

气象卫星

——系统、资料及其在环境中的应用

P. K. Rao 等编

许健民 等译



气象出版社

气 象 卫 星

——系统、资料及其在环境中的应用

WEATHER SATELLITES: SYSTEMS, DATA, AND ENVIRONMENTAL APPLICATIONS

P. Krishna Rao, Susan J. Holmes, Ralph K. Anderson, Jay S. Winston, and Paul E. Lehr, editors

许健民 方宗义 等译
徐建平 郭陆军

本书得到美国气象学会的惠许而翻译出版
Copyright©1990 by American Meteorological Society. Translated and published in Chinese with the kind permission of American Meteorological Society.

气 象 出 版 社

(京)新登字 046 号

内 容 提 要

本书由美国国家环境卫星、资料和信息局的五位著名专家组织 100 多位科学家集体撰写而成,是第一颗气象卫星问世三十年来关于气象卫星技术和应用的全面总结。其内容涉及气象卫星的发展历史,各国气象卫星发展概况,气象卫星的系统构成、资料处理、所提供的信息以及它们在气象、陆地和海洋科学、气候和农业中的应用。通过阅读本书,读者可以对气象卫星的全貌及其从空间遥感地球所带来的种种益处有所认识。

本书可供从事大气科学、海洋学、环境科学、地理学以及农业、林业和水利科学的科研、业务人员和大学有关专业师生参考,亦可供宇航工作者、卫星开发应用人员阅读使用。

WEATHER SATELLITES: SYSTEMS, DATA, AND ENVIRONMENTAL APPLICATIONS

Copyright©1990 by American Meteorological Society

气 象 卫 星

——系统、资料及其在环境中的应用

P. Krishna Rao, Susan J. Holmes, Ralph K. Anderson, Jay S. Winston, and Paul E. Lehr, editors

许健民 方宗义 徐建平 郭陆军 等译

*

责任编辑:成秀虎 终审:周诗健

封面设计:苏振生 责任技编:苏振生 责任校对:郭陆军

*

气象出版社 出版

(北京西郊白石桥路 46 号,邮编 100081)

南通韬奋印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 全国各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 37.875 字数: 788千字

1994年4月第一版 1994年4月第一次印刷

印数: 1—3800 定价: 28.80元

ISBN 7-5029-1536-2/P·0640

序

1960年美国发射第一颗气象卫星以来,已经有好几个国家发射了极轨或地球同步气象卫星,卫星的观测技术发展迅速。如果拿今天气象卫星的观测技术和资料与早年泰罗斯和艾萨卫星相比较,无论是技术的先进性和资料的精度都已有巨大进步。卫星资料的应用已扩展到大气科学的每一个领域。在今天,不少大气科学工作者感到很难想象,如果在他们的工作中没有卫星资料,这该怎么办。这是因为气象卫星为天气预报、气候变化监测、作物生长情况的监测、火山爆发及森林火灾的监测,以及全球冰雪覆盖和海水温度的分布等提供了大量有用的资料。

美国气象学会在1990年出版的专著《气象卫星:系统,资料及其对环境的应用》一书,是三十年来气象卫星技术和应用的全面、系统的总结。此书由美国国家环境卫星、资料和信息局的五位著名专家组织100多位科学家集体撰写而成,目的是为大气科学的实际工作者以及大学的学生提供一本有关气象卫星的全面的概观。由于本书是有关气象卫星的全面性的概论,作者在撰写过程中对本书各章的广度和深度作了合适的平衡。本书通过对气象卫星技术和资料应用的历史回顾,使得读者对气象卫星的全貌有所认识,并对从空间遥感地球的种种获益扩充了眼界。

全书分十一篇,四十三章。内容包括:气象卫星的引论,从空间遥感地球的技术特点以及观测地球的哪些要素,各国气象卫星的简介,气象卫星的遥感仪器以及观测的资料,气象卫星的指令和资料接收,卫星资料的中心处理及分发,卫星资料在气象学上的应用,卫星资料在陆地和海洋科学中的应用,卫星资料在气候中的应用,卫星资料在农业中的应用,以及未来的气象卫星系统和应用。各章附有大量的参考文献以及卫星气象学专用名词的简释。我读完本书后,觉得本书称作“气象卫星大全”更合适些。

中国气象局卫星气象中心的科学工作者集体将此书翻译成中文,这为我国大气科学以及海洋学,地理学和农学工作者做了一件好事,上述各个行业的读者从中可以获得大量对他们的业务有用的材料。对我来说,中译本出版后,这将是常常需要参阅的一本书。

原书在1990年出版时,没有包括我国的风云一号极轨气象卫星的材料,在中译本中加进了一章有关我国气象卫星(风云一号和二号)的简单介绍,这是非常必要的。

陶诗言

1994年1月

中文版前言

很高兴得知此书能对中华人民共和国国家气象局^①的工作有所帮助。本书原是美国气象学会于1990年以英文出版的,气象出版社已从美国气象学会得到将此书翻译成中文出版的许可。这本书以气象卫星在对地球及其大气环境监测中的各种发展迅速的应用为基点,向从事大气科学研究的科技工作者和学习大气科学的学生提供了有关这方面的全面介绍。该书还通过叙述卫星气象的发展史,帮助读者了解从空间进行地球遥感观测的益处。

出版这本书最早是由当时 NOAA 主管国家环境卫星资料局的局长助理 John H. McElroy 博士在1984年为纪念第一颗气象卫星发射25周年而提出来的。在 McElroy 博士1985年离开 NOAA 后,该书现在的这些编辑人员承担了完成这本书的工作。

