



中华人民共和国国家标准

GB/T ××××—××××/IEC 62305-4

雷电防护

第四部分：建筑物内电气和电子系统

Protection against lightning

Part 4: Electrical and electronic systems within structures

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

目 次

前 言	IV
引 言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 名词和定义	2
4 LEMP 防护措施系统 (LPMS) 的设计和安装	4
4.1 LPMS 设计	7
4.2 雷电防护区 (LPZ)	7
4.3 LPMS 基本防护措施	10
5 接地和搭接	11
5.1 接地装置	11
5.2 搭接网络	12
5.3 搭接母线	16
5.4 LPZ 边界处的搭接	17
5.5 搭接部件的材料和尺寸	17
6 磁屏蔽和布线	17
6.1 空间屏蔽	17
6.2 内部线路屏蔽	18
6.3 内部线路布线	18
6.4 外部线路屏蔽	18
6.5 磁屏蔽的材料和尺寸	18
7 协调配合的 SPD 保护	18
8 LPMS 系统管理	19
8.1 LPMS 管理计划	19
8.2 LPMS 检查	20
8.2.1 检查程序	20
8.2.2 检查文档	21
8.3 维护	21
附 录 A (资料性附录) LPZ 区内电磁环境评估基础	22
A.1 雷击对电气和电子系统的危害	22
A.1.1 危害源	22
A.1.2 危害受损者	22
A.1.3 危害源及其受损者之间的耦合机理	22
A.2 空间屏蔽、线路布线和屏蔽	22
A.2.1 概论	22
A.2.2 格栅型空间屏蔽	25
A.2.3 线路布线和屏蔽	26
A.3 LPZ 内部磁场	28
A.3.1 LPZ 内部磁场的近似值	28

A.3.2 对直击雷磁场的理论估算.....	34
A.3.3 直击雷产生磁场的实验估算.....	36
A.4 感应电压和电流计算	37
A.4.1 直击雷时 LPZ 1 的内部状况.....	37
A.4.2 近旁雷击时 LPZ1 内部状况	38
A.4.3 在 LPZ 2 和更高防护区内的状况.....	39
附录 B (资料性附录) 既有建筑物内电子系统 LEMP 防护措施的实施.....	40
B.1 项目清单	40
B.2 既有建筑物接入新的电子系统	41
B.2.1 可能的防护措施综述	42
B.2.2 划分电气和电子系统的雷电防护区 (LPZ)	43
B.3 建筑物内电源和电缆布线的改进	45
B.4 用浪涌保护器进行保护	46
B.5 用隔离接口进行保护	46
B.6 基于布线和屏蔽的防护	46
B.7 用 LPZ 1 空间屏蔽改善原有 LPS	47
B.8 用搭接进行防护	48
B.9 外安装设备的防护措施	48
B.9.1 外部设备的防护.....	48
B.9.2 减小电缆中的过电压.....	49
B.10 建筑物之间互连的改进	50
B.10.1 绝缘线.....	51
B.10.2 金属线.....	51
附录 C (资料性附录) SPD 的协调配合.....	52
C.1 概述	52
C.2 SPD 协调配合的目标.....	53
C.2.1 能量配合的原则.....	54
C.2.2 两个电压限制型 SPD 的配合	54
C.2.3 电压开关型和电压限制性 SPD 间的配合	56
C.2.4 两个电压开关型 SPD 的配合	62
C.3 防护系统的基本配合方案	62
C.3.1 方案 I.....	62
C.3.2 方案 II	62
C.3.3 方案 III.....	63
C.3.4 方案 IV.....	64
C.4 根据“通流量”法实现配合.....	64
C.5 配合的验证	65
附录 D (资料性附录) 协调配合 SPD 保护的选择和安装	66
D.1 选择 SPD 要考虑的因素.....	66
D.1.1 电压保护水平.....	66
D.1.2 选择时考虑安装位置和放电电流.....	66
D.2 协调配合的 SPD 保护安装.....	67
D.2.1 SPD 的安装位置	67
D.2.2 连接导体.....	67

D.2.3 振荡保护距离 l_{po}	67
D.2.4 感应保护距离 l_{pi}	67
D.2.5 SPD 的配合	68
D.2.6 安装协调配合的 SPD 的程序	68

前 言

GB/TXXXX的本部分等同采用IEC 62305-4: 雷电防护——第四部分: 建筑物内电气和电子系统(英文版)。IEC 62305-4国际标准由IEC 81雷电防护技术委员会制定。

IEC 62305系列(第1部分到第5部分)已按各国家委员会认可的新出版计划(81/171/RQ(2001-06-29))出版, 该计划以比IEC 61312系列和IEC 61663系列出版物更简单、更合理的方式进行调整和更新。

GB/TXXXX的本部分的正文据下列标准汇编并取代下列标准

- IEC 61312-1, 第1版(1995);
- IEC 61312-2, 第1版(1998);
- IEC 61312-3, 第1版(2000);
- IEC 61312-4, 第1版(1998)。

在雷电防护系列标准GB/TXXXX由下列部分组成

- 第1部分: 总则
- 第2部分: 风险管理
- 第3部分: 对建筑物的物理损害和生命危险
- 第4部分: 建筑物内电气和电子系统
- 第5部分: 公共设施

本部分由全国雷电防护标准化技术委员会提出。

本部分由全国雷电防护标准化技术委员会归口。

本部分负责起草的单位: 清华大学, 中国铁道科学研究院

本部分参加起草的单位: 广东省防雷中心, 。。。。。。

本标准主要起草人: 何金良, 邱传睿, 胡军, 陈水明, 曾嵘, 黄志惠, 谷山强, 陈未远, 徐伟, 王晶晶, 王小川, 李雨, 。。。。。。。

引 言

雷电作为危害源，是一种高能现象。闪电释放数百兆焦耳的能量。与建筑物内电气和电子系统中的敏感电子设备所能耐受的毫焦耳数量级的能量相比，无疑很有必要另加防护措施去保护这些设备。

国家标准GB/TXXXX的本部分起因于雷电电磁作用导致电气和电子系统失效而带来的渐增的费用。其中最重要的是那些用于数据处理和存储的电子系统，以及用于高投资、大规模、高复杂度工厂（出于成本和安全因素，这些工厂不允许生产中断）的流程控制和安全的电子系统。

如GB/TXXXX-2所规定，雷电可能在建筑物内产生不同类型的危害：

- D1 由于接触电压和跨步电压引起的对生命的伤害；
- D2 由于机械、热、化学和爆炸效应引起的物理损害；
- D3 由于电磁作用引起的电气与电子系统的失效。

GB/TXXXX-3描述了减少物理损害和生命伤害风险的防护措施，但没有包含对电气和电子系统的防护。

因此GB/TXXXX的第4部分提供了关于减少建筑物内电气和电子系统永久性失效风险的防护措施的资料。

雷电电磁脉冲（LEMP）可以由以下途径引起电气和电子系统的永久性失效：

- a) 通过连接导线传输给设备的传导和感应浪涌；
- b) 辐射电磁场直接作用于设备上的效应。

建筑物外部或内部都可产生浪涌：

- 建筑物外部浪涌由雷击入户电线或其附近地面产生，并经电线本身传输到电气和电子系统；
- 建筑物内部浪涌由雷击建筑物或其附近地面产生。

雷电电磁耦合的产生可以基于不同的机理：

- 电阻性耦合（例如建筑物接地装置的接地阻抗或电缆屏蔽层电阻）；
- 磁场耦合（例如由于电气和电子系统中线路构成的回路或搭接导体的电感所引起）；
- 电场耦合（例如由于鞭状天线接受所引起）。

注：通常电场耦合作用比磁场耦合作用小很多，可不予考虑。

辐射电磁场可以由以下方式产生：

- 雷电通道内流过的雷电流；
- 在导体中流过的部分雷电流（例如GB/TXXXX-3描述的外部LPS引下线中，或本标准描述的外部空间屏蔽体中的雷电流）。

雷电防护

第四部分：建筑物内电气和电子系统

1 范围

GB/TXXXX的本部分提供对建筑物内电气和电子系统的雷电电磁脉冲防护系统（LPMS）的设计、安装、检验、维护和测试的资料，以减少由于雷电电磁脉冲产生的永久性失效风险。

本标准不包含对可能导致电子系统故障的雷电电磁干扰的防护。但附录A的资料也能用于评估这种骚扰。对电磁干扰的防护措施参见IEC 60364-4-44和IEC 61000系列^[1]。

本标准可以指导电气和电子系统设计者与防护措施设计者之间进行的合作，以达到最优防护效果。本标准不涉及电气和电子系统本身的具体设计。

2 规范性引用文件

下列引用文件对于本文的使用是必不可少的。凡是注明日期的引用文件，只有该版本有效。未注明日期的引用文件，该文件（包括任何修正）的最新版本有效。

IEC 60364-4-44: 2001, 建筑物电气装置 — 第4-44部分：安全防护 — 电压骚扰与电磁骚扰的防护

IEC 60364-5-53: 2001, 建筑物电气装置 — 第5-53部分：电气设备的选择与安装 — 绝缘、开关和控制

IEC 60664-1: 2002, 低压系统中设备的绝缘配合 — 第1部分：原则、要求和测试

IEC 61000-4-5: 1995, 电磁兼容（EMC） — 第4-5部分：试验和测量技术 — 浪涌抗扰度试验

IEC 61000-4-9: 1993, 电磁兼容（EMC） — 第4-9部分：试验和测量技术 — 脉冲磁场抗扰度试验

IEC 61000-4-10: 1993, 电磁兼容（EMC） — 第4-10部分：试验和测量技术 — 阻尼振荡磁场抗扰度试验

IEC 61000-5-2: 1997, 电磁兼容（EMC） — 第5部分：安装和调试指南 — 第2节：接地和布线

IEC 61643-1: 1998, 连接低压配电系统的浪涌保护装置 — 第1部分：性能要求和试验方法

IEC 61643-12: 2002, 低压浪涌保护装置 — 第12部分：连接低压配电系统的浪涌保护装置 — 选择和应用原则

IEC 61643-21: 2000, 低压浪涌保护装置 — 第21部分：连接通信和信号网络的浪涌保护装置 — 性能要求和试验方法

IEC 61643-22: 2004, 低压浪涌保护装置 — 第22部分：连接通信和信号网络的浪涌保护装置 — 选择和应用原则

IEC 62305-1, 雷电防护 — 第1部分：总则

IEC 62305-2, 雷电防护 — 第2部分：风险管理

IEC 62305-3, 雷电防护 — 第3部分：对建筑物的物理损害和生命危害

ITU-T建议K.20: 2003, 电信中心通信设备抗过电压和过电流的能力

ITU-T建议K.21: 2003, 用户终端通信设备抗过电压和过电流的能力

¹ 方括号中数字代表参考文献

3 名词和定义

以下及GB/TXXXX的其它部分给出的术语和定义适用于本标准。

3.1 电气系统 Electrical system

装有低压供电部件的系统。

3.2 电子系统 Electronic system

装有敏感电子部件的系统，如通信设备、计算机、控制和仪表系统、无线电系统、电力电子设备等。

3.3 内部系统 Internal system

建筑物内的电气和电子系统。

3.4 雷电电磁脉冲（LEMP） Lightning electromagnetic impulse

雷电流的电磁效应。

注：它包括传导浪涌及辐射脉冲电磁场辐射作用。

3.5 浪涌 Surges

由LEMP引起的，以过电压和/或过电流形态出现的瞬态波。

注：由LEMP引起的浪涌可来自于（局部）雷电流、设备回路的感应效应，以及位于浪涌保护器（SPD）下级的残余威胁。

3.6 额定冲击耐受电压水平（ U_w ） Rated impulse withstand voltage level

由制造商对设备或其某一部件认定的冲击耐受电压，表征其规定的对过电压的抗击穿能力。

注：本标准仅考虑带电导体和地之间的耐受电压（IEC 60664-1: 2002）

3.7 雷电防护水平（LPL） Lightning protection level

与概率相关的一组雷电流参数数值，其相关的最大和最小设计值不应当超过自然发生的雷电。

注：根据相关的一组雷电流参数，用雷电防护水平设计防护措施。

3.8 雷电防护区（LPZ） Lightning protection zone

规定雷电电磁场环境的区域。

注：雷电防护区的区域边界并不一定是物理边界（例如墙、地板和天花板）。

3.9 LEMP防护措施系统（LPMS） LEMP protection measures system

内部系统用来防护LEMP的完整防护措施系统。

3.10 格栅形空间屏蔽 Grid-like spatial shield

有开孔特征的磁屏蔽。

注：对建筑物或房间，适合用建筑物的自然金属构件相互连接来实现（例如混凝土中的钢筋、金属框架和金属支撑等）。

3.11 接地装置 Earth termination system

外部LPS的一部分，用于将雷电流传导和泄放到大地。

3.12 搭接网络 Bonding network

建筑物和内部系统所有导体部件（带电导体除外）与接地装置相互连接的网络。

3.13 接地系统 Earthing system

由接地装置和搭接网络组成的完整系统。

3.14 浪涌保护装置（SPD） Surge protective device

用以限制瞬态过电压和转移浪涌电流的装置，它至少包含一个非线性元件。（IEC 61643-1: 1998）。

3.15 用 I_{imp} 测试的SPD SPD tested with I_{imp}

耐受典型波形10/350 μ s的部分雷电流的SPD，要求一个相应的冲击试验电流 I_{imp} 。

注：对电力线路，合适的测试电流 I_{imp} 由IEC 61643-1的等级I测试程序定义。

3.16 用 I_n 测试的SPD SPD tested with I_n

耐受典型波形8/20 μ s的感应浪涌电流的SPD，要求一个相应的冲击试验电流 I_n 。

注：对电力线路，合适的测试电流 I_n 由IEC 61643-1的等级II测试程序定义。

3.17 用组合波测试的SPD SPD tested with a combination wave

耐受典型波形8/20 μ s的感应浪涌电流的SPD，要求一个相应的冲击试验电流为 I_{sc} 。

注：对电力线路，合适的组合波测试由IEC 61643-1的等级III测试程序定义，规定一个内阻2 Ω 的组合波发生器的开路电压为 U_{oc} 、波形为1.2/50 μ s，短路电流为 I_{sc} 、波形为8/20 μ s。

3.18 电压开关型SPD SPD-voltage switching type

无浪涌时呈高阻抗值，但一旦响应电压浪涌时，其阻抗突然变为低值的SPD。

注1：用作电压开关型装置的常见器件有：放电间隙、气体放电管（GDT）、晶闸管（可控硅整流器）和三端双向可控硅。有时称这种SPD为“急剧短路型”SPD。

注2：电压开关器件有不连续的电压/电流特性。

（IEC 61643-1: 1998）

3.19 限压型SPD SPD-voltage limiting type

无浪涌时呈高阻抗值，但随着浪涌电流和浪涌电压的增加，其阻抗会不断减小的SPD。

注1：用作非线性装置的常见器件有：压敏电阻和抑制二极管。这些SPD有时称为“箝位型”SPD。

注2：限压器件有连续的电压/电流特性。

（IEC 61643-1: 1998）

3.20 组合型SPD SPD-combination type

将电压开关型组件和限压型组件组装在一起的SPD，根据外施电压的特性，SPD显示出电压开关特性、限压特性或者同时具有电压开关特性和限压特性。

（IEC 61643-1: 1998）

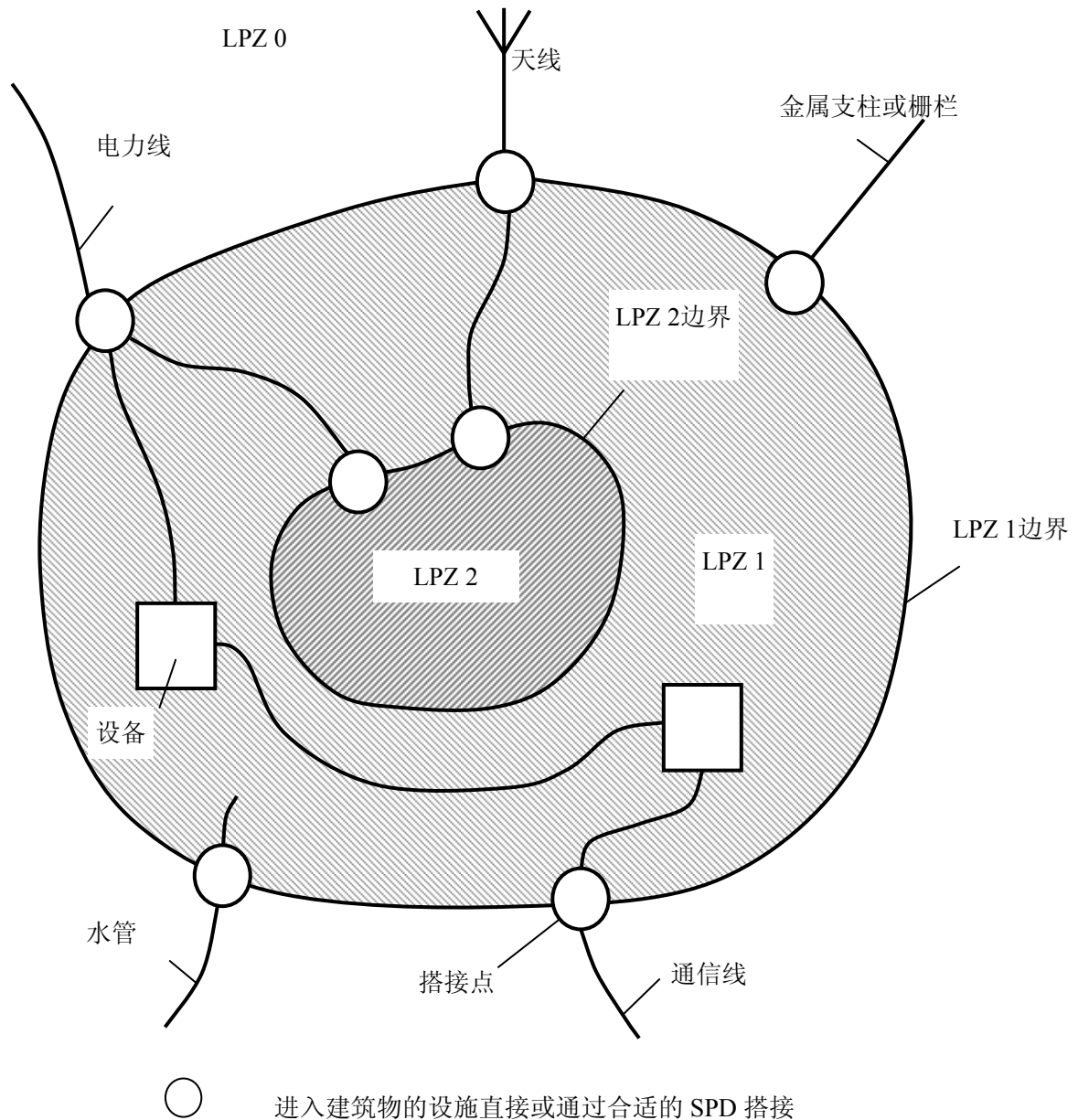
3.21 协调配合的SPD防护 Coordinated SPD protection

一组经过适当选择、配合和安装，用于减少电气和电子系统的SPD。

4 LEMP 防护措施系统 (LPMS) 的设计和安装

雷电电磁脉冲 (LEMP) 会危及电气和电子系统, 因此应采取 LEMP 防护措施以避免建筑物内部的电气和电子系统失效。

对 LEMP 的防护是基于雷电防护区 (LPZ) 概念: 容纳被保护系统的空间可划分成 LPZ。这些区域是理论上指定的空间, 某空间的 LEMP 严重程度和该空间内的内部系统的耐受水平相匹配 (参见图 1)。根据 LEMP 强度的显著变化划分连贯的区域。LPZ 的边界由采用的防护措施来定义 (参见图 2)。



注: 本图是一个建筑物划分内部 LPZ 的示例。所有进入建筑物的金属公共设施采用搭接母线在 LPZ1 边界做搭接。同时, 进入 LPZ2 (例如计算机机房) 的金属公共设施采用搭接母线在 LPZ2 边界做搭接。

图1 划分不同 LPZ 的基本原则

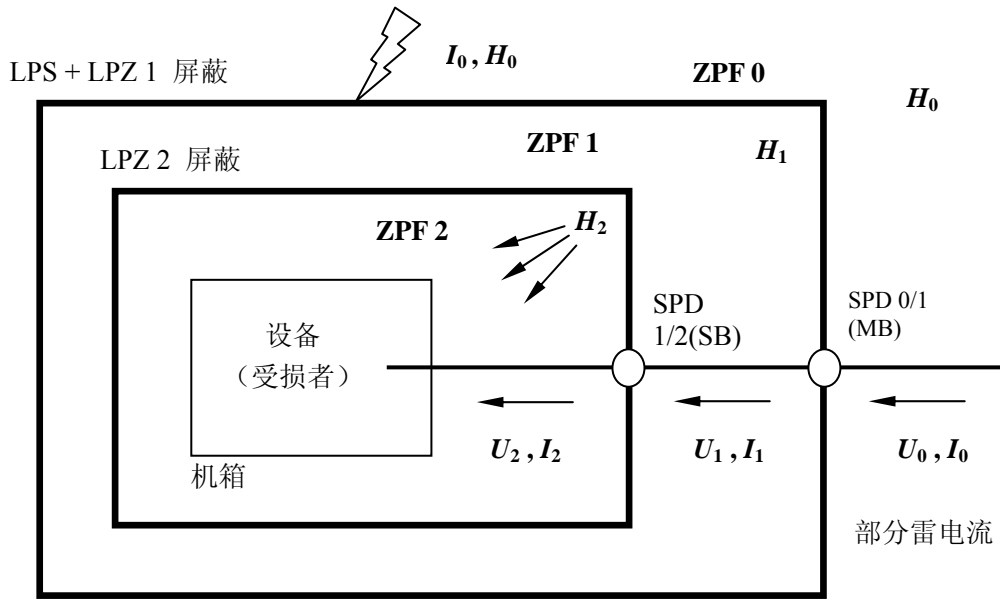


图 2a 采用空间屏蔽和“协调配合的 SPD 防护”的 LPMS
 —对于传导浪涌 ($U_2 \ll U_0$ 和 $I_2 \ll I_0$) 和辐射磁场 ($H_2 \ll H_0$), 设备得到良好的防护

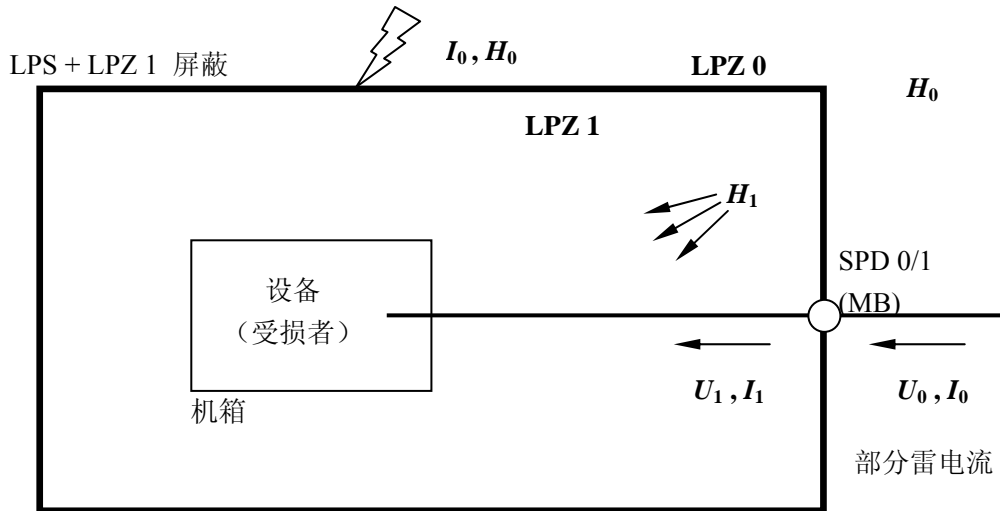


图 2b 采用 LPZ 1 空间屏蔽和 LPZ 1 入口 SPD 防护的 LPMS
 —对于传导浪涌 ($U_1 < U_0$ 和 $I_1 < I_0$) 和辐射磁场 ($H_1 < H_0$), 设备得到防护

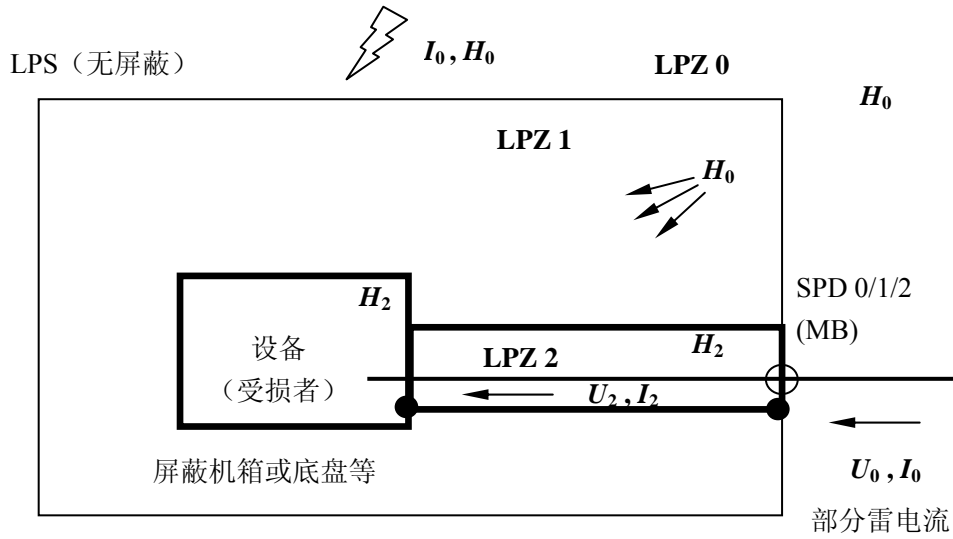


图 2c 采用内部线路屏蔽和 LPZ 1 入口 SPD 防护的 LPMS
—对于传导浪涌 ($U_2 < U_0$ 和 $I_2 < I_0$) 和辐射磁场 ($H_2 < H_0$), 设备得到防护

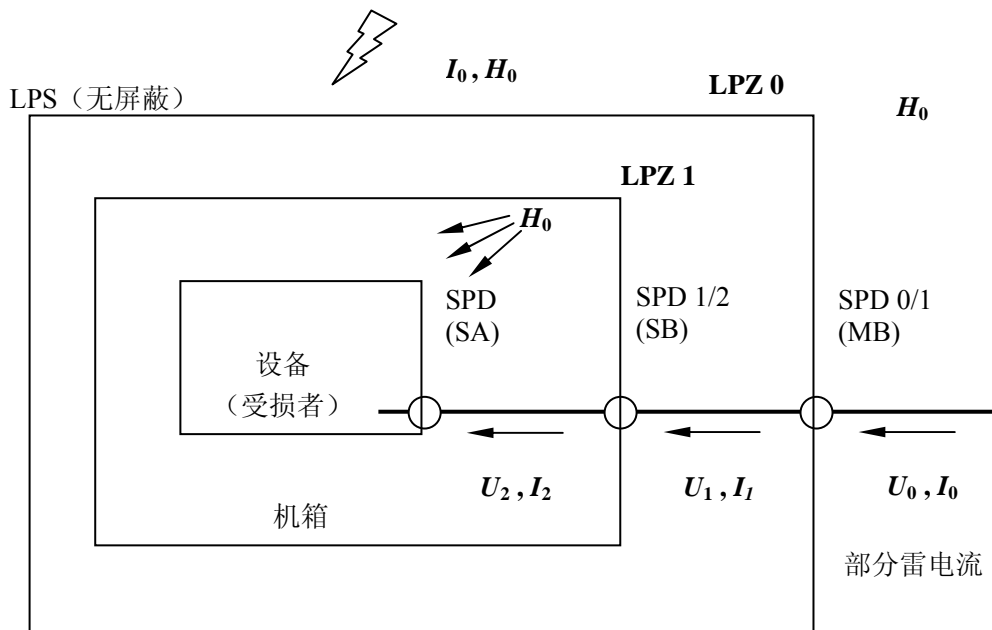


图 2d 仅采用“协调配合的 SPD 防护”的 LPMS
—对于传导浪涌 ($U_2 \ll U_0$ 和 $I_2 \ll I_0$), 设备得到防护; 但对于辐射磁场 (H_0) 却无防护作用

注 1: SPD 可以位于下列位置 (参阅 D.1.2):

- LPZ 1 边界上 (例如主配电盘 MB);
- LPZ 2 边界上 (例如次配电盘 SB);
- 或者靠近设备处 (例如电源插孔 SA)。

注 2: 详细的安装规则参阅 IEC 60364-5-53。

注 3: 屏蔽 (——) 和非屏蔽 (——) 的界面。

图 2 LEMP 防护措施系统 (LPMS) 示例

使电气和电子设备永久失效的LEMP可由下列因素产生：

- 通过连接导线传输给设备的传导和感应浪涌；
- 辐射电磁场直接作用于设备上的效应。

注1：符合相关EMC产品标准规定的无线频率发射测试和抗扰度测试的仪器设备，电磁场直接作用于设备引起的失效可以忽略。

注2：对于不符合相关EMC产品标准的仪器设备，附录A提供了如何对电磁场直接作用于仪器设备本身进行防护的资料。这些仪器设备对辐射磁场的耐受水平依据IEC 61000-4-9和IEC 61000-4-10选取。

4.1 LPMS 设计

通过LPMS设计，可以实现设备对于浪涌和辐射电磁场的防护。以图2为例：

——图2a所示，一个采用了空间屏蔽和“协调配合的SPD防护”的LPMS，能对辐射电磁场和传导浪涌进行防护。格栅形空间屏蔽和协调配合的SPD可以将磁场和浪涌的威胁减少到较低水平。

——图2b所示，LPZ 1采用空间屏蔽和LPZ 1入口采用SPD的LPMS，可以使设备对辐射电磁场和传导浪涌进行防护。

注1：对于磁场保持较高值（由于LPZ1的屏蔽效果差），或者浪涌幅度仍然很高（由于SPD防护水平太高及SPD下级线路上的感应作用）的情况，防护效果将不够充分。

——图2c所示，采用屏蔽线路和屏蔽外壳设备的LPMS，可以对辐射电磁场进行防护；LPZ 1入口SPD将对传导浪涌进行防护。为了使浪涌威胁达到较低水平，可能需要特殊的SPD（例如在内部增加协调配合的级数），以达到足够低的电压防护水平。

