

应用遥感技术进行西藏高原当雄县牧 区土地利用现状详查的方法研究*

刘纪远

(中国科学院遥感应用研究所)

1987年4月18日收稿

摘 要

西藏自治区当雄县的土地利用现状调查工作已经完成。在调查过程中采用了经 IRSA-2 图像处理系统增强和几何精纠正处理的多季相陆地卫星 MSS 图像,以及黑白全色航空像片,建立了利用多时相陆地卫星 MSS 假彩色合成图像和航空像片进行土地利用调查的综合判读标志,完成了利用 IBM PC/AT 计算机进行土地面积量算数据处理的全部程序并解决了内业工作中的技术问题。

调查结果证明,在当雄县使用的遥感方法进行高原土地利用调查,较常规方法可取得更高的调查精度和经济效益。其方法的研究对于完成全藏调查工作具有重要的参考价值。

土地是国民经济建设,特别是农、林和畜牧业发展的基础。土地的数量、质量和分布情况不明,将直接影响各级国民经济计划的科学性,也将对国民经济建设产生不良影响。为了给生产建设及国民经济计划提供依据,国务院明确要求各地在 1990 年以前完成土地利用现状调查。

西藏自治区位于世界屋脊的青藏高原南部,虽经几次自然资源路线的调查,但调查的深度及广度远不及全国其它地区,加上过去数据统计使用的单位与标准不一,又没有对各项统计数字进行核查的标准,因此自治区内各地区、县、区、乡土地的数量、质量和分布情况不清,造成了农牧业生产计划的盲目性。

为了查清全自治区各类土地的数量和分布,1985年8月至1986年6月开展了当雄县土地利用现状调查的试点。由于青藏高原野外工作条件困难,我们充分利用了遥感技术,并参考了国内外的有关研究成果,探索出一条对西藏地区,尤其是对牧区和自然条件恶劣的荒凉地区切实可行的,能节省人、财、物力和时间,又能提高调查精度的技术路线。经11个月的努力,建立了多时相航空像片和卫星像片的综合判读标志,解决了内外业工作中的一系列技术问题,取得了全部调查成果。

经国家土地管理局调查组检验,确认在当雄县的调查中各项精度指标均超过国家有关技术规程的要求,证实了用遥感方法开展西藏县级土地利用现状调查的可行性,为推广

* 本项工作在西藏自治区农业区划委员会办公室领导下进行,并得到杨世仁教授的指导。参加外业工作的还有杨大川、石韧、王长有、孙毅、边觉,参加内业工作的有周静茹、夏明宝、王长有、庄大方、郑天和、王志刚、石韧、胡征宇、关燕宁、孙毅,陆地卫星图像的计算机处理与光学合成在李丽教授领导下由朱重光、李秀云、曹兆丰、王锦地、赵京、郑柯、沈再勋、王燕生、石军梅、刘斌等完成,计算机数据处理工作由周进、艾新元承担。本文经杨世仁教授审阅并修改。特此致谢。

应用于全藏土地利用现状调查提供了重要的借鉴。

一、当雄县的自然条件与土地利用概况

当雄县位于西藏自治区中部，是隶属于拉萨市的唯一纯牧业县。县界经纬度位置为东经 $90^{\circ}54'$ — $90^{\circ}04'$ ，北纬 $31^{\circ}04'$ — $29^{\circ}31'$ 。其版图呈弯月形，并以念青唐古拉山脉为界横跨藏北高原和藏南高山区。分属于藏北内流水系和印度洋外流水系。全县海拔最高点为 7162 米，最低点为 4124 米。

该县大部分土地位于念青唐古拉山脉主山脊线以南，在山脊线以北则有念青唐古拉山脉北坡、纳木湖北、东、南三面的部分土地和纳木湖的东半个湖面。青藏和中尼两条公路自东北向西南纵贯全县，为本县的经济的发展创造了重要条件。县内较大的集中居民地和除纳木湖区外的各县、区政府所在地均分布在青藏公路沿线，形成了一条居民和牧业生产相对集中的狭长条带。



图 1 当雄县土地利用分区示意图

Fig. 1 Land Use Division of Dangxiong County

土地利用分区名称

- I 念青唐古拉山脉以北高寒草原游牧区
- II 念青唐古拉山脉高寒草甸夏季放牧区
- III 当曲—罗朗曲宽谷低湿草甸集中放牧区
- IV 冈底斯山脉东端高寒草甸集中放牧区

该县自北向南可分为纳木湖盆周、念青唐古拉山脉、冈底斯山脉东端高山地及当雄—羊八井断裂谷地等四大地貌单元。牧业发展受到地貌条件的控制,形成与地貌单元界线相一致的四个土地利用类型区(图 1)。

当雄县以念青唐古拉山脉主山脊线为界,可分为两个大的气候类型区。在夏季由于北东向的念青唐古拉山脉阻挡了来自印度洋的暖湿空气,造成山脊两侧降水量相差悬殊。以当雄县所在地气象资料作为南区代表,同时以班戈县所在地的气象资料作为北区代表,可清楚地看出两种类型区的差异。当雄县和班戈县多年平均气温分别为 1.3°C 和 -1.2°C , 年降水量分别为 486.9 和 301.2 毫米。当雄县境内的念青唐古拉山脉以北地区比班戈县略为湿润一些,处于由半湿润向半干旱的过渡地带。

由于较少受到人类活动的影响,因此当雄县的植被与土壤基本保持了自然分布特征。由于植被覆盖类型对成土过程起着关键作用,因此它们之间存在着明显的相关。当雄县横跨两个大的地理类型区,因此植被和土壤表现出明显的水平地带分布,即以念青唐古拉山脉为界,南部为高寒草甸植被及高山草甸区,北部(主要指纳木湖盆周地区)为高寒草原植被及相应的高山草原区。

