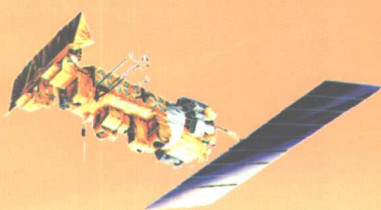


诺阿卫星探察 隐伏构造、地热及水分布

葛碧如 滕吉文 郑新江 陆文杰 著



气象出版社

诺阿卫星探测 隐伏构造、地热及水分布

2000 2001 2002 2003 年



国家科学技术学术著作出版基金资助出版

诺阿卫星探测隐伏构造、地热及水分布

葛碧如 滕吉文 郑新江 陆文杰 著

气象出版社

内 容 简 介

本书介绍了用 NOAA 气象卫星改进的甚高分辨率辐射扫描仪(AVHRR)红外通道遥感的地面温度信息,探索福建省东部中低温地热资源和云南省西部中高温地热资源;提出了不仅可以探索水热型,还可探索干热型地热资源的方法。在分析地面温度与地质构造层温度相关的基础上,探索新疆塔里木盆地及内蒙古与陕北的鄂尔多斯高原沙漠掩盖下的地质构造带与断裂带的平面展布,并与地球物理深部探测结果进行比较;还探索了内蒙古巴丹吉林沙漠下的隐伏大断裂。根据水体热容量大的特点,对照日夜地面温度图后,指出了鄂尔多斯高原及周边盆地内和巴丹吉林沙漠区地表水及浅层地下水的分布。

本书是中国科学院地球物理研究所遥感应用专题于我国“六五”、“七五”和“八五”计划期间进行的遥感应用与地质、地球物理相结合的研究成果,可供区域构造地质、地热地质、水文地质、遥感地质、地震地质、地球物理工作者和科研人员以及大专院校师生参考,也可供开发资源和能源的企业家及经营者规划决策时采用。

图书在版编目(CIP)数据

诺阿卫星探索隐伏构造、地热及水分布/葛碧如等著.
北京:气象出版社,1998.10
ISBN 7-5029-2512-0

I. 诺… II. 葛… III. 气象卫星-卫星观察-地表-气温
N. P414.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 30759 号

诺阿卫星探索隐伏构造、地热及水分布

葛碧如 滕吉文 郑新江 陆文杰 著

责任编辑:王桂梅 终审:纪乃晋

封面设计:林雨晨 责任技编:陈红 责任校对:王祥国

* * *

气象出版社 出版

(北京海淀区白石桥路 46 号 邮政编码:100081)

北京金瀑印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

* * *

开本:787×1092 1/16 印张:7.875 字数:201 千字

1998 年 10 月第一版 1998 年 10 月第一次印刷

印数:1—500 定价:15.80 元

ISBN 7-5029-2512-0/P·0897

序

本世纪 60 年代初美国发射第一颗 NOAA 气象卫星以来,卫星与星上的传感器不断更新换代,技术性能日趋完善,已经成为科学测报天气变化的重要手段及依据。与此同时,气象卫星遥感数据以其覆盖地域宽广,重访周期短,频度高,有红外谱段遥测温度等优势而引起一些非气象领域科技工作者的关注。

中国科学院地球物理研究所适应本学科的需要,首先应用气象卫星热红外遥感数据研究地壳构造,探索地热和水资源,将遥感新技术与地质和地球物理相结合,先后在云南省西部、福建省东部、塔里木盆地、鄂尔多斯高原、安徽省中部和四川省攀西等地区进行了实践。以大地热流、岩石生热率与地质构造特点有关等地学规律为理论依据,对气象卫星热红外图像进行处理分析,为探知地下信息提供了实例,是遥感应用向地下深入的创新性探索。

人类正在迈进信息时代。作为能够同步、快速获取大范围资源与环境信息的卫星遥感技术正在全球蓬勃发展,包括我国在内的许多国家都在实施增强对地观测能力的发展计划,更多的遥感卫星和遥感器将陆续升空,作为当代高科技一个分支的卫星遥感技术要体现“第一生产力”的内涵与作用,必须具有不同专业背景的科技人员在深入掌握遥感成像机理的基础上,相互结合、渗透,共同努力来发展、提高遥感图像应用处理与分析的理论和方法。本书作者采用“分裂窗”方法,提高气象卫星热红外数据反演地表温度的精度,从而得到较准确可信的地面热场分布与昼夜温差变化的信息,进而分析、判断地下隐伏构造及水、热等地下资源分布状况,很具开拓性,将带来明显的经济效益和社会效益。

积极应用高新技术,发展知识经济,振兴中华,任重道远。希望这本专著的问世能促进遥感图像应用处理与分析技术的进一步发展及提高,能推动卫星遥感在地质与地球物理及其它专业领域大规模实用化与产业化的进程。

戴昌达

1998 年 9 月

前言

遥感技术所取得的信息已广泛应用于军事、气象、海洋、林业、农业、牧业、渔业、地质、水利、铁路建设、灾害预报及环境监测等许多方面,所涉及的绝大部分是地表状态的遥感应用。遥感信息能否反映地表下的隐伏地质构造、地热及水资源呢?这是地球物理专业遥感应用需要回答的问题。为此,于“六五”、“七五”和“八五”期间开展了遥感应用与地质、地球物理相结合的研究,侧重探索遥感能否探知地下有用的信息。我们先后在云南省西部、福建省东部、新疆塔里木盆地、内蒙古与陕西省交界的鄂尔多斯高原、安徽省中部、四川省攀西地区进行了地壳构造运动、区域隐伏构造、地热资源及水资源等项研究。

