



遥感技术

李德熊 编

北京工业学院出版社

遥感技术

李德能 编

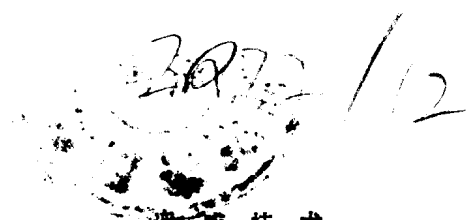


北京工业学院出版社

内 容 简 介

本书对整个遥感系统给出一个概貌的阐述,介绍地面特征、辐射和辐射源、大气影响、遥感仪器及遥感数据获得。重点讨论遥感数据的分析处理,其中对数字图象处理技术和统计模式识别技术尤为重视。在光学处理方面,则着重讨论遥感图象的增强处理技术。

本书是作者多年来教学、科研的总结,内容丰富,文字精练流畅,叙述深入浅出。在内容编排上注意物理概念的阐述,在取材上注重遥感技术的国内外最新进展。本书是工程光学专业研究生教材,亦可作为高等工科院校工程光学专业高年级本科生教材,还可供从事遥感技术的有关科技人员参考。



遥 感 技 术

李德熊 编

*

北京工业学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中赵甫印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 10印张 259千字

1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷

印数: 1—5,000册

统一书号: 13434·69 定价: 2.00元

前 言

本书为高等工科院校工程光学专业研究生选修课教材。遥感技术是一门在多种学科基础上发展起来的新的综合探测技术，它涉及到从能源到数据处理一系列的内容。本书对整个遥感系统的概貌作了介绍：阐述了地面特征、辐射和辐射源、大气影响、遥感仪器及遥感数据的获得。重点放在遥感数据的分析处理上，特别是较新发展的数字图象处理技术和统计模式识别技术（计算机自动分类）。在光学处理方面，则着重讨论遥感图象的增强处理技术。关于遥感技术在广泛领域中的应用，本书没有涉及，在这方面需要任课教师另外准备材料，可以采用幻灯片或图片的方式给学生一个形象、生动的了解。

本书是按授课40学时来安排教材内容的，对于非工程光学专业的学生，需要对前二章的内容作较多的补充。由于遥感技术还在迅速发展之中，作者涉猎这一技术不深，更缺乏重要的实践经验，因此无论在教材内容的选择安排上，还是在具体材料的阐述中，都还存在许多值得推敲和需要改正的地方，恳切希望读者指正。

· 本书承杭州大学物理系田志伟教授细心审阅，从章节安排到具体遣词用字，田老师均提出了宝贵的斧正意见，作者表示诚挚的谢意。

作 者

一九八七年六月于北京

目 录

绪论	1
§ 0-1 什么是遥感技术	1
§ 0-2 遥感技术发展简史	6
第一章 遥感中的辐射	14
§ 1-1 光度量和辐射度量	17
§ 1-2 辐射和辐射源	19
§ 1-3 大气影响	28
§ 1-4 遥感中的反射系数	46
第二章 遥感仪器概述	59
§ 2-1 谱数据获得系统	59
§ 2-2 分幅成象系统	66
§ 2-3 扫描成象系统	78
§ 2-4 侧视雷达	91
第三章 遥感图象的判释	99
§ 3-1 影象的判释特性	99
§ 3-2 基本判释方法	107
§ 3-3 遥感图象的光学增强处理方法之一——影象密度增强	114
§ 3-4 遥感图象的光学增强处理方法之二——影象彩色增强	121
第四章 遥感中的数字图象处理	132
§ 4-1 数字图象和图象的数字化	134
§ 4-2 图象恢复	146
§ 4-3 对比扩展	154
§ 4-4 代数运算	170
§ 4-5 空间滤波	173
§ 4-6 空间配准	180
§ 4-7 彩色处理	182

第五章 遥感中的模式识别	186
§ 5-1 模式和模式识别	186
§ 5-2 训练模式和判别函数	194
§ 5-3 监督分类和非监督分类	201
§ 5-4 预处理和特征抽提	208
§ 5-5 空间数据	223
§ 5-6 处理结果的输出形式	227
第六章 统计模式识别技术	232
§ 6-1 贝叶斯决定理论	232
§ 6-2 参量估计	250
§ 6-3 非参量法	268
§ 6-4 非监督分析和簇集	281
结束语	295
主要参考书	300
索引	301

