

58.42
R2J

科学 知识 丛书

闪电与冰雹

阮忠家 周诗建



56.42
RZJ

闪电与冰雹

阮忠家 周诗建

民族出版社

责任编辑：黄敦朴
封面设计：宋祖廉
 刘洛平
插 图：王国伦

科学知识丛书
闪电与冰雹

阮忠家 周诗健

民族出版社出版 新华书店发行
民族印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：2 1/2 字数：31千
1984年12月第1版

1984年12月北京第1次印刷

印数：0001—10,000册 定价：0.28元
书号：13049·5

前 言

我们编辑《科学知识丛书》的目的是为了贯彻落实党的十二大关于社会主义物质文明和精神文明建设的要
求，在广大少数民族地区的人民群众中，尤其是在青少年中宣传普及科学知识，对常见的自然现象和人类社会的演变，进行科学的解释，以期对广大读者有所启发，引起读者自己探索科学真理的兴趣。

我们怀着这样的愿望，约请有关的专家和一些有成就的科普作家编著了这套丛书。在编著过程中，他们倾注了极大的热情，并注意了少数民族地区的特点，向读者介绍一些基础的科学知识，力求文图并茂，通俗易懂，尽可能反映本书所涉及的学科中的新情况，新观点，新成就。

本丛书的主要对象是具有高小、初中文化水平的工人、农牧民、青少年、高小及初中的学生，同时也可作为中、小学的教学参考和课外读物。

本丛书初步选定涉及天文学、地学、生物学和社会科学领域的三十种选题，将以汉、蒙古、藏、维吾尔、哈萨克、朝鲜文出版。

本丛书的编辑出版工作是在国家民委和中国科协的指导下进行的。在具体工作中得到了中国科协普及工作部、中国科普创作研究所、民族出版社、科学出版社、科普出版社、

地质出版社、中国少年儿童出版社、北京天文馆、北京自然博物馆、中医研究院、国家气象局、北京科学教育电影制片厂等单位的大力支持。在此我们对上述单位和参加这一工作的作者和同志们表示衷心的感谢。

针对少数民族地区的实际情况编辑这类丛书还是首次，没有经验，缺点错误在所难免，希望读者和专家们给予指正和帮助。

《科学知识丛书》编辑委员会

一九八四年八月三十日

目 录

写在前面的话	1
一 闪电	3
1. 闪电的本质	3
2. 闪电的源地——雷雨云	8
3. 闪电的结构	12
4. 球状闪电	17
5. 闪电的危害、防护和人工影响	20
6. 雷击与避雷	26
二 冰雹	35
1. 冰雹的概念	35
2. 冰雹是怎样形成的	40
3. 冰雹云的识别	46
4. 冰雹天气和预报	52
5. 人工防雹的原理和方法	54
6. 人工防雹的工具	65
三 结束语	69

写在前面的话

炎热的夏季，在高耸的积雨云迅猛发展之际，虽然天空中乌云翻滚，但地面上却静静地没有一丝风。经验告诉人们，这是在酝酿着一场剧烈的天气变化。果然，不多久，狂风大作，雷电交加，往往还伴随暴雨或冰雹。

雷电和冰雹是两种经常联系在一起出现的灾害性天气现象，它们都是由强大的积雨云发展生成的。发展为产生雷电活动的云就叫雷雨云，而发展为产生冰雹的云则叫冰雹云。观测事实表明，有雷电时不一定会有冰雹，但有冰雹时则经常伴有雷电。这说明冰雹云内发生的许多过程比雷雨云内更为复杂和剧烈。

雷电虽然是鸣雷闪电的统称，但它经常仅指闪电而言，因为就产生原因和危害作用来说，鸣雷只处于从属地位。本书主要介绍有关闪电的一系列问题，指出闪电本质上是空气中发生的长火花放电，剖析了雷雨云中的电结构和对雷雨云起电有重要贡献的因素，观测了闪电的细致结构，叙述了奇异的球状闪电。与此同时，还着重介绍闪电的危害和防护知识，尤其是人的闪电防护知识，希望对读者，尤其是对从事野外工作的同志有所裨益。

冰雹主要是对农作物有害的一种天气现象，但有时对房屋建筑、交通运输和人、畜的安全也会构成威胁。因为它在

某些内陆地区的春、夏季节发生比较频繁，偶尔还出现特大冰雹，因而使这种自然现象带上了神奇的色彩。所以本书在阐述雷电的同时，相应地把冰雹的形成、冰雹的预报和人工防雹的一些基本知识也介绍给读者。

