

文章编号: 0253-9985(2009)01-0053-06

绿泥石环边胶结物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

刘金库¹, 彭军², 刘建军³, 汪彦¹, 刘建锋¹

(1. 西南石油大学 研究生院, 四川 成都 610500; 2. 西南石油大学 科研处, 四川 成都 610500;

3. 中国石油化工股份有限公司 西北分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 用薄片鉴定、扫描电镜等分析手段, 对川中—川南过渡带包界地区(简称包界地区)上三叠统须家河组砂岩储层中绿泥石环边胶结物的产状、形成条件及其对储层孔隙的保存机制进行了研究。结果表明, 绿泥石环边胶结物以等厚环边方式垂直颗粒表面生长, 此类胶结物形成于早成岩阶段, 其形成过程主要受沉积环境和物源条件控制; 绿泥石环边胶结物的存在提高了岩石的抗压实能力, 抑制了石英次生加大, 促进了溶蚀作用, 形成了有利的孔隙结构。因此, 绿泥石环边胶结物对该区致密砂岩储层残余原生孔隙的保存起到了至关重要的作用。

关键词: 绿泥石环边胶结物; 致密砂岩; 孔隙保存机制; 须家河组; 包界地区; 四川盆地

中图分类号: TE122.2 文献标识码: A

Pore-preserving mechanism of chlorite rims in tight sandstone

—an example from the T_{3x} Formation of Baojie area in the transitional zone from the central to southern Sichuan Basin

Liu Jinku¹, Peng Jun², Liu Jianjun³, Wang Yan¹, Liu Jianfeng¹

(1. Postgraduate School, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

2. Scientific Research Department, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

3. SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The occurrence, forming conditions, and pore-preserving mechanism of chlorite rims in the Upper Triassic Xuejiahe Formation of Baojie area from central to southern Sichuan basin were studied in detail by means of thin section analysis and SEM analysis. The result shows that chlorite rims grew vertically on the grain surface and took the shape of isopachous grain coating. This kind of cement was formed during the early diagenetic stage and was controlled mainly by depositional environment and provenance conditions. The presence of chlorite rims enhanced the compaction resistance of rock, inhibited quartz overgrowth on detrital quartz grains, accelerated dissolution and formed excellent pore-throat configuration. Therefore, the chlorite rims played an important role in the preservation of residual primary pores in the tight sandstone reservoirs in the study area.

Key words: Chlorite rim; tight sandstone; pore preservation mechanism; Xuejiahe Formation; Baojie area; Sichuan Basin

绿泥石胶结物是最常见的粘土胶结物, 其产状有多种类型, 但是大多数是以颗粒环边方式产

出的, 称之为绿泥石环边胶结物。由于绿泥石环边胶结物与深埋砂岩油气藏的孔隙保存密切相

收稿日期: 2008-10-13。

第一作者简介: 刘金库(1978—), 博士研究生, 油气储层地质和油田开发地质。

基金项目: 四川省教育厅自然科学重点项目(07ZA139)。

关,因而,有关绿泥石环边胶结物对孔隙保存机制方面的研究一直受到国内外学者的普遍关注。在20世纪60年代人们就已经注意到绿泥石环边胶结物对储层孔隙的保护作用。在众多的研究中,Pittman^[1]认为等厚连续的粘土包壳,可以抑制碎屑石英的成核作用,从而抑制石英次生加大;Ehrenberg^[2]认为挪威大陆架侏罗系砂岩储层在深埋藏条件下仍能保存异常高的孔隙度,主要是由于绿泥石环边胶结物导致的;Salman Bloch^[3]等人把颗粒环边胶结物、高压流体及烃类早期侵入视为深埋砂岩油气藏异常高孔高渗的3个主要原因;柳益群^[4]在对陕甘宁盆地上三叠统砂岩储层研究中发现绿泥石环边胶结物的存在可阻碍碎屑颗粒与孔隙水的接触,从而减少了其它胶结物的沉淀,使粒间孔得以保存;黄思静^[5]认为以颗粒环边方式产出的绿泥石胶结物是深埋储层孔隙保存的重要机制。也有部分学者认为绿泥石环边胶结物对孔隙的保存有负面影响,如刘林玉^[6]认为包绕碎屑颗粒的绿泥石胶结物降低了原生孔隙度,堵塞孔隙喉道,导致了储层渗透率大幅度降低。针对绿泥石环边胶结物在储层孔隙演化中的作用,本文以川中-川南过渡带荷包场、界市场地区(简称包界地区)上三叠统须家河组致密砂岩储层为例,通过薄片鉴定、扫描电镜等手段,开展了绿泥石环边胶结物对储层孔隙保存机制的详细研究。

