

雷 与 避 雷

顧 慈 祥 編 著



科学技術出版社

13.2722/1

內 容 提 要

本書以通俗的文字說明雷的生成、对人类生活的影响以及如何避免雷的灾害等問題。書中对电力系统防雷,講的特別詳細,为了充分的了解这一个問題,还在書后加了一个有关進行波的附錄。

本書适于在电力系统或工業企業中工作的电气工人及初級技術員的閱讀。

雷 与 避 雷

編 著 者 顧 慈 祥

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海建國西路 336 弄 1 号)

上海市書刊出版業營業許可証出〇七九号

上海市印刷四廠印刷 新華書店上海發行所总經售

*

統一書号: 15119 · 385

开本 787×1092 紙 1/32 · 印張 3 3/16 · 字數 68,000

一九五六年九月第一版

一九五六年九月第一次印刷 · 印數 1—11,000

定价: (10) 四角二分

序 言

這本書要談談雷与避雷的問題，主要对象是在電力系統中工作的初級技術人員及技工，但是對於其他人員，如工廠的動力部門工作人員，亦可以有一定的參考價值。

關於雷的部分，首先是以科學的論據來解釋雷的起因，以及電荷在云中分离的过程；然後將雷電的特性介紹一下，這些特性對於避雷是有關係的。

接着談到避雷問題。雖然對於一般的避雷常識亦作了介紹，但是主要的部分是介紹電力系統如何防止雷的災害的方法，其中對很多實用的公式，大多有實際應用的例題來作為解釋。本書的目的不單為了設計人員的參考，連初級技術員和技工們可以從本書中了解很多設計所考慮的因素，從而能夠更好的執行工作。

編者寫這本書是初次嘗試，歡迎讀者們提供寶貴的意見。

編 者

目 錄

序 言.....	1
第一章 雷雨是怎样生成的.....	1
大气.....	1
雷雨的形成.....	4
第二章 雷电的特性.....	13
雷电的放电过程.....	13
闪电中的电流.....	16
雷雨的次数及直接雷击的.....	
第三章 雷电对我们生活的影响.....	27
雷电对生物的影响.....	27
雷电对房屋建筑的影响.....	28
雷电对电力系统的影响.....	28
第四章 如何避免或减少雷电的危害.....	39
一般性的防雷措施.....	39
第五章 避雷设备的构造与应用.....	67
避雷针及架空地线.....	67
阀型避雷器.....	70
第六章 展望将来.....	85
附錄 电气进行波的特性及其对防雷的关系.....	87

雷雲中电荷的分离及闪电... 9

結論.....12

規律.....19

几种特殊的雷.....22

雷声的發生及傳播.....24

雷电对电力不间断供应的
影响.....34

电力系统的防雷措施.....45

管型避雷器及放电間隙.....70

接地裝置.....82

第一章 雷雨是怎样生成的

大 气

我們所生存的地球表面上有一層气体，就是平常所說的空气。由于空气这一名詞并不是專指地球表面上自然界的气体（例如：压缩空气），所以將地球表面自然界的气体另称为“大气”。“大气”指从地球表面到离地数百公里甚至上千公里的高度中所有的气体。它的温度、压力、成分以及导电能力等性質都随高度而变化（見圖 1）。大气的特性，随着不同高度而有一定的規律，例如在离地約十公里到約八十公里，是所謂同温層。在这里天气終年是好天，風向經常自西向东。在同温層以上还有所謂离子層，它对无綫电的傳播有很大影响。虽然这些高的大气層对我們人类生活亦有相当重要影响，但是它們对气候没有什么作用，因而在本書中將只談談同温層以下的对流層中的大气現象。

我們都知道大气是由約五分之四的氮气及五分之一的氧气混合而成的。在大气中还有几种其他气体，虽然分量很少，但是其重要性却不亞于上述的兩種气体，那就是二氧化碳气及水蒸汽。二氧化碳气在空气中成分不定，平均約为百分之 0.03（即万分之三），而水蒸汽成分的变化更大，約自千分之一至百分之四。此外还有惰性气体如氦、氩等，但是他們对日常生活没有什么影响。由于雷雨离不开水，所以可以想像到空气中水蒸汽对

