

文章编号: 1006 - 2106(2011) 10 - 0010 - 04

数据融合技术在铁路地质遥感判释中的应用研究^{*}

刘桂卫^{**}

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251)

摘要: 研究目的: 铁路工程地质遥感判释作为一项复杂的系统工作, 仅靠单一的数据源或手段很难达到较好的判释效果。为提高地质遥感判释的精度和质量, 本文探讨数据融合技术在地质遥感判释中的应用。

研究结论: (1) 采用多源数据融合技术进行地质遥感判释, 可提高不良地质判释的准确度; (2) 二维和三维遥感判释相结合, 可实现不良地质由定性到定量的判释和分析; (3) 今后应加强遥感与物探等勘察手段的融合应用研究, 拓宽地质遥感判释的应用范围。

关键词: 不良地质; 数据融合; 三维可视化; 遥感判释

中图分类号: P627 **文献标识码:** A

Application of Data Fusion Technology in Remote Sensing Interpretation for Railway Geology Engineering

LIU Gui - wei

(The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300251, China)

Abstract: Research purposes: The remote sensing interpretation technology for railway geology engineering, as a complex system work, is difficult to get good effect only by using the single data or method. To improve the accuracy and quality of the interpretation, this paper studies the application of data fusion technology in the remote sensing interpretation.

Research conclusions: (1) The remote sensing interpretation accuracy for unfavorable geological condition can be enhanced by using the data fusion technology. (2) The quantitative interpretation and analysis for the unfavorable geological condition can be realized by using the 2D interpretation method along with the 3D interpretation method. (3) The study should be strengthened on the application of fusion of remote sensing with the geophysical prospecting to extend the application range of remote sensing interpretation.

Key words: unfavorable geological condition; data fusion technology; three - dimensional visualization; remote sensing interpretation

遥感技术作为铁路工程地质勘察的有效手段之一, 已在铁路勘察的各个阶段得到应用^[1-2]。在铁路工程地质遥感判释工作中, 通过单一数据或方法判释各种不良地质信息, 往往很难达到较好的判释效果。如高分辨率遥感影像适合崩塌、滑坡、泥石流等不良地质判释, 但其光谱分辨率一般较低, 对岩性、水文、蚀变信

息等判释具有局限性; 而多光谱和高光谱遥感影像的空间分辨率一般较低。采用高、低分辨率遥感数据融合技术, 则可以取长补短, 发挥各自的优势; 常规的二维遥感地质判释, 主要依据色调、形态等特征来识别不良地质体, 判释难度较大。而融入地形信息的三维场景, 则可以明显提高不良地质体的判释效果和边界划

^{*} 收稿日期: 2011 - 08 - 03

^{**} 作者简介: 刘桂卫, 1982 年出生, 男, 工程师。

分精度^[3];此外,遥感与物探、钻探数据的融合,可以对不良地质体的物理参数和内部结构进行深入分析^[4]。因此,工程地质遥感判释工作,往往需要多源数据融合才能得到较好的判释效果。《铁路工程地质遥感技术规程》也指出:遥感工作应充分利用各种片种、多种波段、多种时相的遥感数据进行复合图像处理和综合解译对比,提高遥感技术应用效果^[5]。本文将采用多种数据融合的遥感判释方法,提取不良地质信息,并结合新建铁路项目开展应用。

1 研究区概况

福建某新建铁路线行走于武夷山脉东坡,该区地质构造极其复杂,岩性多样,工程地质条件和水文地质条件复杂。大地构造属华南褶皱系的武夷岛海褶皱带,新构造运动强烈,主要表现为间歇性和差异性的垂直升降运动,存在多级剥蚀夷平面和多级高阶地。地层除早第三系、志留系、早泥盆系缺失外,从新生界至元古界均有出露。受多次构造运动影响,区域地层破碎程度、强度及抗风化能力不同,物理力学指标差异悬殊。此外,沿线地表水系发达,属于闽江上游的南浦溪、崇阳溪、富屯溪和金溪,受构造控制,多呈格子状。地下水类型多样,主要为第四系孔隙水、基岩裂隙水、构造裂隙水、岩溶水等。沿线不良地质主要有有人为坑洞、滑坡与错落、泥石流、水库塌岸、放射性及有害气体等。特殊土主要有膨胀岩(土)、红黏土、软土及松软土和人工填土。沿线主要为山区地貌,地表植被茂盛,基岩裸露少,给野外地质工作带来很大困难。利用遥感技术进行该区工程地质勘察不失为一种有效手段,遥感判释内容为设计方案周围 5 km 缓冲区内不良地质的分布。