编者和作者最初打算出一本供大学高年级学生和初级科技工作者使用的教科书。但是在收到作者的手稿后,我们改变了原来的计划。因为我们发现这些手稿的内容极为丰富,可以编写成若干本专题教科书。鉴于这种情况,我们决定把这些材料浓缩成一本综合介绍卫星环境(主要是气象)遥感应用的书。在压缩材料的过程中,我们把有关海洋应用的一篇剔出来,准备单独编成一本专门论述海洋遥感的书。我们希望目前这本书能为科技工作者和大专院校学生提供一些帮助。

在本书中不少参考文献提到一些公司和产品名称,它们在这里只是作为名字识别,不应理解为作者对这些公司和产品的认可。

不少人参与了本书的编写工作,他们的姓名可在全书最后的参考文献中找到。本书的主编助理是 Gordon Vaeth 和 Donna Gicker; Kathy LeFever、Tina Cashman 和 Donna Burns 为本书做了大量的打字工作。本书的另一位编辑 Paul Lehr 已于1989年故去,当时此书正在印刷之中。在此我们还要对那些为本书提过建设性意见和提供过帮助的人表示感谢。我希望这本书翻译成中文后,能有益于中国广大的科技工作者,能使他们的卫星气象知识得到进一步提高。

P. Krishna Rao

1993年12月

① 1993年5月后改称中国气象局——译者。

译者的话

卫星气象中心准备在近期内翻译几本关于气象卫星和卫星气象基本原理、技术和应用方面的优秀著作，以促进气象卫星应用水平在我国的进一步提高。本书是其中之一。

根据已故周恩来总理的指示，通过中国气象局、国家航天局、中国科学院等许多部门科学工作者二十多年的通力合作，我国在发展自己的气象卫星，以及利用外国的气象卫星两方面都做了许多工作。我国已成功地发射了两颗风云一号气象卫星，在气象卫星为国民经济各部门的应用中，有许多突出的例子。

气象卫星遥感及其应用是大气、环境科学以及航天、探测、无线电、通讯、计算机技术相结合的产物，在第一颗气象卫星问世以来的三十多年中，得到了长足的发展。它对气象事业已经产生，而且还将产生巨大的影响。在现代化气象事业的三个组成部分：全球观测系统、全球通讯系统、全球资料处理系统的每一个方面，气象卫星都起着不可取代的作用。而在其中作为气象学这门实验科学基础的观测系统中，卫星遥感已成为获取全球资料的基本手段。

本书对气象卫星和卫星气象进行了深入浅出的全面概述，不仅对从事这方面工作的研究、业务工作者和大专院校师生有参考价值，对于从事组织管理和领导工作的人员来说，阅读本书也是十分有益的。气象卫星和卫星气象是一个正在迅速发展和成熟起来的、亟需组织各方面力量进行开拓的领域。

本书的翻译工作是由卫星气象中心十多位同志共同完成的。各部分的翻译人员是：第1~4章，许健民；第5~10章，徐建平；第12~13章，第40~41章，吴蓉璋；第14~17章，张青山；第18~21章，刘玉洁；第22章，第27~30章，江吉喜；第23~26章，董超华；第31章，第42~43章，缩略语和词汇表，郭陆军；第32~35章，张凤英；第36~39章，方宗义。郭陆军和周培同志进行了初校，许健民、方宗义、徐建平同志负责总校。第11章由王守慧、许熙同志撰写。从事译校工作的同志都尽了自己的努力，使译文能确切表达原意，文字流畅。但由于译校人员外语、专业水平和经验的不足，疏漏之处在所难免，望读者批评指正。

本书也是中美大气科学合作“气象卫星和卫星气象”课题的产物之一。在这个合作课题下，美国国家环境卫星、资料和信息局的许多专家曾到卫星气象中心讲学。1991年4月，本书主编P. K. RAO博士在中心讲学时，向我们赠送了本书，他后来还帮助我们向美国气象学会获得了免费在中国出版此书的许可，并为本书的中译本写了序。我们愿借此机会向P. K. RAO博士，向美国气象学会，以及许多为“气象卫星和卫星气象”课题作出贡献的美国科学家表示谢意。

1994年1月

目 录

序

中文版前言

译者的话

第一篇 气象卫星简介	(1)
第 1 章 天气、气候和全球变化的观测系统——从地面向空间发展	(2)
第 2 章 民用气象卫星发展史	(6)
第二篇 空间遥感的基本原理	(20)
第 3 章 遥感的特征	(21)
第 4 章 遥感的目标物——地球	(29)
第三篇 各国气象卫星的观测功能	(46)
第 5 章 美国极轨和静止气象卫星	(47)
第 6 章 苏联卫星	(58)
第 7 章 欧洲 METEOSAT 卫星	(67)
第 8 章 日本 GMS 卫星(葵花)	(75)
第 9 章 印度 INSAT 卫星	(88)
第 10 章 美国实验卫星	(94)
第 11 章 中国的气象卫星	(102)
第四篇 卫星传感器及其资料	(118)
第 12 章 遥感仪器	(119)
第 13 章 ATN 和 GOES 传感器	(134)
第五篇 卫星指令和数据接收	(150)
第 14 章 卫星发射、轨道、指令控制和数据接收	(151)
第 15 章 卫星数据直接广播	(160)
第 16 章 GOES 的数据收集系统(DCS)	(163)
第 17 章 Argos 数据收集和定位系统(DCLS)	(168)
第六篇 中心资料处理和分发	(174)
第 18 章 卫星资料预处理	(175)
第 19 章 卫星资料的产品处理	(181)
第 20 章 卫星资料分发	(199)
第 21 章 卫星资料的存档:数据管理和用户服务	(204)
第七篇 卫星资料在气象学中的应用	(218)
第 22 章 图像的基本分析和解释	(219)
第 23 章 图像显示和分析系统	(242)
第 24 章 立体观测	(249)
第 25 章 云迹风	(258)
第 26 章 大气探测	(270)
第 27 章 降水	(278)

