

安全技术及工程

基于线性二次指数平滑法的瓦斯含量预测

何 俊, 刘林兵, 唐一举

(河南理工大学 安全科学与工程学院 河南 焦作 454000)

摘 要: 为了提高煤层瓦斯含量的预测精度, 以某矿区垂深间隔为 50 m 的瓦斯含量数据, 瓦斯含量运用线性二次指数平滑法建立瓦斯含量预测模型, 并结合折线图 and 方差分析比较预测结果与实测数据。结果表明: 平滑常数 α 为 0.8 的线性二次指数平滑法模型预测精度较高, 运用该模型既能满足瓦斯含量随埋深增加呈线性规律的总体趋势, 又能根据最新实测瓦斯含量比较准确地预测煤层瓦斯含量; 依据实测值参与模型的权数规律, 模型能够接近最新一期的实测数据。

关键词: 瓦斯含量预测; 线性二次指数平滑法; 平滑常数; 方差分析

中图分类号: TD712

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2014)12-0048-03

Gas Content Prediction Based on Linear Double Exponential Smooth Method

HE Jun, LIU Lin-bing, TANG Yi-ju

(School of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: In order to improve the accuracy to predict gas content of seam, based on gas content in vertical depth with interval of 50 m in a mining area, a linear double exponential smooth method was applied to establish prediction model to predict gas content and in combination with polygonal line graph and variance analysis, a comparison was conducted on the predicted results and the measured data. The results showed that the linear double exponential smooth method model with a smooth constant α of 0.8 could have high prediction accuracy. The application of the linear double exponential smooth method to predict the gas content could meet a general tendency of the gas content increased in linear law with the depth increased and also could accurately predict the seam gas content based on the comparison on the updated measured gas content. Based on the measured values involved in the weight law of the model, the model could approach the measured data of a new round.

Key words: gas content prediction; linear double exponential smooth method; smooth constant; variance analysis

0 引 言

煤层瓦斯含量是指单位质量原煤中所含有的标准大气压下的瓦斯体积量, 是煤层瓦斯储量、工作面抽采达标评价、预测煤与瓦斯突出的重要指标。瓦斯含量与采深有明显的线性变化趋势, 一定采深的瓦斯含量预测对煤矿安全生产以及经济利益产生影响。预测煤层瓦斯含量一直是国内外学者十分关注的技术难题, 近年来虽取得了一些进展, 但仍未得到很好解决^[1]。这是因为矿井地质条件的复杂性, 即使在同一井田范围内, 同一煤层的瓦斯含量都通常

变化较大, 而且经常出现突变, 这是由于煤层中某一点瓦斯含量的大小受多种因素共同影响^[2]。针对瓦斯含量预测, 国内学者进行了很多有益的探索: 文献[3-4]应用灰色系统理论的方法, 对影响煤层瓦斯含量的地质因素进行了分析, 找出了影响瓦斯含量的主要控制因素及煤层多因素瓦斯含量预测公式; 梁亚林^[5]建立了瓦斯含量回归预测模型; 吴观茂等^[6]使用人工神经网络方法建立了瓦斯含量预测模型, 并证明了预测模型的可靠性^[7-9]。瓦斯含量随着垂深的变化有明显的线性变化趋势, 一元线性回归法虽然能够说明瓦斯含量随着垂深变化的总

收稿日期: 2014-06-05; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.12.013

作者简介: 何 俊(1973—), 男, 河南焦作人, 副教授, 博士。Tel: 18236878431, E-mail: 857383010@qq.com

引用格式: 何 俊, 刘林兵, 唐一举. 基于线性二次指数平滑法的瓦斯含量预测[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(12): 48-50. 61.

HE Jun, LIU Lin-bing, TANG Yi-ju. Gas Content Prediction Based on Linear Double Exponential Smooth Method[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(12): 48-50. 61.