绪 论

§ 0-1 什么是遥感技术

“遥感”这个名词，就字面上讲，可以解释为“远远地去感觉（感知）某一定对象（事物、现象、运动）”。所以遥感技术，也就是如何去实现这种“远远地去感觉（感知）某一定对象（事物、现象、运动）”的技术。

广义地讲，所谓遥感，可以作这样的定义，就是：

“不直接接触地收集关于某一定对象的某种或某些特定的信息，从而了解（识别、探测、掌握）这个对象的性质”。

从这个意义上来讲，因为没有限定何种特定信息，遥感技术包括的范围就非常之广了。

人眼看到五颜六色的景色，从中分别出牡丹、芍药，这是光的遥感。人耳聆听交响乐队演奏，从中辨别出提琴、长笛奏出的乐句，这是声的遥感。渔轮用超声波仪器探测到海底的鱼群，这是超声的遥感。从飞机上、卫星上拍摄地球表面的照片，这是光（或红外线等）的遥感。用雷达探测敌人的飞机，这是无线电波的遥感，……。也就是说，遥感技术所收集和利用的可以是声、超声、光、红外辐射、无线电波等各种信号。甚至包括射线照相、地磁观测、宇宙射线观测等，也都属于遥感的范围。它的隶属关系可以包括一切与上述信息有关的科学技术领域。

但是，目前多数讨论遥感技术的文章，往往总是和介绍空间技术相关联。事实上，遥感这个名词的提出和得到大家承认，并作为一门独立的、新兴的、综合性的探测技术而蓬勃发展，也确实是与它作为空间科学技术的一个重要组成部分分不开的。因

此，在讨论到接受（探测）的信号时，往往局限在电磁波。这样，上面的定义，就需稍作修改：

所谓遥感，就是：“不直接接触地收集关于某一定对象的电磁波辐射信息，从而了解这个对象的性质”。

这可以算是遥感的狭义的定义，也是目前一般认为的遥感技术的领域。本书内容也就局限于这个狭义定义的范围。

至于什么样的距离才算是“遥”，讨论这个问题是没有多大意义的。它可以远至几百公里，也可近在咫尺。这样说，当然并不意味着距离是无足轻重的。相反地，我们在以后的讨论中可以看到，传感器与被感知的对象之间的距离将会带来怎样的影响。

什么是电磁波，大家是比较熟悉的了，它是自然界以场的形式存在的一种物质，是电场和磁场的一种运动形式。这是一个很大的家族，从最短的宇宙射线一直到工业交流

输电线周围的交变电场和磁场，都是它的成员，只是它们的波长不同，所具有的能量可能不同而已（图0-1）。

遥感中收集到的信息，就是物体发射（辐射）或被它反射的电磁波（主要是：近紫外、可见光、红外线和微波）。收集电磁波信息的装置，叫传感器。装载传感器的地方，叫做平台。

所以，遥感技术就

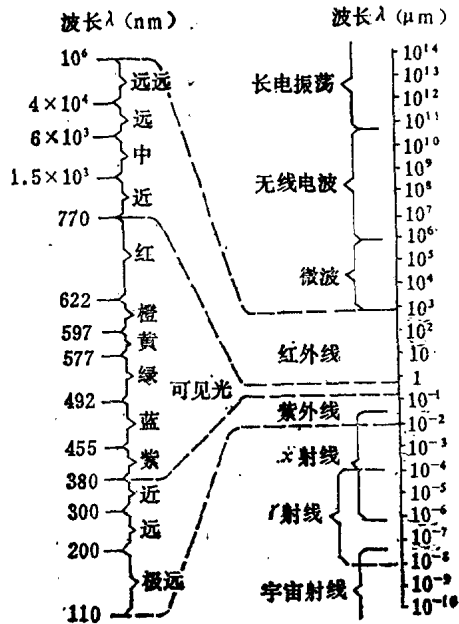


图0-1 电磁波谱

是：用装在平台上的传感器来收集（测定）由对象辐射或（和）反射来的电磁波，再通过对这些数据的分析和处理，获得对象信息的技术。

整个遥感过程，我们还可以用一个简单的例子来说明。譬如说，眼前你在阅读这页讲义，就是这样一个过程：你的眼睛就是传感器（不用说，平台就是你了！），它接受从纸页上反射来的光。你的眼睛所收集到的数据，就是一些与纸页不同明暗区相对应的反射来的光量。这些数据，在你的“大脑皮层计算机”中进行分析、判释，使你能够解释纸页上的那些暗区原来是字，这些字所组成的是句，并进一步理解这个句子中所包含的意义，也就是说，经过判释得到对象中所固有的信息。

