

重庆万盛煤矸石山自燃爆炸型滑坡碎屑流成因探讨

赵 宇, 崔 鹏, 王成华, 樊晓一, 朱颖彦, 高克昌

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 2004- 05- 05 重庆万盛胡家沟煤矸石山发生滑坡碎屑流灾害。灾害发生时, 伴随巨大的响声和刺鼻气味, 约 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 煤矸石碎屑以极高初始速度崩滑而下, 滑体横扫运动途中一切障碍, 垂直坡降 320 m, 水平运动距离 600 m。造成重大人员和财产损失。通过实地考察和实验研究, 作者认为煤矸石山中硫铁矿和碳氧化物升温, 煤矸石山自燃、内部热量大量积聚所导致的煤矸石山的爆炸, 是使大量矸石脱离矸石山形成此次煤矸石高速滑坡碎屑流灾害的主要原因。

关键词: 滑坡碎屑流; 煤矸石; 自燃; 爆炸

中图分类号: P642. 22

文献标识码: A

煤矸石是煤炭开采和加工过程中排放的废弃岩石, 其对环境危害一是占用大量土地, 二是煤矸石山自燃, 放出大量有毒有害气体污染环境, 一旦爆炸还会造成人员、财产损失。据有关资料介绍, 世界几个主要产煤国, 如美国、英国、法国、德国和俄罗斯等, 煤矸石堆积量在 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。据不完全统计, 我国统配煤矿每年煤矸石排放量在亿吨以上, 累计存量在 $30 \times 10^8 \text{ t}$ 以上, 形成 1 500 座煤矸石山, 占地 $12 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[1], 同时, 我国有大约三分之一的煤矸石山发生自燃, 散发出大量的有毒有害气体^[1]。国外有研究报道, 中国煤炭、煤矸石自燃所产生的有毒气体量是美国汽车尾气和工业废气量的总和^[2]。在我国自燃的煤矸石山中, 1983~ 1993 年 10 a 间, 曾发生大型爆炸事故 4 例, 小型事故 10 多例。4 例大型事故共伤 21 人, 死亡 16 人^[3]。这类煤矸石山自燃、爆炸引发灾害的发生频率不高, 但因其具有突发性, 往往造成重大人员伤亡, 应该引起足够的重视。

据调查, 2004- 05 末~ 06 初, 重庆万盛连续降雨, 尤其在 06- 04 晚降大雨。大量的雨水渗入万盛区万东镇胡家沟煤矸石山, 06- 05 上午放晴。到 13: 41, 煤矸石山发出巨大的爆炸声, 并伴随强烈刺

鼻气味, 约 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 煤矸石脱离矸石山以极高初始速度崩滑而下, 由于滑体为自然固结的矿渣, 脱离坡体后经短暂滑动, 并在滑床上留下明显压擦痕迹。崩滑体在滑动过程中完全解体, 解体后的煤矸石以碎屑流的方式在斜坡上高速流动, 并以摧枯拉朽之势冲下陡坡, 冲垮坡脚拦矸坝, 推翻地面土层, 将直径 15 cm 左右的树连根拔起, 并摧毁沿途 14 座民房, 强烈的冲击波横扫流通区两侧庄稼。形成的碎屑流最后冲入坡脚鱼塘并将其填埋, 造成重大的人员财产损失(图 1, 图 2)。万盛区处于四川盆地与黔北山区过渡带上, 由西北到东南地形逐渐升高: 西北属川南低山丘陵区, 海拔 190~ 500 m, 高差 300 m 以下; 东南属黔北中高山区, 海拔 1 200~ 1 400 m, 区内山脉大体呈南北向延伸, 与地质构造线一致。该区富含煤系地层, 万盛区因矿设区, 是重庆市 5 大矿区之一。滑坡发生在万盛区万东镇新华村胡家沟, 为低山丘陵区向中山过渡区, 海拔 500~ 1 000 m, 高差 300~ 500 m。其交通区位见图 3。

矿区属亚热带湿热气候, 年平均气温 18~ 19 ℃, 7~ 8 月常达 42 ℃, 且 1~ 2 月可低至 1~ 2 ℃; 年平均降雨量 1 100 mm, 雨量多集中 7~ 8 月; 年平均相对

