

文章编号:0253-9993(2007)09-0980-04

# 煤储层孔隙度的协同模拟

李少华<sup>1</sup>, 张昌民<sup>1</sup>, 胡爱梅<sup>2</sup>, 陈 东<sup>2</sup>, 严申斌<sup>1</sup>

(1. 长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434023; 2. 北京中联煤层气有限公司, 北京 100011)

**摘 要:** 利用灰分与孔隙度具有较好相关性的特点, 充分利用灰分提供的信息对孔隙度进行预测. 同位协同克里金方法能够协同灰分数据进行孔隙度预测, 且具有很高的运算效率. 沁水盆地枣园试验区煤储层灰分与孔隙度具有较好的线性关系, 在对孔隙度进行预测的过程中, 首先建立灰分产率的三维模型, 然后采用同位协同克里金方法, 以灰分产率为次变量对孔隙度进行模拟, 建立三维孔隙度模型. 并与未采用协同模拟的孔隙度模型进行了比较, 结果表明: 利用协同模拟方法能够充分利用灰分产率提供的信息, 建立的孔隙度模型更好地反映了孔隙度的分布特征与非均质性.

**关键词:** 煤层; 孔隙度; 协同模拟; 灰分; 枣园

**中图分类号:** P618.130.21      **文献标识码:** A

## Building porosity model of coalbed using collocated cokriging

LI Shao-hua<sup>1</sup>, ZHANG Chang-min<sup>1</sup>, HU Ai-mei<sup>2</sup>, CHEN Dong<sup>2</sup>, YAN Shen-bin<sup>1</sup>

(1. Institute of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou 434023, China; 2. China United Coalbed Methane Company Limited, Beijing 100011, China)

**Abstract:** Based on the good relationship between ash content and porosity of coal reservoirs, the porosity distribution can be predicted by using of information provided by ash content. The collocated cokriging is such a method that can simulate porosity distribution integrating ash content data with high efficiency. The analysis of 17 samples from Zaoyuan well pattern of Qinshui basin revealed that there existed a fair linear relation between ash content and porosity, and the porosity decreasing along with the increase in ash content. There are data about ash content for all 13 development wells in Zaoyuan well pattern, but only a few wells have the data about porosity of coalbed. So, firstly built 3D model of coal ash content, then adopting the coal ash content as second variable, built 3D model of porosity of coal reservoir using collocated cokriging method. Furthermore, compared the previous porosity model and the porosity model which is built using ordinary kriging. The result shows that the method of collocated cokriging is better than ordinary kriging at making use of other correlative information, and the 3D porosity model which is built using collocated cokriging can characterize the distribution and heterogeneity of porosity more subtle.

**Key words:** coalbed; porosity; collocated cokriging; ash content; Zaoyuan

煤储层孔隙度是评价煤储层储集性能的一项重要参数<sup>[1]</sup>, 关于煤储层孔隙度的定量预测, 不少学者从多个方面进行了研究, 张延庆、胡朝元等学者分别利用地震属性与孔隙度之间的相关性对煤储层孔隙度进行了定量预测<sup>[2,3]</sup>, 金振奎根据灰分产率与孔隙度之间的关系对煤储层孔隙度进行预测<sup>[4]</sup>. 笔者在对沁水盆地枣园试验区煤储层物性进行研究时, 发现灰分产率与孔隙度之间也存在较好的相关性. 利用灰分产

收稿日期: 2006-10-19      责任编辑: 柳玉柏

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”基金资助项目(2002CB211708); 湖北省教育厅资助项目(Q200612001)

作者简介: 李少华(1972-), 男, 湖北武汉人, 博士, 副教授. E-mail: jipishli@sina.com

率作为软数据,采用同位协同克里金的方法对孔隙度进行预测,能够充分利用灰分产率测定用样少,易获得,费用低的优点,同时弥补孔隙度样品点少的不足。

## 1 同位协同克里金方法的基本原理

同位协同克里金方法是地质统计学克里金方法中一个非常简便适用的方法<sup>[5,6]</sup>。它是由协克里金方法发展而来的,既具有地质统计学方面的优势,又不需要像普通协克里金方法那样对主变量和协同变量之间的交互变差函数进行复杂的求取。

