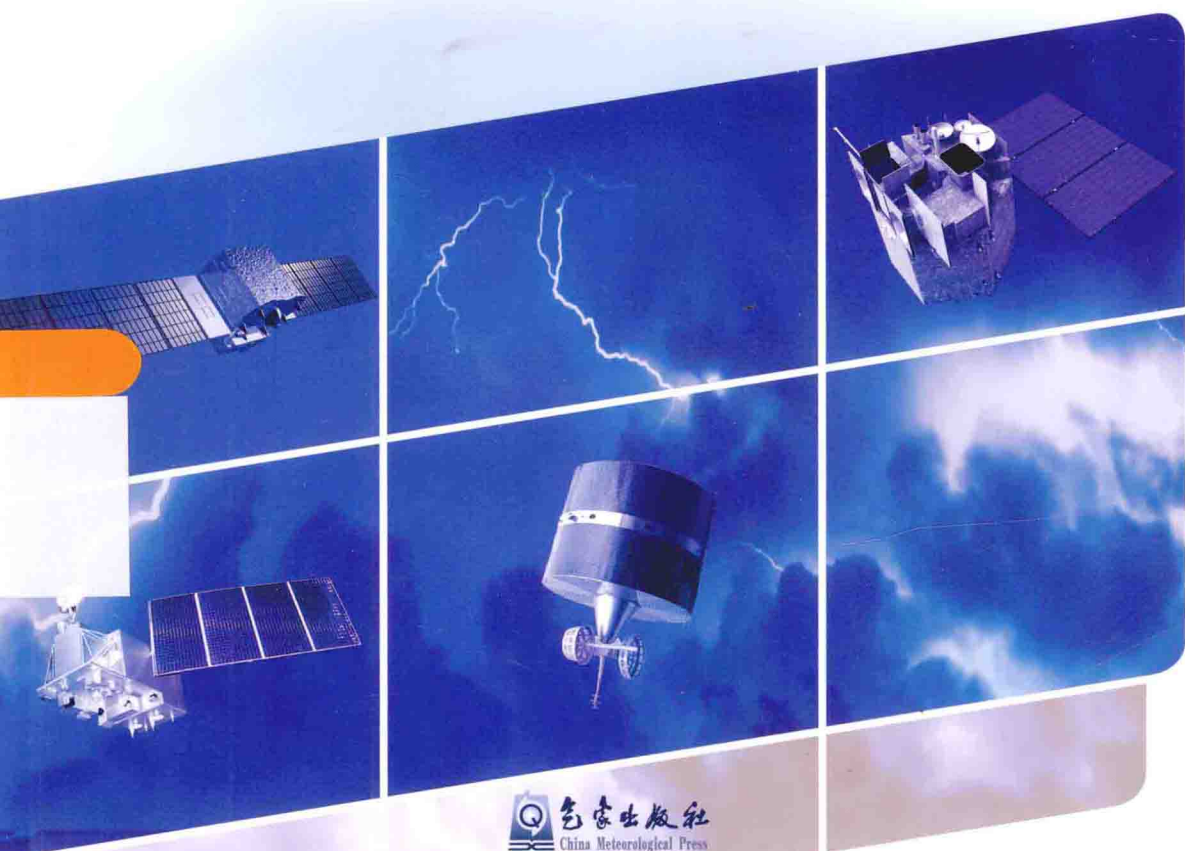


Meteorological Satellites
and Satellite Meteorology



气象卫星 卫星气象

范天锡◎著



 气象出版社
China Meteorological Press

Meteorological Satellites
and Satellite Meteorology



气象卫星
卫星气象

范天锡◎著



气象出版社
China Meteorological Press

图书在版编目 (CIP) 数据

气象卫星与卫星气象 / 范天锡著 .—北京: 气象出版社, 2014.3

ISBN 978-7-5029-5896-1

I . ①气… II . ①范… III . ①气象卫星 - 普及读物 ②卫星 - 气象学 - 普及读物 IV . ① P414.4-49 ② P405-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 042143 号

Meteorological Satellites and Satellite Meteorology

气象卫星与卫星气象

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室: 010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑: 胡育峰 李香淑

