

全国遥感遥测及农业区划 训练班讲义选编

北京市农科院土肥所编

一九七九年五月

内 容 简 介

本讲义是根据农业部委托北京市农科院于一九七八年十一月七日至二十五日在北京市通县举办的全国遥感遥测及农业区划训练班的讲课资料选编的。内容分两大部分：一部分介绍有关遥感遥测的基本知识及应用方法和原理；一部分介绍与农业区划有关的各方面知识。讲义中稍有修改的部分如有错误由编辑人员负责。

本书可供全国土壤普查及农业区划工作的领导同志、具体工作人员及大专院校有关专业的师生参考。

目 录

一、土壤遥感的发展	(1)
二、应用航空遥感资料进行土壤普查制图的方法	(12)
三、航空象片的基本知识	(26)
四、在土壤调查工作中具体使用航片的实习	(47)
五、遥感的基本知识及航片的地貌判读和解释	(53)
第一部分 遥感的基本知识	(53)
第二部分 航片的地貌判读和解释	(74)
六、利用航空象片进行森林调查的经验介绍	(109)
七、土壤调查中植被和土地利用的判读	(118)
八、农业区划问题的探讨	(129)
九、中国地貌区域与地貌分类	(140)
十、农业地貌条件评价和分类	(149)
十一、地下水与农业区划	(157)
十二、关于农业区划的若干经济问题	(168)
十三、农业资源开发、利用的技术经济问题	(174)
十四、我国的土地利用和农业区划工作	(180)

土壤遥感的发展

中国科学院南京土壤所

戴昌达

一、遥感的概念与基本原理

遥感一辞至今还没有一个公认的简练的定义。一般这样认为：遥感即遥远感知的意思 (remote sensing)，就是在远处，不和待测物体或现象接触，而是通过安置在飞机或卫星等运输工具上的仪器——传感器，接受该物反射或发射的电磁波，并把它记录下来，然后对记录资料（称遥感资料或遥感信息）进行分析判读，从而达到识别、了解处于远方物体或现象的目的。

太阳辐射出的能量是一连续性电磁波谱，穿过日—地空间受到大气层的吸收、散射、投射到地面后，发生三种变化形态：吸收、透射与反射。被物体吸收的那部分电磁辐射能或迟或早又会转换成人眼看不见的红外或微波发射（过去称辐射，为与太阳辐射区分，拟改称发射）而释放出来。另一部分则直接被物体表面反射出来。由于各种物体的化学组成与物理性质（如表面光滑程度、内部晶格排列情况等）的差异，它们吸收、透射与反射电磁波谱的成份与强度不一；吸收以后再发射出的成份与强度也不尽相同，物体反射太阳光的成份与强度的不一，导致物体表面产生不同的亮度与颜色，这是人眼能够察觉的；物体吸收以及吸收后发射的电磁波谱成份与强度的差异，导致物体有不同的热效应与电导性等，这些则是人眼或其它器官难于分辨的。普通航空摄影就是利用各种对光能敏感的材料（主要有黑白全色片、黑白红外片、真彩色片、假彩色红外片等），在接受到物体反射出的可见光至近红外光（0.4—1 微米）后，发生不同程度的光化学反应而显示为不同的色调或称灰度（黑白片）与色彩（彩色片）。这种常规航摄也称摄影遥感。

至于热红外（中、远红外）以至微波，目前一般都利用对红外与微波敏感的探测元素，采取扫描方式，获得信息数据，直接记录于磁带或经电光转换，记录到感光材料上而成图象，这种非摄影遥感，是现代遥感技术发展的方向。

由于某些地物发射的微波信号比较微弱，灵敏度不很高的探测元件不易精确探测出来，所以在现代遥感技术勃兴之前，人们就研制成了能主动发射强大微波信号的雷达。它发出的脉冲波遇到物体后产生不同的吸收、反射与散射，然后根据接受到的反射与散射信号来鉴别客体，目前国外已投入使用的有真实孔径、合成孔径的侧视雷达及雷达散射仪等，有人把这种主动发射电磁波的探测手段称遥测，而与那些被动记录物体本身反射与发射电磁波的传感器如微波辐射计多谱段扫描仪等相区别。但也有人主张不管主动或被动式，只要不和待测物体接触都属遥感范畴，而与待测物体接触，测得的结果经通信系统传递到远处为人们所知则称遥测，如各类遥控的无人观测站等。现代遥感技术的发展趋势表明，这两者将紧密结合，形成从地面到空中以至外层空间的立体观测体系。我们

设想,我国自己的资源卫星上天之后,若卫星、航空或地面遥感手段都不易精确定性定量的某些土壤特性及肥力要素,则可考虑运用遥测手段建立无人观测站,把测定数据发送到卫星上的数据收集系统,然后再向地面站传送,这样就可能对土壤特性与肥力要素的动态变化实行大面积同步定时观测,及时提供指挥生产的有用资料,使科学种田水平大大提高一步。

二、土壤航空遥感的萌芽

国际上最早将航空摄影用于土壤制图的是美国人Cobb。他早在1918年就带着航片去野外进行土壤调查制图。由于航片上相当详细地反映了摄影地区的景观,而地形图上各种地物都依靠特殊的符号表示,不能直观地反映其本来面目。这样,在航片上找目标、定方位就比在地形图上要容易得多。稍后(1929年),Bushnell报导了按美国农业部土壤调查计划使用航片进行一个县的调查制图情况。他得出结论,认为航片既实用,又经济,是必须的基本资料,建议在今后所有土壤调查中都使用之。1938年美国全国协作土壤调查标准方法规定,航片作为调查时的底图用。在这段期间,其它许多国家如德、英、法等也陆续应用航片进行土壤调查制图,可以说这是土壤航空遥感的萌芽时期。它的主要特点是:应用航摄获得的象片作为土壤调查制图的底图资料来弥补地形图的缺陷,以便找目标,定方向和注记调查资料等工作更快速、更准确。

