

# 彩色红外航空像片反演地物波谱的研究\*

徐建平 童庆禧

(中国科学院航空遥感中心)

1986年8月16日收稿

## 摘 要

本文通过对彩色红外航空摄影的物理机制的研究,揭示了其影像光谱密度的指数变换与地物光谱反射比之间的线性关系,给出了实用的由彩色红外航空像片反演地物波谱的统计方法并作了相应实验,结果表明,用国产彩色红外航空像片 HCJ-2 可以反演 6 个以上波段的地物波谱。由于本统计方法易于使整幅航空像片的反演在计算机上实现,故它基本上具有实用、深入和高效的特点。

## 一、引 言

目前,航空遥感追求高空小比例尺、大面积覆盖和计算机全面处理;航天遥感追求高几何分辨力和高辐射分辨力。可以说,整个遥感正朝着实用、深入和高效的方向发展。

彩色红外航空摄影集彩色摄影、可见光近红外遥感和航空遥感的优点于一身,是我国当前最实用的遥感手段之一。它的开发和深入研究无疑对我国的遥感应应用事业有重要意义。但前人对彩色红外摄影的研究,或只注重单一的统计方法,不涉及成像过程<sup>[1]</sup>;或只注重个别的成像过程,研究结果距实际应用相差甚远<sup>[2-4]</sup>,没有充分发挥彩色红外摄影的优越性。

地物的反射波谱是其固有的属性,是其成像的根本原因。利用波谱特性识别地物,不但所依据的信息量大,而且信息处理可以量化,前景广阔。然而,在成像光谱仪进入实用以前,现有的光谱仪不可能采集试区所有地物的波谱信息,应用范围有限;多光谱扫描或摄影,从本质上可以看作是低级的成像光谱遥感手段,所以只能成为一段时期内研究和处理的热门

本文将剖析更加实用的彩色红外航空像片的成像机制,提出由地物波谱到航空像片波谱的物理关系式,在此物理关系式基础上,结合实际遥感条件,导出可将两种波谱近似化为线性关系的简化关系式,并由此建立实用的反演地物波谱的模式和实验方法。

## 二、地物光谱反射率与航空像片光谱密度的关系

到达彩色红外航空像片的辐射能见图 1。如果地表可以看作朗伯体平面,则焦平面

\* 本文的实验和写作得到了范惠如、刘军、樊中羽、徐珍元及中国科学院航空遥感中心、遥感应应用研究所、化学工业部第一胶片厂、国家测绘局测绘研究所和中国计量科学院许多同志的热情支持和帮助,在此一并致谢。

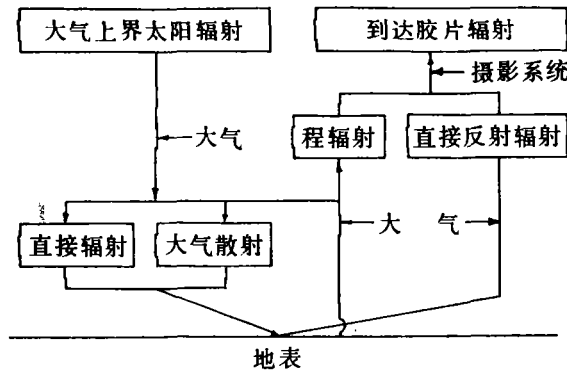


图 1 到达胶片的辐射能

Fig. 1 Radiant Energy Reaching Film

上的光谱照度  $E_f(\lambda)$  就是:

$$E_f(\lambda) = \frac{\cos^4 \alpha T(\lambda)}{4N^2} [E_g(\lambda)T_a(\lambda)\rho(\lambda) + \pi L_a(\lambda)] \quad (1)$$

这里,  $\lambda$ ——成像转换前的波谱量(微米);

$E_g(\lambda)$ ——地面总辐射(直接辐射加散射,尔格/厘米<sup>2</sup>微米);

$T_a(\lambda)$ ——地表到飞机的大气光程透过率;

$\rho(\lambda)$ ——地物反射率,假设具有朗伯特性;

$L_a(\lambda)$ ——大气程辐射亮度(尔格/厘米<sup>2</sup>微米立体角);

$N$ ——相机的相对孔径;

$T(\lambda)$ ——摄影系统(含滤光片)的透过率;

