

煤层温度和应力梯度变化 对煤层瓦斯压力计算的影响

TD713

贺建民¹, 王宏图², 鲜学福², 尹光志²

(1. 重庆工学院 重庆 400050; 2. 重庆大学 重庆 400044)

TD79

摘要: 针对煤层在地表有露头或出口的情况, 根据煤层瓦斯渗流方程, 提出了考虑煤层温度和地应力梯度变化的煤层瓦斯压力的计算方法。对某矿井煤层的理论计算和实测结果表明: 煤层温度和地应力梯度变化对煤层瓦斯压力有较大影响, 对于深部开采煤层和高温矿井, 考虑地温和地应力梯度的影响, 将使所确定的煤层瓦斯压力值更准确。

关键词: 煤层瓦斯应力; 瓦斯渗流方程; 地应力梯度; 地温

中图分类号: TD 79

文献标识码: A

煤层瓦斯压力是研究煤与瓦斯突出、煤层瓦斯赋存和涌出规律以及评价煤层瓦斯含量和瓦斯抽放等的基本瓦斯参数。对于高温矿井及深部开采煤层和受区域及局部地质构造影响较大的煤层以及受山地应力影响较大的煤层, 地应力场或地温场的分布不可能是均匀的, 可能在煤层的同一水平的不同部位或同一埋深的不同部位地应力的大小或地温的大小差别较大, 使煤层瓦斯压力分布不再仅仅是随深度变化的简单线性函数^[1-3]。因此, 笔者在对重庆市水江煤矿煤层瓦斯压力变化规律的分析时, 深入地考虑了地应力场和地温场的影响, 并将实测与理论计算进行了对比分析。

1 矿区基本概况

水江煤矿位于重庆市水江镇, 南北长 8.4 km, 东西宽 1.4 km。煤层属二迭纪龙潭组, 煤系地层总厚 75.3 m, 煤层平均厚 2.2 m, 煤层倾角由于走向逆断层 F₆ 的作用, 上盘煤层为 30~37°, 下盘煤层 38~46°。矿井开采分 +720 m、+630 m 和 +540 m 三个水平进行, 目前开采已到 +630 和 +540 两个水平。该矿井属高瓦斯突出矿井, 迄今共发生突出 34 次, 突出强度最大达 600 t 煤、瓦斯 6.5 万 m³。为了有效防治突出灾害, 迫切需要掌握瓦斯赋存和涌出规律。

• 收稿日期: 1998-06-14

作者简介: 贺建民(1964-), 男, 重庆市人, 重庆工学院副教授、硕士。主要从事工程力学和高等教育研究。

2 煤层瓦斯压力的理论计算方法

由于水江煤矿煤层在地表有露头或出口,煤层瓦斯在瓦斯压力差 ΔP 的作用将沿着煤层向地表渗透,这种渗流可以把瓦斯的来源视为一无限源,并近似为一维稳定渗流。于是有

$$-\frac{d}{dL}(\rho V) = \frac{d}{dt}(Q_1 + Q_2) = 0 \quad (1)$$

式中, ρ 为煤层瓦斯密度; Q_1, Q_2 为 1 m^3 煤体中自由瓦斯和吸附瓦斯质量; t 为时间。引入考虑温度和应力影响的渗流方程^[4]

$$V = -\frac{K_e}{\mu}(1+T)^n e^{-\alpha P} \frac{dP}{dL} \quad (2)$$

式中, $K_e = K_0 \cdot K'_0$; K_0 为有效应力 $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ 为零时 $K_0(0)$ 的值; K'_0 为理论上煤体温度 T 为零时 $K_T(0)$ 的值; α 和 n 为试验确定的常数; μ 为瓦斯粘度系数; L 为煤层倾斜长度。

将(2)式代入(1)式,得

$$\frac{d}{dL} \left(\rho \cdot \frac{K_e}{\mu} (1+T)^n e^{-\alpha P} \frac{dP}{dL} \right) = 0 \quad (3)$$

根据气体状态方程和有效应力的概念以及斜长 L 与垂深 h 的关系, (3) 式可进一步写成:

$$PdP = \frac{\mu ZR(273+T)}{K_e(1+T)^n \sin \theta} \cdot e^{\alpha(\Gamma-P)} dh = \frac{A(273+T)}{(1+T)^n} e^{\alpha(\Gamma-P)} dh \quad (4)$$

