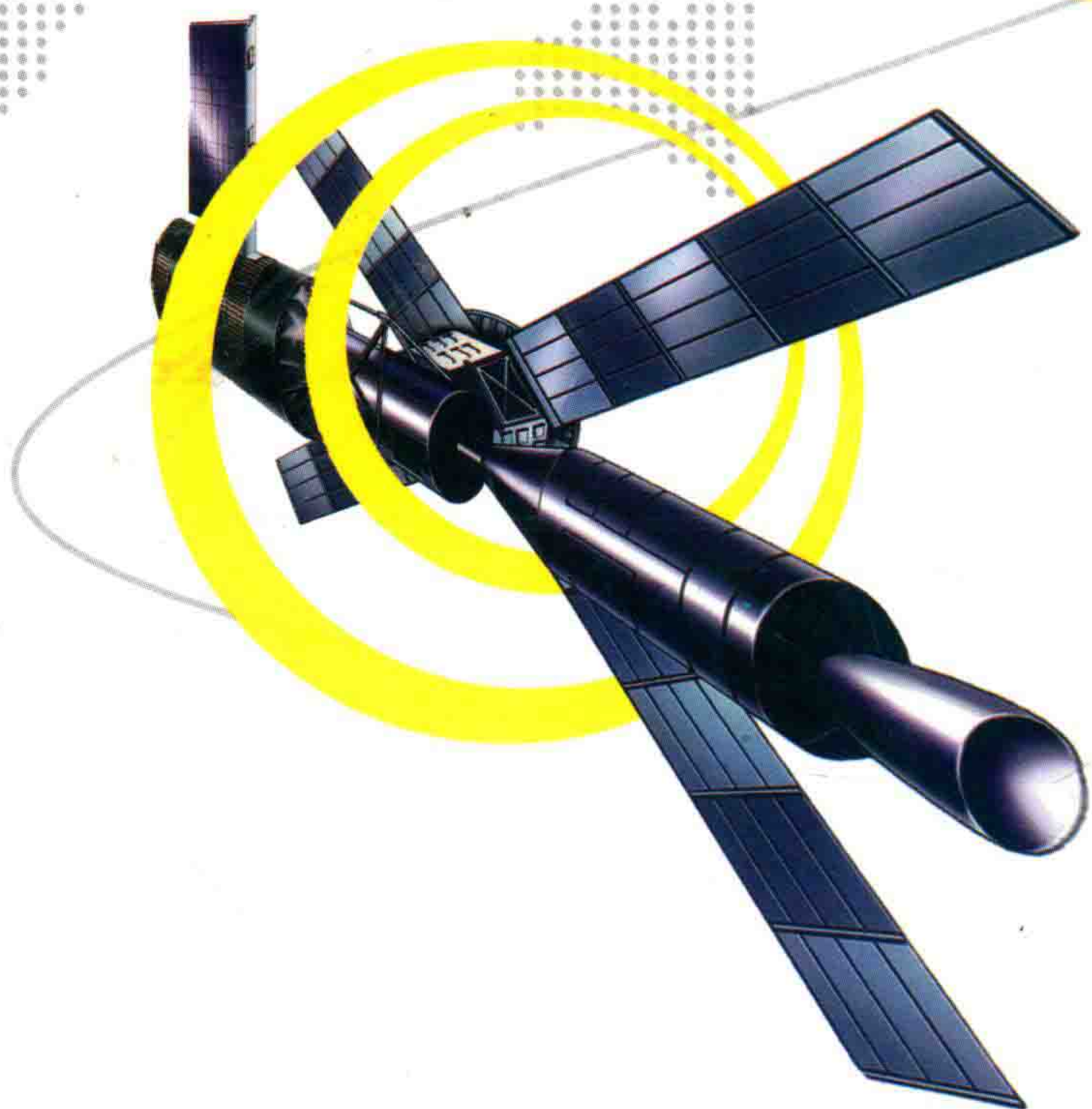




MODIS 遥感信息处理 方法及应用

吴黎 著

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

MODIS 遥感信息处理 方法及应用

内 容 简 介

本书是一本全面系统地论述 MODIS 遥感信息处理方法及在黑龙江省应用的基础理论著作。本书共 5 章,内容包括绪论、MODIS 数据及其预处理、常用 MODIS 数据产品和算法、MODIS 数据应用、MODIS 数据在黑龙江省应用案例等。

本书内容丰富,具有基础性、前沿性和广泛的适用性,在介绍了 MODIS 数据的基本特征、数据产品及算法的基础上,对该数据在黑龙江省多领域的应用进行了深入研究,为广大遥感科技工作者提供了参考和帮助。

本书适用于 MODIS 初学者及遥感相关专业的科技工作者。

图书在版编目(CIP)数据

MODIS 遥感信息处理方法及应用/吴黎著. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2017. 6
ISBN 978 - 7 - 5661 - 1556 - 0

I. ①M… II. ①吴… III. ①成像系统 - 光谱仪 - 应用 - 遥感图象 - 图象处理 IV. ①TP751.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 157529 号

选题策划 田 婧
责任编辑 张忠远
封面设计 博鑫设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 14
字 数 370 千字
版 次 2017 年 6 月第 1 版
印 次 2017 年 6 月第 1 次印刷
定 价 49.80 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

