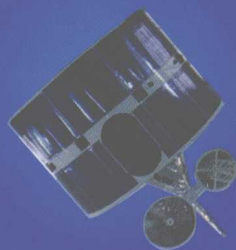


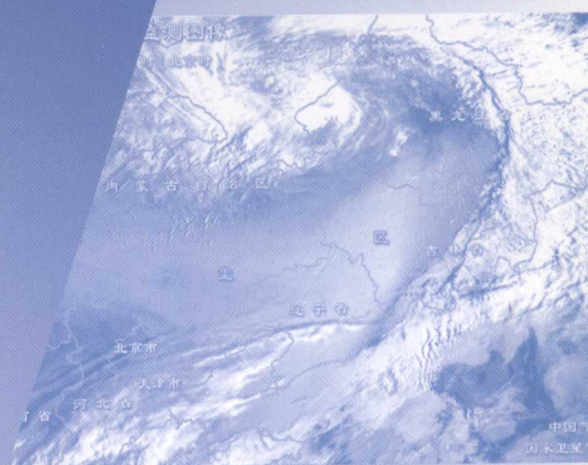
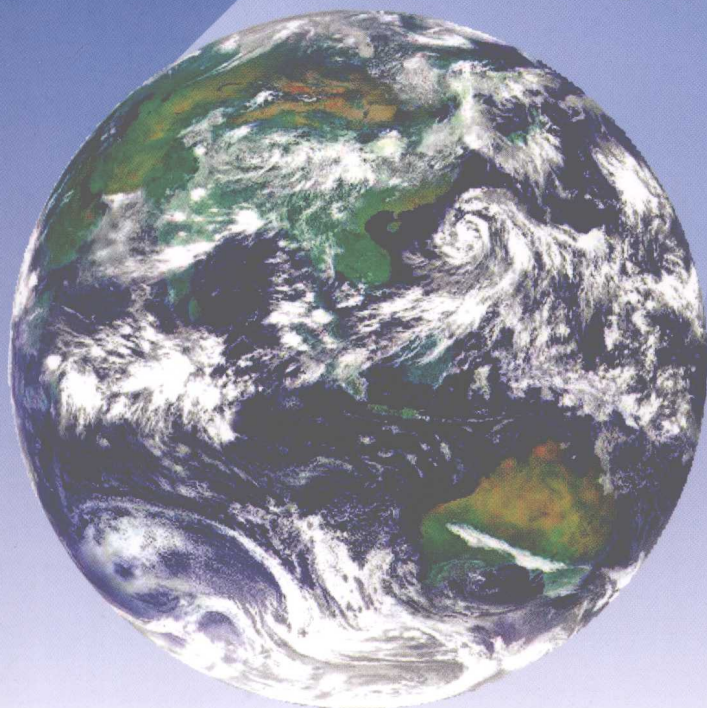
大气科学国家理科基础科学研究和
教学人才培养基地教学用书



应用卫星气象学

Applied Satellite Meteorology

蒋尚城 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

应用卫星气象学

蒋尚城 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

应用卫星气象学/蒋尚城编著. —北京:北京大学出版社,2006.2
(大气科学国家理科基础科学研究和教学人才培养基地教学用书)
ISBN 7-301-09682-8

I. 应… II. 蒋… III. 气象卫星-卫星遥感-高等学校-教材 IV. P405

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 104315 号

书 名: 应用卫星气象学

著作责任者: 蒋尚城 编著

责任编辑: 孙 琰

标准书号: ISBN 7-301-09682-8/X · 0022

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752038

排 版 者: 兴盛达打字服务社 58745033

印 刷 者: 北京大学印刷厂

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.125 印张 302 千字 插图 8 页

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究

序 言

近 30 多年来,气象卫星的观测内容不断在扩充。从 20 世纪 60 年代初期只有简单的可见光云图发展到今天日新月异的各种各样的卫星观测资料,卫星资料已经成为大气科学工作者手中备用的资料。在我的研究中,经常使用卫星云图、射出长波辐射、卫星亮温、海表温度和卫星观测的冰雪覆盖,也曾经使用过卫星温湿垂直廓线资料和卫星测风资料。中国气象局国家卫星气象中心在 1999 年曾出版过一本《气象卫星业务产品释用手册》,指导读者正确释用气象卫星的各种资料。该手册专业性较强,并假定读者已经掌握气象卫星和卫星气象学的基础知识。然而,对于开始接触卫星资料的大气科学工作者来说,他们需要有一本卫星气象应用的入门书。蒋尚城教授编著的《应用卫星气象学》正是针对这种需要写成的。此外,本书也适用于大专院校大气科学及其他有关专业学生选修卫星气象学的教材。

