

科研成果

文章编号:1671-251X(2009)06-0001-04

小煤柱应力集中区钻孔卸压机理的数值模拟研究^{*}

李金奎, 刘东生, 李学彬, 熊振华

(大连大学地质生态环境研究院, 辽宁 大连 116622)

摘要:文章分析了小煤柱应力集中区钻孔卸压机理,利用ADINA有限元软件模拟了钻孔卸压的作用机理、钻孔动态损伤破坏发展和应力场重新分布过程;通过小煤柱应力集中区不同钻孔孔径和孔距数值模拟对比发现:具有合理钻孔孔径和孔距的卸压孔可以导致煤层结构性破坏,从而使煤柱高应力区向深部转移。仿真结果表明,小煤柱应力集中区钻孔卸压对控制煤柱变形与破坏具有显著效果。

关键词:小煤柱; 应力集中区; 钻孔卸压; 数值模拟

中图分类号:TD322.5 **文献标识码:**A

Numerical Simulation Research of Pressure Relief Mechanism of Borehole of Small Pillar Stress Concentrated Areas

LI Jin-kui, LIU Dong-sheng, LI Xue-bin, XIONG Zhen-hua

(Geological Ecology Environment Research Institute of Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract: The paper analyzed the pressure relief mechanism of borehole of small pillar stress concentrated areas, used ADINA finite element software to simulate the function mechanism of pressure relief of borehole, the development of dynamic damage and destruction of surrounding rock-mass, the redistribution of stress field around borehole. Through comparing numerical simulations in different apertures and pitchrows of borehole of small pillar stress concentrated areas, it was found that the pressure relief borehole with rational aperture and pitchrow could induce structural failure of the coal seam, consequently the high stress area of pillar moved deeply in the coal seam. The simulation result showed that pressure relief of borehole of small pillar stress concentrated areas has prominent effect for controlling deformation and destruction of the small pillar.

Key words: small pillar, stress concentrated area, pressure relief of borehole, numerical simulation

0 引言

随着我国煤矿开采越来越多地实施小煤柱护巷技术,由于煤柱尺寸引起的煤柱应力集中导致的冲击地压、煤与瓦斯突出等动力灾害越加频繁。国内

外经验表明,卸压技术可以改善煤柱区的应力集中环境,使高应力区转化为低应力区,从而达到减少煤柱区灾害发生的目的。我国在小煤柱区应用较多的卸压方法主要有煤层爆破、煤层注水软化及钻孔卸压等方法,这些方法在我国均获得了广泛应用^[1],但小煤柱煤层爆破不易控制,煤层注水效果难以保障,而钻孔卸压法^[2]在前苏联、日本等国家研究和应用较多,它具有卸压工作量小、施工方便、施工速度较快、不影响施工工期等优点。本文利用有限元分析软件ADINA对钻孔卸压转移煤柱高应力集中区的机理和不同钻孔孔径及钻孔孔距的卸压效果进行了数值模拟,并对结果进行对比分析,结果表明合理的

收稿日期:2009-01-08

^{*}基金项目:国家自然科学基金资助项目(50704007),辽宁省高等学校科研计划项目(2008S006)

作者简介:李金奎(1972-),男,黑龙江安达人,教授,博士毕业于哈尔科夫国立建筑技术大学地下结构工程专业,现主要从事冲击地压防控技术、岩石力学与岩体工程、锚杆支护等方面的教学与研究。E-mail:jinke@126.com

钻孔孔径和孔距的卸压孔可以导致煤层的结构性破坏,从而使煤柱高应力区向深部转移;小煤柱应力集中区钻孔卸压对控制煤柱变形与破坏具有显著的效果。

1 钻孔卸压原理

钻孔卸压是利用钻孔方法消除或减缓应力集中区冲击危险的解危措施^[3]。当在高应力煤体内钻孔时,钻孔周围煤体在高应力作用下产生裂隙并发生破裂,在钻孔周围形成一个比钻孔直径大得多的破裂区,当这些破裂区互相连通后,在煤体内形成一条卸压带,使得应力峰值向煤体深部转移,起到卸压作用。煤体钻孔卸压原理如图 1 所示。

