

文章编号: 1000-0550(2011)06-1023-08

松辽盆地北部泉头组三、四段储层质量预测^①

孟元林¹ 焦金鹤¹ 田伟志¹ 解习农² 吴河勇³ 王成³
姜文亚⁴ 王又春¹ 肖丽华¹

(1. 东北石油大学 黑龙江大庆 163318; 2. 中国地质大学(武汉) 武汉 430074;

3. 中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712; 4. 中国石油大港油田分公司勘探开发研究院 天津 300280)

摘要 为了预测松辽盆地北部泉头组三、四段低渗透储层的质量,首先将碎屑岩的成岩作用细分为早成岩阶段 A、早成岩阶段 B 期、中成岩阶段 A₁ 亚期、中成岩阶段 A₂¹、A₂²、中成岩阶段 B 期。统计结果表明,成岩作用对储层的物性和含油性具有明显的控制作用,处于中成岩阶段 B 期的任何沉积相的砂体均不能产出工业油气流,在中成岩阶段 A₂ 只有主河道砂体的孔隙度才高于工业油气储层的孔隙度下限。应用成岩作用数值模拟技术,预测了松辽盆地北部泉三、四段的成岩阶段。泉三、四段储层的质量是沉积相和成岩作用综合影响的结果,通过叠合沉积相图和成岩阶段预测图,预测了泉四段储层类型和质量的平面分布。泉四段工业油气流井主要分布在中央坳陷 III₃、III₄ 以及 III₅ 类储层发育区,这些区域将成为松辽盆地北部泉四段下一步的有利勘探区。

关键词 成岩作用 成岩模拟 低渗透储层 储层质量预测 松辽盆地

第一作者简介 孟元林 男 1961 年出生 博士 教授 储层与石油地质 E-mail: qhdmyl@163.com

中图分类号 TE122.2 **文献标识码** A

松辽盆地北部泉头组三段和四段是一套河—湖相的红色极细砂岩和细砂岩,具有单层厚度小、埋藏深、成岩作用强、物性差、产能低的特征^[1-8]。经过几十年的油气勘探,在松辽盆地北部中央坳陷东部地区的泉三、四段中已发现了工业油气流,并形成含油连片区,而在中央坳陷的西部地区,泉三、四段的勘探成果甚微,仅在坳陷的边部发现了工业油气流。因此,全面评价与预测松辽盆地泉三、四段储层的质量,在普遍低孔、低渗的背景下,寻找物性相对较好的优质储层,就成为松辽盆地泉三、四段勘探和开发亟待解决的问题^[1,7,8]。虽然前人讨论了成岩作用对储层物性和含油性的影响^[2-6],但在实际勘探中,人们仍主要应用层序地层学的方法预测有利的沉积相带和砂体,并以此预测油气聚集的有利地区^[7,8]。本文试图综合考虑沉积相和成岩作用对储层质量的影响,应用成岩作用数值模拟技术,结合层序地层学和沉积相的研究成果,通过叠合沉积相图和成岩阶段预测图,预测松辽盆地北部泉三、四段储层的质量,为油气田的勘探开发提供科学的依据。

1 地质概况

松辽盆地位于我国东北部,是一个中生代沉积

盆地,自下而上依次发育白垩系、古近系、新近系和第四系。白垩系厚度最大,是松辽盆地勘探开发的主要目的层段,自下而上分为火石岭组(K_{1h})、沙河子组(K_{1sh})、营城组(K_{1yc})、登娄库组(K_{1d})、泉头组(K_{2q})、青山口组(K_{2qn})、姚家组(K_{2y})、嫩江组(K_{2n})、四方台组(K_{2s})和明水组(K_{2m})。盆地具有典型的下断上拗的双层结构,早白垩世登娄库期之前为盆地的断陷演化阶段,泉头期—嫩江期为盆地的拗陷演化阶段,沉积了三套深湖、半深湖相泥岩与滨浅湖—河流相砂岩,形成了盆地的主要生、储油层^[1,8]。盆地内划分了五个含油气组合,扶余油层和杨大城子油层属于下部组合,分别发育于泉头组四段(K_{2q4})和泉头组三段(K_{2q3}),简称泉三、四段,其油源主要来自中央坳陷上覆青山口组泥岩^[8]。为了从整体上研究松辽盆地北部泉三、四段的沉积特征和油气聚集规律,胡明毅等(2008)根据松辽盆地北部所有的钻井和地震资料,在泉三段内部统一划出 Q3~Sq1、Q3~Sq2、Q3~Sq3、Q3~Sq4、Q3~Sq5 五个四级层序,泉四段内部自下而上划出 Q4~Sq1、Q4~Sq2、Q4~Sq3 三个四级层序。各层序从盆地边部到中心,依次发育冲积扇、辫状河、曲流河、三角洲平原、三角洲前缘和

