

西南矿区山体崩塌成因机制分析及防治对策

杜蜀宾

(徐州建筑职业技术学院, 江苏 徐州 221008)

[摘要] 西南地区的矿区具有相似的地理、地质环境, 通过四川芙蓉煤矿白岩崩塌的典型实例, 对西南矿区山体崩塌的成灾环境进行调查, 揭示了西南矿区山体崩塌的成因机制, 并简要提出了对该煤矿开发与综合治理建议, 指出了加强防治工作的紧迫性, 强调开展系统工程防灾的重要性, 并为该煤矿解决正常采掘接替及工作面的布置问题作出了科学的指导。

[关键词] 崩塌; 成灾环境; 机制; 治理

[中图分类号] X141 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)01-0089-04

[作者简介] 杜蜀宾(1956—), 男, 四川宜宾人, 副教授, 现从事环境地质教学与科研工作。

芙蓉矿区白岩山于1994年3月发生一起大型崩塌, 堆积体土石方总量约 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$, 堆积体长500~600 m, 宽40~50 m, 高30~80 m。这次崩塌造成18人死亡, 摧毁民房两座、煤窑3个及部分采矿设备, 约 10 hm^2 耕地消失, 估计直接经济损失300余万元, 间接经济损失480余万元, 崩塌发生时, 附近宜宾地震台记录有3级地震发生^①。

在总结矿区主要地质灾害的基础上, 重点对矿区山体崩塌机制进行了研究, 遵循定性定量相结合、传统工程地质与系统论相结合的原则, 对崩塌的成灾环境和变异环境进行了分析研究, 提出了矿区山体崩塌的基本模式, 在定性分析的基础上, 采用有限元数值模拟方法分析了地下开采与斜坡变形的关系; 揭示了矿区山体崩塌的一般规律; 应用模糊二级综合评判对斜坡的稳定性作出了综合评价; 提出了矿区山体崩塌的防治措施和建议(定量分析过程略)。

1 矿区主要地质灾害

研究区地层岩性复杂, 褶皱紧密, 小断层发育, 山体基岩裸露, 切割强烈, 岩体破碎, 地形陡峻, 地表高差大, 整个山体结构十分脆弱, 加之异常的暴

雨、久雨天气及频繁的地震活动, 曾发生过多起崩塌、滑坡。特别是近几年, 森林植被屡遭破坏, 采矿深度加深, 范围扩大; 小煤窑开采失控, 使得该区山体崩塌、滑坡又处于一个新的活跃期, 成为国土资源开发与保护中不可低估的障碍因子。矿区的主要地质灾害有: 崩塌、滑坡、地裂缝、地面沉降、塌陷、地表水、井泉被疏干、水质污染等。为此, 积极开展该区山体崩塌、滑坡等灾害的调查研究, 提出切实可行的防灾对策, 是当前工作中的一项重要任务。

2 成灾环境及成因机制分析

2.1 地形地貌

大量的崩塌表明, 陡峻的斜坡地形是形成崩塌的必要条件。研究区属于中低山地, 地形起伏大, 白岩山地面标高在616~1122 m, 高差506 m, 地面切割悬殊, 地势险要, 沟谷纵横, 陡崖倾角 $60^\circ \sim 90^\circ$, 顶部呈直立的悬崖, 局部呈反倾斜之势, 山顶至山腰多为裸露的岩面。这里沟谷发育呈“V”字型, 山坡两面形成临空。三叠系下统飞仙关组地层多形成链状陡峻山峰, 这里经常发生小型崩塌和零星落石现象。

2.2 脆弱的地质环境

地质环境是地质灾害的载体, 是地质灾害孕育发生、发展的物质基础, 是产生地质灾害最本质的

[收稿日期] 2003-04-02

①四川煤田地质公司135队, 四川芙蓉煤矿正250 m延深水平补充勘探地质报告, 1985。

内在因素,其他因素都是通过地质环境这个内因起作用。

2.2.1 地层岩性对崩塌的控制作用

不利的地层岩性是白岩崩塌形成的基本条件。白岩崩塌区广泛分布下三叠系飞仙关组第二段(T_2^1)地层,岩性以暗紫色、紫红色粉砂岩、砂质泥岩为主夹细砂岩、泥岩,分层多,属中薄层结构,质软、性脆,节理发育,多组节理把岩层切割成块状,且风化破碎严重。这种类型(泥岩与砂岩类互层)岩石中的砂岩层强度高,弹性模量大,易于积聚较高的应力,产生开裂,在泥岩与砂岩交界处容易发生层间错动和离层,有利于崩塌的发生。

