

# 防突深孔控制爆破松动半径考察方法

张文清<sup>1,2</sup>, 刘健<sup>1,2</sup>

(1. 安徽理工大学 能源与安全学院, 安徽 淮南 232001; 2. 煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室, 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 为了合理确定深孔控制爆破孔的间距, 从而有效消除煤层的突出危险性, 通过理论分析和现场试验的方法, 对瓦斯流量指标法、瓦斯涌出初速度指标法、钻屑量指标法、瓦斯压力指标法、示踪气体法及弹性波法等考察深孔控制爆破松动半径的方法的原理和不足进行了综合分析, 分析结果表明: 由于突出煤层的复杂性, 各种方法测试得出的深孔控制爆破松动半径具有一定的相对性和偏差, 应根据现场实际需要选择合适的测试方法。根据分析结果和潘三矿现场实际, 采用瓦斯流量指标法考察潘三矿的深孔控制爆破松动半径为 4 m。

**关键词:** 煤与瓦斯突出; 深孔控制爆破; 松动半径; 瓦斯抽采; 爆破孔间距

中图分类号: TD713

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2014)04-0046-04

## Investigation Method of Loose Radius in Deep Borehole Controlled Blasting for Outburst Prevention

ZHANG Wen-qing<sup>1,2</sup>, LIU Jian<sup>1,2</sup>

(1. School of Energy and Safety, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. Provincial and MOE Joint Key Lab of Mine Safety and High Efficient Mining, Huainan 232001, China)

**Abstract:** In order to determinate the space between deep borehole for controlled blasting, thus the outburst danger in seam could be eliminated, with a theoretical analysis and a site test method, a comprehensive analysis was conducted on the principle and shortages of a method to investigate the loose radius of the deep borehole controlled blasting with the gas flow index method, gas emission initial speed index method, drilling cuttings value index method, gas pressure index method, tracing gas method, elastic wave method and others. The results showed that due to the complexity of the outburst seam, the loose radius of the deep borehole controlled blasting measured with different methods would have a certain relativity and deviation. A suitable measuring method should be selected according to the site actual requirement. Based on the analysis results and the site actual requirement in Pansan Mine, the gas flow index method was applied to obtain the loose radius of the deep borehole controlled blasting with 4 m in Pansan Mine.

**Key words:** coal and gas outburst; deep borehole controlled blasting; loose radius; gas drainage; space between blasting boreholes

## 0 引言

深孔控制爆破技术是近年来在普通松动爆破的基础上发展起来的、效果较为理想的一种局部防突措施。它是利用长钻孔(长 60~80 m)装药、炸药爆炸产生的应力波和爆生气体作用于煤体,使煤体在径向产生了包括破碎圈、松动圈和裂隙圈在内的环形裂隙,大幅增加了煤层透气性,从而提高了瓦斯的

抽采率,有效消除了煤层的突出危险性<sup>[1]</sup>。目前,深孔控制爆破已广泛应用于煤矿高突出采掘工作面、石门揭煤等的防突工作,并取得了良好效果<sup>[2-3]</sup>。影响深孔控制爆破效果的因素很多,包括爆破孔的孔径、孔深、装药工艺、封孔工艺、合理的孔间距等。其中爆破孔间距是一个非常关键的因素,间距过大可能造成卸压增透不充分,使煤体中出现“隔墙”,而间距太小又会加大施工工作量,降低经

收稿日期: 2013-12-15; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.04.013

作者简介: 张文清(1981—),男,安徽怀宁人,讲师,博士研究生。Tel: 13505544703, E-mail: wqzhang@aust.edu.cn

引用格式: 张文清, 刘健. 防突深孔控制爆破松动半径考察方法[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(4): 46-49.

ZHANG Wen-qing, LIU Jian. Investigation Method of Loose Radius in Deep Borehole Controlled Blasting for Outburst Prevention[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4): 46-49.

