

IEC 62305-4:2006 雷电防护 –

第 4 部分：建筑物内电气和电子系统

Protection against lightning

Part4:Electrical and electronic systems within structures

翻 译：郭 晋

校 审：关象石

校审说明:在 IEC62305-4:2006 正式出版物中,

1)图 C.12 有印刷错误,已纠正.

2)D.1.2 中 LPZ0_B 处选用 I_n 测试的 SPD 与正文中 3.9 的“LPZ 不一定有物理界面”的定义矛盾,与 IEC61643-12, IEC61643-22 在进行 S1~S4 曲分后选用 I_{imp} 或 I_n 有一定矛盾。也与本标准中 B.2.2 中 LPZ1 边界选用 I_{imp} 测试的 SPD 相矛盾。

目 次

前言	II
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 雷击电磁脉冲 (LEMP) 防护系统 (LPMS) 的设计和安装	3
4.1 LEMP 防护系统 (LPMS) 的设计	5
4.2 防雷区 (LPZ)	5
4.3 LPMS 中基本防护措施	8
5 接地和等电位连接	8
5.1 接地装置	9
5.2 等电位连接网络	10
5.3 等电位连接带	14
5.4 LPZ 交界处的等电位连接	15
5.5 等电位连接导体的材质和尺寸	15
6 磁场屏蔽和线缆布线	15
6.1 格栅形大空间屏蔽	15
6.2 内部线缆屏蔽	15
6.3 内部线缆布线	15
6.4 外部线缆屏蔽	16
6.5 磁场屏蔽的材质和尺寸	16
7 协调配合的 SPD 防护	16
8 LPMS 的管理	16
8.1 LPMS 管理计划	16
8.2 LPMS 的检查	17
8.3 维护	18
附录 A (资料性附录) 在 LPZ 中评估电磁环境的基础	19
附录 B (资料性附录) 已建成建筑物中 LEMP 防护措施的实施	36
附录 C (资料性附录) SPD 的配合	47
附录 D (资料性附录) SPD 的选型和安装	61
图 (图号及页号从略)	
表 (表号及页号从略)	

国际电工委员会

雷电防护

第 4 部分：建筑物内电气和电子系统

前言

1) IEC (国际电工委员会) 是国际性标准化组织, 由各国家电工委员会 (IEC 国家委员会) 组成。国际电工委员会的宗旨是促进在电气和电子工程领域有关标准化问题的国际合作。为了这一宗旨及其他活动需要, 国际电工委员会出版国际标准、技术规范、技术报告、公开规范 (PAS) 和指南 (以下统称为 IEC 出版物)。这些出版物的编制工作由技术委员会进行; 任何对正在进行的项目感兴趣的 IEC 国家委员会均可参与编制工作。与 IEC 有联系的各国际、政府和非政府的组织也可参与编制工作。IEC 与国际标准化组织 (ISO) 依照两组织间的协议密切合作。

2) IEC 在技术问题快报中发表的正式决定或协议尽可能的代表了国际上在相关领域中多数人的统一意见, 因为技术委员会是由各相关 IEC 国家委员会的代表组成的。

3) IEC 的出版物具有为国际应用提供建议的功能, 并被 IEC 国家委员会所接受。尽管 IEC 将尽力确保其出版物内容的精确性, 但并不为出版物的用途和最终用户对出版物的误解承担责任。

4) 为推进国际统一, IEC 国家委员会承担将 IEC 出版物尽可能明晰的应用于国家或地区的出版物中的义务。在 IEC 出版物和相应的国家或地区出版物之间的任何分歧应在后者中明确指出。

5) IEC 不提供许可认证, 也不为任何宣称符合 IEC 出版物要求的产品负责。

6) 所有用户应确定他们有该出版物的最新版本。

7) IEC 及其领导、雇员、服务人员和代理机构, 包括专家、技术委员会成员以及 IEC 国家委员会, 均不承担由于发行、使用或信任该出版物以及 IEC 其他出版物所造成直接或间接的人身伤害、财产损失或其他任何性质的损失以及相关的各种费用 (包括法律费用)。

8) 请注意该出版物所引用的规范性文件。规范性文件的使用对于正确应用该出版物是不可或缺的。

9) 请注意该出版物中的某些部分可能涉及到专利权的问题。IEC 并不承担鉴别任何或所有专利的责任

国际标准 IEC 62305-4 由 IEC 第 81 技术委员会 (雷电防护) 起草。

IEC62305 系列 (第一至第五部分) 的起草符合新出版物计划, 由各国家委员会 (81/171/RQ(2001-06-29)) 通过。它是在 IEC 61024 系列, IEC 61312 系列和 IEC 61663 系列的基础上以更加简单合理的方式重组出来的。

IEC 62305 第一版源自并取代了:

- IEC 61312-1, first edition (1995);
- IEC 61312-2, first edition (1998);
- IEC 61312-3, first edition (2000);
- IEC 61312-4, first edition (1998).

该标准的文本建立在以下文档上:

FDIS	投票报告
81/265/FDIS	81/270/RVD

有关通过该标准的全部投票信息可于上表中有关的投票报告中找到。

该出版物的起草与 ISO/IEC 指令性文件第二部分一致。

IEC 62305 在总标题雷电防护之下包括以下部分：

第一部分：总则

第二部分：风险管理

第三部分：对建筑物的物理损伤以及人身伤害

第四部分：建筑物内部电子和电气系统

第五部分：公共设施

该出版物的起草与 ISO/IEC 指令性文件第二部分一致。

委员会决定将该出版物的内容保持不变，直至在 IEC 的网站<http://webstore.iec.ch>上关于该出版物的日期到期。到那时，该出版物将被：

- 再次认证；
- 撤销；
- 由修订版取代，或
- 修正。

雷电防护

第4部分：建筑物内电气和电子系统

引言

作为危害源的雷电是一种具有极高能量的自然现象。雷电释放数百兆焦耳的能量，这与那些足以使建筑物内电气和电子系统中的敏感电子设备受损的毫焦耳级的能量相比，很明显为保护这类设备需要额外的保护措施。

本国际标准的需求来自于雷电的电磁效应所导致的电气和电子系统故障的损失越来越高。尤其重要的是在数据处理和存储以及耗资可观，规模庞大又十分复杂（因此，由于成本和安全等原因最不希望发生设施运行中断）的设施的过程控制和安全中所用到的电子系统。

如 IEC 62305-2 所定义的，雷电可以在建筑物内导致不同类型的损害：

- D1 由于接触和跨步电压导致的对生命的伤害；
- D2 由于机械、热量、化学和爆炸效应导致的物理损害；
- D3 由于电磁效应导致的电气和电子系统故障。

IEC 62305-3 涉及为降低物理损害和生命危险的风险所采取的防护措施，但不包括对电气和电子系统的防护。因此 IEC 62305-4 提供了降低建筑物内电气和电子系统永久故障的风险的相关信息。

电气和电子系统的永久故障可能由雷击电磁脉冲（LEMP）通过以下方式造成：

- a) 通过连接导线传输至设备的传导和感应电涌；
- b) 直接作用于设备本身的辐射电磁场效应。

电涌可在建筑物外部或内部产生：

——建筑物外部的电涌由击中入户线或雷击在线路周围地面上产生，并通过线路传输至电气和电子系统。

——建筑物内部的电涌由雷电击中建筑物或雷击在建筑物周围地面上所导致的耦合产生。

退耦合产生自不同的机制：

- 电阻耦合（例如由建筑物接地装置的常规接地阻抗或电缆屏蔽电阻所导致的）；
- 磁场耦合（例如由电气和电子系统线路中的环路或等电位连接线的自感应所导致的）；
- 电场耦合（例如由杆状天线所导致的）。

注：相较于磁场耦合而言，电场耦合通常非常小并且可以忽略。

辐射电磁场产生自：

- 在雷击通道中流过的雷电流；
- 流经导体的部分雷电流（例如在 IEC 62305-3 在外部 LPS 的引下线中，或根据 IEC 62305-4 在外部空间屏蔽体中的雷电流）。

雷电防护

第 4 部分：建筑物内电气和电子系统

1 范围

IEC 62305 的本部分为建筑物内电气和电子系统 LEMP 防护系统 (LPMS) 的设计、安装、检查、维护和测试提供信息，以降低雷击电磁脉冲 (LEMP) 所导致的永久故障的风险。

本标准不包括防护由雷电导致的，可以引起电子系统故障的电磁干扰。然而，附录 A 中所公布的信息可用于评估这些干扰。对电磁干扰的防护措施在 IEC 60364-4-44 和 IEC 61000 系列中公布。

本标准对防护措施提出了要求，并为电气和电子系统的设计者与防护措施的设计者之间的配合提供指导，以期获得最佳防护效果。

本标准并不涉及电气和电子系统自身的设计细节。

2 规范性引用文件

以下规范性引用文件所包括的条款，通过本部分的引用而成为本国际标准的条款。凡是标有日期的引用文件，其随后所有的修正单（不包括勘误内容）或修正版均不适用于本部分。但是，鼓励根据本国际标准达成协议各方研究使用以下规范性文件最新版本。对于未标明日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- IEC60364-4-44: 2001 建筑物电气装置 第 4 部分：安全防护 第 44 章：过电压保护
- IEC60364-5-53: 2001 建筑物电气装置 第 5 部分：电气设备的选择和安装 第 53 章：开关设备和控制设备
- IEC60664-1: 2002 低压系统内设备的绝缘配合 第 1 部分：原理、要求和试验
- IEC61000-4-5: 1995 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- IEC61000-4-9: 1993 电磁兼容 试验和技术 脉冲磁场抗扰度试验
- IEC61000-4-10: 1993 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验
- IEC61000-5-2: 1997 电磁兼容 安装和调试指南 接地和电缆敷设
- IEC61643-1 1998 连接至低压配电系统的 SPD 性能要求和试验方法
- IEC61643-12 2002 连接至低压配电系统的 SPD 选择和使用原则
- IEC61643-21: 2000 连接至电信和信号网络的 SPD 性能要求和试验方法
- IEC61643-22 2004 连接至电信和信号网络的 SPD 选择和使用原则
- IEC62305-1 雷击防护 第 1 部分：总则
- IEC62305-2 雷击防护 第 2 部分：风险管理
- IEC62305-3 雷击防护 第 3 部分：建筑物的物理损害和生命危害
- ITU-T.K.20 2003 电信中心交换设备耐过电压和过电流的能力
- ITU-T.K.21 2003 用户终端通信设备的耐过电压和过电流的能力

3 术语和定义

以下术语和定义以及在 IEC 62305 其他部分给了的定义适用于本部分：

3.1 电气系统

组合了低压供电部件的系统。

3.2 电子系统

组合了敏感电子部件如信息技术设备、控制和仪表系统、无线电系统、电力电子装置等系统

3.3 内部系统

在建筑物内部或其上需保护的电气和电子系统

3.4 雷击电磁脉冲 (LEMP)

雷电流的电磁效应

注 — 它包括传导的电涌, 也包括冲击电磁场效应

3.5 电涌

由 LEMP 导致的, 以过电压和/或过电流形式出现的瞬态波。

注 — 电涌可来自 (部分) 雷电流, 由装置环路中的感应效应和 SPD 的残余威胁性续流引起。

3.6 额定冲击耐受电压 (U_w)

由制造商给出的设备或设备基本一部件的耐受冲击电压额定值, 规定了其绝缘对过电压的耐受能力特征。

注: 本部分中仅考虑带电导体与地之间的耐受电压 (IEC60664-1)

3.7 雷电防护级别 (LPL)

对雷击造成的损失, 用一组对应的雷电流参数作定义的划分。其中设计中的最大和最小值均不超出自然界雷电参数值。

3.8 防雷区 (LPZ)

需要规定和控制雷击电磁环境的区域。

注: 根据其中的一组雷电流参数做 LPL 的相关设计。

3.9 LEMP 防护系统 (LPMS)

由内部系统防 LEMP 的措施组成的完整系统。

注: LPZ 的交界处并不一定有物理界面 (如墙、地板、天花板)。

3.10 格栅形大空间屏蔽

有开放孔洞的磁屏蔽。

注 — 对于一个建筑物或一个房间而言, 推荐利用建筑结构的自然金属体并互相连接组成格栅形大空间屏蔽。(如利用钢筋混凝土中的钢筋、金属框架和金属支撑物等)。

3.11 接地装置

外部 LPS 的一部分, 用于将雷电流引导和泄入地中。

3.12 等电位连接网络

建筑物的所有导体部件和内部系统 (带电导体除外) 与接地装置互连的网络

3.13 接地系统

综合了接地装置和等电位连接网络的完整系统

3.14 电涌保护器 (SPD)

目的在于限制瞬态过电压和分流电涌电流的器件。它至少含有一个非线性元件。

3.15 用 I_{imp} 测试的 SPD

耐受典型波形 10/350 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 IEC61643-1 的等级 I 测试程序定义。

3.16 用 I_n 测试的 SPD

耐受典型波形 8/20 μ s 的感应电涌电流的 SPD, 要求一个相应的标称试验电流 I_n 。

注: 对电力线路, 合适的测试电流 I_n 由 IEC61643-1 的等级 II 测试程序定义。

3.17 用组合波测试的 SPD

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

注: 对电力线路, 合适的组合波测试由 IEC61643-1 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

无电涌出现时呈高阻抗, 当出现电涌电压时突变为低阻抗的 SPD。

注 1 — 电压开关型 SPD 的常用组件有: 放电间隙, 气体放电管 (GDT), 晶体闸流管 (可控硅整流器) 和两端双向可控硅元件。这些 SPD 有时被称为“克罗巴型”。

注 2 — 电压开关元件具有不连续的伏安特性

3.19 限压型 SPD

无电涌出现时为高阻抗, 随电涌电流和电压的增加, 阻抗跟着连续变小的 SPD。

注 1 — 限压型 SPD 的常用组件有: 压敏电阻和抑制二极管。限压型 SPD 有时被称为“钳压型” SPD。

注 2 — 电压限制器件具有连续的伏安特性。

3.20 组合型 SPD

将电压开关型元件和限压型元件组合在一起的 SPD，根据所施加电压的特性呈现出电压开关型，限压型或两者兼具的特性。

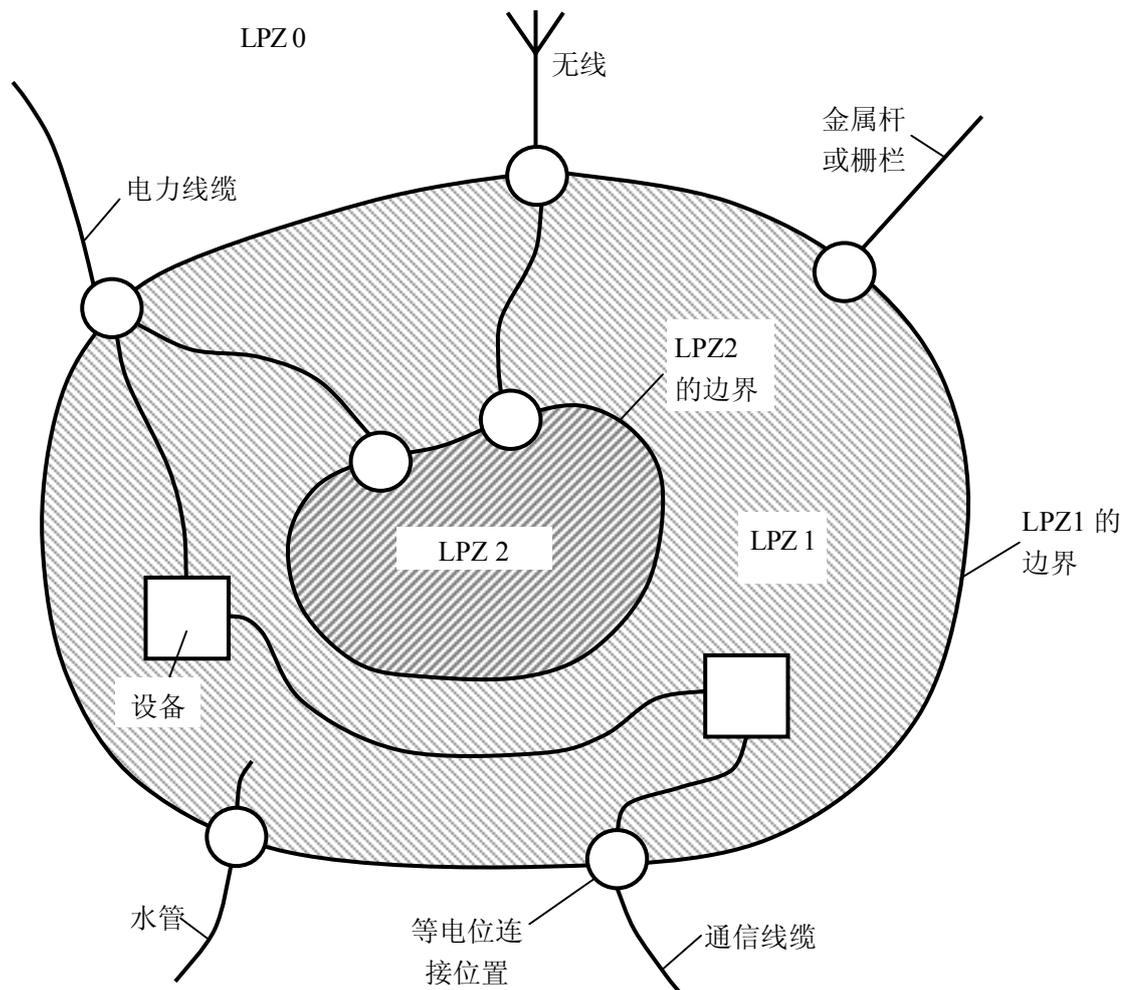
3.21 协调配合的 SPD 防护

经过正确选型和安装，并且达到配合的一组 SPD，用于为电气和电子系统提供电涌保护。

4 雷击电磁脉冲（LEMP）防护系统（LPMS）的设计和安装

电气和电子系统受雷击电磁脉冲的威胁。因此应采用 LEMP 防护措施来避免内部系统故障。

对 LEMP 的防护是基于防雷区（LPZ）的概念：包含受保护系统的空间应被划分为各 LPZ。这些区域是理论上确定的空间，该区域中 LEMP 的严重程度与包容的内部系统的耐受等级应是兼容一致的（图 1）。后续区域其 LEMP 的严重程度显著也随之变化。LPZ 的边界由所采用的防护措施确定（图 2）。



○ 接入设施直接或通过适当 SPD 等电位连接

注：本图给出了将建筑物划分为若干 LPZ 的示例。所有进而建筑物的金属设施都应在 LPZ 1 的边界处通过等电位连接带连接在一起。而且，进入 LPZ 2（例如计算机房）的金属设施也应通过等电位连接带在 LPZ 2 的边界处连接在一起。

图 1 划分不同防雷区（LPZ）的基本原则

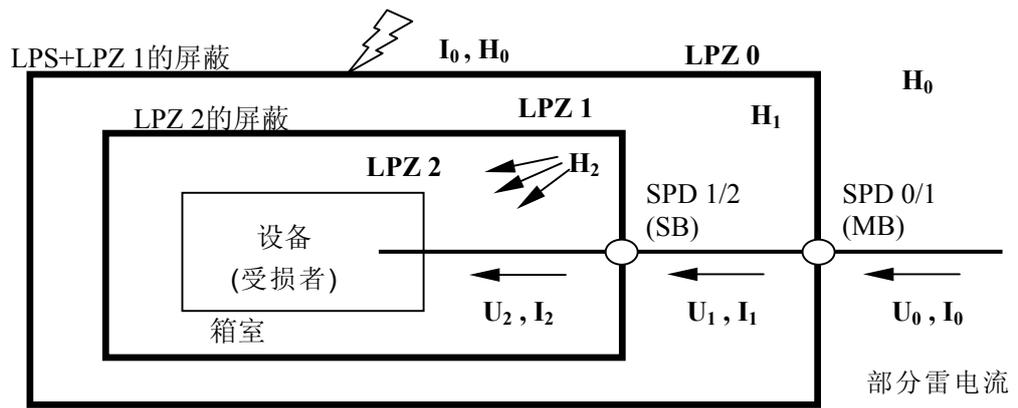


图 2a 采用空间屏蔽和配合 SPD 防护的完整的 LPMS:
 ——避免传导电涌 ($U_2 \ll U_0$ 且 $I_2 \ll I_0$) 和
 辐射磁场 ($H_2 \ll H_0$) 的危害, 设备受到良好保护

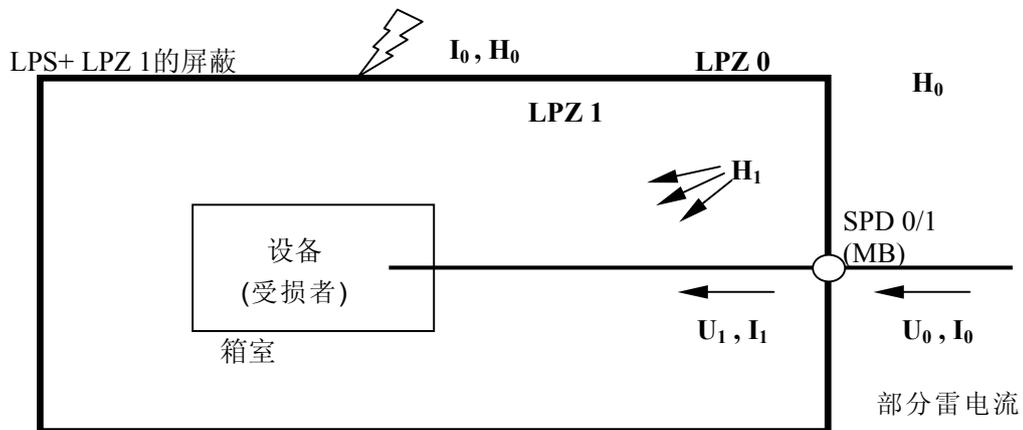


图 2b 采用 LPZ 1 空间屏蔽且在 LPZ 1 入口处使用 SPD 防护的 LPMS
 ——避免传导电涌 ($U_1 < U_0$ 和 $I_1 < I_0$)
 和辐射磁场, ($H_1 < H_0$), 设备得到保护

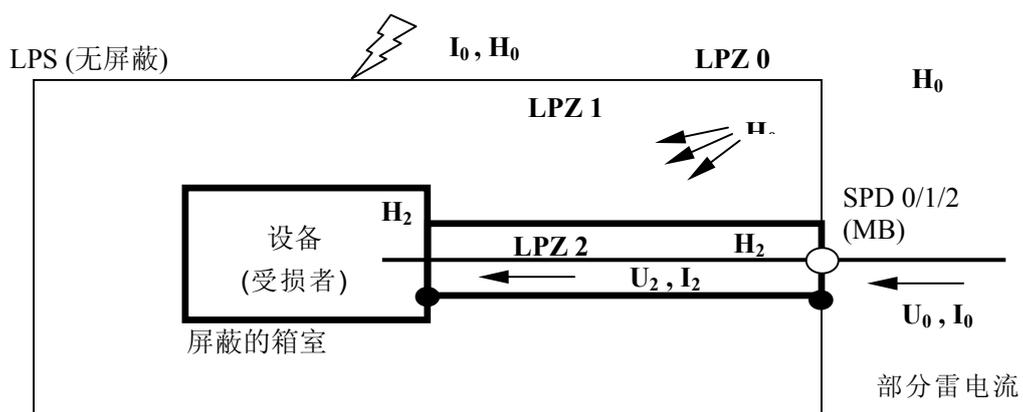
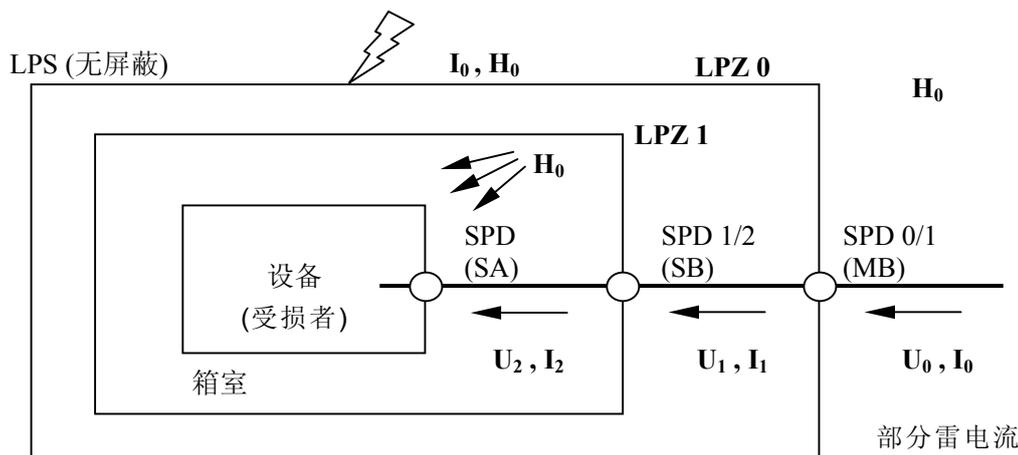


图 2c 采用内部线路屏蔽并在 LPZ 1 入口处使用 SPD 防护的 LPMS 系统:
 ——避免传导电涌 ($U_2 < U_0$ 且 $I_2 < I_0$) 和
 辐射磁场 ($H_2 < H_0$) 的危害, 设备得到保护



注 1 - SPD 可位于以下地点 (参见 D.1.2):

MB LPZ 0/1 的边界 (如主配电盘)

SB LPZ 1/2 的边界 (如分配电盘)

SA 在设备上或接近设备处 (如电源插座)

注 2 - 详细安装规则同时参见 IEC 60364-5-53

注 3 - 屏蔽 (—) 及非屏蔽 (---) 的界面。

图 2d LPZ1 使用空间屏蔽且在 LPZ1 入口处使用 SPD 防护的低级别 (屏蔽措施不够) LPM 系统:
($U_2 \ll U_0$ 且 $I_2 \ll I_0$)

图 2LEMP 防护系统 (LPMS) 设计系列

由 LEMP 导致的电气和电子系统永久性故障的原因为:

- 通过入户线路传输至设备的电涌;
- 直接作用于设备本身的辐射电磁场效应。

注 1 - 如果设备符合无线电频率发射和安全测试相关 EMC 产品标准, 可忽略由直接辐射设备的电磁场所导致的设备故障。

注 2 - 对于不符合相关 EMC 产品标准的设备, 附件 A 提供了信息以获得对直接辐射这些设备的电磁场的防护, 这些设备对脉冲磁场的耐受等级应根据 IEC 61000-4-9 和 IEC 61000-4-10 来选择。

4.1 LPMS 的设计

LPMS 系统的设计目的是为给电涌和磁场的耐受等级低的灵敏设备提供全面保护。但对于耐受等级较高的设备通常使用简单的设计就可以了。图 2 给出了示例:

