

文章编号: 1008-2786-(2019)1-078-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000401

基于弃渣综合利用的矿山泥石流灾害防治新模式 ——以冕宁盐井沟泸沽铁矿为例

陈宁生*, 余德彬

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041)

摘 要:冕宁县盐井沟受泸沽铁矿的开采所影响, 流域内留存有大量矿山弃渣, 在历史上曾造成严重的泥石流灾害。原有的防灾方式主要依靠沟道内修建的导流堤、拦砂坝等工程措施, 但需要政府每年投入大量资金进行沟道清淤, 无法根治灾害。新的防灾模式则通过综合利用泸沽铁矿的弃渣, 在生产建筑砂石料的同时回收其中的铁矿粉, 并利用弃土回填实现复垦和生态改良。上述措施不仅能有效减少盐井沟内松散物源的堆积, 降低地质灾害风险, 同时也能为企业创造利润、增加政府财政收入及促进地居民的就业, 还间接地减少了河道砂石的开采、减轻了对河道生态环境的破坏, 起到了减灾、增收、环保的多重效果。这种循环经济理念下的防灾新模式可试推广至其他受矿渣堆积地质灾害影响的地区。

关键词:盐井沟; 泥石流; 矿山弃渣; 综合利用; 防灾新模式

中图分类号: P642.23

文献标志码: B

我国在开发矿产资源, 获得巨大实惠和财富的同时, 采矿的弃渣也带来了破坏土地资源、诱发地质灾害、污染环境等问题^[1]。这些弃渣不仅严重威胁着矿山的正常生产, 还对人居安全产生威胁。据报道, 我国的矿山尾矿和废石累积堆存量已接近 600 亿 t^[2] 且呈逐年上升之势, 但尾矿综合利用率为仅为 30.7%^[3]。大量堆积的弃渣, 导致地质灾害隐患不断^[4]。例如, 2008 年 9 月 8 日山西襄汾新塔矿业公司铁矿尾矿库溃坝引发泥石流, 导致 271 人死亡。

为处理矿山尾矿, 各地方政府投入了大量资金。例如, 在 2006—2015 年间, 仅四川省就投入了高达 25 亿元对全省 179 个矿山进行治理^[5]。不仅如此, 治理后的尾矿库还需要各地政府每年投入大量人力财力进行管理。而另一方面, 我国大规模的基础设

施建设需要的砂石材料主要来源于河道采砂, 但日益枯竭的河道砂石资源已经明显跟不上建筑行业的旺盛需求^[6], 过度开采河道砂石对沿途的生态环境造成了严重的破坏^[7]。鉴于以上的情况, 如果能在矿山弃渣与工程建设砂石料之间架起一座“桥梁”, 促进二者之间的转化, 实现生态环境良性循环^[8-11], 不仅能减轻矿山弃渣堆积所带来地质灾害风险, 还能减轻建筑行业对河道砂石的依赖, 达到资源综合利用, 保护环境, 变废为宝的目的。

四川省冕宁县盐井沟流域在历史上曾因采矿弃渣的堆积, 发生过多次泥石流灾害。当地政府为防治泥石流, 在沟内修建了 5 座拦砂坝, 但平均每年需投入 20 多万元进行清淤。2012 年, 当地政府开始转变思路, 通过引入民间资本成立了盐井沟砂石厂。

收稿日期 (Received date): 2017-08-28; 改回日期 (Accepted date): 2019-01-04

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金国际 (地区) 合作与交流项目 (41661134012); 中科院山地所“一三五”方向性项目 (SDS-135-1705)。[International Cooperation and Exchange of National Natural Science Foundation of China (41661134012); The 135 Strategic Program of The IMHE, CAS (SDS-135-1705)]

* 作者简介 (Biography): 陈宁生 (1965-), 男, 福建南安人, 研究员, 研究方向为山地灾害形成机理与防治。[CHEN Ningsheng (1965-), male, born in Nan'an, Fujian Province. Ph. D., professor, specialized in Formation mechanism and prevention of mountain disasters] E-mail: chennsh@imde.ac.cn.