济效益。通常可将有效松动半径的 2 倍作为爆破孔间的最大距离,为此,必须正确考察深孔控制爆破的有效松动半径。笔者介绍了前人常用的深孔控制爆破松动半径测试方法的基本原理,综合分析比较了各种方法的适用条件和存在的缺陷,并根据潘三矿实际,选用瓦斯流量指标法用于深孔控制爆破松动半径测试。

## 1 深孔控制爆破松动半径考察方法

### 1.1 考察方法的基本原理

深孔控制爆破松动半径考察方法的基本原理是:对局部煤体进行考察和研究,通过打考察孔,分别考察深孔控制爆破前后煤体的突出危险性,并根据煤体突出危险性指标的变化确定该措施的有效松动半径,并将有效松动半径的 2 倍作为该措施的抽采孔孔间距,在一定条件的煤层推广使用。

突出煤层的条件十分复杂,煤体内的应力、瓦斯压力、透气性等分布很不均匀,且受地质和开采技术等多方面因素的影响。为了提高考察结果的可靠性,考察地点应具备以下条件:①无地质构造,煤层赋存相对稳定;②开采技术及采动影响基本相同;③选择在有突出危险的地段。

### 1.2 考察方法的分类

根据实测手段的不同,深孔控制爆破松动半径考察方法一般可分为远距离法和直接考察法 2 种。

1) 远距离法是通过煤层底板岩巷向煤巷预计穿过的位置打钻孔,或者通过采取措施前在考察钻孔中预置的传感器,测量工作面松动爆破前后钻孔中的瓦斯压力和流量等参数的变化。远距离法比较安全,能够连续观测采取措施前后各参数的变化过程,但测量技术和仪器复杂,费工费时。在国内,最初采用的主要是远距离法,但现在已被直接考察法所替代。

2) 直接考察法是在煤巷工作面,通过打小直径钻孔直接测量采取措施前后的钻屑量  $S$ 、瓦斯涌出初速度  $q$ 、钻孔瓦斯解吸指标等参数。相比之下,这种方法简单易行,而且与防突措施效果检查和突出预测预报技术在测量方法上是一致的<sup>[4]</sup>。

另外,随着科技进步,也有将超声波、电磁探测等技术应用到爆破后围岩裂隙扩展的研究中,如弹性波法<sup>[5]</sup>、电法 CT 成像技术<sup>[6]</sup>等。但这些方法都还缺乏具体的考察依据标准,因此尚需进一步深入研究。

### 1.3 考察孔布置方式

在对深孔控制爆破有效松动半径的考察时,应分别测量放炮前后的煤体突出危险性。由于难以用同一个孔进行测量,通常必须在放炮前后分别打考察孔。但要求爆破前后考察孔所穿过的煤体的突出危险性应基本相同,以准确判断松动爆破影响范围。除了专门布置炮前考察孔外,现场多用爆破孔兼作炮前考察孔。布孔方式应遵循的基本原则<sup>[4]</sup>:①考察孔长度不小于爆破孔;②炮前孔和炮后孔应布置在同一分层;③为了防止考察孔之间的相互影响,孔间距应保持一定距离;④考察孔与爆破孔的间距应大于 0.4 m。

最简单的布孔方式就是在 1 个爆破孔旁边打 1 个与爆破孔在同一平面、但成一定角度的考察孔,爆破孔兼作炮前考察孔。条件允许时,也可以在爆破孔周围不同间距平行打若干考察孔。

## 2 深孔控制爆破松动半径的直接考察法

### 2.1 瓦斯流量指标法

瓦斯流量指标法的具体做法是:先施工若干考察孔,完成后立即进行瓦斯抽采,并间隔一定时间监测记录抽采负压、瓦斯抽采量、瓦斯抽采浓度等参数。待抽采 48 h 煤层瓦斯浓度稳定后,再在预先设计的位置施工 1 个爆破孔,爆破孔施工结束后立即装药爆破,同时继续监测观察瓦斯抽采情况。受爆破松动的影响,周围抽采钻孔的瓦斯流量发生变化,当某一钻孔的瓦斯流量比爆破前瓦斯流量提高 10% 以上时,则认为该抽采钻孔处于爆破孔的有效松动范围内。符合该条件的最大孔间距即该爆破孔的有效松动半径,布孔方式如图 1 所示。