封面设计: 符 赋

责任校对: 时 人

印 刷: 北京地大天成印务有限公司

开 本: 710 mm × 1000 mm 1/16

字 数: 171 千字

版 次: 2014 年 3 月第 1 版

定 价: 39.00 元

邮政编码: 100081

发 行 部: 010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

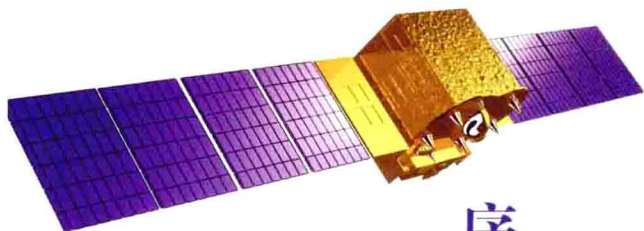
终 审: 汪勤模

责任技编: 吴庭芳

印 张: 10.5

印 次: 2014 年 3 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等, 请与本社发行部联系调换



序

《气象卫星与卫星气象》是一本高端科普读物，它简要叙述了国内外气象卫星与卫星气象的发展。重点讲述了气象卫星遥感原理，气象卫星遥感仪器，气象卫星资料处理，气象卫星资料接收处理服务系统，卫星云图在天气分析和预报中的应用，气象卫星资料在数值预报、气候预测、生态环境和灾情监测中的应用。它深入浅出，系统全面，既通俗易懂，又不失科学技术前沿。

作者范天锡，1936年4月生，江苏徐州人，是我国知名的卫星遥感专家，也是一位优秀的工程技术专家。1958年毕业于北京大学物理系气象专业，毕业后在中国科学院地球物理研究所从事高层大气物理和空间光学探测技术等方面的研究。1980年以后，工作在中国气象局国家卫星气象中心，先后担任过风云一号气象卫星地面应用系统总设计师、国家卫星气象中心科技委主任、中国气象局科技委副主任、原国防科学技术工业委员会民用遥感卫星应用专家组副组长、中国遥感应用协会专家委员会副主任等职。

他多年从事NOAA、风云一号、风云三号等极轨气象卫星地面应用系统的总体设计和建设，以及资料预处理、资料处理方法的研究和软件研发；在风云一号（共4颗星）发射后，组织卫星性能的在轨测试，卫星业务运行后，推动应用工作的普及和提高，推动中央至地方应用体系的建设；多年来从事遥感仪器性能分析，辐射定标，反演方法，拓宽应用等方面的研究，做了大量卓有成效的工作；参与了静止气象卫星、载人航天遥感应用等方面的工作；他还多年从事我国气象卫星及其应用的发展规划，气象卫星使用要求和技术状态的研究制订及有关技术协调。

本书是气象部门新参加工作的高等院校毕业生、研究生了解气象卫星与卫星气象的理想读物，可作为气象部门各级领导机关工作人员以及地方台站从事

气象卫星资料应用技术人员的参考资料，也是气象卫星研制人员的拓展读物，以及普通高等院校相关专业在校学生的兴趣读物，还可作为关心气象卫星和卫星气象事业发展的社会各界人士的知识读物。

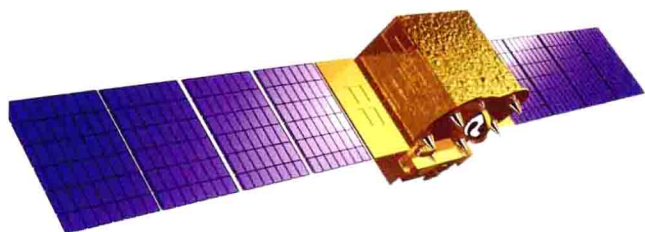
本书在初稿编著后，又经国家卫星气象中心多位老专家热情审阅和修改，最终由气象出版社定稿出版。

