

巷道和峒室底板的稳定性及弯曲变形

康红普

(煤炭科学研究总院, 北京, 100013)

摘要 本文运用板的压曲理论分析了巷道和峒室底板岩层的稳定性, 并将底板隆起量与两帮移近量结合起来, 得出了估算底板弯曲位移的表达式。最后, 通过实例分析, 验证了理论分析的合理性。

关键词 底板隆起, 压曲理论, 弯曲位移

1. 引言

在煤矿开采等地下工程中, 底板隆起是巷道和峒室维护中的一个技术难题。在深井或软岩条件下, 有时已经严重影响了矿井的正常生产。但是, 目前人们对底板隆起的机理还认识不清, 所以在选择防治措施方面存在很大的盲目性, 这不能不说是一个亟待改变的局面。

由于煤矿开采中遇到的岩层大多呈层状赋存, 所以采矿工作者通常采用岩梁理论分析底板岩层的稳定性及挠曲量^[1]。但岩梁理论没有计算底板岩层失稳之后的弯曲, 而且将底板两端看作固定端, 没有考虑两帮围岩挤压底板岩层使之产生的弯曲变形, 致使计算结果与实测值相差甚远。为此, 本文主要进行底板岩层稳定性分析及其失稳后弯曲位移的计算、实测, 并验证理论分析的合理性。

2. 底板岩层的稳定性及弯曲变形^[2]

如图 1 是巷道底板岩层的赋存状况。现从分析 h_1 岩层的稳定性与弯曲开始。

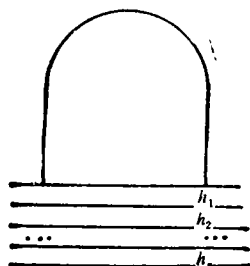


图 1 底板岩层赋存状况

2.1 底板隆起段长度远大于宽度的情况
此时可把底板看成无限长板。根据薄板弯曲理论及有限元分析的结果知^[3], 巷道和峒室的两基角处(即底板岩层的两端)最易破坏。当 h_1 岩层两端破坏后, 其它部分并没有屈服。在层间粘结力较小的情况下, 层间会产生裂隙, 与下部稳定岩层脱离。本文认为 h_1 岩层仅受两帮相对移近施加于其两端的水平力, 如图 2 所示。岩层两端为简支端, 其压曲方程(两对边简支, 沿简支边受压力)为^[4]:

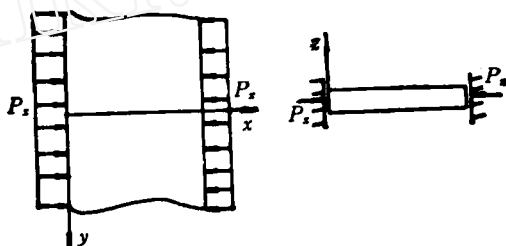


图 2 底板岩层压曲

$$D_1 \nabla^4 w - \left(N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (1)$$

式中, D_1 为 h_1 岩层的弯曲刚度; w 为 h_1 岩层挠度; N_x, N_{xy}, N_y 为 h_1 岩层的中面内力:

$$N_x = -P_x, N_y = -\mu_1 P_x, N_{xy} = 0 \quad (2)$$

式中, P_x 为 h_1 岩层两端单位长度上所受的均布压力; μ_1 为 h_1 岩层的泊松比。

将(2)式代入(1)式, 并考虑到挠度仅与 x 有关, 得:

$$D_1 \frac{d^4 w}{dx^4} + P_x \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \quad (3)$$

取挠度的表达式为:

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin \frac{m\pi x}{l_1} \quad (4)$$

式中, l_1 为 h_1 岩层的宽度; m 、 A_m 为任意正整数及待定系数。

将(4)式代入(3)式得:

$$\sum_{m=1}^{\infty} A_m \left(\frac{D_1 m^4 \pi^4}{l_1^4} - \frac{P_x m^2 \pi^2}{l_1^2} \right) \sin \frac{m\pi x}{l_1} = 0$$