每项研究的范围都很大,从几万平方公里到几十万平方公里,在研究经费很少的情况下,选择用 NOAA 气象卫星数据开展工作,它比 TM 遥感的视域宽广,耗资低廉,获取资料快捷,更因为每天有两颗 NOAA 卫星在轨运行,重复过境率高,可日夜至少两次收到它发回的信息。NOAA 气象卫星上载有改进的甚高分辨率辐射扫描仪(AVHRR),它分 5 个通道接收地面的电磁波辐射能,其中第 4 和第 5 通道是热红外波段通道,热红外波段辐射能的强弱与地面辐射物温度的 4 次方(T^4)成正比,卫星上的温度定标装置可向地面站快捷传送地面温度信息,卫星上的热红外波段辐射记录实际上是地面热状态的记录。

地球是一个热的球体,由地表向深处逐渐增温,据地热学家推算,地表下 400km 深处的温度可达 1 900℃,地心的温度高达 4 500℃,高温地热能由地下向地表传导,是地表温度来源之一;地球表面的热还来源于岩石内所含放射性元素(Th,U,K)产生的热。地球表面平均温度约 300K,它发射辐射的峰值波长在电磁波谱中为 8~14μm 波段,其中部分能透过大气窗口到达 AVHRR 的 4,5 通道。地面温度值与传导地热能的岩石介质和产生放射性热能的岩石介质有关。地热学家认为,大地热流值和岩石的生热率与地质构造特点相关,奠定了据地面温度判释地下构造的基础。

地热能由地下向地表传导,引起地表热异常,形成地热资源,在日夜遥感温度图像上均显示升高的温度异常,可直接判释。若白天遥感温度图像上的低温异常区,在夜间的温度图像上反而成为高温异常区,这是水体所引起的,据此可识别水资源分布。对于第四系掩盖下隐伏构造的判释,是在对区域构造层的热状态分析基础上进行的。在新构造运动期间上升运动强烈的地区,地质年代老的构造层温度较高,年轻的构造层温度较低;张开的深大断裂带沿线多具有升高的温度异常。于是发现了以温度这一物理量来探察地下地质情况的遥感新技术应用领域。

本书共分十章,第一章首先介绍了 NOAA 卫星上 AVHRR 传感器获取地面热红外波段辐射量的基本原理,热红外波段辐射量与地物温度的物理联系,地面站接收到 AVHRR 信息后的必要处理。第二章以分裂窗方法据 NOAA 卫星热红外波段数据反演计算地面温度场,并用气象站实测地面数据检验。第三章介绍了地球的热特性,地热的传导,岩石的放射性生热率与热导率,地表热流值和地温场与地质构造的关系。第四和第五章根据 NOAA 卫星热红外波段数据探察福建省东部中低温地热资源及云南省西部中高温地热资源的分布,地热与地质构造的关系。第六和第七章根据 NOAA 卫星热红外波段数据探察新疆塔里木盆地及鄂尔多斯高原隐伏构造带与断裂带的平面展布,并与地球物理探测结果相比较。第八章据 NOAA-

AVHRR CH4数据对内蒙古巴丹吉林沙漠下隐伏大断裂进行判释。在第七和第八章中,用NOAA-AVHRR CH4数据探索了水资源的分布。第九章讨论内蒙古高原及周边地带地壳与上地幔剪切波三维速度结构和构造特征。第十章讨论热红外与微波波段遥感应用前景,指出热红外遥感信息还可作为预报强震的前兆来开发应用。

本书通过气象卫星的非气象应用,展示了当遥感技术与地质、地球物理相结合后,使气象卫星既能看天,又能看地,提高了气象卫星应用的价值;开发了热红外遥感的应用领域,使以可见光波段研究地面景观的遥感应用向地下深入,发展到能遥感隐伏地质构造、地热及浅层地下水;开发了用温度这一物理量来探索地下地质构造、地热及浅层地下水的地球物理新兵种(传统地球物理学是以岩层的磁性、密度和地震波传播速度为基础的);还开发了可探索水热型和干热型地热的热红外遥感方法。这些研究虽经论证,仍带有新生事物的不成熟之处,愿以此书与国内外同行进行交流切磋。

各章的撰写人分别为前言:葛碧如;第一章:郑新江、陆文杰;第二章:郑新江、陆文杰;第三章:滕吉文;第四、第五、第六、第七和第八章:葛碧如(郑新江和陆文杰对第七章的遥感图像进行处理);第九章:滕吉文;第十章:郑新江、葛碧如;结语:葛碧如。

