

储层质量钻前预测方法探讨

——以松辽盆地汪家屯地区为例

曲爱英^{1,2}, 孟元林^{1,3}, 肖丽华³, 颖秀兰⁴, 杨俊生¹, 李 臣³, 罗宪婴¹

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石油 辽河油田 勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010;

3. 大庆石油学院 秦皇岛分院, 河北 秦皇岛 066004; 4. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 储层质量钻前预测包括储层孔隙度预测和渗透率预测。碎屑岩储层的孔隙度主要与沉积相和成岩作用有关,但在沉积相相同或岩性相近的条件下,储层孔隙度则主要受成岩作用的控制。据此,该文建立了应用成岩指数 I_D 预测储层孔隙度的模型,预测误差小于 2%,并以松辽盆地汪家屯地区登三段为例说明了这一模型的应用。汪家屯地区登三段属于浅水河道沉积,储层岩性主要为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩。在东北部登三段储层处于晚成岩阶段 B 期,孔隙度最高值可达 14%~16%;西部地区登三段处于晚成岩阶段 C 期,储层物性较差,孔隙度最高值为 10%~12%。

关键词: 储层质量预测; 成岩作用; 深层; 孔隙度; 成岩模拟; 松辽盆地

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

储层质量预测包括储层孔隙度预测和渗透率预测。在钻前预测储层质量 (predrilling reservoir quality prediction) 已成为当今储层地质中的一个研究热点^[1~7],在美国已形成系统的研究流程,但我国在这方面的研究相对薄弱^[8]。存在的问题可归结为如下两个方面:其一,直接引进国外的储层孔隙度预测模型预测我国储层的孔隙度^[9],但我国陆相盆地的具体地质情况与国外不完全相同,所以孔隙度的预测精度有待进一步提高;其二,针对我国的一些具体盆地建立了储层孔隙度预测模型,但所考虑的地质因素较少^[10],预测精度仍有提高的空间。沉积学的研究表明,碎屑岩储层的孔隙度主要受沉积相、成岩作用以及构造等因素的影响与控制^[11~18],但构造因素对储层孔隙度的影响比较局限。所以,目前碎屑岩储层质量预测重点讨论沉积环境和成岩作用对储层质量的影响。而在一个地区沉积相相同或储层岩性相近的情况下,碎屑岩储层的孔隙度则主要受成岩作用的控制。本文试图以松辽盆地汪家屯地区登三段为例,建立储层沉积相相同和岩性相近条件下

成岩作用与孔隙度的关系,并用其预测储层孔隙度。

1 储层孔隙度预测原理

储层的成岩作用受多种地质因素的影响,但主要影响因素可归结为温度、压力、时间和流体性质^[3]。据此,笔者将成岩阶段数值化,选取对成岩场变化反应敏感的、成岩阶段划分常用的成岩指标,即古地温 T 、镜质组反射率 R_o 、甾烷异构化指数 SI 、伊/蒙混层中蒙皂石层的含量 S 和自生石英含量 V_q 这 5 项参数,分别在时空领域内进行单项成岩作用的模拟,然后将这些指标加以组合,构造了一个能够综合反映成岩作用强度、且便于成岩阶段划分的函数——成岩指数 I_D ,在盆地的范围内,由计算机自动划分成岩阶段、模拟成岩演化史,进行大尺度的成岩作用模拟^[19~21]。不同成岩阶段对应不同的 I_D (表 1), $I_D = 0$, 对应于成岩作用刚刚开始; $I_D = 1$, 对应于晚成岩阶段 B 期的结束; $I_D > 1$, 属于晚成岩阶段 C 期。

表 1 不同成岩阶段所对应的成岩指数 I_D

Table 1 Diagenetic index I_D for different diagenetic stages

成岩阶段	早成岩阶段 A 期	早成岩阶段 B 期	晚成岩阶段 A 期	晚成岩阶段 B 期	晚成岩阶段 C 期
I_D	0~ 0.19	0.19~ 0.28	0.28~ 0.67	0.67~ 1.0	> 1.0

收稿日期: 2004- 02- 12; 修订日期: 2004- 11- 09。

作者简介: 曲爱英(1960—),女(汉族),辽宁东港人,高级工程师、博士生,主要从事油田地质方面的工作。

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关项目(2001BA605A08); 国家自然科学基金项目(40372102)。

