



中华人民共和国国家标准

GB/T 19271.2—2005/IEC TS 61312-2:1999

雷电电磁脉冲的防护 第2部分：建筑物的屏蔽、内部等电位 连接及接地

Protection against lightning electromagnetic impulse(LEMP)—
Part 2: Shielding of structures, bonding inside structures and earthing

(IEC TS 61312-2:1999, IDT)

2005-07-29 发布

2006-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 总则	1
1.1 范围	1
1.2 规范性引用文件	1
1.3 术语和定义	1
1.4 符号	2
2 电磁干扰源及其受害者	3
3 格栅形空间屏蔽	3
3.1 邻近雷击情况下的格栅形空间屏蔽	3
3.2 直接雷击情况下的格栅形空间屏蔽	4
3.3 围绕 LPZ2 区及 LPZ2 以上防雷区的格栅形空间屏蔽	5
3.4 格栅形空间屏蔽体内部的磁场强度的实验测定	5
3.5 安装规则	5
4 接地系统	6
4.1 接地装置	6
4.2 等电位连接网络	6
4.3 接地装置与等电位连接网络的组合	6
4.4 屏蔽、等电位连接及接地布局的例子	7
附录 A (资料性附录) 接地与等电位连接的定义	18
附录 B (资料性附录) 由各种设施构成的环路中感应电压及电流的计算	20
B.1 邻近雷击下,环路在 LPZ1 内部时的感应电压及电流	20
B.2 建筑物遭直接雷击下,环路在 LPZ1 内部时的感应电压及电流	21
B.3 环路在 LPZn($n \geq 2$)内部时的感应电压及电流	21
附录 C (资料性附录) 格栅形磁场屏蔽体内部磁场强度的计算	22
参考文献	24
图 1 雷击时的 EMC 状况	7
图 2 用阻尼振荡描述磁场强度波形的上升期	8
图 3 用钢筋和金属框架构成的大空间屏蔽体	9
图 4 邻近雷击的情况	10
图 5 LPZ1 或 LPZn 内部用于安装信息设备的空间	11
图 6 评估被屏蔽建筑物内部磁场强度的低电平雷电流试验的建议	12
图 7 环路中的感应电压及电流	12
图 8 工厂的网格形接地装置	13
图 9 利用建筑物的钢筋作屏蔽及等电位连接	14
图 10 钢筋结构建筑物的等电位连接	15
图 11 由等电位连接网络与接地装置组合而成的接地系统示例	16
图 12 一座办公大楼的防雷区、屏蔽、等电位连接及接地的设计示例	17
图 A.1 接地及等电位连接的结构图	18

图 C.1 几类大空间格栅形屏蔽体	22
图 C.2 第 1 类格栅形屏蔽体内部的磁场强度 H	23
图 C.3 第 1 类格栅形屏蔽体内部的磁场强度 H	23
表 1 邻近雷击时磁场为平面波情况下, 格栅形空间屏蔽体的磁场衰减	7

前 言

GB/T 19271《雷电电磁脉冲的防护》分为4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。

本部分为GB/T 19271的第2部分，等同采用IEC TS 61312-2:1999《雷电电磁脉冲的防护 第2部分：建筑物的屏蔽、内部等电位连接及接地》(英文版)。

本标准等同翻译IEC TS 61312-2:1999。

为便于使用，本部分作了一系列编辑性修改：

- 将一些适用于国际标准的表述改为适用于我国标准的表述。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写格式作了修改。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”的引导语按GB/T 1.1—2000的规定编写。
- “术语和定义”按GB/T 1.1—2000的规定编写。

本部分的附录A、附录B和附录C均为资料性附录。

本部分由全国雷电防护标准化技术委员会(SAC/TC 258)提出并归口。

本部分由广东省防雷中心负责起草。

参加起草的单位还有：清华大学电机工程与应用电子技术系、总装备部工程设计院、中国电信集团湖南省电信公司、中国气象局监测网络司。

本部分主要起草人：杨少杰、黄智慧、张伟安、余乃枞、金良、何金良、陈水明、潘正林。

雷电电磁脉冲的防护

第 2 部分:建筑物的屏蔽、内部等电位连接及接地

1 总则

1.1 范围

本部分规定了安装有信息设备(如电子系统)的建筑物,在遭受直接雷击以及邻近雷击情况下,其LEMP屏蔽措施有效性的评估方法。并且给出与雷电电磁脉冲防护有关的建筑物内各种等电位连接措施及各种接地方法的规则。

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。

GB/T 17626.5—1999 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验(idt IEC 61000-4-5:1995)

GB/T 17626.9—1998 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验(idt IEC 61000-4-9:1993)

GB/T 17626.10—1998 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验(idt IEC 61000-4-10:1993)

GB/T 19271.1—2003 雷电电磁脉冲的防护 第 1 部分:通则(IEC 61312-1:1995,IDT)

GB/T 19271.3—2005 雷电电磁脉冲的防护 第 3 部分:对浪涌保护器的要求(IEC 61312-3:2000,IDT)

GB/T 19271.4—2005 雷电电磁脉冲的防护 第 4 部分:现有建筑物内设备的防护(IEC TR2 61312-4:1998,IDT)

IEC 61000-5-2:1997 电磁兼容(EMC) 第 5 部分:调节方法和安装指南 第 2 节:接地与布线

IEC 61024-1:1990 建筑物防雷 第 1 部分:通则

1.3 术语和定义

GB/T 19271.1 和 IEC 61024-1 中给出的术语和定义以及下列术语和定义适用于本部分。

1.3.1

电磁兼容性(EMC) electromagnetic compatibility

设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。

1.3.2

格栅形空间屏蔽 gridlike spatial shield

用于建筑物或房间的磁场屏蔽。采用建筑物内的交叉杆材部件来构成(例如:钢筋混凝土中的钢筋,金属框架以及金属支承)较为可取。此类屏蔽的特征是有许多孔洞。

1.3.3

抗损能力 immunity against damage

设备抗传导及辐射雷电效应而不损坏的能力。

1.3.4

雷电电磁脉冲 (LEMP) lightning electromagnetic impulse

1.3.5

防雷系统 (LPS) lightning protection system

在 IEC 61024-1 中, LPS 定义为: 用以对某一空间进行雷电效应防护的整套装置。它由外部防雷系统和内部防雷系统两部分组成。

注: 在特定情况下, 防雷系统可仅由外部防雷系统或内部防雷系统组成。

1.3.6

防雷区 (LPZ) lightning protection zone

1.3.7

浪涌保护器 (SPD) surge protection device

1.4 符号

1.4.1 b 环路宽度(横向长度)

1.4.2 d_r 所考虑点至 LPZ1 屏蔽体顶部的最短距离

1.4.3 d_s 所考虑点至 LPZ1 屏蔽体侧面的最短距离

1.4.4 $d_{i/w}$ 环路与 LPZ 屏蔽体侧面的距离

1.4.5 $d_{i/r}$ 环路与 LPZ 屏蔽体顶部的平均距离

1.4.6 d_s 至屏蔽体的安全距离(防御难于承受的强磁场)