三、土壤航判制图

第二次世界大战期间,特别战后,航摄技术及其应用等又有了新的发展,航空摄影测量形成一门独立的科学,有更多国家,在更大范围内,使用单张象片或象片图,作为野外土壤调查制图的基础。这时,能够对航片进行立体观察的立体镜,能够对影象色调进行数据量测的密度计等判断仪器,以及能够纠正象片变形和立体量测地形、地物的仪器设备陆续问世,并日趋完善。随着判读仪器和测量技术的发展,能够直接在航片上观察到更多的现象,收集到更多的资料,使许多科学工作者致力于探索地物客体与航片影象之间的相关性,寻找直接在航片上鉴别客体和现象的标志与方法,从而导致航片判读技术也可译作解译(interpretation)的诞生。在航片上判读地貌类型、地质构造、水文网、林型、植物群落等地理要素比较直观,可以从影象的形状、大小、色调、图型等特点来识辩,但土壤是地壳上部的疏松表层,无一定的几何形状,而且它上面往往为植被所复盖,使之不能在航片上得到直接的反映。即使土壤上没有植物复盖,一般也只能反映土壤的表面,而不是土壤的垂直剖面。剖面各层次的厚度及其物理、化学特性等都不表现在航片上。对于这样一种特殊的地物,如果以一般的判读原理与方法来分析,当然得不到良好效果。正是这种困难,使不少人对航片土壤判读的可能性和可靠性产生怀疑甚至全盘否定。可是,一般传统方法进行土壤调查制图所需的大量艰苦外业工作,以及在航片上反映出的丰富影象,始终吸引着并推动着土壤学家去探索航片土壤判读的理论途径,以便尽可能充分发挥航片的作用,尽可能把土壤调查制图的外业工作量减少到最低限

度。经过反复实践，美国学者先后提出了航片土壤判读的外插法（interpolation）和内推法（extrapolation）等方法，所谓外插法就是带着航片去野外进行路线查勘，在实地建立影象与地物的相关性。路线之间则根据查勘和野外判读获得的规律与经验来分析影象特点。勾绘土壤分布变化界线；所谓内推法，仅使用于新区的探索性调查，判读者把从其它类似地区获得的土壤判读经验应用于待研究地区的室内预判，然后根据预判结果去野外作校核和补充调查，这两种方法都能获得有益结果，大大加快土壤调查制图速度，减少野外工作量。不过在相当长的时间内，这两种经验性的判读方法都只应用于区域性的土壤概测和一般的土壤利用或土地分类调查制图中。

荷兰原国际航测训练中心（ITC）的象片判读专家总结了西方各国的研究成果和经验，提出了航片土壤分析法。这种方法实质上就是以现代土壤学为基础的地理比较法，它借助于某些量测仪器和优质立体镜，对相邻两张彼此有部分重迭的象对进行立体观察与量测，由于一般立体镜的结构，使它的垂直向放大倍率超过水平向的放大倍率，这样就夸大了地物的高差，从而获得更鲜明的立体感。在立体镜下看航片，还可看到各种地貌单元的转变过渡，以及各种不同轮廓形状的土地类型、河流、湖泊、水库和植被状况等等。这些地理要素与土壤的分布和特征都密切有关，通过象片分析，掌握了这些地理要素特性，把它作为标志，就可以在象片上勾绘土壤分部变化界线，判断土壤类型与性状。这样获得的制图单元主要是土群、土壤复区和土相。至于有些在分类时需考虑的因素，如酸碱度、石灰含量、质地、底土颜色等在象片上判别不出来，则依靠常规的野外工作来确定，所以象片分析也不是全部取代野外工作。象片分析的任务在于分析和勾绘那些被认为是重要的，同时又是在象片上可以清楚地看到的客体与现象，然后进行一般的野外调查和实验室研究来解决象片分析所不能解决的问题。这样就使外业工作进一步减少，土壤界线更加准确，甚至比野外实测的土壤图都具有更高的制图精度。

航片土壤分析的可能性与可靠性取决于一系列因素。首先与象片的质量密切相关。而象片的质量又受许多因素的影响，如摄影比例尺、摄影机、感光材料、摄影季节、摄影前后的天气状况，暗室设备与技术等等。据Buringh等人的研究，为了编制1：10万的中比例尺土壤图，使用质量良好的1：4万航片，采取较简单的象片分析法就能达到要求；1：2万的航片可用于1：5万上下的土壤制图，象片分析的要求也随之提高。至于1：2.5万或1：1万以下的土壤详测制图，他们认为象片分析的作用较小，因为土壤详图上要反映的许多内容仍需通过野外调查来获得。但又指出：土壤详测工作者通过象片分析，能够预先确定一些重要的土壤界线，毕竟有助于野外工作。

五十年代苏联开始重视在1：1万等大比例尺土壤调查制图中应用航摄资料的方法论的系统研究，他们运用道库恰耶夫的土壤发生学说和波雷诺夫的自然景观学说的概念来研究航片土壤判读的原理与方法。道库恰耶夫曾指出：土壤是景观要素之一并且象一面镜子反映了其他景观要素。波雷诺夫明确地指出：根据土壤剖面可以从理论上预言景观。反过来，仔细地研究了景观之后，也能够得出关于一定土壤剖面的概念，所以基于土壤与其它景观要素相互关系的间接判读法是在航片上判读土壤的重要方法。但他们又指出：强调间接判读，却不能排斥按照影象特点直接判读土壤的可能性。正是这种直接判读对于大比例尺土壤调查制图具有特殊重要性，因为大比例尺调查制图一般多在农