遥感技术所以迅速发展，一个重要的因素是它应用于我们所生活的环境*。人们愈来愈需要更深刻更全面地了解我们的地球，了解它的资源，了解它的变化，以便更合理地安排自己的生产和生活活动。因此，在文献里我们常常可以看到“环境遥感”、“地球资源遥感”这样的名词。

图0-2示意地说明地球资源的电磁波遥感的一般过程以及它所包含的组成部分。总的来说它包含这样两个过程：数据的获得和数据的分析。

数据获得过程包括：能源（*a*），能量通过大气的穿透（*b*），能量与地面特征的作用（*c*），飞机或卫星上的传感器（*d*），以及以图象的形式或数字的形式给出的由传感器所产生的数据（*e*）。数据分析过程（*f*）包括用目视或（和）判读仪器对图象数据进行分析测定，或是用计算机来分析数字化的传感器数据。为了帮助分析，在需要的时候可以送入一些参考数据（例如已有的土壤图、谷物统计资料以及一些实地测定和检查所得的资料等）。参

* 遥感技术的应用领域是十分广泛的。由于篇幅所限，这里不再专门介绍。可以看参考文献[1]和[10]。讲课中可以用幻灯或图片给学生一个一般的概念。

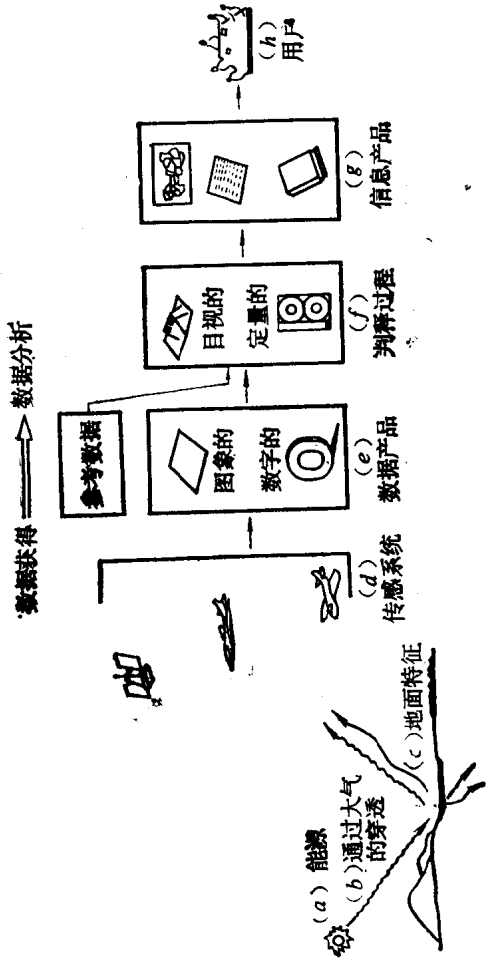


图0-2 地球资源的电磁波遥感

照这些参考数据，分析员从传感器所收集的数据中抽提出需要的信息(例如不同资源的类型、地点、范围以及情况等)，制成情报产品(g) (一般是地图、表格或书面报告的形式，例如土地利用地图、谷物面积统计等)，提交用户(h)供他们决策时参考。

本课程准备讨论上述过程中从(a)到(f)各部分的基本情况。但是从上面简单的介绍，我们可以看到，遥感技术涉及到从能源到数据处理一系列的内容，它是一门在多种学科的基础上发展起来的综合性探测技术。要想在几十学时的课程里全面地予以深入讨论，是很难胜任的。同时还必须考虑到工程光学系和专业教学计划中课程的设置情况。关于电磁波理论、光学理论、全息、光信息处理、摄影仪器、红外技术、光电器件、激光技术、光辐射学以及色度学等均已开设有相应的课程。因此，在这门课程里，将把重点放在遥感数据的分析过程。

