

页岩气开发目标区优选因素的结构方程模型

李武广 杨胜来 娄毅 孙晓旭

中国石油大学(北京)石油工程教育部重点实验室, 北京 102249

摘要:

页岩气工业性开采有着自己独特的开发模式,页岩气开发目标区优选是页岩气进行工业性开采的资料准备阶段。而我国页岩气目标区优选体系还处于试验阶段,有待发展和成熟。通过分析现有的页岩气开发评价理论,借鉴国外页岩气开发评价体系的经验和合理方法,考虑中国页岩气开发所具有的特征,建立了页岩气开发目标区优选影响因素评价体系的结构方程模型,使用主成分分析法验证所选取影响指标的合理性,应用结构方程建模方法设计页岩气开发目标区综合评价影响因素关联度模型,是一种验证性多元统计分析技术,可以比较客观地、全面地对目标区优选体系的影响因素进行识别,计算出各影响因素的权重,有利于决策,并对此方法进行了实证分析。

关键词:

页岩气;开发目标区;精选;影响因素;结构方程;模型

文献标识码:A

文章编号:1006-5539(2011)03-00042-03

0 引言

页岩气开发目标试验区的优选是集勘探、开发于一体,承担着试验、获取资料、决策等众多功能,在页岩气勘探开发过程中起到指导的作用。目前,比较广为人知的评价方法有试验统计法、德尔斐专家调查法、指数法、层次分析法、主成分分析法等,这些方法已经在很多领域得到应用^[1-3]。然而,这些方法存在一个共性问题:在实际工作中的许多变量,往往都是不能直接测量的,因而只能使用一些与其相关的可观测变量作为这些不可测量变量的标识。为了解决上述问题,文章提出了一种新的评价方法——结构方程模型。采用该方法可以比较客观地、全面地对目标区优选方案的影响因素进行识别,计算出各影响因素的权

重,使得评价结果更精确,有利于决策者进行决策。该研究对深入了解页岩气藏的勘探及开发动态和提高采气效率具有一定意义^[4-6]。

1 结构方程模型

结构方程模型是社会科学研究中的一个非常好的方法。该方法在20世纪80年代就已经成熟,可惜国内了解的人并不多。结构方程模型迅速发展,弥补了传统统计方法的不足,成为多元数据分析的重要工具。因此,结构方程模型是一种建立、估计和检验因果关系模型的好方法。

1.1 结构方程模型的基本原理

潜变量与观测变量之间的关系一般写成如式(1)

收稿日期:

2011-03-07

基金项目:

国家自然科学基金项目(50874114)

作者简介:

李武广(1987-),男,甘肃庆阳人,油气田开发工程专业在读博士研究生,主要从事石油工程信息系统和油气田开发工作。

~(2)的测量方程:

$$X=\Lambda_x\xi+\delta \tag{1}$$

$$Y=\Lambda_y\eta+\varepsilon \tag{2}$$

式中 X ——潜在外生变量 (潜在自变量) ξ 的测量变量矩阵;

Λ_x ——测量系数矩阵,表示 ξ 和其测量变量 x 之间的关系;

ξ ——潜在外生变量矩阵;

δ ——测量方程的线差矩阵;

Y ——潜在内生变量 (潜在因变量) η 的测量变量矩阵;

Λ_y ——测量系数矩阵,表示 η 和其测量变量 y 之间的关系;

η ——潜在内生变量矩阵;

ε ——测量方程线差矩阵^[7~10]。

1.2 结构方程模型的构建

一般来讲,如果想要构造一个结构方程模型,必须完成以下七个步骤:a)分析问题,选择确定问题的变量;b)通过理论分析提出一些研究假设,确定变量之间的因果关系;c)构建路径图,建立结构方程模型;d)抽样与数据收集;e)模型拟合;f)模型评论与修正;g)结果讨论,验证研究假设。

