

# 断裂构造遥感识别和提取方法的现状与展望

罗国文<sup>1</sup>, 阴志宏<sup>2</sup>, 杨树文<sup>3</sup>

(1. 山东省第五地质矿产勘查院, 山东 泰安 271021; 2. 山西省煤炭地质公司, 山西 太原 030045; 3. 兰州交通大学数理与软件工程学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**断裂构造的遥感识别、提取方法和技术具有重要的应用和研究价值。随着遥感及相关技术的快速发展, 断裂构造的遥感解译方法也取得了较大的进展。总结了断裂构造遥感解译的必要性及其解译标志, 总结了断裂构造遥感的解译方法, 尤其是遥感自动提取的方法和技术, 并分析了存在的问题及发展趋势。

**关键词:**断裂构造; 遥感技术; 识别; 提取方法

**中图分类号:** TP79

**文献标识码:** B

遥感技术为人类观测地球表层系统的岩石圈、大气圈、水圈、生物圈及各圈层之间的动态变化、相互作用、相互关系提供了全面系统、快速准确的信息获取手段<sup>[1]</sup>。遥感地质作为实现我国地质工作现代化的一种先进的方法技术, 在区域地质调查、矿产勘查及预测、生态地质和环境地质调查中发挥着重要作用<sup>[2]</sup>。断裂构造是岩层或岩体顺破裂面发生明显位移的构造, 是地壳发育的基本构造形式之一<sup>[3]</sup>。断裂构造的形成与发育是地质灾害的诱因之一, 同时对矿床、水系等发育方向具有较大的影响, 因此断裂构造的调查是地质调查的重点对象之一, 而断裂构造的遥感调查方法已成为地质找矿、灾害地质、工程地质等行业的主要技术手段。

## 1 断裂构造遥感解译的必要性

在常规区域地质调查中, 尤其是在北方植被稀少、露头较好地区, 能够实地找到断裂构造的部分标志并进行断层要素的量测, 然而, 在植被发育、露头极少的南方等地区及第四系发育地区, 断裂构造的实地勘查非常困难。因此, 断裂构造的遥感识别、解译已成为许多工程、地质单位的主要技术手段。

多年来, 国内外学者在地质找矿、灾害调查及工程地质初勘等过程中, 基于多源、多尺度影像广泛应用和深入研究了断裂构造的遥感识别、信息提取的

方法和技术。陈松岭(1995)<sup>[4]</sup>对深层断裂构造遥感研究和地质找矿的意义进行了探讨; 杨则东(2000)<sup>[5]</sup>等利用航、卫片进行了地质解译调查, 分析了拟选桥址区及其外围的地质构造特征及新、老断层的分布情况及其活动性; 魏永明(2005)<sup>[6]</sup>等对南水北调西线工程区的断裂构造进行遥感解译和实地验证, 取得了较好的效果; 张明华(2006)<sup>[7]</sup>在西藏墨脱公路的线路勘察和设计过程中利用 ETM+影像解译了线路走廊带的断裂构造信息; 王多义(2006)<sup>[8]</sup>等对川西石亭江地区进行了遥感地质解译及构造解析, 发现了可能造成浅层天然气泄漏的石亭江走滑断裂; 李百寿(2007)<sup>[9]</sup>等利用 ETM+ & Quickbird 影像结合野外地质资料成功地提取了北喀、中喀背斜上的 25 条次生小断裂; 刘泽东(2008)<sup>[10]</sup>等利用 SPOT-5 & ETM+ 卫星影像相结合的方法, 对珠海市及其外围地区的断裂构造分别情况进行了遥感地质调查。

## 2 断裂构造遥感解译的标志

在遥感影像上断裂构造的识别, 总体上以断裂的空间结构信息分析为主, 结合波谱特征和地学知识进行推理和综合分析<sup>[7]</sup>。断裂构造的识别除了直观的色调标志外, 对色调不明显规模巨大的区域性断裂, 需要综合断裂构造直接标志与间接标志分析、