2 数据处理与融合

2.1 数据准备与预处理

以福建某新建铁路线为研究区域,研究数据包括:2007 年 1 月与 2008 年 1 月获取的 ALOS 10 m 多光谱影像和 2.5 m 全色数据;2002 年 10 月获取的 Landsat ETM+ 多光谱数据;30 m 分辨率 ASTER GDEM 高程数据;区域 1:200 000 工程地质资料;野外 GPS 特征点数据。遥感数据预处理主要包括辐射校正、几何精校正和图像配准等。研究所用的影像均已经做过辐射校正,可以满足信息提取的需要,不再对此作进一步的校正。影像几何校正以地形图数据为基准,采用选取控制点的二次多项式方法将 ALOS 影像数据校正到北京 54 坐标系。后以 ALOS 数据为基准,分别校正 ETM+ 数据和 DEM 数据。主要选取桥梁、水库、道路边界等

特征点,每幅图像 15~30 个控制点,精度控制在 1 个象元以内。非遥感数据处理主要为矢量化工程地质资料中断裂构造及地层分界线等,并将其与线位、野外 GPS 数据及其他信息按分类分级方法一并存入基础信息数据库,以备调用。

2.2 数据融合信息提取方法

本文数据融合主要包括多波段数据融合、高低分辨率遥感数据的融合、遥感影像与地学信息的融合及 3S 的初步集成,其信息提取技术流程如图 1 所示。在多波段数据融合中,ALOS 数据采用 321(RGB)组合方式,ETM+ 数据采用 741(RGB)组合方式;高低分辨率遥感数据融合,采用主成分分析、IHS 彩色变换、小波变换等融合处理方法,对 Landsat ETM+ 和 ALOS 影像各自多光谱数据与全色数据进行了多种融合处理;遥感与地学信息的融合主要为融合后 2.5 m ALOS 数据与 DEM 数据的融合,用于三维地质判释;此外,将遥感影像、工程地质资料及 GPS 特征点等信息,综合到统一地理信息系统平台上,以辅助遥感判释和验证判释结果。

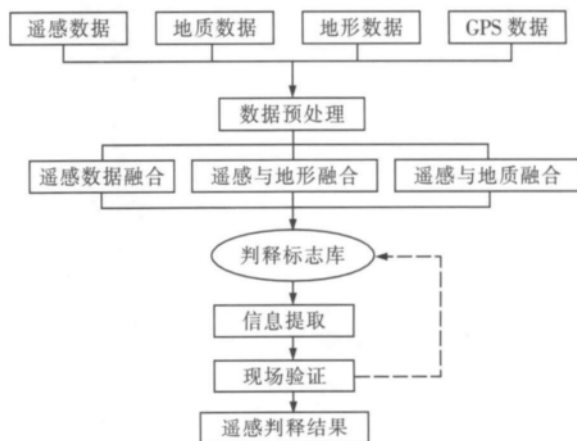


图1 数据融合信息提取技术流程

3 研究结果

3.1 断裂构造的判释

断裂构造判释按照先宏观后微观、先易后难、多种资料相互验证的原则。首先利用融合后 15 m ETM+ 影像判释区域性断裂;然后利用融合后的 ALOS 影像进行详细判释,并结合 1:200 000 工程地质资料对判释标志不明显的断裂进行识别;最后综合三维地形和 GPS 验证点信息,确定断裂构造分布。断裂构造的判释主要依据色调和形态等判释标志,色调标志主要为不同岩性或不同沉积物的分界线,形态标志主要为线性负地形,如断层崖、断层三角面、断层垭口、断层沟谷等^[6]。图 2 所示为研究区典型判释标志,箭头所指为

断裂位置。图 2(a) 为不同岩性分界线的断裂标志, 断裂两侧地层光谱反射差异大, 不同地貌单元截然相接; 图 2(b) 为断层沟谷, 平直而深切, 具有明显的方向性和