遥感作为一种先进的空间探测技术,自 20 世纪 60 年代以来,在农业、地理、地质、海洋、水文、气象环境监测、地球资源勘探等行业得到了广泛的应用。从 20 世纪 80 年代初开始,为了能够了解和精确模拟全球动态变化,美国着手制订地球观测系统 EOS(Earth Observing System)项目计划。1999 年 12 月 18 日,美国成功发射了地球观测系统 EOS 的第一颗先进的极地轨道遥感卫星 TERRA(上午星,简称 AM1);2002 年 5 月 4 日又成功发射了 AQUA 卫星(下午星,简称 PM1),星上均搭载了 MODIS 传感器。MODIS 全名为中分辨率成像光谱仪(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer),它的主要任务是一日 4 次获取地球系统(主要包括大气、海洋、陆地)相关要素变化的数据。同时 MODIS 的数据格式、数据接收、处理技术全部公开和在世界范围内免费接收的政策,引起了世界各国科学家的浓厚兴趣,我国有关部门对此也极为重视,研制建立了 MODIS 卫星接收处理系统并开始 MODIS 数据的应用及研究。我国第一套 EOS-MODIS 接收系统于 2000 年 11 月由中国气象局卫星气象中心研制,并投入业务运行。2001 年 5 月,农业部遥感应用中心在中国农业科学院建立了国内农业第一套 MODIS 接收与处理系统,成为国内开始 MODIS 数据农业应用的标志。MODIS 数据因具有多波段、高时间分辨率和成本低等优点,在农业领域已有了广泛的应用,并将有更广阔的应用前景。

本书在系统介绍了 MODIS 数据特点、数据预处理技术和产品及其算法的基础上,配以黑龙江省的应用案例,使读者在实践的基础上分析和探索问题,加深对 MODIS 数据的理解及应用,提高实践应用能力。本书共 5 章,包括以下内容:

第 1 章绪论,描述了 TERRA, AQUA 卫星概况及其传感器技术指标,介绍了 MODIS 数据具有多通道同时观测、大范围对地观测、数据更新快、数据免费,易于获取等优点,同时还对 MODIS 数据的应用研究进行动态分析。

第 2 章、第 3 章 MODIS 数据处理及产品和算法,详细讲述 MODIS 数据去“蝴蝶结”现象、几何校正、辐射定标、地球定位及云监测处理,将经过处理的影像按照一定的算法生成相应的数据产品,为 MODIS 数据应用打下良好基础。

第 4 章、第 5 章 MODIS 数据应用及案例,本部分采用理论、方法、实例相结合的形式,选择黑龙江省从土地利用,灾害监测,农作物种植面积、长势,秸秆焚烧等多个方面进行研究。

本书是作者在多年从事该领域科研工作,参阅了国内外大量有关论著及专业刊物的优秀论文的基础上,编撰历时 3 年完成的。

由于作者水平有限,书中不妥之处恳请读者批评指正。

吴 黎

2017 年 3 月 30 日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 TERRA 卫星介绍	2
1.2 AQUA 卫星介绍	7
1.3 MODIS 数据的特点	12
1.4 MODIS 数据应用的研究动态	15
第 2 章 MODIS 数据及其预处理	25
2.1 MODIS 数据获取	25
2.2 MODIS 数据预处理	42
第 3 章 常用 MODIS 数据产品和算法	59
3.1 MODIS 数据产品介绍	59
3.2 地面温度数据产品	63
3.3 植被指数数据产品	69
3.4 冰雪数据产品	78
3.5 叶面积指数产品	80
第 4 章 MODIS 数据应用	82
4.1 土地覆盖/土地利用分类	82
4.2 积雪覆盖	97
4.3 灾害监测	106
4.4 长势监测	123
第 5 章 MODIS 数据在黑龙江省应用案例	130
5.1 基于 MODIS 数据黑龙江省干旱灾害监测	130
5.2 利用 MODIS 数据黑龙江省农作物长势监测	142
5.3 利用 MODIS 数据黑龙江省水稻种植面积提取	164
5.4 利用 MODIS 数据黑龙江省土地利用分类研究	173
5.5 利用 MODIS 数据黑龙江省洪涝灾害监测研究	178
5.6 利用 MODIS 数据黑龙江省秸秆焚烧监测研究	184
参考文献	196

第1章 绪 论

美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)在20世纪80年代中后期,为推进航天技术对全球变化以及全球变化对人类生存环境影响的研究,与日本、加拿大等有关计划合作,建立地球观测系统(Earth Observing System, EOS)。

EOS由三部分组成,即基于太空观测系统、科研计划和数据/信息系统(EOS-DIS)。

(1)基于太空观测系统。基于太空观测系统是由一系列极地轨道和中度倾斜轨道卫星组成的。

(2)科研计划。NASA从1991年开始实施对地观测系统计划,目的在于加强对地球表层陆地、海洋、大气的观测,推动各种陆表过程及其相互关系的综合性的科学研究。该计划分三个阶段:第一阶段(1991—1998年)是准备工作阶段;第二阶段(1999—2003年)是全面对地观测阶段;第三阶段(2003—2013年)是新一代更为细致的对地观测阶段。NASA新一代的对地观测系统计划主要包括发射一系列新一代对地观测卫星;建立分布式数据活动存档中心(Distributed Active Archive Center, DAAC)负责存档、管理和散发EOS的卫星对地观测数据及产品;组织科学家队伍开展对地球多要素的综合研究。

