.2 中给定的雷电流参数是根据国际大电网会议 (CIGRE) 在 'Electra' 41 (1975) 和 69 (1980) 中所给予的结果资料提出的。

在图 A.1 中表表示出几个参数的概率, 这几个概率本质上是相互独立的。

## A.2 首次雷击和长时间雷击

因为一种参数用于支配一种事故机理, 表 1 综合提出电流参数电荷量、能量和时间。作为首先近似法, 就是设定雷击闪电的 10% 是正极性, 90% 的闪击是负极性。尽管这种正负极性闪电之比很低, 但仅包含一个首次雷击和长时间雷击的正极性闪击决定要被考虑的参数  $I$ ,  $Q$  和  $W/R$  的最大值。如果按照 I 级保护, 差不多所有闪击的 99% 被包括了, 则以概率低于 10% 的正极性闪击来确定电流幅值  $I$ 、闪击电荷  $Q_f$ 、短时间雷击电荷  $Q_s$  和单位能量  $W/R$  等值的最大值。(负闪击 1% 概率的这些相应值比 10% 概率的正闪击的值小许多, 故可不予关注)。

注: 一个比较精密的雷电电流参数的评估在考虑中。

从图 A.1 曲线 3、5、8 和 11 可取以下整数值, 其概率略低于 10%。

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

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

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

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

对以指数衰减的雷击电流, 近似采用

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

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

( $T_1$  意义甚小)

此处  $T_1$  是波头时间,  $T_2$  是电流至半值的时间 (见图 1)。

首次雷击包括  $I$ ,  $Q_s$  和  $W/R$  的值 (见表 1)。

长时间雷击的电荷量  $Q_f$  的关系式如下:

$$Q_f = Q_s + Q = 300 \text{ C} - 100 \text{ C} = 200 \text{ C}$$

(见表 3)

## A.3 后续雷击

负极性后续雷击决定波头电流的平均上升率的最大值。如果按照 I 级保护, 全部闪击的差不多 99% 被包括进去, 则概率在 1% 以下的负极性雷击应予考虑。

从图 A.1 曲线 15 在波头中, 30% 值和 90% 值之间的概率略低于 1% 的电流平均上升率的 10 整数倍值为

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

此值被设定为波头中电流上升率的平均值  $I/T_1$ 。

也从图 A·1 曲线 2.  $I_0$  的概率略低于 1% 的 10 整数倍值为 50KA. 从此得到一个相应的波头时间:

$$T_1 = 50KA / 200(KA/\mu s) = 0.25\mu s$$

从此便有了表 2 中给定的后续雷击的下列值:

$$I = 50KA$$

$$T_1 = 0.25\mu s$$

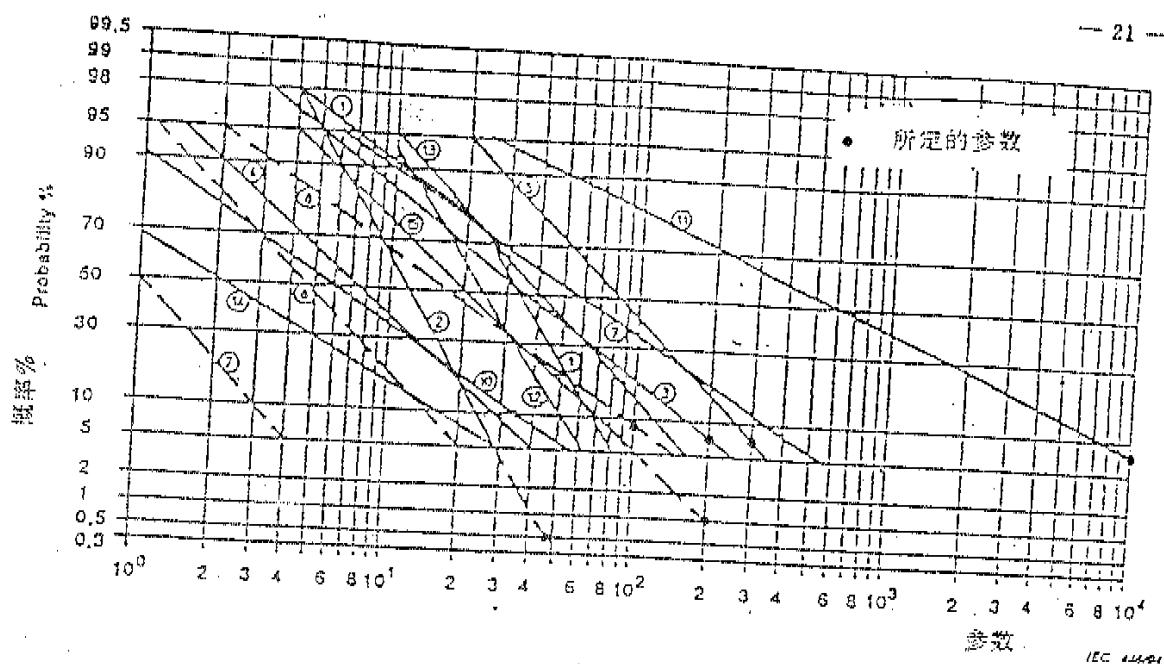
$$I/T_1 = 200KA/\mu s$$

( $T_2$  意义甚小)

#### A·4 不同保护等级

以保护等级 I 的给定值的 75% 和 50% 作为保护等级 II 和保护等级 III—IV 的相应给定值。

这些值列于表 1~表 3。



参数	横坐标的单位	正极性雷击	首次正 极性雷击	负闪击	首负闪击	后续负雷击
$I$	kA		(3) •		(1)	(2) •
$q$	C	(5) •		(4)		
$q_s$	C		(8) •		(6)	(7)
$W/R$	kVΩ		(11) •		(9)	(10)
$(\Delta I/\Delta t)_{max}$	kA/μs		(14)		(12)	(13)
$(\Delta I/\Delta t)_{30\sim90\%}$	kA/μs					(15) •

图 A.1: 雷电流参数的概率

## 附录 B

## 供分析目的用的雷电流时间函数

为分析目的所用的首次雷击  $10/350\mu\text{s}$  和后续雷击  $0.25/100\mu\text{s}$  电流波形可定义为:

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

式中  $I$ ——峰值电流

$h$ ——峰值电流的修正系数

$t$ ——时间

$\tau_1$ ——波头时间常数

$\tau_2$ ——波尾时间常数

应用表 B.1 给出的参数得到不同防护级别下首次雷击电流波形和后续雷击电流波形。分析曲线的描述见图 B<sub>1</sub>~图 B<sub>4</sub>。

长时间雷击可用一个平均电流  $I$  和表 3 中的时间  $T$  用一矩形波形描述。

从各分析曲线可导出雷电流的幅值密度 图 B<sub>5</sub>。

表 B.1: 用于附录 B 中等式的参数

参数	首次雷击			后续雷击		
	防护级别			防护级别		
	I	II	III—IV	I	II	III—IV
$I$ (KA)	200	150	100	50	37.5	25
$h$	0.930	0.930	0.930	0.993	0.993	0.993
$\tau_1$ ( $\mu\text{s}$ )	19.0	19.0	19.0	0.454	0.454	0.454
$\tau_2$ ( $\mu\text{s}$ )	485	485	485	143	143	143