由于该县境内相对高差超过 3000 米,因此植被的垂直地带性差异显著。在念青唐古拉山脉分水线以南,随着海拔高度的变化,植被可划分为高寒灌丛草甸(草原)带(4200—4700 米左右),高寒草甸带(4700—5300 米左右),高山流石坡稀疏垫状匍匐植被带(5300—5600 米左右),以及常年积雪带(5600 米以上)。此外,在河谷底部以及山前地下水溢出带上,普遍分布着隐域型的沼泽化草甸,这部分草地虽面积不大,但由于地势低洼,产草量高,对牲畜越冬却有重要意义。

二、调查工作过程简述

作为西藏土地利用现状调查的第一个试点县,必须寻求最佳工作方案并进行详尽论证,同时应对一系列具体技术问题逐条加以解决。经反复对比试验,确定当雄县土地利用现状调查的整体技术路线如图 2。

根据当地发展生产的需要,参照《全国土地利用现状调查技术规程》(以下简称《规程》),采用 1:10 万比例尺进行土地利用现状调查。整个调查工作分为准备、外业、内业和成果四个阶段。在准备阶段中完成航空及航天遥感资料的准备及预判,其重点是陆地卫星图像的精纠正与增强处理。在预判中运用先期考察所取得的地面摄影资料及文字材料,对航空像片、卫星像片和地形图进行综合分析判读,力争得到对地表覆盖类型与遥感图像特征相关性的认识。在外业调查中,除完成技术规程的要求外,还进行了大量的地物波谱测试,以建立遥感图像分析判读的理论基础。在内业阶段,着重探讨以先进的技术手段来确保调查精度和工作进展。在成果处理中,主要完成按规程所必须提交的专题图件、表格及调查的文字报告。全部工作共历时 11 个月。

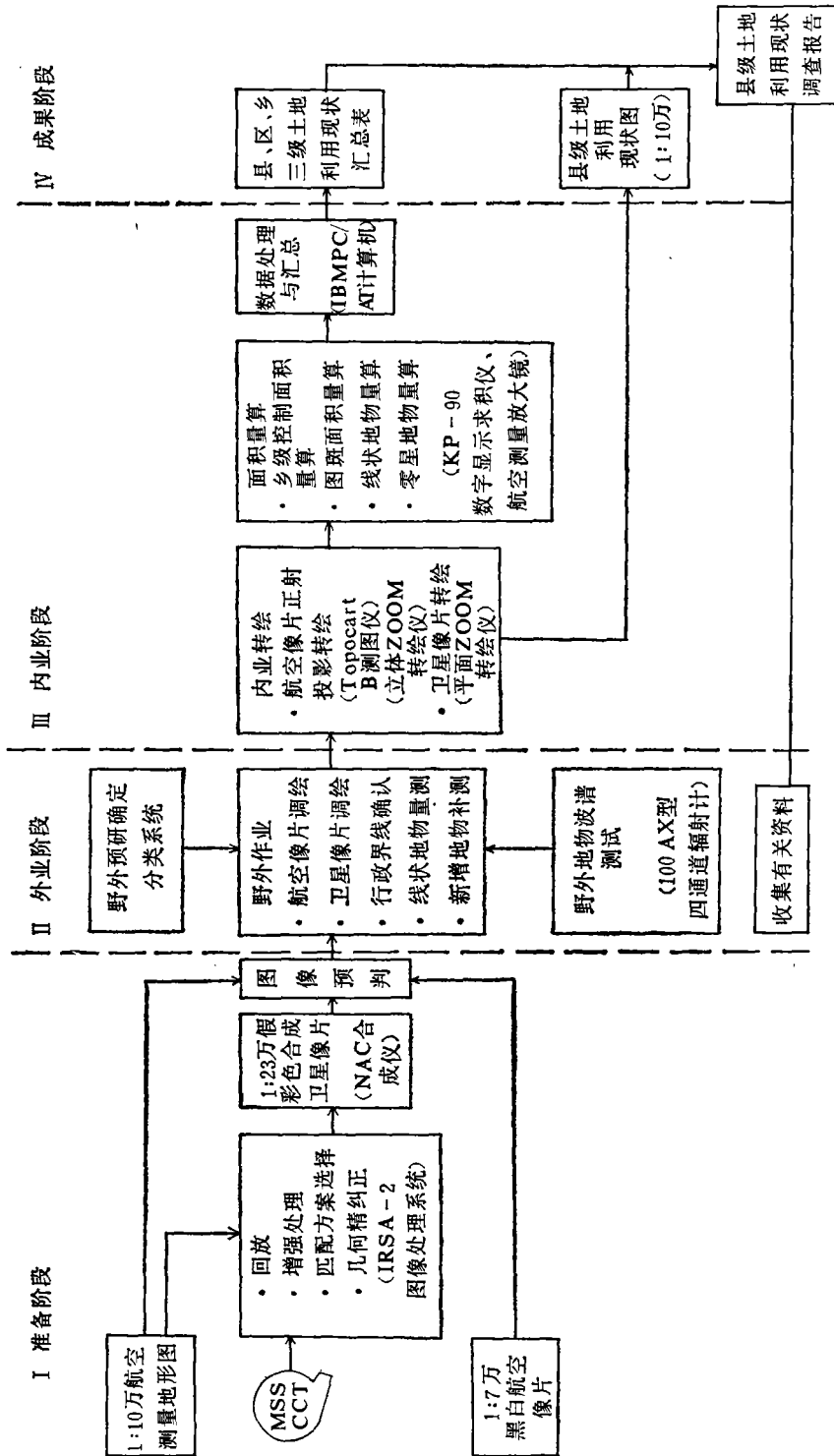


图 2 西藏牧区县级土地利用现状详查工作过程框图
 Fig. 2 Scheme of County Land Use Investigation Process in the Pastoral Area of Tibet

