

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

### 修订说明

《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010，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 录

1 总 则	1
2 术 语	1
3 建筑物的防雷分类	1
4 建筑物的防雷措施	5
4.1 基本规定	5
4.2 第一类防雷建筑物的防雷措施	6
4.3 第二类防雷建筑物的防雷措施	17
4.4 第三类防雷建筑物的防雷措施	28
4.5 其他防雷措施	29
5 防雷装置	30
5.1 防雷装置使用的材料	30
5.2 接 闪 器	30
5.3 引 下 线	34
5.4 接地装置	34
6 防雷击电磁脉冲	35
6.1 基本规定	35
6.2 防雷区和防雷击电磁脉冲	35
6.3 屏蔽、接地和等电位连接的要求	37
6.4 安装和选择电涌保护器的要求	39
附录 A 建筑物年预计雷击次数	41
附录 C 接地装置冲击接地电阻与工频接地电阻的换算	42
附录 D 滚球法确定接闪器的保护范围	43
附录 E 分流系数 $k_c$	43
附录 F 雷 电 流	44
附录 G 环路中感应电压和电流的计算	45
附录 H 电缆从户外进入户内的屏蔽层截面积	45
附录 J 电涌保护器	46
J.1 用于电气系统的电涌保护器	46
J.2 用于电子系统的电涌保护器	47

# 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。

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—Part2: 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身伤亡，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)减至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  $NPt \leq 1$  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， $P_{fd}=P_r$

;

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,  $P_f$  用  $(1 - E_i)$  代入,  $P_{fd}$  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。

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

$\eta$  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  $R_T = 10^{-5} a^{-1}$  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  $E_i$  和  $E_s$  值

第三类防雷建筑物所装设的防雷装置	$E_i$	$E_s$	$\eta = E_i E_s$
	0.84	0.97	0.81

注: 1  $E_i$  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  $E_s$  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, 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	$0.2 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-2}$
公共建筑物	重大危险(引起惊慌、重大损失)	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$

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  $\eta$  值为 0.81, 从表 2 查得, 公共建筑物的  $N_T$  值为  $1 \times 10^{-2}$ 。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  $\eta$  值为 0.81。从表 2 查得, 一般建筑物的  $N_T$  值为  $5 \times 10^{-2}$ 。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  $1 \times 10^{-2}$ 。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  $5 \times 10^{-2}$ 。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  $N = k N_g A_e = k \times 0.024 T_d^{1.3} \times A_e$ , 修改后, 本规范的建筑物年预计雷击次数计算式为  $N = k N_g A_e = k \times 0.1 T_d \times A_e$ 。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：

$$S_{a1} = IR_i/E_R + (L_0 \cdot h_x \cdot di/dt)/E_L \quad (9)$$

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 ( $\Omega$ )；

$di/dt$ ——雷电流陡度 ( $\text{kA}/\mu\text{s}$ )；

$I$ ——雷电流幅值 (kA)；

$L_0$ ——引下线的单位长度电感 ( $\mu\text{H}/\text{m}$ )，取  $1.5 \mu\text{H}/\text{m}$ ；

$E_R$ ——电阻电压降的空气击穿强度 ( $\text{kV}/\text{m}$ )，取  $500 \text{kV}/\text{m}$ ；

$E_L$ ——电感电压降的空气击穿强度 ( $\text{kV}/\text{m}$ )。

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  $E_L = 600 \times (1 + 1/T_1)$  ( $\text{kV}/\text{m}$ )，它是根据作者 K. Ragaller 的书

《Surges in high-voltage networks》(1980, Plenum Press, NewYork)。因此, 根据表 F. 0. 1-1, 当  $T_1=10 \mu s$  时,  $E_i=600 \times (1+1/10) =660 (KV/m)$ ; 根据表 F. 0. 1-3, 当  $T_1=0.25 \mu s$ ,  $E_i$

$=600 \times (1+1/0.25) = 3000 \text{ (KV/m)}$ 。

将表 F. 0. 1-1 的有关参量和上述有关数值代入式(9)，其中

$di/dt = 200/10 = 20 \text{ (kA/}\mu\text{s)}$ ，得  $S_{a1} = 200R_i/500 + (1.5 \times h_x \times 20)/660 = 0.4R_i + 0.0455h_x$ ，考虑计算简化，取作  $S_{a1} \geq 0.4R_i + 0.04h_x$ 。因此，

$$S_{a1} \geq 0.4(R_i + 0.1h_x) \quad (10)$$

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  $200\text{kV/m} \sim 1000\text{kV/m}$ ，其平均值为  $600\text{kV/m}$ ，取与空气击穿强度一样的数值，即  $500\text{kV/m}$ 。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 50m~150m、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%~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  $50\text{mm}^2$ 、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。

