

表 J.1.2 根据系统特征安装电涌保护器

电涌保护器 接于	电涌保护器安装处的系统特征							
	TT 系统		TN-C 系统	TN-S 系统		引出中性线 的 IT 系统		不引出 中性线 的 IT 系统
	按以下形式连接			按以下形式连接		按以下形式连接		
	接线 形式 1	接线 形式 2		接线 形式 1	接线 形式 2	接线 形式 1	接线 形式 2	
每根相线与 中性线间	+	○	不适用	+	○	+	○	不适用
每根相线与 PE 线间	○	不适用	不适用	○	不适用	○	不适用	○
中性线与 PE 线间	○	○	不适用	○	○	○	○	不适用
每根相线 与 PEN 线间	不适用	不适用	○	不适用	不适用	不适用	不适用	不适用
各相线之间	+	+	+	+	+	+	+	+

注：○表示必须，+表示非强制性的，可附加选用。

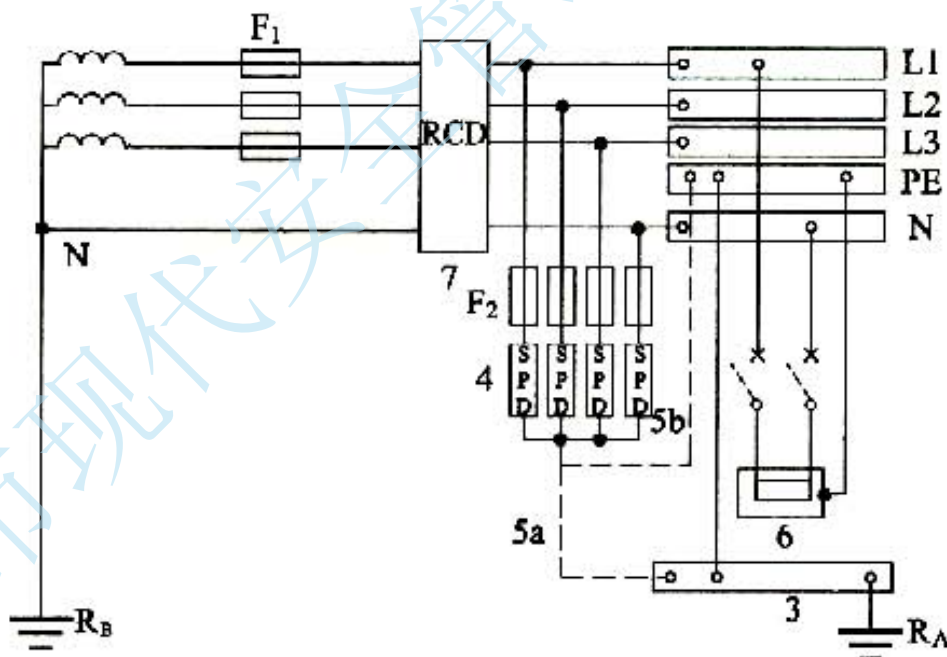


图 J.1.2-1 TT 系统电涌保护器安装在进户处剩余电流保护器的负荷侧

3—总接地端或总接地连接带；

4— U_p 应小于或等于 2.5kV 的电涌保护器；

5—电涌保护器的接地连接线，5a 或 5b；

6—需要被电涌保护器保护的设备；



7—剩余电流保护器(RCD),应考虑通雷电流的能力;

F_1 —安装在电气装置电源进户处的保护电器;

F_2 —电涌保护器制造厂要求装设的过电流保护电器;

R_A —本电气装置的接地电阻; R_B —电源系统的接地电阻;

L1、L2、L3—相线 1、2、3

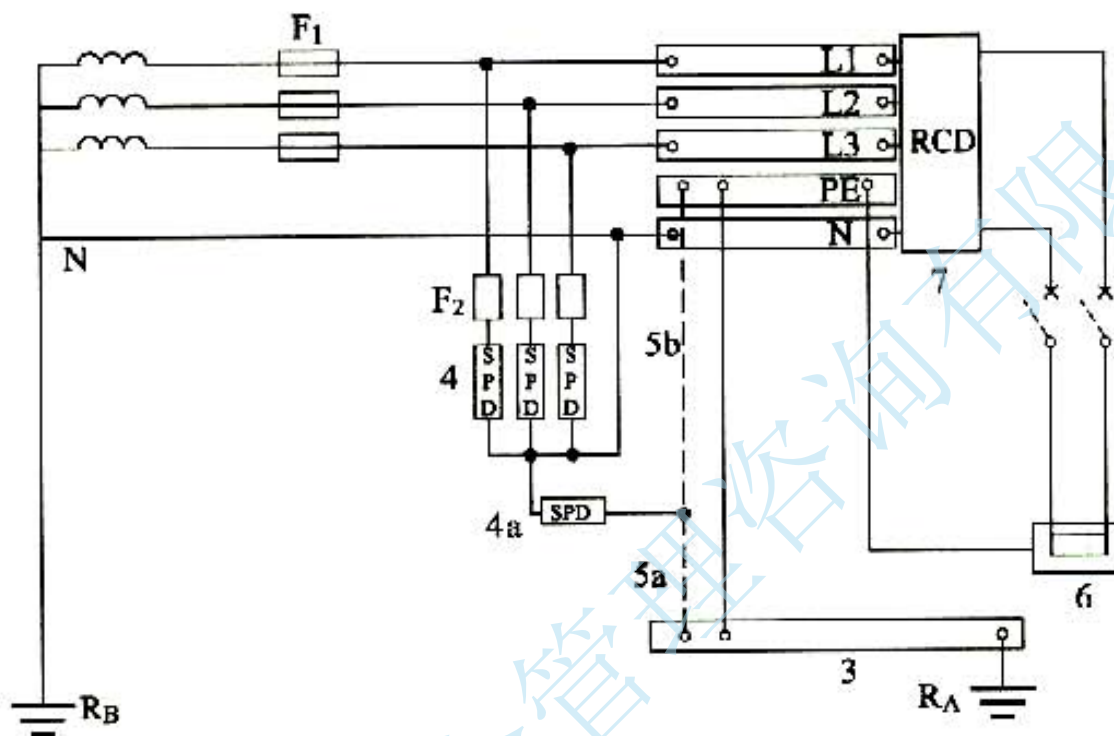


图 J.1.2.2 TT 系统电涌保护器安装在进户处剩余电流保护器的电源侧

3—总接地端或总接地连接带;

4、4a—电涌保护器,它们串联后构成的 U_p 应小于或等于 2.5kV;

5—电涌保护器的接地连接线,5a 或 5b;

6—需要被电涌保护器保护的装置;

7—安装于母线的电源侧或负荷侧的剩余电流保护器(RCD);

F_1 —安装在电气装置电源进户处的保护电器;

F_2 —电涌保护器制造厂要求装设的过电流保护电器;

R_A —本电气装置的接地电阻;

R_B —电源系统的接地电阻;

L1、L2、L3—相线 1、2、3

注:在高压系统为低电阻接地的前提下,当电源变压器高压侧碰外壳短路产生的过电压加于 4a 电涌保护器时该电涌保护器应按现行国家标准《低压配电系统的电涌保护器(SPD) 第 1 部分:性能要求和试验方法》GB 18802.1 做 200ms 或按厂家要求做更长时间耐 1200V 暂态过电压试验。

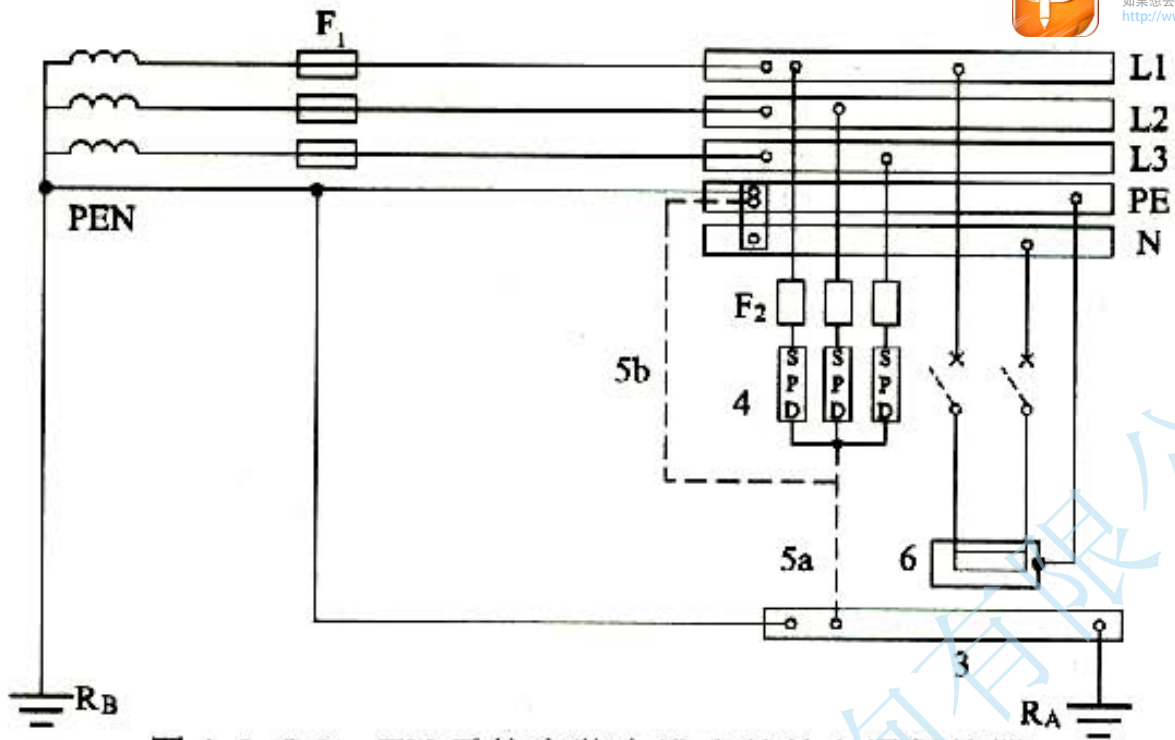


图 J.1.2-3 TN 系统安装在进户处的电涌保护器

3—总接地端或总接地连接带；4— U_p 应小于或等于 2.5kV 的电涌保护器；
5—电涌保护器的接地连接线，5a 或 5b；6 需要被电涌保护器保护的的设备；

F_1 —安装在电气装置电源进户处的保护电器；

F_2 —电涌保护器制造厂要求装设的过电流保护电器；

R_A —本电气装置的接地电阻； R_B —电源系统的接地电阻；

L1、L2、L3—相线 1、2、3

注：当采用 TN-C-S 或 TN-S 系统时，在 N 与 PE 线连接处电涌保护器用三个，在其以后 N 与 PE 线分开 10m 以后安装电涌保护器时用四个，即在 N 与 PE 线间增加一个，见图 J.1.2-5 及其注。

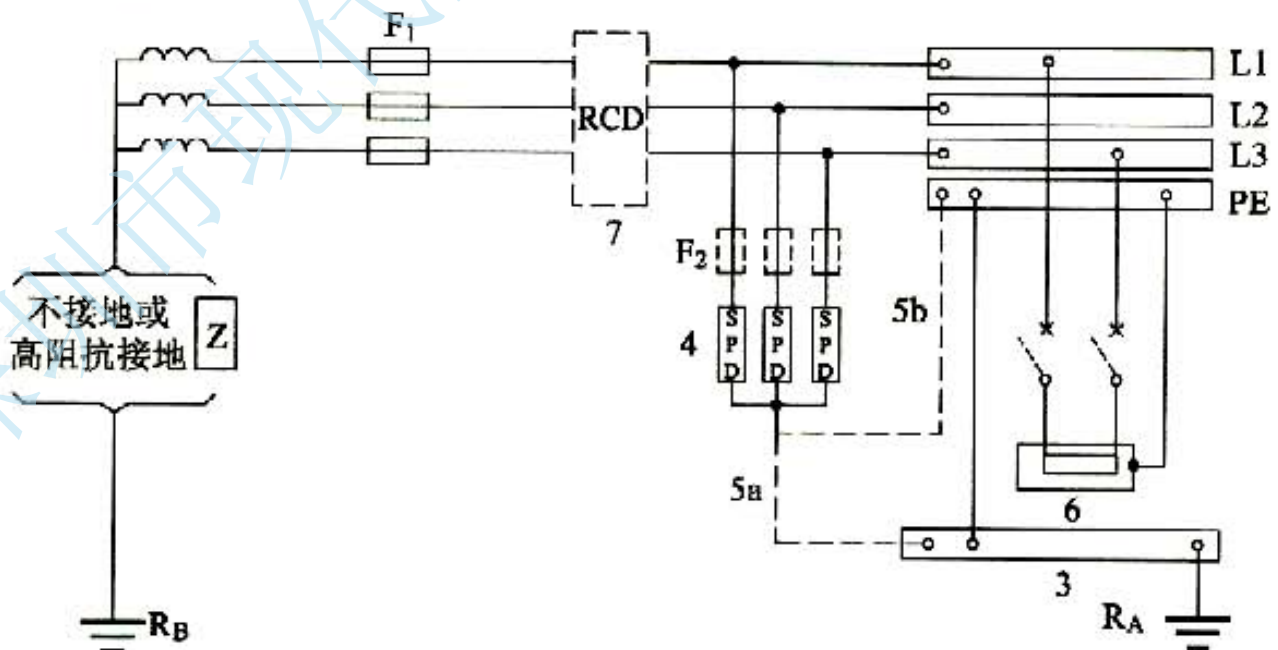


图 J.1.2-4 IT 系统电涌保护器安装在进户处剩余电流保护器的负荷侧



- 3—总接地端或总接地连接带；4— U_p 应小于或等于 2.5kV 的电涌保护器；
- 5—电涌保护器的接地连接线，5a 或 5b；6—需要被电涌保护器保护的设
备；
- 7—剩余电流保护器(RCD)；

F_1 —安装在电气装置电源进户处的保护电器；

F_2 —电涌保护器制造厂要求装设的过电流保护电器；

R_A —本电气装置的接地电阻； R_B —电源系统的接地电阻；

L1、L2、L3—相线 1、2、3

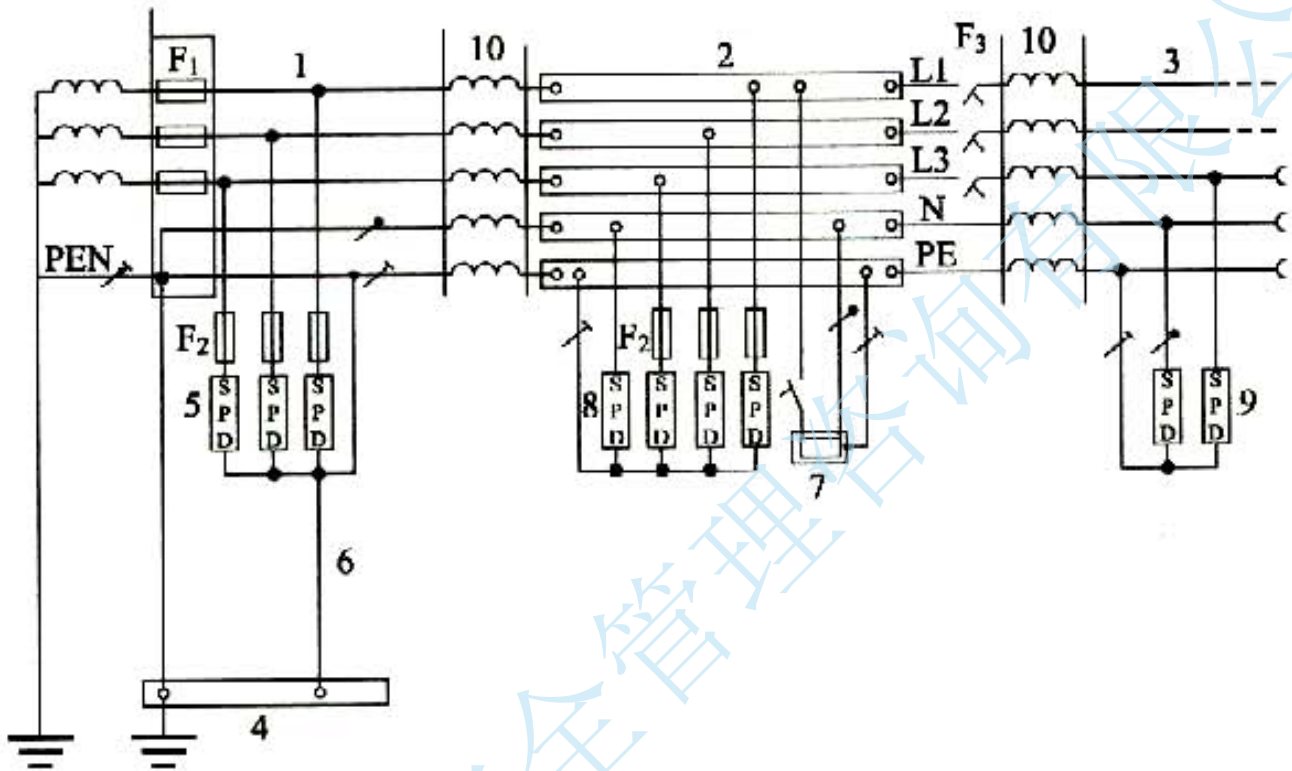


图 J. 1. 2-5 I 级、II 级和 III 级试验的电涌保护器的安装
(以 TN-C-S 系统为例)

1—电气装置的电源进户处；2—配电箱；3—送出的配电线路；

4—总接地端或总接地连接带；5—I 级试验的电涌保护器；

6—电涌保护器的接地连接线；7—需要被电涌保护器保护的固定安装的设备；

8—II 级试验的电涌保护器；9—II 级或 III 级试验的电涌保护器；

10 去耦器件或配电线路长度； F_1 、 F_2 、 F_3 —过电流保护电器；

L1、L2、L3—相线 1、2、3

注：1 当电涌保护器 5 和 8 不是安装在同一处时，电涌保护器 5 的 U_p 应小于或等于 2.5kV；电涌保护器 5 和 8 可以组合为一台电涌保护器，其 U_p 应小于或等于 2.5kV。

2 当电涌保护器 5 和 8 之间的距离小于 10m 时，在 8 处 N 与 PE 之间的电涌保护器可不装。



J.2 用于电子系统的电涌保护器

J.2.1 电信和信号线路上所接入的电涌保护器的类别及其冲击限制电压试验用的电压波形和电流波形应符合表 J.2.1 的规定。

表 J.2.1 电涌保护器的类别及其冲击限制电压试验用的电压波形和电流波形

类别	试验类型	开路电压	短路电流
A1	很慢的上升率	$\geq 1\text{kV}$ $0.1\text{kV}/\mu\text{s} \sim 100\text{kV}/\text{s}$	10A , $0.1\text{A}/\mu\text{s} \sim 2\text{A}/\mu\text{s}$ $\geq 1000\mu\text{s}$ (持续时间)
A2	AC		
B1	慢上升率	1kV , $10/1000\mu\text{s}$	100A , $10/1000\mu\text{s}$
B2		$1\text{kV} \sim 4\text{kV}$, $10/700\mu\text{s}$	$25\text{A} \sim 100\text{A}$, $5/300\mu\text{s}$
B3		$\geq 1\text{kV}$, $100\text{V}/\mu\text{s}$	$10\text{A} \sim 100\text{A}$, $10/1000\mu\text{s}$
C1	快上升率	$0.5\text{kV} \sim 1\text{kV}$, $1.2/50\mu\text{s}$	$0.25\text{kA} \sim 1\text{kA}$, $8/20\mu\text{s}$
C2		$2\text{kV} \sim 10\text{kV}$, $1.2/50\mu\text{s}$	$1\text{kA} \sim 5\text{kA}$, $8/20\mu\text{s}$
C3		$\geq 1\text{kV}$, $1\text{kV}/\mu\text{s}$	$10\text{A} \sim 100\text{A}$, $10/1000\mu\text{s}$
D1	高能量	$\geq 1\text{kV}$	$0.5\text{kA} \sim 2.5\text{kA}$, $10/350\mu\text{s}$
D2		$\geq 1\text{kV}$	$0.6\text{kA} \sim 2.0\text{kA}$, $10/250\mu\text{s}$

J.2.2 电信和信号线路上所接入的电涌保护器，其最大持续运行电压最小值应大于接到线路处可能产生的最大运行电压。用于电子系统的电涌保护器，其标记的直流电压 U_{DC} 也可用于交流电压 U_{AC} 的有效值，反之亦然， $U_{\text{DC}} = \sqrt{2}U_{\text{AC}}$ 。

J.2.3 合理接线应符合下列规定：

1 应保证电涌保护器的差模和共模限制电压的规格与需要保护系统的要求相一致(图 J.2.3-1)。

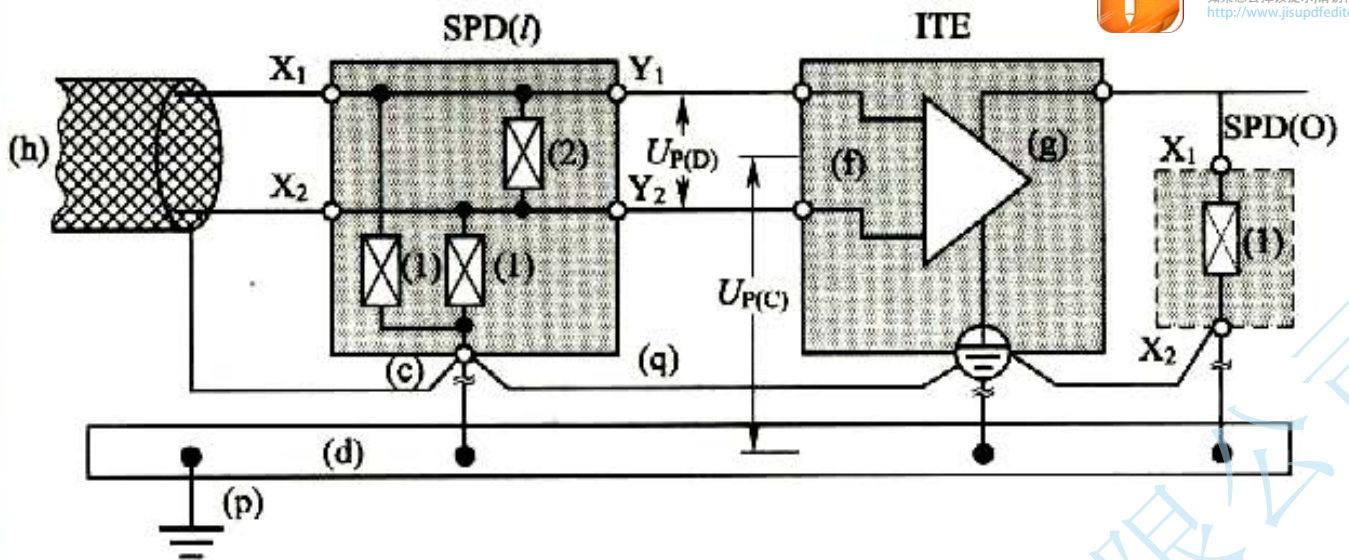


图 J. 2. 3-1 防需要保护的电子设备(ITE)的供电电压输入端及其信号端的差模和共模电压的保护措施的例子

(c) — 电涌保护器的一个连接点, 通常, 电涌保护器内的所有限制共模电涌电压元件都以此为基准点;

(d) — 等电位连接带; (f) — 电子设备的信号端口; (g) — 电子设备的电源端口;

(h) — 电子系统线路或网络; (l) — 符合本附录表 J. 2. 1 所选用的电涌保护器;

(o) — 用于直流电源线路的电涌保护器; (p) — 接地导体;

$U_{P(C)}$ — 将共模电压限制至电压保护水平; $U_{P(D)}$ — 将差模电压限制至电压保护水平;

X_1 、 X_2 — 电涌保护器非保护侧的接线端子, 在它们之间接入(1)和(2)限压元件;

Y_1 、 Y_2 — 电涌保护器保护侧的接线端子;

(1) — 用于限制共模电压的防电涌电压元件;

(2) — 用于限制差模电压的防电涌电压元件

2 接至电子设备的多接线端子电涌保护器, 为将其有效电压保护水平减至最小所必需的安装条件, 见图 J. 2. 3-2。

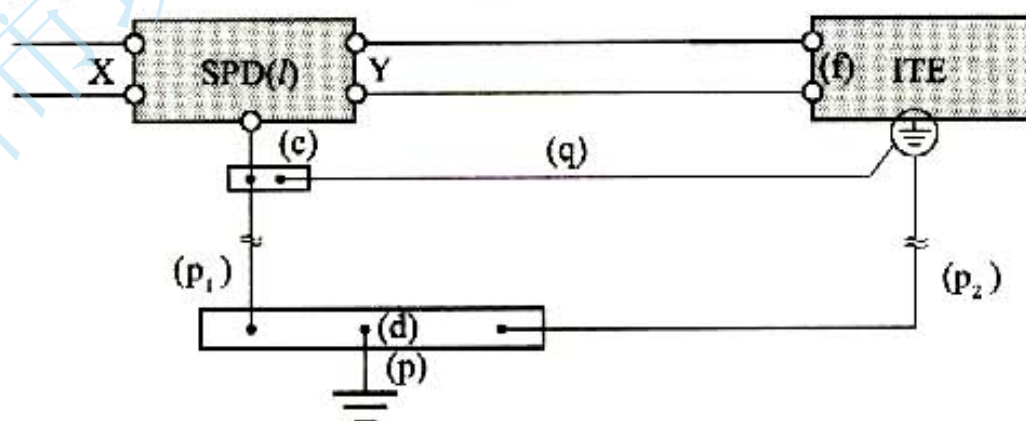


图 J. 2. 3-2 将多接线端子电涌保护器的有效电压保护水平减至最小所必需的安装条件的例子



(c) —电涌保护器的一个连接点，通常，电涌保护器内的所有限制

共模电涌电压元件都以此为基准点；

(d) —等电位连接带；(f) —电子设备的信号端口；

(D) —符合本附录表 J. 2. 1 所选用的电涌保护器；(p) —接地导体；

(p_1)、(p_2) —应尽可能短的接地导体，当电子设备(ITE)在远处时可能无(p_2)；

(q) —必需的连接线(应尽可能短)；

X、Y —电涌保护器的接线端子，X 为其非保护的输入端，Y 为其保护侧的输出端

3 附加措施应符合下列规定：

1) 接至电涌保护器保护端口的线路不要与接至非保护端口的线路敷设在一起。

2) 接至电涌保护器保护端口的线路不要与接地导体(p) 敷设在一起。

3) 从电涌保护器保护侧接至需要保护的电子设备(ITE)的线路宜短或加以屏蔽。

4 雷击时在环路中的感应电压和电流的计算应符合本规范附录 G 的规定。



本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。



引用标准名录

《工业与民用电力装置的接地设计规范》GBJ 65

《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验》GB/T
17626.5

《低压配电系统的电涌保护器(SPD) 第1部分:性能要求和试验方法》GB 18802.1

深圳市现代安全管理咨询有限公司



中华人民共和国国家标准

建筑物防雷设计规范

GB 50057 - 2010

条文说明

深圳市现代安全管理咨询有限公司



修 订 说 明

《建筑物防雷设计规范》GB 50057—2010，经住房和城乡建设部 2010 年 11 月 3 日以第 824 号公告批准。本规范是对原《建筑物防雷设计规范》GB 50057—94(2000 年版)进行修订而成。上一版的主编单位是机械工业部设计研究院，起草人是林维勇。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《建筑物防雷设计规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明(还着重对强制性条文的强制性理由做了解释)。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。