全书共有十四章:第一章、第二章是有关各种气象卫星型号和气象卫星发展史的介绍以及卫星遥感测量原理;第三章、第四章讲述卫星图像在天气分析预报中的应用;第五章至第九章介绍卫星资料的各种应用,包括卫星的云迹风向风速、降水量的估计、大气温湿的垂直廓线资料、大气气溶胶的测定、海表温度的测定,估计海冰以及雪盖的面积;第十章至第十三章介绍卫星资料在大气环流和短期气候变化中的应用;第十四章介绍怎样应用卫星资料来监测各种自然灾害的出现以及卫星资料在农业上的应用。

本书是国内最新的一本气象卫星应用教材,讲述了近 30 多年来国际和我国气象卫星的发展,介绍了气象卫星在大气科学以及其他各个有关领域中的应用,有关卫星资料在热带大气环流和短期气候变化研究中的应用是作者近年来的研究成果,其中不少观点是有创新性的。

蒋尚城教授从事卫星气象学研究已有 30 多年的历史。20 世纪 70 年代初,他和我在北京大学培训我国第一批气象卫星应用人员。之后,他继续不断地研究卫星资料的应用,先后发表了不少有关气象卫星应用的论文、著作。本书是他将历年的讲义作了精心修改后的著作。我读过本书付印前的稿子,受益匪浅,相信本书出版后将会受到广大读者的欢迎。

陈诗吉
2005 年 5 月 1 日

前 言

当代科学技术日新月异的发展,卫星、计算机和国际互联网已经成为各类学科乃至人们日常生活不可缺少的工具。气象卫星的发射始于20世纪60年代初。70年代初,中国首先在北京大学与中央气象局和中国科学院大气物理研究所联合建立卫星云图接收站,开始接收美国的气象卫星并举办全国卫星云图接收和分析的培训班,以后在北京大学正式开设了“卫星云图分析”课程。80年代初我受学校委派,赴美国马里兰大学进修,同时还访问了美国宇航局哥达德飞行中心(GSFC)以及卫星资料处理和应用中心(NESDIS),对于国际卫星气象的发展有了进一步了解,回国后即开设了“卫星气象学”课程。后来,课程又改名为“应用卫星气象学”,强调以“应用”为主,与一般的卫星气象学有所区别。

应用卫星气象学一直没有正式的教材,这可能由于它是一门新兴交叉学科;随着新卫星的不断发射,观测内容和技术方法的不断发展,该学科内容也以飞快的速度不断更新。虽然已经写了讲义,但我一直没有下决心把它作为教科书正式出版。近年来,由于学校教材建设的需要,把本书列入重点教材建设计划,我才对原有讲义进行全面的补充和修改,由北京大学出版社出版。

应用卫星气象学既不同于一般的卫星资料实用指导手册,也不同于以卫星遥感观测和反演为主的卫星气象学。其主要内容包括:气象卫星的发展,卫星遥感的基本原理以及各种卫星资料的观测原理、方法和应用。前两者是基础,后者是重点,三者组成一个整体。在图像应用方面,特别是卫星云图应用方面,由于已有不少书籍出版,本书只包括卫星图像分析的基本解释,同时补充了航空应用的内容。在定量应用方面,尽可能在各章增加正在发展的微波观测资料的应用,同时还增加了在气候、自然灾害和农业方面应用的专门章节,以与近年来应用卫星气象学的发展相适应。本书还汇编了部分近年来国内卫星气象学应用研究的成果。由于作为教科书,有学时和篇幅的限制,不能覆盖全部内容。根据我在高等院校不同专业和气象、海洋、水利、地质、民航、军队以及世界气象组织(WMO)的国际卫星气象培训班上的教学经验,针对不同的专业对象,可以在教学中以本书为基础进行重点补充。本书适合作为高等院校有关专业高年级本科生或研究生的教学用书,也可以作为气象、海洋、航空、水利、农业、地质、地理、环境和遥感等有关业务、研究人员的参考用书。希望本书的出版有助于中国卫星气象事业的发展,其中的不足之处能够引发更多专家学者的关注,撰写出更多的卫星气象学新著。

感谢中国气象局国家卫星气象中心肖乾广研究员、空军第七研究所白洁博士、中国科学院大气物理研究所陈洪滨研究员和北京大学物理学院大气科学系李成才博士,他们分别为本书撰写了第十四章、第五章以及§7.4和§7.6。由于他们的参与,使本书的内容更加充实和丰富。感谢美国新泽西州大学环境科学系Robock教授和GSFC的Parkinson博士寄赠他们的新书,并允许转引书中的图片。北京大学物理学院大气科学系朱元竞教授、遥感研究所徐希儒教授以及国家卫星海洋中心刘建强主任和国家地震局预报中心刘德富研究员为本书审阅了有关的章节;国家卫星气象中心提供了宝贵的图片。本书写作过程中还得到了国家卫星气象中心董超华、方宗义、刘玉洁和朱小详研究员和北京大学毛节泰和秦瑜教授所提供的帮助;二炮