该砂石厂以泸沽铁矿的采矿弃渣为原料,生产建筑工地需要的砂石料并回收提取弃渣中的铁矿粉,在获得经济效益的同时,流域内的弃土弃渣数量也在大量减少,泥石流灾害没有再发生。这一基于弃渣综合利用的矿山泥石流灾害防治新模式引起了笔者的广泛兴趣。笔者以盐井沟为例,通过现场调查、灾害历史分析、实验分析,并结合我国矿产资源综合利用的相关法规和政策,深入调查了这种基于弃渣综合利用的矿山泥石流灾害防治新模式,以期推动该模式在我国矿山弃土弃渣堆积严重地区的应用,实现矿山泥石流灾害的防治和生态环境的保护,减少河道砂石料的开挖,实现社会经济的可持续发展。

1 盐井沟历史灾害与传统防灾模式

1.1 盐井沟流域历史灾害概况

盐井沟发源于四川省冕宁县大顶山北西山麓($N28^{\circ}14.34' - 28^{\circ}17.93'$, $E102^{\circ}13.35' - 102^{\circ}15.84'$),自南往北汇入孙水河。盐井沟主沟长8.4 km,沟床平均纵坡为15.5%;沟流域面积13.6 km²,地势南高北低,流域内最高海拔3453.2 m,沟口海拔1650 m,相对高差1803.2 m。当地属于高原谷底亚热带半干旱气候,多年最高气温33℃,最低气温0℃,平均16.5℃;多年平均降雨量1107 mm。流域内泸沽铁矿从1964年开始兴

建,1966年投产,至今已开采超过50年,现已由露天开采转为井下开采阶段。铁矿开采产生的弃渣全堆积于流域中上游的7个排土场内,堆积总量约 $530 \times 10^4 \text{ m}^3$,流域内弃渣平均厚度超过0.37 m,是盐井沟发生泥石流灾害的核心物源,今后仍有暴发泥石流的可能^[12]。

在历史上,盐井沟流域内共暴发了9次规模较大的泥石流,最大的一次泥石流发生在1970年5月26日,造成104人死亡、29人受伤。随着流域内泸沽铁矿弃渣的不断积累,盐井沟泥石流活动日趋频繁、规模不断增大,先后于1971、1972、1974、1976、1977、1980、1984和1985年爆发了大、中规模泥石流,曾导致成昆铁路断道,堵断孙水河,已经是当地一个重大地质灾害点^[13-15]。

1.2 传统的泥石流防治模式

为防治泥石流灾害,从1986年开始,当地陆续开展了一系列泥石流防治措施,主要有:1)工程上,在盐井沟的主沟槽内,根据地形、地质条件及拦沙坝的不同作用,设置了五座拦沙坝;在排土场修建导流堤,引导上游来水顺利通过排土场,以免坡脚被冲刷(图1、图2及表1)。2)生态上,禁止乱砍滥伐和毁林开荒,退耕还林(上游封山育林和林种改造,中游营造水土保持林及防护林,下游营造薪炭林及少量具有一定水土保持效益的经济林)。

