

文章编号: 0253-2697(2011)04-0596-09

鄂尔多斯盆地姬塬地区上三叠统延长组长 8 油层组成岩相

王昌勇¹ 王成玉² 梁晓伟² 李士祥² 辛红刚² 郑荣才¹

(1. 成都理工大学沉积地质研究院 四川成都 610059; 2. 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院 陕西西安 710021)

摘要:在综合测试数据的基础上,系统地研究了姬塬地区长 8 油层组成岩作用类型、成岩期次与成岩流体性质,得到:①研究区长 8 油层组处于中成岩阶段 A 期,主要经历了压实-压溶、胶结、交代、溶蚀、自生矿物的充填及破裂等成岩作用;②沉积相对成岩作用的类型具有明显的控制作用,受古湖岸线位置控制的早期绿泥石环边胶结作用,是原生粒间孔得以保存的重要原因;③压实-压溶作用是造成孔隙缩减的主要原因,这一成岩作用贯穿整个成岩阶段;④自生矿物充填作用和碳酸盐胶结作用从早成岩阶段 B 期延续到中成岩阶段 A₁ 期,对储层造成不同程度的破坏;⑤溶蚀和破裂作用主要发生在早成岩阶段 B 期和中成岩阶段 A₁ 期,对改善储层物性意义重大。在上述研究基础上,将研究区长 8 油层组划为致密泥岩压实相、绿泥石环边胶结-溶蚀相、溶蚀-碳酸盐胶结相及方解石连生胶结相 4 个成岩相组合。储层的时空分布规律明显受沉积相和成岩相控制,研究区中部水下水分流河道沉积区的绿泥石环边胶结-溶蚀成岩相带为最有利储集层发育相带。

关键词:成岩流体;成岩相;长 8 油层组;姬塬地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE112.21

文献标识码:A

Diagenetic facies of the Chang 8 oil-bearing layer of the Upper Triassic Yanchang Formation in the Jiyuan area, Ordos Basin

WANG Changyong¹ WANG Chengyu² LIANG Xiaowei² LI Shixiang² XIN Honggang² ZHENG Rongcai¹

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Research Institute of Exploration & Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China)

Abstract:Based on comprehensive testing data, this paper discussed diagenetic types, timing and fluid properties of the Chang 8 oil-bearing layer in the Jiyuan area, Ordos Basin. Several lines of novel cognition were made as follows: ①The Chang 8 oil-bearing layer in the study area is at Phase A of the middle diagenesis that consists mostly of various diagenetic processes, such as compaction-pressure solution, cementation, metasomatism, corrosion, filling of autogenous minerals and fracture. ②Sedimentary facies significantly dominate types of diagenesis, the early rim cementation of chlorites controlled by the location of paleo-lakeline is of importance to the preservation of primary intergranular pores. ③Compaction-pressure solution leads to the most reduction of pores that lasts through the whole diagenesis. ④The filling of autogenous minerals and cementation of carbonates continue from Phase B of the early diagenesis to Phase A₁ of the middle diagenesis and may destroy reservoirs in various degrees. ⑤Corrosion and disruption occur mostly at Phase B of the early diagenesis and Phase A₁ of the middle diagenesis, significantly improving physical properties of reservoirs. On the basis of the above study, the Chang 8 oil-bearing layer of the study area was divided into four diagenetic types of facies combination, including dense-mudstone compaction, rim cementation-corrosion of chlorites, corrosion and carbonate cementation, and poikilitic cementation of calcites. The time-space distribution of reservoirs was obviously controlled by sedimentary and diagenetic facies, and chlorite-rim cementation-corrosion belts distributed in subaqueous distributary channels of the middle study area were proposed to be the most favorable places for reservoir development.

Key words: diagenetic fluid; diagenetic facies; Chang 8 oil-bearing layer; Jiyuan area; Ordos Basin

1 区域地质

姬塬地区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡中西部(图 1),面积约 $1.12 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。长 8 油层组位于上三叠统延长组中下部(表 1),主要为一套灰色砂岩、暗色泥岩及薄煤层互层组合,属于典型浅水三角洲沉积^[1-2]。该区长 8 油层组研究程度相对较低,但已有勘

探成果表明长 8 油层组为姬塬地区最为有利的油气聚集层位之一,发育岩性-地层型和岩性-构造复合型油藏^[3-4]。钟筱春等对长 8 油层组储层微观孔隙结构进行了研究,认为该油层组储层孔隙结构差,储层厚度和物性变化很大^[5],但对影响储层物性的主控因素,尤其是成岩相尚缺乏系统研究。笔者在沉积相特征研究的基础上,主要对该区长 8 油层组砂岩储层的成岩作用

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05003-001)“大型油气田及煤层气开发”资助。

第一作者及通讯作者:王昌勇,男,1981 年 8 月生,2003 年毕业于江汉石油学院,现为成都理工大学沉积地质研究院讲师,主要从事沉积学及石油地质研究。E-mail:qisiwoye_2001@163.com

类型和成岩流体性质进行了分析,并划分成岩相和确定成岩相与储层发育的关系,为储层和油藏预测评价提供依据。

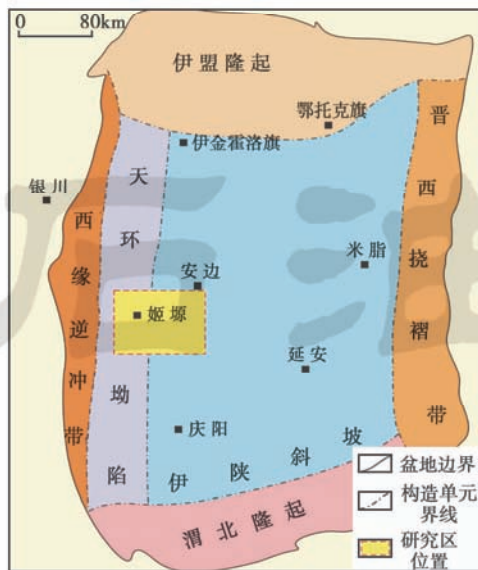


图1 研究区构造位置

Fig. 1 Tectonic location of the study area

表1 姬塬地区上三叠统延长组划分方案
(据长庆勘探开发研究院)