本书的项目来源于中国科学院和国家在“六五”、“七五”及“八五”期间的重点课题,得到各级领导的支持和本书作者的大力协同,特别致谢张绮娟女士和戴昌达先生的关心。

1998年5月

目 录

序

前言

第一章 诺阿(NOAA)气象卫星遥感特点	(1)
第一节 诺阿卫星的结构与主要传感器	(1)
第二节 遥感目标物的电磁辐射	(3)
第三节 地面站数据接收	(5)
第四节 卫星数据预处理	(6)
第二章 用诺阿卫星数据计算地面温度场	(8)
第一节 反演方法类型	(8)
第二节 由 AVHRR 数据求算地面温度场的方法	(9)
第三节 计算鄂尔多斯高原地面温度场	(17)
第三章 地球内部的热与地热场特征	(24)
第一节 地热学的主要物理量和物理参数	(24)
第二节 地球的热源	(30)
第三节 地热的传递	(33)
第四节 地热场的基本特点	(34)
第五节 地热能源的综合利用	(42)
第四章 遥感福建省东南部地热	(45)
第一节 地质概况	(45)
第二节 热红外遥感	(49)
第三节 遥感地热	(53)
第四节 地热地质条件	(57)
第五章 遥感滇西中高温地热	(62)
第一节 地质概况	(62)
第二节 遥感中高温地热	(66)
第三节 遥感地热结果与水热考察结果的比较	(69)
第四节 地热地质条件	(72)
第六章 遥感塔里木隐伏构造	(76)
第一节 地质概况	(76)
第二节 遥感塔里木隐伏构造	(79)
第三节 地球物理探测塔里木隐伏构造	(83)
第四节 遥感探索塔里木隐伏构造结果与地球物理探测结果的比较	(84)
第七章 遥感鄂尔多斯高原隐伏构造及水分布	(87)
第一节 地质概况	(87)
第二节 遥感鄂尔多斯高原隐伏构造	(89)

第三节	热红外遥感探察鄂尔多斯隐伏构造结果与地球物理探测结果的比较	(92)
第四节	遥感鄂尔多斯的水分布	(92)
第八章	遥感巴丹吉林沙漠的隐伏大断裂和水分布	(97)
第一节	地质概况	(97)
第二节	遥感巴丹吉林隐伏大断裂	(97)
第三节	遥感巴丹吉林沙漠水的分布	(98)
第九章	内蒙古高原及周边地带地壳与上地幔剪切波三维速度结构和构造特征	(100)
第一节	使用的地震资料和深部结构的反演方法	(100)
第二节	瑞利波群速度频散与剪切波速度结构分析	(102)
第三节	各坳陷与隆起带地域的地壳与上地幔三维速度结构分析	(103)
第四节	地壳与地幔结构和构造及其深层过程	(106)
第五节	构造格局、深层过程与油气远景的基本认识	(110)
第十章	气象卫星遥感技术与地质及地球物理学相结合的应用前景	(112)
第一节	改进遥感技术	(112)
第二节	深化理论研究	(115)
第三节	开拓应用领域	(115)
结 语		(118)

第一章 诺阿(NOAA)气象卫星 遥感特点

1960年4月1日美国发射了第一颗气象卫星(TIROS-1)以来,已经历了三次更新换代,现在轨运行的 NOAA-12 和 NOAA-14 是第三代业务卫星泰诺斯-N/诺阿系列最新的两颗,星上用以接收地面电磁波辐射能的辐射扫描仪,以数字记录方式,通过无线电信道传输,把记录的资料发送到地面站,地面站用计算机处理成数字图像,存送用户使用。气象卫星所接收的资料主要用于天气分析及预报,后扩展到大气廓线、海洋遥感及环境资料的收集等方面,仍局限于对大气和地球表面的景观信息遥感。本书在遥感应用与地质、地球物理相结合的研究中,发现气象卫星 AVHRR 热红外通道所提供的地面温度信息,能揭示沙漠掩盖下的地质构造格局、地热分布和浅层地下水的分布,为气象卫星的非气象应用拓展了一个新领域,使遥感应用从以可见光波段探索地表景观,向地下深入到以热红外波段探索地表肉眼不可见,而以温度传递信息的地下地质构造层分布、地热及地下水分布。本章重点介绍获得地面温度信息的气象卫星遥感特点。

第一节 诺阿卫星的结构与主要传感器

美国国家海洋大气局(简称 NOAA)于 1966 年 2 月 3 日开始发射运行极轨业务环境卫星(POES)系统,POES 卫星发射入轨后命名为 NOAA-1,NOAA-2,NOAA-3,...,NOAA-15。

一、NOAA 卫星的标准结构

NOAA 卫星由传感器、扫描器、电源、记录及发送装置组成(图 1.1),星上主要的传感器有三个:①垂直探测器(TOVS),它由高分辨率红外辐射探测器(HIRS/2)、平流层探测器(SSU)

