

航磁梯度数据实测与计算对比研究

贾志业 安战锋 赵廷严

中国国土资源航空物探遥感中心 北京 100083

摘 要: 通过对比 AGS-863 航磁全轴梯度勘查系统实测航磁梯度数据与由航磁 ΔT 计算出的梯度数据,二者在变化趋势上基本一致,异常形态相似。由于航磁梯度勘查系统相比单探头的航磁勘查系统获取了更多地面磁性体信息,横向梯度、垂向梯度上出现了更多的异常信息,为地质解释提供的信息更丰富,在现阶段由航磁 ΔT 计算出的梯度数据还无法替代实测梯度数据。

关键词: 实测航磁梯度; 计算航磁梯度; 辽宁瓦房店; 42 号金伯利岩管

Comparative study of aeromagnetic gradient data measured and calculated

JIA Zhi-ye AN Zhan-feng ZHAO Ting-yan

China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083

Abstract: By comparing the gradient data measured by AGS-863 tri-axial aeromagnetic gradient exploration system and the gradient data calculated by aeromagnetic ΔT data, the trend of change is basically consistent and the abnormal form is similar. Compared with single probe aeromagnetic exploration system, the aeromagnetic gradient survey system obtains more ground magnetic information, founding more abnormal information in transverse gradient and vertical gradient, providing more information for geological interpretation. The calculated aeromagnetic gradient data can not replace the measured gradient data at Present.

Key words: measured aeromagnetic gradient; calculated aeromagnetic gradient; Liaoning wafangdian; 42 km-berlite pipe

引言

航磁梯度测量是航磁磁测技术的发展,具有分辨率高、不受日变影响、压制背景场、突出磁异常地质体边界等优点,在矿产资源勘查以及军事探测等方面具有重要的应用价值,自 20 世纪 70 年代以来得以迅速发展,受到了广泛的关注^[1-3]。国内 20 世纪 90 年代开始,核工业航测遥感中心、中国国土资源航空物探遥感中心、中国冶金地质总局地球物理勘察院等单位先后在冀东、甘肃潮水、河北保定、吉林磐石、新疆哈密等多地区开展了航磁梯度测量工作,使用仪器有国产和进口的^[2,4-6]。对实测与计算的航磁梯度数据也进行过对比,主要针对的是进口航磁梯度仪^[7-9],针对国产 AGS-863 数字式航空氦光泵磁梯度仪的对比较少。AGS-

863 数字式航空氦光泵磁梯度仪由中国国土资源航空物探遥感中心自主研制,先后在内蒙古锡林浩特-西乌旗、河北保定、黑龙江哈尔滨、吉林磐石、辽宁瓦房店等地开展了测量工作,获取了大量的实测梯度数据。研究该系统下实测数据与计算数据之间的异同,为航磁梯度资料应用提供帮助,选用 2016 年在辽宁瓦房店地区实测数据进行研究对比工作。该区有 1:1 万航磁 ΔT 、横向梯度、纵向梯度、垂向梯度数据。

1. 航磁梯度数据实测与计算原理

航磁实测梯度的获取是通过一定间距磁探头测量值的差值来实现的。4 个氦光泵磁探头的灵敏度为 0.00025nT,磁探头安装示意图见 1,左、右两个探头距离 (Δx) 为

基金项目:中国地质调查局二级项目“秦岭及天山等重点成矿区带航空物探调查”(1212012003000160006)。

作者简介:贾志业(1984~),男,工程师,从事航空物探综合研究工作。

22.14m,上、下探头距离(Δy)为2m,下探头与左、右两探头的连线垂直距离(Δz)为12.82m, T_L 、 T_R 、 T_D 、 T_U 依次代表左探头、右探头、下探头、上探头测量的地磁场强度。其梯度计算公式为:

$$\Delta T_x = (T_L - T_R) / \Delta x$$

$$\Delta T_y = [(T_L + T_R) / 2 - T_D] / \Delta y$$

$$\Delta T_z = (T_D - T_U) / \Delta z$$

测区横向梯度总精度为0.052nT/m,纵向梯度总精度为0.055nT/m,垂向梯度总精度为0.068nT/m。



图1 梯度系统磁探头安装示意(90°方向)(引自^[10])

航磁梯度的转换计算可以在空间域和频率域内进行,但空间域算法较费事,一般多利用快速富氏变化,在频率域内进行转换处理^[11]。计算的纵向梯度、垂向梯度是通过在测线剖面上开展频率域一维FFT快速傅氏变换算法实现转换计算,其中纵向梯度通过沿测线方向进行方向导数计算获取,垂向梯度通过压制干扰的一阶垂向导数计算获取。横向梯度无法通过剖面频率域位场转换处理获取,在 ΔT 网格数据上(网格距为30m×30m)采用频率域FFT算法换算出横向梯度,为了更好地对比,将其沿测线采样回数据库。至此,我们获取到了计算的横向梯度、纵向梯度、垂向梯度数据。以上操作在Geoprobe Mager地球物理数据处理解释系统下完成。

2. 对比分析

从位场理论可知,由 ΔT 值换算出的梯度值与实测的梯度值在理论上应该是等价的。但是通过实际测量结果分析,二者之间具有一定的差异。

从实测与计算的梯度数据,我们可以看出,二者变化的总体趋势基本一致,异常形态较相似,但也具有一定的差异。图2是测区内典型剖面局部实测与计算梯度的对比图。

(1)横向梯度上,实测的比计算的在部分地区局部异常更明显(图2a),对弱异常有较好反映,这一现象在测区具有

多处。实测的横向梯度是由两个相距22.14m的探头实测磁场值计算得到的,相当于增加了一条测线,导致获取的测线之间磁场信息更多,所以实测的横向梯度比计算的异常更明显,部分地区甚至增加了异常。

(2)纵向梯度上,计算与实测基本相同,只是数值的差异(图2b)。

(3)垂向梯度上,计算的比实测的光滑(图2c),细节信息更丰富。计算的垂向梯度受 ΔT 总场效应的影响,异常相对连续、光滑,导致掩盖掉部分具有异常信息。而实测的垂向梯度不受 ΔT 总场影响,且具有较好的水平分辨率,可以较完整的反映局部磁异常的变化。正是这一差别,实测垂向梯度获取了更丰富的磁场信息。

(4)除了上述引起差异的原因,还有其他原因,如实际飞行采用的是沿地形缓起伏飞行,这样飞机在测量过程中不可避免地要进行仰俯、侧滚、摇摆等操作,那么梯度测量的4个磁探头所处的层面就会发生变化,而且相对于大地坐标轴的方向及探头之间的几何关系也发生了变化,这时所测得的梯度值是不准确的^[7,12]。

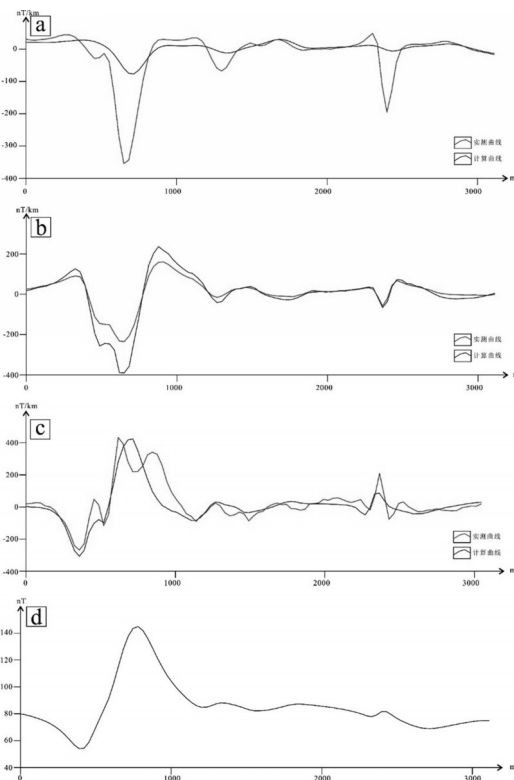


图2 实测与计算梯度对比图

a. 横向梯度对比图;b. 纵向梯度对比图;c. 垂向梯度对比图;d. ΔT 剖面图

为了更好地对比实测与计算梯度数据在地质体之间的

差异,选取了辽宁瓦房店地区42号金伯利岩管一带的数据开展了对比分析。

42号岩管为瓦房店地区规模最大的岩管,地表出露总面积约41200m²,由3个岩管组成:42-1号岩管最大,为主要岩管,位于矿区东部,地表出露面呈不规则状,面积约31000m²;42-2次之,位于矿区西部,地表出露面为近椭圆形;42-3号岩管最小,孤立出露于矿区南部。出露地层为青白口系石英砂岩、粉砂岩、页岩,产状平缓,岩管周围出露有流纹岩、安山岩、辉绿岩等,呈岩脉状和岩床状产出,并切穿金伯利岩管。42号岩管呈陡直筒状,由地表向深部延伸整体规模变化不大,总体倾向北北西^[13]。金刚石平均品位0.5ct/m³。图3~图5中白色的曲线为42号岩管在地表的出露情况。

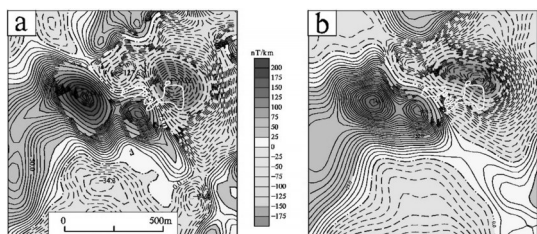


图3 实测与计算横向梯度对比图

a. 实测横向梯度等值线图;b. 计算横向梯度等值线图

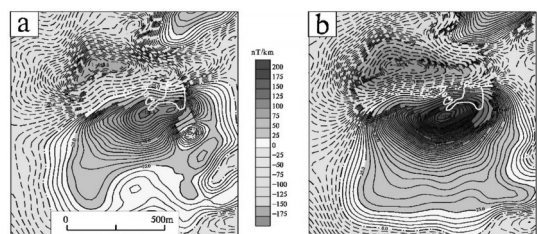


图4 实测与计算纵向梯度对比图

a. 实测纵向梯度等值线图;b. 计算纵向梯度等值线图

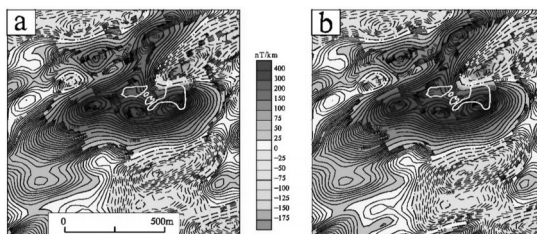


图5 实测与计算垂向梯度对比图

a. 实测垂向梯度等值线图;b. 计算垂向梯度等值线图

从图3~图5中可以看出,实测与计算的梯度在宏观上具有相似性,纵向梯度、垂向梯度在形态和分布范围上特征基本一致,横向梯度在幅值和细节上存在一定的差异,异常中心位置也有偏差。图3中可以看出,实测的横向梯度对

岩管的边界、形态反映的更准确,岩管西侧的北北东向断裂的磁场特征更明显,当然这一北北东向断裂在垂向梯度上反映得非常明显。

3. 讨论

通过上述对比分析,可以看出,由 ΔT 计算出的与实测的横向梯度、纵向梯度、垂向梯度变化趋势基本一致,异常形态相似。在部分地段横向梯度、垂向梯度出现了一些差异,主要是由于航磁梯度勘查系统相比单探头的航磁勘查系统获取了更多地面磁性体信息,对异常的细节刻画的更为精细,为地质解释提供的信息更丰富,为矿产勘查提供磁场资料的精度更高。因此,实测的航磁梯度比由 ΔT 计算的效果更好,在解释精度要求高的地方,目前来说具有不可替代性。

参考文献:

- [1] 熊盛青. 我国航空重磁勘探技术现状与发展趋势[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(01): 113-117.
- [2] 郭华, 王平, 谢汝宽. 航磁全轴梯度数据地质解释优势研究[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(05): 2688-2692.
- [3] 贾伟洁, 郭华, 李迁. ASTER 遥感影像与航磁梯度数据综合应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(04): 1237-1245.
- [4] 王隽人, 孙连池. 航磁垂直梯度测量在冀东地区地质填图中的作用[J]. 物探与化探, 1990, (06): 473-476.
- [5] 李晓禄, 蔡文良. 运五飞机上航磁梯度测量系统的安装与补偿[J]. 物探与化探, 2006, (03): 224-228+232.
- [6] 梁建, 郭玉峰, 纪福山, 等. 直升机吊舱航磁全轴梯度测量系统在新疆哈密地区的应用[J]. 工程地球物理学报, 2017, 14(02): 192-198.
- [7] 线纪安, 郭玉峰, 梁建, 等. 实测航磁 ΔT 三维梯度与由 ΔT 数据换算的三维梯度数据的异同[J]. 地质找矿论丛, 2013, 28(02): 297-300.
- [8] 李海侠, 徐世浙, 余海龙, 等. 频率域航磁总场与梯度分量的转换研究[J]. 地球物理学进展, 2010, 25(04): 1396-1405.
- [9] 路燕, 李晓禄, 蔡文良, 等. 潮水地区航磁梯度初步分析[J]. 东华理工学院学报, 2007, (02): 164-170.
- [10] 安战锋, 王平, 段树岭, 等. 国产航磁全轴梯度勘查系统试验测量[J]. 物探与化探, 2016, 40(02): 370-373.
- [11] 侯俊胜, 管志宁. 航磁梯度的转换及有关问题讨论[J]. 现代地质, 1989, (04): 464-472.
- [12] 梁建. 航磁梯度测量姿态变换研究及应用[D]. 中国地质大学(北京), 2016.
- [13] 齐玉兴, 李荣, 张世献, 等. 辽宁省复县金刚石矿42号岩管地质勘探报告[R]. 辽宁省地质局旅大地质大队, 1975.

中文引用格式:李芳,王林飞,何辉.基于Hough变换的重磁数据线性特征提取技术[J].工程地球物理学报,2018,15(1):22-31.

英文引用格式:Li Fang, Wang Linfei, He Hui. Linear features extraction of gravity and magnetic data based on Hough transform[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2018, 15(1): 22-31.

基于Hough变换的重磁数据线性特征提取技术

李芳, 王林飞, 何辉, 李靖

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 利用重磁数据确定地质体的边界是地质解释中一项很重要的工作,然而目前众多的边界识别方法均基于各种导数变换的组合,因此对噪声的影响比较敏感。基于上述问题,研究分析了图像处理中提出的Hough变换的原理,提出利用该变换进行重磁数据处理,基于此识别数据中包含的线性特征,对应于地质体边界和断裂构造平面展布特征等信息。理论模型和实际数据的计算分析表明,该方法能够较准确地提取出重磁数据边界信息,同时具有较好的噪声鲁棒性。利用Hough变换提取出的线性特征对地质体边界识别、大地构造单元划分及断裂体系分析等工作具有实际的应用意义。

关键词: 重磁数据;线性特征;Hough变换;断裂识别

中图分类号: P631.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-7940(2018)01-0022-10

doi: 10.3969/j.issn.1672-7940.2018.01.004

Linear Features Extraction of Gravity and Magnetic Data Based on Hough Transform

Li Fang, Wang Linfei, He Hui, Li Jing

(China Aero Geophysics Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Using of the gravity and magnetic data to determine the boundary of the geological bodies is an important task in geological interpretation. However, most of existing edge detection methods are based on the combination of different derivatives and therefore, they are very sensitive to the noise. For this problem above, this paper analyzes the principle of the Hough transform proposed in the process of digital images, and applies Hough transform to the interpretation of gravity and magnetic data. The linear features extracted from gravity and magnetic data with the Hough transform correspond to different tectonic boundaries and faults. The analysis of theoretical model and actual data shows that this method can extract the boundary information of gravity and magnetic data accurately, and

收稿日期: 2017-08-28

基金项目: 国家重点研发计划项目(编号: 2017YFC0602204); 航遥中心项目(编号: DD2016014104)

第一作者: 李芳(1990-), 女, 硕士, 主要从事地球物理软件研发工作。E-mail: lifang5505@163.com

has better noise robustness compared with the conventional ones. The linear characteristics by using the Hough transform provide practical significance for the identification of tectonic boundaries, the division of tectonic units and the analysis of fracture systems.

Key words: gravity and magnetic data; linear features; Hough transform; fault identification

1 引 言

重力勘探及磁法勘探以地下空间地质体的物性差异为基础,其在地质构造研究、资源勘探及工程勘察等方面发挥了巨大作用^[1-4]。同时这两种方法具有高效、经济、覆盖范围广等特点,在过去的半个多世纪中,我国广泛地开展了区域性的地面及航空重磁勘查工作,获取了海量的高精度数据。结合利用各种处理转换技术对这些数据进行处理,有利于获取更多有效的地质信息,对于进一步提高解释的可信度具有重要的意义^[5-12]。

重磁数据的边界识别技术是众多重磁数据处理转换技术中很重要的一种,利用该技术可有效识别隐伏断层和地质体边界,有利于深部地质构造刻画、隐伏岩体圈定等地质工作。重磁数据边界识别通常利用目标地质体在断裂构造带附近的物性变化率较大的特点,通过计算数据的不同导数及导数组合来刻画重磁数据空间上的变化率,判断该变化率的极值点来确定异常体边界位置。基于各种导数变换组合,国内外学者在过去几十年间提出了众多边界识别方法,取得了较好的应用效果,如垂向导数法^[13],总水平导数法^[14],倾斜角方法^[15],增强水平导数法^[16], θ 图方法^[17],归一化标准差方法^[18]及其他众多均衡滤波器方法^[19-23]。以上众多工作使得重磁数据的边界识别研究不断深入,然而基于导数变换的边界识别方法通常对于噪声较为敏感。

Hough 变换于 1962 年由 Paul Hough 首次提出用于图像分析^[24],该变换基于数学对偶性原理进行图像直线的检测。该变换方法是一种全局性的检测方法,且具有很好的噪声适应性,在后续的研究中被广泛地用于检测图像中的任意形状的物体^[25-29]。20 世纪 90 年代以来,该方法在地球物理及地质邻域得到众多的应用,例如,洪旭程等将 Hough 变换应用于探地雷达图像检测^[30],朱炼等利用 Hough 变换进行航磁数据的处理用来进行大型斑岩型矿床的预测^[31],傅嘉政等基于小波变换和 Hough 变换进行了高分辨率遥感影像

道路提取^[32],彭诚等利用 Hough 变换检测井壁图像上平面地质特征^[33],陈雷等使用自适应聚类 Hough 变换进行地震断层检测^[34]。本文研究将 Hough 变换应用于重磁数据的处理,利用 Hough 变换识别线性特征的能力来识别重磁数据中包含的地质体边界和断裂构造平面展布特征等信息。并且建立了理论加噪模型来进行算法测试,结果表明该方法能够较准确地提取出重磁数据边界信息,同时具有较好的噪声鲁棒性。最后将该方法应用于实测数据的处理。

2 方法原理

Hough 变换将数据空间中的共线点变换到参数空间中的一组相交于该点的曲线。若能够在参数空间中检测出存在交点的所有线段,并确定其参数,则确定了数据空间这些线的数学方程,从而实现了线检测^[24]。如图 1(a)所示,在数据空间存在点 (x_i, y_i) ,则在图 1(b)所示的参数空间存在满足方程 $b = -ax_i + y_i$ 的直线通过该点,即在参数空间内可得到对应于固定点 (x_i, y_i) 的一条直线。对于数据空间的另外一点 (x_j, y_j) 存在类似情况,映射为参数空间的另外与之相关的线。令这条线与固定点 (x_i, y_i) 相关的线相交于点 (a', b') ,则 a' 为斜率, b' 为数据空间 $x \leftrightarrow y$ 平面包含点 (x_i, y_i) 和点 (x_j, y_j) 的线的截距,如图 1(a)中直线所示。简而言之,Hough 变换的基本思想可概述为:原始数据坐标系中的某个点对应于参数坐标系中的一条线。同样,参数坐标系的一条直线则对应于数据坐标系中的某个点。原始数据坐标系中呈直线分布的所有点,它们在参数空间内的斜率和截距是相同的,所以这些点对应于参数空间内的直线在参数坐标系下对应于同一交点。利用上述特征,将原始数据坐标系下的各个点投影到参数坐标系下之后,判断参数坐标系下有没有共同交点。若存在这样的同一个交点,则这样的交点对应于数据空间坐标系下的线。

理论上直接利用上述直角坐标系即可完成 Hough 变换的计算,在实际计算中,直线方程 b

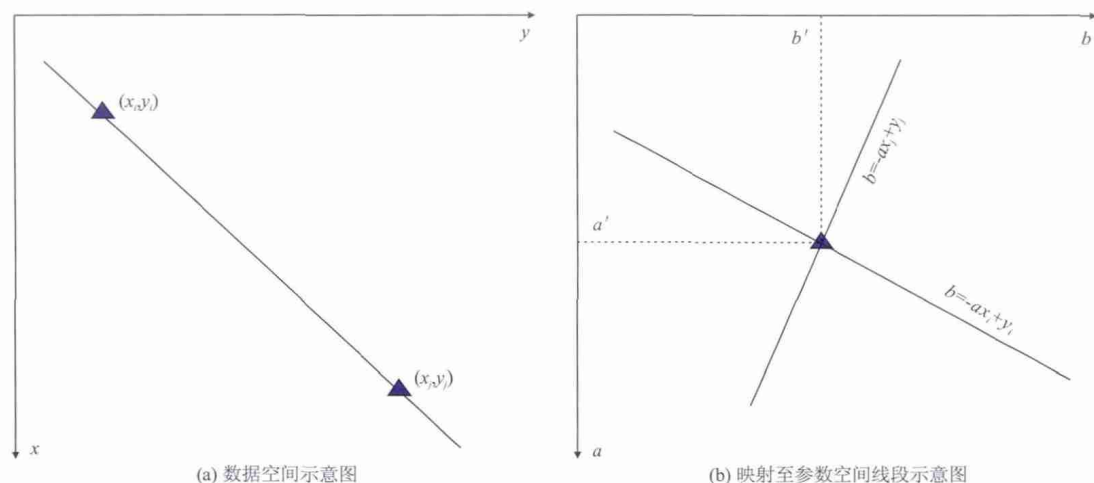


图 1 Hough 变换计算

Fig. 1 The calculation of Hough transformation

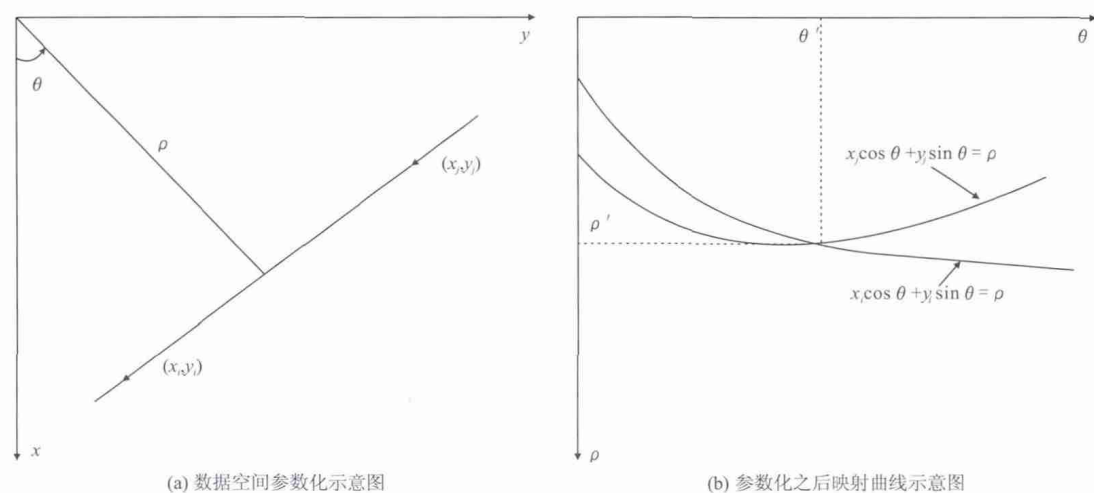


图 2 极坐标系的 Hough 变换计算

Fig. 2 Hough transformation calculation of polar coordinate system

$= -ax_i + y_i$ 的形式无法表达斜率为无穷大的情况, 因此 Hough 变换的计算通常使用极坐标系来表示直线。如图 2 所示, 此时直线方程可以表示为 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ 。图 2(b) 中的每一条曲线表示了通过特定点的一簇直线, 它们的交叉点对应于数据空间通过点 (x_i, y_i) 和点 (x_j, y_j) 的线。

基于上述分析给出利用 Hough 变换进行线性特征检测的实施步骤如下: ①读取重磁异常网格数据; ②设置参数空间网格范围, 一般来说 $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, $-D \leq \rho \leq D$, 其中 D 为网格化数据任意两点的最远距离(对角线); ③设置累加

器数组 A , 对于坐标 (i, j) 的数据位置, 累加器的值为 $A(i, j)$, 对应于参数空间坐标 (ρ_i, θ_j) , 累加器数组初始值均为 0; ④对于数据中的任意数值点 (x_i, y_j) 做 Hough 变换, 找出其在参数空间的对应坐标单元, 并将该位置处的累加器数据值加 1, 即 $A(i, j) = A(i, j) + 1$; ⑤将步骤④遍历整个数据空间以得到参数空间最终累加器数组, 此时累加器数组最大的单元所对应的斜率和截距即为数据空间中满足共线特征的所有点的直线方程参数; ⑥将参数空间中累加器值较大的点做 Hough 逆变换得到数据空间的线特征。

3 模型试验

建立 3D 密度模型进行方法试验,模型 1 测区位于方形区域内,数据网度为 200×200 ,点线距均为 500 m。对应的模型剖分空间位于观测区域的垂直正下方。理论模型由四个不同深度层、

不同大小和剩余密度值的长方体组成,表 1 为该理论模型各长方体的几何参数及物性参数。对上述模型进行正演计算,理论重力异常等值线见图 3(a),同时对该重力数据引入均值为 0,标准偏差为异常最大值 7 %的高斯随机噪声,加噪异常等值线见图 3(b)。

表 1 理论模型 1 几何参数及物性参数
Table 1 Geometric and physical parameters of the theoretical model 1

编号	东向长度/km	北向长度/km	厚度/km	顶面埋深/km	密度差/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
A1	30	10	0.5	0.5	0.3
A2	10	50	0.5	1.5	0.3
A3	60	10	0.5	2.5	0.3
A4	10	50	0.5	3.5	0.3

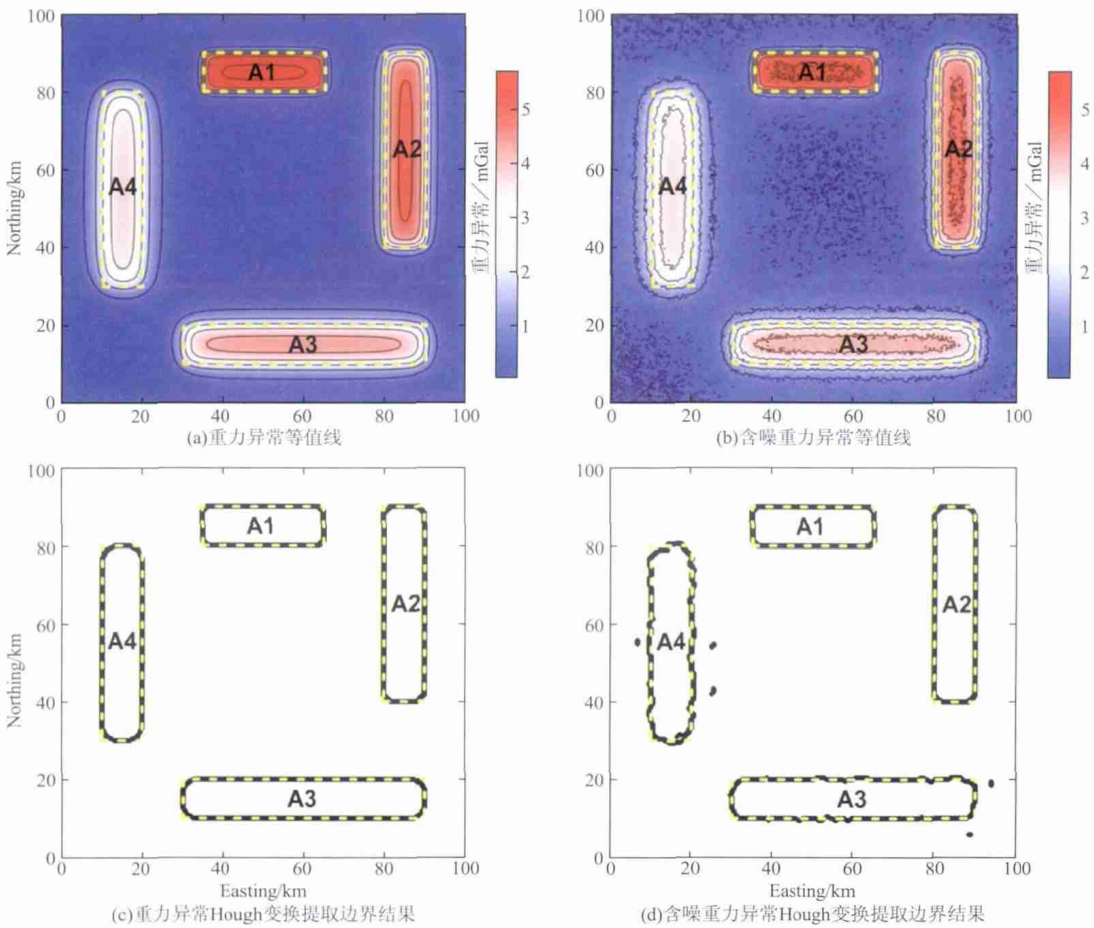


图 3 理论模型 1 试验结果
Fig. 3 The test result of theoretical Model 3

对上述无噪及含噪重力数据分别进行基于 Hough 变换的边界提取试验,图 3(c)及图 3(d)分别为无噪及含噪重力数据的边界提取结果。图中黑色实线为 Hough 变换的计算结果,黄色虚线

为理论模型的实际位置。从该对比图中可以看出,利用 Hough 变换提取出的场源边界与理论模型的实际边界吻合度非常高,基本做到了对于场源位置的精确刻画。对于含有噪声的数据,

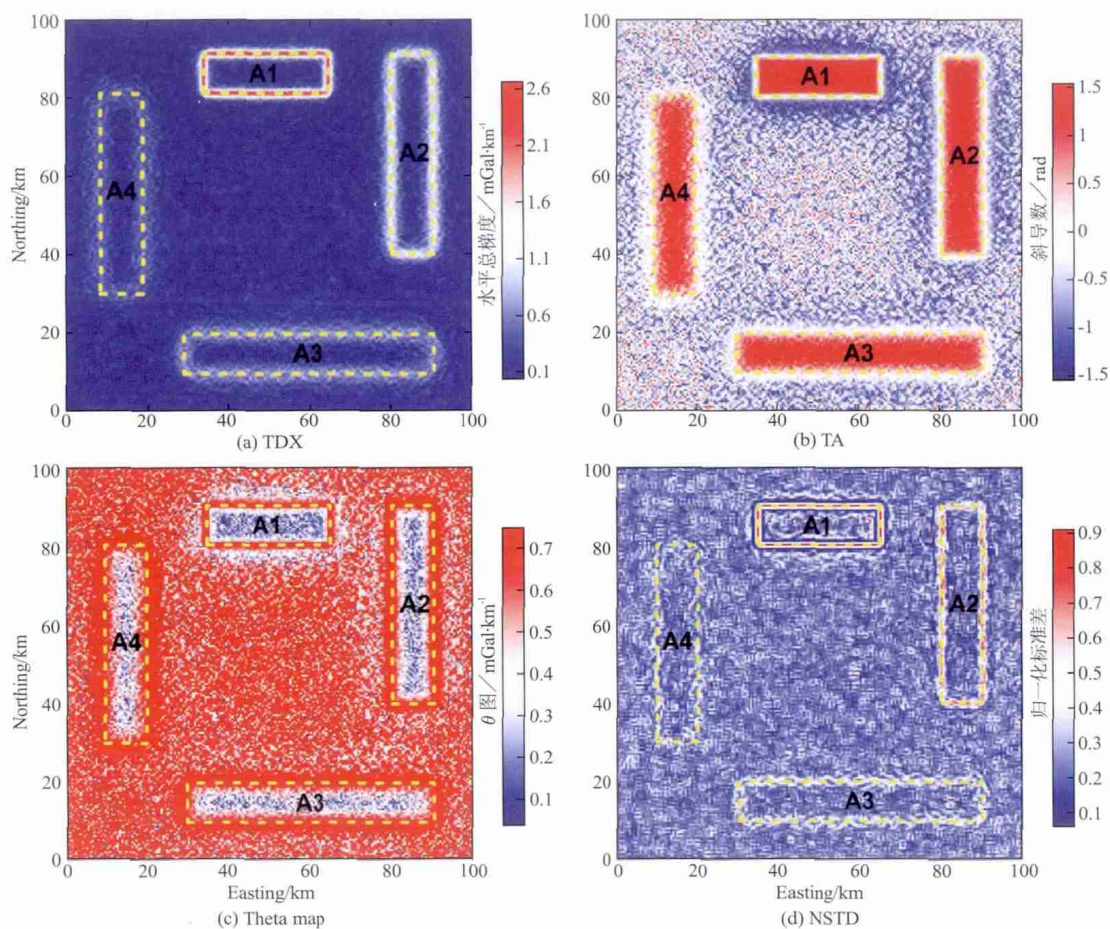


图 4 基于导数变换及组合的边界提取方法应用于图 3(b)所示含噪声重力数据结果

Fig. 4 The result of noise gravity in fig. 3(b) based on the method of derivative transform and boundary extraction

Hough 变换提取出的边界也基本刻画出了场源的位置,仅在边界位置周围出现了较小的波动。理论模型算例佐证了基于 Hough 变换的重磁数据线性特征提取技术的可行性。针对该模型, Hough 变换的二维遍历搜索耗时约为 35 s。

为了进一步对比展示该方法的噪声鲁棒性,四种常规的基于导数变换及组合的边界提取方法被应用于图 3(b)所示含噪声重力数据,所采用的方法包括水平总梯度方法(TDX)、斜导数方法(TA)、 θ 图方法(Theta map)和归一化标准差方法(NSTD)。在 NSTD 方法计算中采用窗口大小为 3×3 。图 4(a)~图(d)所示为上述边界提取方法的计算结果,看出 TDX 和 NSTD 方法对于深部场源的刻画比较模糊,TA 和 Theta map 方法能够较好地均衡深浅部异常。由于引入了高频噪声干扰,所有方法的计算结果均很大程度上被噪声影响,给后续进行进一步的地质解释带来了

困难。图 3(d)中基于 Hough 变换提取边界方法给出的结果表现出对于噪声的很好的适应性。该对比试验佐证了基于 Hough 变换的重磁数据线性特征提取技术的噪声鲁棒性。

为了进一步测试该方法对于复杂模型的计算结果,我们将理论模型 1 中块体 A2 和 A4 的相对密度改为负值,以产生同时包含正异常及负异常的重力数据。模型 2 的其他参数均与模型 1 相同。对模型 2 进行正演计算,理论重力异常等值线见图 5(a),同时对该重力数据引入均值为 0,标准偏差为异常最大值 7% 的高斯随机噪声,加噪异常等值线见图 5(b)。

对图 5(a)及图 5(b)中的无噪及含噪重力数据分别进行基于 Hough 变换的边界提取试验,图 5(c)及图 5(d)分别为无噪及含噪重力数据的边界提取结果。图中黑色实线为 Hough 变换的计算结果,黄色虚线为理论模型的实际位置。图 5

