

砂岩储集层物性影响因素定量分析方法

钟大康¹, 张崇军², 文应初³

(1. 石油大学, 北京 102200; 2. 华北油田采油二厂, 河北霸州 065703; 3. 四川石油管理局, 四川成都 610051)

摘要: 采用多因素偏相关分析方法, 结合多元逐步回归能够在分析影响储层物性的因素中把握事物的本质, 找出主要因素, 区别出次要因素, 从而达到对各因素定量排序的目的。以准东阜北斜坡侏罗系砂岩储层为例, 运用该方法分析了影响储层物性的主要因素和次要因素, 认为影响孔隙度的主要因素为溶蚀作用, 次为颗粒分选和压实作用; 影响渗透率的主要因素为颗粒分选和粒度粗细, 次为压实和胶结物溶解作用, 其结果与实际地质情况吻合较好。

关键词: 砂岩; 物性; 影响因素; 定量分析; 方法

第一作者简介: 钟大康, 男, 38 岁, 副教授, 石油地质

中图分类号: P618.130 文献标识码: A

相关分析就是根据一个因素(变量)与另一个因素(变量)的相关系数是否大于临界值, 判断两个因素是否相关。在相关的因素之间, 根据相关系数大小判断两个因素关系的密切程度。相关系数越大, 说明两者关系越密切。这种方法在砂岩储层物性(孔隙度、渗透率)影响因素分析中用得较多。作者在对冀中廊固凹陷和辽河油田新开地区下第三系沙河街组砂岩储层物性分析中使用过相关分析及其类似的方法^[1,2], 但每次分析结束后总感到结果不尽如人意。

我们知道, 砂岩储层物性常常受多种因素控制, 如砂岩颗粒的成分、粒度、分选、磨圆, 颗粒间的杂基含量以及岩石在埋藏过程中所经历的一系列成岩作用如压实、胶结、溶解和交代等作用^[3]。然而在这些因素之间又存在一些相互影响, 比如压实作用的强弱除了受埋藏深度影响外, 与岩石颗粒的成分、粒度和胶结物类型还有关系。岩石含塑性颗粒(如岩屑尤其是泥岩岩屑)越多、粒度越细、泥质胶结物含量越高, 则压实作用越强; 如果岩石颗粒以石英为主, 粒度较粗, 且为硅质或钙质胶结则压实作用较弱。其余因素也存在类似的情况。因此, 由于多个因素对孔隙度、渗透率都将产生不同程度的影响, 加之各因素之间又存在相互影响, 使得定量研究砂岩储层物性的影响因素变得更加复杂, 对各因素的影响程度大小进行定量排序, 也就更加困

难。在以往的研究中, 人们常用简单相关分析来处理这类问题, 根据简单相关系数的大小来判断两个因素关系的密切程度。这种方法从总体上对问题可以有一个大致认识, 但却很难在错综复杂的关系中把握现象的本质, 找出哪些是主要因素, 哪些是次要因素, 有时甚至得出错误结论。为此我们提出使用数学上的偏相关分析与逐步回归相结合的办法来解决这类问题。

1 基本原理及步骤

基本原理是, 在众多因素对某一因素都存在影响的情况下, 当分析某一因素的影响大小时, 把其他因素都限制在某一水平范围内, 单独分析该因素对某一因素所带来的影响, 从而消除其他因素带来的干扰。比如分析压实作用(或埋深)对孔隙度和渗透率的影响时我们便把岩石成分、粒度、胶结类型等都限制在一定范围来单独讨论压实作用。而数学上的偏相关分析恰恰就是解决这类问题的方法, 偏相关系数的大小就代表了这种影响程度^[4]。结合多因素边“引入”, 边“剔除”的逐步回归分析方法也可消除多个因素(自变量)间的相互干扰和多个因素对因变量的重复影响, 保留其中的有用信息, 挑选出对因变量影响较显著的因素, 剔除了一些次要因素。被挑选出的主要因素的标准回归系数和偏回归平方和的大小反映了各参数对因变量(孔隙度和渗透率)的影响大小。因此根据各因素(自变量)与因变量间的偏相关系数大小, 结合标准回归系数和偏回归平方和便可以将各因素对因变

量的影响大小进行定量排序。其基本步骤如下:

