

突出预测指标钻屑量影响因素研究

董 杰^{1,2} 李希建^{1,2} 刘 钊^{1,2}

(1. 贵州大学 矿业学院, 贵州 贵阳 550003;

2. 贵州省非金属矿产资源综合利用重点实验室, 贵州 贵阳 550003)

摘要:煤与瓦斯突出事故已成为当前严重的矿山灾害之一, 钻屑指标法是预测该事故的常用方法。分析了煤体物理力学性质、矿山压力、瓦斯压力及测定误差对钻屑量大小的影响。总结出在钻孔半径一定的条件下, 钻屑量与煤体的容重、泊松比、煤的弹性模量、矿山压力、瓦斯压力的关系。最后对影响钻屑量测定准确度的因素(钻杆的弯曲程度和连接形式、钻孔施工速度、人为因素和设备因素等) 进行了归纳, 提出了定期检查和检修设备、加强预测人员专业知识培训、规范操作等改进意见, 以便提高预测煤与瓦斯突出的准确性和可靠性。

关键词:钻屑量; 地应力; 瓦斯压力; 误差分析

中图分类号: TD713.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2012)01-0095-03

Study on influencing factors of outburst indicator drilling cuttings quantity

DONG Jie^{1,2} LI Xi-jian^{1,2} LIU Zhao^{1,2}

(1. School of Mining, Guizhou University, Guiyang 550003, China;

2. Guizhou Provincial Key Laboratory of Multipurpose Utilization of Non-ferrous Minerals Resources, Guiyang 550003, China)

Abstract: Coal and gas outburst accidents now have become one of the most serious coal mine accidents. The drilling cuttings index method is commonly used to predict the accident. Analyzed the influence of physical-mechanical properties of coal, underground pressure and gas pressure etc. on drill cuttings quantity. When the drilling radius is certain, concluded the relationship between volume weight of mine, Poisson's ratio, modulus of elasticity, underground pressure, gas pressure and drill cuttings quantity. At last, summed up some factors: curvature and connecting format of drilling stem, drilling rate, personal factors and equipment factors etc., which lead to inexact drill cutting quantity data. Termly inspecting equipments, providing professional knowledge training for forecasting workers, normalizing operation etc., were proposed, which can improve the accuracy and reliability of coal and gas outburst forecast.

Key words: drilling cuttings quantity; ground stress; gas pressure; error analysis

钻屑指标法是预测煤与瓦斯突出的常用方法。钻屑量随煤体强度的变化比较敏感, 即煤越软, 钻屑量越大^[1]。煤体所受的应力越大钻屑量越高。对一定强度的煤体, 随着瓦斯压力的增大, 钻屑量将发生突变, 即在一定的应力和单轴抗压强度条件下, 煤层存在一个发生突出的最小压力值, 当超过该值就会发生突出。从钻屑量的具体组成讨论了影响其大小的煤体本身的物理力学性质; 论述了采掘工作面

采动后煤壁前方的应力分布情况, 总结了钻孔施工卸压后钻屑量与矿山压力、瓦斯压力的关系; 除以上客观因素外, 测定过程中人为因素及设备等因素造成的误差也是影响钻屑量大小的重要因素, 对主要因素进行了归纳, 并提出了改进意见。

1 煤的物理力学性质对钻屑量的影响

钻屑量的增加是钻孔施工过程中煤体位移、摩

收稿日期: 2011-09-22 责任编辑: 孙淑君

基金项目: 国家科技支撑计划专题(2007BAB08B01(合)); 贵州省科技厅工业攻关项目(黔科合GY字[2006]3029); 教育部春晖计划(教外司留[2008]704号); 贵州省科技厅国际合作项目(黔科通(2009)80号); 贵州大学研究生创新基金资助(校研理工2011046)

作者简介: 董 杰(1984—), 男, 河南洛阳人, 在读硕士, 从事矿井瓦斯防治方面的研究。

擦、破碎等方式所释放潜能的体现。钻屑量随煤体物理力学性质的变化比较敏感,即煤越软钻屑量越大。

根据研究,钻屑量由4部分构成,用公式表达即为:

$$S = S_0 + S_{e1} + S_{e2} + S_p \quad (1)$$

(1) S_0 是以 r_0 为钻孔半径,在其周围破碎圈出现前的原始煤屑是钻孔实体煤总量。若按照单位长度进行计算,则 S_0 的表达式为:

$$S_0 = \pi r_0^2 \rho_0 \quad (2)$$

式中, r_0 为钻孔半径; ρ_0 为原始煤体容重。

(2) 当钻孔形成之后,钻孔弹性变形产生的附加煤屑量 S_{e1} 。多孔介质破坏的是有效应力,有效应力 $\sigma = W - \lambda P$ 则有:

$$S_{e1} = 2\pi r_0^2 \rho_0 (W - \lambda P) (1 + \nu) / E \quad (3)$$

式中, W 为总应力; λ 为与煤内摩擦角和內聚力有关的系数; P 为瓦斯压力; ν 为煤的泊松比; E 为煤的弹性模量。

(3) 破碎带形成后,弹性区与破裂带交界处因弹性卸载而产生附加煤屑 S_{e2} ,其计算公式为:

$$S_{e2} = 2\pi(1 + \nu)\rho_0 R^2 \left[\left(1 - \frac{r_0^2}{R_0^2}\right) - \frac{2}{K + 1} \right] (W - \lambda P) / E \quad (4)$$

