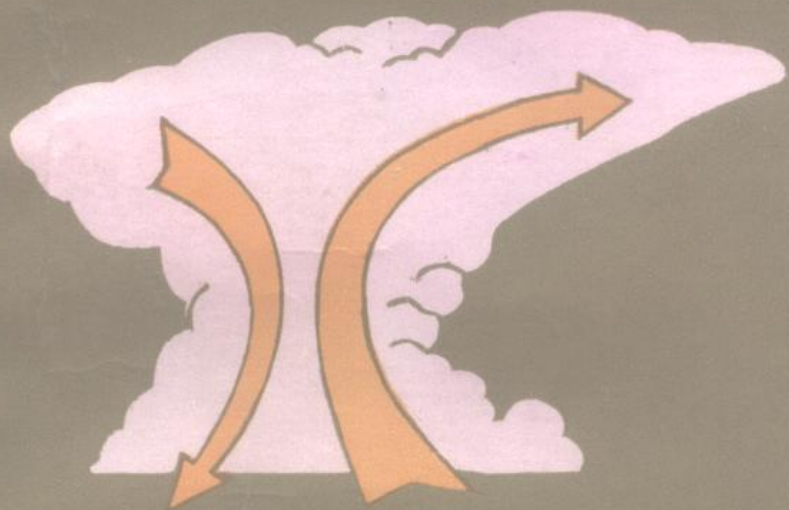


DIQIU SHANG DE YUNYU



王昂生 阮忠家

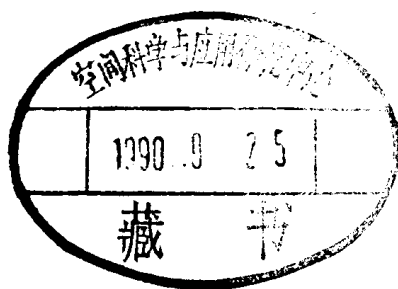
# 地球上的云雨

气象出版社

# 地球上的云雨

王昂生 阮忠家

TV30/15



气象出版社

1986

106221

## 内 容 简 介

地球上的云雨是人们最经常接触的自然现象之一，也是人类赖以生存的最重要的淡水资源。本书深入浅出、图文并茂，主要介绍了云雨与人类的关系、云雨的宏观及微观特征、探测云雨的新方法、近代云雨研究以及它们在天气预报和人工影响天气方面的应用。通过本书，读者可以了解到云雨科学在大气科学中的地位及其在国民经济和国防建设中应用的概貌。

本书可供广大气象工作者和具有初步气象知识的青年阅读，也可作为想了解云雨科学的广大社会读者的基础读物。

## 地 球 上 的 云 雨

王昂生 阮忠家

责任编辑 李福生

\* \* \*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

\* \* \*

开本: 787 × 1092 1/32 印张: 8 字数: 175 千字

1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷

印数: 1—2,900

统一书号: 13194 · 0288

定价: 1.90 元

## 前 言

盛夏酷暑,雷电交加,滂沱大雨从天而降;严冬高寒,层云密布,鹅毛雪花纷纷扬扬;……地球上的降水就是如此地奇异而引人深思,给人留下难以忘怀的印象。云雨是我们这颗星球上人人都要接触到的自然现象之一;人类和生物更是同云雨休戚与共,息息相关。因为水是生命的源泉,而云雨又是全球水循环的关键纽带。

长期以来,人们不断地探索云雨的规律,研究云雨的特性,探测云雨的结构,从事云雨的预报,试验云雨的人工影响……于是一门新的云雨科学诞生了,并以它的成就跻身于自然科学之林。近年来,这门学科的迅速发展已广泛引起人们的密切注意。

为了向广大读者简要而全面地介绍云雨科学的概貌和应用以及它们的最新进展,我们特意撰写了本书。同时,我们也希望本书能够成为那些需要了解云雨科学之精髓的其它学科专业人员的朋友,使之起到沟通云雨科学和其它学科的桥梁作用。

