

0136
17.003

雷 暴 和 颶

H. B. 科洛布科夫 著

科学出版社

雷 暴 和 飈

H. B. 科洛布科夫 著

劉 小 蘭 合 譯

張 杏 珍

周 恩 濟 校 訂

科 学 出 版 社

1957

Н. В. Колобков
ГРОЗЫ И ШКВАЛЫ
ГОСТЕХИЗДАТ
МОСКВА 1951 ЛЕНИНГРАД

內 容 提 要

本書敘述了雷暴和飈的形成、发展和预报等問題，全書共分为三篇：第一篇討論了大气气象、雷暴現象和雷暴性的暴雨現象；第二篇分析了雷暴性的飈和龙卷現象；第三篇則敘述了雷暴和飈的高空和热力过程中的天气条件以及雷暴和飈的预报方法。本書可供气象研究工作者和业务工作者以及与大气气象有关的专业人員参考之用。

雷 暴 和 飈

Н. В. 科洛布科夫 著

劉小蘭 張杏珍 合譯

周 恩 濟 校 訂

*

科学出版社出版 (北京朝陽門大街117号)
北京市書刊出版业營業許可証出字第061号

上海大眾文化印刷厂印刷 新华書店总經售

*

1957年11月第 一 版

1957年11月第一次印刷

(滬)0001—1,376

書号：0941 印張：9 1/8

开本：850×1168 1/32

字數：224,000

定价：(10) 1.70 元

作者的話

本書是有系統地闡述了三十年來對雷暴和颶的問題的研究結果。在該書之前作者曾經寫過四本書：“1921年在莫斯科省觀測雷暴的結果”(1922年)，“形成雷暴和颶的高空天氣條件”(1935年)，“雷暴和颶”(1939年)，“雷暴、暴雨和暴風雨”(1941年)。

本書系參考上述幾本著作，並根據米赫涅沃(Михнево)氣象站的觀測資料(1923—1932年)、西方鐵路茲維尼戈羅德(Звенигород)站附近的雷暴實驗室(1933—1949年)以及其他許多氣象站的記錄寫成的。1941年德國法西斯強盜進攻莫斯科時，使茲維尼戈羅德雷暴實驗室的資料和設備受到了嚴重的損失，因此失去了1936—1941年的觀測材料，而且1941—1944年期間也沒有觀測記錄(實驗室到1945年才恢復)。

作者考慮到關於特殊天氣現象的專門書籍幾乎還沒有，同時國民經濟的各個部門對雷暴和颶的材料的實際需要又日益增長，因此決定編寫本書。雷暴和颶給人們帶來的害處不僅引起了氣象學家對這些現象的注意，而且也引起了其他與大氣電象有關的專業人員的注意。所以在本書中除了力求在蘇聯高空氣象學和天氣學的新成就的基礎上，來敘述高空天氣學的專門問題外，還敘述了關於大氣電象、閃電性質、雷暴雲的結構及其中的渦旋運動的研究成就，以及雷暴活動的地理分布問題。考慮到本書也可以作為實際天氣工作者的參考材料，故我們編制了表示各氣象要素對蘇聯歐洲部分中部雷暴形成的影響的表格。這些表格如加上某些訂正也可以適用於其他地區；我們還討論了積雨雲中的熱力學過程，并使雷暴和颶的預報問題占了很大的篇幅。

本書共分三篇：第一篇討論大氣電象、雷暴現象和雷暴性的暴

雨現象；第二篇分析雷暴性的颶；而第三篇則涉及雷暴和颶的高空天气學問題以及他們的預報問題。

在編寫此書時，А. Ф. 裘碧克 (Дюбюк) 教授、И. Г. 普契爾科 (Пчелко) 副教授、斯大林獎金獲得者 И. А. 赫沃斯齊科夫 (Хвостиков) 教授、功勛科學家 В. Ф. 邦其科夫斯基 (Бончковский) 教授和 А. Х. 赫爾吉安 (Хргиан) 教授都曾提出許多寶貴的意見和指示。А. П. 加里佐夫 (Гальцов) 在仔細校閱此書時也提出了很多寶貴的意見和指示。作者謹向上述同志致以衷心的感謝。