- 一个完善的 LPMS 系统利用空间屏蔽和配合 SPD 防护 (图 2a), 能够对传导电涌和辐射磁场进行防护, 甚至可以达到很低的耐受等级。
- 利用 LPZ1 的大格栅空间屏蔽和在 LPZ1 入口处 SPD 防护 (图 2b) 的 LPMS 能够为耐受等级较高的设备提供对传导电涌和辐射磁场的防护。

注 1: 对于磁场强度仍较大 (因 LPZ1 的屏蔽效果差) 或者电涌的幅值仍很高 (因 SPD 的电压保护水平较高及 SPD 后端线路上存在振荡感应效应) 的情况, 这种防护的效果并不充分。

- 利用内部线路屏蔽和在 LPZ1 入口处 SPD 防护 (图 2c) 的 LPMS 系统能够为设备提供对传导电涌和辐射磁场 (需要已屏蔽的机架) 的防护。为使电涌威胁降低, 可能需要使用电压保护水平低的 SPD。

- LPMS 仅利用配合 SPD 防护 (图 2d), 适用于对辐射磁场不敏感的设备。它的配合 SPD 防护仅提供对传导电涌的防护。

注 2: 图 2a 至 2c 的示例, 建议用于不符合相关 EMC 产品标准的设备。

注 3: 按 IEC62305-2 中规定, LPS 对电气和电子系统不提供有效的保护。缩小接闪的网格尺寸和选择适当的 SPD 来改进 LPS, 才能使其成为 LPMS 的有效组成部分。

4.2 防雷区 (LPZ)

依据雷电威胁程度, 定义了如下 LPZ (见 IEC 62305-1):

外部区域

LPZ 0 是一个区域, 该区域内的空间被未衰减的雷击电磁场所威胁, 同时被等于全部或局部雷

电流的电涌所威胁。LPZ 0 又被划分为：

LPZ 0_A 本区内的各物体都可能遭到直接雷击和导走全部雷电流，本区内电磁场强度没有衰减。内部系统可能遭到全部或部分雷电电涌电流。

LPZ 0_B 本区内的各物体在接闪器保护范围之内，承受局部雷击电流和全部雷击磁场的威胁。内部系统可能遭到部分雷电电涌电流。

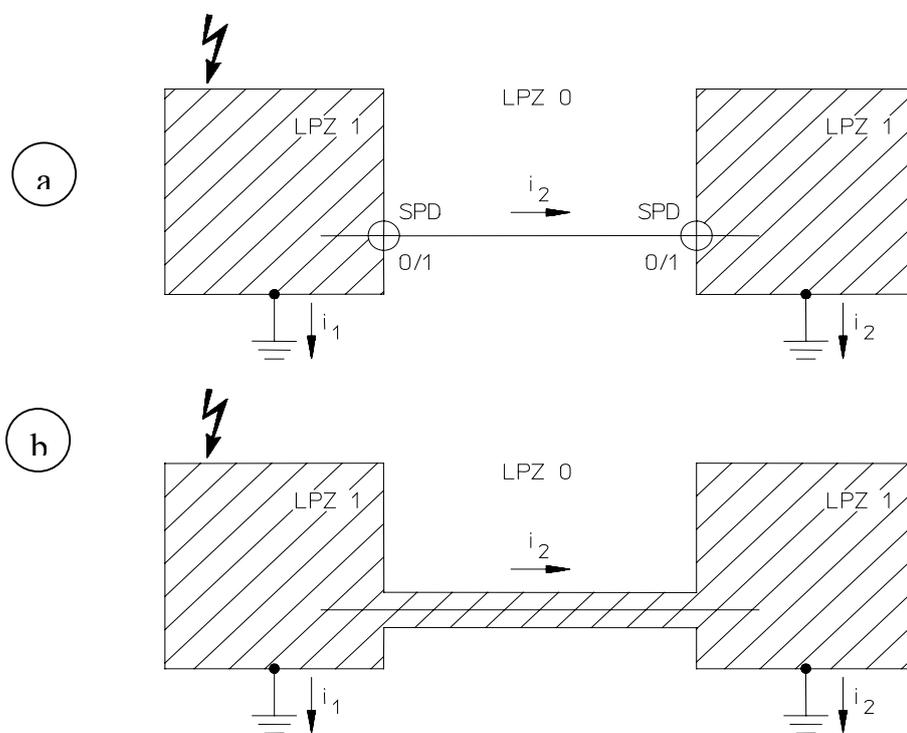
内部区域（对直接雷击进行了防护）

LPZ1 雷击电涌在防雷区交界处被分流和有 SPD 限压。雷击磁场由于有格栅形大空间屏蔽而削减。

LPZ2 ... n 雷击电涌在防雷区交界处进一步被分流和受 SPD 限制。雷击磁场因多重屏蔽可进一步削减。

LPZ 可通过安装 LPMS 来等实现，例如，安装协调配合的 SPD 和/或磁场屏蔽（图 2）。根据受保护设备的数量、类型和耐受等级，可以定义从小型局部区域（如设备机箱）直到大型整体区域（例如整个建筑物空间）。（例示见图 B. 2）。

如果两个分开的建筑物有电气或信号线相连，或者是为了减少所需 SPD 的数量，可以采取将 LPZ 相连的措施。（图 3）。



注 图 3a 展示了由电力或信号线路连接的两个 LPZ 1。
如果两个 LPZ 1 都代表具有独立接地系统的单独建筑，之间间隔数十或数百米，就应特别小心。在此情况下，雷电流的一大部分会沿未受保护的连接线流动。

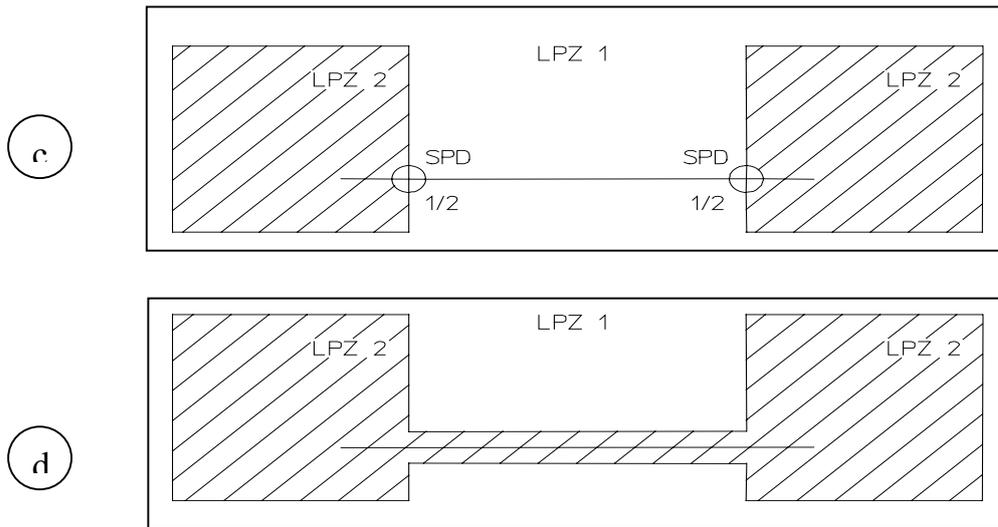
a) 使用 SPD 将两个 LPZ1 互连

注 图 3b 展示了如果屏蔽罩能够承担局部雷电流，使用屏蔽电缆或屏蔽电缆套管使两个 LPZ 1 互连可以解决该问题。如果沿屏蔽罩的电压降不太高的话，SPD 可以不要。

b) 使用屏蔽电缆或屏蔽电缆套管将两个 LPZ1 互连

i_1 、 i_2 部分雷电流

图 3a, 3b 两个 LPZ 1 的互连



注 图 3c 展示了由电力或信号线路连接的两个 LPZ 2。由于线路暴露在 LPZ 1 的威胁级别下，每个 LPZ 2 的入口处都需要 SPD。

注 图 3d 展示了如果使用屏蔽电缆或屏蔽电缆套管连接两个 LPZ 2 的话，可以避免干扰并不安装 SPD。

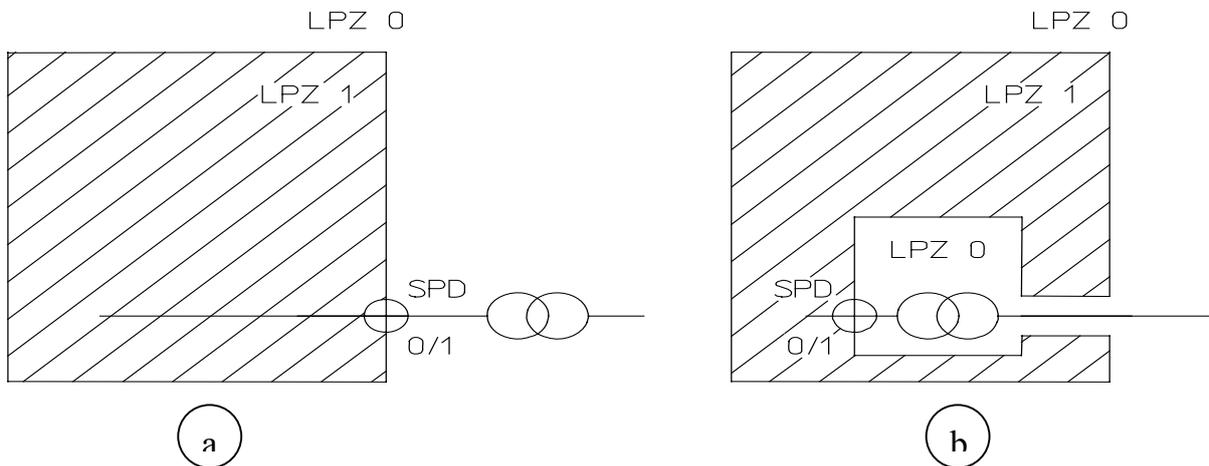
c) 使用 SPD 将两个 LPZ2 互连

d) 使用屏蔽电缆或屏蔽电缆套管将两个 LPZ2 互连

c), d) 两个 LPZ 2 的互连
图 3 防雷区互连的示例

为了减少所需安装 SPD 的数量，在某些特殊情况下，可以将一个 LPZ 扩展到另一个 LPZ 之中，参见图 4。

对 LPZ 中电磁环境评估的具体计算方法参见附录 A。

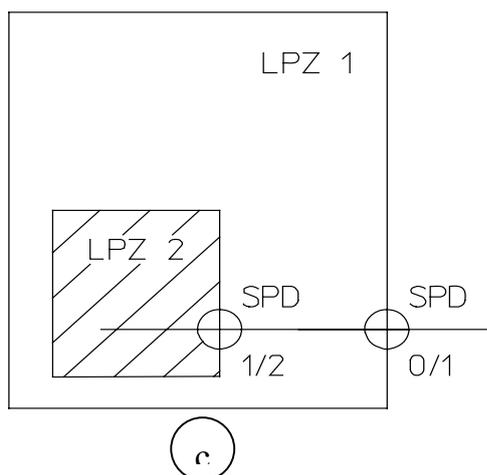


注：图 4a 展示了由变压器供电的一个建筑。如果变压器放在建筑物外部，只有进入建筑物的低压线路需要使用 SPD 保护。如果变压器必须被放置在建筑物内部，通常不允许业主在高压一侧采取防护措施。

注：图 4b 表示可以将 LPZ 0 扩展到 LPZ 1 内部，在低压一侧需要安装 SPD。

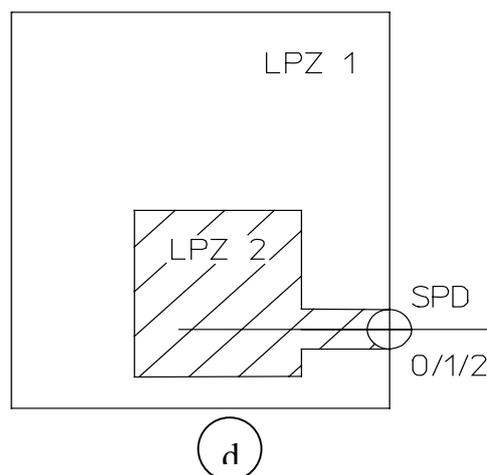
图 4a 变压器在建筑物外部

图 4b 变压器在建筑物内部 (LPZ0 扩展到 LPZ1 内部)



注：图 4c 展示了由一条电力线或信号线连接的 LPZ 2。该线路需要两个协调配合的 SPD：一个安在 LPZ 1 的边界处，另一个安在 LPZ 2 的边界处。

图 4c 需要两个协调配合的 SPD (0/1) 和 SPD (1/2)



注：图 4d 显示了如果使用屏蔽电缆或屏蔽电缆套管使 LPZ 2 扩展到 LPZ 1 内部，线路可以直接进入 LPZ 2 且仅需要一个 SPD。但是，该 SPD 必须将威胁立即降到 LPZ 2 的级别。

图 4d 仅需要一个 SPD (0/1/2) (LPZ 2 扩展到 LPZ 1 内部)

图 4 扩展防雷区的示例

4.3 LPMS 基本防护措施

对 LEMP 的基本防护措施包括：

- 接地和等电位连接（参见第 5 章）
接地措施将雷电流引导和泄放入大地。
等电位连接措施使电位差最小化，并可以削弱雷击磁场强度。
- 磁场屏蔽和线缆布线，（参见第 6 章）
空间屏蔽衰减了由于直接雷击或邻近雷击在 LPZ 中产生的磁场，并减小内部电涌。
内部线路屏蔽利用屏蔽电缆或电缆穿金属管而减少感应进入设备的内部电涌。
内部线路布线可以减小环路感应，并降低内部电涌。
注 1：空间屏蔽、内部线路屏蔽和布线可以组合使用或单独使用。
对进入建筑物的外部线缆屏蔽降低了传导入所接电气和电子系统中的外部电涌。
- 协调配合的 SPD 防护（参见第 7 章）
配合 SPD 防护限制了外部和内部电涌。
在建筑物入户处应采用直接连接或通过 SPD 接地和等电位连接，特别是每一个导电设施之间的等电位连接。
注 2：根据 IEC 62305-3 作雷击等电位连接 (EB) 只能防护危险的瞬间放电。根据 62305-4，电涌防护需要协调配合的 SPD 防护。

其他 LEMP 防护措施可以单独或组合使用。

LEMP 防护措施应能承受各种应力（例如安装位置可能达到的温度、湿度、腐蚀性气体、振动、预期的电压和电流变化等）影响。

选择最适当的 LEMP 防护措施应依照 IEC 62305-2 进行风险评估，并考虑技术和经济因素。

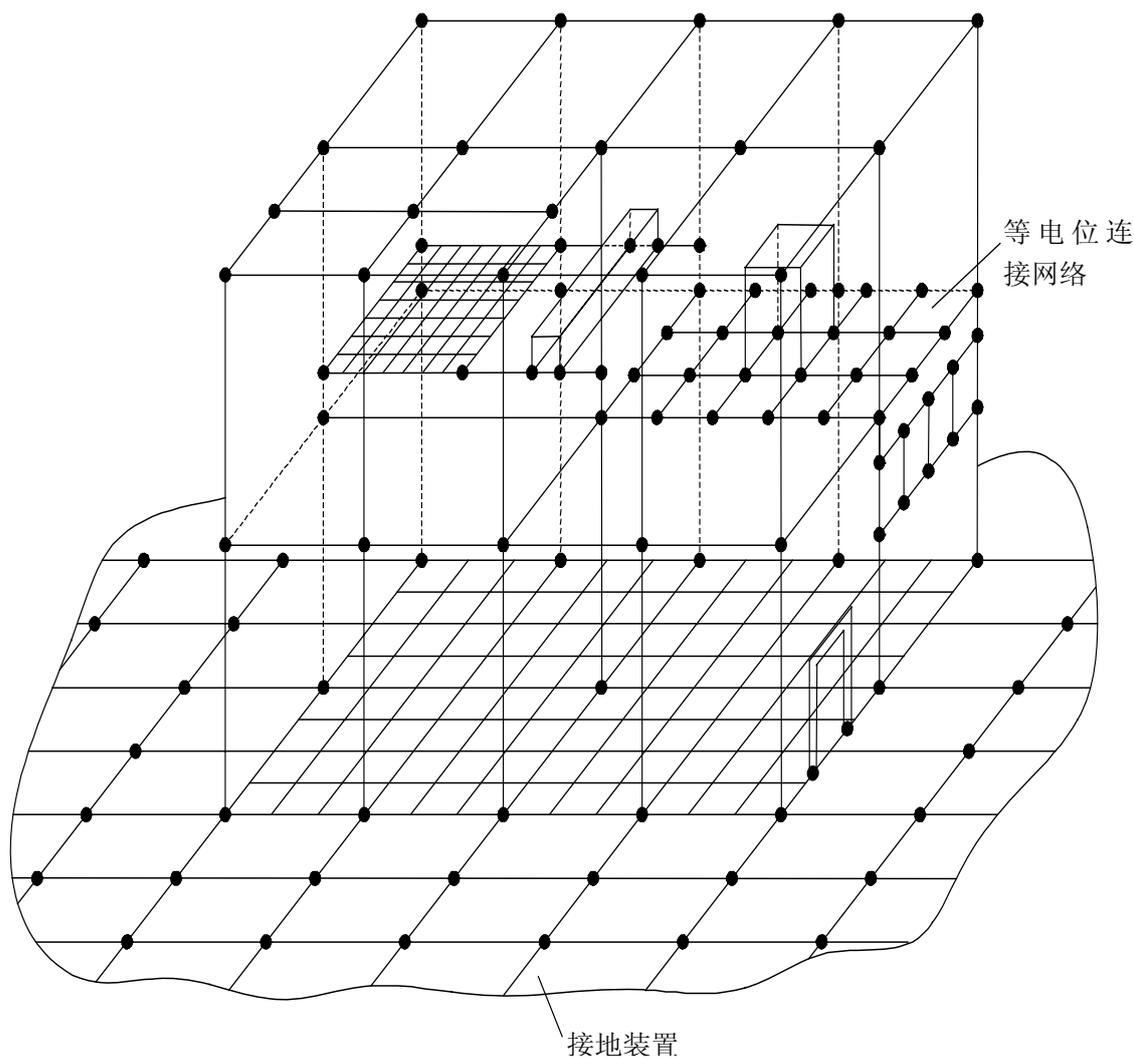
已建成建筑物中实施防护措施见本部分附录 B。

注 3：LEMP 防护措施的实施可参见 IEC 60364-4-44。

5 接地和等电位连接

适当的接地和等电位连接是基于一个完整的接地系统和如下装置的结合：（参见图 5）

- 接地装置（将雷电流泄放入地）；
- 等电位连接网络（使电位差最小化并衰减磁场）。



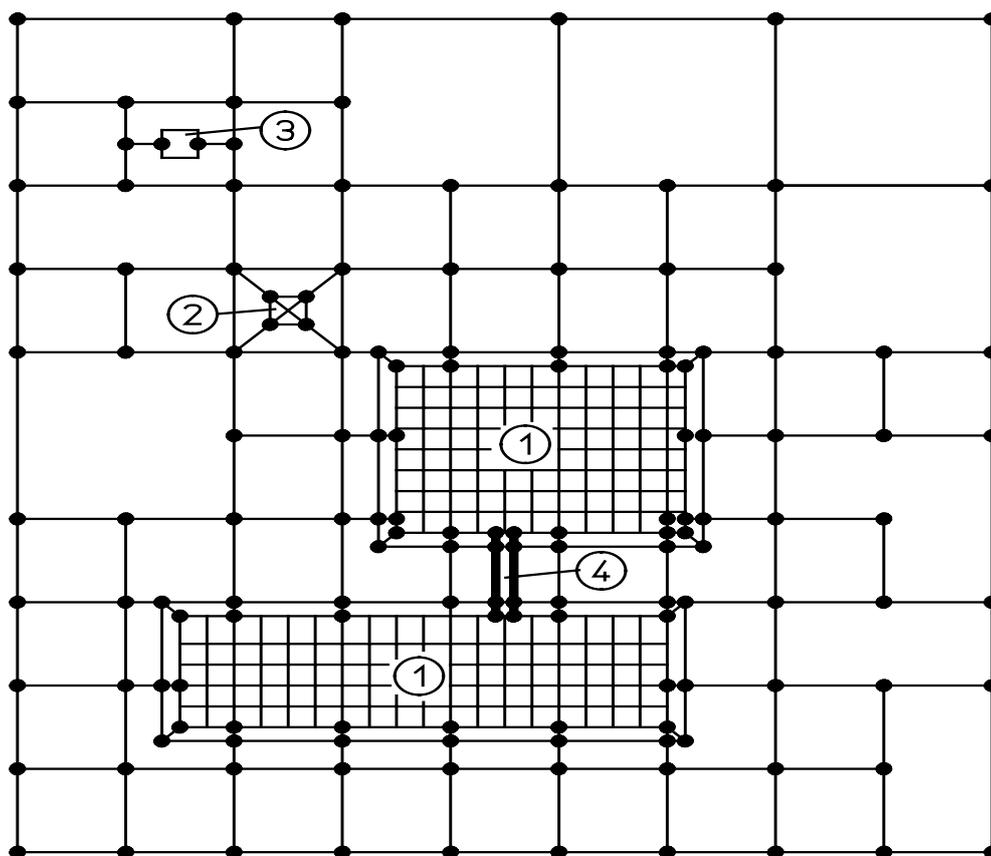
所有画出的结点要么连接在建筑物的金属部件上，要么连接在等电位连接点上。其中的一些还可以起到拦截、传导或将分散雷电流到大地中的作用。

图 5 由等电位连接网络和接地装置组合而成的三维接地系统示例

5.1 接地装置

建筑物的接地装置应符合 IEC 62305-3 的要求。在建筑物内只有耐受等级较高的电气系统时可以使用 A 类接地装置，但建议最好采用 B 类接地装置。在有敏感电子系统的建筑物中则应使用 B 类接地装置。

建筑物周围的环形接地或在地基周围混凝土中的环形接地应被整合到典型网格宽度为 5m，在建筑物之下和周围的格栅型网络中。这将极大改善接地装置的性能。通常每隔 5m 就连接到接地装置的建筑物地基层中的混凝土钢筋，形成了一个良好的固定互连网络，便可实现此功能。图 6 给出了一个工厂的格栅型接地装置的示例。



图中：

- 1 具有网格状钢筋的建筑物
- 2 工厂内部的塔
- 3 孤立的设备
- 4 电缆槽盒

图 6 一个工厂的网格状接地装置

为了降低两个分别与独立接地系统连接且彼此有电气联系的内部系统的电位差，应采取如下措施：

——将电力线或信号或敷设在首尾电气贯通的网络状钢筋混凝土管道（或金属管）内，在同一路径上用一些平行导体将两个独立接地系统连接起来。

——在使用屏蔽电缆且屏蔽层具有足够的截面积时，屏蔽电缆两端的屏蔽层应分别连至两独立接地系统。

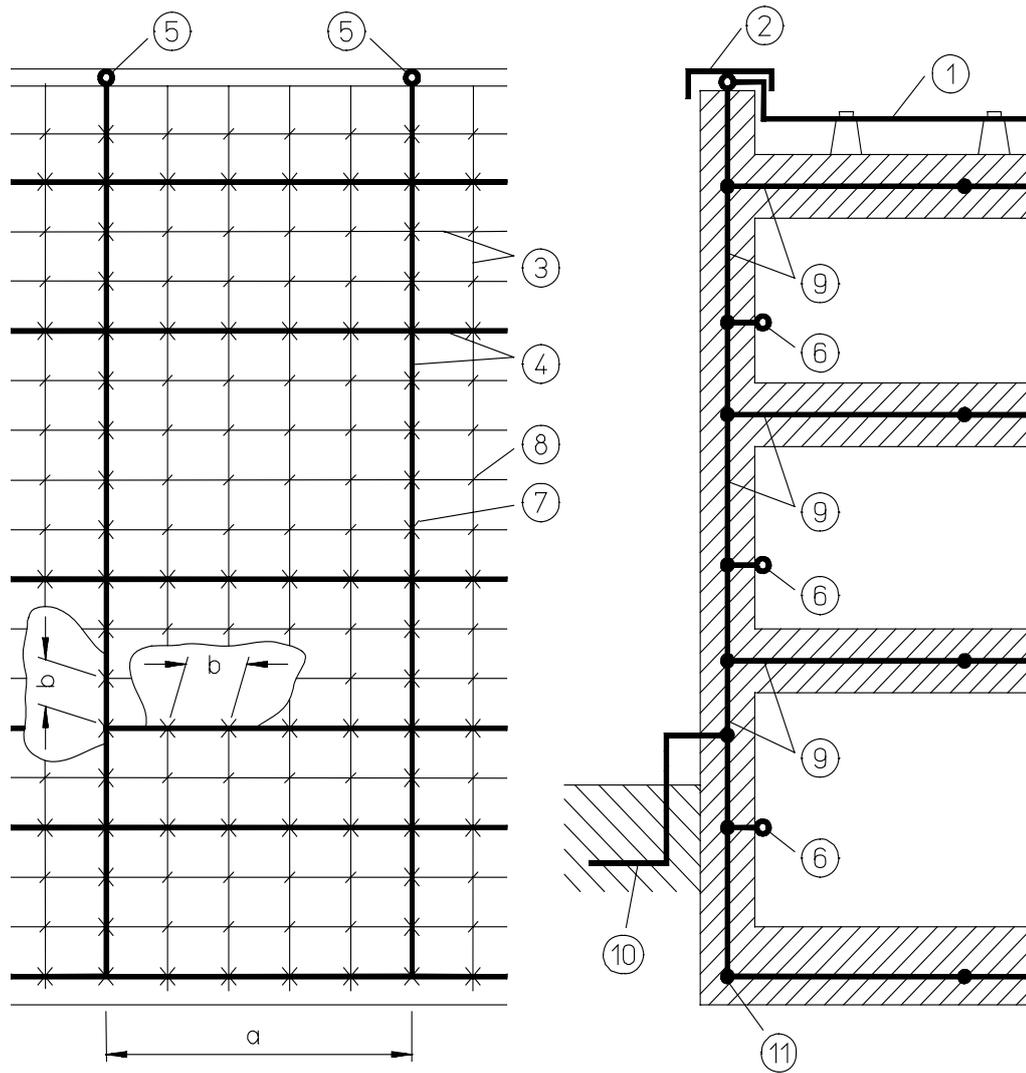
5.2 等电位连接网络

为避免在 LPZ 中的各设备间产生危险的电位差，需要低阻抗的等电位连接网络。而且，这样的等电位连接网络同时可减弱磁场（参见附录 A）。

可以通过将建筑物或内部系统的所有装置外导电部分和外露导电部分用网格状等电位连接网络来实现，并且通过直接或由合适的 SPD 将每个 LPZ 交界处的金属部件或导电部分等电位连接。

等电位连接网络可以是一个三维的网格状网络（图 5），其典型网格宽度为 5m。这要求建筑物内部或其上的金属部件多重互连（例如钢筋混凝土，电梯轨道，升降架，金属屋顶，金属外立面，门窗的金属框架，金属楼板框架，水管，电缆架）。同样，等电位连接带（例如环形等电位连接带，在不同建筑物层面上的几个等电位连接带）和 LPZ 的磁屏蔽应被结合在一起。