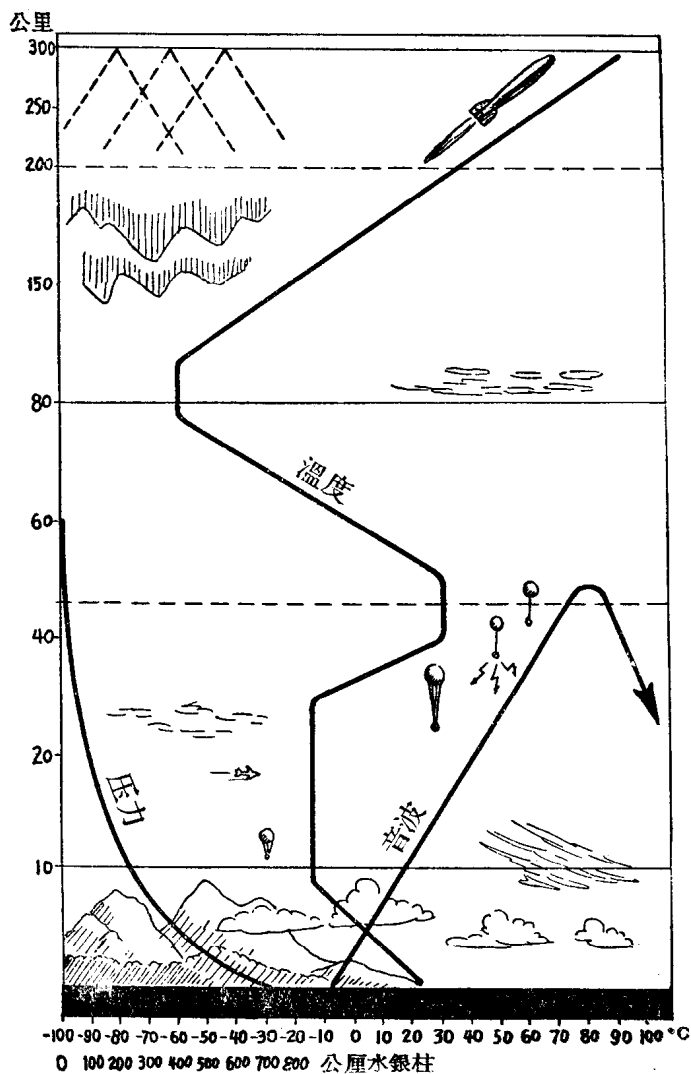


圖 1 大气的組成

我們所討論的問題是很重要的。

水蒸汽在空气中的含量，随着不同温度而有不同的饱和量（圖 2）。水蒸汽可以比饱和量少，但是如果超过饱和量就开始凝

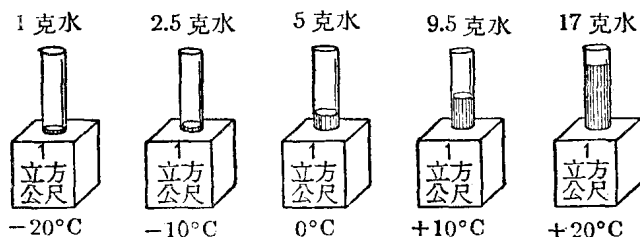


圖 2 一立方公尺空气中所含饱和水汽重量

結。这个凝結現象常發生在热而潮的空气被冷却时，例如冬天以口呵气，口中空气較潮，一出口遇到冷却便凝結成为看得見的細小水珠。在凝結的同时，水蒸汽放出它的“潜热”。因此，如果以同样方法来冷却“不饱和”的空气及“饱和”的空气，則饱和的空气温度降低得慢些。这一点对于雷雨的形成有很重要的关系。

另外一个大气現象同雷雨有关的便是大气的压力及温度随着高度的变化。在近地面的一層大气中每上升一千公尺，压力降低約百分之十二，而温度平均降低 6°C 。大气的压力随高度而降低是因为地心吸力的关系，凡是乘过飞机或者快速电梯的人都知道，当升降时由于气压的变化使耳膜上感觉不适。温度随高度而降低是由于地面（或水面）吸收太陽輻射能而温度升高，近地面的空气接触地面因而温度亦升高，但是这个温度变化只是一个平均值，实际上局部地区的温度随高度变化可以比这个多亦可以比这个少，而这个現象亦就是雷雨形成的必要条件之一。

雷 雲 的 形 成

根据經驗，我們都知道在一个悶热无風的晴朗夏天，下午常常在天空中出现一朵朵像棉花似的白雲，逐漸的白雲变得越來越厚，而且底部逐漸变黑暗，上部則仍旧雪白而略有散开的样子。接着便是雷雨來了。現在就以悶热无風晴朗夏天下午的条件來談談雷雨的形成吧。

