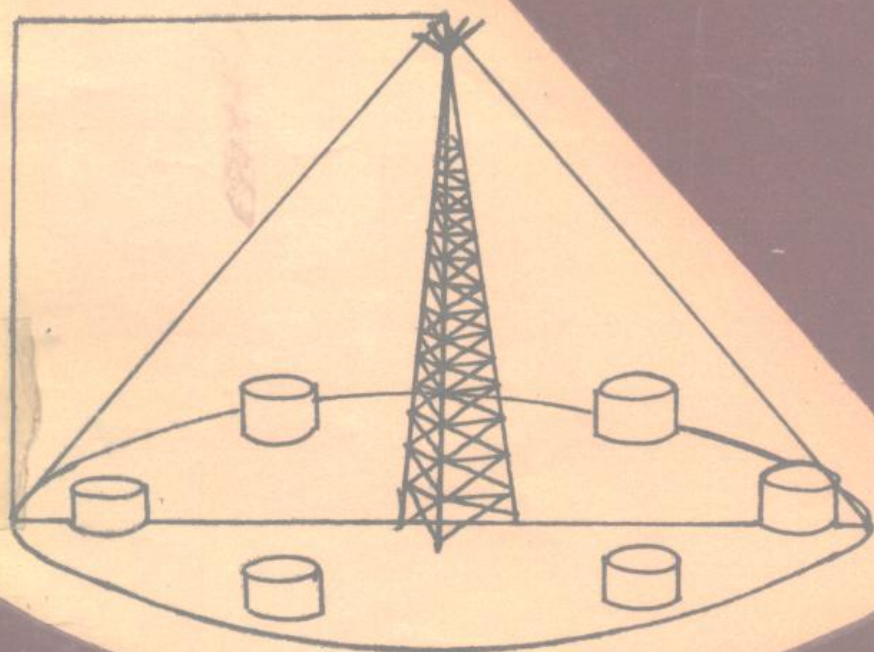


防雷新技术 —— 消雷工程

李良福 编著



气象出版社

(京)新登字 046 号

内容提要

本书根据作者近几年从事消雷工程设计、施工、验收等经验和国内外有关消雷研究技术资料编著。全书共分八章,比较系统地论述了有关雷电基础知识、防雷方法、避雷针的局限性、消雷的可行性、消雷机理、消雷工程设计、施工、验收等方面的理论和实践。本书是从事雷电理论研究和雷电防护研究人员的重要参考书,也是从事消雷工程设计、施工、验收等工程技术人员的重要工具书。

防雷新技术—消雷工程

李良福 编著

责任编辑:王桂梅 邹坚峰 终审:周诗健

封面设计:严瑜仲 责任技编:吴庭芳 责任校对:王桂梅

*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路 46 号)

北京昌平环球印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/32 印张:2.5 字数 56 千字

1994 年 1 月第一版 1994 年 1 月第一次印刷

印数:1—2000

ISBN 7-5029-1533-8/P·0637

定价:3.00 元

前 言

雷电是自然界中极为壮观的声、光、电现象,是雷暴天气的产物。全世界每天平均有 300 万次雷电产生,各地雷电活动规律随地理、地形、季节、气候的差异而不同。不少地区雷害非常严重,每年都有因避雷针(带)的局限性导致建筑物、构筑物、军事设施、易燃易爆场所、通讯系统、卫星电视系统、计算机和其它弱电设备等遭受雷击的恶性事故发生。例如:1945 年 7 月美国在新墨西哥州的发射场,用普通炸弹代替原子弹进行第一颗原子弹的预发射时,当炸弹刚刚吊装完毕就被雷电击毁;1972 年 1 月日本横滨 A 石油公司因雷击导致 1 万立方米的拱顶钢罐起火爆炸;1981 年 4 月新加坡 S 石油公司因雷击导致 5.8 万立方米的钢罐起火爆炸;1987 年美国某导弹基地因雷击造成两枚导弹爆炸;1988 年美国某火箭发射基地因雷击导致三枚火箭误动,飞出发射架;1989 年 8 月中国黄岛油库因雷击起火爆炸,造成上亿元的经济损失;1993 年 4 月中国重庆双山变电站因雷击造成停电十几天,其直接经济损失高达 250 万元,间接经济损失无法估算。

