

自然崩落采矿法井下泥石流形成原因分析及预防措施研究应用

Analysis of the Causes of Underground Debris Flow Formation and Preventive Measures of Natural Caving Mining Method

朱 霆, 何 翔, 王 欢, 游 锋, 关堂兵, 凌先友

(金诚信矿业管理股份有限公司, 北京 101500)

摘要:自然崩落采矿法作为低成本并且大规模的采矿方法, 矿岩在自重应力和构造应力的作用下自然崩落, 并通过出矿水平的聚矿槽放出, 矿石的不断运出, 地表逐渐塌陷形成露天坑, 随着采矿活动的持续进行, 地表塌陷坑将变得越来越大, 当降雨增大, 塌陷坑内的地表岩石破碎为泥石流的形成提供了丰富的固体物质来源, 持续不断的放矿影响为泥石流提供通道和诱发因素, 持续放矿容易造成井下泥石流的发生。本文以某铜矿为工程背景, 通过2019年以来历次井下泥石流的发生, 从引发井下泥石流的物源条件、地形地貌、诱发因素进行分析, 确定了控制井下泥石流的主要因素。研究表明: 井下泥石流的发生和物源条件、地形地貌、诱发因素三要素密不可分, 治理井下泥石流需改变地表塌陷坑, 控制水源、物源汇集, 控制放矿进行综合治理。

关键词:自然崩落法; 泥石流; 塌陷坑

中图分类号: TD853

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2023)01-0022-07

Abstract: Natural caving mining method as a low-cost and large-scale mining method, ore rock in the self-weight stress and structural stress under the action of natural caving, and through the output level of the polyore trough release, ore continuous transportation, the surface gradually collapsed to form an open pit, with the continuation of mining activities, the surface collapse pit will become larger and larger, when the rainfall increases, the surface rock in the collapse pit is broken for the formation of debris flow to provide a rich source of solid matter, continuous release impact for debris flow to provide channels and inducing factors, Continuous release is easy to cause underground debris flows. Taking the copper mine as the engineering background, through the occurrence of underground debris flow since 2019, the main factors controlling underground debris flow are determined from the analysis of the source conditions, topography and geomorphology and inducing factors that trigger the underground debris flow, and the research results show that the occurrence of underground debris flow is inseparable from the three elements of material source conditions, topography and geomorphology, and inducing factors, and the treatment of underground debris flow requires changing the surface collapse pit, controlling water sources and material source collection, and controlling ore release for comprehensive treatment.

Key words: natural caving; debris flow; sinkhole

1 前言

自然崩落法采矿原理就是利用地球内部的应力、上覆岩石的重力、地质构造运动产生的残余应力和矿山井巷工程所引起的应力集中和分散, 同时也利用岩体中裂隙在矿房底部进行较大的水平面积拉底, 并且沿矿块四周用一些垂直的和水平的巷道削

弱其与四周的联系, 破坏矿石整体的应力平衡, 使采区内的矿石在阶段的整个高度上自然崩落, 并通过合适的底部结构放出、运走, 保证崩矿的连续进行^[1]。聚矿槽是崩落法矿石放出的主要通道, 更是自然崩落法连接落矿空间和出矿系统的关键性工程, 根据自然崩落采矿法工艺特点, 底部聚矿槽的不断出矿会造成矿岩崩通地表, 当矿岩崩通地表以后则崩通地表区域主要以沉降崩落的形式体现。矿岩崩通地表后, 矿体崩落逐步出矿, 上覆岩层也将向下沉降、移动, 且由于应力平衡拱遭到破坏, 岩体的崩解或破坏可能会随着矿岩内软弱夹层、断层位置逐渐向地表传播, 率先崩通地表, 形成不规则的塌陷区

[作者简介] 朱霆(1985—), 男, 汉族, 采矿工程师, 主要从事自然崩落法采矿研究及现场管理工作。

[引用格式] 朱霆, 何翔, 王欢, 等. 自然崩落采矿法井下泥石流形成原因分析及预防措施研究应用[J]. 中国矿山工程, 2023, 52(1): 22-28.

