

第1章 绪论

1.1 遥感的基本概念

遥感 (Remote Sensing) 是一种远距离的, 不直接接触目标地物, 利用地物的电磁波特性进行地物识别的探测技术和方法。它通过对目标进行探测, 获取目标地物的特征信息, 然后对所获取的信息进行加工处理, 从而实现对目标进行定位、定性或定量的描述。

利用从目标反射和辐射来的电磁波, 接收从目标反射和辐射来的电磁波信息的设备称之为传感器 (Remote Sensor), 例如热红外成像仪、摄影相机。而搭载这些传感器的载体称之为遥感平台 (Platform), 如 U2 侦察机、无人机、人造地球卫星等。由于地面目标的种类及其所处环境条件的差异, 同时也由于地面目标物理性质的不同, 其反射或辐射不同波长电磁波的能力不同。遥感正是利用这个性质, 根据地面不同目标反射或辐射电磁波的特性不同, 通过观察和判读目标地物的电磁波信息, 来判断所监测的目标地物的物理属性和几何特征。

遥感的应用领域非常广泛, 根据其尺度不同, 可以应用在大气、海洋和陆地监测方面。从近距离的摄影测量到大范围的陆地、海洋信息的采集, 以至全球范围内的环境、气候变化监测, 遥感技术都可以发挥巨大的作用。例如: 在陆地遥感中, 利用遥感技术可以进行全球范围内的植被分布监测、农作物类别和长势监测、环境变化监测, 进而制作全球或者局部区域的影像地图, 掌握全球范围内的自然环境变化; 在海洋遥感中, 利用遥感技术可以监测海水温度、海面水位、海水组成、浑浊状态等; 在大气遥感中, 利用遥感技术可以调查大气中的二氧化碳、甲烷等各种气体的组成, 可以监测气团的生成、运动方向、速度, 进而进行准确的天气预报。目前, 气象数值预报的准确性和精确度如此之高, 都是得益于气象卫星的发射。

1.2 遥感的发展历程和趋势

遥感这一名词最早被提出是在 20 世纪 60 年代。最早使用“遥感”一词的是 1960 年美国海军研究局的艾弗林·普鲁伊特 (Evelyn L. Pruitt)。他为了全面概括探测目标的技术和方法, 把以摄影方式和非摄影方式获得被探测目标的图像或数据的技术

称作“遥感”。1961年，在美国国家科学院（National Academy of Sciences）和国家研究理事会（Nation Research Council）的资助下，“环境遥感国际讨论会”在密歇根大学的 Willow Run 实验室召开，遥感一词被正式采用。

遥感根据传感器与地面距离的远近划分为航空遥感和航天遥感。

航空遥感技术主要发展于两次世界大战期间，当时主要应用在军事上。在战争期间，航空摄影成了军事侦察的重要手段，并形成了一定的规模。我们知道，1903年，莱特兄弟发明了人类历史上第一架飞机。1915年年底，世界上就有了第一台航空摄影专用相机，此后航空摄影技术被广泛应用于军事侦察领域。在此之前，人们还用气球、鸽子、风筝等作为摄影平台进行摄影。例如1858年，Gaspard Felix Tournachon 用气球拍摄了巴黎的“鸟瞰”照片，可以说是最早的航空摄影。第一次世界大战结束后，航空摄影方法开始应用在地质、土木工程中的勘察和制图，农业中的牧场、土地调查等民用领域也得到应用。第二次世界大战中，随着伪装技术的不断改进，普通的航空照相技术已不能完全准确地获取敌方目标的信息，因此出现了彩色、红外和多光谱照相技术。

航天遥感，又称为卫星遥感，因为传感器搭载在卫星之上，离地面高度至少为400 km，其广泛的应用始于20世纪70年代，这些都得益于人造卫星的成功发射。1957年10月4日，第一颗人造地球卫星在苏联发射成功，这意味着航空遥感开始向航天遥感发展。1958年2月1日，美国发射了第一颗人造卫星——“探险者1号”。我国发射的第一颗人造卫星是“东方红1号”，时间是1970年4月24日。目前，人造卫星已经成为发射数量最多、用途最广、发展最快的航天器件。而在卫星上安装各种传感器，可以用于各种科学探测和研究、天气预报、土地资源调查、土地利用、区域规划、通信、跟踪、导航等各个领域。