目 次

1	总 则	(105)
2	术 语	(106)
3	建筑物的防雷分类	(107)
4	建筑物的防雷措施	(114)
4.1	基本规定	(114)
4.2	第一类防雷建筑物的防雷措施	(115)
4.3	第二类防雷建筑物的防雷措施	(131)
4.4	第三类防雷建筑物的防雷措施	(150)
4.5	其他防雷措施	(151)
5	防雷装置	(155)
5.1	防雷装置使用的材料	(155)
5.2	接闪器	(155)
5.3	引下线	(161)
5.4	接地装置	(162)
6	防雷击电磁脉冲	(165)
6.1	基本规定	(165)
6.2	防雷区和防雷击电磁脉冲	(165)
6.3	屏蔽、接地和等电位连接的要求	(168)
6.4	安装和选择电涌保护器的要求	(173)
附录 A	建筑物年预计雷击次数	(177)
附录 C	接地装置冲击接地电阻与工频接地电阻的换算	(179)
附录 D	滚球法确定接闪器的保护范围	(182)
附录 E	分流系数 k_c	(183)
附录 F	雷电流	(184)



附录 G	环路中感应电压和电流的计算	(186)
附录 H	电缆从户外进入户内的屏蔽层截面积	(187)
附录 J	电涌保护器	(188)

深圳市现代安全管理咨询有限公司



1 总 则

1.0.1 有人认为，建筑物安装防雷装置后就万无一失了。从经济观点出发，要达到这点是太浪费了。因此，特指出“或减少”，以示不是万无一失，因为按照本规范设计的防雷装置的防雷安全度不是100%。

根据各方修订意见，在原“财产损失”之后增加了“以及雷击电磁脉冲引发的电气和电子系统损坏或错误运行”。

1.0.2 本条原为“本规范适用于新建建筑物的防雷设计”，现修订为“本规范适用于新建、扩建、改建建(构)筑物的防雷设计”。原规范不提“扩建、改建建筑物”是考虑这些建筑物在扩建、改建之前，其防雷设计是按GBJ 57—83设计的，使用时间不长，有的可以不按GB 50057—94修改，现在距GBJ 57—83的废止时间较长，故补加“扩建、改建”。

删去不适用范围内容，因为不好列，也列不全，而且总有新的特殊规范出来。



2 术 语

2.0.8 原规范中，接闪杆称为避雷针，接闪带称为避雷带，接闪线称为避雷线，接闪网称为避雷网。

2.0.27 电子系统包括由通信设备、计算机、控制和仪表系统、无线电系统、电力电子装置构成的系统。

2.0.30 电子系统电涌保护器的保护部件连接在线与线之间称为差模保护，连接在线与地之间称为共模保护。



3 建筑物的防雷分类

3.0.1 将工业和民用建筑物合并分类，分为三类。

本规范对第一类防雷建筑物和第二、三类的一部分(如爆炸危险场所、文物)仍沿用以往的做法，不考虑以风险作为分类的基础。IEC 62305—2：2010 Ed. 2.0(Protection against lightning—Part 2: Risk management. 防雷——第2部分：风险管理)在其 Introduction(序言)最后均有这样的一段话：The decision to provide lightning protection may be taken regardless of the outcome of any risk assessment where there is a desire that there be no avoidable risk。译文：当预期风险是不可避免时，可以不管风险评估的结果如何而决定提供防雷。

规范中列入第一类防雷建筑物和部分第二类防雷建筑物的建筑物就是这样。此外，按 IEC 62305—2：2010 的做法很复杂，要有结合我国情况以前的损失数据(特别是间接损失，我们缺少这些资料)，而且要制作出应用软件，在目前这是很难做到的。

对于第二、三类中一些难于确定的建筑物则根据风险这一基础来划分。对风险的分析见本章第 3.0.3 条的条文说明。

3.0.2 本条为强制性条文。增加了“在可能发生对地闪击的地区”。

1 火炸药及其制品包括火药(含发射药和推进剂)、炸药、弹药、引信和火工品等。

爆轰——爆炸物中一小部分受到引发或激励后爆炸物整体瞬时爆炸。

2、3 爆炸性粉尘环境区域的划分和代号采用现行国家标准《可燃性粉尘环境用电气设备 第3部分：存在或可能存在可燃性粉尘的场所分类》GB 12476.3—2007/IEC 61241—10：2004 中



的规定。

0区：连续出现或长期出现或频繁出现爆炸性气体混合物的场所。

1区：在正常运行时可能偶然出现爆炸性气体混合物的场所。

2区：在正常运行时不可能出现爆炸性气体混合物的场所，或即使出现也仅是短时存在的爆炸性气体混合物的场所。

20区：以空气中可燃性粉尘云持续地或长期地或频繁地短时存在于爆炸性环境中的场所。

21区：正常运行时，很可能偶然地以空气中可燃性粉尘云形式存在于爆炸性环境中的场所。

22区：正常运行时，不太可能以空气中可燃性粉尘云形式存在于爆炸性环境中的场所，如果存在仅是短暂的。

1区、21区的建筑物可能划为第一类防雷建筑物，也可能划为第二类防雷建筑物。其区分在于是否会造成巨大破坏和人身伤亡。例如，易燃液体泵房，当布置在地面上时，其爆炸危险场所一般为2区，则该泵房可划为第二类防雷建筑物。但当工艺要求布置在地下或半地下时，在易燃液体的蒸气与空气混合物的密度大于空气，又无可靠的机械通风设施的情况下，爆炸性混合物就不易扩散，该泵房就要划为1区危险场所。如该泵房系大型石油化工联合企业的原油泵房，当泵房遭雷击就可能使工厂停产，造成巨大经济损失和人员伤亡，那么这类泵房应划为第一类防雷建筑物；如该泵房系石油库的卸油泵房，平时间断操作，虽可能因雷电火花引发爆炸造成经济损失和人员伤亡，但相对而言其概率要小得多，则这类泵房可划为第二类防雷建筑物。

3.0.3 本条为强制性条文。增加了“在可能发生对地闪击的地区”。增加了第4款：“国家特级和甲级大型体育馆”。

5 有些爆炸物质不易因电火花而引起爆炸，但爆炸后破坏力较大，如小型炮弹库、枪弹库以及硝化棉脱水和包装等均属第二类防雷建筑物。



9 增加了“以及火灾危险场所”。

选择防雷装置的目的在于将需要防直击雷的建筑物的年损坏风险 R 值(需要防雷的建筑物每年可能遭雷击而损坏的概率)减到小于或等于可接受的最大损坏风险 R_T 值(即 $R \leq R_T$)。

本章中对于需计算年雷击次数的条文采用每年 10^{-5} 的 R_T 值,即每年十万分之一的损坏概率。

基于建筑物年预计雷击次数(N)和基于防雷装置或建筑物遭雷击一次发生损坏的综合概率(P),对于时间周期 $t=1$ 年,在 $NPt \ll 1$ 的条件下(所有真实情况都满足这一条件),下面的关系式是适用的:

$$R = 1 - \exp(-NPt) = NP, \text{ 即 } R = NP \quad (1)$$

$$P = P_i \times P_{id} + P_f \times P_{fd} \quad (2)$$

式中: P_i ——防雷装置截收雷击的概率,或防雷装置的截收效率(也用 E_i 表示),其值与接闪器的布置有关;

P_f ——闪电穿过防雷装置击到需要保护的建筑物的概率,也即防雷装置截收雷击失败的概率,等于 $(1 - P_i)$ 或 $(1 - E_i)$;

P_{id} ——防雷装置所选用的各种尺寸和规格,当其截收雷击后保护失败而发生损坏的概率;

P_{fd} ——防雷装置没有截到雷击而发生损坏的概率。

一次雷击后可能同时在不同地点发生 n 处损坏,每处损坏的分概率为 P_k ,这些分概率是并联组成,因此,一次雷击的总损坏概率为:

$$P_d = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - P_k) \quad (3)$$

分损坏概率包含这样一些事件,如爆炸、火灾、生命触电、机械性损坏、敏感电子或电气设备损坏或受到干扰等。

在确定分损坏概率时,应考虑到同时发生两类事件,即引发损坏的事件(如金属熔化、导体炽热、侧向跳击、不容许的接触电压或



跨步电压等)和被损坏物体的出现(即人、可燃物、爆炸性混合物等的存在)这两类事件同时发生。

出现引发损坏事件的概率直接或间接与闪击参量的分布概率有关,在设计防雷装置和选用其规格尺寸时是依据闪击参量的。

在引发事件的地方出现可能被损坏的周围物体的概率取决于建筑物的特点、存放物和用途。

为简化起见,假定:

1)在引发事件的地方出现可能被损坏的周围物体的概率对每一类损坏采用相同的值,用共同概率 P_r 代替;

2)没有被截到的雷击(直击雷)所引发的损坏是肯定的,损坏的出现与可能被损坏的周围物体的出现是同时发生的,因此, $P_{id} = P_r$;

3)被截到的雷击引发损坏的总概率只与防雷装置的尺寸效率 E_s 有关,并假定等于 $(1 - E_s)$ 。 E_s 规定为这样一个综合概率,即被截收的雷击在此概率下不应对被保护空间造成损害。 E_s 与用来确定接闪器、引下线、接地装置的尺寸和规格的闪击参量值有关。

将上述假定代入式(2),即将以下各项代入: P_i 用 E_i 代入, P_r 用 $(1 - E_i)$ 代入, P_{id} 用 P_r 代入, P_{id} 用 $P_r(1 - E_s)$ 代入;此外,引入一个附加系数 W_r ,它是考虑雷击后果的一个系数,后果越严重, W_r 值越大。因此,式(2)转化为:

$$P = P_r W_r (1 - E_i E_s) \quad (4)$$

概率 P_r 应看作是一个系数,它表示建筑物自身保护的程度或表示考虑这样的真实情况的一个系数,即不是每一个打到需要防雷的建筑物的雷击和不是每一个使防雷装置所选用的规格和尺寸失败的雷击均造成损坏。 P_r 值主要取决于建筑物的特点,即它的结构、用途、存放物或设备。

$$\eta = E_i E_s \quad (5)$$

η 或 $E_i E_s$ 为防雷装置的效率。

由式(1)、(4)、(5)得:

$$R = NP_r W_r (1 - \eta), \eta = 1 - R / (NP_r W_r)$$



如果 R 值采用可接受的年最大损坏风险 $R_T = 10^{-5}$ ，并使

$$N_T = R_T / (P_r W_r) = 10^{-5} / (P_r W_r) \quad (6)$$

式中： N_T ——建筑物可接受的年允许遭雷击次数(次/a)。

因此，防雷装置所需要的效率应符合下式：

$$\eta \geq 1 - N_T / N \quad (7)$$

根据 IEC 62305—1：2010 Ed. 2.0 (Protection against lightning—Part 1: General Principles. 防雷——第 1 部分：总则) 第 22、23 页的表 4 和表 5，第三类防雷建筑物所装设的防雷装置的有关值见表 1。

表 1 E_1 和 E_2 值

第三类防雷建筑物所装设的防雷装置	E_1	E_2	$\eta = E_1 E_2$
		0.84	0.97

注：1 E_1 为防雷装置截收雷击的概率，或防雷装置的截收效率，其值与接闪器的布置有关，第三类防雷建筑物采用 60m 的滚球半径，其对应的最小雷电流幅值为 16kA，雷电流大于 16kA 的概率为 0.84；

2 E_2 与用来确定接闪器、引下线、接地装置的尺寸和规格的闪击参量值有关，小于第三类防雷建筑物所规定的各雷电流参量最大值(见本规范附录 F)的概率为 0.97。

根据验算和对比(见本条第 10 款和本章第 3.0.4 条第 2、3 款的条文说明)，本规范对一般建筑物和公共建筑物所采用的 $P_r W_r$ 值见表 2(由于校正系数 k 的改变，见本规范附录 A 及其说明， $P_r W_r$ 值有所改小)。

表 2 $P_r W_r$ 值

建筑物		$P_r W_r$	$N_T = 10^{-5} / (P_r W_r)$
形式	特点		
一般建筑物	正常危险	0.2×10^{-3}	5×10^{-2}
公共建筑物	重大危险(引起惊慌、重大损失)	1×10^{-3}	1×10^{-2}

从表 1 可以看出，保护第三类防雷建筑物的防雷装置的效率 η 值为 0.81。从表 2 查得，公共建筑物的 N_T 值为 1×10^{-2} 。将这



两个数值代入式(7),得 $0.81 \geq 1 - 1 \times 10^{-2}/N$, 所以 $N \leq 1 \times 10^{-2}/0.19 = 0.053 \approx 0.05$ 。这表明对这类建筑物如采用第三类防雷建筑物的防雷措施,只对 $N \leq 0.05$ 的建筑物保证 R_T 值不大于 10^{-5} 。当 $N > 0.05$ 时, R_T 值达不到(即大于) 10^{-5} , 因此,当 $N > 0.05$ 时,升级采用第二类防雷建筑物的防雷措施。

将部、省级办公建筑物列入,是考虑其所存放的文件和资料的重要性。人员密集的公共建筑物,是指如集会、展览、博览、体育、商业、影剧院、医院、学校等建筑物。

10 增加了“或一般性工业建筑物”。从表 1 可以看出,保护第三类防雷建筑物的防雷装置的效率 η 值为 0.81。从表 2 查得,一般建筑物的 N_T 值为 5×10^{-2} 。将这两个数值代入式(7),得 $0.81 \geq 1 - 5 \times 10^{-2}/N$, 所以 $N \leq 5 \times 10^{-2}/0.19 = 0.26 \approx 0.25$ 。这表明对这类建筑物如采用第三类防雷建筑物的防雷措施,只对 $N \leq 0.25$ 的建筑物保证 R_T 值不大于 10^{-5} 。当 $N > 0.25$ 时, R_T 值达不到(即大于) 10^{-5} , 因此,当 $N > 0.25$ 时,升级采用第二类防雷建筑物的防雷措施。

3.0.4 本条为强制性条文。增加了“在可能发生对地闪击的地区”,并删去原第 4、5 款。

2 增加了“以及火灾危险场所”。当没有防雷装置时 $\eta = 0$, 从表 2 查得,公共建筑物的 N_T 值为 1×10^{-2} 。将这两个数值代入式(7),得 $0 \geq 1 - 1 \times 10^{-2}/N$, 所以 $N \leq 0.01$ 。这表明对这类建筑物当 $N < 0.01$ 时,可以不设防雷装置;当 $N \geq 0.01$ 时,要设防雷装置。

3 增加了“或一般性工业建筑物”。当没有防雷装置时 $\eta = 0$, 从表 2 查得,一般建筑物的 N_T 值为 5×10^{-2} 。将这两个数值代入式(7),得 $0 \geq 1 - 5 \times 10^{-2}/N$, 所以 $N \leq 0.05$ 。这表明对这类建筑物当 $N < 0.05$ 时,可以不设防雷装置;当 $N \geq 0.05$ 时,要设防雷装置。

下面用长 60m、宽 13m(即四个单元住宅)的一般建筑物作为



例子进行验算对比,其结果列于表 3。原规范的建筑物年预计雷击次数计算式为 $N = kN_g A_e = k \times 0.024 T_d^{1.3} \times A_e$, 修改后,本规范的建筑物年预计雷击次数计算式为 $N = kN_g A_e = k \times 0.1 T_d \times A_e$ 。k 值均取 1。

表 3 计算结果的比较表

地区名称	年平均雷暴日 (d/a)	N 为以下数值时算出的建筑物高度(m)			
		用原规范计算式		用现规范计算式	
		0.06	0.3	0.05	0.25
北京	35.2	25.3	174.6	11.2	128.0
成都	32.5	29.6	184.8	12.7	134.0
昆明	61.8	8.4	114.5	4.7	59.8
贵阳	49.0	13.4	136.7	6.8	105.3
上海	23.7	60.8	232.2	20.4	160.8
南宁	78.1	5.3	70.0	3.2	38.8
湛江	78.9	5.1	67.6	3.1	38.2
广州	73.1	6.0	100.5	3.5	43.5
海口	93.8	3.6	43.3	2.3	29.1

注:表中的年平均雷暴日取自气象系统提供的资料,其统计时段除贵阳为 1971—1999 年和上海为 1991—2000 年外,其他均为 1971—2000 年。

要精确计及周围物体对建筑物等效面积的影响,计算起来很繁杂,因此,略去这类影响的精确计算;而改用较简单的计算方法,见本规范附录 A 的第 A.0.3 条的第 2、3、4、5、6 款及其相应说明。



4 建筑物的防雷措施

4.1 基本规定

4.1.1~4.1.3 本规范防雷主要参照 IEC 防雷标准修订，防雷分为外部防雷和内部防雷以及防雷击电磁脉冲。外部防雷就是防直击雷，不包括防止外部防雷装置受到直接雷击时向其他物体的反击；内部防雷包括防闪电感应、防反击以及防闪电电涌侵入和防生命危险。防雷击电磁脉冲是对建筑物内系统（包括线路和设备）防雷电流引发的电磁效应，它包含防经导体传导的闪电电涌和防辐射脉冲电磁场效应。

本规范的第一、二、三类防雷建筑物是按防 S1 和 S2 雷击选用 SPD 的，其 U_p 和通流能力足以防 S3 和 S4 引发的过电压和过电流，所以不在规范中单独列入防 S3 和 S4 的规定。

第 4.1.1 条和第 4.1.2 条为强制性条文。

为说明等电位的作用和一般的做法，下面摘译 IEC 62305—3：2010 Ed. 2.0 (Protection against lightning—Part 3: Physical damage to structures and life hazard. 防雷——第 3 部分：建筑物的物理损坏和生命危险)第 31 页的一些规定：

“6 内部防雷装置

6.1 通则

内部防雷装置应防止由于雷电流流经外部防雷装置或建筑物的其他导电部分而在需要保护的建筑物内发生危险的火花放电。

危险的火花放电可能在外部防雷装置与其他部件（如金属装置、建筑物内系统、从外部引入建筑物的导电物体和线路）之间发生。

采用以下方法可以避免产生这类危险的火花放电：按 6.2 做



等电位连接或按 6.3 在它们之间采用电气绝缘(间隔距离)。

6.2 防雷等电位连接

6.2.1 通则

防雷装置与下列诸物体之间互相连接以实现等电位：金属装置，建筑物内系统，从外部引入建筑物的外来导电物体和线路。

互相之间连接的方法可采用：在那些自然等电位连接不能提供电气贯通之处用等电位连接导体，在用等电位连接导体做直接连接不可行之处用电涌保护器（SPD）连接；在不允许用等电位连接导体做直接连接之处用隔离放电间隙（ISG）连接……”

4.2 第一类防雷建筑物的防雷措施

4.2.1 外部防雷装置完全与被保护的建筑物脱离者称为独立的外部防雷装置，其接闪器称为独立接闪器。

1 本款规定是为了使被保护的建筑物及风帽、放散管等突出屋面的物体均处于接闪器的保护范围内。

2 从安全的角度考虑，作了本款规定。本款为强制性条款。

压力单位用 Pa 或 kPa，它们是法定计量单位。标准大气为非法定计量单位。因此，表 4.2.1 中的压力单位采用 kPa。一个标准大气压 = $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} = 1.01325 \times 10^2 \text{ kPa}$ 。

“接闪器与雷闪的接触点应设在本款第 1 项或第 2 项所规定的空间之外”，接触点处于该空间的正上方之外也属于此规定。

3 本款规定是为了保证安全。本款为强制性条款。

4 在“支柱”之前增加了“每根”。

5 为了防止雷击电流流过防雷装置时所产生的高电位对被保护的建筑物或与其有联系的金属物发生反击，应使防雷装置与这些物体之间保持一定的间隔距离。

防雷装置地上高度 h_x 处的电位为：

$$U = U_R + U_L = IR_i + L_0 \cdot h_x \cdot di/dt \quad (8)$$

由于没有更合理的方法，间隔距离仍按电阻电压降和电感电



压降相应求出的距离相加而得。因此，相应的间隔距离为：

$$S_{al} = IR_i/E_R + (L_0 \cdot h_x \cdot di/dt)/E_L \quad (9)$$

式中： U_R ——雷电流流过防雷装置时接地装置上的电阻电压降(kV)；

U_L ——雷电流流过防雷装置时引下线上的电感电压降(kV)；

R_i ——接地装置的冲击接地电阻(Ω)；

di/dt ——雷电流陡度(kA/ μ s)；

I ——雷电流幅值(kA)；

L_0 ——引下线的单位长度电感(μ H/m)，取 1.5μ H/m；

E_R ——电阻电压降的空气击穿强度(kV/m)，取 500kV/m；

E_L ——电感电压降的空气击穿强度(kV/m)。

本规范各类防雷建筑物所采用的雷电流参量见本规范附录 F 的表 F.0.1-1~表 F.0.1-4。

根据对雷电所测量的参数得知，雷电流最大幅值出现于第一次正极性雷击，雷电流最大陡度出现于第一次雷击以后的负雷击。正极性雷击通常仅出现一次，无重复雷击。

IEC-TC81 的 81(Secretariat)19;1985-08(Progress of WG 3 of TC 81, TC 81 第 3 工作组的进展报告)文件的附录 2 提出电感电压降的空气击穿强度为 $E_L = 600 \times (1 + 1/T_1)$ (kV/m)，它是根据作者 K. Ragaller 的书《Surges in high-voltage networks》(1980, Plenum Press, New York)。因此，根据表 F.0.1-1，当 $T_1 = 10\mu$ s 时， $E_L = 600 \times (1 + 1/10) = 660$ (kV/m)；根据表 F.0.1-3，当 $T_1 = 0.25\mu$ s 时， $E_L = 600 \times (1 + 1/0.25) = 3000$ (kV/m)。

将表 F.0.1-1 的有关参量和上述有关数值代入式(9)，其中 $di/dt = 200/10 = 20$ (kA/ μ s)，得 $S_{al} = 200R_i/500 + (1.5 \times h_x \times 20)/660 = 0.4R_i + 0.0455h_x$ ，考虑计算简化，取作 $S_{al} \geq 0.4R_i + 0.04h_x$ 。因此，

$$S_{al} \geq 0.4(R_i + 0.1h_x) \quad (10)$$



上式即本规范式(4.2.1-1)。

同理,改用表 F.0.1-3 及其他有关数值代入式(9),其中 $di/dt = 50/0.25 = 200(\text{kA}/\mu\text{s})$,得 $S_{a1} = 50R_i/500 + (1.5 \times h_x \times 200)/3000 = 0.1R_i + 0.1h_x$ 。因此,

$$S_{a1} \geq 0.1(R_i + h_x) \quad (11)$$

上式即本规范式(4.2.1-2)。

式(10)和式(11)相等的条件为 $0.4R_i + 0.04h_x = 0.1R_i + 0.1h_x$,即 $h_x = 5R_i$ 。因此,当 $h_x < 5R_i$ 时,式(10)的计算值大于式(11)的计算值;当 $h_x > 5R_i$ 时,式(11)的计算值大于式(10)的计算值;当 $h_x = 5R_i$ 时,两值相等。

根据《雷电》一书下卷第 87 页(1983 年,李文恩等译,水利电力出版社出版,该书译自英文版《Lightning》第 2 卷,R. H. Golde 主编,1977 年版),土壤的冲击击穿场强为 $200\text{kV}/\text{m} \sim 1000\text{kV}/\text{m}$,其平均值为 $600\text{kV}/\text{m}$,取与空气击穿强度一样的数值,即 $500\text{kV}/\text{m}$ 。根据表 F.0.1-1,第一类防雷建筑物取 $I = 200\text{kA}$ 。因此,地中的间隔距离为

$$S_{e1} \geq IR_i/500 = 200R_i/500 = 0.4R_i, \text{ 即} \\ S_{e1} \geq 0.4R_i \quad (12)$$

上式即本规范式(4.2.1-3)。

根据计算,在接闪线立杆高度为 20m 、接闪线长度为 $50\text{m} \sim 150\text{m}$ 、冲击接地电阻为 $3\Omega \sim 10\Omega$ 的条件下,当接闪线立杆顶点受雷击时,流经该立杆的雷电流为全部雷电流的 $63\% \sim 90\%$, S_{a1} 和 S_{e1} 可相应减小,但计算起来很繁杂,为了简化计算,故本规范规定 S_{a1} 和 S_{e1} 仍按照独立接闪杆的方法进行计算。

6 按雷击于架空接闪线档距中央考虑 S_{a2} ,由于两端分流,对于任一端可近似地将雷电流幅值和陡度减半计算。因此,架空接闪线档距中央的电位为: $U = U_R + U_{L1} + U_{L2}$ 。由此,得 $S_{a2} = U_R/E_R + (U_{L1} + U_{L2})/E_L$,因此,



$$S_{a2} = [(I/2) \cdot R_i] / E_R + \{ [L_{01} \cdot h + L_{02} \cdot (l/2)] \cdot (di/dt) / 2 \} / E_L \quad (13)$$

