

建筑物避雷与接地

苏邦礼
朱文坚 编著

华南理工大学出版社

建筑物避雷与接地

苏邦礼
朱文坚 编著

华南理工大学出版社

前 言

雷电是一门古老的学科，有关雷电的某些问题至今尚未能作出完满的解释。各国的学者对雷电机理和避雷作过大量研究，并提出了不同的避雷计算方法。不少国家也根据各自的情况制定了自己的避雷规范。

由于历史原因，1984年以前，我国未颁布过建筑物避雷方面的规范。过去我国建筑物避雷方面的设计多借鉴于欧、美、日本和苏联的资料，由于各国资料的差异，因而造成设计、施工、验收和维护工作不协调。

本书以我国1984年颁发的《建筑物防雷设计规范》GBJ 57-83(试行)为指导文件，参考国外一些规范、文献撰写的。作者旨在通过阐述一些雷电的基本理论，使读者对防雷的措施和规范有较深入的理解，并通过解决工程避雷的实例，达到理论与实际相结合。

为了改变防雷工程设计中传统的繁琐计算方法，书中提供了避雷针、避雷线和接地系统的微机计算程序。对国内新兴的高层建筑物、特殊建筑物的防雷问题作了适量介绍。对国外有争议的带放射性元素的避雷针作了简明介绍。此外还对接地装置防腐蚀、装饰型避雷等问题提供一些实用的意见。

书中提供了大量设计施工样图，方便读者在工作中

目 录

第一章 雷电的基本理论

第一节 雷电的成因	(2)
一、雷云的形成	(3)
二、电离层与地面间电荷平衡	(5)
三、尖端放电与雷击	(6)
第二节 雷击闪电的特性	(9)
一、雷电流的特性	(9)
二、闪电的电荷量	(16)
第三节 雷电活动及雷击的选择性	(19)
一、雷电活动及雷电活动日	(19)
二、雷击点的选择	(20)

第二章 雷电的破坏作用和避雷原理

第一节 雷电的破坏作用	(24)
一、雷电流的热效应的破坏作用	(24)
二、雷电的冲击波的破坏作用	(25)
三、雷电流的电动力效应的破坏作用	(26)
四、雷电的静电感应的破坏作用	(27)
五、雷电流的电磁感应的破坏作用	(29)
六、雷电反击和引入高电位	(30)

七、球形雷	(40)
第二节 避雷的基本原理	(42)

第三章 接闪器的设计与计算

第一节 避雷针保护范围的计算	(46)
一、单支避雷针保护范围的计算	(48)
附：计算程序	
二、双支等高避雷针保护范围的计算	(55)
附：计算程序	
三、双支不等高避雷针保护范围的计算	(71)
附：计算程序	
四、多支等高避雷针保护范围的计算	(80)
五、多支不等高避雷针保护范围的计算	(81)
第二节 避雷线保护范围的计算	(82)
一、单根避雷线保护范围的计算	(82)
附：计算程序	
二、两根等高平行避雷线保护范围的计算 ...	(84)
附：计算程序	
三、两根不等高平行避雷线保护范围的计算	(85)
附：计算程序	
第三节 避雷带和避雷网	(89)
一、避雷带	(89)
二、避雷网	(89)

第四章 接闪器和引下线的结构设计及特殊建筑物的保护

第一节 接闪器的结构设计	(92)
--------------------	--------

一、避雷针的结构设计	(92)
二、避雷带和避雷网的结构设计	(103)
第二节 引下线的设计	(110)
第三节 装饰型接闪器	(114)
第四节 带放射性元素的避雷针简介	(124)