Table 1 Stratigraphic division of Yanchang Formation in Jiyuan area

地层	地层代号	油层组		
下侏罗统	延安组			
		T_3y^5	长1	
		T_3y^4	长2	
	上三叠统	延长组	长3	
			长4+5	
			T_3y^3	长6
				长7
			T_3y^2	长8
				长9
		T_3y^1	长10	
中三叠统	纸坊组			

2 砂岩物质组分特征

长8油层组储层砂岩主要为细—中砂岩,岩石类型主要为长石砂岩、岩屑长石砂岩及长石岩屑砂岩。砂岩各物质组分的体积分数变化较大:石英体积分数为27%~50%,以单晶石英为主;长石类型主要为斜长石、条纹长石,含少量微斜长石,体积分数为16%~57%;岩屑体积分数为11%~48%,包括千枚岩、板岩、片岩、变石英岩及云母碎屑等;长石和岩屑的高含

量反映出砂岩成分成熟度总体偏低。砂岩骨架颗粒多呈棱角—次棱角状,颗粒之间以线接触—凹凸接触为主,次为点接触,支撑方式多为颗粒支撑,以接触式和孔隙式胶结为主,碎屑颗粒分选较好但磨圆较差,反映其结构成熟度为中等偏低。砂岩中的填隙物体积分数一般为6.5%~10%,个别样品可达20%,主要为黏土杂基和绿泥石、方解石及石英等胶结物,其中方解石胶结物含量局部很高。重矿物体积分数一般不超过3%,以石榴石和锆石为主,次为绿帘石、电气石、楣石,含少量白铁矿、磁铁矿、锐钛矿及独居石等^[6]。

3 成岩作用类型及产物

姬塬地区长8油层组物源区母岩主要为低—中级变质岩与火成岩组合的杂岩体^[6],其风化物含大量云母、长石和富铁矿物等不稳定组分。这些不稳定的碎屑物被搬运至湖盆后,首先与湖水发生水解作用,其水解产物为绿泥石早期环边胶结作用提供了物质来源^[7-9]。沉积物被埋藏以后还将先后发生一系列成岩事件(图2),对储层造成不同的影响。

3.1 压实-压溶作用

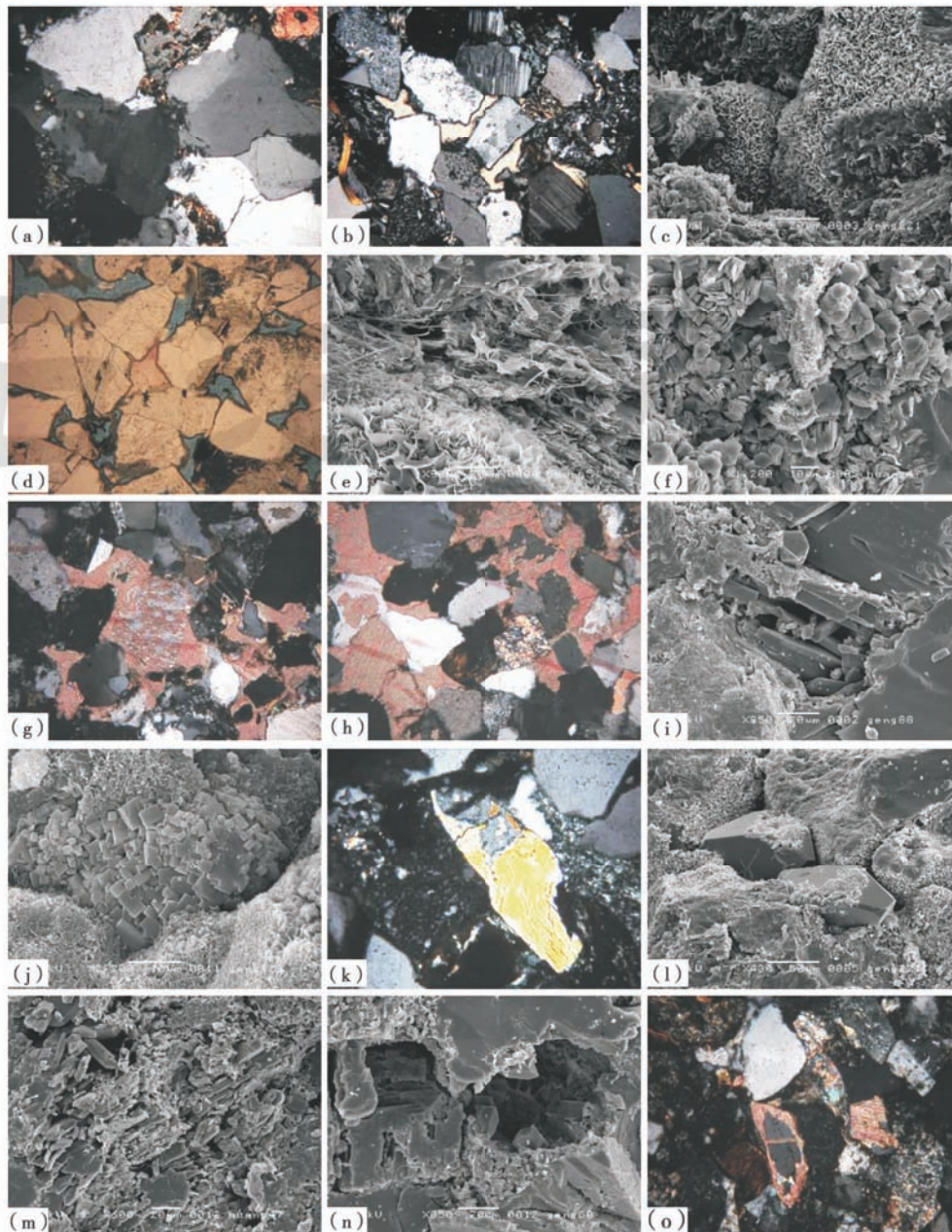
松散沉积物脱离上覆水体后,在上覆压力作用下总体积将逐渐缩小、孔隙度随之降低,这一成岩过程贯穿了整个成岩阶段。并伴随着埋深不断加大,颗粒接触处在高压作用下将发生溶解。姬塬地区长8油层组碎屑颗粒以线接触—凹凸接触为主,少量为缝合线接触[图2(a)],云母碎屑和泥岩屑有较强挠曲变形[图2(b)],反映了较强的压实-压溶作用,这是原生粒间孔隙强烈缩减的主要原因。