1.4.7 $d_{s/1}$ 邻近雷击情况下的安全距离

1.4.8 $d_{s/2}$ 直接雷击情况下的安全距离

1.4.9 H_f 首次雷击的磁场强度

1.4.10 $H_{n(n=1,2,3,\dots)}$ 在 LPZ_n 中的磁场强度

1.4.11 H_n 在 LPZ 0_A 及 LPZ 0_B 中的磁场强度

1.4.12 H_s 后续雷击的磁场强度

1.4.13 i_f 在 LPZ 0_A 中首次雷击的雷电流

1.4.14 i_l 沿入户设施传入的局部雷电流

1.4.15 $i_{n(n=1,2,3,\dots)}$ LPZ_n 中的传导电流

1.4.16 i_n LPZ 0_A 区中的雷电流

1.4.17 i_s 在 LPZ 0_A 中后续雷击的雷电流

1.4.18 i_{sc} 短路电流

1.4.19 K_{II} 形状系数

1.4.20 l 环路长度

1.4.21 L 环路的自感

1.4.22 M (感应)环路的互感系数

1.4.23 max 最大值的标志

1.4.24 r 半径

1.4.25 S_a 雷击点与屏蔽体的平均距离

1.4.26 SF 屏蔽系数, 屏蔽的衰减值

1.4.27 T_1 雷电流的波前时间, 在 GB/T 19271.1 中定义

1.4.28 $T_{p/f}$ 首次雷击电流升至最大值的时间

1.4.29 $T_{p/s}$ 后续雷击电流升至最大值的时间

1.4.30 U_n 在 LPZ_n 中的传导电压

1.4.31 U_{oc} 开路电压

1.4.32 W 格栅形屏蔽体的网格宽度

1.4.33 V₁ 格栅形屏蔽体内部的安全空间

2 电磁干扰源及其受害者

图1给出了一个电磁兼容实际状况的例子,图中所示建筑物分为LPZ0、LPZ1及LPZ2等防雷区。信息(电子)设备安装于LPZ2区内。

信息设备的主要电磁干扰源是雷电流 i_1 及磁场 H_0 。沿着入户的公共设施流过部分雷电流 i_1 。电流 i_1 及 i_1 以及磁场 H_0 。假定具有相同的波形。根据GB/T 19271.1—2005第2章,在此要考虑的雷电流是由首次雷击电流 $i_1(10/350\mu\text{s})$ 以及后续雷击电流 $i_2(0.25/100\mu\text{s})$ 所组成。首次雷击电流 i_1 产生磁场 H_1 ,而后续雷击电流 i_2 产生磁场 H_2 。

磁感应效应主要是由磁场强度上升至其最大值的上升沿决定的。如图2所示, H_1 的上升沿可用具有最大幅值为 $H_{1\text{max}}$ 、升至最大值时间 $T_{p/1}$ 为 $10\mu\text{s}$ 的25kHz阻尼振荡场来表征。同样, H_2 的上升沿可用具有最大幅值为 $H_{2\text{max}}$ 、升至最大值时间 $T_{p/2}$ 为 $0.25\mu\text{s}$ 的1MHz阻尼振荡场来表征。

由此得出,就磁感应效应来说,首次雷击的磁场可用典型频率25kHz来表征,后续雷击的磁场可用典型频率1MHz来表征。在GB/T 17626.9以及GB/T 17626.10中规定以这些频率的阻尼振荡磁场来进行测试。

干扰的受害者是对传导及辐射雷电效应有一定内在抗损能力的信息设备。

通过在防雷区(LPZ)安装电磁屏蔽体以及在LPZ的各交界处安装浪涌保护器(SPD),则由 H_0 、 i_1 及 i_2 所确定的初始雷电效应被减小至受害者所能耐受的程度。如图1所示,受害者必须能分别经受得住其周围的磁场 H_2 以及传导的雷电效应(U_2 、 i_2)。

如何将 i_1 衰减至 i_2 以及如何减小 U_2 由GB/T 19271.3规定,而如何将 H_0 减至足够低的 H_2 值则由本部分规定。

对此处所考虑的格栅形空间屏蔽,可假定LPZ区内的磁场(H_1 、 H_2)与外界磁场(H_0)具有相同的波形。

对信息系统的LEMP防护,最好能根据GB/T 17626.5(传导过电压及电流)、GB/T 17626.9(首次雷击引起的辐射磁场)及GB/T 17626.10(后续雷击引起的辐射磁场),用适当的试验来验证设备的抗损能力。

图2表明,GB/T 17626.9及GB/T 17626.10标准中所规定的试验能充分地模拟首次雷击磁场 H_1 以及后续雷击磁场 H_2 的上升沿。

注1:GB/T 17626.5、GB/T 17626.9以及GB/T 17626.10中所规定的试验是用来证明设备的抗损能力的。在所规定的四个试验评定等级中,本部分只考虑抗损能力。

注2:如果对内部装有信息设备的建筑物或房间利用格栅形大空间屏蔽体对磁场进行充分屏蔽,通常就可将瞬态磁场减至足够低的数值。

3 格栅形空间屏蔽

实际上,建筑物或房间的大空间屏蔽体是用诸如金属支架、金属框架或钢筋等自然部件构成的。这些部件构成了一个格栅形的大空间屏蔽。穿过屏蔽层的导电物体应该就近与屏蔽层作等电位连接。

图3从原理上给出了如何用钢筋混凝土中的钢筋以及金属框架(用于金属门及可能被密封的窗户)构成建筑物或房间的大空间屏蔽体。

当对屏蔽有效性不做专门实验或理论研究,其衰减可按如下方法进行估算。

3.1 邻近雷击情况下的格栅形空间屏蔽

图4给出了邻近雷击的情况。被屏蔽空间的入射磁场可近似看作一个平面波。

LPZ0区的入射磁场强度 H_0 可按下式计算:

$$H_0 = i_0 / (2\pi S_0) \quad (\text{A/m})$$

式中:

i_0 ——雷电流,单位为安(A)。

S_0 ——雷击点至所考虑的被屏蔽空间的平均距离(见图4),单位为米(m)。

由此得出

首次雷击所致的磁场强度最大值为:

$$H_{0/I/\max} = i_{I/\max} / (2\pi S_0) \quad (\text{A/m})$$

后续雷击所致的磁场强度最大值为:

$$H_{0/S/\max} = i_{S/\max} / (2\pi S_0) \quad (\text{A/m})$$

式中:

$i_{I/\max}$ ——首次雷击电流最大值,单位为安(A),按保护级别选定;

$i_{S/\max}$ ——后续雷击电流最大值,单位为安(A),按保护级别选定。

虽然表1仅对平面波有效,但磁场强度由 H_0 衰减至LPZ1内部的磁场强度 H_1 ,其衰减量仍可由表1所给出的求SF值的公式得出。由表1公式估算出的衰减系数对LPZ1区内的安全空间 V_1 有效, V_1 是以与屏蔽体保持一安全距离 $d_{s/1}$ 而确定的空间(见图5)。

$$d_{s/1} = W \cdot SF / 10 \quad (\text{m})$$

式中:

SF——由表1的公式估算出的屏蔽系数,单位为分贝(dB);

W——该格栅形屏蔽体的网格宽度,单位为米(m)。

由SF值可计算出LPZ1区中空间体 V_1 内的磁场强度 H_1 :

$$H_1 = H_0 / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m})$$

式中:

SF——由表1的公式估算出的屏蔽系数,单位为分贝(dB)。

H_0 ——LPZ0区的磁场强度,单位为安每米(A/m),首次雷击与后续雷击磁场强度最大值分别等于

$H_{0/I/\max}$ 、 $H_{0/S/\max}$ 。

3.2 直接雷击情况下的格栅形空间屏蔽

为了防雷,建筑物的屏蔽(围绕LPZ1的屏蔽)可以是LPS的一部分,因此,雷电流可能沿着它而流动。对此类屏蔽,直接雷击下其内部磁场的特征目前尚未确定。

格栅形空间屏蔽体实际上是由如钢框架、金属支架以及钢筋等所构成。这些屏蔽体可能围绕LPZ1区而建。

闪电可能击中建筑物屋顶上的任意一点。

在此情况下,LPZ1区内空间 V_1 的内部任意一点由雷击产生的磁场强度 H_1 为:

$$H_1 = K_H \cdot i_0 \cdot W / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m})$$

由此得出

LPZ1区内空间 V_1 内部任意一点由首次雷击所致的磁场强度最大值为:

$$H_{1/I/\max} = K_H \cdot i_{I/\max} \cdot W / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m})$$

LPZ1区内空间 V_1 内部任意一点由后续雷击所致的磁场强度最大值为:

$$H_{1/S/\max} = K_H \cdot i_{S/\max} \cdot W / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m})$$