我们希望这本小册子会给读者以启迪、兴趣和信心，一切自然现象都是可以认识的，随着科学技术的发展，万物的主宰——智慧的人类，有朝一日是可以影响自然，最终驾驭自然的。

一、闪 电

1. 闪电的本质

雷电是自然界中极为壮观的声、光、电现象。它那划破黑夜长空的耀眼闪光和震耳欲聋的巨大声响，往往增添了它的威严。但是，雷电给人类造成的深刻印象，不仅在于它的声势，更重要的还在于它给人类生活和生产活动带来的种种影响。首当其冲的是雷电击毙人、畜，威胁着户外不及躲避的人、畜的生命安全，所以雷电现象常使人“心有余悸”。

在古代，由于人类对自然界缺乏认识，往往对雷电充满恐惧感，认为这是上帝在显示威力，因此把雷电当作神来顶礼膜拜。古希腊人认为主宰人类和诸神的宙斯掌管着雷电；我国古代亦有“雷公”“电母”的传说，认为雷电是雷公击动王鼓、电母晃动明镜而致。

雷电也给远古人类带来了好处，由于闪电引起的森林起火，很可能启发了人类对火的利用，从而促进了人类的发展。

关于雷电的记载，我国早在3,500年以前的殷代甲骨文中就已有之。大约公元前120年西汉时期撰写的《淮南子》一书中，就提出“阴阳相薄为雷、激扬为电”的思想，把雷电看作是两种最基本的力量——阴和阳——互相冲突、互相



图1. 中国古代传说中的雷公

渗透的结果，这种看法在当时是相当难能可贵的。

其后二百年，东汉时期的王充在他著名的《论衡》一书中，就雷电问题专门写了“龙灵”、“雷灵”、“雷虚”等篇，驳斥了雷电击死人是“上天”有意识地在惩罚罪人的说法。王充认为天是无知无识的自然，根本不会进行声讨与惩罚，空中也没有悬挂“天鼓”的地方，更没有“雷公”其人。他质问道：自古以来无道的君王多得很，上天为什么不用雷电来击毙他们？此外，王充还根据观测事实，归纳出不少有科学价值的看法。他指出雷电系起源于太阳的作用：

“雷者，太阳之激气也”。他总结了雷电活动的季节性：

“正月始雷”，“五月雷迅”，“秋冬雷潜”。王充也赞同雷电是阴阳之气相互作用的结果这一看法，他认为正是这种激化作用产生了破坏力，所以“中人辄死、中木木折、中屋屋坏，人在木下屋间，偶中而死矣”。

王充之后的漫长岁月里，越来越多的人怀疑雷电击人是上天惩罚人的迷信说法。值得一提的是宋朝沈括在他著名的《梦溪笔谈》一书中曾记载过一次雷电效应（约1708年），描写极为细致生动，堪称观测报告的典范。他写道：“内侍李舜举家曾为暴雷所震。其堂之西室，雷火自窗间出，赫然出檐。人以为堂屋已焚，皆出避之。及雷止，其舍宛然（房屋依然完好），墙壁窗纸皆黔（变黑）。有一木格（木架），其中杂贮诸器，其漆器银扣（镶着银口）者，银悉熔流（全部熔化而流淌）在地，漆器曾不焦灼（未烧焦）。有一宝刀极坚钢，就刀室中熔为汁（在刀鞘中熔化为铁水），而室亦俨然（刀鞘仍完好）。”今日看来，这些都是强大的闪电电流在瞬间通过金属导体时造成的现象。

尽管古希腊人早已知道琥珀和毛皮摩擦可以产生电，但真正证实闪电的本质即电的实验却迟至十八世纪中叶才得以进行，在这方面有卓越贡献的是美国科学家富兰克林。他在1750年提出了一个测试雷电的实验，他建议用一根长而尖的铁棒，支持在一个绝缘的玻璃底座上，并把它们装在高烟囱或高塔上。他预言：当有雷雨云经过时，站在底座上的人将会带电，因为长铁棒将从云中把电荷吸引到人的身上来。遗憾的是，当时富兰克林所在的费城并无高耸的烟囱或铁塔，因而他无法证实自己的预言。但是1752年6月，富兰克林冒着危险进行了著名的风筝探测实验。他把一个用丝手绢作成的风筝系在一根长线绳上，在线绳末端接一根绝缘丝带。当雷雨云移近时，他观测到线绳上有些纤维竖立了起来。他意识到这是线绳带电的现象，就把自己的手指伸向悬挂在线绳上的钥匙，立即在手指和钥匙间出现了火花，从而第一次证实了闪电的本质与摩擦所生的电是一回事。

