

第七章 遥感技术的应用

本章介绍遥感技术的应用，从中可以领悟到随着空间技术、遥感仪器、图像数据处理和判读技术的迅猛发展，遥感技术已日益广泛地应用于地质勘探、农林、水利、海洋、环境污染以及测绘工程等各个领域的诸多方面。

§ 7—1 遥感技术在地质找矿方面的应用

现阶段地质学的发展，对探索整个地质过程中全球性最普遍的规律引起了极大的重视，一方面是区域性的资料积累有了可能，另一方面卫星像片的出现为全球性地质问题研究创造了条件。卫星像片能够阐明地质现象之间，巨大构造之间，大面积构造单元之间的空间关系。卫星像片真实客观的反映地表特征，因此卫星像片提供的信息，决定于区域研究的可能性和程度，这对于区分和阐明各种地质现象的相对作用是很关键的。从 ERTS—1 的像片一些初步分析看，卫星像片在研究地质构造方面是非常有价值的，特别在植被稀少、岩石露头很好的地区，卫星发现地表线性特征的能力是异乎寻常的。卫星像片对其他地质特征如褶皱、断层、侵人体的轮廓、熔岩流、最新沉积物的组合，地貌形态，不同厚度岩石间的接触带、都有很好的反映，卫星像片在地质找矿中有如下几方面的应用：

一、区域地质填图

1. ERTS—1 卫星像片，可放大为 1：100 万，1：50 万、1：25 万。它可以用作 1：100 万填图，也可为 1：50 地质填图提供足够详细的情况。放大成 1：25 万后，可以用来为 1：25 万填图参考，甚至可以用来校正 1：20 万地质填图，当然还要辅以航空像片和地面工作，并需参考已有的地质图。卫星像片的判读者对区域地质情况应有相当的了解，这样才能取得较好的效果，否则判读就会发生错误。据报导，美国的“双子星座”4 号卫星所摄墨西哥下加利福尼亚北部地区照片，已用于 1：25 万地质图的解释工作。

2. 编制和修改各种小比例尺地质图

据报导前苏联从“联盟号”飞船和“礼炮号”轨道站拍摄的照片的地质判读，使一些地质概念作了重大修改：如高加索、西西伯利亚低地、中哈萨克斯坦，阿尔太—萨彦岭，天山、喜马拉雅和其它地区的地质构造，而所得到的资料已用于编制和修改地质图和构造图方面。

3. 1963年美国利用“水星”载人宇宙飞船偷拍我青藏高原北部的照片，在照片上可以清楚看出高原冰盖，山谷冰川和冰水地形，还可看出在藏北高原中生代岩层下垫面上发育着一系列北北东向断裂和穹窿构造，据此可以做出这个地区的地质地貌草图。阿拉斯加的研究人员，正在广泛使用资源卫星像片，修改该州原有的地质图并绘制新发现的地质特征图。

4. 根据 ERTS—1 的图像，做出南美部分地区新的地质图。图中在玻利维亚西南部、阿根廷西北部、智利北部以及秘鲁南部的沙漠和半沙漠地区划出了 681 个火山口和破火山口。对其中 251 个进行了核实，5 个进行了修改，有 171 个是完全根据卫星像片画出来的，1960 年智利地质图表示出 230 多个火山，以前由于云和雪的覆盖，有一些一直未能得到证实。在 9 个活火山口，南纬 $18^{\circ}10'$ ，的帕利纳科达火山在图上的位置，向东移 1.5 里。15 个破火山口，其中 10 个是按以前资料画出来的，另外 5 个则是根据卫星像片划出来的。

二、地质构造的研究

利用 ERTS—1，MSS—5 放大的 1:50 万图像，对南非摩洛哥的地质构造进行了研究比较，认为 ERTS 图像比“双子座”飞船的图片能看到更多的有用信息，而这两种卫星图像显示的线性标志要比以前的地质图划出的构造线多好几倍，特别是第四纪覆盖下的一些断层有明显反映。

根据 ERTS—1 拍摄的我国新疆博斯腾湖的像片初步分析，发现南部库鲁克塔格山脉中的一条东西向平移断层，据估计断层两边大约平移了 40—70 公里，整个断层绵延 200 多公里，根据两侧分支配套断裂的分析，可能属于反扭的压扭性断裂。

美国宇航局宣称：美国和法国的科学家正在用激光来测地球上某点的位置变化，确定大陆是否漂移？这种试验已在美法两颗卫星上进行，并且在北美、南美和欧洲建立了激光发射和跟踪站，可以证明非洲正以每年几寸（1 寸 = 2.54 厘米）的速度离开南美而漂移。

在美国宾夕法尼亚州试验区，用目视判读和数字分析相配合，分析了 ERTS—1 的图像，主要的构造显示的很清楚，在受控制的图上（即把已有地质图界线标在 ERTS—1，MSS—5 的放大为 1:25 万的卫星像片上），可以高精度地划分出辉绿岩和前寒武系的岩石。在非控制图上，各种线性标志以出人意料的密度显示出来，而且强烈的控制着河谷和河床的走向。这些线性标志不受基岩类型、时代或主要构造线的影响，这暗示着它们不是

规模不同的再生基底“节理”方向。就是一种可能和北美地台有关的现代继承构造。卫星像片数字分析的主要阶段包括：

(1)把 1:10 万地面地质图界线和各光谱段组合的 ERTS 图像放大像片(1:25 万)初步联系起来；

(2)异常标志的分析和制图；

(3)利用训练区的控制参数，通过计算机的数据和积群分析，对挑选出来的地区进行计算和制图；

(4)利用非控制的计算机制图，以得到各种具有地质意义的潜在标志。

三、找矿标志的研究

卫星像片所揭示的区域地质特征，对于找矿是有意义的。所收集到的资料，有利于指出矿产资源新的远景区。在以下几个方面直接有助于找矿：

1. 划分成矿区和含油区，并可提供关于其分布范围及成因等方面的知识；

2. 通过控矿构造分析，帮助找矿。例如有人研究了苏伊士湾地区的卫星像片，认为大部分油田是位于横推断层与苏伊士海岸的交切处。这不仅能确定苏伊士湾的找油地区；而且可以沿此断裂带在西部沙漠、尼罗河三角洲指出找油地区。另外卫星像片有可能反映控制金属矿床成矿的构造交切带，有助于找矿。