区,那里地形平坦,自然植被遭受破坏,按间接标志进行判读往往会遇到许多困难。航片虽然仅反映土表,可是从土壤形成的实质考虑,土壤剖面各层次是相互联系的整体。具有不同光谱特性的表土影象对于勾绘土壤变化界线,判断土壤性状和类型有重大意义。他们在不同土壤带进行的试验研究表明:大比例尺土壤制图中运用航片土壤直接判读法确实是可能的。如灰化土带灰化度不同的土壤和局部低洼滞水的沼泽化土壤;草原带的黑钙土和水分状况不同的草甸土、沼泽土;干草原地区的栗钙土和盐土、碱土等等一般都可航片上直接识辨出来。

然而一般黑白航片包含的信息量毕竟有限,往往不足于分析出土壤调查制图所需的全部内容;同时借助于立体镜的判读,不管是间接判读还是直接判读,都凭目视经验,缺乏客观性。为了解决后面这个问题,西马科娃等人曾试验测微密度计的判读方法,用仪器测定影象光密度(即色调),据此判别其内容。但由于影响到航片影象色调的因素太多,加之同土壤异色调,同色调异土壤的现象并不鲜见,所以这方面的研究没有取得重大进展。为了弥补黑白航片信息量不足的缺陷,德、美、苏、英等国的许多学者倡导采用真彩色片和假彩色光谱带片等感光材料。真彩色片对判读植物和某些地区的某些土壤有好处,不过成本高,暗室冲印技术繁杂,与其所得好处相比,似乎意义不大。假彩色光谱带片系由两层感应波段不同的乳剂层组成,获得一张不反映客体真实颜色的象片。由于它感应的波段范围窄了,在这个窄波段内反射率有差异的客体就表现为不同颜色的影象而突出出来,这无疑将进一步提高判读的可能性与可靠性。如CH—2型光谱带片曾用于植被摄影,获得良好效果,但对裸露土壤,其效果则很差,这是因为在CH—2的感应波段内,一些表土反射率的差异不甚明显所致,而在CH—3型光谱带片上某些土壤的差异则又反映得颇为显著。这说明为了制备适用于土壤摄影的光谱带片,必须深入掌握土壤的光谱反射特性,用以指导光谱带片感光波段的选择。为此,札依托夫、托尔契尔尼科夫等人沿用克里诺夫所拟定的方法,测得了一些土壤在可见光域的光谱反射曲线,但他们对曲线的分析仅限于直观的比较,而未应用数理分析统计方法进行较深入的研究。

在这段期间,欧美各国,除致力于彩色摄影外,还发展了黑白红外片和彩色红外片,并发现这类片子对于探测土壤水分差异、鉴定植物长势都很有用处。随后,多光谱照象机、多光谱扫描仪、红外照相机、红外辐射计、微波辐射计、侧视雷达等新型传感器陆续问世,导致“遥感”术语的正式使用,使原来仅仅利用可见光域的航空摄影发生了质的飞跃,形成现代遥感技术,并和航天飞行器相结合,进入了卫星遥感的新阶段。

对发展土壤航空遥感做出贡献的还有第三世界国家墨西哥。他们自1968年开展航测系列成图,一次航空摄影,流水作业分别制出地形图、土壤图、土壤利用图、土壤潜力图,以及地质图、水文地质图等,在植被茂密的湿润地区,拍摄1:2.5万—1:3.5万的真彩色片,以利植被等要素的判读,植被稀疏的干旱地区则拍摄1:3.5—1:5万的黑白全色片,以节约费用,最后都制成1:5万的图件。他们还建立了一套较完整的象片判读与野外调查相结合的工作方法和严格的质量检查制度,使这样系统绘制出的各专业图达到相当高的制图精度;为国家建设及时提供有用的科学资料。

我们自六十年代初期正式开展土壤航测的研究,先后在华北半干旱地区,南方红壤丘陵、山区,西北干旱地区,结合各种任务进行大中比例尺的土壤航测试点。参照外国经验摸

索我国土壤判读理论与方法。我们发现,根据不同利用方式形成的影象图型等特点,能够较易区分开高度熟化的菜园土、水耕熟化的水稻土和一般的旱作土。由于中、小地形差异造成的水热状况及物质移动方式与数量消长状况的不同,以及距居民点的远近所带来的施肥水平高低,所处部位周围状况对成土过程的不同影响等等因素所形成的具有不同肥力水平与理化、形态特征的各种水稻土,在大比例尺航片上,也可以根据直接标志(色调、微阴影等)与间接标志(地形、周围母质、距居民点远近等)相结合的办法全部或大部判别出来。

其他耕作土壤,在播种的作物已基本复盖地表,使表土不能在象片上有所反映时。除了依据地形等因素外,还可根据该地区因土种植的经验,通过土地利用方式和作物种类的判读来推论土壤类型和性状。

我们深切体会到,在一般黑白航片上直接或间接判读自然土壤与耕作土壤都是可能的。无论对中比例尺或大比例尺调查制图都显示了优越性,一般可提高工效四倍以上,并大大改善图件质量。但土壤判读确是一门比较复杂而艰难的科学技术,必须坚持综合分析方向,才能获得良好的结果。

关于土壤制图对航片比例尺的要求,据我们的试验,在农区进行1:1万左右的大比例尺制图,最好使用比例尺相同或略大,稍小的航片,以能清楚反映田块为准则(如用大比例尺航片,用1:2万——1:3万的航片放大也可。在农区进行1:5万以上的中比例尺制图,航片最好不要小于1:5万,以1:3—4万左右为宜,否则农地耕作土壤不能较详细地反映上去。在北方平原进行中比例尺荒地资源调查,一般1:5万航片也就能满足要求了。

