

基于最小二乘法的上隅角瓦斯浓度变化规律分析

刘 斌

(中电投新疆能源化工集团四棵树煤炭有限公司 新疆 乌苏 833019)

摘要: 采用最小二乘法对试验区域 16122-1 工作面上隅角瓦斯浓度进行分析,通过在试验区域 16122-1 工作面回采期间对工作面风量 Q 、日产量 A 以及上隅角瓦斯浓度 $C_{上}$ 三个参数进行数据监测,将工作面风量、日产量分别与上隅角瓦斯浓度拟合得出了瓦斯浓度变化曲线,并对拟合方法、拟合效果进行分析。结合现场实际条件,分析了拟合曲线不与理论完全吻合的原因,再次通过分析上隅角瓦斯浓度与工作面风量、工作面日产量的相关性,得出的结论是上隅角瓦斯浓度随着工作面日产量的增大而升高,减小而降低;随着工作面风量的增加而降低,减小而升高,同时表明了用最小二乘法进行拟合是可行、有效的。

关键词: 上隅角; 瓦斯浓度; 最小二乘法

中图分类号: TD712

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2013)05-0116-04

Change law of gas concentration in upper corner based on least squares method

LIU Bin

(CPI Xinjiang Energy Chemical Group Sikeshu Coal Co. Ltd., Wusu 833019, China)

Abstract: During the period of 16122-1 working face coal winning, monitor the working face air volume Q , daily output A , gas concentration in upper corner C . Fit the above three data and get gas concentration variation curve. Analyse the fitting method and effect. The fitting results don't match perfectly with the theoretical results. Combined with the actual conditions, investigate the reasons. The results show that, the change of C and A is synchronized, while Q has the opposite effect. The least squares method is achievable.

Key words: upper corner; gas concentration; least squares method

0 引 言

目前中国正在开采的煤矿中,49.8%是高瓦斯矿井。高瓦斯矿井在治理上隅角瓦斯上,一般采取悬挂挡风帘,减少采空区漏风;采空区预埋管或插管抽放等措施。但是,影响上隅角瓦斯浓度的因素不是单一的,最直接的因素包括工作面风量、采空区漏风量、工作面单位时间落煤量、采出率等。而根本原因是煤层瓦斯含量高,尤其是煤体中可解吸瓦斯含量高。在回采前,进行本煤层顺层钻孔抽放

瓦斯,但在回采过程中上隅角瓦斯浓度的控制,只能通过调配工作面风量、上隅角插管/埋管抽放等措施治理,因而科学合理的采用数学方法分析上隅角瓦斯浓度变化规律,对上隅角瓦斯超限预防与治理有不可忽略的作用^[1-7]。

1 最小二乘法

1.1 基本原理

最小二乘法基本原理是:成对等精度地测得一组数据 (x_i, y_i) ($i=1, 2, \dots, n$) 试找出一条最佳的拟

收稿日期:2013-06-06 责任编辑:孙淑君

作者简介:刘斌(1975—)男,重庆人,助理工程师,现任中电投新疆能源化工集团四棵树煤炭有限公司技改办主任,主要从事矿井建设、生产和“一通三防”技术管理工作。E-mail:38409031@qq.com。

引用格式:刘斌.基于最小二乘法的上隅角瓦斯浓度变化规律分析[J].洁净煤技术,2013,19(5):116-119.

合曲线,使得这条拟合曲线上各点的值与测量值的差的平方和在所有拟合曲线中最小^[8]。

在拟合数据时,为了减小误差,常进行多点测量,使方程式个数大于待定参数的个数,此时构成的方程组称为矛盾方程组^[9]。通过最小二乘法转化后的方程组称为正规方程组(此时方程式的个数与待定参数的个数相等)。

1.2 曲线拟合

实践中得到一组数据 $(x_i, y_i) (i = 1, 2, \dots, n)$ 时,常会遇到因变量 y 与自变量 x 之间根本不存在线性关系^[10]。此时可以考虑用一个次数低于 $n - 1$ 次的多项式

$$y = \varphi(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m (m < n - 1)$$

其中 a_0, a_1, \dots, a_m 待定,使其最好地拟合这组数据。最好的标准是使得 $\varphi(x)$ 在 x_i 的偏差 $\delta_i = \varphi(x_i) - y_i$ 的平方和 $Q = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 = \sum_{i=1}^n [\varphi(x_i) - y_i]^2$ 达到最小。

