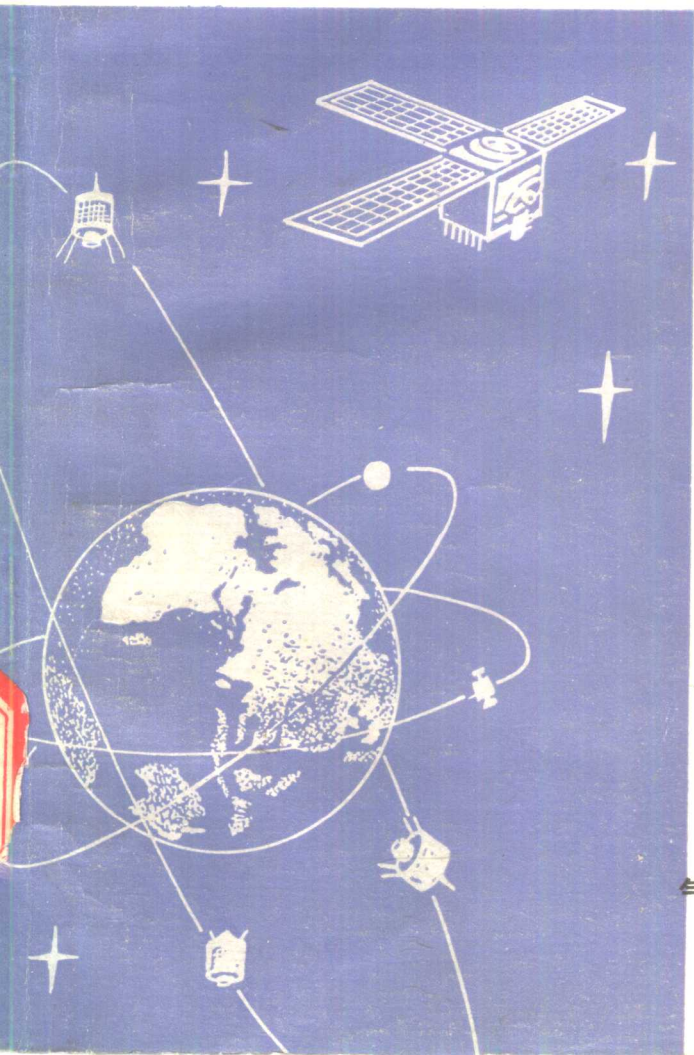


气象知识丛书



大气探测

气象出版社

大 气 探 测

周 诗 健

气 象 出 版 社

内 容 简 介

大气探测是探索大气奥秘的手段，在大气科学的发展过程中，它起了十分重要的作用。本书介绍了从地面探测到高空探测的发展过程；讲述了大气探测的原理、方法和设备；对气象雷达、气象卫星等先进的探测手段作了具体、通俗地阐述。本书材料新颖，文字流畅，内容深入浅出，插图形象生动。

大 气 探 测

周 诗 健

责任编辑：史秀菊

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京印刷一厂印刷

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：3.875

字数：0.2千字

印数：1—10,000

1984年10月第一版

1984年10月第一次印刷

统一书号：13194·0192

定价：0.55元

出版前言

在浩瀚的大气的海洋里，有着无穷的奥秘，需要人们去认识和探索；蕴藏着丰富的资源，可供我们去开发和利用。

为了帮助广大青年、中小学教师、气象爱好者以及各行各业的科技工作者，更好地认识大气的现象，了解天气变化的性质和规律，我们和中国气象学会决定共同组织出版一套《气象知识丛书》，通俗地、系统地介绍大气、气候、天气和应用气象等方面的基本理论和基础知识。本丛书共十八册，每册约五万字，分别介绍某一方面的内容；同时各册又相互配套，形成一个比较完整的系列。本丛书力求材料新颖、内容丰富，反映出八十年代气象科学的新水平。

