

文章编号:0253-9985(2012)01-0050-11

沉积期火山作用对川西坳陷须家河组优质储层的意义

曾小英¹, 张娟², 刘远洋¹, 李勇¹

(1. 中国石化西南油气分公司勘探开发研究院, 四川成都 610081; 2. 西南石油大学石油工程学院, 四川成都 610500)

摘要:须家河组是川西坳陷的区域气层, 由于埋深大, 储层普遍经历了复杂的成岩作用, 造成了现今储层的致密-超致密化, 但在致密-超致密背景下仍发育部分储集性能相对较好的孔隙性储层。通过对研究区30余口井、7 000余块岩石薄片、1 000余块铸体薄片的观察与鉴定及其相关储层研究表明, 火山碎屑溶蚀孔是须家河组二段、须家河组四段砂岩主要储集空间, 是形成该区优质储层的主要控制因素, 母岩风化搬运沉积下来的长石溶蚀不是形成中、高孔隙性砂岩的主要原因。因为同沉积期火山喷发作用形成的火山碎屑物含有较多的“易溶组分”, 在成岩过程中易溶蚀脱玻化形成孔隙, 从而控制了次生溶孔发育的较高渗透性砂岩储层的分布。因此, 同沉积期火山作用的成分及其溶蚀作用强度是控制须家河组砂岩优质储层的发育、分布和形成本区中、高孔隙性砂岩的主要原因。甘孜-理塘陆间裂谷带上, 晚三叠世火山活动强烈, 是研究区火山物质的主要来源。

关键词:同沉积期; 火山作用; 易溶组分; 次生溶孔; 孔隙成因; 优质储层; 须家河组; 川西坳陷

中图分类号:TE122.1 **文献标识码:**A

Significance of syndepositional volcanism to high quality reservoirs in the Xujiahe Formation, the western Sichuan Depression

Zeng Xiaoying¹, Zhang Juan², Liu Yuanyang¹ and Li Yong¹

(1. Research Institute of Exploration & Development, SINOPEC Southwest Oilfield Company, Chengdu, Sichuan 610081, China;

2. School of Petroleum Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

Abstract: The Xujiahe Formation is a regional gas reservoir in western Sichuan Depression. Due to the great burial depth, the reservoir generally experienced complicated diagenesis, resulting in tight to supertight reservoirs. Even so, porous reservoirs with relatively good storage capacity were also developed. From observation of more than 30 wells, over 7 000 ordinary thin sections and over 1 000 cast thin sections in the study area as well as the research of related reservoirs, it is demonstrated that volcanic debris dissolved pores are the major storage space of sandstones of the 2nd and 4th member of Xujiahe Formation, and are the major controlling factor of high quality reservoirs in the area. Dissolution of feldspar deposited through weathering and transportation of parent rock is not the major reason for the forming of sandstone with medium-high porosity. Volcanic debris from syndepositional volcanic eruption contain many “soluble compositions”, which tend to be dissolved and devitrified to form pores during diagenesis, thus controlling the distribution of high-permeability sandstone reservoirs with well-developed secondary dissolved pores. Therefore, the compositions of debries from the syndepositional volcanism and their dissolution intensity are the major factors controlling the development and distribution of high quality reservoirs of the Xujiahe Formation and the formation of sandstone with medium-high porosity. Ganzi-Litang inter-continental rift area where volcanisms were strong during the Late Triassic was the major source for volcanic debris in the study area.

Key words: syndepositional period, volcanism, soluble composition, secondary dissolution pore, pore genesis, high quality reservoir, Xujiahe Formation, western Sichuan Depression

收稿日期: 2011-06-12; 修订日期: 2011-12-12。

第一作者简介: 曾小英(1960—), 女, 高级工程师, 油气储层地质。

基金项目: 国家“十一五”科技攻关项目(2008ZX05002-004)。

川西坳陷上三叠统须家河组是低孔渗-超低孔渗透砂岩气藏,储层主要发育于须家河组二段和四段(以下简称须二段、须四段)。须二段埋深4 600~5 300 m,储层主要属于河流-三角洲沉积体系,砂岩以大套厚层至块状较纯的砂质沉积为特征,砂岩累厚350~410 m,占地层厚度72%~95%,纵向上划分为上、中、下3个亚段和1—9套砂体。须四段埋深3 200~4 000 m,储层主要属于辫状河三角洲沉积,砂、砾岩累厚250~300 m,砂岩岩性及成分较复杂,既有岩屑含量低的砂岩,也有含量高的钙屑砂岩,纵向上分为上、中、下3个亚段和1—11套砂体(图1)

随着研究的深入,在总体致密的须家河组砂体中也发育有相对高孔渗透的优质储层(表1),人们还认识到基质孔隙和储层厚度是控制须二、须四段气藏高产、稳产的主要控制因素,同沉积期火山碎屑组分的成岩溶蚀是形成这些层段优质储层的主要原因,几乎孔隙度大于6%的孔隙性砂岩都与火山碎屑组分有关。

对须家河组火山碎屑组分成岩溶蚀孔隙成因

Table 1 Physical properties of each sand units in the 4th and 2nd members of Xujiahe Formation in Xiao-Xin-He area

层位	段	砂体编号	孔隙度,%				渗透率/(10 ⁻³ μm ²)			
			样本数/个	最大值	最小值	平均值	样本数/个	最大值	最小值	平均值
须四段	上亚段	Tx ⁴⁽²⁾	95	9.97	0.41	5.05	99	0.860	0.003	0.195
		Tx ⁴⁽³⁾	404	11.84	0.70	7.27	330	0.865	0.003	0.106
		Tx ⁴⁽⁴⁾	246	9.76	0.73	5.25	246	0.860	0.001	0.094
	中亚段	Tx ⁴⁽⁵⁾	99	9.67	0.90	0.99	99	0.856	0.001	0.060
		Tx ⁴⁽⁶⁾	38	2.87	0.70	1.16	29	0.330	0.012	0.052
		Tx ⁴⁽⁷⁾	5	4.07	2.39	3.18	2	0.821	0.015	0.418
		Tx ⁴⁽⁸⁾	2	4.23	1.86	3.05	2	0.034	0.009	0.022
	下亚段	Tx ⁴⁽⁹⁾	232	11.50	0.26	5.13	218	0.691	0.001	0.074
		Tx ⁴⁽¹⁰⁾	5	1.70	0.74	1.11	32	0.230	0.003	0.011
		Tx ⁴⁽¹¹⁾	19	3.85	0.27	1.45	19	0.122	0.004	0.034
须二段	上亚段	Tx ²⁽¹⁾	320	6.82	0.59	3.55	301	0.942	0.007	0.081
		Tx ²⁽²⁾	329	7.40	0.60	2.82	328	0.942	0.001	0.057
		Tx ²⁽³⁾	120	8.17	0.37	3.48	100	0.754	0.001	0.084
	中亚段	Tx ²⁽⁴⁾	722	10.37	0.76	4.07	417	0.979	0.003	0.074
		Tx ²⁽⁵⁾	89	6.43	1.59	4.24	25	0.739	0.005	0.074
		Tx ²⁽⁶⁾	32	8.10	0.44	4.12	26	0.796	0.002	0.128
	下亚段	Tx ²⁽⁷⁾	172	9.38	1.07	3.91	125	0.640	0.003	0.074
		Tx ²⁽⁸⁾	5	2.18	0.96	1.48	5	0.546	0.072	0.185

