

矿山泥石流特点及其防灾减灾对策

徐友宁^{1,2}, 何芳¹, 张江华¹, 陈华清^{1,2}, 徐冬寅^{2,1}, 杨敏^{1,2}, 乔彦军^{1,2}

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054 2. 长安大学资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 矿山泥石流的形成机理、演化过程与自然泥石流存在着差异。有关矿山泥石流的系统研究尚处于初始阶段, 研究成果较少。研究总结矿山泥石流的形成条件、致灾特点, 对于矿山泥石流的防灾减灾具有重要的科学研究意义和实际应用价值。矿山泥石流是矿山最常见、危害最严重的地质灾害类型之一。矿产资源开发活动过程中不合理排放的废石渣是矿山泥石流形成的主要固体物源。废石型泥石流、尾矿型泥石流是矿山最主要的泥石流类型。矿山泥石流具有人为性、频发性、污染性可控性等特点。开展矿山泥石流隐患调查评价, 研究矿山泥石流形成机理, 落实新建矿山“灾评”及“方案”编制制度, 实施废渣的减量化生产与资源化利用, 选好固体废渣物堆放场所, 做好拦渣围挡措施等矿山泥石流综合治理等措施, 可以避免泥石流的发生与危害。

关键词: 矿山泥石流; 废石型泥石流; 尾矿型泥石流; 研究现状; 减灾对策

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

矿山泥石流是山区开发矿产资源过程中废石渣堆放引发形成的人工泥石流。开发矿产资源在促进山区社会经济发展的同时, 修筑道路、修建工业场地、露天剥采及井下开采等过程中, 排放的废石渣堆积在山坡上及沟谷中, 破坏及与压占土地植被, 造成或加剧水土流失, 恶化生态环境。在强降雨、水库溃决、冰雪消融等水动力激发下形成矿山泥石流。大多数情况下, 形成矿山泥石流的固体物质来源于采矿过程中排放的废石渣, 由于废石渣的特点, 矿山泥石流的形成与防治有别于自然泥石流或其他人工泥石流。相对于自然泥石流, 目前矿山泥石流的系统研究尚处于初始阶段, 多偏重于矿山泥石流个案研究^[1-4]、矿山泥石流形成、评价及防治对策^[5-6], 有关矿山泥石流^[7]形成机理的研究报道较少, 尚无全国性矿山泥石流综合性研究成果。本文试图总结我国矿山泥石流的形成条件、类型、特点及防灾减灾对策, 旨在为矿山泥石流地质灾害防治工作提供参考价值。

1 矿山泥石流及其危害

1.1 矿山泥石流形成条件

矿山泥石流是山区特有的一种地质灾害, 往往是构造、地形地貌、气象水文、植被等自然因素和人类工程活动因素共同作用的结果^[5]。其形成条件与一般泥石流一样, 须具备高陡的地形地貌、强降雨或其他水动力激发条件及丰富而松散的固体物源等三个基本条件, 故而山地丘陵区必然是泥石流的易发区。我国除油气、砖瓦粘土以外, 绝大多数金属矿产、非金属矿产产于山区, 因而山区矿山泥石流是在具备地形高差、强降雨条件下因矿产资源开发引发和加剧的人工泥石流。矿山筑路、工业场地修建、采矿及选矿等矿业活动过程中, 排放的废石渣、尾矿沙为矿山泥石流形成提供了丰富而松散的固体物质, 矿山泥石流成为山区最常见、危害最严重的地质灾害类型之一。

矿山泥石流虽然形成、运动、堆积过程具有自然

收稿日期 (Received date): 2010-11-25; 改回日期 (Accepted): 2010-01-27.

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (40872208), 国土资源调查项目 (1212010741003). [Supported by China National Science Foundation (40872208), National Science Research Item (1212010741003).]

