

文章编号: 1008-7524(2006)09-0025-03

深井矿山硬岩巷道岩爆治理方案研究^{*}

熊祖强, 贺怀建

(中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 470031)

摘要: 根据工程实例对深孔、中深孔, 以及延伸辅助眼浅孔爆破卸压进行了数值模拟分析, 表明深孔卸压方案并不合理, 延伸辅助眼浅孔爆破卸压方案是一种合理经济的卸压方案。

关键词: 岩爆; 冲击地压; 爆破卸压; 数值模拟; FLAC3D

中图分类号: TD353 文献标识码: A

0 引言

目前我国有许多矿山相继进入深部开采状态, 在深部高地应力条件下的岩体工程开挖过程中, 由于开挖卸荷导致储存于硬脆性围岩中的弹性应变能突然释放, 极易产生爆裂、松脱、剥离、弹射甚至抛掷等破坏现象的动力失稳地质灾害, 即发生岩爆。它直接威胁施工人员及设备的安全, 影响工程进度, 成为地下工程特别是深部开采中的一大地质灾害^[1]。近几十年来, 国内外学术界结合现代岩体力学新的理论发展成果, 提出了关于岩爆发生机理的若干假说, 包括失稳理论、强度理论、能量理论、“三准则”理论、突变理论等^[2]。但是由于岩爆发生的复杂性, 迄今为止, 对其产生机理还没有统一认识, 因此, 在实际的工程实践中选择经济合理的治理方案显得尤为重要。

平顶山矿区浅部未出现过岩爆问题, 但随着开采深度的增加, 围岩应力增高, 岩爆问题逐步暴露出来。据统计, 在十二矿三水平皮带下山掘进过程中, 仅在 2005 年的 3 月 15 日到 4 月 7 的短短 23 天, 岩爆累计发生了 70 余次, 严重影响了施工进度, 甚至被迫停工。本文根据工程实践, 对岩爆的治理技术进行探讨。

1 工程概况

平顶山十二矿三水平皮带下山设计全长 1850m, 主要服务于十二矿三水平运输通风等, 发

生岩爆段巷道地面标高 272m, 巷道所处标高—835m, 巷道理深达到 1107m, 埋深超过了普遍认为的发生岩爆的临界深度。巷道位于褶曲翼部, 垂直和水平均为压应力, 并受区域构造控制, 是一个典型的构造应力场, 极易发生岩爆。实测地应力表明, 水平应力达 30MPa, 侧压系数 1.4 以上, 最大主应力与巷道的主轴方向平均夹角达 72°, 构造应力场对巷道的稳定性影响极大。巷道所处的 L2 灰岩坚硬完整, 厚度 8m, 围岩强度高, 弹性模量大, 试验单轴抗压强度 206.63MPa, 弹性模量 34.62GPa, 属硬脆性岩石, 极易形成较大的集中应力和集聚较多的弹性能。这些因素是导致该巷道掘进过程中, 岩爆现象频发的主要原因。

巷道采用锚、网、喷联合支护作为永久支护方式。锚杆为直径 20mm, 长度 2.2m 的树脂锚杆, 间排距 700×700mm; 药卷为 Z2335 树脂药卷, 长度 35mm, 每孔装 3 卷药; 喷浆厚度 120mm, 矸料配合比为灰:砂:石子=1:2:2(体积比), 喷矸时速凝剂掺量为水泥质量的 3%~4%, 矸标号不低于 C15, 支护强度较大, 对岩爆的发生起到了抑制作用, 虽然在巷道围岩内也发生岩爆现象, 但只听到声响, 不会造成岩石的抛出, 大大减轻了岩爆发生造成的危害。据统计, 近 90% 的岩爆现象发生在巷道的掘进面上, 而且集中在巷道的腮部, 多以岩石的突然弹出和抛射为主, 带来了极大的安全隐

* 收稿日期: 2006-05-26

作者简介: 熊祖强, 男, 1978 年生, 在读博士, 主要从事矿山压力及岩土工程方面的研究。

患,本文主要讨论掘进面上岩爆的治理措施。

2 岩爆治理措施

2.1 岩爆的治理措施概述

根据岩爆发生的成因和机理,岩爆防治措施的基本原理有两方面,一是降低应力的集中程度;二是改变岩体的物理力学性能,以减弱工程岩体集聚弹性能的能力^[2]。应用在工程实践中主要表现在以下几个方面:

