

文章编号:1673-9469(2011)03-0052-06

## 下日哈坳陷二叠系碎屑岩储层成岩作用

赵军辉,周立发

(西北大学 大陆动力学国家重点实验室/地质学系,陕西 西安 710069)

**摘要:**通过野外观察、薄片鉴定、扫描电镜、阴极发光和物性等资料分析,对南祁连盆地地下日哈坳陷二叠系碎屑岩储层的岩石学特征、成岩作用过程进行研究。研究表明:该区碎屑岩主要由石英砂岩、长石石英砂岩和长石砂岩组成,主要成岩作用类型有压实作用、胶结作用、交代作用和溶蚀作用,成岩演化阶段已达到中成岩阶段A期及中成岩阶段B期。

**关键词:**南祁连盆地;下日哈坳陷;二叠系;成岩作用

**中图分类号:** P544.4

**文献标识码:** A

## Permian clastic rock reservoir diagenesis of Xiariha depression in South Qilian basin

ZHAO Jun-hui, ZHOU Li-fa

(State Key Laboratory of Continental Dynamics/Department of Geology, Northwest University, Shan xi Xi'an 710069, China)

**Abstract:** Based on researches by means of the field observation, ordinary thin sections, scanning electron microscope and reservoir property analysis, the authors studied the petrologic and diagenetic characteristics of the Permian clastic rock reservoirs of Xiariha depression in South Qilian basin, and the result shows that clastic rock in this area are mainly composed of quartz sandstone, feldspar quartz sandstone and the feldspar sandstone and have mainly experienced such actions as compaction, cementation, metasomatism and corrosion, with the evolution reaching the middle diagenetic stage A and the middle diagenetic stage B.

**Key words:** South Qilian basin; Xiariha depression; Permian; diagenesis

近年来,随着油气勘探领域的不断扩展,我国对青藏高原的石油地质研究逐步展开,并取得了初步成果。尤其在青海祁连山南缘发现可燃冰并推断其气源可能来自下伏的海相二叠系和三叠系后,南祁连盆地油气资源引起人们的广泛关注。前人对南祁连盆地二叠系储层研究程度甚低,本文主要通过南祁连盆地地下日哈坳陷储层成岩作用进行初步探讨,为该区更深入的石油地质研究和油气勘探提供一点信息。

### 1 地质背景

南祁连盆地地处祁连山系南部,它是祁连褶皱系的重要组成部分<sup>[1-4]</sup>,盆地呈北西-南东向。

北侧与广泛发育前寒武系的中祁连相连,南部以宗务隆山与柴达木盆地相邻。二叠系是南祁连盆地沉积盖层主体组成部分之一,分布广泛。大体以托莱河-大通河-哈尔盖河-青海湖东-倒淌河一线为界,以北地区的二叠系主体为陆相沉积,以南地区的二叠系为海相沉积<sup>[5-6]</sup>。

研究区下日哈坳陷(图1)位于天棚隆起、大通山隆起与阳康隆起之间,北与木里坳陷相连通。呈北西-南东向展布,近似长方形,面积约5000 km<sup>2</sup>。总体构造形态为一由多个向斜和背斜组成的复式向斜,并伴有断裂构造。南祁连盆地经历了中二叠世的海侵-晚二叠世的海退旋回。处于盆地东南部的研究区主要发育碳酸盐岩台地相、滨岸相、浅海陆棚相和三角洲相的二叠系地

收稿日期:2011-05-30

基金项目:国家重点基础研究发展基金项目(2003CB214601)

作者简介:赵军辉(1985-),陕西扶风县人,硕士,从事含油气盆地分析研究。

层<sup>[7-9]</sup>。对于二叠系的划分,众多学者一直采用二分的方案,本文在总结前人研究成果的基础之上采用二叠系三分的方案<sup>[10-11]</sup>。自下而上分别为中二叠统勒门沟组(P<sub>2</sub>l)、中二叠统草地沟组(P<sub>2</sub>c)、上二叠统哈吉尔组(P<sub>3</sub>h)、上二叠统忠什公组(P<sub>3</sub>z),缺失下二叠统,各层位碎屑岩储层发育。