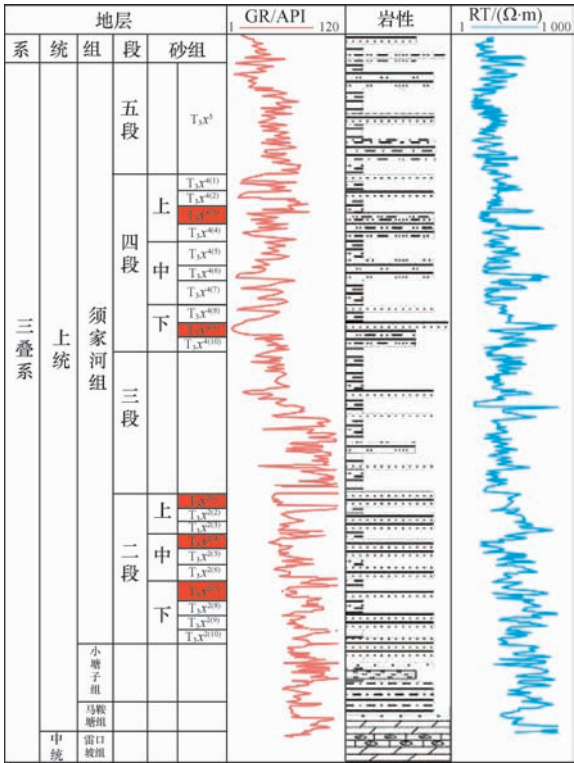


图1 川西坳陷须家河组地层柱状图

Fig.1 Composite columnar section of the Xujiahe Formation in western Sichuan Depression

的认识,前人基于国外学者从实验角度出发建立的砂岩中长石等铝硅酸盐和碳酸盐的有机酸溶蚀机理的经典模式,认为从母岩风化剥蚀搬运而来的长石溶蚀是造成砂岩高孔渗的主要原因^[1-4]。近年来大量的镜下观察及宏观储层研究表明,在川西坳陷中、浅层沙溪庙组、蓬莱镇组砂岩成岩现象及次生孔隙形成与分布,与该经典有机酸溶蚀作用模式吻合,次生孔隙在中成岩A期形成,溶蚀强度受控于砂岩中长石、沸石类矿物含量^[5-6]。但须家河组砂岩的溶蚀作用与此模式并不吻合,孔隙发育程度与长石含量并不成正相关,一些富含长石且邻近烃源岩的砂岩,其次生孔隙并不发育,而孔隙发育的砂岩长石含量也不高,一些孔隙度大于10%的砂岩其长石含量只有2%~4%;须四段砂岩长石含量较低,通常只有4%~8%,但孔隙普遍好于须二段。须二段下亚段砂岩的长石含量普遍高,但孔隙并不发育,孔隙相对较发育的砂体主要集中在长石含量不高的 $T_3x^{2(4)}$ 、 $T_3x^{2(7)}$ 砂组中,在这些砂层中见到大量同沉积火山碎屑遭受溶蚀(图2f—h,图3b—h),虽然也见到一些长石被溶蚀,但镜下观察这些长石新鲜、洁净、呈棱角状,没有风化搬运磨蚀的痕迹,推测与同期火山作用提供的基性斜长石有关。母岩风化搬运沉积下来的长石成岩溶蚀不是形成中高孔隙性砂岩主要原因,由同沉积期火山作用形成的、分布于砂岩层中的火山碎屑组分的成岩溶蚀才是形成该区中、高孔隙性砂岩的主要原因。这一认识对于该区须家河组中、高孔隙性砂岩储层的分布规律,寻找相对高产的天然气成藏富集区具有重要的现实指导意义。

1 同沉积期火山作用对优质储层的影响

1.1 沉积期火山碎屑物质特点

笔者近几年通过对区内须家河组二段、四段、五段砂岩中火山碎屑物质的岩心和镜下观察,火山碎屑物质的颜色为黑灰色、砖红色、绿灰色、棕色,新鲜干净,棱角明显、无明显磨蚀边缘及风化边缘,其成分有撕裂状、纺锤状岩屑,石英、长石、角闪石等晶屑和棱角状玻屑,以火山角砾、火山灰、火山尘形式出现。在须二段新场12井、川孝

565井、新856井产层段和新101井的岩心和岩屑、薄片见到的沉积期火山碎屑角砾,角砾大小为2~25 mm,岩性疏松,手掰即碎。在须二、须四段部分砂岩中夹杂较多火山灰、火山尘,其含量为5%~15%。在马深1井须五段3 430~3 431和3 480~3 490 m,温江3井须五段3 690,3 703,3 783和3 791~3 797 m处发现了二至三层凝灰岩薄层,测井曲线反映出伽马值高;在川中的东峰6井须六段1 515.83~1 516.12 m(岩心)也见到较多火山碎屑角砾,说明在须家河组沉积期有多期火山事件发生。

1.2 同沉积火山物质的成岩溶蚀

区内须二段孔隙发育部位主要集中在 $T_3x^{2(1)}$ 、 $T_3x^{2(4)}$ 、 $T_3x^{2(7)}$ 砂组中,须四段主要集中在 $T_3x^{4(3)}$ 、 $T_3x^{4(9)}$ 砂组中,显现出呈层等时性,天然气与水产出部位也主要集中在这些砂组中(图4)。孔隙发育程度与母岩风化搬运而来的原始组分相关性不大。据观察,其中一些砂岩岩屑含量高达30%,砂粒粗细混杂,呈棱角—次棱角状,但仍见大量次生孔隙发育,孔隙度最高可达12%,渗透率为 $0.152 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。对溶孔溶蚀残余物组分分析认为:中基性火山碎屑、中基性斜长石、石英、角闪石及少量辉石、火山凝灰质杂基以及与火山物质蚀变有关的胶状沉淀(胶结)物;此外,还有一种溶蚀孔由少量网状溶孔组成,难以判断溶蚀颗粒的原始组成,但可以判定为非单晶结构的岩屑颗粒(图3b,c),疑为火山碎屑。据大邑、孝泉、新场地区由东向西诸井同层砂组铸体薄片观察,溶蚀程度有向西逐渐增强趋势,即靠近甘孜—理塘火山喷发区溶蚀强度增强。