本丛书计划于一九八五年底以前陆续出齐。我们把她奉献出来，希望能对迫切需要气象知识的广大读者，有所满足，有所裨益。

气象出版社

序 言

人类生活于大气之中，为了自身的生存和发展，一直在和大自然作种种斗争。自古以来，观测和研究大气现象，趋利避害，发展生产，一直是人类的一项重要工作。

十七世纪以前，人们依靠肉眼观察，对天气和气候现象积累了丰富的经验，但那时基本上还是处在定性的认识阶段。

自从温度表、气压表、风向风速仪以及毛发湿度表等测量仪器出现之后，气象的观测和研究开始进入了定量的阶段。近三、四十年来，随着科学技术的迅速发展，尤其是人造卫星和电子计算机引入气象学领域，使这门学科出现了飞跃。

气象科学的应用性很强。随着科学技术的发展，人们对大气现象的认识越来越深刻，对它的利用也越来越广泛，目前几乎已深入到国民经济的各行各业。

现代化农业的发展，除有关农业技术等学科外，离不开长、中、短期天气预报，现代化的农业区划也离不开对气候的研究。

大型工业等产生着大量对人类有害的气体和微粒。如何把这些气体排放在无害或危害最小的地方，就得有效地利用气象条件。许多工业、建筑、交通都需要利用气象参数进行设计，例如工厂车间的采暖通风，建筑物的风雪荷载，以及水库、大坝、铁路、公路、桥梁的建筑规模等等。

各种军事活动通常要有一定的气象条件作保障。航海、航空与气象条件的关系更为密切。

综上所述，气象科学对生产、生活十分重要，可以预料，

随着我国四化建设的发展，各行各业将对气象科学提出越来越高的要求。

气象出版社和中国气象学会共同组织编辑出版的《气象知识丛书》，系统地介绍了气象科学各分支的基本理论和基础知识，有助于满足广大读者在四化建设中对气象知识的需求。

当然，这套丛书不可能涉及到气象学的所有分支，还只能着重介绍对我国当前四化建设急需的气象知识。我相信，这套丛书的出版，对具有初中以上文化程度的青年、业余气象爱好者、中小学教师、农村和工厂的干部和技术人员将会有所帮助。我希望，今后能继续出版更多的气象科普书籍，为广大读者，特别是为青年们，提供更为丰富的精神食粮。

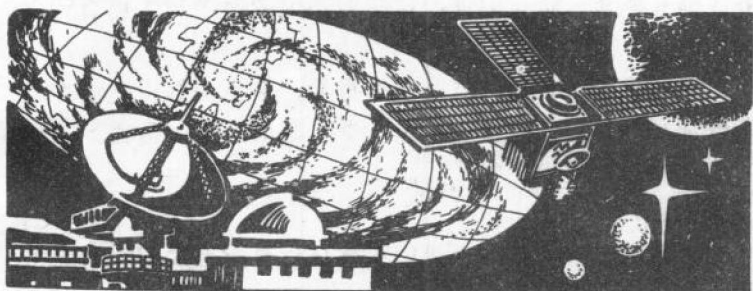
叶笃正

一九八三年五月七日

目 录

序言

- 一、茫茫气海话探测……………(1)
“谈天”(2) 大气探测的发展(3) 四大气象要素——温、压、湿、风的观测(8)
 - 二、从地平面开始……………(18)
星罗棋布的气象站网(18) 气象观测的准则(19) 地面气象观测(23) 自动气象站(31)
 - 三、直上重霄九……………(35)
气象观测塔(35) 从风筝到气球(40) 无线电探空仪(45) 飞机与火箭(50)
 - 四、大气遥感的兴起……………(56)
“柳暗花明又一村”(56) 什么是大气遥感(58) 电磁波频谱与大气信号(60) 大气层上的印记(65)
 - 五、大气信号的被动探测……………(73)
雷电定位(73) 大气次声波探测(76) 卫星云图(80) 温度和湿度垂直廓线的遥感(84)
 - 六、大有作为的主动探测……………(88)
功勋卓著的气象雷达(88) 明察秋毫的激光雷达(96) 探测低空的声雷达(103)
 - 七、巡视全球的空间气象观测站……………(109)
一览全球风云(109) 大气遥感的主力军(114)
- 结束语……………(116)



