

文章编号:0253-9993(2009)03-0350-05

瓦斯含量及涌出量预测的数学地质技术与方法

张许良¹, 单菊萍², 彭苏萍³

(1. 焦作市安全生产监督管理局, 河南 焦作 454000; 2. 河南理工大学 资源环境学院, 河南 焦作 454000; 3. 中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为了准确、快速地预测矿井瓦斯含量及涌出量, 以淮南潘三矿为实施矿井, 研究了瓦斯含量及涌出量预测的数学地质技术与方法. 通过瓦斯地质规律研究, 分析瓦斯含量(涌出量)的变化规律, 筛选影响瓦斯含量(涌出量)变化的主要地质因素. 在此基础上, 根据矿井已采地区的瓦斯含量(涌出量)实测资料和相关的地质因素, 综合考虑包括开采深度在内的多种影响因素, 利用数量化理论 I, 建立预测瓦斯含量(涌出量)的多因素数学地质模型; 利用所建立的数学地质模型, 对矿井未采区域的瓦斯含量(涌出量)进行预测. 结果表明, 数学地质技术与方法对瓦斯含量及涌出量的预测效果较好. 瓦斯含量及涌出量预测的数学地质技术与方法使瓦斯含量及涌出量预测规范化和定量化, 有望推广应用.

关键词: 瓦斯含量; 瓦斯涌出量; 预测; 数学地质

中图分类号: TD712.5 **文献标识码:** A

Mathematical geology technique and method for prediction of gas content and emission

ZHANG Xu-liang¹, SHAN Ju-ping², PENG Su-ping³

(1. Jiaozuo Administration of Work Safety, Jiaozuo 454000, China; 2. Institute of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 3. State Key Laboratory Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In order to predict mine gas content and emission accurately and rapidly, putting Huainan Pansan Mine in practice, mathematical geology technique and method predicting gas content and emission were studied. On the basic of gas geological law studying, analyzed the change law of gas content (emission); screen the major geological factors affecting change of gas content (emission). On this foundation, according to actual measured datum of gas content (emission) and related geological factors in mined area, synthetically considered various of influencing factors including mine depth, adopt quantification theory I, established mathematical geology model predicting gas content (emission); predicted gas content (emission) in unmined area by the established mathematical geology model. The result shows that predicting effect of gas content and emission by mathematical geology technique and method is better. Mathematical geology technique and method can make prediction of gas content and emission normatively, quantitatively and be applied widely.

Key words: gas content; gas emission; prediction; mathematical geology

在新建矿井或改扩建矿井, 生产矿井新水平、新采区设计中, 需要有瓦斯含量和瓦斯涌出量预测资

收稿日期: 2008-04-21 责任编辑: 毕永华

基金项目: “十五” 国家科技攻关重点资助项目 (2001BA803B0403); 国家重点基础研究发展计划 (973) 资助项目 (2002CB211707)

作者简介: 张许良 (1976—), 男, 山西运城人, 高级工程师. Tel: 0391-3937081, E-mail: zhangbert@sina.com

料，作为通风设计及制定防治瓦斯措施的依据^[1-2]。矿井瓦斯含量预测是根据在不同点取样测定瓦斯含量，然后利用统计分析方法预测瓦斯含量分布趋势。对于尚未开采的煤层或开采范围较小的煤层，由于缺乏井下实际测定的瓦斯含量数据，瓦斯含量预测的准确性差^[3-4]。矿井瓦斯涌出量预测方法可分为2类：①瓦斯含量法，这种方法还没有形成统一、公认的预测公式，并且对煤层瓦斯含量测定值的可靠性和含量点的分布及密度有较高的要求；②矿山统计法，这种方法由于仅考虑瓦斯涌出量与开采深度一个因素之间的关系，故其适用范围受到一定的限制^[5-6]。为此，需要研究一种能综合考虑多因素影响有着更广泛适用性的瓦斯含量及涌出量预测方法。

瓦斯含量及涌出量与各种地质因素间存在一定的相关关系，根据这种关系，利用数学方法，可以建立瓦斯含量及涌出量预测的数学地质模型，进而对研究区的瓦斯含量及涌出量进行预测。

