

E.C.巴雷特 著

卫星气候学

中国人民解放军总参谋部气象研究所

卫 星 气 候 学

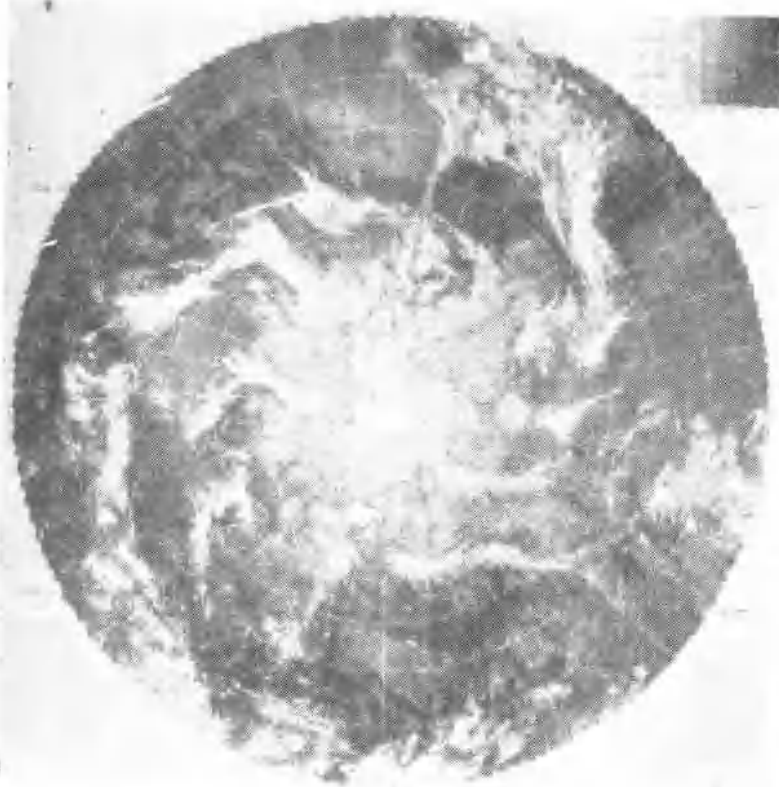
E.C.巴雷特 著

丁一汇、张 鐔、陈学中等译

陶诗言、张拔群校

中国人民解放军总参谋部气象研究所

1981年9月



从戈托斯号红外资料
得到的，1970年10月24日天
然以后全球数字化极射投影
天气照片。右上角的方块图
说明了各个纬度上图像的色
调和地面（或云-顶）温度
（℃）的关系。（参见第27页）
（美国环境科学服务管理局
照片）

1009 7-170

译 序

自二十世纪六十年代以来，气象卫星作为一种新的大气探测手段而广泛应用。气象卫星资料日积月累。如何应用这些丰富的气象卫星资料来加深对全球大气的认识，这一课题摆在我们面前。巴雷特(E.C. Barrett)的《卫星气候学》做了十分有益的工作，将十多年来有关卫星气象研究所获得的一些新的事实和发现进行了综述，有助于解决这一课题。我们认为，向我国广大气象工作者介绍这本书将会大有裨益。

这本书的翻译工作始于1976年。参加翻译工作的有北京大学的张鐔、蒋尚诚、张元箴，中国科学院大气物理研究所的丁一汇、方宗义、袁重光、赵思雄、刘瑞芝、孙道民、李崇银，总参气象研究所的陈学中、仇广文、谭必福和温尚明等同志。陶诗言、张拔群两同志对全书译文做了校对。

本书的翻译和出版工作，肯定会存在不少缺点和错误，望读者给予批评指正。

前 言

我们都能理解没赶上公共汽车时的失望心情，在后面徒劳地追赶汽车的人自己也清楚地知道，不管他怎样努力地想赶上它，车子只能越跑越远。我们在从事空间科学某一领域的研究和著述时，就与上会想到我们没有赶上汽车时的垂头丧气的情景。崭新的宇宙飞船、探测仪器、分析技术以及卫星的各种重要发现，真可以说是日新月异。因此，判定你所掌握的情况是否最新的，这件工作比什么都困难。

正是这个原因使我胆怯，使我曾经多次怀疑，是不是值得去综合有关卫星气候学的材料。但是每一次我都想到迫切需要有人把十多年来有关卫星气象研究提出的全球大气的一些事实和发现综合起来。从研究的角度看，这种综合性工作（相当商店的“存货盘点”一样）是一种有用的方法，这种盘点工作对于需要某些特定“货品”的顾客也是有用的。对于研究人员来说，他们要弄清楚当代的科学成果、其应用范围以及发展方向，这种综合工作也是很重要的。

本书想把有关卫星气候学的文章进行搜集和整理，如果可能并将它们联系起来，使之成为合理而完整的体系。到目前为止，本书所使用的许多参考文章在现有的出版物中是找不到的。很明显，本书对大气的某些问题比其他著作所述得更全面，但一些读者也会发现，本书对气候学的许多方面应讲得不多，甚至完全没有讲到。有些读者对于本书所引用的研究成果中所用单位不统一也不满意。但是我相信，本书合理地反映了当前卫星气候学的情况，如果化费更多力量去修饰或统一这些内容，也许会弄巧成拙，要不然就会给合理的东西以不正确的评价。

