

文章编号: 1000-0550(2007) 06-0869-07

# 库车前陆地区吐格尔明背斜下侏罗统砂岩成岩作用及孔隙发育的控制因素分析

寿建峰 张惠良 沈扬

(中国石油集团杭州地质研究所 杭州 310023)

**摘要** 从沉积、构造和热背景剖析了库车前陆地区吐格尔明背斜下侏罗统砂岩的成岩作用及孔隙发育的控制因素,认为砂岩粒径、热成熟度和构造应力是其成岩作用及孔隙发育的 3 个主要控制因素。但前两个因素不是背斜南翼砂岩压实较弱、孔隙保存较多,北翼砂岩压实强、孔隙保存少的重要因素;构造应力场才是导致这种显著差异的主控因素,声发射岩石古构造应力测试结果表明该背斜南、北翼之间下侏罗统砂岩受到的最大水平构造应力的差值为 72.2 MPa,其减孔量差值达 7.6%。

**关键词** 砂岩成岩 控制因素 构造应力 库车前陆地区

**第一作者简介** 寿建峰 男 1958 年出生 博士 教授 油气储层地质学 E-mail: shoujif58@sina.com

**中图分类号** P588.2 TE122.2<sup>+</sup>3 **文献标识码** A

## 1 前言

吐格尔明背斜呈北西西—南东东向位于库车前陆地区东部的阳霞沟地表剖面,该地表剖面位于背斜的东侧(图 1)。该背斜南、北翼中、新生界地层发育特征有所不同(表 1),北翼三叠系至第四系均有发育,缺上白垩统和古近统下部库姆格列木组(E<sub>1-2k</sub>),地层倾角为 45°~60°;南翼地层缺失中侏罗统上部至古近系,地层倾角为 30°~35°。该背斜的核部有燕山期花岗岩片麻岩及超基性岩侵入岩体。对该背斜南、北翼下侏罗统砂岩的成岩作用研究发现,南、北翼

之间砂岩的成岩作用存在很大差异,北翼砂岩的成岩压实作用很强,粘土矿物组合以伊利石为主,储层十分致密;南翼砂岩的成岩压实作用较弱,粘土矿物组合以高岭石为主,储层的残余粒间孔隙仍较发育。本文通过该背斜南、北翼下侏罗统砂岩的系统取样和测试分析(样品测试项目包括岩石铸体薄片、孔渗、粘土 X-衍射、流体包裹体和岩石古构造应力等),剖析了砂岩成岩作用和孔隙保存的控制因素,提出构造应力场是南、北翼砂岩成岩作用及孔隙发育出现较大差异的主控因素。

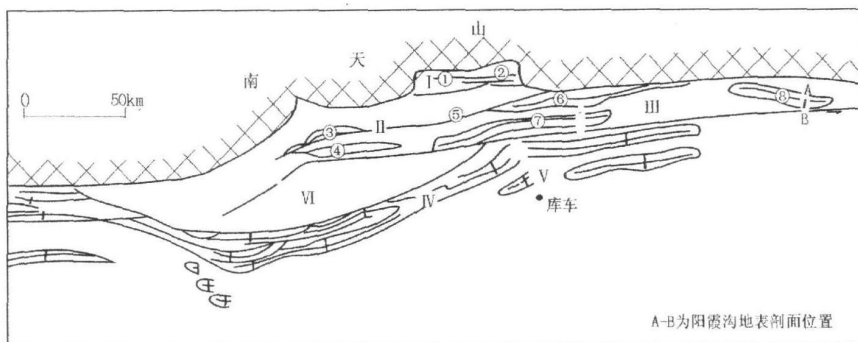


图 1 库车坳陷构造分区图(据贾承造等, 1997)

Fig 1 Tectonic division sketch of Kuqa depression (after Jia Chengzao et al., 1997)

Ⅰ南天山前缘楔状构造带; ②依奇克里克—库姆格列木构造带; ③吐格尔明—吉迪克构造带; ④秋立塔格构造带; ⑤库车—亚肯构造带; ⑥拜城拉分盆地。

1 斯的克背斜; ④东风背斜; ③库姆格列木背斜; 1/4 喀桑托开背斜; 1/2 巴什基奇克背斜; 3/4 坎亚肯—依奇克里克背斜; ⑥吉迪克背斜; ⑦吐格尔明背斜

