



四川省 矿山开发遥感监测 方法与实践

Methods and Practice on
Remote Sensing Monitoring of
Mine Development in Sichuan Province

黄洁 邵怀勇 杨显华 等著



测绘出版社

四川省矿山开发 遥感监测方法与实践

Methods and Practice on Remote Sensing Monitoring of
Mine Development in Sichuan Province

黄 洁 邵怀勇 杨显华 等著

测绘出版社

· 北京 ·

© 黄 洁 2013

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

本书较为系统全面地阐述了四川省矿山开发遥感调查与监测的内容、技术路线和方法,针对四川省特殊的气候和地形特点探讨了遥感数据处理的技术方法,开展了矿山地质环境、生态安全评价指标体系与评价方法研究,并阐述了实践案例。本书内容充实、技术方法先进、实例丰富,具有较强的科学意义和实际应用价值。

本书可供从事矿政管理、矿山环境、矿产规划、地质遥感等领域的科研、教学、管理和技术人员及高等院校本科生和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

四川省矿山开发遥感监测方法与实践/黄洁等著. —北京:测绘出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-5030-3132-8

I. ①四… II. ①黄… III. ①遥感技术—应用—矿山开发—监测 IV. ①TD2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 162250 号

责任编辑	巩 岩	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍
出版发行	测绘出版社	电 话	010—83543956(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010—68531609(门市部)		
邮政编码	100045		010—68531363(编辑部)		
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	中煤地西安地图制印有限公司	经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm				
印 张	8.25	字 数	201 千字		
版 次	2013 年 7 月第 1 版	印 次	2013 年 7 月第 1 次印刷		
印 数	001—800	定 价	28.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-3132-8/P·661

本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

前言

我国是一个国土辽阔、矿产资源丰富而人均资源占有量很少的发展中国家,矿产资源呈现出贫矿多、富矿少,难选矿多、易选矿少,共生矿多、单一矿少的特点。长期以来受经济快速发展导致矿产需求剧增等多种因素的影响,我国矿产资源开发利用比较粗放,矿产资源开发管理还存在一些突出问题。例如,缺乏实时监控,违法行为时有发生;矿产资源规划执行情况不清,缺乏客观有效数据;矿区生态环境破坏严重,矿山环境问题突出等。因此,国家亟需掌握矿产资源开发利用状况、矿山环境和矿产资源规划执行情况的客观真实数据,保证矿产资源的可持续开发利用和矿山环境的保护与治理。但政府部门对矿产资源开发利用状况的掌握基本采用逐级统计上报模式,数据的时效性和客观性难以得到保证。同时,由于矿山点多面广,管理部门受人力和物力条件所限不可能对所有矿山进行现场监督,对违法开采行为和矿山环境问题难以及时发现,使得国家缺乏适时、客观的数据,难以对矿产资源的开发利用与环境保护实施更为有效的管理。遥感技术具有宏观、快速的特点,综合利用不同平台、不同分辨率的遥感数据,可以及时、快速、动态获取矿产资源开发利用状况、矿山环境和矿产资源规划执行情况的客观数据,为政府部门制定矿产资源规划、保持矿产资源的可持续开发与利用、保护矿山环境提供技术支撑及决策依据。

四川省是我国西部矿产资源大省之一,矿种较齐全,探明储量较丰富,在全国占有重要地位。但大部分矿山分布在四川盆地周边山区和攀西高原地区,由于交通不便,山高林密,矿管人员无法逐一监管,使用常规监管方法开展矿业秩序维护工作相当艰巨,监管手段明显落后。国土资源部中国地质调查局部署了“四川省重点矿集区矿山开发遥感调查与监测(2006—2010年)”项目,目的是为四川省矿产资源规划制定、矿产资源的可持续开发与利用、矿业秩序维护,以及矿区环境综合整治等提供数据支持和决策依据。2011年国土资源部中国地质调查局在四川省首次开展了矿产卫片执法检查工作,利用卫星遥感监测技术,发现、制止和查处违法勘查开采矿产资源行为并取得了良好的效果。本书是在上述项目成果基础上编纂而成的,书中较为系统地阐述了四川省矿山开发遥感调查与监测的内容、技术路线和方法;针对四川省特殊的气候和地形特点探讨了遥感数据处理的技术方法,开展了矿山地质环境、生态安全评价指标体系与评价方法研究,并阐述了实践案例;对四川省重点矿集区矿产资源规划执行情况、矿产资源开发状况、矿山环境等内容进行了全面论述和归纳。期望该书能为本领域相关研究人员及管理人员提供帮助和借鉴。

本书第一章由黄洁、邵怀勇、刘智编写,第二章由邵怀勇、仙巍、刘智编写,第三章由黄洁、蒋华标、邵怀勇编写,第四章由杨显华、田立、韩磊编写,第五章由杨显华、彭宇、程琳编写,第六章由杨显华、田立、范敏编写,第七章由仙巍、邵怀勇、田立编写,第八章由邵怀勇、仙巍、杨显华编写,全书由黄洁、邵怀勇统纂并修订成稿。

