

文章编号:0494-0911(2009)06-0041-04

中图分类号:P237

文献标识码:B

# 1:5万地形图对海岸带遥感影像精校正能力的实例分析

刘善伟<sup>1,2,3</sup>,张杰<sup>4,5</sup>,马毅<sup>4,5</sup>

(1. 中国科学院烟台海岸带与可持续发展研究所,山东烟台 264003; 2. 中国科学院南海海洋研究所,广东广州 510301; 3. 中国科学院研究生院,北京 100039; 4. 国家海洋局第一海洋研究所,山东青岛 266061; 5. 海洋环境科学与数值模拟国家海洋局重点实验室,山东青岛 266061)

## Analysis of Ability of 1:50 000 Topographic Maps for Coastal Zone Remote Sensing Image Accurate Rectification

LU Shanwei, ZHANG Jie, MA Yi

**摘要:**海岛海岸带卫星遥感调查项目中,需要利用一定数量和分布的控制点对原始遥感影像进行几何精校正,外业测量控制点精度高却费时费力。以1:5万地形图为例,选取控制点分别对SPOT-5影像进行正射校正,并联合使用实测点和高精度正射影像图进行实际定位精度评定,校正结果基本满足“国标”对生产1:5万正射影像图的地物点平面位置定位精度要求,但有个例不能满足908专项《海岛海岸带卫星遥感调查规程》的精度要求。地形图的成图精度、现势性及地图纸质是影响影像校正精度的主要因素,在作业过程中必须辅以一定数量的实测控制点,以保证成果的可靠性和准确性。

**关键词:**地形图;遥感影像;正射校正;精度评定;误差分析

### 一、引言

为了全面更新我国海岛海岸带资源与环境数据资料,科学地分析、评价海岛海岸带资源与环境的变化趋势和开发利用潜力,2005年,在908专项的支持下,国家海洋局启动了海岛海岸带卫星遥感调查工作,并制定了《海岛海岸带卫星遥感调查规程》(以下简称《规程》)。在影像处理过程中,由于原始遥感影像存在复杂的变形,必须进行几何精校正并投影到固定的地理参考中。几何精校正依赖一定数量的地面控制点,获取方法主要有外业测量、正射影像图、纸质地形图、数字线划图等,其质量、数量和分布直接影响校正结果的精确性和可靠性。

陈华利用GPS测量控制点,坐标误差控制在 $\pm 0.5$  m以内,并分别利用多项式法和正射模型法对2个时相的SPOT-5影像进行校正,结果表明正射模型法的精度远高于多项式法的精度,中误差小于1.5个像元<sup>[1]</sup>;代华兵利用星站差分GPS采集控制点(精度优于 $\pm 0.5$  m),结合1:1万DEM和传感器物理模型对SPOT-5数据进行正射校正,试验区总的

点位误差为1.337个像元<sup>[2]</sup>。综上,外业测量定位精度高,完全满足影像精校正需要。然而,我国海岸带范围大,外业测量耗费时间相对较长,动用人力物力较多,王祥结合SPOT-5影像处理过程,给出了基于DRG(Digital Raster Graphic,是纸质地形图的数字化产品)的控制点采集思路,总结探讨了在ERDAS MAGNE中利用DRG进行控制点采集的几何校正方法<sup>[3]</sup>。

我国1:5万基本比例尺地形图为影像精校正提供了丰富的控制点来源。山东省基础地理信息中心现有的1:5万纸质地形图的时间序列较多,成图于20世纪70年代、80年代、90年代中期和末期,本文选取其中7幅对多景SPOT-5影像进行正射校正,通过分析校正结果精度,评价1:5万地形图在海岛海岸带卫星遥感调查中的应用前景。

### 二、数据

1. 1:5万纸介质地形图。选取不同成图时间、不同地区的7幅1:5万纸介质地形图,如表1。地图保存完好、图面清晰、没有折痕。

收稿日期:2008-11-18

基金项目:渤海典型区域的海洋多过程数据整合研究(200705027);我国近海海洋综合调查与评价专项课题(908-01-WY02)

