

文章编号: 1000-0550(1999)04-0591-05

东北晚中生代断陷盆地储层次生孔隙形成机制^①

李捷 王海云

(大庆石油学院勘探系 黑龙江安达市 151400)

摘要 次生孔隙在东北晚中生代断陷盆地 J_3-K_1 储层中占有很大比例, 主要类型为粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔、胶结物内溶孔和裂缝等。通过对二连、海拉尔、松辽等东北主要含油气断陷盆地储层次生孔隙的研究, 总结出其形成机制主要有四种: 1. 与泥岩有机质热演化有关; 2. 与地表水和地下水的渗滤作用有关; 3. 与晚期火山活动有关; 4. 与构造作用和成岩作用有关。明确了寻找次生孔隙发育带的方向为: 1. 成岩强度为早成岩阶段 B 亚期和晚成岩阶段 A、B 亚期的砂岩段中; 2. 沉积间断面附近; 3. 地温较高地段岩浆热液影响附近; 4. 在致密砂岩、泥岩和基岩中寻找裂缝发育带。

关键词 断陷盆地 储层 次生孔隙

第一作者简介 李捷女 1963 年出生 博士 教授 沉积学

中图分类号 P618.130.2⁺1 **文献标识码** A

1 前言

次生孔隙在东北晚中生代断陷盆地 J_3-K_1 储层中占有很大比例^[1]。了解次生孔隙的形成机制, 对有利孔隙带的预测有重要意义。储层中次生孔隙的主要类型为粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔、胶结物内溶孔和裂缝等, 其形成机制主要有四种, 现分述如下:

2 与泥岩有机质热演化有关

R C Surlam 和 L J Crossey 等的实验表明, 在进入生油窗之前, 热降解作用首先使干酪根脱离其外部的含氧官能团(羧基、酮基和酚), 从而形成大量的有机酸, 80 ~ 120 °C, 有机酸浓度最高。当这些水溶性有机酸随孔隙流体从生油岩中排出进入储层砂岩之后, 对不稳定组分进行溶蚀, 便形成了次生孔隙。这一过程主要发生在有机质低成熟—成熟阶段。

东北深层大部分次生孔隙主要发育在晚成岩 A 亚期, 其次为早成岩 B 亚期和晚成岩 B 亚期, 这与有机质的热成熟演化有关, 与有机酸的析出阶段相吻合^[2]。由此机制形成的次生溶蚀孔隙发育深度见表 1, 储层成岩演化阶段与埋藏深度见表 2, 部分盆地孔隙度与深度关系见图 1。

3 与大气水、地表水渗滤作用有关

这种机制形成的次生孔隙在海拉尔盆地乌尔逊断陷北部及开鲁盆地陆西凹陷马家铺高垒带均可见。它们的分布除了受沉积间断的直接控制外, 与物源区的成份也有关, 由局部的花岗岩物源形成的长石砂岩类储层的条件明显优于火山岩和沉积岩物源为主形成的长石岩屑砂岩和岩屑砂岩。埋藏达足够深度后, 由于有机酸析出形成的次生孔隙的叠加, 可进一步改善孔渗性。

陆西 500 ~ 700 m 和陆东 500 ~ 900 m 的浅部次生孔隙发育带的形成与此机制有关^[2]。早期菱铁矿的褐铁矿化, 电镜下可见晶体完好的褐铁矿与高岭石共同充填于粒间孔隙中。高岭石在包 1 井中最为发育, 充填于孔隙中, 高岭石和微晶石英、长石溶蚀残余共生, 说明其形成与长石矿物在酸性大气水渗滤作用下的溶蚀有关。另外, 碳酸盐稳定同位素分析数据表明, 样品中的方解石、白云石属于“重碳成岩矿物”, 与形成甲烷的生物化学过程中重碳平衡有关(Hudson, 1977)。而 $\delta^{14}O$ 明显偏负较合理的解释是水下扇在其形成时, 由于湖面下降而暴露, 受贫¹⁴O的天水影响, 甚至可以有土壤化过程。陆西凹陷马家铺高垒带, 在晚侏罗世经历多次构造抬升

