

建筑设计基本知识丛书

建筑物防雷设计

(第二版)

王时煦 马宏达 陈首燊

中国建筑工业出版社

建筑设计基本知识丛书

建筑物防雷设计

(第二版)

王时煦 马宏达 陈首燊

中国建筑工业出版社

本书是编者经过一系列的雷害调查和实验室模拟试验，并总结了北京地区一些工程的建筑防雷设计经验后编写的。

本书介绍了雷电活动规律的一些基本概念；同时，对接闪器、引下线、接地装置及防止沿架空线引来雷电波的具体措施和解决方法也作了适当的介绍。

本书可供建筑设计、建筑施工人员阅读，也可供消防人员参考。

建筑设计基本知识丛书

建筑物防雷设计

(第二版)

王时煦 马宏达 陈首樂

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市平谷县大华山印刷厂印刷(北京平谷县大华山)

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：6 $\frac{1}{2}$ 插页：1 字数：145 千字

1985年11月第二版 1985年11月第二次印刷

印数：21,671—47,270册 定价：0.95元

统一书号：15040·4874

修 订 说 明

本修订版在初版的基础上补充了一些防雷设计要点和雷击规律。鉴于有些读者对雷击事故缺少感性认识，而补充了一些雷击事故的典型实例和雷击事故照片。近年来建筑物上的电视共用天线逐渐被采用，其中有些构造做法不够安全，在本书修订时也补充了一些简易的做法。最近几年我国各地的古建筑遭到雷击而引起事故的屡见不鲜。究其原因，有些是因无防雷措施，有些虽然安装了防雷装置，但因做法不合理而造成事故，对这方面的内容，本书也做了适当的补充。

本书在修订过程中，承蒙机械工业部设计总院林维勇高级工程师提出一些宝贵意见，特此致以谢意。

编者 1984年12月于北京

目 录

前 言

第一章 雷电的基本理论	1
一、雷云结构和雷电的放电机理	1
二、雷电的放电特性	4
三、球雷	7
四、雷电活动与气象条件的关系	10
五、雷击的选择性	11
第二章 雷害与防雷的原理	18
一、雷害事故概况	18
二、雷电的感应作用	36
三、雷电波侵入	39
四、避雷针的防雷原理	40
五、雷电的热效应和机械效应	42
六、防雷装置上的高电位对建筑物的反击	48
七、跨步电压和接触电压	52
第三章 建筑物防雷的基本原则	55
一、建筑物防雷的目的	55
二、哪些建筑物需要安装防雷装置	55
三、雷击选择性的因素	58
四、建筑物防雷设计的六项重要因素	59
五、我国建筑物防雷的发展情况和特点	61
六、建筑物防雷的主要措施	63
第四章 避雷针的保护范围	69

一、制订避雷针保护范围的理论和实验	69
二、避雷针的保护范围	77
第五章 建筑物的雷击规律和避雷带保护方式	90
一、建筑物的雷击规律	90
二、建筑物的重点保护方式	99
三、重点保护(避雷带)设计实例	105
第六章 避雷网	110
一、笼式避雷网的基本原理	110
二、笼式避雷网的做法和措施	111
三、不同建筑体系的笼式避雷网	114
第七章 防雷接地装置	129
一、对防雷接地装置的要求	129
二、利用基础内钢筋作为接地装置的原理	140
第八章 接闪器、引下线和接地装置的结构及特殊 建、构筑物的防雷	144
一、接闪器的结构设计	144
二、引下线的结构设计	145
三、接地装置的结构设计	146
四、古建筑物和木结构建筑物的防雷	152
五、有爆炸和火灾危险的建筑物防雷	155
六、烟囱和放汽管的防雷	156
七、建筑工地的防雷	157
第九章 防止雷电波引入建筑物的措施	159
一、在架空电线引入的地方装设放电保护间隙	159
二、采用铠装电缆段进线的方法	161
三、高层建筑物电气设备的防雷	164
四、建筑物屋顶彩灯的防雷	170
五、通讯设备、收音机和电视天线的防雷	171
第十章 雷电保护装置的验收、检查和维护	177

