

文章编号: 1009-3850(2001)01-0044-06

## 冷家沙三段砂岩成岩序列与孔隙演化

谭荣, 黄思静, 赵霞飞

(成都理工学院, 四川 成都 610059)

**摘要:** 笔者以辽河盆地冷家地区冷94井为例, 通过铸体薄片、电镜扫描、能谱分析和阴极发光等分析和实验手段, 对沙三段砂岩的成岩历史、成岩序列与孔隙演化及发展趋势进行研究。指出成岩阶段可划分为同生期→早成岩阶段早期→早成岩阶段晚期→晚成岩阶段早期。孔隙演化主要在压实作用, 粘土矿物的包膜作用, 方解石、白云石的胶结作用, 长石溶蚀作用, 石英的次生加大和微晶石英的沉淀作用等方面进行了研究, 阐述并总结了它们互相之间的内在联系。

**关键词:** 冷家地区; 沙三段; 成岩序列; 孔隙演化

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

## Diagenetic sequences and porosity evolution in the sandstones of the Sha-3 Member of the Lengjia district, Liaohe Basin

TAN Rong, HUANG Si-jing, ZHAO Xia-fei

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

**Abstract:** Exemplified by the Leng-94 well in the Lengjia district, Liaohe Basin, the diagenetic history, diagenetic sequences and porosity evolution and trends are examined on the basis of thin-section, SEMP, energy spectrum and cathodoluminescence examination. The diagenetic stages may be divided into: (1) syndiagenesis; (2) early stage of early diagenesis; (3) late stage of early diagenesis, and (4) early stage of late diagenesis. The porosity evolution has been explored here in the aspects such as compaction, coatings of clay minerals, cementation of calcite and dolomite, solution of feldspar, secondary overgrowth of quartz and precipitation of microcrystalline quartz.

收稿日期: 2000-09-14

作者简介: 谭荣(1965—), 男, 成都理工学院博士生, 从事油气地质与勘探研究。

**Key words:** Lengjia district; Sha-3 Member; diagenetic sequence; porosity evolution

冷家地区位于辽河盆地西部凹陷,东部边界为台安-大洼断层,西接曙光油田,北靠高升油田,南邻兴隆台油田。该区被陈家断层分为东、西两部分,西部为陈家洼陷,东部为陡坡带。自1988年全面投入勘探以来,已取得了丰富成果,证实了本区是一个以重质稠油为主的油气聚集区,已成为辽河油田增储上产的重点探区。

## 1 成岩历史与成岩序列

通过对冷94井古近系沙三段砂岩的成岩组构研究,可以对其成岩作用的相对时间进行推测。成岩历史与成岩序列如图1所示,各成岩阶段的主要成岩作用如下。

### 1.1 同生期

该期起主要作用的是沉积环境中的底层水,该阶段形成的主要矿物有鲕状绿泥石,碎屑颗粒间的桥接粘土和包膜粘土的初始物质,这些粘土矿物包括作为混层伊利石/蒙皂石的初始矿物的蒙脱石(由火山碎屑物质转化而来,或由陆源提供)。此外,杂基中的微晶方解石基质会在合适的条件下沉淀并形成内杂基。

### 1.2 早成岩阶段早期

该阶段的初期,成岩作用发生在近地表的渗流带内,碎屑颗粒间的桥接粘土和包膜粘土的初始物质在该环境中继续发育。由于渗流环境中的孔隙流体很难饱和,表面张力使流体仅存在于颗粒连接处或颗粒表面,因而由孔隙水的沉淀作用所形成的自生粘土矿物通常也只能在碎屑颗粒连接处和颗粒表面存在,同时颗粒表面的薄膜水还可吸附粘土矿物,从而形成桥接粘土和颗粒表面的粘土包壳。因而各种桥接粘土和包膜粘土的初始物质会在埋藏成岩作用初期阶段的渗流带继续发育,并在该阶段的后期开始向混层粘土矿物转化。