这样,通过建立一个地区沉积相相同或岩性相近的储层孔隙度与 I_D 之间的相关关系,就可以根据成岩作用数值模拟所计算出的 I_D ,预测储层的孔隙度。这一方法比仅考虑温度和时间对储层成岩作用的影响,根据孔隙度与 R_o 或 TTI 的相关性预测孔隙度^[1,9,10],具有更高的精度。

2 应用实例

限于篇幅,本文仅以松辽盆地汪家屯地区登三段为例,说明这一模型的应用。

2.1 区域地质概况

研究区位于松辽盆地大庆油田汪家屯地区,在黑龙江省境内,总面积约 2 170 km²;构造位置上位于松辽盆地安达—肇州背斜带、中央断隆带的北部和徐家围子断陷带的中西部;从下到上依次发育侏罗系火石岭组(J_3h)、白垩系下统沙河子组(K_1s)、营城组(K_1ych)、登娄库组(K_1d)、泉头组(K_1q)、青山口组(K_1qn)、姚家组(K_1y)、嫩江组(K_1n)、上白垩统四方台组(K_2s)、明水组(K_2m)和第四系(Q)。

2.2 沉积特征

汪家屯地区储层的成岩作用从上到下可划分为早成岩阶段、晚成岩阶段 A 期、B 期和 C 期。本文研究的层段登娄库组成岩作用较强,主要分布在晚成岩阶段 B—C 期。

地震相和沉积相的研究表明,登娄库组主要为洪水—湖漫沉积体系。洪水—湖漫沉积是湖泊沉积中一种特殊的沉积类型^[22],它是在古地形平坦的浅水湖泊中、干旱和半干旱气候条件下形成的与近源、阵发性洪水注入有关的沉积;在低水位面附近高能带形成砂坪为主的沉积,在洪水注入期形成浅水河道为主的夹砂泥坪沉积,在洪水期后高水位面附近的低能带沉积了泥和粉砂沉积,形成泥坪沉积。高分辨率层序地层学的研究表明,登娄库组发育低水位体系域、湖侵体系域和高水位体系域。登三段属于低水位体系域,主要发育浅水河道沉积,中厚层砂岩夹薄层泥岩,砂地比为 30%~50%,储层的岩性比较均一,主要为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩。总之,汪家屯地区登三段的沉积相和储层岩性基本相同,其孔隙度主要受成岩作用的影响与控制。

2.3 储层成岩阶段预测

在模拟古地温、镜质组反射率、粘土矿物转化、甾烷异构化反应、石英次生加大的基础上,应用成岩作用过程综合模拟模型^[20],计算了汪家屯地区登三段的成岩指数 I_D ,预测了成岩阶段的横向展布特征

(图 1)。由图可见,汪家屯地区只有东北部地区成岩强度相对较弱,成岩指数 $I_D < 1.0$,处于晚成岩阶段 B 期;其余地区 $I_D > 1.0$,处于晚成岩阶段 C 期;西部和东南部地区登三段的埋深较大,成岩强度最高, $I_D > 1.2$ 。

2.4 储层孔隙度预测

根据松辽盆地汪家屯地区成岩作用数值模拟的结果和储层实测孔隙度^[19],建立了该地区储层孔隙度与成岩指数 I_D 的相关模型(图 2)。 I_D 与孔隙度相关曲线中的 3 个孔隙度峰值对应着该地区的 3 个次生孔隙发育带。