近年来人们对遥感技术日益注意，卫星气候学的研究方法和成果尽管目前还很不成熟，也比较零散，但是对于研究大气科学的人和想从空间角度来研究地球的人来说，却都是感兴趣的。

E.C.Barrett 1973年5月于布里斯托尔

本书中有关卫星方面的通用缩写词

(自字母缩写词通常用斜体字印刷,字母相互间总是不加句号。各具体机构对其他一些缩写词也不加句号,实际并不完全一致。)

A.P.T.	Automatic Picture Transmission (自动图片传输)
A.T.S.	Applications Technology Satellite (应用技术卫星)
A.V.C.S.	Advanced Vidicon Camera System (高级光导照相机系统)
C.D.A.	Command & Data Acquisition Stations (指令和资料接收站)
COSPAR	Committee for Space Research (空间研究委员会)
ERTS	Earth Resources Technology Satellite (地球资源技术卫星)
E.S.S.A.	Environmental Sciences Services Administration (美国环境科学服务管理局)
ESSA	Environmental Survey Satellite (环境勘测卫星,亦作“艾萨”卫星)
F.M.R.	Final Meteorological Radiation Tape Products (最终气象辐射磁带产品)
GHOST	Global Horizontal Sounding Technique (全球水平探测技术)
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite (地球静止环境业务卫星)
H.R.I.R.	High Resolution Infra-red Radiometer (高分辨红外辐射仪)
I.D.C.S.	Image Dissector Camera System (图像分析照相机系统)
IRIS	Infra-red Interferometer Spectrometer (红外干涉光谱仪)
TIOS	Improved Tiros Operational Satellite (改进型泰罗斯业务卫星,即“艾托斯”卫星)
L.R.I.R.	Low Resolution Infra-red Radiometer (低分辨红外辐射仪)
M.R.I.R.	Medium Resolution Infra-red Radiometer (中分辨红外辐射仪)
M.S.S.C.C.	Multicolour Spin-scan Cloud camera (彩色自旋扫描摄云照相机)

MUSE	Monitor of Ultra-violet Solar Energy (太阳紫外线能量监测器)
N.A.S.A.	National Aeronautics & Space Administration, U.S.A. (美国国家航空和宇宙航行局)
N.E.S.C.	National Environmental Satellite Center, Washington, D.C., U.S.A. (美国华盛顿国家环境卫星中心)
N.E.S.S.	National Environmental Satellite Service, Washington, D.C., U.S.A. (美国华盛顿国家环境卫星局)
N.M.C.	National Meteorological Center, Washington, D.C., U.S.A. (美国华盛顿国家气象中心)
N.O.A.A.	National Oceanic & Atmospheric Administration (美国国家海洋大气局)
NOAA	National Oceanic & Atmospheric Administration environmental satellite (美国国家海洋大气局环境卫星, 即“诺阿”气象卫星)
N.W.R.C.	National Weather Records Center, Asheville, Tennessee (美国田纳西州阿什维尔国家天气记录中心)
OSO	Orbiting Solar Observatory Satellite (太阳观测卫星)
S.C.R.	Selective Chopper Radiometer (选择调制辐射仪)
SIRS	Satellite Infra-red Spectrometer (卫星红外光谱仪)
S.S.C.C.	Spin-scan Cloud Camera (自旋扫描拨云照相机)
T.H.I.R.	Temperature Humidity Infra-red Radiometer (温湿红外辐射仪)
TIROS	Television & Infra-red Observation Satellite (电视和红外观测卫星, 即“泰罗斯”卫星)
TOS	Tiros Operational Satellite (泰罗斯业务卫星, 即“艾萨”卫星)
U.S.W.B.	United States Weather Bureau (美国气象局)
V.C.S.	Vidicon Camera System (光导照相机系统)
V.H.R.R.	Very High Resolution Radiometer (甚高分辨辐射仪)
W.M.O.	World Meteorological Organization (世界气象组织)
W.W.W.	World Weather Watch (世界天气监视网)

目 录

前言	(•1•)
缩写词	(•2•)
第一部分 引言	(1)
第一章 卫星气候学的性质和范围	(1)
第二部分 卫星	(10)
第二章 美国气象卫星系统	(10)
第三部分 气象卫星资料分析原理	(39)
第三章 大气能量分布	(39)
第四章 大气中水分的分布	(50)
第五章 风和环流	(85)
第四部分 全球气候的卫星资料分析	(103)
第六章 全球大气能量分布	(103)
第七章 全球大气湿度分布	(123)
第八章 全球大气环流分布	(154)
第五部分 区域气候的卫星资料分析	(172)
第九章 热带天气的线状扰动	(172)
第十章 热带天气的非线状扰动	(201)
第十一章 南亚季风	(224)
第十二章 温带中纬度地区	(241)
第十三章 极区	(261)
第六部分 卫星资料和气候分类	(270)
第十四章 气候分类	(270)
参考书目	(281)