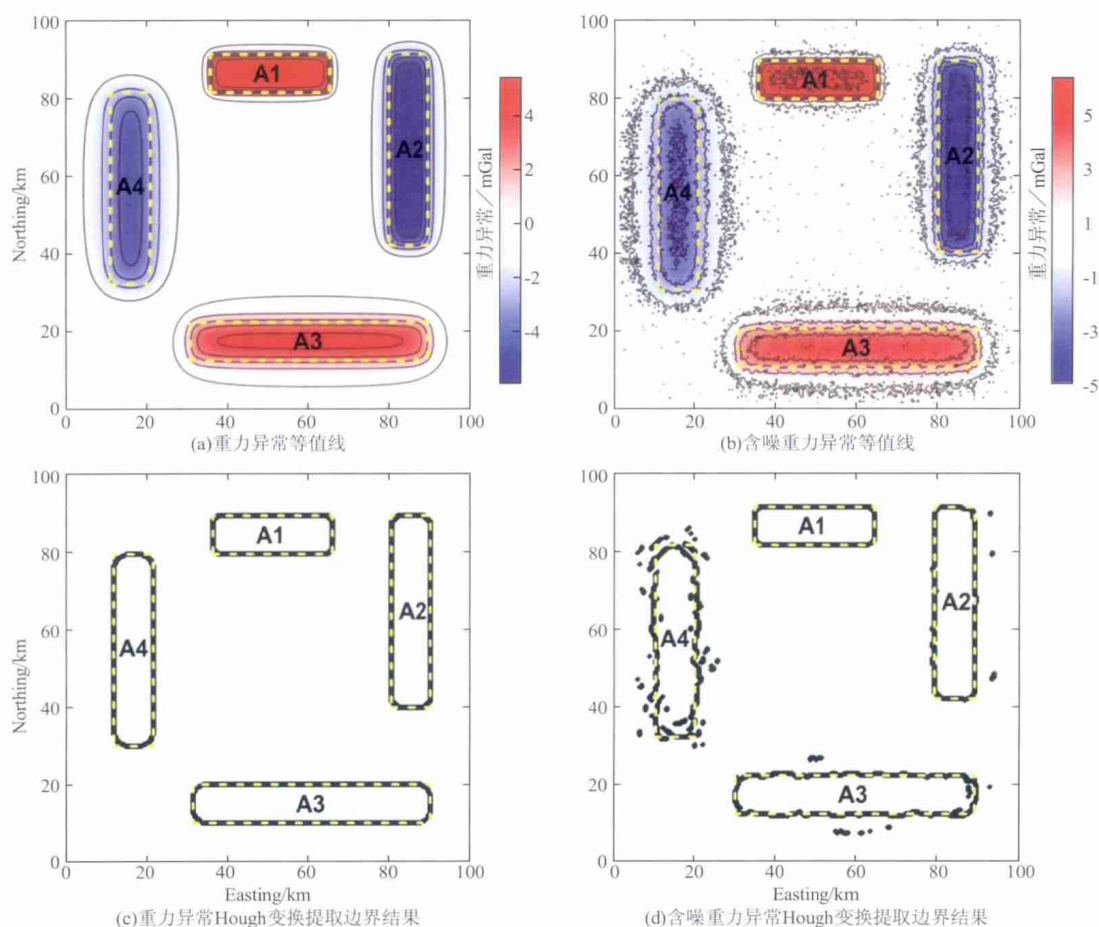


图 5 理论模型 2 试验结果

Fig. 5 The test result of theoretical model 2

的计算结果显示,对于含有同时正负异常的重力数据,基于 Hough 变换的重磁数据线性特征提取方法依旧可以给出符合实际场源分布的边界提取结果。对于含噪声重力数据,深部场源体的边界周围处会产生一定程度的波动,但是该影响不足以对后续提取结果的分析带来影响。对于埋深相对较浅的场源,该规模的高频噪声的影响并不会给 Hough 变换提取出的边界带来影响,显示出该方法有较好的噪声适应性。由于该模型与上述模型的数据网度一致,因此 Hough 变换的二维遍历搜索耗时与上述计算基本一致。

同样,为了进一步对比展示该方法的噪声鲁棒性,上述四种常规的基于导数变换及组合的边界提取方法被应用于图 5(b)所示含噪声重力数据,在 NSTD 方法计算中采用窗口大小为 3×3 。图 6(a)~图(d)所示为上述边界提取方法的计算结果,看出高频噪声给所有方法的计算结果带来了很大程度上的影响,给后续进一步地质解释带来

了困难。图 5(d)中基于 Hough 变换提取边界方法给出的结果表现出对于噪声的很好的适应性。

又建立了一深浅部叠加密度模型 3 进行算法的测试,模型 3 测区位于方形区域内,数据网度为 200×200 ,点线距均为 500m。对应的模型剖分空间位于观测区域的垂直正下方。理论模型由两个不同深度层、不同大小和剩余密度值的长方体组成,模型 A2 为浅部较小模型,位置位于深部模型 A1 的正上方。对上述模型进行正演计算,同时对该重力数据引入均值为 0,标准偏差为异常最大值 5 % 的高斯随机噪声,加噪异常等值线如图 7(a)所示。图 7(b)为理论模型 3 含噪重力异常 Hough 变换提取边界结果,图中黄色虚线为理论模型的实际位置,看出此时基于 Hough 变换提取的边界能够准确地刻画出深浅部模型的边界。高频噪声的引入导致提取结果中出现了较小的波动,不影响后续地质解释。该模型测试进一步佐证了基于 Hough 变换提取边界方法的适用性,针

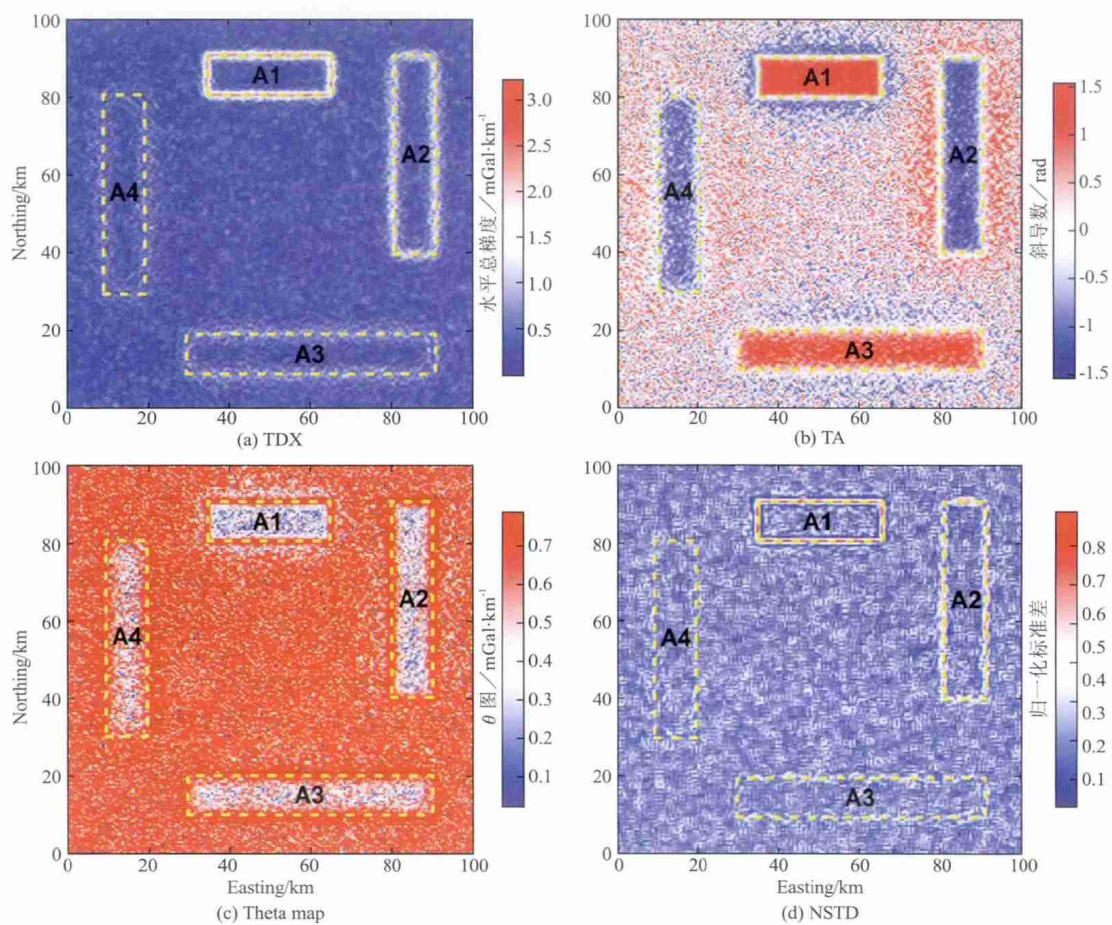


图 6 基于导数变换及组合的边界提取方法应用于图 5(b)所示含噪声重力数据结果
 Fig. 6 The result of noise gravity in fig. 5(b) based on the method of derivative transform and boundary extraction

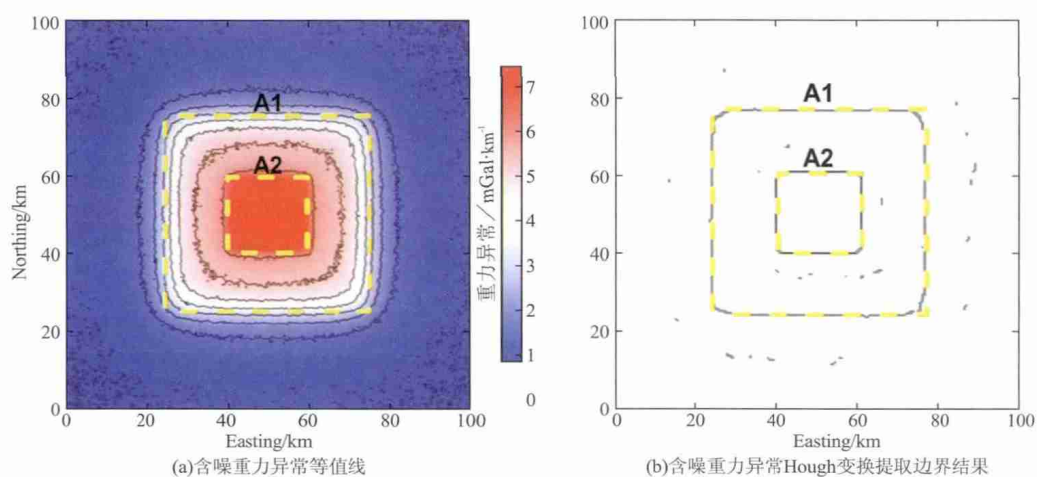


图 7 理论模型 3 试验结果
 Fig. 7 The test result of theoretical model 3

对该模型 Hough 变换计算时间与前述模型基本一致。

4 实际数据处理

本节将基于 Hough 变换的重磁数据线性特征提取技术应用于满都拉地区实测磁异常数据的处理中,该数据采集点距为 40m,磁法勘探的目的是为了探寻地下铁矿的位置^[35,36]。图 8(a)所示

为研究区化极磁异常,图 8(b)为研究区地质简图,看出研究区的整体构造呈东南向分布,在研究区中部存在一明显局部高异常,在其北部存在伴生局部低异常。图 8(b)所示为该研究区的地质简图,根据已有文献介绍该研究区以新元古代陆相沉积为主,研究区内广泛地分布北西向的含铁丰富的岩体,北西向含铁岩体是引起该区磁异常的主要因素^[36]。后续边界识别将在此数据上进行,并与已知的地质边界进行对比分析。

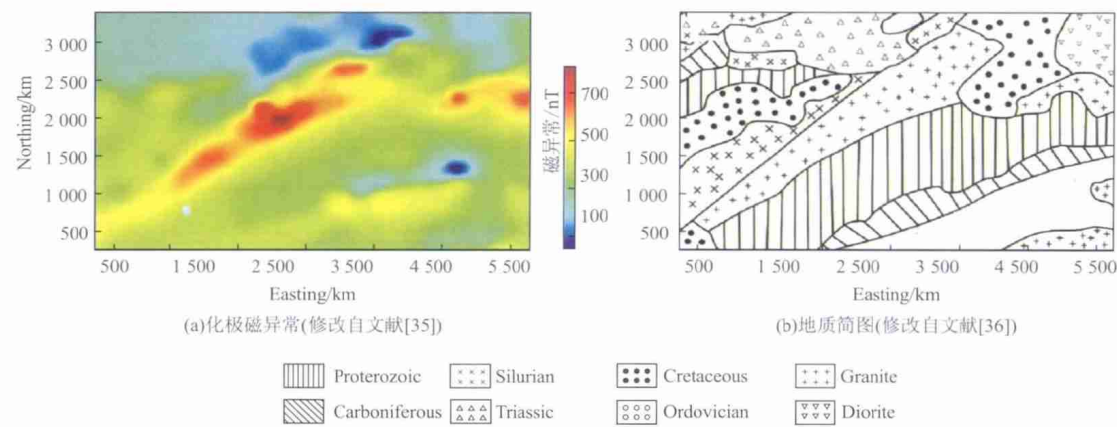


图 8 研究区化极磁异常和地质简图

Fig. 8 The polar magnetic anomalies and geological sketch in the study area

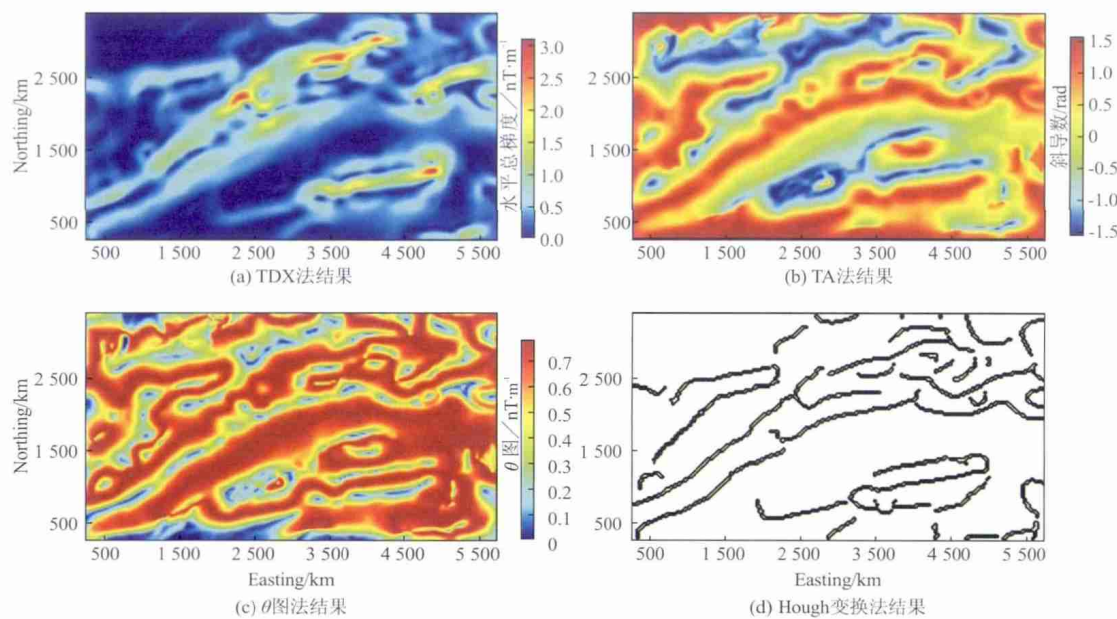


图 9 不同方法的边界增强结果

Fig. 9 Boundary enhancement result by using different methods

为了对比展示该方法的可行性,三种常规的基于导数变换及组合的边界提取方法被应用于图 8(a)所示化极磁异常数据以进行比较,所采用的方法包括 TDX 法,TA 法和 θ 图法。图 9(a)~图 9(d)所示分别为四种不同方法的边界增强结果。TDX 法能够较好地刻画出幅值较大异常的边界,而对于幅值相对较小的区域异常刻画相对模糊。TA 法及 θ 图法的最大值给出了地下矿体之间的边界。图 9(d)所示为 Hough 变换法的结果,实际数据的 Hough 变换计算耗时约 15 s,从该结果中可清晰地看出异常体之间边界的赋存状态。Hough 变换识别出的边界大体呈北西向分布,引起研究区中部大型磁异常的地质体北部边界刻画得较为清晰,识别位置与已有地质简图的地层边界基本吻合。该主体磁性岩体的南侧边界被其他岩性的小块岩体切为多个不连续边界。基于该识别结果,在研究区的北东区域出现了众多不连续的较小边界,这些不连续边界的真实性需要用更加精细的地质资料进行分析。

5 结 论

本次研究利用 Hough 变换进行重磁数据处理,基于此识别重磁数据中包含的线性特征,对应于地质体边界和断裂构造平面展布特征等信息。并且建立了不同理论模型进行了算法测试,计算分析表明该方法能够较准确地提取出重磁数据边界信息。与常规基于导数变换的重磁数据边界提取方法相比,该方法具有较好的噪声鲁棒性。同时将方法技术应用于实际磁法资料的处理,处理结果与已有资料对应良好。另外,所有边界识别的结果均为数值计算的结果。因此,笔者建议使用过程中需结合详细地质地球物理资料进行结果的合理筛选解释以增加结果的可靠性。

参考文献:

- [1] 曾华霖. 重力场与重力勘探[M]. 北京:地质出版社, 2005.
- [2] 管志宁. 重力场与重力勘探[M]. 北京:地质出版社, 2005.
- [3] Nabighian M N, Ander M E, Grauch V J S, et al. Historical development of the gravity method in exploration[J]. *Geophysics*, 2005, 70(6): 63-89.
- [4] Nabighian M N, Grauch V J S, Hansen R O, et al. The historical development of the magnetic method in exploration[J]. *Geophysics*, 2005, 70(6): 33-61.
- [5] 王明, 郭志宏, 何辉, 等. 基于反双曲正切的位场边界识别技术[J]. *物探与化探*, 2013, 37(4): 655-663.
- [6] 柳建新, 孙欢乐, 陈波, 等. 重磁方法在国内外金属矿中的研究进展[J]. *地球物理学进展*, 2016, 31(2): 713-722.
- [7] Wang J, Meng X H, Li F. Improved curvature gravity gradient tensor with principal component analysis and its application in edge detection of gravity data[J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2015(118):106-114.
- [8] 王俊, 孟小红, 陈召曦, 等. 交叉梯度理论及其在地球物理联合反演中的应用[J]. *地球物理学进展*, 2013, 28(4): 2094-2103.
- [9] 王俊, 孟小红, 陈召曦. 卫星重力噪声滤波处理方法研究[C]//北京:中国地球物理学会年会, 2011.
- [10] 冯志民. 1:20 万区域重力资料二次开发在宁夏煤田预测中的作用[J]. *工程地球物理学报*, 2015, 12(6): 760-765.
- [11] 黄理善, 敬荣中, 曾晖, 等. 广西钟山县珊瑚钨锡矿综合地球物理方法勘查[J]. *工程地球物理学报*, 2016, 13(3): 374-381.
- [12] 朱丹, 刘天佑, 代小强. 宁夏卫宁北山金场子—二人山岩体重磁资料处理解释[J]. *工程地球物理学报*, 2015, 12(6): 766-771.
- [13] Evjen H M. The place of the vertical gradient in gravitational interpretations [J]. *Geophysics*, 1936, 1(1):127-136.
- [14] Coedell L, Grauch V J S. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin: New Mexico, in J. W. Hinze, ed., *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps*[C]//SEG, 1985:181-197.
- [15] Miller H G, Singh V. Potential field tilt - A new concept for location of potential field sources [J]. *Journal of Applied Geophysics*, 1994(32):213-217.
- [16] Fedi M, Florio G. Detection of potential field source boundaries by enhanced horizontal derivative method [J]. *Geophysical Prospecting*, 2001, 49(1):40-58.
- [17] Wijns C, Perez C, Kowalczyk P. Theta map: edge detection in magnetic data [J]. *Geophysics*, 2005, 70(4):39-43.
- [18] Cooper G R J, Cowan D R. Edge enhancement of potential field data using normalized statistics [J]. *Geophysics*, 2008, 73(3):H1-H4.

- [19] Wang J, Meng X H, Li F. New improvements for lineaments study of gravity data with improved Euler inversion and phase congruency of the field data [J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2017 (136): 326-334.
- [20] Ma G Q, Liu C, Huang D N. The removal of additional edges in the edge detection of potential field data [J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2014 (114):168-173.
- [21] Guo L H, Gao R, Meng X H. A hybrid positive-and-negative curvature approach for detection of the edges of magnetic anomalies, and its Application in the south China sea [J]. *Pure and Applied Geophysics*, 2015, 172(4):2 701-2 710.
- [22] Li L L, Ma G Q, Du X J. Edge detection in potential-field data by enhanced mathematical morphology filter [J]. *Pure and Applied Geophysics*, 2013, 170 (4), 645-653.
- [23] Yuan Y, Yu Q. Edge Detection in potential-field gradient tensor data by use of improved horizontal analytical signal methods [J]. *Pure and Applied Geophysics*, 2015, 172(2):461-472.
- [24] Hough P V C. Method and means of recognizing complex patterns. U S patent:3069654, 1962-12.
- [25] 曾接贤, 张桂梅, 储珺, 等. 霍夫变换在指数函数型曲线检测中的应用[J]. *中国图象图形学报*, 2005, 10(2): 236-240.
- [26] 栾帅, 尹红娟. 基于霍夫变换的足球场标志线检测 [J]. *计算机与数字工程*, 2017, 45(1): 152-155.
- [27] 庞存锁, 侯慧玲, 韩焱. 基于霍夫变换的高速微弱目标检测算法[J]. *电子与信息学报*, 2012, 34(3): 754-757.
- [28] 赵威威. 基于改进 Hough 变换的检测前跟踪方法 [J]. *制造业自动化*, 2010, 32(6): 243-246.
- [29] 李建, 张其栋. 基于霍夫变换的遥感图像城市道路的提取识别 [J]. *电脑知识与技术*, 2017, 13(3): 172-174.
- [30] 洪旭程, 李秀荣. 隧道衬砌检测中探地雷达图像的自动识别[J]. *工程地球物理学报*, 2015, 12(6): 828-832.
- [31] 朱炼, 李才明, 姚晓峰, 等. 航磁对南冈底斯东段大型斑岩型矿床的预测[J]. *物探与化探*, 2013, 37 (1):53-58.
- [32] 傅嘉政, 杨少敏, 刘浩. 基于小波变换和霍夫变换的高分辨率遥感影像道路提取[J]. *测绘地理信息*, 2015, 40 (4): 48-50.
- [33] 彭诚, 邹长春. 检测井壁图像上平面地质特征的改进霍夫变换[J]. *计算机应用*, 2015, 35(6):1 726-1 729.
- [34] 陈雷, 肖创柏, 禹晶, 等. 自适应聚类 Hough 变换及地震断层检测[J]. *高技术通讯*, 2017, 27(3): 193-202.
- [35] 陈国强, 马国庆. 位场数据解释的 Theta-Depth 法 [J]. *地球物理学报*, 2016, 59(6): 2 225-2 231.
- [36] Ma G Q, Liu C, Li L L. Balanced horizontal derivative of potential field data to recognize the edges and estimate location parameters of the source[J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2014(108): 12-18.

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2018.01.10

引用格式: 陈洁,高子弘,杜磊,等.海岸带数字航空摄影质量控制与评价[J].中国地质调查,2018,5(1):66-72.

海岸带数字航空摄影质量控制与评价

陈洁^{1,2}, 高子弘¹, 杜磊¹, 李京¹

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101)

摘要: 随着机载 POS 系统和数字航空摄影技术应用于海岸带地形测量, 水线曲折、水域面积广阔、滩涂陡缓不一、具有潮汐变化等多因素给海岸带航空摄影质量控制带来诸多问题。因此, 为了得到优质的调查结果, 需对获取的航空摄影资料进行质量评价。通过分析航空摄影作业过程及获取成果类别, 从中选取能够全面衡量航空摄影质量的指标元素, 对这些元素加以预先控制以提高最终成果质量; 基于专家经验法和数学统计法对各指标元素赋予权重, 提出了全要素直接参与的加权法对航空摄影数据质量进行评价; 归纳了在获取与处理过程中影响质量的各子元素间的相关性, 可利用该特点在今后的作业中进行有针对性的改善或控制, 达到提高成果精度的目的。对渤海海岸带航空摄影数据的评价结果显示, 整体质量优秀, 与实际的制图结果吻合, 成果精度满足海岸带地质调查需求, 质量控制和评价方法可行。

关键词: 海岸带; 数字航空摄影; 质量评价; 加权法; 质量元素

中图分类号: TP79

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2018)01-0066-07

0 引言

我国拥有 18 000 余 km 的陆地海岸线、6 500 多个岛屿和约 300 万 km² 的管辖海域。然而, 目前尚未实现全海域以及全海陆交互带的地质调查, 尤其是海岸带和岛礁等的综合地质调查工作还未开展, 迫切需要高新遥感技术的支撑, 完成海岸带的动态监测与评估, 为海岸带综合地质调查提供详实的空间信息和可靠的地理底图, 推进海洋资源、能源与环境调查的发展。

POS 辅助数字航空摄影技术, 可在实施大面积测量的同时完成海岸线提取和浅海地形构建, 具有机动灵活、受客观因素影响小、覆盖面广的优点, 能快速获取大范围不同尺度的时空信息, 反映海岸线的动态变化^[1]。目前, 航空摄影地形测量工作都遵从统一的技术规程和作业标准, 不能有效满足海岸带特殊地理环境的要求, 制约了该技术的优势发挥和推广应用^[2]。不同于陆地地形, 海岸带调查具有

水线曲折、水域面积广阔、滩涂陡缓不一、具有潮汐且各地差异较大等作业特点。这些因素给海岸带航空摄影的质量控制带来了新的问题, 因此, 为了得到优质的底图资料, 对航空摄影的过程进行质量控制并对获取的遥感资料进行质量评价是十分必要的。

数字航空摄影是由影像采集、数据处理、空三测量和成图制作等一系列作业步骤组成的复杂工作流程, 每个环节的实施效果都会影响到最终的成果质量。所以, 要对海岸带地质调查应用需求展开针对性研究, 选取能够全面表达航空摄影质量的指标, 作为质量控制对象加以控制, 从数据获取源头消减误差; 根据不同作业步骤对最终成果的影响程度, 确定各自的权重; 采用加权平均法的思路对成果进行初步的质量评价, 将得到的结果与实际成图的效果进行对比, 验证评价方法的可行性。本文详细阐述了航空摄影质量控制的内容和技术方法, 为海洋测绘中的航空摄影成果质量提供评价依据, 以推动数字影像产品内容及形式的标准化, 利于作业单位间影像产品的交流。

收稿日期: 2017-06-26; 修订日期: 2017-08-01。

基金项目: 中国地质调查局“渤海海岸带航空物探遥感调查及应用(编号: DD20160150)”项目资助。

第一作者简介: 陈洁(1980—), 男, 高级工程师, 主要从事航空摄影、数据处理及遥感地质应用研究。Email: 6592296@qq.com。

1 质量元素与控制方法

数字航空摄影除了要考虑飞行质量和影像质量等常规质量因子外,还应顾及自身技术的特点及与海岸带地貌特征相关的质量元素。由于数字航空摄影存在机载数据的预处理过程,因此其质量因子需包括数据的质量检查;由于海岸带地物相对单一且目视特征不明显,给后续的区域网匹配和平差造成困难,影响区域网空三加密精度,为此空三作业效果也应作为海岸带航空摄影质量的评价因子。在进行海岸带数字航空摄影时,需考虑的质量元素包括飞行质量、影像质量、机载及地面观测数据质量和空三精度。上述4项质量因子在评价时可以进行单独检测与表达,但在对其进行约束和控制时,又相互影响。

1.1 飞行质量

根据《测绘成果质量检查与验收》标准中表23、表24规定^[3],常规的航空摄影成果飞行质量权重为0.3,包含航空摄影设计、重叠度和旋偏角等9个子元素。随着航空摄影硬件技术的提升,GPS的普及和定点曝光技术的应用使得质量控制较好;自动稳定平台的应用使控制自动化;曝光延时积分技术(time delay integral, TDI)的应用基本消除了对飞行质量的影响。本文将测区覆盖完整性、航线弯曲度、航迹保持、航高保持、像片倾斜角和影像位移6个子元素称为“硬件控制子元素”,即当航空摄影仪的硬件无故障时,其质量能保持在较好的等级范围内,对整个飞行质量基本不造成扣分项。其中,航空摄影设计、重叠度和旋偏角受人为及客观因素影响较大,是飞行质量的关键评价要素。

1.1.1 航空摄影设计

航空摄影设计是根据任务目标和需要解决的生产科研目标而制定的飞行计划。在进行设计时,除了要遵循常规的规范外,还要考虑海岸带的特殊地理地貌及气象特征。

航空摄影的成图精度是技术设计的根本依据。海岸带测量中,高程精度是关注的重点。根据立体像对空间前方交会几何关系(图1),空间点平面和高程坐标精度估算公式为

$$M_{xy} = k P_{\text{GSD}}, \quad (1)$$

$$M_z = M_{xy} / \tan \theta = k P_{\text{GSD}} / \tan \theta, \quad (2)$$

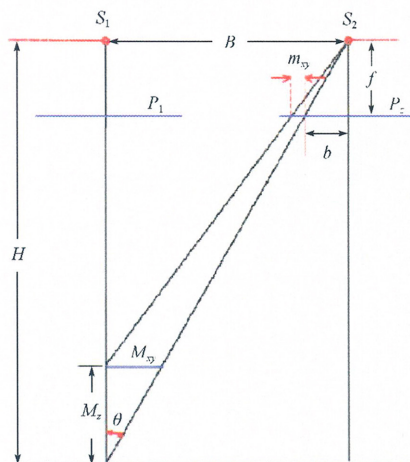


图1 立体像对空间前方交会几何关系

Fig.1 Geometrical relation of stereo image and space intersection

式中: M_{xy} 为平面精度; M_z 为高程精度; P_{GSD} 为地面空间分辨率(ground sampling distance, GSD); k 为能够分辨影像细节的最小像素值; $\tan \theta$ 为基高比。 P_{GSD} 和 k 越小, $\tan \theta$ 越大,则测图的平面和高程精度越好。通常情况下,当 $\tan \theta < 1$,则 $M_z > M_{xy}$,说明成图的高程精度始终要低于平面精度,当精度满足高程标准时,必定满足平面标准。

综上,在进行海岸带航空摄影计划时, P_{GSD} 的选取主要依据是否能满足成图高程测量精度,当 P_{GSD} 确定后,航空摄影设计的其他参数可依据相关规范和公式计算得出;海岸带地势平坦,一般不作分区处理;在航线布设时,可采用折线拟合海岸线走向的方法,需要特别注意的是,折线布设航线的拐点处要有100%的完全重叠,以满足航带及航带间的模型连接要求。在摄影季节和时间的选择方面,季节上要避开雨季和台风活动频繁时期,时间上除了要考虑光照条件外,还需避免海面对日光的强烈反射造成的镜面反射效应。另外,由于海岸带特殊性,要根据潮汐时间安排飞行,尽量在低潮期获取潮间带遥感影像资料。

1.1.2 重叠度

影像重叠度是飞行质量的直接反映。对于面阵传感器获取的影像,其航向和旁向重叠度是否合格是飞行质量检查应重点关注的要素。数字航空摄影航向重叠可按最小曝光间隔进行设置,利于影像匹配与测图,同时也解决了由于海上作业飞行气流复杂和飞机姿态难以保持造成的航向漏洞问题。

但航向的高度重叠使基高比变小,高程测量精度降低,这一问题需在空三作业前进行抽片处理予以解决。旁向重叠无特殊要求,按常规方案设置即可。

1.1.3 旋偏角

相邻 2 张像片的像主点连线与像幅沿航带飞行方向的 2 个框标连线之间的夹角称为像片的旋偏角^[4]。旋偏角过大会造成空三加密、相对定向和绝对定向等立体测图困难,成图精度下降,是飞行质量的重要子元素。根据飞机的真航向和 GPS 导航仪指示的飞机轨迹角度,同时要考虑摄区的磁偏角,计算出飞机的旋偏角,在整个飞行过程中,需要实时地监视检影器,及时根据飞机受气流影响变化状况,通过航空摄影仪座架进行跟踪调整消除。

1.2 影像质量

影像质量是指影像向人或设备提供信息的能力。在对数字航空摄影影像质量进行评价时,关注的主要因子为影像拼接质量和表观质量。受传感器硬件限制,最终成果影像图一般由多幅小影像拼接形成,受观测角度不同和照度不均影响,在拼接部分会出现错位和模糊重影等现象,特别是在纹理较少的区域(如水域)更为突出。为了避免这种情况的发生,在航空摄影设计时要尽量减少像主点落水概率,增大重叠度。表观质量主要考虑影像上的云、云影和雾霾的情况,对于常规的积雪、烟和阴影,在海岸带航空摄影时出现概率较少,另外需要注意的是大面积水域的镜面反射效应。选择光照条件好、能见度高的天气进行飞行作业,对于个别的云及云影,可利用高重叠的影像采取叠加镶嵌的方式进行消除;对于反光问题,则可综合考虑飞行时间、太阳方位和航线布设方向;对于云、云影和反光处全为水域的情况,可不作质量要求。

1.3 数据质量

数字航空摄影获取的数据涵盖了机载 GPS、惯性导航系统(inertial navigation system, INS)和地面基站,获得的影像也以数字形式进行表达,因此相比于传统的航空摄影数据,需要检查和评价的质量元素较多,且变化复杂。

1.3.1 影像数据完整性

影像数据的完整性是指在航空摄影过程中,相机是否按照原先计划好的方案进行曝光,有无发生

漏拍、少拍的情况。若不完整,应及时查看获取的影像数据是否满足最小重叠度要求,若不满足,则要补拍。补拍时需至少前后延长 2~3 条基线以满足制图接边需求,且补拍时间尽量与原时间相近,减少地物变化产生的误差影响。

1.3.2 机载和地面数据的连续性

在数据获取期间,机载 POS 和地面基站设备应确定是否发生卫星失锁和数据缺失的情况,且地面基站的观测时间早于机载设备开机时间、晚于机载设备的关机时间,确保差分解算的稳定性。

1.3.3 数据质量和精度

数据质量和精度是指机载 GPS、INS 和地面基站设备是否工作正常、记录的数据是否符合其硬件指标的要求,以及差分预处理的结果质量是否满足对应比例尺的规范精度要求。

1.3.4 附件质量

除获取的影像与 POS 数据外,航空摄影期间的飞行记录表、地面基站观测表和偏心分量量测表等也是后续数据处理和影像制作等工序的重要依据。

1.4 空三精度

海岸带航空摄影的特殊性在于水域面积大、水陆交汇处明显地物点少,对空三效果造成了直接影响。因此,在考虑飞行和影像质量的同时,还要顾及区域网平差时模型连接点、控制点和检查点的平面与高程精度。把空三精度作为质量评价元素是海岸带数字航空摄影有别于传统航空摄影质量评价的主要标志^[5]。

2 质量评价模型

2.1 评价模型建立

通过航空摄影质量因子分析,根据海岸带数字航空摄影作业流程将其质量控制与评价分为飞行、影像、数据和空三 4 部分,再考虑到海岸带的地域特征,细化出各质量控制子元素。具体的质量元素类目与评价指标如表 1 所示。