①国家自然科学基金项目(批准号:40872076)资助。
收稿日期:2010-12-09; 收修改稿日期:2011-01-04

滨浅湖相(参见图4)。根据中浅层的构造和地层特征,结合深层构造和基底性质,将松辽盆地划分为北部倾没区、西部斜坡区、中央坳陷区、东北隆起区、东南隆起区等几个一级构造单元(图1)^[8]。

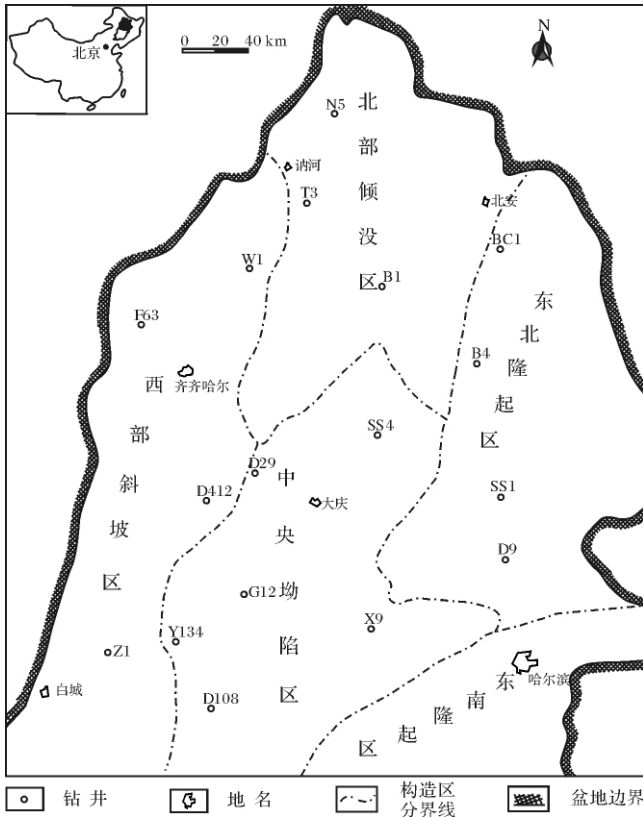


图1 松辽盆地北部构造单元划分

Fig. 1 Structural units of the Northern Songliao Basin

2 储层基本特征

泉三、四段碎屑岩储层以长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩为主。1108口井的薄片镜下鉴定结果表明,石英碎屑颗粒、长石碎屑颗粒和岩屑的平均含量分别为28%、41%、31%,岩屑以中酸性喷发岩为主,占岩屑总量的80%以上;储层的填隙物主要为方解石和泥质,其次为自生石英、长石和少量浊沸石及铁质胶结,填隙物总量主要分布在9%~19%之间,平均16%。11506件粒度分析资料表明,砂岩粒度较细,主要为细砂岩和极细砂岩,分选程度差一中。

由于松辽盆地北部泉三、四段储层埋深和成岩强度的差异,储层物性在横向上差异很大。泉三、四段在中央坳陷埋藏较深,目前已进入中成岩阶段B期,泉三、四段储层孔隙度分布平均为10.09%,渗透率平均为 $2.77 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要为低孔特低渗储层;但在东北隆起区埋藏较浅,目前只有几百米,仍处于早

成岩阶段A期^[6],泉三、四段储层孔隙度平均为21.54%,渗透率平均为 $206.79 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要为中孔中渗储层。由此可见,通过研究泉三、四段成岩强度在平面上的分布规律,结合层序地层学和沉积相的研究成果,就可以确定有利储层的发育区,为油气勘探提供科学的依据。

3 泉三、四段成岩相细分

松辽盆地是一个大型陆相坳陷盆地,地层平缓,埋深和成岩强度横向变化小,如果按照现行的成岩阶段划分规范^[9],在横向上很大范围内同一层位所处的成岩阶段基本没有太大变化,难以详细定量研究成岩作用与储层物性的关系。因此,本文应用松辽盆地北部泉三、四段的所有实测数据,进一步细划了成岩阶段,各成岩阶段的主要成岩特征详见表1。与以往成岩阶段划分不同的是,本文将中成岩阶段 A_2 亚期以生油高峰为界,进一步细分为 A_2^1 和 A_2^2 。在中成岩阶段 A_2^1 , $0.7\% \leq R_o < 1.0\%$,烃源岩处于大量生烃的成熟阶段,在生成油气的同时,生成大量有机酸,有机酸进入储层之后,强烈溶蚀储层,形成次生孔隙发育带。在中成岩阶段 A_2^2 , $1.0\% \leq R_o < 1.3\%$,烃源岩在达到生油高峰之后,液态烃生成量出现了减少的趋势,而干酪根杂原子键的断裂过程也基本结束,有机酸生成量较少。此外,由于地温的升高,有机酸被裂解为 CO_2 和水,地层水中的有机酸浓度降低,溶蚀作用减弱,胶结作用增强,储层孔隙度降低。在2350m以下,孔隙度一般小于9.00%。这一深度相当于目前松辽盆地北部扶杨油层的勘探深度下限。