应用储层孔隙度与成岩指数 I_D 的相关模型,预

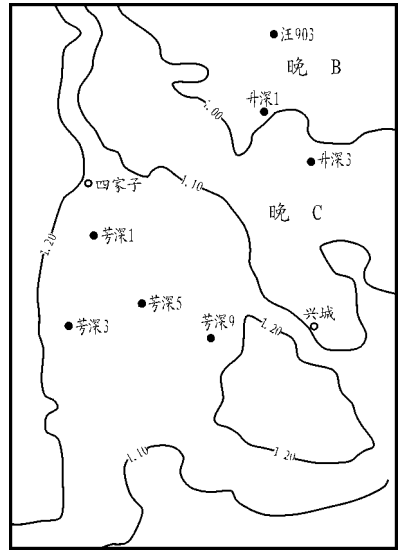


图 1 登三段现今成岩阶段预测图

Fig. 1 Map of predicted diagenetic stages for K_1d^3 at present

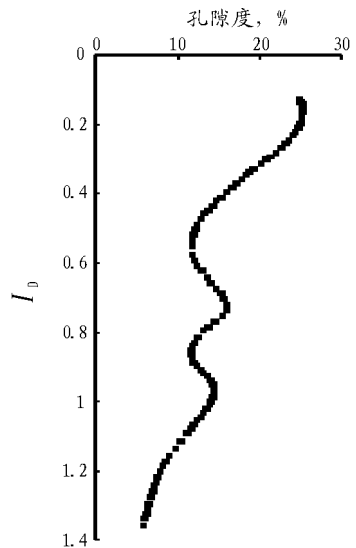


图 2 成岩指数 I_D 与孔隙度关系曲线

Fig. 2 Relationship between reservoir porosity and diagenetic index I_D

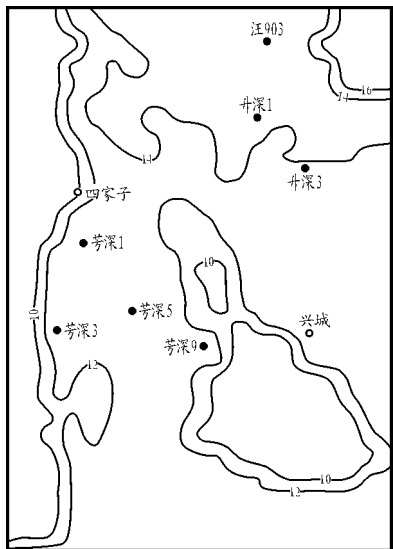


图 3 登三段预测孔隙度(%)等值图

Fig.3 Contour map of predicted porosity (%) for K₁d³

测了松辽盆地汪家屯地区登三段储层的孔隙度。图3是松辽盆地汪家屯地区登三段 K₁d³ 储层孔隙度最大值的等值线。在油气田勘探、开发中,除了孔隙度最大值之外,地质家还需要了解储层孔隙度的中值。孔隙度中值指的是同一深度下储层实测孔隙度的平均值,孔隙度中值约为孔隙度最大值的 1/2。由图可见,登三段储层孔隙度高值区主要分布在汪家屯地区的东北部,孔隙度最高值可达 14%~ 16% 以上,孔隙度中值为 7%~ 8%。在东部断陷的中央及西部边界地区,由于地层埋藏深、成岩作用强,物性相对较差,孔隙度最大值为 10%~ 12%,孔隙度中值在 5%~ 6% 之间。预测结果与储层孔隙度的实测值符合较好,预测误差 < 2%。试油资料也表明,位于储层有利区内的井具有较高的产能,例如升深 1 井登三段内发现了工业油气流,日产气 166 883 m³。

3 结论

1) 碎屑岩储层孔隙度主要受沉积相和成岩作用的影响与控制。在沉积相相同或储层岩性相近的情况下,孔隙度主要与成岩作用有关。

2) 松辽盆地汪家屯地区东北部登三段的成岩作用相对较弱,储层孔隙度较高,最大孔隙度可达 14%~ 16%,孔隙度中值在 7%~ 8% 以上,是储层发育的有利地区。

参考文献:

1 Schmoker J M, Hester T C. Regional trends of sandstone porosi-

ty vs vitrinite reflectance—a preliminary framework [A]. In: Applications of Thermal Maturity Studies to Energy Exploration [C]. Rocky Mountain Section of SEMP, 1990. 53~ 60

2 Bloch S, Lander R H, Bonnell L. Anomalously high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: origin and predictability [J]. AAPG Bull, 2002, 86(2): 301~ 328

3 Byrnes A P. Empirical methods of reservoir quality prediction [A]. In: Reservoir Quality Assessment and Prediction in Clastic Rocks [C]. SEPM Short Course 30, 1994. 10~ 21

4 Bloch S, Helmod K P. Approaches to predicting reservoir quality in sandstones [J]. AAPG Bull, 1995, 79: 97~ 115

5 Kupecz J A, Gluyas J, Bloch S. Reservoir quality prediction in sandstones and carbonates: an overview [A]. In: Reservoir Quality Prediction in Sandstones and Carbonates [C]. AAPG Memoir 69, 1997. 19~ 28

6 Lander R H, Walderhang O. Reservoir quality prediction through simulation of sandstone compaction and quartz cementation [J]. AAPG Bull, 1999, 83: 433~ 439