第 28 章 热带气旋的分析和预报	(288)
第 29 章 对流尺度天气分析和预报	(299)
第 30 章 卫星图像在天气尺度系统分析和预报中的应用	(317)
第 31 章 航空与航海应用	(329)
第八篇 卫星资料在陆地和海洋科学中的应用	(343)
第 32 章 地面热异常	(344)
第 33 章 雪盖	(354)
第 34 章 湖泊	(368)
第 35 章 海表温度	(379)
第九篇 卫星和气候应用	(387)
第 36 章 地球辐射收支	(388)
第 37 章 由卫星观测云和对流层气溶胶	(403)
第 38 章 平流层监测	(412)
第 39 章 卫星资料在气候分析中的应用	(424)
第十篇 气象卫星资料在农业中的应用	(436)
第 40 章 植被监测方法及其应用	(437)
第 41 章 太阳辐射、最高/最低温度和日降水量	(448)
第十一篇 未来的卫星系统和应用	(453)
第 42 章 极轨平台	(454)
第 43 章 未来面临的问题	(458)
缩略语	(459)
英汉词汇对照表	(466)
参考文献	(468)

第一篇

气象卫星简介

1960年4月1日,美国发射了世界上第一颗气象卫星(TIROS-1)。现在的气象卫星在星体、传感器、通讯方式、资料及其应用等许多方面,与首次飞行时的卫星相比,已没有什么相似之处。在过去的30年里,卫星重量从大约100 kg增加到1000 kg左右,光导摄像管摄像机让位于扫描辐射计,手工描图分析被计算机产品所取代,模拟资料变成数字资料,卫星的功能扩展到包括大气廓线、海洋遥感以及自动报告平台,即环境资料的收集和中继等许多方面。另外,当今的气象卫星还测量它们本身所在地点的空间环境。

正如技术和应用的进步一样,气象卫星正迅速国际化。美国和前苏联运行着极轨气象卫星;美国、欧空局、日本和印度拥有静止气象卫星,随后是前苏联、中华人民共和国和巴西,它们的静止气象卫星已列入计划,或正在发展中。

第 1 章 天气、气候和全球变化的观测系统

——从地面向空间发展^①

§ 1.1 引言

第一颗气象卫星是在 1960 年发射的。但现在, 大气科学家们已无法离开气象卫星来进行全球天气预报了。为了正确有效地使用气象卫星, 让我们回顾一下气象学的发展史, 考察气象卫星对全球气象服务产生的巨大影响。

§ 1.2 卫星未诞生前的气象和天气预报

早在公元前 3 世纪, 亚里斯多德(Aristotle)就首次描述了大气科学。但在 19 世纪中期新技术出现前, 气象学仍停留在未经证实的理论和哲理性讨论阶段。大气探测资料难以获得。系统的气象观测直到电报发明后才得以实现。第一个接近天气尺度的气象观测网是 Smithsonian 研究所的秘书 Josph Henry 于 19 世纪 40 年代组织起来的。1870 年在美国陆军通讯兵部属下成立了联邦天气局, 气象预报扩展到全国范围; 1890 年, 独立的美国天气局成立了。由于一些发明提供了新技术, 如 20 世纪初出现的无线电和 1928 年出现的电报, 气象和水文信息的通讯大大改善了。

第一个观测网报告了地面的气象条件, 但科学家们还需要大气高层的资料。

1896 年, 美国天气局的 Charles Marvin 教授发明了风筝气象仪, 用来记录高空的温度、压力和湿度。1898 年, 天气局设立了几个风筝站, 开始进行逐日天气学观测试验。尽管风筝探空计划存在许多问题, 也很难推广, 但在 1931 年飞机首次试飞以前, 它曾是获得高空观测资料的主要手段。飞机探测既昂贵又危险, 因此天气局用追踪无人气球的方法获取高空风的风向风速等资料。将气象仪器和无线电发报设备搭载上这种气球就是第一个无线电探空仪。直到现在, 无线电探空仍是全世界气象观测的重要工具。

40 年代, 出现了观测和研究天气系统的两种新方法。1943 年, 一位空军上校驾驶一架轻型单引擎飞机进入了台风眼, 这就是用飞机侦察飓风的开始。40 年代后期, 无线电探测和测距的技术(雷达)开始用于气象观测。从那时起, 雷达已成为很有效的观测工具。它对探测并追踪强风暴以及逼近沿海地区的飓风特别有用。

大尺度天气预报的革命性进步始于 1952 年, 当时采用了新推出的高速电子计算机求解描述大气运动的方程。1955 年, 美国的政府机构开始在联合数值天气预报中心制作业务数值天气预报。数值天气预报(NWP)模式的执行最好要有密集及均匀一致的输入资料。在大部分海洋地区, 地面和高空观测资料几乎不存在。因此, 早期数值预报的分析场是不完整的, 预报场也不准确, 特别在大陆西海岸更是如此。

^① 主要撰稿人: Richard C. Hallgren.