1 瓦斯含量及涌出量预测的数学地质模型

瓦斯含量及涌出量预测数学地质模型的建立思想：将矿井已采区划分为多个瓦斯地质单元，把单元内的各种地质因素按照一定的规则数量化，假定瓦斯含量（涌出量）与各地质因素间遵从一定的关系式，利用数量化理论^[7-8]筛选主要地质因素，求解关系式的系数，进行回代，得到瓦斯含量（涌出量）预测的数学地质模型，利用所建立的数学地质模型，对矿井未采区域的瓦斯含量（涌出量）进行预测。

1.1 数学地质模型的建立

设矿井已采区可以划分为 n 个瓦斯地质单元，瓦斯含量（涌出量） $y_i (i=1, 2, \dots, n)$ 受 h 个定量地质因素 $x_i(u) (u=1, 2, \dots, h; i=1, 2, \dots, n)$ 和 m 个定性地质因素 $z_i(j) (j=1, 2, \dots, m; i=1, 2, \dots, n)$ 的影响，定量地质因素 $x_i(u)$ 有固定的取值，定性地质因素 $z_i(j)$ 可以分为 $r_j (j=1, 2, \dots, m)$ 个类目 $\delta_i(j, k) (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, r_j)$ ， $\delta_i(j, k)$ 为 i 瓦斯地质单元上 k 类目在 j 定性地质因素中的比率。

假定瓦斯含量（涌出量）与各地质因素间遵从如下关系式，即

$$y_i = \sum_{u=1}^h b_u x_i(u) + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{r_j} \delta_i(j, k) b_{jk} + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

式中， $b_u (u=1, 2, \dots, h)$ ， $b_{jk} (j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, r_j)$ 为未知系数； $\varepsilon_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为随机误差。

为了使方程的预测值尽量接近实测值，可以根据最小二乘法原理寻求系数 b_u 和 b_{jk} ，即使随机误差平方和

$$q = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - \sum_{u=1}^h b_u x_i(u) - \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{r_j} \delta_i(j, k) b_{jk}]^2,$$

达到最小值。为此，求 q 对 b_u 和 b_{jk} 的偏导数，并令偏导数等于0，可以得到 b_u 和 b_{jk} 的最小二乘估计 $\hat{b}_u (u=1, 2, \dots, h)$ ， $\hat{b}_{jk} (j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, r_j)$ 满足正规方程

$$X'XB = X'Y,$$

$$\text{式中, } X = \begin{bmatrix} x_1(1) & \cdots & x_1(h) & \delta_1(1,1) & \cdots & \delta_1(1, r_1) & \delta_1(2,1) & \cdots & \delta_1(m, r_m) \\ x_2(1) & \cdots & x_2(h) & \delta_2(1,1) & \cdots & \delta_2(1, r_1) & \delta_2(2,1) & \cdots & \delta_2(m, r_m) \\ \vdots & \vdots \\ x_n(1) & \cdots & x_n(h) & \delta_n(1,1) & \cdots & \delta_n(1, r_1) & \delta_n(2,1) & \cdots & \delta_n(m, r_m) \end{bmatrix}; \hat{B} = [\hat{b}_1, \dots, \hat{b}_h,$$

$$\hat{b}_{11}, \dots, \hat{b}_{1r_1}, \hat{b}_{21}, \dots, \hat{b}_{mr_m}]; Y' = [y_1, y_2, \dots, y_n].$$

上式可在 $\hat{b}_{j1} = 0 (j=2, \dots, m)$ 的条件下求解，从而得到瓦斯含量（涌出量）预测的数学地质模型

$$\hat{y} = \sum_{u=1}^h \hat{b}_u x(u) + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{r_j} \delta(j, k) \hat{b}_{jk}.$$

1.2 数学地质模型的检验

建立的瓦斯含量（涌出量）预测的数学地质模型采用方差分析法计算 F 统计量进行检验。地质因素对预测的重要性采用偏相关系数法和 t 统计量进行检验。模型的预测精度采用复相关系数 R 和剩余标准差 S 进行检验。

