

应用航空摄影资料编制高山 峡谷地区正射影像图*

钱育华 翁祖平

许楷成

(中国科学院遥感应用研究所)

(陕西省第五测绘大队)

1991年11月5日收稿

摘 要

本文阐述了利用既有比例尺为1:4.5万和1:3.5万的航摄像片及1:5万成图的航测外业控制成果,经内业空中三角测量加密定向点,采用解析测图-正射投影系统,编制成318幅1:1万高山峡谷地区的正射影像图的技术。经过检查,成图质量达到了技术设计标准,满足土地资源调查制图精度要求。

关键词 正射影像图 投影变换 微分纠正

一、前 言

应用航空摄影(简称航摄)像片进行土地资源调查制图,在平原地区常采用航摄像片室内分析判读、外业实地验证,将判读的结果,转绘到地形图上,编制土地资源图,量算统计面积。在丘陵、山区作土地资源调查时,由于航摄像片倾斜、地形高差和航高的变化,产生了较大的影像位移,直接利用它来编图和量算土地资源的图斑面积,存在较大的几何误差。为了提高土地资源调查制图的速度和数学精度,需要应用正射影像图。

正射影像图是近代发展起来的一种新型地图,现在却越来越多地被用于土地资源调查制图、判读和规划。正射影像图的下列主要特点对用户十分重要:它的图面要素经过几何纠正,仍然保存了航摄影像,有统一的比例尺,有统一的大地坐标系,主要地物、地貌特征皆辅以线划符号和注记说明,并有图廓线、公里网等。因此,影像信息丰富、立体感强、真实客观,具有与实地直接对比性好(对用图者特别方便)、地物的平面几何精度较高和成图周期短等优点。

应用正射影像图,既可直接量测,又能判读勾绘地物图斑,从而避免了制图转绘误差,而且只要参考制图地区的有关资料和少量外业典型调查,在室内结合专业知识,就可以进行土地资源现状图的编绘。

* 参加试验工作的有程裕华、马景芝、孙建国、刘建明、黄玉山等同志。感谢李树楷副教授、潘琦高级工程师等热情支持。

本次试验,利用既有的 23cm × 23cm 和 18cm × 18cm 像幅的非标准化(对 1:1 万成图而言)航摄资料及航测 1:5 万成图的外业控制成果,来编制西昌地区的正射影像图。共编制成 318 幅 1:1 万正射影像图。根据有关技术标准规定,对成图进行了检查,质量全部合格。

现将这次正射影像图编制试验作如下介绍:

二、制图区域特征

试验区域包括:四川省西昌市、德昌县、米易县。地理位置: λ 101°41'15"—102°30'00", φ 26°37'30"—28°12'30", 覆盖面积 8730 余 km², 含 1:1 万比例尺 318 幅(其中 12 幅不满幅)。

本地区地质构造以近南北方向断裂为主。由于地质作用强烈和长期受外营力作用,境内地形复杂,高山峡谷、川流交错、峰岭连绵。雅砻江、安宁河流经本区。地势北高南低,属横断山脉北段。海拔在 1000—3000m, 岭谷高差由北向南逐渐增大,相对高差 2000m, 除河谷地带外,地形坡度均大于 30°,为制图困难地区。因此,对本区域全部采用常规技术进行野外土地资源调查制图,难度较大,定位与定量分析、数字统计精度难以得到保证。

三、制图资料

编制高山峡谷地区 1:1 万黑白正射影像图所用的航摄资料,是中国科学院 B012 工程于 1980 年 12 月—1981 年 2 月所摄的,比例尺为 1:4.5 万彩色红外航摄负片。采用 RC-10 型航摄机,像幅为 23cm × 23cm, 航摄机焦距 $f_k = 153.18\text{mm}$ 。绝对航高为 9000m。航摄像片航向重叠大于 60%, 旁向重叠大于 30%。航线为南北方向,制图区域北部尚有点航摄片为东西方向。航空摄影采用国产 1821 型彩色红外负片,影像质量良好。但原始航摄负片经多次应用,致使多数负片有轻微的擦痕,但影像信息尚好。制图区域个别边缘处没有 23cm × 23cm 像幅的航摄像片。为了区域内制图的完整性和用图需要,收集已有的 18cm × 18cm 像幅的黑白航摄资料。