本书在编写过程中得到了中国地质调查局、中国国土资源航空物探遥感中心、四川省国土资源厅的支持和帮助,以及秦绪文、方洪宾、聂洪峰、杨清华、杨金中、王然勇、张红梅、葛文彬等诸多领导和专家的指导,在此表示衷心感谢。本书所有引用的文献尽量注明,同时在多次学术

交流中许多学者和同仁口头上提出了许多宝贵意见,这里无法一一注明,特此致歉,一并表示感谢。

书中错误、疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2013 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 四川省矿山开发遥感监测概述	1
第二节 国内外矿山开发遥感监测研究现状	3
第二章 四川省矿山开发遥感监测技术方法	6
第一节 技术路线	6
第二节 工作方法	8
第三章 四川省矿山开发遥感监测技术方法研究与探索	26
第一节 RapidEye 影像在 1:5 万矿山开发遥感调查中的应用研究	26
第二节 TerraSAR-X 雷达数据在矿山开发遥感监测中的应用	31
第三节 基于 IRS-P5 DEM 的矿区高分辨率遥感影像正射校正研究	37
第四节 光学遥感影像去云雾、阴影处理	40
第四章 四川省矿产资源规划执行情况遥感监测	43
第一节 四川省矿产资源规划执行情况遥感监测方法	43
第二节 四川省矿产资源规划执行情况遥感监测应用实践	47
第三节 四川省重点矿集区矿产资源规划执行情况遥感监测综合分析	59
第五章 四川省矿产资源开发状况遥感监测	61
第一节 四川省矿产资源开发状况遥感监测方法	61
第二节 四川省矿产资源开发状况遥感监测应用实践	64
第三节 四川省重点矿集区矿产资源开发状况遥感监测综合分析	71
第六章 四川省矿山环境遥感监测	80
第一节 四川省矿山环境遥感监测方法	80
第二节 四川省矿山环境遥感监测应用实践	88
第三节 四川省重点矿集区矿山环境遥感监测综合分析	96
第七章 四川省矿山地质环境评价	106
第一节 矿山地质环境评价方法	106
第二节 红格一会东矿区矿山地质环境评价	108

第八章 四川省矿集区生态安全评价.....	112
第一节 矿业开发集中区生态安全评价方法.....	112
第二节 攀西矿业开发集中区生态安全评价.....	119
参考文献.....	124

第一章 绪 论

第一节 四川省矿山开发遥感监测概述

四川省是我国西部矿产资源大省之一,矿种较齐全,探明储量较丰富,在全国占有重要地位。由于大部分矿山分布在交通不便、山高林密的山区,矿管人员无法逐一监管,使用常规方法开展矿业开发监管工作的任务相当艰巨,监管手段明显落后,为此国土资源部中国地质调查局于 2006 年至 2010 年连续五年在四川省矿山开发集中区部署了矿山开发遥感调查与监测工作,主要目的是利用遥感技术,在四川省重点矿集区开展矿产资源开发利用状况、矿山环境和矿产资源规划执行情况的遥感调查与监测工作,适时地获取客观数据,形成综合分析、评价报告,为国土资源管理部门制定矿产资源规划、保持矿产资源的可持续开发与利用提供技术支撑及决策依据。

2006 年至 2010 年四川省矿山开发遥感调查与监测共完成了红格钒钛磁铁矿区、冕宁稀土矿区、宝鼎煤矿区、马边磷矿区、筠连煤矿区、汉源乌斯河铅锌矿区、甘洛赤普铅锌矿区、宝兴大理石矿区、古叙煤矿区、广元槽子沟铅锌矿区、红格一会东矿区、汉源花岗石—石棉矿区和川西南重点矿集区共计 13 个矿集区、总面积约 7.37 万平方千米的遥感调查与监测工作,调查与监测区面积约占四川省国土总面积 15.20%。13 个矿集区包含 1:25 万矿区 1 个,即川西南重点矿集区,总面积约 4 万平方千米;1:5 万矿区 3 个,分别是红格一会东矿区、宝兴大理石矿区和汉源花岗石—石棉矿区,总面积 2.5 万平方千米;1:1 万矿区 9 个,分别是红格钒钛磁铁矿区、宝鼎煤矿区、马边磷矿区、冕宁稀土矿区、甘洛赤普铅锌矿区、汉源乌斯河铅锌矿区、筠连煤矿区、古叙煤矿区、广元槽子沟铅锌矿区,总面积 0.87 万平方千米。

首次在四川省利用卫星遥感技术开展的矿山开发遥感调查与监测工作,经过几年的研究和探索,在技术方法、调查监测成果应用、综合研究等方面取得了较为丰富的成果,具体表现为以下几点。

一、建立了适合四川省区域特点的矿山开发遥感调查与监测技术方法

探索采用 TerraSAR-X 雷达数据、SPOT5、IKONOS、QuickBird、RapidEye、无人机航空数据等多类型遥感数据开展矿山开发遥感调查与监测工作,有效解决了四川省多云多雾天气影响遥感数据获取困难的问题。针对四川省遥感数据受云雾干扰现象比较突出的问题,研究了光学影像中云雾及其阴影去除方法,提高了遥感数据的解像力。针对四川省地形切割强烈和矿山开发导致地形改变的实际问题,开展了基于 IRS-P5 的数字高程模型(digital elevation model,DEM)进行遥感数据正射校正研究,保证了遥感数据的几何精度。经过近几年的实践与探索,四川省矿山开发遥感调查与监测项目构建了“遥感数据源选取—遥感数字图像处理—遥感信息提取—野外验证—图件制作”相对完整且较为成熟的、适合四川省区域特点的矿山开发遥感调查与监测技术方法体系。