2 瓦斯含量及涌出量预测的数学地质技术与方法

通过瓦斯地质规律研究，分析瓦斯含量（涌出量）的变化规律，筛选影响瓦斯含量（涌出量）变化的主要地质因素。在此基础上，根据矿井已采地区的瓦斯含量（涌出量）实测资料和相关的地质因素，综合考虑包括开采深度在内的多种影响因素，利用数量化理论 I，建立预测瓦斯含量（涌出量）的多因素数学地质模型；利用所建立的数学地质模型，对矿井未采区域的瓦斯含量（涌出量）进行预测。

2.1 影响瓦斯含量及涌出量的地质因素及其取值

瓦斯地质规律研究结果表明，淮南潘三矿 13-1 煤层的瓦斯含量及涌出量（在采矿技术条件相同的条件下）主要受底板标高、基岩厚度、煤厚、挥发分、顶板岩性、顶板 10 m 含砂率、顶板 20 m 含砂率、底板岩性、构造煤厚度、构造煤系数、地质构造、13-2 煤厚、到 13-2 煤的距离、12 煤厚、到 12 煤的距离 15 个地质因素的影响。选取已采区的地质钻孔作为瓦斯地质单元，钻孔的地质因素通过实测得到，瓦斯含量通过实测和实际校正得到，瓦斯涌出量通过实测和内差计算得到。

2.2 瓦斯含量及涌出量预测数学地质模型的建立

2.2.1 瓦斯含量预测数学地质模型的建立

根据已采区钻孔的基础数据，首先计算了包含 15 个地质因素的预测模型^[9]。结果表明，基岩厚度等 10 个因素同瓦斯含量的关系不密切，它们同瓦斯含量之间的偏相关系数都很小，因此，将这 10 个因素删去，余下的 5 个因素和瓦斯含量校正值见表 1。

表 1 瓦斯含量预测模型基础数据

Table 1 Basic data of gas content forecast model

| 编号 | 钻孔 | 标高/m | 构造煤 厚度/m | 距 13-2 煤距离/m | 顶板岩性 | | | 挥发分/% | | | 瓦斯含量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$) |
|----|-------|---------|-------------|-----------------|------|-----|----|-------|-------|-----|---|
| | | | | | 泥岩 | 砂质泥 | 砂岩 | <36 | 36~40 | >40 | |
| 1 | 十五东 1 | -570.77 | 0.79 | 1.70 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2.96 |
| 2 | 十五东 3 | -588.22 | 2.14 | 2.20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7.03 |
| 3 | 十五东 5 | -780.81 | 0.99 | 4.40 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 11.50 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 31 | 九西 11 | -612.56 | 2.80 | 1.00 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 11.00 |
| 32 | 九 13 | -392.04 | 1.20 | 0.00 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.21 |
| 33 | 九 15 | -654.81 | 4.00 | 0.45 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 13.22 |

对底板标高、构造煤厚度、距 13-2 煤的距离、顶板岩性和挥发分 5 个因素重新计算，最后得到瓦斯含量预测的数学地质模型为

$$y = -0.027\ 250\ 228\ 3x(1) + 0.785\ 623\ 058\ 5x(2) - 0.188\ 603\ 809\ 9x(3) - \\ 10.539\ 059\ 743\ 2\delta(1, 1) - 9.750\ 259\ 484\ 7\delta(1, 2) - 11.382\ 976\ 580\ 4\delta(1, 3) + \\ 1.306\ 503\ 435\ 0\delta(2, 2) - 0.698\ 535\ 375\ 7\delta(2, 3),$$

式中， y 为瓦斯含量预测值， m^3/t ； $x(1)$ 为煤层底板标高， m ； $x(2)$ 为构造煤厚度， m ； $x(3)$ 为距 13-2 煤层的距离； $\delta(1, 1)$ 为顶板岩性因素泥岩之类目； $\delta(1, 2)$ 为顶板岩性因素砂质泥岩之类目； $\delta(1, 3)$ 为顶板岩性因素砂岩之类目； $\delta(2, 2)$ 为挥发分因素 <36 之类目； $\delta(2, 3)$ 为挥发分因素 >40 之类目。

