

# 基于 GF2 号与 Landsat8 数据融合的 遥感图像地质解译

——以 1:5 万瓦房店市幅为例

王炬<sup>1,2)</sup>, 王海鹏<sup>1,2)</sup>, 王然<sup>1,2)</sup>, 吴子杰<sup>1)</sup>, 高福亮<sup>1)</sup>, 康宁<sup>3)</sup>, 万方来<sup>3)</sup>,  
王艺龙<sup>1,2)</sup>, 杨欢<sup>1,2)</sup>, 刘杰<sup>1,2)</sup>

1) 辽宁省地质勘查院有限责任公司, 辽宁金州, 116100;

2) 高分辨率对地观测系统辽宁地质资源环境应用与服务中心, 辽宁金州, 116100;

3) 辽宁省第六地质大队有限责任公司, 辽宁普兰店, 116200

**内容提要:** 随着遥感卫星的分辨率越来越高, 遥感技术在地质填图工作中的应用也愈发广泛, 尽管遥感技术在地质学的应用仍有很多不足, 但仅仅对于地质填图工作来说, 已经可以节约部分野外工作量, 通过遥感地质解译可区分岩性差异较大的地质体, 并绘制其界线, 减少不必要的野外调查, 将地质工作者的精力放在更复杂的地质问题上。高分 2 号卫星属于中高分变率卫星, 全色波段 0.8 m, 其数据质量高、数据获取方便、重访周期短等优点逐渐吸引地质工作者的注意。目前, 使用高分 2 号卫星进行遥感地质解译的文献相对较少, 本文具有一定的示范作用。本次以 1:5 万标准图幅瓦房店市幅为例, 使用 GF2 号数据与 Landsat8 数据融合和主成分分析后做假彩色合成影像, 解译出地质单元 21 个, 线性断裂构造 61 条, 使用真彩色合成与 DEM 叠加建立地表三维模型来确定断裂期次与交切关系, 最终将遥感地质解译结果与野外实地调查工作成果相对比, 以分析地质解译精度, 经测算两者平均吻合率达 80%, 达到 1:5 万区域地质调需要, 为瓦房店市幅 1:5 万区域地质调查工作提供参考依据, 填补瓦房店地区地质单元遥感影像特征的空白。

**关键词:** 遥感, 地质解译, 瓦房店, 金刚石, 金伯利岩岩管, 线性构造解译

传统 1:5 万区域地质调查中, 遥感工作是不可或缺的一项前期工作, 可为研究区提供宏观影像、地貌、构造格架等信息。随着遥感技术的发展, 遥感卫星数据精度的提高, 在地质填图野外工作之前, 进行遥感地质解译, 来初步划分地质体边界、线性断裂构造等, 以达到减少野外工作负担的目的, 将地质工作者的精力放在更复杂的地质问题上 (郑鸿瑞等, 2018)。

2013 年以前, 地质行业主要使用日本的 ALOS、法国的 Spot4 卫星数据进行遥感地质找矿和遥感地质解译工作, 但这类卫星普遍存在数据购置周期长, 数据购置费用高, 数据精度差等弊端。尽管当时我国已发射资源 2 号卫星, 但该卫星存在面幅较窄, 申请困难等问题, 一直不被地质行业所青睐。

2013 年以后, 随着高分 1 号、高分 2 号卫星相继发射, 两者分辨率高、幅面宽、重访周期相对较短

的特点, 解决了地质行业遥感“数据难”的问题, 推动了遥感技术在地质行业的应用 (王瑞军等, 2018)。

目前国内外针对遥感地质解译工作, 使用较多的方法有直判法、对比法、邻比法、综合判断法等 (王瑞军等, 2017)。由于直判法、对比法、邻比法具有一定的局限性, 不能最大程度挖掘遥感数据信息、发挥遥感手段优势。相对来说综合判断法是国内外学者比较青睐的一种遥感地质解译方法。本次工作使用综合判断法进行遥感地质解译, 首先收集前人相关地质、物探、化探、遥感等资料综合研究, 然后运用不同波段的假彩色合成和主成分分析不同组分假彩色合成等手段, 区分出不同地质体边界, 利用 DEM 叠加真彩色合成影像, 准确判读主要线性构造相互交切关系, 最后与野外地质填图工作成果比对, 平均吻合率达 80%, 达到遥感地质解译目的。

注: 本文为中国地质调查局“整装勘查区找矿预测与技术应用示范”子项目 (编号: 12120114027901) 的成果。

收稿日期: 2018-08-27; 改回日期: 2019-04-27; 责任编辑: 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.04.009

作者简介: 王炬, 男, 1989 年生, 工程师, 主要从事遥感地质解译、三维地质结构建模、计算机软件编程等研究, Email: 372836765@qq.com。

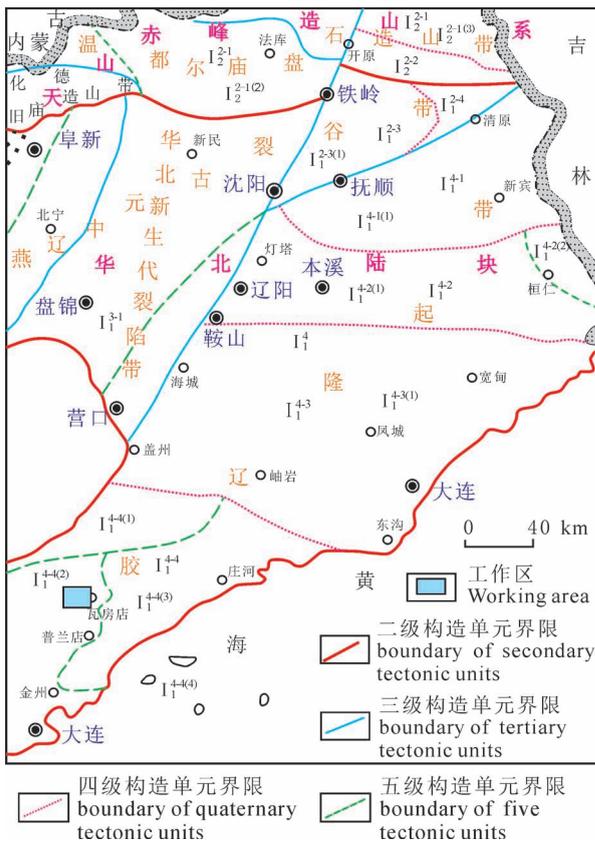
# 1 研究区情况

研究区地貌属滨海低山丘陵区,是千山山脉的南西延伸部分,地形切割强烈,沟豁纵横,山脊主体呈北东或北北东走向,其内分布着大小不等的山间谷地和平原,地势东高西低,总体倾向渤海。东部海拔一般在 150.0~215.9 m,平均 183 m;西部海拔在 100~170 m,平均 137 m。

研究区地质情况较为复杂,出露地层有太古宇变质表壳岩,古元古界辽河群,新元古界青白口系、南华系,古生界寒武系、奥陶系、中生界侏罗系及新生界第四系。构造较发育,受郯庐断裂影响,多表现为一系列北东向走滑断裂。

金刚石矿不但是研究区内的优势矿种,而且是目前国内最大的含金刚石金伯利岩产地(杨占兴等,2016),不但有各类金伯利岩型金刚石原生矿,也有沉积型金刚石古砂矿,所产金刚石以质纯、色美、晶形好、品级高而闻名于世。研究区的金刚石矿床已与国外或国内有关公司合作进行商业开发,金刚石资源的合作开发不但提高了瓦房店市在国内乃至世界的知名度,同时也促进了地方经济发展(赵春强等,2018)。