1 区域地质概况

包界地区位于四川省隆昌、荣昌、大足3县境内,面积约1600 km²。区域构造属川中古隆平缓构造区的威远龙女寺构造群,该构造群是由多个小鼻状构造组成的巨型鼻状构造。该区主要产气层段是上三叠统须家河组,为一套砂泥岩组合,垂向上岩性组合的旋回性清楚明显,从下往上可划分为一段、二段、三段、四段、五段和六段,其中二段、四段、六段主要发育大套厚层块状砂岩夹薄层泥岩,为三角洲前缘亚相沉积产物,是主要的储层发育段;一段、三段、五段岩性组合以泥岩、粉砂质泥岩为主夹薄层-中厚层砂岩,为前三角州-浅湖亚相间夹三角洲前缘亚相的沉积产物,其中三段、五段是次要的储层发育段。储层岩性以长石岩屑

砂岩、岩屑长石砂岩为主,部分为岩屑砂岩;按粒度划分主要以中砂岩为主,次为细砂岩、粗砂岩及少量的粉砂岩;岩石的成分成熟度和结构成熟度均中等-较低。该区储层物性总体较差,属特低孔、特低渗储层。

2 绿泥石环边胶结物的产状及形成阶段

包界地区须家河组砂岩中的绿泥石胶结物主要以颗粒环边方式产出,薄片下观察呈放射纤维状垂直颗粒生长(图1a),扫描电镜下观察呈叶片状垂直颗粒生长,具有薄层、等厚且致密连续的特点(图1b),大小一般在3~5 μm,含量一般在1%~4%之间。扫描电镜观察还发现呈叶片状或玫瑰花状充填孔隙的绿泥石胶结物,但数量很少。呈叶片状充填孔隙的绿泥石胶结物,从颗粒边缘到孔隙中心,绿泥石晶体体积明显变大,自形程度变好(图1c)。玫瑰花状绿泥石以自生矿物形式孤立分布在孔隙中(图1d)。

关于绿泥石环边胶结物的形成阶段,笔者通过薄片鉴定和扫描电镜观察,发现在颗粒接触点上存在绿泥石环边胶结物(图1a, 1b),这表明其形成时间较早,推断是在沉积物被完全压实之前形成的;伊利石胶结物和自生石英覆盖于绿泥石环边胶结物之上(图1c, 1d),这说明后者形成于前者之前;岩石中发育绿泥石环边胶结物包裹的铸模孔(图1f),表明绿泥石环边胶结物形成于溶蚀作用之前;呈叶片状充填孔隙的绿泥石胶结物从颗粒边缘到孔隙中心,绿泥石晶体体积明显变大,自形程度变好,说明绿泥石胶结物具有明显的世代结构特征,其中颗粒边缘的环边状绿泥石胶结物是早成岩阶段的产物,而从边缘到孔隙中心的第二世代、第三世代的绿泥石胶结物是从孔隙水中沉淀形成的(图1d)。综合分析认为,本区砂岩中的绿泥石环边胶结物形成于早成岩阶段的A亚期。

