

陆西凹陷九佛堂组储层成岩作用

沈凤^{*} 张金亮

(西安石油学院)

提 要

在沉积背景研究基础上,采用岩石学薄片、扫描电镜、X-衍射、电子探针和同位素等分析手段,对陆西凹陷九佛堂组储层成岩作用进行了研究。储层成岩矿物主要有蒙脱石、伊利石、伊/蒙混层、绿泥石、高岭石、石英、钠长石、沸石和碳酸盐等。以与地温有关的成岩变化为依据,将本区成岩作用带进行了划分。通过对储层储集空间的研究,提出储层以次生孔隙为主,且次生孔隙主要形成于成岩作用浅带。本区次生孔隙储集砂体的形成机制主要有两种:①与大气水下渗淋滤有关的次生孔隙砂体形成机制,可解释包日温都地区次生孔隙砂体的发育;②与粘土脱水和转化有关的次生孔隙形成机制,可解释马家铺地区次生孔隙储集砂体的形成。

主题词 陆西凹陷 成岩作用 次生孔隙 粘土矿物 储层 扇三角洲

1 沉积背景

陆西凹陷为开鲁盆地陆家堡坳陷的一个次级构造单元,面积约760km²,是一南陡北缓的箕状断陷。该断陷湖盆的盆地充填沉积由上侏罗统义县组、九佛堂组、沙海组和阜新组组成^[1]。九佛堂组为湖盆发育的深陷期,也是生油层和储集层同时发育的时期。在这一时期,随着湖泊水体的不断加深,在盆地边缘形成了各种扇三角洲砂砾岩体,而在盆地中心则形成滑塌浊积岩体(图1)。主要油气储层为南部包日温都地区的水进型扇三角洲和马家铺地区的吉尔伯特型扇三角洲^[2]。

包日温都扇三角洲油藏为一构造油藏,圈闭类型为一断裂背斜,含油岩相主要为九佛堂组上段的扇中前缘相带,净产层厚度可达60m,由中至厚层分选较差的岩屑砂岩和砾岩组成,并与绿灰色泥质岩互层。粗粒单元占层段的60%~70%,单层厚度0.3~0.8m。砂岩含有1%~5%的石英,个别样品石英含量达35%,长石含量略低于石英,一般1%~3%,岩屑主要为中酸性喷出岩岩屑。马家铺扇三角洲油藏为一受砂体上倾尖灭圈闭控制的构造岩性油藏,产油岩相为九佛堂组下段扇三角洲前缘的水道和砂坝,净产层厚度可达40m,岩性为部分砾岩和砂岩,砂岩为岩屑砂岩类,石英1%~25%,个别样品达50%,长石5%~25%。

2 成岩作用

2.1 自生矿物特征

综合多种分析手段,对本区储层中出现的各种成岩矿物进行研究,确定了各种自生矿物的

* 沈凤,女,1986年毕业于华东石油大学,1994年毕业于北京中国地质科学院获博士学位。现在美国麻省理工学院学习和科研。通讯处:54-822,MIT,MA02139-4307。