下面讲一下美国陆地卫星发展规划。美国陆地卫星计划是目前运行时间最长的地球观测计划。该计划在1966年发起时被称为“地球资源卫星计划（Earth Resources Technology Satellites Program）”。此计划1969年在休斯圣塔芭芭拉研究中心（Hughes Santa Barbara Research Center）启动，该中心率先进行设计和制造3架多光谱扫描仪；同一年，人类登月。9个月后，也就是1970年秋天，陆地卫星需要搭载的多光谱扫描仪（MSS）的原型机完成，并在测试中成功对美国优胜美地国家公园的著名景点“半圆顶”进行了扫描。

1972年美国发射了第1颗地球资源技术卫星 ERTS-1，1975年发射了第2颗地球资源技术卫星，由于在第2颗卫星发射前整个计划更名为陆地卫星（LandSat）计划，因此第1颗地球资源技术卫星 ERTS-1 被称为 LandSat-1，第2颗卫星被称为 LandSat-2。1979年，美国总统吉米·卡特签署54号总统令，将此计划从美国国家航空航天局转移到美国国家海洋和大气管理局，建议发展成长期的卫星计划，

在陆地卫星 3 号之后追加发射 4 颗卫星，直到 LandSat-7，并建议成立民营的陆地卫星公司。后来在 1985 年，地球观测卫星公司（EOSAT）成立，该公司为美国国家海洋和大气管理局挑选美国休斯飞机公司和 RCA 公司合作成立，双方签下 10 年合约。

该计划原本发射 7 颗卫星后不再发射新的卫星，想用高分辨率卫星取代这种低分辨率的卫星，但在实际应用中，这个计划并没有结束。LandSat-7 是 1999 年 4 月 15 日发射的，至今仍能正常作业，但扫描路线校正器有缺陷（2003 年 5 月发现），影响了影像图的使用。1994 年，美国总统克林顿签署法案，宣布解除 1m 分辨率卫星影像商业销售的禁令。这样在 21 世纪初，大量的高分辨率卫星成功发射并应用于民用商业中。由于高分辨率卫星其地面分辨率（1m）远远优于 Landsat 卫星（15m）的分辨率，因此今天的城市遥感监测都基本上使用 IKONOS、QuickBird、EarthEye 这样的高分影像卫星。

高分影像卫星尽管优势明显，但是由于其数据量庞大，对于大范围陆地监测反而不利，因此 2013 年 2 月 11 日，美国又延续这个计划，发射了陆地卫星 8 号，这是目前此计划最新的卫星。它在美国范登堡空军基地搭载擎天神五号运载火箭 401 型发射成功。该卫星携带陆地成像仪（Operational and Imager，简称“OLI”）和热红外传感器（Thermal Infrared Sensor，简称“TIRS”），它们属于扫描式成像仪。TIRS 是有史以来最先进，性能最好的热红外传感器。TIRS 将收集地球热量流失，目标是了解所观测地带水分消耗，特别是干旱地区水分消耗。它们将持续提供宝贵的地球数据和图像，用于农业、教育、商业、科学和政府领域。

2015 年 4 月，NASA 和 USGS 又正式宣布将继续研发新一代 LandSat-9 号卫星，预期将于 LandSat 卫星计划 50 周年的 2023 年发射并接替 LandSat-8 号的任务。

在美国推行陆地卫星计划的同时，其他国家也开展了自己的对地观测系统研究。例如 20 世纪 80 年代，法国相继发射了 SPOT 系列卫星，欧空局相继发射了 ERS 系列卫星，日本发射了 JERS 系列卫星，印度相继发射了 IRS 系列卫星，俄罗斯发射了 ALMA22 卫星（1996 年）和 RESOURCES2 卫星（1995 年），这些卫星多数已进入商业运行阶段，众多商业遥感卫星的应用使航天遥感技术进入了全面发展和应用的新阶段。

除我们常说的可见光遥感技术外，热红外遥感和微波遥感技术是近十几年来发展起来的具有美好应用前景的两类遥感技术。利用热红外成像技术可以探测到地球表面的温度变化情况，而地球表面的温度又和地表层中的热辐射有关。由于热红外成像技术主要是利用地面目标的热辐射信息来成像，因此可以日夜获得目标的数据，是一种全天时的遥感技术。微波遥感技术是地面目标反射从雷达发射出来的电磁波成像的，由于它采用主动式地向目标发射电磁波的探测方法，并且微波波段不受阴

