

18—23MSP 多光谱航空摄影技术

夔中羽 牛普宁

(国家测绘局测绘科学研究所) (中国通用航空公司)

1990年9月10日收稿

摘 要

此项研究是国家科技攻关项目。在研究此课题以前,世界上采用的多光谱航空摄影机一直是小像幅的(大部分为 $6\text{cm}\times 6\text{cm}$,代称为6MSP)。6MSP不能测图,分光“有害吸收”大,故图像质量差,且像幅小,飞行和后期加工量极大。本研究采用 $18\text{cm}\times 18\text{cm}$ 和 $23\text{cm}\times 23\text{cm}$ 像幅航空摄影测量像机组成多光谱像机组,并设计了“截止滤光镜—特制感光胶片”组合的无“有害吸收”的分光系统,使本多光谱航空摄影像幅比6MSP加大了9倍和14.7倍,并能“一摄多用”,既能测图,又能进行资源调查和环境监测,其图像因无“有害吸收”,分光质量高,可供目视判读,也可输入计算机进行准确地物分类解译。18—23MSP是一项有效的航空遥感技术。

关键词 多光谱航空摄影 影像质量 测图 资源调查

一、研究目的

多光谱摄影(MSP)1959年被用于航空摄影,目的在于进行地球资源调查。二十多年的实践证明,MSP是地球资源调查的有效手段,用它可以解决农、林、水、地质、环境保护等等方面的许多问题。据不完全统计,世界上共出现了29种MSP航空摄影像机,它们的像幅大部分为 $6\text{cm}\times 6\text{cm}$ 左右,故可代称为6MSP摄影。

中国民用航空摄影可分两类:测绘航空摄影和遥感航空摄影。当前,测绘航空摄影主要使用黑白全色和黑白全色红外摄影。遥感航空摄影主要使用彩色红外和多光谱摄影。目前多光谱摄影使用的6MSP像机像幅小,并且是非测绘像机,所以不能用于测图。简言之,目前两类航空摄影互不兼容,在一个地区上空,两类航空摄影需各飞一次,这不仅使飞行费用需要增加几倍,而且延长了提供资料的时间。

近年来,应国家经济建设需要。国家测绘局和中国民航局提出了“一摄多用”的航空摄影方针。“一摄多用”就必须突破测绘航摄和遥感航摄各行其道的局面。使两类航摄兼容;若要使两类航摄兼容,就必须用航空摄影测量像机摄取多光谱图像。本研究采用测绘航空摄影测量像机进行多光谱摄影,像幅 $18\text{cm}\times 18\text{cm}$ 和 $23\text{cm}\times 23\text{cm}$,故称之为“18—23MSP”。

解决18—23MSP航空摄影的理论、方法、设备和材料等一系列问题就是本课题要研究的中心内容。建立测绘和遥感调查兼容的“一摄多用”的新航空摄影方法是研究18—23MSP航摄的目的。

二、18—23 MSP 技术简述

18—23MSP 航空摄影是利用三台 18cm × 18cm 或 23cm × 23cm 像幅的航空摄影测量像机进行同步摄影, 每台像机摄制一个光谱波段的影像, 采用“三镜三片法”进行分光, 其波段范围为 (G) 500—600nm、(R) 600—700nm 和 (IR₁) 700—800nm, 也可扩大至 (B) 400—500nm 和 (IR₂) 800—900nm, 利用摄制好的三张黑白底片或像片进行分波段判读。综合分析, 或进行多波段多方案的彩色合成, 取得数百种多光谱彩色合成像片。这些黑白和彩色图像均可供地球资源调查和环境监测使用。所获图像也可输入计算机进行地物分类。利用 R 波段的原片或复制片进行航测成图。

18—23MSP 的主要技术状况为:

飞机:	安-30;
像机:	AΦA-TЭ-20 三台或 RC-10 三台;
分光方法:	三镜三片法;
滤光镜:	黄 ЖС-18, 红 КС-14, 红外 HB-730 和 WILD C,D,E;
摄影胶片:	(G)1055, (R)1065, (IR)1075;
摄影有效光谱波段:	500—600, 600—700, 700—800, 可扩大至 400—500 和 800—900 (nm);
像幅:	18cm × 18cm 和 23cm × 23cm;
摄影航高:	4000 公尺—7000 公尺;
摄影比例尺:	1:20000—1:45000;
摄影天气要求:	按正常航摄要求;
旁向和航向重叠:	按正常航摄要求, 或应资源调查用减小重叠;
摄影曝光和冲洗要求:	三片的反差系数 γ 值尽量一致, 其间差 $\Delta\gamma$ 不得大于 ± 0.15 ;
黑白片印、放:	用三种底片按航测要求印、放;
彩色合成:	根据资源调查的需要, 用三片或两片的底片、正片或底片—正片进行彩色合成。