空间延展性; 图 2(c) 为断层沟谷与断层垭口组合的断裂判释标志, 二者在空间展布具有方向一致性, 沟谷与垭口之间的连线就是断裂的位置。

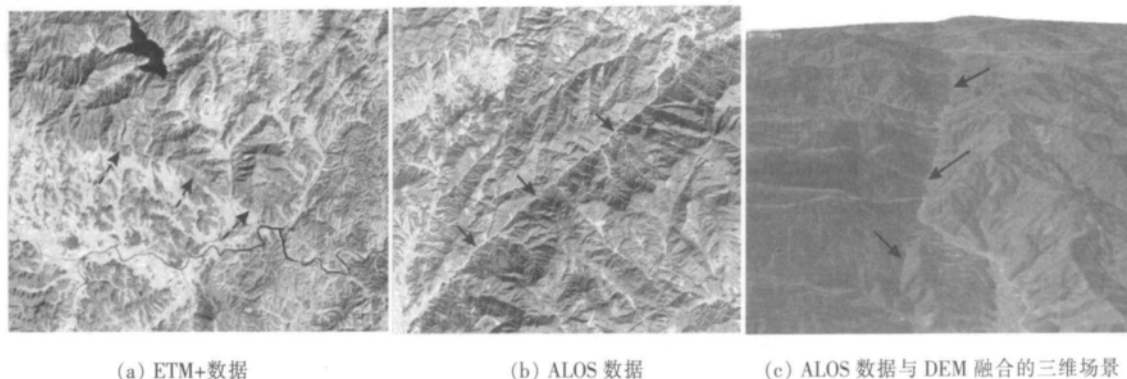


图 2 研究区典型断裂判释标志

通过研究, 初步确定线路通过区主要受三大断裂带控制: 第一为崇安—石城断裂带。崇安—石城断裂带北起武夷山(崇安)向南延伸至江西石城, 长度大于 220 km, 是一条长期活动的区域性深大断裂带。由一组北东向彼此平行的以压(扭)性为主的脆性断裂及韧性或韧脆性断层组成, 对地貌具有明显的控制作用。其西北侧为武夷山山脉, 东南侧为相对低缓的丘陵地带, 对元古代至中生代地层均有明显的控制作用, 使之呈带状北东向展布。沿此断裂带为邵武—河源地震带, 有温泉分布; 第二为浦城—尤溪断裂带。浦城—尤溪断裂带以一系列北东或近南北向脆性、脆韧性断裂的密集发育为特征。根据其长期活动特征看, 对岩浆和中生代晚期地层的沉积和分布有一定控制作用; 第三为五夫—竹州断裂带。五夫—竹州断裂带由一系列断裂组成, 断裂面在西南端近于直立, 北东端向东南倾斜。沿断裂形成较宽(约 30 m)的挤压破碎带, 在破碎带中常见构造透镜体。该断裂控制着局部地貌和矿床的形成。

约 2.1 km, 沟槽坡度大; 堆积区范围较大, 植被覆盖差, 花岗岩块体随处可见。

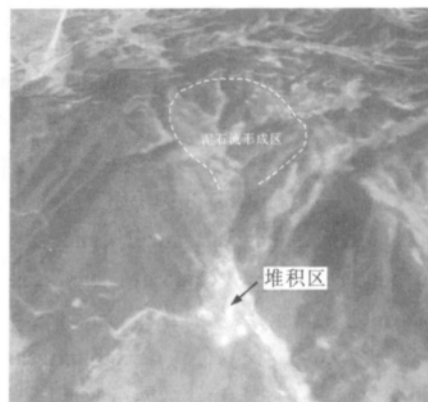


图 3 标准型泥石流

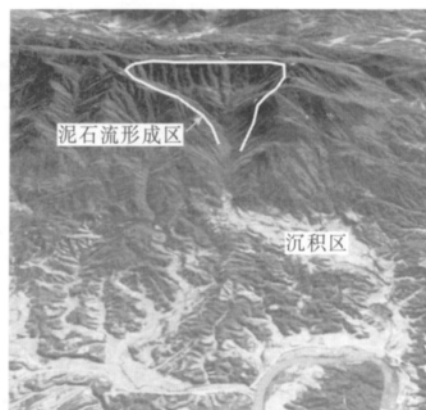


图 4 建宁县黄岭附近较大型泥石流

3.2 泥石流的判释

泥石流的判释主要采用 2.5 m ALOS 影像与 DEM 数据融合的三维遥感与现场调查相结合的判释方法。标准型泥石流注重堆积扇的判释, 对形态特征不明显的泥石流注重山坡坡度、沟谷纵坡、松散固体物质、岩性、植被覆盖及人类活动等的判释。图 3 为研究区一个标准型泥石流, 其形成区、流通区与堆积区划分明显。同时, 沉积区物质松散具粗糙感, 阻断下方公路, 判定为新近发生的泥石流。图 4 为建宁县黄岭附近一个较大泥石流, 利用三维遥感量测的参数如表 1 所示。其形成区面积达 2.9 km², 冲沟发育, 松散物质来源丰富, 主要为风化脱落的花岗岩块体; 流通区较顺直, 长