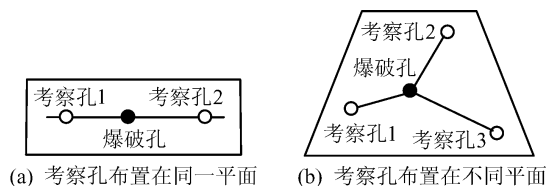


图 1 瓦斯流量指标法布孔方式

瓦斯流量指标法是目前现场最常用的一种考察爆破松动范围或瓦斯抽采有效半径的方法,其施工简单、考察周期短、考察指标直观。

### 2.2 瓦斯涌出初速度指标法

在爆破前后采用同一个考察孔。其方法是,爆破前先打若干个考察孔,分别测量其距离孔底 1

m段内的瓦斯涌出初速度,以后每隔10 min测量1次。每个考察孔进行5次以上的测定后,再打爆破孔(图2)。放炮后,再测量各考察孔内的瓦斯涌出初速度。采用该方案进行考察时,若放炮后连续3次测得的钻孔瓦斯涌出初速度都比放炮前最终测量值增大10%时,该钻孔穿过的区域即有效影响范围。

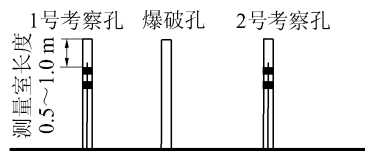


图2 钻孔瓦斯涌出初速度指标法布孔方式

这种方法的缺点是以相对变化为判断依据,确定的有效松动半径可能会比较大,从而可能导致放炮后钻孔瓦斯涌出初速度比放炮前明显下降,但其绝对值仍然可能超过突出危险指标。根据《防治煤与瓦斯突出规定》,当钻孔最大瓦斯涌出初速度  $q_{\max}$  小于临界指标值  $4 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m})$  时,认为钻孔是在爆破影响范围之内<sup>[7]</sup>。

### 2.3 钻屑量指标法

采用钻屑量指标法时,在没有执行过防突措施的有突出危险的采掘工作面软分层中先打1个考察孔,并测量每米的钻屑量与钻屑瓦斯解吸指标、钻孔瓦斯涌出初速度。待钻孔施工完毕后,进行装药松动爆破。按施工要求,确定排放时间,当达到排放时间后,在该孔附近的软分层中打1个与此孔在同一平面且成一定角度的考察孔,测量其每米的钻屑量、钻屑瓦斯解吸指标、钻孔瓦斯涌出初速度。将2个钻孔同一深度范围内所测到的钻屑量、钻屑瓦斯解吸指标、钻孔瓦斯涌出初速度等数据和2个钻孔间距进行分析,当钻屑量小于临界指标时,相应两点的最大间距即确定为该措施的有效松动半径。

### 2.4 瓦斯压力指标法

瓦斯压力指标法的具体做法:①通过煤层底板岩巷向煤层打钻孔,测量工作面松动爆破前后钻孔中的瓦斯压力变化;②通过采取措施前预置在考察钻孔中的传感器,遥测采取措施前后的瓦斯压力等参数的变化。这种考察方法比较安全,能够连续观测采取措施前后诸参数的变化。

该方法的缺点是,测量技术和仪器复杂,费工费时,并且每孔只能测量孔底处的参数。尤其是采用在底板岩巷打测压孔考察时,测压孔的施工

误差可能会严重影响考察结果的可靠性。

### 2.5 示踪气体法

示踪气体的使用历史很长,目前,常有煤矿采用  $\text{SF}_6$  气体示踪法测定钻孔瓦斯抽采有效半径<sup>[8-11]</sup>。示踪气体测量方法是将示踪气体在预先打好的释放钻孔中释放,这种气体在煤层内流动和扩散,与煤层中气体均匀混合,在混合后采用地面抽采系统将煤层内气体抽出,取样分析气体成分,根据不同钻孔中抽得  $\text{SF}_6$  的时间和浓度来判断所测煤层的瓦斯抽采有效半径。