三、理论基础和分光方法

1. 理论基础

多光谱摄影的物理本质是: 利用大致与摄影分光光度法相同的方法, 首先将被摄物体的反射光(或发射光)能量, 分波段地用摄影胶片记录下来, 然后在印制单色片或彩色合成的过程中, 用一定的密度或颜色将被摄物体的反射光(或发射光)能量按原来的各波段光能之间的线性关系再现出来。这里有两个重要过程, 一是光能记录, 一是光能再现。这两个过程是互相关联的, 光能记录是再现的保证, 记录不正确, 再现是很困难的。因此, 如何正确地记录光能是 18—23MSP 的关键问题。下面讨论正确记录光能的条件。

根据摄影感光的基本关系, 底片上所得某光谱波段 λ_i 和该光谱波段曝光量之间的关

系是:

$$\Delta D_{\lambda_i}^{a/b} = \gamma_{\lambda_i} (\lg H_{\lambda_i}^a - \lg H_{\lambda_i}^b)$$

将 $H_{\lambda_i}^a$ 和 $H_{\lambda_i}^b$ 展开得:

$$\Delta D_{\lambda_i}^{a/b} = \gamma_{\lambda_i} [\lg \int_{\lambda_i} E_{\lambda} \cdot \tau_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda}^a d\lambda - \lg \int_{\lambda_i} E_{\lambda} \cdot \tau_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda}^b d\lambda]$$

式中 E_{λ} 为摄影光源光谱能量分布, τ_{λ} 为摄影滤光镜光谱透光率, S_{λ} 为胶片光谱感光度, $\rho_{\lambda}^a, \rho_{\lambda}^b$ 为被摄地物 a, b 的光谱亮度系数。

同一次航空摄影中的光谱有效光通量 A_{λ} ($A_{\lambda} = E_{\lambda} \cdot \tau_{\lambda} \cdot S_{\lambda}$) 是个常数, 故可得:

$$\Delta D_{\lambda_i}^{a/b} = \gamma_{\lambda_i} (\lg \bar{\rho}_{\lambda_i}^a - \lg \bar{\rho}_{\lambda_i}^b)$$

18—23MSP 摄影方案中采用的光谱段是绿 (G)、红 (R) 和红外 (IR) 三个波段。在分光方法能保障各波段之间没有光能的相互干扰的情况下 (此为条件 1), 对绿 (G) 波段可有如下关系:

$$\Delta D_G^{a/b} = \gamma_G (\lg \bar{\rho}_G^a - \lg \bar{\rho}_G^b) \quad (1)$$

对红 (R) 波段和红外 (IR) 波段, 同样可得:

$$\Delta D_R^{a/b} = \gamma_R (\lg \bar{\rho}_R^a - \lg \bar{\rho}_R^b) \quad (2)$$

$$\Delta D_{IR}^{a/b} = \gamma_{IR} (\lg \bar{\rho}_{IR}^a - \lg \bar{\rho}_{IR}^b) \quad (3)$$

如前所述, 多光谱摄影中必须保持原被摄地物反射能量与所摄底片上这些地物影像密度之间的线性关系, 以利于图像判读工作。若将 (1)、(2)、(3) 式连比, 即得:

$$\Delta D_G^{a/b} : \Delta D_R^{a/b} : \Delta D_{IR}^{a/b} = \gamma_G \lg \frac{\bar{\rho}_G^a}{\bar{\rho}_G^b} : \gamma_R \lg \frac{\bar{\rho}_R^a}{\bar{\rho}_R^b} : \gamma_{IR} \lg \frac{\bar{\rho}_{IR}^a}{\bar{\rho}_{IR}^b} \quad (4)$$

如果 (4) 式中, $\gamma = \gamma_G = \gamma_R = \gamma_{IR}$ (此为条件 2), (4) 式可写成:

$$\Delta D_G^{a/b} : \Delta D_R^{a/b} : \Delta D_{IR}^{a/b} = \gamma \lg \frac{\bar{\rho}_G^a}{\bar{\rho}_G^b} : \gamma \lg \frac{\bar{\rho}_R^a}{\bar{\rho}_R^b} : \gamma \lg \frac{\bar{\rho}_{IR}^a}{\bar{\rho}_{IR}^b} \quad (5)$$

(5) 式就是多光谱摄影中, 地物光谱亮度系数和底片上地物影像光学密度 D 之间的线性关系。

综上所述, 将多光谱摄影中必须保障的技术条件归纳如下:

1) 多光谱摄影中, 分光方法必须保障各波段之间没有光能方面的相互干扰, 也就是没有如一般彩色摄影中的所谓“有害吸收”;

2) 在进行多光谱摄影过程中, 包括感光胶片选择、曝光控制和底片冲洗等过程中, 必须保障各波段感光胶片的反差系数一致, 即 $\gamma_G = \gamma_R = \gamma_{IR}$ 。

18—23MSP 摄影的分光方法是根据上述两个原则制定的。

2. 分光方法

目前一般多光谱摄影 (6MSP) 的分光方法是, 利用透过不同波段的单光滤光镜在一种“多光谱摄影胶片”上曝光, 以分割出不同的有效光谱感光范围。此法可称为“多镜一片法”。国外多用柯达 2424 胶片, 国内现用化工部第一胶片厂 (保定) 生产的多光谱摄影胶片。18—23MSP 的分光方法与上述方法不同。因为此法既要照顾到遥感调查的目的, 也要保证测绘几何精度, 所以, 航空摄影机上原装的滤光镜尽量不更换, 以保持原光学系统的性能。为了保持图像几何精度和克服“多镜一片法”的弱点, 18—23MSP 不能直接套用 6MSP 的分光方法, 而采用了三个胶片配三个截止滤光镜的方法 (见表 1)。这个方法