愿这本书有助于气象卫星与卫星气象事业的发展。

钮寅生

（钮寅生：国家卫星气象中心原主任）

2013年9月25日

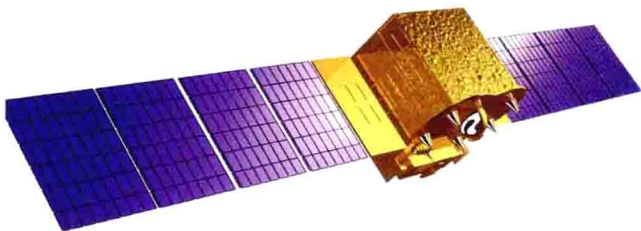


目 录

序	001
第1章 概论	001
1.1 气象卫星	001
1.2 气象卫星系统工程	004
1.3 卫星气象学	004
1.4 卫星气象工程	005
第2章 国外的气象卫星	007
2.1 极轨气象卫星	007
2.2 静止气象卫星	009
2.3 对地观测和科学实验气象观测卫星	011
第3章 我国的气象卫星	014
3.1 极轨气象卫星	014
3.2 静止气象卫星	019
3.3 国内外气象卫星比较	023
第4章 气象卫星遥感原理	026
4.1 遥感和辐射的基本概念	026
4.2 太阳和地球辐射	027
4.3 地球大气和地表及其辐射特征	029
4.4 遥感原理和大气辐射传输	033

第5章 气象卫星遥感仪器	036
5.1 气象卫星的遥感器	036
5.2 光学成像类遥感仪器	039
5.3 光学大气探测仪器	043
5.4 辐射收支探测器	047
5.5 被动微波遥感仪器	047
5.6 主动微波探测器	050
5.7 激光雷达	052
5.8 掩星大气探测仪	053
第6章 气象卫星资料处理	054
6.1 气象卫星数据预处理	054
6.2 气象卫星数据处理	059
6.3 气象卫星产品真实性检验	066
第7章 气象卫星资料接收处理服务系统	067
7.1 气象卫星地面应用系统	067
7.2 业务运行控制系统	070
7.3 气象卫星数据接收	071
7.4 计算机与网络系统	074
7.5 资料存档与分发服务	076
7.6 国外卫星资料获取	078
第8章 卫星云图在天气分析和预报中的应用	079
8.1 卫星云图的基本特征	079
8.2 云系的特征	083
8.3 卫星云图在中高纬度天气分析预报中的应用	090
8.4 卫星云图在热带天气和台风分析预报中的应用	093
第9章 气象卫星资料在数值预报中的应用	100
9.1 气象卫星资料在数值预报中的作用	100

9.2	气象卫星资料在数值预报中应用的历史过程	101
9.3	资料同化的基本问题以及同化策略	101
9.4	卫星资料的同化	102
第 10 章	卫星资料在气候预测中的应用	106
10.1	长序列卫星遥感气候数据集的建立	106
10.2	卫星资料在气候监测和预测中的应用	107
10.3	卫星资料在气候模式中的应用	120
第 11 章	气象卫星资料在生态环境和灾情监测中的应用	122
11.1	土壤水分和干旱监测	122
11.2	洪涝监测	123
11.3	火情监测	127
11.4	沙尘天气监测	130
11.5	雾监测	132
11.6	积雪监测	134
11.7	海冰、冰凌监测	136
11.8	火山爆发监测	139
11.9	植被监测	141
11.10	水环境监测	146
11.11	城市热环境监测	149
第 12 章	我国气象卫星与卫星气象发展的展望	152
12.1	已经取得的成就	152
12.2	差距和不足	153
12.3	发展需求分析	155
12.4	气象卫星与卫星气象的未来发展	156
附录	部分缩写名称的中文对照表	157
参考文献	159
后记	160



第 1 章 概 论

1.1 气象卫星

天气多变，很难预测。然而，天气又和人们的生产、生活以及军事活动息息相关，于是，自古以来，人类为预报天气、预测气候不断做出巨大的努力。

气象科学是建立在观测数据基础上的，世界各国都建立了大量的地面气象观测站。但是，在海洋、高山、沙漠、极地等处，观测站点总是很稀少，一些国家观测仪器的精度也难保证，想获取全球、三维、高时空分辨率、高精度的多种气象要素的观测数据，是很难办到的。

“站得高，看得远”。就对地观测而言，卫星是一个非常理想的观测位置。1957年人造地球卫星发射上天后，最初的应用就是气象观测。1960年4月1日，美国成功发射了世界上第一颗试验气象卫星泰罗斯（TIROS），星载相机拍摄的第一幅地球云图，清晰地显示了大西洋上空的飓风，开创了从空间探测地球的新纪元。

对地做气象观测的卫星有科学实验卫星和业务气象卫星两类。科学实验卫星的运行轨道多种多样。业务气象卫星的运行轨道现分为两类（见图 1.1），一类是极轨卫星，取太阳同步轨道，轨道高度 800 ~ 1 000 km，绕地球一周约为 100 分钟，在地球任一地方，卫星于同一地方时以近南北向过境。另一类是静止卫星，取地球同步轨道，卫星位于赤道上空 35 800 km 高度，向东运行，周期约为 24 小时，相对地球任一地方看似不动。