$\cos^4 \alpha$ —— $\cos^2 \alpha$  的修正式,  $\alpha$  为视场角。

片基	$b(\lambda)$
品红成色	$D_m m(\lambda)$
黄成色	$D_y y(\lambda)$
青成色	$D_c c(\lambda)$

光化学作用 → 摄影处理  $\gamma_m(\lambda)$   
 $\gamma_y(\lambda)$   
 $\gamma_c(\lambda)$

片基	
感红层	$S_m(\lambda)$
感蓝绿层	$S_y(\lambda)$
感红外层	$S_c(\lambda)$

到达胶片的光谱辐射  $F_f(\lambda)$

图 2 两次波谱的转换

Fig. 2 Transformation of the Two Spectra

胶片经曝光处理后形成三色染料密度,正是这些感光乳剂成为地物反射太阳能的能量记录仪。染料也有光谱特性,但却是与成像过程中其它光谱量完全不同性质的光谱特性。后者是逐个波长与同一波长的太阳辐射相对应,而前者则是以太阳辐射为能源的某种过程的“产品”,表征了染料的“性能指标”。为区别起见,我们称染料波谱(即光谱密度)为二次波谱,以小写字母“ $\lambda$ ”标识;称其它波谱为一次波谱,以大写字母“ $\lambda$ ”标识。两次波谱的转换纽带是胶片的光谱感光度  $S_i(\lambda)$  ( $i = y, m, c$ , 下同)、光谱反差系数  $\gamma_i(\lambda)$  和染料单位分层光谱密度  $i(\lambda)$  ( $i = y, m, c$ )

(图 2)。

光谱感光度  $S_i(\lambda)$  定义为形成某一参考密度  $C_i$  时所需窄波段曝光量  $\int_{\Delta\lambda} E_f(\lambda) t d\lambda$  的倒数：

$$S_i(\lambda) = \frac{D_i = C_i}{\int_{\Delta\lambda} E_f(\lambda) t d\lambda} \quad i = y, m, c \quad (2)$$

式中  $t$  为曝光时间， $i = y$  代表感蓝绿层（黄成色层）； $i = m$  代表感红层（品红成色层）； $i = c$  代表感红外层（青成色层）； $D_i$  为等效中性密度； $C_i$  一般取单位等效中性密度<sup>[2,5]</sup>。光谱反差系数  $r_i(\lambda)$  是  $\lambda$  波长处曝光量特性曲线的斜率（为简单计这里只取线性部分）。我们实测的国产彩色红外航空像片 HCJ-2<sup>[6]</sup> 在三个波长上的感光特性曲线见图 3。特性曲线线性部分的数学式为：

$$D_i = C_i(\lambda) + r_i(\lambda) \lg E_f(\lambda) t \quad i = y, m, c, \quad (3)$$

$C_i(\lambda)$  是特性曲线上的密度截距。将其改写成：

$$C_i(\lambda) = 1 + r_i(\lambda) \lg S_i(\lambda) \quad i = y, m, c \quad (4)$$

则 (3) 式变为：

$$D_i = 1 + r_i(\lambda) \lg E_f(\lambda) S_i(\lambda) t \quad i = y, m, c \quad (5)$$

由此式可以等价地给出光谱感光度  $S_i(\lambda)$  的定义[式 (2)]。严格地讲，(2)–(5) 式所涉及的数量总有一定波段宽度，但当波段很窄时，各量变化不影响上面的推导。故对很窄波段  $\Delta\lambda$ ，(5) 式可以写成：

$$D_i = 1 + r_i(\Delta\lambda) \lg \int_{\Delta\lambda} E_f(\lambda) S_i(\lambda) t d\lambda \quad i = y, m, c \quad (6)$$