作者简介 (Biography): 徐友宁 (1963-) 男, 博士, 研究员, 主要从事矿山地质环境调查与研究。[Xu Youning (1963-), male, Han Nationality, born in Xi'an, Shaanxi, P.H.D. major in research on mine geological environment.] E-mail: xsdzhy@schu.com

泥石流的共性特征外,但与自然泥石流的最大差异在于构成泥石流的固相物质的来源不同。矿山泥石流物源主要来自于矿产资源开发过程中排放的废石弃渣,是人为堆积的,具有聚集速率快,堆积集中,呈现数年甚至几十年持续不断的堆积过程,其规模取决于矿产资源开发活动的强度及规模;自然泥石流的物源取决于自然过程,物源形成的速率相对缓慢,补给相对分散(除山崩、滑坡提供的物源外),规模取决于面蚀和沟蚀的强度。

矿产资源开发不合理地堆放废石渣于沟脑、坡面和沟谷河道边,挤占沟床,堵塞河道,造成行洪不畅,加大了沟床的纵坡降比,为泥石流形成提供了丰富的松散物质,加剧了矿山泥石流的发生、发展与危害,导致矿业开发前非泥石流沟或低频泥石流沟变成了泥石流沟或演变为高频泥石流沟;或矿山开发前所在的沟谷本身就是泥石流沟,矿业开发废石渣堆放加剧了泥石流的发生与发展。本文所指的矿山泥石流是指矿产资源开发废石渣堆放引发的人为泥石流^[8],包括采矿废石渣形成废石型泥石流和尾矿渣形成的矿山泥石流。

1.2 矿山泥石流的类型

泥石流按其形成因素包括了自然泥石流和人工泥石流。由于矿山泥石流的形成、发展与消亡过程,始终是在矿产资源开发活动下进行的,故属于人为泥石流或人工泥石流^[1-3]范畴。而“人工泥石流”可包含人类的多种活动形成的泥石流,如水利水电工程、山区城镇建设、交通建设等引发的泥石流。

按照矿产资源开发过程中提供的固相物质的类型,矿山泥石流可分为采矿过程中排放的废石形成的废石型泥石流、选矿过程中排放的尾矿沙形成的尾矿型泥石流,以及矿山崩塌滑坡堆积物形成的崩滑型泥石流。矿山泥石流的规模及频发程度取决于矿业活动过程中排放的废渣量的多少、持续堆排时间。依据矿山泥石流形成后的流体性质,矿山泥石流可分为粘性泥石流、过渡性泥石流和稀性泥石流;采矿排放的废石渣性质及颗粒级配决定着矿山泥石流的类型。以固相物质组成,矿山泥石流可分为水石流、泥石流和泥流。矿山水石流主要形成于与花岗岩类、碳酸岩类以及坚硬的变质岩类岩石分布有关的矿区,如小秦岭金矿区;而在泥岩类、砂质泥岩类等沉积岩以及片岩、千枚岩等软岩性变质岩矿区,则为泥石流类型,神府煤田矿区采矿弃渣主要为粉砂岩、泥岩,故形成了泥石流^[7]。

依据泥石流形成场所的地貌形态,矿山泥石流可分为山坡型(坡面)泥石流、沟谷型泥石流和河谷型泥石流。以激发的水动力条件,矿山泥石流可分为降水型泥石流、冰雪融水型泥石流和溃决水型泥石流(水库、尾矿库、堰塞湖、高山冰湖、崩塌滑坡堵塞沟谷河道等)。降水型泥石流是矿山防灾减灾的重点。

1.3 矿山泥石流危害

泥石流以其暴发突然,来势凶猛,冲击力强,冲淤变幅大,主流摆动速度快等特点,以冲刷、冲击、淤埋等方式表现出巨大的危害性。由于矿山所在的山区多为狭长沟谷,矿山工业场地及人员多分布于矿山泥石流流经的区域,因此,矿山泥石流发生后,往往造成重大人员伤亡和矿山经济损失(表1、表2)。我国历史上部分废石型泥石流灾害见表1。

尾矿库是金属矿山重要工业设施之一,由于山区地形条件所限,山谷型尾矿库的建设往往难以避开居民区,因此矿山尾矿库一旦溃坝,含有大量水分的尾沙沿山谷向下游倾泄形成泥沙流,造成群死群伤的重大灾害。美国克拉克大学公害评定小组的研究表明,尾矿库溃坝事故的危害,在世界93种事故及公害中,名列第18位,仅次于核爆炸、神经毒气、核辐射等灾害,而比航空失事、火灾等其他60种灾害严重。直接引起百人以上死亡的尾矿库溃坝形成的尾矿型泥石流并不新鲜(见表2)。

2 矿山泥石流特点

矿山泥石流与自然泥石流一样,具有形成类型的多样性,发生后同样会造成群死群伤灾难性后果。但因矿山泥石流的形成、演化过程中主要受控于矿产资源开发人为活动的影响,因此矿山泥石流还具有一般泥石流不同的特点。