a. 水平应力大于垂直应力的构造应力场内,巷道主轴方向应与水平应力平行布置,减弱构造应力对巷道稳定性的影响。

b. 高压注水。经验表明^[4],煤系地层岩层的单向抗压强度和冲击倾向指数 WET 随岩体含水量的增加而降低,从而改变岩体的物理力学性能,减弱煤岩体集聚弹性能的能力。

c. 孔槽卸压法。采用大直径钻孔或者切割沟槽使煤岩体松动,达到卸压效果。

d. 卸压爆破法。采用钻眼爆破法,改变一定范围内岩体的结构,使得应力集中区域向深部转移,并最大限度地释放岩体内聚集的弹性能。

对于频发于掘进面上的岩爆现象,最为直接有效的方法当属卸压爆破法,卸压爆破方案的合理选择直接影响治理效果和巷道的掘进进度。

2.2 岩爆治理方案的选择

根据实际情况,提出了以下几种爆破卸压方案,并采用有限差分软件 FLAC3D 模拟爆破卸压后巷道围岩应力变化情况,结合现场实践,选择合理经济的治理方案^[5]。

方案 1: 15m 中深孔爆破卸压。

在巷道中沿 L2 灰岩上部布置三个卸压孔,呈线形布置,间距 1m,如图 1 所示。钻孔直径 75mm,每孔装药量为 20 捆,每捆 3 卷。直径 35mm 水胶药每卷重 0.5kg,长 0.4m,炮泥长度最少不低于 5m。每掘进 10m,打眼放炮一次,打眼位置与上一次错开,使掘进头前方始终保持有不小于 5m 的爆破松动区。

方案 2: 10m 中孔爆破卸压

布置三个卸压孔,呈等边三角形布置,间距 1m,如图 2 所示。钻孔深度 10m,直径 75mm。每

孔装药量为 15 捆,每捆 3 卷,装药方法同方案 1。每掘进 5m,打眼放炮一次,打眼位置与上一次错开,使掘进头前方始终保持有不小于 5m 的爆破松动区。

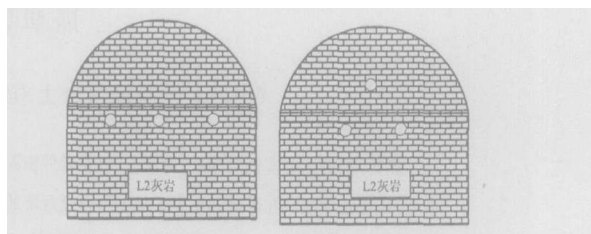


图 1 卸压方案 1 图 2 卸压方案 2

方案 3: 延伸辅助眼浅孔爆破卸压

延伸辅助眼 28~38 作为爆破卸压孔,并依照奇偶循环原则,即每次只延伸编号为奇数或偶数的钻孔作为卸压孔,如图 3 所示。辅助眼延伸长度 3.6m,装药量适当加大。巷道掘进循环进尺调整为 1.2m,始终保持掘进工作面前方有两个循环进尺的爆破松动区。

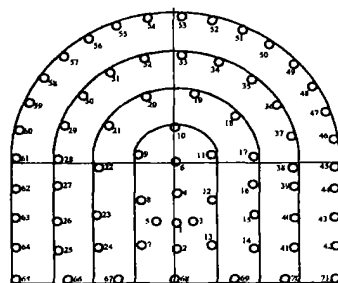


图 3 卸压方案 3

2.3 不同治理方案的数值模拟

FLAC3D 在模拟爆破卸压后的围岩应力状态时,采用的方法是先模拟正常开挖情况,计算稳定平衡后,利用 FLAC3D 可以改变模型材料常数的特点,将爆破破碎区内的围岩岩体力学参数降为原来的 1/2,再次解算,解算的应力结果就是爆破卸压后的围岩应力状态。钻孔产生的破碎范围,根据文献[9]确定,整个破碎区域由爆破产生的影响半径叠加而成。

图 4 所示为根据实际的地质条件和应力环境,建立力学模型,用 FLAC3D 模拟巷道开挖一定阶段后在掘进面前方形成的应力分布情况,从图中可以看出,在切面的边角位置,即巷道的两帮形成了较为明显的应力集中,应力梯度大,这是造

成巷道此部位岩爆现象频发的根本原因^{7,8}；但是也可以看出，这种致密坚硬的岩石巷道开挖后产生的应力集中范围不大，应力峰值位置仅仅在掘进面前方 1m 左右，这主要是因为岩体结构较为完整、强度较大，巷道开挖后并没有造成岩体大范围内的破坏，这也说明在岩层巷道中普遍采用的深孔爆破卸压在硬岩中显得没有必要。根据图 5 所示，采用爆破卸压后，消除了边角位置的应力集中现象，并且应力峰值向掘进面前方一定距离内转移。