由于拟合曲线 $y = \varphi(x)$ 不一定过点 (x_i, y_i) ,因此把 (x_i, y_i) 代入 $y = \varphi(x)$,便得到以 a_0, a_1, \dots, a_m 为未知量的矛盾方程组,表示成矩阵形式为

$$Ax = b$$

其中

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^m \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^m \end{bmatrix}$$

$$x = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

$$A^T Ax = A^T b$$

以上矛盾方程组的最小二乘解也就是正规方程组的解,其中 A^T 是矩阵 A 的转置矩阵。

由此方程组得到的唯一解代入拟合多项式 $y = \varphi(x)$,即得所求的拟合曲线。因此,可利用上隅角瓦斯浓度的监测数据 $(x_i, y_i) (i = 1, 2, \dots, n)$,以 x_i 代表一个影响因子、 y_i 代表瓦斯浓度,通过最小二乘法拟合得瓦斯浓度随影响因子的变化关系式 $y = \varphi(x)$ 。

1.3 相关系数

由概率论可知^[4],2 个随机变量的相关系数

$\rho_{X,Y}$ 定义为

$$\rho_{X,Y} = \frac{Cov(X, Y)}{D(X) \cdot D(Y)}$$

式中 X, Y 为 2 个随机变量; $Cov(X, Y)$ 为随机变量 X 和 Y 的协方差; $D(X), D(Y)$ 分别为随机变量 X, Y 的方差。

相关系数 $\rho_{X,Y}$ 的取值范围为 $[-1, 1]$, $\rho_{X,Y}$ 的绝对值越大,说明随机变量 X 和 Y 的相关性越好,反之则越差。当 $\rho_{X,Y}$ 为负值时,说明随机变量 X 和 Y 的变化方向相反,反之则说明变化方向相同。

2 实例分析

2.1 矿井概况

试验矿井可采及局部可采煤层共 12 层,目前主采煤层为 5 号煤与 6 号煤,6 号煤平均厚度为 3.5 m。试验区域为 6 号煤层的 16122 - 1 工作面,在 16122 - 1 工作面回采期间进行数据监测,监测内容包括主要包括工作面风量 Q 、日产量 A 及上隅角瓦斯浓度 C_{\pm} ,监测周期为 20 d。

16122 - 1 工作面埋深 210 m,瓦斯含量为 7.7 m^3/t ,工作面通风方式为后退式 U 型通风,风量变化范围为 1500 ~ 2000 m^3/min ,采出率变化范围为 80% ~ 90%。监测数据见表 1。

表 1 16122 - 1 工作面监测数据

序号	$Q/(m^3 \cdot min^{-1})$	$A/(t \cdot d^{-1})$	$C_{\pm}/\%$
1	720	3100	0.27
2	770	3000	0.20
3	745	3200	0.23
4	800	2980	0.18
5	724	3150	0.26
6	711	2890	0.24
7	708	3050	0.33
8	767	3000	0.21
9	718	3300	0.35
10	720	3350	0.33
11	980	3350	0.29
12	964	3010	0.28
13	910	3250	0.32
14	988	1980	0.13
15	1011	1680	0.09
16	986	2560	0.23
17	958	3100	0.28
18	955	3000	0.26
19	1015	3800	0.37
20	1010	3300	0.14

理论上 提高多项式的次数可以提高拟合的精度 实例中有 20 组数据 最大可进行 19 次多项式拟合 高次多项式拟合确实使曲线经过大部分监测数据 但是曲线两端精度很差 不能很好地反映瓦斯浓度的变化规律 即高次多项式拟合的效果并不理想 易产生 Runge 现象 除非已知数据来自高次多项式 否则多项式拟合的次数一般不超过 6 次。

利用 Origin8.0 多次拟合对比 本拟合适宜采用 5 次拟合^[11]。

2.2 工作面风量、上隅角瓦斯浓度曲线拟合

将原始数据按照风量的大小重新排序 并令 x 为风量 即 $x = \{708\ 711\ 718\ 720\ 720\ 724\ 745\ 767\ 770\ 800\ 910\ 955\ 958\ 964\ 980\ 986\ 988\ 1010\ 1011\ 1015\}$; y 为上隅角瓦斯浓度 即 $y = \{0.33\ 0.24\ 0.35\ 0.27\ 0.33\ 0.26\ 0.23\ 0.21\ 0.20\ 0.18\ 0.32\ 0.26\ 0.28\ 0.28\ 0.29\ 0.23\ 0.13\ 0.14\ 0.09\ 0.37\}$ 。上隅角瓦斯浓度随工作面风量变化曲线及置信水平为 95% 的边缘置信区间如图 1 所示。

