# 航测成图与卫星影像测图的比较分析

**王伟娜, 葛 莹, 李心玉, 张淑辉** (河海大学土木工程学院,南京 210098)

【摘 要】近年来,高分辨率卫星影像在测绘生产中具有了较大的应用潜力,打破了过去测图单纯依赖航测的局面,并给航测成图带来很大的挑战。本文从航测成图与卫星影像测图的发展现状出发,对两者的成像原理、立体像对的获取方式、测图原理以及实际测图应用等方面进行了比较,说明了将两者结合起来应用的必要性。

【关键词】航测成图;卫星影像;测图;分辨率;灵活性 【中图分类号】TP75 【文献标识码】A DOI: 10.3771/j.issn.1009-2307.2008.05.022

## 1 引言

近年来相继投入使用的一系列高分辨率遥感卫星,如 SPOT-5、IKONOS-2、OrbView-3,都具备了立体成像能力,并逐步用于测绘生产。预计不久的未来,随着空间技术的不断进步,商业上还会出现更高空间分辨率、更高光谱、更多时相的卫星影像。那么,在将来的测图应用中,航空影像是否能被高分辨率的卫星影像所淘汰呢?为了回答这个问题,我们从航测成图与卫星影像测图的发展现状入手,着重在测图原理及应用利弊的分析上对两者进行比较。

# 2 发展现状

### 2.1 航测成图现状

长期以来,在基础测绘领域,航测成图是进行国家基 本比例尺地图生产和更新的主要手段[1]。近年来,随着信 息技术的发展, 航测成图融入了许多新的技术, 例如航空 数码相机、机载 GPS/INS 和 LIDAR 等, 使它有了长足的发 展<sup>[2]</sup>。这些新技术在一定程度上改变了传统的作业模式, 提高了工作效率,降低了生产成本。主要表现为:第一, 借助于航空数码相机,测绘工作者不仅可以直接获取数字 影像,而且能得到实时的影像资料。利用它来拍摄航空影 像,既可以保证摄影质量,还能降低生产成本,缩短成图 周期,增强地图的现势性<sup>[3]</sup>。第二,在航测成图中应用 GPS/IMU 技术,可以极大地减少对野外实测地面控制点的 需求,实现在没有或仅有极少地面控制点区域的航片定向 和测图,提高作业效率,降低测图成本<sup>[4]</sup>。第三,LIDAR、 GPS、惯导技术、数码相机、多光谱相机等与航测技术集 成,不但可以弥补传统航测由于受地形条件的限制而无法 施测的缺陷,而且还能减少恶劣天气对测图的影响<sup>[5]</sup>。另 外,由于激光穿透能力强,获得的地表信息比传统的航测 法相对更精确<sup>[6]</sup>。例如,在森林覆盖区,机载 LIDAR 技术 可以穿透植被,获取地表的高程信息,测量植被高度的精 度能达到 5-15cm。



作者简介: 王伟娜(1981-), 女, 河 北保定人, 现为河海大学在读硕士研究 生, 主攻专业为摄影测量与遥感。 E-mail: wangwna\_ 1981@163.com