通过对表 1 中质量元素的评价,建立加权评价模型,即针对每一个质量子元素,设定不同的等级评价标准^[6],再根据不同元素对最终成果的影响程度赋予相应的权重,最终的质量优劣由各子元素的等级及其权重的加权值表示。

表 1 航空摄影质量控制元素与评价指标

Tab. 1 Quality control elements and evaluation indexes of aerial photography

质量元素 S_i	质量子元素 S_{ij}	评价指标
飞行质量	航空摄影设计	①GSD 的选取能否满足成图测量精度; ②航线布设是否经济、合理; ③摄影季节和时间的选择是否合理; ④摄影时间与潮汐时间的关系
	重叠度	①航向重叠度; ②旁向重叠度
	旋偏角	①旋偏角是否超限
影像质量	拼接质量	①是否有错位和模糊重影等现象; ②是否有明显拼接痕迹
	表观质量	①是否有云、云影和雾霾; ②是否有大面积反光; ③是否有影像反差等
数据质量	影像数据完整性	①是否按原计划方案曝光
	机载和地面数据的连续性	①GPS 数据有无失锁; ②GPS 数据有无缺失; ③INS 数据是否连续; ④地面与机载设备观测时间重叠情况
	数据质量和精度	①设备是否工作正常; ②记录数据是否符合其硬件指标要求; ③测量精度是否满足要求
	附件质量	①各类图表是否完整、正确
空三精度	平面精度	①控制点、检查点、连接点精度是否满足要求; ②中误差是否满足要求
	高程精度	①控制点、检查点、连接点精度是否满足要求; ②中误差是否满足要求

为了直观地衡量成果质量,在进行质量评价时,采用百分制得分法。首先将质量子元素得分预置为 100 分,根据评价标准对相应质量子元素中出现的缺陷逐个扣分,计算公式为

$$S_i = 100 - [a_1(12/t) + a_2(4/t) + a_3(1/t)], \quad (3)$$

式中: a_1, a_2 和 a_3 分别指质量子元素对应的缺陷等级数目; t 为扣分调整系数。按照航空困难类区的划分规则^[4], 海岸带地区参照 III 类地区执行, t 取值为 2。通过计算,将质量子元素的缺陷等级划分为 4 等,扣分标准为: A 类扣 $42/t$ 分, B 类扣 $12/t$ 分, C 类扣 $4/t$ 分, D 类扣 $1/t$ 分^[3]。当发生 A 类缺陷时,必定会进行重飞或者补拍,所以可将公式(3)简化为

$$S_i = 100 - (6a_1 + 2a_2 + 1/2a_3)。 \quad (4)$$

整体质量评分的加权评价模型计算公式为

$$S = \sum_{i,j=1}^n (S_{ij} p_{ij}), \quad (5)$$

式中: S 为整体成果的质量得分; S_i 为某个质量元素的等级得分; S_{ij} 为质量子元素得分; p_{ij} 为其对应的权重,所有权重相加之和等于 1。本文提出的质量加权评价模型并未采用常规的多层次加权质量评价方式,即根据不同的缺陷类型及成果质量特性赋予质量元素及子元素不同的权值,而是直接赋予子元素权重,使其直接参与最终成果评价计算。因为数字航空摄影每个作业环节既是单独的个体,同时具有很强的相关性,传统的质量评价往往在某一

个环节出现不合格情况时,就需要返工,否定了后续环节的可操作性和可弥补性。

加权评价模型中,子元素权重的确定不仅反映了航空摄影流程中各因素对最终质量的影响力,还直接决定了评价结果的客观性和正确性,主要分为专家经验法与数学统计法 2 大类。综合考虑海岸带航空摄影的特殊性,结合前人的研究成果和相关的规范标准^[3,5],基于专家经验法和统计法,得出本文评价模型中各质量子元素的权重值,其分布如表 2 所示。

表 2 质量元素权重分布

Tab. 2 Weight distribution of quality elements

质量元素	质量子元素	权重值
飞行质量	航空摄影设计	0.015
	重叠度	0.075
	旋偏角	0.025
影像质量	拼接质量	0.100
	表观质量	0.150
数据质量	影像数据完整性	0.100
	机载和地面数据的连续性	0.100
	数据质量和精度	0.150
	附件质量	0.050
空三精度	平面精度	0.085
	高程精度	0.150

通过公式(5)的计算,可将质量划分为 4 个等级: $S \geq 90$, 优秀; $75 \leq S < 90$, 良好; $60 \leq S < 75$, 合格; $S < 60$, 不合格。

2.2 子元素评价方法

需要评价的质量元素中,数据质量和空三精度可由其硬件厂商或通用的数据处理软件进行处理

后,对照相应比例尺的国家和行业规范进行直接评价。飞行质量评价仍然以人工质检为主。通过对以往研究成果^[7-9]的分析,归纳出一套基于质量检查软件和 POS 数据的全数字化飞行质量检查流程,完成了对飞行各质量元素的全数字化质量评价,摆脱了传统评价方式效率低、对作业人员要求高、判别标准不统一的缺点。影像质量则采用王鸿南等^[10]和余长慧等^[11]提出的全局点锐度算法与自适应拟合模版,辅以人机交互作业,能准确、快速地反映数字图像的清晰度和亮度等质量。评价流程如图 2 所示。

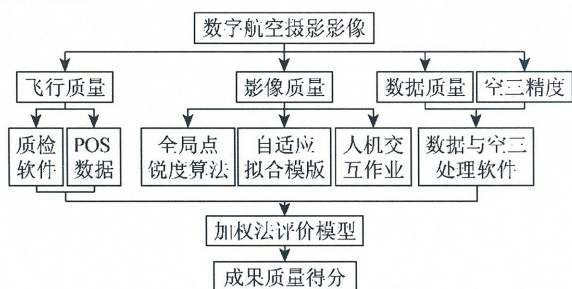


图 2 质量元素评价方法与流程

Fig.2 Evaluation method and process of quality sub elements

3 评价结果与分析

3.1 数据源

选择天津滨海新区至河北曹妃甸的渤海海岸带真彩色数字航空摄影数据作为数据源。共有 18 条航线,1 607 张像片,地面空间分辨率为 0.35 m,采用 DMC 框幅式数字航空摄影设备,集成 AERO-control IID 型惯性测量单元,地面基站使用 Trimble R5 全球定位仪。航空摄影时间分别为 2016 年 8 月 29 日 13:35—17:29 和 10 月 5 日 11:00—16:20,光照条件好,太阳高度角处于要求范围内。根据渤海湾潮汐变化统计,8 月 29 日 13:32 有一次高潮位,10 月 5 日 14:08 有一次低潮位,潮汐的持续时间为 1 h 左右。

3.2 结果与分析

按照提出的全要素直接参与的加权法质量评价模型,对航空摄影各个环节所包含的子元素进行质量检查、打分和统计,具体结果如表 3 所示。

表 3 全要素直接参与的加权法评价结果

Tab.3 Valuation results of total factors involved weighting method

质量元素	质量子元素	B 类缺陷个数	C 类缺陷个数	D 类缺陷个数	得分
飞行质量	航空摄影设计	2	2	5	81.5
	重叠度	1	3	0	94.0
	旋偏角	4	1	14	67.0
影像质量	拼接质量	0	3	6	91.0
	表观质量	1	4	10	81.0
数据质量	影像数据完整性	0	0	0	100.0
	机载和地面数据的连续性	1	0	0	94.0
	数据质量和精度	0	0	0	100.0
	附件质量	1	5	6	81.0
空三精度	平面精度	0	2	2	95.0
	高程精度	0	4	2	91.0

从表 3 中统计和各子元素得分可以看出:

(1) 飞行质量中,整个航空摄影过程基本按照计划实施,但摄影时间受空域协调影响难以顾及潮汐时间,因此航空摄影计划扣分较多;航向重叠按 80% 进行设计,基线长度短且曝光间隔小,飞行时海面气流复杂多变,稳定座架震动剧烈,造成旋偏角偏大,得分仅为合格。

(2) 影像质量中,受益于合理的航线布设,绝大多数像片的像主点均未落入水中,影像拼合效果好;海岸带地区湿气较大,飞行季节又处于夏季,影像效果受水汽干扰明显;另外,存在云干扰数

据,降低了表观质量。

(3) 数据质量中,出现了 1 次地面基站断电情况,但该架次采用精密单点定位方式,得到了满足要求的解算结果;利用后处理软件的相关功能,可弥补图表缺失和降低系统误差。

(4) 空三精度中,平面精度明显优于高程精度。值得注意的是,在不使用地面控制点而直接采用机载 POS 直接地理定位结果时,平面精度仍可满足 1:50 000 比例尺正射影像图制作要求^[12]。这在绝对定位精度要求不高、工期紧张、工作区难以进入时,可采用该手段直接成图作业。

按照公式(5) 计算得到最终成果的质量得分为91.37分,属于优秀级别。该评价方法克服了传统评价方式以某一作业环节的质量高低决定整体成果质量的缺陷,更加注重各质量元素之间的相关性,特别是互补性。本次实验数据的旋偏角、影像表观质量和数据附件记录表等均得分较低,但通过其他子元素的有效补充提高了质量等级。这在传统的评价方式中是没有考虑到的,同时为质量控制打开了思路,对某一作业环节的质量控制可以不仅仅停留在其所包含的子元素范围内,与其相关的子元素的质量控制往往也能达到类似的效果。

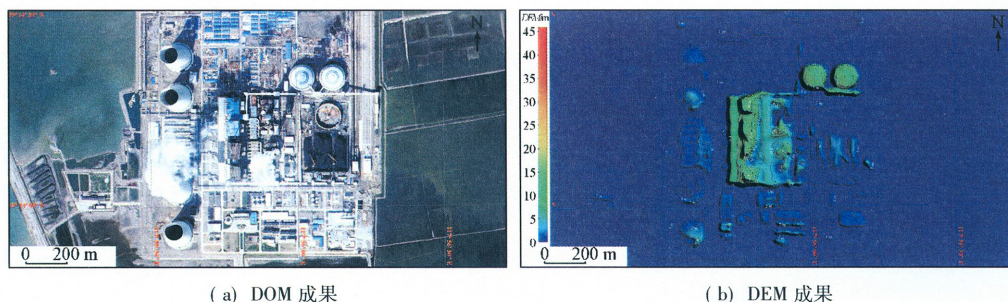


图3 天津北疆发电厂二期 DOM 和 DEM 成果

Fig.3 DOM and DEM results of Beijiang power plant in Tianjin

4 结论

(1) 本文提出的全要素直接参与的质量加权评价模型,利用航空摄影环节中的质量元素直接参与评价,有效克服了传统方法对某一技术环节过于敏感导致评价结果偏低的问题,充分发挥了子元素相互之间具有弥补关系的特性,评价过程对航空摄影质量的分析更有针对性,利用各环节的质量细节信息进行综合运算,评价过程更为精细,结果更加可靠。

(2) 基于海岸带航空摄影的特性,分析了影响成果质量的作业技术环节和质量元素,各元素间除了相干性,还具有互补性,这为质量控制提供了理论支撑,在某一质量元素难以进行人工干预时,可选择对其相关的子元素加以控制,从而得到满意的成果质量等级。但是,对子元素之间的相干性研究仅停留在定性分析,其定量化关系还需进一步研究。

(3) 综合考虑航空摄影飞行作业平台的巡航速度、潮汐时间与持续时间,以此为依据进行航空摄影设计,确保在典型潮汐时间段内,完成海岸带范

围的全覆盖观测,这样得到的数据可直接用于海岸线提取等调查分析。若不能在典型潮汐时间内完成全覆盖,则可考虑海岸线的具体观测时间,结合潮汐时间和海陆基准面转换等,采用内插拟合方式获取任意时刻的潮位。同时也可以考虑利用更为高效的无人机遥感技术在潮间带最低潮时进行海岸带数据采集,进一步丰富地质调查成果。

参考文献:

- [1] 滕惠忠,申家双,刘敏,等. 海洋测绘航空摄影测量体系建设思考[J]. 海洋测绘,2015,35(4): 11-15.
- [2] 申家双,翟京生,翟国军,等. 海岸带地形图及其测量方法研究[J]. 测绘通报,2007(8): 29-32.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 24356—2009 测绘成果质量检查与验收[S]. 北京: 中国标准出版社,2009.
- [4] 宋铁群,郎永刚,耿卫东,等. 浅谈航空摄影旋偏角对数字测图定向精度的影响[J]. 测绘与空间地理信息,2008,31(4): 160-163.
- [5] 王鑫. 海岸带、岛礁数字航空摄影质量综合控制与评价[D]. 郑州: 解放军信息工程大学,2012.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 19294—2003 航空摄影技术设计规范[S]. 北京: 中国标准出版社,2004.

- [7] 陈洁,杨达昌,杜磊,等. 框幅式航空摄影成果全数字飞行质量检查方法[J]. 国土资源遥感,2014,26(4):91-96.
- [8] 黄琳云. 关于框幅式数字航空摄影成果质检方法的探讨[J]. 江西测绘,2013(2):52-53.
- [9] 曾衍伟,易尧华,李倩,等. 框幅式数字航空摄影成果质量检查方法研究[J]. 测绘,2011,34(5):195-197,201.
- [10] 王鸿南,钟文,汪静,等. 图像清晰度评价方法研究[J]. 中国图象图形学报,2004,9(7):829-831.
- [11] 余长慧,曾衍伟. 数字航空摄影成果的自动质量检查系统设计[J]. 测绘信息与工程,2011,36(1):8-10.
- [12] 国家测绘局. CH/T 9009.3—2010 基础地理信息数字成果 1:5 000、1:10 000、1:25 000、1:50 000、1:100 000 数字正射影像图[S]. 北京:测绘出版社,2010.
- [13] 国家测绘局. CH/T 9009.2—2010 基础地理信息数字成果 1:5 000、1:10 000、1:25 000、1:50 000、1:100 000 数字高程模型[S]. 北京:测绘出版社,2010.

Quality control and valuation for digital aerial photography in coastal zone

CHEN Jie^{1,2}, GAO Zihong¹, DU Lei¹, LI Jing¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China;

2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Coastal zone has the characteristics of wide distribution and tide changes, and it is difficult to find ground control points in coastal zone. However, using airborne POS and digital aerial photography technology could overcome these shortcomings of traditional methods. Because the quality of the digital aerial photography is the determinant of result accuracy and geological interpretation, it is necessary to evaluate the quality of acquired digital aerial photography data. This paper firstly analyzed the operation processes of aerial photography and categories of results, selected the index elements which can comprehensively measure the quality of aerial photography, and then controlled these elements to improve the final quality. Secondly, based on the weight given to these elements based on the expert experience method and mathematical statistics, the authors proposed a weighting method involving total factors to evaluate the quality of aerial photography. Finally the correlation between sub elements which influence the quality during the obtaining and processing procedure was identified. And this feature could be used to improve or control quality elements to achieve the purpose of enhancing the accuracy of results. The valuation for aerial remote sensing data of Bohai Sea coastal zone shows that the overall quality is excellent and it matches the actual mapping results. The precision of the results could meet the needs of the coastal geological survey, and the quality control and valuation methods are also feasible.

Key words: coastal zone; digital aerial photography; quality valuation; weighting method; quality elements

(责任编辑: 刘永权)

隔离网闸在地质数据信息化方面的应用探索

刘宏娟

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京, 100083)

摘要: 本文通过对网络隔离技术的研究, 介绍了隔离网闸(GAP)的工作原理并对比了其优势和先进性。结合地质数据的特点和应用场景, 介绍了隔离网闸在地质数据信息化方面的应用实践。

关键词: 网络隔离; GAP; 协议剥离; 信息化

1 网络隔离

1.1 网络隔离的重要性

网络和信息化的发展极大地便利了信息交互, 为各行各业的生产发展带来了极大便利, 但网络的开放性和无界性对信息安全的威胁亦日趋复杂, 尤其是一些安全级别较高的部门如政府、军队、科研单位、银行、金融机构的敏感信息不能直接对外公布, 其核心网络必须与外界网络相对隔离。

区别于完全开放的互联网, 涉及国家秘密的网络空间都是涉密域, 须严格遵守保密规定。国家保密局颁布的《计算机信息系统国际联网保密管理规定》中明确规定: “涉及国家秘密的计算机系统不得直接或间接地与国际互联网或其他公共信息网络相联接, 必须实行物理隔离。” 不涉及国家秘密但涉及本部门单位或本系统工作秘密的网络空间是非涉密域, 不涉及国家秘密或工作秘密、向互联网完全开放的网络空间是公共服务域。不同安全级别的网络空间必须进行物理或逻辑隔离, 以保障网络与信息安全。^[1]

1.2 网络隔离技术及其发展

网络隔离(Network Isolation)是基于数据流动和交换基础上的一种网络安全技术, 能够在保障信息安全的前提下实现不同安全等级的网络之间的数据传递。根据隔离方法的不同可以分为物理隔离(Physical

Isolation)和协议隔离(Protocol Isolation)。物理隔离较好理解, 是指两个网络之间完全不存在直接或间接的物理线路连接, 是最可靠、最安全的隔离。协议隔离是指通过不可路由的协议(如IPX/SPX、Net BEUI)将两个或两个以上的可路由网络(如TCP/IP)连接进行数据交互, 从而达到隔离的目的。区别于物理隔离, 协议隔离属于虚拟隔离, 网络间存在着直接或可路由的物理连接, 具有一定的安全风险。

另一方面, 现实中不同安全级别的网络往往需要进行直接的数据交互, 甚至是实时的数据交互以提供必要的服务。在完全物理隔离的要求下, 传统方式是使用介质拷贝, 效率较为低下, 而且无法对拷贝交换的数据进行安全审查, 容易导致信息泄露、伪造等安全问题。网络隔离性与数据流通性、信息安全性与应用便捷性, 是网络安全一直以来需要取舍平衡的“矛”与“盾”。

截至目前网络隔离技术大致经历了五个发展阶段: 第一代是完全物理隔离; 第二代引入了硬件插卡, 独立控制硬盘或其他存储介质; 第三代利用转播系统分时复制数据实现了相对隔离; 第四代引入临时缓存器的概念, 使用单刀双掷开关分时访问缓存器来隔离内外网络; 第五代则是目前应用较为广泛的安全通道隔离技术, 通过专用的通信硬件和安全协议等机制, 从而实现网络隔离和数据交换。^[2]

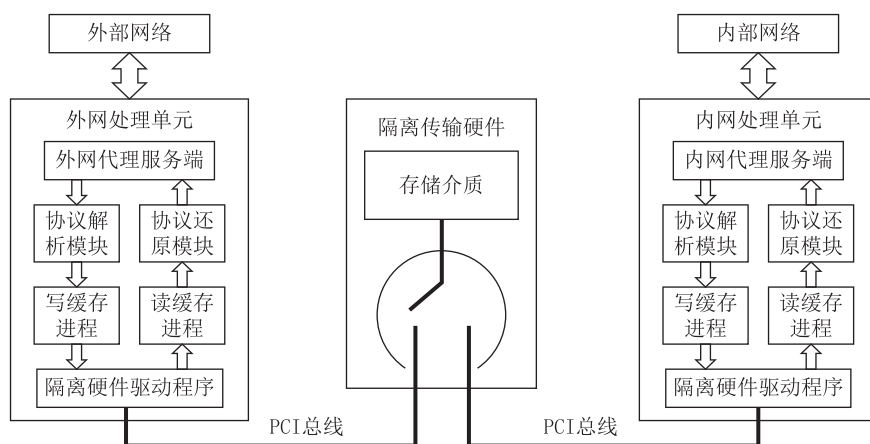
收稿日期: 2018-09-12

作者简介: 刘宏娟(1989—), 女, 硕士, 工程师, 从事自然资源信息化建设与研究工作。

2 隔离网闸的工作原理

隔离网闸（GAP）是第五代网络隔离技术的代表性成果，源于英语中的“Air Gap”，是通过专用硬件和传输协议实现两个或者以上的网络在不连通的情况下安全传输数据的网络安全技术。隔离网闸综合了物理隔离和协议隔离两种隔离技术，在物理层面上通过隔离传输硬件设备保证了任意时刻网络链路层都是断开状态从而阻隔网络攻击，同时又继承了协议隔离的高效性，使用专门开发的私有协议阻断 TCP/IP 协议及其他网络协议，从而杜绝网络协议漏洞。隔离网闸不仅能有效地把不同安全等级的网络隔离开来，还能高效地实现不同安全等级网络之间数据的安全交换，透明支持基于网络的应用。

隔离网闸的基本架构和原理是在需要隔离的系



以最常见的网络传输数据包处理为例，当数据流由外向内传输时，隔离网闸的外网处理单元会完整地接收所有的TCP/IP 数据包，经过入侵检测、防病毒、防恶意代码等一系列安全检查后去掉协议头，将数据包按照私有安全协议的格式分解重组成为私有数据块，由此切断了网络层之间通用的协议连接，再交由安全隔离和交换处理单元，将私有数据块“摆渡”到内网处理单元，通过身份验证的内部用户获取最终数据。^[4]由内向外的数据流处理亦然。

3 隔离网闸的应用实例

本文以航遥中心为例介绍隔离网闸在地质数据

统之间构建起一片“安全隔离区”，核心模块是物理隔离和协议剥离。物理上需要隔离的网络空间不能直接连接，通过类似空气开关的单刀双掷开关保障同一时间只有一方网络空间与隔离设备建立起非TCP/IP协议的数据连接。任何一方的网络包都不能直接进入另一方，必须在隔离区进行数据检查，对网络层协议进行数据提取和私有化安全协议再封装，确保隔离区交换的只是应用数据。因此隔离网闸所连接的两个或两个以上系统，不存在没有TCP/IP连接或其他通信连接，没有协议、没有包转发、没有网络命令，只有数据块的无协议“摆渡”，对固态存储介质只有“读”和“写”两个命令。因此隔离网闸和透明桥、IP over USB以及通过其他方式来进行包转发的隔离有着本质的区别。^[3]

信息化中的应用实践。目前航遥中心共有3个数据网络，接收原始卫星遥感数据的内网属于非涉密域，负责数据处理加工的数据网属于涉密域，向地质同业及社会大众发布推送信息的外网属于公共服务域。其中数据网中处理存储的地质数据是国家秘密，要求与互联网完全物理隔离，仅从内网中传输接收原始数据。内网与外网存在交互，向地质同业及企事业单位提供原始数据目录，共享推广地质测绘成果。整体上呈现出以下特点：

（1）数据传输量大。地质数据总量偏大，一项测绘数据总量约为100GB，单个文件大小在400MB以上。

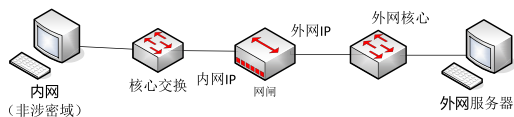
(2) 应用场景单一。不同于银行、政府等电子政务内网的应用场景, 航遥中心以数据文件传输和处理为主, 成果展示为辅, 暂不需要支持视频、邮件、通话等较为复杂的应用。

(3) 信息安全要求高。数据网属于涉密网, 对安全级别要求高, 与外网要做到物理隔离, 有效隔绝来自外部的恶意攻击, 防止内部涉密数据泄露。

(4) 通过读写速度快。网闸是不同安全级别网络速度的“瓶口”, 对于大量数据的响应处理以及内外网闸的切换速度, 是决定网络隔离效果的重要因素。

(5) 传输协议透明性。网闸对TCP/IP数据包进行协议解析并进行私有协议再封装, 对用户应当完全透明。此外还能够对私有协议及端口进行定制, 为业务发展留下出口。

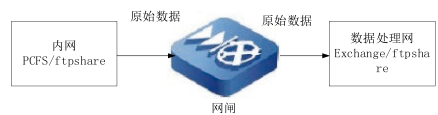
综合以上, 航遥中心采用的是天融信TR-91166-RB隔离网闸, 使用的是透传私有协议。在内网与数据网之间、内网与外网之间各部署一套隔离网闸来实现网络隔离。其中内网与外网之间的网闸设置仅为单向通过, 即仅允许内网向外网发送原始数据的元文件目录文件, 杜绝禁止外网向内网的一切命令、协议、链接、包转发、路由探测, 以最大程度地保护涉密信息的绝对安全。



内网与数据网之间的数据安全交互, 以ftp协议

为例, 在网闸的安全策略配置中放开TCP/IP协议的21端口 (ftp的定义端口), 数据包检测中仅对ftp协议端口的数据包进行协议解析及再封装, 从而实现内外网数据通过ftp协议进行传输交换。

经过实际测试, 隔离网闸不影响地质数据的快速传输, 实现了相互隔离的网络间数据交互, 对数据安全进行了有效保护。



4 结语

通过制定安全策略, 隔离网闸还可以实现强制性的分级隔离访问控制、可控的数据交换、权限管理、身份认证等安全功能, 大大提高数据交互的安全性和可靠性。同时我们也应该看到网络隔离自身的局限性, 作为安全技术的一种, 要与防火墙、入侵检测、代理服务器等基于逻辑机制的安全技术合理配合使用, 才能共同筑建好信息安全防护的铁壁铜墙。

参考文献:

- [1]公安部.信息安全等级保护管理办法[EB].北京:公安部.
- [2]2007网络隔离与网闸.万平国编著.机械工业出版社,2004.
- [3]贺文华.网络安全隔离GAP技术研究[J].科学技术与工程,2007(9).
- [4]炜炜,网络安全与网络隔离GAP技术的研究[J].微型电脑应用,2007(8):56-57

Application of Isolation Gatekeeper in Geological Data Informatization

Liu Hongjuan

(China Land Resources Geophysical Aviation and Remote Sensing Center, Beijing 100083)

Abstract: This paper introduces the principle working of isolated gatekeeper (GAP) and compares its advantages and advancement by the research on network isolation technology. Combined with the characteristics and application scenarios of geological data, this paper also explained the application practice of isolated gatekeepers in geological data informatization.

Keywords: Network isolation; GAP; Stripping of the agreement; Informatization

基于新疆哈密遥感地质资源评价综合应用试验场的 资源一号 02C 卫星绝对辐射定标研究

魏丹丹¹, 肖晨超¹, 梁树能¹, 甘甫平¹, 魏红艳¹

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 辐射定标是实现遥感数据定量化应用的关键步骤, 本研究在新疆哈密遥感地质资源评价综合应用试验场同步获取高、低反射率场地的卫星过境时的地表实测反射光谱数据、大气光学参数等, 应用反射率法求取资源一号 02C 卫星的辐射定标系数, 并与已发布卫星绝对辐射定标系数进行对比分析。此次试验的结果将对资源一号 02C 卫星的辐射特性进行监测及修正, 进一步推动我国国土资源业务卫星的产品业务化生产与应用。

关键词: 资源一号 02C 星; 绝对辐射定标; 反射率法; 哈密试验场—

Absolute radiometric calibration of ZY-1 02C satellite based on remote sensing and geological test field for comprehensive application and resources evaluation in Hami, Xinjiang

WEI Dandan¹, XIAO Chenchao¹, LIANG Shuneng¹, GAN Fuping¹, WEI Hongyan¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing
100083, China;)

Abstract: Radiometric calibration is a key step for realizing the quantitative application of remote sensing data. In this study, surface reflectance spectroscopy data and atmospheric optical parameters of satellites at high and low reflectivity sites were acquired in remote sensing and geological test field for comprehensive application and resources evaluation in Hami, Xinjiang. The radiometric calibration coefficient of the ZY-1 02C satellite was calculated using the reflectance-based method, and compared with the officially released result. The results of this experiment will monitor and revise the radiation characteristics of ZY-1 02C satellite, further promoting the production and application of China land and resources satellites.

Key words: ZY-1 02C satellite; absolute radiometric calibration; reflectance-based method; test field in Hami

辐射定标^[1,2]是指建立遥感传感器的数字化输出值 DN 与其所对应视场中辐射亮度值之间的定量关系的过程, 按照定标位置不同可分为三类, 实验室定标、机上和星上定标、场地定标, 这三种方法都可对传感器进行辐射定标, 只不过在从传感器研制到投入在轨运行的整个过程中, 它们分别在不同阶段发挥着不同的作用。本研究进行的定标为场地定标, 采用的方法为反射率法。场地定标^[3]指的是遥感器处于正常运行条件下, 选择辐射定标场地, 通过地面同步测量对遥感器的定标, 场地定标可以实现全孔径、全视场、全动态范围的定标, 并考虑到了大气传输和环境的影响。该定标方法可以实现对遥感器运行状态下与获取地面图像完全相同条件的绝对校正, 可以提供遥感器整个寿命期间的定标, 对遥感器进行真实性检验和对一些模型进行正确性检验。

反射率方法^[4-7]是在卫星传感器过顶时同步测量地面目标反射率因子和大气光学参量(如大气光学厚度、大气垂直柱水汽含量等), 然后利用辐射传输模型(考虑多次散射)计算出传感器入瞳处辐射度值。该方法所需的参量都是同步观测时获取的, 故只要保证其测量精度, 其定标结果便具有很高的可靠性。

1 研究区及数据准备

2014 年 8 月 30 日在哈密遥感地质资源评价综合应用试验场^[8]开展卫星过境同步测量试验, 在实验中测量并收集了地面反射率光谱数据、大气气溶胶光学厚度与水蒸气含量等大气参数、典型目标/地物几何坐

第一作者简介: 魏丹丹(1985-), 女, 山东潍坊人, 博士, 高级工程师, 主要从事国产卫星数据遥感应用、高光谱遥感信息提取等研究。Email: vddoris@foxmail.com。项目名称: 5m 红外多谱段卫星国土用户需求论证及应用示范研究。

通信作者: 梁树能(1983-), 男, 云南人, 高级工程师, 主要从事遥感地质应用等研究。

标参数等，为辐射定标系数反演与评价提供了数据源保障。

1.1 遥感影像

遥感影像是 2014 年 8 月 30 日资源一号 02C 卫星过境时的 0 级影像数据，来源于中国资源卫星应用中心。

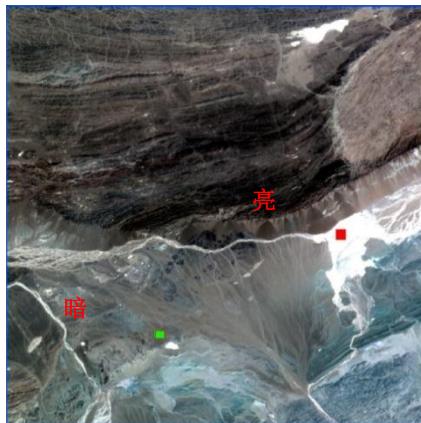


图 1 亮暗目标位置示意图

1.2 地面反射光谱

利用 ASD 光谱仪进行野外地面反射光谱采集，波长范围为 350~2500nm。在 350~1000nm 波长范围内，采样间隔为 1.4nm，波谱分辨率为 3nm，而在 1000~2500nm 波长范围内，采样间隔为 2nm，波谱分辨率为 10nm。光纤的视场角（FOV）为 25°。为了减少噪声影响，五条光谱曲线的平均作为地面采样点的光谱数据。采集时间为卫星过境前后 1 小时。

1.3 地理位置信息

光谱测量的同时用 GPS 记录采样点经纬度信息，包括目标区域的四角坐标，并拍摄采样点的数码照片。

1.4 大气光学参数测量

使用全自动跟踪太阳分光光度计 CE318，安装在目标区域附近空旷、无遮挡的区域进行测量，测量大气气溶胶光学厚度、水汽光学厚度等大气参数。

2 反射率法计算定标系数

将卫星传感器过境时同步测量的地面目标反射率和大气光学参量利用辐射传输模型计算出传感器入瞳处辐射度值。再利用零级数据计算光谱测量区域的亮暗目标的 DN 值，根据 DN 值和辐亮度计算辐射定标系数^[9]。反射率法的基本定标模型如图 1 所示。

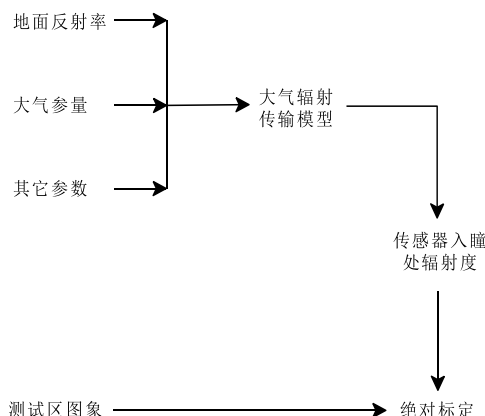


图 1 反射率法的基本定标流程

2 辐射定标实验与计算

利用地面光谱数据同步测量采集到的实验数据和 02C 卫星过境时得到的数据进行辐射定标系数的计

算。

2.1 计算影像亮暗目标均值

根据试验测定的经纬度坐标，在 0 级数据中选取对应的亮暗目标区域，对应 PAN/MUX 影像不同波段，分别求出数据平均值。

2.2 计算不同波段的地表反射率因子

通过测得的亮目标与暗目标区域的反射波谱，与太阳辐射光谱进行卷积，求得地表反射率因子。

2.3 计算不同波段的入瞳辐亮度

运行 MODTRAN 模型，求得入瞳辐亮度，输入参数如下：

温度：310.15K

能见度：23.52km

观测高度：780.1km

观测目标的海拔高度：1.105km

地表海拔高度：1.105km

卫星天顶角：PAN：172.83°，MUX：179.38°

地球半径：6356.75km

波段范围：490~1010nm

天数：242

目标纬度（北纬）：42.064

目标经度（西经）：265.134

格林威治时间：4.722

利用上述参数和 MORTAN 模型得到不同波段的入瞳辐亮度，单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ 。

2.4 计算定标系数

由公式 $L = A \cdot DN$ 计算定标系数。其中，A 为斜率，单位为， $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ 。

表 1 2014 年实验数据计算得到的定标系数

	P	M	M	M
波段	AN	UX1	UX2	UX3
定标系	0	0.	0.	0.
数 A	.585	737	672	594

3 结论与讨论

中国资源卫星中心 2015 年 7 月 2 日发布的 2014 年定标系数为：

表 2 2015.7.2 日发布定标系数

波段	PAN	MUX1	MUX2	MUX3
定标系数 A	0.6422	0.6885	0.713	0.6544

单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ 。

为更直观地显示结果，分别利用计算的辐射定标系数和官方发布的辐射定标系数对 2014 年 8 月 30 日零级数据白板地区域进行辐射校正，并将校正结果进行对比，如表 3 所示。

表 3 2014.8.30 零级数据定标辐亮度比较

波段	PA N	MU X1	MU X2	MU X3
官方发布	144.	145.	151.	113.
系数计算的辐	6691	9559	1528	1792

亮度				
定标计算 系数计算的辐 亮度	131. 7688	156. 2028	142. 3653	102. 7148

单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ 。

本次实验使用模型与 2015.7 月发布的 2014 年定标系数方法一致，但计算结果存在一定差异，可能由以下几个方面因素引起：

（1）实验区域不同，本次同步光谱数据采集是在哈密遥感地质资源评价综合应用试验场开展，在测量反射率时，由于测量的目标地物不同，地表辐射特性存在差异；导致计算结果存在差异；

（2）选取的定标图像数据与公布定标数据所选的图像数据时相不一致，不同时间中国资源卫星应用中心发布多组定标系数，定标系数随着时间在变化。

（3）反射率测量是本次辐射定标的关键数据，其数据的采集精度将影响绝对辐射校正总精度。而影响测量精度的因素是多方面的，例如 ASD 的测量精度和定标精度、标准参考板的非朗伯特特性和放置水平度、场地的均匀性、测量期间太阳天顶角的变化、观测视场角的匹配度等。

本研究是在中国国土资源航空物探遥感中心在新疆哈密所建设的遥感地质资源评价综合应用试验场的野外辐射定标场地开展初步的辐射定标系数反演工作，后续将在中国遥感卫星辐射校正场敦煌陆面试验场等多地共同开展年度辐射定标工作，为遥感地质应用及数据质量监测奠定基础。

参 考 文 献：

- [1] MEYGRET A, SANTER R and BERTHELOT B. ROSAS a robotic for atmosphere and surface characterization dedicated to on-orbit calibration[C]. SPIE, 2011,8153,815311.
- [2] QIU G G. Development and calibration applications of automatic observation system on satellite radiometric calibration site[D]. Hefei: University of Science and Technology of China,2017.
- [3] 高海亮, 顾行发, 余涛, 等. 基于内蒙试验场地的定标系数真实性检验方法研究与不确定分析[J]. 中国科学:地球科学, 2013, 43: 287-294.
- [4] Gao H L, Gu X F, Yu T, et al. Method study and uncertainty analysis of calibration coefficients validation based on the Inner Mongolia test site [J].Science China:Earth Sciences, 2013, 43: 287-294.
- [5] Slater P N, Biggar S F, Holm R G, et al. Reflectance-and radiance-based methods for the in-flight absolute calibration of multispectral sensors[J].Remote Sensing of Environment, 1987,22(1): 11-37.
- [6] Thome K J, Crowther B G, Bigger S F. Reflectance-and irradiance-based calibration of Landsat-5 thematic mapper[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 1997, 23(4): 309-317.
- [7] Lee S G, Jin C G, Choi C U, et al. Absol radiometric calibration of the KOMPSAT-2 multispectral camera using a reflectance-based method and empirical comparison with IKONOS and QuickBird images[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2012, 6(1): 063594.
- [8] Chen W, Yan L, Li Z Q, et al. In-flight absolute calibration of an airborne wide-view multispectral imager using a reflectance-based method and its validation[J]. International Journal of Remote Sensing, 2013,34(6): 1995-2005.
- [9] 梁树能, 甘甫平, 魏红艳, 肖晨超, 张振华, 魏丹丹. 哈密遥感地质资源评价综合应用野外试验场建设进展[J]. 国土资源遥感, 2015,27(2): 8-14 [J].国土资源遥感, 2015, 27(2): 8-14.
- [10] LiangSN,GanFP,WeiHY,etal. Progress in construction of remote sensing and geological testfield for comprehensive application and resourceevaluationinHami,Xinjiang[J].RemoteSensingforLandandResources,2015,27(2):8-14.
- [11] 李娟, 冯炼, 庞小平. 针对 GF-1 遥感影像的基于影像与基于辐射传输模型的两种交叉定标方法比较[J]. 测绘学报, 2017, 46(7): 882-890.
- [12] LI J, FENG L, PANG X P. Comparion of the Cross-calibration Methods between Image-based and RTM-BRDF for GF-1 Images[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(7): 882-890.

