



王学良 刘学春 伍哲文 段振中
黄克俭 叶志明 史雅静 编 著

Fanglei Zhuangzhi Jiance Jishu

防雷装置检测技术

防雷装置检测技术

王学良 刘学春 伍哲文 段振中 编著
黄克俭 叶志明 史雅静

内 容 简 介

本书介绍了雷电的形成、分类及其危害,探讨了雷电活动基本特征、雷电流幅值分布概率、雷电绕击率、反击率和人工观测雷暴最远距离等问题。根据国家现行法律法规和技术标准,结合十余年的防雷装置检测技术经验,阐述了防雷装置检测一般规定、常用仪器设备及其原理、检测技术、报告书制作和雷击灾害调查与鉴定等内容。重点介绍了建筑物、爆炸和火灾危险场所、高速公路、移动通信基站、电子信息系统、运行中 SPD 以及发电厂、变电站地网检测技术方法。

本书是防雷装置检测专业技术人员从业资格考试参考用书,也可供从事雷电防护技术业务人员及相关专业学生学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

防雷装置检测技术 / 王学良等编著. —北京:气象出版社, 2012. 9
ISBN 978-7-5029-5573-1

I. ①防… II. ①王… III. ①防雷设施—检测 IV. ①TM862

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 226119 号

Fanglei Zhuangzhi Jiance Jishu

防雷装置检测技术

王学良等 编著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:张锐锐 吴晓鹏

责任技编:吴庭芳

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京京科印刷有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

字 数:260 千字

版 次:2012 年 9 月第 1 版

定 价:40.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68407948

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:黄润恒

印 张:15

印 次:2012 年 9 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

前 言

雷电是天空中一部分带电的云层内部、云层与云层之间或者云层与大地之间一种放电现象,具有大电流、高电压、强电磁辐射等特征。据估计,就整个地球表面而言,每秒钟的云地闪电就有 30~100 次,而在地球表面各地,有时顷刻间就有 2000 个左右的闪电,平均每天发生闪电 800 万次。闪电特别是云对地间的闪电对国民经济建设有较大的危害,常对地面建筑物或其他设施造成雷电灾害,甚至人员伤亡。随着信息网络技术和现代高科技在各个领域的广泛应用,闪电所造成的损失日趋严重,对建筑物、计算机网络、信息处理系统的威胁尤其严重。雷电灾害是最严重的十种自然灾害之一,被称为“电子时代的一大公害”。据不完全统计,我国每年因雷击造成人员伤亡达 3000~4000 人,财产损失在 50 亿~100 亿元人民币。2000—2008 年湖北省境内发生雷击事故 1000 多起,造成直接经济损失数亿元,因雷击伤亡 377 人,其中死亡 226 人、受伤 152 人。因雷击造成湖北省南漳炸药库爆炸、黄陂横店石油储库爆炸、晨鸣纸业军山苇场火灾、新洲阳逻棉花仓库火灾、十堰火车站小商品市场火灾等重大雷击灾害。2009 年 8 月 26—28 日 3 天时间里,湖北省境内发生 9 起雷击灾害,造成 19 人伤亡,其中死亡 11 人,重伤 3 人,轻伤 5 人。因此,防雷减灾工作已引起各级政府和社会各界各行业的高度重视,并相继颁布实施了雷电防护方面的法律法规和相关防雷技术标准,为防雷减灾工作提供了法律法规保障和技术支撑。

根据《中华人民共和国气象法》、《国务院对确需保留的行政审批项目设定行政许可的决定》(国务院令 第 412 号)和国家相关法律法规的规定,县级以上气象主管机构负责雷电灾害防御工作的组织管理,并负责组织实施本行政区域内的防雷装置设计审核和竣工验收。气象部门在全国范围内,相继开展了对新建、扩建、改建的建(构)筑物和其他设施的防雷系统的设计审核和竣工验收工作。对湖北各地而言,《湖北省雷电灾害防御条例》第十四条规定:防雷工程的建设单位应当按照审核同意的设计方案进行施工,并根据施工进度,选择具有相应资质的防雷检测机构进行跟踪检测。防雷检测