第五章 雷电的重点保护及建筑物和构筑物的防雷措施

第一节 雷电的重点保护	(128)
一、不同外形房屋雷击分布情况	(128)
二、建筑物重点保护方式的几点建议	(131)
第二节 建筑物和构筑物的防雷分类	(131)
一、工业建筑物和构筑物的防雷分类	(131)
二、民用建筑物和构筑物的防雷分类	(133)
第三节 各类建筑物和构筑物的防雷措施	(134)
一、第一类工业建筑物和构筑物的防雷措施	(134)
二、第二类工业建筑物和构筑物的防雷措施	(138)
三、第三类工业建筑物和构筑物的防雷措施	(141)
四、第一类民用建筑物和构筑物的防雷措施	(142)
五、第二类民用建筑物和构筑物的防雷措施	(144)
六、其它防雷措施	(144)
第四节 特殊建筑物和构筑物的防雷措施	(145)

一、多层高建筑物的防雷措施	(145)
二、无线电塔和设备的防雷保护	(148)
三、电视接收天线的避雷	(149)
四、建筑工地的防雷保护措施	(152)
五、地下爆破作业的防雷保护	(153)
六、深水油井避雷的特殊问题	(153)

第六章 接地装置

第一节 跨步电压和接触电压	(158)
一、跨步电压及防止被跨步电压电击	(158)
二、接触电压及防止接触电压电击	(161)
第二节 接地装置的结构设计	(162)
一、土壤电阻率和接地电阻	(163)
二、单个接地体的工频接地电阻计算	(168)
三、单个接地体的工频接地电阻和冲击电阻 的关系	(172)
四、多个金属接地体的利用系数计算	(175)
五、系统的接地电阻(工频)的计算	(177)
附: 计算程序	
第三节 接地系统的施工	(191)
一、接地体埋设工艺要求	(191)
二、改良土壤和接地体特殊布置	(194)
三、接地体选用的材料	(201)
四、关于均衡电位接地法	(201)
五、自然接地体的利用	(202)
第四节 接地电极的抗腐蚀问题	(202)
一、电解现象和腐蚀	(203)

二、接地系统的防腐蚀措施	(204)
第五节 接地电阻的测试	(206)
一、概述	(206)
二、接地体周围地面的电位分布	(207)
三、测量电流的选择和测量电极的安排	(210)
四、测量仪器的选择和测量数据的校正	(214)
五、土壤电阻率的测量	(219)

第七章 防雷接地系统的验收、维护和修理

第一节 防雷接地系统验收必备文件和验收方法	(222)
第二节 防雷接地装置的维护和检查	(224)
课程设计例题	(228)
附录一：建筑物年计算雷击次数的经验公式	(237)
附录二：常用氧化锌避雷器的型号和特性表	(238)
附表一：单支避雷针的针高计算表	(241)
附表二：双支避雷针的常用参数表	(245)

第一章 雷电的基本理论

人们通过模拟在地球原始大气的密室中进行放电实验，结果从无机物合成了十一种氨基酸；其中甘氨酸、丙氨酸、门冬氨酸、谷氨酸都是存在于天然蛋白质中，后来嘌呤、嘧啶、核酸、脱氧核糖、核苷酸、脂肪酸及卟啉等都通过模拟地球原始条件，通过放电从无机物中合成了有机物。这些物质的出现，是生命起源的基础，因此一些生命起源学说认为，是雷电孕育了地球上的生命，是雷电促使地球成为文明的星球。因而人类有今天的文明应该多谢雷电。但是雷电有时又伤害生灵、伤害人类，破坏建筑物、损毁财富、给人类带来灾难。如1987年我国内蒙古一次由于雷击引起的森林大火就烧掉了一千三百多公顷的森林。从1956年至1962年大兴安岭森林因雷击失火的损失占70%。加拿大的不列颠哥伦比亚地区在1958年因雷击造成的林火就有1150次。1987年美国弗吉尼亚州瓦罗普斯岛的火箭发射场上，有五枚即将发射的试验火箭，其中三枚被雷击中，自然点火升空而损失严重。同年5月21日广东惠来县靖海镇资深村一间房子被雷击，把屋内正在玩耍的六名女孩击死。总之有关雷害的报导经常都有。