目 录

作者的話.....	v
-----------	---

第一篇 雷 暴

第一章 大气气象.....	1
§1. 雷暴的定义.....	1
§2. 大气气象研究的历史.....	2
§3. 大地电场的最新概念.....	6
§4. 降水和云带电的原因.....	13
§5. 降水的电荷.....	17
第二章 雷暴的形成.....	19
§6. 雷暴形成的机械作用.....	19
§7. 閃电及其形状和結構.....	23
§8. 球狀閃电.....	33
§9. 實驗室中对閃电的研究.....	37
§10. 雷.....	41
§11. 閃电的影响.....	46
§12. 避雷的方法.....	51
第三章 雷暴現象.....	58
§13. 雷暴云的構造.....	58
§14. 在飞行器上观测到的 Cb 中的空气垂直运动.....	71
§15. 火山爆发时和大火时的 Cb.....	74
§16. 雷暴云的高度.....	76
§17. 雹的形成.....	77
§18. 雷暴活动的地理分布.....	87
§19. 雷暴的日变化.....	95

§20. 雷暴运动的方向和速度	96
§21. 有雷暴时各种气象要素的变化	102
§22. 地面上各气象要素的状态对雷暴形成的影响	105
§23. 雷暴的週期性	111
§24. 雷暴性暴雨	114

第二篇 雷 颶

第四章 雷颶現象	121
----------	-----

§25. 颶的定义	121
§26. 颶过境时各种天气現象的机械作用	123
§27. 冷鋒上的颶	126
§28. 暖鋒上的颶	136

第五章 龙卷	140
--------	-----

§29. 龙卷的定义	140
§30. 龙卷起因的理論和假設	142
§31. 关于龙卷性質的一些意見	153
§32. 尘旋和沙旋	155
§33. 近代的一些帶破坏性的龙卷	157

第三篇 雷暴和颶的高空天气条件

第六章 雷暴的分类	174
-----------	-----

§34. 雷暴发展的起始条件	174
§35. 雷暴活动的天气条件	178
§36. 高空天气学上的雷暴分类	182
§37. 冷鋒雷暴	184
§38. 暖鋒雷暴	192
§39. 平流雷暴	197
§40. 对流雷暴	199
§41. 晚秋和冬季雷暴发展的特征	203

第七章 有雷暴时的大气垂直剖面图	209
------------------	-----

§42. Cb 內的热力过程及其对鋒的影响	209
§43. 颶的流体热力学	215
§44. 有雷暴时的垂直探空以及大气垂直剖面图的繪制	220
第八章 有雷暴和颶时的飞行	245
§45. 有雷暴和颶时飞行的危险性	245
§46. 飞行中遇到雷暴时的預防方法	247
第九章 雷暴和颶的預告	250
§47. 从平流 - 动力分析的观点来看风暴活动的发展	250
§48. 关于預告雷暴和颶的問題以及地方性征兆的意义	255
§49. 預告雷暴的地方性征兆	263
§50. 利用无綫电来确定雷暴的所在	272
§51. 結束語	275
参考文献	277

第一篇

雷 暴

第一章

大气电象

§1. 雷暴的定义

大气中伴有閃电和雷声(亦即伴有能目睹和耳聞的放电現象)的水汽凝結过程,称为雷暴。閃电和雷声总是与云相关联的,并在絕大多数情况下伴有降水——雨、雹或雪——的下降。大气中只有由于水汽凝結的結果才能产生出引起閃电式的放电現象的高电压。

按現行規範的規定,閃电和雷声相隔不超过 10 秒鐘的雷暴称为近雷暴(距离約 3 千米)。这种雷暴用国际天气符号 R 来表示。時間相隔較長的則作为远雷暴現象,符号为 (R) 。有远雷暴时,降水可能出現在观测站范围以外。最后,只看見閃电而听不到雷声的那种現象称为远电,其符号为 $\searrow$ 。

在大城市中,由于街上吵鬧和其他的干扰,无法正确地記錄雷暴的符号,因而便增加了对統計資料进行比较的困难。譬如說,可能有远雷暴和远电逸出視界。远电是很重要的观测对象,因为它本身就是远雷暴的反映。利用远电常常可以追隨鋒面的移动和在飞行航綫上发现雷暴等等現象。