拟合曲线对应多项式为

$$y = -2920.5211 + 17.4642x - 0.0415x^2 + 4.9127 \times 10^{-5}x^3 - 2.8891 \times 10^{-8}x^4 + 6.7596 \times 10^{-12}x^5$$

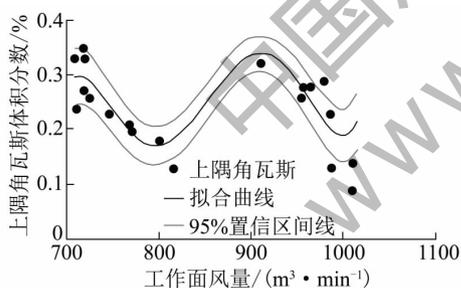


图 1 上隅角瓦斯浓度随工作面风量变化曲线及置信水平为 95% 的边缘置信区间

由图 1 可知 上隅角瓦斯浓度随工作面分量变化的拟合曲线基本囊括了测试数据 表明用此拟合曲线对上隅角瓦斯浓度进行预测是可行的。

2.3 工作面日产量、上隅角瓦斯浓度曲线拟合

将原始数据按照风量的大小重新排序 并令 x 为日产量 即 $x = \{1680\ 1980\ 2560\ 2890\ 2980\ 3000\ 3000\ 3010\ 3050\ 3100\ 3100\ 3150\ 3200\ 3250\ 3300\ 3300\ 3350\ 3350\ 3800\}$; y 为上隅角瓦斯浓度 即 $y = \{0.09\ 0.13\ 0.23\ 0.24\ 0.18\ 0.21\ 0.20\ 0.26$

$0.28\ 0.33\ 0.27\ 0.28\ 0.26\ 0.23\ 0.32\ 0.35\ 0.14\ 0.33\ 0.29\ 0.37\}$ 。上隅角瓦斯浓度随工作面日产量变化曲线及置信水平为 95% 的边缘置信区间如图 2 所示。

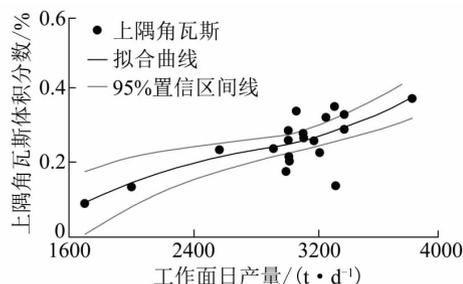


图 2 上隅角瓦斯浓度随工作面日产量变化曲线及置信水平为 95% 的边缘置信区间

由图 2 可知 上隅角瓦斯浓度随工作面日产量变化的拟合曲线包含了大部分测试数据 但存在数据溢出点。

拟合曲线对应多项式为

$$y = 0.00438 - 7.01522 \times 10^{-4}x + 1.00806 \times 10^{-5}x^2 - 4.77332 \times 10^{-10}x^3 + 9.77647 \times 10^{-14}x^4 - 7.20963 \times 10^{-18}x^5$$

2.4 拟合效果与结果分析

从图 1 和图 2 中可看出 数据点 80% 皆落于置信区间内。对于处于拟合曲线以外的数据点和拟合曲线波动现象 结合现场生产实际 主要有以下原因^[12-14]：

1) 按照经验 工作面风量越大 上隅角瓦斯浓度应该越低 而在工作面风量 - 上隅角瓦斯浓度拟合曲线中的波动现象是因为日产量发生了较大变化 另外采空区的漏风也是影响上隅角瓦斯浓度的一个重要因素；

2) 工作面日产量 - 上隅角瓦斯浓度拟合曲线 从形状上看 基本符合经验(日产量越大 工作面瓦斯涌出量越大 上隅角瓦斯浓度越高)。个别瓦斯浓度偏离点 是因为工作面风量增加值 大于等于因产量增加而多涌出的瓦斯稀释所需要的风量。

2.5 相关性分析

为了更好的分析工作面上隅角瓦斯浓度变化规律 引入相关系数来分析上隅角瓦斯浓度与工作面风量、日产量的相关性。

在 Matlab 中 利用 $r = \text{corrcoef}(x, y)$ 函数计算出

上隅角瓦斯浓度、工作面日产量、风量之间的相关系数见表 2。

表 2 工作面日产量、风量、上隅角瓦斯浓度之间的相关系数

参量	$Q/(m^3 \cdot \min^{-1})$	$A/(t \cdot d^{-1})$	$C_{\pm}/\%$
$Q/(m^3 \cdot \min^{-1})$	—	-0.2563	-0.2764
$A/(t \cdot d^{-1})$	-0.2563	—	0.7482
$C_{\pm}/\%$	-0.2764	0.7482	—