3.2 胶结作用

姬塬地区长8油层组胶结作用较为发育,由于胶结物占据了部分孔隙空间,不同程度地降低了储层物性,从而也导致储层物性变差和非均质性增强^[10]。但胶结作用同时提高了抗压实能力,可有效地保护原生粒间孔隙。

3.2.1 自生黏土矿物胶结作用

自生黏土矿物在长8油层组砂岩中广泛分布,常见的有高岭石、绿泥石、伊利石和伊蒙混层。以发生在早成岩阶段的绿泥石胶结作用最为重要,绿泥石呈环边薄膜状覆盖于碎屑颗粒周围[图2(c)和图2(d)]。已有研究成果^[11-16]表明,早成岩阶段盐度较高的孔隙水环境中砂岩更容易发生绿泥石环边胶结作用,当环边绿泥石薄膜厚度保持在5~8 μm 时,可有效地抑制压实和石英碎屑次生加大。长8油层组暗色泥岩具有较高的伽马蜡烷含量(图3),按照峰面积计算出伽马蜡烷和藿烷($\alpha\beta + \beta\alpha$)的比值为0.17,这一数值与东濮凹陷

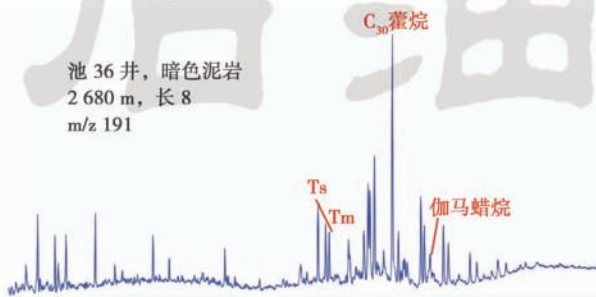


(a) 颗粒呈线接触—凹凸接触(+), 对角线长度 1.3 mm, 黄 47 井, 2596.2 m, 长 8_1 ; (b) 挠曲的云母矿物(+), 对角线长度 0.65 mm, 黄 51 井, 3087.7 m, 长 8_2 ; (c) 附着于碎屑颗粒表面的绿泥石薄膜, 耿 221 井, 2611.6 m, 长 8_2 ; (d) 原生粒间孔隙和铸模孔较为发育, 早期钙质胶结物充填部分原生粒间孔, 部分长石碎屑被白云石交代(-), 对角线长度 1.3 mm, 耿 221 井, 2611.6 m, 长 8_2 ; (e) 丝缕状伊利石及蜂巢状伊蒙混层覆盖于绿泥石包膜之上, 黄 51 井, 3087.7 m, 长 8_2 ; (f) 充填于粒间孔隙中的书页状高岭石集合体, 黄 47 井, 2596.2 m, 长 8_1 ; (g) 钙质胶结物充填粒内及长石粒间溶孔(+), 对角线长度 1.3 mm, 罗 31 井, 2828.2 m, 长 8_1 ; (h) 方解石胶结物交代石英和长石, 被交代的石英碎屑呈港湾状, 被交代的长石仅存“幻影”(+), 对角线长度 1.3 mm, 罗 31 井, 2828.2 m, 长 8_1 ; (i) 长石次生加大呈阶梯状, 耿 88 井, 2754.3 m, 长 8_1 ; (j) 充填于粒间孔隙中的石盐晶体, 耿 129 井, 2637.2 m, 长 8_1 ; (k) 充填于溶孔中的硬石膏(+), 对角线长度 0.65 mm, 黄 51 井, 3087.7 m, 长 8_2 ; (l) 被绿泥石交代的次生石英, 耿 221 井, 2611.6 m, 长 8_2 ; (m) 充填于长石粒内溶孔中的次生钠长石及高岭石, 黄 47 井, 2596.2 m, 长 8_1 ; (n) 长石粒内溶孔及充填于溶孔中的自生石英, 耿 88 井, 2754.3 m, 长 8_1 ; (o) 方解石胶结物充填颗粒裂缝(+), 对角线长度 0.65 mm, 耿 88 井, 2754.3 m, 长 8_1

图 2 姬塬地区长 8 油层组典型成岩现象

Fig. 2 Typical diagenetic events of Chang 8 oil-bearing layer sandstone in Jiyuan area

卫20井沙三段顶部蒸发岩中的伽马蜡烷与藿烷($\alpha\beta + \beta\alpha$)比值(0.13~0.33)^[17]相当,说明其沉积环境为偏碱性的咸水环境,有利于早成岩阶段绿泥石环边胶结作用。研究区内长8油层组的岩石薄片和扫描电镜分析结果表明,绿泥石环边胶结作用仅发育在湖岸线之外的三角洲前缘部位,而主要受淡水影响的三角洲平原绿泥石环边胶结不发育,此特征决定了三角洲前缘相带具有更强的抗压实性而有利于原生孔隙的保存。



注:分析单位为长江大学地球化学实验室,检测仪器为GC-MS气相质谱色谱仪(US10615059)

图3 姬塬地区长8油层组暗色泥岩GC-MS质量色谱
Fig.3 GC-MS chromatogram of mudstone of Chang 8 oil-bearing layer in Jiyuan area

伊蒙混层和伊利石黏土矿物胶结物形成时间依次晚于环边绿泥石,常呈丝缕状或蜂巢状覆盖于碎屑颗粒的绿泥石包膜之上[图2(e)],很容易堵塞砂岩孔隙,因此,伊蒙混层和伊利石黏土矿物胶结物对砂岩的渗透性有较大破坏作用。自生高岭石呈书页状或手风琴状充填于粒间[图2(f)],起分散胶结作用,对储层物性影响不大。

3.2.2 碳酸盐胶结作用

姬塬地区长8油层组碳酸盐胶结作用十分普遍,但不均匀,主要包括方解石、铁方解石、白云石和铁白云石等胶结物,一般缺乏明显早期胶结特征,并呈晶粒状充填部分原生孔隙[图2(d)],局部呈现强烈占据孔隙的连晶结构[图2(g)和(h)]。因此,碳酸盐胶结作用对储层可造成不同程度的破坏,其中以方解石连晶充填胶结作用对储层物性的破坏和非均质性的影响最为严重。