听不到雷声的近閃电(在我們的气候条件下)是很少有的現

象。这种很微弱的雷暴活动现象也应属于远电一类。

§2. 大气电象研究的历史

早在十八世纪中叶，雷暴现象的电的本质就已为一些学者所证实，其中首先就是俄国天才的科学家 M. B. 罗蒙诺索夫(Ломоносов)。在这以前只有过一些不可靠的和没有证实的假说。

罗蒙诺索夫为了研究大气电象，曾和他的朋友李赫曼(Рихман)教授装制了一个“测雷器”(图1)。

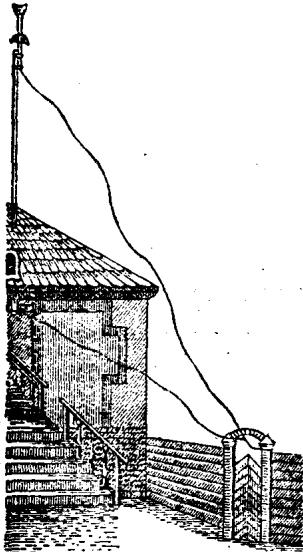


图1. 罗蒙诺索夫的测雷器

罗蒙诺索夫在自己的屋顶上装了一支很高的“铁箭”，“铁箭”的底端穿入屋内，在“箭”的底端接上一根铁尺和丝线(与近代的验电器相似)。在李赫曼的住宅上也安装了一个同样的“测雷器”。有近雷暴过境时，铁杆和铁尺上便感应了大量的电，以至从铁尺上可能发出相当大的火花。这种火花现象曾于 1752 年 7 月 15 日第一次观察到。

这种试验对生命是非常危险的，因为那些高的铁杆都是真正的“闪电引导者”。果然在 1753 年的一次大气电象观测中，李赫曼便牺牲了；他是被一个由“测雷器”导入房内的球状闪电击死的。应当指出，这种危险同样也曾威胁过罗蒙诺索夫。他住在距李赫曼不远的地方，在这次雷暴中他也在自己的住宅内观测，下面就是罗蒙诺索夫关于当天事件的描写：

“我看了看装好的测雷器，没有发现丝毫电的现象，但是当饭菜刚摆在桌上时，我看见从铁杆上发出的好象故意作祟的火花，正在这个时候，我的妻子和其他的人走来了，我和他们都急忙走近

铁杆和悬着的铁尺跟前……正当我的手拿着铁杆时，雷就突然宏亮地响起来，火花也闪起来，一切都从我身上跑走了……。”

几分鐘以后，李赫曼的佣人跑来告诉罗蒙诺索夫说，“教授被雷打死了”。罗蒙诺索夫写道：“我看出李赫曼教授正是在我当时遭受到的同样的情况下被雷击死的。”

罗蒙诺索夫曾忧心“这些事会增加科学发展的障碍”。他的忧心并不是没有根据的，因为当时不仅在农奴制的俄国，并且在其他国家里，教会人士都公开反对那些从事大气气象研究的学者们。对于李赫曼的死，许多极端反动的人抱着幸灾乐祸的态度，硬把它曲解为“上帝”对这位学者的“傲慢无理”的“惩罚”。

全世界先进的自然科学研究者以完全不同的态度来对待这件事情。李赫曼的死并没有吓倒他们；大气气象的研究仍继续进行着，而这件事情正是和宗教迷信的保守与压迫进行科学思想斗争的宝贵贡献。

在国外佛蘭克林和达利巴尔关于大气气象的研究已获得了巨大的成就。1754年特·罗马又成功地重复了他们的试验。外国学者们的研究最后证实了罗蒙诺索夫关于雷暴现象中电的本质的观点是正确的。罗蒙诺索夫于1753年在科学院举办的大会上宣读了“论由电的作用而引起的大气现象”一文，阐述了自己的理论。这个理论基本上正确地解释了大气的电为什么会聚积和如何聚积的道理。他在受热不均的上升和下降气流中找到了原因。由于大量空气的这种运动，水汽的质点便因摩擦而生电。闪电便是地面和云之间或两块带电不同的云之间的放电现象。