——图2d所示，使用“协调配合的SPD防护”体系的LPMS，由于SPD只能对传导浪涌进行防护，因此仅适用于防护对辐射电磁场不敏感的设备。使用协调配合的SPD可以使浪涌威胁达到较低水平。

注2：图2a至图2c的解决方案，特别建议用于不符合相关EMC产品标准规定的仪器设备。

注3：根据IEC 62305-3规定，仅采用等电位搭接SPD的LPS，不能防止敏感电气和电子系统失效。可以减小网眼尺寸和选择合适的SPD来改进LPS，使其成为LPMS的有效组成部分。

4.2 雷电防护区（LPZ）

根据雷电威胁程度，定义了如下的雷电防护区LPZ（参见IEC 62305-1）：

外部区域

LPZ 0 该区域中，威胁来自于未衰减的雷电电磁场。内部系统可能遭遇全部或部分雷电浪涌电流。LPZ 0 又分为：

LPZ 0_A 该区域中，威胁来自于直击雷和全部雷电电磁场。内部系统可能遭遇全部雷电浪涌电流。

LPZ 0_B 该区域中，对直击雷进行了防护，但受到全部雷电电磁场威胁。内部系统可能遭遇部分雷电冲击电流。

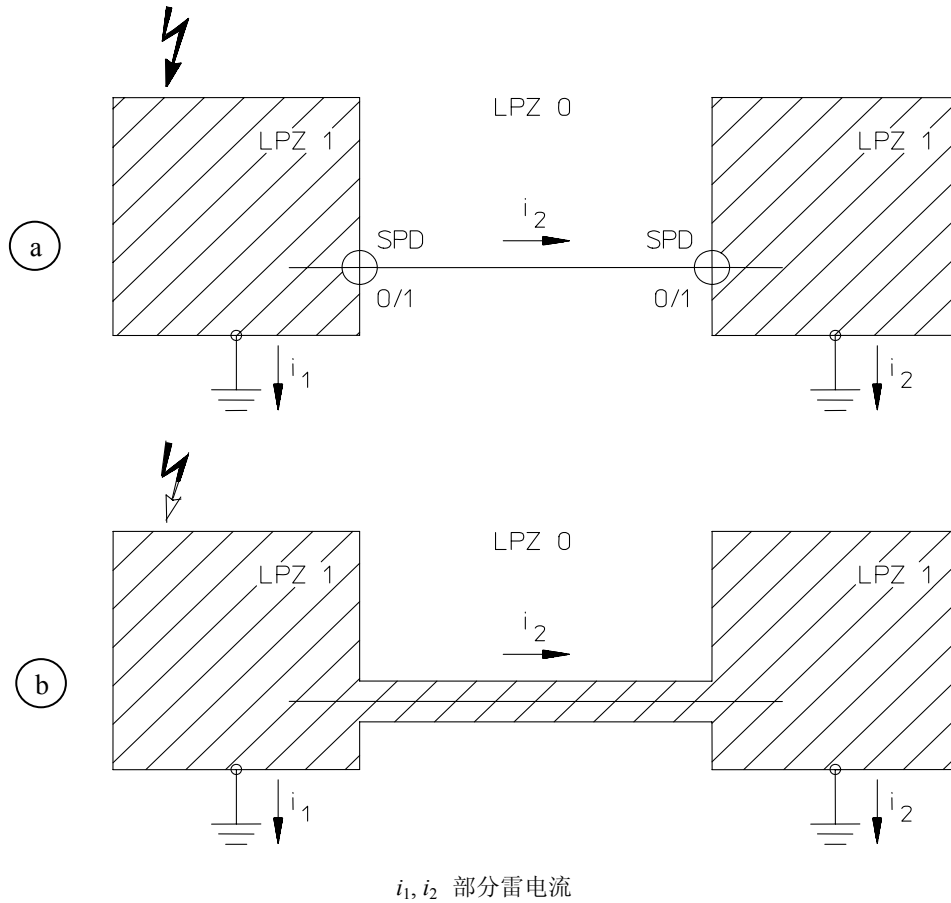
内部区域（直击雷防护区）

LPZ 1 该区域浪涌电流通过边界上的分流和SPD得到限制。空间屏蔽能衰减雷电电磁场。

LPZ 2...n 该区域浪涌电流通过边界上的分流和附加SPD得到进一步限制。附加的空间屏蔽能用来进一步衰减雷电电磁场。

LPZ由安装LPMS来实现，例如，安装协调配合的SPD和/或磁场屏蔽（参见图2）。根据被保护设备的编号、类型和耐受水平，可以规定适当的LPZ，包括小的局部区域（例如设备机箱）或者大的完整区域（例如完整的建筑物空间）（参见图B.2）。

如果两个分隔的建筑物由电力线或信号线连接在一起，或者为了减少所需SPD的数目，有必要将相同序号的LPZ互连起来（参见图3）。

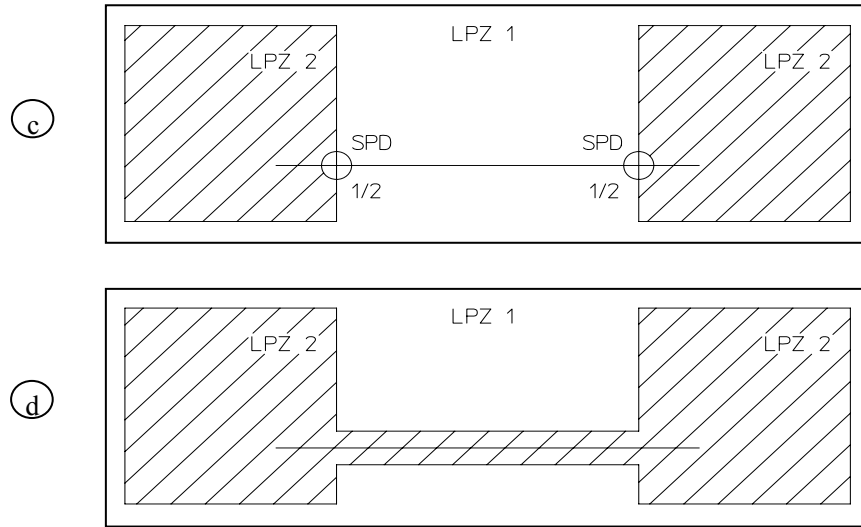


注：图 3a 表示两个 LPZ 1 用电力线或信号线连接。应特别注意两个 LPZ 1 分别代表有独立接地系统的相距数十米或数百米的建筑物的情况。这种情况，大部分雷电流会沿着连接线流动，未被防护。

图 3a 采用 SPD 互连两个 LPZ 1

注：图 3b 表示该问题可以利用屏蔽电缆或屏蔽电缆管道连接两个 LPZ 1 来解决，前提是屏蔽层可以携带部分雷电流。若沿屏蔽层的电压降不太大，可以免装 SPD。

图 3b 采用屏蔽电缆或屏蔽电缆管道互连两个 LPZ 1



注：图 3c 表示两个 LPZ 2 用电力线或信号线连接。由于线路暴露在 LPZ 1 的威胁水平内，在进入每个 LPZ 2 时需要安装 SPD。

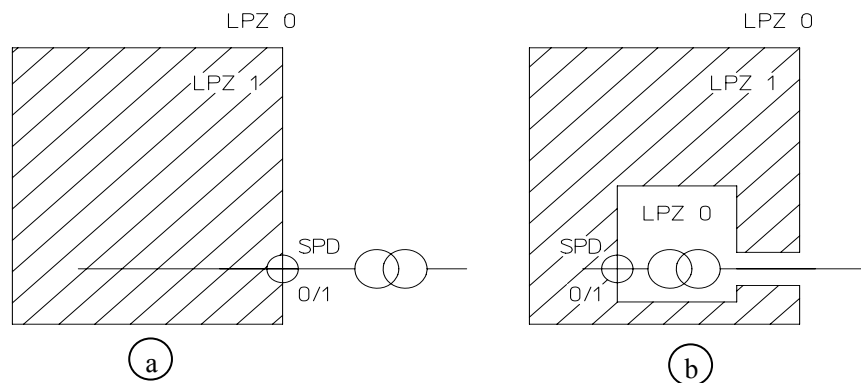
图 3c 采用 SPD 互连两个 LPZ 2

注：图 3d 表示若将两个 LPZ 2 用屏蔽电缆或屏蔽电缆管道互连，可以避免干扰，并免装 SPD。

图 3d 采用屏蔽电缆或屏蔽电缆管道互连两个 LPZ 2

图3 雷电防护区互连示例

在某些特殊情况下或者为了减少所需SPD的数目，也需要将一个LPZ扩展进另一个LPZ（参见图4）。对LPZ的电磁环境的详细计算参见附录A。

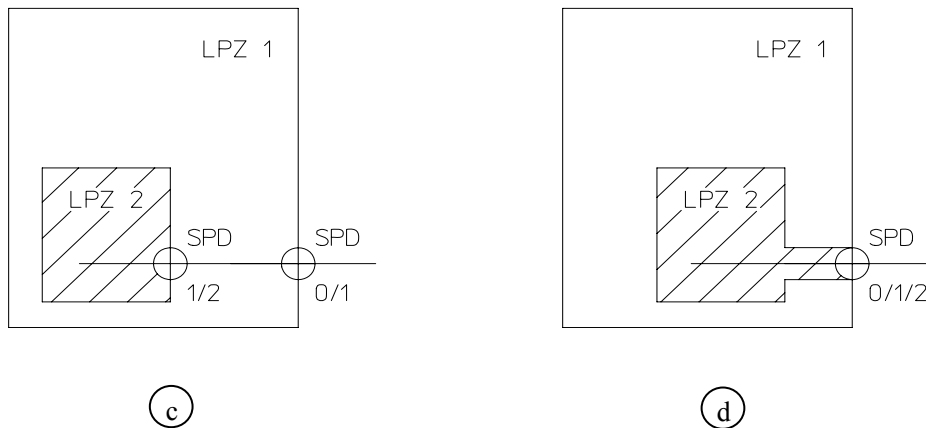


注：图 4a 表示用变压器供电的建筑物。若变压器安装在建筑物外部，只有进入建筑物的低压线路需要用 SPD 防护。若变压器必须安装在建筑物内部，往往不允许房主在变压器高压侧采取防护措施。

图 4a 变压器在建筑物外部

注：图 4b 表示该问题可以通过将 LPZ 0 扩展进 LPZ 1 来解决，这时仍然需要仅在低压侧加装 SPD。

图 4b 变压器在建筑物内部（LPZ 0 扩展到 LPZ 1）



注：图 4c 表示用电力线或信号线连接的 LPZ 2。该线路上需要两个协调配合的 SPD：一个安装在 LPZ 1 边界上，另一个安装在 LPZ 2 边界上。

图 4c 需要协调配合的两个 SPD(0/1)和 SPD(1/2)

注：图 4d 表示若用屏蔽电缆或屏蔽电缆管道将 LPZ 2 扩展到 LPZ 1，线路就能够直接进入 LPZ 2，此时仅需要一个 SPD。此 SPD 能直接将威胁降低到 LPZ 2 的水平。

图 4d 仅需一个 SPD(0/1/2) (LPZ 2 扩展到 LPZ 1)

图4 扩展雷电防护区示例

4.3 LPMS 基本防护措施

对LEMP的基本防护措施包括：

——接地和搭接（参见第 5 节）

接地装置将雷电流传导并泄放到大地上。

搭接网络将最大程度地降低电势差，减少磁场。

——磁屏蔽和布线（参见第 6 节）

空间屏蔽衰减了雷电直击建筑物或其附近而在LPZ内部产生的磁场，并减少了内部浪涌。

使用屏蔽电缆或屏蔽电缆管道屏蔽内部线路，最大限度地减少了感应浪涌。

内部线路合理布线能够最大限度地减少感应回路，从而减小内部浪涌。

注1：空间屏蔽、内部线路屏蔽和合理布线可以同时使用，也可以单独使用。

进入建筑物的外部线路屏蔽减少了传导到内部系统的浪涌。

——协调配合的 SPD 防护（参见第 7 节）

协调配合的SPD防护限制了外部和内部浪涌。

应始终确保接地和搭接，特别是在进入建筑物的入口处，将每个导电设施直接或通过等电位连接的 SPD 进行搭接。

注2：根据IEC 62305-3标准的雷电等电位搭接（EB）仅能对危险放电进行防护。根据GBXXXX的本部分，内部系统对浪涌进行防护需要协调配合的SPD防护。

其它LEMP防护措施可以单独或配合使用。

LEMP防护措施应能耐受安装地点的各种工况影响（例如，温度、湿度、大气污染、震动、电压和电流的影响）。

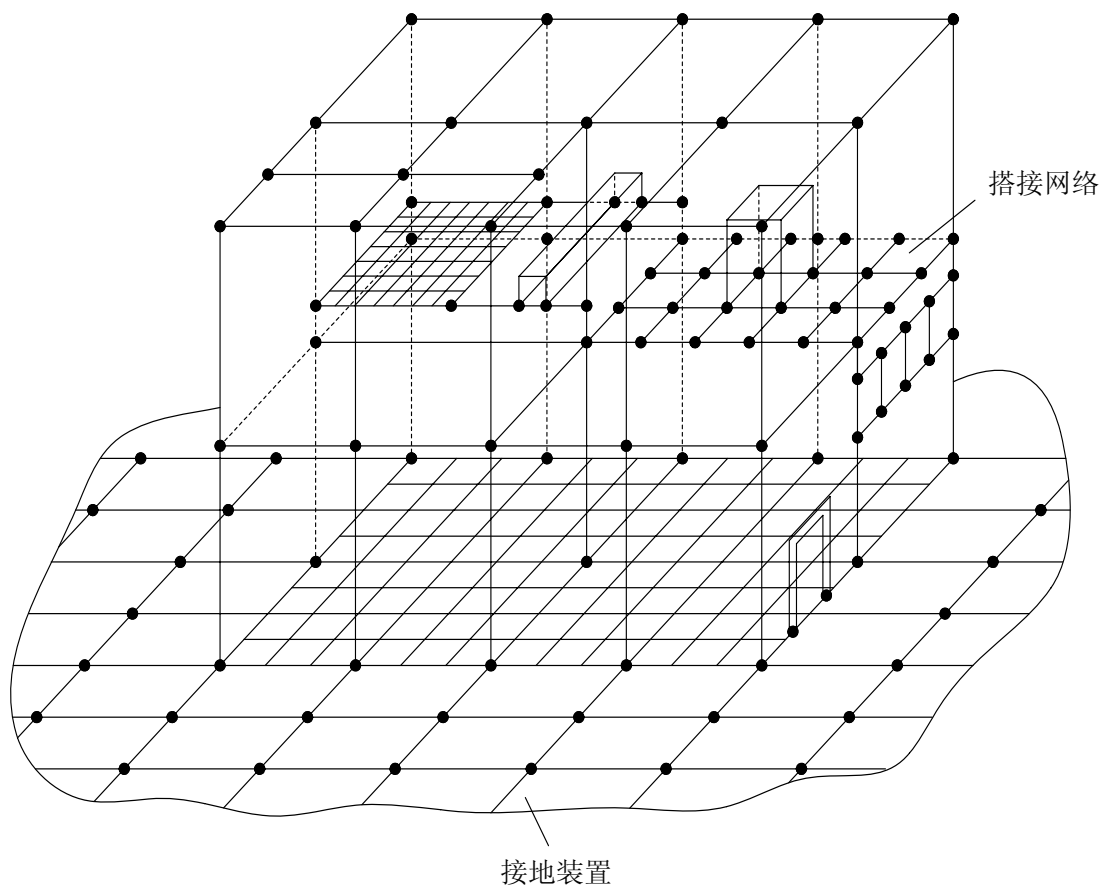
确定选择最合适的LEMP防护措施，应基于GBXXXX-2进行风险评估，充分考虑技术和经济因素。附录B提供了对既有建筑内电子系统实现LEMP防护措施的实用资料。

注3：实现LEMP防护措施的进一步资料可在IEC 60364-4-44中找到。

5 接地和搭接

合理的接地和搭接基于一个完整的接地系统（参见图5），它包括：

- 接地装置（将雷电流泄放到大地）；
- 搭接网络（最大程度地降低电势差，减少磁场）。



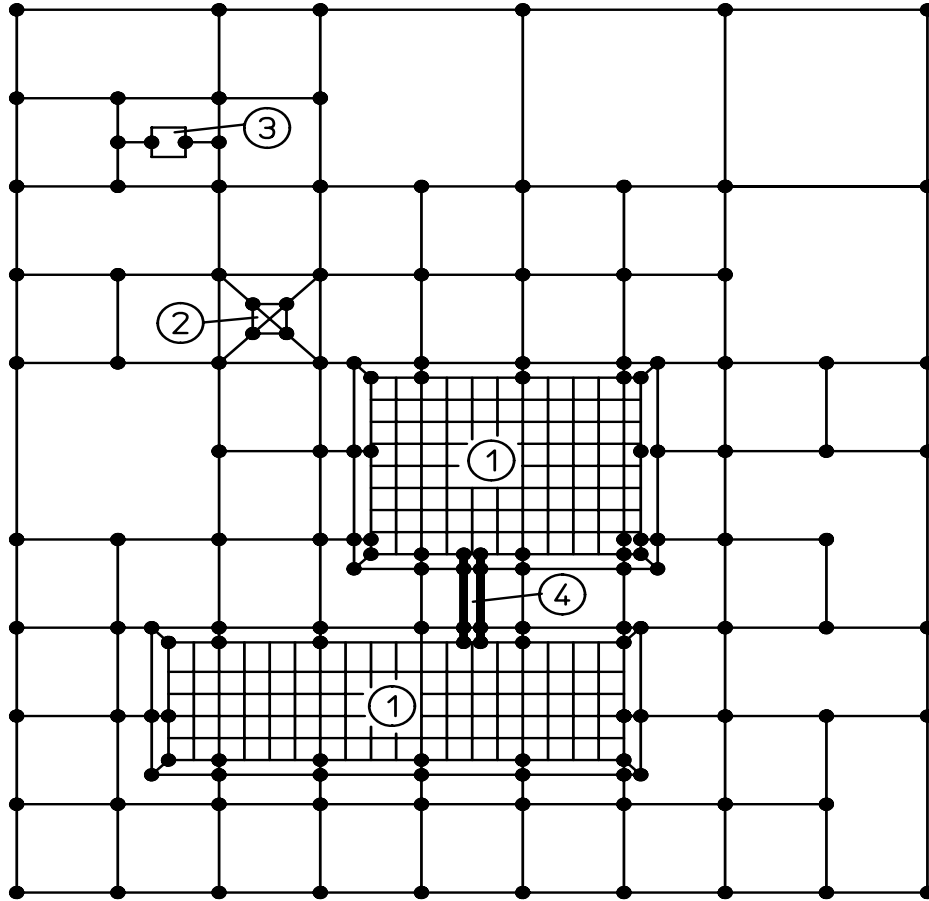
注：图中所示连接，既有被搭接的建筑物金属构件，又有实现搭接的连接件。其中部分连接会将雷电流截取、传导并泄放到大地。

图5 搭接网络与接地装置连接构成三维接地系统的示例

5.1 接地装置

建筑物接地装置应该满足GB/TXXXX-3的要求。在只有电气系统的建筑物内，可以采用A类接地方式，但采用B类接地方式更加理想。在有电子系统的建筑物内，建议采用B类接地方式。

建筑物周围或者在建筑物地基周围混凝土中的环形接地极,应该与建筑物下方和周围的网格形接地网相结合,网络的典型宽度为5m。这将大大改善接地装置的性能。如果建筑物地下室地面中的钢筋混凝土构成了相互连接良好的网格,也应每隔5m(典型值)和接地装置相连接。图6给出了一个工厂的网格形接地装置。



- 注：1 具有网格型钢筋架的建筑物
2 工厂内部的塔
3 孤立的设备
4 电缆架

图6 工厂的网格型接地装置

对于分别与独立接地系统连接的两个内部系统,应该采取如下措施来减小两者的电势差:

- 电力电缆或信号电缆敷设在网格型钢筋混凝土管道(或金属管道)内时,在同一路径上用一些平行导体将两个接地装置连为一体;
- 使用具有足够截面积的屏蔽电缆,电缆两端分别连接两个独立接地系统。

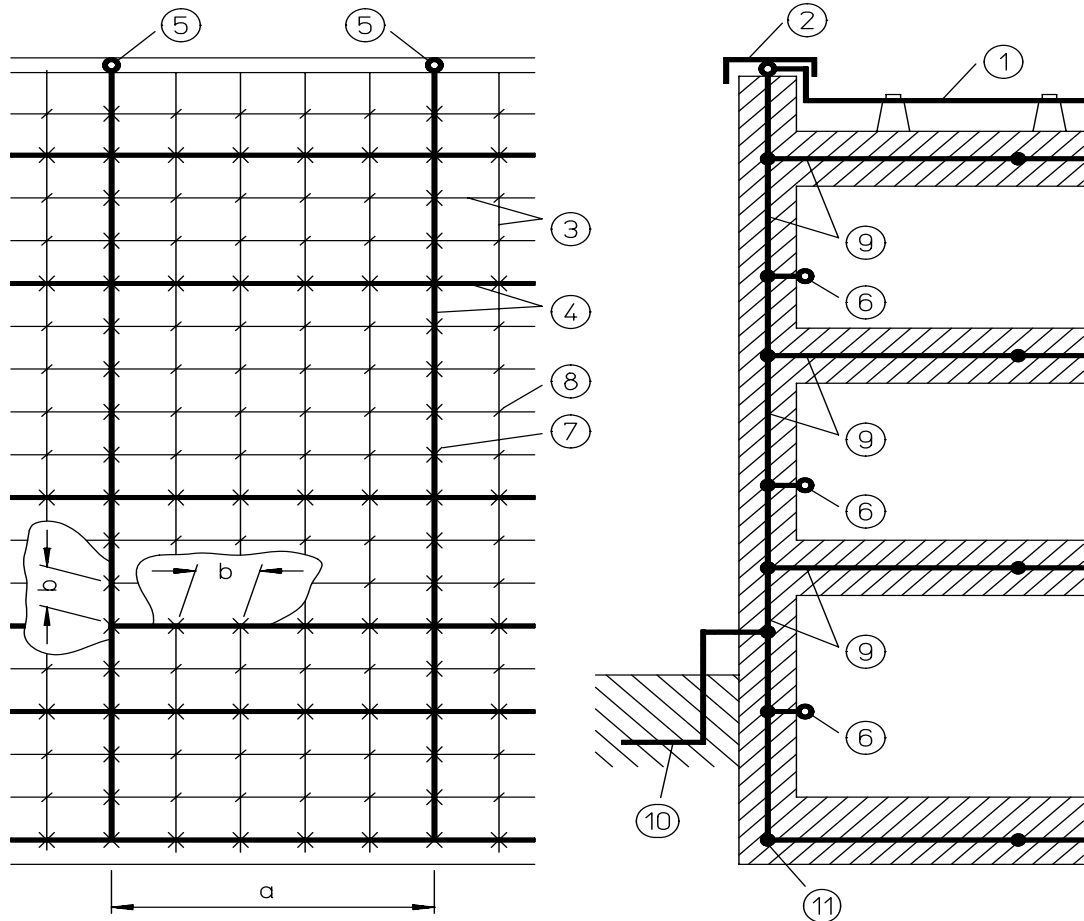
5.2 搭接网络

为了避免LPZ区域内设备内部出现危险的电势差,必须使用低阻抗的搭接网络,同时也能减小磁场(参见附录A)

网格形的搭接网络可以由建筑物的导电部件或者内部系统的部件构成,并且在每个LPZ的边界将所有金属部件或导电设施直接或通过合适SPD进行搭接。

搭接网络可以布置成三维的网格状结构，网络的典型宽度为5m（参见图5）。需要对建筑物内部及建筑物上的金属部件（如混凝土钢筋，电梯导轨，吊架，金属屋顶，金属墙面，门窗的金属框架，金属地板框架，管道和线槽）进行多重相互连接。同样需要对搭接母线（如环形母线，建筑物不同楼层间的连接母线）以及LPZ的磁屏蔽层进行类似的连接。

图7和图8给出了一个搭接网络的示例。

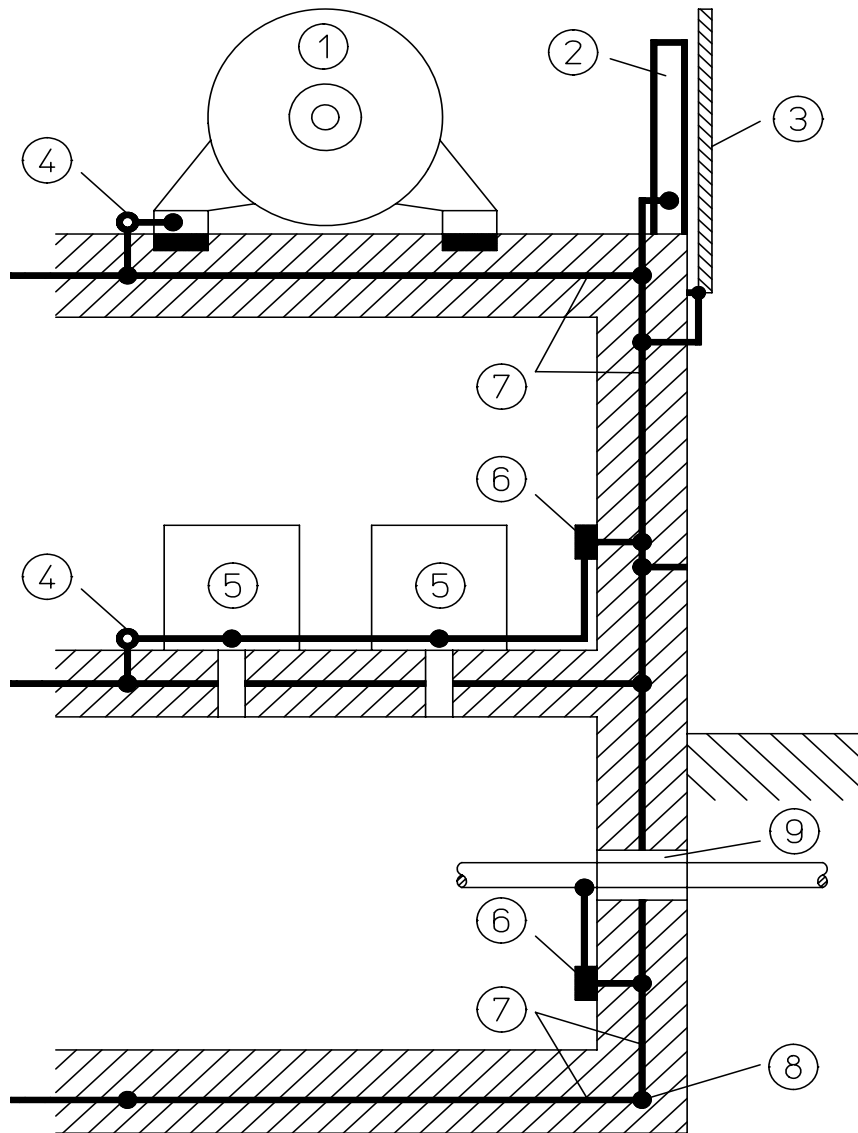


- 注：1 接闪器导体
 2 屋顶护墙的金属层
 3 钢筋
 4 迭加在钢筋上的网格形导体
 5 网状导体的接头
 6 为内部搭接母线准备的接头
 7 焊接或卡接
 8 任意连接
 9 混凝土中的钢筋（有迭加的网格形导体）
 10 环形接地电极（有可能有，也有可能无）
 11 基础接地体

a 迭加的网状格形导体典型的宽度为 5m

b 钢筋网络的典型宽度为 1m

图7 利用建筑物钢筋进行等电位搭接



- 注：1 电力设备
 2 钢梁
 3 建筑物正面的金属板
 4 搭接接头
 5 电气或电子设备
 6 搭接母线
 7 混凝土中的钢筋（有迭加的网格形导体）
 8 基础接地体
 9 各种公共设施的公共入口

图8 钢筋结构建筑物内的等电位搭接

导电部件（如机柜、机箱和机架）和内部系统的保护地线（PE）必须按照如下配置结构与搭接网络进行连接（参见图9）。

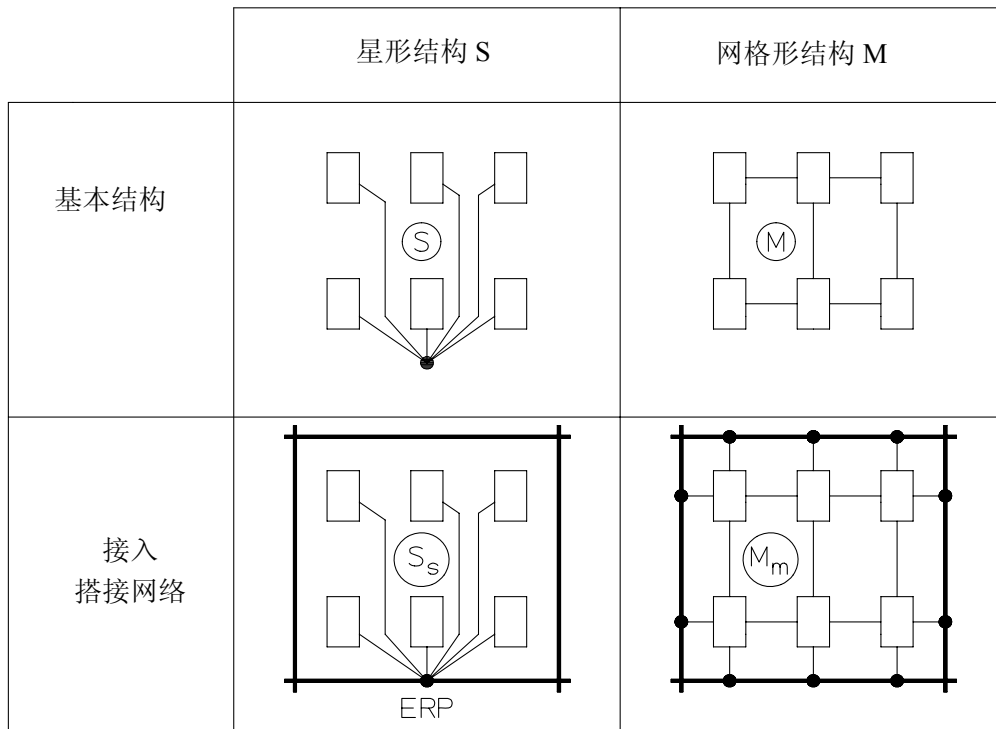


图9 电子系统接入搭接网络

采用星形结构时，内部系统所有的金属导体（如机柜、机箱和机架）与接地系统独立，仅通过作为接地参考点（ERP）的唯一搭接母线与接地系统连接，形成S_s型单点搭接的星形结构。当采用星形结构时，单个设备的所有连线必须与搭接导体平行，避免形成感应回路。当内部系统处于一个较小的区域，并且所有线路仅在一点进入区域时，适合采用星形连接。