雨天的干扰，因此可以在阴雨天和夜晚成像，也是一种全天候的遥感技术。

随着传感器技术、航空和航天平台技术、数据通信技术的发展，现代遥感技术已经进入一个能够动态、快速、准确、多手段提供多种对地观测数据的新阶段。新型传感器不断出现，已从过去的单一传感器发展到现在的多种类型的传感器，并能在不同的航天、航空遥感平台上获得不同空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率的遥感影像。现代遥感技术的显著特点是尽可能地集多种传感器、多级分辨率、多波段和多时相技术于一身，并与全球定位系统（GPS）、地理信息系统（GIS）、惯性导航系统（INS）等系统相结合以形成智能型传感器。

目前，遥感应用正由定性向定量、静态向动态方向发展。航天遥感影像的空间分辨率已经达到米级，甚至是分米级，例如 QuickBird 卫星，其全色波段影像的分辨率是 0.61 m，等于对 LandSat 卫星影像放大了 25 倍。光谱分辨率已达到纳米级，波段数已增加到数十甚至几百个。卫星的回归周期可达几天甚至十几小时，如 NOAA 的一颗卫星，每天可对地面同一地区进行两次观测。微波遥感已逐渐采用多极化技术、多波段技术及多种工作模式。加拿大 1995 年发射的 RADARSAT、欧空局的 ERS-1、日本的 JERS-1 和印度的 IRS-1C 等卫星中的微波传感器已采用了多极化技术、多波段技术和多种工作模式。

与遥感应用紧密相关的遥感信息处理理论和技术也有了实质性的进展，在遥感信息模型研究方面，已有热扩散系数遥感信息模型、表观热惯量遥感信息模型、土壤含水量遥感信息模型、作物旱灾损失估算遥感信息模型、土壤侵蚀量遥感信息模型、土地生产潜力遥感信息模型、三维海洋温度遥感信息模型、地质构造应力场遥感信息模型等许多成熟的研究成果。

在遥感数据处理软件方面，国际上相继推出了一批高水平的遥感影像处理商业软件包，如加拿大 ERM 公司研制的 ER MAPPER、美国 ERDAS 公司推出的 ERDAS IMAGINE、美国 Exelis Visual Information Solutions 公司的旗舰产品 ENVI 等。所有这些都为遥感影像的快速处理奠定了坚实的基础。

1.3 我国遥感的发展历程

从 20 世纪世界 70 年代开始，我国先后发射了系列返回式遥感卫星。1970 年 4 月 24 日，我国发射了第一颗人造卫星“东方红 1 号”，随后又发射了数十颗不同类型的卫星。太阳同步卫星“风云 1 号”（FY-1A，1B）和地球同步轨道卫星“风云 2 号”（FY-2A，2B）的发射，以及返回式遥感卫星的发射与回收，使我国开展宇宙探

测、通信、科学实验、气象观测等研究有了自己的信息源。

1999年10月14日,中国-巴西地球资源遥感卫星CBERS-1的成功发射,以及后续的中巴地球资源卫星02星、02B星、02C星的发射,凝聚着中巴两国航天科技人员十几年的心血。它们的成功发射与运行开创了中国与巴西两国合作研制遥感卫星、应用资源卫星数据的广阔领域,结束了中巴两国长期单纯依赖国外对地观测卫星数据的历史,被誉为“南南高科技合作的典范”。2014年12月7日,中国和巴西联合研制的地球资源卫星04星在太原成功发射升空。同时,“北斗”GPS定位导航卫星及“清华1号”小卫星的成功发射,丰富了我国卫星的类型。随着我国遥感事业的进一步发展,我国的地球观测卫星及不同用途的多种卫星也逐渐形成了观测体系。

自2006年开始,我国开始实施《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》。其中,高分辨率对地观测系统(简称“高分专项”)是此纲要中所确定的16个重大专项之一。高分辨率对地观测系统由天基观测系统、临近空间观测系统、航空观测系统、地面系统、应用系统等组成,于2010年经过国务院批准启动实施。2013年4月26日,首发星“高分一号”在酒泉卫星发射中心成功发射。计划至2020年前后建成全系统。中国高分辨率对地观测系统工程将统筹建设基于卫星、平流层飞艇和飞机的高分辨率对地观测系统,完善地面资源,并与其他观测手段结合,形成全天候、全天时、全球覆盖的对地观测能力。