3. 通过分析控矿的地层岩性特征，帮助找矿，例如阿联贝纳斯角西南阿布德赫尔山已知有铬矿存在，它与蛇纹岩和橄榄岩伴生，在“双子座”卫星像片上，该区比周围显得暗些，其面积相当以前地面勘查时所指出的四倍，因而认为该区是进一步勘探铬矿的有远景的地区。又如在卫星像片上揭示出在秘鲁的丛林中，有破火山口形成物存在，以前没有人发现过，它与出露在美国的富含铅锌矿的破火山口形成物特征相似，因此在找矿方面也是值得注意的。

4. 由于硫化物在氧化时要放出热量，有时甚至在冻土带造成“暖窗”，所以可以利用红外技术从空中进行探测。

5. 在低轨道的人造卫星上进行磁测，有可能帮助寻找磁性矿床。

四、遥感技术在找矿方面的应用

使用大比例尺航空像片，尤其是彩色和红外彩色像片，能直接识别原生矿体及矿化地区的露头，尤其是金属矿床及露头的特异彩色形成良好的找矿标志。例如在彩色航片上磁铁矿、锰矿、煤矿等呈深灰色或黑色；赤铁矿、斑铜矿为红色；孔雀石、铜矿、次生铀矿、次生铬矿为绿色；风化的铁帽常呈褐色；盐矿、石英脉矿呈白色等等。由于矿体露头与围岩抗风化、抗侵蚀能力不同，形成岩墙或沟谷，也可直接识别。此外，人工开采区的采矿场、竖井、平峒、废石堆、尾砂等在图像上也能直接识别。

许多情况下直接判读标志由于有地面覆盖物或其它原因而模糊不清，无法在像片上直接判读识别。这时需采用间接判读标志来判读识别。例如矿床与岩性及地层的相关性，可利用岩性或地层来推测，像铬、镍、钴、钼往往含在超基性岩体中；我国华北煤矿则与侏罗系和二叠系地层有关等。也可以利用围岩蚀变作判读标志找矿，例如硅化，次生石英岩化表现为正地形，而绢云母化、绿泥石化则表现为负地形。另一方面可根据地貌标志找矿，例如石油大多蕴藏在沉积盆地中，而古河床、阶地中可能有砂金矿床等。还有的矿与植物的变异有关，例如放射性矿床、某些金属矿床、硫化矿床等对植物有毒害作用，在茂密森林地区有斑块状植物枯萎的地区往往会有大矿，这在世界上也是屡见不鲜的，这些间接判读标志在遥感像片上也比较容易发现。

遥感影像的特征值，还可以参与回归分析来推估矿藏的储量，回归分析是将与矿藏储量有关的因子列成回归方程：

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \cdots + b_m X_m \quad (8-1)$$

式中：Y 为矿床储量；

b_0 、 b_1 、 b_2 … b_m 为回归方程系数；

X_1 、 X_2 、 X_3 … X_m 为参与回归分析的诸因素。例如 X_1 为断层频数， X_2 为可变蚀区， X_3 为 MSS4 亮度值， X_4 为 MSS7 亮度值… X_k 为 MSS7 / MSS5 比值等等。

回归方程系数用已知矿点的测定值(包括 Y_i 和 X_{ij} 为矿点号， $i=1, 2, 3\cdots n$ ， $j=1, 2, 3\cdots m$)代入回归方程，并用最小二乘法拟合后得到。回归方程系数确定后，对未知矿点只要将各因素的观测值代入，可以估求出储量 Y。当然在使用回归方程的过程中，还必须分析方程的拟合优度和置信度。

§ 7—2 遥感技术在地质灾害调查、监测和防治中的应用

遥感技术和航天技术的发展为地球资源和环境研究开辟了广阔的道路，也为自然灾害的调查和防治提供了崭新的手段。目前，遥感技术在防灾减灾工作中得到广泛地应用。从判读方法、数据处理技术到理论机制和制图手段，从监测分析、预报决策实用化到国际协作，可以说已初见成效。灾害研究工作出现了应用遥感技术的令人鼓舞的深刻变化，使防灾减灾工作出现了从未有过的生动局面。

一、遥感技术在滑坡、泥石流调查中的应用

滑坡、泥石流遥感调查可分为识别、微地貌结构调查、发育环境调查三大部分，据此为工程提供滑坡、泥石流分布位置、边界、范围、土方量、类型、运动方式、活动性、产生条件等，以评价对工程的影响。

1. 滑坡、泥石流识别

识别滑坡、泥石流是最基本的遥感调查，应根据滑坡、泥石流的特殊地貌形态，如后壁、滑坡堆积体、泥石流形成区、流通区和堆积扇等来识别它们。在一些大型水利水电工程和铁路等遥感调查中都成功地进行了沿岸、沿线的滑坡、泥石流识别，并利用立体像对及相应地形图确定它们的位置、边界范围、土方量，在较常规工作少得多的经费及时间条件下，较准确地编绘出大面积范围的滑坡、泥石流分布图。如 1981 年，由 1: 1.5 万和 1: 5 万彩色红外航片解译得出二滩库区沿岸有大于 10 万方的滑坡、崩塌 140 余处，经地面验证，准确率达 90% 以上，以前的地面工作在该范围只发现崩塌滑坡 8 处。由于高山峡谷、地形特别复杂，库区的主要滑坡基本上都是用遥感方法发现的。

在三峡库区，用航片解译有崩塌、滑坡 178 处，地面调查为 156 处，遥感新发现 40 处，否定 18 处。成昆铁路 3000 余平方公里的遥感调查中确定泥石流沟 73 条，地面调查仅 36 条，新确定 37 条，其中一些是在 1984、1986 年发生的泥石流，从而验证了遥感识别的准确性。宝天铁路，通过解译共发现危及铁路的滑坡 61 处、崩塌 94 处，而过去已经登记在册的滑坡与崩塌分别为 15 处和 34 处。

这些实例说明用遥感技术识别滑坡、泥石流已是一项比较成熟的技术，识别方法仍以目视解译为主。对于 $<100\text{cm}^2$ 和 $>0.2\text{cm}^2$ 的滑坡、泥石流图斑，一般不易遗漏，所用资料以全色和彩色红外航片为主，卫片只适于特大型滑坡、泥石流解译。