表 1 吐格爾明背斜南、北翼地层厚度

Table 1 The formation thicknesses of the southern and northern wing of Tugeming Anticline

系	三叠系		侏罗系		白垩系		第三系		第四系
	下统	中统	上统	下统	上统	古近统	新近统		
南翼	165.07	681.5	386.95				2166.5	< 200	
北翼	165.07	681.5	511.3	358.13	236.7		223.43	2574.5	

注:表中空白代表地层缺失,带下划线的数据表示该地层厚度是按另一翼厚度统计

## 2 砂岩岩石学特征

该背斜下侏罗统阿合组和阳霞组发育辫状河三角洲,阳霞组上部发育曲流河三角洲,其顶部为巨厚层的暗色泥岩。下侏罗统砂岩储层的岩性主要为浅灰、灰白色厚层细中砂岩、中粗砂岩和含砾(砾质)中粗砂岩,阿合组砂(砾)岩较阳霞组发育。南、北翼砂岩的原始沉积组构特征基本相似,分选性均较好、泥质杂基含量一般都小于 3%;成分成熟度均较低,石英含量为 32%~35%,长石含量为 13.0%~20.5%,岩屑含量为 45.0%~55.0%;成岩析出矿物的主要成分为方解石和少量硅质,其南、北翼的总量均在 3%~5%之间。这表明该背斜砂岩的原始沉积组构和成岩胶结作用不是南、北翼之间储层性质的较大变化的主要原因。不同的是南、北翼砂岩中粘土矿物组合有明显变化,南翼以高岭石为主,粘土 X 衍射分析的含量在 65.59%~84.09%之间;北翼从岩石显微镜下观察未见高岭石,而以伊利石为主。

## 3 砂岩成岩和物性特征

该区砂岩的岩石学特征显示南翼下侏罗统砂岩以原生孔隙为主,占面孔率的比例约 80%以上,位于该背斜以南明南 1 井的砂岩溶孔比例有所增加,占面孔率的比例约 40%。北翼砂岩的压实作用已很强,岩石显微镜下已观察不到粒间孔隙,其面孔率要小于 0.5%。此外从砂岩孔隙结构特征也可判断其孔隙类型<sup>[1]</sup>,一般而论,原生孔隙型砂岩储层具有较好的孔隙度—渗透率相关性,而溶孔型储层的孔隙度—渗透率相关性往往较差。这是由于溶孔对储集空间有贡献,而对渗透率的贡献明显减小。所以该背斜南翼下侏罗统及北翼中侏罗统砂岩具有较好的孔隙度—渗透率相关性也反映其以原生孔隙为主(图 2)。

该背斜南、北翼下侏罗统砂岩成岩和物性特征的差异很大(表 2),南翼砂岩的成岩压实作用较弱,碎屑颗粒之间以点线接触为主,其总压实量平均约为 20.0%。所以砂岩粒间孔隙较发育,据地表砂岩样品

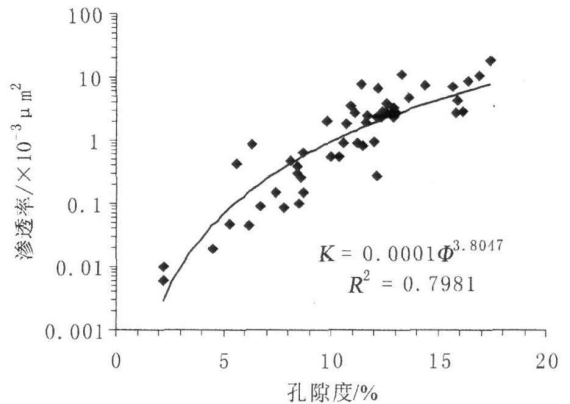


图 2 吐格爾明背斜北翼克孜勒尔组砂岩的孔—渗关系图

Fig. 2 Showing the relationship between porosity and permeability of sandstone in the northern wing of Tugeming Anticline

的实测物性资料统计,其平均孔隙度为 16.2%,渗透率为  $10 \times 10^{-3} \sim 1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均达  $185 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;明南 1 井砂岩成岩和物性特征与南翼相似。北翼砂岩的成岩压实作用显著增强,尤其是下侏罗统砂岩,其碎屑颗粒之间呈线接触和嵌合接触,岩石显微镜下几乎看不到粒间孔隙,总压实量达 29.2%。据地表砂岩样品的实测物性资料统计的平均孔隙度仅为 4.3%,渗透率小于  $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。北翼中侏罗统砂岩的成岩压实作用有所减弱,其碎屑颗粒之间以线接触为主,少量点线接触,其总压实量为 24.4%。砂岩平均孔隙度为 10.8%,渗透率为  $40.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