式中, Z 为气体的压缩系数; R 为气体常数; θ 为煤层倾角; C_1 为积分常数; $\Gamma = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ 为平均应力; $A = C_1 \mu ZR/K_e \sin \theta$, 在系数 A 的表达式中, 除 μ, Z 值外均可看为常数, 并由于在一定深度和温度范围内, Z 减小不大, 而 μ 增加较小, 故可近似取 A 为常数。

设地应力梯度 $D = (\Gamma - \Gamma_0)/(h - h_0)$, 地温梯度 $G = (T - T_0)/(h - h_0)$; 若从地表算起, 可视 $h_0 = 0, \Gamma_0 = 0, T_0$ 为地表恒温带温度, 这样 $\Gamma = Dh, T = Gh + T_0$ 。因此, 将(4)写成积分形式时, 有

$$\int P e^{\alpha P} dP = A \int \frac{(Gh + T_0 + 273)}{(1 + T_0 + Gh)^n} e^{\alpha D h} dh \quad (5)$$

将 $1/(1 + T_0 + Gh)^n$ 展开成级数, 取其线性项, 并令 $A' = A/(1 + T_0), 273 + T_0 = a, 1 + T_0 = b$, 代入(5)式, 积分后, 得

$$\rho^{\alpha P} (\alpha P - 1)/\alpha^2 = A' e^{\alpha D h} (B_1 + B_2 h + B_3 h^2) + C_2 \quad (6)$$

$$\text{式中 } B_1 = \frac{ab}{\alpha D} - \frac{(b - an)}{\alpha^2 D^2} - \frac{2nG^2}{\alpha^3 D^3}; \quad B_2 = \frac{(b - an)}{\alpha D} - \frac{2nG^2}{\alpha^2 D^2}; \quad B_3 = \frac{nG^2}{\alpha D}$$

又将(6)式中 $e^{\alpha P}$ 展成级数, 只取线性项(因 α 很小, 且 $\alpha \gg 1$), 于是(6)式又可写成

$$P = [A' e^{\alpha D h} (B_1 + B_2 h + B_3 h^2) + C_2 + (1/\alpha^2)]^{1/2} \quad (7)$$

引入边界条件 $P|_{h=0} = 0, P|_{h=H} = P_H$ (实测值), 并由(7)式, 得

$$P_h = P_H \left\{ \frac{e^{\alpha D h} (B_1 + B_2 h + B_3 h^2) - B_1}{J_H} \right\} \quad (8)$$

式中, $J_H = e^{\alpha D H} (B_1 + B_2 H + B_3 H^2) - B_1$

上式就是煤层在地表有露头或出口的情况下, 距离地表垂深 h 处的煤层瓦斯压力的解

析式,该式可作为煤层瓦斯压力的工程计算公式。

3 各参数的确定和瓦斯压力的计算及实测结果

表1 3个瓦斯压力测站处的
地应力梯度值和地温梯度值

测点	垂深	应力梯度	温度梯度
水平	h/m	$D/\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1}$	$G/^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$
+720	475	0.0011587	0.1327
+630	570	0.0016215	0.01365
+540	665	0.002631	0.01421

1) 针对水江煤矿地质条件、开采布置和煤层赋存情况,沿倾斜方向分别在3个水平共布置3个地应力、地温和瓦斯压力测站。采用空心包体地应力测试方法进行岩体地应力测试,利用EX-KG3004A型温测仪进行深孔煤体温度测试,然后在地应力场和地温场分析的基础上,确定地应力梯度 D 和地温梯度 G 。表1给出了不同水平3个瓦斯压力测站处的地应力梯度值和地温梯度值。

2) 由煤样的变应力和变温试验,确定在温度一定时,渗透率与有效应力的关系和在有效应力一定时,渗透率与温度的关系,再由曲线拟合得到 α 和 n 。本次拟合结果得到的 α 和 n 分别为0.1667和0.0351。

3) 待定常数 A' 取决于系数 K_0 、地表温度 T_0 、系数 n 、气体常数 R 、压缩系数 Z 、粘度系数 μ 、煤层倾角 θ 和积分常数 C_1 等参数,需要将它们代入 A 及 A' 的式中方能定 A' 的值。这样做较复杂,不过可通过现场实测煤层某点瓦斯压力值,经(7)式反算求 A' 的值。

