

# 森林航空摄影比例尺和森林判读像片放大倍数的研究\*

黄福奎 李留瑜 邓中畅

(林业部调查规划设计院)

1988年3月18日收稿

## 摘 要

为了确定森林航空摄影的最佳比例尺和波段以及判读像片的放大倍数,我们在广东省南昆山林业遥感试验场,测定了地物光谱,拍摄了不同比例尺的多光谱片和彩色红外片,进行了内业判读、野外检测和综合分析。本文讨论了航空摄影机、胶片、地物光谱反射系数和摄影位移等因素对像片分辨力的影响,用经验关系式估算了南昆山像片的影像分辨力,阐述了内业判读和实地检测的情况。试验表明,在所试验的波长附国内绿波段表达森林影像的效果最佳,用于森林判读的影像分辨力宜放大到3.5线/毫米,若用新型航空摄影机和高分辨力胶片,则用于森林资源调查分类判读的像片比例尺可缩小到1:4.8万。

**关键词** 森林航空摄影 比例尺 摄影波段 像片放大倍数

森林资源分布辽阔和地处边远的特征,促使了森林资源遥感技术的迅速发展和广泛应用。我国大规模森林航空摄影始于50年代中期,30多年来积累了丰富的经验。为更好地发挥航空遥感技术在林业建设中的作用,把我国的森林航空摄影工作纳入规范化和系列化,我们从分析航空摄影影像表达森林地物能力及判读效果出发,研究了最佳摄影比例尺、摄影波段和判读像片的放大倍数。1981至1983年的11月至12月初,测定了森林地物地面光谱,1983年12月初航空摄影,1984年至1985年进行地面调查和室内判读。其试验成果从1986年起局部试用于生产。本文就南昆山的试验研究情况作一论述。

森林判读是森林航空摄影的主要目的之一,它通过识别航空摄影影像来判读森林的属性、结构和数量。从森林判读出发,对航空影像大致有三方面的要求:(1)影像分辨力和清晰度,(2)目标和背景地物的色调反差,(3)立体视差特性和量测精度。

影像分辨力是衡量上述要求的基本指标,也是决定摄影比例尺的主要依据。故首先分析航空摄影像片的影像分辨力。

## 一、南昆山航摄像片的分辨力

影响航摄影像分辨力的因素很多,首先是由航摄机和胶片组成的摄影系统的分辨力

\* 本试验曾得到本院资源监测中心主任寇文正,武汉测绘科技大学航测系主任李德仁、航摄教研室主任宣家斌,广东省龙门县林业局和林业部中南调查规划院的大力协助,在此一并致谢。黄福奎现已调中国土地勘测规划院工作。

(表 1,2)。

航空摄影机透镜的剩余像差和光的衍射特性决定了镜头分辨力。光的衍射会使人射点光源成为四周环绕明暗环带的晕点,从而降低影像的表现能力。而航空摄影胶片的分辨力则决定于乳剂的颗粒度和感光特性。

用  $R_s$  表示镜头分辨力,  $R_T$  为胶片分辨力,摄影系统组合分辨力  $R_\phi$  可由下式求得:

$$\frac{1}{R_\phi} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

表中所列分辨力值均是由制造厂家在实验室静置条件下测定的静态分辨力。而航空摄影中获得的是动态分辨力,且受许多相关因素的制约。下面按森林航摄的实际条件,择其要者分析其影响并估算分辨力值。然后通过南昆山航摄资料的现地检测来作验证分析。

表 1 森林航摄常用航摄机的分辨力(单位:线对/毫米)

Table 1 Resolution of air-camera for forest aerophotograph.

分辨力值 项目	型号		AΦA-тэ		RC8		RC10		MRB		RMK	
	焦距(毫米)	100	200	115	210	152	213	88.5	152	153	210	
中心部分	32	38	66	58	90	70	74	60	70—80			
边缘部分	13	19	18	32	20	37	20	21	40—50			

表 2 森林航摄常用胶片分辨力(单位:线对/毫米)

Table 2 Resolution of film for forest aerophotograph.

型号	航微(一) 航微(二)	柯达 2402		柯达 2424		苏联 15*
测试板反差	1:1 000	1:1 000	1:1.6	1:1 000	1:1.6	1:1 000
分辨力	90	160	50	125	50	85

\* 五十年代常用。

## 1. 摄区和航空摄影概况

南昆山林业遥感试验场位于广州市龙门县南昆山林场,处九连山脉南端。山峦起伏,峰谷相间,气候温暖,雨量充沛,植被茂盛,林层重叠。天然林主要为南亚热带常绿阔叶混交林,人工林以竹、杉、马尾松为主。

在试验场拍摄了三种航空像片:(1) RC10 摄影机摄取的比例尺 1:1.8 万的彩色红外片。(2) 哈斯布莱特(Hasselblad)多光谱摄影机拍摄的像幅 6×6 厘米,比例尺 1:8 万的四波段多光谱黑白片。(3) 由三台 AΦA-тэ-200 航摄机组成的 18MSP 大像幅多光谱摄影机拍摄的 18×18 厘米三个波段的黑白像片,比例尺有 1:1.8 万和 1:3.2 万两种。这种多光谱摄影机通过截止滤光片和胶片的组合,使摄影光线分别在三种胶片上感