表 2 吐格爾明背斜南、北翼砂岩成岩及物性特征对比表

Table 2 The comparison of sandstone diagenesis and properties between the southern and northern wing in Tugeming Anticline

	南翼下侏罗统	北翼下侏罗统	北翼中侏罗统
砂岩孔隙度 / %	16.2	4.3	10.8
砂岩渗透率 / $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	10~1000	< 1.0	40.2
砂岩总压实量 / %	20.0	29.2	24.4
砂岩溶孔量 / %	2.7	0.5	1.5
砂岩胶结物含量 / %	4.5	5.5	4.3

### 4 砂岩成岩及孔隙发育的控制因素

砂岩成岩作用及储集性质受诸多因素控制, 一是盆地的动力学成岩环境, 其主要因素包括沉积、构造、热流和流体 (图 3)。其中“沉积”因素主要为原始沉积组构特征 (包括粒级、分选性、杂基含量和组分等), “构造”因素为构造演化及构造变形时间、变形样式和变形强度, “热流”因素指地层温度、地温梯度和热演化史, “流体”因素包括流体性质和流体活动; 二是盆地多期次的成岩叠加改造, 即盆地在演变过程中伴随成岩动力学环境及其作用营力的变化, 使砂岩成岩作用及演化过程发生变化。库车前陆地区的地质背景很复杂, 上述两大方面的地质因素都会对砂岩成岩作用产生影响, 只是不同地区或层系, 其主控因素有所变化而已。如侏罗系砂岩成岩作用的主控因素为热成熟度和构造应力场, 白垩系为热成熟度、构造应力场、原始沉积组构和水-岩反应, 古近系则为原始沉积组构、水-岩反应、热成熟度和异常高压等。对吐格爾明背斜而言, 南、北翼之间砂岩成岩作用的差异是由砂岩粒径、砂岩热成熟度以及构造应力场产生的, 其中构造应力场是主控因素。

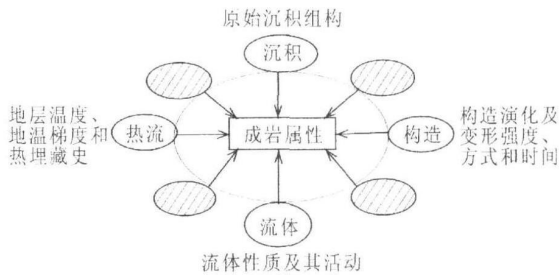


图 3 砂岩成岩作用及孔隙演化控制因素的示意图, 影阴部分表示局域性或未知的控制因素

Fig 3 The sketch showing the controlling factors of sandstone diagenesis and pore evolution

#### 4.1 砂岩粒径

在其它条件相似的情况下, 砂岩粒径的变细使成岩作用增强, 原生粒间孔隙的发育程度变差。吐格爾明背斜下侏羅統也存在这种关系。如图 4 所示, 在限定样品的泥质含量小于 2.0%, 胶结物含量处于 3.3% ~ 6.5% 之间, 分选中等的条件下, 砂岩粒径与孔隙度和渗透率之间有良好的正相关性, 细砂岩孔隙度分布区间在 10% ~ 15% 之间, 渗透率为  $0.1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ; 中砂岩孔隙度分布区间在 13% ~ 18% 之间, 渗透率为  $3.0 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ; 粗砂岩孔隙度分布区间在 17% ~ 24% 之间, 渗透率为

$10.0 \times 10^{-3} \sim 1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

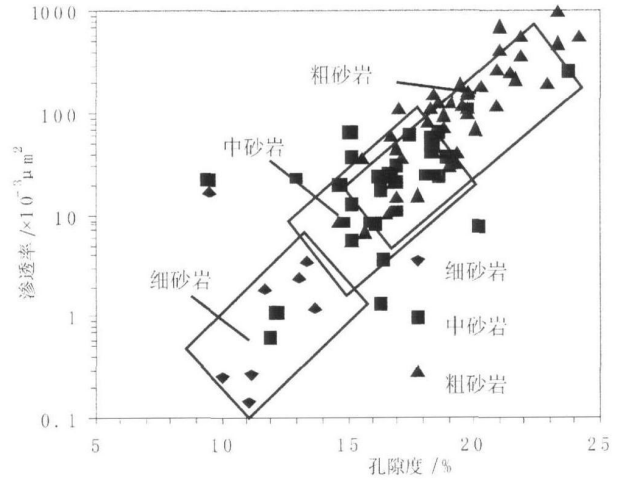


图 4 吐格爾明背斜南翼下侏羅統砂岩粒径及与孔、渗的相关性

Fig 4 Sandstone granular diameter and its relationship to porosity and permeability in the southern wing of Tugeming Anticline