是用三个截止滤光镜分别截止三个感光胶片的光谱感光的短波缘, 又用三个胶片的光谱感光范围截止光谱感光的长波缘。此法可称为“三镜三片法”。

表 1 18—23MSP 胶片和滤光镜的搭配

Table 1 The combination of films and filters of 18—23MSP

波 段 胶 片 滤光镜	18MSP			23MSP		
	G	R	IR	G	R	IR
胶 片	1055	1065	1075	1055	1065	1075
滤光镜	XC-18	KC-14	HB-730	WILD C	WILD D	WILD E

采用“三镜三片法”有以下几个好处:

(1) 对三个胶片中的每一个胶片而言, 因只要求它对一定的波段感光, 故胶片制造容易, 感光度、分解力均容易提高, 价格也比单一的“多光谱片”便宜很多(多光谱片价格/18—23MSP 用胶片价格=3.46 倍)。

(2) “三镜三片法”可有效地利用一个感光胶片的光谱感光度, 从而避免了“多镜一片法”中对光谱感光度的浪费。

(3) 用“三镜三片法”可将光谱带分得很清楚, 即被分开的三个光谱带在光能方面不互相干扰。这对提高彩色合成片上的颜色纯度很有好处。而“多镜一片法”存在“有害吸收”, 清楚分带对它是困难的。

(4) 采用三个感光胶片可以根据感光波段分别调动底片反差系数 r 值, 这一点在“多镜一片法”中很难办到。

(5) “三镜三片法”可保证测绘精度, 使 18—23MSP 航摄能测绘和遥感兼容。这一点, “多镜一片法”是做不到的。

总之, “三镜三片法”能保证多光谱摄影全过程中光能记录和光能再现的准确性, 是 18—23MSP 航摄方法区别于其它 MSP 摄影方法的根本之点。

四、图像几何精度

1. 测图用几何精度

18—23MSP 使用的是传统的航空摄影测量像机, 其几何精度完全满足测绘地形图要求。

2. 资源调查用彩色合成图像几何精度

影响彩色合成精度的因素有摄影系统本身的误差和合成方法带来的误差。

摄影系统本身的误差来自: 像机的不同步(m_1), 像机光轴不平行(m_2), 像机主光轴间距(m_3)和可略的像机焦距差和胶片变形误差。在地物相对高差为 ± 500 米时, 这些误差的最大值利用航测精确公式计算, 见表 2。

利用光学彩色合成, 误差较大, 主要来自对点精度较低之故。

表 2 相对高差 500 米的 18—23MSP 误差最大值(单位: mm)

Table 2 The maximum errors of 18—23MSP

	m_1	m_2	m_3
18MSP	0.012	0.003	0.003
23MSP	0.002	0.029	0.001

五、应 用

此项技术已在洞庭湖、朱亭、龙门、杭州湾、深圳、深圳湾、黄河口、宁乡、酒泉、乌鲁木齐、神木、永修、岳阳等十几个地区为农业、林业、土地规划、冶金、测绘、遥感、科研等部门执行多光谱摄影生产任务。总摄影面积为 44946.4km²。

在用此项技术调查洞庭湖环境时,由于图像质量优良,在 18MSP 图像上准确地划出了血吸虫孳生区域:因 18—23MSP 使用摄影分光光度法分光,故根据所得图像可测地物光谱亮度系数。

18—23MSP 多光谱航空摄影是一项既省时、省资金、质量又好的“一摄多用”的航测和航空遥感技术。

18—23 MSP MULTI-SPECTRAL AERIAL PHOTOGRAPHY

Kui Zhongyu

(The Research Institute of Surveying and Mapping, National Bureau of Surveying and Mapping)

Niu Puning

(The General Aviation Co. of China)

Abstract

Prior to theresearch project, the multi-spectral photographic cameras used in the world have a small format (mostly 6cm×6cm, so it is called 6MSP), the 6 MSP could not be used for mapping; the “harmful absorption” of spectral photometry is great so that the image quality is not up to standard; Due to the small format, the processing work is great during flying and later period. This project uses aerial photogrammetric cameras of format 18cm×18cm and 23×23cm which composed multi-spectral camera groups, and the spectral photometry which has no “harmful absorption” is constituted by “cut-off filter and special sensitive film” that enables the format of the multi-spectral aerial photography to increase by 9 times and 14.7 times more than 6MSP, and it allows“one photography-multiple usage”, e.g the photographs can be used for mapping and for resources investigation and environment monitoring. As there is no “harmful absorption” so the quality of multi-spectral image is higher, and can be used for visual interpretation and also can be input into compceter in order to do the objects classification and interpretation accurately. 18—23MSP is an efficient aerial remote sensing techniques.

Key words Multi-spectral aerial photograppsy Image quality mapping Resources investigation