第一部分

引言

第一章 卫星气候学的性质和范围

过去对气候学的定义比起大多数其他学科来更是多种多样。有些学者认为气候学是一门大气科学(例如, Rumney, 1968), 另外一些学者则强调气候学所采用的地理学的研究方法和所包含的地理学方面的内容(例如, Kondrew, 1957)。还有一些作者, 例如 Shaw(1960), 采取模棱两可的态度, 认为, 气候学是研究特定地区的一般天气。然而, 大多数人则认为, 气候学不同于与它密切相关的气象学, 就在于它更多地研究大气运动过程的结果, 较少地注意到这些过程的瞬时状态; 气候学也不同于地理学, 就在于它只注意研究整个人类自然环境中的一个部分。当然, 气候学是气象学和地理学之间的边缘学科, 在气候学的研究中, 它所考虑的年代(时期)远比气象学考虑的时间要长, 而它所研究的范围甚广, 常常需要采用地理学的方法。

为了明了卫星对气候学的重要性, 有必要首先更详细地考察气候学本身的性质和范围。气候学可按照“专题”和“尺度”来进行分类。

1.1 气候学的专题分类

区域气候学: 区域气候学是指对地球表面特定区域(一般是大范围)气候的描述。在过去, 区域气候学主要依据地面天气要素(如温度、湿度、云量、日照、雨量和风)的多年常规观测资料。在传统的区域气候学中, 月平均值和年平均值是其主要依据。近年来人们也采用一些更先进的统计量(如中数、众数、标准差、调和函数和特征向量等)对各个气候站进行比较。目前人们不仅在地-气交界面上, 而且还在高层大气中, 一直在寻找能更好地代表天气特征的气候统计量。

传统的区域气候学最终目的也许是作出气候分区, 即将气候相似的地区合并成同一个气候区。最普遍采用的分类法是由 W. Köppen 提出的。Köppen 分类法的概念是从 1884 年到 1936 年逐步形成的。但如今人们对他那个相当不实用的、前后矛盾的分类方法的批评还很多(见 Wilcok, 1968)。另外还有一些比较普遍为人们接受的气候分类法, 其中包括 Miller(1957)的分类法和 Thornthwaite(1948)的分类法。关于气候分类的问题将在第十四章中详细讨论。

天气气候学: 天气气候学比区域气候学年轻一些, 它不依据这种抽象的统计量, 从而为区域气候学提供一个新的基础。天气气候学是通过气流场型式(或如 Barry 和 Chorley, 1968 所称的“环流型”)与某地区天气的关系来研究某地区一般的天气特征。天气气候学的分析主要依据对气压场(流场)的分型, 而较少考虑传统的气候统计量。这样就出现了如何分型的问题, 但有人认为天气气候学方法是有价值的, 因为有了天气-气候学模式, “气候的平均数

就可以根据某一个实际的天气型算出来，而不是根据任意时段算出来的”(Barry,1963)。图1.1表示在天气-气候学中的各种型式，表明欧洲西北部一月的气团平均频率(Belasco,1948)。

物理气候学：Rumrny(1968)写道：“物理气候学是在过去一百年中发展起来的，用来描述分类和解释大气中种种特性之间十分复杂和永远变化着的关系”。Landsberg(1958)开始对物理气候学进行研究时曾说过：“在以前，气候学一直是主要用地理学方法研究的。它主要是描述性的。”他又说：“物理气候学的任务……是搜集和分析气候资料，揭示气候的因果关系”(着重点是本书作者加的)。因此，虽然物理气候学者所处理的许多资料，区域气候学者也是需要的，但基本的目的不同。这样做的结果，物理气候学更强调对气候现象的解释，气候的物理定律以及各种相互关系，尤其是有关全球的地球和大气能量平衡和水分平衡问题(Sellers,1969)