(4) S_p 为钻孔形成后,孔壁破碎带煤体扩容形成的附加煤屑量。 S_p 的计算公式为:

$$S_p = \left[(R^2 - r^2)(A - 1) - 0.667B(R^3 - r^3) \right] \pi \rho_0 / A \quad (5)$$

式中, R 为破碎圈的半径 $R = \frac{r_0}{1.5} \left[\frac{W - \lambda P}{(K + 1)\sigma'_0} \right]^{\frac{1}{K-1}}$,

K 为破碎带煤体的三轴残余强系数 σ'_0 为 $r = 1.5r_0$ 处煤体残余强度; A 和 B 为待定系数,由于破碎带和弹性区交界处煤的容重与原始容重相当,故其松散系数可近似为1,根据松散系数计算公式,可推导出

$A = \eta_{r0} \frac{R - r_0}{R - \eta_{r0}r_0}$ $B = \frac{\eta_{r0} - 1}{R - \eta_{r0}r_0}$ 其中 η_{r0} 为孔壁处的松散系数^[2]。

理论分析表明,煤体的物理力学性质对钻屑量大小有显著影响,从以上公式可以看出,在一定钻孔半径条件下,钻屑量与煤体的容重和泊松比呈正相关,与煤的弹性模量呈负相关,钻屑量的大小还受到煤内摩擦角和內聚力、松散系数等因素的影响。实践表明,煤质越软,其钻孔的变形量越大,软分层和破坏程度大的煤层钻孔煤屑量显著增加。

2 矿山压力及瓦斯压力对钻屑量的影响

用钻屑量判断采掘工作面附近煤层受力情况是世界各国通用的方法,钻屑量对以地应力为主要动力的突出是一项较为敏感的指标^[3]。采掘工作面作业时,使得煤壁前方煤体承受的应力重新分布。根据煤炭科学研究总院抚顺分院王路军的实验研究,产生最大钻屑量的位置与煤体变形状态有关,当煤体是弹性时,钻屑量最大值在巷道壁附近,如果煤体是塑性变形,则钻屑量存在最大值,且位置要向煤体深部移动^[4]。

根据布霍议诺的夹持理论^[1],工作面前方煤体的极限压力 P_k 可用下式表示:

$$P_k = \sigma_0 e^{K(2L-1)\tan\Phi} \quad (6)$$

式中, σ_0 为 $L = 0.5$ m 处煤体残余强度; L 为煤体压力计算点距煤壁距离 X 与采高 M 之比; K 为煤体三轴残余强度系数; Φ 为煤岩体弱面外摩擦角。

在煤体极限压力 P_k 作用下产生的钻孔煤屑量称为极限煤屑量 S_{max} ,此处钻屑量达到峰值。伊光志、李晓泉等学者根据在天府矿业有限责任公司三汇一矿的现场实验研究,若严格按照操作规范操作,从工作面煤壁向煤层深部每隔 1 m 取钻屑量,则钻屑量在峰值前呈线性增加,峰值后呈线性减少。根据拟合峰值前、后平均钻屑量符合下式:

$$\begin{cases} S^0 = ax + b(\text{峰前}) \\ S^0 = cx + d(\text{峰后}) \end{cases} \quad (7)$$

式中, S^0 为钻屑量 kg/m; x 为距煤壁距离 m; a 、 b 、 c 、 d 为拟合系数。

根据实验数据和理论推导,当煤壁不发生片帮、冒顶时,考虑到钻孔施工卸压后的卸压系数,则钻屑量同矿山压力、瓦斯压力的关系如下^[5]:

$$\begin{cases} \lambda\sigma_z + P_x - P_0 = \lambda N \left[\exp\left(\frac{2f}{i\lambda m} \frac{S_{max} - b}{a}\right) - 1 \right] (\text{峰前}) \\ \lambda\sigma_z + P_x - P_0 = \lambda N \left[\exp\left(\frac{2f}{i\lambda m} \frac{S_{max} - b}{a}\right) + \lambda N \left\{ -\exp\left[\frac{2f}{i\lambda m} \left(\frac{S^0 - d}{c} - \frac{S_{max}^0 - b}{a}\right)\right] + 1 \right\} \right] (\text{峰后}) \end{cases} \quad (8)$$

式中, λ 为侧向压力系数; σ_z 为垂直应力; P_x 为煤体在煤壁前方 x 米处的垂直面上瓦斯压力; P_0 为煤壁处瓦斯压力, MPa; N 为煤壁支撑力, MPa; f 为层面间摩擦因素; m 为采高; i 为施钻后的卸压系数, 矿山

