

多源数据融合技术在矿产开发动态监测中的应用

——以天津北部山区为例

丁建华¹, 李长江²

(1. 中国地质科学院 北京 100037 2. 天津华北地质勘查总院 天津 300181)

摘要 本文将遥感数据融合技术引入到地学数据的处理中, 尝试将不同分辨率的遥感影像、采矿登记数据、地球化学数据等进行融合, 取得了较好的效果。通过对比分析天津北部山区数十年来资源开采情况, 评价其对环境所产生的影响, 指出工作区存在部分违规采矿行为, 很好地对本区采矿行为及影响的动态监测, 为地方的资源管理提供了科学依据。

关键词 环境遥感; 融合; 动态监测

中图分类号: P627

文献标识码: A

文章编号:

1 序言

人类生存的自然环境在森林火灾、洪涝、干旱、绿地荒漠化、地质灾害(滑坡、泥石流、崩塌、地震等)、农作物病虫害等等诸多方面呈总体变坏的趋势, 灾害的预警、调查和监测, 直接关系到国计民生。我国投入大量人力、物力对灾害进行监控。遥感技术应用 30 多年来, 技术方法日臻完善, 广泛应用于灾害的预警和监测等方面, 在国民经济发展中发挥了重要作用, 同时也取得了显著的社会和经济效益^[1]。利用卫星遥感的宏观、综合、快速、动态、准确、实时的优势, 做了大量监测、预报和预警, 并建立了数据库和管理系统, 为政府决策提供了基础资料。

前人曾对工作区作过地质灾害调查工作, 且针对性地提出了许多改善环境质量的建议^[2]。较近的一次是 2002 ~ 2003 年天津市地质环境监测总站开展的天津市蓟县地质灾害调查, 提交了《天津市蓟县地质灾害调查与区划报告》。这些工作中所用的方法主要为野外调查的方法, 辅助以航片目视解译, 总的来说手段较为单一。

笔者在《天津北部矿产资源开发动态监测》项目研究中, 充分发挥了遥感技术直观、综合、动态等特长, 在全面收集区内矿山、遥感图像、地质矿产、环境、地质灾害等有关资料基础上, 结合地球化学等多元信息, 尝试着应用 GIS 技术进行信息提取和综合分析, 辅以野外抽查等验证手段, 对天津市蓟县地区矿产资源开发及其对环境的影响进行监测, 为政府管理决策提供资料依据。同时对遥感技术在矿产资源动态监测中的应用方法进行了探索与研究。

2 区域概况

工作区位于天津北部山区, 地处燕山南麓与华北平原的交接地带, 面积约 800 km²。地质环境处于华北地台燕山台褶带马兰峪复式背斜南翼。地层主要为中上元古界富镁碳酸盐岩及碎屑岩、粘土岩夹少量富钾火山岩, 北部出露太古界角闪斜长片麻岩、角闪岩及二长片麻岩等, 构造变动相对微弱, 侵入岩不发育。

区内目前共发现 35 种矿产, 其中金属矿产主要为金、锰、铁、铜, 少量多金属、钨、钼。非金属矿产主要有水泥灰岩、白云岩、玻璃石英(砂)岩、紫砂陶土(伊利石页岩)、含叠层石石灰岩、辉长辉绿岩、锰方硼石、重晶石、麦饭石、海泡石等。目前区内矿业开发活动比较兴盛, 其中绝大多数为非金属露天矿山(水泥灰岩、白云岩、石料等)。

收稿日期: 2006 - 01 - 05

基金项目 天津市地方资源补偿费项目

作者简介 丁建华(1969), 女, 1991年毕业于中南工业大学, 现为中国地质科学院矿产普查与勘探专业在读博士。
(E-mail: dingzhazhan@163.com)

3 研究方法

3.1 遥感数据选择

TM(ETM⁺)遥感图像涉及 122/321, 主要为 1987 年、1997 年的 TM 和 2001 年 5 月的 ETM⁺ 数据, 主要开采区域采用了 2003 年的 SPOT5 的 PAN 波段数据(见表 1)。时相均为植被覆盖较少的春季(3 ~ 5 月)。

