

煤矿井下类泥石流灾害形成机理研究

汪恩满 胡社荣 赵光杰 郝国强 王浩森 陈培科

(中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083)

摘要: 针对国内煤矿井下开采过程中发生类泥石流灾害事故的问题,在开展调查与统计、事故资料收集与现场勘察基础上,结合具体矿井,初步分析了煤矿井下类泥石流灾害的形成要素与发育规律,并提出相应的防治措施。研究表明:煤矿井下类泥石流灾害的发生一般经历孕育期、暴发期和余发期 3 个阶段。因断层作用和巷道开拓效应的共同作用产生了叠加破碎带,使含水层的导通增加了水源,巷道上方发育叠加破碎带形成了泥石流产生的地形要素,巷道开拓引起的采动效应诱发了煤矿井下泥石流的发生。井下类泥石流的产生是断层作用、含水层、特殊的地形及巷道开拓这 4 个因素共同作用的结果。

关键词: 类泥石流;煤矿井下;形成机理;诱发因素

中图分类号: P642.22 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2014)09-0130-04

Study on Mechanism of Similar Debris Flow Disasters Underground Coal Mine

WANG En-man, HU She-rong, ZHAO Guang-jie, HAO Guo-qiang, WANG Hao-sen, CHEN Pei-ke

(College of Geosciences and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing) Beijing 100083, China)

Abstract: According to problem that the similar debris flow disasters and accidents happened frequently in the process of mining in China, on the basis of investigation and statistics, accident data collection and analysis, laboratory studies and the exploration of field, combined with specific mine, the paper analyzed formation factors and development rules of similar debris flow disasters that happened in the process of mining and put forward the corresponding prevention measures. The results showed that the similar debris flow under coal mine generally experienced three stages: incubation period, the outbreak period and after outbreak period. The superposition fracture zone caused by the combination of rifting and looseness due to roadway excavation, water source increased owing to aquifer connection. The essential terrain factor of the occurrence of debris flow—the superposition fracture zone formed above the roadway, and the mining effect aroused from roadway excavation. Rifting, aquifer, special terrain and roadway excavation were four essential elements of forming debris flow.

Key words: similar debris flow; underground coal mine; formation mechanism; inducing factor

0 引言

瓦斯、煤尘、火灾、透水和冒顶是煤矿 5 大灾害。而煤矿井下类泥石流灾害案例虽偶尔见有报道^[1-10],但对于煤矿井下类泥石流的发育规律却鲜有讨论。前人在金属矿泥石流灾害方面的研究较多^[11-20],但对煤矿的借鉴和参考意义不大。这是因为金属矿与煤矿地质条件和井下构造存在很大的不同,导致泥石流灾害形成的条件和地质成因也有很大的差异。前人在煤矿井下类泥石流灾害方面的研究,虽取得一些成果,但有一些局限性,没有系统地提出过井下类泥石流的概念,相对于地表泥石流而

言,煤矿井下泥石流灾害的影响因素更多,更加错综复杂。笔者提出的类泥石流概念,意指有别于一般概念的地表泥石流,在煤矿开采过程中发生的,以岩石碎块为主,水与岩块混合,淹没巷道的一种灾害现象,以往虽有学者对此类灾害问题上做过一些描述和记载,但都局限于对灾害现象本身的阐述,并没有实质性地对泥石流的形成要素、发育规律作深入的探讨和研究,且只是将井下类泥石流灾害处理等同于煤矿井下突水事故的处理和分析^[3-6,21]。笔者在参考多起此类灾害事故的基础上,通过对典型煤矿井下类泥石流灾害发生的过程研究,探讨煤矿井下类泥石流发生的规律,以期为预警预防煤矿井下

收稿日期: 2014-03-11; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.09.0030

作者简介: 汪恩满(1986—),男,安徽枞阳人,硕士研究生。Tel: 15201299475, E-mail: wangenman1986@163.com

引用格式: 汪恩满,胡社荣,赵光杰,等. 煤矿井下类泥石流灾害形成机理研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(9): 130-133.

WANG En-man, HU She-rong, ZHAO Guang-jie, et al. Study on Mechanism of Similar Debris Flow Disasters Underground Coal Mine [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9): 130-133.