收稿日期(Received date): 2004- 08- 23; 改回日期(Accepted): 2004- 12- 16。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(4017005)“用化学动力学方法研究滑面形成的力学化学自催化作用”; [National Natural Science Foundation of China, No. 4017005. Research on the Effect of Mechanochemical Autocatalysis in the Formation of Slip Surface Using Chemical Kinetics.] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所减灾应急基金。[Emergency Fund of Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS]

作者简介(Biography): 赵宇(1962-), 女, 汉族, 四川南充市人, 副研究员, 在职博士。电子邮件: zhaoyu@imde. ac. cn。专业方向: 滑坡机理、预测预报及治理研究。[Zhao Yu(1962-), Associate Researcher, Major fields are Mechanism of Landslide] Tel: (028) - 85214816

湿度为 80 %; 历年年平均蒸发量 978~ 1 100 mm; 多年平均风速 1.3 m/s, 一般风力为 3~ 4 级。

滑坡碎屑流是多年堆积而成的煤矸石崩滑形成。矸石山山顶海拔 520 m, 坡度约 35°。矸石山体积约 $80 \times 10^4 \text{ m}^3$, 灾害发生时, 近 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 煤矸石爆炸崩滑而下。滑动方向 300°, 滑动距离在水平方向约 600 m, 垂直落差 218 m。滑体最终滑进坡脚面积约 160 m^2 的鱼塘并将其填埋(图 4, 图 5)。

1 灾害成因分析

重庆万盛煤矸石山爆裂解体, 产生严重的滑坡、碎屑流灾害, 灾害的发生与诸多因素有关。但煤矸石山的剧烈自燃爆炸应是本次灾害的主要诱因。此外, 长期降雨和煤矸石的堆积方式等等因素也是致灾原因。



图 1 万盛煤矸石山滑坡、碎屑流

Fig. 1 Landslide and flow of coal wastes dump



图 2 被滑坡碎屑流破坏的建筑物

Fig. 2 Destroyed building by the landslide and flow



图 3 万盛滑坡碎屑流交通区位

Fig. 3 The location of Landslide and flow of coal wastes

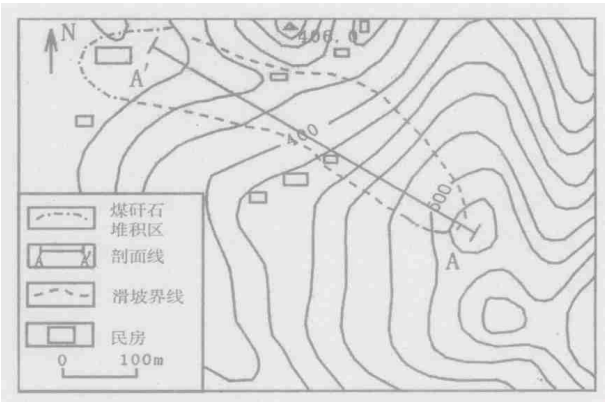


图 4 万盛煤矸石山滑坡、碎屑流平面图

Fig. 4 The plane of landslide and flow of coal wastes

1.1 含碳矿物、含硫矿物的影响

滑坡区胡家沟位于重庆市万盛区, 属南桐矿区。区内各煤层是变质程度中等的无烟煤。无机组分以硫铁矿和黏土为主, 井田各煤层原煤全硫含量均属富硫和高硫煤, 煤炭和煤矸石自燃现象非常严重, 区内很多煤矸石山都存在自燃情况^[4]。