机构应当对隐蔽工程逐项检测,并对检测报告负责。检测报告作为竣工验收的技术依据。因此,防雷装置设计是否科学、经济、安全,在防雷装置检测过程中能否发现其防雷安全隐患,具有相应资质防雷检测机构责无旁贷,气象部门责任重大。为了进一步规范防雷装置检测方法、统一检测标准、提高防雷装置检测技术人员的服务水平,依照现行的防雷技术规范 and 标准,结合作者多年防雷装置检测的实际经验,应湖北省气象学会的邀请,特编写了本教材。

本教材介绍了雷电基础知识,根据湖北省防雷中心近年来从事防雷工作和开展防雷技术科研和标准化研究成果,总结归纳了防雷装置检测的一般要求、基本步骤与方法,重点阐述了建(构)筑物防雷装置定期和跟踪检测、其他场所的防雷装置检测、运行中电涌保护器(SPD)检测、检测报告书制作及雷击灾害调查与鉴定方法等。

本教材实用性和可操作性强,可供防雷装置检测人员从业资格考试使用,也可供从事雷电防护业务人员和相关专业学生学习和参考。

由于作者时间仓促,加上水平有限,教材中的错误在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2012 年 5 月

目 录

前 言

第一章 雷电基础知识	(1)
1.1 雷电的形成	(2)
1.2 雷电的分类	(7)
1.3 雷电活动主要参数	(10)
1.4 雷电活动基本特征	(13)
1.5 雷电活动有关问题研究	(25)
1.6 雷电危害及其特性	(31)
第二章 建筑物防雷分类与雷电防护区划分	(38)
2.1 爆炸和火灾危险场所的分区	(38)
2.2 建筑物的防雷分类	(39)
2.3 雷电防护区划分	(41)
第三章 防雷装置检测概述	(44)
3.1 防雷装置检测一般要求	(44)
3.2 常用仪器设备及其原理	(48)
第四章 建筑物防雷装置检测	(66)
4.1 建筑物防雷装置检测的基本步骤与方法	(66)
4.2 防雷检测技术标准的应用	(71)
4.3 新建建筑物防雷装置跟踪检测	(76)
4.4 防雷装置竣工检测中常见问题	(89)
第五章 其他场所防雷装置检测技术	(92)
5.1 爆炸和火灾危险场所防雷及防静电接地装置检测	(92)
5.2 高速公路防雷装置检测	(108)
5.3 移动通信基站防雷装置检测	(118)
5.4 电子信息系统防雷装置检测	(125)

5.5	发电厂、变电站地网检测	(130)
第六章	运行中电涌保护器检测技术方法	(141)
6.1	电涌保护器	(141)
6.2	运行中电涌保护器检测技术方法	(143)
第七章	防雷装置检测报告与原始记录表的制作	(150)
7.1	报告书与原始记录类型	(150)
7.2	页码编排	(152)
7.3	字体要求	(152)
7.4	印章使用要求	(153)
7.5	封面页制作	(153)
7.6	“基本情况”页制作	(154)
7.7	“闪电监测资料”页制作	(156)
7.8	“检测结论”页制作	(157)
7.9	“现场检查情况”页制作	(159)
7.10	“检测项目及结果评价”页制作	(160)
7.11	“测试及结果评价(接地电阻、过渡电阻)”页制作	(161)
7.12	“SPD 测试结果”页制作	(163)
7.13	“附页”页制作	(165)
7.14	合订本制作	(165)
7.15	原始记录表制作	(166)
7.16	防雷装置检测原始记录表与报告书式样	(167)
第八章	雷电灾害调查与鉴定方法	(196)
8.1	雷电选择性特征	(196)
8.2	雷灾事故鉴定方法	(201)
8.3	雷击点的鉴定方法	(204)
8.4	雷电灾害分类(分级)标准	(206)
8.5	雷电灾害调查、鉴定技术工作流程	(209)
复习思考题		(213)
参考文献		(233)