收稿日期: 2007-03-30

【文章编号】1009-2307 (2008) 05-0065-03

### 2.2 卫星影像测图现状

1972年,美国发射了世界上第一颗对地观测卫星-Landsat-1, 其空间分辨率为80m。由于地面分辨率不高, 所以该卫星影像主要用于对所拍摄地物进行分类,而不能 用于测制地形图。至1986年,法国 SPOT 卫星的成功发射 为卫星影像在测绘中的应用带来了重大影响。这颗卫星的 传感器具有10m的地面分辨率,并能通过侧视观测在相邻 轨道间构成异轨立体,其良好的基高比使 SPOT 影像适用于 立体测图<sup>[7]</sup>。随后,一系列中分辨率遥感卫星如 IRS、 MOMS 等相继投入使用,这些卫星影像主要用于绘制大范 围、小比例尺的地形图, 而仍不能用于绘制大比例尺 (1:10000, 1:2500, 1:1250) 地形图。20世纪90年代 末至21世纪初,高分辨率遥感卫星 IKONOS、OrbView-3 的出现,开创了卫星影像测图的新纪元。IKONOS 和 Orb-View-3的影像空间分辨率均达到了1m,可以绘制1: 10000 的地形图。目前, 分辨率高达 0.5m 的卫星 WorldView -1、WorldView-2和OrbView-5正在研制中。一旦这些 卫星投入使用,它们将进一步推动卫星影像测图的发展。 随着空间分辨率的不断提高,立体成像能力的逐步增强, 影像的获取价格也将呈现出下降的趋势。那时,卫星影像 测图将会得到越来越多的用户认可。高分辨率卫星影像在 地形图测绘中的应用也越来越广泛,并将成为地理信息更 新和地形图绘制的重要数据源。

# 3 测图原理

无论是航空影像还是卫星影像,利用它们进行立体测 图,都是根据立体像对重建被摄物体的表面,即建立按比例 缩小的地面几何模型,并通过对模型进行量测,绘制出符合 规定比例尺的地形图。虽然如此,但由于航空影像和卫星影 像的几何成像模型不同,导致了两者测图原理的不一致。

#### 3.1 航测成图

航空影像是将航空飞机作为摄影平台(航高一般为中、 低空),利用航摄仪(包括光学航摄仪和数字航摄仪)来 进行拍摄的。它属于框幅式影像,且符合中心投影的几何 特性。此特性使得除了单张像片的地面点、投影中心以及 像点之间满足共线方程之外,立体像对与被摄地面之间也 存在一定的几何关系,即立体像对上的同名像点所对应的 两条核线一一对应,而这两条核线在空间的交点就是所求 的地面点。这样,共线方程就构成了航测成图的数学基础, 核线约束则成为航测成图的重要约束条件。通过立体像对 中两张像片的内、外方位元素就可求解地面点的三维坐标。 首先,对单张像片进行解析,即由航摄相机参数提供的像 片内方位元素和解析得到的外方位元素,确定航摄物镜与 像片间的相关位置,恢复摄影时的摄影光束,以及确定摄 影光束在摄影瞬间的空间位置和姿态。然后,根据光学成 像原理,利用航空像对的内在几何关系,进行相对定向, 建立与地面相似的立体模型。之后,借助于像片的控制测 量,确定立体模型的绝对定向元素,把摄影测量坐标转换 到地面测量坐标系,从而建立所需比例尺的立体模型。最 后,对立体模型进行高程点量测和地物、地貌的测绘,这 样就可以得到满足需求的地形图。

#### 3.2 卫星影像测图

与航空影像不同,高分辨率遥感卫星大多采用线阵列 CCD 传感器,按照推帚式扫描成像。CCD 传感器可在沿轨 方向上通过前视和后视获取同轨立体像对,而在穿轨方向 上以一定角度左右侧视获取异轨立体像对。由于卫星影像 属于推帚式扫描影像,故与框幅式中心投影影像的本质区 别就在于它的每条扫描线都有一个投影中心,即具有"行 中心投影"的特点。也就是说,在卫星飞行方向上为近似 平行投影,而在扫描行方向上为严格行中心投影,且每行 影像均有其自身的投影中心和外方位元素。因此它的几何 关系比航空影像要复杂得多,于是传统的基于共线方程的 数学模型和核线模型不能再对卫星影像测图进行简单的描



述。然而,对卫星影像来说, 扫描行方向共线方程依然成 立,所以仍然可以利用基于 共线方程的传感器模型来推 导卫星影像的核线关系。近 年来,学者们提出了几种近 似核线理论,包括多项式拟 合法、投影轨迹法将地面点 中,投影轨迹法将地面点