关于遥感数据的分析过程，前面我们已经提到，它除了包括传统的对图象数据的分析以外，还包括对数字化数据的计算机分析。本世纪五十年代和六十年代初期，数字计算机的迅速发展加速了一种所谓“模式识别”的数据分析技术的发展。同时期传感器系统设计上也获得了重大发展(特别是在红外辐射能的测量方面)。这样，由于能够迅速而精确地测量和处理多波段遥感数据，这些进展合在一起形成了一种崭新的遥感方法——定量的方法。

于是，有人认为今天可以把遥感分成这样两大分支：一支称为“面向图象”的遥感。这个分支利用的是数据图的概念，它所用的分析方法密切地依赖于一个图象的构成。另外一支称为“面向数字”的遥感。这个分支是计算机发展的直接结果，它所强调的是数据所固有的量的概念，把数据当作是一个测量的集合体来处理。在这个分支里，一个图象并不被看作是数据，而只是当作一种观察数据的方便的结构。

“面向图象”技术是较老也是发展得比较完善的技术。那些适用于这种技术的最普通的传感器(照相机)已经用了很长的时

期，同时也已有了一整套分析（照相判释）的技术。这些仪器和技术已为实践证明确实是行之有效的。当然，它仍有继续改进和发展的必要和可能。

比较起来，“面向数字”技术则可以说还处在它的童年时代。在这分支系统中传感器常用的是多谱段扫描仪，因为它比摄影系统要有更宽的电磁波谱范围。对于地球轨道卫星所取得的地球观察数据来说，由于卫星轨道距地面较远，卫星运行的速度很高，加上采用的谱段数目较多，所以数据的量是非常巨大的。而对于许多应用的领域来说，只有当需要的信息能够既迅速及时而又经济便宜地获得才有意义。这样便自然而然地倾向于能够经济而又迅速地大量的可用数据里抽提出可靠信息的计算机技术来。

在这门课程里，将着重讨论“面向数字”的遥感数据处理技术。对于“面向图象”的处理技术，则着重介绍有关增强图象信息的原理和方法，并且还把介绍范围限制在空间域的处理，以避免和讨论变换域中处理的光信息课程有不必要的重复。

§ 0-2 遥感技术发展简史*

要想简单地规定一个标志遥感技术开始的时间和事件是困难的。尽管作为一门综合性技术提出遥感这个名词是在本世纪的六十年代，遥感本身却并不是一门新的技术。可以认为，遥感技术是在普通航空摄影基础上发展起来的。

很久以来，人们就想从空中来观察地球，并试图用风筝、气球（1858年）将照相机带到空中，对地面拍摄精美的鸟瞰图，用来绘制地形图。一直到发明了飞机之后，空中摄影才真正成了一种重要的遥感方法。开始使用的是普通的照相机，以后设计了专门的航空照相机。

* 参看[10]，第一章，[5]，ch.2及[6]，ch.1.

遥感早期所应用的技术，很多都是在第一次和第二次世界大战中由于军事侦察的需要而发展的。

飞机是1914年用于军事目的的（第一次世界大战），但航空摄影则要稍晚些。1915年末开始有专用的航空摄影机，用于航空侦察。大战中期，战争情况发生了很大变化，作战纵深增大了，军队的技术装备有了很大改进，双方对重要的军事目标也都采用了伪装措施。这时，地面侦察和空中目视侦察已不能满足需要，于是空中照相侦察被提到了重要的地位。在战争中，航空摄影提供了不少有价值的情报。

航空摄影方法在民用事业中的应用比军事上的应用迟不了多久。1920年前后，石油地质学家就开始利用航空摄影。从1930年起，各个领域广泛采用了航空摄影。例如土木工程中的勘察和制图，农业部门的农、牧场土地的调查，林业部门对林区的调查等等。

同时，利用航空照片的判读技术也得到完善的发展。

第二次世界大战中，随着伪装技术的不断改进，空中照片判读的准确性受到了一定的影响。于是在大战后期，先后出现了红外、彩色、光谱带等空中摄影技术。彩色照片能如实反映目标原来颜色，能够识别一般黑白照片上不易识别的目标。红外和光谱带照片则能揭露伪装。后两类照片由于表现的彩色并不与实际记录的谱段相符，所以也叫做“假彩色”摄影。

目前，多谱段空中摄影是遥感系统中的一种重要技术。所谓多谱段摄影，指的是采用适当的感光材料和滤光镜，将从同一景物反射或（和）辐射来的电磁辐射（一般所记录的范围是可见光和近红外辐射），按不同波长分成若干段，以同样大小的比例尺和幅面，分别地同时记录下来。用这样的方法同时得到的一组照片（多谱段照片，一般为黑白片），是同一景物不同辐射谱段内的电磁辐射的象。它实际上就是普通照片按辐射谱分段的分解照片。