但在分析相同粒径砂岩的孔、渗发育特征时, 可以看到吐格爾明背斜南、北翼下侏羅統的砂岩物性仍有较大差异 (图 5)。如对细中-粗岩屑砂岩而言, 南翼砂岩的成岩压实作用较弱, 孔隙度位于 14% ~ 19% 区间, 渗透率为  $5.0 \times 10^{-3} \sim 1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ; 而北翼下侏羅統砂岩的成岩压实作用很强, 孔隙度只有 4% ~ 8%, 渗透率为  $0.1 \times 10^{-3} \sim 3.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ; 北翼中侏羅統砂岩的成岩压实作用较强, 孔隙度在 6% ~ 14% 之间, 渗透率为  $0.1 \times 10^{-3} \sim 10.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

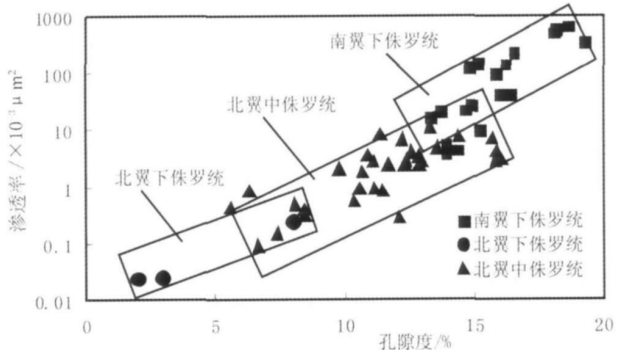


图 5 吐格爾明背斜中-粗岩屑砂岩的孔、渗分布特征

Fig 5 Showing the porosity and permeability of lithic medium to coarse sandstone in Tugeming Anticline

由上讨论可知, 砂岩粒径是影响该背斜砂岩成岩作用及孔隙保存的一个控制因素, 但它不是南、北翼

之间砂岩成岩作用差异的重要因素,因为南、北翼之间相同粒径砂岩的成岩作用和孔隙保存仍有较大差异。

#### 4.2 砂岩热成熟度

砂岩热成熟度是在一定的地温场背景下,砂岩经受的热作用时间、热演化轨迹及埋藏深度的综合反映。因此砂岩热成熟度是控制砂岩成岩作用及孔隙演化的重要因素<sup>[1]</sup>。由图 6 可知,该背斜南、北翼下侏罗统的地层埋藏史有一定差异,这会起引起南、北翼砂岩热成熟度的变化,进而影响砂岩的成岩作用和孔隙保存。利用前人关于库车坳陷地温梯度的研究资料<sup>[2]</sup>,取其地温梯度为  $2.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,则南、北翼下侏罗统砂岩的时温指数差值约为 6 (图 6 中的阴影部分),即北翼砂岩的时温指数仅比南翼约大 6 表明其热成熟度是很接近的。此外从南、北翼下侏罗统煤层的镜质体反射率 ( $R_o$ ) 测试表明,北翼下侏罗统的镜质体反射率为  $0.5\% \sim 0.6\%$ ,南翼下侏罗统的镜质体反射率为  $0.6\% \sim 0.7\%$ ,南、北翼之间镜质体反射率仅相差  $0.1\% \sim 0.15\%$  左右。

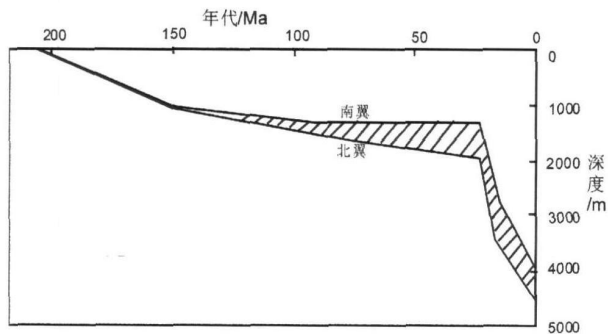


图 6 吐格尔明背斜南、北翼下侏罗统地层埋藏史,阴影部分代表南、北翼的埋藏史不同而引起的时温指数差异

Fig 6 The burial histories of the southern and northern wing of Tugeming Anticline