由于雷电会给人类带来灾害，因此人类很早就与雷害进行斗争。其中取得最卓越成就的有十八世纪中叶的著名科学家富兰克林(Frank lin)和M·B 罗蒙诺索夫(ЛОМОНОСОВ)，

Г.В黎赫曼(РИХМАН)。他们通过大量实验建立了雷电学说,认为雷击是云层中大量阴电荷和阳电荷迅速中和而产生的现象;并且创立了避雷理论,发明了避雷针。他们这些科学成就,已为人类作出了重大的贡献。

我国古籍中,有关雷电理论和避雷实践的记载十分丰富。例如东周时《庄子》上记述:“阴阳分争故为电,阳阴交争为雷,阴阳错行,天地大骇,于是有雷、有霆。”这些学说与现代的雷电学说是如此相似,不过它比现代雷电学说要早两千多年。在古籍中关于建筑工程中避雷的记载也十分丰富。南北朝的孟奥《北征记》中有如下记述:“凌云台南角一百步,有白石室,名避雷室。”又盛弦之《荊州记》中记述:

“湖阳县春秋蓼国,樊重之邑也,重母畏雷,为立石室,以避之,悉以文石为阶砌,至今犹存。”书中谈及的白石、文石,未作考证,据分析应该属于大理石之类绝缘性能较好的石块。至于宋、元、明、清代的建筑物多用“雷公柱”(宋代称杵杆)等措施以避雷。

以上只是我国古籍关于雷电记载中的点滴摘录,当然它与现代雷电理论和避雷技术相比还有差距,但是从历史观点来看,我们的祖先能够在那么早就创造出那样完整的雷电理论,并且在技术上得到应用,这是我们民族光辉灿烂文化历史的一页。

第一节 雷电的成因

通常所谓雷击是指一部分带电的云层与另一部分带异种

电荷的云层,或者是对大地之间迅猛的放电。这种迅猛的放电过程产生强烈的闪光并伴随巨大的声音。当然,云层之间的放电主要对飞行器发生危害,对地面上的建筑物和人、畜没有多少影响。然而,云层对大地的放电,则对建筑物和人、畜危害甚大,我们将主要研究它。

通常雷击有三种主要形式:其一是带电的云层与大地上某一点之间发生迅猛的放电现象,叫做“直击雷”。其二是带电云层由于静电感应作用,使地面某一范围带上异种电荷。当直击雷发生以后,云层带电迅速消失,而地面某些范围由于散流电阻大,以至出现高电压,发生闪击和电磁感应的现象,叫做“二次雷”或称“感应雷”。此外还有“球形雷”将在后面另加详细说明。

一、雷云的形成

不管是直击雷还是感应雷都与带电的云层存在分不开,带电的云层称为雷云。有关雷云形成的假说很多,但至今尚未有一种被公认为无懈可击的完整学说,这里我们只介绍其中一种认为比较完善并经常被推荐的假说。

根据大量科学测试可知,地球本身就是一个电容器,通常大地稳定地带负电荷50万库仑左右;而地球上空存在一个带正电的电离层,这两者之间便形成一个已充电的电容器,它们之间的电压为300kV左右。并且场强为上正下负。

当地面含水蒸汽的空气受到炽热的地面烘烤受热而上升,或者较温暖的潮湿空气与冷空气相遇而被垫高都会产生向上的气流。这些含水蒸汽的上升气流上升时温度逐渐下降形成雨滴、冰雹(称为水成物),这些水成物在地

球静电场的作用下被极化(图1-1),负电荷在上,正电荷在下,它们在重力作用下落下的速度比云滴和冰晶(这两者称为云粒子)要大,因此极化水成物在下落过程要与云粒子发生碰撞。碰撞的结果是其中一部分云粒子被水成物所捕获,增大了水成物的体积,另一部分未被捕获的被反弹回去。而反弹回去的云粒子带走水成物前端的部分正电荷,使水成物带上负电荷。由于水成物下降的速度快,而云粒下降的速度慢,因此带正、负两种电荷的微粒逐渐分离(这叫重力分离作用),