3.2.3 次生加大胶结作用

姬塬地区长8油层组砂岩中石英和长石颗粒的次生加大胶结作用很普遍,以石英次生加大更常见,通常发生在环边绿泥石胶结作用薄弱的位置,加大后的颗粒多呈线接触或凹凸接触[图2(a)],显然与较强的压实-压溶作用有关;长石次生加大边呈阶梯状[图2(i)],其形成与长石的热液溶蚀和再沉淀作用有

关。碎屑颗粒次生加大,特别是石英的次生加大,不仅缩小孔隙半径和降低岩石的孔隙、渗透性,甚至堵塞部分喉道而对储层物性影响较大。

3.2.4 石膏和石盐胶结作用

硬石膏和石盐的胶结作用发生在较晚的中成岩阶段,其中石盐分布较为普遍,常呈微细的立方体充填在碎屑颗粒的绿泥石、伊利石及伊蒙混层包膜的晶间微孔中[图2(j)];硬石膏较为少见,一般呈连晶状充填于长石粒内溶孔中[图2(k)]。

3.3 交代和重结晶作用

姬塬地区长8油层组以方解石交代长石和石英的现象最为常见,如石英碎屑边缘常呈被方解石交代的港湾状[图2(h)],长石被方解石彻底交代后仅残留长石碎屑幻影[图2(h)]。黏土矿物交代石英的现象也较为常见,主要是中成岩阶段的自生绿泥石、伊利石、高岭石等黏土矿物溶蚀和交代自生石英[图2(l)]。此外,还能见到少量的片状云母矿物绿泥石化及白云石交代斜长石的现象[图2(d)]。研究区长8油层组砂岩的重结晶作用主要为不同成岩期次形成的晶粒状方解石胶结物重结晶为连生方解石的过程[图2(h)]。

3.4 溶蚀作用

砂岩中矿物组分被溶蚀是形成次生孔隙的重要因素,姬塬地区长8油层组砂岩中长石的溶蚀对次生孔隙贡献最大。斜长石首先遭受溶蚀且溶蚀强度最高,一般沿解理面开始溶蚀形成微溶缝[图2(m)],然后逐渐扩大形成溶孔[图2(n)],甚至完全被溶蚀而形成铸模孔[图2(d)]。部分岩屑和胶结物,如云母和方解石胶结物也有溶蚀现象,多形成微细的溶孔或溶缝。

3.5 自生矿物的充填作用

伴随长石的强烈溶蚀,孔隙流体富含 Al_2O_3 、 SiO_3^{2-} 等组分,这些组分的分异并与其他金属阳离子的再结合而导致热液矿物,如自生高岭石、绿泥石、伊利石、钠长石、石英、石盐、硬石膏和黄铁矿等次生矿物的沉淀^[15],这些自生矿物常共生和充填于次生溶孔中[图2(m)和图2(n)]。

3.6 破裂作用

姬塬地区长8油层组砂岩的破裂作用不甚发育,偶尔可见到方解石充填在碎屑颗粒的破裂缝中[图2(o)],多为成岩压实过程的产物,而构造裂缝仅在岩心中偶尔见到。

4 成岩序列及演化模式

4.1 各成岩阶段流体性质

依据含烃盐水包裹体的测试结果(表2),可确定

姬塬地区长8油层组砂岩中存在多期物理和化学性质有明显差异的成岩流体,可划分出71℃、102~124℃、130~139℃3个分别对应于早成岩阶段B期、中成岩

阶段A₁期、中成岩阶段A₂期的成岩温度段,相对应的各成岩温度段流体盐度也逐渐升高,反映了不同的成岩流体性质。

表2 姬塬地区长8油层组与烃类包裹体共生的盐水包裹体主要特征参数

Table 2 Key characteristic parameters of synthetic hydrocarbon-bearing saline inclusions of Chang 8 oil-bearing layer in Jiyuan area

井号	宿主矿物	深度/m	大小/ μm	气、液比值/%	均一温度/℃	冰点/℃	盐度/%	伴生的烃包裹体荧光色
耿221	石英裂缝	2602	4.4	8	71	失败	—	浅黄色
耿221	石英裂缝	2602	4.7~6.3	7~9	102~108	-0.5~-0.9	0.88~1.57	浅黄色
耿221	石英裂缝	2602	4.4~4.8	9~11	120~124	-0.9~-1.4	1.57~2.41	浅黄色
耿88	石英裂缝	2754.3	4.3~5.3	7	130~138	-1.2~-2.2	2.07~3.71	浅黄色
耿88	石英加大边	2754.3	4.4~6.8	8~10	133	-2.2~-2.4	3.71~4.03	浅黄色
罗36	石英裂缝	2551	4.1~6.5	8~10	131~135	-1.7~-2.4	2.90~4.03	浅黄色
罗36	石英裂缝	2551	4.8~5.8	7~8	139	-1.8~-2.5	3.06~4.18	蓝白色
元189	石英裂缝	2222	4.6	7~9	128	-1.7~-1.8	2.90~3.06	浅黄色
元189	石英裂缝	2222	4.9~6.7	8~11	131~137	-1.7~-2.4	2.90~4.03	浅黄色

注:流体包裹体荧光观察、均一温度、盐度分析由中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室完成,流体包裹体分析仪器为英国 Linkam 公司 THMSG 600 冷热台,测试精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$,显微镜为日本产 Olympus BX51 显微镜,另配 100 倍长焦工作镜头。

4.2 成岩序列及演化模式

4.2.1 准共生—早成岩阶段 A 期

准共生阶段主要为铝硅酸盐的水化作用,包括绿泥石及云母类矿物与底层水发生反应,水解为黏土及其他化学成分。此时沉积物一般处于弱还原的成岩环境,一些次生矿物沿沉积界面开始形成,如黏土化的云母类碎屑在沉积物表面发生微晶菱铁矿化。这一时期有机质开始经历细菌的分解和水解,转化为分子量较低的脂肪酸、氨基酸等生物化学单体。

早成岩阶段 A 期,沉积物处于浅埋藏阶段,铝硅酸盐的水解作用、有机质的有氧呼吸持续进行,随沉积物埋深增大,压实强度增加,蒙皂石开始向伊蒙混层转化。压实过程中伴随大量孔隙水的排出,沉积物体积不断缩小,这一阶段沉积物体积缩减量最大,同时原生粒间孔开始发生绿泥石薄膜的环边胶结作用,在一定程度上增强了砂岩抗压实能力,使得部分原生粒间孔在深埋藏过程中得以保存。需要指出的是,姬塬地区长8油层组为一套煤系地层,泥岩中有机质丰富,高含量的有机质有氧呼吸可形成大量 CO_2 , 过量供给的 CO_2 与水结合形成高丰度 HCO_3^- 离子的流体环境而不利于方解石沉淀,因此,研究区长8油层组砂岩准共生—早成岩阶段 A 期缺乏钙质胶结作用。