光<sup>1)</sup>。各波段胶片和滤光片的光谱匹配情况见表 3。

各胶片在感光波段的有效光通量  $A_1$  与胶片感光度  $S_1$ 、滤光片透光率  $\tau_1$  和地物反射的人射光强度  $E_1$  有关,其数值:

$$A_1 = E_1 \cdot S_1 \cdot \tau_1$$

各波段有效光通量曲线见图 1。

表 3 18MSP 各胶片和滤光片工作波段  
Table 3 Working band of 18MSP film and filter

波 段	胶片型号	滤光片截止波长 (毫微米)	有效工作波段 (毫微米)	感光波峰 (毫微米)
绿	1055	500	500—590	555
红	1048	640	640—700	660
近红外	1075	700	700—800	750

这几种航摄资料中,比例尺 1:8 万的小像幅多光谱黑白像片和彩色合成图像的判读效果均不好。18MSP 三波段黑白像片在密林地区影像套合困难,彩色合成图像效果也不理想。彩色红外像片判读森林类型效果比同比例尺黑白像片好,但由于目前森林调查主要使用黑白像片,所以本试验的重点仍放在黑白航空像片上。

## 2. 森林地物光谱亮度系数

森林地物的不同光谱亮度系数所形成的航空像片地物影像色调差异,是森林判读的主要依据。亮度系数是太阳辐射总通量照射在某个水平面法线方向的单色光亮度和一个正交各向异性全反射水平面法线方向的单色光亮度之比<sup>[1]</sup>。对正交各向异性表面,亮度系数等于反射率。就森林而言,其表面接近正交各向异性所具有的漫反射特性,可

近似用地物反射率来表示亮度系数。反射率为物体表面向各方向反射的辐射通量和射进该表面总通量之比。森林光谱反射率除随树种而异外,还和叶子性质、叶面指数、生长季节和健康状况、群落特征和状态、背景反射情况、光照和观测条件等因素有关。

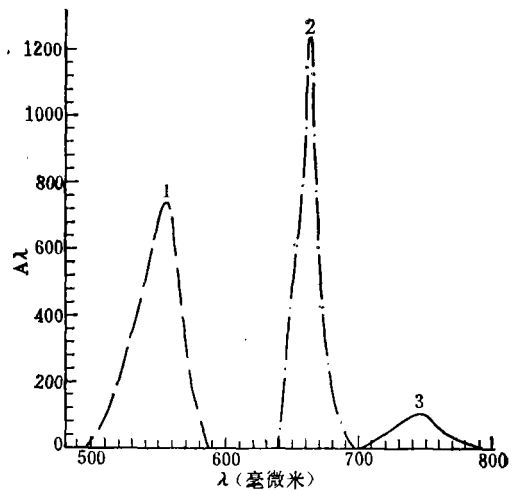


图 1 18MSP 各波段有效光通量曲线  
1—绿波段,日光(5500K)+滤光片 KC-18 + 航摄胶片 1055; 2—红波段,日光(5500K)+滤光片 KC-14 + 航摄胶片 1048; 3—红外波段,日光(5500K)+滤光片 HB730+航摄胶片 1075

Fig. 1 Curves of effective light in 18MSP various band.

1) 姜中羽等, 18MSP 大相幅多光谱航空摄影技术方案研究, 国家测绘局测绘科学研究所。

南昆山地物反射率是使用 101W 型光谱仪测定的,其波长范围为 400—1100 毫微米,光谱分辨力  $20 \text{ \AA}$ , 视场角  $3^\circ$ 。植被测试目标是采集冠幅阳面枝叶铺盖地面来模拟,覆盖度 1.0,光谱仪垂直照准。测光谱季节和航空摄影季节一致。

光谱反射率和光照、观测条件的几个角度有关:(1)太阳天顶距,即光照辐射入射角。太阳天顶距小于  $60^\circ$  时,辐射通量减小幅度为 10—15%。(2)光谱观测光线方位角。(3)观测光线相对于太阳入射光线的方位角。

