DOI：10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.S1.046

资源三号正射影像和 DEM 制作及电力工程适用性分析

陈隽敏
（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，广州 510663）

摘要：文章主要阐述我国高分辨资源三号测绘卫星传感器产品级的数据处理与分析方法，包括基于立体像对和 CORS 像控点提取高精度的 DEM，以及利用所提取 DEM 和像控点制作正射影像。本文针对所提出数据处理方法，以广州市作为试验区域，开展成果产品精度分析与验证。探讨资源三号卫星影像数据在电力工程应用可行性及适用性。

关键词：资源三号，DEM，正射影像，精度分析，电力工程
中图分类号：P237　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2095-8676(2015)S1-0207-05

ZY-3 Orthophoto and DEM Data Process and Its Feasibility Analysis in Electric Power Engineering

Chen Juanmin
(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: The paper mainly introduced the data process and analysis method about sensor corrected (SC) level images of China high resolution ZY-3 survey satellite, including the method of high precision DEM process using the stereo image and CORS image control points, and the method of orthophoto image process using DEM and image control points. And then it used Guangzhou as the test region, and had accuracy analysis and verification of products using the method it presented. Based on the results, it discussed the ZY-3 satellite image feasibility and applicability in electrical power engineering.

Key words: ZY-3 image, DEM, orthophoto, precision analysis, electric power engineering

电力工程主要分为电网工程和电源工程。对于电网工程来说，常常涉及大范围的选址选线工作，对影像信息量需求大，而时效性要求高。而传统的航空摄影易受气候和航空管制政策等外部条件影响，作业周期较长、成本较高，难以满足工程前期阶段设计要求。对于电源工程来说，其共同面对的主要问题是难以获得前期设计阶段所需要的基础地理信息。这主要由于地形数据属于国家保密数据，外国企业难以在短时间内获取相关资料。若花费大量资金雇佣当地人进行前期勘测工作，勘测费用高且工期难以保证。

卫星遥感技术由于其具有大面积的同步观测、高时效性、全天候工作特点，不受航空管制，可进行跨区域和跨国界观测。现有中高分辨率卫星影像全色波段分辨率主要以 0.5 m 至 2.5 m 为主，相应成图比例尺为 1∶5000 到 1∶50000。因此，卫星遥感技术特别适合于在难以获取地理基础信息区域的电力工程和大范围前期选址选线工程中使用。近年来，我国逐步重视与发展卫星遥感技术，先后发射中巴地球资源卫星，资源一号等。在 2012 年 1 月 9 日，资源三号卫星发射成果，它是我国第一颗民用高分辨率光学传输型测绘卫星。

本次研究以资源三号卫星的传感器校正产品(SC)为研究对象，以广州市为研究区域，利用高定位精度的网络 CORS 像控点和 SC 级遥感影像，开展研究区域内 DEM 提取和正射影像制作。然后，对所提取和制作的成果数据进行定位精度分析与评价。探讨资源三号的 SC 级影像在电力工程中可用

收稿日期：2015-11-01
作者简介：陈隽敏(1983)，女，硕士，工程师，主要从事环境遥感与地理信息系统研究(e-mail)carrie2000world@126.com。

性与适用性。

1 资源三号卫星影像参数

资源三号卫星(简称ZY3)，其搭载四台光学传感器，具备立体观测与资源调查两种观测模式[1]。立体观测模式是以前视、正视、后视三台全色TDI-CCD传感器组成的三线阵推扫式进行地形信息获取。资源调查模式主要是以正视全色传感器和多光谱传感器，对地进行观察以获取地面信息。资源三号卫星主要技术参数如表1所示。

表1 资源三号卫星传感其主要技术参数[1]

Table 1 ZY-3 Satellite Sensor Specifications

传感器	波段	光谱范围/nm	空间分辨率/m
前视	全色		3.6
后视	全色	450～800	3.6
正视	全色		2.1
多光谱	蓝色	450～520	5.8
	绿色	520～590	
	红色	630～690	
	近红外	770～890	
幅宽	星下点全色：50 km；星下点多光谱：52 km		
重访周期	5天		