气象中心杨喜峰总工程师根据新的资料为本书更新了部分附图;美国西雅图华盛顿大学大气科学系在读博士生江毅同学寄赠了有关参考书;我系图书馆陈国棉副研究馆员提供了文献资料上的帮助。在此,一并表示由衷的感谢。

还要感谢北京大学物理学院大气科学系系主任谭本植教授对本书出版的鼓励和支持以及大气科学国家理科教学基地的部分资助。

最后,感谢我的卫星气象启蒙老师、中国科学院院士陶诗言为本书撰写序言以及我的妻子王佩珍副教授在本书撰写过程中的全力支持。

蒋尚城
于北大燕北园
2005年5月

目 录

第一章 全球观测系统——气象卫星的发展	(1)
§ 1.1 气象卫星的观测特点	(1)
§ 1.2 气象卫星的轨道	(2)
1.2.1 不同轨道的意义	(2)
1.2.2 描述轨道的参数	(2)
§ 1.3 气象卫星的种类	(4)
1.3.1 极轨卫星和静止卫星	(4)
1.3.2 实验卫星和业务卫星	(4)
§ 1.4 气象卫星姿态的稳定性	(5)
1.4.1 卫星的姿态	(5)
1.4.2 卫星姿态不稳定对观测资料的影响	(5)
1.4.3 卫星姿态稳定的方式	(6)
§ 1.5 气象卫星的资料产品	(7)
1.5.1 图像产品和数值产品	(7)
1.5.2 业务产品	(7)
§ 1.6 气象卫星的发展历史	(7)
1.6.1 极轨卫星的发展历史	(7)
1.6.2 静止卫星的发展历史	(11)
1.6.3 世界气象卫星监测网	(13)
§ 1.7 未来的气象卫星发展	(14)
1.7.1 极轨卫星的发展	(14)
1.7.2 静止卫星的发展	(15)
1.7.3 气象卫星的发展方向	(16)
参考文献	(16)
第二章 气象卫星的辐射遥感原理	(17)
§ 2.1 遥感的基本知识	(17)
2.1.1 遥感的定义	(17)
2.1.2 遥感的分类	(17)
2.1.3 遥感的要素	(17)
§ 2.2 辐射的基本知识	(17)
2.2.4 辐射基本定律	(19)
2.2.5 辐射物理量	(20)

2.2.6 大气的选择吸收性	(21)
§ 2.3 大气辐射传输方程——卫星探测大气的理论基础	(22)
2.3.1 大气辐射传输方程	(22)
§ 2.4 气象卫星遥感的基本原理	(25)
2.4.1 气象卫星遥感的物理原理	(25)
2.4.2 气象卫星通道的选择及其应用	(25)
参考文献	(31)
第三章 卫星图像的基本解释	(32)
§ 3.1 业务上常用的卫星图像	(32)
§ 3.2 可见光图像的基本解释	(33)
3.2.1 可见光图像的基本原理和解释	(33)
3.2.2 可见光图像解释中存在的问题	(35)
§ 3.3 红外图像的基本解释	(35)
3.3.1 红外图像的基本原理及解释	(35)
3.3.2 红外图像解释中存在的问题	(37)
§ 3.4 水汽图像的基本解释	(38)
3.4.1 水汽图像的基本原理	(38)
3.4.2 水汽图像的解释	(38)
§ 3.5 短红外图像的基本解释	(39)
3.5.1 短红外图像的基本原理	(39)
3.5.2 夜间短红外图像的解释	(40)
3.5.3 白天短红外图像的解释	(40)
参考文献	(42)
第四章 卫星图像在航空中的应用	(43)
§ 4.1 雾和层云	(43)
4.1.1 识别陆地上的雾和层云	(43)
4.1.2 雾和层云的形成	(44)
4.1.3 雾和层云的消散	(44)
4.1.4 海雾	(44)
§ 4.2 飏线	(44)
§ 4.3 阵风锋	(45)
§ 4.4 海风锋	(46)
§ 4.5 大气气溶胶	(46)
§ 4.6 飞机积冰	(47)
§ 4.7 高空急流	(47)
§ 4.8 湍流	(49)
参考文献	(49)

