

雷电

王建初 著

避雷装置及其检测



气象出版社

86.3677

1013

雷电、避雷装置及其检测

王建初

(京)新登字046号

内 容 简 介

本书对雷电的成因、避雷装置的构造和设计原理及其检测方法作了系统而简要的阐述。内容深入浅出,易学易懂。此书可作为从事建筑工程设计与保护的人员、安全生产管理人员和气象人员的参考书。

雷电、避雷装置及其检测

王建初 著

责任编辑 李太宇

气象出版社 出版

(北京西郊白石桥路46号)

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

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: 1.875 字数: 35千字

1991年12月第一版 1991年12月第一次印刷

印数: 1—3300 定价: 1.15元

ISBN 7-5029-0774-2/P·0407

前 言

雷暴是一种自然天气现象，虽然并不神秘，但雷电对于人身安全及建筑物常常造成极大的危害。据气象资料统计，我国各地每年雷暴过程多达几十以至百余次，而每次雷暴过程都有上百次甚至上千次雷电活动。在我国多数地区每年都有因雷击造成的停电、停工以及财产损失和人畜伤亡记录。对于雷电的威胁，人们从开始认识它起，就一直在积极地采取措施防止它的危害。在高大建筑物上安装各种避雷装置，就是一种普遍的有效的防雷方式。

建国40多年来，成千上万的高大建筑物拔地而起。按照国家建筑物设计规范规定，几乎所有的高大建筑物上都安装了避雷装置。由于种种原因，绝大多数建筑物的避雷装置多年来从未进行过技术检测。随着气象事业为国民经济建设服务的不断深入，气象部门开始在防止雷电灾害方面开发了技术服务。1988年以来，在安全生产主管部门的积极支持下，全国许多城市相继组织了对机关、企事业单位高大建筑物避雷设施的技术性能检测，为在国民经济建设中安全生产，消除隐患，做了一些工作。实践证明，这项技术服务行之有效，深受社会欢迎，产生了明显的社会、经济效益。

了解、掌握有关雷电、建筑物避雷装置及其检测的基本技术知识，不仅为气象部门开展专项技术服务所必需，而且对建筑行业乃至机关、企事业单位安全生产管理人员都具有参考价值。这本小册子的撰写，目的就在于为掌握这些知识提供一份简明、实用的资料。

作者

目 录

前言

一、雷电的基本知识	(1)
(一) 雷电的形成	(1)
(二) 雷电的活动规律	(3)
(三) 雷电的危害	(5)
二、防雷措施	(7)
(一) 建筑物防雷措施	(7)
(二) 建筑物防雷等级	(12)
(三) 日常防雷一般知识	(13)
三、避雷装置	(15)
(一) 避雷地线	(15)
(二) 避雷器	(30)
四、接地技术	(33)
(一) “地”与接地的基本概念	(34)
(二) 防雷接地中的若干问题	(36)
(三) 接地装置的设置及其降阻办法	(41)
(四) 接地装置的接地电阻标准	(44)
五、避雷装置的检测	(45)
(一) 对避雷地线的检测	(45)
(二) 对避雷器的检测	(51)
(三) 避雷装置检测中常遇到的问题	(52)

一、雷电的基本知识

(一) 雷电的形成

雷电是雷暴云与雷暴云之间或是雷暴云与大地之间的放电现象。所有的雷暴云中都聚集着大量的电荷。这种带电的云是无数带电的水滴和云滴的混合物。

根据大量的试验研究得出的雷暴云内电荷分布的平均情况为：雷暴云的上部带有大量正电荷，其下部的 0°C 等温线上方区域带负电荷，在紧贴融化层的下方，有一个不太大的

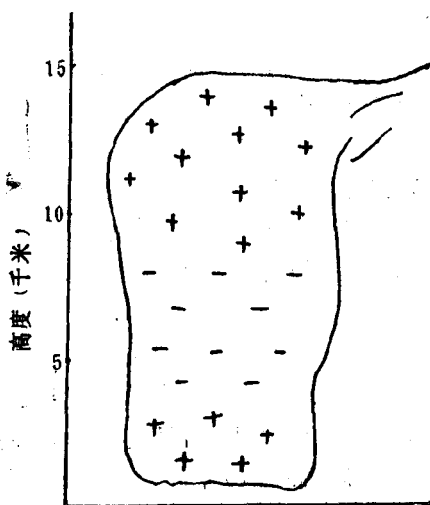


图1 雷暴云内的电荷分布

正电荷囊区（如图1.）。在雷暴（单体）云中，电荷产生率大体为 $1 \text{ 库仑} \cdot \text{千米}^{-3} \cdot \text{分}^{-1}$ 。