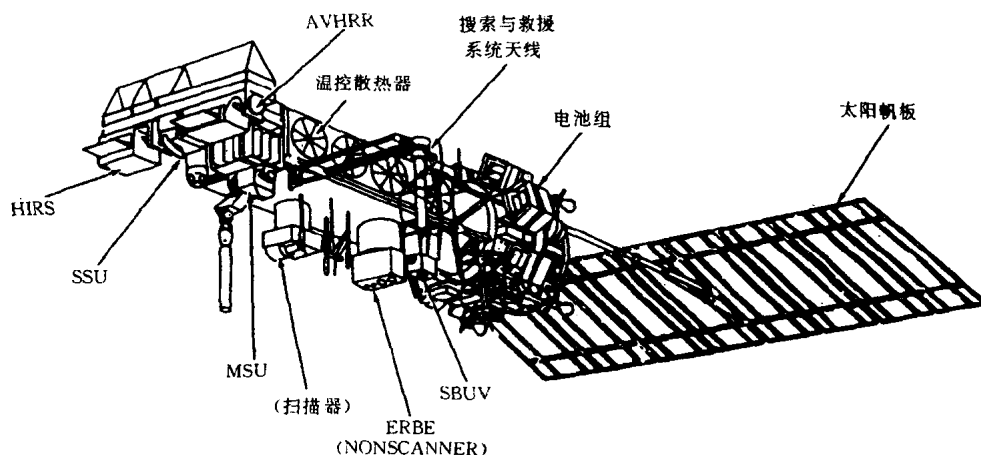


图 1.1 NOAA 卫星的标准结构图

和微波探测器(MSU)组成。②改进的甚高分辨率辐射仪(AVHRR)。③空间环境监测仪(SEM)。此外,卫星上的传感器还有太阳后向散射紫外线辐射仪(SBUV)、地球辐射收支试验

仪(ERBE)。卫星上有一个 $2.4\text{m} \times 4.9\text{m}$ 的太阳能帆板和电池组,保证卫星的能源消耗。机械扫描镜在卫星运行时旋转扫描,获取二维资料。卫星资料的记录是由资料采集和定位系统(Argos)完成的,并以无线电波向地面站进行高分辨率图像传输(HRPT),可向用户提供 AVHRR 5 个通道的数字资料作图像的定量应用。

二、NOAA 卫星上改进的甚高分辨率辐射扫描仪(AVHRR)结构

卫星上主要传感器之一的 AVHRR 是一个有 5 个通道,对可见光、近红外和热红外光谱波段敏感的扫描仪,所选择的通道原意是对气象、水文和海洋环境进行多光谱分析。本书用其中热红外通道资料探索地下地质特征。其通道和波长的划分见表 1.1。

表 1.1 AVHRR 通道与波长

通道	波长(μm)	主要用途
1	0.58~0.68	白天云/下垫面成像
2	0.725~1.10	地表水区分,冰和雪融化
3	3.55~3.93	海面温度,夜间云图和火灾监测
4	10.30~11.30	海面温度,日夜云图
5	11.50~12.50	海面温度,日夜云图

1. AVHRR 结构

AVHRR 由五部分组成:

(1)扫描器部件。它包括 80 级磁滞同步电机、电机舱和扫描镜。扫描马达以 $360\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率连续转动扫描镜,在轨道上产生跨轨扫描。扫描镜的大小足以充满直径为 20.32cm 的望远镜视场,所选择瞬时视场使得卫星沿轨道的运动能使相邻扫描线在星下点无间隙。

(2)电子部件。此部件固定到仪器的内侧板上,电子功能包括数据处理、温度控制、遥感信号的产生、扫描和电机逻辑电路都集中在这个部分。

(3)辐射制冷器。它是由冷室、一级辐射体、二级辐射体(接触块)和制冷器外壳组成。制冷器外壳屏蔽辐射体的大部分表面使得地球辐射不能进入。一级和二级辐射体可无阻拦地面向空间并辐射出足够的能量,使接触块达到预定的 105K 的工作温度。

(4)光学系统。本系统由望远镜(孔径为 20.32cm)和次级光学系统组成,将辐射能分为表 1.1 所示的 5 个独立光谱段。所有通道的瞬时视场设计为 $1.3 \pm 0.1 \text{ mrad}$,星下点分辨率为 1.1km 。

(5)底板。上述部件均固定其上。

2. AVHRR 工作特征

可见光和近红外通道采用正方形的硅探测器来测量入射辐射,分析表明,通过光阑的射线 99% 为探测器所接收,仪器满足了规定的 3 : 1 信噪比的要求(0.5% 反照率时)。红外通道采用制冷到 105K 的探测器,对 $3.8\mu\text{m}$ 通道为铟化铟(InSb),对 $11\mu\text{m}$ 通道为碲镉汞(HgCdTe),噪声等效温差都优于 0.12K (对 300K 的景物)。

在每次扫描观测空间起始,探测的能量零点都重新复位到预先设置的零电平,在扫描的其它时间辐射计的 outputs 为被探测的空间和辐射表面的能量之差。图 1.2 给出了从探测器到输出信号被受控信息速率处理器(MIRP)采样为止的电信号流程的简化框图。

3. AVHRR 扫描方向

AVHRR 从卫星面向空间的一方横跨地球朝太阳方向扫描。这种扫描方向能确保显示在一般传真机上的图像数据对于选定的轨道保持正确的地理指向,其几何关系也允许仪器在每次对观测空间开始扫描时恢复其零点。

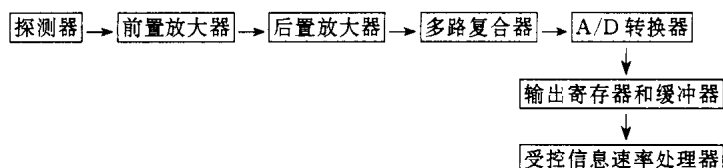


图 1.2 AVHRR 数据流程

与之相反, TOVS 仪器按相反的方向扫描, 即从太阳方向朝向空间方向扫描。这种扫描几何关系对于温度廓线辐射计是最佳的, 它的空间观测定标是在扫描线末端完成的。以卫星运动速度向量为准, AVHRR 自右向左扫描, 而 TOVS 仪器自左向右扫描。

