

基于多源遥感影像的吉林敦化塔东铁矿 断裂构造解译

于洪苹, 滕正双

(首钢地质勘查院地质研究所, 北京 100144)

摘要: 采用多源遥感数据对断裂构造信息进行提取, 具有更高的准确度和可信度。文章对吉林省敦化市塔东铁矿区及周边区域采用 ETM+、资源一号 02C 和高分一号 3 种遥感数据对断裂构造进行解译。在利用中-低分辨率的 ETM+ 遥感影像进行地质构造的宏观特征信息提取、解译基础上, 利用高分辨率的高分一号遥感影像, 读取影像反映出来的微观地质特征。通过野外实地踏勘, 验证并修正解译的构造信息。研究工作共解译出 5 组不同方向的断裂或线性构造, 提高了地质调查工作的准确率和可靠性。

关键词: 塔东铁矿区; 多源遥感数据; 断裂构造; 地质意义; 敦化市; 吉林省

中图分类号: P627; P618.31 **文献标识码:** A

0 引言

多源是指利用不同空间分辨率的遥感影像数据, 充分发挥光谱分辨率的潜在价值, 深度挖掘肉眼无法直接识别的有用信息, 运用遥感影像的宏观性、连续性和多光谱优势, 依据不同地物的光谱、影纹特征, 有针对性地进行遥感地质矿产解译研究工作; 而多层次则是利用不同尺度的遥感数据, 充分发挥其宏观观察、微观解剖的能力, 将不同比例尺的遥感地质调查方法有机融合, 提高遥感地质调查的预见性和针对性。随着卫星传感器技术的快速发展, 多源遥感在国土资源调查中的应用越来越广泛, 尤其是在构造解译方面成效显著^[1-5]。但是地质构造从区域到手标本可划分为不同尺度, 因而单一的遥感数据难以满足多尺度构造解译的需要^[6]。吉林省敦化市塔东铁矿是近年来勘查开发的一处铁矿床, 铁矿的资源基础储量达 1.3×10^8 t, 同时有硫、钒等伴生

资源^[7]。近年来, 一些研究者对矿床开展了部分地质研究^[7-14], 但由于地表植被覆盖严重, 区域断裂构造的研究明显受到影响。本文旨在利用多源遥感数据自身优势, 结合不同传感器的波谱分辨率和空间分辨率, 选择中分辨率的 ETM+ 遥感影像以及高分辨率的资源一号 02C 和高分一号卫星遥感数据, 对塔东铁矿及周边区域的断裂构造进行解译, 经野外地质验证, 解译成果与地质情况相符, 可弥补覆盖严重区地质观测不利的缺陷。

1 矿区及周边区域地质概况

塔东铁矿区位于吉林省敦化市雁鸣湖镇和黑龙江省宁安县镜泊乡交界部位, 地理坐标为 $N42^{\circ}42' \sim 44^{\circ}30'$, $E127^{\circ}28' \sim 129^{\circ}13'$, 铁矿区及周边区域总面积约 500 km^2 (图 1)。大地构造位置属于天山—兴安褶皱区东段南部, 吉黑褶皱系的敦化隆起北部, 敦化—密山岩石圈断裂与天北—尔站壳断裂带交汇处。

收稿日期: 2020-01-07; **改回日期:** 2020-04-11; **责任编辑:** 余和勇

作者简介: 于洪苹(1980—), 女, 工程师, 固体矿产勘查与遥感地质综合研究方向。通信地址: 北京市石景山区晋元庄路 23 号, 首钢地质勘查院地质研究所; 邮政编码: 100144; E-mail: yuhongping2009@163.com

通信作者: 滕正双(1985—), 男, 高级工程师, 从事地质找矿勘查及三维地质建模研究工作。通信地址: 北京市石景山区晋元庄路 23 号, 首钢地质勘查院地质研究所; 邮政编码: 100144; E-mail: shoukan_teng@foxmail.com

岩、斜长角闪岩、二云石英片岩夹大理岩、含红柱石矽线黑云斜长片麻岩。

区内岩浆岩较为发育,主要有呈岩基状或岩株状产出的黑云斜长花岗岩、二长花岗岩、钾长花岗岩和闪长岩等,还有呈岩脉状产出的闪长玢岩、角闪岩、煌斑岩等,脉岩多呈 SN 向展布。