本书由王昂生执笔,阮忠家对全书进行修改。写作过程中得到徐乃璋同志的大力帮助,特此致谢。由于水平所限,书中谬误之处难免,热忱欢迎广大读者批评指正。

作 者

1985年1月 北京

# 目 录

## 前 言

|                  |       |
|------------------|-------|
| 第一章 云雨与人类        | (1)   |
| 1. 阳光、空气和水       | (1)   |
| 2. 地球上的水         | (2)   |
| 3. 云雨与天气         | (5)   |
| 4. 云雨和四个现代化      | (11)  |
| 第二章 地球上的云        | (15)  |
| 1. 从宇宙空间到显微镜下看云  | (15)  |
| 2. 云的千姿百态        | (23)  |
| 3. 云是怎样形成的       | (27)  |
| 4. 地球上云的类型       | (30)  |
| 5. 地球上的各种特殊云     | (38)  |
| 6. 地球上的雾         | (45)  |
| 第三章 云的微物理特征      | (49)  |
| 1. 水的三态          | (49)  |
| 2. 凝结核和冰核        | (52)  |
| 3. 云滴和冰晶         | (60)  |
| 4. 云粒子尺度和浓度的特征   | (67)  |
| 第四章 降水的微物理特征     | (72)  |
| 1. 降水粒子          | (72)  |
| 2. 雨             | (74)  |
| 3. 雪             | (77)  |
| 4. 冰雹            | (85)  |
| 5. 降水粒子的微物理过程和特征 | (91)  |
| 6. 地球大气中的水态现象    | (101) |

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 第五章 地球上的降水和成雨过程    | (107) |
| 1. 地球上的降水分布        | (107) |
| 2. 冷云降水            | (112) |
| 3. 暖云降水            | (114) |
| 4. 强对流云降水          | (117) |
| 5. 不同云型的降水         | (119) |
| 6. 地球上的特殊降水        | (121) |
| 7. 云雨与天气系统         | (129) |
| 第六章 探测云雨的新方法       | (143) |
| 1. 探测云雨的常规方法       | (143) |
| 2. 卫星探测云雨          | (146) |
| 3. 飞机探测云雨          | (159) |
| 4. 测雨雷达探测云雨        | (171) |
| 5. 测云雷达探测云雨        | (180) |
| 6. 激光雷达探测云雨        | (183) |
| 7. 多普勒雷达探测云雨       | (186) |
| 8. 双波长雷达和偏振波雷达探测云雨 | (195) |
| 第七章 近代云雨物理研究       | (201) |
| 1. 自然云雨的探测研究       | (201) |
| 2. 云的物理模式研究        | (205) |
| 3. 云雨的实验室研究        | (210) |
| 4. 云雨数值模拟实验        | (220) |
| 第八章 云雨的预报和人工影响     | (225) |
| 1. 云雨的预报           | (225) |
| 2. 重大云雨天气的临近预报和报警  | (232) |
| 3. 云雨的人工影响         | (236) |
| 4. 天空水资源的开发及利用     | (246) |
| 结束语                | (248) |

# 第一章 云雨与人类

## 1. 阳光、空气和水

地球上生命起源问题，一直是世界各国科学工作者感兴趣的基础研究课题。而地球上的阳光、空气和水又是人类生存的最重要条件。太阳供给了人类无穷无尽的能源，阳光普照，万物才能生长；停止呼吸就意味着生命终止，空气对人来说一刻也缺少不得；地球上生命起源与水密切相关，最早生物就是在海洋中诞生的。今天，航天科学技术正在飞速发展，寻求外层空间其他星球上是否有生命存在的重大课题，就是从探测太阳光辐射、空气成份和水物质入手而展开了。

然而，愈为宝贵的东西，由于它太普通、太常见和太价廉，反而易为人们忽视了。太阳，这颗硕大无比的恒星，以“永恒”的光辉照射地球，很少有人想到它的消亡。今天科学家们已经指出太阳在不断损耗自身的质量并向宇宙空间散发质量和能量，当然也为地球上人类的生存提供了优越的条件。就目前的辐射速率来看，太阳还可以维持好几十亿年，与人类历史相比，今天来谈论“太阳之死”似乎为时过早。空气确实是取之不尽用之不竭的，但随着城市人口的高度集中，工业交通污染的日益严重，以及盲目砍伐森林和破坏植被等原因，空气的品质在降低。难怪今天西方竟有人把出售洁净空气作为一种赚钱的行业，可见空气作为人类生存的一种条件的重要性。人们采取果断措施来保护空气已经很迫切了。

相对而言，水的宝贵更早一些为人类所重视。且不说沙

漠之中的“滴水贵如油”；几千年前，抗旱排涝的水利工程就以证实人们对水的重视了。最初的人类文明总是首先诞生在具有良好水利条件的地方，无论是中国还是外国几乎无一例外。随着人类的进步，种种水利措施得以兴建，特别是近代科学技术的发展，使世界人口居住密集的地方，生活条件优越，只要拧开水龙头，水就源源不断而来；似乎水这东西来之太容易了，因此浪费一些也并不可惜。由于过去一段时期对全球水资源的情况缺乏了解，多年来人类的若干盲目活动，已使淡水短缺问题日益突出。首先，人类活动的扩展和获取生产和生活资料的需要，开始感到水的不足。其次，人口增长，城市扩大，工业迅速发展，乡村灌溉普及……，若干地区用水荷量过大，只好拚命抽用地下水，使局部地面下陷；狂垦草原，乱伐森林，破坏了生态平衡，致使若干地区沙漠化，人类适宜生存的绿化地带大面积减少，切断了若干天空水循环渠道；大量工业废水、城市污水和农药化肥流入天然水源，水的污染已成为全球性问题……，所以保护水资源的重要性已不能不列入国策议题之中了。