由于航摄获得的象片受中心摄影定律的制约,存在影象变形和比例尺差异,不能简单拼接成图,必须经过纠正转绘等技术处理,才能制出比例尺一致、方位固定的图幅。按常规航测方法需整套仪器设备和条件。为了摸索较简易的成图方法,我们参照国内外其它专业航测经验,开展试验研究。试验结果表明:编制“平面控制点位图”并配合投影转绘成图的方法,既可直接从航片制出具有一定精度的土壤图,又还简便易行。这种方法要点是利用现有大地测量资料,并补充必要的外业控制测量或内业联测,测出制图地区的若干控制点,根据坐标位置把这些点标定到专备的图板上去,然后开展辐射三角测量进行平面点位的加密,使得图板上增加许多平面位置已定的点,这些点都分布在每张航片作业面积的四角。作为转绘时的控制点。判读好的航片放置在自行装配的反光投影转绘仪或制成缩小片,用这个投影器进行投影转绘。如果没有投影仪器,则画辐射网格进行转绘。考虑到进行控制测量,对一般土壤、农业单位来说也是个较沉重的负担,所以我们又试验了利用航摄时的航高记录资料,通过计算,纠正各条航带辐射锁网的比例尺来编制平面控制点位图,或使用航摄底片进行象片纠正,编制出象片平面图作为绘制土壤图的基础。这种方法全部免去外业控制测量,可进一步节省制图费用和时间,只是需取得航高记录资料而已。

四、现代遥感技术在土壤学中的应用

1960年美国发射泰罗斯卫星,卫星上携带了红外照相机和电视摄影机。其遥感获

得的资料很快被引入天气观测作业系统，为气象预报服务，取得了引人注目的成果。稍后，宇宙飞船“水星”、“双子星座”，特别是“阿波罗”号对地面遥感取得的一些象片，雄辩地证明：根据星载传感器收集的资料来获得水、土、森林、草场、地质、矿产等等自然资源的大量信息是完全可能的，这就揭开了地球资源航天遥感的序幕。1972年第一颗地球资源技术卫星上天，标志着正式跨进了卫星遥感的新阶段。接着又于1975，1978，先后发射了第二、第三颗资源卫星（由于该卫星系列不能解决海洋探测问题，故从1975年起改称陆地卫星，并于1978年专门发射了第一颗海洋卫星）。第一、二颗资源卫星上载有一台四通道多谱段扫描仪，通道的代号与波段分别为：

4 波段：0.5——0.6微米，兰—绿光，统称绿光

5 波段：0.6——0.7微米，橙—红光，统称红光

6 波段：0.7——0.8微米，红——近红外，统称近红外

7 波段：0.8——1.1微米，近红外，统称近红外

四个波段分别成象，同一地区获得4张不同光谱段的图象。

第三颗资源卫星的多波谱扫描仪还增加了波段为10.4——12.6微米的热红外通道。星上载的另一类传感器反束光导管摄像机也做了改进，有可能取得较多有用的，分辨率更高的象片。其它不少国家也都在积极准备发射自己的资源卫星。

自资源卫星发射以来，已获得大量复盖全球的遥感资料。由于卫星图象复盖的范围广、概括性强，特别适合于中、小比例尺的区域性土壤资源调查制图。美国农业部土壤保持局嵌入了全国1/100万的卫星影象图、用以更新全国同比例尺的土壤图、土壤利用图等。联合国粮农组织的土壤部门参照卫星片编制世界土壤图，最近连年举办遥感训练班，墨西哥从去年开始，打算用二年半至三年的时间完成全国近200万平方公里的1/100万土壤图、利用图的编制。

国外和我们的初步实践都表明：

1、运用小比例尺航片的目视判读方法和经验，按照卫星图象上反映出来的色调、图型结构等标志，不难判别出各种大的地理景观类型如山地、丘陵、平原、冲积扇、三角洲、沙漠、盐碱滩、戈壁、绿洲、雪山、湖泊、水系等等。这些景观类型对于土壤制图来说，往往都是重要的界线。

美国的Westin在研究利用卫片绘制南达科他州土壤组合图时，他把资源卫星上多光谱扫描仪获得的四个波段1/100万片（编号为Mss 4—7）放大并制成1/50万、1/25万、1/10万和1/6万透明片，放在具有非漫射光源、放大功率三倍的透光台上进行观察判读，他发现经过这样高倍率放大后，影象质量并没有降低过多。用重氮盐感光材料放大的1/10万、1/6万片，能分辨出地块界线，可到实地查明各地块作物种类，对照各波段影象色调变化进行研究。另一方面，他把4、5、7三个波段的黑白片按常规方法合成假彩色片，也在透光台上放大观察，这样分析对比假彩色片及各波段黑白片的影象特点，根据其色彩、色调的差异变化，可辨认出许多土壤组合。这样绘制出的土壤组合图比过去常规地面调查制图勾绘的界线要精确的多，费用也节省许多。绘制整个南达科他州的土壤组合图，只需20幅卫片，而使用航片则约需3万张。

墨西哥的土壤遥感工作者为了进一步提高假彩色合成片识别各类不同土壤的判读性

能，还进行了假彩色合成的光谱段—滤光片组合方案的试验，他们发现采取4波段配绿色滤光片，5波段配红色，7波段配兰色。这样组合获得的假彩色片对分辨红色土壤特别有利，它表现为很鲜艳的颜色，极易识别。

2，除了假彩色合成以外，目前国际上还研究了假彩色密度分割、边界增强、单因子抽取等一系列其他影象增强处理技术，并研制了相应的仪器设备，统称为光学机械分析系统，这套系统的建立，使卫片的分析判读水平明显提高，能解决许多在黑白片上肉眼难于分辨、判别的内容。这方面还在继续发展和改进，随着对地物光谱特性研究的深入，将可能更有针对性地选用最合宜的假彩色合成组合方案来大大提高判读的详度和准确度。但需指出：影象增强技术尽管能显著提高卫片判读性能，使影象轮廓鲜明突出，不过它只是目视经验判读的延续和改进，两者并没有发生质的差异，仍难免在一定程度上受判读者的经验和主观性所制约，而且影象增强处理过程一般需一定时间，远不能适应现代遥感技术收集资料又多又快的特点。