高分辨率对地观测系统计划发射9颗卫星,是分别用于农业、城市、环保等部门的卫星系列。到目前为止,该计划已经成功发射8颗卫星,这样基本打造出新一代高分辨率对地观测系统。可以说,“高分专项”是一个非常庞大的遥感技术项目,在这些卫星中,“高分一号”为光学成像遥感卫星;“高分二号”也是光学遥感卫星,但全色和多光谱分辨率比一号分别都提高一倍,达到了1m全色和4m多光谱;“高分三号”为1m分辨率的雷达遥感;“高分四号”为地球同步轨道上的光学卫星,全色分辨率为50m;“高分五号”是高光谱遥感卫星,不仅装有高光谱相机,而且拥有多部大气环境和成分探测设备,如可以间接测定PM_{2.5}的气溶胶探测仪;“高分六号”的载荷性能与“高分一号”相似;“高分七号”则属于高分辨率空间立体测绘卫星。“高分”系列卫星覆盖了从全色、多光谱到高光谱,从可见光到雷达,从太阳同步轨道到地球同步轨道等多种类型,构成了一个具有高空间分辨率、高时间分辨率和高光谱分辨率能力的对地观测系统。

表1-1是我国高分卫星发射时间与搭载的传感器列表。

从传感器和获取的影像数据来看,高分一号卫星所获取的影像数据包括2m分辨率全色(黑白)/8m分辨率多光谱(彩色)的数据,以及16m分辨率多光谱宽幅(200km)影像。高分二号(GF-2)卫星比高分一号卫星分辨率更高,其空间分辨率

优于 1 m，搭载两台高分辨率 1 m 全色、4 m 多光谱相机，具有亚米级空间分辨率、高定位精度和快速姿态机动能力等特点，有效地提升了卫星综合观测效能，达到了国际先进水平。高分二号是我国目前分辨率最高的民用陆地观测卫星，星下点空间分辨率可达 0.8 m，标志着我国遥感卫星进入了亚米级“高分时代”。这些卫星获得的数据，可以大量应用在国土资源部、住房和城乡建设部、交通运输部和国家林业局等部门，同时还将为其他用户部门和有关区域提供示范应用服务。

表 1-1 高分影像卫星系列发射时间表

发射时间	星名	传感器
2013-04-26	GF-1	2 m 全色/8 m 多光谱/16 m 宽幅多光谱
2014-08-19	GF-2	1 m 全色/4 m 多光谱
2016-08-10	GF-3	1 m C-SAR
2015-12-09	GF-4	50 m，地球同步轨道凝视相机
2018-05-09	GF-5	可见短波红外高光谱相机 全谱段光谱成像仪 大气气溶胶多角度偏振探测仪 大气痕量气体差分吸收光谱仪 大气主要温室气体监测仪 大气环境红外甚高分辨率探测仪
2018-06-02	GF-6	2 m 全色/8 m 多光谱/16 m 宽幅多光谱
计划 2019 年	GF-7	高空间分辨率立体测绘
2015-06-26	GF-8	光学遥感卫星
2015-09-14	GF-9	亚米级光学遥感卫星

高分三号卫星为 1 m 分辨率雷达遥感卫星，也是中国首颗分辨率达到 1 m 的 C 频段多极化合成孔径雷达（SAR）成像卫星，由中国航天科技集团公司研制。高分四号运行在距地 36 000 km 的地球静止轨道上，与此前发射的运行于低轨的高分一号、高分二号卫星组成星座，具备高时间分辨率优势。高分四号卫星是中国第一颗地球同步轨道遥感卫星，采用面阵凝视方式成像，具备可见光、多光谱和红外成像能力，可见光和多光谱分辨率优于 50 m，红外谱段分辨率优于 400 m，设计寿命 8 年，通过指向控制，可实现对中国及周边地区的观测。

目前，“高分专项”累计分发数据约 1 500 万景，数据量超过我国以往遥感卫星历史数据总和，已全面进入了各主要应用领域。由于“高分专项”的实施和高

分数据的应用，近年来在我国国内市场，国外卫星数据价格大幅度降低，分辨率低于 2 m 的国外卫星数据已基本退出国内市场。总之，高分辨率对地观测系统的实施，将为中国现代农业、防灾减灾、资源环境、公共安全等重要领域提供信息服务和决策支持，满足国家经济建设和社会需求，对于促进中国空间基础设施建设，培育卫星应用企业集群和产业链，推动卫星应用和战略性新兴产业发展具有重大意义。