7 Paxton S T, Szabo J O, Ajdukiewicz J M, et al. Construction of an intergranular volume compaction curve for evaluating and predicting compaction and porosity loss in rigid-grain sandstone reservoirs [J]. AAPG Bull, 2002, 86(12): 2 047~ 2 069

8 罗平, 贾爱林, 王雪松等. 中国油气储层地质研究现状与发展前瞻 [A]. 见: 油气储层重点实验室论文集 [C]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 1~ 31

9 朱国华. 碎屑岩储集层孔隙的形成、演化和预测 [J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 114~ 121

10 寿建峰, 朱国华. 砂岩储层孔隙保存的定量预测研究 [J]. 地质科学, 1998, 33(2): 244~ 249

11 Smosna R, Bruner K R. Depositional controls over porosity development in lithic sandstones of the Appalachian Basin: reducing exploration risk [A]. In: Reservoir Quality Prediction in Sandstones and Carbonates [C]. AAPG Memoir 69, 1997. 249~ 265

12 Anjos S M C, De Ros L F, De Souza R S, et al. Depositional and diagenetic control on the reservoir quality of Lower Cretaceous Pendencia sandstones, Potiguar rift basin, Brazil [J]. AAPG Bull, 2000, 84 (11): 1 719~ 1 742

13 袁恽楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 147~ 217

14 刘俊. 松辽盆地南部影响储油物性因素的初步分析 [J]. 石油实验地质, 1982, 4(2): 121~ 124

15 白玉润. 松辽盆地南部扶余—新立地区扶余油层成岩作用初步研究 [J]. 石油实验地质, 1987, 9(2): 151~ 155

16 杨明达, 杨明辉, 刘鸿友等. 松辽盆地南部海坨子地区姚家组二、三段沉积微相研究 [J]. 石油实验地质, 2002, 24(4): 348~ 353

17 杨桂芳, 卓胜广, 滕玉洪等. 松辽盆地砂岩中成岩次生矿物特征 [J]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 517~ 522

18 肖玉茹, 何峰煜. 高分辨层序地层学在储层预测中的应用 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 169~ 173

19 肖丽华, 孟元林, 侯创业等. 松辽盆地升平地区深层成岩作用数值模拟与次生孔隙带预测 [J]. 地质论评, 2003, 49(5): 544~ 551

20 孟元林, 肖丽华, 杨俊生等. 成岩作用过程综合模拟及其应用 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 211~ 215

- 21 杨俊生, 孟元林, 张洪等. 石英胶结作用化学动力学模型及应用[J]. 石油实验地质, 2002, 24(4): 372~376
- 22 赵澄林, 刘孟惠. 东濮凹陷下第三系碎屑岩沉积体系与成岩作用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992

STUDY ON PREDRILLING RESERVOIR QUALITY PREDICTION

—TAKING WANGJIATUN REGION, THE SONGLIAO BASIN AS AN EXAMPLE

Qu Aiyong^{1,2}, Meng Yuanlin^{1,3}, Xiao Lihua³,
Ying Xiulan⁴, Yang Junsheng¹, Li Chen³, Luo Xianying¹

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Institute of Petroleum Exploration and Development, Liaohe Oil Field, PetroChina, Panjin, Liaoning 124010, China;*

3. *Qinhuangdao Branch, Daqing Petroleum College, Qinhuangdao, Hebei 066004, China;*

4. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)*

Abstract: Pre-drilling reservoir quality prediction includes porosity prediction and permeability prediction. The porosity of clastic rock reservoirs is determined by both sedimentary facies and diagenesis. But for the same sedimentary facies or the similar lithology, the porosity of reservoirs is mainly controlled by diagenesis. According to this, a model of porosity prediction for clastic rock reservoirs using diagenetic index I_D was established, with the predicting error of less than 2%. The Deng-3 Member (K_1d^3) in Wangjiatun region, the Songliao Basin was taken as an example to illustrate the application of this model. The reservoirs were composed of lithic arkose and feldspathic litharenite, and were deposited in shallow river facies. At present, the reservoirs in northeastern Wangjiatun region are in the late diagenetic stage B, with the maximum porosity of 14%–16%; and the reservoirs in western Wangjiatun region are in the late diagenetic stage C, with poorer reservoir petrophysical properties and the maximum porosity of 10%–12%.

Key words: reservoir quality prediction; diagenesis; deep horizon; porosity; diagenetic modelling; the Songliao Basin