

受煤层底板承压水威胁的煤层开采安全性分析

王春瑞, 肖洪天

(山东科技大学资源与环境工程学院, 泰安 271019)

[摘要] 从分析煤层底板的裂隙分布出发, 建立裂隙岩体的渗流模型, 然后应用该模型分析得到的渗流场, 采用考虑渗流软化效应的弹塑性有限元方法, 分析了煤层开采过程中煤层底板破坏状态, 为受煤层安全开采的提供了依据。

[关键词] 承压水 煤层 渗流 安全开采

[中图分类号] TU462 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2004)2-0090-02

1 煤层底板渗流场的研究

在井下开挖巷道时, 可以发现岩体是受裂隙切割而成的结构体。由于这一特性, 裂隙岩体是不同于其他类型介质的(如土、金属)。水在裂隙岩体中渗流, 往往沿裂隙运移。为此, 许多人建立了裂隙网络渗流模型。这类渗流模型具有以下假设:

- 1) 岩体是由岩块和裂隙构成的;
- 2) 忽视岩块的渗透性, 假设岩块不导水;
- 3) 裂隙水流服从 Darcy 定律。

由以上假设, 可利用考虑裂隙网络的非稳定渗流方程:

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) + \frac{\partial s}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

式中, x, y, z 为裂隙面局部坐标, h 为水头, s 为储水系数, k_{xx}, k_{yy}, k_{zz} 为渗透系数, 可写成如下形式:

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{bmatrix} \quad (2)$$

渗透张量是裂隙岩体渗流的重要参数。岩体含多组裂隙情况下的渗透张量可采用以下方式建立:

$$[K] = \sum_{m=1}^n \frac{ga_m^3}{12b_m\nu} \begin{bmatrix} 1 - (n_x^m)^2 & -n_x^m n_y^m & -n_x^m n_z^m \\ -n_y^m n_x^m & 1 - (n_y^m)^2 & -n_y^m n_z^m \\ -n_z^m n_x^m & -n_z^m n_y^m & 1 - (n_z^m)^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, a_m, b_m 分别为第 m 组的裂隙开度和间距, 裂隙的法线方向与 x 轴夹角为 α , 法线方向余弦 $n_x =$

$\cos\alpha, n_y = \sin\alpha, n$ 为裂隙组数。

根据上述理论, 对某矿井下 -1100m 处穿越煤层的石门进行了裂隙统计(表1), 在此基础上, 进行了渗透张量的确定, 并计算了煤层底板的渗流场。

表1 井下裂隙统计结果

组别	迹线长/m		倾角/°		间距/m		裂隙宽度/mm	
	均值	方差	均值	方差	均值	方差	均值	方差
I	2.53	0.42	68.2	10.0	1.40	0.05	0.15	0.010
II	2.84	0.56	52.0	12.3	1.72	0.12	0.20	0.015
III	2.40	0.84	80.4	15.0	1.83	0.07	0.10	0.017

2 渗流场对裂隙岩体的力学作用

渗流对裂隙岩体的裂隙作用, 表现为渗流体积力 $F_i (i = x, y, z)$ 。在有限元数值分析中可将 F_i 转换为节点力, 参与单元之间的应力调整。另外, 存在于裂隙内具有一定压力的水, 会提高裂纹尖端的强度因子。如果选取 z 轴向上, 则渗透力和浮力为:

$$\begin{aligned} F_x &= -\gamma_x \frac{\partial h}{\partial x} \\ F_y &= -\gamma_y \frac{\partial h}{\partial y} \end{aligned} \quad (4)$$

$$F_z = 1 - \gamma_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

式中, $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$ 为容重。

采用非线性有限元法, 计算在渗流场作用下岩体边坡卸荷场的附加应力及位移。

[收稿日期] 2002-06-03; [修订日期] 2003-08-10; [责任编辑] 陈仁俊。

[基金项目] 国家自然科学基金(编号: 59974015)资助。

[第一作者简介] 王春瑞(1954年-), 男, 1981年毕业于山东矿业学院, 工程师, 现主要从事矿山特殊开采工作。

3 考虑渗透作用时的弹塑性屈服条件和安全度定义

对于岩石材料,应考虑介质的应变强化和软化,渗水软化效应。因而屈服应力不仅与塑性内应变变量 k 有关,还与介质渗水性性质有关的参数 η 有关。因而,所采用的屈服条件是:

$$f(\sigma', k, \eta) = 0 \quad (5)$$

式中, σ' 为有效应力。对于存在有孔隙压力 q 的岩石材料,应力矢量由作用在介质骨架上的有效应力矢量 σ' 和渗透压力两部分组成:

$$\sigma = \sigma' + qe \quad (6)$$

弹塑性本构方程为

$$d\sigma = D_{ep} d\epsilon + edq + d\eta \quad (7)$$

式中, $e[1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ 。

本构采用 Drucker - Prager 屈服准则:

$$f = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k \quad (8)$$

式中, α, k 为内变量 k 和渗水参数 η 的函数。

有限元分析得到了煤层底板应力分布和岩层移动情况。在工程分析中,通常用有限元方法计算得到的应力,确定点安全度,用以判断岩体内任意微小部分是否产生应力破坏。对于完整岩体,点安全度定义为^[3,4]

$$F_s = \frac{\sqrt{(c + f\sigma_1)(c + f\sigma_3)}}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (9)$$

对于断层,点安全度定义为

$$F_s = \frac{\sigma_1' \cdot \tan\varphi + c}{\sqrt{\tau_{zx'}^2 + \tau_{zy'}^2}} \quad (10)$$

式中, (x', y', z') 为断层的局部坐标。

对于屈服区, $F_s = 1.0$, 破坏区 $F_s < 1.0$ 。

4 煤层底板稳定分析

某矿由于煤层底板是含水丰富的奥陶系石灰岩承压含水层,随着矿井向深部的延伸,煤层受底板承压水的影响更为突出。为了研究煤层底板突水的机理,1986年~1991年,曾对11水平的1237工作面进

行了试验开采。采用水力压裂测量了地应力,采用室内试验方法确定了岩石的力学参数,应用多点位移计观测了分层开采过程中的底板变形,并应用注水试验确定了煤层底板的破坏深度。

采用水力压裂方法,对该矿地应力进行了测量,得到了地应力的分布规律:

$$\begin{aligned} \sigma_v &= 0.0235H \\ \sigma_H &= 1.63 + 0.0194H \\ \sigma_h &= 1.83 + 0.0077H \end{aligned} \quad (11)$$

式中, σ_v 为铅垂主应力, σ_H 为最大水平主应力, σ_h 为最小主应力,单位为 MPa, H 为深度,单位为 m。

采用上述力学模型,对该面第一分层的开采过程中煤层底板的变形破坏进行了非线性有限元计算,除开挖卸荷外,还考虑了上述分析得到的渗流场对稳定的影响。计算得到了煤层底板的点安全度分布。采空区下部的岩体,由于煤层顶板冒落岩体的存在,使煤层底部的岩体受压,对煤层底板的岩体起着稳定的作用;工作面煤壁下部的岩体,由于受开采的影响,产生破坏,煤层底部的破坏深度为 30 m。

5 结语

岩体中含有大量裂隙。在煤层开采过程中底板岩体,应力重新分布,导致围岩的破坏。承压水在煤层开采过程中,沿煤层底板裂隙向上导升,产生渗透力,对煤层底部的稳定产生不利的影响。当煤层底板隔水岩体厚度较薄时,承压水的导升不容忽视,特别是当承压水的压力比较高时,更是如此。

[参考文献]

- [1] 黎良杰,钱鸣高,等. 断层突水的机理分析[J]. 煤炭学报, 1996, 21(2): 119~123.
- [2] 沈光寒,李白英,等. 矿井特殊开采理论与实践[M]. 北京:煤炭工业出版社,1992.
- [3] 肖洪天. 裂隙岩体流变损伤断裂力学模型及其工程应用[D]. 清华大学博士论文,1998.
- [4] 周维垣,肖洪天,剡公瑞. 三峡船闸高边坡渗流稳定分析[J]. 岩石力学与工程学报,1998(增刊).

SAFETY ANALYSIS OF COAL FLOOR ROCK MASSES THREATENED BY CONFINED WATER IN ORDOVICIAN LIMESTONE

WANG Chun - rui, XIAO Hong - tian

(Shandong University of Science and Technology, Tai'an 271019)

Abstract: A seepage model is used to establish a seepage field to analyze the stability of floor rock masses. By elastic and plastic finite element method considering seepage softness property of rocks, damage state of coal floor in mining is analyzed. Those provide basis for safety mining of coal floor.

Key words: confined water, coal seam, seepage, safety mining