为此国内外防雷专家们都在悉心研究新的防雷技术和创造新的防雷设备。法国、意大利和瑞士等国在避雷针上应用放射性元素,以扩大避雷针的保护范围;罗马尼亚科技人员改革避雷针,装上“电离锥体”使避雷针保护半径扩大到 500 米;英国的一家电子公司,用“复合阳极”在超电晕范围内给避雷针供电晕电流,从而增大避雷针吸引雷电的能力;美国的 E. F. Australasia 公司研制成功 System 3000 动力球型避雷针和

E. F. 放射性避雷针系统;另一家美国 LEA 公司研制出多短针阵型消雷器;中国的首席防雷专家解广润等研制出少长针型消雷器。

根据大量的消雷器高压实验、计算机仿真模拟实验和现场实际运行经验表明,中国的少长针型消雷器是目前世界上最先进的消雷器,其消雷能力是美国多短针阵型消雷器的 46 倍,消雷效果显著。我国云南太华山气象站少长针型消雷器的运行经验充分证明了这一事实。太华山气象站处于海拔 2400 米高的强雷暴活动区——太华山之巅,年雷暴日为 62~75 天,为防雷安装了完全符合国家防雷规范的两根 20 米高的避雷针,全站处于避雷针保护范围内,但每遇雷暴经过,经常发生设备、房屋被击坏,人员被击伤,1971~1979 年期间,每年因雷击事故造成的损失在 1 万元以上,并且每遇有雷暴云经过,只好将市电总闸拉断,雷达停机,工作人员只能守机待命,宝贵的雷达回波资料无法获取。于是 1980 年~1988 年 5 月改用了一台 65 米高的消雷器。8 年多的时间里,太华山地区经历了历史上最强烈的雷电活动,所有设备都能正常运行,从未发生过设备损坏事故,气象雷达获取了近万张回波资料。为作对比实验,1988 年 5 月~1990 年 10 月,撤下消雷器,装上了一根 65 米高的避雷针,两年多的时间内就发生了两次雷击毁坏设备的恶性事故。因此 1990 年 10 月应气象站同志要求,又重新装上了消雷器。

目前,消雷器正广泛应用于国防、石油、化工、气象、广播、电力、通讯、军事、建筑等部门。但国内对消雷可行性、消雷机理、消雷工程设计、施工、验收等防雷新技术方面尚无专著,因此作者根据近几年从事消雷工程设计、施工、验收等经验和国内外有关消雷研究的技术资料,编著了这本《防雷新技术——

消雷工程》。该书详细论述了消雷的可性行、消雷机理、消雷工程设计、施工、验收等方面的理论知识。是气象、电力、通讯、航空和建筑等部门从事雷电理论研究、雷电防护研究人员的主要参考书,也是从事消雷工程设计、施工、验收等工程技术人员的主要工具书。

本书在编写过程中,得到了重庆市气象局应用气象室的大力支持。重庆市气象局防雷设施检测站、重庆舍特气象应用研究所、成都蓝盾高科技开发公司为本书提供了大量的消雷工程实例资料;申学勤、罗礼高、刘建章、薛培学、李建平、周工齐、张桢宇、谭明兴、欧晓渝、胡雪等同志审阅了书稿,提出了许多宝贵意见,在此一并致谢。

由于作者水平有限,时间仓促,本书难免有错误和缺点,敬请读者批评指正。

作者

1993年6月于重庆

目 录

前 言

第一章 雷电的基础理论	(1)
第一节 雷雨云的形成	(1)
第二节 雷电的形成	(3)
第三节 雷电的危害	(4)
第四节 雷电活动规律	(6)
第五节 雷电参数	(7)
第六节 保护物防雷分类	(10)
第七节 保护物防雷设置原则	(13)
第二章 防雷方法	(15)
第一节 避雷针防雷法	(15)
第二节 法拉第笼式防雷法	(16)
第三节 滚球防雷保护法	(17)
第四节 E. F. 避雷保护系统	(18)
第五节 避雷器防雷法	(21)
第六节 消雷器防雷法	(22)
第七节 人工影响雷电防雷法	(22)
第三章 避雷针的局限性	(24)
第一节 避雷针保护范围的不稳定性	(24)
第二节 避雷针反击问题	(25)
第三节 避雷针感应电压的危害	(27)
第四节 避雷针的接触电压和跨步电压的危害 ..	(29)