压力越大,卸压效果越明显; S_{\max}^0 为最大钻屑量,kg/m。

上式反映出钻屑量和矿山压力、瓦斯压力之间的正相关关系。在瓦斯压力一定时,钻屑量随着矿山压力正向变化;在矿山压力一定时,钻屑量随着瓦斯压力正向变化^[5]。在矿山压力和瓦斯压力的推动下,发生煤与瓦斯突出,钻屑量越大的工作面发生突出危险性也就越大。使用钻屑量法预测时,突出危险的征兆是粗钻屑增多,煤屑和瓦斯喷出等。研究表明,当钻屑量大于正常钻屑量的3倍时,最容易出现倾出或压出,瓦斯压力增大时则容易发生较大突出。中煤科工集团重庆研究院在鱼田堡矿和梅田矿的实践认为产生最大钻屑量的位置距工作面距离越近,突出倾向性越大。

3 测定误差对钻屑量值的影响

以上分析了煤的物理力学性质、矿山压力和瓦斯压力等客观因素对钻屑量的影响,可为分析煤壁前方受力状况,判断工作面突出危险性提供依据。然而在预测预报工作中,人为因素和设备因素在测定过程中产生的误差也是不可忽视的,归纳起来主要有以下几点:

(1) 钻杆的弯曲程度和连接形式

根据公式(2),钻屑量的大小与钻杆直径有直接关系,钻杆弯曲则钻孔半径增大,钻屑量增加。测定钻屑量使用的预测钻杆均为每根长度在1.0~2.0m不等的连接钻杆,由于钻杆连接处的松动,连接钻杆在外力作用下极易弯曲变形,使得进钻时钻杆颤动,加上进钻时煤电钻把握不稳而产生剧烈颤动,打眼人员电钻把握不稳,预测时钻杆发生颤动使得钻孔实际孔径远远大于42mm,造成钻屑指标的不精确^[6]。

(2) 钻孔施工速度

实践表明,钻进速度越快,钻屑量越少,钻进速度越慢,则钻屑量越大^[2]。由于钻孔施工速度受到不同打钻人员的技能、煤电钻本身的性能、钻头的磨损程度、煤层的软硬程度等的影响,因此不同人员使用不同设备测定的钻屑量往往存在差异。为了减少误差,在所有的钻孔施工作业中,应尽量保持打钻速度的一致性。

(3) 钻屑收集不完全

由于煤电钻钻进为风压排渣,部分钻屑会被压

风吹走,造成钻屑损失^[6];在掘进工作面,风筒口离迎头较近,特别是边孔,排出的钻屑也会被风吹走,造成钻屑损失;另外在收集钻屑过程中可能存在钻孔钻进与钻屑收集不同步的状况,使钻屑量减少。

另外,测定人员的操作水平,称量钻屑弹簧秤的精确度、钻孔布置情况也影响钻屑量的大小。

为了减少人为因素和设备因素对钻屑量的影响,提高预测的准确性和可靠性,应定期检查和检修钻机、钻杆、弹簧秤等设备。加强预测人员职业道德教育和专业知识的培训,使之具备熟练的操作技能。在工作中要养成规范操作的良好行为,做到上标准岗、干标准活。管理人员要制定严格的技术操作规程,并对预测人员定期进行业务培训和考核。

4 结 语

通过以上分析,钻屑量的大小受钻屑量与煤体的容重和泊松比、煤内摩擦角和内聚力、松散系数等因素的影响;钻屑量和矿山压力、瓦斯压力之间存在正相关的关系,在固定瓦斯压力时钻屑量会随着矿山压力正向变化,在相同矿山压力时钻屑量随着瓦斯压力正向变化;钻具的性能、钻杆的磨损、钻进速度等因素会造成钻屑量测定误差。在预测预报中若钻屑量突然大量增加,则根据研究的因素分析可能导致突出的主导因素,判断煤体的破坏程度、煤壁前方的应力分布、瓦斯压力变化等,从而有的放矢的选择防突措施,预防煤与瓦斯突出事故。

参考文献:

- [1] 仇海生. 突出预测敏感指标及临界值确定研究[D]. 沈阳: 煤炭科学研究总院沈阳研究院, 2009: 9-12.
- [2] 廖志恒, 桂祥友, 徐佑林. 煤矿钻屑量与解吸指标的测定及误差分析[J]. 矿业研究与开发, 2007(4): 75-77.
- [3] 华福明, 胡千庭. 用钻屑量、钻屑瓦斯解吸特征预测煤与瓦斯突出时的临界指标值确定方法的探讨[J]. 煤矿安全, 1991(10): 15-17.
- [4] 王路军. 突出预测指标钻屑量的实验研究[J]. 煤矿安全, 2008(9): 1-3.
- [5] 尹光志, 李晓泉, 赵洪宝, 等. 钻屑量与矿山压力及瓦斯压力关系现场实验研究[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(1): 1-6.
- [6] 毛龙泉. 影响钻屑指标法测定准确性的分析与对策[J]. 淮南职业技术学院学报, 2010(1): 20-21.