2.1 人为性

在原沟谷纵坡降、降雨量等形成泥石流基本条件不变的情况下,矿山泥石流的发生与演化受控于矿产资源开发人为活动。采矿排放的松散土石堆积物在陡峻而狭窄的、易于集水集物的沟谷中,加大了沟床纵坡降比,在缺乏有效的拦渣、稳渣护挡及排导工程措施的情况下,人为地为泥石流发生提供了丰富的松散物,使原本非泥石流沟或低频泥石流沟演变成泥石流沟或高频泥石流沟,加剧了泥石流的发生、发展和危害。

表 1 部分废石型泥石流灾害
Table 1 Parts of of mullock-type debris flow

矿山泥石流灾害	发生时间	人员伤亡及经济损失
甘肃阿干镇煤矿区铁冶沟泥石流	1965—07—20	造成 20 多人死亡, 冲毁房屋 280 余间, 直接经济损失 97 万元。
四川泸沽铁矿盐井沟泥石流	1970—05—26	造成 104 人死亡 ^[9] 。
宁夏白芨沟煤矿区泥石流	1982—08—03	10 人死亡, 181 户居民受灾, 经济损失 187 万元。
云南东川铜矿因民矿区黑山沟泥石流	1984—05—27	造成 121 人死亡, 矿山停产半年, 直接经济损失 1 100 万元 ^[10] 。
湖南柿竹园有色金属矿山泥石流	1985—08—24	造成 49 人死亡, 直接经济损失 8 417 万元。
宁夏石嘴山大风沟煤矿泥石流	1988—08—13	28 人死亡, 直接经济损失 300 万元。
四川甘洛县铅锌矿泥石流	1990—07	造成 34 人死亡, 18 人受伤。
新疆拜城县铁列克煤矿泥石流	1992—07—01	造成 15 人死亡, 直接经济损失 1 100 万元。
小秦岭金矿区陕豫接壤的西峪泥石流	1994—07—11	死亡 51 人、失踪上百人, 直接经济损失上亿元。
陕西潼关金矿区东桐峪泥石流	1996—08—15	冲毁各类房屋 15 间, 金矿石 20×10 ⁴ t 直接经济损失 340 万元 ^[5] 。
河南洛阳嵩县金矿祁雨沟泥石流	1996—08	造成 36 位职工死亡, 冲毁房屋 500 间, 汽车 16 辆, 冲走金精粉 56 t 经济损失 1 260 万元。
甘肃酒泉镜铁山铁矿区黑沟泥石流	1999—08—04	造成矿山厂区被淹, 直接或停产误工等经济损失高达 8 000 万元 ^[8] 。
云南东川铜矿因民黑山沟滑坡泥石流	2002—07—09	造成 29 人死亡, 经济损失严重, 导致矿山破产 ^[10] 。
重庆南桐东林煤矿滑坡泥石流	2004—06—05	煤矸石山滑坡形成矸石流造成 11 人失踪死亡。

表 2 尾矿型泥石流灾害事件
Table 2 Hazards of tailing debris flow

尾矿库溃决型泥石流	时间	造成的人员伤亡及经济损失
云南锡业公司火谷都尾矿库溃坝	1962—09—26	造成 71 人死亡。
湖南柿竹园有色矿牛角垄尾矿库溃坝	1985—08—25	造成死亡 49 人 ^[10] 。
安徽黄山铁矿金山尾矿库坝体溃决	1986—04—30	造成死亡 19 人, 伤 95 人。
湖北大冶龙角山铜矿尾矿库溃坝	1994—07—13	造成 31 人死亡失踪。
国内 广西南丹大厂鸿图尾矿库溃坝	2000—10—18	2 m 多高的废砂龙头把行驶的车辆及行人卷得毫无踪影, 上百座民房顷刻被毁, 28 人死亡 ^[11] 。
陕西镇安黄金矿业公司尾矿库溃坝	2006—05—30	20×10 ⁴ m ³ 含有氰化物的矿渣泥流倾泻而下, 造成坝下 17 人死亡, 冲毁房屋 76 间。
辽宁海城西洋鼎洋矿业有限公司 5 号尾矿库溃坝	2007—11—25	54×10 ⁴ m ³ 尾矿下泄, 失踪死亡 16 人, 39 人受伤。
山西襄汾新塔矿业公司铁矿尾矿库溃坝	2008—09—08	造成 271 人死亡。
地震引发智利某铜矿溃坝	1965	造成 210 人死亡。
赞比亚某铜矿和南非某铂矿溃坝	1970 1974	造成 100 人丧生。
国外 美国布法罗尼河矿尾矿坝溃坝	1972—02—26	造成 125 人死亡, 4 000 人无家可归。
意大利普瑞皮尔尾矿库溃坝	1985—07	造成 250 人丧生。

