

矿山环境评价方法综述

武 强,薛 东,连会青

(中国矿业大学水资源与环境研究所,北京 100083)

摘要: 根据 5 大类型的矿山环境地质问题和矿山整体环境综合评价问题,本文提出:矿山环境评价可划分为单环境问题(要素)评价和多环境问题(要素)综合评价 2 大类型。

关键词: 矿山环境;单环境问题评价;多环境问题综合评价

中图分类号: P641.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2005)03-0084-05

1 前言

矿产资源的开发利用,促进了国民经济的发展。但随着矿产资源开发规模的不断扩大,特别是长期无序不合理开发,诱发了相当严重的矿山环境问题,改变甚至破坏了人类的生存环境。因此如何科学合理的对矿山环境问题作出评价,是矿山环境研究的一个重大课题。

根据提出问题、分析评价问题和解决问题的研究思路,在进行矿山环境评价之前,首先需要对矿山环境所存在的问题进行分类研究,之后依据不同精度的矿山环境调查成果和基础数据^[1],针对不同问题,选择不同方法和方案进行矿山环境评价,在此基础上,才能提出合理解决矿山环境问题、保护与修复矿山环境的各种治理方案^[2],最后应用现代信息与可视化技术,研发矿山环境信息系统。因此,矿山环境问题分类、调查、评价、修复和信息系统建设之间环环相扣,缺一不可,是矿山环境研究的 5 大内容。

矿山环境评价是在现场调查和收集分析整理已有资料基础上,根据矿区所存在的各类环境问题所作出的现状模拟和预测预报。根据评价的环境要素,矿山环境评价可划分为单环境问题(要素)评价和多环境问题(要素)综合评价两大类。

2 矿山环境分类

矿山环境评价的对象就是矿山环境问题。根据问

题的性质,矿山环境问题可划分为:“三废”问题、地面变形、矿山排水、供水、生态环保三者之间的矛盾、沙漠化和水土流失等 5 大类型^[3]。

3 矿山环境问题评价

上述矿山环境问题的分类较为全面概括了我国各类矿山企业目前所存在的因矿产资源不合理开发诱发的主要环境问题,这些问题在一些矿山是以单独形式存在的,但我国大部分矿山往往是同时存在多个矿山环境问题,只不过有些问题是相对严重一点,而另一些则相对较轻。因此,矿山环境问题评价应该划分为单问题评价和多问题综合评价两大类。另外从时间角度出发,矿山环境评价又包括过去演变历史评价、现状评价和演化趋势预测评价三大部分。

3.1 单环境问题评价

(1)“三废”问题 固体废弃物:固体废弃物堆积是矿山环境面临的一个主要问题,它一般包括煤矸石、粉煤灰、剥离废弃物、废石(渣)、尾矿库和含放射性物质等固体废料。固体废弃物堆积一般具有 6 大环境效应问题,即占地、堆积体边坡稳定、淋滤污染、风化扬尘污染、自燃的大气污染和放射性效应^[3]。

占地效应评价:根据固体废弃物在航卫片上成相的形态、色调、纹型图案等识别标志,进行遥感解译,可圈定固体废弃物的堆积范围,确定占地大小。不同性质、不同类型的固体废弃物在彩红外航片上呈现出不同色彩及形态特征。另外, GPS 技术在其占地效应现场调查评价中也具有明显优势。

遥感解译法具有一系列诸如直观性强、内容丰富、视域广、不受调查条件限制等优点,但因航卫片受气候和解译人主观经验等影响,其解译效果有时也受到限制,故建议采用将宏观与微观、已知与未知、室内与室外、定性与定量、遥感解译与现场调查、目视解译与计

收稿日期:2004-03-30; 修订日期:2004-11-17

基金项目:教育部世纪优秀人才基金(2003-3)和教育部青年骨干教师基金(2000-65)资助

作者简介:武强(1959-),男,教授,博导,从事水文地质、环境地质研究。

算机图像处理等相互结合对比的技术路线,以减少误差,提高评价精度。

堆积体边坡稳定效应评价:边坡稳定性评价的理论主要是针对岩土体组成的边坡,因固体废弃物堆积边坡与之不同的仅在于组成物质不同,因而完全可应用岩土体边坡稳定性评价理论和方法作出评价。

