

文章编号: 0253-9985(2004)03-0328-05

系统重构分析在油气选区前景 评价研究中的应用初探

梁海云^{1,2}, 丁建可¹, 李海燕¹, 朱润民²

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 石油大学, 北京 102249)

摘要: 系统重构分析为一些难于用数学解析形式描述的问题、一些定性的质的关系与结构关系不断迅速变化的复杂异质系统问题提供了解决的基础。系统重构分析主要包括三方面内容: 因素分析、方案评估和专家意见。由于受选区地质条件、地理环境、资源潜力等自然因素和政策法规、投资环境、市场环境等综合因素的影响, 油气选区前景评价工作复杂, 不确定性因素多, 单一指标的评价结果具有较强的偶然性和不稳定性。应用系统重构分析, 构建了油气选区前景评价系统模型, 初步解决了评价研究中数据序列缺乏、非线性很强的分析评估问题。

关键词: 油气选区; 前景评价; 系统重构分析; 综合集成; 复杂性

中图分类号: TE122.11

文献标识码: A

Application of system restructurability analysis in evaluation of hydrocarbon prospective area

Liang Haiyun¹ Ding Jianke¹ Li Haiyan¹ Zhu Runmin²

(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing; 2. University of Petroleum, Beijing)

Abstract: System restructurability analysis is a widely developing field of general system theory. It provides a foundation for solving the problems of complex and heterogeneous systems with continuously and rapidly changing qualitative and mass relationship, as well as structural relationship, which are difficult to describe in the form of mathematic analysis. System restructurability analysis consists mainly of factor analysis, program evaluation and expert opinions. Evaluation of hydrocarbon prospective areas is complicated with many uncertainties, due to the combined impacts of natural factors, such as geologic conditions, geographic environment and resource potential, as well as policy, law and regulation, investment climate and market environment. Evaluation made with a single index would have large eventuality and instability. A system model for evaluation of hydrocarbon prospective areas has been developed by applying system restructurability analysis. It preliminarily solves the problem met in evaluation, such as the lack of data set and strong non-linearity.

Key words: prospect generation; prospective evaluation; system restructurability analysis; composite integration; complexity

油气选区前景评价不仅受选区地理环境、资源潜力、地质特征等各种自然因素的影响, 还受选区所在国家和地区的政策法规、投资环境、勘探开发活动等多方面综合因素的影响。油气地质领域的许多问题都属于不确定性问题。在目前的技术条件下, 很难保证我们所得的各种数据有完全的

准确性和可靠性^[1,2], 特别是天然气运移研究的难度很大, 无法直接进行观察和测试, 也难以在实验室里准确模拟所出现的复杂事件^[3]; 油气资源所在国家和地区的自然地理条件、经济条件、社会环境、法律法规及周边的政治风险等情况千差万别, 构建一个数学逻辑完善、关系非常清晰的评价系

基金项目: 中国石化股份有限公司重点项目“国外重点盆地选区评价及勘探开发战略研究”(P00029)

第一作者简介: 梁海云, 女, 34岁, 经济师(硕士), 石油地质、石油经济

收稿日期: 2004-05-10

统, 是一项非常复杂的工程, 应用常规的统计分析、数学模型等研究方法很难实现。系统重构分析^[4]是一个广泛发展的一般系统论发展领域, 为一些难于用数学解析形式描述的问题、一些定性的质的关系与结构关系不断迅速变化的复杂异质系统问题^[5]提供了解决的基础。如果每一种方案都可以很方便地作为一种聚集状态列入聚集状态性态函数表, 就可以在不列写目标函数与因素间数学公式、函数关系的情况下直接进行系统分析计算。

对于一些复杂问题, 单纯进行数据的分析并不能反映问题的实质, 如果把数据分析与专家的知识、经验结合在一起, 就会得到更好的结果^[6]。综合集成重构分析正是一个把数据、多类信息与知识(包括定性、定量的知识与经验)通过系统分析得到以系统性态(行为)函数距离为度量的量化结果的分析方法^[7~9], 将此方法引入海外选区前景评价研究中, 可以解决数据序列缺乏、非线性很强的分析评估问题, 特别是数据分析与专家知识、经验的结合, 实现了人-机结合从定性到定量的综合集成, 使研究结果具有更大的参考价值。

1 基本知识

本文所用的系统重构分析评估方法主要涉及因素分析、方案评估及专家意见等三个方面。

1.1 因素分析^[6,10]