第一，悶热表示大气中水蒸汽已近飽和，亦可以說是空气很潮湿，这是条件之一。第二，无風表示近地面的冷热不均的空气并未由風所擾乱，这就为强烈的上升气流创造好条件，自然这里所謂无風不过是說風不大而已，并不是絕對无風的意思。第三，晴朗的夏天，太陽直接照着地面，使最近地面一層大气很快的热起來。在陰天自然无此条件，在冬天由于太陽是斜照地面，又由于地面大都是雪，雪的反射能力很好，所以亦不会很快的热起來。第四，下午是一个時間因素，在早晨地面才开始热起來，直到中午或下午方才热到相当程度。

現在再來仔細分析一下雷雲是如何形成的。当最近地面一層大气热起來，它就輕了，想要向上飄，正如一个輕气球一样；但是一向上飄，它的压力就隨高度而降低，因为压力降低，它就膨脹。而气体膨脹是需要热能的；如果没有外界供給，它就靠自己降低温度來取得热能。总的情况正如圖 3 所示，按热学的規律对于干空气或未飽和空气來說是每上升一千公尺温度下降 10°C 。这个下降的度数是比大气中本來存在的每一千公尺温度下降 6°C 來得快些。因此如果近地面的空气的原來的温度是 20°C ，到了下午它已經升高到 28°C 。这时上層大气温度仍旧不变，地面这块空气便因为較輕而上升了，見圖 3 甲，到 1,000 公尺处，它的

温度为 $(28^{\circ}-10^{\circ})=18^{\circ}\text{C}$ ，而周围温度为 $(20^{\circ}-6^{\circ})=14^{\circ}\text{C}$ ，它仍旧是较轻；但是到2,000公尺处，它的温度为 8°C ，而周围温度亦为 8°C ，它便不上升了。这样的气流是不会产生雷云的。现在再看看如果这块空气中是饱含水蒸汽时的情况，图3乙。在前

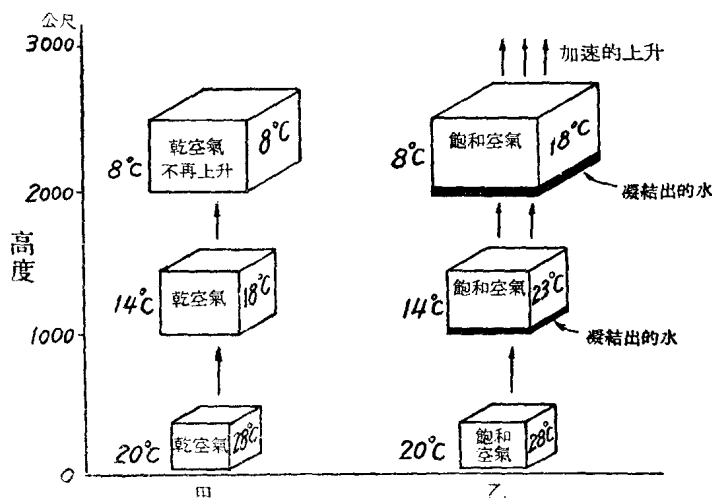


图3 干燥(未饱和)空气与饱和空气上升的情况

一節已經談过饱和空气在冷却时一部分水凝结出来，同时放出它的“潜热”，由于这个潜热，使这种空气在膨胀时温度降低得较少。在适当的情况下，温度降低得比每千公尺 6°C 还要慢些。这样一块上升的饱和空气便永远比周围大气为热，因而加速度的上升，同时水蒸汽大量的凝结，最初是水珠，后来是冰，最后是雪。这便是雷云形成的一个情况，雷云的白色顶部大多是雪，这一地方的温度，即使是盛夏，亦常低达零下40多度。

从上一节所谈，雷云的形成必须具备下列几个条件：(1)空气中有足够的水蒸汽。(2)有使这潮湿空气上升到开始凝结水

珠的气象或地形的情况及(3)沒有妨碍强烈持久的上升气流的情况。在上一節所述的只是雷雲的一种,所謂“热雷雲”,它的形成如圖 4,是某些地区常見的。除此以外还有其他情况,只要合乎上列的三个条件,亦可以形成雷雲。例如寒潮雷、热潮雷及山地雷等都是。