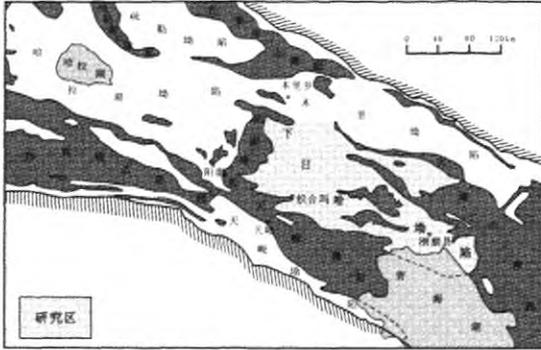


图1 南祁连盆地构造单元划分图

Fig.1 Simplified map of divided tectonic units of the Southern Qilian Basin

## 2 储层基本特征

### 2.1 储层岩石学特征

镜下研究结果表明,研究区二叠系砂岩类型主要为石英砂岩和长石石英砂岩,其次是长石砂岩。其中,石英砂岩和长石石英砂岩主要集中于中二叠统勒门沟组和草地沟组,上二叠统主要发育长石砂岩(图2)。碎屑颗粒分选中等-好,磨圆度为棱角状-次圆状,胶结类型以孔隙式胶结为主。碎屑颗粒接触关系基本为线状接触,少部分为点-线状、缝合接触。胶结物含量3% - 27%,胶结物成分主要为泥质(绿泥石、水云母)、硅质及方解石。其中方解石分布不均匀,研究区东部部分砂岩中含有杂基,含量不等,多在10% - 17%左

右,少数砂岩中,杂基含量可高达40%。碎屑颗粒中,石英含量多在40% - 95%之间,长石含量多为8% - 25%,岩屑含量变化范围较大,以5% - 25%较为多见。区内二叠系砂岩岩屑类型较为丰富,主要包括各种浅变质碎屑岩、花岗岩、沉积岩、喷出岩及深变质岩,但以浅变质的碎屑岩和花岗岩为主体,喷出岩及深变质岩较少见。

### 2.2 储层空间类型

根据常规薄片、铸体薄片及扫描电镜资料分析,研究区孔隙类型分为原生孔隙、次生孔隙以及裂缝三类。原生孔隙包括残余粒间孔隙和填隙物粒内孔隙。次生孔隙主要指长石、岩屑、碳酸盐及其它可溶性组分溶解而成的孔隙,主要包括溶蚀粒间孔隙、溶蚀粒内孔隙和溶蚀填隙物粒内孔隙(表1)。

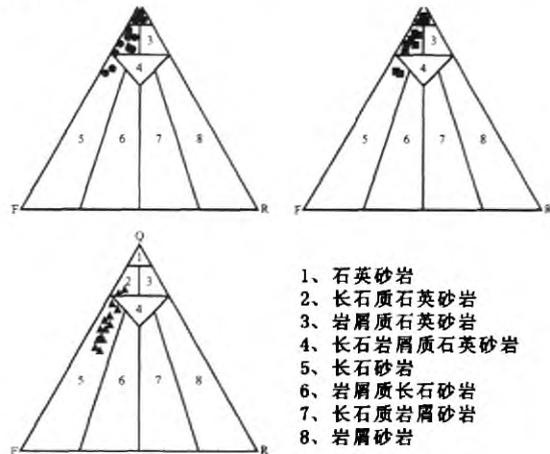


图2 下日哈坳陷二叠系砂岩分类三角图

Fig.2 Triangular diagram showing classification of Permian sandstone in Xiariha depression