(Q点)到左像像点(q点)的光线上的所有点投影到右像 上所形成的投影轨迹定义为该像点(q点)的核线(核曲 线),而该像点的同名点(q点)则总位于这条核线上(见 图1)。利用基于投影轨迹法的核线关系,就可以使卫星影 像测图与航测成图类似,通过若干同名点来求解地面点坐 标。主要过程是:首先根据卫星提供的原始数据及对应的 卫星星历数据、卫星姿态及轨道数据,结合卫星影像的成 像模式来确定多中心投影的构像方程,然后利用地面控制 点解出定向参数,最后将立体像对上的同名点代入构像方 程,从而求得各像元的三维坐标<sup>[9]</sup>。

# 4 两者的利弊解析

由于航空影像与卫星影像的测图原理不同,故而两者 在实际应用中表现出了各自的优缺性。比如,卫星影像测 图具有覆盖范围广、测图周期短、更新速度快等优点,然 而测图比例尺和灵活性却不如航测成图(见表1)。

表1	航片测图	与卫星影像测	图的优缺性
----	------	--------	-------

	航片测图	卫星影像测图
覆盖范围	相对较小	相对较大
测图周期	较长	较短
更新速度	较慢	较快
测图成本	较高	较低
分辨率	厘米级	分米级
测图比例尺	大比例尺地形图	中小比例尺地形图
灵活性	较强	较弱

获取航空影像时,由于航摄高度较低,致使航片质量 受大气和地形影响较为严重。因此进行航摄之前,必须对 测区气候、天气、地形等情况进行调查,合理安排航摄时 间、航高和航线,这就使得获取数据的现势性较差,并在 很大程度上阻碍了地形图的更新。而且,航测覆盖范围较 小,绘制较大区域的地形图所需航片数量较多,进而带来 繁琐复杂的像片处理工作。所以,航测要耗费大量的时间、 人力、物力和财力。而遥感卫星按轨道周期运行,可在较 短时间内对同一地区进行多次重复观测,并记录一定范围 内地表的瞬时情况,故而能够增强数据的现势性,加快地 形图的更新速度。同时,高分辨率卫星遥感覆盖面积较大, 而且无需顾及当地的天气、地形等情况,能极大地减少工 作量,缩短测图周期。与航测相比,高分辨率卫星遥感测 图所耗费的人力、物力要小,故可以降低成本。

然而,尽管高分辨率卫星影像测图具备上述优点,但 迄今为止,其测图比例尺和灵活性却赶不上航测成图。其 中,影响成图比例尺的因素包括立体影像的基高比、影像 分辨率、影像上地物的实际可识别率等。由于高分辨率遥 感影像的基高比越来越接近航空影像的水平,而且影像分 辨率可决定地面物体辨别能力的大小, 所以影像空间分辨 率成为影响成图比例尺的主要因素。卫星影像和航空影像 的分辨率都由传感器的物镜镜头分辨率和摄影比例尺所确 定,其中,摄影比例尺是指摄影机焦距与航高之比。也就 是说,当镜头分辨率一定时,航高决定了影像分辨率的高 低, 航高越高则空间分辨率越低。遥感卫星按轨道周期运 行,其高度在几百公里,而航空飞机高度限于中、低空 (一般在几百米到几千米)。故而航空影像分辨率高于卫星 影像分辨率。此外,卫星轨道高度固定不变,使得卫星影 像测图精度依赖于现有的高分辨率遥感卫星的参数。目前, 高分辨率卫星影像的分辨率只能达到分米级,这在客观上 限制了卫星影像测图比例尺的大小(见表2)。而且,卫星 影像分辨率还受卫星影像成像质量的影响。例如,分辨率 的提高和成像景幅宽度的减少,会加大侧视角变化幅度, 并导致影像变形。另外,大气层和天气状况等外部环境的 影响,以及不同的遥感图像处理方式也会影响卫星影像的 空间分辨率[10]。