式中： U_{L1} ——雷电流流经防雷装置时引下线上的电感压降 (kV)；

U_{L2} ——雷电流流经防雷装置时接闪线上的电感压降 (kV)；

L_{01} ——垂直敷设的引下线的单位长度电感 ($\mu\text{H}/\text{m}$)。按引下线直径 8mm、高 20m 时的平均值 $L_{01} = 1.69 \mu\text{H}/\text{m}$ 计算；

L_{02} ——水平接闪线的单位长度电感 ($\mu\text{H}/\text{m}$)。按接闪线截面 50mm^2 、高 20m 时的值 $L_{02} = 1.89 \mu\text{H}/\text{m}$ 计算。

I 、 U_R 、 di/dt 、 E_R 、 E_L 的意义及所取的数值同本条 5 款的说明。

与本条第 5 款说明类同，以表 F.0.1.1 和上述有关的数值代入式(13)，得

$$\begin{aligned} S_{a2} &= 100R_i/500 + [1.69 \times h + 1.89 \times (l/2)] \times 10/660 \\ &= 0.2R_i + [0.0256h + 0.0286(l/2)] \\ &\approx 0.2R_i + 0.03(h + l/2), \text{ 因此,} \end{aligned}$$

$$S_{a2} \geq 0.2R_i + 0.03(h + l/2) \quad (14)$$

上式即本规范式(4.2.1-4)。

再以表 F.0.1.3 和上述有关的数值代入式(13)，得 $S_{a2} = 0.05R_i + [0.0563h + 0.063(l/2)] \approx 0.05R_i + 0.06(h + l/2)$ ，因此

$$S_{a2} \geq 0.05R_i + 0.06(h + l/2) \quad (15)$$

上式即本规范式(4.2.1-5)。

令式(14)等于式(15)，得 $0.2R_i + 0.03(h + l/2) = 0.05R_i + 0.06(h + l/2)$ ，则 $(h + l/2) = 5R_i$ 。其余的道理类同于本条第 5 款。

7 将式(14)和式(15)中的系数以两支路并联还原，即乘以 2，并以 l_1 代替 $l/2$ ，再除以有同一距离 l_1 的个数，则得出本规范式



(4.2.1-6)和式(4.2.1-7)。

架空接闪网的一个例子见图1。

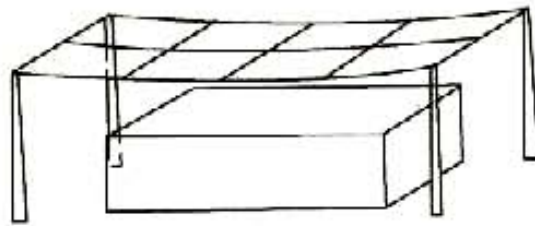


图1 架空接闪网的例子

8 一般情况下，规定冲击接地电阻不宜大于 10Ω 是适宜的，但在高土壤电阻率地区，要求低于 10Ω 可能给施工带来很大的困难。故本款规定为，在满足间隔距离的前提下，允许提高接地电阻值。此时，虽然支柱距建筑物远一点，接闪器的高度也相应增高，但可以给施工带来很大方便而仍保证安全。在高土壤电阻率地区，这是一个因地制宜而定的数值，它应综合接闪器增加的安装费用和可能做到的电阻值来考虑。 30Ω 的规定参考本规范第4.2.4条第6款的条文说明。

4.2.2 本条说明如下：

1 被保护建筑物内的金属物接地，是防闪电感应的主要措施。本款还规定了不同类型屋面的处理。金属屋面或钢筋混凝土屋面内的钢筋进行接地，有良好的防闪电感应和一定的屏蔽作用。对于钢筋混凝土预制构件组成的屋面，要求其钢筋接地有时会遇到困难，但希望施工时密切配合，以达到接地要求。

2 本款规定距离小于 100mm 的平行长金属物，每隔不大于 30m 互相连接一次，是考虑到电磁感应所造成的电位差只能将几厘米的空隙击穿(计算结果如下)。当管道间距超过 100mm 时，就不会发生危险。交叉管道也做同样处理。

两根间距 300mm 的平行管道，与引下线平行敷设，距引下线 3m 并与其处于同一个平面上。如果将引下线视作无限长，这时在管道环路内的感应电压 $U(\text{kV})$ 为 $U = M \cdot l \cdot (di/dt)$ ，它可能



击穿的空气间隙距离 d 为：

$$d=U/E_L=[M \cdot l \cdot (di/dt)]/E_L \quad (16)$$

式中： l ——平行管道成环路的长度(m)，取 30m 计算；

di/dt ——流经引下线的雷电流的陡度(kA/ μ s)，根据表 F.0.1-3 的参量取 200kA/ μ s 计算；

M ——1m 长两根间距 300mm 平行管道与引下线之间的互感(μ H/m)，经计算得 $M=0.0191\mu$ H/m；

E_L ——电感电压的空气击穿强度(kV/m)，与本章第 4.2.1 条第 5 款说明相同，取 3000kV/m 计算。

将上述有关数值代入式(16)，得

$$d=U/E_L=(0.0191 \times 30 \times 200)/3000=0.038(\text{m})$$

即使在管道间距增大到 300mm 的情况下，所感应的电压仅可能击穿 0.038m 的空气间隙。若间距减小到 100mm，所感应的电压就更小了(由于 M 值减小)。

连接处过渡电阻不大于 0.03 Ω 时，以及对有不少于 5 根螺栓连接的法兰盘可不跨接的规定，是参考国外资料和国内的实践经验确定的。天津某单位安技科做过测试，一些记录见表 4，这些实测值是在三处罐站测量的。

表 4 连接处过渡电阻的实测值

序号	被测对象	接触电阻(Ω)
1	残液罐下法兰，4 个螺钉齐全，无跨接线	0.0075
2	残液管道上法兰，4 个螺钉齐全，无跨接线	0.0075
3	3"管道(残液)法兰，4 个螺钉齐全，有跨接线	0.0088
4	2"残液管道上法兰，4 个螺钉齐全，有跨接线	0.012
5	储罐下阀门，8 个螺钉齐全，无跨接线	0.009
6	阀门，8 个螺钉齐全，无跨接线	0.013
7	储罐下阀门，8 个螺钉齐全，有跨接线	0.012
8	工业灌装阀门，无跨接线	0.01



续表 4

序号	被测对象	接触电阻(Ω)	
9	槽车卸油管阀门,无跨接线	0.015	
10	$\phi 89$ 液相管法兰,8个螺钉齐全,有跨接线	0.011	
11	$\phi 57$ 管道法兰,4个螺钉齐全	有跨接线时	0.005
12		拆下跨接线时	0.006
13	$\phi 89$ 管道新装法兰,8个螺钉齐全,无跨接线	0.007	
14	$\phi 89$ 管道法兰	有跨接线时	0.01
15		拆下跨接线时	0.01
16	球罐下 $\phi 150$ 阀门,8个螺钉齐全,无跨接线	0.008	
17	临时罐站,2"管道阀门,4个螺钉齐全,无跨接线	0.0085	
18	临时罐站,4"管道阀门,无跨接线	0.008	

3 由于已设有独立接闪器,因此,流过防闪电感应接地装置的只是数值很小的感应电流。在金属物已普遍等电位连接和接地的情况下,电位分布均匀。因此,本款规定工频接地电阻不大于 10Ω ,根据修订意见,将“不应”改为“不宜”。在共用接地装置的场合下,工频接地电阻只要满足 50Hz 电气装置从人身安全,即从接触电压和跨步电压要求所确定的电阻值。(另见本章第4.2.4条的条文说明。)

4.2.3 本条说明如下:

1 为防止雷击线路时高电位侵入建筑物造成危险,低压线路应全线采用电缆直接埋地引入。本款为强制性条款。

2 当难于全线采用电缆时,不得将架空线路直接引入屋内,允许从架空线上换接一段有金属铠装(埋地部分的金属铠装要直接与周围土壤接触)的电缆或护套电缆穿钢管直接埋地引入。需要强调的是,电缆首端必须装设SPD并与绝缘子铁脚、金具、电缆外皮等共同接地,入户端的电缆外皮、钢管必须接到防闪电感应接地装置上。



因规定架空线距爆炸危险场所至少为杆高的 1.5 倍，设杆高一般为 10m，1.5 倍就是 15m。

在电缆与架空线连接处所安装的 SPD，其 U_p 应小于或等于 2.5kV 是根据 IEC 62305—1：2010 的规定，选用 I 级试验产品和选 I_{imp} 等于或大于 10kA 是根据 IEC 62305—1：2010 第 64、65 页表 E.2 和表 E.3，将其转换为本规范建筑物防雷类别后见表 5。本款为强制性条款。

表 5 预期雷击的电涌电流^①

建筑物 防雷类别	闪电直接和非直接击在线路上		闪电击于 建筑物附近 ^④	闪电击于 建筑物 ^④
	损害源 S3 (直接闪击)	损害源 S4 (非直接闪击)	损害源 S2 (所感应的电流)	损害源 S1 (所感应的电流)
	10/350 μ s 波形(kA)	8/20 μ s 波形(kA)	8/20 μ s 波形(kA)	8/20 μ s 波形(kA)
低压系统				
第三类	5 ^②	2.5 ^②	0.1 ^④	5 ^②
第二类	7.5 ^②	3.75 ^②	0.15 ^④	7.5 ^②
第一类	10 ^②	5 ^②	0.2 ^④	10 ^②
电信系统 ^⑤				
第三类	1 ^②	0.035 ^②	0.1	5
第二类	1.5 ^②	0.085 ^②	0.15	7.5
第一类	2 ^②	0.160 ^②	0.2	10

注：① 表中所有值均指线路中每一导体的预期电涌电流；

② 所列数值属于闪电击在线路靠近用户的最后一根电杆上，并且线路为多根导体(三相+中性线)；

③ 所列数值属于架空线路，对埋地线路所列数值可减半；

④ 环状导体的路径和距起感应作用的电流的距离影响预期电涌过电流的值。表 5 的值参照在大型建筑物内有不同路径、无屏蔽的一短路环状导体所感应的值(环状面积约 50m²，宽约 5m)，距建筑物墙 1m，在无屏蔽的建筑物内或装有 LPS 的建筑物内($k_c=0.5$)；

⑤ 环路的电感和电阻影响所感应电流的波形。当略去环路电阻时，宜采用



10/350 μ s 波形。在被感应电路中安装开关型 SPD 就是这种情况；

- ⑥ 所列数值属于有多对线的无屏蔽线路。对击于无屏蔽的入户线，可取 5 倍所列数值；
- ⑦ 更多的信息参见 ITU-T 建议标准 K. 67。

3 本款规定铠装电缆或钢管理地部分的长度不小于 $2\sqrt{\rho}$ (m) 是考虑电缆金属外皮、铠装、钢管等起散流接地体的作用。接地体在冲击电流下，其有效长度为 $2\sqrt{\rho}$ (m)。关于采用 $2\sqrt{\rho}$ 的理由参见本规范第 5.4.6 条的条文说明。当土壤电阻率过高，电缆埋地过长时，可采用换土措施，使 ρ 值降低来缩短埋地电缆的长度。

6 金属线电子系统架空线转换电缆处所安装的 SPD，选用 D1 类高能量试验产品和短路电流等于或大于 2kA 是根据本规范条文说明表 5 和本规范表 J. 2.1 确定的。

4.2.4 正如本章第 4.2.1 条所述，第一类防雷建筑物的防直击雷措施，首先应采用独立接闪杆或架空接闪线或网。本条只适用于特殊情况，即可能由于建筑物太高或其他原因，不能或无法装设独立接闪杆或架空接闪线或网时，才允许采用附设于建筑物上的防雷装置进行保护。

2 从法拉第笼的原理看，网格尺寸和引下线间距越小，对闪电感应的屏蔽越好，可降低屏蔽空间内的磁场强度和减小引下线的分流系数。

雷电流通过引下线入地，当引下线数量较多且间距较小时，雷电流在局部区域分布也较均匀，引下线上的电压降减小，反击危险也相应减小。

对引下线间距，本规范向 IEC 62305 防雷标准靠拢。如果完全采用该标准，则本规范的第一类、第二类、第三类防雷建筑物的引下线间距相应应为 10m、15m、25m。但考虑到我国工业建筑物的柱距一般均为 6m，因此，按不小于 6m 的倍数考虑，故本规范对引下线间距相应定为 12m、18m、25m。

4 对于较高的建筑物，引下线很长，雷电流的电感压降将达



到很大的数值，需要在每隔不大于 12m 之处，用均压环将各条引下线在同一高度处连接起来，并接到同一高度的屋内金属物体上，以减小其间的电位差，避免发生火花放电。

由于要求将直接安装在建筑物上的防雷装置与各种金属物互相连接，并采取了若干等电位措施，故不必考虑防止反击的间隔距离。

5 关于共用接地装置，由于防雷装置直接安装在建筑物上，要保持防雷装置与各种金属物体之间的间隔距离，通常这一间隔距离在运行中很难保证不会改变，即间隔距离减小了。因此，对于第一类防雷建筑物，应将屋内各种金属物体及进出建筑物的各种金属管线进行严格的等电位连接和接地，而且所有接地装置都必须共用或直接互相连接起来，使防雷装置与邻近的金属物体之间电位相等或降低其间的电位差，防止发生火花放电。

一般来说，接地电阻越低，防雷得到的改善越多。但是，不能由于要达到某一很低的接地电阻而花费过大。出现火花放电危险可从基本计算公式 $U = IR + L(di/dt)$ 来评价， IR 项对于建筑物内某一小范围中互相连接在一起的金属物（包括防雷装置）来说都是一样的，它们之间的电位差与防雷装置的接地电阻无关。此外，考虑到已采取严格的各种金属物与防雷装置之间的连接和均压措施，故不必要要求很低的接地电阻。

现在 IEC 的有关标准和美国的国家标准都规定，一栋建筑物的所有接地体应直接等电位连接在一起。

6 为了将雷电流散入大地而不会产生危险的过电压，接地装置的布置和尺寸比接地装置的特定值更重要。然而，通常建议采用低的接地电阻。本款的规定完全采用 IEC 62305—3：2010 第 26 页 5.4.2.2 的规定（接地体的 B 型布置）。

下面的图 2 系根据该规定的相应图换成本规范的防雷建筑物类别的图。该规定对接地体 B 型布置的规定是：对于环形接地体（或基础接地体），其所包围的面积的平均几何半径 r 不应小于 l_1 ，即 $r \geq l_1$ ， l_1 示于图 2；当 l_1 大于 r 时，则必须增加附加的水平放射



形或垂直(或斜形)导体,其长度 l_1 (水平)为 $l_1 = l_1 - r$ 或其长度 l_v

(垂直)为 $l_v = \frac{l_1 - r}{2}$ 。

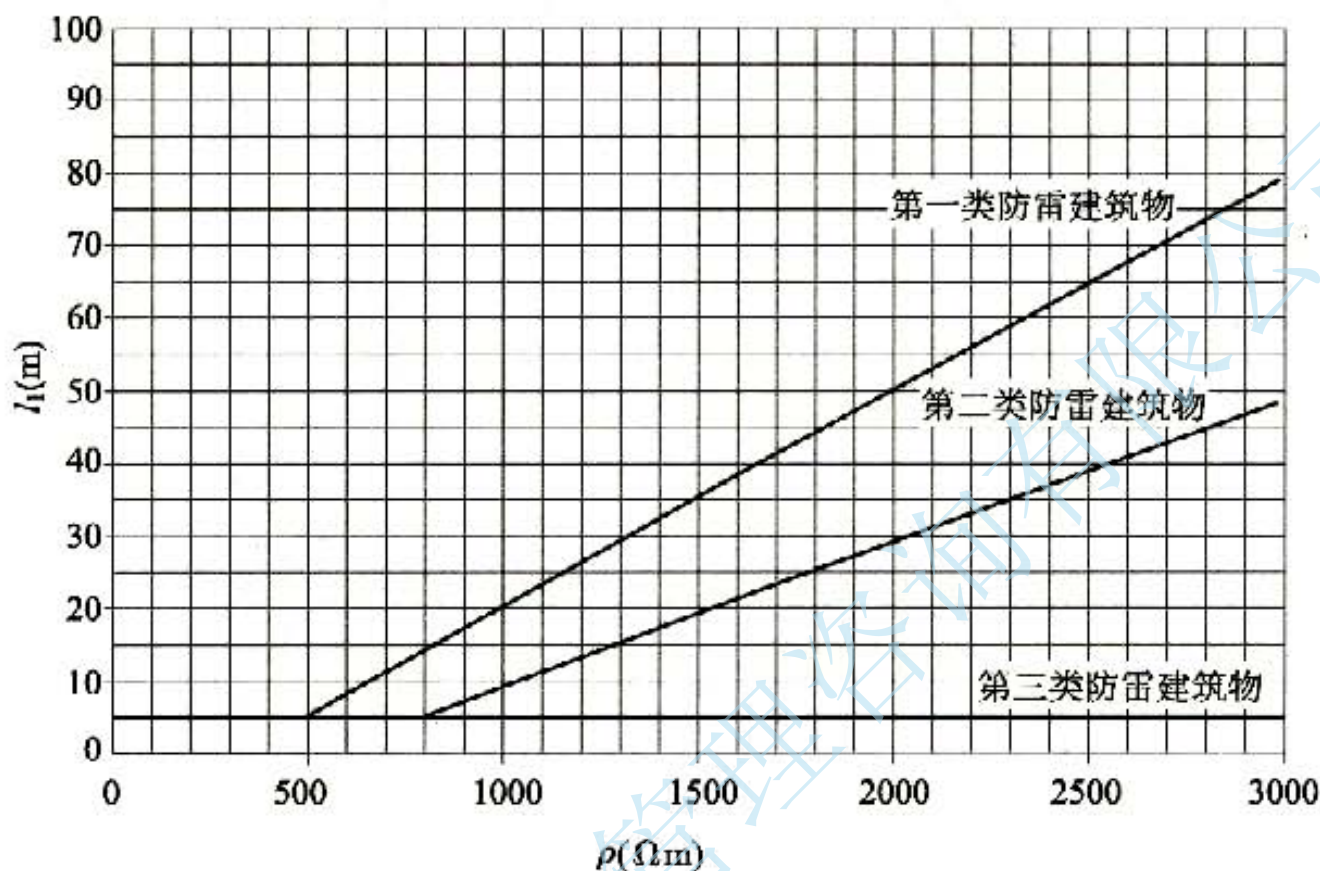


图 2 按防雷建筑物类别确定的接地体最小长度

环形接地体(或基础接地体),其所包围的面积 A 的平均几何

半径 r 为: $\pi r^2 = A$, 所以 $r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ 。根据图 2,对于第一类防雷建筑

物,当 $\rho < 500 \Omega m$ 时, l_1 为 5m,因此,导出本款第 2、3 项的规定;当

$\rho = 500 \Omega m \sim 3000 \Omega m$ 时, l_1 与 ρ 的关系是一根斜线,从该斜线上

找出方便的任意两点的坐标,则可求出 l_1 与 ρ 的关系式为 $l_1 -$

$\frac{11\rho - 3600}{380}$, 所以,导出本款第 5、6 项的规定。

由于接地体通常靠近墙、基础敷设,所以补加的水平接地体一般都是从引下线与环形接地体的连接点向外延伸,可为一根,也可为多根。

由于本条采用了若干等电位措施,本款的接地电阻值不是起



主要作用，因此，没有提出接地电阻值的具体要求。

本款所要求的环形接地体的工频接地电阻 R ，在其半径 r 等于 l_1 的情况下，当 $\rho=500\Omega\text{m}\sim 3000\Omega\text{m}$ 时，大约处于 $13\Omega\sim 33\Omega$ ；当 $\rho<500\Omega\text{m}$ 时， $R=0.067\rho(\Omega)$ 。

环形接地体的工频接地电阻的计算式为 $R=2\rho/3d(\Omega)$ ， $d=1.13\sqrt{A}(\text{m})$ 。其中 ρ 为土壤电阻率(Ωm)， A 为环形接地体所包围的面积(m^2)。当 $\rho=500\Omega\text{m}$ 、 $d=10\text{m}$ 时， $R=2\times 500/(3\times 10)=33(\Omega)$ 。

当 $\rho=500\Omega\text{m}\sim 3000\Omega\text{m}$ 时， $R=(2\times 3000\times 380)/[3\times 2\times (11\times 3000-3600)]= (3000\times 380)/(3\times 29400)=12.9\approx 13(\Omega)$ 。

10 关于本款的注，说明如下(以下有的资料摘自 IEEE Std 1100—2005: IEEE Recommended practice for powering and grounding electronic equipment. 美国标准，电子设备接地和供电的推荐实用标准)：

通常，设计者对接地体的连接，其最普通的技术看法如图 3 中的图(b)，这里仅有一电阻单元。这一观点显然得到了许多有关测试接地体接地电阻的技术文献和市场上用于这类测试而仅显示电阻欧姆值的可应用产品的支持。

然而，对一接地体的真实表示更多地应如图 3 中的图(c)，它清楚地表示为一复数阻抗。除了提供有关接地连接的电阻值外，还示出接地体连接的无功(电抗)特性，这是重要的。

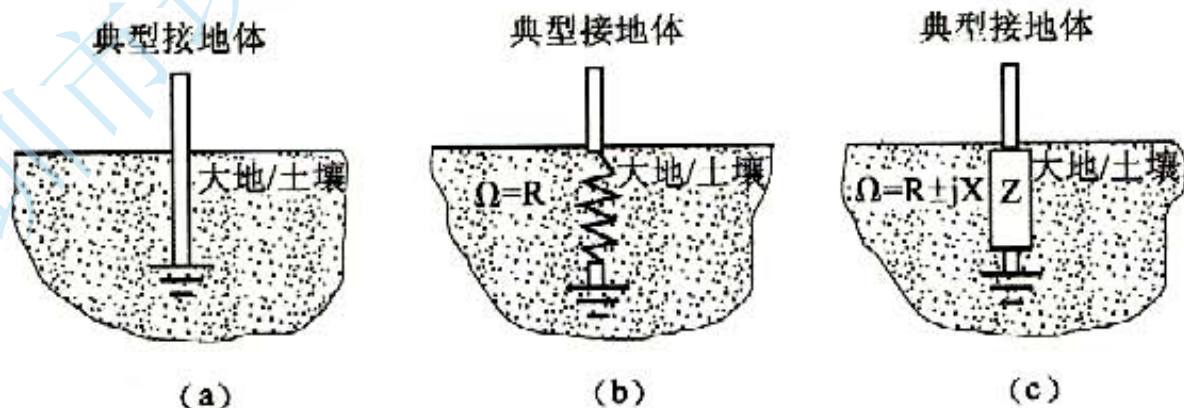


图 3 典型接地体的三种表示

注：所示接地体可能是复杂埋地接地网的一部分(以下同)



通常，设计者要求的功能性接地电阻为工频接地电阻，市场上销售的绝大多数测量仪表仅供测量直流至工频的接地电阻之用，而电子系统的功能性接地是要流过直流至高频的电流。在高频条件下，接地阻抗大大增加。例如，一个 61m 长的水平接地体，在小于 10kHz 频率下的阻抗约为 $6\Omega \sim 7\Omega$ ，当频率增大至 1MHz 时，其阻抗将加大到 52Ω ，见图 4 中的 A 接地体。当频率再增大，从图中曲线的走向，可推测其阻抗将大大增加。

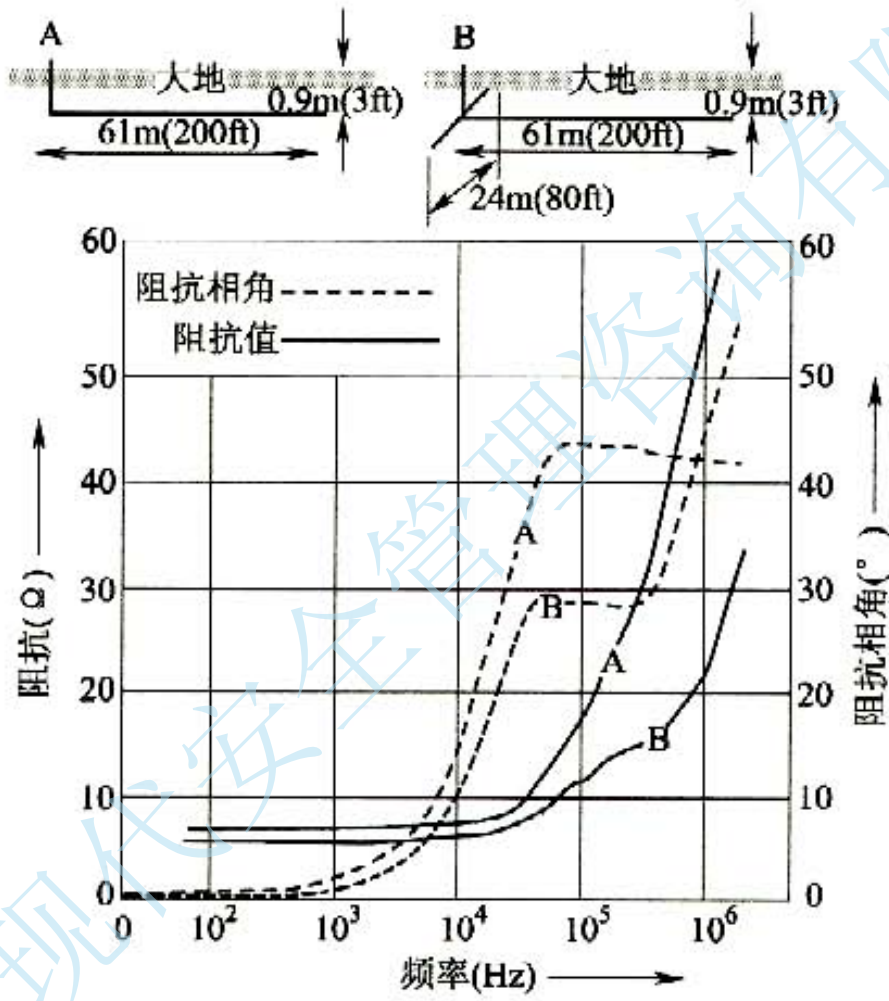


图 4 接地体的阻抗与频率的关系

其次，接地线的感抗为 $X_L = 2\pi fL$ ，一根 25mm^2 铜导体和一根 107mm^2 铜导体，其在自由空间的一些有关数值见表 6 和表 7。从表中可以看出，在不同频率下，感抗都大大地大于电阻，因此，导体的阻抗可略去电阻，看作等于感抗；将导体的截面从 25mm^2 加大到 107mm^2 ，即截面加大约三倍，而感抗减小的比例却很小，例如，30.5m 长的导体，在 100MHz 下仅减小 $(35 - 31.4) / 35 = 3.6 /$