压曲条件为:

$$\frac{D_1 m^4 \pi^4}{l_1^4} - \frac{P_x m^2 \pi^2}{l_1^2} = 0$$

当 $m = 1$ 时, 得最小临界载荷值 $(P_x)_c$ 为:

$$(P_x)_c = \frac{\pi^2 D_1}{l_1^2} \quad (5)$$

当 $P_x > (P_x)_c$ 时, h_1 岩层失稳。根据井下巷道和峒室的实际情况, 底板失稳后的压曲破坏以发生在岩层中部为多见, 如图 3 所示。可

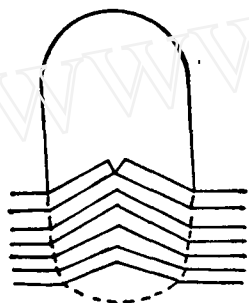


图 3 底板破坏状况

用如图 4 所示的图形估计 h_1 岩层的弯曲位移。图中, $a = l_1/2$; $b = (l_1 - u_{11})/2$; u_{11} 为 h_1 岩层两端围岩的相对移近量; u_x 为弯曲位移:

$$u_x = \frac{(2u_{11}l_1 - u_{11}^2)^{1/2}}{2} \quad (6)$$

以上分析的是 h_1 岩层的弯曲, 对于 h_2 岩层, 可用类似的方法计算, 不再阐述。可见, 底板隆起取决于底板岩层的不断失稳。随着载荷的增加及时间的加长, 失稳层数越来越多, 直到最终破坏深度。

2.2 一般情况

当所分析的巷道和峒室底板隆起段长度与其宽度之比不是足够大时, 需采用矩形板的力

力学与实践

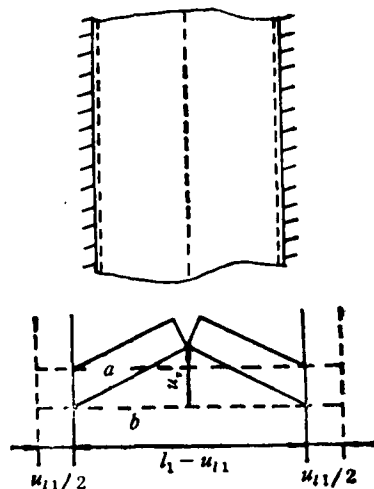


图 4 底板弯曲位移计算图

学模型。底板岩层破坏后, 可能出现两种情况:

2.2.1 两边破坏的情况

此时, 底板 h_1 岩层的压曲计算模型如图 5 所示。压曲微分方程与(3)式类似, 为:

$$D_1 \nabla^4 w + P_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (7)$$

文献[4]给出了方程(7)的解, 即, 临界载荷 $(P_x)_c$ 可表示为:

$$(P_x)_c = K \frac{\pi^2 D_1}{l_1^2} \quad (8)$$

系数 K 与边长比 l_1/l_2 及泊松比有关。

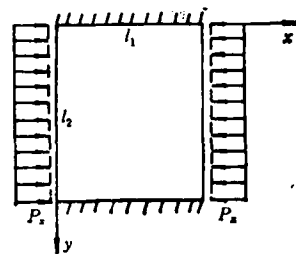


图 5 底板两端断裂后的压曲模型

2.2.2 四边破坏的情况

该种状态下 h_1 岩层的压曲计算模型如图 6 所示。其压曲微分方程为:

$$D_1 \nabla^4 w + P_x \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (9)$$

文献[4]已给出方程(9)的解, 即压曲条件

为:

$$P_c = \frac{\pi^2 D_1 \left(m^2 + n^2 \frac{l_1^2}{l_2^2} \right)}{l_1^2 \left(m^2 + \mu_1 n^2 \frac{l_1^2}{l_2^2} \right)} \quad (10)$$