需要注意的是,以上措施虽然对盐井沟流域的

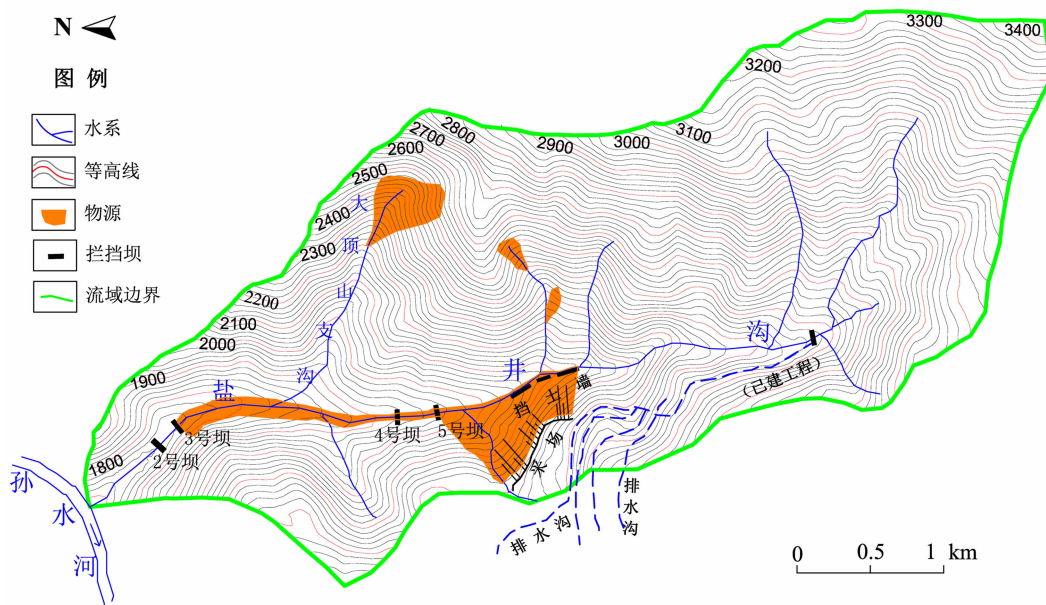


图1 盐井沟流域泥石流物源及工程设施分布图

Fig. 1 The sources distribution of debris flow and engineering facilities in Yanjing valley



图2 盐井沟流域泥石流拦砂坝
Fig. 2 The sand dams in Yanjing valley

表1 盐井沟泥石流拦砂坝位置、结构

Tab. 1 The location and structure of sand dams in Yanjing valley

坝名	位置	结构形式	尺寸
1 号坝	沟口公路桥以上 301.2 m 处	浆砌石实体重力坝	坝高 3 m, 下部基础厚 2 m; 坝顶宽 2.5 m, 坝底宽 6.1 m; 坝体上游面边坡为 1:10, 下游面边坡为 1:0.2
2 号坝	沟口公路桥以上 580 m 处	钢筋混凝土格栅坝	坝体高 3.5 m, 下部基础底板厚 1.5 m, 宽 7.5 m, 长 22 m; 坝体上部有 2 个支墩, 支墩间距 4 m; 格缝 0.5 m; 支墩高 3.5 m, 宽 2.5 m, 长 5.5 m
3 号坝	沟口公路桥以上 768.5 m 处	浆砌石重力坝	坝高 30 m, 坝顶宽 4.9 m, 坝底最大宽度 28 m, 坝长 92.5 m
4 号坝	沟口公路桥以上 2317.8 m 处	溢流段为钢筋混凝土格栅坝, 非溢流段为浆砌石重力坝	格栅墩高 8 m, 厚 2.5 m, 长 6.5 m, 间距 4 m; 格梁间缝隙最小为 0.5 m; 溢流段坝长 33.5 m, 由 3 孔组成; 非溢流段坝长 22 m
5 号坝	沟口公路桥以上 2673 m 处	溢流段为钢筋混凝土格栅坝, 非溢流段为浆砌石重力坝	坝体总长 87.5 m, 其中溢流段长 32.5 m, 左非溢流段长 24.25 m, 右非溢流段长 30.75 m, 坝顶宽均为 3 m, 坝底宽为 14.5 m, 上下游边坡均为 1:0.5; 格缝间隙 0.6 m

泥石流灾害有一定的防治效果,但流域内的弃土弃渣总量高达 $530 \times 10^4 \text{ m}^3$,且沟道内侵蚀作用强烈,3号坝以上的拦砂坝库容常年淤满,每年汛期之前当地政府都要投入 20 多万资金进行清淤(每年清淤量约 3000 m^3 ,图 3)。除此以外,政府还需要投入必要的人力物力来维护工程措施以及进行泥石流灾害监测预警,难以达到一劳永逸的目的。

2 基于弃渣综合利用的减灾新模式

2.1 模式的理论基础

为保护和改善环境,提高资源的利用效率、实现

可持续发展,我国已经于 2009 年 1 月 1 日开始正式施行《循环经济促进法》。其目标是以最小的资源消耗、最少的废物排放、最小的环境代价来换取最大经济效益,是转变经济增长模式的突破口,也是贯彻科学发展观,构建资源节约型、环境友好型社会的重要举措。

基于循环经济理论,只有当人类工程活动产生的弃土弃渣能有效利用、变废为宝,才能真正实现可持续发展,实现人类活动对自然界地表演化过程的最小干预,人与自然的和谐相处。相反,假如人类工程活动产生的弃渣无法得到循环利用,那么人类活动的产物将会以极端的方式发育为灾害,形成极端