HCJ-2 的光谱感光度和反差系数见图 4 和图 5。

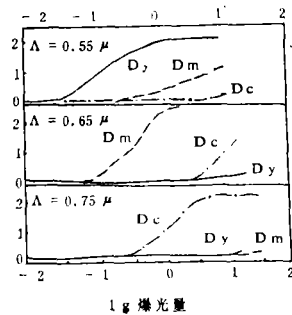


图 3 HCJ-2 在三个波长处的感光特性

Fig. 3 Characteristic Curves of HCJ-2 at Three Wavelengths

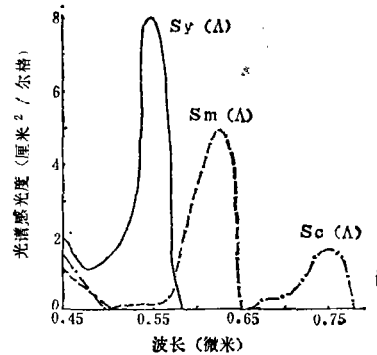


图 4 HCJ-2 的光谱感光度

Fig. 4 Spectral Sensitivities of HCJ-2

至于实际摄影的宽波段辐射，Van Kreveld 定律<sup>[9]</sup>指出：如果对于  $\lambda_0$  处窄波段辐射  $\Delta\lambda_0$  有

$$\int_{\Delta\lambda_0} E_f(\lambda) t d\lambda = \frac{1}{S(\lambda_0)}$$

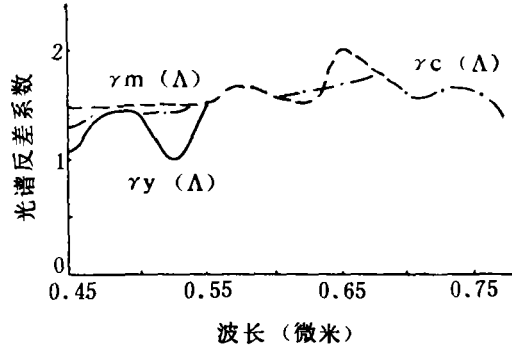


图 5 HCJ-2 的光谱反差系数

Fig. 5 Spectral Contrasts of HCJ-2

形成参考密度  $C$ , 那么, 满足式

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_f(\lambda) S(\lambda) t d\lambda = 1 \quad (7)$$

的宽波段辐射  $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_f(\lambda) t d\lambda$  也形成同一参考密度  $C$ 。

注意到参考密度的选取有一定任意性 (比如宽容度范围内的任何密度都可选为参考密度), 如果换另一参考密度  $C'$ , 那么 (7) 式右端就不是 1。在此更一般的情形下, 我们可以这样来叙述 Van Kreveld 定律: 当

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_f(\lambda) S(\lambda) t d\lambda = \int_{\Delta\lambda_0} E_f(\lambda) t S(\lambda) d\lambda \quad (8)$$

时,  $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_f(\lambda) t d\lambda$  与  $\int_{\Delta\lambda_0} E_f(\lambda) t d\lambda$  的成像效果相同。

该定律还包含了倒易律, 所以是不太精确的。但 Webb 指出, 对于市面上出售的大多数胶片它的精度较高<sup>[5]</sup>。

现在来看 (5) 式中的反差系数项  $\gamma_i(\lambda)$ 。假如  $S_i(\lambda)$  呈大致均匀的分布, 那么,  $\gamma_i(\lambda)$  不均匀时形成的影像密度就有很大的差别 ( $\gamma_{\max}(\lambda)/\gamma_{\min}(\lambda) = 1.5$ )。以黄层为例, 假设  $F_f(\lambda)$  也不随  $\lambda$  而变 ( $F_f(\lambda)$  有变化也不会有很大影响), 只有  $\gamma(\lambda_1) = 1.5, \gamma(\lambda_2) = 1$ , 且有  $\lg F_f(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot t = 1$ , 则

$$D(\lambda_1) = 1 + 1.5 \lg F_f(\lambda_1) \cdot S(\lambda_1) \cdot t = 2.5$$

$$D(\lambda_2) = 1 + \lg F_f(\lambda_2) \cdot S(\lambda_2) \cdot t = 2.0$$

互换反差系数值将有 0.5 的密度误差; 取平均反差系数 1.25 也有 0.25 的密度误差。但事实上  $S_i(\lambda)$  主要分布于—较窄波段内 (加截止波长为 0.525 微米的滤光镜的实际摄影更是如此, 参见图 4), 在  $S_i(\lambda)$  很低的波长处, 反差系数引起的密度变化很微小。例如, 如果  $S(\lambda_2) = \frac{1}{20} S(\lambda_1)$ , 则

$$D(\lambda_2) = 1 + \lg F_f(\lambda_2) \cdot S(\lambda_2) \cdot t = 0.7$$

换上高反差系数  $D_{\gamma_{\max}}(\lambda_2) = 0.55$ , 只有 0.15 的密度误差; 取平均反差系数只有 0.075 的密度误差。由此可见, 胶片的光谱感光度  $S_i(\lambda)$  不仅影响密度, 而且极大地影响反差