① 黑龙江省科委自然科学基金项目(199807)资助

② 谭时勇, 肖乾华, 李喜海等. 陆家堡坳陷上侏罗统储层研究, 辽河石油勘探开发研究院, 1993

收稿日期: 1998-03-16 收修稿日期: 1998-09-08

表 1 东北晚中生代断陷盆地 J₃-K₁ 砂岩储层次生孔隙带发育深度

Table 1 The depth of the secondary pore zones in the late Mesozoic Era down-faulted basins in the northeast of China

盆地	松辽盆地	开鲁盆地	二连盆地	海拉尔盆地	德惠断陷	梨树断陷
次生孔隙带发育深度 /m	1 300~1 500 1 800~2 200 2 700~3 200	陆西: 1 000± 陆东: 1 600~ 2 000	1 500~2 300	1 000~2 500	2 000~2 400	1 000~2 000

表 2 东北晚中生代断陷盆地砂岩成岩阶段与埋藏深度

Table 2 The relationship between diagenetic stages and buried depth in late Mesozoic Era down-faulted basins in the northeast of China

埋深 / 成岩阶段	早成岩阶段		晚成岩阶段		C 亚期
	A 亚期	B 亚期	A 亚期	B 亚期	
海拉尔盆地	< 900	900~1 000	1 000~2 500	> 2 500	
二连盆地	阿南凹陷	< 800	800~1 500	1 500~2 300	> 2 300
	阿北凹陷	< 500	500~900	900~1 900	> 1 900
	巴音都兰凹陷	< 1 000	1 000~1 300	1 300~1 800	> 1 800
	赛汉塔拉凹陷	< 800	800~1 400	1 400~2 200	> 2 200
	吉尔嘎朗图凹陷	< 600	600~1 000	1 000~1 800	> 1 800
	乌里雅斯太凹陷	< 500	500~1 000	1 000~1 800	> 1 800
	额仁淖尔凹陷	< 600	600~1 000	1 000~1 800	> 1 800
松辽盆地	< 1 000		1 000~2 200	2 200~2 700	> 2 700
开鲁盆地	陆东凹陷	< 1 400	1 400~2 300	> 2 300	
	陆西凹陷	57~1 400	600~1 190	630~2 200	
梨树断陷	< 500		600~1 700	1 700~3 500	> 3 500
德惠断陷	< 800		800~2 500	2 500~3 200	> 3 200

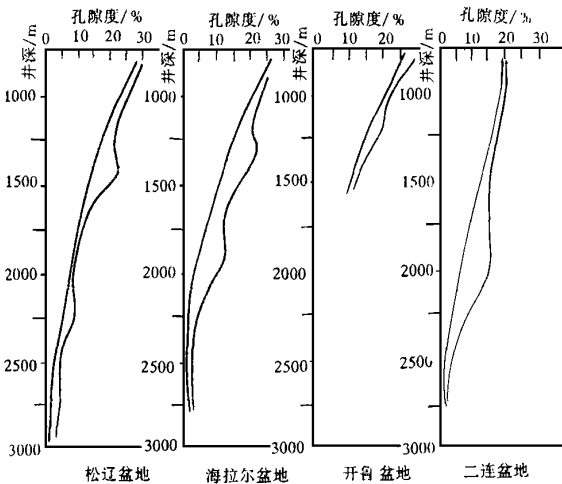


图 1 东北部分含油气盆地孔隙度与深度关系图
Fig. 1 The relationship between porosity and depth in some down-faulted basins of northeastern China

伯吐凸起的不断抬升, 构造断裂十分发育, 成为天水渗滤溶蚀发育的有利地带。

又如海拉尔盆地乌 101 井南上段, 砂岩层占 94%, 暗色泥岩厚度仅占 0.3%。下伏的南下段地层则为砂砾岩, 不见暗色泥岩发育。而包 101 井的南上段砂岩中发育很好的次生孔隙, 最高渗透率可达 $409 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$ 。此带次生孔隙的发育显然与该剖面上泥岩有机质的演化无关^①。从孔隙度与深度的关系上发现乌尔逊断陷北部各井和乌南洼地乌 5 井的次生孔隙在剖面上的分布均集中在一定的深度带。而且在距离 T₂ 或 T₂² 界面以下 100~200 m 范围内。此外在薄片和地球化学分析中, 还发现了一系列与大气水、淡水成岩作用有关的岩石学标志和