2. 微地貌结构调查

微地貌结构的调查为进一步确定滑坡、泥石流类型及活动性，活动方式、速度等提供依据，以了解哪些将危害工程。

上述大规模遥感调查都进行过详细的微地貌结构调查。如二滩遥感工作中调查提出了四处可能危害工程的滑坡。离坝址约 80km 的大坪子滑坡，覆盖面积达 2.2*2.4 平方公里，滑坡堆积体土方量近 4 亿吨，是一个地面上难以识别、却在航片上易于发现的潜坡，经微地貌结构解译后，分析判断该滑坡滑动方式为堆移式，有一个统一的滑动面。在堆积体前缘及剪出口位置用立体像对估算前缘堆积体高度约 100 米，并认为滑坡整体目前虽稳定，但从航摄像片上看，对岸的盐塘滑坡群不断活动，将江水向该岸逼进，使该岸前缘遭受强烈冲刷、侵蚀，故滑坡有整体快速下滑危险，下滑时将会有短期堵扛，冲浪将可能影响坝址。

滑坡、泥石流微地貌调查一般使用 1: 1 万左右航摄像片解译，并与地面工作密切配合。

3. 发育环境调查 +

发育环境调查是指用遥感技术调查与滑坡、泥石流发育有关的环境因素，如构造部位、地层岩性、断裂、含水带、植物覆盖、土地利用等，从而推测滑坡、泥石流发育环境及产生条件，进行区域危险性分区及预测。

遥感技术迅速获取的大量与滑坡、泥石流有关的环境数据，大大丰富了滑坡、泥石流信息；也促进了它们与环境信息的综合分析利用。如在成昆铁路泥石流沟航空遥感调查中，将影响泥石流沟形成、发展的环境因素归纳为 10 个因子：岩石组合类型、构造特征、坡度、主沟床平均纵比降、泥石流扇形地发育情况、植被覆盖度、人类不合理活动程度、水土流失状况、物质补给方式、单位面积松散物质储量，由遥感解译并判别其发育程度分为三等，分别赋予 10、7、5 分。最后，10 个因子的总分相加。总分为 80—100 者，属泥石流活动危险性大，对铁路有严重威胁的泥石流沟；70—80 分者属中等；50—70 分为轻微。

二、遥感技术在滑坡、泥石流监测中的应用

对滑坡、泥石流的监测主要有灾害快速观测及多时相动态观测两种。

1. 灾害快速观测

灾害快速观测就是对工程有较大影响的滑坡、泥石流发生后，立即进行大比例尺航空摄影，尽早捕捉灾害信息，以了解灾害特征、活动性、灾情

及继续危害的可能性及程度。如 1985 年 6 月 12 日凌晨 3:45 分, 长江西陵峡左岸发生了 3000 万方大滑坡, 高速下滑的土石摧毁了新滩镇, 占据了 1/3 的长江航道。6 月 26 日, 地矿部遥感中心即对滑坡区进行了 1:1.5 万彩红外、彩色航空摄影和热红外扫描飞行, 利用这些资料准确圈定了滑坡活动范围, 解译了形态特征, 确定了运动方式、滑动方向和物质来源。认为该滑坡经过这次大滑动整体已经稳定, 局部可能有一些小的调整性活动。并使用航片资料制作了最新的 1:5000 滑坡地形图, 为地面监测工作提供监测部位及工作底图。

2. 多时相动态观测

利用不同时相的遥感资料观测滑坡、泥石流, 了解其动态变化, 作出预测是目前使用较多的监测方法。

如二滩水库的冉坪子滑坡, 它是一个活动滑坡, 为冉坪子泥石流沟提供物质来源。据 1955 年及 1981 年所摄航片求出滑坡堆积体减少了 555 万方, 这些物质直接由冲沟带人泥石流沟。而由 1955 年和 1981 年航片求出的泥石流堆积体覆盖面积基本相同, 见图 8—1。说明该泥石流扇的堆积与侵蚀基本平衡, 亦即在 26 年内, 滑坡物质下滑后由泥石流搬运至沟口堆

积的物质与输入雅砻江的物质大体相当。这样, 便可估算该泥石流平均每年的人江物质为 $555 \text{ 万方} / 26 \text{ 年} = 21.3 \text{ 万方}$ 。与 102 亿方的二滩库容相比, 该条泥石流沟不致造成大的威胁。

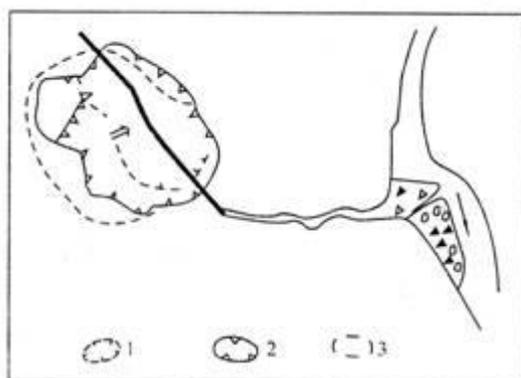


图 8—1 冉坪子滑坡、泥石流解译图

1—1955 年滑坡边界, 2—1981 年滑坡边界,

3—滑坡裂缝

从不同时期的航摄像片上还可以看到冉坪子滑坡东坡 26 年变化很小基本稳定, 西部坡体呈活坡性, 上部已被拉裂破坏, 由其上的马刀树、醉汉林分布特征推断该部分正在向下滑动, 同样用表面积与平均滑体厚度乘积的

方法估算出分水岭以下的滑体约为 240 万方。在气候及其它地质地貌、人为活动不发生突变的情况下，今后该部分滑体将仍然与以前相似的速度向下滑动，并由泥石流向雅砻江输送松散固体物质。同时，滑坡不断向后发展。大约用十几(20 万方 / 21.3 万方)年时间，该部分坡体将全部下滑，由泥石流输送到江中。

预测在十几年以后，滑坡后壁将逐渐越过分水岭，滑坡规模逐渐变小；滑动速度降低，向雅砻江输送的物质也逐年减少，滑坡活动渐渐停止，坡体趋于稳定，泥石流活动也趋于停止。这样用，遥感多时相解译估算的泥石流储备物质总量，可能入江总量，年平均入江量及滑坡、泥石流活动预测，为对二滩水库评价提供了基本资料。

三、遥感技术在滑坡、泥石流治理中的应用

利用遥感技术进行滑坡、泥石流调查，特别是动态监测，在全面了解滑坡、泥石流现状、产生条件及发展趋势的基础上制定防治规划，使防治工作建立在全面、扎实的基础之上，减少了盲目性，提高了治理效果，取得明显效益。