域,矿岩的持续崩落和在出矿口不断运出,地表逐渐塌陷形成露天坑,采矿活动的持续进行,地表塌陷坑将变得越来越大。地表塌陷坑的形成,一是改变了矿区原有的岩土结构,二是为泥石流的产生提供了通道,三是为地表大气降雨的汇集提供了可能,因此,塌陷坑的存在是泥石流发生的关键因素之一,它决定了地表水的汇集程度,泥石流形成和发生过程

的快慢,塌陷坑越大,坑的纵坡比越大,越有利于地表水的汇集,越容易引发泥石流^[2]。

2 泥石流统计

某铜矿采用自然崩落采矿业,2019年7月至2021年9月共计发生9起井下泥石流,具体统计见表1。井下泥石流地点如图1所示。

表1 某铜矿井下泥石流统计

序号	时间	地点	泥石流流量/m ³	序号	时间	地点	泥石流流量/m ³
1	2019/7/25 1:00	S6 - E16	1 300	6	2019/10/11 22:30	S7 - E18;S8 - E13	500
2	2019/8/1 0:10	S8 - E21	2 200	7	2020/8/17 0:22	S5 - E28;S6 - E27	2 150
3	2019/8/18 0:20	S7 - E13	280	8	2020/9/30 13:30	S5 - E29	1 500
4	2019/8/20 22:25	S6 - E11	100	9	2021/9/5 3:17	S1 - E28	15 000
5	2019/9/10 0:00	S8 - E13	300		合计		23 330

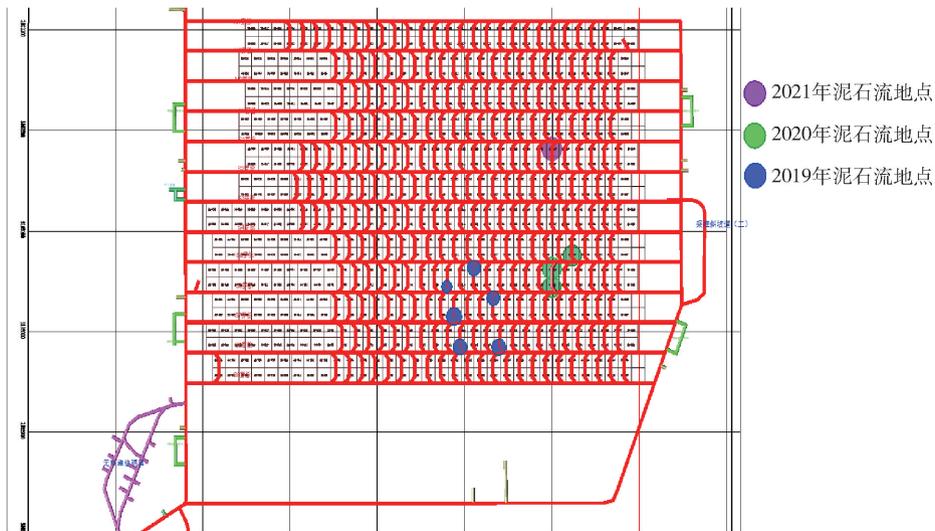


图1 某铜矿井下泥石流地点

从井下泥石流流量分析,单次泥石流流量从 100 m³ 至 15 000 m³,累计泥石流流量约 23 330 m³。从井下泥石流地点看,2019年泥石流地点位于首采出矿区域中南部,2020年泥石流地点位于首采出矿区域东南部,2021年泥石流地点位于首采出矿区域东北部。从井下泥石流次数看,2019年6次,2020年2次,2021年1次,该铜矿泥石流防控工作对于减少泥石流防控发生的次数方面取得了一定的成效。数次泥石流发生的地点均位于首采区域几条主要断层附件,断层附近出矿作业更容易影响到地表泥浆堆积状态。

3 某铜矿泥石流形成机理

泥石流形成必须具备以下三个条件:一是有丰

富、松散的固体物质来源,二是有利于贮集、运动和停淤的地形地貌和通道,三是在短时间内有充足的水源和适当的诱发因素^[3]。该铜矿地表塌陷区在雨季可以短时间内满足上述三个条件,逐渐扩大的塌陷坑为泥石流提供场所,地表岩石破碎,崩塌、错落等不良地质现象发育,为泥石流的形成提供了丰富的固体物质来源;另外,塌陷区岩层结构松散、软弱、易于风化、节理发育或软硬相间成层易受破坏,也能为泥石流提供丰富的碎屑物来源;持续不断的放矿影响为泥石流提供通道和诱发因素。