人们一般认为，霰或雹的形成对雷暴云起电起着关键作用。最普遍的解释是：在夏季和春夏之交、夏秋之交冷暖空气活动频繁之际，上升暖空气在高空逐渐冷却，凝结出的水滴或冻结的冰晶在重力作用下下降；在下降过程中，水滴与速度较大的上升气流摩擦，分裂成带不同电荷的大小不一的水滴。霰、冰雹等颗粒较大的冻结物在下落过程中也与过冷却水滴、冰晶等碰撞。由于热电效应小冰晶带正电、雹块带负电；上升气流的“分选作用”致使雷暴云的上部充满了带正电的小冰晶，而下降速度较大的冰雹把负电带到了云的下部；持续的对流运动，使电荷越聚越多，便形成了具有很强电场的雷暴云。

云中电荷分离后，使云与地面之间、云与云之间、云的不同部位之间的电位梯度加大了。当电位梯度大到一定程度——超过空气的绝缘程度，就出现介质被电击穿的现象，在雷暴云之间或在雷暴云对地之间放电，发出强烈的弧光，表现为闪电的形式。在干空气中，介质电击穿所需要的电位梯度约为 3 兆伏每米。如果空气中含有半径为 1 毫米的水滴，则击穿的电位梯度仅需要 1 兆伏每米。

上述放电过程能产生巨大的放电电流，此电流在通过闪道（放电通路）时，以极快的速度使闪道中空气的温度上升到数万摄氏度。由于升温过程历时极短，空气来不及膨胀，因而闪道内气压立刻升高到 10 个甚至 100 个大气压；紧接着，高压闪道很快向周围大气膨胀，产生猛烈的冲击波，发出巨大的响声，这就是“雷声”。闪电所造成的雷声，一般

在25千米就难以听到了。

闪电的长度因放电空间的距离的大小而不同，一般约在150 米到几千米不等。有的专家根据闪电长度及地面电场计算，云层对大地间的放电（俗称落地雷）电压可达数亿甚至数十亿伏，放电电流平均约2万至5万安培，个别情况下，闪电的最大电流可达数十万安培。这种落地雷对于人们的损害和威胁最大，地球表面每昼夜共约发生44000次闪电，其中约十分之一是落地雷。一般闪电每次放电持续时间极短，约为5微秒至500微秒，平均为40微秒（即十万分之四秒）。我们通常所看见的闪电，持续时间平均约以毫秒（千分之一秒）计，它实际是包括循同一路径一连串的放电。尽管时间极短，但由于强大的能量释放，会给雷击目标带来毁灭性的灾难。一次雷击，穿过10米高的大树后产生的热量，足以使其所含的水份完全蒸发而把整个树干烧焦，足见落地雷威力之大。

（二）雷电的活动规律

既然雷电活动是云—云、云—地间的放电，它就必然遵循一定的物理学规律。一般地说，带电体放电总是最易在导电性能最好的突出部位进行。另外，由于雷电活动是一种自然天气现象，云的产生与气温、水汽等气象要素密切相关。所以，雷电活动与气候条件、季节变化也都有一定的对应关系。

就雷电活动的地域分布而言，雷暴发生的次数是山区多于平原，平原多于沙漠，陆地多于湖海，热而潮湿的地区多于冷而干燥的地区。随着纬度的不同，落地雷与云间放电的

比例亦有不同：低纬度地区的热带雷暴，其云底高度较高，平均每产生一次落地雷，就有数十次放电出现；但在中、高纬度地区，落地雷与云间放电的次数几乎大体相当。另外，土壤导电率不同的地区，落地雷发生的频率明显不同。土壤导电情况越好，落地雷发生的频率越高。