2.2 频发性

在地形高差、植被盖度、降雨等条件不变的情况下, 泥石流沟的活动性受控于固体物质补给程度。通常情况下, 一次自然泥石流发生后, 原有物质被搬运出集水区外, 沟谷中泥石流物源的形成需要几十年甚至上百年时间, 沟谷就很难再形成泥石流^[12]。但是在矿山, 一次泥石流过后, 只要采矿活动不停

止, 采矿的废石渣又会持续不断地、速聚堆积在沟坡中, 为泥石流再发生提供新的物源。加之, 采矿废石渣的凝聚力和内摩擦角小, 抗冲能力减弱, 在采矿爆破、矿震、采空塌陷、地震等影响下, 导致激发泥石流形成的降雨量限值降低。因此, 山地矿山成为泥石流的易发区和频发地。如西北地区同一矿山发生 2 次泥石流的有 23 处, 3 次的有 7 处, 4 次的有 4 处。

宁夏汝箕沟煤矿区先后于 1997—08—13、1998—05—20、2002—06—07 发生泥石流,共造成 8 人死亡,直接经济损失 4 000 万元、2.4 km 导洪堤被毁、沿沟两侧高压电线杆全部倾倒、293.33 hm²^[8]。

2.3 污染性

山地金属矿山采矿排放的废石、贫矿及尾矿渣中,通常含有汞、铅、镉、砷、铜、锌等重金属元素,因此废石渣型泥石流,特别是尾矿沙型泥石流,除具一般泥石流冲毁淤埋等致灾作用外,还会污染河流、造成水源地污染,引发重大社会问题。

2.4 可控性

由于矿山废石渣、尾矿沙是导致矿山泥石流形成的主要松散物质,因其堆积位置、数量是确定,即矿山泥石流形成的地点是明确的,其危及对象就是此地段下游流通区、堆积区内的矿山设施及人员。因此,与一般泥石流的区别在于矿山泥石流的防治重点在于源头预防。选择合理的堆渣场所,修建拦渣稳渣挡墙、废渣场地排水排导等工程措施;控制采空塌陷区山体的稳定性,减少崩塌、滑坡堆积物成为泥石流的物源。通过控制矿山泥石流的物源,就能达到控制和减轻矿山泥石流的发生及其灾害损失。

3 我国矿山泥石流时空分布

截止 2005 年底,我国内地 31 个省区矿山地质环境摸底调查^[13-15]表明,1958~2005 年间,我国矿山发生废石型泥石流 609 次(不包括尾矿型泥石流),造成 680 人死亡。其中,特大及大型泥石流地质灾害 59 次,中型 447 次,小型 105 次。在 609 次矿山泥石流中,9 764 处金属矿山发生过 203 次泥石流,占矿山泥石流的总数的 33.3%,发生率为 20.8%;26 125 处煤矿发生了 231 次,占其总数的 37.9%,发生率为 8.8%;非金属矿山发生泥石流

174 次,占总数的 28.6%,发生率为 2.3%。

图 1 显示,1994 年后我国每年矿山泥石流发生次数显著增高,平均每年超过了 10 次。尤其是进入 21 世纪以来,矿山泥石流年均在 30 次以上,2004 年达到极值,为 58 次。1990 年代中期以后,大矿小开、一矿多开现象突出,矿山数量急剧扩涨,废渣随意排放,破坏植被,水土流失加剧,山地矿山生态环境急剧恶化,因而导致矿山泥石流呈现高发态势。典型的如小秦岭金矿区,1994 年发生失踪死亡上百人的矿渣型泥石流后,此后接连在陕西东桐峪、潼峪,河南的大湖峪等多条金矿开采峪道内发生废石型泥石流。调查表明,小秦岭金矿区 18 条峪道均是因采矿废石渣堆排而形成了泥石流隐患沟,泥石流隐患的危害日趋严重^[14 15]。