一、检查和维护的必要性	177
二、防雷装置的验收和施工检查	177
三、防雷装置的维护检查	178
第十一章 建筑物的雷害调查	181
一、建筑物雷害调查的重要意义	181
二、雷害调查的作法	181
附 录	
一、平屋顶避雷带保护方式例图	
二、坡屋顶避雷带保护方式例图	
三、各种防雷装置大样图	185
四、避雷知识的宣传大纲	193
主要参考文献	200

第一章 雷电的基本理论

雷电是一种常见的自然现象,它产生强烈的闪光、霹雳,有时落到地面上,击毁房屋、杀伤人畜。过去由于人类认识和战胜自然的能力很低,他们不了解雷电产生的原因和性质;历代反动统治阶级利用这种自然现象,虚构出各种神话和传说,借以奴役和统治人民。

我国早在汉朝时代,王充(公元27~99年)就提出了关于雷电的解释,批判了反科学的传说。

十八世纪中叶,布·弗兰克林(B. Franklin)、姆·符·罗蒙诺索夫(М. В. Ломаносов)和格·符·黎赫曼(Г. В. Рихман)等人都曾对雷电作过实验研究,提出了比较科学的雷电学说和使用避雷针进行防雷的原理

随着生产和科学技术的发展,特别是航空、航海和电力工业的发展,促进了气象和雷电现象的观测和研究。科学家利用飞机、雷达、高电压装置和高速摄影机等先进技术和仪器设备对雷电现象和雷电特性进行了广泛深入的研究,并已取得了一定的成果。

一、雷云结构和雷电的放电机理

雷云的典型结构如图1-1所示。在雷云的中部有强烈的上升气流,在这种气流的作用下,带正电的冰晶与带负电的水滴开始分离,形成一部分带正电荷,一部分带负电荷的雷云。由于异性电荷的不断积累,不同极性的云块之间电场强度不断增大;当某处的电场强度超过空气可能承受的击穿强度时,就形成了云间放电。不同符号的电荷通过一定的电离通道互

相中和，产生强烈的光和热。放电通道所发出的这种强光，人们称之为“闪”。而通道所发出的热，使附近的空气突然膨胀，发出霹雳的轰鸣，人们称之为“雷”。

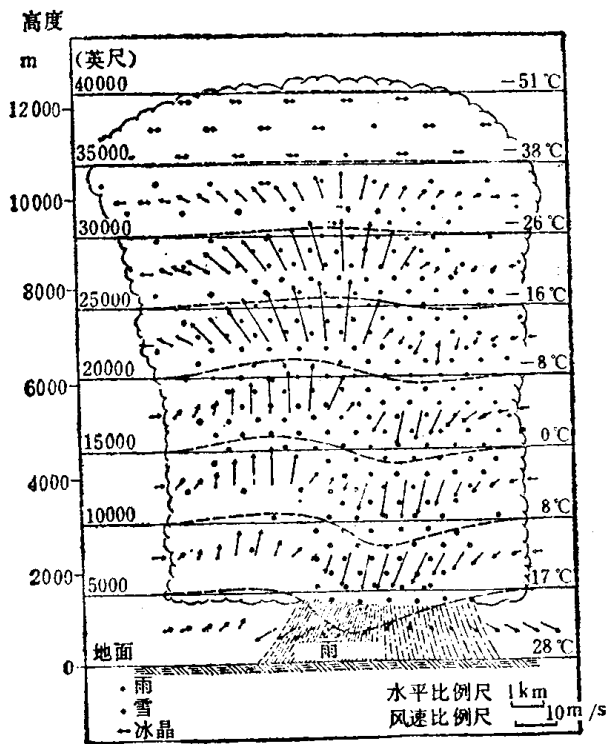


图 1-1 雷云在成熟期的状态

雷电有线状、片状和球状等几种形式。打到地面上的闪电称为“落雷”。如果这种落雷击中建筑物、树木或人畜，就会造成建筑物、树木的破坏或人畜的伤亡，人们称这种现象为“雷击事故”。关于这种现象将在第二章中予以比较详细的叙述。