此外,五角十二面体和立方体的微晶黄铁矿和霉球状黄铁矿是在该阶段后期较封闭的成岩环境中形成的。

局部环境中具桔红色阴极发光、中等铁锰含量亮晶方解石的胶结作用开始发生,并封堵一部分原生粒间孔隙。

在大气水波及的环境中,可能出现长石类矿物的溶蚀。

### 1.3 早成岩阶段晚期

根据加大石英的占位情况,一些碎屑的加大石英形成于该阶段较早时期,但由于此时 $\text{SiO}_2$ 的来源有限,石英的次生加大作用不会对孔隙发育有明显地影响。

随着长石的溶蚀作用在该阶段发生和形成次生孔隙,从而伴随自生高岭石的沉淀,因而大量微晶石英的沉淀和碎屑石英的次生加大是在长石溶蚀以后的该阶段晚些时候发生的。局部环境中具桔红色阴极发光、中等铁锰含量亮晶方解石的胶结作用继续进行,并封堵原生粒间孔隙。

### 1.4 晚成岩阶段早期

由于成岩孔隙中存在富镁的碱性介质,因而该阶段有自形的铁白云石化作用发生,其机理可能与调整白云石化作用有关,由于此时的成岩温度已相对较高,因而仍不排除其原生沉

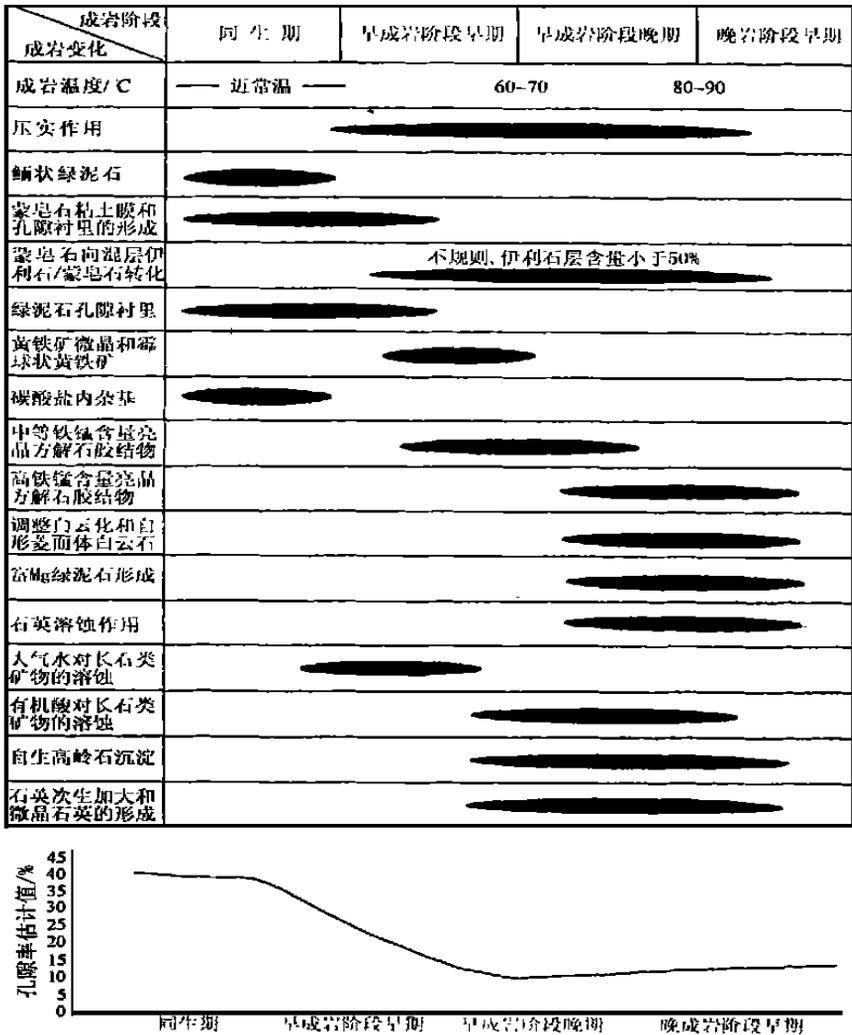


图1 冷94井沙三段砂岩的成岩历史、成岩序列以及成岩过程中的孔隙演化与发育趋势

Fig. 1 Diagrams showing the diagenetic history, diagenetic sequences and porosity evolution and trends during the diagenesis of the Sha-3 Member of the Leng-94 well