采用网格形结构时，内部系统所有的金属导体（如机柜、机箱和机架）不必独立于接地系统，而是应该通过多个搭接点与接地系统连接，形成M_m型网状搭接的网格形结构。当内部系统分布于较大区域或者整个建筑内，设备之间有许多线路，并且通过多点进入建筑物时，适合采用网格形结构。

在一个复杂系统中，可以结合两种结构（星形和网格形）的优点进行使用，如图10所示，构成组合1型（S_s结合M_m）和组合2型（M_m结合S_s）。

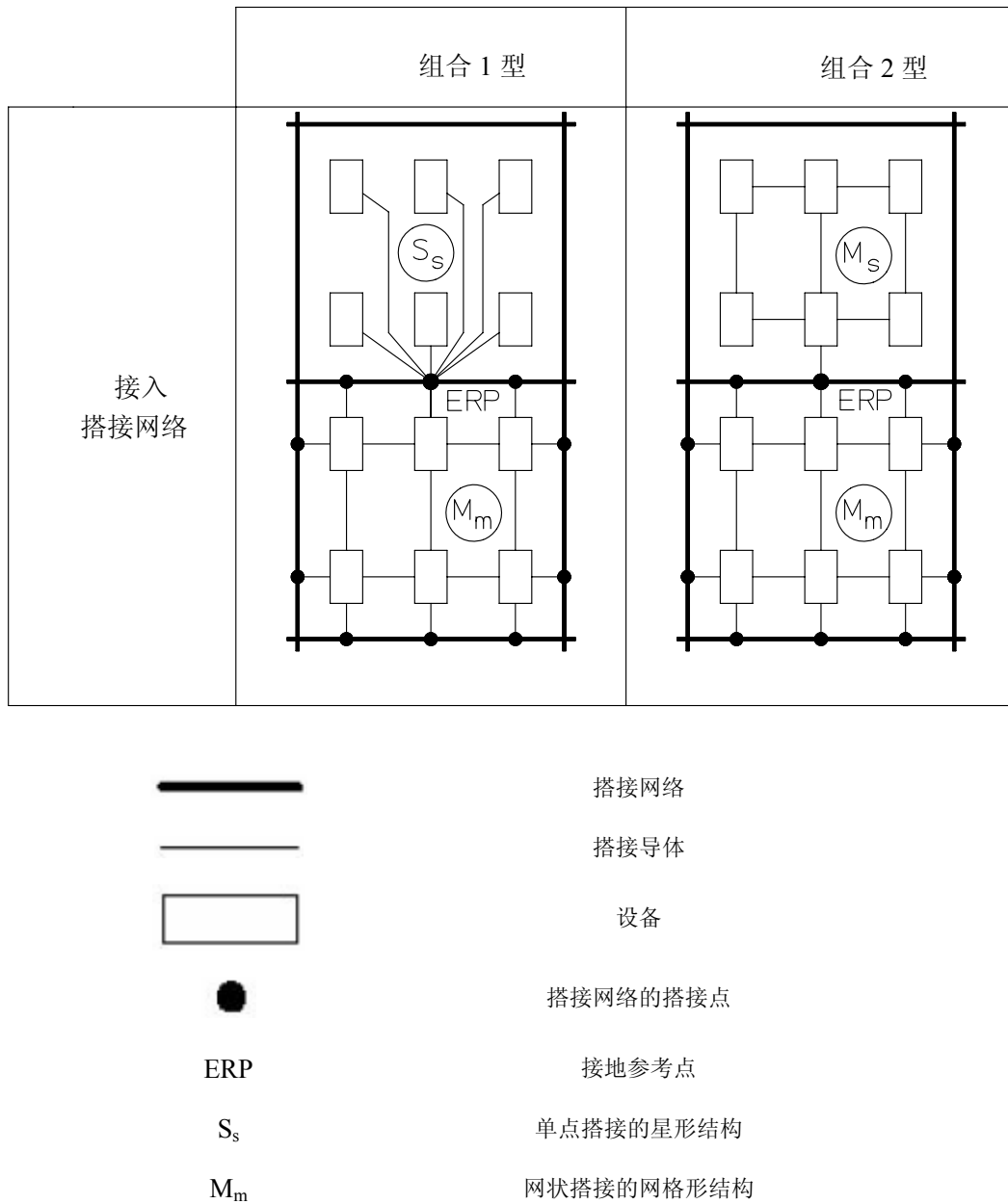


图10 电子系统接入搭接网络的组合方式

5.3 搭接母线

下列情况必须使用搭接母线：

- 所有导电设施进入 LPZ（直接或者通过合适的 SPD 进行连接）；
- 保护地线 PE；
- 内部系统的金属部件（如机柜，机箱和机架）；
- 建筑物外表面或者内部的磁屏蔽。

为了实现有效的搭接，必须遵守下列安装原则：

- 所有搭接措施的基础条件是一个低阻抗的搭接网络；
- 搭接母线通过尽可能短的路径连接到接地系统（连接导体长度小于 0.5m）；
- 搭接母线和导体的材料及尺寸必须遵守 GB/TXXXX 的本部分的 5.5 节的要求；

- SPD 与搭接母线和带电导体之间的连接线必须尽可能短，从而使感应电压降最小化；
- 位于 SPD 后级的被保护电路，应当尽可能减小回路面积或者使用屏蔽电缆或电缆管道，从而使互感降到最低。

5.4 LPZ 边界处的搭接

在定义了LPZ的区域，所有金属部件和设施（例如金属管道、电力线或信号线）在穿越LPZ边界时必须搭接。

注：对进入LPZ1区域的设施进行搭接时，应当与设施网络提供部门（如电力和电信主管部门）进行协商，因为有可能与这些部门的要求存在冲突。

搭接应当通过搭接母线完成，安装点应尽可能靠近LPZ边界上的入口处。

如果可能的话，所有接入设施应该在同一位置进入LPZ，并连接到同一搭接母线上。如果设施通过不同位置进入LPZ，则每一个设施都应当连接到搭接母线，并且所有的搭接母线应当连接到一起。为此，建议采用环形搭接母线。

在LPZ入口处，通常采用等电位搭接的SPD将接入线路（与LPZ区域内的内部系统相连）连接到搭接母线。利用互连或者延伸的LPZ可以减少SPD的数量。

搭接到每个LPZ边界的屏蔽电缆或者互连金属电缆管道，可以用来将同级别的一些LPZ连接成为一个共同的LPZ，也可以用来将一个LPZ扩展到下一个LPZ的边界。

5.5 搭接部件的材料和尺寸

搭接部件的材料、尺寸和条件应该符合GB/TXXXX-3。搭接部件最小的截面积必须符合表1的要求。

电流钳的尺寸必须根据相应的LPL雷电流值（参见IEC 62305-1）和电流分流的分析值（参见附录B及GB/TXXXX-3）。

SPD的尺寸应当符合第7章的要求。

表1 搭接部件的最小截面积

搭接部件		材料	截面积 (mm ²)
搭接母线（铜或镀锌钢）		铜，铁	50
搭接母线之间及搭接母线与接地系统之间的连接导体		铜	14
		铝	22
		铁	50
搭接母线与内部金属设施之间的连接导体		铜	5
		铝	8
		铁	16
与 SPD 连接的导体	等级 I	铜	5
	等级 II		3
	等级 III		1
注：代替铜的其它材料应当具有等效的截面积			

6 磁屏蔽和布线

磁屏蔽能够减小电磁场和内部感应浪涌的幅值。内部线路的合理布线可以减小内部感应浪涌的幅值。这两种措施都可以有效地防止内部系统的永久失效。

6.1 空间屏蔽

空间屏蔽规定的防护区，可以是整个建筑、部分建筑、一间房或者仅仅是设备的机箱。这些区域可以用网状或者连续的金属屏蔽层，也可以是包含建筑物的“自然部件”（参见GB/TXXXX-3）。

当对建筑物内规定区域进行保护比对多个设备分别单独保护更加实用和有效时，建议采用空间屏蔽。应当在新建筑物或者新设内部系统的规划阶段考虑空间屏蔽。对既有设备进行更新可能会提高成本或者增加技术难度。

6.2 内部线路屏蔽

内部线路屏蔽局限于被保护系统的线路和设备，可以采用金属屏蔽电缆，密闭的金属电缆管道，以及金属设备壳体。

6.3 内部线路布线

合理的内部布线可以最大程度减小感应回路的面积，从而减少建筑物内部浪涌的产生。将电缆放在靠近建筑物天然接地部件的位置，或者将信号线与电源线相邻布线，可以将感应回路的面积减到最小。

注：为了避免干扰，需要在电源线和非屏蔽信号线间留出一定的距离。

6.4 外部线路屏蔽

对进入建筑物的线路采取的屏蔽包括：电缆的屏蔽层，密闭的金属电缆管道以及混凝土与钢筋互连的电缆管道。对外部线路进行屏蔽是有效的，但通常不在LPMS规划者的职权范围内（因为外部线路的所有者一般属于网络提供商）。

6.5 磁屏蔽的材料和尺寸

在LPZ 0_A和LPZ 1的边界，磁屏蔽（例如格栅形空间屏蔽，电缆屏蔽层和设备外壳）的材料和尺寸应当与GB/TXXXX-3中对于接闪器和/或引下导体的要求一致。特别是：

- 金属外壳、金属管道、金属导管和电缆屏蔽层的最小厚度应当符合 GB/TXXXX-3 表 3 中的规定；
 - 网状空间金属网格的布置及其导体的最小截面积应当符合 GB/TXXXX-3 表 6 中的规定。
- 由于磁屏蔽的目的不是用来承载雷电流，下列情况不需要满足GB/TXXXX-3表3和表6中的尺寸要求：
- 在 LPZ1/2 或者更高级别防护区的边界，并已经充分考虑磁屏蔽与 LPS 之间的间隔距离 s （参见 GB/TXXXX-3 的 6.3 节）；
 - 在 LPZ 的边界，如果雷击建筑物的风险因素 R_d 可以忽略时（参见 GB/TXXXX-2）

7 协调配合的 SPD 防护

对于内部系统的浪涌防护，需要采用系统的方法，其中包含对于电源和信号线能协调配合的SPD。电源线路和信号线采用SPD协调配合的方法基本相同（参见附录C），但是由于电子系统及其性能的极端多样性（模拟或数字，直流或交流，低频或高频），其协调配合的SPD防护系统的选择和安装规则也不同于仅适用电气系统的SPD。

在一个采用雷电防护区概念并定义了一个以上LPZ（LPZ 1，LPZ 2等）的LPMS里，SPD至少应当位于进入每个LPZ的线路入口（参见图2）。

在仅使用一个LPZ 1的LPMS里，至少应在进入LPZ 1的线路入口安装SPD。

在上述两种情况下，如果SPD的安装位置与被保护设备之间的距离过长，需要安装额外的SPD（参见附录D）。

SPD的测试需要符合以下要求：

- 电源系统满足 IEC 61643-1；
- 通信和信号系统满足 IEC 61643-21。

对选择和安装协调配合的SPD防护，需要符合以下要求：

- 电源系统的防护满足 IEC 61643-12 和 IEC 60364-5-53 的要求，
- 通信和信号系统满足 IEC 61643-22 的要求。

附录D给出了关于选择和安装协调配合的SPD防护的一些基本信息。

附录E和GB/TXXXX-1中给出了关于在建筑物不同点安装SPD需要考虑的雷电浪涌幅值的信息。

8 LPMS 系统管理

为了达到投资成本低，防护效果好的目的，针对建筑物内部系统的防护系统设计应当在建设开工前的规划阶段进行。这样可以优化利用建筑物自然部件的特点，选择出最佳的折衷方案进行线缆布局和设备。

对既有建筑物的雷电防护措施进行改进，其成本通常要高于新建筑物。但是，通过合理选择LPZ或者使用已有的防护设备以及对这些防护设备进行升级，可以降低投资成本。

只有遵循下列要求，才能达到理想的防护效果：

- 由防雷专家提供防护方案；
- 建筑、雷电防护等不同行业的专家之间存在的良好的合作（例如建筑工程师和电气工程师）；
- 遵循 GB/TXXXX 的本部分的 8.1 节给出的管理计划。

LPMS必须通过维护和检查进行保养。在对建筑物或者防护措施进行改变后，需要重新进行风险评估。

8.1 LPMS 管理计划

LPMS的规划和协调需要有管理计划（参见表2），该管理计划首先需要进行初次风险评估（IEC 62305-2），从而决定把风险降到可接受水平所需要采取的防护措施。为此，需要定义雷电防护区。

表2 新建建筑物和既有建筑物变更结构或用途时的 LPMS 管理计划

步骤	目标	采取的措施
初次风险分析 ¹⁾	检验 LEMP 的防护需求 如果需要，利用风险评估法选择合理的 LMPS 防护措施	防雷专家 ²⁾ 业主
末次风险分析 ¹⁾	再次利用风险评估法对被选用防护措施的成本效益比进行优化，同时定义： ——LPL 和雷电参数 ——LPZ 及其边界	防雷专家 ²⁾ 业主
LPMS 规划	定义 LPMS，包括： ——空间屏蔽措施 ——搭接网络 ——接地装置 ——线路屏蔽和布线 ——接入设施的屏蔽 ——协调配合的 SPD 防护	防雷专家 业主 建筑师 内部系统设计者 相关设备设计者
LPMS 设计	草图及设计描述 准备投标清单 详细图纸和安装进度表	工程设计事务所 或相关单位
LPMS 安装及监 理	安装质量 文档	防雷专家 LPMS 安装公司

	可能修改详细图纸	工程设计事务所 监理部门
LPMS 验收	检查系统状态并记录存档	第三方雷电防护 专家 监理部门
定期检查	维护 LPMS 的有效性	防雷专家 监理部门
1) 参见 IEC 62305-2 2) 具有丰富的 EMC 知识和实际安装经验		

根据GB/TXXXX-1中LPL的定义和相应的防护措施，应当实施以下步骤：

- 提供一个包含搭接网络和接地装置的接地系统；
- 建筑物外部金属部件和接入建筑物的设施需要直接或者通过合适的 SPD 进行搭接；
- 内部系统需要接入搭接网络；
- 考虑采用空间屏蔽与线路屏蔽和布线的结合；
- 确定所需的协调配合的 SPD 防护；
- 对于既有建筑物，可能需要特殊的措施（参见附录 B）。

此后，需要再次利用风险评估法对被选用防护措施的成本效益比进行评估和优化。

8.2 LPMS 检查

检查包括技术文档查验，目测检查和试验检测。检查的目的在于确认下列各项：

- LPMS 防护措施与设计一致；
- LPMS 防护措施达到设计性能；
- 任何新加的防护措施正确地整合到了 LPMS。

检查应当在下列时期进行：

- 在 LPMS 的安装过程中；
- LPMS 安装完成后；
- 定期检查；
- 当与 LPMS 相关的部件变化后；
- 建筑物可能遭受雷击后（例如雷击计数器有雷击计数，有人目击建筑遭受雷击，或者建筑物有遭受雷击后的迹象）。

定期检查的频率由下列各项决定：

- 当地的环境，比如腐蚀性土壤和腐蚀性大气环境；
- 采用的防护措施的类型。

8.2.1 检查程序

8.2.1.1 技术文档查验

在新的LPMS系统安装完毕后，应当查验技术文档是否符合相关的标准，是否完整。此后技术文档应保持不断更新，例如在对LPMS采取任何改变或者扩展之后。

8.2.1.2 目测检查

目测检查的内容包括下列各项：

- 检查连接没有松动，导线和接点没有意外的断裂；
- 系统部件没有因为腐蚀而被弱化，尤其是地下部分；
- 连接导体和电缆屏蔽是完整的；

- 防护措施不需要增加或变更；
- SPD 及熔丝没有受损或松开的指示；
- 线路保持合理的布线；
- 与空间屏蔽保持了安全距离。

8.2.1.3 试验检测

对于无法目测检测的接地装置和搭接网络部件，应当进行电气连通性的检测。

8.2.2 检查文档

为了协助整个检查过程，应当准备一份检查指导书。检查指导书应当包含足够的信息来帮助检查人员完成所有的任务，以便将被检查设备和部件的细节、测试方法及测试数据记录在案。

检查人员应当准备一份检查报告，附到技术文档和早期的检查报告之后。检查报告应当包含下列信息：

- LPMS 总体情况；
- 任何与技术文档不一致的地方；
- 所有试验结果。

8.3 维护

在检查中发现的所有缺陷必须立刻整改。必要时，应当更新技术文档。

附录 A

(资料性附录)

LPZ 区内电磁环境评估基础

本附录提供LPZ区内电磁环境评估资料，它可用作LEMP的防护，也适用于电磁干扰的防护。

A.1 雷击对电气和电子系统的危害

A.1.1 危害源

雷电流及其相关的磁场是主要危害源，雷电流产生的磁场与雷电流有相同的波形。

注：就防护而言，雷电电场影响通常较小。

A.1.2 危害受损者

安装在建筑物上或其内的内部系统，若其对浪涌和磁场的抗扰水平有限，在遭到雷击及紧随产生的磁场影响时，可能被损坏或会导致错误运行。

安装在建筑物外部的系统，会受未衰减磁场的危害；如果处在暴露位置，还会受最大值可能达到直击雷全部雷电流的浪涌危害。

建筑物内部的系统，会受衰减后残余磁场影响的危害，也会受传导和感应的内部浪涌危害，以及通过入户进线传导的外部浪涌危害。

对设备浪涌耐受水平的详细考虑，应该参阅下列有关标准：

——IEC 60664-1中规定的电源设备耐受水平：规定耐受水平为额定冲击耐受电压1.5-2.5 - 4-6 kV；

——ITU-T K.20和K.21中规定的通信设备耐受水平；

——普通设备在其产品规格书中确定的耐受水平，或者可以进行如下测试：

- 对传导浪涌，可采用 IEC 61000-4-5 给出的电压试验等级：1.2/50 μ s 波形 0.5-1-2-4 kV，以及电流试验等级：8/20 μ s 波形 0.25-0.5-1-2 kA；

注：为满足上列标准要求，特定设备可以安装内部SPD，这些内部SPD性能会影响其配合。

- 对磁场，可采用 IEC 61000-4-9 给出的试验等级：8/20 μ s 波形 100-300-1000 A/m，以及 IEC 61000-4-10 给出的试验等级：1 MHz 频率 10-30-100 A/m。

不符合相关EMC产品标准规定的无线频率发射和抗扰度测试的仪器设备，有遭受磁场直接辐射危害的风险。反之，符合这些标准的设备，可以忽略电磁场直接辐射造成的失效。

A.1.3 危害源及其受损者之间的耦合机理

设备的耐受水平必须与危害源相匹配。为此，需要通过创建合适的雷电防护区（LPZ）来充分掌握两者的耦合机理。

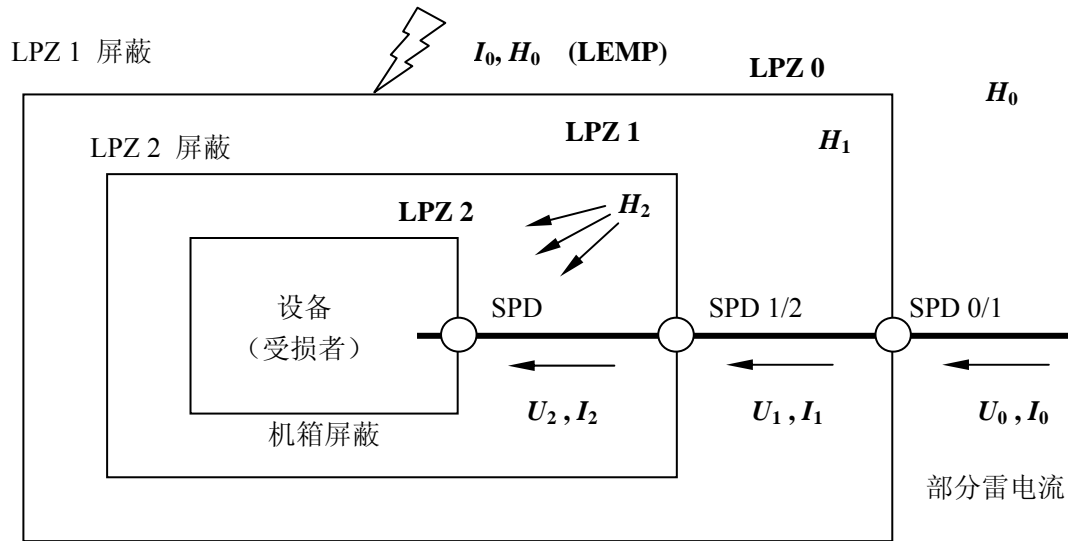
A.2 空间屏蔽、线路布线和屏蔽

A.2.1 概论

雷击建筑物或建筑物附近地面时在 LPZ 内部产生的磁场，仅采用 LPZ 的空间屏蔽措施便可减小。电子系统内的感应浪涌则可以用空间屏蔽或线路布线与屏蔽措施，或者两者综合的方法来减小。

图 A.1 为雷击建筑物时 LEMP 的示例，其中有雷电防护区 LPZ 0、LPZ 1 和 LPZ 2。被保护的电子

系统安装在 LPZ 2 内部。



1. 主要危害源是 LEMP

对于LPL I至IV, 用如下参数规定:

IEC 62305-1	I_0	10/350 μ s (和 0.25/100 μ s) 冲击	200-150-100-100 kA
	H_0	10/350 μ s (和 0.25/100 μ s) 冲击	根据 I_0 推导

2. 电源设备的耐受水平

对于标称电压230/400 V和277/480 V, 安装类别I至IV, 规定如下:

IEC 60664-1	U	安装类别 I 至 IV	6-4-2.5-1.5 kV
-------------	-----	-------------	----------------

3. 通信设备耐受水平

根据ITU K.20或K.211515建议。

4. 没有合适产品标准的设备的测试, 设备 (受损者) 的耐受水平

根据雷电传导 (U, I) 影响确定:

IEC 61000-4-5	U_{oc}	1.2/50 μ s 冲击	4-2-1-0.5 kV
	I_{sc}	8/20s 冲击	2-1-0.5-0.25 kA

5. 不符合有关EMC产品标准的设备的测试, 设备 (受损者) 的耐受水平

根据雷电辐射 (H) 影响确定:

IEC 61000-4-9	H	8/20 s 冲击 (25kHz 阻尼振荡), TP = 10 μ s	1000-300-100 A/m
IEC 61000-4-10	H	0.2/0.5 s 冲击 (1MHz 阻尼振荡), TP = 0.25s	100-30-10 A/m

图 A.1 雷击产生的 LEMP 状况

电子系统主要电磁危害源是雷电流 I_0 和磁场 H_0 。部分雷电流会沿进线设施流入。这些电流及磁场具有相同的波形。此处所考虑的雷电流包含首次雷击 I_f (典型的是有 10/350 μs 长波尾的波形), 和后续雷击 I_s (0.25/100 μs 波形)。首次雷击电流 I_f 产生的磁场为 H_f , 后续雷击 I_s 产生的磁场为 H_s 。

磁场感应效应主要由磁场波头上升沿引起。如图 A.2 所示, H_f 的波头上升沿表征为频率 25 kHz, 最大值 $H_{f/\text{max}}$ 的衰减振荡场, 达到最大值的时间 $T_{p/f}$ 为 10 μs 。与此相同, H_s 的波头上升沿可以表征为频率 1 MHz 最大值 $H_{s/\text{max}}$ 的衰减振荡场, 达到最大值的时间 $T_{p/s}$ 为 0.25 μs 。

因此, 可以将首次雷击的磁场表征为典型频率 25 kHz, 后续雷击的磁场表征为典型频率 1 MHz。IEC 61000-4-9 和 IEC 61000-4-10 定义了供测试目的使用的这些频率的阻尼振荡磁场。

通过在 LPZ 界面安装磁屏蔽和 SPD, 由 I_0 和 H_0 定义的未衰减雷电影响被减小到受损设备的耐受水平。如图 A.1 所示, 受损设备将能够承受周围磁场 H_2 、传导雷电流 I_2 和电压 U_2 的影响。

如何将电流 I_1 减至 I_2 , 将电压 U_1 降至 U_2 将在附录 C 中讨论, 而如何将磁场从 H_0 减小到足够低的 H_2 则在此进行考虑:

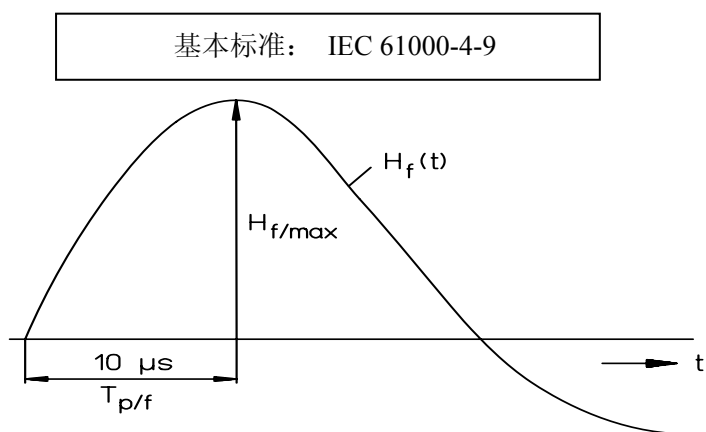


图 A.2a 用 8/20 μs 单个冲击 (25 kHz 阻尼振荡) 模拟首次雷击 (10/350 μs) 的磁场上升期

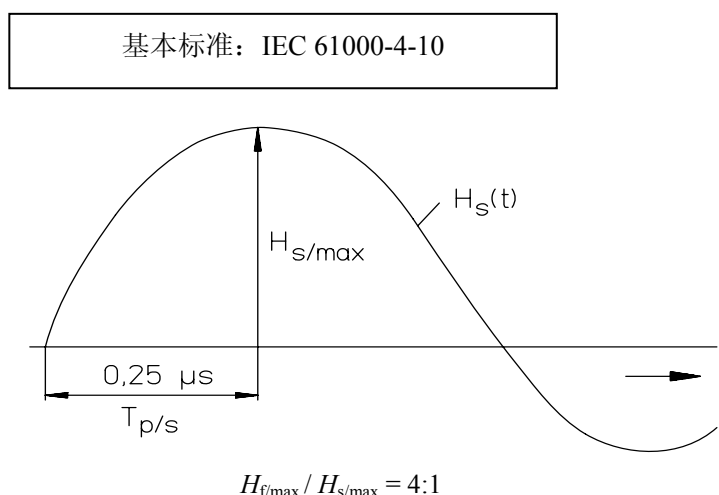


图 A.2b 用 1 MHz 阻尼振荡 (0.2/0.5 μs 多重冲击) 模拟后续雷击 (0.25/100 μs) 的磁场上升期
注 1: 虽然到达最大值时间 T_p 和波头时间 T_1 定义不同, 但此处数值上近似相等。

注 2: 最大值之比 $H_{f/\text{max}} / H_{s/\text{max}} = 4:1$ 。

图 A.2 用阻尼振荡模拟磁场上升期

在格栅型空间屏蔽情况下，可以假定 LPZ 内部磁场 (H_1 , H_2) 波形和外部磁场 (H_0) 具有相同的波形。

在图 A.2 中所示的衰减阻尼振荡波形符合 IEC 61000-4-9 和 IEC 61000-4-10 中定义的测试要求，可以用来确定首次雷击磁场 H_f 和后续雷击磁场 H_s 上升期的耐受水平。

耦合在感应回路中的磁场引起的感应浪涌（参见 A.4 节），应该低于或等于设备的耐受能力。

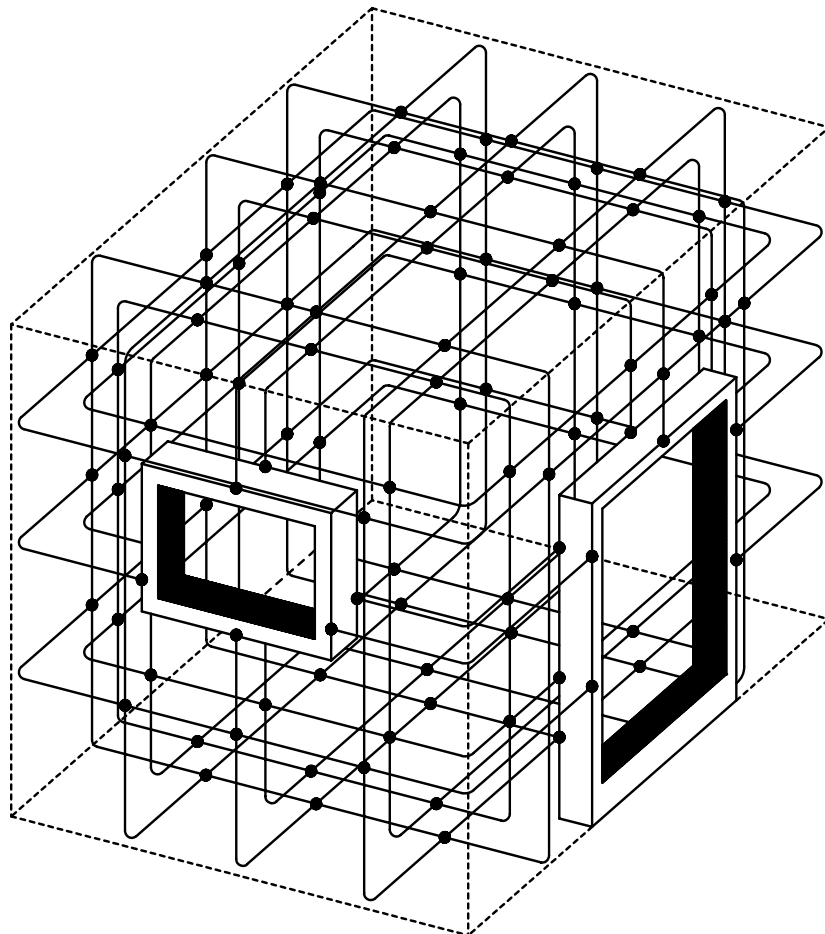
A.2.2 格栅型空间屏蔽

实际中，LPZ 的大空间屏蔽通常是由建筑物的自然部件构成，例如天花板、墙和地板的金属构架、金属框架、金属屋顶和金属墙面等，这些部件构成了格栅型的空间屏蔽。构成有效屏蔽要求网格宽度典型值小于 5 m。