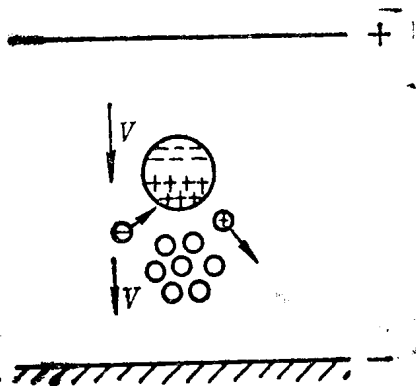


图 1-1 水成物在大气电场中的极化

如果遇到上升气流,云粒子不断上升,分离的作用更加明显。最后形成带正电的云粒子在云的上部,而带负电的水成物在云的下部,或者带负电的水成物以雨或雹的形式下降到地面。当上面所讲的带电云层一经形成,就形成雷云空间电场,空间电场的方向和地面与电离层之间的电场方向是一致的,都是上正下负,因而加强了大气的电场强度,使大气中水成物的极化更厉害,在上升气流存在的情况下更加剧重力分离作用,使雷云发展得更快。

从上面的分析,好象雷云总是上层带正电荷,下层带负电荷。实际上气流并不单是只有上下移动,而比这种运动更为复杂。因此雷云电荷的分布也比上面讲的要复杂得多。

根据科学工作者大量直接观测的结果，典型的雷雨云中的电荷分布大体如图1-2所示。

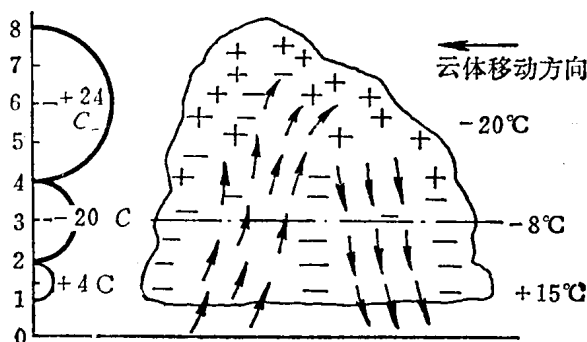


图 1-2 典型的雷雨云中的电荷分布，左端是按此分布归纳的理想模式

图中左端是按理想分布归纳的理想模式。

从科学工作者的测试结果表明，大地被雷击时，多数是负电荷从雷云向大地放电，少数是雷云上的正电荷向大地放电。在一块雷云发生的多次雷击中，最后一次雷击往往是雷云上的正电荷向大地放电。从观测证明，发生正电荷向大地放电的雷击显得特别猛烈。

二、电离层与地面间的电荷平衡

上面说过，地球是一个表面带负电荷的球体，并且它所带的负电荷量长期稳定在 5×10^5 库仑水平，而在地球上空的电离层上则带有相等的正电荷，使电离层与地面之间的电压约300kV。如图1-3所示。因而在电离层与地面之间存在一个电场，晴天时在地面附近的电场强度为120V/m。即使在

晴天时，大气中总有一些空气分子被电离，在电场的作用下造成放电电流，根据观测和计算的结果表明，这个放电电流强度为 1800A ，如果长期如此，电离层与地面之间的电荷将很快被放电完毕；然而事实上，它们之间大致长期保持恒定的带电量 and 电压，这主要由于雷暴的形成和雷击，把正电荷从大地送回到电离层，起到对电离层的正电荷充电的作用，根据卫星观测资料及电学观测资料估计，在任何一时刻全地球表面上连续发生着大约 1000 个雷暴。正因为这样，电离层与大地之间的电场才得到保持稳定。