经检验，所建立的数学模型具有实际意义，各地质因素对瓦斯含量的影响显著，预测精度可以满足生

产要求。

2.2.2 瓦斯涌出量预测数学地质模型的建立

瓦斯涌出量的研究依然采用 15 个地质因素进行计算^[9]。结果表明, 底板标高等 11 个因素同瓦斯涌出量的关系不密切, 它们同瓦斯涌出量之间的偏相关系数都很小, 因此, 将这 11 个因素删去, 余下的 4 个因素和瓦斯涌出量的取值见表 2。

表 2 瓦斯涌出量预测模型基础数据
Table 2 Basic data of gas emission forecast model

| 编号 | 钻孔 | 基岩厚度/m | 构造煤厚度/m | 距 13-2 煤距离/m | 挥发分/% | | | 瓦斯含量/ (m ³ ·t ⁻¹) |
|----|--------|--------|---------|--------------|-------|-------|-----|---|
| | | | | | <36 | 36~40 | >40 | |
| 1 | 十四 13 | 157.20 | 2.91 | 0 | 0 | 1 | 0 | 11.57 |
| 2 | 十四 验 1 | 138.76 | 2.52 | 1.34 | 0 | 1 | 0 | 12.58 |
| 3 | 十四 318 | 309.75 | 0.44 | 2.13 | 0 | 1 | 0 | 18.68 |
| ⋮ | | | | | | | | |
| 78 | 九 7 | 126.19 | 1.40 | 0.65 | 0 | 1 | 0 | 8.76 |
| 79 | 九 9 | 184.23 | 5.00 | 0 | 0 | 1 | 0 | 13.59 |
| 80 | 九 17 | 243.18 | 4.35 | 0.96 | 1 | 0 | 0 | 18.40 |

对基岩厚度、构造煤厚度、距 13-2 煤的距离、挥发分 4 个因素重新计算, 最后得到瓦斯涌出量预测的数学地质模型为

$$y = 0.0603847900x(1) + 1.3155811303x(2) - 0.4775643779x(3) + 0.2146507862\delta(1, 1) - 0.8573024008\delta(1, 2) - 3.0045719283\delta(1, 3),$$

式中, y 为瓦斯涌出量预测值, m³/t; $x(1)$ 为基岩厚度, m; $x(2)$ 为构造煤厚度, m; $x(3)$ 为距 13-2 煤层的距离; $\delta(1, 1)$ 为挥发分因素 <36 之类目; $\delta(1, 2)$ 为挥发分因素 36~40 之类目; $\delta(1, 3)$ 为挥发分因素 >40 之类目。

经检验, 所建立的数学模型具有实际意义, 各地质因素对瓦斯涌出量的影响显著, 预测精度可以满足生产要求。

2.3 未采区瓦斯含量及涌出量的预测与验证

2.3.1 瓦斯含量的预测与验证

利用所建立的瓦斯含量预测数学地质模型对潘三矿 13-1 煤层的其他 111 个钻孔进行了瓦斯含量预测, 并结合已知钻孔的 33 个瓦斯含量值绘制了潘三矿 13-1 煤层瓦斯含量预测图^[9]。从瓦斯含量预测图^[9]上可以看出, 瓦斯含量变化较大, 表现为深部大于浅部, 东部大于西部, 泥岩区大于砂岩区, 高变质区大于低变质区。为了检验预测效果, 在未采区内实测了 3 个钻孔的瓦斯含量进行实际验证, 从验证结果来看, 3 个钻孔的瓦斯含量预测值精度较高, 平均绝对误差为 0.46 m³/t。

2.3.2 瓦斯涌出量的预测与验证

利用所建立的瓦斯涌出量预测数学地质模型对潘三矿 13-1 煤层的其他 64 个钻孔进行了瓦斯涌出量预测, 并结合已知 80 个钻孔的瓦斯涌出量值, 绘制了潘三矿 13-1 煤层瓦斯涌出量预测图^[9]。从瓦斯涌出量预测图^[9]上可以看出, 瓦斯涌出量变化较大, 表现为深部大于浅部, 东部大于西部, 构造煤发育区大于原生结构煤区, 高变质区大于低变质区。为了检验预测效果, 对 1772(3) 回采工作面的瓦斯涌出量进行了跟踪实测, 利用实测涌出量对预测涌出量进行了实际验证。从验证结果来看, 1772(3) 回采工作面的瓦斯涌出量预测值精度较高, 最大绝对误差仅为 1.22 m³/t。