2 资源三号卫星DEM提取和正射影像制作

2.1 工作区域

以广州市区域的2013年10月20日拍摄的资源三号卫星影像的传感器校正产品(Sensor Correction)为研究对象，包括前视、后视的立体像对、全色、多光谱在内四幅影像。影像主要覆盖了广州东南部行政区划，以及东莞市部分区域，如图1所示。该区域地形主要由冲积平原、台地、丘陵地貌组成，涵盖密集城市建筑群、道路、林地、河流等地理要素，是典型的珠三角经济区域。

参与本次资源三号卫星DEM提取和正射影像制作，还包括采用广东省连续运行卫星定位综合服务系统(GDCORS)测量所得的像控点。GDCORS网内实时RTK定位精度平面优于5 cm，高程优于8 cm[2]。由于利用高精度的像控点，可以最大限度提高SC级影像所提取DEM和正射影像的定位精度，所以该方法有利于客观评价其电力工程适用性。

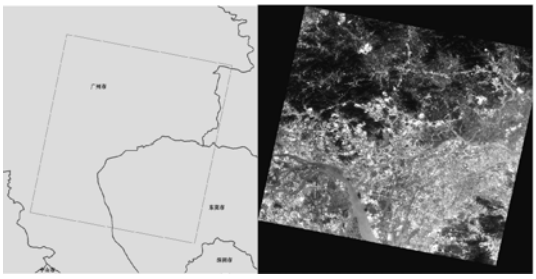


图1 测区范围

Fig. 1 The Scope of the Survey Area

2.2 DEM提取

资源三号卫星影像的DEM提取主要数据处理流程如图2所示。由于ZY-3资源三号卫星影像的TIF文件，并非GeoTiff文件，其坐标信息主要从其配套RPC文件进行读取。RPC(Rational Polynomial Coefficients)模型是将影像所拍摄点大地坐标D(Latitude，Longitude，Height)与其对应的像点扫描坐标d(line，sample)用比值多项式关联起来[3]。利用RPC模型，一方面能避免透露传感器的核心成像参数，另外一方面降低卫星数据处理复杂性，其获取坐标精度也与传统严格成像几何模型的精度相近。

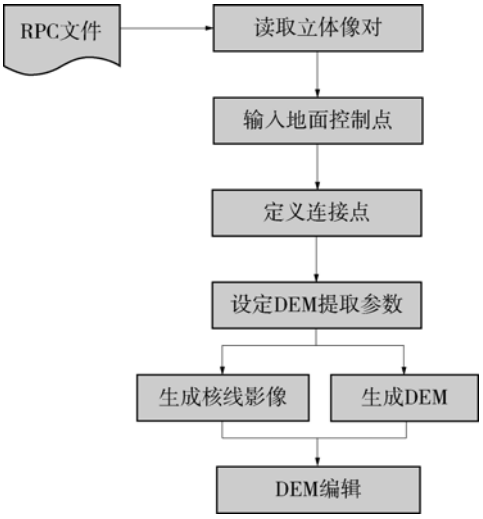


图2 立体像对提取DEM的流程图

Fig. 2 Workflow of Abstracting DEM from Stereo Images

完成影像读取后，采用交互式方式输入地面控制点。在该区域一共输入10个CORS的像控点，信息包括经度、纬度、椭球高。高精度的像控点有利于进行影像空间位置精确匹配，提高所提取DEM定位精度。本次工作区域CORS像控点分布