第五章 卫星观测的风	(50)
§ 5.1 卫星观测的云迹风	(50)
5.1.1 云迹风的观测原理	(50)
5.1.2 云迹风产生的技术方法	(50)
5.1.3 精度和误差	(55)
§ 5.2 卫星观测的水汽风	(55)
§ 5.3 卫星观测的洋面风	(56)
参考文献	(57)
第六章 卫星对降水的估算	(59)
§ 6.1 可见光和红外遥感降水的原理	(59)
§ 6.2 可见光和红外估算降水的方法	(59)
6.2.1 历史演变法	(59)
6.2.2 对流参数化法	(63)
6.2.3 统计相关法——大范围的月雨量估算	(63)
§ 6.3 微波遥感降水的原理	(66)
§ 6.3 微波估算降水的方法	(67)
参考文献	(68)
第七章 卫星探测大气温湿度垂直廓线和气溶胶臭氧	(69)
§ 7.1 卫星遥感大气温度垂直分布的物理依据	(69)
7.1.1 基本设想	(69)
7.1.2 实现途径	(70)
§ 7.2 卫星测量温、湿廓线的有用光谱及其特性比较	(71)
7.2.1 卫星遥感地面和大气参数的有用光谱区	(71)
7.2.2 $4.3\mu\text{m}$, $15\mu\text{m}$, 0.5cm 谱区的特性比较	(71)
§ 7.3 辐射传输方程的反演方法	(72)
7.3.1 Smith 迭代法	(72)
7.3.2 统计回归法	(73)
7.3.3 红外遥感大气湿度廓线	(73)
7.3.4 大气温湿度同步物理反演法	(74)
§ 7.4 微波遥感反演大气温度、湿度和成分廓线	(75)
7.4.1 微波遥感大气廓线的特点	(75)
7.4.2 微波遥感反演大气温度廓线	(77)
7.4.3 微波被动遥感大气湿度廓线	(78)
7.4.4 微波临边遥感中高层大气成分廓线	(79)
§ 7.5 卫星测量大气温度和湿度的差别	(80)
§ 7.6 卫星探测大气温湿度垂直廓线产品的精度及其应用	(80)

§ 7.7 卫星遥感大气气溶胶	(81)
7.7.1 平流层气溶胶的观测原理及方法	(81)
7.7.2 对流层气溶胶的观测原理及方法	(83)
7.7.3 卫星遥感气溶胶的应用	(86)
§ 7.8 卫星遥感大气臭氧	(86)
参考文献	(88)
第八章 卫星观测海表温度	(90)
§ 8.1 观测 SST 的重要意义	(90)
8.1.1 海洋学的意义	(90)
8.1.2 气象学的意义	(90)
§ 8.2 测定原理及计算方法	(90)
8.2.1 红外辐射测温原理	(90)
8.2.2 云检测	(91)
8.2.3 大气削弱订正	(93)
§ 8.3 资料的精度与应用	(94)
参考文献	(94)
第九章 卫星监测冰雪盖	(96)
§ 9.1 卫星监测海冰	(96)
9.1.1 海冰的气候与非气候影响	(96)
9.1.2 卫星监测海冰的原理和方法	(98)
§ 9.2 海冰资料的应用	(99)
§ 9.3 卫星监测雪盖	(100)
9.3.1 雪盖的气候与非气候影响	(100)
9.3.2 卫星监测雪盖的原理和方法	(100)
§ 9.4 雪盖资料的应用	(102)
9.4.1 各种雪盖图的应用	(102)
9.4.2 雪盖与印度季风降水的关系	(104)
参考文献	(105)
第十章 卫星观测的辐射气候学	(107)
§ 10.1 卫星观测地气系统辐射收支的意义及其发展历史	(107)
10.1.1 辐射收支的意义	(107)
10.1.2 观测地气系统辐射收支的理想平台	(107)
10.1.3 卫星观测辐射收支的发展历史	(107)
§ 10.2 卫星观测的地气系统辐射收支	(108)
10.2.1 全球平均的地气系统辐射收支	(108)
10.2.2 入射太阳辐射	(109)

10.2.3 行星反射率	(110)
10.2.4 全球辐射收支的年循环	(110)
10.2.5 辐射收支的纬向时间变化	(112)
§ 10.3 云的反馈作用	(113)
10.3.1 云在辐射收支中的作用	(113)
10.3.2 卫星观测的云的反馈	(113)
§ 10.4 辐射收支年循环的气候学——区域气候学	(115)
10.4.1 世界区域气候	(115)
10.4.2 中国区域气候	(116)
10.4.3 青藏高原的区域气候	(118)
参考文献	(119)
第十一章 卫星观测的热带大气环流系统	(121)
§ 11.1 OLR 反映的海气信息	(121)
11.1.1 大气中的云量	(121)
11.1.2 热带地区的对流强度	(121)
11.1.3 大气的垂直运动和散度风	(121)
11.1.4 大气中对流凝结所释放的潜热量	(121)
11.1.5 热带洋面及季风大陆上的雨量	(122)
11.1.6 海表温度及海气相互作用的信息	(122)
§ 11.2 HIRS-Tb12 反映的热带大气信息	(122)
11.2.1 热带大气的干湿程度	(122)
11.2.2 热带大气的下沉运动强度	(122)
§ 11.3 用卫星观测的 OLR 及 HIRS-Tb12 表征 ITCZ 及热带下沉区	(124)
11.3.1 用 OLR 表征 ITCZ	(124)
11.3.2 用 HIRS-Tb12 表征热带下沉区	(124)
§ 11.4 全球 ITCZ 的气候学特征	(124)
11.4.1 全球 ITCZ 的空间分布	(124)
11.4.2 全球 ITCZ 的季节变化	(125)
§ 11.5 全球热带下沉区的气候学特征	(127)
11.5.1 全球热带下沉区的空间分布	(127)
11.5.2 全球热带下沉区的季节变化	(127)
参考文献	(128)
第十二章 卫星反演的热带散度风及大气低频振荡	(130)
§ 12.1 OLR 计算热带速度势场及散度风场的方法	(130)
§ 12.2 卫星观测的全球热带 200 hPa 速度势及散度风的气候学特征	(131)
§ 12.3 OLR 提取大气低频振荡信息的方法	(132)
12.3.1 谐波分析法	(132)