作者简介:刘善伟(1982-),男,山东胶南人,博士生,主要研究方向为海洋地理信息系统与遥感应用。

表 1 地形图名称及成图方式

序号	图名	成图方式	原坐标系
1	福山区	1999年航摄	北京 1954
2	崖西镇	1999年航摄	北京 1954
3	涛雒镇	2000年编绘	北京 1954
4	泊里镇	1995年航摄	西安 1980
5	灵山卫镇	1995年航摄	西安 1980
6	胶州市	1987年航摄	西安 1980
7	沧口	1987年航摄	西安 1980

2 遥感影像。与地形图相对应的多景 SPOT-5 卫星 1A 级影像数据,拍摄于 2003~2004 年,空间分辨率为全色 2.5 m、多光谱 10 m。调查区域影像的云覆盖不超过 10%,影像层次丰富、清晰,地形以丘陵、山地为主。用全色影像配准多光谱影像,并采用主成分分析法融合得到 2.5 m 分辨率的彩色影像。

3 1:5 万数字高程模型 (DEM)。1:5 万标准分幅 DEM 数据,分辨率为 25 m,原为西安 1980 坐标系,坐标转换为 WGS-84 坐标系。

### 三、方法

#### 1 地形图扫描与校正

地形图的扫描分辨率是保证 DRG 质量的关键。参照文献 [4],地形图的最细线划粗为 0.1 mm,因此其扫描分辨率需大于 0.1 mm (254 dpi) 才能保证最细线划处不被打断。胡晋山采用 200, 300, 500 三种不同扫描分辨率的扫描图像进行矢量化比较发现:当扫描分辨率大于 300 dpi 时,矢量化精度提高并不明显<sup>[5]</sup>。综合考虑地图线划粗细及误差,本文采用 300 dpi 的扫描分辨率对地形图进行彩色扫描。

由于纸张变形、扫描仪误差等,扫描后的栅格图与实际地图相比存在差异,需要进行几何校正,几何校正的另外一个目的是将栅格图赋予地理参考。本文采用二次多项式进行几何校正,以公里网交叉点为控制点,每幅地形图内的控制点数量保证在 15 个以上,且分布均匀合理,采用最邻近法进行重采样,像元大小为 4 m × 4 m。

#### 2 同名点选取与坐标转换

同名点 (即控制点) 要分布均匀,每幅地图保证 15 个以上,但地形图的成图时间与遥感影像的成像时间差别较大,时间间隔越久,选取同名点越困难。经比对,乡村路或大车路 (两者皆为单线路) 在影像上表现为亮度较高的细小土路,特征明显,因此同名点最好选在其相互交叉的丁字路口或十字路口,

以提高定位精度;此外,农村居民地的房角也适合于布设同名点。

校正后的地形图坐标系统与原地形图坐标系统是一致的,需转换为项目要求的 WGS-84 坐标系。本文基于 908 项目成果对各个同名点进行坐标转换,转换中误差优于 ±0.4 m。

#### 3 遥感影像正射校正

对 SPOT-5 1A 数据进行几何精校正的方法中,基于传感器物理模型的正射校正精度远高于多项式校正精度<sup>[1]</sup>,且需要的控制点数量较少,一景 SPOT 影像仅需要 6~10 个 GCP<sup>[6]</sup>。本文选用影像的覆盖地区多为丘陵、山地,需结合 DEM 进行正射校正,以消除地形起伏引起的局部影像变形。

将全部同名点作为控制点输入,不断调整并剔除误差过大的点,然后选取其中均匀分布的 9 个点作为控制点,其他点作为检查点。

#### 4 精度评定

本文两类检查点对校正影像进行精度评定:

##### (1) 类检查点——实测点

类检查点是采用美国天宝公司生产的亚米级接收机——DSM232 DGPS 采集的地面控制点,经与沿海静态控制点对比测试,定位精度优于 ±2 m,中误差可视为  $m_{\text{仪器}} = \pm 1 \text{ m}$ 。