§ 1.3 气象卫星的发展进步及其在天气分析预报中的应用

40年代,气象观测不充分的问题有了可能的解决方案。装有仪器和照相机的火箭收集了资料,并拍摄了云图返回地球。这些壮观的云图照片启示人们,人造卫星可以用作空间对地观测平台。1960年TIROS-1卫星的成功发射很快证实了这些观点。

1.3.1 卫星的早期应用

卫星发射以后,海上的无资料区立即受到了关注。如果卫星资料可以在天气分析中使用,那么原始天气分析就可以更准确,预报也可以改进。卫星云图应用方面最早的研究工作就集中在天气尺度环流系统的云型以及它们的一般特征的确定上。国家气象中心用卫星云图制作地面分析。60年代中期,极地轨道的ESSA卫星提供了全球云图,使得云图在天气分析中有更广泛的使用价值。虽然那时云图的分辨率很低,但通过自动图像传输(APT),即卫星与地方气象服务机构之间的星地信道,已使得全世界范围内都可以获取实时资料。图1.1是卫星得到的第一张全球云图。

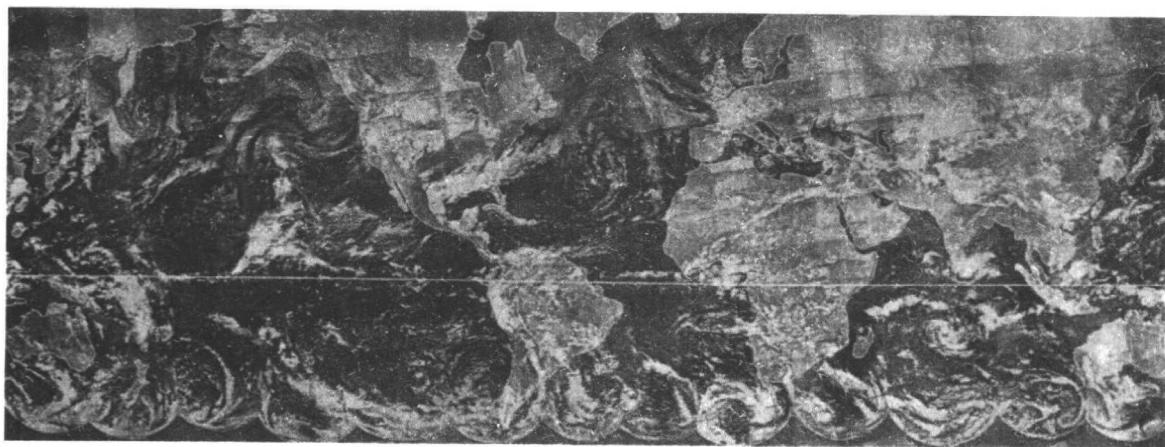


图 1.1 TIROS-9 卫星于 1965 年 2 月 13 日在 24 h 内获得的第一张全球云图

1.3.2 气象卫星趋于成熟

70年代初期,极地轨道的NOAA卫星提供了昼夜全球红外云图。红外云图可帮助区分云顶高度,因此卫星云图在天气分析和预报中的应用进一步改进了。大气探测传感器于60年代搭载在雨云卫星上进行了试验飞行,1972年在NOAA卫星上正式投入业务运行。这些探测器在全世界范围的无云地区提供了大气垂直温度廓线。从1978年开始,极轨探测仪在全球范围大部分有云的地区产生温湿度廓线。这些资料已传送给国家气象中心和全世界的气象中心。

在60年代中期,实验静止气象卫星每30min拍摄一张地球照片。这些照片被做成时间序列胶卷,它们显示出地球上空云的运动。资料稀少地区从云的运动推导出风矢量用作数值天气预报的输入资料。

70年代中期,GOES卫星上的红外传感器提供了半球范围内天气条件的24h实时监控。1980年,探测器装到静止卫星上,从1982年开始,这些探测资料已用于研究和业务。关于卫星传感器及其应用的更详细的材料可在本书第一篇第2章、第三篇、第四篇以及第七至

十篇中找到。

1.3.3 卫星信息在一线气象业务中的应用

从 TIROS-1 卫星使用初期开始,卫星云图已用于对重要天气系统进行定位。60 年代中期,随着静止卫星的出现,国家环境卫星中心(NESC)首次制作了卫星云图时序胶卷,并把它们分发到几个一线气象台。虽然这些胶卷不是实时提供的,但它们对于观察天气系统的运动和特征十分有用。当时为一线气象台提供的唯一卫星信息是以传真方式传递的。

70 年代初,国家环境卫星服务局(NESS——原来的 NESC)在华盛顿特区建立了第一个卫星一线服务站(SFSS)。这种服务站的建立是为了向国家天气局的一线气象台提供卫星云图的解释。SFSS 的气象专家编写日常的卫星解译电报,帮助一线气象台了解当时的气象条件,并提醒他们注意迅速发展着的恶劣天气条件。1974 年 SFSS 的数目增加到 4 个,新的 SFSS 与旧金山的天气预报服务台(WSFO),迈阿密的国家飓风中心(NHC)以及堪萨斯城的国家强风暴预报中心(NSSFC)协作。SFSS 把地球静止卫星的资料提供给许多直接的用户、分布于全国的各个天气预报服务台,以及许多私人用户和军事部门。后来,又分别在安克雷奇、火努鲁鲁和路易斯安那州的锡德尔建立了三个 SFSS。

1987 年,卫星天气信息系统(SWIS)投入业务运行。该系统为各个天气预报服务台提供了直接就地获取和处理卫星云图的能力。彩色增强云图制成了动画,并在显示屏上与数值预报产品和常规资料叠加显示。这样做改进并加快了卫星云图的解译工作,使预报员更快地将卫星产品纳入预报和警报过程中。

70 年代,活跃的研究工作迅速引入到业务应用中。这些研究包括强风暴特征的识别,引发突发性洪水的对流性降水及热带气旋强度的估计技术。从那时起,重要的技术进步已用于提高解释卫星云图的能力,其结果已使用到天气和洪水预报问题上。预报员对卫星云图越了解,就越认识到卫星云图用作预报工具的价值所在,研究工作不断产生多种多样的新技术和新应用。有关业务应用的讨论在本书第七篇中。