2 精选影响因素的结构方程模型分析

2.1 页岩气数据收集及理论假设

本文所研究数据的来源是通过近几年在国外成功应用的一些页岩气开发实例和国内的一些页岩气试验区资料。构建研究模型主要目的是研究页岩气开发目标区优选影响因素与目标区优选之间的相关关系。因为定义页岩气开发目标区优选影响因素很难直接测量,选择了如下的两类间接变量,见表 1。一是页岩气开发资源地质条件,这是对目标区优选的直接影响因素。对于这 11 个因素,有资源丰度($10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$)、有效厚度(m)、有机质丰度(%)、成熟度(%)、渗透率($10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$)、原地应力(MPa)、含气量(m^3/t)、吸附气(%)、裂缝发育程度、构造条件、水文条件和埋深(m);二是页岩气开发利用条件,是决策者认知能力水平的体现,它主要取决于知识与经验因素。对于这个因素,以可获得的数据资料埋深(m)、地形条件、市场需求和基础设施 4 个指标来衡量。基于研究需要,对数据进行了筛选,以开发条件比较接近平均水平的几个区块的页岩气藏作为研究的主要对象以剔除页岩气藏开发条件极差比较严重的影响作用。假定所有指标都可以作为衡量所研究变量的有效指标^[11~12]。

表1 变量名及其意义

潜变量	观测变量
资源地质条件	资源丰度 / $10^8\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}$
	有效厚度 /m
	有机质丰度 /(%)
	成熟度 /(%)
	渗透率 / $10^{-3}\text{ }\mu\text{ m}^2$
	原地应力 /MPa
	含气量 / $\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$
	吸附气 /(%)
	裂缝发育程度
	构造条件
	水文条件
开发利用条件	埋深 /m
	地形条件
	市场需求
	基础设施

2.2 页岩气影响因素模型

结构基于上面的分析及研究假设建立结构方程模型,并借鉴前人研究并根据本研究的探索性分析,提出影响页岩气开发目标区优选的影响因素主要有 15 个相互独立的因素。构建初始模型,以途径图的形式描述,见图 1。

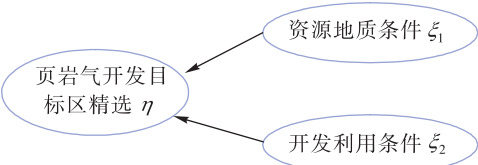


图 1 精选影响因素研究模型

图 1 中: η 是模型的内生潜变量,表示配送中心的选址; $\xi_i(i=1,2)$ 是模型的外生潜变量,分别表示资源地址条件和开发利用条件。上述几个变量都无法直接测量,须通过测量模型间接实现对它们的测量。在本研究中,对外生潜变量设定对应的 15 个观察变量,如表 1 所示。本研究所建立的结构方程模型实际为非全模型,也可写成如下的矩阵方程式:

$$X=\Lambda_x\xi+\delta \tag{3}$$

式中, X 为显在外生变量,如与储量丰度、渗透率等 15 个可测变量组成的向量; ξ 为因子数,是潜在外生变量,如资源地质条件和开发利用条件组成的向量; Λ_x 为外生变量与潜在外生变量之间的关系,是外生变量在潜在外生变量上的因子载荷矩阵,即 15 个变量指标与 2 个因子负荷关系矩阵; δ 为外生变量 X 的误差项^[12~15]。

2.3 研究结果及数据分析

通过上面分析,将得到的数据输入到 LISREL 软件

中,同时采用预先编好的 LISREL 语法文件,运行后得到图 2 所示的通路图,以及一个输出文件。输出文件中给出了估计的协方差矩阵,以及多参数的估计值、模型的拟合指数如 GFI,AGFI,CFI,NI,NNI 等,见表 2^[1]。