4.2.2 早成岩阶段 B 期

此阶段绿泥石的环边胶结作用继续发生,随沉积物埋深逐渐加大,地层压力和温度不断升高,当有机质组分进入具有一定温度和压力条件的生烃阶段,生烃过程可产生大量酸性有机热液。当有机热液一旦进入砂岩时,首先沿粒间孔对不稳定的碎屑颗粒或填隙物组分如碎屑长石、岩屑和杂基等组分,进行强烈溶蚀而

形成丰富的粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔,并形成方解石、钠长石[图 2(m)]、石英和热液高岭石等自生矿物充填物^[18],由长石溶蚀产生的 Ca^{2+} 离子被认为是充填长石粒内溶孔的雾状方解石胶结物的主要来源^[19]。随着压实强度和地温增大,石英颗粒接触处压力超过正常孔隙流体压力导致石英遭受溶解和变形, SiO_2 水化为 H_4SiO_4 分子并以石英颗粒表面的水膜为通道向周围孔隙运移。由于孔隙流体压力小于颗粒接触点压力,因此,游离 SiO_2 很快在孔隙附近以石英次生加大边的形式沉淀下来,这一过程可持续到中成岩阶段。总体看来,早成岩阶段 B 期的溶蚀作用有利于次生孔隙形成,而各类次生矿物的沉淀也对储层造成一定程度的破坏。

4.2.3 中成岩阶段

中成岩阶段 A₁ 期和 A₂ 期的孔隙流体具有继承性演化的性质。中成岩阶段 A₁ 期,随着长石的不断被溶蚀和有机酸热液的消耗,孔隙流体 pH 值逐渐升高。伴随幕式排烃作用,大量 CO_2 随脱羧基后的烃类进入砂岩储层,并与流体中的 Ca^{2+} 离子结合形成质纯的方解石胶结物,充填部分原生粒间孔隙和长石粒内溶孔。

中成岩阶段 A₂ 期,充填长石粒内溶孔和原生粒间孔的方解石胶结物逐步交代长石和与之接触的石英颗粒,形成连晶方解石胶结物,被方解石完全交代的长石原有外形依稀可辨。白云石胶结物也于该阶段开始沉淀,这一成岩时期局部发育硬石膏和石盐次生矿物,是成岩流体具有高盐度性质的显著标记。

中成岩阶段长石和岩屑的继续溶蚀作用能在一定程度上改善储层,而碳酸盐的胶结和交代作用,对储层

的破坏极为严重,特别是中成岩 A₂ 期方解石的连生胶结作用,导致大量原生粒间孔和次生溶孔几乎被完全充填。姬塬地区长 8 油层组 R₁ 为 0.8%~1.2%,伊蒙混层中蒙皂石含量小于 5%,同时流体包裹体分析显示,长 8 油层组与油包裹体伴生的盐水包裹体均一温度最高为 139℃(表 2),处于中成岩阶段 A₂ 期(图 4)。

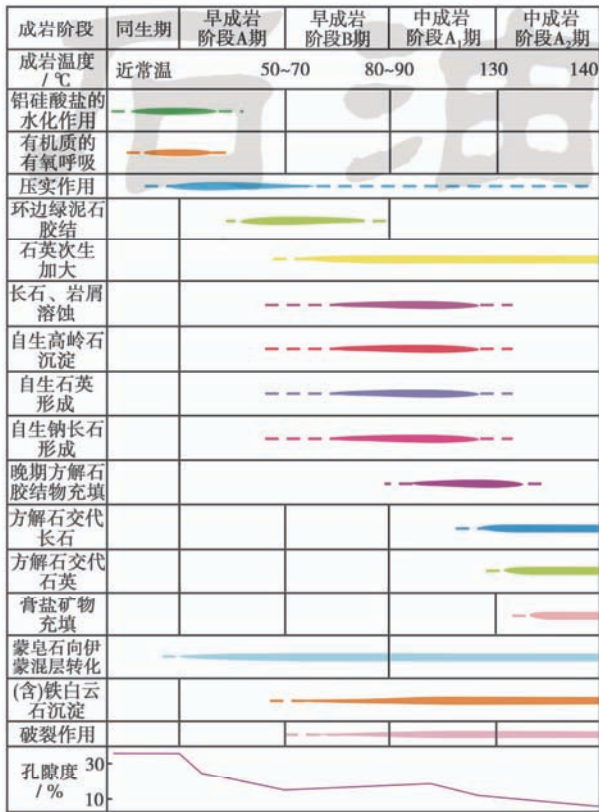


图 4 姬塬地区长 8 砂岩储层成岩阶段及成岩序列

Fig. 4 Diagenesis types and evolution patterns of Chang 8 sandstone in Jiyuan area

5 成岩相划分及组合特征

碎屑岩成岩相包括碎屑沉积时的物理化学环境、固结成岩方式及成岩过程孔隙水演化历史几个方面,系指特定沉积和成岩物理化学环境中的物质表现和成岩作用组合与演化的总体特征^[15],某一位置可能同时受多种成岩相控制,需要对成岩相进行归并、组合,总结其对储层发育的控制规律。

5.1 姬塬地区成岩相(组合)划分

根据代表性的成岩类型,姬塬地区长 8 油层组可划分为绿泥石环边胶结相、长石溶蚀相、碳酸盐胶结相及压实相 4 个典型的成岩相,进而根据胶结方式和成岩强度划分出绿泥石环边胶结—溶蚀相、溶蚀—碳酸盐胶结相、方解石连生胶结相及致密泥岩压实相 4 个成岩相(组合)[图 5(a)],各成岩相具有不同的成岩作用组合和储层发育特征。