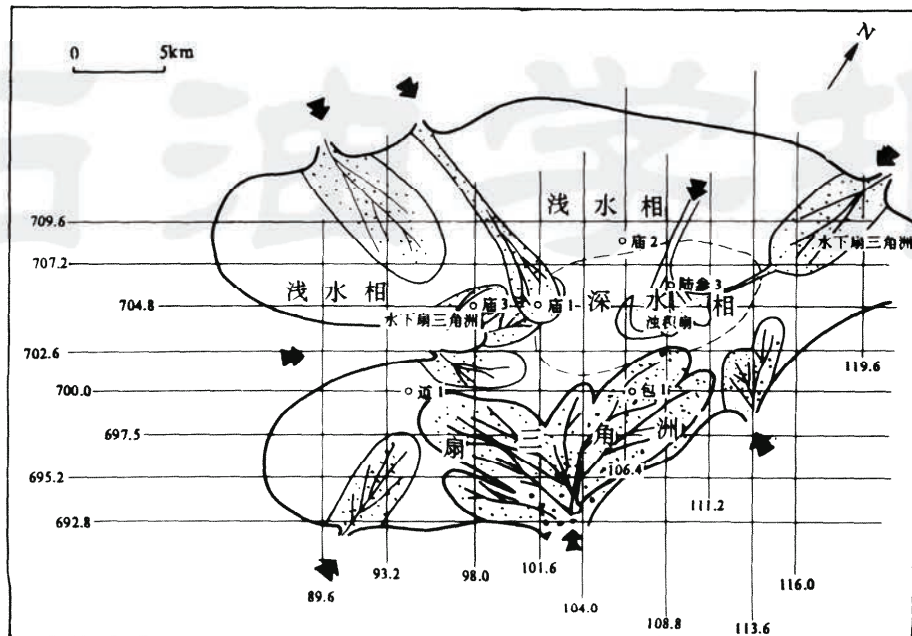


图1 陆西凹陷九佛堂组上段沉积相及砂体分布图

Fig. 1 Sedimentary facies and sandbody distribution of upper member of Jiufetang formation, Luxi depression

类型及特征。

2.1.1 粘土矿物

在本区油气储层中常见粘土矿物胶结物和粘土杂基。为此,需要首先对杂基和自生粘土矿物加以区分。根据对岩石薄片和扫描电镜图像的分析对比,杂基和自生粘土可根据以下几点加以区分。

(1) 结晶形态是区分自生与陆源粘土(杂基)的明显标志。陆源的碎屑粘土由于经过介质的搬运,晶形一般保存较差,有磨损和溶蚀等现象,而自生粘土常呈现出完好的晶体形态,晶体轮廓清晰,表面较光洁,常常形成理想的结晶体,晶体粗大,排列也较疏松。

(2) 自生粘土的产状明显受控于储层的孔隙空间条件。最常见的自生粘土的产状主要孔隙衬边(pore-lining)、孔隙桥接(pore-bridging)和孔隙充填(pore-filling)等。孔隙衬边粘土由连续的包膜状(20~40 μm)粘土矿物组成,与颗粒表面呈切向或径向排列,一般由切向排列的伊利石和径向排列的纤维状蒙脱石组成。径向纤维状孔隙衬边粘土可向外延伸到孔隙中,构成充填孔隙的网格状粘土。伊利石、绿泥石和混合层相,均可作为自生粘土形成孔隙衬边^①。孔隙桥接状粘土,多为伊利石类型。呈分散质点充填孔隙和自生粘土多为高岭石。

(3) 某些自生粘土可由其它矿物转化而来(如长石的高岭石化),因此可根据新生粘土矿

① 周自立,砂岩中的粘土矿物与油层损害问题,胜利油田地质科学研究院,1986。

物集合体的外形及残余结构进行分析判别。

(4) 在成岩过程中,当一种粘土向另一种粘土矿物转变时,形态特征也发生很大的变化,从而增加了对自生矿物辩认的困难。因此,掌握粘土矿物的成岩特征及成岩演化规律有助于鉴别自生粘土矿物。

本区九佛堂组储层中主要粘土矿物有蒙脱石、伊利石、伊-蒙混层、高岭石和绿泥石等,由浅层至深层发生明显的成岩演变(图 2)。

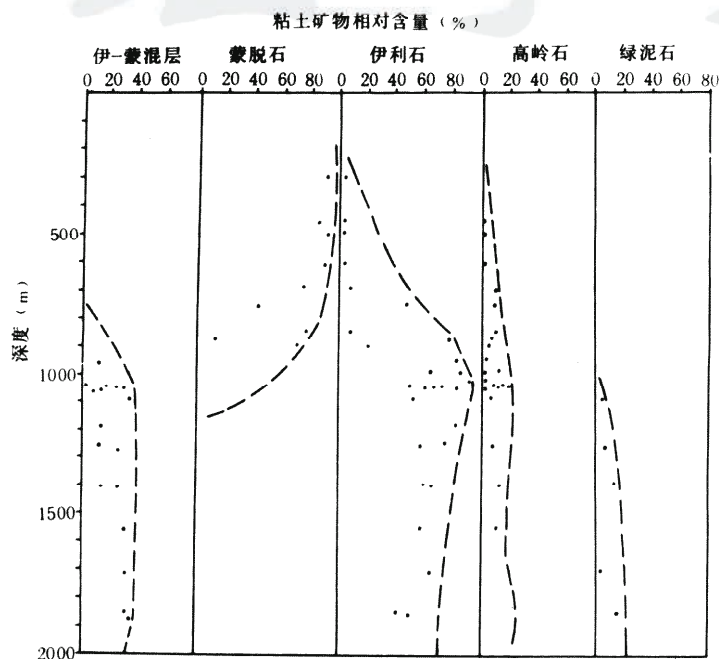


图 2 砂岩粘土矿物相对含量随深度变化关系

Fig. 2 Relative contents of clay minerals in sandstone samples as a function of depth