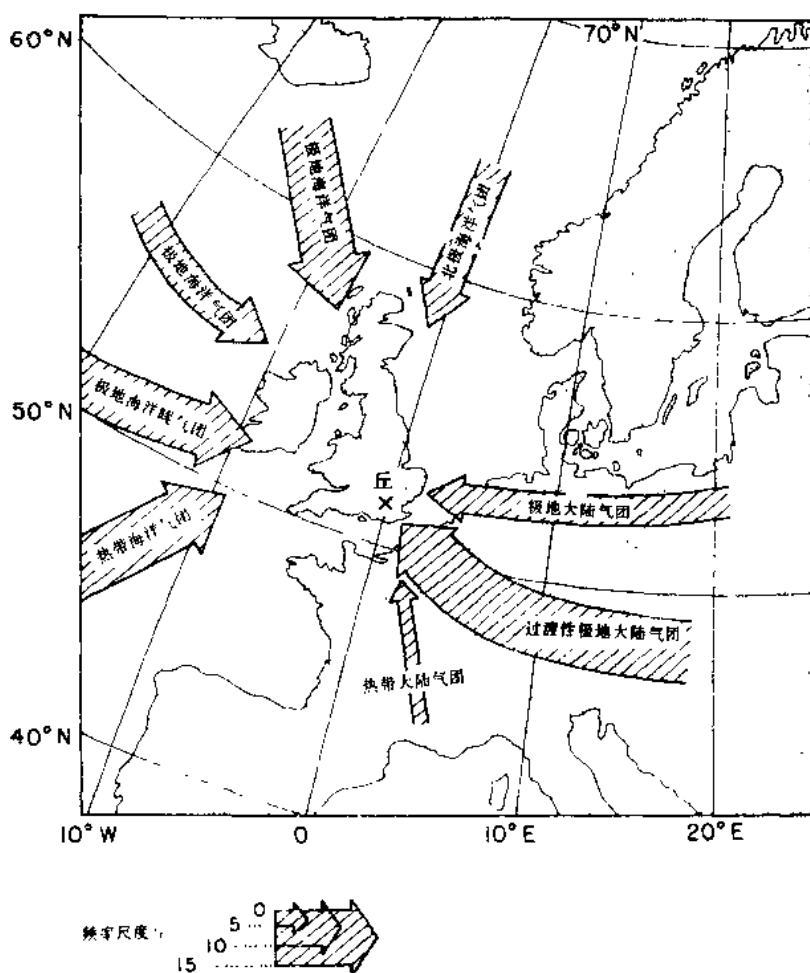


图1.1 丘(伦敦)一月气团平均频率，反气旋类型根据它们发源地的方向包括在内
(按Belasco,1948; 取自Barry和Chorley,1968)

动力气候学：正如大多数其他的环境科学一样，首先都从自然地理学孕育出来，而近年来一个极为明显的趋势，就是由于测量方面的原因不十分注重定性的描述和测定。目前更强

调要增进对那些过程的了解，由于这些过程才引起和发生了人类环境中观测到的许多变化。Barry(1967)说：“动力气候学的最终目的在于对大气环流，亦即对在时间和空间上大尺度大气运动提供一个全面的解释。”因此，看起来动力气候学是物理气候学的一个分支，它偏重于研究较大尺度的大气运动。但是，Sutton(1965)又提出了与此稍有不同的看法：“大气环流的短期变化应该看成是大气运动固有的特点，正象任意一种流体一样，它的运动总带有一些湍流变化，但同时又保持其平均流动。对这种湍流变化进行研究就是动力气象学的主题”。由于在连续流体介质中（大气也类似这种流体）“湍流扰动”的数量级要比它的平均流动要小，所以，对Barry所说的动力气候学的主要目的就要加上一个限制条件：在动力气候学中最难的问题是次级尺度的运动的问题，而这个问题则是天气气候学研究的范围。

统计气候学：气候学的各个专门分支之间自然相互有重叠。很明显，统计气候学比其他任何一种气候学更接近于区域气候学，统计气候学是把原始的或经过加工的天气资料概括成表格、曲线图或图像形式。统计气候学可看成最早的气候学，也是最有用的气候学。各个国家气象局的气候部门都制作准平均气候图或表，便说明了这一点。

生物气候学：除上述气候学分支外，还值得讲一讲另一类气候学，统称之为“生物气候学”。生物气候学是研究生物圈内大气因素对生长和健康的影响。可以理解，生物气候学的一个重要方面就是研究人类活动同自然环境或由人类活动所造成的环境的相互关系，其中尤以人类生活和大气污染情况的关系最为重要。美国和苏联的载人空间飞行研究计划对于研究生物气候学，特别是关于人类和其他动物的生物气候学作出了重大贡献。生物气候学的另一重要分支是农业气候学，它是研究气候同农作物产量的关系。医药地理学也是生物气候学的一个重要分支，它研究气候同人类健康、疾病和死亡的地理分布特征。

历史气候学：在历史气候学中着重讲气候随时间的变化情况。我们在其他气候学分析中将资料进行平滑，消去了许多气候上的不规则性（小的起伏），这种小的变动本身是有意义的。气候变化的研究只能以有观测仪器记录的时候开始的对大气参数进行的实际测定为依据。在观测资料最完善的欧洲西北部地区，这个时候也仅仅是从18世纪末叶开始的。但也可以引证其他各种文献资料来说明各个历史时期的气候变化（见Lamb, 1967）。但用这种办法最远也只能得到有关11世纪气候的可供使用的成果。较长时期的气候变化可以根据考古学、生物学及地质学的证据进行推断，……这是古气候学领域。古气候学是研究各地质时期全地球气候的、大尺度和长时期的变化。气候变化的研究对于改进长期气候预报方法会有重大意义。

应用气候学：前面提到的各种气候学都是属于纯气候学，同纯气候学相对应，还有应用气候学。在许多情况下，正如我们所预料的，这些应用气候学发展都相当缓慢。因为只有对自然环境具有某些认识 and 了解以后，才能对自然环境作出预报，或进行某种工程。从历史上看，气候学的主要应用是在地球科学和生物科学方面，即提供累积起来的气候资料，我们不能低估气候学至今仍然对各种用户提供这种服务。但在近年来，更进一步考虑到气候学的其他更有价值的应用。这种考虑一方面是由于科学的发展和工业日益增长的需要，一方面也是由于各类气象观测网的不断改进和扩大而引起的。