多谱段摄影技术的实际应用首先是由电影工业界实现的。二

二十世纪六十年代初，科学家们开始把多谱段概念实际应用于地形特征的航空勘测上。最早是用多相机型，然后是多镜头型。与此同时，在判释方面则研制了多谱段的彩色合成系统。

第二次世界大战以后，随着科学技术的发展，一些新的信息探测系统相继出现，它们是以非摄影方式获取被探测目标的数据或图象的。为了概括全部摄影与非摄影方式，E. L. Pruitt于1960年提出用“遥感”（Remote sensing）这一科学技术用语来代替常规航空摄影的概念。这个名词在1962年美国密执安大学等单位所发起的环境科学遥感讨论会上被正式采用。于是航空摄影便成了整个遥感技术中的一个组成部分。

重要的遥感平台，除了飞机外，还有火箭和卫星。

火箭遥感的历史应追溯到1891年。然后是1907年 A. Maul发明了用火箭发射的陀螺稳定相机。1946年美国从白沙靶场发射V-2火箭，摄得了空间象片。1972年3月，从澳大利亚南部发射了云雀火箭，用降落伞回收了相机，带回了从280公里高空拍摄的彩色和红外相片。1973年在阿根廷又作了类似试验。

随着第一颗气象卫星泰罗斯-1号（TIROS-1，美国，1960年）的发射，开始了系统的地球轨道观测。1961年，不载人水星飞船（Mercury）MA-4上的一架自动相机拍摄了几百张70mm彩色照片。A. Morrison和M. C. Chown用这些象片勾划了一套撒哈拉沙漠数千平方英里的地质草图。然后是MA-8和MA-9水星飞船的宇航员拍回的象片。几个双子座（Gemini）宇航员所拍摄的照片使地球科学家们获得了许多有意义的和意想不到的新发现。例如，已经发现风蚀作用显然是造成撒哈拉大片地区土地风化的主要因素，而这与普遍认为的流蚀作用是形成沙漠的主要因素恰好相反。

1965年美国阿波罗-9号（Apollo-9）的宇航员完成了SO 65多谱段地形摄影试验，证明多谱段方法在轨道摄影中不仅是可行的，而且是必要的。因为在轨道飞行中会遇到各种各样的地

形、大气条件和目标。SO65多谱段相机由4台瑞典哈斯布莱特500EL型相机（焦距80mm，胶片为70mm宽）组成。1973年发射的天空实验室（Skylab）上的S190型多谱段相机则有六个谱段（焦距150mm，70mm胶片）。

然后应该提到的是美国的缘起于1967年的地球资源技术卫星（ERTS）了。计划一共发射六颗。1972年发射了第一颗ERTS-1。该卫星上采用两台彼此独立的成象系统。一台是由三个返束光导摄像管组成的摄像机（Return Beam Vidicon 简作RBV）。这台设备由于一个磁带记录器的开关问题，发射后几天就中断工作。另一台是四谱段的多谱段扫描仪（Multispectral Scanner 简作MSS）。1975年1月发射了第二颗。但在发射之前，整个计划更名为陆地卫星（LANDSAT）。于是第一颗就叫Landsat-1，第二颗叫Landsat-2。1978年3月又发射了Landsat-3。Landsat-3上的成象系统有这样一些改变：返束光导摄像管从多谱段三相机型改成宽谱段双相机型；多谱段扫描仪则增加了一个热红外（远红外）谱段通道，可是这个通道发射后不久就失效了。陆地卫星虽然属于试验性质，实际上它们所发回地球的大量数据，已经为广泛的领域提供了十分有价值的原始资料。1982年7月和1984年3月又先后发射了Landsat-4和-5，其上装备了有7个谱段（包括一个热红外谱段）的主题制图仪（Thematic Mapper 简作TM）。

到此为止，我们的讨论基本上局限于对电磁波谱的可见光和近红外区的遥感。事实上，由于过去一、二十年的发展，另外还有两类遥感技术也有着很好的应用前景，它们就是热红外成象技术和微波遥感技术。