不同砂组因被溶蚀矿物对象不一样,造成的孔隙类型也不一样, $T_3x^{2(1)}$ 、 $T_3x^{2(4)}$ 、 $T_3x^{4(3)}$ 、 $T_3x^{4(9)}$ 砂组孔隙以粒内碎屑溶蚀孔为主,主要为火山碎屑溶蚀孔、基性斜长石溶蚀孔、石英晶屑收缩孔(图2g,h),溶蚀孔分布一般较为稀疏,但溶蚀孔径大,一般为0.05~0.5 mm(图2b,c,e—h,图3a,e),其中火山碎屑遭受溶蚀最为常见,溶蚀程度最强,溶蚀较彻底的部位孔径达0.3~0.7 mm,接近或超过相邻颗粒的粒径,个别达1~3 mm。例如:大邑4井5 532.50~5 534.10 m,新12井4 801.47~4 806.61 m;新201井4 819~4 827 m;

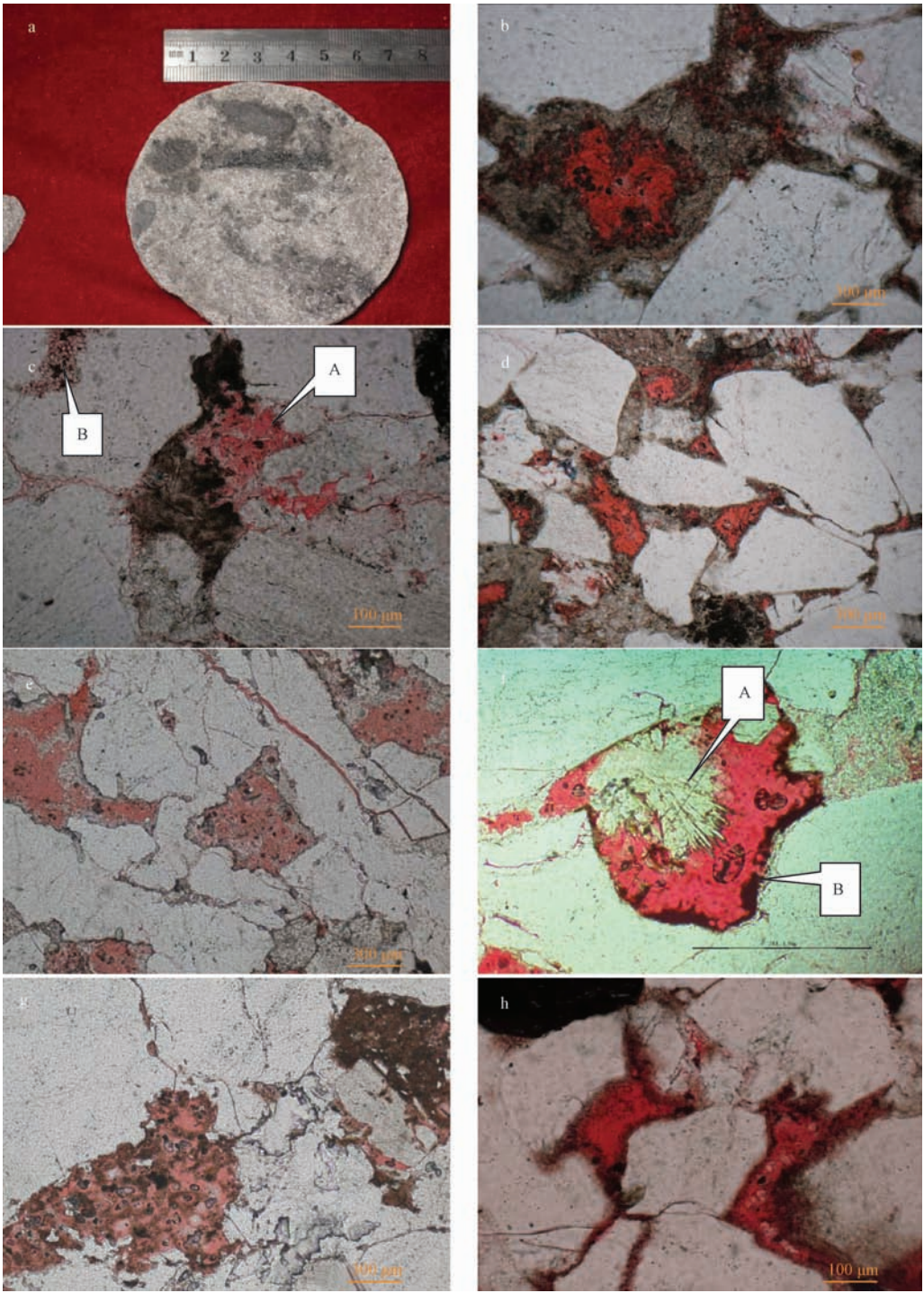


图2 川西地区须家河组砂岩岩石微观特征(一)

Fig.2 Microscopic features of sandstones in Xujiahe Formation in western Sichuan Sichuan area(I)

a. 基性火山碎屑角砾岩,火山角砾,新场12井, $T_3x^{2(4)}$,4 801.50 m; b. 火山碎屑中易溶矿物被溶,基质及构造尚存,川合148井, $T_3x^{4(3)}$,3 457.28 m; c. 基性火山碎屑部分被溶(A),火山灰蚀变成高岭石(B),川合127井, $T_3x^{2(1)}$,4 556.22 m; d. 充填在粒间孔中的火山凝灰质杂基部分遭受溶蚀形成孔隙,川合148井, $T_3x^{4(3)}$,3 456.08 m; e. 中基性火山碎屑被溶蚀,新201井, $T_3x^{2(4)}$,4 821.19 m; f. 火山碎屑溶蚀孔隙,蚀变产物自生放射状绿泥石(A),孔隙边析出的铁质(B),新201井, $T_3x^{2(4)}$,4 821 m; g. 基性火山碎屑选择性溶蚀,新10井, $T_3x^{2(4)}$,4 882.35 m; h. 剩余溶蚀粒间孔,孔隙四周均有丛生式绿泥石生长,孔隙疑为火山凝灰质杂基或与火山作用有关的胶状沉淀物的完全溶解所致,新203井, $T_3x^{2(7)}$,5 021.25 m