情况如图 3 所示。

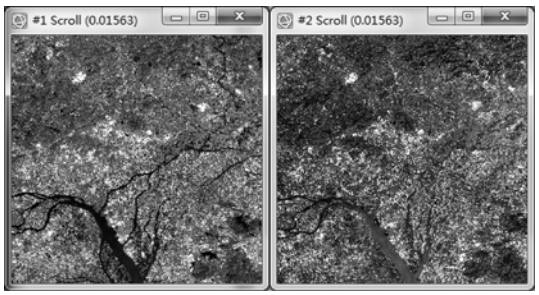


图 3　左影像(后视)和右影像(前视)像控点分布情况

Fig. 3　Left Image(Backward View) and Right Image (Forward View) Image Control Points Distribution

完成地面控制点录入后，自动生成连接点，并对所生成的连接点进行调整，确保连接点在左右影像中为同一地理位置。完成所有连接点检查后，确保整体连接点在 Y 方向的最大误差不大于 10。

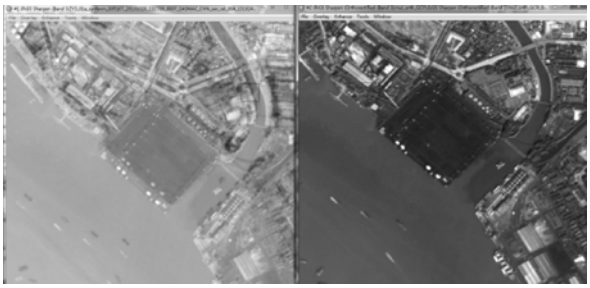
设置 DEM 的参数。由于前后影像的空间分辨率为 3.6 m，依照“国家测绘地理信息局卫星测绘应用中心”建议，DEM 格网间距宜设为 10 ~ 15 m，相当于 1 ∶ 25000 ~ 1 ∶ 50000 成图比例尺。所以设置测区的 DEM 格网间距为 10 m，开展核线影像制作和 DEM 自动提取。由于测域内包含水域，需对 DEM 开展修编工作，保证水域 DEM 高程一致。

2.3　正射影像制作

资源三号 SC 级产品的全色影像、多光谱影像是经辐射校正和传感器校正处理，未作系统几何纠正产品。由于没有经过几何校正，其 SC 级影像产品平面误差可达 10 ~ 15 m[5]。由于全色波段影像和多光谱波段影像采用不同传感器分别拍摄而成，其成像时间、摄影姿态并非完全一致，若直接进行波段融合，会出现明显的位置错位，如图 4(a)所示。

所以，对于 SC 级产品的正射影像制作应该首先分别对全色影像、多光谱影像进行分波段正射纠正后，再进行影像融合处理。资源三号正射影像制作总体流程图如图 5 所示。

其中分波段正射影像纠正，具体流程如图 6 所示。首先全色影像、多光谱影像采用有理函数多项式模型(影像 + GCP(平高点) + DEM + RPC)开展单景影像正射纠正工作。本次工作区域，全色波段影像采用 9 个控制点，多光谱波段影像采用 11 个控制点进行纠正。关于影像 RMS 精度误差要求，没有严格要求，通常认为在平地和丘陵区域，平面 RMS 误差不超过 1 个像素，在山区 RMS 不超过 2 个像素[6]。本次数据处理控制 RMS 精度在 2 个像素内。由于 DEM 数据宜采用与影像成图比例尺相一致高程数据参与正射影像纠正工作，所以在没有更高精度 DEM 情况下，使用资源三号的前后视立体像对所提取的 DEM 进行计算。



(a)直接波段融合　　(b)分波段纠正后融合

图 4　分波段校正前后的影像融合对比

Fig. 4　Compare Images Fusion Before Separate Band Geometric Correction with after ones