以成昆铁路遥感调查为例，通过遥感图像解译、验证确定的泥石流沟，建立了包括灾害工点名称、路基形式、边坡坡度、地质、地下水、植被、灾害产生原因、现有灾害治理措施评价等内容的灾害工点卡片。对其中 36 条泥石流沟提出了治理建议。基层工程单位认为遥感提出的成果对铁路有计划地进行泥石流速治有现实的指导意义，并采纳了建议。有的泥石流沟改涵为桥、有的在雨季派员监守，某些安装了无线报警装置，有效地避免了一些泥石流灾害。如活脚沟，原来地面调查认为是清水沟，但通过 1965 和 1987 年两个时相的遥感图像对比解译，发现 22 年间耕地增长了 11.52%，流通区新增加了 2 处滑坡，近期主沟床下切强烈，并逼至左岸，导致该岸坡面失稳，不断向沟床提供松散固体物质。经综合分析，认为有暴发泥石流的可能，建议尽快采取工程整治措施，建议被采纳后，作了扩大桥下净空，加大沟床纵坡等处理工程。次年，该沟果然暴发了一次泥石流。由于事前的工程措施，使泥石流物质顺利从桥下通过，避免了一次灾难性事故。

西昌城市泥石流防治规划是应用遥感技术又一成功实例。我国西南山区重镇西昌市深受泥石流危害，由于城市上游地质地形复杂，交通闭塞，无法了解泥石流的全貌，只好在城区部位消极防御，防洪工程效益很差，经济损失和人员伤亡惨重。1986 年，利用 1955 和 1981 年两个时相的航片，配合 1:20 万 MSS 卫片图像对全流域 425 平方公里进行了遥感调查，查

明了城市上游约 280 平方公里范围为泥石流形成区,该区新构造运动强烈,植被破坏严重,共分布滑坡、崩塌等松散固体物质 6.7 亿方,为西昌泥石流提供了丰富的物质,这是西昌泥石流频频暴发的主要因素;中游流通区短而狭窄,沟纵比降大,泥石流直奔下游城区,迅速沉积,势必成灾。根据这些调查,制定了全流域的泥石流防治规划。上游以生物措施为主,以植树种草减少水土流失,提高水源涵养;工程措施为辅,选择有效部位设置三处泥石流拦挡工程,拦淤部分大颗粒物质。利用中游承上启下的地理位置,监测上游滑坡泥石流活动状况,预报灾害到达下游的时间和规模。下游以工程措施为主,生物措施为辅。设置停淤工程,对下游城区河道设计防护工程及沿河建筑改建,以保护城市安全。这说明遥感调查为制定根本防治西昌泥石流的规划提供了全面、可靠的资料。

§ 7—3 遥感技术在环境污染监测方面的应用

随着科学技术的发展,遥感技术已成为环境监测和预报的有效手段。近几十年来兴起的环境遥感就是利用遥感技术揭示环境条件变化、环境污染性质及其污染物扩散规律的一门学科。环境条件如气温、湿度的改变和环境污染大多会引起波谱特征发生不同程度的变化,而地物波谱特性的差异正是遥感识别地物最根本的依据。环境遥感便是在这一基础上发展起来的。航空、航天遥感可以从空中对地表环境进行大面积同步连续监测,改变了从地面研究环境的局限性。

一、水的污染

水面污染大致分为两种:一种是工业废水,水面油污染和垃圾污染。另一种是热污染。例如电厂冷却水排出流入河湖里或近海岸的海面,它改变了水温,影响了水中各种生物的生长,破坏了生态平衡。

1. 红外探测水污染

由于水的红外辐射具有的独特性质,例如油污染物覆盖水面,它减少水的蒸发而产生的热效应与没有污染的水不同,另外,像染料,氢氧化物和酸等的辐射在波长和强度上都不同于水。当我们掌握了各种污染物质的红外辐射光谱特性,那么我们就在水面辐射的光谱模型中来识别各种污染。使用热红外成像仪器对水区进行不同时间的拍摄红外像片或扫描影像,在影像上各种石油和化学悬浮污染物的热标志与水的热影像是显著不同的,识别它们也不困难。现在利用飞机或卫星进行高空多光谱摄影或扫描,

根据所获得的水面光谱强度资料与正常水面光谱资料相比较，使用小型电子计算机实时处理，就能获得水源中各种污染情况的信息。

2. 评定水质

利用航摄像片并辅助以其它遥感手段是现今评定水质行之有效的方法，尤其是对大面积水域的勘察最为有用。所谓水质是就水的物理、化学与生物的特征而言。水的物理特征包括其温度、密度、粘性、颜色、透明度等条件。例如水的颜色常反映水中所含的悬移质、溶解质及生物的多少与种类。水的透明度愈高，则摄影所能透入水的深度愈深，在像片上能看到水下细部。水的化学特征主要是指它是最普通溶剂，能溶解许多矿物质和化学药物，例如水被硫酸污染之后只有某种特殊的藻类生长在酸性水中，其残留体保留在土壤中以致污毒地表，有时数十年内都会妨碍植物生长，含酸的沉积物便常年被剥蚀扩散，以致污染影响范围日益扩大。

水污染物包括人为的污染物如污水、家畜废物、工业废物、农肥农药、油料废物等等。

自然的污染物包括从土层岩层淋溶出来的矿物质，水禽、野兽粪便及死亡的水生动植物等。除此以外还有工业遗热的热污染，放射性物质污染等。这些污染物对受污染水的影响如下：(1)使水受污染或毒害的影响；(2)增加水中的悬移质(或沉积物)；(3)消耗水中的溶解氧；(4)增加水中非毒性的盐类；(5)使水温增高。由于这些影响致使污染的水发生一系列变化，如改变水的颜色，悬移物形成混浊现象，阻碍光线射入水中等等。

由于以上现象在航空像片上的反映是：缺氧的水色调常呈黑色或呈暗色，水温增高，改变水的密度与粘度，在像片上表现为淡色调异常。铁氧化物沉积对河床岩石常被矿酪污染，沉积物肉眼能看得清晰。硫酸排水污染在全色黑白片加浅黄滤光片的像片上，红与黄呈淡色调。

受污染的水在像片上可见到一些异常影像如下：(1)悬移质多；(2)漂浮的固体物质多；(3)溶在水里气体多；(4)水的颜色有差异；(5)水温有差异；(6)水里生物的密度或分布定向有所不同；(7)水生植物与藻类有差异；(8)静水面上的太阳光反射不同；(9)由于水的密度与粘性不同所形成的水流形式也不同。

3. 卫星监视水污染。

卫星能有效地监视水的污染。如生长在海上或湖泊里的藻类在卫星影像上可以清楚地看出来，大工厂排出的废水也可以看出来。

例如利用 ERTS—1, MSS—5, 6 光谱带的影像上非常明显地看到纽约提康德罗加堡北面的国际纸业公司造纸厂的流入钱普林湖的污染流。这个污染流流到佛蒙特州的海岸。地面观察也证实了这个污染结论。由于高浓度的磷酸盐溶液引起了大量藻类的繁殖。这种污染流在 ERTS 影像上色调就像混浊湖水一样显得比较暗些。