35=0.1=10%，因此，由于流过的电流很小，功能性接地/等电位连接线的截面无需选的很大。

表 6 25mm² 铜导体在空气中的电阻和感抗

导体长度 (m)	L(μH) (>1MHz)	@1MHz		@10MHz		@100MHz	
		Rf(Ω)	2πfL(Ω)	Rf(Ω)	2πfL(Ω)	Rf(Ω)	2πfL(kΩ)
3	4	0.05	26	0.15	260	0.5	2.6
6.1	9	0.1	57	0.3	570	1.0	5.7
12.2	20	0.2	125	0.6	1250	2.0	12.5
18.3	31	0.3	197	0.9	1970	3.0	19.7
30.5	55	0.5	350	1.5	3500	5.0	35.0

表 7 107mm² 铜导体在空气中的电阻和感抗

导体长度 (m)	L(μH) (>1MHz)	@1MHz		@10MHz		@100MHz	
		Rf(Ω)	2πfL(Ω)	Rf(Ω)	2πfL(Ω)	Rf(Ω)	2πfL(kΩ)
3	3.6	0.022	23	0.07	230	0.22	2.30
6.1	8	0.044	51	0.14	510	0.44	5.10
12.2	18	0.088	113	0.28	1130	0.88	11.30
18.3	28	0.132	176	0.42	1760	1.32	17.60
30.5	50	0.220	314	0.70	3140	2.20	31.40

现代电子系统绝大多数为数字化，其怕干扰的频率为数十乃至数百兆赫兹。因此，上述所指出的接地阻抗和接地线感抗将会增至很大。所以，功能性接地电阻要求很低的直流至工频的接地电阻(如 0.5Ω~1Ω)是毫无意义的，而且浪费了人力和财力。当为共用接地装置时，工频接地电阻应取决于 50Hz 供电系统对人身安全的合理要求值。

一栋建筑物设有独立接地体的情况如图 5 所示。其与建筑物共用接地体之间在地中的土壤可以看作是一阻抗 Z_{earth} ，见图 6。当有一电流 I_{earth} 流过土壤阻抗 Z_{earth} 时， $U = I_{\text{earth}} \times Z_{\text{earth}}$ ，这一压降就是独立接地体与共用接地体之间的共模电位差。当 I_{earth} 为雷击

电流或 50Hz 短路电流时，在电子系统与 PE 线或其周
系统之间将会产生跳击而损坏设备；当 I_{earth} 为干扰电流时，将对电子系统产生干扰。因此，美国的国家电气法规 NEC 和国际电工委员会 IEC 的一些标准都规定，每一建筑物（每一装置）的所有接地体都应等电位直接连接在一起，通常是在总等电位连接带处，见图 7。这样就消除了上述的共模电位差 U 。

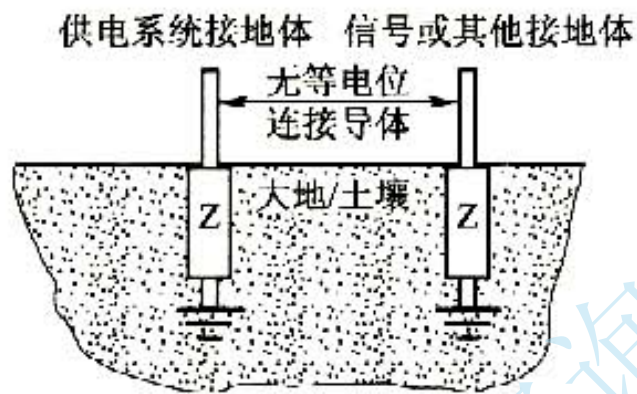


图 5 典型分开的接地

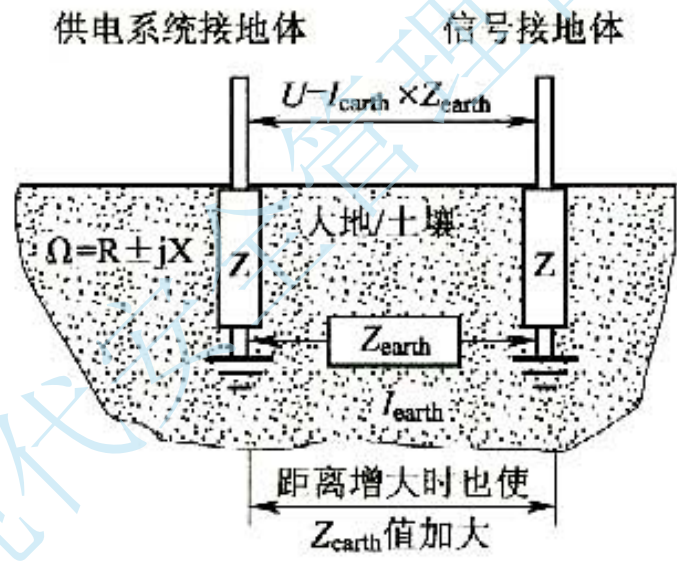


图 6 独立接地体与共用接地体之间的共模电位差

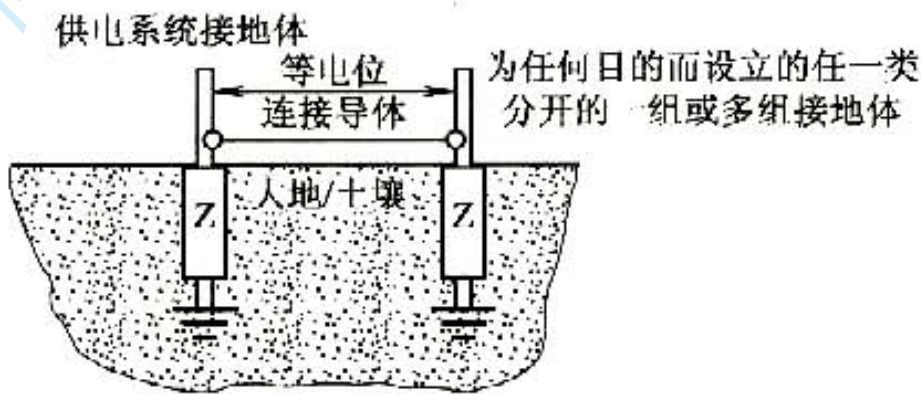


图 7 IEC 和美国 NEC 要求在各组接地体之间做等电位连接



在一栋建筑物中设置了独立接地体，在动态条件下实际上是把人身安全和设备安全放在第二位，这是不对的；应将人身安全放在第一位来处理接地和等电位连接。

对本款的注，不能简单提出几个接地电阻的具体数值，因为它们取决于供电变压器是否设在本建筑物内，高压是采用不接地系统还是小电阻接地系统，低压是采用 TN-C-S、TN-S、TT 还是 IT 系统等因素。请参见 IEC 60364—4—44：2007 Ed. 2. 0 (Low-voltage electrical installations—Part 4—44：Protection for safety Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances. 低压电气装置——第 4—44 部分：安全防护——防电压扰动和电磁干扰) 中的第 442 节(低压装置防高压系统接地故障和低压系统故障引发的暂态过电压)和《工业与民用配电设计手册》(中国电力出版社出版，第三版)第 877～879 页(四、电气装置保护接地的接地电阻)以及其他相关资料。

7 对第一类防雷建筑物，由于滚球规定为 30m(见本规范的表 5.2.12)和危险性大，所以 30m 以上要考虑防侧击，本款 1 项中的“每隔不大于 6m”是从本条规定屋顶接闪器采用接闪网时其网格尺寸不大于 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 或 $6\text{m} \times 6\text{m}$ 考虑的。由于侧击的概率和雷击电流都很小，网格的横向距离不采用 4m，而按引下线的位置(其距离不大于 12m)考虑。

8 本款为强制性条款。“在电源引入的总配电箱处应装设 I 级试验的电涌保护器”的规定是根据 IEC-TC81 和 IEC-TC37A 的有关标准制定的。“电涌保护器的电压保护水平值应小于或等于 2.5kV”和“当无法确定时，冲击电流应取等于或大于 12.5kA”是根据现行国家标准《建筑物电气装置 第 5—53 部分：电气设备的选择和安装，隔离、开关和控制设备 第 534 节：过电压保护电器》GB 16895.22—2004/IEC 60364—5—53：2001：A1：2002 的规定制定的。

9 式(4.2.4-6)和式(4.2.4-7)系根据 IEC 62305—1：2010



第 63 页上的式(E. 4)~(E. 6)编成的。

11 “当电子系统的室外线路采用金属线时，在其引入的终端箱处应安装 D1 类高能量试验类型的电涌保护器”的规定是根据 IEC 61643—22：2004 Ed. 1.0(Low-voltage surge protective devices Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signaling networks—Selection and application principles. 低压电涌保护器——第 22 部分：电信和信号网络的电涌保护器——选择和使用导则)的表 2 制定的，2kA 是根据本规范条文说明的表 5 制定的。

12 “当电子系统的室外线路采用光缆时，在其引入的终端箱处的电气线路侧，当无金属线路引出本建筑物至其他有自己接地装置的设备时，可安装 B2 类慢上升率试验类型的电涌保护器”的规定是根据 IEC 61643—22：2004 的表 3 制定的，100A 短路电流的规定是根据本规范表 J. 2. 1 制定的。

13、14 这两款是根据 IEC 的有关要求制定的。

4.2.5 根据原《建筑防雷设计规范》GBJ 57—83 编写组调查的几个案例，雷击树木引起的反击，其距离均未超过 2m，例如，重庆某结核病医院、南宁某矿山机械厂、广东花县某学校及海南岛某中学等由于雷击树木而产生的反击，其距离均未超过 2m。考虑安全系数后，现规定净距不应小于 5m。

4.3 第二类防雷建筑物的防雷措施

4.3.1 接闪器、引下线直接装设在建筑物上，在非金属屋面上装设网格不大于 10m 的金属网，数十年的运行经验证明是可靠的。

中国科学院电工研究所曾对几十个模型做了几万次放电试验，虽然试验的重点放在非爆炸危险建筑物上，而且保护的重点是易受雷击的部位，但对整个建筑物起到了保护作用。如果把接闪带改为接闪网，则保护效果更有提高。根据我国的运行经验，对第



二类防雷建筑物采用不大于 10m 的网格是适宜的。162305

3:2010 中相当于本规范第二类防雷建筑物的接闪器,当采用网格时,其尺寸也是不大于 $10\text{m}\times 10\text{m}$,另见本规范第 5.2.12 条的条文说明。与 $10\text{m}\times 10\text{m}$ 并列,增加 $12\text{m}\times 8\text{m}$ 网格,这与引下线类同,是按 6m 柱距的倍数考虑的。

为了提高可靠性和安全度,便于雷电流的流散以及减小流经引下线的雷电流,故多根接闪杆要用接闪带连接起来。

4.3.2 本条说明如下:

1 虽然对排放有爆炸危险的气体、蒸气或粉尘的管道要求同本章第 4.2.1 条第 2 款,但由于第一类和第二类防雷建筑物的接闪器的保护范围是不同的(因 h_r 不同,见本规范表 5.2.12),因此,实际上保护措施的做法是不同的。

2 阻火器能阻止火焰传播,因此,在第二类防雷建筑物的防雷措施中补充了这一规定。

以前的调查中发现雷击煤气放散管起火 8 次,均未发生事故。这些事例说明煤气、天然气放散管里的煤气、天然气在放气时总是处于正压,如煤气、天然气灶一样,火焰在管口燃烧而不会发生事故,故本规范特作此规定。

4.3.3 关于专设引下线的间距见本章第 4.2.4 条第 2 款的条文说明。根据实践经验和实际需要补充增加了“当建筑物的跨度较大,无法在跨距中间设引下线时,应在跨距两端设引下线并减小其他引下线的间距,专设引下线的平均间距不应大于 18m。”“专设”指专门敷设,区别于利用建筑物的金属体。本条为强制性条文。

4.3.4 见本章第 4.2.4 条的有关说明。

4.3.5 利用钢筋混凝土柱和基础内钢筋作引下线和接地体,国内外在 20 世纪 60 年代初期就已经采用了,现已较为普遍。利用屋顶钢筋作为接闪器,国内外从 20 世纪 70 年代初就逐渐被采用了。



1 关于利用建筑物钢筋体作防雷装置, IEC 62303:2010

中的规定如下:在其第 21 页第 5.2.5 条 b 款的规定中,对宜考虑利用建筑物的自然金属物作为自然接闪器是“覆盖有非金属材料屋面的屋顶结构的金属构件(桁架、构架、互相连接的钢筋,等等)若覆盖屋面的该非金属材料可以不需要受到保护时”;在其第 24 页第 5.3.5 条 b 款的规定中,对宜考虑利用建筑物的自然金属物作为自然引下线是“建筑物的电气贯通的钢筋混凝土框架的金属体”;在其第 27 页第 5.4.4 条自然接地体的规定中规定“混凝土基础内互相连接的钢筋,当其满足 5.6 条(译注:即对其材料和尺寸的要求,见本规范第 5 章)的要求时或其他合适的地下金属结构,应优先考虑利用其作为接地体”。

国际上许多国家的防雷规范、标准也作了雷同的规定。钢筋混凝土建筑物的钢筋体偶尔采用焊接连接,此时提供了肯定的电气贯通。然而更多的是,在交叉点采用金属绑线绑扎在一起,但是不管金属性连接的偶然性,这样一类建筑物具有许许多多钢筋和连接点,它们保证将全部雷电流经过许多次再分流流入大量的并联放电路径。经验表明,这样一类建筑物的钢筋体能容易地被利用作为防雷装置的一部分或全部。下面介绍钢筋绑扎点通冲击电流能力的试验和英国的防雷标准:

1)原苏联对钢筋绑扎点流过冲击和工频电流的试验(刊登于原苏联杂志《电站》1990 年第 9 期文章:钢筋混凝土电杆通雷电流和短路电流的试验,即 Арматура железобетонных опор для отвода тока молнии и токов короткого замыкания,《Электрические станции》,1960, №9)试样是方柱形混凝土,边长为 50mm、100mm 和 150mm 三种(见图 8)。

在其轴心埋设两根直径 8mm 的钢筋,将其末端弯起来并用绑线绑扎。

对这种连接点用幅值 5kA、10kA、20kA 波长 $40\mu\text{s}$ 的冲击电流波和 3kA 的工频电流进行试验。从试验所得的电压和电流示



波图可证明，这种连接点的电气接触是足够可靠的，其过渡电阻为 $0.001\Omega \sim 0.01\Omega$ 。这一结果表明，当雷电流和工频短路电流通过有铁丝绑扎的并联钢筋时，所有纵向主筋都参与导引电流。

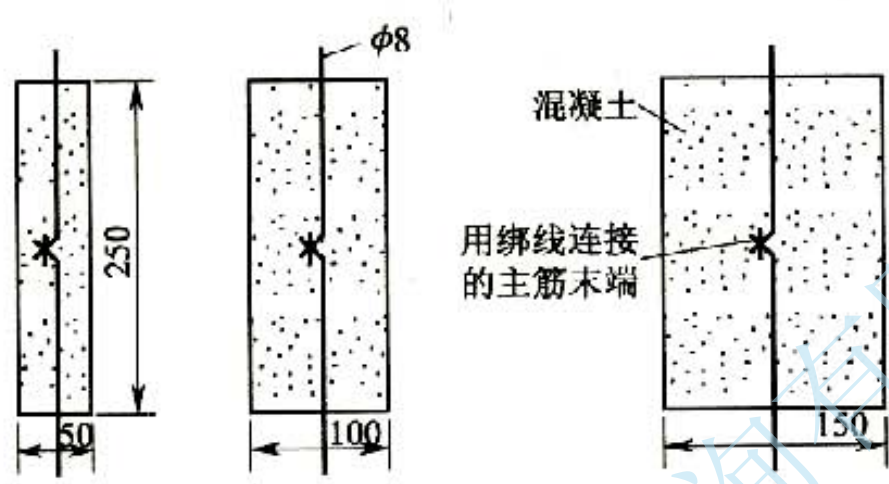


图 8 大冲击电流和工频短路电流流过钢筋绑扎点的试样

2) 日本对钢筋绑扎点做的冲击试验(见《建築物の避雷設備に関する研究報告 JECA1010, 1973 年 8 月, 第 II 編—建築物の避雷設備に関する実験的研究, 第 3 章—雷撃電流にする鉄筋コンクリートの破壊実験》)。

试样示于图 9, 纵、横钢筋的接触处有的试样采用焊接, 有的采用铁丝绑扎。具有代表性的冲击电流波形示于图 10。钢筋代号见图 11。

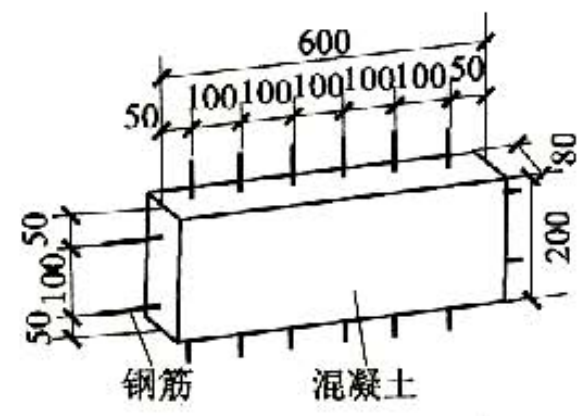


图 9 试样的构造和尺寸

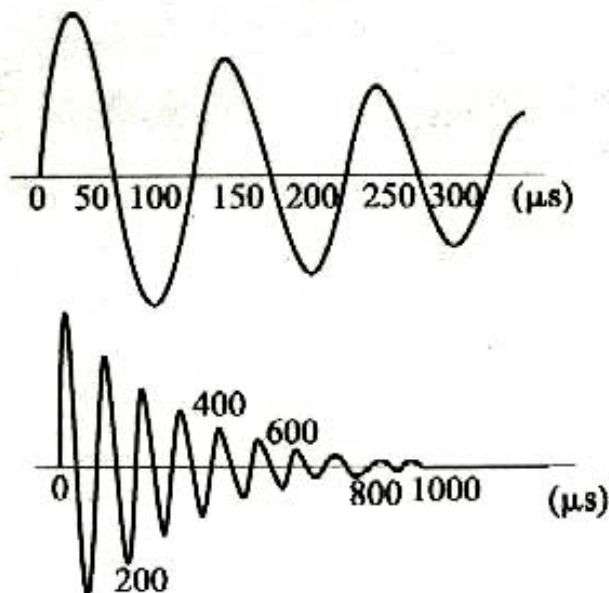


图 10 具有代表性的冲击电流波形

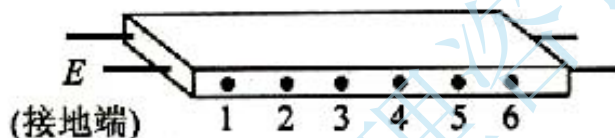


图 11 试样的钢筋代号

钢筋接触处的连接方法对钢筋混凝土的破坏影响的试验结果如下(0表示无异常现象,×表示受到破坏):

1号试样(纵横钢筋接触处采用焊接):

6—E,61kA 0 0 0

4—E,61kA 0 0 0

2—E,61kA 0 0 0

2号试样(纵横钢筋接触处采用铁线绑扎):

1—E,16kA 0 0 0

2—E,31kA 0 0 0

3—E,48kA ×(有轻度裂缝)

3号试样(纵横钢筋接触处采用铁线绑扎):

3—E,48kA 0 0 0 0 0

4—E,48kA 0 0 0 0

4—E,61kA 0



5—E,61kA ×(有轻度裂缝)

4号试样(纵横钢筋接触处采用铁线绑扎):

1—E,48kA 0 0 0

3 E,61kA ×(裂缝,有两块小碎片飞出 1m 远)

5号试样(纵横钢筋接触处采用铁线绑扎):

1—E,61kA 0

2—E,61kA 0

3—E,61kA 0

以上试样中,有一个试样的一个绑扎点通过 48kA 和两个试样的各一个绑扎点通过 61kA 后,采用铁线绑扎连接的这三个钢筋混凝土试样才遭受轻度裂缝的破坏。这说明一个绑扎点可以安全地流过几十千安的冲击电流。实际上采用的钢筋混凝土构件除进出电流的第一个连接点外,通常都有许多并联绑扎点,因此,若把进出构件的第一个连接点处理好的话(本规范要求应焊接或采用螺栓紧固的卡夹器连接),那么可通过的冲击电流将会是很大的了。

以上所采用的试验冲击电流波虽然不是现在规定的 10/350 μ s 直击雷电流波形,但若简单近似地采用 20 倍的换算,则每一个绑扎点也可安全地通过 10/350 μ s 的冲击电流波。

3)英国《建筑物防雷实用规范》(BS 6651—1999: Code of practice for protection of structures against lightning),第 16.6 节规定如下:

“16.6 混凝土建筑物中钢筋的利用:

16.6.1 通则——在建筑物开始建设之前,在设计阶段应决定详细做法;

16.6.2 电气连贯性——在现场浇灌的钢筋混凝土建筑物的钢筋偶尔是焊接在一起,这提供了肯定的电气连贯性。通常更多地是,钢筋在交叉点是用金属线绑扎在一起。

然而,虽然在此产生的自然金属性连接有其偶然性,但是这类结构的大量钢筋和交叉点保证全部雷电流实质上在并联放电路径



上的多次分流。经验表明，这类建筑物能够容易地被利用作为防雷装置的一部分。

然而，建议采取以下的预防措施：a) 应保证钢筋之间有良好的接触，即用绑线固定钢筋；b) 垂直方向的钢筋与钢筋之间和水平钢筋与垂直钢筋之间都应绑扎。”

利用屋顶钢筋作接闪器，其前提是允许屋顶遭雷击时混凝土会有一些碎片脱离以及一小块防水、保温层遭破坏。但这对建筑物的结构无损害，发现时加以修补就可以了。屋顶的防水层本来正常使用一段时期后也要修补或翻修。

另一方面，即使安装了专设接闪器，还是存在一个绕击问题，即比所规定的雷电流小的电流仍有可能穿越专设接闪器而绕击于屋顶的可能性。

利用建筑物的金属体做防雷装置的其他优点和做法请参见《基础接地体及其应用》一书(林维勇著，1980年，中国建筑工业出版社出版)和国家建筑标准设计图集《利用建筑物金属体做防雷及接地装置安装》03D501—3。

2 钢筋混凝土的导电性能，在其干燥时，是不良导体，电阻率较大，但当具有一定湿度时，就成了较好的导电物质，可达 $100\Omega\text{m}\sim 200\Omega\text{m}$ 。潮湿的混凝土导电性能较好，是因为混凝土中的硅酸盐与水形成导电性的盐基性溶液。混凝土在施工过程中加入了较多的水分，成形后在结构中密布着很多大大小小的毛细孔洞，因此就有了一些水分储存。当埋入地下后，地下的潮气又可通过毛细管作用吸入混凝土中，保持一定的湿度。

图 12 示出，在混凝土的真实湿度的范围内(从水饱和到干涸)，其电阻率的变化约为 520 倍。在重复饱和和干涸的整个过程中，没有观察到各点的位移，也即每一湿度有一相应的电阻率。

建筑物的基础，通常采用(150~200)号(等同于现在标准的 C13~C18)混凝土。原苏联 1980 年有人提出一个用于 200 号(等同于现在标准的 C18)混凝土的近似计算式，计算混凝土的电阻率



$\rho(\Omega m)$ 与其湿度的关系，其关系式如下：

$$\rho = \frac{28000}{W^{2.6}} \quad (17)$$

式中： W ——混凝土的湿度(%)。

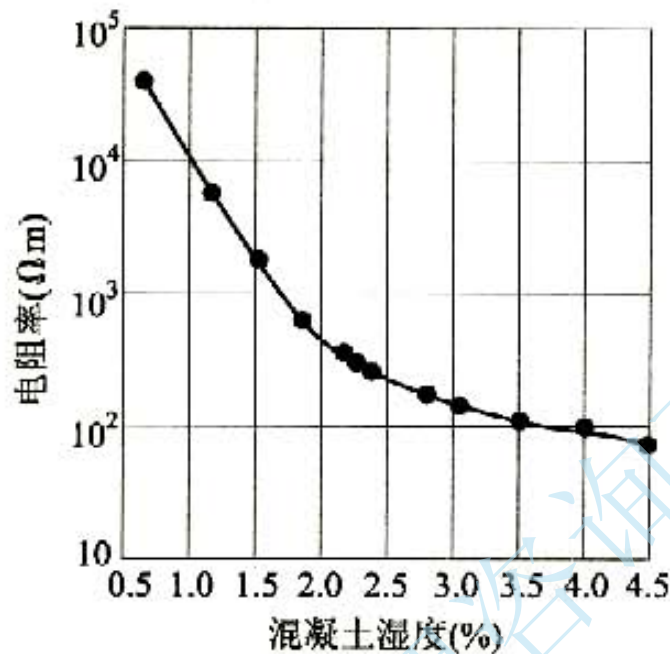


图 12 混凝土湿度对其电阻率的影响

例如，当 $W = 6\%$ 时， $\rho = 28000/6^{2.6} = 265(\Omega m)$ ； $W = 7.5\%$ 时， $\rho = 28000/7.5^{2.6} = 149(\Omega m)$ 。