第一章 雷电基础知识

雷暴是产生于强烈发展的积雨云中、云间或云地之间的放电现象,常伴随有强烈的雷电活动以及冰雹、大风和暴雨等灾害性天气发生,是我国主要气象灾害之一。雷电特别是云对地间的放电对国民经济建设有较大的危害,常对农林、交通、通信、航空航天及地面建筑物或其他设施造成损害,甚至人员伤亡。雷电灾害已经被联合国列为“最严重的十种自然灾害之一”,被国际电工委员会称为“电子时代的一大公害”。据有关统计,全球每年因雷电造成的人员伤亡超过 1 万人,所造成的经济损失在 10 亿美元以上^[1]。1989 年 8 月 12 日,山东黄岛油库遭雷击发生火灾,使 100 多家企业因火灾停产、海产养殖场被毁、海水被大面积污染,造成 19 人丧生,100 多人受伤,直接和间接经济损失数以亿计。近年来,我国中部五省(湘、赣、鄂、豫、皖)平均每年因雷击造成人员伤亡在 220 人以上。随着社会和经济的发展,雷电所造成的损失日趋严重,尤其是对计算机网络、通信系统等各类微电子设备已造成较为严重的威胁。

由于雷电会给人类带来灾害,因此,人类很早就与雷电灾害进行斗争。其中取得卓越成就的有 18 世纪中叶著名科学家富兰克林、罗蒙诺索夫和为雷电科学研究而不幸以身殉职的黎赫蔓。他们通过大量实验建立了雷电学说,认为雷电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,富兰克林于 1752 年发明了避雷针。避雷针防雷法,亦称富兰克林法,这是一种最古老、最传统的防雷方法。公元前 1500 年殷商甲骨文就有“雷”字^[2]。我国古籍中,有雷电理论和避雷实践的记载十分丰富。例如东周时《庄子》记述:“阴阳分争故为电,阴阳交争故为雷,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如此相似,不过它比现代的雷电学说要早 2000 多年。

1.1 雷电的形成

1.1.1 大气中的电现象

观测结果表明,晴天大气中始终存在方向垂直向下的大气电场,这就意味着大气相对于大地带有正电荷,而大地带的是负电荷。由于大地看成是导体,是一个等势面,将大气中电位相同的各点连接成面,大气的等电位与大地表面相平行,所以地面有起伏,空中有导体时,平行于大地表面的等电位面就会发生弯曲^[2],如图 1.1 所示。

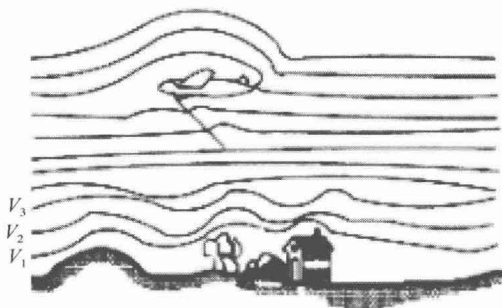


图 1.1 晴天大气电场等电位面

晴天大气电场分布因时因地而变化,与气溶胶的浓度有密切关系,陆地上分布较为复杂。陆地和海洋晴天大气电场强度的平均值分别为 115 V/m 和 130 V/m ,全球平均为 130 V/m ^[3]。在不同高度测量电场强度,就可绘制出如图 1.2 所示的曲线。通常晴天大气电场随高度呈指数衰减的分布特征。但是即使同一时刻,晴天大气电场在不同高度范围内随高度的分布也不相同。但总的特征是,大气的电场强度由地面向上逐渐减少,到 10 km 以上,已减小到地面处的 3% ^[2]。由图 1.2 可以看出,在近地面处,晴天大气电场将受到大地电极的影响,由于大地带负电荷,在近地面的一薄层大气中积聚了大量符号相反的正电荷,而且电荷密度在该层分布很不均匀,随高度的增加而急剧递减,于是形成较强的大气电场和电场梯度。