罗蒙诺索夫在“测雷器”上进行了多次观测，他并不遵循学院式的见解，而是以实际生活中的迫切需要作为指南的。他写道：“……雷电的力量是可以躲避的，只要将一根铁杆树立在空旷的地方，无论多强的雷电都会被吸引到那里去。”

罗蒙诺索夫绘制了雷暴形成的图式，其主要的特征都符合于

我們現代的概念。同時他又指出，在大气中不僅當雷暴云產生時有電存在，同時在天气晴朗的時候也有電存在，這就是說，他已發現了大气中有電場的存在，不久列蒙尼叶（Лемонье）的研究完全証實了這一點。

1785年發現了空氣的導電性，雖然其程度極小，但畢竟是存在的。此後，又對大地電場進行了長期的研究。從1870年起便開始了對大气中電的耗散的觀測。據確定，導線上的電的耗散是由於空氣在不斷作用着的電離劑的影響下發生電離作用的結果。從此以後，在從事大气電象研究的學者面前便提出了一個新的任務，即研究大氣的電離狀態和電離作用的來源。同時還必須研究一些附屬的問題，例如，大氣的放射性、降水帶電和云中起電的原因等。

俄國物理學家H. A. 格澤呼斯（Гезехус）^[16, 17, 123]對這些問題的解決作了重大的貢獻。在他的著作“大气電象”（1902年）中討論了大气中電的現象與風及吹雪之間的關係，在吹雪時空氣中通常的正電勢不僅減小，而且常常還轉為負電勢。格澤呼斯証明：被風從地表面上掀起來的雪和塵土，由於分子間的摩擦和它們與所離開的地表面之間摩擦的結果，能使大气中的電勢變為負的。

格澤呼斯對水沫的起電曾作過極著名的研究，根據這些研究，他得出了關於雲和降水起電的正確概念。他對瀑布附近電場的研究作了許多實驗工作，結果發現從水流中濺出來的水沫帶有負電。同樣的結果也在人工噴水時和在下降雨滴碎裂時觀測到。小的水沫帶有負電，而較大的、未經濺潑的水滴則帶有正電。因此雨滴可能就是大气中產生電荷的來源。

列納爾特（Ленард）在1892年就曾發現過這種現象，但是，不論是列納爾特或者以後的許多研究者，都未能解釋清楚這種起電的原因。只有格澤呼斯和他的學生阿加宁（Аганин）才詳細地研究了這種現象。因此，常被人稱為所謂“列納爾特效應”的起電現象，實際上應該稱為格澤呼斯效應。

格泽呼斯还曾做过很有趣的人工球状閃电的实验。他用能产生一万伏特交流电的变压器,將它的一根导綫放入水中,另一根导綫連在一块距水面 2—4 厘米高的水平銅板上;此时在銅板上便产生了发光的球状放电现象。輕輕地一吹,球状体便向这方或另一方移动。当球状体被玻璃罩罩住时,便有猛烈的氧化氮蒸汽出現。这个现象使格泽呼斯有理由作出这样的假設:球状閃电是由在放电的影响下燃燒起来的氧化氮所組成的。他的假設,在近代許多科学研究者的某些著作中都得到了証实。

观测大气电場所累积起来的許多資料以及由于俄国和其他国家学者們的許多理論著作,使人們得以在二十世紀初描繪出大气中电荷分布的情景和那些引起閃电的电場扰动的情景。在气象書籍中也出現了許多討論大气电象問題的章节;А. И. 沃耶科夫(Воейков)的“气象学”^[11]就是一个例子。

巴甫洛夫斯克磁力气象台对大气电象的研究进行过許多巨大的工作。1884年該台曾作过大地电場的观测。观测所得的材料由物理学家 Г. С. 叶哥洛夫(Егоров)加以分析。叶哥洛夫在 1901 年曾提出关于組織測站网,按統一規定进行大气电象观测的必要性的問題(这个提議在十月革命以后才得到了实现)。1914 年在 В. Н. 奥巴連斯基(Оболенский)的领导下曾进行过观测。从 1916 年开始在巴甫洛夫斯克城对大气电場强度和导电率进行了系統的記錄工作;这个工作一直未間断地进行到偉大的卫国战争年代。