内业加密使用的大地与像片控制点成果,系有关单位于 1983 年航测 1:5 万地形图时的外业实测大地控制点成果,经判读转刺到彩色红外控制像片上。同时,转刺了一些内业加密点。

用涤纶片基中性全色感光胶片拷贝黑白透明正片,影像密度与反差适中,影像清晰,信息损失较少。

四、技术设计

编制正射影像图,采用高斯 3° 带投影,按经度差 3'45", 纬度差 2'30" 的国际分幅,成 1:1 万比例尺正射影像图。按应用要求,成图精度达到 1:2.5 万比例尺的规定,影像平面

位置中误差为 $\pm 3.0\text{mm}$ 。其它制图数学精度见表 1。采用 1954 年北京坐标系和 1956 年高程基准。按 1:1 万、1:2.5 万比例尺影像平面作业规程^[1]和典型试验样, 整饰图面并注记地理要素。

表 1 制图数学精度

Table 1 Accuracy of mathematical cartograph

项 目	限差 (mm)
图廓边长误差	0.3
图廓对角线较差	0.6
图廓对角线误差	0.4
公里网点间距误差	0.3
扫描片镶嵌接片差	1.5—3.0
图幅接边差	2.5—4.5

制图区域内, 大部分地面坡度较大。采用纠正仪作业, 技术复杂, 难以达到成图精度要求。为此, 本试验采用高精度的正射投影仪进行微分纠正, 编制正射影像负片, 按标准图幅镶嵌整饰, 其工艺流程框图见图 1。

由图 1 可见其特点: 1. 没有重新进行航空摄影, 采用了既有的非一张航片成一幅图的非标准航摄像片, 提供空中三角测量加密和正射投影仪扫描用的是拷贝的黑白透明正片; 2. 没有进行航测外业控制点测量, 应用了航测成图时的外业控制点已有成果, 进行空中三角测量加密区域网平差, 取得

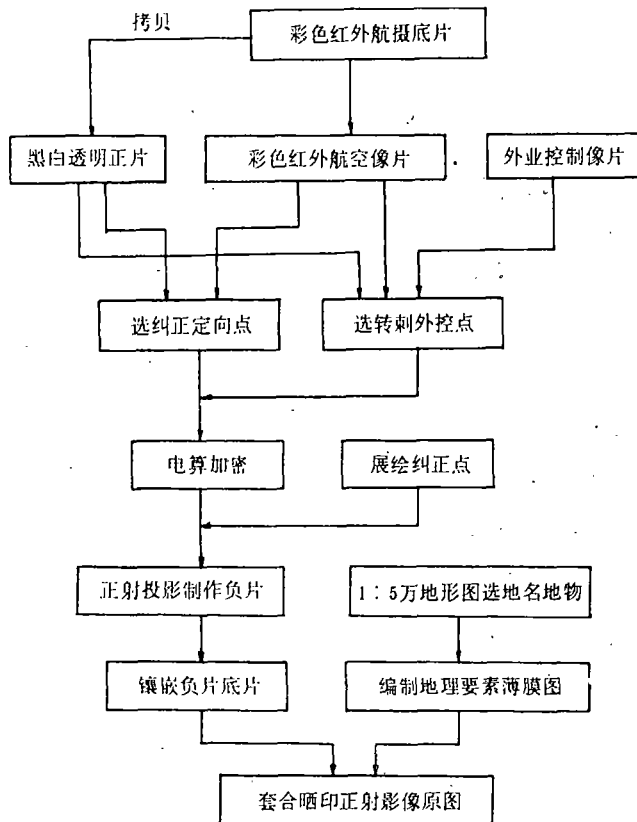


图 1. 影像图编制工艺流程框图

Fig. 1 The chart of orthophotoquad making technology

正射投影纠正定向点; 3. 没有进行外业像片调绘, 重要的地理要素从较小比例尺地形图上选取, 而一些次要地名、地物, 图上没有表示, 以减少影像信息损失。

五、像片纠正定向点的加密

采用既有成图为 1:5 万的像片控制点成果, 进行像片纠正定向点的加密, 进行航测内业加密定向点的条件见表 2 所列。由表 2 可见现有条件与应具备的条件存在差异。特别