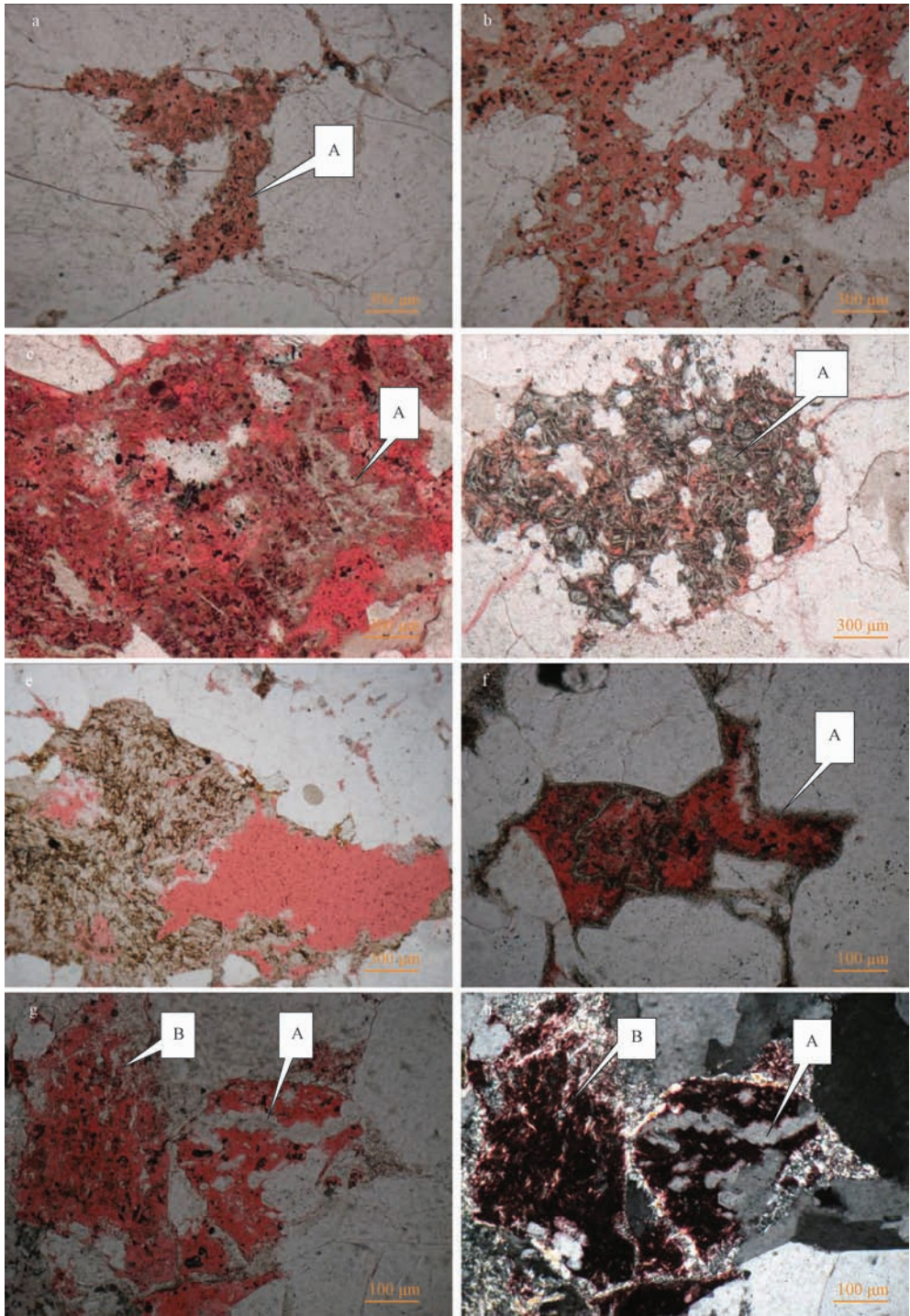


图 3 川西地区须家河组砂岩岩石微观特征(二)

Fig. 3 Microscopic features of sandstones in Xujiawe Formation in Sichuan area(II)

a. 中基性火山碎屑溶蚀孔,针状绿泥石蚀变物及钛铁矿析出物(A),大邑 4 井, $T_3x^{2(4)}$, 5 534. 1 m; b. 不稳定火山碎屑选择性溶蚀形成超粒大孔,大邑 4 井, $T_3x^{2(4)}$, 5 534. 10 m; c. 中基性火山碎屑溶蚀超粒大孔,片状伊利石(A),川孝 565 井, $T_3x^{2(4)}$, 4 898. 60 m; d. 中基性火山碎屑溶蚀,蚀变针状绿泥石(A),新 10 井, $T_3x^{2(4)}$, 4 882. 35 m; e. 基性火山碎屑选择性溶蚀形成的孔隙,新场 12 井, $T_3x^{2(4)}$, 4 835. 26 m; f. 基性火山碎屑遭受溶蚀形成超粒大孔,针状绿泥石蚀变物(A),川合 148 井, $T_3x^{4(3)}$, 3 457. 28 m; g, h 不稳定火山碎屑选择性溶蚀形成的孔隙,熔岩岩屑中的石英(A),中基性火山碎屑,暗色矿物被溶掉,留下斜长石微晶(B),新 202 井, $T_3x^{4(9)}$, 3 738. 79 ~ 3 848. 18 m