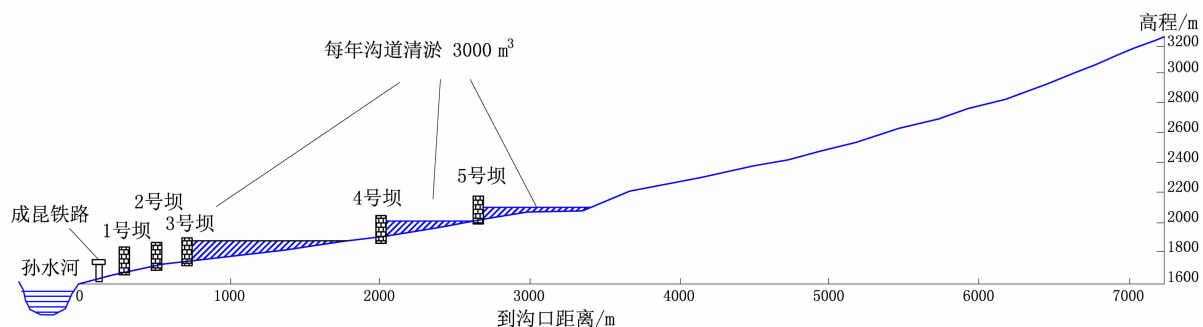


图3 盐井沟泥沙淤积范围

Fig. 3 The range of sediment depositional in Yanjing valley

的侵蚀。这些侵蚀的土体会在河流的作用下进入自然的循环过程当中,并破坏自然的平衡。

2.2 新模式目标与原则

自2012年开始,冕宁县政府开始尝试用新方法解决盐井沟内的弃渣堆积问题。其主要思路为:利用民间资本建立砂石生产线,以泸沽铁矿排土场内堆积的弃渣为原料,生产建筑砂石,创造企业效益,并以效益促进盐井沟流域内泥石流灾害的治理,最终实现企业创收、灾害治理、绿色发展的目标。对于参与者(政府、企业和流域内的村民),其各自具有自己的工作标准。企业的工作原则是:能实施、可持续、有利润;政府的原则是:给政策、有回报、防灾害;老百姓的原则是:搬得出、稳得住、能脱贫^[14]。

2.3 新模式的内容

目前,我国对矿山弃渣的主要利用处理方式包括:回收有用组分、用作水泥配料、生产建筑砌块、制作建筑砂石料、制作玻璃和陶瓷配料、研石发电、充填采空区和复垦等。根据中国国土资源经济研究院最近对六省(市)的矿山固废综合利用结构的数据,对弃渣利用量较大的是空场充填和生产建材,分别占比53%和43%,其他利用方式的弃渣消耗量较少^[15]。结合泸沽铁矿尾矿弃渣的特点,当地采用回收铁矿粉,生产建筑砂石和复垦的方式来综合处理泸沽铁矿的弃渣,兼有技术门槛低、市场销路广、投资见效快等优势。新模式的具体内容详见图4。

2.3.1 砂石骨料利用

砂石骨料的生产是泸沽铁矿弃渣综合利用的主要内容。泸沽铁矿自1966年投产以来,采矿的弃渣与废土皆存放于盐井沟流域的7个排土场内,其中块石占弃渣总量的80%~85%,其主要成分为灰岩、白云岩,及少量的玄武岩、砂岩,这些岩石质地较

为坚硬,可作建筑工程砂石用料。骨料生产时,首先在排土场进行弃土开挖,开挖采用分层分段进行,开挖高度控制在3 m以内,确保开挖坡体稳定;通过多次破碎筛选,对开挖的弃渣分类处理,根据市场需求,制成不同规格的砂石产品(图5)。目前盐井沟砂石厂的两条生产线每年弃渣处理能力约 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$,其生产的砂石骨料可销往附近的冕宁、西昌、喜德等地。目前泸沽铁矿已转入井下开采,其产能下降的同时所伴生的采矿弃渣也在逐年减少。以目前盐井沟砂石厂的产能,每年除了可将泸沽铁矿新近开采产生的矿渣全部处理掉,还能处理30万 m^3 以上历史遗留矿渣。其生产的砂石骨料根据规格型号不同,市场售价在40~70元/ m^3 ,年销售收入在2000万元以上。