固体废弃物堆积形成的边坡属人工边坡。边坡稳定性评价内容主要包括:确定边坡破坏方式和变形形式以及演变阶段;判定促进边坡失稳的主控因素;计算边坡的稳定系数和失稳概率等。其中计算已知边坡稳定系数、判断边坡稳定性和确定稳定边坡坡角坡高、设计边坡是两个主要解决的问题。控制边坡稳定性主要有两个方面,即自然的和人为的影响因素,具体为斜坡的物质组成和性质,斜坡的高度、坡度、形态、结构构造和裂隙,水的作用,气候因素,工程活动等,这些因素决定了边坡的失稳条件,在边坡评价中占有重要地位,运用测绘、调查、实验等方法查清这些因素是其评价的基础。

关于边坡稳定有多种评价方法,根据其评价机理不同,一般可划分为以下6种主要评价方法:安全系数;可靠度或破坏概率;边坡岩体的位移、应力、位移速度等;定性经验结论;干扰能量和声发射率。

淋滤污染效应评价:固体废弃物淋滤污染可分为土壤污染和水体污染^[4]。渗出液和滤沥液中所含有的有害物质能改变土质和土壤结构,影响土壤中微生物的活性,有碍植物的根茎生长,而且有毒物质会在植物体内积累,对人体危害极大。对于水体污染的评价可以参照液体废料的评价方法评价。对土壤的污染采用土壤中微量元素和有害元素的评价方法进行评价。通常采用淋滤试验法等。

淋滤实验可分为3种类型,即分批浸出(Batch Leaching)、柱淋滤(Column Leaching)和现场液度估定计方法(Field Lysimeter)^[5]。淋滤试验的程序以美国环保局(1988)制定的“毒性特征淋滤试验(TCLP)” (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) 为代表,该程序采用两种淋滤液,即pH为4.93的乙酸钠缓冲溶液和pH为2.88的乙酸溶液,淋滤时间为18h。分批浸出和柱淋滤要求的设备条件较为简单,成本低,而现场液度估定计方法所要求的设备及维护费用都比较昂贵,因此目前应用较多的是分批浸出和柱淋滤实验。

风化扬尘污染效应评价:长期暴露地表的固体废弃物在空气、水、太阳能和生物等的共同作用和影响下,将发生物理的和化学的变化,并使固体废弃物风化

解体,形成碎屑、粘土和溶解物3类风化物质。这些物质在风力作用下,将产生风化扬尘,污染矿区大气环境。

风化扬尘的矿物成分不同,危害各异,粒度与形状不同,危害也不同,能进入人体肺部的扬尘皆小于 $5\mu\text{m}$ 。对扬尘而言,以 $1\sim 2\mu\text{m}$ 危害最大,具棱角尘粒远较圆粒尘粒危害为大。风化扬尘污染效应评价可参照大气质量评价方法。

煤矸石等自燃的大气污染效应评价:含碳煤矸石的自燃是一个氧化过程,暴露大气的煤矸石堆在氧化和压实作用下,当温度上升到燃点即可发生自燃,当其中热量不能散发或矸石中混有易燃物时,燃烧会更加明显。煤矸石的自燃会产生大量一氧化碳和二氧化硫等严重污染环境和危害人体健康的有毒有害气体^[6]。

由于煤矸石氧化和自燃产生的升温效应,使得自燃区和烧变区的热辐射温度和反射光谱与其它正常地层比较存在明显差异,它们的红外遥感影像特征(色彩、色调、纹理、亮度和对比度)也具有显著差别。因此以不同时段红外遥感图像为信息载体进行自燃要素解译,可以圈定煤矸石山或煤层露头的自燃范围和具体边界,其图像的地面分辨率可达 $10\sim 15\text{m}$ 。将RS和GPS所获得的数据按照空间数据库标准进行建库并实施相关查询计算,形成满足GIS标准的空间分析数据,可进一步提高对煤矸石自燃的评价精度^[7]。