研究区大地构造位置图见图 1。



# 2 遥感数据预处理

## 2.1 遥感数据选择

高分 2 号卫星与 2014 年 8 月 19 日成功发射,是目前我国分辨率最高的民用陆地观测卫星,空间分辨率可达 0.8 m,GF2 卫星有效载荷技术指标见表 1。本次选择 2015 年 4 月 26 日拍摄的一景 GF2 数据作为地质解译数据源,秋季数据避开了植被与积雪,有利于遥感地质解译工作(张焜等,2015),该景数据调查区内含云量为 0。

本次工作遥感数据选择除 GF2 卫星数据以外,还选用 Landsat8 OLI 和 GDEMDEM30M 分辨率数字

图 1 研究区大地构造图(据万方来等, 2019)

Fig. 1 Tectonic map of the research area (from Wang Fanglai et al., 2019&)

$I_1$ —华北陆块;  $I_2$ —天山—赤峰造山系;  $I_1^2$ —燕辽中元古裂谷带;  $I_1^3$ —华北新生代裂陷带;  $I_1^4$ —胶辽隆起带;  $I_2^2$ —温都尔庙—盘石古生代造山带;  $I_2^{2-3}$ —凡河拗陷;  $I_2^{2-4}$ —摩厉红隆起;  $I_3^{1-1}$ —下辽河陷;  $I_4^{1-1}$ —抚顺—靖宇隆起;  $I_4^{1-2}$ —太子河—浑江拗陷;  $I_4^{1-3}$ —营口—宽甸隆起;  $I_4^{1-4}$ —复州拗;  $I_2^{1-1}$ —奎德素—魏家沟构造岩浆带;  $I_2^{2-1}$ —敖汉旗—开原早古生代陆缘弧盆系;  $I_2^{2-2}$ —李家台微陆块;  $I_1^{2-3(1)}$ —李千户凹褶皱束;  $I_1^{4-1(1)}$ —龙岗凸起;  $I_1^{4-2(1)}$ —辽阳—本溪凹褶皱束;  $I_1^{4-2(2)}$ —桓仁凸起;  $I_1^{4-3(1)}$ —凤城古元古基底褶皱束;  $I_1^{4-4(1)}$ —永宁凹陷;  $I_1^{4-4(2)}$ —老虎屯—大连凹断褶皱束;  $I_1^{4-4(3)}$ —城子坦断凸;  $I_1^{4-4(4)}$ —长海凸起;  $I_2^{2-1(2)}$ —法库变形带;  $I_2^{2-1(3)}$ —下二台褶皱束

$I_1$ —North China landmass;  $I_2$ —Tianshan — Chifeng orogenic system;  $I_1^2$ —The middle proterozoic rift belt of Yanliao;  $I_1^3$ —Cenozoic rift belt in North China;  $I_1^4$ —Jiaoliao uplift belt;  $I_2^2$ —Wenduerniao — Panshi Paleozoic orogenic belt;  $I_1^{2-3}$ —Fanhedepression;  $I_2^{2-4}$ —Molihong upheaval;  $I_3^{1-1}$ —The liaohedepression;  $I_4^{1-1}$ —Fushun — Jingyu uplift;  $I_4^{1-2}$ —Taizi river — Hunjiang depression;  $I_4^{1-3}$ —Yingkou — Kuandian uplift;  $I_4^{1-4}$ —After state of depression;  $I_2^{1-1}$ —Kuidesu—Weijiagou tectonic magmatic belt;  $I_2^{2-1}$ —Aohanqi — Kaiyuan early Paleozoic continental margin arc basin system;  $I_2^{2-2}$ —Lijiatai hui land block;  $I_1^{2-3(1)}$ —Li qiandu depression fold fault bundle;  $I_1^{4-1(1)}$ —Longgang bulge;  $I_1^{4-2(1)}$ —Liaoyang—Benxi depression fold fault bundle;  $I_1^{4-2(2)}$ —Hwanin bulge;  $I_1^{4-3(1)}$ —Fengcheng palaeoproterozoic basement fold bundle;  $I_1^{4-4(1)}$ —Yongning sag;  $I_1^{4-4(2)}$ —Laohutun—Dalian depression fold bundle;  $I_1^{4-4(3)}$ —The castle is flat and convex;  $I_1^{4-4(4)}$ —Raised in long beach;  $I_2^{2-1(2)}$ —Faku deformation zone;  $I_2^{2-1(3)}$ —The lower two fold bundles

表 1 GF2 卫星载荷技术指标

Table 1 GF2 Satellite load technical indicators

载荷	波段号	波段范围 (um)	空间分辨率	幅宽 (km)	侧摆能力	重访时间 (天)
全色 多光谱 相机	1	0.45~0.90	3.2	45 (两台 相机 组合)	±35°	5
	2	0.45~0.52				
	3	0.52~0.59				
	4	0.63~0.69				
	5	0.77~0.89				

高程数据作为基础数据, Landsat8 OLI 数据拍摄于 2016 年 1 月 8 日, 调查区内含云量为 0。

## 2.2 遥感数据处理

GF2 数据与 Landsat8 OLI 数据均经过辐射标定、大气校正 (舒敏等, 2017)、正射校正 (杨国东等,

2018)、图像配准、坐标转换、裁剪等预处理工作 (王烜等, 2014), 在上述工作完成后, 将 Landsat8 数据与 GF2 数据融合, 使用 Gram-Schmidt (Li Xiaohui et al., 2016) 方法融合 (肖奥等, 2007), 最终形成同时具有高分辨率和多光谱特性的遥感数据 (田养军等, 2009), 以下简称“融合数据”。

利用融合数据 753 RGB 假彩色合成, 得到地质解译遥感影像。融合数据中“7”波段波长最大, 对于地表腐殖土具有轻微的穿透效果, 地质解译遥感假彩色影像多数情况都会用到“7”波段, 经反复尝试, 确认瓦房店地区使用“753”波段组合进行 RGB 假彩色合成对地质解译工作更有利一些, 地质单元界线更加明显。