从表 2 可以看出,上隅角瓦斯浓度与工作面日产量、风量相关系数分别为 0.7482, -0.2764,也就是说,上隅角瓦斯浓度的变化与工作面日产量变化方向相同,与工作面风量的变化趋势相反。即上隅角瓦斯浓度随着工作面日产量的增大而升高,减小而降低;随着工作面风量的增加而降低,减小而升高。

3 结 语

1) 利用最小二乘法,得出了工作面风量 Q 、工作面日产量 A 分别与上隅角瓦斯浓度 C_{\pm} 拟合曲线,根据曲线可预测单因子影响下的上隅角瓦斯浓度;并通过相关性分析,验证了影响上隅角瓦斯浓度变化因素主次关系。

2) 根据试验矿井实际情况,风量增加,上隅角瓦斯浓度也增加,主要原因为:日产量增加导致工作面瓦斯涌出总量增加;日产量未增加情况下,是该工作日所采煤体瓦斯预抽效果较差,煤体可解吸瓦斯量较大。

3) 煤层瓦斯预抽工作的好坏直接影响到后期回采工作的安全,因此,在本煤层的瓦斯抽采达标评判应作为工作面能否开展回采工作的重要参考依据。

(上接第 104 页)

成的环境污染问题,改善了环境卫生。为进一步创建工业旅游示范点,实现建设和谐矿,促进矿区和谐发展做出了贡献^[6-7]。

参考文献:

[1] 刘瑞芹. 煤矸石的综合利用分析[J]. 现代矿业, 2009(7): 140-142.
[2] 高兵, 强俊姚. 清洁生产技术在神东矿区煤炭开采中的应用[J]. 能源环境保护, 2010(1): 31-32.

参考文献:

[1] 范维唐. 中国煤矿高产高效综采放顶煤技术[J]. 中国科学技术前沿, 2001, 8(3): 169-170.
[2] 胡永忠. 复杂条件下的安全高效开采[J]. 中国煤炭, 2008(2): 19-22.
[3] 宋振骥. 关于煤矿安全开采决策关键技术的基础研究的建议[J]. 煤炭学报, 1994, 19(1): 1-4.
[4] 王克武, 孙福玉, 姜伟东. 低瓦斯矿井工作面上隅角瓦斯超限治理技术[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(5): 49-51, 54.
[5] 岳建成, 邵小平. 砚北煤矿综放工作面瓦斯综合防治技术研究[J]. 煤炭工程, 2008(11): 48-50.
[6] 张建军. 高沼气矿井综采工作面联合抽放的应用研究[J]. 洁净煤技术, 2010, 16(6): 74-76.
[7] 周娴, 姜凡, 吕元, 等. 煤矿通风瓦斯处理技术的比较和应用前景[J]. 洁净煤技术, 2009, 15(4): 91-94.
[8] 陆健. 最小二乘法及其应用[J]. 中国西部科技, 2007(12): 19-21.
[9] 黄永安, 李文成, 高小科. MATLAB7.0/Simulink6.0 应用实例仿真与高效算法开发[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 152-171.
[10] 李贤平. 概率论基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 170-202.
[11] 肖信. Origin 8.0 实用教程: 科技作图与数据分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
[12] 刘见中. 上隅角瓦斯浓度预测及其处理方法的优选[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(2): 7-10.
[13] 吕品, 马云歌, 周心权. 上隅角瓦斯浓度动态预测模型的研究及应用[J]. 煤炭学报, 2006, 31(4): 461-465.
[14] 成玉, 刘勇, 李春辉. 采煤工作面上隅角瓦斯积聚的原因分析及治理措施[J]. 洁净煤技术, 2010, 16(6): 77-79.

[3] 刘忠峰. 矿井地面排矸系统改造可行性研究[J]. 煤炭技术, 2006, 25(3): 114-116.
[4] 郭彩凤, 周卫伟. 旗山煤矿矸石山排矸系统的优化改造与应用[J]. 煤矿安全, 2006, 37(2): 31-33.
[5] 管振翔, 邹爱英, 张妍妍. 煤矿地面排矸系统的技术改造与应用[J]. 煤矿现代化, 2005(2): 26-28.
[6] 李剑锋. 地面排矸系统的技术改造[J]. 煤矿机械, 2008(11): 51.
[7] 崔光宇, 李战鹏. 煤矿地面排矸系统的改造[J]. 中州煤炭, 2012(4): 75-76.