

准噶尔南缘前陆盆地白垩纪—新近纪 构造挤压作用与储层关系的新表征： 镜质体反射率与颗粒填集密度

高志勇^{1,2} 胡永军³ 张莉华⁴ 朱如凯^{1,2} 郭宏莉¹

(1. 中国石油勘探开发研究院实验研究中心, 北京 100083; 2 提高石油采收率国家重点实验室, 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 3. 中国石油东方地球物理公司研究院大港分院, 天津 300280; 4. 中国石油大港油田公司勘探开发研究院, 天津 300280)

摘要: 镜质体反射率 R_o 是构造挤压作用对砂砾岩储集体产生热效应的重要反映, 颗粒填集密度则是二者关系的具体体现。通过对准噶尔南缘白垩系—古近系样品镜质体反射率 R_o 的分析, 结合白垩系—新近系霍 001 井等 14 口井 76 块样品统计颗粒填集密度分布规律与储层显微镜下研究, 认为构造挤压作用对砂砾岩储集性的影响具有如下演化特征: 白垩纪 R_o 值具有东部高、中西部低的特点, 颗粒填集密度平面分布规律与其相近, 表明位于前陆冲断带东部呼图壁地区储集层受构造侧向挤压影响较为强烈, 西段的西湖—独山子地区储集层受构造影响弱, 晚侏罗世—早白垩世博格达山隆升造成了这一结果。古近纪镜质体反射率 R_o 与颗粒填集密度展布与白垩纪显著不同, 具有由冲断带中远端(第二、三排构造)安集海—玛纳斯—吐谷鲁背斜区向冲断带近端(第一排构造)与前渊带南北两方向降低趋势, 表明古近纪储集层受构造侧向挤压影响弱, 转变为主要受地层埋藏热效应影响。由于中新世以来的北天山强烈隆升, 颗粒填集密度与古地温展布特点反映了储集层由古近纪主要受埋藏热效应影响, 转变为受构造侧向挤压的影响。白垩系砂砾岩孔隙度与镜质体反射率 R_o 、颗粒填集密度呈明显负相关关系, 也与成岩作用强度呈负相关关系; 古近系镜质体反射率 R_o 、颗粒填集密度与砂砾岩孔隙度呈正相关关系, 由此预测了准噶尔南缘较有利储层的分布。

关键词: 镜质体反射率; 颗粒填集密度; 准噶尔南缘; 前陆盆地; 构造挤压; 储集性

中图分类号: P588.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)05-1336-17

前陆盆地中构造作用与储层成岩研究方面, 王少依等^[1]认为大地构造背景不同, 其地温场和水动力场的特征不同, 储层特征亦有区别。寿建峰等^[2,3]通过对库车坳陷下侏罗统和白垩系的构造样式、古构造应力值与砂岩成岩压实作用之间相互关系研究, 明确提出了构造侧向挤压对砂岩成岩压实有重要的影响, 它造成的压实减孔量可以是砂岩总压实减孔量的 2.5%~23.6%, 并指出构造变形强度越大, 则其压实效应越强。在构造作用与储层成岩相方面, 陈彦华等^[4]认为同一类型的沉积体由于其所处的构造部位不同, 其成岩相的组合也截然不同, 受构造控

制的成岩相经常可以跨越多个沉积体。就准噶尔盆地而言, 常秋生等学者^[5-8]认为构造运动对储层储集性的影响首先表现在固结程度较弱的储集体, 在挤压应力的作用下, 刚性颗粒发生错动及压裂、塑性颗粒发生塑变, 使岩石进一步致密化; 对于固结程度较高的储集体, 在应力的作用下使地层错断, 产生一系列裂缝, 对储集层的改造产生影响。笔者在前人认识的基础上, 通过对准噶尔南缘前陆盆地构造挤压背景下, 构造作用与储集性及成岩作用关系的研究后发现, 在尽可能排除沉积作用、火山活动等影响前提下, 镜质体反射率 R_o 是联系构造挤压作用与砂砾

收稿日期: 2009-12-31; 改回日期: 2010-03-19

基金项目: 国家重大专项“中西部前陆盆地构造地质与沉积储层特征”(2008ZX05000-003-01)部分研究成果。

作者简介: 高志勇, 男, 1974 年生, 工程师, 研究方向为沉积学及层序地层学; E-mail: gzybox@163.com。

岩储集性重要纽带之一。同时,通过统计准噶尔南缘多口井白垩系—新近系碎屑颗粒填集密度的分布规律,不同层系内颗粒填集密度展布与 R_o 值平面展布规律特征相近,由此,分析了准噶尔南缘由白垩系—新近系构造作用对砂砾岩储集性影响的演化过程,进而初步评价了储层质量并对其进行预测。

1 区域地质概况

准噶尔盆地南缘由于受燕山期、喜马拉雅期两幕构造运动的影响,使北天山向北挤压推覆,从而使其现今在平面构造带上具有南北分带、东西分段的特征^[9-15],即自南向北分为 3 排雁行式排列的背斜带:第一排背斜带范围为博尔通沟—齐古北断裂之南至北天山北麓古生界露头区,系燕山期—喜马拉雅期形成的巨型扭压冲断构造;第二排背斜带以古近系为构造主体,主要包括独南背斜、霍尔果斯背斜、玛纳斯背斜和吐谷鲁背斜;第三排背斜带以新近系为构造主体,主要包括西湖背斜、独山子背斜、安集海背斜、呼图壁背斜和古牧地鼻隆构造。准噶尔南缘自西向东又可分为 3 段:西段西至艾比湖,东侧是南北走向的红车断裂带;中段为四棵树凹陷以东至乌鲁木齐以西的地区;东段则包括奇台凸起以西、乌鲁木齐以东的地区。本文研究区为西段与中段,东西长约 500 km,南北宽 30~60 km,面积约 15000 km² (图 1)^[16]。准噶尔南缘露头剖面上地层自下而上划分为侏罗系(J)、上白垩统东沟组(K_{2d})、古近系紫泥泉子组(E_{1-2z})、古近系安集海河组(E_{2-3d})、新近系沙湾组(N_{1s})以及塔西河组(N_{1t})等^[17]。

2 镜质体反射率、颗粒填集密度是联系构造挤压作用与储集体的重要纽带

2.1 镜质体反射率 R_o 是构造侧向挤压对砂砾岩储集体产生热效应的重要反映

前陆盆地储集体成岩演化不仅受埋藏热效应控制,同时也受构造侧向挤压影响。构造作用与储集体关系的指征参数很多^[4,18],就准噶尔南缘前陆盆地而言,笔者认为能够有效将构造挤压作用与储集层储集性、成岩作用等微观特征紧密联系的重要参数之一是镜质体反射率 R_o ,原因如下:

①镜质体反射率 R_o 记录了地层经历的温度历史,是目前国际上公认的有机质成熟度指标^[19,20],对

于一套连续沉积的地层,埋藏深度的不断增大会引起地层温度逐渐升高,进而导致地层中有机质热演化程度的不断增加,镜质体反射率(R_o)与埋藏深度与地层温度之间通常存在正线性相关关系^[21]。近些年,部分学者^[22-24]开始关注压力对镜质体反射率的影响,前陆盆地中有机质成熟度 R_o 受构造侧向挤压作用影响更为明显,其原因在于前陆盆地冲断带构造挤压强烈,由于能量守恒定律,构造挤压力最终会转化为热能,从而对有机质演化产生影响。镜质体反射率椭球体各应变轴与应力具有很好的相关关系,较高的煤镜质体反射率值,既反映了较强的区域水平挤压应力作用,煤镜质体反射率光率体的几何形态特征,又反映较为强烈的区域挤压应力的构造作用^[25,26]。

②笔者在讨论镜质体反射率与埋藏深度的关系时,是根据现今地层的埋深来度量地层镜质体反射率的,测量的镜质体反射率是能够表征构造挤压作用或者埋藏压实作用的,其原因在于准噶尔盆地南缘构造沉降在白垩纪至古近纪期间盆地下沉速率相对较弱,新近纪开始则明显地加速下沉^[27],也就是说准噶尔南缘白垩系—新近系储集体埋藏过程是一个长期浅埋,后期快速深埋的过程^[28],现今地层的埋深代表了地质历史时期地层所经历的最大埋深(即地层所达到的最大 R_o 值)。

③在储集体成岩阶段研究中,有机质成熟度 R_o 是储层成岩阶段划分的重要标志之一,即不同的 R_o 值代表着不同的成岩演化阶段。因此, R_o 也是有效反映构造作用对储层影响的重要标志,当构造挤压作用越强时, R_o 值越高,成岩作用越强;当构造挤压作用弱时, R_o 值、成岩作用均与埋深呈正比,埋深浅, R_o 值小,成岩作用弱,埋深大, R_o 值大,成岩作用强。

2.2 颗粒填集密度是构造挤压作用与砂砾岩储集性关系的具体体现

应凤祥等^[23]提出岩石中颗粒填集密度既能够反映机械压实强度(相当于压实率,主要受埋藏深度影响),同时也受构造挤压作用影响。颗粒填集密度=(岩石体积-粒间空隙-粒间原生孔隙)×100%,将颗粒填集密度>90%定为强挤压作用,90%~70%定为挤压作用中等,<70%定为挤压作用弱^[23]。