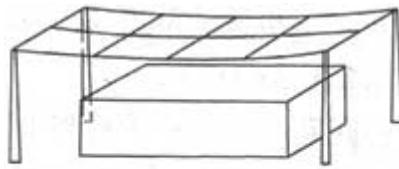


图 1 架空接闪网的例子

8 一般情况下,规定冲击接地电阻不宜大于  $10\Omega$  是适宜的,但在高土壤电阻率地区,要求低于  $10\Omega$ ,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。3012 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  $100\text{mm}$  的平行长金属物,每隔不大于  $30\text{m}$  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  $100\text{mm}$  时,就不会发生危险。交叉管道也做同样处理。

两根间距  $300\text{mm}$  的平行管道,与引下线平行敷设,距引下线  $3\text{m}$  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( $\text{m}$ ),取  $30\text{m}$  计算;

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

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

$E_L$ ——电感电压的空气击穿强度( $\text{kV}/\text{m}$ ),与本章第 4.2.1 条第 5 款说明相同,取  $3000\text{kV}/\text{m}$  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  $300\text{mm}$  的情况下,所感应的电压仅可能击穿  $0.038\text{m}$  的空气间隙。若间距减小到  $100\text{mm}$ ,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  $0.03\Omega$  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( $\Omega$ )
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( $\Omega$ )	
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 $10\Omega$ ,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<sup>①</sup>

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 <sup>④</sup>	闪电击于 建筑物 <sup>④</sup>
	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 $\mu$ s 波形(kA)	8/20 $\mu$ s 波形(kA)	8/20 $\mu$ s 波形(kA)	8/20 $\mu$ s 波形(kA)
	低压系统			
第三类	5 <sup>②</sup>	2.5 <sup>③</sup>	0.1 <sup>⑤</sup>	5 <sup>⑤</sup>
第二类	7.5 <sup>②</sup>	3.75 <sup>③</sup>	0.15 <sup>⑤</sup>	7.5 <sup>⑤</sup>
第一类	10 <sup>②</sup>	5 <sup>③</sup>	0.2 <sup>⑤</sup>	10 <sup>⑤</sup>
电信系统 <sup>⑦</sup>				
第三类	1 <sup>⑥</sup>	0.035 <sup>③</sup>	0.1	5
第二类	1.5 <sup>⑥</sup>	0.085 <sup>③</sup>	0.15	7.5
第一类	2 <sup>⑥</sup>	0.160 <sup>③</sup>	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通过电流的值。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 50m<sup>2</sup>, 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 $\mu$ s 波形。在被感应电路中安装开关型 SPD 就是这类情况;

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  $\rho$  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  $l_r$ (水平)为  $l_r = l_1 - r$  或其长度

$l_v$ (垂直)为  $l_v = \frac{l_1 - r}{2}$ 。



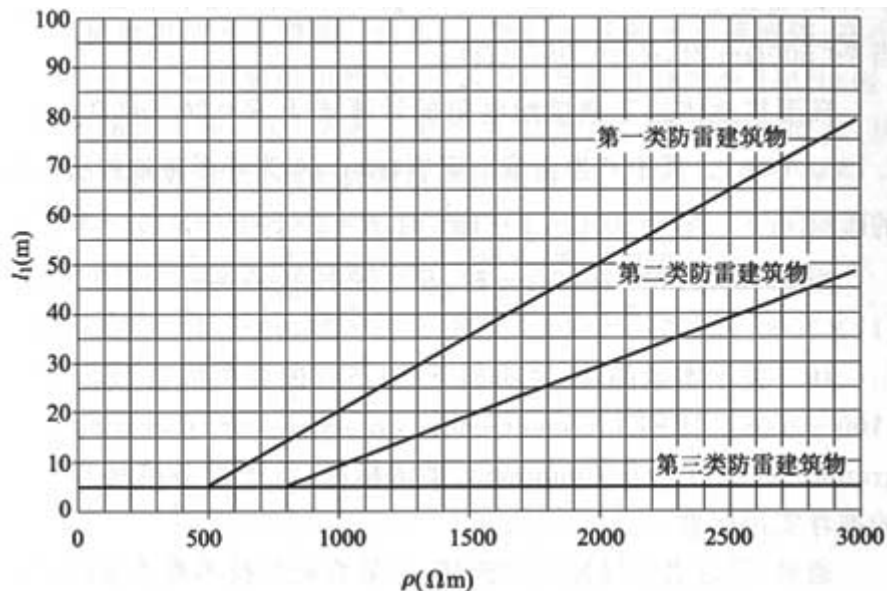


图2 按防雷建筑物类别确定的接地体最小长度

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  $\rho < 500 \Omega\text{m}$  时,  $l_1$  为 5m, 因此, 导出本款第 2、3 项的规定; 当  $\rho = 500 \Omega\text{m} \sim 3000 \Omega\text{m}$  时,  $l_1$  与  $\rho$  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  $\rho$  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  $\rho = 500 \Omega\text{m} \sim 30000 \Omega\text{m}$  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  $\rho$  为土壤电阻率 ( $\Omega\text{m}$ ),