3、近代电子计算机及其应用领域的迅速扩展，为遥感数据的自动识别、分类提供了可能性，美国佩杜大学农业遥感实验室最早开展这方面的试验研究，还在1966年就开始探索使用电子计算机对遥感资料进行自动识别土壤利用分类的可能性。随后，密执安大学、加利福尼亚大学等也相继开展试验研究，各自建立了数据处理系统。1970年美国宇航局建立了地物光谱信息系统，集中各单位测定的地物光谱特性资料。1971年5月提出的报告，包括有1000种土壤、100种岩石矿物、2600种植物的光谱特性曲线。1972年又补充了100种土壤，30种植物，500种岩石矿物的曲线。这些曲线既为资源卫星传感器的通道选择提供了参数，又为遥感数据的自动识别分类的研究提供了重要依据。宾夕法尼亚大学的May等人为了了解决无植被生长的裸露土壤识别分类问题，进一步较深入地研究了土壤光谱特性。一方面用机载13通道扫描仪在1000米上空对试验区进行扫描，获得土壤在13个波段的光谱信息。另一方面在实验室用分光光度计测定试验区土壤的光谱反射曲线，经过大气干扰校正，量算出与扫描仪通道相应的波段的光谱信息，然后分别用佩杜大学制定的鉴视分类程序进行自动分类，绘制出土壤分类图。这样搞出的两份图内容、界线都基本相似。尤其是依据7和12两个通道的光谱信息而自动识别分类绘制出的土壤图更加一致，效果良好。这个试验表明，对土壤直接进行自动判读是完成可能的。

瑞典比较成功地解决了森林的自动识别和制图问题。他们能够把卫星遥感数据自动识别出26种森林类型，最后自动制图时归并成9类。土壤和林型的关系密切，森林的自动识别方法有许多可为土壤自动识别所借鉴。

应当指出，电子计算机自动识别这一类数据分析判读技术均以地物光谱特性为主要依据，而影响地物，特别是土壤光谱特性的因素很多，且很复杂，目前这方面的研究虽然有些国家做了不少工作，但总的看还有待深入。在数据分析判读过程中，如何利用这些光谱资料也还是个并未完全妥善解决的难题。

关于应用卫星遥感资料来掌握土壤利用现状、评价资源潜力、指导土壤合理开发利用，是近年国际土壤学界和农学界极为关注的事。美、英、法、瑞典、澳大利亚等第一、二世界国家已经全面开展了这项工作。伊朗、埃塞俄比亚、菲律宾、墨西哥等许多第三世界国家也先后进行了试验研究。

美国最早利用卫片清查北加利福尼亚州荒地资源。这项试验表明：通过卫片判读鉴别荒地类型的准确度约65—70%；卫片虽然不如航片详细、但速度却快20倍，成本降低6/7。在马里兰州切萨比克湾和乔治亚州欧萨博岛，把卫片放大到1:25万，可清楚分辨沿海沼泽的分布范围及人类活动对它的影响。

由于资源卫星每隔18天能重复观测全球一遍，美国掌握了历次观测的全部资料，故能对地面动态进行对比分析研究，例如加利福尼亚大学的土壤学家配合其它专业工作者，对加利福尼亚东北部（属半干旱—干旱区）的春季三个日期、夏季四个日期的卫片进行分析对比，来掌握该地区牧草萌发生长、衰败的变化过程，以及冰、雪融水、降雨补给河流、湖泊、水库的情况，并了解水质变化及其可食性，以指导畜群的分布、转移，使畜牧业的发展建立在科学基础上，使土壤资源制图工作紧密结合生产发展的实际需要。

美国小麦估产工作已为大家所熟知，为了比较精确地预估本国及世界主要产麦国的小麦收获量，首先必须能在卫片上确定小麦的种植面积，辨认出决定产量指标的某些农艺性状如密度、长相、病虫害、成熟度等。此外，还需掌握各地决定小麦生长的基本条件如气候、土壤、地形、水利等等。美国为此动员了多方面的专家，开展十分广泛的试验研究，从某些试验报导看，已经能够遥感探知并区分因病害或土壤水分、养分不足造成的小麦长势不良（稀疏、矮小），也能探知并区分因病虫害或土壤过湿、氮肥过量造成的倒伏等等，达到相当水平，目前还在不断深入和提高。

利用不同日期的遥感资料研究风砂移动、土壤侵蚀演变、土壤盐渍化消长、土壤污染范围与强度等等，国外也有不少报导。为了进一步提高多光谱扫描仪遥感资料监测土壤盐渍化的水平，并实现电子计算机自动识别，在得克萨斯州做了试验。他们利用安置在美国天空实验室（1973年发射）上的13通道多光谱扫描仪遥感资料进行分析，发现第七（0.78—0.88微米）和第10（1.2—1.3微米）两个通道的遥感信息最有利于根据作物长势区分盐渍化程度。在没有植被的休闲地，只有9波段（1.09—1.19微米）的数据表现出与盐渍度较密切的相关性。还摸索了通过推导回归方程来估计多光谱扫描仪各象元的土壤盐渍度的方法。

亚历山大等人，根据资源卫星资料，对宾夕法尼亚露天矿区进行自动数字分析。可把矿区分为开挖区、回填区、发展区和死矿区（由于酸性矿水排出而引起植物死亡区）。在4、5、7三个波段合成的假彩色片上能够清晰看到酸性矿水污染土壤的范围和程度。