3.1 物源条件

1) 水源条件

泥石流的发生与大气降雨量的关系密切。水既是泥石流的重要组成成分,又是泥石流激发的重要

条件和搬运介质。

某矿区年平均降雨量 619.9 mm,5—9 月为雨季,其降水量占全年降水量的 87.1%,短期内降雨量较大;11 月至翌年 4 月为积雪期,冰冻雪盖,该铜矿矿岩多为石英二长斑岩,其次为石英闪长玢岩、花岗闪长斑岩。岩体以硅酸盐矿物为主,碳酸盐含量较低,因此岩石储水条件较差,无溶洞形成条件,因此多为基岩裂隙水,含水量不大、且受季节补充影响。目前矿山大范围崩通地表,地表塌陷区面积已经超过 28 万 m^2 ,大范围陷坑的存在势必会打乱地表水流条件,对井下而言,地表水源主要有以下几个方面:基岩裂隙水渗入;地表陷坑内部的降水;地下径流的流入;地表水沿地势下伏流入。以上四部分水源均受季节性降水控制,因此该铜矿井下泥石流防治按照水源具有突出的季节性特点。

2) 固体物质来源

矿山地表一般广泛堆积第四系松散物质,上部有粒度较细的黏土、亚黏土、亚砂土等,下部有粗砂夹砾石层及风化碎屑^[4]。还有采空区上覆岩层中大量破碎、松散的岩石碎屑。矿区构造较为发育,规模较大的 $F_1 \sim F_5$ 五条断层均不同程度存在破碎带,按其展布面积和平均破碎带宽度测算的断层破碎带总量达 25.75 万 m^3 ,这些均为泥石流的形成提供了充足的物源。 $F_1 \sim F_5$ 断层模型如图 2 所示。

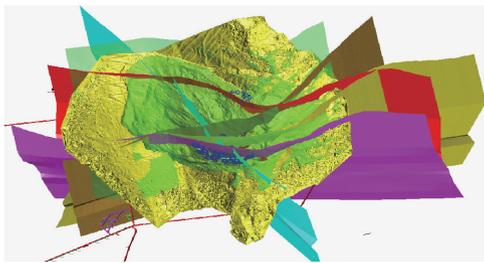


图 2 $F_1 \sim F_5$ 五条断层模型图

3.2 地形地貌和通道

根据矿区的地形地貌特征,矿区地形呈南低北高的趋势,在矿体平面范围内,矿区南部地面标高约为 3 850 m,矿区北部地面最高点约 4 300 m,距离 1 500 m,平均坡度约 30%。从东西方向上来看,矿区地形呈中间低、两边高的形状,但坡度较小。随着塌陷坑的逐渐形成,平均坡度可能达到 35% ~ 40%,局部可能达到 45% 以上。矿区采用自然崩落法采矿,由于设计开采能力较大,导致矿山每天要求的放矿点多且放矿量大;在矿山出矿过程中,如果出矿不均匀,加大某聚矿槽的出矿强度,就极易形成凹

槽,并与冒落拱形成一个较大的空区,随着采矿的持续进行和期间出现不均匀出矿的累积,这样的空区会越来越多,从而导致已经形成的空区越来越大,也为泥石流发生提供了场所和通道条件。

截至 2021 年 10 月底,矿山完成拉底面积 14.28 万 m^2 ,地表塌陷区面积 28 万 m^2 (2021.10.20),地表塌陷区面积与拉底面积比率 196%,地表塌陷区模型如图 3 所示。