3 绿泥石环边胶结物的形成条件

绿泥石环边胶结物的形成受多种因素控制,其中沉积环境和物源条件是两个最重要的因素。

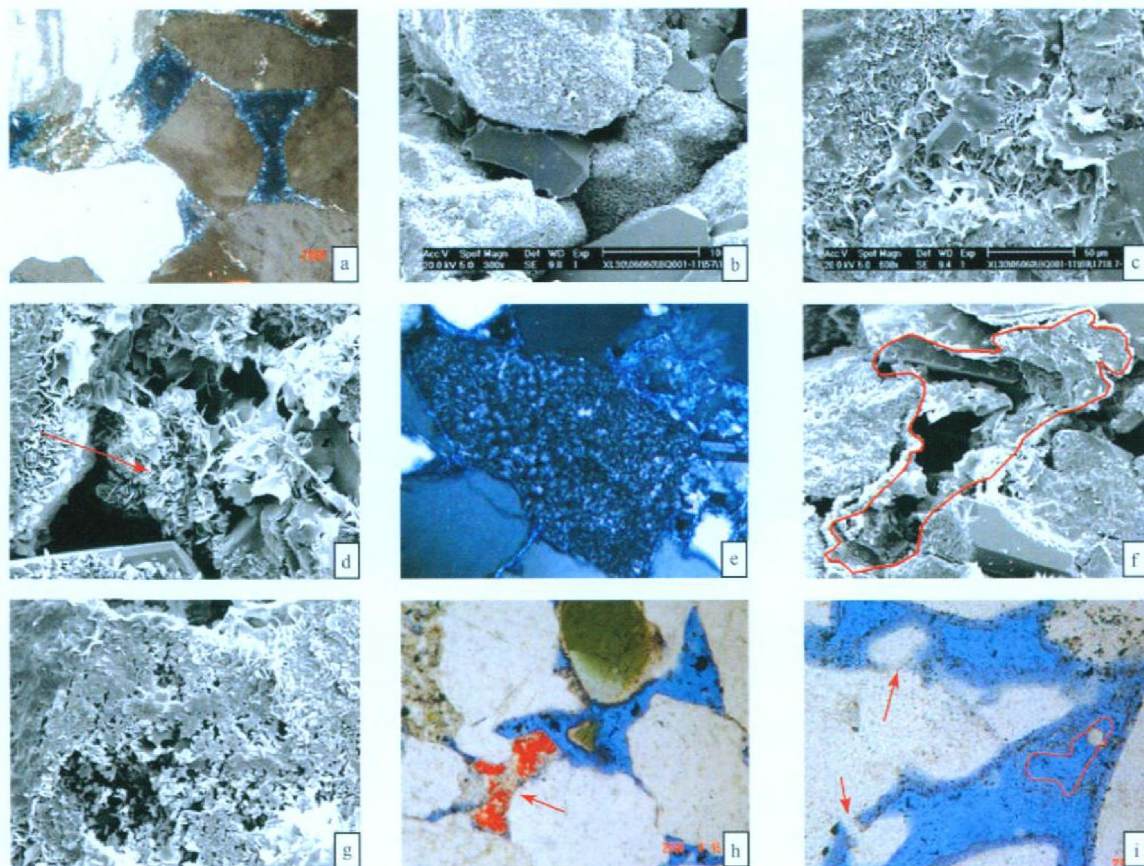


图1 包界地区须家河组砂岩中绿泥石环边胶结物的薄片及扫描电镜照片

Fig. 1 Thin section and SEM photo of chlorite rims

a. 绿泥石环边胶结物呈纤维状垂直颗粒表面生长,有绿泥石环边胶结物的区域颗粒以点-线接触为主,且接触点上存在绿泥石环边胶结物,无绿泥石环边胶结物区域颗粒以凹凸-缝合接触为主,包浅001-16井,1 820.17 m,正交偏光;b. 绿泥石环边胶结物呈叶片状垂直颗粒生长,颗粒以点-线接触为主,粒间残余孔隙发育,包浅001-11井,1 707.54 m,扫描电镜;c. 绿泥石胶结物以充填孔隙方式生长,绿泥石胶结物最先形成,自生石英和伊利石胶结物形成于绿泥石之后;d. 玫瑰花状绿泥石胶结物充填在孔隙中间(箭头处),包浅001-01井,1 795.52~1 795.73 m,扫描电镜;e. 酸性喷出岩屑,具球粒结构,孔隙边缘发育纤维状绿泥石,白龙1井,4 783.80 m,正交偏光;f. 绿泥石环边胶结物包裹的铸膜孔,铸膜孔保存完好,包浅001-11井,1 707.54~1 707.67 m,扫描电镜;g. 由绿泥石环边胶结物包裹的长石颗粒在溶蚀作用下形成大量粒内溶孔,包浅001-11井,1 718.70~1 718.93 m,扫描电镜;h. 方解石胶结物(箭头处)在绿泥石环边胶结物形成之前充填孔隙.未充填部分发育绿泥石环边胶结物.部分方解石胶结物后期遭受溶蚀.包46井,1 849.27~1 849.29 m,单偏光;i. 石英次生加大在绿泥石环边胶结物不连续的位置形成(箭头处),绿泥石环边胶结物包裹的颗粒被溶蚀形成铸模孔(红色曲线包围区域),喉道类型以缩颈喉道或点状喉道为主,包浅001-06井,1 810.09~1 810.12 m,单偏光

3.1 沉积环境

本区绿泥石环边胶结物的发育受沉积环境控制较为明显,主要发育在三角洲前缘的水下分流河道和河口坝区域。这两个区域由于水动力条件较强,沉积物以粒度较粗、分选较好的刚性碎屑颗粒为主,杂基与塑性岩屑含量相对较少,因而,该区域的沉积物在成岩早期会有大量的原生孔隙保存下来,这为成岩过程中绿泥石环边胶结物的形成所需要的生长空间提供了环境基础^[7];薄片鉴定资料的统计结果也表明在五种成岩相中绿泥石