注1：假如一个 LPZ 1 的外部 LPS 符合 GB/TXXXX-3 的正常要求，则格栅宽度和典型间距大于 5m，其屏蔽效果可以忽略。反之，有许多结构性钢支柱的大型钢框架建筑，可以提供显著屏蔽效果。

注2：后续内部 LPZ 的屏蔽，既可以通过封闭的金属机架或机柜实现空间屏蔽，也可以对设备采用金属机箱。

如图 A.3 所示，为实际中如何采用混凝土中的钢筋和金属框架（包括金属门和可能屏蔽的窗户）为建筑物或房间构建一个大体积的屏蔽体。

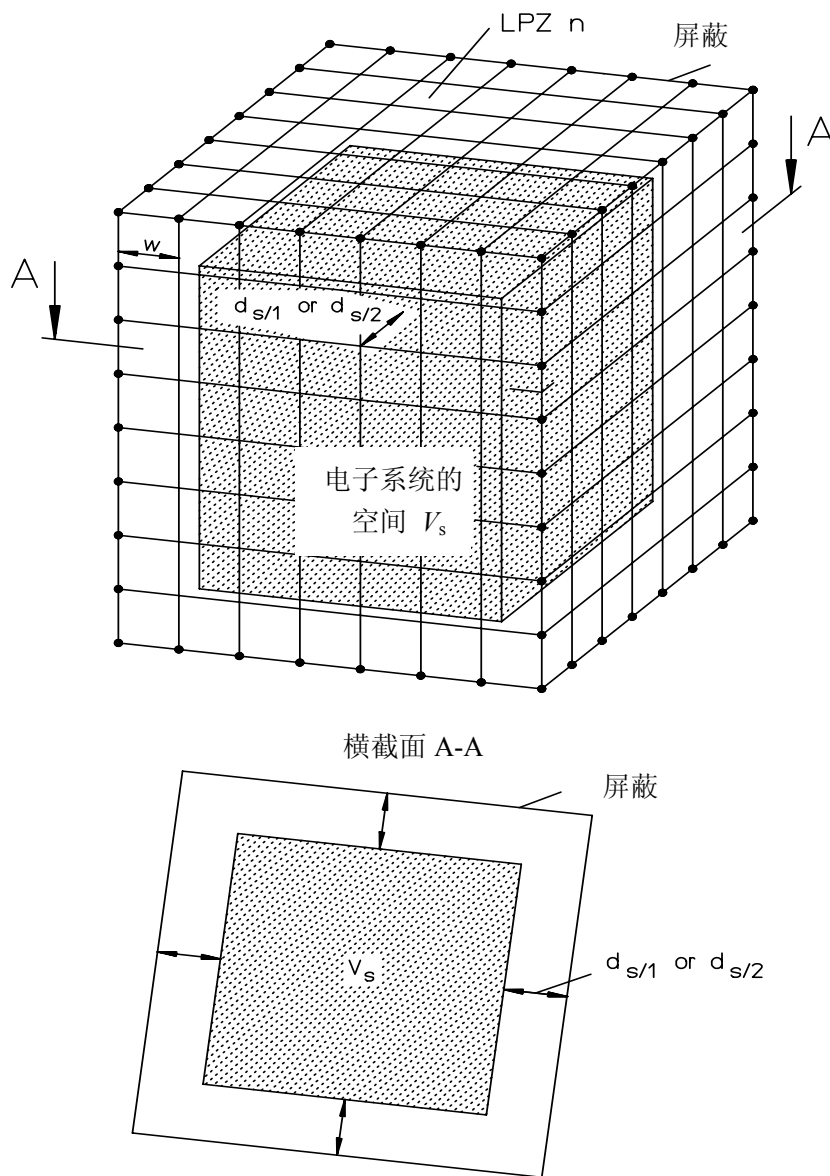


- 每根钢筋的每个交叉点须焊接或夹紧

注：实际上，对大型结构，不可能每个点都焊接或夹紧。但是，大多数交叉点通过直接接触或铁线捆绑已自然良好连接。实际的做法可以是每隔 1 m 连接一次。

图 A.3 用钢筋和金属框架构成的大体积屏蔽

电子系统只应安置在距 LPZ (参见图 A.4) 屏蔽有一定安全距离的“安全空间”内部。这是因为部分雷电流会流经屏蔽层 (特别是 LPZ 1), 靠近屏蔽处的磁场具有相对高的数值。



注：空间 V_s 与屏蔽体 LPZ n 间应保持的安全距离为 $d_{s/1}$ 或 $d_{s/2}$

图 A.4 LPZ n 内用于安装电气和电子系统的空间

A.2.3 线路布线和屏蔽

合理的线路布线 (使感应回路面积为最小), 或者采用屏蔽电缆或金属电缆管道 (减小内部感应效果), 或者两种措施同时使用, 可以减小电子系统内的感应浪涌 (参见图A.5)。

与电子系统连接的电缆应尽可能靠近搭接网络的金属部件。将电缆放入搭接网络的金属槽, 如U型电缆槽或金属管道内是有益的 (参见IEC 61000-5-2)。

应特别注意不要使线路贴近LPZ的屏蔽层 (特别是LPZ 1), 因为该处实际的磁场值很大。

如果线路处于两个需要被保护的独立建筑物之间, 应当将其铺设在金属电缆管道中。管道两端均应分别搭接到两个独立建筑物各自的搭接母线上。如果电缆屏蔽层 (两端均做搭接) 足以承受可以预计的

部分雷电流，则不必采用额外的金属电缆管道。

设备安装时构成的回路中，会产生感应电压和电流，以共模浪涌的形式作用到电子系统。A.4节给出了关于这些感应电压和电流的计算。

图A.6是一个大型办公楼的示例：

——LPZ 1区的屏蔽由钢筋和建筑物金属立面组成，高敏感电子系统放置在LPZ 2区的屏蔽机柜内。

为了安置窄距网格的搭接系统，每个房间均提供了数个搭接端子；

——由于室内有 20 kV 电源，LPZ 0 被延伸到 LPZ 1 内，因为这种特殊情况不可能在刚进入建筑物的高压侧安装 SPD。

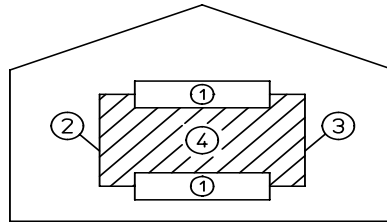


图 A.5a- 未防护系统

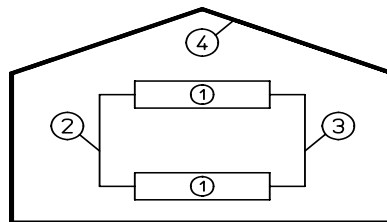


图 A.5b 用空间屏蔽减小 LPZ 内部磁场

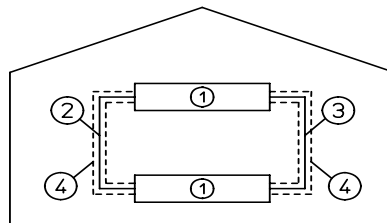


图 A.5c 用线路屏蔽减小磁场对线路影响

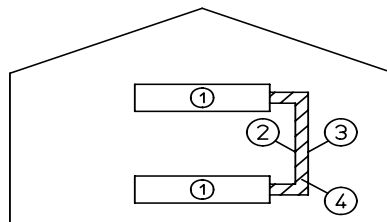
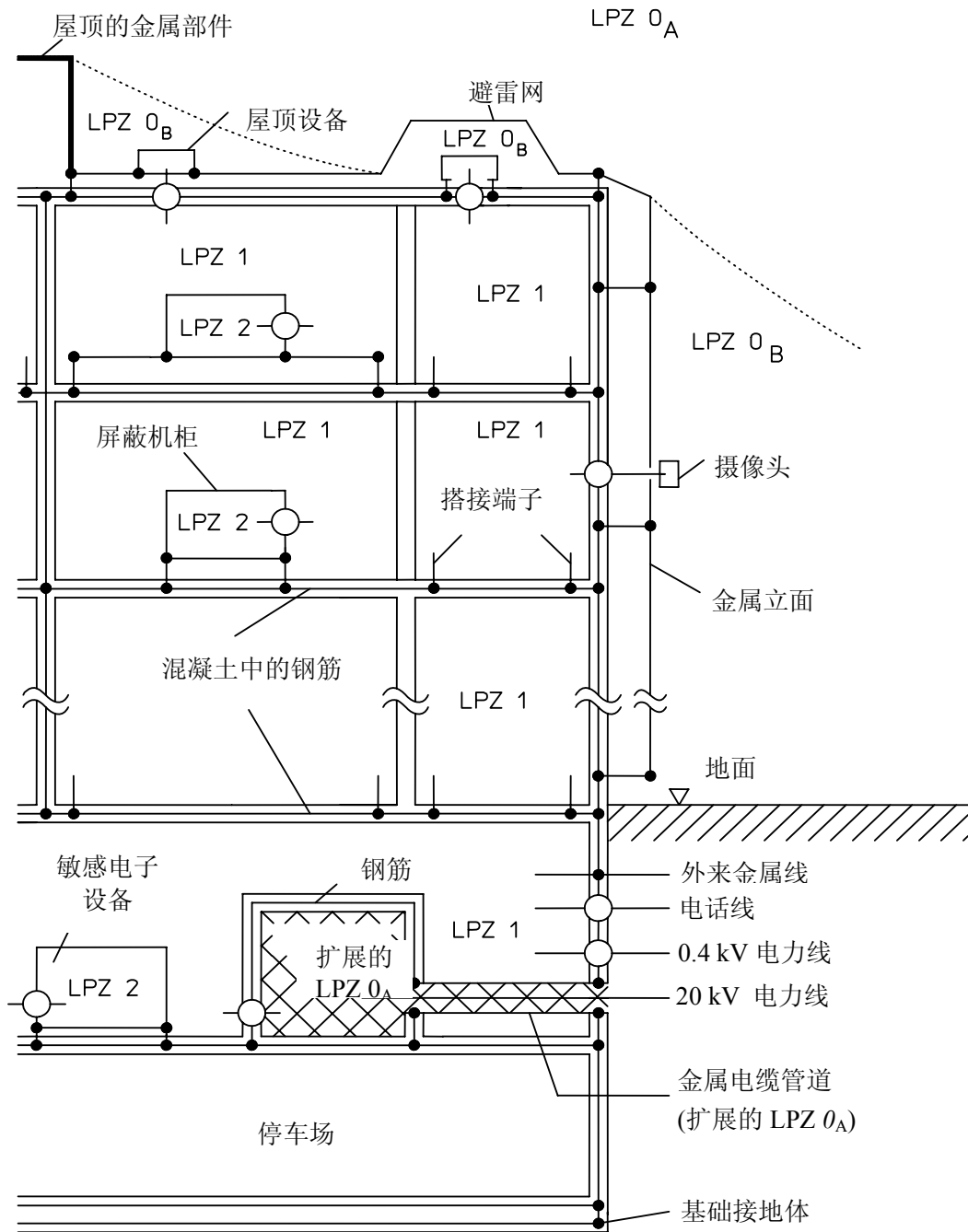


图 A.5d 用合理布线减少感应回路面积

- 注： 1. 设备
 2. a 线 (例如电源线)
 3. b 线 (例如信号线)
 4. 线路屏蔽

图 A.5 用线路布线和屏蔽措施减少感应效应



- 等电位搭接
- 浪涌保护器 (SPD)

图 A.6 办公楼 LPMS 示例

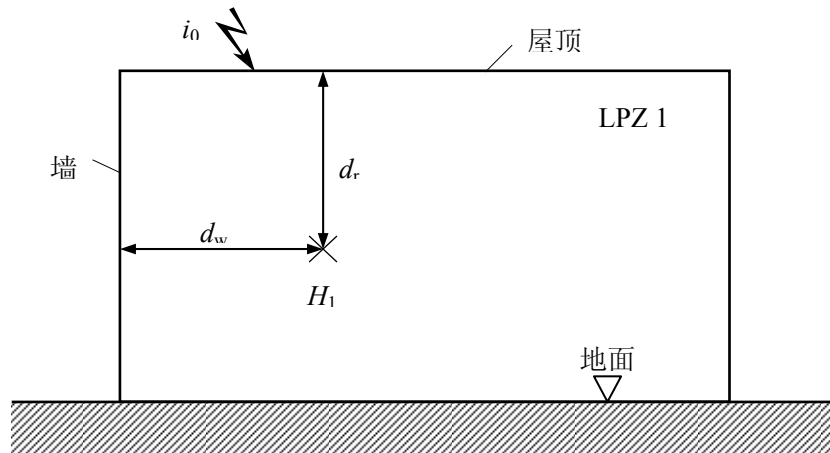
A.3 LPZ内部磁场

A.3.1 LPZ内部磁场的近似值

如果对屏蔽效能没有进行理论性（参见A.3.2）或实验性（参见A.3.3）研究，则磁场衰减应按以下方法估算。

A.3.1.1 LPZ 1 格栅型空间屏蔽受直击雷的情况

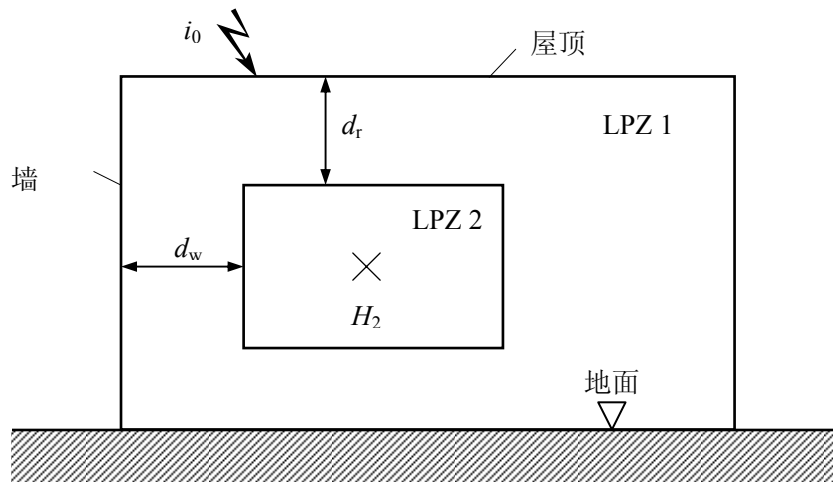
建筑物的屏蔽（LPZ 1四周的屏蔽）可以作为外部LPS的一部分，因此在雷电直击时，雷电流可以沿它流过。如图A.7所示，假设建筑物屋顶上的任意点受到雷击。



LPZ 1 内 $H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w_1 / (d_w \cdot \sqrt{d_r})$

注：距离 d_w 和 d_r 取决于待求值点位置

图 A.7a LPZ 1 内的磁场



LPZ 2 内 $H_2 = H_1 / 10^{SF_2/20}$

注：距离 d_w 和 d_r 取决于 LPZ 2 边界位置

图 A.7b LPZ 2 内的磁场

图 A.7— 雷电直击时磁场值的估算

在LPZ 1内部任意点上的磁场强度 H_1 为：

$$H_1 = k_H \cdot I_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.1})$$

式中：

d_r 待计算点与LPZ 1屏蔽中屋顶的最短距离，单位m；

d_w 待计算点与LPZ 1屏蔽中墙的最短距离, 单位m;

I_0 LPZ 0_A的雷电流, 单位A;

k_H 结构系数, 单位 $1/\sqrt{m}$, 典型值 $k_H = 0.01 (1/\sqrt{m})$;

w LPZ 1屏蔽的网格宽度, 单位m。

本式计算的是LPZ 1中磁场的最大值(计算时考虑以下因素)。

$$\text{—— 首次雷击引起: } H_{1/f/\max} = k_H \cdot I_{f/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.2})$$

$$\text{—— 后续雷击引起: } H_{1/s/\max} = k_H \cdot I_{s/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.3})$$

式中:

$i_{f/\max}$ 根据防护等级给出的首次雷击电流最大值, 单位A;

$i_{s/\max}$ 根据防护等级给出的后续雷击电流最大值, 单位A。

注: 如果按照5.2节设置网状搭接网络, 磁场强度可减少为除以系数2。

这些磁场值仅在格栅型屏蔽内部与屏蔽有一安全距离 $d_{s/1}$ 的安全空间内有效(参见图A.4)。

$$d_{s/1} = w \text{ (m)} \quad (\text{A.4})$$

示例:

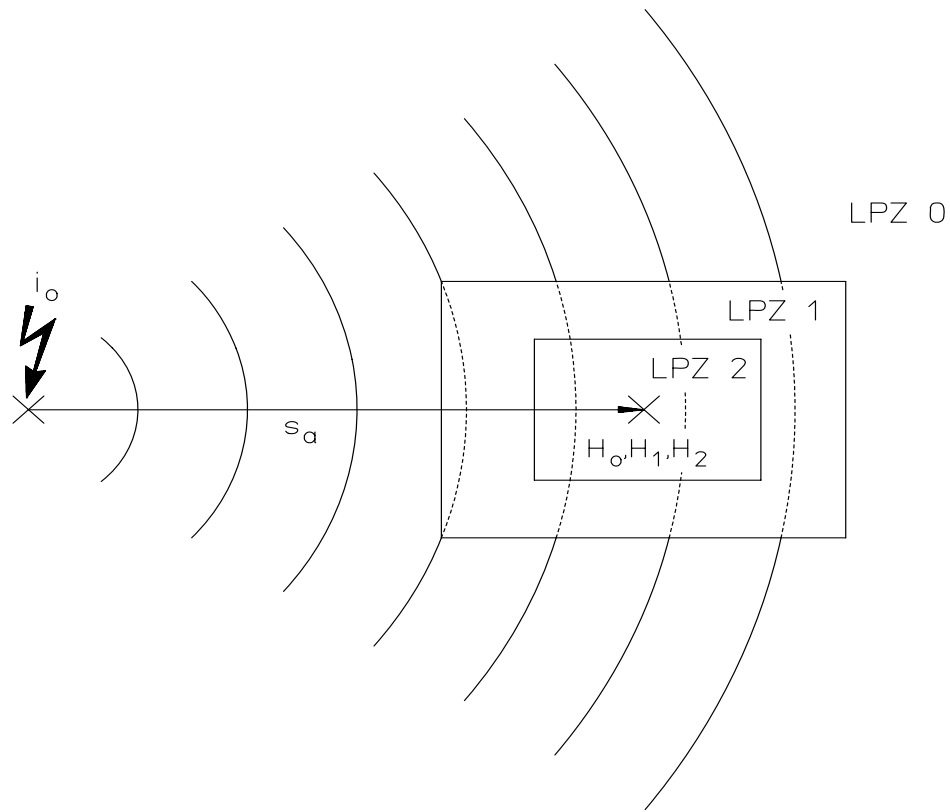
如表A.1所示, 给出了三种不同尺寸的铜质格栅型屏蔽, 其平均网格宽度 $w = 2 \text{ m}$ (参见图10)。由此得出安全距离 $d_{s/1} = 2.0 \text{ m}$ 及相应的安全空间 V_s 。 V_s 内部有效的 $H_{1/\max}$ 值是按 $i_{0/\max} = 100 \text{ kA}$ 进行计算的, 结果在表A.1中列出。离屋顶的距离为高度的一半: $d_r = H/2$ 。离墙的距离为长度的一半: $d_w = L/2$ (安全空间的中心)或等于: $d_w = d_{s/1}$ (靠近墙的最坏情况)。

表 A.1 $i_{0/\max} = 100 \text{ kA}$ 和 $w = 2 \text{ m}$ 的示例

屏蔽类型 (参见图 A.10)	$L \times W \times H$ m	$H_{1/\max}$ (中心) A/m	$H_{1/\max}$ ($d_w = d_{s/1}$) A/m
1	10 × 10 × 10	179	447
2	50 × 50 × 10	36	447
3	10 × 10 × 50	80	200

A.3.1.2 近旁雷击时LPZ 1格栅型空间屏蔽

图A.8所示为近旁雷击时的情况。LPZ 1屏蔽空间周围的入射磁场可以近似地当作平面波。



无屏蔽 $H_0 = i_0 / (2 \cdot \pi \cdot s_a)$

LPZ 1 内 $H_1 = H_0 / 10^{SF_1/20}$

LPZ 2 内 $H_2 = H_1 / 10^{SF_2/20}$

图 A.8 近旁雷击时磁场值的估算

格栅型空间屏蔽对平面波的屏蔽系数SF由表A.2给出。

表 A.2 格栅型空间屏蔽对平面波磁场的衰减

材质	SF (dB) (参见注 1 和注 2)	
	25 kHz (首次雷击时)	1 MHz (后续雷击时)
铜材或铝材	$20 \cdot \log(8.5/w)$	$20 \cdot \log(8.5/w)$
钢材 (参见注 3)	$20 \cdot \log \left[\left(\frac{8.5}{w} \right) / \sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r^2} \right]$	$20 \cdot \log(8.5/w)$
w 格栅型空间屏蔽网格宽度(m) r 格栅型屏蔽杆的半径(m)		
注 1: 公式计算结果为负数时, SF = 0。 注 2: 如果按 5.2 节安装网状搭接网络, SF 增加 6dB。 注 3: 磁导率 $\mu_r \approx 200$ 。		

入射的磁场 H_0 用下式计算:

$$H_0 = i_0 / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.5})$$

式中:

i_0 LPZ 0_A的雷电流, 单位A;

s_a 从雷击点到屏蔽空间中心的距离, 单位m。

由此, LPZ 0内磁场最大值为:

—— 由首次雷击引起: $H_{0/f/\max} = i_{f/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.6})$

—— 由后续雷击引起: $H_{0/s/\max} = I_{s/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.7})$

式中:

$i_{f/\max}$ 根据防护等级给出的首次雷击电流最大值, 单位A;

$I_{s/\max}$ 根据防护等级给出的后续雷击电流最大值, 单位A。

在LPZ 1内部的磁场从 H_0 减小到 H_1 可以用表A.2中给定的屏蔽系数 SF 值推导:

$$H_{1/\max} = H_{0/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.8})$$

式中:

SF (dB) 由表A.2公式计算的屏蔽系数;

$H_{0/\max}$ LPZ 0内的磁场, 单位A/m。

由此, LPZ 1内磁场最大值为:

—— 由首次雷击引起: $H_{1/f/\max} = H_{0/f/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.9})$

—— 由后续雷击引起: $H_{1/s/\max} = H_{0/s/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.10})$

这些磁场值仅在格栅型屏蔽内, 离屏蔽的安全距离为 $d_{s/2}$ 的安全空间 V_s 内有效 (参见图A.4):

$$d_{s/2} = w \cdot SF / 10 \quad (\text{m}) \quad SF \geq 10 \text{ 时} \quad (\text{A.11})$$

$$d_{s/2} = w \quad (\text{m}) \quad SF < 10 \text{ 时} \quad (\text{A.12})$$

式中:

SF 由表A.2公式计算的屏蔽系数, 单位dB;

w 空间屏蔽网格宽度, 单位m。

在近旁雷击时, 有关格栅型屏蔽内磁场强度计算的其它资料请参见A.3.3节。

示例:

在近旁雷击时, LPZ 1内磁场强度 $H_{1/\max}$ 取决于: 雷电流 $i_{0/\max}$ 、LPZ 1的屏蔽系数 SF 以及雷电通道和LPZ 1中心之间的距离 s_a (参见图A.8)。

雷电流 $i_{0/\max}$ 取决于所选择的LPL (参见IEC62305-1)。屏蔽系数 SF (参见表A.2) 主要是格栅屏蔽网格宽度的函数。距离 s_a 可能是:

—— LPZ 1中心和近旁被雷击目标 (例如天线塔) 之间的给定距离, 或

—— 雷击LPZ 1附近大地时, LPZ 1中心和雷电通道之间的最小距离。

那么, 可能出现的最坏情况是雷电流 $i_{0/\max}$ 最大且距离 s_a 最近。如图A.9所示, 这一最小距离 s_a 是该建筑物 (LPZ 1) 的高度 H 和长度 L (或者宽度 W), 以及与 $i_{0/\max}$ (参见表A.3) 相对应的由电几何模型定义 (参见IEC62305-1) 的滚球半径 r 的函数。

表 A.3 最大雷电流时的滚球半径

防护等级	最大雷电流 $I_{0/\max}$ kA	滚球半径 R m
I	200	313
II	150	260
III - IV	100	200

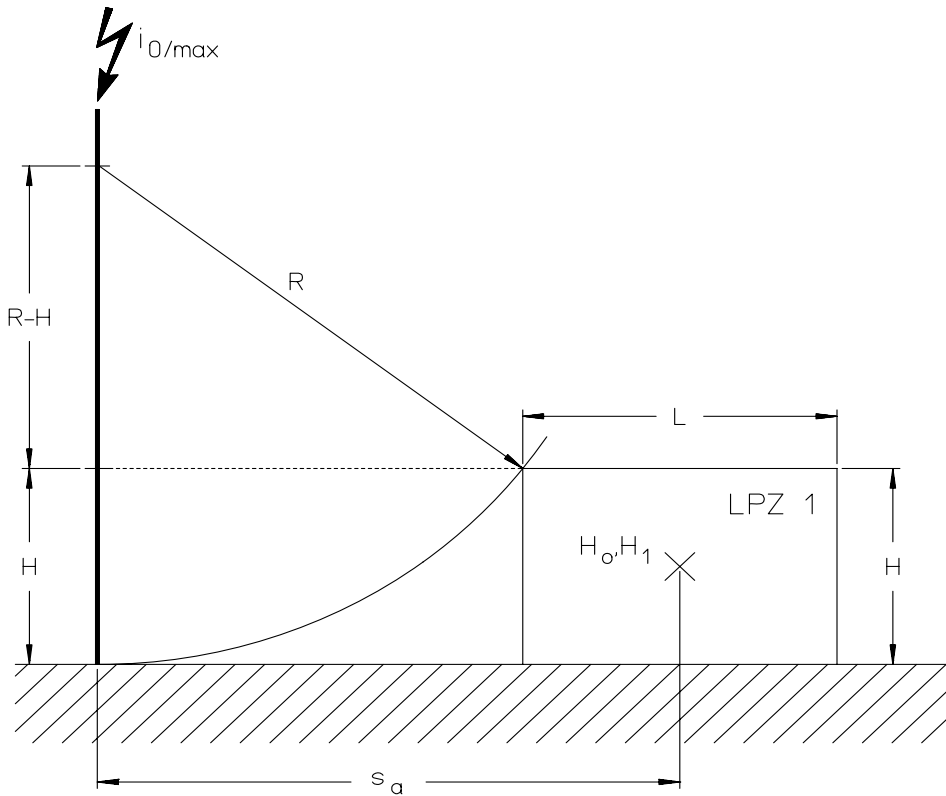


图 A.9 距离 s_a 取决于滚球半径和建筑物的尺寸

该距离可由下式计算：

$$s_a = \sqrt{2RH - H^2} + L/2 \quad H < R \text{ 时} \quad (\text{A.13})$$

$$s_a = R + L/2 \quad H \geq R \text{ 时} \quad (\text{A.14})$$

注：距离小于该最小值时，雷电可以直接击中该建筑物。

如表A.4所示，给出了三种典型尺寸的铜质格栅型屏蔽，其平均网格宽度 $w = 2 \text{ m}$ 。由此得出安全距离 $d_{s/1} = 2.0 \text{ m}$ 及相应的安全空间 V_s ，屏蔽系数 $SF = 12.6 \text{ dB}$ 。假定 $H_{0/\max}$ 和 $H_{1/\max}$ 在 V_s 各处都有效，当 $i_{0/\max} = 100 \text{ kA}$ 时，可以计算得出它们的数值，列于表A.4。

表 A.4 $i_{0/\max} = 100 \text{ kA}$ 和 $w = 2 \text{ m}$ 及相应的 $SF = 12.6 \text{ dB}$ 时的示例

屏蔽类型 (参见 A.10)	$L \times W \times H$ m	s_a m	$H_{0/\max}$ A/m	$H_{1/\max}$ A/m
1	10 x 10 x 10	67	236	56
2	50 x 50 x 10	87	182	43
3	10 x 10 x 50	137	116	27

A.3.1.3 LPZ 2和更高防护区的格栅型屏蔽

在LPZ 2和更高防护区的格栅型屏蔽中，没有显著的部分雷电流流过。因此，在近旁落雷时，LPZ $n+1$ 内磁场由 H_n 减少到 H_{n+1} 的初步近似值可以如A3.1.2进行计算：

$$H_{n+1} = H_n / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.15})$$

式中：

SF 表A.2给出的屏蔽系数，单位dB；

H_n LPZ n内的磁场，单位A/m。

若 $H_n = H_1$ ，该磁场强度可以如下计算：

——雷电直接击中 LPZ 1 的格栅型屏蔽时，参见 A.3.1.1 和图 A.7b，其中 d_w 和 d_r 分别是 LPZ 2 的屏蔽与墙和屋顶的距离；

——雷电击中 LPZ 1 近旁时，参阅 A.3.1.2 和图 A.8。

这些磁场值仅在格栅型屏蔽内部，如A.3.1.2中规定的与屏蔽有一安全距离 $d_{s/l}$ 的安全空间内有效（参见图A.4）。

A.3.2 对直击雷磁场的理论估算

在A.3.1.1节，对磁场强度 $H_{1/\max}$ 的估算公式是根据图A.10所示的三种典型格栅型屏蔽的磁场值进行的数值计算。这些计算中，假设雷电击中屋顶的一个边缘，将雷击通道模拟成屋顶上一根长100m的垂直导电棒，大地被模拟为一个理想的导电平板。