(3)数据/信息系统。数据/信息系统负责处理和保存获取的数据,并负责把处理的数据提供给科研机构。

重点观测和研究的领域包括水与能量循环、海洋、大气化学、陆地表面、水和生态系统过程、冰川和极地冰盖,以及固体地球。

1999年12月18日,EOS成功发射第一颗对地观测卫星TERRA。此卫星上共载有五个对地观测传感器,它们分别是云与地球辐射能量系统测量仪(Clouds and the Earth's Radiant Energy System, CERES)、中分辨率成像光谱仪(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)、多角度成像光谱仪(Multiangle Imaging Spectro Radiometer, MISR)、先进星载热辐射与反射测量仪(Advanced Spaceborn Thermal Emission and reflection Radiometer, ASTER)和热带污染测量仪(Measurements Of Pollution In The Troposphere, MOPITT)。2002年5月4日发射第二颗对地观测卫星AQUA。此卫星上共载有六个对地观测传感器,它们分别是云与地球辐射能量系统测量仪(Clouds and the Earth's Radiant Energy System, CERES)、中分辨率成像光谱仪(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)、大气红外探测器(Atmospheric Infrared Sounder, AIRS)、先进微波探测器(Advanced Microwave Sounding Unit - A, AMSU - A)、巴西湿度探测器(Humidity Sounder for Brazil, HSB)、地球观测系统先进微波扫描辐射计(Advanced Microwave Scanning Radiometer - EOS, AMSR - E)。MODIS是TERRA和AQUA上搭载的最主要的探测器之一,也是唯一一个直接对地广播的观测仪器。MODIS是按照摇扫扫描成像的辐射计系统。它由穿轨迹扫描反射镜、收集辐射的光具和带有光谱滤光片的线列阵探测器组件等构成。仪器光谱范围 $0.4 \sim 14.4 \mu\text{m}$ 的共36个光谱通道,不同波段空间分辨率为250 m, 500 m和1 000 m等。扫描幅宽达到2 330 km。在对地观测中,每1~2天观测地球表面一次,每天上午、下午分别过境两次,每秒可以获得6.1 Mb的来自大气、海洋和陆地表面的信息,每天可获得四次全球观测数据(TERRA和AQUA每天

过境两次)。多波段数据可以同时提供反映陆地、云边界、云特性、海洋水色、浮游植物、生物地理、化学、大气水汽、地表温度、云顶温度、大气温度、臭氧和云顶高度等特征信息,用于地表、生物圈、地球大气和海洋的长期观测。

MODIS 每一个仪器的设计寿命为 5 年,实际可达 7 年以上,将计划发射 4 颗卫星。36 个光谱通道、一天四次、最高分辨率 250 m 的地球综合信息对于开展自然灾害与生态环境监测、全球环境和气候变化研究以及进行全球变化的综合性研究等将会非常有意义。

1.1 TERRA 卫星介绍

1.1.1 TERRA 卫星概况

TERRA 卫星于 1999 年 12 月 18 日发射成功。TERRA 卫星是美国成功发射地球观测系统的第一颗先进的极地轨道环境遥感卫星。NASA 在介绍 TERRA 卫星的意义时采取的比喻是:“如果把地球比作一位从来没有做过健康检查的中年人的话,TERRA 就是科学家对具有 45 亿年历史的地球的健康状况第一次进行全面检查和综合诊断的科学工具”。TERRA 卫星(EOS-AM1),表示 EOS 计划的第一颗上午星,每日地方时上午 10:30 过境。拉丁文中“TERRA”为陆地的意思,其主要目标是实现从单系列极轨空间平台上对太阳辐射、大气、海洋和陆地进行综合观测,获取有关海洋、陆地、冰雪圈和太阳动力系统等信息,进行土地利用和土地覆盖研究、气候季节和年际变化研究、自然灾害监测和分析研究、长期气候变化率和变化研究以及大气臭氧变化研究等,实现对地球环境变化的长期观测和研究。TERRA 卫星图如图 1.1 所示(来自 <http://terra.nasa.gov/>)。TERRA 卫星的相关技术指标见表 1.1。



图 1.1 TERRA 卫星图

表 1.1 TERRA 卫星的相关技术指标

TERRA	
发射时间	1999 年 12 月 18 日
运载火箭	ATLASIIAS
轨道高度	太阳同步,705 km
轨道周期	98.8 min
过境时间	上午 10:30
地面重复周期	16 天
质量	5 190 kg
展开前体积	3.5 m×3.5 m×6.8 m
星载传感器数据量	5 个
星载传感器名称	MODIS,MISR,CERES,MOPITT,ASTER
遥测	S 波段
数据下行	X 波段(8 212.5 MHz)
总供电功率	3 000 W
卫星设计寿命	5 年