胡家沟煤矸石山有 6~ 7 a 的堆积史, 灾害发生前, 山体内部一直自燃且有浓烈的二氧化硫味冒出, 证实其含大量的硫铁矿, 为其自燃提供了基本的物质基础。

硫铁矿和碳, 在一定条件下极易氧化。氧化过程是一个放热反应, 使环境升温, 进而引发煤矸石山

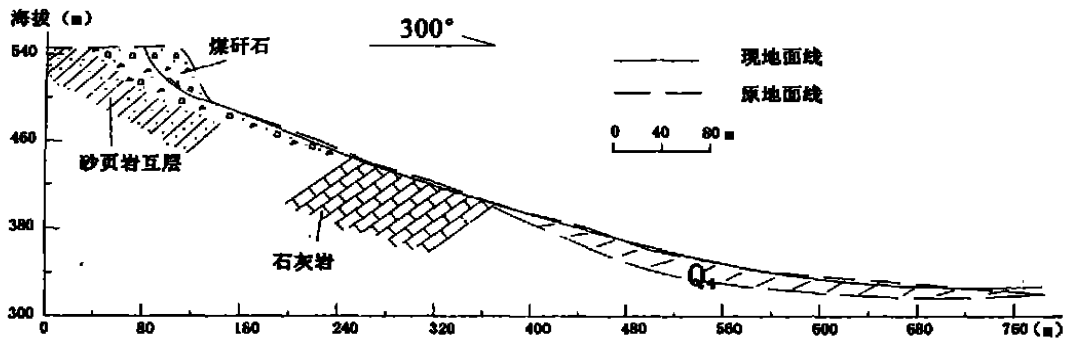
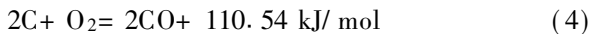
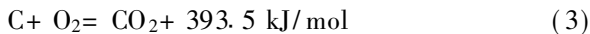
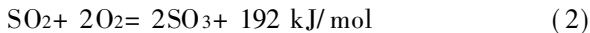


图5 万盛煤矸石山滑坡 A-A' 剖面图

Fig. 5 The profile along A-A'

的自燃爆炸。硫铁矿氧化在释放大量热量的同时,生成大量二氧化硫(供氧不足则生成硫磺)。胡家沟煤矸石山滑坡前有明火存在,崩滑当时发出极强烈的二氧化硫刺激味,证实了存在爆炸。

其主要反应过程及机理如下:首先空气中氧气同煤矸石中含碳矿物和黄铁矿接触后,以物理和化学方式吸附在矿物表面,为这些矿物的氧化提供了条件,主要反应如下



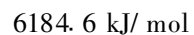
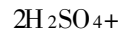
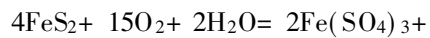
上述反应均是放热反应。1 kg 硫铁矿充分氧化需要 997.8 g 氧气,是煤氧化所需氧气的 53.2%。硫铁矿氧化所需氧气量少,放出热量较多,燃点却较低。约为 290℃,是煤矸石中首先氧化放热自燃的原因。所以煤矸石山中硫铁矿含量是引起煤矸石山自燃的决定因素^[4-8]。

1.2 水的影响

水的影响主要表现在两个方面:其一,水分能促进煤的氧化。雨水、空气中的水分,被煤和含碳有机质表面吸附后会产生吸附热,促进煤和含碳矿物的氧化,是煤矸石自燃的外因和必然条件。试验证明,当空气中湿度低于 15% 时煤矸石的吸氧量随湿度的增加而增加,当煤的湿度达到 10%~15% 时,吸氧量是干燥状态的 2~3 倍,自燃倾向最大。其二,水分能降低煤的着火温度,试验表明,在一定含水量范围内,所含水量增加,煤的着火温度下降。当煤的含水量达 20% 时,其着火温度比干燥时降低 80% 以上^[4,9,10]。

另外,水还能加速煤矸石自燃的速度。如果有

水分参与上述反应还会产生硫酸,进一步加剧硫铁矿的氧化分解。



(在微生物作用下) (5)

对现场采取的 5 个煤矸石样品进行含水量实验,结果表明:煤矸石样疏水后其含水量为 15.7%,饱和含水量为 18.032%~18.656%,均在最佳湿度范围内。如前所述,本次灾害发生前曾有长时间的降雨,煤矸石含水达到饱和,雨停后短期内煤矸石的含水量也在 15% 左右,为煤矸石的氧化自燃提供了充足的水分。即矸石山在灾害发生前一直处于对自燃最有利的含水量状态,加大加快矸石山的自燃,使温度急剧升高。

1.3 堆放方式和粒径的影响

如上所述,煤矸石的自燃需要大量的氧气,在堆积过程中,无论是平地堆放,还是顺坡堆放,都会发生粒度偏析使煤矸石山形成空气通道,结果使矸石山产生“烟囱效应”。空气通道的形成,保证矸石山下部的矸石粒径较中部和上部的大,因而通风、散热较好。而矸石山中、上部粒度适中,热量不易散失,导致局部热量积累,引起煤矸石山的自燃^[1]。

