

## 环境工程

## 岩溶地貌矿山地质灾害的特征及防治对策

贺跃光<sup>1</sup> 王江<sup>1</sup> 叶海民<sup>2</sup>

(1.长沙理工大学 长沙 410076; 2.中国人民解放军 92094 部队 广东湛江 524000)

**摘要** 灾害是危及人身、财产、工程或环境安全的事件,地质灾害是自然灾害的大家族。分析我国常见地质灾害的种类及特征,探讨岩溶地貌矿山地质灾害的类型及特点,指出我国目前矿山地质灾害具有种类多,分布广,影响大;潜在灾害隐患突出,且煤炭矿山重于非煤矿山,金属矿山重于非金属矿山;灾害类型与矿山规模、开采方式、矿产类型及所处地域相关等特点,以及矿山地质灾害研究中存在的问题,提出加强工程灾害监测是实现可持续发展战略的保障的观点。

**关键词** 岩溶地貌 矿山 地质灾害

## Characteristics of Mine Geological Disasters in Karst Landforms and the Control Countermeasures

HE Yue-guang<sup>1</sup> WANG Jiang<sup>1</sup> YE Hai-min<sup>2</sup>

(1. Changsha University of Science and Technology Changsha 410076)

**Abstract** Disaster is an event which endangers the security of human life, property, projects or the environment and the geological disaster is one of the most enormous natural disaster. The types and characteristics of the common geological disasters on our country are analyzed, as well as those of the mine geological disasters in karst landforms, and it is pointed out that there are varieties of types, broad distribution and tremendous effects in mine geological disasters at present in our country; the latent disaster is obvious, especially the coal mine is more serious than the non-coal mine and the metal mine is serious than the non-metal mine; the type of disaster related to the scale of mine, the mining ways and the type and location of mine. The problems existed in the research on mine geological disaster are given and it is pointed out that to strengthen the monitoring on the engineering disaster is the guarantee to realize the sustainable development strategy.

**Keywords** karst landforms mine geological disaster

灾害是危及人类人身、财产、工程或环境安全的事件。地质灾害是由不良的地质作用引发的事件,可能造成重大人员伤亡、重大经济损失和环境改变。

随着国民经济的飞速发展,工程地质作用对人类生存环境及工程环境本身的影响与致灾性越来越明显。地质灾害的发育分布及其危害程度与地质环境背景条件(包括地形地貌、地质构造格局和新构造运动的强度与方式,岩土体工程地质类型、水文地质条件等)、气象水文及植被条件,人类经济工程活动及其强度等有着极为密切的关系。

### 1 我国常见地质灾害的特征

我国地质灾害种类很多,按致灾地质作用的性质和发生处所进行划分,常见地质灾害共有 12 类、48 种<sup>[1,2]</sup>。中国地处环太平洋构造带和喜马拉雅构造带交汇部位,太平洋板块的俯冲和印度板块向北对亚洲板块的碰撞使中国大陆承受着最主要的地球动力作用。在印度板块与亚洲板块的碰撞边界上产生了世界上最高的喜马拉雅山脉,并使青藏高原受压隆起,东部因太平洋板块俯冲造成了华北、东北地壳向东拉张,形成华北和松辽沉降大平原。这两种活动构造带汇聚和西升东降的地势反差,形成了中国大地构造和地形的基本轮廓,同时也是我国地质灾害种类繁多的根本原因。

我国位于亚洲大陆东部,濒临太平洋,季风气候显著,具有较明显的纬度和经度分带特征,加上疆域辽阔,地形复杂,具有多种多样的气候类型,暴雨、洪水、干旱、冰雹、霜冻及温差等许多不良气候因素常常成为地质灾害的诱发因素。

### 2 岩溶地貌矿山地质灾害的类型及特点

自然因素和人为因素都可能引起地表沉陷,例如地下空间开挖活动、矿产资源开发、地下工程施工、古溶洞、隐蔽工程、含水层中地下水流失、地层液化、建筑物自重、冲积层中含水量变化、化学物侵蚀作用、地壳移动、古窑老采区、地层滑移、地下水超量开采、陷落柱及淤泥地带等因素<sup>[3-6]</sup>。