以利润和成本分析为基础的各种经济学研究（Maunder, 1970）指出，在计划大型的露天施工作业以及采取预防自然灾害的措施的时候，需要更全面地考虑天气和气候因素，这已是财经工作的常识。另外还有些研究工作着重说明某种人工影响天气的办法对于某些经济措

施是有价值的，尤其对于完全依赖于局地气候条件的农业生产来说是有价值的（例如，参见Smith, 1958）。从更大范围说来，从气候学方面来考虑，对某些大型自然环境工程的研究项目是否行得通，这也是有意义的。例如，封闭白令海峡，融化北极冰冠，或使苏联西伯利亚向北流入北冰洋的几条大河改向南流，以便把苏联中亚细亚比较干旱的地区变成为计划中的灌溉区（见Sawyer, 1971）。最后，最近长期预报和超长期预报业务的扩大，强调了这么一个事实：“气象学正迫切需要气候预报，而这种预报目前还没有充分的科学基础（Lamb, 1966）”。看起来要研究出一个合适的预报方法问题，是气候学的问题，而不是气象学问题，因为在气象预报中时限只有几天。如果对气候学有了更多的知识和了解，它就一定会对长期天气预报问题作出重要贡献。

1.2 气候学的尺度分类

另外还有一种气候学的分类法，也为一些人所采用。这种分类法是从大气现象的尺度方面去考虑，而不是从物理学或方法论方面去考虑。表1.1给出在气象文献中常常引用的大气运动系统的尺度。表中的各类尺度运动对应于对流层上部西风带中的长波，中纬度移动性气旋和反气旋，地方性风系和单站风速观测中的阵性起伏。

表1.1 气象学运动系统的尺度
(取自Barry, 1970)

运 动 系 统	近 似 的 特 征 尺 度			
	水平尺度(公里)	垂直尺度(公里)	时间尺度(小时)	总 能 量*
大尺度 { 行星波 天气扰动	5×10^3	10	2×10^2 到 4×10^2	—
	5×10^2 到 2×10^3	10	10^2	平均低压 10^{-3}
中尺度现象	1 到 10^2	1 到 10	1 到 10	平均雷暴 10^{-8}
小尺度现象	$< 10^{-1}$	$< 10^{-2}$	10^{-2} 到 10^{-1}	平均阵风 10^{-17}

* 基数1 = 地球每日获得的太阳能

这些尺度显然是天气系统（运动系统）的一个连续谱中的各个部分，换句话说，这四种尺度并不是相互没有联系的，但根据这四种尺度的大气运动，可以将气候学分为以下三类：

大气候学：大气候学是研究地球上相当大地区的气候特点，研究大尺度大气运动系统对大地区气候特点的作用。大气候包括由年平均、季平均和月平均统计分析得到的全球风带的研究，以及全球大气能量和水汽的平均分布和交换的研究。区域大气候学是研究大气中长波的分布和天气尺度扰动活动的一般特性（Barry, 1970）。Lee (1966) 曾经指出：气象现象的地理分布一部分是由比它们本身尺度更大的系统所制约的。因此，在大气候学中不仅要考虑气候分布和地球表面地理条件之间的大尺度关系，也要考虑大尺度大气环流对于能影响大气候的各种较小尺度大气运动的作用。这种研究全都应用气候学中习惯规定的时间尺度，即30年到35年。但鉴于气候波动持续的时间越长，其所影响的地区就越大的事实，应该指出，在一些有关全球气候变化的研究中，实际上还涉及到更长时期的变化。

中气候学：一些人认为中气候学研究的是地球表面的较小区域，即大约 10 到 100 公里的范围（参看表 1.1“中尺度现象”）。因此，在某个较大范围、比较一般性的大气候研究中，如果研究对象许可的话，也可以作一些比较局地性的气候研究。城市“热岛”的研究以及龙卷、雷暴等强烈局地天气系统的研究，都属于中气候学。这类中尺度天气系统不仅能影响中尺度区域的天气，而且系统本身也受到系统中的天气和地形的影响。与大气气候学和小气候学相比较，对中气候学的研究相对说来是很少的。因此，随着观测站网日趋稠密，气候学的研究方法以及气候学理论日渐成熟，中气候学很可能成为气候学中大有发展前途的领域之一。

小气候学：小气候学是研究局地气候的细节，研究在相当短的时间内气候的微小差异。小气候学主要要提到 Geiger(1957)的著作，他强调最贴近地面 2 公尺内的大气对“近地面气候”起着作用的论点。按照 Huschke(1959)的说法，小气候学是研究“从地表面到某一高度范围内气候的细致结构，在这个范围内下垫面的瞬时特征对大气的的影响与一般的局地气候没有区别”。显然这种细节的研究不是目前气象卫星系统的研究范围。