环边胶结成岩相的杂基含量最少(表1)。同时,三角洲前缘环境的水体中含有大量电解质,并显弱碱性和弱还原性,河水中溶解的铁离子会在该条件下产生絮凝沉淀,这将为绿泥石环边胶结物的形成提供丰富的铁来源^[8]。

3.2 物源条件

绿泥石环边胶结物的形成需要大量的铁离子,火山岩岩屑蚀变产生的铁离子可为绿泥石环边胶结物的形成提供物质来源^[9]。在早二叠世末期,我国西南地区发生过大规模火山喷发,本区

表 1 包界地区须家河组不同成岩相类型储层的岩石组分及物性特征

Table 1 Rock constituents and physical properties of reservoirs with different diagenetic facies in Xujiache Formation, Baojie area

成岩相	样品数/个	石英颗粒含量, %	硅质胶结物含量, %	钙质胶结物含量, %	长石颗粒含量, %	岩浆岩屑含量, %	杂基含量, %	中值半径/ μm	排驱压力/ MPa	面孔率, %
压实成岩相	61	61.5	1.4	1.6	11.3	1.8	6.8	0.25	0.58	1.8
溶蚀成岩相	67	66.1	1.7	2.1	12.7	1.4	3.1	0.37	0.34	4.2
钙质胶结成岩相	30	64.9	1.8	20.0	13.7	1.1	3.0	0.13	0.77	2.4
硅质胶结成岩相	42	64.2	1.9	1.5	11.0	1.7	2.8	0.21	0.45	3.4
绿泥石环边胶结成岩相	36	62.3	1.3	1.1	10.3	3.0	2.3	0.39	0.33	5.4

于四川盆地的川中和川南过渡带地区,物源主要来自本区的南部和东北部方向,这些物源区都有大量火山碎屑岩的分布。通过薄片鉴定和扫描电镜观察也可以发现火山岩屑的蚀变(图 1e)、黑云母湖底水解(黑云母水解作用可生成大量 Fe^{2+})^[7]等现象。薄片鉴定资料统计也表明,在发育绿泥石环边胶结物的砂岩储层中火山岩岩屑的偏高(表 1)。因此,本区砂岩中绿泥石环边胶结物的发育与火山岩岩屑的蚀变密切相关。