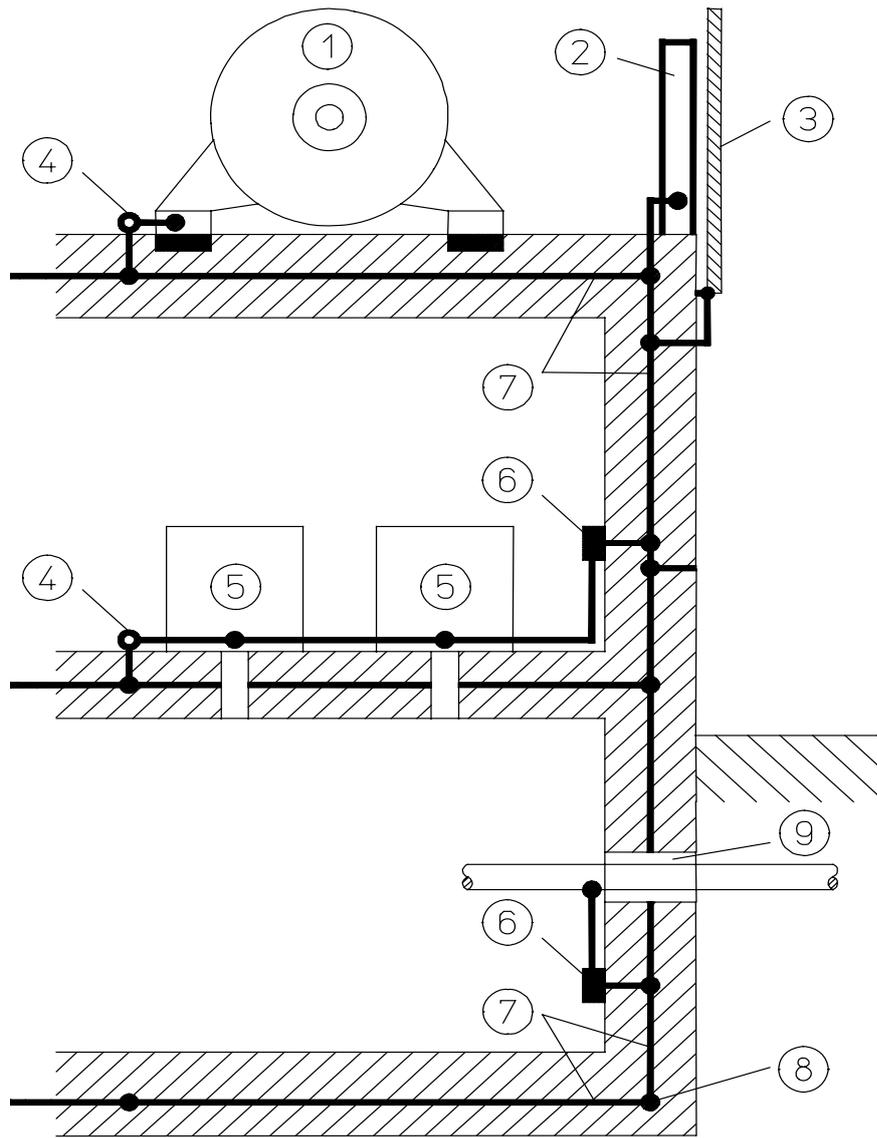
在图 7 和图 8 中给出了等电位连接网络的示例。



图中：

- 1 接闪器
 - 2 屋顶女儿墙的金属盖板
 - 3 钢筋
 - 4 迭加在钢筋上的网格状导体
 - 5 网格状导体的接点
 - 6 内部等电位连接带的预留件
 - 7 焊接或夹接
 - 8 任意连接
 - 9 混凝土中的钢筋（有迭加的网格状导体）
 - 10 环形接地电极（如果有的话）
 - 11 基础接地体
- a 迭加的网格状导体典型间距为 5m
 b 该网格与钢筋相连的典型间距为 1m

图 7 利用建筑物的钢筋作等电位连接

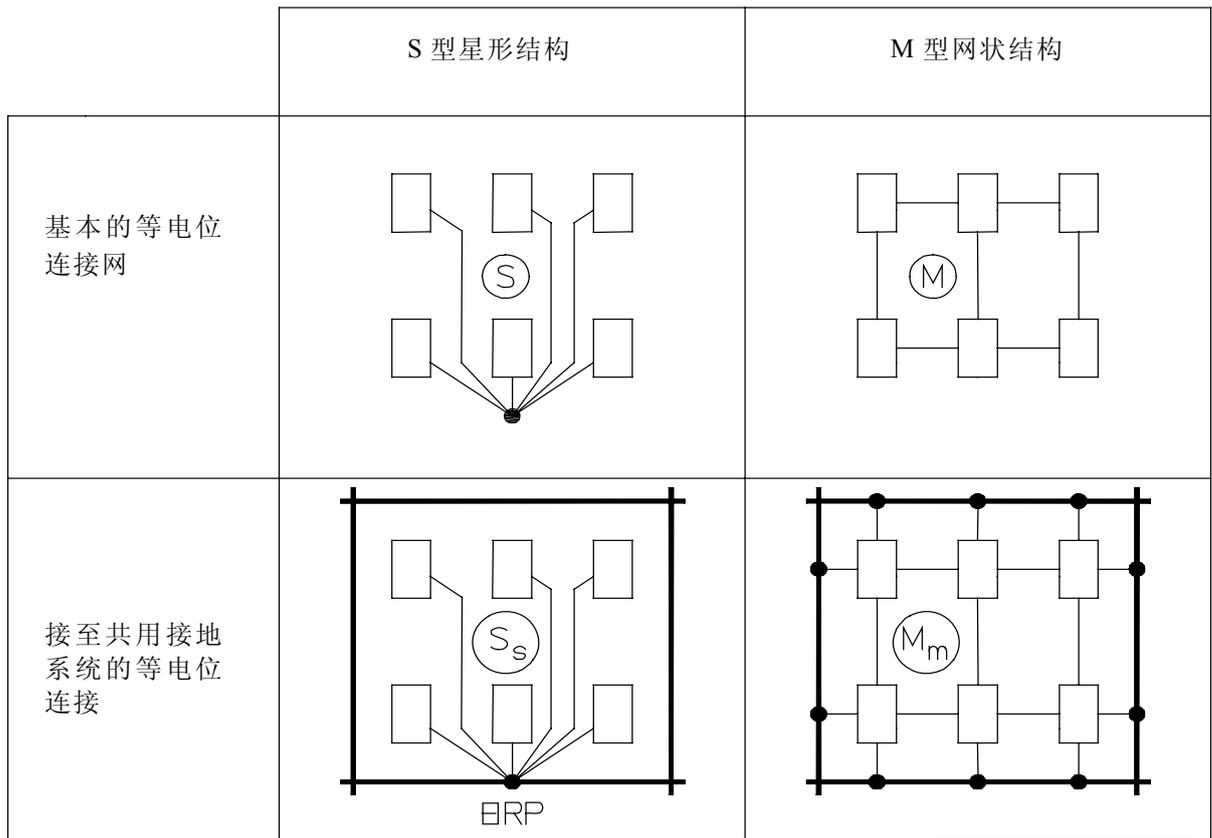


图中：

- 1 电力设备
- 2 钢梁
- 3 立面的金属盖板
- 4 等电位连接预留件
- 5 电气或电子设备
- 6 等电位连接带
- 7 混凝土中的钢筋（有迭加的网格状导体）
- 8 基础接地体
- 9 各设施的公共入口

图 8 在钢筋结构建筑物中的等电位连接

外露导电部分（壳体，机架，箱体）和电气和电子系统的保护线 PE 应通过连接导体到等电位连接网络并按照以下两种结构形式接地（参见图 9）：



图中：

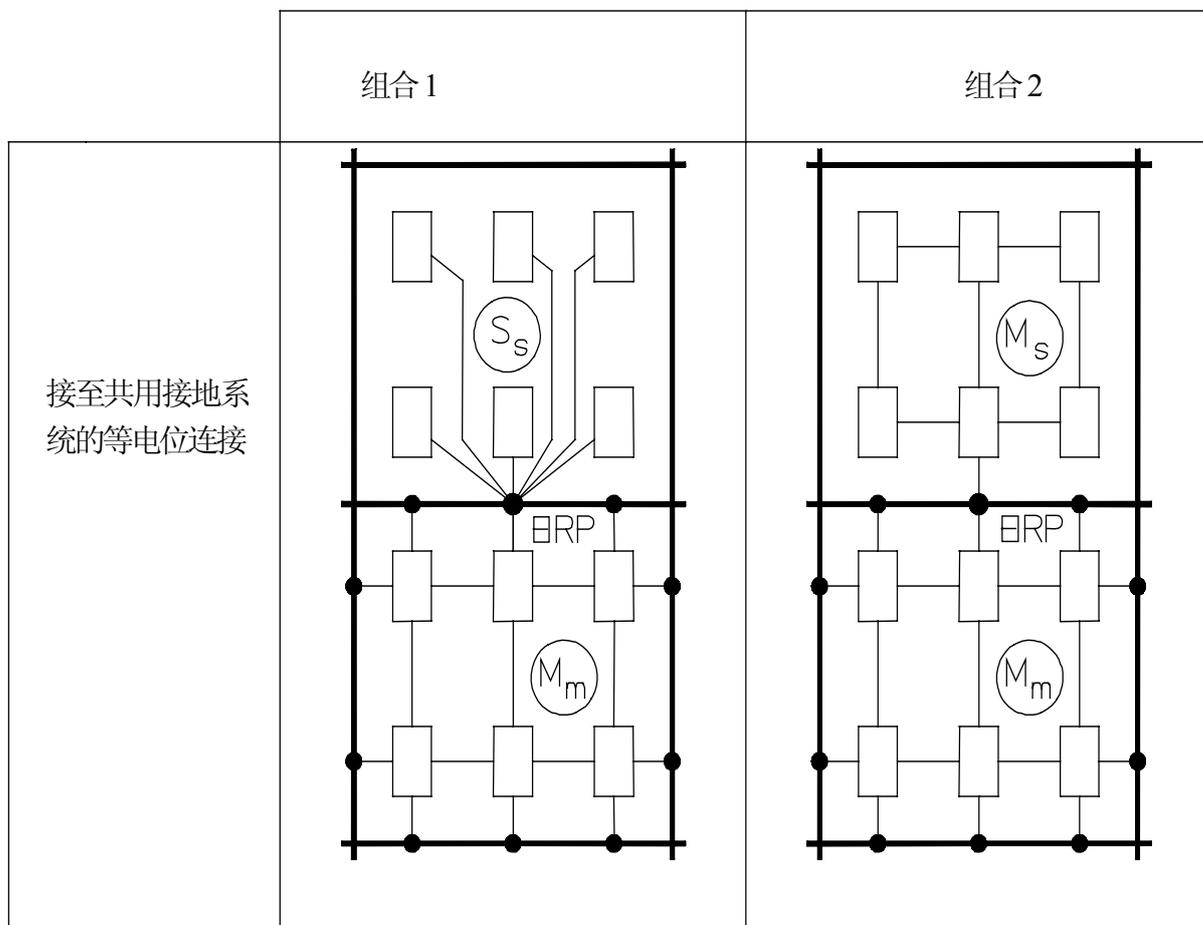
- 连接网络
- 连接导体
- 设备
- 连接点
- ERP 接地基准点
- S_s 单点连接的星形结构
- M_m 网状连接的网状结构

图 9 电子系统等电位连接网络的基本方法

如果采用 S 型结构，电气和电子系统的所有金属部件（例如机壳，机架，机柜）除在接地基准点（ERP）进行连接外，设备之间、连接导线之间均应绝缘，并应与接地系统绝缘。S 型结构应该仅通过作为接地基准点（ERP）的单个等电位连接带整合至接地网络中，形成 S_s 型。在使用 S 型结构时，为避免产生感应环路，在各设备之间的所有线路宜按星型结构与各等电位连接线平行敷设。通常 S 型结构被用于相对较小，限于局部的电气和电子系统，而且所有线路宜从 ERP 处一点进入该系统。

如果采用 M 型结构，电气和电子系统的金属部分（例如壳体，机架，箱体）不应与共用接地系统各组件绝缘，M 型等电位连接网络应通过多点连接组合到共用接地系统中，并形成 M_m 型。通常，M 型结构适用于延伸较大的开环系统，该系统中各设备间有多条线路互通，而且线路从多点进入建筑物。

在复杂的系统中，可以照图 10 所示结合两种结构（M 型结构和 S 型结构）的优点，形成组合 1（ S_s 型与 M_m 型结合）或组合 2（ M_s 型与 M_m 型结合）。



- 连接网络
- 连接导体
- 设备
- 连接点
- ERP 接地基准点
- S_s 单点连接的星形结构
- M_m 网状连接的网状结构

图 10 电子系统等电位连接网络方法的组合方式

5.3 等电位连接带

等电位连接带的安装用以将以下各项连接到一起：

- 进入 LPZ 的全部导电设施（直接连接或通过适当的 SPD 连接）
- 保护线 PE 线
- 内部系统的外露导电部分（例如箱体，机架，壳体）
- 建筑物内部和外表面的金属物体，含做为磁场屏蔽的钢筋混凝土中的钢筋。

为实现有效的等电位连接，以下安装原则很重要：

- 所有等电位连接措施的基础是低阻抗等电位连接网络
- 等电位连接带应尽可能短的（一般不长于 0.5m 的连接线）连接到接地网络
- 等电位连接带的材质和尺寸应符合 5.5 条的规定
- SPD 应最短的路径连接到等电位连接带和带电导体上，以降低感应电压降
- 在 SPD 之后线路受保护一侧，应通过尽可能减小环路面积，或使用屏蔽电缆或电缆套管，以尽量降低互感效应。

5.4 LPZ 交界处的等电位连接

在定义了 LPZ 的区域，所有穿过 LPZ 交界的金属部分和设施（如金属管，电力线或信号线）进行等电位连接。

注 - 进入 LPZ1 的设施的等电位连接应与相关的服务网络提供商（例如电力或电信部门）商讨，因为其中的要求可能有冲突。

应通过等电位连接带实现等电位连接，等电位连接点应尽可能近的安装 LPZ 交界处。

如果可能，入户管线应从同一位置进入 LPZ，并连接在同一等电位连接带上。如果入户线路和管道从不同的位置进入 LPZ，应分别连接到不同位置上的等电位连接带上，并且这些不同位置的等电位连接带应连接在一起。为此，推荐使用环形等电位连接带。

在 LPZ 入口处应安装 SPD 使电气和电子系统的带电导体实现等电位连接。使用互连或扩展 LPZ 可以减少所需 SPD 的数量。

连接在每一个 LPZ 边界处的屏蔽电缆或互连的金属电缆套管可以将几个同级别 LPZ 互连成为一个联合 LPZ，或被用作将一个 LPZ 扩展至下一个 LPZ 的边界。

5.5 等电位连接导体的材质和尺寸

材质、尺寸和使用条件应符合 IEC 62305-3 的规定。等电位连接导体的最小截面应符合表 1 的要求。

夹箍的尺寸应考虑雷电流值（参见 IEC62305-1）和分流情况分析（参见 IEC62305-3 附录 B）。

SPD 连接导线尺寸应符合本部分第 7 章中的要求。

表 1 等电位连接导体的最小截面

等电位连接导体		材质	截面 mm ²
等电位连接带（铜或镀锌钢）		铜，铁	50
从等电位连接带到接地系统或其他等电位连接带的连接线		铜	14
		铝	22
		铁	50
从内部金属装置到等电位连接带的连接线		铜	5
		铝	8
		铁	16
SPD 的连接线	I 类	铜	5
	II 类		3
	III 类		1

注：所使用其他材料的横截面积应确保电阻相同

6 磁场屏蔽和线缆布线

磁场屏蔽衰减了电磁场和感应的内部电涌。适当的内部线缆布线可以使感应的内部电涌减小。这两种措施对电气和电子系统防止永久故障是有效的。

6.1 格栅形大空间屏蔽

格栅形大空间屏蔽对定义的保护区可以覆盖整个建筑物、建筑物的一部分、一个单独的房间或仅是设备机箱。为此可采用格栅状或连续金属屏蔽，推荐利用建筑物的“自然构件”（见 IEC 62305-3）。

当对建筑物规定的区域进行保护比对多个设备进行单独的保护更加实用和有效时，在一个新建建筑物或新系统的早期设计阶段就应该考虑空间屏蔽，因为对于已建成建筑物来说重新进行屏蔽可能会出现更高的费用和更多的技术难度。

6.2 内部线缆屏蔽

屏蔽仅限于电缆线路和受保护的设备，为此可采取电缆的金属屏蔽，封闭金属套管和设备的金属外壳。

6.3 内部线缆布线

内部线缆的合理布线能减小感应环路并降低内部电涌。可以通过靠近建筑物自然构件接地部分的线缆布线，以及电力和信号线路相邻布线方法来减小感应环路面积。

注：为避免干扰，在电源线和非屏蔽的信号线间需留出一定的距离。

6.4 外部线缆屏蔽

进入建筑物的外部线路屏蔽包括：电缆屏蔽层，封闭金属电缆管道或有网格状钢筋的混凝土电缆管道。外部线路的屏蔽很有效，但通常不在 LPMS 规划者的责任范围内（外部线路的所有权多属于网络供应商）。

6.5 磁场屏蔽的材质和尺寸

在 LPZ 0_A/1 的边界处磁屏蔽的材质和尺寸（例如格栅形大空间屏蔽，电缆屏蔽，设备的机壳）应符合 IEC 62305-3 中对接闪器和/或引下线的要求。特别注意：

- 金属板、金属套管、管道系统和电缆屏蔽的最小厚度应符合 IEC 62305-3 的表 3 的规定；
- 格栅形大空间屏蔽的导体的材质、结构和最小截面应符合 IEC 62305-3 的表的 6 的规定；

由于磁场屏蔽的主要目的不在一承载雷电流，因此在下列情况下屏蔽层的材质和尺寸（厚度及最小截面）可不满足 IEC62305-3 中表 3 和表 6 的要求：

——在 LPZ 1/2 的边界或更高级别的防雷区，并已充分考虑磁屏蔽和 LPS 之间的安全距离 S（参见 IEC 62305-3 条款 6.3）；

——在 LPZ 的边界，如果雷击建筑物的风险因素 R_d 是可以忽略时（参见 IEC 62305-2）。

7 协调配合的 SPD 防护

对内部系统的电涌防护可能需要一个 SPD 组，包括在电气和信号系统中的 SPD。在这两种情况下 SPD 防护的基本原则（参见附录 C）是一致的。但由于电子系统及其特性的极端多样性（模拟或数字，直流或交流，从低频到高频），其选择和应用 SPD 与电气系统的不完全相同。

在某一采用了防雷区概念并定义了一个以上的 LPZ（如 LPZ1、LPZ2 等）的 LPMS 中，SPD（S）至少应安在每个 LPZ 的入口处（参见图 2）。

当仅仅定义为一个防雷区 LPZ1 的 LPMS 中，至少应在 LPZ1 的线路入口处安装 SPD。

在上述两种情况时，如果 SPD 的安装益与受保护设备之间的距离过长，可能需要再安装附加的 SPD（参见附录 D）。

SPD 的性能要求和试验方法应符合下述要求：

- 低压配电系统 SPD 符合 IEC61643-1；
- 电信和信号网络 SPD 符合 IEC61643-21。

SPD 的选择和应用应符合：

- 低压电气系统的 SPD 应符合 IEC 61643-12 和 IEC 60364-5-534 关于电力系统防护
- 电信和信号网络的 SPD 应符合 IEC 61643-22

关于选择和安装 SPD 的原则和一些基础信息在附录 D 中给出。

在不同安装点 SPD 受雷击引起的电涌及其幅值的信息在 IEC 62305-1 和附录 E 中给出。

8 LPMS 的管理

对于一个新建筑，为了用最低的投入产生有效的防护，很必要的一条是内部系统防护的设计要在建筑物的设计阶段而且是在施工前进行。这样的话，就有可能优化利用建筑物自然构件，并在电缆线路规划和设备位置的可选方案中选择最佳的折衷方案。

对于已有的建筑物，LPMS 的成本通常要高于新建筑。但是，通过适当选择 LPZ 和利用或升级现有的装置也有可能最小化投入成本。

只有在如下情况才可以达到理想的防护：

- 设计方案是由防雷专家制定的；
- 在建筑建造和 LEMP 防护措施领域的不同专家之间有良好的配合（例如土木工程师和电气工程师）；
- 遵守 8.1 条中的管理计划。

LPMS 应通过检查和保养维护。当建筑物或防护措施发生相应变动之后，应进行新的风险评估。

8.1 LPMS 管理计划

LPMS 的规划和配合需要一个管理计划（表 2）。管理计划由最初的，用以确定将风险降至等于或低于可容忍级别所需的防护措施的风险评估开始（IEC 62305-2）。为完成此风险评估防雷区必须确定。

表 2 - 新建建筑物和已有建筑物的结构或用途有重大改变时的 LPMS 管理计划

步骤	目标	执行者
初步风险分析 ¹⁾	核对 LEMP 防护的需求 如果需要，使用风险评估法选择适当的 LPMS 防护措施	防雷专家 ²⁾ 业主
最终风险分析 ¹⁾	应使用风险评估法对所选防护措施的成本/效益比优化。并确定： ——LPL 级别和雷电参数 ——LPZ 区及其边界	防雷专家 ²⁾ 业主
LPMS 计划	定义 LPMS，包括： ——空间屏蔽措施 ——等电位连接网络 ——接地装置 ——线缆屏蔽和布线 ——入户线缆屏蔽 ——SPD 系统	防雷专家 业主 建筑师 内部系统的规划人员 相关装置的规划人员
LPMS 设计	总设计图和总体说明 编制投标清单 安装详图和安装的时间进度表	工程公司或类似机构
LPMS 的安装及监理	安装质量 文档 可能对安装详图作修改	防雷专家 LPMS 的安装人员 工程公司 监督人员
LPMS 的验收	检查系统状况并提供证明文件	独立的防雷专家 监督人员
复查	确保 LPMS 是有效的	防雷专家 监督人员
¹⁾ 参见 IEC 62305-2 ²⁾ 具有丰富的 EMC 知识和安装实践		

根据 IEC62305-1 所采用的防护措施的防护级别 LPL，应施行以下步骤：

- 应提供一个包括（等电位连接网络和接地装置）的接地系统；
- 建筑物外部金属部件和入户设施应直接或通过 SPD 连接；
- 内部系统应被整合至等电位连接网络；
- 考虑采用空间屏蔽与线缆布线和屏蔽的结合；
- 确定所需的协调配合的 SPD 防护；
- 对于已建成的建筑物可能需要特殊措施（见附录 B）。

以后，需要再次利用风险评估法来对所选防护措施的成本效益比进行评估及优化。

8.2 LPMS 的检查

检查包括技术文件的检查，外观检查和测试。检查时应核实：

- LPMS 符合设计文件，
- LPMS 能够实现设计的功能，
- 任何新增的防护措施都恰当的整合至 LPMS 中。

检查应在以下时间进行：

- LPMS 安装期间，
- LPMS 安装完成后，
- 定期检测，

——更换了任何与 LPMS 相关的部件之后，
——也可能在雷闪击中建筑物后（例如，由雷击计数器有雷击记录、有人目击建筑物遭雷或建筑物有雷击迹象）。

应根据如下条件确定定期检查的频度：

- 当地环境，如腐蚀性土壤和空气；
- 所用防护措施的类型。

8.2.1 检查步骤

8.2.1.1 技术文档的检查

在新 LPMS 安装完毕后，应检查技术文件是否符合相关标准以及文件的完整性。此后技术文件应不断更新，例如在 LPMS 的改造或扩展之后。

8.2.1.2 外观检查

外观检查应核实：

- 无松动的连接并且导体和接点没有意外的断裂；
- 无系统部件因腐蚀而使功能削弱，特别是地下部分；
- 等电位连接线和电缆屏蔽完好无损；
- 没有增加的或变更的项目需要因此带来的防护措施的增加或改造；
- SPD 和它们的熔断器没有受损的迹象；
- 保持原线缆布线方式；
- 保持空间屏蔽的安全距离。

8.2.1.3 测试

对于接地系统和等电位连接网络等目测不到的部分，应进行电气连接性能测试。

8.2.2 检测文档

为检测便利应准备检测指南。该指南应包括足够信息以指导检测人员完成检测任务，应有配套和组成，测试方法和所记录的测试数据等各方面。

检测人员应出具报告附在技术文件和以往的检测报告上。检测报告应包括以下信息：

- LPMS 的整体状况，
- 与技术文件的任何偏离，
- 测试的结果。

8.3 维护

检测后所有查出的缺陷应被立即修补。如果需要的话，应更新技术文档。

附录 A (资料性附录)

在 LPZ 中评估电磁环境的基础

本附录提供 LPZ 内部电磁环境评估信息，可用于 LEMP 的防护，也适用于对电磁干扰的防护。

A.1 雷击对电气和电子系统的危害

A.1.1 危害源

雷电流及其产生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对电涌和磁场的抗扰水平是有限的，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电涌危害。

建筑物内部的系统，会受衰减后残余磁场影响的危害，也会受传导和感应产生的内部电涌危害，以及通过入户线传导的外部电涌危害。

受保护设备电涌耐受水平的详情，可参阅下列有关标准：

——IEC 60664-1中规定的电气设备耐受水平：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；

——非标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：

- 对传导电涌，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：1MHz 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，可以避免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

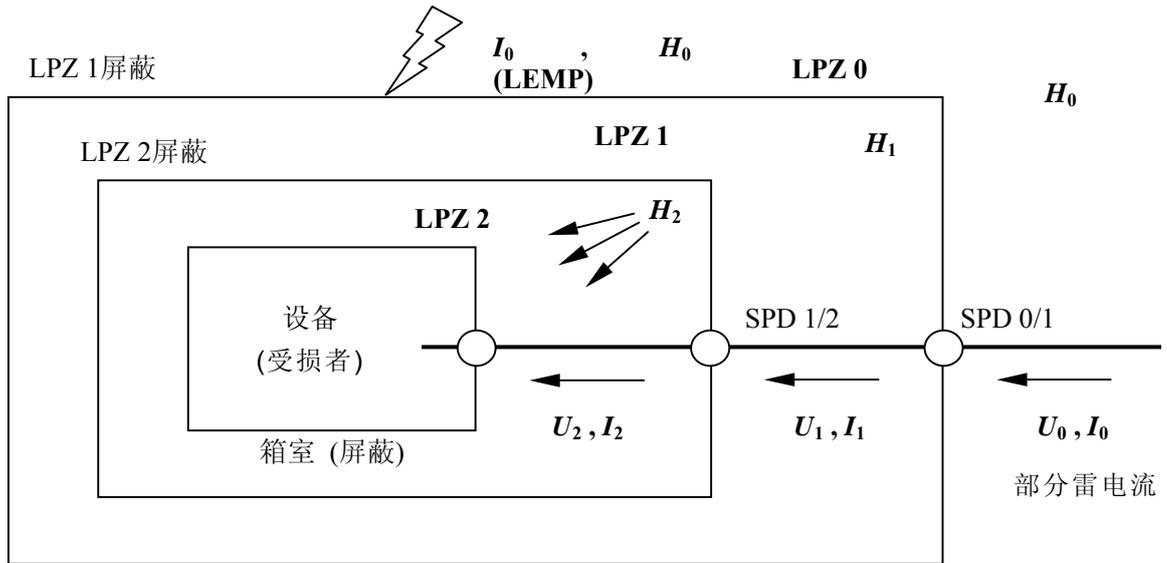
设备的耐受水平必须与危害源相兼容。为此，需要通过确定合适的防雷区（LPZ）来适当控制二者的耦合过程。