全球水资源怎样？水与云雨关系如何？云雨与人类又有哪些关系？这就是本书在讨论地球上的云雨之前，必然要涉及的问题。

## 2. 地球上的水

纵观整个地球，汪洋大海覆盖着71%的地球表面，还有大片冰源、冰川和雪山，密如蛛网的大小河川，星罗棋布的湖泊水库……，这就是说全球种种水面。它大约为陆面的四倍，水资源既然如此丰富，为什么它还会成为重要问题呢？不错，全



球确实拥有丰富的水资源，人们估算它为 1,400,000 万亿吨水，这是一个极为可观的数目(见图 1.1)。可是大家知道，人

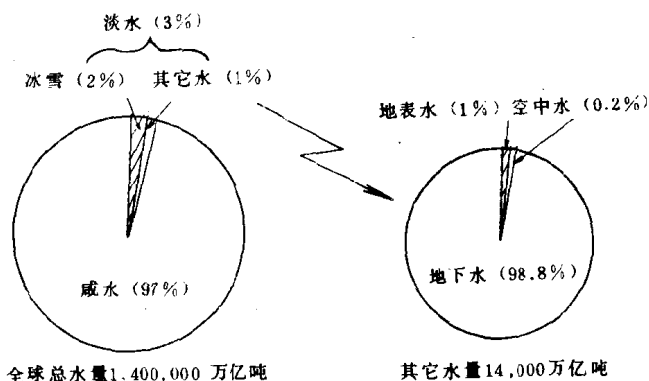


图 1.1 全球水资源分布

类食用水是淡水；不巧的是，地球上海(咸)水竟有 1,358,000 万亿吨，占全球水量 97 %。虽然海水淡化可供使用，但价格昂贵，至今应用甚微。这样，全球淡水约为 42,000 万亿吨，为数虽不少，遗憾的是，其中有 2/3 的淡水分布在南北两极和高山地区的冰原、冰川和雪区里，那些地方人烟稀少，凭现有技术水平尚难充分利用。于是剩下的就是地下水、地表水和空中水了。地下拥有 13,832 万亿吨水，它广布于各大陆地下，至今只是人口集中的少数地区才提取地下水，所以也没有被大量开发利用。与人类最为密切的、最直接使用的是地表水，也就是我们经常看到的江河、湖泊、水库、池塘里的水。虽然，大江大湖有时洪水泛滥，吞没村庄和田野，威胁着人类的生命财产，但它们却是人们最常接触的自然水；然而地表水只占全球总水量的 0.01%，约 140 万亿吨。按全球约 50 亿人口来计算，人均也约占 3 万吨水之多；可惜地表水分布也极不均匀，

能为人们所利用的也很有限，大江大河把多数地表水带入了大海，人均可用率不高。最后，剩下的就是空气中的水了，它们总计仅 28 万亿吨，其中，水汽占有 95% 而云雨水只占了约 5%。它们虽然仅占全球水量的 0.002%，但却在天气舞台上扮演着千姿百态的云雨雹雪等角色。时而倾盆大雨，时而彩虹临空，时而大雪纷飞，时而电闪雷鸣……，成为人们最关心的自然问题之一。虽说空中水含量最少，但其作用很大。因为对于人类来说，最重要的是循环用水量，而不是固定占有量。我们每天吃饭、喝水，农业灌溉，工厂发电、冷却、洗涤等各种用水，绝大多数是循环用水，真正留下在人体、工农业产品里的水量是极其有限的。上述各种水里，主要是地表水和空中水组成了地球水循环，保证了全球陆地生物的生命和人类的活动。科学家们研究指出，在海洋里的水循环周期长达  $4 \times 10^3$  年；对地下水和地表水来说，平均约达  $4 \times 10^2$  年；而空中水循环还不到 10 天。这就显示出空中水的极大重要性。海水、冰川、地表和地下水的蒸发或升华，成为天空水汽的来源；水汽被运动不息的气流携带，通过凝结致雨过程又降回地面。它一部分补充着冰、雪水、地下水；大多数则呈地表水运动，成为人类最主要的可用淡水。虽然空中水总量仅有 28 万亿吨，但它周转快，一年可达 42 次之多，故年累计水量共达 1,176 万亿吨，即已超过地表水的 7—8 倍。如果按地下及地表水一次水循环周期来计算，则同一时期 ( $4 \times 10^3$  年)，空中水量竟达 470,400 万亿吨，也就是全球总淡水量的十余倍之巨。所以，空中水的全球运动及其循环周期短，使这些含量最少的水发挥了巨大的作用。