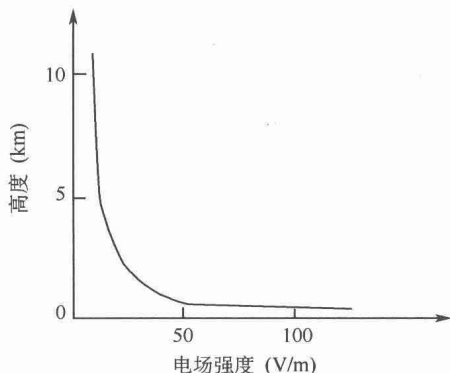


图 1.2 大气电场强度随高度的变化

1.1.2 雷雨云的电结构

雷电与雷雨云的存在是分不开的,人们通常把发生闪电的云,称为雷雨云。其实有几种云,都与雷电有关,如层积云(Sc)、雨层云(Ns)、积云(Cu)、积雨云(Cb),其中最重要的则是积雨云(图 1.3)。一般情况下,雷雨云上部有一个正电荷中心,下部有一个负电荷中心,即云层底部一般是带负电荷,因此,云对地的闪电绝大多数是负闪电。根据科学工作者大量直接观测的结果,积雨中电荷的典型分布大体如图 1.4 所示。一般认为,主要负电荷区中心位于 3 km 高度,温度 -8°C ,呈半径为 1 km 的球体,其电荷量为 -20 C ;主要正电荷区中心位于 6km 高度,温度 -30°C ,是半径为 2 km 的球体,其电荷量为 $+24\text{ C}$;最下方的正电荷区中心位于 1.5 km 高度,温度 1.5°C ,呈半径为 0.5 km 的球体,其电荷量为 $+4\text{ C}^{[2]}$ 。这是按理论归纳的理想模式,不同地区的实际情况可能与这种典型分布有较大的差别。北方的雷暴



图 1.3 积雨云

云下部经常存在一个持续时间很长、范围很大的正电荷区,而南方地区雷暴云下部是负电荷为主^[4]。这些不同的电结构特征对闪电会产生重要影响。

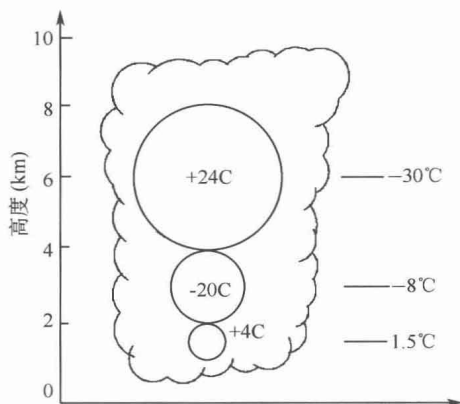


图 1.4 积雨中电荷分布

1.1.3 雷电形成的几种学说

积雨云是最强的对流云,浓密而深厚,外形像山峰或巨塔,在它发展旺盛时期,云顶高度可达 10~15 km,云底高度在平原地区大约 1 km 左右。随着雷雨云的发展和运动,一旦空间电场强度超过大气游离放电的临界电场强度(大气中约为 30 kV/cm,有水滴存在时约为 10 kV/cm)时,就会发生云间或对大地的火花放电现象^[5],也称云闪或云地闪电。

国内外的科学家关于雷电的形成,做过多年的大量科学试验研究,并先后提出了很多雷电形成的理论和假说,下面简单介绍目前比较流行的几种理论^[2,6]。

(1) 感应起电学说

大量测试结果表明,地球带负电,其电荷量约为 50 万库仑(C),而在地球的上空,存在着一个带正电荷的电离层,于是在电离层与地面之间就形成了一个电力线指向地面的大气电场。在大气电场的作用下,云中的水滴将被激化,其上部出现负电荷,下部出现正电荷。同时在大气宇宙射线的作用下,空气发生电离,产生正、负离子。激化的水滴在下落过程中与空气中电离产生的离子相遇,水滴下部将俘获负离子,而正离子则被排斥而上升,这样整个水滴就带上了负电荷(图 1.5)。