系数的作用;随波长而变的反差系数  $\gamma_i(\lambda)$  可以用一常量反差系数  $\gamma_i$  来代替,该系数就是以  $S_i(\lambda)$  为权重的加权平均值:

$$\gamma_i = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \gamma_i(\lambda) S_i(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_i(\lambda) d\lambda} \quad i = y, m, c \quad (9)$$

无论波长如何,  $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_f(\lambda) S_i(\lambda) t d\lambda$  相同时其成像密度  $D_i$  就相同,我们称之为“感光量”,以区别于流行使用的“曝光量”  $H = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_f(\lambda) t d\lambda$ 。一般地,曝光量相同并不意味着成像效果相同。

彩色红外影像总的光谱密度  $D(\lambda)$  是

$$D(\lambda) = \sum_i^{y,m,c} i(\lambda) D_i + b(\lambda) \quad (10)$$

式中  $i(\lambda)$  为染料的分层光谱密度(单位等效中性光谱密度);  $b(\lambda)$  为片基光谱密度。将式中各项详细写出有:

$$D(\lambda) = \sum_i^{y,m,c} i(\lambda) \left\{ 1 + \gamma_i \lg \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\cos^n \alpha T(\lambda)}{4N^2} \times [E_g(\lambda) T_a(\lambda) \rho(\lambda) + \pi L_a(\lambda)] S_i(\lambda) t d\lambda \right\} + b(\lambda) \quad (11)$$

这就是地物光谱反射率  $\rho(\lambda)$  与其彩色红外影像光谱密度  $D(\lambda)$  的物理关系式。

直接用(11)式反演地物波谱  $\rho(\lambda)$  是很困难的。首先隐函数  $\rho(\lambda)$  的影响因子极多,既含相机的各项参数,又含摄影处理和大气环境的许多因子,后者的变化较大,难于精确确定;另外,对于国产胶片 HCJ-2,目前还无单位分层光谱密度  $y(\lambda), m(\lambda), c(\lambda)$  的资料。因此,必须将(11)式化简,寻求一种现实可行的数学模式。

现在改写式(11)为:

$$10^{D(\lambda)} = 10^{y(\lambda)+m(\lambda)+c(\lambda)+b(\lambda)} \cdot \left\{ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\cos^n \alpha T(\lambda)}{4N^2} [E_g(\lambda) T_a(\lambda) \rho(\lambda) + \pi L_a(\lambda)] S_y(\lambda) t d\lambda \right\}^{\gamma_y \cdot y(\lambda)} \cdot \left\{ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\cos^n \alpha T(\lambda)}{4N^2} [E_g(\lambda) T_a(\lambda) \rho(\lambda) + \pi L_a(\lambda)] S_m(\lambda) t d\lambda \right\}^{\gamma_m \cdot m(\lambda)} \cdot \left\{ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\cos^n \alpha T(\lambda)}{4N^2} [E_g(\lambda) T_a(\lambda) \rho(\lambda) + \pi L_a(\lambda)] S_c(\lambda) t d\lambda \right\}^{\gamma_c \cdot c(\lambda)} \quad (12)$$

可见在同一摄影和处理条件下,同一影像坐标点的光谱密度  $D(\lambda)$ ,只随地物光谱反射率  $\rho(\lambda)$  变化。我们用离散求和代替式中积分,这样式(12)可简化为:

$$10^{D(\lambda)} = K_1(\lambda) \cdot \left\{ \sum [K_2(\lambda) \rho(\lambda) + K_3(\lambda)] S_y(\lambda) \right\}^{\gamma_y \cdot y(\lambda)} \cdot \left\{ \sum [K_2(\lambda) \rho(\lambda) + K_3(\lambda)] S_m(\lambda) \right\}^{\gamma_m \cdot m(\lambda)} \cdot \left\{ \sum [K_2(\lambda) \rho(\lambda) + K_3(\lambda)] S_c(\lambda) \right\}^{\gamma_c \cdot c(\lambda)} \quad (13)$$