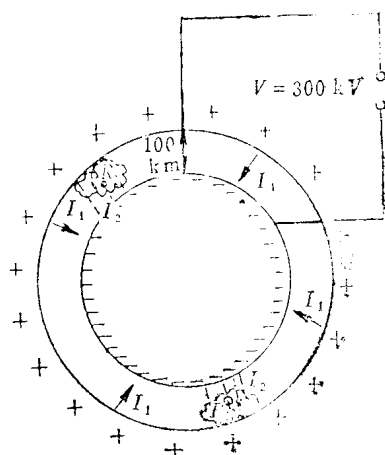


图 1-3 地球电场示意图。 R 为雷暴区，其余为晴天地区。
 I_1 为晴天电流（放电），
 I_2 为补偿电流（充电）

三、尖端放电与雷击

由物理学可知，通常物体内部的正电荷和负电荷是相等的，所以从整体来看不显示带电现象，当某一物体所具有的正、负电荷不相等时，这个物体就显示带电的特性，当物体内部的正电荷多于负电荷时，物体带正电，反之带负电。由于电荷都有异性相吸、同性相斥的特性，所以带电物体中的

同性电荷总是受到互相排斥的电场力作用。以一个如图1-4那样的带尖锋的金属球为例，假如金属球带上负电（同理也可以解释带上正电），由于电荷同性相斥的作用，电子总是分布到金属球的最外层表面，并且有“逃离”金属球表面的趋势。球带尖锋部分的电子受到同性电荷往外排斥力最强，故最容易被排斥离开金属球（图1-4），这就是通常说的“尖端放电”。此外当带电物体周围的空气越潮湿或带有与带电体相反电荷的离子时，带电体也越易放电。

当天空中有雷云的时候，因雷云带有大量电荷，由于静电感应作用，雷云下方的地面和地面上的物体都带上了与雷云相反的电荷。雷云与其下方的地面就成为一个已充电的电容器，当雷云与地面之间的电压高到一定的时候，地面上突出的物体比较明显地放电。同时，天空带电的雷云在电场的作用下，少数带

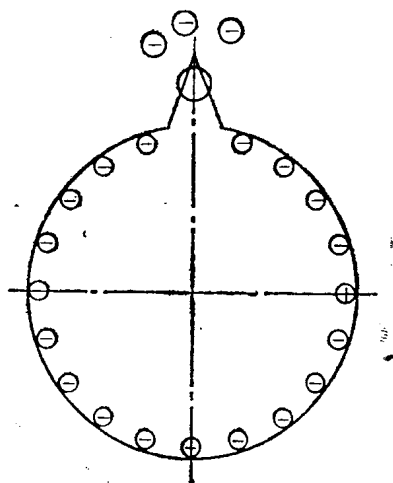


图 1-4 尖端容易放电

电的云粒（或水成物）也向地面靠拢，这些少数带电微粒的靠拢，叫做先驱注流，又叫电流先导。先驱注流的延续将形成电离的微弱导通，这一阶段称为先驱放电，开始产生的先驱放电是不连续的，是一个一个脉冲地相继向前发展。它发展的平均速度为 $10^7 \sim 10^8 \text{ cm/s}$ 。各脉冲间隔约 $30 \sim 90 \mu\text{s}$ ，每