第五节 避雷针对易燃易爆场所和弱电设备的危害 …	
.....	(30)
第四章 消雷可行性研究	(31)
第一节 引言	(31)
第二节 金顶庙消雷的模拟实验研究	(32)
第三节 实验现象和结果的理论分析	(35)
第五章 消雷机理	(38)
第一节 引言	(38)
第二节 消雷器的消雷机理	(39)
第三节 消雷器的保护范围	(43)
第四节 消雷器主要性能及规格	(48)
第六章 消雷工程设计规则	(51)
第一节 消雷器适用范围	(51)
第二节 消雷器保护范围的设计参数	(52)
第三节 消雷器接地系统设计要求	(55)
第四节 消雷器安装设计要求	(57)
第五节 消雷工程设计注意事项	(59)
第七章 消雷工程施工规则	(61)
第八章 消雷工程验收规则	(62)
第一节 消雷工程验收	(62)
第二节 消雷工程接地电阻测量	(62)
第三节 消雷工程消雷能力的检测	(63)
附录 1 磁钢棒系统安装使用说明	(66)
附录 2 积极采用防雷新技术——消雷器	(69)
主要参考文献	(70)

第一章 雷电的基础理论

第一节 雷雨云的形成

一、雷雨云的产生

雷暴季节,下垫面受太阳强辐射而形成大范围均匀加热,造成极大的温度垂直递减,使大气发生自由对流,在有外界扰动的情况下,如地形抬升、冷空气活动、锋面和切变线的辐合抬升等。可使局地大气对流运动加强。当低层大气有充足水汽、强对流就可能从淡积云发展为浓积云最后形成积雨云。积雨云中电荷累积到某一临界值后就可产生火花放电,这时的积雨云也即是雷雨云。

二、雷雨云的微物理结构

雷雨云的微物理变化对其起电有十分重要的作用,其结构如图 1-1。

从图中可知,一块成熟的雷雨云,其顶部可以生长到 1 万米甚至 2 万米的高空,云层内温度随着高度增高而降低,一般在 4500 米以下为温度高于 0°C 的“暖层”,云中全部是云滴或(和)雨滴;从 4500 ~ 6000 米,云中温度小于 0°C ,主要是过冷却云滴或(和)雨滴;6000 ~ 9000 米,云中主要是雪花,温度在 -20°C 左右;在 9000 米以上,云中基本上都是雪晶和冰晶,温度小于 -40°C 。