1.1.2 TERRA 卫星传感器

TERRA 卫星是美国(国家航空航天局)、日本(国际贸易与工业厅)和加拿大(空间局、多伦多大学)共同合作发射的卫星。卫星上共载有五个对地观测传感器,具体如下。

1. 云与地球辐射能量系统测量仪(Clouds and the Earth's Radiant Energy System, CERES)

CERES 由 NASA 下属兰利研究中心提供,TRW 公司制造。该系统是在卫星上首次安装的记录整个大气层辐射通量的探测系统,其主要监测辐射和云。它的传感器是两个宽带扫描辐射仪,扫描方式为 $\pm 78^\circ$ 垂直于飞行方向扫描和 360° 双轴水平扫描。星下点分辨率为 20 km。CERES 由三个光谱波段组成,即短波红外(0.3~5.0 μm)——用于测量太阳光的反射,长波红外(8~12 μm)——用于测量地球辐射的热红外,另一个波段为全波段(0.3~100 μm 以上)——用于测量总体辐射量。其主要技术指标见表 1.2。

表 1.2 云与地球辐射能量系统测量仪(CERES)的主要技术指标表

项目	指标
传感器	2 个
体积	60 cm×60 cm×70 cm
质量	45 kg
电力	45 W

表 1.2(续)

项目	指标
数据传输率	10 kb/s
短波红外	0.3 ~ 5.0 lm,测量太阳光的反射
长波红外	8 ~ 12 lm,测量地球辐射的热红外
全波段	0.3 ~ 100 lm 以上,测量总体辐射量
波段数量	3 + 3(2 个传感器,每个有 3 个波段)
扫描宽度	地球边际到边际
采样方式	2 个传感器,其中一个横向扫描,另一个 360°旋转扫描
空间分辨率	20 km
研制单位	TRW 公司空间与电子部
组织责任单位	美国国家航空航天局 Langley 研究中心

预报全球温度的变化需充分了解辐射强度和热能及阳光进入与离开地球大气层的形式。目前研究人员所能计算的进入大气层的太阳辐射不足 8%,而卫星却不能跟踪探测大气层底层的能量通量。为了研究云层在地球能量系统中所起的作用,CERES(利用 MODIS 的输入)测定辐射通量,不论是在大气层顶还是地面精度均提升 1 倍。

2. 中分辨率成像光谱仪(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)

MODIS 是 TERRA 和 AQUA 卫星上同时载有的重要传感器,属于 EOS 计划中用来观测全球生物和物理过程的仪器,能够在 1 ~ 2 天内对整个地球进行观测。其主要测定污染、气温、云、火灾、陆温、土地利用、自然灾害、海洋生产力、海温、辐射、海冰、积雪、植被和水汽这类重要信号。MODIS 仪器内设有多种定标硬件,包括太阳漫射器、太阳漫射稳定度监视仪、分光辐射度定标组件、板状黑体和天空视窗。仪器操作时定期使用太阳漫射器、黑体和分光辐射度仪等三个定标装置进行定标。这些探测器对于可见光到近短波、中波和红外谱热部分的辐射是敏感的,其星下点分辨率有 250 m,500 m,1 000 km 三种。

MODIS 可帮助人们探测地球表面的变化状况。该传感器可提供冬季降雪、积冰和冻结温度的变化图,以及春季和夏季的陆地植被变化情况,还能监测灾害的发生与进展情况,如火山喷发、洪水灾害、火灾、干旱灾害等。MODIS 的谱带对火灾极为敏感,能识别慢燃造成的火情,并对其向大气中排放的气溶胶和各种痕量气体进行更好的估算。

TERRA - MODIS 传感器的技术指标见表 1.3(来自网址:<http://modis.gsfc.nasa.gov>)。

表 1.3 TERRA - MODIS 传感器的技术指标表

项目	指标
轨道	705 km,降轨上午 10:30 过境,升轨下午 1:30 过境,太阳同步,近极地园轨道
扫描频率	20.3 r/min,与轨道垂直

表 1.3 (续)

项目	指标
测绘带宽	2 330 km × 10 km
望远镜	直径 17.78 cm
体积	1.0 m × 1.6 m × 1.0 m
质量	250 kg
功耗	225 W
数据率	11 Mb/s
量化	12 b
空间分辨率	250 m, 500 m, 1 000 m
设计寿命	5 年

3. 多角度成像光谱仪(Multiangle Imaging Spectro Radiometer, MISR)

MISR 传感器是 9 个带电耦合装置(CCD)摄像机,其分辨率为 275 ~ 1 100 m。MISR 主要测定甲烷和二氧化碳两种痕量气体在全球的分布和在大气层底层的分布。甲烷这种温室气体的热俘获能力大约为二氧化碳的 30 倍,甲烷以 1% 的速率在大气层底层集结。工厂、汽车和森林大火排放的二氧化碳减弱大气化解其他有害化学物质的能力。在卫星上使用气体分光镜,MOPIIT 可以从其他气体中将这两种痕量气体区分开来,例如二氧化碳和水汽。当排放的热能或反射光进入该传感器时,便产生一种这些气体在大气中存在的信号。还从来没有像 MISR 这类的仪器用于空间探测,这种辐射仪从空间以 9 个宽角度观察日光下的地球,它用 4 种颜色(蓝、绿、红和近红外)收集由日光反射的全球云图。从一个反射视角向另一个视角的变化使得对不同云型中气溶胶和地面的区分成为可能。研究人员将 MISR 云图与设计三维模式的立体技术相结合,从而有助于对气溶胶、烟流及其发生源的跟踪。每隔 9 天 MISR 对全球赤道做一次观测,其多角度探测可使研究人员更好地解释云和气溶胶在全球能量平衡中所起的作用。