与富兰克林同一时期，也有不少其他的科学家在研究和捕捉雷电。例如在富兰克林风筝探测实验后的一年，苏联的罗蒙诺索夫和李赫曼用自制的测雷器（类似于富兰克林建议的高塔实验）探测到雷雨云过境时所引起的电火花，但是李赫曼不幸为闪电击中而丧生，成为近代雷电研究中的第一个牺牲者。

从富兰克林开始才真正进入在现代电学基础上的雷电研究。现在大多数人都知道，闪电就是空气中的长火花放电，我们可以在实验室内用人工的方法产生它。日常生活中大家也有这种经验，当化纤衣服摩擦时会有悉悉的声音，这表示衣服上积累了大量电荷。如果这时用手指去接近它，在暗处



图2. 李赫曼教授在探测雷电时
不幸为雷电击中而牺牲

就会看到有电火花跳过。闪电放电从本质上说就是这种电火花。

2. 闪电的源地——雷雨云

闪电除偶尔出现在雪暴（一种大风雪的天气现象）、沙暴（大风吹得黄沙蔽日的天气现象）和火山爆发等特殊条件下外，最经常的是出现在雷暴天气。这时巨大的云体内电光闪闪、雷声隆隆，并时常伴随大风大雨，甚至夹杂着冰雹。这种产生雷电的巨大云体，我们称之为雷雨云，而这种雷鸣电闪、风雨交加的天气就是雷暴或雷雨。

雷暴日（或雷电日）是气象上反映雷电活动的一个观测项目，一天只要发生一次闪电就算一个雷电日。从全球范围来说，每年雷电日总数的地理分布从赤道向两极地区逐渐减少。根据观测资料，印度尼西亚爪哇岛的茂物市，年雷电日总数可达322天，有世界雷都之称。在我国，年雷电日总数的分布，南方多于北方，南方平均为40—80天，北方平均为25—40天；而海南岛和雷州半岛等地，则是我国雷电活动最频繁的地区，可达120—130天。

根据现代飞机和雷达的探测，一个雷暴包括一个或几个活动中心，称为单体。各单体都有完整的生命史，可分为生长、成熟和消散三个阶段。一个单体的寿命约30—60分钟，而在成熟阶段，当有降水和闪电产生时，约维持15—20分钟。

雷暴的发展有三个重要条件：非常湿润的空气、不稳定的大气垂直分布状态以及近地面空气易于产生上升运动。炎

热的夏季，蔚蓝的天空中常常点缀着朵朵馒头状的白云，气象上叫做淡积云。当存在上述条件时，淡积云会逐渐变高变大，在云顶可以看到不断翻滚的云泡，好象热锅里沸腾的开水，远远看去外形象花椰菜，这就是浓积云。浓积云再进一步发展就成为积雨云，即俗称的雷雨云。

发展成熟的雷雨云称得上是庞然大物，它的顶部往往象铁钻一样向水平方向伸展，高达七、八公里，甚至十多公里，水平范围与高度类似或更大些。雷雨云中具有强大的上升气流，一般为几个米/秒，但有时也常观测到20—30米/秒的上升气流速度。雷雨云中的闪电活动也很频繁，从每分钟不足一次变化到每分钟十次，平均每分钟三、四次，最大闪电频数在第一次闪电发生后10~20分钟内出现。任何细心观测的人都会发现，相继闪电发生的位置是没有规则的，雷击点忽东忽西，忽前忽后，相继雷击点的平均距离约3公里。

为了弄清雷雨云中为什么会产生闪电，有必要首先了解这台“天然发电机”的电结构。

从本世纪三十年代起，就有人用气球携带探空仪器进入雷雨云中进行探测。那时还没有应用无线电遥测技术，探测结果从回收仪器的记录上才能获得，非常麻烦，误差也较大。通过大量施放这种探测仪器以及根据雷雨云下观测到的地面电场变化的结果进行反推，最后终于归纳出雷雨云中电结构的典型形式。如图3所示。