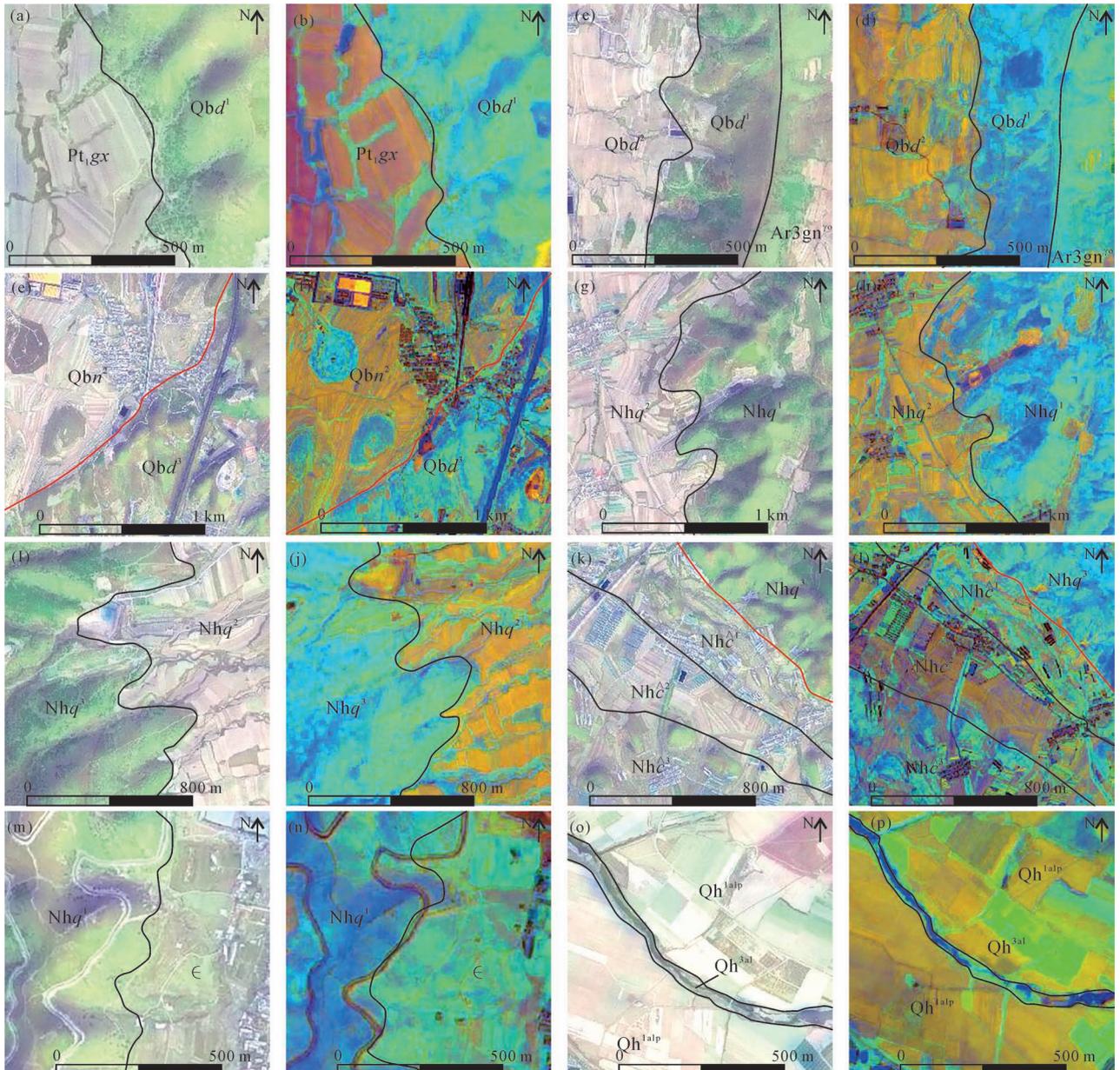


图2 辽宁瓦房店地质单元遥感解译标志

Fig. 2 Remote sensing interpretation marks for geological units in Wafangdian, Liaoning

(a)  $Pt_1gx$  和  $Qbd^1$  融合数据 753 波段 RGB 合成影像图; (b)  $Pt_1gx$  和  $Qbd^1$  融合数据主成分分析 PC321 波段 RGB 合成影像图; (c)  $Qbd^1$ 、 $Qbd^2$  和  $Ar_3gn^{70}$  融合数据 753 波段 RGB 合成影像图; (d)  $Qbd^1$ 、 $Qbd^2$  和  $Ar_3gn^{70}$  融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图; (e)  $Qbd^3$  和  $Qbn^2$  融合数据 753 波段 RGB 合成影像图; (f)  $Qbd^3$  和  $Qbn^2$  融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图; (g)  $Nhq^1$  和  $Nhq^2$  融合数据 753 波段 RGB 合成影像图; (h)  $Nhq^1$  和  $Nhq^2$  融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图; (i)  $Nhq^2$  和  $Nhq^3$  融合数据 753 波段 RGB 合成影像图; (j)  $Nhq^2$  和  $Nhq^3$  融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图; (k)  $Nhc^1$ 、 $Nhc^2$  和  $Nhc^3$  融合数据 753 波段 RGB 合成影像图; (l)  $Nhc^1$ 、 $Nhc^2$  和  $Nhc^3$  融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图; (m)  $Nhq^1$  和  $\text{C}$  融合数据 753 波段 RGB 合成影像图; (n)  $Nhq^1$  和  $\text{C}$  融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图; (o)  $Qh^{1alp}$ 、和  $Qh^{3al}$  融合数据 753 波段 RGB 合成影像图; (p)  $Qh^{1alp}$ 、和  $Qh^{3al}$  融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图

(a)  $Pt_1gx$  and  $Qbd^1$  Fusion data 753-band RGB composite image; (b)  $Pt_1gx$  and  $Qbd^1$  Fusion data principal component analysis PC321-band RGB composite image; (c)  $Qbd^2$  and  $Ar_3gn^{70}$  Fusion data 753-band RGB composite image; (d)  $Qbd^2$  and  $Ar_3gn^{70}$  Fusion data principal component analysis PC321-band RGB composite image; (e)  $Qbd^3$  and  $Qbn^2$  Fusion data 753-band RGB composite image (a); (f)  $Qbd^3$  and  $Qbn^2$  Fusion data principal component analysis PC321-band RGB composite image (b); (g)  $Nhq^1$  and  $Nhq^2$  Fusion data 753-band RGB composite image; (h)  $Nhq^1$  and  $Nhq^2$  Fusion data principal component analysis PC321-band RGB composite image; (i)  $Nhq^2$  and  $Nhq^3$  Fusion data 753-band RGB composite image; (j)  $Nhq^2$  and  $Nhq^3$  Fusion data principal component analysis PC321-band RGB composite image; (k)  $Nhc^1$  and  $Nhc^2$  and  $Nhc^3$  Fusion data 753-band RGB composite image; (l)  $Nhc^1$  and  $Nhc^2$  and  $Nhc^3$  Fusion data principal component analysis PC321-band RGB composite image; (m)  $Nhq^1$  and  $\text{C}$  Fusion data 753-band RGB composite image; (n)  $Nhq^1$  and  $\text{C}$  Fusion data principal component analysis PC321-band RGB composite image; (o)  $Qh^{1alp}$  and  $Qh^{3al}$  Fusion data 753-band RGB composite image; (p)  $Qh^{1alp}$  and  $Qh^{3al}$  Fusion data principal component analysis PC321-band RGB composite image

此外,本次工作还对融合数据进行主成分分析,以下简称“PC”。主成分分析可消除波段之间相关性,多光谱假彩色合成影像中不易区别的物,使用主成分分析可以区分其边界范围,本次主成分分析的多数信息均存放于前三个分量中,因此选择 PC321 假彩色合成影像作为遥感地质解译辅助影像。

本次工作以融合数据 753 假彩色合成影像为主,建立各地质单元解译标志,以 PC321 假彩色合成影像为辅,来识别融合数据较难区分的地质体。

将融合数据 321RGB 真彩色合成后与研究区 DEM 数据叠加,形成地表三维模型,用于线性构造。

### 3 遥感地质解译

遥感图像空间分辨率的不断提高,使地物精细的空间特征(包括地物的大小、形状、阴影、空间分布、纹理结构、与其他地物的空间关系等)在遥感图像中显示得越来越清楚(金剑等,2013)。利用高分卫星遥感数据能够对地层、岩体、构造等地质要素的几何形态、纹理特征以及各要素之间的空间关系等进行分析,也可利用不同岩层反射光谱差异所形成的形态、结构、纹理、色调等影像差异判断岩石露头的物理特性和产出特点,划分不同的岩石类型或岩性组合(张焜等,2015)。