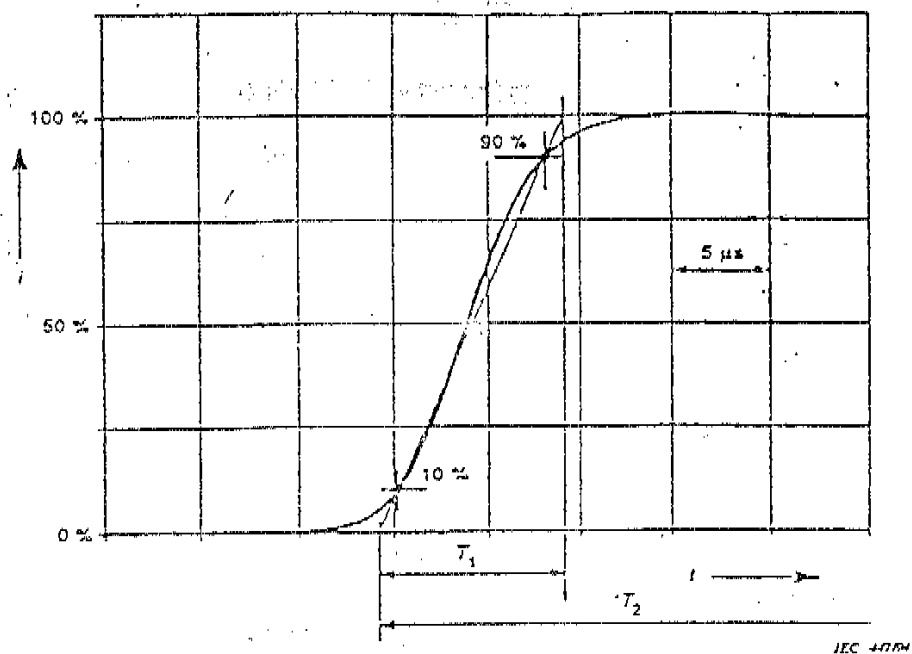


图 B. 1: 首次雷击电流上升波形

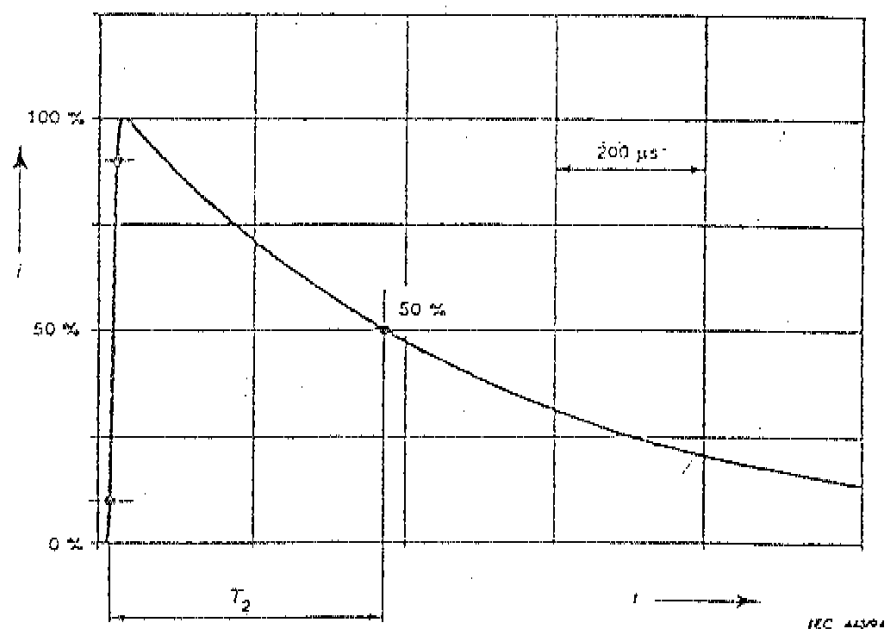


图 B. 2: 首次雷击电流波尾波形



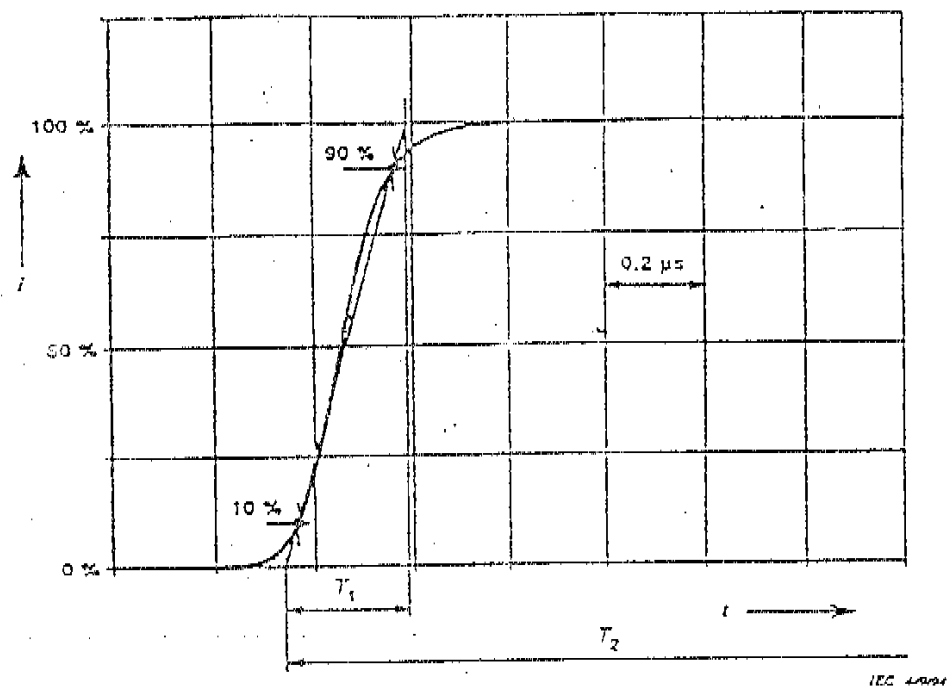


图 B.3: 后续雷击电流上升波形

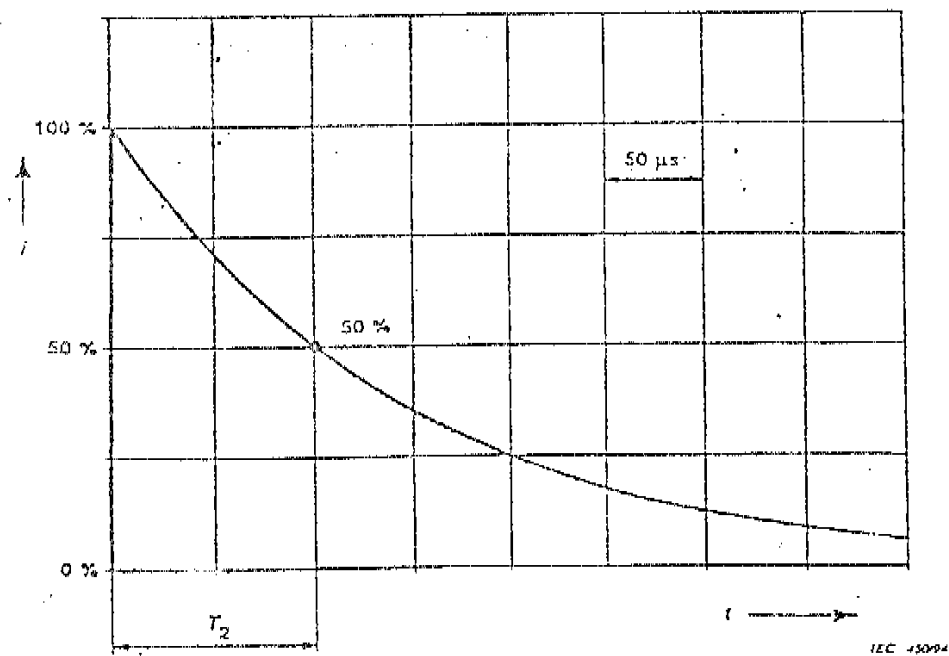


图 B.4: 后续雷击电流波尾波形

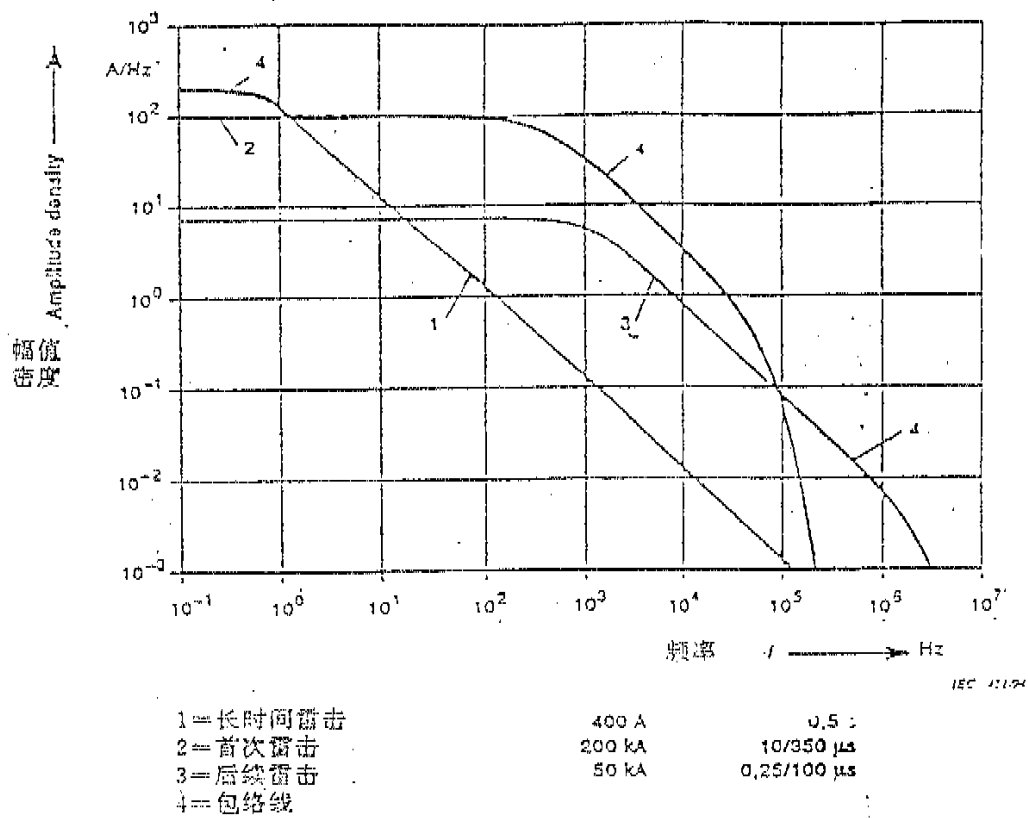


图 B.5: 按防护级别 I 的雷电流幅值密度

## 附录 C

## 供测试目的用的雷电流模拟

## C.1 雷电流高能区位的模拟

表 C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub> 中所规定的测试参数和图 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 所示的测试发生器可用于模拟与一个直接雷击相联系的雷电流的高能区位。