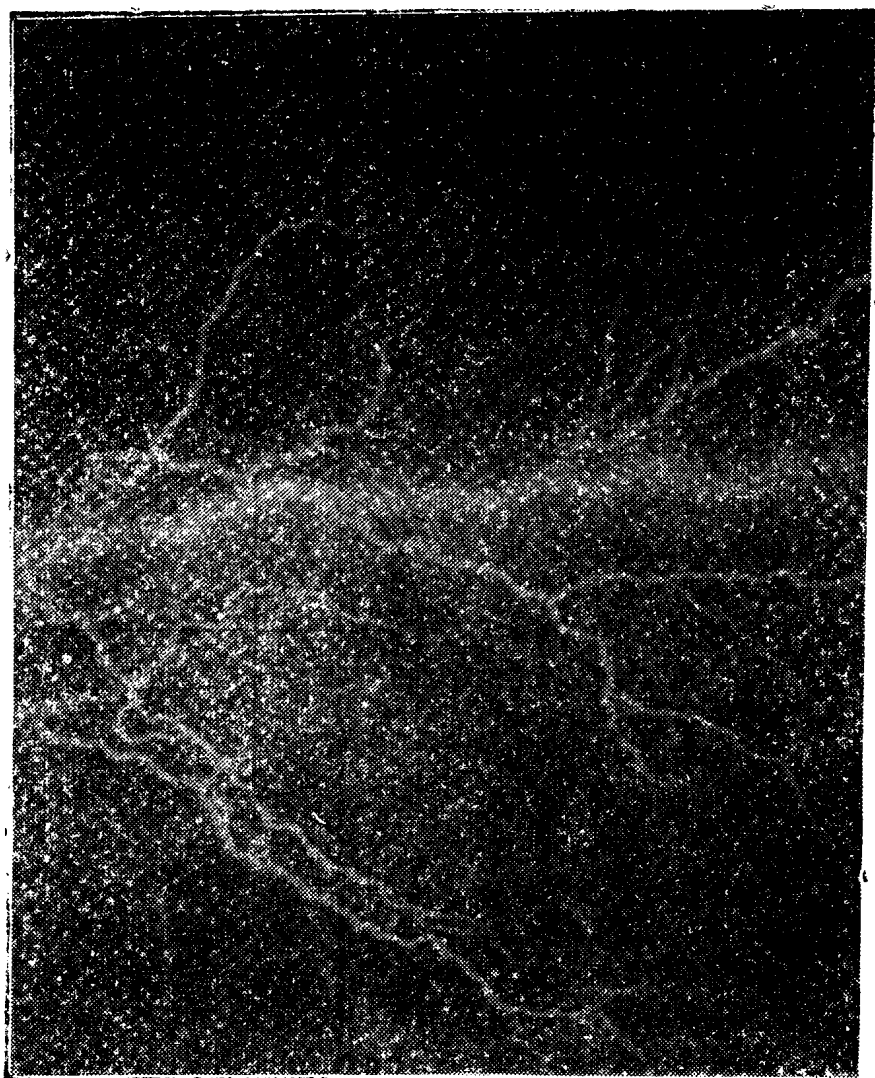


图 1-5 线状闪电

阶段推进约50m。先驱放电常常表现为分枝状，这是由于放电是沿着空气电离最强，最容易导电的路径发展的。这些分枝状的先驱放电通常只有一条放电分支达到大地，如（图1-5）所示。

当先驱放电到达大地，或与大地放电迎面会合以后，就开始主放电阶段，这就是雷击。在主放电中雷云与大地之间所聚集的大量电荷，通过先驱放电所开辟的狭小电离通道发生猛烈的电荷中和，放出能量，以至发出强烈的闪光和震耳的轰鸣。在雷击中，雷击点有巨大的电流流过。大多数雷电电流峰值为几十千安(kA)，也少数上百千安(kA)以至几百千安(kA)的。雷电流峰值的大小与土壤电阻率的大小大体成反比。

雷电流大多数是重复的，通常一次雷电包括3~4次放电。重复放电都是沿着第一次放电路路发展的。雷电之所以重复发生的原因，是由于雷云非常之大，它各部分密度不完全相同，导电性能也不一样，所以它所包含的电荷不能一次放完，第一次放电是由雷云最低层发出的，随后放电是从较高云层、或相邻区发出的。

一次放电全部时间可达十分之几秒。

第二节 雷击闪电的特性

一、雷电流的特性

雷电破坏作用与峰值电流及其波形有最密切的关系。雷击的发生、雷电流大小与许多因素有关，其中主要的有地理