一、茫茫气海话探测

1969年7月20日，美国载人宇宙飞船阿波罗11号首次在月球着陆。当宇航员踏上月球时，迎接他们的并不是一个“嫦娥舒袖，吴刚伐木”的美好的神话世界，而是一个无风云、无雨雪，与气象万千的地球完全不同的、死一般寂静荒凉的世界。在这个世界里，没有人类生存的最基本条件——地球大气。

由于没有大气，月球上是黑洞洞的一片，没有白昼，更看不到地球上常见的蔚蓝色的天空、柔和的曙光、灿烂的晚霞。

由于没有大气，月球表面的温度日夜变化剧烈：白天高达 120°C 以上，可使水沸腾；夜间又冷到零下 180°C ，可使温度表中的水银（凝固点 -38.9°C ）或酒精（凝固点 -114°C ）冻结起来。

由于没有大气，流星和彗星可以不受阻挡地飞向月球，月球表面被砸得坑坑洼洼，丑陋不堪。

由于没有大气，来自星际空间的高能宇宙射线和太阳紫

外线能长驱直入抵达月球，这些看不见的射线对生物有致命的威胁。

对比之下，地球大气是多么重要，多么美好。生活在茫茫气海里的地球人类得天独厚，世代繁衍，繁荣昌盛。

“谈 天”

天气的寒暑阴晴对人类的衣食住行有着直接的影响，无论你是爱它、恨它或是诅咒它，天气总是客观存在的，你不能对它置之不理。因而，天气成了人们谈论的最普遍的话题，俗称谈话为“谈天”、“聊天”，大概就是这个意思。

天有不测风云，人们“谈天”，最关心的是天气的“喜怒无常”。当“天气陛下”发怒时，轻则使你狼狈不堪，重则使你家破人亡。翻开历史记载，可以找到不计其数的实例。远的不说，就看看最近几年他给人类的“下马威”吧。

八十年代的第一个夏天，美国各州受热浪侵袭，南方酷热（得克萨斯州某市气温竟达 45°C ），森林起火，耕地干裂，人畜死亡；亚洲大陆南半部水患频繁，我国南方也出现了可与1954年相比的长江大水；台风、飓风猛烈袭击南亚和加勒比海沿岸各国；非洲和欧洲中部大陆炎热无雨；德意志民主共和国东半部及波兰等地阴雨连绵；澳大利亚西部的干旱是1902年以来最严重的一年。

1981年欧洲出现了百年不遇的大暴雨，使多瑙河水位猛涨，达四十年来之最；我国四川等省也出现了建国以来罕见的洪涝灾害；冬天，近百年来最严重的暴风雪又席卷了美国。

1982年冬天，欧洲由严寒转为奇暖；而北美却再度遭到寒流袭击，强风暴和龙卷给美国造成数千万美元的损失，停

电、交通中断、机场关闭波及各州，圣诞节变成了“灾难日”，许多居民因特大暴风雪和洪水成灾而无家可归……

人们“谈天”的另一个主题是大气本身。大气是人类赖以生存的最重要资源之一，它供给人们呼吸所需的氧气和植物光合作用所需的二氧化碳。大气的“温室效应”使地球上的温度宜人，它保护所有生物免受致命的太阳紫外线辐射的伤害，它是水分循环的重要环节，它稀释各种排放的废气并通过降水过程不断净化自身……但是，大气资源是有限的。随着人类活动的增加，人类活动对大气圈的影响已引起了人们的广泛注意。

有人认为，上述八十年代的气候异常，有可能是“天气陛下”对于人类污染大气的报复行动；当然，也有人持其他观点。尽管观点有分歧，但茫茫气海与人类休戚相关，在这一点上，大家认识一致。研究大气，保护大气，利用大气，已为人类所重视。大气科学发展迅速，已取得可喜的成果。