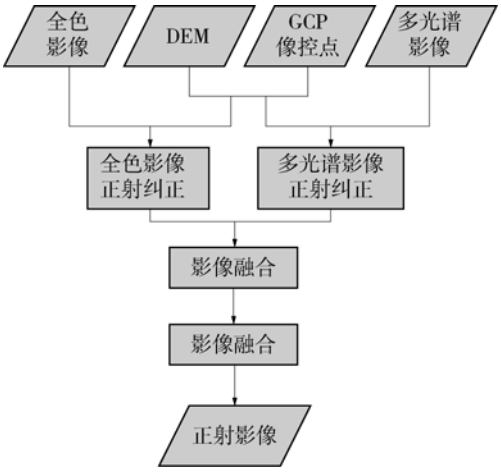


图 5　资源三号正射影像制作总体流程

Fig. 5　Workflow of ZY-3 Orthophoto Image Process

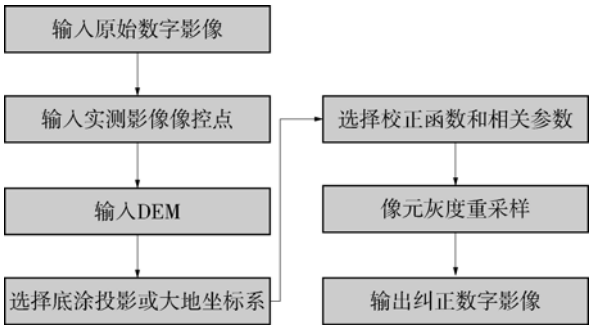


图 6　单景影像-正射纠正处理流程图

Fig. 6　Workflow of Tile Image Ortho Rectification

在完成全色影像和多光谱影像正射纠正后，开展影像融合工作。本次影像融合主要是保证融合后的正射影像既具有全色波段2.1 m较高的空间分辨率，又具有蓝、绿、红色、近红外多波段特性，可以真彩色组合还原地物的真实面貌，或者以假彩色突出所关注其他地物信息，例如植被等，从而达到图像增强的目的。

图像分辨率融合的关键是融合前后两幅影像(全色波段影像和多光谱波段影像)的配准以及处理过程中融合方法选择。配准方面，由于两者均采用同一套正射影像纠正模型，DEM，以及像控点(GCP)开展正射纠正工作，所以空间位置上已较好完成匹配。在融合方法上，高分辨率遥感影像主要采用Gram-Schmidt、Pansharpening，以及相关改良方法。其中Gram-Schmidt方法类似与传统影像融合方法—主成分分析(PCA)，对多维影像进行正交变换，消除了多光谱波段之间的相关性。而Gram-Schmidt变换后各分量只是正交，各分量所含的额信息量相差不大，改进了PCA方法中因第一主成分信息过分集中，其他主成分信息含量依次减少，所导致空间信息突出而色彩信息较弱情况[7]。所以本次工作区域采用Gram - Schmidt Spectral Sharpening方法开展全色与多光谱影像融合，效果如图4(b)所示。

3 精度评价

本次精度评价依据是影像区域内100个特征点的点之记。特征点的点位信息是由采用网络CORS RTK技术，使用广东省连续运行位置定位综合服务系统(GDCORS)。点之记的信息包括特征点的经度、纬度、椭球高，以及利用0.5米分辨率影像所制作的点位概略图，点位详细图、点位细部图。其中11个特征点作为本次DEM提取和正射纠正的GCP像控点参与计算，另外89个特征点作为检查点，其点位分布情况如图7所示。

3.1 正射影像精度评价

由于本次资源三号的正射影像处理产品采用WGS84大地坐标系。考虑到正射影像精度评价主要是在平面上进行。误差分析过程是首先采用布尔沙模型[8](也称为七参数转换)，将正射影像从WGS84大地坐标系转换到1980西安坐标基准下，选取114度带作为中央经线，进行3度带高斯投影平面投影。