4 成岩阶段预测

首先以地震资料和钻井资料为基础,建立了松辽盆地北部的成岩作用数值模拟网络,网络中各模拟点的间距为1km;然后应用我们自编的成岩作用数值模拟系统软件DMS2008^[10,11],模拟了网络中各点不同地质时期古地温 T 、镜质组反射率 R_o 、甾烷异构化指数 $SI(C_{29}S/R+S)$ 、伊/蒙混层中蒙皂石层的含量 $S\%$ 、自生石英含量 $Vq\%$ 随时间的变化规律^[12~16],计算出成岩指数 I_D ^[10,11],得到研究目的层不同地质时期的成岩指数 I_D 等值线。成岩作用数值模拟所需的输入参数与盆地模拟所需的参数相似,主要包括地层的年代、厚度、岩性、矿物成分、剥蚀量、古地表温度、古水深、岩石热导率等,取自前人的研究结果^[8,17]。限于篇幅,本文仅以泉四段Q4~Sq1为例(图2),分

表 1 松辽盆地北部泉三、四段成岩阶段划分及主要标志

Table 1 Diagenetic stage division and the major characteristics of the K_2q^3 and K_2q^4 in the Northern Songliao Basin

成岩阶段	期亚期	I_D	古温度 / $^{\circ}C$	有机质		泥岩 I/S 中的 S/%	地层水有机酸	砂岩中自生矿物											溶解作用	接触类型	主要孔隙类型	深度 /m
				R. /%	SI			V_q /%	蒙皂石	伊蒙混层	高岭石	伊利石	绿泥石	方解石	长石加大	钠长石化	硬石膏	浊沸石				
早成岩	A	0.26	65	0.4	0.2	65															原生孔	400
	B	0.34	85	0.5	0.28	45															点状	900
中成岩	A_1	0.46	100	0.7	0.4	35															次生 原生孔	1300
	A_2^1	0.63	120	1.0	0.47	20																点—线
	A_2^2	0.71	140	1.3	0.56	15															线状	2350
	B	1.0	175	2.0	>0.56	5															线状	>2350

注: I_D 是成岩指数(容后述之); SI 为 C_{29} 甾烷 S/R+S; V_q 代表砂岩中自生石英的含量 %。

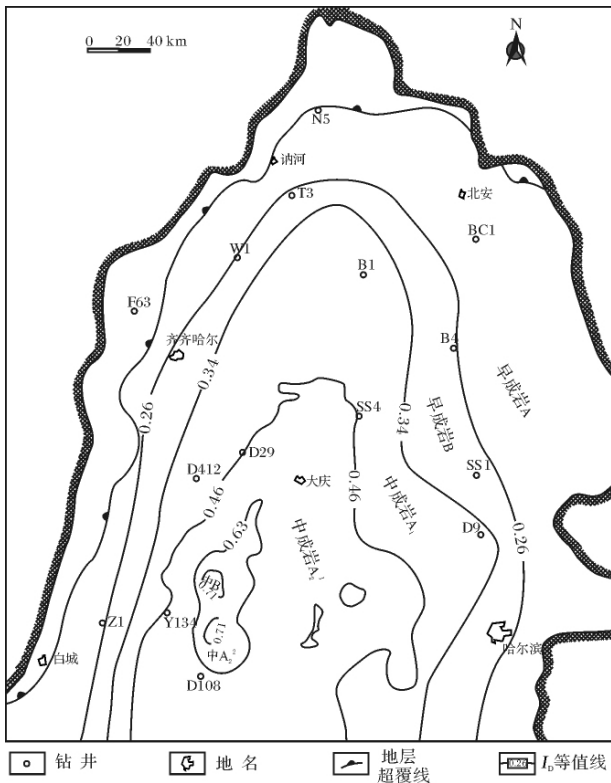


图 2 泉四段 Q4 - sq1 I_D 等值线与成岩阶段预测图
Fig. 2 The isolines of I_D and predicted diagenetic stages of Q4 - sq1 of the Quantou Formation

析成岩阶段的横向变化规律。

成岩阶段的预测结果表明,从盆地边部到中心,随埋深的增加,泉四段 Q4 ~ sq1 的成岩作用增强(图 2)。在盆地边部泉四段 Q4 ~ sq1 埋藏较浅,成岩作用以机械压实和早期胶结作用为主,孔隙类型主要为原生粒间孔。在松辽盆地西部斜坡带的东侧、北部倾没区的南侧、东北隆起区和东南隆起区的西侧,泉四段 Q4 ~ sq1 储层的 $I_D > 0.34$,进入中成岩阶段 A_1 亚期,溶蚀作用增强,次生孔隙开始发育。在中央坳陷区的大部分地区,泉四段 Q4 ~ sq1 目前处于中成岩阶段 A_2^1 , $0.46 \leq I_D < 0.63$,溶蚀作用强烈,次生孔隙大量发育。在中央坳陷西部古龙凹陷的大部分地区和东部三肇凹陷的零星区域,泉四段 Q4 ~ sq1 的成岩作用较强, $0.63 \leq I_D < 0.71$,储层进入中成岩阶段 A_2^2 ,在达到生油高峰之后,有机酸生成量减少,而且由于温度的升高,地层水中的有机酸裂解为 CO_2 和水,溶蚀作用减弱,胶结作用增强,储层物性变差。在盆地中心的深凹区,泉四段 Q4 ~ sq1 成岩作用很强, $I_D > 0.71$,储层进入中成岩阶段 B 期(简称为中 B),有机酸生成量减少,溶蚀作用减弱,溶蚀孔隙较少,胶结作用占主导地位,孔隙类型以缩小粒间孔为主,储层物性很差。