地球上的云雨正是空中水的重要部分，它在人类与水这一重大问题上，起着关键性的作用。

### 3. 云雨与天气

云雨作为天气舞台上的主角、全球水循环最活跃的部分，不断地把来自海洋和水面的水汽，转换为降水物，向全球人类和生物提供淡水，才使得我们这个星球变得生机勃勃，成为太阳系中的一块绿洲。

“风调雨顺”是人们获得丰收后经常用到的词句。要取得满意的收获，除了人们辛勤的劳动外，良好的天气条件，特别是适宜的雨水是不可缺少的。在科学不发达的古代，农业靠天吃饭是必然的；随着社会的前进，人们不断与自然灾害作斗争，兴修了大量水利工程，改良了作物品种，使用了各类机械、电器和化肥等等，使农业对天的依赖性已大大降低。但是，直至今天，无论是东方或西方国家，无论是工业发达的国家还是发展中的农业国，人们战胜巨大自然灾害的能力还是有限的，所以良好的天气条件仍然是影响人类发展的一个重要因素；特别是均匀而适当的降水，对农业生产起着重要的作用。然而，人们对云雨重要性的认识并不是在“风调雨顺”的日子里得出的，也不是来自前一节里所说的全球水循环的关键作用；而是来自严重影响人类的种种灾害。

当水份循环过程中，由于某些原因致使大片土地上空没有足够的水汽汇聚，无云无雨造成了赤地千里的严重旱灾。在中国及世界各地，都曾出现过这种严酷景象，那时谁不盼望飘来一片云，并降下一场救命雨呢？但是，当云雨过分集中，大雨滂沱，洪水决堤，造成一片泽国时（见图 1.2），也是危害非浅的。旱灾、水灾危害面大，与地震、火山并列为地球上的主要自然灾害。冬季大雪风暴来临，纷纷扬扬降下尺把深的大



图 1.2 倾盆大雨造成的水灾



图 1.3 雪暴降下的深雪

雪来,同样能酿成灾害。大雪封闭公路,中断交通的例子在欧

美各国并非罕见(见图 1.3); 过厚的积雪会使广阔草原上的牛羊缺少饲料, 给畜牧业带来灾害。夏秋, 云塔高耸, 雷雨云



图 1.4 雷雨云里划破长空闪电



图 1.5 掠过机场的雷暴

产生的划破长空的闪电(见图 1.4), 不时击毙人畜, 引起森林

火灾或击毁房屋。雷暴云不时产生冰雹，砸坏庄稼和建筑物，甚至碰伤人畜。雷雨云底层经常会出现急速的气流，造成地面雷暴大风，致使机场上飞机相互碰坏，或使起飞降落的飞机出事。图 1.5 是一次雷暴掠过机场时的情景。由于雷暴、闪电的危险，在雷暴临空时，一般机场都得关闭。龙卷是一种特殊的雷暴，云下龙卷区是一个高速旋转向上的气流区，图 1.6 是一次龙卷实例。虽然龙卷尺度很小，但它扫过路径上的树木及房屋会拔地而起，对生命财产的危害也是十分严重的，图 1.7 就是一次龙卷过境后造成的屋破墙塌情况。台风是一种尺度相当大的热带涡旋。图 1.8 是气象雷达探测到的巨大台风云系的回波照片，这个云系的最大尺度约400—500公里，它