根据我国的具体情况，土壤一般可保持有 20% 左右的湿度，即使在最不利的情况下，也有 5%~6% 的湿度。

在利用基础内钢筋作接地体时，有人不管周围环境条件如何，甚至位于岩石上也利用，这是错误的。因此，补充了“周围土壤的含水量不低于 4%”。混凝土的含水量约在 3.5% 及以上时，其电阻率就趋于稳定；当小于 3.5% 时，电阻率随水分的减小而增大。根据图 12，含水量定为不低于 4%。该含水量应是当地历史上一一年中最早发生雷闪时间以前的含水量，不是夏季的含水量。

混凝土的电阻率还与其温度成一定关系的反向作用，即温度升高，电阻率减小；温度降低，电阻率增大。

下面举几个例子说明我国 20 世纪 60 年代利用钢筋混凝土构件中钢筋作为接地装置的情况。



1)北京某学院与某公司工程的设计,采用钢筋混凝土构件中的钢筋作为防雷引下线与接地体,并进行了测定,8000m²的建筑,其接地电阻夏季为0.2Ω~0.4Ω,冬季为0.4Ω~0.6Ω,且数年中基本稳定。

2)上海某广场全部采用了柱子钢筋作为防雷引下线,利用钢筋混凝土基桩作为接地极(基桩深达35m),测定后,接地电阻为0.2Ω/基~1.8Ω/基。

3)上海某大学利用钢筋混凝土基桩作为防雷接地装置,并测得接地电阻为0.28Ω~4Ω(桩深为26m)。

4)云南某机床厂的约2000m²车间,采用钢筋混凝土构件中的钢筋作接地装置,接地电阻为0.7Ω。

5)1963年7月曾对原北京第二通用机器厂进行了测定,数值如下:立式沉淀池基础(捣制)4.5Ω~5.5Ω;四根高烟囱基础(捣制)3Ω/每根~5Ω/每根;露天行车的一根钢筋混凝土柱子(预制)2Ω;同一露天行车的另一根钢筋混凝土柱子(预制)7Ω;铸钢车间的一根钢筋混凝土柱子(预制)0.5Ω。

以前对基础的外表面涂有沥青质的防腐层时,认为该防腐层是绝缘的,不可利用基础内钢筋作接地体。但是实践证实并不是这样,国内外都有人做过测试和分析,认为是可利用作为接地体的。

原苏联有若干篇文献论及此问题,国内已有人将其编译为一篇文章,刊登于《建筑电气》1984年第4期,文章名称为《利用防侵蚀钢筋混凝土基础作为接地体的可能性》。在其结论中指出:“厚度3mm的沥青涂层,对接地电阻无明显的影响,因此,在计算钢筋混凝土基础接地电阻时,均可不考虑涂层的影响。厚度为6mm的沥青涂层或3mm的乳化沥青涂层或4mm的粘贴沥青卷材时,仅当周围的土壤的等值电阻率 $\leq 100\Omega\text{m}$ 和基础面积的平均边长 $S \leq 100\text{m}$ 时,其基础网电阻约增加33%,在其他情况下这些涂层的影 响很小,可忽略不计”。结论中还有其他的情况,不在这里



——介绍，请参见原译文。上述译文还指出，原苏联建筑标准对钢筋混凝土结构防止杂散电流引起腐蚀的规定中，给出防水层的两种状态：“最好的”（无保护部分的面积不大于1%）和“满足要求的”（无保护部分的面积为5%~10%）。原全苏电气安装工程科学研究所对所测过的、具有防止弱侵蚀介质作用的沥青涂层和防止中等侵蚀介质作用的粘贴沥青卷材的单个基础、桩基、桩群以及基础底板的散流电阻进行了定量分析，说明在许多被测过的基础中，没有一个基础是处于“最好的”绝缘状态。据此，可以作出这样的假设：在强侵蚀介质中，防护层的防水状态也不是“最好的”。上述结论就是在这—前提下作出的。

原东德标准 TGL33373/01 ~ 03 1981 (Bautechnische, maßnahmen für Erdung, Potentialausgleich und Blitzschutz. 接地、等电位和防雷在建筑技术上的措施)对基础接地体的说明是：“埋设在直接与土地接触或通过含沥青质的外部密封层与土地平面接触的基础内在电气上非绝缘的钢筋、钢埋入件和金属结构”。

原苏联 1987 年版的《建构筑物防雷导则》(РД34. 21. 122—87; Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений)中也指出，钢筋混凝土基础的沥青涂层和乳化沥青涂层不妨碍利用它作为防雷接地体。

因此，本款规定钢筋混凝土基础的外表面无防腐层或有沥青质防腐层时，宜利用基础内的钢筋作为接地装置。

3 规定混凝土中防雷导体的单根钢筋或圆钢的最小直径不应小于10mm是根据以下的计算定出的。

现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 规定构件的最高允许表面温度是：对于需要验算疲劳的构件（如吊车梁等承受重复荷载的构件）不宜超过60℃；对于屋架、托架、屋面梁等不宜超过80℃；对于其他构件（如柱子、基础）则没有规定最高允许温度值，对于此类构件可按不宜超过100℃考虑。

由于建筑物遭雷击时，雷电流流经的路径为屋面、屋架（或托



架或屋面梁)、柱子、基础,则流经需要验算疲劳的构件(如吊车梁等承受重复荷载的构件)的雷电流已分流到很小的数值。因此,雷电流流过构件内钢筋或圆钢后,其最高温度按 $80^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 考虑。现取最终温度 80°C 作为计算值。钢筋的起始温度取 40°C ,因此,钢导体的温度升高考虑为 40°C ,这是一个很安全的数值。

根据 IEC 62305—1:2010 第 51、52 页的式(D.7)及其他有关资料,计算如下:

$$(\theta - \theta_0) = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \left[\frac{W}{R} \cdot \frac{\alpha \cdot \rho_0}{q^2 \cdot \gamma \cdot C_w} \right] - 1 \right] \quad (18)$$

式中: $(\theta - \theta_0)$ ——导体的温度升高(K);

α ——电阻的温度系数(1/K),对软钢,其值为 $6.5 \times 10^{-3} 1/\text{K}$;

W/R ——冲击电流的单位能量(J/ Ω),根据本规范表 F.0.1-1取第二类防雷建筑物的值为 $5.6 \times 10^6 \text{J}/\Omega$;

ρ_0 ——导体在环境温度下的电阻率(Ωm),对钢导体,取其值为 $138 \times 10^{-9} \Omega\text{m}$;

q ——导体的截面积(m^2),取 $\phi 10\text{mm}$ 钢导体的截面积,其值为 $78.5 \times 10^{-6} \text{m}^2$;

γ ——物质的密度(kg/m^3),对软钢,其值为 $7700 \text{kg}/\text{m}^3$;

C_w ——热容量[J/($\text{kg} \cdot \text{K}$)],对软钢,其值为 $469 \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

将上述数值代入式(18),得 $(\theta - \theta_0) = 38.96 \text{K}$,小于 40K 。

对于第三类防雷建筑物,除 W/R 值不同外,其他值是相同的。根据本规范表 F.0.1-1,取第三类防雷建筑物的 W/R 值为 $2.5 \times 10^6 \text{J}/\Omega$ 。将上述数值代入式(18),得 $(\theta - \theta_0) = 16.31 \text{K}$,小于



40K。

以上是对一根 $\phi 10\text{mm}$ 钢导体的温度升高计算，实际上，钢筋混凝土构件内通常都有许多钢筋并联，经过分流后，每根钢筋产生的 W/R 值大大减小，因此，钢筋的温度升高会大大小于 40K。

4 埋设在土壤中的混凝土基础的起始温度取 30°C （我国地下 0.8m 处最热月土壤平均温度，除少数地区略超过 30°C 外，其余均在 30°C 以下）；最终温度取 99°C ，以不发生水的沸腾为前提。在此基础上求出的钢筋与混凝土接触的每一平方米表面积允许产生的单位能量不应大于 $1.32 \times 10^6 \text{J}/(\Omega\text{m}^2)$ （另见本章第 4.3.6 条第 4 款的条文说明）。因此，对于第二类防雷建筑物，钢筋表面积总和不应少于 $(5.6 \times 10^6 k_c^2)/(1.32 \times 10^6) = 4.24 k_c^2 (\text{m}^2)$ ；对于第三类防雷建筑物，钢筋表面积总和不应少于 $(2.5 \times 10^6 k_c^2)/(1.32 \times 10^6) = 1.89 k_c^2 (\text{m}^2)$ 。

5 确定环形人工基础接地体尺寸的几条原则：

1) 在相同截面（即在同一长度下，所消耗的钢材质量相同）下，扁钢的表面积总是大于圆钢的，所以，建议优先选用扁钢，可节省钢材。

2) 在截面积相等之下，多根圆钢的表面积总是大于一根的，所以在满足所要求的表面积前提下，选用多根或一根圆钢。

3) 圆钢直径选用 8mm、10mm、12mm 三种规格，选用大于 $\phi 12\text{mm}$ 的圆钢，一是浪费材料，二是施工时不易于弯曲。

4) 混凝土电阻率取 $100\Omega\text{m}$ ，这样，混凝土内钢筋体有效长度为 $2\sqrt{\rho} = 20\text{m}$ ，即从引下线连接点开始，散流作用按各方向 20m 考虑。

5) 周长 $\geq 60\text{m}$ ，按 60m 考虑，设三根引下线，此时， $k_c = 0.44$ ，另外还有 56% 的雷电流从另两根引下线流走，每根引下线各占 28%。

设这 28% 从两个方向流走，每一方向流走 14%。因此，与第



一根引下线连接的 40m 长接地体(一个方向 20m, 两个方向共计 40m), 共计流走总电流的 72% ($0.44 + 0.14 + 0.14 = 0.72$), 即本条第 4 款所规定的 $4.24k_c^2$ 和本章第 4.4.5 条第 1 款所规定的 $1.89k_c^2$ 中的 k_c 等于 0.72。

6) 40m~60m 周长时按 40m 长考虑, k_c 等于 1, 即按 40m 长流走全部雷电流考虑。

7) <40m 周长时无法预先定出规格和尺寸, 只能按 k_c 等于 1 由设计者根据具体长度计算, 并按以上原则选用。

根据以上原则所计算的结果列于表 8。

表 8 确定环形人工基础接地体的计算结果

周长 (m)	k_c 值	环形人工基础接地体的表面积	
		第二类防雷建筑物	第三类防雷建筑物
≥60	0.72	$4.24k_c^2 = 2.2m^2$	$1.89k_c^2 = 0.98m^2$
		4mm×25mm 扁钢 40m 长的表面积 = $2.32m^2$, 2× $\phi 10mm$ 圆钢 40m 长表面积总和 = $2.513m^2$	1× $\phi 10mm$ 圆钢 40m 长的表面积 = $1.257m^2$
≥40 至 <60	1	$4.24k_c^2 = 4.24m^2$	$1.89k_c^2 = 1.89m^2$
		4mm×50mm 扁钢 40m 长的表面积 = $4.32m^2$, 4× $\phi 10mm$ 圆钢 40m 长表面积总和 = $5.03m^2$, 3× $\phi 12mm$ 圆钢 40m 长表面积总和 = $4.52m^2$	4mm×20mm 扁钢 40m 长的表面积 = $1.92m^2$, 2× $\phi 8mm$ 圆钢 40m 长表面积总和 = $2.01m^2$

注: 采用一根圆钢时, 其直径不应小于 10mm。

整栋建筑物的槽形、板形、块形基础的钢筋表面积总是能满足钢筋表面积的要求。

6 混凝土内的钢筋借绑扎作为电气连接, 当雷电流通过时, 在连接处是否可能由此而发生混凝土的爆炸性炸裂, 为了澄清这一问题, 瑞士高压问题研究委员会进行过研究, 认为钢筋之间的普通金属绑丝连接对防雷保护来说是完全足够的, 而且确证, 在任何情况下, 在这样连接附近的混凝土决不会碎裂, 甚至出现雷电流本



身把绑在一起的钢筋焊接起来，如点焊一样，通过电流以后，一个这样的连接点的电阻下降为几个毫欧的数值。

本条第 6 款为强制性条款。

4.3.6 关于共用接地装置的接地电阻，见本章第 4.2.4 条第 6 款的条文说明。

1~4 根据 IEC 62305—3：2010 第 26 页 5.4.2.2 的规定(接地体的 B 型布置)而制定。另见本章第 4.2.4 条第 6 款的条文说明。

环形接地体(或基础接地体)所包围的面积 A 的平均几何半径 r 为： $\pi r^2 = A$ ，所以 $r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ 。根据图 2，对于第二类防雷建筑物，当 $\rho < 800 \Omega \text{m}$ 时， l_1 为 5m，因此，导出第 1 款的规定；当 $\rho = 800 \Omega \text{m} \sim 3000 \Omega \text{m}$ 时， l_1 与 ρ 的关系是一根斜线，从该斜线上找出方便的任意两点的坐标，则可求出 l_1 与 ρ 的关系式为 $l_1 = \frac{\rho - 550}{50}$ ，所以，导出第 2~4 款的规定。

5 当 $\sqrt{\frac{A}{\pi}} \geq 5$ 时，得 $A \geq 78.54 \approx 79 \text{m}^2$ ，故作出本款第 1 项的规定。当 $\sqrt{\frac{A}{\pi}} \geq \frac{\rho - 550}{50}$ ，得 $A \geq \pi \left(\frac{\rho - 550}{50} \right)^2$ ，故作出本款第 2 项的规定。

6 本款系根据实际需要和实践经验而定的。第 1 项保证地面电位分布均匀。第 2 项保证雷电流较均匀地分配到雷击点附近作为引下线的金属导体和各接地体上。第 3 项保证混凝土基础的安全性。

第 1 项中“绝大多数柱子基础”是指在一些情况下少数柱子基础难于连通的情况，如车间两端在钢筋混凝土端屋架中间(不是屋架的两头)的柱子基础，即挡风柱基础。

地中混凝土的起始温度取 30°C ，最高允许温度取 99°C 。混凝土的含水量按混凝土重量的 5% 计算。边长 1m 的基础混凝土立方体的热容量 Q_1 (J/m^3) 为：



$$Q_1 = (C_1 + 0.05C_2)M_1 \times \Delta T \quad (19)$$

式中： C_1 ——混凝土的比热容[J/(kg·K)]，取 8.82×10^2 J/(kg·K)；
 C_2 ——水的比热容[J/(kg·K)]，取 4.19×10^3 J/(kg·K)；
 M_1 ——边长 1m 的混凝土立方体的质量(kg/m³)，取 2.1×10^3 kg/m³；
 ΔT ——温度差，对于起始温度为 30℃ 和最终温度为 99℃ 的场合， $\Delta T = 69$ ℃。

将以上有关数值代入式(19)，得 $Q_1 = 1.58 \times 10^8$ J/m³。

雷电流从钢筋表面(设钢筋与混凝土的接触表面积为 1m²)流入混凝土(混凝土折合成边长 1m 的立方体)时所产生的热量按式(20)计算。

$$Q_2 = \int i^2 \rho dt = \rho \int i^2 dt \quad (20)$$

式中： ρ ——混凝土在 30℃~99℃ 时的平均电阻率，取 120Ωm。

使 $Q_2 = Q_1$ ，得 $\rho \int i^2 dt = 1.58 \times 10^8$ ，所以

$$\int i^2 dt = (1.58 \times 10^8) / 120 = 1.32 \times 10^6 \text{ J}/(\Omega\text{m}^2) = 1.32 \text{ MJ}/(\Omega\text{m}^2)。$$

上式的计量单位为 MJ/(Ωm²)，说明雷电流从 1m² 钢筋表面积流入混凝土所产生的单位能量应不大于 1.32MJ/Ω。

从本规范表 F.0.1-1，得第二、三类防雷建筑物的单位能量(即 $\int i^2 dt$)分别为 5.6MJ/Ω 和 2.5MJ/Ω。

由于单位能量与雷电流的平方成正比，亦即与分流系数平方成正比。根据本规范图 E.0.1 的(c)，取 $k_c = 0.44$ ，因此，分流后流经一根柱子的雷电流所产生的单位能量分别为 $5.6 \times 0.44^2 = 1.084$ (MJ/Ω) 和 $2.5 \times 0.44^2 = 0.484$ (MJ/Ω)。

将这两个数值除以 $\int i^2 dt = 1.32 \text{ MJ}/(\Omega\text{m}^2)$ ，则相应所需的基础钢筋表面积分别为 $1.084 / 1.32 = 0.82$ (m²) 和 $0.484 / 1.32 = 0.37$ (m²)。

关于基础钢筋表面积的计算，现举一个实际设计例子。图 13 为车间一根柱子基础的结构设计。

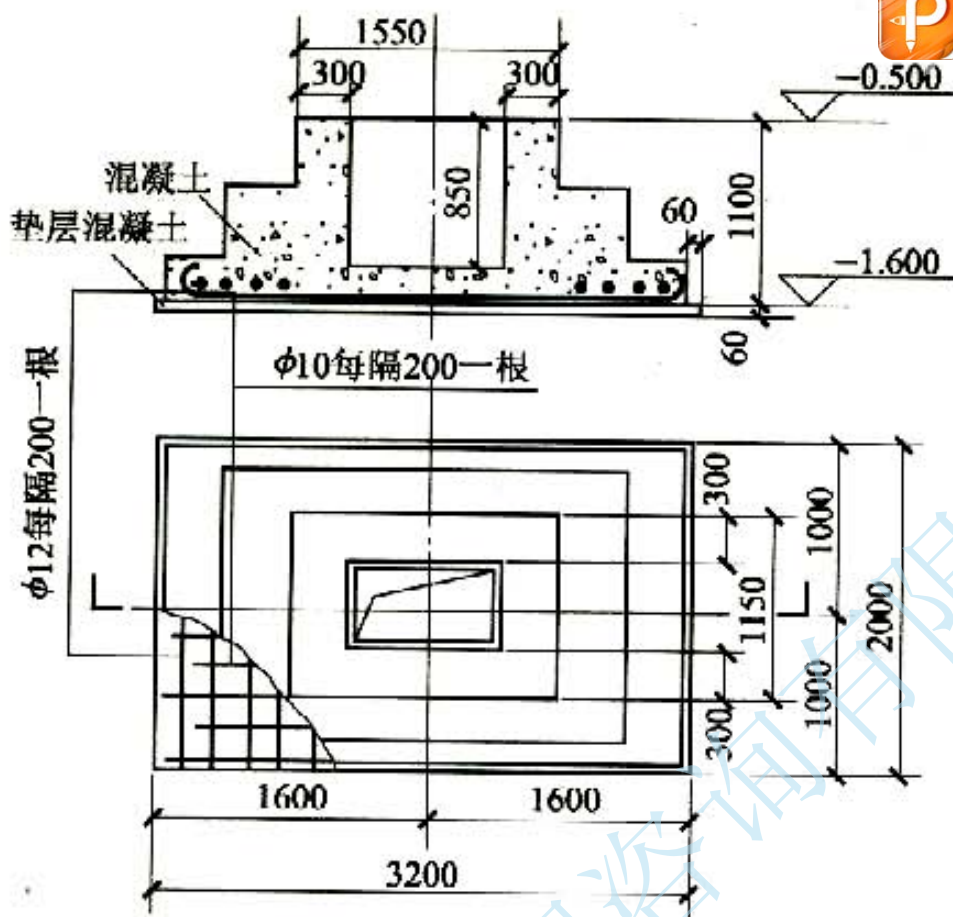


图 13 一车间的柱子基础结构图

$\phi 10$ 钢筋周长为 $0.01\pi m$ ，每根长 $2m$ ，每根的表面积为 $0.02\pi m^2$ ，共计 $2000/200=10$ 根，故 $\phi 10$ 钢筋的总表面积为 $0.2\pi m^2$ 。

$\phi 12$ 钢筋周长为 $0.012\pi m$ ，每根长 $3.2m$ ，每根的表面积为 $3.2 \times 0.012\pi = 0.0384\pi m^2$ ，共计 $3200/200=16$ 根，故 $\phi 12$ 钢筋的总表面积为 $16 \times 0.0384\pi = 0.6144\pi m^2$ 。

因此，基础钢筋的总表面积为上述两项之和，即 $0.2\pi + 0.6144\pi = 0.8144\pi = 2.56(m^2)$ 。

4.3.7 建筑物内的主要金属物不包括混凝土构件内的钢筋。

2 本款加“除本规范第 3.0.3 条第 7 款所规定的建筑物外”是根据以下两个理由：

1) 在这类场合下，设计中采用在桥架上敷设许多长的外面有绝缘保护层的铠装电缆，施工人员反映，施工时要把铠装互相连接必须破坏绝缘保护层，施工很困难。

2) IEC 62305—3：2010 第 52 页的 D.5.2 (Structures contain-



ning zones 2 and 22)有如下的规定,对那些规定为 2 区或 22 区的建筑物可不要求增加补充的保护措施(Structures where areas defined as zones 2 and 22 exist may not require supplemental protection measures)。

4.3.8 本条说明如下:

1 根据 IEC 62305—3:2010 第 35 页 6.3 规定中的式(4): $S_{a3} = k_i \cdot k_c \cdot l_x / k_m$,按该规定的表 10, $k_i = 0.06$,按该规定的表 11, $k_m = 1$,分流系数 k_c 见本规范附录 E。将相关数值代入上式,则得本规范式(4.3.8)。

“在金属框架的建筑物中,或在钢筋连接在一起、电气贯通的钢筋混凝土框架的建筑物中,金属物或线路与引下线之间的间隔距离可无要求”,这一规定是根据 IEC 62305—3:2010 6.3 中第 36 页的规定增加的,即“In structures with metallic or electrically continuous connected reinforced concrete framework, a separation distance is not required”。

3 “当金属物或线路与引下线之间有混凝土墙、砖墙隔开时,其击穿强度应为空气击穿强度的 1/2”是根据 IEC 62305—3:2010 第 35 页表 11 的规定制定的。

4 本款为强制性条款。“低压电源线路引入的总配电箱、配电柜处装设 I 级试验的电涌保护器”见本章第 4.2.4 条第 8 款的说明。

5 本款是强制性条款。在“当 Yyn0 型或 Dyn11 型接线的配电变压器设在本建筑物内或附设于外墙处”的情况下,当该建筑物的防雷装置遭雷击时,接地装置的电位升高,变压器外壳的电位也升高。由于变压器高压侧各相绕组是相连的,对外壳的雷击高电位来说,可看作处于同一低电位,外壳的雷击高电位可能击穿高压绕组的绝缘,因此,应在高压侧装设避雷器。当避雷器反击穿时,高压绕组则处于与外壳相近的电位,高压绕组得到保护。另一方面,由于变压器低压侧绕组的中心点通常与外壳在电气上是直接连在一起的,当外壳电位升高时,该电位加到低压绕组上,低压绕



组有电流流过，并通过变压器高、低压绕组的电磁感应使高压绕组匝间可能产生危险的电位差。若在低压侧装设 SPD，当外壳出现危险的高电位时，SPD 动作放电，大部分雷电流流经与低压绕组并联的 SPD，因此，保护了高压绕组。

“当无线路引出本建筑物时，应在母线上装设 II 级试验的电涌保护器，电涌保护器每一保护模式的标称放电电流值应等于或大于 5kA”的规定是因为此时低压线路的地电位（PE 导体、共用接地系统）与 SPD 的接地端是处于同一电位（在同一平面上）或高于 SPD 接地端的电位（在建筑物的高处），流经 SPD 的电流和能量不会是大的，即不会有大的雷电流再从 SPD 的接地端流经 SPD，又从低压线路的分布电容流回 SPD 接地端的接地装置。但此时 SPD 动作后将保护低压装置的绝缘免遭击穿破坏。

4.3.9 本条是根据 IEC 62305—3：2010 修改的，其第 19 页“5.2.3 高层建筑物防侧击的接闪器”的规定如下：

“5.2.3.1 高度低于 60m 的建筑物

研究显示，小雷击电流击到高度低于 60m 建筑物的垂直侧面的概率是足够低的，所以不需要考虑这种侧击。屋顶和水平突出物应按 IEC 62305—2 风险计算确定的防雷装置(LPS)级别加以保护。

5.2.3.2 高 60m 及高于 60m 的建筑物

高于 60m 的建筑物，闪击击到其侧面是可能发生的，特别是各表面的突出尖物、墙角和边缘。

注：通常，这种侧击的风险是低的，因为它只占高层建筑物遭闪击数的百分之几，而且其雷电流参数显著低于闪电击到屋顶的雷电流参数。然而，装在建筑物外墙上的电气和电子设备，甚至被低峰值雷电流侧击击中，也可能损坏。

高层建筑物的上面部位（例如，通常是建筑物高度的最上面 20% 部位，这部位要在建筑物 60m 高以上）及安装在其上的设备应装接闪器加以保护（见附录 A）。

在高层建筑物的这个上端部位布置接闪器的规则，应至少符合第 IV 级防雷级别的要求，并重点布置在墙角、边缘和显著的突出



物(如阳台、观景平台,等等)处。

在高层建筑物的侧面有外部的金属物(如满足表 3 最小尺寸要求的金属覆盖物、金属幕墙)时可以满足安装接闪器的要求。当无自然的外部导体时也可以包括采用布置在建筑物垂直边缘的外部引下线。

可利用所安装的引下线或利用适当互相连接的自然引下线(如符合本规范第 5.3.5 条要求的建筑物的钢框架或在电气上贯通的钢筋混凝土钢筋)来满足上述要求所要安装的或特别要求的接闪器。”