一方面,地物自身的成分、结构、物性和环境不

同,可表现出不同的外表特征,这类特征是客观的,经过一定遥感技术手段处理再展现出来,可以更加明显,这类特征可作为地质体的直接解译标志。另一方面,地物之间存在属性内在联系,通过相关分析可以推断其性质的影像特征,这类特征可作为地质体的间接解译标志,如通过地貌、植被、水系、土地利用、人类活动等影像特征可间接表现出来(田淑芳等,2013),间接解译标志常常带有工作者的主观色彩,使用间接解译标志时需要慎重考虑,不得以偏概全(郭齐齐等,2017)。

#### 3.1 重要地质单元解译标志建立

本次遥感地质解译使用融合数据的不同波段组合做 RGB 假彩色合成,与融合数据主成分分析后不同分量假彩色合成影像配合使用,建立多重地质单元解译标志(图2、图3)。

遥感解译地质单元有:古元古界辽河群盖县岩组,新元古界青白口系钓鱼台组和南芬组、南华系桥头组和长岭子组,古生界寒武系及新生界第四系坡洪积、冲洪积和冲积。重要地质单元影像特征如下:

(1) 盖县岩组( $Pt_1gx$ )。其遥感影像特征见图2a、2b,盖县岩组主要发育二云片岩、浅粒岩等变质岩(李三忠,1994),在融合数据 753 波段 RGB 合成影像图中,表现为灰黄色,由于其硬度较钓鱼台组一段石英砂岩较低,因此此时与石英砂岩颜色相差较

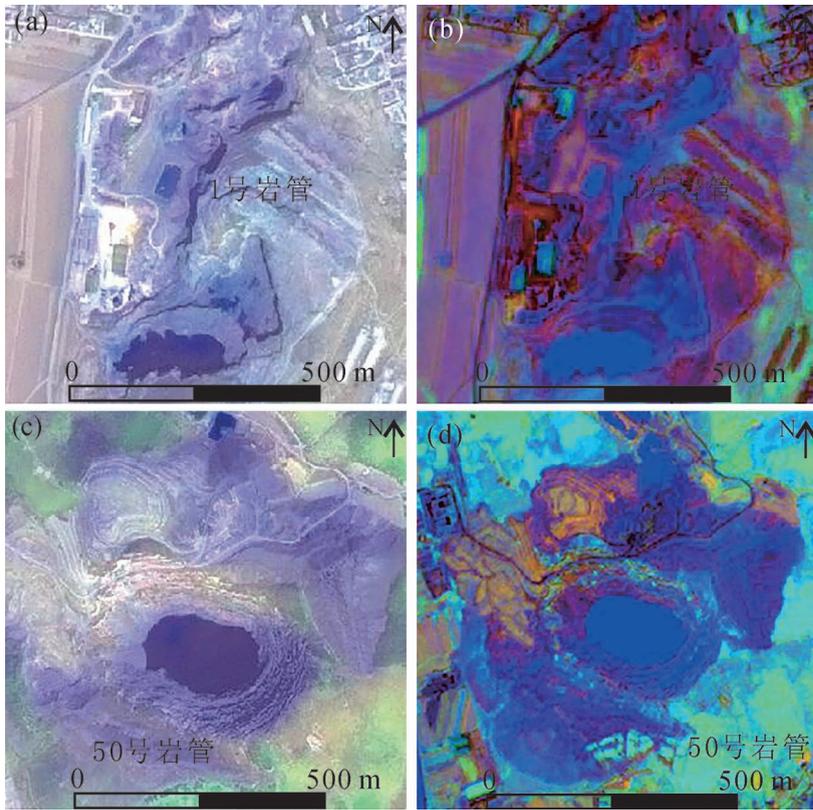


图3 辽宁瓦房店金伯利岩管单元遥感解译标志

Fig. 3 Remote sensing interpretation sign of kimberley rock pipe unit in Wafangdian, Liaoning

(a) 1号岩管融合数据 753 波段 RGB 合成影像图; (b) 1号岩管融合数据主成分分析 PC321 波段 RGB 合成影像图; (c) 50号岩管融合数据 753 波段 RGB 合成影像图; (d) 50号岩管融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图

(a) No. 1 Kimberlitic pipes Fusion data 753-band RGB composite image; (b) No. 1 Kimberlitic pipes Fusion data principal component analysis PC321-band RGB composite image; (c) No. 50 Kimberlitic pipes Fusion data 753-band RGB composite image; (d) No. 50 Kimberlitic pipes Fusion data principal component analysis PC321-band RGB composite image

大,由于较石英砂岩更易风化,盖县组多处北耕地覆盖,此特性可作为与钓鱼台组区分的间接依据,在融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图中,更可清晰的看到两者的界限,盖县岩组表现为黄褐色,钓鱼台组一段表现为蓝绿色。

(2) 钓鱼台组一、二段( $Qbd^1$ 、 $Qbd^2$ )。遥感影像特征见图 2c、2d,由图可清晰的观察到,钓鱼台组一段、钓鱼台组二段和太古宙黑云斜长角闪片麻岩的区别,钓鱼台组二段(高林志等,2010)主体以页岩为主,较一段石英砂岩更软,在融合数据 753 波段 RGB 合成影像图中,钓鱼台组一段表现为黑绿色,二段多呈现为黄褐色,由于二段多为粉砂岩、页岩,便于耕种,故大部分地区被耕地覆盖,其透水性较差,水系不发育,而太古宙黑云斜长角闪片麻岩相对

石英砂岩硬度较低,此时表现为浅绿色,其硬度低于钓鱼台组一段石英砂岩,故地势地貌相对较低,且部分地区以变为耕地。在融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图中,更明显的能看到三者的区别,钓鱼台组一段表现为深蓝色,二段表现为黄褐色,黑云斜长角闪片麻岩则表现为浅蓝色。

(3) 钓鱼台组三段( $Qbd^3$ )、南芬组二段( $Qbn^2$ )。钓鱼台组三段主要岩性石英砂岩,南芬组二段主要岩性为泥灰岩(王宗秀等,2000),但硬度相对钓鱼台组一段较低,其遥感影像特征见图 2e、2f,由图可清晰的观察到,在融合数据 753 波段 RGB 合成影像图中,钓鱼台组三段表现为灰绿色,南芬组二段表现为灰褐色,南芬组二段泥灰岩受水流溶蚀作用,地形地貌表现为浑圆状,地势地貌较平坦,故多被耕地占据,钓鱼台组三段石英砂岩受自身硬度影响,地形地貌起伏较大,鲜有耕地,灌木类发育植被发育较多,在融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图中,钓鱼台组三段表现为蓝绿色,而南芬组二段表现为黄色,可明显的观察到两者的差距。

(4) 桥头组一段( $Nhq^1$ )、桥头组二段( $Nhq^2$ )。桥头组一段多为长石石英砂岩,二段多为页岩、粉砂岩(敖光等,2016),因此不论在硬度还是风化程度两者都有很大区别,图 2g、2h 为两者遥感影像特征图,由图可看出,在融合数据 753 波段 RGB 合成影像图中,桥头组一段多为灰绿色,桥头组二段多为灰紫色,从水系、植被、耕地分布情况上也可以较为清晰的看出,桥头组二段岩性几乎不透水,水系不发育,岩性硬度差,易被开发为耕地,现几乎全部成为耕地,灌木类植被不发育。桥头组一段硬度较大,地形地貌起伏较大,发育树枝状水系,耕地较少,整体被灌木类植被覆盖。在融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图中,桥头组一段表现为蓝绿色,二段多为橘黄色。

