

西藏墨脱公路断裂构造遥感分析及信息提取

张明华

(桂林工学院资源与环境工程系, 桂林 541004)

摘要:在西藏墨脱公路断裂构造的遥感勘察中,以 Landsat-7 ETM⁺ 卫星影像为信息源,以 ENVI 4.0 软件为图像处理平台,运用数据集成、图像融合、主成分分析及方向滤波等图像处理技术对断裂构造信息进行增强处理;以基于地学知识的遥感构造分析技术对南迦巴瓦峰地区的断裂构造特征进行全面解译和识别,并在 ArcGIS 8.2 的支持下,进行断裂构造专题制图及信息提取,查明了公路方案线区域内断裂构造的分布及发育特征,为墨脱公路工程线路方案选择、工程地质条件评价提供了科学依据。

关键词:南迦巴瓦峰;断裂构造;遥感解译;图像识别;信息提取

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2006)01-0056-05

0 引言

遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术是进行公路、铁路等线路工程地质勘察,获取包括断裂构造在内各种工程地质信息的最有效的方法之一。在我国举世瞩目的长江三峡水利工程、南水北调工程、新欧亚大陆桥(中国段)工程、京九铁路等线路工程勘察中,都应用遥感技术进行断裂构造等工程地质条件的调查,并收到了良好的应用效果^[1-3]。在西藏墨脱高等级公路工程地质遥感勘察中,我们应用地学信息技术对墨脱公路工程地质条件进行全面解译分析^[4,5],特别是通过有效的图像信息增强技术和遥感地学解译分析及基于 RS-GIS 一体化的断裂构造信息采集与专题制图,查明了公路方案线区域内对公路线路走向和展布起决定作用的断裂构造的分布及发育规律,为墨脱公路工程线路选择提供了充分的科学依据。

1 地理地质概况

研究区位于喜马拉雅山东段南迦巴瓦峰(以下称南峰)和横断山、念青唐古拉山脉汇合部位,宏观上属于喜马拉雅极高山-高山地貌,雅鲁藏布江由西向东流经南峰并向南作马蹄形转弯,形成著名的大拐弯峡谷。墨脱县位于南峰东南侧雅鲁藏布江大

峡谷中部,受印度洋暖湿气流影响,南峰地区具有明显的“海洋性”气候特征,降雨量充沛,而墨脱县因山高、谷深、路险而与外界基本隔绝,是全国唯一未通公路的县。在大地构造位置上,南峰地区位于印度板块与欧亚板块碰撞接合的中心部位,雅鲁藏布江深大断裂具有典型的板块缝合带特征。南峰地区构造变形复杂,根据其区域构造特征可将该区分南峰前寒武纪古隆带、雅鲁藏布江大拐弯中生代复杂弧形构造带、岗日嘎布海西—印支褶皱带^[6,7]。该区断裂构造十分发育,特别是断裂的新构造活动非常强烈,沿断裂带出现频繁的地震活动及地热异常,并且断裂活动控制和诱发冰川活动及泥石流、滑坡等地质灾害,对墨脱公路方案线产生重要影响。

2 断裂构造增强

墨脱公路工程地质遥感勘察以 Landsat-7 ETM⁺ 陆地卫星影像为主要信息源,成像时间为 2001-12-01。首先,在 ENVI 4.0 中对图像进行几何校正和辐射校正,并通过对比度扩展增大图像反差,对图像进行均衡化处理,使图像亮度值近似正态分布和突出暗区信息;然后,进行断裂构造增强处理,主要的方法有光谱信息增强^[8]、空域滤波^[9,10]及影像纹理分析^[11,12]等。根据图像统计特征及南峰地区冰雪和植被覆盖面积大、基岩出露少及活动断裂十分发育等特点,主要采用以下方法增强断裂构造

信息,从不同侧面突出不同等级、不同层次及不同形态断裂构造的空间分布特征。

2.1 图像集成与处理分析

ETM⁺6 热红外波段包含着与可见光波段不同的信息特点,可以作为可见光波段信息的有益补充。首先对 ETM6 波段进行数据拉伸和插值处理,然后与 ETM1 ~ ETM5、ETM7 波段集成到一个文件中进行图像处理分析。在经过增强处理的 ETM6 图像上,雅鲁藏布江断裂带的高地热场表现出较浅的色调,断层三角面形成的热阴影呈线状排列,而且热红外图像所反映出的断裂带线性特征和纹理十分清楚。