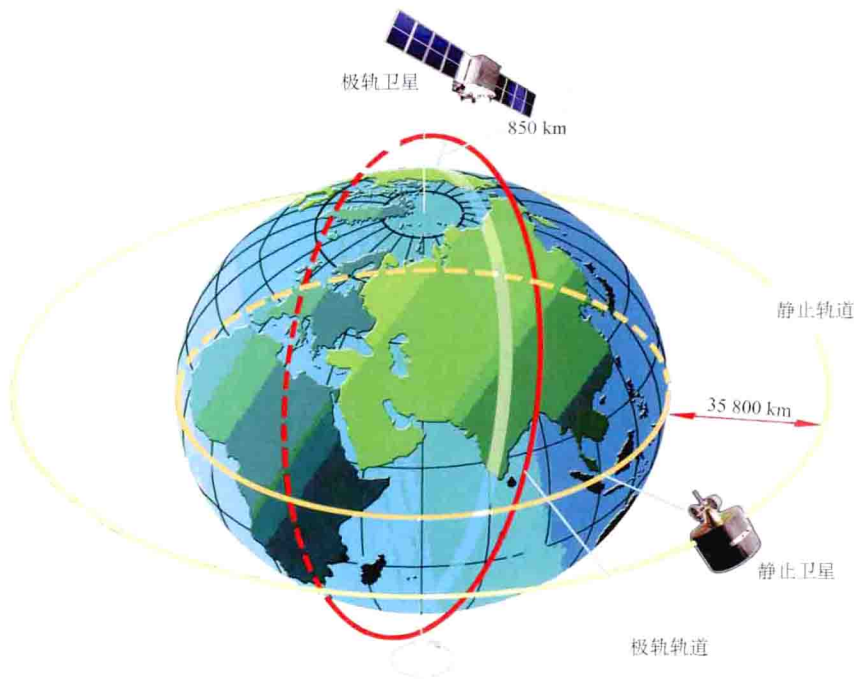


图 1.1 气象卫星运行轨道

极轨卫星的作用主要是获取全球、多品种、高精度、较高空间分辨率的资料。静止卫星的作用主要是获取中低纬度、大范围、高频次的资料。二者相互补充，缺一不可。

气象卫星用遥感探测器获取对地观测数据，具有紫外、可见光、红外、微波多种波段，经过信息加工处理后，可以得到定量的多种气象要素和地球物理参数，也可做出各种直观、漂亮的图像。例如，描写云特征的可见光、红外云图，云的微物理及降水特性，由跟踪云和水汽运动而得到的云迹风和水汽风，大气中水汽含量、大气温度、臭氧含量及其垂直分布，气溶胶光学厚度、大气温室气体浓度，地气系统辐射收支能量，陆地表面的温度，海面水温、海冰分布，陆面积雪、植被指数、土壤湿度、沙尘监测等。这些信息已突破传统的气压、温度、湿度、风向、风力等气象观测的范畴。

随着空间技术和遥感技术的飞速发展，气象卫星获取多种气象要素和地球物理参数的能力，以及其全球性、高时空分辨率等优势更加展现，这也使气象

卫星遥感成为天气分析和预报、数值预报、气候预测和全球变化研究、生态环境和灾害监测的重要手段。因此，气象卫星从诞生之日起，就受到了地球科学工作者和公众的高度重视，其发展呈现出勃勃生机。

是不是有了气象卫星就可以取代气象站观测呢？那也不是。气象卫星遥感是通过地物的电磁辐射来探测地物的特性，这是一种间接测量手段，气象站的常规观测是一种直接测量手段，二者各有特色，不能相互替代，而是相互补充。它们和气象雷达等一起形成一个完整的气象观测体系。

我国气象卫星命名为“风云”系列。极轨气象卫星以奇数命名，第一代风云一号（FY-1），第二代为风云三号（FY-3）。静止气象卫星以偶数命名，第一代风云二号（FY-2），第二代为风云四号（FY-4）。在每一代气象卫星中，按发射时间先后，再以A、B、C、D等顺序命名，例如FY-1A、FY-1B等。2013年，我国在轨运行的气象卫星有FY-1D、FY-2C/D/E/F、FY-3A/B/C，共8颗星，如图1.2所示。