表 1 项目应用的卫星遥感图像

Table 1 The remote images in the project

时相	图像种类	图像编号	几何分辨率	备注
1987 年 5 月 14 日	TM	122-32	1 ~ 5, 7 波段 30 m,	1 ~ 7 波段
1997 年 5 月 9 日	TM	122-32	6 波段 60 m	1 ~ 7 波段
2001 年 9 月 17 日	ETM ⁺	122-33	1 ~ 5, 7 波段 30 m,	1 ~ 8 波段
2000 年 5 月 25 日		122-32	6 波段 60 m, 8 波段 15 m	
2002 年 3 月	SPOT4	多景镶嵌	10 m	全色波段
2002 年 6 月	SPOT4			
2003 年 6 月	SPOT5	多景镶嵌	2.5 m	全色波段

数据处理是在 PCI 软件环境下完成的。

3.2 遥感数据处理

3.2.1 几何精校正及镶嵌

为了建立图像与地图之间的投影关系, 使图像与地形、地理图相对应, 将遥感图像的投影从原始方式变换成 6 度带高斯 - 克吕格投影方式, 需要对图像进行投影变换和几何精校正。

几何精校正是以 1:5 万地形图为基准, 合理均匀地选取图像上易分辨且较精细的特征点作为控制点。

控制点的数目最少为 m 个: $Num=(n+1)(n+2)/2$, 式中 Num 为控制点数目, n 为拟合多项式的阶。本次操作的拟合多项式为二次阶, 因此控制点数最少为 6 个, 为使计算不过于复杂, 同时保证校正精度, 选取控制点的经验值为 Num 的 2 ~ 3 倍。本次在监测区(800 km²)内选取了 16 个点对, 误差控制在一个象元以内, 几何畸变纠正的模型采用二元多项式, 利用双线性内插法进行亮度重采样, 同时获得了不同时相、多源遥感图像的配准图像。

对多景图像校正后, 采用地理坐标无缝镶嵌法进行图像拼接, 在镶嵌过程中首先进行直方图匹配及像元亮度调整, 使多景图像的色彩和色调趋于一致, 然后再依地物特征设定拼接线, 在本工作区选择两景图像间的山沟线作为镶嵌线, 并进行了弱化处理, 拼接效果理想。

3.2.2 去干扰

项目中所要提取的采区信息在各波段的遥感数据影像上均表现为高亮度值。云的反射在 TM1、2、3 波段亮度值较高, 盐碱地的反射在 TM3 的亮度值最高, 二者对图像质量影响较大。因此选择 TM1、TM3 高阈值切割的方式来消除云和盐碱地的干扰^[3]。

3.2.3 反差扩展

由于图像各个波段的原始亮度值分布范围比较窄, 合成的图像色彩层次较少, 色调偏暗且反差小, 并有雾状感。反差扩展的目的就是为了调整图像像元亮度值分布区间, 增大像元亮度间的差异, 从而调整图像对比度、增强目标信息的表现。本次工作中选取均值扩展、直方图平移对图像进行处理, 使图像各波段均有 256 个灰度级, 从而增加像元间亮度差异, 得到更清晰的影像。同时也为下一步融合时直方图匹配作了准备。

3.2.4 多源遥感数据融合

数据融合又称多光谱图像空间分辨率增强。常用的方法有三种: 一是 HIS 变换^[4], 将高光谱分

分辨率（通常是低几何分辨率）数据 R、G、B 通道通过 HIS 转换变成 H、I、S 分量，再将高几何分辨率的数据替代 I 分量，次高分辨率的数据替代 H 分量，做 HIS RGB 的逆变换，生成新的 R'、G'、B'，得到的影像将保持有高分辨率图像的清晰度。二是像元加权融合^[5]，首先根据所需融合数据的相关系数确定权重，例如数据 i、j……的权重分别为 P_i、P_j……，则像元融合值 I = P_iI_i + P_jI_j +……。三基于小波理论特征的融合^[6]，将高分辨率的波段作为独立波段，与低分辨率的数据一起做主成份分析，选择主分量做 RGB 合成（也可选择主分量与原始数据合成），结果将使信息得到增强，但图像的分辨率并不能得到提高。