A.2 空间屏蔽、线缆布设和线缆屏蔽

A.2.1 通则

雷击建筑物或击在建筑物附近地面时在LPZ内部产生的磁场，只能采用LPZ的空间屏蔽措施来减弱。电子系统内的感应产生的电涌可以用空间屏蔽或线缆布设与屏蔽措施，或者二者综合的方法来减小。

图 A.1 为雷击建筑物时 LEMP 的示例，其中有防雷区 LPZ0、LPZ1 和 LPZ2。被保护的电子系统安装在 LPZ2 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. 电气设备的耐受水平

对于标称电压230/400 V和277/480 V，过电压耐受类别I至IV，规定如下：

IEC 60664-1	U	过电压耐受别 I 至 IV	6-4-2.5-1.5kV
-------------	-----	---------------	---------------

3. 通信设备耐受水平

根据 ITU K.20 或 K.21 建议。

4. 没有具体标准的一般设备（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. 没有具体EMC标准的设备（受损者）的耐受水平

根据雷电辐射磁场强度 (H) 影响确定：

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

图 A.1 雷击产生的 LEMP

电子系统主要电磁危害源是雷电流 I_0 和磁场 H_0 。部分雷电流会沿入户设施流入。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 μ s长波尾的波形) 和后续雷击 I_s (0.25/100 μ s 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 $H_{f/\max}$ 的衰减振荡场，达到最大值的时间 $T_{p/f}$ 为 10 μ s。与此相同， H_s 的波头上升沿可以表征为

频率1MHz最大值 $H_{s/\max}$ 的衰减振荡场，达到最大值的时间 $T_{p/s}$ 为 $0.25 \mu s$ 。

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。IEC61000-4-9和IEC61000-4-10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保护设备的耐受水平。如图A.1所示，受保护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中说明，而如何将磁场从 H_0 减小到足够低的 H_2 则在此进行介绍：

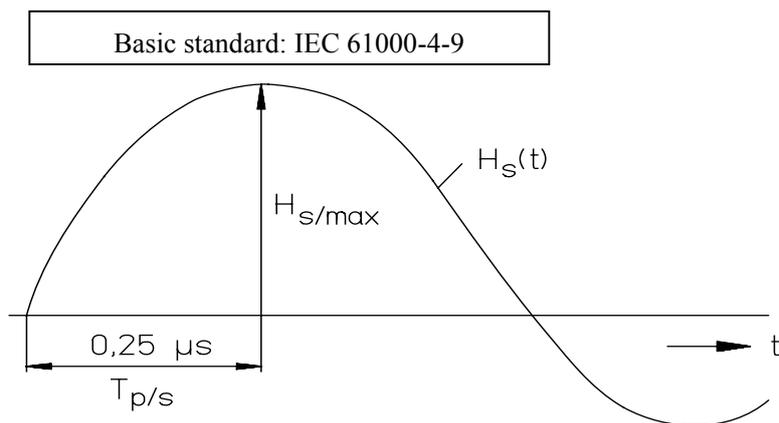
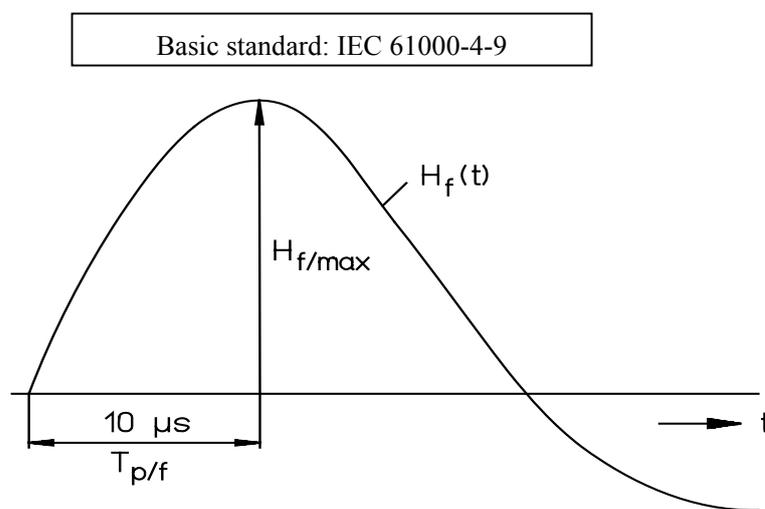


图 A.2a 用 $8/20 \mu s$ 单个冲击（25 kHz 阻尼振荡）模拟首次雷击（ $10/350 \mu s$ ）的磁场上升沿



$$H_{f/\max} / H_{s/\max} = 4:1$$

图 A.2b 用 1 MHz 阻尼振荡（ $0.2/0.5 \mu s$ 多重冲击）模拟后续雷击（ $0.25/100 \mu s$ ）的磁场上升沿

注 1：虽然到达最大值时间 T_p 和波头时间 T_1 定义不同，但此处数值上取近似相等。

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

图 A.2 用阻尼振荡模拟磁场上升期

在格栅型大空间屏蔽情况下，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 上升沿的耐受水平。

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

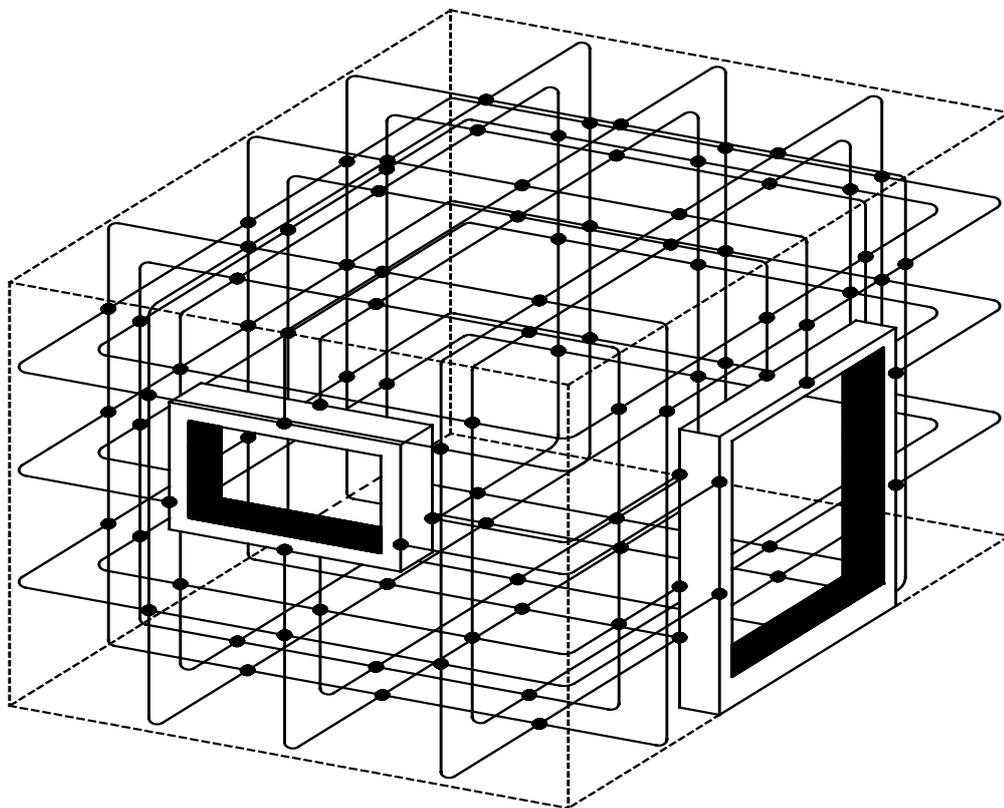
A.2.2 格栅型大空间屏蔽

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、墙和地板的金属钢筋、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大空间屏蔽。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IEC62305-3的一般要求，即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箱体或壳体实现空间屏蔽，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空间屏蔽。

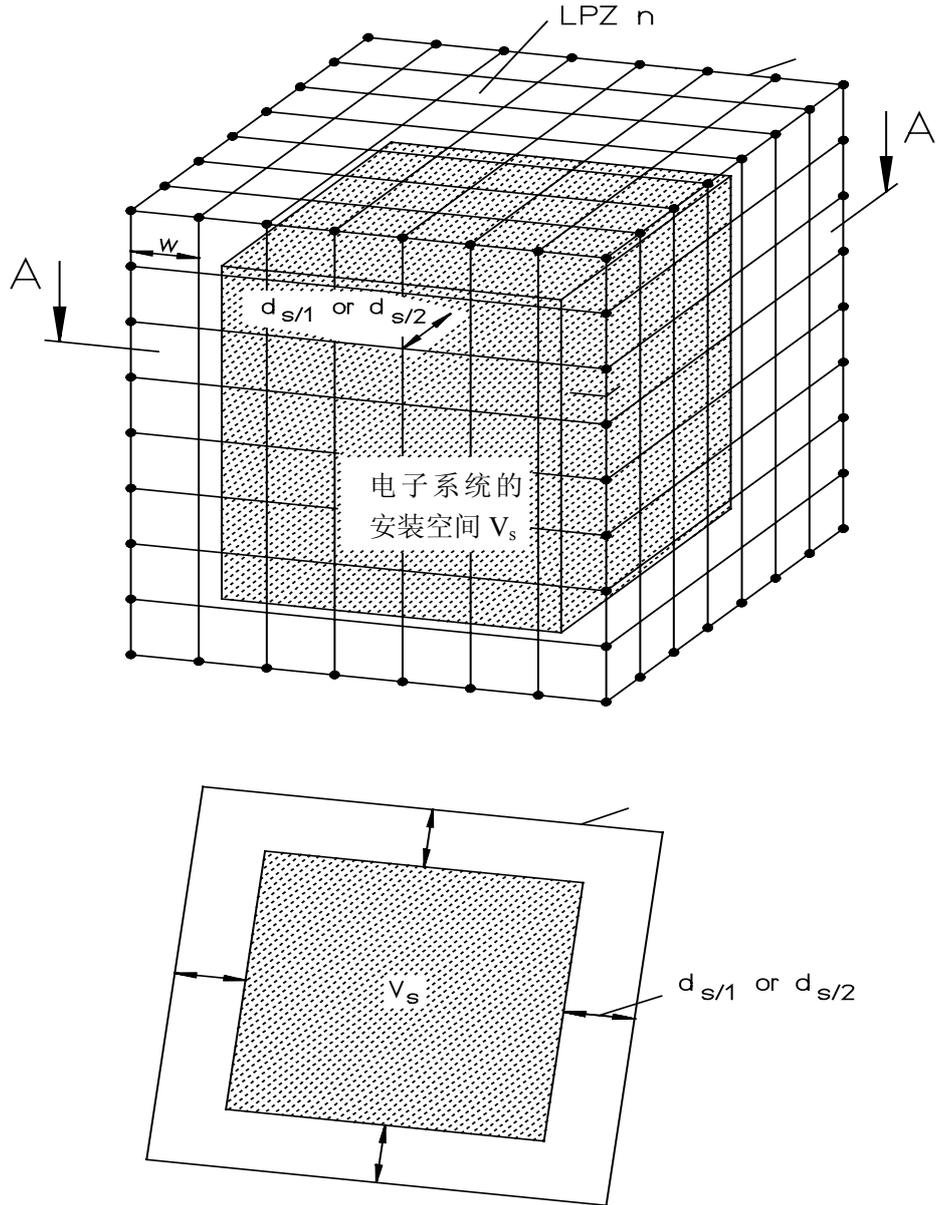


- 每根钢筋的每个交叉点须焊接或夹紧

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绑扎已自然良好连接。实际的做法应是每隔 1 m 连接一次。

图 A.3 用钢筋和金属框架构成的大空间屏蔽

电子系统只应安置在距 LPZ（参见图 A.4）屏蔽层有一定安全距离的“安全空间”内部。这是因为部分雷电流会流经屏蔽层（特别是 LPZ1），靠近屏蔽层处的磁场强度较高。



注：安全空间 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 线缆布设和线缆屏蔽

合理的线缆布设(使感应回路面积为最小),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电涌(参见图A.5)。

与电子系统连接的电缆应尽可能靠近等电位连接网络的金属部件。将电缆敷设入与等电位连接网络相连的金属槽,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LPZ1),因为该处实际的磁场强度值较大。

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。管道两端均应分别连接到两个独立建筑物各自的等电位连接带上。如果电缆屏蔽层(两端已做连接)足以承受可以预计的部分雷电流,则不必另外敷设使用金属电缆管。

设备安装时构成的回路中会产生感应电压和电流,以共模形式作用于电子系统。A.4节给出了关

于这些感应电压和电流的计算方法。

图A.6是一个大型办公楼的示例：

——LPZ1区的屏蔽由钢筋和建筑物金属立面组成，敏感电子系统放置在LPZ2区的屏蔽机柜内。

为了安装网格细密的等电位连接系统，每个房间均预留了数个等电位连接端子；

——由于室内有20kV电源，LPZ0被扩展到LPZ1内，因为这个特例中不可能在刚进入建筑物的高压侧安装SPD。

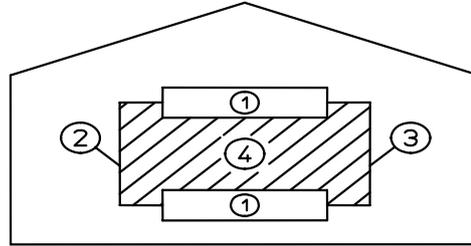


图 A.5a – 未防护系统

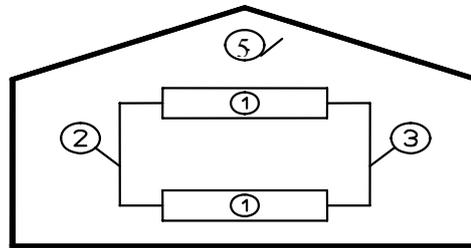


图 A.5b 用空间屏蔽减小 LPZ 内部磁场

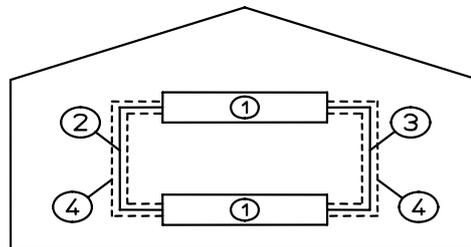


图 A.5c 用线路屏蔽减小磁场对线路影响

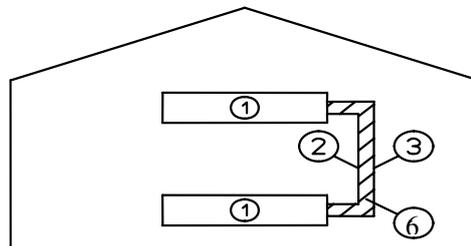
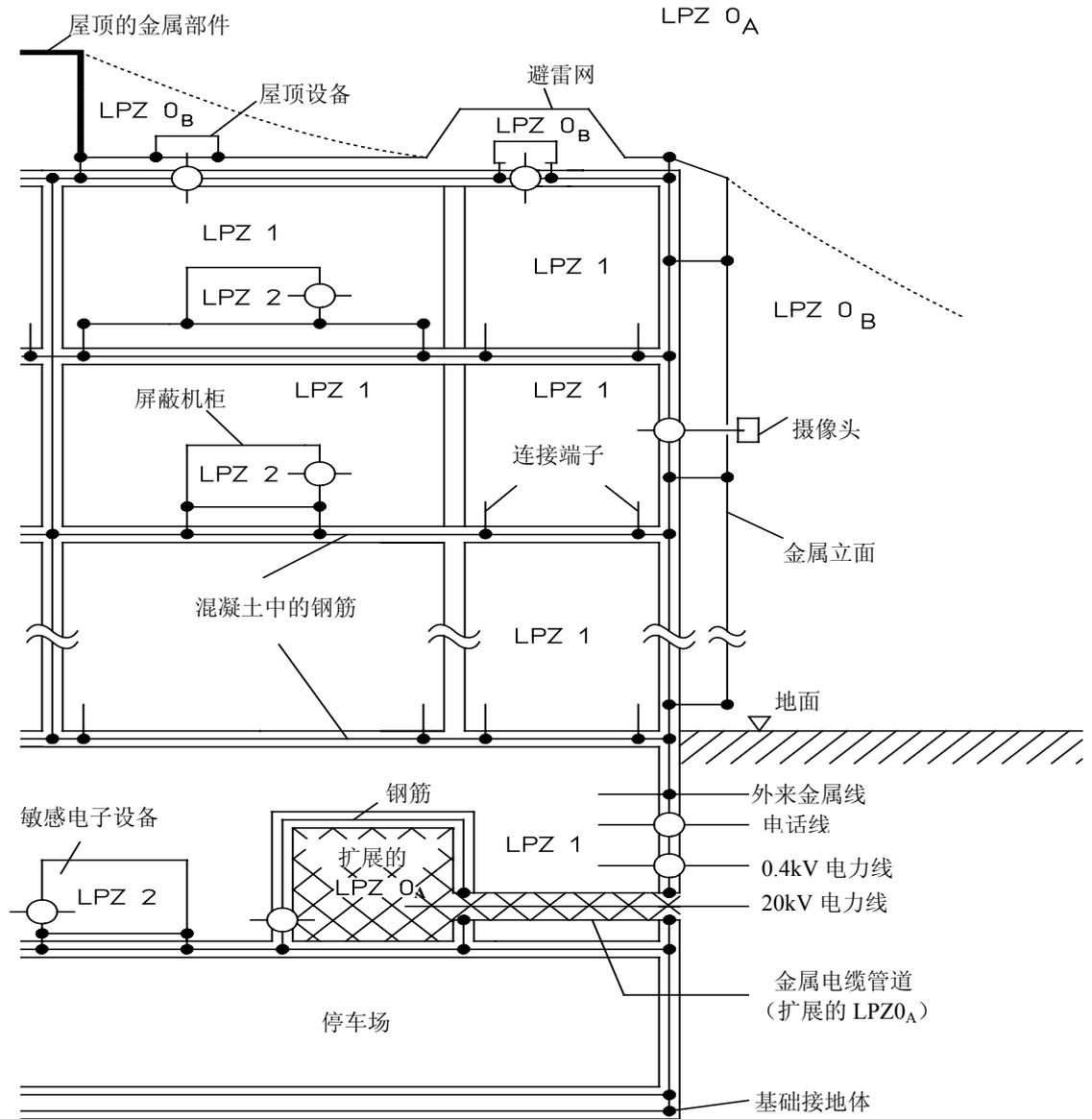


图 A.5d 用合理布线减小感应回路面积

- | | |
|----------------|-------------|
| 注：1. 设备 | 4. 感应环路面积 |
| 2. 线路a (例如电源线) | 5. 空间屏蔽 |
| 3. 线路b (例如信号线) | 6. 最小化的环路面积 |

图 A.5 采用线缆布设和屏蔽措施减少感应效应



- 等电位连接
- 电涌保护器 (SPD)

图 A.6 办公楼 LPMS 示例

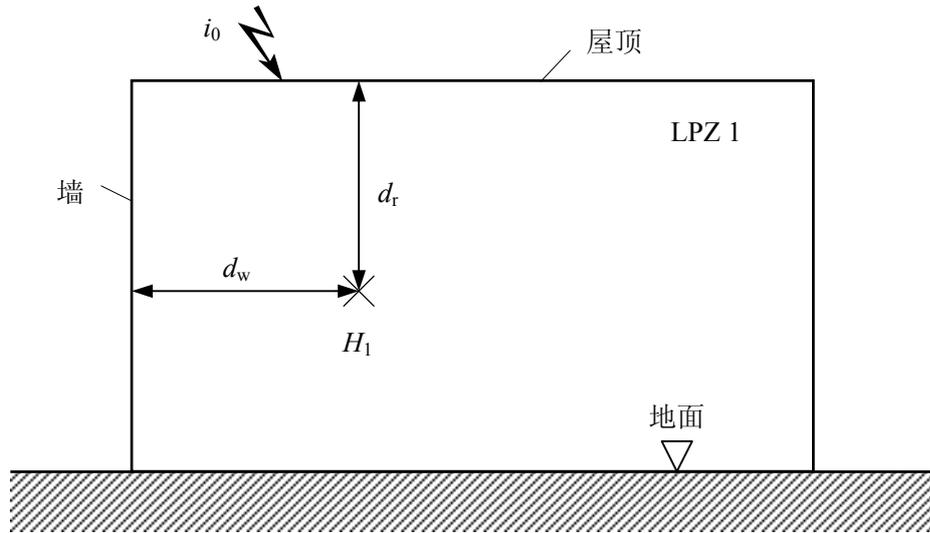
A.3 LPZ 内部磁场

A.3.1 LPZ 内部磁场的近似值

当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) 研究时, 磁场衰减应按以下方法估算。

A.3.1.1 LPZ1 格栅型大空间屏蔽受直击雷的情况

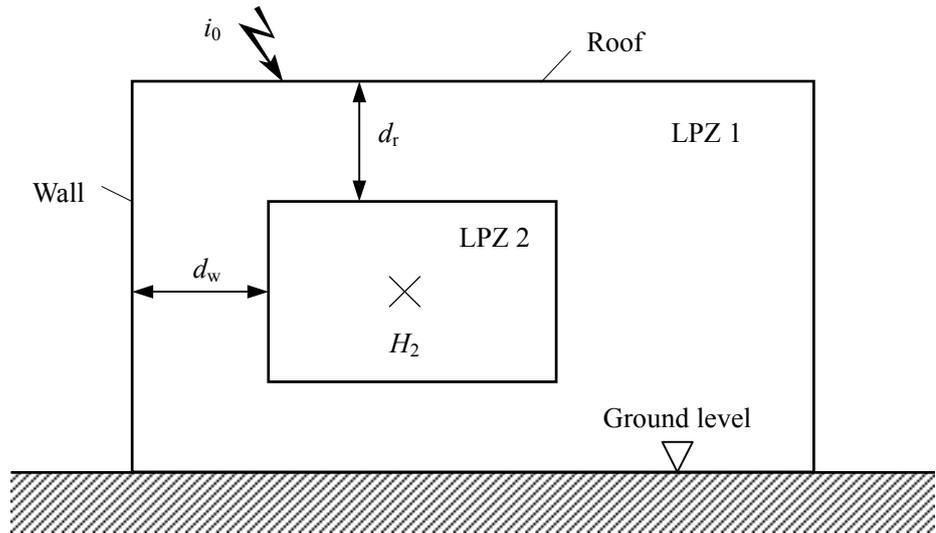
建筑物的屏蔽 (LPZ1 四周的屏蔽) 可以作为外部 LPS 的一部分, 因此在雷电直击时, 雷电流可以沿它流过。如图 A.7 所示, 假设建筑物屋顶上的任意点受到雷击。



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

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



$$\text{LPZ 2 内 } H_2 = H_1 / 10^{\text{SF}_2/20}$$

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 - 雷电直击时磁场强度值的估算

在LPZ1内部任意点上的磁场强度 H 为：

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

式中：

d_r 待计算点与LPZ1屏蔽中屋顶的最短距离，单位 m；

d_w 待计算点与LPZ1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 形状系数，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）。

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

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

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

示例：

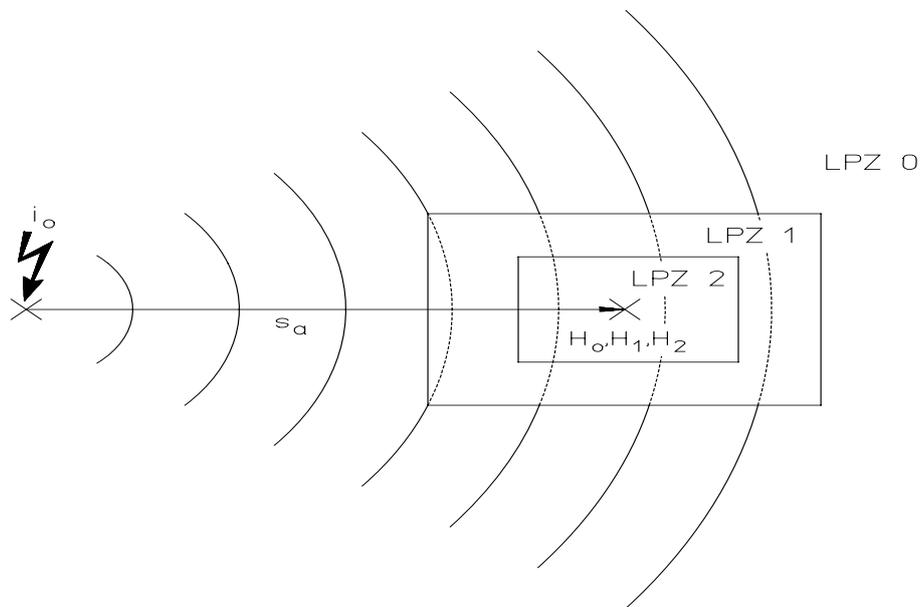
如表A.1所示，给出了三种不同尺寸的铜质格栅型屏蔽，其平均网格宽度 $w = 2 \text{ m}$ （参见图10）。由此得出安全距离 $d_{S/1} = 2.0 \text{ m}$ 及相应的安全空间 V_S 。 V_S 内部有效的 $H_{1/\max}$ 值是按 $i_{0/\max} = 100 \text{ kA}$ 进行计算的，结果在表A.1中列出。离屋顶的距离为高度的一半： $d_r = H/2$ 。离墙的距离为长度的一半： $d_w = L/2$ （安全空间的中心）或等于： $d_w = d_{S/1}$ （靠近墙的最坏情况）。

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 × W × 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 邻近雷击时LPZ1格栅型大空间屏蔽

图A.8所示为建筑物附近遭雷击时的情况。LPZ1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 2 内 $H_1 = H_0 / 10^{SF/20}$
 LPZ 2 内 $H_2 = H_1 / 10^{SF/20}$

图 A.8 邻近雷击时磁场强度值的估算

格栅型大空间屏蔽对平面波的屏蔽系数SF由表A. 2给出。

表 A.2 格栅型大空间屏蔽对平面波磁场的衰减

材质	SF (dB) (参见注 1 和 2)	
	25kHz (适用于首次雷击)	1MHz (适用于后续雷击)
铜材或铝材	$20 \cdot \log(8.5/w)$	$20 \cdot \log(8.5/w)$
钢材 (参见注 3)	$20 \cdot \log[(8.5/w) / \sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r^2}]$	$20 \cdot \log(8.5/w)$
w 格栅型空间屏蔽网格宽度 (m)		
r 格栅型屏蔽的导体的半径 (m)		
注 1 - 当计算得出的值为负值时取 SF = 0		
注 2 - 如果按 5.2 安装的网状连接网络, SF 增加 6dB		
注 3 - 钢的磁导率 $\mu_r \approx 200$		