这种热成熟度差异会影响砂岩的成岩作用和孔隙保存。采用下 2 式<sup>[11]</sup>关于细中—粗岩屑砂岩的热成熟度 ( $TTI$ ) 与孔隙度的关系可获得南、北翼不同热成熟度下的孔隙度值 (表 3):

中—粗岩屑砂岩 ( $R \leq 50\%$ ):

$$\text{Lg}(TTI) = -0.137\phi + 3.6854 \quad (1)$$

中—粗岩屑砂岩 ( $R > 50\%$ ):

$$\text{Lg}(TTI) = -0.1298\phi + 3.3737 \quad (2)$$

据表 3 南、北翼之间由于热成熟度不同引起的砂岩孔隙度差异为  $1.9\% \sim 2.3\%$ ,即南翼砂岩热成熟度稍低而多保存了  $1.9\% \sim 2.3\%$  的孔隙度。显然

这也不是南、北翼砂岩孔隙发育差异的主要原因。

表 3 吐格尔明背斜南、北翼不同砂岩热成熟度下的孔隙度预测值

Table 3 The relationship between sandstone thermal maturation and porosity in Tugeming Anticline

	南翼下侏罗统		北翼下侏罗统	
镜质体反射率值 $f\%$	0.5	0.6	0.6	0.7
时温指数 $TTI$	4.5	9.1	9.1	16.5
A: 孔隙度 $f\%$	22.1	19.9	19.9	18.0
B: 孔隙度 $f\%$	20.9	18.6	18.6	16.6

注: A 栏代表岩屑中—粗砂岩中岩屑含量小于  $50\%$  的孔隙度, B 栏则代表岩屑含量大于  $50\%$  的孔隙度。

#### 4.3 构造应力场

声发射法是测定岩石古构造应力的一种较有效方法<sup>[3-5]</sup>,利用此古构造应力建立与砂岩孔隙度的对应关系也获得了较好的应用效果<sup>[6]</sup>。在吐格尔明背斜南翼的 3 个古构造应力值测试样品中,有 2 个样品分别测得 4 期古构造应力值 (图 7),其中样品 A 由于有碎纹,只测得 2 期应力期次。该翼的古构造应力由翼部向轴部逐渐增大,样品 A 的最大古构造应力值为  $23.5\text{MPa}$  样品 B 为  $31.4\text{MPa}$  而近轴部的样品 C 增至  $67.2\text{MPa}$ 。北翼的 2 个古构造应力值测试样品中,1 个样品 (样品 D) 测得 6 期古构造应力值,比同层位的南翼要多 2 期;另一个古近系样品 (样品 E) 只测得 2 期古构造应力值。该翼的古构造应力似乎也表现出由翼部向轴部增大趋势,样品 D 的最大古构造应力值达  $95.7\text{MPa}$  样品 E 为  $72.6\text{MPa}$ 。从声发射古构造应力值的测试结果表明,该背斜南、北翼古构造应力的分布状态有较大差异,反映它们处于不同的构造应力场。

南、北翼构造应力场的这种变化可能有两方面原因:一是从区域构造应力场判断,该区的水平构造应力的方向应来自南天山,而北翼处于主动受力翼,受到了较强的水平构造应力作用,古近系构造应力较小可能与古近系存在滑脱面有关。该方向的构造应力在向南翼传递过程中会逐渐减弱,从而使其构造应力减小;二是可能与背斜核部的燕山期岩浆岩侵入有关,它的存在可以部分阻挡来自南天山的区域构造应力;但同时伴随岩浆岩体的侵入会对临近地层产生挤压作用,如样品 C 构造应力较样品 A 和样品 B 突然增加可能与此因素有关,样品 D 也可能受到了这种作用。