第二节 遥感目标物的电磁辐射

一、NOAA 卫星运行轨道

气象卫星作为一个天体, 为了完成对地球大气系统的观测任务, 必须在一定的轨道上有规律的运行。NOAA 卫星沿近极地太阳同步轨道运行, 正常情况下, 由两颗 NOAA 卫星在圆形太阳同步轨道上组成一个系统。

其轨道高度为 833 和 870km, 两颗卫星轨道平面交角约 90° , 一颗卫星由北向南约在当地时间 7 时 30 分经过赤道, 另一颗由南向北约在当地时间 13 时 40 分经过赤道, 把卫星发射到倾角为 $98.7^\circ \sim 98.8^\circ$ 的轨道上, 使轨道平面像陀螺一样向东运动, 运动速率与地球绕太阳公转的速率相同 (即每天 0.986°), 即可形成与太阳同步, 太阳同步轨道可保证卫星总是在相同的当地时间经过赤道上空, 使卫星观测的地球景物有相同的照度 (图 1.3), 保证对地观测的均匀性。

卫星轨道周期大约为 101min, 由于两颗卫星都能扫描和观测到整个地球表面, 所以可以获得全球观测, 对我国来说, 可获得

白天和夜间卫星过境的资料, 有利于地热和水的判释。两颗卫星每天绕地球飞行 14.18 和 14.07 次, 使获取资料的几率较高, AVHRR 在运行中接收来自地球大气系统的电磁波辐射。

二、电磁辐射

遥感是一种远离目标, 通过非直接接触而判定、测量并分析目标性质的技术。任何物体当温度大于绝对零度时都会发射电磁波。采集、记录、分析这些电磁波, 从而达到识别远距离目标的目的。

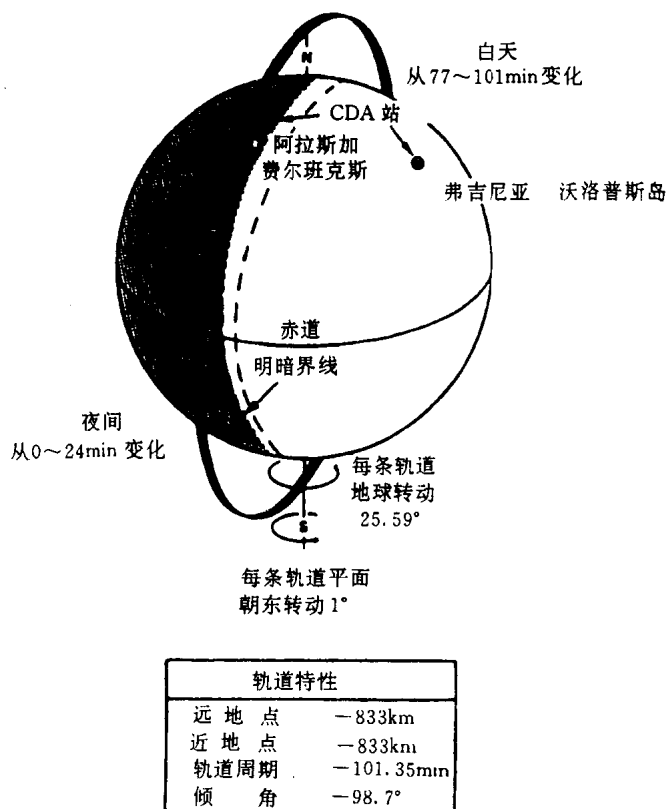


图 1.3 典型的 NOAA-G 卫星轨道示意图

1. 电磁波谱

电磁辐射具有波动性和粒子性两种性质,常用度量电磁辐射的物理量主要有波长(λ)、频率(γ)和强度(I)。在红外波段通常用它的强度(I)和波长(λ)来从数量上表示,而在微波波段则用它的强度和频率(γ)从数量上表示。波长的单位为 m 和 μm (10^{-6}m),频率的单位为 Hz。电磁辐射的波长范围很广,电磁波的波谱从波长短的一侧开始,依次叫做 γ 射线、 χ 射线、紫外线、可见光、红外线及无线电波。波长越短,电磁波的粒子性越强,且直线性和指向性也越强。遥感系统主要工作于可见光、红外和微波等不同的波谱段,各波段的划分如图 1.4 所示。不同谱段的电磁波辐射特性有很大的差异,从而也具有不同的使用目的,相应遥感用的探测仪器也不一样。有多种因素影响到达传感器的辐射量的变化,主要有发射体的性质、电磁波的波长、传播路径上的散射、吸收、反射及极化等,正是这些性质与辐射量变化的关系使得卫星遥感成为可能。