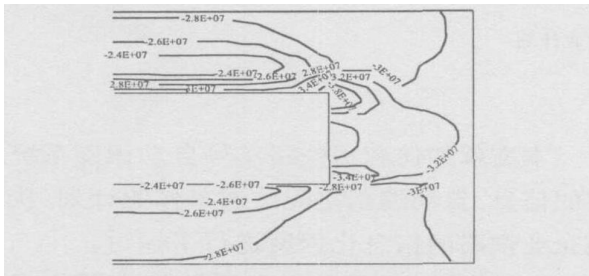


图 4 卸压前切面上主应力等值线

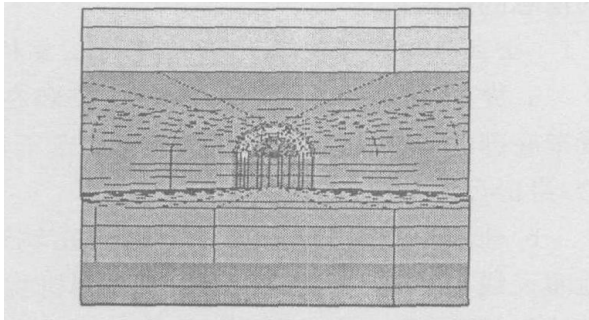


图 5 方案 3 爆破后产生的破坏范围

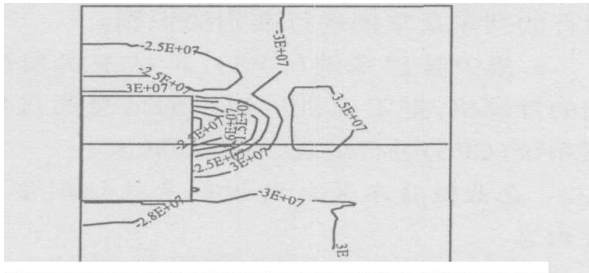


图 6 方案 3 卸压后应力等值线图

2.4 岩爆治理方案的优选

根据采用各方案爆破卸压后掘进面上的应力分布情况，可以看出 3 种卸压方案都起到一定的卸压解危效果，消除了巷道腮部明显的应力集中程度，减弱了岩体的冲击倾向性。图 7 所示为卸压前后掘进工作面前方垂直应力分布情况，从图中可以看出，3 种方案都能起到减弱应力集中程

度的作用，但方案 3 卸荷作用更加明显，在掘进头前方 0~3m 的范围内形成了较大的应力降低区，并将形成于掘进头表面的应力峰值向后转移，应力峰值也减小了。图 6 为采用方案 3 模拟的爆破卸压后的围岩应力等值线图，可以看出原本在掘进头边角位置产生了较大的应力集中，卸压后应力等值线趋于缓和，应力值比原岩应力几乎小了一个数量级；另外方案 3 与其他方案比较，这种方法和掘进同步进行，工程量小，是一种经济又实用的卸压方案。此外，围岩中若有软弱夹层存在，应根据实际情况改变方案，将卸压孔布置在软弱夹层内，方便爆破孔的钻进。

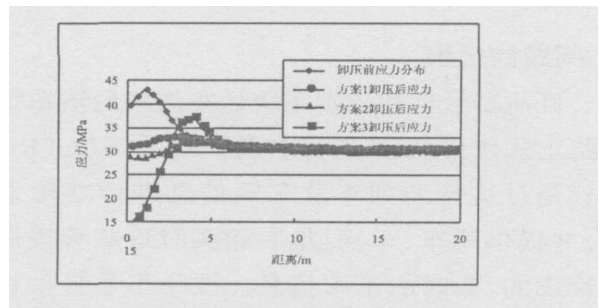


图 7 卸压前后掘进头前方应力分布

从图 7 也可以看出，该地质条件下的深井硬岩巷道，开挖卸荷后，在掘进头前方并没有形成一定范围的破碎区，也没有形成一定范围的应力降低区，在很小的距离内（掘进头前方 1m）应力集中系数达到了 1.5 左右，图 7 所示仅仅为模拟开挖 200m 的情况，随着开挖范围的增大，应力集中系数有增大的趋势，可是应力集中范围变化不大。从各方案卸压后产生的应力分布情况来看，有效卸荷范围并不大，因此没有必要采用深孔或中深孔爆破卸压。而且方案 3 与掘进同步进行，对正常的施工工序影响较少，深受施工部门的欢迎。将方案 3 应用于现场，实践证明起到了很好的卸压解危作用，采取该方案后也没有再出现岩爆现象。

