

A New Type of Sector Correlation Analysis Method and Its Application in Quantitative Analogy of Gas Oil Field Development

Ke Li*, Li Yang, Sheng Guo

CNOOC Research Institute, Beijing
Email: *like2@cnooc.com.cn

Received: Feb. 23rd, 2016; accepted: Aug. 14th, 2016; published: Aug. 17th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In this paper, a new type of sector correlation analysis method that can be applied in quantitative analogy of characteristics and development index of gas oil fields is proposed. Firstly, the engineers should analyze the reservoir characteristics and ascertain the dominant control factors, and on this basis, collect the dominant control data of the target gas oil field and analogous gas oil fields, establish the sectoral coordinate, set the dominant control data confidence level sequence and adjust the coordinates correspondingly, then, draw the sectors of the target gas oil field and the analogous fields in the sectoral coordinate and screen out the similar fields. Based on these sector data, the correlation between the fields can be calculated by use of the sector correlation analysis method considering the confidence level sequence. After sorting the value of sector correlation, the similarity degree between the fields and the most similar field can be determined finally. The new type of sector correlation analysis method can be applied in quantitative position of the best analogous gas oil field graphically and analytically, which provides the referential basis to determine the development plan of target field from the development strategies and effect of the analogous fields and has good practical application value.

Keywords

Dominant Control Factors, Sector, Confidence Level, Correlation, Gas Oil Field Analogy

*第一作者。

一种新型扇面关联度分析法及在油气田开发定量化类比中的应用

李珂*, 杨莉, 郭胜

中海油研究总院, 北京

Email: *like2@cnooc.com.cn

收稿日期: 2016年7月23日; 录用日期: 2016年8月14日; 发布日期: 2016年8月17日

摘要

本文提出一种用于油气田地质油藏特征及开发指标定量化类比的扇面关联度分析法。该方法首先进行目标油气田地质油藏特征分析和主控因素确定。在此基础上, 统计目标油气田和类比油气田的主控参数, 建立扇面坐标系, 设立主控参数置信度序列, 并对扇面坐标系进行调整。然后, 在扇面坐标系中绘制目标油气田和各类比油气田的扇面图, 并筛选出相似油气田。之后, 采用考虑置信度约束条件下的扇面关联度分析法进行目标油气田与多个相似油气田的关联度计算, 通过关联度大小对油气田相似程度进行定量化排序, 从而最终确定高度相似的油气田。该方法可以从图形和解析两方面定量化精确定位与目标油气田相似度最高的类比油气田, 并据此用类比油气田开发策略和实际的开发效果对目标油气田的开发方案制定提供依据, 具有较好的实际应用价值。

关键词

主控因素, 扇面, 置信度, 关联度, 油气田类比

1. 引言

油气田开发类比是将多个油气田与目标油气田进行比较, 根据主控因素的相同性或相似性, 判断整体上与目标油气田相似的油气田, 并将其开发策略、开采方式、开发指标等用于目标油气田开发方案设计或后期调整挖潜的参考依据。类比方法在包括油气田开发的许多行业中均有应用, 但目前的方法一般只是在资料收集的基础上, 定性筛选可能相似的对象, 或通过统计的方法对主控因素的取值分布概率区间进行大致描述[1]-[5]。这样类比得到的结果可以反映同类油气田在某些单一主控因素上的统计学规律, 但不能对每个类比油气田的整体相似程度进行定量化地分析和排序, 进而寻找与目标油气田地质油藏特征最接近的类比油气田。本文中, 笔者提出一种新的扇面关联度分析法, 该方法在确定目标油气田地质油藏特征和主控因素的基础上, 建立扇面坐标系, 设立主控参数置信度序列, 并在考虑置信度约束条件下绘制扇面图和计算关联度, 从图形和计算两方面定量分析类比油气田的相似程度, 从而精确定位高度近似油气田。

2. 扇面图分析

本文中的油气田开发类比扇面关联度分析法, 首先需建立扇面坐标、绘制扇面图并进行分析。具体流程如下:

1) 收集并获得目标油气田的基础资料。包括区域概况、地理位置、埋藏深度、构造、岩石类型、沉积相类型、储层、温压系统、油藏类型、流体、储量等，确定目标油气田的地质油藏总体特征。

2) 分析影响该类油气田开发的主控因素。统计目标油气田和类比油气田的主控因素，如含油饱和度(S_{oi})、孔隙度(Φ)、渗透率(K)、有效厚度(H)、地层原油粘度(μ_o)、储量丰度、流度、井网密度等。形成参考油气田主控因素序列 X_0 和类比油气田主控因素序列 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_n ，即：

$$\begin{aligned} X_0 &= \{X_0(1), X_0(2), X_0(\dots), X_0(n)\} \\ X_1 &= \{X_1(1), X_1(2), X_1(\dots), X_1(n)\} \\ X_2 &= \{X_2(1), X_2(2), X_2(\dots), X_2(n)\} \end{aligned} \quad (1)$$

3) 对形成的主控因素序列，进行无量纲化处理。无量纲处理方法包括初值化(同一数列的所有数据均除以第一个数据，得到一个新的数列)、均值化(同一数列的所有数据均除以该数列的平均值，得到一个新的数列)或归一化(各类数据数值相差悬殊时，改变各数列的单位制，减小数列之间的数值差异)。一般考虑采用“归一化 + 初值化”处理方法，建立取值为 0~1 之间的“无量纲化主控因素”序列。

4) 引入置信度序列[6]-[8]。设定主控因素的置信度序列 λ ($0 < \lambda < 1$)，即：

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_n) \quad (2)$$

5) 将置信度序列代入主控因素序列矩阵，并以此计算得到新的、包含置信度意义的无量纲主控因素扇面序列 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_n ：

$$\begin{aligned} Y_0 &= \{Y_0(1), Y_0(2), Y_0(\dots), Y_0(n)\} \\ Y_1 &= \{Y_1(1), Y_1(2), Y_1(\dots), Y_1(n)\} \\ Y_2 &= \{Y_2(1), Y_2(2), Y_2(\dots), Y_2(n)\} \end{aligned} \quad (3)$$

其中，

$$Y_i(k) = \frac{1}{n} \cdot \pi \cdot [X_i(k) \cdot \lambda_k]^2 \quad (4)$$

各 Y 值亦即以下扇面图中各主控因素的实体扇面面积值。

6) 建立 n 因素的初始扇面坐标系，如图 1(a)即为 $n = 8$ 时的初始扇面坐标系。根据置信度序列，对坐标系进行调整，如图 1(b)的虚线圈定的扇面即为置信度序列 $\lambda = (0.8, 0.7, 1, 0.8, 0.6, 1, 0.8, 1)$ 时的扇面坐标系。

7) 对目标油气田及每个类比油气田的无量纲主控因素序列 Y ，以 $X_i(k) \cdot \lambda_k$ 为半径、 $\frac{1}{n} \cdot \pi \cdot [X_i(k) \cdot \lambda_k]^2$ 为面积，在扇面坐标系中画出各自的扇面，形成各油气田主控因素对应的整体扇面图。

8) 评价扇面图。单个扇面面积大小代表了类比油气田与目标油气田的、单因素的相似程度；总体扇面形态代表了油气田的总体相似程度。根据扇面总体形态相似性，可初步确定相似类比油气田。

3. 关联度计算

绘制扇面图并初步确定相似类比油气田后，需要进行扇面关联度计算，以定量化确定各油气田与目标油气田的相似程度。

对于主控因素序列 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_n ，各因素间关联系数计算如下：

$$\xi_{oi}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \rho \Delta_{\max}} \quad (5)$$