本项目融合的主要目的是获得更高的地面分辨率，因此采用了第一种即 HIS 变换法，将 TM(ETM+) 的 7、4、1 波段（或 3、2、1 波段）数据分别赋与 R、G、B 通道，经 HIS 变换后，由 SPOT 的 PAN 数据将 I 分量替换，从而获得了相应年份的 10 米分辨率图像，即保留了原彩色图像的波谱特征，又融入了 SPOT 影像的几何信息。由于 SPOT 影像是最新的数据，为了消除其低频信息的干扰，在做融合前对其进行了高通滤波处理^[7]。数据处理前后对比如图 1-1、1-2。



图 1-1 融合前工作区 ETM 影像

Fig.1 ETM image of the working area before syncretizing with the spot data

3.2.5 信息自动识别

本项目的主要目的是评价并监测区内采矿活动对自然环境的影响程度，因此提取的遥感信息主要包括区内采区的位置、开采范围、开采状况、采矿活动对植被和土壤的剥离和破坏等。区内基岩裸露区地处理过的影像上的色调为暗褐色，范围广泛；采场（特别是目前生产矿山）在图像上显示出较高的反射率（亮度值），与周围地物形成较大的反差；已停采的老采场在影像上表现为亮度值与采区相似得稍暗，有时有花斑；植被在图中表现为绿色。

工作中应用等值线法对正在开采区和近年来已停采的采区进行自动识别与圈定，效果较好（见图 2）。很容易便将 1987、1997、2001、2002 年的采区提取出来并形成对比。例如，从图 2 中可以看出区内蓝色圈区域内，采区面积明显扩大，在绿色区域内则显示出植被恢复的现象。