三、遥感图像的获取与处理

本次调查为了提高精度和效率,尽可能地采用遥感资料和计算机图像处理技术。除黑白航空像片外,采用了夏、冬两季的陆地卫星 MSS 假彩色合成像片。除使用粗制卫星像片外,还采用地面控制点对 MSS 图像的 CCT 磁带进行计算机几何精纠正处理,以提高图像分辨率和点位精度,并进行适用于土地利用判读的灰度增强。采用多时相卫星像片对比判读,可提高地类判读精度。

在调查中使用的遥感资料及基本参数如下:

(1) 黑白全色航空像片 18×18 厘米相幅,采用 70 毫米焦距航摄影相机拍摄,拍摄时间为 1971 年冬季,比例尺为 1:7 万左右。

(2) 陆地卫星-1MSS 常规假彩色合成卫星像片,拉萨幅(148-39),时间为 1972 年 9 月 30 日,德庆幅(149-39),时间为 1973 年 7 月 16 日,采用 70 毫米分波段透明负片,用 AC-90B 型合成仪合成为 1:50 万常规假彩色卫星像片。其中拉萨幅(148-39)放大到 1:25 万使用。

(3) 精纠正陆地卫星 MSS 假彩色合成卫星像片拉萨幅(148-39),用美国 EROS 数据中心和泰国地面站的陆地卫星 CCT 磁带,时间分别为 1976 年 12 月 17 日和 1983 年 9 月 26 日,在 1:10 万地形图上选取控制点,用计算机图像处理系统进行图像回放,几何精纠正及图像增强处理,扫描输出为分波段黑白负片,然后在合成仪上合成比例尺为 1:23 万的常规假彩色卫星像片。

根据《规程》的要求,经图像纠正转绘后的调查界线的点位综合误差,在山地其中误差不得大于 1.5 毫米,在 1:10 万比例尺的调查中相当于地面距离 150 米。据美国宇航局《地球资源技术卫星数据用户手册》^[1]记载,目前我国已广泛使用的粗制卫星像片的残存点位误差大约在 750 米左右。这显然达不到 1:10 万土地利用现状调查的要求。为减少粗制卫星像片点位误差对专题调查精度的影响,在一般地区常用转绘仪进行逐块对点纠正转绘,而在西藏地区,尤其是在藏北高原夷平面上,常因在转绘仪视场范围内找不到所需的对应控制点而使这种方法无法进行。为此,我们用中国科学院遥感应用研究所研究发展的 IRSA-Z 计算机图像处理系统来完成卫星图像的几何精纠正^[2]。

几何精纠正采用多项式:

$$\begin{aligned} X &= f_1(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j \\ Y &= f_2(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n b_{ij} x^i y^j \end{aligned} \quad (1)$$

式中 x, y 和 X, Y 分别为卫星图像和地图的对应点坐标,系数 a_{ij} 和 b_{ij} 则是根据选取的地面控制点用最小二乘法求出的。当 $n \geq 3$ 时,可以订正各类主要原因所造成的图像几何畸变^[3],并可将像元点位误差控制在一个像元以内^[4]。为提高几何纠正精度,我们采用三次多项式进行几何精纠正。纠正结果,在控制点上的中误差小于 0.5 个像元,最大误差小于 1 个像元。因此,可满足 1:10 万土地利用现状调查的点位精度要求(表 1)。

表 1 当雄县(148—39)陆地卫星 MSS 图像精纠正处理控制点点位误差分析表(单位:像元=80米)

Table 1 The Analysis Table of the Control Points on the Landsat MSS Images after Accurate Geometric Correction by Using IRSA-2 (Dangxiong, 148—39; Unit: Pixel = 80 meters)

控制点 编号	应得的控制点点位坐标		实得的控制点点位坐标		精纠正后的控制点点位误差		点位误差分析
	x 轴方向	y 轴方向	x 轴方向	y 轴方向	x 轴方向	y 轴方向	
1	784.0	11.0	784.2	11.0	-0.20	0.02	
2	522.0	362.0	521.5	361.4	0.47	0.61	
3	1282.0	98.0	1281.7	98.5	0.33	-0.52	
4	1498.0	292.0	1498.3	292.1	-0.34	-0.08	
5	1675.0	117.0	1675.4	116.6	-0.40	0.43	
6	1926.0	442.0	1926.1	442.1	-0.10	-0.07	
7	1743.0	342.0	1742.4	342.3	0.58	-0.27	
8	284.0	657.0	284.6	657.8	-0.57	-0.80	
9	130.0	873.0	129.7	872.7	0.28	0.33	最大误差
10	607.0	927.0	607.6	927.6	-0.56	-0.57	x 轴方向 0.58
11	895.0	699.0	894.5	698.3	0.52	0.67	y 轴方向 0.80
12	906.0	925.0	906.4	925.3	-0.44	-0.34	平均误差
13	1654.0	559.0	1653.9	558.7	0.10	0.26	x 轴方向 0.30
14	443.0	1259.0	442.5	1258.8	0.50	0.16	y 轴方向 0.32
15	950.0	1396.0	950.4	1396.0	-0.35	0.04	中误差
16	1231.0	1297.0	1231.0	1296.8	0.05	0.22	x 轴方向 0.35
17	1581.0	1303.0	1581.2	1303.1	-0.18	-0.11	y 轴方向 0.38
18	377.0	1737.0	377.2	1736.7	-0.24	0.32	
19	980.0	1611.0	979.8	1610.7	0.18	0.34	
20	790.0	1733.0	789.6	1733.4	0.42	-0.40	
21	1294.0	1941.0	1293.8	1941.5	0.21	-0.52	
22	285.0	2165.0	285.0	2165.1	0.04	-0.12	
23	1203.0	2093.0	1203.3	2092.6	-0.25	0.37	
24	1813.0	2193.0	1813.0	2193.0	0.02	0.04	

除了图像的几何精纠正外,我们还进行了计算机图像增强。陆地卫星 MSS 的各波段均有 256 个灰度等级,但实际上图像亮度范围只占 256 个灰度等级中的一小部分,加上大气散射等作用的影响,致使图像的反差很低。为了提高目视判读效果,往往需要进行必要的反差增强。