放射性效应评价:铀矿等废弃物除4大环境效应外,还具有放射性污染效应。放射性效应的评价可采用生物效应评价法。所谓生物效应评价法是计算出被污染生物吸收放射性的剂量率,从而间接评价放射性效应,具体步骤如下: 生物的吸收剂量率不仅取决于核素的浓度,也与生物大小和形状有关。为便于计算,首先应选择已遭受放射性污染地区的生物,对复杂的生物形态进行概括和简化; 确定被污染生物受到放射性照射的途径; 对 α 粒子和 β 射线的剂量率采用IAEA推荐的点源剂量分布公式经积分获得,对 γ 射线的剂量率利用MCNP V. 3a/PC Monte-Carlo程序并编入所需辐射源的描述及其抽样方法先计算能量吸收分数,再根据在无限大体积内的剂量率计算公式得到。宇宙线的剂量率套用UNSCEAR的有关数据。

(1) 液体废弃物 矿山液体废弃物一般是指在矿山勘探、开采、采后和洗选过程中所产生的废水。目前有关水环境质量评价方法达数十种,但由于评价视角不同,至今尚未形成统一的标准评价方法^[8]。目前常用的评价方法主要包括:综合指数法、模糊数学法、加

权灰关联度法、人工神经网络法、国家标准 F 值打分法和层次分析法等。

(2) 气体废弃物 关于采场、排(岩)土场的风化扬尘和煤层矸石自燃的评价已在前部分论述。对天然气和煤层气自燃产生的废气问题,可采取大气环境质量评价方法进行研究^[8]。大气环境质量的一般评价程序为: 绘制各种污染物的浓度分布图,掌握各种污染物在环境中分布和扩散的情况,根据 3 年取得的监测资料,绘制出大气污染中飘尘量分布图,二氧化硫分布图,锰、铁、镉金属分布图; 确定计算环境质量系数的数学模型,“环境质量系数”可表达多种污染物的综合污染状况; 根据计算出的环境质量系数,对环境质量进行等级或类型划分,绘制环境质量图。

(2) 地面变形 开采沉陷:主要评价方法包括:经验公式法、剖面函数法、影响函数法、解析模型法、物理模型法、应力应变数值模拟法等。

经验公式法是在对地表移动实测资料进行综合分析基础上建立经验公式,然后应用于类似地质采矿条件下的开采沉陷的评价预测。由于经验公式法只能应用统计学知识来预测预报,故这种方法并不能真正仿真模拟开采沉陷的整个过程,而且考虑的因素也不全面,因此它只适用于开采沉陷的估算。

影响函数法和剖面函数法都是利用一定的数学公式,根据实际的地质采矿条件,确定参数,计算出开采沉陷值。但这 2 种方法所取用的参数和所建立的模型只是从一个或几个方面简单的模拟开采沉陷,比如影响函数法计算开采沉陷值,它只是一点沉陷值简单的叠加,并没有考虑点之间的影响;而剖面函数法的剖面函数不一定符合实际沉降盆地形状,特别是预报地表变形值时可能出现较大偏差,而且沉降盆地形状还可能取决于在剖面函数中未考虑到的一些地质采矿条件影响。因此利用这两种方法计算出来的结果不一定可靠。

解析模型法是通过建立开采沉陷数理模型,并根据岩体的弹性特征建立评价开采沉陷的方程组,由 J. LitwiniSzyn 提出的随机介质模型是最普遍使用的方法之一,理论模型采用正态分布密度函数,通过求解计算出开采沉陷值。但这种方法岩体特征参数的选择比较困难,岩体特征参数常常不能反映实际的地质情况。