矿区范围构造不甚发育,可识别的构造以断裂为主,大致分为 SN 向和 NW 向 2 组。

塔东铁矿床的矿体明显受到塔东群拉拉沟组的控制,矿体呈层状、似层状和透镜状,矿体产状 $50^{\circ} \sim 100^{\circ} \angle 50^{\circ} \sim 88^{\circ}$,产状具波状变化;铁矿体的平均品位约为 25%。矿石结构以粒状变晶结构为主,次为交代结构;矿石构造有条带状构造、层纹状构造、浸染状构造等。矿石的金属矿物主要为磁铁矿,次为黄铁矿、钛铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿等;脉石矿物为角闪石、斜长石、黑云母、绿泥石、钾长石、透辉石、透闪石、绿帘石等。矿石的有用元素主要为 Fe,伴生有益元素为 P、S、V、Ti、Co、Ga 以及 La、Ce、Nd、Y 等稀土元素。矿区围岩蚀变类型主要为绿泥石化、绿帘石化、硅化、碳酸盐化、绢云母化等,反映出岩浆热液交代的特点。矿床成因属于沉积变质-岩浆热液叠加复合型铁矿床。

2 数据源分析及数据处理

2.1 数据源分析

对塔东铁矿及周边区域遥感数据的选取遵从“多源、多尺度、多时相”的原则^[15],采用了 ETM+、资源一号 02C 和高分一号卫星 3 种卫星遥感数据,其中 ETM+数据 1 景、资源一号 02C 卫星 1 景、高分一号卫星数据 1 景。ETM+图像数据总体上清晰度较高、少云,质量优良;资源一号 02C 卫星数据良好;高分一号数据虽有部分地区具有积雪覆盖,但塔东铁矿及周边区域的图像数据未受影响,质量较好。本项目中主要对 ETM+遥感影像和高分一号数据进行处理,将资源一号 02C 数据作为补充高分一号未覆盖区域的辅助手段。

2.2 遥感数据处理

数据处理工作主要是在 ENVI 软件平台上完成的。对多源遥感数据进行的的处理主要包括:彩色合成、图像纠正、数据融合、图像融合和图像增强等。

2.2.1 彩色合成处理

本次遥感解译对于高分一号和资源一号 02C 卫星数据的多光谱部分采用 Band 3、Band 2、Band 1 等 3 个波段的合成得到真彩色影像,ETM+数据选择 Band 7、Band 4、Band 2 等 3 个波段图像组合进行 RGB 假彩色合成。在区域地质构造解译用的 ETM+数据遥感底图中采用了 Band 4、Band 5、Band 7 和 Band 5、Band 4、Band 3 波段的组合。

2.2.2 图像纠正

以 1:5 万地形图及其 DEM 为基准,选取分布均匀、合理的控制点,对于 ETM+遥感数据进行图像的正射纠正;利用 GeoImage 软件,对高分一号和资源一号 02C 数据中塔东铁矿及周边区域进行全色和多光谱影像纠正,数据采样达到 2 m 分辨率,在点位选择合理的前提下,单点正射纠正的精度大约能够达到 3 m。

2.2.3 数据融合

数据融合处理主要采用 IHS(亮度、色度、饱和度)变换法进行。首先将较低空间分辨率的 ETM+彩色图像(ETM+ 7-4-3 合成),由 RGB 彩色空间变换到 IHS 空间,然后用较高空间分辨率的 ETM+图像(15 m)或高分一号卫星图像(2 m)替换 I 分量,同时用立方卷积法将色度和饱和度分量的像元插成 15 m 和 2.0 m,之后再反变换回 RGB。融合图像的像元大小分别为 15 m 和 2 m。

2.2.4 图像融合

对 ETM+遥感数据选择 Band 4、Band 7、Band 3 等 3 个波段和数据选择 Band 9、Band 4、Band 1 等 3 个波段分别进行假彩色合成和拉伸处理,效果较好。为了提高信息提取的准确性,选择了上述 2 种不同种类、不同时相的遥感数据进行彩色合成处理,通过 2 个时相图像的对比、验证,发挥各自的优势,可以进一步提高地质体间的色调差异,提高解译效果。在主成分变换与主成分逆变换中,本次工作选用 ETM+的 6 个波段进行了主成分变换,取前 3 个分量反变换到 RGB 空间(图 2)。在所得到的图像上,不同地物波谱特征差异得到增强,利于图像的判读。