考虑到本项工作中所需的影像增强处理的目的,是尽可能显示地表覆盖植被之间的差异细节,因此不宜采用过分增强影像对比度而牺牲部分地物波谱反射信息的处理方法,而采用保留原图像数字信号全部层次,并使这些灰度层次经过直方图扩展而更易为人眼所识别的增强方式。

在选择直方图扩展方法的试验中,对灰度线性扩展、直方图均衡化、归一化及 Wallis 变换等方法处理的图像进行了反复分析对比,结合对被调查地区的初步地学认识,确定采用直方图归一化处理来进行图像的灰度扩展。该处理的结果使原图像的像元灰度扩展到 0—255 范围,并接近于正态的像元灰度分布,从而使图像的目视判读效果大为提高(图 3 和图版 I 中图 4)。

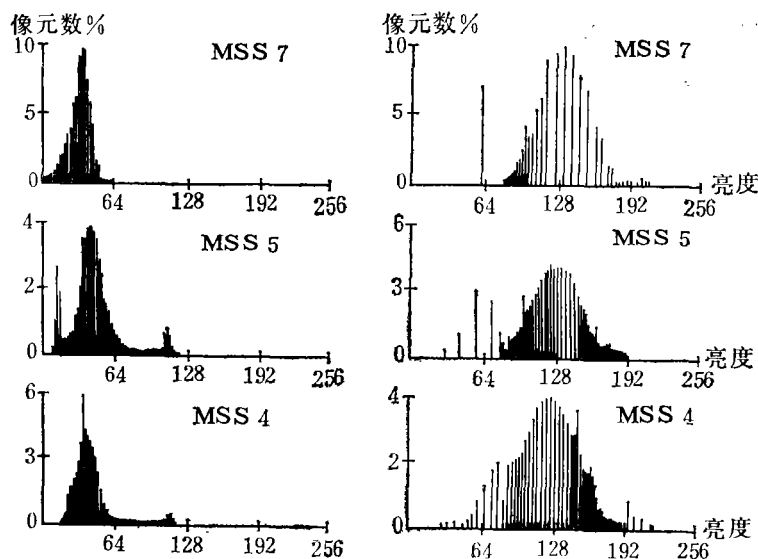


图 3 陆地卫星 MSS 7,5,4 三波段原始图像直方图(左)与经归一化处理后的直方图(右)对比

Fig. 3 The Contrast of Histograms of Original Images (left) and Normalized Images (right) of Landsat MSS 7,5 and 4 Bands

四、分类系统与图像判读标志的建立

为了符合《规程》的要求,考虑到与西藏自治区土地利用现状调查工作的协调,同时照顾到经济建设,特别是畜牧业发展的急需,在本次调查中确定了当雄县土地利用现状调查的分类系统,其中包括一级类型 6 个,二级类型 16 个,三级类型 5 个(表 2)。

在采用多种遥感资料进行土地利用类型判读时,为了建立综合判读标志,外业验证是必须的。此外,我们着重进行了以下两项工作,以指导图像判读。

1. 地物波谱测试与统计分析

通常的遥感图像判读,强调形状、尺寸、模式、阴影、色调、结构、位置七大要素的综合分析。而陆地卫星 MSS 图像,由于受到图像分辨率的限制,反映地物波谱反射特征的图像色调(色彩)特征较航空遥感资料就显得更为重要。当然,陆地卫星 MSS 接收到的地表物体反射强度受大气传输的影响,而从接收到信号到产生影像产品的过程中,又受到多种仪器和感光材料特性的影响,使图像判读中使用的卫星影像特征与地物分波段反射特征之间有一定的差异。但它们之间仍存在着良好的相关关系。因此,野外测试的地物波谱特性对理解和分析单波段卫星影像色调和建立彩色合成卫星影像的颜色判读标志具有重要意义。

我们于 1985 年 7 月至 8 月结合野外调查采用 100 AX 型四通道辐射计,装配了与陆地卫星 MSS 4, 5, 6, 7 四个波段分别对应的透射滤色镜,对当雄县境内各类地物的四个波

表 2 当雄县土地利用现状分类系统

Table 2 The Land Use Classification System in Dangxiong County

分类等级与名称			含 义
I	II	III	
林地			生长乔木、灌木等林木的土地
		有林地	树木郁闭度大于 30% 的林地
		灌木林	覆盖度大于 40% 的灌木林地
牧草地			生长草本植物为主,用于畜牧业的土地
		天然草地	以天然草本植物为主,未经改良,用于放牧或割草的草地
			沼泽化草甸草地 在地势相对低洼,排水不良或有轻微季节性积水地段分布的隐域性草地,植被以中生型植物为主,有大量的湿生植物参与,还包括用于放牧的沼泽草地
			高寒草甸草地 分布在高原森林线以上寒冷湿润环境条件下的草地,植被以植株矮小的中生型莎草科植物为主,含用于放牧的高山垫状植被。青草期植被覆盖度大于 20%
			高寒灌丛草甸草地 灌丛郁闭度在 40—10% 之间的高寒草甸草地
			高寒灌丛草原草地 分布在高原约海拔 4000 米以上寒冷干旱环境条件下的草地,植被以旱生禾本科植物为主。青草期植被覆盖度大于 10%
			高寒灌丛草原草地 灌丛郁闭度在 40—5% 之间的高寒草原草地
居民点及工矿用地		改良草地	经补播、灌溉等措施进行改良的草地
		人工草地	人工种植牧草及饲料的土地
			指城乡居民点以及居民点以外的工矿用地,包括其内部交通用地
居民点及工矿用地		城镇	镇建制的居民点,不包括其范围内用于牧业的草地
		农村居民点	镇以下居民点用地,不包括游牧临时营地
		独立工矿用地	居民点以外独立的各种工矿企业建设用地
道路			居民点以外的各种道路用地
		公路	国家和地方公路,包括路堤、路堑、道沟
		农村道路	牧区可通行畜力车的道路,不含牲畜驮运小路
水域			陆地水域和水利设施用地
		河流水面	天然形成或人工开挖河流常水位岸线以下的面积
		湖泊水面	天然形成的积水区常水位岸线以下的面积
		沟渠	人工修建,用于排灌的沟渠
		冰川及永久积雪	表层被冰雪常年覆盖的土地
未利用土地			目前还未利用的土地,包括难利用的土地
		沙 地	表层为沙覆盖,基本无植被的土地
		裸岩、石砾地	表层岩石或石砾覆盖面积大于 50% 的土地,不含符合牧草地覆盖度标准的放牧地