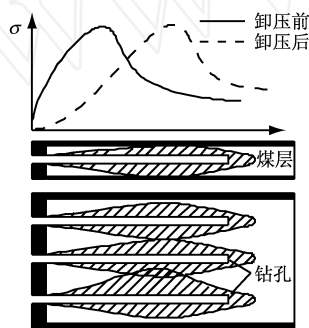


图 1 煤体钻孔卸压原理图

卸压后钻孔周围煤体处于破裂区、塑性区和弹性区。三区煤体应力应变应满足 Mohr - Coulomb 准则^[4~5],可统一表示为

$$F = -N_r - S = 0 \quad (1)$$

式中: σ_r 分别为采用极坐标径向、环向的应力; N 、 S 为材料参数。

破裂区应力应变方程:

$$\begin{cases} N = N_c = (1 + \sin \phi_c) / (1 - \sin \phi_c) \\ S = S_c = 2c_p \cos \phi_c / (1 - \sin \phi_c) \end{cases} \quad (2)$$

塑性区应力应变方程:

$$\begin{cases} N = N_p = (1 + \sin \phi_p) / (1 - \sin \phi_p) \\ S = S_p = 2c_p \cos \phi_p / (1 - \sin \phi_p) \end{cases} \quad (3)$$

式中: c 、 ϕ 分别表示黏聚力和摩擦角;下标 c 、 p 分别表示破裂区和塑性区。

由于钻孔周围煤体产生了稠密的破断裂隙,这部分煤体变形模量将比原生煤体的变形模量大幅度降低,两者的比值可称作卸压系数。它是钻孔卸压效果的标志,钻孔周围煤体产生裂隙及破碎是产生卸压作用的根本原因。

根据巴布柯克 C O 经验公式^[6],卸压系数 K 由式(4)计算:

$$K = \frac{W}{W + D} \left[\frac{1 + \frac{D}{W} \left(\frac{W}{W + D} \right)}{1 + \frac{D}{W} \left(\frac{W}{W + D} \right) \left(\frac{D}{W + D} \right)} \right] \quad (4)$$

式中: W 为钻孔边界距离, mm; D 为钻孔孔径, mm; $L = D + W$, 为钻孔中心距(孔距), mm。

从式(4)可看出,钻孔周围煤体的卸压程度取决于钻孔孔距 L , L 越小, K 越大。

单一钻孔周围破裂区半径 R ^[7]按式(5)计算:

$$R = \sqrt{\frac{3Sk - k - 2}{k - 1} - \frac{1}{4}} a \quad (5)$$

式中: S 为钻孔实际钻屑量与正常钻屑量之比; k 为孔壁的松散系数; a 为钻孔半径。

2 钻孔卸压 ADINA 数值模拟研究

有限程序 ADINA 是通用性很强的岩土工程分析软件,广泛应用于建筑结构静力学、动力学及地下工程稳定性分析等领域。本文利用 ADINA 对小煤柱应力集中区钻孔卸压效果进行数值模拟研究。

2.1 模型建立及模拟过程

本文的研究对象为二维平面应变有限元模型,采用摩尔 - 库仑准则计算。煤柱模型尺寸:水平方向为 6 m,垂直方向为 3 m。模型底面固定约束,侧面均限制水平方向移动,为了模拟高应力条件,模型顶部加载 30 MPa,所取煤柱力学参数如表 1 所示。

表 1 煤柱力学参数表

弹性模量 E / MPa	泊比 μ	密度 / (kN · m ⁻³)	粘聚力 C / MPa	内摩擦角 ϕ / °
0.4e03	0.2	18.0	1.7	20

模拟过程:建立钻孔孔距固定为 3 m、孔径分别为 80 mm、120 mm、160 mm、200 mm 时的 4 个模型,以及孔径为 200 mm、钻孔孔距分别为 1 m、2 m、3 m、4 m 时的 4 个模型,比较不同钻孔孔径和孔距时的应力转移规律和卸压效果;同时将模型中坐标 (3, 2) 点设置为监测点,记录该点在迭代过程中的应力值,并根据不同模型中的应力与时步曲线,评价具体的卸压效果。