图 2 显示,中西天山、祁连昆仑山、贺兰山、秦巴山地、川西高原、云贵高原、湘南粤北赣南等山地丘陵地区,是我国矿山泥石流的高易发区带。这与我国区域性泥石流高易发区分布一致,即在原本具备发生泥石流山区,矿产资源开发活动加剧了泥石流的发生与危害。

4 矿山泥石流的研究现状

4.1 国内外泥石流研究现状

有关泥石流研究最早始于 19 世纪中叶。20 世纪 30 年代以前,泥石流研究以线路调查及宏观工程防治为主;1930~1970 年代,是认识泥石流区域分布规律、实地设立观测站,进行观测资料累积阶段;1970~1990 年代,是以泥石流模型试验和人工泥石流试验为研究方法的泥石流动力学和运动学机制研究期;20 世纪 90 年代以来,是全面开展泥石流系统预测预报,综合治理的全新时期,以多学科、多方位、多手段的观测及模型试验进行研究。

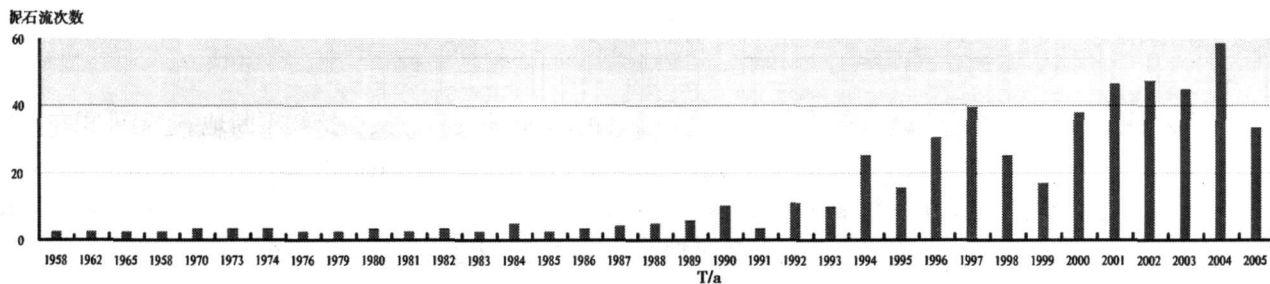


图 1 1958~2005 年间年矿山泥石流发生次数

Fig 1 Frequency of mine debris flow between 1958 and 2005

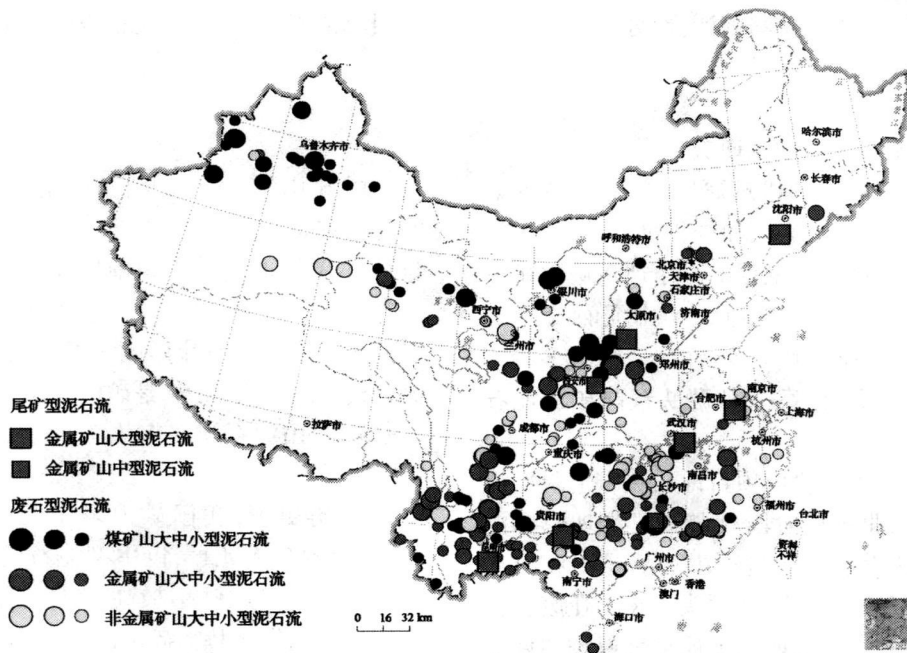


图 2 1958~2005年我国矿山泥石流分布图

Fig 2 Distribution map of mine debris flow in China between 1958 and 2005

泥石流的形成是泥石流研究的核心问题,也是泥石流灾害防治的理论基础。科学合理的泥石流防治方案和减灾技术是建立在正确了解泥石流形成的基础上^[13]。由于影响和控制泥石流形成、运动及其堆积过程的因素复杂,目前国内外有关泥石流的研究尚需不断深入探索和完善,对泥石流从发生到结束的不同阶段和过程的机理的了解还不够,所以对泥石流的风险评估、预报、治理和危险区划不是很有效。