通过系统重构因素分析给出被评估对象各因素水平对评估指标水平产生影响的重要程度。因素与指标的原始数据(定性、定量)转换成系统重构聚集状态性态函数表的形式(图1)。

其中 $V_n (n=1, 2, \dots, N)$ 为第 n 因素; W 为指标(此处为1个指标, 也可以是多个指标); $A_m (m=1, 2, \dots, M)$ 为第 m 聚集状态; $r_{m,n}$ 为第 m 聚集状态第 n 因素的水平(等级); R_m 为第 m 聚集状态指标的水平。

图1左侧为因素与指标组成的聚集状态矩阵, 右侧表示各个聚集状态对应的性态函数数值分布, 其中实线所示1至 M 为由原始数据确定的分布函数值, 大于 M (即图中 M 以下部分)为其他原始数据未给出的可能状态的性态函数值, 由于未给定为一平直分布, 其值记为 $f^d(m)$ 。中间点划线为全部因素都同等起作用的均匀平直分布

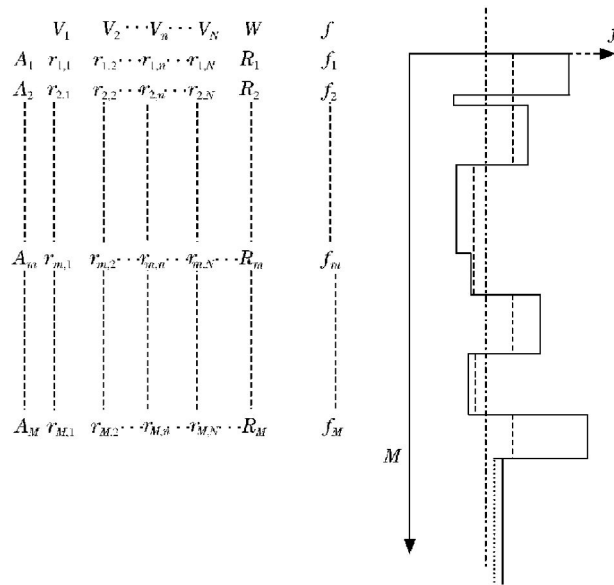


图1 聚集状态及其性态函数分布图

Fig. 1 State of aggregation and distribution of its morphic function

性态函数, 其值记为 $f^e(m)$ 。虚线为指标水平和待计算因素水平造成的差异起作用而其他因素水平均为平直分布的假设系统性态函数值分布图, 其值记为 $f^h(m)$ 。假设系统与原始数据系统的性态函数距离 D^{dh} 为

$$D^{\text{dh}} = \sum_{m \in \Omega} |f^h(m) - f^d(m)| \quad (\text{绝对值距离})$$

或

$$\sqrt{\sum_{m \in \Omega} [f^h(m) - f^d(m)]^2} \quad (\text{欧几里德距离})$$

或

$$\sum_{m \in \Omega} f^d(m) \log f^d(m) - \sum_{m \in \Omega} f^h(m) \log f^h(m) \quad (\text{信息熵距离})$$

其中 Ω 为因素的可能组合的集合。

当 $D^{\text{dh}} = 0$ 时, 表明该指标水平的一切变化均为该系统假设的因素水平所决定的, 因而该因素水平是最重要的唯一主要因素水平。 D^{dh} 越大, 因素水平对该指标水平影响越小。如此假设系统与原始数据系统, 或进一步发展的方法中的总系统的性态函数分布函数间的距离是确定因素水平重要程度的依据。

通过内插值(如0与1之间), 外插值(0与大于1的任意数之间), 线性或非线性变换可给出各因素水平对各指标水平的重要程度。

$$V^{\text{imp}}[v_n, G^n(v_n), w_1, G^{C,L}(w_1)] = F^{I,D}\{D^{\text{de}}[\dots]\}$$

$F^{l,D}$ 为一线性或非线性变换, 如此即可得到因素水平的重要程度排序, $G^{f,h}(v_n)$ 为第 n 因素的水平; $G^{C,L}(w_1)$ 为第 1 指标的水平。

1.2 方案评估*

在各因素水平或因素水平组合(因素间有交互作用时)对各指标水平的重要程度值确定以后, 可以对方案进行评估。评估方法是根据被评估的某一方案各因素状态(其构成因素的水平或水平界与水平界接近程度)给出该方案的评估值。不同的方案得到不同的评估值, 从而得出对不同方案的不同评估对象的排序。