淀的可能性;同时,另一种类型的绿泥石(富镁的绿泥石)和晚期高铁锰方解石在该阶段沉淀,并堵塞一部分原生粒间孔隙和次生溶蚀孔隙;此外,由于该阶段成岩环境中碱性介质的存在,石英可有溶蚀现象。

### 1.5 蒙皂石向混层伊利石/蒙皂石和伊利石的转化

蒙皂石向混层伊利石/蒙皂石和伊利石转化应从埋藏成岩作用初期就已开始,但 $K^+$ 的介入显然会加速该过程的进程,因而蒙皂石向混层伊利石/蒙皂石和伊利石转化的主要阶段应在长石溶蚀作用发生以后,因为成岩环境中大量的 $K^+$ 离子是由该溶蚀作用所提供。

## 2 成岩序列与孔隙演化的关系

### 2.1 压实作用

尽管压实作用是砂岩原始孔隙度降低的重要原因,但压实作用的发育程度,除受岩石中杂基含量的影响以外,在很大程度上还强烈地受到岩石埋藏前碎屑组成的影响。表1列出了冷94井2650~2960m层段砂岩碎屑成分及含量。由于岩石中易变形碎屑(火山岩岩屑、泥质岩岩屑和云母类矿物)的含量相对较高,三者平均值之和约12%,这些塑性岩屑常形成假杂基而使岩石原生粒间孔隙大为减少。在薄片,有时已很难区分是泥岩岩屑还是泥质杂基。

表1 冷94井沙三段砂岩碎屑成分及含量( $w_B/\%$ )

Table 1 Compositions and contents of the sandstones in the Sha-3 Member of the Leng-94 well ( $w_B/\%$ )

岩石名称	深度 m	石英及硅 质岩岩屑	长石	花岗岩及 花岗片麻 岩岩屑	变质岩 岩屑	火山岩 岩屑	泥质岩 岩屑	碳酸盐岩 岩屑	粉砂岩 岩屑	云母
中粗粒长石砂岩	2956 74	40	30	15	2	8	3	—	—	2
中粒岩屑长石砂岩	2951 94	35	30	16	3	7	5	—	2	2
中粗粒岩屑长石砂岩	2949 29	30	35	15	3	5	5	2	3	2
中粗粒长石砂岩	2948 24	30	30	25	2	4	3	3	2	1
中粗粒长石砂岩	2856 40	35	30	20	2	4	4	3	—	2
不等粒岩屑长石砂岩	2855 50	42	25	15	3	6	5	2	2	—
不等粒长石砂岩	2850 13	30	42	15	2	4	3	3	—	1
中粒长石砂岩	2848 13	34	35	20	2	2	6	—	—	1
不等粒长石砂岩	2843 22	30	45	10	3	5	5	—	1	1
不等粒长石砂岩	2839 52	30	40	15	2	5	5	—	3	—
不等粒长石砂岩	2837 32	30	38	15	3	6	5	1	—	2
中粒岩屑长石砂岩	2821 81	53	28	5	1	5	5	—	—	3
不等粒岩屑长石砂岩	2817 01	28	35	17	3	10	3	3	—	1
中粒岩屑长石砂岩	2812 96	50	25	10	—	5	7	1	—	2
不等粒长石砂岩	2811 66	35	35	15	2	5	7	—	—	1
中粒岩屑长石砂岩	2794 52	45	30	10	1	6	5	1	—	2
不等粒长石砂岩	2793 52	35	35	15	2	6	5	—	—	2
中粗粒岩屑长石砂岩	2791 52	35	32	15	2	4	10	—	—	2
中粗粒岩屑长石砂岩	2668 39	50	25	10	2	5	5	—	—	3
不等粒长石砂岩	2645 41	40	33	15	2	5	3	0.5	—	1.5
平均值		36.9	32.9	14.7	2.1	5.4	5.0	1.0	0.7	1.6