5.2 姬塬地区成岩相(组合)特征

5.2.1 绿泥石环边胶结—溶蚀相组合

该成岩相组合位于姬塬地区中部,大致以南、北湖岸线为界,主要发育在水下分流河道中(图 5),以早期绿泥石环边胶结作用为主,同时具有长石溶蚀、石英次生加大、次生高岭石充填孔隙及碳酸盐胶结部分原生粒间孔等特征[图 6(a)].得益于早期的绿泥石环边胶结,砂岩中的大量原生粒间孔隙得以保存,储层孔隙结构较好,大部分孔喉直径为 0.1~2.5 μm,其中 0.6 μm 以上的中—粗喉道占 40% 以上[图 6(a)].砂岩密度介于 2.3~2.4 g/cm³,为所有样品实测密度最小值,而孔隙度最高,平均达 12.89%,平均渗透率约 1.73 × 10⁻³ μm²,平均孔径 0.22 μm,平均排驱压力低于 1 MPa(表 3),为最有利储层发育的成岩相。

表 3 不同成岩相组合砂岩特征对比

Table 3 Sandbody characteristics of distinct diagenetic facies assemble

主要成岩相类型	样品数 /个	平均孔隙度 /%	岩石平均密度 / (g·cm ⁻³)	平均渗透率 /10 ⁻³ μm ²	平均排驱压力 /MPa	平均孔径 /μm
方解石连生胶结相	4	4.23	2.56	0.01	9.55	0.02
溶蚀—碳酸盐胶结相	3	7.62	2.44	0.20	3.79	0.14
绿泥石环边胶结—溶蚀相	2	12.89	2.34	1.73	0.71	0.22

5.2.2 溶蚀—碳酸盐胶结相组合

长石溶蚀与碳酸盐胶结是姬塬地区最为普遍两种成岩作用,碳酸盐胶结物常充填部分长石粒内溶孔及粒间孔隙。研究区北部、西部及南部三角洲平原地区主要为溶蚀—碳酸盐胶结相(图 5),以碳酸盐(主要为方解石胶结物)不完全充填孔隙为特征[图 6(b)].由于部分原生粒间孔隙及长石粒内溶孔部分被碳酸盐充填,因此此类储层物性要差于绿泥石环边胶结—溶

蚀相区,缺少 0.6 μm 以上的粗大孔喉,孔喉直径主要为 0.1~0.6 μm [图 6(b)].砂岩密度介于 2.4~2.5 g/cm³,平均 2.44 g/cm³,物性稍差,平均孔隙度约 7.62%,平均渗透率 0.2 × 10⁻³ μm²,平均孔径 0.14 μm (表 3),平均排驱压力明显增大,为较有利储层发育的成岩相。

5.2.3 方解石连生胶结相

该成岩相组合呈点状分布于罗 31 井、罗 27 井、安

72井及元147井周围[图5(a)],主要为方解石充填长石粒内溶孔,并逐渐交代残余长石而形成较大面积的钙质胶结物,胶结物中原有颗粒形态依稀可辨,并有雾心残余[图6(c)].方解石的连生胶结作用对储层的破坏是致命的,此类胶结相下的砂岩几乎只残存了直

径在 $0.4\mu\text{m}$ 以下的束缚孔隙[图6(c)].该成岩相的砂岩密度最大,所有样品实测密度为 $2.5\sim 2.6\text{g}/\text{cm}^3$,平均 $2.56\text{g}/\text{cm}^3$,而平均孔隙度最低,仅 4.23% ,平均渗透率约 $0.01\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均孔径仅 $0.02\mu\text{m}$,排驱压力近 10MPa (表3),在一般条件下不能形成储层。

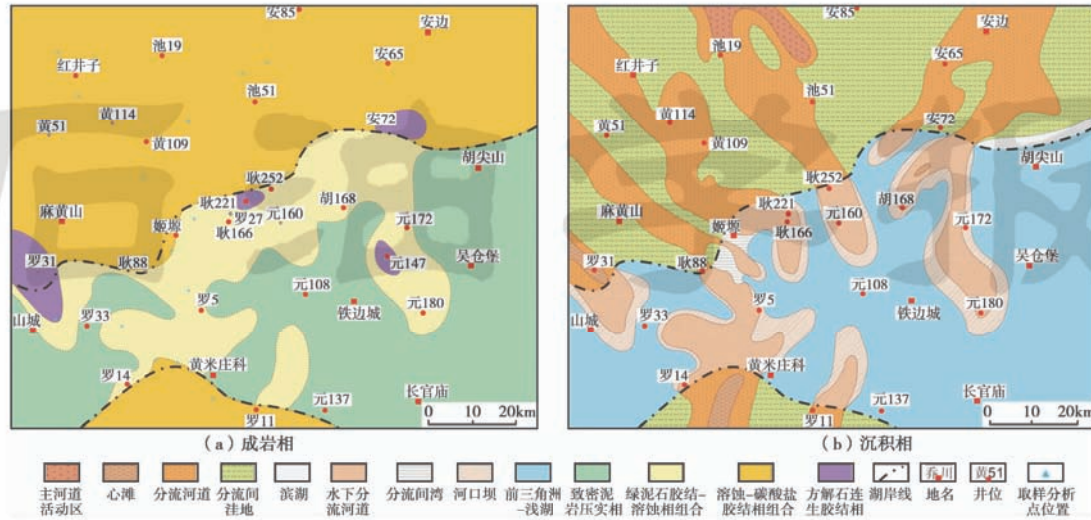


图5 姬塬地区长8油层组沉积相及成岩相分布

Fig. 5 The plane distribution of sedimentary facies and diagenetic facies of Chang 8 oil-bearing layer of Yanchang Formation in Jiuyan area