● 勒门沟组砂岩; ■ 草地沟组砂岩;  
▲ 哈吉尔-忠什公组砂岩

表1 下日哈坳陷二叠系碎屑岩储集空间类型

Tab.1 Types of reservoir space in Permian clastic rock in Xiariha depression

孔隙	类型	孔隙特征	发育程度
原生孔隙	残余粒间孔	碎屑颗粒之间被填隙物充填后剩余的空间	较低
	填隙物粒内孔	陆源粘土杂基在成岩过程中因收缩形成的微孔隙和出现在自生粘土矿物,方解石及石英等自生矿物间的晶间孔隙	中等
	溶蚀粒间孔	颗粒边缘及填隙物被溶解形成的孔隙	低-中等
次生孔隙	溶蚀粒内孔	局限于颗粒内部的溶解孔隙	低
	溶蚀填隙物粒内孔	碎屑颗粒间填隙物中遭受溶蚀作用而形成的孔隙	低
裂缝	构造裂缝	因构造运动和成岩压实作用使储集层产生裂缝	低
	成岩裂缝		

### 3 成岩作用类型及特征

#### 3.1 压实作用

压实作用是导致本区储层低孔低渗的主要成岩因素之一,分为机械压实作用和化学压溶作用。机械压实作用强烈,表现为颗粒紧密接触(图 3a),多为线接触,碎屑颗粒的半定向排列以及塑性颗粒(云母、泥岩岩屑等)弯曲变形,有的进入孔隙中形成假杂基,局部见石英等刚性碎屑颗粒发生破裂形成裂纹。压溶作用,表现为石英颗粒呈缝合线接触,发育压溶缝合构造。

压实作用对储层孔隙度和渗透率的影响主要反映在储层岩埋藏的早期。随着埋深的增加,由于各种胶结作用的出现,岩石具有一定的抗压性,此时压实作用对储层物性的影响将逐渐减弱,取而代之的是各种胶结作用。

#### 3.2 胶结作用

胶结作用是影响本区二叠系储层物性主要的成岩作用。依据胶结物成分,将胶结作用划分为碳酸盐胶结、硅质胶结和黏土矿物胶结。

**碳酸盐胶结:**研究区碳酸盐胶结物分布广泛,在二叠系各层位均有分布,胶结物以早期方解石为主,晚期的白云石、(铁)方解石较少。其中,(铁)方解石以不均匀地充填原生孔隙(图 3b)和交代石英和长石颗粒的形式出现,局部地区见连晶结构方解石。白云石分散充填于孔隙中,晶体自形程度较高。早期碳酸盐胶结作用对储层储集性能有双重影响,首先碳酸盐胶结物减小储集空间,同时亦可承载上覆压力,为后期的酸性水介质溶蚀作用而形成次生孔隙提供前提条件<sup>[12]</sup>。

**硅质胶结:**硅质胶结以两种形式出现,一种形式即石英次生加大(图 3c),另一种呈集合体充填于孔隙之间,发育好的甚至可充填整个孔隙空间。硅质胶结物在整个研究区砂岩储层中分布较广泛,是二叠系砂岩储层致密坚硬的主要原因之一。

**黏土矿物胶结:**本区黏土矿物胶结物以绿泥石和伊利石为主,高岭石仅在局部发育。扫描电镜下,高岭石呈蠕虫状或书页状(图 3d)充填于孔隙中,伊利石呈弯曲片状(图 3e)充填于孔隙中,绿

泥石呈不规则的片状、绒球状充填于孔隙中。高岭石胶结物的存在,一方面堵塞了原生孔隙,降低了储层的渗透性能,另一方面可以形成晶间孔隙,增大储集空间,而绿泥石和伊利石胶结物的存在减小了孔隙喉道,降低孔喉间的连通性,对储层的渗透性能有较大的负面影响。

#### 3.3 交代作用

本区交代作用分布较广,主要为两种类型:其一为胶结物对碎屑颗粒的交代作用;其二是不同胶结物之间的交代作用。

**胶结物对碎屑颗粒的交代:**主要表现为方解石胶结物交代碎屑颗粒(图 3f),交代作用程度较弱。多数情况下,充填于粒间孔隙中的方解石胶结物沿碎屑颗粒边缘进行溶蚀交代,使部分碎屑颗粒呈现不同程度的交代,特别是石英和长石等颗粒交代最为明显,有时使颗粒呈残骸状、港湾状,使少数颗粒反而孤立地漂浮在胶结物之中。碎屑颗粒的粒内交代现象也可见到,但数量较少。