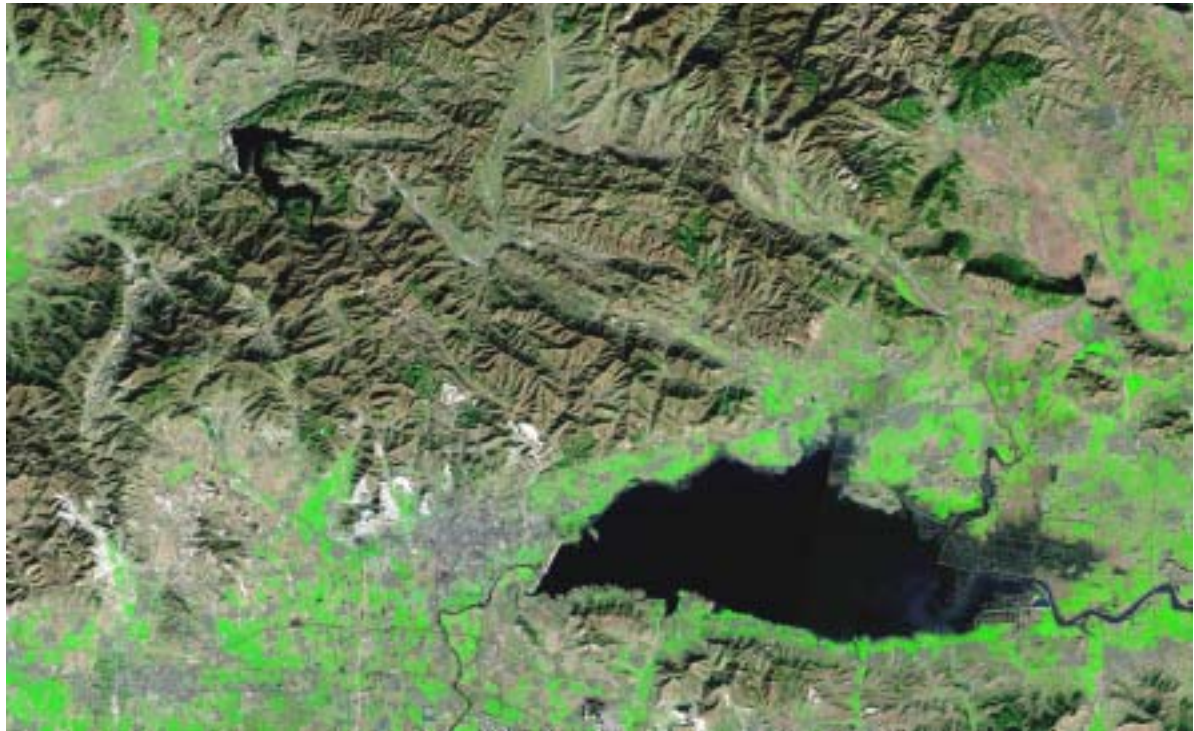


图 1-2 ETM 与 spot 数据融合后工作区影像

ETM image of the working area after syncretizing with the spot data

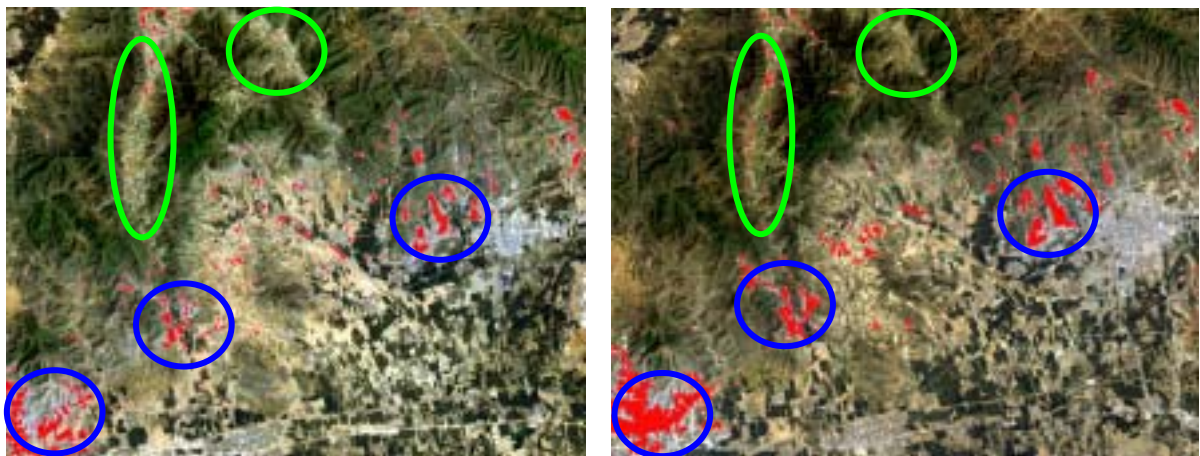


图 2 1987 年采区 (左) 与 1997 年采区 (右) 对比 (局部影像)

Fig.2 Contrast Images of the mining areas between 1987 and 1997

遥感信息提取结果显示：工作区近十几年的采矿活动呈增加的趋势，尤其是 1997 年以来增加较快(如表二)，对植被构成一定程度的破坏。近年来，在政府的大力整顿管理下，采矿活动受到监管，有些采区已停采，且在那些停采的老采区已见到植被恢复，对比几个年度的解译结果，反映出植被恢复速度较慢。

3.3 与非遥感信息的融合

在地学数据应用的过程中，可以将地质、地球物理、地球化学等非遥感数据看作一种传感器数据源，与遥感信息通过某种技术方法融合，从而获得更丰富的信息^[8]。

表 2 历年来矿山开采情况对比

Table 2 Contrast of the mines in the past years

统计年度	解译采区数量	开采面积总合 (Km ²)	面积递增
1987 年	90	2.527 8	87 ~ 97 年 : 291.52% , 97 ~ 02 年 : 18.10% ,
1997 年	127	9.896 8	
2002 年	260	11.688 0	
采场数量递增	87 ~ 97 年 : 41.114%; 87 ~ 02 年 : 362.38%		