现在假设:

(1) 三乳剂的反差系数都是  $\gamma$  (这接近 HCJ-2 的实际,  $\gamma_y = 1.35$ ,  $\gamma_m = 1.6$ ,  $\gamma_c = 1.45$ );

(2)  $y(\lambda)$ ,  $m(\lambda)$ ,  $C(\lambda)$  在自己的代表波段, 分别有接近于 1 的值, 而在其余波段则接近于 0 (这即是所谓理想染料);

(3) 除蓝波段外(实际摄影正好将其滤去)无交叉感光(这即是所谓理想乳剂), 那么, 可由 (13) 式推得近似式:

$$10^{D(\lambda)/\gamma} = K_0(\lambda) + \sum_{\Lambda=1}^m K(\lambda, \Lambda)\rho(\Lambda) \quad \lambda = 1, 2, \dots, p \quad (14)$$

再假设系数矩阵  $[K(\lambda, \Lambda)]_{p \times m}$  满秩, 则  $\rho(\Lambda)$  可以表示成  $10^{D(\lambda)/\gamma}$  的线性组合:

$$\rho(\Lambda) = K'_0(\Lambda) + \sum_{\lambda=1}^p K'(\Lambda, \lambda)10^{D(\lambda)/\gamma} \quad \Lambda = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

这正是我们要求的地物光谱反射率与其影像光谱密度的简化数学关系。其中  $m$  和  $p$  分别是一次波谱和二次波谱的波段数,  $\gamma$  为胶片的总反差系数,  $K'_0(\Lambda)$  和  $K'(\Lambda, \lambda)$  为待定常数。我们知道,  $1/T(\lambda) = 10^{D(\lambda)}$  代表“光谱阻光率”,  $10^{D(\lambda)/\gamma}$  可称作“光谱准阻光率”, 在这里它与地物光谱反射率呈线性关系, 这正是该数学模式的优点所在。

### 三、实验方法及结果

根据文献 [7]、成像的实际情况及式 (15), 我们可以作影像光谱准阻光率  $10^{D(\lambda)/\gamma}$  与地物光谱反射率  $\rho(\Lambda)$  的多元线性双重筛选逐步回归, 以确定式 (15) 中的系数。该过程包含了线性假设的统计检验(当然同时也检验了前一部分中矩阵  $[K(\lambda, \Lambda)]$  满秩的假设); 剔出相关性较差的因子  $10^{D(\lambda)/\gamma}$  和预报量  $\rho(\Lambda)$ , 选入相关性最好的因子  $10^{D(\lambda)/\gamma}$  和预报量  $\rho(\Lambda)$ ; 求出回归系数  $K'_0(\Lambda)$  和  $K'(\Lambda, \lambda)$ , 建立回归方程组; 并给出线性相关性大小的判据—— $u$  统计量。 $u$  越小, 相关性越好, 一般  $u = 0.5$  即可认为相关性较好。因此, 对于两种多波段量的分析来说, 这是个很理想的方法, 并且, 用计算机做这种统计分析也不困难。输入的数据只是彩色红外航空像片的总反差系数  $\gamma$ 、 $n$  个像元的  $n \times p$  个光谱密度及同步测得的相应地物的  $n \times m$  个光谱反射率数字。

求出回归系数后, 预报的地物光谱反射率  $\hat{\rho}(\Lambda)$  (即反演的地物波谱)是:

$$\hat{\rho}(\Lambda) = K'_0(\Lambda) + \sum_{\lambda=1}^p K'(\Lambda, \lambda)10^{D(\lambda)/\gamma} \quad \Lambda = 1, 2, \dots, m. \quad (16)$$

我们用广义的相对误差

$$e = \frac{\|\hat{\rho}_{n \times m} - \rho_{n \times m}\|}{\|\rho_{n \times m}\|} \quad (17)$$

来衡量回归效果。其中  $\hat{\rho}_{n \times m}$  和  $\rho_{n \times m}$  分别是光谱反射率的估计矩阵和资料矩阵。