二、开展了矿产资源规划执行情况、矿产资源开发状况和矿山环境遥感调查与监测

2006年至2010年在四川省连续开展了矿山开发遥感调查与监测工作,累计完成1:25万矿集区矿产资源规划执行情况遥感监测17.67万平方千米,完成1:5万矿集区矿产资源开发状况、矿山环境遥感监测8.15万平方千米,完成1:1万矿集区矿产资源开发状况、矿山环境遥感监测1.61万平方千米。取得的遥感调查与监测成果及时提交给国土资源管理部门,在矿政执法、矿产资源规划、矿山环境保护等工作中得到应用,并取得明显成效。

(1)完成了四川省12个矿产资源规划区矿产资源开发规划执行情况的遥感调查与监测工作,占四川省矿产资源规划区总数的25%。遥感监测结果表明,12个规划区规划执行情况总体良好,各规划区所设置矿业权数量、矿山开采规模基本符合规划要求,对矿产资源开采总量和采矿权投放总量进行了有效调控。

(2)五年间完成了9个1:1万矿区、3个1:5万矿区共12个重点矿集区矿产资源开发状况、矿山环境遥感调查与监测工作,其中2010年开展了除甘洛赤普铅锌矿区、广元槽子沟铅锌矿区之外其余10个重点矿集区的矿产资源开发状况、矿山环境遥感调查与监测工作。

遥感调查与监测结果表明,2010年10个重点矿集区共有各类矿山开采点829个,其中疑似违规开采点71个,占开采点总数的9%,开采秩序总体良好。从矿种看,金属矿疑似违规开采点39个,非金属矿疑似违规开采点31个,煤矿疑似违规开采点1个,钒钛磁铁矿、铅锌矿和石灰石矿疑似违规开采点数量较多。2006年至2010年连续监测区绝大部分矿种开发秩序持续良好,但值得注意的是钒钛磁铁矿开发秩序波动较大。2006年开发秩序比较混乱,2007年至2008年通过矿业秩序整顿,疑似违规开采点数量大幅下降,矿业开发秩序明显好转,但2009年至2010年疑似违规开采现象又出现一定程度反弹。

2010年遥感调查完成的10个重点矿集区矿产资源开发占地面积为11677.23 ha,占矿区总面积的0.38%。固体废弃物、中转场地的占地面积占主导地位,分别占矿业活动占地总面积的49%和33%。从矿种看,金属矿、非金属矿和煤矿开采矿业活动占地面积分别占矿业活动占地总面积的61.47%、25.69%和2.83%;钒钛磁铁矿和普通铁矿是所有矿种中占地面积最大的矿种,两者矿业活动占地面积占矿业活动占地总面积的47.22%。从连续监测结果来看,钒钛磁铁矿、煤矿和普通铁矿占地面积扩展速度较快,稀土矿、铜矿、石灰石矿、石材矿、磷矿和铅锌矿等矿种占地面积扩展速度缓慢(图1-1)。

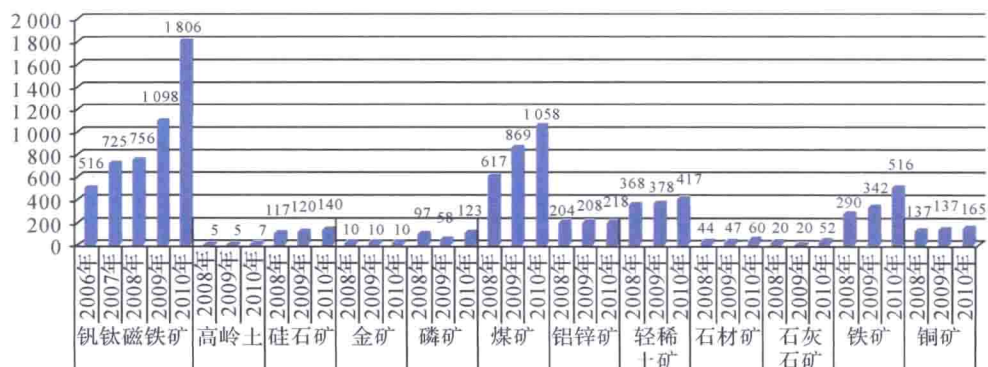


图 1-1 四川省重点矿集区主要矿种 2006 年至 2010 年矿业活动占地面积变化

2010 年遥感调查完成的 10 个重点矿集区共发现各类矿山地质灾害 161 个,其中泥石流 67 个、滑坡 39 个、崩塌 23 个、地裂缝 22 个、地面塌陷 11 个;上述矿山开采引发的地质灾害及潜在的地质灾害隐患对矿区内的居民、矿区作业人员、道路、耕地和河流来说是较大安全隐患。