2.2 卷积滤波增强

根据断裂构造具有较强的方向性特点,采用定向滤波技术对卷积滤波核模板矩阵设置一定的权值,有选择地对某一方向的边缘信息进行增强。根据南峰地区断裂构造的方位,分别设计北西向、近东西向、北东向等多组方向的定向滤波核,分别对影像进行处理,提取断裂构造信息,对不同方向的断裂带信息有显著的增强效果。

2.3 基于 KL 变换的图像信息分离

冰雪及植被覆盖、地形阴影等对断裂构造的解译分析影响很大,常规的比值增强方法很难消除这些干扰因素的影响,可通过 KL 变换分离这些干扰信息。选用 ETM1 ~ ETM5、ETM7 等 6 个波段进行 KL 变换,变换后的植被、阴影信息分别集中在第一、三主组分中,第二主组分图像由于植被、阴影等主要干扰信息被分离,断裂构造得到清楚地显示,在达木一带的断裂构造线状影像十分明显。多组方向的断裂也比较清楚地反映出来。

2.4 图像融合

用 ETM7(R)、ETM4(G)、ETM1(B)波段组合进行 HIS 变换,用 ETM8 波段替换变换后的 I 分量进行反变换,即可实现 ETM⁺ 不同分辨率波段图像的信息融合,使图像的分辨率提高到 15 m,又保持了彩色波段丰富的光谱信息,使断裂构造的空间信息如纹理、地貌、水系等特征得到更清楚地显示。

3 断裂构造解译分析

断裂构造是岩石或地质体在内、外动力地质作用下形成的地表综合体,通过基于地学知识的断裂构造遥感解译分析,从图像光谱特征和空间结构两方面全面解析断裂构造的影像特征。利用图像光谱

特征着重分析断裂构造在图像上的亮度或色彩变化的规律性;图像空间结构特征主要从地貌、水系、植被及景观等方面分析影像结构的变化。断裂构造的识别需要在光谱特征分析的基础上,结合空间特征进行综合分析,以排除非构造因素形成的线性体异常,如山脊、道路和水系等。

3.1 光谱特征

断裂构造在图像上最直观的特征为线状影像带,或称线性体^[13,14],并通过图像亮度或色彩的差异,以与背景不同的色带、色线或色彩分界面表现出来。构造线性体是断裂构造遥感影像光谱特征研究的重要内容之一,线性体优选方位能反映一个地区的基本构造格局^[15]。通过对构造线性体的结构图式研究,可反演构造变形序列及其运动学机制^[16]。

南峰地区断裂构造形成的线性体非常发育,深大断裂带形成的色调异常带也十分清楚,而且断裂构造的色调异常多通过其特有地形地貌、纹理等差异显示出来(图 1)。



图 1 色调分界面及纹理、地貌(拉格断裂带)

3.2 空间结构特征

断裂构造特别是活动断裂,在遥感图像上除了光谱特征外,更多的是以地貌、水系、植被及景观等地表综合形态特征^[17,18]反映出来,在南峰地区这种现象尤为明显,空间结构特征是南峰地区断裂构造分析及图像识别的主要依据。

3.2.1 地形地貌

断裂构造在遥感图像上常形成异常的地形及地貌形态。南峰地区因为新构造运动强烈,线状展布的断层崖、线性谷地、窄凹地,密集的构造面理带,山体、河谷或冰蚀谷地、洪积扇或古泥石流扇的错移等异常构造地貌特征十分典型(图 2),特别在冰雪覆盖区,活动断裂错断了表层的冰雪覆盖层,引起表面冰雪的崩塌、陷落,并形成雪崩或冰崩,甚至诱发冰川型泥石流、或滑坡等地质灾害(图 3)。

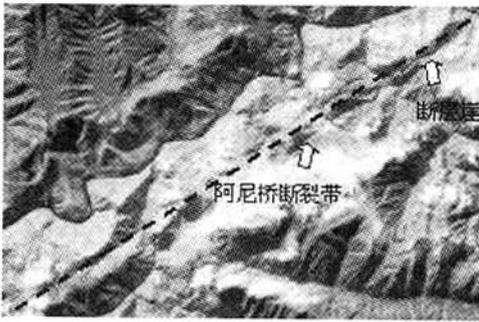


图 2 线状沟谷及断层崖(阿尼桥断裂带)