就雷电活动的时间分布而言，夏季是雷电活动的高峰期；而每天雷电活动的平均情况则是下午和上半夜多于上午和下半夜。安徽省的统计结果为：每年2月下旬到4月上旬，由南到北全省先后出现初雷日；从9月中旬到10月中旬，由北向南，雷暴活动相继结束。江南山区雷暴多于淮北平原，长江以北平均每年有40个雷暴日，长江以南每年平均有近50个雷暴日。

带电体放电的客观规律使得雷电活动即使在同一地区，也有一定的选择性。一般而言，容易遭受雷击的地方有：

1. 建筑物突出的部位：屋脊、屋角、山墙、烟囱、各种无线电天线等；
2. 高耸突出的建筑物，如各种塔、架等；
3. 排出导电尘埃的建筑物和废气管道等；
4. 建筑群中特别潮湿和地下水位高的地方，埋设有金属管道或内部有大量金属设备的厂房；
5. 地下有金属矿物的地带；
6. 开阔地上的大树、山地的输电线路等；
7. 平原地区独立的房屋、草垛等。

除了上述规律外，经验与理论还证明，雷电常常循着原来的放电路径而重复发生。美国麻省匹斯斐而特的一个住宅，在两年中被雷击过两次。闪电都是由屋前一颗高大的白

杨树下来，经过一根伸出的树枝而袭击住宅，两次沿着完全一样的路径。所以，苏联的电信部门规定，对曾受过雷击的电线杆，即使邻杆上已经有了避雷地线。也仍应装设避雷地线。

(三) 雷电的危害

靠近地面的雷暴云在放电以前电场强度约为几百千伏每米，一次放电所消耗的电能平均约为3000度电。由于雷电电流很大，所以在雷击的时候会因热的、电磁的、机械的和静电的作用造成人畜伤亡，引起建筑物、树木、电气设备等火灾或造成其它破坏。

1. 雷云的静电场作用引起的危害

在未放电之前，雷云在建筑物或架空线路上空形成很强的静电场，致使山头、建筑物或架空线路上感应出与雷云电荷相反的电荷（称为束缚电荷）。在雷云向其它地方放电（如云对云放电）后，云与大地之间的电场突然消失，但聚集在建筑物顶部或架空线路上的电荷不能很快地全部泄入大地。残留的电荷形成的高电位差，往往造成室内电线、金属管道和大型金属设备放电，击穿电气绝缘层或引起火灾或爆炸。

2. 雷电电流的热效应

强大的雷电电流通过物体时，会产生很大的热量，而在短促的时间内不易散发出来。所以雷电电流经过的物体，金属可能熔解，树木可被烧焦。当落地雷击中易燃物品时，还会立即引起火灾。

3. 雷电电流的电磁感应

在雷电电流通过的通路周围有强大的电磁场产生，使附近的导线或金属结构上产生很高的感应电压。这种感应电压在输电线路可能达到几十万伏，足以破坏一般电气设备的绝缘材料。如果在金属结构的回路里接触不紧或有空隙，就会形成放电火花而造成灾害，这种现象叫作感应雷击。有时各种架空电线会把危险的雷击高电压带进室内，造成电器设备的损坏或人员的触电伤亡。这种高电压可能是因为架空线直接受到雷击或接触到被雷击的树木等引起的，也可能因附近发生雷击，在导线上由感应作用而产生的。从架空电线带进的雷击高压电时常引起建筑物火灾。

4. 雷电的机械效应

当雷电直接击中树木、电杆及房屋时，雷电流经过木质纤维，使之产生高温，引起水份极快的蒸发，产生和爆炸一样的效果，使被击中物炸裂、劈开。这种爆炸引起巨大的冲击波对被击物附近的物体产生损坏作用，对附近的人员造成震聋耳朵等损伤。同样的效应亦可能发生在如塔、烟囱等独立高耸的建筑物上。若直击雷落在架空线路的绝缘瓷瓶上，可以将其打成碎片。

一般而言，云与云之间的放电对建筑物、人产生的危害较少、较轻，而云对地之间的放电（落地雷）会产生很大的破坏作用。雷云直接对地面没有避雷设施的建筑物以及森林大树放电，其破坏作用最大。通常把直接击在建筑物和构筑物上，产生电效应、热效应和机械效应的雷电称为“直击雷”。