大气探测的发展

大气科学是研究大气圈的各种物理性质、物理现象和大气运动及其变化规律的一门学科。

大气探测是大气科学的重要分支之一，它研究测量大气的原理、方法和设备，是探测大气奥秘的重要手段。在大气科学的发展过程中，大气探测起到了十分重要的作用。下面我们将按大气科学的萌芽、成长和发展三个时期，分别叙述大气探测的发展过程和在这三个时期的贡献。

萌芽时期 从古代到十六世纪末，一般认为是大气科学的萌芽时期，这时人类对天气的了解还停留在感性认识阶段。天气知识，对于从事户外劳动的人们，如航海者、农民、猎

人、牧民、渔民等，有着切身的利害关系。他们观测云的变化和各种天气现象，用面颊感觉空气的冷热干湿，用飘带确定风向，查看动物的反应，估量身上风湿关节的酸痛感……根据这一系列观测的结果，对比在生产实践中积累的祖辈相传的天气谚语，再加上个人的经验，最后作出对未来天气的猜测——天气预报，有时甚至相当准确。

早在三千多年前，我国殷墟甲骨文中就有不少关于天气现象的记载，如雨、雪、雹、霾、雾、虹、雷电等。这一时期大气探测处于原始阶段，只有单纯的目测。

其后，大气探测水平稍有提高，由目测发展到能利用一些简单的感应原理进行器测。如公元前二世纪，我国就应用木炭重量的变化和琴弦的伸缩来测量大气湿度。再以后，器测有了进一步发展，如汉初装置在“灵台”（相当于天文气象台）上的相风铜乌，就是古代铜制的乌形风向器。以后又发展为用“羽葆”和“木乌”测风，唐朝李淳风（公元七世纪）在“乙己占”一书中所述：“凡候风者，必于高迥平原，立五丈长竿，以鸡羽八两为葆，属于竿上以候风。风吹羽葆平直则占。亦可于竿首作盘，盘上作木乌三足，两足连上而外立，一足系羽下而内转。风来乌转，回首向之，乌口衔花，花旋则占之。”由这段叙述可知，这种测风方法与西洋屋顶上的候风鸡很相似，但出现时间要早得多。雨量器也是我国最早应用的，到明永乐末年（1424年），曾统一颁发全国，用来报告雨量的多寡。

就萌芽时期大气探测的情况而言，我国是走在世界前列的。

成长时期 十六世纪末至十九世纪中叶为大气科学的成长时期。在这不到三百年的时间中，大气探测在物理学的基础

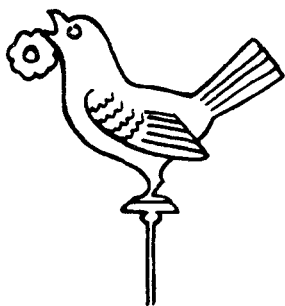


图 1 我国古代的鸟形风向器

础上发展了起来，从而为大气科学的成长创造了条件。

一系列测量大气的仪器先后发明出来并投入实际应用，标志着这一时期的开始。最先发明出来的仪器，当推伽利略在1600年左右制作的玻璃管温度表。这是一根长45厘米的细玻璃管，一端开口，一端吹成卵球形，管内盛水，水柱随气温升降而升降，这就是今日常用的水银（或酒精）温度表的雏形。其后数十年（1643年），他的学生托里拆利，用一根玻璃管插入水银槽中制成了气压表。大气压力使汞柱在顶端为真空的玻璃管中上升了76厘米，这段汞柱的重量就等于玻璃管截面上的大气压力，这就是今日常用的水银气压表的原理。

气压表的观测使用，使人们发现天气的晴雨与气压变化有一定关系。当气压表中的汞柱下降时，往往预示着坏天气的到来；当气压表中的汞柱上升时，往往天气将转晴，这种简单的关系使气压表赢得了“晴雨表”的美名。