12.3.2	带通滤波法	(133)
12.3.3	距平法	(133)
§ 12.4	卫星观测的热带大气低频振荡的源地	(133)
§ 12.5	卫星观测的热带大气低频振荡的传播	(134)
12.5.1	低频振荡的纬向传播特征	(134)
12.5.2	低频振荡的经向传播特征	(135)
§ 12.6	卫星观测的热带大气低频振荡的应用	(135)
12.6.1	西太平洋台风群生成的中期预报	(135)
12.6.2	长江中下游春季低温阴雨의 预报	(135)
参考文献		(137)

第十三章 卫星观测在气候变化研究中的应用 (138)

§ 13.1	卫星对 ENSO 的监测	(138)
13.1.1	洋面温度	(138)
13.1.2	OLR 标准化距平指数	(138)
13.1.3	对流涛动指数	(138)
13.1.4	中西太平洋 Tbb 的月距平差	(139)
13.1.5	用 OLR 反演赤道纬向垂直环流	(139)
§ 13.2	亚洲季风建立的气候学特征	(140)
13.2.1	OLR 观测的亚洲季风建立的气候学特征	(140)
13.2.2	HIRS-Tb12 观测的亚洲季风建立的气候学特征	(142)
13.2.3	OLR 观测的青藏高原季风建立的气候学特征	(142)
§ 13.3	亚洲季风异常的特征	(144)
13.3.1	南海季风异常的特征	(144)
13.3.2	印度季风异常的特征	(145)
§ 13.4	东北夏季气温异常的特征	(146)
13.4.1	冰雪盖观测的特征	(146)
13.4.2	OLR 观测的特征	(147)
13.4.3	HIRS-Tb12 观测的特征	(148)
13.4.4	辐射收支观测的特征	(148)
13.4.5	多通道观测的东北夏季气温异常的影响链	(148)
§ 13.5	中国东部夏季降水异常的特征	(149)
13.5.1	长江流域旱涝特征	(149)
13.5.2	华北旱涝特征	(150)
13.5.3	东北旱涝特征	(150)
13.5.4	华南前汛期旱涝特征	(152)
§ 13.6	西太平洋台风异常的特征	(152)
13.6.1	影响西太平洋台风异常的特征	(152)
13.6.2	影响华东的西太平洋台风异常的特征	(152)

13.6.3 影响华南的西太平洋台风异常的特征	(153)
参考文献	(153)
第十四章 卫星对自然灾害的监测及其在农业上的应用	(155)
§ 14.1 卫星对干旱的监测	(155)
14.1.1 干旱的气象学标准	(155)
14.1.2 干旱的卫星监测	(155)
14.1.3 卫星对于干旱监测的应用	(157)
§ 14.2 卫星对洪涝的监测	(157)
14.2.1 卫星对洪涝监测的原理	(157)
14.2.2 卫星对洪涝监测的方法	(158)
14.2.3 卫星对洪涝监测的应用	(161)
§ 14.3 卫星对沙尘暴的监测	(162)
14.3.1 卫星对沙尘暴的监测原理	(162)
14.3.2 卫星对沙尘暴的监测方法	(163)
14.3.3 卫星对沙尘暴监测的应用	(165)
§ 14.4 卫星对森林火灾及火山爆发的监测	(165)
14.4.1 卫星对森林火灾及火山爆发监测的原理	(165)
14.4.2 卫星对森林火灾及火山爆发监测的技术方法	(167)
14.4.3 卫星对森林火灾及火山爆发监测的应用	(168)
§ 14.5 卫星对强地震的监测	(169)
14.5.1 卫星对强地震监测的理论探索	(169)
14.5.2 卫星对强地震监测的方法	(171)
14.5.3 卫星对强地震监测的应用	(171)
§ 14.6 卫星对海洋污染的监测	(172)
14.6.1 卫星对海洋污染的监测原理	(172)
14.6.2 卫星对海洋污染监测的方法	(173)
14.6.3 卫星对海洋污染监测的应用	(173)
§ 14.7 卫星遥感在农业上的应用	(174)
14.7.1 卫星遥感在农业上应用的概述及理论基础	(174)
14.7.2 卫星农作物的遥感估产	(175)
14.7.3 卫星遥感在农业上的应用	(175)
参考文献	(176)