2.3.2 铁矿回收利用

过去受技术所限,部分品位较低的铁矿未能得到充分利用,被当作弃渣随意丢弃在排土场内。如今,盐井沟砂石厂在生产砂石骨料的同时,还采用多梯度强磁选机回收经过粉碎后的弃渣中的铁矿粉(图6)。其回收利用技术较为成熟,每年可以从弃渣中回收铁矿粉3000~6000 t,以市场价格300元/t计算,每年回收的铁矿粉销售收入为90~180万元。

2.3.3 弃土回收与生态改良

在对排土场内弃渣破碎筛选过程中,小于2 mm的细颗粒弃土(约占弃土总量的10%~15%)通常不能用于骨料生产,但其中含有Fe、Zn、Mn、Cu、Mo、V、B、P等微量元素,这些正是维持植物生长和发育的必需元素,可用于复垦;另外砂石厂的生产用水通过循环使用,污水沉淀池内的淤泥可挖出进行堆放,沥干水分后也可回收。这些弃土都可运到土层较薄、土质较差的荒地上用于土壤的恢复和生态改良。

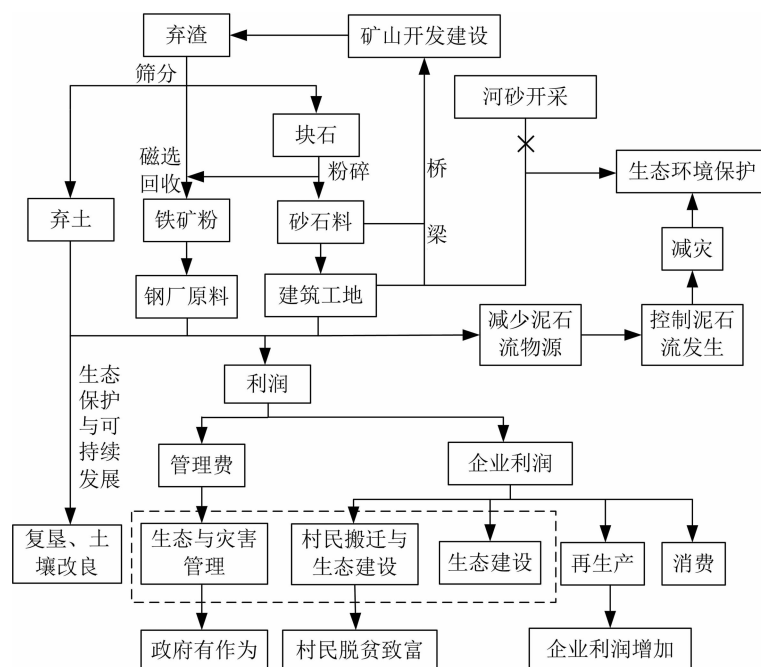


图4 盐井沟矿山弃渣综合利用新模式示意图

Fig. 4 The new approach based on comprehensive utilization of waste slag in Yanjing valley



图5 盐井沟砂石生产线

Fig. 5 The sand and gravel processing plant in Yanjing valley



图6 铁矿回收设备

Fig. 6 The iron ore recovery equipment

目前盐井沟砂石厂在流域内通过弃土回填复垦,已建成面积约为20亩的苗圃基地(图7)。通过植物引种进行生态建设,已育有三尖杉、银杏、香樟、红豆杉等珍贵树种;下一阶段还将育核桃、板栗等经济类苗木,在沟边、岸边栽种喜水、喜潮湿环境、易成活、生长快、根系发达的树种,如柳树、杨树等。

2.3.4 灾害防治

盐井沟流域泥石流灾害的防治按三阶段进行。1)在砂石料生产初期,因为排土场弃渣较多,在暴雨作用下,流域内仍然可能发生灾害。该阶段排土场内的弃渣应以3m厚度分层开挖,还需避免暴雨施工,同时做好应急预案。2)随着砂石料的生产,

当排土场弃渣开挖掉 $390 \times 10^4 \text{ m}^3$ (即流域内弃渣总量的73.6%),剩下约 $140 \times 10^4 \text{ m}^3$ 时,流域的松散固体物质的平均厚度将降至0.1m以下,依据对西南山区泥石流发生需要物源的研究成果,此时流域将由泥石流沟转化为山洪沟^[12]。3)继续减少弃土弃渣物源,流域逐渐摆脱山洪泥石流灾害。