颗粒填集密度影响因素较多,包括沉积作用、成岩作用(埋藏压实作用)、砂砾岩颗粒成分等,笔者认

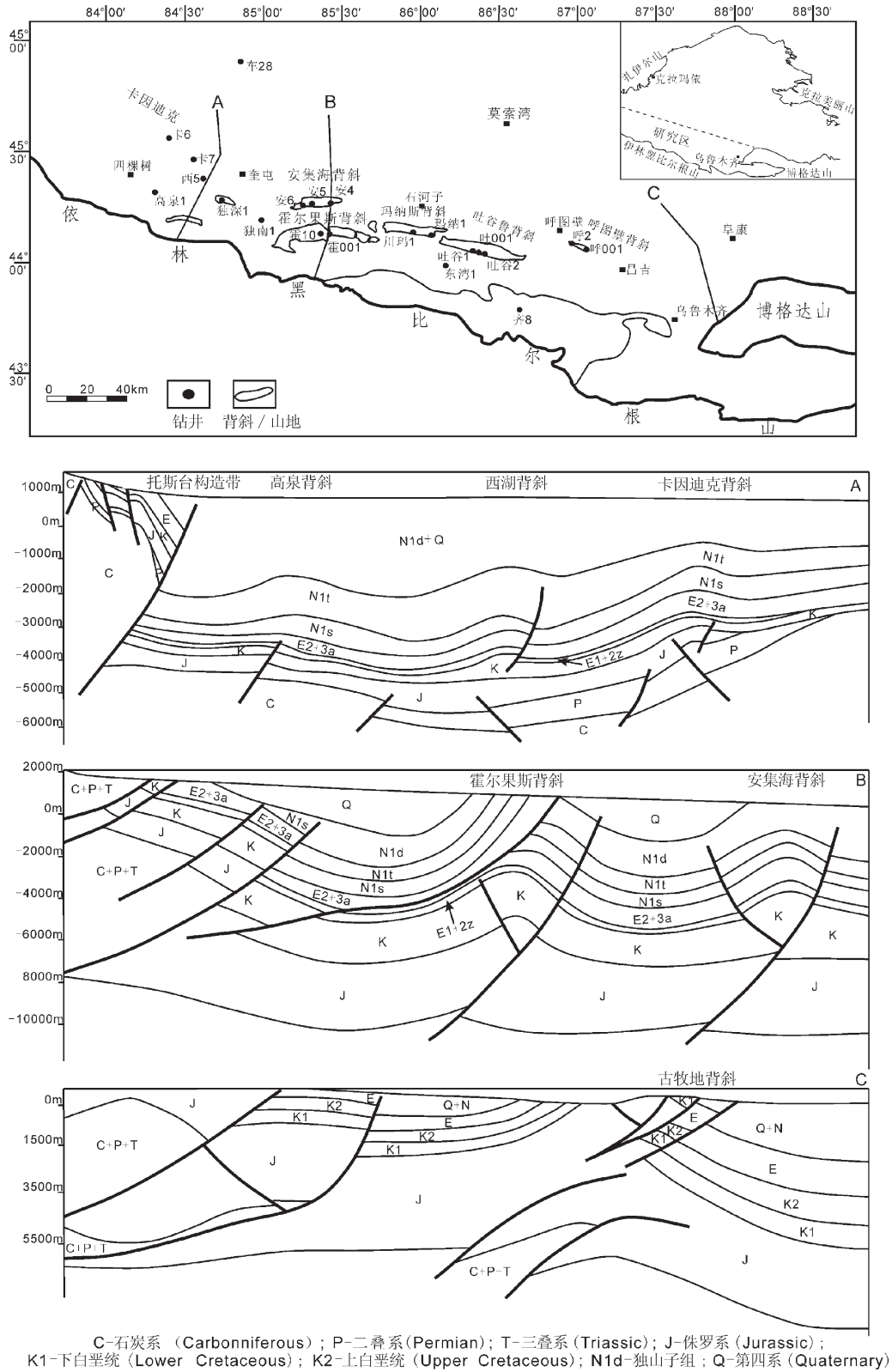


图 1 准噶尔南缘前陆盆地重点井、露头与主要背斜分布图

Fig.1 The distribution of wells, outcrops and main anticlines in southern margin of Junggar Basin

为采取如下办法可尽量排除其他因素影响,来主要体现构造挤压作用的影响效果:①准噶尔南缘前陆盆地不同排构造若均处在相同的沉积环境下,探讨颗粒填集密度的变化,这样就尽量排除了沉积对其影响;②不同排构造在相同的沉积环境下,同一研究层位(组或段)若砂砾岩成分相同或相近,如白垩系—新近系沙湾组岩性均为长石岩屑砂岩/岩屑砂岩,那么,就此组或段内的相同层位来说,区分颗粒填集密度主要反映构造挤压影响还是埋藏压实影响是可行的;③在满足上述不同排构造属于相同的沉积环境、砂砾岩储集体颗粒成分相近的前提下,若颗粒填集密度随埋藏深度的增加而增大,则表明此阶段储集体主要受机械压实作用(埋藏热效应)影响;④储集体在埋藏深度大致相当的情况下(尽量排除埋深的影响),颗粒填集密度值的平面展布由前陆盆地冲断带近端至远端(第一排至第三排构造)其值也由高到低变化,同时,碎屑颗粒在显微镜下微裂缝与颗粒裂纹发育,则此两特征综合表明砂砾岩储集体主要受构造侧向挤压作用影响。由此,综合上述分析,笔者认为颗粒填集密度是前陆盆地构造挤压作用对储集层影响的具体体现。

总之,运用镜质体反射率、颗粒填集密度来探讨准噶尔南缘构造挤压作用对储集层影响,是笔者的重要研究方法。白垩系与古近系 R_o 值实测数据主

要来自霍 10 井等 7 口钻井,其他数据则来自于前人资料^[29]。颗粒填集密度数据来自霍 001 井等 14 口井 76 块样品的统计。

3 准噶尔南缘前陆盆地古近系—新近系沉积相特征

储集体中的颗粒填集密度最初的重要影响因素是沉积环境,因此,在探讨镜质体反射率与颗粒填集密度变化之前,先简要介绍准噶尔南缘古近系—新近系的沉积环境。笔者通过对准噶尔南缘霍 10 井等多口钻井的古近系紫泥泉子组—新近系沙湾组重矿物组合特征进行分析统计,并依据砂岩等厚图分布特征,认为准噶尔南缘古近系—新近系发育 4 个沉积供给物源。其中,2 个主要物源分别是中部东湾—吐谷鲁井区—玛纳斯背斜、西部的西湖—独山子背斜,2 个次要物源分别为东部呼图壁背斜、中西部霍尔果斯—安集海背斜,北部卡因迪克是来自北部前陆隆起区的重要物源。在此沉积物源供应下,准噶尔南缘古近系紫泥泉子组至新近系沙湾组沉积时期,在天山山前冲断带形成 3~4 个扇三角洲沉积朵状体(图 2),其中,西湖—独山子与吐谷鲁—玛纳斯为砂体主要沉积区,而霍尔果斯、安集海与呼图壁则为扇体次要发育区,前陆斜坡带卡因迪克地区发育三角洲平原—三角洲前缘沉积^[30]。由此可知,准噶尔南缘

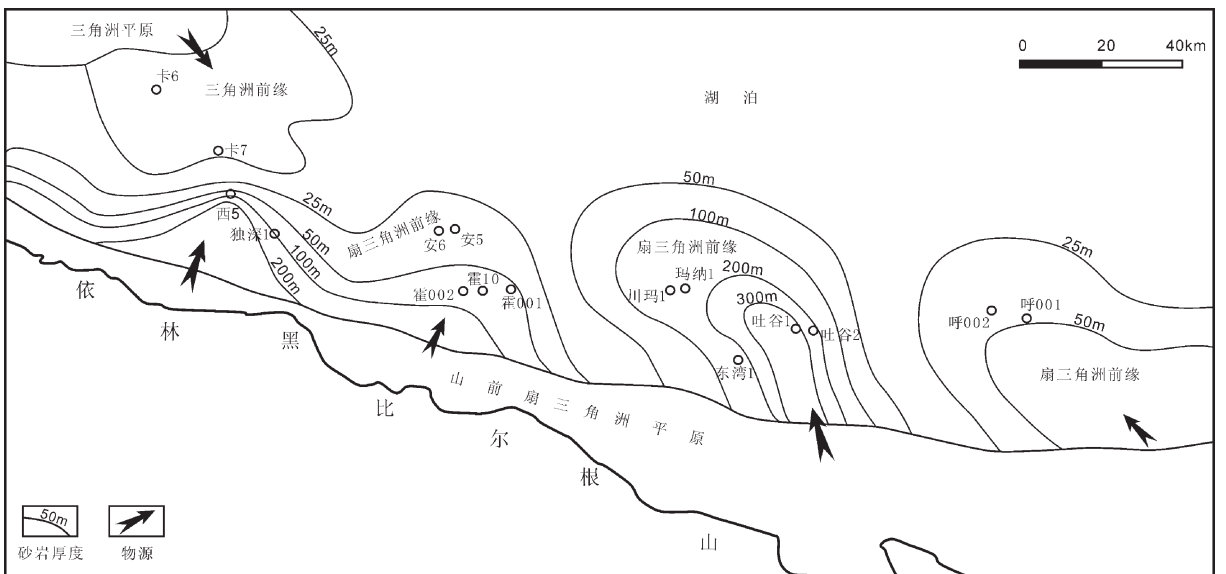


图 2 准噶尔南缘前陆盆地古近系紫泥泉子组砂岩厚度与沉积相综合图
Fig.2 Sedimentary facies and sandstone isopach map of Ziniquanzi Formation in southern margin of Junggar Basin

冲断带多排构造均发育在扇三角洲前缘沉积砂体之上。这样,在相同的扇三角洲前缘沉积砂体之上,探讨不同排构造镜质体反射率与颗粒填集密度变化,就尽可能地消除了沉积作用对这两个表征参数的影响。