5 储层质量预测

5.1 成岩作用和沉积相对储层质量的影响

人们常用碎屑岩的孔隙度和渗透率表征储层的质量,并根据孔隙度和渗透率的大小对储层分类^[18-21]影响碎屑岩储层孔隙度和渗透率的地质因素主要有沉积相、成岩作用^[18-25]。为了定量研究沉积相和成岩作用对储层质量的影响,本文分成岩阶段统计了泉三、四段不同沉积相储层的孔隙度和渗透率(表2)。表2中的砂岩储层物性分类主要采用了石油与天然气行业标准SY/T 6285—1997《油气储层评价方法》^[18]。并根据松辽盆地扶杨油层的储层物性下限^[8]将低孔隙度砂岩的孔隙度下限调为9.00%。由表2可见:(1)成岩作用对泉三、四段砂岩储层的

物性具有最重要的控制作用。随成岩作用的增强,砂岩储层的物性总体上变差,尤其是当储层进入中成岩阶段B期时,无论什么沉积相的砂体,其孔隙度均小于9.00%,低于扶杨油层砂岩储层的物性下限,难以产出具有工业价值的油气流。另外,同样是发育于水上分流河道的砂体,当它们分别处于早成岩阶段B期、中成岩阶段A₁亚期、中成岩阶段A₂¹、中成岩阶段A₂²和中成岩阶段B时,就分别是中孔中渗(Ⅱ₂)、中孔低渗(Ⅱ₃)、低孔低渗(Ⅲ₃)、低孔超低渗(Ⅲ₅)、特低孔超低渗(Ⅳ₅)类储层。(2)沉积相对泉三、四段砂岩储层物性也有很重要的影响。在同一成岩阶段中,各种主河道砂体的物性比其他类型沉积相砂体的物性更好,例如:处于中成岩阶段A₁亚期砂体的孔隙度由高到低的顺序为:曲流河主河道、水下分流河道、

表2 泉三、四段储层物性影响因素与分类

Table 2 Controls and classification of the reservoir property of the K₂q₃ and K₂q₄

成岩阶段	沉积相	孔隙度/%	渗透率/10 ⁻³ μm ²	物性特征	储层物性分类
早成岩 A	曲流河主河道	28.76(48)	423.72(48)	高孔中渗	I ₂
	曲流河沉积	23.24(20)	343.37(20)	中孔中渗	Ⅱ ₂
	辫状河沉积	18.64(26)	386.21(26)		
早成岩 B	曲流河主河道	24.65(98)	369.81(98)		
	水上分流河道	22.63(122)	316.24(122)		
	曲流河沉积	21.54(81)	43.13(81)	中孔低渗	Ⅱ ₃
	三角洲平原	20.76(66)	38.64(58)		
中成岩 A ₁	曲流河主河道	18.93(78)	46.39(78)		
	水下分流河道	19.62(146)	34.22(146)		
	水上分流河道	16.52(122)	38.87(122)		
	曲流河沉积	17.43(228)	37.4(228)		
	三角洲平原	14.45(158)	26.55(158)	低孔低渗	Ⅲ ₃
	三角洲前缘	13.63(93)	18.38(93)		
中成岩 A ₂ ¹	水上分流河道	14.25(111)	31.43(111)		
	曲流河主河道	13.23(218)	33.47(218)		
	水下分流河道	13.11(73)	21.50(73)		
	曲流河沉积	12.24(181)	8.13(181)	低孔特低渗	Ⅲ ₄
	三角洲平原	11.45(30)	6.37(30)		
	三角洲前缘	10.13(35)	3.52(35)		
中成岩 A ₂ ²	水上分流河道	9.74(111)	0.84(200)	低孔超低渗	Ⅲ ₅
	水下分流河道	9.16(91)	0.68(91)		
	三角洲前缘	8.35(56)	0.22(56)	特低孔超低渗	Ⅳ ₅
	三角洲平原	7.36(74)	0.41(74)		
	中成岩 B	水上分流河道	8.15(135)	0.43(135)	
中成岩 B	水下分流河道	7.63(241)	0.52(241)		
	三角洲平原	6.19(58)	0.17(58)	特低孔非渗	Ⅳ ₆
	三角洲前缘	5.86(64)	0.08(64)		
	中成岩 A ₁	滨浅湖	8.43(19)	0.81(19)	特低孔超低渗
中成岩 A ₂ ¹	滨浅湖	6.71(58)	0.07(58)	特低孔非渗	Ⅳ ₆
中成岩 A ₂ ²	滨浅湖	5.37(153)	0.05(153)		
中成岩 B	滨浅湖	4.14(19)	0.06(19)		