线状雷电的产生过程可简述如下：通常雷云的下部带负电，上部带正电。由于雷云负电的感应，使附近地面积聚正电

荷,从而使地面与雷云之间形成强大的电场。和云间放电现象一样,当某处积聚的电荷密度很大,造成的电场强度达到空气游离的临界值时,就为线状闪电落雷的发展创造条件。

雷云对地的放电,通常是从雷云到大地间发生微弱的电离通道开始的。这一阶段称为“先驱放电”,而所产生的电离通道,称之为“先驱流注”。它象一条微弱的火舌,忽明忽暗地向下延伸,如图1-2所示。这说明先驱放电不是连续的,而是一个一个脉冲地相继向前发展的。它的平均发展速度约为 $10^7 \sim 10^8$ 厘米/秒,各脉冲间的间隔约为 $30 \sim 90$ 微秒。每阶段向前推进的长度约为50米。这种先驱放电称为“阶段式先驱放电”。先驱放电常常是分枝状的,这是因为放电往往是沿着空气游离最强、最容易导电的路径发展的。通常只有一个先驱放电枝叉达到大地。

图1-2左边是用一般照相机拍摄的雷电放电图形,右边是用移动得很快的底片拍摄的雷电发展的展开图形。从云层向下伸展的细线代表阶段先驱。在先驱接近地面时,由地面或建筑物上发出的反方向发展的放电称为“迎面放电”。阶段先驱与迎面放电在离地面一定距离的地点相遇。

先驱放电与迎面放电会合后,开始“主放电阶段”,这

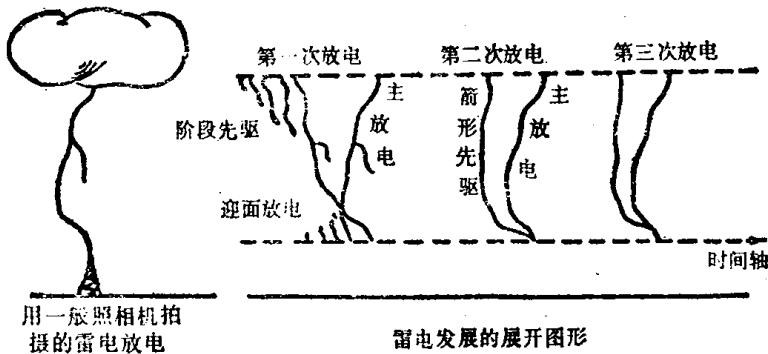


图 1-2 雷电发展的展开图形

正是我们肉眼所看见的雷电的本体。从地面向上升起的粗线代表这一主放电的弧柱。在主放电阶段中，聚集在先驱电路中的电荷与地面上的电荷猛烈地中和，发出强烈的闪光，巨大的电流流过雷击点。主放电时的电流波也由大地向雷云前进，其波头的速度达到 10^9 厘米/秒。

雷电放电大多是重复性的，一次雷电平均包括三至四次放电。重复的放电都是沿着第一次的通路发展的。这时由雷云向下发展的先驱放电是连续的，而不是阶段式的。这种连续式的先驱放电称为“箭形先驱放电”。雷电放电产生重复现象主要是由于雷云中的大量电荷不可能一次放完的缘故。第一次放电是从雷云最下层发出的，随后的放电则由较高云层或相邻区域提供电荷。

一次雷电放电的时间约为十分之几秒。

以上是雷电对地面上一般建筑物放电的过程。在高大尖顶的建筑物和构筑物上雷电放电过程可能有些不同。据观测，从30米高的建筑物上开始的迎面放电路程只有几米长；而建筑物高度增加时，迎面放电的长度也增加；当雷击100米高的建筑物时，迎面放电的长度可达30~100米。而建筑物高度达几百米，例如雷击山顶上的铁塔时，放电过程有时变为从塔顶开始发展。这是因为：当极高建筑物使地表的电场分布严重畸变，建筑物顶点的电场强度达到极限值时，空气从建筑物顶点开始游离，先驱放电则先从建筑物的顶部开始发展。极高建筑物上受到多次放电的雷击时，第一次以后的各次放电也是连续的。极高建筑物上测得的雷电流值往往较一般统计数值低，但时间较长。