冷94井2650~2960m层段砂岩中长石的含量较高,平均值已近33%,还没有包括花岗岩和花岗片麻岩岩屑中的长石。长石的溶蚀现象较为普遍,这种溶蚀蚀变的长石对压实作用的抵抗能力较差,这对原生粒间孔隙的保存不利。但由于长石的蚀变作用通常发生在埋

藏成岩作用的较晚阶段,因而压实作用对其影响相对较小,压实作用较强的早期埋藏成岩过程对未蚀变长石的影响是有限的。

## 2.2 伊利石的早期桥接胶结作用

砂岩中伊利石的桥接作用会占据一些粒间孔隙空间,可使砂岩原始孔隙度产生一定程度的降低,但伊利石的桥接作用通常发生在埋藏成岩作用的初期(通常是渗流环境中),这种早期的胶结会对以后的压实作用产生程度不同的阻碍,并对粒间孔隙起到保护作用,这与它占据的粒间孔隙空间相比,应是利大于弊。

## 2.3 混层伊利石/蒙皂石等粘土矿物的包膜作用

与伊利石的早期桥接作用相类似,混层伊利石/蒙皂石(或蒙脱石)等粘土矿物的包膜作用亦发生在埋藏成岩作用的早期,这对以后的压实作用有一定的阻碍。但粘土矿物的包膜作用使碎屑颗粒完全处于包膜的保护下,而粘土矿物在成岩过程中的稳定性远远大于长石等碎屑组分,这将阻碍以后酸性水对长石类碎屑的溶蚀作用。因而粘土矿物的包膜作用在孔隙演化中应是弊大于利。

## 2.4 方解石的胶结作用

无论是成岩作用的早期阶段所沉淀的低铁锰方解石还是成岩作用晚期阶段沉淀的高铁锰方解石均是孔隙重要的封堵物。

## 2.5 白云石的胶结作用

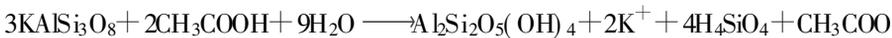
能谱分析和阴极发光分析显示,本区发现的白云石胶结物均属铁白云石,形成于埋藏成岩作用的相对晚期阶段。尽管它们占据一定数量的粒间孔隙,但由于白云石较高的自形程度,单个晶体周围常有残余粒间孔隙发育,多个晶体共生则有晶间孔隙发育,同时白云石的沉淀阻止了压实作用的进一步发展。因而白云石的胶结作用对孔隙的发育是积极的。

## 2.6 长石的溶蚀作用

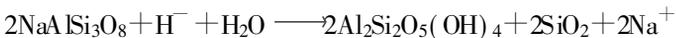
冷94井2650~2960m层段砂岩中长石的含量较高,碎屑中含量的平均值达33%,含量近15%的花岗岩和花岗片麻岩中还有一定数量的长石,岩石类型几乎全为长石砂岩或岩屑长石砂岩。研究层段长石的溶蚀作用也较为发育,这是孔隙发育过程中最为重要的建设性因素之一。长石溶蚀一般按下面的反应进行:



钾长石            乙酸                                    伊利石                                    石英质



钾长石            乙酸                                    高岭石                                    石英质



钠长石                                    高岭石                                    石英质