这些测试用来评估物理完整性和有害发热及熔化效应的可能性。模拟是用一个短时雷击和一个长时雷击进行的。

用这种方法进行的模拟,包括以下参数:峰值电流  $I$ , 短时雷击电荷量  $Q_s$ , 长时雷击电荷量  $Q_l$  和单位能量  $W/R$ 。

短时雷击波形的定义见图 1。

短时雷击测试参数包括  $I$ 、 $Q_s$  和  $W/R$  见表 C.1。

以同样的脉冲可得到参数  $I$ 、 $Q_s$ 、 $W/R$  及其容限。用一个  $T_s$  范围为  $350\mu s$  的一个近似指数衰减电流来求得。

长时雷击波形的定义见图 1。

长时雷击测试参数包括时间  $T$  的  $Q_l$  见表 C.2。

注——如果一个系统受到雷击,此雷电流分布在该系统内。当测试本系统的个别输入输出,在为个别系统组件选择适当的测试参数时,必须考虑到这一点,为此必须完成一个系统分析。

图 C.1 是一个测试发生器示例

此测试应采用一个短时雷击(参数见表 C.1)和一个长时雷击(参数见表 C.2)来完成。允许长时雷击紧随于短时雷击之后。电弧熔化测试应在双极性下完成。

## C.2 雷电流快速升时区位的模拟

电流的上升速率与耦合机理共同决定靠近传导雷电流导体和导体本身的环路中的磁感应电压和电流。本款只涉及到雷电流的模拟。

所规定的测试参数和所表示的测试发生器,可用以模拟与一个直接雷击相联系的雷电流的快速升时区位。此模拟用于一个短时首次雷击和后续雷击。

此方法可独立应用或与 C.1 里所述的方法组合应用。

用这种方法所进行的模拟包括短时雷击的电流上升速率  $\Delta i/\Delta t$ 。在这种模拟中电流尾部是无结果的。

短时雷击波形的定义见图 C.2。

测试参数是电流  $\Delta i$  与时间  $\Delta t$  关系之间的变化,见表 C3。

注——如果一个系统受到雷击,此雷电流分布在该系统内。当测试本系统的个别输入输出,在为个别系统组件选择适当的测试参数时,必须考虑到这一点,为此必须完成一个系统分析。

图 C.3 和图 C.4 是测试发生器示例。

注:为测试所需的其它参数,发生器和过程在考虑中。

表 C.1— 短时雷击参数

参数	防护级别			容限
	I	II	III—IV	
$I$ 峰值电流 (KA)	200	150	100	$\pm 10\%$
$Q$ 电荷量 (C)	100	75	50	$\pm 20\%$
$W/R$ 单位能量 (MJ/ $\Omega$ )	10	5.6	2.5	$\pm 35\%$