图中右端为雷雨云中电荷分布的实际情况。我们可以看到：在云体移动的前方，云中多为上升气流，而在其后部，则多为下沉气流；云中上部为冰晶，中部为冰晶、雪花和过冷水滴（即在零下温度时尚未冻结的水滴）等的混合区，底

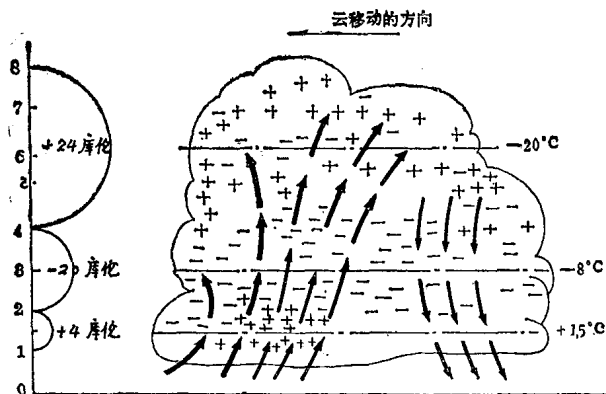


图3. 雷雨云中的电荷分布和偶极子模式

部则多为雨滴。云中的冰晶、雪花、水滴以及大气离子等都带有电荷，电荷有正有负，互相混杂。但就总体而言，则可概括成图3左方的理想模式，即雷雨云中存在两个主要的电荷中心和一个次要的电荷中心。这三个电荷中心分别是中心位于6公里高度（温度约 -20°C ）、其中分布有24库仑正电量、半径为2公里的正电荷中心；中心位于3公里高度（约 -8°C ）、其中分布有20库仑负电量、半径为1公里的负电荷中心以及中心位于1.5公里高度（约 $+1.5^{\circ}\text{C}$ ）、其中分布有4库仑正电量、半径为0.5公里的次正电荷中心。这个具有主正电荷中心在上，而负电荷中心在下的电结构叫做正极性分布或称为雷雨云的偶极子模式。

随着科学技术的发展，探测仪器和运载工具不断改进，使用了无线电遥测技术，使用了更可靠的探测原理，使用了载有各种仪器的飞机进行穿云飞行，从而了解到更多的雷雨云中的电结构情况，但其主要特征仍可用偶极子模式来概

括。闪电可以在这些电荷中心发生，也可以在这些电荷中心与地之间发生。

那么，这种电结构又是怎样形成的呢？科学家们称之为雷雨云的起电机制。象上述这种极性分布，要不了几次闪电就会将它们中和掉。为了维持这种分布，就必然会有某些过程在不断地起作用，这些过程就叫起电机制。一个完善的起电机制，必须能说明雷雨云中的电荷是怎样产生的，又是怎样分离而形成偶极子分布的。此外，这一过程还要足够强大，当闪电使电荷中心中和后，它可以在很短的时间（10秒左右）内使电荷重新形成偶极子分布。

起电机制是一个研究了很久至今尚无定论的问题，科学家们提出了各种可能的起电机制，它们分别可以说明一部分问题，但又有一些缺陷。这里我们只简单介绍一些在起电机制中起重要作用的因素。

一是大气电场，直观地看它是地表面（带负电）和电离层（带正电）两个带电层之间形成的电场。在大气电场作用下，由

一是大气电场，直观地看它是地表面（带负电）和电离层（带正电）两个带电层之间形成的电场。在大气电场作用下，由

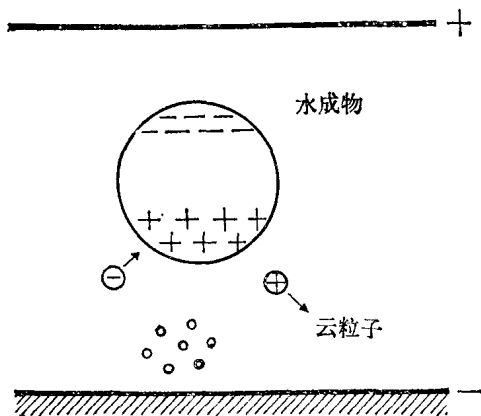


图4. 水成物在大气电场中的极化。排斥前方带正电的云粒子，而吸引带负电的云粒子。