MISR 主要探测气溶胶、云、土地利用、自然灾害、辐射和植被等信号,其主要技术指标见表 1.4(来自:<http://www-misr.jpl.nasa.gov>)。

表 1.4 TERRA - MISR 技术指标表

项目	指标
覆盖全球时间	9 天,不同纬度 2 ~ 9 天
视角	0°, 26.1°, 45.6°, 60.0°, 70.5°
测绘带宽	360 km
光谱波段	4 个(蓝、绿、红和近红外)
探测仪	CCDs
辐射精度	3%

表 1.4(续)

项目	指标
功耗	最大 117 W、平均 75 W
数据率	平均 3.3 Mb/s,最大 9 Mb/s
探测仪温度	-5 ℃ ±0.1 ℃
主要仪器温度	5 ℃
设计寿命	6 年

4. 先进星载热辐射与反射测量仪(Advanced Spaceborn Thermal Emission and reflection Radiometer, ASTER)

该测量仪可探测云、冰川、陆地温度、土地利用状况、自然灾害、海冰、积雪和植被等重要的地球信号,且具有极高的分辨率,可直接对准需要探测的目标,其中包括 3 个 15 m 分辨率的可见光和近红外波段、6 个 30 m 分辨率的短波红外波段以及 5 个 90 m 分辨率的热红外波段。它的传感器有 3 个独特的望远镜子系统,可以监测谱带中可见光和近红外、短波红外和热红外部分的波长。

应该指出的是 ASTER 以极高的分辨率探测地表所发出的能量和温度,这些重要的信号是估算地球辐射收支的关键信息,而且对于识别岩石、土壤和植被极为有用。农民可利用这种高分辨率多谐谱图像确定地表温度、地面坡度和土壤类型对作物生长的影响。ASTER 还可以监测其他地表特征的连续性变化,例如,冰川和冰源的缩小、沙漠边界的扩展、森林的砍伐、洪水和野火,从而帮助研究人员将自然变化与人类活动所导致的人为变化区分开来。

ASTER 的望远镜可观测喷发的火山及其他目标,并生成详细的立体图像,这类图像可极大地提高地球表面数字地形图的精度,进一步补充和扩大 1972 年以来卫星陆地资料。TERRA - ASTER 的相关技术指标见表 1.5(来自 <http://asterweb.jpl.nasa.gov>)。

表 1.5 TERRA - ASTER 技术指标表

项目	指标
光谱范围	VNIR(0.52 ~0.86 μm),SWIR(1.6 ~2.43 μm),TIR(8.125 ~11.65 μm)
测绘带宽	60 km,60 km,60 km
探测仪类型	Si,PtSi - Si,HgCdTe
数据率	62 Mb/s,23 Mb/s,4.2 Mb/s
量化	8 b,8 b,12 b

5. 对流层污染测量仪(Measurements Of Pollution In The Troposphere,MOPITT)

该测量仪是首次安装在卫星上对污染物和污染源进行跟踪探测的仪器,其传感器为一种辐射仪,它使用气体相关分光镜,空间分辨率为 22 km。可提供全球三个高度层的一氧化碳分布图和空间分辨率为 22 km 的全球甲烷分布图。

MOPITT 测量仪采用最低视点,对垂直于卫星轨迹方向的地面进行横向扫描,测量 3 个波长的光谱,分别是来自太阳和地表的 $4.7\ \mu\text{m}$ 的太阳辐射和地面热辐射测量通道,用来探测一氧化碳在对流层中的垂直分布情况;其他两个是短波太阳辐射通道 $2.3\ \mu\text{m}$ 和 $2.2\ \mu\text{m}$,用来探测对流层中总柱一氧化碳和甲烷的含量。测量要求一氧化碳含量垂直剖面 and 总柱一氧化碳含量精度达到 10%,总柱甲烷精度达到 1%。

1.2 AQUA 卫星介绍

1.2.1 AQUA 卫星概况

AQUA 卫星于 2002 年 5 月 4 日,在加州范登堡空间基地发射成功,是 NASA 发射的第二颗“地球观测系统”系列卫星。这颗卫星的名字 AQUA 取自拉丁文,意思是“水”。AQUA 卫星保留了 TERRA 卫星上已经有的 CERES 和 MODIS 传感器,并在数据采集时间上与 TERRA 形成补充。它也是太阳同步极轨卫星,每日地方时下午 1:30 过境,因此称作地球观测第一颗下午星(EOS-PM1)。这颗卫星的主要使命是研究地球水循环,它的观测结果有望增进科学家对全球气候变化的了解,并可用来进行更准确的天气预报。按计划,卫星上的 6 个科学仪器将对地球海洋、大气层、陆地、冰雪覆盖区域以及植被等展开综合观测,搜集全球降雨、水蒸发、云层形成、洋流等水循环活动数据。利用这些数据,科学家们可以更深入地研究地球水循环和生态系统的变化规律,从而加深对地球生态系统与环境变化之间相互作用关系的理解。该卫星还可以对地球大气层温度和湿度、海洋表面温度、土壤湿度等变化进行更精确的测量,有关测量结果在天气预报上认为有重要价值。AQUA 卫星图如图 1.2 所示(来自 <http://aura.gsfc.nasa.gov/>)。AQUA 卫星相关技术指标见表 1.6。