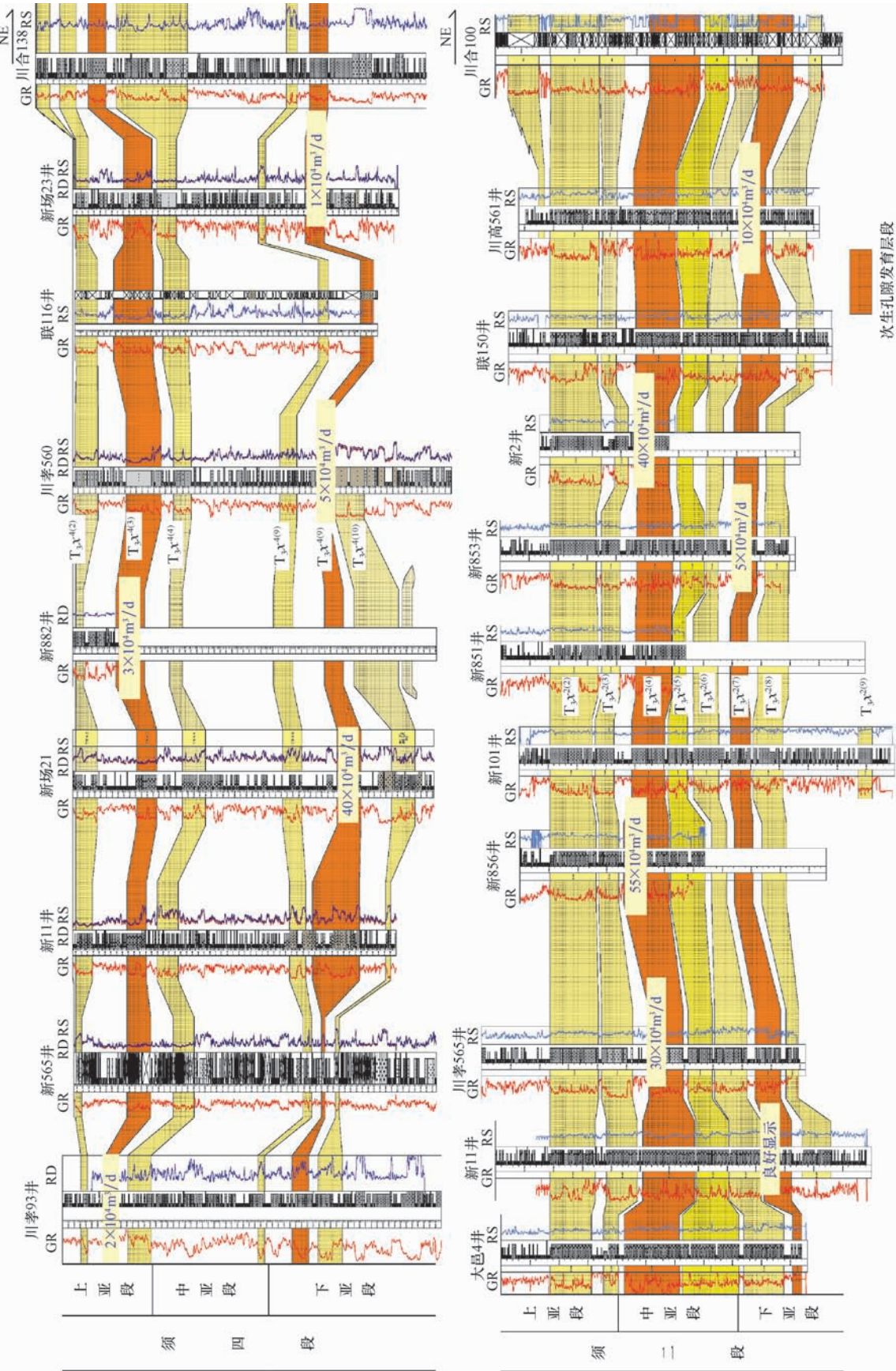


图4 孝-新-合地区须四段（上）和须二段（下）次生孔隙发育带示意图

Fig. 4 Schematic diagram showing well-developed secondary pores in the 4th and 2nd members of Xujiache Formation in Xiao-Xin-He area

新10井4 880.00~4 885.54 m;新8井4 970~4 975 m;川合140井3 401.70~3 414.04 m($T_3x^{4(3)}$),川高561井3 686~3 728 m,新202井3 837.5~3 845 m(图2c—f)。 $T_3x^{2(7)}$ 砂组以剩余溶蚀粒间孔为主,在孔隙周边均有绿泥石丛生长(图2d,h),孔隙是由于粒间填隙的火山凝灰质杂基或与火山作用有关的胶状沉淀物的完全溶解所致,而不是原生粒间孔,绿泥石只在孔隙周围呈衬垫式生长,或在石英次生加大边生长,而不是环绕颗粒周边生长,因而推断绿泥石也不是同生期产物而是后期成岩产物,与火山灰物质溶解析出的铁镁矿物质有关。

1.3 同沉积期火山物质的不稳定性

陆源碎屑沉积物的形成一般都经历了母岩风化、碎屑物搬运及沉积物堆积等过程。在正常的风化及搬运过程中,尤其是在化学风化作用较强烈的条件下,不稳定组分已基本分解^[7];而同沉积期火山喷发作用造成的火山碎屑物,由于未经缓慢的原地剥蚀风化过程,部分未完全风化的稳定性相对较差的组分可由洪水携带进入沉积层;或者通过大气或风力作用携带不稳定火山碎屑组分进入沉积层,这些“易溶组分”,易在成岩中—晚期溶蚀形成次生孔隙^[7-8],因此同沉积期的火山作用产物叠加的砂质沉积物中最有可能含有这种易溶组分。

与四川(秦岭山脉)一山之隔的鄂尔多斯盆地,晚三叠世延长组及晚古生代砂岩也是因为沉积期的火山作用产物叠加,增加了易溶组分改善了孔渗条件^[10-11]。鄂尔多斯盆地上古生界次生孔隙形成机制的实验模拟结果也证实,同沉积火山物质中铁镁暗色矿物和偏基性斜长石化学性质不稳定,钙长石、角闪石、辉石等中基性铁镁矿物,在低温(70℃左右)下易发生溶解形成孔隙。而非同期火山物质中的铁镁暗色矿物和偏基性的斜长石也很难逃过风化、搬运和沉积过程而保留下来,尤其是在相对湿热的气候和相对稳定的大地构造条件下。据上述溶解实验,分布于川西地区须家河组的铁、镁暗色矿物和偏于基性的斜长石,至少有部分是沉积期火山物质,或者是近源火山物质,而非母岩区岩浆岩风化搬运沉积的火山物质。溶解实验还表明,碎屑岩中自生绿泥石的物质来源与辉石类矿物的溶解关系很大,伊利石与角闪石

类矿物的溶解有关,高岭石则可能主要与长石类矿物(钾长石、钠长石、钙长石及其过渡系列)的溶解有关。因此,本区孔隙发育的砂体中的自生绿泥石、伊利石、高岭石,推测与火山碎屑蚀变有关,表明了同沉积期火山物质的不稳定性。

2 同沉积期火山物质沉积背景

据四川省区域地质志记载,位于川西坳陷西侧约300 km的甘孜—理塘陆间裂谷带,在晚三叠世火山活动十分强烈,火山岩广泛分布,是一个长期活动的深断裂带。甘孜—理塘陆间裂谷带上,晚三叠世火山活动十分强烈,火山岩广泛分布,是研究区火山物质的主要来源。甘孜—理塘裂谷带晚三叠世火山活动发育有成熟的义敦、理塘、道孚火山弧,地层出露厚度1 000~3 500 m,火山岩与沉积岩组成5~6个沉积与喷发韵律,火山岩约占1/3。火山岩类型主要为中基性玄武岩、安山玄武岩、火山集块岩、灰岩集块、凝灰岩组成,部分由酸性流纹岩组成。火山角砾砾径超过70 cm,据角砾岩的分布范围,在理塘带晚三叠世至少有8个火山爆发中心,并且火山岩的分布随着沉积中心的东迁逐步东移。在研究区须家河组岩石薄片中也发现了大量与甘孜—理塘陆间裂谷带火山岩岩石类型非常相似的同沉积火山碎屑,甚至结晶程度非常好的火山碳酸岩也见到。在马井、温江的钻井中,须五段发现了2~3层凝灰岩薄层(测井伽马值高)。任友谅,周义平等(2000年)在川中地区合川,川西南地区乐山的须四段野外剖面上也发现了同沉积火山物质,在不足10 m的含煤地层剖面中,发现了5层以上的火山灰沉积物,认为煤层所夹粘土都是同沉积的酸性火山灰,在泥炭沼泽环境下,经过水解和后期成岩作用,转变成质地较纯的高岭石粘土岩^[12-13],说明了甘孜—理塘陆间裂谷带晚三叠世喷发的火山物质已被输送、沉积至四川盆地区晚三叠世地层。