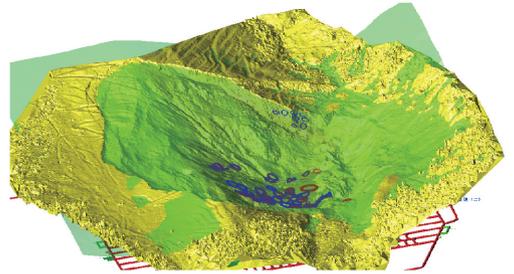


图 3 地表塌陷区模型图

3.3 诱发因素

矿体顶板上覆岩层常常有大量的断层、节理裂隙,岩溶存在,严重切割破碎岩体,且为水及流态物质的流通提供了通道^[4]。随着每个水平矿石的采出和采场范围的扩大,矿体上部岩体应力松动范围可以达到地表,致使上覆岩体不断松散、坍塌、破碎。采用崩落法开采时将会使得大气降水及地表松散物质可以到达采矿水平的巷道或者储存在采空区中,为井下泥石流的形成提供了必要的通道。断层和 3 720 m 水平关系如图 4 所示。

3.4 铜矿 9 次泥石流形成机理分析

该铜矿泥石流发生的方式有以下几种。

1) 直接泥石流

存窿矿量与待崩矿岩之间无空间存在,泥浆进在存窿矿量最顶端储存,其随着出矿口松动出矿,伴随着矿石一起下降,最终从出矿口放出,在泥浆下降过程中将两侧岩石凝结,形成短暂的直通地表的通道。多发生在采场中部已经崩通地表区域。

2) 间接泥石流

从存窿矿量与待崩矿岩面之间的通道发生的泥石流,存窿矿量与待崩矿岩之间存在空间,地表泥浆沿着存窿矿量堆积面流动至侧边底角位置,不断积攒,随着出矿扰动,一旦破坏其平衡状态,则发生泥石流。该种类型泥石流多在拉底推进线附近出矿口发生。直接与间接泥石流示意图如图 5 所示。

通过分析该铜矿 9 次泥石流事件的部分参数。有以下规律:

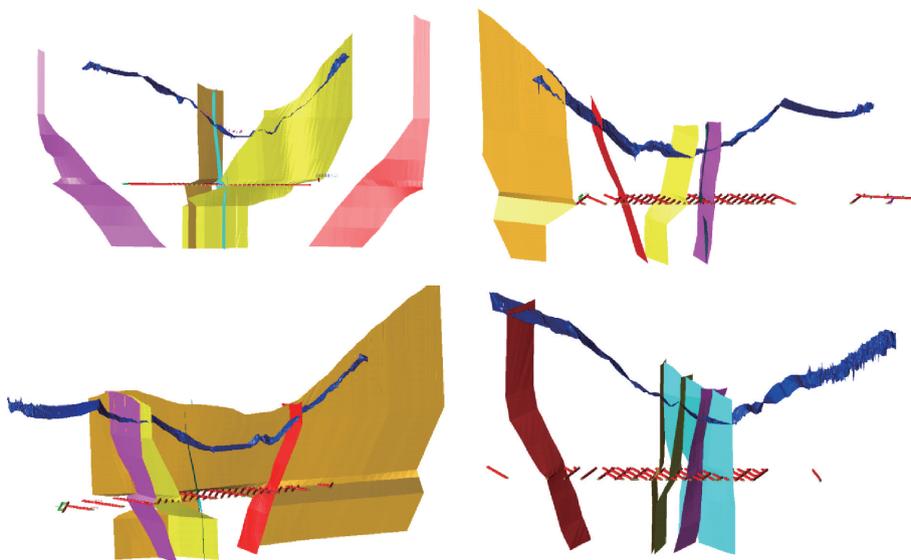


图4 断层和3720 m水平关系模型图

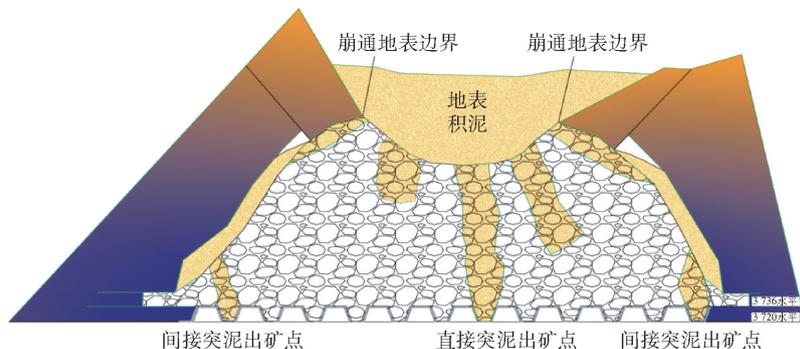


图5 直接泥石流及间接泥石流示意图

(1)泥石流地点均位于主要断层附近,断层附近出矿作业更容易影响到地表,该铜矿首采区5条主要断层纵横交错,大部分出矿口均处于断层附近。

(2)泥石流的发生存在较大的难预测性、难监测性,发生时间、地点无规律可言,出矿的扰动对泥石流的发生影响较大,主要是出矿扰动加速了泥石流通道的形成,同时也会使部分泥石流存在于存窿矿量与待崩矿岩空间中,即使出矿较少依然可能引发泥石流。

(3)对于南部的出矿口,从每年7月1日开始,出矿高度占比泥石流通道长度6%~13%时发生泥石流,泥石流点位于泥坑正下方时为低值,位于泥坑附近时为高值,北部的出矿口由于大块率较高,限制了泥浆流动,出矿高度占比泥石流通道长度22%发生泥石流。

(4)间接泥石流地点靠近拉底线,崩通地表线位于地表泥坑附近,进行少量出矿将会发生泥石流,需要重点关注崩通地表线同地表泥坑之间的关系。

(5)泥石流发生点或周围出矿口有较多冰碛物出矿口出现,该铜矿首采区目前冰碛物出矿口达200余个,集中分布在首采区中部,泥石流多发区域。

(6)泥石流发生的地点及方量同地表降雨、积泥坑位置、崩通地表线位置、拉底线位置、出矿口块度级配情况、冰碛物含量、出水出泥情况、出矿量等均有一定的关系。

4 铜矿泥石流的特点

矿山泥石流在表现形式上和自然界的正常泥石流一样,具有多样性的特点^[5],其造成的灾难性后果也是相同的,但是由于矿山泥石流本身是建立在矿山开采作业的基础之上的,其演化过程主要受控于人类对矿产资源的开发以及利用活动之上,因此矿山泥石流和普通泥石流还有很多不同之处。

该铜矿井下泥石流具有和自然界的正常泥石流一样的特点:突发性、瞬时性;难以确定性、难以预防性;黏稠状的混杂物;能量大(势能大)、破坏性大;

同时还具有人为性、频发性、季节性。

1) 人为性

在当地的本身气候条件没有发生重大变化、降雨等能够直接和泥石流进行直接联系的自然条件没有发生重大改变的情况下,矿山泥石流则在很大程度上受控于人类的活动^[6]。该铜矿在采矿活动中,使得地表沟床的纵坡降比被大幅度加大,在缺少有效的措施来控制地表塌陷坑形成的情况下,地表塌陷坑表土层(堆积的第四系松散物质)很难被稳定地拦下固定,给井下泥石流提供了足够多的固态物质,使得原本的非泥石流高发区逐步转变为泥石流的高发区,加剧了泥石流发生发展的进程,危害了自身。

该铜矿采用自然崩落采矿法,随着出矿的增加。地表塌陷坑逐渐扩大,形成面积 28 万 m^2 的地表塌陷区,使得大气降水及第四纪松散物质可以在塌陷坑得到充分的混合。

2) 频发性

该铜矿自 2019 年 7 月 25 日发生第一次井下泥石流,至 2021 年 9 月 5 日共计发生 9 次泥石流,较自然界发生的泥石流具有较强的频发性。

在地形落差、植被覆盖面积、降雨强度等自然条件都差不多的情况下,泥石流的活性主要还是受控制于各类固体物质的补给程度,自然形成的泥石流频率一般来说不会太高。但是矿山泥石流主要是由于矿山开采活动产生的各种能够对泥石流来源进行补充的固态物质是随着采矿作业产生而产生的,只要采矿作业不停止,那么能够产生泥石流的来源就会被迅速地积累起来,在短时间之内就会积攒足够的数量,下一次有充足降水之后就可以在最短时间之内进行第二次泥石流的爆发。同时矿山井下泥石流不仅仅具有一般泥土的黏合力,相对与自然界所产生的泥土而言,井下泥石流矿块的凝聚力以及其内摩擦力都比较小,对于冲击的抵抗能力比较薄弱,因此在受到各种类型的剧烈活动影响下,比如开采爆破作业、矿震、塌陷、轻微地震等,就有可能导致这些堆积物所能接受的引起泥石流爆发的水分含量阈值降低,因此,矿山井下泥石流较自然界泥石流有频发性^[6]。