三、开展了矿山地质环境和生态安全评价研究

在四川省矿山开发遥感调查与监测工作基础上,通过对不同矿山开发类型的充分调研,结合其开发特点与规律,建立了矿山地质环境定量评价方法,为客观真实地评价矿山环境状况,以及国土资源部规划矿产资源合理开发利用、开展矿山地质环境保护和综合整治提供科学依据。

矿山开发造成的环境问题在我国非常突出,矿业开发区已成为人与环境矛盾尖锐的区域,且随着我国经济发展对矿产需求的增加,矿山数量和规模将不断增加,矿业开发引发的环境安全问题更加突出。为此针对矿业开发区特点,本书基于压力—状态—响应 (pressure-state-response, P-S-R) 框架模型,建立了矿业开发区生态安全评价指标与标准体系,为客观真实地评价矿区生态安全状况提供了理论基础。针对矿业开发区生态安全与评价指标之间的非线性关系,开展了基于人工神经网络模型的矿业开发区生态安全状况评价。

第二节 国内外矿山开发遥感监测研究现状

矿产资源开发是一项复杂的系统工程,涉及对矿山岩石爆破、铲装、运输、破碎和提炼等过程。矿产资源开发过程中任何环节处理不当都可能对矿区环境造成破坏,给国家和人民造成巨大损失,因此自 20 世纪 60 年代以来,各国对矿产资源开发的监管都十分重视。遥感具有宏观、快速、有效的优势和特点,在国土资源管理工作中的重要作用日益凸显,目前已成为国土资源管理部门快速准确掌握矿产资源开发秩序、矿山地质环境状况的重要手段。随着遥感技术在矿山开发应用中的逐步深入,极大推动了遥感技术在该领域的研究进展,并取得了一大批具有科学意义和应用价值的研究成果。

一、技术方法研究现状

美国、加拿大、澳大利亚、德国等矿业发达的国家早在 20 世纪 60 年代就开始利用遥感技术对矿山环境进行监测,并取得了显著成效。美国在 1969 年由土地保护部矿山处组织开展了矿山环境与灾害监测项目,利用遥感技术对煤矿开采产生的煤矸石堆进行动态监测,以防止矸石堆发生爆炸;还对煤矿区土地复垦效果进行遥感动态监测,为土地复垦管理提供客观数据资料,提高了资源环境管理部门的执法力度,取得了明显的防灾减灾效果。欧共体 MINEO 工程就是以法国地调局为代表的多个欧洲公司和研究单位利用卫星遥感技术监测、评价采矿活动对环境造成的影响。澳大利亚的 Aminossadati 等(2010)研究了分布式光纤温度传感方法的温度测量和监控系统在地下矿山环境监测中的适用性,研究结果表明该系统可精确检测加热和冷却过程中任何位置产生的热量,保证地下矿井的安全。土耳其的 Demirel 等(2011)利用多时相的高分辨率卫星图像,基于支持向量机 (support vector machine, SVM) 的方法,研究了 2004 年至 2008 年土耳其 Goynuk 露天矿山采矿活动对地表空间的影响。德国的 Schroeter 等(2011)基于德国东部褐煤湖所在地区 1999 年与 2004 年 Landsat TM5/ETM+7 影像,分析了该

区采矿后形成的湖泊水表面的理化性质,将湖水的水化学参数与卫星探测的光谱特征基于多元统计分析法进行了反演。德国学者基于高光谱遥感数据对煤矿开采造成的地形形变、水文状况(地下水位、排水)、植被和土地利用方式的变化进行了动态监测,基于 GIS 技术建立了信息系统。美国的 Alden(2009)将遥感技术和监控进程结合在一起,对俄亥俄州粉河盆地的煤矿露天采矿和复填工作进行监测,采用缨帽变换、亮温分析和 K-means 聚类分析等方法对研究区归一化植被指数(normalized differential vegetation index, NDVI)、土地覆被变化进行了动态监测。