段的反射率进行了大量测试。测试地点最高达到海拔 5400 余米。

波谱测试数据的分析包括, 各类地物的植被指数计算, 各类地物波谱反射率在 MSS 5, 7 波段二维空间的集群趋势分析(图 5), 以及分波段反射率的置信区间估计等。置信区间估计是以假设各类地物的各波段反射率按正态分布, 并按照下式计算:

$$u \pm t_{\alpha/2}(n-1) \frac{\delta}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

式中 u 为同一地类各测点反射率均值, δ 为标准差, n 为样本数, α 采用 0.05, $t_{0.025}$ 的数值在 t 检验表上查得, 分析结果见表 3。

在计算机图像处理系统上分波段读取了各主要地类的大量原始像元灰度数据, 分别计算 90% 置信区间, 得出了与表 3 十分

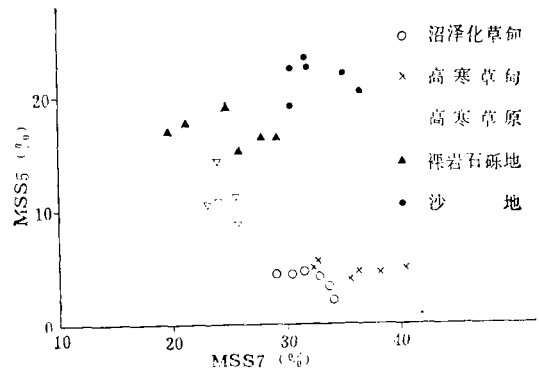


图 5 当雄县几种不同土地覆盖类型波谱反射率的集群趋势(1985 年 7—8 月)

Fig. 5 The Clustering Tendency of the Spectral Reflectances of Several Landcover Types in Dangxiong County (July-August, 1985)

表 3 当雄县五种主要土地覆盖类型的分波段反射率 95% 置信区间 (1985 年 7—8 月野外实测)

Table 3 The Spectral Reflectance of Respective Bands (Confidence Interval: 95%) of the 5 Main Types of Landcovers in Dangxiong County (Obtained in Field in July—August, 1985)

反射率% 地类	波段	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7
		(0.5—0.6 微米)	(0.6—0.7 微米)	(0.7—0.8 微米)	(0.8—1.1 微米)
沼泽化草甸		3.53—5.27	2.91—4.55	17.48—23.06	29.95—33.79
高寒草甸		4.54—6.32	4.10—4.76	22.09—29.65	32.47—39.27
高寒草原		7.99—11.57	9.49—13.05	19.21—23.23	23.28—25.52
裸岩石砾地		13.40—15.16	15.22—18.34	19.24—22.92	20.50—28.44
沙地		14.98—18.82	20.09—23.35	26.13—30.41	28.60—36.70

相似的结果, 证明了图像灰度与地物反射特征之间存在相关性。

从以上分析可对各类地物在夏季单波段陆地卫星影像上的色调和假彩色合成卫星像片上的颜色及其成因得出初步的结论。例如, 在夏季 MSS 4 波段影像上, 沼泽化草甸色调最为深暗, 高寒草甸次之, 高寒草原为灰色, 裸岩石砾地为灰白色, 沙地为最明亮的色调。又如, 在夏季 MSS 4, 5, 7 三波段常规假彩色合成图像上, 沼泽化草甸为暗红, 高寒草甸为鲜红, 高寒草原为微红, 裸岩石砾地为青灰或灰色, 沙地为灰白色。

图 5 和表 3 还表明了利用多波段数据区分各类地物的可能性。分析表明, 除沼泽化草甸与高寒草甸在分类判读中可能出现少量的混淆外, 其它各地类的图像颜色都有明显

差别,是容易辨认和区分的。

2. 遥感信息的时空差异分析

土地利用现状调查中的类型划分,往往以地表植被覆盖的差异为明显特征。在判读不同时相的遥感资料时对植物季相变动造成的地表反射波谱特征差异,必须予以重视。例如,在当雄县,青草的生长盛期基本与雨季相同,即6—8月份。在此期间,假彩色合成卫星像片上植被所表现出的色彩差异,往往直接反映植被的覆盖度,而覆盖度相似的草地

表 4 当雄县土地利用现状调查遥感图像分类判读标志

Table 4 The Interpretation Keys for the Land Use Classification on the Remote Sensing Images in Dangxiong County