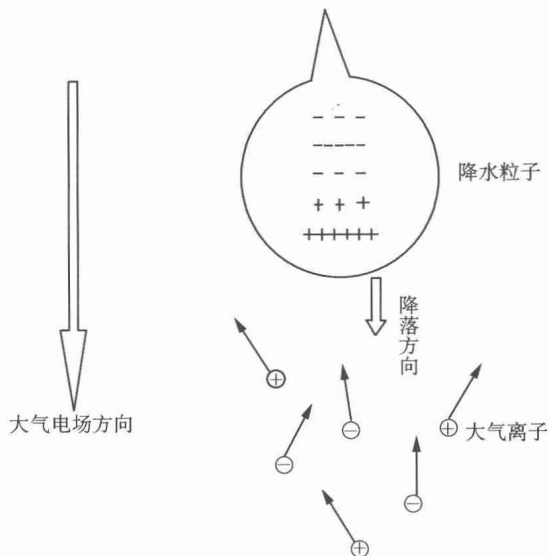


图 1.5 水滴感应起电机制

(2) 温差起电学说

科学实验已证明,在冰中有一小部分的分子处于电离状态,形成较轻的 H^+ 和较重的羟基(OH^-)离子,并且其浓度随温度的升高而很快增加,温度较高的部位离子浓度较大,温度较低的部位离子浓度较低; H^+ 离子的扩散系数和迁移率比 OH^- 离子要大10倍以上。因此,当冰中有温度梯度时就会出现离子浓度梯度,如图1.6(a)所示。由于温度热端起初具有较高的正、负离子,而后沿此浓度梯度, H^+ 离子扩散得快,导致正、负离子分离,冷端获得净正电荷,而热的一端获得净的负电荷,冰体中电荷生成的电场阻止电荷分离的继续,最后达到动态平衡状态,如图1.6(b)所示。积雨云中的雷电形成有两种方式。一种是积雨云中的冰粒、雹粒相互碰撞接触时,由于温度的差异而发生离子的迁移,在重力和气流的双重作用下,使积雨云中的正、负电荷分布发生差异;另一种是积雨云中的过冷却水滴,遇冻结核时快速冻结形成冰壳,同时放出潜热,当冰壳内的水逐渐冻结,导致冰壳体积增大而使外层冰壳破裂而产生冰屑。这种冰屑是带正电的,他们较轻而小,易被上升气流携至云的上部。所以,积雨云的上部聚集大量的正电荷。

(3) 破碎起电学说

观测表明,雷雨云底部有相当数量的大水滴,其半径超过毫米量级时,在大气电场的作用下,大水滴的上部为负电荷,下部为正电荷。大水滴在强烈的上升气流作用而破碎。如图1.7所示,最初水滴被变为扁平状,然后其下表面被气流吹成凹进去,形成以液体圆环为外边界的环状大口袋状,当