4 准噶尔南缘白垩纪—新近纪构造对储集层影响的演变

4.1 白垩纪构造作用对储集层的影响

现今揭示准噶尔南缘白垩纪地层的钻井比较少,表1尽可能多的统计了准噶尔南缘白垩系钻井的镜质体反射率数据。由表中数据可知,位于前陆冲段带中段第三排构造呼2井3550~3579 m井段 R_o 值高达1.15%,位于前陆冲段带中段东湾1井5080~5357 m井段 R_o 值则为0.70%,而同样位于前陆冲段带中段层位较浅的吐谷1井2981~3725 m井段 R_o 值则升高至0.85%。从上述数据来看,镜质体反射率 R_o 值与埋藏深度相关性并不明显,且似乎毫无规律可言。但是,若将依据表1中数据编制成如图3-A所示的准噶尔南缘白垩系镜质体反射率 R_o 值平面变化趋势图来看,准噶尔南缘白垩系镜质体反射率具有由前陆冲断带向前渊带、斜坡带降低的特点。就前陆冲断带本身而言, R_o 值具有由东部呼图壁向中部霍尔果斯—玛纳斯—吐谷鲁及西段西湖—独山子降低的趋势,实测 R_o 值呼图壁1.15%—吐谷鲁0.85%—高泉1井0.73%,此特点与前人认识相近^[3]。同时,笔者统计了准噶尔南缘6口井白垩系碎屑颗粒填集密度(表2),并绘制了白垩系颗粒填集密度的分布规律图(图3-B)。由图3-B可知,白垩系北天山山前带颗粒填集密度强,多>90%,其分布规律由山前带向前渊带逐步降低,且降低幅度较小,

挤压强度始终处于强—中等,其展布趋势与 R_o 分布规律特征相近。

由上述分析表明,准噶尔南缘前陆冲段带中段东部呼图壁地区储集层受构造影响最为强烈,中部霍尔果斯—玛纳斯—吐谷鲁地区受构造影响较西段强,而西段的西湖—独山子地区储集层受构造作用影响较弱。造成白垩纪构造作用对储集层影响出现此规律的原因是晚侏罗世—早白垩世准噶尔南缘东部的博格达山的隆升^[32,33]。晚侏罗世—早白垩世,准噶尔南缘西部托斯台、四棵树地区与中部霍—玛—吐地区处于盆地由挤压向伸展过渡的构造环境,构造活动开始减弱。此时,在准噶尔南缘东部,博格达山沿南北山前断裂系统隆升成山,与此同时,整个东准噶尔基底抬升,基底东、西高差达1 km,从地层接触关系上,也可看出白垩系广泛不整合于下伏老地层上(见图1中构造样式对比)^[34]。

虽然说区域构造应力场对同沉积地层的影响主要体现在沉积环境(含物源)和地层沉积特征等方面,对同时代沉积地层的热演化影响甚微,但准噶尔南缘东部博格达山的隆升是持续的,汪新伟等^[35]通过对博格达山热史模拟研究认为,博格达山晚中生代—新近纪以来主要发生了3个时期的构造抬升作用,即晚侏罗世末—早白垩世初(155~135 Ma)的初始整体隆升阶段、晚白垩世—古近纪初(90~70 Ma)的缓慢抬升阶段、古近纪末以来(约40 Ma)至新近纪末的急剧差异隆升阶段。因此,白垩系镜质体反射率与颗粒填集密度具有上述分布规律,也充分体现出博格达山持续隆升产生的构造挤压作用对白垩系储层是主要控制因素,而埋藏热效应的影响则是次要因素。

表1 准噶尔南缘部分井白垩系镜质体反射率对比

Table 1 Measured vitrinite reflectances of the K source rocks from the wells in southern margin of Junggar Basin

构造带/地区		井名	深度/m	岩性	镜质体反射率 R_o /%	
冲 段 带	中段	霍尔果斯—安集海河	霍002	4327~4340	灰色泥岩	0.70
		吐谷鲁	吐谷1	2981~3725	灰色泥岩	0.85
		东湾	东湾1	5080~5357	灰色泥岩	0.70
	呼图壁	呼2	3550~3579	灰色泥岩	1.15	
	西段	西湖	高泉1		灰色泥岩	0.73
斜坡带	卡因迪克	卡6	3412~3814	灰色泥岩	0.5	

表 2 准噶尔盆地南缘前陆盆地白垩系—新近系各井中颗粒填集密度

Table 2 Grain packing density of 14 wells in foreland basin, southern margin of Junggar Basin

地 区		井名	层 位	填隙物总量/%	原生孔隙含量/%	颗粒填集密度/%
冲断带西段	西湖-独山子	高泉 1	安集海河组	55.0	0.6	44.4
			白垩系	2.0	0.1	97.9
前陆冲断带中段	安集海	安 5	沙湾组	28.5	1.8	69.7
			安集海河组	7.0	0.2	92.8
			紫泥泉子组	14.8	2.7	82.5
			白垩系	5.5	1.6	92.9
	霍尔果斯	霍 10	沙湾组	8.5	0.1	91.4
			安集海河组	15.4	1.2	83.4
		霍 001	塔西河组	6.4	6.9	86.7
			沙湾组	6.7	0.7	92.6
			安集海河组	28.0	0.1	71.9
			紫泥泉子组	12.4	2.5	85.1
	霍 002	紫泥泉子组	9.2	2.2	88.6	
	玛纳斯	川玛 1	安集海河组	10.0	5.2	84.8
			紫泥泉子组	9.5	1.3	90.2
			白垩系	3.0	0.9	96.1
	玛纳斯	玛纳 1	紫泥泉子组	5.9	0.1	94.0
			东湾	东湾 1	紫泥泉子组	12.6
	东湾	白垩系	10.7		0.1	89.2
	吐谷鲁	吐谷 1	安集海河组	20.9	0.2	78.9
			白垩系	9.0	0.1	90.9
			吐谷 2	安集海河组	12.4	1.7
呼图壁	呼 001	沙湾组	21.5	0.01	78.49	
		安集海河组	22.5	0.01	77.49	
		紫泥泉子组	15.0	0.01	84.99	
	呼 002	沙湾组	9.0	1.8	89.2	
		安集海河组	27.0	0.1	72.9	
		紫泥泉子组	12.1	2.6	85.3	
前陆斜坡	卡因迪克	卡 6	塔西河组	5.5	8.4	86.1
			沙湾组	6.0	10.5	83.5
			安集海河组	6.5	1.6	91.9
			紫泥泉子组	9.5	2.3	88.2
		卡 7	白垩系	11.0	0.1	88.9
			塔西河组	5.6	0.01	94.39
			沙湾组	11.1	5.7	83.2
			安集海河组	22.2	1.1	76.7
卡 7	紫泥泉子组	14.0	2.1	83.9		

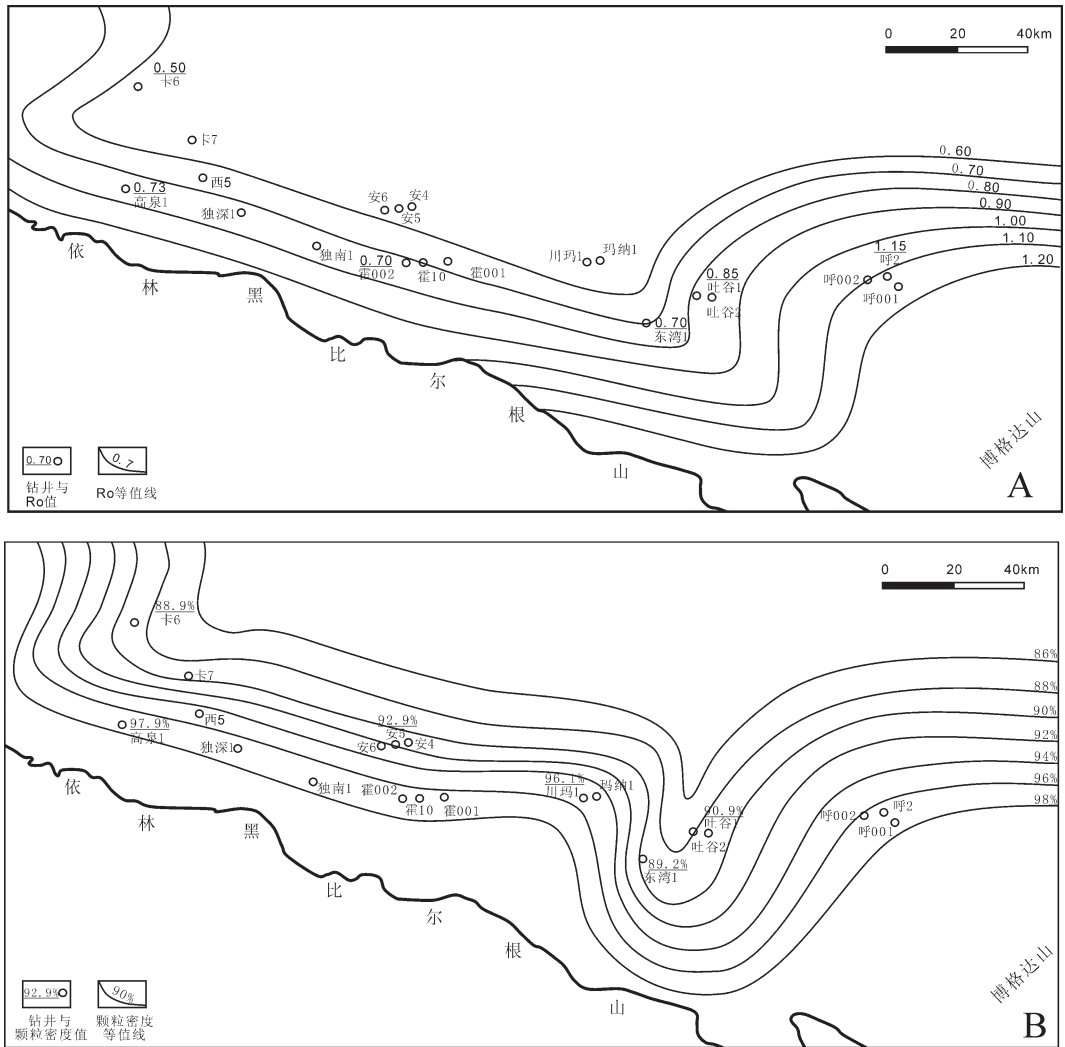


图3 准噶尔南缘白垩系镜质体反射率 R_o 与颗粒密度平面分布图

Fig.3 Distribution of vitrinite reflectance, grain packing density in Cretaceous strata of southern margin of Junggar Basin