#### 2.1 岩溶地貌特征

喀斯特地貌是水对可溶性岩石(碳酸盐岩、石膏、岩盐)进行以化学溶蚀作用为主而形成的地貌,喀斯特地貌亦称岩溶地貌。全球发育有岩溶的地区将近 5 000 万 km<sup>2</sup>,我国岩溶面积超过 300 万 km<sup>2</sup>,占国土面积近 1/3。我国岩溶地貌分布十分广泛,遍及多个省份,但主要集中于广西、云南、贵州等省。岩溶地貌地面上往往崎岖不平,岩石嶙峋,奇峰林立,地表常见有石芽、石林、峰林、溶沟、漏斗、落水洞、溶蚀洼地等形态,而地下则发育着地下河、溶洞。许多岩溶地区还蕴藏着丰富的矿产资源、水力资源、生物资源和旅游资源。岩溶地区多数地质环境脆弱,不少地区出现了水资源的问题。中国南方虽然岩溶地区地下水一般较为丰富,但地表水却相当珍贵和稀缺;北方干旱、半干旱地区,岩溶地下水资源显得更为宝贵<sup>[7]</sup>。

在我国西南地区,岩溶生态系统脆弱,人类活动和工程建设包括对岩溶水的采集、土地利用、大型库坝及水库、深基础的建设等,这些活动对岩溶地区的影响不仅表现在对环境的影响和自然界的改变,而且造成生态、社会的变化。

由于特殊的地质演化过程,岩溶地区往往更频繁地发生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害,出现石漠现象。由于地质和人为因素(采矿和工程)的影响,岩溶地区地下水遭到污染,水源地遭到破坏。

针对岩溶地区的地质灾害和环境污染,进行监测预报手段和技术方法研究,开展岩溶地下水运移和污染的数值模拟和运移规律探索,建立地质灾害和环境污染的监测和预警系统,并在此基础上,提出地质灾害和环境污染防治的措施是十分必要的。

## 2.2 矿业开发与地质灾害

矿业的开发为国民经济的快速持续发展提供重要的原材料及能源物质基础。人类社会的发展,很大程度上依赖矿产资源的支撑,矿产资源的开发主体是矿山企业。目前,我国各类大中型矿山已达9 000余座,资源开采规模居世界第3位。我国现阶段矿山地质灾害呈上升趋势,由于种类多,损失惨重,严重制约着矿业的可持续发展。

矿山地质灾害是指由于人类采矿生产活动而引发的一种破坏地质环境,危及生命财产安全,并带来重大经济损失的矿区灾害。矿山开采开山弃石,加速水土流失,引发地表塌陷、山体滑坡;矿山抽排水造成地下水位下降,矿区周围地下水资源枯竭;地下开采诱发地震、岩爆、冒顶片帮突水、瓦斯爆炸、地面开裂及沉降等;矿山剥离堆土、尾矿废渣堆积引起地表环境污染,露天尾矿库漏塌、排土场失稳滑移造成严重的泥石流灾害等……,这些都是矿山地质灾害的具体表现。我国是矿业大国,又是最大的发展中国家,矿产资源的年消耗量很大。多年的粗放式矿业开发,导致大部分矿山地质环境形势严峻,部分矿区呈现加速恶化态势,而社会经济的快速增长对资源的需求更是与日俱增。市场经济使部分矿山片面追求经济效益,安全和环保意识淡化,加之开采技术及生产设备的相对落后及矿区周边大量无序的民采等多重因素的干扰,导致矿山多年开采积聚的灾害隐患爆发,开采环境明显恶化,矿山地质灾害问题日趋严重,潜在的致灾隐患不断增多,且随时可能发展成灾,造成人员伤亡、设备报废、设施损毁甚至矿井关闭、资源浪费等严重后果。

## 2.3 矿山地质灾害特点及诱因分析

(1)种类多,分布广,影响大。据初步统计,全国因采矿引起的塌陷有180多处,塌陷坑1 600个,塌陷面积1 150 km<sup>2</sup>。全国发生采矿塌陷灾害的城市近40个,造成严重破坏的25个。因露天采矿、开挖和各类废渣、废石、尾矿堆置等直接破坏与侵占的土地已达14~20万 km<sup>2</sup>,并以每年200 km<sup>2</sup>的速度增加。