据寿建峰等研究<sup>[6]</sup>,水平构造应力对砂岩压实作用或孔隙保存的影响是比较大的,其平均压实率或

減孔率可达 0.105 1% / MPa, 而該背斜南、北翼下侏羅統砂岩受到的最大水平構造應力差值為 72.2

MPa 其減孔量差值達 7.6%。

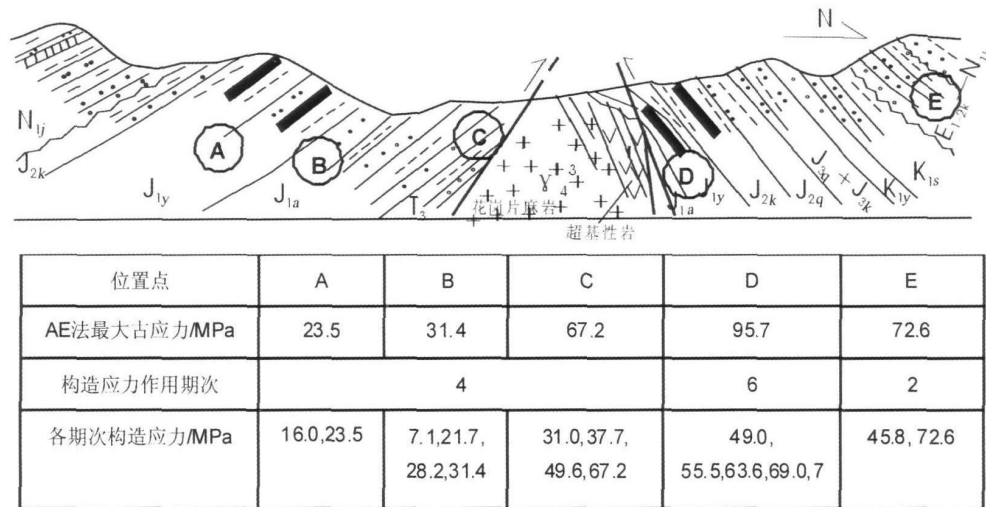


图 7 吐格爾明背斜南、北翼古構造應力場的分布狀態 (其中樣品 A 由於有碎紋, 只測得 2 期古構造應力值)

Fig 7 Showing the distribution features of paleostructure stress in Tugeming Anticline

### 5 砂岩成岩模式

通過上述砂岩成岩作用的控制因素分析, 可得到該背斜南翼弱構造擠壓區下侏羅統、北翼強構造擠壓區下侏羅統與中侏羅統的砂岩壓實作用類型及其壓實量(表 4), 反映砂岩壓實量的參數有總壓實量、埋藏壓實量、構造壓實量、構造壓實量比例(即構造壓實量占總壓實量的百分比例)及埋藏壓實量比例(即埋藏壓實量占總壓實量的百分比例)。其中總壓實量 = 原始孔隙度 - 今孔隙度 - 膠結量 + 溶孔量; 據該背斜砂岩的分選性和粒徑, 取砂岩原始孔隙度為 38%; 今孔隙度為中細—中粗岩屑砂岩孔隙度的平均值; 埋藏壓實量是根據弱水平構造擠壓應力下地層溫度與砂岩壓實率的定量關係換算得到的<sup>[6]</sup>。

表 4 吐格爾明背斜南、北翼砂岩壓實作用類型及壓實量表

Table 4 Sandstone diagenesis types and its compactions in Tugeming Anticline

	A: 南翼下侏羅統	B: 北翼下侏羅統	A—B
今孔隙度 /%	16.2	4.3	11.9
總壓實量 /%	20.0	29.2	9.2
埋藏壓實量 /%	14.0	16.2	2.2
構造壓實量 /%	2.3~3.5	10.3	8~6.8
構造壓實量比例 /%	11.5~17.5	35.3	73.9~87.0
埋藏壓實量比例 /%	58.3	55.5	23.9
溶孔量 /%	2.7	1.0	
膠結物含量 /%	4.6	5.0	

由表 4 可知, 南翼下侏羅統砂岩的總壓實量為 20.0%, 要遠小於北翼砂岩的總壓實量。北翼下侏羅統砂岩壓實量達 29.2%。因此南、北翼之間下侏羅統砂岩的總壓實量差值為 9.2%。它佔了南、北翼今砂岩孔隙度差值(即 11.9%)的 77.3%。