4.2 矿山泥石流研究内容及方向

矿山泥石流研究属于泥石流学研究的范畴之内,其形成条件、发生与堆积过程除了具有共性的一面外,有其特殊性一面。因此矿山泥石流研究除了继承传统泥石流的研究内容、方法外,更为重要的是增加了人为地质作用和矿山地质环境保护的内容,将自然因素和人为因素有机结合,将矿产资源开发与地质环境保护有机结合,突出矿山泥石流研究的应用价值。至今为止矿山泥石流研究的关注程度远远不及自然泥石流,处于较低的研究水平,深度不够、系统性更欠缺^[16]。因此,矿山泥石流研究在遵循区域地质环境调查、矿山泥石流沟定位观测、形成模式(概念模型、物理模型、数学模型)、形成机理、监测预报、风险评估与综合防治的基础上,采取信息获取法、野外实地观测法、模拟实验法、数学模型法

及综合分析法等开展矿山泥石流调查研究工作。需要着重开展以下几个方面工作:

1. 矿山泥石流特点、形成条件与分布规律;
2. 矿山泥石流成灾规律及灾情(风险)评估;
3. 矿山泥石流形成机理;
4. 矿山泥石流防治技术及其模式;
5. 尾矿沙泥石流成灾规律及防治模式。

5 矿山泥石流防灾减灾对策

由于矿山泥石流属于人为泥石流的范畴,与自然泥石流的差异最大在于物源来源的差异,而矿山泥石流一旦发生,其防治技术与自然泥石流没有大的差异。因此要控制和减少泥石流的发生,重点在于从源头预防,重点环节和关键技术在于控制矿山泥石流形成的固相物源数量、堆积场所及其稳定性,以及采空区及其山体斜坡的稳定性达到减少山崩、滑坡的堆积物。

5.1 矿山泥石流隐患沟调查评价

由于历史认识原因,我国山地矿山缺乏有效的地质环境防治工作,因此矿山存在着较为严重的泥石流灾害及其隐患,目前尚未系统性开展矿山泥石流调查评价工作,制约了矿山泥石流主动预防工作。选择区域性泥石流高发区域,开展矿山泥石流隐患

沟分布、规模、类型、危害的调查评价,分析研究影响和控制矿山泥石流形成、发展的主要因素,为防灾减灾提供基础资料。

5.2 矿山泥石流防治的理论研究

开展矿山泥石流启动机理研究,研究矿渣堆如何启动及其的临界条件,运动和堆积过程等,为矿山泥石流气象预测预报提供依据。对于严重威胁矿业生产及人居生态环境安全的重大矿山泥石流隐患沟,开展降雨预警预报工作。

5.3 落实“灾评”及“方案”,从源头预防矿山泥石流的形成

矿山企业认真落实建设项目地质灾害危险性评估工作,在矿山工业布局阶段就避开或治理原生泥石流沟,在矿山建设和生产过程中选好矿山废石弃渣堆排位置,做好护挡措施,从源头避免矿业废石弃渣成为泥石流物源。落实矿山地质环境保护与恢复治理方案,边开采边治理废石堆。

5.4 废渣的减量化生产与资源化利用,减少形成矿山泥石流的固体物质

优化采矿方案,实施废石弃渣的减量化生产,或废石弃渣不出坑、少出坑,露天坑内排土工艺等。同时,因地制宜开展废石弃渣、选矿尾渣的资源化利用,如用于筑路、墙砖、地面砖等材料,在提高矿产资源综合利用和经济效益的同时,减少废石弃渣数量而达到减少矿山泥石流发生的物源。

5.5 选好固体废渣物堆排场所,做好拦渣护挡措施,减少固体物源成为泥石流物源

在具备矿山泥石流发生的山区,尽可能选择较为开阔平缓、位于历史河水高水位线之上的场地作为废渣堆排场地。如果地形条件所限,不可避免地将废石弃渣堆排在平硐硐口的斜坡上,或沟谷河道边,则必须事先修建废渣堆积场所的拦挡墙、导水渠,减少废石弃渣成为泥石流的物源,减少或消除形成泥石流的物源。