(2)潜在灾害隐患突出。单以采空区为例:大厂矿区超过450万 m<sup>3</sup>,铜陵狮子山矿达250万 m<sup>3</sup>,厂坝铅锌矿、水口山铅锌矿、湖南锡矿山等都存在此类隐患。

(3)按矿山类别分,煤炭矿山重于非煤矿山,金属矿山重于非金属矿山。一般煤矿规模较大,开采深度和采空区相应也大,致使地层应力失去平衡,产生地面塌陷、地裂缝或岩爆等灾害,另外,煤矿的涌水和瓦斯的危害更是触目惊心。而金属矿山虽然多数地处偏僻,灾害影响和后果不如煤矿那么

严重,但以地下开采居多,仅矿井涌水和尾矿库对地表水体及植被土壤的污染,就比非金属矿山严重得多。

(4)灾害类型与矿山规模、开采方式、矿产类型及所处地域相关。一般来说,露天矿山灾害类型多为水土流失、排土场(山体)滑坡、泥石流、边坡坍塌等。地下开采受采空区影响,灾害类型多为地面塌陷、地裂缝、冒顶、岩爆、突水、瓦斯、地表水土污染、尾矿泥石流以及矿井抽排水导致的近地表水源枯竭等。矿山地质灾害诱发因素各不相同,有些是开采过程中难以避免的,如开采深度的增加,使得地应力相应增大引起冒顶、片帮、脱盘甚至岩爆的严重地压灾害;有的是开采中忽视预防或开采不规范、管理不科学导致的,如采空区不及时充填、废渣废水随意排放、水文地质及构造不了解,巷道偏离,盲目指挥,违章作业,私挖乱采等,有的矿山片面追求经济利益或为摆脱一时的经营危机,摒弃常规,如采富弃贫、求近避远,结果为后期发展埋下灾害隐患;曾一度泛滥的民采风潮掠夺式的开采活动也对部分国有大中型矿山造成严重干扰和资源、环境破坏。

## 2.4 矿山地质灾害研究中存在的问题

开展矿山地质灾害的研究工作,掌握其现状和发展趋势,对灾害进行分类,研究其防治措施,建立政府和主管部门的科学防灾决策系统,对促进我国矿山的可持续发展以及整个国民经济的持续、稳定发展具有重要意义。我国煤炭行业对煤矿开采引起的地质灾害问题,进行过详细的普查与研究,如对地表塌陷灾害的研究,取得了较好的效果。而其他行业针对影响矿山生产安全的一些具体问题,从技术角度进行分析研究,比如地表岩移规律研究,地下采场冒顶、片帮、岩爆及露天边坡稳定性研究等,已取得大量成果,为确保矿山的安全生产起到了重要作用。但存在以下问题<sup>[8,9]</sup>:

(1)矿山地质灾害的研究尚未纳入国家防灾减灾体系,研究大多是基于一个行业或一个企业范围内,只是针对单个或几个问题从技术和安全生产角度给予解决,缺乏系统化。

(2)对矿山地质灾害的灾情没有全面详细普查,尚未建立全国性的矿山地质灾害信息库,更谈不上对灾情的综合分析、评价及预报。

(3)多数矿山企业在出现问题时,都很积极地与相关科研机构合作,对灾害进行研究,一旦问题暂时解决,就不再深入研究。使得矿山灾害的研究多为短期行为,缺乏长期性,以致研究资料不连贯,利用价值不高。

(4)矿山生产属高风险行业,灾害的防范需投入大量资金和人力物力,却没有直接经济产出,在不发生灾害性事故时,其经济效益往往是看不到的,这就使得长期以来人们宁愿灾后治理也不愿预先防范。

## 3 矿山地质灾害的防治对策

愈演愈烈的矿山灾害、大量潜伏的灾害隐患、日渐恶化的矿山环境说明矿山地质灾害的防治必须上升到政府监管的高度。政府主管部门要加大对矿山环境与灾害源的监管与治理力度,防止新的隐患发生。矿山企业要规范开采行为,合理开发矿产资源,处理好短期经济利益和长远发展的关系,将防灾减灾工作始于矿山设计并延续到闭坑之后。注