本文介绍最常用的一种评估方法。对 $G^{C,L}(w)$ 指标水平或水平界接近程度为

$$V^{Eva}[G^{f,n}(v_1), G^{f,n}(v_2), \dots, G^{f,n}(v_n), G^{C,L}(w)] = \frac{\sum_{n=1}^N V^{imp}[*n] - \sum_{n=1}^N \text{Min} V^{imp}[\dots n]}{\sum_{n=1}^N \text{Max} V^{imp}[\dots n] - \sum_{n=1}^N \text{Min} V^{imp}[\dots n]}$$

其中 $V^{imp}[*n]$ 为被评估方案第 n 因素的重要程度; $\text{Min} V^{imp}[\dots n]$ 为第 n 因素最不重要水平重要程度; $\text{Max} V^{imp}[\dots n]$ 为第 n 因素最重要水平重要程度。

对 $G^{C,L}(W) = 1, 2, \dots, K$

其中 K 为指标的可取最大水平或水平界序号, 当进行趋势性(定性)等级预测时, V^{Eva} 值最大的水平(等级)为所得的评估结果, 当进行量值性(定量)评估时, 首先取出评估等级, 然后取该等级中的 V^{Eva} 值为在该等级的评价数值。若要一种统一的量化值评估可以通过一些简单的变换得到。

1.3 专家意见^[7]

上面所述是依赖于历史数据或统计调查数据的全数据系统重构分析, 对于一部分不可用数据表述的问题可加入专家知识与经验, 本文通过增加专家知识影响因素来反映专家意见。除数据因素外, 在因素聚集状态性态函数表中加入专家估计的影响因素, 如图 1 中 $V_{N+1}, V_{N+2}, \dots, V_{N+a}$ 。综合后的因素条件被输入后可得出对各指标水平或水平界的评估接近程度, 从而得到评估对象的评估等级及评估值。

因素重构分析最有特色最主要的基础就在于它不仅说明谁有关, 谁无关, 而且用系统假设(子

系统或子状态)性态函数分布与总系统的原性态函数分布的距离来表示系统的接近程度。最远距离的因素与因素状态是最不重要的, 甚至是无影响的, 而与总系统分布相同, 即距离为 0 的是最重要的。因此若某指标水平与某因素水平构成的重构假设的性态函数与总系统状态函数距离越小, 该因素水平对该指标水平的重要程度越高(或称影响关系越密切), 距离越远则重要程度越低(或称影响关系越不密切)。这种假设性态函数及其与总系统性态函数的距离可以用因素重构分析各种计算程序求得。混合变量因素重构分析及其基础上的评价、预测、优化使我们可以更充分地利用信息, 更准确地进行因素分析、预测、评价与优化。但有时单纯进行数据的重构分析并不能得出较理想的结果, 必须加入一定的专业知识或经验。引入专家意见, 并实现以人为主的人-机结合综合集, 为决策研讨提供了一种现代化决策的可行途径。

通过系统重构分析得到的评价结果反映出以指标为标准进行综合评价的结果, 这是通过系统重构分析方法构建的评价系统在综合分析所有系统因素和指标基础上, 在系统内部各因素之间, 以及各因素与指标之间, 形成了一个从定性到定量综合集成的逻辑关系和数学关系的集合体。其结果不仅充分考虑了指标的作用, 也考虑了构成系统的所有因素对指标的影响程度。从稳定性、可靠性、科学性、合理性等诸方面, 其结果避免了单一指标的偶然性和不稳定性。

2 应用

笔者从定性和定量两个方面搜集整理了俄罗斯、阿塞拜疆、阿尔及利亚、利比亚、突尼斯、越南、也门、印尼、马来西亚、巴基斯坦等 10 个国家的数据资料。根据系统重构分析的要求, 用于分析的因素和指标具有完整性、连贯性和全面性, 对于任何一个因素和指标, 要求每个国家都具有完整、口径一致的数据和信息。在数据资料分析时, 剔除了许多不完整的、没有连贯性的数据和信息, 通过专家意见来反映和体现, 部分通过性态函数值来反映一个地区和国家的信息可靠性程度。

重构分析因素构成包括数据因素(表 1)和专

* Shu Guangfu. Reconstruction analysis methods for forecasting, risks, design, dynamical problems and applications. Advances in Systems Sciences and Applications, 2nd Workshop of International Institute for General Systems Studies, San Marcos, Texas, USA, 1997. 72~79

家意见(表 2)两部分,指标为项目平均收益率(表 3),运用舒光复等研制的 GENEREC2002 综合集成系统重构分析软件计算得到评价结果(表 4)。为便于构建系统,本文中的因素和指标均为经过处理的无量纲相对值。