二、防雷措施

人类自从认识雷电起，就积极地想方设法采取各种措施以减轻其危害。早在1749年，著名的美国科学家本杰明·富兰克林就提出了使用避雷地线以防御雷击的设计。这一设计最早在法国被采用，1752年在美国也采用了。据估计，由于采用了富兰克林的这一设计，农村建筑物中的草料房和茅屋有一半左右在雷电中免于发生火灾，而以砖瓦为顶的房屋有85%免于火灾。富兰克林拒绝将他的设计取得专利权，不愿因此而获得任何利益，他对人类的贡献将永世长存。

现在，人们主要针对雷电危害的不同类型，分别对直击雷、感应雷和架空电线引入高压雷电等采取防雷措施。防止直击雷，主要是设法使雷电流迅速散到大地中去，通常采用避雷地线作为避雷装置。防止感应雷的最有效方法，是把屋内一切金属电器设备可靠接地。防止架空线引入高压雷电采用电缆进线，并在输电线路与电缆连接处加装避雷器。

（一）建筑物防雷措施

建筑物最基本的防雷措施是在建筑物上装设避雷地线。避雷地线一般由接闪器、引下线和接地装置三部分组成。

接闪器的作用是使其上空的雷电电场强度局部加强，引导其附近的雷电放电。通过引下线向大地放电，使离接闪器一定距离内、一定高度的建筑物免遭直接雷击。接闪器的基本形式有避雷针、避雷带、避雷网和笼网等四种。

与接闪器相连接的引下线，是敷设在房顶和建筑物墙壁上的导线。它把雷电流引到接地装置，使之顺利流入大地。

接地装置是埋在地下的接地导线和接地体的总称，雷电流要通过它发散到大地中去。

1. 防止落地雷直接雷击

防直击雷的措施应符合下列要求：

(1) 对一类工业建筑物应装设独立避雷针或架空避雷线，使被保护的建筑物及突出屋面的物体均应处于避雷针或避雷线的保护范围内。对排放有爆炸危险的气体、蒸汽或粉尘的管道等突出屋面的物体，保护范围应高出管顶不小于2米。

独立避雷针至被保护建筑物及与其有联系的金属物（如管道、电缆等）之间的距离应大于3米。

若由于建筑物太高或其它原因难以装设独立避雷针或架空避雷线时，可将避雷针或网格不大于 $6\text{米} \times 6\text{米}$ 的避雷网直接装在建筑物上，但所有避雷针应用避雷带互相连接，引下线不应少于两根且其间距不应大于18米，接地装置应围绕建筑物敷设成闭合回路。

(2) 对二类工业建筑物和一类民用建筑物一般采用装设避雷网、避雷带或避雷针。避雷网应沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设，并应在整个屋面组成网格不大于 $10\text{米} \times 10\text{米}$ 的网。同一建筑物上的所有避雷针应用避雷带相互连接。对排放具有爆炸危险的气体、蒸汽或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等突出屋面的物体，可以在管口或其附近装设避雷针保护且针尖高出管口不应小于3米，管口上方1米应在保护范围内。采用避雷带时，屋面上任何一点距

避雷带均不应大于5米。当有多条平行避雷带时，每隔不大于24米处应将平行避雷带连接起来。

露天装设的有爆炸危险的金属封闭气罐和工艺装置，当其壁厚大于4毫米时，一般不装设接闪器，但应良好地接地且接地点不应少于两处，两接地点间的距离不应大于30米，其冲击接地电阻不应大于 30Ω 。

(3) 三类工业建筑物和二类民用建筑物一般在屋角、屋脊、屋檐等易受雷击的部位装设避雷带或避雷针。避雷带距屋面任意点的距离可不大于10米，而多条平行避雷带可以每隔30至40米连接。

对砖烟囱、钢筋混凝土烟囱，一般采用装设在烟囱上的避雷针或避雷环（环形避雷带）保护，也有在烟囱顶部装多支避雷针并用避雷环闭合连接的。钢筋混凝土烟囱的钢筋可以在其顶部和底部与引下线相连。