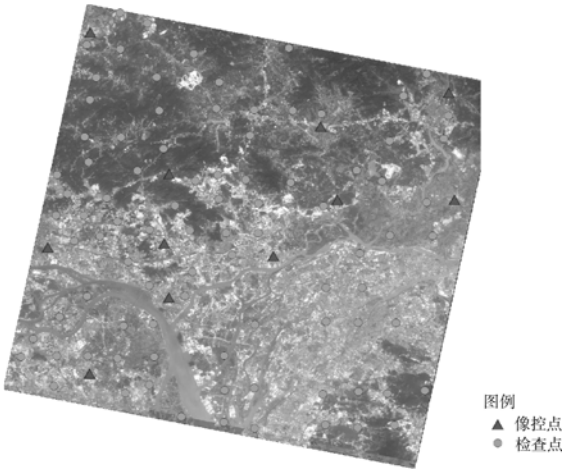


图7 像控点及检查点的分布情况

Fig. 7 Image Control Points and Check Points Distribution

同样方法，对特征点的进行平面转换，获取整体理论平面坐标值($X_{理}$，$Y_{理}$)。接着基于投影后的正射影像，点取整体特征点在影像上的实际位置($X_{影}$，$Y_{影}$)。然后计算其每个点的误差连线距离，并按像控点与检查点两个类别分别进行总体误差统计与分析。误差分析采用RMS(Root Mean Square)方法，公式如(1)和(2)所示。其中x_i为经度误差，y_i为纬度误差，a_i，S为平面中误差。

$$a_i = \sqrt{(x_{i影}) - x_{i理})^2 + (y_{i影}) - y_{i理})^2} \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} a_i^2}{n}}, \quad (2)$$

经对比与统计，本次正射影像的11个像控点平面中误差S控约为4.85 m，89个检查点平面中误差S检约为5.65 m。

资源三号的全色波段空间分辨率为2.1 m，其全色与多光谱融合的影像空间分辨率最高可以为2.1 m。根据数字正射影像的国家测绘行业规范[8]要求，资源三号影像在地面分辨率要求方面，满足1∶25000正射影像优于2.5 m要求；在位置精度方面，满足1∶25000正射影像平面位置中误差在平地、丘陵地不应该大于12.5 m要求。所以本次工作区域的资源三号正射影像产品，达到国家1∶25000数字正射影像成图标准与精度要求。

3.2 DEM数据精度评价

本次DEM精度评价主要是比较工作区域内所选取100个特征点(含像控点和检查点)的DEM高

程值与实际高程值的差距。由于实际高程值是由广东 CORS 网络采集的椭球高，所以本次高程精度评价在 WGS-84 椭球高下进行比较。

首先从 DEM 栅格数据中抽取 100 个特征点所对应的高程，接着进行逐点 DEM 数据高程值与测量高程值的误差计算，然后按类别分别进行像控点和检查点高程误差统计与分析。误差分析采用 RMS(Root Mean Square)方法，公式如(3)所示。其中 $H_{测}$ 为特征点实地测量的椭球高，H_{DEM} 为特征点的 DEM 高程值，R 为高程中误差。

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} h_i^2}{n}}, (h_i = H_{DEM} - H_{测}) \quad (3)$$

经对比与统计，本次数字高程模型(DEM)的 11 个像控点所对应高程中误差 R 控为 5.54 m，89 个检查点高程中误差 R 检为 8.40 m。根据数据高程模型的国家测绘行业规范[4]，本次工作区域其高程精度未能满足 1∶25000 比例尺的高程精度要求，但是满 1∶50000 比例尺产品的精度要求，即丘陵地高程中误差小于 10 m 要求。

4　工程适用性分析

1）不满足核电厂规划选址精度要求

根据 GB 50633-2010《核电厂工程测量技术规范》，卫星遥感影像可在核电厂规划选址阶段进行厂址规划，但是比例尺以 1∶5000、1∶10000 为宜[10]。而资源三号卫星的空间分辨率最高只有 2.1 m，其成图比例最高为 1∶25000，无法满足 1∶10000 影像图制图要求，故此不适合核电厂规划选址之用。

2）可供火电厂工程前期的现场踏勘

根据 DL/T 5001—2004《火力发电厂工程测量技术规范》，在图上设计前，应搜索测区已有资料并进行现场踏勘，收资内容包括各种最新比例尺图(1∶10000～1∶50000 为宜)[11]。由于经过像控点纠正的资源三号 SC 级的正射影像和 DEM 其精度满足相关比例尺要求，可供现场踏勘所用。