体线性趋势,但是随着垂深的增加,不同地质单元的瓦斯含量控制因素有所变化,因此随着深度增加,不同深度实测瓦斯含量对瓦斯含量预测值影响逐渐增大,即当下深度的瓦斯含量对下一期预测值预测权重最大。为了提高瓦斯含量的预测精度,笔者采用线性二次指数平滑法,对垂深每间隔 50 m 的瓦斯含量建立统计模型,并且利用折线图和方差分析对实测瓦斯含量与预测瓦斯含量的吻合度进行检验。

1 线性二次指数平滑法原理

指数平滑法递推公式:

$$F_{t+1} = \alpha x_t + \alpha(1-\alpha)x_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 x_{t-2} + \dots + \alpha(1-\alpha)^{n-1} x_{t-n}$$

式中: α 为平滑常数; n 为平滑指数; t 为时期; F_{t+1} 为指数平滑法预测值; $x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-n}$ 为各期的观测值。由公式可以看出,每一递推观测值的权数按指数规律递减。即预测值总是接近最新几期的观测值。

线性二次指数平滑法对时序存在的线性趋势进行修正,此方法只利用 3 个数据(最新实测值,一次与二次指数平滑预测值)和一个平滑常数 α 就可以计算,这种方法可以使过去观察值的权数减少。其平滑公式为

$$\begin{aligned} S_t^{(1)} &= \alpha x_t + (1-\alpha)S_{t-1}^{(1)} \\ S_t^{(2)} &= \alpha x_t + (1-\alpha)S_{t-1}^{(2)} \end{aligned}$$

式中: $S_t^{(1)}, S_t^{(2)}$ 分别为一次和二次指数平滑值; x_t 为本期观测值; $S_{t-1}^{(1)}, S_{t-1}^{(2)}$ 分别为 $S_t^{(1)}$ 和 $S_t^{(2)}$ 的前一期的一次、二次指数平滑值。

由 2 个平滑值可以计算线性平滑模型的 2 个参数 a_t, b_t :

$$\begin{aligned} a_t &= S_t^{(1)} + (S_t^{(1)} - S_t^{(2)}) = 2S_t^{(1)} - S_t^{(2)} \\ b_t &= \frac{\alpha}{1-\alpha}(S_t^{(1)} - S_t^{(2)}) \end{aligned}$$

得到线性平滑模型: $F_{t+m} = a_t + b_t m$ 。其中: F_{t+m} 为预测值; m 为预测的超前期数。

2 线性二次指数平滑法建模过程

煤层埋藏越深,煤层中的瓦斯向地表运移的距离就越长,逸散就越困难;同时,随着深度的增加,煤层上覆压力越大,造成煤层透气性降低,有利于保存瓦斯,因此,瓦斯含量与埋深有线性增长趋势^[10-11]。对于单一煤层,由于煤层厚度、地质构造以及煤的顶底板岩性的复杂性造成在某些埋深段内煤层瓦斯含

量与埋深的非线性变化,因此,运用最小二乘法建立的煤层瓦斯含量与埋深的一次线性回归直线不能适应某些埋深区段内的瓦斯含量预测。线性二次指数平滑法通过赋予最新含量值与上期预测值一定的权数,既能解释瓦斯含量与埋深的总体线性增长趋势,又能根据最新数据对预测数据进行修正。基于某矿区垂深间隔 50 m 的瓦斯含量,进行了建模预测。

2.1 平滑常数 α 的确定

根据《防治煤与瓦斯突出规定》,突出矿井开采的非突出煤层和高瓦斯矿井的开采煤层,在延深达到或者超过 50 m 时必须测定瓦斯含量,选择以垂深间隔 50 m 为研究点,初始标高 -100 m 记为 1,向深部每增加 50 m,期数增加 1,当平滑常数 α 分别取 0.2、0.5、0.6、0.8、0.9 时,从第 3 期到第 8 期预测值与实测值比较见表 1。

表 1 不同预测值与实测值对比

α	预测值					
	6.68	5.41	7.99	8.32	11.56	16.60
0.2	5.54	6.01	5.84	6.74	7.50	9.31
0.5	5.82	6.80	5.74	7.98	8.87	12.19
0.6	5.91	7.00	5.54	8.35	9.07	12.80
0.8	6.10	7.33	4.93	9.27	9.15	13.80
0.9	6.20	7.45	4.55	9.86	8.99	14.27