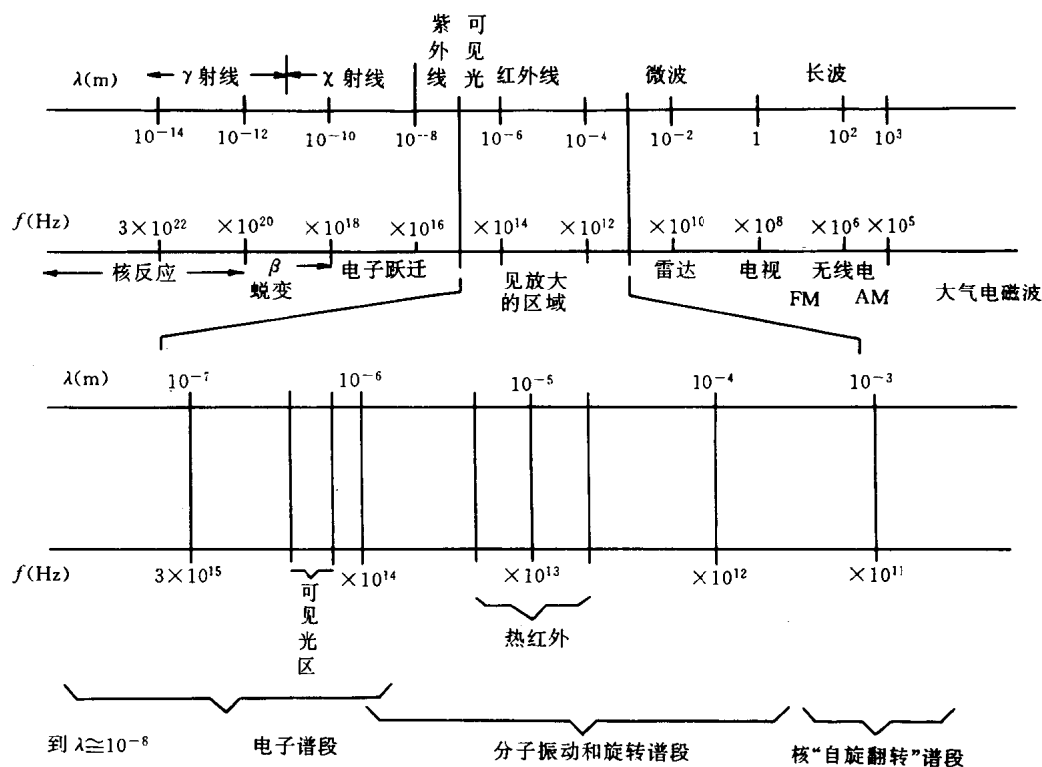


图 1.4 电磁波谱的一部分

2. 基本辐射定律

电磁辐射的能量、波长及强度都与辐射体的温度有关。基本辐射定律如下:

(1) 普朗克辐射定律。在单位时间、单位立体角内,从黑体的单位表面辐射的单位波长宽度的能量(光谱辐射亮度) B_λ 为温度与波长的函数,表示为下式:

$$B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \cdot [\exp(hc/k\lambda T) - 1]}$$

式中 B_λ : 黑体的光谱辐射亮度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$); T : 黑体的绝对温度; λ : 波长 (μm); c : 光速 $2.998 \times 10^8 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$; h : 普朗克常数 $6.626 \times 10^{-34} (\text{J} \cdot \text{s})$; k : 波尔兹曼常数 $1.380 \times 10^{-23} (\text{J} \cdot \text{K}^{-1})$ 。

(2) 斯蒂芬-玻尔兹曼定律。单位面积黑体发射全波长能量 E 由以下方程给出:

$$E = \sigma T^4 (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$$

式中 σ 为斯蒂芬-玻尔兹曼常数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$); T 是辐射体的绝对温度(K)。

(3)维恩位移定律。黑体辐射的谱分布由其绝对温度决定,辐射值最大的波长($\lambda_{\max}$)由以下公式给出:

$$\lambda_{\max} \cdot T = C$$

式中 C 为常数, $C = 2.898 \times 10^{-3} (\mu\text{mK})$; T 是辐射体的绝对温度(K)。

3. 太阳、地球-大气系统辐射光谱

辐射温度大约是 6 000K 的太阳辐射能主要集中于 0.3~3.0 μm 的范围内,峰值位于 0.47 μm 波长处,是可见光波谱的中心,它与地球的波谱分布不同。

太阳辐射进入大气层后,由于大气的吸收和散射作用,辐射光谱出现了许多吸收暗线和带,这些吸收线和带主要是由于大气中臭氧、氧、水汽、二氧化碳及大气中的尘埃等物质的选择性吸收作用的结果。太阳光通过大气时,部分被吸收和散射,余下的部分到达地面,一部分被地面所吸收,另一部分被反射回空间。卫星所测量的可见光辐射主要是这部分反射的能量。

地球的辐射温度大约是 300K,地球大气系统发出的辐射主要是红外辐射,也称为热辐射或长波辐射,被 AVHRR 的 CH4 和 CH5 接收。在波长(λ)为 8~14 μm 的红外波段,物体的发射率近似为常数。因此,可以把地球大气系统辐射近似地看作灰体辐射,卫星热红外波段遥感的主要是这部分辐射。

地球辐射在到达探测仪器前经过了大气中水汽、二氧化碳及臭氧等气体的吸收,所以为了精确地探测地表特征需要选择合适的探测波段,使得探测波区位于大气窗区。所谓大气窗区就是大气中气体对太阳辐射和地球大气辐射吸收最弱的波段,使得辐射可以像光通过窗户那样透过大气层,AVHRR 上设置的 5 个通道的波段都选在大气窗区。

第三节 地面站数据接收

卫星传感器测得的是观测目标的辐射值,经探测器信号处理系统处理后,探测器输出的是直流脉动图像信号,为了将该信号实时发给地面,需将其进行二次调制变换成超高频信号,然后发送给地面。