4 绿泥石环边胶结物对储层孔隙的保存机制

绿泥石环边胶结物对砂岩储层发育的影响是本区致密砂岩储层孔隙发育的重要控制因素。本文通过对比不同成岩相储层的岩石学特征和物性特征来分析绿泥石环边胶结物对储层发育的影响。从表 1、图 2 和图 3 可以看出,在 5 种成岩相中,绿泥石环边胶结成岩相对应的储层物性最好,

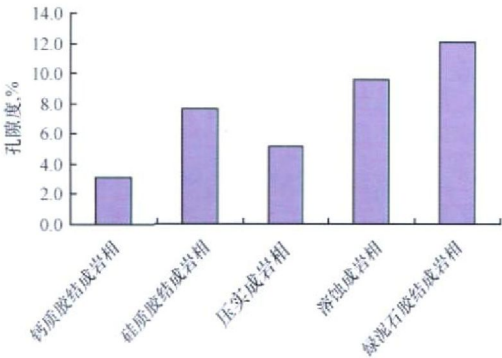


图 2 不同成岩相类型储层孔隙度分布直方图
Fig. 2 Porosity frequency distribution of reservoirs with different diagenetic facies

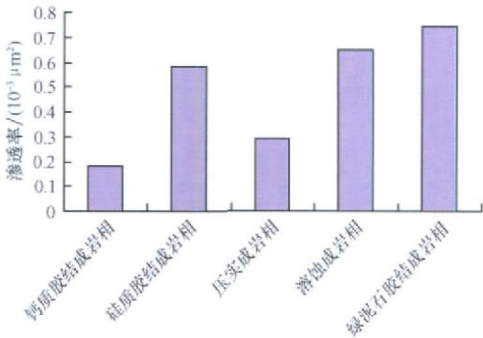


图 3 不同成岩相类型储层渗透率分布直方图
Fig. 3 Permeability frequency distribution of reservoirs with different diagenetic facies

面孔率高达 5.4%,孔隙度达 12.05%,渗透率达 $0.724 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。可见,绿泥石环边胶结作用是本区优质储层形成的重要因素。目前,有关绿泥石环边胶结物对储层孔隙保存机制方面的研究较多,本次研究认为绿泥石环边胶结物对储层孔隙的保存机制主要表现在提高岩石的抗压实能力、抑制压溶作用、抑制石英次生加大、促进溶蚀作用以及形成有利的孔喉结构等方面。

4.1 提高岩石的抗压实能力

本区砂岩中的绿泥石环边胶结物为早成岩阶段的产物,在储层遭受强烈的压实作用之前,绿泥石环边胶结物已经占据了一部分孔隙空间,它的存在增加了岩石的抗压实能力,使原生粒间孔隙得以保存。薄片鉴定和扫描电镜观察发现在发育绿泥石环边胶结物的区域,压实作用较弱,碎屑变形较小,颗粒间以点-线接触为主;而不发育绿泥石环边胶结物的区域,压实作用较强,颗粒间主要为线-凹凸接触(图 1a, 1b)。此外,绿泥石环边胶结物的存在有利于铸模孔等次生孔隙的保存,

由于绿泥石环边胶结物不易溶解,发育绿泥石环边的碎屑颗粒在溶蚀作用下会形成绿泥石环边胶结物包绕的铸模孔或粒内溶孔。(图 1f, 1g)。

4.2 抑制压溶作用

由于绿泥石环边胶结物的存在降低了压实作用强度,减轻了颗粒接触的紧密程度,减少了颗粒接触面积,因而对压溶作用也可起到有效的抑制作用。薄片鉴定和扫描电镜观察发现在绿泥石环边胶结物发育的地方,碎屑颗粒之间的凹凸-缝合接触情况少见(图 1a, 1b),说明绿泥石环边胶结物有效地抑制了压溶作用。

4.3 抑制石英次生加大

绿泥石环边胶结物可有效抑制石英次生加大的观点目前已被广大学者普遍接受,其抑制石英次生加大的机理主要有 3 个方面:①抑制压溶作用,减少石英次生加大的物质来源;②阻止石英次生加大的增长;③阻止富含 SiO_2 的孔隙流体在碎屑石英表面成核,如果被包裹的碎屑石英失去了成核作用的能力,就不能形成共轴再生胶结物^[10~12]。据薄片鉴定及扫描电镜观察,有绿泥石环边胶结物包裹的石英颗粒,石英次生加大现象极少(图 1a, 1b),但是如果包裹石英颗粒的绿泥石环边胶结物不连续,次生石英仍能在没有被绿泥石胶结物隔离的部位生长成核,最终形成石英次生加大(图 1b, 1i)。