表 2 加密定向点条件

Table 2 Condition of orientation point for block aerotriangulation

项目	条件		像幅 cm ²
	标准	应具备的条件	
航摄比例尺		(按 1:1 万规范) 应具备的条件	(既有资料) 现有的条件
		1:1.0 万—1:2.5 万	1:3.5 万
		1:2.5 万—1:3.5 万	1:4.5 万
像控点联测精度		平面 1m, 高程 1m	平面 5m, 高程 2.5m
基线的跨度		平面高程: 6 条基线	平面高程: 6 条基线

是所用航摄资料分别为不同时期所拍摄的, 航线敷设方向不一致, 像片比例尺亦不相同, 又存在彩色与黑白影像之分, 所以从既有外业控制黑白航片上, 将大地控制点转刺到彩色红外航片上, 存在一定的难度。

加密点预期精度估算。根据现用航测规范^[2], 在现有资料条件下加密点的预期精度估算公式为:

$$\text{平面: } M_l = \pm 0.28 \cdot K \cdot m_q \cdot \sqrt{n_0^3 + 2n_0 + 46}$$

$$\text{高程: } M_h = \pm 0.088 \frac{H}{b_0} \cdot m_q \cdot \sqrt{n_0^3 + 22n_0 + 83}$$

式中: M_l ——平面位置加密中误差 (mm); M_h ——高程加密中误差 (m); K ——像片比例尺与成图比例尺分母之比, =4.5; n_0 ——加密的基线数, =6; b_0 ——航片基线长, =80mm; H ——相对航高, =7000m; m_q ——上下视差观测中误差, =0.025mm。

应用公式按所取数值计算得如下结果: $M_l = \pm 0.52\text{mm}$, $M_h = \pm 4.00\text{m}$ 。

由于受现有条件的限制影响, 预期精度最大值应为: $M_l = \pm 0.52\text{mm} \times 5 = 2.6\text{mm}$ (1:1 万图上)。 $M_h = \pm 4.00\text{m} \times 2.5 = 10\text{m}$ 。式中 M_l 和 M_h 中的系数 5 和 2.5 为表 2 中所列像控点联测精度之现有条件与应具备条件之比。

联机空中三角测量加密时, 采用二级立体坐标量测仪进行观测, 按独立模型法区域网平差程序 IBM-286 微型计算机处理数据。

整个制图区域分为 16 个加密小区, 共 60 条航线 700 个像对。经数理统计, 16 个小区加密定向点的平面与高程中误差平均数, 与规范规定之中误差比较^[3], 结果见表 3。

加密限差(最大取 2 倍中误差值)之比较, 见表 4。由表 3 和表 4 所列加密精度分析

表 3 中误差比较

Table 3 Comparison of mean square error for block aerotriangulation

中误差 \ 类别	1:1 万图实际 加密中误差 (m)	1:1 万图规范规定的 加密中误差 (m)	1:2.5 万图规范规定的 加密中误差 (m)
M_s	±9.93	±7.50	±18.80
M_h	±3.46	±4.50	

表 4 加密限差比较

Table 4 Comparison of photogrammetric control extension tolerance

中误差 \ 类别	1:1 万估算 加密限差 (m)	1:1 万实际 加密限差 (m)	1:1 万规范 规定加密限差 (m)	1:2.5 万规范 规定加密限差 (m)
M_s	±26.00	±19.86	±15.00	±37.60
M_h	±10.00	± 6.92	± 9.00	