第一步, 找出所有可能对砂岩孔隙度和渗透率产生影响的因素(或参数), 同时对一些非数值型参数进行量化处理。

第二步, 计算孔隙度和渗透率与各参数间的简单相关系数, 根据这些简单相关系数大小初步分析它们与孔隙度和渗透率间的简单相关关系。

第三步, 计算孔隙度和渗透率与各参数间的偏相关系数、标准回归系数和偏回归平方和。

第四步, 根据偏相关系数的大小, 再结合标准回归系数和偏回归平方和综合分析孔隙度和渗透率与各参数间的关系密切程度, 其值越大, 关系越密切, 影响越大, 反之亦然。

2 实例

根据定性分析, 准噶尔盆地东部阜北斜坡侏罗系砂岩储层物性主要受沉积条件和成岩作用两大因素控制, 沉积条件方面主要有岩石颗粒成分、粒度、分选、磨圆、杂基含量等。成岩作用方面主要有压实、胶结和溶蚀三大作用^{*}。其中压实作用的强弱可以用埋藏深度来表示; 胶结作用的强弱用胶结物含量多少表示; 溶蚀的强弱用长石和岩屑以及胶结物含量表示(因为镜下薄片观察发现本地区溶蚀作用主要表现为胶结物的溶蚀和部分长石颗粒内部的溶蚀)。

表 2 按偏相关系数等三项指标对各物性影响因素的综合定量排序

Table. 2 Quantitative seriation of physical factors based on partial correlation coefficients

排序	孔 隙 度				渗 透 率			
	影响因素	偏相关系数	标准回归系数	偏回归平方和	影响因素	偏相关系数	标准回归系数	偏回归平方和
1	胶结物溶蚀	- 0.584	- 0.510	0.190	分选	- 0.647	- 0.540	0.280
2	分选	- 0.537	- 0.490	0.170	粒度	- 0.541	- 0.420	0.140
3	长石溶蚀	- 0.280	- 0.310	0.170	埋深压实	- 0.493	- 0.400	0.110
4	埋深压实	- 0.212	- 0.240	0.020	胶结物溶蚀	- 0.470	- 0.360	0.070
5	圆度	- 0.110	—	—	圆度	- 0.103	—	—
6	尖度	0.106	—	—	尖度	- 0.068	—	—

度或渗透率的各因素进行定量排序的结果是完全一致的。即凡是与孔隙度或渗透率的偏相关系数较大的参数其标准回归系数也较大, 偏回归平方和也是如此。说明从不同的途径使用不同的方法得到了相同的结果, 找到了问题的真正答案。同时偏回归与逐步回归两种方法本身也得到了交叉验证。

综合分析表 2 可以得出如下结论:

根据表 1 中的简单相关系数大小很容易得出这样的结论: 本区压实作用对物性影响最显著(相关系数相对于其临界值最大), 其次是颗粒的分选, 表 1 按简单相关系数对各物性影响因素的定量排序

Table1. Quantitative seriation of physical factors based on simple correlation coefficients

排序	孔隙度		渗透率	
	影响因素	简单相关系数	影响因素	简单相关系数
1	埋深压实	- 0.430	埋深压实	- 0.200
2	分选	- 0.414	分选	- 0.532
3	胶结物	- 0.395	粒度	- 0.409
4	长石	- 0.299	圆度	0.376
5	圆度	0.263	胶结物	- 0.132
6	尖度	0.235	偏度	- 0.286

再次是粒度和胶结作用, 但这一结果与我们的薄片观察和孔渗-深度关系分析结果有些不吻合。根据薄片观察, 本区砂岩储层孔隙类型大多为长石、碳酸盐等胶结物和部分岩屑溶蚀产生的溶蚀孔隙, 而且这些溶蚀孔隙在纵向上又主要集中分布于 2 000 ~ 2 800 m 的深度范围, 但在该深度范围内并非所有砂岩都发生了大规模溶蚀, 而是只有那些颗粒较粗, 分选较好的河道砂岩才发生明显溶蚀, 河漫滩的粉砂岩、泥质粉砂岩溶蚀较少或几乎没有溶蚀现象。运用本文提出的方法重新计算了各因素与孔隙度和渗透率间的偏相关系数, 标准回归系数和偏回归平方和(表 2)。从表 2 可以看出根据偏相关系数、标准回归系数和偏回归平方和对影响孔隙