3) 难以确定性,难以预防性

该铜矿矿区构造较为发育,规模较大的 $F_1 \sim F_5$ 五条断层均不同程度存在破碎带,矿体顶板上覆岩层常常有大量的断层、节理裂隙、岩溶存在,严重切

割破碎岩体,且为水及流态物质的流通提供了通道,截至 2022 年 10 月底,矿山形成出矿点 678 个。该铜矿井下泥石流管控制划分核心区 81 个出矿口(核心区出矿口即发生井下泥石流可能性较大的出矿口),过渡区出矿口 64 个(过渡区出矿口即发生井下泥石流可能性次之的出矿口),较多的管控出矿口均有可能发生井下泥石流。

4) 黏稠状的混杂物

该铜矿发生的泥石流具有很大的黏性和结构性,固体物质含量占 40% ~ 60%,甚至占比更高,在运动过程中有明显的阵流现象,泥石流常常以突然袭击的形式爆发,破坏力大,在很短时间内把大量的泥沙、矿石块冲击巷道,由于泥石流的突发性、瞬时性,黏稠状的混杂物特点,一旦人员、设备被困造成难以脱险。

5) 破坏性大、能量大

泥石流本身的特点就是其爆发力强,来势凶猛,冲击能力很强,淤泥的变幅很大,主流的摆动速度很快。泥石流在表现形式上的特点就是冲击、冲刷、淤埋等形式。该铜矿井下泥石流发生时泥石流的量最大可达 15 000 m^3 ,泥石流爆发形式突然,来势凶猛,可携带大量的矿块,因其高速前进,具有强大的能量,因而破坏性极大^[7]。井下泥石流发生前无明显征兆,爆发往往在数分钟内就充满巷道,损坏巷道内设备设施,淤埋巷道,对井下作业人员产生较大的危险性。

5 泥石流预防、治理措施

5.1 泥石流预防措施

目前,泥石流预测预报采用的途径主要是:

(1) 在泥石流形成区域进行定点观测研究,取得有关泥石流形成动态参数或调查潜在泥石流区域有关资料^[8];编制月度出矿计划前,对矿体内存窿面、崩落面、地表塌陷坑、以及地表冰碛物层进行剖面分析,掌握冰碛物层、地表泥浆层与存窿矿量之间的状态,编制合适的放矿计划。

(2) 针对泥石流形成的基本条件,矿山建立以地表控水、防水和治水为基础,以在塌陷区监测和控制冰碛层、松散体和断层破碎体等物源为重点,以在采矿和出矿过程中严格按设计规划顺序采矿和均衡出矿从而有效抑制井筒式放矿或局部凹槽等不利通道为核心的三位一体的泥石流联合防治体系,建立系统的监测监控系统,并与矿山安全避险六大系统、

矿山相关监测监控系统等进行系统融合。加强水文、气象预报工作,建立有记录泥石流流域要素、形成条件、灾害情况及整治措施等技术资料档案,根据地质和地形地貌环境、松散固体物质分析,圈划未来泥石流危险区、潜在区。

(3)建立泥石流防灾警报系统。泥石流风险预警如下:①眉线口、出矿口涌水,且涌水携带泥沙、涌水浑浊;②在外部降水环境没有发生明显变化的情况下,出水点出水量异常,突然增大或者突然减小;③顶板在短时间内发生大面积的渗水或渗水量在时间内不断增大;④顶帮或出矿口内有流水声等异响,当发生异响时,立即撤离;⑤当日地表发生大量降雨对于出矿口区域存在地表大量积水的情况。