1.3 卫 星 气 候 学

我们采用了“卫星气候学”的标题，但这并不意味着由于气象卫星提供了在空间进行气象观测的平台已经或正在导致一门新的气候学的出现。当然，严格说来，“卫星气候学”(Satellite Climatology)本身也可以理解为只研究宇宙飞行器(卫星)内及其附近的小气候。从技术角度来看，这种研究当然是很有意义的，因为许多卫星中的许多部件只在规定的环境条件下才能运转得最好。因此，需要通过对地面接收到的资料分析，不断对卫星的运行进行仔细的校正。卫星气候学的重要性在于它能对上面所讲的几种气候学有所贡献。现代气象卫星正在起着以下三个最重要的作用：

1. 作为对地球及大气的观测系统。从气象卫星作为对地球和大气的观测系统来说，它有好几种特别有价值的特性和能力，这些问题将在下面讲到。
2. 作为一种极其方便的空间资料搜集站。第二代气象卫星能够从大气内部或从地面基地搜集资料，并且把那些资料转发给专门设置的资料处理中心。
3. 作为气象资料的通讯线路。通过这种手段可以使相距甚远、而每天必须有大量气象资料相互交换的两个地面站构成通讯线路。

本书主要讲上述三个用途之中的第一个。首先是讲作为观测系统的卫星，其次讲从卫星发回地面的大气资料的特点，最后讲有关这种资料早期应用于解决气候学问题的情况。为了在讨论中合乎逻辑性以及为了讨论的方便，我们在第三章到第八章讲述卫星资料判别和分析的一般问题。在第九章到第十三章中按地理区域讲述卫星资料的应用问题。这种安排反映了最近的几种气候学和气象学教材的结构，这也有助于读者对卫星气候学的前期和后期进行比较。这也突出了气象卫星的进展情况。

第一个专用的气象卫星只是在 1960 年初才进入轨道，但是通过对几天到几年的资料分析，卫星资料已经对气候学作出了许多贡献。在开始时有人提出这样一个重要问题：“为什么气象卫星对气候资料的积累是如此有用呢？”其理由有如下 6 条：

1. 它大大地改善了全球资料覆盖区。现有的常规地面气象站分布很不均匀，即便对大气候研究来说，地球上大部分地区的资料也很不够。苏联水文气象局的 Vetlov(1966)曾经指出：从现代气象预报对资料的要求来讲，地球上只有 10% 的地区有比较稠密的常规气象站

网。由于气候学的研究也是主要依靠这些台站的资料，所以，气候学者一直在抱怨气象资料的不足。表1.2总结了1967年拟定的世界天气监视网(WWW)对气象观测的要求。该计划的目的在于改善高空探空站网，但是在写这本书时，即使连这种要求并不高的世界天气监视网方案也还没有完全实现。在高纬度大部分地区，在大洋上以及在全球低纬度地区，现有的气象资料还是很稀少。但气象卫星却已经得到地球上最荒凉、人迹罕到地区的很多气象资料。气象卫星一开始就把这些荒无人烟地区的资料引进全球气候分布图中。从1966年2月以后有了业务用的气象卫星。第一代业务卫星是艾萨(ESSA)，第二代是诺阿(NOAA)，对于提供全球的气象资料起着重要作用。

表1.2 世界天气监视网要求达到的常规气象台站之间的最大平均间隔
(据W.M.O资料, 1967)

区 域 类 型	观 测 层 次	最大平均间隔 (公里)
大 陆	高层大气*	1,000
岛屿分布适当的海洋	高层大气*	1,000
开 阔 海 洋	高层大气*	1,500
海 洋	洋 面	1,000
大 陆	地 面	500

* 每天在格林威治标准时间0时和12时观测两次

2. 卫星资料比地面观测站的资料(例如,云和辐射资料)更具有内在的均匀性。尽管人们煞费苦心地采用了一些防范措施,来统一常规观测仪器在野外放置和操作的标准,尽管世界气象组织尽力减小国与国之间的差异,但这种差异仍然存在。资料的地区性特点常常不可避免,而且仪器型号不管怎么细心校准还是各种各样。气象卫星观测的最大优点在于用很少量的仪器就能观测地球上大部分(即使不是全部)地区的一些大气变量。另一个优点在于从卫星观测到的全球资料能用同一个资料处理设备进行处理。

3. 卫星资料在全球表面是连续的,而常规观测站的资料只是在某个城市(或某个地点)单点观测的结果。所以,用卫星资料绘等值线时,比起用地面站资料绘等值线(即使是在地面站资料很丰富的北美洲和西欧地区),就没有那么多用内插法的科学推测。

4. 对常规观测资料来说,卫星资料只是补充性的。由于卫星是一种遥感空间站,它对地球和大气进行观测时,使用的仪器并不直接接触地球和大气,因而其观测结果和在大气中直接观测的结果不同,这是不足为奇的。在某些情况下,卫星观测到的数值十分相近于大气中直接观测的那些结果。在这种情况下,有时可以相互进行比较,相互订正以及进行插补。如果卫星观测结果不同于地面站观测结果,这就揭露了许多关于大气的新的事实。由卫星资料推论得到的地球大气顶部的净辐射平衡资料为大气科学提供许多十分重要的新的事实。这是由卫星观测得到的,并不是象在没有气象卫星以前那样由估计得到。