地类名称	空间位置特征	冬季黑色全色航空像片	冬季常规假彩色合成卫星像片	夏季常规假彩色合成卫星像片
有林地	水源充沛的东部 4200 米以下山坡	* 色调深暗,表面影纹粗糙,放大镜下可直接观察到树冠	红棕色,难与灌木林区区分	鲜红或暗红色,难与灌木林区区分
灌木林	4200—4700 米的山坡或宽谷,少量可达到海拔近 5000 米的高度	* 影像特征与有林地相近,但影纹较细碎,放大镜下可直接估计覆盖度	* 微红棕色,与有林地相近,但与各类草地差别显著	鲜红色,与有林地及草地相近
高寒草甸	海拔 4200—5300 米,其上有一个裸岩、石砾带,或直抵常年雪线	无明显特征,界线难以勾出	微黄棕色,与草原类植被及裸岩之间均为过渡界线,难以准确勾绘	* 次于沼泽化草甸的鲜红色,与裸岩及草原植被之间界线清晰
沼泽化草甸	高程变化大,但都位于地势相对低洼的汇水盆地或河流两侧	* 色调深暗,边缘清晰,大面积的沼泽化草甸中常间有黑色水面或线状水流	* 微红色,其间的水体为深蓝色,边界清晰	* 最为饱和的鲜红或暗红色,其间的水体为深蓝色,边界清晰
高寒灌丛草甸	海拔 4200—4700 米的山坡,少量可接近 5000 米。	* 近似于灌木林,但覆盖度较低	不连续的微红棕色,草本植被类型难以确认	* 同高寒草甸,有无灌丛难以判定,必须结合航空像片对照判读
高寒草原	念青唐古拉山脉以北的 4700 米以上高原夷平面以及当雄—羊八井谷地中的沙砾质冰水沉积	色调较淡,为灰白色,但界线难以勾出	黄白色,界线难以准确勾绘	* 微红色,类型界线较为清晰
高寒灌丛草原	与高寒草原类似,但不超过 5000 米。在局部山地和冰碛平台的阳坡面有非地带性分布	* 近似于灌丛草甸,但色调较浅	微红或暗棕色,草本植被类型难以确认	* 同高寒草原,必须结合航空像片对照判读才能确定灌丛的有无
建设用地		* 航空像片的分辨率足以准确判读,个别新增地物需补测	卫星像片的分辨率不能满足调查要求	同左
河流湖泊水面		* 最深暗的色调,边界十分清晰	* 深蓝色,少量冰冻水面呈浅蓝色	* 深蓝色,边界清晰
永久积雪与冰川	海拔 5600 米以上为常年积雪。冰川延伸的最低高程约 5000 米	色调最明亮,易与冬季临时性降雪相混,界线不能勾出	同左	* 白色,冰舌呈天蓝色,界线可准确勾绘
沙地		均匀的灰白色调,但地类边界不清晰	微黄色,地类边界不清晰	* 微黄色,与生长植被的草地界线十分清晰
裸岩、石砾地	海拔 5300 米以上。以及个别非地带性风化堆积	色调深暗,有时与草地界线混淆	青灰色,与草地界线为过渡型	* 青灰色,与草地的红色之间界线十分清晰

注:表中*号系指判读该地类的最有效遥感图像。

与灌木林地则难以区分。而在冬季,由于草本植物枯黄,卫星像片上的草地颜色与裸露土地相近。而某些灌丛中由于有常绿灌木存在,在卫星像片上颜色仍偏红,因此易与草地区别(图版 I 中图 6)。

遥感信息的空间差异,在当雄县主要表现在自然地理环境的水平与垂直地带性差异。当雄县处在藏南高山区向藏北高原区的过渡地带,植被的水平分异主要表现在由高寒草甸类型向高寒草原类型的过渡。同时由于县内海拔高度的最大差值达 3000 米,因此自低向高出现了高山灌丛草甸、高山草甸、高山垫状匍匐植被高山流石坡和永久冰雪覆盖地等 4 个垂直植被带。这种景观的水平与垂直地带性分异特点,使遥感图像上的地表覆盖信息表现出明显的空间分异特征。因此,在图像判读中,对判读对象的空间位置给以充分的重视,可大大提高判读的精度。

通过上述测试、分析与研究,结合大量的野外验证,可得到航空像片和卫星像片土地利用现状分类综合判读标志(表 4)。从表 4 可见,采用多时相、多波段和多重平台遥感资料进行土地利用现状判读,其效果远较使用单一的遥感资料为好。

五、关于其它关键技术问题的探讨

为确保调查工作的质量,探索利用遥感技术提高调查效果的途径,除卫星图像的计算机处理和判读标志的建立外,还对各技术环节的技术路线进行了探讨与设计,这主要包括航空像片和卫星像片的外业调绘及转绘,零星地物与线形地物的室内量测、面积量算与汇总,以及县级成果图的编绘等。

1. 航空像片和卫星像片的外业调绘

航空像片和卫星像片的外业调绘工作除勾绘地类界线,进行判读验证之外,还对新增地物进行了补测。由于当雄县交通条件差,不少地区车辆不能通行,因此调绘路线无法保证所有地区全部通视,实际通视地区的面积约占全县面积的 70%。

因调查比例尺为 1:10 万,航空像片为 1:7 万,而且在航空像片上留有大量的参照点。因此对新增地物的外业补测均采用比较法在航空像片上完成。实际补测内容包括县及个别区的所在地以及少量的线状地物等。经实地检查,补测点位中误差为 0.5 毫米。

2. 航空像片和卫星像片的转绘工作

由于此次调查采用短焦距镜头摄取的黑白航空像片,而地形高差又很大,因此航空像片上的地形投影差十分大,采用简单手工转绘难以达到要求的精度。因此我们使用了 Topocart B 型精测仪及 ZT4-S 型立体转绘仪来完成航空像片的立体转绘,同时使用 ZT4-H 型平面可变焦转绘仪对卫星像片进行转绘。转绘底图采用 1975 年出版的 1:10 万航空测量地形图。经检查,转绘中误差可控制在 1.0 毫米以内。

3. 零星地物与线状地物的室内量测

采用 1:10 万地形图作为调查底图。按规程以 4 平方毫米和 15 平方毫米分别作为居

民地和牧草地的最小上图面积,则二者的实地面积分别相当于 60 亩和 225 亩,这样势必有一些零星地物在量算过程中遗漏。在当雄县,这样的遗漏主要出现在零星居民地的量算中。为了弥补这一不足,采用测量放大镜进行了航空像片上零星地物面积的估读。首先求算零星地物所在高程带的航空像片分带平均比例尺,然后,采用专为本次调查设计制作的最小量测刻度为 0.1 毫米的 10 倍格网式测量放大镜,在航空像片上对零星地物面积进行估读,最后根据航空像片比例尺折算出实地面积。要求对面积在 2 亩以上的居民地等零星地物进行航空像片镜下量测。在 1:7 万航空像片上实地面积 2 亩的地物约相当于边长为 0.5 毫米的矩形。这在 10 倍测量放大镜下是完全可分辨的。