比较,加密点平面精度达到 1:2.5 万规范的规定,高程加密点精度达到 1:1 万规范之规定。由此可见,加密成果精度达到了成图技术设计规定要求。

六、正射影像负片的编制

为保证成图质量,满足应用要求,使用了 C-130 和 Z 2 解析测图仪系统,编制正射影像图。

正射影像图是将中心投影的航摄像片分成若干小块,经微分纠正消除由于像片倾斜和地形高差以及航高变化引起的像点位移,完成由中心投影向正射投影影像的变换。应用正射投影变换获得的负片与主要地理要素注记线划版套合晒印到像纸上,得到一张既有地形图的数学精度,又有地表的全部影像信息的正射影像图。

编制正射影像图的主要工艺包括数据采集、正射投影仪扫描成像和正射负片的晒印作业。

由于地形高差大,采集数据选择的断面密度,规定线性内插引起的高程误差控制在 9 米以内。因地形高差对影像图的精度有很大影响,在扫描缝隙的横方向存在因地面坡度,引起的影像位移影响接边误差;在扫描缝隙的纵方向存在地面坡度,产生的影像位移影响影像分辨率。影像位移与扫描缝隙内横向坡度角 θ_x 、缝隙长度 w 的关系式表示:

$$\Delta x = \frac{1}{2} w \cdot \operatorname{tg} \theta_x \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad \Delta y = \frac{1}{2} w \cdot \operatorname{tg} \theta_x \cdot \operatorname{tg} \beta。$$

式中 Δx 为 X 方向影像位移, Δy 为 Y 方向影像位移, $\operatorname{tg} \alpha = \frac{X}{Z}$; $\operatorname{tg} \beta = \frac{Y}{Z}$, X, Y, Z 为正射像点的模型坐标。

影像分辨率与纵向坡度角 θ_y 、缝隙宽度 D 的关系式表示:

$$R_y = 1/2d = 1 - \operatorname{tg} \theta_y \cdot \operatorname{tg} \beta / 2D \operatorname{tg} \theta_y \cdot \operatorname{tg} \beta。$$

式中： R_v 为影像分辨力，以线对/mm 表示。 d 为影像位移距离。

从上述数学关系式可知：当选用长缝隙时，扫描缝隙内横向坡度角 θ_1 大，产生的影像位移值大；缝隙宽度大，则纵向坡度角 θ_2 大，影像分辨力降低。

在实际正射投影作业中，考虑了既要满足成图精度要求，又要尽可能地提高工效，一般选择缝隙长度在 4—8mm 之间，控制缝隙面积范围内实地地形高差不超过 5 米。为了检验正射影像图平面数学精度及所选择的断面密度和缝隙长度是否恰当，在正射负片上打印出 4 个图廓点的正交十字线，然后将其套放于相应展点的图版上，套合差控制在 0.1—0.2mm 以内，否则查明原因并改正。

经正射投影仪扫描，得到一张扫描负片。当扫描所得到的负片面积不足一幅图时，为减少像片切割镶嵌误差，应继续采用相邻立体像片在仪器上定向扫描接片，使其满足图幅面积要求。扫描片经摄影处理后，得到一张正射影像负片。

七、正射影像图的复制

按常规制图技术展绘一幅刻图薄膜为控制底图，包括图廓点、公里网点、定向点、典型地物点坐标，依据图式和使用要求编绘主要地理要素，得到注记线划版。在透光台上，把控制底图与正射影像负片以 4 个图廓点进行套合检查，当 4 个图廓点套合差在 0.2mm 以内，就在该版 4 边缘处共同打下定位孔。在拷贝机承片玻璃上或纠正仪承影面上加设定位锁，作为两版套合晒印定位用。

为了方便应用，选用了伸缩变形小、干燥以后不卷曲而保持平整的像纸。将正射负片和注记线划版，分别置于定位锁上进行接触曝光晒印到像纸上。按常规摄影处理，获得需要的正射影像图。