\* 收稿日期: 2011-06-15; 修订日期: 2011-08-30; 编辑: 王秀元

作者简介: 罗国文(1975—), 男, 江西吉安人, 工程师, 主要从事地质矿产勘查工作; E-mail: lgw20051102@163.com。

影像色调、色相结构异常界面、地质—地貌综合分析、地表水系结构异常分析等方法进行识别及信息提取。断裂构造的空间结构特征包括形态、规模大小、地貌、水系、纹理等,从断裂构造活动强烈并经后期的多期改造,其波谱特征多不明显,断裂构造主要是以地表形态特征,如地貌、水系、植被、景观等图像空间结构信息反映出来<sup>[11,12]</sup>。

活动断裂由于形成的时代较晚,在遥感图像上形成异常的地形地貌形态及识别标志,如清晰的断层崖、断层三角面等<sup>[13,14]</sup>。深大断裂带,多表现为不同地质构造单元或区域地理单元的分界线,断裂带两侧的地质、地理特征明显差异,在影像上的地形地貌、水系等景观表现形式明显不同。

隐伏断裂构造与地表土壤、地貌景观、第四纪沉积物、河流的发育及沉积相分布等地类间存在相互作用,因此隐伏断裂构造的遥感解译要多因素综合考虑。在第四纪沉积物分布区隐伏断裂主要表现为图象上异常的色线、色别界线及色形组合差异分界线,水系特征差异,第四纪沉积物或土壤、岩层及其含水性强弱的线状分布界线,微地貌线状伸展或起伏变化等<sup>[15]</sup>。

### 3 断裂构造遥感识别和提取方法

断裂构造在影像上一般呈线状体出现,通过对构造线性体的结构图式研究,可以建立具有构造几何学意义的构造线性体模式,为构造序列及其运动学机制分析提供形象逼真的、连续的空间信息<sup>[16]</sup>。因此,利用遥感图像识别、解译和提取线性构造关键是通过图像处理的方法和技术将影像上的线状信息增强出来,使目标信息与其他背景信息有较大的差异,如线状构造两侧的地貌差异、颜色差异等,进而进行人工解译或利用算法自动提取主要断裂构造。

#### 3.1 断裂构造的遥感解译流程

常规的断裂构造的遥感解译基本遵循的操作流程如图 1 所示,主要分为 4 步,即目标图像预处理、图像增强处理、信息提取和结果验证、分析。其中,图像预处理在整个处理流程中具有非常重要的作用。由于断裂构造遥感解译、提取方法往往涉及多源、多时相和多尺度的影像数据,因此需要预先对涉及的影像进行几何校正,使其具有统一的地理参考系统。在条件有限或解译需要高分辨率的彩色影像

时,需要对影像进行数据融合处理,如 ETM+ 的 TM543 与 Pan 波段的融合, TM 彩色影像与 SPOT 全色波段的融合等。同时需要对影像进行大气校正处理以消除地形阴影等的影响。

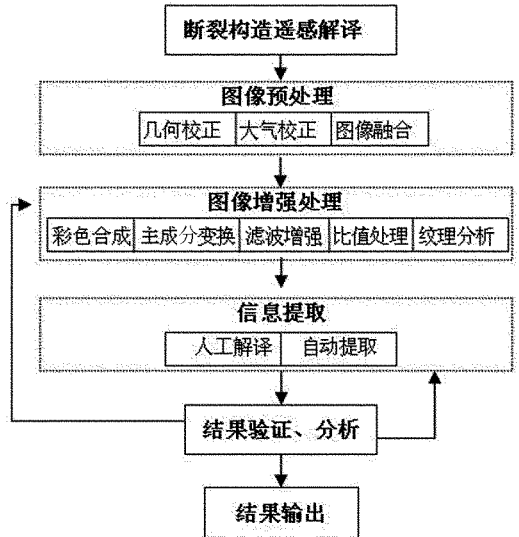


图 1 断裂构造遥感解译流程

#### 3.2 断裂构造的识别、提取方法

在线状断裂构造的遥感识别、解译方法上大致可分为两类:①通过图像增强等处理方法对目标影像进行处理,使其利于断裂构造的识别,再通过人工解译进行信息的提取;②基于图像处理方法与线状信息提取算法结合的自动提取方法,如 Hough 算法等。