(5) 桥头组二段( $Nhq^2$ )、桥头组三段( $Nhq^3$ )。桥头组二段主要岩性为页岩、粉砂岩(敖光等,

2016), 硬度较低, 常被耕地所覆盖, 桥头组一段和三段岩性极为相似, 为石英砂岩, 因此在遥感影像上表现也非常相近, 本次使用地层叠复律来区分桥头组一段与三段, 图 2i、2j 为桥头组二段和三段的遥感影像图, 桥头组三段地形地貌明显较二段高, 且地形切割较严重, 水系发育, 灌木覆盖较多, 几乎未见耕地, 桥头组二段则截然相反, 在融合数据 753 波段 RGB 合成影像图中, 桥头组二段表现为灰紫色, 三段表现为灰绿色 (和桥头组一段几乎一致), 而在融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图中, 桥头组二段表现为橘黄色, 三段表现为浅蓝色 (与桥头组一段略有区别)。

(6) 长岭子组 ( $Nhc^1$ 、 $Nhc^2$  和  $Nhc^3$ )。长岭子组一段与三段以砂岩为主, 岩石硬度相对较大, 二段以页岩、粉砂岩粉砂岩为主, 硬度较小, 二段透水性较差, 水系几乎不发育, 岩性较软容易被开发为耕地, 可作为与一、三段区分的间接证据, 从图 2k、2l 可看出, 在融合数据 753 波段 RGB 合成影像图中, 桥头组三段石英砂岩表现为灰绿色, 而长岭子组一二三段区别并不是很明显, 均为灰紫色, 而在融合数据主

成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图中, 可以看出长岭子组三段的区别, 一段为黄褐色加浅蓝色, 二段主要为黄褐色, 三段为黄褐色加深蓝色, 此时, 桥头组三段为蓝色。

(7) 寒武系未分 (C)。研究区寒武系分布较少, 且岩性构造较复杂, 本次将寒武系地层作为一个地质单元进行解译, 瓦房店地区寒武系主要以灰岩为主 (梁有为, 2017), 部分层位偶见泥、页岩等陆源碎屑沉积, 当将寒武系作为整体看待时, 灰岩其本身易被水溶蚀, 故地形地貌上表现为浑圆状, 地形起伏不大, 相较石英砂岩来说易被开发为耕地, 因此在其与桥头组一段接触部分中, 可根据此间接特征进行两者界线划分, 从图 2m、2n 中可观察到寒武系和桥头组一段的色调区别, 在融合数据 753 波段 RGB 合成影像图中, 桥头组一段表现为绿紫色, 寒武系表现为灰绿色, 在融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图中, 桥头组一段表现为蓝色, 寒武系表现为浅绿色。

(8) 第四系 ( $Qh^{1alp}$ 、 $Qh^{3al}$ )。第四系地质单元遥感解译相对简单, 大部分地质单元仅从色调、形态上

表 2 辽宁瓦房店各地质单元解译精度及分析

Table 2 Interpretation accuracy and analysis of each geological unit in Wafangdian, Liaoning

地质单元	解译精度	不符合原因分析
$Qh^{3al}$	90%	由于影像拍摄季节原因, 个别地区含水量较少, 导致其易与 $Qh^{1alp}$ 单元混淆
$Qh^{1alp}$	90%	个别与基岩接触地区, 由于基岩风化较为严重, 导致两者界线模糊
$QP_3^{2dpl}$	90%	个别与基岩接触地区, 由于基岩风化较为严重, 导致两者界线模糊
C	65%	地质单元主体为灰岩, 但内部含有较多粉砂岩、页岩夹层, 易与 $Nhq^2$ 混淆
$Nhc^3$	80%	个别与 C 接触地区出现界线模糊情况, 依据地貌特征可大致划分, 野外验证时局部有偏差
$Nhc^2$	70%	$Nhc^2$ 与 $Nhq^2$ 岩性有一定相似度, 多数情况可根据地层叠复律推断, 部分地区需野外实地确认
$Nhc^1$	80%	$Nhc^1$ 与 $Nhq^3$ 直接接触, 两者均以砂岩为主, 但由于硬度不同地貌相差很大, 多数情况可轻易区分, 个别 $Nhq^3$ 风化严重地带, 两者易混淆
$Nhq^3$	85%	个别风化严重地区与 $Nhc^1$ 较易混淆
$Nhq^2$	70%	岩性较软, 部分地区已成为耕地, 与 $Qh^{1alp}$ 界线不明显
$Nhq^1$	80%	与 $Nhq^3$ 岩性极为相似, 从遥感影像上不易区分, 但可根据地层叠复律推断, 个别与 $Qbn^2$ 砂岩夹层混淆
$Qbn^2$	80%	个别地区被耕地占据, 易与 $Qh^{1alp}$ 混淆
$Qbn^1$	80%	个别与 $Qbd^3$ 接触部位界线模糊, 由于岩性相似造成
$Qbd^3$	85%	岩性与 $Nhq^3$ 较为相似, 但两者不直接接触, 可根据地层叠复律推断, 个别地区与 $Qbn^1$ 界线模糊
$Qbd^2$	80%	部分地区岩性较软, 被耕地占据, 易与 $Qh^{1alp}$ 混淆
$Qbd^1$	85%	岩性与 $Qbd^3$ 极为相似, 可利用地层叠复律区分
$Pt_1gx$	75%	风化较严重地区与 $Qh^{1alp}$ 易混淆
$Ar_3gn^{70}$	75%	风化较弱地方与 $Qbd^1$ 易混淆

便能区分,如图 2o、2p,在融合数据 753 波段 RGB 合成影像图中,  $Qh^{1al}$  表现为灰粉色,  $Qh^{3al}$  表现为灰蓝色,而在融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图中,  $Qh^{1al}$  表现为黄褐色,  $Qh^{3al}$  表现为深蓝色。

(9)金伯利岩岩管(1号岩管、50号岩管)。研究区内金伯利岩较发育,其中50号岩管是瓦房店地区唯一已开采的金刚石矿产,金伯利岩从岩性上与周边围岩有本质的区别,岩石平均波谱特征也有明显偏差,因此做假彩色合成便能绘制出岩体,直接解译标志明显。融合数据 753 波段 RGB 合成影像图中(图 3a, b),1号岩管主要表现为紫色,融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图中,则表现为蓝紫色,围岩为寒武系灰岩,与前文所述寒武系岩石特征保持一致。

50号岩管与1号岩管岩性相似,仅云母含量和碳酸盐化程度有所差异(居易等,2016),假彩色影像色调基本一致(图 3c, d),融合数据 753 波段 RGB 合成影像图中,主要表现为紫色,而在融合数据主成分分析 PC321 波段合成 RGB 合成影像图中,则表现为蓝紫色,围岩是桥头组石英砂岩,与前文所述遥感特征保持一致。

### 3.2 线性构造解译

本次构造解译使用了、多重主成分分析法(陈玲等,2012)、3D 可视化目视解译法等,其中多重主成分分析法是对指对主成分分析的结果与其它处理结果及原始数据经过有针对性地选择后组合起来再次进行主成分分析。也可以是几种不同主成分分析结果的组合(朱小鸽,2000),后经不同分量假彩色合成,在合成影像中提取线状色调异常,属于直接解译标志。3D 可视化解译是将遥感影像贴图在 DEM