式中， $\xi_{oi}(k)$ 为比较序列 Y_i 与参考序列 Y_0 的、第 k 个因素的关联系数； ρ 为分辨系数； Δ_{\min} 为两级最小

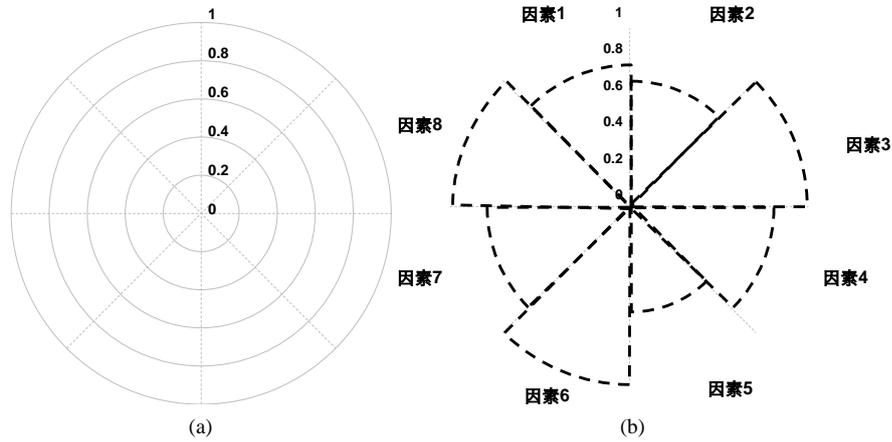


Figure 1. Sectoral coordinate (initial/adjusted)
图 1. 扇面坐标系(初始/调整后)

差, Δ_{\max} 为两级最大差, 且有:

$$\Delta_{\min} = \min_{i,k} |Y_0(k), Y_i(k)| \quad (6)$$

$$\Delta_{\max} = \max_{i,k} |Y_0(k), Y_i(k)| \quad (7)$$

各主控因素序列间(即目标油气田和各类比油气田之间)的整体关联度为:

$$r_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta_{\max}} \quad (8)$$

关联度的分析方法在各行业中都有应用, 与常规的关联度分析方法[9] [10]不同, 本文在主控因素序列矩阵中引入了置信度序列 λ , 同时, 以类比油气田的单因素扇面作为对比序列、以类比油气田主控因素整体扇面形态作为对比验证基础, 使得改进后的关联度计算方法更为合理、结果更为可靠, 更能真实反映油气田间的整体相似程度高低。

4. 应用实例

A 油田位于西非深水区域, 属深水浊积砂岩边水油藏。油层孔隙度 28.9%, 渗透率 4680 mD, 有效厚度 19.75 m, 粘度 3.27 cp。根据油田开发方案研究需要, 收集了同属于深水浊积砂岩、基本地质油藏特征也较为接近的油田资料, 进行类比研究, 寻找整体特征最为相似的油田, 并通过其开发经验, 指导 A 油田开发方案制定和后期调整挖潜策略。根据表征地质特征和确定储量规模的主要参数以及控制采收率高低的关键参数, 制定了类比油田的主控因素数据表(表 1)。

对表 1 中的参数序列, 先采用“归一化 + 初值化”处理, 再引入置信度序列 λ , 且 $\lambda = (0.8, 0.8, 1, 1, 1)$ 。由此, 得到无量纲主控因素扇面序列矩阵为:

$$Y = \begin{Bmatrix} 0.105 & 0.171 & 0.086 & 0.015 & 0.168 & 0.062 & 0.012 & 0.294 \\ 0.171 & 0.094 & 0.009 & 0.016 & 0.001 & 0.018 & 0.393 & 0.118 \\ 0.185 & 0.090 & 0.005 & 0.032 & 0.001 & 0.034 & 0.241 & 0.206 \\ 0.251 & 0.251 & 0.393 & 0.117 & 0.393 & 0.393 & 0.023 & 1.000 \\ 0.194 & 0.251 & 0.098 & 0.035 & 0.192 & 0.110 & 0.012 & 0.265 \\ 0.219 & 0.150 & 0.025 & 0.393 & 0.069 & 0.255 & 0.008 & 0.529 \\ 0.180 & 0.150 & 0.006 & 0.080 & 0.141 & 0.236 & 0.001 & 0.324 \end{Bmatrix} \quad (9)$$