重矿山地质灾害的防治,将其列入矿业领域的基础性研究,把矿山灾害、环保、安全生产统一起来。灾害研究要充分依靠科技进步,采用高新技术,研究灾害的发生机制,建立灾害的监测、预报和评估信息系统。

### 3.1 地质灾害与可持续发展战略

中国是世界上地质灾害最为严重的国家之一。国土资源部 2004 年提供的数字显示,崩塌、滑坡和泥石流的分布范围占国土面积的 44.8%,仅华北、华东地区的煤矿区采空塌陷每年就达 10.5 万亩。全国已有 40 多个大中城市出现较为严重的地面沉降灾害;地裂缝已在 17 个省(区、市)200 多个县(市)发现 400 多处。各类地质灾害平均每年造成 1 000 多人死亡,经济损失上百亿元。尤其值得注意的是,近年来由于各种不合理人类工程活动诱发的地质灾害呈现出明显增长的趋势。

例如,湖南省是我国工程灾害比较严重的省份之一。其大规模的经济建设和工程,对地质环境破坏剧烈,引发了大量的工程灾害,已日益成为多种地质灾害的诱发因素。据有关资料统计:在人类活动集中区,95% 以上的地质灾害都与人为活动因素有关,而湖南省人为诱发滑坡和崩塌的主要因素有边坡坡角开挖、矿产开发及修筑交通道路和水利水电工程等<sup>[10,11]</sup>。

全国共发生较大型崩塌 3 000 多处、滑坡 2 000 多处、泥石流 2 000 多处,中小规模的崩塌、滑坡、泥石流则多达数 10 万处。全国有 350 多个县的上万个村庄、100 余座大型工厂、55 座大型矿山、3 000 多 km 铁路线受崩塌、滑坡、泥石流的严重危害。我国有 24 省、区、市发现岩溶塌陷灾害,岩溶塌陷总数近 3 000 处,塌陷坑 3 万多个,塌陷面积 300 多 km<sup>2</sup>。据统计,20 世纪 80 年代末至 90 年代初,每年因地质灾害造成 300~400 人死亡,经济损失 100 多亿元,20 世纪 90 年代中期以来,每年造成 1 000 人死亡,经济损失高达 200 多亿元。

中国是世界上人口最多的国家,近几十年来经济的高速发展和人口的过快增长,对自然的索取也不断加重,对自然环境的干扰也愈来愈强烈。不合理的人类经济工程活动使得地质灾害的发育日趋加剧。在东、中部地区,由于大量抽取地下水和大规模开采矿产资源(包括油气资源),导致地下水平衡条件破坏和岩土构造应力状态发生变化,诱发并加剧了地面沉降,地面塌陷,地裂缝,土地盐渍、沼泽化、崩、滑、流等地质灾害的发育和危害。在西部地区,由于超量开发土地、草原、森林和水资源,加速了水土流失,土地沙化等灾害的发展,使崩塌、滑坡、泥石流等灾害随之增多。

从“成灾”的角度看,中国地质灾害的区域变化具有比较明显的方向性,即从西向东、从北向南、从内陆到沿海地质灾害趋于严重。这是因为虽然不同类型、不同规模的地质灾害几乎覆盖了中国大陆的所有区域,但由于人类活动和社会经济条件的差异,使不同地区地质灾害的发育程度和破坏程度显著不同。东部和南部地区,人类活动频繁而又剧烈,区内人口稠密,城镇及大型工矿企业、骨干工程密布,因而,一旦发生地质灾害则损失惨重,而且人类经济工程活动加剧了地

质灾害的发生与发展。而西部北部地区,虽然地质灾害分布十分广泛,但大部分地区人口密度稀,经济发展程度低,所以危害和破坏程度相对较低。调查表明,在人口密集,工业发达地区,地质灾害正由自然动力型向人为动力型发展,由点状向带状、树枝状、片状发展。