##### 3.2.1 断裂构造增强处理方法

为了更好的识别和解译断裂构造信息,需要对遥感影像进行信息增强处理,常用的方法有光谱信息增强、空间变换和影像纹理分析等。

(1)彩色合成。在断裂构造的目视解译过程中,人类视觉对灰阶的分辨远远低于对彩色的分辨,因此需要根据目标图像的特征选择合适的波段组合成彩色影像可以利用目标信息的识别和解译。例如,对非遥感专业的工程地质人员,可采用近似真彩色 TM543 合成图像进行信息解译,对具有遥感背景专业的人员可采用地质信息和地表环境信息丰富的 TM741 组合图像。

(2)主成分变换。在断裂构造遥感解译过程中,由于多波段数据经常是高度相关的,因此干扰信息较多,利用主成分变换通过坐标轴的旋转使数据的

方差达到最大,从而生成互不相关的波段。因此,在地质信息遥感识别、解译过程中,目前大部分研究人员都选择了主成分分析处理,首先将 6 个波段(除第 6 波段)进行主成分分析,并利用变换后的第 1 主分量进行信息识别和提取,或将第 1,2 和 3 分量进行波段组合,生成新的彩色图像,再进行信息识别、解译,或第 1 主分量与其他波段组合再进行信息识别、解译。

(3) 比值处理。比值运算是求出每个象元在 2 个不同波段的亮度值的比值,然后用这些比值构成新的图像,即比值图像。图像比值运算增强了地物的波谱差异,有利于地物的识别和区分,尤其是对地质类信息比较敏感。通过对 TM 全部 7 个波段的比较研究, TM4 波段的线性特征最清晰,因此,将 TM4 与 TM3 进行比值运算,可进一步将线性断裂构造信息增强,从而利于随后的人工解译和自动提取。

(4) 滤波增强处理。对影像进行均值滤波、中值滤波<sup>[17]</sup>或小波变换滤波<sup>[18]</sup>等处理,可有效地平滑图像和消除噪声和孤立点,从而提高影像的质量,方便目标信息的提取。均值滤波具有很好的噪声平滑能力,但易造成影像整体模糊和分辨率降低;中值滤波能有效地消除斑点噪声,但易造成图像失真。因此滤波方法的选择关键要考虑卷积滤波核的合理性,可选择自适应滤波或定向滤波的方法解决问题。

(5) 纹理分析。纹理是地物特性在影像上的本质表现,是图像中辐射亮度值空间变化的重要信息<sup>[19]</sup>,如周期性图案等。目前,用于纹理分析的方法很多,如灰度共生矩阵、差分统计法及分形纹理等。在基于图像纹理特征进行构造线性体提取的过程中,马尔柯夫随机场(MRF)有时会比反差增强、空间滤波等常规方法更有效<sup>[3]</sup>。

### 3.2.2 断裂构造的自动提取方法

虽然基于图像增强处理进行断裂构造综合解译的方法至今仍在广泛采用,但是学者们对断裂构造的遥感自动提取法进行大量工作,也取得了较大的进展。Raghavan(1995)<sup>[20]</sup>等基于霍夫变换提出的线性断裂构造的自动提取方法;孙方立(1997)<sup>[21]</sup>等基于霍夫变换的线性检测算法结合图像处理方法识别、提取了断层信息;王金飞(2000)<sup>[22]</sup>基于研发的线性特征提取和分析系统(LINDA)提出一种利用多波段图像提取线性地质特征的方法;于波

(2006)<sup>[23]</sup>等基于 RBF 网络进行了断层的自动识别。

线状或环状的断裂构造在影像上的线性特征往往呈亮线、暗线或边缘突起,因此目前断裂构造的遥感自动识别和提取主要采用直线检测方法有霍夫变换法、轮廓跟踪法和 RBF 网络法等。

目前,基于 Hough 变换与 Canny 边缘跟踪算法相结合方法是线状断层提取的主要方法。利用该算法针对 TM 影像的断裂构造提取时,可选择的计算图像有 3 种:TM4 波段, TM4/TM3 的比值图像,对 TM 影像 6 个波段(除第 6 波段)进行主成分变换并提取第 1 主成分图像。