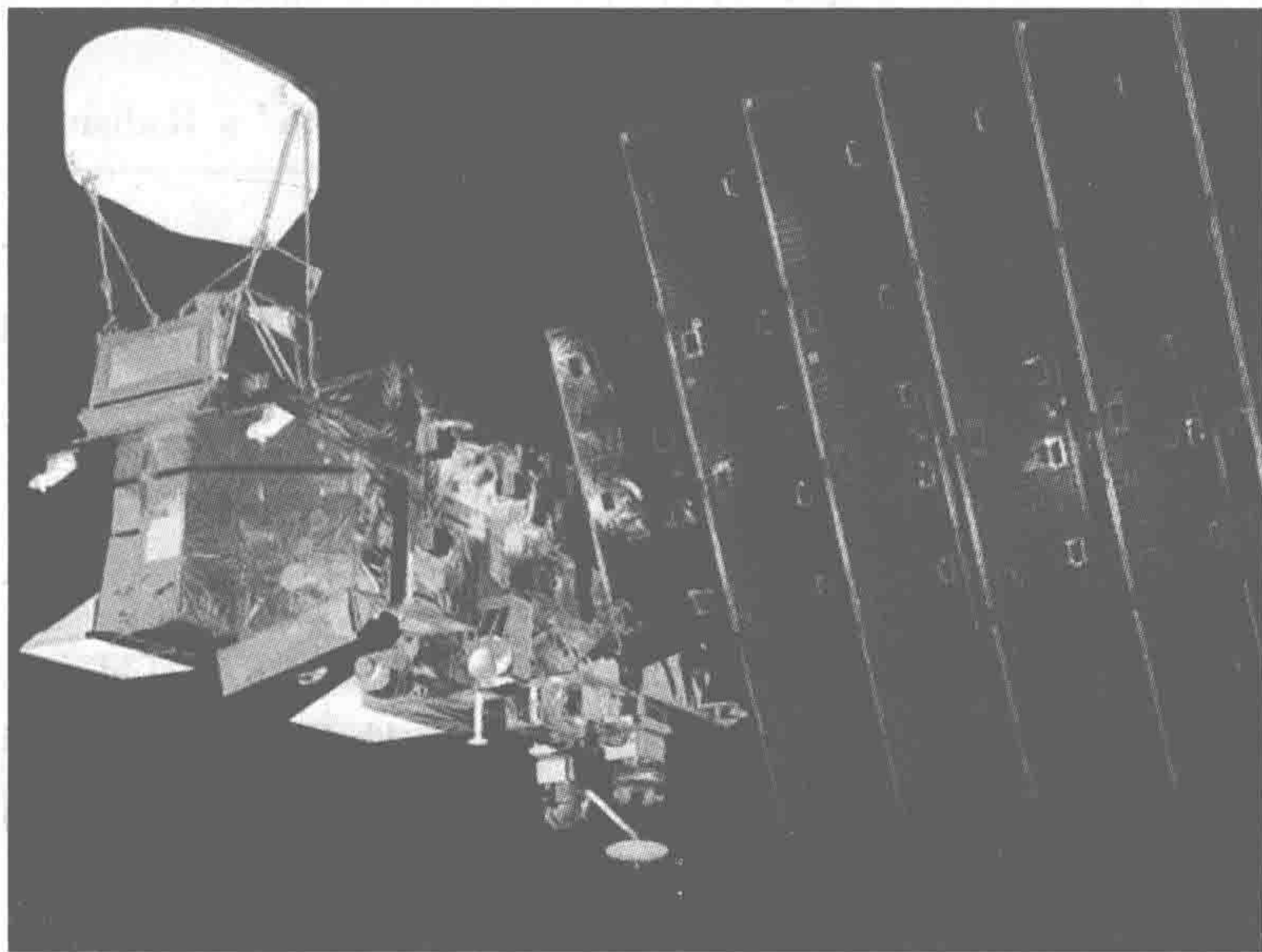


图 1.2 AQUA 卫星图(来自 NASA)

表 1.6 AQUA 卫星技术指标

AQUA	
发射时间	2002 年 5 月 4 日
运载火箭	DELTA CLASS
轨道高度	太阳同步,705 km
轨道周期	98.8 min
过境时间	下午 1:30
地面重复周期	16 天
质量	2 934 kg
展开前体积	2.68 m×2.49 m×6.49 m
星载传感器数据量	6 个
星载传感器名称	AIRS, AMSU – A, CERES, MODIS, HSB, AMSR – E
遥测	S 波段
数据下行	X 波段(8 160 MHz)
总供电功率	4 860 W
卫星设计寿命	6 年