线状地物在当雄县境内主要是水系与道路。在黑白航空像片上,道路的边界一般不如河流清晰。在测量放大镜下河流宽度可以量测,而道路宽度则难以量出。因此对道路采用了分等级抽样实地量测的方法,按大车路、区级公路和干线公路分别确定宽度值,并在 1:10 万地形图上直接量测其长度,按矩形面积公式求算面积。

对于河流,宽度在 4 米以下者一般未予量测。4 米以上者,在航空像片上采用测量放大镜进行量测。为分析该种量测方法的精度,进行了必要的实地采样抽测分析。其结果如表 5。表 5 所载统计分析结果表明,实测值与镜测值具有很好的相关关系,回归分析并不能进一步提高镜测的总体精度,因此证明直接在航空像片上量测河流宽度是完全可行的。由于本次采用的黑白航空像片系冬季拍摄,部分河流被冰雪覆盖,对于这些河流,借用了地形图上标明的河流宽度。

4. 面积量算与汇总

表 5 当雄县河流宽度航空像片测量统计分析表

Table 5 Statistical Analysis Table of the Aerial Photographs of the Width of Rivers in Dangxiong County

航空像片号	测点类型	测点号	航空像片分带比例尺	镜 测 值		实测值 (米)	回归计算结果 (米)
				镜测值(毫米)	折算值(米)		
16727	河流	71-1	1:7.54 万	0.75	56.6	52.4	52.65
16725	河流	71-2	1:7.4 万	0.10	7.4	5.7	8.19
16725	河流	71-3	1:7.4 万	0.40	29.6	27.3	28.25
16725	河流	71-4	1:7.4 万	0.40	29.6	27.0	28.25
20420	河流	71-5E	1:8.2 万	0.10	8.2	12.0	8.91
20420	河流	71-5W	1:8.2 万	0.10	8.2	8.7	8.91
20420	河流	71-6	1:8.2 万	0.25	20.5	22.9	20.03
20420	河流	71-7	1:8.2 万	0.10	8.2	11.0	8.91
20553	河流	71-8	1:7.8 万	0.45	35.1	34.6	33.22
03838	河流	71-9E	1:7.9 万	0.35	27.7	25.3	26.54
03838	河流	71-9W	1:7.9 万	0.30	23.7	25.3	22.92
03834	河流	71-10E	1:7.9 万	0.40	31.6	30.6	30.06
03834	河滩	71-10M	1:7.9 万	0.20	15.8	11.1	15.78
03834	河流	71-10W	1:7.9 万	0.15	11.9	11.0	12.26
宽度累加值					314.1	304.9	304.88

回归方程 $y = 0.904x + 1.503$ 相关系数 $r = 0.985$

为了使面积量算工作达到较高的精度,图斑量测采用了 KP-90 型数字显示求积仪及透明方格网配合进行量测,分乡级图斑对图幅和碎部图斑对乡级图斑两次进行平差,量测精度全部达到《规程》的要求。

在土地利用现状调查的内业中,量测数据的计算与汇总是一项出错率最高,费时最多的工作。虽然程序式计算器可使计算效率大大提高,但因手工步骤过多(如本次当雄县调查每一数据的处理步骤有十几步,总数据量近 3 万个),仍可能出错,给数据汇总带来麻烦。为了从根本上解决这一问题,我们同时在 IBM PC/AT 型计算机上用 DBASE-3 数据库程序进行了各类数据表格计算和汇总处理,并对计算表格进行了校核。

在计算与汇总的表格设计中,注意了使计算过程尽可能简炼,同时也考虑了数据存档及地块数据管理和更新的需要。

六、当雄县土地利用现状调查的精度与效益分析

本项调查成果于 1986 年 8 月由国家土地管理局检查组进行了全面检查,检查结果见表 6。

表 6 当雄县土地利用现状调查内外业精度检查表*

Table 6 The Accuracy Table of the Land Use Investigation in Dangxiang County

检查项目 检查结果	地类	图斑界线	内业转绘	外业补测	图件接边	线状地物	面积量算
总抽样数	100	50	50	7	67	7	36
出错数	1	3	0	0	0	0	1
合格率(%)	99	94	100	100 (中误差 0.5 毫米)	100	100	97.2

* 检查工作由国家土地管理局检查组刘起、罗明忠、廖永林、王庆国和西藏自治区农业区划办公室李代书等同志完成。

表 7 当雄县土地利用现状调查效益分析(1:10 万)

Table 7 The Analysis Table of the Benefits in the Land Use Investigation in Dangxiang Using Remote Sensing Data (Scale: 1:100,000)

技术路线	分类数	分类效果	点位精度	最小调查面积(亩)	外业工时(人月)	内业工时(人月)	经费
采用黑白航空像片,全外业调绘手工转绘,计算器处理数据	3 级 14 类	多数天然植被覆盖地难以区分,往往借助等高线勾绘	难以保证 1.5 毫米的中误差	60	50	30	外业 3.5 万元 内业 1.5 万元 共 5 万元
采用多时相精纠正卫星像片及黑白航空像片,外业验证,仪器转绘,微处理机处理数据,镜测零星地物	3 级 19 类	各地类均可准确区分	可确保 1.0 毫米的中误差	2	5	20	图像处理 1 万元,内外业费用 2 万元共计 3 万元

本项调查在经济上也较常规方法更为节省。对照在西藏地区以往采用的常规方法,我们作了如表 7 所列的效益分析。

以上调查精度检查结果和效益分析证明,在当雄县采用陆地卫星 MSS 精纠正图像配合黑白航空像片进行牧区土地利用现状调查在技术手段上是完全可行的。除调查精度较高外,在经济上也较常规方法更为节省。由于采用了先进的遥感技术,人力、物力和时间均大大减少,体现了明显的直接经济效益。调查试点工作中对各项关键技术问题的深入研究和解决,为全西藏调查工作的开展提供了重要的经验。

参 考 文 献

- [1] NASA Earth Resources Technology Satellite, Data Users Handbook, Document No. 71SD4249.
- [2] 杨世仁、李丽, IRSA-2 遥感图像分析处理系统, 环境遥感, 1(1), 1986。
- [3] 日本リモートヤンシング研究会編, リモートヤンシングソフト——原理と応用, 技報堂株式会社, 1975。
- [4] Simonett, D. S. et al., Manual of Remote Sensing, Second Edition, American Society of Photogrammetry, pp. 890—912, 1983.