图 3 活动断裂及雪崩、泥石流(通麦-嘎隆寺断裂带)

3.2.2 水系

水系是地貌的重要表现形式,主要是受断裂构造特别是活动构造的控制。断裂活动造成河流及地表流水的流向异常,形成倒钩状、直角状水系及对口河等,如在帕隆藏布大型走滑断裂带的作用下,波堆藏布下游形成明显的水系异常(图4)。

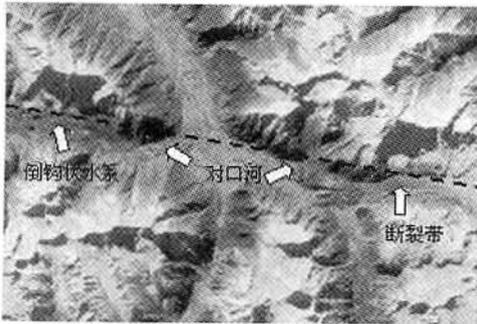


图 4 倒钩状水系、对口河(波堆藏布下游)

断裂作用也导致冰川活动异常,使冰川流向改

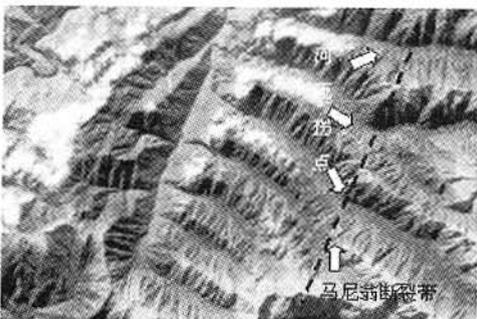


图 5 水系拐点同步弯曲(马尼翁断裂带) 万方数据

变、冰川谷的突然转弯或冰川以异常角度汇入冰川谷地,在马尼翁、阿尼桥一带,断裂活动破坏早期冰蚀谷并导致流向的异常,形成水系拐点的同步弯曲(图5)。

3.2.3 纹理特征

区域性深大断裂由于强烈的断裂活动导致其内部的成分、结构、构造及地表形态与背景不同,在影像纹理上表现出明显的差异。对南峰地区 ETM⁺ 影像用灰度共生矩阵法进行纹理分析发现,ETM7 波段中断裂构造的纹理特征清楚,其中,纹理的对比度、熵和能量 3 种测度对雅鲁藏布江等深大断裂带均有较明显的反映(图6、图7)。断裂带与背景在纹理精细度、对比度、方向性及粗糙度等方面有明显的差异,断裂带由于纹理不同表现出清晰的线状影像特征,研究区北东侧的岗日嘎布断裂带、帕隆藏布断裂带也有清楚地显示。

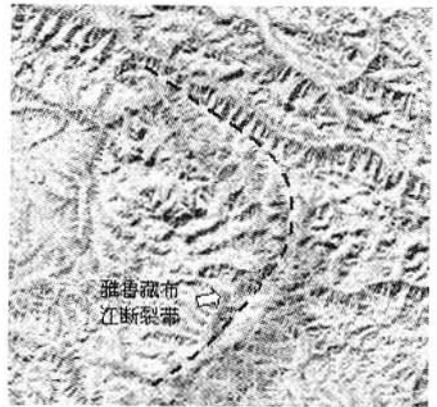


图 6 ETM7 图像纹理的熵测度



图 7 ETM7 图像纹量的能量测度

3.2.4 其它

主要包括植被、土壤及景观等特征。断裂带还会影响到土壤、植被等其它自然因素的变异,形成一系列断裂构造的间接解译标志。断裂带因裂隙发育、含水性好常常形成线状植被异常带。对区域性

深大断裂,多是不同地质构造单元或区域地理单元的分界线,断裂带两侧表现出不同的地形地貌、水系网等综合景观形式。在遥感影像上可以通过这些间接解译标志进行断裂构造的辅助分析。

3.3 地学综合分析

断裂构造的解译分析除了对断裂构造本身的特征进行分析以外,还需要对地质背景信息如地层岩性、地质构造及岩浆活动等进行全面的综合研究。断裂构造并不是孤立产生的,断裂活动和地壳运动、岩浆及火山活动、沉积作用、地震活动等地质作用密切相关。因此,断裂构造的遥感图像分析同时也是各种地质作用的综合分析过程。