岩心成像光谱仪数据处理方法研究及应用¹

董新丰^{1,2}, 闫柏琨^{1,2}, 李娜^{1,2}, 郑志忠³, 于峻川^{1,2}, 刘镭源^{1,2}, 陈耀文⁴

1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083;

2. 自然资源部航空地球物探与遥感地质重点实验室, 北京 100083;

3. 中国地质调查局南京地质调查中心, 南京, 江苏 210016;

4. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083

摘要: 近年来国内外在岩矿光谱分析与识别、高光谱遥感地质矿产应用研究等方面取得了快速的发展, 同时随着岩心成像光谱扫描仪不断升级及产业化推广, 这为开展岩心光谱数据采集、处理分析及应用提供了重要技术支撑。本文以满足岩心成像光谱数据工程化应用为出发点, 对其数据处理、信息提取等主要技术流程及方法进行了阐述, 并对蚀变矿物信息结果进行分析、评价。研究认为, 岩心成像光谱扫描仪获得的高光谱数据空间分辨率可达 1mm 以下, 光谱分辨率优于 10nm, 这对开展岩心钻孔精细矿物填图、岩性-构造识别、成岩成矿环境分析等提供了新的、重要的技术支撑, 将在基础地质研究、矿床成因研究、找矿预测等方面发挥重要作用。随着岩心成像光谱扫描仪的应用逐渐推广, 如何快速、高效地处理海量的岩心成像数据将变得更加紧迫。

关键字: 岩心成像仪, 高光谱, 图像拼接, 匹配度, 信息提取, 遥感地质

1 引言

随着高光谱技术发展, 成像光谱仪不断成熟, 高光谱数据源已由最初的卫星高光谱数据, 发展到现今的航空高光谱数据、地面高光谱数据乃至针对岩心扫描的高光谱数据, 其光谱分辨率也是越来越高。这也使得高光谱技术在地质矿产等领域的应用广度和深度在不断提高, 高光谱遥感“星-空-地-地下”立体式地质勘查模式逐渐形成。但是, 由于国内对岩心成像光谱扫描仪的研发工作相对滞后, 相较于其他高光谱数据, 岩心成像光谱数据的应用实践很少。目前仅有少量的关于岩心成像光谱数据处理及应用的相关报道(张川等, 2016, 李美玉等, 2017), 人们对其工程化应用及效果知之甚少, 这较大地制约了岩心成像光谱仪的应用推广。本文以中国地质调查局南京地质调查中心研制的具有自主知识产权的岩心成像光谱扫描仪为例, 根据其数据特点, 对其进行了数据处理及信息提取。并从工程化应用角度出发, 对其应用效果进行了分析、评价。

2 数据

由中国地质调查局南京地质调查中心研制的岩心成像光谱扫描仪, 其相关性能指标如下:

可见近红外谱段(VNIR)数据光谱范围: 351.608–1045.36nm, 短波红外谱段(SWIR)数据光谱范围: 847.291992–2627.139893nm; 光谱分辨率: VNIR 光谱采样间隔均小于 1nm, SWIR 光谱采样间隔为 7nm; 波段数: VNIR 波段数为 1148 个, SWIR 波段数为 256 个; 空间分辨率: 扫描

基金项目: 中国地质调查项目(编号: DD20160068)、国家重大仪器设备开发专项(编号: 2012YQ050250)

第一作者简介: 董新丰(1986–), 男, 工程师, 主要研究方向为高光谱信息提取及地学应用研究。E-mail: dongxinfeng229@163.com

仪探测器可见近红外谱段与短波红外谱段探元大小分别为 6.45 μm 、25 μm ，仪器焦距为 23mm，根据仪器与测试目标距离不同，其空间分辨率不同。如仪器与测试目标距离为 18cm，根据仪器研制方提供的上述研制参数，经计算可得 VNIR 空间分辨率为 0.05mm、SWIR 空间分辨率为 0.2mm。

数据获取时 VNIR 和 SWIR 数据分别获取，获得数据为反射率产品。

3 数据处理及分析

3.1 数据质量检查

在开展数据处理前，需要检查岩心成像光谱数据质量，经光谱质量检查及各波段信噪比分析，认为 VNIR 可用光谱范围为 440–1045nm；SWIR 可用光谱段为 993–2430nm。岩心成像光谱条带噪声不明显，仅在可用光谱数据的两端见有条状带噪声，但不影响应用分析。经噪声抑制后，条带状噪声可得到明显降低。

3.2 柱状岩心数据复原

为了提高岩心扫描效率，在获取岩心成像光谱数据时，是对整盘岩心进行同时扫描。图 1 是一景岩心成像光谱数据的真彩色图（图 1，左）。这对其工程化应用及后期数据分析、查询极为不便，因此，需要将分段的岩心盒扫描数据复原成最初整段的柱状岩心数据（图 1，右）。

根据岩心盒几何形态，开发了能够自动进行岩心轮廓检测识别及岩心裁剪方法，最后完成拼接（图 2）。

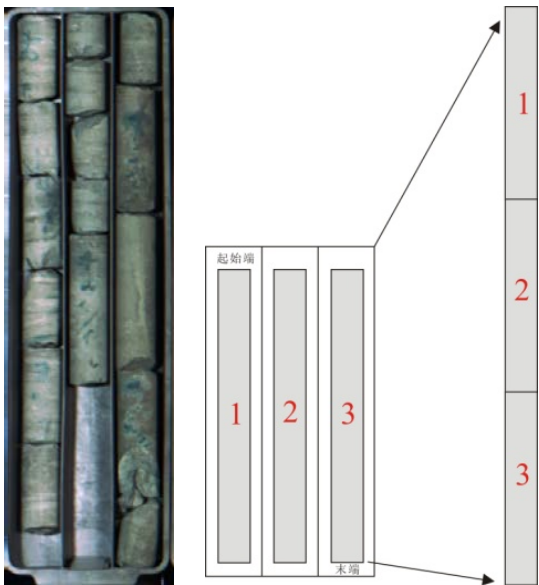


图 2 岩心盒实物图（左）及岩心数据柱状复原示意图（右）

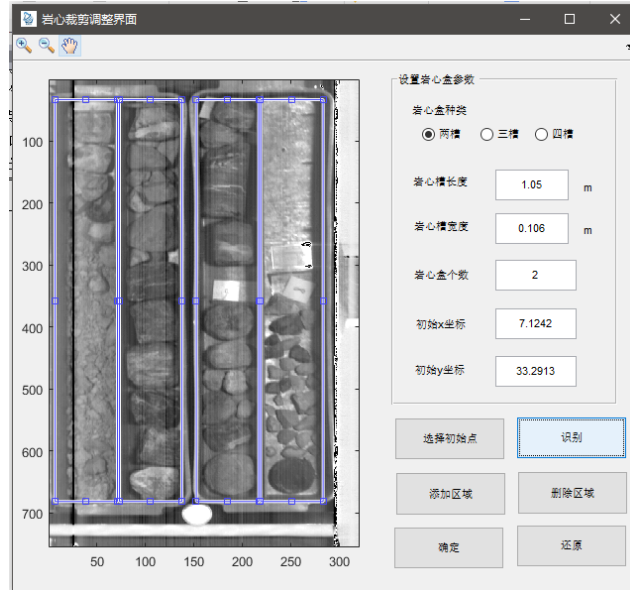


图2 岩心轮廓识别

3.3 波段融合

为了更充分地利用光谱信息，需要将 VNIR 和 SWIR 光谱段进行融合。首先，需将 VNIR 数据的空间分辨率重采样自 SWIR，保证两者空间范围一致。由于岩心成像光谱数据没有地理坐标，因此两者融合需要根据其同名点像元进行。另外，由于 VNIR 和 SWIR 是分别获取，在数据获取的过程，可能会造成局部空间位置变动，因此这种情况，还需要进行几何校正，一般以 SWIR 数据为参考，校正 VNIR 数据。

3.4 蚀变矿物信息提取

国内外发展的矿物信息提取方法有基于光谱相似性与基于光谱特征参量的两大类(Clark et al.,1990; Yuhas et al.,1992; Fenstermaker and Miller.1994; Chang.,2000; Freek.2006)，这两类矿物识别方法在识别准确率和精细程度上已逐渐无法满足岩心成像光谱数据的应用需求，同时在操作上也与工程化应用推广不相适应。

岩心成像光谱数据具有更高的空间分辨率和高光谱分辨率，其数量很大；相对于航天、航空高光谱数据，岩心成像光谱不受水汽波段影响，这就为矿物信息识别增加了更多信息。因此，需要开发一种针对岩心成像光谱数据的矿物信息提取方法，在保证识别矿物正确率基础上，要能够满足工程化应用。为此，提出了综合光谱匹配度与特征参量的信息提取方法，即在进行光谱匹配识别的基础上，再结合相关特征参量（最低吸收位置、吸收深度、对称度、斜率、面积等），不仅可实现矿物的准确识别，还可对类质同象矿物进行精细区分。为此，开发了相应的计算机程序，实现了批量化操作。

3.5 应用效果评价

将识别的蚀变矿物信息对应的岩心影像光谱与该矿物的 USGS 光谱库光谱进行对比，发现光谱曲线特征一致，说明识别准确性很好（图 3-5）。特别是当岩心中同时含量两种光谱特征较相似的矿物时，如明矾石和地开石矿物，利用综合光谱匹配度与特征参量的信息提取方法可以准确地对其识别和区分（图 4-5），这为其工程化应用打下了坚实基础。

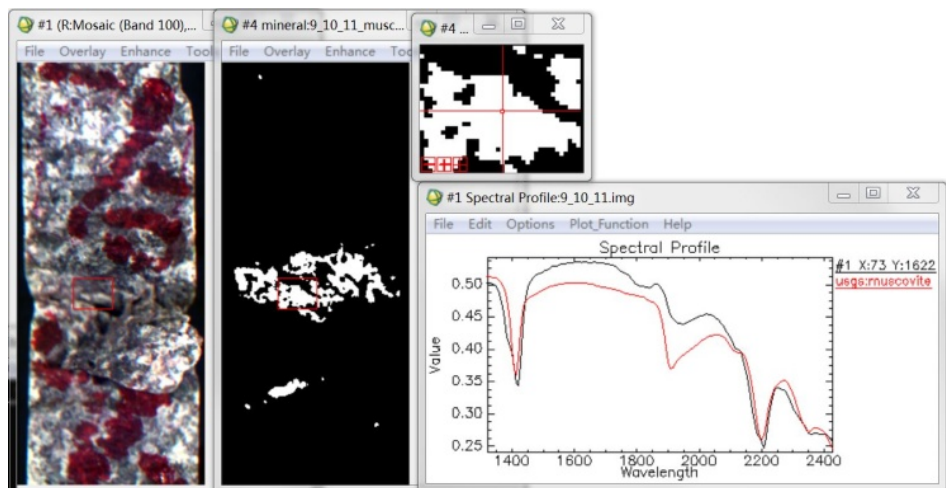


图 3 识别的云母/伊利石

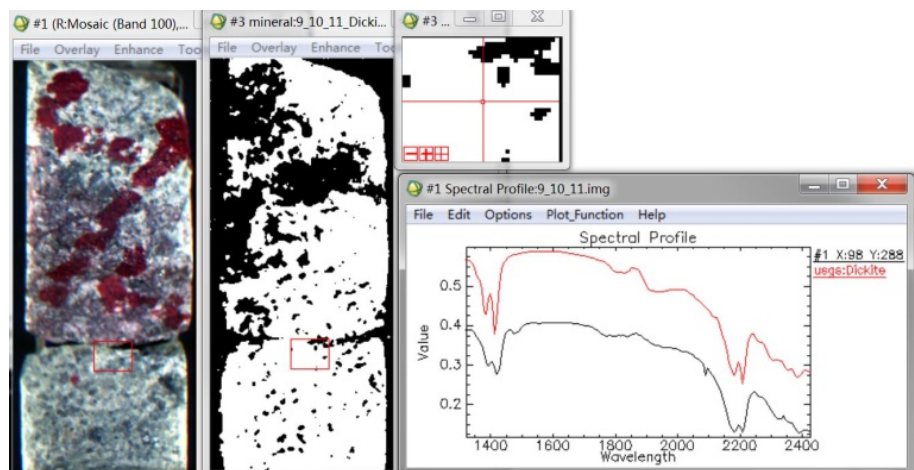


图 4 识别的地开石

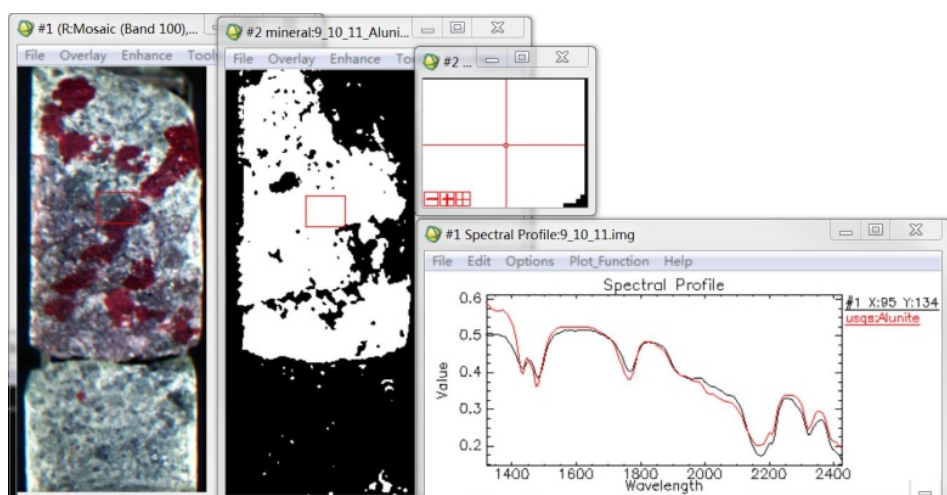


图 5 矿识别的明矾石

岩心成像光谱数据不仅可以准确识别出矿物种类信息、矿物相对含量信息，还可根据其分布形态及光谱特征对其形成其次及物化条件进行约束。如图 6 所示，可清楚地显示出云母/伊利石呈脉状分布在含金属硫化物细脉两侧，而地开石则分布在云母/伊利石外侧，由此认为，含金属硫化物细脉是形成于地开石化之后，代表着又一期热液活动，这为热液蚀变与矿化关系分析提供了非常直观、重要参考信息。

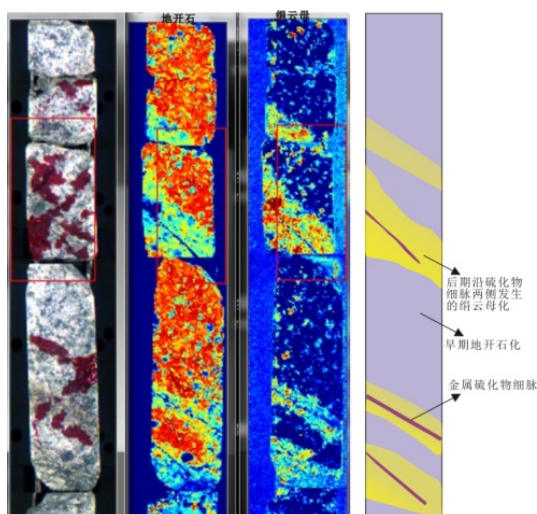


图 6 绢云母蚀变发育在含金属硫化细脉两侧，晚于岩石地开石化形成（真彩色影像图（左）、地开石（中）、云母（右））

4 结论

岩心成像光谱扫描仪具有超高的空间分辨率和光谱分辨率，可快速扫描获得高精度成像数据，实现了岩心的图谱合一。利用岩心成像光谱数据不仅可实现矿物信息的精细识别，还可根据其分布形态及组合关系，对岩心的岩性-构造进行判识，对矿物形成物化条件进行指示，大大地提高了高光谱技术在地质矿产领域的应用深度。虽然本文提出的矿物信息方法具有较高的准确性，且能够实现批量化处理，但是离实现岩心中所有矿物信息的全自动化识别和提取还有一定差距。

参考文献(References)

- Chang C.L. 2000. An information-theoretic approach to spectral variability, similarity, and discrimination for hyperspectral image. *IEEE Trans. Information Theory*, 46(5): 1927 -1932.
- Clark R.N, King T.V.V, Klejwa M, et al., 1990. High Spectral Resolution Reflectance Spectroscopy of Minerals. *Journal of Geophysical Research*, 1990, 95: 12653 -12680.
- Fenstermaker L.K, Miller J.R. 1994. Identification of fluvially redistribute mill tailings using high spectral resolution aircraft data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1994, 60(8): 989 -995.
- Freek Van der Meer. 2006. The effectiveness of spectral similarity measures for the analysis of hyperspectral imagery . *International Journal Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(1) : 3 -17.
- LI M Y, ZHU L J, WANG J H. 2017. Drilling core alteration mineral information extraction and geological significance analysis on Hypspx data. *Uranium geology*, 33(4):246-251(李美玉, 朱黎江, 王俊虎.2017. 基于 HySpex 成像光谱数据的钻孔岩心蚀变矿物提取及其地质意义. *铀矿地质*, 33(4):246-251
- Yuhas R.H, Geotz F.H.A, Boardman J.W. 1992. Discrimination among semi-arid landscape endmembers using the Spectral Angle Mapper (SAM) algorithm . *Summaries of the Third Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*[C]. Pasadena, CA: JPL Publication, 147-149.
- Zhang C, Ye F W, Xu Q J, Wu D, Che Y F. 2016. Drill core hyperspectral technology system and its application in mineral prospecting. *Geological science and technology information*.35(6):177-183(张川, 叶发旺, 徐清俊, 武鼎, 车永飞. 钻孔岩心高光谱技术系统及其在矿产勘查中的应用. *地质科技情报*, 35(6):177-183)

Research and application of data processing method for core imaging spectrometer

DONG Xinfeng^{1,2}, YAN Bokun^{1,2}, LI Na^{1,2}, ZHeng Zhizhong³, YU Junchuan^{1,2}, LIU Rongyuan^{1,2}, CHEN Yaowen⁴

1. *China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China;*
2. *Key Laboratory of Aero Geophysics and Remote Sensing Geology of China Ministry of Natural Resources, Beijing 100083, China;*
3. *Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China*
4. *School of Earth Science & Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*

Abstract: In recent years, rapid development has been made in the application of rock and mineral spectrum analysis and recognition, and hyperspectral remote sensing to geology and mineral resources. At the same time, with the continuous upgrading of the core imaging spectrum scanner, it provides important technical support for the collection, analysis and application of core spectral data. In this paper, the main technical processes and methods of data processing and information extraction are described in order to meet the engineering application of core imaging spectral data, and the results of altered mineral information are analyzed and evaluated. It is believed that the spatial resolution of hyperspectral data obtained by the core imaging spectrum scanner is less than 1mm, and the spectral resolution is better than that of 10nm, which provides new and important technical support for the fine mineral mapping, lithologic structure identification, diagenesis and metallogenic environment analysis of core boreholes, and will be used in basic geological research and deposit formation. With the gradual application of core imaging spectrometer, how to deal with massive core image data quickly and

efficiently will become more urgent.

Key words: core imager, hyperspectral, image stitching, matching degree, information extraction, remote sensing geology

Supported by China Geological Survey Project (No. DD20160068) and National major scientific instrument and equipment development special (No. 2012YQ050250).

GXL 二次开发在国产卫星数据处理中的应用研究

张伟, 齐建伟, 张丹丹, 韩旭, 傅征博, 王界, 陈颖

中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083

摘要: GXL(GeoImaging Accelerator)作为新一代分布式遥感数据处理平台, 其快速高效灵活的处理模式在国产卫星数据处理中发挥着重要作用。本文基于 GXL 软件框架 MVC(Model View Controller)模式展开分析, 分别从视图端、控制端以及模型端, 探索二次开发模式, 通过开发新型算法处理模块和分布式程序部署, 进而增强卫星数据处理功能算法。以高分一号(GF1)、高分二号(GF2)国产卫星数据处理为例进行实验验证, 实验结果表明 GXL 二次开发功能不仅可以灵活扩展卫星数据处理流程, 还可以有效提高国产卫星产品生产效率和更好地满足各行业对国产卫星产品的业务需求。

关键词: GXL 二次开发 国产卫星 算法模块 处理流程 优化效率

中图分类号: TPXXX

文献标志码: A

引用格式: 张伟, 齐建伟, 韩旭, 傅征博. 2018. GXL 二次开发在国产卫星数据处理中的应用. 遥感学报, XX(X):X-XX

[DOI:10.11834/jrs.20132361]

1 引言

随着我国航天技术的不断革新, 国产卫星遥感数据呈指数级增长, 数据量在满足各行各业需求的同时, 也对卫星数据处理提出了更大的挑战, 传统单机作业模式已然不能满足, 在计算机、高速网络、大型存储技术快速发展的年代, 卫星数据处理平台亟须向集群式自动化转变(王伟等, 2016)。

GXL(地理成像加速器)是加拿大 PCI 公司设计的新一代集群式遥感数据处理平台, 可对航空、卫星遥感数据进行流程自动化生产, 已大规模应用于国外卫星产品的生产中。在高分辨率卫星影像正射产品生产, GXL 依据控制资料对 QuickBird、GeoEye、WorldView-1\2 等进行分布式自动化处理, 在产品精度满足生产要求的同时, 大幅缩短生产周期, 降低生产成本(米超川等, 2014; 杨静等, 2014)。针对国产卫星数据处理方面, 张世群等(2014)利用 PCI GXL 在短时间纠正了包含 ZY3 卫星在内的 5600 景影像, 成果精度满足地理国情监测项目要求, 为地理国情后续工作提供了可靠的数据基础。乔晓虹等(2015)在第一次地理国情普查中验证了结合 ZY1(02C)\GF1\ZY3 国产卫星, 运用 GXL 提供的影像配准影像模式可以较大程度上减小 1:50000DEM 纠正时点核准正射影像与信息采集影像套合误差, 为后续时点核查工作提供可靠的地理精度保障。

由于卫星数据源不断增加, 数据处理的复杂度逐渐加大, 仅利用 GXL 平台中固有功能模块很难满足新时期大数据模式下的卫星数据处理需求。虽然有学者(李芹, 2015)结合其它卫星数据处理平台(如

GeoWay CIPS、ERDAS 等)开发新功能模块用以补充 GXL 不足, 或者基于 GXL 开发功能重新设计遥感影像生产管理系统(王伟等, 2017), 并扩展新功能优化 GXL, 用以实现国产卫星数据便捷化处理, 但这些都是建立新系统或者多个系统之间协同交互的基础上进行的, 实现难度大, 对于普通 GXL 使用者并不实用。

GXL 平台的强大不仅在于其提供高效可靠的固有功能模块, 还在于其具有高度灵活的可扩展性, 其提供的二次开发接口可快速完成自建功能算法的流程化嵌入, 扩展并优化数据处理流程。然而, 基于此方面并应用于国产卫星流程化处理的研究相对较少, 为此, 本文重点研究利用 GXL 平台的二次开发功能, 扩展优化国产卫星数据处理 workflow, 并有效提高国产卫星产品的生产效率和便捷化处理。

2 GXL 二次开发基本原理

2.1 GXL 软件框架原理

GXL 软件是面向计算机集群的数据处理软件, 是以网络为连接基础的, 应用于分布式多机的超算平台。其主要功能组件由客户端、数据存储服务器、作业调度控制器、作业执行处理器四部分组成(如图 1 所示)。

整体数据处理流向描述如下: 客户端负责提交数据处理任务参数, 涉及人工交互和作业状态显示, 主要以浏览器方式展现于用户, 主界面如图 2 所示, 用户可在任一具有浏览器的电脑上启动 GXL 软件, 通过选择功能模块创建流程化作业即可完成任务提交与数据处理。作业控制器根据提交作业对其分析

收稿日期: 2018-xx-xx; 修订日期: 2018-xx-xx; 优先数字出版日期: 2018-xx-xx

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“国产卫星数据质量改进与地质矿产综合应用示范”(编号: 121201003000172003)资助
第一作者简介: 张伟(1988—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为遥感数据处理、摄影测量与遥感应用。E-mail: dave6806@163.com
通信作者简介: 齐建伟(1974—), 女, 教授级高工, 主要研究卫星数据处理与应用。Email: 29970092@qq.com

并结合网络寻找可用的作业处理服务器,将作业任务参数通过数据库链接传递于可正常作业的处理服务器,同时启动和监控处理服务器的任务,并完成

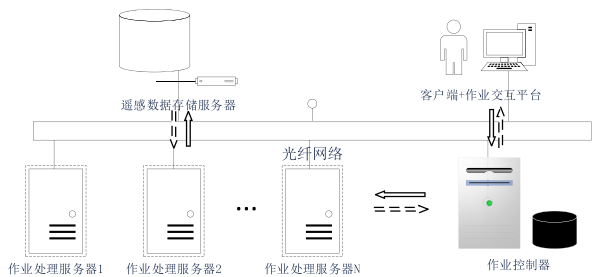


图 1 GXL 功能组件架构图

Fig.1 The component architecture diagram of GXL

分布式任务部署,此时多个任务服务器根据数据路径参数访问数据存储服务器,并对执行具体处理任务,完成数据的读写处理等相关操作,并将状态反馈于作业控制器,进而传递于客户端,用于处理日志信息展示。作业流首先按图 1 中实线箭头方向执行,然后再按虚线箭头方向反馈,完成一个作业周期。



图 2 GXL 平台界面图

Fig.2 The interface diagram of GXL

数据处理任务流贯穿于 GXL 四大功能部件块之间,且模块之间互不影响,从软件框架模式上分析,GXL 软件整体上由三部分构成,是典型的 MVC 框架实现(如图 3 所示)。其中在模型层(Model)位于 GXL 软件框架底层,主要完成遥感数据存取、数据处理核心算法实现,通常部署于作业处理服务器中,是数据处理真正的执行者;视图层(View)位于 GXL 软件最上层,通常部署于 GXL 客户端组件块中,面向使用者,通过浏览器与用户完成交互操作,具体体现在 GXL 任务的参数输入、任务状态展示、日志信息输出等;控制器层(Controller)则位于模型层与视图层之间,通常部署于 GXL 任务管理节点,利用数据库和网络调度算法,负责完成两者之间的信息传递、处理算法注册、作业调度管理,并于 View 端显示计算节点(模型运行环境)的资源负载均衡等,三者通过网络以最低耦合度完成连接,将模型层与视图层最大化分离,具有部署快、灵活性强、高扩展性等优势。

以 MVC 模式为构建基础,GXL 中所有模块均符合这种模式,每个具体功能模块所需要参数在 View 端以网页形式显示与交互,在 Model 端(即后台)具体实现执行,并受限于 Controller 的作业定制规则,从而以负载均衡的优化形式最大化利用集群

服务器计算资源。所以,在 MVC 模式下的,针对 GXL 中的新增运算模块,需要分别对视图端、模型端、控制端三方面进行开发,最终完成功能扩展。

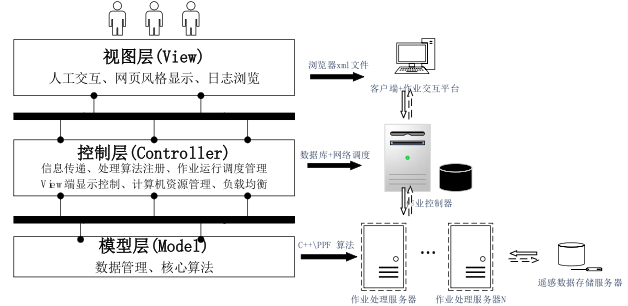


图 3 GXL 软件的 MCV 框架

Fig.3 The MCV framework of GXL

2.2 基于 MVC 的 GXL 二次开发方法

软件的二次开发是指在现有基础上定制修改,功能扩展,并达到自己想要的功能,应用于 GXL 即在功能模块中创建新的作业核心,扩展常规化 GXL 数据处理流,达到流程扩展和优化处理的目的,同时也将新开发算法利用 GXL 平台应用于集群资源。根据 GXL 软件框架构成可知,新增模块需要适应性开发 MVC 三方面内容,根据 GXL 平台程序接口规范,完成二次开发。

GXL 的二次开发方法实际上是根据 MVC 三方面的接口规范实现功能扩展,以下分别进行说明:

(1) 首先针对模型端。模型算法是二次开发核心功能,是 GXL 新增模块的具体实现。在模型端 GXL 使用 GDE(Geomatica's Developer Environment)作为主要开发环境,使用 Python 语言编写执行脚本。具体的功能算法扩展由三种情况组成: a.直接使用 Python 语言灵活调用 PCI Development tools、PCI Libraries 中的 PPFs(PCI Pluggable Functions),编写可执行核心算法程序,完成功能实现; b.针对现有的可执行程序,如 Linux 命令或者 Windows 下的 exe 程序,利用 Python 胶水语言的特性,通过调用 os.system()完成封装调用; c.针对 C\C++语言编写的核心算法,可以依据 C\C++编写 python 扩展功能实现,在 Windows 系统下,扩展以 pyd 的形式的动态库文件,并使用 Python 引入调用核心功能,在 Linux 系统下,扩展则是以.so 的动态库格式文件。核心功能脚本编写完成以后,则部署于 GXL 的安装目录中 PGS 文件夹下(具体流程如图 4 所示)。

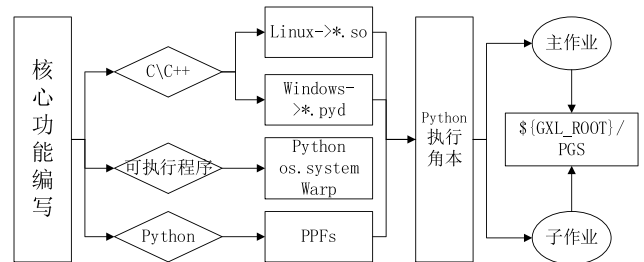


图 4 模型端开发

Fig.4 The development on Model

由于 GXL 的作业模式由主作业和子作业协同

完成，主作业负责解析与划分整体作业精细粒度，而子作业具体负责完成作业内容，所以，在 Model 端编写好核心算法角本，应该需要包含主作业执行角本和子作业执行角本，并统一部署于 \${GXL_ROOT}/PGS 目录下，这样才真正完成 Model 端的接口开发任务。

(2) 其次在视图端，GXL 以网页形式提供参数输出，页面设置由 GXL Web 界面接口 GUI PRM XML 结构决定，主要参数类型如表 1 所示。根据表 1 指定类型为设计与布局输出界面参数，最终的提交的视图端接口文件为 XML 类型文件，部署于 GXL web 服务中，主界面为公有属性，而子作业为私有属性。图 5 描述了“正射纠正”模块在视图端中 XML 文件与 web 解析后的结果比对。

表 1 GUI RPM XML 结构元素表
Table 1 The structure elements of GUI RPM XML

元素	类型	描述信息
<Name>	String	输出域名
<Description>	String	用以对变量进行说明描述
<TextConstraint>	Boolean	此选项是否为必须
<FileConstraint>	Constraint	特批输入框为文件属性，可限制长度
<FolderConstraint>	Constraint	特批输入框为文件夹属性，可限制其长度
<IntegerConstraint>	Constraint	指定输入为整形数据
<DoubleConstraint>	Constraint	指定输入为双精度类型数据
<ComboConstraint>	Constraint	指定为下拉框选择组件

图中经解析后的 XML 文件为交互式界面，其中的每一选项均在 XML 文件中找到对应语句，即在视图的开发主要依赖于 XML 语言编写规范，依据 GUI PRM 结构接口要求完成。通常 XML 中选项参数的确定主要由其对应的模型端执行角本所需要的参数确定，所以依据主作业和子作业的任务分配，在二次开发时仍需要根据需要编写主作业和子作业的参数界面。



图 5 正射纠正模块 View 端显示
Fig.5 The result of view end of orthorectification module

(3) 最后在控制端。控制端的作用是将模型端算法与视图端界面联系起来，根据用户交互获取到的数据参数传递给模型端，并依据任务量大小对模型端作业和计算机资源进行调度管理。GXL 在控制端将 JPS (Job Processing System) 服务和 Postgresql 数据库相结合，依据程序监控与操作数据库中的对应表，从而实现控制功能。

在控制端需要进行①算法注册、②参数注册、③对作业任务进行执行配置，才可以完成 GXL 对应功能，主要需要操作 Postgresql 中的三张表：① job_definitions; ② job_def_params; ③ executables。将新增模块的 Model 和 View 端中的参数信息，位置信息分析填入表中，GXL 已提供对应的数据库函数 install_job(), 执行一次命令即可同时操作三张表，完成以上步骤。此函数主要接受 Model 执行 Python 角本，新增功能模型名，View 参数文件名，以及使用的计算资源，任务优先级等。控制端部署的主要方法如图 6 所示。