我国遥感技术在矿山开发的调查与监测方面的应用起步较晚,2000 年以来,随着遥感技术在矿山开发应用中的不断深入,国内在该领域的研究成果也大量涌现。杜培军等(2000)开展了遥感影像与数字地面模型(digital terrain model, DTM)的复合研究及其在矿山的应用研究,研究表明遥感影像和 DTM 复合可用于矿山测绘、地表沉陷监测、矿区土地复垦与生态重建、露天矿边坡监测、矿山三维仿真等方面, GIS 是实现这些应用的技术平台。盛业华等(2001)进行了工矿区环境动态监测与分析研究,研究内容包括遥感技术在工矿区应用的主要内容、工作方法、工矿区特殊地形、地物和环境的遥感信息机理、图像解释和信息提取、复合处理、输出的理论及方法等。傅耀军等(2003)根据三期 TM 卫星遥感影像解译成果,在 GIS 空间数据库功能的支持下,对晋陕蒙能源基地榆神府矿区的水土流失情况进行了综合评价。甘甫平等(2004)利用航天 Hyperrion 高光谱遥感数据对德兴铜矿矿山的污染情况进行了识别研究,该研究为利用高光谱的技术优势,快速、有效地直接识别与提取污染源的种类、类型并分析其潜在的污染趋势提供了新的思路,为矿山污染监测、治理规划和复垦提供了新的技术方法。刘智等(2010)开展了 RapidEye 卫星影像在 1:5 万矿山开发遥感调查中的应用研究。丁丽等(2010)开展了 IKONOS 影像在矿山环境遥感监测中的应用研究。杨敏等(2010)开展了 SPOT5 遥感图像数据在矿山地质环境调查中的应用研究。于艳梅等(2009)利用 CBERS-02B 卫星遥感数据对德兴铜矿进行了矿山开采环境变化动态监测研究。祝燕等(2010)开展了矿山环境遥感动态监测中的相对辐射校正方法研究。陈伟涛等(2010)对矿山地质环境遥感监测方法进行了研究。金庆花等(2009)探讨了高光谱遥感技术在矿产资源评价与矿山环境监测中的应用研究。戴茜等(2009)开展了矿山土壤污染的高光谱监测研究。漆小英等(2008 年)以攀枝花钒钛磁铁矿为例开展了矿山扩展遥感信息自动提取方法研究。Shao Huaiyong 等(2009)以四川省攀枝花市为例开展了矿业型城市矿山地质环境评价指标体系与方法研究、生态环境脆弱性研究。Xian Wei 等(2009)就攀西矿业开发集中区的生态安全、生态环境承载力进行了研究。王海庆(2010)基于 GIS 和 RS 开展了矿山地质环境评价方法比选研究。

二、遥感技术在矿山监测中的应用

近年来,随着遥感技术的快速发展和我国矿政管理工作的实际需求,遥感技术在矿山监测中的应用不断深入并日趋成熟。“十五”期间,中国国土资源航空物探遥感中心在河北、山西、江西、新疆等省区的矿产资源集中开发区,选择了部分矿山作为不同矿种、不同自然条件和不同地质背景的试点,以多时相 TM/ETM、SPOT5、IKONOS、QuickBird 和彩红外航片等遥感数据为主要信息源,辅以适当的现场调查,对矿产资源开发状况及其引发的矿山环境问题进行了监测试验。初步形成了从数据处理、开发环境要素信息提取、演变趋势分析到成果图件输出的完整技术流程,并采用 GIS 技术,初步建成了以试验区为基础的矿产资源开发状况数据库

系统,实现了监测数据的动态存储、更新、检索、查询和统计分析,为矿产资源的合理开发、有效管理和科学规划,以及矿业秩序整顿、矿山环境保护和综合治理提供了基础资料与决策依据。“十一五”期间,在国土资源部领导下,由中国地质调查局统一部署,中国国土资源航空物探遥感中心负责牵头组织实施,各省(区、市)公益性地质调查单位、行业及有关大学等二十余家单位参加,开展了全国重点矿集区矿山开发遥感调查与监测工作,主要就矿产资源开发利用、矿山环境和矿产资源规划执行等内容开展调查与监测工作。调查与监测成果为国土资源部整顿和规范矿产资源开发秩序、加强矿产资源监管、保护和治理矿山地质环境、防治矿山地质灾害、制定和监督实施矿产资源规划提供了技术支撑和科学依据。鉴于矿山开发遥感调查与监测成果应用的不断深入和鉴于矿山开发遥感调查与监测技术的逐渐成熟,国土资源部于2011年首次在全国范围内开展了矿产卫片执法检查工作,利用卫星遥感监测技术,发现、制止和查处违法勘查开采矿产资源行为,取得了良好的效果。矿山遥感监测对政府部门获取适时的基础数据、提高监督管理效益和管理质量、维护良好的矿业开发秩序,以及治理和保护矿区环境都具有十分重要的意义,矿山遥感监测工作必将在未来的矿政管理工作中发挥更大的作用。

第二章 四川省矿山开发遥感监测技术方法

第一节 技术路线

在充分掌握四川省地质背景和矿产资源分布的基础上,以多平台遥感数据为主要信息源,对遥感数据处理和解译后,开展矿产资源开发利用状况、矿山环境及矿产资源规划执行情况的遥感调查与监测工作。调查工作中采用遥感解译与实地查证相结合的手段,适时获取客观基础数据,对矿山地质环境进行综合评价,对矿产资源的开采、综合利用及矿产资源规划执行情况等提出对策与建议,为政府部门提供真实可靠的数据。

一、矿山开发遥感调查与监测内容

四川省矿山开发遥感监测分 1:25 万、1:5 万和 1:1 万三个层次开展工作,即首先利用中等分辨率遥感数据开展 1:25 万遥感调查与监测,宏观掌握矿区矿产资源规划执行情况;在 1:25 万矿区内选择矿产开采秩序较为混乱、矿山环境破坏相对严重的地区利用高分辨率遥感数据进行 1:5 万矿山开发遥感调查与监测;在此基础上进一步选择矿产开采秩序混乱、矿山环境破坏严重的地区利用甚高分辨率遥感数据进行 1:1 万矿山开发遥感调查与监测。不同层次的调查与监测内容如下。

(1)利用空间分辨率优于 30 m 的多光谱遥感数据开展比例尺为 1:25 万的矿产资源规划执行情况的遥感调查与监测工作,主要工作内容为提取矿产开发点位置及其开采状况(原有开采点、新增开采点,关停开采点)、矿产资源开发占地面积及变化情况。