1.2.2 AQUA 卫星传感器

AQUA 卫星由美国(国家航空航天局)、日本(宇宙开发事业集团)和巴西(政府)共同合作发射的卫星。卫星上共载有六个对地观测传感器,分别如下。

1. 云与地球辐射能量系统测量仪(Clouds and the Earth’ s Radiant Energy System, CERES)

云与地球辐射能量系统测量仪(CERES)获取数据的目的主要包括以下方面:

- (1)用于气候变化分析,提供大气层顶部连续的、包括辐射通量在内的地球辐射收支实验数据;
- (2)将大气层顶部和地球表层辐射通量的数据精度提高一倍;
- (3)首次提供大气圈内计算辐射通量的长期数据;
- (4)提供将大气顶层辐射通量考虑在内的关于云的严格计算数据。

云与地球辐射能量系统测量仪(CERES)也装载在 TERRA 卫星上,所不同的是, TERRA/CERES 不直接向全世界广播,仅在 NASA 安排的地面站接收;而 AQUA/CERES 直接向全世界广播。在 AQUA 卫星上装载有两个云与地球辐射能量系统测量仪。其主要技术指标见表 1.7(来自:<http://asd- www. larc. nasa. gov/ ceres/ ASDceres. html>)。

表 1.7 AQUA 卫星上载荷 CERES 的主要技术指标表

项目	指标
传感器	2 个
体积	60 cm × 60 cm × 70 cm
质量	45 kg
电力	45 W
数据传输率	10 kb/s
短波红外	0.3 ~ 5 μm, 测量太阳光的反射
长波红外	8 ~ 12 μm, 测量地球辐射的热红外
全波长	0.3 ~ 100 μm 以上, 测量总体辐射量
波段数量	3 + 3 (2 个传感器, 每个有 3 个波段)
扫描宽度	地球边际到边际
采样方式	2 个传感器, 其中一个横向扫描, 另一个 360° 旋转扫描
空间分辨率	20 km
研制单位	TRW 公司空间与电子部
组织责任单位	美国国家航空航天局 Langley 研究中心

2. 中分辨率成像光谱仪 (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)

AQUA 卫星上载荷的 MODIS 仪器的主要技术指标见表 1.8 (来自: <http://modis.gsfc.nasa.gov>)。

表 1.8 AQUA - MODIS 的主要技术指标表

项目	指标
扫描频率	20.3 r/min, 与轨道垂直
测绘带宽	2 330 km × 10 km
孔径	直径 17.78 cm
体积	1.0 m × 1.6 m × 1.0 m
质量	250 kg
功率	225 W
数据率	11 Mb/s
量化	12 b
空间分辨率	250 m (1 ~ 2 波段)、500 m (3 ~ 7 波段)、1 000 m (8 ~ 36 波段)

3. 大气红外探测器 (Atmospheric Infrared Sounder, AIRS)

大气红外探测器提供对陆地、海洋和大气的红外光谱数据, 主要应用于探测大气温湿

度,以推动全球气候研究和天气预报的进展。其拥有 2 378 个(3.7 ~ 15.4 μm)连续红外光谱通道,所提供的高光谱高精度大气温湿度资料及云、地表、臭氧等参数资料被美国各科研及业务机构、大学、公司广泛应用于全球气候研究和天气预报。它极大地提高了对流层温度廓线测量准确度及大气湿度测量准确度,使 1 000 m 对流层温度准确度达到 1 K,在晴空或部分云覆盖条件下大气湿度廓线准确度达到 10%,同时使地表温度反演的平均准确度达到 0.5 K。随 AQUA 卫星一日过境两次,AIRS 可提供地球上每一点白天/夜间的大气三维结构数据。该探测器的主要技术指标见表 1.9(来自:<http://www.airs.jpl.nasa.gov/>)。

表 1.9 大气红外探测器(AIRS)数据的主要技术指标表

传感器存储体积	116.5 cm × 80 cm × 95.3 cm	传感器展开后体积	116.5 cm × 158.7 cm × 95.3 cm
质量	177 kg	供电	220 W
数据传输率	1.27 Mb/s	孔径	10 cm
可见光/近红外波长	0.4 ~ 1.0 μm	可见光/近红外波段数	4
红外波长	3.74 ~ 15.4 μm	红外波段数	2 378
红外视场角	1.1°(星下点 13.5 km)	可见光/近红外视场角	0.2°(星下点 2.3 km)
垂直分辨率	1 km		
扫描采样	红外:90 × 1.1°	扫描宽度	99°(1 650 km)
热控	红外探测器:主动冷却器 60 K,被动辐射器 150 K,电子部件处于环境温度	指向精度	0.1°
开发单位	英国宇航系统公司	组织责任单位	美国喷气推动实验室

4. 先进微波探测器(Advanced Microwave Sounding Unit – A, AMSU – A)

先进微波探测器(AMSU)由 A1 和 A2 两个单元组成,共 15 个波段。它的主要作用是探测大气中有云和无云区域不同高度的温度和水分蒸发的状态,数据波长分布在 50 ~ 89 GHz。在 1998 年 5 月发射的 NOAA – 15 卫星上也装载了先进微波探测器。该探测器的主要技术指标见表 1.10(来自:http://www.aerobet.com/Weapon_Systems/Earth_Sensing/AMSU)。