注:① I、II、III、IV 分别代表高、中、低、特低孔隙度,下角标 1、2、3、5、6 分别代表高、中、低、特低、超低、非渗储层;

②表中沉积相的划分引自大庆油田研究院^[8],水上分流河道特指三角洲平原中的骨架部分,以砂质沉积为主;其余部分包括天然堤、决口扇、沼泽和分流间湾,主要为粉砂、粉砂质粘土和粘土沉积,在四级层序中的平面分布难以准确确定,统一用“三角洲平原”一词概之。

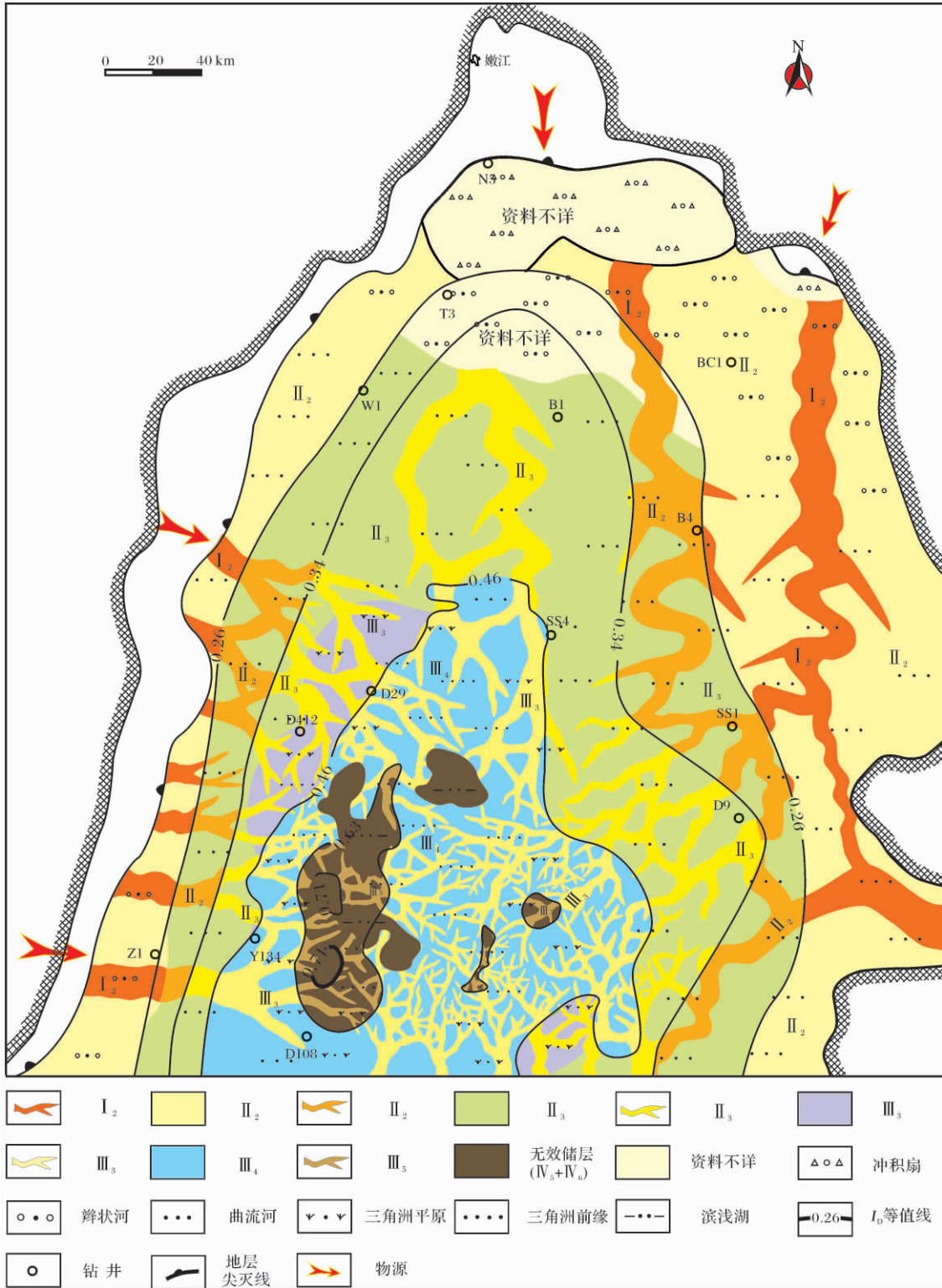


图 3 松辽盆地北部 Q4 ~ Sq1 储层类型与质量预测图

Fig. 3 The reservoir types and quality prediction of the Q4 ~ Sq1 of the Quantou Formation in the Northern Songliao Basin