表 2 典型的高分辨率遥感卫星

卫星名称	发射日期	发射国	轨道高度 (km)	立体成像方式	空间分辨 率(全色)	-
OrbView - 3	2003. 6. 26	美国	470	同轨、异轨立体	1 m	
IKONOS – 2	1999. 9. 24	美国	681	同轨、异轨立体	1 m	
QuickBird - 2	2001. 10. 18	美国	450	同轨、异轨立体	0. 61 m	
SPOT - 5	2002. 5. 4	法国	822	同轨、异轨立体	2. 5m	
IRS – P5	2005.5.5	印度	618	同轨、异轨立体	2. 5m	

此外, 航测成图还具有较好的灵活性。首先, 可以根 据成图比例尺和测区地形,自由选择所需的航高和航线。 只要飞行高度适当、摄影比例尺合理,所拍摄的影像就能 满足测图比例尺的要求。而遥感卫星沿轨道运行,不能随 意选择摄影高度和航线,所以卫星影像测图仍处于比较被 动的状态;其次,可以根据区域的天气、时间等情况,自 主实施航空摄影测量。例如,山区流域水分比较充足,夏 天温度高水蒸气多,冬天水蒸气凝结易起雾,使得这两个 季节能见度都不好, 故可以选择能见度较好的5-6月或8 -10月进行航空摄影。而遥感卫星运行轨道固定,就避免 不了在有云和能见度较差时获取影像,所以导致遥感数据 的失真,并为后期测图处理带来许多困难;此外,航测能 满足对特定区域的拍摄。尤其近年来,出现的超轻型飞机 可以在较低的航高下获取小范围的空间信息,得到高分辨 率、高几何精度、高成像质量的航空影像,比卫星影像和 (下转第72页)

Kriging 方法在插值精度和速度上相对来讲,要稍逊色一点, 对于这种重力异常规则格网的插值效果一般。因此,如果 基于计算速度和插值精度上的考虑,海洋重力异常格网的 插值在实际应用中可以选择 MQS 方法。

2)为了达到更高的插值精度,可以采取两点改进措施。其一,通过先对格网数据进行边缘延拓,再利用 RBF 方法进行网格化,从而消除边缘区域出现异常误差的现象, 提高整体精度。其二,通过在 MQS 方法中引入光滑因子, 调节加权插值算法中的权重比例,减弱插值区域与自身重 力异常的相关性,以损失待插值点在已知样本点处的精度 来获得整体插值精度的改善。

# 参考文献

- [1] 袁书明,孙枫,刘光军,等.重力图形匹配技术在水下导航 中的应用[J].中国惯性技术学报,2004,12 (2):13-17.
- [2] 张宗洵,武凤德.无源重力导航在 SSBN 中的重要性[J]. 舰 船导航, 2004, (2): 36-40.
- [3] 朱会义,刘述林,贾绍凤.自然地理要素空间插值的几个问题[J]. 地理研究,2004,23 (4):425-431.

- [4] Cressie N A C. Statistics for Spatial Data [M]. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1991: 900.
- [5] 杨元喜,刘念.重力异常的一种逼近方法[J].测绘学报, 2001,30(3):192-196.
- [6] 程红杰,胡祥云,田米玛.地震数据网格化方法研究[J].工 程地球物理学报,2006,3 (1):28-30.
- [7] 申文斌,等,正常重力场的确定以及相关的一个理论问题 [J].测绘科学,2007,32(2).
- [8] G M Nielson. Scattered data modeling [C]// IEEE: Computer Graphics and its Applications, 1993: 60-70.
- [9] Renka R J. Multivariate Interpolation of Large Sets of Scattered Data [J]. ACM Transaction on Mathematical Software, 1988, 14 (2): 139-148.
- [10] Carlson R E, Foley, et al. Radial Basis Interpolation Methods on Track Data [J]. Lawrence Livermore National Laboratory, 1991 , UCRL - JC - 1074238.
- [11] Franke R. Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods[J]. Mathematics of Computations, 1982, 33: 181-200.
- [12] Carlson R E Foley, et al. The Parameter R2 in Multiquadric Interpolation [J]. Computers Math. Applic, 1991, 21: 29-42.