自动提取时,首先对于处理的图像进行滤波处理,随后进行 Hough 变换与 Canny 边缘跟踪,可快速地提取目标图像中的断裂构造信息。其中,滤波器和滤波次数的选择非常重要,通过实验比较,用于断裂构造遥感自动提取效果较好的滤波器有均值滤波和 Lee 滤波,滤波次数与提取的线条信息的多少相关,滤波次数越少,提取的线条信息越多,误提的信息就越多,因此根据不同的滤波器经反复实验可选到比较合适的滤波次数。如图 2 所示,是对 TM4 波段进行 35 次均值滤波后的自动提取结果;图 3 是对 TM4/TM3 的比值图像进行 35 次均值滤波后提取的结果;图 4 是对 6 个 TM 波段进行主成分变换后的第 1 主成分(PC1)进行 30 次均值滤波后提取的结果;图 5 是对 PC1 进行 35 次均值滤波后提取的结果。

### 3.3 存在的问题和发展趋势

利用遥感技术进行断裂构造识别、提取的方法和技术的研究在不断深入中,但是断裂构造的成因及表现是极其复杂的,且其在地表的标志往往受到第四纪沉积物、地貌、植被、人类活动痕迹等因素的影响,因此断裂构造遥感解译及其精度具有多方面的制约。

常规基于图像增强处理方法和人工经验综合识别、解译的方法人为影响因素较大,且综合方法因数据源、尺度变化等造成方法的个性化,因此该类方法具有效率低、质量难以保证,耗费的人力、物力极大等弊病。断裂构造的遥感自动提取方法主要根据断裂构造的光谱特征和纹理特征等因素进行识别和提取,虽然具有较高的效率,但是在算法设计上相对较单一,没有很好地利用断裂构造的遥感解译标志