在谈到可见光和近红外时，遥感技术主要是利用对象的反射特性，而谈到热红外或热成象技术时，则主要是利用对象的辐射特性。

热成象是与远距离测量地球表面特征的温度有关的遥感分

支。它所研究的问题可以小到探测一间屋子的热能泄漏情况，或者大到研究地球上的洋流。因为温度实质上是地面环境中一切物理、化学和生物过程的重要控制因素之一，因此，温度数据在经营管理地球资源的活动中必然占有极其重要的地位。

热成像技术最常用的谱段范围是 8 到 $14\mu\text{m}$ 。这一段不仅是一个大气窗口，同时也是多数地面特征能量辐射的峰值所在。地面环境温度一般为 300K，它的辐射峰值大致在 $9.7\mu\text{m}$ 处。对于特殊的目的，例如森林火灾调查，也有应用 $3\mu\text{m}$ 到 $5\mu\text{m}$ 这个大气窗口的。

无论是热辐射计还是热扫描仪，都是利用探测元件（锗、铊、碲化铟、碲镉汞等）作能量转换，然后设法作成象或不成象的记录。

微波区的波长大致是由 1 mm 到 1 m（参见图 1），它比光波要长得多。因此，它的特点之一就是几乎能够穿透大气中的一切障碍，如霾、小雨、云、乃至雪层。其次，不同的地面物体对微波的反射或辐射和对可见光或热红外的反射或辐射的规律并不相同，这就可以起到互相补充的作用。

微波遥感可分被动式的和主动式的两大类。主动式的微波传感器主要是侧视雷达。它是在五十年代为军事侦察目的而发展的。它目前的重要应用，大概在于快速取得大片有云地区的地面资源情报数据。

被动式的微波传感器如微波辐射计或微波扫描仪感受的是在它们视场内的自然可利用的微波能量。它们的工作方式和热辐射计或热扫描仪极为相似，但是能够接收到的能量则要比热红外区微弱得多，同时信号所伴随的“噪声”也要大得多。因此这种信号的判释问题也要比已经讨论过的其它种类传感器的要复杂困难得多。但和侧视雷达一样，它也有全天候的特性。依靠选择适当的工作波长，可以用它或者穿透大气，或者观察大气。气象学工作者利用被动微波遥感来测量大气的温度分布以及大气中的水和

臭氧的分布。此外也得到海洋学、油污染探测、融雪测定等方面的应用。

在介绍卫星遥感时，我们主要谈到了美国发射的几种卫星。这是因为美国在发展遥感技术方面一直处于世界领先地位，代表了遥感技术的发展水平。事实上，苏联、西欧各国、加拿大、日本等国都在大力开展遥感活动，发展本国的遥感技术。苏联于1973年底，从联盟12号和13号宇宙飞船上，用多谱段相机拍摄了它的第一批多谱段卫星象片。1977年的地球资源及海洋勘测卫星上载有多谱段扫描仪。西欧各国的遥感活动由欧洲空间局进行协调和组织，并于1977年发射了第一颗气象卫星。加拿大已建成四座地面站。许多第三世界国家也都把遥感技术列入国家发展规划。它们的特点是，航天遥感资料依靠美国取得，自己则独立发展航空遥感工作。其中不少国家已建立或准备建立接收美国卫星数据的地面站。国际协作和学术交流活动也在蓬勃开展。

至于我国遥感技术的发展情况，1930年初航摄浙江省浦江，是航空摄影在我国测图事业上应用的开始*。但在解放前国民党政府的腐败统治下，仅在地籍测量、军用地形图测制、铁道线、水利图等方面做过一些零星航摄工作。解放后，1950年5月中央人民革命军事委员会成立测绘局，同年十一月组成第一个航空摄影测量队，立即进行了根治淮河的航摄工作。1951年开始航摄国防地带，1954年起大规模开展国防测图的航摄工作。林业部的航摄工作是1952年开始的，1954年开展了以东北北部林区为基地的大规模航空摄影工作。1955年人民空军航测队进行了兰新铁路、新疆石油探区和新安江水电站的航摄工作。地质部1956年航摄了柴达木盆地、祁连山区、鄂尔多斯等广大地区。1957年又在秦岭东部、内蒙锡林格勒盟和青海地区进行了航摄工作。水利部1956年在三峡、三门峡等地进行了根治黄河和长江的航摄工

* 武汉测量制图学院，航空摄影过程讲义（上册）。