# The study of high precision interpolation technology in marine gravity anomaly

Abstract: Three usual interpolation methods such as Kriging, modified quadratic shepard (MQS) and radial basis function (RBF) are compared and analyzed in marine gravity anomaly. It shows that the MQS method is the fastest and most accurate, and the RBF method is also good in precision except some abnormity on the edge area, but the calculation speed is the slowest. The Kriging method is not so good in precision as the other two, but faster than the RBF. In addition, two modified ideas to the MQS and RBF are brought out based on the characteristic that the interpolation error has large pertinency with the gravity anomaly and RBF errors just appear in the edge area. Test result shows that the modified methods are effective.

Key words: marine gravity; grid; interpolation; MQS; RBF

WU Tai  $-qi^{\odot 2}$ , HUANG Mo  $-tao^2$ , OUYANG Yong  $-zhong^2$ , LU Xiu  $-ping^{\odot 2}$  (① Electrical Engineering and Information Engineering College, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China; ②Naval Institute of Hydrographic and Charting, Tianjin 300061, China)

### (上接第66页)

传统的航片更直观,细节信息更丰富。

## 5 结束语

通过对航测成图与卫星影像测图的比较得知,在目前 的应用阶段,高分辨率卫星影像可以替代航空影像来完成 中、小比例尺地形图的生产,但大比例尺地形测图仍将主 要依靠航测手段实现。再者,由于卫星影像立体测图的许 多理论和技术还不太成熟,对传感器成像模型、卫星系统 以及卫星影像处理方面还有待进行深入的研究。加之航测 自身的优势,使得航测成图技术仍具有一定的应用价值。 鉴于两者各自的优势和局限,在实际测图应用中可以将两 者结合起来使用,从而弥补彼此的不足,节约作业成本, 提高工作效率。

#### 参考文献

- [1] 陈海鹏,董明.高分辨率遥感影像在测绘生产中的应用潜力 研究[J].测绘通报,2005,(3):11-16.
- [2] 万幼川,刘良明,张永军.我国摄影测量与遥感发展探讨
  [J].测绘通报,2007,(1):1-4.

- [3] 李天子, 郭辉, 徐克科. 近地超轻型飞机小数码航空摄影测量试验分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29 (4): 38-42.
- [4] 李学友, 倪忠礼. IMU/ DGPS 辅助航空摄影测量中检校场布 设方案研究[J]. 测绘工程, 2005, 14 (4): 14-18.
- [5] 罗志清, 张惠荣, 吴强等. 机载 LIDAR 技术[J]. 信息技术, 2006, (4): 20-25.
- [6] David Riano, Erich Meier, Britta Allgower, Emilio Chuvieco, Susan L Ustin. Modeling airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86: 177-186.
- [7] 张永生, 巩丹超, 等. 高分辨率遥感卫星应用——成像模型、处理算法及应用技术[M]. 北京:科学出版社, 2004.
- [8] 巩丹超, 张永生, 陈筱勇. 线阵 CCD 推扫式影像的扩展核线 模型[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23 (4).
- [9] 杨贵军,柳钦火.高分辨率星载遥感立体像对 3D 测量模型
  [J].地理与地理信息科学,2006,22 (6).
- [10] 张廷斌,唐菊兴,刘登忠.卫星遥感图像空间分辨率适用性 分析[J].地球科学与环境学报,2006,28 (1):80-82.
- [11] 廖克,等. 高分辨率卫星遥感影像在土地利用变化动态监测中的应用 [J]. 测绘科学, 2006, 31 (6).

# Comparative analysis on the mapping with aerial image and satellite image

**Abstract**: In recent years, the use of high resolution stereomapping satellites has broken the situation that mapping depends merely on aerophotogrammetry and has brought a big challenge to it. The development status of stereomapping with aerial image and satellite image is analyzed firstly. Then, it compares the principles of them and discusses their advantages and disadvantages in real application. Finally, it concludes that it is very important to combine them in application.

Key words: aerophotogrammetry mapping; satellite image; mapping; resolution; flexibility

WANG Wei - na, GE Ying, LI Xin - yu, ZHANG Shu - hui (College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)