

# 采场地质灾害分析评价与控制

邓红卫, 周爱民, 黄筱军

(长沙矿山研究院, 湖南 长沙 410012)

**摘要:**通过对某种采矿方法、采场地压活动规律和采场地质灾害因果关系的分析评价, 阐述了目前工程界控制采场地压的几种主要手段, 提出了对该问题的认识与看法。

**关键词:**采场地压; 灾害评价; 岩层控制; 断裂韧度; 应力强度因子; 损伤因子

矿山安全性评价的重要一项就是采场地压。根据原劳动部门和经贸委安全生产局对非煤矿山事故的统计与分析, 1987~1999年间非煤矿山死亡人数最多的事故类别是冒顶片帮、坍塌, 这两类事故无不与采场地压息息相关。地压灾害在金属矿山、煤矿时有发生, 小则发生掉块、片帮, 大则整体坍塌、并波及地表(如广西某锡矿), 造成严重的人员伤亡及财产损失。因此, 对于矿山来讲, 针对采场地压灾害应用系统安全工程学原理进行科学评价, 采用科学手段进行分析, 把现代的科学理论(如岩层控制原理等)与本矿的具体实际结合起来, 真正找到一条控制采场地压活动的路子, 掌握采场地压灾害的防治措施是非常重要的。

## 1 采场地压活动规律与灾害形式

采场地压是原岩作用在采场顶板、矿柱、围岩上的压力与围岩因位移或冒落岩块作用在支护结构上压力的总称。采空区的形成, 破坏了原岩的应力平衡条件, 必然引起应力的重新分布, 在采场周围形成二次应力场。如果二次应力场中的应力没有超过岩体的承载能力, 岩体就会自行平衡; 由于采动的影响, 二次应力场中应力可能发生叠加, 有时大大超过原岩应力, 导致岩体出现破裂甚至冒落或断面产生很大变形(如金川二矿区)。

二次应力场与采场尺寸、断面形状有关, 并且在时间上、空间上不断变化。二次应力场应力分布是一种由应力、岩性、岩体结构控制的自然现象, 是采掘工作扰动原岩应力平衡的必然结果。当二次应力场中应力超过岩体强度之前, 岩体以弹性变形为主, 当应力增高达到或超过围岩体强度时, 围岩进入塑性变形状态, 在临空面产生破坏、松胀, 因而释放应力, 出现应力降低区。

采场地压活动与采矿方法密切相关。以崩落法为例: 无底柱分段崩落法采场地压显现是通过回采进路、分段运输联络道、溜井及中深孔变形与破坏来反映的。采场地压活动规律一般表现为: 回采进路周围岩体中存在着移动性支承压; 采场地压分布有明显的分区分带特征; 上、下回采分段对应部位有一定影响; 滞后进路地压显现严重。有底柱崩落法矿山的采场地压显现主要是底部出矿道的变形与破坏。其采场地压活动规律为: 底柱处于加载-卸载-加载过程, 承受压力和变形频繁; 采场周边压力小, 采场中心压力大。

采场地压灾害据相对几何部位分: 顶围(板)悬垂与坍塌, 侧围(壁)突出与滑塌, 底围(板)鼓胀与隆破, 简称冒顶、垮帮、底鼓。

从围岩的力学性质来分: 弹脆性围岩地压灾害分为弯折内鼓、胀裂塌落、劈裂、剥落、剪切滑移、碎裂松动、岩爆等; 塑性围岩地压灾害分为塑流挤出、膨胀内鼓、塑流涌出、重力坍塌等。

## 2 采场地质灾害安全评价

采场地质灾害主要是采场地压灾害, 其冒顶片帮事故占首位。因此, 对采场地质灾害的评价, 集中在对冒顶片帮的评价上。目前, 采用评价函数对冒顶片帮进行评价。评价函数为  $f = 2g + l + q$ , 其中:  $g$  代表“地质条件因子”,  $l$  代表“开拓长度因子”,  $q$  代表“开拓断面因子”。因子的取值见表1。

根据评价函数计算函数值, 将冒顶片帮划分为4个等级, 该方法着重解决的是发生冒顶片帮的参考指标, 并没有分析致灾因素的种类和权重, 对控制灾害事故的发生指导意义不大。