水上分流河道、曲流河沉积、三角洲平原、三角洲前缘、滨浅湖。而在中成岩阶段 A₂², 只有水上分流河道和水上分流河道砂体的孔隙度大于 9.00%, 能够

产出具有工业价值的油气流。尤其是, 由于滨浅湖相砂体沉积时水动力条件较弱, 粒度较细, 泥质含量较高, 无论处于什么成岩阶段, 储层物性都较差, 低于砂

岩储层工业油流物性下限,属于特低孔超低渗(IV_5)或特低孔非渗(IV_6)储层。(3)储层物性是成岩作用和沉积相综合作用的结果,处于早成岩阶段A期—中成岩阶段B期各种沉积相的砂体,形成了从高孔中渗(I_2)到特低孔非渗(IV_6)的各种砂体。(4)沉积相和成岩作用对储层的物性影响在一定程度上具有互补性,例如:处于早成岩阶段B期的三角洲平原相砂体的物性和处于中成岩阶段A₁亚期曲流河主河道砂体的物性相近,均为中孔低渗型储层(II_3)。

5.2 泉四段储层质量预测

由上可见,泉三、四段砂岩储层的物性主要受成岩作用和沉积相的影响,而且不同沉积相的砂体处于不同的成岩阶段就可以形成各种各样的储层。因此,我们可以认为,沉积相相同且处于相同成岩阶段的砂体,具有相似的物性和相同的储层类型。基于这一基本原理,本文根据泉三、四段已有钻井的储层物性分析数据及其对应的沉积相和成岩阶段(表3),通过叠合沉积相图和成岩阶段预测图(图2),预测了泉四段砂岩不同类型储层的平面分布(图3)。由图可见,从盆地边部到中心,由于埋深和成岩作用的增强,泉四段Q4~Sq1储层的质量或物性逐渐变差,由高孔中渗(I_2)和中孔中渗(II_2)型储层,经低孔低渗(III_3)、低孔特低渗(III_4)、低孔超低渗(III_5),到特低孔超低渗(IV_5)和特低孔非渗(IV_6),其中特低孔储层(IV_5 、 IV_6)的孔隙度 $<9.00\%$,低于扶杨油层的物性下限,难以产出具工业价值的油气流,在此我们将其合称为不利储层,或无效储层。它们分布在中成岩阶段A₂²的非主河道砂体、中成岩阶段B的各种砂体和所有滨浅湖相砂体,主要位于中央坳陷区的西部地区。这些地区的埋深较大、成岩作用较强,而且处于湖盆的中心,沉积时水动力较弱。目前,泉四段Q4~Sq1已发现了工业油流的井主要分布在低孔低渗(III_3)和低孔特低渗(III_4)储层发育区,大多数位于中央坳陷区的东部和大庆长垣地区。由此可以推论,在中央坳陷区其他地区,如果有 III_3 、 III_4 类储层发育,也可能发现工业油流。于是,中央坳陷区的 III_3 、 III_4 以及 III_5 类储层就理当成为泉三、四段下一步勘探有利地区。尽管I、II类储层物性较好,但主要分布在盆地边部的东北隆起区、东南隆起区、西部斜坡区和北部倾没区,离油源较远(图3),也没有发现工业油流。而位于盆地中央坳陷区东部的 III_5 类储层,离油源最近,虽然物性较差,但仍可能发现工业油流,成为中央坳陷西部地区勘探的有利目标。

6 结论

(1) 泉三、四段碎屑岩的成岩作用可进一步细划为早成岩阶段A期、早成岩阶段B期、中成岩阶段A₁亚期、中成岩阶段A₂¹、中成岩阶段A₂²和中成岩阶段B期,在中成岩阶段A₂²只有主河道砂体的孔隙度才大于 9.00% ,可以产出工业油气流,在成岩阶段B期无论什么沉积相的砂体,均难以产出工业油流。

(2) 从盆地边部到中心,泉四段Q4~Sq1储层依次处于早成岩阶段A期、早成岩阶段B期、中成岩阶段A₁亚期、中成岩阶段A₂¹、中成岩阶段A₂²和中成岩阶段B期,纵向上相邻的成岩阶段横向上也相邻。

(3) 通过叠合沉积相图和成岩阶段预测图可以预测各类不同物性储层的平面分布,泉三、四段工业油流井主要分布在中央坳陷低孔低渗(III_3)、低孔特低渗(III_4)以及低孔超低渗(III_5)储层发育区,这些区域将成为松辽盆地北部泉四段下一步的有利勘探区。

参考文献(References)