寒潮雷亦是常見的一种雷雨現象,它常發生在悶热的夏天,突然的來一陣北風,在北方來了一个有很整齐邊緣的烏雲,接着一陣大雷雨,天气亦馬上变得涼爽了(圖 5)。这个現象是由

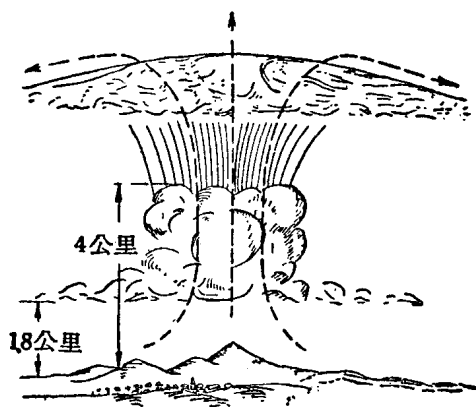


圖 4 热雷雲的形成

强大冷空气流自北方侵入。因为冷空气較重,所以这个气流像一个楔子一样插到原來較暖較潮的空氣的下面,使原來的空氣上升(圖 6)。当热而潮湿的空氣上升到一定高度,它亦到达了飽和点,水汽开始凝結更加增加了上升气流的力量,这时前面所述的三个必要条件都已經具备,雷雨就必然跟着而來了。

热潮雷亦是按相似原理,不过是由于热空氣侵入原有冷空

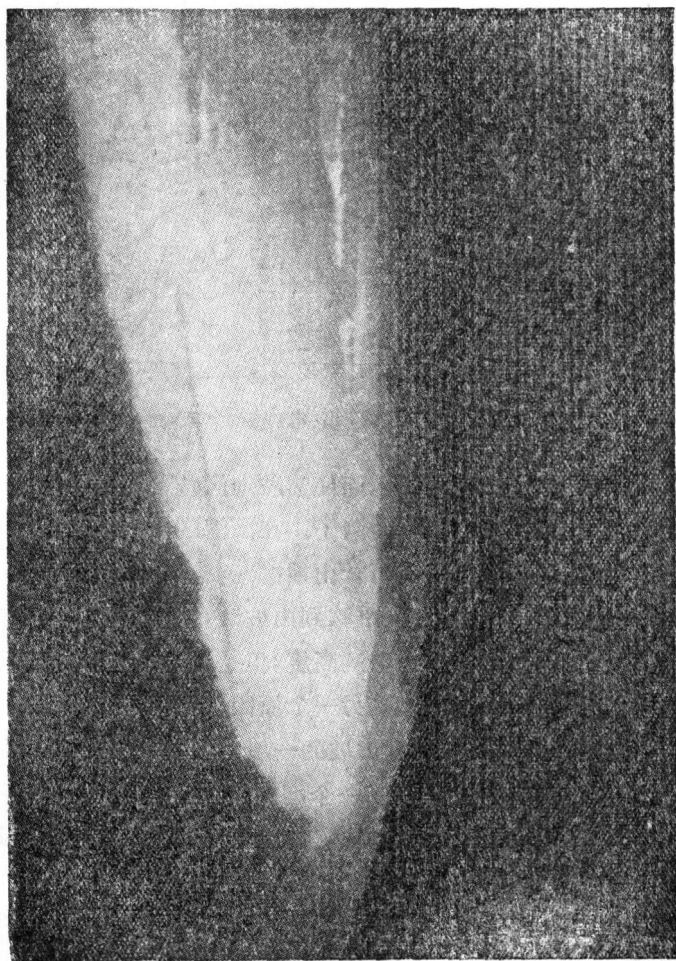


圖 5 寒潮雷的來臨(雲有整齊的邊緣)