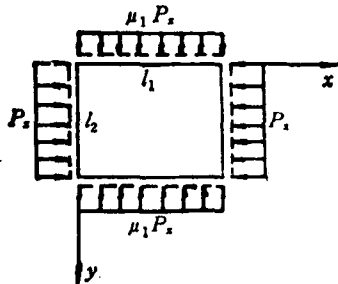


图6 底板四边断裂后的压曲模型

对于任何已知的比值 l_1/l_2 及 μ_1 , 都可以由(10)式中命 m 及 n 取不同的整数, 求出不同的 P_c 值, 从而得临界载荷 $(P_c)_c$.

h_1 岩层失稳以后, 仍以(6)式计算其弯曲位

移, 此时两端围岩的相对移近量应为沿 y 向的最大值。对于 h_2 岩层, 可用类似的方法计算。

3. 实例分析

兖州矿务局鲍店煤矿一变电所峒室, 长 10 m, 宽 4m。顶板及两帮为混凝土砌碛支护, 底板无支护。该峒室因受上部采煤工作面的采动影响, 底板的两长边出现了断裂现象。底板岩层的弹性模量 E 为 2 000MPa, 泊松比 μ 为 0.3, 分层厚度 t 为 0.4m。因只有两边断裂, 故其临界载荷可按(8)式计算。由长宽比得 $K = 9.44$, 而:

$$D = \frac{Et^3}{12(1 - \mu^2)} \quad (11)$$

则:

$$(P_c)_c = \frac{9.44 \pi^2 \times 0.4^3 \times 2000 \times 10^6}{10^2 \times 12(1 - 0.3^2)} = 10910 \text{ kN/m}$$

当采煤工作面在峒室附近回采时, 峒室底

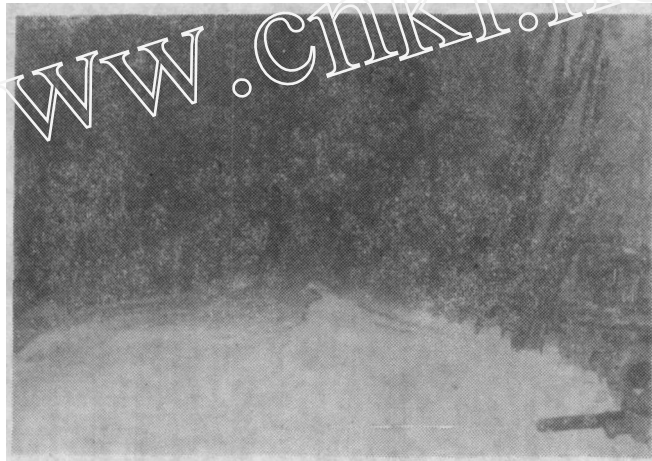


图7 峒室底板破坏状况

板产生了剧烈的底板隆起现象, 破坏状况如图7所示。峒室中部的底板隆起量最大, 实测值为 720mm, 其中弯曲位移为 510mm。两帮相对移近量为 150mm。现根据(6)式计算弯曲位移 $w_{c,c}$ 。

$$w_{c,c} = \frac{(2 \times 0.15 \times 4 - 0.15^2)^{\frac{1}{2}}}{2} = 0.543 \text{ m}$$

可见计算值与实测值十分相近, 弯曲位移是底板隆起的重要原因。

4. 结论

1) 底板隆起并不取决于岩层破坏之前的挠曲, 而主要在于底板发生弯曲断裂后的变形。

2) 两帮围岩相对移近挤压底板岩层是其失稳的一个重要原因。在底板两端破坏后, 层间出现离层的情况下, 运用板的压曲理论可得到较好的解释。

3) 底板隆起与两帮位移密切相关。在两帮位移较大的情况下, 弯曲位移是底板隆起量中的最主要部分。

参 考 文 献

- [1] Haramy K. Floor heave analysis in a deep coal mine. Proc. of the 27th U. S. Symposium on Rock Mechanics, Alabama: 1986: 520—525.
 [2] 康红普. 软岩巷道和峒室的底臌机理及卸压技术的研