4. 海岸环境监测

关于海岸环境监测, 卫星影像可以提供很多有价值的信息, 对海面工业废物的探测和定位, 研究污染带和污染水团的动态, 以供海岸环境进行规划, 监视和管理, 以便保护海岸环境。例如:

(1)法国科学家利用 ERTS—1 影像研究一些工业单位把工业废物倾倒在科西嘉附近的海面上, 那些含有铁钛的氧化物和硫酸等成份的废物(叫做“红泥”), 严重地威胁着当地的生态平衡, 卫星影像上可以发现这些工业废物所形成的一条长 25 公里、宽 2—3 公里的污染带。

(2)从卫星影像上可以看到纽约湾垃圾倾倒的形状, 这个区域长约 9.4 公里, 宽 6.16 公里, 面积约为 1250 公顷, 与新泽西州海洋最新的距离为 16.25 公里, 它的位置要比原计划的垃圾倾倒区靠岸更近一些。从计算机处理过的数字图像上分析, 酸性废物(0.62—0.7 微米处, 有一反射峰值)的表面膜上悬浮着固体等废物, 在纽约湾中形成了一个环状区域。

(3)日本大坂湾及其附近、海水污染已形成了强大的潮流所造成的水团周期性运动, 过去大坂湾水污染的情况从来没有监测, 即使用常规逐点观测, 也发觉不了水团周期性运动状况。日本科学家利用 1972 年 10 月 24 日 ERTS—1 拍摄的大坂湾及其附近极有价值的多光谱图像, 在 MSS—4、5 中可以看到水团错综复杂的灰色影像。为了把水中污染物与大气中的云和烟雾以及海浪的反射区别开来, 科研人员将 MSS4、5 的正片与 MSS—7 负片叠合起来进行处理。从影像中看到受污染的水团断断续续向海洋水团扩散, 污染或混浊水团反映在潮汐期间以顺时针方向旋转的旋涡形式向北移动的潮流。在大坂湾中部, 海洋水团和污染水团之间的锋面是沿东北—西南方向运动。

二、大气污染

近年来, 人们越来越多的关心大气污染问题。其中首先是大气环境的探测和监视。大气环境探测意味着定量或定性地发现那些自然过程的任何微

小偏离、并按其性质给予分类。大气环境监视就是大气污染的探测和测量。遥感技术应用于大气污染的测量和探测也只是最近几年才逐渐增多的。

1. 探测空气污染

探测象烟囱排出的烟和喷气式飞机引擎的排出物等热污染分子的情况是根据每种分子固有热辐射性质。分子的热辐射提供了这种分子存在的标记。一般说来辐射强度很弱，需使用高灵敏度的接收技术才能做到；

环境空气的监视，污染物质的浓度要比靠近污染源地方低得多。这就需灵敏度很高的探测系统，要考虑大气“窗口”，选择适当波长。

现在多光谱遥感所分的光谱段多到 20 个谱段，采用高灵敏度探测器在高空和空间轨道上进行试验研究、试验的结果还是令人满意的。现在地面上所采用的可调谐二级管激光系统是灵敏度很高的探测系统，可以相信不久的将来它可以应用到高空或空间的遥感监测系统中去。

美国佛吉尼亚州的一些科研人员发现利用 ERTS—1 影像能够观测该州大约一万个烟囱的粒状发射物。先绘制这些烟囱的位置图。而后就有可能观察的固定发射源和一些建筑工地上烟囱没有审定的发射源。如果再把在地面上取得的一些气象、空气质量和发射物浓度的资料也应用到这些研究上来，就有可能通过卫星影像监视烟囱排出微粒的速度。他们还研究了由城市火灾和飞机喷气尾迹以及固定来源所冒出来的烟云和大气气溶胶的含量。他们在 1972 年 9 月 23 日的 ERTS 影像上，辨认出来自工业区的几条烟柱，每条都超过了十公里长。

对大范围大气混浊度的监视，可通过 ERTS—1 的 MSS4 影像的密度与相应地面的大气混浊度测量进行分析比较，发现两者之间存在着密切的关系。

2. 监视大气污染所引起的天气变化

通过分析 ERTS—1 所拍摄密执安地区影像，发现湖面上空积云，要比湖面以外的云密度大，发展的要快些。分析研究是由于对岸十几个大工厂所冒出的羽毛状烟雾的灰尘，促使了湖面上空云的形成和发展，这是一个由于人为影响而引起天气变化的例子，使人们第一次清楚地观察到这种现象。

对研究晴空流区及其预报提供了一种新方法，通过 ERTS 影像研究分析日本轻津海峡及其临近地区，发现薄卷云，高空急流轴和晴空湍流之间有密切的关系，研究结果都经飞机实测验证。

三、地面污染

工矿区和农业区，甚至林区都有地面污染，工业废水废渣、矿区酸性矿水，农业区大量农药喷洒以及林区里森林工业废水和锯末等废渣，对地面进行大面积并且是有形的污染。在常规航空像片上很容易识别，并可进行定性和定量的观测，但在空间遥感技术上尚在继续研究中。

例如研究受采矿排出的酸性矿水影响的地区和位置，曾经在美国宾夕法尼亚州萨斯奎哈纳河西部支流地区，利用 1972 年 9 月 6 日 ERTS—1 的 MSS 数据磁带进行了计算，分析该矿区排出的酸性矿水，结果表明 MSS—4, 5, 7 三个光谱带对矿区和酸性矿水标志的鉴别都能取得良好的结果。并使用地面观测资料和飞机取得资料进行评价 MSS 数字处理的结果，认为可以确定现在采矿区范围、类型和每一个矿区的次一级的分类，并且可以绘制成图。但是若以 ERTS—1 影像进行目视分析是不能完成的。因此利用卫星影像资料定期监视大面积地区现在采矿的范围和位置测得土壤受污染的面积及其变化情况，评价采取消除和减轻污染措施的有效方法也是可行的。

四、环境质量的评定

工业发达国家，由于工业废气废水的污染，使森林受到危害，植物急剧减少，从而引起地表水份减少，土壤湿度热量发生变化，造成严重的环境污染。

1. 林区环境质量的评定

用 1: 100, 000 比例尺像片彩色红外航摄像片和资源卫星(ERTS)影像都能绘制环境污染范围的草图，勾绘实际危害地带，例如加拿大奥太罗，瓦瓦地区由于二氧化硫对该地东北方向的森林(西南方向是海面)危害，通过影像判读划分了四个带如表 8—1。