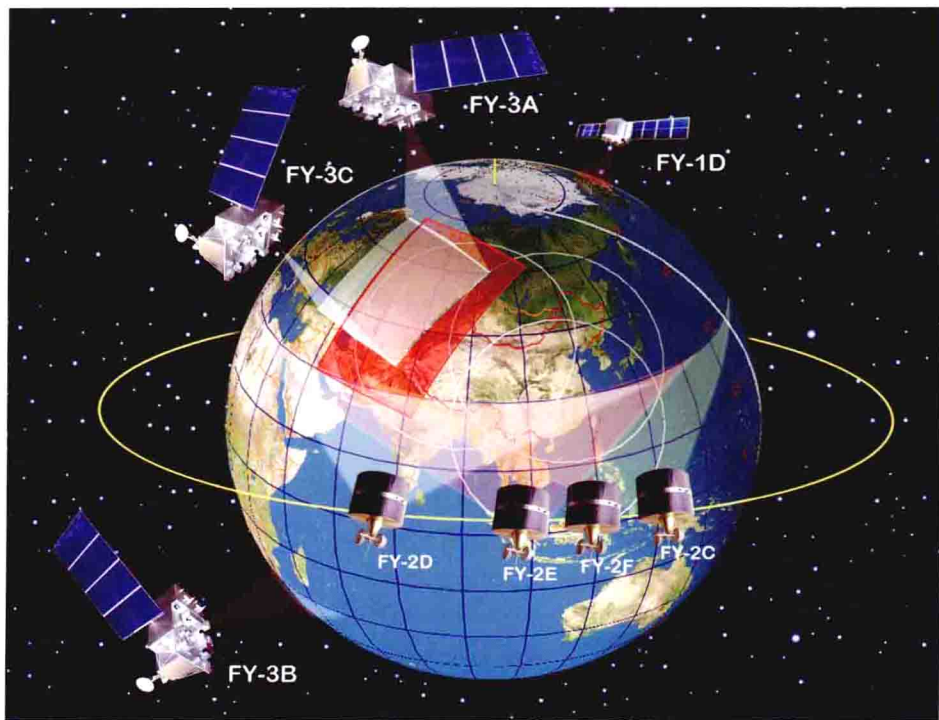


图 1.2 2013 年我国气象卫星在轨布局图

1.2 气象卫星系统工程

气象卫星的发展和应用，不只是气象卫星问题，也是一个天地一体化的系统工程。我国气象卫星系统工程由五大系统组成：

(1) 气象卫星：主要包含卫星平台和各种遥感器。卫星平台由中国航天科技集团公司上海航天技术研究院研制，遥感器由中国科学院上海技术物理研究所、空间科学与应用研究中心、长春光学精密机械与物理研究所，以及上海航天测控通信研究所、中国空间技术研究院西安分院等研制。

(2) 运载火箭：FY-1/3 卫星由长征四号系列运载火箭发射，FY-2 卫星由长征三号系列运载火箭发射，运载火箭分别由上海航天技术研究院、中国运载火箭技术研究院等研制。

(3) 发射场：进行卫星、运载火箭的测试和发射。FY-1/3 卫星在太原卫星发射中心发射，FY-2 卫星在西昌卫星发射中心发射。

(4) 测控系统：对卫星发射和在轨运行全过程实施监控，由西安卫星测控中心承担，其中静止气象卫星的业务测控由国家卫星气象中心（NSMC）负责。

(5) 应用系统：即气象卫星资料接收处理服务系统，主要包括气象卫星资料地面接收站、资料处理与服务中心和应用示范系统等，由国家卫星气象中心（NSMC）承担。

我国 FY-1 卫星的系统工程总设计师是任新民院士，FY-2 卫星的系统工程总设计师是孙家栋院士，FY-3 卫星设系统工程正 / 副总设计师，由孙敬良院士和孟执中院士担任，FY-4 卫星的系统工程总设计师是李卿研究员。

1.3 卫星气象学

卫星气象包含卫星气象学和卫星气象工程。卫星气象学是研究利用卫星遥感获取气象参数的原理和方法，以及对遥感信息进行处理、应用的一门分支学科。它是 20 世纪 60 年代初开始出现的一门新兴学科，与多门学科交叉，在大气科学中发展最迅速，极富活力。卫星气象学主要包括三方面的内容：