图 1.6 龙卷



图 1.7 龙卷的危害

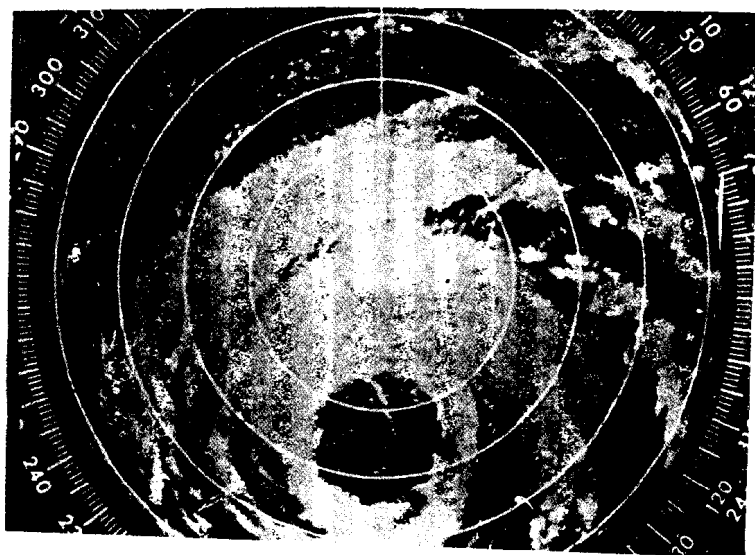


图 1.8 台风云雨的雷达回波

们呈逆时针方向向中心汇聚。台风经常造成海面十二级大风，当它临近陆地时，海啸、大风，特别是暴雨，给人类带来严重危害。1970年11月2日，孟加拉湾一次强台风登陆竟造成震惊世界的30万人丧生的特大灾害。在图1.9中，我们看到白色的冰柱把电线压弯，几乎与地面接触上了，这就是灾害性雨凇现象。雨凇是由于过冷却雨滴从云里降到地面附近碰到了冷的物体表面时撞冻而成的。严重时，一米长的电线竟负荷几公斤的冰，所以它对通信和输电线路构成威胁，对交通运输也有严重影响。

限于篇幅，我们不可能一一列举云雨对人类造成的利弊。但是，可以看到，与人类相关的各种重要天气，几乎都与云雨联系在一起。所以，我们有必要去深入地了解地球上的云雨。

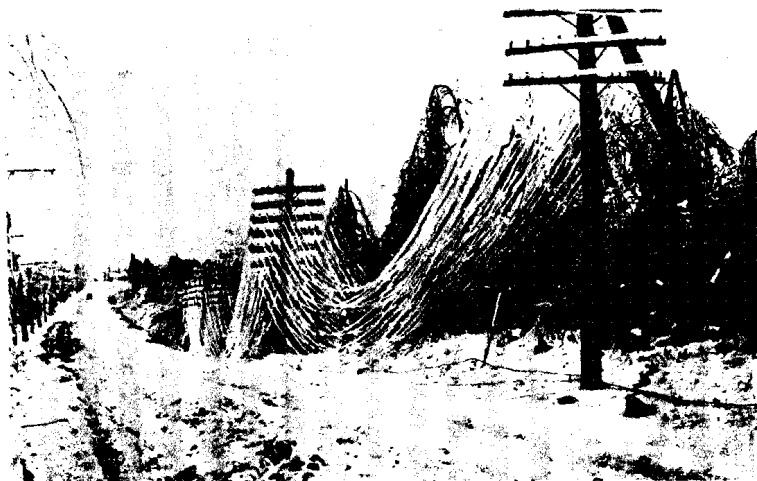


图 1.9 压弯了电线的雨凇



## 4. 云雨和四个现代化

我们的祖国正在进行着社会主义工业、农业、国防和科学技术四个现代化的建设，这是一项繁重而艰巨的任务。云雨既然与人类密切相关，则它必定与四个现代化也有一定的联系。

工业现代化将有一大批先进的钢铁厂、化工厂、纺织厂……建立投产，而一些旧企业将要改造，工业的生产用水和冷却用水等势必对供水提出现实的要求。然而我国不少城市和地区的用水紧张问题已日趋严重，特别是在北方，比如京津唐地区、华北和东北的工业区。近年已着手进行和设计的南水北调工程和业已完成的引滦入津工程，就是充分利用地表水的两个实例。随着科学的发展，天空水资源的调查和利用，甚至天空水调用的问题也会提上日程。工业现代化里，电力先行十分重要，水库、山区水电站发电需要充足的水源。广大建筑行业，无论建工厂或市区民用房屋都会涉及到地区历史最大降雨强度，以便妥善安排排水泄洪系统；涉及到地区历史最大降雪量，以便计算大跨度建筑的结构及承受的雪量负荷等等。工业和民用建筑的防雷问题更是不可忽视。交通运输中，路基、桥梁、涵洞设计对防止暴雨山洪是要特别考虑的问题；航运船只十分需要对大雾的探测及预报。现代大工业的气体废物排入大气，遇水汽形成的酸雨已成为公害；清除酸雨，保护环境，不能不视为云雨与工业现代化之间的重要联系。至于工业原材料和工业产品的储存，工厂和电网防止雷电，以及海盐制取工业等等，都广泛涉及到云雨的探测、预报和人工影响问题。