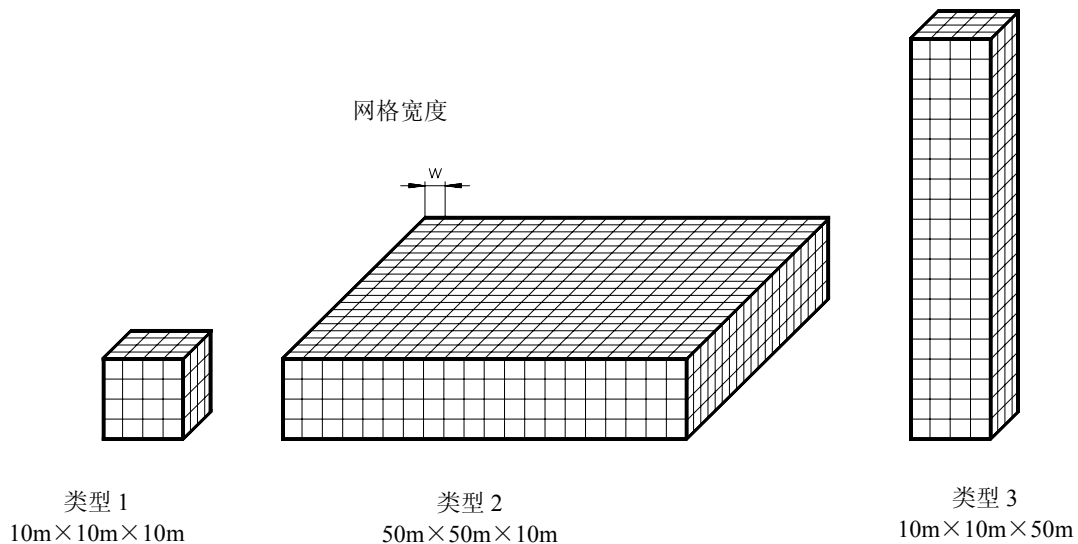


图 A.10 格栅型大空间屏蔽的类型

在计算时，要考虑格栅型屏蔽中每一根金属杆及格栅型屏蔽内所有其它金属杆以及模拟雷电通道的磁场耦合，并得到一组方程组来计算雷电流在格栅中的分布。由该电流分布可以推导出屏蔽内的磁场强度。这里假设金属杆的电阻可以忽略不计。因此，格栅型屏蔽内的电流分布和磁场强度与频率无关。同时，为避免瞬态效应影响，容性耦合也忽略不计。

对第1种类型格栅型屏蔽（参见图A.10），图A.11和图 A.12中给出部分结果。

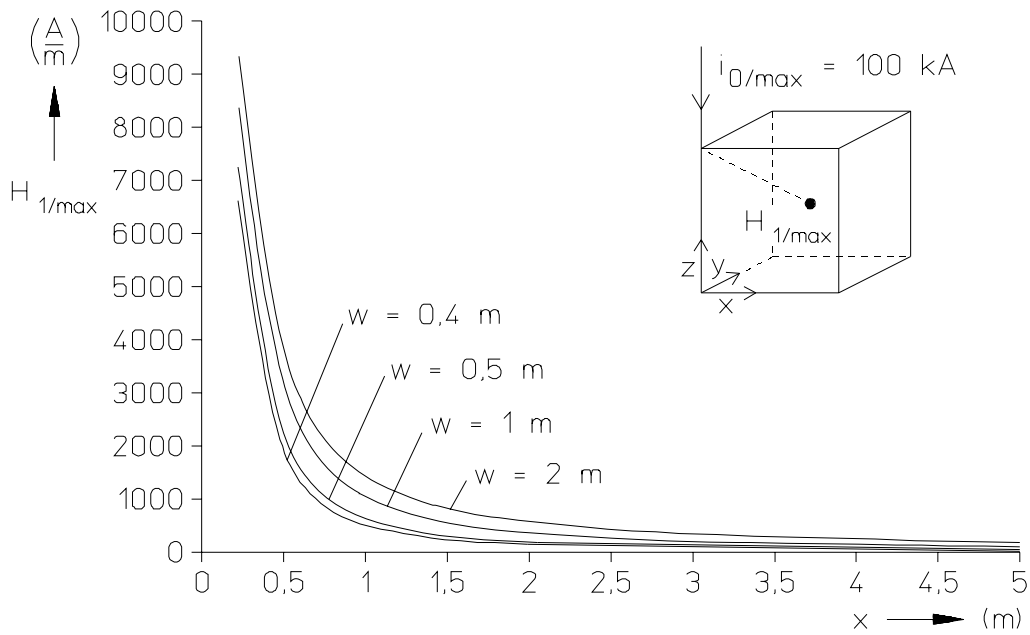


图 A.11 第 1 类格栅型屏蔽体内部的磁场强度 $H_{1/max}$

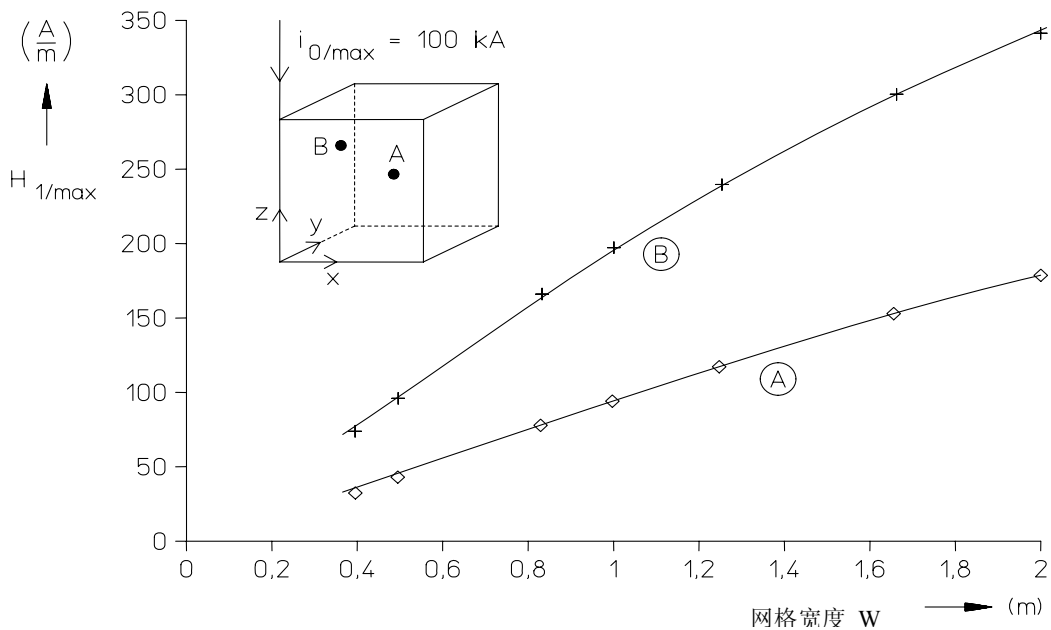


图 A.12 第 1 类格栅型屏蔽体内部的磁场强度 $H_{1/max}$

假设所有的最大雷电流为 $i_{0/max} = 100 \text{ kA}$ 。两张图中， $H_{1/max}$ 是由它的分量 H_x 、 H_y 和 H_z 推导出的某点最大磁场强度。

$$H_{1/max} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \tag{A.16}$$

图A.11中， $H_{1/max}$ 是沿雷击点 ($x=y=0, z=10 \text{ m}$) 开始到屏蔽空间中心点 ($x=y=5 \text{ m}, z=5 \text{ m}$) 的一条直线计算的。图示标明， $H_{1/max}$ 是该直线X坐标上点的函数，参数 w 是格栅型屏蔽的网格宽度。

图A.12中, $H_{1/\max}$ 是在屏蔽空间内两点(点A: $x=y=5\text{ m}$, $z=5\text{ m}$; 点B: $x=y=3\text{ m}$, $z=7\text{ m}$)计算的。其数值按照网格宽度 w 的函数标出。

两张图都显示了格栅型屏蔽内磁场分布受制于主要参数的影响: 与墙体或屋顶的距离, 以及网格的宽度。

在图A.11中, 可以观察到, 沿着穿过屏蔽空间的其它直线, 磁场强度 $H_{1/\max}$ 分量可能与零基准线相交, 乃至改变符号。因此, A.3.1.1节中的公式是对格栅型屏蔽内磁场分布实际上更复杂的数值的一次近似值。

A.3.3 直击雷产生磁场的实验估算

屏蔽结构内部磁场除了可以理论估算外, 还可以采用实验测试的方法估算。图A.13所示为建议采用雷电流发生器模拟直击雷击中屏蔽结构中任一点。通常这种测试可以用低等级电流进行, 但是模拟雷击电流的波形必须和实际雷击放电完全相同。

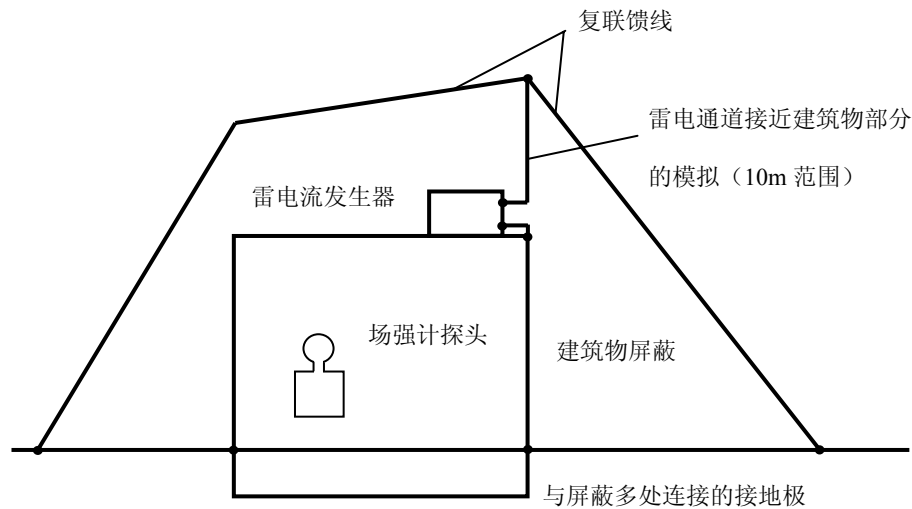
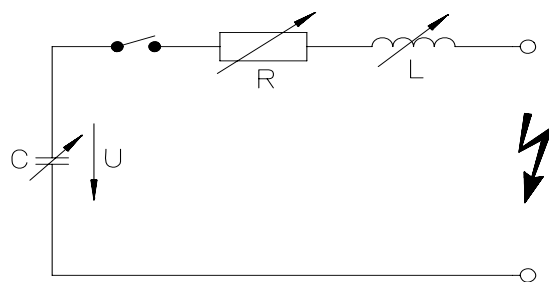


图 A.13a 实验布置



注: U : 典型值为数 10 kV
 C : 典型值为数 10 nF

图 A.13b 雷电流发生器

图 A.13 用于屏蔽建筑物内部磁场估算的低等级试验

A.4 感应电压和电流计算

只考虑图 A.14 的长方形回路。其它形状的回路应当转换成同等回路面积的长方形。

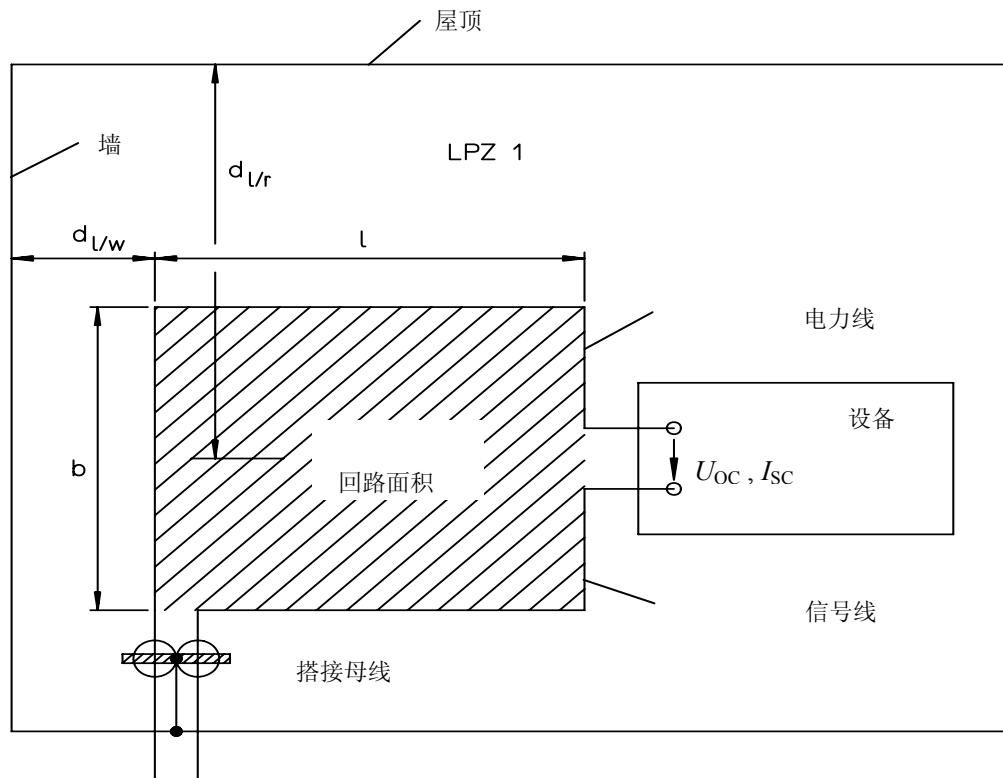


图 A.14 线路回路中的感应电压和电流

A.4.1 直击雷时LPZ 1的内部状况

LPZ1内部空间 V_s 的磁场强度 H_1 ，用下式计算（参见A.3.1.1节）：

$$H_1 = k_H \cdot I_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A.17})$$

开路电压 u_{oc} 为：

$$u_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot di_0 / dt \quad (\text{V}) \quad (\text{A.18})$$

在波前时间 T_1 内，上升到峰值 $u_{oc/\max}$ ：

$$u_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{0/\max} / T_1 \quad (\text{V}) \quad (\text{A.19})$$

式中：

- μ_0 等于 $4\pi \cdot 10^{-7} (\text{V}\cdot\text{s})/(\text{A}\cdot\text{m})$ ；
- b 回路宽度，单位m；
- $d_{l/w}$ 屏蔽体的墙与回路间的距离，这里 $d_{l/w} \geq d_{s/1}$ ，单位m；
- $d_{l/r}$ 屏蔽体的顶与回路间的平均距离，单位m；
- i_0 LPZ 0_A 的雷电流，单位A；
- $i_{0/\max}$ 雷击LPZ 0_A 时的雷电流最大值，单位A；
- $k_H (1/\sqrt{m})$ 是与实验结构布置有关的参数， $k_H = 0.01 (1/\sqrt{m})$ ；
- l 回路长度，单位m；

T_1 雷击LPZ 0A时的雷电流波前时间, 单位s;
 w 格栅型屏蔽的网格宽度, 单位A。

短路电流 i_{sc} 为:

$$i_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_0 / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.20})$$

这时忽略电线的欧姆电阻 (最坏情况):

最大值 $i_{sc/\max}$ 为:

$$i_{sc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{0/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.21})$$

式中, L 是回路自感, 单位H。

长方形的回路自感 L 可以由下式求得:

$$L = \left\{ 0.8 \sqrt{l^2 + b^2} - 0.8(l + b) + 0.4 \cdot l \cdot \ln \left[(2b/r) / \left(1 + \sqrt{1 + (b/l)^2} \right) \right] \right. \\ \left. + 0.4 \cdot b \cdot \ln \left[(2l/r) / \left(1 + \sqrt{1 + (l/b)^2} \right) \right] \right\} \cdot 10^{-6} \quad (\text{H}) \quad (\text{A.22})$$

式中, r 是电线的直径, 单位m。

首次雷击 ($T_1 = 10 \mu\text{s}$) 磁场感应的电压和电流:

$$u_{oc/f/\max} = 1.26 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{f/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.23})$$

$$i_{sc/f/\max} = 12.6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{f/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.24})$$

后续雷击 ($T_1 = 0.25 \mu\text{s}$) 磁场感应的电压和电流:

$$u_{oc/s/\max} = 50.4 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{s/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.25})$$

$$i_{sc/s/\max} = 12.6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{s/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.26})$$

式中,

$i_{f/\max}$ 首次雷击电流最大值, 单位kA;

$i_{s/\max}$ 后续雷击电流最大值, 单位kA。

A.4.2 近旁雷击时LPZ1内部状况

假设 LPZ 1 内空间磁场 H_1 是匀强磁场 (参见 A.3.1.2 节),

开路电压 u_{oc} 为:

$$u_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot dH_1 / dt \quad (\text{V}) \quad (\text{A.27})$$

波前时间 T_1 内, 峰值 $u_{oc/\max}$ 出现:

$$u_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/\max} / T_1 \quad (\text{V}) \quad (\text{A.28})$$

式中,

μ_0 等于 $4\pi \cdot 10^{-7} (\text{V}\cdot\text{s})/(\text{A}\cdot\text{m})$;

b 回路宽度, 单位 m;

- H_1 LPZ 1 内时变磁场, 单位 A/m;
 $H_{1/\max}$ LPZ 1 内磁场的最大值, 单位 A/m;
 l 回路长度, 单位 m;
 T_1 磁场波前时间, 它与雷电流波前时间完全一致, 单位 s。

短路电流 i_{sc} 为:

$$I_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_1 / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.29})$$

这时忽略电线的欧姆电阻 (最坏情况)。

最大值 $i_{sc/\max}$ 由下式给出

$$i_{sc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.30})$$

式中, L 是回路自感, 单位 H (L 的计算参见 A.4.1 节)。

首次雷击 ($T_1 = 10 \mu\text{s}$) 时, 磁场 $H_{1/f}$ 感应的电压电流为:

$$u_{oc/f/\max} = 0.126 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.31})$$

$$i_{sc/f/\max} = 1.26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.32})$$

后续雷击 ($T_1 = 0.25 \mu\text{s}$) 时, 磁场 $H_{1/s}$ 感应的电压电流为:

$$u_{oc/s/\max} = 5.04 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.33})$$

$$i_{sc/s/\max} = 1.26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.34})$$

式中:

- $H_{1/f/\max}$ 首次雷击时 LPZ 1 内的最大磁场, 单位 A/m;
 $H_{1/s/\max}$ 后续雷击时 LPZ 1 内的最大磁场, 单位 A/m。

A.4.3 在LPZ 2和更高防护区内的状况

$n \geq 2$ 时, 假设LPZ n 区内的磁场是均匀的 (参见A.3.1.3节)。

因此, 可以用A.3.1.2节给出的相同公式计算感应电压和电流, 计算中用 H_n 代替 H_1 。

附录 B
(资料性附录)

既有建筑物内电子系统 LEMP 防护措施的实施

B.1 项目清单

为既有建筑物设计恰当的防雷措施时，需要考虑该建筑物的结构和建筑物周围的环境以及建筑物内电气和电子系统的状态。

使用项目清单将便于进行风险分析和选择最恰当的防护措施。

对于既有建筑物，尤其需要对分区定义、接地、搭接、布线和屏蔽进行系统规划。

应当根据表 B.1 至表 B.4 的项目清单来收集所需的既有建筑物及其设施的数据。以这些数据为基础，按照 IEC 62305-2 标准进行风险评估，可以确定防护的需求，进而确定成本效益比最好的防护措施。

注：建筑物内设备防电磁干扰（EMI）的更多资料请参阅 IEC 60364-4-44。

表 B.1 建筑物的特征与周围环境

项 目	问 题
1	石材、砖、木、钢筋混凝土、钢框架结构、金属立面？
2	单幢建筑物还是具有扩展接口的互连单元？
3	平房、低层或高层建筑？（建筑物尺寸）
4	整个建筑物内的钢筋是否电气连通？
5	金属屋顶材料的种类、类型和性能？
6	金属立面是否搭接？
7	窗户的金属框架是否搭接？
8	窗户的尺寸？
9	建筑物是否安装外部 LPS？
10	该 LPS 的类型和性能？
11	地下状况（岩石、土壤）？
12	相邻建筑物的高度、距离和接地情况？
注：详细资料参见 IEC 62305-2	

表 B.2 设施特性

项 目	问 题
1	进线类型（埋地或架空敷设）？
2	天线类型（天线或其它外部器件）？
3	电源类型（高压、低压，架空或埋地敷设）？
4	布线方式（竖井、电缆导管的数量和位置）？
5	是否采用金属电缆导管？
6	建筑物内的电子设备是否独立(无外部连接)？
7	有无金属导体与其它建筑物连接？
注：详细资料请参见 IEC 62305-2	

表 B.3 设备特性

项 目	问 题
1	电子系统的互连形式（屏蔽或无屏蔽多芯电缆、同轴电缆，模拟与/或数字，平衡或非平衡，光缆）？（参见注 1）
2	指定电子系统的耐受水平？（参见注 1 和 2）
注 1：详细资料请参见 IEC 62305-2	
注 2：详细资料请参见 ITU-T K.21, IEC 61000-4-5, IEC 61000-4-9 和 IEC 61000-4-10	

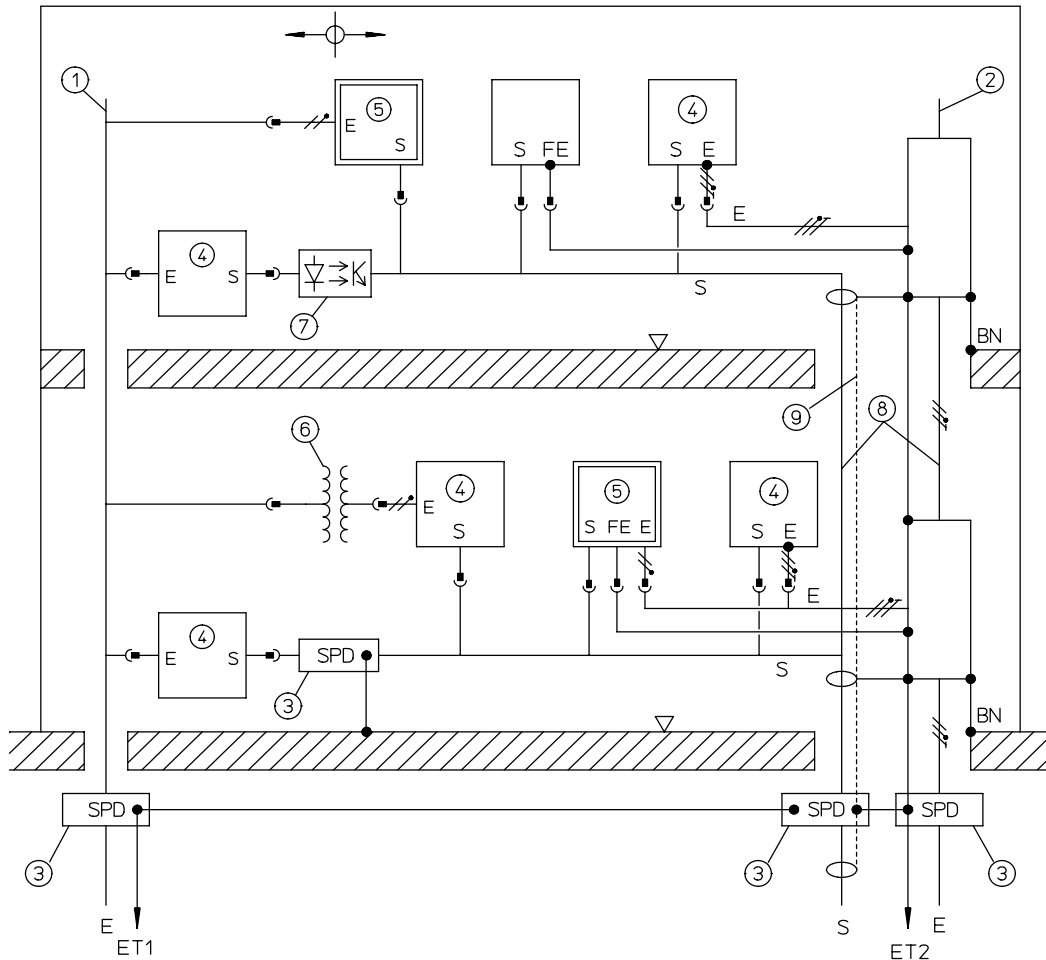
表 B.4 防护概念应考虑的有关问题

项 目	问 题
1	电源接地方式：TN（TN-S 或 TN-C）、TT 或 IT？
2	电子设备的位置？（参见注）
3	电子系统的功能性接地导体是否和搭接网络互连？
注：详细资料请参见附录 A	

B.2 既有建筑物接入新的电子系统

在既有建筑内增加新的电子系统时，既有设备可能会限制可以被采用的防护措施。

图B.1是一个现存设备与新增设备互相连接的示例，图的左侧为现存设备，右侧为新增设备。现存设备限制了可以被采用的防护措施。但新设备的设计和规划需考虑所有可被采用的必要防护措施。



图例：

- | | | | |
|---|------------------------------|-----|------------------|
| 1 | 原有工频电源 (TN-C, TT, IT) | E | 电源线 |
| 2 | 新设工频电源 (TN-S, TN-CS, TT, IT) | S | 信号线 (屏蔽或非屏蔽) |
| 3 | 浪涌保护器 (SPD) | ET | 接地装置 |
| 4 | I 级标准绝缘 | BN | 搭接网络 |
| 5 | 无 PE 的 II 级双重绝缘 | PE | 保护性接地导体 |
| 6 | 隔离变压器 | FE | 功能性接地导体 (若有) |
| 7 | 光耦合器或光缆 | /// | 3 芯电源线: L, N, PE |
| 8 | 电源线和信号线邻近布线 | // | 2 芯电源线: L, N |
| 9 | 屏蔽电缆管道 | • | 搭接点 (PE, FE, BN) |

图 B.1 既有建筑物中 LEMP 防护措施和电磁兼容性能的升级

B.2.1 可能的防护措施综述

B.2.1.1 电源

目前，建筑物内的电源（参见图B.1中的图例1）大多数是TN-C型，它会产生工频干扰。这种干扰可以通过隔离接口（参见下文）加以避免。

如果新安装电源（参见图B.1中的图例2），则强烈建议使用TN-S型。

B.2.1.2 浪涌保护器

为了控制沿线侵入的雷电浪涌，应在每一LPZ入口处安装SPD，如果可能还应当在被保护设备前安装SPD（参见图B.1中的图例3号及图B.2）。

B.2.1.3 隔离接口

为了避免干扰，新旧设备间可以使用隔离接口：Ⅱ级绝缘设备(参见图B.1中的图例5)、绝缘变压器(参见图B.1中的图例6)、光纤或光电耦合器(参见图B.1中的图例7)。

B.2.1.4 布线和屏蔽

线路中大的回路可能引起很高的感应电压或感应电流，应将电源线和信号线邻近敷设使回路面积减到最小从而避免高的感应电压或感应电流（参见图B.1中的图例8）；同时建议使用屏蔽信号线。对建筑物的扩展结构，建议还要增加屏蔽，如采用接地的电缆管道（参见图B.1中的图例9）。所有这些屏蔽都应在其两端搭接。

LPZ 1的空间屏蔽效果越低同时回路面积越大时，合理布线和屏蔽措施就越重要。

B.2.1.5 空间屏蔽

LPZ对雷电磁场的空间屏蔽，要求其典型的格栅宽度须小于5 m。

根据IEC 62305-3给出的普通外部LPS（接闪器、引下线和接地装置）所建立的LPZ 1，其格栅宽度和典型间距大于5 m，因此，其屏蔽效果可以忽略。若要求更高屏蔽效果，应当升级外部LPS（参见B.7节）。

LPZ 1和更高防护区可能需要空间屏蔽来保护电子系统，该空间屏蔽并不遵从无线频率发射和抗扰度的要求。

B.2.1.6 搭接

雷电流频率达数兆赫时，要求使用低阻抗网格状搭接网络，其典型的网格宽度为5 m。所有进入LPZ的公共设施应在尽可能靠近LPZ边界处直接或经过SPD与搭接网络相连。

如果现有建筑不能满足这些条件，则应提供其它恰当的防护措施。

B.2.2 划分电气和电子系统的雷电防护区（LPZ）

从小的局部区域（如单个电子设备机箱）到大的整体区域（如整个建筑物内部空间），都应根据电气和电子系统的数量、类型和敏感度，划分适当的内部雷电防护区（LPZ）。

图B.2所示为典型保护电子系统的雷电防护区（LPZ）划分，特别针对既有建筑物提供了不同的解决方案

图B.2a所示的是整个建筑物内部考虑成一个一级雷电防护区（LPZ 1），这适合于电子系统耐压水平高的情况。

——该一级雷电防护区域（LPZ 1）可以根据符合IEC 62305-3的LPS来建立，它包含一个外部LPS（接闪器、引下线和接地装置）和一个内部LPS（雷电等电位搭接、安全距离）。

——外部LPS在雷击建筑物时保护了建筑物内的一级雷电防护区（LPZ 1），但是一级雷电防护区（LPZ 1）内部磁场几乎没有衰减，这是因为接闪器和引下线的网格宽度和典型的距离大于5m，其空间屏蔽的作用可以忽略不计。若雷击建筑物的风险 R_D 非常低，则可以不使用外部LPS。

——内部LPS要求所有进入建筑物的设施在一级雷电防护区域（LPZ 1）的边界上进行搭接，它包括在所有电力线路和信号线路上安装通过最大雷电流 I_{imp} 测试的SPD。采取这一措施使得沿线侵入的浪涌被安装在入口处的SPD吸收。

注：为了避免低频干扰，在一级雷电防护区域（LPZ 1）内可以采用隔离接口。

如图B.2b所示，在未屏蔽的一级雷电防护区域（LPZ 1）内，新装设备仍然需要考虑对沿线侵入浪涌的防护。例如，信号线采用屏蔽电缆，电源线上安装协调配合的SPD防护。这需要增加用 I_n 和用组合

波测试的SPD，安装在靠近设备处，并与设施入口处处的SPD实现协调配合。还可能需要对设备采用附加的II级双重隔离。

如图B.2c所示，在一级雷电防护区域（LPZ 1）内部为新安装的电子设备建立一个大的整体二级雷电防护区域（LPZ 2）。LPZ 2的格栅型屏蔽对雷电流的衰减极大。在图的左边，根据附录C，SPD安装在LPZ 1的边界（LPZ 0到1的过渡点）和安装在LPZ2的边界（LPZ 1到2的过渡点）。在图右边，安装在LPZ 1边界的SPD应当选择能够完成LPZ 0/1/2空间的直接过渡（参见C.3.4节）。

如图B.2d所示，在一级雷电防护区域（LPZ 1）内两个较小的二级雷电防护区域（LPZ 2）的情况。在每个LPZ 2边界上的电源线和信号线都增设了SPD。根据附录C，这些SPD应当和LPZ 1边界上的SPD协调配合。