八、精度分析

在完成的 318 幅正射影像图，进行了制图要素和平面控制点及典型地物点的数学精度检查。应用精密量距对正射影像图的图廓尺寸进行检查，图廓边长与理论值的较差一般为 0.1mm，最大为 0.2mm，对角线与理论值的较差一般为 0.1—0.2mm，最大为 0.3mm。全部图幅达到了编制技术设计规定的限差要求。

正射影像图平面精度检查。定向点由于共用，共计检查 636 个点，另外抽查典型地物点 244 个点，共计 880 个点。此外每幅图的 4 个图廓点参加检查，所以每幅图平均检查 6—7 个点。检查方法是将定向点，典型地物点的坐标值展绘在纠正定向控制底图上，然后将每一幅正射影像负片，按图廓点定位套合于控制底图上，检测定向点和典型地物点是否在规定的限差以内。检测的点套合较差，一般为 0.4—0.8mm，最大为 5.5mm，其中有 4 个点位，因其位置不明显，难以判刺准确，其套合较差超限。详见表 5，套合较差 0.3mm 以内的有 839 个点，占 95.3%。2 倍中误差以内的有 37 个点，占 42%。超限 4 个点，占 0.5%。318 幅的平均中误差 $m = \pm 1.59\text{mm}$ 。正射影像图的实际精度与规范规定和设计精度要求的比较见表 6。由表 6 分析来看，正射影像图的实际精度基本上达到规范规定

表 5 正射影像图平面位置套合精度

Table 5 Accuracy of plane position registration for orthophotoquad

序 号	点位较差 [Δ] (mm)	点数 (n)	平方和 [$\Delta\Delta$]	中误差 (mm)
1	0.2	3	0.12	
2	0.3	17	1.53	
3	0.4	96	15.36	
4	0.5	122	30.50	
5	0.6	14	5.04	
6	0.7	43	21.07	
7	0.8	45	28.80	
8	0.9	21	17.01	
9	1.0	107	107.00	
10	1.1	22	26.62	
11	1.2	44	63.36	
12	1.3	38	64.22	
13	1.4	32	62.72	
14	1.5	50	112.50	
15	1.6	26	66.56	
16	1.7	29	83.81	
17	1.8	23	74.52	
18	1.9	9	32.49	
19	2.0	33	66.00	
20	2.1	4	17.64	
21	2.2	7	33.88	
22	2.3	7	37.03	
23	2.4	4	23.04	
24	2.5	26	162.50	
25	2.6	1	6.76	
26	2.7	3	21.87	
27	2.8	3	23.52	
28	2.9	1	8.41	
29	3.0	8	72.00	
30	3.1	0	0.0	
31	3.2	5	51.20	
32	3.3	2	21.78	
33	3.4	1	11.56	
34	3.5	5	61.25	
35	3.6	0	0.0	
36	3.7	1	13.69	
37	3.8	2	28.88	
38	3.9	1	15.21	
39	4.0	6	96.00	
40	4.3	1	18.49	
41	4.5	8	162.00	
42	5.0	3	75.00	
43	5.1	1	26.01	
44	5.5	2	60.50	
45	6.3	1	39.69	

续表 5

序号	点位较差 $[\Delta]$ (mm)	点数(n)	平方和 $[\Delta\Delta]$	中误差(mm)
46	8.5	1	72.25	平均中误差 $m = \pm 1.59$
47	9.0	1	81.00	
48	11.0	1	121.00	
		[880]	[2241.39]	

表 6 成图精度比较

Table 6 Comparison of map making accuracy

内容	精度	项目		
		技术设计规定精度 (mm)	实际作业精度 (mm)	1:1 万规范规定精度 (mm)
图幅接差		一般 0—2.5	一般 0.5—1.0	一般 0—3.0
		最大 5.0	最大 1.0—4.0	最大 4.0
平面位置中误差		3.00	1.59	1.50