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 0A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。

在邻近雷击时, 有关格栅形大空间屏蔽内磁场强度的其它资料请参见A. 3. 3节。

示例：

在邻近雷击时，LPZ1内磁场强度 $H_{/max}$ 取决于：雷电流 $i_{0/max}$ 、LPZ1的屏蔽系数 SF 以及雷击点与LPZ1中心之间的距离 s_a （参见图A.8）。

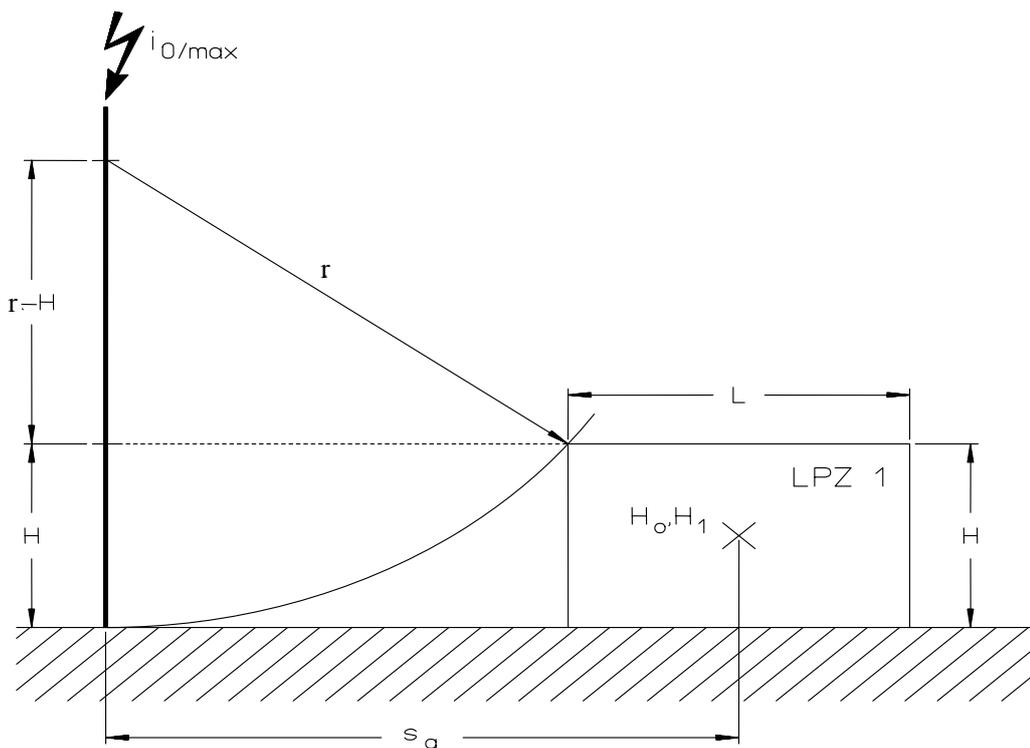
雷电流 $i_{0/max}$ 取决于所选择的LPL（参见IEC62305-1）。屏蔽系数 SF （参见表A.2）主要是格栅形屏蔽网格宽度的函数。距离 s_a 可能是：

- 雷击中某目标（例如天线塔）时该目标与LPZ1中心距离，或
- 雷击 LPZ1附近大地时，LPZ1中心和雷击点之间的最小距离。

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（LPZ1）的高度 H 和长度 L （或者宽度 W ），以及与 $i_{0/max}$ （参见表A.3）相对应的由电气几何模型定义（参见IEC62305-1A.4）的滚球半径 r 的函数。

表 A.3 最大雷电流时的滚球

雷电防护等级 (LPL)	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：

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

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

注：距离小于该最小值时，雷电可能直接击中该建筑物。

表A.4，给出了三种典型使用铜质格栅形屏蔽建筑物的尺寸，其平均网格宽度 $w=2\text{m}$ 。由此计算出

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 $H_{0/\text{max}}$ 和 $H_{1/\text{max}}$ 在 V_s 各处都有效，当 $i_{0/\text{max}}=100\text{kA}$ 时，可以计算得出它们的数值，列于表A.4。

表 A.4 $i_{0/\text{max}}=100\text{kA}$ 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	$H_{0/\text{max}}$ A/m	$H_{1/\text{max}}$ A/m
1	$10 \times 10 \times 10$	67	236	56
2	$50 \times 50 \times 10$	87	182	43
3	$10 \times 10 \times 50$	137	116	27

A.3.1.3 LPZ2和更高级别防护区的格栅形空间屏蔽

在LPZ2和更高防护区的格栅形屏蔽中,没有显著的部分雷电流流过因此,在邻近落雷时LPZn+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内的磁场强度,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LPZ1的格栅形屏蔽时,参见A.3.1.1和图A.7b,其中 d_w 和 d_r 分别是LPZ2的屏蔽与墙和屋顶的距离;

——雷电击中LPZ1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 $d_{s/1}$ 的安全空间内有(参见图A.4)。

A.3.2 对直击雷磁场的理论估算

在A.3.1.1中,对磁场强度 $H_{1/\text{max}}$ 的估算是根据图A.10所示的三种典型格栅形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,大地被模拟为一修理相反导电平板。

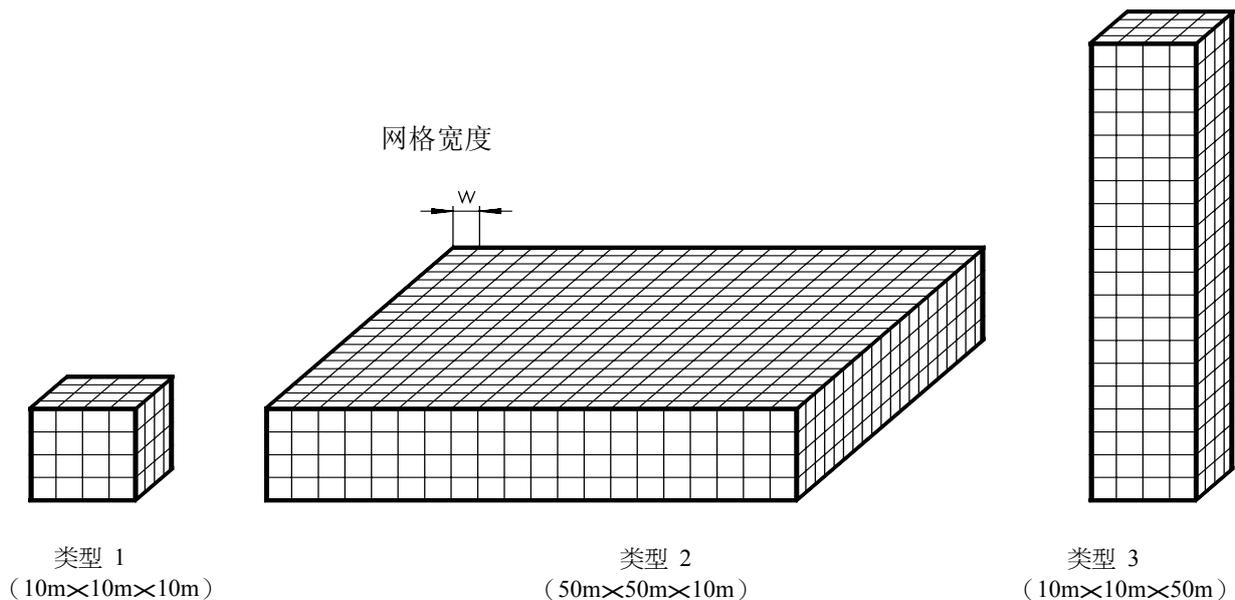


图 A.10 格栅形大空间屏蔽的三种典型类型

在计算时要考虑格栅形屏蔽中所有其它金属筋以及模拟雷电通道的磁场垂直导电杆之间的耦合,从而得到一组方程组来计算雷电流在格栅中的分布。从电流分布可以推导出屏蔽内部的磁场强度。假设金属筋的电阻可以忽略不计,因此,格栅形屏蔽内的电流分布和磁场强度与频率无关。同样,容性耦合也可忽略不计,因而不会出现瞬态效应的影响。

对第1种类型格栅形屏蔽(参见图A.10),其结果在图A.11和图A.12中示出。

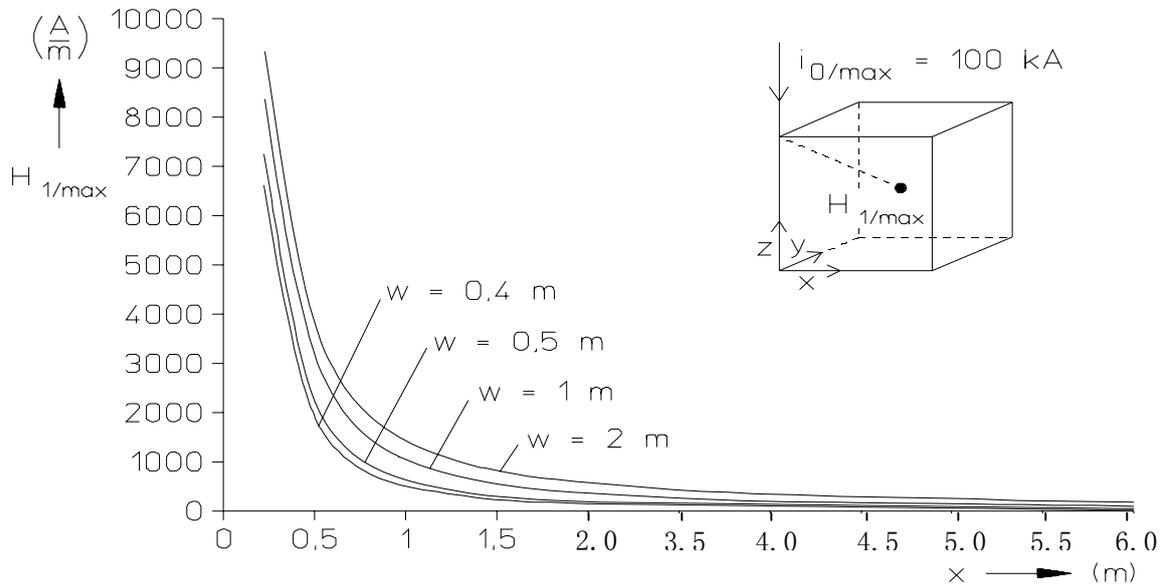


图 A.11 第 1 类格栅形屏蔽体内部的磁场强度 $H_{1/max}$

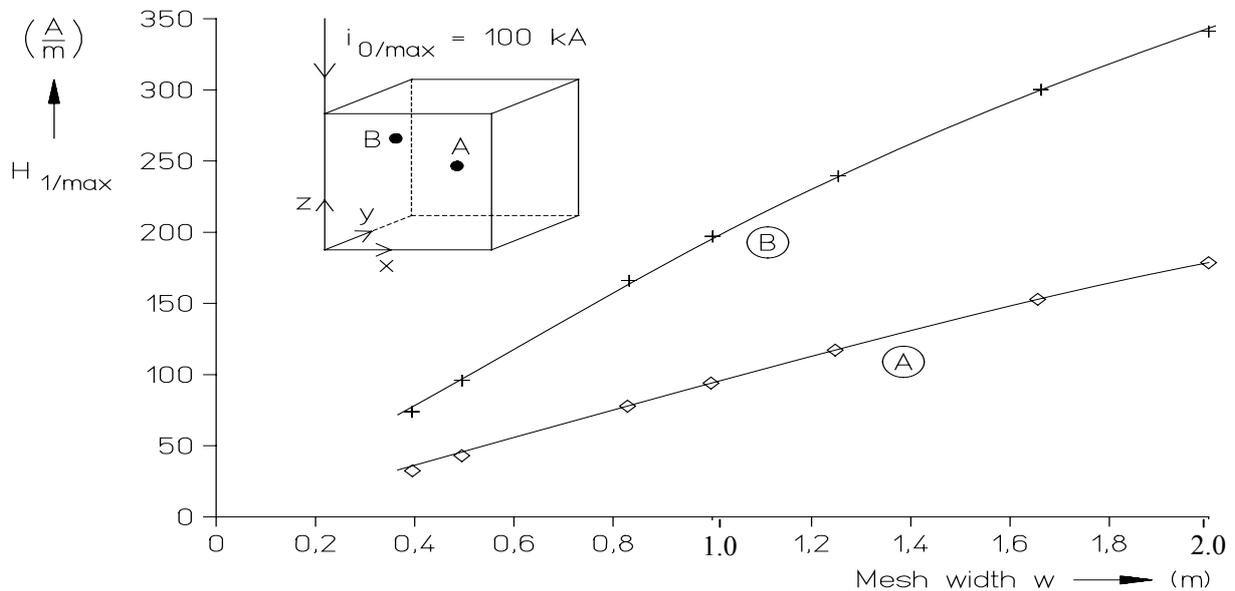


图 A.12 第 1 种类型格栅形屏蔽内部磁场强度 $H_{1/max}$

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度。

$$H_{l/\max} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (\text{A. 16})$$

图 A. 11 中, $H_{l/\max}$ 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, $H_{l/\max}$ 是该直线 X 坐标上点的函数, 参数 W 是格栅形屏蔽的网格宽度。

在图 A. 12 中, $H_{l/\max}$ 是在屏蔽空间内两点 (点 A: $x=y=5\text{m}, z=5\text{m}$; 点 B: $x=y=7\text{m}, z=7\text{m}$) 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形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, 可以看到, 沿着穿过屏蔽空间的其它直线, 可能与零基准线相交, 磁场强度 $H_{l/\max}$ 的分量会改变符号。因此, A. 3. 1. 1 节中的公式是对格栅形屏蔽内磁场分布实际上更复杂的数值的一近似值。

A. 3. 3 直击雷产生磁场的实验性评估

屏蔽结构内部磁场除了可以理论性估算外, 还可以采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电平电流进行, 但是模拟雷击电流的波形必须和实际雷击放电基本相同。

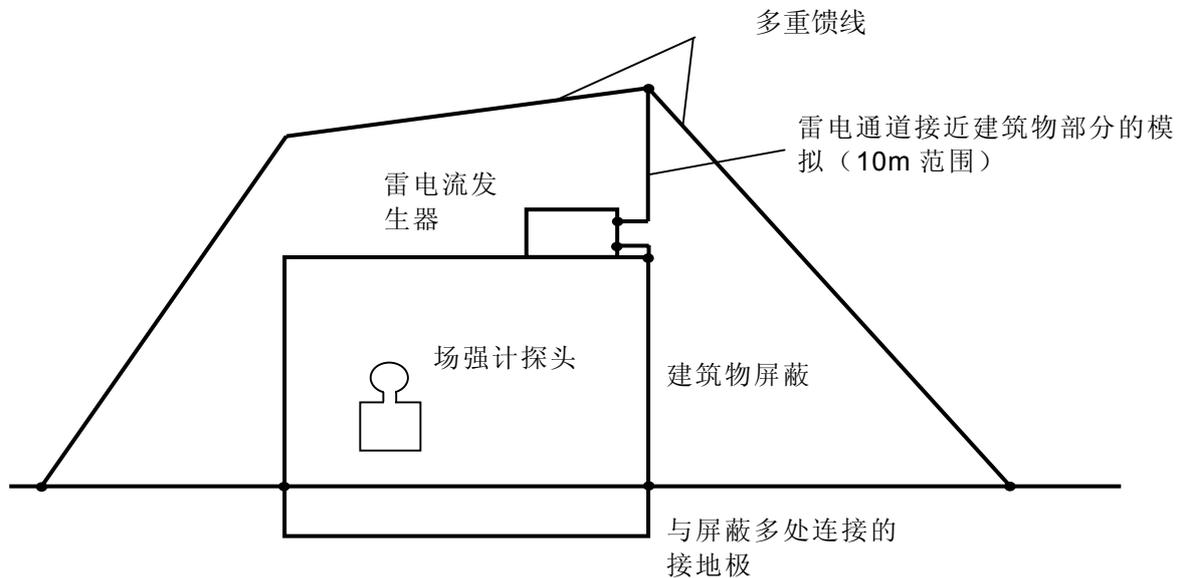
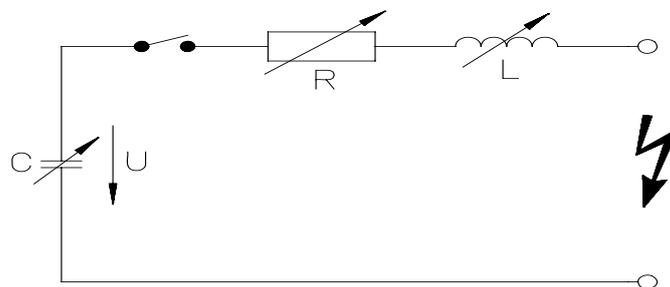


图 A. 13a 实验布置



注: U: 典型值为数 10kV
C: 典型值为数 10nF

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电平试验

A.4 感应电压和电流计算

图 A.14 仅以长方形回路为例计算，其它形状的回路可变换成同等回路面积的长方形来计算。

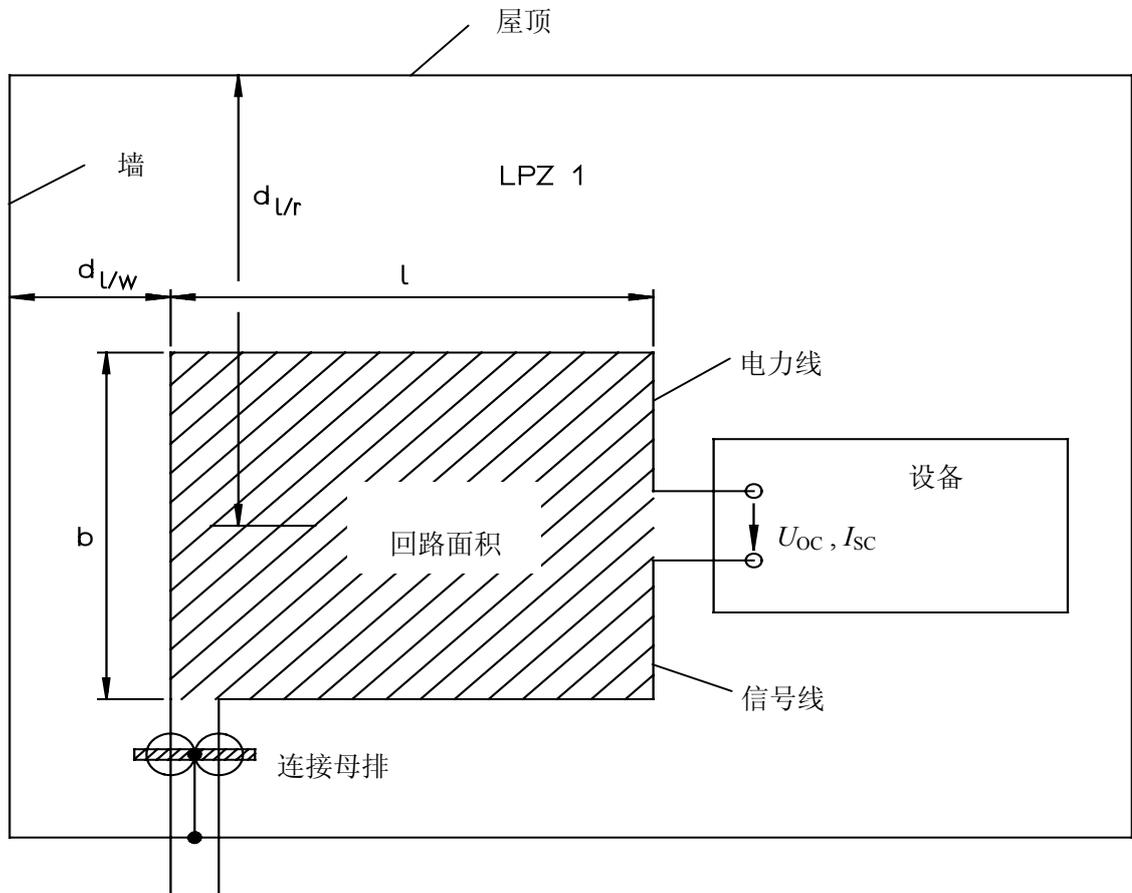


图 A.14 感应到由线路构成回路中的感应电压和电流

A.4.1 直接雷击时 LPZ1 内部的情况

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）：

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

开路电压 u_{oc} 为：

$$u_{oc} = \mu_o \cdot b \cdot \ln(1+l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot dI_0/dt \quad (\text{V}) \quad (\text{A.18})$$

在波头时间 T_1 内，上升到峰值 $U_{oc/max}$ ：

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

式中

μ_o	真空的磁导系数，其值为 $4\pi \cdot 10^{-7} (\text{V} \cdot \text{s}) / (\text{A} \cdot \text{m})$
b (m)	回路宽度，单位 m；
$d_{l/w}$ (m)	屏蔽体的墙与回路间的距离，这里 $d_{l/w} \geq d_{s/1}$ ，单位 m；
$d_{l/r}$ (m)	屏蔽体屋顶与回路间的平均距离，单位 m；
i_0 (A)	LPZ 0 _A 中的雷电流，单位 A；
$i_{0/max}$ (A)	雷击 LPZ 0 _A 时的雷电流最大值，单位 A；
k_H ($1/\sqrt{\text{m}}$)	形状系数。 $k_H = 0.01 (1/\sqrt{\text{m}})$
l	回路长度，单位 m；

T_1 雷击 LPZ 0_A 时的雷电流波头时间, 单位 s:

w 格栅形屏蔽的网格宽度, 单位 m。

短路电流 i_{sc} 为:

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

如果忽略电线的欧姆电阻 (最坏情况):

短路电流最大值 $i_{sc/\max}$ 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:

$$L = \{0.8\sqrt{l^2 + b^2} - 0.8(l+b) + 0.4 \cdot l \cdot \ln[(2b/r)/(1 + \sqrt{1 + (b/l)^2})] + 0.4 \cdot b \cdot \ln[(2l/r)/(1 + \sqrt{1 + (l/b)^2})]\} \cdot i_0 \cdot 10^{-6} \quad (\text{H}) \quad (\text{A.22})$$

式中, r 是回路导线的半径, 单位 m。

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

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

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

由后续雷击 ($T_1 = 0.25 \mu\text{s}$) 的磁场感应产生的电压和电流可通过下式计算

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

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

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 邻近雷击时 LPZ 1 内部情况

假定 LPZ 1 内空间磁场 H_1 是均匀磁场 (参见 A.3.1.2 节),

开路电压 U_{oc} 为:

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

波头时间 T_1 内, 峰值 $u_{oc/\max}$ 为:

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

式中

μ_0 真空的磁导系数, 其值为 $4\pi \cdot 10^{-7} (\text{Vs})/(\text{A} \cdot \text{m})$

b 回路宽度, 单位 m;

H_1 LPZ 1 内随时间变化的磁场, 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 磁场波头时间, 它与雷电流波头时间一致, 单位 s。

短路电流 I_{sc} 为:

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

这是在可以忽略电线的电阻时的情况 (最坏情况)。

短路电流最大值 $I_{sc/\max}$ 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 $H_{1/f}$ 感应的电压和电流为:

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

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

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

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

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

式中

$H_{1/f/max}$ 首次雷击时 LPZ1 内最大磁场强度，单位 A/m；
 $H_{1/s/max}$ 后续雷击时 LPZ1 内最大磁场强度，单位 A/m。

A. 4. 3 在 LPZ 2 和更高级别防护区的状况

假定在 $n \geq 2$ 时，LPZn 内部的磁场是均匀的（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)

已建成建筑物中 LEMP 防护措施的实施

B.1 项目清单

为已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基本情况。

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。

对于已有建筑物，尤其需要对LPZ分区定义、接地、等电位连接、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已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佳的防护措施。

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

项目	问 题
1	石、砖、木、钢筋混凝土、钢框架结构、金属立面？
2	单幢建筑物还是有伸缩缝的互连建筑？
3	平房、低屋或高层建筑？（建筑物的尺寸）
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、形式和质量？
6	金属立面是否连接？
7	窗户的金属框架是否连接？
8	窗户的尺寸？
9	建筑物是否安装外部 LPS？
10	该 LPS 的类型和质量？
11	地面状况（岩石、土壤）？
12	邻近建筑物的高度，距离和接地情况？

注：详细资料参见 IEC62305-2

表 B.2 设施特性

项 目	问 题
1	入户线类型（埋地或架空敷设）？
2	天线类型（天线或其它外部器件）？
3	供电类型（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 IEC62305-2

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	确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	

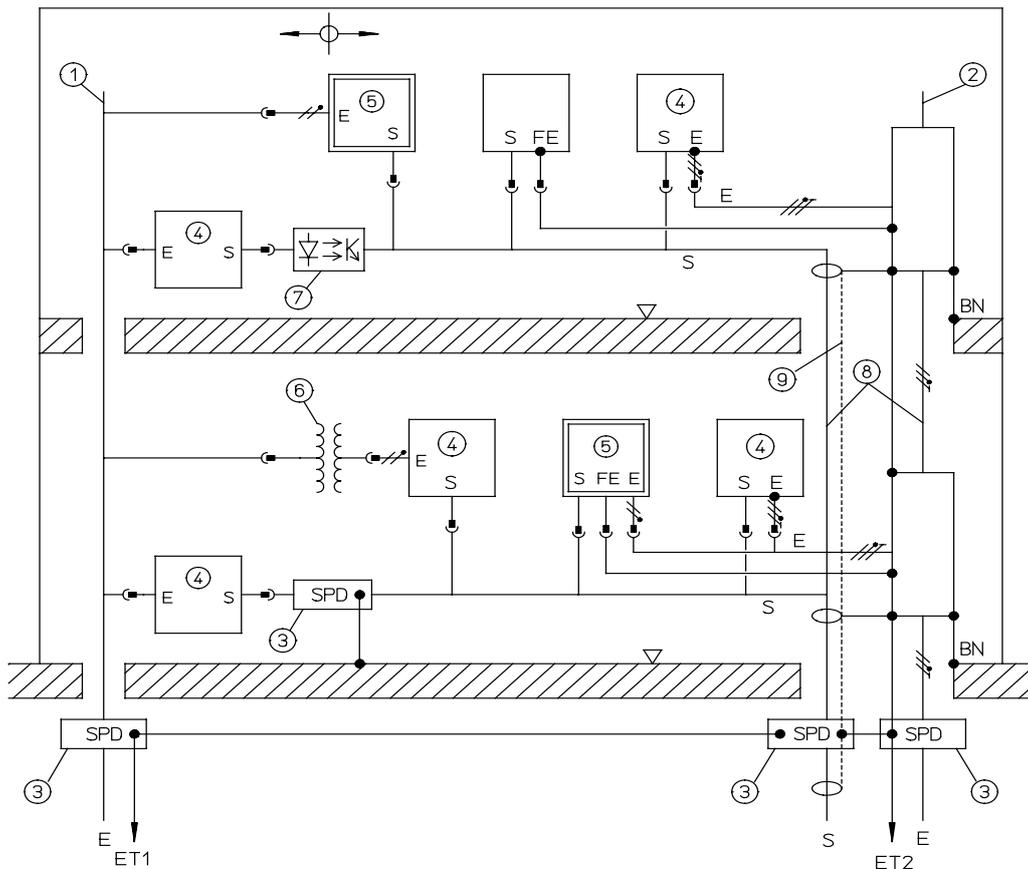
表 B.4 防护概念应考虑的其他问题

项目	问题
1	供电接地方式：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等电位连接网络互连？
注 — 详细信息参见附录 A	