采用因果分析方法可以找出致灾因素的种类及其主次关系, 有利于采场地压的控制, 继而达到控制

表1 冒顶片帮事故评价函数各因子的取值

评价因子	适用条件	因子取值
G	整个采场或坑道地质条件差,危险	3
	部分地段地质条件差,危险	2
	地质条件较好,较安全	1
L	开拓长度大于1000m	3
	开拓长度300-1000m	2
	开拓长度小于300m	1
Q	开拓断面面积大于50m <sup>2</sup>	3
	开拓断面面积10-50m <sup>2</sup>	2
	开拓断面面积小于10m <sup>2</sup>	1

采场地质灾害的发生。冒顶片帮事故因果分析鱼刺图见图1。

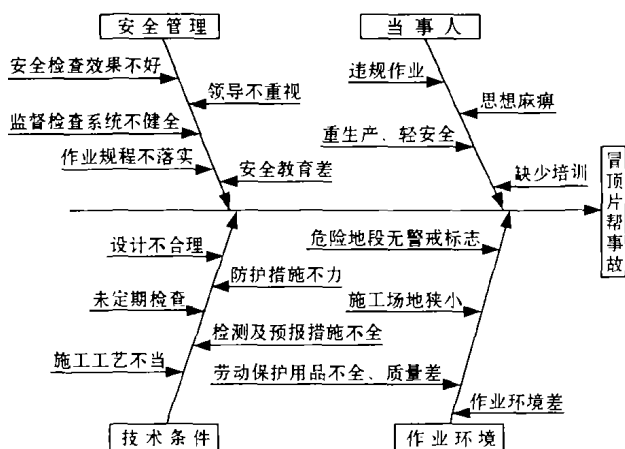


图1 冒顶片帮事故的因果分析

由图1可知,冒顶片帮事故发生的主要根源是人的不安全行为、技术水平的欠缺、作业环境的不安全状态及管理水平。

### 3 采场地压控制

采矿工程,受矿体赋存条件的制约,采场布置,采准工程的位置及地质条件无法随意选择,但工程中总有一些可控制或可调节的因素,因此在采矿设计与采准工程施工中,应据安全评价的基本原则及评价结果,充分利用地压活动规律,采取一系列工艺、技术措施进行综合治理,保证在经济原则下,减少或避免地压灾害,确保采场安全。

#### 3.1 设计合理的采矿方法

矿体的开采大体分壁式开采和房柱式开采,设计前应了解采场地压的显现特点及采场地压的活动规律,结合矿体的开采条件,进行类比分析找出安全可靠的开采方法。

对于壁式体系的开采,必须进行工程类比,找出

规律,并按下述内容对地压进行控制:老顶初次来压步距;在初次来压期间必须对工作面进行支护;进行来压预测预报;掌握来压的周期。

对于房柱式开采体系,由于上覆岩层重量转移,使矿柱中的应力增加,形成支承压力,矿柱表面可能发生片帮、压裂。因此,应确定合理的矿柱尺寸;及时处理采空区;加固顶板,控制地压。

#### 3.2 建立地压活动监测系统

针对不同的地压活动显现,采用不同的监测设备,对整个采空区及围岩进行地压活动监测,为控制采场地压灾害提供最可靠的第一手资料,对所获资料进行认真分析、研究,找出预警标准或判据。

(1) 用钢弦压力盒和油压枕测定岩柱的压力,并对其进行压力监测;

(2) 用光弹应力计监测围岩应力变化;

(3) 用钻孔多点位移监测围岩内部位移变化;

(4) 用弹性波测定围岩的松动圈范围;

(5) 用声发射监测围岩的破坏。

#### 3.3 采用适当的支护方式

采场地压灾害的防治措施包括工程界广泛使用的支护手段。在“围岩-支护”共同耦合作用的指导下,先后产生了喷射混凝土、喷锚、锚索、挡墙、注浆加固等支护手段。笔者认为,以前的支护过程有两种极端情况:

(1) 当岩体内应力达到峰值前,支护已到位,支护体系阻挡了岩体的剪胀、扩容阶段,这要求支护体系有足够的刚度和强度,才能保证“围岩-支护”共同体的稳定。该种支护没有充分利用地压活动规律,充分发挥围岩本身的作用,这说明传统地压理论存在缺陷。

(2) 岩体内应力达到峰值前,支护未及时跟上,甚至岩体已开始破裂,支护仍未起作用,从而导致采场地压灾害的发生,此时如有支护存在,也失去了支护的意义。

如果在采场地压领域引进断裂力学、损伤力学,把支护时期选在上述两者之间,这一难题就可以解决。利用应力强度因子  $K$  来判断裂隙的扩张时间与扩张方向,再利用损伤力学的损伤因子判断失稳时期,就可以解决微观领域的问题,找出由微观的发展导致宏观灾害发生的可能时间。此时,岩体应力已到达强度峰值,岩体变形的发展也充分,岩体尚未宏观失稳支护就开始起作用,这时支护受到的只是剩余部分的变形作用。