对第二类防雷建筑物,由于滚球半径 h_r 规定为 45m(见本规范表 5.2.12),所以本条规定“高度超过 45m 的建筑物”。

竖直敷设的金属管道及金属物的顶端和底端与防雷装置等电位连接。由于两端连接,使其与引下线成了并联路线,必然参与导引一部分雷电流,并使它们之间在各平面处的电位相等。

对本条规定的一些做法参见图 14。

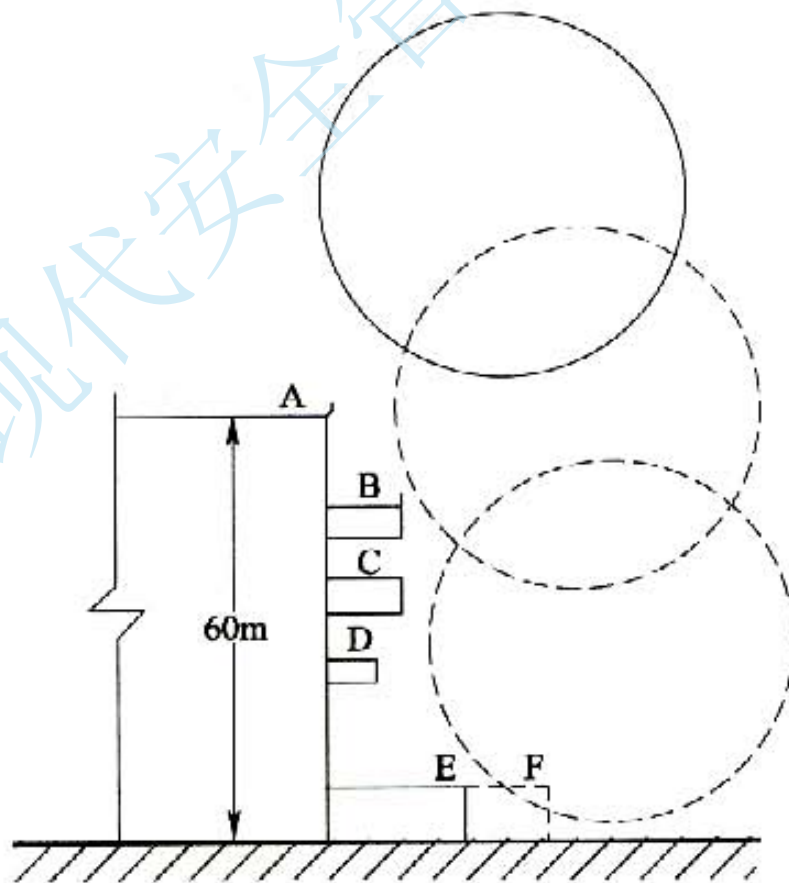


图 14 剖面示意



图 14 中，与所规定的滚球半径相适应的一球体从空中沿接闪器 A 外侧下降，会接触到 B 处，该处应设相应的接闪器；但不会接触到 C、D 处，该处不需设接闪器。该球体又从空中沿接闪器 B 外侧下降，会接触到 F 处；该处应设相应的接闪器。若无 F 虚线部分，球体会接触到 E 处时，E 处应设相应的接闪器；当球体最低点接触到地面，还不会接触到 E 处时，E 处不需设接闪器。

4.3.10 “壁厚不小于 4mm”的规定是根据 IEC 62305—3：2010 第 21 页表 3 的规定。

4.4 第三类防雷建筑物的防雷措施

4.4.3 见本规范第 4.2.4 条第 2 款和第 4.3.3 条的条文说明。本条为强制性条文。

4.4.5 见本规范第 4.3.5 条的条文说明。

4.4.6 见本规范第 4.3.6 条的条文说明。但 $\rho < 800\Omega\text{m}$ 和 $\rho = 800 \sim 3000\Omega\text{m}$ 两种情况是适用于第二类防雷建筑物，根据图 2，对第三类防雷建筑物，仅有 $\rho \leq 3000\Omega\text{m}$ 一种情况，即本条第 1 款。

4.4.7 根据 IEC 62305—3：2010 第 35 页 6.3 规定中的式(4)： $S_{a3} = k_i \cdot k_c \cdot l_x / k_m$ ，按该规定的表 10， $k_i = 0.04$ ，按该规定的表 11， $k_m = 1$ ，分流系数 k_c 见本规范附录 E。将相关数值代入上式，则得本规范式(4.4.7)。

4.4.8 参见本规范第 4.3.9 条的条文说明。对第三类防雷建筑物，由于滚球半径 h_r 规定为 60m（见本规范表 5.2.12），所以将 45m 改为 60m。

4.4.9 国内砖烟囱的高度通常都没有超过 60m。国家标准图也只设计到 60m。60m 以上就采用钢筋混凝土烟囱。对第三类防雷建筑物高于 60m 的部分才考虑防侧击。钢筋混凝土烟囱本身已有相当大的耐雷水平，故在本条文中不提防侧击问题。其他理由见本规范第 4.3.9 条的条文说明。

金属烟囱铁板的截面积完全足以导引最大的雷电流。关于接



闪问题，按本规范第 5.2.7 条的规定，当不需要防金属被雷电击穿时，其厚度不应小于 0.5mm。本条的金属烟囱即属于此类。而实际采用的铁板厚度总是大于 0.5mm，故本条中对金属烟囱铁板的厚度无需再提及。金属烟囱本身的连接（每段与每段的连接）通常采用螺栓，这对于一般烟囱的防雷已足够，即使雷击时有火花发生，不会有任何危险，故对此问题也无需提出要求。

4.5 其他防雷措施

4.5.4 本条说明如下：

1 当无金属外壳或金属保护网罩的用电设备不在接闪器的保护范围内时，其带电体遭雷击的可能性比处在保护范围内的大得多，而带电体遭直接雷击后可能将高电位引入室内。当采用接闪网时，根据接闪网的保护原则，被保护物应处于该网之内，并不高出接闪网。

2 穿钢管和两端连接的目的在于使其起到屏蔽和分流作用。由于配电箱外壳已按电气安全要求与 PE 线相连，PE 线的接地装置与防雷的接地装置是共用或直接连接在一起，该保护管实际上与防雷装置的引下线并联，起到了分流作用。当防雷装置或设备金属外壳遭雷击时，雷电流是从零开始往上升，这时，外壳与带电体之间无电位差，随后有一部分雷电流经钢管、配电箱、PE 线入地，这部分雷电流从零一上升，就有 di/dt 陡度出现，钢管上就有 $L(di/dt)$ 感应电压降， di/dt 对钢管内的电线有互感电压降 $M(di/dt)$ 。由于 $M \approx L$ （由于磁力线交链几乎相同），将对钢管内的线路感应出与其在钢管上所感应出的电压接近的值，即 $L(di/dt) \approx M(di/dt)$ 。因此，可降低线路与钢管之间的电位差。分雷电流流经钢管，钢管有电阻 r ，就有 ir 压降，这也是钢管与管内电线之间的电位差。另参见本规范附录 II（电缆从户外进入户内的屏蔽层截面积），其原理相同。当闪电击中管内引出的带电体时，由于其电位高，将产生击穿放电而使其与钢管短接，钢管也就处于高电位。



3 对节日彩灯,由于白天不使用,它和其他用电设备在不使用期间内,开关均处于断开状态,当防雷装置、设备金属外壳或带电体遭雷击时,开关电源侧的电线、设备与钢管、配电箱、PE线之间可能产生危险的电位差而击穿电气绝缘;另外,当开关断开时,如果 SPD 安装在负荷侧,从户外经总配电箱传来的过电压电涌可能击坏开关(因开关的电源侧无 SPD 保护),故 SPD 应装设在开关的电源侧。由于雷击电流已与防雷装置等分流,流经 SPD 的电流所产生的能量不会很大,而且安装在这里的 SPD 还要与上游安装在分配电箱或总配电箱的 SPD 配合好,故选用 II 级试验的 SPD。由于每栋建筑物的防雷装置和配电线路差别很大,故 I_n 值应根据具体情况确定。

当建筑物为钢筋混凝土建筑物或钢构架建筑物,并利用其所有柱子作为引下线,这时,由于屋顶用电设备的配电线路是穿钢管,钢管两端做了等电位连接,在这种情况下,当雷击在钢管上端所接设备的金属外壳或防雷装置上时,流经钢管的雷电流分流按 $k_{c1}=0.44$ 考虑,但流经钢管的雷电流到配电箱处(通常,配电箱设在顶层地面处),由于配电箱又与地面钢筋及其他管线做了等电位连接,雷电流又再分流,流经 SPD 的分流按 $k_{c2}=(1/n)+0.1$ 考虑。焊接钢管的近似电阻值为: $\phi 15$ 为 $0.22\Omega/100m$, $\phi 20$ 为 $0.18\Omega/100m$, $\phi 25$ 为 $0.12\Omega/100m$, $\phi 32$ 为 $0.1\Omega/100m$, $\phi 40$ 为 $0.08\Omega/100m$, $\phi 50$ 为 $0.055\Omega/100m$, $\phi 70$ 为 $0.04\Omega/100m$ 。

举一个例子说明:钢管为 $\phi 25$ 、长 $20m$,建筑物为第二类防雷建筑物,雷电流为 $150kA$,令 $n=20$ 。设建筑物为框架式钢筋混凝土建筑物,利用所有柱子钢筋作为引下线且柱子钢筋与屋顶钢筋网连接在一起。这时流经钢管的雷电流为 $I_{imp}=k_{c1}\times 150=0.44\times 150=66(kA)$,而流经 SPD 的分流为 $I_{imp}-k_{c2}\times 66=[(1/n)+0.1]\times 66=9.9(kA)$ 。设分配电箱为 3 相 TN S 系统,装设 SPD 时,分流按 5 分支回路考虑(3 根相线、一根 N 线和一根 PE 线),流经每台 SPD 的电流为 $10/350\mu s$,则 $9.9/5\approx 2(kA)=I_{imp}$,通常



它与 $8/20\mu\text{s}I_{\text{max}}$ 电流的换算可按 20 倍考虑，则 $I_{\text{max}} = 2 \times 20 = 40$ (kA)，一般情况下， I_n 为 I_{max} 的 1/2，所以 $I_n = 20\text{kA}$ 。雷电流在钢管上的电压降为 $66 \times (0.12 \times 20) / 100 = 1.584(\text{kV}) = 1584(\text{V})$ 。

4.5.5 据以前调查，当粮、棉及易燃物大量集中的露天堆场设置独立接闪杆后，雷害事故大大减少。

虽然粮、棉及易燃物大量集中的露天堆场不属于建筑物，但本条仍规定“当其年预计雷击次数大于或等于 0.05 时，应采用独立接闪杆或架空接闪线防直击雷”，以策安全。年预计雷击次数大于或等于 0.05 是参照第三类防雷建筑物的规定。根据意见，将原规范的“宜”改为“应”。

考虑到堆场的长、宽、高是设定的，并不一定总是堆满，故其接闪杆、架空接闪线保护范围的滚球半径取比保护第三类防雷建筑物的大，即 $h_r = 100\text{m}$ 。 $h_r = 100\text{m}$ 相应的接闪最小雷电流约为 34.5kA，接近雷电流的平均值。本规范附录 A 在计算建筑物截收相同雷击次数的等效面积 A_e 时是在 $h_r = 100\text{m}$ 的条件下推算的。

此外，考虑到堆场不是总堆到预定的高度和堆放面积的边沿，因此，实际上在许多情况下，堆放物受到保护的滚球半径小于 100m，也就是相应受到保护的最小雷电流比平均值小。

4.5.6 防接触电压和跨步电压的措施是参照 IEC 62305—3：2010 第 37 页 8 的规定制定的。此外，雷击条件下接触电压和跨步电压的安全性不能用 50Hz 交流电的计算式来判断，因它们的机理是不同的。这可从 IEC 以下的两本标准看出来：IEC/TS 60479—1(2005-07), Ed. 4.0, Effects of current on human beings and livestock—Part 1: General aspects; IEC/TR 60479—4 (2004-07), Ed. 1.0, Effects of current on human beings and livestock—Part 4: Effects of lightning strokes on human beings and livestock。

本条第 1 款第 3 项中的 2.7m 是按人垂直向上伸手后人高



2.5m,这是根据 IEC 62305—3 : 2010 第 67 页图 E.100kV 冲击电压
100kV 击穿空气间隙按 0.2m 考虑,故 $2.5+0.2=2.7(m)$ 。

4.5.7 根据 IEC 62305—3 : 2010 第 111 页附录 E 的 E.5.2.4.2.4 而制定。

4.5.8 以前在调查中发现,有的单位将电话线、广播线以及低压架空线等悬挂在独立接闪杆、架空接闪线立杆以及建筑物的防雷引下线上,这样容易造成高电位引入,是非常危险的,故作本条规定。本条是强制性条文。



5 防雷装置

5.1 防雷装置使用的材料

5.1.1 表 5.1.1 是根据 IEC 62305—3：2010 第 28 页的表 5 制定的。

5.1.2 表 5.1.2 是根据 IEC 62305—3：2010 第 33 页的表 8、表 9 和 IEC 62305—4：2010 Ed. 2.0 (Protection against lightning—Part 4: Electrical and electronic systems within structures. 防雷——第 4 部分：建筑物内电气和电子系统) 第 30 页的表 1 制定的，但该表 1 中电涌保护器规定的最小截面积为：I 级试验者 16mm^2 、II 级试验者 6mm^2 、III 级试验者 1mm^2 ，本规范改为 I 级试验者 6mm^2 、II 级试验者 2.5mm^2 、III 级试验者 1.5mm^2 。通常，电涌保护器是安装在箱体内部，不会受到机械损伤，而热效应应符合本章式 (5.1.2) 的规定。IEC 62305—4：2010 表 1 的注 b 指出，在导体满足热效应和不受机械损伤的情况下可采用较小的截面。D1 类 SPD 的 1.2mm^2 截面积是根据 IEC 62305—5/CD (TC81/261/CD:2005—06, Protection against lightning—Part 5: Services. 防雷——第 5 部分：公共服务管线) 文件第 18 页的 c) 项定的。

5.2 接闪器

5.2.1 表 5.2.1 是根据 IEC 62305—3：2010 第 30 页的表 6 及其 2006 年第 1 版标准的表 6 制定的。

5.2.2 本条接闪杆所采用的尺寸沿用习惯采用的数值。按热稳定检验，只要很小的截面就够了。所采用的尺寸主要是考虑机械强度和防腐蚀问题。在同样的风压和长度下，本条采用的钢管所



产生的挠度比圆钢的小。经计算，如果允许挠度采用 $1/50$ ，则各尺寸的允许风压可达表 9 所示的数值。

表 9 接闪杆允许的风压

规 格		风压(kN/m ²)
1m 长接闪杆	φ12 圆钢	2.66
	φ20 钢管	12.32
2m 长接闪杆	φ16 圆钢	0.79
	φ20 钢管	1.54
	φ25 钢管	2.43
	φ40 钢管	5.57

5.2.3 本条是根据美国防雷装置标准 NFPA 780—2004: Standard for the installation of lightning protection systems 的第 A.4.6.2 条和 IEC 62305—3: 2010 第 98 页 E.5.2.4.1 的注而制定的。前者是根据以下文献 C. B. Moore, William Rison, James Mathis, and Graydon Aulich, “Lightning Rod Improvement Studies”, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 39 (2000), May (No. 5), 593~609 制定的; 后者的注是“研究表明, 接闪杆的接闪端做成钝形是有益处的”(Research has shown that it is advantageous for air-termination rods to have a blunt tip)。

5.2.5 截面从不小于 35mm^2 改为不小于 50mm^2 是根据本规范表 5.2.1 的规定制定的。

5.2.6 表 5.2.6 是根据 IEC 62305—3: 2010 第 99 页的表 E.1 制定的。

5.2.7 本条是参照 IEC 62305—3: 2010 第 20 页的 5.2.5 制定的。

已证实, 铁板遭雷击时, 仅当其厚度小于 4mm 时才有可能与闪击通道接触处由于熔化而烧穿。

雷击电流的电荷 $Q = \int idt$, 对直接在闪电雷击点的能量转换 W , 以及对雷电流继续以电弧的形式越过所有绝缘间隙之处的能



量转换 W 起着决定性的作用。例如，接闪杆顶端接闪处的熔化，或者引起飞机铝外壳的熔化，以及保护间隙电极的熔化就是这电荷引起的。

金属体与闪击通道接触处的能量转换过程极为复杂，而且不好准确计算。当这一现象用简化的模型表示时可假定，接触处即电弧根部的能量转换由电荷与发生于微米级范围内的阳极或阴极电压降 $u_{a,c}$ 的乘积产生，即 $W = \int u_{a,c} idt = u_{a,c} \int idt = u_{a,c} \times Q$ ，在所要考虑的雷电流范围内 $u_{a,c}$ 几乎是个常数，其值为数十伏（在以下的计算中取其值为 30V）。考虑全部能量用于加热金属体，这样的计算偏于安全侧，可按下式计算：

$$V = \frac{u_{a,c} \cdot Q}{\gamma} \cdot \frac{1}{c_w(\theta_s - \theta_u) + c_s} \quad (21)$$

式中： V 被熔化金属的体积(m^3)；

$u_{a,c}$ ——阳极或阴极表面的电压降(V)，采用 30V；

Q ——雷电流的电荷(C)；

γ ——被熔化金属的密度(kg/m^3)；

c_w 热容量 [$J/(kg \cdot K)$]；

θ_s 熔化温度($^{\circ}C$)；

θ_u 环境温度($^{\circ}C$)；

c_s 熔化潜热(J/kg)。

几种金属物的相关参数见表 10。

表 10 四种金属物的物理特性参数

参数	金属物体			
	铝	软钢	铜	不锈钢
$\gamma(kg/m^3)$	2700	7700	8920	8000
$\theta_s(^{\circ}C)$	658	1530	1080	1500
$c_s(J/kg)$	397×10^3	272×10^3	209×10^3	—
$c_w[J/(kg \cdot K)]$	908	469	385	500

注：不锈钢为非磁性的奥氏体不锈钢。



将表 10 的相关数值代入式(21)得,雷击每库仑能熔化以下的金属体积:铝, $V/Q \approx 11.6\text{mm}^3/\text{C}$;软钢, $V/Q \approx 4\text{mm}^3/\text{C}$;铜, $V/Q \approx 5.5\text{mm}^3/\text{C}$ 。

在原西德慕尼黑联邦国防军大学的高压实验室,做过分析研究得出,对金属板穿孔起决定性作用的不是短时雷击电荷 Q_0 (见本规范表 F.0.1-1),而是长时间雷击电荷 Q_1 (见本规范表 F.0.1-4)。其研究结果是:当 $Q_1 = 100\text{C}$ (第三类防雷建筑物的雷击参量) 时,对 1.5mm 厚的钢板、黄铜板、铜板以及 2mm 厚的铝板,在各种情况下均穿孔,穿孔的直径约为 4mm~8mm。当 $Q_1 = 200\text{C}$ (第一类防雷建筑物的雷击参量) 时,对 2mm 厚的钢板、黄铜板、铜板以及 2.5mm 厚的铝板,在各种情况下均穿孔,穿孔的直径对钢板、黄铜板、铜板约为 4mm~12mm,对铝板的穿孔直径约为 7mm~13mm(对铝板,约有 25% 的情况,甚至 3mm 也熔化穿孔)。

近年来,经常采用一种夹有非易燃物保温层的双金属板做成的屋面板(彩板)。在这种情况下,只要上层金属板的厚度满足本条第 2 款的要求就可以,因为雷击只会将上层金属板熔化穿孔,不会击到下层金属板,而且上层金属板的熔化物受到下层金属板的阻挡,不会滴落到下层金属板的下方。要强调的是,夹层的物质必须是非易燃物且选用高级别的阻燃类别。

5.2.9 敷设在混凝土内的金属体,由于受到混凝土的保护,不需要采取防腐措施。但金属体从混凝土内向外引出处要适当采取防腐措施。

5.2.10 由于这类共用天线可能改变位置、改型、取消,故作本条规定。

5.2.12 滚球法是以 h_r 为半径的一个球体,沿需要防直击雷的部位滚动,当球体只触及接闪器,包括被利用作为接闪器的金属体,或只触及接闪器和地面包括与大地接触并能承受雷击的金属物,而不触及需要保护的部位时,则该部位就得到接闪器的保护。滚球法确定接闪器保护范围应符合本规范附录 D 的规定。



表 5.2.12 是参考 IEC 62305—3 : 2010 第 18 页 5.2.2 的规定及其表 2,并结合我国具体情况和以往的习惯做法而制定的。

“5.2.2 布置:安装在建筑物上的接闪器,应按照以下方法之一或多种方法组合将其布置在各个角上、各突出点上和各边沿上(特别是各立面的上水平线上)。在确定接闪器的布置位置时所采用的可接受的方法包括保护角法、滚球法、网格法。滚球法适合于所有情况。……网格法适合于保护平的表面。表 2 对每一防雷级别给出这三种方法的相应值。”

上述引文中的“表 2”即下面的表 11。

表 11 与防雷装置级别对应的滚球半径、
网格尺寸和保护角的最小值

防雷装置(LPS) 级别	保护方法		
	滚球半径(m)	网格尺寸 W(m)	保护角
I	20	5×5	见下图(略)
II	30	10×10	
III	45	15×15	
IV	60	20×20	

保护角是以滚球法为基础,以等效面积计算而得,使保护角保护的空間等于滚球法保护的空間;但在具体位置上它们的保护范围有明显的矛盾。为避免以后在应用上的争议,故本规范不采用保护角法。

用防雷网格形导体以给定的网格宽度和给定的引下线间距盖住需要防雷的空间。这种方法也是一种老方法,通常被称为法拉第保护形式。

用许多防雷导体(通常是垂直和水平导体)以下列方法盖住需要防雷的空间,即用一给定半径的球体滚过上述防雷导体时不会触及需要防雷的空间。这种方法通常被称为滚球法。它是基于雷闪数学模型(电气-几何模型),其关系式如下式,引自 IEC 62305 1 : 2010 第 36 页的式(A.1)。



$$h_r = 10 \cdot I^{0.65}$$

(22)

式中： h_r ——雷闪的最后闪络距离（击距），也即本章所规定的滚球半径（m）；

I ——与 h_r 相对应的得到保护的最小雷电流幅值（kA），即比该电流小的雷电流可能击到被保护的空間。

在电气-几何模型中，雷击闪电先导的发展起初是不确定的，直到先导头部电压足以击穿它与地面目标间的间隙时，也即先导与地面目标的距离等于击距时，才受到地面影响而开始定向。

与 h_r 相对应的雷电流按式(22)整理后为 $I = (h_r/10)^{1.54}$ ，以本条表 5.2.12 的 h_r 值代入得：对第一类防雷建筑物（ $h_r = 30\text{m}$ ）， $I = 5.4 \approx 5\text{kA}$ ；对第二类防雷建筑物（ $h_r = 45\text{m}$ ）， $I = 10.1 \approx 10\text{kA}$ ；对第三类防雷建筑物（ $h_r = 60\text{m}$ ）， $I = 15.8 \approx 16\text{kA}$ 。即雷电流小于上述数值时，闪电有可能穿过接闪器击于被保护物上，而等于和大于上述数值时，闪电将击于接闪器。

本规范所提出的接闪器保护范围是以滚球法为基础的，其优点是：

1 除独立接闪杆、接闪线受相应的滚球半径限制其高度外，凡安装在建筑物上的接闪杆、接闪线、接闪带，不管建筑物的高度如何，都可采用滚球法来确定保护范围。如对第二、三类防雷建筑物，除防侧击按本规范第 4.3.9 条和第 4.4.8 条处理外，只要在建筑物屋顶，采用滚球法可以任意组合接闪杆、接闪线、接闪带。例如，首先在屋顶周边敷设一圈接闪带，然后在屋顶中部根据其形状任意组合接闪杆、接闪带，取相应的滚球半径的一个球体在屋顶滚动，只要球体只接触到接闪杆或接闪带而没有接触到要保护的部位，就达到目的。这是以前接闪杆、线确定保护范围的方法（折线法）无法比较的优点。

2 根据不同类别的建筑物选用不同的滚球半径，区别对待。它比以前的折线法只有一种保护范围更合理。

3 对接闪杆、接闪线、接闪带采用同一种保护范围（即同一种



滚球半径)，这给设计工作带来种种方便之处，使两种接闪器形式任意组合成为可能。

本条表 5.2.12 并列两种方法。它们是各自独立的，不管这两种方法所限定的被保护空间可能出现的差别。在同一场合下，可以同时出现两种形式的保护方法。例如，在建筑物屋顶上首先采用接闪网保护方法布置完成后，有一突出物高出接闪网，保护该突出物的方法之一是采用接闪杆，并用滚球法确定其是否处于接闪杆的保护范围内，但此时可以将屋面作为地面看待，因为前面已指出，屋面已用接闪网方法保护了；反之也一样。又如，同前例，屋顶已用接闪网保护，为保护低于建筑物的物体，可用上述接闪网处于四周的导体作为接闪线，用滚球法确定其保护范围是否保护到低处的物体。再如，在矩形平屋面的周边有女儿墙，其上安装有接闪带，在这种情况下屋面上是否需要敷设接闪网？当女儿墙上接闪带距屋面的垂直距离 $S(\text{m})$ 满足下式时，屋面上可不敷设接闪网。

$$S > h_r - [h_r^2 - (d/2)^2]^{1/2} \quad (23)$$

式中： h_r ——按本条表 5.2.12 选用的滚球半径(m)；

d ——女儿墙上接闪带间的距离(沿屋面宽度方向的距离)(m)。

若屋面中央高于女儿墙根部的屋面，则式(23)的 S 为女儿墙上接闪带至屋面中央高处水平面的垂直距离。

5.3 引 下 线

5.3.4 为了减小引下线的电感量，故引下线应沿最短接地路径敷设。

对于建筑外观要求较高的建筑物，引下线可采用暗敷，但截面要加大，这主要是考虑维修困难。

5.3.7 由于引下线在距地面最高为 1.8m 处设断接卡，为便于拆装断接卡以及拆装时不破坏保护设施，故规定“地面上 1.7m”。改性塑料管为耐阳光晒的塑料管。



5.3.8 本条是根据许多实际建筑物的情况而制定的。关于防接触电压和跨步电压的措施见本规范第 4.5.6 条。关于分流系数 k_s 的确定按本规范附录 E。

5.4 接地装置

5.4.1 表 5.4.1 是根据 IEC 62305—3 : 2010 第 31 页的表 7 及其 2006 年第 1 版标准的表 7 制定的。

5.4.2 为便于施工和一致性(埋地导体截面相同),故规定“接地线应与水平接地体的截面相同”。

5.4.3 当接地装置由多根水平或垂直接地体组成时,为了减小相邻接地体的屏蔽作用,接地体的间距一般为 5m,相应的利用系数约为 0.75~0.85。当接地装置的敷设地方受到限制时,上述距离可以根据实际情况适当减小,但一般不小于垂直接地体的长度。