3 新模式的效益分析

3.1 减灾效益

盐井沟砂石厂在生产的同时,对河道内的松散固体物质进行了有序的清理,疏通了河道;采废制砂



图7 苗圃基地

Fig. 7 The nursery base

同时修建了拦砂坝、护坡挡墙、引水涵洞和过水路面,这样从根本上控制了沟内发生泥石流的机宜。以前盐井沟内频繁发生泥石流,给铁厂乡、泸沽镇居民及成昆铁路和国省干道造成重大的安全隐患和经济损失。自2012年建立砂石厂至今,盐井沟地区虽经历过几次强对流天气的大暴雨,但并未发生泥石流灾害,其减灾效益已经初见成效。如:2017年5月21日盐井沟流域普降暴雨,但流域内并没有产生泥石流,仅产生山洪,表明弃土弃渣的减少对防灾减灾意义重大。

3.2 经济效益

盐井沟砂石厂经过近5年的不断摸索、总结、技改、创新、引进新的技术,现已建成集技术含量、科技创新、低能耗、高效益、环保型的砂石生产线两条,其砂石产品经凉山州建设工程质量检测中心、中铁西南科学研究院检测中心、中铁二十一局集团有限公司中心实验室检测合格,在当地市场拥有较大竞争力,现已大量供应当地铁路建设和脱贫攻坚基础建设项目。

盐井沟砂石厂现有的两条生产线及其配套设施总投资约2000万元,目前砂石骨料年产能约为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$,产品售价按规格型号的不同,在40~70元/ m^3 ,纯利润5~10元/ m^3 ;在砂石生产的同时,每年还可回收3000~6000 t铁矿,市场售价在300元/t。据此估算,盐井沟砂石厂每年销售收入在2090~3680万元,纳税额近1000万元,企业纯利润约250~500万元,4~8年时间可收回投资成本。按盐井沟流域排土场内现有的弃渣规模 $530 \times 10^4 \text{ m}^3$

计算,该砂石厂还可以生产10年以上。且泸沽铁矿还在继续开采,其可生产时间还可能延长,利润还可继续增加。

3.3 生态效益

盐井沟砂石厂每年可以向市场供应约 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 砂石,在创造经济效益的同时也可有效缓解建筑市场对河道采砂的依赖,从而间接减少河道非法采砂行为,减轻对天然河道的生态环境破坏。在砂石厂生产过程中结合过生态移民、植树造林、封山育林等生态保护措施,使得盐井沟小流域内生态环境逐步得予修复。

3.4 社会效益

盐井沟砂石厂的建成不仅支持了地方经济建设,同时还带动沟内居民脱贫致富,改变了他们的生活观念。沟内的居民多为彝民和盲迁户,以前他们以毁林开荒种植土豆、玉米和砍柴烧炭为生,年收入不足4000元,思想落后、生活贫困。到砂石厂上班后,经过砂石厂组织的专业培训学习,既掌握了生产技能又改变了落后的思想意识,现在年平均收入达5~6万元,充分改善了生活质量,提高了生活水平。流域内现已初步实现了生态保护、绿色环保、变废为宝、回归自然、可持续发展的新模式,堪称国内环保项目之典范。盐井沟砂石厂的建成,还带动了地方运输业持续发展,该厂每年砂石运输产生的相关费用约500万元,解决了大批从事运输和社会闲散人员的就业问题。

3.5 推广前景

根据中国国土资源经济研究院的最近统计,目前仅在四川省就尚有153个尾矿库和3164个废石堆,其占地面积高达12808公顷;而已经完成恢复治理的面积仅有36.38公顷,综合治理率不到0.3%^[15]。导致废渣利用率低下的因素除历史存量高,还主要包括:1)关键技术装备尚未突破;2)渣场位置偏远、市场竞争力较弱;3)缺乏政策支持。其中,技术装备的突破有赖于企业自身对设备的升级改造;市场竞争力则比较依赖于弃渣场的地理位置,通常而言,销售目的地在距离渣场50 km路程内有较大竞争力(最远可达100 km);政策支持则有赖于地方政府提高环保认知、出台相关政策(如:基建项目优先使用弃渣生产的机制砂),减轻企业税负等。盐井沟砂石厂在建立之初通过自身的努力,用了近一年时间完成设备调试,使之可根据市场需求生产