第一章 全球观测系统——气象卫星的发展

科学的飞速发展不断地改变着我们赖以生存的地球环境和人类的生活方式,并不断地提高我们的物质生活水平.当今科学发展的时代特点主要有三方面:一是宇宙空间时代,二是计算机时代,三是信息时代,它们已渗透到我们生活中的各个方面.现代气象科学发展的特点就是充分应用高新技术,气象学与空间科学的结合产生了卫星气象学;与计算机结合则产生了数值天气预报、数值模拟、诊断分析等各个分支学科.而无论是卫星的发射,还是把卫星观测的信息传输到地面,都离不开现代信息技术的应用.所以卫星气象学是发展非常迅速和充满活力的交叉学科.自1960年4月1日美国发射第一颗气象卫星以来,世界各国已发射了160余颗气象卫星;40多年来,气象卫星由试验到业务操作,再到进一步的试验和不断地改进,随着航天技术的进步和空间遥感仪器水平的提高,卫星技术获得了惊人的发展.卫星的星体、控制系统、轨道形状、感应仪器以及资料处理和信息传递等都被新的概念及装备所发展,气象卫星在经历了三代的更新以后又朝着更新的方向发展.卫星气象的范围也在不断地扩大,作为全球观测系统的气象卫星的出现为人类探测大气和对地球环境的监测开辟了一条全新的途径.实践证明,气象卫星是探测和研究大气及地球环境的一个有力的工具.作为从事大气和环境科学学习、研究的高等院校师生和气象、航空、海洋、水文和环境等部门的研究工作者,应该熟知它的观测特点,了解它的各种观测项目和观测原理、资料产品及其应用以及它的过去、现在和未来的发展.“应用卫星气象学”课程就是为此目的而设立的.

本章将介绍气象卫星最基本的知识及其发展历史,在此之前我们首先要弄清“气象卫星”和“卫星气象”这两个不同的科学范畴.

气象卫星的主要任务是研究用于气象的卫星的星体.广义的气象卫星还包括传感器和气象探测所需要的卫星的轨道、姿态以及运载工具.

卫星气象主要研究地球大气的辐射传输特性,如何根据地球大气各种光谱的不同特性去探测各种气象要素和地球环境的物理参数,如何对探测资料进行加工处理以及把这些产品运用到天气、气候的监测和分析预报中去.随着气象卫星观测资料应用范围的扩大,广义的卫星气象还包括气象卫星观测资料在农、林、牧、渔、海洋、航空、水文、环境等其他领域内的应用.

卫星气象学实际上包括遥感原理、仪器设计和各种资料的处理和产品的应用.把遥感作为重点的卫星气象学称为遥感气象学,而把应用作为重点的就称为应用卫星气象学.

§ 1.1 气象卫星的观测特点

气象卫星的观测不同于传统的气象观测,主要特点是从宇宙空间自上而下、连续不停地进行全球范围的观测.在气象卫星出现以前都是从地面自下而上、局域的间断的观测.只有气象卫星使人类观测大气离开地面和大气,而从遥远的宇宙空间自上而下、连续不断地进行观测.由于气象卫星先从宇宙空间用各种传感器接收来自地表和大气所发出和反射的各种电磁波能量,再对这些信息进行特殊的加工处理,从而得到表征地球和大气的物理状态的各种参数(如气压、温度、

湿度、风向风速、雨量、反射率、射出长波辐射(outgoing longwave radiation, 简称 OLR)、植被指数等), 故具有遥感特点, 其资料必须经过处理和反演. 这与以往的直接观测有很大的不同. 一方面, 由于从宇宙空间观测, 距离远, 观测范围大, 视野广, 这是过去的观测所无法相比的; 另一方面, 由于是从宇宙空间自上而下地进行观测, 故先看到高云, 再看到中低云, 然后看到地表, 看到的云也是先看到云顶的状态, 这是与地面观测完全不同的. 最后, 由于卫星在不停地沿轨道运行, 再加上地球的自转以及卫星沿近极地的轨道运行, 这两种运动的结果就可以实现极轨卫星对全球范围的观测(图 1.1).

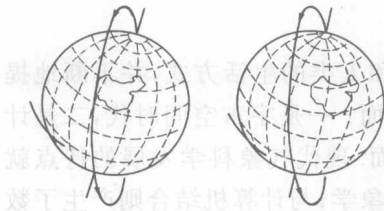


图 1.1 气象卫星对全球的连续观测

此外, 在赤道上空固定有 4~5 颗静止卫星进行对地的联合观测, 同样也可以实现全球范围的观测. 这是气象卫星观测的最大优点, 因为这是任何传统观测无法实现的.