5.6 矿山泥石流隐患沟的综合治理,避免重大灾害发生

对于历史上已经堆积在斜坡上、沟谷中成为泥石流物源的废渣堆,清理占据河道、影响行洪的卡口的废石堆,疏通河道及停淤场。对于斜坡上及沟道边的废石堆,依据实际情况,实施覆土绿化、修建拦渣、稳渣的护坡措施,修建排水渠,减少坡面、山洪对废石弃渣堆的冲击作用。对于存在重大泥石流隐患的发生地点,因地制宜修建谷坊、网格坝、缝隙坝、重

力坝等工程,防止矿山泥石流的发生与危害。

6 结语

1. 矿山泥石流是山地矿山最常见、危害最严重的地质灾害类型之一。矿山泥石流形成机理、演化过程具有自身特点,但目前研究尚处于初级阶段。

2. 矿产资源开发活动过程中不合理排放的废石弃土是矿山泥石流形成的主要固体物源。废石型泥石流、尾矿型泥石流是矿山最主要的泥石流类型。

3. 矿山泥石流具有人为性、频发性、污染性及可控性等特点。

4. 历史上,我国矿山发生废石型泥石流 609 次,导致 680 人死亡,以中型泥石流规模为主,金属矿山泥石流形成频率最高。1994 年后我国矿山泥石流呈现高发态势。矿山泥石流高易发区与区域泥石流分布一致,矿产资源开发加剧了区域性泥石流的发生与危害。

5. 开展矿山泥石流隐患沟调查评价,研究矿山泥石流形成机理,落实“灾评”及“方案”,实施废渣的减量化生产与资源化利用等系列措施,达到防灾减灾的积极作用。

致谢:衷心感谢审稿专家对论文修改提出的宝贵意见。

参考文献 (References)

- [1] Xie Hong You Yong Zhong Dunlun A Typical man-made debris flow in the upper reaches of Chang Jiang river[J]. Mountain Research 1994 12(2): 1259 ~ 1281 谢洪,游勇,钟敦伦.长江上游一场典型的人为泥石流[J].山地研究(现山地学报) 1994 12(2): 1259 ~ 1281
- [2] Zhong Dunlun Yan Runqun Chen Jingji Preliminary study on mine debris flow[A]. In Institute of Geographic Sciences Chengdu CAS Disquisition on Debris Flows(1)[C]. Chongqing Scientific and Technical Documents Publishing House Chongqing 1981: 43 ~ 49 钟敦伦,严润群,陈精日.初论矿山泥石流[A].见:中国科学院成都地理研究所.泥石流论文集(1)[C].重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1981: 43 ~ 49
- [3] Liu Shijian Xie Hong Wei Fangjiang et al A man-caused debris flow in Xiaoping Gold Mining Region[J]. Mountain Research 1996 14(4): 259 ~ 263 刘世建,谢洪,韦方强,等.小秦岭金矿区人为泥石流[J].山地研究(现山地学报) 1996 14(4): 259 ~ 263
- [4] Li Zhaoshu A study on the mud-rock flow disaster in 1994 in the gold mine area of Tongguan Shanxi[J]. Journal of Catastrophology 1995 10(3): 51 ~ 56 李昭淑.陕西潼关金矿区 94' 人工泥石流灾害研究[J].灾害学,1995 10(3): 51 ~ 56
- [5] Chen Tingfang Cui Peng Liu Suhai et al Debris flow disasters