式中:

d_r ——所考虑点至LPZ1屏蔽体顶部的最短距离,单位为米(m);

d_w ——所考虑点至LPZ1屏蔽体侧面的最短距离,单位为米(m);

$i_{I/\max}$ ——首次雷击电流的最大值,单位为安(A),按保护级别选定;

$i_{k/\max}$ ——后续雷击电流的最大值,单位为安(A),按保护级别选定;

K_H ——形状系数($1/\sqrt{m}$),取 $K_H=0.01(1/\sqrt{m})$;

W ——LPZ1 格栅形屏蔽体的网格宽度,单位为米(m)。

这些磁场强度计算公式仅对格栅形屏蔽体内部的空间 V_s 有效, V_s 是以与屏蔽体保持一安全距离 $d_{s/2}$ 而确定的空间(见图 5)。

$$d_{s/2} = W \text{ (m)}$$

(电子)信息设备只应安装在空间 V_s 内。因此,紧挨着格栅处的特高磁场值不应再当作信息设备的干扰源来考虑。

磁场强度计算的其他资料见附录 C。

3.3 围绕 LPZ2 区及 LPZ2 以上防雷区的格栅形空间屏蔽

围绕 LPZ2 区及 LPZ2 以上防雷区的格栅形屏蔽体,基本上不会流过明显的部分雷电流。因此,在初步探讨中可以用表 1 所给出的求 SF 值的公式来估算由 LPZn($n \geq 1$) 区内部的磁场强度 H_n 减至 LPZ(n+1) 区内部磁场强度 H_{n+1} 的衰减量,虽然表 1 仅适用于平面波。

由表 1 的公式计算出的衰减系数仅对 LPZ(n+1) 区内的某一空间有效,该空间是以与该区屏蔽体保持一安全距离 $d_{s/1}$ 而确定的空间。

$$d_{s/1} = W \cdot SF/10 \quad (\text{m})$$

式中:

SF——由表 1 的公式计算出的屏蔽系数,单位为分贝(dB);

W ——该格栅形屏蔽体的网格宽度,单位为米(m)。

由表 1 所求出的衰减系数可计算出 LPZ(n+1) 区内部的磁场强度 H_{n+1} 。

$$H_{n+1} = H_n/10^{SF/20} \quad (\text{A/m})$$

式中:

SF——由表 1 的公式计算出的屏蔽系数,单位为分贝(dB);

H_n ——LPZn 区内部的磁场强度,单位为安每米(A/m)。

3.4 格栅形空间屏蔽体内部的磁场强度的实验测定

除了理论计算外,还可采取测量方法估量被屏蔽建筑物的内部磁场。图 6 给出了用雷电流发生器在被屏蔽建筑物的任意一点上模拟直接雷击的一个建议。通常,此类试验可以采取低电平试验来进行,在这些低电平试验中模拟的雷电流波形应与原始的雷电流相同。

3.5 安装规则

穿越格栅形屏蔽体的导电部件应尽可能就近与屏蔽体作等电位连接。

等电位连接网络(见 4.2)是一种网格系统,它包括了内部所有大尺寸导电部件(如 GB/T 19271.1—2005 中 3.4.2.1 所规定),该网格系统还可减少大空间屏蔽体内部的磁场。采用网格宽度在几米范围的网格系统,就构成了许多衰减环路。M 型等电位连接网络(如 GB/T 19271.1—2005 中 3.4.2.2 所规定)也起相同的作用。

注:如果安装了 4.2 所规定的等电位连接网络,且遵循在此给出的安装规则,则根据 3.1 至 3.3 所计算的各个 LPZ 区内的磁场强度一般将额外地减小一半(相当于 6 dB)。

供电和信息系统的导线和电缆应尽可能靠近等电位连接网络的金属部件敷设。将导线和电缆嵌入等电位连接网络中的金属护套内(如 U 型导管或金属管)则更为有利(见 IEC 61000-5-2)。

在 LPZ 的交界处由于磁场强度相当强,应特别注意导线及电缆的安装(见 GB/T 19271.4—2005 第 4 章)。

图 5 所示为用于安装信息设备的内部空间 V_s , 信息设备应放置于与 LPZ 的屏蔽体的安全距离分别满足 $d_{s/1}$ 及 $d_{s/2}$ 的地方。

由各种设施构成的各种环路中,磁感应电压及电流的计算见附录 B。感应电压及电流导致对信息设备的传导性共模干扰(见图 7)。

4 接地系统

接地系统由以下两部分构成：

- 接地装置(与土壤接触)；
- 等电位连接网络(与土壤不接触)。

4.1 接地装置

接地装置的主要作用是尽可能多地将雷电流导入土壤中(50%或以上)并尽量不在接地装置上产生危险的跨步电压。

此一作用由建筑物下面和四周的网格状接地体网络来实现。

这些接地体应构成一个网格形接地装置,并把地下室地面混凝土中的钢筋也并入其中。这是典型做法,目的是在建筑物的底部将 LPZ1 区的电磁屏蔽体闭合起来。

建筑物四周的环形接地体和/或地下室周边混凝土中的环形接地体,应用接地导体每隔 5m 与接地装置相连接。(接地体的详情见 IEC 61024-1,2,3,2)。更远的外部接地体可连接到这些环形接地体上。

应将地下室混凝土地面中的钢筋连接到接地装置上。混凝土中的钢筋将构成一个有规则的互连网络,该互连网络每隔 5m(典型值)被连接到接地装置上。

可以安装一个由镀锌钢构成、网格宽度为 5 m(典型值)的叠加网格,叠加网格每隔 1m 与混凝土中的钢筋相焊接或夹接。叠加网格的钢筋端头可用作等电位连接带的接地导体。

图 8 为一间工厂的网格形接地装置示例。

接地及等电位连接的定义见附录 A。

4.2 等电位连接网络

等电位连接网络的主要任务是消除建筑物上及建筑物内所有设备间危险的电位差,并减小建筑物内部的磁场强度。

这项任务通过将建筑物上及建筑物内所有金属部件多重联结,从而构成一个三维的、网格形的等电位连接网络而实现。

建筑物上及建筑物内的所有金属部件,应该用等电位连接导体互连,从而形成网格宽为 5 m(典型值)的网格。这些金属部件是指金属装置、设备机柜、电缆槽、公用设施管道、混凝土(地面、墙、顶板)中的钢筋、活动地板以及其他结构部件等。这些互连的金属部件形成了等电位连接网络。

电气装置的保护地 PE 应并入等电位连接网络中(按照网格形或星形方式)。

建筑物周边和内部各个 LPZ 区的电磁屏蔽体也应用连接导体每隔 5 m(典型值)与等电位连接网络连接一次并并入等电位连接网络。这些屏蔽体除混凝土中的钢筋外,还包括金属屋顶、金属立面、门窗的金属框架等(例子见图 9、图 10)。

由网格宽度为 5 m(典型值)的等电位连接网络建立起来的各个衰减环路,可在一个很宽的频谱范围内减弱建筑物内部的磁场强度。

等电位连接网络应每隔 5 m(典型值)与接地装置相连从而组成了完整的接地系统。

为了将电气和电子设备的机柜、外壳和机架等并入等电位连接网络,同时在 LPZ 的界面处为满足公共设施、电源和信息系統导线和电缆等电位连接的需要,应该安装一些等电位连接带。

应每隔 5 m(典型值)用接地导体将环形连接带连接至等电位连接网络。局部等电位连接带一般采用不超过 1 m 长的接地导体连接至等电位连接网络(等电位连接带、等电位连接导体以及接地导体的详情见 IEC 61024-1 及 GB/T 19271.1)。