3 与火山作用响应的储集层特点

3.1 岩石学特征

须二段砂岩的岩石类型较为单一(图5a),砂岩的杂基含量不高,一般不超过5%,属于稳定

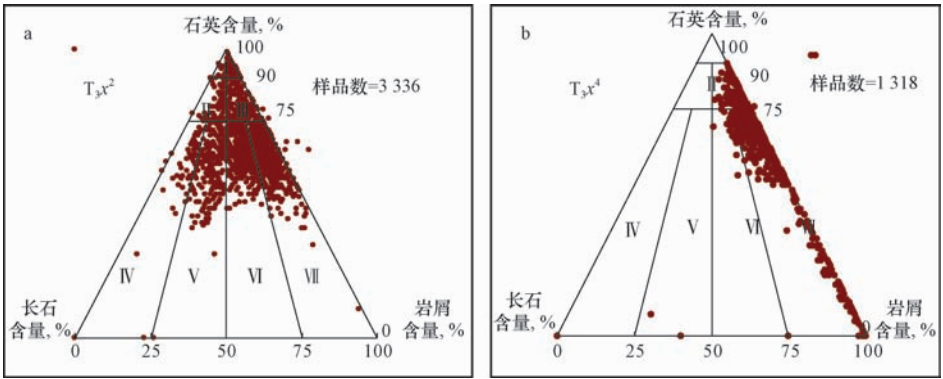


图5 川西地区须二段 a) 和须四段 b) 砂岩岩石类型

Fig. 5 Types of sandstones in the 4th and 2nd members of Xujiahe Formation in western Sichuan area

I. 石英砂岩; II. 长石石英砂岩; III. 岩屑石英砂岩; IV. 长石砂岩; V. 岩屑长石砂岩; VI. 长石岩屑砂岩; VII. 岩屑砂岩

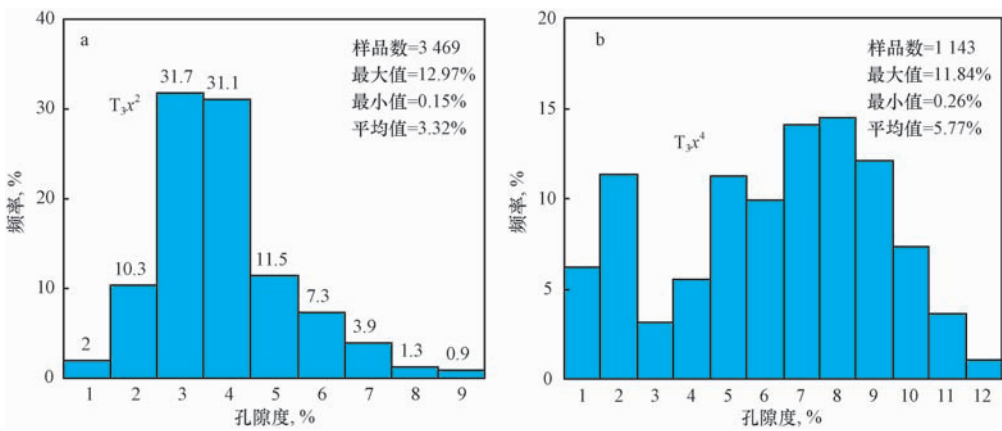


图6 川西地区须二段 a) 和须四段 b) 砂岩孔隙度直方图

Fig. 6 Porosity histogram of sandstones in the 4th and 2nd members of Xujiahe Formation in western Sichuan area

持续水流形成的净砂岩;胶结物含量一般低于8%,以方解石、白云石、硅质胶结为主,胶结类型为接触-压嵌式,碎屑颗粒磨圆度较差,多为次棱角状、次圆状,分选性相对较好,中粒级碎屑约占75%以上。

须四段砂岩岩石类型较为复杂(图5b),上亚段岩石类型主要为细-中粒岩屑砂岩,中亚段主要为碳酸盐岩屑含量极高的碳酸盐岩岩屑砂岩,下亚段除了砂岩外还出现了砾岩,砾石成分主要为碳酸盐岩。

实际资料表明须二、须四段优质储层与岩石类型关系不大。孔隙发育的砂岩既有矿物成熟度、结构成熟高的粗粒石英砂岩,也有矿物成熟度、结构成熟度低的细粒岩屑砂岩。钙屑砂岩、砾岩,这些砂岩的共同特点是都含有火山碎屑。正是这些同沉积火碎屑,为后期溶蚀改造

提供了“易溶组分”,为形成次生孔隙提供了物质基础。

3.2 物性特征

大量实际资料统计,区内须家河组砂岩因埋藏深度大,深埋时间长,成岩演化程度高,总体属于典型的低孔、低渗储层,但在致密-超致密背景下仍发育相对好的中、高孔隙性储层(图6)。须二段孔隙度大于5%相对好的孔隙性储层主要集中在 $T_3x^{2(1)}$, $T_3x^{2(4)}$, $T_3x^{2(7)}$ 砂组。须四段孔隙度大于8%相对好的孔隙性储层主要集中在 $T_3x^{4(3)}$, $T_3x^{4(9)}$ 砂层中(表1)。这些相对好的中、高孔隙性储层很薄,据须二段32口井3523块物性资料统计,孔隙度大于5%相对好的优质储层有19口,但只有4口井储层厚度大于5m,其余15口井优质储层厚度都小于5m;须四段23口井1027块物性

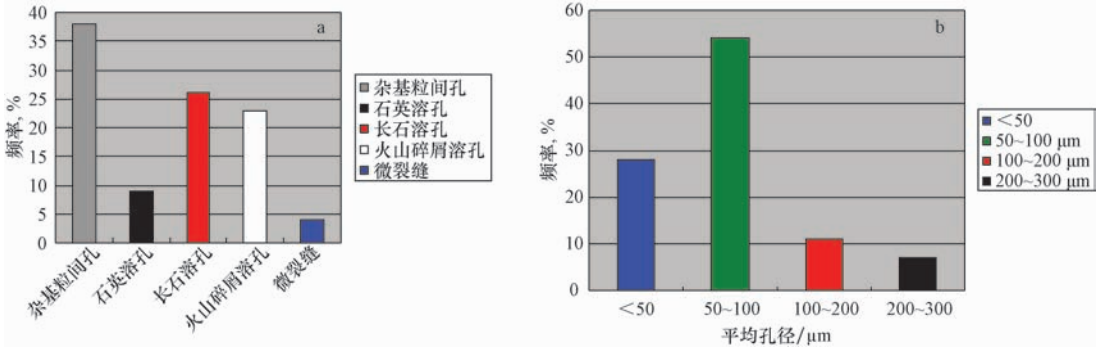


图 7 川西地区须家河组二段孔隙类型及孔径统计

Fig. 7 Pore types and pore radius statistics of sandstones in the 2nd member of Xujiahe Formation in western Sichuan area

a. 孔隙类型分布频率; b. 孔径分布频率

资料统计,孔隙度大于 8% 相对好的优质储层有 17 口井,11 口井厚度小于 5 m,6 口井厚度大于 5 m。这些优质储层厚度虽薄,但分布层位稳定,与上下相邻物性变化明显,说明受同一地质事件所制约,只有同沉积的火山作用才具有这种“幕式喷发、等时性强”的作用特征和控制意义,沉积期的火山作用产物叠加,增加了砂岩的易溶组分,改善了孔渗条件,形成了相对好的优质储层。

3.3 孔隙类型

须家河组砂岩绝大部分原生粒间孔已消失,分布于砂岩层中火山碎屑组分的成岩溶蚀是形成该区优质储层的主要成因类型。孔隙类型主要有粒内溶蚀孔、粒间溶蚀孔、粘土矿物重结晶晶间孔和微裂隙(图 7)。