表 8-1 二氧化硫危害的影像判读标准

危害带	判读标准	符号
全部杀伤	几乎所有植被不存在了,岩石裸露,土地类型显著;没有明显的树木生长,所有树木几乎全部受到致命伤害	T
重度杀伤	植被很少,有一些零星分散发育不良的树木和灌木。岩石裸露已表现出来。	H
中等危害	高白桦树受致命的伤害(大于 50%)其他阔叶树和针叶树没有值得重视的致命伤害*。有些早熟的、残存的白桦叶子变色。偶然有些浓密的阔叶树苗生长在低凹的地方。	M
轻度损伤	**低白桦树受到致命的伤害,有些桦树叶子早熟变色。原始林里白松变黄。	L

注: *白桦叶子变色是由于二氧化碳臭气蒸坏,多数叶子偏黄,即使部分被杀伤了,不得不变为浅的草褐色。

*在轻度损伤带里,由于臭气薰坏早熟叶子而变色就不存在了。

在 ERTS-1, MSS-5 波段影像上的各个破坏带(全部杀伤、重度杀伤和中等危害带)的黑白正片影像上,以灰色色调(影像密度变化)判读是容易描绘的。轻度损伤带可以用 ERTS 影像增强的密度变化彩色增强法判读,但不能勾绘出范围来。需用航摄像片勾绘。

在植物生长季节里, MSS-5 波段的影像上可获得的破坏情况最明显。其主要理由如下:

(1)在红光波段范围内对岩石、泥土、沙子、树皮和枯树叶有其最高光谱反射力。

(2)在红色光谱范围内绿色植物的叶绿素被吸收了。因此在 5 波段上密林覆盖面积将是深色系调。

危害带分析表明如下:

(1)全部杀伤带里几乎没有植物存在,在影像上色调最亮。

(2)重度杀伤带里仅发现少数植被的小块面积,比全部杀伤带的色调要暗一些。

(3)中等损伤带有一些树木在色调上比前个暗些,但仍不如杀伤带外林地的色调暗。

由于目视判读和用影像增强法表明，在未受二氧化硫影响的林地是不可能描绘出轻

度损伤带来，但是可以勾画出中等杀伤带的范围。也就表明在 1:1,000,000 比例尺

ERTS 影像上的微小变化。可以勾画危害地带的范围，说明各地带的环境质量。

也有难于鉴别的重度危害带和其他目标，例如砍伐、森林火灾迹地，以及冬天的湖面

和沼泽地受二氧化硫危害面积，在勾绘这些地区的形状轮廓时，要依据主风方面而产生的

情况，才可能有所帮助。其情况如下：

(1)有较强发源地(例如工业区瓦瓦(Wawa)市)。

(2)在一定的方向上，同时发生的主要风向的危害区。

(3)在距发源地远的地方危害减少。如正在采伐活动和火烧迹地也可勾出综合轮廓，在距发源地近的地方，三个危害带范围重叠，因此不能勾绘出来。

在林区评定环境质量，利用遥感资料中植被变化是最好的依据。

2. 城市及其周围环境质量的评定

不少国家人口高度集中，城市面积不断扩大，植被面积不断缩小，因而引起一系列的变化，形成严重的环境污染。

在 ERTS—1 影像 MSS 各个光谱段都能反映出各个环境变化，例如在红外光谱段 MSS6 和 7 部分可以反映植被不断缩小的情况。MSS—5 谱段可以观察到由于农耕、土地利用造成的地表裸露所产生橙色光谱增加的情况。MSS—4 谱段能对建筑物增加所产生的青绿光比较敏感，反映道路清晰。

在同名点上用微密度计测量出各光谱段的密度值。用“多光谱彩色系统”作彩色合成影像。不同的色调反映出不同的环境保护程度。用彩色数字化仪器设备测出各色调等级间的面积。

日本科研人员利用 ERTS—1 拍摄东京的影像，对东京 100 公里范围内，先选定两条线路进行密度量测，并画出了光谱段最小电压 19 微伏(mV)和

最大电压 65 微伏之间的电压曲线。然后将从 5 到 7 两个光谱段之间，划分成六级，并用“多光谱彩色系统”的合成影像制图，用它来作为环境区分的基准，在图上划出 100 公里，50 公里，30 公里三个圈，并将环境质量分成五个等级，结果如表 8—2。

表 8—2 环境质量评定

热容量	参考数据和情况			环境质量评定
	平均人口	绿化覆盖率	主要土地利用情况	
2.55	<10	80%	森林地带林区休养地	环境质量良好，在 100 公里圈内 (25537.3 平方公里) 具有净化力区域为 4987 平方公里 (占整个地区的 26.6%)。
3.05	10—40	60—80%	有带状林、农田防护林，属近城郊区	环境质量平衡地区面积有 9374.5 平方公里
3.29	40—80	60—80%	城市外农业地区，有农耕地和块状树林	环境质量较差
3.74	80—150	40—20%	城市街道地区	城市化环境，在 50 公里圈内净化力不足
3.94	150 以上	20% 以下	城市人口密集地区	人口高密度城市地区在 30 公里圈内净化力消失。

4140 平方公里占整个地区 21%

§ 7—4 遥感信息用于农作物估产

研究作物冠层反射光谱特征与冠层状态参数之间的关系，是用 MSS、TM 和 NOAA 等卫星遥感信息进行作物估产的基础。已有研究表明，可见光和近红外波段反射率组成的植被指数随作物冠层状态参数变化呈有规律变化。

反映冠层状态的指标，主要有叶面积指数 LAI，其为单位面积上植被叶片面积：

$$LAI = \text{单株叶片面积} \times \text{株数} \quad (8-2)$$

单株叶片面积的测量值为各片叶子最大宽度 X 长度 / 1.2 的累加。

植土比是另一个决定反射光谱特性的独立因子，它是联系遥感植被指数与作物种植面积的中问参数。植土比的定义是：某一地区作物的种植面积与该地区土地面积之比。植土比与叶面积指数相互独立。