4.4 促进溶蚀作用

砂岩储层内发生的溶蚀作用主要为酸性水溶液对长石、石英、岩屑颗粒和碳酸盐胶结物的溶蚀,形成粒间溶孔和粒内溶孔。溶蚀作用与储层岩性类型、胶结物类型、原生孔隙及连通通道等因素密切相关。在绿泥石环边胶结物发育的岩石中,有大量的残余原生孔隙保存下来,而且绿泥石矿物具有大量的晶间孔隙^[13],这都为后期酸性水介质流动提供运移通道,有利于后期溶蚀作用的不断进行,从而进一步改善储层^[14~16]的物性。据薄片鉴定和扫描电镜观察,绿泥石环边胶结物常与粒间溶孔、粒内溶孔或铸模孔伴生(图 1f—1i)。可见,绿泥石环边胶结物的发育有利于后期溶蚀作用的进行。

4.5 形成有利的孔喉结构

发育绿泥石环边胶结物的砂岩储层保存了大量的残余粒间孔,颗粒间接触关系主要为点-线接触,喉道类型以缩颈喉道或点状喉道为主(图 1a, 1i)。该类孔喉组合可形成粗喉大孔型孔喉结构,这类孔喉结构具有排驱压力低、孔喉中值半径大、毛管阻力小、连通性较好、孔隙度和渗透率较大等特点(表 1;图 4)。

5 结语

1) 本区砂岩中的绿泥石环边胶结物以等厚环边方式垂直颗粒表面生长,形成于早成岩阶段 A 亚期,环边的形成受沉积环境和物源条件等因素控制。

2) 绿泥石环边胶结物在储层遭受强烈的压实作用之前已经占据了一部分孔隙空间,它的存在增加了岩石的抗压实能力,使原生粒间孔隙得以保存。

3) 绿泥石环边胶结物的存在减轻了颗粒接触的紧密程度,减少了颗粒接触面积,对压溶作用起到有效的抑制作用。

4) 绿泥石环边胶结物通过抑制压溶作用、阻止石英次生加大的增长以及阻止富含 SiO_2 的孔隙流体在碎屑石英表面成核等机理,有效抑制了石英次生加大。

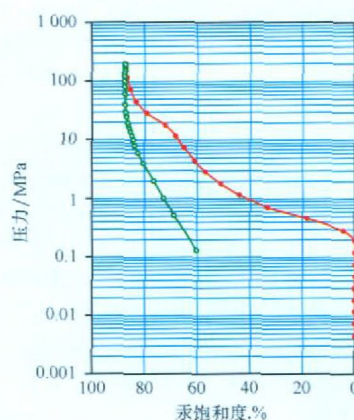


图 4 含绿泥石环边胶结物储层典型压汞曲线
(包浅 001-11 井, 1 723.24~1 723.29 m)

Fig 4 Typical mercury injection curves of reservoirs with chlorite rims
(well: baoqian 001-11, 1 723.24-1 723.29 m)

5) 绿泥石环边胶结物的存在使大量残余原生孔隙得以保存, 而且绿泥石矿物具有大量的晶间孔隙^[13], 这为后期酸性水介质流动提供运移通道, 有利于后期溶蚀作用的不断进行。