温度表和气压表的发明具有极其重要的意义，它使定量测量大气的基本性质成为可能。再以后，风速表、毛发湿度表相继问世。至十七世纪后期，人类已制成了一系列测量大气温、压、湿、风的仪器，从而能够完备地、定量地测量这些重要的气象要素。

这一时期还广泛地利用风筝和气球作为运载工具，携带气象仪器进行探测，使人们对大气的垂直结构有了一定的认识。

发展时期 由十九世纪中叶至今的一百多年，是大气科学作为一门独立的学科飞速发展的时期。大气探测取得了飞速的发展，从地面常规气象观测站网的建立开始，一直发展到现今的全球综合观测系统。在这一时期中，科学技术和大气探测的发展对大气科学的促进作用十分明显，大气探测本身也逐步发展成为一门基础坚实、技术先进、手段众多的学科。

1844年莫尔斯电磁电报的出现以及1854年的克里米亚战争，促成1856年在法国建成正规的气象台站网。此后，世界上许多国家相继建立类似的台站网，使地面气象观测成为全球性有组织、有系统的测量工作。

地面气象台站网的出现，积累了大量的气象资料，这才使得本世纪初，以皮叶克尼斯父子为代表的挪威学派，有可能先后提出锋面理论和气旋波理论¹⁾。这些理论已成为现代天气预报理论的基础之一，从而使人们制作三天之内的短期预报成为可能。

1) 锋面指的是冷暖空气团之间的交界面。沿锋面的天气变化最激烈，可出现大风、降水、降温等天气现象。气旋波理论说的是，在锋面上，在一定外界条件下，通过锋面两边冷暖空气的相互运动，可以产生一种影响几百甚至上千公里范围内天气情况的涡旋系统——气旋波。

随着无线电探空仪的发明，本世纪三十年代开展了高空气象观测业务，并积累了大量高空气象资料。这才使得三十年代后期瑞典籍美国气象学家罗斯贝，有可能提出大气长波理论¹⁾。大气长波理论开创了三维空间的天气分析，使人们制作3—5天的中期预报成为可能。

对云雾进行的一系列高山和飞机观测，又使瑞典科学家贝吉隆有可能提出著名的冰水转化的冷云降水理论²⁾，并成为以后人工降水的重要理论基础。

大气科学发展史中这几个重大事例，生动确切地反映了大气探测的重要性。“巧妇难为无米之炊”，没有大气探测提供的原料，大气科学研究是难以结出硕果来的。大气科学要迅速发展，则必须首先注意大气探测的发展。

大气探测除了给天气分析预报提供原始资料外，它本身就有着直接的用途。如指导军事行动、监测环境污染、配合科学实验等，往往需要当地的大气状况。为此，除了知道常规气象要素外，还要知道许多其他的大气特性。毫无疑问，随着文明的发展，人类对大气探测提出的要求也越来越多，越来越高。

自本世纪六十年代大气遥感兴起之后，特别是气象卫星的相继发射，开创了从宇宙空间观测全球大气的新时代，大气探测取得了前所未有的发展。目前，正朝着建立以常规探测为基础、以气象卫星为骨干的全球综合观测系统迈进。全球综合观测系统包括：卫星、火箭、雷达、飞机、船舶、定

1) 在高空天气图上经常存在着围绕半球有3—6个波动，它们有一定的移动和发展规律，而且低空的锋面和气旋大多是在高空这些大气长波的引导下运动的。

2) 这一理论说的是，在温度低于0℃的冷云中，由于冰晶比过冷云滴的饱和水汽压要低，因而出现冰晶增大、云滴减小的冰水转化过程。

高气球、海洋浮标和地面常规观测站网等。通过综合观测可获取各个时间、不同高度的大量气象情报资料，使大气科学研究得到更迅速的发展。

四大气象要素——温、压、湿、风的观测

气温、气压、湿度和风是大气四种最重要、最基本的特征，它们分别反映了大气的热力状态和运动状态，几乎所有的气象观测中都少不了它们。

气温 从宏观上说，气温的高低表示气体的冷热程度；而从微观上来看，气温反映了大量气体分子运动能量的平均值。

测量气温的仪器叫温度表，一般都利用物体热胀冷缩的性质来制造。气象观测上最常用的是液态温度表（图2），它与我们日常用的体温表很相似，只是大小尺寸和刻度范围不同而已。将一定量的液体（常