从断裂力学来看,喷锚支护改变了围岩中原裂纹的受力状态和几何参数,从而降低原裂纹端部的应力强度因子 $K$ ,提高了围岩的稳固性。

锚杆的支护作用机理在工程界意见不一,作者认为其作用机理主要有悬吊作用、减跨作用、组合梁作用、组合拱作用等。研究还表明,锚杆对抑制节理面间的剪切变形和提高岩体的整体强度有帮助。从断裂力学上看,锚杆对围岩的加固作用可视为在裂纹表面作用着对称集中力,从而降低应力强度因子,提高围岩的稳定性。

注浆加固支护,其注浆时机的选择对注浆效果很有影响。注浆过迟,难以起到支护作用;过早,为适应围岩应力、裂隙扩张等条件,对浆液材料的粘结性能、渗透性、固结体强度及其允许变形量要求相对过高。

### 3.4 几点认识

对于二次应力场中应力的分析及围岩压力的计算,工程界有的把围岩视为松散介质,从而利用经典的普氏 $f_k$ 法和太沙基理论;有的把围岩视为弹塑性体,确定了相应的计算方法。该方法将围岩视为均质、各向同性体,沿用了弹性、弹塑性和弹粘性力学方法进行计算,能有效地解决宏观问题,但对微观现象,却回答不了“为什么”。笔者认为,断裂力学、损伤力学从微观上能利用能量释放率 $G$ 、断裂韧度 $K_{IC}$ 来描述微观过程,通过二次应力场中的应力强度因子 $K$ (表征裂隙尖端附近应力场的强弱程度)来判断断裂(岩体)是否进入失稳状态。

(上接第12页)

加强地下装载机管理就是定期对地下装载机进行正确维护与保养,使设备随时处于正常状态。这是防止事故发生的重要措施。对人员进行技术培训就是要使相关人员懂得安全操作规程,会用会修,会维护保养,并经考试合格,取得安全许可证和上岗证之后才能上岗操作。这是防止设备与人员发生事故的最根本措施。地下装载机司机是一种特种作业工,容易发生伤亡事故,对操作者本人及设备造成重大危害。在“安全标准”中无此项要求,是这个标准的不足,建议修改。

### 4.13 安全要求的适用范围

由于地下装载机的设计是在一定的工作环境(如一定的温度、海拔高度、湿度、通风量、电压、电流……等条件)下进行工作的。地下装载机只有在

合理的防治措施是建立在科学理论之上的。例如,可以根据采场地压的时空效应,采取以下采场地压灾害的防治措施:

- (1) 强化开采,缩短进路回采周期,在地压到来之前结束回采工作;
- (2) 确定合理的回采程序;
- (3) 改变围岩应力状态,实现卸压开采。

## 4 结束语

随着采矿技术的发展,一些难采矿体相继恢复开采,采场采准工程向深部和地质条件差的方向延伸,要求对采场地压的分析、控制更为可靠、准确,最好能对采场地压灾害做到预测、预报。为此,把新发展起来的科学理论体系应用于具体的工程中,任重而道远。

### 参考文献:

- [1] 赵铁锤,等.安全评价[M].北京:煤炭工业出版社,2002.
- [2] 于晓中,等.岩石和混凝土断裂力学[M].长沙:中南工业大学出版社,1991.
- [3] 任德惠,等.井工开采矿山压力与控制[M].重庆:重庆大学出版社,1990.
- [4] 邓红卫.金川二矿贫矿开采工程地质水文地质调研[J].矿业研究与开发,2000,20(5):3~6.
- [5] 周爱民.金属矿山安全现状与防治新技术[J].采矿技术,2003,3(2):1~4.

(收稿日期:2003-11-12)

设计的条件下工作才能保证其性能和安全。超过了这个范围达一定程度后,轻则地下装载机的性能变坏,重则发生设备与人身事故。例如工作环境温度如超过设计范围,一方面由于温度升高,空气稀薄,参加燃烧的空气量减少,发动机功率下降。另一方面,由于温度升高,发动机的冷却能力不足,使发动机过热损坏,甚至发生火灾。因此,必须指出地下装载机的安全适用范围。

总之,通过上面的分析可知:JB 8515/-1997《地下铲运机安全要求》标准存在某些不足,已不适应当前形势,需要作一定的修改、补充、完善,从而更好地保护人与机的安全。

(收稿日期:2003-08-10)