5.4.4 “人工接地体在土壤中的埋设深度不应小于 0.5m,……其距墙或基础不宜小于 1m”是根据 IEC 62305—3 : 2010 第 26 页的 5.4.3 制定的。1m 的距离是考虑便于维修,维修时不会损坏到基础、墙,可以敷设在散水坡之外,通常散水坡的宽度是距墙 0.8m。“并宜敷设在当地冻土层以下”是根据征求的意见而加的。

将人工接地体埋设在混凝土基础内(一般位于底部靠近室外处,混凝土保护层的厚度大于或等于 50mm),因得到混凝土的防腐保护,日后无需维修。但如果将人工接地体直接放在基础坑底与土壤接触,由于受土壤腐蚀,日后无法维修,不推荐采用这种方法。若基础有良好的防水层,可将水平人工接地体敷设在下方的素混凝土垫层内。为使日后维修方便,埋在土壤中的人工接地体距墙或基础不宜小于 1m,以前有的单位按大于或等于 3m 做,无此必要。

5.4.5 根据 IEC 62305—3 : 2010 第 130 页“E. 5.4.3.2 基础接地体”的以下内容而制定:

“还应记住,混凝土内的钢筋产生与铜导体在土壤中产生化学



电池电位的相同数值。这点给钢筋混凝土建筑物设计接地装置提供了一个良好的工程解决方法。……

另外的问题是由于化学电池的电流引发的电气化学腐蚀。混凝土中的钢产生化学电池的电位在电气化学系列中接近于铜在土壤中的数值。所以，当混凝土基础中的钢材与土壤中的钢材连接在一起时，会产生约 1V 的化学电池电压，它将引发腐蚀电流从地中钢材经土壤流到潮湿混凝土内的钢材，而使土壤中的钢材溶解到土壤中产生腐蚀作用。

在土壤中的接地体连接到混凝土基础内的钢材的情况下，土壤中的接地体宜采用铜质、外表面镀铜的钢或不锈钢导体。”

另外，在 IEC 62305—3：2010 第 141 页“E. 5. 6. 2. 2. 2 混凝土中的金属”中指出：“由于钢材在混凝土中的自然电位，在混凝土外面添加的接地体宜采用铜或不锈钢接地体。”

5.4.6 本条说明如下：

1 IEC 的 TC81 (Secretariat) 13/1984 年 1 月的文件 (Progress of WG 4 of TC81, TC81 第 4 工作组的进展报告)，在其附件 (防雷接地体的有效长度) 中提及：“由于电脉冲在地中的速度是有限的，而且由于冲击雷电流的陡度是高的，一接地装置仅有一定的最大延伸长度有效地将冲击电流散流入地”。在该附件的附图中画出两条线，其一是接地体延伸最大值 l_{\max} ，它对应于长波头，即对应于闪击对大地的第一次雷击；另一个是最小值 l_{\min} ，它对应于短波头，即对应于闪击对大地在第一次雷击以后的雷击。将 l_{\max} 和 l_{\min} 这两条线以计算式表示，则可得出： $l_{\max} = 4\sqrt{\rho}$ 和 $l_{\min} = 0.7\sqrt{\rho}$ ，取其平均值，得 $(l_{\max} + l_{\min})/2 = 2.35\sqrt{\rho} \approx 2\sqrt{\rho}$ 。

本款参考以上及其他资料，并考虑便于计算，故规定了“外引长度不应大于有效长度”，即 $2\sqrt{\rho}$ 。

当水平接地体敷设于不同土壤电阻率时，可分段计算。例如，一外引接地体先经 50m 长的 $2000\Omega\text{m}$ 土壤电阻率，以后为



1000Ωm。先按 2000Ωm 算出有效长度为 $2\sqrt{2000}=89.4(\text{m})$ ，减去 50m 后余 39.4m，但它是敷设在 1000Ωm 而不是 2000Ωm 的土壤中，故要按下式换算为 1000Ωm 条件下的长度，即 $l_1 = l_2 \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}$ 。

将以上数值代入，得 $l_1 = 39.4 \sqrt{\frac{1000}{2000}} = 27.9(\text{m})$ 。因此，有效长度为 $50 + 27.9 = 77.9(\text{m})$ ，而不是 89.4m。其他情况类推。

5.4.7 本条是根据本规范第 4.5.6 条的规定而制定。

5.4.8 放热焊接的英语为 exothermic weld。



6 防雷击电磁脉冲

6.1 基本规定

6.1.1 现在许多建筑物工程在建设初期甚至建成后，仍不知其用途，许多是供出租用的。在防雷击电磁脉冲的措施中，建筑物的自然屏蔽物和各种金属物以及其与以后安装的设备之间的等电位连接是很重要的。若建筑物施工完成后，要回过来实现本条所规定的措施是很难的。

这些措施实现后，以后只要合理选用和安装 SPD 以及做符合要求的等电位连接，整个措施就完善了，做起来也较容易。

6.1.2 当电源采用 TN 系统时，建筑物内必须采用 TN-S 系统，这是由于正常的负荷电流只应沿中线 N 流回，不应使有的负荷电流沿 PE 线或与 PE 线有连接的导体流回，否则，这些电流会干扰正常运行的用电设备。本条为强制条文。

6.2 防雷区和防雷击电磁脉冲

6.2.1 将需要保护的空間划分为不同的防雷区，以规定各部分空间不同的雷击脉冲磁场强度的严重程度和指明各区交界处的等电位连接点的位置。

各区以在其交界处的电磁环境有明显改变作为划分不同防雷区的特征。

通常，防雷区的数越高，其电磁场强度越小。

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

将需要保护的空間划分成不同防雷区的一般原则见图 15。

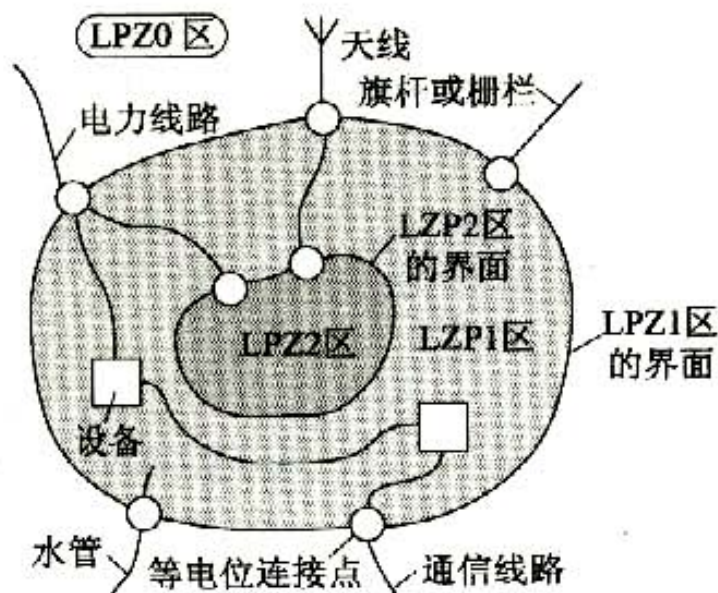


图 15 将一个需要保护的空間划分为不同防雷区的一般原则

6.2.2 图 6.2.2 引自 IEC 62305—4：2010 第 14 页、第 15 页的图 2。

雷击对建筑物内电气系统和电子系统的有害影响简介于下。

侵害源：雷电流及其相应磁场是原始侵害源，磁场的波形与雷电流的相同。涉及保护时，雷击电场的影响通常是次要的。

原始侵害源是 LEMP。根据防雷建筑物的不同类别（第一类、第二类、第三类）按本规范附录 F 的表 F.0.1-1、表 F.0.1-2 和表 F.0.1-3 选取 I_0 。

I_0 正极性首次冲击电流波 $10/350\mu\text{s}$ ， I_0 分别为：200kA、150kA、100kA；负极性首次冲击电流波 $1/200\mu\text{s}$ ， I_0 分别为：100kA、75kA、50kA；负极性首次以后（后续）的冲击电流波 $0.25/100\mu\text{s}$ ， I_0 分别为：50kA、37.5kA、25kA。

H_0 冲击电磁波 $10/350\mu\text{s}$ 、 $1/200\mu\text{s}$ 和 $0.25/100\mu\text{s}$ ，从 I_0 导出。

被害物：安装在建筑物内或其上的建筑物内系统，仅具有有限的耐电涌和耐磁场水平，当其遭受首次雷击作用及其以后（后续）电流的磁场作用下时，可能被损害或错误地运行。安装在建筑物



外并处在暴露位置的系统，由于遭遇的电涌可能达到直接雷击的全电流和没有衰减的磁场，可能遇到的风险较大。安装在建筑物内的系统，由于遭遇的磁场是剩下的衰减磁场和内部的电涌是传导和感应而产生的，以及外部电涌是经引入线路传导而来的，可能遇到的风险较小。

被害物(设备)的耐受水平：

1 220/380V 设备的耐冲击电压水平 U_w 见本规范表 6.4.4，它引自《低压电气装置——第 4—44 部分：安全防护——电压骚扰和电磁骚扰防护》IEC 60364—4—44：2007 第 18 页的表 44. B。

2 电信装置的耐受水平参见 ITU-T 建议标准《电信中心电信设备耐过电压过电流的能力》K. 20：2003 (Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications center to overvoltages and overcurrents) 和《用户电信设备耐过电压过电流的能力》K. 21：2003 (Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents)。

3 一般通用设备的耐受水平在其产品说明书有规定或可做以下试验：

1) 防传导电涌采用 IEC 61000—4—5：2005 Ed. 2.0 《Electromagnetic compatibility(EMC)—Part 4-5: Test and Measurement techniques—Surge immunity test, 电磁兼容(EMC), 第 4—5 部分：试验和测量技术——电涌(冲击)抗扰度试验》标准，耐电压水平的试验 U_{sc} 为 0.5-1-2-4kV(冲击电压波形 1.2/50 μ s) 和耐电流水平的试验 I_{sc} 为 0.25-0.5-1-2kA(冲击电流波形 8/20 μ s)。

有些设备为了满足上述标准的要求，可能在设备内装有 SPD，它们可能影响协调配合的要求。

上述标准的国家标准为《电磁兼容试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验》GB/T 17626.5—1999(等效 IEC 61000 4 5：

2)防磁场(强度)采用 IEC 61000—4—9 : 2001 Ed. 1. 1《Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4—9: Test and Measurement techniques—Pulse magnetic field immunity test, 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》标准, 用以下磁场强度做试验: 100-300-1000 A/m (8/20 μ s 波形)。

上述标准的国家标准为《电磁兼容试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验》GB/T 17626. 8—1998(等效 IEC 61000—4—9 : 1993)。

并采用 IEC 61000—4—10 : 2001 Ed. 1. 1《Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-10: Test and measurement techniques—Damped oscillatory magnetic field immunity test, 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》标准, 用以下磁场强度做试验: 10-30-100 A/m (在 1MHz 频率条件下)。

上述标准的国家标准为《电磁兼容试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验》GB/T 17626. 9—1998(等效 IEC 61000—4—10 : 1993)。

IEC 61000—4—9 和 IEC 61000—4—10 规定试验的波形是阻尼振荡波, 可用于确定设备耐受由首次正极性雷击和后续雷击磁场波头陡度所产生的磁场强度。

6.3 屏蔽、接地和等电位连接的要求

6.3.1 钢筋混凝土建筑物等电位连接的例子见图 16。对一办公建筑物设计防雷区、屏蔽、等电位连接和接地的例子见图 17。

屏蔽是减少电磁干扰的基本措施。

屏蔽层仅一端做等电位连接和另一端悬浮时, 它只能防静电



感应，防不了磁场强度变化所感应的电压。为减小屏蔽芯线的感应电压，在屏蔽层仅一端做等电位连接的情况下，应采用有绝缘隔开的双层屏蔽，外层屏蔽应至少在两端做等电位连接。在这种情况下，外屏蔽层与其他同样做了等电位连接的导体构成环路，感应出一电流，因此产生减低源磁场强度的磁通，从而基本上抵消掉无外屏蔽层时所感应的电压。

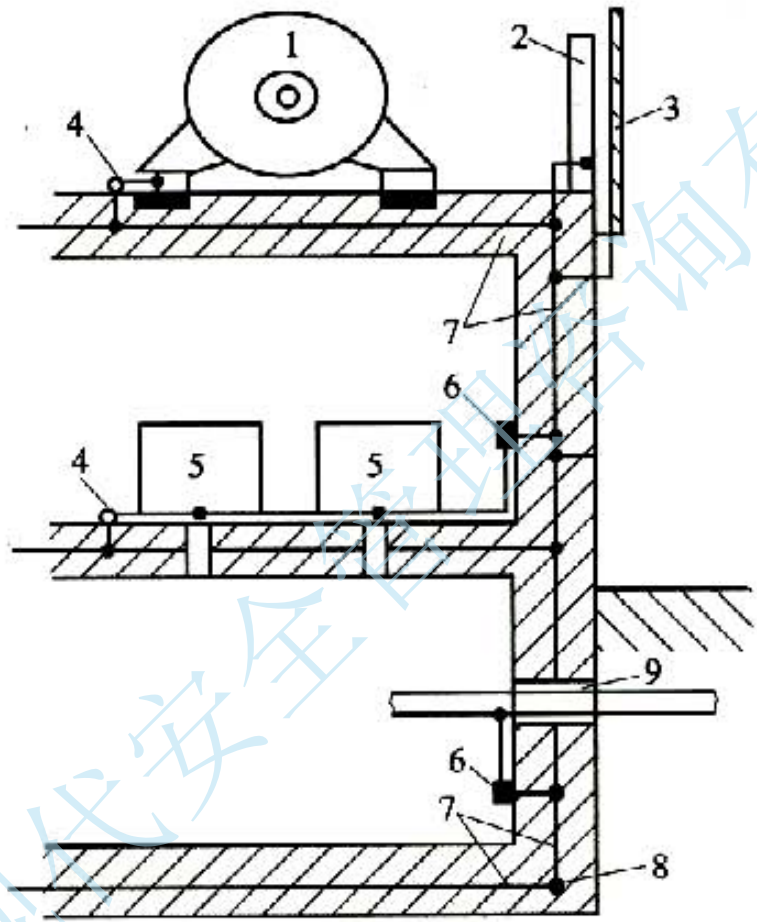


图 16 一钢筋混凝土建筑物内等电位连接的例子

1—电力设备；2—钢支柱；3—立面的金属盖板；

4—等电位连接点；5—电气设备；6—等电位连接带；

7—混凝土内的钢筋；8—基础接地体；9—各种管线的共用入口

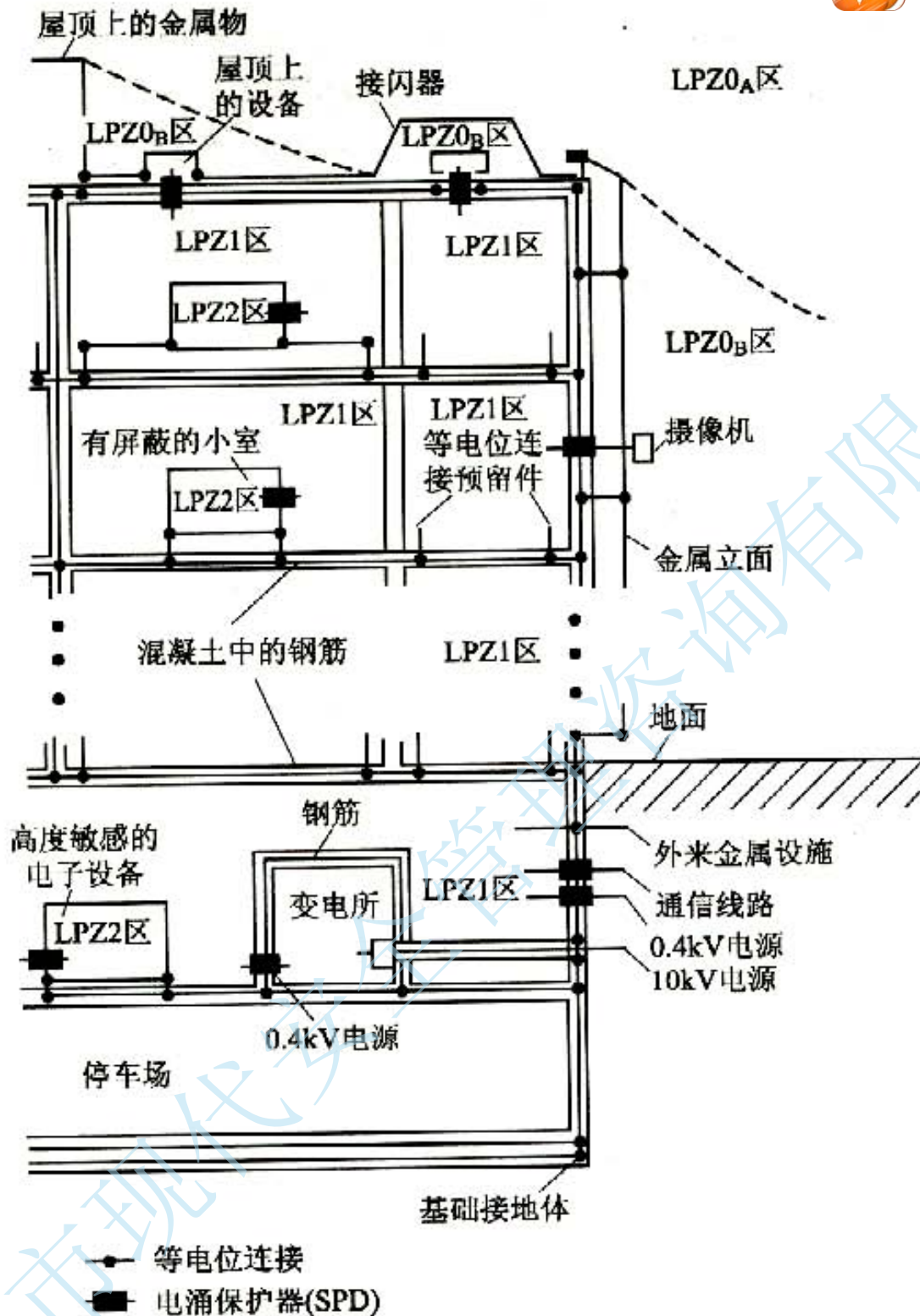


图 17 对一办公建筑物设计防雷区、屏蔽、等电位连接和接地的例子

6.3.2 本条是根据 IEC 62305—4：2010 的附录 A 编写并引入负极性首次雷击电流的参数。形状系数 k_H 中的 $(1/\sqrt{m})$ 为其计量单位。

6.3.3 保留原规范第 6.3.3 条的规定。

6.3.4 本条是根据 IEC 62305—4：2010 第 20~31 页和 IEEE



Std 1100—2005: IEEE Recommended practice for p
grounding electronic equipment 的有关规定编写的。图 6.3.4 是
根据 IEC 62305—4: 2010 第 27 页的图 9 编入的。

6 款中的“当电子系统为 300kHz 以下的模拟线路时,可采用 S 型等电位连接,且所有设施管线和电缆宜从 ERP 处附近进入该电子系统”和 7 款中的“当电子系统为兆赫兹级数字线路时,应采用 M 型等电位连接”是根据 IEEE Std 1100—2005 第 298 页上的以下规定编写的:

“The determination to use the single-point grounding or multipoint grounding typically depends on the frequency range of interest. Analog circuits with signal frequencies up to 300kHz may be candidates for single-point grounding. Digital circuits with frequencies in the MHz range should utilize multipoint grounding”。

7 款中的“……M_m 型连接方式。每台设备的等电位连接线的长度不宜大于 0.5m,并宜设两根等电位连接线安装于设备的对角处,其长度相差宜为 20%”是根据 IEEE Std 1100—2005 第 295 页、第 296 页上的图 8-19、图 8-20 和图 8-21 编写的。例如,一根长 0.5m,另一根长 0.4m。因为现代数字电路频率越来越高,容易产生谐振,其中有一根达到谐振,阻抗无穷大,另一根还是接地的。

当功能性接地线的长度 l 为干扰频率波长的 1/4 或其奇数倍时将产生谐振,这时,接地线的阻抗成为无穷大,它成为一根天线,能接收远磁场的干扰或发射出干扰磁场,见下式和图 18。图 18 中的 λ 为干扰波的波长。

$$l_{\text{resonance}} = cn/4f_{\text{resonance}} \quad (24)$$

式中: $l_{\text{resonance}}$ ——导体产生谐振的长度(m);

n ——任一奇数值(1, 3, 5...);

c ——自由空间的光速(3×10^8 m/s);

$f_{\text{resonance}}$ ——使导体产生谐振的频率(Hz)。

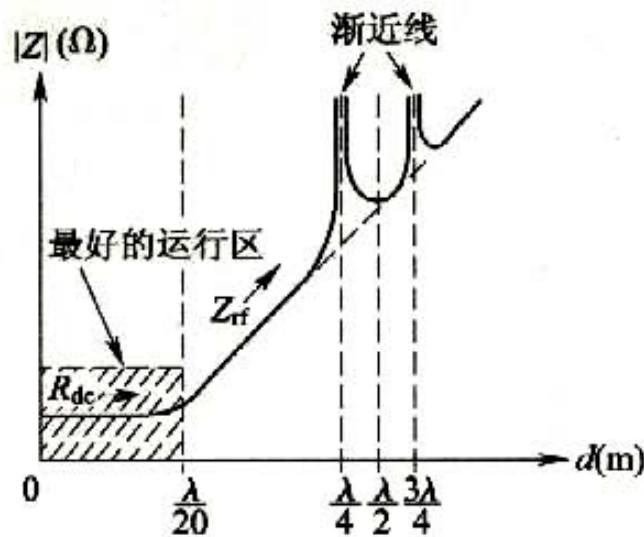


图 18 同一波长下不同接地或等电位连接线长度 d 与其阻抗 $|Z|$ 的关系

图 19 为约 7m 长的 1 根 25mm^2 铜导体产生谐振的例子。其产生谐振的频率接近于 10MHz、30MHz、50MHz ……。

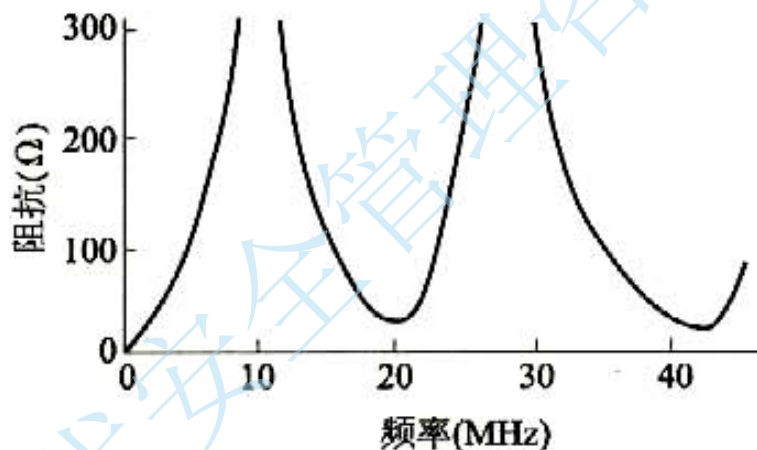


图 19 1 根长约 7m 截面 25mm^2 的铜导体产生谐振的条件

实际上，设计者必须考虑一接地（等电位连接）导体在 $n-1$ 时将产生谐振的最高干扰频率。所以通常最好是按远离加于导体的电气干扰频率的 $1/4$ 波长来选择接地（等电位连接）导体的物理长度 l ，从图 18 可以看出，最好是 $l \leq \lambda/20$ 。但是，现在数字化电子系统的工作频率越来越高，如普通计算机的时钟频率是 100MHz，在此频率下要做到 $l \leq \lambda/20 = 300 / (100 \times 20) = 0.15(\text{m})$ 是很难的。所以推荐每台设备从基准平面引两根接地（等电位连接）导体接于设备底的对角处，两根导体一长一短，相差约 20%，如一根为



0.5m,另一根为0.4m。这样,其中一根产生谐振,即阻抗无穷大,另一根是不会的。

6.4 安装和选择电涌保护器的要求

6.4.2 图 6.4.2 引自 IEC 62305—4 : 2010 第 18 页的图 3b。

6.4.3 图 6.4.3 引自 IEC 62305—4 : 2010 第 19 页的图 3d。

6.4.5~6.4.7 这些条文是根据 IEC 62305—4 : 2010 和 IEC 61643—12 : 2008 Ed. 2.0 [Surge protective devices connected to low-voltage power distribution system—Part 12: Selection and application principles. 低压配电系统的电涌保护器 (SPD)——第 12 部分:选择和使用导则]修改的。

首先要考虑的第一个准则是:安装的 SPD 越靠近引来线路入户处(安装在总配电箱处),建筑物内将被这处 SPD 保护到的设备越多(经济利益)。其次要考虑的第二个准则应是核对:SPD 越靠近需要保护的设备,其保护越有效(技术利益)。设计人员要根据这些条文的规定进行技术经济比较。

IEC 62305—4 : 2010 第 78 页(附录 C.2.1)中有以下的规定:

“在以下条件下建筑物内系统得到保护:

1 它们在能量上与上游的 SPD 配合好。

2 满足下列条件之一:

1)当 SPD 与要保护的的设备之间的电路长度是很小时(典型的情况是 SPD 安装在设备的接线端处): $U_{p/f} \leq U_w$;

2)当电路长度不大于 10m 时(典型的情况是 SPD 安装在分配电箱处或安装在插座处): $U_{p/f} \leq 0.8U_w$;

注:在建筑物内系统发生故障会危及人员或公共服务设施之处,应考虑由于振荡而将电压加倍,要求 $U_{p/f} \leq U_w/2$ 。

3)当电路长度大于 10m 时(典型的情况是 SPD 安装在线路进入建筑物处或在某些情况安装在分配电箱处): $U_{p/f} \leq (U_w - U_i)/2$ 。当建筑物(或房间)有空间屏蔽、有线路屏蔽(采用有屏蔽



的线路或金属线槽)时,在大多数情况下感应电压 U_i 很小,可略去不计。”

闪电击到建筑物上或附近,能在 SPD 与被保护设备之间的电路环路中感应出过电压 U_i ,它加到了 U_{pvt} 上,所以降低了 SPD 的保护效率。当建筑物(或房间)无空间屏蔽、线路无屏蔽时,SPD 与被保护设备之间电路环路的感应电压 U_i 随环路的尺寸增大而加大,该环路的大小取决于线路路径、电路长度、带电体与 PE 线之间的距离、电力线与信号线之间的环路面积等。 U_i 的计算见本规范附录 G。