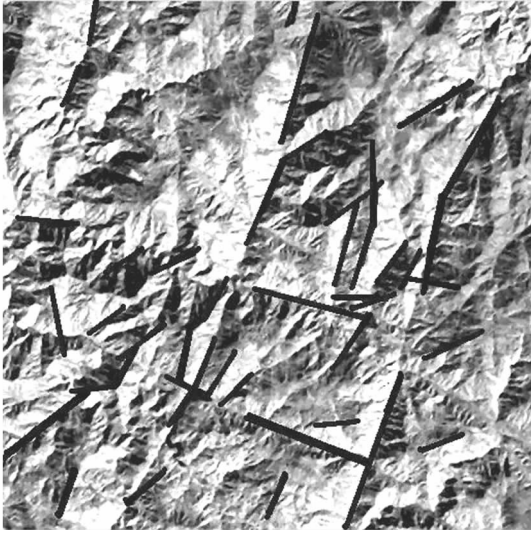


图 2 基于 TM4 波段提取结果

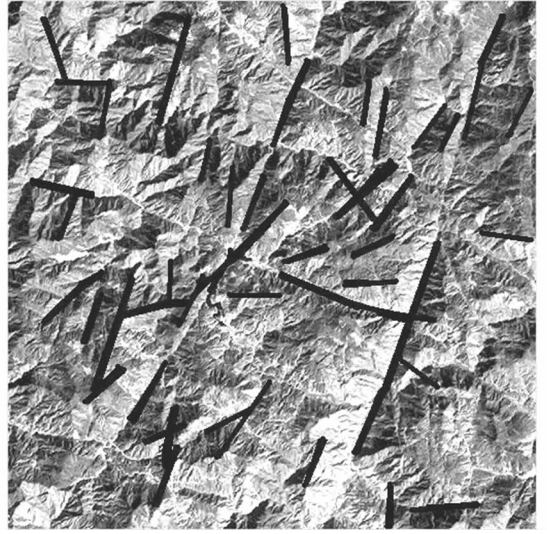


图 4 基于第一主成分进行 30 次均值滤波后的提取结果

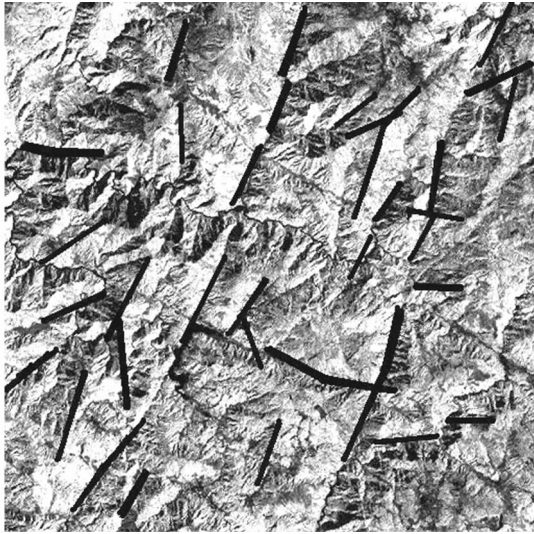


图 3 基于 TM4/TM3 比值图像提取结果

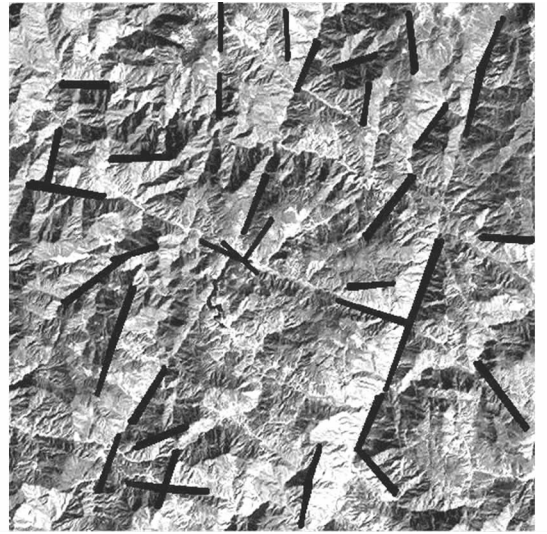


图 5 基于对 PC1 进行 35 次均值滤波后提取的结果

去综合判断,因此解译结果往往不理想,主要问题在于:一是在合适的滤波处理下,主要断层可识别及提取出来,但仍存在误提及大量的漏提信息;二是基于目前提取算法提取的结果呈短线状,连续性较差,且缺乏相关的处理算法;三是基于光谱和纹理等特征提取的断裂构造,缺乏断层产状等相关属性提取的算法。

综上所述,断裂构造的遥感解译虽然取得了较大的进展和较为丰富的研究成果,但是断裂构造遥感解译,尤其是自动提取方法仍存在诸多问题难以解决,因此可以进行批处理的解译方法、提取技术及软件始终没有问世。随之 RS 和 GIS 技术的快速发

展,基于多源、多尺度和多特征综合的遥感技术与 GIS 智能化分析技术相结合、集成的方法和技术是进行断裂构造智能化、自动提取的发展趋势及研究重点。

## 4 结语

遥感技术在各种矿产勘查、区域地质填图及各种工程选线、选址勘测过程中发挥了重要作用,具有显著的社会经济效益。断裂构造作为调查的目标之一,利用遥感技术省时省力,并可找到部分实地勘测中难以发现的隐伏断层和小断层,因此随着遥感及

相关技术的快速发展,遥感在这一领域的应用将会更加深入和广泛。

目前,断裂构造遥感识别、提取的方法和技术在不断的不断发展中,高分辨率、高光谱卫星数据的普及应用将有效地推动断裂构造遥感解译、自动提取方法和技术研究、应用的深入和实用化。