根据三维遥感判释和现场验证, 最终判释确定工程区 20 条主要泥石流沟。按流域特征以山坡形泥石流为主, 按严重程度以中等泥石流为主。

表 1 建宁县黄岭附近较大泥石流物理参数

| 区 域 | 形成区 | | | 流通区 | | 堆积区 | |
|-----|----------|---------|--------------------|--------|----------|--------------------|------|
| 类 别 | 山坡坡度/(°) | 相对高差/m | 面积/km ² | 沟谷长/km | 沟谷纵坡/(°) | 面积/km ² | 厚度/m |
| 数 值 | 15~33 | 650~700 | 2.9 | 2.1 | 8~10 | 0.91 | 3~6 |

3.3 滑坡判释

滑坡的判释同样采取三维遥感与现场验证相结合的判释方法。该地区滑坡判释注重其地貌特征的划分,包括圈椅形的平面形态、滑坡壁、封闭洼地、鼓张裂缝及滑坡舌的识别,同时结合岩性、构造、植被和水系

等环境因素进行综合判释。图 4 为研究区一个典型滑坡,其仰视图如图 5(a) 所示,其侧视图如图 5(b) 所示。滑坡前缘发育鼓张裂隙,滑坡舌延伸至公路下方,表层植被破坏严重;从图 5(b) 可见,滑坡壁清晰,上方部分块体滑动明显。

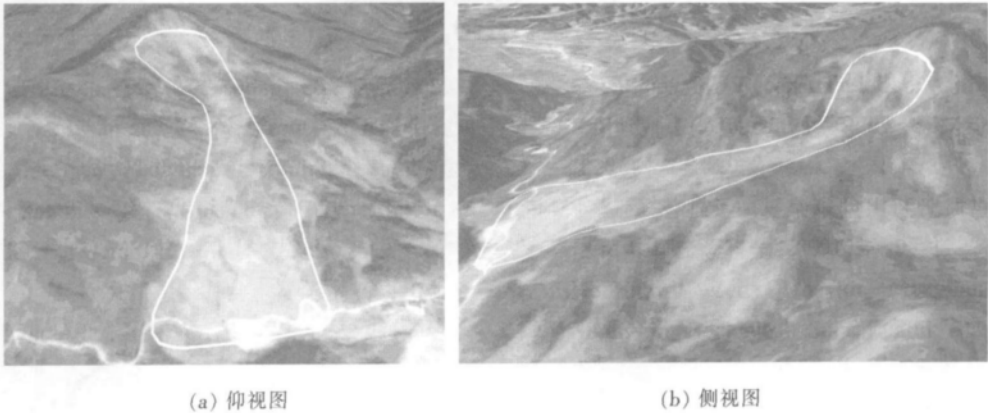


图 5 典型滑坡的三维判释特征

此外,在研究范围内局部松散物质发育地区,分布大量碎屑流型滑坡。图 6 所示为泰宁附近风化层中群发的碎屑流型滑坡群,反映在遥感影像上为群聚的浅色斑点,如图 6(a) 所示。现场调查可见浅层碎屑物质的滑动,如图 6(b) 所示。此类滑坡有规模小、数量多、群发性、滑坡体植被覆盖差等特征。从滑坡判释结果和

现场调查看,碎屑流型滑坡与基底岩性无明显相关性,在晚中生代沉积砂岩、中生代侵入岩和古生代变质岩地层中均有不同程度的发育。但受表层碎屑分化壳厚度的影响较大,风化壳较厚、碎屑物质越多处越容易发生碎屑流型滑坡。



图 6 泰宁地区碎屑流型滑坡群

3.4 结果验证

通过多源遥感数据融合和综合判释,以及地质基础资料和野外特征点的验证,在工作区内最终确定了 160 条断裂、20 条较大泥石流沟、8 处重点滑坡。工作区未见崩塌、岩堆、地裂缝等灾害。

4 结论

采用多源数据融合方法进行地质遥感判释,能够发挥数据各自的优势,提高判释准确度。本文将遥感、
(下转第 77 页)

法进行全部共炮点的面波数据综合处理解析,可较好地压制干扰波,提高信噪比。较之传统的共炮点瞬态面波数据采集处理模式更能有效地提高瞬态面波法的空间分辨率,从而取得较好的探测效果。

(2) 由于安全及地形条件的限制,物探测线大多不能在路基中间进行探测,只能在两侧坡脚处进行(仅少部分铁路双轨中间较宽时可以在中间探测)。对于塌陷区采用注浆加固后的效果进行评价时,只能依据于铁路线外两侧资料进行宏观评价。由于面波的体积效应,可以根据探测结果推断测线两侧一定范围内的地质情况,对病害处理形成一般指导性意见,但难于进行详尽的全方位综合稳定性评判。