不同规格砂石产品;其厂址所在地盐井沟口地处喜德、冕宁和西昌三个县(市)交汇处,距离三地仅有 30~60 km 的路程,产品有较好的市场空间需求;再加上当地政府为遏制河道采砂导致河床及地下水位持续下降的局面,实施了严格的控制河道砂开采政策,促进了矿山弃渣的开发利用。在突破了以上 3 个因素的制约后,盐井沟砂石厂的这种新模式走上了良性循环的效果。保守估计,仅在四川省内,类似泸沽铁矿环境的尾矿库和废石堆至少占全省弃渣总量的 20%,其堆积的弃渣废石总量超过 7.7 亿 m^3 ,潜在的综合利用价值高达 38.5~77.7 亿元(纯利润),可为政府带来的财政收入超过 160 亿元,同时还可完成 2560 公顷弃渣场的生态环境改造(农田复垦或改造为森林)、带动新增就业人口 3000 人。随着循环经济发展的理念逐渐深入人心,其应用范围还拥有更大的扩展空间。

4 结论与讨论

4.1 结论

盐井沟砂石厂利用铁矿弃渣进行砂石生产的模式,在创造企业利润的同时减轻了当地地质灾害的威胁,达到了生态环境修复的目的。这种以民间资本投入为导向的弃渣综合利用新模式是地方政府与民间资本合作的一种尝试,从目前砂石厂的运营效果来看,这种新模式可选择在附近有大量基础设施建设需求的弃渣场进行推广。

4.2 讨论

(1) 地方政府需对弃渣利用新产业的发展进行大力扶持,鼓励民间资本参与矿山弃渣综合治理,在灾害治理的同时实现企业效益;

(2) 推广过程中,需根据各地矿山弃渣的实际情况,建立一套弃渣分类体系,以实现砂石资源的分类综合应用,并鼓励相关企业尝试其他更加高效利用矿山弃渣的方式;

(3) 矿山弃渣制造砂石的综合利用过程中应加强管理,逐步在弃渣利用的基础上进行最小力度环境破坏的矿山治理;

(4) 在弃渣利用的同时需严格控制河道采砂,通过相关政策法规及执法力度的加强引导传统砂石生产方式逐步转变。

参考文献(References)

- [1] 何芳,徐友宁,乔冈,等. 中国矿山地质灾害分布特征[J]. 地质通报,2012,31(2/3):476-485. [HE Fang, XU Youning, QIAO Gang, et al. Distribution characteristics of mine geological hazards in China[J]. Geological Bulletin Of China, 2012, 31(2/3): 476-485]
- [2] 中国矿产资源节约与综合利用报告(2015)摘登[EB/OL]. 中国国土资源报, 2015-12-07 [2017-05-20]. http://www.gtzyb.com/lilunyanjiu/20151207_91321.shtml
- [3] 薛亮. 数百亿吨“废石”,成灾还是成金?[N/OL]. 中国国土资源报,2016-01-19 [2017-05-10]. http://www.gtzyb.com/shendu/20160119_92717.shtml
- [4] 徐友宁,何芳,张江华,等. 矿山泥石流特点及其防灾减灾对策[J]. 山地学报, 2010, 28(4):463-469. [XU Youning, HE Fang, ZHANG Jianghua, et al. Characteristics and strategy for prevention and reduction of mine debris flow[J]. Mountain Research, 2010, 28(4):463-469]
- [5] 2006—2015年四川省矿山环境保护与治理规划[EB/OL]. 四川省国土资源厅. [2015-01-16]. <http://www.doc88.com/p-7758380339088.html>
- [6] 区域砂石骨料供需情况分析之四川篇(连载三)[EB/OL]. 中国砂石网, [2016-11-03]. <http://www.zgss.org.cn/zixun/hangye/980.html>
- [7] 宋中海. 河道无序采砂的危害及保护生态环境对策分析[J]. 地下水, 2012, 34(1):82-83. [SONG Zhonghai. The harm of disordered sand mining in river and analysis of countermeasures to protect ecological environment[J]. Ground Water, 2012, 34(1): 82-83]
- [8] ATIQ UZ Zaman. A comprehensive review of the development of zero waste management; lessons learned and guidelines[J]. Journal of Cleaner Production, 2015(91):12-25.
- [9] YU Xiaojiang. Coal mining and environmental development in southwest China[J]. Environmental Development, 2017(21):77-86.
- [10] SONG Guohu, LI Yunfeng. The effect of reinforcing the concept of circular economy in West China environmental protection and economic development[J]. Procedia Environmental Sciences, 2012(12):785-792.
- [11] 张凯. 对循环经济理论的再思考[J]. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(6):48-52. [ZHANG Kai. Discussion on circular economy theory[J]. China Population, Resources and Environment, 2004, 14(6):48-52]
- [12] 李德基. 四川冕宁盐井沟泥石流综合治理工程浅议[J]. 山地研究, 1990, 8(1):67-68. [LI Deji. Integrated control projects of debris flow at Yanjing Gully, Mianning County, Sichuan Province[J]. Mountain Research, 1990, 8(1):67-68]
- [13] 刘希林,何思明,乔建平,等. 四川泸沽铁矿大顶山矿区泥石流及其防治[J]. 中国地质灾害防治学报, 2004, 15(3):64-68. [LIU Xilin, HE Siming, QIAO Jianping, et al. Debris flow and its control in Dadingshan mining area of Lugu Iron Mine in Sichuan Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and