4.2 古近纪构造作用对储集层的影响

准噶尔南缘在古近纪较白垩纪构造活动明显减弱,反映了构造负荷的减小及山系的夷平过程^[27],并处于拉张伸展环境^[36],还有学者认为是陆内拗陷环境^[37]。因此,在整体构造背景发生了大变化的前提下,其镜质体反射率 R_o 与颗粒填集密度平面展布趋势与白垩系具有显著不同。

准噶尔南缘前陆冲段带(表3)西段独深1井安集海河组 1880~1884 m 井段镜质体反射率 R_o 值为 0.42%,西参1井安集海河组 4002 m 井段镜质体反射率 R_o 值升高至 0.59%,西5井紫泥泉子组 4250~4703 m 井段镜质体反射率 R_o 值也达 0.50%。冲段带中段西部霍尔果斯—安集海背斜,位于第二排构

造的霍10井安集海河组 2450~2452 m 井段镜质体反射率 R_o 值为 0.50%,而更靠近前渊第三排构造的安4井安集海河组 2658.77~2756 m 井段镜质体反射率 R_o 值升高为 0.73%。冲段带中段东部呼图壁背斜呼002井安集海河组 2994 m 井段镜质体反射率 R_o 值 0.47%,紫泥泉子组 3595~3676 m 井段镜质体反射率 R_o 值则增高至 0.72%。同样,位于前陆斜坡带卡6井 3250~3270 m 井段镜质体反射率 R_o 值为 0.45%,卡7井 3878~3882 m 井段镜质体反射率 R_o 值达 0.54%。由上述分析数据可知,准噶尔南缘古近纪镜质体反射率(R_o)与埋藏深度之间存在正线性相关关系。

准噶尔南缘古近纪镜质体反射率 R_o 平面展布

表 3 准噶尔南缘部分井古近系镜质体反射率对比

Table 3 Measured vitrinite reflectances of the source rocks in some wells, southern margin of Junggar Basin

构造带/地区			井号	层位	样品岩性	部分井深/m	Ro/%	
前陆冲断带	西段	西湖—独山子	独南1井	安集海河组	深灰色泥岩		0.51	
			独深1井	安集海河组	深灰色泥岩	1880-1884	0.42	
			西参1井	安集海河组	深灰色泥岩	4002	0.59	
			高泉1井	安集海河组	深灰色泥岩		0.68	
			西5井	紫泥泉子组	深灰色泥岩	4250-4703	0.50	
	中段	安集海—霍尔果斯	安4井	安集海河组	深灰色泥岩	2658.77-2756	0.73	
			霍10井	安集海河组	黑色泥岩	2450-2452	0.50	
		吐谷鲁	吐谷1井	安集海河组	黑色泥岩	1887-1890	0.75	
			东湾	东湾1井	安集海河组	深灰色泥岩	3670-4570	0.55
			玛纳斯	川玛1井	紫泥泉子组	深灰色泥岩	3722-3729	0.7
		呼图壁	呼002井	安集海河组	深灰色泥岩	2994	0.47	
			呼002井	紫泥泉子组	深灰色泥岩	3595-3676	0.72	
前陆斜坡带	卡因迪克	卡7井	安集海河组	深灰色泥岩	3878-3882	0.54		
		卡6井	安集海河组	深灰色泥岩	3250-3270	0.45		

趋势图(图 4-A),反映了高 R_o 值位于南缘前陆冲断带中远端(第二、三排构造)的吐谷鲁(R_o 高达 0.75%)、呼图壁、玛纳斯与安集海背斜, R_o 值也均大于 0.70%,西段四棵树凹陷 R_o 值也大于 0.60%。而位于前陆冲断带近端的霍尔果斯背斜、独南 1 井区 R_o 值分别减小为 0.50%与 0.51%。整体上,准噶尔南缘镜质体反射率 R_o 具有由安集海—玛纳斯—吐谷鲁背斜区向南北两方向降低趋势,即由靠近北天山向山前冲断带远端增大,进而向前渊带降低的特点,这一特征反映了古近系 R_o 值的分布与白垩纪的显著区别。再者,准噶尔南缘古近纪镜质体反射率 R_o 平面展布特征与中—新生界地层埋深特征相一致,即随着安集海—玛纳斯—吐谷鲁背斜区埋深达 8000~10000 m,向南北两方向地层埋深减薄, R_o 值也向南北两方向降低。

再者,通过对准噶尔南缘 14 口井古近系碎屑颗粒填集密度数据(表 2)与平面图(图 4-B)分析,认为冲断带中段霍尔果斯背斜霍 001 井安集海河组颗粒填集密度为 71.9%,而深部紫泥泉子组颗粒填集密度则增大为 85.1%。位于前陆斜坡带卡 7 井安集海河组颗粒填集密度为 76.7%,而随着埋深的增加,紫泥泉子组颗粒填集密度增大为 83.9%。古近纪颗粒填集密度在玛纳斯构造带最大,并由冲断带中远端向南北两方向(冲断带近端与前渊带)降低,颗粒填

集密度分布规律仍与 R_o 展布规律相近。

造成上述镜质体反射率和颗粒填集密度分布规律的原因是,准噶尔南缘古近纪沉降中心位于山前安集海—沙湾一带,古新世—渐新世凹陷再次缓慢下沉,湖盆范围逐渐变大,在凹陷东南部沉积了古近系紫泥泉子组及安集海河组地层^[6]。该阶段凹陷以整体沉降为主,构造运动相对较弱,早期形成的断裂基本上没有发生大的变动^[38]。在此大的构造背景下,准噶尔南缘古近纪镜质体反射率 R_o 平面展布主要受地层埋深热效应影响,而构造作用影响减弱。同时,颗粒填集密度展布规律表明,古近纪的颗粒填集主要受机械压实作用即地层埋深影响,而所受的构造侧向挤压作用则小的多,即使此时期博格达山的缓慢隆升所产生的构造挤压作用对储集体的影响也比机械压实作用对储集体的影响小很多。

4.3 新近纪构造作用对储集层的影响

准噶尔南缘新近纪构造背景与古近纪显著不同,新近纪准噶尔盆地南缘整体处于“南强北弱、西强东弱”的压性环境,这是由于受印度板块和欧亚大陆强烈碰撞的影响,喜马拉雅运动期北天山进一步褶断隆升向北(盆地腹部)推进扩展的作用^[39]。中新世以来的抬升,从约 25 Ma 开始,这一时期构造抬升主要发生在库车盆地北缘和北天山—准噶尔南缘^[40]。