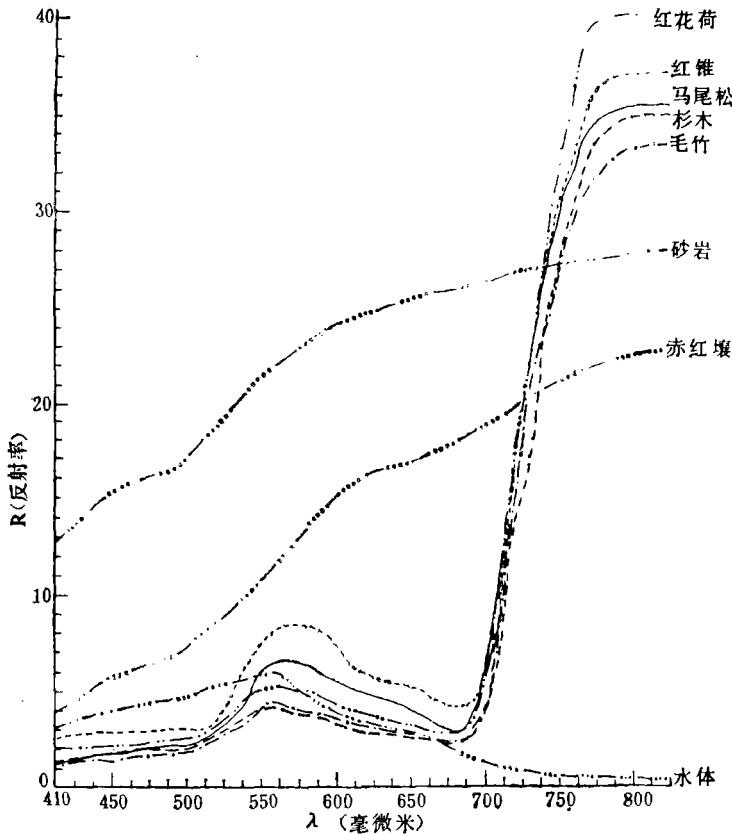


图 2 地物光谱反射曲线

Fig. 2 Reflective spectrum curves of ground objects

应用光谱反射率来分析影像规律和检测典型判读标志时,应考虑航摄时的太阳入射光线、像点摄影光线和测光谱的人射光线的方位,三者关系应尽量一致。图 2 为南昆山的部分地物光谱反射曲线。表 4 为光谱观测条件。

南昆山试验场主要地物在 18MSP 三个波段胶片增感峰的反射系数见表 5\*。

\* 参加地面光谱测定和内业量测的有林业部调查规划设计院王云霞、邱林、崔玉芬等,华南农业大学林学系刘庆良、谭曦光等和广东省龙门县林业局陈策等。

表 4 光谱观测条件

Table 4 Observation condition of spectrum

观测目标	观测日期	观测时间	太阳高度角
红花荷	1981.12.6	9:40—10:19	31°—34°
红锥	1983.11.20	9:57—10:59	38°—40°
马尾松	1981.12.6	11:01—11:33	40°30'—42°30'
杉木	1981.12.8	11:23—11:59	42°00'—43°30'
毛竹	1981.12.6	10:19—10:59	36°—39°
砂岩	1981.12.8	10:47—11:18	39°30'—41°30'
赤红壤	1981.12.10	10:49—11:20	39°30'—41°30'
水体	1981.12.10	12:40—13:18	42°00'—43°30'

表 5 各波段增感峰的地物反射系数

Table 5 Reflection coefficient of object of sensitive peak in various band

树 种	绿波段增感峰 555 毫微米	红波段增感峰 660 毫微米	红外波段增感峰 750 毫微米
杉木(成年林)	4.4	2.3	23.9
毛竹(成年林)	6.5	5.0	20.9
马尾松	6.3	3.7	28.6
罗浮锥	4.9	2.9	23.8
小红锥	6.6	3.4	27.3
红锥	7.9	4.8	29.1
大叶栎	4.6	3.0	28.4
黄樟	6.4	3.6	29.4
荷木	6.5	3.7	32.0
粉丹竹	6.0	3.9	20.6
茅草	8.0	8.6	29.1
铁芒箕	11.0	6.0	41.5
画眉草	8.1	12.5	22.8
山地黄壤	5.9	8.4	10.6
红壤	11.2	17.5	30.0
砂岩	21.8	25.5	27.4
花岗岩	16.2	17.9	19.9
水体	5.9	1.9	0.5

### 3. 森林地物亮度反差和影像反差

森林地物亮度反差等于地物在波长  $\lambda$  的极值亮度  $B_{最大}$  和  $B_{最小}$  之比, 含森林地物之间和同一地物中不同细部间的亮度反差。在相同的照明条件下, 地物亮度反差等于亮度系数极值之比, 近似为地物极值反射率  $\rho_{最大}$  和  $\rho_{最小}$  之比。

用频率法分析摄影系统时, 可用波长  $\lambda$  时的反差振幅系数  $K_{\lambda}$  来表示<sup>[1]</sup>:

$$K_{\lambda} = \frac{B_{最大} - B_{最小}}{B_{最大} + B_{最小}} = \frac{\rho_{最大} - \rho_{最小}}{\rho_{最大} + \rho_{最小}} \quad (2)$$

$K_{\lambda}$  是地物反差, 而影像反差则受物镜、胶片和大气散射等因素的调制。这里将物镜和胶片的调制系数乘积近似为 1。林区蒸发强, 散射光显著, 大气蒙雾使地面照度明显增

大,尤其在短波范围。计算影像反差需确定林区的大气烟雾亮度系数,这次试验未在南昆山测定航空光谱,现根据西德 R. Schimpf 等测定的资料<sup>[2]</sup>,用森林上空 100 米和 2 000 米观测的光谱反射系数差值作林区烟雾亮度系数。

在  $\lambda = 555$  毫微米时,  $\sigma = 3.1\%$ ,

$\lambda = 660$  毫微米时,  $\sigma = 2.2\%$ 。

用下式来估算影像反差:

$$K'_\lambda \approx \frac{\rho_{\text{最大}} - \rho_{\text{最小}}}{\rho_{\text{最大}} + \rho_{\text{最小}} + 2\sigma} \quad (3)$$