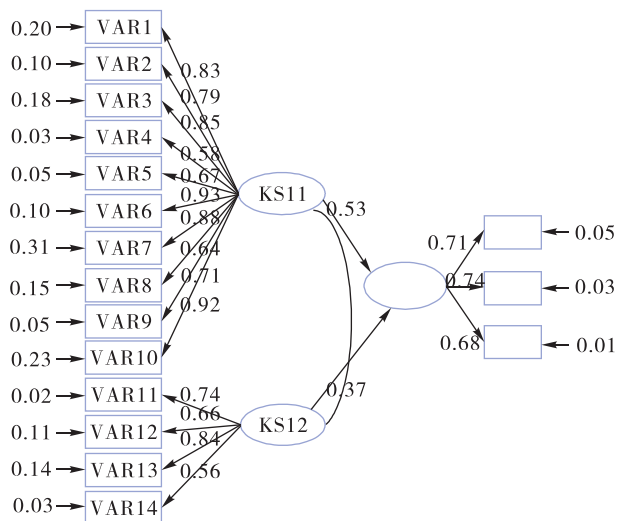


图 2 采用 LISREL 分析后得到的通路图

表 2 模型拟合指数

指标	NFI	GFI	CFI	NNFI	NNI
指标值	0.923	0.861	0.945	0.859	0.873

可以从不同的角度评价模型的拟合优度。其中卡方检验值为 198.44,自由度为 14,所有参数的估计值都显著不等于 0。卡方值显然偏大,但由于模型的样本规模较大,所以并不能据此判定模型的拟合度不佳。从上面的因素分析结果来看,模型的其他拟合指数为: NFI=0.923, CFI=0.945, RMR=0.044 7, GFI=0.861, 显示了模型较好地拟合了样本数据,从整体衡量,该模型的拟合优度尚可。因此认为所有的因素对页岩气开发目标区精选的影响都具有显著性。并且认为用 2 个因素分析评价页岩气开发目标区精选是合适的,同时也确定了多因素开发目标区精选的关系强度。

3 结论

结构方程模型是一种非常有效的统计工具,在国外已经非常成熟,在国内正逐步受到人们的重视,本文主要得出结论有以下几个方面:

a) 本研究将结构方程模型应用到页岩气开发目标区优选影响因素分析中,确定了页岩气开发目标区优选的 14 个影响因素。

b) 通过载荷矩阵的计算,可估计出变量互相影响的直接效应和间接效应,从而求出各因素对目标区优选的影响数值,为页岩气开发决策者提供定量的指标。

c) 本研究所采用的结构方程模型分析方法和结论,将对页岩气开发目标区优选影响因素研究提供有益的启示和帮助,为决策者提供一定的理论依据。

d) 由于结构方程自身的优势,大力加强其在页岩气开发目标区优选影响因素方面的研究与应用是非常必要的。

参考文献:

- [1] 易丹辉. 结构方程模型方法与应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2009, 22-57.
- [2] 王文霞, 李治平, 黄志文. 页岩气藏压裂技术及我国适应性分析[J]. 天然气与石油, 2011, 29(1): 38-41.
- [3] 关德师, 牛嘉玉, 郭丽娜, 等. 中国非常规油气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995, 116-121.
- [4] 沈萍, 张华伟. 基于结构方程模型的煤炭企业顾客满意度测评[J]. 理论探索, 2009, 25(12): 23-27.
- [5] 李武广, 杨胜来, 殷丹丹, 等. 页岩气开发技术与策略综述[J]. 天然气与石油, 2011, 29(1): 34-37.
- [6] 张金川, 金之钧, 袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业, 2004, 24(7): 15-18.
- [7] 潘继平. 页岩气开发现状及发展前景[J]. 国际石油经济, 2009, 25(11): 12-15.
- [8] 钱伯章, 朱建芳. 页岩气开发的现状与前景[J]. 天然气技术, 2010, 4(2): 11-14.
- [9] 潘仁芳, 黄晓松. 页岩气及国内勘探前景展望[J]. 中国石油勘探, 2009, (3): 1-5.
- [10] 安晓璇, 黄文辉, 刘思宇, 等. 页岩气资源分布、开发现状及展望[J]. 资源与产业, 2010, 12(2): 103-109.
- [11] 周涛, 鲁耀斌. 结构方程模型及其在实证分析中的应用[J]. 工业工程与管理, 2006, 19(5): 25-29.
- [12] 吴兆龙, 丁晓. 结构方程模型的理论建立与应用[J]. 科技管理研究, 2004, 26(6): 114-117.
- [13] 《页岩气地质与勘探开发实践丛书》编委会. 北美地区页岩气勘探开发新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009, 1-115.
- [14] Hill L, Ross J, Zhang E, et al. Modeling of gas generation from the Barnett Shale, Fort Worth Basin, Texas[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 501-521.
- [15] Scott L, Daniel M, Kent A, et al. Mississippian Barnett Shale, Fort Worth basin, north-central Texas: Gas-shale play with multi-trillion cubic foot potential[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2): 155-175.