和暴露。同样, 包日温都断裂构造带由于其南侧舍

① 杨宝星. 内蒙古自治区海拉尔盆地原大磨拐河组的成岩作用和孔隙演化研究. 大庆石油管理局勘探部, 1990, 66~70

表 3 海拉尔盆地褐铁矿化现象分布的深度

Table 3 The distribution depth of limonitization in Hailaer basin

井号	层位	井深/m	菱铁矿的产状及氧化状况
乌 8 井	南上段	1 245.44	团块状, 反光下呈褐红色
乌 101 井	南上段	1 736.00	团块状顺层分布, 反光下呈褐红色
铜 1 井	南上段	1 247.00	团块状分布于粒间, 反光下呈褐红色
新乌 1 井	南上段	1 549.20	团块状或颗粒表面生长, 反光下呈褐红色
	大上段	997.00	碎屑颗粒的菱铁矿边, 反光下呈褐红色
乌 5 井	大上段	1 240.67	团块状分布于粒间, 反光下呈褐红色
		1 316.37	
海参 4 井	南上段	1 730.90	团块状分布于粒间, 反光下呈褐红色
乌 3 井	大上段	1 452.40	团块状, 反光下呈褐红色
海参 7 井	南上段	1 202.40	团块状, 反光下呈褐红色
		1 205.00	

(据大庆石油管理局勘探部, 1990)

地球化学特征, 它们是: ①菱铁矿的褐铁矿化(表 3); ②碎屑颗粒表面的三价铁膜和钛膜等古土壤化标志; ③大量自生高岭石的产出; ④碳酸盐胶结物稳定同位素和微量元素特征证实了有淡水作用。

自生高岭石的来源有两种, 一为钾长石溶蚀的产物, 二为从渗入的偏酸性淡水中沉淀的。海拉尔盆地各井剖面普遍见少量自生高岭石, 同时亦普遍存在钾长石的溶蚀。这证实了高岭石是钾长石变化的产物。但是, 部分井段可见高岭石含量与长石溶孔数量明显不符。如乌 101 井 1 719.10 m 处面孔率为 14%(表 4), 薄片统计法统计其中粒间孔占 80%以上, 也就是说粒间孔的贡献为 11%以上, 粒内孔的贡献 < 3%。而自生高岭石含量(薄片点计法统计)可达 5%~9%, 充填于粒间孔和部分长石粒内孔中。可见粒内孔的数量明显少于自生高岭石的含量。

4 与晚期火山活动有关

晚期火山活动对储层次生孔隙的形成主要反映在以下两个方面:

1. 地温梯度的升高加速了生油岩有机质演化。钻探证明, 陆家堡拗陷除义县为火山岩系外, 九佛堂组—阜新组中也发现了若干超浅层火山岩墙和岩床

表 4 海拉尔盆地部分井自生高岭石含量与 FGD 的贡献

Table 4 The amount of kaolinite and contribution of FGD in some wells of Hailaer basin

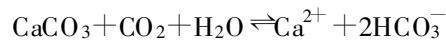
井号	样品井深 /m	自生高岭石含量/%	总面孔率 /%	FGD 对面孔率的贡献/%
乌 8 井	1237.14	4.52	9.05	0
	1306.86	5.12	9.22	0.43
乌 101 井	1718.14	4.92	12.50	0.17
	1719.10	8.20	14.05	0.29
新乌 1 井	1566.39	8.82	13.24	3.90

(据大庆石油管理局勘探部, 1990)

侵入体^①。火山岩对储层物性影响已为人们所关注。陆东凹陷陆参 1 井、陆参 2 井有机质生油门限深度分别为 1 400 m 和 1 640 m, 地温梯度分别为 4.13 °C/100 m 和 3.66 °C/100 m。这样小的凹陷东部和西部有如此大的差异, 很难用基底埋藏的深浅来解释, 如果有火山活动造成的异常地温场来说明这一现象, 就比较容易理解了。因此, 火山活动使地温梯度提高, 加速了生油岩有机质的演化和砂岩的成岩作用。从而可以指望在较浅的深度出现次生孔隙发育带, 与原生孔隙叠加, 形成浅埋藏的有利储层。