表 C.2— 长时间雷击参数

参数	防护级别			容限
	I	II	III—IV	
$Q$ 电荷量 (C)	200	150	100	$\pm 20\%$
$T$ 时间 (s)	0.5	0.5	0.5	$\pm 10\%$

表 C.3— 短时雷击参数

参数	防护级别			容限
	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	$\pm 20\%$

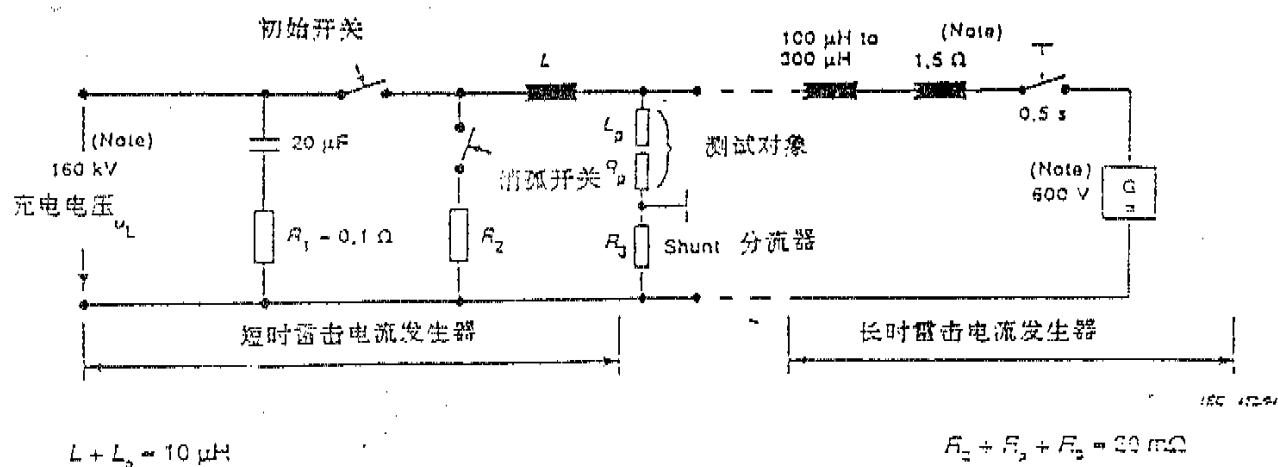


图 C.1: 短时雷击和长时间雷击电流模拟的典型测试电路

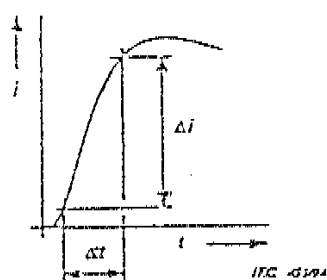


图 C.2: 按照表 C.3 的电流上升波形

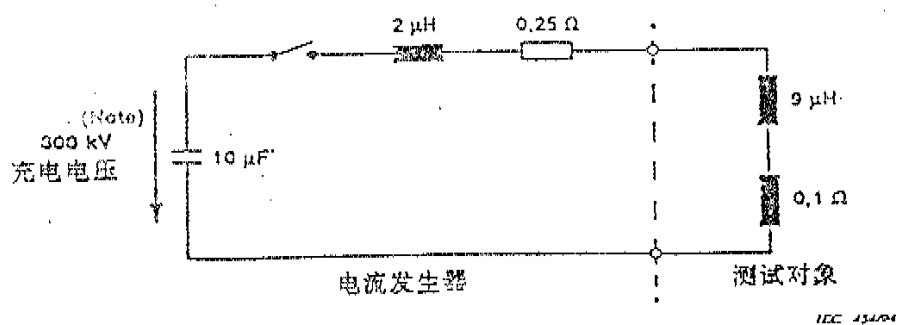
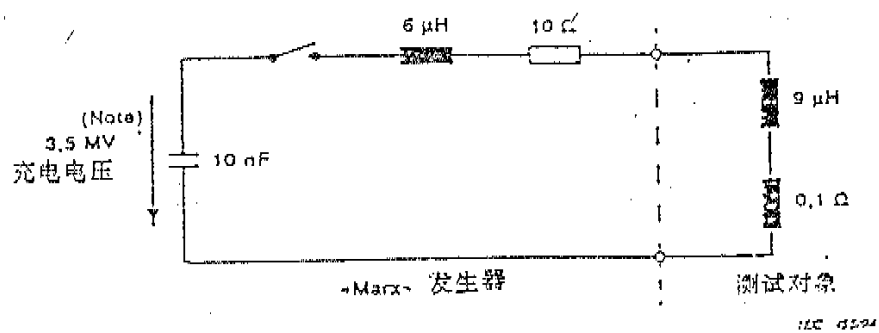