南、北翼下侏羅統砂岩的埋藏壓實量差異不大, 南翼為 14%, 北翼為 16.2%。南翼與北翼下侏羅統之間砂岩埋藏壓實量的差值為 2.2%, 只佔南、北翼之間砂岩總壓實量差值的 23.9%。南、北翼下侏羅統砂岩的構造壓實量差異較大, 南翼為 2.3%~3.5%, 北翼為 10.3%。南翼與北翼下侏羅統之間砂岩構造壓實量的差值為 6.8%~8.0%, 佔了南、北翼之間砂岩總壓實量差值的 73.9%~87.0%。從表 4 還可看出, 南翼下侏羅統砂岩的埋藏壓實量佔總壓實量的 58.3%, 構造壓實量只佔 11.5%~17.5%。也就是說, 埋藏壓實量仍然是南翼砂岩孔隙度損失的主控因素, 而構造壓實量只佔埋藏壓實量的 1/3~1/5。北翼下侏羅統砂岩的埋藏壓實量佔總壓實量的 55.5%, 構造壓實量佔 35.3%, 而構造壓實量是埋藏壓實量的 63.3%。也就是說, 在強構造擠壓環境中, 構造減孔作用顯著增強。

根據吐格爾明背斜下侏羅統砂岩成岩作用及孔隙發育的控制因素分析, 得出的砂岩構造成岩作用模式。它反映構造擠壓背景下伴隨火山岩侵入的構造應力分布狀態及其對砂岩孔隙發育的影響。由於局

部构造位置的构造应力期次及其大小的变化,其砂岩成岩和孔隙发育特征是不同的,北翼或主动受力翼砂岩的构造压实量占总压实量的比例可大于35%,占埋藏压实量的比例大于65%,构造因素引起的孔隙度损失大于7.0%。南翼或被动受力翼砂岩的构造压实量占总压实量的比例小于20%,占埋藏压实量的比例小于30%,构造因素引起的孔隙度直接损失小于4.0%;而邻近火山岩侵入岩体的构造挤压应力增强,构造压实量占总压实量的比例升至20%~30%。

## 6 结论和讨论

吐格尔明背斜南、北翼之间下侏罗统砂岩的成岩压实作用及相应孔隙演化的变化很大,研究表明这种变化并不是“沉积”因素造成的,因为南、北翼之间下侏罗统砂岩的原始沉积组构特征、胶结作用以及溶蚀作用都是相似的;热成岩压实作用在南、北翼之间有所不同,但也不是其主要的控制因素。进一步的分析研究表明该背斜南、北翼不同的构造应力作用是造成这种显著差异的主控因素,北翼下侏罗统所受到的远大于南翼的构造挤压应力使其额外增加了7.6%的砂岩压实量,导致北翼砂岩压实作用显著增加。因此在前陆地区构造成岩作用是砂岩成岩和孔隙演化的重要机制,构造应力分布状态或构造变形强度、构造变形时的砂岩孔隙发育程度以及构造变形样式控制了构造成岩作用特征。在吐格尔明背斜,来自南天山方向的区域构造应力是引起其构造应力场变化的主要原因,而火山岩侵入岩体的存在可能形成两方面作用,一是在侵入岩体周缘产生局部性的侧向挤压应力,二是部分阻挡了来自南天山方向的区域构造应力,使南翼的构造挤压效应得到缓和。

除了本文所讨论的砂岩成岩作用的控制因素外,该背斜可能还受到了与火山岩侵入伴生的深层热液作用。北翼下侏罗统砂岩流体包裹体的测试结果表明,气相中CO含量达62.3%~64.5%,均一温度达178.9~224.7℃,可能反映该区的深层热液作用;离火山岩侵入体较远的流体包裹体气相中不含CO,均

一温度也明显降低,表明深层热液作用的影响已减弱。但深层热液侵入对砂岩成岩及孔隙演化的影响仍需进一步研究:一是北翼下侏罗统砂岩的伊利石化较强而未见高岭石是与该翼较强的构造挤压有关,还是与深层热液侵入有关;二是对北翼下侏罗统砂岩热成岩作用的影响问题。尽管从北翼煤层的镜质体反射率值分析可作出北翼砂岩的热作用或热成熟度基本正常,或者说深层热液侵入并未引起砂岩明显的热状态变化的判断,但目前仍显得依据不够。