同位协同克里金方法是通过向协克里金方法引入主变量与协同变量的相关性,回避了对难以求解的交互变差函数的计算,极大地提高了运算效率,得到了广泛应用<sup>[7,8]</sup>。

如果主变量储层特征属性参数(如孔隙度等)和协变量参数(如灰分产率、波阻抗等)之间具有一定的相关性,则对研究区内的某一待估点,采用普通协克里金方法时,孔隙度的估计值为

$$X_u = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i + \sum_{j=1}^m \beta_j y_j, \quad (1)$$

式中,  $X_u$  为随机变量如孔隙度在位置  $u$  的估计值;  $x_1, \dots, x_n$  为位置  $u$  附近的在估值搜索范围内的  $n$  个主变量样本值;  $\alpha_i$  为相应的权系数;  $y_1, \dots, y_m$  为估值搜索范围内的  $m$  个协变量的样本值;  $\beta_j$  为相应的权系数。

利用传统的普通协克里金估计需要对交互协方差函数进行推导和计算,而这个过程十分繁琐。即便求得交互协方差函数或交互变差函数,但两者的应用往往使得协克里金估计的方程组奇异,造成一些或许多待估点无解的现象。为此人们发展了减少交互协方差函数计算的同位协同克里金方法。同位协同克里金是协克里金的一种简化形式,即如果协变量密集取样时,在计算过程中只使用与估计点处于相同位置的协变量。采用同位协同克里金方法时,随机变量孔隙度的估计值为

$$X_u = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i + \lambda_u Y_u, \quad (2)$$

式中,  $X_u$  为孔隙度在位置  $u$  的估计值;  $Y_u$  为与  $X_u$  同位的协变量值;  $\lambda_u$  为相应的权系数。

对应的协克里金方程组只要求知道主变量  $X$  的协方差函数、主变量  $X$  和协变量  $Y$  的互协方差函数,从而大大简化了计算。

## 2 灰分与孔隙度之间的定量关系

沁水盆地枣园试验区主要气源岩为山西组3号煤和太原组15号煤,有利的成煤环境为该区煤层气藏的形成提供了很好的物质基础<sup>[9]</sup>。通过对3号煤层与15号煤灰分产率与孔隙度之间关系的研究发现,两者之间存在较明显的定量关系,可以根据灰分产率预测煤层孔隙度的分布。这样可以利用灰分产率的测定用样少,易获得,费用低的优点,为合理的预测煤层孔隙度的分布提供辅助信息。

形成灰分的各种无机矿物是以孔隙、裂缝和割理充填物的形式出现的,因此其多少直接影响煤层的储集性能。根据17个样品灰分产率与孔隙度之间的关系统计两者呈线性负相关,即灰分产率越高,其孔隙度越低(图1)。回归分析表明,两者之间的定量关系式为  $Y = -0.634 X + 13.65$ , 其中  $Y$  为灰分产率,%;  $X$  为孔隙度,%; 相关系数  $R = 0.799$ 。