蒙脱石主要见于成岩作用浅带,存在于 1000m 以上地层中,呈明显的孔隙衬边出现。扫描电镜下,蒙脱石常呈蜂巢状和网状等形态,深度越浅形态越清晰(图版 I-1)。1000m 以下,蒙脱石通过伊-蒙混层向伊利石转化(图版 I-2,3)。

高岭石在本区地层中含量不均,多见于扇三角洲储层中,并以孔隙充填的形式出现(图版 I-4)。虽然高岭石有对原生孔渗条件起破坏作用的一面,但物性好的储集层段往往有较多的高岭石存在,尤其在次生孔隙发育段伴随有大量自生高岭石的出现。

绿泥石主要出现在 1000m 以下的地层中,且随深度增加,其含量有增加的趋势。扫描电镜下的形态多样,常见叶片状、绒球状和玫瑰花朵状(图版 I-3,5,6)。

2.1.2 钠长石

自在巴黎盆地白垩系中首次发现自生长石以后,世界各处地层中陆续发现了自生长石矿物^[3]。本区储层中自生长石矿物皆为钠长石,且主要见于深层浊积岩储层和马家铺油藏油水界面以下的含水层中,含量 1%~6%。扫描电镜下,这些自生钠长石呈完好的自形晶体,以充填

孔隙的形式出现(图版 I-6)。据9块含自生钠长石的电子探针分析结果,自生钠长石晶体中含钠长石分子(Ab)98.26%~99.91%,含钾长石分子(Or)0%~0.43%,含钙长石分子(An)0%~0.95%。

2.1.3 石英

由于本区碎屑石英含量很低,因此作为加大边出现的二氧化硅含量也是很低的。在显微镜下石英加大不发育,仅在扫描电镜下可观察到石英普遍具有弱加大。作为孔隙充填的微晶石英在本区储层中普遍发育(图版 I-7)。微晶石英在浅埋储层中常与高岭石共生,而在深埋储层中多与钠长石和绿泥石共生。

2.1.4 沸石

沸石是碱和碱土元素的格架状铝硅酸盐矿物。据岩石薄片、扫描电镜、X-衍射和电子探针分析,本区广泛存在沸石胶结物且种类繁多,主要类型有方沸石、辉沸石、斜发沸石、柱沸石、片沸石和浊沸石等。在包日温都地区的浅层主要出现辉沸石矿物(图版 I-1)。在马家铺地区300~900m的深度区间内,沸石系列变化明显,继孔隙衬边蒙脱石形成后,便开始形成孔隙充填的斜发沸石,并随着埋深增加,出现方沸石、辉沸石、片沸石和浊沸石等。据电子探针分析,几种沸石矿物的氧化物组成见表1。在马家铺地区九佛堂组下段扇三角洲储层中,方沸石大量出现的地方钠长石消失,反之亦然,且方沸石主要见于钠长石发育带的上倾方向。某些砂岩样品中方沸石含量可高达15%~18%,多以孔隙充填的形式出现(图版 I-8)。

表1 自生沸石胶结物的电子探针分析

Table 1. Representative chemical composition (wt%) of zeolite cements determined by an electron microprobe analysis (%)

样号	深度 (m)	沸石	氧化物 总量	氧化物											
				Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	NiO	FeO	P ₂ O ₅
M4-32	766.50	方沸石	86.08	11.27	0.17	18.35	54.77	0.05	0.00	0.00	0.04	1.29	0.00	0.00	0.13
M4-32	766.50	辉沸石	74.89	6.26	0.28	14.66	49.97	0.28	1.38	0.09	0.11	0.90	0.03	0.45	0.04
M4-35	886.55	方沸石	86.13	10.99	0.17	18.57	55.68	0.12	0.15	0.00	0.03	0.33	0.00	0.09	0.00
M4-35	886.55	斜发 沸石	90.03	7.55	1.11	14.43	59.10	1.56	1.87	0.04	0.06	0.37	0.00	3.49	0.45

2.1.5 褐铁矿

在包日温都扇三角洲油气储层中,常见褐铁矿沿孔隙和裂隙的边缘分布。某些早期菱铁矿晶体也部分地褐铁矿化。扫描电镜下,常见到晶形完好的针铁矿,它们与高岭石共生充填粒间孔隙^①。