1.3.4 卫星在环境监测中的应用

根据目前的观测和了解,大量证据表明,我们所处的全球气候和自然环境正发生着变化。这些变化可与上个冰川纪以来的变化相比拟。现已发现,二氧化碳、臭氧和其他辐射性质活跃的气体含量正在增加。观测和记录这些变化,了解影响大气热平衡,以及海洋、陆地和大气之间能量交换的复杂相互作用过程是十分重要的。为了了解全球变化,必须监视和计算一些关键因子,其中包括海洋环流、生化循环及地球—大气—海洋总能量收支。只有把空间遥感观测和现场测量结合起来精心设计的观测系统才能提供所需的信息。

海洋卫星、大地测量卫星、雨云-7 和先进的 TIROS-N 系统已充分显示了卫星用于海洋观测的能力。海表水温分布正在被推导,其时空变化也被定期地监视着。这些观测全球海洋参数的方法对天气和气候应用至关重要,只能通过发展空基遥感系统才有可能解决。海表水温的应用内容详见本书第八篇。

现在,从卫星监视陆地表面环境条件是可行的,这对天气和气候应用非常重要。地面净辐射是地面增温,以及潜热、可感热、土壤热流的能量来源。纯热流取决于植被的类型和条件、反照率、地表温度和其他参数。这些产品在气候监视、诊断和预报的研究中起重要的作用。在这一领域,卫星也起着重要作用。有关卫星各种应用的完整描述请见本书第八篇至第

十篇。

1.3.5 卫星在通讯中的应用

气象卫星的通讯功能已发展成可以影响决策的重大能力。其中一项功能是资料直接接收,它能以几种形式获取。从1963年以来,APT系统使全世界的气象站和气象爱好者用十分廉价的设备就可从极轨卫星上接收云图。从60年代中期开始,静止卫星将图像和探测资料直接发送给用户。本书在第六篇中给出关于卫星资料和产品分发更完整的描述。70年代中后期以来,静止和极轨卫星装载有远距离现场观测平台资料收集和中继子系统。第五篇描述这类资料收集的情况。

1.3.6 卫星在国际计划中的作用

气象卫星在数值预报和资料收集工作中的引人注目的进步在一代人的时间里将全球天气预报从一门艺术转变成一门科学。1961年,世界上许多国家的气象局召开会议,决定组织并发起世界天气计划。该计划受到联合国世界气象组织(WMO)和国际科协(ICSU)的赞助和支持。世界天气计划由世界天气监视网(WWW)和全球大气研究计划(GARP)组成。WWW是该计划的资料收集和处理部分,GARP是研究部分。静止和极轨卫星为这些计划完成许多观测任务。有140多个国家加入这个计划。

第一篇第二章和第三篇介绍气象卫星在国际计划中所起作用的细节。

§ 1.4 未来的计划和展望

气象学以往的成就引起人们对未来远景的期望。气象知识和预报技术的进步是重大的,且相当有价值。卫星系统所提供的信息对天气现象观测和预报的持续稳定进步作出了贡献。但是要做的事情还很多,而气象卫星是解决某些天气预报遗留问题的关键。

下一代静止卫星的空间分辨率约是目前的两倍。成像仪将以比目前快得多的扫描速率工作。温度和水汽探测值将同时更为频繁地产生。资料精度和分辨率的提高也将进一步增进我们对较小尺度天气过程的了解。

未来的极轨卫星将继续为数值预报提供可靠的探测资料。目前的传感器将有所改进以更精确地提供垂直分辨率更高的廓线。其他一些正在研制中的传感器将可以进行:多普勒测风;改进的海表水温、风速和冰盖估计;海浪高度测量;潮、涌和浪的探测以及其他参数测量。

国家天气局的交互处理系统实质上将自动地处理大量的卫星和其他资料。国家天气局天气信息系统(SWIS)将自动地获取、存储、显示卫星云图,并制作动画。90年代,国家天气局先进的天气交互处理系统(AWIPS)将是国家天气局未来的业务系统。该系统目前正在研制中,研制时考虑到了未来观测系统和科学的发展,它将选取多种资料,并推导出多用途的产品。跨机构的和国际的合作计划将从新技术中得益。利用新的更精细的传感器,气象卫星将开始提供有关气候变化问题的信息。第四篇中汇总了卫星资料的气候学应用。

在所有关于未来的考虑中,最主要的是继续执行目前的计划,改进业已存在的观测能力,并从目前的以及正在计划中的卫星传感器资料中产生新的技术。主观臆断或异想天开的技术不会列入计划。现在的计划体现了美国要尽最大努力保持其在气象卫星应用领域最初25年科学进程中所确立起来的领先地位。