粒径组成在一定程度上决定了煤矸石的透气性,粒径太小,比表面积大,反应活性高,但渗入的氧气在表面就消耗完了,难以深入矸石山深部;粒径太大,气体流动阻力小,氧化产生的热量容易散失,不利于自燃。研究认为,平均有效粒径在 6~13 mm 时,矸石山具有最好的氧化升温及蓄热条件,产生自燃可能性最大^[1,8]。

我们采取现场煤矸石样品进行颗粒分析,结果

表明:煤矸石颗粒的有效平均粒径为 $d_{50}=12.275$, 在 6~13 mm 最易导致自燃的粒径范围内,使矸石山具有最好的氧化升温蓄热条件。

1.4 微生物的影响

矸石山的自燃往往是在微生物的催化作用下,产生生物化学反应,对硫铁矿氧化放热起催化作用。硫杆菌属等微生物当 pH 在 1.6~3.0, 温度为 25~28 ℃时,对反应(5)的催化反应尤为明显,并将硫加速氧化成盐酸,生成的盐酸又促进煤矸石的氧化,大大加速煤矸石氧化自燃进程^[4,7-10]。

1.5 煤矸石山内外温差影响

煤矸石山爆炸事故多发生在连续降雨中断的雨季。这是由于降雨冲击细粒土使缝隙堵塞,煤矸石山内部热量不易扩散,温度持续上升,而外部长期降雨,导致气温大幅下降。此外,降雨时的沉降气流也阻碍矸石山散热,从而使矸石山内外温差加大,最后引发了剧烈爆炸^[3]。

2 自燃爆炸过程分析和预防对策

综上所述,煤矸石山的自燃爆炸与煤矸石中硫铁矿的含量、存在状态、含水量、堆积、通风情况都有关。自燃爆炸要经过低温氧化-自动升温加速反应-自燃-爆炸 4 个阶段。是一个复杂的物理化学过程。且煤矸石山自燃一旦发生极难扑灭。

2.1 切断氧气供应

防止煤矸石山自燃,要从其堆放时开始。堆放时分层堆放,且用重型机械推平压实,使其不易透气。最好在两层之间用黏土或生石灰隔开,周边覆土,以尽可能的防止空气进入矸石山内部。另外,在矸石山上设置排水措施,如排水沟等,防止雨水渗入矸石山而带入空气。这些措施的原则就是防止煤矸石中可燃、易燃物与氧气接触而氧化自热、自燃并引起矸石山爆炸,造成灾害^[11-15]。

2.2 降低温度

矸石山自燃爆炸,首先是因为其中的可燃物自热,热量积累,矸石山内部温度上升,当温度上升至煤等可燃物的加速氧化临界温度后,煤矸石温度快速上升,达到煤等可燃物燃点后,开始自燃。因此,可通过测量矸石山内部温度,在其达到加速氧化的临界温度之前采用冷却法、灌浆封闭法、低温惰性气体法等方法降低煤矸石温度,以防止自燃爆炸。

2.3 使用阻燃剂

在煤矸石堆放过程中,掺氢氧化镁、氯化镁、锅巴盐或粉煤灰等阻燃剂^[4,15],达到预防煤矸石山自燃爆炸的目的。

3 结语

本研究 and 考察表明,重庆万盛煤矸石滑坡碎屑流灾害的产生是①由于高含硫煤矸石存在;②矸石倾倒堆积方式产生粒度偏析,形成空气通道;③适宜的粒径和含水量;④长期降雨和短暂放晴,造成矸石山内外温差和沉降气流;⑤矸石山良好临空面等诸多的物质条件组合。由此形成此次滑坡碎屑流。

本次灾害的发生有其偶然性也有必然性,万盛区包括整个南桐煤矿还存在大量的煤矸石山,有的长期自燃既污染环境,且不排除仍有爆炸产生灾害的可能,值得我们高度重视。

参考文献(References):