从 1903 年起,在莫斯科对大气电的耗散和电离作用一連进行了几年的观测。参加这一工作的有 К. Г. 拉赫曼諾夫(Рахманов)教授、А. М. 索可洛夫(Соколов)教授和 А. А. 斯彼朗斯基(Сперанский)教授等。Д. А. 斯米尔諾夫(Смирнов)曾对大地电場作了特別有意义的研究,他制造了一种独創的仪器——注射集电器,后来这种仪器在国内和国外都很流行。借助于注射集电器,斯

米尔諾夫在高空气球的飞行中作了許多次对电势梯度的观测；他还对地表附近电势梯度的日变化作出了已被公認的解釋。

只有在偉大的十月革命以后，大气电象的實驗和理論工作才在我国得到了大規模的发展。在苏联的許多地点，特別重要的是在許多极区測站上，都已組織并进行了观测。这种研究工作包括了全部大气电象的問題，有助于許多实际問題的解决，这些問題不仅是气象学家和地球物理学家所注意的，而且也是通信人員、航空人員和电气工程师等实际工作者所注意的。

地球物理現象总台（列宁格勒），尤其是 B. H. 奧巴連斯基和 П. H. 特維尔斯戈伊（Тверской）教授，曾对大气电象进行了巨大的研究工作。Я. И. 佛林克利（Френкеле）教授的研究也作出了許多新的貢獻。这些研究工作以及其他學者們的工作，給苏联境内大气电象过程的研究奠定了良好的基础。

关于閃电的研究，苏联科学院动力研究所、列宁格勒工业学院以及全苏电工研究所等都會进行了巨大的工作。它們所发表的論文得到了普遍的承認。

§3. 大地电場的最新概念

所有組成地壳表层的物体均比近地面气层具有較强的导电率。

空气的导电率最初随着高度慢慢地加强，然后增强的速度加快，直到电离层，达到与純水相等的导电率。所以地球本身就好像是一个巨大的球狀电容器，它的內壳是海陸地表，外壳是导电的大气上层。在 80 千米厚度的間隔中，都充滿着介电常数等于 1 而导电率常有变化的电介質。电場的方向是向下的，只有在极少数的情况下，例如在有雷暴、降水和尘暴时，在个别地方呈现出反方向的电場——扰动电場。

大气电場的状态可根据任一种电荷的耗散程度来判定。

耗散的程度可用下列方法来判断：在一个具有两片铝箔且充好了电的驗电器上套以黄銅制的放电用的圓筒，稍隔一些時間后电势便逐漸减小，并且負电的耗散比正电来得快。由此可以得出結論：通常在大气中正离子数多于負离子数。

大气的电場状态决定于通向地表的电流和空气的导电率。

气体(空气)的导电能力可由下式来表示

$$\lambda = \varepsilon (w_+ n_+ + w_- n_-),$$

式中 ε 为單个离子的电荷， w 为在电势差 $E=1$ 伏/厘米的电場中离子运动的速度， n 为 1 立方厘米空气中的离子数。总的导电率应该是所有正离子的导电率即 $\lambda_+ = \varepsilon w_+ n_+$ 与所有負离子的导电率即 $\lambda_- = \varepsilon w_- n_-$ 之和，或者用导电率 $\lambda = \lambda_+ + \lambda_-$ 的形式来表示。

在远离地表的各点上，当 λ_+ 和 λ_- 相等时，通过每一平方厘米有同样数目的离子在进行交换：正的向下，負的向上。而在近地表的各点上，从某一距离开始，向上的离子电流 i_- 将小于向下的离子电流 i_+ ，而且愈接近地面愈小，到地面 $i_- = 0$ 。这里整个电流都由正离子从上向下的运动来决定，結果在近地气层中正离子的数目便超过了負离子的数目。在这一层中有体电荷产生，大大地破坏了电場的分布。靠近地表某一层空气中产生体电荷的现象称为电极效应。在研究大气电場中的一切现象时，这种效应有着很重要的意义。在近地气层中，被电极效应所破坏了的电場的强度并不是常定的，而是随着高度改变的。