二、雷电的放电特性

雷电的破坏作用主要是雷电流引起的。现在我们着重介

绍雷电流的特性。用快速电子示波器测得的雷电流示波图如图1-3所示。

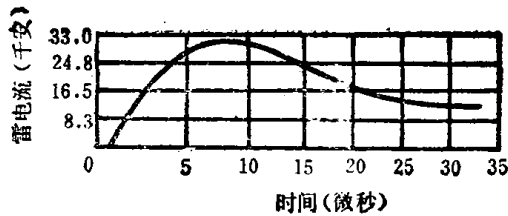


图 1-3 雷电流示波图

示波图上，雷电流由零增长到幅值这一部分称为“波头”，所需时间通常只有几个微秒；电流值下降的那部分称为“波尾”，波尾时间则长达数十微秒。雷电流是一种幅值极大，作用时间极短的瞬变过程。

防雷工程的耐雷水平是按雷电流的大小确定的。我国电气化事业和基本建设都在迅速发展，建设巨大的电力系统和大量的建筑物，都需要考虑防雷设施，因此知道雷电流的大小是十分必要的。

雷电流幅值大小的变化范围很大，根据我国各地测得的统计数据，绘制出的雷电流幅值概率曲线，如图1-4所示。图中纵座标是雷电流幅值的大小(千安)，横座标上是超过纵座标

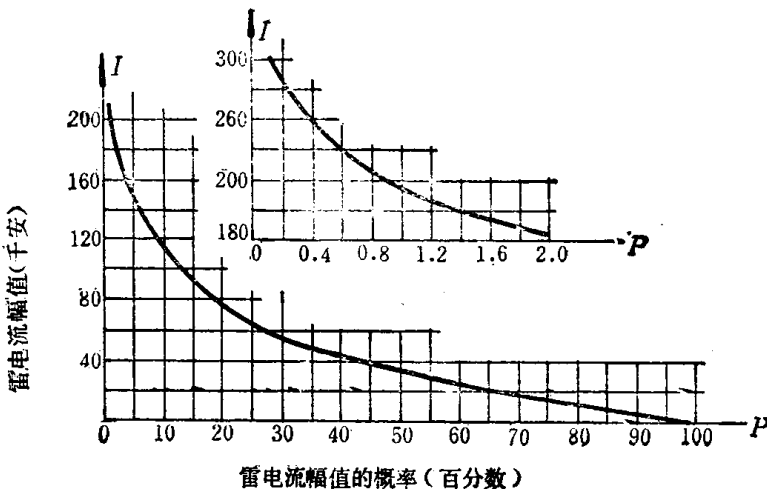


图 1-4 我国雷电流幅值概率曲线

所示幅值的雷电流出现概率（以百分数表示）。雷电流幅值超过 I 的概率也可按下式求得：

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

式中 P ——雷电流幅值概率；
 I ——雷电流幅值（千安）。

我国西北地区、内蒙古自治区、西藏藏族自治区以及东北的边境等地区雷电流的幅值较低，对应于某一概率的雷电流幅值可按图1-4查出的数值减半计算。

根据我国实测资料，雷电流幅值与土壤电阻率并无明显的关系。过去有人认为“雷电流与雷击点的散流电阻 R 有直接关系， R 愈大、则雷电流愈小”，这种看法只有在散流电阻变化比较大的情况下才是正确的。而一般建筑物，防雷接地电阻均在20~30欧姆以下，在这种数值范围内，雷电流幅值受雷击点散流电阻的影响是不大的。

至于雷电流的极性，根据实测结果，约有70~90%是负极性的；正极性电流很少出现，出现时其电流值也较大。

另一重要参数是雷电流的上升速度，通常称为“雷电流陡度”，按千安/微秒计算。雷电流陡度与雷电流的关系如图1-5所示。它的数值可由雷电流 i 对时间 t 的微分求得：