(3) 在沪杭线区域采用本次的试验研究成果进行软土地质问题的探测,目前来看,虽有一定的探测局限性(如因安全问题不能在铁轨中间探测),但也不适为当前找到的一种较好的解决问题的方法。在以后的工作中可进一步开展研究,如:试验采用伪随机连续震源替代传统的锤击震源,以取得更好的瞬态面波记录,从而提供更加精确的物探资料和取得更好的探测效果。

参考文献:

- [1] 崔德海,杨庆波.宜万铁路隧底岩溶探查物探技术应用研究[J].铁道工程学报,2009(2):76-81.
- Cui Dehai, Yang Qingbo. Applicable Study of Geophysical

(上接第 13 页)

地质、地形及 GPS 数据进行融合处理,采用二维和三维遥感相结合的判释方法,提取不良地质信息。结合福建某新建铁路线加深地质工作,建立了多源遥感数据及多种信息融合的地质遥感判释系统,实现了不良地质由粗至精、由定性到定量的判释和分析,取得了较好的判释效果。初步形成了 3S 集成技术用于地质遥感判释的模式。今后还应加强遥感与地球物理、地球化学等非遥感数据的融合应用研究,使遥感判释范围从地质现象的表面分布延伸到内部组成,提高判释结果准确度。

参考文献:

- [1] 卓宝熙,甄春相.遥感技术在铁路工程地质勘察中的应用[J].铁道工程学报,2005(增1):399-406.
- Zhuo Baoxi, Zhen Chunxiang. Application of Remote Sensing Technology in the Railway Engineering Geology[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005(Z1): 399-406.
- [2] 卓宝熙. 航测遥感技术在铁路勘测设计中的作用[J]. 铁道工程学报, 2006(增1):9-14.
- Zhuo Baoxi. The Role of Aerial Surveying and Remote Sensing Technology in Railway Survey and Design [J].

Exploration Technology for Karst under Tunnel on Yichang - Wanzhou Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society 2009(2):76-81.

- [2] Zhang Bixing, Lu Laiyu. Guided Waves in Stratified Half Space [J]. Acoustical Physics 2003(4):420-430.
- [3] 张碧星, 鲁来玉. 用频率-波数法分析瑞利波频散曲线[J]. 工程地球物理学报, 2005(4):246-254.
- Zhang Bixing, Lu Laiyu. Investigation on the Dispersion Curves of Rayleigh Wave by Frequency - wavenumber Analysis Method [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics 2005(4):246-254.
- [4] Park C B, Miller R D, Xia J. Multichannel Analysis of Surface Waves [J]. Geophysics 1999(3):800-808.
- [5] Addo K O, Robertson P K. Shear - wave Velocity Measurement of Soils Using Rayleigh Waves [J]. Canadian Geotechnical Journal 1992(29):558-568.
- [6] D. P. Jansen & D. A. Hutchins. Immersion Tomography Using Rayleigh and Lamb Waves [J]. Ultrasonics 1992(4):245-253.
- [7] J. Dorman & D. Prentiss. Study of Shear Velocity Distribution by Mantle Rayleigh Waves [J]. Bull. Seism. Soc. Am. 1960(50):87-115.
- [8] B. L. N. Kennett. Reflection Rays and Reverberations [J]. Bull. Seism. Soc. Am. 1974(64):1685-1696.

(编辑 梅志山)

Journal of Railway Engineering Society, 2006(Z1):9-14.

- [3] 高山,冯光胜. 三维遥感铁路工程地质勘察技术应用研究[J]. 铁道勘察, 2009(1):36-39.
- Gao Shan, Feng Guangsheng. Application Research on 3D Remote Sensing Technique for Railway Engineering Geology Investigation [J]. Railway Investigation and Surveying, 2009(1):36-39.
- [4] 卓宝熙. 工程地质遥感技术应用的现状与展望[J]. 工程地质学报, 2004(增1):450-454.
- Zhuo Baoxi. Present Situation and Prospect of Application for Engineering Geology of Remote Sensing [J]. Journal of Engineering Geology, 2004(Z1):450-454.
- [5] TB 10041—2003 铁路工程地质遥感技术规程[S].
- TB 10041—2003, Code for Technique on Remote Sensing of Railway Engineering Geology [S].
- [6] 卓宝熙. 工程地质遥感判释与应用[M]. 北京:中国铁道出版社, 2003.
- Zhuo Baoxi. The Interpretation and Application on Remote Sensing of Engineering Geology [M]. Beijing: China Railway Publishing Company, 2003.

(编辑 曹淑荣)