

古今构造应力的对比与危险性评价研究

周春梅, 卢新海, 秦孙威, 吴燕玲, 邱丹丹, 肖云, 李先福

(武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:以山西晋城成庄煤矿区为例,根据历史构造作用留下的褶皱、节理、断裂等构造形迹,建立构造格架,推断晋城成庄矿区历史上曾发生先南北向、后东西向的两期大的构造运动,古构造作用为先东西向加载 60 MPa,再南北向加载 110 MPa,现今构造应力是与古构造应力方向一致。岩石内摩擦角 ϕ 是描述地质体抵抗破坏能力的重要参数,探讨了由于内摩擦角的不均匀性导致均匀古应力场作用下煤矿区的危险性分区,以及现今构造应力作用下矿区的稳定性问题,为煤矿区安全问题提供新的研究思路。数值模拟揭示晋城成庄煤矿危险区分东、西两带,该结论对煤层地质体应力集中带和瓦斯突出区的预测具有重要的意义。

关键词:古构造应力;现今构造应力;内摩擦角;危险性评价

中图分类号:P554

文献标识码:A

0 引言

构造应力场可分为古构造应力场、现今构造应力场两类,前者由地质历史时期构造活动留下的变形形迹(褶皱、断裂、节理等宏观变形)所确定,后者由不同应力测量方法获取。二者之间存在制约、控制或继承的复杂关系,现今构造应力场是在古构造应力场背景下的延伸或继续,不仅继承古构造应力场或受古构造应力场先存条件的制约,同时也会改变或改造古构造应力场信息,可见古构造应力场的研究是探索现今构造应力场基本特征的不可避免的重要内容^[1-3]。

从构造运动的期次、方向、大小对比研究山西晋城成庄煤矿区古今构造应力场,结合煤矿区地质体内摩擦角的分布特征,探讨古今构造应力作用下地质体抵抗力,为煤矿区危险性分区、安全性预测提供新的研究思路。

1 古构造应力

1.1 古构造应力量值的描述

晋城成庄矿区构造形迹与构造模拟结果揭示成庄矿区历史上曾发生先南北向、后东西向的两期大的构造运动,构造作用的大小东西向为 60 MPa,南北向 110 MPa,构造作用产生的最大主应力 σ_1 平均在 100 MPa,最小主应力 σ_3 平均在 30 MPa^[4]。由于地质体的内摩擦角变化能够描述或反应岩体抵抗破坏能力相对大小的变化,因而

形成了在均匀应力场作用下抵抗破坏能力弱的地方产生断裂、节理或褶皱等构造形迹。

1.2 内摩擦角与地质体抵抗力

内摩擦角 ϕ 是地质历史时期构造应力作用下的重要信息,是定量反推地质历史时期构造应力大小或相对大小的重要依据。地质体的破坏按照库伦剪破裂准则,即外力引起的应力值超过岩体抵抗剪切破坏的极限值,这个极限值实质上就是岩体抵抗剪切破坏的能力,即由(1)式决定:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad (1)$$

式(1)中: τ 为岩土体的抗剪强度(kPa); c 为岩土体的粘聚力(kPa); σ_n 为作用在剪切面上的法向应力(kPa); ϕ 为岩土体的内摩擦角($^\circ$)。若以 ϕ 为横坐标, τ 为纵坐标,则内摩擦角 ϕ 的大小与抵抗剪切破坏的能力 τ 之间的关系可表示为图 1(a)。内摩擦角 ϕ 为零时属纯剪切情况,标志着剪切面上没有压应力作用,除此之外,剪切面上抵抗剪切的能力 τ 均随内摩擦角 ϕ 的增大而增大。

当地质体中一点在某一平面上发生剪切破坏时,抵抗剪切破坏的能力 τ 与主应力之间所应满足的关系为:

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos \phi \quad (2)$$

内摩擦角 ϕ 的大小与抵抗剪切能力 τ 之间的关系也可表示为图 1(b), ϕ 增大的同时,剪切破坏面与最大主应力 σ_1 的夹角减少,抵抗剪切破坏的能力 τ 亦减少。根据库伦剪破裂准则,摩擦角 ϕ 与

表 1 现今构造应力测量结果

Table 1 Measurement results of recent tectonic stress

深度(地面以下)/m	448	366	279	240
中间主应力(垂直)/MPa	11.2	9.2	7.0	6.0
最大水平主应力/MPa	12.9	13.2	13.8	10.6
最小水平主应力/MPa	6.5	6.4	6.4	5.5
方向(与正北方向夹角)/(°)	86	97.6	94.2	32.6