2 与热液中释放出的 CO₂ 有关。火山喷发或岩浆侵入过程中经常伴随有热液活动。陆西凹陷深部地层中出现的钠长石脉、碳酸盐脉、绿泥石脉、黄铁矿脉, 以及沸石、萤石、绿帘石、白云母、片钠铝石等矿物的生成, 都直接或间接与热液活动有关。热液活动一方面由于脉体贯入砂体, 并充填于粒间空隙中, 使砂体的孔渗性大大降低, 另一方面, 由于热液中释放出的 CO₂, 在地温较高地段, 可成为产生次生孔隙的因素。其化学反应为^[3]:

①在存在 CO₂ 或碳酸的条件下方解石的溶解作用:



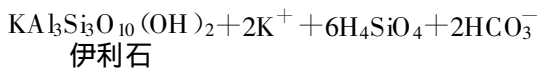
$$\Delta G_r^0 = +118.78 \text{ kJ/mol}$$

②微斜长石向伊利石的转化

在 25 °C 和 1 bar 条件下, H₂CO₃ 中微斜长石向伊利石的转化:



① 谭时勇, 肖乾华, 李喜海等. 陆家堡拗陷上侏罗统储层研究, 辽河石油勘探开发研究院, 1993. 63~64

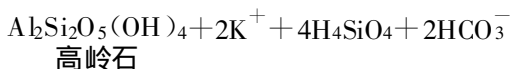


$$\Delta G_r^0 = +429.57 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta V_s = -49.0 \text{ mL 或 } -15.3\% \text{ (固相体积减少量)}$$

③微斜长石向高岭石的转化

25 °C和 1bar 条件下 H₂CO₃ 中的斜长石向高岭石的转化:

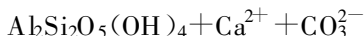
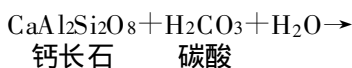


$$\Delta G_r^0 = +96.21 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta V_s = -27.17\% \text{ mL 或 } -12.5\%$$

④钙长石向高岭石的转化

25 °C和 1bar 条件下 H₂CO₃ 中钙长石向高岭石的转化:



$$\Delta G_r^0 = -62.80 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta V_s = -1.26 \text{ mL 或 } -1.26\%$$

5 与构造作用和成岩作用有关

东北深部 J₃—K₁ 储层多以中低孔低渗透为特征, 裂缝在储层中起着重要作用, 尤其在致密的砂岩储层和特殊储层中, 它不仅为有效的渗流通道; 而且可作为有效的储集空间。裂缝按产状可分为微裂缝

和宏观裂缝, 按成因可分为构造缝和成岩缝。构造缝多具有一定的方向性, 穿层(或不穿层)延伸较远, 裂缝面较平直, 肉眼明显可见。成岩缝多不规则, 岩芯观察呈树根状, 薄片观察为多维网状维裂缝系统。主要为压实作用过程中形成的颗粒破裂缝和成岩失水收缩缝等。例如, 松辽盆地基岩和侏罗系裂缝主要为构造缝, 裂缝中的方解石染色为蓝色, 为富铁方解石。登娄库组和泉一、二段砂岩为成岩裂缝, 裂缝中的方解石染色为红色, 为富锰无铁方解石^①。

6 结论

通过上述次生孔隙形成机制的讨论, 明确了东北深层寻找次生孔隙发育带的方向: ①寻找与有机质热演化有关的次生孔隙发育带, 它多形成于晚成岩阶段的 A 亚期, 其次为早成岩阶段的 B 亚期和晚成岩阶段的 B 亚期砂岩中。②寻找与大气水、地表水渗滤作用有关的次生孔隙发育带, 它多形成于沉积间断面附近。③在地温较高地段寻找与深部岩浆热液有关的次生孔隙发育带。④在致密砂岩、泥岩和基岩中寻找构造裂缝发育带和成岩裂缝发育带。

参 考 文 献

- 1 李捷, 王海云, 周书欣等. 东北含油气盆地 J₃—K₁ 储层类型及其特征[J]. 长春地质学院学报, 1997, (2): 156~161
- 2 李捷, 王海云. 东北晚中生代断陷盆地 J₃—K₁ 地层砂岩成岩作用特征[J]. 大庆石油学院学报, 1998, (1): 1~4.
- 3 Indu D. Mesri, Roles of Organic Matter in Sediment Diagenesis [J]. SEPM, 1986, (38): 123~128