B.2 已有建筑物增加新的电子系统

在已有建筑内增加新的电子系统时，原有设备可能会制约可以被采用的防护措施。

图 B.1 是一个原有存设备与新增设备互相连接的示例，图的左侧为原有设备，右侧为新增设备。原有设备制约了可以被采用的防护措施。但新设备的设计和规划允许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	电涌保护器 (SPD)	ET	接地装置
4	I 级标准绝缘	BN	连接网络
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	III	3 芯电源线: L, N, PE
8	电源线和信号线邻近布线	II	2 芯电源线: L, N
9	屏蔽电缆管道	•	连接点 (PE, FE, BN)

图 B.1 已有建筑物中 LEMP 防护措施和电磁兼容性能的升级

B.2.1 可采用的防护措施综述

B.2.1.1 电源

目前,建筑物内的低压配电(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方法(参见下文)加以避免。如果新安装配电系统(参见图B.1中的图例2),必须使用TN-S系统。

B.2.1.2 电涌保护器

为了控制沿线侵入的电涌,应在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 隔离方法

为了避免干扰,新旧设备间可以使用隔离界面: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。对建筑物的扩展部分,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连接。

LPZ1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安装的普通外部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)。

LPZ1和更高级别防护区可能需要空间屏蔽来保护电子系统,该空间屏蔽能对不符合无线频率发射和抗扰度标准要求的设备提供保护。

B.2.1.6 连接

雷电流频率达数MHz时,要求使用低阻抗网格连接网络,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 与连接网络相连。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防雷区 (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LPZ。

图B. 2所示为典型保护电子系统的LPZ划分，特别针对已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LPZ1，这适合于电子系统耐压水平高的情况。

——LPZ1可以根据符合 IEC62305-3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（等电位连接、安全距离）。

——外部 LPS 在雷击建筑物时保护了建筑物内的LPZ1，但是LPZ1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LPZ1的边界上进行连接，它包括在所有供电线路和信号线路上安装通过冲击电流 I_{imp} 测试的SPD。采取这一措施使得沿线侵入的电涌被安装在入口处的SPD分流。

注：为了避免低频干扰，在LPZ1内可以采用隔离界面。

如图B. 2b所示，在LPZ1内，新装设备仍然需要考虑对沿线侵入电涌的防护。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级双重绝缘保护。

如图B. 2c所示，在LPZ1内部为新安装的电子设备建立LPZ2。LPZ2的格栅形屏蔽对雷电流的衰减很大。在图的左边，根据附录C，SPD安装在LPZ1的边界（LPZ0到1的过渡点）和安装在LPZ2的边界（LPZ1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LPZ0/1/2空间的直接过渡（参见C. 3.4）。

如图B. 2d所示，在LPZ1内两个较小的LPZ2的情况。在每个LPZ2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LPZ1边界上的SPD协调配合。

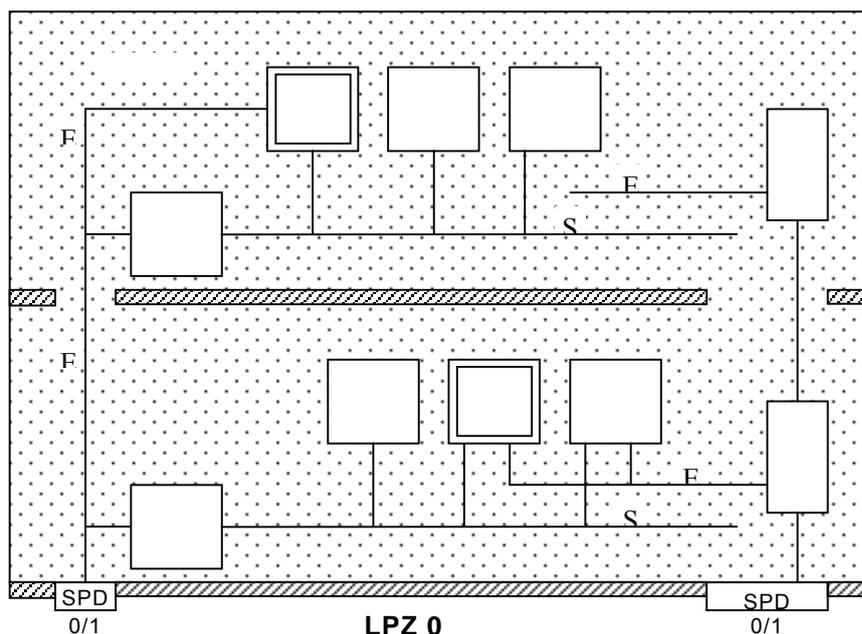


图 B. 2a LPZ1屏蔽效果差时，采用LPS和在建筑物进线入口处安装 SPD

（例如，用于建筑物内耐受水平较高的系统或小布线回路）

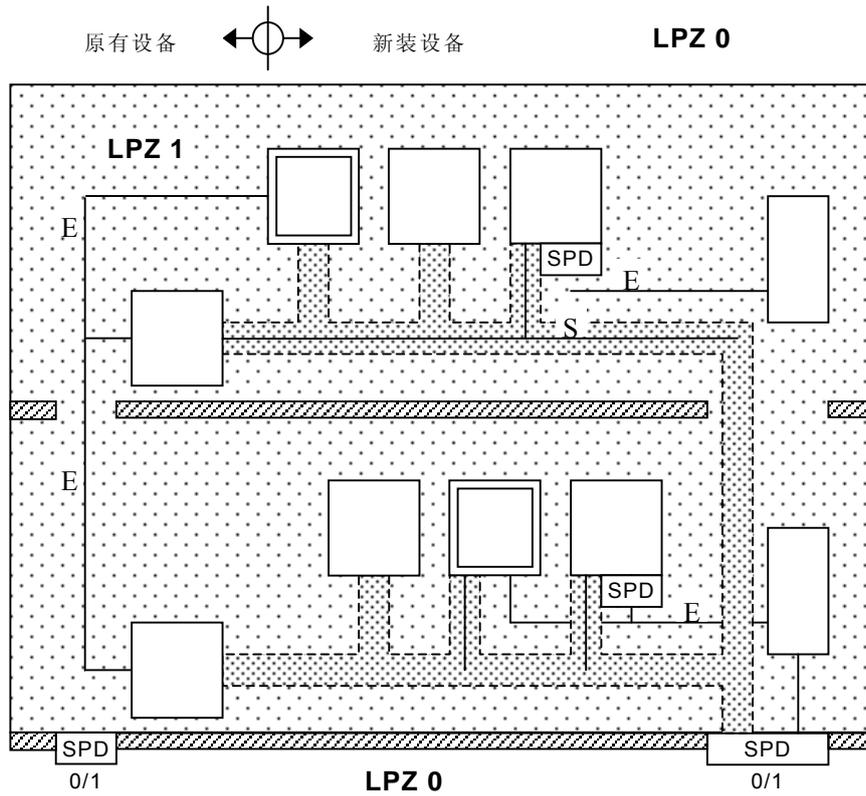


图 B.2b LPZ1 中，采用屏蔽信号线并在电源线安装协调配合的 SPD 防护以保护新装电子系统

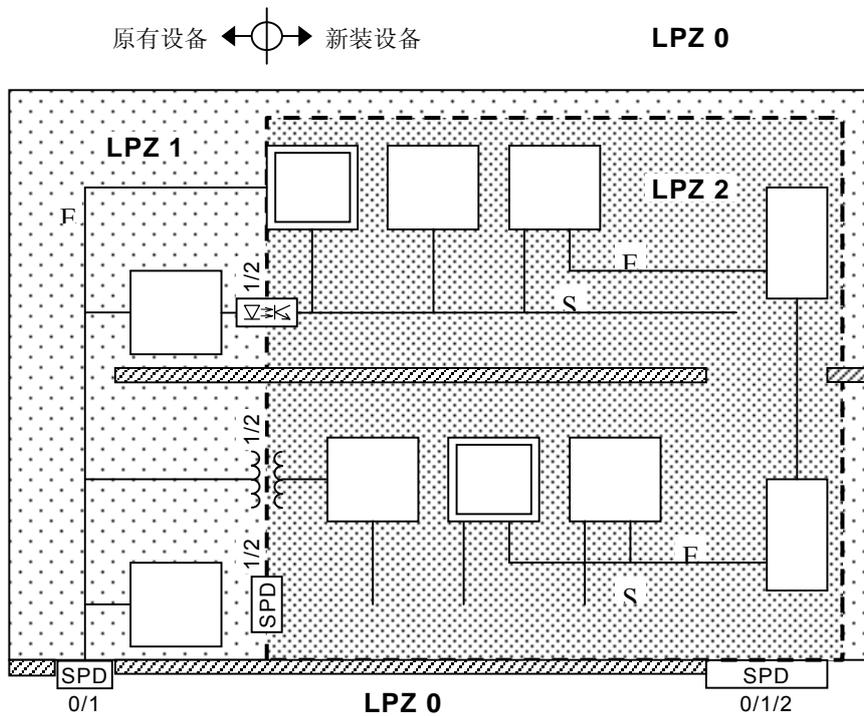


图 B.2c LPZ 1 以及为新装电子系统设置的大的屏蔽的LPZ 2进行保护

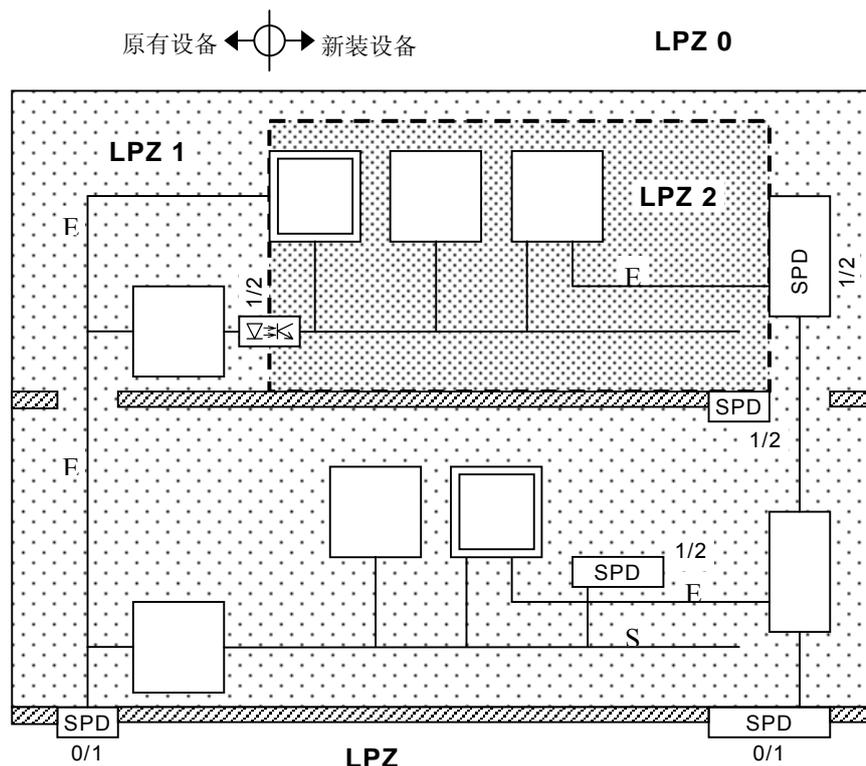


图 B.2d LPZ1以及为新装电子系统设置的两个局部的LPZ 2进行保护

图 B.2 在已有建筑物内划分雷电防护区 LPZ 的可能性

B.3 建筑物内配电系统和电缆布线的改进

已有建筑内的配电系统(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级电气设备隔离界面或隔离变压器。若电子设备较少,这可以作为一个解决方案(参见B.5)。

——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、连接和线缆布设的要求。

B.4 用电涌保护器进行保护

为了限制雷电在线路上产生的传导电涌,应在每LPZ的入口处安装SPD(参见图B.1的图例3及图B.2)。这些SPD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不能配合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。

B.5 用隔离界面进行保护

流过设备及其连接的信号线上的工频干扰电流,可能来自大的感应回路或者来自阻抗偏高的等电位连接网络。为了防止这种干扰(主要在TN-C型供电系统内),应在已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:

- 使用II级隔离设备(即无PE线的双重隔离);
- 隔离变压器;

- 无金属光缆；
- 光电耦合器。

采用隔离界面来防止雷电感应过电压时，融离设备必须能承受较大的冲击电压，如1.2/50波形时的典型过电压耐受值为5kV。若用这种界面防护更高的过电压时，可以使用SPD。SPD的电压保护水平 U_p 需要选择适当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，金属设备外壳与连接网络或其它金属部件间偶然的电流连接，必须实施绝缘。在大多数场合均可满足这一要求，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。

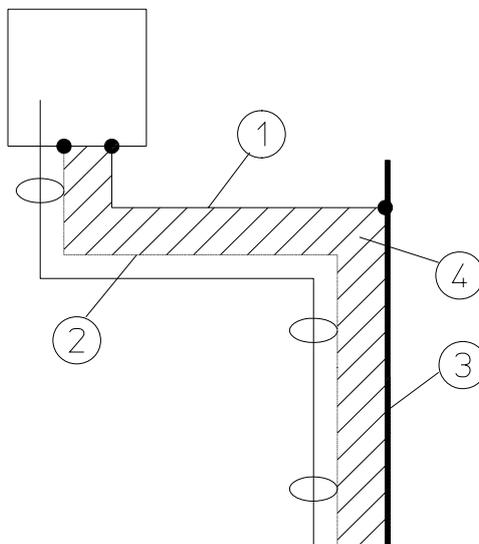
B.6 基于布线和屏蔽的防护

合理布线和屏蔽是降低感应过压的有效措施。如果LPZ1的空间屏蔽很差时，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；
- 应当避免采用现有电力线给新设备供电，因为它可能产生一个很大的封闭感应回路面积，大大地增加了绝缘损坏的风险；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；
- 推荐使用已在两端实现等电位连接的金属电缆管道或接地的金属平板，为保证金属管的低阻抗，实现电气上的良好连通；连接应该采用螺栓紧固金属管相连部分或采用跨接导体的方式；（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（即不是特别为安装电子系统的区域）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，使用三芯电缆的效果更好。

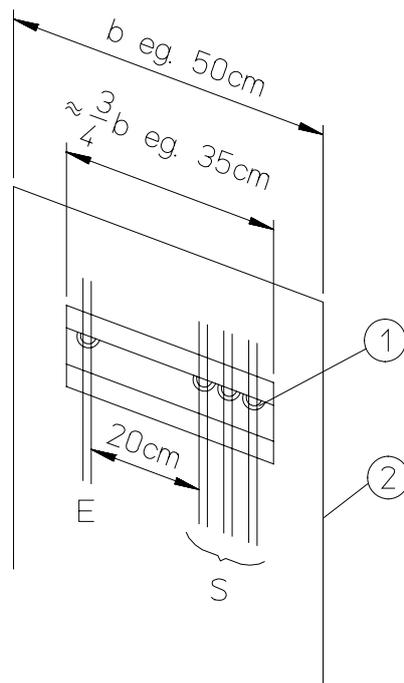


图例：

- 1 PE, 仅在I类设备使用时
- 2 电缆屏蔽层（可选的）要进行两端连接
- 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 不论电缆屏蔽有无连接，电缆都应固定与金属平板
- 2 金属平板边缘的磁场比中间强
- 3 电源线
- 4 信号线

图B.4 用金属板做附加屏蔽的例示

B.7 用LPZ1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：

- 将现有的建筑物的金属立面和屋顶整合入外部 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进行电气连通连接）。
- 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；
- 安装跨接导体，用以连接相邻但结构上分离的建筑物的伸缩缝。

B.8 采用等电位连接网络进行防护

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，因为在高频率状态下，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，即使将雷电等电位连接作为内部LPS的强制性部分，也可能无法满足敏感电子系统的要求。这是因为这种连接系统对于有效防护来说其阻抗仍然太高。

推荐一个典型的网格宽度为5m或5m以下的低阻抗连接网络。

通常，连接网络既不能用于电源回路也不能作为信号回路。因此，PE线一定要纳入等电位连接网络，而PEN线则禁止纳入等电位连接网络。

允许将功能性接地导体（例如与电子系统连接的逻辑地）与低阻抗的连接网络直接连接，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连接，以避免在电子系统中产生工频干扰。

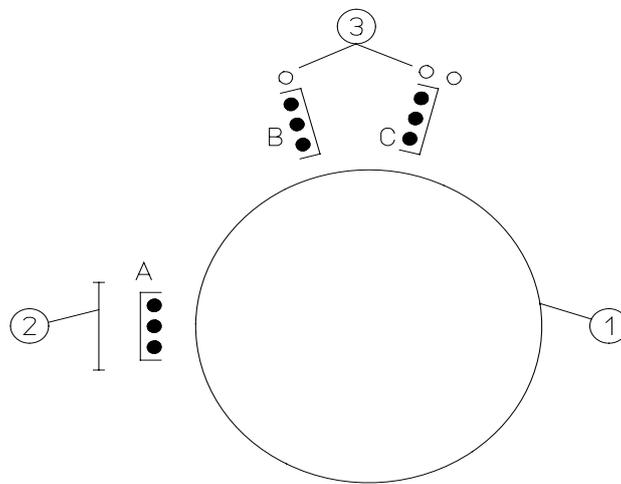
图例:

- | | | | |
|---|---------|---|-------------------------------|
| 1 | 接闪针 | 5 | 从 LPZ 0B 来的线路需要在入口处安装 SPD |
| 2 | 钢质天线杆 | 6 | 从 LPZ 1 (天线杆内) 来的线路在入口处可能不需安装 |
| 3 | 扶手栏杆 | r | 滚球半径 |
| 4 | 互相连通的钢筋 | | |

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

将电缆敷设在已作连接的电缆管道、干线管道或金属管中，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一点离开电缆管道。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，例如对处理容器，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连接的导电材料（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。

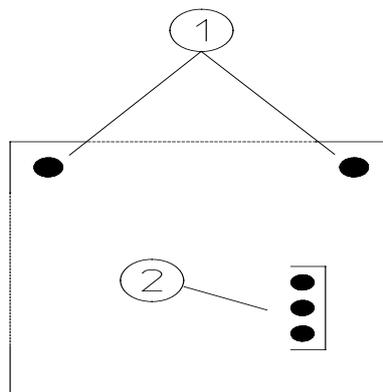


图例:

- | | | | | | |
|---|------|---|----|---|----|
| 1 | 处理容器 | 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 由已做连接的工作扶梯和管路提供的自然屏蔽



图例:

- | | |
|---|--------------------|
| 1 | L 形架的拐角内是布放电缆的理想位置 |
| 2 | 可供选择的电缆槽盒是另一理想位置 |

图 B.7 天线塔电缆的理想敷设位置（钢架天线塔横截面）

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（例如双绞线、多芯线、波导管、同轴电缆，有连续金属部件的光缆）。防护要求取决于线路的类型、线路的数量、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筋）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若无适当的互连，则增加的互连线缆会形成雷电流低阻抗路径。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 进行连接，只能保护该区内部的设备，而线路外部仍处于无防护状态；

——增设一路并行的连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配；

——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连接，则可用其代替电缆穿金属管道。

附录 C
(资料性附录)
SPD 的配合

C.1 通则

在同一个电路上,安装两个以上的电涌保护器 (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 SPD 的性能参数 (由 SPD 制造商提供)、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。

不同雷电防护级别 (LPL) 的总雷电流参数已在 IEC62305-1 的表 3 列出。然而,单个 SPD 只承受总雷电流的一部分。这就需要通过网络分析软件进行计算机仿真或者用 IEC62305-1 附录 B 给出的近似方法确定电流分配。

注: 在 IEC62305-1 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 (电涌):

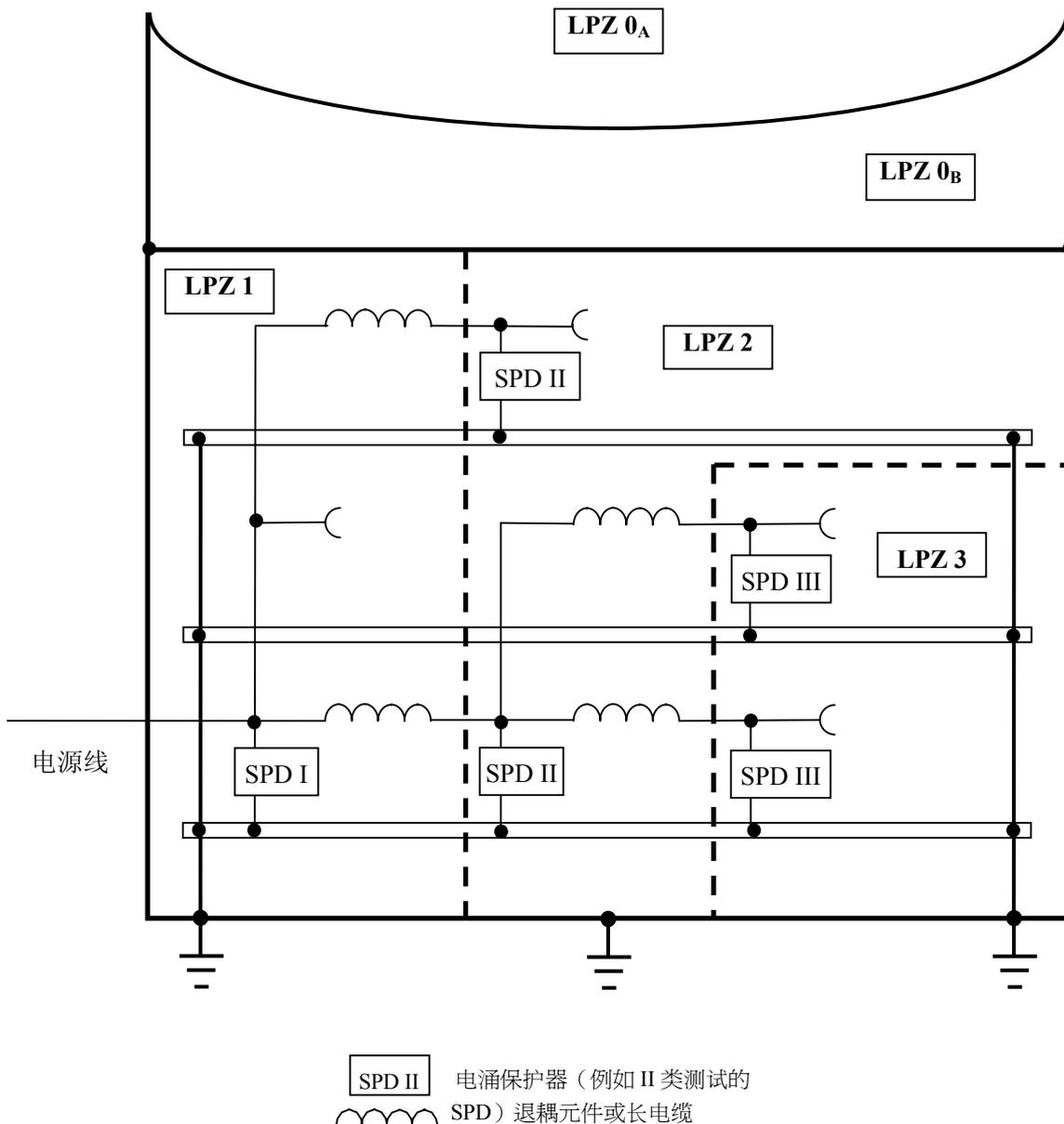
- $I_{10/350}$ 波形为 10/350 μ s 的冲击试验电流,主要用于测试 SPD 的能量配合。对用于电源线的 SPD,该波形用于 SPD 的 I 类测试 (参见 IEC 61643-1),该类测试定义了幅值电流 I_{peak} 及电荷量 Q 。
- $I_{8/20}$ 波形为 8/20 μ s 的标称试验电流。对用于电源线的 SPD,该波形用于 II 类测试 (IEC 61643-1)
- I_{CWG} 混合波发生器输出的电流 (IEC 61000-4-5) 其波形取决于负载 (开路为 1.2/50 μ s 电压波和短路为 8/20 μ s 电流波) 用于 III 类测试 (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多级 SPD 的退耦作用。

图 C.1 所示为根据 LPZ 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_{0A}/LPZ1 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_{0A} 侵入 LPZ1 的残留威胁以及 LPZ1 内电磁感应的影 响 (尤其在 LPZ1 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 可能达不到它的临界值 (出现盲点)。



图C.1 低压配电系统 SPD 应用示例

从LPZ0_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LPZ0_A与LPZ1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LPZ0_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电涌。在此情况下，根据IEC 61643-1 LPZ0_B与LPZ1分界面上的感应效应可用 $8/20 \mu s$ 的电涌电流波形例如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LPZ0过渡到LPZ1后的剩余威胁和LPZ1内的电磁场的感应效应，决定了安装于LPZ1与LPZ2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IEC61643-1，既可以用波形为 $8/20 \mu s$ 的电涌电流（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LPZ0与LPZ1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 $10/350 \mu s$ 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；
- 查阅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，即等电位连接网络的阻抗以及连接网络与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。

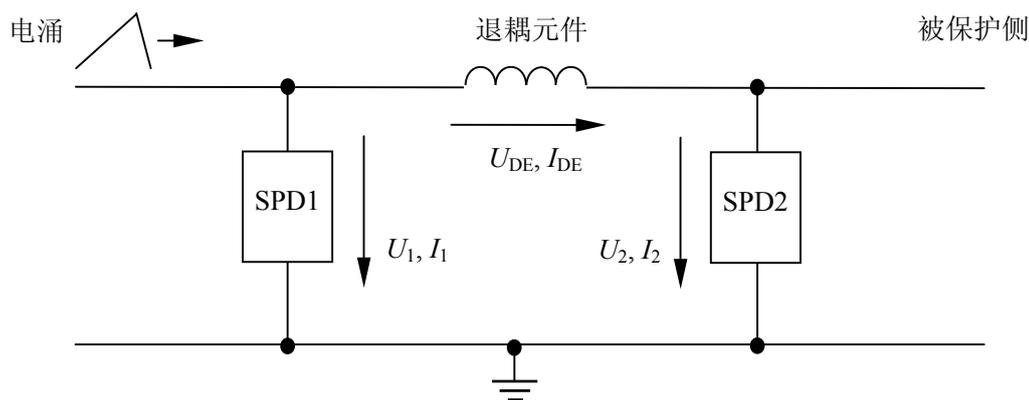


图 C.2 能量协调配合的基本模型

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（无退耦元件） 本方法基于静态电压/电流特性，并适合于电压限制型SPD（例如金属氧化物压敏电阻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自然的退耦作用。