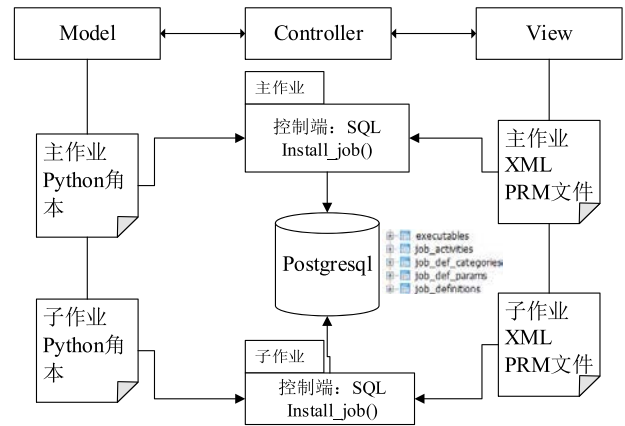


图 6 控制端二次开发部署图
Fig.6 The development graph of controller end

同样以 GXL 系统自带模块“正射纠正”为例，其 install_job()函数如图 7 所示，从控制端的注册函数内容可知，此步对正射纠正中的主作业和子作业均完成注册，界面参数的统一类型为 PrmXmlType，View 端文件参数为 OrthoParameters，模型角本为 MasterOrtho.pyc 和 Ortho.pyc，执行优先级分别为 50，所占资源，针对子作业为 21，对应每个执行线程资源分配为 21，即每次单节计算节点可运行 100/21=4 个任务。

```
SELECT install_job (
'$ {GXL_ROOT}/PGS/Orthorectification/JPS/py/MasterOrtho.pyc', 1,
'GXLMasterOrtho', '正射校正',
'影像正射校正，生成正射产品。',
50, 'GXLWorkflow', 'PrmXmlType', 'OrthoParameters',
'正射校正主作业参数');
SELECT install_job (
'$ {GXL_ROOT}/PGS/Orthorectification/JPS/py/Ortho.pyc', 21,
'GXLOrtho', '正射校正子作业',
'对指定的影像正射校正，生成正射产品。',
50, 'GXLWorkflow', 'PrmXmlType', 'OrthoParameters',
'正射校正子作业参数');
```

图 7 GXL 正射校正模块控制端部署
Fig.7 The controller install_job() of GXL orthorectification

3 试验与分析

GXL 二次开发功能不仅可以将新增算法完整加入数据处理流，完成定制流程化，而且可将新算法快速应用于集群环境，最大化提高新算法运行效率。所以，GXL 二次开发可以为现有数据流程从流

程优化和运行效率两个方面进行增强改进，本文以 613 景 GF1(322 景)、GF2(215 景)和 ZY1-02C(76 景)的国产数据联合正射纠正处理流程为例，扩展开发新型模型，并统计运行时间，分析运行效率。

3.1 基于国产卫星数据处理流程扩展

(1) GXL 国产卫星数据处理流程

利用 GXL 处理国产卫星的基本流程：先将原始产品数据(1 级数据产品)完成内部格式转换，并识别元数据信息。再次针对全色影像进行控制点采集、区域网平差、正射纠正。之后的以纠正好的全色影像为参考，对多光谱数据采集连接点采集，完成多光谱与全色数据之间配准并正射，由于是多种数据源，所以在正射纠正时，首先识别各自数据源，再依据影像导入所获取的分辨率参数完成正射纠正，图 8 为针对国产卫星的 GXL 处理流程图。

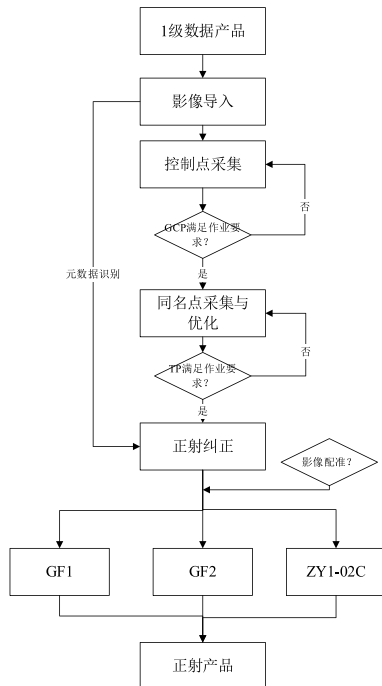


图 8 GXL 国产卫星数据处理流程
Fig.8 Domestic satellite data process of GXL

(2) 基于二次开发优化改进处理流程

图 8 中所使用功能模块均为 GXL 内嵌功能，在使用这个流程时有一定的限制条件：①数据导入必须为 1 级产品的文件夹状态；②数据完整性必须良好，即这一批次数据中必须均为全色和多光谱一一匹配，是完整的一景对；③正射成果产品命名为 GXL 内部文件系统所定义，与各自业务成果数据库不匹配，数据不能正常入库。为了正常使用 GXL，以上条件均可通过人工操作克服，然而随着数据量的不断增大和卫星种类的日益繁多，人工预处理和后处理作业已不能满足。为此，针对以上三个条件分别开发新型模块，解脱人力资源，优化现有数据处理流程。

首先，针对第一条。出对于数据传输过程的完全和效率考虑，国产卫星数据通常以*tar.gz 压缩包的形式发放，所以拿到手的第一批数据为压缩包，

基于二次开发，设计“原始影像解压缩”功能，在 Model 方面，主作业完成卫星数据压缩包统计与分析，子作业利用 python 调用解压缩命令 tar，实现对卫星数据解压的核心功能；在 View 端设计影像输出文件夹与解压结果文件夹选项框；在 Controller 端完成算法注册，并设置占用资源为 9，即每个节点执行 10 个子任务，新模块在 MCV 的开发情况如图 9 所示。

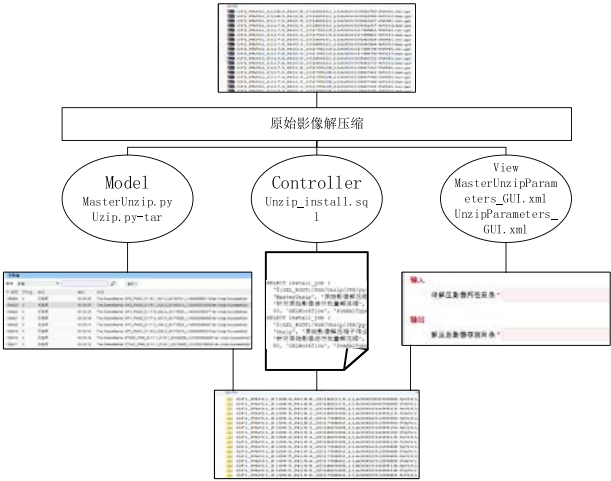


图 9 “原始影像解压缩”MCV 开发图
Fig.9 The figure of unzip module’s MCV

其次，针对第二条，影像完整性分析即在影像解压完之后即进行，所以在原始影像解压缩模块后开发“影像完整性分析”功能，主要完成现有国产卫星传感器在产品号相同的情况下，是否全色与多光谱配对，算法流程如图 10 所示。

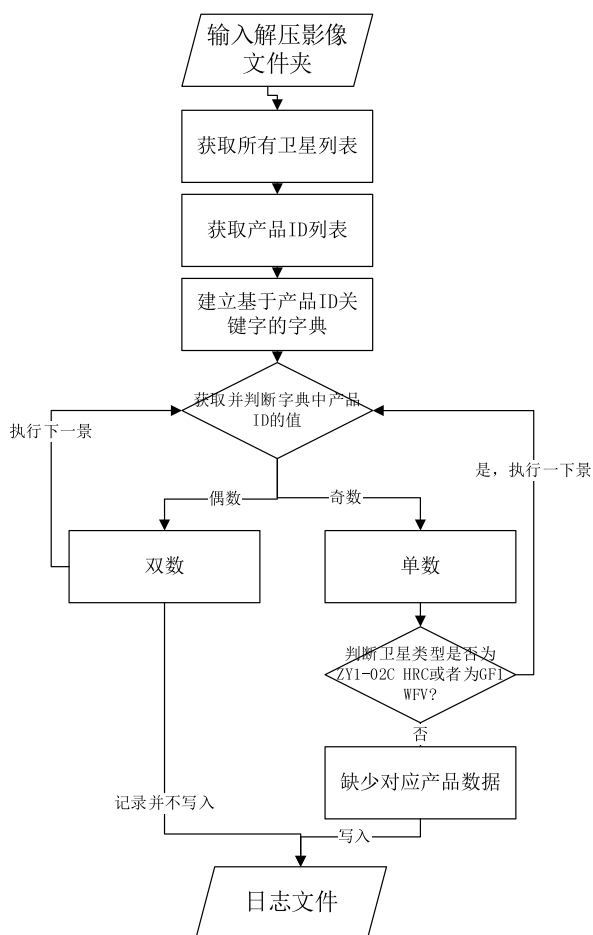


图 10 “影像完整性检查”Model 设计

Fig.10 The model design of original image integrity check

由于单节点的自动化分析可以很好地满足业务需求，所以此模块只有主作业。在 Model 端只编写 MasterSourceDataCheck.py 实现具体分析功能，在 View 端设计文件夹输入和日志文件输出，在 Controller 端执行一次 install_job()数据库函数。

最后，针对成果整理，结合本单位业务需求，正射产品的影像成果需要包括：影像产品的 xml 描述文件、影像产品的矢量范围(shapefile 格式)、影像快视图、拇指图、产品生产报告(*.pdf)，将按照“产品等级_卫星名称_时相_产品号_传感器名称_量化等级_任务单号_标识号”重新命名，并以一景一个文件夹的结果整理。根据此需求，开发 5 个功能模块：“大范围基础数据快速索引和解析”、“成果元数据生成”、“质检报告生成”、“成果归档预处理”、“成果归档”各模块完成功能如表 2 所示。5 个功能模块依次链接执行，共同完成正射产品成果整理功能。

表 2 正射产品成果整理二次开发模块说明

Table 2 The description of orthorectification result's second development module

新增模块	是否有子作业	描述信息
大范围基础数据快速索引和解析	否	建立成果数据与参考资料之间的索引，快速实现几何控制点的查找。
成果元数据生成	是	针对成果数据生成xml描述

质检报告生成	是	文件和四置范围矢量数据为影像成果生成快视图、拇指图和pdf质检报告。
成果归档预处理	否	建立成果标识号。
成果归档	是	依据业务成果重命名规则对成果数据重新命名整理

每个模块同样遵循 MCV 开发模式，详细开发思路不在赘述。通过二次开发，对 GXL 内嵌国产卫星数据处理流程完成功能扩展，不在受限于三个条件，扩展后新的数据处理流程如图 11 所示(红色为扩展的二次开发模块)。

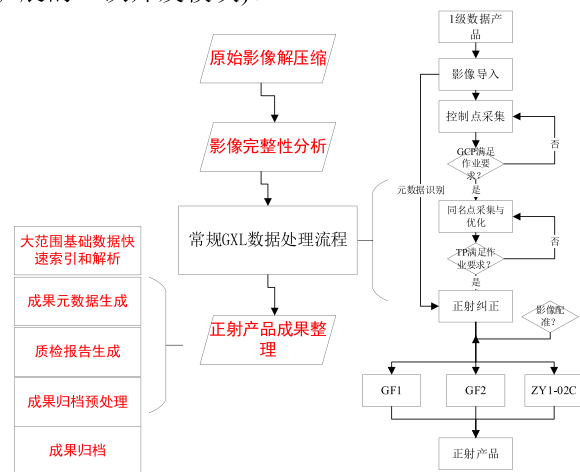


图 11 二次开发扩展国产卫星数据处理流程

Fig.11 The domestic satellite data processing of expansion based on the second development of GXL

3.2 结果与分析

本文制定两个实验方案：①首先运行经过二次开发优化后的数据处理流程，分别统计新增模块的运行时间；②运行常规化数据处理流程，除了 GXL 内嵌模块之外，均使用单机桌面版软件分析处理，并统计运行时间。

表 3 是针对“原始影像解压缩时”统计两个实验方案的运行时间结果；表 4 从运行时间和操作复杂度分别统计了“影像完整性分析”，分析结果如图 12 所示，表明有产品号为 2386985 和 2386987 只有多光谱数据，缺少全色数据；表 5 统计了“正射产品成果整理”过程中两个方案运行的时间结果,使用 M1~M5 分别代表成果整理二次开发的 5 个模块，图 13 为“经正射产品成果整理”后的结果，每个文件夹为一景数据，用每景数据中存在对应一整套完整数据，命名方式以业务需求为准。

表 3 原始影像解压缩时间统计表

Table 3 The time table of Unzip module

卫星类型	景数	方案一(s)		方案二(s)		加速比
		平均时间	GXL 开发	平均时间	人工单机	
GF1	322	11		10.6	3413.2	
GF2	215	36		34	7310	
ZY1-02C	76	10.5		10.4	790.4	
总和	613		693		11513.6	16.614

表 4 影像完整性分析时间统计表

Table 4 The time table of original image integrity check module

事件类型	方案一(s)	方案二(s)	加速比
时间统计	9	7.6	0.84
可操作性	可嵌入GXL流程，操作简便	独立不能嵌入流程	
实验结果	结果相同		

Source SP Data Check Report:
There are 2 parsing error matching!
They are:
The data:GF1_2386987 only has MS type fileName:GF1_PMS2_1117_2_W30_2_20170528_11A00C2386987-MS2.tif
The data:GF1_2386987 only has MS type fileName:GF1_PMS2_1117_2_W30_2_20170528_11A00C2386987-MS2.tif
Source Data Check error, Thanks for using!

图 12 影像完整性分析结果

Fig.12 The result of original image integrity check module

表 5 正射产品成果整理时间统计表

Table 5 The time table of orthorectification result module

作业模块	方案一(s)	方案二(s)	加速比
M1	29	25	0.86
M2	4641	15922	3.43
M3	9423.5	219638	23.3
M4	15	14	0.93
M5	704	8814.2	12.52
总合	14813	244413.2	16.49

名称	修改日期	类型	大小
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008	2018/6/28 9:56	文档类	
3D_GF1_20150401_732387_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000004	2018/6/28 9:56	文档类	
3D_GF1_20150401_733768_PAN1_4BAND_16BIT_20180607_000003	2018/6/28 9:56	文档类	
3D_GF1_20150401_733768_PAN1_4BAND_16BIT_20180607_000002	2018/6/28 9:56	文档类	
3D_GF1_20150401_733770_PAN1_4BAND_16BIT_20180607_000001	2018/6/28 9:56	文档类	

名称	修改日期	类型	大小
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008.aux	2018/6/28 9:56	AUX 文件	1,114,704...
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008.dbf	2018/6/28 9:56	DBF 文件	1 KB
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008.pdf	2018/6/28 9:56	Adobe Acrobat ...	15,788 KB
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008.prj	2018/6/28 9:56	OrthoEngine Pro...	1 KB
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008.shp	2018/6/28 9:56	SHP 文件	12 KB
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008.shx	2018/6/28 9:56	SHX 文件	1 KB
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008.tif	2018/6/28 9:56	TIF 文件	4,395,453...
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008.xml	2018/6/28 9:56	XML 文件	2 KB
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008_preview.jpg	2018/6/28 9:56	JPG 文件	1,783 KB
3D_GF1_20150401_732386_PAN2_4BAND_16BIT_20180607_000008_thumbnail.jpg	2018/6/28 9:56	JPG 文件	120 KB

图 13 经正射产品成果整理结果

Fig.13 The result of orthorectification result module

为了统一比较，将二次开发模块所运行时间的总和统计于表 6，图 14 为其可视化结果。

表 6 二次开发与常规处理流程时间统计表

Table 6 The time table of orthorectification result module

作业模块	方案一(s)	方案二(s)	加速比
原始影像解压缩	693	11513.6	0.86
影像完整性分析	9	7.6	0.84
正射产品成果整理	14813	244413.2	16.49
总合	15515	255934.4	16.48

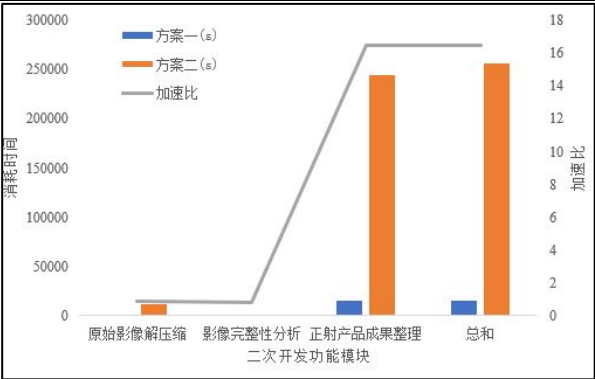


图 14 二次开发中各模块运行效率对比图

Fig.14 The Comparison diagram of efficiency of each module in secondary development

从表 3、表 4、表 5 中分析得出：①二次开发中，

只运行一个主作业的工作效率低于直接在单机上运行该程序算法，这是由于 GXL 集群式服务所致，即使只运行一个主节点作业，也避免不了各节点之间的通信与消息传递，从而造成负面影响；②二次开发模块在集群环境下运行效率高于单次执行，证明利用 GXL 二次开发功能可充分调用集群平台资源，将新增算法集群分布式计算，提高执行效率；③GXL 二次开发模块可以和原有模块通信嵌入，操作灵活，简便快捷，适合更大规模的数据处理。

结合表 6 和图 14 可知，在 GXL 二次开发中虽然有部分开发功能会带来效的下降，但却增加了操作的简便性，使处理流程更加完整。而从整体来看，GXL 的二次开发对国产卫星数据处理效率也达到了优化的效果(加速比 16.48)，而且结果和人工交互产生的结果一致，所以对于国产卫星数据处理流程不仅达到流程优化，同时还可充分利用集群计算资源，提高数据处理效率。

4 结论

本文通过从 GXL 软件架构框架 MCV 模式入手，重点分析基于 MCV 的二次开发方法，并结合国产卫星数据处理流程及其运行中的受限条件，扩展性开发“原始影像解压缩”、“影像完整性分析”，“正射产品成果整理”功能模块，嵌入并改进现有数据处理流程，通过实验统计分别统计基于 GXL 二次开发的流程改进与原来流程的运行效率。结果表明：

- (1)基于 MCV 模式的 GXL 二次开发可有效利用集群计算资源，充分提高新功能模块的运行效率；
- (2)利用 GXL 二次开发优化后的国产卫星数据处理流程，不仅自动化程度高，在相同工作量的情况下，整个流程具有更高的处理效率。

本文研究的范围是基于 MCV 模式下的 GXL 二次开发方法，需要考虑三个层次的程序编写扩展，具有一定的复杂性。GXL 是以作业为管理核心的调度平台，同时也开放了针对作业管理服务器 JPS 的调用接口，具有开发力度小，维护成本低等优势，未来可考虑两者结合式开发模式，预期既可以灵活扩展 GXL 功能，又可降低开发成本，更好地满足国产卫星数据处理的业务需求。

参考文献(References)

Li Q. 2015. The Application of DOM Based on GEOWAY CIPS and PCI GXL. GEOMATICS & SPATIAL INFORMATION TECHNOLOGY. 38(12):141-142+145(李芹. 2015. 基于 GEOWAY CIPS, PCI GXL 在数字正射影像生产中的应用. 测绘与空间地理信息, 38(12): 141-142+145)

Mi C C, Liu Y. 2014. DOM Production by Using High-resolution Satellite Images Based on GXL System. Standardization of Surveying and Mapping. 30(2):43-44(米超川, 刘英. 2014.

基于 GXL 系统利用高分辨率卫星影像制作正射影像. 测绘标准化 30(2): 43-44)

- Qiao X H, Wen G. 2015. Application of GXL image registration of standard time point approval orthorectification in 1:50000 DEM region of Geographical Conditions Census Project. Compilation of Papers about surveying and mapping geographic information. Yunnan Kunming China: 303-307(乔晓虹, 文广. 2015. GXL 影像配准在 1 : 50000DEM 地区地理国情普查标准时点核准正射影像生产中的应用. 云南省测绘地理信息学会 2015 年学术年会. 中国云南昆明: 303-307)
- Wang W, Mao J Z, Zhang X. 2015. Discussion on the production model of orthorectification in Geographical Conditions Census by clusters. GEOSPATIAL INFORMATION. 14(8): 5-7+4(王伟, 毛继宗, 张溪. 2016. 面向地理国情的正射影像集群生产模式探讨. 地理空间信息. 14(8): 5-7+4) [DOI:10.3969/j.issn.1672-4623.2016.08.002]
- Wang W, Yang M, Xiang J. Design and application of image

production management system based on GXL. GEOSPATIAL INFORMATION. 15(9):77-78+96+9(王伟, 杨海明, 向娟. 2017. 基于 GXL 的影像生产管理系统设计与应用. 地理空间信息. 15(9): 77-78+96+9) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-4623.2017.09.024]

- Yang J, Zhou X M, Han P F. The Application of the PCI GXL Project in the State of the Census. GEOMATICS & SPATIAL INFORMATION TECHNOLOGY. 37(6):154-156(杨静, 周晓敏, 韩鹏飞. 2014. PCI GXL 在国情普查项目中的应用. 测绘与空间地理信息. 37(6): 154-156.)
- Zhang S Q, Luo T Y, Zhang P. 2014. The Application of PCI Geomatics 2013(GXL) Software in the Production of Satellite Image for Geographic Conditions Monitoring. Surveying and mapping. 37(5): 233-236(张世群, 罗天银, 张平. 2014. PCI Geomatics 2013(GXL)软件在地理国情监测卫星影像生产中的应用. 测绘. 37(05): 233-236)

Study on secondary development of GXL in domestic satellite data processing

ZHANG Wei, QI Jianwei, HAN Xu, FU Zhengbo, WANG Jie

China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China

Abstract: The GXL (GeoImaging Accelerator) is a new generation of distributed remote sensing data processing platform, which has fast, efficient and flexible features that plays an important role in domestic satellite data processing. In this paper, the MVC (Model View Controller) framework based on GXL has been analyzed from view, control and model respectively, which explores the secondary development of GXL by developing new algorithm processing module and distributed deployment that could enhance the satellite data processing function. An experiment of domestic satellite (GF1\GF2) data processing was carried out in this paper, which shows that the secondary development of GXL is not only flexible to expand satellite data processing, but also to improve the productivity of domestic satellite products, which satisfy the needs of various industry better.

Key words: GXL secondary development, domestic satellite, algorithm module, processing flow, optimization efficiency

海岸带航空物探遥感数据融合 与成果集成表达分析

张宗贵¹, 金鼎坚^{1, 2}, 吴芳¹, 李奇¹, 李皎皎¹, 高子弘¹, 杨达昌¹,

韩亚超¹, 陈洁^{1, 2}, 李京¹, 尚博譔¹

1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083;

2. 中国科学院遥感与数字地球研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101

摘要: 海岸带是海洋与陆地相互作用的变化地带, 不仅土地、旅游、水产等资源丰富, 而且我国沿海经济发达地区的海岸带都已建成或将要建设如核电站、港口码头、跨海通道等重大工程项目, 开展航空物探遥感对海岸带海陆地质环境与稳定分析评价、地形调查与监测显得尤为重要。本文以我国渤海海岸带航空物探遥感调查数据为例, 探讨航磁、航重等航空物探数据与遥感数据融合以及调查成果集成表达分析方法。海岸带航空磁测数据与航空航天遥感数据的融合及调查成果的集成表达结果表明, 物探遥感数据的综合分析不仅能快速剔除物探数据的人为干扰异常、大大减少外业查证工作量、节约成本, 而且融合及集成表达能更好地增强物探提取出异常的可视化效果, 提高异常识别的准确度, 充分体现物探遥感综合分析的认知能力。物探遥感数据的融合和成果集成表达, 可为我国沿海地区海岸带地质环境以及重大工程稳定分析评价提供技术支撑。

关键词: 遥感, 航空物探; 海岸带; 数据融合; 成果集成表达

收稿日期: 2018-06-15; 修订日期: 2018-7-15

基金项目: 中国地质调查局项目 (项目编号: DD2016015013、DD2016015007、DD2016015004) 和国土资源部航空地球物理遥感重点实验室青年基金项目 (项目编号: 2016YFL15)。

第一作者简介: 张宗贵 (1964—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事摄影测量和航空遥感方法技术研究。E-mail: zhang_zonggui@qq.com。

1 引言

岩石圈上的地质体等地物能直接或者间接产生不同类型的物理信息。遥感获取的是可见光、近红外、中红外、远红外到微波波长上的电磁波信息,物探获取的是磁、电、放、重力等地球物理信息,两者都是地理空间信息数据。当一种现象或者实体直接或者间接产生了电磁波和地球物理信息,并且信息能被现有的航空物探、遥感技术装备所捕获时,联合遥感、物探数据有可能从更加全面的角度反演这种现象或者实体。从而能够得到关于地质现象或者地表物体的更加真实、更加精准的有用信息,为解决复杂的地学问题提供一种思路。

航空物探揭示的是地球地表及以下的地物或地质体,如岩性、构造(断裂)、基底的物理特性,而遥感识别地表地物或地质体地理、地貌、人文景观的几何空间、反射或散射光谱特性,两者各自具有优势特点,也能较好地地进行地表或地下一定深度的地物或地质体的识别、分类和认知,为我们开展海岸带海陆地形、资源与生态环境以及工程建设地质稳定性分析提供技术支持。但是,通过开展航空物探的磁、重、电等属性数据与遥感的光谱特性数据的融合处理与集成表达,既能充分发挥物探、遥感各自的技术优势,又能优势互补地从地表到地表以下的三维空间集成、融合识别、分类、分析地物或地质体的空间属性、空间特征、空间分布,从而提升精准、综合地认知地物或地质体,更有效地提升海岸带海陆统筹综合地质调查分析能力,为海岸带航空物探遥感调查提供技术支撑,促进物探遥感技术集成应用。

2 航空物探遥感技术综合研究的现状和发展趋势

2.1 航空物探遥感技术综合研究现状

物探、遥感信息资料中蕴藏着反映各种地质情况的丰富信息,全面充分地开发这些信息,并将这些信息经过科学的“加工”,合理地分析、整合、处理、解释或解译并解决各类地质问题就是

物探遥感联合集成、数据融合和综合应用分析的过程。

(1) 航空物探遥感系统平台集成

将物探、遥感设备集成在飞行平台上同步获取数据,不仅能提高联合探测的效率,降低成本,还能够获取同一时相和轨道的数据,有利于后期的综合应用。目前,国际上一些航空物探遥感技术发达的国家和公司已开展过航空物探遥感联合探测技术集成研究,如加拿大的 HyVista 和 Fugro 公司集成了航空遥感、航空物探等全新探测设备和直接找矿仪器,主要用于同步获取高精度、高空间分辨率的航磁、航放和光学遥感数据,为系统分析典型地物在不同电磁波区间内的可诊断特征提供依据,代表了当今世界上航空物探仪器的集成水平,涵盖了航空物探测量参数及其不同组合。主要以航空物探模式进行作业,同时进行多元数据采集,测线间距为 200~400m,可研究地球物理探测和遥感测量之间的关联性,两者同时使用成本更低。

“十一·五”期间,在 863“航空地球物理勘查技术系统”项目支持下,国土资源航空物探遥感中心利用最新航空物探与遥感仪器,成功集成了我国首套航空物探与遥感综合勘查系统,并在内蒙古大井坡航空物探野外动态试验场进行了联合试验与测量飞行,获取了高质量的航空物探(重、磁)和遥感激光雷达点云、数字影像数据,测量数据达到单套测量系统测量的高精度要求。“十二五”期间对航空重磁遥综合勘查系统进行了进一步改进,并在新疆哈密沙泉子地区开展了 1:5 万航空物探遥感综合勘查应用示范。

(2) 航空物探遥感数据融合术方法

要实现多源物探遥感数据的融合必须要解决三方面的问题,即定性和定量数据的融合问题、相同分辨率的不同平台测量数据的融合问题以及不同分辨率不同平台测量数据的融合。采用各种图像处理技术,以图像的形式对数据进行融合和综合分析的方法在解决多源地学数据融合中具有较大潜力。图像处理在多源融合中的优势三点:①地球物理探测数据、遥感影像、地质图和地形图

等都是地理数据,以图像的形势表现;②图像数据的应用是一种可任意扩展的数据叠合方法。这方法很容易地把新数据包括进去,使勘探工作者对所出现的异常进行快速叠合和空间解释,选择供进一步研究的新区;③图像处理技术可直观形象、定性或定量地从综合信息中发现和提取地质信息。它利用多种数学方法分析大量与空间位置和属性有关的信息,解决空间实体的相互关系,分析和处理在一定地理区域分布的各种现象和过程,以便科学地进行基础地质研究和资源综合评价。

(3) 航空物探遥感成果集成表达与综合解译应用

目前,将航空物探、遥感等多源地学数据通过图像融合或叠加、叠合集成表达方式,在地质填图和矿产资源勘查进行综合解释解译分析,在国内外已有一些相关学者进行了研究,并显示了一定的应用效果。如加拿大地质调查局用航磁、 γ 射线(γ 射线由铀、钍和钾元素),通过栅格化,与TM图像资料结合,用非监督分类成功区分了火山岩、花岗岩岩相(Harries等,1999),并根据钾元素的含量区分出了蚀变岩石,通过蚀变岩石的分布给出了潜在矿物的开采区。利用TM影像和SAR影像,结合重力和航磁资料,在提取隐伏地质体、断裂带、岩性等方面体现了资料融合的优势,在矿产和油气资源的综合研究中得到了较好的应用(朱卫平等,2014)。依据较深的金伯利岩湖比较浅的冰山湖温度低的原则,在加拿大北部研究区利用TM影像第6波段(区分),它们利用航磁资料与图像进行叠加,依据超镁铁质的金伯利岩(不含亚铁物质)与航磁资料的低值相对应的原则,来排除超镁铁质的金伯利岩,最后通过神经网络方法对融合资料进行了分类,分类结果大大缩小了潜在的含金刚石的成矿区(朱卫平等,2014)。融合ASTER卫星5、7、9波段的遥感数据和航空地球物理(钾、铀、钍含量、磁总场强度)数据,选择位于伊朗的两大铜矿床作为实验区进行热液蚀变填图(Ranjbar等,2004),结果得到了实验区更高精度的热液蚀变图。利用地质、卫星TM和航磁数据对Wadi Allaqi地区的

硫化物矿化区进行了识别(Ramadan等,2003),利用卫星TM影像、地质和航磁解释图显示有三块与块状硫化物矿床有关,利用地球化学分析了硫化物矿体范围和延伸方向。

在国内,在辽北等地区1:50000比例尺地质填图中应用遥感技术提供超前期地质信息,加强基础地质研究程度。根据遥感图像结合航磁资料,划分出以线性影像为主的太古宙变质上壳岩系,以环形影像为主的变质深成侵入体等影像地质单元,并解译出以细线纹为标志的韧性剪切带和片麻岩中面状构造的分布趋势(杨德明等,1992)。在上饶地区1:50000比例尺区调构造地质研究中,运用了航磁数据专业化处理及遥感—航磁数据图像融合处理方法,通过对融合图像深部构造和隐伏地质体的特征信息提取,增强了对区域基底构造的认识能力,揭示了该区中生代盆地下垫面的深部构造的产出状态特征,建立了区域深部地质构造的结构框架和利用航磁数据和TM图像,经IHS变换融合,优化了上饶地区深部构造信息(薛重生等,1997)。利用图像化的地层、重力、化探和遥感影像等数据进行IHS变换融合,得到研究区地层-构造特征(王正海等,2004)。利用重力数据与TM数据在松辽盆地开展变换融合试验,试验结果既显示了盆地边界,又体现了遥感影像的纹理特征(陈圣波,2001)。利用获取的航磁及遥感数据,对大兴安岭三河地区进行了构造和隐伏岩体解译研究,为寻找多金属矿产提供了有利信息(王振民等,2012)。利用实测高精度航磁数据与遥感影像,结合地质矿产资料,对燕山地区密云—喜峰口断裂的延伸问题进行了探讨,提出了该断裂至喜峰口后,向东经宽城县东大地、亮甲台,一直延伸到汤道河附近的观点(朱卫平等,2013)。

2.2 航空物探遥感技术综合发展趋势

随着地质调查工作的不断深入,需要解决的地学问题也越来越复杂,涉及到的层面也越来越广。目前正面临着工作程度和方法不能满足地区经济建设需求,重大环境地质问题的调查研究不足,无法满足灾害防治与生态保护需求,陆海统

筹不够、专业融合不足等问题。同时随着各类先进数据处理算法发展,遥感数据的时间、空间、光谱分辨率越来越高,物探数据重力、航磁、电、放射性测量的精度也越来越高,覆盖越来越广。采用多源数据来解决地学问题的潜力和可行性也越来越大。其发展趋势主要凸显在三个方面:

(1) 物探、遥感协同数据获取

要综合利用物探和遥感技术解决海陆地学问题,需要对物探和遥感数据有潜在的关联性,比如在空间尺度、时间尺度能够有相关性。反映同一地物或地质体现象在不同空间信息,使综合分析得到增强。现有的遥感和物探数据在获取的时候并没有考虑到综合利用的因素,如果能够集成平台或者使物探、遥感根据需求协同作业,以此为基础进行综合分析、处理、应用,那么将会得到“一加一大于二”的效果。

(2) 多源、多尺度数据标准化处理

数字图像处理是物探、遥感技术融合的重要基础,遥感、物探数据都蕴含海量的信息,从多源大数据中提取有用信息需要分布对物探、遥感数据进行有用信息提取以及标准化处理。

(3) 探索、研究解决各类地学问题的对应遥感地质-地球物理模型

多解性是单一的遥感或者地球物理技术手段所面临的重要问题,综合多源的技术手段可以大大减少成果解译、解释的多值性,增强成果的确定性。也是解决复杂地学问题的关键途径之一。研究遥感地质-地球物理模型能够指导如何从海量数据中提取最优的有用信息,选择最佳的组合方式,在一定程度或者在特定的应用方向接近越要发现的实际目标。

由于地物或地质体的物理特性和相互作用的复杂性,初期建立的遥感地质-地球物理模型的往往以简化模型、经验模型为主。不断利用处理和解释(解译)工作以及实地野外踏勘等资料来改进模型,随着调查目标的各类信息积累,不断的逼近真实情况。

3 航空物探与遥感数据融合试验

3.1 融合分析的意义

开展海岸带航空物探遥感数据融合处理试验研究,对现有的各种物探遥感数据加以预处理、整合、集成,选取合适的融合处理方法,用于海岸带典型岸段断裂构造划分、人文干扰异常地物圈定等问题的研究,对航空磁测量数据中人文干扰引起的异常剔除与野外查证工作起到很好地缩短查证周期和节约成本的作用。

3.2 融合试验方法

(1) 试验区情况

试验区位于渤海海岸带。试验区选取原则为有高精度航磁或航重数据,有近期的 ETM 遥感数据,并兼顾现有高精度数字航空遥感范围、渤海海岸带断裂构造分析解释范围、区域构造特征、地质环境、岩石物性特征等。结合实地野外踏勘结果,数据融合试验区范围为 118°E-119°E, 39°N-39°30'N,行政区划隶属于唐山市曹妃甸区、海港开发区、乐亭县和滦南县。地理上位于冀东滨海平原南部,北靠唐山,南临渤海,东西两侧分别为京唐港和天津港,海岸线长约 200km。本区地势低平,自西北向东南缓缓倾斜,海拔标高 1~14m。滦河故道多沙丘,沿海分布有沙岛,较大的有月坨岛、曹妃甸工业园区等。