《低压配电系统的电涌保护器——第 12 部分:选择和使用导则》IEC 61643—12:2008 第 43 页、第 44 页 6.1.2 的规定和说明:

“6.1.2 振荡现象对保护距离(某些国家叫分开距离)的影响:当用 SPD 保护特定设备或当位于总配电箱处的 SPD 不能对一些设备提供足够保护时,SPD 应安装在尽可能靠近需要保护的设备处。如果 SPD 与被保护设备之间的距离过大时,振荡通常能导致设备端子上的电压升高到 2 倍 U_p ,在某些情况下甚至可能还超过这一电压水平。虽然安装了 SPD,这一电压可能损坏被保护的设备。可接受的距离(称为保护距离)取决于 SPD 的形式、系统的形式、所进来电涌的陡度和波形以及所连接的负荷。特别仅在以下情况下才可能将电压加倍:设备是一高阻抗负荷或设备在内部被断开。通常,对小于 10m 的距离可不管振荡现象。有时,设备设有内部保护元件(如压敏电阻),这甚至在更长的距离下也将显著减小振荡现象。”

IEC 61643—12:2008 第 136 页、第 137 页附录 M:

“附录 M 设备的抗扰度和耐绝缘强度:IEC 61000—4—5 是一试验标准,其试验在于确定电子设备和系统对电压和电流电涌的抗扰度。被试验的设备或系统被看作是一黑盒子,由以下标准判定试验的结果:1)运行正常;2)不需要维修的功能暂时受到破坏



或运行暂时降级；3)需要维修的功能暂时受到破坏或暂时降级；4)功能受到破坏，具有对设备的永久损坏(这意味试验失败)。

虽然，IEC 61000—4—5 的试验在于考察比较低的电流电涌对电子设备和系统的可能效应的全范围，但是，还有其他有关的试验标准，它们不是这样多地涉及功能的暂时破坏，而是更多地涉及设备的实际损坏或毁坏。IEC 60664—1 标准涉及的是低压系统内设备的绝缘配合，而 IEC 61643—1 标准涉及的是连接到低压配电系统上 SPD 的试验标准。此外，这两个标准还涉及暂时过电压对设备的效应。而 IEC 61000—4—5 及 IEC 61000 系列标准中的其他标准不考虑暂时过电压对设备或系统的效应。

永久损坏是难以被接受的，因为它造成系统停止工作和要花维修或替换的费用。这类损坏通常是由于不合适的保护或无电涌保护造成的，这类保护允许能引起运行中断、元器件损坏、永久破坏绝缘或者引发火灾、烟气或电击的高电压和高电涌电流进入设备的电路系统。但不希望设备或系统经受任何的功能破坏或降级，特别是对那些特别重要的设备或系统，并且对在电涌活动期间必须维持运行的设备或系统更是如此。

对 IEC 61000—4—5 的试验，所加的试验电压水平值及其结果的电涌电流将对设备产生效应。简而言之，如果设备没有设计提供一个合适的电涌抗扰度，则电涌电压越高，功能受到的破坏或降级的可能性越高。

对用于低压配电系统的 SPD 做试验，IEC 61643—1 的Ⅲ级试验等级规定采用有设定内阻抗 2Ω 的混合波发生器，它在短路时产生 $8/20\mu\text{s}$ 电流波形，而在开路时产生 $1.2/50\mu\text{s}$ 电压波形。IEC 61000—4—5 标准对供了电的设备和系统做电涌抗扰度试验时采用同样的混合波发生器，但有不同的耦合元件，有时还加入一串联阻抗。IEC 61000—4—5 标准的试验电压水平，其意义与 IEC 61643—1 标准的开路峰值电压 U_{oc} 是相同的。这一电压确定发生器接线端的短路峰值电流。由于试验方法不同，试验结果不



可直接比较。

设备或系统的电涌抗扰度或由内置保护元件或 SPD 或外置 SPD 实现。对 SPD 最重要的选择标准之一是电压保护水平 U_p ，规定和描述于 IEC 61643—1 标准中。这一参数应等同于 IEC 60664—1 标准规定的设备耐压水平 U_w ，并且它是在做试验的特定条件下预期在 SPD 接线端上产生的最大电压。 U_p 仅用于在 IEC 61643—12 标准中对设备的耐压水平相一致。电压保护水平值在可比应力上还应低于设备按 IEC 61000—4—5 标准试验后在这一可比应力上的电压抗扰度水平，但这一点在现在还无规定，特别是因为这两个标准之间的波形总是不可比的。

通常，按 IEC 61000—4—5 标准确定的电涌抗扰度水平是低于按 IEC 60664—1 标准确定的绝缘耐压水平的。”



附录 A 建筑物年预计雷击次数

A.0.1 校正系数 k 的取值是在原 k 值的基础上参考 IEC 62305—2:2010 第 39 页的表 A.1 编写的,该表见表 12:

表 12 位置系数 C_d

相关位置	C_d
建筑物被比它高的物体或树木所环绕	0.25
建筑物被等高或比它低的物体或树木所环绕	0.5
孤立建筑物,附近无其他物体	1
在山顶上或小山上的孤立建筑物	2

A.0.2 式(A.0.2)引自 IEC 62305—2:2010 第 34 页附录 A 中的式(A.1)。

A.0.3 建筑物等效面积 A_e 的计算方法基于以下原则:

1 建筑物高度在 100m 以下按滚球半径(即吸引半径 100m)考虑。按本规范式(6.3.2-2),其相对应的最小雷电流约为 $I = (100/10)^{1.54} = 34.7(\text{kA})$,接近于按计算式 $\lg P = -(I/108)$ 以积累次数 $P = 50\%$ 代入得出的雷电流 $I = 32.5\text{kA}$ 。在此基础上导出计算式(A.0.3.2),其扩大宽度 D 等于 $\sqrt{H(200-H)}$ 。该值相当于接闪杆杆高在地面上的保护宽度(当滚球半径为 100m 时)。扩大宽度将随建筑物高度加高而减小,直至 100m 时则等于建筑物的高度。如 $H = 5\text{m}$ 时,扩大宽度为 $\sqrt{5(200-5)} = 31.2(\text{m})$,它约为 H 的 6 倍;当 $H = 10\text{m}$ 时,扩大宽度为 $\sqrt{10(200-10)} = 43.6(\text{m})$,约为 H 的 4.4 倍;当 $H = 20\text{m}$ 时,扩大宽度为 $\sqrt{20(200-20)} = 60(\text{m})$,为 H 的 3 倍;当 $H = 40\text{m}$ 时,扩大宽度为 $\sqrt{40(200-40)} = 80(\text{m})$,为 H 的 2 倍;当 $H = 80\text{m}$ 时,扩大宽



度为 $\sqrt{80(200-80)}=98.0(\text{m})$ ，约为 H 的 1.2 倍。

2 建筑物高度超过 100m 时，如按吸引半径 100m 考虑，则不论高度如何扩大宽度总是 100m，有其不合理之处。所以当高度超过 100m 时，取扩大宽度等于建筑物的高度，则导出计算式(A.0.3-5)。

关于周围建筑物对建筑物等效面积 A_e 的影响，由于周围建筑物的高低、远近都不同，准确计算很复杂。现根据 IEC 62305—2：2010 第 39 页的表 A.1 的位置系数 C_d 值，仅考虑对扩大宽度的影响，而不考虑对建筑物本身在平面上的投影面积的影响，因为这个面积大小差别很大，都乘以同一系数，不合理。按此原则，制定出第 2、3、5、6 款的规定。

第 7 款：“应沿建筑物周边逐点算出最大扩大宽度”，该点既包括周边某点也包括此点断面上的较高点，这较高点扩大宽度的起点是该较高点在平面上的投影点，这些点画出的扩大宽度，哪一点在最外，这一点就是最大扩大宽度。



附录 C 接地装置冲击接地电阻与工频接地电阻的换算

C.0.1 式(C.0.1)中的 Λ 值,实际上是冲击系数 α 的倒数。在原始规范的编制过程中,曾以表 13 作为基础,经研究提出表 14 作为原始规范的附录,供冲击接地电阻与工频接地电阻的换算。但由于存在不足之处,即对于范围延伸大的接地体如何处理,提不出一种有效合理的方法,后来取消了该附录。

表 13 接地装置冲击接地电阻与工频接地电阻换算表

本规范要求的冲击接地电阻值(Ω)	在以下土壤电阻率(Ωm)下的工频接地电阻允许极限值(Ω)			
	$\rho \leq 100$	100~500	500~1000	> 1000
5	5	5~7.5	7.5~10	15
10	10	10~15	15~20	30
20	20	20~30	30~40	60
30	30	30~45	45~60	90
40	40	40~60	60~80	120
50	50	50~75	75~100	150

表 14 接地装置工频接地电阻与冲击接地电阻的比值

土壤电阻率 $\rho(\Omega\text{m})$	≤ 100	500	1000	≥ 2000
工频接地电阻与冲击接地电阻的比值 R_{ω}/R_i	1.0	1.5	2.0	3.0

- 注:1 本表适用于引下线接地点至接地体最远端不大于 20m 的情况;
2 如土壤电阻率在表列两个数值之间时,用插入法求得相应的比值。



本条是在表 14 的基础上，引入接地体的有效长度，并参考图 20 提出图 C.0.1 的。

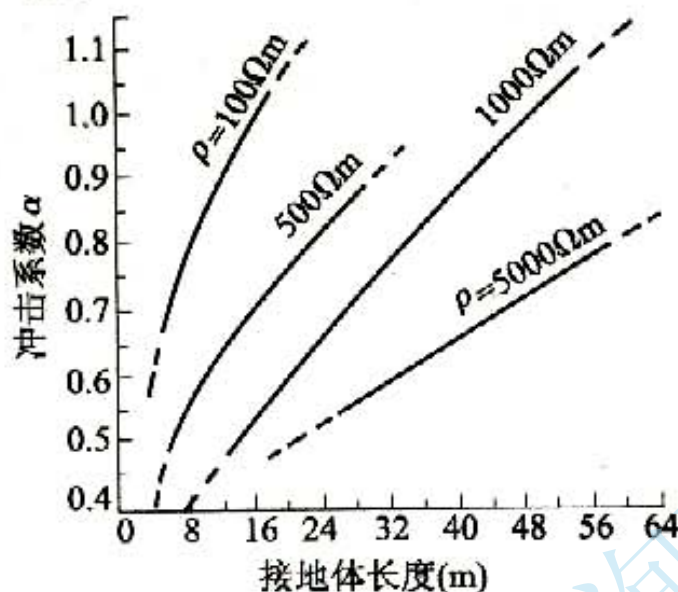


图 20 在 20kA 雷电流条件下水平接地体(20mm~40mm 宽扁钢或直径 10mm~20mm 圆钢)的冲击系数

对图 C.0.1 的两点说明：

1 当接地体达有效长度时， $A=1$ （即冲击系数等于 1）；因再长就不合理， $\alpha > 1$ 。

2 从图 20 可看出，当 $\rho=500\Omega\text{m}$ 时， $\alpha=0.67$ （即 $A=1.5$ ），相对应的接地体长度为 13.5m，其 $l_e=2\sqrt{\rho}=44.7\text{m}$ 。所以 $l/l_e=13.5/44.7=0.3$ 。

从图 20 可看出， α 值几乎随长度的增加而线性增大。所以其 A 值在 l/l_e 为 0.3 与 1 之间的变化从 1.5 下降到 1 也采用线性变化。 $\rho=1000\Omega\text{m}$ 和 $2000\Omega\text{m}$ 时， A 值曲线的取得与上述方法相同。当 $\rho=1000\Omega\text{m}$ 、 $\alpha=0.5$ 即 $A=2$ 时 l 的长度为 13m， $l_e=2\sqrt{1000}=63(\text{m})$ ，所以， $l/l_e=13/63=0.2$ 。当 $\rho=2000\Omega\text{m}$ 、 $\alpha=0.33$ 即 $A=3$ 时，从图 20 估计出 l 值约为 8m， $l_e=2\sqrt{2000}=89(\text{m})$ ，所以 $l/l_e=8/89=0.1$ 。

C.0.2 有关接地体的有效长度另参见本规范第 5.4.6 条的条文说明。



C.0.4 混凝土在土壤中的电阻率取 $100\Omega\text{m}$ ，接地体在混凝土中的有效长度为 $2\sqrt{\rho}=20\text{m}$ 。所以对基础接地体取 20m 半球体范围内的钢筋体的工频接地电阻等于冲击接地电阻。

深圳市现代安全管理咨询有限公司



附录 D 滚球法确定接闪器的保护范围

本附录是根据本规范第 5.2.12 条的规定，采用滚球法并根据立体几何和平面几何的原理，再用图解法并列计算出计算式解算而得出的。

两支接闪杆之间的保护范围是按两个滚球在地面上从两侧滚向接闪杆，并与其接触后两球体的相交线而得出的。

绘制接闪器的保护范围时，将已知的数值代入计算式得出有关的数值后，用一把尺子和一支圆规就可按比例绘出所需要的保护范围。

图 D.0.5(a) (即 $2h_r > h > h_r$ 时) 仅适用于保护范围最高点 to 接闪线之间的延长弧线 (h_r 为半径的保护范围延长弧线) 不触及其他物体的情况，不适用于接闪线设于建筑物外墙上方的屋檐、女儿墙上。

图 D.0.5(b) (即当 $h \leq h_r$ 时) 不适用于接闪线设在低于屋面的外墙上。

本附录各计算式的推导见《建筑电气》1993 年第 3 期“用滚球法确定建筑物接闪器的保护范围”一文。



附录 E 分流系数 k_c

本附录主要根据 IEC 62305—3 : 2010 第 36 页表 12、第 46 页图 C.1(即本附录图 E.0.4)、第 47 页图 C.2 和第 50 页图 C.4 修订的。其第 36 页表 12 见表 15。

表 15 分流系数 k_c 的近似值

引下线根数 n	k_c
1	1
2	0.66
≥ 3	0.44

注：本表适用于所有 B 型接地装置，以及当邻近的接地体的接地电阻值差别不大于 2 时也适用于所有 A 型接地装置。如果每一单独接地体的接地电阻值差别大于 2 时采用 $k_c = 1$ 。

原文见下表：Isolation of external LPS—Approximated values of coefficient k_c

Number of down-conductors n	k_c
1	1
2	0.66
3 and more	0.44

NOTE Value of Table 12 applies for all type B earthing arrangements and for type A earthing arrangements, provided that the earth resistance of neighbouring earth electrode do not differ by more than of 2. If the earth resistance of single earth electrodes differ by more than of 2, $k_c = 1$ is to be assumed.

在 IEC 62305—3 : 2010 第 41 页图 C.2 的注 2 和第 50 页图 C.4 的注均为：If internal down-conductors exist, they should be taken into account in the number n 。译文：如果建筑物内存在有引下线时，宜将其计入 n 值中。

附录 F 雷 电 流

对平原和低建筑物典型的向下闪击，其可能的四种组合见图 21。

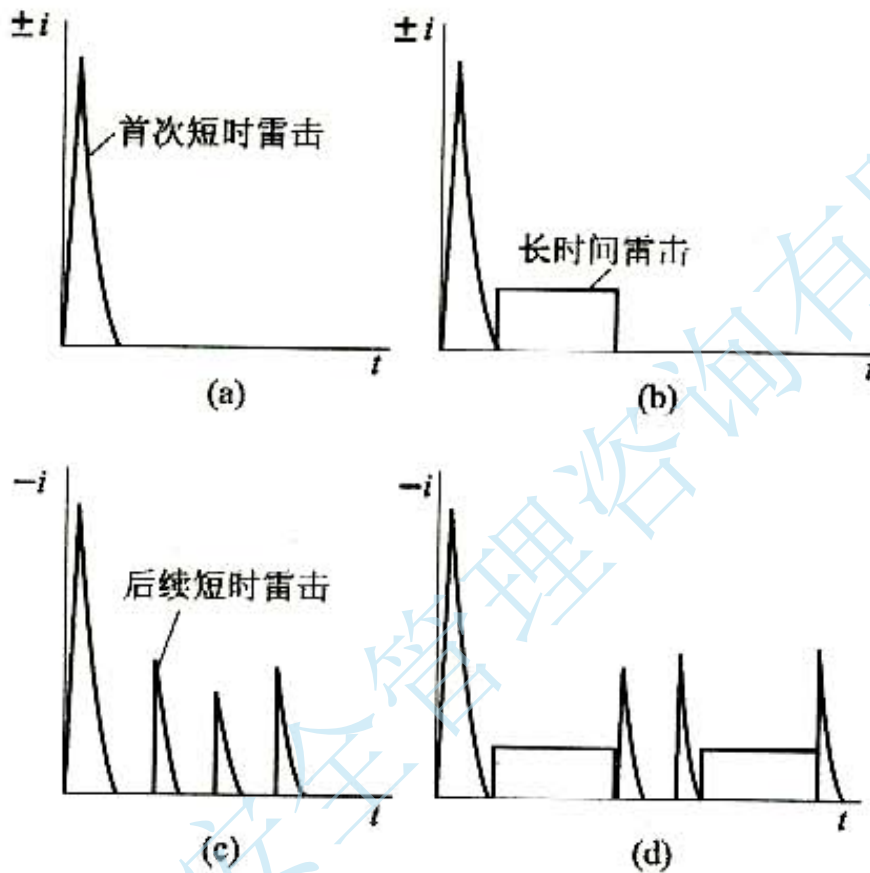


图 21 向下闪击可能的雷击组合

对约高于 100m 的高层建筑物典型的向上闪击，其可能的五种组合见图 22。

从图 21 和图 22 可分析出图 F.0.1-1。

图 F.0.1-2 的注引自 IEC 62305—1 : 2010，注 1 引自其第 9 页的 3.11，注 2、注 3、注 4 引自其第 9 页、第 10 页的 3.12、3.13、3.14。

增加的“表 F.0.1-2 首次负极性雷击的雷电流参量”是根据 IEC 62305—1 : 2010 第 22 页的表 3 制定的。

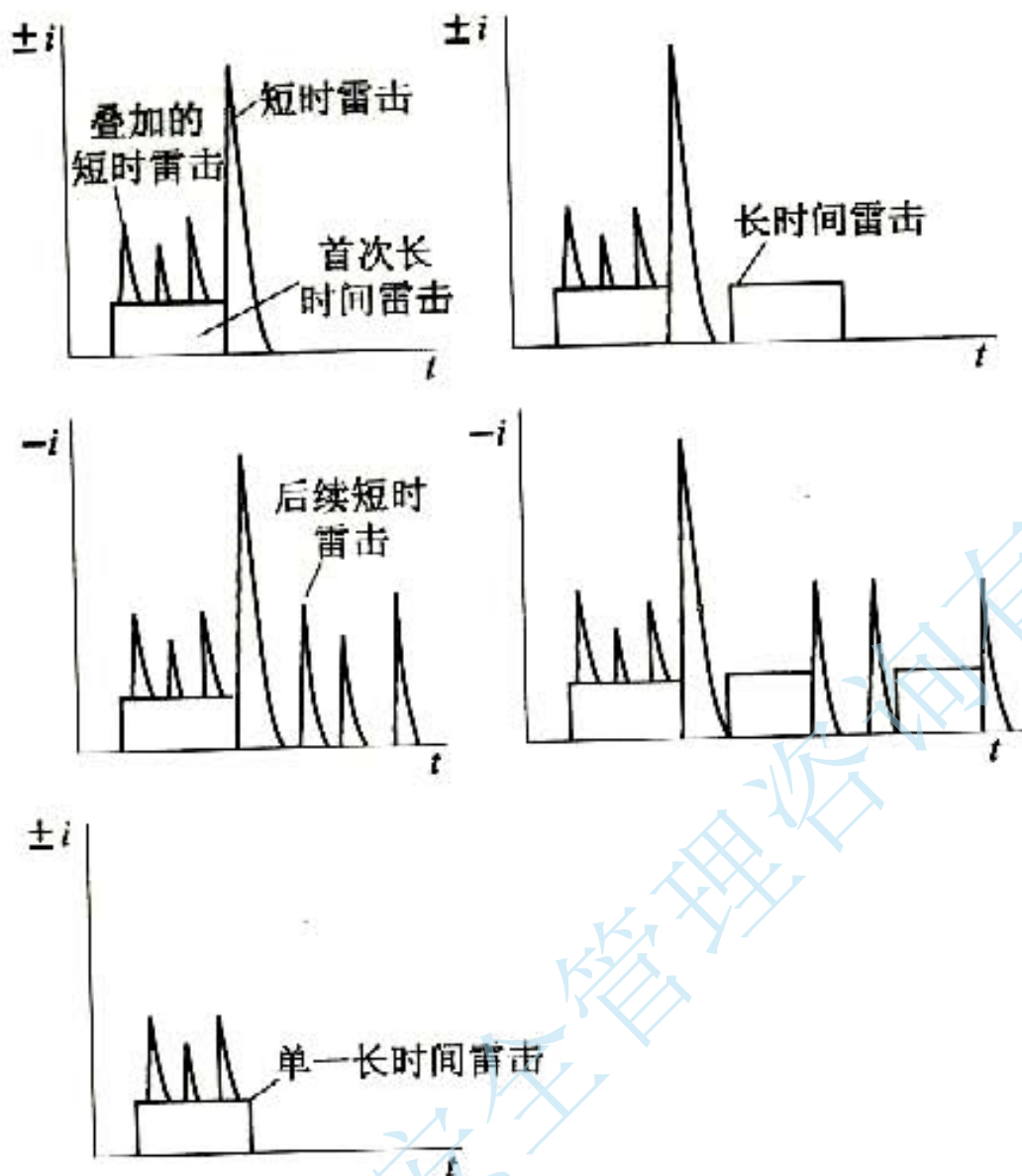


图 22 向上闪击可能的雷击组合



附录 G 环路中感应电压和电流的计算

G.0.1 本条主要是根据 IEC 62305—4 : 2010 第 58 页 A. 5. 3 (Situation inside LPZ1 in the case of a nearby lightning strike) 制定的。式(G.0.1-3)引自其第 57 页上的式(A.26)。

G.0.2 本条主要是根据 IEC 62305—4 : 2010 第 56 页 A. 5. 2 (Situation inside LPZ1 in the case of a direct lightning strike) 制定的。

G.0.3 本条主要是根据 IEC 62305—4 : 2010 第 59 页 A. 5. 4 (Situation inside LPZ2 and higher) 制定的。



附录 H 电缆从户外进入户内的屏蔽层截面积

本附录是根据 IEC 62305—3：2010 第 45 页附录 B 制定的。
表 H.0.1.2 和表 H.0.1-3 引自 IEC 62305—2：2006 第 1 版第
128 页的表 D.3 和表 D.4。

深圳市现代安全管理咨询有限公司



附录 J 电涌保护器

J.1 用于电气系统的电涌保护器

J.1.1 表 J.1.1 是根据 GB 16895.22—2004/IEC 60364—5—53 : 2001A1 : 2002 (建筑物电气装置,第 5-53 部分:电气设备的选择和安装,隔离、开关和控制设备,第 534 节:过电压保护电器. Electrical installations of buildings—Part 5-53: Selection and erection of equipment—Isolation, switching and control—Section 534: Devices for protection against overvoltages) 第 3 页的表 53C 制定的。表中系数 1.15 中的 0.1 考虑系统的电压偏差, 0.05 考虑 SPD 的老化。

J.1.2 表 J.1.2 是根据 GB 16895.22—2004 第 2 页的表 53B 制定的。图 J.1.2-1~图 J.1.2-5 是根据 GB 16895.22—2004 附录 A、附录 B、附录 C 和附录 D 制定的,但图 J.1.2-2 根据 IEC 61643—12 : 2008 第 120 页的图 K.2 和 121 页的图 K.3 删去了 4a(SPD)后面(右侧)的 F2 设备。

在此,介绍 SPD 的后备保护问题。以下资料来自 IEC 61643—12 : 2008 第 150 页附录 P 的 P.2 节熔丝耐受一次 8/20 μ s 和 10/350 μ s 电流的能力(断路器实际耐受相应的能力还取决于器件的型号,无可参考的统一资料)。

知道电涌电流的峰值 I_{crest} 及其波形可以用以下公式估算出电涌电流的 I^2t 值:

$$\text{对 } 10/350\mu\text{s 波形: } I^2t = 256.3 \times (I_{crest})^2 \quad (25)$$

$$\text{对 } 8/20\mu\text{s 波形: } I^2t = 14.01 \times (I_{crest})^2 \quad (26)$$

式中: I_{crest} ——电涌电流峰值(kA);

I^2t ——单位为 $\Lambda^2 \cdot \text{s}$ 。



举例如下：

为能耐受一次 9kA 、 $8/20\mu\text{s}$ 电涌电流，后备熔丝的最小预燃弧值必须大于 $I^2t=14.01\times 9^2=1134.8(\text{A}^2\cdot\text{s})$ (gG 型号 32A 圆柱形熔丝的典型预燃弧值是 $1300\text{A}^2\text{s}$)。

为能耐受一次 5kA 、 $10/350\mu\text{s}$ 电涌电流，后备熔丝的最小预燃弧值必须大于 $I^2t=256.3\times 5^2=6407.5(\text{A}^2\cdot\text{s})$ (gG 型号 63A、NH 型熔丝的典型预燃弧值是 $6500\text{A}^2\text{s}$)。

J.2 用于电子系统的电涌保护器

J.2.1 表 J.2.1 是根据 IEC 61643—21 Ed. 1.1:2009 [Low-voltage surge protective devices Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signaling networks—Performance requirements and testing methods, 低压电涌保护器, 第 21 部分: 电信和信号网络的电涌保护器 (SPD)—性能要求和试验方法] 第 27 页的“表 3 冲击限制电压试验用的电压波形和电流波形”制定的。

J.2.3 图 J.2.3-1 是根据 IEC 61643—22:2004 的 7.3.1.4 的图 5 制定的。而图 J.2.3-2 是根据 IEC 61643—22:2004 的 7.3.2.2 的图 8 制定的。