卫星取得资料后,以两种方式向地面发送:一种是卫星将获得的资料直接向地面发送;另一种是卫星将观测的资料暂储存于卫星内部的磁带上,当卫星经过地面指令站时,卫星根据指令将储存的资料回放给指令站。对应两种发送方式,也有两种类型的地面接收站:自动图片接收站具有接收卫星实时发送资料的功能,指令资料接收站既能接收和处理卫星资料,又能向卫星发指令,控制卫星工作状态和向地面发送储存的资料。

一、NOAA 卫星指令、控制和数据接收

美国的极轨业务环境卫星(POES)和地球静止卫星(GOES)系统都归属商业部的 NOAA/NESDIS 管理运行。NESDIS 的运行控制中心(SOCC)负责对卫星进行运行控制。SOCC 是卫星系统运行的大脑,负责每天 24h 的卫星及 NESDIS 指令和数据接收(CDA)站的运行和监测。根据用户对数据的要求,SOCC 也对卫星的观测进行调度。SOCC 发出的决定和命令通过 CDA 站(分别位于阿拉斯加的费尔班克斯和维吉尼亚州的沃洛普斯)传送给卫星。两个 CDA 站是实时连续运行系统,它们的主要作用是编制和发射卫星命令,接收、解调和传输或处理有效载荷数据。地面的指令和卫星发回的数据是通过这两个地面站和卫星之间建立的无线电信

道进行的。

POES 的 AVHRR 生成两种方式的图像,一种是分辨率为 4km 的可见光和红外图像,另一种图像分辨率为 1.1km。因此数据量是相当大的,为了满足用户对数据的要求,SOCC 还需对全球和高分辨率数据提前作出长期的调度计划。

二、卫星数据直接广播

目前世界上 90%的用户是通过直接数据传输获得卫星观测结果的,直接数据传输就是实时或近实时地把原始或稍加处理的卫星数据分发给世界各地用户,目前这一业务主要包括自动图像传输(APT)、高分辨率图像传输(HRPT)和直接探测器广播(DSB)。

1. 自动图像传输(APT)

APT 是低分辨率模拟信号(分辨率为 4km 的可见光和红外图像),用 VHF 频率(137.50MHz 或 137.62MHz)广播,只需要简单廉价的地面设备。APT 的基本接收设备是由螺旋天线或全向性天线、VHF 接收机和显示器、一个传真接收机、一个图片设备或一个 CRT 组成。在地面站的作用距离之内,只要卫星过境就可以接收到 APT 数据,在 24h 内一般可以接收 4 次,每次大约 15min 的卫星资料。APT 的用户主要是气象学和海洋学的实时业务和实验活动。

2. 高分辨率图像传输(HRPT)

与 APT 一样,HRPT 也是从 AVHRR 仪器中得来的。HRPT 图像的星下点分辨率为 1.1km,HRPT 用 S 波段向用户传送 5 个通道的信息。HRPT 是数字形式的产品,通常为图像产品,接收和处理 HRPT 数据的地面设备造价较高。其主要用户是政府的气象和土地利用部门。中国气象局卫星气象中心可接收和处理 HRPT 数据,是本文所采用资料的来源。

3. 直接探测广播(DSB)

DSB 直接传送的是原始 TOVS 数据,TOVS 资料同时也记录在卫星上。DSB 用 S 波段和 VHF 频率广播,接受 DSB 的设备要有强的数学处理能力,将接收数据处理成温度和湿度资料,所以只有少量的政府气象部门利用 DSB 资料。

第四节 卫星数据预处理

卫星上来自不同观测仪器的数据有不同的采样速率,复合成比特流数据传送到地面站或记录在卫星上。这种“原始”数据必须经专门的加工处理转换成更易处理和使用的格式,转换过程中还需要一些重要的辅助数据,如定标和地球定位参数等。这种转换过程就是卫星资料预处理,预处理后的结果称为预处理后的数据。预处理后的数据经进一步的处理就可以生成图像或数字产品,供气象学家或其他科学家利用。预处理的步骤如下:

- ① 卫星发送的数据被“摄入”或接受送入预处理计算机。
- ② 根据卫星和仪器的观测方式将不同类型的数据分离成单独的数据集。
- ③ 仪器数据的“标定”或以相应物理量表示。
- ④ 附加“地球定位”信息,使每一测量值直接对应于某一地理位置。
- ⑤ 仪器性能和数据转换的定期监测。
- ⑥ 将最终的预处理后的数据存储于可供产品处理程序直接存取使用的数据库中,其格式和存档兼容。

预处理过程需要处理数据量庞大的资料。例如:NOAA 卫星的 AVHRR 仪器用 5 个波段

(两个可见光波段和三个红外波段)对地球辐射进行观测,每一采样点的星下点地面分辨率约为 1.1km,对地扫描保持在星下点两侧 55.4°的范围内,这一仪器所产生的观测资料的速率为 $614\,400\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$,每条轨道为 $3\,686\,400\,000\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$ 。当加入时间标记、定标和定位信息后,数据量随之增加。使得一盘标准的 9 磁道,密度为 $1\,600\text{bit}(\text{bpi})\text{in.}^{①}$,2 200ft.^② 长的计算机兼容磁带仅可记录 7min 的 AVHRR 数据,通过标准 9 600 波特的电话线传送 10min 的这种数据约需要 12.5h。