为了从判读树种和林分需要来估计森林地物反差振幅系数,按南昆山林区的群落结构和生态特征,选取若干对典型地物,计算了它们在三个波段感光波峰的反射率之差、和、 $K'_\lambda$  值(表 6)。

表 6 各波段增感峰的地物影像反差

Table 6 Contrast of object image of sensitive peak in various band

地物名称	555 毫微米			660 毫微米			750 毫微米		
	$\rho_{\text{最大}} - \rho_{\text{最小}}$	$\rho_{\text{最大}} + \rho_{\text{最小}}$	$K'_\lambda$	$\rho_{\text{最大}} - \rho_{\text{最小}}$	$\rho_{\text{最大}} + \rho_{\text{最小}}$	$K'_\lambda$	$\rho_{\text{最大}} - \rho_{\text{最小}}$	$\rho_{\text{最大}} + \rho_{\text{最小}}$	$K'_\lambda$
竹-杉	2.1	10.8	0.123 5	2.7	7.3	0.230 7	3.0	44.8	0.067 0
小红锥-杉	2.2	11.0	0.127 9	1.1	5.6	0.110 0	3.4	50.1	0.067 8
马尾松-罗浮锥	1.4	11.2	0.080 5	0.5	6.3	0.046 7	4.8	52.4	0.091 6
竹-红锥	1.4	12.4	0.075 3	0.2	9.8	0.014 1	8.9	50.0	0.178 0
马尾松-杉	1.9	10.8	0.111 8	1.4	6.0	0.134 6	4.7	52.5	0.089 5
黄樟-罗浮锥	1.5	11.3	0.085 7	0.7	6.5	0.064 2	5.6	53.2	0.105 3
罗浮锥-红锥	3.0	12.8	0.157 9	1.9	7.7	0.157 0	5.3	57.7	0.091 8
红锥-铁芒箕	3.1	18.1	0.127 6	1.4	11.0	0.090 9	12.4	70.6	0.175 6
大叶栎-粉丹竹	1.4	10.6	0.083 3	0.9	6.9	0.079 6	7.8	49.0	0.159 2
马尾松-铁芒箕	4.7	17.3	0.190 2	2.5	9.9	0.174 8	12.9	69.5	0.185 6
罗浮锥-红壤	6.3	16.1	0.282 5	14.6	20.4	0.588 7	6.2	53.8	0.115 2
杉-红壤	6.8	15.6	0.311 9	15.2	19.8	0.628 1	9.1	50.9	0.178 8
茅草-红壤	3.2	19.2	0.126 0	8.9	26.1	0.291 8	0.9	59.1	0.015 2
砂岩-水体	15.9	27.7	0.469 0	23.6	27.4	0.742 1	26.9	27.9	0.964 1

#### 4. 摄影系统对森林地物的静态分辨力

用  $R_{\text{最大}}$  表示胶片对高反差(即绝对反差)目标的分辨力,根据表 6 中的  $K'_\lambda$  值即可计算胶片对地物的静态影像分辨力<sup>[1]</sup>:

$$R_T = R_{\text{最大}} \sqrt{K'_\lambda} \quad (4)$$

为描述森林影像的整体判读效果,将表 6 所列的地物对分成“树与树”、“树与土壤”、“岩石与水体”三组,求出各组  $R_T$  的平均值。按(1)式求出 AΦA-тЭ 航摄机和国产胶片组成的摄影系统,对上述摄影目标在 18MSP 多光谱摄影机三个波段感峰的静态分辨力  $R_\varphi$ , 其值见表 7。

表 7 森林地物影像静态分辨力  
Table 7 Static resolution of forest object image

地物	555 毫微米			660 毫微米			750 毫微米		
	$R_T$	$R_p$		$R_T$	$R_p$		$R_T$	$R_p$	
		中心部分	边缘部分		中心部分	边缘部分		中心部分	边缘部分
树与树	30.2	16.0	10.9	22.1	13.4	9.6	27.9	15.2	10.6
树与土	42.5	18.9	12.2	64.0	22.3	13.5	26.6	15.0	10.4
岩与水	61.7	22.0	13.4	77.5	23.7	14.0	88.4	24.7	17.1

### 5. 森林影像动态分辨力

摄影曝光时, 航摄机镜箱相对于摄影地物运动产生的影像位移, 降低了像片清晰度。用  $w$  表示飞机的速度,  $m$  为摄影比例尺分母, 曝光时间为  $t$ , 则影像位移为:

$$\sigma_w = \frac{w}{m} t$$

所得的影像动态分辨力  $R_p$  为<sup>[1]</sup>:

$$R_p = \frac{R_p}{\sqrt{1 + (R_p \cdot \sigma_w)^2}} \quad (5)$$

南昆山航摄:  $t = 1/120$  秒,  $w = 127.8$  米/秒

$m = 18\ 000$  时,  $\sigma_w = 0.0578$  毫米

$m = 32\ 000$  时,  $\sigma_w = 0.0332$  毫米

将表 7 数据代入(5)式, 得动态分辨力(表 8)。

表 8 森林地物影像动态分辨力  
Table 8 Dynamic resolution of forest object image.