- and mitigation countermeasures in mineral resources exploitation in China[J]. Journal of Engineering Geology 2005 13(2): 179 ~ 182 [陈延方, 崔鹏, 刘岁海, 等. 矿产资源开发与泥石流灾害及其防治对策[J]. 工程地质学报, 2005 13(2): 179 ~ 182]
- [6] Xu Youning Li Yujing Chen Shubin et al. Mullock type debris flow hazards and suggestion for prevention in Tongguan Gold Mine Area[J]. Journal of Mountain Science 2006 (6): 667 ~ 671 [徐友宁, 李育敬, 陈社斌, 等. 潼关金矿区矿渣型泥石流地质灾害特征及防治对策[J]. 山地学报, 2006 24(6): 667 ~ 671]
- [7] Zang Liping Tang Keli Mine Debris Flow[J]. Beijing Geological Publishing House 2001 1 ~ 9 [张丽萍, 唐克丽. 矿山泥石流[M]. 北京: 地质出版社, 2001 1 ~ 9]
- [8] Xu Youning He Fang Cheng Huqing Mine debris flow and its distributing characteristics in northwest China[J]. Journal of Mountain Science 2007 25 (6): 729 ~ 736 [徐友宁, 何芳. 西北地区矿山泥石流分布及特点[J]. 山地学报, 2007 25(6): 729 ~ 736]
- [9] Jian Jiacheng Mine Solid Waste Treatment and Its Resource Utilization[M]. Beijing Metallurgical Industry Publishing House 2007 [蒋家超. 矿山固体废弃物处理与资源化[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007]
- [10] Kan Zhicheng LI Zhuofang Ma Aina et al. Research on Debris Flow of China[M]. Beijing Science Publishing House 2004 1 ~ 62 [康志成, 李焯芬, 马蔼乃, 等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004 56 ~ 59]
- [11] Ge hazard and risk assessment for tailing reservoir[J]. Journal of Guilin University of Technology 2006 26(4): 40 ~ 44 [林玉山, 张卫. 尾矿库地质灾害与危险性评估[J]. 桂林工学院学报, 2006 26(4): 40 ~ 44]
- [12] Cui Peng Liu Suqing Tang Banxia et al. Research and Prevention of Debris Flow in National Parks[M]. Beijing Science Publishing House 2005 25 ~ 48 [崔鹏, 柳素清, 唐邦兴, 等. 风景区的泥石流研究与防治[M]. 科学出版社, 2005 25 ~ 48]
- [13] Xian Institute of Geology and Mineral Resources 1 : 4 000 000 Mine Environmental Geologic Map of China[Z]. 2009 [西安地质矿产研究所. 1 : 400 万中国矿山环境地质图[Z]. 2009]
- [14] Xian Institute of Geology and Mineral Resources Special Investigation on Mine Environmental Geologic Problems of Xiaojinling Gold Mine[R]. 2005 [西安地质矿产研究所. 陕西潼关金矿区环境地质问题专题调查报告[R]. 2005]
- [15] Xian Institute of Geology and Mineral Resources Investigation and Evaluation on Mine Environmental Geologic Problems of Xiaojinling Gold Mine[R]. 2009 [西安地质矿产研究所. 小秦岭金矿区环境地质问题调查与评价[R]. 2009]
- [16] Xu Youning Cao Yanjun Zhang Jianghua et al. Study on the starting of mine debris flow based on the artificial simulation experiment in Xiao Qinling Gold Area[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2009 28 (7): 1388 ~ 1395 [徐友宁, 曹琰波, 张江华, 等. 基于人工模拟试验的小秦岭金矿区矿渣型泥石流启动研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009 28(7): 1388 ~ 1395]

Characteristics and Strategy for Prevention and Reduction of Mine Debris Flow

XU Youning^{1, 2}, HE Fang¹, ZHANG Jianghua¹, CHEN Huaqin¹,
XU Dongyin^{2, 1}, YANG Min^{1, 2}, QIAO Yanjun^{1, 2}

(1. Xian Institute of Geology and Mineral Resources Xian 710054 China

2. College of Earth Science and Resources Chang'an University Xian 710054 China)

Abstract The formation mechanism and evolutionary process of mine debris flows differ from normal ones. The system research of mine debris flow is at its infancy with few achievements. The research has summarized the forming condition and characteristics of mine debris flows with great scientific significance to disaster prevention and reduction. Mine debris flow is a kind of most frequent and dangerous geo-hazards. The main solid resources come from waste rocks discharged and stacked in a disorderly way in the progress of mining activities. Mullock-debris flow and tailing-debris flow are the main types in mine areas and are tend to cause heavy casualty. Mine debris flow is with the characteristics of artificiality, frequency, pollution and controllability. With investigation and evaluation on risk gullies of debris flows, study on its formation mechanism, fulfill the systems of hazard assessment and control plan of new mines and implement waste minimization and utilization can be more realizable. Choosing suitable location to stack solid wastes and taking comprehensive controlling measures such as building debris retaining dam, can lead to avoid occurrence and harmfulness.

Key words mine debris flow; mullock-type debris flow; tailing-type debris flow; research status; disaster reduction measure