5. 卫星资料随时可以用计算机进行加工。甚至卫星照相资料也象无线电信号一样被接收下来,这种无线电信号的变化可以记录电磁波谱中可见光波段的辐射测量值,由于从艾萨

或诺阿卫星每日取得的资料容量大约达到 10^9 — 10^{12} 的量级，因此在卫星资料的日常业务分析和判读中，资料自动处理是很重要的。

6. 常规气象观测站只在每6小时、12小时或24小时进行一次观测，而卫星可比地面观测站提供更多的资料。虽然低高度的极轨卫星一般每日只对目标区进行一次观测，但地球同步卫星或静止卫星（例如A、T、S卫星或叫做应用技术卫星）能够借助于卫星在赤道某一点上空的好象固定的位置，每20分钟对目标区进行一次观测（见第27页）。将来的A、T、S卫星比现在这种卫星观测目标区的次数还要多。这种反复的频繁的观测在气象学上正结出丰硕果实。V.E. Suomi 和他的同事在美国威斯康星空间科学和工程中心，根据卫星观测制成了热带地区云图的慢摄快映电影胶卷（Suomi, 1970）。这些胶卷揭示出云场位移和发展的情况，由此表示出大气运动的性质和程度，根据A、T、S卫星资料的研究，已揭示了对气候学上有意义的模式，例如，Fujita所指出的中美洲西面反气旋单体和与之有关的“爆发性云带”等（Fujita等，1969，见第257页）。毫无疑问，今后还会出现更多诸如此类的模式。

不容置疑，对于全部或部分地根据气象卫星资料进行气候学的研究来说，其研究范围是十分广阔的，但是气象卫星观测永远不能完全代替常规气象站的大气观测。在卫星气象学的初期，Neiberger和Wexler(1961)曾认为：“一直从事泰罗斯-I号和泰罗斯-II号卫星资料研究的气象工作者深信气象卫星对大气科学必将带来‘革命性’的影响”。但是，把任何革新都说成是“革命性的”，势必引起比较细心的人的强烈反应，许多大气科学家只是把卫星的问世看成是一个“发展”阶段，不过是使人类不断深入了解我们周围大气层的整个过程中的一个阶段。因此，有必要指出，“谁要是认为气象卫星已经预示大气研究黄金时代的到来，那是过于乐观”，但是，不管怎么说，“这些卫星已经，并将继续证明它对于气象学和气候学的研究工作都是极其重要的工具（Barrett, 1970）。很明显，单纯靠卫星进行探测研究就必然会有一些局限性，世界气象组织通过世界天气监视网计划一方面努力扩大和改进常规观测站网，一方面扩大和改进全球卫星系统。这个事实本身就着重地说明了这一点。这样，另外还提出了进一步研制设备的计划，其中有漂移气球、定高气球（见215页）、自动天气漂浮站以及陆上自动气象站等（见Barrett, 1967）。为什么要研制这些设备呢？其主要的原因在下面讲到有关卫星观测的缺点时就可以明白。在卫星运行以及卫星资料使用方面还存在许多实际问题。从气候学的观点来看，主要问题是：

1. 卫星资料在数量上已经十分庞大。
 2. 有时很难知道怎样分析卫星资料才好。
 3. 卫星资料的分辨率并不都适用于气候学研究，有些卫星资料的分辨率还不高。
 4. 由于卫星中仪器或地面设备使用过久后会使得观测质量降低，或者由于其他一些原因也会引起卫星观测质量下降，对卫星资料的评价变得很复杂。
 5. 从卫星资料推论出来的气候学事实，并不总是立即表示得很清楚的。
- 下面我们分别对这5个问题作详细讨论。

资料的量：

数量庞大的卫星资料对于气象学者和气候学者来说，都同样是件伤脑筋的事。目前许多人仍然在研究如何在业务上最有效地运用这种资料。这种研究主要分3个阶段。

1. 选择适合用遥测办法进行观测的重要大气现象的卫星观测要素。
2. 把卫星资料简化成易于进行处理的量。

3. 在业务体制范围内,研究资料的自动处理和分析方法。

一般说来,完成第一、二步比第三步简单些。相反,首先研究自动资料处理程序也不难,但得出的结果往往在业务上用途不大。

卫星资料中最醒目的是云状和云的分布图。云的分析资料是使用得最广泛的卫星云量观测资料的变形(见第35页)。这种资料把拍摄的云场简单表示出来。它使用现在国际上通用的符号,描述主要云型、云的分布情况及其他对短期天气预报很重要的特征。在短期预报中,许多国家的气象局广泛使用云的分析资料已经好几年了。虽然目前尚未研究出云图自动分析的令人满意的方法,但这并不说明这种分析方法是不可实现的。

在气候学研究中的资料选择以及资料的整理和自动加工问题,比气象学研究中更为突出,因为气候学总是要求资料的时期比较长。诚然,涉及到使用卫星资料的气候学研究计划的进展或许要比使用卫星资料的气象学研究计划慢些,这主要是由于新近出现的卫星资料量大、种类多,我们不能墨守成规,仅仅在传统的统计气候和区域气候的研究中增加几个新的方面就算了。必须更仔细地研究如何来处理这些新的、丰富的资料。