2.2.2 岩土成分及致崩塌效应

崩塌区岩石主要为粉砂岩、砂质泥岩,间夹细砂岩和泥岩层。

使用 PHYLIPS PW1010 型衍射仪对所取岩样做 X 射线衍射分析,其结果见表 1。

表 1 矿物 X 射线衍射分析结果

Table 1 Mineral X-ray diffraction analysis results						
岩样	方解石	石英	云母	硬锰矿	绿泥石	长石
泥岩	56	33	少量	11		3
砂质泥岩	35	22			40	
细砂岩	25	41		29	5	

注:绿泥石 X 射线衍射及水化反应无膨胀性;表中数据/%

用自来水、弱酸性水(1%)和较强酸性水(10%)进行酸性试验,观察结果见表 2。

表 2 岩石酸性试验结果

Table 2 Acid test results for rocks			
岩样	自来水	弱酸性水	强酸性水
泥岩	无反应	反应	反应强烈,24 h 后呈多孔状黑色物
砂质泥岩	无反应	反应	反应强烈,有大量小气泡产生
细砂岩	无反应	无反应	反应时间很短

崩塌土镜下鉴定主要矿物成分为高岭石或水云母 70%~94%,炭质 5%~15%,石英 3%,含砂 15%。砂粒直径以 0.15~0.2 mm 为主,粉砂约 10%,直径为 0.02 mm,含硅质 10%。

由以上试验及镜下鉴定结果分析可见,泥岩和砂质泥岩长期在循环于含硫煤层中的酸性水作用下,经长期累进变化,会发生软化或泥化,力学强度会逐渐降低,有利于斜坡的崩塌破坏。

2.2.3 岩体构造特征

研究区因受燕山运动的影响,山系明显受褶皱

方向控制,褶皱翼部多形成高峻的山系。在长期的地质运动中,岩体遭受破坏,多期构造裂隙叠加,小断层特别发育,形成了多种层次的结构面。地表观察和钻孔资料表明,飞仙关组一、二段地层斜交裂隙、节理发育,走向 NE、NW 向,而 NE 向裂隙、节理最为发育,节理走向延展长,垂直深度大,一般倾角 70°左右,裂隙率 0.05%~2.2%。这些结构面把岩体切割成大小不一、形状不规则的结构体,使岩体的整体性受到严重破坏。另外,还有一组垂直节理,促使结构体沿裂隙面朝临空面一方崩塌,在崩塌的同时,导致崩塌处岩体出现一系列拉伸裂隙,进而促使次一级崩塌体的发展。

由于这些节理、裂隙存在,既破坏了斜坡岩体的整体性,又为地表水和地下水的运移提供了通道,加剧了边坡岩体的风化作用,从而大大降低了斜坡的稳定性。

2.3 降雨和地下水

研究区雨量充沛(941~1516 mm/a),多集中在 7~10 月,常有大暴雨或降雨,9 月暴雨与连绵阴雨相伴,次数多、季节长、强度大。夏秋雨季因受潮湿气流控制,常有阴雨出现。降雨极易通过发育的节理、裂隙渗入地下,一方面加大坡体的重量,同时水的静水压力增加了山体的推动力,降低了抗滑力;另一方面明显改变了岩体的力学状态,使岩体强度软化,降低了岩体凝聚力和内摩擦力,使剪应力集中区首先破坏,致使破坏范围迅速传递或扩大,最终导致山体失稳。

斜坡上的地下水,在得到雨水的补给后,它们联合作用,使边坡上的不稳定岩体,更易失稳,主要表现在:充满在裂隙中的水及水的流动,对不稳定岩体产生静水、动水压力和向上的浮托力;裂隙和其他结构面中的充填物在水的浸泡下,抗剪强度大大降低,常常成为斜坡变形破坏的控制带;充满不稳定岩体两侧裂隙中的水,使不稳定岩体与稳定岩体之间的侧向摩擦力减小。