- [1] Li Song, Mechanism of spontaneous combustion of coal wastes and prevention technique[J]. *Mining Science and Technology*, 2002, 11(1): 5~8. [李松. 煤矸石自燃机理及其防治技术[J]. 矿业科学技术, 2002, 11(1): 5~8.]
- [2] Gary J. C olaizzi, Goodson & Associates. Prevention, control and extinguishment of coal seam fires using cellular grout[J]. *Coal Fires Buring around the World: a Global Catastrophe*, 2004, 12(7): 45~55
- [3] Liu Xingguo, Liu Honhli, Xie Haijin. Explosion and prevention of coal wastes dump[J]. *Environment Pevention of Coal Mine*, 1994, 8(2): 29~30. [刘相国, 刘红雨, 谢海金. 煤矸石山爆炸雨预防[J]. 煤矿环境保护, 1994, 8(2): 29~30.]
- [4] Zhao Yu. Analysis of cause and research of the control technique of the spontaneous combustion of fengchun coal mining[D]. [Master Paper]. College of Resource and Environment Engineering of Chongqing University: 1993, 6~20. [赵宇. 逢春煤矿八号煤层自燃发火原因分析及防火技术研究[D][学位论文]: 重庆大学资源及环境工程学院. 1993. 6~20.]
- [5] F. A. Williams. Theory of Combustion[M]. Beijing: Science publishing Company, 1987.
- [6] V. S. Eoseev and S. P. Vorshilov. Modeling the process of self-ignition talk into account the influence of moisture on additional process in coal[J]. *Soviet Mining Science*, 1986, 22(2): 125~132.
- [7] R. O hamuin. R. Lodel and J. L. philippe. Spontaneous Combustion of Coal[J]. 1991.
- [8] Min fanfei, Wang chuanjin. the cause of spontaneous combustion of Coal Wastes dump and prediction prevention[J]. *Coal Science and Technology*, 2003, 24(1): 41~43.
- [9] N. Vkaledin: A new method of determining coal temperature[J]. *Soviet Mining Science*, 1984, 20(3): 78~83.

- [10] Bureau of Mines, U. S. Department of the Interior, Coalfires in abandoned mines and inactive deposits[Z]. 1972. U. S. Government 16.
- [11] Feiler J. J. Colaizzi, G. J., Carder, C.. Foamed Grout Controls Underground Coal-Mine Fire Mining Engineering[J]. *Metallurgy, and Exploration*, 2000 **52**(9):, [J]. 58~ 62.
- [12] Griffith, F. E., Magnuson, M. O. and Toothman, G. J. R.. Control of fires in inactive coal formations in the United States[Z]. *Bulletin U. S. Bureau of Mines*, 1960, **590** (105): 76~ 83
- [13] T. Gentzis. The organic petrology of spontaneous combustion coal waste dump, Coleman Mine, Canada[J]. *International Journal of Geology*, 1989, **1**(11): 257~ 271. [加拿大阿尔伯塔地区 Coleman 矿自燃煤矸石堆的有机岩石学[J]. *国际煤田地质*, 1989, **1**(11): 257~ 271]
- [14] M. I. Alonso, A. F. Vald s, R. M. Mart nez-Tarazona *et al.*. Coal recovery from fines cleaning wastes by agglomeration with colza oil: a contribution to the environment and energy preservation [J]. *Fuel Processing Technology*, 2002, **75**(2), : 85~ 95
- [15] Rohn N. Carnasaa, Brian C. Youngb. Self-heating of coal and related materials: Models, application and test methods[J]. *Progress in Energy and Combustion Science*, 1999, **20**(1), : 1~ 15

Cause of Coal Wastes Landslide and Flow of Wansheng, Chongqing

Zhao Yu , Cui Peng, Wang Chenghua, Fan Xiaoyi , Zhu Yinyan, Gao Kechang

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS. Chengdu 610041, China*)

Abstract: A coal-waste flow occurred on June 5, 2004 in Wansheng, Chongqing. The coal wastes dump unexpectedly exploded with a terrible smell and then rushed down to the foot of hill from the peak along the mountain stream with a high velocity and tremendous voice, demolished fourteen houses. The shock wave swept plants and trees away on both sides of the stream. Finally, wastes rushed into and filled a pound, spattered water on the persons on the opposite side. The event resulted in heavy loss of life and property. The field survey of the coal wastes dump indicates that this hazard was caused by the high-speed landslide and flow due to self-ignition and explosion of the waste. And self-ignition was resulted from the oxidation of pyrite and carbon, spontaneous combustion and then blast. The blast made a mass of coal wastes bursted apart the dump and turn into flow. Then, it is necessary for prevention to remove combustible material from the wastes, change the way of rockfill.

Key words: coal wastes flow; coal wastes dump, spontaneous combustion; explosion