应用遥感信息进行农作物估产，可按如下步骤开展：

(1)分析作物冠层及其背景的反射光谱特征，引入和计算植被指数；

(2)分析作物冠层反射光谱特征与冠层状态参数之间的关系，并进一步确定植被指数与叶面积指数 LAI 之间的关系，及与作物产量的关系；

(3)确定植土比，并根据植土比分析遥感植被指数与作物种植面积的关系；

(4)分析遥感植被指数与植土比和叶面积指数的综合关系，并据此进行农作物估产。

以下分别予以介绍。

一、土壤背景性质与植被指数

在植被覆盖不完全的情况下，植被光谱便受土壤裸露的数量、土壤颜色、土壤含水量及农事活动方式的影响。其影响主要体现在两方面：光谱影响及亮度影响。光谱影响可用信噪比作检测，如果用 RED 代表红光光谱段，IR 代表红外光谱段，则 IR / RED 的信噪比最高。土壤亮度的影响主要表现在：暗色土壤背景使 IR / RED 偏大，因而对作物的估产偏高；亮色土壤背景使其偏小，故在亮背景中对作物的估产偏低。

为了更准确地分析作物冠层及其背景的反射光谱特征，人们引入了各种植被指数的概念，其中主要有：

①比值植被指数： $RVI = IR / RED$ ；

②归一化差异指数： $ND = (IR / RED) / (1R + RED)$ ；

③垂直植被指数： $PVI = [(PS_R - PV_R)^2 + (PS_{IR} - PV_{IR})^2]^{1/2}$ 。

式中： PS_R —土壤在红光光谱段反射率；

PV_R —植被冠层在红光光谱段反射率；

PS_{IR} —土壤在近红外光谱段反射率；

PV_{IR} —植被冠层在近红外光谱段反射率。

不难看出，植物光谱中红波段及红外波段反射率的相互关系是构成各种植被指数的核心。红波段的电磁波是植物光合作用吸收从而制造光物质的能量部分；红外反射部分是植物健康(长势)状况的反映。由它们的各种组合构成的植被指数便是植物光合作用能力，即植物生产力的反应。

二、植被指数与叶面积指数的关系

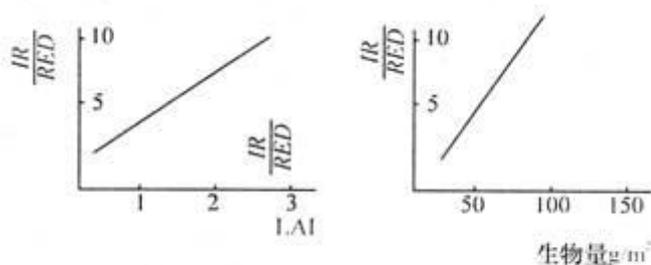


图 8—2 植物反射率的近红外/红外与叶面积指数及生物量关系

绿色植物的叶子是它进行光合作用的基本器官。光合作用所产生的干物质，部分用于增长根系，部分用于增长茎叶。在其他条件相同的情况下，叶面积越大则光合作用越强，而光合作用的增强又反过来增大叶面积。它们这种互为正反馈的关系又促使植物干物质的积累和生物量的增加。光合作用—干物质积累—叶面积增长—生物量增加，这 4 个有联系的因子的信息，大多不能为遥感传感器所直接获取。但是，它们的生理机制却能通过植物反射光谱中不同波段反射率的组合而间接地从遥感数据的分析中得到证实，这就是生物量或作物产量遥感估算的理论基础。

例如， IR / RED 与叶面积指数 LAI ，叶干生物量有很好的相关关系(图 8—2(a)，(b))。 $(1R-R) / (1R+R)$ 也随叶面积指数及干生物量的增加而增加(图 8—3)。

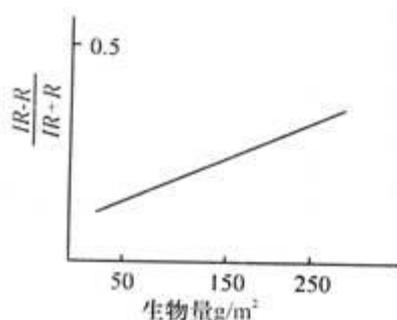


图 8—3 $\frac{IR-R}{IR+R}$ 与生物量的关系

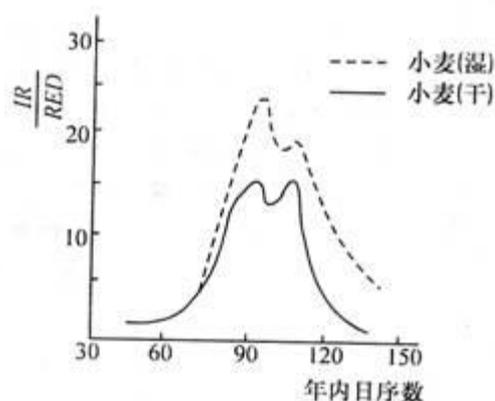


图 8—4 IR/RED 值对时间的依赖性

决定植被指数的 RED 和 IR 反射率是随不同作物期而变化的。由于叶绿素含量及 LAI 的增加，作物的红光区反射率随作物生长而迅速减小。作物成熟后，叶子衰老，红光区反射率则增大；作物的红外反射率随种植时间而渐增，在叶子衰老前达到最大。这样，如图 8—4 所示，RVI 必然随着作物的物候期而变化。ND 的变化情况与此相近；在作物生长前 40 天缓缓增大；第 40 天到 80 天间，随着作物覆盖度增加而迅速增大；一旦作物覆盖完全，ND 达到最大值；作物成熟后，ND 下降。

植被指数对时间的依赖性除了取决于植物的生理状态外，还取决于太阳高度角和方位角变化对植物冠层反射率的影响。从这点考虑，IR / RED 比值与 LAI 的关系在全年内是比较稳定的。因而，用 IR / RED 来估算 LAI 是一种较为可靠的方法。

三、植被指数与植土比的关系

卫星遥感中，每个像元都有非植被背景，植土比值是影响像元植被指数的重要因子。

对于混合像元，设各种地物面积比 $K_1, K_2, K_3 \dots$ ，对 λ 波长辐射的反射率为 $\rho_{1\lambda}, \rho_{2\lambda}, \rho_{3\lambda} \dots$ ，混合像元的反射率为 ρ_{λ} ，根据反射率的定义，可推得(1, 2, 3, ……代表 1 类地物，2 类地物，3 类地物等)：

$$\rho_{\lambda} = \rho_{1\lambda} \cdot K_1 + \rho_{2\lambda} \cdot K_2 + \rho_{3\lambda} \cdot K_3 + \dots \quad (8-3)$$

根据地物在可见光和近红外波段的反射特征，可把地物划分为两类：绿色植被和非绿色背景。从宏观考虑，非绿色背景中，裸土占绝大部分，其它裸露表面反射特性亦相似于裸土。故可用裸土代表非绿色背景。