我们缺乏仪器设备，只能从现有条件出发，在目视判读上下功夫。结合新疆荒地资源综合考察任务，摸索各波段卫片的作用，及航、卫片配合使用的方法。实践使我们获得一些感性认识。如7波段片检测水体十分准确，凡水面必呈暗黑色影象（灰标级第14、15级）；4波段片还能探测水体的深浅，只要水质和水底状况基本一致，则影象色调随水的深浅而规则变化。4、7波段配合对于清查水利资源十分有用，这在没有灌溉就没有农业的干旱地区进行荒考是非常重要的。5波段能分辨复盖植被的土地和裸露的矿地，能清晰区分具有不同母质和土壤的各种地貌单元的界限。5、7波段配合还有可能进一步分开各种不同的植被类型。在工作方法上，充分利用卫片提供的视野辽阔、概括性强、有利于区域比较研究的特点，先进行卫片判读，掌握住工作地区地理环境的概貌，

选择出荒地分布比较集中、开发利用和改良条件相对比较好的地段，开发细致的航片判读，并参考已有资料和各波段卫片勾绘出预判草图，然后有针对性的到野外进行校核和补充调查，并采样做理化分析，最后修改审定预判草图，采取这样的方法，使外业工作量大大减少，工效提高5倍以上，考察质量也明显提高，许多难于到达地区的情况，不致于无根据地猜测。此外，还可以把我们拿到的航片、卫片系陈旧资料这个不利因素转变为有利因素；通过航片分析掌握了航摄时（1959年前后）的地面状况，通过卫片分析，掌握了卫星遥感时（1972—1973年，个别象幅1975年）的地面状况，这次再去实地补充调查和校核，等于掌握了三个时期的地面状况，这样就提供了分析地面变化及大规模垦荒后对自然条件影响的可能性。

为了力求通过目视判读能够获得较多的土壤资料，并尽可能提高其客观性和准确性，我们还初步摸索了根据多光谱卫片辐射值来判读土壤景观类型的方法。这个方法的实质是，先在野外确定某点是什么土壤景观类型，然后判定该点在四个波段上的灰标级。再把各波段的灰标级换算成辐射值，绘制出辐射值在四个波段的变化曲线，暂称波段辐射曲线。我们发现分布在不同地方的同类土壤景观绝大部分具有近似的波段辐射曲线，取其平均值可以作出代表各类土壤景观的标准波段辐射曲线，并作出它们最佳近似方程，用数学方法来说明各类土壤景观的辐射特征，最后从南疆的190余点资料，初步建立土壤景观的波段辐射特征的分类，归纳出南疆土壤景观筛选判读表，这样一来，以后就可能根据待判读地区的波段辐射曲线的类型和其相应方程的特征常数，来查表确定属什么土壤景观类型，它提供了一条可能较客观地分析判读多光谱卫片的途径。

这个方法把一般肉眼判读依据的色调等级变为确定灰标级，由于影响色调的因素很多，如感光材料、暗室处理条件等等。所以色调这个绝对量是个变值，而定灰标级，取其相对量就基本上消除了上述干扰影响，同时，由灰标级再换算成辐射值，绘制波段辐射曲线。这条曲线实际上就是地物电磁辐射经过大气层的干扰（吸收、散射等）后，被传感器所接受到的那部分光谱能量的近似表现，根据这条曲线特征来判别地物，是完全符合现代遥感技术的原理的。今后如能获得第一、第二代高质量的多光谱卫片，应用测微密度计定灰标级，再配合土壤光谱特性的深入研究（目前我们受仪器设备的限制，只能测可见光域的光谱反射曲线），有可能通过遥感手段对土壤特性及肥力状况进行定性和定量的检测，甚至还有可能以土壤辐射值数据作为输入来建立电子计算机自动识别的运算程序，实现土壤景观类型、特性及肥力状况的自动判读和动态监测。

当然，我们目前做的工作受种种条件的限制，仅仅是初步的摸索，有待做进一步的试验研究来验证和充实。

五、展 望

综上所述，土壤遥感从萌芽至今整整半个世纪了，开始时仅把航摄像片作为野外土壤调查制图的辅助资料，以弥补地形图的不足，以后发展了土壤判读技术，先应用于中比例尺的区域性荒地土壤调查制图，接着又成功地用于农区大比例尺调查制图，并逐步建立了一套航片土壤判读的原理、原则和方法，但由于常规航空摄影综合记录了地物在可

见光域的总亮度,并表现为色调深浅(即灰度),而影响色调的因素又很多,往往会造成色调失真,增加判读的困难,还阻碍着仪器化、自动化判读的发展,使土壤判读一直停留在一般的目视经验判读阶段。

六十年代以来,出现了以卫星为主要运载工具,以宽光谱、窄通道、磁带记录、视频传输为标志的现代遥感技术,使遥感资料的来源大为扩展,遥感资料包含的信息量大为增加,判读技术也随之迅速发展,突破传统的目视经验判读,建立以假彩色合成、假彩色密度分割、边界增强、因子抽取等影象增强技术为主要内容的光学机械分析系统。近年又广泛开展了电子计算机自动识别等数字分析判读技术的试验研究。可以期望,随着传感器的进一步改进、提高,随着计算技术的进一步发展,随着土壤光谱特性研究的进一步深入,土壤自动识别分类和大面积快速监测土壤及肥力动态变化都是可能实现的目标。