的要求, 优于设计规定的精度指标。在高山峡谷地区, 应用既有的非标准化航摄资料和像控点成果, 编制正射影像图, 达到了较好的精度。

正射影像图的精度符合土地资源现状调查技术要求:

1. 满足面积量算精度要求^[4]

土地利用现状调查技术规程, 按一级控制量算面积允许误差为 2.5%, 而正射影像图面积误差, 按 $N26^\circ-28^\circ$ 计, 一幅 1:1 万图的面积 $P = 29\text{km}^2$ 。取图幅对角线之平均中误差为 $m_{\text{测}} = \pm 0.18\text{mm}$, 应用公式 $m_p/P = m_{\text{测}} \frac{\sqrt{2} \cdot M}{\sqrt{P}}$ 计算, 其误差为 0.5‰。M 为 1:1 万影像图的比例尺分母数。

2. 满足最小图斑量测精度

土地利用现状调查允许图斑量测允许误差为 4%。按 $m_p/P = m_{\text{平}}/\sqrt{P}$ 计算^[4], 取最小图斑面积为 $P = 5 \times 5\text{mm}^2$, $m_{\text{平}}$ 为正射影像图平面位置中误差 $= \pm 1.59\text{mm}$, 则算得 $m_p/P = 3.2\%$, 为最小图斑面积量测精度, 优于技术规程之规定。

由于地形复杂, 地形高差大, 应用既有资料的非标准性, 选布加密定向点位有困难, 无奈使约 1/4 的点位没有按标准执行, 少数图幅 (4 幅) 平面控制点位套合较差超限。经统计, 优良级图幅数占 55%, 可行级占 45%。

九、讨 论

应用既有航摄资料和外业控制成果以及已成图的内业加密定向点成果、地形图等库存数据信息, 编制具有良好的数学精度和影像质量的正射影像图, 在技术上是可行的, 能满足土地资源调查制图需要。可扩展一图多用, 如土壤普查、森林资源调查、水利水电工程规划、乡镇规划、交通选线、环境保护等, 作编制系列专题图的底图。

经概略计算,能节省航空摄影、外业控制点联测、像片调绘等费用约 70 多万元。

成图精度要求与其用途有关。通常总希望精度高些,但绝不能认为精度越高越好。因为精度的提高,一般说,必然要以某种形式付出代价。所以,要根据用途,研究选择合理的成图精度指标,从而采用最佳的技术方案。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国专业标准, 1:1 万, 1:2.5 万比例尺影像平面图作业规程, 测绘出版社, 1987 年。
- [2] 中华人民共和国专业标准, 1:5 千, 1:1 万比例尺地形图航空摄影测量内业外业规范, 测绘出版社, 1982 年。
- [3] 中华人民共和国专业标准 1:2.5 万, 1:5 万、1:10 万比例尺地形图, 测绘出版社, 1988 年。
- [4] 国家土地管理局, 土地利用现状调查技术规程, 农业出版社, 1984 年。
- [5] 国家计划委员会农业区划局, 土地利用现状调查手册, 农业出版社, 1985 年。

COMPILING ORTHOPHOTOQUAD IN HIGH MOUNTAIN REGIONS USING AERIAL PHOTOGRAPHS

Qian Yuhua Weng Zuping

(Institute of Remote Sensing Application Academia Sinica)

Xiu Kaicheng

(The Fifth Surveying and Mapping Team, Shanxi Province)

Abstract

This paper is dealing with the technique of working up 318 orthophotoquads on the scale of 1:10,000 in area of high mountain and vally. We used the collected aerial photograph on the scale of 1:45,000 and 1:35,000, and the results of 1:50,000 scale topographical map for photogrammetric controlextension. In the course, we also used analytical mapping-orthophoto technique concerning analyticalplotting by means of the directional points for block aerotrian-gulation. The result showed that mapping quality reach the planned standard and the accuracy of land resource survey mapping.

Key words orthophotoquad projec ion change differential rectification