- 1 吴河勇,梁晓东,向才富,等. 松辽盆地向斜油藏特征及成藏机理探讨[J]. 中国科学D辑:地球科学,2007,37(5):185-191 [Wu Heyong, Liang Xiaodong, Xiang Caifu, et al. Discussion on the syncline reservoir characteristics and forming mechanism of the Songliao Basin [J]. Science in China, Series D: Earth Sciences, 2007, 37(5): 185-191]
- 2 闫建萍,刘池阳,马艳萍. 成岩作用与油气侵位对松辽盆地齐家-古龙凹陷扶杨油层物性的影响[J]. 沉积学报,2009,27(2):212-220 [Yan Jianping, Liu Chiyang, Ma Yanping. Influence of diagenesis and hydrocarbon emplacement on the quality of the Fuyang reservoir in Songliao Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(2): 212-220]
- 3 孟元林,王建伟,吴河勇,等. 松辽盆地北部中浅层成岩作用及其对储层质量的影响[J]. 矿物岩石地球化学通报,2010,29(3):217-226 [Meng Yuanlin, Wang Jianwei, Wu Heyong, et al. The diagenesis and its effects on reservoir quality of middle-shallow reservoirs in the northern Songliao Basin [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2010, 29(3): 217-226]
- 4 孟元林,潘雪梅,吴河勇,等. 松辽盆地北部中浅层含油饱和度和孔隙度的关系与油气侵位对成岩作用的抑制[J]. 矿物岩石地球化学通报,2010,29(1):11-16 [Meng Yuanlin, Pan Xuemei, Wu Heyong, et al. Porosity and oil saturation correlation and diagenetic retardation of sandstone by hydrocarbon emplacement in the shallow-middle strata of the northern Songliao Basin [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2010, 29(1): 11-16]
- 5 刘媛,朱筱敏,张思梦,等. 松辽盆地北部三肇凹陷下白垩统泉头组4段储集层成岩作用及孔隙演化[J]. 古地理学报,2010,12

- (4): 480-488 [Liu Yuan, Zhu Xiaomin, Zhang Simeng, *et al.* Diagenesis and porosity evolution of Quantou Fm. (lower Cretaceous) in Sanzao Sag of the northern Songliao basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2010, 12(4): 480-488]
- 6 孟元林,高煜婷,吴河勇,等. 松辽盆地北部中浅层区域成岩规律及影响因素[J]. *古地理学报*, 2010, 12(1): 97-106 [Meng Yuanlin, Gao Yuting, Wu Heyong, *et al.* Regional diagenetic regularity and controlling factors of middle-shallow horizons in the northern Songliao Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2010, 12(1): 97-106]
 - 7 赵应成,王天琦,田光荣,等. 低渗透油田富集区预测技术研究——以松辽盆地扶扶油层为例[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(1): 21-26 [Zhao Yingcheng, Wang Tianqi, Tian Guangrong, *et al.* Prediction technique study for hydrocarbon-rich areas in low permeable oil field: A case on Fuyang reservoir in Songliao Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 19(1): 21-26]
 - 8 侯启军,冯志强,冯子辉. 松辽盆地陆相石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 277-328 [Hou Qijun, Feng Zhiqiang, Feng Zihui. *Continental Petroleum Geology of the Songliao Basin* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 277-328]
 - 9 应凤祥,何东博,龙玉梅,等. SY/T5477-2003. 中华人民共和国石油天然气行业标准并碎屑岩成岩阶段划分[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 1-5 [Ying Fengxiang, He Dongbo, Long Yumei, *et al.* SY/T5477-2003. The Division of Diagenetic Stages in Clastic Rocks (Petroleum Industry Criterion in P. R. C.) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 1-5]
 - 10 Meng Y L, Yang J S, Xiao L H, *et al.* Diagenetic evolution modeling system and its application [C] // Hao D H, Niu S Y, Liu Y M, eds. *Treatises of X III Kerulien International Conference of Geology*. Shijiazhuang: Shijiazhuang University of Economics, 2001: 25-27
 - 11 孟元林,姜文亚,刘德来,等. 储层孔隙度预测与孔隙演化史模拟——以辽河拗陷双清地区为例[J]. *沉积学报*, 2008, 26(5): 780-788 [Meng Yuanlin, Jiang Wenya, Liu Delai, *et al.* Reservoir porosity prediction and its evolving history modeling: a case of Shuangqing region in the Liaohe West Depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(5): 780-788]
 - 12 肖丽华,孟元林,王建国,等. 碎屑岩成岩温度的数值模拟和成岩阶段的预测[J]. *中国海上油气(地质)*, 1995, 9(6): 389-394 [Xiao Lihua, Meng Yuanlin, Wang Jianguo, *et al.* Modeling of diagenetic temperature and lateral prediction of diagenetic stages for clastic rocks [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 1995, 9(6): 389-394]
 - 13 Sweeny J J, Burham A K. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics [J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(10): 1559-1570
 - 14 McKenzie D, Mackenzie A S, Maxwell J R, *et al.* Isomerization and aromatization of hydrocarbons in stretched sedimentary basins [J]. *Nature*, 1983, 301: 504-506
 - 15 孟元林,黄文彪,王粤川,等. 超压背景下粘土矿物转化的化学动力学模型及应用[J]. *沉积学报*, 2006b, 24(4): 461-467 [Meng Yuanlin, Huang Wenbiao, Wang Yuechuan, *et al.* A kinetic model of clay mineral transformation in overpressure setting and its applications [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(4): 461-467]
 - 16 Walderhaug O. Modeling quartz cementation and porosity in Middle Jurassic Brent Group sandstones of the Kvitebjørn Field, Northern North Sea [J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(9): 1325-1339
 - 17 Zhou Y S, Littke R. Numerical simulation of the thermal maturation, oil generation and migration in the Songliao Basin, Northeastern China [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1999, 16(8): 771-792
 - 18 赵澄林,胡爱梅,陈碧珏,等. SY/T 6285-1997. 中华人民共和国石油与天然气行业标准并油气储层评价方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 8-9 [Zhao Chenglin, Hu Aimei, Chen Biyu, *et al.* SY/T 6285-1997. Evaluating Methods of Oil and Gas Reservoirs (Petroleum Industry Criterion in P. R. C.) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 8-9]
 - 19 应凤祥,罗平,何东博,等. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩作用数值模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 61-76 [Ying Fengxiang, Luo Ping, He Dongbo, *et al.* Diageneses and Numerical Modeling in Chinese Petroliferous Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 61-76]
 - 20 袁锋楠,薛叔浩,应凤祥,等. 中国陆相油气储集层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 147-217 [Qiu Yinan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang. *Continental Hydrocarbon Reservoir of China* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 147-217]
 - 21 Kupecz J A, Gluyas J and Bloch S. Reservoir Quality Prediction in Sandstones and Carbonates: An Overview [M]. *AAPG Memoir*, 1997, 69: VII-X XIV
 - 22 Stacy A C, Ball N H, Hunt L E. Reservoir characterization and facies prediction within the Late Cretaceous Doe Creek Member, Valhalla field, west-central Alberta, Canada [J]. *AAPG Bulletin*, 2009, 94(1): 1-25
 - 23 Ma Y Z, Seto A, Gomez E. Depositional facies analysis and modeling of the Judy Creek reef complex of the Upper Devonian Swan Hills, Alberta, Canada [J]. *AAPG Bulletin*, 2009, 93(9): 1235-1256
 - 24 Zhu X M, Chen H Q, Zhong D K, *et al.* Mechanism of secondary pore formation and prediction of favorable reservoir of paleogene in Jiyang Sag, Eastern China [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 2008, 19(6): 675-684
 - 25 史基安,王金鹏,毛明陆,等. 鄂尔多斯盆地西峰油田三叠系延长组6-8段储层砂岩成岩作用研究[J]. *沉积学报*, 2003, 21(3): 373-380 [Shi Ji'an, Wang Jinpeng, Mao Minglu, *et al.* Reservoir sandstone diagenesis of Member 6 to 8 in Yanchang Formation (Triassic), Xifeng Oilfield, Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(3): 373-380]