引入专家意见的评价结果与单纯的数据分析评价结果有一定的差距,主要是由于石油勘探开发的不确定性因素较多,不可预见程度较高,这不仅反映在勘探开发活动本身,而且反映在选区所在国家的政治风险、财税制度及其周边环境等影

表 1 因素构成
Table 1 Factor components

因 素	俄罗斯	阿塞拜疆	也 门	利比亚	阿尔及利亚	突尼斯	巴基斯坦	印尼	马来西亚	越南
0.75 亿桶规模项目收益率	1.53	1.00	1.27	1.09	1.33	1.58	1.91	1.12	1.49	1.60
1.5 亿桶规模项目收益率	1.20	1.17	1.00	1.23	1.55	1.71	1.93	1.24	1.64	1.74
3 亿桶规模项目收益率	1.68	1.58	1.58	1.72	1.00	2.16	2.47	1.63	1.99	2.22
油气总储量	341.31	11.09	4.05	33.71	31.11	1.00	3.71	26.64	14.32	1.65
从事勘探开发活动的公司	23.70	2.66	4.02	2.50	3.40	4.93	3.60	11.87	2.24	4.21
勘探开发许可证	204.03	3.45	7.64	31.58	23.00	11.33	19.73	38.18	12.09	6.18
新的勘探权益	448.00	6.00	8.33	4.33	24.67	12.00	45.33	25.33	13.00	7.67
平均发现规模	1.69	126.11	3.65	3.89	10.86	2.38	2.97	5.03	6.95	8.43
新区探井新增储量	3.12	105.24	2.30	3.84	11.14	1.51	2.83	5.50	9.55	11.46
新增天然气储量	6.21	33.01	2.26	2.65	11.76	1.00	9.17	69.99	21.49	13.89
新增原油储量	37.57	10.91	8.77	15.10	53.40	2.39	1.22	22.74	9.49	14.54
探井成功率	2.95	1.33	1.00	1.57	1.63	1.02	1.51	1.74	2.19	2.16
新区探井干井数	28.12	1.00	9.82	9.29	11.88	4.71	9.12	40.41	7.65	5.53

表 2 专家意见
Table 2 Expert opinion

评价对象	俄罗斯	阿塞拜疆	也 门	利比亚	阿尔及利亚	突尼斯	巴基斯坦	印尼	马来西亚	越南
勘探开发活动	1.45	1.45	4.04	2.59	2.12	4.00	2.90	1.82	1.77	2.74
财税制度	2.23	2.49	2.97	2.33	3.13	2.32	1.23	3.41	3.07	3.66
政治风险	1.98	2.18	2.39	1.75	1.92	1.30	3.72	3.14	2.51	1.41

表 3 评价指标
Table 3 Evaluation index

指 标	俄罗斯	阿塞拜疆	也 门	利比亚	阿尔及利亚	突尼斯	巴基斯坦	印尼	马来西亚	越南
项目平均收益率	1.74	1.00	1.28	1.66	1.80	2.29	2.76	1.50	2.09	2.37

表 4 评价结果
Table 4 Evaluation results

国 家	未引入专家意见				引入专家意见			
	等级	对等级下界接近程度	结果	优劣排序	等级	对等级下界接近程度	结果	优劣排序
俄罗斯	3,4	2.157 12	3.450 07	1	2,3	1.944 82	3.000 00	3
印 尼	3,4	2.879 55	3.005 47	2	2,3	1.992 75	2.944 99	6
马来西亚	3,4	2.888 44	3.000 00	3	3,4	2.754 22	3.071 01	2
阿塞拜疆	2,3	1.955 32	2.574 26	4	3,4	2.734 7	3.093 42	1
阿尔及利亚	2,3	2.130 34	2.466 55	5	2,3	1.992 45	2.945 33	5
突尼斯	1,2	1.263 53	2.000 00	6	2,3	2.012 72	2.922 07	9
越 南	1,2	1.307 43	1.972 98	7	2,3	1.998 88	2.937 95	7
也 门	1,2	1.339 57	1.953 20	8	3,4	2.816 09	3.000 00	4
巴基斯坦	1,2	1.370 46	1.934 19	9	2,3	2.040 37	2.890 33	10
利比亚	1,2	1.460 75	1.878 63	10	2,3	2.002 57	2.933 72	8

响因素方面。在影响油气选区前景的因素比较平稳的情况下,单纯的数据分析能得出比较准确的评价结果,而当影响因素发生较大变化时,特别是对于风险较大的海外油气勘探开发活动,加入专家意见后,避免了单纯数据与单纯专家意见不统一带来的分歧,使得评价结果更合理,更具有参考价值。