- 使用专用退耦元件进行配合为协调配合，用具有足够电涌耐受能力的感抗作为退耦元件。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，也可使用多级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到配合。

注 4：本方法不需退耦，即便线路的特性阻抗有一些自然的退耦作用。

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 说明能量在电路的分配。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 SPD 自身的能量耐受能力，就达到了能量的协调配合。

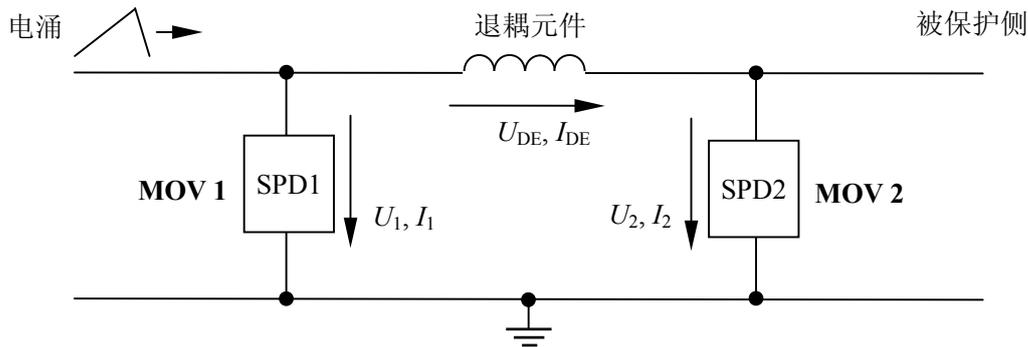


图 C.3a MOV 1 与 MOV2 配合的电路

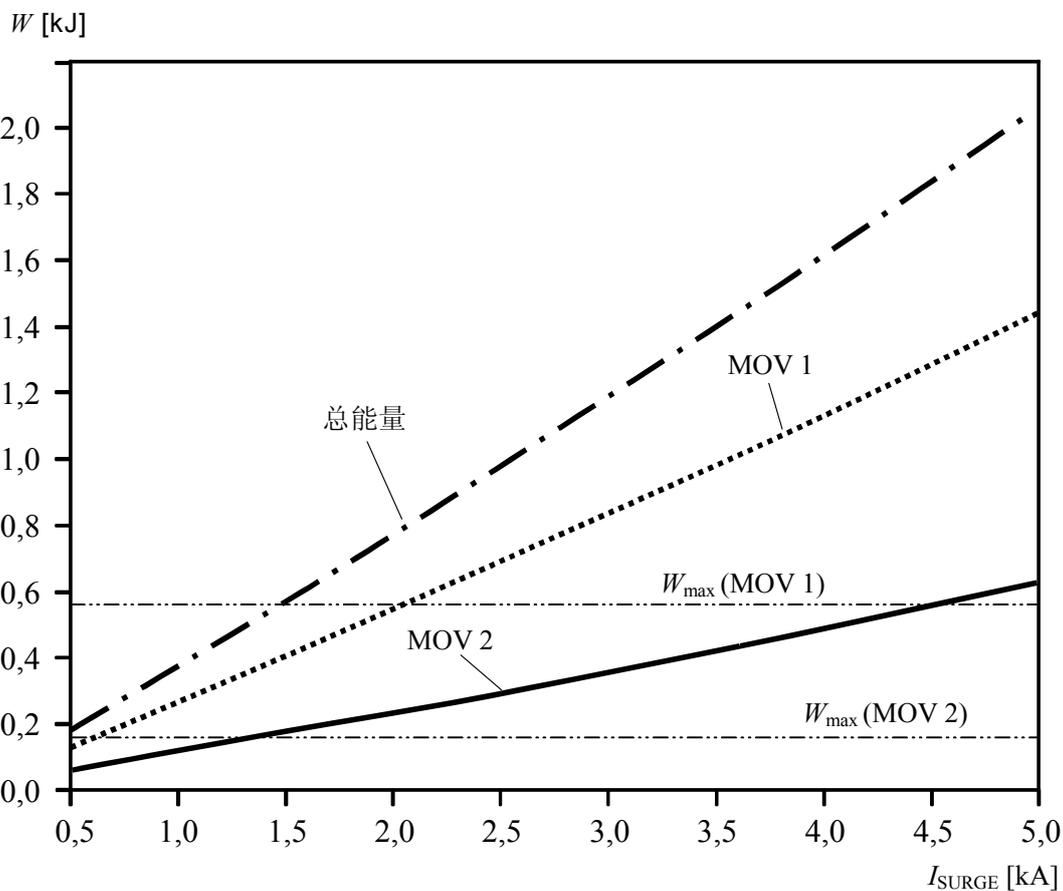


图 C.3b MOV1 和 MOV2 能量配合的原理

图 C.3 两个电压限制型 MOV1 和 MOV2 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。该方法对电流波形不敏感。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 μ s或8/20 μ s）。

对电流陡度低的波形（例如0.1 kA/ μ s），用电感为不电压限制型SPD退耦其配合效果并不明显。用于信号线的SPD，最好用电阻（或导线的自然电阻）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电涌电流和能量。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 μ s 电涌

波形情况下协调配合的示例。

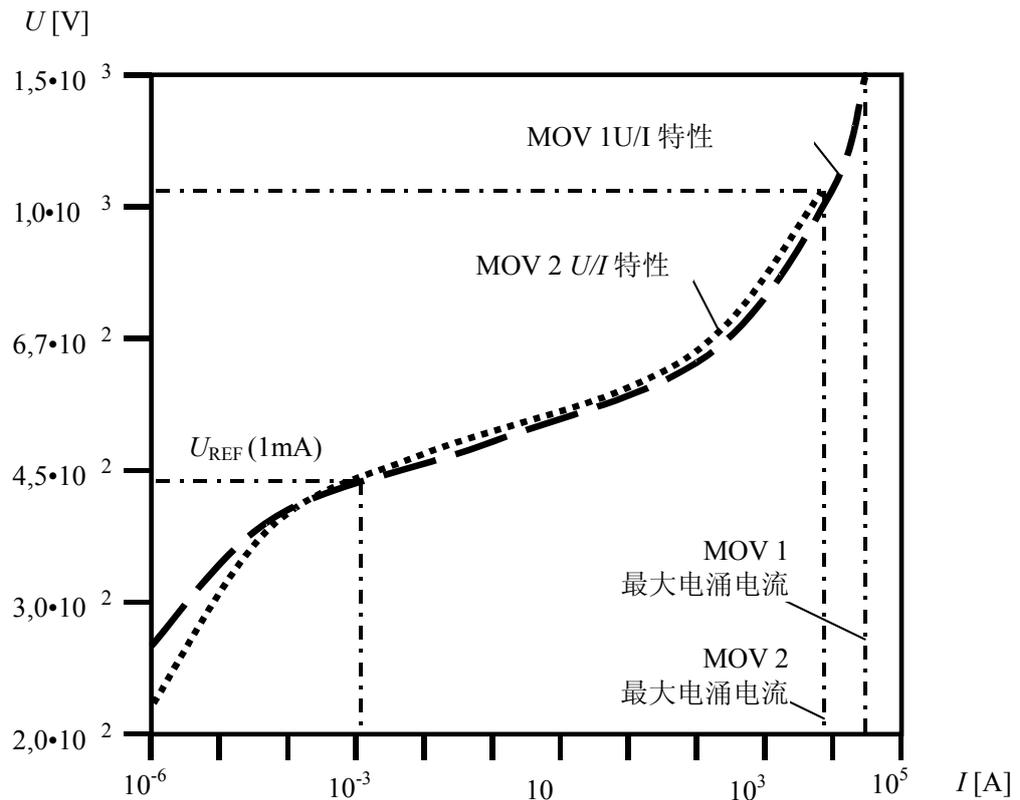


图 C. 4a MOV1和MOV2的伏安特性

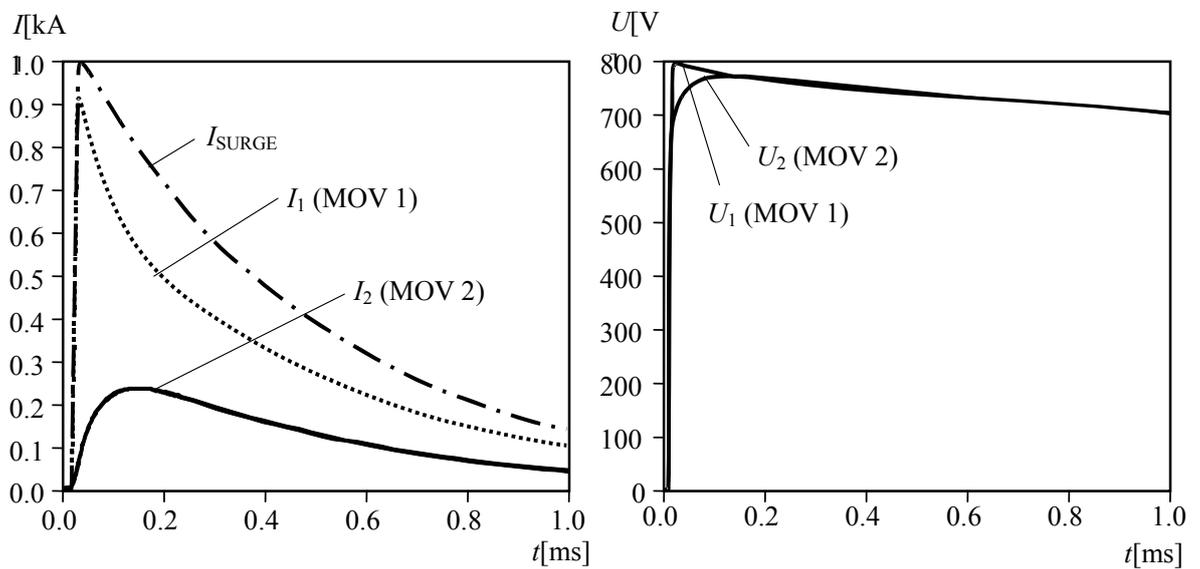


图 C. 4b 10/350 μ s 电涌时 MOV1 和 MOV2 的电压和电流

图 C. 4 两个电压限制型 MOV1 和 MOV2

C. 2. 3 电压开关型和电压限制性 SPD 间的配合

图 C. 5a 是采用一个放电间隙 (SG) 和一个金属氧化物压敏电阻器 (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 SPD1 和电压限制型 SPD2 的特性进行能量配合的基本原理。

放电间隙SG (SPD 1) 的放电与否取决于MOV (SPD 2) 两端的残压 U_2 和退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将发生放电并达到配合, 这仅取决于:

- MOV的特性;
- 入侵电涌电流的陡度和幅值;
- 退耦元件 (电感或电阻)。

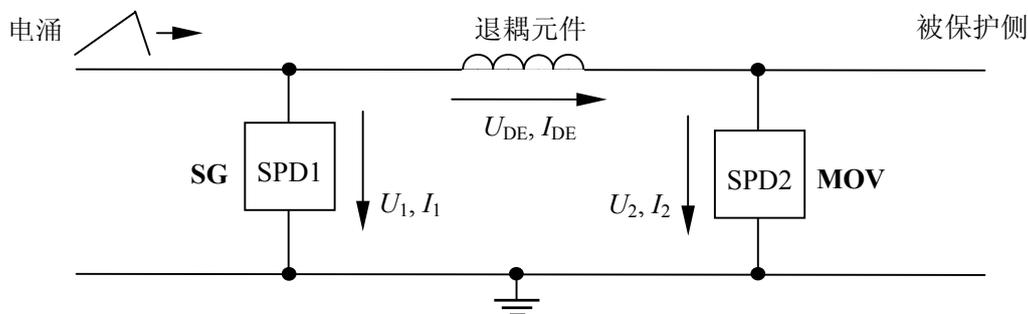


图 C.5a 放电间隙与 MOV 的组合电路

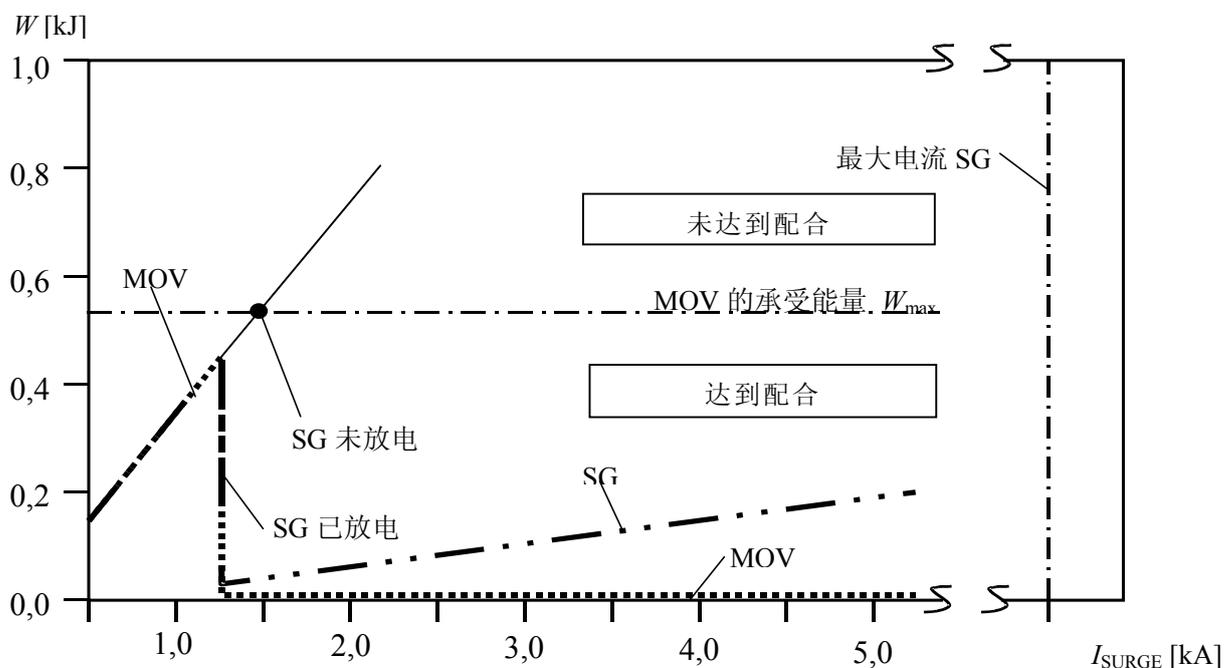


图 C.5b 放电间隙与 MOV 能量配合的原则

图 C.5 电压开关型 SG 与电压限制型 MOV

当用电感作退耦元件时, 应当考虑电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, 必须考虑最小电流陡度为 $0.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 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:

——放电间隙不发生放电 (参见图 C.6a)

若放电间隙 SG 不发生放电, 则电涌电流全部流过MOV。如图C.5b 所示, 若该电涌耗散的能量

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。

——放电间隙放电 (参见图 C. 6b)

如果 SG 放电, 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, 则达到了合理的能量配合。

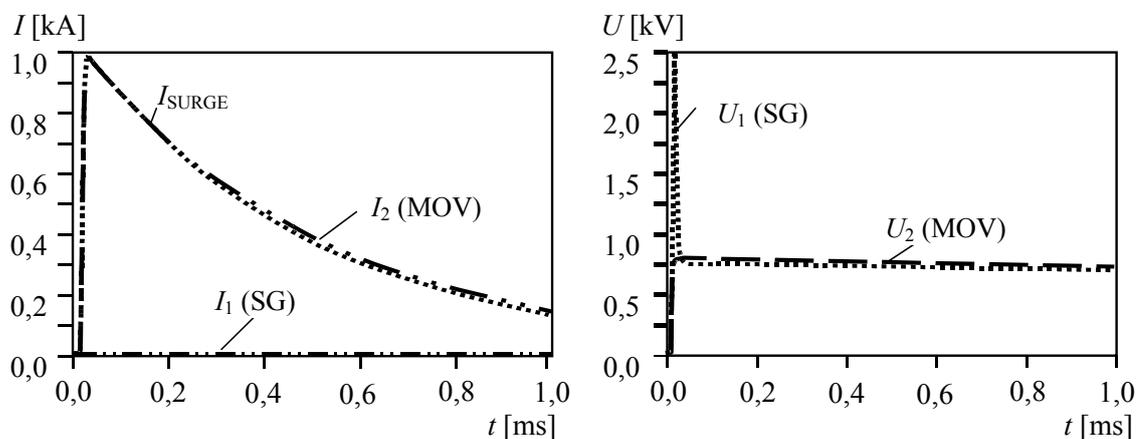


图 C.6a 10/350 μs 电涌时 SG 与 MOV (SPD 1 未发生放电) 上的电压和电流

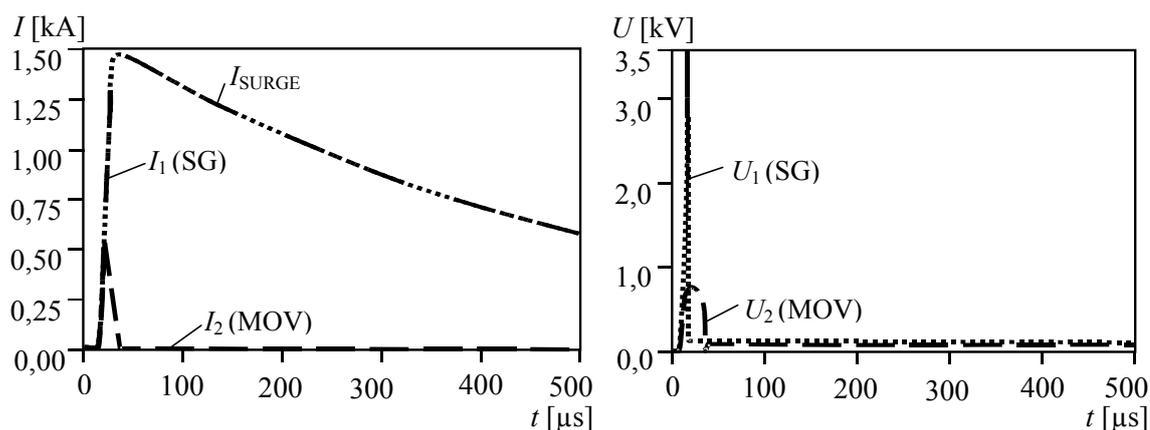


图 C.6b 10/350 μs 电涌时 SG 与 MOV (SPD 1 放电) 上的电压和电流

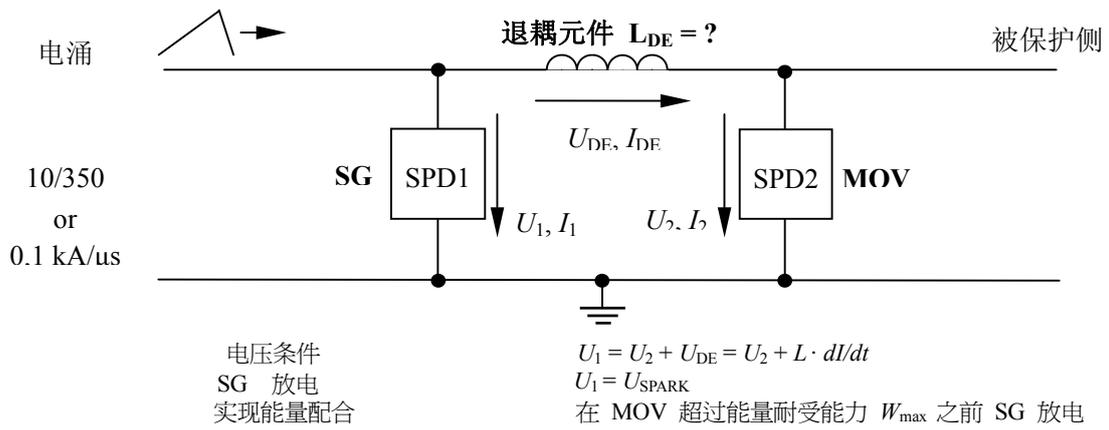
注: I_{SURGE} 为冲击电流

图 C.6 电压开关型 SG 与电压限制型 MOV

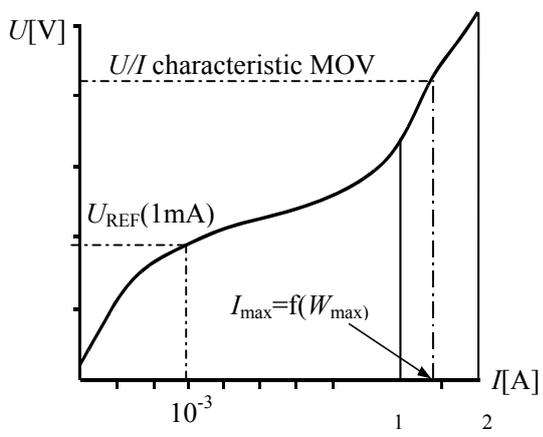
图C. 7所示为在10/350 μs 雷电流和最小雷电流陡度 $0.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 这两个条件下, 确定所需退耦电感的过程。在确定所需退耦元件时还应当考虑两个SPD的动态伏安特性。成功的配合的条件是, 在MOV达到所能耐受能量值以前SG必须放电。

SG的放电取决于它的放电电压 U_{SPARK} 以及MOV (SPD2) 两端的电压 U_2 和退耦元件两端电压 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。

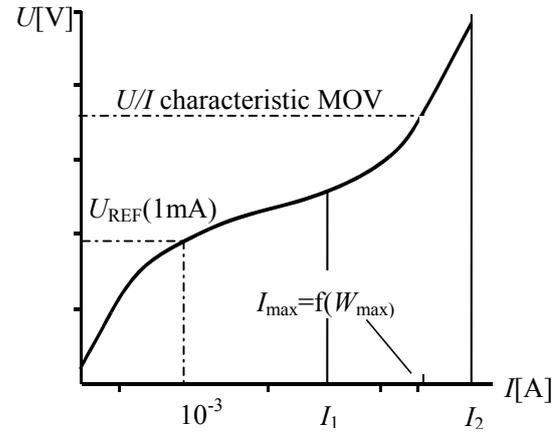
对10/350 μs 电涌, 电流陡度 $di/dt \approx I_{\text{max}}/10 \mu\text{s}$ 取决于MOV所允许的电流幅值 I_{max} (取决于其能量耐受能力 W_{max})。由于电压 U_{DE} 和 U_2 都是 I_{max} 的函数, SG两端的电压 U_1 也由 I_{max} 确定。 I_{max} 越高, SG两端电压 U_1 的陡度也越大因此在标准中SG的放电电压 U_{SPARK} 通常用在 $1 \text{ kV}/\mu\text{s}$ 时的冲击放电电压来描述。



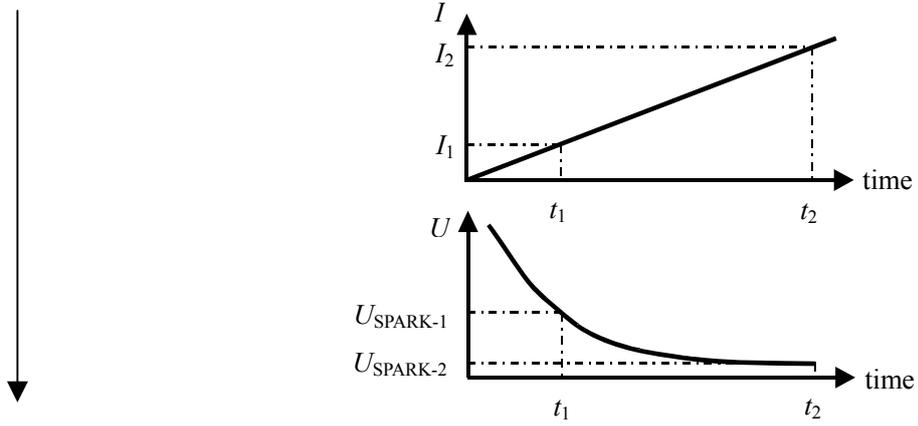
10/350 μ s 电涌时实现能量配合	0.1 kA/ μ s 电涌时实现能量配合
--------------------------	---------------------------



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



$I_1 < I_{max} \quad (L_{DE-1} \geq L_{DE-0,1kA/\mu s})$
 $I_2 > I_{max} \quad (L_{DE-2} \leq L_{DE-0,1kA/\mu s})$



$L_{DE} = (U_{SPARK} - U_2) / (di/dt)$ 这里 $U_2 = f(I_{max})$	
$L_{DE-10/350\mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (I_{max} / 10 \mu s)$	$L_{DE-0,1kA/\mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (0,1kA/\mu s)$
所需电感 L_{DE} 值应大于 $L_{DE-10/350}$ 和 $L_{DE-0,1kA/\mu s}$ 值中较高者	

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

对于 $0.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 斜角波, 电流陡度 $di/dt=0.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 是常数, 因此电压 U_{DE} 也是常数, 而 U_2 仍是 I_{\max} 的函数。因此, 放电间隙两端电压 U_1 的陡度遵循MOV的伏安特性, 同时远低于第一种情况。由于放电间隙的动态工作电压特性, 当SG两端电压持续时间增长时, SG的放电电压将降低(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时, U_{SPARK} 几乎降低至 $500\text{V}/\text{s}$ 的直流工作电压。

最后, 将采用两个电感 $L_{DE-10/350\mu\text{s}}$ 和 $L_{DE-0.1\text{kA}/\mu\text{s}}$ 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SPD2短路($U_2=0$)间隙放电所需电压 U_0 将变到最大。当SPD2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SPD2的残压, 去选定合适的退耦元件。否则会选用得过大。