(1) 气象卫星遥感理论：主要研究地球大气和表面对电磁辐射的吸收、发射、散射、反射和极化特性，以及辐射在大气中的传输规律。

(2) 卫星遥感信息处理方法，主要包括：

1) 对卫星遥感的原始测量值进行质量检验、定标、定位和各种校正，转换成辐射值。

2) 把卫星观测的辐射值转换成地球大气和表面的各种气象参数和地球物理参数。

3) 对处理结果进行质量、真实性检验。

4) 各种遥感信息、气象信息、地理信息等的融合、显示。

(3) 气象卫星资料的应用研究，主要包括：

1) 卫星云图在天气分析和预报中的应用，如对大尺度天气系统、热带气旋和中尺度强对流云团的监测和分析等。在天气预报中，卫星云图现在已是不可缺少的、十分重要的工具。

2) 在数值天气预报中的定量资料应用。进行多维变分同化系统的研究和开发，把卫星遥感的信息输入数值预报模式。目前，美国和欧洲的业务数值预报系统中，输入的观测资料有 85% 以上来自卫星资料。

3) 在气候变化的监测和预测中的应用。许多气候变化的信号，均可以通过卫星观测得到。当前，国际上一些涉及全球变化和可持续发展的重大研究计划，气象卫星资料的应用具有举足轻重的地位。

4) 在生态环境和自然灾害监测中的应用。通过针对生态环境特征参数的数据处理，可得到植被、水体、积雪、高温热源、沙尘暴和气溶胶等多种参数的空间分布和时间变化，其应用领域、效益及前景极为广阔。

1.4 卫星气象工程

我国的气象卫星应用系统是一个大型的、具有世界先进水平的建设工程。它由建立在国内外的多个数据接收站、北京的数据处理和服务中心（国家卫星气象中心大楼见图 1.3）、区域中心及省、地、县的大批用户组成。

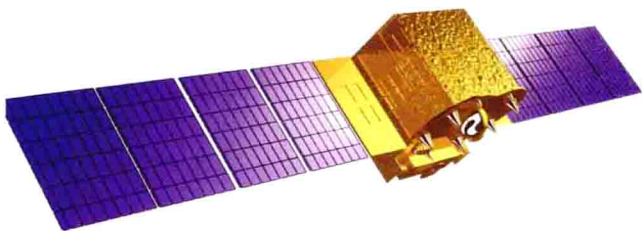
应用系统是一个 24 小时不间断工作的业务系统，它的功能是对卫星业务



图 1.3 国家卫星气象中心大楼

工作状态进行实时监控，对卫星遥感数据进行接收、传输、处理、存储、分发和服务，进行业务运行管理和应用示范等。它由高码速率数据接收系统、高性能通信与网络系统、大型计算机集群、海量数据存储等硬件系统，以及相应的各种系统软件，各种遥感数据处理和应用示范的应用软件组成。应用系统能及时向各类用户提供多种、高时效、高精度的业务产品，用于天气预报、气候预测、防灾减灾、环境监测、生态保护和专业气象服务等各个方面。

应用系统的建设涉及气象、海洋、遥感、计算机和网络、通信、图像处理等多个科技领域，主要技术特点是高效率、高时效性、高稳定性、高可靠性、可扩展性、可维护性、灵活性和自动化运行。



第2章 国外的气象卫星

2.1 极轨气象卫星

2.1.1 美国的极轨气象卫星

美国的极轨气象卫星由美国国家海洋和大气管理局（NOAA）运行，发展过程大致可分三个阶段：

1960—1976年左右，可看成第一阶段，其中包括泰罗斯（TIROS）系列10颗星（1960—1965）、艾萨（ESSA）系列9颗星（1966—1969）、艾托斯（ITOS）卫星1颗、诺阿（NOAA）系列5颗星（1970—1976），还有雨云（Nimbus）系列的试验卫星7颗（1964—1978），共32颗星。这一阶段，卫星性能不断改进，遥感仪器不断试验更新，在资料处理和应用方面也做了大量的研究和试验工作。总的说来，这一阶段是初期技术发展、试验和试用阶段。