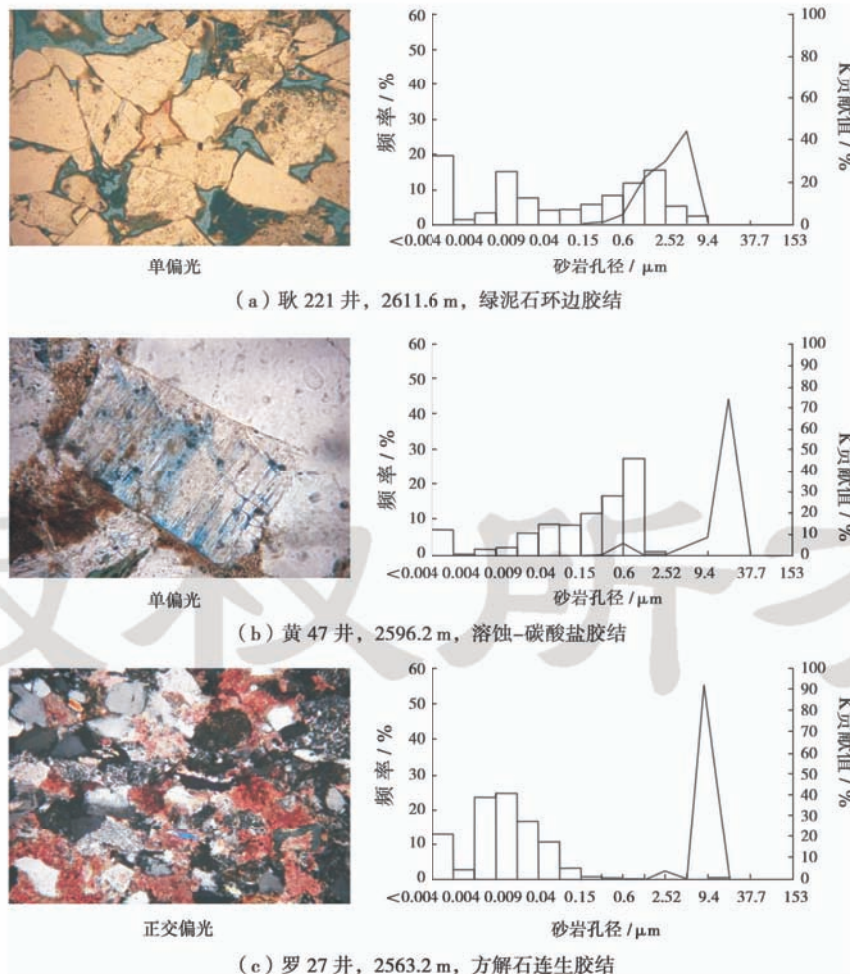


图6 典型成岩相组合及其孔隙结构特征

Fig. 6 Typical diagenetic facies assemble of sandbody and its pore structure characteristics

5.2.4 致密泥岩压实相

主要分布于研究区西南及东部,为前三角洲及浅湖亚相的泥岩和粉砂质泥岩(图5),几乎不发育储集砂岩,为垂向上和平面上厚度都较为稳定的致密隔层和盖层,将不同时期的砂体分隔为相对独立的成岩体系。

6 结论

(1) 姬塬地区长8油层组处于中成岩阶段A₂期,压实作用、早期绿泥石的环边胶结作用、长石溶蚀作用及碳酸盐胶结作用与储层发育最为密切,据此划分出绿泥石环边胶结—溶蚀相组合、溶蚀—碳酸盐胶结相组合、方解石连生胶结相及致密泥岩压实相4个成岩相(组合)。

(2) 长石的溶蚀是研究区普遍存在的一类成岩现象,同时伴随有不同程度的碳酸盐胶结作用,而绿泥石的环边胶结则主要发育在三角洲前缘。

(3) 绿泥石环边胶结—溶蚀相组合区砂岩原生孔隙保存较好,同时有次生溶孔发育,为储层发育的最有利相带;溶蚀—碳酸盐胶结相组合区砂岩原生粒间孔隙大都自生矿物充填,加上长石粒内溶孔部分被碳酸盐充填,储层物性稍差,为较有利储层发育的相带;方解石连生胶结相区,原生粒间和粒内溶孔几乎完全被破坏,不能形成有效储层。

参 考 文 献

- [1] 李元昊,刘池洋,独育国,等.鄂尔多斯盆地西北部上三叠统延长组长8油层组浅水三角洲沉积特征及湖岸线控砂[J].古地理学报,2009,11(3):265-274.
Li Yuanhao, Liu Chiyang, Du Yuguo, et al. Sedimentary characteristics of shallow water delta and lake shoreline control on sandbodies of Chang 8 oil-bearing interval of the Upper Triassic Yanchang Formation in northwestern Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(3): 265-274.
- [2] 韩永林,王成玉,王海红,等.姬塬地区长8油层组浅水三角洲沉积特征[J].沉积学报,2009,27(6):1057-1064.
Han Yonglin, Wang Chengyu, Wang Haihong, et al. Sedimentary characteristics of shallow-water deltas in Chang-8 Subsection of Yanchang Formation, Jiyuan area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(6): 1057-1064.
- [3] 王昌勇,郑荣才,李忠权,等.鄂尔多斯盆地姬塬油田长8油层组岩性油藏特征[J].地质科技情报,2010,29(3):69-74.
Wang Changyong, Zheng Rongcai, Li Zhongquan, et al. Characteristics of lithologic reservoir of interval 8 of Yanchang Formation in Jiyuan Oilfield of Ordos Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(3): 69-74.
- [4] 王昌勇,郑荣才,王成玉,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组中段岩性油藏成藏规律研究[J].岩性油气藏,2010,22(2):84-94.
Wang Changyong, Zheng Rongcai, Wang Chengyu, et al. Hydrocarbon accumulation law of lithologic reservoirs of middle Yanchang Formation in Jiyuan area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(2): 84-94.
- [5] 钟筱春,黄淮.鄂尔多斯盆地延长统油层微观结构研究[J].石油学报,1985,6(3):41-50.
Zhong Xiaochun, Huang Huai. Micro-structure study of the Upper Triassic Yanchang Series in the south part of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1985, 6(3): 41-50.
- [6] 王纹婷,郑荣才,王成玉,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区长8油层组物源分析[J].岩性油气藏,2009,21(4):41-46.
Wang Wenting, Zheng Rongcai, Wang Chengyu, et al. Provenance analysis of the 8th oil-bearing member of Yanchang Formation, Upper Triassic, Jiyuan area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(4): 41-46.
- [7] Billault V, Beaufort D, Baronnet A, et al. A nanopetrographic and textural study of grain-coating chlorites in sandstone reservoirs[J]. Clay Minerals, 2003, 38(3): 315-328.
- [8] 刘金库,彭军,刘建军,等.绿泥石环边胶结对致密砂岩孔隙的保存机制——以川中-川南过渡带包界地区须家河组储层为例[J].石油与天然气地质,2009,30(1):53-58.
Liu Jinku, Peng Jun, Liu Jianjun, et al. Pore-preserving mechanism of chlorite rims in tight sandstone: An example from the T₃x Formation of Baojie area in the transitional zone from the central to southern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 53-58.
- [9] 柳娜,南珺祥,刘伟.鄂尔多斯盆地中部长6和长8储层特征及酸敏机理[J].石油学报,2008,29(4):588-591.
Liu Na, Nan Junxiang, Liu Wei. Reservoir characteristics and acid sensitivity mechanism of Chang 6 and Chang 8 reservoirs in the central of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(4): 588-591.
- [10] 柳益群,李文厚.陕甘宁盆地东部上三叠统含油长石砂岩的成岩特点及孔隙演化[J].沉积学报,1996,14(3):87-96.
Liu Yiqun, Li Wenhui. Diagenetic characteristics and porosity evolution of the oil-bearing arkoses in the Upper Triassic in the eastern Shaan-Gan-Ning Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(3): 87-96.
- [11] 张胜斌,王琪,李小燕,等.川中南河包场须家河组砂岩沉积—成岩作用[J].石油学报,2009,30(2):225-231.
Zhang Shengbin, Wang Qi, Li Xiaoyan, et al. Depositional-diagenetic coupling complex of Xujiache sandstone in Hebaochang Block in the south part of the Central Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(2): 225-231.
- [12] Ehrenberg S N. Preservation of anomalously high porosity in deeply buried sandstones by grain coating chlorite: Examples from the Norwegian continental shelf [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(7): 1260-1286.
- [13] 刘宝珺,张锦泉.沉积成岩作用[M].北京:科学出版社,1994:1-255.
Liu Baojun, Zhang Jinquan. Sedimentation and diagenesis[M]. Beijing: Science Press, 1994: 1-255.
- [14] 朱平,黄思静,李德敏,等.黏土矿物绿泥石对碎屑储集岩孔隙的保护[J].成都理工大学学报:自然科学版,2004,31(2):153-156.
Zhu Ping, Huang Sijing, Li Demin, et al. Effect and protection of