可见降雨和地下水对崩塌的发生起到了促进作用。在斜坡演变历史过程中,雨水和地下水不断降低斜坡稳定性,使斜坡的演变进入累进性破坏阶段,或使稳定性已接近失稳状态的斜坡突然破坏,以致成为触发因素。

2.4 采矿活动

研究区小煤窑星罗棋布,开采历史久远,1994 年白岩崩塌发生后,对正在生产的小煤窑(紧邻白

岩山脚下)进行了调查,小窑主要开采大矿的浅部(20~60 m)隔水煤柱和老空区残煤、边角煤,对地表影响更直接、更强烈。

小煤窑在两面临空的白岩山陡崖下采煤多达5个,矿井百孔千疮,已成为近期上覆山体变形直至崩塌的主要人为因素。调查表明,地表切割裂缝的形成及变形的急速发展均出现在对应的地下采场采空之后,地下开采不仅使陡坡失去下卧支撑,而且引起覆岩拉伸变形、塌落,导致地表岩体沿结构面发生剪切滑移、拉开,使地表形成切割裂缝,最终使岩体的连续性大大降低。据现场考察,已发现由于小煤窑开采造成新的地表开裂、塌陷和小型崩塌现象。

另外,由于煤层的顶板或间接顶板是弹性模量和强度都较高的细砂岩、粉砂岩,这类岩石破坏时表现出强烈的脆性。由于强度高,因而不易冒落。顶板在变形过程中积累的弹性应变能,随着采空区的不断扩大,当达到一定值时,顶板的变形达到极限,顶板就迅速破坏,产生较大的冲击地压,冲击地压发生时,这些应变能迅速释放,对围岩施以强大的动荷载,引起围岩破坏^[1]。冲击地压对边坡稳定性的影响表现为两个方面:一方面,引起岩体产生新的裂隙,并使原有裂隙扩展、贯通,降低岩体强度,恶化边坡的地质条件;另一方面,引起边坡岩体强烈振动,而且这种振动往往具有较强的水平分量,当振动水平分量作用方向与边坡面倾向一致或相近时,振动作用既增加边坡体的下滑力,又减小结构面上的正应力,致使结构面的抗滑力下降。可见,地下采掘产生的动荷载会降低边坡的稳定性,促使边坡的变形破坏。

2.5 其他因素

2.5.1 风化作用

风化作用是促使崩塌发生的外在因素之一。主要表现在边坡上的岩体在各种风化应力长期作用下,其强度不断降低。

研究区由于地表植被稀少,尤其边坡上缺少茂密的树林,对固定山坡的松散岩石,防止水土流失,起不到阻碍作用,相反有利于风化作用。同时,坡顶张裂缝增加了边坡岩体与大气和水的接触,加剧了边坡岩体的风化,使岩体风化带不断向下延伸,有利于崩塌的发生。

2.5.2 崩塌区附近地震活动背景

据国家地震局1990年《中国地震烈度区划图》,

研究区所属高县区地震烈度为6~7度,是云南雷波、马边地震波及区,震级3级左右。可见,该区属地震崩塌的下限。调查表明在白岩山发生崩塌之时,只有微震(1~3级)发生。可见白岩山的崩塌,地震不是直接诱发因素,而是一种累进的影响因素。

2.5.3 温度变化

温度变化是影响边坡岩体风化并导致浅层岩体破坏的一个重要因素。研究区属亚热带气候,最高气温39℃,最低气温-1℃~9℃,平均气温约17℃,年气温温差较大。温度的变化会导致热应力的生成,且地面温度变化的周期性致使热应力具有交变性,从而使边坡岩体产生机械破坏。所以温度是边坡岩体浅层破坏的主导因素。

3 斜坡崩塌破坏的发展过程

白岩崩塌的发展过程可分为3个阶段(图1):

(1)陡倾斜面拉裂阶段。由于地下开采或坡脚冲刷,致使坡脚支撑力减弱,坡顶张应力集中,坡体后缘已有的构造裂隙进一步加深加宽,边坡上产生直立或陡倾的不稳定岩体(图1a)。

(2)板梁弯曲、拉裂面向深部扩展并逐次向坡后推移阶段。不断加宽的裂隙把岩体切割成陡倾的板状且拉裂面向深部不断延伸,在降雨等多种因素综合作用下,随着坡体前缘的倾斜,后部陡倾的板梁逐渐向临空面方向倾斜弯曲,同时坡缘、坡面局部发生小型崩塌、落石(图1b)。