类泥石流灾害提供参考。

1 煤矿井下类泥石流灾害发生过程和特征

我国煤矿井下曾经发生过一些类泥石流灾害,例如,开滦集团的钱家营煤矿、山东龙口矿业集团洼里煤矿、河北三河煤矿、湖南宁乡县喻家坳乡鹞子山煤矿和江西鸣山煤矿^[1-10]。钱家营煤矿和洼里煤矿井下类泥石流灾害发生过程及地质构造情况如下。①1995年4月29日,洼里煤矿-250 m水平东副巷发生泥石流突出,在此后的清理过程中又先后突出3次,累计突出矸石1 030 m³。洼里井田内断层构造发育,共揭露落差大于20 m的断层84条,平均1.84条/km²,地应力集中,开采条件复杂。早在1994年9月,-250 m东副巷揭露落差70 m的断层时,工作面最大涌水量达51 m³/h;②1987年6月30日晚8时50分,钱家营煤矿-450 m水平副井空车线,原顶板冒落处发生了泥石流突出,堵塞巷道及硐室234.3 m,冒落碎石量达2 118.5 m³。钱家营矿1984年8月13日至1986年4月中旬,发生10次突水和顶板冒落事故。该井田内共有187个地面钻孔,查出断层26条,其中落差30~50 m的断层4条,10~30 m的断层10条,10 m以下的断层11条,其中1条落差不明。

井下类泥石流灾害的发生和发展可以分为3个阶段。

1) 孕育期。1984年8月,钱家营井田203绕道最初发生冒顶,造成涌水量增加,不断积聚的具有一定压力的水体将断层破碎带内的沉积物和充填物冲刷带走。由于泥石流发生后没有控制好顶板,1985年3月,同一地点又发生了规模更大的冒顶事故,导致冒顶区域上覆岩体松动,巷道不断涌水,带出充填物,又加剧了松动岩体的形成,冒顶区域上覆岩体已形成较大范围的松动区。1985年4月,为了查明冒落高度,向顶板打了5个钻孔,均没有发现冒落空洞,黏土质岩层也呈破碎状态,证实了顶板冒落过程中上覆破碎的岩层已充填至冒落空间。

水流冲刷泥质和黏土质充填物不断在巷道冒落带顶部堆积,形成破碎岩块集聚区。破碎岩块堆积体阻挡了来自含水层水的涌出。这一时期,涌水量暂时减小,水流发生改道,表现为巷道出水点的转移。如1986年4月8日,该矿副井侧距闸墙9 m处发生冒顶后,4月10日,涌水量减至71.86 m³/h,主井侧的涌水量为10 m³/h,而副井侧水量增加到60 m³/h。这说明受阻后的水量已经向副井方向转移了。水流受阻滞留和改道转移使大范围的破碎带岩

体成为松动区,破坏了松散岩层的稳定性。

松动区岩体自身强度较低,在自重应力、水压力和构造应力共同作用下有向压力低的方向运动的趋势,但在其下部沉积层的支撑下,一定时期内不会出现垮落。所以,在1986年4月到1987年6月的1年多时间里没有出现冒顶塌方,虽然表面上是稳定的,但类泥石流灾害的发生已是一触即发。

2) 暴发期。随着松动区范围不断扩大,203巷道顶部破碎岩块体所承受的压力越来越大,破碎岩块体不断下移,将部分应力转移到巷道支护体上,这时,支护体上地压开始明显增大。当沉积层和支护体上的应力增大到难以支撑不断下移的松动区岩块体时,支护体遭到破坏,松动区岩块体立即失去应力平衡。大量的水、破碎岩块和泥质充填物的混合物凭借强大的势能从突破口剧烈涌出,冲垮支护,涌入巷道,导致泥石流突出灾害发生。

3) 余发期。泥石流暴发期后,还伴有次级泥石流发生的可能性。在洼里煤矿第1次泥石流暴发后,还发生过3次泥石流灾害。在钱家营煤矿泥石流暴发后,在探测叠加破碎带和治理过程中,当3个钻孔钻进至冒落带以后,引起井下北码头门闸墙处排水管排水量发生很大的变化,由平时的3.0 t/h突然增加到40~50 t/h;在闸墙以外发生巷道变形,底板鼓起高达228 mm,北码头门大砌碛与小砌碛接茬处有压坏迹象,闸墙内被冒落碎块堵满,墙外碛顶淋水。上述现象表明,钱家营煤矿泥石流暴发后若不采取措施,后续的次级泥石流灾害还将发生。