4 断裂构造识别及信息提取

在对南峰地区断裂构造进行图像增强处理和对图像光谱特征和空间结构特征进行地学解译分析的基础上,进行 RS-GIS 的一体化数据采集与专题制图,提取图像上断裂构造信息,并查明其分布规律及属性特征。

4.1 图像识别

基于边缘信息增强的图像处理技术和地学分析

识别技术是进行断裂构造解译识别的最基本方法,在断裂构造图像识别的基础上进行断裂构造信息的提取,主要技术方法有:区域级主干断裂构造的多级图像处理与解译方法、线性构造场目视解译与基于地学知识的判别分析方法、断裂构造直接标志识别与间接标志推测分析方法及影像色相、结构异常界面法和地表水系结构异常分析法等。

4.2 专题制图及信息提取

运用 RS、GIS 的集成技术,在数据层上进行 RS-GIS 一体化的断裂构造信息采集与专题制图。在基于 ENVI 4.0 的断裂构造图像增强及遥感构造分析的基础上,选定 ETM7(R)、ETM4(G)、ETM1(B)波段组合与 ETM8 融合影像为断裂构造解译的基础底图,在 ArcGIS 8.2 软件平台下,以该基础底图为背景图层,通过计算机辅助人机交互解译方式进行断裂构造的采集和专题制图,提取断裂构造信息。

4.3 主要断裂构造特征

通过断裂构造的遥感地学解译分析和专题制图发现,南峰地区断裂构造十分复杂,特别是活动断裂非常发育。区内断裂构造主要有北东向、近东西向、北西向和北北西向 4 组。主要的断裂构造特征及识别标志如表 1 所示。

表 1 南峰地区断裂特征

断裂名称	位置	特征
雅鲁藏布江弧形断裂带	沿雅鲁藏布江呈弧形展布	地貌、水系异常带,构造面理带,断层崖、线状沟谷,角状、倒钩状水系,地震活动
派走滑断裂带	经派呈北东—北东东向展布	切割雅鲁藏布江河流阶地,发育断层崖
拉格断裂	经拉格呈北东向展布	色调异常界面,线状展布的断层崖,冰川错动
汗密断裂	经汗密东侧呈北东向展布	色调异常界面,线状展布的沟谷、河流拐点同步弯曲
马尼翁活动断裂带	经马尼翁呈北东向展布	线状展布的断层崖、断层谷,温泉出露,冰川谷地被改造
岗日嘎布山断裂带	沿岗日嘎布山麓呈北西西向展布	劈理化及构造面理带,断层崖、拗谷,线状展布的冰蚀谷,冰雪覆盖层错动,雪崩、冰崩及冰川发育
通麦—嘎隆寺断裂带	沿通麦、嘎隆寺呈北西西向展布	断层崖、断层三角面,断裂带岩层产状陡立,构造面理带、挤压破碎及剪切带
大波登—俄马断裂带	沿大波登、俄马呈北东向展布	断层崖及线状沟谷,泥石流、崩塌发育,地震活动
邦辛—帕隆断裂	经大拐弯东北端呈北北西向展布	深切峡谷,地热异常带,地震活动

受印度板块活动影响,南峰地区的断裂构造大多具有新构造活动特征,主要表现为断层切割地表冰雪覆盖层、河流阶地、冰川或冰蚀谷,如岗日嘎布山断裂带、派走滑断裂带及拉格断裂带等;沿断裂带出现地热异常、地震活动,如雅鲁藏布江弧形断裂带、马尼翁活动断裂带及邦辛—帕隆断裂等;沿断裂带发育现代冰川、泥石流、崩塌、滑坡等地质灾害等,如岗日嘎布山断裂带和雅鲁藏布江弧形断裂带等。

万方数据

受南峰地区恶劣自然条件的影响和项目研究所限,对墨脱公路断裂构造遥感解译分析结果的地面验证将在后续勘察中由其它机构完成,但解译结果与 1982~1984 年由中国科学院和南京大学为代表的 22 个有关科研机构和大专院校组成的中国科学院登山科学考察队两次对南峰地区开展的大规模综合性科学考察结果^[6,7]完全相符。