在此构造背景下,新近系颗粒填集密度平面展

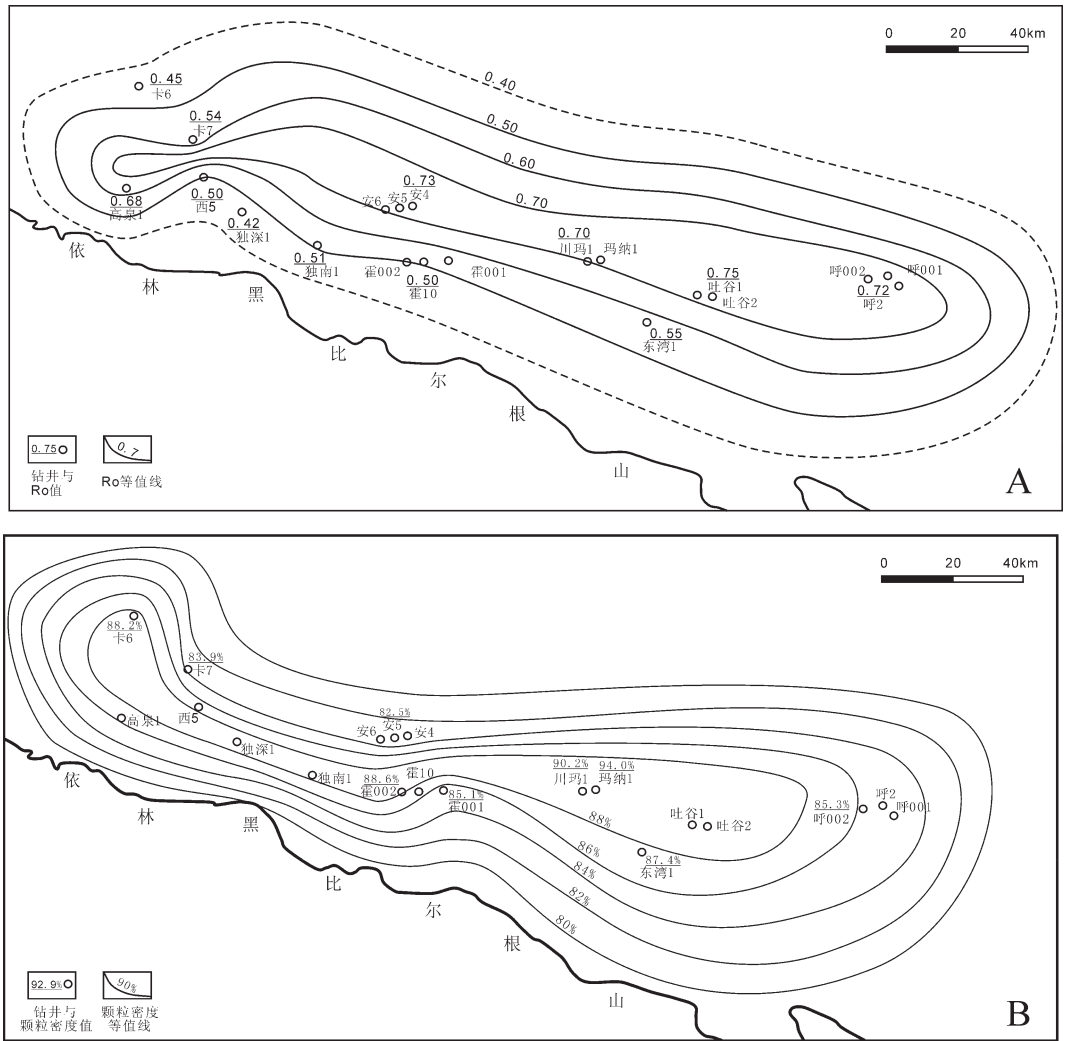


图4 准噶尔南缘古近纪镜质体反射率 R_o 与颗粒填集密度对比图
 Fig.4 The correlation of vitrinite reflectance and grain packing density in southern margin of Junggar Basin

布趋势较古近系发生明显变化，冲段带中段西部霍10井、霍001井新近系沙湾组颗粒填集密度较古近系安集海河组高很多，分别达到91.4%和92.6%。冲段带中段东部呼图壁背斜呼001井、呼002井也具有相同规律。位于前陆斜坡带卡7井安集海河组颗粒填集密度为76.7%，而新近系沙湾组则增大至83.2%，甚至新近系塔西河组颗粒填集密度高达94.39%，显然颗粒填集密度与埋深呈相反关系（表2）。平面上新近系颗粒填集密度由冲断带>90%向前渊带逐步演变为70%，也同样反映了构造挤压作用由强变弱的平面展布趋势（图5）。

再者，刘国壁^[41]、邱楠生等^[42,43]认为准噶尔南缘

新近纪地温梯度由山前向前渊带降低，由22.8℃/km降低为14.0℃/km。由准噶尔盆地不同深度（1000m、2000m、3000m）地温图^[41]可知，在地层深度3000m时，准噶尔南缘由山前地温70℃降低至前渊带的60℃，在地层深度2000m时，由山前地温50℃降低至前渊带的45℃，并且准噶尔南缘2000~3000m地层正是新近系发育的主要深度。由此，虽然说准噶尔南缘新近系红层发育，镜质体反射率不易测得，但准噶尔南缘新近系地温梯度与古地温变化均由山前向前渊带降低这一特征，也充分说明新近纪构造挤压作用是影响储集体的重要因素，而埋藏压实作用则影响较弱。还有，通过对准噶尔南缘霍

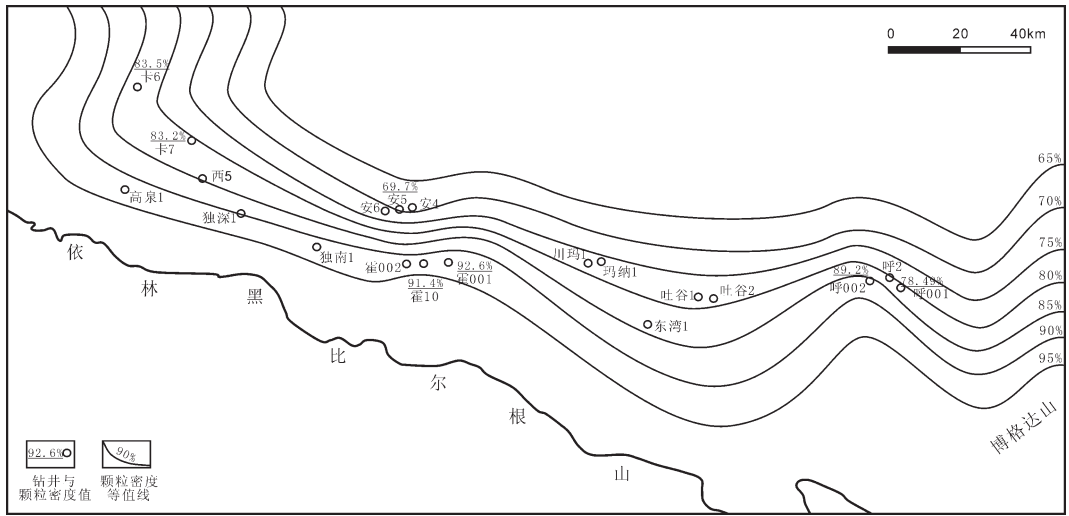


图 5 准噶尔南缘新近系颗粒填集密度平面分布图

Fig.5 Distribution of grain packing density of Neogene in southern margin of Junggar Basin

001 井、卡 6 井、卡 7 井等多口钻井储集体微观特征分析后认为，古近系储集体碎屑颗粒间以点—线接触为主，碎屑颗粒较完整，微裂缝、颗粒裂纹不甚发育。新近系沙湾组与塔西河组储集体碎屑颗粒以线接触为主，微裂缝、碎屑颗粒破裂较古近系发育的多(图 6)，由此也得出新近纪构造挤压作用对储集体具有较强影响。据此，笔者认为准噶尔南缘新近纪砂砾岩储集体由古近纪主要受埋藏热效应影响，复而转变为主要受构造挤压作用的影响。

5 构造挤压与埋藏压实作用影响下储集体特征

5.1 构造挤压作用影响下白垩系储集层微观特征

准噶尔南缘白垩系储集体成分成熟度、结构成熟度均较低，山前冲断带近端第二排构造带的玛纳斯、吐谷鲁等背斜中见颗粒碎裂等现象，岩石矿物中石英含量较低，岩性为长石岩屑砂岩、岩屑砂岩。第三排构造带的安集海背斜石英含量稍高些，可达 34%，岩性为长石岩屑砂岩，岩屑成分主要为凝灰岩，次要的为千枚岩、片岩、石英岩等岩屑。位于前陆斜坡带卡因迪克背斜白垩系储集层平均石英含量更低，只有 18.2%，岩性为岩屑砂岩。由于挤压应力由盆地边界向盆地中心逐渐衰减，处于冲断带远端的安集海储集体内构造微裂缝与颗粒碎裂现象不明显。

储层物性受多种因素影响，如沉积微相类型、岩性特征、粒间充填物质类型和数量、埋藏历史、地温

等，但镜质体反射率与储集岩孔隙结构也具有一定的相关性^[4]。依据准噶尔南缘各井中白垩系储集层实测孔隙度与渗透率值(表 4)，笔者编制了准噶尔南缘白垩系镜质体反射率 R_o 与孔隙度关系平面分布图(图 7)，可以看出白垩系储层孔隙度与镜质体反射率 R_o 呈明显负相关关系，也与成岩作用强度呈负相关关系，即在东部冲断带近端吐谷鲁等高 R_o 值地区，由于受强烈构造挤压作用，即使成岩强度高，但次生溶蚀孔隙不发育，孔隙度值反而低。而在冲断带远端的低 R_o 值安集海背斜，由于受构造挤压作用影响相对弱，成岩作用也弱，原生粒间孔得以保存，孔隙度值反而较高，可达 11.9%。因此，就白垩系储集层而言，冲断带远端是储集层有利区。

5.2 埋藏热效应影响下古近系紫泥泉子组储层微观特征

前已述及，准噶尔南缘古近系储集层主要受埋藏热效应影响，构造微裂缝、颗粒破裂等现象均不甚明显。位于第二排构造的霍 001 井岩性为粉细粒长石岩屑砂岩，颗粒点—线状接触，表面包裹铁泥质薄膜，颗粒间少量方解石胶结，分选好，结构成熟度较高(图 6-A)。储集层受埋深影响，云母颗粒受成岩压实作用发生弯折，泥岩岩屑受挤压呈层状分布。岩石以原生粒间孔为主，平均孔隙度 11.2%，平均渗透率 $2.6 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。第三排构造安集海背斜安 5 井岩性为粉细粒岩屑长石砂岩，颗粒点—线状接触，颗粒表面有铁泥质包裹，抑制石英次生加大，但仍有少量