3 结 论

(1) 瓦斯含量(涌出量)与各地质因素间遵从一定的关系式, 根据最小二乘法原理可以求解关系式

的系数,从而得到瓦斯含量(涌出量)预测的数学地质模型.采用方差分析法可以检验预测模型的显著性,采用偏相关系数法可以检验地质因素的重要性,采用复相关系数可以检验模型的预测精度.

(2) 瓦斯含量及涌出量预测数学地质技术与方法在淮南潘三矿的应用效果较好,对潘三矿瓦斯含量及涌出量的预测经现场实测和跟踪检验,预测精度较高,可以满足生产的要求.

参考文献:

- [1] 胡千庭,邹银辉,文光才,等. 瓦斯含量法预测突出危险新技术 [J]. 煤炭学报, 2007, 32 (3): 276-280.
Hu Qianting, Zou Yinhui, Wen Guangcai, et al. New technology of outburst danger prediction by gas content [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32 (3): 276-280.
- [2] 施式亮,伍爱友. GM (1, 1) 模型与线性回归组合方法在矿井瓦斯涌出量预测中的应用 [J]. 煤炭学报, 2008, 33 (4): 415-418.
Shi Shiliang, Wu Aiyou. Application of GM (1, 1) and line regression for predicting amount of mine gas emission in coal mine [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33 (4): 415-418.
- [3] 周世宁,鲜学福,朱旺喜. 煤矿瓦斯灾害防治理论战略研讨 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001: 1-6.
Zhou Shining, Xian Xuefu, Zhu Wangxi. Stratagem enter into coal mine gas disaster prevention and cure theory [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2001: 1-6.
- [4] Diamond William P, Schatzel Steven J. Measuring the gas content of coal: a review [J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 35 (1-4): 311-331.
- [5] 俞启香. 矿井瓦斯防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992: 40-52.
Yu Qixiang. Mine gas prevention and cure [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1992: 40-52.
- [6] Noack K, Opahle M. Progress achieved in the prediction of gas emission [A]. Technical Papers of the 5th International Mine Ventilation Congress [C]. Johannesburg: [s. n.], 1992.
- [7] 董文泉,周光亚,夏立显. 数量化理论及其应用 [M]. 长春: 吉林人民出版社, 1979: 49-130.
Dong Wenquan, Zhou Guangya, Xia Lixian. Quantification theory and its application [M]. Changchun: Jilin People Publishing House, 1979: 49-130.
- [8] Ock Jong H. Activity duration quantification under uncertainty: fuzzy set theory application [J]. Cost Engineering (Morgantown, West Virginia), 1996, 38 (1): 26.
- [9] 张许良. 矿井瓦斯危险性预测的数学地质技术与方法研究 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2004: 1-91.
Zhang Xuliang. Study on mathematical geology techniques and methods for prediction of mine gas danger [D]. Beijing: China University of Mining and Technology (Beijing), 2004: 1-91.

内蒙古将新增开工和建成煤炭产能 9 000 多万 t

从内蒙古自治区经济委员会获悉,2009 年内蒙古将继续保持煤炭行业平稳发展,预计全年新开工和新建成的煤炭产能将达到 9 000 多万 t.

据介绍,除煤炭就地转化项目外,今年内蒙古将重点推进已核准和在建的煤炭项目建设,计划新开工建设胜利煤田东 2 号露天矿一期工程、准格尔魏家峁露天矿等大型现代化煤炭项目,力争建成扎哈淖尔露天矿、白音华 2 号和 4 号露天矿等大型现代化煤炭项目,全年预计分别新增开工煤炭产能 6 350 万 t,新增建成煤炭产能 3 090 万 t.