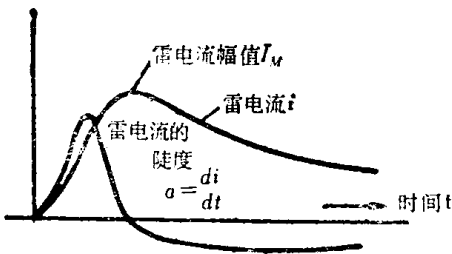


图 1-5 雷电流与雷电流陡度的关系 雷电流陡度 $\alpha = \frac{di}{dt}$

开始雷电流陡度的数值很快地增加，以后逐渐变小；当雷电流达到幅值时，雷电流陡度变为零。因此雷电流陡度的

极大值与雷电流的幅值不是同时出现的。

我国雷电流陡度最大值的实测数据还不够多。

对中等雷电流和大雷电流的实测示波图进行统计, 得出雷电流波头时间大体在 $1 \sim 4$ 微秒之间。

综上所述, 我们给出如下所列的雷电放电的主要参数。

雷电放电的主要参数

表 1-1

特 性 名 称 (单位)	最低参数	最高参数	典型参数
先驱放电			
每阶段向前延伸的长度(米)	3	200	50
两次脉冲间的时间间隔(微秒)	30	125	50
平均速度(米/秒)	1×10^5	2.6×10^6	1.5×10^6
先驱上的电荷量(库仑)	3	20	5
箭形先驱放电			
传播速度(米/秒)	1×10^6	2.1×10^7	2×10^6
箭形先驱上的电荷量(库仑)	0.2	6	1
主 放 电			
传播速度(米/秒)	2×10^7	1.4×10^8	5×10^7
电流陡度(千安/微秒)	< 1	> 80	10
波头时间(微秒)	< 1	30	2
波 幅 值(千安)	—	300	10~20
放电电荷量(库仑)	0.2	20	2.5
波尾时间(微秒)	10	250	40
放电电路长度(公里)	2	14	5
雷电放电的全过程			
主放电次数(次)	1	26	3~4
主放电时间间隔(毫秒)	3	100	40
放电的持续时间(秒)	10^{-3}	2	0.2
总放电电荷量(库仑)	2	90~100	25~30

三、球雷

如上所述, 雷电有线状、片状和球状等多种形式。前面

已详细叙述了线状雷电的特性。至于片状雷电，或称片状闪电，是在云间发生的，对地面影响不大。球状雷电是一种特殊的雷电现象，通常简称球雷。它是近两世纪来，国外科学家们研究的一个课题。他们提出各种理论，如射频放电产生的等离子体粒团理论、激光脉冲产生的等离子体涡旋的相干辐射理论、热核等离子体产生外磁场的核反应理论等，但尚没有一种决定性的理论可以完全置信。综合这些理论、摄影照片以及我们进行的调查提出球雷的基本性质、造成的危害和应采取的措施。

过去和现在的避雷装置主要是针对线状闪电的直击雷和感应雷所采取的设计、措施及规定。并没有对球雷给以相应的对策和应有的重视。从我们的调查得知，球雷的机率是不少的。如表1-2的统计数字，球雷占8%。

北京地区的球雷事故较为显著，如1981年8月2日西郊善家坟公安局仓库，因落球雷烧坏33根电警棍；1983年8月15日北京东郊炼焦化工厂，因落球雷烧毁高4.4米，直径6米，体积为100立方米的酒精罐2个（图1-6）；同日东郊十八里店公社铸造厂，落球雷烧爆10吨汽油罐2个以及2吨柴油罐2个。

又如1982年8月16日北京迎宾馆院内两处落球雷，皆为沿大树滚下。一处当即打倒一位战士，并将2.5米高的警卫室平顶的混凝土顶板外边沿和砖墙距地2米高的部位击坏两个小洞，门外拉线电门损坏，室内电灯打掉，造成电话断线。另一处为院内东南区堆料木板房落一球雷，该木板房高3.5米，在三棵14至16米大槐树包围之中，球雷沿大树滚下，将东面窗户上没有接地的铁丝网击穿8个小洞，将窗玻璃击穿2个小洞，然后钻进室内。烧焦了东部木板墙面和东南部房角，