(1) 影响孔隙度和影响渗透率的主要因素是不同的。影响孔隙度的主要因素是溶蚀作用, 即胶结物和长石的溶解, 其次是颗粒的分选, 再次是压实作用。影响渗透率的主要因素是颗粒的分选好坏和粒度粗细, 其次是压实作用, 再次是胶结物溶解。

(2) 溶蚀作用增大了岩石的孔隙度, 但对渗透率的改善作用并不明显。即无论是粒间胶结物的溶蚀还是长石颗粒的内部溶蚀都可以增大孔隙度。

(3) 颗粒粒度对岩石孔隙度无影响(这与理论上的推导结果一致), 但对渗透率影响很大, 即颗粒

^{*} 钟大康, 文应初, 薛新克, 等. 准东阜北斜坡侏罗系砂岩储层成岩作用与孔隙演化预测(内部研究报告). 1996

越粗,在孔隙间形成的喉道就越大,渗透率也越高。颗粒分选对孔隙度和渗透率均有影响,但它对渗透率的影响大于对孔隙度的影响。颗粒的圆度和分布尖度对孔隙度和渗透率影响较小。颗粒成分对孔隙度和渗透率无影响。

(4) 压实作用对孔隙度和渗透率都有影响,它对渗透率的影响大于对孔隙度的影响。

上述结论与我们的定性分析结果和本区的实际情况十分吻合,也符合石油地质的有关理论,说明该方法有一定的优越性和实用性。

3 结论

多因素偏相关分析与多因素逐步回归相结合的方法在砂岩储层物性影响因素定量分析中,与常规多因素简单相关分析及其类似的其他方法相比,

不失为较为有效的方法,它能够在错综复杂关系的多因素中把握事物的本质,区别哪些是主要因素,哪些是次要因素,而且能对各因素进行定量排序。

参与本文研究工作的还有新疆石油管理局研究院薛新克、李新兵、王建等高级工程师,西南石油学院颜其彬教授、张帆副教授,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 钟大康. 冀中廊固凹陷下第三系砂岩储层物性影响因素[J]. 天然气工业, 1993, 13(6): 27~30
- 2 钟大康, 陈景山, 林维澄. 新开地区油气储层物性影响因素评价[J]. 西南石油学院学报, 1998, 20(1): 21~24
- 3 张万选, 张厚福. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992. 108~114
- 4 成都地质学院数学地质编写组. 概率论与数理统计[M]. 北京: 地质出版社, 1981. 216~231

QUANTITATIVE ANALYSIS METHOD OF FACTORS AFFECTING PHYSICAL PROPERTIES FOR SANDSTONE RESERVOIRS

Zhong Dakang¹, Zhang Chongjun², Wen Yingchu³

(1. Petroleum University, Beijing; 2. Oil Recovery Plant, Huabei Oilfields Baxian, Hebei; 3. Sichuan Petroleum Administration, Chengdu, Sichuan)

Abstract: The partial correlation analysis of multiple factors combined with multiple regression is used to find the essence of the problem, and seriate the factors. This paper introduces the basic concepts and analysis steps of this method through the case study of Jurassic sandstone reservoirs in Fubei Slope of east Junggar Basin, and discusses the primary and secondary factors influencing sandstone reservoirs' physical properties in this area. The results coincide with the actual state.

Key Words: sandstone; physical properties; influencing factor; quantitative analysis; method

(上接第122页)

DISTRIBUTION PATTERN OF PYRROLIC NITROGEN COMPOUND IN CRUDE OILS

Li Sumei^{1,2}, Zhang Aiyun², Wang Tieguan¹

(1. Petroleum University, Beijing; 2. China University of Geosciences, Beijing)

Abstract: Test results of different types of crude oils show that pyrrolic compounds such as carbazole, benzocarbazole and dibenzocarbazole are found, and the first two types are predominant. The relative abundance of the homologues of these two types show normal distribution, which is closely related to source material types and the effect of oil and gas migration and thermal maturation. The crude oil that was mainly derived from high plant contains relatively more alkylbenzocarbazole and dibenzocarbazole; the increase of oil and gas migration distance could result in the enrichment of carbazole series; the increase of maturity could increase the enrichment of low molecular weight compounds. The pyrrolic compounds have various isomers, this might be related to different mother materials of kerogen.

Key Words: crude oil; pyrrolic compound; isomer; distribution pattern