表 1.10 先进微波探测器(AMSU)数据的主要技术指标表

传感器	AMSU – A1	AMSU – A2
体积	72 cm × 34 cm × 59 cm	73 cm × 1 cm × 86 cm
质量	49 kg	42 kg
电力	77 W	24 W
数据传输率	1.5 kb/s	0.5 kb/s
波长分布	50 ~ 90 GHz	23 ~ 32 GHz

表 1.10(续)

传感器	AMSU – A1	AMSU – A2
波段数量	13	2
孔径	15 cm(2)	30 cm(1)
传感器视场角	3.3°(星下点 40.5 km)	3.3°(星下点 40.5 km)
扫描宽度	100°(1 690 km)	100°(1 690 km)
扫描采样	30 × 3.33°	30 × 3.33°
指向精度	0.2°	0.2°
热控	无(环境温度)	无(环境温度)
研制单位	Aerojet 公司	Aerojet 公司
组织责任单位	美国航空航天局哥达飞行中心	美国航空航天局哥达飞行中心

5. 巴西湿度探测器(Humidity Sounder for Brazil, HSB)

巴西湿度探测器(HSB)主要目的是获取探测云和大气湿度的数据。在 150 ~ 183 GHz 分布区内设计了五个波段。其主要技术指标见表 1.11(来自:<http://www.dss.inpe.br/programas/hsb/ingl/index.html>)。

表 1.11 巴西湿度探测器(HSB)数据的主要技术指标表

传感器体积	70 cm × 65 cm × 46 cm	功率	56 W
质量	51 kg	光谱分布	150 ~ 183 GHz
波段数	5	开发单位	Matra Marconi 空间公司
组织责任单位	INPE(巴西)		

AQUA 卫星中 AIRS/AMSU/HSB 三种数据与以往数据不同的是这套数据可以揭示大气中天气系统的垂直结构问题。

6. 地球观测系统先进微波扫描辐射计(Advanced Microwave Scanning Radiometer – EOS, AMSR – E)

地球观测系统先进微波扫描辐射计(AMSR – E)是日本宇宙开发事业团(NASDA)提供的传感器。在微波 6.9 ~ 89 GHz 范围内共有六个波段。其数据主要包括降水率、水蒸发量、陆地表层水汽含量等方面信息。其主要技术指标见表 1.12。

表 1.12 地球观测系统先进微波扫描辐射计(AMSR – E)的主要技术指标表

中心频率/GHz	6.925	10.65	18.7	23.8	36.5	89.0
带宽/MHz	350	100	200	400	1 000	3 000
灵敏度/K	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	1.1
瞬时视场角	74 km × 43 km	51 km × 30 km	27 km × 16 km	31 km × 18 km	14 km × 8 km	6 km × 4 km

表 1.12(续)

积分时间/ms	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	1.3
扫描间距	10 km × 10 km	10 km × 10 km	10 km × 10 km	10 km × 10 km	10 km × 10 km	5 km × 5 km
主波束效率	95.3%	95.0%	96.3%	96.4%	95.3%	96.0%
波束宽度 (半功率点) /(°)	2.2	1.4	0.8	0.9	0.4	0.18
开发单位	日本三菱电气公司					
组织责任单位	日本宇宙开发事业团(NASDA)					

(详见网址:www.ghcc.msfc.nasa.gov/AMSR)。

其中,先进微波扫描辐射计是日本宇宙开发事业团(NASDA)投资设计的设备,巴西湿度探测器是巴西政府投资设计的设备,其余四个传感器是美国独自投资的产品。

1.3 MODIS 数据的特点

MODIS 数据除保留了 NOAA – AVHRR 数据的功能外,在数据波段数量、数据应用范围、数据分辨率等方面都进行了相应的改进,总体来看,MODIS 数据主要有如下技术特点。

1.3.1 多通道同时观测

MODIS 数据波段范围广,包括了 36 个波段(0.4 ~ 14.3 μm),其中 20 个可见光——近红外波段,16 个热红外波段(表 1.13)。有许多大气校正的特征波段,便于大气参数的反演。MODIS 数据大大增加了地球环境的观测力和识别力。MODIS 数据波段多、光谱范围宽、采集的数据应用较广泛,其产品数据已有 L0,L1,L2,L3,L4 5 个级别的 44 个产品。可以用以全球变化的研究。MOD01 ~ MOD44 分别为辐射率和定位产品、大气产品、海洋产品以及陆地产品(MODIS 数据产品详见第 3 章)。

表 1.13 MODIS 波段分布和主要应用

波段号	主要应用领域	分辨率 /m	波段宽/μm	波谱灵敏度 /(W · m ⁻² · μm ⁻¹ · sr ⁻¹)	要求的信噪比 /dB
1	植被叶绿素吸收	250	0.620 ~ 0.670	21.8	128
2	云和植被覆盖变换	250	0.841 ~ 0.876	24.7	201
3	土地植被差异	500	0.459 ~ 0.479	35.3	243
4	绿色植被	500	0.545 ~ 0.565	29.0	228
5	叶面/树冠差异	500	1.230 ~ 1.250	5.4	74
6	雪/云差异	500	1.628 ~ 1.652	7.3	275
7	陆地和云的性质	500	2.105 ~ 2.155	1.0	110