严格地讲, 对不同的像点应有不同的回归方程组(成像不均匀性), 但一般只要分出若干环形区域(大气散射与相机光学性质都有某种对称性)就能满足实际要求。我们在这次实验中暂时只用视场角分出中央和外围两个区域。

为了对照, 我们分别设计了航空实验和地面实验。实验及结果见表 1。其中 HCJ-2

表 1 用 HCJ-2 反演地物波谱的实验表  
Table 1 The Table of the Experiments Reversing Spectral Reflectances of the Ground Objects Using HCJ-2

实验	航空实验		地面实验	
	时间地点	1984.3.14, 10:02, 河南封丘		1985.6.5, 北京
目标	植被、水体、裸土、道路		标准色板	
比例尺	1:30000		1:12	
相机	RC-10, $f = 152\text{mm}$		海鸥 A 型 120, $f = 75\text{mm}$	
滤光片	Deep Yellow (与 RC-10 配套)		Wratten 15	
资料	样本 12, 一次波段 6, 二次波段 4		样本 14, 一次波段 6, 二次波段 7	
像场	$\alpha \leq 20^\circ$	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	$\alpha \leq 10^\circ$	$10^\circ < \alpha \leq 20^\circ$
拟合误差	16%	16%	16%	12%
U 统计量(每组回归方程有一个 U)	0.129	0.094	0.000044	-0.00000009
	0.072	0.045		
	0.057	0.030		

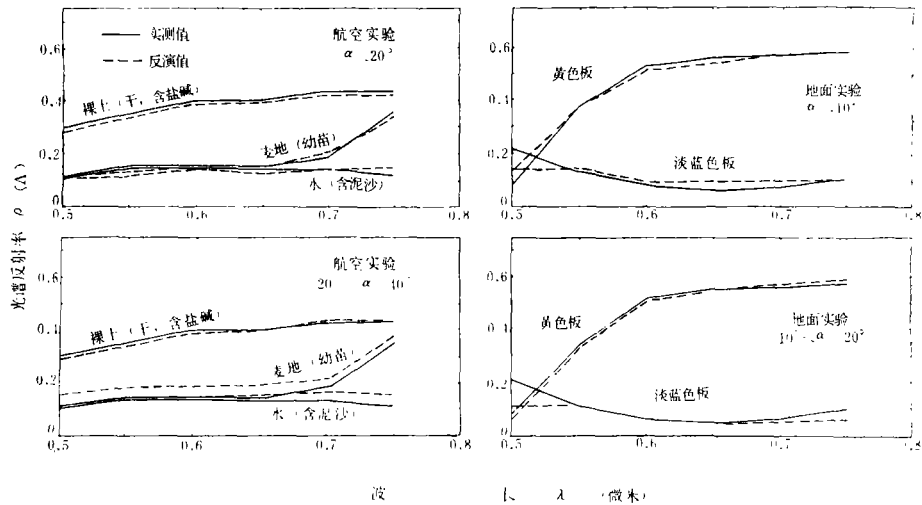


图 6 用 HCJ-2 反演地物波谱的几个结果的图示

Fig. 6 A Scheme of Some Results of Reversing Spectral Reflectances of the Ground Objects Using HCJ-2

上影像的光谱密度是用 Carl Zeiss JENA MD-100 测微密度计加相干涉光片测得的, 航空实验的四个二次波段的峰值波长分别为 0.44、0.54、0.6 和 0.66 微米, 地面实验的七个二次波段的峰值波长分别为 0.4、0.44、0.53、0.54、0.58、0.6 和 0.66 微米; 两个实验都取六个波段的地物光谱反射率, 其峰值波长都分别是 0.5、0.55、0.6、0.65、0.7 和 0.75 微米。

我们分别取 2、1.5 和 1 试算,计算结果差别不大,说明  $\gamma$  值并不要求很准确。我们取  $\gamma = 1.5$ 。

图 6 是反演地物波谱的几个结果。其中各波长上的反射率值均是  $\Delta\lambda = 0.05$  微米波段范围内的平均值。由于拍摄季节和当地条件的限制,水体与植被都不大纯,原始测定的波谱不甚典型。尽管如此,反演结果还是比较忠实地反映了实况。

## 四、结论与讨论

### 1. 结论

通过以上分析和实验,可以得出如下结论。

(1) 地物波谱与其彩色红外胶片影像波谱的指数变换(光谱准阻光率)存在近似的线性关系;