3）可供架空输电线路可行性研究阶段的室内路径规划

330 kV～750 kV 架空输电线路在工程规划阶段可利用卫星遥感影像以及数据高程模型等开展路径规划。按照国家规范要求，卫星遥感成果图比例尺宜为 1∶50000 或 1∶100000[12]。所搜集数字高程模型，其格网间距不应大于 25 m，即 1∶50000 比例尺要求。而资源三号卫星经正射纠正后，影像最高成图比例尺为 1∶250 00，DEM 产品精度也可达 1∶50000 比例尺要求，可供相应等级架空输电线路工程在可行性研究阶段的室内线路规划用。

4）可供架空输电线路初步设计阶段的航飞路线规划

架空输电线路进入初步设计阶段，宜对路径方案开展航空摄影工作。航线段划分与设计参考 1∶50000 地形图，故此也可以参考利用平面和高程精度相当的资源三号的正射影像和数据高程模型开展航线规划工作。

5　结论

资源三号(ZY-3)的辐射校正级(SZ)影像产品包括立体像对、多光谱影像和全色波段影像，其空间分辨鉴于 2.1～5.8 m 之间。在价格方面，其 SZ 级别影像公开销售价格远低于同比其他外国卫星影像。但是在定位精度方面，该辐射校正级影像存在同一区域，多光谱影像和全色影像位置不匹配现象，需要进行分波段的相对位置匹配，或者正射校正。

本文提出利用高精度 CORS 像控点参与 ZY-3 的立体像对提取 DEM 处理，并利用所提取的 DEM 产品和像控点，对 ZY-3 多光谱和全色影像进行分波段正射纠正后再融合的正射影像制作方法，能较好解决 ZY-3 不同影像产品的空间位置不匹配问题。通过工程实地验证，该方法所提取正射影像满足 1∶25000 比例尺产品要求，DEM 满足 1∶50000 比例尺产品要求。

对比现有的国家和行业技术规范，由于资源三号卫星影像数据处理产品精度主要在 1∶25000 至 1∶50000 比例尺之间，所以在电源工程方面可用性有限，主要供火电厂前期的现场踏勘。而其在电网工程方面，工程适用性较为广泛，DEM 数据和卫星影像数据产品可供架空输电线路可行性研究阶段的室内规划，以及初步设计阶段的航飞线路规划。伴随着我国 1∶50000 高精度影像控制点库建设与完善，资源三号的卫星影像产品数据能为我国难以获取最新地形信息的电网工程的前期规划和初步设计提供宝贵的地形地貌信息，应用前景广阔。

(下转第 229 页 Continued on Page 229)

3)定额中的设备价和人工价与实际有差距，如定额中的人工费每天只有几十元，实际却达到上百元甚至几百元，但结算只能给定额价，导致产生巨大的成本差异。

以上种种都反映出当前开展工程总承包面临的困境。总承包项目为了获得良好的收益，克服以上困难，需要项目团队发挥良好的沟通协调能力，签订合同时避免含糊不清的条款，尽量减少对自己不利的要求，将风险背靠背传递等等。

4　结论

工程总承包的模式未来工程建设的趋势，是与国际接轨的必要[5]，在国家提出“一带一路”的当下，工程总承包更是承接工程的主流。但是我国工程总承包的比例与国外发达国家相比无论在政策层面、法律层面、市场环境、承包商本身，都暴露出很多问题需要解决。政府需要进一步完善法律和政策，为工程总承包的健康发展保驾护航；业主需要调整转变观念，主动接受国际先进的项目管理理念；承包商要加强自身建设，增强各方面的竞争力。只有不断调整观念、制度和流程，才能充分发挥工程总承包模式的优点，实现项目的双赢甚至多赢。

参考文献：

[1]　GB/T 50358—2005，建设项目工程总承包管理规范[S].