含油气盆地长石的溶蚀作用与有机质热演化过程中释放的有机酸有关。因而含油气盆地均具备产生可导致长石发生溶蚀作用的有机酸的物质基础。这些都是埋藏成岩过程中长石发生溶蚀所必须的条件。

在长石的溶蚀过程中,无论钾长石还是钠长石,反应产物都包括粘土矿物和石英。从反应过程的 $\Delta G_r^0$ (表2)来看,长石向高岭石的转化显然比其向伊利石转化更容易发生,钾长石和钠长石的溶解过程均可导致该反应的发生。由于冷94井2650~2960m层段砂岩中长石具有较强的蚀变性,因而薄片分析中没进一步划分长石的类型。然而就一般而论,在绝大多数

沉积岩中,钾长石和酸性斜长石都是长石最为主要的类型,同时薄片与电镜观察也说明,冷94井长石溶解反应的产物主要为高岭石,当然也包括微晶石英和碎屑加大石英,它们与钾长石和酸性斜长石溶解反应提供的 $\text{SiO}_2$ 有关。长石溶解析出的 $\text{K}^+$ 离子促进了埋藏成岩过程中蒙皂石向混层伊利石/蒙皂石以及伊利石转化,这些 $\text{K}^+$ 离子加入到了混层伊利石/蒙皂石的伊利石层(或伊利石)的层间域中,以平衡反应过程中造成的四面体中 $\text{Al}^{3+}$ 代替 $\text{Si}^{4+}$ 所出现的阳离子不足。由于所有反应都是固相体积减少的过程(表2),因而该过程对原生孔的改造和次孔隙的发育都是极其有利的。

除各种有机酸对长石等骨架颗粒的溶蚀作用外,近年来的研究还显示,大气水的注入对次孔隙的发育有着十分重要的意义。如在Gulf Coast地区,这种侵入的深度可达到2km的地下(Galloway, 1984)。地下水的大范围(指整个盆地范围)迁移是地下流体整体运动的热运动的重要机制(Bethke和Marshak, 1990; Deming等, 1992)。大气水溶蚀作用的另一个有利条件是其相对低的温度而形成的不饱和水的高速注入以及低温条件下的缓慢反应(Giles, 1987; Hayes和Boles, 1992)。因而仍不排除研究区由长石等骨架颗粒溶蚀形成的次孔隙发生在大气水作用带的可能性。但溶解作用发生的时间、机理及其它控制因素还有待进一步研究。

## 2.7 石英的次生加大与微晶石英的沉淀作用

石英的次生加大与微晶石英的沉淀作用主要发生在早成岩阶段晚期的较晚时间中。石英的次生加大主要堵塞粒间孔隙,自生微晶石英除堵塞粒间孔隙外,还经常沉淀在由长石等骨架颗粒溶蚀后形成的次生孔隙内,尽管自生石英存在一定数量的晶间孔隙,但总体来说,石英的次生加大与微晶石英的沉淀作用对孔隙的发育是消极的。

## 参考文献:

- [1] 罗蛰潭,王允诚. 油气储集层的孔隙结构[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [2] 曾允孚,夏文杰. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [3] 冯增昭,王英华等. 中国沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [4] 吴崇筠,薛叔浩等. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.

表2 碳酸、乙酸、甲酸与不同长石反应的体积变化及 $\Delta G_r^0$   
Table 2 Variations in volume ( $\Delta V_{s0}$ ) and  $\Delta G_r^0$  caused by the reaction of carbonic acid, acetic acid and formic acid with feldspars

转 化	$\Delta V_{s0}$	转化剂	$\Delta G_r^0$ (4186 J/mol)
微斜长石→ 伊利石	- 15.3%	碳酸	+102.6
		甲酸	+95.6
		乙酸	+23.6
斜长石→ 高岭石	- 12.5%	碳酸	+23.0
		甲酸	+15.8
		乙酸	-4.28
钙长石→ 高岭石	- 12.6%	碳酸	-15.0
		甲酸	-16.5
		乙酸	-36.9