4) 采用直接测压法在3个不同水平(不同深度)实测煤层瓦斯压力值。

5) 根据+630水平($H=570\text{ m}$)的煤层瓦斯压力实测,经(7)式反算可得到常数 A' 的值,为了比较常数 A' ,我们根据不同深度3测点的实测瓦斯压力值(P_H),分别计算了 A' 的值,由于差别很小,且取其平均值为 7.243×10^{-9} 。

6) 将所有参数值代入(8)式,可得到考虑温度变化和地应力梯度变化时的瓦斯压力理论计算值 P_h 。如果取地应力梯度为平均值(常数) $\bar{D}=0.0018037\text{ MPa/m}$,温度梯度 $G=0$,可得到忽略温度变化和地应力梯度变化的瓦斯压力理论计算值 P'_h 。表2给出了3个测点的瓦斯压力实测值 P_H 和理论计算值(P_h 和 P'_h)。

4 结果分析

由表2所列瓦斯压力值的结果可看出,考虑温度变化和地应力梯度变化的理论计算瓦斯压力值 P_h 比忽略温度变化和地应力梯度变化的理论计算瓦斯压力 P'_h 要小,一般要小25%左右。可以看出考虑与不考虑温度变化和地应力梯度变化所计算出的瓦斯压力的理论计算值有明显的区别。同时,瓦斯压力的理论计算值(P_h , P'_h)均比实测瓦斯压力值 P_H 要大,而考虑温度变化和地应力梯度变化的理论计算瓦斯压力 P_h 更接近实测瓦斯压力值 P_H ,因此,在进行煤层瓦斯压力计算和分析时,特别是深部开采煤层,不容忽视地应力和地温场的共同影响。

5 结 论

1) 应力梯度和温度变化对煤层瓦斯压力的计算有较大的影响;

表 2 瓦斯压力实测值和理论计算值

测点水平	垂深 h/m	实测瓦斯压力	理论计算瓦斯压力 /MPa	
		P_H/MPa	P_k	P'_k
+ 720	475	1.92	1.98	2.45
+ 630	570	2.03	2.03	2.62
+ 540	665	2.28	2.37	2.89

2) 计算煤层瓦斯压力时,应根据煤层和瓦斯赋存的地质条件,在考虑其它因素的基础上,充分考虑地应力场和地温场的影响,使深部煤层瓦斯压力的分布规律的预测方法更完善,预测的结果更准确;

3) 矿井煤层和瓦斯赋存的地质条件是很复杂的,影响煤层瓦斯压力的因素很多,如何更全面、更严密地完善煤层瓦斯压力的解析方法,还需要更深入的研究工作。当然,根据各矿的实际情况和对煤层瓦斯压力计算值的要求,抓住主要矛盾,采用必要的近似方法对煤层瓦斯压力进行分析是可行的。

参 考 文 献

- [1] 俞启香. 矿井瓦斯防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992.
- [2] 于不凡, 白帆. 煤矿瓦斯防治技术[M]. 北京: 中国经济出版社, 1987.
- [3] SOMERTON W H. Effect of Stress on Permeability of Coal[J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 1974, 12: 129~145.
- [4] 王宏图, 鲜学福, 尹光志. 煤矿深部开采瓦斯压力计算的解析算法[J]. 煤炭学报, 1999, 22(3): 279~283.

The Influence of In-situ Stress Gradient and Geothermal Temperature on The Calculation of Coalbed Gas Pressure

HE Jian-min¹, WANG Hong-tu², XIAN Xue-fu², YIN Guang-zhi²

(1. Chongqing Institute of Technology Management, Chongqing, 400050 China; 2. Chongqing University, Chongqing 400044, China)

ABSTRACT: On the basis of coal seam having outcrop of coal seam and outlet on ground, the method for calculating coalbed gas pressure from the one-dimensional stable gas flow equation by considering deeply the influence of in-situ stress gradient and geothermal temperature is presented. In some mine, the theoretically computing and measuring results of coalbed gas pressure show that the in-situ stress gradient and the geothermal temperature have important influence on the calculation of coalbed gas pressure, and if the factors are drew into the calculation of coalbed gas pressure, it will make the results much more accurate.

KEYWORDS: coalbed gas pressure; gas flow equation; in-situ stress gradient; geothermal temperature

(责任编辑 钟学恒)