2 井下类泥石流灾害的成因机制

开滦集团钱家营井田地处开平向斜东南翼的西南段,位于毕各庄向斜和刘唐保背斜之间,延展距离约15 km(图1)。发生井下泥石流事故的钱家营矿203绕道位于-450 m水平副井空车场,是副井出车线的一部分(图2)。

钱家营煤矿203绕道位于含煤岩系中A层铝土岩下30 m左右的杂色黏土岩、粉砂岩并夹少量中、细粒砂岩层中,岩石破碎,遇水膨胀。岩层在外力作用下(水压、地应力、采动压力)有较强的蠕变性^[3-5,22-24]。

在203绕道掘进过程中,曾先后揭露4条断层,特别是在203副井折曲线段附近,断层比较密集,断层倾角较陡,一般均大于65°,落差一般在2.2~3.0 m。主要断层特点如下:①F₃断层为正断层,落差2.5~3.5 m,倾角57°~72°,走向N10°E;②F₄断层为逆断层,落差2.2 m,倾角75°~84°,走向N20°

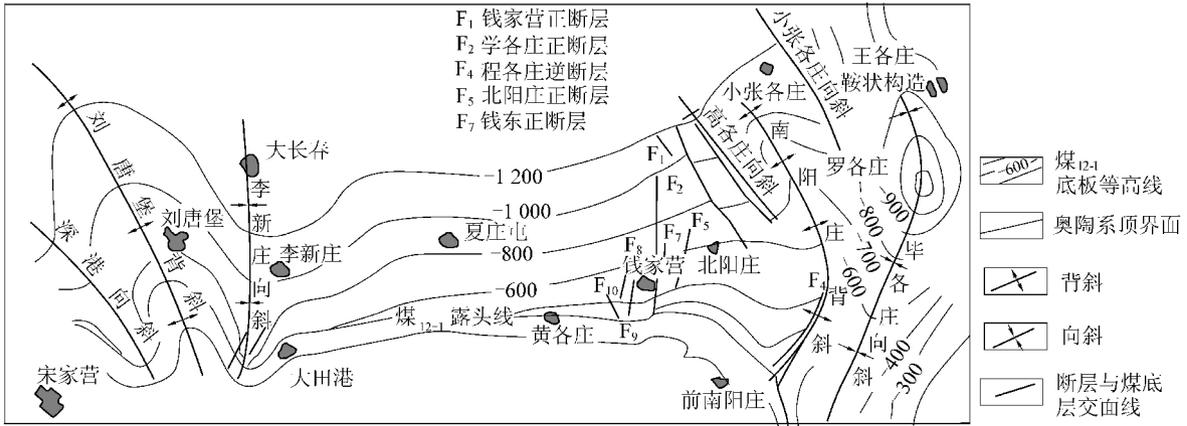


图 1 钱家营井田构造纲要图

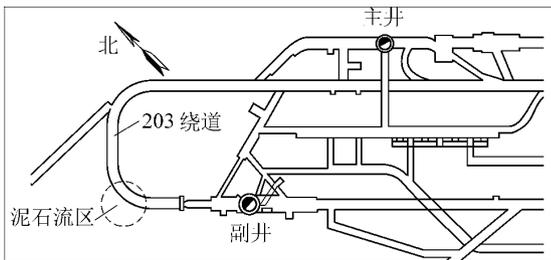


图 2 钱家营矿 203 绕道泥石流灾害平面位置示意

W。

钱家营煤矿井田范围含水层由下往上依次为：奥陶系灰岩岩溶含水层（Ⅰ）、K3（唐山灰岩）至 14 煤底板薄层灰岩裂隙含水层（Ⅱ）、14 煤顶板至 12 煤底板砂岩裂隙含水层（Ⅲ）、12 煤顶板至 5 煤底板含水层（Ⅳ）、5 煤顶板至 A 层铝土岩底板砂岩裂隙含水层（Ⅴ）、A 层铝土岩顶板至基岩面砂岩裂隙含水层Ⅵ）。第Ⅴ含水层又分为 V_A 、 V_B 和 V_C 三层。 V_A 系煤 5~3 段，含水段厚为 40~60 m； V_B 系 5 煤以浅 50~100 m，含水段厚为 45~60 m； V_C 系 V_B 往上至 A 层铝土岩底板，至含水段距离为 0~120 m。副井北边 203 绕道主要直接充水水源为砂岩裂隙含水层 V_C 段，间接充水水源主要为Ⅵ含水层。含水层 V_C 主要由粗砂岩、细砂岩组成，泥质胶结，单位涌水量 0.244 L/(s·m)，渗透系数 4.526 m/d，所处水压约为 3.0 MPa^[4-8]。