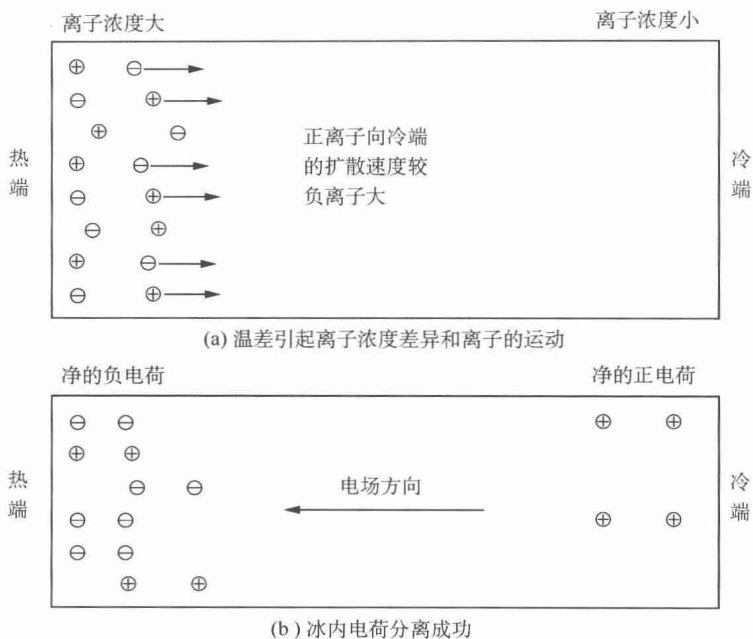


图 1.6 温差起电机理

“口袋”被上升气流冲破时产生许多小水滴。较大的水滴带正电荷，较小的水滴带负电荷，由于较小的水滴质量轻，会被上升气流携带到云的上部，而带正电荷的较大水滴因重力沉降聚集在云底附近。因此，雷雨云的底部往往出现一定数量的正电荷。

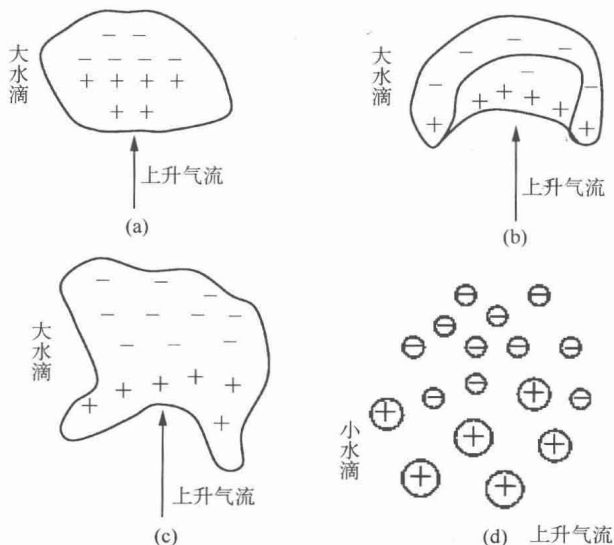


图 1.7 雨滴破碎起电机理的剖面图

1.2 雷电的分类

闪电是指一部分带电的云层与另一部分带异电荷的云层,或者是带电云层与地面、物体之间迅猛的放电现象。按照闪电发生的空间位置可分为云内闪电、云际闪电、云空闪电和云地闪电。根据闪电的形状可分为线状、带状、片状、连珠状和球状闪电^[6]。

1.2.1 按闪电的形状分类

(1) 线状闪电

线状闪电最为常见,线状闪电一般表现为一种蜿蜒曲折的巨型电气火花,一般长 2~3 km,也有长达 10 km,具有丰富的分叉,类似树枝状,所以也称枝状闪电(图 1.8)。线状闪电是闪电中较为强烈的一种。云层中和云层间的放电主要对飞行器有影响;云地间的放电主要对地面上的建筑物、电子设备和人、畜危害较大。

(2) 带状闪电

带状闪电是宽达十几米的一类闪电,它比线状闪电要宽几百倍,看上去像一条宽带,所以称带状闪电。图 1.9 给出一次带状闪电击中烟囱的闪电照片。

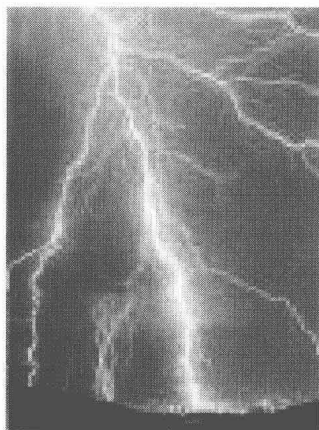


图 1.8 线状闪电

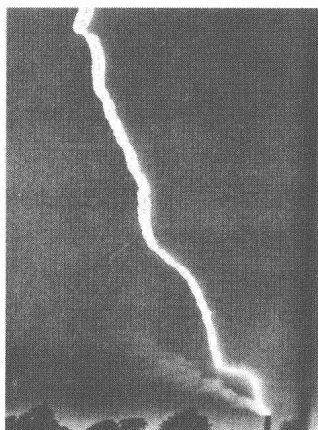


图 1.9 带状闪电

(3) 片状闪电

片状闪电是指出现在天空中无一定形状的大片亮光(图 1.10)。这种闪电表示云中的电场能量虽然已经足够产生放电,但新加入的电量却太少,以致在闪烁放电尚未转变到火花(线状)放电以前,原有的储电量已经用完了。