三、雷雨云的电荷分布

雷雨云的电荷分布是用配有特种天线、电探空仪装置的飞机观测,和闪电时在地面上测量电场变化等方法来研究的。

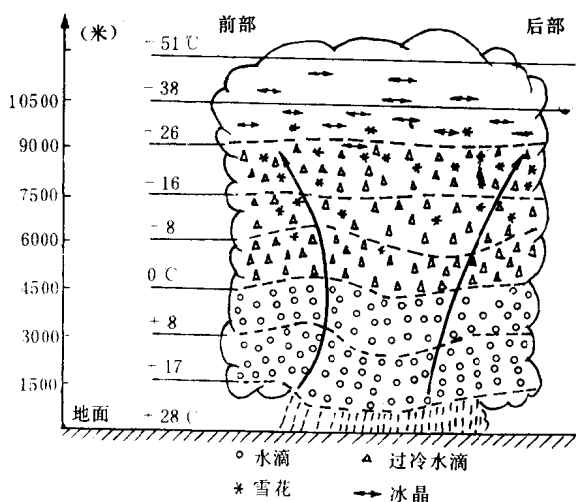


图 1-1 雷雨云的微物理结构

根据这些研究雷雨云的电荷分布如图 1-2, 一般正电荷集中

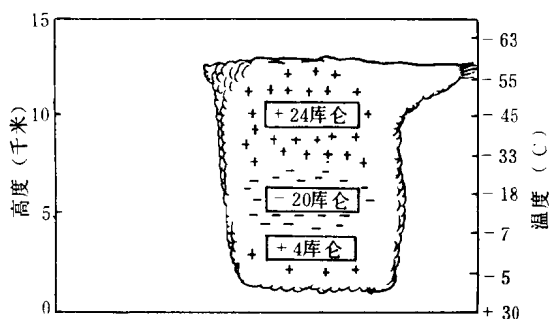


图 1-2 雷雨云的电荷分布

在云的上部, 约有 +24 库仑; 负电荷集中在云中下部约为一

20 库仑;在云的底部强对流区有一个很小的正电荷集中区,约为+4 库仑。

第二节 雷电的形成

雷电是雷暴天气的产物,而雷暴则是在垂直方向上剧烈发展的积雨云所形成的一种天气现象。雷雨云中正负电荷中心之间或云中电荷中心与地之间的放电过程称为雷电。

雷雨云中电荷分布并非均匀的,而是形成许多堆积中心。因而不论是在云中或是在云对地之间,电场强度不是到处都一样。当云中电荷密集处的电场达到 $25\sim 30\text{ kV/m}$ 时,就会由云向地开始先导放电(对于高层建筑,雷电先导可由地表向上发出,称为上行雷)。当先导通道的顶端接近地面时,可诱发迎面先导(通常起自地面的突出部分),当先导与迎面先导会合时即形成了从云到地面的强烈电离通道,这时出现极大的电流,这就是雷电的主放电阶段,雷鸣和电闪都伴随出现。主放电存在的时间极短,约 $50\sim 100$ 微秒,主放电的过程是逆着先导通道发展,速度约为光速的 $1/20\sim 1/2$,主放电的电流可达几十万安,是全部雷电流中最主要部分。主放电到达云端时就结束了,然后云中的残余电荷经过主放电通道流下来,称为余光阶段。由于云中电阻较大,余光阶段对应的电流不大,约为几百安,持续时间较长,约为 $0.03\sim 0.15$ 秒。

由于云中可能同时存在几个电荷中心,所以第一个电荷中心的上述放电完成之后,可能引起第二个、第三个中心向第一个通道放电,因此雷电往往是多重性的,每次放电相隔约为 $600\sim 800$ 微秒,放电次数平均为 $2\sim 3$ 次,其雷电形成示意图,如图 1-3 所示。

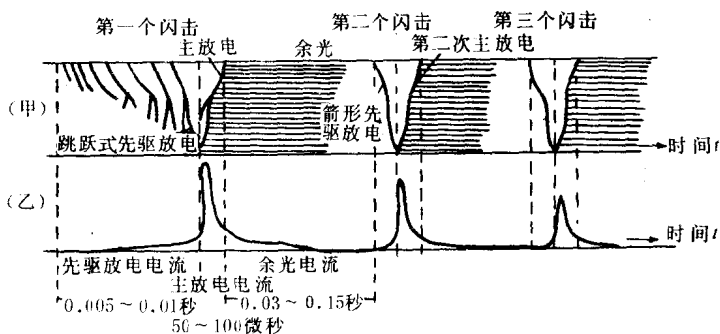


图 1-3 雷电的形成

(甲) 雷云的放电光学照片；

(乙) 放电过程中雷电流的变化情况

第三节 雷电的危害

一、雷电危害的类型

雷电具有很大的破坏力,按其破坏机制可分为热效应、电磁效应和机械效应。

1. 热效应是指雷电击中物体使其产生很高的温度而发生熔化或(和)汽化或(和)燃烧的现象。

2. 电磁效应破坏分为两个方面:一方面是指雷电放电时在附近导体上产生静电感应和电磁感应,使导体产生火花引起火灾或爆炸,或者是由于雷电流引起的跨步电压导致人畜伤亡现象;另一方面是指雷电沿着架空线路或金属管道等侵入室内,危及人身安全或损坏设备,即雷电波入侵现象。

3. 雷电的机械效应是指雷电通过导体时产生冲击性的电动力,这种电动力作用时间极短,远小于导体机械振动周期,导体在它的作用下常常发生炸裂、劈开等现象。

二、雷电的危害方式

1. 直击雷危害:是指雷电直接击在建筑物和构筑物上,它的高电压和大电流产生的电磁效应、热效应和机械效应会造成许多危害。如使房屋倒塌、烟囱崩毁,引起森林起火、油库、火药库爆炸,造成飞行事故、户外的人畜伤亡等。直击雷机率小但危害极大。