地物	$m = 18\ 000$						$m = 32\ 000$					
	中心部分			边缘部分			中心部分			边缘部分		
	555 毫微米	660 毫微米	750 毫微米	555 毫微米	660 毫微米	750 毫微米	555 毫微米	660 毫微米	750 毫微米	555 毫微米	660 毫微米	750 毫微米
树与树	11.8	10.6	11.4	9.2	8.4	9.0	14.1	12.2	13.6	10.2	9.2	10.0
树与土	12.8	13.7	11.3	10.0	10.6	8.9	16.0	18.0	13.4	11.3	12.3	9.8
岩与水	13.6	14.0	14.2	10.6	10.9	12.2	17.8	18.6	19.1	12.2	12.7	15.8

以上是根据南昆山航摄情况, 考虑了镜头、胶片、镜箱位移、地物亮度反差等因素对影像分辨力的影响之后, 在摄影处理正常的条件下, 用经验公式估算的分辨力值。并据此对像片质量作些定量分析, 以改变长期以来只凭经验感觉来评估森林航摄影像质量的状态。当然, 影像分辨力是一个复杂的数值, 它和摄影地物、镜头、胶片的光谱特性以及曝光、摄影处理、影像观察条件等因素均有关系。基于本课题的条件, 只能择其要点来作分析试

验,其它则是在假设条件下来讨论的,这些问题还有待深入研究。

## 二、南昆山航摄像片的判读效果

这次试验的主要资料是比例尺为 1:1.8 万和 1:3.2 万的三波段黑白航空像片。作业程序是将影像制作成透明正片和像片,先作室内判读和选取判读样区、量测标志,然后实地调绘、实测判读标志,最后室内量测和分析规律,确定各种资料的定性和定量判读精度。

### 1. 定性判读和影像分辨力检测

定性判读是确定地物属性。三波段像片以绿波段显示植被最理想,树冠颗粒明显、细部清晰、层次分明。绿波段像片植被影像亮度较大,因正常生长的叶子,叶绿素吸收了红橙光和黄紫光,能反射丰富的绿色光。由图 2 光谱曲线可见,在 400—800 毫微米波段植被有两个反射峰和一个吸收谷,绿波段片的感光区正处于第一个反射峰,此波段植被间的反射系数差值也较大。每年 11 月至次年 1 月份,南昆山地区植被间的叶子颜色差异较明显,在绿波段像片中形成植被间的影像密度差值也较大,通过影像区分植被类型和树种组的效果较好。

红波段胶片的感光波峰位于叶绿素的主吸收谷,植被亮度系数值比绿波段感峰小 0.2 至 1.1 倍。植被间亮度系数差值也小,加上红波段对阴影地物感光能力差,造成植被影像灰暗、色调平淡、层次不清,分类效果比绿波段差。对幼竹、杉木幼林和林中空地(一般长有高草)难以区分。

这次使用的红外片,感光波段是 700—800 毫微米,增感峰在 750 毫微米。由光谱曲线可见,植被反射曲线虽从 700 毫微米开始急剧上升,但在 750 毫微米附近各曲线相互紧挨,到 780 至 800 毫微米以外各曲线才拉开。该波段植被反射曲线和土壤、岩石的曲线也较靠近,摄影系统对这些地物在该波段区间( $a, b$ )的能量积分的数值相近。

即:

$$H = \int_b^a \rho_{\lambda} \cdot A_{\lambda} d\lambda$$

所以,在 750 毫微米处,虽然植被反射系数比绿波段增感峰大 2.1 至 5.9 倍,比红波段大 4.2 至 8.1 倍,形成的植被影像亮度很大,但影像黑度差别小,层次模糊,对植被类型判读效果并不好。而显示水体、道路、建筑物却较为清晰。

为了测定影像显示细小地物的能力,用 TOPOCART-B 型立体测图仪、Zeiss 立体坐标仪、ZTS 立体变倍判读转绘仪进行了观察。在比例尺 1:1.8 万的绿波段像片上,能观察到的最小独立木是背景为红壤、冠幅 1.1 米的罗浮锥。1:3.2 万绿波段像片上显像的最小独立树是冠幅 1.7 米的光叶锥。林木目标是圆形的,而影像分辨力是以分辨线对数来计算的。人的眼睛分辨线状地物较圆形地物敏感。据视觉原理,人眼感受圆形目标直径至少为线状目标宽度的 1.22 倍。影像分辨力还受胶片显像能力的约束,通过实际判读表明,影像显示线状地物宽度  $D_{\text{线}}$  约比显示圆形地物直径  $d_{\text{圆}}$  要小 1.4 至 1.8 倍。以  $d_{\text{圆}} = 1.6D_{\text{线}}$  计算,1:1.8 万绿波段像片分辨为 13.1 线/毫米,1:3.2 万绿波段像片分辨力为