2.2 计算结果及分析

(1) 不同钻孔孔径的计算结果及分析

当钻孔孔距固定为 3 m、孔径分别取 80 mm、120 mm、160 mm、200 mm 时,得到的煤柱最大主应力分布如图 2 所示。

图 2 表明,煤柱钻孔后,钻孔周围产生裂隙,钻孔周围应力峰值随裂隙的扩展向煤层深处转移,钻

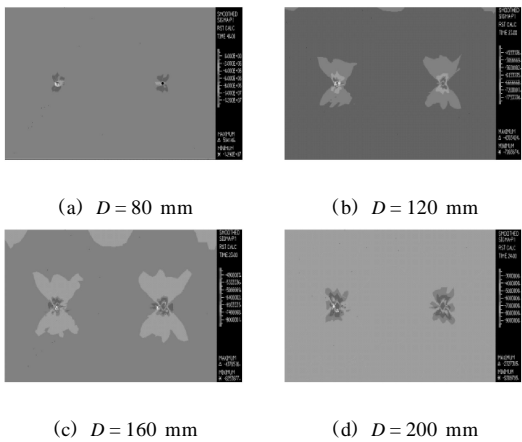


图 2 钻孔孔距为 3 m、不同孔径的煤柱最大主应力分布图
孔周围应力明显降低,钻孔深部应力峰值较原来有所降低。钻孔周围煤体出现环向破坏,破坏半径随孔径的加粗而增大,大范围卸压带呈近似 X 状分布。孔壁垂向位移随孔径的加粗而增大:孔径为 80 mm 时,钻孔顶部垂向位移量为 10 mm;孔径为 200 mm 时,钻孔顶部垂向位移量为 100 mm。在图 2(a)中孔状尚保持完整,在图 2(b)~(d)中孔口都被压实,破裂区随孔径加粗而增大。

不同孔径监测点的应力与时步曲线如图 3 所示。在迭代初始时,监测点应力值相同,通过钻孔卸压后可明显看出,监测点处的应力值随着时步的迭代而逐渐降低,并且随着孔径的加粗而逐渐降低。其中,80 mm、120 mm、160 mm、200 mm 孔径在迭代 6 时步时应力分别降低 16 %、27 %、30 %及 40 %。由此表明,钻孔孔径对煤柱应力集中卸压效果显著。

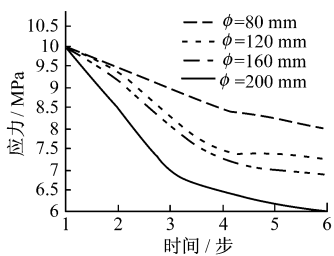


图 3 不同孔径监测点的应力与时步曲线

(2) 不同钻孔孔距的计算结果及分析

当钻孔孔径固定为 200 mm、孔距分别取 1 m、2 m、3 m、4 m 时,得到的煤柱最大主应力分布如图 4 所示。

图 4 表明,不同孔距的钻孔卸压后在煤柱内形成明显呈 X 形或近似 X 形分布的卸压带。随着钻孔孔距的减小,钻孔周围 X 形卸压带逐渐相交,这是由于在煤体钻孔间产生了许多裂隙,裂隙区域逐渐发展贯通,最终形成整体裂隙区域,即在煤柱钻孔间形成一个卸压带。因此,可认为小煤柱钻孔卸压

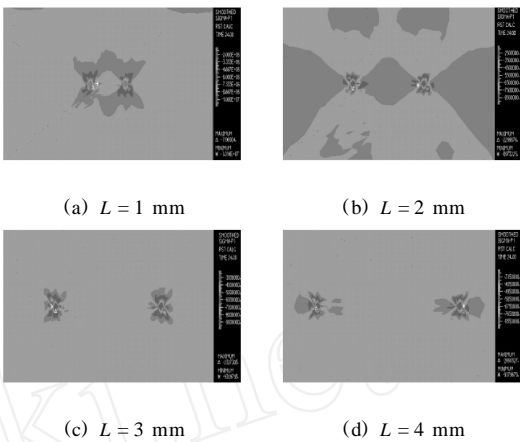


图 4 钻孔孔距为 200 m、不同孔距的煤柱最大主应力分布图

实质是钻孔导致煤体结构破坏,其破坏形式为共轭(X 形或近似 X 形)破坏,钻孔周围破坏的煤体组成卸压带。

不同孔距监测点的应力与时步曲线如图 5 所示。在迭代初始时,监测点应力值相同,通过钻孔卸压后可以明显看出,监测点处的应力值随着时步的迭代而逐渐降低,而且随着孔距的减小而逐渐降低。其中,1 m、2 m、3 m、4 m 孔距在迭代 6 时步时应力分别降低 8 %、25 %、32 %及 50 %。由此表明,钻孔孔距对煤柱应力集中卸压效果十分显著。当钻孔孔距较大时,钻孔间难以形成整体裂隙区,卸压效果不明显(见图 4(d)),其卸压效果只比原来应力降低 8 %。