高程数据之上,更直观的观察山峰与沟谷的形态,可清晰的辨别线性断裂的错动方向,但解译精度与正确度和工作者经验直接相关,属于间接解译标志(雷天赐等,2012)。

研究区内断裂构造主要以北东向为主,北东向次之,局部见北西向的断裂。研究区最早一期断裂应为北东向断裂,后期被北北东向断裂所切割,末期又被北西向断裂所切割,线性断裂 3D 可视化影像见图 4,图中断裂为主断裂,为了展现研究区整体构造格架和交切关系,将第四系覆盖部分已连通,与遥感解译地质图中断裂表现形式不一样。图 4 中南东部位北西向断层切割北东向断层的现象较为明显,从 3D 可视化中可更直观的观察到沟谷的交切关系,结合传统 2D 影像,可提高线性构造的解译精度。

### 3.3 解译成果及精度评价

根据各类地质单元遥感解译标志,编制出研究区遥感影像地质解译成果图(图 5),与野外实际填图工作成果进行对比,平均精确度达 80%,尤其是组、段之间界线吻合程度,但部分寒武系地层由于岩性相似、出露较少、构造复杂,单纯从遥感角度无法区分其内部界线,本次仅划分至系,表 2 为各地质单元解译精度并进行简要分析。

## 4 结论

(1)高分 2 号卫星数据有能力进行遥感地质解译工作,且解译效果极佳,值得同行业广泛推广。

(2)遥感地质解译工作中,可先建立地质单元解译标志,解译标志可分为直接标志和间接标志,然后根据解译标志进行全区遥感解译工作,此时需要直接标志与间接标志配合使用。



图 4 辽宁瓦房店市幅线性断裂 3D 可视化遥感影像

Fig. 4 Wafangdian area Linear fracture 3D visualization remote sensing image, Liaoning

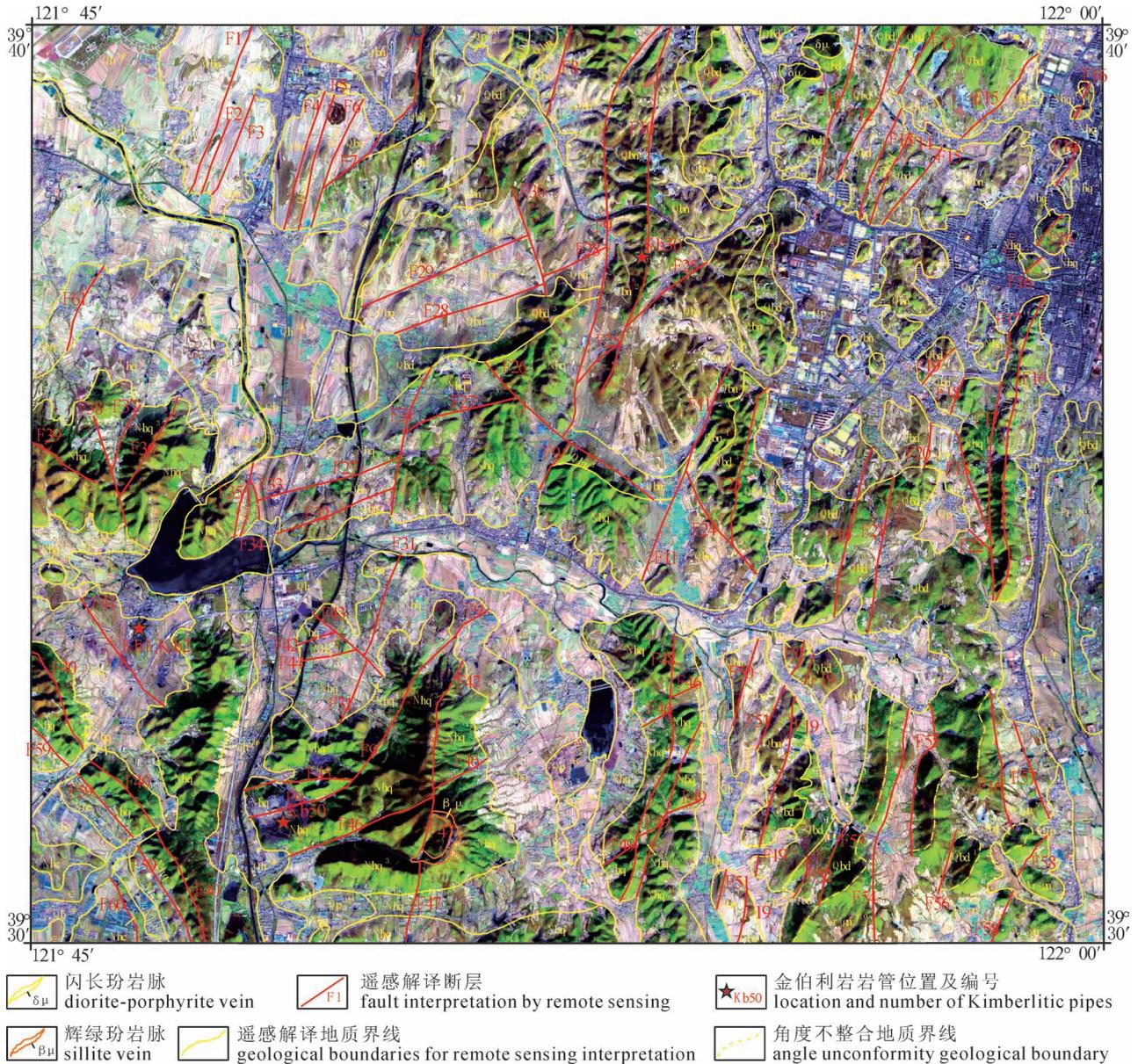


图 5 辽宁瓦房店遥感解译地质图

Fig. 5 Geological maps for remote sensing interpretation in Wafangdian, Liaoning

Qh<sup>3al</sup>—第四系全新统冲积; Qh<sup>1alp</sup>—第四系全新统冲洪积; Qp<sub>3</sub><sup>2dpl</sup>—第四系更新统坡洪积; C—寒武系; 南华系长岭子组 (Pt<sub>3</sub><sup>2</sup>): Nhc<sup>3</sup>—三段, Nhc<sup>2</sup>—二段, Nhc<sup>1</sup>—一段; 南华系桥头组 (Pt<sub>3</sub><sup>2</sup>): Nhq<sup>3</sup>—三段, Nhq<sup>2</sup>—二段, Nhq<sup>1</sup>—一段; 青白口系南芬组 (Pt<sub>3</sub><sup>1</sup>): Qbn<sup>3</sup>—三段, Qbn<sup>2</sup>—二段, Qbn<sup>1</sup>—一段; 青白口系钓台组 (Pt<sub>3</sub><sup>1</sup>): Qbd<sup>3</sup>—三段, Qbd<sup>2</sup>—二段, Qbd<sup>1</sup>—一段; Pt<sub>1</sub>gx—古元古界盖县岩组; Ar<sub>3</sub>gn<sup>70</sup>—太古宙黑云角闪斜长片麻岩

Qh<sup>3al</sup>—Quaternary Holocene alluvial layer; Qh<sup>1alp</sup>—Quaternary Holocene blunt diluvium; Qp<sub>3</sub><sup>2dpl</sup>—Quaternary Pleistocene diluvial; C—Cambrian; the Changlingzi Formation, Nanhuan System (Pt<sub>3</sub><sup>2</sup>): Nhc<sup>3</sup>— the 3rd Member, Nhc<sup>2</sup>—the 2nd Member, Nhc<sup>1</sup>—the 1st Member; the Qiaotou Formation, Nanhuan System (Pt<sub>3</sub><sup>2</sup>): Nhq<sup>3</sup>— the 3rd Member, Nhq<sup>2</sup>—the 2nd Member, Nhq<sup>1</sup>—the 1st Member; the Nanfen Formation, Qingbaikou System (Pt<sub>3</sub><sup>1</sup>): Qbn<sup>3</sup>— the 3rd Member, Qbn<sup>2</sup>—the 2nd Member, Qbn<sup>1</sup>— 1stMember; the Diaoyutai Formation, Qingbaikou System (Pt<sub>3</sub><sup>1</sup>): Qbd<sup>3</sup>— the 3rd Member, Qbd<sup>2</sup>—the 2nd Member, Qbd<sup>1</sup>—1st Member; Pt<sub>1</sub> gx—Palaeoproterozoic Gaixian Formation; Ar<sub>3</sub> gn<sup>70</sup>—Archean biotization amphibole plagiogneiss