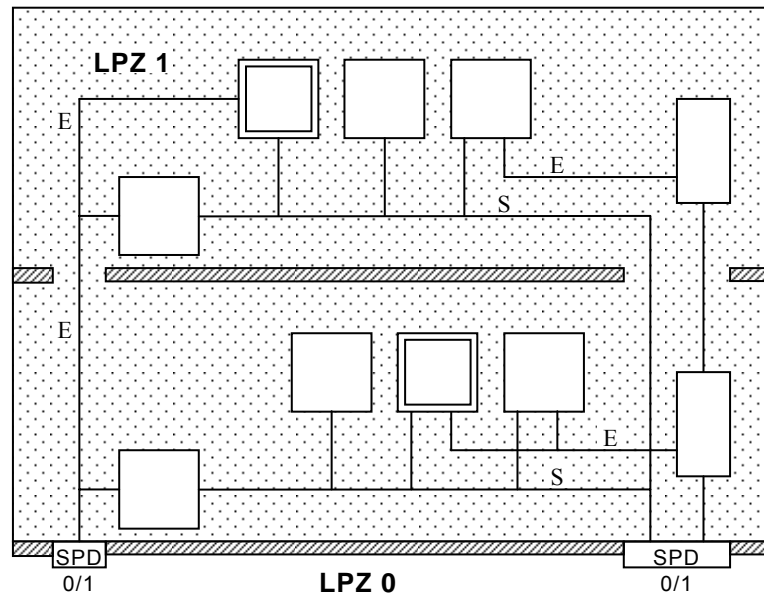


图 B.2a 未屏蔽的一级雷电防护区 LPZ 1，采用 LPS 和在建筑物进线入口处安装 SPD（例如，用于建筑物内耐受水平较高的系统或小布线回路）

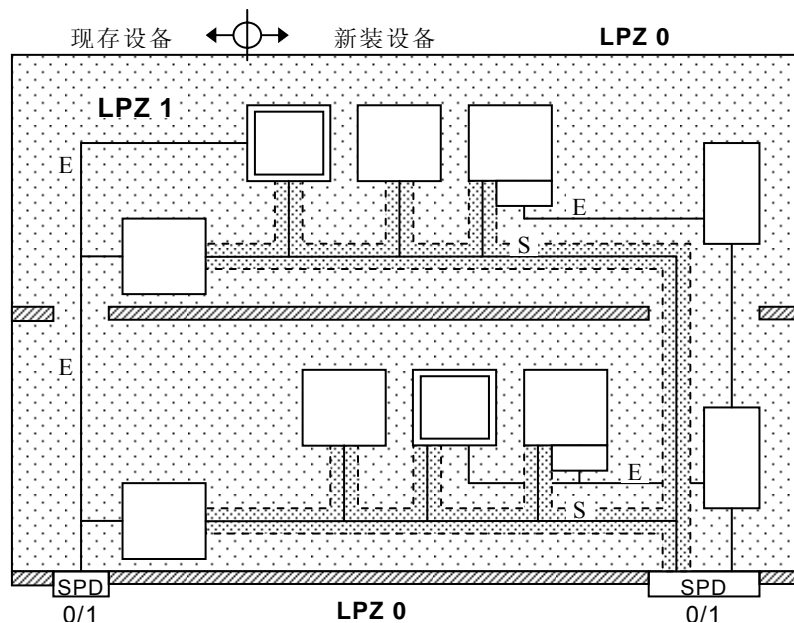


图 B.2b 未屏蔽的一级雷电防护区 LPZ 1，采用屏蔽信号线并在电源线安装协调配合的 SPD 防护以保护新装电子系统

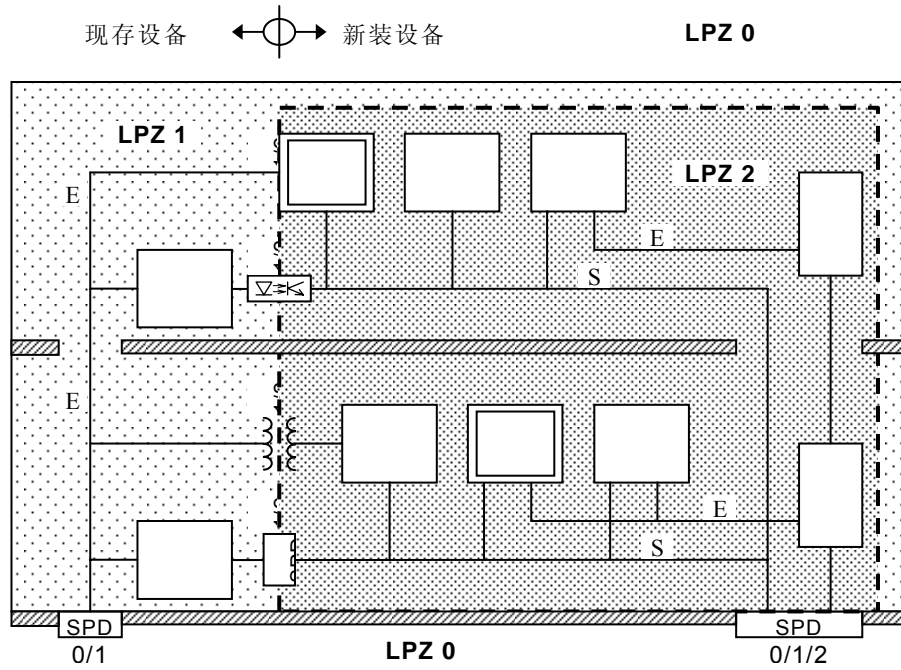


图 B.2c 未屏蔽的一级雷电防护区 LPZ 1 以及为新装电子系统设置的大的屏蔽的二级雷电防护区 LPZ 2

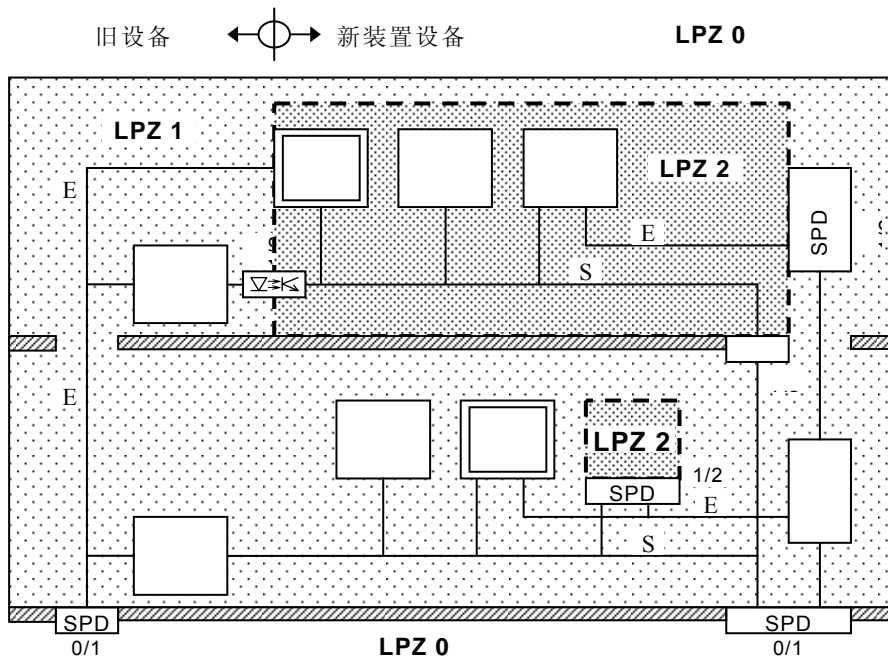


图 B.2d 未屏蔽的一级雷电防护区 LPZ 1 以及为新装电子系统设置的两个局部的二级雷电防护区 LPZ 2

图 B.2 在既有建筑物内划分雷电防护区 LPZ 的可能性

B.3 建筑物内电源和电缆布线的改进

旧建筑内的配电系统（参见图B.1中的图例1）大部分是TN-C型。可用下列措施避免接地信号线和PEN导线连接后可能产生的50/60 Hz干扰：

——采用Ⅱ级电气设备隔离接口或双重绝缘变压器。若电子设备较少，这可以作为一个解决方案（参见 B.5 节）。

——将配电系统改为 TN-S 型（参见图 B.1 中的图例 2）。对有大量电子设备的场合，特别推荐这一解决方案。

此外，还应当满足接地、搭接和线路布线的要求。

B.4 用浪涌保护器进行保护

为了限制雷电在线路上产生的传导浪涌，应在每一内部雷电防护区（LPZ）的入口处安装 SPD（参见图 B.1 的图例 3 及图 B.2）。这些 SPD 的吸收能力应当协调配合（参见附录 C）。

建筑物内的 SPD 间如果配合不当，例如下级的 SPD、或设备内的 SPD 妨碍建筑物进线入口处的 SPD 正常运行时，将导致电子系统损坏。

为了维护采用防护措施的有效性，必须对所有 SPD 的安装位置记录在案。

B.5 用隔离接口进行保护

流过设备及其连接的信号线上的工频干扰电流，可能归因于大的感应回路或者缺乏阻抗足够低的搭接网络。为了防止这种干扰（主要在 TN-C 型供电设备内），应在既有的电源设备与新增电源设备间用隔离界面进行适当的隔离，例如：

- Ⅱ级隔离设备（即无 PE 线的双重隔离）；
- 绝缘变压器；
- 无金属光缆；
- 光电耦合器。

采用隔离界面来防止雷电感过电压时，应当增强其过电压的耐受能力。1.2/50 波形时的典型过电压耐受值为 5 kV。若用这种界面防护更高的过电压时，可以使用 SPD。SPD 的防护水平 U_p 需要选择正好低于隔离界面的耐受电压之下。因为 SPD 的 U_p 过低也许会违反安全要求。

注：应当注意，金属设备外壳与搭接网络或其它金属部件间无意的电流连接，必须加以隔绝。在大多数场合都能满足这一条件，因为安装在家庭房间或办公室的电子设备仅通过连接电缆与参考地连接。

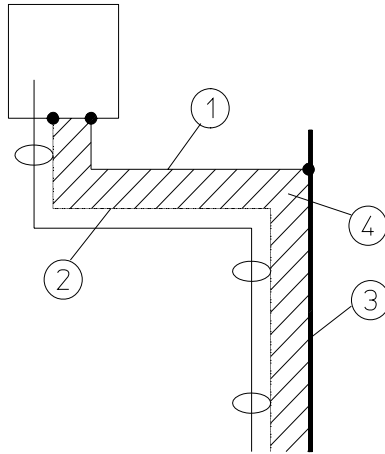
B.6 基于布线和屏蔽的防护

合理布线和屏蔽是降低感应过压的有效措施。如果一级雷电防护区域（LPZ 1）的空间屏蔽效果可以忽略时，这些措施就极为重要。在这种场合，可根据下列原则对保护方式加以改进：

- 减小感应回路的面积；
- 应当避免采用现有工频电源给新设备供电，因为它增大了封闭感应回路面积，大大地增加了绝缘损害的风险；同时，将电源线和信号线靠近布放可以避免产生大的回路（参见图 B.1 中的图例 8）；
- 采用屏蔽电缆，并至少在一端进行搭接；
- 使用金属电缆管道或接地的金属平板，分离的金属部件应保持电气上的良好连通；连接应该采用螺栓紧固金属重叠部分或采用搭接导体的方式来实现；为使电缆管道保持低阻抗，应当在电缆管道周围重叠缠绕螺旋形钢。（参见 IEC 61000-5-2）

图 B.3 图和 B.4 为合理布线和屏蔽技术的示例。

注：普通区域（没有具体指明电子系统的区域）内，电子设备的信号线间距离大于 10m 时，建议采用带有电流隔离部件的平衡信号线，例如，光电耦合器、信号隔离变压器或隔离放大器。另外，使用三轴电缆的效果更好。

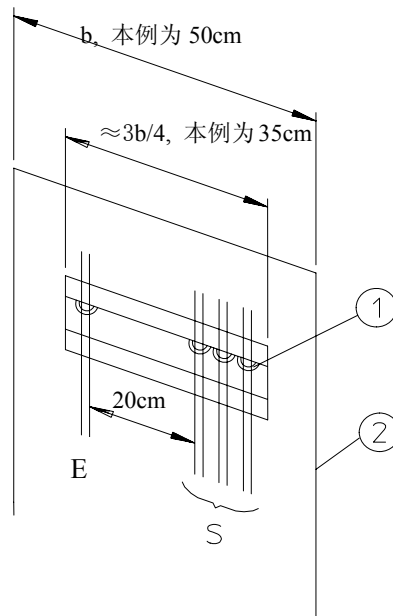


图例:

- 1 PE, 仅在 I 类设备使用时
- 2 电缆屏蔽层 (可选的) 要进行两端搭接
- 3 用作附加屏蔽的金属平板 (参见图 B.4)
- 4 小面积回路

注: 由于回路面积小, 电缆屏蔽层与金属平板间的感应电压小。

图 B.3 将屏蔽电缆靠近金属平板以减少回路面积



图例:

- 1 不论电缆屏蔽层有无搭接, 电缆都应固定于金属平板,
- 2 金属平板边缘的磁场比中间强
- E 电源线
- S 信号线

图 B.4 用金属平板做附加屏蔽的例子

B.7 用LPZ 1 空间屏蔽改善原有LPS

LPZ 1周围的原有LPS (根据IEC 62305-3) 可以用下列方法得到改善:

- 将现有的金属外墙和屋顶纳入外部 LPS 中；
- 采用建筑物混凝土中的钢筋（这些钢筋从最顶端的屋顶到接地装置是电气连通的）。
- 将引下线之间的距离和接闪系统的网格宽度减小到典型值 5m 以下；
- 安装柔性的搭接导体，用以连接相邻但结构上分离的单元之间的扩展节点。

B.8 用搭接进行防护

现有的工频接地系统，可能无法为频率高达数MHz的雷电流提供满意的等电位面，因为在如此高的频率下，它的阻抗可能太高。

根据IEC 62305-3设计的LPS，由于允许网格宽度大于5m，即使将雷电等电位搭接作为内部LPS的强制性部分，也可能无法满足敏感性电子系统的要求。这是因为这种搭接系统对于有效防护来说其阻抗仍然太高。

强烈推荐一个典型的网格宽度为5m及5m以下的低阻抗搭接网络。

通常，搭接网络既不能用作电源回路又不能作为信号回路。因此，PE线一定要纳入搭接网络，而PEN线则不应纳入搭接网络。

允许将功能性接地导体（例如与电子系统连接的清洁地）与低阻抗的搭接网络直接连接，因为这时耦合到电源线和信号线的干扰非常小。不允许功能性接地导体直接与PEN线或与PEN线相连的其它金属部件直接搭接，以避免在电子系统中产生工频干扰。

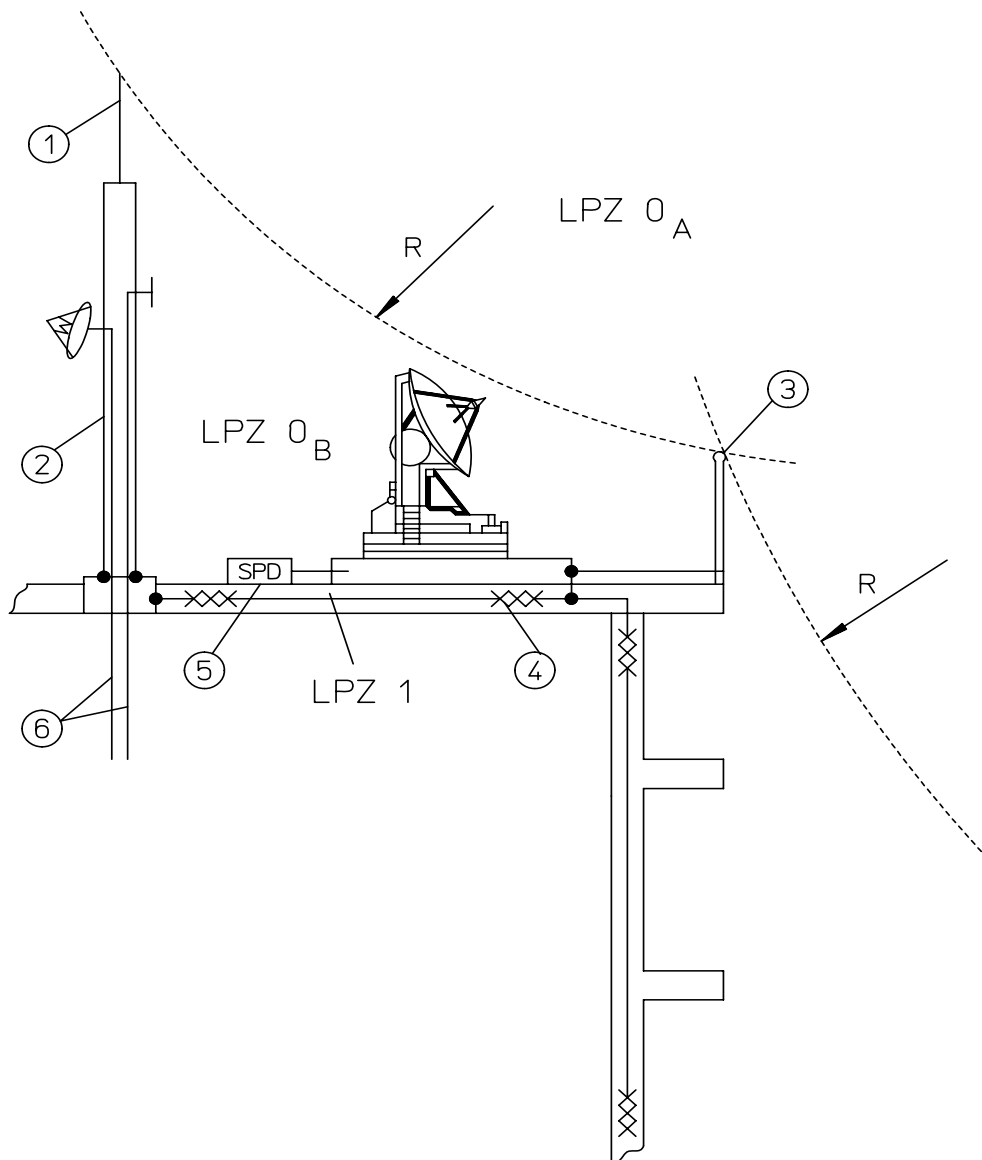
B.9 外安装设备的防护措施

外安装设备有各种敏感装置，如天线、气象探测仪、监视TV摄像头、生产车间的外部传感器（压力传感器、温度传感器、速率传感器、开关位置传感器等）和其它任何安装在建筑物、杆塔和工作容器以外位置上的电气、电子或无线电设备。

B.9.1 外部设备的防护

只要有可能，就必须将设备置于雷电防护区域（LPZ 0_B）的保护范围内，例如，采用局部接闪器，防止其遭到直接雷击（参见图B.5）。

在高大建筑上，应当用滚球法（参阅IEC 62305-3）确定建筑物顶部与侧面的设备是否会遭到直接雷击；若有遭到直接雷击的可能，应当另行安装避雷针接闪器。在许多场合，手扶栏杆、金属扶梯、管道等也能很好地起到接闪器的作用。除某些种类的天线外的所有设备都可以用这种方式保护。天线有时必须安装在暴露位置以避免附近的避雷针对天线的功能产生不利影响。有些天线本身具有自保护能力，因为这种天线只有良好接地的传导部件才暴露在雷击中。其它类型天线，需在其馈线电缆上加装SPD以防止过大的瞬态电流通过电缆向下流到接受器和发射器。当天线有外部LPS时，天线的支架应与其连接。



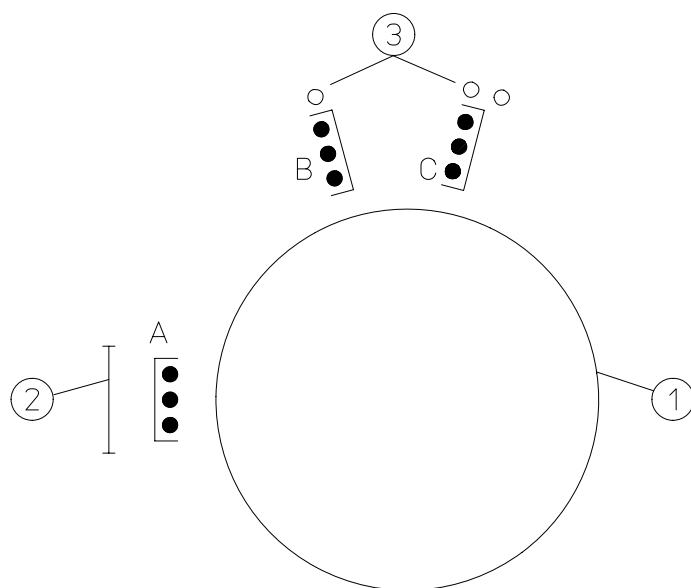
图例:

- 1 避雷针
- 2 钢质天线杆
- 3 扶手
- 4 互相连通的钢筋
- 5 从 LPZ 0_B 来的线路需要在入口处安装 SPD
- 6 从 LPZ 1 (天线杆内) 来的线路在入口处可以不安装 SPD
- R 滚球半径

图 B.5 天线和其它外部设备的防护

B.9.2 减小电缆中的过电压

将电缆敷设在搭接的电缆管道、干线管道或金属导管中，可以防止很高的感应电压和感应电流。所有与各自设备连接的电缆应当在单点离开电缆管道。如果可能的话，应当利用建筑物本身固有的屏蔽特性，将电缆放置在建筑物的管状构件中。若无此可能，例如对加工容器，需要将电缆敷设在外部，应当靠近建筑物，并最大限度利用金属管道、钢扶梯和其它任何良好搭接的导电材料（参见图B.6）所提供的天然屏蔽。采用L形角钢的天线塔（参见图B.7），电缆应敷设在L角内，以得到最大限度的保护。

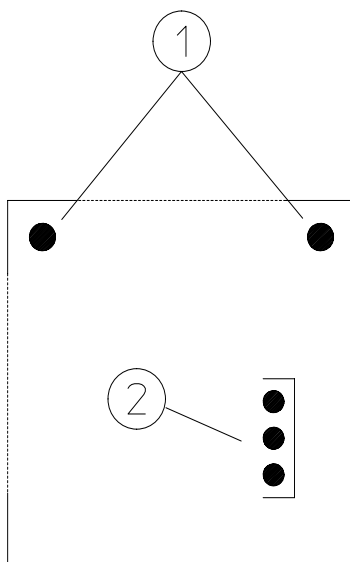


图例:

- 1 加工容器
- 2 扶梯
- 3 管道

注: A、B、C 为可供选择的电缆架最佳位置

图 B.6 由搭接的工作扶梯和管路提供的固有屏蔽



图例:

- 1 L 形桁架的拐角内布放电缆的理想位置
- 2 可供选择的电缆架最佳位置

图 B.7 天线塔电缆的理想敷设位置 (钢桁架天线塔横截面)

B.10 建筑物之间互连的改进

连接独立建筑间的线路有下列两种:

- 绝缘线（无金属屏蔽的光缆），或
 - 金属线（例如导线组、多芯线、波导管、同轴电缆，也包括有连续金属部件的光缆）。
- 防护要求取决于线路的类型、线路的数目、建筑物间的接地装置是否互相连接。

B.10.1 绝缘线

如果采用无金属的光缆（即无金属护套、无防潮金属箔或无钢质内部加强线）连接独立的建筑物，不需要采用防护措施。

B.10.2 金属保护线

独立建筑物的接地系统间的互连若不恰当，则互连线路会对雷电流构成一个低阻抗路径。这样，大部分雷电流将沿互连线路流动。

- 两个独立建筑物各自的 LPZ1 直接或通过进线入口处 SPD 进行搭接，只能保护该区内部的设备，而线路外部仍处于无防护状态；
- 增设一路并行的搭接保护线可以保护线路，雷电流将在线路和这一搭接导体之间分摊；
- 建议将线路敷设在密封而互连的金属管道内，这样线路和设备都得到保护。

独立建筑物的接地装置恰当互连时，仍建议用互连的电缆管道保护线路。当互连建筑之间有许多电缆时，若电缆的屏蔽层或铠装在两端都做了搭接，则可用其代替电缆管道。

附录 C

(资料性附录)

SPD 的协调配合

C.1 概述

在同一个电路上，级联安装两个以上的浪涌保护器（SPD）时，应当达到协调配合，根据各个SPD的能量吸收能力共同分担施加在它们上面的能量。

有效的配合应该考虑到各浪涌保护器（SPD）的特性（由制造商公布）、安装位置处可能受到的威胁和被保护设备的特性。

雷电流主要的威胁包括三种雷电流形态：

- 首次短雷击；
- 后续短雷击；
- 长时间雷击。

这三种形态全都是外加电流。在与下级SPD的协调配合中，当考虑能量（电荷量和电流幅值）分配时，首次短冲击是具有决定性的因素。后续短雷击的单位能量值较低，但电流上升陡度很高。长时间雷击仅是一个附加应力因素，因此在进行配合时可不予考虑。

注：如 SPD 专用于防止首次短雷击的威胁，则后续短雷击不会再有问题。如果用电感作退耦元件，较高的电流陡度更容易实现两个 SPD 间的协调配合。

不同雷电防护水平（LPL）的总雷电流参数已在IEC 62305-1的表3列出。然而，单个SPD只承受总雷电流的一部分。这就需要网络分析软件进行计算机仿真或者用IEC 62305-1附录B给出的近似方法确定电流分布。

注：在 GB/TXXXX-1 附录 B 给出了用于分析目的的短雷击分析函数。

直击雷的首次短雷击电流可以用10/350 μ s波形模拟。但是，由于雷电流和低压设备间相互作用，系统中的部分雷电流或感应电流会具有不同的波形。因此，为了协调配合目的，考虑采用下列的冲击试验电流（浪涌）：

- $I_{10/350}$ 波形为 10/350 μ s 的试验电流，专门用于测试 SPD 的能量配合。对用于电源线的 SPD，该波形用于 SPD 的 I 类测试（参见 IEC 61643-1），该类测试定义了峰值电流 I_{peak} 及电荷转移量 Q 。
- $I_{8/20}$ 波形为 8/20 μ s 的试验电流。对用于电源线的 SPD，该波形用于 II 类测试（IEC 61643-1）。
- I_{CWG} 混合波形发生器输出的电流（IEC 61000-4-5）。其波形取决于负载（开路为 1.2/50 μ s 电压波和短路为 8/20 μ s 电流波），用于 III 类测试（IEC 61643-1）。
- I_{RAMP} 电流陡度为 0.1 kA/ μ s 的试验电流。用来模拟由于雷电流和低压设备间的相互作用而电流陡度最低的系统内部的部分雷击电流。此电流特别用于测试级联 SPD 的退耦作用。

图C.1所示为根据雷电防护区概念在配电系统中应用SPD的示例。SPD依次安装，它们根据特定安装点的要求而选定。

建筑物内整个电气系统中的SPD选择和安装，应当保证局部雷电流大部分在LPZ 0_A /LPZ 1的界面处转移到接地系统。

一旦局部雷电流的大部分能量通过第一个 SPD 转移，后面安装的 SPD 在设计时只需考虑承受从 LPZ 0_A 侵入 LPZ 1 的残留威胁以及 LPZ 1 内电磁感应的影 响（尤其在 LPZ 1 无电磁屏蔽的情况下）。

注：在选择后续的 SPD 时，必须考虑电压开关型 SPD 可能达不到它的工作阈值。

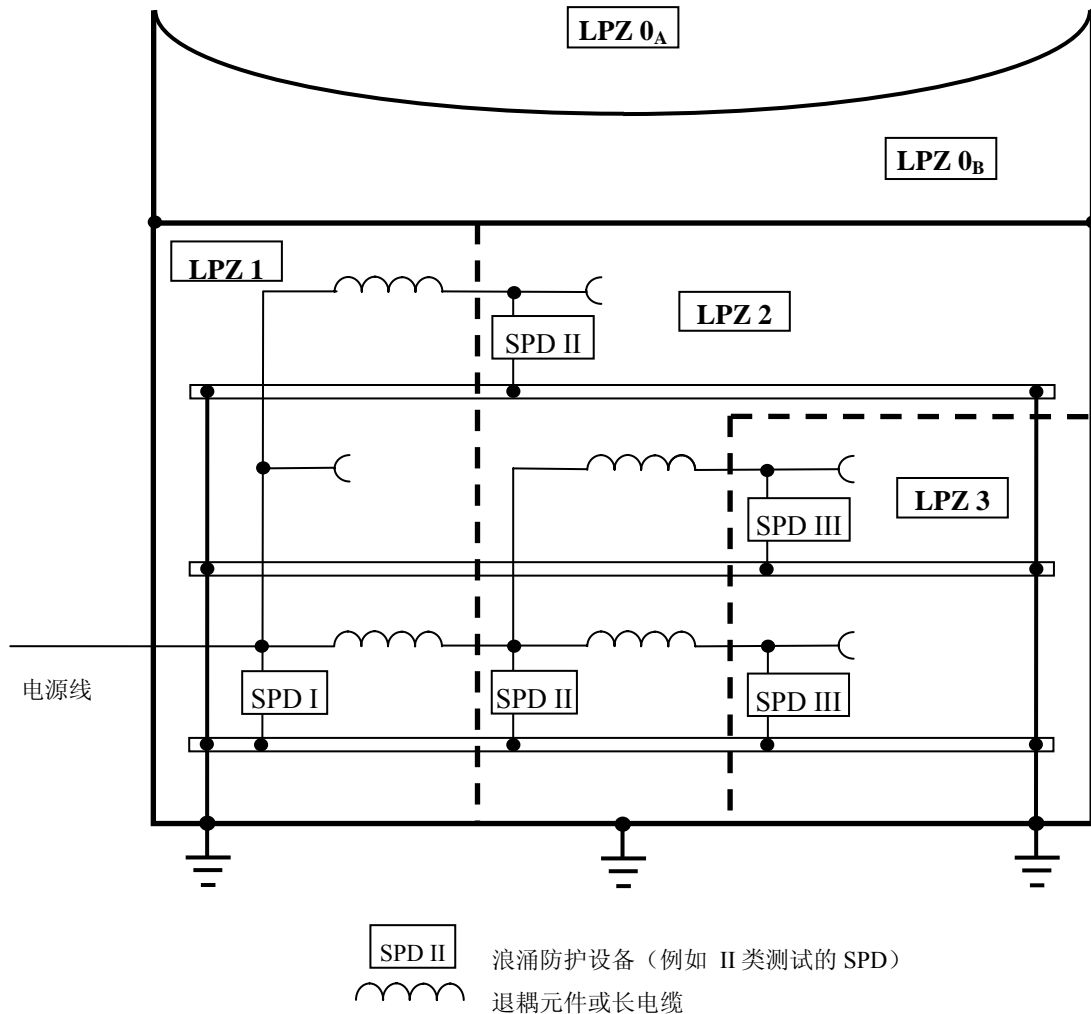


图 C.1 电源配电系统 SPD 应用示例

从 LPZ 0_A（此处可能遭受直接雷击）进来的线路携带有部分雷电流。因此在 LPZ 0_A 与 LPZ 1 的分界面处需用 I_{imp} 测试的 SPD（通过 I 类测试的 SPD）转移这些电流。