(2) 彩色红外航空像片 HCJ-2 可以当作一种可见光近红外谱段的光谱记录仪,且很容易使波段数超过 6;

(3) 以物理分析为基础建立的统计反演模式有较好的理论基础,且所需数据项少,易于采集,计算工作易于上机,省时省力。

### 2. 讨论

本文所反演的是地物的反射波谱特性,该特性是地物成像的本质,在同一拍摄条件下,凡是在相应波段有相同波谱特性的地物都将有同一影像,具有同一统计回归系数。至于波谱特性与地物本身的关系,则需要用其它方法比如用比值法、谱分析法以及各种生物地学方法进一步确定。我们一再强调的“影像—地物波谱—地物”解译路线不仅有理论意义,而且有较大的实用价值;“影像—地物”的关系是很不稳定的,它受季节、时间、天气、拍摄参数、成像位置、航高、地域、地形、植被长势等因素的制约,若要在这些诸多因素下——建立“影像—地物”关系,则必须花费很大的财力物力和时间,甚至不可能完成这样的试验;但若先建立“影像—地物波谱”的关系,则大量的试验(“地物波谱—地物”关系试验)就可移到地面来做,空中实拍试验就减少为对不同太阳高度、不同天气状况、不同航高及不同像场等几项试验,当然,在这些不同因素的影响下,将会有不同的回归系数。

本文的理论分析及实验方法很易于用于其它摄影方式,也不难于扫描、卫星遥感、地面遥感等。本文所论及的遥感方式较之传统的多光谱遥感的优越性在于:可以获取更多波段的地物信息并避免了几何配准所造成的误差。

当然,本文结果的精度还不算高。主要影响因素有:有些地物未成像在宽容度内;平均反差系数的应用;样本数较少;视场分区过粗以及密度测定仪器方面的原因等。例如样本数  $n$  的影响:用离散求和代替一次波谱的积分本来就要求求和的项数很多,即一次波谱的波段数  $m$  要求较大并填满整个感光波段;染料的三种波谱能叠置出无数种波谱来,只有二次波谱的波段数  $p$  较大并填满可见光波段才能少丢失影像信息。但是,多元线性双重筛选逐步回归分析要求满足条件  $n > m + p$ 。由于当时实验条件的限制,样本取得较少,致使  $m$  和  $p$  都取得较小,既减少了反演波段的数量,又降低了反演的精度。有幸的是,样本数、视场分区和测定仪器的状况都很容易在今后的实验中得到改善。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] R. D. Worsfold, Statistical Analysis of the Effects of Red, Green, Magenta and Cyan Color Compensating Filters on Color Infrared Film, Proc., Spring ASP-ACSM Convention, pp. 231—254, 1980。
- [ 2 ] Manual of Remote Sensing, American Society of Photogrammetry, 2nd ed, 1983.
- [ 3 ] F. L. Scarpace et al., Analysis of Multi-layered Films, Proc., 40th Annual Meeting of ASP, pp. 26—34, 1974。
- [ 4 ] P. N. Slate, Remote Sensing, Optics and Optical Systems, Addison-Wesley, 1980。
- [ 5 ] T. H. James, Theory of Photographic Process, MacMillan, 4th ed., 1977.
- [ 6 ] 樊中羽, 中国遥感摄影胶片 6875 和 HCJ-2, 遥感文选, 科学出版社, 1981。
- [ 7 ] 张尧庭等, 多元统计分析引论, 科学出版社, 1983。

## A Reseach of Reversion of the Ground Object Spectra by Aerial Color Infrared Film

Xu Jianping    Tong Qingxi

(Airborne Remote Sensing Center, Chinese Academy of Sciences)

### Abstract

Based on the reseach of the physical mechanism of aerial color infrared photography, this paper reveals the linear relation between the exponential transform of spectral density of the image and the ratio of spectral reflectance of the ground object. A practical statistical method and corresponding experiment to reverse the ground object spectra by aerial color infrared film were given. It is shown that at least 6-band ground object spectra can be reversed by the aerial color infrared film HCJ-2 made in China. Moreover, because this statistical method has usefull, thoroughgoing and highly effective characteristics, it makes the possible to reverse all the image of aerial films by computer.