2.2.5 图像增强

工作中选用波谱特征增强和空间特征增强 2 种图像增强方法,通过处理图像的对比分析与相互验证,提高了断裂构造信息提取的效果。本次工作选用了 2 种卷积核。

$$\begin{array}{ccc} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{array} \quad \begin{array}{ccc} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{array}$$

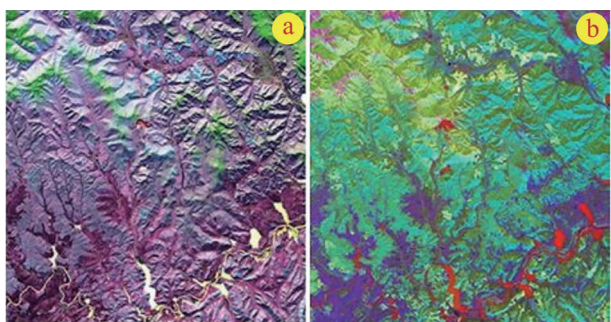


图2 ETM+遥感影像彩色增强处理

Fig. 2 Color enhancement of ETM+ remote sensing image

a. 4-7-3 波段合成图像; b. 4-3-7 波段合成图像

卷积后,图像中的线性信息得到增强,同时压制了不同地物之间的亮度差异。由于图像解译中需要兼顾形态和波谱信息 2 个方面,所以用卷积处理后所得到的图像与原图像进行假彩色合成处理,地物的边缘和线条得到明显增强,对把握构造线的方向非常有利。

断裂构造往往具有明显的方向性,通过图像处理手段增强特定方向的构造特征,有利于断裂构造的提取,本次工作选择了方向卷积滤波处理方法。方向卷积的增强效果与卷积核的选择关系密切,我们选择如下卷积核,并作假彩色合成处理。

2	1	0	4	1	1	1	2	1
1	0	-1	1	4	1	0	0	0
0	-1	-2	1	1	4	-1	-2	-1

这样可以增强 NE 向、NW 向和 EW 向的线性影像,而对其他方向的线性体则具有一定的压制作用。

3 断裂构造的遥感解译及野外验证

遥感图像进行地质解译的优势是十分明显的,它具有视域广阔、概括性强、轮廓边界清晰、三维立体效果显著等优势。同时,还能够客观、全面地识别第四系覆盖区域下的隐伏构造等^[16]。在遥感解译中主要使用分辨率达到 2 m 的高分一号卫星数据。

3.1 断裂构造解译标志

塔东铁矿及周边区域主要的断裂构造的解译标志(图 3)有:①呈直线状展布的河流、同向沟谷等线性地形;②断裂呈连续型、直线型,属压(扭)性断裂;③水系同步拐弯。

3.2 构造解译及解译结果分析

使用多源遥感数据,根据上述的断裂构造的遥感解译标志进行断裂的遥感解译并提取其断裂构造信息(表 1)。区内共解译出 5 条主要的断裂构造,分别有 NEE 向的西大棚断裂(F_1),NE 向的朱敦店断裂(F_{2-1})、拉拉沟断裂(F_{2-2})和塔拉站西断裂(F_{2-3}),NW 向的塔拉站断裂(F_{3-1})。