——在《四川省矿产资源总体规划(2008—2015 年)》基础上,对照规划基准年和调查年的开采点位置、数量、开采状态和矿山开采规模,对矿产资源开采规划区规划执行情况进行监测和评价。

——对照基准年和调查年的矿山开发占地、矿山地质灾害和矿山恢复治理情况,对矿山环境恢复治理规划区规划执行情况进行监测和评价。

(2)利用空间分辨率优于 5 m 的遥感数据开展比例尺为 1:5 万的矿产资源开发状况、矿山环境和矿产资源规划执行情况的遥感调查与监测工作。调查与监测内容包括:

——矿产资源开发状况。查清矿产资源开采点或开采面的位置、开采矿种和开采方式(露天、地下、联合)。查明矿山开采状态(正在开采、停产或关闭)和管理状况(是否无证开采、越界开采等)。结合多期矿山遥感调查成果,对矿山开发动态变化情况进行监测,分析矿业秩序发展趋势。

——矿山环境状况。查明矿产开发区的采场、矿山建筑物、中转场地(煤堆、矿石堆、洗煤厂、选矿厂、选矿池等)、固体废弃物(排土场、废石堆、尾矿库、煤矸石堆等)等分布和占地情况,调查区内的工矿型荒漠化土地、地面沉降(陷)区、地面塌陷坑、地裂缝、煤自燃、煤矸石自燃、滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害分布情况和水体污染、粉尘污染等环境污染情况,圈定矿山地质灾

害隐患区、矿山环境问题严重区,查明矿区生态环境恢复治理情况,查明动态监测区的矿山开发占地变化情况。

——矿产资源规划执行情况。重点调查矿山环境恢复治理规划区的完成情况及矿山规划区中矿山开采状态与规模。

(3)利用空间分辨率优于1 m的高分辨率卫星数据,开展1:1万矿集区的矿产资源开发状况、矿山环境、矿产资源规划执行情况的遥感调查与监测工作。由于遥感图像分辨率更高,对矿山开发状况可以适时监测,及时发现乱采乱挖现象、矿山环境破坏情况及了解矿山环境恢复治理情况,适时掌握矿山开发的动态变化情况。

二、工作流程

根据四川省矿山开发遥感调查与监测工作内容,制定如下技术流程(图 2-1):

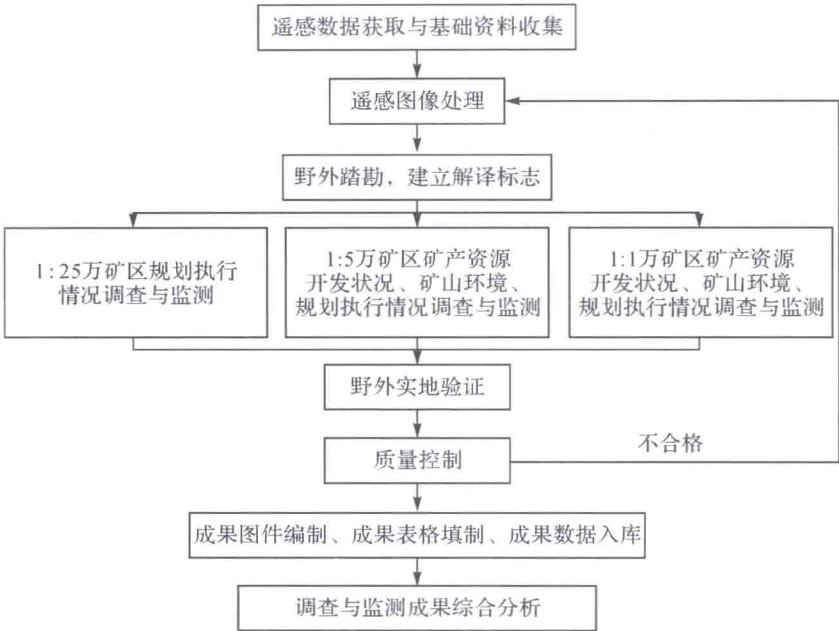


图 2-1 四川省矿山开发遥感调查与监测技术流程

(1)综合矿区已有地质矿产、水文、生态环境、矿产开发、矿产资源规划及矿权数据等基础资料,充分了解调查区基础地质环境与矿产开发状况。

(2)获取与监测工作内容相配套的遥感数据源。根据监测目标,分别采用 TM、SPOT5、IKONOS、QuickBird、航空数据等不同空间分辨率遥感数据作为遥感信息源,并配合遥感数字图像处理技术,获得几何精度高、信息丰富的遥感图像数据。