$A$  为环形接地体所包围的面积 ( $\text{m}^2$ )。当  $\rho = 500 \Omega\text{m}$ 、 $d = 10\text{m}$  时,  $R = 2 \times 500 / (3 \times 10) = 33(\Omega)$ 。

当  $\rho = 500 \Omega\text{m} \sim 30000 \Omega\text{m}$  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 Std1100—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。

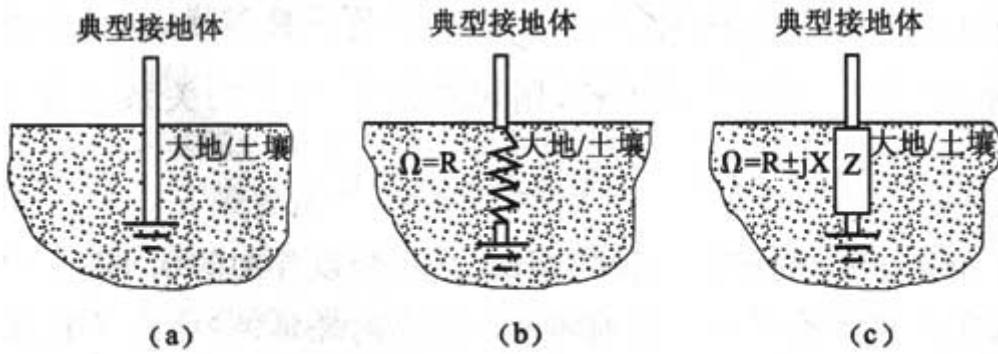


图3 典型接地体的三种表示

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 $52\Omega$ ，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。

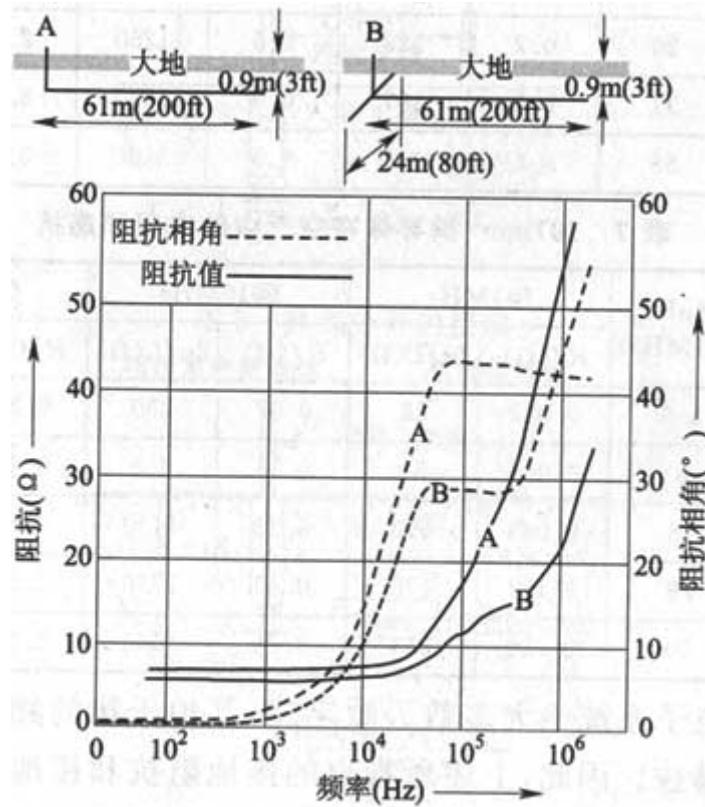


图4 接地体的阻抗与频率的关系

其次，接地线的感抗为 $X_L=2\pi fL$ ，一根 $25\text{mm}^2$ 铜导体和一根 $107\text{mm}^2$ 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 $25\text{mm}^2$ 加大到 $107\text{mm}^2$ ，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 25mm<sup>2</sup> 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 107mm<sup>2</sup> 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  $Z_{\text{earth}}$ ，见图 6。当有一电流  $I_{\text{earth}}$  流过土壤阻抗  $Z_{\text{earth}}$  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  $I_{\text{earth}}$  为雷击电流或 50Hz 短路电流时，在电子系统与 PE 线或其周围共用接地系统之间将会产生跳击而损坏设备；当  $I_{\text{earth}}$  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。