其次表现为黏土矿物(伊利石)对碎屑颗粒的交代。在富含黏土基质的砂岩中,可见到黏土矿物尤其是伊利石交代石英颗粒或长石颗粒的现象,被交代的颗粒边缘多为锯齿状。

**不同胶结物之间的交代:**主要表现为方解石交代黏土矿物,富含黏土基质的砂岩中较早形成的黏土矿物胶结物被方解石胶结物交代,这可能与地下水溶液中钙离子浓度较高,某些黏土矿物变得不稳定,易被交代有关。

#### 3.4 溶蚀作用

溶蚀作用是深层储层次生孔隙形成的主要机理,是一种建设性的成岩事件。本区溶蚀作用主要表现为长石(图 3g)、岩屑及少量石英被选择性溶蚀,钙质胶结物被选择性溶蚀成粒间孔,沿构造缝溶蚀形成构溶缝,石英的压溶使得石英的边缘呈现港湾状。但由于区内压实作用、胶结作用强烈,使得有机质在热演化过程中排出的酸性水不能有效地进入砂岩储层中形成溶蚀作用或将溶解物质带出,其结果使区内砂岩储层中溶蚀作用微弱,仅形成局部分布的、少量的和孤立的次生孔隙(图 3h)。

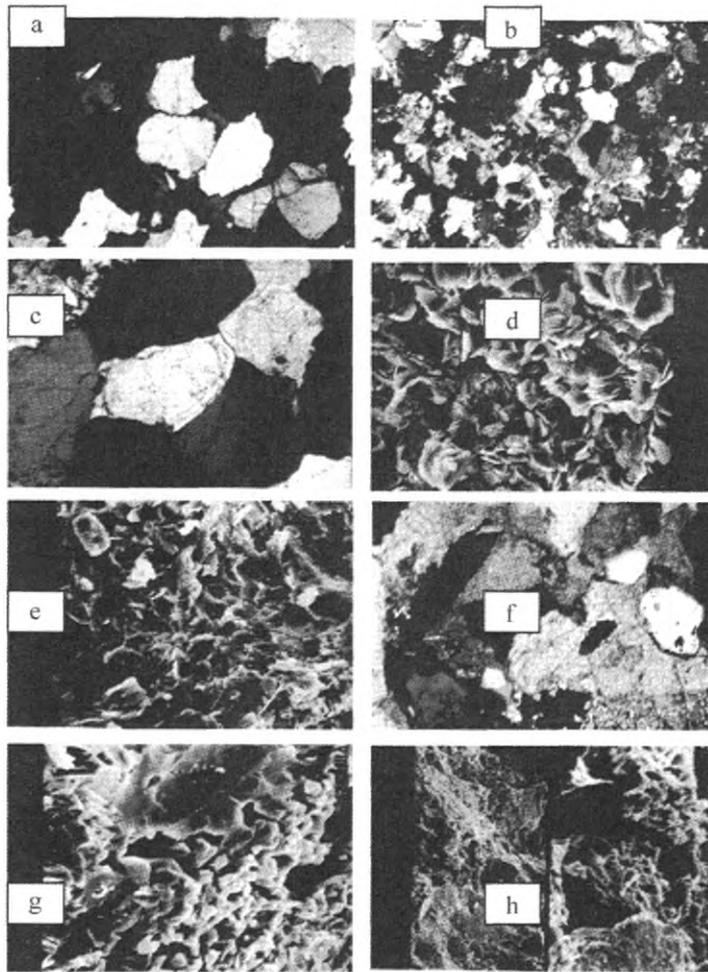


图3 储层成岩作用显微特征

Fig. 3 Microscopic characteristic of reservoir diagenesis

a) 勒门沟组, 石英砂岩, 颗粒呈线-缝合状接触, 正交光; (b) 忠什公组, 方解石胶结物, 正交光; (c) 勒门沟组, 石英砂岩, 加大边, 正交光; (d) 勒门沟组, 石英砂岩, 书页状高岭石胶结物及晶间微孔, 扫描电镜; (e) 忠什公组, 长石砂岩, 片状伊利石胶结, 扫描电镜; (f) 草地沟组, 长石石英砂岩, 方解石交代碎屑颗粒, 正交光; (g) 忠什公组, 长石砂岩, 长石颗粒表面见溶蚀, 扫描电镜; (h) 哈吉尔组, 长石砂岩, 局部溶孔发育, 扫描电镜