2.1.6 碳酸盐胶结物

本区储层中碳酸盐胶结物十分普遍,常见的有方解石、含铁方解石和铁白云石等,且形成于成岩作用的各个阶段。浅埋阶段形成的碳酸盐胶结物主要为环边式和基底式,其碳同位素值 $\delta^{13}\text{C}$ 一般为0‰~10‰。形成于埋藏深度深的储层中的碳酸盐胶结物,往往晶粒较大,多为微-

① 张金亮,沈凤,赖志云. 辽宁西北部及内蒙开鲁盆地上侏罗统储层特征,辽河石油勘探局勘探开发研究院,1991年12月。

粗晶,由于形成时间晚,生长空间受限,大多呈星散状充填于粒间孔中或以交代碎屑颗粒和其它自生矿物的形式出现,其碳同位素值 $\delta^{13}\text{C}$ 一般为 $0\% \sim -6\%$ 。此外,在包日温都扇三角洲储油岩相中,方解石胶结物常在颗粒的一方加厚,酷似碳酸盐岩近地表成岩结构中的重力胶结现象^[1]。

2.2 成岩作用分带

根据储层中形成的与埋深或温度有关的成岩变化,可将本区成岩演化进行分带,九佛堂组处于浅带和中带(图 3)。图中温度是据马家铺地区地层温度与深度关系推算的^①。

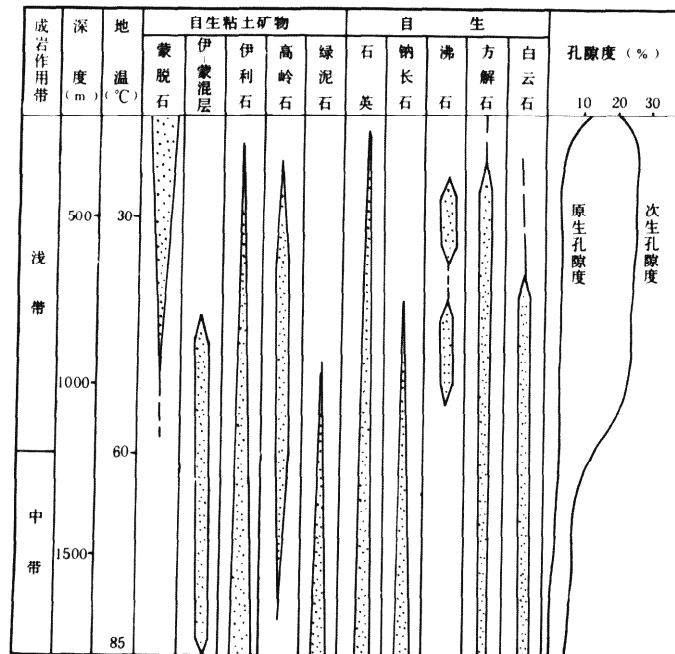


图 3 陆西凹陷埋藏成岩作用带的划分特征

Fig. 3 Characteristics of burial diagenetic zones, Luxi depression

除了成岩矿物随温度和埋深发生规律性的变化外,本区孔隙度也表现出特有的形成及演化特征。岩石学研究表明,在成岩作用浅带,次生孔隙便大量产生,被溶解的物质为火山碎屑和长石。当进入 1200m 以下的成岩作用中带,孔隙度则被快速压缩。这一孔隙演化特征可与我国其他中生代湖盆的储层特征相对比^[4]。国外亦有诸多实例说明,在浅埋成岩阶段,岩屑砂岩亦具有早期孔隙度升高的特点^[5,6]。本区生油门限为 1200m 左右,在这一深度以下,次生孔隙多被压缩,这对油气的储集是十分不利的,因此本区油藏的形成更加依赖于构造圈闭和起通道作用的断层系统。

① 张金亮等,陆西凹陷包一马地区早期油藏描述,辽河石油勘探局,1993 年 7 月。

2.3 次生孔隙砂体的形成

次生孔隙砂体已成为我国油气储层的重要特征^[7],岩石学研究表明,本区储层以次生孔隙为主,据 Schmidt 和 McDonald^[8]提出的判别标志,能可靠地判别次生孔隙的类型。本区九佛堂组不同成因的储层具有不同的孔隙类型(图 4)。这些具有不同孔隙类型的储集砂体,储集性能不同,其形成机制亦不相同。