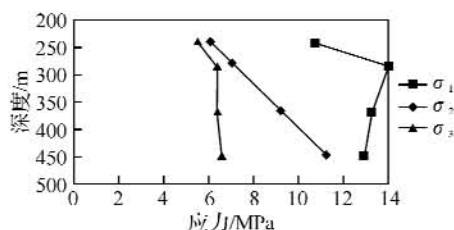


图 4 现今构造应力随深度变化图

Fig. 4 Recent tectonic stress vary with depth

a. 中间主应力 σ_2 主要是由于重力引起的应力,随深度呈线性递增变化趋势,满足公式 $\sigma_2 = \gamma h g$ (γ :根据煤层顶底板岩石力学参数实验结果,平均取 2.68 g/cm^3).

b. 最大主应力 σ_1 随深度变化较小,其变化区间在 $10.6 \text{ MPa} \sim 13.8 \text{ MPa}$ 之间,相对较为稳定,特别是 240 m 以下部分,其最大主应力平均在 12.6 MPa 左右.最小主应力 σ_3 相对较为稳定,平均在 6.2 MPa 左右,具有与最大主应力类似的变化趋势.从地面往下 450 m 深度范围内,岩体的最大和最小主应力变化不大,主要受水平构造应力及岩体自身的强度参数的影响.

c. 4 个不同深度处地质体内主应力的方向以东西向为主,只有 240 m 处主应力方向发生突变,即由下部近东西向变为北东向,具明显的不协调性.

d. 现今构造应力测量值与由库伦剪破裂准则确定的古构造应力值存在较大的差别,古构造作用下的最大主应力 σ_1 是现今构造应力最大主应力的 7 倍,最小主应力 σ_3 是现今构造应力最小主应力的 5 倍,但在主方向上具一致性,现今构造应力是否是古应力递减并延续至今的结果,这一规律是值得注意的.

3 古今构造应力场作用下危险性评价

古构造应力作用下,地质体的危险区与内摩擦角反映的规律一致,即抵抗剪切破坏能力较低(内摩擦角较低区域)的区域,如图 5,危险区分为东西两带,西带 II 位于研究区西部,从北而南分布于后河、许村、北洛一带,东带 I 从北部老阎庄经

东坡至中街一带,东带分布较宽.

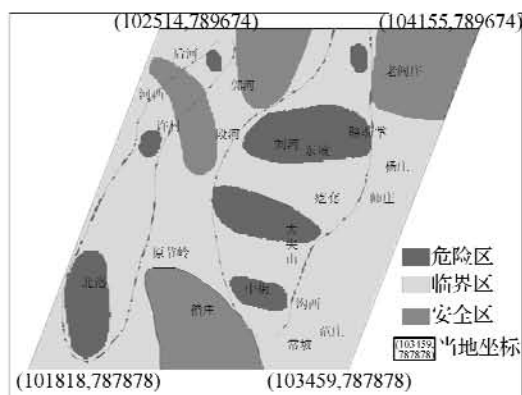


图 5 古构造应力作用下危险性分区图

Fig. 5 Hazard zonation map under the action of paleo tectonic stress

现今构造应力作用下,地质体的危险性分均匀连续与非均匀连续两种介质考虑.

a. 均匀连续地质体. 以二盘区 2225 巷 448~500 m 处砂岩为例,计算其抵抗剪切破坏能力,根据实验结果 $\nu = 0.20$ 、单轴抗压强度 $\sigma_1 = 99.14 \text{ MPa}$ 、 $c = 22.41 \text{ MPa}$ 、 $\phi = 28.92^\circ$,根据式(3),则有 $\sigma_3 = 8.08 \text{ MPa}$,根据式(2),则 500 m 处地质体的抵抗能力 $\tau = 39.85 \text{ MPa}$,也就是说要发生 $90 - \phi = 61.08^\circ$ 共轭角的剪破裂,最小剪应力为 39.85 MPa .由表 2 可得,地面以下 448 m 深度地质体现今构造应力 $\sigma_1 = 12.9 \text{ MPa}$ 、 $\sigma_3 = 6.5 \text{ MPa}$,代入式(2),可得 $\tau = 2.8 \text{ MPa}$,实质上 448 m 处现今应力值仅为 $\tau = 2.8 \text{ MPa} < \text{剪破裂最小剪应力 } 39.85 \text{ MPa}$,故在现今构造应力作用下,均匀连续的地质体是安全的.