(3)使用“753”和“PC321分量”RGB假彩色合成是本次工作最优遥感影像合成方式,更便于建立地质单元解译标志。

(4)对研究区进行遥感地质解译工作,解译出地质单元21个,线性断裂构造61条,经测算两者平均吻合率达80%

(5)本文填补了瓦房店地区的遥感空白,建立主要地质单元遥感解译标志,绘制遥感解译地质图,为地质填图工作提供参考,为以后瓦房店地区遥感相关工作做了铺垫。

**致谢:**本次工作野外成果数据获取得到了辽宁省地质勘查院、辽宁省第六地质大队的帮助,在此表示衷心的感谢!

## 参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

敖光,刘杰,陈聪,仲米山,陈树良. 2016. 辽南桥头组拆分及其意义. 吉林地质, 35(3): 27~30.

陈玲,张微,周艳,刘伟,陈微. 2012. 高分辨率遥感影像在新疆塔什库尔干地区沉积变质型铁矿勘查中的应用. 地质与勘探, 48(5): 1039~1048.

郭奇奇,李志军,李武毅,赵润东. 2017. 资源一号卫星04星数据在西藏假学地区地质矿产调查遥感地质解译中的应用. 地质论评, 63(S1): 147~148.

高林志,张传恒,陈寿铭,刘鹏举,丁孝忠,刘燕学,董春燕,宋彪. 2010. 辽东半岛细河群沉积岩碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 29(8): 1113~1122.

金剑,田淑芳,焦润成,高虎. 2013. 基于地物光谱分析的WorldView-2数据岩性识别:以新疆乌鲁木齐依地区为例. 现代地质, 27(2): 489~496.

居易,朱仁智,倪培,王国光,丁俊英,康宁,朱安冬,黄宝,周华. 2016. 瓦房店30号岩管金伯利岩中尖晶石成分特征及其意义. 矿物岩石地球化学通报, 35(6): 1217~1225.

雷天赐,崔放,余凤鸣,徐宏根. 2012. 基于遥感技术的断裂构造分形特征及其地质意义研究——以湘南九嶷山地区为例. 地质论评, 58(3): 594~600.

李三忠. 1994. 营口地区辽河群盖县岩组的构造样式. 长春地质学院学报, 24(4): 390~396.

梁有为. 辽东半岛南部寒武系. 西北地质, 50(4): 128~139.

舒敏,闻德保,张浩,陈正超. 2017. 高分2号图像业务化大气校正查找表的设计与实现. 北京工业大学学报, 43(5): 683~690.

田淑芳,詹骞. 2013. 遥感地质学. 地质出版社:97.

田养军,薛春纪,马智民,曹建农. 2009. 曲波变换的高光谱遥感图像融合方法在土地利用调查中的应用. 遥感学报, 13(2): 313~319.

万方来,蒋金晶,王焯,杨献忠,王怀楚. 2019. 辽宁省瓦房店金伯利岩矿区构造特征及其控矿作用. 地质通报, 38(1): 62~67.

王瑞军,董双发,孙永彬,李婧玥. 2017. 基于高分一号卫星数据新疆索拉克地区控矿地质单元遥感解译与应用. 国土资源遥感, 29(s1): 137~143.

王瑞军,闫柏琨,李名松,董双发,孙永彬,汪冰. 2018. 甘肃红山地

区重要控矿地质单元 GF-1 数据遥感解译与应用. 国土资源遥感, 30(2): 162~170.

王焯,雷广新,江洋. 2014. 基于主成分分析法对遥感蚀变异常提取——以内蒙古伊和诺尔地区1:5万矿调为例. 地质与资源, 23(S1): 122~128.

王宗秀,唐哲民,杨中柱,杨晓波. 2000. 大连地区中—新生代构造格架厘定. 中国区域地质, 19(2): 120~126.

肖奥,陶舒,王晓爽,张彤欣. 2007. 遥感融合方法分析与评价. 首都师范大学学报(自然科学版), 28(4): 77~80.

杨国东,赵强,张旭晴,詹国旗,崔邵臣. 2018. 基于SPOT 6卫星遥感数据无控制点正射校正. 测绘与空间地理信息, 41(7): 1~3.

杨占兴,王彬娜. 2016. 辽宁瓦房店30号金伯利岩管地球化学特征及金刚石矿床成因. 世界地质, 35(2): 378~386.

张焜,李宗仁,马世斌. 2015. 基于ZY-102C星数据的遥感地质解译——以塔吉克斯坦帕米尔地区为例. 国土资源遥感, 27(3): 144~153.

赵春强,张志斌,时溢,石绍山,尤洪喜,李靖,赵敬阳. 2018. 辽南金刚石成矿背景研究进展及讨论. 地质与资源, 27(2): 149~159.

郑鸿瑞,徐志刚,甘乐,陈玲,杨金中. 2018. 合成孔径雷达遥感地质应用综述. 国土资源遥感, 30(2): 12~20.

朱小鸽. 2000. 多重主成分分析及在地质构造信息提取中的应用. 遥感学报, 4(4): 299~303+322.

Ao Guang, Liu Jie, Chen Cong, Zhong Mishan, Chen Shuliang. 2016&. The Qiaotou Formation splitting and its significance in southern Liaoning Province. Jilin Geology, 35(3): 27~30.

Chen Lin, Zhang Wei, Zhou Yan, Liu Wei, Chen Wei. 2012&. Application of high-resolution remote sensing images to searching for sedimentary—metamorphic type iron deposits in the Taxkorgan area, Xinjiang. Geology and Exploration, 48(5): 1039~1048.

Guo Qiqi, Li Zhijun, Li Wuyi, Zhao Rundong. 2017#. Application of CBRES-1 satellite data 04 in the remote sensing geological interpretation of geological and mineral resources survey in the region of Jiaxue Tibet, Geological Review, 63(S1): 147~148.

Gao Linzhi, Zhang Chuangheng, Chen Shouming, Liu Pengju, Ding Xiaozhong, Liu Yanxue, Dong Chunyan, Song Biao. 2010&. Detrital zircon SHRIMP U-Pb age from the Diaoyutai Formation, Xihe Group in Liaodong Peninsula, China and its geological significance. Geological Bulletin of China, 29(8): 1113~1122.

Jin Jian, Tian Shufang, Jiao Runcheng, Gao Hu. 2013&. Lithology identification with world View -2 data based on spectral analysis of surface features; a case study of Wulukesayi District in Xinjiang. Geoscience, 27(2): 489~496.

Ju Yi, Zhu Renzhi, Ni Pei, Wang Guoguang, Ding Junying, Kang Ning, Zhu Andong, Huang Bao, Zhou Hua. 2016&. Composition characteristics and significance of spinel in the kimberlite from No. 30 pipe in the Wafangdian Area, China. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 35(6): 1217~1225.