一、仪器定标

定标是将卫星测量辐射值与仪器输出建立对应关系,定标工作是将一个传感器对外部标准源的暴光,此外部源已相对于某一国家实验室的主要或辅助标准源作了标定,建立了传感器的电压输出与进入传感器的电磁辐射量之间的关系。NOAA 卫星所携带的辐射计都在发射前经过了严格的标定,确定了稳定度、响应曲线的线性度和敏感度。工作于红外和微波光谱波段的仪器是相对于精确的黑体源进行定标,工作于可见光和近红外波段的仪器相对于灯源进行定标。红外仪器飞行前的定标是在一个模拟空间环境的热真空管中进行的,定标是在热真空管暴光期间按几种不同的仪器工作温度完成的,以便提供一个以温度为函数的仪器响应测量偏差。可见光和近红外的定标是在周围环境温度下完成的。

二、地球定位

在卫星观测数据按资料来源分离、标识和定标后,它们必须与地球上的位置直接关联,这一处理过程叫作地球定位。通常用的地球定位方法有三种:

(1)定性使用的图像数据加网格。某些采样点(对图像而言叫做“像素点”)被用来显示经纬度线、地理和政治边界线。

(2)定量使用的资料需要知道任一点或所有采样点的地球定位。首先计算选择的采样点的经纬度位置,其它采样的位置通过插值而得到。

(3)所有卫星资料场按精确的投影方式做投影计算,如麦卡托投影、极射赤面投影或规定的卫星投影。

另外,NESDIS 还有进行质量控制的业务,通常是检验统计数据和图像,找出数据处理或星上仪器的问题。观测图像和有分析地检测仪器数据,尤其是定标数据对于产生优质的卫星资料产品是非常重要的。

参考文献

- [1]P. K. Rao 等著,许健民等译. 气象卫星——系统、资料及其在环境中的应用. 北京:气象出版社,1994
- [2]陈渭民、夏浣清、陈光宇著. 卫星气象学. 北京:气象出版社,1989
- [3]村井俊治等著,刘勇卫、贺雪鸿译. 遥感精解. 北京:测绘出版社,1993
- [4]I S. 罗滨逊著,吴克勤、沈继刚等译. 卫星海洋学. 北京:海洋出版社,1989

① 1in. = 2.5400cm,下同。

② 1ft. = 0.3048m,下同。

第二章 用诺阿卫星数据计算 地面温度场

地面温度在反映地球内部热信息的同时,又是地-气系统中研究能量平衡的一个关键因子。地面温度在气候变化和多种天气过程研究中以及在国民经济的许多领域都具有重要意义。然而常规的观测手段难以获得大范围分布均匀的陆面温度信息。随着遥感卫星的发展,使得利用卫星遥感信息获取大范围精确的地面温度,成为人们关注的一个问题。目前利用 NOAA 卫星热红外谱段(10.3~11.3, 11.5~12.5 μm)资料反演海面温度的工作已经取得了很大的进展,由于地面物质的多样性以及其不同的物理化学特性和大气干扰等原因,使得卫星遥感数据精确反演地面温度具有相当的难度。主要困难如下:

①大气影响。卫星传感器所接收到的光谱信息,不仅受陆地表面的影响,而且还受到从陆地表面到传感器之间传输路径上大气热结构的影响。

②陆地表面的非均一性。陆地表面形态和结构成分在空间上的变化很大,不同地表的发射率可以在 0.90~0.99 之间(在 8~14 μm 的大气窗区)变化。

③地面温度和地面发射率之间的耦合。这是卫星资料反演地面温度的关键所在,地面发射率本身是光谱波长(λ)和温度(T)的函数。因此在每个辐射传输方程中有两个未知数——发射率(ϵ)和地表温度(T_s)需要确定。

④陆面温度反演和海面温度反演相比,其困难还在于陆面温度和近地表气温之差远大于海面和近海面气温之差,在反演海面温度时一般假设二者相等。可见利用卫星热红外遥感获取陆面温度必须解决两个问题:首先要进行大气校正,即消除大气的干扰影响,其次是考虑陆面发射率的影响。本章在前人用卫星遥感数据计算海面和陆面温度的方法中,选择 Becker 和 Li 的分裂窗方法计算鄂尔多斯高原的地面温度,并用气象站地面实测数据进行检验,表明误差很小。

第一节 反演方法类型

由辐射传输理论,在卫星通道上接收到的大气顶向上的热红外辐射强度可以表示为:

$$I = \epsilon B(T_s) \tau_s + (1 - \epsilon) R_D + R_U \quad (2.1)$$

式中 ϵ 为通道的地面发射率; B 为通道黑体辐射强度; T_s 为地面温度; τ_s 为该通道从地面到卫星的路径上的透过率; R_D 为大气向下有效辐射; R_U 为大气路径向上的辐射。该式的推导及其近似表示在本章第二节中详述。可以看到,式中第一项为地面的辐射项;第二项为地面反射的大气向下辐射;第三项为大气向上的辐射。所有的表面温度反演方法都是建立在(2.1)式的基础上的,目前主要的反演方法有以下几种:

一、单通道方法

这种方法采用卫星传感器单独的一个热红外通道(一般在大气光谱窗区)获得的辐射信息,利用探空或卫星遥感确定的大气廓线数据(温度、湿度、压力),结合辐射方程修正大气的影晌,从而得出陆面温度(T_s)。