我国原来基础比较薄弱,近十余年又受林彪特别是“四人帮”反革命修正主义路线的严重干扰破坏,尽管我们在航、卫片的土壤判读及简易成图方法等方面做了一些试验研究,取得了一定结果,填补了空白,其中关于耕种土壤特别是各种水稻土的判读,根据多光谱卫片辐射值建立土壤景观类型筛选判读表,两种较简易的成图方法,以及土壤光谱反射特性研究获得的某些结果及对结果进行数理分析都具有我们自己的特色,在国外土壤遥感文献中所未见。但总的看来,与国际先进水平差距很大,缺乏仪器设备,还处于目视经验判读和手工操作阶段。不过我们也应看到,我国进一步发展土壤遥感的有利条件,除政治因素外,在技术条件上,目前我国已经普及航空摄影,有的地方甚至有了第二、第三代航片。这样大量的宝贵资料除了用于地形测图外,理应得到更广泛的应用,特别在土壤普查规划等面广量大的大比例尺调查、制图工作中,航片完全能够显示它的优越作用,为支援农业做出应有的贡献。另外,我国自行装置或引进的遥感飞机,可以配合水土资源勘测等任务开展较深入的试验研究。复盖我国疆域的美国资源卫星象片可结合区域或全国的中、小比例尺调查制图任务进行应用研究;多光谱照相机、红外扫描仪、微波辐射计等传感器陆续研制成功;岩石、土壤、植物等地物光谱特性测试工作,采取土洋结合办法,正在陆续开展;继美苏之后,我国成为世界第三个能准确回收卫星的国家,完全可以期望,我国自己的资源卫星必将在不太远的将来进入太空。总之,在我国具备了发展土壤遥感的一定基础,也展示了必须迅速发展土壤遥感的前景,只要领导重视,看准方向,抓住重点,采取切实有效措施,我们一定能够在较短时间内走完国外长期走过的路程。在我国自己的资源卫星上天之前,我们应集中力量,结合国家重点任务(如荒地资源勘测,土壤普查、规划等),开展航空遥感试验和现有遥感资料判读应用的进一步研究,深入分析土壤和其它地理要素的相关性,深入分析土壤性状对影象特点的影响,完善航片土壤判读理论与方法,掌握多光谱片彩色合成技术,建立较完整的遥感资料光学机械分析系统;开展图象自动识别分类试验;系统地开展土壤电磁波谱特性及变化规律的室内、外研究,争取对我国资源卫星传感器的通道选择提供一些有价值的资料。资源卫星上天之后,一方面要尽快完善解决应用电子计算机进行土壤自动识别分类问题,把遥感资料的土壤分析判读与制图联成一个自动化的作业过程,使每天获得的大量遥感资料及时变成土壤专业图件供各方面使用。这就要求建立一个有严格科学性的土壤分类系统、分类依据和指标数量化,并和电磁波谱特性挂起勾来。另一方面,要逐

步把力量转到深入开展土壤肥力要素对电磁波谱变化规律的研究上去，并配合地面遥感遥测系统，争取早日实现对土壤肥力动态进行大面积快速监测，及时提供指挥生产的科学依据，为进一步提高科学种田水平，建立现代化的社会主义农业做出贡献。

(文献略)

应用航空遥感资料进行 土壤普查制图的方法

中国科学院南京土壤研究所土壤遥感组

戴昌达

土是最基本的农业生产资料，扩大耕地面积，进行农田基本建设，提高科学种田水平，都要求因地制宜，看土种植，看土施肥，看土耕作管理，看土采取改良措施。毛主席在总结农业生产规律时，深刻地指示，农业“八字宪法”应该按土、肥、水、种、密、保、工、管、的序列。中心是土，有土斯有粮。大寨贫下中农全面贯彻毛主席指示，成为高速发展社会主义农业的一面红旗。农业学大寨，除了学习大寨大批资本主义，大于社会主义这条根本经验外，还应学习大寨人狠抓改土治水，实行科学种田的技术经验。为此，我们认为有必要采取三结合的方式，以总结群众识土、辩土、用土，改土经验为基础，在农区进行一次土壤普查鉴定。摸清各社、队的土壤底细，制订出改土治水，建设基本农田，发展生产的规划，和因地制宜全面贯彻农业八字宪法的增产措施，并把普查鉴定结果绘制成一套包括土壤类型、肥力状况、利用改良规划等内容的图件，作为安排生产领导生产的指挥图。随着农业机械化的逐步实现，生产规模的逐步扩大，这种图件的作用将越来越明显地突出出来。借此机会，介绍一下我们在大比例尺制图中应用航空遥感资料的初浅体会，供今后开展土壤普查工作的参考。

一、改进土壤普查制图方法的必要性

按传统方法调查制图，需以同比例尺或大于成图比例尺的地形图作为底图。可是我国有不少地区尚未测制1:2.5万以下的大比例尺地形图，为了进行土壤普查制图，这些地区就需从测制底图开始，旷日持久，费钱、费时、费力；某些地区即使有适用比例尺的地形图，但图上与农业生产密切相关的地物要素如田块、地块界线，灌排渠系等往往没有详细反映。以这种底图绘制的土壤图不能把土壤普查鉴定获得的资料落实到具体田块地块，甚至在图上找不到本单位土地所在的确切位置。这样的图件就很难供基层单位具体安排生产指挥生产运用。此外，我国幅员辽阔多山丘，不少地方地形切割破碎，加上耕作历史悠久，土壤变化复杂。在这种情况下以一般地形图作底图进行土壤调查制图很不方便。不仅野外调查的劳动强度大，而且实地测出的土壤变化界线要准确地标到图上去也不容易。这些都是在我国人民公社开展大比例尺土壤普查制图所面临的实际困难。

二、应用航空遥感资料进行土壤普查制图的优越性

遵照毛主席关于学习外国先进科学技术等教导，我们于1962年正式开展革新土壤普

查制图方法的试验研究,先后在南方红壤丘陵区、北方半干旱平原区等四个典型地段的生产单位开展工作。取得的结果表明:应用航空遥感资料将有助于上述各种困难的克服,可以多、快、好、省地完成人民公社、国营农场土壤普查制图,以满足社会主义农业发展的需要。其优越性突出表现在以下四方面:

1、缩短调查时间,提高工效。航空摄影获得的象片客观地、详尽地反映了地面实况,提供了丰富的地面讯息,许多土壤情况通过室内象片判读即可获得。调查总结群众经验也十分方便,农民群众可以对着象片议论各片田块土质的特点、差异性、生产性状、利用改良中遇到的问题等等。只要有针对性的到实地进行一些校核、取样和补充调查即可。因此土壤调查时间大大缩短,工效显著提高。据对比试验,在北方次生盐渍化平原区进行1:1万土壤普查制图,应用航测法平均每组(2人)每天完成调查制图面积5—6平方公里,而常规法仅能完成0.5—1平方公里,工效提高5—9倍。在南方红壤丘陵地区进行1:5000土壤普查制图,航测法平均每天完成2—3平方公里,而常规法仅0.4—0.5平方公里,工效相差4—5倍。