信息系統应以网格型或星型方式作等电位连接(详情见 GB/T 19271.1)。

接地及等电位连接的定义见附录 A。

4.3 接地装置与等电位连接网络的组合

将接地装置与等电位连接网络组合起来就形成了接地系统。

接地系统的主要任务是保持设施和设备的任意两点之间的电位差尽可能低。

通过为传导雷电流及感应电流提供多条并联通路,组成一个宽频谱范围的低阻抗系统来实现此任务。

多条并联通路具有各不相同的谐振频率。将阻抗与频率相关的各条通路组合起来,就可形成一个在所考虑频谱范围内具有低阻抗的系统。

一个网格形接地系统的例子见图 11。

4.4 屏蔽、等电位连接及接地布局的例子

图 12 给出一座大办公楼的屏蔽、等电位连接及接地布局的例子。

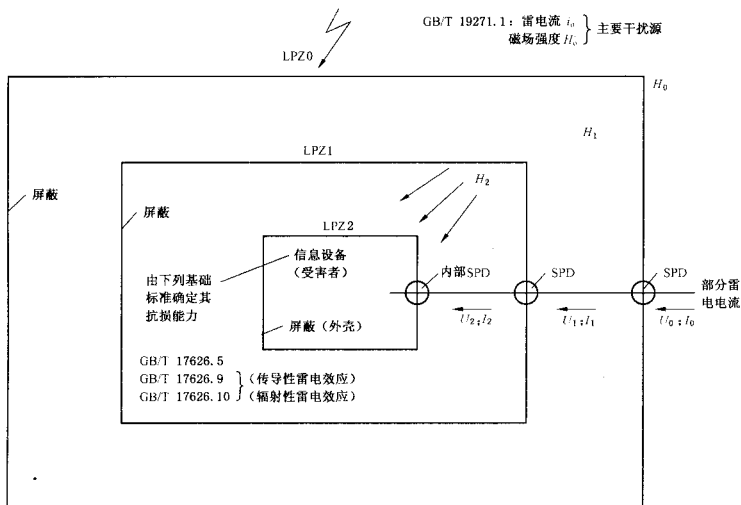
图中用钢筋和金属立面对 LPZ1 区实现屏蔽,对高灵敏度电子设备,则用屏蔽机柜实现屏蔽。为了能够安装窄网格形的等电位连接系统,在每个房间提供了若干个连接引出线。

此处为放置 20 kV¹⁾ 电源设计了一个封闭的 LPZ0 区。这是一种特殊的情况,因在紧靠入口处的高压电源侧不可能安装避雷器。

表 1 邻近雷击时磁场为平面波情况下,格栅形空间屏蔽体的磁场衰减

材料	SF/dB	
	25 kHz(见注 1)	1 MHz(见注 2)
铜/铝	$20 \times \lg(8.5/W)$	$20 \times \lg(8.5/W)$
钢(见注 3)	$20 \times \lg[(8.5/W) / \sqrt{1+18 \times 10^{-6}/r^2}]$	$20 \times \lg(8.5/W)$

注 1: 适用于首次雷击磁场强度 H_1 ;
 注 2: 适用于后续雷击磁场强度 H_2 ;
 注 3: 导磁率 $\mu \approx 200$ 。
 W ——格栅形屏蔽网格宽度(m), $W \leq 5$ m;
 r ——格栅形屏蔽网格导体的半径(m)。



i_0 及 H_0 : 10/350 μ s 及 0.25/100 μ s 两种冲击

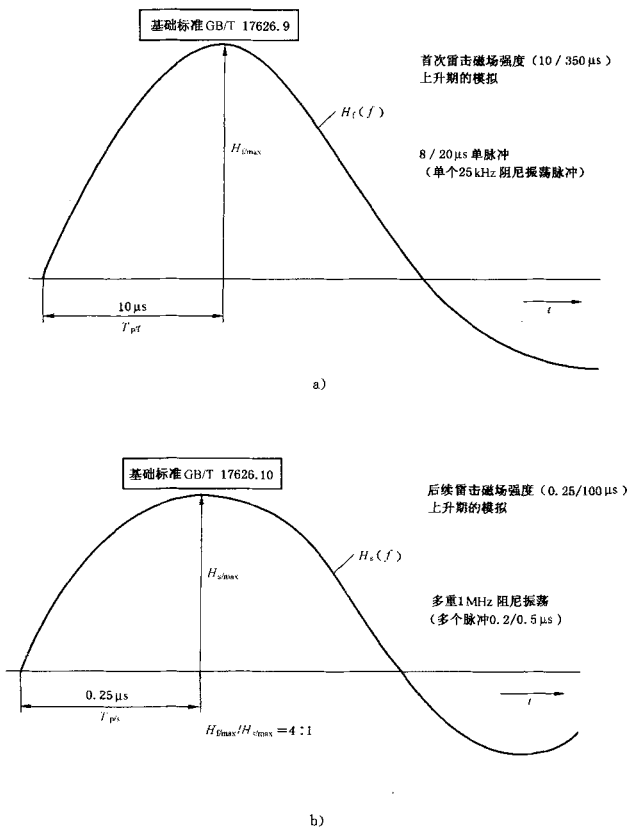
GB/T 17626.5; U_1 : 1.2/50 μ s 冲击电压; I_1 : 8/20 μ s 冲击电流

GB/T 17626.9; H_1 : 8/20 μ s 冲击磁场(25 kHz 阻尼振荡); $T_p = 10$ μ s

GB/T 17626.10; H_1 : 1 MHz 阻尼振荡(0.2/0.5 μ s 冲击磁场); $T_p = 0.25$ μ s

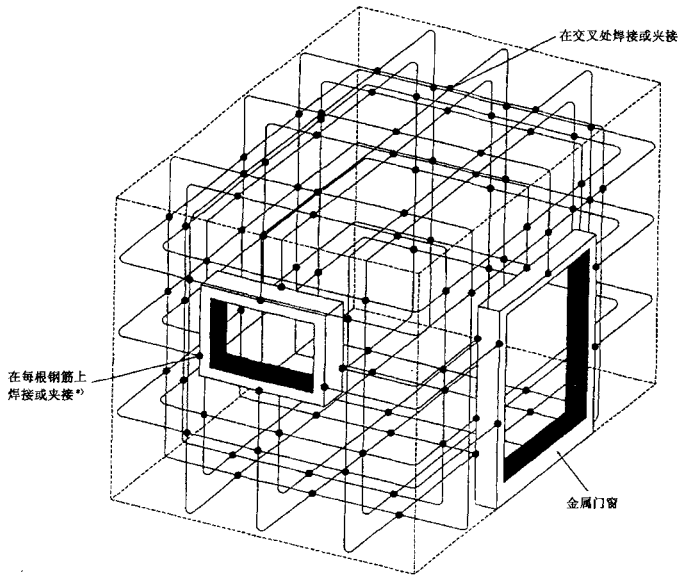
图 1 雷击时的 EMC 状况

1) 国内一般采用 10 kV 的电压等级。编者。



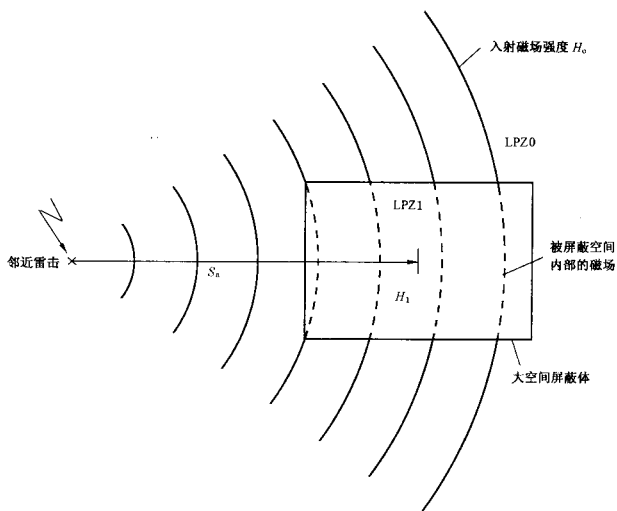
注：虽然升至最大值的时间 T_0 与波前时间 T_1 定义不同，但为了进行适当的探讨，在此将它们数值视为相等。