1) 粒内溶蚀孔

主要发育在长石和火山碎屑颗粒内,长石主要来自中基性火山岩,稳定性差,易蚀变分解及粘土矿化和溶蚀,并形成次生孔隙;火山碎屑主要为中基性的火山碎屑,稳定性极差,易蚀变分解粘土矿化形成晶间孔和溶蚀孔;还有一种溶孔由少量网状溶蚀孔组成,难以判断溶蚀颗粒的原始组成,但可以判定为非单晶结构的岩屑颗粒(图 3b,c)。

2) 粒间溶蚀孔

主要发育在颗粒之间的填隙物中,以火山凝灰质杂基以及与火山物质蚀变有关的胶状沉淀(胶结)物。这类组分的来源与中基性火山作用的关系密切,这些成分属于高温快速冷凝固结的产物,稳定性极差,在地表或埋藏成岩作用中容易蚀变分解,形成次生溶蚀孔隙(图 2h,图 3f)。

3) 重结晶晶间孔

主要为自生粘土矿物绿泥石、伊利石、高岭石晶间微孔(图 3c,d)。火山岩屑和由火山尘,稳定性差,在成岩过程易蚀变成绿泥石、伊利石、高岭石等次生矿物。

3.4 火山碎屑优质储层判识

据岩心观察,须家河组孔隙发育的砂岩及其颜色多略带褐色,与上下致密砂岩呈灰色具有较为明显的颜色差异;造成这种颜色差异可能与火山碎屑有关,因为火山碎屑蚀变后多呈褐色,可以导致砂岩颜色改变。

在测井曲线上以自然伽马测井数值高为特点,在须五段发现的凝灰岩薄层其自然伽马测井数值偏高,须二段部分孔隙发育产层段自然伽马测井值也相对偏高(图 8)。经几口井高伽马砂岩薄片鉴定,都富含火山碎屑,而火山碎屑中赋存铀、钍、钾等放射性元素,导致了自然伽马测井曲线值增高。

4 结论

1) 火山碎屑溶蚀形成的孔隙是川西坳陷须二、须四段砂岩主要储集空间,孔隙度几乎大于 6% 的优质孔隙性砂岩都与同沉积火山作用提供的火山碎屑组分溶蚀有关。因而同沉积期火山作用提供的火山物质在一定程度上影响了须二、须四段中、高孔隙性砂岩的分布。火山物质主要来自与砂岩同期沉积的火山喷发,即甘孜-理塘晚三叠世火山喷发。川西坳陷须家河组须二、须四段有效的工业储层主要分布在 $T_3x^{2(4)}$, $T_3x^{2(7)}$,

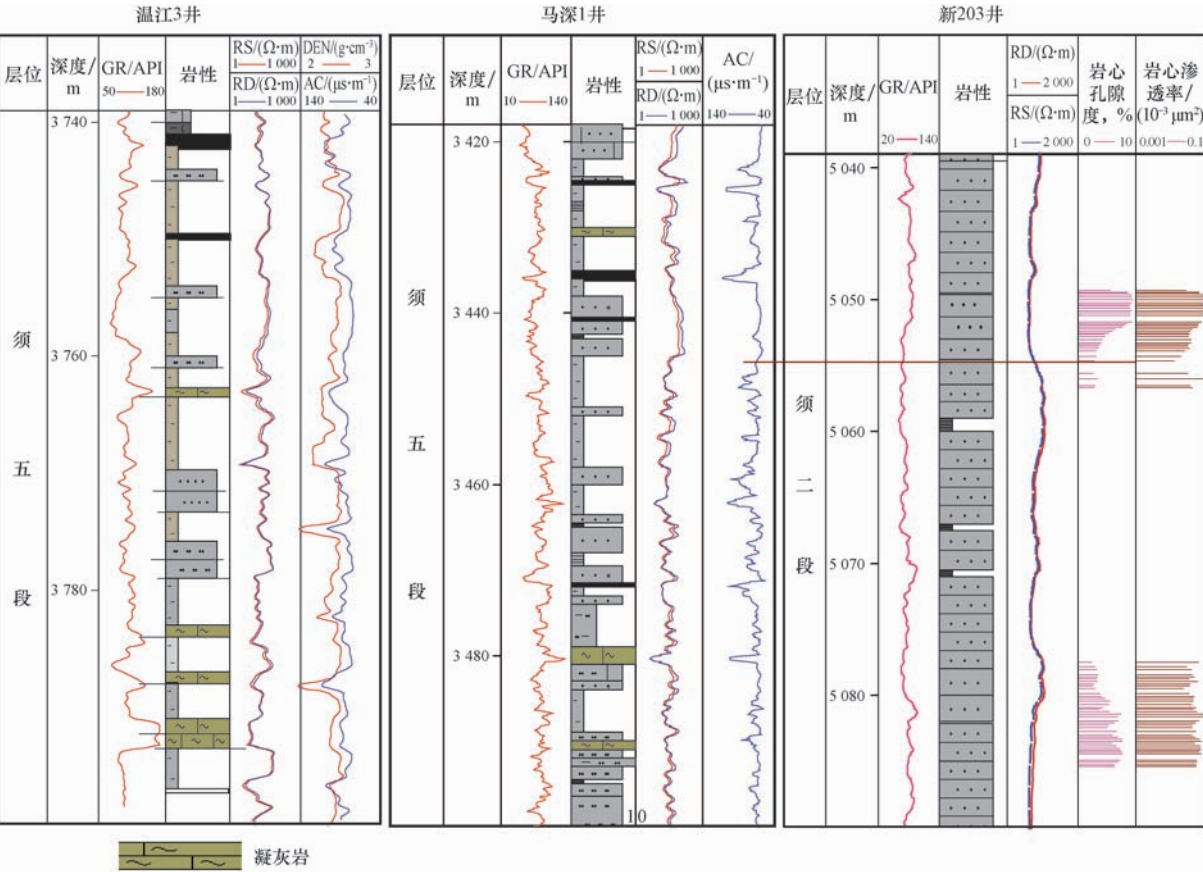


图8 川西地区须家河组测井曲线特征

Fig.8 Logging curve features of the Xujiahe Formation in western Sichuan area

$T_3x^{4(3)}, T_3x^{4(9)}$ 砂层,这些砂层厚度虽薄,但分布稳定,以及火山碎屑高含量等特征。表明了同沉积期火山作用的“幕式喷发、等时性强”特征对须家河组优质储层的控制意义。

2) 沉积火山碎屑组分的成岩溶蚀作用是四川盆地须家河组重要的成岩现象,是形成优质储层的主要原因,认识研究其分布规律,将为在致密砂岩储层中寻找优质储层,寻找相对高产的天然气成藏富集区提供了新的途径。

3) 虽然同期沉积火山碎屑组分的成岩溶蚀,是形成须家河组中、高孔隙性砂岩的主要原因,但火山碎屑在纵横向分布规律、受控因素、识别特征等尚需进一步深入研究。随着钻井取心资料的增加,盆地周缘地质研究的深入,晚三叠世同沉积火山作用对须家河组优质储层控制规律的认识将会更加清楚,更加深化。

致谢:杨奕华高级工程师对岩石薄片鉴定指导,张荫本教授、邓康龄教授、安风山教授对论文悉心指点,编辑部的同志对文章提出的修改建议

以及付出的辛勤劳动,笔者在此由衷感谢。

参 考 文 献

[1] 李斌,孟自芳,李相搏,等. 靖安油田上三叠统长6储层成岩作用研究[J]. 沉积学报,2005,23(4):574-583.
Li Bin, Meng Zifang, Li Xiangbo, et al. Diagenetic characteristics of the Chang 6 oil-bearing interval of the Upper Triassic in the Jin' an oilfield, Ordos basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(4): 574-583.