- chlorite on clastic reservoir rocks[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2004, 31(2): 153-156.
- [15] 郑荣才,耿威,周刚,等.鄂尔多斯盆地白豹地区长6砂岩成岩作用与成岩相研究[J].岩性油气藏,2007,19(2):1-8.
Zheng Rongcai, Geng Wei, Zhou Gang, et al. Diagenesis and diagenetic facies of Chang 6 sandstone of Yanchang Formation in Baibao area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(2): 1-8.
- [16] 王琪, 嵇喜准, 陈国俊, 等. 鄂尔多斯西部长6砂岩成岩演化与优质储层[J]. 石油学报, 2005, 26(5): 21-27.
Wang Qi, Zhuo Xizhun, Chen Guojun, et al. Diagenetic evolution and high-quality reservoir in Chang 6 sandstone in the western Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(5): 21-27.
- [17] 李任伟. 伽马蜡烷的地质产状及古环境意义[J]. 科学通报, 1988, 33(20): 1574-1576.
- Li Renwei. Geological occurrence and its paleoenvironment significance of Gammacerane[J]. Chinese Science Bulletin, 1989, 34(14): 1208-1211.
- [18] 陈鑫, 钟建华, 袁静, 等. 渤海注陷深层碎屑岩储集层中的黏土矿物特征及油气意义[J]. 石油学报, 2009, 30(2): 201-207.
Chen Xin, Zhong Jianhua, Yuan Jing, et al. Characteristics of clay mineral and its hydrocarbon significance in Paleogene clastic reservoir of Bonan Sag [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(2): 201-207.
- [19] 王琪, 郝乐伟, 陈国俊, 等. 白云凹陷珠海组砂岩中碳酸盐胶结物的形成机理[J]. 石油学报, 2010, 31(4): 553-558.
Wang Qi, Hao Lewei, Chen Guojun, et al. Forming mechanism of carbonate cements in siliciclastic sandstone of Zhuhai Formation in Baiyun Sag [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(4): 553-558.

(收稿日期 2010-11-25 改回日期 2011-03-04 责任编辑 熊英)

第四届中国石油地质年会隆重召开

第四届中国石油地质年会于2011年6月8—10日在北京会议中心召开,这次年会是在油气勘探理论技术创新与发展的新形势下召开的一次十分重要的科技盛会,其主题为“常规和非常规油气资源——中国石油工业持续发展的基础”,包括石油企业论坛、石油地质论坛、勘探技术论坛、勘探家论坛、中国石油地质理论新进展、中国油气勘探新进展与成功案例、中国常规与非常规天然气理论与勘探潜力、油气勘探和工程技术进步、全球石油地质研究与海外勘探进展、青年地质家论坛及大会展板等内容。参会代表来自中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司、中国中化集团公司、国土资源部、中国科学院、北京大学、南京大学、西北大学、中国地质大学、中国矿业大学、中国石油大学及长江大学等56家单位。包括15位两院院士、3位外籍专家及众多国内知名专家的600余名代表出席了会议,共收到学术论文348篇,选取了28篇论文进行大会交流、114篇论文进行分会交流以及80篇论文进行展板交流,会议还邀请了3位外籍专家作专题报告,以增进大家对全球油气勘探理论技术进步的了解。本次年会在参会人数、提交论文数量上均达到历届年会之最,在学术交流质量和效果上也有明显提高,在组织方式和会议活动机制上有较大创新,是中国石油地质年会自2004年创办以来规模及影响最大的一次盛会。

本次年会的报告,在关注常规油气资源的同时,把更多目光投向非常规油气资源。探讨了非常规油气资源的理论技术前沿、勘探开发现状以及未来发展潜力,对加强国内非常规油气资源的勘探开发具有重要的现实指导意义。年会首次设置了“全球石油地质研究与海外勘探进展”分会场,与会代表们共同探讨了世界石油地质理论与技术的最新进展,以及全球油气勘探的最新成果,进一步提升了国际化视野。同时注重对青年地质家的培养,首次设置了青年地质家论坛,吸引了许多青年地质家参与,并从参会论文中评选了10篇优秀青年论文及8篇优秀展板论文。

年会在总结成果的基础上也展望了未来油气勘探开发的趋势与发展方向,特别是美国对页岩气、致密油气等非常规油气的大规模高效勘探开发及其理论技术如连续型油气分布理论、水平井多段压裂技术、页岩气储层纳米级孔隙识别技术等进步的,对中国加强非常规油气资源的勘探与开发具有重要的指导与借鉴意义。

《石油学报》编辑部