第2章 民用气象卫星发展史^①

§ 2.1 引言

1960年4月1日,随着电视和红外观测卫星(TIROS-1)的发射升空(图2.1),气象观测

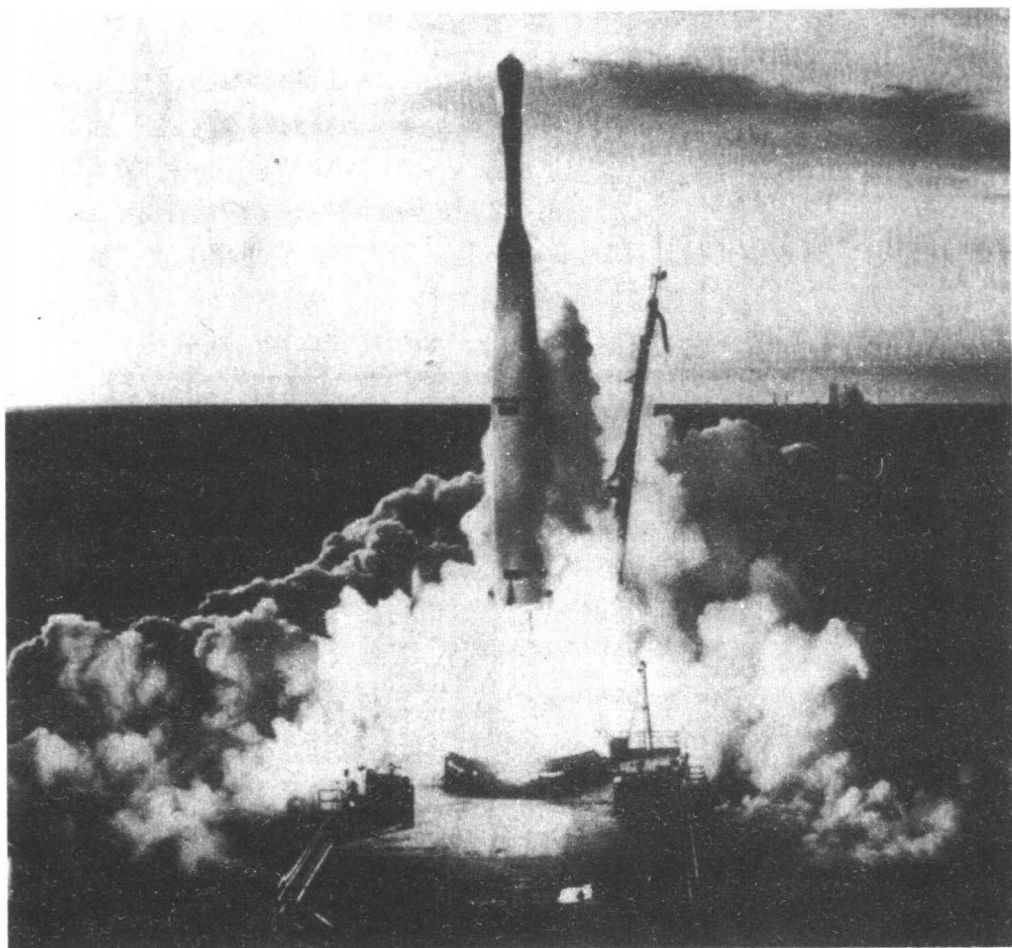


图2.1 1960年4月1日 TIROS-1 卫星发射现场(NASA 提供)

和预报的一个新时代来到了。世界上第一颗气象卫星 TIROS 展示了它获取地球大范围云图的能力。虽然 TIROS-1 是一颗实验卫星,但它的云图一出现就受到气象学家的普遍欢迎,他们用这些云图补充常规气象观测。这些最早的从空间获取的观测结果产生的影响,导致气象卫星一系列的进步。现在,气象卫星已对地球的大气、陆地和海洋进行日常监测。

^① 主要撰稿人:Schnapf, Abraham。

§ 2.2 引出 TIROS 计划的事件

第二次世界大战以后,俘获的 V-2 和 Viking 火箭被用在高空气象研究中。1954 年,美国海军的 Aerobee 火箭获取了地球及其云覆盖的高视点运动照片。接着在 50 年代中期,由兰德公司和另外一些研究机构对这些照片进行了研究,这些研究引出了利用气象卫星从空间观测地球上云覆盖的概念。

TIROS 计划最初的研究工作是由美国无线电公司(RCA)进行的。该公司 1956 年在雷得斯通-阿塞那尔与美军弹道导弹局签定了名为“用火箭发射卫星,携带电视系统用于天气侦察的初步研究”的合同。该合同以 JANUS 命名,设计结果是一个细长的棒状体,直径 0.13 m,长 0.76 m,重 9 kg,装载一个电视摄像机。1958 年,更大的火箭投入运行后,重新设计了卫星的结构。新的卫星重 39 kg,直径 0.46 m,长 0.76 m。

1958 年下半年,Thor-Able 运载火箭投入使用,卫星设计得更大并命名为 TIROS-1。此时它重 122 kg,不包括上下两侧的天线高 0.6 m,直径 1.1 m。星上装载了两个袖珍 1.3cm 光导电视摄像机(一个宽视角,一个窄视角)、两个磁带录像机、一个指令和控制电子系统、一个通讯系统、用于转速控制的固体火箭、以及一个由可充电电池和一个圆柱形太阳帆板组成的能源系统。在研制这个系统期间,该计划的管理机构从美国弹道火箭局转移到国防部先进研究计划局再转给美军陆军通讯兵部队,最后于 1959 年转移到位于戈达德宇航中心的国家航空航天管理局(NASA)。

§ 2.3 业务 TIROS 气象卫星系统的进步

2.3.1 TIROS 卫星的研究和发展

——从 TIROS-1 到 TIROS-10(1960~1965)

1960 年 4 月 1 日,从佛罗里达州卡纳维拉尔角用 Thor-Able 运载火箭发射了 TIROS-1 卫星(参见表 2.1)。它的主要目标是要展示在地球轨道上用自旋卫星上的慢速扫描微型电视摄像机观测地球上云层的可行性。TIROS-1 卫星沿 644 km 高,与赤道成 48°倾角的圆形轨道运动。电视图像在第一条轨道上就获得了。图 2.2a 显示了一张从 TIROS-1 卫星宽角电视摄像机获取的早期电视云图。于是,一种新的强有力的气象探测工具诞生了。