Lei Tianxi, Cui Fang, Yu Fengming, Xu Honggen. 2012&. Study on fractal feature of fault structure and its geological implications based on remote sensing —a case study of Jiuyi Mountain Area, Southern Hunan, Geological Review, 58(3): 594~600.

Li Sanzhong. 1994&. The tectonic style in Gaixian Fomartion of Liaohe Group at Yingkou area, Liaodong Peninsula, China. Journal of Changchun Institute of Geology, 24(4): 390~396.

Li Xiaohui, Lin Yingchao, Meng Meimei, Hei Yongqiang. 2016. Gramschmidt based hybrid beamforming for mm wave MIMO systems. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 23

(6); 53~59.

Liang Youwei. 2017#. Cambrian system in the Southern Liaoning PeninSula. *Northwestern Geology*, 50(4): 128~139.

Shu Ming, Wen Debao, Zhang Hao, Chen Zhengchao. 2017#. Design and implementation of operational atmospheric correction look-up tables for GF2 image. *Journal of Beijing University of Technology*, 43(05): 683~90.

Tian Shufang, Zhan Qian. 2013#. *Remote Sensing Geology* (2nd Edition). Geological Publishing House: 97.

Tian Yangjun, Xue Chun Ji, Ma Zhimim, Cao Jiannong. 2009#. Image fusion a lgorithm of the hyper-spectral remote sensing appling to the survey of land utilization based on acurvature-wave transformation. *Journal of Remote Sensing*, 13(2): 313~319.

Wang Ruijun, Ding Shuangfa, Sun Yongbin, Li Jingyue. 2017#. Remote sensing interpretation and application of the geological unit of Suolake area in Xinjiang based on GF-1 satellite data. *Remote Sensing for Land & Resources*, 29(s1): 137~143.

Wan Fanglai, Jiang Jingjing, Wang Xuan, Yang Xianzhong, Wang Huaichu. 2019#. Geological characteristics and structural ore-control role in Wafangdian kimberlite orefield of Liaoning Province. *Geological Bulletin of China*, 38(1): 62~67.

Wang Ruijun, Yan Bokun, Li Mingsong, Dong Shuangfa, Sun Yongbin. 2018#. Remote sensing interpretation of important ore—ontrolling geological units in Hongshan region of Gansu Province using GF-1 image and its application. *Remote Sensing for Land and Resources*, 30(2): 162~170.

Wang Xuan, Lei Guangxin, Jiang Yang. 2014#. Extraction of alteration anomalies from remote sensing data based on principal component analysis: a case study of the 1 : 50000 mineral geological survey in Yihenuer area, Inner Mongolia. *Geology and Resources*, 23(S1):

122~128.

Wang Zongxiu, Tang Zheming, Yang Zhongzhu, Yang Xiaobo. 2000#. Redetermination of the Meso—Cenozoic structural framework of Dalian area. *Regional Geology of China*, 19(2): 120~126.

Xiao Ao, Tao Shu, Wang Xiaoshuang, Zhang Tongxing. 2007#. Remote sensing analysis and evaluation of fusion. *Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition)*, 28(4): 77~80.

Yang Guodong, Zhao Qiang, Zhang Xuqing, Zhan Guoqi, Cui Shao Chen. 2018#. Based on SPOT 6 satellite remote sensing data without control point orthorectification. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 41(7): 1~3.

Yang Zhanxing, Wang Binna. 2016#. Geochemical characteristics of the kimberlite pipe No. 30 and genesis of diamond deposits in Wafangdian, Liaoning. *Global Geology*, 35(2): 378~386.

Zhang Kun, Li Zongren, Ma Shibin. 2015#. Remote sensing geological interpretation based on ZY-1 02C satellite images: a case study of Pamir area, Tajikistan. *Remote Sensing for Land & Resources*, 27(3): 144~153.

Zhang Zhibin, Shi Yi, Shi Shaoshan, You Hongxi, Li Jing, Zhao Jingyang. 2018#. Research progress and discussion on the metallogenic background of diamond in Southern Liaoning. *Geology and Resources*, 27(2): 149~159.

Zheng Hongrui, Xu Zhigang, Gan Le, Chen Ling, Yang Jinzhong. 2018#. Synthetic aperture Radar remote sensing technology in geological application: a review. *Remote Sensing for Land and Resources*, 30(2): 12~20.

Zhu Xiaoge. 2000#. Extracting geological structure information by multi-principal component analysis. *Journal of Remote Sensing*, 4(4): 299~303, 322.

## Geological interpretation of remote sensing images based on data fusion of GF2 and landsat 8

——A case study of the Wafangdian 1 : 50000 quadrangle map

WANG Xuan<sup>1, 2)</sup>, WANG Haipeng<sup>1, 2)</sup>, WANG Ran<sup>1, 2)</sup>, WU Zijie<sup>1)</sup>, GAO Fuliang<sup>1)</sup>, KANG Ning<sup>3)</sup>,  
WAN Fanglai<sup>3)</sup>, WANG Yilong<sup>1, 2)</sup>, YANG Huan<sup>1, 2)</sup>, LIU Jie<sup>1, 2)</sup>

1) *Liaoning Provincial Institute of Geological Exploration, Jinzhou, Liaoning*, 116100;

2) *Liaoning High-resolution Observation System Application and Service Center of Geological Resources and Environmental, Jinzhou, Liaoning*, 116100;

3) *The Sixth Geological Brigade in Liaoning Province Pulandian, Liaoning*, 116200

**Abstract:** As the increasing resolution of remote sensing satellites, the application of remote sensing technology in geological mapping is becoming more and more extensive. The application of remote sensing in geology still has many shortcomings, but for geological mapping work can greatly save the numbers of field work. Remote sensing geological interpretation can distinguish geological bodies with large differences in lithology, and draw their boundaries, reduce unnecessary field investigations, and focus the geologists on more complex geosciences. GF2 satellite's panchromatic band is 0.8 m which belong to higher resolution satellite. In particular, it has been favoured by geologist because of its date accuracy, convenient acquisition and a short period of return visit. At present, there are relatively few documents on remote sensing geological interpretation using GF2 satellite. This paper has certain demonstration effects. Take the city of Wafangdian in 1 : 50000 standard map for instance. Using GF2 satellite

remote sensing data in geological unit interpretation and linear structure interpretation and other aspects of work . Using GF2 data and Landsat8 data fusion and principal component analysis to make false color synthetic images. A comprehensive comparative analysis is made of the direct interpretation marks and the indirect interpretation marks, 21 geologic units and 61 linear fault structures were reconstructed. The true color synthesis and DEM superposition were used to establish the surface 3D model to determine the fracture period. Cross-cutting relationship, and finally compare the results of remote sensing geological interpretation with the results of field field investigations, to analyze the accuracy of geological interpretation, and the average agreement rate between the two is 80%, reaching the requirement of 1 : 50000 regional geological adjustment. Provide reference basis for the investigative work of Wafangdian 1 : 50000 areal geology. Fill in the blank of remote sensing image features of the geological unit in the Wafangdian area.

**Keywords:** remote sensing; geological interpretation; Wafangdian; diamond; kimberlite pipes; linear fault interpretation

**Acknowledgements:** This study was financially supported by subproject " special mapping and technology application demonstration of integrated exploration area in valandian, liaoning province" (No. 12120114027901)

**First author:** WANG Xuan, Male, Born in 1989, Engineer, Specializing in remote sensing geological interpretation, three-dimensional geological structure modeling, and computer software programming. Email: 372836765@qq.com

Manuscript received on: 2018-08-27; Accepted on: 2019-04-27; Edited by: LIU Zhiqiang

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2019.04.009