##### (2) 类检查点——正射影像

利用上述实测地面控制点校正得到的正射影像,控制点和检查点的中误差  $m_{\text{控制}}$  均小于 0.8 个像元,根据协方差传播律<sup>[7]</sup>,类检查点的中误差最大为  $m_{\text{影像}} = \pm \sqrt{m_{\text{仪器}}^2 + m_{\text{检测}}^2} = \pm 2.24 \text{ m}$ 。从正射影像上选取地形图图幅内均匀分布的 12 个同名点作为检查点。

采用中误差作为衡量精度的指标,并分别基于每类检查点进行精度评定,公式如下:

$$m_s = \pm \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - X_i)^2 + \sum_i (y_i - Y_i)^2}{n}}$$

其中,  $m_s$  为点位中误差;  $n$  为检查点个数;  $x_i, y_i$  表示在校正影像上检查点所对应的坐标;  $X_i, Y_i$  为检查点坐标。

联合使用 类检查点和 类检查点计算每景影像的地物定位实际中误差,公式如下:

$$m_{\text{影像}} = \pm \sqrt{\frac{(m^2 + m_{\text{仪器}}^2) \times n + (m_{\text{检测}}^2 + m_{\text{影像}}^2) \times n}{n + n}}$$

其中,  $m_{\text{影像}}$  为校正后影像的实际点位中误差;  $m$  为类检查点中误差;  $m_{\text{检测}}$  为类检查点中误差;  $n$  为类检查点个数;  $n$  为类检查点个数。

精度评定结果如表 2。

表 2 精度评定表

图名	类检查点误差				类检查点误差				中误差
	个数	最大	最小	中误差 $m$	个数	最大	最小	中误差 $m$	$m_{\text{影像}}$
福山区	6	$\pm 8.39$	$\pm 4.47$	$\pm 6.93$	12	$\pm 8.31$	$\pm 5.03$	$\pm 7.04$	$\pm 7.26$
崖西镇	3	$\pm 9.67$	$\pm 7.10$	$\pm 8.42$	12	$\pm 7.78$	$\pm 3.10$	$\pm 6.17$	$\pm 6.99$
涛雒镇	6	$\pm 9.03$	$\pm 5.42$	$\pm 7.30$	12	$\pm 11.61$	$\pm 2.14$	$\pm 7.17$	$\pm 7.46$
泊里镇	1	$\pm 8.94$	$\pm 8.94$	$\pm 8.94$	12	$\pm 20.05$	$\pm 3.56$	$\pm 11.64$	$\pm 11.66$
灵山卫镇	3	$\pm 28.91$	$\pm 10.65$	$\pm 20.32$	11	$\pm 39.74$	$\pm 4.18$	$\pm 25.64$	$\pm 24.68$
胶州市	3	$\pm 8.51$	$\pm 3.15$	$\pm 5.88$	10	$\pm 7.69$	$\pm 1.37$	$\pm 4.48$	$\pm 5.24$
沧口	4	$\pm 10.37$	$\pm 4.20$	$\pm 7.79$	9	$\pm 10.45$	$\pm 3.14$	$\pm 6.76$	$\pm 7.35$

## 四、结果分析

### 1 误差来源分析

#### (1) 原图的成图误差

航摄生产的地形图成图误差包含航测像片控制点误差、像片校正误差、制图综合误差、绘图误差等,单独分析其中任何一种误差或之间的相互关系都比较困难。

文献 [8] 规定像片平面控制点对于附近基础控制点的平面位置中误差不大于图上  $\pm 0.1 \text{ mm}$  (即  $m_{\text{像控}} = \pm 5 \text{ m}$ ), 基础控制点的最弱点位中误差为图上  $\pm 0.02 \text{ mm}$  (即  $m_{\text{基控}} = \pm 1 \text{ m}$ ); 文献 [9] 规定采用航空摄影测量方法生产 1:5 万地形图, 在平地、丘陵地区地物点相对于野外控制点的平面位置中误差不得大于图上  $\pm 0.5 \text{ mm}$  (即  $m_{\text{相对}} = \pm 25 \text{ m}$ )。