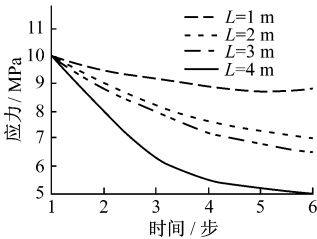


图 5 不同孔距监测点的应力与时步曲线

3 结论

本文通过采用 ADINA 有限元软件对小煤柱应力集中区不同孔径和孔距的钻孔卸压效果的数值模拟研究,得出如下结论:

- (1) 小煤柱应力集中区钻孔卸压的机理是钻孔导致煤体结构破坏,其破坏形式为共轭(X 形或近似 X 形)破坏,钻孔周围破坏的煤体组成卸压带。
- (2) 煤柱钻孔周围产生裂隙,钻孔周围应力峰值随裂隙的扩展向煤层深处转移,钻孔周围应力明显降低,钻孔深部应力峰值较原来有所降低。钻孔

文章编号:1671 - 251X(2009)06 - 0004 - 04

基于 L TC4357 的工业用冗余电源的设计 *

付 蔚, 刘成涛, 王 平

(重庆邮电大学网络化控制技术与智能仪器仪表教育部重点实验室,重庆 400065)

摘要:在工业现场中常因供电设备的单点故障问题引起设备的损坏,从而对生产造成损失。针对该问题,文章提出了一种基于 L TC4357 的工业用冗余电源的解决方案,阐述了 $N + 1$ 冗余方式的原理,详细介绍了基于 L TC4357 的冗余电源中冗余模块的设计,指出了直流稳压电源模块在工业现场应用过程中出现的问题及解决方法,最后给出了冗余电源实物图。实际应用表明,该方案具有一定的可行性。

关键词:冗余电源; 冗余模块; 直流稳压电源; $N + 1$ 冗余方式; L TC4357

中图分类号: TN867 **文献标识码:** A

Design of Industry-used Redundancy Power Supply Based on L TC4357

FU Wei, LIU Cheng-tao, WANG Ping

(Key Laboratory of Network Control Technology and Intelligent Instrument of Ministry of Education of Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Single fault problem of power supply equipments often induces damage of equipments in industrial field, so as to cause loss for production. Aiming at the problem, the paper proposed a solution of industry-used redundancy power supply based on L TC4357. It expounded the principle of $N + 1$ redundancy mode, introduced design of the redundancy module in the redundancy power supply in details, and indicated the problems and solutions when the DC regulated power supply module was used in industrial filed. At last, it gave real graph of the redundancy power supply. The actual application showed that the scheme has certain feasibility.

Key words: redundancy power supply, redundancy module, DC regulated power supply, $N + 1$ redundancy mode, L TC4357

收稿日期:2009 - 02 - 21

*基金项目:国家 863 资助项目(2007AA040301 - 6)

作者简介:付 蔚(1981 -),女,硕士,助教,现主要从事工业以太网控制技术和 ASIC 设计方面的教学与研究工作。E-mail: lctao1983 @163. com

周围煤体出现环向破坏,破坏半径随孔径的加粗而增大,随着钻孔孔距减小而增大。

(3) 具有合理钻孔孔径和孔距的卸压孔可以导致煤层的结构性破坏,钻孔卸压对控制小煤柱应力集中变形与破坏具有显著效果。

参考文献:

- [1] 吕 渊,徐 颖. 深井软岩大巷深孔爆破卸压机理及工程应用[J]. 煤矿爆破, 2005(4): 30 ~ 33.
- [2] 李国宏,杨发武. 利用卸压钻孔防治冲击地压的实践[J]. 煤矿安全, 2004, 33(11).

- [3] 刘红岗. 深井煤巷钻孔卸压机理的研究与应用[D]. 徐州:中国矿业大学, 2004.
- [4] 李世平,吴振业,贺永年. 岩石力学简明教程[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1997.
- [5] 蔡美峰,何满潮,刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [6] BIENIAWSKI A T, DENKHAUS H G, VOGLER U W. Failure of Fracture Rock [J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 1969(6): 323 ~ 334.
- [7] 王喜兵,王海君. 高应力区卸压开采方法研究[J]. 矿业工程, 2003, 11(4): 18 ~ 22.