3 小结

随着开采深度的加大，岩爆已经成为矿山部门一个不得不面对的问题，尤其硬脆性围岩巷道，岩爆更加频繁，危害性更大。在岩爆机理及其预

(下转第 37 页)

况只发生在 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 都接近于零的情况下,当这种情况发生时则说明即不需要进行税费政策调整,也不需要实行补贴政策,一切按现行政策实施。相对于现在的税费标准来讲,这种情况是不会发生的。

2.3 探矿费用补贴政策

生产期间,矿山企业的主要精力集中在对主矿体的加密勘探上,对于零星小矿体则经常被忽略。这是因为零星小矿体不仅储量小,同时勘探它还要冒一定风险,而且施工也不方便,所以越是在矿业经济不景气的时候,矿山企业越是不愿意冒险去勘探这部分零星小矿体。鉴于此,在矿山企业能够提供完整的勘探资料情况下,对于勘探零星小矿体所支出的勘探费用,国家应采取探矿费用适量补贴政策来鼓励矿山企业加强对零星小矿体的勘探,以此鼓励矿山企业加强对零星小矿

体的勘探开发。

1.4 对矿山企业与地质工作者探矿的奖励政策

矿山企业每年都要向地矿主管部门报告矿山地质储量的增减情况。而零星小矿体的发现对于增加矿山地质储量有积极的作用,假使对增加的零星小矿体储量能够给予矿山企业与地质工作者一定的奖励,那么必定会增加矿山与地质工作者的探矿意识,从而将会以乘数的效应增加对零星小矿体勘探的积极性。

总之,虽然零星小矿体的地质储量所占的比例很小,但是加强对它的开发对国家和矿山企业都是非常有益的。所以,在实践中国家应加强政策倾斜的力度而不断地鼓励矿山企业加强对零星小矿体进行勘探开发,最好政策之间进行配合使用。

3 主要参考文献(略)

(上接第 27 页)

测技术还不成熟的情况下,采取合理有效的治理措施显得尤为必要。本文根据实际的地质条件,提出了 3 种方案,根据模拟分析结果,3 种方案都起到了一定的卸压解危效果,采用深孔爆破卸压也显得没有必要,方案 3 为浅孔卸压方案,并且与巷道掘进同步,卸压效果也最为明显,实践证明是一种经济合理的卸压方案。

4 参考文献

- [1] 何满朝,谢和平等.深部开采岩体力学研究[J].岩土力学与工程学报,2005,24(16):2803~2811.
- [2] 龚林名,何学秋.冲击矿压防治理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2001.10.
- [3] 徐林生,唐伯明,慕长春等.高地应力与岩爆有关问题的研究现状[J].公路交通技术,2002,4:48~51.
- [4] 宋维源.阜新矿区冲击地压及其注水防治研究[D].辽宁工程技术大学,2004.
- [5] L M Dou, B Wang. Risk evaluation of rock burst by use of a numerical simulation method[J]. Computer Applications in the Minerals Industries A. A. Balkema Publishers, 2001.
- [6] 陈寿峰,刘殿书等.圆形端面巷道爆破卸压机理数值模拟研究[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2001,4(20):405~407.

[7] 许东俊,章光等.岩爆应力状态研究[J].岩土力学与工程学报,2000,19(2):169~172.

[8] 何思为,向贤礼,卢世杰.高应力区应力与岩爆的关系[J].广州工业大学学报,2002,19(3):1~6.

[9] 索永录.坚硬顶煤弱化爆破的破坏区分布特征[J].煤炭学报,2004,29(6):650~653.

Approach to controlling measurements of rockburst in deep tunnel with hard wall rock

Xiong Zu-qiang, He Huai-jian

(1. Institute of Rock and Mechanics, Chinese Academy of Science, Wuhan 430071, China)

Abstract: The rockburst has become a fatal geologic hazard in deep mining and the frequent occurrence on the diving face of the tunnel has resulted in many fatal hidden troubles. The paper brings forward three schemes for controlling the rock burst, which is long blasting hole, middle long hole, and the shallow hole with extending the secondary blasting hole. The numerical simulation results with FLAC3D show that the scheme of extending the secondary blasting hole is a reasonable and economical method.

Keywords: rock burst; Stress-relief by blasting; numerical simulation; FLAC3D