气的地帶，逐漸爬到冷空气的上面而引起的。一般的講，它的發展比寒潮雷为緩和。

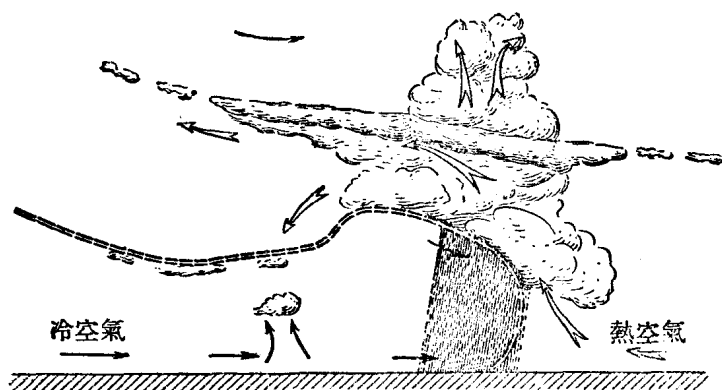


圖 6 寒潮雷电的形成

此外还有由于地形关系，而使某些地区特別容易有雷雨，例如山地雷雨，就是一个很好的例子。在濱海的山岳地帶，近海的一面山坡上常易有雷雨，叫作“山地雷”。它的形成是由于两个因素：一方面海風中潮气很重吹到山坡时，由于地形关系，必須上升，因而容易达到凝結水珠的高度，但是單是这一个原因只不过是多雨还不一定發展为雷；另一个原因，是由于山坡吸收了太陽輻射能而將这个热傳給近山坡的一層空气，使它比离山坡較远的空气为热，其結果是形成一个烟囱，虽然是斜的烟囱，可是仍然有相当大的吸風力量，这就使强烈上升气流很易形成，因而造成山地多雷的情况。

以上是以通俗的話說明雷雲是如何形成的，讀者如想進一步研究，可以参考气象学方面的書籍。下面一節將談雷雲中的电荷是那里來的。

雷雲中电荷的分离及闪电

从物理学上可以知道，物質本身是由各种不同的基本質点組成的，其中包括帶正电荷的質子及帶負电荷的电子。虽然电子比質子輕約 2,000 倍，但它們所帶的电荷却是同量的。一般物質都帶有同量的質子及电子，因此它們的正电荷与負电荷对外界的作用互相抵消，亦就是处于中和状态。雷雲中的电荷是那里來的呢？并不是產生新的电荷，而是將物質上原有的电荷分开，使正(或負)电荷下降，而負(或正)电荷上升，等到一定多的电荷聚集在一个地区，这个地区的电压逐漸上升到可以使附近空气絕緣破坏的地步便產生閃电了。因此电荷分离的过程是所有研究雷电現象的人們所感兴趣的；然而直到現在，虽然有好几个理論說明这个現象，但是还没有一个理論可以將全部雷电現象都能滿意的解釋清楚，可能只有將不同的理論綜合起來才能对雷电現象給以較完善的解釋。

这里將介紹兩個最通行的理論。第一个可以称为“雨滴分裂作用”理論。当雨滴由于凝結或合并作用而逐漸增大时，它在强大的上升气流中变为不穩定，它被气流吹得分為大小不等的水滴，大水滴上帶正电，小水滴上帶負电。小水滴容易被上升气流帶到上層雷雲去，而大水滴則留在下層或者降落到地面。这样便完成电荷分离过程，当然这个分离过程可以重复好多次，亦就是說水滴可以分裂、再增大、再分裂等等。按这个理論，雷雲中电荷的分布將如圖 7 所示。这个理論曾在實驗室中得到証明，說明水滴分裂时的确是大水滴帶正电，小水滴帶負电，而且所需的上升气流(約 3~8 公尺/秒)亦正是雷雲中所常有的速度。