项目搜集了工作区 2002 年最新统计的采矿登记资料,在 MAPGIS 软件下将登记区的数据转换成灰度数字图像,并将其看作一个遥感波段,再按遥感图象复合方法将其复合,得到了最新的监测结果。根据面积统计对比,矿区登记总面积为 4.25 km²,采矿区解译面积为 11.688 km²,除去已经停采矿山约 6.83 km²,实际采区比登记采区面积大 12.6%,说明存在少量地方违规采矿行为。这种现象,在融合影像上有明显的反映。

同时,项目在工作区 800 Km² 公里的范围内同时进行了土壤沉积物测量和水质调查。结合本区主要矿种,确定了水系沉积物测量样品分析元素: Cd、As、Sb、F、B、P、Pb、Cu、Co、Cr、Zn、Mo、Hg、Ag、Au、Fe、Mn 等十七种。水质分析测试项目确定为:可溶性 SiO₂、总硬度、永久硬度、负硬度、总碱度、总酸度、PH 值、色度、透明度、总固体、浊度、NH⁴⁺、Cu²⁺、Zn²⁺、Pb²⁺、Co²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、CN⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻ 及 CO₃²⁻ 等二十三项目,根据分析结果生成元素异常图,作为另一种非遥感数据源与遥感图像套合,以确定元素异常(或污染)与采矿行为的相关性。

区内共圈定综合异常十九处,从融合的影像(图 3)上看,元素异常的位置与遥感影像中采区(高反射率的亮白色影像区)的位置相关性不大。参照国家环保局制定的《土壤环境质量标准》和《地表水环境质量标准》对分析结果进行判别,发现区内异常值基本都在允许异常值范围内(土壤 3 级,地表水 5 级),仅在黄花山金矿的选矿厂下游(图中红色正方形示意处)出现一个重金属元素的异常高值点,推测与该金矿有关。

可见,区内非金属矿山一般不会导致地球化学环境变化,能产生影响的主要为金属矿山,由于区内金属矿山很少,所以影响的范围非常有限。

3.4 遥感野外调查验证

在图像处理和解译基础上,以路线穿越法和追索法相结合,对工作区内矿产资源开发情况(矿山数量、规模,停采矿山数量)开采活动对环境的影响(土地占用、植被破坏、环境污染、地质灾害隐患)等进行验证性观测,重点查明由于矿山开采而造成的各种破坏、污染及其对环境的影响。

项目尝试着依据地质灾害形成的影响因素如:地形坡度、构造发育程度、植被发育程度、人类活动程度等,在遥感影像图上圈定出可能的地质灾害隐患区,并选择性地进行了野外验证,对矿山开采可能造成的地质灾害(泥石流、崩塌、滑坡、地裂缝等)隐患等作了抽样调查,发现有些采场边缘已经发育有张裂缝,存在滑坡和泥石流的隐患,但规模不是很大。这些变化由于规模不大,在遥感影像上没有较明显地反映。

野外调查显示,利用遥感图像对监测区矿山开采状况进行解译,解译的采区位置准确,边界清晰,具有较高的可靠程度,准确率达 95%以上。

通过调查验证,影响遥感影像的解读精度的原因是:1)部分矿山已在政府的监管下停采,部分早期停采的矿山已恢复的植被,在解译时未被解译出;2)通往采区的道路及采区周边部位,由于运输等产生的采石污染区,在遥感影像上的特征与采区相似,这有少量冲沟中有较多的砂石分布,其影像特征也与现采矿山影像特征相似,均被解译成采区。项目在充分调查的基础上,对前