建立考虑置信度后的扇面坐标系,即如下图2中A油田虚线圈定扇面部分。由式(9),绘制A油田扇面图(图2实体扇面);绘制各类比油田扇面图(图3)。

从扇面图对比可以初步判断,Ba和Sc油田与A油田的相似度较好,油田类比时可侧重于分析这两个油田的开发指标。再由式(5)~式(8),计算各油田与A油田的关联度。计算结果如表2。

由关联度计算结果可以判断,Ba油田与A油田具有最高的关联度。两个油田尤其在物性(K)、流体性质(μ_o)和井网密度上具有很高的相似性,而这几个因素一般来说是油田开发效果和采收率高低的决定

Table 1. Data of the dominant control factors
表 1. 类比油田主控因素数据统计表

油田	平均原始含油饱和度 (Soi)f	平均孔隙度 (Φ)f	平均渗透率 (K)mD	有效厚度 (h)m	地层平均原油粘度 (μ_o)cp	储量丰度 $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$	流度 mD/cp	井网密度口 / km^2
A	0.587	0.289	4680	19.75	3.27	304.6	1431.2	1.0
U	0.750	0.214	1500	20.3	0.18	161.7	8333.3	0.4
L	0.780	0.210	1174	28.7	0.18	224.9	6522.2	0.7
Ha	0.910	0.350	10,000	54.7	5.00	764.1	2000.0	3.4
Ba	0.800	0.350	5000	30.0	3.50	404.7	1428.6	0.9
Ma	0.850	0.270	2500	100.0	2.10	615.9	1190.5	1.8
Sc	0.770	0.270	1250	45.0	3.00	592.4	416.7	1.1

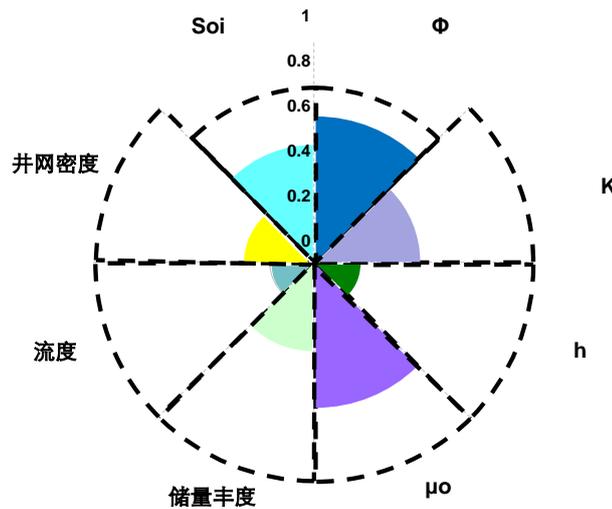


Figure 2. Sector of A oil field
图 2. A 油田扇面图

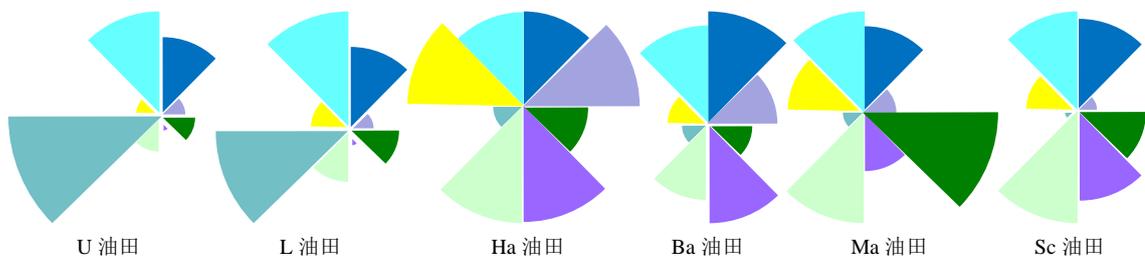


Figure 3. Sectors of the analogous fields
图 3. 类比油田扇面图

Table 2. Statistics of the correlation value between A oil field and the analogous fields
表 2. A 油田与相似油田关联度统计表