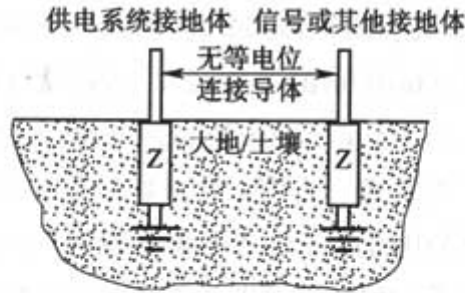


图 5 典型分开的接地

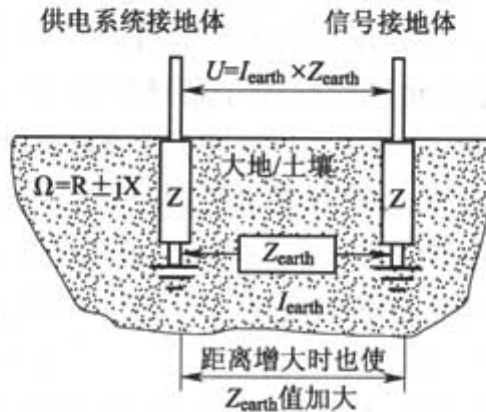


图 6 独立接地体与共用接地体之间的共模电位差

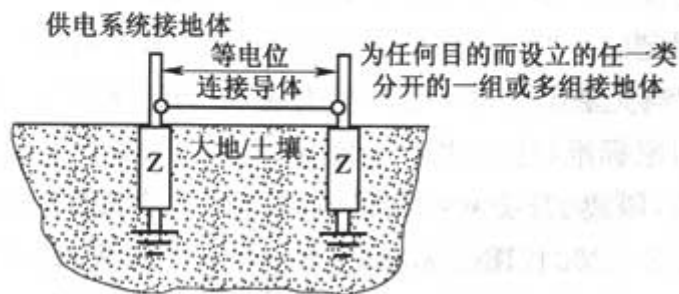


图 7 IEC 和美国 NEC 要求在各组接地体之间做等电位连接

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 5m×5m 或 6m×6m 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 telecommu-nications 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, 当五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。 IEC 62305—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 10m×10m, 另见本规范第 5. 2. 12 条的条文说明。与 10m×10m 并列, 增加 12m×8m 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

62305—3:2010 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 μs 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 Ω ~ 0. 01 Ω。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。

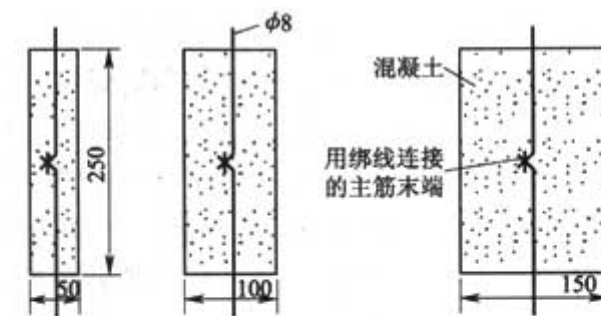


图 8 大冲击电流和工频短路电流流过钢筋绑扎点的试样

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，有的采用铁线绑扎。具有代表性的冲击电流波形示于图 10。钢筋代号见图 11。

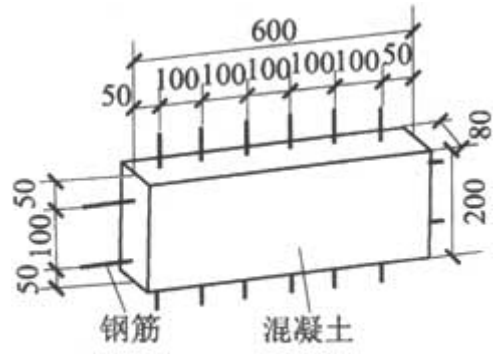


图 9 试样的构造和尺寸

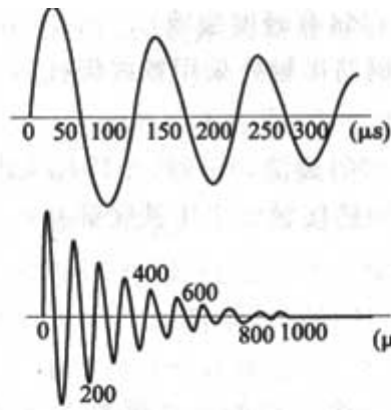


图 10 具有代表性的冲击电流波形

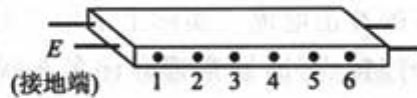


图 11 试样的钢筋代号

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  $10 / 350 \mu s$  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  $10 / 350 \mu s$  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  $100 \Omega m \sim 200 \Omega m$ 。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  $\rho$  ( $\Omega m$ ) 与其湿度关系，其关系式如下：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/908134111055006072>