## 4 成岩阶段及成岩序列

### 4.1 成岩阶段

依据中国石油天然气行业标准《碎屑岩成岩阶段划分规范》(SY/T5477-2003)中碱性水介质(盐湖盆地)环境下成岩阶段划分标准和依据<sup>[13]</sup>, 通过对自生矿物分布形成顺序, 有机质成熟度, 古温度等多种特征的综合分析, 初步认为本区二叠系储集层已进入中成岩阶段 A 期及中成岩阶段 B 期(图 4), 主要成岩事件为破坏性成岩作用即压实作用和胶结作用, 建设性成岩作用即溶蚀作用发育不强。得出上述结论的主要依据是:

(a)古温度范围为 130℃ - 180℃。(b)有机质处于高成熟阶段, 镜质体反射率( $R_o$ )为 1.25% - 2%。(c)砂岩中石英次生加大普遍, 薄片下大部分石英具有交生加大, 且加大边宽。(d)扫描电镜下, 岩石已较致密, 有微裂隙(缝)出现。(e)高岭石很少, 主要为伊利石、绿泥石。

### 4.2 成岩序列

根据对成岩作用及自生矿物成因分析, 结合镜下的各类成岩现象, 区内成岩作用演化具体表现如下: 压实作用→高岭石化、绢云母化→早期钙、铁质胶结→石英加大→早期溶蚀作用→烃类运移作用→晚期钙质胶结→交代作用→粘土矿物

成岩阶段		早成岩阶段		中成岩阶段		
		A	B	A	B	
古温度(°C)		古常温~65	65~85	85~140	140~175	
Ro(%)		<0.35	0.35~0.5	0.5~1.3	1.3~2.0	
有机质热演化阶段		未成熟	半成熟	低成熟~成熟	高成熟	
成岩作用事件	压实压溶作用	—————				
	胶结作用	方解石	———			
		白云石	———			
		石英加大、自生石英	I		II	
	黏土矿物	高岭石	———			
		伊利石	—————			
		绿泥石	—————			
	溶蚀作用	岩屑、长石	—————			
		碳酸盐	———			
	接触类型		点状		点-线状	线状
孔隙类型		原生孔隙为主		次生孔隙及少量剩余粒间孔	孔隙大量减少及微裂缝出现	

图4 下日哈坳陷二叠系成岩阶段划分

Fig.4 Diagenesis evolution stages of Permian in Xiariha depression

和重结晶→晚期溶蚀作用→连生结构方解石胶结(→褐铁矿化)。

### 5 成岩作用对储层的影响

根据对储层的影响,可将成岩作用分为破坏性成岩作用即压实作用和胶结作用,建设性成岩作用即溶蚀作用。

#### 5.1 压实压溶作用

由于碎屑岩储集层中陆源基质含量高,沉积后大量细小物质充填在碎屑颗粒之间,使原始孔隙度明显降低,加上呈柔性的岩屑含量较高,导致压实压溶效应显著,使储集层物性条件明显变差。表现为碎屑颗粒紧密排列,碎屑颗粒间呈线-凹凸状接触,柔性岩屑变形强烈发生假杂基化。流动孔隙进一步减少,束缚孔隙增多,一些孔隙成为孤立状死孔隙。这一作用对粒度中值细、陆源基质含量高的粉砂岩-细砂岩影响尤其明显,是区内储集层物性条件普遍变差的主要影响因素之一。

#### 5.2 胶结作用

胶结作用对物性条件变差所起作用显著加大。具体表现在碎屑岩储层中再生长石英等硅质胶结物的沉淀、填充,方解石胶结物的广泛分布及自生粘土矿物伊利石、绿泥石的形成来进一步填