这种方法用于测试深孔控制爆破松动半径的难点是如何控制示踪气体的释放,以及正确考察采样时间与深孔控制爆破松动半径的关系。

### 2.6 弹性波法

弹性波法的原理是<sup>[5]</sup>:超声波在岩体中的传播速度与岩体受力状态及裂隙发育程度有关。相对于深度完整无裂隙(或未松动破坏)的煤岩体,超声波在裂隙发育的煤岩体中的波速要低。爆破后,由于岩体内原有裂隙张开、错动和扩张,并有新裂缝产生,超声波在其中传播的波速较爆破前降低。因此可以采用专门的测量仪器测定这一变化,从而得知爆破的裂隙范围。

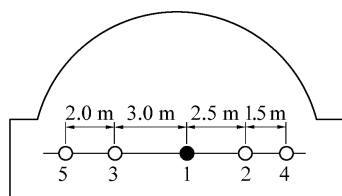
目前这种方法多用于围岩松动圈的测试,为巷道支护提供依据,也有学者将其应用于深孔控制爆破松动半径的测试,并取得了良好的效果<sup>[1]</sup>。

## 3 深孔控制爆破松动半径现场考察

### 3.1 考察方法选择及施工方案

试验地点选在淮南矿区潘三矿东四采区5-2煤层,煤层厚约2.16 m,实测煤层瓦斯压力2.19 MPa,煤层瓦斯含量  $915 \text{ m}^3/\text{t}$ ,瓦斯放散初速度  $\Delta p$  为1 600,煤的普氏系数  $f$  为0.15,煤层突出危险性综合指标  $D$  为6.98,  $K$  为14.86,预测具有突出危险性。为优化5-2煤层揭煤钻孔抽采设计,在对5-2煤层实施深孔预裂爆破前,首先对深孔控制爆破松动半径影响范围进行了测试。综合对比各种直接考察法,认为瓦斯流量指标法具有施工简单、直观可靠等优点,故本次测试采用瓦斯流量指标法,其钻孔布置如图3所示。

施工时,先在预先设计的位置施工2—5号考察孔,孔径113 mm、孔深32 m,并进行抽采监测。待监测稳定后,再施工1号爆破孔,孔径67 mm、孔深32 m。施工完毕后,立即探孔、装药封孔,然后



1—爆破孔; 2、3、4、5—考察孔

图 3 瓦斯流量指标法考察 5—2 煤层深孔控制爆破松动半径的钻孔布置

进行爆破。

### 3.2 深孔控制爆破松动半径测试结果分析

对爆破前后 2—5 号考察孔瓦斯抽采浓度和瓦斯抽采流量进行监测, 其变化曲线如图 4 所示。

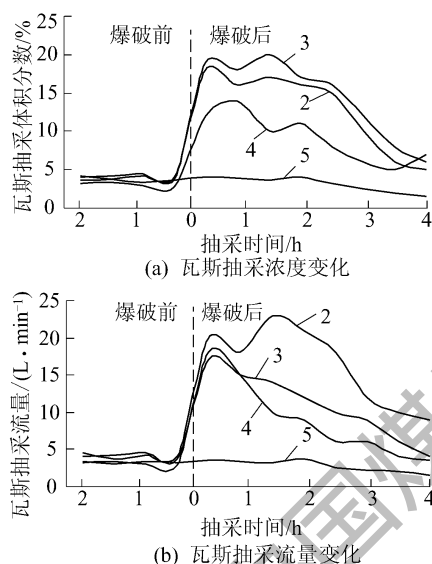


图 4 爆破前后 2—5 号考察孔瓦斯抽采浓度及流量变化

从图 4 可以看出, 通过对 4 个考察孔爆破前 2 h 和爆破后 4 h 的连续观测发现, 其中的 2—4 号孔的抽采瓦斯浓度和流量变化非常明显, 钻孔瓦斯抽采浓度和抽采纯量都是爆破前的 3~4 倍, 完全处于爆破的影响范围之内; 而距离爆破孔 5 m 的 5 号孔则受影响不明显, 略有上升后又缓慢下降, 不满足大于爆破前抽采瓦斯流量 10% 的要求。由此可以判定, 本次深孔控制爆破增透措施的有效松动半径为 4 m, 可以推广到 5—2 煤层使用。当然, 随着煤层的揭开和工作面的推进, 还应利用防突效果检验措施不断加以验证。