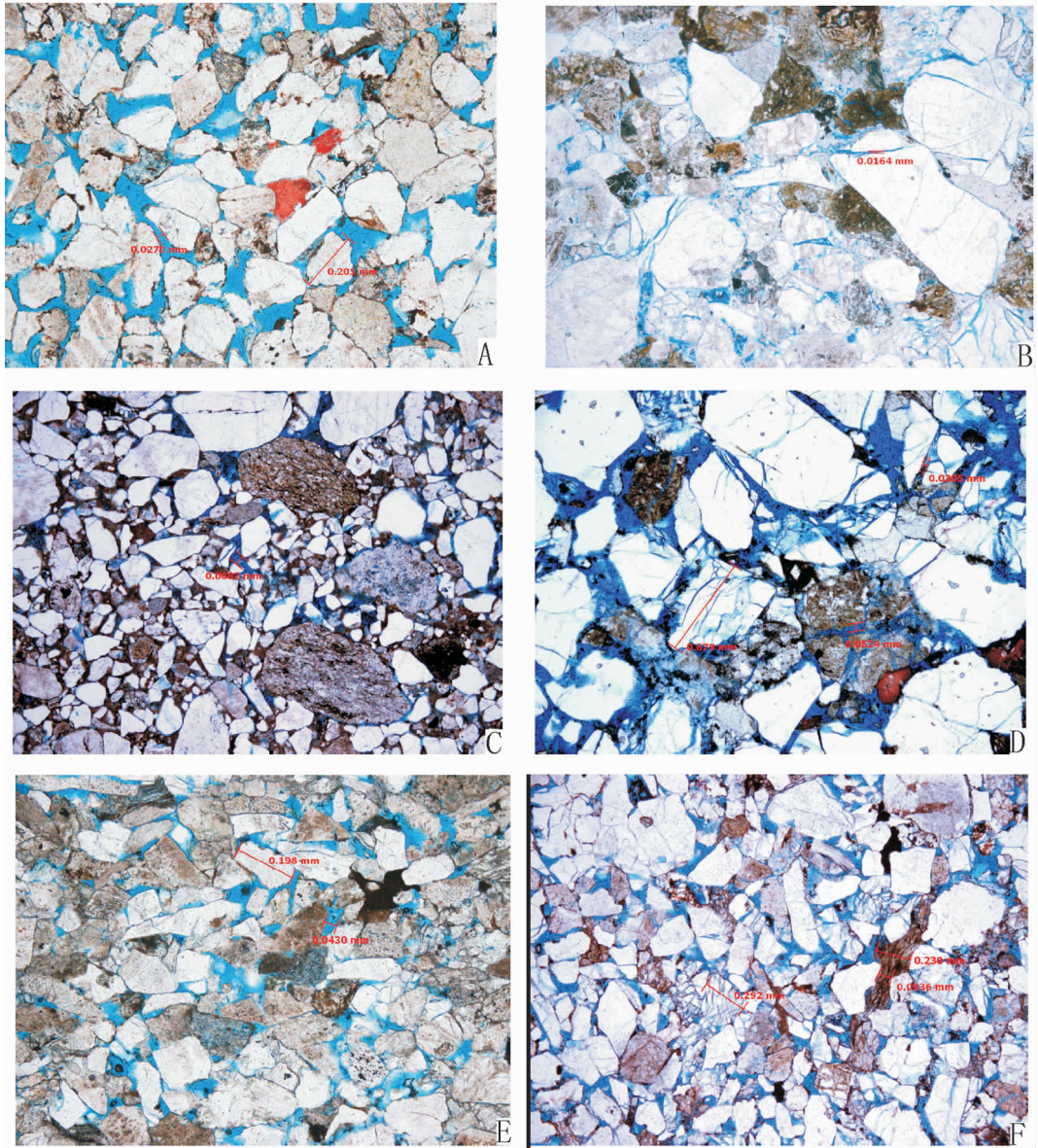


图 6 准噶尔南缘霍 001 井、卡 6 井、卡 7 井等多口钻井储集体微观特征

A—冲段带霍 001 井 3621.81 m(单偏光, 蓝色铸体)古近系紫泥泉子组碎屑颗粒点接触为主, 颗粒完整, 裂纹不发育, 分选好; B—霍 001 井新近系塔西河组 879.64 m(单偏光, 蓝色铸体), 新近纪构造挤压储集体, 颗粒线接触为主, 微裂缝增多, 颗粒碎裂明显; C—斜坡带卡 6 井古近系紫泥泉子组 3405.46 m(单偏光, 蓝色铸体), 颗粒点接触为主, 颗粒完整, 裂纹不发育, 受埋藏热效应影响; D—卡 6 井新近系沙湾组 3052.65 m 井段, 构造挤压作用使碎屑颗粒碎裂明显, 碎裂缝改善了孔隙连通性(单偏光, 蓝色为铸体); E—卡 7 井古近系紫泥泉子组 4175.45 m(单偏光, 蓝色铸体) 颗粒点-线接触, 分选好, 原生孔为主, 碎屑颗粒较完整; F—卡 7 井新近系沙湾组 3643.4 m(单偏光, 蓝色铸体), 构造影响储集体, 颗粒碎裂现象明显, 增强连通性

Fig.6 Microsoft texture of the reservoir of some wells in southern margin of Junggar Basin

A—Point-contact and poorly-developed cracks in sandstone of Ziniquanzi Formation in Well Huo001 (plainlight); B—Compressional effect, a lot of cracks developed and line-contact increased in sandstone of Taxihe Formation in Well Huo001 (plainlight); C—Point-contact of grains and poorly-developed cracks affected by buried heating effects in sandstone of Ziniquanzi Formation in Well K6 (plainlight); D—Grains cracked by compressional effect and permeability enhanced in sandstone of Shawan Formation in Well K6 (plainlight); E—Mainly point-contact, developed primary pores and poorly-developed cracks in sandstone of Ziniquanzi Formation in Well K7 (plainlight); F—Grains cracked and permeability enhanced by compressional effect of Shawan Formation in Well K7 (plainlight)

表 4 准噶尔南缘白垩系部分井储集层岩石、物性特征数据

Table 4 Data of Cretaceous reservoir characteristics in southern margin of Junggar Basin

构造带	井名	石英/%	长石/%	岩屑/%	名称	平均孔隙度/%	平均渗透率/ $10^{-3} \mu m^2$
安集海	安 5	31.0	24.5	44.5	长石岩屑砂岩	9.3	1.5
	安 6	37.0	17.5	40.5	长石岩屑砂岩	11.9	6.1
玛纳斯	川玛 1	31.0	23.3	45.7	长石岩屑砂岩	8.6	0.2
东湾	东湾 1	27.5	15.0	57.5	岩屑砂岩	3.7	0.1
吐谷鲁	吐谷 1	25.3	22.5	52.2	长石岩屑砂岩	3.1	0.2
卡因迪克	卡 6	18.2	17.2	66.6	岩屑砂岩	9.5	0.3

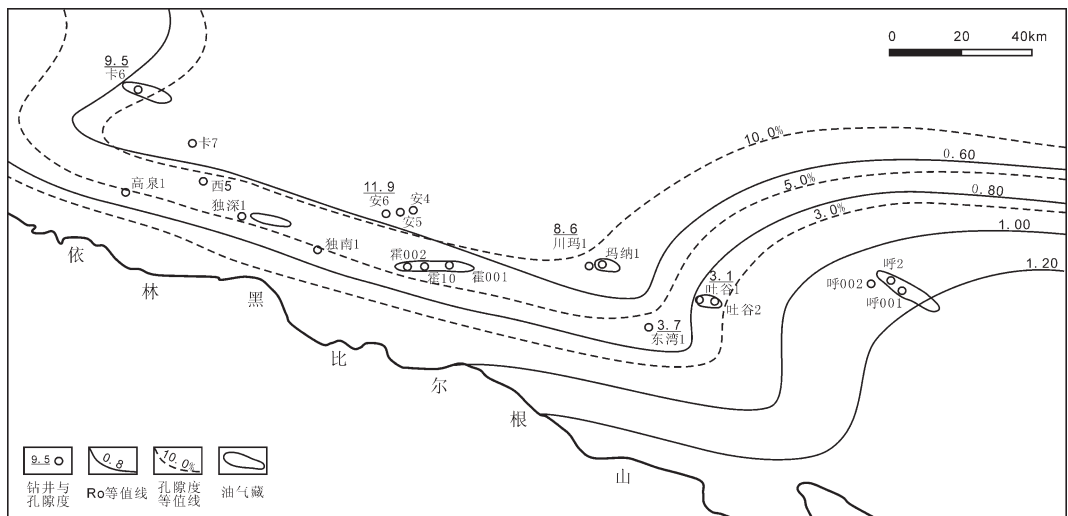


图 7 准噶尔南缘白垩系镜质体反射率 R_o 与孔隙度关系平面分布图

Fig.7 Correlation between porosity and R_o of Cretaceous vitrinite in southern margin of Junggar Basin

硅质胶结。颗粒间方解石、硬石膏充填粒间,孔隙较发育处胶结物较少。岩石以原生粒间孔为主,平均孔隙度 11.9%,平均渗透率 $1.5 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。第三排安集海背斜石英含量较第二排霍尔果斯背斜成分成熟度稍高,平均石英含量高 7%。前陆斜坡带卡 6 井岩性主要为不等粒长石岩屑砂岩,颗粒定向性不明显,点-线状接触,颗粒表面铁泥质薄膜较发育,少量方解石胶结。岩性中原生粒间孔与粒间溶孔均有分布,孔渗相关性较差,平均孔隙度 10.5%,平均渗透率 $17.2 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。卡 7 井紫泥泉子组岩性为粉细粒长石岩屑砂岩,受成岩压实影响,云母、泥岩岩屑等塑性颗粒发生弯折、变形。碎屑颗粒呈次棱-次圆状,点-线状接触,粒间泥质、方解石、方沸石充填。原生孔为主(图 6-E),孔隙明显受沉积影响,粒径大处孔隙