2. 防止感应雷击

为了防止感应雷击，可在建筑物屋面设置收集电荷的装置（如屋顶避雷网等），用来收集感应静电荷。当建筑物上空雷云放电，强电场突然消失时，这个装置将建筑物上残留的电荷通过引下线迅速引入大地，从而避免建筑物出现高电位及其危害。

对于室内的一切导体，如各种金属管道及设备部件等，应将其接成导电良好的闭合回路。并尽量减小接地电阻，使之可靠接地，以避免雷击时放电火花的产生，使感应的电荷迅速流入大地中，消除放电火花的根源，避免火灾及爆炸事故的发生。

国家标准中特别对一类、二类工业建筑物防雷电感应措

施提出了要求：

①一类工业建筑物的防雷电感应接地装置应与其防直击雷的接地装置分开设置，两者之间的距离不得小于3米。建筑物内的金属物（如设备、管道、构架、电缆外皮、钢屋架、钢窗等较大金属构件）和突出屋面的金属物（如放散管、风管等）均应接到防雷电感应的接地装置上。金属屋面的周边每隔18至24米应采用引下线接地一次。现浇的或预制件组成的钢筋混凝土屋面其钢筋可绑扎或焊接成电气闭合回路，并应每隔18至21米采用引下线接地一次。为防止电磁感应产生火花，平行敷设的长金属物之间如净距小于100毫米时，应每隔20至30米用金属线跨接；交叉净距小于100毫米时，其交叉处也应跨接。当管道连接处（如弯头、阀门、法兰盘等）不能保证良好的金属接触时，应在连接处用金属线跨接。室内接地干线与防雷电感应接地装置的连接，不应少于两处。（注：有特殊要求的电力、电子设备的接地装置，能否和防雷电感应的接地装置共用，应按有关专门规定执行）。

②二类工业建筑物的防雷感应和防直击雷可以共用接地装置，可用电气设备接地装置及埋地金属管道相连；但建筑物内的主要金属物、屋内接地干线与接地装置的防静电感应连接，要求与一类工业建筑物相同。

3. 防止沿架空线路的高电位侵入

架空的输电线路、通信有线电路及无线电天线等在引入建筑物时，最好在距离建筑物约50—100米处，将线路改成电缆进线，并在架空线与电缆连接处加装避雷器。

避雷器是用来预防雷电产生的高电位沿线路侵入配电所

或建筑物的。当线路上因雷击而产生高电位时，可以经避雷器对地放电，以保护电气设备免遭损坏。避雷器的形式通常有阀型避雷器、管型避雷器和保护间隙。阀型避雷器的安装位置应尽量靠近变压器；管型避雷器一般只用于变电所的进线段；对于一般建筑物的进户线可用比较简单的保护间隙来加以保护。

一类、二类工业建筑物和一类民用建筑物的防止雷电波侵入措施，都要求进入建筑物的低压线路全线采用电缆直接埋地敷设，在入户端应把电缆金属外皮接到防雷电感应的接地装置上。当全线采用电缆有困难时，可采用钢筋混凝土杆铁横担架空线，但应使用一段长度不小于50米的金属铠装电缆直接埋地引入。在电缆与架空线连接处还应装设阀型避雷器。避雷器、电缆金属外皮和绝缘子铁脚等应连在一起接地，其冲击接地电阻不应大于 10Ω 。

对进入建筑物的金属管道，在入户处应与防雷接地装置相连。距建筑物100米以内的管道，每隔25米应接地一次（金属或钢筋混凝土支架的基础可作为接地装置），其冲击接地电阻一般不应大于 10Ω 。

对于爆炸危险性较小或年平均雷暴日在30天以下地区的二类及防雷要求更低的工业建筑物和民用建筑物，可以采用低压架空线直接引入建筑物，但在入户处应装设阀型避雷器或2至3毫米的空气间隙，并与绝缘子铁脚连在一起接到防雷接地装置上，其冲击接地电阻不应大于 5Ω 。

应该特别提出的是，为防止雷电波侵入，严禁在独立避雷针，避雷线支柱上悬挂电话线，广播线及低压架空电线。

对于在高大建筑物的接闪器附近固定的节日彩灯、航空