从 LPZ 0_B（此处排除了直接雷击，然而对电磁场没有任何屏蔽防护）进来的线路仅携带感应浪涌。在此情况下，根据 IEC 61643-1，LPZ 0_B 与 LPZ 1 分界面上的感应效应可用 8/20 μs 的浪涌电流波形（例如对 SPD 做 II 类测试的波形）也可用适当的组合波形（例如对 SPD 做 III 类测试的波形）进行模拟。

从 LPZ 0 过渡到 LPZ 1 后的剩余威胁和 LPZ 1 内的电磁场的感应效应，决定了安装于 LPZ 1 与 LPZ 2 分界面的 SPD 的性能要求。如果不能对威胁值作详细分析，则根据 IEC 61643-1，既可以用波形为 8/20 μs 的浪涌电流（例如 II 类测试的 SPD）也可以用满足要求的组合波形（例如 III 类测试的 SPD）模拟 SPD 上承受的主要负荷。若 LPZ 0 与 LPZ 1 界面的 SPD 为电压开关型，就有可能进入的雷电流水平不足以对它实现触发。这时，下级安装的 SPD 就可能需要承受 10/350 μs 波形。

C.2 SPD 协调配合的目标

能量的配合需要避免在一个系统内的 SPD 过负荷。因此必须确定每个 SPD 上承受的负荷，这取决于它们的安装位置和特性。

一旦两个或两个以上的 SPD 级联安装，就需要对 SPD 及与被保护设备间配合问题进行研究。

如果每一个 SPD 所承受的能量都低于或等于其能量耐受能力，那么就实现了系统的能量配合。这种能量协调配合需要考虑 C.1 节中提到的 4 种波形。

能量耐受能力可以按如下途径获得：

——根据 IEC 61643-1 进行电气测试；

——SPD 制造商提供的技术资料。

图C.2所示为SPD能量配合的基本模型。该模型仅在下述情况下有效，即搭接网络的阻抗以及搭接网络与SPD1和SPD2连接后构成的整套防护设备间的互感均可以忽略。

注：如果其它适当措施（例如 SPD 的伏安特性的配合，或采用专门针对低电压触发设计的电压开关型 SPD，即所谓“触发型 SPD”）能确保能量配合，则不需退耦元件。

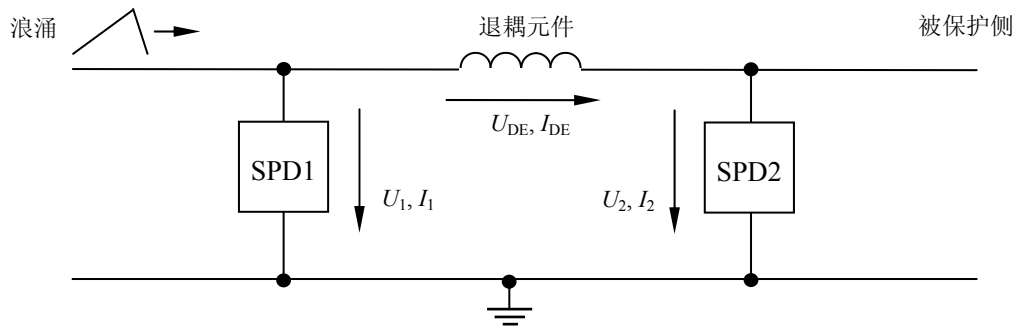


图 C.2 能量协调配合的基本模式

C.2.1 能量配合的原则

SPD之间的能量协调配合采用下列原则之一：

——伏安特性的配合（无解耦单元）

本方法基于静态电压/电流特性，并适合于电压限制型SPD（例如金属氧化物变阻器MOV或抑制二极管）。本方法对电流波型不十分敏感。

注 1：本方法不需退耦，因为线路的特性阻抗有一些固有的退耦作用。

——使用专用退耦元件进行配合

为协调配合，用具有足够浪涌耐受能力的阻抗作为退耦元件。信息系统首先选用阻性元件。电力系统主要选用感性元件。电流的上升陡度 di/dt 是表征电感配合效果的主要参数。

注 2：退耦元件既可通过专门的装置来实现，也可使用级联 SPD 间电缆的特性阻抗来实现。

注 3：线路的电感即是两条平行导线的电感：如果两个导线（相线和地线）在同一电缆内，则电感为大约 $0.5 \mu\text{H}/\text{m}$ 至 $1 \mu\text{H}/\text{m}$ （与线径有关）。如果两条导线是分离的，电感将会更高（与两条导线的间隔距离有关）。

——使用触发型 SPD（无去耦元件）的配合

若触发型SPD的电子触发电路能保证后续的SPD不超过其能量耐受能力，还可用触发型SPD达到配合。

注 4：本方法不需退耦，即使线路的特性阻抗有一些固有的退耦作用。

C.2.2 两个电压限制型SPD的配合

图C.3a所示为两个电压限制型SPD协调配合的基本电路图，图C.3b说明电路内部能量流散途径。随着冲击电流的增长，输入系统的总能量增加。只要在每个SPD中耗散的能量不超过自身的能量耐受能力，就达到了能量的协调配合。

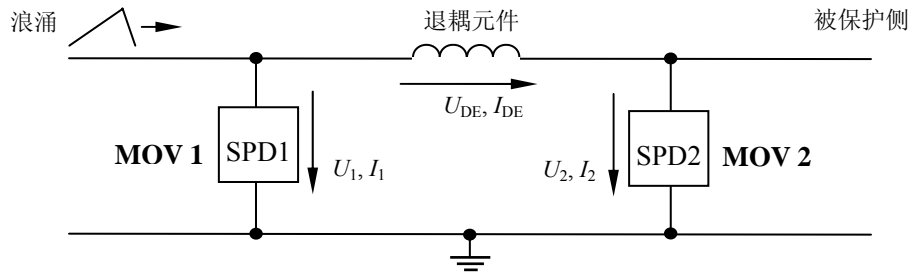


图 C.3a MOV 1 与 MOV 2 配合的电路

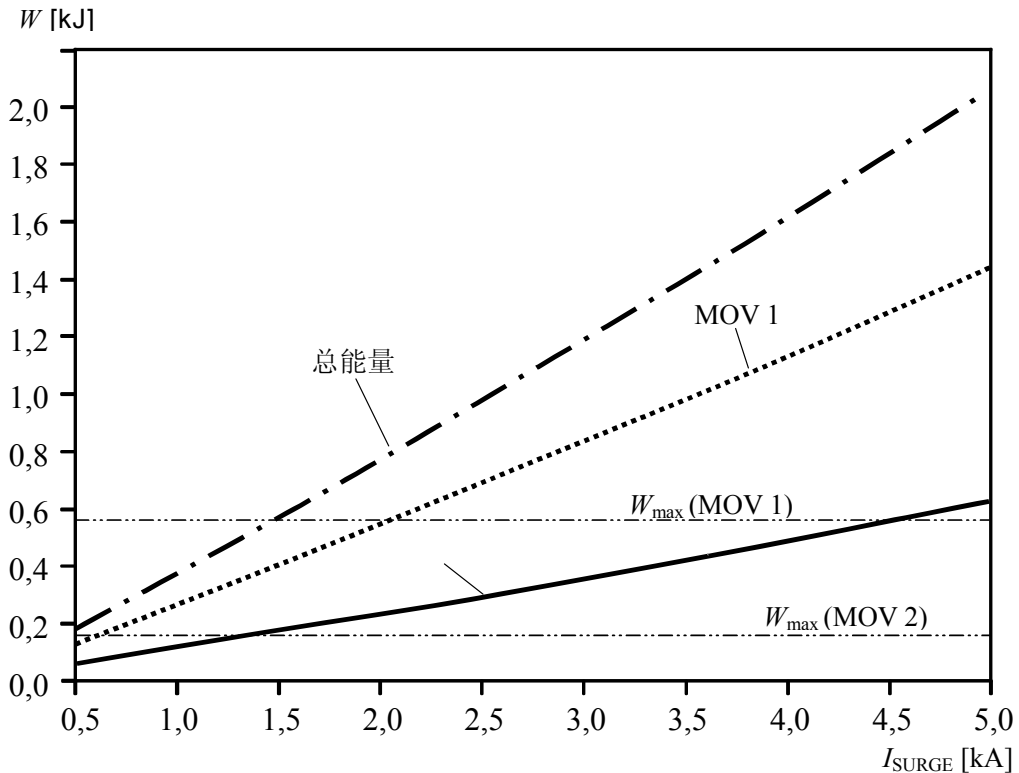


图 C.3b MOV 1 和 MOV 2 能量配合的原理

图 C.3 两个电压限制型 MOV 1 和 MOV 2 组合

没有专门退耦元件的两个电压限制型SPD，它们的能量配合应通过它们在相关电流范围内的伏安特性的配合来实现。该方法不完全取决于所考虑的电流波形。如需另外使用电感作为退耦元件，则应当考虑电流波形（例如10/350 μs 或8/20 μs ）。

对电流陡度低的波形（例如0.1 kA/ μs ），用电感为不同场合的电压限制型SPD退耦，其配合效果并不明显。用于信号线的SPD，最好用电阻（或导线的特性电阻）做退耦元件来实现能量的配合。

如果两个电压限制型SPD协调配合，两者都应选定各自的浪涌电流和能量。所考虑的电流波的持续时间应和侵入的电流一样长。图C.4a和图C.4b给出了两个电压限制型SPD在10/350 μs 浪涌波形情况下协调配合的示例。

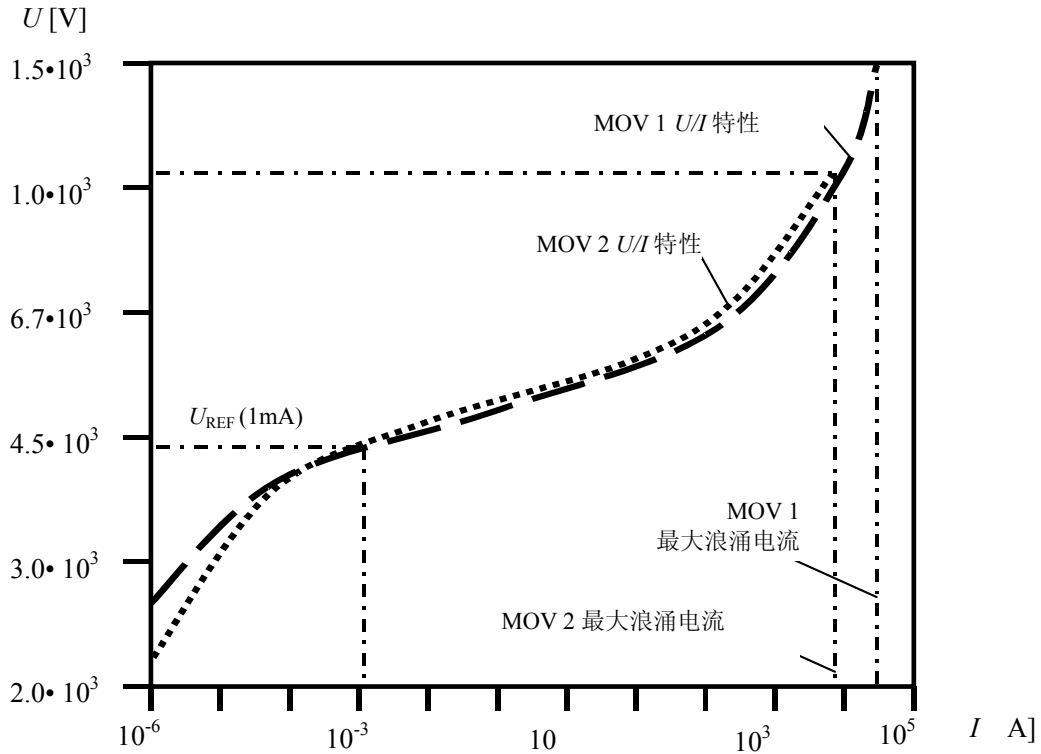


图 C.4a MOV 1 和 MOV 2 的伏安特性

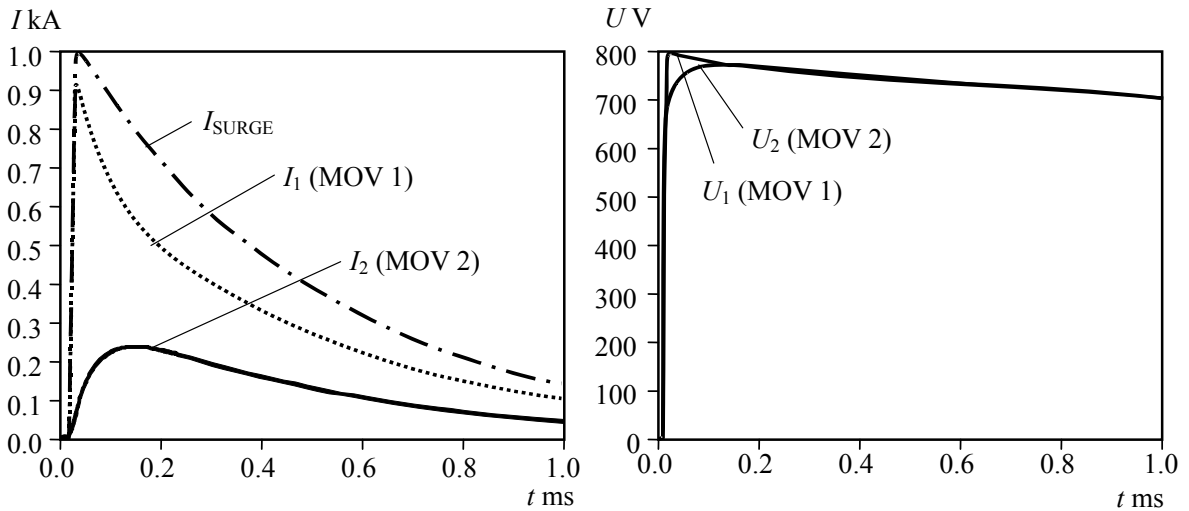


图 C.4b 10/350 μs 浪涌时 MOV1 和 MOV 2 的电压和电流

图 C.4 两个电压限制型 MOV1 和 MOV2 的示例

C. 2. 3 电压开关型和电压限制性SPD间的配合

图C.5a是作为技术范例的采用一个火花间隙（SG）和一个金属氧化物变阻器（MOV）实现配合方案的基本电路图。图C.5b说明利用电压开关型浪涌保护器SPD 1和电压限制型浪涌保护器SPD 2的特性进行能量配合的基本原理。

火花间隙SG (SPD 1) 的点火与否取决于MOV (SPD 2) 两端的残压 U_2 和去耦元件上的动态电压降 U_{DE} 之和。一旦电压 U_1 超过了动态放电电压 U_{SPARK} ，则SG将发生火花放电并达到配合，这仅取决于：
 ——金属氧化物变阻器 MOV 的特性；
 ——入侵浪涌电流的陡度和幅值；
 ——退耦元件（电感或电阻）。

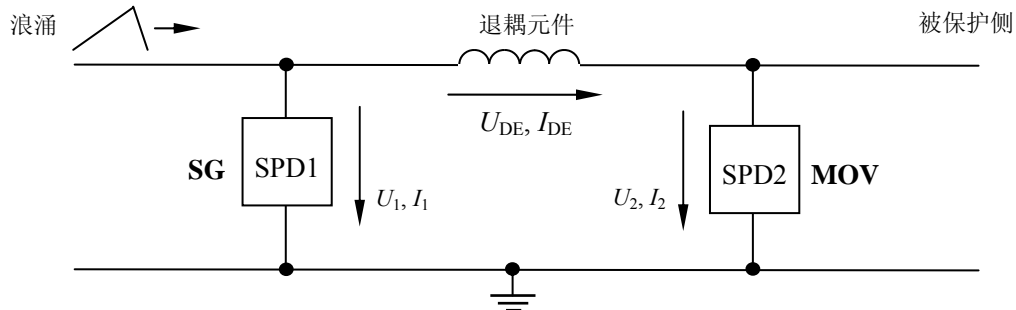


图 C.5a 放电间隙与 MOV 的组合电路

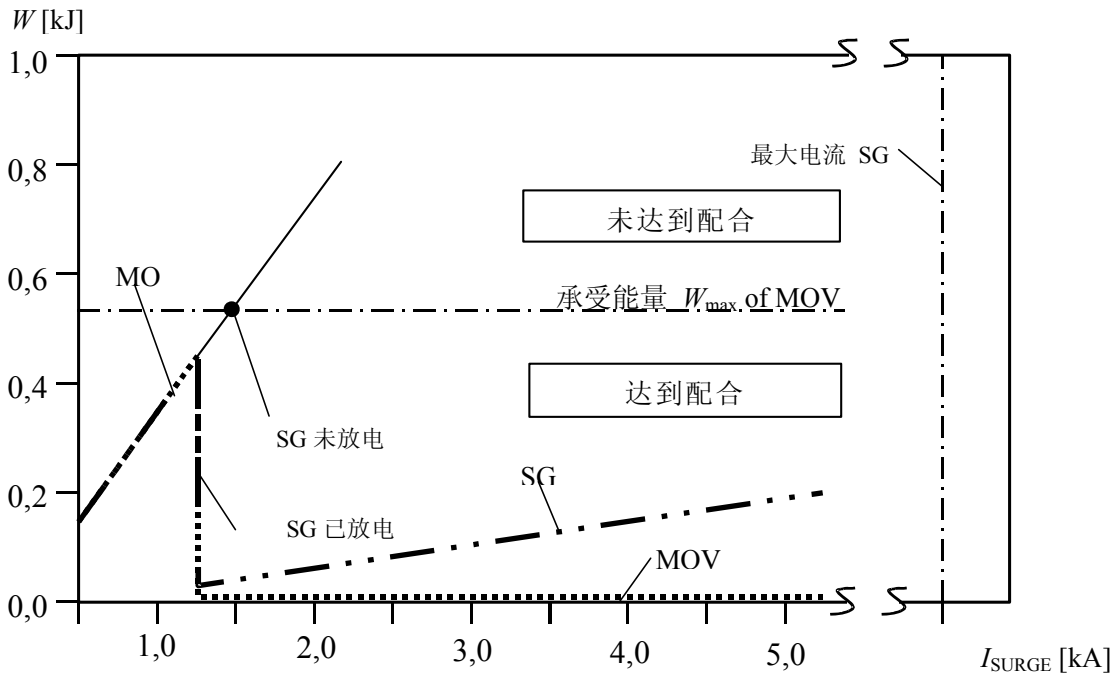


图 C.5b 火花间隙与 MOV 能量配合的原则

图 C.5 电压开关型 SG 与电压限制型 MOV 的组合

当用电感作退耦元件时，应当考虑浪涌电流上升时间和峰值大小。陡度 di/dt 越大，则退耦所需电感越小。当对用 I_{imp} 测试的SPD (I 类测试) 和用 I_n 测试的SPD (II 类测试) 进行配合时，应当采用最小电流陡度为 $0.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 的雷电流 (参见IEC 62305-1的附录C.1)。这些SPD必须保证在 $10/350 \mu\text{s}$ 雷电流以及最小陡度 $0.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 雷电流时都实现配合。

考虑下列两种基本情况：

——火花间隙不点火 (参见图 C.6a)

若火花间隙 SG 不点火，则浪涌电流全部流过 MOV。如图 C.5b 所示，若该浪涌耗散的能量高于 MOV 的耐受能力，则没有达到协调配合。若用电感为退耦元件，则配合状况需要用最坏情况来评估，即在最小电流陡度 $0.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 时。

——火花间隙点火（参见图 C.6b）

如果 SG 点火，则电流流经 MOV 的持续时间大大减短。如图 C.5b 所示，当放电间隙 SG 在流过 MOV 的能量未超过其承受值之前放电，则达到了正确的能量配合。

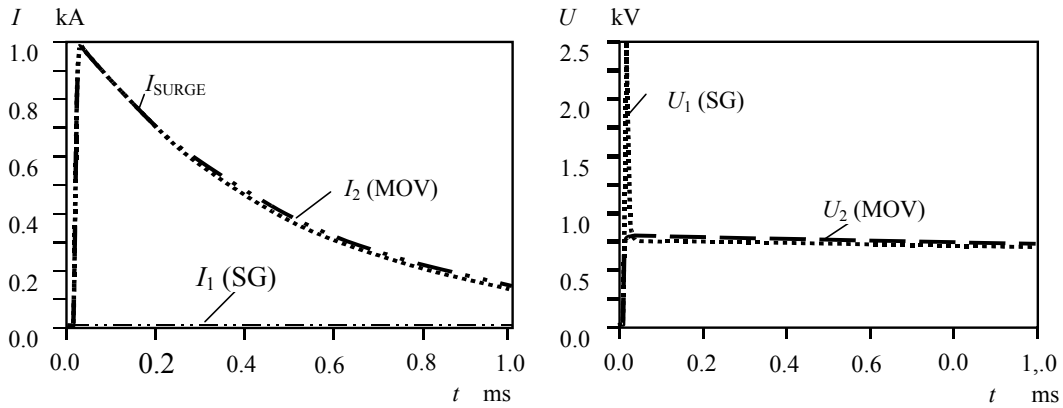


图 C.6a 10/350 μs 浪涌时 SG 与 MOV (SPD 1 未点火) 上的电压和电流

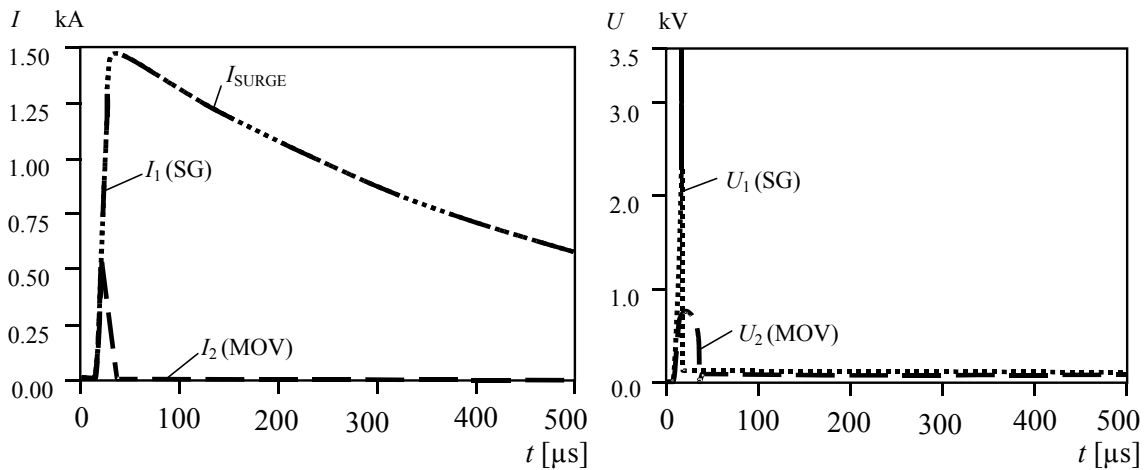


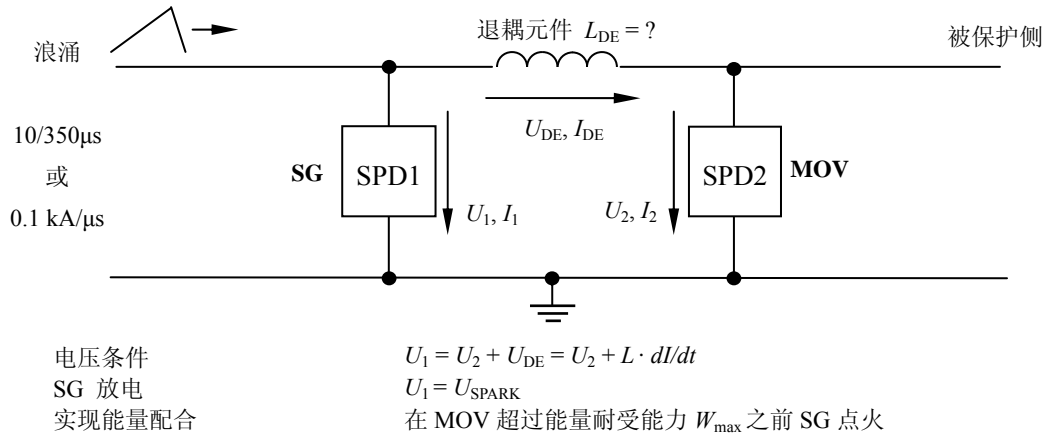
图 C.6b 10/350 μs 浪涌时 SG 与 MOV (SPD 1 点火) 上的电压和电流

图 C.6 电压开关型 SG 与电压限制型 MOV 的组合

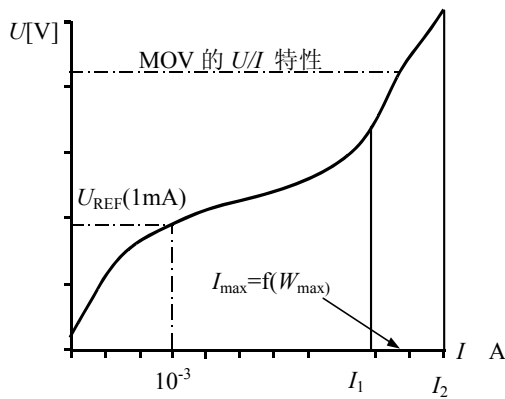
图C.7所示为在10/350 μs 雷电流和最小雷电流陡度 $0.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 这两个条件下，确定所需退耦电感的过程。在确定所需退耦元件时还应当考虑两个SPD的动态伏安特性。成功的配合的条件是，在MOV达到所能耐受能量值以前SG必须点火。

SG的点火取决于它的放电电压 U_{SPARK} 以及MOV (SPD 2) 两端的电压 U_2 和去耦元件两端电压 U_{DE} 之和。电压 U_2 取决于电流 i (参见MOV的伏安特性)，而电压 $U_{\text{DE}} = L_{\text{DE}} \cdot di/dt$ ，取决于电流陡度。

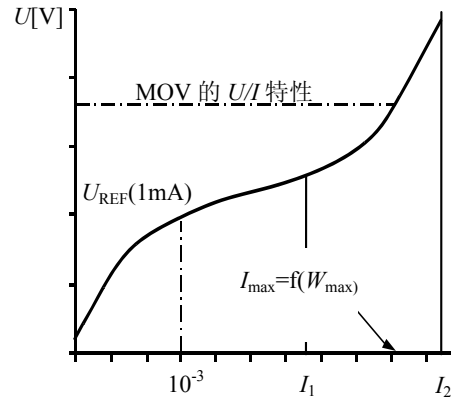
对10/350 μs 浪涌，电流陡度 $di/dt \approx I_{\text{max}}/10 \mu\text{s}$ 取决于MOV所允许的电流幅值 I_{max} (取决于其能量程受能力 W_{max})。由于电压 U_{DE} 和 U_2 都是 I_{max} 的函数，SG两端的电压 U_1 也由 I_{max} 确定。 I_{max} 越高，SG两端电压 U_1 的陡度也越大。因此，在标准中SG的点火电压 U_{SPARK} 通常用在 $1 \text{ kV}/\mu\text{s}$ 时的冲击点火电压来描述。



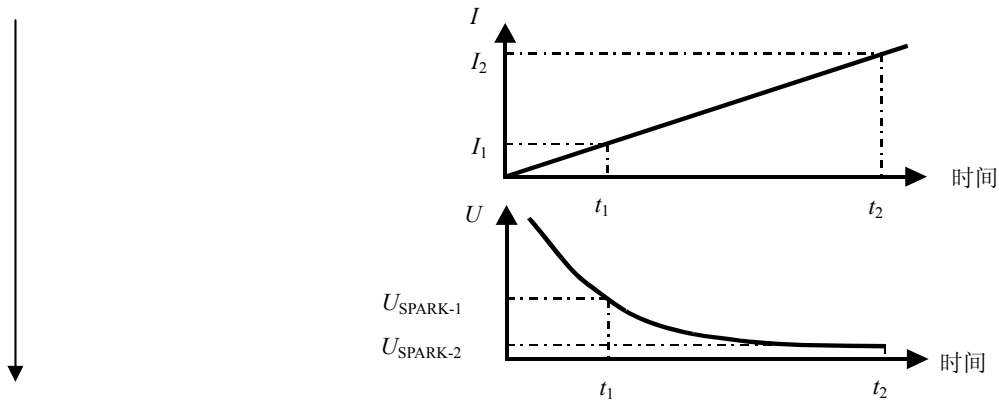
10/350 μ s 浪涌时实现能量配合	0.1 kA/ μ s 浪涌时实现能量配合
--------------------------	---------------------------



$I_1 < I_{max} \quad (L_{DE-1} \geq L_{DE-10/350})$
 $I_2 > I_{max} \quad (L_{DE-2} \leq L_{DE-10/350})$



$I_1 < I_{max} \quad (L_{DE-1} \geq L_{DE-0.1kA/\mu s})$
 $I_2 > I_{max} \quad (L_{DE-2} \leq L_{DE-0.1kA/\mu s})$



$L_{DE} = (U_{SPARK} - U_2) / (dI/dt)$ 这里 $U_2 = f(I_{max})$	
$L_{DE-10/350\mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (I_{max} / 10 \mu s)$	$L_{DE-0.1kA/\mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (0.1kA/\mu s)$
要求 L_{DE} 值大于 $L_{DE-10/350}$ 和 $L_{DE-0.1kA/\mu s}$ 值	