(4) 连珠状闪电

连珠状闪电有时为一串发光球体,有时像一条悬挂在空中的发光亮斑的长串珍珠链(图 1.11),有时则为许多长达几十米的发光段,因此,称为连珠状闪电或称链状闪电。连珠状闪电比较罕见,多出现在强雷暴期间,持续时间较线状闪电长得多。连珠状闪电似乎是介于线状闪电与球形闪电之间的一种过渡形式。

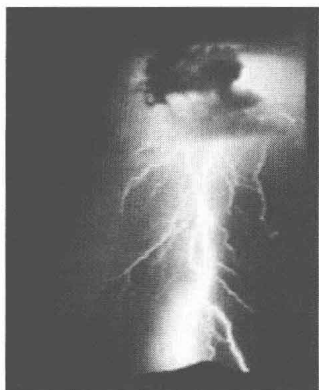


图 1.10 片状闪电

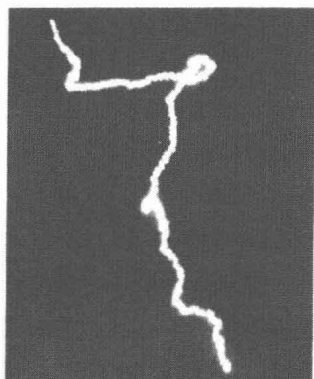


图 1.11 连珠状闪电

(5) 球状闪电

球状闪电特指雷电过程中发生的一种运动着的发光球,看上去像一团火球,因而称为球状闪电。球状闪电是最奇妙、最罕见和最神秘莫测的一种闪电,由拳头般大小到足球那样大(直径平均为 25 cm,多数在 10~100 cm)的球形发光体所组成,活动速度不大,可以看到它在移动,它走的路径极不规则,往往与风向一致,它能在一个地方停留一些时候,球形闪电存在的时间可由几秒到几分钟,它出现时,常有尖哨声或嗡嗡声,有时会安然地消失,但有时也会发生恐怖的爆炸。它消失时,往往留下具有刺激性的轻烟雾。目前,国内外学者对于球形闪电也还没有很完善的解释,科学家们仍在研究中。

1.2.2 按闪电发生的位置分类

根据闪电发生的位置可将闪电分为云闪和地闪两大类。

(1) 云闪

云闪是指不与大地和物体发生接触的闪电,它又包括云内闪电、云际闪电和云空闪电。云内闪电是指云内不同符号电荷中心之间的放电过程;云际闪电是指两块云中的不同符号电荷中心之间的放电过程;云空闪电是指云内电荷中心与云外大气中的不同符号电荷中心之间的放电过程。云闪占闪电的主要部分,云闪数要大于地闪数。云闪数与地闪数之比值与地理纬度有关,纬度越低,比值越大,反之,当纬度高时,比值就小。

(2) 地闪

地闪是云与大地之间的一种放电过程。它常对地面建筑物、电子设备、电力输送、人、畜等造成直接或间接的危害,它对人类造成的危害远比云闪要大。

按照闪电电流地闪可分为:

①正地闪:闪电电流为正的称为正地闪。一般正地闪电占地闪总数的10%以下。

②负地闪:闪电电流为负的称为负地闪。一般负地闪电占地闪总数的90%以上。

按照闪电先导方向地闪可分为^[6]:

①向下先导:由云向地面发展的先导。如先导带负电,称向下负先导;如先导带正电,称向下正先导。

②向上先导:由地面向云中发展的先导。如先导带负电,称向上负先导;如先导带正电,称向上正先导。

按照先导传播方向和地闪击电流方向分类^[6]:

①第一类地闪(图 1.12.1a,1b):具有向下先导和向上回击,云中负电荷中心与大地和地物间的放电过程,具有负闪电电流,因此,简称为向下负先导负地闪;如果负先导不着地,则就无回击,此时只有如图 1.12.1a 所示的过程,则为云空放电。如果负先导着地,则就产生回击,将云中的部分电荷泄放到大地上,若该过程只一次为单闪击闪电(图 1.12.1b),若重复多次为多闪击闪电。

②第二类地闪(图 1.12.2a,2b):具有向上正先导的云中负电荷中心与大地和地物间的放电过程,具有负闪电电流。它又分为两种情况:

图 1.12.2a,先导带正电向上,放电一般始于高耸的接地体(塔尖或山顶),具有向上正先导而无回击,简称为向上正先导连续负放电。

图 1.12.2b,先导带正电向上,并有向下回击,称之为向上正先导负地闪,如果其后仍伴有闪击,称之为向上正先导多闪击负地闪。

③第三类地闪(图 1.12.3a,3b):云中荷正电,具有向下正先导和向上回

击,云中正电荷中心与大地和地物间放电过程,具有正闪电电流,简称为向下正先导正地闪。

图 1.12.3a,向下正先导不着地,于是产生云空放电过程。

图 1.12.3b,向下正先导着地,引起向上负回击,泄放云中的正电荷到大地,这一类在山地少见,在湖边常可见到。

④第四类地闪(图 1.12.4a,4b):云中荷正电,具有向上负先导的云中正电荷中心与大地和地物间的放电过程,具有正闪电电流。

图 1.12.4a,向上先导始于高耸的高层建筑的尖顶,这类地闪根据有无回击而细分为 A 型和 B 型。A 型地闪具有向上先导和向下回击的放电过程,简称向上负先—连续正电流闪电。向上正地闪多为单闪击地闪。B 型地闪具有向上先导而无回击的放电过程,只是在先导后出现持续时间约几百毫秒,持续电流为几百安的放电过程,简称为向上负先导正地闪。

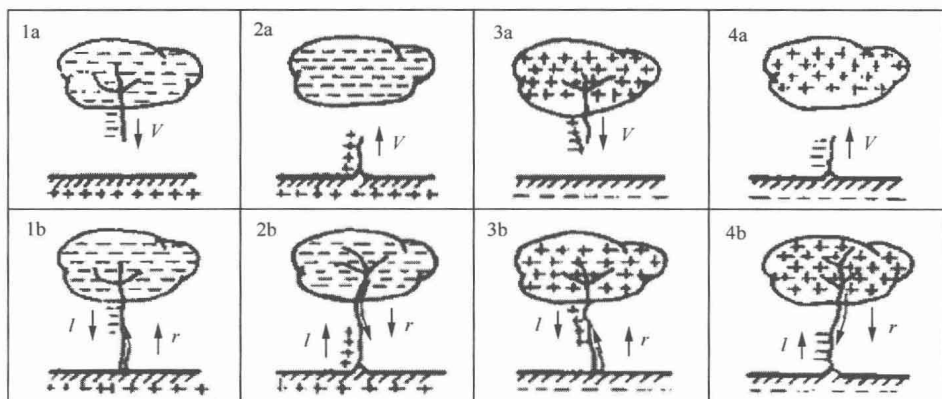


图 1.12 地闪的四种类型(l 和 r 分别代表先导和回击, V 代表发展方向)

1.3 雷电活动主要参数

雷电活动的频繁程度因地区而异,有的地区多,有的地区少。雷电日数、雷电小时和闪电(落雷)密度,是目前描述雷电活动最主要的三个基本参数,是防雷工程设计、雷击风险评估中重要参数。

1.3.1 雷电日数

气象学规定:雷电日数是指在指定地区内一年四季所有发生雷电放电