The Development Mechanism of the Secondary Pores in the Reservoirs of the Down—Faulted Basins of the Late Mesozoic Era in the Northeast of China

LI Jie WANG Hai-yun

(Daqing Petroleum Institute, Anda, Heilongjiang China 151400)

Abstract

The secondary pores account for a great proportion in the late Jurassic to the early Cretaceous (J₃—K₁) reservoir. The main types of secondary pores in the reservoirs are divided into four types as follows: intergranular pores, intragranular pores, moldic pores, intracement pores and fracture and so on. The development mechanisms may have four kinds; the first one relates to the thermal evolution of organic matter in mudstones. R. C. Surdam and T. J. Crossey's experiments indicate that the thermal degradation makes kerogens

① 高瑞祺, 牛克智, 李庶勤等. 松辽盆地北部深层地质特征与致密砂岩气藏形成条件. 大庆石油管理局勘探开发研究院, 1990. 86~87

separate from the outer oxygen—functional groups such as carboxy groups, keto—groups, phenol and so on to produce a large amount of organic acid before it goes into the oil windows. When temperature arrives at 80°C—120°C, the consistency of the organic acid is in the highest degree. The secondary pores are developed after the organic acid solved in the water removing with the pore fluids from the source rocks, and entered into the sandstone reservoirs, and dissolved the unstable elements. This process mainly occurs at the stage of low maturation to maturation of the organic matter. Most of the secondary pores in our area firstly developed at A period of the late diagenesis stage and secondly at B period of early or late diagenesis stage, relating to the thermal evolution of the organic matter, and being identical with the expelling stage of organic acid.

The second one relates to the infiltration of the surface and subsurface water. This can be seen in the north of Wuexun down—faulted depression and Majiapu buildup of the Luxi depression. The distribution was directly controlled by the deposition break, also related to the composition of source region. The conditions of the reservoir of arkose derived from part of the granite are better than the lithic sandstone or lithic subarkose from volcanic rocks or sedimentary rocks. When the buried depth is deep enough, the porosity and permeability will be improved because of the separating of organic acid and piling up of the secondary pores.

The third one relates to the late volcanism. the volcanic movement makes the geothermal gradient rise and so it accelerates the speed of organic matter evolution of the source rocks and sandstone diagenesis. Therefore, we can hope to look for the development of the secondary pore zones in shallow depth, to develop a favourable reservoir with the primary pores piling up in the shallow depth.

Volcanic eruption or magma intrusion are always accompanied by the hydrothermal movement. On the one hand, the hydrothermal movement made the veins inject the inter granular pore spaces and reduce the porosity and permeability of the sandstone greatly, on the other hand, the CO₂ given off by the hydrothermal liquid might be the factor of the development of the secondary pores in the deep buried zones with high geotemperature.

The fourth one relates to the tectonic movement and diagenesis. The low porosity and permeability may be the main characteristics of the reservoirs in the late Jurassic to the early Cretaceous down—faulted basins in the northeastern China. The fissure plays an important role in the reservoirs, especially in the compacted sandstone reservoirs and some special reservoirs, and become not only the effective paths of fluids but accumulative spaces as well. According to the fissure occurrence, the fissures can be divided into microfissures and macrofissures, and by the origins, the fissures may be divided into tectonic fissures and diagenetic fissures. The tectonic fissures mainly possess a certain direction, penetrating (or not) the strata and extending far—away, and the fissure planes may be flat and straight. The observed diagenetic fissures of core are mainly irregular, and in the shape of the root of a tree. From the observation of a thin section, the fracture system appears multidimensional, including the grain fissures formed in the compacting and the fissures of shrinkage in the diagenetic process because of waterloss, ect.

And this defines that the study directions of the secondary pores of the deep zones in the northeast of China are as follows: 1. the medium grade of the diagenetic intension in the sandstones between the sub—stage B of the early diagenesis and the A and B stages of the late diagenesis; 2. adjacent to the break plane; 3. adjacent to the influence of hydrothermal magma in the intervals with higher temperature; 4. searching for the development of fissures in the compact sandstones, mudstones and base rocks.

Key words down—faulted basin reservoir secondary pores