1960 年 11 月 23 日发射的 TIROS-2 用于展示一种试验性五通道红外和可见光扫描辐射仪以及一种两通道非扫描仪器的用途。这些仪器测量地球表面及其大气发射和反射的热能。其测量值用来初步确定地球热量平衡的空间变化和时间变化。TIROS-3、4、5、6 和 7 于 1961 年 7 月至 1963 年 6 月之间发射,为有限的业务应用提供连续的地球云覆盖观测。

TIROS-8 发射于 1963 年 12 月,它装有一个新的 2.5cm 光导电视摄像机,用作自动图片传输(APT),并配有一个很慢的扫描读出装置,需要 200 秒发送一幅 800 电视扫描线的图像。2 kHz 带宽的 APT 系统使得云图可以直接实时地发送到世界各地较廉价的地面 APT 接收站。许多国家现在每天可以接收 2 至 4 条轨道的云图,接收覆盖半径为 1600 到 3200 km。当卫星位于地面站接收范围内时,直接从卫星接收资料。

1965 年 1 月发射的 TIROS-9 卫星结构有所改变。在卫星圆柱体的侧面上而不是平行

表 2.1 美国民用气象卫星概况

卫星名	发射时间	周 期 (分)	近地点 (km)	远地点 (km)	倾 角 (度)	注 释
TIROS-1	1960.4.1	99.2	796	867	48.3	1 TV-WA和1 TV-NA
TIROS-2	1960.11.23	98.3	717	837	48.5	1 TV-WA,1 TV-NA,被动和主动红外扫描
TIROS-3	1961.7.12	100.4	854	937	47.8	2 TV-WA,HB,IR,IRP
TIROS-4	1962.2.8	100.4	817	972	48.3	1 TV-WA,IR,IRP,HB
TIROS-5	1962.6.19	100.5	680	1119	58.1	1 TV-WA,1 TV-MA
TIROS-6	1962.9.18	98.7	783	822	58.2	1 TV-WA,1 TV-MA
TIROS-7	1963.6.19	97.4	713	743	58.2	2 TV-WA,IR,离子管,HB
TIROS-8	1963.12.21	99.3	796	878	58.5	第一个APT TV 直接读出和1 V-WA
Nimbus-1	1964.8.28	98.3	487	1106	98.6	3 AVCS,1 APT,HRIR“三轴”稳定
TIROS-9	1965.1.22	119.2	806	2967	96.4	第一“轮状”,2 TV-WA 全球覆盖
TIROS-10	1965.7.2	100.6	848	957	96.8	太阳同步,2 TV-WA
ESSA-1	1966.2.3	100.2	800	965	97.9	第一个业务系统,2 TV-WA,FPR
ESSA-2	1966.2.28	113.3	1561	1639	101.0	2 APT,全球APT 业务
Nimbus-2	1966.5.15	108.1	1248	1354	100.3	3 AVCS,HRIR,MRIR
ESSA-3	1966.10.2	114.5	1593	1709	101.0	2 AVCS,FPR
ATS-1	1966.12.6	24 h	41.257	42.447	0.2	自旋扫描照相机
ESSA-4	1967.1.26	113.4	1522	1656	102.0	2 APT
ESSA-5	1967.4.20	113.5	1556	1635	101.9	2 AVCS,FPR
ATS-3	1967.11.5	24 h	41.166	41.222	0.4	彩色自旋扫描照相机
ESSA-6	1967.11.10	114.8	1622	1713	102.1	2 APT TV
ESSA-7	1968.8.16	114.9	1646	1691	101.7	2 AVCS,FPR,S波段
ESSA-8	1968.12.15	114.7	1622	1682	101.8	2 APT TV
ESSA-9	1969.2.26	115.3	1637	1730	101.9	2 AVCS,FPR,S波段
Nimbus-3	1969.4.14	107.3	1232	1302	101.1	SIRS A,IRIS,MRIR,IDCS,MUSE,IRLS
ITOS-1	1970.1.23	115.1	1648	1700	102.0	2 APT,2 AVCS,2 SR,FPR,3 轴稳定
Nimbus-4	1970.4.15	107.1	1200	1280	99.9	SIRS B,IRIS,SCR,THIR,BUV,FWS, IDCS,IRLS,MUSE
NOAA-1	1970.12.11	114.8	1422	1472	102.0	2 APT,2 AVCS,2 SR,FPR
NOAA-2	1972.10.15	114.9	1451	1458	98.6	2 VHRR,2 VTPR,2 SR,SPM
Nimbus-5	1972.12.11	107.1	1093	1105	99.9	SCMR,ITPR,NEMS,ESMR,THIR
NOAA-3	1973.11.6	116.1	1502	1512	101.9	2 VHRR,2 VTPR,2 SR,SPM
SMS-1	1974.5.17	1436.4	35605	35975	0.6	VISSR,DCS,WEFAX,SEM
NOAA-4	1974.11.15	101.6	1447	1461	114.9	2 VHRR,2 VTPR,2 SR,SPM
SMS-2	1975.2.6	1436.5	35482	36103	0.4	VISSR,DCS,WEFAX,SEM
Nimbus-6	1975.6.12	107.4	1101	1115	99.9	ERB,ESMR,HIRS,LRIR,T&DR,SCAMS, TWERLE,PMR
GOES-1	1975.10.16	1436.2	35728	35847	0.8	VISSR,DCS,WEFAX,SEM
NOAA-5	1976.7.29	116.2	1504	1518	102.1	2 VHRR,2 VTPR,2 SR,SPM
GOES-2	1977.6.16	1436.1	35600	35200	0.5	VISSR,DCS,WEFAX,SEM
GOES-3	1978.6.15	1436.1	35600	36200	0.5	VISSR,DCS,WEFAX,SEM
TIROS-N	1978.10.13	98.92	849	864	102.3	AVHRR,HIRS-2,SSU,MSU,HEPAD, MEPED
Nimbus-7	1978.10.24	99.28	943	955	104.09	LIMS,SAMS,SAM 1,SBUV/TOMS,ERB, SMMR,THIR,CZCS
NOAA-6	1979.6.27	101.26	807.5	823	98.74	AVHRR,HIRS-2,SSU,MSU,HEPAD, MEPED
GOES-4	1980.9.9	1436.1	35600	35600	0.5	VAS,DCS,SEM,WEFAX
GOES-5	1981.5.22	1436.1	35600	35600	0.5	VAS,DCS,SEM,WEFAX
NOAA-7	1981.6.23	101.92	852	869	98.9	AVHRR,HIRS-2,SSU,MSU,HEPAD, MEPED
NOAA-8	1983.8.28	101.2	826	801	98.2	AVHRR,HIRS-2,SSU,MSU,SEM,SAR
GOES-6	1983.4.28	1436.1	35,803	35,771	0.1	VAS,DCS,WEFAX,SEM
ERBS	1984.10.5	96.8	608	393	5.7	ERBE,SAGE-1
NOAA-9	1984.12.12	102.0	862	841	98.9	AVHRR,HIRS-2,SSU,MSU,SEM,SAR, SBUV,ERBE
NOAA-10	1986.9.17	101.277	805	824	98.66	AVHRR,HIRS-2,SSU,MSU,SEM,SAR, SBUV,ERBE
GOES-7	1987.2.26	1436.1	35,759	35,826	0.0493	VAS,DCS,WEFAX,SEM
NOAA-11	1988.9.24	102.139	845	863	98.91	AVHRR,HIRS-2,SSU,MSU,SEM,SAR, SBUV,ERBE