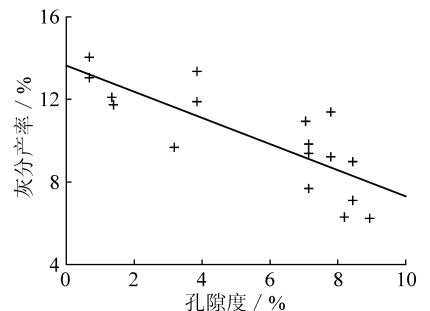


图1 灰分产率与孔隙度的关系

Fig. 1 Relationship between coal ash content and porosity of coalbed

## 3 孔隙度模型的建立

利用储层建模软件 PETREL 建立3号与15号煤层孔隙

度三维模型. 首先, 根据枣园试验区 13 口开发井的单井资料结合地震解释的构造数据建立研究区的构造模型. 然后建立地层的三维网格, 网格平面上划分为  $148 \times 130$  个 ( $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ ), 垂直方向为了较好地识别夹矸的分布, 对 3 号、15 号煤层以  $0.25 \text{ m}$  的厚度进行了精细划分, 总有效网格数为 354 659 个. 利用克里金插值方法建立灰分产率的三维模型, 图 2 为 15 号煤层灰分产率的三维模型. 在对孔隙度进行模拟计算时, 由于仅有少部分井进行了孔隙度取样分析, 考虑到孔隙度与灰分产率具有较好的相关性, 采用了同位协同克里金的方法, 以先建立的灰分产率三维模型作为次变量对孔隙度进行模拟计算, 图 3 为 15 号煤层孔隙度的三维模型. 对比图 2, 3 可以看出, 孔隙度的分布趋势与灰分产率的分布趋势具有较好的一致性, 灰分产率高的地方孔隙度的值低, 灰分产率低的地方孔隙度值高, 也就是说灰分产率的分布趋势对孔隙度的预测起了一定的约束作用. 在缺乏孔隙度数据的地方, 能够依据灰分产率的分布对孔隙度的分布进行比较合理的预测, 当然前提条件是孔隙度与灰分产率具有较好的相关性.

为了对比采用灰分产率作为次变量进行孔隙度模拟与直接利用孔隙度数据进行模拟的效果, 利用克里金方法建立了只采用孔隙度分析数据的三维模型, 图 4 为 15 号煤层孔隙度三维模型. 对比图 3 与图 4 可以看出, 图 4 的孔隙度分布变化很平缓, 主要原因是由于孔隙度的数据点太少, 在没有数据点的地方只能根据已有数据的值平推过去, 不能够反映孔隙度的真实变化. 图 3 中孔隙度分布的变化要大得多, 在灰分产率趋势的约束下, 较好地反映了孔隙度的非均质性. 在沁水盆地, 由于沉积环境 (煤相) 的剧烈频繁变迁, 导致了煤储层孔隙系统及相应的储层物性在纵向及横向上强烈的非均质性, 给该盆地煤层气的开发带来严重不利影响<sup>[10]</sup>. 因此, 合理描述和表征煤储层物性的非均质性对试验区的煤层气开发意义重大.

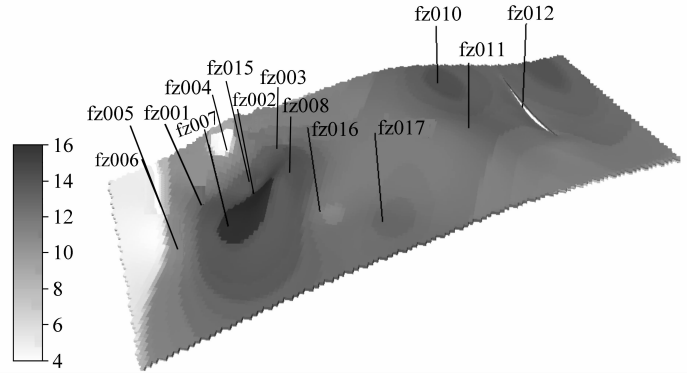


图 2 15 号煤层灰分产率的三维模型  
Fig. 2 3D ash content model of coalbed No. 15

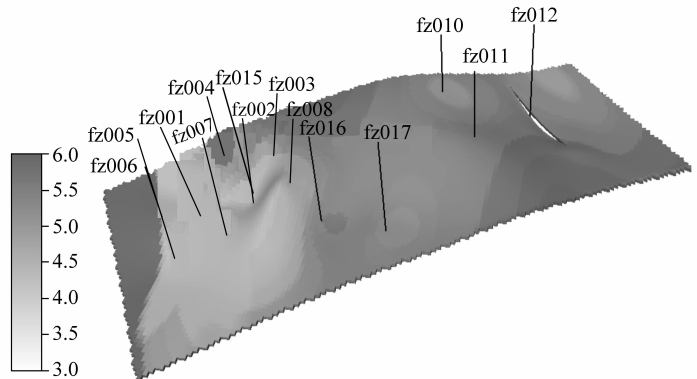


图 3 协同模拟的 15 号煤孔隙度三维模型  
Fig. 3 3D porosity model of coalbed No. 15 using collocated cokriging