另一种理論是“离子有差别的吸收”理論。为了說明这个理

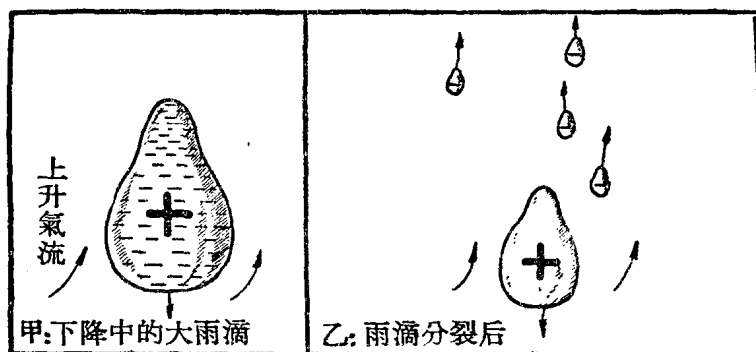


圖 7 (1) 雨滴分裂理論

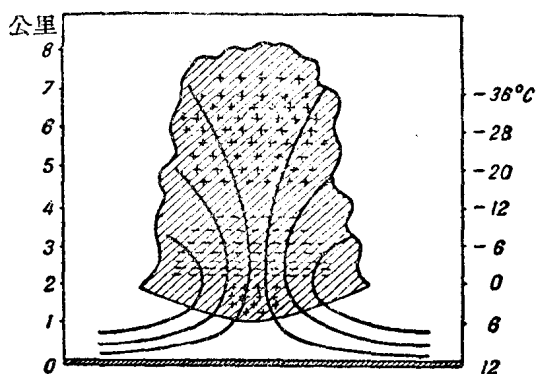


圖 7 (2) 雷雨中电荷的分布

論,首先要交代一下正常大气中的电气现象。在圖 1 中,可以看到自八十公里高空以上,有所謂离子層。这一層大气比近地面的大气不同,具有一定導电能力,而且正常是帶正电的。大地相反的則帶負电。这两个帶电导体(地和离子層)中間被不導电的大气所絕緣,形成一个大的电容器。在电容器当中具有电场,使处于其中的任何導体的上端帶負电,下端帶正电(所謂極化)。

此外在近地面的大气中还经常有少量的(按分子数說)离子。其中正离子較重,不大动,而負离子則活动性較大。

水滴被大地电場所極化(圖 8),上端帶負电,下端帶正电。因此,上端吸收空气中正离子,而下端吸收負离子。如果兩端吸收的一样快,則水滴仍是中和的,但是事实上,下降中的水滴,自然是下端遇到負离子机会比上端遇正离子的机会大得多,尤其是因为負离子受电場影响本身有向上的运动。这样下降水滴便

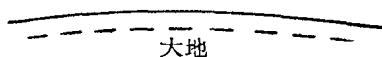
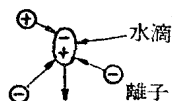
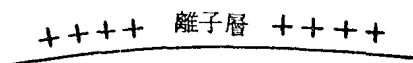


圖 8

成为帶負电荷了。这些下降水滴的电荷逐渐加多,达到了足够电压,便產生閃电的現象了。此外还有些理論与高空中結冰的現象有关,这些理論可以解釋圖 7 中上半部帶正电荷的原因。

不論是那个理論,雷电的能力來源,总归是來自上升气流的風的动能,而早在兩百年前,天才的俄國科学家,罗蒙諾索夫已經完全正确的將这个基本关系确定下來。

結 論

在这短短一章中自然不可能詳盡的討論一切与雷电產生有关的問題，但是希望有一点可以肯定下來。那就是雷电現象不是一种神奇不可思議的現象，更不是雷公大發雷霆的結果，而是自然界按一定規律，如气候、地形条件而產生的自然現象。

对雷电來說，我們对它已有相当認識，而且还正在更深一步的認識它。我們已有可能大大的減少它的災害。另一方面，在苏联，已經有利用雷电中的电能生產氮肥的建議，在不久的將來，我們可以展望到利用雷电來造福于人类社会的實現。

在本書的第二及第三部分將進一步認識雷电的特性，而后兩部分則談到如何防止雷的災害，亦就是避雷的問題。

第二章 雷电的特性

雷电的放电过程

我們日常看到的閃電已經肯定是一種放電現象，同來頓瓶放電現象基本上是一類的。然而要把這個放電現象的特性完全摸清楚却不是一樁簡單的事情。經過了蘇聯科學院動力科學研究所、全蘇電工研究所及電站部所屬各電力系統與電機工業的大量的實驗室研究及現場測量研究的結果，我們對閃電現象已經有足夠的認識。

雖然在雷雲之間亦常有閃電，但是自雷雲到大地的放電現象是我們主要的對象。這種放電一般是自雲端先發出一個不甚明亮，而以跳躍方式向大地前進的通路開始的。這種开路先鋒學名叫做“先驅放電”。它的平均速度是 $100 \sim 1,000$ 公里/秒，每跳躍前進約五十公尺時停頓約 $30 \sim 90$ 微秒^①，再繼續前進。研究這個現象是借助於一種特殊的快速連續攝影機拍出的照片來進行的，經過適當的分析，整個放電過程如圖 9 所示。當先驅放電通路到達大地後，才開始我們肉眼最常見的主閃絡。根據照片，主閃絡是從大地開始向雲端發展的極明亮的放電通路，見圖 9 中較粗的綫。主閃絡的發展速度約為光速的 $1/3 \sim 1/5$ ，即每秒 $60,000 \sim 100,000$ 公里。隨着它的向上發展，它的亮度及速度逐漸減低。一到雲端，主放電就中止了。接下來的是微

① 微秒指一秒鐘的百萬分之一。