(2) 试验数据

①航空物探数据:选用渤海海岸带已有的航空物探数据。试验区涉及两个工区的航磁数据,分别为 1:25000 比例尺高精度航磁数据和 1:50000 比例尺航磁数据,收集数据并完成编图;区内航重数据为一个工区内的 1:200000 比例尺数据。

②遥感数据:选用与航磁数据获取时间相近的 Landsat8 数据作为融合试验主要遥感数据,Landsat8 的 OLI 陆地成像仪包括可见光、近红外和短波红外的 9 个波段。经过辐射校正、系统几何校正、反差增强、图像裁切等数据预处理,得到研究区真彩色遥感基础图像。同时还有同期、相同范围内几何分辨率为 0.3m 的高精度数字航空影像数据。

(3) 融合技术路线

以遥感数据与航磁数据(或航重)等数据的

融合为例,通过 ArcGIS、Oasis 等平台,把多种信息以栅格形式或矢量形式进行综合处理的方法。图像数据融合实验处理:首先,进行航空物探遥感调查数据的预处理,即基于研究目标对不同类型数据进行图像化处理和图像增强处理,如遥感假彩色合成图像的多波段选取、光谱信息增强与提取、主成份分析、纹理分析等基于光谱信息和空间信息提取的各种图像处理方法。而对于磁等地球物理数据,则要运用它们的各种专业化处理方法,进行化极、延拓、匹配滤波、垂向二次导数等数值处理工作,然后对航空物探遥感数据进行网格化、插值、采样等归一化处理,形成图像,再进行航空物探遥感数据图像化后的精确配准。对于分辨率不一致的,将要重采样后保持一致。其次,航空物探遥感数据的图像融合处理,即选取适合海岸带的融合方法对高度相关数据进行信息综合与有机的联合。最后,针对海岸带应用需求,对融合后物探遥感图像进行评价和解译分析。渤海海岸带航空物探遥感数据融合处理技术流程如图 1。

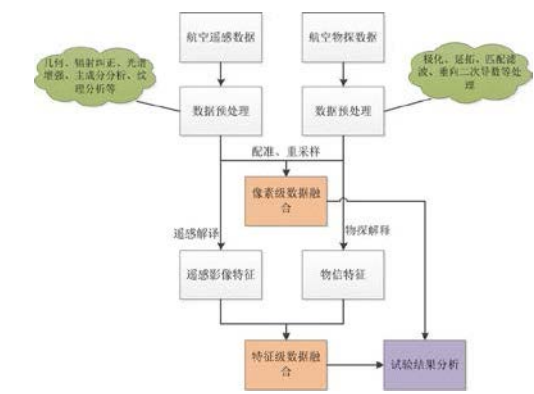


图 1 物探与遥感数据融合处理技术流程

Fig.1 The flow chart of geophysical and remote sensing data fusion

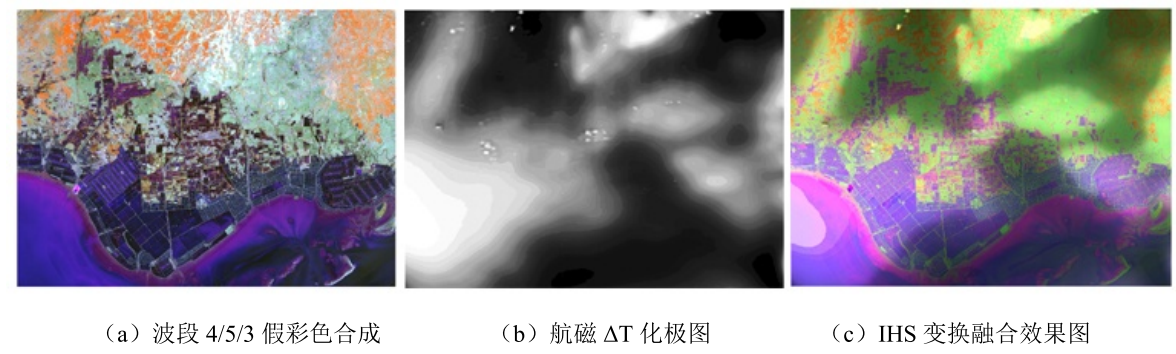
(4) 融合试验方法及结果

遥感数据与物探数据二者在数据结构上均可采用网格数据结构进行描述、存储与表达,但二者在空间采样单元上有很大的差异,遥感数据与物探数据的融合必须考虑其空间采样单元尺度的不一致性,即必须将两者进行空间网格尺度的统一。以遥感数据空间分辨率为基准,对物探数据进行空间尺度转换,即将物探数据(网格间距 100m×100m)转换为 30m×30m 的网格尺度,尺度转换基于 ArcGIS 遥感数据处理平台。

在两类数据网格尺度一致的前提下,进行了两种融合试验方法,一是利用航磁化极网格数据与遥感 ETM 数据进行 IHS 变换融合试验;二是对航磁原始数据进行匹配滤波后与航天遥感 ETM 数据进行融合试验。

①融合试验一:融合实验一是对航磁化极网格数据和 ETM 数据进行 IHS 变换融合试验。IHS 变换融合是物遥数据融合最常采用的方法之一。因航重数据比例尺较小(网格间距为 500m),本试验仅采用航磁数据开展融合试验。

首先,对航空物探遥感数据进行预处理。对于 ETM 数据,参考资料文献,试验选取能较好反映地质构造的波段(波段 4、5、3)合成假彩色影像并变换至 IHS 系统(图 2 (a)),得到强度 I、色度 H 及饱和度 S 的三个分量;而对于航磁网格数据,在进行化极处理后(图 2 (b)),通过重采样、重投影等处理使其与 ETM 数据配准,并转换为灰度图,转换后正值为白色,负值为黑色。其次,航空物探遥感数据的图像融合试验。本次试验选用 IHS 变换融合方法,即用航磁化极灰度图替换 ETM 影像中的 I 分量,并与 H 和 S 一起利用 IHS 逆变换重新变换至 RGB 系统,得到融合后的图像(图 2 (c))。



(a) 波段 4/5/3 假彩色合成 (b) 航磁 ΔT 化极图 (c) IHS 变换融合效果图

图 2 航空物探遥感数据融合试验结果

Fig.2 The result of aero-geophysical survey and remote sensing data fusion.(a) the pseudo color synthesis result of the band 4、5、3 of Landsat8;(b)Aeromagnetic ΔT polar diagram;(c) the fusion result of IHS transform

通过图像的色彩和明暗变化,将两种数据融合展示在同一张图上,增强了异常边界范围的详细化和可视化。通过对比发现,由于试验区地势低平、第四系覆盖厚、人文破坏严重,虽然尝试对遥感影像进行了纹理分析、边缘增强等处理,仍很难从遥感图像中获取构造信息,难以与航磁解释结果进行综合分析。

②融合试验二:融合试验二是对航磁数据进行匹配滤波处理,利用等效层航磁数据与 ETM 数据开展融合试验。利用匹配滤波方法可以将航磁位场数据分离为深源场和浅源场,将分离的浅源场信息与 ETM 数据融合,即可圈定地表人文干扰(地物)信息。

首先,对航磁原始数据进行匹配滤波处理。匹配滤波是假设位场异常由上下两层场源垂向叠加而成,其中一层是近地表厚度不大的地质体,另一层是埋藏较深且延深又大的地质体。利用匹配滤波方法分离深源场和浅源场,通常根据实测位场数据的径向平均对数功率谱变化特征,被不同斜率的直线拟合而确定深源场和浅源场的频段分布范围,直线的斜率即为相对应的等效层深度。因此,利用匹配滤波分离深源场和浅源场时,先计算航磁异常的径向平均对数功率谱,再根据径向平均对数功率谱曲线求得匹配滤波因子。根据试验区航磁异常的径向对数功率谱曲线线性拟合结果,计算得到各个等效层(260m、307m、1501m、2104m、3860m)航磁异常结果;其次,提取等效层 260m 航磁异常峰值点数据,在 ArcGIS 上形成点文件后进行网格化处理,利用克立金插值方法进行差值,使之可视化,并在空间上和量纲上都与遥感图像保持一致,再通过地理坐标的配准,最终把航磁数据经数据转换后作为遥感图像等价的图像层对待;最后,将遥感数据进行主成分变换,选取主成分变换后第一分量 PCA1、航磁异常数据和原始 B 波段三者进行波段组合,得到综合异常图(图 3)。从图 3 的异常分布在遥感影像上突出显示红色,可以很清晰看出发生异常区域的地物信息,而这些地物为城镇、居民区等人文干扰区域。这将为开展大范围内航空磁测量调查剔除人文干扰提供一种快速的技术方法,具有减少外业查证工作量、减低成本、缩短工作周期的效果。

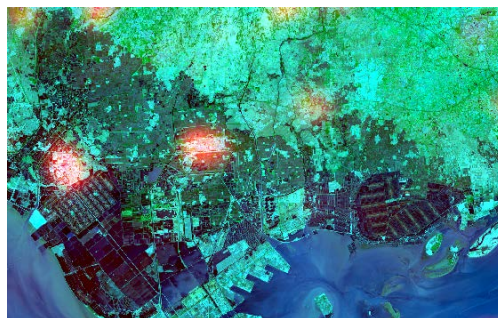


图 3 航磁异常与遥感影像集成显示

Fig.3 The integrated display of aeromagnetic anomaly and remote sensing image

4. 成果集成表达方法研究

针对海岸带航空物探遥感调查及应用成果数据的特点,研究航空物探遥感调查成果数据集成表达方法,提升信息综合分析的效果,为海岸带航空物探遥感调查提供技术支撑,促进物探遥感技术集成应用。

4.1 成果集成表达的内容

(1)海岸带航空物探遥感数据集成表达需求分析

系统梳理航磁、航电、航重及航空遥感等数据的类型、格式,归纳、分析不同的海岸带地质环境调查及其应用中航空物探与遥感数据集成表达形式的需求。

(2)海岸带航空物探遥感数据集成表达模板定制

在对海岸带航空物探与遥感数据进行需求分类的基础上,针对每种集成方式,定制其展示的样图和模板,明确对数据和文件的具体要求。

(3)三维场景下海岸带航空物探遥感数据集成表达研究

基于 OSG 及 WebGL 等开源软件,探索三维场景下海岸带航空物探遥感数据集成表达的方式,并开发原型系统。

4.2 集成表达需求分析与模板定制

4.2.1 集成表达需求分析

针对调查成果数据的特点,系统梳理成果集成表达与展示方式。物探遥感数据的综合展示主要包括二维场景和三维场景两种方式。二维场景下,航空物探与遥感调查成果集成表达的方式主要有:①航磁(重、电)等值线矢量图与遥感影

像图 (DOM) 叠加, ②航磁 (重、电) 等值线矢量图与遥感数字高程 (DEM) 叠加, ③航磁 (重、电) 异常图与遥感、物探解析解译构造图叠合, ④航磁 (重、电)、遥感的解析解译构造图与数字高程 (DEM) 的叠合。三维场景下, 航空物探与遥感调查成果集成表达的方式主要有: ①航磁 (重、电) 与遥感的三维影像 (地下、地表) 的三维叠加展示, ②航磁 (重、电)、遥感的 DOM 的剖面三维叠加展示, ③航放异常与遥感的 DOM 三维叠加。

4.2.2 成果集成表达模板定制

在 ArcGIS 软件中定制了二维场景下航空物探与遥感调查成果集成表达模板如图 5: ①航磁等值线矢量图与遥感影像图 (DOM) 叠加显示模板 (图 4 (a)), ②物探解释断裂与遥感影像图 (DOM) 叠加显示模板 (图 4 (b)), ③航磁等值线矢量图与 DEM 叠加显示模板 (图 4 (c)), ④物探解释断裂与 DEM 叠加显示模板 (图 4 (d))。

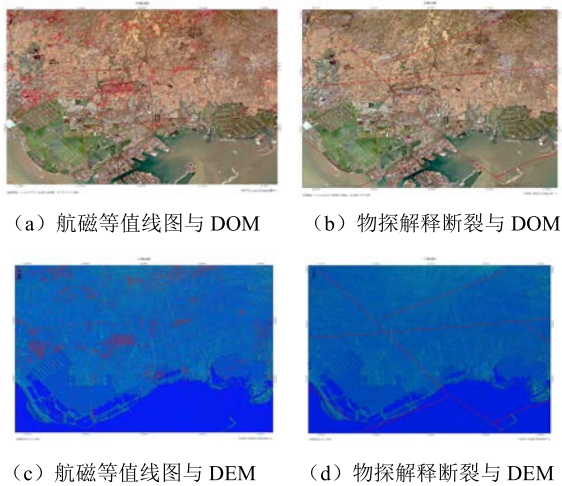


图 4 二维场景下物探遥感成果集成表达模板

Fig.4 The integrated expression template for geophysical and remote sensing results in 2D scene. (a)the overlay of the aeromagnetic contour map and the DOM; (b) the overlay of the fault extracted from geophysical data and the DOM; (c)the overlay of the aeromagnetic contour map and the DEM; (b) the overlay of the fault extracted from geophysical data and the DEM

4.3 基于 OSG 的成果集成表达系统

4.3.1 OSG 基本原理

OpenSceneGraph (简称 OSG) 是一个开源的三维引擎, 广泛应用在可视化仿真、虚拟现实、科学计算、三维重建、地理信息、太空探索、石

油矿产等领域。OSG 在各个行业均有着丰富的扩展, 并能与底层 OpenGL 引擎无缝的结合, 用户可以根据自身需要便捷地深度定制相关功能。

OSG 的易扩展性和近些年来广泛应用, 还衍生出了许多实用的第三方插件, 可灵活应用于不同类型的项目中。OSGEarth 便是其中与地理空间信息结合最为紧密的插件, 采用实时的地形数据加载和渲染策略, 具有良好的多源数据支持与数据管理功能。目前支持 2 种类型的视图: Geocentric 是地球 Globe 视图, 类似 Google Earth 全球 Globe 视图; Projected 是平面投影坐标系下的 Flat 视图, 支持多种地理坐标和投影坐标系统。OSGEarth 采用驱动器的方式来支持各种 GIS 数据源, 它自带有多种驱动器。如 GDAL 驱动器, 用于处理影像和 DEM 数据; TMS 驱动器, 用于处理采用 TMS 协议的瓦片数据等。此外, 它的高扩展性使得用户根据需求自行扩展其它类别的驱动器。它采用类似于 ArcGIS 中图层的概念来进行各类数据的管理, 分别有影像层、高程层和模型矢量层等, 不同图层对应不同的数据类型, 易于不同分辨率的影像、高程以及模型数据的叠加。

4.3.2 基于 OSG 的物探遥感数据集成表达方法

在 OSG 中物探遥感数据集成表达方式主要包括两种, 一种是平面三维集成, 即通过先显示遥感地形数据, 然后将遥感影像数据和物探数据通过地理坐标信息映射到遥感地形数据上; 另外一种地球模型集成, 根据 OSGEarth 引擎首先生成地球模型, 然后将遥感数据和物探数据添加进去进行集成显示。物探遥感数据多方式集成流程如图 5 所示。

对于平面三维集成模型来说, 将遥感地形数据 (数字高程模型 DEM) 以及对应的底图文件载入进行显示, 通过算法生成影像金字塔文件后, 载入效率可以得到极大提高, 基本实现快速缩放浏览。另外可以将 shape 格式文件作为图层加入其中进行渲染。

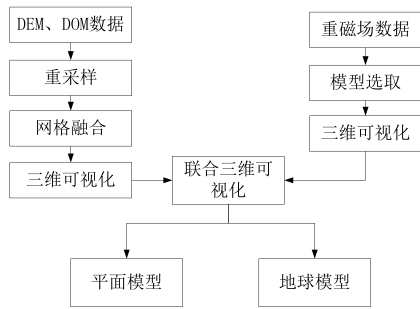


图 5 物探遥感数据多方式集成流程图

Fig.5 The flow chart of the multi-mode integration of geophysical and remote sensing data

结合基于航空物探磁、重、电栅格数据的三维可视化方法以及基于地理位置的三维数值显示方法，将遥感和物探数据进行预处理，数据的基本信息如行列数、起始坐标、行间距列间距、最大值最小值以及每个顶点对应的重力场、磁力场或电力场值等提取出来，然后通过算法生成符合要求的格式，在平面模型界面内进行显示和建模，模型的显示高度依据数据本身采集位置的不同而不同，通过鼠标的移动可将当前点的位置信息、高程值及重磁场值、电磁值显示出来。

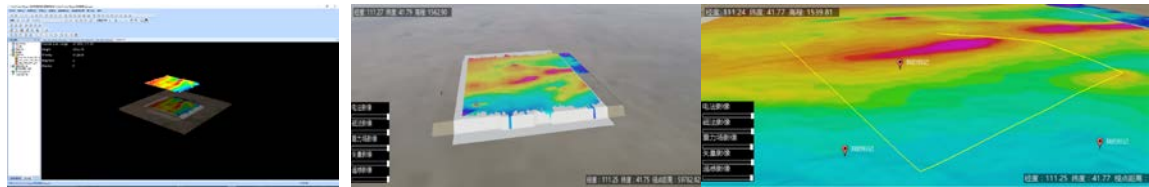


图 6 基于 OSG 的物探遥感数据集成表达结果

Fig.6 The integrated expression of geophysical and remote sensing data based on OSG

4.4 基于 WebGL 的数据可视化

4.4.1 WebGL 及其框架

WebGL 是一个免授权费且跨平台的 3D 绘图标准，它与 OSG 的最大不同是它运行在浏览器端，具有可移动、跨平台的特性。WebGL 的出现使虚拟地球可以在普通浏览器中进行渲染，而无需浏览器扩展或添加基于插件的虚拟地球仪。

在所有的 WebGL 框架中，Cesium 是一个专门在 Web 浏览器中创建三维虚拟地球和二维平面地图的框架。它具有不需要任何浏览器插件支持，只需浏览器开启 WebGL 功能即可，具有跨

对于地球模型来说，基于 OSG 三维渲染引擎和 C++ 的 OSGEarth 引擎，采用实时的地形数据加载和高效的渲染方式，能够支持常见的多类数据和进行方便良好的数据管理。支持的数据坐标包括常见的经纬度和墨卡托坐标系统，且 OSGEarth 引擎本身支持多源数据。在数据管理上，OSGEarth 引擎使用动态四叉树 LOD 来对载入的影像数据进行组织，缓存数据的每一级对应 LOD 的一层，层与层之间通过四叉树的数据结构来进行管理，四叉树的每一个节点是一张矩形瓦片影像，父节点的瓦片图像得地形区域正好能覆盖其四个子节点的瓦片图形地形区域。节点深度越深，数据覆盖的地形区域越小，对应的地形模型的精度就越高。将遥感数据和物探数据进行处理后载入，得到的效果如图 6。

平台跨浏览器；支持全球地形、影像图层、三维模型、矢量和几何图形、时间动态数据的可视化，包含 3D，2D，2.5D 等多种视图等特点。

Cesium 的体系架构按层级划分，自下由上主要包括核心层、渲染器层、场景层、动态场景层和 Web 应用五部分，上层模块依赖于下层所提供的功能，同时上层模块对下层功能进行了更高层次的封装与抽象。核心层：核心层是 Cesium 体系架构中的最底层，它包含了更底层的、更常用的一些数学功能。渲染器层：渲染器层对 Web GL 所提供的功能进行了简单封装与抽象。使用该层

提供的功能比直接使用 Web GL 功能更加简洁,语义更加明确。渲染器层包含了内置 GLSL 相关功能、着色器的抽象表示、纹理、顶点缓冲区及渲染状态等。场景层:场景层建立在核心层和渲染器层之上,提供了高层次的地球地图功能。动态场景层:动态场景层建立在核心层、渲染器层和场景层之上,它支持数据驱动的可视化技术。动态场景层通过处理解析 CZML、KML、GeoJSON 等格式的矢量数据创建动态对象,动态对象在每一帧的场景渲染中由可视化类进行实时渲染,从而完成整个场景的动态渲染。

4.4.2 基于 WebGL 的航空物探遥感数据可视化设计

在深入研究 WebGL 原理基础上,基于 WebGL 的 Cesium 框架,初步设计了物探遥感数据三维展示系统。

(一) 系统结构设计

遥感和物探等栅格和矢量 GIS 数据通过开源的 GeoServer 发布 Web Map Service(WMS)和 Web Feature Service(WFS)网络服务,三维模型和 DEM 地形通过 Web Server 发布网络服务,系统前端用 Cesium 框架,通过 Cesium 访问 Server 上的数据,供用户通过浏览器来浏览、分析物探遥感信息。系统后台使用 Python,实现网络服务和数据交互。

(二) 系统功能设计

初步设计的系统功能有:①数据的加载与显示:支持遥感影像图、数字高程模型、三维遥感影像图、物探矢量数据等多种格式数据的加载与显示。②数据的查询:能够根据地理坐标及属性,查询到合适的的数据,以进行显示及分析。③空间分析:支持物探遥感数据的叠合分析、地统计分析,支持面积量测、距离量测,支持点、线、面及文字标注。

(三) 系统界面设计

主页面为三维数字地球。页面顶端为标题栏“海岸带航空物探遥感数据集成可视化系统”,配置相应的图片。标题栏下方为菜单栏,主要包含数据查询和空间分析两个菜单,每个菜单下根据功能设置若干子菜单。另外,设计网页的注册、

登录及返回首页的功能。页面左方以目录树的形式显示多源航空物探遥感数据及解译成果等。

4.4.3 实现基于 WebGL 的渤海海岸带物探遥感数据可视化

使用 GeoServer 作为数据服务器,使用 windows 系统自带的 IIS 网络服务器,利用 JavaScript 语言,初步开发了渤海海岸带航空物探遥感数据可视化系统,实现了航空遥感数据的浏览器端可视化展示。

(1) 通过 GeoServer 发布遥感数据

GeoServer 是一个开源的服务器端软件,用 Java 语言开发,它主要的功能是基于 OGC 的 WMS、WFS、WCS 等规范发布空间数据。将渤海海岸带高分辨率航空遥感数据作为一个图层加入到工作区及数据存储中,创建影像瓦片,并发布 wms 服务。

(2) 通过 WebGL Cesium 框架加载并显示 GeoServer 发布的数据

基于 Cesium 框架,使用 JavaScript 语言编写网页文件,加载并显示 GeoServer 发布的数据。

通过本项研究开发的 WebGL 三维展示系统,可以在电脑及手机端网页上实时浏览、缩放、旋转遥感影像。利用初步开发的系统,可以在野外实时查看高精度、现势性的遥感影像,从而辅助综合分析、野外踏勘和查证。

5 结束语

(1) 利用浅层等效层航磁数据与遥感多光谱影像信息进行融合,可以圈定引起航磁异常的人文干扰区域,不仅为航磁异常解释提供了重要信息,而且为野外查证剔除人文干扰异常提供技术支持。

(2) 航空物探与遥感数据融合试验表明,使用 IHS 图像融合变换处理,可以增强异常边界范围的具体化和可视化,为开展海岸带综合地质调查提供精准的、可视化信息。

(3) 针对海岸带航空物探遥感调查及应用成果数据的特点,在分析数据成果集成表达需求和

制定集成表达模板的基础上,研究了基于 OSG 的航空物探遥感数据集成表达系统,实现了航空物探遥感数据的同平台综合展示分析。研究的基于 WebGL 的跨平台物探遥感三维展示系统,初步实现了航空遥感数据的浏览器端展示。研究表明,OSG 和 WebGL 是两种有效的航空遥感遥感数据综合展示技术。

(4) 在航空物探与遥感数据融合方面,下一步将选取无地表地貌破坏且有岩石出露的海岸带,利用航空遥感获取的 DEM 数据、InSAR 沉降成果与航空物探航磁或航重等数据进行融合,进一步揭示地表岩性及地下地质构造或隐伏构造(或断裂),以便分析其活动性。

(5) 在“十三五”期间,计划开展海岸带激光雷达测深、高光谱与航磁航重等数据海陆一体化信息融合处理,实现海陆一体化的地形、地质构造(断裂)等航空物探与遥感综合解释研究。

志 谢 在本文编写过程中,得到了中国地质调查局“渤海海岸带航空物探遥感调查及应用”二级项目负责人张永军教授级高级工程师的指导和帮助,航空遥感技术室负责人林健、王建超两位高级工程师的鼎力支持,在此一并表示衷心地感谢。

参考文献 (References)

- Chen S B.2001. Synthesis Processing of Geophysical and Remotely Sensed Information in Western Slope of Songliao Basin. GEO- INFORMATION SCIENCE, (3):59-63.(陈圣波.2001.松辽盆地西部斜坡的地球物理与遥感信息综合处理.地球信息科学,(3):59-63)
- Ranjbar H, Shahriaria H, Honarmand H. 2004. Integration of ASTER and airborne geophysical data for exploration of

copper mineralization. A case study of Star Cheshmeh area. Proceedings of 20th congress, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (Istanbul):12-13.

Ranjbar H, Shahriaria H, Honarmand H.2004.Integration and analysis of airborne geophysical ETM+ data for exploration of porphyry type deposits in the Central Iranian Volcanic Belt using fuzzy classification. International Journal of Remote Sensing. 25(21):4729-4741.

Ramadan T M, Sultan S. A.2003. Integration of geological remote sensing and geophysical data for the identification of massivesulphide zones at Wadi Allaqi area (South Eastern Desert, Egypt)/IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.4:2589-2592.

Xue C S, Fu X L, Wang J M. 1997. Fusion processing of remote sensing and geophysical data and its application in geology an example in Shangrao area. Geological Science and Technology Information, 16(SI):35-42.(薛重生,傅小林,王京名.1997.遥感与地球物理数据的融合处理及其地质应用——以上饶地区为例.地质科技情报,16(SI):35-42)

Yang D M, Hong J P. 1992. The application of remote sensing geology in 1:50000 mapping. Journal of Changchun university of earth sciences,22(2):193-198.(杨德明,洪景鹏.1992.遥感地质解译在 1:5 万地质填图中的应用.长春地质学院学报,22(2):193-198)

Zhu W P, Xiong S Q,Xue D J, et al. 2014. Aerogeophysical jointly remote sensing detection technology present and prospect, Progress in Geophysics, 29(5):2356-2363.(朱卫平,熊盛青,薛典军,刘英会,王果胜,万建华,张婉.2014.航空物探遥感联合探测技术现状及应用前景.地球物理学进展.29(5):2356-2363)

Zhu W P, Wang Y, Zhao B M, et al. 2013. A discussion on eastward extension of the Miyun-Xifengkou fault. Geological Review, 59(2):209-216.(朱卫平,王艳,赵百民等.2013.燕山地区密云—喜峰口断裂的东延问题探讨.地质论评, 9(2):209-216)

Data fusion and expression analysis of coastal aero-geophysical survey and remote sensing data

ZHANG Zonggui¹, JIN Dingjian^{1, 2}, WU Fang¹, LI Qi¹, LI Jiaojiao¹, GAO Zihong¹, YANG Dachang¹, HAN Yachao¹, CHEN Jie^{1, 2}, LI Jing¹, SHANG Boxuan¹

1. Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100083, China ;

2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China.

Abstract: The coastal zone is the interaction zone of the ocean and the land, full of land, tourism, and aquatic resources. Besides, a lot of nuclear power stations, port terminals, cross sea channels and other major projects have been built or will be built in the developed coastal areas in China. So the analysis and evaluation of terrain and stability, topography survey and monitoring using aero-geophysical survey and remote sensing technical is particularly important. In this paper, the data fusion and integrated expression analysis method of aeromagnetic, aerial gravity data and remote sensing data is presented, using the aerial geophysical survey and remote sensing data of Bohai coastal zone in China as test data. The results show that the comprehensive analysis of geophysical and remote sensing data can not only quickly eliminate the artificial interference anomalies of the geophysical data, greatly reduce the workload and save the cost, and the fusion and integrated expression can better enhance the object. The abnormal visual effect can be extracted to improve the accuracy of anomaly recognition and fully reflect the cognitive ability of geophysical and remote sensing comprehensive analysis. The fusion of geophysical remote sensing data and the integration of results can provide technical support for the geological environment of coastal zones and the stability analysis and evaluation of major projects in coastal areas.

Key words: remote sensing, aero-geophysical survey, data fusion

Supported by China geological survey project (Grant No. DD2016015013、DD2016015007、DD2016015004) and the Key Laboratory of Airborne Geophysics and Remote Sensing Geology, Ministry of Land and Resources project (Grant No.2016YFL15).

基于 Web 的在线协同式解译系统实现研究

徐航¹, 孙嘉琪², 张振华¹, 李文吉¹

1、中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083;

2、中国地质大学, 北京 100083

摘要: 本文针对国土资源矢量解译过程中存在的问题, 基于 Web AppBuilder 框架, 结合 ArcGIS Server 地图服务, 设计并构建了一个基于 Web 的在线协同式解译系统。该系统实现了在线解译、信息发布与成果展示、在线制图等功能, 实现了内外业联动, 专家与解译人员协同工作, 解决了异步刷新和系统安全等技术难题。最后, 本文以青海省果洛藏族自治州西北部的玛多县和玛沁县高原地区为研究区进行了实验, 实践证明该系统可以有效的减少解译所需要的时间, 提高解译工作的正确率, 为其他相关部门提供数据支持, 提高解译工作质量及其信息化、智能化水平。

关键词: WebGIS; Web AppBuilder; ArcGIS Server; 解译; 协同

1 引言

随着社会经济的日趋多样化, 土地资源利用变化迅速, 自然资源部响应国家号召, 对国土资源调查工作的开展提出更高的要求: 不断提升国土资源治理能力, 推动信息服务的普惠化, 需要建立充分共享、适度开放、安全可靠的国土资源数据共享开放新机制。[1]

在基于 WebGIS 进行相关系统开发方面, 国内外进行了一些方法的研究, 并实现了一些系统的应用。现阶段主流的专业网络 GIS 产品主要是以 MapGIS、SuperGIS 和 ArcGIS 为平台, 公共网络产品包括 google 地图和天地图等[2], 在这些产品的基础上, 白雪红等在 2012 年开发出基于 ArcGIS Server 和 Flex 的数字喀什公共平台系统[3], 冯晓等在 2013 年开发出基于 ArcGIS Server 的 WebGIS 公路养护管理系统[4], 杨秋丽等在 2018 年开发出基于 ArcGIS Engine 的新疆自然保护区矿产资源信息系统[5] 等等。2016 年 Esri 公司发布了 Web AppBuilder, 它基于 ArcGIS API for JavaScript 构建, 除 Dojo 外无需第三方库[6]。

针对现阶段存在的问题, 本文运用 Web 技术理论与方法, 应用 ArcGIS GIS Server、Web AppBuilder 和软件技术, 基于 Portal for ArcGIS 搭建了在线协同式遥感解译系统。该系统可以实现用户管理, 在线协同解译, 在线制图和分析, 内业外业人员在线信息共享等众多功能, 操作简单, 实用性高。有别于传统的分工式解译, 本系统采用协同解译的方法, 由专家负责制定解译规则, 并对解译结果进行质量管理, 解译人员根据专家制定的规则进行解译和修改完善; 内外业人员同图修改矢量, 解译内容实时共享。大大提高了解译工作的效率和正确率。应用该系统完成了对青海研究区的协同解译, 证明了系统的可用性和稳定性, 可以极大的提高解译的效率和精度。

2 系统设计

2.1 系统目标

基于 Web 的在线协同式解译系统的建设目标是: 实现基于 Web 的解译信息共享, 实现专家和解译人员协同解译, 保障信息传递的实时性。同时解决部门之间的沟通问题, 使相关部门之间实现信息共享。方便业内外人员沟通, 外业调查结果可以及时准确的反映给内业部门。解译成果可以开放共享, 能够向社会提供更好的服务。保障信息安全, 确保系统建设与安全建设同步规划。

2.2 系统基本架构

本系统应用 Portal for ArcGIS, 基于 ArcGIS Server 10.5 的 WebGIS 平台以 Web AppBuilder 为开发环境进行二次开发。同

时采用 JavaScript 语言等技术, 对系统组件开发进行研究。本系统运用 SOA 架构设计原理, 体系结构可以分为四层: 数据层、GIS 服务层、Web 层和表现层。本系统体系结构图如图 1 所示。

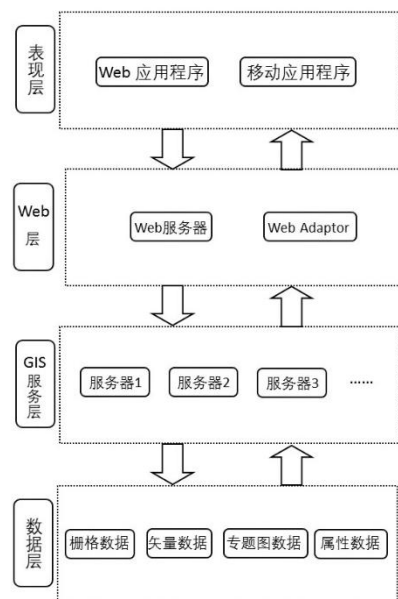


图 1 系统体系结构图

Fig.1 System architecture diagram

其中, 数据层所储存主要数据包括栅格数据、矢量成果数据以及用作参考的专题图数据和属性数据, 通过空间数据引擎 ArcSDE 来访问该系统的关系型数据库系统 SQL Server, 以实现高效存储和管理系统空间数据。

GIS 服务层主要用于托管 GIS 资源 (例如地图、地理处理工具和地址定位器等) 并将它们作为服务呈现给客户端应用程序。当客户端应用请求某种特定服务时, GIS 服务层产生响应, 并将其返回到客户端应用。GIS 服务层可以包含一台计算机, 也可以包含多台计算机。GIS 服务层可以配置集群, 每个集群专注于运行某项工作, 以高效稳定处理多并发请求。

Web 层用于托管 Web 应用程序, 并为 ArcGIS GIS Server 站点提供可选的安全和负载均衡能力。如果只需要简单地托管 GIS 服务, 则可使用安装 ArcGIS GIS Server 后创建的站点。

表现层可以使用 ArcGIS GIS Server Internet 创建 Web 应用程序、移动应用程序, ArcGIS GIS Server 主要包括两种指定的客户端应用程序开发框架: Web APIs 和 ArcGIS Runtime SDKs。

2.3 系统基本架构

基于 Web 的在线协同式解译分级和流程如图 2 所示。本系统在 Portal 分级的基础上, 定义了五个级别的角色, 分别是管

理员，专家，内业解译人员、外业人员和用户。

管理员可以自定义网站、邀请并添加成员到组织，并管理资源。管理员还拥有一种配额管理工具，可通过该工具将配额灵活地分配给部分或全部能够访问使用配额的服务的组织成员。管理员在日常系统运行的过程中主要负责管理用户，同时负责基础数据（影像底图和专题图）的上传和发布。

专家主要负责对数据进行分类和决策，其职责包括但不限于对数据的自动化分类方法进行决策、厘清解译标志、确定分类的级别和具体分类方法、提供解译所需的样方以及对解译人员的解译成果进行质检。

内业解译人员不需要太多的遥感专业知识，在专家制定的规则之下进行解译即可。他们主要负责具体的矢量图层的勾画，并且可以根据专家提供的在线实时指导对矢量进行修改和完善，当专家的需要修改规则，如需要细分样方的内容、对某两类地物进行归类或需要重新划分部分地类时，内业解译人员能过通过专家发布在 web 组织中的实时变化后的内容进行及时的修改。