分别计算 α 为 0.2、0.5、0.6、0.8、0.9 时,预测结果与观测值的均方差 MSE 分别为 13.07、5.75、4.96、4.65、5.10,也就是平均误差平方。

$$MSE = \frac{1}{w-k+1} \sum_{t=k}^w (x_t - F_t)^2$$

式中: w 为总期数; k 为初始预测期数。

从计算 5 种预测与实测数据的均方差 MSE 的结果可知,当平滑常数 α 为 0.8 时,均方差最小。因此,平滑常数 α 选为 0.8。

2.2 模型建立

初始标高数据 -100 m 记为 1,每隔 50 m,期数增加 1,取平滑常数 α 为 0.8 时,预测结果见表 2。

已知目前 $t=8$ (标高 -450 m) $\alpha=0.8$ 将第 8 期的一次、二次平滑值带入公式得: $a_8 = 16.49$, $b_8 = 4.13$,得到本期的线性预测模型为: $F_{8+m} = 16.49 + 4.13m$ 。

求标高 -500 m 的瓦斯含量预测值,即 $t=9$, $m=9-8=1$, $F_9 = 20.62$,即标高 -500 m 的瓦斯含量预测值为 20.62 m³/t;当获得标高 -500 m 的瓦

斯含量实测值后,可以带入公式,以修正未来一期的瓦斯含量预测值。这样只需保留上一期的一次与二次平滑值,利用最新测定的瓦斯含量数据,就可以预测更深埋深的瓦斯含量。

表 2 平滑常数为 0.8 时的预测结果

期数	标高/m	瓦斯含量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	$S_t^{(1)}$	$S_t^{(2)}$	a_t	b_t	F_{t+1}
1	-100	5.35	5.35	5.35	—	—	—
2	-150	5.82	5.73	5.65	5.80	0.30	—
3	-200	6.68	6.49	6.32	6.66	0.67	6.10
4	-250	5.41	5.63	5.76	5.49	-0.56	7.33
5	-300	7.99	7.52	7.17	7.87	1.40	4.93
6	-350	8.32	8.16	7.96	8.36	0.79	9.27
7	-400	11.56	10.88	10.30	11.46	2.34	9.15
8	-450	16.60	15.46	14.42	16.49	4.13	13.80

2.3 线性二次平滑法预测效果分析

煤层实测瓦斯含量与预测瓦斯含量关系折线图 1 所示。从图 1 中可以看出:依据实测值参与模型的权数规律,平滑常数 α 为 0.8 的预测值的变化趋势总是接近最近一期的实测值的变化趋势,如果数据稠密,可以认为两者的曲线吻合。

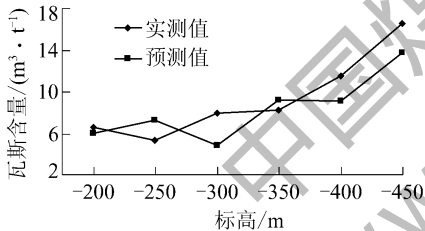


图 1 实测瓦斯含量与预测瓦斯含量关系折线

单因素方差分析:假设实测值与预测值总体均值无显著差异。选择 F 统计量,方差分析结果见表 3。

表 3 方差分析

项目	平方和	自由度	均方	F 值	显著性
组间	2.980	1	2.980	0.226	0.645
组内	131.924	10	13.192	—	—
总数	134.904	11	—	—	—

表 3 是将预测值与实测值视为 2 个水平的单因素方差分析结果。可以看出:组间平方和为 2.98,抽样误差引起的变差为 131.924,它们的方差分别为 2.98 和 13.192,相除得到的 F 统计量的观测值为 0.226,对应的概率 P -值近似为 0.645,如果显著性水平 β 为 0.05,由于概率 P -值远大于 0.05,

则应接受原假设,认为实测值与预测值总体的均值没有显著差异。

2.4 现场实际应用

基于线性二次指数平滑法的煤矿瓦斯含量预测模型是一个随着数据更新变化的动态模型,每一个最新数据的获得都能建立一个新的预测公式,同时根据新的公式求得预测深度的瓦斯含量;某矿区的实测、预测瓦斯含量以及预测公式参数见表 5。