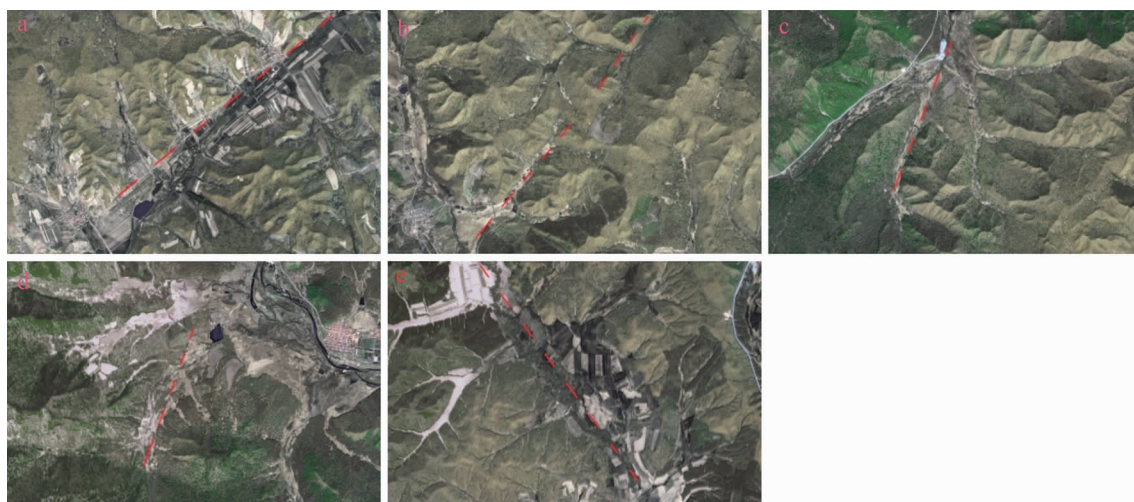


图3 断裂构造解译标志

Fig. 3 Remote sensing interpretation marks of fault structure

a. 断裂连续,直线型;b. 压(扭)性断裂;c. 同向沟谷发育;
d. 连续的同向型沟谷;e. 连续的直线型沟谷

表 1 研究区主要断裂构造解译

Table 1 Interpretation of major faults in the study area

序号	编号	断裂名称	走向
1	F ₁	西大棚断裂	NEE
2	F ₂₋₁	朱敦店断裂	NE
3	F ₂₋₂	拉拉沟断裂	NE
4	F ₂₋₃	塔拉站西断裂	NE
5	F ₃₋₁	塔拉站断裂	NW

3.2.1 NEE 向断裂

西大棚断裂(F₁)。断裂位于工作区东南部,跨越雁鸣湖镇西大棚村所在的同向沟谷,西南端被下更新统白金组所掩盖(图 4)。在 ETM+ 遥感影像图上该断裂呈直线型,连续显示,但断层三角面不甚发育。该断裂属于区域性断裂敦化—密山断裂带的组成部分,图 4 中东南侧的断裂(F)则为敦化—密山断裂带主断裂的次级断裂。塔东矿区及周边区域还存在一系列呈 NEE 向延展的裂隙(节理)带,控制着区域沟谷、水系的发育,属于区域 NEE 向断裂的低序次构造。

3.2.2 NE 向断裂

区内的 NE 向断裂多属于改造型断裂(图 5)。

(1)朱敦店断裂(F₂₋₁)。断裂跨越雁鸣湖镇朱敦店村东侧(原秃顶子林场)的同向沟谷,向北东延伸至黑龙江省宁安县镜泊乡二间村附近。在高分一号遥感影像图中,断裂呈连续的直线型,为压(扭)性断裂。

(2)拉拉沟断裂(F₂₋₂)。断裂跨越雁鸣湖镇拉拉沟村所在的同向沟谷,向东北推测在塔东群朱敦店组和黑云斜长花岗岩体的边界附近穿过。在高分一

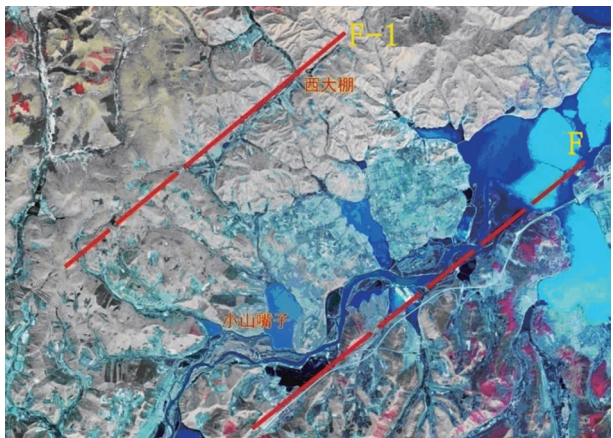


图 4 增强后的 ETM+ 遥感影像的中西大棚断裂(F₁)