A Study on the Methods of Land Use Investigation in the Pastoral Area of Tibet Plateau Using Remote Sensing Technique

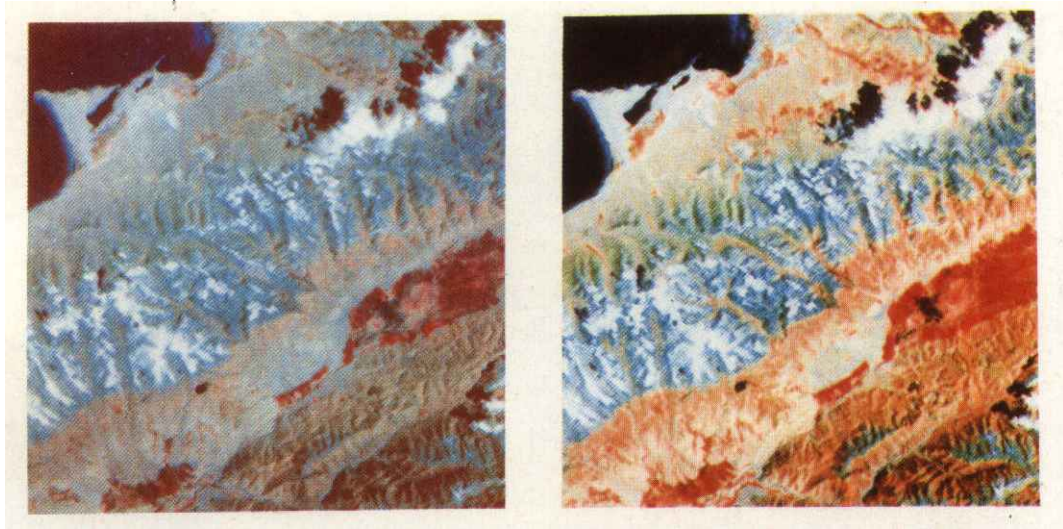
Liu Jiyuan

(Institute of Remote Sensing Application, Academia Sinica)

Abstract

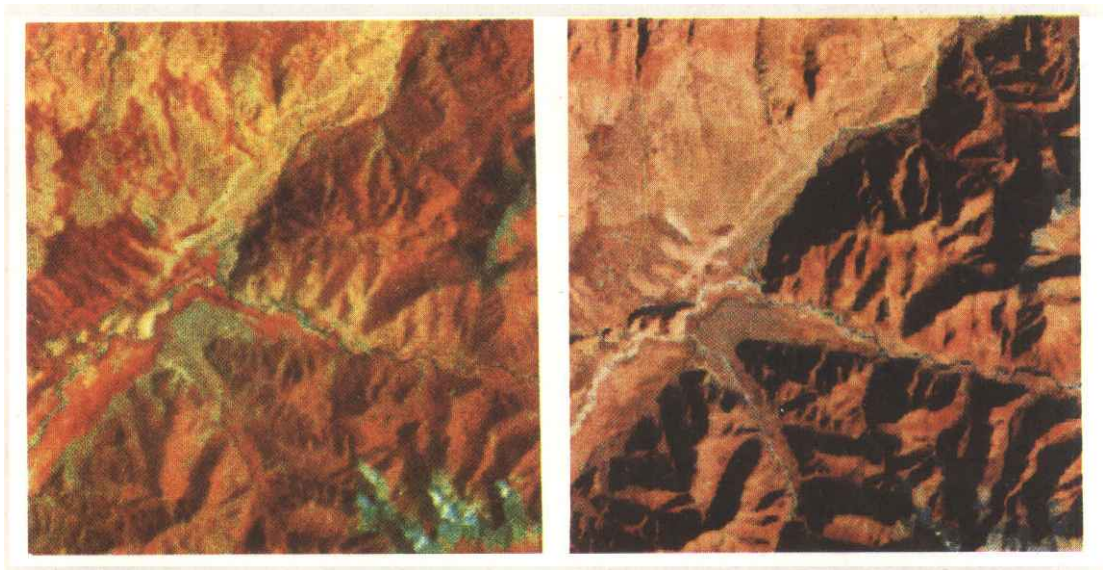
The land use investigation scaled 1:100,000 in Dangxiong county, Tibet has been Completed after efforts of 11 months. In the investigation multi-seasonal Landsat MSS images for which accurate geometric correction and image enhancement were made by IRSA-2 computer image processing system and black-white panchromatic aerial photographs were used as basic survey data. In the investigation the land use synthetical interpretation key table of the multi-seasonal Landsat MSS false color composite images and aerial photographs was established, the whole programs of IBM PC/AT computer that processed land acreage measurement data were completed, and a series of technical problems in the phase of indoor work were solved.

The results proved that remote sensing method can get higher accuracy and better economic benefit than conventional method. The method study in Dangxiong county has provided useful references for the land use investigation in the whole plateau.



左：计算机回放的MSS 4, 5, 7合成图像。右：经归一化处理后的MSS4, 5, 7合成图像。

图4 陆地卫星图像的计算机增强效果



左：秋季假彩色合成图像

右：冬季假彩色合成图像

图6 不同季相的陆地卫星MSS合成图像分类显示效果。