3 结语

应用系统重构分析解决了油气选区前景评价中系统因素缺乏、数据因素与专家意见因素不统一的问题。系统重构分析中的因素分析解决了各因素与指标之间的逻辑与数学关系的复杂性问题。这是其他数学模型、经济研究方法难以实现的。将系统重构分析引入到石油研究领域,在国内还是一项亟需进一步推广应用的工作。将系统重构分析应用到石油地质以及勘探、开发研究领域,与已有的石油勘探开发历史数据和专家经验知识紧密结合在一起,对于解决石油地质、勘探开发中的诸多复杂性问题具有很好的指导作用。

参 考 文 献

- 1 李树森,王川,樊民星.对圈闭油气资源评价专家系统的认

识[J].石油与天然气地质,1994,15(3):187~192

- 2 王川,黄静,樊民星,等.天然气资源成藏模型评价系统的建立[J].石油与天然气地质,1994,15(2):102~109
- 3 王庭斌.天然气运移理论对我国天然气地质学建立的重要贡献[J].石油大学学报(自然科学版),2000,24(4):4~11
- 4 Cavallo R E, Klir G J. Reconstructability analysis: evaluation of reconstruction hypothesis [J]. Int J of General Systems, 1981, 7: 7~32
- 5 舒光复.宏观经济与有关社会发展开放复杂巨系统及其系统集成研究[J].系统辩证学学报,2001,9(4):31~43
- 6 Shu Guangfu, Gu Jifa. Metasynthetic methods for macroeconomic and social development studies, systems science and systems engineering [R]. Proc of the 3rd International Conference on Systems Science and Systems Engineering. Beijing: China, Scientific and Technical Documents Publishing House, 1998. 508~514
- 7 Jones B. A program for reconstructability analysis[J]. Int J of General Systems, 1989, 15: 199~205
- 8 Shu Guangfu. Reconstructability analysis for systems related with multivariety information and knowledge, systems science and its applications [R]. The 3rd Workshop of the International Institute for General Systems Studies. Beidaihe, Qinhuangdao, China: Tianjin Press, 1998, 69~74
- 9 舒光复.系统集成系统重构及宏观经济研究中的应用[J].系统工程学报,2001,16(5):349~353
- 10 Shu Guangfu. Some developments in system reconstructability analysis theory, methodology and applications, systems science and systems engineering [R]. Proc of the 2nd Int Conf on Systems Science and Systems Engineering. Beijing: China, International Academic Publishers, 1993

(上接第327页)

4 几点认识

(1) 碳酸盐岩气藏出水类型分为凝析水和地层水两类。凝析水产于气-水过渡带以上的产气层段,产水量小;地层水产于气-水过渡带最高产水面以下的层段,产水量大。

(2) 凝析水产水量小,对碳酸盐岩气藏开发影响不大;碳酸盐岩储层发育的孔、洞、缝很不均一,且易形成次生孔隙带,因而具有很强的非均质性,对储集层地层水产出具有严重的影响作用,而地层水产水量大,对碳酸盐岩气藏开发影响巨大。

(3) 地层水出水有3种方式,即开采井段含水层、开发中形成纵向水窜和气-水界面上升引起地层出水,地层水出水时间和含水量的大小取决于底水的活跃程度。对于含产水层的开采井段,在生产中要严格控制射孔的准确率,避免打开含水层;对于底水活跃的层段,要采取合理的开采速度,避免因开采速度过大而导致地层水纵向水窜和气-

水界面上升引起地层出水。

参 考 文 献

- 1 肖玉茹,何峰煜,孙义梅.古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究——以塔河油田奥陶系古溶洞穴为例[J].石油与天然气地质,2003,24(1):75~80
- 2 陈清华,刘池阳,王书香,等.碳酸盐岩缝洞系统研究现状与展望[J].石油与天然气地质,2002,23(2):196~202
- 3 闫相宾.塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征[J].石油与天然气地质,2002,23(3):262~265
- 4 王金琪.塔里木奥陶系岩溶储集的油气前景[J].石油与天然气地质,1999,20(4):305~310
- 5 李建英,卢刚臣,孔凡东,等.千米桥潜山奥陶系储层特征及孔隙演化[J].石油与天然气地质,2001,22(4):367~371
- 6 张继春,柏松章.周期注水实验及增油机理研究[J].石油学报,2003,24(2):76~80
- 7 孙志道.裂缝性有水气藏开采特征和开发方式优选[J].石油勘探与开发,2002,29(4):69~71
- 8 夏位荣,张占峰.油气田开发地质学[M].北京:石油工业出版社,1999.10~27