1978—2009年左右，可看成第二阶段，其中包括TIROS-N、NOAA-6~14，共10颗星（1978—1994），星载遥感器有先进的甚高分辨率辐射计（AVHRR）、高分辨率红外探测器（HIRS）、微波探测器（MSU）、平流层探测器（SSU）、太阳后向散射紫外辐射计（SBUV）、空间环境监测仪（SEM）等。NOAA-15~19是这一阶段后5颗星（1998—2009），用先进的微波探测器（AMSUY-A/B）更新了MSU，去掉了SSU。这一阶段，卫星性能总体上相对稳定，同时建成了大型地面资料接收处理系统，形成业务应用阶段。

2011年美国“国家极轨运行环境卫星系统先期计划”(NPP)卫星的成功发射,启动了新一代美国联合极轨卫星系统(JPSS)(见图2.1),这是第三阶段。NPP是NOAA-19与JPSS两代业务卫星之间的桥梁。JPSS计划发射2颗,JPSS-1/2预计分别在2017和2023年发



图 2.1 美国联合极轨卫星系统 (JPSS) 示意图

射。NPP卫星主要装载5种仪器:可见光/红外成像辐射计(VIIRS)、先进技术微波探测器(ATMS)、跨轨扫描红外探测器(CrIS)、臭氧成图和廓线仪(OMPS)及云和地球辐射能量系统(CERES)。JPSS除NPP的5种仪器外,还装载了总太阳辐照度传感器(TSIS)。JPSS卫星遥感器性能大幅度提高。

除以上卫星外,美国还有军方的国防气象卫星(DMSP),共20多颗星,其特色是遥感器具有微波成像仪,能进行微光云图探测等。

2.1.2 欧洲的极轨气象卫星

2006年,欧洲气象卫星开发组织(EUMETSAT)发射了其第一颗极轨气象卫星(MetOp-A)(见图2.2),目前已进入业务运行状态。MetOp系列由3颗卫星构成,MetOp-B于2012年发射,MetOp-C预计在2017年发射。该系列卫星包括9种对地遥感仪器:先进的甚高分辨率辐射计(AVHRR)、高分辨率红外



图 2.2 欧洲第一颗极轨气象卫星 MetOp-A 示意图

探测器(HIRS)、先进的微波探测器(AMSU-A)、微波湿度探测器(MHS)、红外大气探测干涉器(IASI)、全球臭氧监测仪(GOME)、GPS探测器(GPS-S)、先进的微波散射计(ASCAT)和空间环境监测仪(SEM)。上述仪器中,前4种由美国NOAA提

供，后 5 种由欧洲自行研制。

2.1.3 双星运行全球观测系统

美国和欧洲已达成联合极轨业务卫星系统计划协议，当前主用卫星为 NOAA-18/19，过赤道地方时约为 13:30，MetOp-A/B 过赤道地方时约为 09:30，两种卫星信息格式是兼容的，配对形成双星运行全球观测系统。

2.1.4 俄罗斯（包括前苏联）

自 1969 年以来，发射的流星（Meteor-1/2/3/3M）系列卫星超过 65 颗，数据未公开共享。

2.2 静止气象卫星

2.2.1 美国的静止气象卫星

1966 年，美国国家航空航天局（NASA）发射了首颗地球静止卫星（ATS-1），携带旋转扫描云相机，可每 20 分钟提供一次地球全圆盘可见光图像，ATS 卫星共发射 6 颗（1966—1972）。1974 和 1975 年，NASA 又发射了 2 颗地球同步轨道气象卫星（SMS-1/2），探测器为可见光和红外自旋扫描辐射计（VISSR）。

美国第一颗静止业务环境卫星（GOES-1）于 1975 年发射。GOES-1/2/3 为第一代（1975—1978），搭载了 VISSR。GOES-4~7 为第二代（1980—1987），搭载了 VISSR 和垂直大气探测器（VAS），这两代卫星姿态都是自旋稳定。GOES-8~12 为第三代（1994—2001），卫星姿态改成三轴稳定，成像与垂直探测可以独立同时进行。当前运行的 GOES-13/14/15 为第四代（2006—2010），具有 5 通道成像辐射计、19 通道大气探测器、空间环境监视器、太阳 X 射线成像仪。

美国静止气象卫星通常保持 2 颗业务卫星，分别定位于 75°W 和 135°W ，对美洲、大西洋西部及太平洋东部进行监测。

美国下一代静止业务环境卫星的第一颗卫星 GOES-R（见图 2.3）计划于