- Control, 2004, **15**(3):64–68]
- [14] ZHAO Yiqing, ZANG Li, LI Zhongxue, et al. Discussion on the model of mining circular economy [J]. Energy Procedia, 2012 (16):438–433.
- [15] 薛亚洲, 范继涛, 王雪峰, 等. 北京等六省(市)矿山固废综合利用的思考[J]. 中国国土资源经济, 2018(1):19–23. [XUE Yazhou, FAN Jitao, WANG Xuefeng, et al. Thought on comprehensive utilization of solid wastes in mines of six provinces (cities) like Beijing in China[J]. Natural Resource Economics of China, 2018(1):19–23]
- [16] 陈宁生, 黄蓉, 李欢, 等. 汶川5·12地震次生泥石流沟应急判别方法与指标[J]. 山地学报, 2009, **27**(1):108–114. [CHEN Ningsheng, HUANG Rong, LI Huang, et al. Emergency judge method and index of debris – flow sites triggered by 5·12 Wenchuan Earthquake[J]. Mountain Research, 2009, **27**(1):108–114]

A New Approach to Debris Flow Disaster Control Based on Comprehensive Utilization of Waste Slag —A Case Study of Lugu Iron Mine at the Yanjing Valley of Mianning County, Sichuan, China

CHEN Ningsheng, SHE Debin

(Key laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Process, Institute of Mountain Hazards and Environment,
Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China)

Abstract: Affected by the mining of Lugu Iron Mine in the basin, Yanjing valley in Mianning County, Sichuan Province, retained a large number of mine waste slags, it caused many serious debris flow disasters in history, resulting in a large number of people, property losses. In the past, in order to prevent debris flow disaster, the local government built diversion embankment, sand retaining dam and other engineering measures in the valley, these measures can play a certain role in disaster prevention, but it is still difficult to play a effect of radical cure in the face of a large number of loose mine waste slags sources, and so far, it is still necessary to clear the silt in the valley every year. In order to change this situation, under the guidance of circular economy theory, the local government has adopted a new method of disaster prevention to prevent and control debris flow disasters since 2012 by comprehensive utilization of mine waste slags. The specific way of this method is: guided by the government, introduce private capital to establish a sand and gravel integrated processing plant in the Yanjing basin, produce the construction sand and gravel aggregate by using waste slags generated during the mining process of Lugu Iron Mine, at the same time, recovery iron ore powder from waste slags, finally, backfill the waste soil in the production process in the waste slags accumulation field to realize land reclamation and ecological improvement. These measures not only reduce the accumulation of loose sources in Yanjing valley effectively, reduce the risk of local geological hazards, at the same time, it also can generate profits for company, increase the revenue of local government and promote employment for local residents. Using iron ore waste slags to produce sands and gravel materials can also reduce local mining of river sand and gravel indirectly, reduce the damage to the ecological environment of rives, which has played role in multiple effects of reducing disasters, increasing income, and protecting the environment. Such new disaster prevention model based on the concept of circular economy can be greatly extended to other areas affected by mineral waste slags accumulation and serious debris flow disasters.

Key words: Yanjing valley; debris flow; mine waste slag; comprehensive utilization; new approach to disaster control