值得提出的是,我国的经济建设活动正在由东向西、由南向北、由沿海向内地深入展开,西部大开发战略已经起步。必须引起高度重视,要处理好“发展经济与保护地质环境”的关系。

### 3.2 加强工程灾害的监测是实现可持续发展战略的保障

可持续发展战略的核心是经济发展与保护资源、保护生态环境的协调一致,是为了让子孙后代能够享有充分的资源和良好的自然环境。可持续发展是一个长期的战略目标。在传统增长到可持续发展的转变时期,最近几代人的努力是关键。美国垦务局认为,使用观测仪器和设备对建筑物及地基进行长期和系统的监测,基于以下 5 个方面的需要<sup>[12,13]</sup>:①诊断的需要。包括验证设计参数改进未来的设计;对新的施工技术优越性进行评估和改进;对不安全迹象和险情的诊断并采取措施进行加固;验证建筑物运行处于持续良好的正常状态。②预测的需要。运用长期积累的观测资料掌握变化规律,对建筑物的未来性态作出及时有效的预报。③法律的需要。对由于工程事故而引起的责任和赔偿问题,观测资料有助于确定其原因和责任,以便法庭作出公正判决。④研究的需要。观测资料是建筑物工作性态的真实反映,为未来设计提供定量信息,可改进施工技术,利于设计概念的更新和对破坏机理的了解。⑤变形机理研究。研究确定所获数据的分析、判定方法。研究确定变形预警预报值,在前述数据处理方法的基础上,建立监测数据管理体系,完善灾害预警预报体系,并提出相应的工程安全措施。

2004 年 3 月 1 日起施行的《地质灾害防治条例》是我国第一部有关灾害防治的行政法规。条例确立了“自然因素造成的地质灾害,由各级人民政府负责治理;人为因素引发的地质灾害,谁引发、谁治理”等重要原则,同时规定了地质灾害调查、预报等 5 项主要的法律制度。明确规定,在地质灾害易发区进行工程建设,必须进行地质灾害危险性评估,可行性研究报告未包含地质灾害危险性评估结果的,将不被批准建设。违者将受到法律追究。

适应灾害的发生是人们在一定的科研基础上,充分认识灾害的出现、发生、发展规律,有针对性地减少灾害的损失。因此,适灾与减灾二者相辅相成,减灾侧重于经济角度,而在工程建设规划设计中,适灾是对工程结构减灾设计的补充与扩大,减灾是适灾设计所要达到的最终目的。

#### 参考文献

- [1]何继善. 防灾减灾的理论与实践. 长沙:中南工业大学出版社, 2001.
- [2]国土资源部国际合作与科技司,国土资源部信息中心. 2003 国土资源部科技发展报告. 北京:地质出版社, 2003.
- [3]朱建军,贺跃光,曾卓乔. 变形测量的理论与方法. 长沙:中南大学出版社, 2004.

(下转第 24 页)

表2 某天 BOD、COD 测定结果

测定时间	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	0:00	2:00	4:00
COD	177	231	226	276	272	323	313	199	93
BOD	53	68	66	86	83	102	94	61	31

以 COD 为横标  $x$ , BOD 为纵标  $y$ , 假定直线方程为  $y = ax + b$ , 进行线性回归 (见表 3):

表3 线性回归

$x$	$y$	$xy$	$x^2$	$y^2$
177	53	9 381	31 329	2 809
231	68	15 708	53 361	4 624
226	66	14 916	51 076	4 356
276	86	23 736	76 176	7 396
272	83	22 576	73 984	6 889
323	102	32 946	104 329	10 404
313	94	29 422	97 969	8 836
199	61	12 139	39 601	3 721
93	31	2 883	8 649	961
$\Sigma$	2 110	644	163 707	536 474

$$a = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = 0.304 4$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} = 0.21 \quad r = \frac{L_{xy}}{\sqrt{L_{xx}L_{yy}}} = 0.990 8$$