6) 发育绿泥石环边胶结物的砂岩储层具有良好的孔喉结构及物性条件, 绿泥石环边胶结物的存在是本区砂岩储层孔隙保存的重要因素。

参 考 文 献

- Pittman E D. Clay coats: occurrence and relevance to preservation of porosity in sandstones[J]. SEPM Special Publication, 1992, 47: 241– 255
- Ehrenberg S N. Preservation of anomalously high porosity in deeply buried sandstones by chlorite rims: Examples from the Norwegian Continental Shelf[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77: 1 260– 1 286
- Salman Bloch, Robert H L, Linda B. Anomalously high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: Origin and predictability[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86: 301– 328
- 柳益群, 李文厚. 陕甘宁盆地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
- 黄思静, 谢连文, 张萌, 等. 中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(3): 273~ 281
- 刘林玉, 曲志浩, 孙卫, 等. 新疆鄯善油田碎屑岩中的粘土矿物特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1998, 28(5): 443~ 446
- Jeffrey D G. Origin and growth mechanism of authigenic chlorite in sandstones of the lower vicksburg formation, south texas[J]. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71: 27– 36
- V Billault. A nanopetrographic and textural study of chlorite rims in sandstone reservoirs[J]. Clay Minerals, 2003, 38: 315– 328
- 曾伟. 张强凹陷上侏罗统成岩作用及储层分布[J]. 西南石油学院学报, 1996, 18(4): 9~ 15
- Walderhaug O. Temperatures of quartz cementation in Jurassic sandstones from the Norwegian continental shelf: evidence from fluid inclusions[J]. Journal of Sedimentary Research, 1994b, 64: 311– 323
- Walderhaug O. Kinetic modelling of quartz cementation and porosity loss in deeply buried sandstone reservoirs[J]. AAPG Bulletin, 1996, 80: 731– 745
- Salman Bloch, Robert H L, Linda B. Anomalously high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: Origin and predictability[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86: 301– 328
- 王芙蓉. 准噶尔盆地腹部永进地区深埋侏罗系砂岩内绿泥石环边胶结物对储层物性的影响[J]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(2): 24~ 27
- 吕修祥, 杨宁, 解启东, 等. 塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 284~ 289, 296
- 刘成林, 朱筱敏, 朱玉新, 等. 不同构造背景天然气储层成岩作用及孔隙演化特点[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 746~ 753
- 张莉, 柳广弟, 谢增业, 等. 川西前陆盆地南部储层流体包裹体特征及其在天然气成藏研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 800~ 807
- (编辑 陈喜禄)

(上接第52页)

- Yuli Mitsuhashi, Koichi Matsuo, Matato Minegishi. Magnetotelluric survey for exploration of a volcanic rock reservoir in the Yurihara oil and gas field, Japan [J]. Geophysical Prospecting, 1999, 47(2): 195– 218
- Levin L E. Volcanogenic and volcanoclastic reservoir rocks in Mesozoic-Cenozoic island arcs: examples from the Caucasus and the NW Pacific[J]. Journal of Petroleum Geology, 1995, 18(3): 267– 288
- 齐井顺. 松辽盆地北部深层火山岩天然气勘探实践[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 590~ 596
- Vernik L. A new type of reservoir rock in volcanoclastic sequences[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(6): 830– 836
- Sruoga P, Rubinstein N, Hinterwimmer G. Porosity and permeability in volcanic rocks: a case study on the Serie Tobfera, South Patagonia, Argentina[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2004, 132: 31– 43
- 赵海玲, 李小光, 陈振岩, 等. 辽河油田坳32井区中生界火山岩岩石学特征及成因[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 549~ 556
- 赵海玲, 刘振文, 李剑, 等. 火山岩油气储层的岩石学特征及研究方向[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(6): 609~ 613
- 赵澄林. 特殊油气储层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- Che Zhenyuan. Relationship between tertiary volcanic rocks and hydrocarbons in the Liaohe basin, People's Republic of China [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(6): 1 004– 1 014
- 赵海玲. 火山岩储层[J]. 现代地质, 1998, 12(1): 56~ 58
- 陈建文. 一门新兴的边缘科学-火山岩储层地质学[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(4): 19~ 22
- 北京大学地质系岩矿教研室. 光性矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 1979
- 王高尚, 李鹏九. 热液平衡计算数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 1991
- 张新培, 邓宏文, 张吉昌, 等. 辽河坳陷东部凹陷欧-黄地区火山岩储集层特征及有利储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 370~ 376
- (编辑 董立)