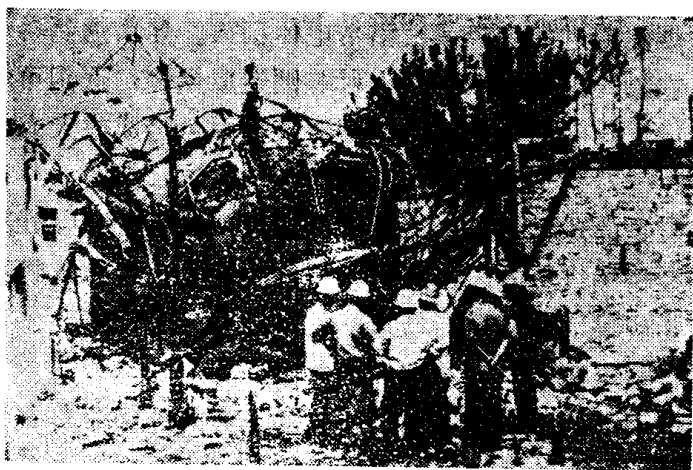


图 1-6 炼焦化工厂100m³酒精罐烧毁情况

将室内两条自行车内胎烧毁，电灯线烧断，胶盖闸击坏。此两处都是较低的一层房屋，均在高大树林包围之中，它的附近地面潮湿，仓库的东侧的大树根部堆有空汽油桶、铁推车及钢筋，这些都是招引雷电的条件。

概括国内外的报导和我们观察到的球雷的情况，对它的性质和作用的看法，基本是一致的。

球雷是一种橙或红色似火焰的发光球体，也有带黄色、绿色、蓝色或紫色的。直径一般约10~20厘米，最大的直径可达一米。存在的时间约百分之几秒到几分钟，一般是3至5秒。球雷自天空垂直下降后，有时在距地一米左右时沿水平方向，以1至2秒的速度上下移动。有的雷球在距地面0.5至1米处滚动，或升起2至3米。雷球下降时有的无声消失，有的发出嘶嘶的声音，遇到物体或电气设备则产生震耳的爆炸声。爆炸后物体受到破坏，有臭氧，二氧化氮或硫磺的气味。

球雷常常是沿建筑物的孔洞或开着的门、窗进入室内，有时从烟囱滚进楼房，多数沿带电体消灭。球雷遇到易燃物品——衣物、被褥、纸张、木材等则造成燃烧；遇到可爆炸性气体或液体则产生爆炸；碰到建筑物则可造成或大或小的破坏；也能对家畜造成死亡，但极少伤人。

最常见的球雷是沿大树滚下，有时燃烧树木的枯朽部分，有时沿大树钻进室内。因此对木结构建筑物、古建筑物和高层建筑物应采取防雷球的措施。具体措施见第三章。

四、雷电活动与气象条件的关系

雷电活动的强度是因地区而异的，有的地区强，有的地区弱。某一地区的雷电活动强度，通常用年平均雷电日这一数字来表示。我国年平均雷电日分布大致可以划分为四个区域：西北地区年平均雷电日一般在15日以下；长江以北大部地区（包括东北）年平均雷电日在15~40日之间；长江以南地区年平均雷电日在40日以上；北纬23°以南地区年平均雷电日均超过80日；广东省的海南岛及雷州半岛地区，是我国雷电活动最剧烈的地区，年平均雷电日高达120~130日。

年平均雷电日这一数字只能给人们提供某一地区雷电活动的概括情况。但是，雷电活动的强弱程度与落雷概率是两个不同的概念。事实上，即使是在同一地区，雷电活动也是有所不同的。有些地方受局部气象条件的影响，雷电活动可能比邻近地区强得多。例如：在某些山区发现，山的南坡落雷多于山的北坡；傍海的一面山坡落雷多于背海的另一面山坡；雷暴走廊与风向一致的地方在风口和顺风的河谷里落雷多于别的地方等等。这是因为山区地方受局部气象条件的影响更为显著的缘故。

所以，我们在了解一个地方的雷电活动程度的时候，不