(3)总结各类矿产开发特点,结合野外踏勘,建立各类矿种不同开发要素的遥感解译标志,以便达到准确判别矿产资源开发与矿山环境要素的目的。

(4)为保证遥感解译信息的准确性和可靠性,采用计算机自动解译和人工解译相结合、以人工解译为主的方法进行遥感信息提取,对存在疑问的图斑进行野外实地验证。

(5)以中国地质调查局颁布的《矿产资源开发遥感监测技术要求(DD2011—06)》的技术标

准为依据,提交各类统计表数据,编制各类成果图件,编写成果报告并完成数据入库。

(6)对矿产资源规划执行情况进行客观评价,分析社会经济发展同矿山开发之间的关系;对矿山开发、矿山环境发展趋势进行分析评价,探讨矿山开发与矿山环境之间的关系。

第二节 工作方法

四川省矿山开发遥感监测工作是以遥感数据为基础,结合矿权、矿产资源规划等数据资料,对矿区矿山开发状况、矿山环境和矿产资源规划执行情况进行调查与监测,工作方法包括数据资料收集、遥感数据处理、矿山开发遥感信息提取、实地验证、质量控制、图件编制、表格填制与数据入库,以及综合分析 with 报告编写等。本节对四川省矿山开发遥感调查与监测涉及的主要工作方法进行了论述。

一、数据资料的收集

收集的数据资源主要包括多平台、多级分辨率遥感数据、地形图数据、采矿权数据、探矿权数据、矿产资源规划数据,以及基础地质、地理资料等。

(一)遥感数据源的选取

综合考虑各种遥感数据的解像能力、价格因素和采集性能,矿山遥感监测应首选光学卫星遥感影像,影像一般应无云覆盖、无云影,影像清晰、反差适中,像片内部和相邻像片间无明显偏光、偏色现象。对于多光学卫星遥感数据难以获取的多云多雾地区,应考虑采用无人机数据或雷达数据。

根据四川省矿山开发遥感调查与监测内容和范围,1:25万矿区主要使用分辨率优于30m的中等分辨率遥感数据,主要有SPOT、ASTER、ETM+(TM)、中巴卫星、“北京一号”卫星数据等;1:5万矿区主要使用分辨率优于5m的较高分辨率遥感数据,主要有SPOT5数据(1A级,多光谱与全色增强型)、ALOS、RapidEye、“福卫二号”、IRS-P5、航空遥感(含无人机)数据等,难以获取光学遥感数据的地区可以采用雷达数据;1:1万矿区主要使用分辨率优于1m的高分辨率遥感数据,主要有IKONOS、GeoEye-1、WorldView-2、QuickBird、航空遥感(含无人机)数据等,难以获取光学遥感数据的地区可以采用雷达数据。

(二)采矿权、探矿权及矿产资源规划数据

为进行矿区矿产资源开发状况和矿产资源规划执行情况的遥感调查与监测,需要收集四川矿产资源开采申请登记表(数据库)和矿产资源勘查登记表(数据库)、四川省矿产资源总体规划等资料数据。

(三)基础地质、地理资料

需要收集矿区自然地理、人文、气候、社会经济、交通等资料,矿区成矿地质背景、地质环境背景资料,以及与矿区矿产资源分布、矿山环境等内容有关的研究报告、图件、文字资料、数据表格等。通过上述资料了解和掌握矿区基本地质、地理特征,矿产资源概况等,为进一步进行矿区矿山开发遥感调查与监测工作提供支撑。

二、遥感图像处理

遥感图像处理是应用计算机对遥感图像进行加工处理,以改善图像质量,增强图像信息。

遥感图像处理结果的质量会直接影响后期图像信息提取和判译效果及各种专题制图的精度。因此,在进行遥感图像应用之前,应选择适当的图像处理方法,对原始的遥感图像进行增强处理,制作出高质量的遥感图像。

(一)遥感图像校正

遥感图像变形的原因有很多,如遥感平台位置和运动状态变化的影响、地形起伏的影响、地球表面曲率的影响、大气折射的影响、地球自转的影响、传感器本身产生的误差、大气对辐射的影响等。这些因素引起的变形都会对遥感图像的质量产生或大或小的影响,进而影响到图像实际应用的效果。进行遥感图像校正就是为了尽可能消除或减弱这些变形,生成质量较好的图像。遥感图像校正的主要方法有辐射校正和几何校正两种。

1. 辐射校正

辐射校正是为消除遥感图像的辐射失真或畸变而进行的校正,对大气影响的纠正是通过纠正辐射亮度实现的。精确校正要找出每个波段像元亮度值与地物反射率的关系,因此需要卫星飞行时的大气参数。不通过特定观测很难得到这些数据,所以常采用一些简化的方法处理,去掉主要的大气影响,使图像质量满足基本要求。粗略校正通过去掉程辐射来改善图像质量,一般有直方图最小值去除法和回归分析法等。

(1)最小值去除法。该方法的基本思想在于一幅图像中总能找到某种或某几种地物,其辐射亮度或反射率接近零,而实测表明这些位置上的像元亮度值并不为零,这个值应该是大气散射导致的、主要来自米氏散射的程辐射值。校正时,首先确定图像上确有辐射亮度或反射亮度为零的地区,亮度最小值必定是这一地区大气影响的程辐射增值,校正时将每一波段中每个像元的亮度值都减去本波段的最小值,从而使图像亮度动态范围得到改善,对比度增强,提高图像质量。

(2)回归分析法。该方法的基本思想是在不受大气影响的波段图像和待校正的某一波段图像,选择从最亮到最暗的一系列目标,对每一目标的两个波段亮度值进行线性回归分析,回归直线在纵轴上的截距就是该波段的辐射程度。校正的方法是把该波段的所有像元值都减去这个截距值。