资料的分析:

同时,卫星资料的判读问题也是个难题。从卫星观测到的各种要素分布情况与设想分布有一些差别。换句话说,很少几个有关地-气系统的卫星观测结果跟同时的常规观测结果简单地对应一致。为了要使卫星观测的结果能用大气中的常规观测结果的传统形式来理解,需要进行一些仔细的对比分析。这里举一个例子来说明。已经证明卫星云图上的线状云带,可以表示在云层高度上的气流方向,或者表示云层上下的热成风方向,或者表示介于云顶和云底风向之间的风向。关于这个问题在后面会详细讲到。绝大多数卫星资料需要有完全新的判读和分析方法。

资料的分辨率:

气象卫星资料的分辨率对一切使用这种资料的人并不能都同时如愿以偿。例如,有一张分辨率约为3—5公里的照片对于气象预报员一般认为满意了,然而对许多研究人员(其中包括气候学者)来讲,则欢迎分辨率更佳的照片。目前所说的卫星气候学是研究大尺度的全球风带或大尺度的区域气候,并不研究地方性(地形)气候或小尺度的微气候,这并不是偶然现象(见Barry, 1970)。本书中所讲的材料也说明了目前卫星气候学所能研究的尺度范围。

卫星系统的退化:

时间长了,所有卫星探测系统都要发生退化,这主要是由于部件的磨损,而且目前我们又无法更换它们。在许多卫星中各种仪器都安装了两套设备,这就使卫星仪器的退化问题得到缓和,但还没有解决。即使对于较为先进的艾托斯-I号卫星,一般工程设计要求最短寿命为6个月,争取达到1年。卫星使用时间一长,其资料的质量便越来越差,仪器有时也会出现短期的故障,或者出现能源不足的情况。

两个或多个卫星资料的比较问题,同样也是十分重要的,而且是难于解决的。Winston (1969)曾经指出,这种问题特别是对于红外辐射探测器的资料更为严重,问题严重到如此程度,以致于从广泛使用的泰罗斯卫星资料中根本得不出辐射收支中可靠的绝对值。但Winston认为,尽管问题这样多,仍可以从卫星资料中得到许多有用的气候资料。

资料的显示:

因为卫星资料具有它本身独有的特性,所以为了使这些资料能用来解决广泛的气候学问

题, 需要解决的最主要的问题是怎样将卫星资料以及由卫星资料推算出来的量最方便的显示出来。由卫星得到的平均云量等值线图, 地球和大气的反射率分布图, 地表温度分布图等, 都是气候学上很有用的资料。但是, 在科学上, 每当某种不很明显的东西的用途变得很明显时, 科学往往就会取得真正的进展。因此, 卫星气候学似乎是一个激动人心的领域, 通过对这个领域的研究, 必将发现许多非同小可的新的事实。要开拓这一领域, 需要有卓越的创造才能。

1.4 小 结

我们可以说, 在气候学中用卫星对地球大气进行遥测有许多优点和潜在的优点, 这是最重要的, 当然也不可避免地会产生一些附带的问题。1960年发射的第一颗泰罗斯卫星, 标志着在此后第一个十年里人们将大量获得全球范围的气象观测资料。在气象卫星发射后的第二个十年之初, 新的资料和资料类型的用途已经开始迅速扩大。Leese 等人(1970)把这种迅速扩大归之于两个方面的原因。第一, 目前的气象卫星系统的工作有效期长, 它能提供长期连续的记录; 第二, 研究出来了合适的资料加工方法, 促进了卫星资料和常规的气象分析资料之间的相互比较。

正如先前指出的那样, 存在的最大的问题还是 1962 年 Lehr 所阐明的的问题。他指出, “……卫星正在取得和已经取得的大量资料已经引起了气象界的热情和担心。……在泰罗斯 1 号发射前以及在以后的每一个气象卫星的运行过程中, 资料存档和检索成为一个大问题,” Leese 等人(1970)总结了他们自己关于卫星资料的存档方法, 以及在气候学上应用的想法, 建议通过一个所谓的“总体处理”(Total Systems approach)以便从卫星资料中最有效地取得业务上有用的信息。使用这种方法, 卫星中各种仪器所观测的资料都可以储存起来, 并且在统一的处理过程中提取资料中的全部信息。例如, 从可见光和红外波段的同时观测值, 可以依次分析出各组观测值中的好几种参数的信息, 然后再分析它们之间的相互关系。

本书后几章将从卫星分析和卫星资料覆盖地域有关的特殊参数方面来简要说明总体处理的某些应用范围, 同时也将阐明卫星资料对于气候学各个分支学科的早期研究工作起着扩大、完善和修正的作用, 特别是在区域气候学、天气气候学、物理气候学和动力气候学, 并且主要是在大气候学中, 作用最大。本书后几章强调需对所有卫星资料进行更完整、更协调的气候分析工作, 同时也讲了一些零碎、片断的分析结果。在卫星气候学的领域中已经取得了许多成就, 但最好的成就还有待于将来。