5 结论与讨论

在西藏墨脱公路工程地质遥感勘察中,通过对断裂构造信息的增强处理和地学解译分析,查明了公路方案线区域内断裂分布及发育特征,为墨脱公路工程线路方案选择、工程地质条件评价提供了充分的科学依据。利用 RS、GIS 的集成技术,进行 RS-GIS 的一体化信息采集与断裂构造专题制图,其费用低、效率高并具有较高的精度,能完全满足公路工程选线及勘察的要求。

ETM6 红外波段包含着地物丰富的热辐射信息,对深大断裂特别是活动断裂有较好的反映,可作为其它波段信息的有益补充。KL 变换能有效地分离植被、冰雪、阴影等干扰信息,比常规的比值增强方法效果好。图像融合、方向卷积滤波及纹理分析等方法对增强断裂构造信息也有明显的效果。

参考文献

[1] 张振德,何宇华. 遥感技术在长江三峡库区大型地质灾害调查中的应用[J]. 国土资源遥感, 2002 (2): 11 - 14.

[2] 马友谊,鲁振玖,郝跃生,等. 浅论京九铁路河北段沿线地区活动构造卫星影像特征[J]. 国土资源遥感, 1997 (2): 27 - 31.

[3] 自强,王学潮,随裕红,等. 遥感技术在西线南水北调活动构造分析中的应用[J]. 华北水利水电学院学报, 2001 22(1): 33 - 35.

[4] 张明华,薛重生. 基于 GIS、RS 的西藏墨脱高等级公路工程地

质勘察[J]. 干旱区地理, 2004 27(3): 409 - 413.

[5] 张明华. 公路工程地质灾害遥感图像识别及解译方法[J]. 遥感技术与应用, 2005 20(2): 233 - 237.

[6] 彭补拙,杨逸畴. 南迦巴瓦峰地区自然地理与自然资源[M]. 北京: 科学出版社, 1996.

[7] 章振根,刘玉海,王天武,等. 南迦巴瓦峰地区地质[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

[8] 章孝灿,黄智才,赵元洪. 遥感数字图像处理[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1997.

[9] 徐建华. 图像处理与分析[M]. 北京: 科学出版社, 1993.

[10] 高景昌,王光杰. 遥感图像线性构造信息微机机助提取[J]. 环境遥感, 1994 9(1): 62 - 67.

[11] 易顺民,唐辉明. 活动断裂的分形结构特征[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1995 20(1): 58 - 62.

[12] 陈运平,席道瑛,樊星. 用分形理论研究海南岛的活动断裂[J]. 地震研究, 2002 2(4): 351 - 355.

[13] 王润生,杨文立. 遥感线性体场的定量化分析[J]. 国土资源遥感, 1992 13(3): 49 - 53.

[14] 郭德方,谢青云,李小孟. 线性体场分析[J]. 国土资源遥感, 1993 18(4): 8 - 16.

[15] 陈建平,胡明铭,李巨初. 康滇地轴中南段区域构造格架的遥感地质统计分析[J]. 成都理工学院学报, 1999 26(1): 78 - 81.

[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: 57 - 63.

[17] 邹谨敬,邵顺妹. 活动断裂的遥感影像研究[J]. 环境遥感, 1995 10(3): 182 - 187.

[18] 张志,张雪亭. 基于遥感影像信息的东昆仑活动断裂研究[J]. 西安工程学院学报, 1999 21(3): 5 - 8.

THE REMOTE SENSING INTERPRETATION AND EXTRACTION OF FAULT STRUCTURE INFORMATION FOR MOTUO HIGHWAY CONSTRUCTION IN TIBET

ZHANG Ming - hua

(Department of Resource and Environmental Engineering , Guilin University of Technology , Guilin 541004 , China)

Abstract : By means of digital image processing techniques of data integration , image fusion , principal component analysis and directional filter with landsat - 7 ETM + image under the image processing platform of ENVI 4.0 software , the authors successfully enhanced the information of faults in the remote sensing survey of fault structures along Motuo highway in Tibet. With technologies of structure analysis based on geological knowledge , information extraction and thematic mapping supported by ArcGIS 8.2 software , faults in Namjagbarwa region were recognized and interpreted completely , and their features and distribution along the highway route were detected. The results have provided enough scientific evidence for selecting the highway route and evaluating engineering geological conditions.

Key words : Namjagbarwa Mountain ; Fault structure ; Remote sensing interpretation ; Image recognition ; Information extraction

作者简介:张明华(1965 -)男,副教授,博士研究生,主要研究方向为遥感及 GIS 应用。