2、增加图幅内容的详尽度。北方某试点地区有1957年按常规法测制的1:1万土壤图,图上分出14个图斑。1958—1959年第一次全国土壤普查鉴定时,总结群众识土经验绘制的土壤图上分出的图斑增加到40个,1962年应用航空象片制的图则分出79个图斑。这充分表明航片的应用能够更详尽地反映自然界土壤分布变化的实况。

3、提高图斑界线的精确性。我们在红壤丘陵区做了一个试验,先以1:5000地形图做底图,采用常规方法制出土壤图;拿到航片后按航测法重新制图,这样制出的两份图上图斑形状有不少出入,为了分析鉴定两种方法勾绘土壤界线的精度,又在两个典型地段进行了大平板测量。实地测出每个土壤轮廓的长度,并在地形图上与经过纠正放大的水平航片上(比例尺均为1:5000)量出相应土壤轮廓的长度。然后分别计算两个典型地段象片判读与地形图勾绘土壤界线的平均误差值,前者分别为8.0%和8.7%,后者到达30.6%和34.9%,可见应用地形图勾绘土壤界线误差往往很大,在象片上勾绘界线的误差则要小得多。尤其是界线突变的轮廓,误差更可降至1%以下。

4、节省测制地形、地块底图的工作量。据南方丘陵沟谷区两个试点资料,航测法(综合法)测地形、地块图比白纸测图节省工夫达4/5强,如果采取立体量测描绘地形的全能法或微分法,则工效还可进一步提高。不仅如此,由于白纸测图虽然可以尽量提高测点精度,但联线、联面的工作仍然依靠目估手描。南方的田块形状很不规则,试点相联难免走样失真,故白纸测出的田块地块图,点的精度可能很高,而线和面的精度则较难保证。在航片上田埂地埂及其它地物都已客观反映,经过转绘成图,即可制出逼真重现实况的田块地块图(见附图和象片),以这种图做底图制出土壤类型图、肥力要素图、利用现状图、利用改良规划图等专业图,把这套图给基层干部与社员群众看,他们根据逼真的地物形状,能很快找到本社、本队经营的土地。他们反映:这样一套形象地把科学资料落实到具体田块地块与山头的图件,看的懂、用的上,确是有助于社、队合理利用土地、提高科学种田水平的指挥图。

三、土壤航测制图的基本工作方法

土壤航测制图方法，主要包括两方面的内容：第一，利用航片所反映的丰富影像，通过室内分析判读来获得土壤普查制图所必须掌握的资料，从而减少野外实地调查的工作量。第二，利用航片作基础，通过转绘成图处理，绘制出符合生产要求的土壤图件，从而代替白纸测图，快速解决土壤调查制图的底图问题。

利用航片进行土壤普查制图的工作步骤，一般可分为五个阶段，即准备阶段，室内单片予判阶段，野外补充调查与校核阶段，转绘成图阶段，总结阶段。每个阶段的主要内容与注意事项简述如下：

1、准备阶段：这个阶段的主要任务是收集资料、整理资料、分析资料。目前土壤普查制图主要是利用为了测制地形图而得航摄的资料，所以首先要查明工作地区按国际分幅的图幅号码，向测绘局联系订购（接触晒印）像片，或加工放大，纠正，编制像片平面图等，并了解摄影的年、月、日，天气情况，概略比例尺，摄影机镜头焦距，感光材料类型，带滤色镜头没有等等与像片判读性能有关的航摄鉴定资料。

订购到的象片，一般附有一张镶辑复照图，它是摄影后检查摄影质量，看是否有遗漏，重迭度够不够等目的而搞的，同时也起象片索引的作用，各图幅涉及那些航线和那些编号的航片。

从镶辑复照图上，也可大致了解本区的概略情况，如山地、平原、河流、居民点，交通网等分布情况，有助于制订工作计划。

其次，还应尽量收集与航片及成图比例尺相近的地形图，以及土壤、地质、地貌、植被、土地利用等专业图件与有关自然地理、经济地理、该区历史演变情况等文字资料。通过对这些资料的收集与阅读分析，可进一步了解该区概况，初步掌握该区土壤形成发育条件，分布规律，与其它地理要素之间的相互联系性等等，可编写一个供开展象片预判参考的地理笔记与判读标志。

订购到的航片，必须注意做好整理工作，否则会引起混乱，因为像片上无地理座标与注记，单独抽出一张像片一时很难确定它所在的地点，同时每张像片的像幅不大（一般为 $18 \times 18 \text{cm}^2$ ）。而且上下、左右都有重叠，纵重叠（即航向重叠）一般55——60%，横重叠（即旁向重叠）一般20——30%。故实际工作中常常涉及到数量相当多的像片，如不整理好，就不能迅速找到所需像片，也不便于及时检查像片是否有丢失。整理的方法就是按图幅装袋，每个图幅内的像片再按航线套纸条，象片袋上注明图幅号，航线数及各条航线所属的像片号，纸条套上则写明航线号和该航线的象片号。这样把像片理好，使用时就非常方便，很容易找到所需的象片，也便于检查象片的保存情况。

勾绘作业面积。由于相邻象片之间存在重叠，在着手进行判读之前，需在每张象片上勾划出进行判读的作业面积，这样不仅可使判读范围不发生遗漏或重复，而且也有利于保证判读质量。因为航片的中心部分最小，最接近于真实，愈近象幅边缘，则因摄影倾斜，地形起伏引起的误差愈大。

勾绘作业面积的方法，是在每张象片四角的纵横重叠，带内用针尖选刺出四个明显