期形成的现采矿山与登记区统计对比图及统计数据进行了修正。

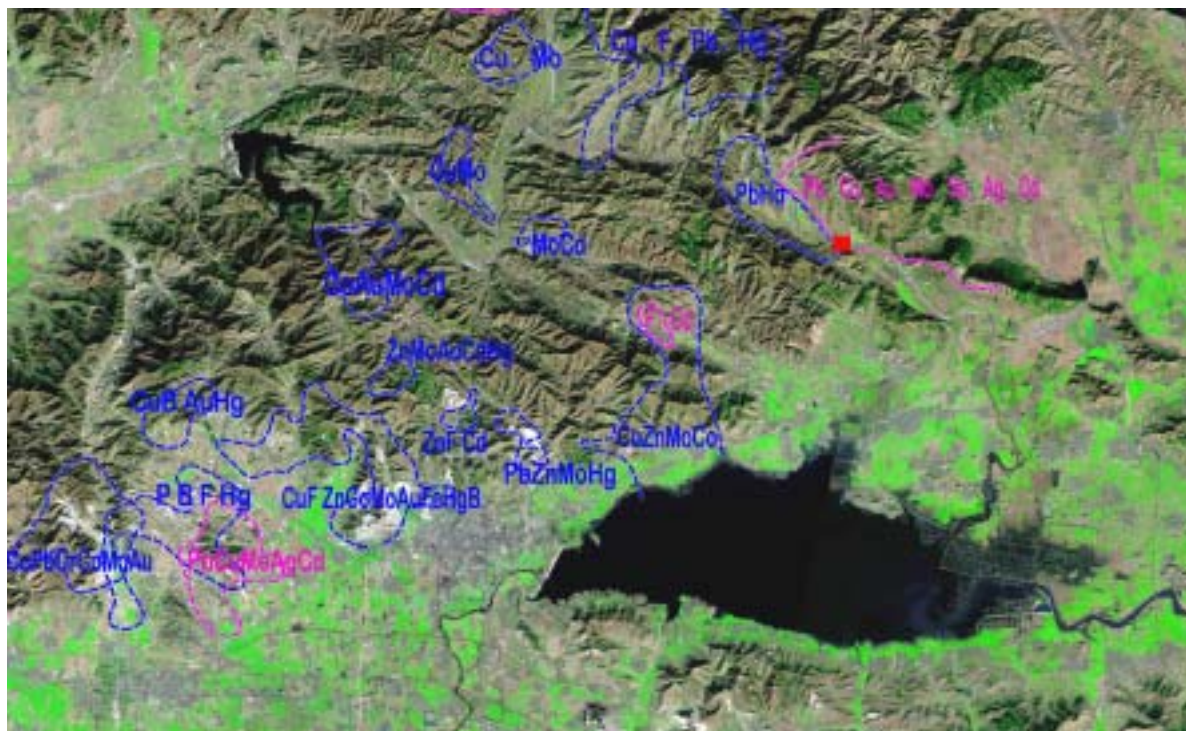


图 3 研究区综合异常与遥感影像套合图

Fig.3 Syncretizing map of the synthetizing abnormality and remote image

蓝色为负异常区，红色为正异常区

4 监测结果

项目通过卫星数据解译和实地调研分析得出如下结论：

1) 区内矿山生产过程多为干法加工，形成比较严重的粉尘污染，运输过程存在不同程度的漏、撒现象，影响周边景观和环境。在影像上表现为沿通往采区的道路色调变浅，野外检查时也见道路边植被表面被薄层粉尘覆盖的现象。该现象已引起新闻媒体的广泛关注^[9]。

2) 近年来，矿山开采增加较快，在植被破坏严重的地区造成了一定程度的水土流失，采场边缘存在小规模张裂缝，存在小规模滑坡和泥石流的隐患。植被方面，虽然在政府管理下有一定程度恢复，但较之被破坏的速度要慢得多。

3) 存在小规模无证开采和无序开采，表现为登记区与影像中解译采区范围的不一致。

4) 区内可能与矿业活动有关的有害元素异常（污染）有一处，在遥感影像与有害元素综合异常的套合图(图 4)上，异常点位于黄花山金矿下游，推测系由于贵金属选冶造成的污染。由于矿山规模较小，所以异常面积不大，在此表现为点异常。