图 C.3 模拟首次雷击电流上升的典型测试电路



NOTE - 此值用于 1 级防护

图 C.4: 模拟后续雷击电流上升的典型测试电路

## 附录 D

### 电磁耦合过程

#### D.1 耦合机制

为实用目的以及为了使用带有集中参数的等效电路将耦合分为电阻耦合、磁场耦合和电场耦合是有利的。

直接雷击对信息系统的瞬态耦合可起因于下列不同机理：

——电阻耦合(如由于接地端电阻或电缆屏蔽电阻引起的耦合)

——磁场耦合(如由于装置的环路或等电位连接电感引起的耦合)、(又称电感耦合——译者注)

——电场耦合(如由于杆状天线引起的耦合)

由于建筑物里面设备引起的电场耦合比较起来一般小于磁场耦合。

对耦合起作用来自：

——接地；

——等电位连接；

——屏蔽；

——金属导体的路线和布置。

#### D.2 电阻耦合

当一个建筑物受雷击时，进入地中的雷击电流通常在防雷装置和远处大地之间产生一个数百 KV 量级的电压，此电压值取决于接地电阻。这是部分雷电流流入与建筑物有等电位连接并引至远处大地的外来导体(如电缆)的原因。

流入电缆屏蔽层的这部分电流造成在其内导线和屏蔽层之间产生电压的结果。

#### D.3 磁场耦合 (电感耦合)

导线或闪电通道中的雷电流在距其约 100m 范围内产生的磁场正比于随时间变化的雷电流。

磁场强度  $H(t)$  与传导雷电流的一根很长直线路径中心的距离  $r$  成反比：

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

某些情况下此公式可用于简单评估，但在多数情况下，应对磁场仔细分析。

在磁场与诸导体有关联之处，磁场在诸导体形成的环路中所产生的电压与  $dH/dt$  成比例，这被称为“磁感应”。

#### D.4 电场耦合

空气击穿放电的电场强度值在 500KV/m 范围内需要在整个雷击区域(从雷击点起至约 100m 距离的范围)内正好在形成主放电之前考虑各电场强度。

主放电形成以后电场衰减消失，这时需要考虑电场的变化率，其值在 500(KV/m)/ $\mu$ s 范围内。

## 附录 E

## 防护管理

LEMP 防护必须考虑到的问题,应在一个新建筑物或者一个现有建筑物的一个新信息系统装置的计划早期中提出。

通常,与有一位防雷专家参加的防雷设计相协调的工作,这是该建筑物的建筑设计师和工程师的职责。

为了建立和保持一个 LEMP 防护系统在技术上和经济上是最优的设计,防护管理是必须的。LEMP 防护系统的设计应与防雷装置的设计一起进行。

应当遵守的防护管理的程序步骤如表 E.1 所示。

表 E.1 新建筑物和建筑物施工或使用中  
扩展变化所需的 LEMP 防护管理

程序步骤	目标	工作的落实者
LEMP 防护计划	明确下列诸项防护系统初步方案 ——建筑物防护等级 ——防雷区及其边界 ——空间屏蔽措施 ——等电位连接网 ——设施和路线在防雷区交界处的等电位连接措施 ——电缆路线和屏蔽	与下列人员 1) 有接触的防雷专家 ——业主 ——建筑师(设计师) ——信息系统安装者 ——有关装置的设计者 ——分包商
LEMP 防护设计	总设计图及描述供投标用的初步一览表 供安装用的详图及时间表	例如工程办公室
包括监督的 LEMP 防护系统安装	安装质量 证明文件 详图的可能修改图	系统安装者和防雷专家或工程办公室或监督单位
LEMP 防护系统的认可	系统状况的检验和证明文件	独立的防雷专家或监督单位
复查验收	确认系统适当	防雷专家或监督单位
1) 对电磁兼容性有广泛了解		