§ 1.2 气象卫星的轨道

1.2.1 不同轨道的意义

卫星在空间相对于地球中心运动时所遵循的路径即卫星的轨道. 卫星观测的基本特点是作为一个天体在空间一定轨道上运行. 它不像飞机探测可以任意改变观测路线, 所以卫星轨道需要根据不同的要求事先设计好. 如要求大面积观测, 可选用高度较高的轨道; 如要求各时刻的图片面积相同, 可用圆形轨道; 如需要不同高度的资料, 可用椭圆轨道. 观测中高纬大范围地区的轨道倾角要大, 观测低纬大范围地区则轨道倾角要小. 气象卫星的轨道主要由三个参数所决定, 这些参数不同, 轨道也就不同, 下面我们对这些参数作简单介绍.

1.2.2 描述轨道的参数

1. 倾角 α

卫星轨道平面和赤道平面的夹角叫做倾角. 一般倾角都是从赤道平面到轨道平面逆时针计算的. 由于倾角不同, 卫星的轨道又可分为几种: 如倾角为零度, 卫星又在 35 800 km 的高度, 以与地球自转相同的周期自西向东地沿轨道运行, 这种轨道就叫做地球同步轨道. 在此轨道上运行的卫星叫做同步卫星或静止卫星. 如倾角在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间, 则卫星是自西向东地顺地球自转方向运行, 这种轨道称为前进轨道. 如倾角在 $90^\circ \sim 180^\circ$ 之间, 则卫星是自东向西地逆地球自转方向运行, 这种轨道就叫做后退轨道(图 1.2). 我们知道, 卫星轨道越接近于通过极地, 所能观测的范围也越大, 这种倾角在 90° 附近的卫星轨道叫近极地轨道. 从近极地轨道可以观测

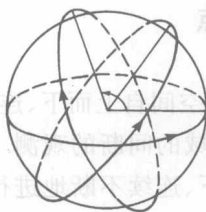


图 1.2 卫星的倾角

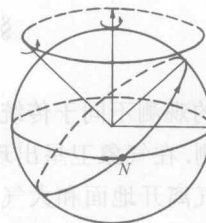


图 1.3 卫星轨道平面的进动

全球地区. 近极地轨道中有一种业务极轨卫星常用的轨道叫做太阳同步轨道. 它是一种特殊的后退的近极地轨道, 在这条轨道上运行的卫星总是在同一地方时过赤道, 从而保证地面卫星接收站每天总是在同一地方时接收卫星所发送的云图. 我们目前日常业务所收到的极轨卫星云图大多是太阳同步轨道上运行的卫星所观测的. 太阳同步轨道究竟有什么特点以及如何实现, 这首先需要了解轨道平面的进动.

(1) 轨道平面的进动. 卫星绕地球旋转时, 旋转轴又绕地球自转轴作缓慢的转动, 这种转动就叫轨道平面的进动(由地球赤道的隆起所引起的极地和赤道的重力差所造成的), 进动的方向和卫星在轨道上运行的方向相反(图 1.3). 故前进轨道的进动方向应为自东向西, 即轨道平面与赤道平面的交点 N 向西移动, 其结果是使卫星每天提前出现于观测点(图 1.4); 后退轨道(过赤道时间落后)的进动方向则为自西向东, 结果使卫星每天出现时间不断推迟. 进动率 Ω 与卫星轨道倾角 α 的关系由下式表示:

$$\Omega = -\frac{10}{(1-e^2)^2} \left(\frac{R}{A}\right)^{3.5} \cos \alpha, \quad (1.1)$$

其中 $R=6370 \text{ km}$ 为地球赤道半径, A 为卫星椭圆轨道的半长轴, 圆轨道为 $A=R+h$, h 为卫星高度, e 为椭圆偏心率, Ω 自西向东为正.

(2) 地球绕太阳公转, 卫星轨道平面也一起绕太阳公转, 使卫星轨道平面与赤道平面的交点 N 每天向西移动约 1° , 其结果使卫星每天提前 4 min 出现于观测点(图 1.5). 因此, 只有用后退轨道才能抵消地球绕太阳公转而产生卫星过赤道时间的提前.