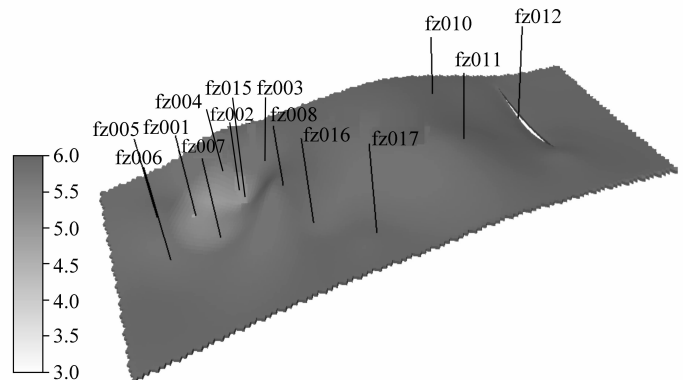


图 4 直接模拟的 15 号煤孔隙度三维模型  
Fig. 4 3D porosity model of coalbed No. 15 using ordinary kriging

## 4 结 论

(1) 在沁水盆地枣园试验区煤层的灰分产率与煤层的孔隙度具有较好的线性关系,两者呈负相关,也就是说灰分产率越高,孔隙度越低。

(2) 在已知孔隙度数据较少的情况下,充分利用与之相关性较好的且数据量大的变量如灰分作为次要变量,采用同位协同克里金方法能够建立比较合理的预测模型,能够更好地反映孔隙度的分布特征与非均质性。

### 参考文献:

- [1] 王明寿,汤达祯,张尚虎.煤储层孔隙研究现状及其意义[J].中国煤层气,2004,1(2):9~12.
- [2] 张延庆,程增庆.用地震资料预测煤层气储层参数的方法初探[J].煤田地质与勘探,2002,30(4):24~26.
- [3] 胡朝元,彭苏萍,赵士华,等.煤层气储层参数多信息综合定量预测方法[J].煤田地质与勘探,2005,33(1):28~32.
- [4] 金振奎,王春生.煤层灰分对其储集性能的影响[J].天然气工业,2005,25(1):55~56.
- [5] Deutsch C V, Journel A G. GSLIB: geostatistical software library and user's guide [M]. New York: Oxford University Press, 1992.
- [6] Deutsch C V. Geostatistical reservoir modeling [M]. New York: Oxford University Press, 2002.
- [7] 李忠,贺振华,巫芙蓉.地震孔隙度反演技术在川西砂岩储层中的应用与比较[J].天然气工业,2006,26(3):49~52.
- [8] 刘文岭,夏海英.同位协同克里金方法在储层横向预测中的应用[J].勘探地球物理进展,2004,27(5):367~370.
- [9] 李明宅.沁水盆地枣园井网区煤层气采出程度[J].石油学报,2005,26(1):91~95.
- [10] 张尚虎,汤达祯,王明寿.沁水盆地煤储层孔隙差异发育主控因素[J].天然气工业,2005,25(1):37~40.

## 2008年《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》(《煤炭学报》英文版)征订启事

《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》是由中国煤炭学会主办的、向国内外公开发行的英文版煤炭科学技术方面的综合性学术刊物。主要刊载煤田地质与勘探、煤矿开采、矿山测量、矿井建设、煤矿安全、煤矿机械工程、煤矿电气工程、煤炭加工利用、煤矿环境保护等方面的科学研究成果论著和学术论文,以及煤矿生产建设、企业管理经验的理论总结,也刊载重要学术问题的讨论及国内外煤炭科学技术方面的学术活动简讯。

《煤炭学报》英文版《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》是向世界传播我国煤炭科学技术的重要媒体,对加强中外科学技术交流,宣传我国煤炭科学成就,提高我国煤炭科学技术的国际地位将起到重要的作用。及时报道我国煤炭科技新理论、新技术、新经验也是《煤炭学报》英文版的主要任务。《煤炭学报》英文版和中文版具有不同的刊登内容和各自的特点。

《煤炭学报》英文版从2007年改为季刊,每期112页,每册国内订价28元,全年共收费112元。订者可直接和本编辑部联系,订单函索即寄,编辑部随时办理订阅手续。

本刊地址:北京市和平里煤炭科学研究总院内《煤炭学报》编辑部 邮政编码:100013

联系电话:(010) 84262930, E-mail: mtxbhjp@126.com, mtxb@vip.163.com