## 参考文献:

- [1] 邹谨敏,邵顺妹. 活动断裂的遥感影像研究[J]. 环境遥感, 1995,10(3): 182 - 187.
- [2] 薛重生. 遥感技术在区域地质调查中的应用研究进展[J]. 地质科技情报, 1997,16(增):15 - 22.
- [3] 隋志龙,李德威,黄春霞. 断裂构造的遥感研究方法综述[J]. 地理学与国土研究, 2002,18(3):34 - 37,44.
- [4] 陈松岭. 深层断裂构造的遥感研究及其找矿意义[J]. 大地构造与成矿学,1995,19(3): 258 - 265.
- [5] 杨则东,李良军,鹿献章,等. 安庆长江公路大桥区域稳定性及桥位线选址遥感应用研究[J]. 工程地质学报,2000,8(2):206 - 212.
- [6] 魏永明,蔺启忠,王学潮,等. 南水北调西线工程区活动断裂构造遥感研究[J]. 遥感学报,2005,9(5):616 - 622.
- [7] 张明华. 西藏墨脱公路断裂构造遥感分析及信息提取[J]. 国土资源遥感,2006,(1):59 - 63.
- [8] 王多义,邓美洲,童纯菡,等. 川西石亭江地区遥感地质解译及构造解析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2006,33(4): 390 - 393.
- [9] 李百寿,秦其明,贺电,等. 基于多空间分辨率遥感影像的喀拉玉尔滚构造带研究[J]. 地质科技情报,2007,26(5):100 - 108.
- [10] 刘泽东,吴虹,邱桔. 基于 SPOT - 5&ETM+ 遥感的珠海市断裂构造解译和地表稳定性评价[J]. 桂林工学院学报,2008,28

(1):20 - 24.

- [11] 卓宝熙. 工程地质遥感图像典型图谱[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [12] 卓宝熙. 工程地质遥感判译与应用[M]. 北京:中国铁道出版社,2002.
- [13] 陈国浒,单新建,李建华. 基于遥感影像研究宁波地区断裂活动性[J]. 地震,2007,27(2):131 - 138.
- [14] 张明华. 基于 RS、GIS 的东喜马拉雅南迦巴瓦峰地区断裂构造的定量研究[J]. 大地构造与成矿学,2007,31(4):418 - 423.
- [15] 袁佩新. TM 图象解译德阳一中江地区浅层隐伏断裂构造格局[J]. 四川地质学报,1994,14(1):71 - 75.
- [16] 薛重生,王京名,刘敏,等. 遥感图像构造线性体模式及结构分析[J]. 地质科技情报,1997,16(增刊):57 - 63.
- [17] 张天瑜. 基于改进型中值滤波算法的图像去噪[J]. 长春工业大学学报(自然科学版),2009,30(1):48 - 52.
- [18] 余发山,李睿,陈步威. 基于小波变换的 Canny 检测算法[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2009,28(1):71 - 74.
- [19] 黄颖端,李培军,李争晓. 基于地统计学的图像纹理在岩性分类中的应用[J]. 国土资源遥感,2003,3(57):45 - 49.
- [20] Raghavan V, Masljiotw S, Koike K, et al. Automatic Lineament Extraction from Digital Images Using a Segment Tracing and Rotation Transformation Approach[J]. Computers & Geosciences, 1995, 21(4):555 - 591.
- [21] 孙方立,阮秋琦. 基于霍夫变换的断层地质构造识别研究[J]. 铁路航测,1997,(2):29 - 33.
- [22] 王今飞. 遥感卫星图像中线性地质的自动提取[J]. 第四纪研究,2000,20(3):252 - 258.
- [23] 于波,肖红. 基于 RBF 网络的断层自动识别[J]. 福建电脑,2006,(10):133 - 134.

## Present Condition and Prospect of Ertracton and Identification Methods by Using Remote Sensing Technology in Faults

LUO Guowen<sup>1</sup>, YIN Zhihong<sup>2</sup>, YANG Shuwen<sup>3</sup>

(1. No. 5 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Tai'an 271021, China; 2. Shanxi Geological Coal Companies, Shanxi Taiyuan 030045, China; 3. Mathematics Physics and Software Engineering College of Lanzhou Traffic University, Gansu Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Methods and technology of faults ertracton and identification have important values both for applications and research works. Accompanying with rapid development of temote sensing and related technologies, the remote sensing interpretation methods of faults have also made great progress. In this paper, the necessity and interpretation marks of faults interpretation from RS image have been analyzed, the interpretation methods of faults have been summerized, especially remote sensing automatic extraction methods and techniques have been studied. On these basis, problems and trends of faults interpretation methods from RS image are put forward.

**Key words:** Faults; remote sensing technology; identification; extraction method