非作物绿色信息对遥感植被指数的影响随时空变化，这是妨碍作物遥感估产的重要因素。在用遥感估测作物面积和产量时，必须设法剔除。假设地表只有农作物和裸土，在某像元内植物占的面积比为 k_w 则裸土占的面积比为 $(1-k_w)$ ；又设它们在第 i 通道光谱段的反射率为 ρ_{wi} 和 ρ_{si} ，像元混合反射率为 B ，则有：

$$\rho_i = \rho_{wi} \cdot k_w + \rho_{si} \cdot (1-k_w) = \rho_{si} + (\rho_{wi} - \rho_{si}) \cdot k_w \quad (8-4)$$

(8—4)式是在不考虑次要地物的前提下，混合像元的反射率取决于像元内植土比和植物冠状反射特性及土壤背景的反射特性。

根据理论推导，比值和归一化差异植被指数与植土比分别成指数和幂函数关系，当叶面积指数较小时，它们对植土比的变化反应不敏感。垂直植

被指数与植土比呈直线相关，其对植土比的感应能力也随叶面积指数减小而下降。就估测作物面积而言，垂直植被指数较有优越性，但是，应当选择叶面积指数较大的时期。

四、植被指数与植土比和叶面积指数的综合关系

实际上，植土比和叶面积指数同时随空间而变化，因此，应综合地分析植被指数与两者的关系。如果不考虑次要因素的影响和土壤反射特性的空间差异，像元光谱反射率和植被指数是植土比和叶面积指数的二元函数。

对同一地区来说，作物品种特性差异较小，作物长势越好，叶面积指数越大，作物产量就越高。在县或地区范围内，作物理论产量(主要指冬小麦)与抽穗期叶面积指数成很好的直线相关关系。鉴此，可以视一个地区的平均叶面积指数 LAI 与该地区植土比 k_w 的乘积 L_k 为该地区作物总产的线性相关因子。由半经验公式计算结果表明，植被指数与总产的关系是在一多边形区域内变化(图 8—5)，大体上可用直线模拟，但是相关系数不会很高，这是因为构成同样的总产可以有多种不同的单产和面积组合，而植土比对植被指数的贡献大于叶面积指数。这是作物遥感植被指数——总产统计模式需进一步解决的问题。

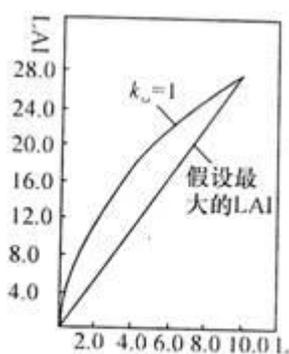


图 8—5 PVI 与 $LAI \times k_w$ 的半经验关系图

五、应用实例

以下以气象卫星遥感资料估测大面积冬小麦产量为例进一步说明前述的作物估产过程。

NOAA—9 和 NOAA—10 两颗气象卫星每天在同一地区能获得 4 次遥测资料。卫星上安装的 AVHRR(改进的甚高分辨率辐射仪)有 5 个波段，即第一通道(P_{CH1})可见光 $0.58 \sim 0.68 \mu m$ ，第二通道(P_{CH2})近红外 $0.725 \sim 1.1 \mu m$ ，第三通道(P_{CH3}) $3.55 \sim 3.3 \mu m$ ，第四通道(P_{CH4})热红外 $10.5 \sim 11.5 \mu m$ ，第五

通道(P_{CH5}) $11.5\sim 12.5\mu m$,地面覆盖宽度为 $2800km$,星下点分辨率 $1.1km$ 。这对大面积宏观的冬小麦估产,具有明显优势。

1. 卫星资料的选用

对 AVHRR5 个波段的数据可以用不同的数学方法加以组合,得出不同的组合模式。通过分析,比值模式 $G = P_{CH2} / P_{CH1}$ 对绿色植物反应较敏感,可用比值植被指数 G 建立与单产的关系。

由于大气状况的影响,往往导致比值植被指数偏小,不能准确反映地面情况,可采用几天内资料中最大的一次作为小麦的实际比值植被指数值。

2. 对产麦区分层

气象卫星资料所反映的小麦长势是地面的实况,但由于地形、气候的差异,通常不是同一发育期的水平。也就是说,气象卫星资料反映的植被指数值差异含有发育期差异的信息。若不把发育期差异的信息排除,就不能正确建立产量与植被指数之间的关系。通常可根据冬小麦返青、拔节期资料及卫星资料,对产麦区进行分层,然后按层建立估产模式。

3. 建立预报模式

已有研究表明,比值植被指数 G 随小麦叶面积指数呈某种函数变化,在观测到的叶面积指数变化范围内,该曲线近似于一条直线。进一步通过点图分析,表明冬小麦单产与比值植被指数 G 也基本上呈线性关系。通常冬小麦单产是以县为单位统计的,因此,应以各县的单产和平均植被指数为基础,建立各层的产量模式。对于每个县非冬小麦因子的剔除,应选择具有代表性的地块进行实地调查和经验分析。对于北方冬小麦产区,4月上中旬,大面积的山林区,植被指数值提高,而大片的春播作物和杂草等,植被指数值较小;这时期小麦的植被指数值介于两者之间。这样,即可比较容易地把麦田与非麦田分开。然后把各像元点的比值植被指数值进行不同区间的组合,用逐步回归方法计算。表 8—3 是山东各地用 1986 年 4 月 11 日的比值植被指数值与单产建立的关系式。

表 8—3 用各层小麦单产与比值植被指数值建立的关系式

层 \ 项目	模 式	相关系数	样本数	相关检验
胶 东	$y_1 = -104.4 + 102.45G$	0.827	20	0.001
鲁西北	$y_2 = 107.3 + 70.39G$	0.750	21	0.001
鲁东南	$y_3 = 82.9 + 60.65G$	0.826	14	0.001
鲁西南	$y_4 = 117.0 + 55.07G$	0.713	19	0.001

4. 冬小麦估产预报

由于每年温度回升速度不同，冬小麦返青后的生长发育进程也不同，因此，不同年份而日期相同的冬小麦，其发育期不完全一致。在作估产预报时，应当考虑这一点。其方法：

选定当年某时间的资料后，先把各层的植被指数值订正到预报模式所对应的积温水平上，再计算各层的平均植被指数值，代人模式进行预报。

有人用表 8—3 的预报模式预报了山东全省 1986 年冬小麦的单产为 250kg，实际统计单产为 247kg。又在此模式的基础上，预报了 1987 年山东全省的小麦单产为 245kg，统计单产是 244kg。误差均小于 2%。