15.1 线/毫米,和表 8 的估算值基本相符。

像片显示地物的能力和地物亮度有关。灰暗地物、目标和背景反差小的地物不易显像。明亮度很大的地物,摄影光线通过镜头后衍射现象显著,使地物成像扩大。如水渠边 40 厘米宽的白色护坡在 1:1.8 万和 1:3.2 万像片上的宽度为 0.05 和 0.04 毫米,比实际宽度扩大了 1—2 倍。水面上搭的一宽度为 1.4 米的石板,在两种像片上量测分别为 0.09 和 0.07 毫米,相当于地面宽度 1.6 和 2.2 米。这种情况在地物表面光滑、地物光线反射角和太阳光照入射角相近时更突出。亮度大的地物的影像位移部分也能获得足够的光能使感光层形成潜像,从而拉长了航线方向的地物影像,红外像片中这种现象最明显。用放大仪器观察,能辨认出这种影像的轮廓有模糊感,这不能作衡量地面分辨力的标志。

各树种的影像表达能力还和林冠郁闭度及叶面指数有关。林冠一般不能全覆盖地面,摄影光线是林冠和背景的混合反射光。背景反射光又和下木、地被物、土壤的性状和湿度有关。从成像效果看,阔叶林较好。其中以壳斗科最好,林冠饱满、郁闭度大、树叶发亮、冠面平整,树冠影像颗粒清晰,树高和冠幅的量测精度最高,检测的影像分辨力能达到估算值。木兰科树木的冠幅饱满度就差些,树冠较松散,分辨力比壳斗科要低 70—80%,接近估算值。杉木介于两者之间。毛竹分辨力最低,冠幅 3.2 米的独立竹在 1:1.8 万绿波段像片上仅见一点隐约黑影,不能判断其属性。

像片边缘部分的分辨力要低于估算值,像片有效使用面积,应尽量保证离边缘有 3 厘米。

我国南方林区森林调查,要求区分杉、马、阔(杂)、竹、木麻黄几大类。试验表明,用比例尺 1:3.2 万的绿波段像片,判读准确率为 90% 左右。用 1:1.8 万绿波段像片,除能满足森林调查要求的分类外,根据南昆山地区的森林分布规律,结合生态条件和群落特征,还能判读出光叶锥、樟木等阔叶树种。根据南昆山的这种摄影条件,估计拍摄比例尺为 1:2.6 万至 1:2.8 万、能显示冠幅 1.5 米的明显阔叶林独立木的像片,即能满足森林调查的需要。

## 2. 定量判读

定量判读是测定森林地物的大小和数量,主要因子是树高和冠幅。

像片量测应在立体像对下进行。立体量测精度决定分辨左右视差和上下视差的精度,上下视差决定像对立体定向,左右视差则关系高程量测精度。

设一像片起始点航高为  $H$ ,某地物点相对起始点的左右视差较为  $\Delta p$ ,  $b$  为像片基线,该点相对于起始点高差为:

$$h = \frac{H\Delta p}{b + \Delta p} \quad (6)$$

左右视差较量测误差  $m_{\Delta p}$  引起的高程量测误差的关系为:

$$m_h = \frac{Hm_{\Delta p}}{b + \Delta p} \approx \frac{H}{b} m_{\Delta p} \quad (7)$$

由(7)式可见,  $m_h$  和  $m_{\Delta p}$  成正比,和  $b$  成反比。从高程量测精度出发,应减小像片重叠,尽量扩大基线。

不顾及人眼观测误差和仪器固有误差,则  $m_{\Delta p}$  决定于像片的分辨力。

设  $l_x$  为像幅宽度,  $p\%$  为航向重叠度,  $f_k$  为航摄机焦距,代入(7)式得:

$$m_k = \frac{mf_k m_{\Delta p}}{l_x(1-p\%)} \quad (8)$$

对南昆山的三个多光谱像片:

$$l_x = 18 \text{ 厘米} \quad p = 60\%, \quad f_k = 200 \text{ 毫米}$$

比例尺 1:1.8 万和 1:3.2 万的像片,森林影像分辨力各为 11.8 线/毫米和 14.1 线/毫米。立体量测的精度比平面量测高  $\sqrt{2}$  倍,可计算得量测圆形地物的左右视差较误差分别为  $\pm 0.0677$  毫米和  $\pm 0.0567$  毫米,由此产生的树高量测误差:

$$\text{对比例尺 } 1:1.8 \text{ 万像片, } m_h = \pm 3.38 \text{ 米}$$

$$\text{对比例尺 } 1:3.2 \text{ 万像片, } m_h = \pm 5.04 \text{ 米}$$

为了检测像片测树精度,选取部分独立木和树丛边缘作验证标志。用放大 6 至 8 倍的立体测图仪和视差杆量测了树高和冠幅,并作了现地实测。表 9 列出了实测值和 B 型立体测图仪的像片量测值。