2. 雷电的静电感应危害:是指雷雨云闪电时强大的脉冲电流使云中电荷与地面中和,从而引起静电场的强烈变化,导致附近导体上感应出与先导通道符号相反的电荷,雷雨云主放电时,先导通道中的电荷迅速中和,在导体上感应电荷得到释放,如不就近泄入地中,就会产生很高的电位,造成火灾损坏设备。

3. 雷电的电磁感应危害:是指雷电流在 $50\sim 100$ 微秒的时间内,从 0 安变化到几十万安,再由几十万安变化到 0 安,在其周围空间中产生瞬变的强电磁场,在空间变化电磁场中的被保护物,不论是导体还是非导体均作切割磁力线运动,使其产生很高的电磁感应电动势造成危害;同时闪电能辐射出从频率为几赫的极低频率直到几千兆赫的特高频率,其中以 $5\sim 10$ 千赫的电磁辐射强度最大。当被保护物距离雷电较近时,主要受静电感应影响,距离雷电较远时,主要受电磁辐射的影响,轻则干扰信号线、天线等无线电通讯,重则损坏仪器设备。

4. 雷电波入侵危害:是指雷电击到电源线、信号线、金属管道后,以电波的形式窜如室内,危及人身安全或损坏设备。

第四节 雷电活动规律

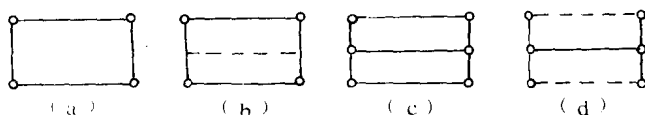
一、雷电的分布特征

我国全年平均雷电的分布特征是：从温湿度方面来看，热而潮湿的地区比冷而干燥的地区雷电多；从地理纬度来看，低纬度比高纬度的雷电多，赤道附近区域雷电发生最多；从地势来看，南方多于北方，东部多于西部，山区多于平原，平原多于沙漠，内陆多于滨海或江湖地区；从雷电发生时间来看，夏季多于其它季节，是全年雷电活动的高峰期，而每天则是下午和上半夜多于上午和下半夜。

二、雷击的选择性

雷害事故的历史资料统计和实验研究证明：雷击的地点和建构物遭受雷击的部位是有一定规律的，一般容易遭受雷击的地方有：

1. 平屋面和坡度不大于 $1/10$ 的屋面——檐角、女儿墙、屋檐。(图 1-4 : (a)、(b))



注：—— 易受雷击部位 - - - - 不易受雷击的屋脊或屋檐

○ 雷击率最高部位

图 1-4 建筑物易受雷击的部位示意图

2. 坡度大于 $1/10$ ，小于 $1/2$ 的屋面——屋角、屋脊、檐角、屋檐。(图 1-4 : (c))

3. 坡度大于 $1/2$ 的屋面——屋角、屋脊、檐角。(图 1-4 :

(d))

4. 建筑物突出部位,如烟囟、电视天线等。
5. 高耸突出的建构物,如水塔、电视塔等。
6. 排出导电尘埃的厂房和废气管道。
7. 建筑群中特别潮湿和地下水位高的地带,或埋有金属管道或内部有大量金属设备的厂房。
8. 地下有金属矿的地带。
9. 开阔地上的大树,山地的输电线路等。

第五节 雷电参数

一、雷电主放电通道的电容 C_0

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(L/R_Y)} \quad (\text{F/m})$$

式中 ϵ_0 : 空气的介电参数,取值为 8.86×10^{-12} ;

L : 主放电通道的长度,单位:m;

R_Y : 主放电通道的电晕半径,单位:m。

二、雷电主放电通道的电感 L_0

$$L_0 = \frac{U_0}{2\pi} \ln\left(\frac{L}{R_0}\right) \quad (\text{H/m})$$

式中 U_0 : 空气的导磁系数,取值为 $4\pi \times 10^{-7}$;