[2]　曲飞宇．国际工程总承包模式与我国的发展现状[J].市场周刊，2008(10)：72-75.

[3]　建设部．关于印发《王素卿司长和王早生副司长在推进工程总承包与对外工程承包高峰论坛上的讲话与总结》的通知[L].2006-11-01.

[4]　中华人民共和国建设部．工程设计资质分级标准[L]．2007-3-29.

[5]　中华人民共和国住房和城乡建设部．建筑业企业资质等级标准[L]．2014-11-01.

[6]　林妍，栾鑫．取消资质，工程总承包企业还能走多远[N]．中国经济导报，2010-09-28.

(责任编辑　高春萌)

(上接第 211 页 Continued from Page 211)

参考文献：

[1]　资源三号测绘卫星数据服务网，http：//sjfw. sasmac. cn/index/wxcp. jsp[EB/OL] ZY-3 Satellite Surveying and Mapping Application Center，NASG. http：//sjfw. sasmac. cn/index/wxcp. jsp[EB/OL].

[2]　陈桂平，张惠军，李土旺，CDCORS 在中山市像控测量中的应用[J]，城市勘测，2008，(3)：60-62.

[3]　张过，李德仁，卫星遥感影像 RPC 参数求解算法研究[J]，中国图象图形学报，2007，12(12)：2080-2088.

[4]　CH/T 9009. 2-2010 基础地理信息数字成果 1：5000，1：10000，1：25000，1：50000，1：100000 数字高程模型[S].
CH/T 9009. 2-2010 Digital Products of Fundamental Geographic Information 1：5000，1：10000，1：25000，1：50000，1：100000 Digital Elevation Models[S].

[5]　潘红播，张过，唐新明，等．资源三号测绘卫星影像产品精度分析与验证[J]，测绘学报，2013，42(5)：738～744.
PAN Hongbo，ZHANG Guo，TANG Xinming，Accuracy Analysis and Verification of ZY-3 Products[J]，Acta Geodaetica et Cartographicia Sinica，2013，42(5)：738～744.

[6]　杨昕，汤国安，邓凤东．ERDAS 遥感数字图像处理实验教程[M]，北京：科学出版社，2009.
YANG Xin，TANG Guoan，DENG fengdong，ERDAS Remote Sensing Digital Image Process Experiment Manual[M]，Beijing：Science Press，2009.

[7]　甄静，何国金，高分辨率遥感影像融合存在问题及改进措施[J]，遥感信息，2005(4)：45～49.
ZHEN Jing，HE Guojin，Shortage of the Data Fusion Approaches to High-resolution Satellite Images and Expected Improvements[J]，Remote Sensing Information，2005(4)：45～49.

[8]　李征航、黄劲松，GPS 测量与数据处理[M]，武汉：武汉大学出版社，2005.
LI Zhenghang，HUANG Jingsong，GPS Surveying and Data Processing[M]，Wuhan：Wuhan University Press，2005.

[9]　CH/T 9009. 3-2010 基础地理信息数字成果 1：5000，1：10000，1：25000，1：50000，1：100000 数字正射影像图[S].
CH/T 9009. 3-2010 Digital Products of Fundamental Geographic Information 1：5000，1：10000，1：25000，1：50000，1：100000 Digital Orthophoto Maps[S].

[10]　GB 50633—2010 核电厂工程测量技术规范[S]GB 50633-2010 Technical Code for Engineering Survey of Nuclear Power Station[S].

[11]　DL/T 5001—2004，火力发电厂工程测量技术规程[S]DL/T 5001-2004，Technical Code for Engineering survey of Fossil Fuel Power Plant[S].

[12]　GB 50548—2010，330 kV～750 kV 架空输电线路线路勘测规范[S]GB 50548-2010 Code for Investigation and Surveying of 330kV～750kV Overhead Transmission Line[S].

(责任编辑　黄肇和)