5) 本区地表水体水质状况良好。矿产资源开发对监测区地表水体有一定影响，但影响不大。

5 对遥感方法在本次环境监测项目中应用的思考

本次研究对遥感数据与非遥感数据的结合运用进行了尝试，取得了较好的效果。但还存在许多不尽人意之处。例如，在本例中对遥感影像中信息的提取虽然可以做到自动化，但对那些和采场波谱特征近似的场地类地物则无法加以区分；另外，虽然在本项目工作中已经能够开始尝试将遥感、化探、测绘等多信息进行融合，但这项技术还处于应用的初级阶段，多元信息综合利用效

率还不是很理想；第三，目前可获得的遥感数据种类较多，除了项目中所用的 TM、ETM⁺、SPOT 以外，还有雷达、热红外、高光谱、DEM 等，没有充分利用。以本区为例，理论上也可以利用 DEM 数据，通过图像处理来计算监测年份内采矿剥离量，从而获得采矿对地形地貌影响的定量数据，监测结果将更加可靠和具有更高的参考价值。

虽然遥感已广泛应用于资源环境监测的诸多方面，但总的来看，受人们对遥感成像机理的认识程度、图像鉴别的智能化水平等因素的影响，遥感应用的整体水平还不能满足实用的需求。随着遥感技术方法与手段的日臻完善，其应用的深度和广度正在向“多尺度、多频率、高精度、全天候、高效快速”的目标发展，作为地学工作者，掌握遥感技术的应用，也就是掌握了其宏观、综合、快速、动态、准确、及时的优势，必将会在环境动态监测等诸多方面取得可喜的成就。

参考文献：

- [1] 冯筠，黄新宇．遥感技术在资源环境监测中的作用及发展趋势[J]．遥感技术与应用，1999，14(4): 59 - 70．
- [2] 天津市环境监测中心．天津市环境质量变化的规律及环境改善的对策[M]．天津：南开大学出版社，2000．
- [3] 张玉君，曾朝铭，陈薇．ETM+(TM)蚀变遥感异常提取方法技术[A]．见：刘纪远．航天遥感图像数据索引及应用实例[C]．北京：中国地质调查局，2004，37 - 59．
- [4] 同前祥，敬忠良．不同光谱与空间分辨率遥感图像融合方法的理论研究[J]．遥感技术与应用，2003：18(1): 41-45．
- [5] 贾永红．遥感多光谱影像空间分解力增强的融合方法[J]．遥感技术与应用，1997：12(1): 19 - 23．
- [6] 朱长青，王倩，杨晓梅．基于多进制小波的 SPOT 全色影像和多光谱遥感影像的融合[J]．测绘学报，2000，(5): 133 - 136．
- [7] 廖崇高，杨武年，濮国梁，等．不同融合方法在区域地质调查中的应用[J]．成都理工大学学报(自然科学版)，2003，30(3): 294 - 298．
- [8] 刘星，胡光道．多源数据融合技术在成矿预测中的应用[J]．地球学报，2003 24(5): 463 - 468．
- [9] 冬梅．蓟县非法采石殃及“后花园”[J]．中国质量万里行，2005(6): 38 - 39．

Application of the Multi-Source Data Fusion Technique in Dynamic Inspect of the Mining

--An Example in the mountainous area of Northern Tianjin

DING Jian-hua¹, LI Chang-jiang²

(1. China Geological Academy of Science, Beijing 100037, China; 2. Tianjin North China Geological Exploration General Institute, Tianjin 300181, China)

Abstract: In this paper, data fusion technique was used to combine the remote sensing data with other geological data, such as claiming data and geochemical data, to estimate the influence of the mining on environment. By comparing the information of the recent tens years, the author point out that the mining has lead to some influences to the environment, and there are some illegal mining in Northern Tianjin City. The project carried out the function of the dynamic inspect for mining and its affects ideally.

Keywords: environment; remote sensing; fusion; dynamic inspect