表 4 某矿区的实测、预测瓦斯含量等参数

标高/m	实测瓦斯含 量/($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	a_t	b_t	预测瓦斯含 量/($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)
-200	6.68	6.66	0.67	6.10
-250	5.41	5.49	-0.56	7.33
-300	7.99	7.87	1.40	4.93
-350	8.32	8.36	0.79	9.27
-400	11.56	11.46	2.34	9.15
-450	16.60	16.49	4.13	13.80

3 结 语

运用线性二次指数平滑法预测瓦斯含量,既能满足瓦斯含量随埋深增加呈线性规律的总体趋势,又能根据最新实测瓦斯含量比较准确地预测煤层瓦斯含量;依据实测值参与模型的权数规律,模型能够接近最新一期的实测数据。针对不同矿区、不同地点、不同时期的瓦斯含量,可以利用线性二次指数平滑法确定合适的平滑常数,依据数据更新程度确定预测模型参数,以便更准确地预测所需考察深度的瓦斯含量。

参考文献:

[1] 聂百胜,刘贞堂,撒占友.煤与瓦斯突出预测技术研究现状及发展趋势[J].中国安全科学学报,2003,16(6):40-43.
[2] 俞启香.矿井瓦斯防治[M].徐州:中国矿业大学出版社,1992.
[3] 王生全.煤层瓦斯含量的主要控制因素分析及回归预测[J].煤炭科学技术,1997,25(9):45-47.
[4] 叶青,林柏泉.灰色理论在煤层瓦斯含量预测中的应用[J].矿业快报,2006(7):28-30.
[5] 梁亚林.用测井资料预测煤层瓦斯含量[J].中国煤田地质,2001,13(3):38-39.
[6] 吴观茂,黄明,李刚.基于 BP 神经网络的瓦斯含量预测[J].煤田地质勘探,2008,36(2):30-33.
[7] 郝天轩,宋超.基于模糊神经网络的煤层瓦斯含量预测研究[J].中国安全科学学报,2011(8):36-42.

(下转第 61 页)

果来看,新工艺远优于传统工艺。

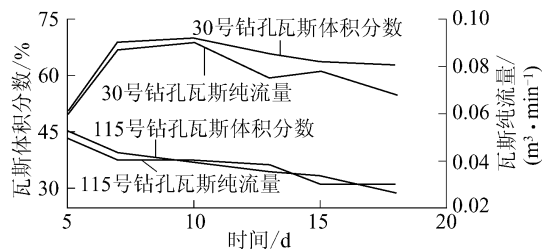


图2 2个钻孔抽采瓦斯体积分数和纯量随时间的变化

3.4 评价单元抽采效果对比分析

在丁集矿1331(1)工作面运输巷相邻区域各选取30个钻孔,按下筛管工艺分别归纳为评价单元1和评价单元2。评价单元1采用传统工艺,其中12个钻孔下管深度超过70 m,18个钻孔下管深度小于70 m。评价单元2采用新工艺,其中26个钻孔实现全程下管,4个钻孔下管深度小于100 m。2个评价单元均采用“两堵两注”方法封孔。2个评价单元的抽采瓦斯体积分数和抽采纯流量随时间的变化如图3所示。在25 d的抽采过程中,评价单元1管路瓦斯体积分数平均约为15%,抽采纯流量平均约为2.0 m³/min;评价单元2管路瓦斯体积分数平均约为33%,抽采纯流量平均约为4.2 m³/min。使用快速全孔筛管护孔高效瓦斯抽采技术以后,瓦斯抽采体积分数较传统工艺约提高120%,抽采纯流量提高约2.2 m³/min。