可以看出, 城市综合污水的 BOD 与 COD 之间的线性关系非常密切。则直线方程为  $y = 0.304 4x + 0.21$ , 见图 1。

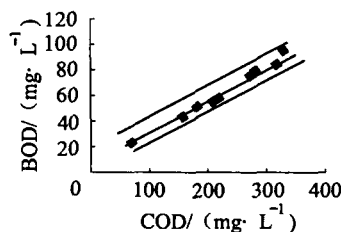


图1 BOD与COD的相关曲线

#### 2.4 离差分析<sup>[3]</sup>

要得到 BOD 的预报区间, 首先计算回归方程的剩余标准差  $S$ ,  $S$  可以作为排除 COD 的作用后, 所有偶然因素对 BOD 的一次观测值所引起的离差估计,  $S$  越小, BOD 的预测越精

确, 根据误差的常态分布原理, 可以在图 1 上给出 2 条平行于回归直线的直线, 即:

$$y_1 = ax + b + 2s \quad y_2 = ax + b - 2s$$

根据误差分布原理, 约有 95% 以上的点会落在这 2 条直线所夹的范围内, 由此可以估计 BOD 值的误差范围。

$$S = \sqrt{\frac{(1-r^2)L_{yy}}{n-2}} = \sqrt{\frac{(1-0.9908^2) \times 3914}{9-2}} = 3.2$$

$$\text{所以, } y_1 = 0.304 4x + 6.8 \quad y_2 = 0.304 4x - 6.2$$

即有 95% 的把握可以认为, BOD 与 COD 的相关性在  $y_1$  与  $y_2$  两直线所夹的范围内。据此可以根据 COD 推算出 BOD, 并做出准确度为 95% 的区间估计。

#### 3 结论与讨论

根据上面的实验内容, 可以得出以下结论: ①城市综合污水中 BOD 与 COD 有密切的相关性, 这种相关性适用于以煤工业为主的城市, 但各城市可能会有些细微的差异。②在正常情况下, 测出 COD 后, 根据线性回归方程及置信  $y_1$  和  $y_2$  图形, 可以估计出 BOD, 从而根据污水处理厂的处理负荷决定污水提升量, 达到良好的日常管理目的。③该污水可生化降解度明显偏低, 主要是由于工业废水混入的结果, 因此应该将不利于生化降解的工业废水单独处理, 以提高城市污水处理厂的处理效率, 降低运行成本。作为污水处理厂应该努力驯化出适应该污水的微生物, 增加作用强度和反应时间, 以加大对 N、P 的降解程度。

#### 参考文献

- [1] 平顶山市环境公报. 平顶山日报, 2005-6-5.
- [2] 国家环保局. 水和废水监测分析方法. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.5.
- [3] 赵勇, 等. 城市污水中电导率与 COD 相关性分析. 重庆环境科学, 2003, 25(2): 36-38.

作者简介 韦连喜, 男, 1963 生, 河南平舆县人, 1984 年毕业于河南师范大学环境科学与工程系, 副教授, 主要从事环境分析、监测方面的教学和研究工作, 已发表论文多篇。

(收稿日期: 2006-07-25)

(上接第 27 页)

- [4] 朱家桥. 程潮铁矿东区地质灾害浅析. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(5): 592-597.
- [5] 胡厚田, 等. 边坡地质灾害的预测预报. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
- [6] 戴塔根, 刘悟辉, 等. 环境地质学. 长沙: 中南大学出版社, 2000.
- [7] 张卫, 覃小群, 易连兴. 滇黔桂湘岩溶水资源开发利用. 北京: 中国地质大学出版社, 2004.
- [8] 张锦瑞, 王伟之, 李富平, 等. 金属矿山尾矿综合利用与资源化. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [9] 谢谟文, 蔡美峰. 信息边坡工程学的理论与实践. 北京: 科学出版社, 2005.

- [10] 杨顺泉, 杨培森, 等. 湖南地质灾害. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2000.
- [11] 林宗元. 岩土工程勘察设计手册. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996.
- [12] 二滩水电开发有限责任公司. 岩土工程安全监测手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [13] 杜伟平. 隧道开挖地质灾害规律与防治对策研究. [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2001. 11.

作者简介 贺跃光, 1966 年生, 男, 湖南桃江人, 教授, 博士。

王江, 1983 年生, 男, 湖北咸宁人, 硕士研究生。

(收稿日期: 2006-01-10)