(4)优化放矿管理。研究断层下放矿方案,控制断层与正常矿岩同步崩落,防止断层超前崩落和天窗现象的发生,以阻断泥石流地下物质的补充来源和形成新的泥石流通道;避免“断崖”式出矿,即避免相邻两个出矿口,一个出矿量较大,一个出矿量较小,“断崖”式出矿会使得地表沉降不均匀,在出矿量大的出矿口对应地表形成塌陷坑,由于此区域放矿速度快,容易形成泥石流通道;长期未出矿周边的出矿量控制,长期未出矿的出矿口对应地表难以发生沉降,会形成孤岛,放矿管理过程中以孤岛为中心,控制对应周边出矿口的出矿量,形成新的小范围放矿梯度;以崩通地表边界线为准,减小边界线两侧出矿口的出矿量,以封闭边界崩落空区,避免形成间接泥石流;结合地质条件,长期矿石细碎,冰碛物较多的出矿口,容易形成通道,放矿管理中需重点控制此类出矿口出矿量。

5.2 泥石流治理措施

1) 治水工程

泥石流的发生必须有充足的地表水参与,并与暴雨洪水相伴生,治水工程的目的是分散地表水、降低水动力,从而达到防止泥石流发生的目的。在泥石流形成区的上游,选择适宜的地点建造治水工程以调节洪水,削减流经泥石流形成区的洪峰流量,常和排导工程联合使用^[9]。

2) 治泥工程

泥石流的形成必须有大量的松散固体物质,治泥工程主要是在泥石流形成区采取稳固边坡、降低泥石流沟纵坡等措施,防止崩塌、滑坡、危岩、水土流失为泥石流提供松散固体物质,控制泥石流的形成。为了制止滑坡、崩塌的发生,需要修建拦挡土石的保护工程。

其作用是拦挡泥石流固体物质、淤缓沟床纵坡、加大沟宽、减小流速,从而减少洪峰和固体物质下泄量,最终对泥石流的发展起到抑制作用。

3) 拦蓄工程

拦泥库、停淤场是指在较平缓的堆积扇上或较宽阔的沟内,修筑拦截建筑物,形成人工泥石流落淤场。其作用是在一定期限内,让泥石流物质在指定地段内淤积,从而减少泥石流固体物质下泄量,避免泥石流的淤埋灾害。

5.3 实例

1) 地表移动区域综合治理工程

地表移动区域进行综合治理,即对现有塌陷坑进行回填,形成坑底平面,通过开挖塌陷区南部、西部、西北部坡体上表冰碛物和南部Ⅲ号大沟区域的石渣及碎石层,回填至塌陷坑内,回填区表面设防渗层,形成排水基准面,塌陷坑南部设置排洪沟排导回填区汇水。边坡进行分台开挖,开挖坡面及平台进行喷浆防渗,坡面及平台地表水经平台排水沟收集集中排出移动区。剥离地表塌陷坑西侧表土层,减少了雨水冲刷西测山坡冰碛物形成的泥浆,遏制地表的造浆过程,从泥石流发生的物源条件进行控制;将塌陷坑底部填平,在塌陷坑底设置防渗层,使进入塌陷坑的雨水及产生的泥浆从南部流出;减少塌陷坑内积水量,控制泥石流发生的水源条件及物源条件;加大塌陷坑的汇水面积,加速地表雨水的蒸发,同时改善局部积泥情况,不会出现大量积泥在同一个位置的现象,降低泥石流带来的危害。

2) 地表治水工程

新建拦水坝分散地表水、降低水动力。该铜矿截水沟总长约 3.1 km,坡面增设截水沟,进行地表水截流;10 条排水竖井分布塌陷区西、北、东三侧,以排水竖井方式拦截进入塌陷区的周边地下水,引流汇入井下排水系统排出坑口。

3) 放矿管理优化

该铜矿采用崩落法开采时将会使地表和采空区贯通,使得大气降水及地表松散物质可以到达采矿水平的巷道或者储存在采空区中,为井下泥石流的形成提供了必要的通道。

放矿管理优化主要通过每年 1 月—6 月和 11 月—12 月进行出矿调整,加大塌陷区沟底东西两侧坡面位置对应出矿口的矿量,降低塌陷坑沟底东西两侧坡面落差,减少雨季降雨冲刷坡面的距离,从而减少进入塌陷区沟底的泥浆量。雨季前根据塌陷区