(3)板梁根部折断或错动、崩塌破坏阶段。当板梁在自重应力产生的弯矩或其他水平力作用下弯曲到一定程度时,其根部折断或错动,并以坡脚为支点翻转、倾倒,最终发生崩塌,崩塌物堆积于坡脚(图1c,图1d)。

这类崩塌坡体的位移规律为:

- (1)水平位移大于沉降位移。
- (2)岩移方向大致垂直于坡面走向。
- (3)变形过程由坡体前缘向坡后发展,逐次发生倾倒破坏。

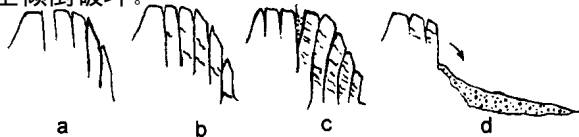


图1 白岩崩塌的发展过程

Fig.1 Developmental process of the Baiyan avalanche

综上所述, 提出白岩山斜坡在采动条件下变形机制的地质模式为: 地下采空—前缘倾斜—后缘拉裂—下沉稳定。

4 防治措施

面临岌岌可危的山体, 孕育着再次崩塌的危险。如何采取防治对策呢? 有 3 种设想:

(1) 避让对策。把芙蓉山白岩地区可能发生崩塌危及地段划为严禁区, 把该区的人员全部搬迁, 停止继续采煤, 以保证人员的生命安全。该方案安全可靠, 但是严禁区压煤 40×10^4 t, 服务年限 2 年, 若放弃开采这一部分煤, 势必影响全矿生产大局, 将出现一部分人的就业问题以及大片土地荒芜、村民搬迁、何处谋生等问题。

(2) 地面防治。采取削减坡度, 建立梯级式平台的办法, 将边坡分为若干小段, 形成台阶状, 以减少滑动的可能性。这种方法的目的是为了减小有滑动危险岩体的动能。该方案的治理费用大, 开挖的土方量大, 实施过程有困难, 或许在治理过程中继续造成滑坡或崩塌及经济损失和人员伤亡。

(3) 井下防治。开采对地面影响最小的方法^[2], 这种方法可归纳为: 合理开采系统参数的选

择; 工作面合理开采形状的选择。应用数值模拟与相似模拟试验等先进手段与技术方法, 查清采动破坏发生发展的全过程, 从而确定相适宜的矿井开拓与煤炭回采生产工艺。

上述 3 种方案比较之下, 第 3 种方法可行, 在一定程度上克服了前面两种方案的不足。

5 结论

白岩崩塌只是西南矿区山体崩塌的一个典型例子, 从其成灾条件分析中看出, 西南矿区山体崩塌的发生最主要因素是由于具有高陡的地形地貌条件, 这是造成崩塌的必要条件, 而当地的地质环境是造成崩塌的本质因素, 降雨和地下水的作用是诱发因素, 采矿和其他因素则加剧了崩塌的形成。

综上所述, 崩塌发生的机制是在多种因素的影响下, 当继续采煤时, 由于采煤掏空作用, 累进性变形不断发展, 使煤层顶板受影响而变形, 造成上覆岩层前缘失去支撑, 从而导致山体失稳酿成崩塌。

[参 考 文 献]

- [1] 胡厚田. 崩塌与落石[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1989.
- [2] A zorycha 等. 建筑物下开采的主要原则[J]. 余学义译. 西安矿业学院学报, 1993, 13(1): 10~11.

Mechanism and countermeasure of avalanche in the mining area of southwest China

DU Shu-bin

(Xuzhou College of Architecture Occupation Technology, Jiangsu Xuzhou 221008, China)

Abstract: The mining area of southwest China has the similar geography and geological environment. Through a typical example of Baiyan avalanche of Furong mining in Sichuan, the environment for causing the avalanche disaster of the mining area in southwest China is studied, and the mechanism of mining area avalanche of southwest China is analyzed. Thus, the proposal for Furong mining development and synthetic administration is raised. The imminent of the stability evaluation work is strengthened and to. This paper also gives the normal excavation alternative and scientific direction of the arrangement of coal face for the Furong mining which has reference value for studying other similar problems.

Key words: avalanche; environment for causing the disaster; mechanism; treatment

(英文审定: 苏生瑞)