图 2 用阻尼振荡描述磁场强度波形的上升期



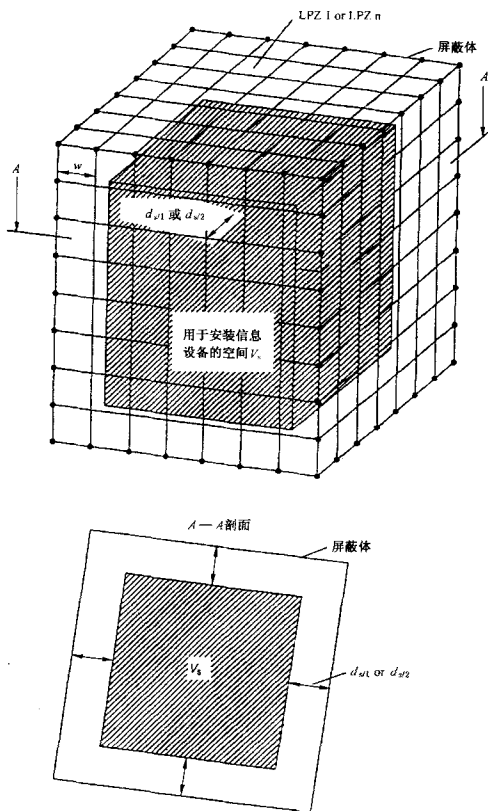
实际上,对大型建筑物来说,在每一交叉点上焊接或夹接是不可能的。但是通过直接接触或用铁丝绑扎,绝大多数的交叉点可做到自然互连。因此,每隔大约1 m作一连接,将是实际可行的方法。

图3 用钢筋和金属框架构成的大空间屏蔽体



S_a ——雷击点与被屏蔽空间的平均距离

图4 邻近雷击的情况



注：用于安装信息设备的空间 V_i 与 LPZ1 或 LPZn 的屏蔽层保持一个安全距离 d_{s1} 或 d_{s2} 。

图 5 LPZ1 或 LPZn 内部用于安装信息设备的空间

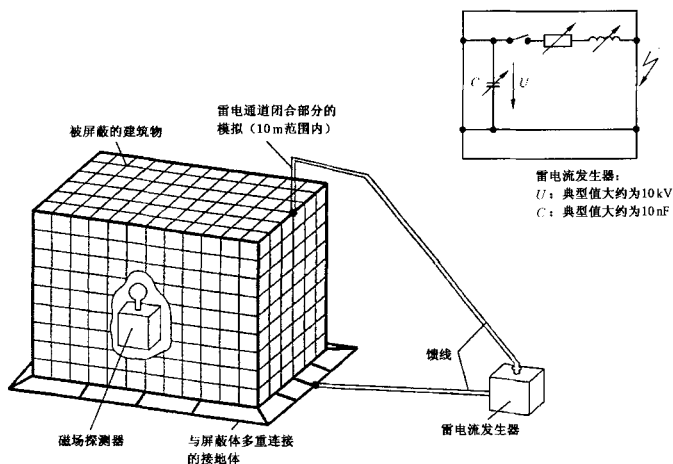


图 6 评估被屏蔽建筑物内部磁场强度的低电平雷电流试验的建议

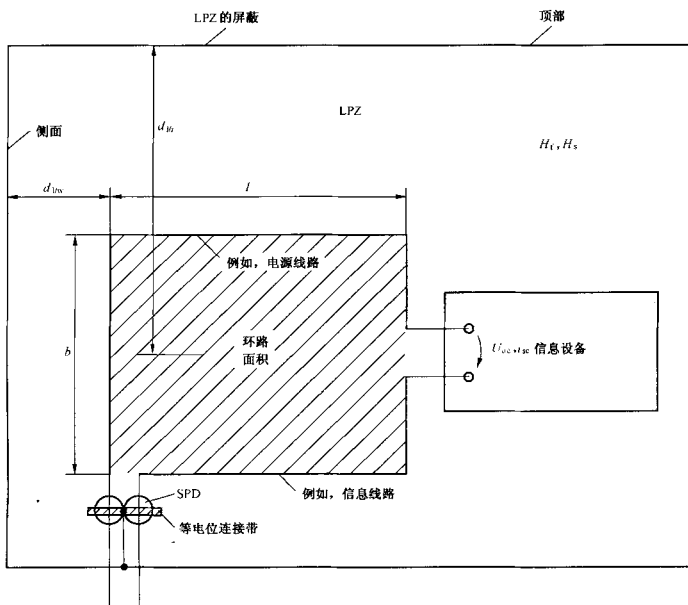
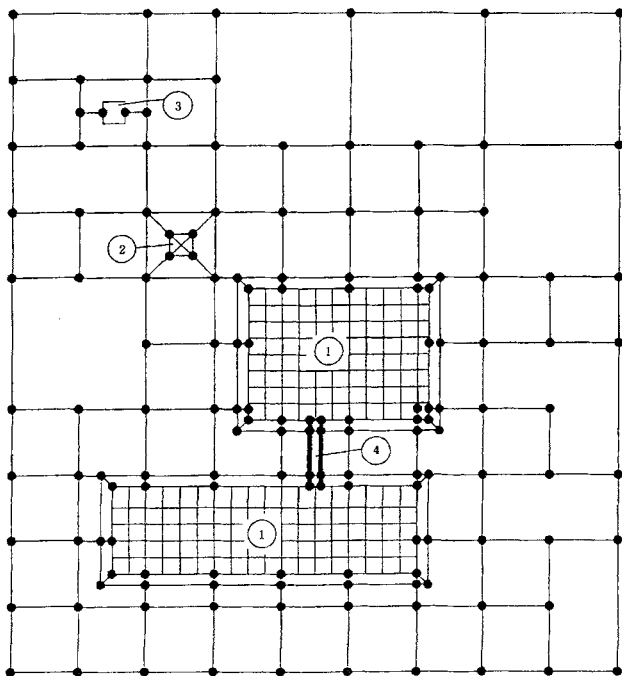


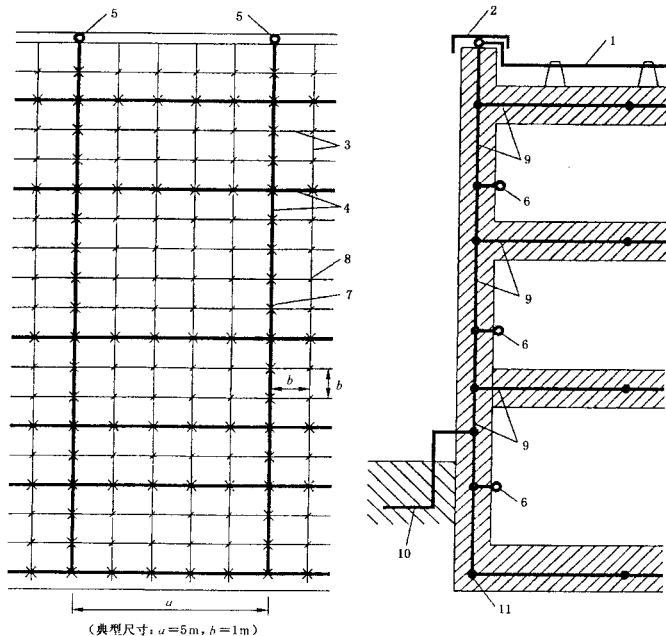
图 7 环路中的感应电压及电流



图例：

- 1——具有网状钢筋的建筑物；
- 2——工厂内部的一座塔；
- 3——孤立的设备；
- 4——电缆槽。

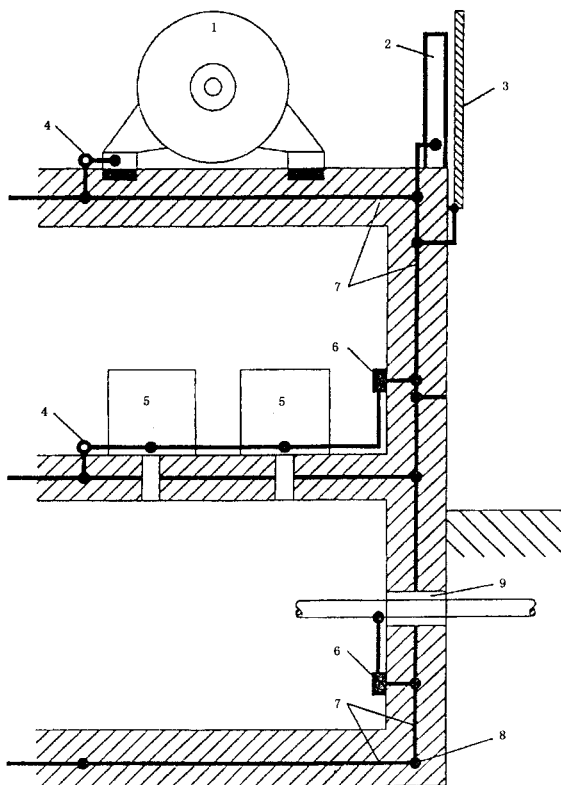
图 8 工厂的网格形接地装置



图例:

- 1—接闪器(避雷带);
- 2—屋顶女儿墙的金属盖板;
- 3—钢筋;
- 4—迭加于钢筋上的网格形导体;
- 5—网格形导体的接头;
- 6—内部等电位连接带的接头;
- 7—焊接或夹接;
- 8—任意连接;
- 9—混凝土中的钢筋(有迭加的网格型导体);
- 10—环形接地体(如设有);
- 11—基础接地体。

图 9 利用建筑物的钢筋作屏蔽及等电位连接



图例：

- 1——电动设备；
- 2——钢支架；
- 3——立面的金属盖板；
- 4——等电位连接点；
- 5——电气设备；
- 6——等电位连接带；
- 7——混凝土中的钢筋(有迭加的网格形导体)；
- 8——基础接地体；
- 9——各种公共设施的公用入口。

图 10 钢筋结构建筑物的等电位连接

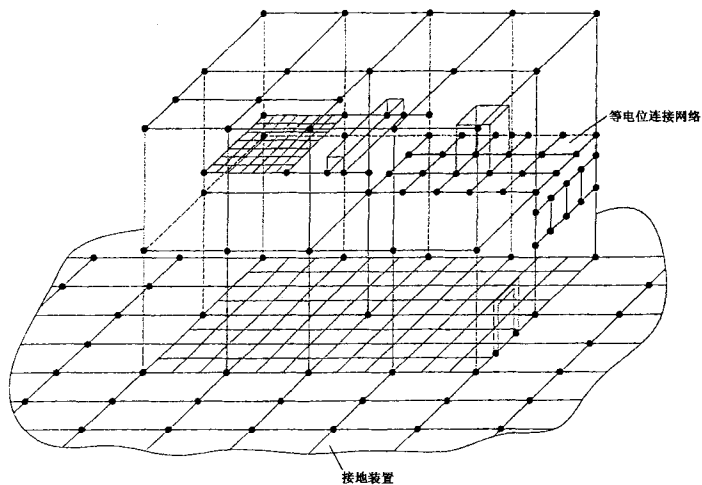


图 11 由等电位连接网络与接地装置组合而成的接地系统示例

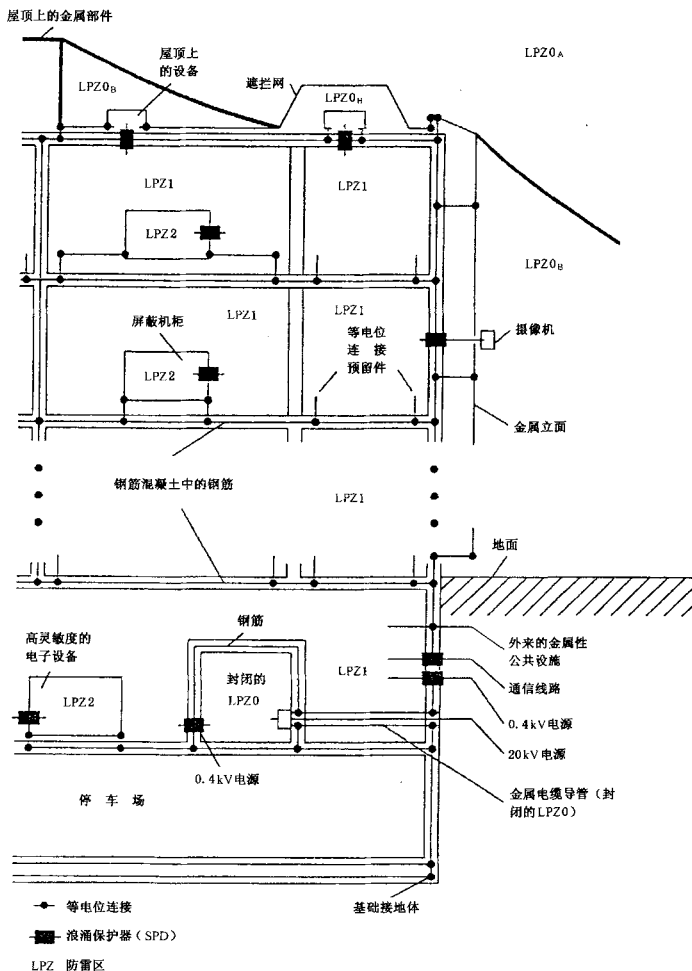


图 12 一座办公大楼的防雷区、屏蔽、等电位连接及接地的设计示例

附录 A

(资料性附录)

接地与等电位连接的定义

LPS的接地装置(地板网络)是与土壤相接触的并且可能是建筑物空间屏蔽体的一部分(例如地下室地面上的钢筋)。

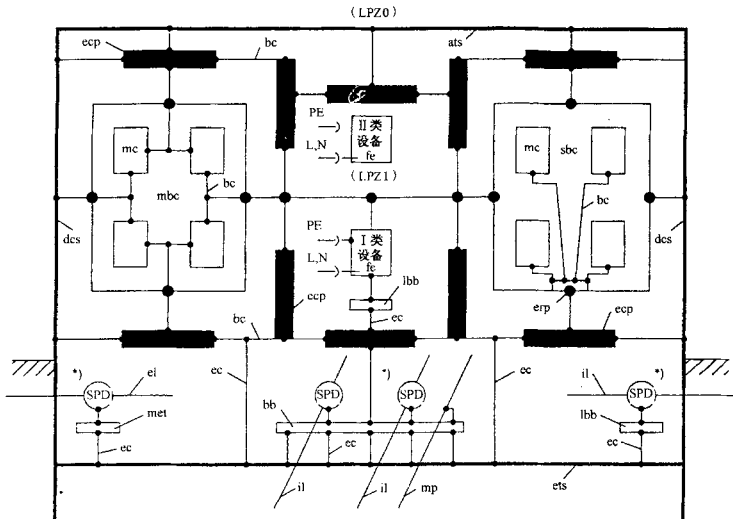
等电位连接网络(也可称接地网络、等电位连接系统、公共等电位连接系统、公共连接网络)是一个不与土壤相接触的多重互连(网格形)系统。等电位连接网络是一个低阻抗网络,因此能保证大体上的等电位。

通过与接地装置的多点互连(网状),等电位连接网络和接地装置一起构成了(公共)接地系统(公共接地系统、接地系统)。

在信息系统的星形等电位连接或隔离网格形等电位连接结构中,除在接地基准点外,等电位连接导体是相互绝缘的,并且不应与其他金属部件接触。所有的电气电缆和导线都在接地基准点进入(本地)信息系统,并且这些电缆和导线与等电位连接导体并行布设(见 GB/T 19271.1—2005 图 16)。

在网格形等电位连接结构的情况下,所有电气电缆及导线可从任意点进入(本地)信息系统,布设时不必考虑等电位连接导体的位置(见 GB/T 19271.1—2005 图 16)。