油田	A	U	L	Ha	Ba	Ma	Sc
关联度	1	0.707	0.725	0.526	0.899	0.702	0.862

性因素。Ba 油田 1999 年投产，采用顶部注气、边部注水的方式进行开发，高峰日产 120,000 bopd，目前已累产油量 300 mm bbls，预计采收率 40% 以上。重点分析该油田的开发策略、开采方式、开发指标等，将对 A 油田的开发方案和后期调整挖潜策略制定提供更准确、更合理的类比数据，具有更好的指导意义。

5. 结论

1) 本文提出一种用于油气田定量化类比研究的新型扇面关联度分析法。该方法基于目标油气田与类比油气田的主控因素筛选，形成主控因素序列；通过无量纲化处理、置信度序列引入以及扇面计算，建立起无量纲主控因素扇面序列；在考虑置信度的扇面坐标系中绘制各油气田主控因素序列对应的扇面图；通过含置信度的关联度分析方法计算油气田间的扇面关联度。根据单个扇面面积、整体扇面形态以及扇面关联度计算结果，可定量判断类比油气田与目标油气田的近似程度和可类比性高低。

2) 实例应用表明，采用本文提出的扇面关联度分析法，从图形和解析两方面出发，既可以通过目标油田与类比油田的扇面图直观判断相似性，又能通过扇面关联度计算定量化精确定位与 A 油田高度近似的类比油田，为油气田开发策略和开发方案的制定提供更为合理和准确的参考依据，为开发指标预测、后期调整方式等均奠定良好的基础。

基金项目

国家科技重大专项(2011ZX05030-005)资助。

参考文献 (References)

- [1] 何登发, 李德生, 何金有, 吴晓智. 塔里木盆地库车坳陷和西南坳陷油气地质特征类比及勘探启示[J]. 石油学报, 2013, 34(2): 201-214.
- [2] 陈会军, 刘招君, 朱建伟, 付占荣, 杜家喻, 欧阳兆灼, 李秀荣, 唐振. 相似类比面积丰度法估算油页岩资源潜力——以茂名盆地为例[J]. 中国地质, 2012, 39(5): 1427-1433.
- [3] 贾建亮, 刘招君, 柳蓉, 郭巍, 陈会军, 孙平昌, 孟庆涛. 油页岩地质类比资源评价体系的建立[J]. 地质学报, 2014, 88(7): 1321-1332.
- [4] 柳广弟, 喻顺, 孙明亮. 海相碳酸盐岩层系油气资源类比评价方法与参数体系[J]. 石油学报, 2012, 33(2): 125-133.
- [5] 汪少勇, 李建忠, 李登华, 陈晓明, 宋涛. EUR 分布类比法在川中地区侏罗系致密油资源评价中的应用[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(11): 1757-1764.
- [6] 林晓帆, 丁晓青, 吴佑寿, 陈友斌, 刘今晖. 字符识别的置信度分析[J]. 清华大学学报, 1998, 38(9): 47-50.
- [7] 刘镜, 刘加. 置信度的原理及其在语音识别中的应用[J]. 计算机研究与发展, 2000, 37(7): 882-890.
- [8] Williams, G. and Renals, S. (1999) Confidence Measures from Local Posteriori Probability Estimates. *Computer Speech and Language*, 13, 395-411. <http://dx.doi.org/10.1006/csla.1999.0129>
- [9] 王致强, 乐嘉锦, 陈德华. 基于甲亢临床指标的多维时间序列关联度分析[J]. 计算机与现代化, 2016(4): 12-15.
- [10] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 第六版. 北京: 科学出版社, 2013: 26-30.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>