于卫星旋转轴处装有两个电视摄像机。因此,每当卫星沿它的旋转轴自旋一次,摄像机就可正对着地面观测一次(旋转速度大约是每分钟 12 转)。改进的姿态控制系统使卫星在近极地太阳同步轨道上受控旋转。这个轮状空间飞行器可以沿它的自旋轨道在 24 h 以内进行全球观测。卫星每天观测的范围增加了四倍。TIROS-9 是 TIROS 业务系统卫星的先驱。

研究开发系列卫星的最后一颗, TIROS-10, 于 1965 年 7 月发射。它提供了热带风暴的观测。表 2.1 总结了 TIROS 和其他美国气象卫星的情况。

2.3.2 TIROS 业务系统(TOS)卫星——ESSA-1~9(1966~1969)

随着环境科学服务管理局卫星 ESSA 的发射,世界上第一个业务气象卫星系统投入运行服务。ESSA-1 发射于 1966 年 2 月 3 日, ESSA-2 发射于 1966 年 2 月 28 日。^①

随着 TIROS 业务系统(TOS)计划的实施,逐日业务化地接收卫星全球观测资料的任务得以完成。该系统由一对太阳同步轨道的 ESSA 卫星组成,每颗卫星都是为特定任务专门设计的。先进的光导照相系统(AVCS)获取全球云图。这些云图传送到位于弗吉尼亚州沃洛普斯岛和阿拉斯加的费尔班克斯的 ESSA 指令和数据接收站(CDA)。CDA 将资料中继给位于马里兰州苏特兰的国家环境卫星服务局,在那里进行资料处理,并将产品分发给美国和其他国家的预报中心。奇数编号的卫星(ESSA-1、3、5、7 和 9)装有先进的光导双备份系统,是全球资料搜集卫星,偶数编号的卫星(ESSA-2、4、6、8)装有 APT 双备份相机,APT 电视图片直接发送给全球各地的地面站。所有 ESSA 卫星在约 1450 km 高的轨道上运行。

2.3.3 改进的 TIROS 业务系统(ITOS)卫星

——ITOS-1, NOAA-2 到 5(1970~1978)

第二代气象卫星始于 1970 年 1 月 23 日发射的 ITOS-1 卫星。ITOS-1 卫星具备两种 ESSA 卫星的联合功能,即直接发送 APT 及先进的光导照相机系统存储全球图像的功能。另外,ITOS-1 带有一个业务两通道扫描辐射仪(SR)。它提供昼夜的辐射资料,在星上暂存,然后向 CDA 站回放,同时,也用于实时传输。有了红外扫描辐射仪,用一颗 ITOS 卫星每 12 h 对全球大气和地面进行一次观测成为可能。第二颗 ITOS 卫星, NOAA-1 于 1970 年 12 月 11 日发射。

在研制 ITOS-D 卫星时,ITOS 系列更进步了。新的改进为:增加了一个传感器组,利用甚高分辨率扫描辐射仪(VHRR)和中分辨率扫描辐射仪(SR)以获取昼夜的云图。VHRR 和 SR 系统取代了原来系统中的 AVCS 和 APT 摄像机。增加了用于大气探测的垂直温度廓线辐射仪(VTPR)和用于测量卫星附近太阳质子和电子流的太阳质子监视器。ITOS-1 系列卫星重 310 kg, ITOS-D 系列卫星重 340 kg, ITOS-D 卫星一共发射了 4 颗: NOAA-2、3、4 和 5, 它们分别于 1972、1973、1974 和 1975 年置入轨道。

§ 2.4 TIROS-N/NOAA 业务系统

第三代业务极轨环境卫星系统研制出来了。其中第一颗卫星 TIROS-N 于 1978 年投入

^① 1962 年美国国会为民用气象业务卫星的任务下达给美国天气局。1965 年,该局重新命名为国家天气服务局。它隶属于新成立的环境科学服务管理局(ESSA)。1970 年, ESSA 更名为 NOAA, 即国家海洋大气管理局。卫星的命名,如 NOAA-9 反映了机构名称的变化。