大气的导电率可以利用格尔金仪器(图 2)来测定。这是一个接地的、直徑为 16 厘米的黄銅制的圓筒，其中安一根直徑为 1.5 厘米的黄銅杆，此杆与驗电器相接，且充电至相当的电势(約 200 伏，+ 或 -)。借助于通风器的作用，空气便經過圓筒以某一不变的速度被吸进或抽出。空气的导电率根据驗电器铝箔落下的速度来决定。利用这种方法曾得出空气平均导电率为 $\lambda = 2 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$ 静电單位。

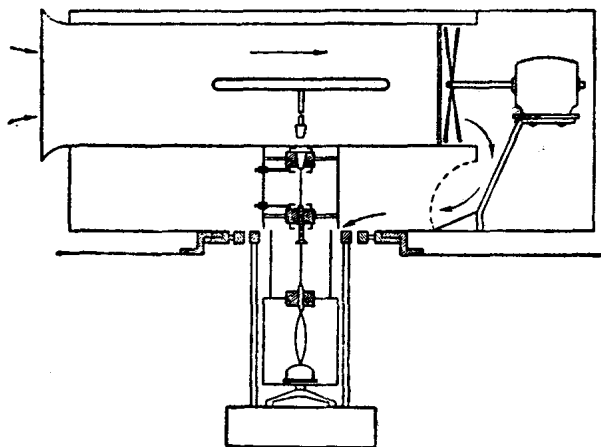


图 2. 格尔金仪器

在年变化中空气的导电率以夏季最高。在日变化中陆地上的最高导电率发生在早晨, 太阳出来后导电率便显著地降低; 在海洋上的日变化比较小, 白天的导电率高于夜间的导电率。在各种气象因子中, 空气的含尘量对导电率的影响最大: 空气中不吸水的灰尘愈多, 导电率便愈低。

空气的导电率与其中带电体的存在有关, 并且决定于带电体的数目、所带的电荷和运动。带电体可分为: 电子、由单一分子组成的离子、由复分子组成的离子、作为空中凝结核的较大的微粒 (吸水性的灰粒、烟粒和海盐粒等) 以及凝结核——云滴和雾滴。

大气低层中自由电子和由单一分子组成的离子的数目, 比起由复分子组成的离子来是很少的, 因为它们的生命非常短促, 例如在放射性辐射的作用下, 如果有一些电子脱离了自己的分子, 那末这些电子就会在极短的时间内立即附着在中性分子身上。从这时起便产生了正电分子和负电分子, 即元量电荷的带电体。在每一个这种分子型离子的周围很快就聚集了一定数目的中性分子 (大致是水汽分子), 成为相当坚固的集团, 这便是能引起空气导电的、

能移动的小离子。其余的普通离子便附着在飄遊于空中的固体和液体微粒上,而成为不大移动的大型离子,即所謂重离子。尽管重离子在空气中較小离子多,但由于它本身很少移动,对空气导电的影响并不大。重离子的平均移动率几乎只有小离子的 $1/2,000$ 。除了这些离子外,大气中还存在着“中等”的或“中間”的离子。由此可見,大气中經常都含有質量不同的离子,其中每个离子都帶有一个元电荷。

空气的电离有許多不同的原因。对于低层空气来說,存在于土壤表层中的放射性物質(在自然水中也有少量的这类物質)是主要的电离剂。由于土壤的放射性所引起的电离作用与气象条件有关,因为土壤的“呼吸”,即电离化了的空气逸入大气中,是决定于气压、风和气温等等因素。

土壤中空气的电离作用可以影响到大約1千米的高度。但是,根据对較高大气层的观测,得知电离作用繼續随高度增强,直到15千米高度为止,此后电离作用再度减弱(表1)。由此証明,大气中还存在着其他更重要的电离剂。这些电离剂能使地球的很厚一层空气外壳发生电离。研究的結果証明,太阳的紫外綫和宇宙綫就是这种电离剂。

表 1. 各高度上大气电离的程度

高度(千米)	0	1	3	5	7	9	11	13	15	17
离子的相对 数	4	3	7	16	35	67	89	114	144	106

宇宙綫穿过大气层,与空气的分子相互作用,結果便使宇宙綫的組成和强度以及它們所引起的空气电离作用都发生变化。例如宇宙綫的强度在15—16千米高度上最大,这完全符合于表1的数据。

在确定大地电場的状态时,我們把地面电势假定为零而测量电場中的相对电势。測量的結果証明,在大多数情况下空气的荷