较发育,平均孔隙度 9.2%,平均渗透率 $6.3 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。

笔者依据各井中古近系紫泥泉子组储集层实测孔隙度与渗透率值,编制了准噶尔南缘古近系镜质体反射率 R_o 与孔隙度关系平面图(图 8),由图可知,镜质体反射率 R_o 与孔隙度呈正相关关系,即高 R_o 值的安集海、玛纳斯与呼图壁地区,孔隙度与渗透率值也高。分析其原因在于,砂砾岩储集层经历了早期长期浅埋,晚期快速深埋的历程。白垩纪—古近纪砂砾岩沉积后,沉降速率缓慢,基本上都属于浅埋藏阶段,埋藏深度一般都小于 2000 m。由于长期浅埋,提高了岩石的固结程度,早期的粘土矿物、碳酸盐等矿物的胶结作用,使岩石形成了一定的抗压骨架,在新近纪后快速深埋期间,由于冲断带远端受构造挤压作用相对弱,对砂岩储集性的影响较小,但仍

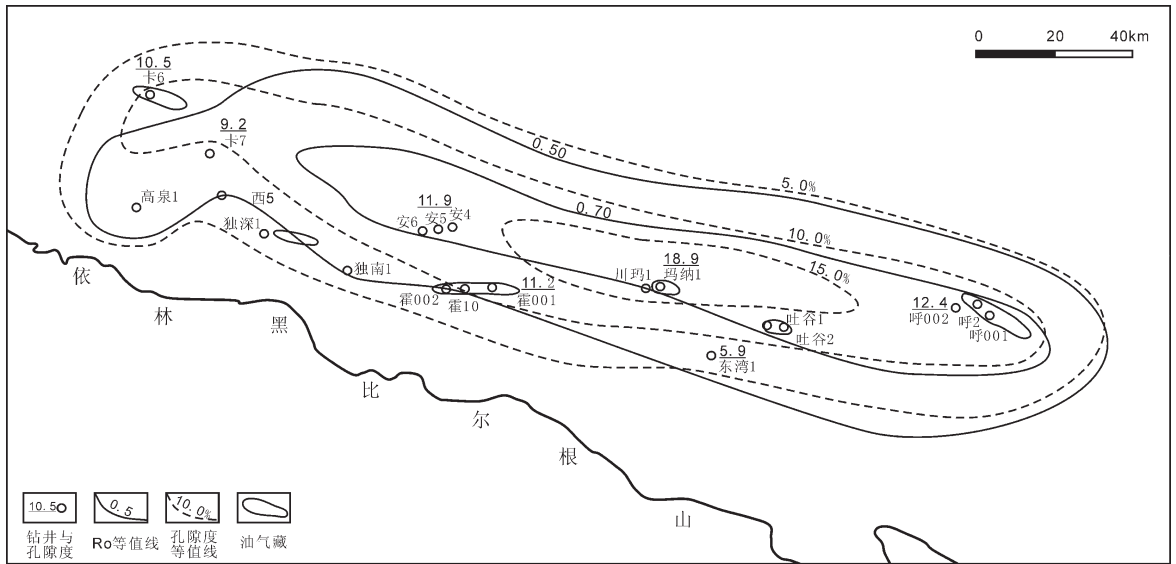


图8 准噶尔南缘古近系镜质体反射率 R_o 与孔隙度关系平面分布图

Fig.8 Correlation between porosity and R_o of Palaeogene vitrinite in southern margin of Junggar Basin

保留有较好的原生孔隙及少量次生孔隙^[20]。冲断带近端的低 R_o 值储集层物性较差的原因是, 由于砂砾岩储集体属于近源沉积物, 颗粒成分成熟度与结构成熟度均较低, 颗粒间存在大量填隙物, 并且储层成岩作用弱, 从而导致孔隙度与渗透率较差。

5.3 构造挤压作用影响下新近系储集层微观特征

第二排构造带霍尔果斯背斜沙湾组成分成熟度较第三排构造安集海背斜要低, 孔隙同样主要为原生粒间孔, 仍存在颗粒受构造挤压作用发生明显破裂现象, 因此储集层物性较好, 平均孔隙度 15.9%, 平均渗透率 $94.7 \times 10^{-3} \mu \text{m}^2$ 。第三排构造带安5井新近系沙湾组岩性为粉细粒岩屑砂岩, 碎屑颗粒压实紧密, 部分云母弯折。颗粒显定向排列, 有水流影响特点。颗粒间充填大量铁泥质, 并有少量方解石、硅质胶结。沙湾组储集层孔渗相关性较强, 孔隙类型主要为原生粒间孔, 碎屑颗粒多受构造挤压作用发生明显破裂, 较古近系孔隙间连同性增强明显, 平均孔隙度 13.0%, 平均渗透率 $3.2 \times 10^{-3} \mu \text{m}^2$ 。冲断带东部第三排构造呼图壁背斜沙湾组储集层岩性主要为长石岩屑砂岩、岩屑砂岩, 碎屑颗粒间少量褐色、红褐色铁泥质与方解石胶结物。呼001井岩石平均孔隙度 9.4%, 平均渗透率 $0.9 \times 10^{-3} \mu \text{m}^2$ 。前陆斜坡带卡因迪克背斜卡7井储集层岩性主要为岩屑长石砂岩, 岩石成分成熟度明显高于山前冲断带霍尔果斯、呼图壁等背斜, 平均石英含量达 65%。卡7井中碎屑颗

粒点接触为主, 颗粒碎裂比例相当高, 受构造作用明显。碎屑颗粒表面有铁泥质薄膜, 粒间方解石、硬石膏、方沸石胶结。沙湾组储集层孔渗相关性较强, 孔隙类型主要为原生粒间孔, 平均孔隙度 15.3%, 平均渗透率 $38.1 \times 10^{-3} \mu \text{m}^2$ 。

总之, 纵观准噶尔南缘无论是位于前陆冲断带近端霍尔果斯—玛纳斯—吐谷鲁背斜、远端的安集海—呼图壁背斜, 还是前陆斜坡带卡因迪克地区, 古近系储集层孔隙类型以原生孔为主, 少量次生孔隙, 埋藏热效应是影响储层成岩的主要因素; 新近系储集层由于受构造挤压作用影响, 碎屑颗粒破裂明显(图6-B, D, F), 构造挤压裂缝对储集层物性具有显著的改善作用。

6 结论

尝试用镜质体反射率 R_o 与颗粒填集密度这两个参数来表征构造挤压作用对准噶尔南缘砂砾岩储集体的影响, 这显然是用单因素分析法来探讨多因素影响结果, 具有一定的认识局限性。但是, 笔者认为这两个参数的选择, 特别是在前陆盆地内进行探讨是合适的。虽然说沉降与沉积、抬升与剥蚀、压实、岩浆侵入等因素将影响盆地的热历史和有机质的成熟史, 但由于准噶尔南缘前陆盆地自新生代以来, 主要受喜马拉雅运动影响, 中生代晚期至新生代天山南北热事件较少^[4], 即使有少量的、局部的火山活动

也不会对整体规律产生大的影响,这就为区分镜质体反射率 R_o 是反映构造挤压作用还是受埋藏热效应影响提供了地质基础。因此,这一研究方法对分析热事件影响弱(或者某时期影响弱)的前陆盆地构造挤压作用对储集体影响值得借鉴。

致谢:在成文过程中,得到了中国石油勘探开发研究院应凤祥教授的指导与帮助,同时,编辑老师与评审专家也提出了宝贵的修改意见与建议,在此深表谢意!

参考文献 (References):