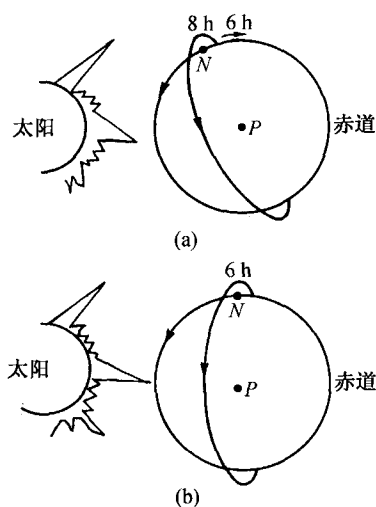


图 1.4 前进轨道的进动与过赤道的时间变化

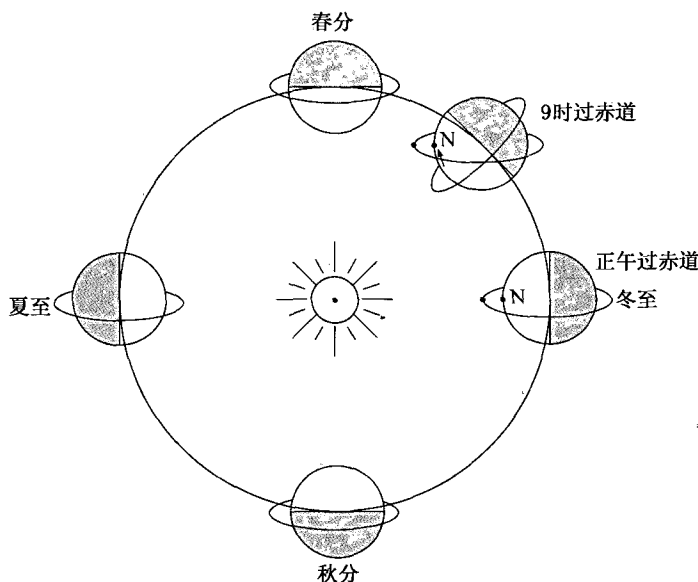


图 1.5 地球绕太阳公转所产生的过赤道时间提前

(3) 太阳同步轨道的实现. 前面已经说过, 所谓太阳同步轨道就是保证卫星过赤道的地方时相同. 由于地球绕太阳公转所产生的过赤道时间的提前是固定不变的, 所以要使卫星过赤道时间不变, 保持与太阳同步. 只有利用后退轨道, 并使其进动率相当于 $1^\circ/\text{天}$, 这样才能抵消地球绕太阳公转所产生的卫星过赤道时间提前的影响, 从而实现太阳同步.

2. 高度 H

卫星离地面的垂直距离叫做高度. 一般卫星按轨道的高度可分为低轨和高轨两大类: 低轨卫星高度在 $600\sim 1500\text{ km}$ 的范围内, 极轨卫星都属于低轨; 高轨卫星的高度在 $36\,000\text{ km}$ 左右, 静止卫星都是高轨.

3. 周期 T

卫星沿轨道运行一周所需的时间叫做周期. 周期的大小显然与卫星的高度有关. 高度越高, 卫星绕轨道运行的路径越长, 所需时间就越长, 周期也就越长. 如极轨卫星的周期约为 100 min , 而静止卫星的周期为 24 h , 则卫星轨道的周期 T 与高度 H 的确切关系可由下式计算:

$$T = 84.4 \left(1 + \frac{H}{R} \right)^{3/2} \text{ min.} \quad (1.2)$$

§ 1.3 气象卫星的种类

1.3.1 极轨卫星和静止卫星

尽管气象卫星形形色色, 各种各样, 但若按轨道分, 基本上可分为极轨(低轨)卫星和静止(高轨)卫星两大类.

1. 极轨卫星

极轨卫星是在南北方向绕着近极地轨道运行的卫星, 倾角为 $\alpha \approx 90^\circ \pm 20^\circ$. 目前业务上所用的都是太阳同步轨道($\alpha > 90^\circ$), 高度为 $H = 600\sim 1500\text{ km}$ (低轨), 周期为 $T \approx 100\text{ min}$.

它的主要特点是: 可以实现全球观测(但不同时); 适合于观测中高纬度(覆盖密, 正形), 而对低纬度效果差(不能全部覆盖); 适于观测大尺度系统(时间分辨率低, 2 次/天), 对生命史短促的中小尺度系统无法捕捉; 由于低轨观测高度低, 水平分辨率高(1 km).

2. 静止卫星

静止卫星是在东西方向绕着地球赤道(轨道平面与赤道平面平行), 以与地球自转一致、方向相同的速度运行的卫星. 卫星相对静止于地球赤道上某点的上空, 故静止卫星又叫做地球同步卫星. 静止卫星的倾角为 $\alpha = 0^\circ$, 高度为 $H = 36\,000\text{ km}$ (高轨), 周期为 $T = 24\text{ h}$.

它的主要特点是: 适于观测低纬度(正形), 而对高纬度由于斜视的影响畸变严重; 时间分辨率高(30 min/次), 适于观测中小尺度系统并可追踪云及水汽的运动而测得高中低空的风; 高度高, 观测范围大, 但水平分辨率不如极轨卫星.

显然, 极轨卫星和静止卫星的优缺点是互补的, 不能互相取代. 故在业务上我们一直应用这两种气象卫星.

1.3.2 实验卫星和业务卫星

气象卫星按所承担的任务可分为实验卫星和业务卫星两种.