物理模型法是应用小比例尺相似材料模拟实验法再现矿产资源开发过程中岩层与地表移动特征的一种方法,物理模型法相对便于考虑地质采矿方面的参数,适用面广,并且很容易观测到开采沉陷过程中诱发的

裂缝生长和扩展情况以及其它伴生的移动变形特征,还能结合特殊地质采矿条件进行反复试验,包括多矿层开采或矿柱布设等复杂情况^[9]。

应力应变数值模拟法是根据岩土体力学性质和采矿方法以及开采条件等具体情况,应用数值计算软件系统评价开采沉陷,如基于有限差分法的 FLAC 3D 软件系统等。

地面岩溶塌陷:评价方法主要包括:地理信息系统(GIS)评价、两级模糊综合评判、人工神经网络评价和直接测氡法等。其中前 3 种方法均是先确定控制岩溶塌陷的影响因素,比如岩溶条件、地下水条件和覆盖层条件等,然后结合一定方法评价岩溶塌陷情况。直接测氡法是利用氡及其子体具有沿垂直通道向上运移的特点,它们可沿着岩石的裂隙或微裂隙以及松散介质孔隙等不断地垂直向上运移直至地表,然后缓慢向空中逸散,通过检测地表氡气的分布特征,即可确定氡气的运移轨迹,从而确定评价岩溶塌陷情况。

地面沉降:地面沉降与深层液相或气相矿产资源超量开采密切相关。只要液(气)相压力面以下存在可压缩地层,由于压力(上覆地层浮托力)降低,多孔介质有效应力增加,其孔隙度降低,地层必然会受到压密,即诱发地面沉降^[10]。

评价地面沉降的方法主要有一维固结理论解析法和数值模拟法等。一维固结理论的解析法就是利用太沙基固结理论确定地面沉降范围和沉降值。利用数值模拟法评价地面沉降,首先根据水文地质概念模型建立地下水运移的数学和数值模型,分析确定地下水的渗流场及其变化规律,然后建立垂向一维的沉降模型,数值求解地面沉降范围和沉降值。但我国目前地面沉降数值模拟评价方法尚存在一些不足^[11],如水流模型大部分为仅考虑越流而未考虑弱透水层弹性释放的拟三维模型,水流模型在沉降过程中的水文地质参数均为常数,沉降模型为线弹性的垂向一维模型,水流模拟与沉降模拟未能达到真正意义上的耦合等。

边坡问题:矿山环境地质的边坡问题除了固体废弃物堆积边坡外,还包括露天采坑边坡、排土(岩)场边坡、尾矿库边坡和矿山边坡等。

边坡稳定问题评价方法除可采用边坡岩体结构控制理论外,其它评价方法与固体废弃物边坡评价相同。

泥石流:泥石流的发生往往具有不确定性,在漫长的酝酿过程中突然发生。因此,它的定量评价研究较为困难^[12]。目前主要有以下几种评价方法:效果测度法、地理信息系统(GIS)、模糊综合评判法、神经网络

法、数值仿真模拟法等。

前5种方法均为先确定控制泥石流的影响因子,再利用一定的方法确定各影响因子对泥石流发生的贡献大小,之后建立模型对泥石流作出评价;数值仿真模拟法以理论方程和计算数学为基础,利用泥石流的野外观测数据或实验数据作为对照,通过对泥石流运动的理论方程数值求解并反演识别,从而对泥石流作出评价。

地裂缝:目前地裂缝的主要评价方法包括:土力学模型法、直接测氦法和地质雷达法等。

土力学模型法是建立土层动力计算模型,采用数值模拟方法,对地裂缝作出评价;直接测氦法是通过测定氦气的运动轨迹及分布特征来评价地裂缝;地质雷达探测是应用电磁波的反射原理,通过发射天线向地下介质发射毫微秒级的脉冲电磁波,电磁波在介质中传播时,其路径、速度和波形将随介质的介电性质及几何形态改变而变化,因此,可根据收到反射波旅行时间、强弱、波形特征及天线位置来确定异常体的位置和规模。如果电磁波波形连续性破坏,说明地层发生错断,若电磁波发生畸变,则是裂缝对电磁波的吸收或衰减作用造成。但是,在裂缝、裂隙发育地段,上述特征往往是并存的。