Reservoir Quality Prediction of the Member 3 and Member 4 of the Quantou Formation in the Northern Songliao Basin

MENG Yuan-lin¹ JIAO Jin-he¹ TIAN Wei-zhi¹ XIE Xi-nong² WU He-yong³ WANG Cheng³
JIANG Wen-ya⁴ WANG You-chun¹ XIAO Li-hua¹

(1. Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318; 2. China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074;

3. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oil Field Company Ltd, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163712;

4. Scientific and Technical Information Division, Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280)

Abstract To predict the quality of the low permeability reservoir of the Member 3 and Member 4 of the Quantou Formation in the Northern Songliao Basin, the diageneses of the clastic rocks were divided into early diagenetic stage A, early diagenetic stage B, middle diagenetic stage A₁, middle diagenetic stage A₂¹, middle diagenetic stage A₂² and middle diagenetic stage B. The results of the statistical data show that diageneses have apparent controls on the physical property and oil saturation of the reservoirs, and the sand bodies of any sedimentary facies can not produce commercial oil and gas flows in middle diagenetic stage B, and only the porosity of main river channel sand bodies is higher than the porosity cutoff of commercial oil and gas reservoir. The diagenetic stages of the Member 3 and Member 4 of the Quantou Formation in the northern Songliao Basin were predicted using diagenetic numerical modeling technology. The reservoir quality of the Member 3 and Member 4 of the Quantou Formation is the result of integrated effects of sedimentary facies and diageneses. The reservoir types and quality distribution of the Member 4 of the Quantou Formation laterally were predicted by overlap the sedimentary facies map on the diagenetic stage prediction map. The commercial oil and gas well mainly located in the reservoirs of type III₃, III₄ and III₅ in Central Depression of the northern Songliao Basin, where will be the potential exploration area of the Member 4 of the Quantou Formation in the basin.

Key words diagenesis; diagenetic modeling; low permeability reservoir; reservoir quality prediction; Songliao Basin