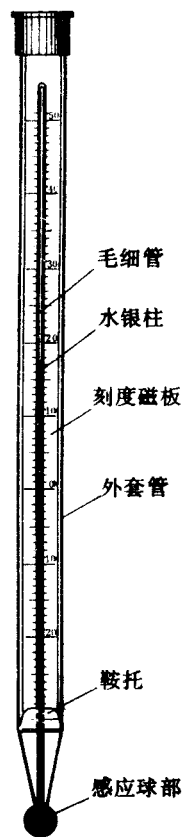


图2 气象观测常用的液体温度表

用的是水银或酒精)密封在玻璃毛细管之中,液体盛于毛细管基部的球中,管内抽成真空(有的则充以一定量的氮气)。随着温度变化,液体处于毛细管中的不同高度。

我国采用的温标是摄氏温标,写为“C”。冰点为 0°C ,水的沸点为 100°C ,中间划为100个等份,每份为 1°C 。如果将水的冰点定为32度,沸点定为212度,中间划分180个等份,这就是国外常用的华氏温标,写为“F”。两者有简单的换算关系: $C = \frac{5}{9}(F - 32)$ 。在科学上常用一种开氏温标(或称绝对温标),写为K,它的零度为 -273.18°C ,相当于分子运动完全停止时的温度,这是一个达不到的低温¹⁾。

图3是在普通温度表的玻璃管中,稍作改动而制成的酒精最低温度表和水银最高温度表。即在酒精温度表的玻璃管中放置一个易下不易上的哑铃状游标,只当温度下降引起酒精柱下降时,游标才随之下降,温度上升时游标不动。所以,它能测得一定时间间隔内的最低温度。同理,在水银温度表的球部嵌进一根使水银易出不易进的玻璃针,或在球部之上制成狭窄的收缩段,使得仅当温度上升时水银柱随之上升,而降温时水银退不回来,便能测得一定时间间隔内的最高温度。

除了常用的液体温度表之外,还有根据固体的线性尺寸随温度变化而制成的变形温度表。常用的是双金属片温度表,在温度自记仪器和无线电探空仪中常用到它。双金属片温度表的测温原理是,当温度变化时,由于膨胀系数不同而引起双金属片变形,通过机械装置可以放大这种变形引起的位移,

1) 据最近报导,现在已能在容器内成功地达到 0.000033K 的低温,接近于绝对零度。

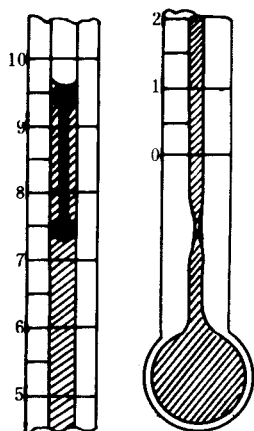


图 3 酒精最低温度表（左）和水银最高温度表（右）的结构原理

再带动指针将气温记录下来。

温度表的种类繁多，如根据导体或半导体的电阻随温度而变化的原理制成的电阻温度表；根据温差电偶的电动势随接头温差而变化的原理¹⁾制成的温差电偶温度表，等等。总之，凡物质的某种属性与温度（或其他气象要素）有固定的对应关系，都能利用它来制造测量仪器。近年来，已研制出多种小型测温元件，如铂电阻、热敏电阻、石英晶体和单金属丝等测温元件，都具有性能稳定、能迅速反应环境温度变

1) 两种不同种类导体（如铁和康铜）所组成的封闭回路中，当接头处于不同温度时，回路中就会产生电流；这种现象叫温差电现象，这一对接头就叫温差电偶。对给定材料构成的电偶来说，回路产生的电动势与电偶的温差成正比。