## 参考文献 (References)

- 1 寿建峰,张惠良,斯春松,等.砂岩动力成岩作用.北京:石油工业出版社,2005 48-62[Shou Jianfeng, Zhang Huiliang, Si Chunsong, et al. Dynamic Diagenesis of Sandstone. Beijing: Petroleum Industry Published Press, 2005 48-62]
- 2 徐士林,吕修祥,皮学军,等.新疆库车坳陷克拉苏构造带异常高压及其成藏效应.现代地质,2002 16(3): 282-287[Xu Shilin, Li Xixiang, Shi Xuejun, et al. Anomalous high compression and oil and gas pool forming in Kuqa depression, Tarim Basin. Geoscience Geological, 2002 16(3): 282-287]
- 3 刘洪涛,曾联波.喜马拉雅运动在塔里木盆地库车坳陷的表现——来自岩石声发射实验的证据.地质通报,2004,23(7): 676-679[Liu Hongtao, Zeng Lianbo. The features of Himalay movement in Kuqa depression, Tarim Basin from evidences of AE acoustic emission. Bulletin of China, 2004 23(7): 676-679]
- 4 丁辰原,孙宝珊,汪西海,等.塔北油田现今地应力的AE法测量.地球科学—中国地质大学学报,1997,22(2): 215-218[Ding Yuanchen, Sun Baoshan, Wang Xihai, et al. The present geo-stress tested by AE acoustic emission in Tabei area, Tarim Basin. Earth Science, 1997, 22(2): 215-218]
- 5 张明利,谭成轩,汤良杰,等.塔里木盆地库车坳陷中生代构造应力场分析.地球学报,2004,25(6): 615-619[Zhang Mingli, Tan Chengxuan, Tang Liangjie, et al. The structure stress field of Mesozoic-Cenozoic in Kuqa depression, Tarim Basin. Acta Geoscientia Sinica, 2004 25(6): 615-619]
- 6 寿建峰,张惠良,沈扬,等.中国油气盆地砂岩储层的成岩压实机制分析.岩石学报,2006,22(8): 2165-2170[Shou Jianfeng, Zhang Huiliang, Shen Yang, et al. The diagenetic mechanisms of sandstone reservoirs in China oil and gas-bearing basins. Acta Petrologica Sinica, 2006 22(8): 2165-2170]

# The Analysis of Controlling Factors on Sandstone Diagenesis and Porosity Preservation of Lower Jurassic in Tugem ing Anticline, Kuqa Foreland Basin

SHOU Jian-feng ZHANG Hu-liang SHEN Yang

(Hangzhou Geology Research Institute, Hangzhou 310023)

**Abstract** The article studies on controlling factors of lower Jurassic sandstone diagenesis and porosity preservation in Tugem ing Anticline of Kuqa foreland basin from the geological backgrounds of deposit structure and thermal current and suggests that sandstone granular diameter, thermal maturation and structure stress are three main controlling factors of sandstone diagenesis and porosity preservation. But the front two controlling factors are not important ones which resulted in the smaller sandstone compaction and more pore preservation in the southern wing of Tugem ing anticline, and stronger sandstone compaction and smaller pore preservation in northern wing of Tugem ing anticline. Further research shows that it was the Paleostress that produced the most important effect on sandstone compaction and pore preservation because there was 72.2 MPa Paleotectonic stress differential tested by AE acoustic emission which could decreased 7.6% of sandstone porosity between the northern and southern wing.

**Key words** sandstone diagenesis, controlling factors, structure compression stress, Kuqa Foreland Basin

## 叶连俊院士逝世

我国著名的地质学家、沉积学家、沉积矿床学家、中国科学院院士、《沉积学报》第一任主编叶连俊先生因病治疗无效，于二〇〇七年十二月二日 0 时十五分在北京大学第一医院逝世，享年九十五岁。

叶连俊先生从事地球科学研究 70 余年，为我国地质科学和地质事业倾注了毕生精力。他坚持创新、勇于开拓，他是我国沉积学的开拓者和奠基人，在沉积学和沉积矿床学领域先后提出过许多重要的地质科学理论学说；叶连俊先生长期担任《沉积学报》主编，关心、指导《沉积学报》的创建与发展；为我国地质科学和地质事业的发展做出了卓越的贡献。

叶连俊先生一生光明磊落，无私奉献，为党和祖国的科学事业付出了毕生精力和全部心血。

他的逝世是我国沉积学事业的巨大损失！

由于事发突然，有关叶先生的生平介绍及纪念文章将后续刊出。

《沉积学报》编辑部

二〇〇七年十二月四日