2. 几何校正

几何校正有粗校正和精校正。粗校正一般由地面站处理,是系统级的几何校正,仅做系统误差校正,即利用卫星所提供的轨道和姿态等参数,以及地面系统中的有关处理参数,对原始数据进行几何校正。粗校正对传感器内部畸变的改正很有效,但处理后的图像仍有较大残差,因此必须对遥感图像进行进一步的几何精校正。几何精校正由地面站或者用户来完成,几何精校正是利用地面控制点(ground control point, GCP)进行的几何校正,它是用数学模型来近似描述遥感图像的几何畸变过程,并利用畸变的遥感图像与标准控制点求得这个几何畸变模型,然后利用此模型进行几何畸变的校正。这种校正不考虑畸变的具体原因,只考虑如何利用畸变模型来校正图像。它是在几何校正过程中利用地面控制点对系统几何校正模型进行修正,使之能更精确地描述卫星与地面位置之间的关系。

几何精校正包括两个环节,一是像素坐标的转换,二是对坐标变换后的像素亮度值进行重采样。步骤一般为:①建立原始影像与校正后影像的坐标系;②确定 GCP,即在原始畸变图像空间和标准空间寻找控制点对;③选择畸变数学模型,利用此模型对遥感图像进行校正;④几何精校正精度分析,看精度是否满足要求,如不满足要求找出原因进行改进,然后再重新进行几何精校正至精度满足要求。

四川省大多为高山区,地形变化起伏大,矿山开采更是加剧了这种起伏及其变化,使得部分像元发生像点位移。在遥感图像上表现为像元相对位置错动,不能真实反映地物的位置关系。几何畸变和投影差使形成的遥感图像失真,影响了图像的质量和后期应用的效果,使用前须消除即通过对遥感图像进行正射校正,制作高精度的正射遥感影像。针对矿区遥感影像的特点,进行影像正射校正时,在遵循一般控制点选取原则的基础上还要注意以下几点:①控制点的选取应涵盖不同级别高程带;②使用地形图作为标准图像时,由于地形图和遥感图像的不同步性,控制点的选取应考虑矿业活动区的变化;③为了保证矿业活动区的几何精度,可以适当在矿业活动区周围多选取部分控制点。

(二)遥感图像增强

遥感图像增强是遥感图像数字处理的最基本方法之一,通过增强处理可以突出图像中的有用信息,强调图像中感兴趣的特征。图像增强可以是一个失真的过程,其目的是要改善图像的视觉效果,提高遥感图像的可解译性。针对给定图像的应用场合,有目的地强调图像的整体或局部特性,将原来不清晰的图像变得清晰或强调某些感兴趣的特征,从而扩大图像中不同物体特征之间的差别,抑制不感兴趣的特征,丰富信息量,加强图像判读和识别效果,满足某些特殊分析的需要。

遥感图像增强处理按照增强的信息内容,可分为波谱特性增强、空间特性增强及时间信息增强三类。波谱信息增强主要突出灰度信息;空间特性增强主要是对图像中的线、边缘、纹理结构特征进行增强处理;时间信息增强主要是针对多时相图像而言,其目的是提取多时相中波谱与空间特征随时间变化的信息。

图像增强技术根据增强处理过程所在的空间不同,可分为基于空域的算法和基于频域的算法两类。基于空域的算法直接对图像灰度级进行运算;基于频域的算法是在图像的某种变换域内对图像的变换系数值进行某种修正,是一种间接增强的算法。下面介绍一下在矿山开发遥感监测中常用的几种图像增强的方法。

1. 灰度变换

灰度变换可调整图像的灰度动态范围或图像对比度,是图像增强的重要手段之一。它是将原图中的灰度 $f(x, y)$ 经过一个变换函数 $g = T[f]$ 转化成一个新的灰度 $g(x, y)$ 即

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (2-1)$$

灰度变换可使灰度动态范围加大,根据变换函数的形式,灰度变换分为以下几类。

(1)线性变换。线性变换对单波段逐个像元进行处理,将原始影像亮度值动态范围按线性关系式扩展至指定范围或整个动态范围,该方法在矿山遥感图像增强处理中广泛应用(图 2-2)。

(2)非线性变换。非线性变换指变换函数为线性方程以外的初等函数,如对数变换、指数变换等。对数变换采用对数作为变换函数计算输出,效果为扩展灰度值小的像元的灰度范围、压缩灰度值大的像元的灰度范围(图 2-3)。指数变换是采用指数为变换函数计算输出,其效果为扩展灰度值大的和压缩灰度值小的像元的灰度范围。

(3)直方图均衡化。直方图均衡化将一已知灰度概率密度分布的影像,经过某种变换,变成一幅具有均匀灰度概率密度分布的新影像,其结果扩展了像元取值的动态范围。一般遥感影像的概率密度函数曲线为一起伏的曲线,直方图均衡化就是使变换后的影像的概率密度函数曲线变为一条平坦的直线。经过直方图均衡化增强处理后,每个灰度区间的概率分布由原来的随机分布变为等概率分布,每个灰度级内均有相同数目的像元。