Fig. 4 Dapeng fault in the color enhanced ETM+ remote sensing image

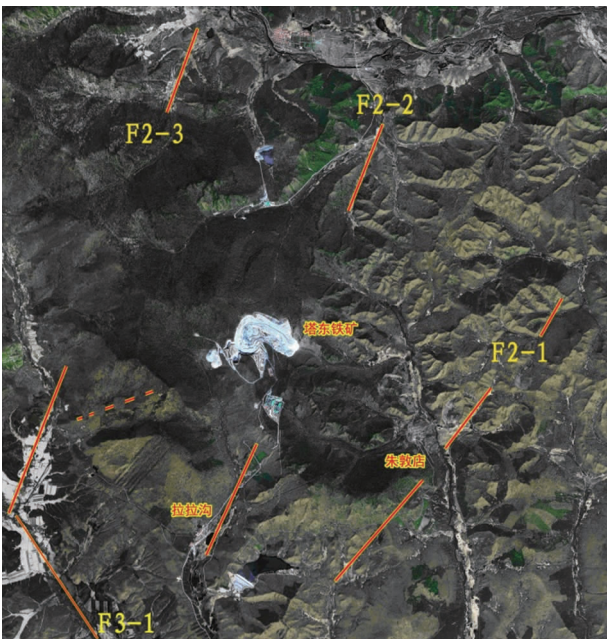


图 5 高分一号遥感影像中的 NE 向断裂(F₂ 和 F₃)

Fig. 5 NE fault(F₂, F₃) in Gaofen1 remote sensing image

号遥感影像图上呈连续的直线型。

(3)塔拉站西断裂(F₂₋₃)。断裂跨越雁鸣湖镇塔拉站村所在的同向沟谷。

3.2.3 NW 向断裂

NW 向断裂多为隐伏断裂,具控岩作用(图 5)。

塔拉站断裂(F₃₋₁)。断裂位于本区西南角的塔拉站村一带的 NW 向沟谷中,在遥感影像图中呈连续的直线型沟谷。

3.3 野外验证

通过野外地质调查,对室内解译出的部分断裂带进行了实地检查,对不同方向断裂的遥感解译特征进行了补充。根据野外验证,NEE 向的西大棚断裂(F₁),呈 60°方向穿过本区,断裂总体倾向 SE;NE 向断裂中的朱敦店断裂(F₂₋₁)呈 45°方向穿过本区,在黑云斜长花岗岩体中多表现为宽 5~10 m 的裂隙(节理)带,局部呈现雁列式裂隙的展布特点;拉拉沟断裂(F₂₋₂),呈 30°方向穿过本区,在拉拉沟附近有控制水系(转折)的迹象;塔拉站西断裂(F₂₋₃),呈 30°方向穿过本区;NW 向断裂中的塔拉站断裂(F₃₋₁),呈 320°方向延伸,沿二长花岗岩体与钾长花岗岩体的接触边界产出,是区域岩浆上升的通道,推测为控岩断裂。

野外验证结果证明,室内断裂构造遥感解译与实际地质情况基本一致。同时还发现塔东铁矿附近

的下元古界变质地层存在褶皱变形迹象,但由于植被覆盖较为严重,难以详细勾绘构造变形的具体形态。调查表明,黑龙江省宁安县镜泊乡尔站铁矿附近和团山子—拐老婆沟口附近的下元古界可能存在褶皱,局部地层增厚、走向产生变化。

4 结论

多源遥感地质调查是在成矿带矿产资源遥感调查工作的基础上,综合形成的科学有效的技术方法体系。利用多源遥感技术可以从多视角获取断裂构造的遥感信息,借助多源遥感数据能够显著提高地质构造解译的准确性和可靠性,并可快速获得预想的应用效果。

(1)采用 ETM+、资源一号 02C 和高分 1 号卫星 3 种遥感数据,联合对塔东铁矿进行断裂构造解译,依据遥感影像图上所显示出的断裂特征,在塔东铁矿及周边区域共解译出 NE 向、NNE 向和 NW 向 3 组断裂或线性构造。通过野外验证表明,实地验证与遥感解译无大差异。