钱家营煤矿 203 绕道的掘进破坏了围岩应力平衡。巷道开拓引起的采动效应产生松动圈，加上该段地层受断裂活动而破碎，由此在 203 绕道上覆岩层形成叠加破碎带。根据简易水文资料分析，叠加破碎带的高度为 108~113 m（相应标高 -342—-337 m），因为，钻孔到此标高后则冲洗液全部漏失，且井下 203 绕道涌水变浑。此外，断裂活动也导致本来为良好隔水层的 A 层铝土岩层也成了透水层，这从 203 绕道大冒顶以后一段时期内涌水量还

在增加可以看出。这使得 V_C 与Ⅵ含水层联通，大幅增加了 203 绕道上覆破碎带的含水量。根据地面 1 号钻孔在孔深 370 m 时的观测结果，井下涌水量增加 3 号钻孔在 397 m 处发现岩心破碎，由此推算，203 绕道上覆叠加破碎带高度为 78~100 m。根据钻孔与破碎带的分析，确定 203 绕道泥石流事故处存在叠加破碎带，其长轴约 20 m，短轴约 10 m，叠加破碎带高度平均为 86 m 的椭球状体（图 3），经计算叠加破碎带体积为 13 502 m³。203 绕道自顶板发生突冒以来，总计突出矸石的松散体积为 2 798.5 m³，岩石松散系数按 1.2 计算，其冒落空洞的体积应为 2 332 m³，矸石突出后，此空洞体积又被上覆松散岩石充填，岩石松散系数仍按 1.2 计算，则最大的冒落松散区即泥石流分布区体积为 11 660 m³。两者体积较为接近，说明所计算的叠加破碎带体积大致合理。

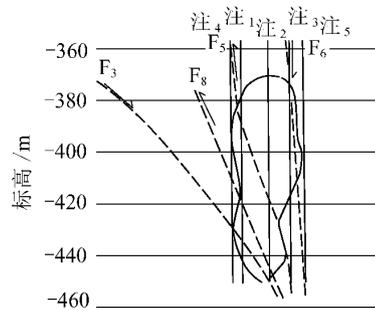


图 3 203 绕道顶板上方泥石流源形态示意

由于断层作用和巷道开拓效应，产生了 13 502 m³ 的破碎岩块体，这为类泥石流的发生奠定了物质基础；A 层铝土层的破碎，使 V_C 和Ⅵ含水层间产生水力联系，为短时间内积聚大量水源提供了必要条件；203 绕道上方形成的叠加破碎带，构成了泥石流暴发的地形要素。这样，在 203 绕道开拓的采动效应触发下，巷道转弯处局部应力场产生了大的变化，由此导致了钱家营矿泥石流的发生。

3 井下类泥石流的防治措施及建议

1) 必须做好详细的工程地质与水文地质勘查工作。巷道、井筒与井底车场的布置尽量避开断层破碎带,尤其是与巷道轴线近乎平行的断层破碎带应最好避开。

2) 当断层带充水、巷道涌水时,应查明地下水的补给、径流和排泄特征,采取疏水导水的措施将水排走。当水量很大时,可采用注浆加固围岩的方法切断水力联系,从而保证巷道在掘进过程中不发生涌水和冒顶。

3) 在断层破碎带内进行开挖,要采用合适的工程技术措施,减小巷道开拓引起的采动效应。如采用短掘短砌、边开挖边支护的方式,对特别松散的断层破碎带采用预支护的措施。当断层带发生局部冒顶,对其上覆松动岩体要强力支护、及时控制,否则会加剧松动岩体的形成,导致冒顶坍塌的恶性循环,最终诱发泥石流。塌方规模较大难以控制时,应考虑将塌方处封闭,压浆固结后再重新开挖。泥石流暴发后应立即采取措施,疏水降压,加固井筒、马头门和巷道,杜绝后续的次级泥石流灾害的发生。