表 9 树高、冠幅的像片量测值 和 值

Table 9 Measurement value and value of tree height and crown in width

树 种	树 高								冠 幅			
	实测值	1:1.8 万像片				1:3.2 万像片				实测值	1:1.8 万像片	
		量测值	误差	改正值	改正值 误差	量测值	误差	改正值	改正值 误差		量测值	误差
光叶锥	10.5	9.0	-1.5	12.4	+1.9	7.4	-3.1	12.4	+1.9	11.4	12.1	+0.7
刺柏	13.4	9.8	-3.6	13.2	-0.2	7.6	-5.8	12.6	-0.8	9.2	8.7	-0.5
竹柏	12.5	10.3	-2.2	13.7	+1.2	8.2	-4.3	13.2	+0.7	10.4	12.2	+1.8
樟木	18.3	15.3	-3.0	18.7	+0.4	13.4	-4.9	18.4	+0.1	15.3	16.8	+1.5
杉木	9.5	6.2	-3.3	9.6	+0.1	5.0	-4.5	10.0	+0.5	4.2	3.8	-0.4
红花荷	9.2	7.0	-2.2	10.4	+1.2	5.0	-4.2	9.4	+0.8	6.2	7.8	+1.6
毛竹	12.3	7.2	-5.1	10.6	-1.7	4.9	-7.4	9.9	-2.4			

由表 9 可见,树高的像片量测值均比实测值小。其原因是像片分辨力限制了树冠顶部成像,使  $\Delta p$  量测值减小,产生了树高消失。我们试用影像分辨力值通过影像消失来计算树高消失,然后对量测值进行统一改正,取得了较好的结果。经过部分试验,平均误差在 1 米以内。

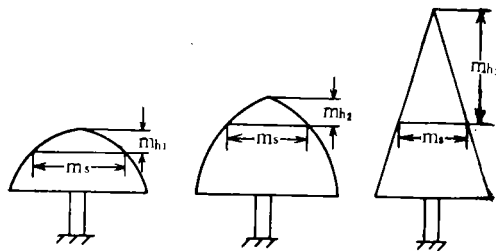


图 3 树高消失示意图

Fig. 3 Scheme of loss of tree height

种的树高消失以进行量测值改正。如图 3 所示,由像片的影像分辨力引起的树冠影像消失

像片量测树高误差和树种的冠形、冠面结构特征有关。阔叶林冠面较平整、冠幅饱满,树高消失数值较小且稳定。而毛竹冠面呈尖塔形,枝叶稀疏,冠幅松散,量测误差就很大。我们按树种的冠形和影像分辨力,分别计算了各树

均为  $m_s$ , 对三个冠形不同的树种引起的树高消失分别为  $m_{h_1}$ ,  $m_{h_2}$ ,  $m_{h_3}$ 。以光叶锥的冠形推算, 在 1:1.8 万像片中, 树高消失为 1.5 米(成熟林木)。检测四株光叶锥, 误差均为 0.5 米左右。

用放大 3 倍的立体镜视差杆测树高, 要比立体测图仪的量测值误差大 1 米左右。将像片放大再用立体镜量测, 使影像达到足够的放大倍数, 像片固有信息能充分被识别, 量测值才接近。冠幅量测偏大者居多, 尤其在投影差大的像片边缘部分, 易将冠幅界线判断扩大。

### 三、南昆山判读像片的最佳放大倍数

当前森林调查多用目视判读。为确定判读像片最佳放大倍数, 用放大 2—6 倍的透明正片和立体观测仪器, 把影像放大 1 至 12 倍, 分别进行观测比较。并用微密度计测定线形地物的边界刀刃曲线。结果表明, 1:1.8 万像片中心部份影像放大 3—4 倍, 边缘部分放大 3 倍; 1:3.2 万像片中心部分放大 4—5 倍, 边缘放大 3—4 倍已能满足要求。用视差杆量测, 放大倍数可再增加 1—2 倍。如果影像继续放大, 明显的地物影像界线有模糊感, 判读精度不能明显提高, 刀刃曲线也显为平缓。

影像处于最佳放大倍数时, 放大后的影像分辨力正和人眼分辨力相匹配, 就像片的固有信息能完全被人眼视觉所感受。人眼的最小分辨角为  $60''$ , 通常认为分辨力为 5 线/毫米。人眼判读点状目标较线形目标困难, 视觉易疲劳, 而森林影像的主体是点状目标。我们用分辨力试板等标志对点状和线状目标进行了识别试验, 认为人眼分辨视角应扩大至  $3'0$  左右, 才能舒适的观察点状目标。在此情况下, 明视距离的像点大小为:

$$\text{tg } 3' \times 250 = 0.225 \text{ 毫米}$$

因像片显示圆形地物直径比线状地物的宽度需大 1.6 倍, 故影像能显示线状地物宽度为 0.141 毫米, 相当于影像分辨力 3.5 线/毫米。简言之, 从人眼的感官要求出发, 作森林判读的影像应放大至 3.5 线/毫米。

从识别森林影像特征看, 一个像点不能判断目标属性, 需通过影像的几何形状来识别, 而组成一几何图形至少要三个点。根据理想光学系统原理, 区分两个点的最小间距应大于光斑半径。由此推算, 判读林木属性像点的直径应大于 0.24 毫米, 其结论与上相近。