坑底情况划分三级风险区,从发放雨季放矿管理通知开始,按照雨季放矿管理方案进行分区分级管控,7月—10月每月定期对塌陷区进行测量,并计算塌陷区积水积泥量,根据积水积泥情况对三级风险区进行划分。一级风险区域不进行松动或进行少量松动出矿,二级风险区域松动出矿,三级风险区进行正常排产出矿,同时结合现场巡查情况进行排产,出矿口出现渗水渗泥浆情况也参考一、二级风险区进行管控。

6 结论

本文通过研究掌握控制泥石流形成的地形地貌、水文气象以及物源条件,结合某铜矿的开采工艺,分析确定可能形成井下泥石流的类型、规模,研究泥石流的形成机制、控制因素、启动条件,为泥石流的预防、治理提供科学依据。主要得出以下结论:

(1)该铜矿井下泥石流具有的特点:突发性、瞬时性,难以确定性、难以预防性,黏稠状的混杂物质,能量大(势能大),破坏性大;同时还具有人为性、频发性、季节性。

(2)地表塌陷坑的形成,一是为地表降雨汇集提供了场所,二是为泥石流的产生提供了通道,三是为泥石流的形成提供了物源条件,因此,塌陷坑的存在是泥石流发生的关键因素之一,它决定了地表水的汇集程度,泥石流形成和发生过程的快慢,塌陷坑越大,坑的纵坡比越大,越有利于地表水的汇集,越容易引发泥石流。

(3)自然崩落法开采时将会使得大气降水及地表松散物质可以到达采矿水平的巷道或者储存在采空区中,为井下泥石流的形成提供了必要的通道。

(4)该铜矿在生产过程中每个水平矿石的采出和采场范围的扩大,矿体上部岩体应力松动范围可以达到地表,致使上覆岩体不断松散、坍塌、破碎,持续出矿是井下泥石流发生的主要诱导因素。

(5)该铜矿泥石流地点均位于主要断层附近,断层附近出矿作业更容易影响到地表。

(6)该铜矿泥石流的发生存在较大的难预测性、难监测性,发生时间、地点无规律可言,出矿的扰动对泥石流的发生影响较大,主要是出矿扰动加速了泥石流通道的形成。

(7)该铜矿泥石流主要发生大块率较小的出矿口,主要原因是出矿口大块率较高,限制了泥浆流动,起到导水作用。

(8)该铜矿泥石流发生的地点及方量同地表降雨、积泥坑位置、崩通地表线位置、拉底线位置、出矿口块度级配情况、冰碛物含量、出水出泥情况、出矿量等均有一定的关系。

(9)泥石流的发生必须有充足的地表水参与,并常与暴雨洪水相伴生,治水工程的可以分散地表水、降低水动力,从而达到防止泥石流发生的目的。

(10)治泥工程主要是在泥石流形成区防止崩塌、滑坡、危岩、水土流失为泥石流提供松散固体物质,控制泥石流的形成。

[参考文献]

- [1] 沈南山,顾晓春,尹升华. 国内外自然崩落采矿法技术现状[J]. 采矿技术, 2009, 9(4):1-4+15.
- [2] 宋卫东,王艳辉,杜建华,等. 井下泥石流影响因素指标体系研究[J]. 金属矿山, 2009(9):155-159.
- [3] 柯瑞龙. 泉州山区几种常见地质灾害成因分析[J]. 中国西部科技, 2014, 13(4):69-70+73.
- [4] 黄华桃,罗根平,王欢,等. 自然崩落法矿山采场突泥管控研究与应用[J]. 世界有色金属, 2020(10):55-56.
- [5] 冯尊斌. 基于GIS的兰州泥石流危险性评价[D]. 兰州:兰州理工大学, 2018.
- [6] 周小彬. 泥石流对桥梁工程的危害及其防治[D]. 上海:同济大学, 2006.
- [7] 陈骧. 基于灾变链式理论的泥石流跟踪与防治[D]. 重庆:重庆交通大学, 2009.
- [8] 龙庆,孔逊. 青海省治多县泥石流灾害特征及其防治措施[J]. 黑龙江科技信息, 2015(10):122-123.
- [9] 罗红. 南山地质灾害预测及应急对策研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2009.