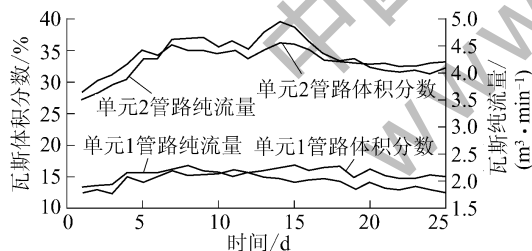


图3 2个评价单元瓦斯抽采体积分数和纯量随时间变化

4 结 论

丁集矿1331(1)工作面和潘一东矿1231(1)工作面现场试验表明,松软煤层快速全孔筛管护孔高效瓦斯抽采技术具有良好的可靠性和有效性。通过使用该技术,各技术指标得到了显著提升:减少了安设筛管所需时间,增大了筛管安设深度;所有施工钻孔均在2 h内完成筛管安设,其中75%的钻孔安设筛管时间在1 h以内,85%的钻孔筛管可安设至90 m(孔深的81%)以上;就抽采效果而言,单孔瓦斯抽采体积分数由30%左右提升至60%左右,抽采纯流量由0.03 m³/min左右提升至0.06 m³/min左右,2

个指标增幅均为100%;评价单元瓦斯抽采体积分数较传统工艺提高约120%,瓦斯抽采纯流量提高约2.2 m³/min。松软煤层快速全孔筛管护孔高效瓦斯抽采技术避免了因钻孔坍塌导致的钻孔失效,大幅提高了钻孔预抽瓦斯的可靠性,保证了工作面瓦斯预抽的效果。该技术可以为具有类似松软煤层的矿区、矿井开展相关钻孔瓦斯抽采工作提供借鉴。

参考文献:

- [1] 袁亮. 高瓦斯矿区复杂地质条件安全高效开采关键技术[J]. 煤炭学报, 2006, 31(2): 174-178.
- [2] 张农, 王成, 高明仕, 等. 淮南矿区深部煤巷支护难度分级及控制对策[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(12): 2421-2428.
- [3] 程远平, 付建华, 俞启香. 中国煤矿瓦斯抽采技术的发展[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(2): 127-139.
- [4] 杜泽生, 罗海珠, 孙波, 等. 基于四率法的煤与瓦斯突出预测敏感指标的确定[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(7): 44-47.
- [5] 姚向荣, 程功林, 石必明. 深部围岩遇弱结构瓦斯抽采钻孔失稳分析与成孔方法[J]. 煤炭学报, 2010, 35(12): 2073-2081.
- [6] 张海庆. 本煤层双套管高效瓦斯抽采技术及应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(4): 64-67.
- [7] 孙新胜, 王力, 方有向, 等. 松软煤层筛管护孔瓦斯抽采技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(3): 74-76.
- [8] 牛多龙. 松软低透气性煤层顺层钻孔全程套管预抽瓦斯技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(5): 90-92, 116.
- [9] 吴松贵, 杨健, 尹德战, 等. 大口径瓦斯抽排钻孔套管稳定性分析[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2011, 31(1): 41-44.
- [10] 王同涛, 闫相祯, 杨秀娟. 基于塑性铰模型的煤层气完井筛管抗挤强度分析[J]. 煤炭学报, 2010, 35(2): 273-277.

(上接第50页)

- [8] 杜卫新, 王永祥, 郝天轩. 基于灰建模的瓦斯含量多变量预测模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 41-45.
- [9] 张国枢. 通风安全学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
- [10] 张子敏, 张玉贵. 三级瓦斯地质图与瓦斯治理[J]. 煤炭学报, 2005, 30(4): 455-458.
- [11] 柯善斌, 张玉贵, 张子敏. 龙山矿二, 煤层瓦斯地质特征及其影响因素分析[J]. 矿业安全与环保, 2009, 36(3): 69-74.
- [12] 杜卫新, 王永祥, 郝天轩. 基于灰建模的瓦斯含量多变量预测模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 41-45.
- [13] 李国祯, 李希建, 施天虎. 煤层瓦斯含量影响因素分析及灰色预测[J]. 工业安全与环保, 2011, 37(9): 53-55.
- [14] 魏建平, 郝天轩, 刘明举. 基于构造复杂程度定量评价的瓦斯含量预测BP模型[J]. 煤炭学报, 2009, 34(8): 1090-1094.
- [15] 王来斌, 沈金山, 姚多喜, 等. 基于灰色关联与神经网络的瓦斯含量预测研究[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2010, 30(4): 1-4.