详情见图 A.1。



*) 入户设施(管道、电源和信息线路或电缆)的等电位连接。LPZ1 的入口。

图 A.1 接地及等电位连接的结构图

部件:

ats LPS的接闪器,可能是建筑物空间屏蔽体的一部分(例如金属屋顶)。

dcs LPS的引下线(雷电引下导体),可能是建筑物空间屏蔽体的一部分(例如金属立面、墙体的钢

筋)。

ecp 外来导电部件、建筑物上及建筑物内除电气装置外的金属装置。(例如:电梯钢轨、起重机、金属地板、金属门框、公共设施的金属管道、金属电缆槽、地板钢筋、墙体钢筋、顶板的钢筋等)。

erp 接地基准点(ERP),代表一个局部等电位连接带(单点连接)。

ets LPS的接地装置(地板网络、公共地板网络),可能是建筑物空间屏蔽体的一部分(注:地板:一组接地装置或一组接地装置中的一部分)。

fe 固定的设备:Ⅰ类设备,有PE连接线;Ⅱ类设备,无PE连接线。

mbc (本地)信息系统的网格形等电位连接。

mc (本地)信息系统的金属部件(金属部分)(例如机柜、外壳、机架等)。

sbc (本地)信息系统的星形等电位连接。

各条等电位连接带:

bb 等电位连接带(环形等电位连接带、水平等电位连接导体,特殊情况下可为金属板)主要用于信息导线和电缆的等电位连接,也用于信息设备的等电位连接。亦可用作(公共)等电位连接带。用接地导体多重连接至接地系统(典型间隔为5m)。

bc 等电位连接导体(等电位连接导体、等电位连接件、连接线)。

ec 连接至接地装置的接地导体(主接地导体)。

el 电源线或电缆。

il 信息线或电缆。

L,N 有中性线的电源。

lbb 局部等电位连接带(接地端子)(例如:用于电力装置或信息装置)。

LPS 防雷系统(有部件ats,dcs,ets)。

LPZ 防雷区。

met. 主接地端子(主接地带、主接地总线带、主连接带),主要用于电源线的等电位连接,也用于电源设备的等电位连接。亦可用作(公共)等电位连接带。

mp 公共设施的金属管道。

PE 保护导体(保护接地导体、设备接地导体、保护地、保护接地),是等电位连接网络的一部分。

SPD 浪涌保护器。

附录 B

(资料性附录)

由各种设施构成的环路中感应电压及电流的计算

此处考虑图 7 所示的矩形环路,如果是其他形状的环路,应将其转换为具有相同环路面积的矩形环路。

B.1 邻近雷击下,环路在 LPZ1 内部时的感应电压及电流

假设 LPZ1 内部 V_s 空间内的磁场强度 H_1 是均匀的(见 3.1)。

开路电压 U_{oc} :

$$U_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot dH_1/dt \quad (V)$$

在波前时间 T_1 期间, U_{oc} 的最大值 $U_{oc/\max}$ 为:

$$U_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/\max}/T_1 \quad (V)$$

式中:

μ_0 ——真空磁导率,其值等于 $4\pi \times 10^{-7} [V \cdot s / (A \cdot m)]$;

b ——环路的宽度,单位为米(m);

H_1 ——LPZ1 内部随时间而变的磁场强度,单位为安每米(A/m);

$H_{1/\max}$ ——LPZ1 内部磁场强度的最大值,单位为安每米(A/m);

l ——环路的长度,单位为米(m);

T_1 ——磁场强度波形的波前时间,单位为秒(s),与雷击电流波形的波前时间相同。

如果忽略导线的欧姆电阻(最坏情况),则短路电流 i_{sc} 为:

$$i_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_1/L \quad (A)$$

i_{sc} 的最大值 $I_{sc/\max}$ 为:

$$i_{sc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/\max}/L \quad (A)$$

式中:

L ——环路自感,单位为亨(H)。

对于矩形环路:

$$L = \{0.8 \times \sqrt{l^2 + b^2} - 0.8 \times (l + b) + 0.4 \times l \cdot \ln[(2b/r)/(1 + \sqrt{1 + (b/l)^2})] + 0.4 \times b \cdot \ln[(2l/r)/(1 + \sqrt{1 + (l/b)^2})]\} \times 10^{-6} \quad (H)$$

式中:

r ——环路导线的半径,单位为米(m)。

首次雷击($T_1 = 10 \mu s$)磁场强度 $H_{1/i}$ 感应的最大电压和电流分别为:

$$U_{oc/i/\max} = 0.126 \times b \cdot l \cdot H_{1/i/\max} \quad (V)$$

$$i_{sc/i/\max} = 1.26 \times 10^{-6} \times b \cdot l \cdot H_{1/i/\max}/L \quad (A)$$

后续雷击($T_1 = 0.25 \mu s$)磁场强度 $H_{1/s}$ 感应的最大电压和电流为:

$$U_{oc/s/\max} = 5.04 \times b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} \quad (V)$$

$$i_{sc/s/\max} = 1.26 \times 10^{-6} \times b \cdot l \cdot H_{1/s/\max}/L \quad (A)$$

式中:

$H_{1/i/\max}$ ——LPZ1 内部首次雷击的磁场强度最大值,单位为安每米(A/m);

$H_{1/s/\max}$ ——LPZ1 内部后续雷击的磁场强度最大值,单位为安每米(A/m)。

B.2 建筑物遭直接雷击下,环路在 LPZ1 内部时的感应电压及电流

LPZ1 内部 V_c 空间内的磁场强度 H_1 (见 3.2) 为:

$$H_1 = K_H \cdot i_0 \cdot W / (d_w \sqrt{d_{l_r}}) \quad (\text{A/m})$$

环路开路电压 U_{oc} , 按下式计算:

$$U_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l_w}) \cdot K_H \cdot (W / \sqrt{d_{l_r}}) \cdot di_0/dt \quad (\text{V})$$

在波前时间 T_1 期间, U_{oc} 的最大值 $U_{oc/\max}$:

$$U_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l_w}) \cdot K_H \cdot (W / \sqrt{d_{l_r}}) \cdot i_{0/\max} / T_1 \quad (\text{V})$$

式中:

μ_0 ——真空磁导率, 其值为 $4\pi \times 10^{-7} [\text{V} \cdot \text{s} / (\text{A} \cdot \text{m})]$;

b ——环路的宽度, 单位为米(m);

d_{l_w} ——环路与屏蔽体侧面的距离, 单位为米(m), $d_{l_w} \geq d_{s/2}$;

d_{l_r} ——环路与屏蔽体顶部的平均距离, 单位为米(m);

i_0 ——LPZ0_A 中的雷电流, 单位为安(A);

$i_{0/\max}$ ——LPZ0_A 中雷击电流的最大值, 单位为安(A);

K_H ——形状系数 ($1/\sqrt{m}$), 取 $K_H = 0.01 (1/\sqrt{m})$;

l ——环路的长度, 单位为米(m);

T_1 ——LPZ0_A 中雷击电流的波前时间, 单位为秒(s);

W ——格栅形屏蔽网格宽度, 单位为米(m)。

如果忽略导线的欧姆电阻(最坏情况), 短路电流 i_{sc} 为:

$$i_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l_w}) \cdot K_H \cdot (W / \sqrt{d_{l_r}}) \cdot i_0 / L \quad (\text{A})$$

i_{sc} 的最大值 $i_{sc/\max}$ 为:

$$i_{sc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l_w}) \cdot K_H \cdot (W / \sqrt{d_{l_r}}) \cdot i_{0/\max} / L \quad (\text{A})$$

式中:

L ——环路的自感, 单位为亨(H)。

自感 L 的计算见 B.1。

首次雷击 ($T_1 = 10 \mu\text{s}$), 磁场强度 $H_{1/t}$ 感应的最大电压和电流分别为:

$$U_{oc/t/\max} = 1.26 \times b \cdot \ln(1 + l/d_{l_w}) \cdot (W / \sqrt{d_{l_r}}) \cdot i_{t/\max} \quad (\text{V})$$

$$i_{sc/t/\max} = 12.6 \times 10^{-6} \times b \cdot \ln(1 + l/d_{l_w}) \cdot (W / \sqrt{d_{l_r}}) \cdot i_{t/\max} / L \quad (\text{A})$$

后续雷击 ($T_1 = 0.25 \mu\text{s}$), 磁场强度 $H_{1/s}$ 感应的最大电压和电流分别为:

$$U_{oc/s/\max} = 50.4 \times b \cdot \ln(1 + l/d_{l_w}) \cdot (W / \sqrt{d_{l_r}}) \cdot i_{s/\max} \quad (\text{V})$$

$$i_{sc/s/\max} = 12.6 \times 10^{-6} \times b \cdot \ln(1 + l/d_{l_w}) \cdot (W / \sqrt{d_{l_r}}) \cdot i_{s/\max} / L \quad (\text{A})$$

式中:

$i_{t/\max}$ ——首次雷击电流的最大值, 单位为千安(kA);

$i_{s/\max}$ ——后续雷击电流的最大值, 单位为千安(kA)。

B.3 环路在 LPZn ($n \geq 2$) 内部时的感应电压及电流

假定 LPZn 中的磁场强度 H_n 是均匀的(见 3.3)。

因此, B.1 中给出的计算感应电压和电流的公式同样适用。

式中, H_1 用 H_n 代替。

附录 C
(资料性附录)

格栅形磁场屏蔽体内部磁场强度的计算

3.2 中估算磁场强度 H 的公式是对图 C.1 中所示三种典型格栅形屏蔽体的磁场进行数值计算得出的。计算中,假设闪电击中屋面的一条边。雷电通道用屋面上方 100 m 的一条垂直导电杆来模拟,地面则用一块理想的导电板模拟。

计算中,考虑格栅形屏蔽体的每一条钢筋与其他钢筋包括模拟雷电通道之间的磁场耦合,从而产生一个方程组以计算雷电流在格栅形屏蔽体中的分布,并由该电流分布导出屏蔽体内部的磁场强度。计算中假定了各条钢筋的电阻可忽略,格栅形屏蔽体中的电流分布和磁场强度均与频率无关。同时,也忽略电容性耦合,因此可不考虑瞬态效应。

在图 C.2、C.3 中给出了图 C.1 所示第一类格栅形屏蔽的若干计算结果。二种情况下都假定最大雷电流 $i_{0/\max} = 100$ kA。图 C.2 和图 C.3 中, H 是某一点的最大磁场强度,由 H_x 、 H_y 及 H_z 各分量推导得出。

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

在图 C.2 中,沿着一条从雷击点($x=y=0, z=10$ m)至立方体的中心点($x=y=5$ m, $z=5$ m)的直线计算 H 值。绘制 H 随这条线上各点的 X 座标的变化曲线,格栅形屏蔽的网格宽度 W 作为一个参量。

在图 C.3 中,对屏蔽体内部的二个点(A点: $x=y=5$ m, $z=5$ m; B点: $x=y=3$ m, $z=7$ m)计算磁场强度 H 。绘制磁场强度随网格宽度 W 变化的曲线。

两个图均说明几个主要参数对格栅形屏蔽体内部磁场分布的影响,这几个主要参数是:离屏蔽体顶部或侧面的距离以及网格宽度。在图 C.2 中应观察到若沿着其他穿过屏蔽空间的直线计算,这些直线可能与零轴相交,磁场强度 H 的分量会改变符号。因此,3.2 中的公式只是对格栅形屏蔽体内部真实且远为复杂的磁场分布的一种一级近似。

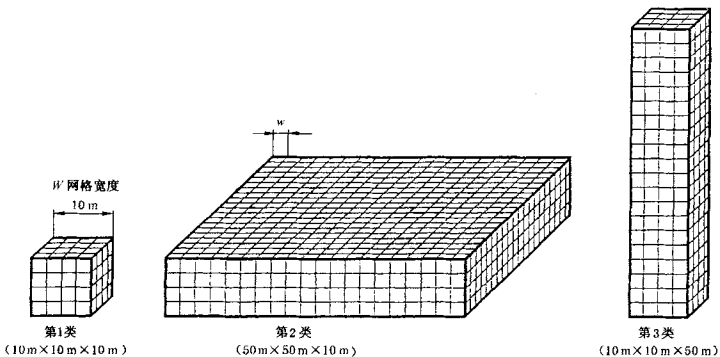


图 C.1 几类大空间格栅形屏蔽体

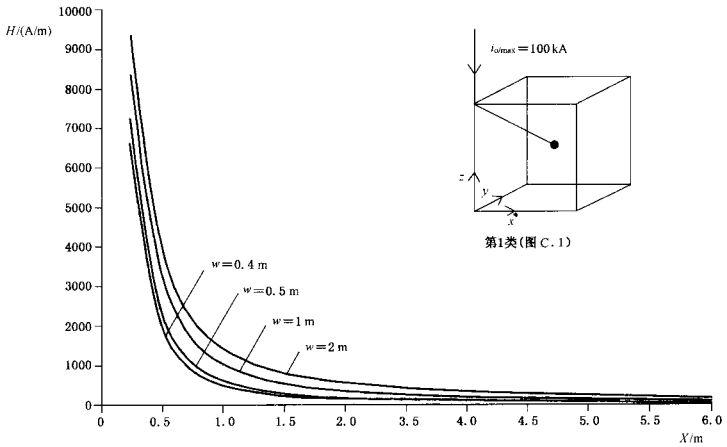


图 C.2 第 1 类格栅形屏蔽体内部的磁场强度 H

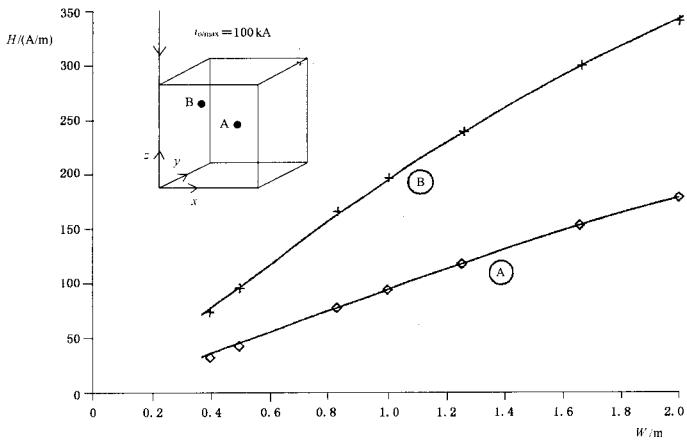


图 C.3 第 1 类格栅形屏蔽体内部的磁场强度 H

参 考 文 献

- [1] IEC 60364-4-444:1996, Electrical installations of buildings -Part 4; Protection for safety-Chapter 44: Protection against overvoltages -Section 444: Protection against electromagnetic interferences (EMI) in installations of buildings.
 - [2] IEC 60364-5-548:1996, Electrical installations of buildings -Part5; Selection and erection of electrical equipment - Section 548: Earthing arrangements and equipotential bonding for information technology installations.
 - [3] VG 95.375/11.82 (German military standard) - Electromagnetic compatibility. Fundamentals and measures for development of systems. Part 4: Shielding.
 - [4] VG 96.907/12.86 (German military standard) - Nuclear electromagnetic pulse (NEMP) and lightning protection. Part 2: Design guidelines and protective devices; peculiarities for different applications.
 - [5] Lang U. ,Wiesinger J. ; EMC-based lightning protection concept for a large new administration building, 22nd ICLP, Budapest 1994 , paper R6a-03.
 - [6] Kaden H. ; Die elektromagnetische Schirmung in der Fernmelde- und Hochfrequenztechnik (pp.191-197). Springer- Verlag, Berlin 1950.
-