(3) 沙漠化 目前评价沙漠化的方法主要包括:监测指标评价、遥感(RS)解译评价、沙漠化危险度分区评价、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)与层次分析法(AHP)耦合法等。

沙漠化监测指标评价是首先确定沙漠化的指标体系,再针对各个指标进行监测,从而评价沙漠化;遥感解译法是利用遥感信息的周期性、宏观性、现势性和系统性等优势,评价沙漠化问题,该方法可以快速地获取较为理想的土地沙漠化动态监测结果;沙漠化危险度分区评价方法是首先确定影响沙漠化各因子,根据这些因子确定评价指标体系及分级标准,再建立沙漠化危险度综合评价模型,运用此模型计算沙漠化危险度指数(MHD),再依据评价指数的分级标准将MHD作4级划分,以此标准判别各地的沙漠化危险度;地理信息系统(GIS)、遥感(RS)与层次分析法(AHP)耦合法是首先分析确定控制沙漠化的各影响因素,之后利用RS解译获得各影响因素的空间数据,再应用GIS建立各影响因素的子专题层图,应用AHP确定各影响因素对沙漠化影响的权重大小,然后根据多源地学信息复合叠加原理,组建耦合模型对沙漠化作出动态评价^[13]。

(4) 水土流失 目前水土流失的评价方法主要

包括:预测模型法和地理信息系统(GIS)、遥感(RS)与层次分析法(AHP)耦合法等。

预测模型法是指采用定性讨论与定量分析相结合的方法,对影响水土流失的气候因素、土壤因素、地质因素、地形因素、植被因素和人为因素进行统计分析与评价,总结、归纳各因素对水土流失影响的一般规律,在对影响水土流失单因素分析评价的基础上,选取坡位、坡形、坡度、土壤类型、有效土层厚度、植被盖度、土地利用类型7个指标为自变量,土壤侵蚀模数为因变量,利用数字化模型进行回归分析,获得水土流失预测模型。运用该模型可以预测水土流失模数,及时准确掌握水土流失演变的趋势^[14]。

地理信息系统(GIS)、遥感(RS)与层次分析法(AHP)耦合法等评价水土流失问题与上述的沙漠化评价思路类同。

(5) 矿山排水、供水、生态环保三者之间的矛盾

岩溶水矿床的排水、供水、生态环保三者之间的矛盾问题主要包括2大类型,即华北型煤田的底板突(涌)水诱发的矛盾和砂卡岩型矿床周边充水诱发的矛盾。

从可持续发展和大系统理论出发,将矿区的排水、供水和生态环境保护作为一个整体进行系统研究,建立矿井水资源合理开发利用的科学模式——排、供、生态环保三位一体的优化结合,是解决三者之间日益严重的矛盾问题的关键。所谓三位一体优化结合总的技术思路是既考虑排水子系统的疏降效果和安全运营,又考虑供水子系统的供水需求和生态环保子系统的技术要求;其主要技术手段是通过调度各种集水建筑物运营,控制矿区各充水含水层地下水水位,使其不仅保证矿山安全生产和生态环境质量,而且确保矿区及其周围地区的供水需求,这是优化结合的水力要素部分;同时根据不同供水用户需求,通过比较不同供水目标创造的经济效益,自动优化设计具体供水方案,这是优化结合的经济要素部分。将水力和经济要素两个方面同时考虑,建立管理模型,即可解决三者之间的矛盾问题。

3.2 多环境问题综合评价

对大部分矿山,往往会同时存在若干个矿山环境问题,如何对这些矿区整体环境作出综合评价是矿山环境评价的另一个难题。就综合评价而言,我国学者在“上市业绩效”、“现代化体系”和“指标相关性”^[14]等评价中,进行了卓有成效的研究,但这些方法基本上均以确定性数据为主;虽然在“环境”和“地质灾害危险