按森林判读需要影像分辨力 3.5 线/毫米计算: 比例尺 1:1.8 万的绿波段像片中心部分应放大 3.4 倍, 边缘部分放大 2.6 倍; 1:3.2 万绿波段像片中心应放大 4.1 倍, 边缘放大 2.9 倍。其结论和实际试验的结果也接近。

影像放大可用摄影处理方法放大像片, 也可用判读仪器光学系统放大。根据森林判读特点, 宜采用两者相结合的方法, 如南昆山 1:3.2 万的摄影资料可先放大为 1:2 万左右的像片为作业片, 再用放大三倍的立体镜判读。

## 四、结 论

### 1. 摄影波段选择

在波段 400 至 800 毫微米范围,以绿波段表达森林效果最好。对红外波段,森林航摄影应使用大于 780 毫米的波段。

### 2. 南昆山航摄像片的使用效果

比例尺 1:1.8 万的绿波段像片除能满足森林调查中区分森林类型外,尚可判读部分阔叶树种。比例尺 1:1.8 万红波段像片,能满足森林调查需要。比例尺 1:3.2 万绿波段像片,森林类型的判读精度为 90% 左右。

用 1:1.8 万绿波段像片量测独立木和树丛边缘的树高比实测值要小 2 至 4 米, 1:3.2 万绿波段像片的树高量测值比实测小 3 至 6 米。主要原因是像片不能显示树冠顶部影像,引起树高消失。但可按影像分辨力和树冠形状估算树高消失的数值。1:1.8 万绿波段像片树高量测值经过改正后,平均误差能在 1.0 米以内,用该像片量测明显的独立树冠幅平均误差为 1.0 米左右。

### 3. 判读像片的最佳放大倍数

比例尺 1:1.8 万绿波段像片用于目视判读,中心部分的影像需放大 3.4 倍,边缘部分需放大 2.6 倍。1:3.2 万像片中心部分放大 4.1 倍,边缘放大 2.9 倍。用于森林调查,可采用像片放大和仪器观测系统放大相结合的方法。

通过试验表明,可用森林光谱反射系数和航空摄影诸参数来估算像片分辨力,此值除以人眼判读森林的适宜分辨力 3.5 线/毫米,即得像片最佳放大倍数。影响地物反射系数的因素很多,数值也不稳定,但从与南昆山和黑龙江林区江山桥试验场等地的光谱资料比较来看,具有一定的规律性。因此,各林区无需单独测光谱资料,可用若干反射系数代表值来估算。

### 4. 最佳航摄比例尺

目前森林航摄均采用 RC10, RMK 和 MRB 等新型航摄机,镜头和胶片的分辨力都大为提高,故可缩小航摄比例尺。据推算,南昆山如采用前述航摄机和柯达 2402 胶片,拍摄比例尺 1:4.8 万的像片,即能满足森林资源调查的分类判读和成图需要。南昆山林分复杂,判读难度大,故此结论也应能适用其它林区。不考虑胶片的频率特性来估算,该像片中心部分森林影像分辨力为 26 线/毫米,能显示冠幅 1.47 米的独立树。获取正常的影像质量需有正常的摄影处理条件为保证。

目前我国森林航摄比例尺不尽相同,含 1:1.4 万至 1:3.5 万,多为 1:2.5 万。如将航摄比例尺从 1:2.5 万缩小到 1:4.8 万,按民航现行收费标准计算,可节省航摄费用 53%。同时还能提高成图效率,满足一张像片一幅图的要求。

以上结论仅由本次试验分析所得。限于当时条件,不能全面的设计试验片种,实地检

测数据也嫌不足,代表性不够广泛。因此,对估算分辨力关系式和假定条件的合理性,尚需通过生产实践来作检验,以趋完善。

### 参 考 文 献

- [1] A. C. 库奇科著(蔡俊良等译),航空摄影学(原理与质量评价),测绘出版社,1982年。
- [2] 库特·施维德夫斯基等著(刘静宇等译),摄影测量学,测绘出版社1984年
- [3] Tohomas E. A., Graydan L. B., *Interpretation of Aerial Photographs (Fourth Edition)*, U. S. A., 1985. Chapter 11, Forestry Application.

## A Research on Forest Aerialphotographic Scale and Enlarging Times of Aerialphoto Interpretation

Huang Fukai Li Liuyu Deng Zhongchang

(Academy of Forest Inventory and Planning Ministry of Forestry)

### Abstract

In order to determine the optimum scale and band of forest aerial photography, determine the enlargement of photo, interpretation in the experimental sites of Nankunshan, Guangong province carried out the following tests, namely determination of the spectrum of ground objects, multiple spectrum and colour infrared photograph in different scales, office interpretation, field survey and complex analyse. This article discussed the influence of aerial camera, film, coefficient of reflection of object spectrum and photographic displacement on resolving power. It also estimated the resolving power of photo image in Nanjunshan with the experimental relationship-formula and illustrated the interpretation in room and field survey. The breif conclusions are as follow: 400—800um in green band is the best for aerial forest photograph. The resolution of photo for forest interpretation is enlarged to 3.5 line/mm. If new type camera and film with high resolving power are used, photo-scale for classification of forest resource will be decreased to 1:48000.

**Key words** Forest air photographic scale Photographic band Multiple photo enlargement