外业人员通过手机或者平板电脑等移动设备能查看到内业解译过程中存在疑问的点，然后对这些点进行验证，在此过程中，外业人员可以把这些点导出到具有导航功能的其他地图 app 中，结合当地情况，对野外路线进行规划。整个过程实现了内外业人员在一套影像上进行作业，并且外业人员的验证结果可以实时反馈给内业部门。外业人员也可以在野外基地对确定要修改的矢量边界和属性进行修改，这些修改结果也会实时同步到系统中，作为最新的矢量成果，支持所有其他成员查看。

用户是解译成果的使用者，除了进行数据浏览、查询，用户可以依托 ArcGIS GIS Server 强大的分析功能对解译结果进行分析，从而做出决策。但用户没有修改矢量成果及更高的权限。

通过对系统的合理分级，在保障数据安全性的同时，实现了数据和解译成果同步共享。在整个解译工作的过程中，对专家的专业知识应用达到最大化，实现指令实时下放，成果及时反馈，问题迅速解决的协同解译机制。解决了在传统的人机交互解译过程中存在的诸多问题，极大提高了解译效率和解译精度。

3 系统实现的关键技术

基于 Web 的在线协同式解译系统，需要处理大量的栅格数据、矢量数据等空间数据，还要处理好解译部门与其他部门之间的协同关系，这需要一系列的软件和硬件提供环境支持。系统要支持多人同时在线解译，需要良好的运行性能，处理速度和实时更新能力。最重要的是，一定要确保底图信息的安全和解译成果的信息安全。

3.1 异步刷新技术

系统在运行过程中需要大量的处理影像数据和矢量数据，会造成网页访问不流畅，刷新较慢等问题，如何提高速度，减少等待时间，是本系统着重考虑的一个问题。Ajax 异步刷新原理是通过向服务器发送异步请求，从服务器获得数据，实现页面的更新。在基于 web 的在线协同式解译系统的运行过程中，采用了 Ajax 技术，系统及时向服务器提出请求和处理响应，而不阻塞用户，达到及时刷新的效果，减少用户实际等待时间。

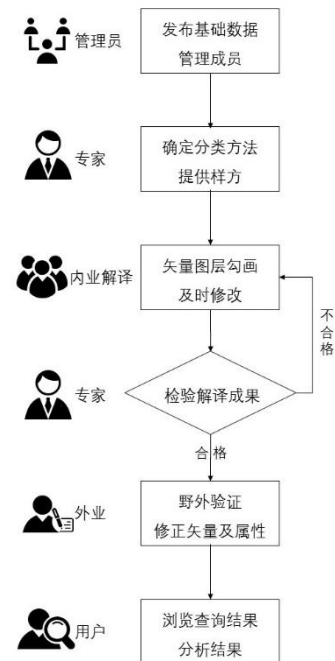
3.2 系统基本架构

安全问题包括系统安全和数据安全两个方面。解决系统安

全问题，要做好系统分级，使数据只能被拥有相应权限的人访问，各种角色的工作人员各司其职；解决数据安全问题，要应用密码，对数据传输过程进行加密，并做好检查监督和安全备份。

(1) 系统分级

为保障平台访问的安全性，本系统在 Portal 分级的基础上，定义了五个级别的角色，分别是管理员，专家，内业解译人员、外业人员和用户。除管理员外，其他人不能对系统中的影像进行上传和下载，保证了栅格数据的安全。专家和内业解译人员可以新建和修改矢量图层，外业人员可以修改矢量、编辑属性，用户只能查看解译结果，而不能编辑解译成果，这样的分级权



限管理保障了矢量数据的安全。

图 2 基于 Web 的在线协同式解译分级和流程

Fig.2 Web-based online collaborative interpretation and grading

(2) 数据加密与备份

为了有效提高云存储系统的安全性，需要采用访问控制、身份认证以及 SSI 加密技术来对云存储的数据进行保护，使数据在网络传输中能有效避免各种安全威胁。同时通过实现云存储服务器与用户之间的相互认证，对双方的身份进行有效鉴别后用户代理通过安全应用程序接口来和云存储服务器建立通信连接，然后进行数据存储服务，对数据信息进行分片处理，从而使这些完整的数据变成一系列的数据片段，这样就不能被那些没有得到认证的系统识别，能够保证云存储的数据进行分片后就不会产生数据被窃取的现象，从而可以有效提高云储存数据的安全性。

数据备份在数据管理中至关重要，在机器发生故障的时候使用备份数据可以进行数据还原，将损失降到最小。备份可以恢复数据，当服务器出现故障，数据也在服务器上，将无法恢复数据。因此，本系统将备份文件存储在不同的服务器数据存储上，提供了手动备份和自动备份两种方式。

3.3 ArcGIS Server 和 Web AppBuilder 框架

ArcGIS Server 是 ESRI 推出的一款可以独立部署的服务器产品, 可以将地理资源转化为在线服务, 这些资源包括地理制图、地理编码、地理处理、3D 地理数据、要素编辑、网络分析、OGC 支持、数据访问、移动数据提取等。这些在线资源可以供用户通过桌面、Web、移动等多客户端使用。ArcGIS GIS Server 采用站点模型, 通过松散的、热插拔式点对点的方式, 灵活控制和管理各个 GIS Server 节点, 由客户端, GIS 服务器, Web Adaptor, Web 服务器和数据服务器组成。[6]

Web AppBuilder for ArcGIS 是由 ESRI 公司推出的基于 ArcGIS API for JavaScript 的 RIA 应用程序框架。基于该框架只需进行简单的配置便能搭建起一个 WebGIS 应用系统原型, 使开发者够摆脱地图管理、应用配置、组件间的通信等繁重复杂的编程工作, 专注于核心业务功能部件的开发, 大幅度缩短了系统的开发周期。框架中自带了部分基础应用需要的 Widget, 能在无需修改框架代码的情况下完成自定义 Widget 的集成。Widget 之间相互独立, 当一个 Widget 出现错误时并不影响其他 Widget 的使用, 进而保证了系统的稳定性。

4 系统实现

4.1 数据处理

系统需要的数据主要包括影像数据、矢量数据、其他部门提供的专题图数据和属性数据。本文将所有数据储存在 Geodatabase 数据库中, 并上传至 ArcGIS Server, 发布为地图服务, 在发布和使用地图服务、矢量服务和栅格服务的过程中, 依据 OGC 制定的一系列空间数据互操作接口规范, 实现了异构空间数据库的互操作。

运用 ArcMap 10.5.1 提供的 ArcGIS Image Server 发布高清影像图服务来发布栅格数据。由于本文所需的数据量很大, 采用直接把栅格数据目录发布为服务的传统方法会导致速度很慢, 且占用空间过大, 所以本文将所有的栅格数据添加到一个数据目录下, 再把栅格数据目录通过构建金字塔和数据统计添加到栅格数据集里, 使之成为整体的数据, 处理速度大大加快。栅格数据集保持与原数据相同的拉伸方式和比例, 可以保证两者之间无像素和色素差异, 然后将栅格数据集发布为地图服务。

矢量数据的属性包括分类、面积、行政区划等信息, 矢量数据使用 ArcGIS Pro, 发布为矢量切片服务, 原始矢量和解译过程中产生的新矢量, 直接储存在 ArcGIS Server 注册的空间数据集中。过程中应用的 ArcSDE for PostgreSQL 脚本支持 OGC 标准, 且能实现更快速的开发。

专题图数据和属性数据来源于其他部门所发布的共享资料 and 专家提供的水体、植被、道路等要素的自动提取结果, 具体包括研究区全要素解译图层、研究区林地专题图图层、研究区植被分布情况图层和研究区道路及水体分布情况图层等, 采用 Geodatabase 数据库进行存储和管理。

4.2 系统功能实现

基于 web 的在线协同式遥感解译系统主要功能包括: 数据管理、在线解译、成果查询浏览、变化分析、统计分析、信息发布与成果展示和在线制图。各个功能模块之间相互保持独立, 同时又相互联系, 其结构关系图如图 3 所示。限于篇幅, 本文着重介绍在线解译、信息发布与成果展示以及在线制图的实现。

(1) 在线解译

内业解译人员根据专业人士制定的分类规则和他们提供的

样方进行解译。在解译过程中, 参考已有的前人解译成果, 其他部门提供的专题图以及专家提供的自动分类成果图, 将这些图层以叠加的方式在地图上显示, 解译过程中可以根据自己的工作习惯, 调整以上图层的叠加顺序和透明度, 并可以随时读取相关的属性, 进行矢量勾画、整形、合并、切割等基础功能。系统可以实现包括选择要素, 新建要素, 移动要素, 复制要素, 编辑属性, 修改边界等一系列功能。

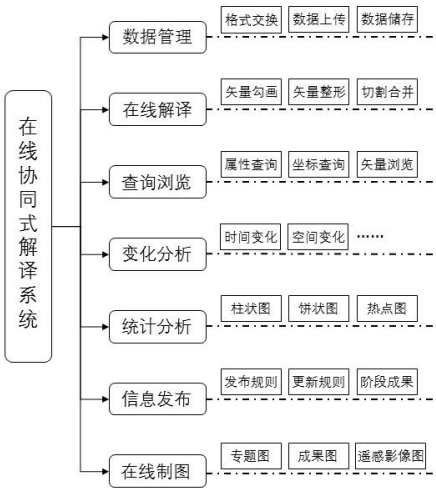


图 3 系统功能

Fig.3 System functions

(2) 信息发布与成果展示

在日常工作的过程中, 专家可以在组织内部随时发布和更新规则, 这些公共规则将会以示例的形式向整个组织内部展示。在解译工作完成后, 成果自动汇总并由工作人员向用户发布。内业工作人员和外业工作人员也可以随时向组织内部发布自己的阶段性工作成果。

(3) 在线制图

通过在线制图平台, 工作人员可以将解译成果数据制成相应的专题图, 也可以制作有底图的二维地图用以展示成果, 实现数据向直观图像的转化过程。用户也可以选择所需要的影像和矢量信息, 在线制作包含特定信息的地图, 并保存和共享。

5 系统应用实例

以青海省果洛藏族自治州西北部的玛多县和玛沁县高原地区为研究区, 应用在线协同解译系统进行内业解译和外业采集修正。研究区处在偏远高原地区, 具有海拔高、有效数据少、云雪遮盖范围大的特点, 卫星有效影像数据难以获取, 生态环境脆弱, 自然资源丰富, 地形条件复杂, 气候环境恶劣, 野外工作难以开展。

本次基于 Web 的在线协同式解译原型系统所进行的解译, 工作中所用到的栅格数据为依托中国国土资源部航空物探遥感中心《偏远高原地区多源高分数据地表专题图协同绘制技术》项目所得的国产高分辨率影像, 对影像进行噪声处理, 波段配准, 辐射定标, 大气校正, 几何校正, 正射校正, 图像融合等一系列预处理, 并把每幅影像与底图数据配准, 将配准后的影像进行合理的裁剪拼接, 经过处理的国产高分影像实现了研究区无云全覆盖。同时参考 Esri 提供的世界影像底图 (研究区主要以 SPOT 卫星数据为主) 和天地图提供的全球影像地图服务。解译的地物类型包括植被, 河流及发源地, 冰川及永久积雪, 沙地, 盐碱地五种地物类型。

首先用自动提取的方法对研究区的林地、道路、水体等信息进行提取，并将提取成果以服务的形式上传，为解译工作提供参考。然后由内业解译人员根据专家所解译的样方和专家制定的规则进行解译，解译结果实时同步，再由专家进行质量检

查和修改。最后，室内解译工作完成后，在野外对解译结果进行了验证并完成了外业实时修改。本次解译工作所得的成果为青海高原地区多要素高分辨率解译专题图，最终解译成果如图 4 所示。

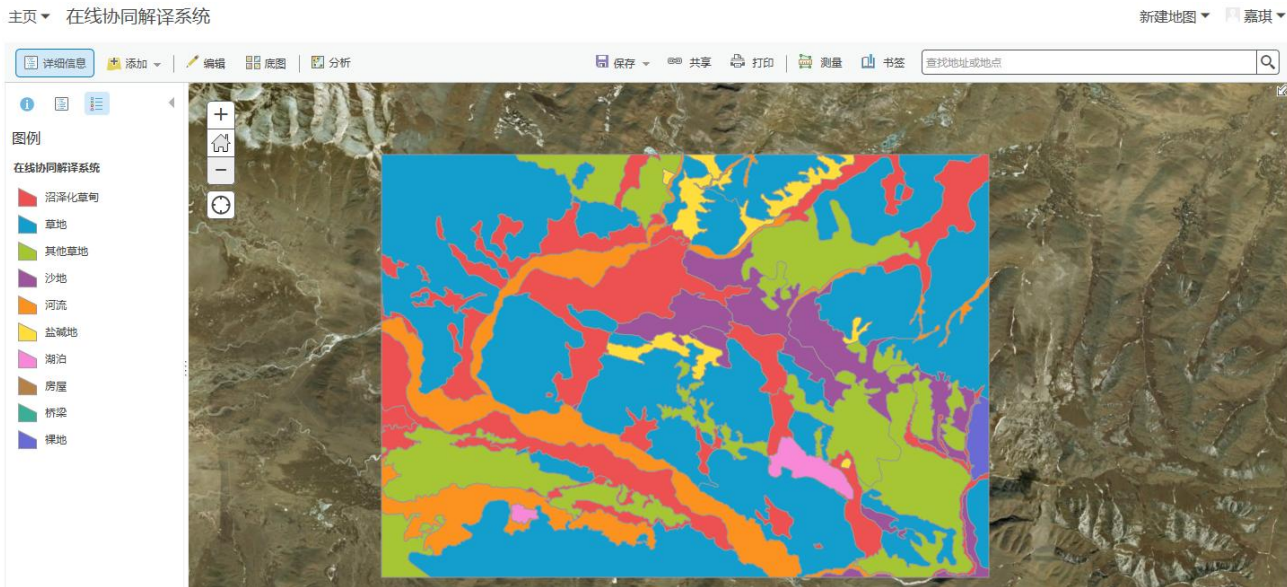


图 4 最终解译成果

Fig.4 Final interpretation

6 结语

本文研究了一种基于 ArcGIS Server、Portal for ArcGIS、ArcSDE、Web AppBuilder 等技术的基于 web 的在线协同式解译系统的实现方案，目的在于解决解译工作量巨大、反馈传达不及时、部门之间信息沟通不畅、系统安全性不足等问题。开发了相应的原型系统，以青海省果洛藏族自治州西北部的玛多县和玛沁县高原地区研究区为实例，对系统进行了实际的解译测试。结果表明，本系统可以实现数据管理、在线解译、成果查询浏览、变化分析、统计分析、信息发布与成果展示和在线制

图等功能，解决了刷新问题和系统安全问题等技术难题，可以实现内外业联动，专家与解译人员协同工作，减少解译所需要的时间，减轻工作量，提高解译工作的正确率，同时可以为国土资源部相关部门提供决策依据。系统可以提供与解译成果有关的信息服务，具有良好的可扩展性，能够满足不断增长的用户需求。将 WebGIS 技术应用于解译系统具有重要的意义，可以大幅度扩展系统功能，提高各方面性能，进一步提高解译工作质量及其信息化、智能化水平。

参考文献(References)

[1] 国土资源部.国土资源信息化“十三五”规划[R].2016

[2] 张书亮等编著.网络地理信息系统[M].2005

[3] 白雪红, 蔺启忠, 王钦军, 郑宏艳, 李慧.基于 ArcGIS Server 和 Flex 的数字喀什公共平台系统设计[J].安徽农业科学,2012,(14): 8339-8342

[4] 冯晓, 郁彩霞, 刘国栋.基于 ArcGIS Server 的 WebGIS 公路养护管理系统设计与开发[J].中外公路,2013,第 33 卷(4): 345-349

[5] 杨秋丽, 魏建新.基于 ArcGIS Engine 的新疆自然保护区矿产资源信息系统开发[J].中国矿业,2018,第 27 卷(5): 168-172

[6] Esri 中国信息技术有限公司.ArcGIS 10.5 产品白皮书[Z].2016

Research on Web-based Collaborative Interpretation System

XU Hang¹, SUN Jiaqi², ZHANG Zhenhua¹, LI Wenji¹

1. China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China;
2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: In this paper, the process of land resources vector interpretation problems, based on Web AppBuilder framework, combined with ArcGIS Server map service, to design and build a Web-based online collaborative interpretation system. The system realizes online interpretation, information release and results display, online mapping and other functions, and realizes the linkage between internal and external industries. Experts and interpreters work together to solve technical problems such as asynchronous refresh and system security. At last, this paper conducts experiments in the research area of Maduo County and Maluan County in the northwest of Guoluo Tibetan Autonomous Region in Qinghai Province. It has been proved that the system can effectively reduce the time required for interpretation and improve the correct interpretation work. Rate, provide data support for other relevant departments, improve the quality of interpretation work and its level of informationization and intelligence.

Key words: WebGIS; Web AppBuilder; ArcGIS Server; Interpretation; Collaboration

论斜轴投影编制小比例尺世界地图^{*}

李敬敏 何 辉 周 伟 骆 遥

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘 要 从地图制图学基本概念出发, 通过对地图投影中轴向分析, 讨论了国内编制世界地图中极少采用的斜轴投影, 并从斜轴投影角度剖析郝晓光博士新编世界地图的编图方法, 指出其斜轴(横轴)投影的实质。同时, 利用斜轴(横轴)Mollweide投影实现了郝晓光博士新编世界地图(南半球版和北半球版)类似效果的世界地图(简图), 以深化对小比例尺斜轴投影世界地图编制的认识。

关键词 地图投影 斜轴投影 地图编制 世界地图

Discussion on oblique projections for world map design

LI Jingmin HE Hui ZHOU Wei LUO Yao

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center

for Land and Resources, Beijing 100083)

Abstract Based on the concept of cartography, we analyzed the relation of axis for the earth and the map projections, and discussed the oblique projections which are seldom used for world map compilation in China. In fact, we find the projections used in new world maps proposed by Dr. Xiao-guang Hao is an oblique version of equip-difference parallel polyconic projection method, which can be provided better understanding under the framework of oblique projections. We also compiled similar world maps with the help of an oblique version of Mollweide's projection, and provided new examples of oblique maps.

Key Words map projections oblique projections map compilation world map

1 引 言

地图是对地球及其现象在二维平面上的高度抽象, 在抽象与建模中地图投影则是一项重要的数学基础。地图投影按数学法则将地球(或其他天体)球面的经纬线网展成平面的经纬网, 而不可展的球体(椭球体)曲面与平面之间的矛盾在地图投影中是永远存在的^[1,2], 地图变形不可避免。为了调和上述矛盾, 地图学家设计了各种各样的地图投影。早期地图投影通过几何学透视的原理建立球面与承影面的关系, 例如航海中广泛使用的墨卡托投影就是利用透视关系投影至圆柱面并按母线展开的。随着数学的发展地图学家更多的通过函数系建立球面经纬线网与相应平面坐标的关系, 发展了更多更为复杂的地图投影。我国现行世界地图多采用等差分纬线多圆锥投影, 随着“一带一路”倡议赢得越来越多的国家和国际组织的积极响应和认同, 用现行世界地图实现这一伟大构想的地图学表达的局限性也开始受到关注。学者开始采用郝晓光博士提出的纬线世界地图概念——广义等差分纬线多圆锥投影^[3,4]表达

^{*} 基金项目: 中国地质调查项目资助(DD20179376、DD20189410)。

“一带一路”包括“海陆丝绸之路”“空中丝绸之路”“冰上丝绸之路”的线路图及走向^[5,6]，为深入理解世界格局提供了绝佳的视角和工具，其新编世界地图在极地和大洋科考、全球板块分布、中国第二代卫星导航系统覆盖范围设计等应用领域取得了一系列重要成果^[7-9]。通过分析，我们发现新编世界地图北半球版和南半球版的投影方法本质上属于横轴投影（斜轴投影）^[2,10-14]，本文试图在地图制图学框架下分析郝晓光博士的编图本质，从斜轴投影角度探讨对其新编世界地图的理解。

2 地图投影及轴向

地球仪无疑是最能直观展示地球的模型，但实际使用中却多有不便^[2]，尽管出现了谷歌地球（google earth）等虚拟地球仪，在平面地图上表述曲面地球仍然最具实用价值和科学价值。地图投影正是将地球（或其他天体）曲面转换为地图平面的数学工具，常见的投影包括圆锥投影、圆柱投影、方位投影及类似这三类几何学投影的伪圆锥投影、伪圆柱投影等^[2]。图1给出了方位、圆锥和圆柱投影三种常见的投影示意。方位投影以平面作为投影面，切于地球极点（也可相割于纬线圈），根据不同条件（如面积无变形等）进行投影，此类投影多用于世界地图中南极和北极地区插图^[15]；圆锥投影以圆锥面与地球相切于纬线圈（也可同两条纬线圈相割），根据不同条件（如面积或角度无变形等）投影至锥面上，此类投影多用于中国全图、南北极地区等区域或地区性地图^[2,14-17]；圆柱投影以圆柱面与地球相切于赤道（也可与两条同名南北纬线圈相割），根据不同条件（如角度或经线长度无变形等）进行投影，此类投影多用于世界地图，其中尤以等角圆柱投影（墨卡托投影）编制航海图最为著名^[2,14-16]。除图1表述的三类投影外，世界地图常采用伪圆柱投影、多圆锥投影等投影，例如西方的世界地图常采用 Mollweide 投影（伪圆柱投影）、Winkel tripel 投影（改进方位投影）、Robinson 投影（伪圆柱投影）等^[2,14]，而中国出版的世界地图则多采用等差分纬线多圆锥投影^[15,17-19]。

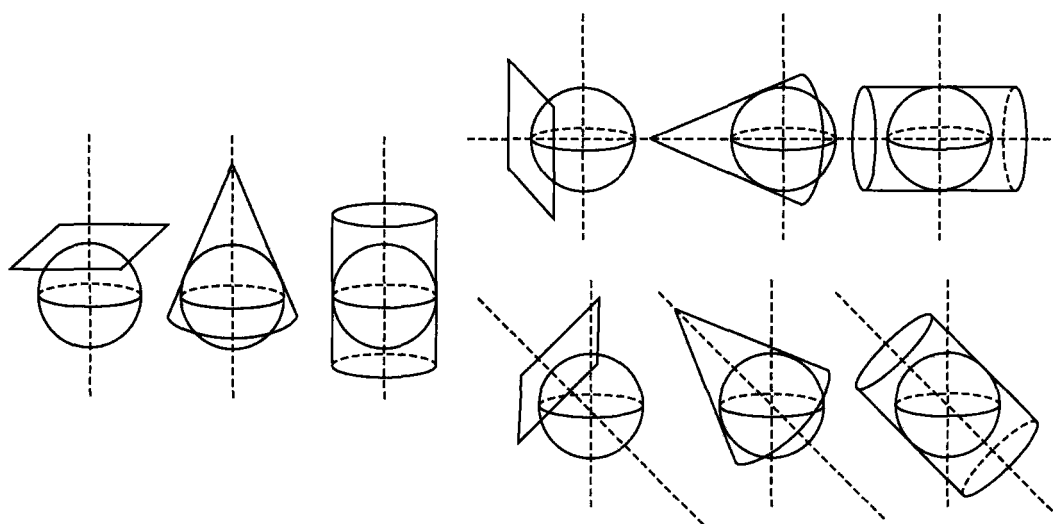


图1 方位、圆锥、圆柱投影及相应的横轴与斜轴投影示意

（综合文献 [3] [13] [15]）

方位、圆锥和圆柱投影中承影面的轴线均沿地轴方向称为正轴投影(图1)^[2,13,14],将承影面以地心为中心旋转 90° ,旋转后轴线将穿过地心位于赤道所在的平面上,即为横轴投影(图1)。横轴投影的应用非常广,我国各种大、中比例尺地形图采用不同分带的高斯-克吕格投影就是一种横轴圆柱投影。等差分纬线多圆锥投影出现前,我国曾使用横轴等面积方位投影编制世界地势图^[16],现行地图表示东西半球时也常采用该投影。从投影轴的角度出发,很自然地联想到投影轴既不与地轴重合也不与其垂直,而是与地轴斜交于地心的情况,即为斜轴投影(图1)。小比例尺世界地图编制中可不考虑地球扁率影响,用球体代替旋转椭球体既方便计算又能满足制图精度要求^[2],将图1中示意的地球视为球体,若将地球进行旋转其他不变,当两极位于原来赤道时将等价于图1中相应的横轴投影,而当两极位于原来非赤道、非极点的任意点时将等价于图1中相应的斜轴投影。斜轴圆锥投影和斜轴圆柱投影因投影后经纬网形状比较复杂,一般应用较少。相对而言,斜轴方位投影应用较多,中国省级行政区划图中多采用斜轴等面积方位投影^[2,17],美国中央情报局(CIA)曾编制过以北京($39^\circ 55'N$, $116^\circ 23'E$)为中心的斜轴等距离方位投影地图。

3 斜轴投影世界地图

我国出版的世界地图中几乎没有采用过斜轴地图投影,西方出版地图中最为著名的是斜轴(横轴)Mollweide投影^[2,14],此外教科书中也介绍过斜轴Sinusoidal投影等^[12]。图2(a)给出了斜轴Mollweide投影,该投影在1958年《泰晤士世界地图集》中展示大西洋(The Atlantic Ocean)时使用,尽管其属于Mollweide投影的变种,但由于其重要性而被西方习惯性称为Atlantis投影。该地图集中Atlantis投影还被用来编制1957年World Powers地图,以表达西方与社会主义阵营间的对峙之势,冷战思维展现得淋漓尽致。分析图2(a)可知椭圆的长轴沿 $30^\circ W$ 经线圈过两极,短轴切于 $45^\circ N$ 纬度圈,对比Mollweide投影不难确认该投影系其旋转 90° ,Atlantis投影实际上属横轴Mollweide投影,只不过被介绍到国内时称“斜轴Mollweide投影”^[2]。联系到前面对地图投影与轴向关系的讨论,可以很自然的建立起Mollweide投影、Winkel tripel投影、Robinson投影等投影方法所对应的斜轴投影概念,尽管这些投影不像前述圆柱、圆锥、方位投影那样有明确的物理轴。事实上,Snyder在文献[14]中列举了大量的横轴和斜轴投影,多数投影方法的正轴、横轴、斜轴投影方式并列叙述,足见横轴、斜轴投影方式之普遍,尽管多数投影中横轴、斜轴使用的情况非常罕见。

现行世界地图编图中常见的投影均可划分为正轴投影和斜轴投影,对斜轴投影可根据投影后经线圈是否过地图图形的长轴方向来判别是否为横轴投影,而斜轴或横轴投影很容易在忽略地球扁率的情况下从其正轴投影派生出来。由于等差分纬线多圆锥投影编制世界地图为我国特有,该投影轴向的讨论仍属空白,近年来郝晓光博士提出广义等差分纬线多圆锥投影^[3]并出版有新编世界地图,而学界对其投影方式仍存疑问,这里特进行讨论。新编世界地图分为四幅,东西南北半球版各一幅且在不同应用领域各具特色^[5-9],其中东半球版同我国现行世界地图一致,西半球版和东半球版类似,南半球版和北半球版则显著不同。新编世界地图东半球版和西半球版经纬网形状相同均属等差分纬线多圆锥投影,其区别仅为中央经线不同,西半球版选取 0° 中央经线,同西方主要世界地图中央经线选取一致。互联网上关于

中央经线的某些争论实际并无道理，各国编制的世界地图主要供本国使用，将自己国家置于世界地图的中央或接近中央的位置本系通例，西方也不以 0° 经线（本初子午线）为唯一中央经线，美国就出版有以美洲大陆为中心的世界地图，例如文献 [14] 中世界地图均采用 90°W 中央经线。中央经线选取的惯例或许可以理解为某种中心论，但这种“中心论”的地图学含义在于减小变形、方便使用。试想使用以本初子午线为中央经线的世界地图来标注美国西海岸到中国的航线，此图在实际使用中会多么麻烦，有鉴于此，该使用目的下美国海员仍以使用 90°W 中央经线的世界地图（航海图）为宜，而中国海员则以使用 150°E 中央经线的世界地图（航海图）为佳。因此，中央经线引发的中心论其核心要义是以需求为导向，中央经线的选取应满足地图使用目的为原则，前述 CIA 编制以北京为中心的世界地图其目的也正在于此。

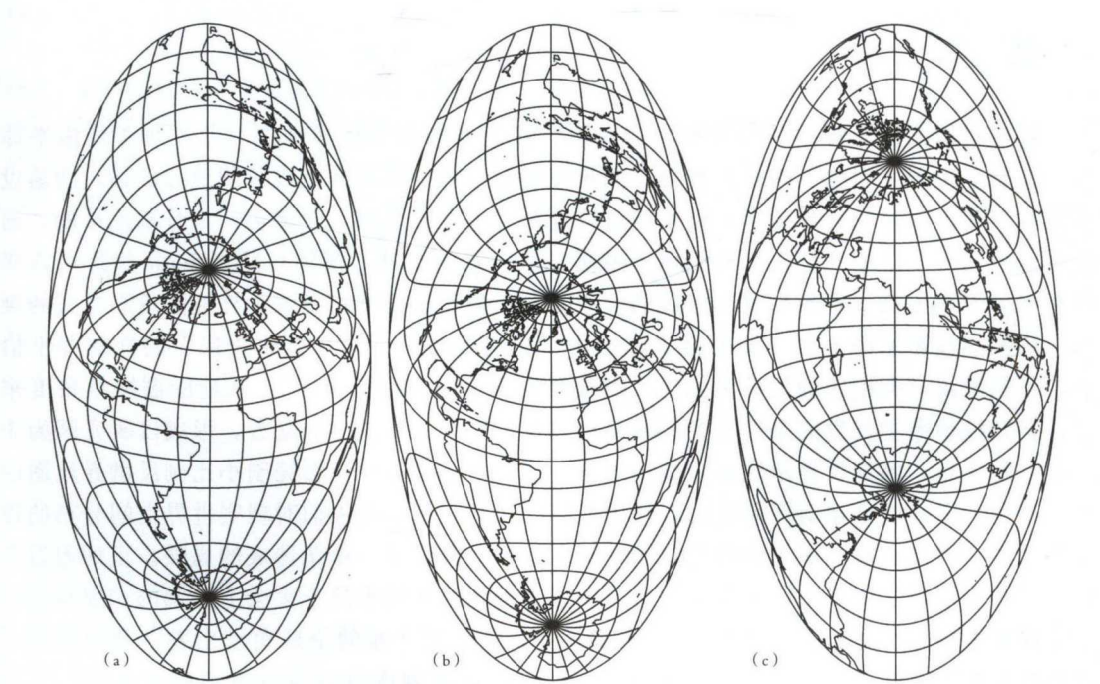


图 2 横轴 Mollweide 投影/Atlantis 投影 (a)、横轴 Mollweide 投影的
北半球版新编世界地图 (b) 和南半球版新编世界地图 (c)

新编世界地图南半球版、北半球版经纬网变形明显，两极连线位于现行等差分纬线多圆锥投影的赤道位置，属横轴投影，郝晓光博士在制图中将坐标系旋转 90° ^[3,4] 也证实了该论断。南半球版图形长轴沿 75°E (105°W) 经线圈，图形短轴切于 15°S 纬线圈，图面中心为 (15°S , 75°E)。北半球版图形长轴沿 30°W (150°E) 经线圈，图形短轴切于 60°N 纬线圈，图面中心为 (60°N , 30°W)。对比图 2 (a) 和郝晓光博士新编世界地图北半球版，不难发现二者非常接近，事实上若忽略二者投影差异（Mollweide 投影和等差分纬线多圆锥投影的差异），唯一不同在于图 2 (a) 的中心位于 (45°N , 30°W)，而北半球版图形中心为 (60°N , 30°W)。按正轴投影角度理解，二者均将 30°W (150°E) 经线圈视为赤道，其差异仅为中央经线选取的不同，郝晓光博士新编世界地图北半球版更关注北冰洋及毗邻地区，而图 2 (a) 则更关心大西洋。为了进一步说明二者关系，这里将横轴 Mollweide 投影的椭圆中心设

为 $(45^{\circ}\text{N}, 30^{\circ}\text{W})$ ，图 2 (b) 给出了编图效果，若忽略投影间的差异，图 2 (b) 表现的海陆关系同郝晓光博士新编世界地图北半球版效果相同，因而可称作横轴 Mollweide 投影版本的新编世界地图（北半球版）。类似的，将横轴 Mollweide 投影的椭圆中心设为 $(15^{\circ}\text{S}, 75^{\circ}\text{E})$ ，可编制出横轴 Mollweide 投影版本的新编世界地图（南半球版），图 2 (c) 给出了编图效果。通过对斜轴投影的分析以及图 2 (b) 和图 2 (c) 的编图实例可知郝晓光博士新编世界地图南半球版或北半球版本质上采用了横轴投影的方法，骆遥等在虚地磁坐标系研究中也认为“广义等差分纬线多圆锥投影”确切的名称应是“横轴等差分纬线多圆锥投影”^[18]。新编世界地图其创新在于提供了新的视角来认识地球，不同投影参数选择主要是为了将编图关注区域移动到投影变形扭曲较小的地方，郝晓光博士设计的精妙之处也正在于此，他提供了斜轴（横轴）投影编制小比例尺世界地图的生动示范。

4 结 语

通过对地图投影特别是投影轴向的讨论，我们发现新编世界地图（北半球版和南半球版）本质上采用了斜轴（横轴）投影，如果说现行世界地图是按经线分割地球的话，新编世界地图（北半球版和南半球版）则是按过特定纬线上点的大圆（含赤道）来分割地球的。通过在地图制图学框架下分析郝晓光博士编图方法，基于斜轴（横轴）Mollweide 投影可以实现新编世界地图南半球版和北半球版的实质效果，释疑了学界对新编世界地图投影方式的疑问。从地图投影术语上说，新编世界地图中“广义等差分纬线多圆锥投影”的概念并不恰当，我们建议该类投影的标准名称为“横轴等差分纬线多圆锥投影”。从地图制图学角度来讲，斜轴投影最主要目的是将重要区域移动到投影变形扭曲较小的地方，形成以研究区为中心的空间分布，新编世界地图也正展示了这一精髓，也是斜轴投影编制小比例尺世界地图的生动实例。在开展全球范围研究时，地图投影的选择直接影响人们对现实世界空间分布的理解和认识，因此需要从多视角进行空间分析和认知，避免单一视角造成的局限。正如习近平总书记在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上强调的“要坚持以全球视野谋划和推动科技创新”，我们希望科技工作者能从新的全球角度出发，充分发挥斜轴地图投影在编制世界地图方面的优势，特别是在地图制图这一基础方面服务好“一带一路”倡议，为推动构建人类命运共同体作出贡献。

参考文献

- [1] 吴忠性. 地图投影学中矛盾运动的初步分析 [J]. 测绘学报, 1965, 8 (2): 115-125
- [2] 胡毓钺, 龚剑文. 地图投影图集 (第三版) [M]. 北京: 测绘出版社, 2006
- [3] 郝晓光, 薛怀平. 纬线世界地图 [J]. 地壳形变与地震, 2001, 21 (1): 95-98
- [4] Hao X G, Xue H P. Generalized equip-difference parallel polyconical projection method for the global map [C]. Proceedings of the 20th international cartographic conference. Beijing, 2001
- [5] 叶长绵, 廖小韵, 庄艳华, 等. “一带一路”在新编世界地图上的表述 [J]. 海洋测绘, 2016, 36 (3): 21-24
- [6] 廖小韵, 张侠, 徐汉卿, 等. 北极航道在新编世界地图上的表示 [J]. 测绘科学, 2009, 34 (S): 162-163