图 C.7 10/350 μ s 和 0.1 kA/ μ s 浪涌时确定退耦电感

对于0.1 kA/μs斜角波，电流陡度di/dt=0.1 kA/μs是常数，因此电压 U_{DE} 也是常数，而和从前一样， U_2 还是 I_{max} 的函数。因此，火花间隙两端电压 U_1 的陡度随MOV的伏安特性变化，同时要远低于第一种情况。由于火花间隙的动态工作电压特性，当火花间隙两端电压持续时间增长时，间隙的点火电压将降低（该持续时间取决于 I_{max} ， I_{max} 是由MOV耐受能量能力 W_{max} 推导而来）。因此，可以假定流经MOV的电流的持续时间增长至500 V/s时，点火电压 U_{SPARK} 几乎降低至DC工作电压。

最后，将采用两个电感 $L_{DE-10/350\mu s}$ 和 $L_{DE-0.1kA/\mu s}$ 中值较大的一个作为退耦电感 L_{DE} 。请参见图C.8和图C.9的示例。

注：在低压电力系统中确定退耦元件时，最坏的情况是SPD 2短路（ $U_2=0$ ），间隙放电所需电压 U_D 将变到最大。当SPD 2是电压限制型时，它的残压 $U_2>0$ ，它将大大减小所需电压 U_{DE} 。该残压至少应高于电源的峰值电压（例如AC额定电压为230V时，峰值电压为 $\sqrt{2} \cdot 230 \text{ V} = 325 \text{ V}$ ）。考虑SPD 2的残压，去选定合适的退耦元件。否则会选用得过大。

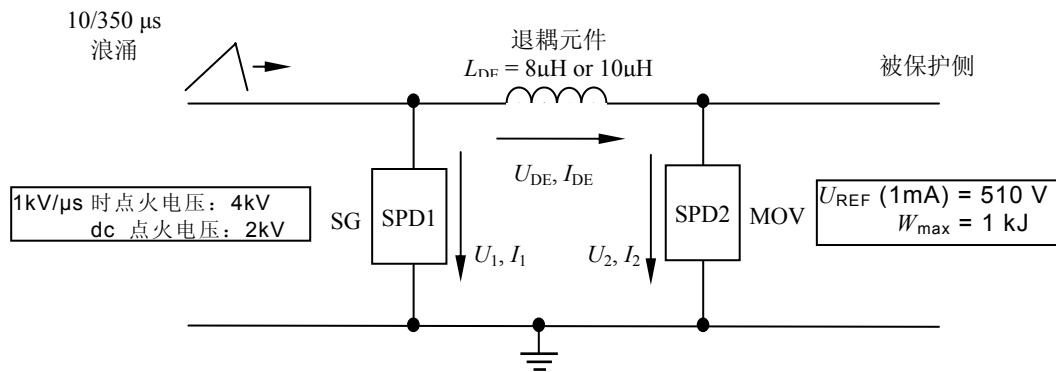


图 C.8a 10/350 μs 浪涌时配合电路图

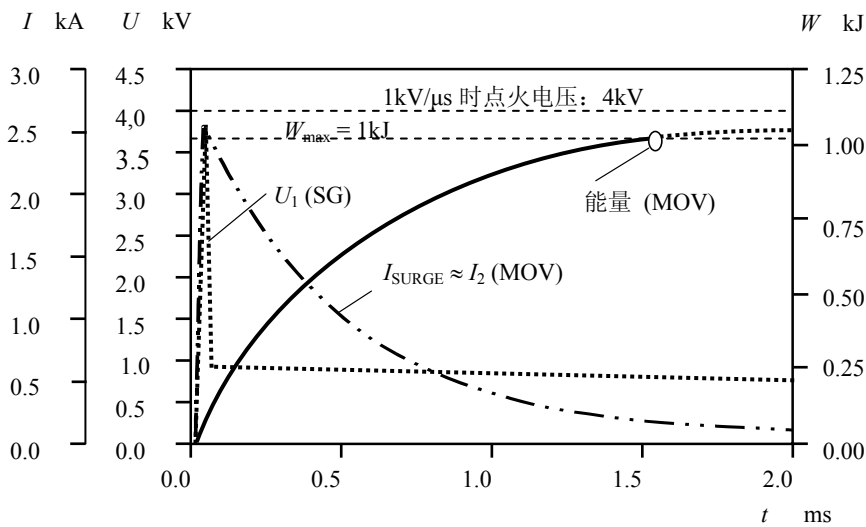


图 C.8b $L_{DE} = 8 \mu\text{H}$ 时的电流/电压/能量特性——对 10/350 μs 浪涌未达到能量配合（SG 未点火）

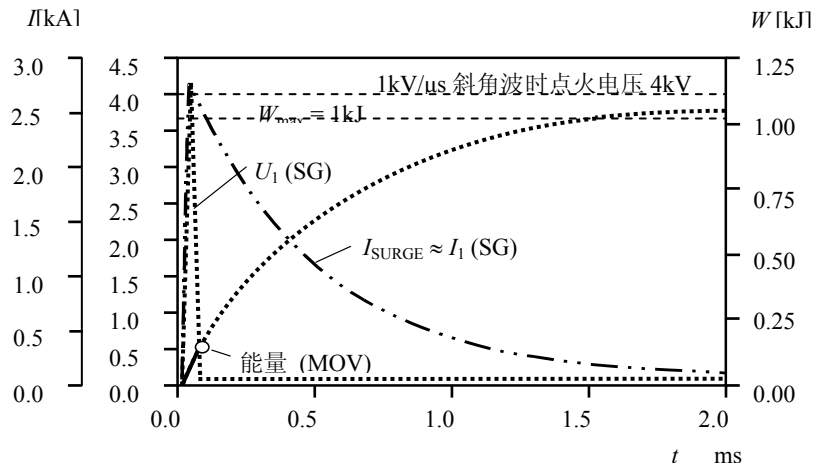


图 C.8c $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$ 时的电流/电压/能量特性：对 $10/350 \mu\text{s}$ 浪涌达到能量配合（SG 点火）

图 C.8 $10/350 \mu\text{s}$ 浪涌时 SG 和 MOV 配合示例

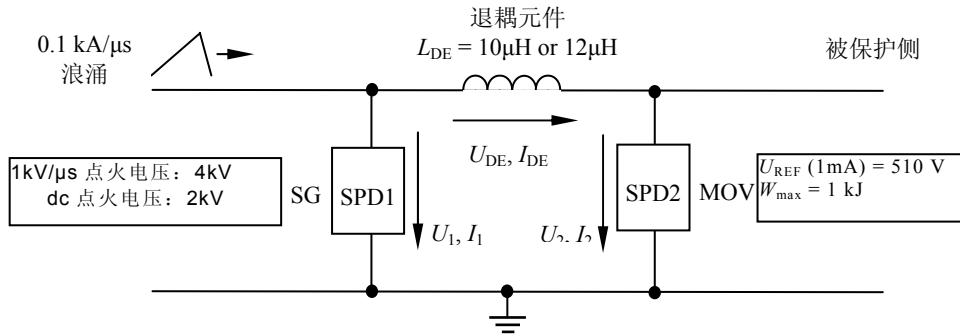


图 C.9a $0.1\text{kA}/\mu\text{s}$ 浪涌时配合图

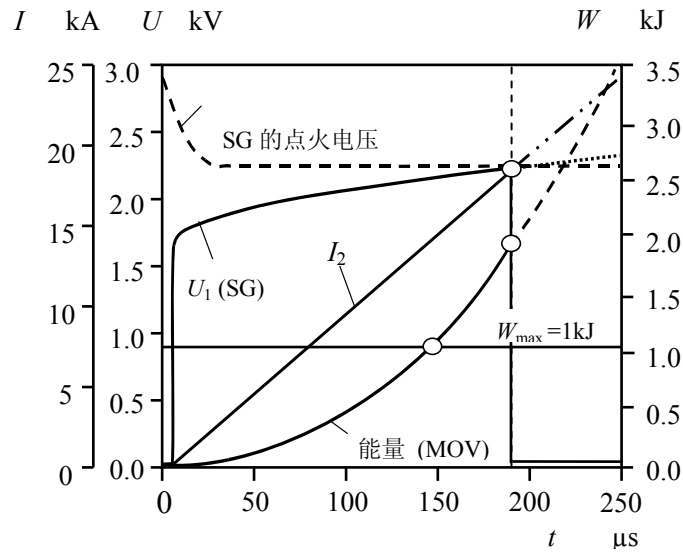
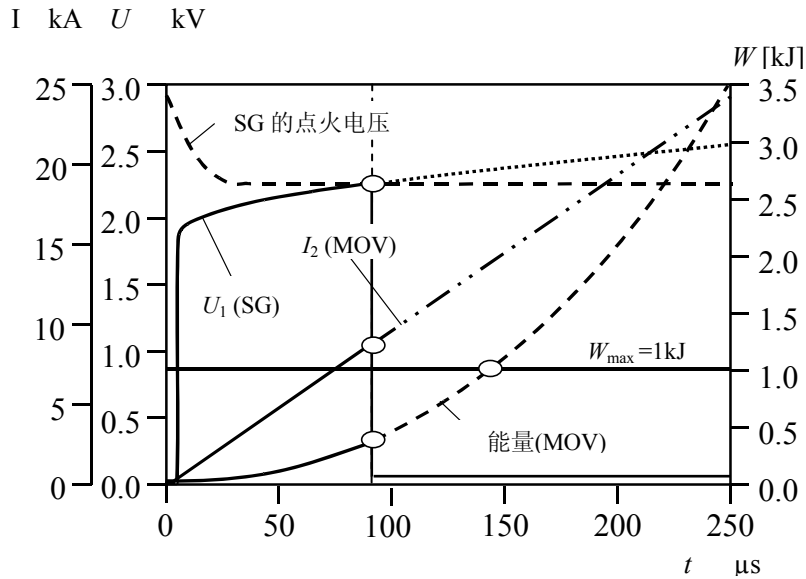


图 C.9b $L_{DE} = 10\mu\text{H}$ 时的电流电压特性
 $0.1\text{kA}/\mu\text{s}$ 浪涌时能量未能配合

图 C.9c $L_{DE} = 12 \mu\text{H}$ 时电流/电压/能量特性0.1 kA/ μs 浪涌时能量达到配合图 C.9 0.1 kA/ μs 浪涌时 SG 和 MOV 配合示例

C.2.4 两个电压开关型SPD的配合

该配合方案用火花间隙 (SG) 作技术范例来说明。对于火花间隙之间配合, 应考虑其动态工作特性。

在SG 2点火后, 将由退耦元件实现能量配合。为了确定退耦元件的数值, 可用一个短路线代替SG2。SG1点火后, 去耦元件上的动态电压降应高于SG 1的点火电压。

用电感作退耦元件时, 所需 U_{DE} 主要取决于浪涌电流的陡度。因此要考虑浪涌的波形和陡度。

用电阻作去耦元件时, 所需 U_{DE} 主要取决于浪涌电流峰值。在选择退耦元件的脉冲速率参数时, 也应考虑该值。

在SG1点火后, 总能量将根据各个元件的伏安特性再行分配。

注: 在采用火花间隙或气体放电管时, 冲击陡度是具有决定性的主要因素。

C.3 防护系统的基本配合方案

目前有四种防护系统配合方案: 前三种采用单端口SPD, 而第四种采用集成退耦元件的两端口SPD。这些配合方案都值得考虑 (同时也应考虑被保护设备内部的SPD)。

C.3.1 方案 I

所选用的SPD都有连续的伏安特性 (如MOV或抑制二极管) 及相同的残压 U_{RES} 。SPD和被保护设备之间的配合通常由它们间的线路阻抗来实现 (参见图C.10)。

C.3.2 方案 II

所选用的SPD都有连续的伏安特性 (例如MOV或抑制二极管)。残压 U_{RES} 从SPD 1到SPD 3逐步升高 (参见图 C.11)。

这种适用于电源系统的配合方案。

注: 此方案要求被保护设备内保护单元 (SPD4) 残压高于直接安装在它前面的保护器 (SPD3) 的残压。

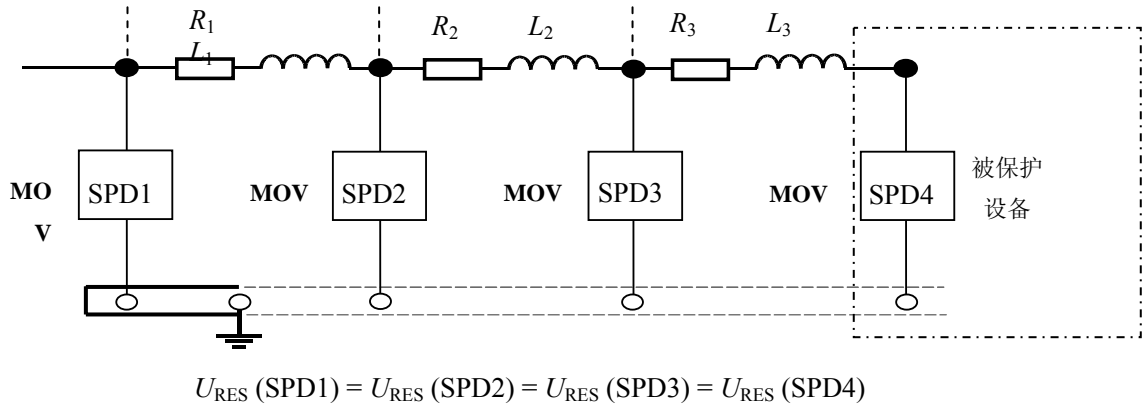


图 C.10 配合方案 I (电压限制型 SPDs)

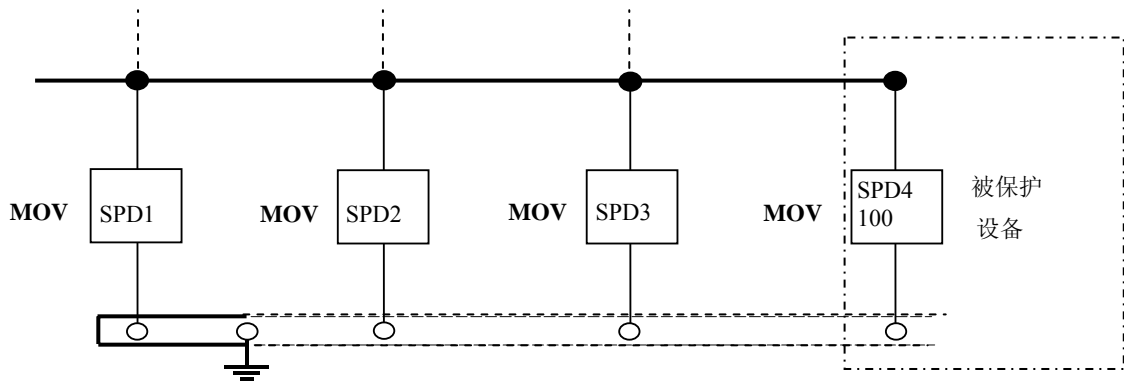


图 C.11 配合方案 II (电压限制型 SPDs)

C.3.3 方案III

SPD 1具有不连续的伏安特性（例如火花间隙），后续的SPD有连续的伏安特性（例如MOV或抑制二极管）。所选用的SPD都有相同的残压 U_{RES} （参见图C.12）。

该方案具有这样的特性，即通过SPD 1的开关特性，减少原始电流冲击10/350 μ s的半峰值时间，从而大大的减小了后续SPD的压力。

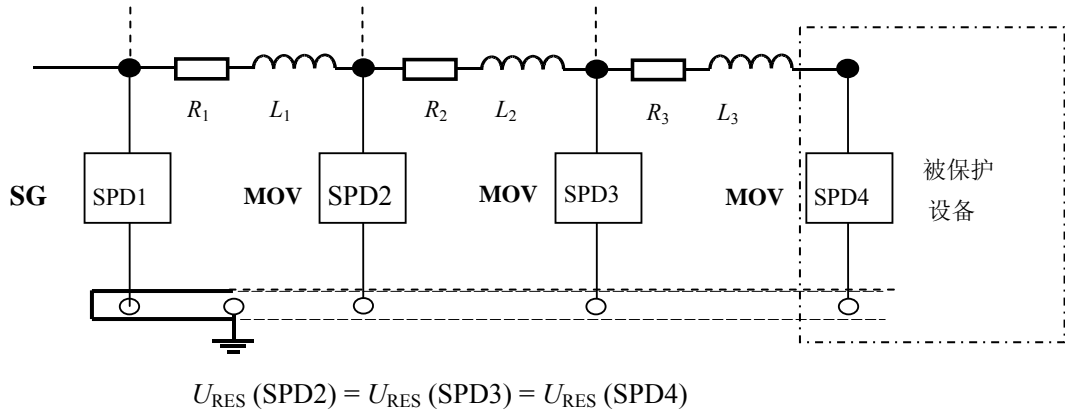
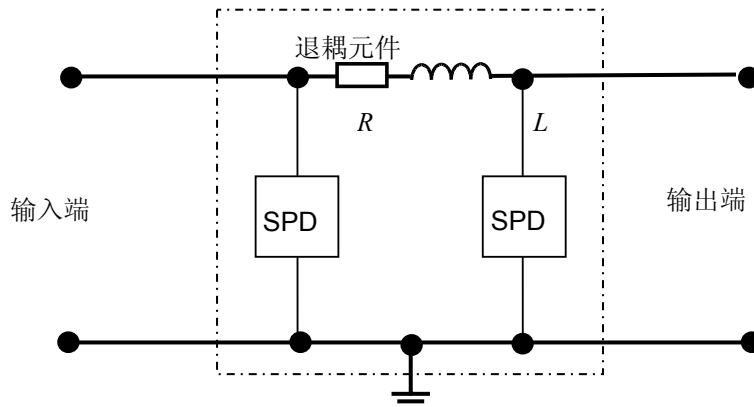


图 C.12 配合方案 III (电压限制型 SPD 和电压开关型 SPDs)

C.3.4 方案IV

可将级联的SPD与串联阻抗或滤波器在内部配合(参见图C.13),组成新的两端口浪涌保护器。成功的内部配合可以保证传输到后续SPD或设备的能量被减到最小。这些SPD应按照方案 I、II 或 III 中的原则,与系统内其它SPD充分协调配合。



注: 如果采用其它适当措施(例如通过伏安特性配合或用触发型 SPD),则可以省略串联的阻抗或滤波器。

图 C.13 配合方案 IV (一个单元中含数个 SPD)

C.4 根据“通流量”法实现配合

组合波发生器产生的冲击波可用来选择和配合SPD。该方法的主要优点是有可能将SPD当作黑盒处理(参见图C.14)。对于SPD 1输入端的一给定浪涌,可以确定其开路电压和短路电流的输出值(“通流量”法)。这些输出特性可以换算成一等效的等效电阻 2Ω 组合波源(开路输出 $1.2/50 \mu s$ 电压波,短路输出 $8/20 \mu s$ 电流波)。本方法的优点是不必专门了解SPD的内部设计。

注: 当 SPD 2 对 SPD 1 无反馈作用时,本方法能获得良好的结果。也就是说,在 SPD 2 输入端的浪涌为准外加电流。其条件是 SPD 1 和 SPD 2 的伏安特性具有很大差异(例如一个 MOV 和一个火花间隙配合)。

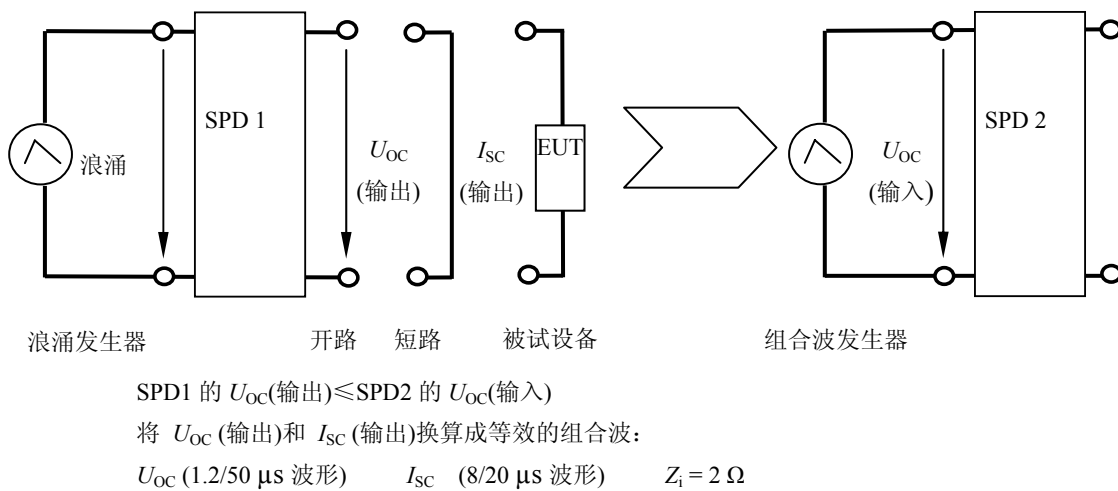


图 C.14 采用“通流量”法配合

本配合方法的目的是使SPD2 的输入值（例如放电电流）与SPD 1的输出值（例如电压防护水平）具有可比性。

对于恰当的协调配合，SPD 1输出的等效组合波不应超过被SPD2吸收且不损坏SPD2的组合波。

在SPD 1输出端的等效组合波应当在最坏的状况下确定（包括 I_{max} ， U_{max} ，通流能量）。

注：该配合方法的其它详细资料情参见 IEC 61643-12。

C.5 配合的验证

能量的协调配合应当用以下方法验证：

——协调配合试验法

协调配合可以用逐个验证法进行证实。

——计算法

简单情况可以近似方法计算，复杂系统需要用计算机模拟。

——使用已配合好的系列 SPD 产品

这种情况，制造商应证明其 SPD 已达到协调配合。

附录 D
(资料性附录)
协调配合 SPD 保护的选择和安装

在复杂的电气和电子系统中，电源和信号回路都必须考虑选择安装合适的协调配合的SPD保护。

D.1 选择SPD要考虑的因素

D.1.1 电压保护水平

被保护设备额定冲击耐受电压 U_w 应定义如下：

- 电力线及终端设备由 IEC 60664-1 规定；
- 通信线及终端设备由 ITU-T K.20 和 K.21 规定；
- 其它线路及终端设备由厂家自行规定。

在下列情况，内部系统受到保护：

- 内部系统冲击耐受电压 U_w 大于或等于 SPD 的保护水平 U_p ，加上考虑连接导线上的电压降所需的裕量；
- 与上级 SPD 能量配合时。

注1：SPD的保护水平 U_p 是规定标称电流时的残压。当流过SPD的电流较大或较小时，SPD端子的电压数值都会相应的变化。

注2：当SPD与被保护设备连接时，连接导线的感应电压降 ΔU 应加到SPD的保护水平 U_p 中。最终有效保护水平 $U_{p/f}$ 定义为SPD输出的电压，等于保护水平加上连接部件的线路压降。SPD的输出电压最终的有效保护水平 $U_{p/f}$ 可以假设为：

$$U_{p/f} = U_p + \Delta U \quad \text{适用于限压型SPD}$$

$$U_{p/f} = \max(U_p, \Delta U) \quad \text{适用于电压开关型SPD}$$

当SPD携带部分雷电流时，假定每m线路的压降 $\Delta U=1$ kV，或者考虑20% 的裕量。若SPD仅携带感应电流，则 ΔU 可以忽略。

注3：SPD的保护水平 U_p 和设备的耐受电压 U_w 应在相同的测试条件下（过电压和过电流波形、能量及供能设备等）比较。该情况正在考虑中。

注4：设备可能已经内置SPD，这些内置的SPD会影响保护配合。

D.1.2 选择时考虑安装位置和放电电流

IEC 62305-1附录E规定，SPD应能在安装点上承受的预计的放电电流。SPD的选用，取决于它们的耐受能力。电源用SPD由IEC 61643-1分类，通信系统的SPDIEC 61643-21分类。

SPD的安装点如下：

a) 在建筑物的进线入口（在 LPZ 1 边界，即在电力线路主配电箱 MB 上）：

- 用 I_{imp} 测试的 SPD（I 类测试的 SPD）
要求 SPD 的冲击电流 I_{imp} 应当包含安装点根据 IEC 62305-1 附录 E.1 节和/或 E.2 节选择 LPL 后预计的（局部）雷电流。
- 用 I_n 测试的 SPD（II 类测试的 SPD）
进线完全在 LPZ 0_B 或危害源 S1 和 S3 造成的失效风险可以忽略时采用这种类型的 SPD。

根据 IEC 62305-1 附录 E.1 和/或 E.2 节, 要求 SPD 的标称放电电流 I_n 应当包含安装点预期的浪涌。

- b) 靠近被保护设备 (在 LPZ2 或更高雷电防护区的边界, 即在分配电盘 **SB** 上, 或在插座 **SA**)。
- 用 I_n 测试的 SPD (II 类测试的 SPD)
要求 SPD 的标称放电电流 I_n 应当包含根据 IEC 62305-1 附录 E.3 节选择 LPL 确定的安装点预期的浪涌。
 - 用组合波测试的 SPD (III 类测试的 SPD)
选择组合波发生器所要求的开路电压 U_{oc} 时应当保证其相应的短路电流包含根据 IEC 62305-1 附录 E.3 节选择 LPL 确定的安装点预期的浪涌。

D.2 协调配合的SPD保护安装

有效的协调配合的 SPD 保护不但要选择适当的 SPD, 主要还取决于适当的安装。安装时主要应考虑以下几点:

- SPD 的安装位置;
- 连接导线;
- 保护距离 (振荡现象);
- 保护距离 (感应现象)。

D.2.1 SPD的安装位置

SPD 的安装位置必须符合 D.1.2 节要求, 主要受下列因素影响:

- 保护应当对特定的危害源有效果: 雷电击中建筑物 (S1)、雷电击中线路 (S3)、雷电击中建筑物附近大地 (S2)、雷电击中线路附近 (S4);
- 保护应尽可能的靠近外线进入建筑物的入口, 将浪涌电流通过进可能短路径引导入大地。

首先要求考虑, SPD 越靠近进入建筑物的外线入口, 该 SPD 所能保护的设备数目越多 (经济得益)。第二条必须检查, SPD 越靠近被保护设备, 则保护效果越好 (技术得益)。

D.2.2 连接导体

SPD 的连接导体应有表 1 给出的最小截面积。

D.2.3 振荡保护距离 l_{po}

SPD 在工作时, SPD 安装位置处的线对地电压限制在 U_p 。若 SPD 和被保护设备间的线路太长, 浪涌的传播将会产生振荡现象。被保设备终端开路时, 设备终端的过电压会增至 $2U_p$, 即使选择了 $U_p \leq U_w$, 设备的失效仍将发生。

保护距离 l_{po} 是 SPD 和设备间线路的最大长度, 在此限度内, SPD 有效保护设备 (已经考虑了振荡现象和电容负载)。

这些数据取决于 SPD 的技术、安装规则和负载电容。

若线路长度小于 10 m 或者 $U_{pif} < U_w / 2$ 时, 保护距离可以不考虑。

注: 若最大线路长度大于 10 m 或者 $U_p > U_w / 2$ 时, 保护距离可以用下列公式估算:

$$l_{po} = [U_w - U_p] / k \text{ (m)}, \text{ 其中 } k = 25 \text{ (V/m)}$$

D.2.4 感应保护距离 l_{pi}

建筑物或附近建筑物地面遭受雷击时会在 SPD 与被保护设备构成的回路内感应出过电压, 它加于 U_p 上降低了 SPD 的保护效果。感应过电压随回路 (线路路径: 线路长度、保护地 PE 与相线的距离、电力线与通信线间的回路面积) 尺寸增加而增加, 随磁场强度衰减而减少 (空间屏蔽和/或线路屏蔽)。

保护距离 l_{pi} 是SPD与被保护设备间最大线路长度，在此距离内，SPD对被保护设备的保护才是有效的（考虑感应现象）。

总的原则是在雷电产生的磁场极强时，减小SPD与设备间的回路。或者用下列方法减小磁场强度：

——建筑物（LPZ1）或房间（LPZ2 或更高区域）空间屏蔽；

——线路屏蔽（使用屏蔽电缆或电缆管道）。

若提供了足够的屏蔽，可以不考虑保护距离 l_{pi} 。

注：当这是一个重要问题（长回路、线路未屏蔽、大回路等）时，可用下列公式估算保护距离 l_{pi} ：

$$l_{pi} = [U_w - U_p] / h \quad (\text{m})$$

$$\text{其中：} h = 30000 \times K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \quad (\text{V/m})$$

而 K_{S1} ， K_{S2} ， K_{S3} 是IEC 62305-2中B.3节给出的系数：

K_{S1} ：由LPS或其它LPZ 0/1边界屏蔽措施提供的空间屏蔽；

K_{S2} ：LPZ 1/2或更高区域边界屏蔽措施提供的空间屏蔽；

K_{S3} ：内部线路的特性。

D. 2. 5 SPD的配合

根据IEC 61643-12或IEC 61643-22，应当保证级联使用的SPD间相互配合。SPD的制造厂商应在他们的文件上提供足够的有关获得SPD之间能量协调配合的充分资料。

SPD协调配合的更多资料由附录C给出。

D. 2. 6 安装协调配合的SPD的程序

协调配合的SPD应当根据下列程序安装：

1) 在线路进入建筑物的入口（LPZ1边界，例如，安装点MB），安装SPD1（参见D.1.2节）；

2) 确定内部被保护系统的冲击耐受电压 U_w ；

3) 选择SPD1的保护水平 U_{p1} ，使有效保护水平 $U_{p1} \leq U_w$ ；

4) 检查保护距离 $l_{po/1}$ 和 $l_{pi/1}$ （参见D.2.3和D.2.4节）；

若满足条件3)和4)的要求，则SPD1有效保护了被保护设备。

否则，需设置SPD2：

5) 靠近被保护设备（在LPZ2边界，例如，安装点SB）安装SPD2（参见D.1.2节）；

6) 选择SPD2的保护水平 U_{p2} ，使有效保护水平 $U_{p2} \leq U_w$ ；

相同的SPD易于有效配合。

7) 检查保护距离 $l_{po/2}$ 和 $l_{pi/2}$ （参见D.2.3和D.2.4节）。

若满足条件6)和7)的要求，则能量协调配合的SPD1和SPD2有效的保护了被保护设备。

否则，需在靠近被保护设备处（例如，安装点SB）设置SPD3。该SPD应当与上级的SPD1和SPD2能量配合（参见D.2.5节）。

参考文献：

- [1] IEC 61000-1-1: 1992, 电磁兼容 (EMC) — 第 1 部分：总论—第一节：基本术语和定义的说明
- [2] IEC 61000-5-6: 2002, 电磁兼容 (EMC) — 第 5-6 部分：安装和调试指南—外部电磁场影响的减弱