4 结 语

煤矿井下类泥石流的发生一般经历3个阶段:在泥石流发生前,有冒落或漏水等先期迹象;泥石流持续发生时间短,通常是瞬间的暴发,快速堵塞巷道;泥石流暴发期后,一般有后续的次级的泥石流发生。文章提出了煤矿井下类泥石流产生的4个要素:断裂作用和巷道开拓松动叠合产生了叠加破碎带;含水层的导通增加了水源;巷道与叠加破碎带近于垂直的关系形成了泥石流产生的地形因素;巷道开拓引起的采动效应是煤矿井下泥石流发生的诱导因素。各因素之间的关系错综复杂,井下泥石流的产生是这些因素共同作用的结果。

参考文献:

- [1] 李成栋. 开滦钱家营矿 203 工程泥石流突出灾害的治理 [R]. 唐山: 开滦矿务局, 1994: 113 - 123.
- [2] 朱同祥, 杨凤成, 姜 浩. 井下泥石流形成机理分析及治理 [J]. 煤矿开采, 2000, 6(50): 70 - 74.
- [3] 黄友顺, 梁新春, 冯 光. 突涌/泥石流形成机理的分析 [J]. 煤炭技术, 2009, 28(9): 118 - 119.
- [4] 朱占虎, 王革纯. 钱家营井田煤 5 顶板水害防治经验与探讨 [J]. 中国煤炭, 2008, 34(2): 12 - 13.
- [5] 王怀勤, 朱炎铭, 李 伍, 等. 钱家营矿井涌水特征及涌水量预测 [J]. 能源技术与管理, 2010(4): 9 - 11.
- [6] 刘义生, 温大维. 聚氨酯治理导水断层及其诱发的冒顶空洞 [J]. 煤炭科学技术, 2002, 30(3): 18 - 20.
- [7] 朱同祥. 钻孔注浆治理煤矿井下泥石流 [J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(S0): 164 - 166.
- [8] 王革纯, 刘金国. 煤矿开采在煤系砂岩中形成现代陷落柱的实例 [J]. 中国煤田地质, 2004, 16(S0): 61 - 62.
- [9] 郭万英. 试论煤矿井下突水类泥石流 [J]. 江西煤炭科技, 1991(1): 36 - 39.
- [10] 谢春阳. 恶梦醒来是早晨: 宁乡县鹤子山煤矿突泥事故抢救侧记 [J]. 湖南安全与防灾, 2005(3): 35.
- [11] 郑军海, 耿新宇. 井巷泥石流形成机理及防治 [J]. 梅山科技, 2003(3): 40 - 42.
- [12] 李庶林. 论我国金属矿地质灾害与防治对策 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(4): 44 - 52.
- [13] 王永清, 宋卫东, 杜翠凤, 等. 金属矿山井下泥石流发生机理分析 [J]. 金属矿山, 2006(8): 62 - 67.
- [14] 樊继平, 王 斐. 梅山铁矿泥成因及危害防治 [J]. 金属矿山, 2003(1): 13 - 15.
- [15] 杜建华, 宋卫东, 匡忠祥, 等. 井下泥石流发生机理数值模拟研究 [J]. 金属矿山, 2008(4): 18 - 22.
- [16] 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.
- [17] 刘爱华, 张曾荣. 某硫铁矿井下泥石流灾害成因分析 [J]. 湖南有色金属, 1997, 13(5): 4 - 5.
- [18] 王胜开. 基于固液相耦合理论的矿山井下泥石流液化机理研究及无量纲分析 [D]. 武汉: 武汉科技大学, 2009.
- [19] 邱云胜. 采用预注浆堵水加固断层平巷 [J]. 矿业快报, 2002(2): 12 - 14.
- [20] 张玉泉, 张世杰. 特殊工程地质现象: 坑道泥石流 [J]. 工程勘察, 1990(2): 29.
- [21] 虎维岳, 田 干. 我国煤矿水害类型及其防治对策 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(1): 92 - 96.
- [22] 刘汉廷. 钱家营矿村庄下条带开采技术 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(3): 30 - 32.
- [23] 吴爱民. 钱家营近距离煤层煤岩体破坏与巷道优化支护研究 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2010: 19.
- [24] 程根银, 陈学习, 齐黎明, 等. 钱家营矿瓦斯赋存规律研究 [J]. 重庆大学学报, 2008, 31(S0): 88 - 89.