## 4 结 语

1) 由于突出煤层条件复杂并受测量误差影响, 在现场准确考察深孔控制爆破有效松动半径具有一定难度, 考察结果只是相对可靠的, 应通过

措施效果检查方法进行验证。

2) 各种考察方法的原理和依据不同, 各有利弊, 得出的结果具有一定的偏差, 如何正确选择合适的考察深孔控制爆破松动半径的方法还需根据现场实际情况而定。

3) 深孔控制爆破松动半径的考察结果与爆破后测量参数的间隔时间有关, 通常松动爆破后需抽采 2~8 h, 巷道瓦斯涌出量才能恢复正常, 且随着时间的推移, 松动半径有增大的趋势, 因此如何正确考量深孔控制爆破松动半径和时间的关系以及确定合理的判别标准是下一步研究的关键。

4) 通过现场试验, 可以发现瓦斯流量指标法具有施工简单、形象直观等优点, 可以优先考虑选用。

### 参考文献

- [1] 邢昭芳, 阎永利, 季会良. 深孔控制卸压爆破防突机理和效果考察[J]. 煤炭学报, 1991, 16(2): 1-8.
- [2] 刘健, 刘泽功. 深孔预裂爆破技术在井筒揭煤中的应用研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(2): 19-22.
- [3] 曹树刚. 顺层深孔预裂爆破瓦斯预抽的试验研究[J]. 中国矿业, 2007, 16(7): 68-70.
- [4] 杨昌光. 深孔控制爆破影响范围的考察[J]. 煤矿安全, 1992, 23(7): 1-5.
- [5] 汪海波, 徐颖. 爆破对软岩巷道松动范围影响的测试与分析[J]. 煤矿安全, 2012, 43(11): 198-200.
- [6] 徐颖, 宗琦, 傅菊根. 深孔孔内松动爆破时围岩损伤和裂隙扩展范围的 CT 测试研究[C]//第九届全国工程爆破学术会议论文集. 北京: 冶金工业出版社, 2008: 168-174.
- [7] 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出规定[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.
- [8] 陈金玉. SF<sub>6</sub> 气体示踪法测定钻孔瓦斯抽采有效半径[J]. 煤矿安全, 2008, 39(11): 23-25.
- [9] 陈金玉. 钻屑指标法测定瓦斯有效排放半径[J]. 煤, 1995, 4(6): 46-48.
- [10] 吴润田, 王康仁, 叶兆奇, 等. 中深孔松动爆破防止回采工作面突出的考察[J]. 煤炭工程师, 1998, 11(5): 12-15.
- [11] 刘健, 刘泽功, 石必明. 低透气性突出煤层巷道快速掘进的实验研究[J]. 煤炭学报, 2007, 32(8): 827-831.
- [12] 卢平, 李平, 周德永, 等. 石门揭煤防突抽采瓦斯钻孔合理布置参数的研究[J]. 煤炭学报, 2002, 27(3): 242-248.
- [13] 罗勇, 沈兆武. 深孔控制卸压爆破机理和防突实验研究[J]. 力学季刊, 2006, 27(3): 469-475.
- [14] 刘健, 刘泽功, 石必明, 等. 深孔预裂控制爆破技术在低透气性煤层巷道掘进中的应用研究[J]. 建井技术, 2008, 29(3): 28-30.
- [15] 谭波, 何杰山, 潘凤龙. 深孔预裂爆破在低透性高突煤层中的应用与分析[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(11): 72-78.