成图误差可总体表示为:  $m_{\text{图}}^2 = m_{\text{基控}}^2 + m_{\text{像控}}^2 + m_{\text{相对}}^2$ , 计算得  $m_{\text{图}} = \pm 25.51 \text{ m}$ , 即地形图上地物点的最大中误差为  $\pm 25.51 \text{ m}$ 。

#### (2) 地形图的几何校正误差

纸介质图受温度和湿度变化影响, 会产生不同程度的变形。在地图扫描过程中, 扫描仪也会产生系统性误差和随机性误差, 使得扫描图像存在扭曲或旋转变形<sup>[10]</sup>。几何校正可以在一定程度上消除扫描图像变形, 但在该过程中又引入了人工选点误差, 以上误差可以总体用几何校正中误差来衡量。

#### (3) 坐标系转换误差

同名点从北京 54 坐标系和西安 80 坐标系向 WGS-84 坐标系转换的误差。

#### (4) 遥感影像的正射校正误差

在正射校正过程中, SPOT-5 传感器物理模型本身含有少量误差, 成像时的入射角和 DEM 精度对校正精度也有一定影响, 此外还有人工选点误差。

### 2 精度分析

据文献 [11], [12], 1:5 万数字正射影像图要求的地物点最大中误差与  $m_{\text{图}}$  ( $\pm 25.51 \text{ m}$ ) 大小一致; 文献 [11] 规定生产 1:5 万正射影像图的最低影像分辨率为  $5 \text{ m}$ , 《规程》要求光学遥感数据的几何校正中误差不超过 2 个像元<sup>[13]</sup> (即为  $\pm 10 \text{ m}$ ), 结合地面控制点的实际精度要求, 计算得出《规程》对地物点实际点位中误差的精度要求  $m_{\text{规程}}$  约为  $\pm 11.22 \text{ m}$ , 比国家标准  $m_{\text{图}}$  高得多。

从校正结果看, 不同地形图校正精度差别较大 (从  $\pm 5.24 \text{ m}$  至  $\pm 24.68 \text{ m}$  不等), 且基于同一地形图的影像校正误差分布亦极不均匀, 包括偏移大小、方向, 主要由地形图上获取的控制点精度不高及误差分布不均匀所致。除受原地形图的成图误差影响外, 地图纸变形引起的误差对其影响也很大, 福山区、崖西镇及涛雒镇 3 幅地图的印刷纸较薄, 两面平滑, 组织紧密坚韧, 伸缩性小, 其校正中误差优于 0.3 个像元; 而其他 4 幅地图的印刷纸相对较厚, 表面较为粗糙, 易受潮伸缩, 其校正中误差皆在 1~1.5 个像元之间, 并不理想; 此外, 地形图的现势性对校正精度也有一定影响, 现势性强的地形图, 其校正精度一般相应较高, 海岸带地区是经济发展最为迅速的地带, 交通基础设施、居民地变化最为剧烈, 在成图时间较早的地形图上难以找到足够数量且分布均匀的控制点, 道路改道、拓宽等也使得能找到的控制点精度不高。

总体来看, 以上结果基本满足“国标”对生产 1:5 万正射影像图的地物点平面位置定位精度要求, 但有 4 幅地图不能满足《规程》的精度要求。

## 五、结论与讨论

从试验结果看, 从 1:5 万地形图上选取控制点对 SPOT-5 影像进行正射校正, 从而生产 1:5 万正射

影像图,基本满足“国标”对地物点的平面位置定位精度要求,但有个例不能满足《规程》的精度要求,必须辅以一定数量的实测控制点,以保证精校正成果的可靠性和准确性;主要误差来源于地形图成图误差,而数据处理过程引入的误差非常小,地形图的现势性和地图纸质对校正精度有较大影响。

本文有如下问题需要作进一步探讨:

1. 针对目前基本比例尺地形图现势性不强的现状,国家、各省市地区亟须依靠测绘新技术开展基本比例尺地形图的更新工作,从而提高地形图的现势性和可用性。

2. 国家标准中目前没有基于航天遥感影像生产较大比例尺地形图或专题图的相关规范,包括控制点、影像校正以及成果图精度的相关要求。

3. 本次遥感调查采用实测控制点对影像进行正射校正,实际中误差为  $\pm 2.24$  m,可作为 1:2.5 万、1:5 万正射影像生产的控制点来源,应推广成果应用。

4. 外业测量控制点精度最高,但费时费力,应开展少控制点条件下的影像精校正方法研究,以减少控制点采集数量,提高生产效率。

### 参考文献:

- [1] 陈华,安娜,杨清华.基于 GPS 实测控制点的 SPOT-5 1A 数据几何校正方法精度比较 [J]. 国土资源遥感, 2007(12): 47-49.
- [2] 代华兵,李春干,李政国.基于星站差分 GPS 及 DEM 的林区 SPOT-5 数据正射校正 [J]. 林业资源管理,

2006(6): 68-71.

- [3] 王祥,刘昊.基于 DRG 的遥感影像几何校正 [J]. 遥感技术与应用, 2005(10): 517-520.
- [4] 国家测绘局测绘标准化研究所. GB 12342-1990 1:25 000、1:50 000、1:100 000 地形图图式 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- [5] 胡晋山,康建荣.地图扫描数字化误差分析及控制 [J]. 测绘科学, 2005(4): 109.
- [6] 黄健.遥感影像纠正的地面控制点选取 [C]//数字江苏论坛——电子政务与地理信息技术论文专辑. 南京: [s.n.], 2005: 204.
- [7] 武汉测绘科技大学. 测量平差基础 [M]. 3版. 北京: 测绘出版社, 1996: 24-25.
- [8] 国家测绘局测绘标准化研究所. GB 12341-1990 1:25 000、1:50 000、1:100 000 地形图航空摄影测量外业规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- [9] 国家测绘局测绘标准化研究所. GB 15967-1995 1:25 000、1:50 000、1:100 000 地形图航空摄影测量数字化测图规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [10] 孟亚宾,李森.扫描数字化地图数据的误差分析及控制 [J]. 测绘与空间地理信息, 2006(6): 84-85.
- [11] 国家测绘局测绘标准化研究所. GH/T 1009-2001 基础地理信息数字产品 1:10 000、1:50 000 数字正射影像图 [S]. 北京: [s.n.], 2001.
- [12] 国家测绘局测绘标准化研究所. GB/T 18315-2001 数字地形图系列和基本要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [13] 国家海洋局 908 专项办公室. 海岛海岸带卫星遥感调查规程 [M]. 北京: 海洋出版社, 2005.

(上接第 27 页)

根据表列数据:

$$\begin{aligned} [d_1 d_1] &= 4\ 536, & [d_2 d_2] &= 7\ 205, \\ [d_3 d_3] &= 6\ 005, & [d_1 d_2] &= -2\ 868, \\ [d_2 d_3] &= -4\ 337, & [d_3 d_1] &= -1\ 548. \end{aligned}$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{6}}.$$

$$\frac{\sqrt{[d_1 d_1] + [d_2 d_2] + [d_3 d_3] - 2[d_1 d_2] - 2[d_2 d_3] - 2[d_3 d_1]}}{\sqrt{2n}}$$

$$= \pm 90.$$

### 四、结束语

笔者从云南锡业集团有限公司老厂锡矿收集了 200 余井下一级控制导线角度测量的三观测列数据,还从安徽淮北某矿收集了 100 余井下一级导线

角度测量三观测列,对该矿山井下一级控制导线的测角中误差进行计算,并采用两矿山的数个井下一级闭合和附和导线,经过平差后推算井下一级导线测角中误差并进行比较,同时也和同一个矿山的另一组一级导线的双观测列进行计算,计算结果相互印证,表明用该方法求中误差是可靠的。

### 参考文献:

- [1] 武汉大学测绘学院测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 13-25.
- [2] 宁津生,刘经南,陈俊勇,等. 现代大地测量理论与技术 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006: 201-207.
- [3] 靳祥升. 测量平差 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005: 8-28.