2.3.1 包日温都油藏次生孔隙砂体的形成

包日温都油藏位于包日温都断裂带并与广阔的舍伯吐隆起相连。舍伯吐隆起为凹陷供水区,大气降水通过盆缘断裂及破碎带等渗透性单元向盆地方向运移,在连通性好的扇三角洲储层中不可避免地形成次生孔隙发育带。由于包日温都构造的活动性,使得水交替现象变得十分活跃,因而演变为淋滤水压系统。

储层岩石学研究也有力地支持了这一成岩作用机理的存在:①储层以粒间溶孔和骨架颗粒溶孔为主,且从泥质岩的丰度看,热演化所形成的酸性水不足以在储层中造成规模可观的溶蚀作用和次生孔隙;②高岭石的高含量及在孔隙中的分布特征也说明大气淡水的作用;③孔隙中分布的褐铁矿也说明含氧大气水的作用;④方解石胶结物的重力结构说明曾经存在大气水渗流带环境;⑤碳酸盐胶结物的稳定同位素研究也支持了这一观点。总之,有多种证据说明,包日温都油藏次生孔隙储集砂体是一个与大气水作用有关的成岩模式(图 5)。

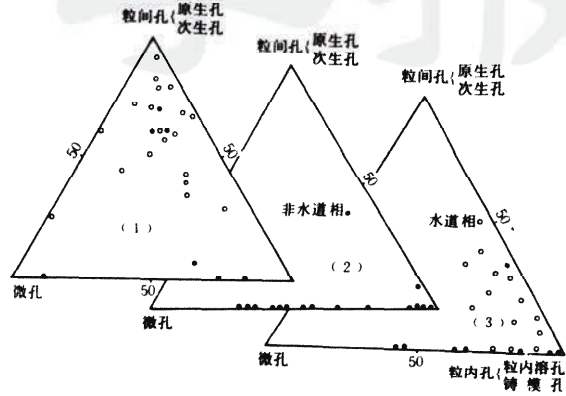


图 4 储层孔隙分类图

Fig. 4 Triangular plot illustrating types of reservoir sandstone porosity
(1)包 1 井扇三角洲储层;(2)陆参 3 井浊积岩储层;
(3)庙 1 井扇三角洲储层

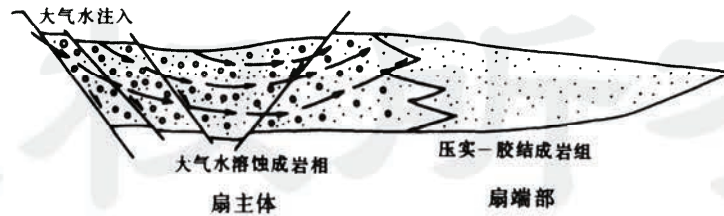


图 5 包日温都油藏大气水成岩作用示意图

Fig. 5 Meteoric burial diagenesis of Baoriwendu reservoir

包日温都油藏孔隙的发育受砂体性质所制约,扇三角洲前缘砂体连续性好,普遍受到大气水的冲洗,从而发育较好的粒间溶孔,而细粒的远端相砂体和近源的某些杂基支架砾岩相则受大气水影响弱,次生孔隙不发育。

2.3.2 马家铺油藏次生孔隙砂体的形成

据前人研究,在蒙脱石向伊利石转化过程中,可以提供较多的水^[3]。本区泥质岩粘土矿物的 X-衍射分析,蒙脱石在 1000m 左右已趋消失,而取而代之的是伊-蒙混层和伊利石,并随埋深增加伊利石含量增加。在 1000m 左右是蒙脱石向伊利石转化的峰期,而这一深度刚好对应着马家铺地区九佛堂组的次生孔隙发育带。粘土矿物的转化在这一深度段可产生大量水体,它们进入邻近的储层,从而在低 pH 和低碱浓度控制下,产生了次生孔隙。

3 结束语

1. 包日温都扇三角洲储层由于位于独特的构造位置,扇体不断地遭受大气水的冲洗,具有孔隙度和渗透率保存的最大潜势,断层和裂缝系统的发育形成了油气运移的最直接的通道,从而形成了本区独具特色的构造油藏,背斜构造的高部位为次生孔隙最为发育的扇中前缘砂体。

2. 马家铺地区扇三角洲储层性质受砂体微相和成岩作用的控制。水道砂体具有较高的孔隙性,而细粒的席状砂层则由于早期的压实作用封闭了原生孔隙,次生孔隙的发育也就受到了限制。由于粘土矿物脱水及超压作用,前缘砂体储层的孔隙度和渗透率得以保存,加上后期形成的区域性断裂直插生油洼陷,形成油气运移的有效通道,从而形成马家铺地区的上倾尖灭油藏。