- [7] 徐汉卿, 薛怀平, 廖小韵, 等. 中国首次环球大洋科考航线图 [J]. 地理空间信息, 2006, 4 (5): 74-76
- [8] 郝晓光, 方剑, 柳林涛, 等. 基于新编《系列世界地图》的全球板块分布图 [J]. 地球物理学进展, 2006, 21 (4): 1108-1112
- [9] 郝晓光, 陈晓峰, 张赤军, 等. 中国二代卫星导航系统设计覆盖范围的探讨 [J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27 (1): 119-122.
- [10] 方俊. 地图投影学 [M]. 上海: 商务印书馆, 1952
- [11] 黄国寿. 地图投影 [M]. 北京: 中国工业出版社, 1962
- [12] Robinson A H, Sale R D, Morrison J L. Elements of cartography (4th Edition) [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1978
- [13] 吴忠性. 地图投影 [M]. 北京: 测绘出版社, 1980
- [14] Snyder J P. An album of map projections, USGS Prof. Paper 1453 [R]. Washington, DC: U. S. Government Printing Office, 1989
- [15] 总参谋部测绘局. 世界地图 (第二版) [M]. 北京: 星球地图出版社, 2004
- [16] 地图出版社. 世界地图集 (甲种本) [M]. 北京、上海: 地图出版社, 1958
- [17] 刘光明. 中国自然地理图集 (第三版) [M]. 北京: 中国地图出版社, 2010
- [18] 骆遥, 李敬敏, 张文志, 等. 虚地磁坐标系原理及应用——对郝晓光博士新编世界地图的深化与扩展 [C] //刘代志, 主编. 国家安全地球物理丛书 (十三) 军民融合与地球物理. 西安: 西安地图出版社, 2017, 168-174

航空物探遥感地质信息服务需求分析

郑向向 王宁 付小茗 付钰莹
(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 为充分把握用户需求,提升航空物探遥感资料的社会化服务水平,本文以地质大调查工作以来航空物探遥感数据资料服务情况为基础,采用实地、网络等多种形式对政府、企事业单位、社会公众等不同用户开展了航空物探遥感地质信息服务需求调研,通过定量与定性相结合的分析方法,获取了各类用户对航空物探遥感地质信息服务需求,为航空物探遥感地质信息产品的开发提供了依据,以扩展航空物探遥感地质信息服务内容与服务方式,切实提高航空物探遥感地质信息的社会化服务水平。

关键词: 航空物探, 遥感, 地质资料服务, 需求调研, 需求分析

1 概述

航遥中心作为我国从事航空物探和遥感技术研究、开发和应用的专业技术中心,自 1957 年成立以来积累了大量的航空物探遥感地质资料,形成了涵盖电磁、放射性和重力多专业航空物探与可见光、多光谱、高光谱、LiDAR、激光雷达水深测量、宽角相机等全谱段的航空遥感和国产高分辨率遥感卫星数据为主的多样化、全类型的航空物探遥感数据获取技术体系,当前可提供服务的各类航空物探遥感数据资源累计约 1PB。然而,传统的航空物探遥感地质资料管理服务模式,导致大部分上述资料处于“休眠”状态,开发利用水平低。与此同时,“地质云”的开通运行与地质调查新时代工作理念的转变,促使用户对航空物探遥感地质资料的需求也发生改变,上述改变亟待我们以用户需求为导向,盘活现有数据资源,提升发掘存量数据资料的潜在价值,从而为自然资源管理、国土空间规划与用途管制、生态保护修复提供客观准确的数据支撑。

2 工作方法与技术路线

航空物探遥感地质信息服务需求分析以“调研准备-需求调研-结果统计-需求分析”为总体工作思路,基于对地质大调查工作以来航空物探遥感地质资料服务记录的梳理总结,明确调研工作方式方法,通过开展多种形式的需求调研与统计分析,厘清用户对于航空物探遥感地质信息的实际需求与潜在需求。航空物探遥感地质信息服务需求分析具体工作方法与技术路线如下图所示。

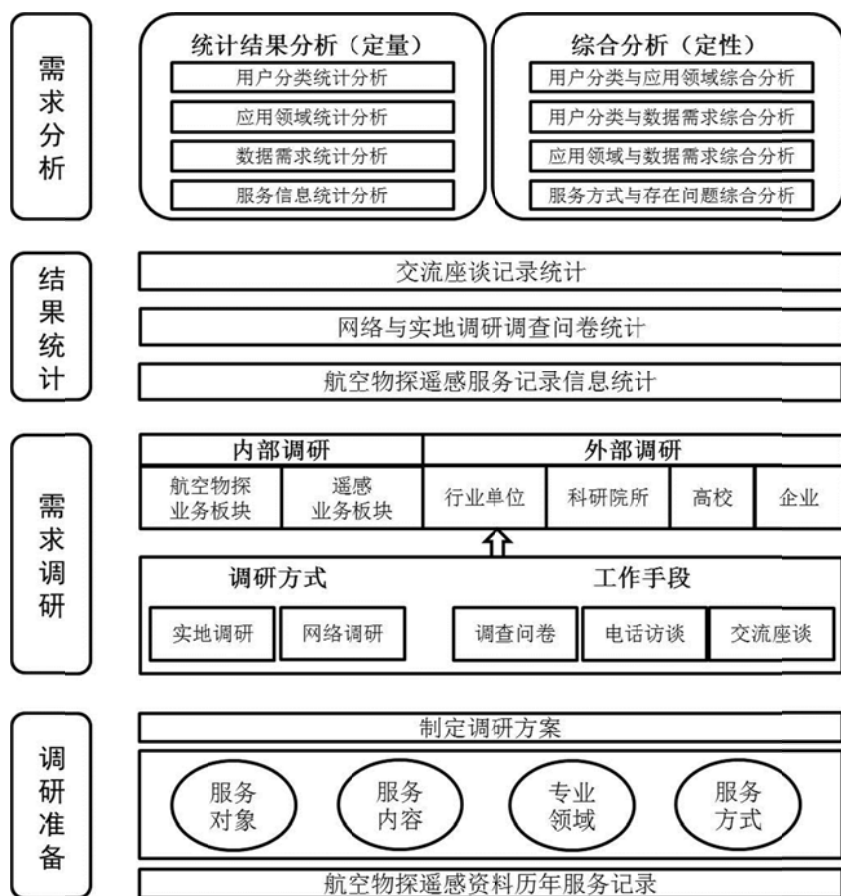


图 1 航空物探遥感地质信息服务需求分析技术路线图

2.1 调研准备

调研准备是航空物探遥感地质信息服务需求分析的基础，其主要包括以下两方面内容，一是收集地质大调查工作以来航空物探遥感地质资料对外提供记录，梳理航空物探遥感数据资料服务现状，从而获取以往航空物探遥感地质资料的服务对象、服务内容、服务领域及服务方式等信息；二是基于上述梳理总结，制定需求调研总体方案，设计调查问卷，制定调研计划，明确调研对象、调研形式、调研方法和调研内容，为开展需求调研工作奠定工作基础。

2.2 需求调研

基于调研前期准备工作成果，分别面向内部和外部开展相应调研，内部调研以单位航空物探、遥感、卫星、地质等业务板块为主，外部调研以政府机关、行业单位、科研院所、高校、企业等为主。通过实地+网络相结合的调研方式，以调查问卷、电话访谈、交流座谈为工作手段开展需求调研工作。

2.3 调研结果统计

按照调研工作方式方法，分门别类统计对应调研结果，分别对航空物探遥感地质资料服

务记录、网络调查问卷、现场调查问卷、电话访谈与交流座谈记录进行相关服务信息的统计，为开展用户需求分析提供数据支持。

2.4 需求分析

需求分析包括对统计结果的分析 and 综合分析，其中针对统计结果的分析偏重于对用户类别、应用领域、数据需求及服务信息的定量分析，而综合分析以定量为基础侧重不同服务要素间的相互定性分析。通过专业的统计分析方法，挖掘用户对航空物探遥感地质信息服务的实际需求和潜在需求。

3 需求调研

3.1 梳理数据资料服务现状

为明确本次调研的对象和调研的内容，从航遥中心以往资料服务作为切入点，收集整理了地质大调查工作以来 5652 条服务记录。其中，物探对外服务 741 次，对内服务 4494 次；遥感对外服务 35 次，对内服务 382 次。通过分析整理的服务记录信息，得到了航空物探遥感地质资料的服务现状，如表 1 和表 2 所示。

表 1 遥感资料服务现状

服务类别	说明
服务对象	各级地调单位、科研院所、大专院校、政府部门及企业和个人
服务内容	航天影像、航空影像、加工处理影像、解译成果图件、工作程度、成果报告、数据库及技术方法
服务领域	地质矿产、地质环境、土地资源、灾害应急、测绘编图、教学研究、科普宣传及其它领域
服务形式	网络、专线、现场、邮寄

表 2 航空物探资料服务现状

服务类别	说明
服务对象	各级地调单位、冶金有色、武警黄金部队、科研院所、大中院校、政府部门及企业和个人
服务内容	航磁网格数据、航磁剖面数据、航磁等值线图、航磁剖面图、航磁勘查及成果报告、航磁异常分布图、航磁异常登记表、航磁化极图、航磁上延图、航磁解释推断图、评价图件、工作程度、其它航空物探测量数据报告及图件
服务领域	地质调查项目、矿产资源、区域构造、油气资源、综合编图、方法技术研究、教学研究及其它领域
服务形式	网络、邮寄、现场

3.2 调研方案制定

基于 3.1 航空物探遥感资料服务现状的梳理结果，本文从调研对象、调研方式、工作手段和调研内容四个方面开展了调研方案的制定：

调研对象的确定依据空间分布均衡,服务频次数多,工作领域面广的原则,分别圈定多家分布于东北、华北、华中、西北、西南、中南、东南七大区域以往的服务对象作为本文的调研对象,以确保选择的调研对象能够充分体现航空物探遥感资料的服务实际。据此,本文共确定了分布于上述七大区域,覆盖地质调查、矿产勘查、国土资源、遥感地质、教学科研等相关工作领域调研对象 18 家;

调研方式主要以实地调研和网络调研为主。实地调研由调研人员前往调研对象所在地通过与专业技术人员交流座谈和发放调查问卷等工作手段收集不同用户对于航空物探遥感地质信息的业务需求;对于不能开展实地调研的调研对象,以网络调研方式开展调研,借助“问卷网”提供的网络调研平台,向不同用户推送网络调研地址,从而实现广泛的需求信息收集,在降低调研成本的同时,大大缩短了信息采集周期;

工作手段是实现调研工作的技术方法,本文主要通过调查问卷、电话访谈、交流座谈等方法实施调研。调查问卷作为调研工作的主要手段,本文按照客观性、全面性和科学性的设计原则,根据文献资料学习与服务信息整理统计结果,经过小组成员讨论、专家质询设计了“航空物探遥感地质信息服务需求调查问卷”,其中调查问卷共设 17 个问题,其中封闭性问题 14 个,开放性问题 3 个;电话访谈是一种远程调研工作手段,由于该方法调研时间较短,交流问题相对简单,因此无法获取的客观丰富的用户需求信息;交流座谈作为一种定性的调研工作手段,借助“头脑风暴”式的讨论,可以直观的获取用户实际和潜在的需求信息;

调研内容主要由用户类别、应用领域、数据需求与服务意见建议 4 类 13 项构成,通过设计交流访谈的开放性问题、调研问卷的问题设置等实现对上述调研内容的全覆盖,具体调研内容可参照 4.2 部分中的提及的调查问卷,在此不再赘述。

4 调研结果统计

本文对多途径获取的调研数据进行了有效的审核整理,通过规范化整理、有效性检查,确保了需求调研获取数据的原始性、正确性和有效性,对航空物探遥感服务信息、调查问卷和座谈访谈记录三类调研数据分别进行了统计,本次调研总计得到以往服务记录 5652 份,调查问卷 149 份,座谈访谈记录百余条。

4.1 航空物探遥感地质资料服务信息统计

地质大调查工作以来,航遥中心共接待 312 家外部单位,773 人次,累计提供 7 种 1008 份航空物探遥感地质资料。本文为得到更具针对性的需求信息,分别按照用户与服务内容统

计了相应服务数据，表 4 为航空物探遥感地质资料服务用户统计结果，表 5 为服务内容统计结果。

表 4 航空物探遥感地质资料服务用户统计

序号	行业或部门	用户数量	借阅次数
1	局属单位	26	119
2	地勘单位	168	389
3	科研单位	14	47
4	企业	54	88
5	大学	22	76
6	政府部门	27	53
7	协会	1	1

根据表 4 的统计结果可知，航空物探遥感地质资料借阅用户按用户数量排序依次为地勘单位、企业、政府机关、局属单位、大学、科研院所、协会。其中，168 家地勘单位用户来中心借阅 389 次，借阅总量在各类单位中居首，包括地矿、冶金、有色、化工、核工业、煤炭、石油等多个行业；局属单位 26 个单位用户借阅 119 次，每个单位用户平均借阅次数为 5.14 次，借阅最为频繁，借阅次数最多的局属单位为中国地质调查局天津地调中心，其次为中国地质调查局成都地调中心、沈阳地调中心、南京地调中心与发展中心；14 家科研单位和 22 所大学总计借阅次数为 123 次，主要用户单位中科院系统、中国地质大学（北京）、吉林大学、长安大学等；54 家企业单位借阅次数为 88 次，企业用户中主要为国有企业和外企；政府部门中以国土资源和地震系统居多。

表 5 航空物探遥感地质资料服务内容统计

专业类别	服务内容	借阅次数	比例
航空物探	报告	234	27.34%
	基础数据	458	53.5%
	转换处理数据	102	11.92%
	解释评价数据	62	7.24%
遥感	报告	106	69.74%
	航片	20	13.16%
	解译图件	26	17.11%

由表 5 可知，航空物探专业方面，用户累计借阅航空物探专业报告、基础数据、转换处理数据和解释评价数据 4 大类资料 856 次，根据统计得到，基础数据的借阅次数最多，其次为报告、转换处理数据、解释评价数据。根据借阅审批表中记录的用户借阅内容，本文统计了航空物探各专业内容的借阅情况，其中航磁资料借阅 647 次，航电资料借阅 34 次，航放资料借阅 44 次，航重资料借阅 28 次，航磁资料需求占比达到 85.92%。遥感专业方面，用户累计借阅报告、航片、解译图件 3 大类资料 152 次，其中，报告的借阅次数最多，其次为

解译图件和航片，技术方法、仪器设备、标准规范等类别资料的需求极小。此外，航遥中心从 2012 年开始提供国产高分辨率卫星（02C、GF-1、GF-2）数据产品，截至目前，已向各类用户提供了包括原始影像、正射影像、镶嵌产品等在内的多样化国产卫星影像数据产品。

4.2 调查问卷统计

本次需求调研共收回调查问卷 149 份。其中，14 个封闭性问题的结果统计如表 6 所示，由于开放性问题（用户单位、专业、服务意见建议）的结果以文字形式体现，在此不罗列。

表 6 调查问卷封闭性问题结果统计

封闭性问题题干	问题选项	选择人数
Q1 您所在单位性质	政府部门	3
	地调局属单位	55
	企业	26
	科研院所	33
	公益服务机构	12
	个人	3
	其他	17
Q2 您从事的工作	物化探	59
	遥感	59
	软硬件、数据库	14
	其他	17
Q3 您使用航空物探遥感地质信息服务产品的频率	经常	81
	偶尔	54
	不使用	14
Q4 您使用服务产品的主要用途	政府决策	2
	科学研究	32
	项目工作	112
	科普教育	1
	其他	2
Q5 您所需的服务产品用于何种领域（可多选）	基础地质调查	82
	国土资源调查	72
	矿产资源调查	85
	环境监测	48
	工程地质调查	27
	防灾减灾	27
	其他	14
Q6 您通过什么途径获取航遥中心服务产品信息	政府部门	11
	地质资料馆	34
	地勘单位	49
	网络	33
	其他	22
Q7 您获取服务产品的方式	现场收集	101
	网络	54
	邮寄	22
Q8 您对航空物探哪个专业产品最感兴趣	航空磁力测量产品	64
	航空电法测量产品	25
	航空放射性测量产品	3
	航空重力测量产品	22
	其他（电磁等综合物探数据产品）	35
Q9 您需要的航空物探服务产品类型（可多选）	基础数据	109
	转换处理数据	54
	解释评价数据	53
	技术标准	33
	报告资料	73
	软件、数据库	59
	仪器设备	19
	其他	8

Q10 您需要的遥感服务产品类型（可多选）	国产卫星影像	101
	航片	63
	影像加工产品	55
	影像增强	37
	专题产品	42
	技术标准	38
	报告资料	81
	其他	3
Q11 您使用频率较高的服务产品区域范围	全球	11
	全国	39
	区域	84
	感兴趣区	15
Q12 为满足您的工作需求，您对所获取的服务产品进行哪些处理（可多选）	直接使用	23
	数据处理	59
	数据分析	26
	制图编图	7
	遥感解译	32
	其他	2
Q13 在获取和使用服务产品过程中，您遇到的问题（可多选）	手续复杂	62
	订单响应慢	7
	获取时间长	32
	不满足需求	16
	其他	32
Q14 您对航遥中心的服务是否满意	满意	103
	一般	42
	不满意	4

4.3 交流座谈/电话访谈记录统计

交流座谈/电话访谈记录统计基于对用户的相关记录的文字整理、标准格式录入、关键词提取等，分别按照航空物探、遥感和服务意见建议进行归类。根据对交流座谈/电话访谈记录的统计，用户对于航空物探专业资料的需求集中在航遥中心的权威数据航空磁测数据方面，基础数据，处理转换图件、编图数据、解译评价数据等，对航空重力测量数据方面也有一定的需求；用户对于遥感专业的需求集中在国产高分辨率卫星数据、航片数据等遥感影像数据，对正射校正后的影像产品需求度高；资料管理与服务的需求集中在简化数据借阅手续、数据处理服务费用等方面。

5 需求分析

航空物探遥感地质信息服务需求分析基于对调研数据的有效取舍和客观统计，针对统计结果分别开展定量分析和相关服务要素间的综合分析，以规避用户不合理需求，最大程度获取和挖掘用户对航空物探遥感地质信息服务的实际需求和潜在需求。

5.1 统计分析

统计分析以第4节调研结果统计数据为基础，分别从用户类别、应用领域、数据需求和服务意见建议四方面对用户提交调查问卷的数量特征进行描述性/探索性统计分析。

用户类别上，航空物探遥感地质信息服务用户主要是从事遥感、物化探和信息化的地调

局局属单位、科研院所和企业，也有少数政府部门、公益服务机构和个人使用航遥中心数据服务。

应用领域上，航空物探遥感地质信息的应用领域主要在基础地质、地质矿产调查、资源环境、国土资源这些地质调查局的主业务方面，也可为防灾减灾、工程地质等业务提供数据支撑服务，用户使用航空物探遥感地质信息的主要用途是对项目工作的立项、开展和顺利完成，也存在使用数据进行科学研究、支撑政府决策和科普教育的。

数据需求上，用户对于“即拿即用”数据产品需求强烈。其中，航空物探专业数据产品的需求，在磁法、电法、放射性和重力不同航空物探测量方法中，用户对航磁基础数据及产品需求很大，重点体现在大区域或全国性的中小比例尺数据、典型区域或小区域大比例尺高精度的数据产品。在数据处理方面，标准分幅格式产品、用户定制产品、制图编图、数据处理方法和技术人员。在现有物探数据产品中，1:25 万航磁系列图件产品、项目成果报告资料、航空物探数据库需求量大。结合用户需求建议，有待开发的产品有全国范围中比例尺航磁系列图件、典型区域大比例尺的航磁系列图件、已完成项目的解译评价图件和成果；遥感专业数据产品的需求，多时空分辨率的航天航空遥感影像需求最大。在遥感影像数据方面，正射影像、镶嵌影像以及提供影像处理技术方法支撑。在现有遥感数据产品中，遥感解译成果图件和成果报告需求量大。结合用户需求建议，有待开发的产品有典型区域的多元遥感解译图件和成果、遥感影像各级产品、标准分幅的正射影像。

服务意见建议方面，用户对航遥中心的服务能力、服务水平总体是满意的。反馈意见集中在提供完善的服务资料目录、规范化获取流程、简化获取手续、提高服务效率以及开展信息化服务。有待提高服务能力的措施要制定一套有效地成果管理机制和高效的数据服务策略，加快地质云-航空物探遥感服务节点建设，完善航空物探遥感数据服务系统。

5.2 综合分析

为了更有效地获取用户需求，提供具有实际指导意义的地质信息产品服务，本文定量分析了用户类别、应用领域、数据需求和服务信息之间的相关性，获取了航空物探遥感地质信息服务涉及的多变量综合分布特征。综合分析采用列联表的方式表示需求各方面之间的交叉频率，对用户类别和应用领域、用户类别和数据需求、应用领域和数据需求等方面的关联信息进行了综合分析。

5.2.1 用户分类与应用领域综合分析

通过分析用户分类与应用领域的相关性，交叉统计专业与产品应用领域的频数(表 7)，

掌握航空物探物探和遥感专业用户主要从事的工作领域。

表 7 航空物探遥感专业用户与应用领域关联统计

	基础地质调查	国土资源调查	矿产资源勘查	工程地质调查	环境监测	防灾减灾	其他
航空物探	72.88%	44.07%	66.01%	23.73%	13.56%	13.56%	5.08%
遥感	47.46%	61.02%	59.32%	8.47%	55.93%	20.34%	1.69%

从用户专业与应用领域相关性看,用户群体中的从事基础地质调查的物探人员占比73%,其他依次为矿产资源勘查、国土资源调查、工程地质调查、环境监测与防灾减灾。遥感人员从事国土资源、矿产资源、环境监测和基础地质这几项调查工作的比例相当。

5.2.2 用户分类与数据需求综合分析

基于对各专业对本专业的服务产品需求的分别统计,分析航空物探专业与航空物探专业产品及其类型的关系,遥感专业与遥感服务产品及其类型的关系。

1. 物化探专业所需的服务产品类型

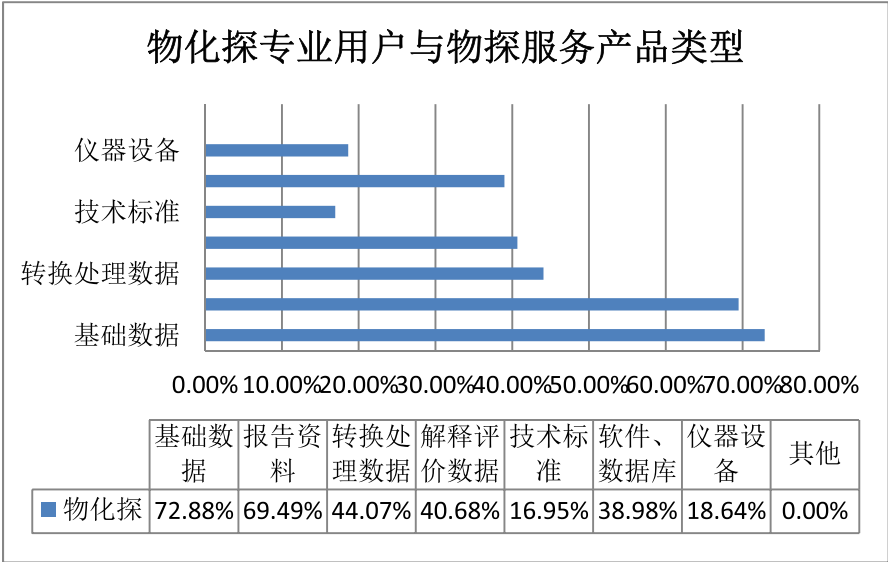


图 8 物化探专业用户与物探服务产品类型关联统计

从表 8 可知,物探专业用户对物探服务产品类型的需求最多的是基础数据,其次是报告资料,转换处理数据、解释评价数据、软件数据库、仪器设备和技术标准。

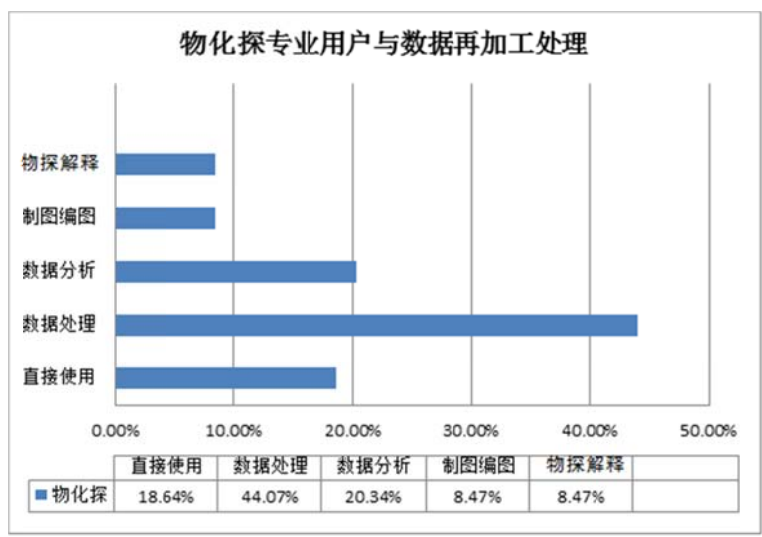


表 9 物专业用户与数据再加工处理关联统计

物探专业对所获取的数据使用时需要做的处理依次是数据处理、数据分析、直接使用、制图编图和解释解译。数据处理的比高达 44%，而直接使用的比例仅为 18%，表明航空物探类数据产品仍需再生产加工，根据用户需求，提供可直接供用户使用的数据产品。

2. 遥感专业所需的服务产品类型

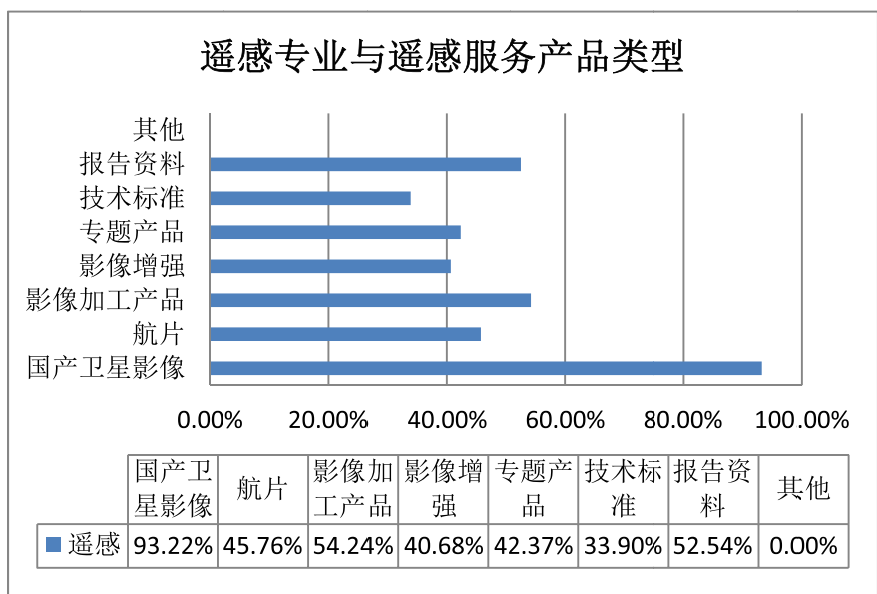


表 10 遥感专业用户与遥感服务产品类型关联统计

从表 10 可知，遥感专业用户对遥感产品类型的需求最多的国产卫星影像，其次是影像加工产品、报告资料、航片、专题产品、影像增强产品和技术标准。

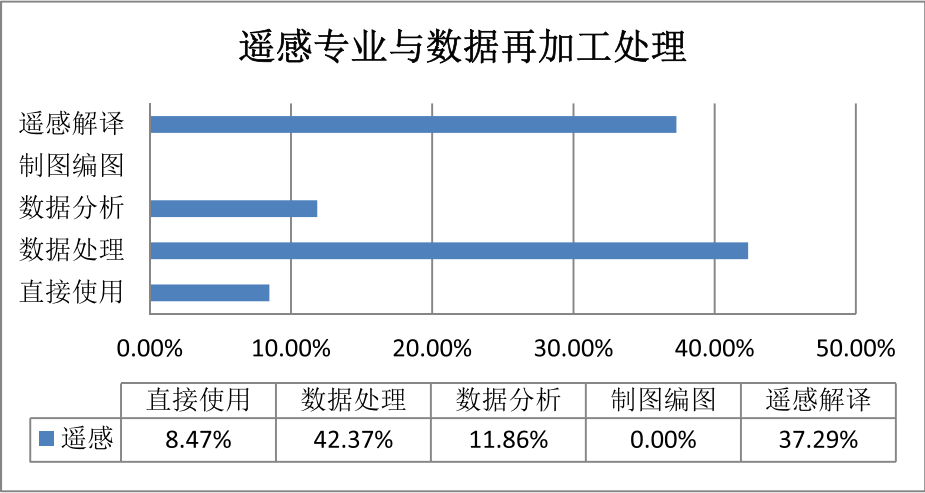


表 11 遥感专业用户与数据再加工处理关联统计

遥感专业对所获取的数据使用时需要做的处理依次是数据处理、遥感解译、数据分析和直接使用。遥感专业不对获取数据的数据再进行制图编图，与实际工作情况完全相符。数据处理的比列达 42%，直接使用的比列仅为 8%，遥感解译的比列也较高，与我们座谈调研中大多数遥感用户提出的需要相符。用户希望中心提供遥感影像产品，如正射影像、融合影像产品，如此可为他们节省大量的人力和时间。

5.2.3 应用领域与数据需求综合分析

统计不同范围和服务产品用途的交叉频率，根据服务产品用途和区域范围使用频率进行综合分析，指导为不同部门用户提供何种范围比例尺的数据产品。

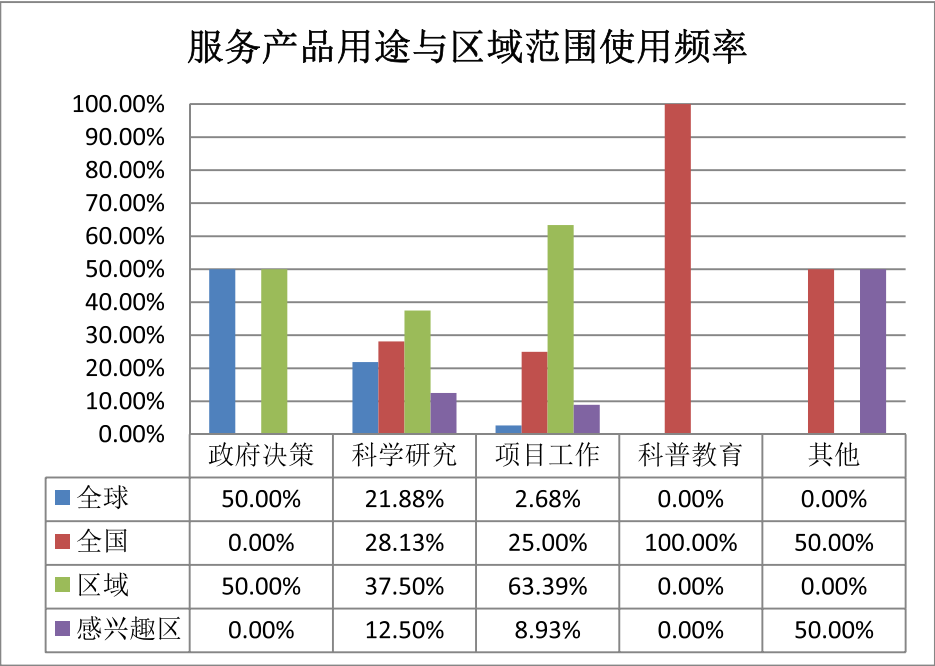


表 12 服务产品用途与区域范围使用频率关联统计

对于政府决策部门，主要是需要全球和区域型的数据。对于科普教育主要是需要全国范围的数据。对于项目工作，主要是需要其工作区域范围的数据。对于科学研究，对数据区域范围无明显特征。由于航空物探遥感地质资料数据 75%以上是用于项目工作的，后续产品生产加工需要加大区域型数据产品开发力度，研发重点成矿带、典型区域的综合数据产品。

6 结论与建议

航空物探遥感地质资料是航空物探与遥感地质调查工作获得的重要成果，是地质工作服务于经济社会发展和服务型政府建设的主要载体，是自然资源管理、国土空间规划与用途管制、生态保护与修复规划等重要的基础信息来源。为充分挖掘存量资料数据的潜在价值，为各类用户提供多样化、多尺度、跨专业的航空物探遥感地质信息服务产品，本文通过调研得到了以下启发：

（1）航空物探遥感地质信息服务应紧密围绕国家、部局的工作发展定位，以服务自然资源管理及新时期地质调查工作为指导，开发面向国土空间规划与管制、生态保护与修复等有效支撑部局工作的、服务“一带一路”建设等国家重大需求的航空物探遥感地质信息服务产品；

（2）航空物探遥感地质信息产品的开发应始终以航遥中心核心数据为依托，基于调研所获取的用户需求，开展存量航磁数据、历史航片、国产高分辨率卫星遥感数据产品研发，满足各类用户在不同应用领域的工作需要；

（3）改变传统的资料服务模式，依托大数据、云计算、人工智能开展航空物探遥感地质数据处理与信息挖掘，实现由原始的航空物探遥感地质资料数据服务向航空物探遥感地质知识信息服务转变，提升社会化服务能力。

参考文献

- [1]全国地质资料馆地质资料服务现状综合分析——传统窗口借阅服务情况分析[J]. 庞振山, 颜世强, 丁克永, 章浩, 茹湘兰. 中国矿业. 2010(11)
- [2]中国地质资料管理与服务进展情况分析[J]. 严光生. 中国矿业. 2012(01)
- [3]关于推进原始地质资料社会化服务的对策建议[J]. 茹湘兰, 王黔驹, 连健, 丁克永. 中国矿业. 2013(07)
- [4]全国地质资料馆地质资料服务现状及对策研究[D]. 高学正. 中国地质大学(北京). 2016
- [5]地质资料数据管理现状及发展趋势研究[J]. 王新春, 齐钊宇, 商云涛, 高学正. 中国矿业. 2016(S1)
- [6]强化地质资料编研开发, 为实现地质找矿新突破提供信息支撑[J]. 张兴辽, 豆敬磊, 郑亚琳, 刘迪, 郭世杰, 王瑋. 地质通报. 2010(04)
- [7]地质资料服务在地质找矿中的应用研究[J]. 颜世强, 连健, 王黔驹, 丁克永, 吴小平, 许百泉. 中国矿业. 2013(05)
- [8]地质资料网络服务产品及服务价值研究[J]. 高学正, 李晓蕾. 中国矿业. 2017(04)
- [9]地质资料服务产品基本模式构建[J]. 颜世强, 张惠, 王黔驹, 丁克永, 吴小平, 连健, 许百泉. 中国矿业. 2015(10)
- [10]资料数据集成与服务研究——以整装勘查区地质工作为例[J]. 王新春, 齐钊宇, 李晓蕾, 高学正. 中国地质. 2016(02)
- [11]关于推进地质资料公共服务问题的思考[J]. 姚华军. 地质通报. 2009(Z1)
- [12]地质资料属性及其社会化服务价值研究[J]. 齐钊宇, 吴轩, 商云涛, 孔昭煜, 高学正, 李晓蕾, 贾丽琼, 郭慧. 中国矿业. 2016(S2)
- [13]王翔, 李景朝, 陈辉, 茹湘兰, 范海明, 郑啸, 梁婉娟. 大数据与地质资料信息服务:需求、产品、技术、共享[J]. 地质通报, 2015, 34(07):1309-1315.