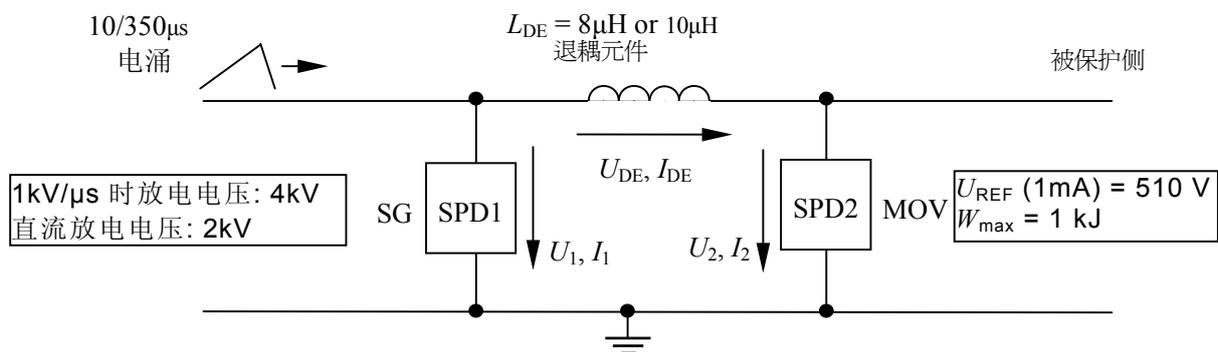


图 C.8a 10/350 μs 电涌时配合电路图

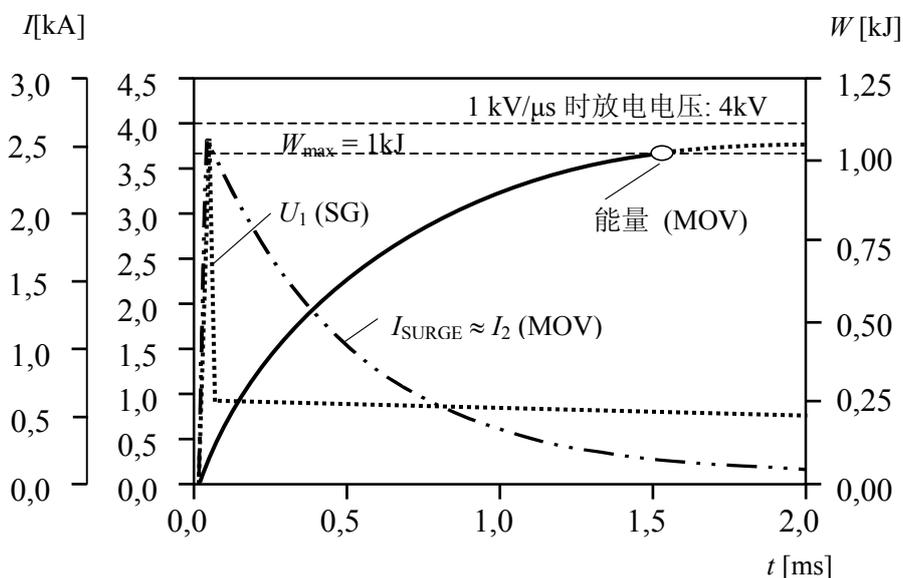


图 C.8b $L_{DE} = 8 \mu\text{H}$ 时的电流/电压/能量特性——对 $10/350 \mu\text{s}$ 电涌未达到能量配合 (SG 未放电)

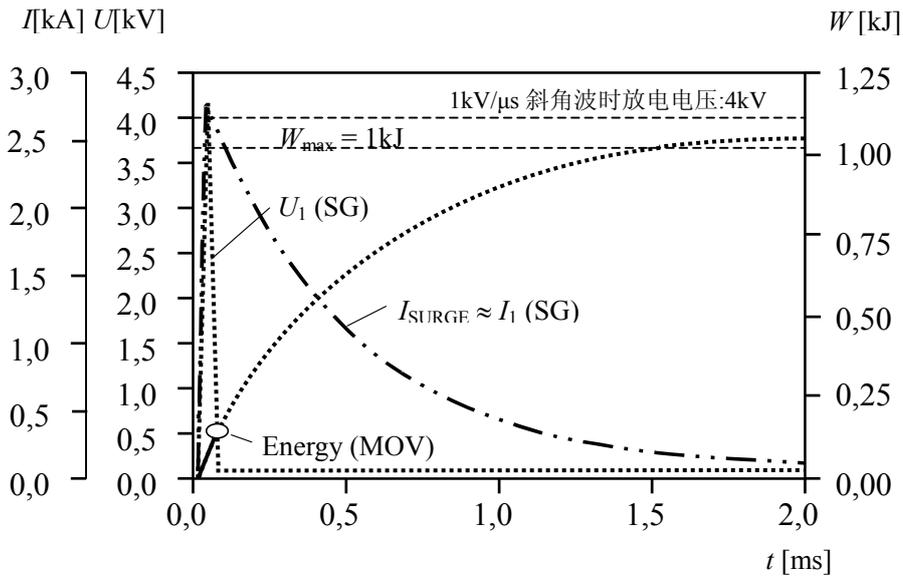


图 C.8c $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$ 时的电流/电压/能量特性：对 $10/350 \mu\text{s}$ 电涌达到能量配合（SG 点火）

图 C.8 10/350 μs 电涌时 SG 和 MOV 配合

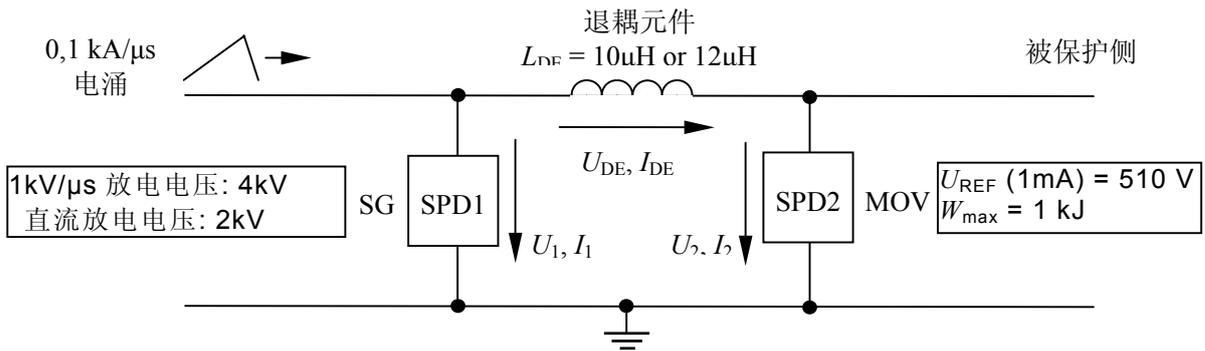


图 C.9a 0.1kA/ μs 电涌时配合

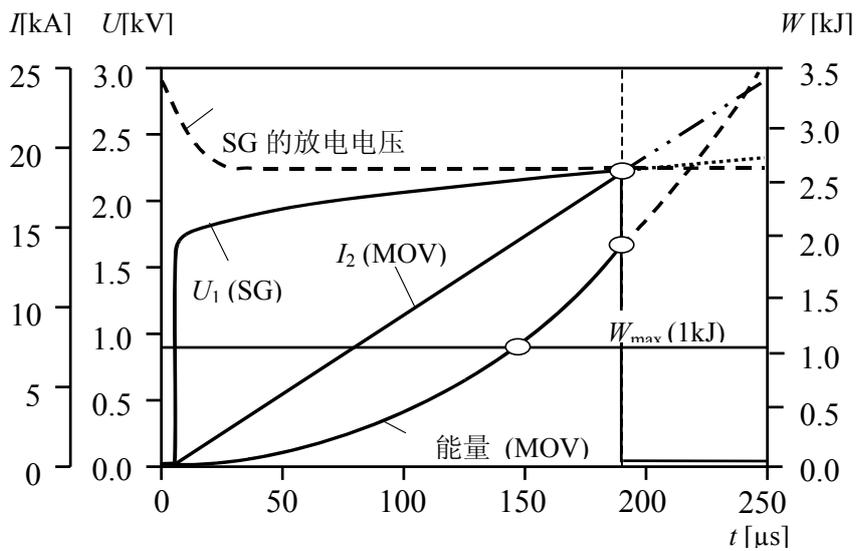


图 C.9b $L_{DE} = 10\mu\text{H}$ 时的电流/电压/能量特性，0.1kA/ μs 电涌时能量未能配合

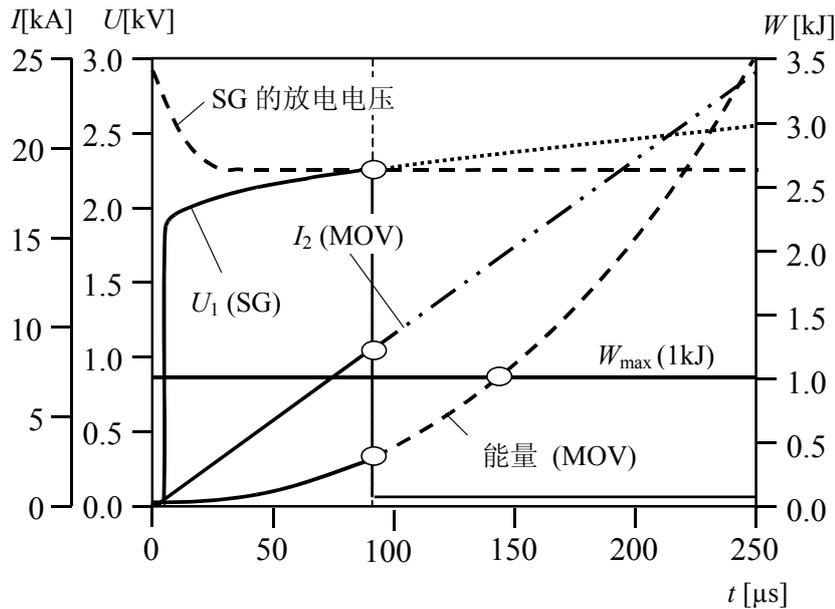


图 C.9c $L_{DE} = 12 \mu\text{H}$ 时电流/电压/能量

0.1 kA/ μs 电涌时能量达到配合

图 C.9 0.1 kA/ μs 电涌时SG和MOV配合示例

C.2.4 两个电压开关型 SPD 的配合

本配合方案用SG作技术范例来说明。对于SG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。为启动SG1，退耦元件上的动态电压降应高于SG 1的放电电压。

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

用电阻作退耦元件时，所需 U_{DE} 主要取决于电涌电流峰值。在选择退耦元件的脉冲标定参数时，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：在采用放电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

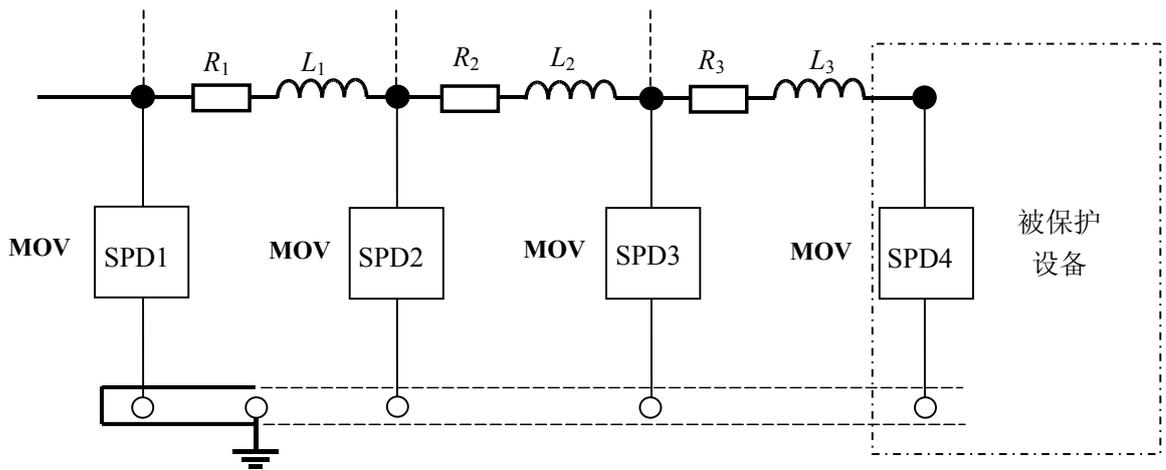
所选用的SPD都有连续的伏安特性（如MOV或抑制二极管）及相同的残压 U_{RES} 。SPD和被保护设备之间的配合通常由它们间的线路阻抗来实现（参见图C.10）。

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SPD1到SPD3逐步升高（参见图C.11）。

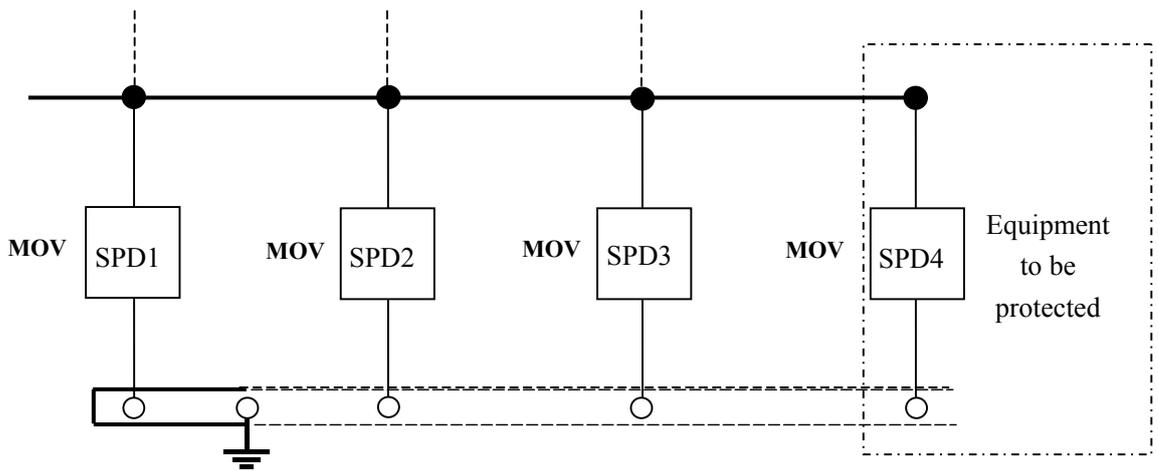
这种适用于电源系统的配合方案。

注：此方案要求被保护设备内原配置SPD（SPD4）残压高于直接安装在它前面的SPD3的残压。



$$U_{RES}(SPD1) = U_{RES}(SPD2) = U_{RES}(SPD3) = U_{RES}(SPD4)$$

图 C.10 配合方案 I (电压限制型 SPDs)



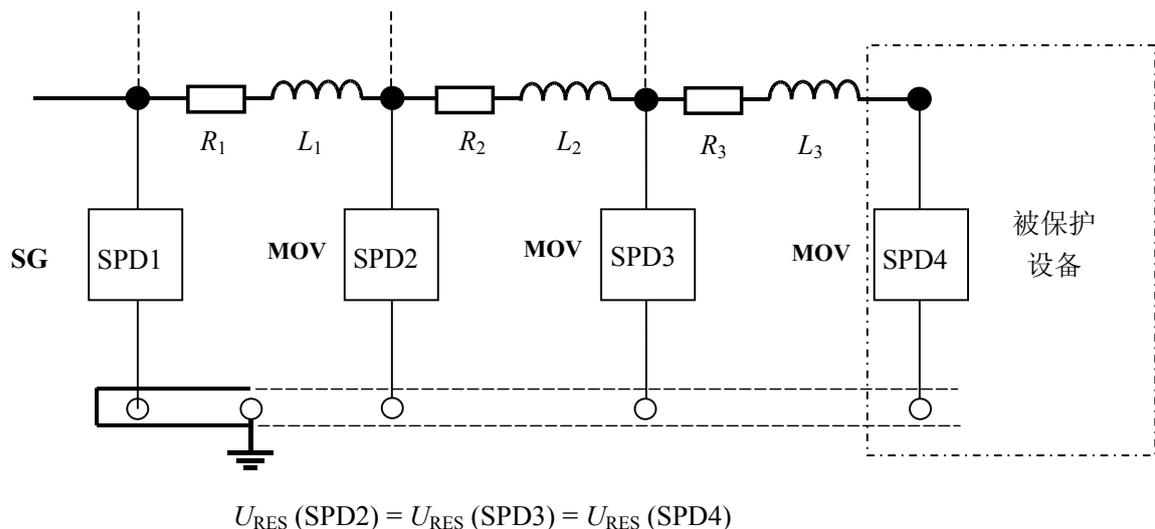
$$U_{RES}(SPD1) < U_{RES}(SPD2) < U_{RES}(SPD3) < U_{RES}(SPD4)$$

图C.11 配合方案II (电压限制型SPDs)

C.3.3 方案III

SPD1具有不连续的伏安特性（例如放电间隙），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）。

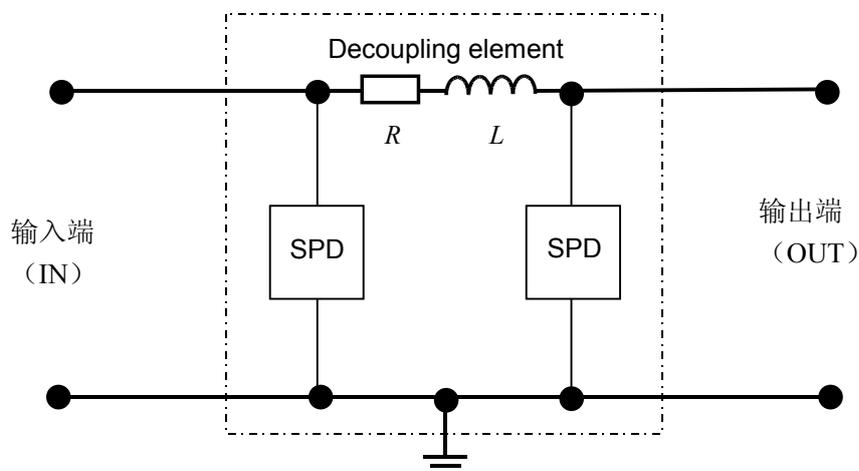
该方案具有这样的特性，即通过SPD1的开关动作，减少原始电流冲击10/350 μ s的半峰值时间，从而大大的减轻了后续SPD的压力。



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 SPD。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 (一个单元中含两个至数个 SPD)

C.4 按“通流量”法实现配合

组合波发生器产生的冲击波可用于 SPD 的选择和配合。该方法的主要优点是有可能将 SPD 当作黑盒子来处理（参见图 C.14）。对于 SPD1 输入端的一给定电涌，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 2Ω 的等效电阻（开路输出 $1.2/50\mu\text{s}$ 电压波，短路输出 $8/20\mu\text{s}$ 电流波）。本方法的优点是不必专门了解 SPD 的内部设计。

注：当 SPD2 对 SPD1 无反馈作用时，本方法能获得良好的结果。也就是说，在 SPD2 输入端的电涌为准外加电流。其条件是 SPD1 和 SPD2 的伏安特性具有很大差异（例如一个 MOV 和一个放电间隙配合）

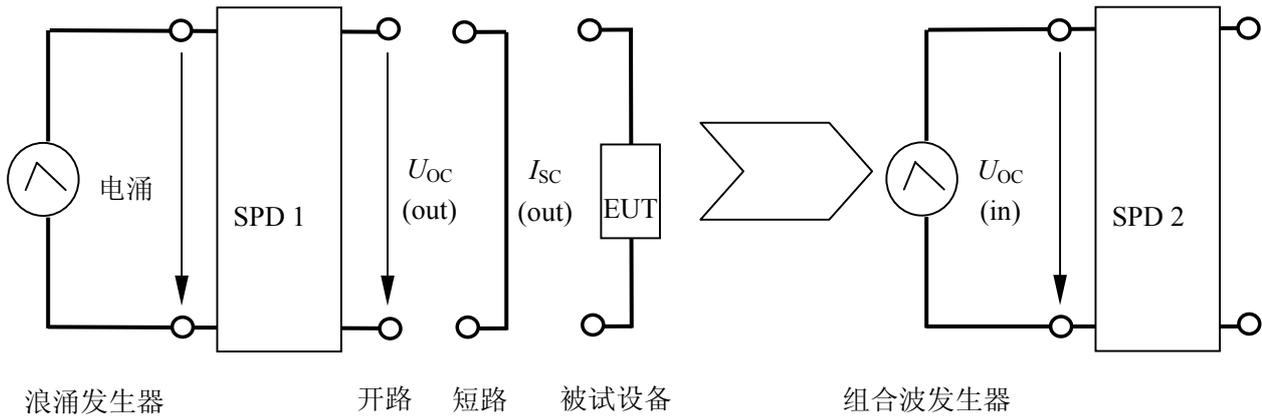


图 C.14 采用“通流量”法配合

本配合方法的目的是使SPD2 的输入值（例如放电电流）与SPD1的输出值（例如电压保护水平）具有可比性。

对于恰当的协调配合，SPD1输出的等效组合波不应超过SPD2可吸收且不损坏SPD2的组合波。SPD1输出端的等效组合波应当在最恶劣的状况下确定（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：

1) 协调配合测试法

协调配合可以按每个方案逐个测试进行证实。

2) 计算法

简单的方案可以近似法计算，复杂系统需要用计算机模拟。

3) 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)

SPD 的选型和安装

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

D.1 选择 SPD 要考虑的因素

D.1.1 电压保护水平

按以下规定确定被保护设备额定冲击耐受电压 U_w ：

- 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设备制造商说明。

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；
- SPD 能与上级 SPD 能量配合。

注1：SPD 的保护水平 U_p 是规定试验时间标称电流产生残压。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 U_p 中。最终有效保护电平 $U_{p/f}$ 定义为 SPD 输出的电压，即 U_p 加上连接线路压降（见图 D.1）。SPD 的输出电压最终的有效保护电平 $U_{p/f}$ 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 流过部分雷电流时，假定每 m 线路的压降 $\Delta U = 1 \text{ kV}$ ，在 SPD 两端连线长度不大于 0.5m 时，尚应考虑 20% 的裕量。若 SPD 仅流过感应电流，则 ΔU 可以忽略。

注3：SPD 的保护电平 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、能量及试验设备等）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。

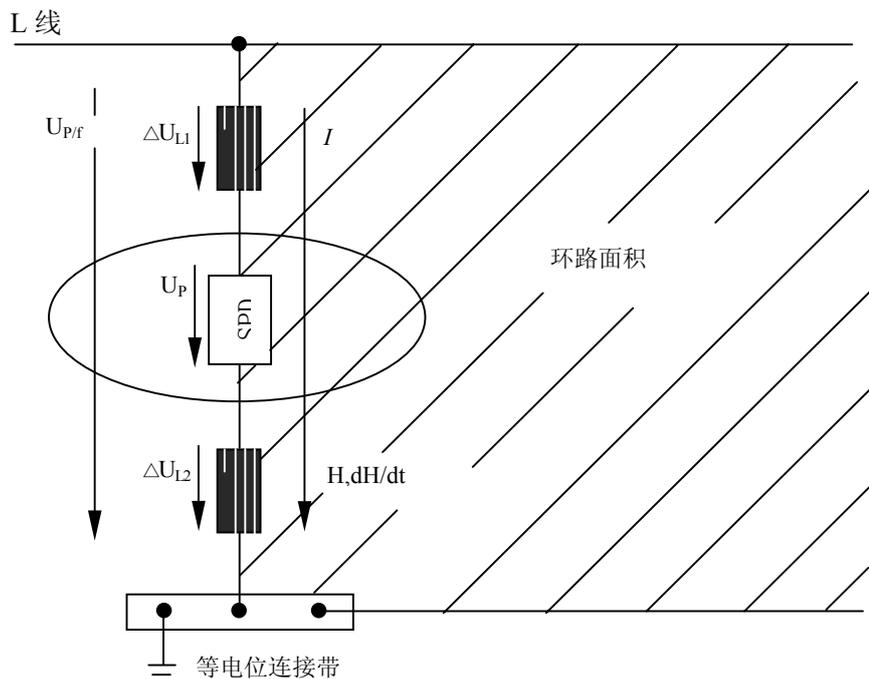
D.1.2 选择时考虑安装位置和放电电流

IEC 62305-1 附录 E 规定，SPD 应能承受在所安装位置上可能出现的放电电流。SPD 的选用，取决于它们的耐受能力。电源用 SPD 由 IEC 61643-1 分类，电信系统的 SPD 由 IEC 61643-21 分类。

SPD 的安装点如下：

a) 在建筑物的进线入口（在 LPZ1 边界，即在电力线路主配电盘 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} 可根据 IEC 62305-1 附录 E.1 节和/或 E.2 节选择 LPL 后按建筑物内雷电流分流方法计算（局部）雷电流来选择。
- 用 I_n 测试的 SPD（II 类测试的 SPD）
进线完全在 LPZ0b 或危害源 S1 和 S3 造成的失效风险可以被忽略时，可采用这种类型的 SPD。
应根据 IEC 62305-1 附录 E.2.2 要求选择在所安装位置上 SPD 的标称放电电流 I_n 。



图中：

- I 局部雷电流
- $U_{p/f} = U_p + \Delta U$
- U_p SPD的电压保护水平
- $\Delta U = \Delta U_{L1} + \Delta U_{L2}$ 感应电压降
- H, dH/dt

图D.1 相线与等电位之间的电压

b) 靠近被保护设备（在LPZ2 或更高级别雷电防护区的边界，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选择LPL确定的安装点预期的电涌。
- 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是根据IEC 62305-1 附录 E.3 节选择 LPL 确定的安装点预期的电涌。

D.2 协调配合的 SPD 保护安装

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要求，主要受下列因素影响：

- 应当根据危害源出现的可能性进行对应保护,危害源有: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引入电线进入建筑物的入口,并通过尽可能短的路径将雷电流泄入大地。

首先要考虑到,SPD越靠近进入建筑物的外线入口,该SPD所能保护的的设备数目越多经济得益)。其次,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的连接导体应附合本部分中表1最小截面积的要求。

D.2.3 由振荡导致的保护距离 I_{po}

SPD在工作时,SPD安装位置处的线路对地的电压限制在 U_p 。若SPD和被保护设备间的线路太长,电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 I_{po} 是SPD和设备间线路的最大长度,在此长度内,SPD对设备的保护是有效的(已经考虑了振荡现象和电容负载)。

这些数据取决于SPD的技术性、安装守则和负载电容。

若线路长度小于10m或者 $U_p/f < U_w/2$ 时,可忽视保护距离问题。

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

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

D.2.4 由感应导致的保护距离 I_{pi}

建筑物或建筑物附近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小(空间屏蔽和/或线路屏蔽)。

保护距离 I_{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是有效的(考虑感应现象)。

在雷电产生的磁场极强时,通用原则是减小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)。

如果实现了足够的屏蔽,则可以不考虑保护距离 I_{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 I_{pi} :

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

其中: $h = 30000 \times K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3}$ (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 边界屏蔽措施提供了空间屏蔽;

K_{S2} : 由LPZ 1/2 或更高区域边界屏蔽措施提供的空间屏蔽;

K_{S3} : 考虑内部线缆的布设合理性。

D.2.5 SPD的配合

根据IEC 61643-12或IEC 61643-22,应当保证多级使用的SPD间相互配合。SPD的制造厂商应在提供的产品技术资料中提供足够的SPD之间能量协调配合的资料。

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) 明确内部被保护系统的冲击耐受电压 U_w ;
- 3) 选择SPD1的 U_{p1} , 使 $U_{p1} \leq U_w$;
- 4) 检查保护距离 $I_{po/1}$ 和 $I_{pi/1}$ (参见 D.2.3 和 D.2.4);
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), 并考虑多级SPD的配合 (见D2.5);
- 6) 选择 SPD2 的 U_{p2} , 使 $U_{p2} \leq U_w$;
- 7) 检查保护距离 $I_{po/2}$ 和 $I_{pi/2}$ (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)。

参考文献:

- [1] IEC 61000-1-1: 1992, 电磁兼容 (EMC) — 第 1-1 部分: 综述: 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