[2] 黄洁,朱如凯,侯杰杰,等. 深部碎屑岩储层次生孔隙发育机理研究进展[J]. 地质科技情报,2007,26(6):76-82.
Huang Jie, Zhu Rukai, Hou Dujie, et al. The new advances of secondary porosity genesis mechanism in deep clastic reservoir[J]. Geological Science and Technology Inform, 2007, 26(6): 76-82.

[3] 张峭楠. 致密天然气砂岩储层:成因和讨论[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):1-18.
Zhang Shaonan. Tight sandstone gas reservoirs: their origin and discussion[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 1-18.

[4] 曾小英. 川西坳陷侏罗系蓬莱镇组成岩作用及其对成藏影响[J]. 矿物岩石学,2000,19(4):47-51.
Zeng Xiaoying. Diagenesis of the Upper Jurassic Penglaizheng

sandstones in the West Sichuan basin[J]. Kuang wu yan shi, 2000,19(4):47-51.

[5] 曾小英,张小清,钟玉梅. 川西坳陷中段须家河组四段钙屑砂岩气层的成因[J]. 沉积学报,2007,25(6):896-902.

Zeng Xiaoying,Zhang Xiaoqing,Zhong Yumei. Origin of calcarenaceous sandstone gas formation of the 4th member of Xujiahe formation in the Middle Part of western Sichuan depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica,2007,25(6):896-902.

[6] 包洪平,杨奕华,王晓方,等. 同沉积期火山作用对鄂尔多斯盆地上古生界砂岩储层形成的意义[J]. 古地理学报,2007,8(4):397-406.

Bao Hongping,Yang Yihua,Wang Xiaofang,et al. Significance of synsedimentary volcanism for formation of sandstone reservoirs of the Upper Paleozoic in Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography 2007,8(4):397-406.

[7] 刘万洙,庞彦明,吴河勇,等. 松辽盆地深层储层砂岩中火山碎屑物质在成岩阶段中的变化与孔隙发育[J]. 吉林大学学报,2007,37(4):698-702.

Liu Wanzhu,Pang Yanming,Wu Heyong. Relationship between pore-space evolution and deeply buried alteration during diagenetic stage of the volcanic fragments in reservoir greywacke from the Songliao basin,NE China[J]. Journal of Jilin University, 2007,37(4):698-702.

[8] 杨友运,张蓬勃. 鄂尔多斯盆地延长组火山碎屑沉积物特

征及其石油地质意义[J]. 油气勘探,2006,8:30-34.

Yang Youyun,Zhang Pengbo. Characteristics and its Petroleum Geological Significance of voicanoic detrital sediments in Yanchang formation,Ordos basin[J]. Petroleum Exploration,2006,8:30-34.

[9] 张文正,杨华,杨奕华. 晚三叠世火山活动对鄂尔多斯盆地长 7 优质烃源岩发育的影响[J]. 地球化学,2009,11:38(6)573-582.

Zheng Wenzheng,Yang Hu,Yang Yihua. The influence of Late Triassic volcanism on the development of Chang 7 high grade hydrocarbon source rock in Ordos basin [J]. Geochimica, 2009,11:38(6)573-582.

[10] Kurt Burger,任友谅,周义平. 川南须家河组第四段 TON-STEINS 的岩石地化特征[J]. 煤田地质与勘探,2000,28(2):1-7.

Kurt Burger, Ren Youliang, Zhou yiping. Petrologic and geochemic characteristics of tonstein in The 4 thinterval of Xujiahe formation in Southern Sichuan[J]. Coal Geology & Exploration 2000,28(2):1-7.

[11] 杨光荣. 四川盆地晚三叠世火山灰成因粘土岩特征及其成因[J]. 煤田地质与勘探,1996,12:25-40.

Yang Guangrong. Upper Triassic clay rock characteristics and its causes of volcanic ash origin in Sichuan basin[J]. Coal Geological & Exploration.

(编辑 高 岩)

(上接第 49 页)

Lu Yatao. Internal architecture structure and remained oil of the channel bar[J]. Science Technology and Engineering, 2011, (10):2303-2305.

[11] 叶成林,王国勇,何凯,等. 苏里格气田储层宏观非均质性——以苏 53 区块石盒子组 8 段和山西组 1 段为例[J]. 石油与天然气地质,2011,32(2):236-244.

Ye Chenglin, Wang Guoyong, He Kai,et al. Macro heterogeneity of reservoirs in Sulige gasfield—a case study of the 8th member of the Shihezi Formation and the 1st member of the Shanxi Formation in the Su53 Block[J]. Oil & Gas Geology, 2009,30(2):236-244.

[12] 刘建锋,朱筱敏,王敏,等. 泌阳凹陷核桃园组三段上亚段滑塌浊积扇沉积特征[J]. 石油与天然气地质,2011,32(5):743-750.

Liu Jianfeng,Zhu Xiaomin,Wang Min,et al. Sedimentary characteristics of slump turbidite fan in the upper third member of Hetaoyuan Formation in Biyang Depression[J]. Oil & Gas Geology,2011,32(5):743-750.

[13] 李浩,刘双莲,吴伯服,等. 低电阻率油层研究的 3 个尺度及其意义[J]. 石油勘探与开发,2005,32(2):123-125.

Li Hao,Liu Shuanglian,Wu Bofu. Three scales and the significance of low resistivity oil research [J]. Petroleum Exploration And Development,2005,32(2):123-125.

[14] 李浩,刘双莲,郑宽兵,等. 分析测井相预测歧 50 断块沙三段低电阻率油层[J]. 石油勘探与开发,2004,31(5):57-59.

Li Hao, Liu Shuanglian, Zheng Kuanbin, et al. Prediction of low-resistivity zones in Sha-3 Member of the Q50 fault block based on logging-facies analysis [J]. Petroleum Exploration And Development,2004,31(5):57-59.

[15] 操应长,姜在兴,夏斌,等. 利用测井资料识别层序地层界面的几种方法[J]. 石油大学学报,2003,27(2):23-26.

Cao Yingchang, Jiang Zaixing, Xia Bin, et al. Some methods for identifying sequence boundaries and condensation sections using well logging[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2003,27(2):23-26.

(编辑 张亚雄)