(2)充分发挥多源遥感数据的优势。中-低分辨率遥感构造解译是高分辨率遥感构造解译的基础,特别是对褶皱、断裂等大型构造的解译具有很大的帮助作用。因此,在进行构造解译时,多源、多尺度、多时相遥感数据的应用尤为重要。一般应利用中-低分辨率遥感影像进行地质构造的宏观特征信息解译、提取后,再在高分辨率遥感影像上对它们的微观特征进行直接观察。

参考文献:

- [1] 刘智,黄洁,孙小飞,等. 基于 GF-1 影像的西藏亚东地区构造解译研究[J]. 中国地质调查,2017,4(3):17-23.
- [2] 郑鸿瑞,徐志刚,甘乐,等. 合成孔径雷达遥感地质应用综述[J]. 国土资源遥感,2018,30(2):12-20.
- [3] 王阳明,张景发,刘智荣,等. 基于多源遥感数据西藏山南地区活动断层解译[J]. 国土资源遥感,2018,30(3):230-237.
- [4] 张元涛,潘蔚,余长发. 内蒙古卫境地区遥感线性构造分形特征[J]. 地质学刊,2018,42(3):495-500.
- [5] 陈玲,贾佳,王海庆. 高分遥感在自然资源调查中的应用综述[J]. 国土资源遥感,2019,31(1):1-7.
- [6] 刘新星,陈建平,曾敏,等. 基于多源遥感数据的西藏羌多地区地质构造解译[J]. 国土资源遥感,2015,27(3):154-160.
- [7] 武哈. 吉林省敦化市塔东铁矿床成因研究[J]. 地质找矿论丛,2016,31(2):220-227.
- [8] 武哈,郭志山. 吉林省塔东花岗闪长岩脉侵位模式探讨[J]. 矿产勘查,2016,7(3):423-434.
- [9] 李庆武,张斌,张红红,等. 塔东铁矿床成矿规律新认识[J]. 吉林地质,2010,29(4):59-61.
- [10] 邵建波,张希友,王洪涛,等. 吉林省塔东大型铁矿地球化学特征及黄铁矿 Re-Os 同位素定年[J]. 地质学报,2014,88(1):83-98.
- [11] 王振华,刘凤霞,于城. 吉林省塔东地区铁矿产资源潜力研究[J]. 吉林地质,2011,30(3):50-54.
- [12] 商青青,任云生,陈聪,等. 吉林省敦化市塔东铁矿床矿石特征与矿床成因[J]. 矿物学报,2015(S1):494-450.
- [13] 周静,李本仙,梁一鸿,等. 吉林东部塔东铁矿区雁脖岭岩体和朱敦店岩体的形成时代与构造背景分析[J]. 世界地质,2016,35(1):142-152.
- [14] 孟杰,刘晓阳,梁一鸿,等. 吉林省塔东群锆石 U-Pb 定年、微量元素研究及其地质意义[J]. 地球科学,2017,42(4):502-510.
- [15] 熊靛辉,李调丽,郭雷,等. 遥感技术在厄立特里亚南部科纳迪地区优选找矿靶区中的应用[J]. 矿产勘查,2017,8(1):165-166.
- [16] 王进军. 西藏羌塘盆地地质构造分析及其与油气保存关系探讨[D]. 成都:成都理工大学,2015.

Multi-source remote sensing image-based interpretation of faults in Tadong iron mining district, Dunhua, Jilin province

YU Hongping, TENG Zhengshuang

(*Geological Research Institute of Shougang Geological Exploration Institute, Beijing 100144, China*)

Abstract: Data of ETM+, Resource-02c, Gaofen-1 are combined to interpret the fault structures in Tadong iron mining district, Dunhua city, Jilin province. Macroscopic feature information of geological structure is extracted and interpreted from ETM+ remote sensing images with medium and low resolution. Then the micro-features of geology were directly observed on high-resolution remote sensing images of Gaofen-1. Field check is conducted to verify and correct the interpreted structural information. Five groups of faults or linear structure in different directions were interpreted and proved improving the accuracy and reliability of geological survey.

Key Words: Tadong iron ore mining district; multi-source remote sensing data; fault structure ; geological significance; Jilin province