b. 非均匀连续地质体. 假设地质体中已存在一个与 σ_1 成 β 角的节理面(图 6),节理面上 $c = 0$,摩擦角 ϕ_0 ,根据地质体节理上一点达到极限平衡状态和满足莫尔—库伦强度理论,则沿节理面重新开始滑动的应力状态为^[7]:

$$\sigma_3 = \sigma_1 \frac{\tan(\beta - \phi_0)}{\tan \beta} \quad (5)$$

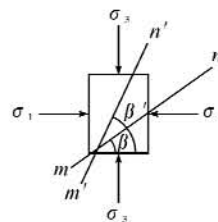


图 6 地质体中任意点的应力

Fig. 6 Stress of any point in geological body

由式(5)可得出结论,现今构造应力最大主压

** 数据来源于太原理工大学 2004 年测试结果.

应力方向近似东西向,与最大主压应力近垂直的先存破裂面(如北北西向与北北东向先存破裂面 mn')不容易重新滑动,相对较为安全;与最大主压应力小角度相交的先存破裂面(如北东东向与北西西向先存破裂面 mn)容易重新滑动,相对较为危险.用这一规则,可判断现今构造应力作用下由于古构造应力作用留下的节理的能动性^[6,8].

4 结 语

a. 成庄矿区历史上曾发生先南北向、后东西向的两期大的构造运动,古构造作用是先东西向加载 60 MPa,再南北向加载 110 MPa,古构造作用是均匀应力场,其危险区与地质体的内摩擦角分布规律一致,危险区分为东西两带,西带Ⅱ位于研究区西部,从北而南分布于后河、许村、北洛一带,东带Ⅰ从北部老阎庄经东坡至中街一带,东带分布较宽.

b. 现今构造应力是古构造应力递减并延续至今的结果,方向与古构造应力一致,即近东西向的主应力.现今构造应力作用下均匀连续地质体是安全的,非均匀连续地质体中北东东向与北西西向先存破裂面容易重新滑动.

c. 岩石内摩擦角 ϕ 是反应地质体抵抗剪切破

坏能力的重要参数,其分布不均匀性与地质体的强弱变形域相对应,为矿区的危险性预测提供新的研究方向.

参考文献:

- [1] 万天丰. 古构造应力场[M]. 北京:地质出版社,1988: 96-109.
- [2] 秦启荣,张烈辉,邓辉,等. 古构造应力量值确定及其在构造地质建模中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2004, 23(12):3979-3983.
- [3] 吴冲龙. 阜新盆地古构造应力场研究[J]. 地球科学, 1984, 2(25):43-46.
- [4] 周春梅. 古构造应力场数值模拟及危险性预测研究[J]. 岩土力学,2009, (7):356-362.
- [5] 王仁. 有限单元等数值方法在我国地球科学中的应用和发展[J]. 地球物理学报, 1994, 37(增刊 1):128-139.
- [6] 苏培东, 秦启荣, 黄润秋. 相似性原理在构造应力场数值模拟中的应用[J]. 天然气工业, 2005, 25(4):57-60.
- [7] 王连捷, 吴珍汉, 王薇, 等. 青藏高原中段现今构造应力场的数值模拟[J]. 地质力学学报, 2006, 12(2): 141-148.
- [8] 汪素云, 陈培善. 中国及邻区现代构造应力场的数值模拟[J]. 地球物理学报, 1980, 23:35-45.

Comparicon of ancient and present tectonic stress and risk evaluation

ZHOU Chun-mei, LU Xin-hai, QIN Sun-wei, WU Yan-lin, QIU Dan-dan, XIAO Yun, LI Xian-fu

(School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Taking Chengzhuang coal mining of Jincheng in Shanxi province as an example, according to the structural features formed by anicent tectonism such as fold, joint, cracking and son on, the tectonic framework was established to deduce the two large tectonic movement whcih was north-south direction at first and then east west direction happened in Chengzhuang coal mining of Jincheng. The ancient tectonism stressed 60 MPa along east-west direction firstly and then 110 MPa along north-south direction. And the direction of present tectonic stress was the same as that of ancient one. The internal friction anagle of lock (ϕ) is an important parameter for describing the capacity of geologic body to hesist damage, so the effects of ϕ on lisk area under the homogenccous ancient tectonic stress field and the stability of mining area under the present tectonic stress dere discussed to provide novel approach for the mining area safty. The numerical simulation revealed that the possible risk area of Chengzhuang Coal Mining of Jincheng in Shanxi Province was separated into eastern zone and western zone, which has great significance in prediction of tectonic stress belt and firedamp area of loal geologic body.

Key words: ancient tectonic stress; present tectonic stress; internal friction angle of rock; risk evaluation

本文编辑:萧 宁