3. 深洼中分布的浊积岩储层以骨架颗粒溶孔和微孔为主,储集空间不发育。但是它们与生油岩邻近,尤其是当裂缝发育,储层中又存在一定的孔隙度时,可具一定的储集能力。因此也应注意对这类致密油藏的勘探。

参 考 文 献

- [1] 张金亮等. 早期油藏地质研究及油藏表征. 西北大学出版社,1993.
- [2] 赖志云等. 中生代断陷湖盆沉积学研究及沉积模拟实验. 西北大学出版社,1994.
- [3] 刘宝珊,张锦泉主编. 沉积成岩作用. 科学出版社,1992.
- [4] 张金亮等. 乌尔逊凹陷大磨拐河组成岩作用及储层特征. 石油勘探与开发,1990,17(5):75~84.
- [5] Mathisen M E. Diagenesis of Plio-pleistocene nonmarine sandstones, cagayan Basin, Philippines; early development of secondary porosity in volcanic sandstones. In *Clastic Diagenesis*, AAPG Mem. 37, 1984.
- [6] Walker et al. Diagenesis in first-cycle desert alluvium of Cenozoic Age, southwestern United States and northwestern Mexico. *Geo. Soc. Amer. Bull.* 1978, 89: 19~32.
- [7] 吴崇筠等. 中国含油气盆地沉积学. 北京:石油工业出版社,1993.
- [8] Schmidt V and McDonald D A. Secondary reservoir porosity in the course of sandstone diagenesis. AAPG Continuing Education Course Note Series, 1979, No. 12.

(本文收到日期 1992-11-24)

(修改稿收到日期 1994-10-16)

(编辑 孟伟铭)

图版 I (1~8)说明

1. 孔隙衬边蒙脱石,呈蜂巢状,孔隙充填沸石,2400倍,包1井,437.20m。

1. Pore-lining smectites and pore-filling zeolite crystals. 2400X. Well Bao 1. 437. 20m.
2. 孔隙充填伊-蒙混层, 6500倍, 好1井, 1065. 36m.
2. Pore-filling illite/smectite clay minerals. 6500X. well Hao 1. 1065. 36m.
3. 伊-蒙混层(上方)和绿泥石(下方)充填孔隙, 5000倍, 庙7井, 892. 00m.
3. Pore-filling illite/smectite and chlorite cla minerals. 5000X. well Miao 7. 892. 00m.
4. 孔隙充填高岭石, 10000倍, 包2井, 1260. 80m.
4. Pore-filling Kaolinites. 10000X. well Bao 2. 1260. 80m.
5. 花苞状绿泥石充填孔隙, 2000倍, 陆参3井, 1847. 90m.
5. Pore-filling bud-like chlorites. 2000X. Well Lucan 3. 1847. 90m.
6. 孔隙充填钠长石和绿泥石, 2000倍, 陆参3井, 1847. 90m.
6. Pore-filling albites and chlorites. 2000X. well Lucan 3. 1847. 90m.
7. 自生石英, 3900倍, 包2井, 1264. 70m.
7. Authigenic microquartz crystals. 3900X. Well Bao 2. 1264. 70m.
8. 方沸石胶结砂岩, 100倍, 庙4井, 766. 50m.
8. Reservoir sandstone shoing atigenic analcite crysals. 100X well Miao 4. 766. 50m.

A STUDY OF THE DIAGENESIS OF THE RESERVOIR IN JIUFETANG FORMATION, LUXI DEPRESSION

Shen Feng Zhang Jinliang

(Xi'an Petroleum Institute)

Abstract

Detailed examinations of petrography, SEM, X-ray diffraction, electron microprobe, and stable isotope indicate the main diagenetic events in the reservoirs in Jiufetang formation, Luxi depression. Authigenic minerals in the reservoirs are smectite, illite, illite-smectite, chlorite, kaolinite, quartz, albite, zeolite, and carbonate. Diagenetic zones can be dividable based on diagenetic events related to temperature. Reservoir porosity in Jiufetang formation is secondary in origin and mainly distributed in the shallow diagenetic zone. Two diagenetic models regarding the formation and distribution of secondary porosity include: (a) the formation of secondary porosity relative to meteoric burial diagenesis; (b) the formation of secondary porosity associated with dehydration and transformation of clay minerals.

Key words Luxi depression diagenesis secondary porosity clay mineral
reservoir fan delta