R_0 : 主放电电流的高导通道半径,单位:m。

三、雷电主放电通道波阻 Z_0

$$Z_0 = \sqrt{L_0/C_0} \quad (\Omega)$$

四、雷电主放电的放电速度即波速 V

$$V = \frac{1}{\sqrt{L_0/C_0}} \quad (\text{m/s})$$

一般取波速 V 为光速的 $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{2}$ 。

五、雷电流解析式：

$$I = I_0 \frac{\exp(\alpha t/T - 1)}{\exp(\alpha - 1)}$$

六、雷电流幅值的概率分布

1. 雷暴日在 20 日以上地区的表达式为：

$$\lg P = \frac{1}{108} I$$

2. 雷暴日在 20 日以下地区的表达式为：

$$\lg P = \frac{1}{54} I$$

3. 雷电流实测幅值的概率分布

根据我国东北、华东、中南和西南地区 22 个单位共 1205 个实测雷电流幅值作出图 1-5 的雷电流幅值概率曲线，从

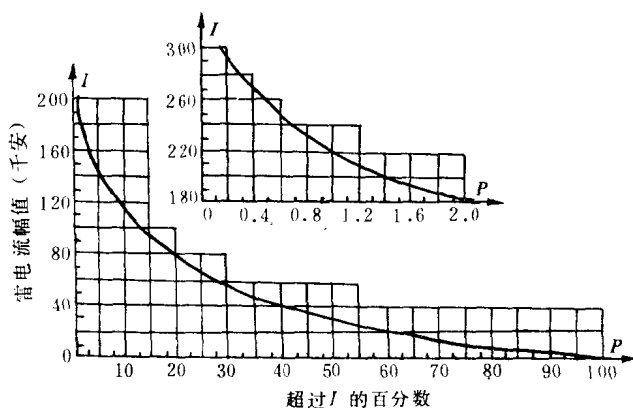


图 1-5 雷电流幅值概率分布

图可知我国的雷电流主要在 100kA 以下，其概率为 88%，很

少出现大于 250kA 的雷电流,其出现概率小于 0.3%。

表 1-1 雷电参数比较表

观测 次数	参数	单位	大于表中数值所占百分比		
			95 %	50 %	5 %
101 135 26	大于 2kA 的幅值(峰值) 第一负闪击和负闪电 随后负闪击 正闪电	kA	14 4.6 4.6	30 12 35	80 30 250
93 122 94 26	电荷 第一负闪击 随后负闪击 负闪电 正闪电	C	1.1 0.2 1.3 20	5.2 1.4 7.5 80	24 11 40 350
90 117 25	脉冲电荷 第一负闪击 随后负闪击 正闪电	C	1.1 0.22 2.00	4.5 0.95 16	20 4.0 150
89 118 19	到达峰值的时间 第一负闪击 随后负闪击 正闪电	μs	1.8 0.22 3.55	5.5 1.1 22	18 4.5 200
92 122 21	di/dt 最大值 第一负闪击 随后负闪击 正闪电	kA/ μs	5.5 12 0.2	12 40 2.4	32 120 32
90 115 16	到达峰值的时间 第一负闪击 随后负闪击 正闪电	μs	30 0.5 25	75 32 230	200 140 2000
91 88 26	作用积分 第一负闪击 随后负闪击 正闪电	A ² s	6.0×10^3 5.5×10^2 2.5×10^4	5.5×10^4 6.0×10^3 6.5×10^5	5.5×10^5 5.2×10^4 1.5×10^7

注:1. 本表资料来源于 Berger 等 1975 年的观测。

2. 本表资料均为向下闪电资料。

七、雷电流的平均上升陡度表达式

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{2.6} I (\text{kA}/\mu\text{s})$$

八、落雷密度 T

$$T = aT^b (\text{次}/\text{km}^2 \cdot \text{d})$$

式中 T : 年平均雷暴日数,

a, b 为常数, 分别取 0.023 和 0.3。

我国一般取 $T=0.015$ 。

九、雷电参数比较表: 见表(1-1)

第六节 保护物防雷分类

一、建筑物防雷分类:

根据建筑物的重要性, 使用性质, 发生雷电事故的可能性和后果, 按防雷要求可分为三类:

1. 第一类防雷建筑物

(1) 具有特别重要用途和重大政治意义的建筑物和国家级重点文物保护单位。

(2) 超高层建筑物。

(3) 凡制造、使用或贮存大量爆炸物质的建筑物因电火花而引起爆炸, 会造成巨大破坏和人身伤亡的建筑物。

(4) Q-1 或 G-1 级爆炸危险场所。

2. 第二类防雷建筑物

(1) 重要的或人员密集的大型建筑物和省级重点文物保护单位。

(2) 十九层以上的住宅建筑、高度超过 50 米的其它民用和一般建筑物。