性的综合评价方面,我国许多学者也作过一些研究,并提出了多指标综合评价等方法^[15]。但这些方法基本上以人为划分为主,在加上各个环境地质问题的不可量化性,因此对环境地质问题综合评价的可信度急剧降低。针对上述不足,本文主要介绍一种突变数评价方法。

所谓突变数即为同等级的矿山环境问题叠加后能达到致灾效果的矿山环境问题的个数。在自然界中,任何一种现象的发生都充分体现着从量变到质变过程的原则,所以在空间操作或专题图层代数叠加运算时,根据频数分布理论确定阈值,只要能找到突变数,就能判断从一个级别跳跃到另一个级别的质变界限,因此突变数法能够较客观地对矿山多环境问题作出综合评价。

4 结论

矿山环境评价是矿山环境问题研究的一个重要环节,矿山环境问题分类和调查是其评价的基础,矿山环境修复和信息系统建设是其评价的后续研究内容,五者之间环环相扣,缺一不可,是矿山环境研究的 5 大内容之一。

根据评价的环境要素,矿山环境评价可划分为单环境问题(要素)评价和多环境问题(要素)综合评价两大类。

参考文献:

- [1] 武强,李云龙,董东. 矿山环境地质调查技术要求研究[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(2): 97 - 100.
- [2] 武强,薛东. 矿山土地复垦方法类型划分研究[J].

西北地质, 2003, 36(增刊): 247 - 252.

- [3] 武强. 我国矿山环境地质问题类型划分研究[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(5): 107 - 112.
- [4] 孔德坊. 生活垃圾卫生填埋及地质环境效应概论[J]. 地质灾害与环境保护, 1999, (3): 10 - 14.
- [5] 赵峰华,任德贻. 燃煤产物中有害元素淋滤实验的研究现状[J]. 煤田地质与勘探, 1998, (4): 22 - 26.
- [6] 刘培云,王明建. 浅析煤矸石的自燃机理及燃烧控制[J]. 中洲煤炭, 2000, (5): 37 - 46.
- [7] 濮静娟. 遥感图像目视解译原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [8] 马傅如,程声通. 环境质量评价[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 66 - 68.
- [9] Galvin J M. Subsidence Control in urban environment[J]. Mining Engineering, 1995, (1): 43 - 45.
- [10] Gu X Y, Deng W, Xu D N, et al. Computation of Land Subsidence in Shanghai with secondary Consolidation Effect[C]. Proc of soft soil engineering, 1993. 65 - 70.
- [11] 薛禹群. 我国地面沉降模拟现状及需要解决的问题[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(5): 1 - 4.
- [12] 马宗晋,李闵锋. 自然灾害评估、灾度和对策[A]. 中国减轻自然灾害研究会. 全国减轻自然灾害研讨会论文集[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990. 11 - 19.
- [13] 武强,杨明,董东林. 基于 GIS 与 AHP 耦合技术的土地沙漠化模型研究[J]. 工程勘察, 2003, (2): 30 - 33.
- [14] 李锐,杨勤科,赵永安. 水土流失动态监测与评价研究现状与问题[J]. 中国水土保持, 1999, (11): 31 - 33.
- [15] 宋之杰,高晓红. 一种多指标综合评价中确定指标权重的方法[J]. 燕山大学学报, 2002, (1): 20 - 26.

A review on assessment methods of mining environments

WU Qiang, XUE Dong, LIAN Hui-qing

(Water Resource and Environment Institute, China University of Mining and Echnology, Beijing 100083, China)

Abstract: On the basis of a synthetic assessment of mining environments and five kinds of mining environmental problems, it is put forward in this article that mining environmental assessment can be divided into a single-factor (environmental problem) assessment and a multi-factor (environmental problem) synthetic assessment.

Key words: mining environment; single-problem assessment; multi-problem synthetic assessment