- 究. 博士论文, 中国矿业大学, 1991.
 [3] 孙钧等. 地下工程中的有限单元法. 上海: 同济大学出版社, 1987.
 [4] 徐芝纶. 弹性力学, 北京: 高等教育出版社, 1982.
 (本文于 1992 年 1 月 12 日收到, 1992 年 5 月 19 日收到修改稿)

地下钻孔水压致裂的破裂准则¹⁾

周时光 阳友奎 张家达 卢国胜

(四川建材学院, 四川绵阳 621002)

提要 本文对水压致裂时钻孔周围的应变场进行了深入的分析, 采用最大拉应变强度理论建立了一个比传统的 Hubbert, M. K. 准则反映因素更全面的地下钻孔水压致裂破裂准则。

关键词 钻孔, 水压致裂, 最大拉应变, 破裂准则

1. 前言

地下岩层中的钻孔水压致裂方法可应用于石油、天然气开发, 盐类矿床的开采, 以及核废料的地下永久处置等许多方面^[1]。人们沿用较多的是传统的 Hubbert, M. K. 钻孔水压致裂破裂准则^[2]。Hubbert, M. K. 等人曾采用狭义平面应变假设(沿钻孔轴向的应变分量 $\epsilon_z = 0$)研究了钻孔水压致裂时破裂孔压与地应力场之间的关系, 认为当钻孔内水压引起钻孔孔壁岩石的环向拉应力达到岩石的单轴抗拉强度时, 孔壁岩石就将被压裂, 其破裂准则式为

$$P_{s1} = 3P_x - P_y - \sigma_t \quad (1)$$

式中, P_{s1} 为水压致裂起裂时的孔内水压; P_x 、 P_y 为地应力场中水平面内的最大、最小主应力; σ_t 为孔壁岩石的单轴抗拉强度 ($\sigma_t < 0$)。

从(1)式可以看出, 该准则没有反映出地应力场中沿钻孔轴向的铅直主应力 P_z 对水压致裂的影响, 通过文献[3, 4, 5]等的试验研究表明, 轴向应力 P_z 对破裂孔压存在着较大的影响, 例如岩石的单轴压缩会产生纵向劈裂破坏现象, 这表明由轴向应力引起的横向拉应变是导致岩石产生张性劈裂的根源, 对此, 本文将建

立地下钻孔水压致裂的广义平面应变($\epsilon_z = \text{常数}$)受力模型并对其应变场进行分析, 从而建立水压致裂破裂准则。

2. 地下钻孔水压致裂的应变场分析及破裂准则的确定

如图 1 所示, 钻孔一般铅直向下, 设沿钻孔

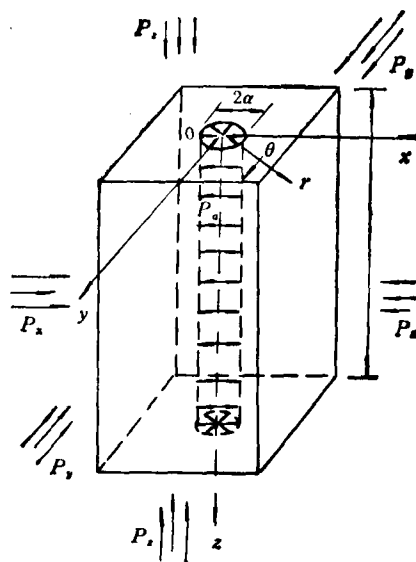


图 1 地下钻孔被压裂段的三维受力模型示意图

轴向的应力 P_z (一般为自重应力) 为地应力场中的一个主应力^[6], P_x 、 P_y 为水平面内的最大、最小主应力, 钻孔内的均匀水压为 P_s , 设沿钻孔轴向的变形均匀, 即 $\epsilon_z = \text{常数}$, 垂直于钻

1) 国家自然科学基金资助项目。