充残余的粒间孔隙及堵塞喉道,使孔喉展布更加复杂。其结果是本来相对物性较好的储层也遭到了不同程度的破坏,最终使物性条件变差。

#### 5.3 溶蚀作用

溶蚀作用一方面使原有的孔隙系统得到扩大,孔隙间连通性变好,另一方面对储集层的碎屑组分进行新的改造,也可产生新孔隙。具体到本区内部,溶蚀作用强度不大。碎屑岩储集层中局部地区,局部层段可见少量溶蚀现象存在。因此,多形成零星分布的孤立状溶蚀孔隙,对物性条件改善所起贡献不大。因此,区内储层表现出整体物性差的特点。

### 6 结论

- 1) 下日哈坳陷二叠系碎屑岩岩石类型以石英砂岩、长石石英砂岩和长石砂岩为主,岩石成分成熟度和结构成熟度中等。
- 2) 下日哈坳陷二叠系碎屑岩储层成岩作用类型有压实作用、胶结作用、交代作用、溶蚀作用,成岩演化已达中成岩阶段A期及中成岩阶段B期。
- 3) 下日哈坳陷二叠系碎屑岩储层成岩作用序列为:压实作用→高岭石化、绢云母化→早期钙、铁质胶结→石英加大→早期溶蚀作用→烃类运移作用→晚期钙质胶结→交代作用→粘土矿物和重

结晶→晚期溶蚀作用→连生结构方解石胶结(→褐铁矿化)。

#### 参考文献:

- [1] 金松桥. 祁连山扭动构造体系发展史[J]. 长春地质学院学报, 1983(2): 24-37.
- [2] 魏春海. 中国祁连山地质构造的基本特征[J]. 地质学报, 1978(2): 95-105.
- [3] 王云山, 马永铨. 青海省构造体系特征与演化[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [4] 向鼎璞. 祁连山地质构造特征[J]. 地质科学, 1982(5): 364-370.
- [5] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [6] 青海省地层表编写小组. 西北地区区域地层表-青海分册[M]. 北京: 地质出版社, 1980.
- [7] 朱如凯, 许怀先, 邓胜徽, 等. 中国北方地区二叠纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 2007, 9(2): 133-142.
- [8] 王永, 刘训. 南祁连地区二叠-三叠沉积构造演化[J]. 中国区域地质, 1995(3): 245-251.
- [9] 谭富荣, 周立发. 南祁连盆地二叠系沉积特征及其充填模式[J]. 河北工程大学学报, 2010, 27(3): 62-65.
- [10] 金玉轩. 中国地层典(石炭系)[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [11] 王鸿祯. 中国层序地层研究[M]. 广州: 广东科技出版社, 2000.
- [12] 张关龙. 济阳凹陷石炭系-二叠系储层成岩作用及孔隙演化[J]. 海相油气地质, 2009, 14(3): 1-9.
- [13] 应凤祥, 罗平, 何东博. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.

(责任编辑 刘存英)

(上接第34页)

#### 参考文献:

- [1] 李耀培. 中国居住实态与小康住宅设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 1999.
- [2] 于毅夫. 阳台的形态研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2001.
- [3] 刘辉, 杜峰. 鲁北乡村住宅节能设计初探[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2007, 24(4): 50-52.
- [4] 刘伟, 刘斌. 建筑外部空间之过渡的调和空间解析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2009, 26(4): 20-23.
- [5] 中华人发共和国建设部. 民用建筑设计通则[S].
- [6] 云朋. ECOTECT 建筑环境设计教程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [7] 中国气象局气象信息中心气象资料室, 清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [8] 朱颖心. 建筑环境学[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [9] 中华人发共和国建设部. 建筑采光设计标准[S].
- [10] 陈仲林, 唐鸣放. 建筑物理[M]. 图解版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [11] 晋文, 齐静, 张伟捷. 基于建筑热环境数值模拟的优化设计[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2008, 25(4): 61-64.
- [12] 张允, 李淑兰. 窗户热屏系统对室内热环境影响的实验研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2009, 26(4): 52-55.

(责任编辑 马立)