- [1] 王少依, 王行信, 韩守华. 影响我国陆相碎屑岩储集层黏土矿物组合和分布的因素[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6):19-21.
Wang Shaoyi, Wang Xingxin, Han Shouhua. Factors affecting the clay mineral components and distributions of continental clastic reservoir in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(6):19-21(in Chinese with English abstract).
- [2] 寿建峰, 朱国华, 张惠良. 构造侧向挤压与砂岩成岩压实作用——以塔里木盆地为例[J]. 沉积学报, 2003, 21(1):90-95.
Shou Jianfeng, Zhu Guohua, Zhang Huiliang. Lateral structure compression and its influence on sandstone diagenesis—A case study from the Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1):90-95(in Chinese with English abstract).
- [3] 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[J]. 岩石学报, 2006, 22(8):2165-2170.
Shou Jianfeng, Zhang Huiliang, Shen Yang, et al. Diagenetic mechanisms of sandstone reservoirs in China oil and gas-bearing basins [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (8):2165-2170 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈彦华, 刘莺. 成岩相——储集体预测的新途径[J]. 石油实验地质, 1994, 16(3):274-281.
Chen Yanhua, Liu Ying. Diagenetic facies——a new approach to the prediction of reservoir rocks [J]. Experimental Petroleum Geology, 1994, 16(3):274-281(in Chinese with English abstract).
- [5] 常秋生. 影响准噶尔盆地碎屑岩储层储集性的主要因素 [J]. 新疆石油学院学报, 2003, 15(3):18-20.
Chang Qiusheng. Analysis on dominant factors affecting the reservoir properties of clastic bed in Junggar Basin [J]. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, 2003, 15(3): 18-20(in Chinese with English abstract).
- [6] 胡海燕, 李平平. 准噶尔永进地区深部储层的保存与发育机理[J]. 中国地质, 2007, 34(1):81-85.
Hu Haiyan, Li Pingping. Preservation of deeply buried reservoirs in the Yongjin zone, Junggar basin, and its development mechanism[J]. Geology in China, 2007, 34 (1):81-85 (in Chinese with English abstract).
- [7] 杨智, 何生, 李奇艳, 等. 准噶尔盆地腹部盆 1 井西凹陷超压研究 [J]. 中国地质, 2008, 35 (2):239-245.
Yang Zhi, He Sheng, Li Qiyang, et al. Overpressure in the well Pen-1 West subbasin in the interior of the Junggar basin [J]. Geology in China, 2008, 35(2): 239-245 (in Chinese with English abstract).
- [8] 彭勇民, 向奎, 穆同雨. 准噶尔盆地中部 2 区块高分辨层序地层研究 [J]. 中国地质, 2008, 35(2):264-272.
Peng Yongmin, Xiang Kui, Mu Tongyu. High-resolution sequence stratigraphy of Block 2 in the interior of the Junggar basin [J]. Geology in China, 2008, 35 (2):264-272 (in Chinese with English abstract).
- [9] 达江, 宋岩, 柳少波, 等. 准噶尔盆地南缘前陆冲断带油气成藏组合及控制因素[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4):355-360.
Da Jiang, Song Yan, Liu Shaobo, et al. Hydrocarbon play and controlling factors in fold-thrust belt of the southern Junggar Foreland Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2007, 29(4):355-360(in Chinese with English abstract).
- [10] 彭天令, 阎桂华, 陈伟, 等. 准噶尔盆地南缘霍玛吐构造带特征 [J]. 新疆石油地质, 2008, 29(2):191-194.
Peng Tianling, Yan Guihua, Chen Wei, et al. Characteristics of Huoerguosi-Manasi-Tugulu structural belt in Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29 (2):191-194 (in Chinese with English abstract).
- [11] 胡玲, 何登发, 胡道功. 准噶尔盆地南缘霍尔果斯-玛纳斯-吐鲁鲁断裂晚新生代构造变形的 ESR 测年证据 [J]. 地球学报, 2005, 26(2):121-126.
Hu Ling, He Dengfa, Hu Daogong. Electron spin resonance dating of the Late Cenozoic deformation of the Huoerguosi-Manasi-Tugulu reverse faults along Southern Edge of Junggar Basin [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26(2):121-126(in Chinese with English abstract).
- [12] 王兆明, 罗晓容, 刘楼军, 等. 准噶尔盆地南缘霍-玛-吐断层活动特征及成藏过程 [J]. 石油学报, 2006, 27(5):28-34.
Wang Zhaoming, Luo Xiaorong, Liu Loujun, et al. Active features of Huo-Ma-Tu fault and hydrocarbon accumulation in the southern Junggar Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 27(5):28-34 (in Chinese with English abstract).
- [13] 况军, 齐雪峰. 准噶尔前陆盆地构造特征与油气勘探方向 [J]. 新疆石油地质, 2006, 27(1):5-9.
Kuang Jun, Qi Xuefeng. The structural characteristics and oil-gas explorative direction in Junggar Foreland Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27 (1):5-9 (in Chinese with English abstract).
- [14] 吴晓智, 王立宏, 宋志理. 准噶尔盆地南缘构造应力场与油气运聚的关系 [J]. 新疆石油地质, 2000, 21(2):97-100.
Wu Xiaozhi, Wang Lihong, Song Zhili. The relations between structural stress field and hydrocarbon migration and accumulation in southern margin of Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(2):97-100(in Chinese with English abstract).
- [15] 陈书平, 漆家福, 于福生, 等. 准噶尔盆地南缘构造变形特征及其主控因素 [J]. 地质学报, 2007, 81(2):151-157.

- Chen Shuping, Qi Jiafu, Yu Fusheng, et al. Deformation characteristics in the southern margin of the Junggar Basin and their controlling factors[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(2):151-157 (in Chinese with English abstract).
- [16] 万里皋, 刘登明, 侯六根. 准噶尔盆地南缘前陆冲断带构造特征研究[J]. *石油地球物理勘探*, 2005, 40(增刊):40-45.
- Wan Ligao, Liu Dengming, Hou Liugen. Structure feature of foreland thrust-fold belts in the southern edge of Junggar Basin[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2005, 40 (supp.):40-45 (in Chinese with English abstract).
- [17] 杨景林, 王启飞, 卢辉楠. 准噶尔盆地南缘呼 2 井晚白垩世、古新世轮藻植物群的发现及其意义[J]. *微体古生物学报*, 2005, 22(3):251-268.
- Yang Jinglin, Wang Qifei, Lu Huinan. Discovery of Cretaceous and Paleocene charophyte floras from Well Hu 2 in the southern edge of Junggar Basin [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2005, 22(3):251-268(in Chinese with English abstract).
- [18] 邱楠生, 查明, 王绪龙. 准噶尔盆地热演化历史模拟 [J]. *新疆石油地质*, 2000, 21(1):38-41.
- Qiu Nansheng, Zha Ming, Wang Xulong. Simulation of geothermal evolution history in Jungaer Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2000, 21(1):38-41 (in Chinese with English abstract).
- [19] 刘祖发, 肖贤明, 傅家谟, 等. 海相镜质体反射率用作早古生代烃源岩成熟度指标研究[J]. *地球化学*, 1999, 28(6):580-588.
- Liu Zufa, Xiao Xianming, Fu Jiamo, et al. Marine vitrinite reflectance asamaturity indicator of lower Palaeozoic hydrocarbon source rocks [J]. *Geochemica*, 1999, 28(6):580-588 (in Chinese with English abstract).
- [20] 蒋建平, 高广运, 康继武. 镜质体反射率测试及其所反映的构造应力场[J]. *地球物理学报*, 2007, 50(1):138-145.
- Jiang Jianping, Gao Guangyun, Kang Jiwu. Tests on vitrinite reflectance of coal and analysis of tectonic stress field [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2007, 50(1):138-145 (in Chinese with English abstract).
- [21] 佟彦明, 宋立军, 曾少军, 等. 利用镜质体反射率恢复地层剥蚀厚度的新方法[J]. *古地理学报*, 2005, 7(3):417-424.
- Tong Yanming, Song Lijun, Zeng Shaojun, et al. A new method by vitrinite reflectance to estimate thickness of eroded strata [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 7(3):417-424 (in Chinese with English abstract).
- [22] 赵俊峰, 刘池洋, 王晓梅. 镜质体反射率测定结果的影响因素[J]. *煤田地质与勘探*, 2004, 32(6):15-18.
- Zhao Junfeng, Liu Chiyang, Wang Xiaomei. The factors influencing the measurement results of vitrinite reflectance [J]. *Coal Geology & Exploration*, 2004, 32(6):15-18 (in Chinese with English abstract).
- [23] 应凤祥, 罗平, 何东博, 等. 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.
- Ying Fengxiang, Luo Ping, He Dongbo, et al. *Clastic Reservoir Diagenesis and Numerical Simulation in Oil and Gas-bearing Basin in China* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004. (in Chinese).
- [24] 李梅, 包建平, 汪海, 等. 库车前陆盆地烃源岩和烃类成熟度及其地质意义[J]. *天然气地球科学*, 2004, 15(4):862-873.
- Li Mei, Bao Jianping, Wang Hai, et al. The analysis on the maturity parameters of source rock and hydrocarbons in Kuche foreland basin of Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15(4):862-873(in Chinese with English abstract).
- [25] Cook A C, Murchison D G, Scott E. Optical biaxial anthracitic vitrinites[J]. *Fuel*, 1972, (51):180-184.
- [26] 姜波, 徐凤银, 刘仰露, 等. 柴达木北缘煤镜质体光性组构及应力-应变分析[J]. *中国矿业大学学报*, 2002, 31(6):165-465.
- Jiang Bo, Xu Fengyin, Liu Yanglu, et al. Vitrinite optical fabric and stress-strain analysis of Northern Margin of Chaidamu Basin [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2002, 31(6):165-465(in Chinese with English abstract).
- [27] 吕嵘, 汪新文, 沈勇伟. 准噶尔盆地南缘中生代构造沉降史分析[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2006, 28(5):10-12.
- Lü Rong, Wang Xinwen, Shen Yongwei. Analysis of tectonic subsidence evolution of Mesozoic-Cenozoic in southern margin of Junggar Basin [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2006, 28(5):10-12(in Chinese).
- [28] 雷德文, 唐勇, 常秋生. 准噶尔盆地南缘深部优质储集层及有利勘探领域[J]. *新疆石油地质*, 2008, 29(4):435-438.
- Lei Dewen, Tang Yong, Chang Qiusheng. The deep and relatively high-quality clastic reservoir bodies and favorable exploration areas in southern margin of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(4):435-438(in Chinese with English abstract).
- [29] 张立强, 罗晓容, 刘楼军, 等. 准噶尔盆地南缘新生界粘土矿物分布及影响因素[J]. *地质科学*, 2005, 40(3):363-375.
- Zhang Liqiang, Luo Xiaorong, Liu Loujun, et al. Controls on clay mineral distribution in the Cenozoic sediments of the southern Junggar Basin in NW China[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2005, 40(3):363-375(in Chinese with English abstract).
- [30] 高志勇, 韩国猛, 朱如凯, 等. 准噶尔盆地南缘古近纪—新近纪前陆盆地沉积格局与演变[J]. *古地理学报*, 2009, 11(5):491-502.
- Gao Zhongyong, Han Guomeng, Zhu Rukai, et al. Depositional setting and evolution of the Paleogene-Neogene foreland basin of southern margin of Junggar Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11(5):491-502(in Chinese with English abstract).
- [31] 魏东涛, 贾东, 赵应成, 等. 准噶尔盆地南缘白垩系原油成藏特征[J]. *地质论评*, 2008, 54(3):399-408.
- Wei Dongtao, Jia Dong, Zhao Yingcheng, et al. The formation of Cretaceous source derived oils in the southern Junggar Basin, NW China [J]. *Geological Review*, 2008, 54(3):399-408 (in Chinese with English abstract).
- [32] 张传恒, 刘典波, 张传林, 等. 新疆博格达山初始隆升时间的地层学标定[J]. *地学前缘*, 2005, 12(1):294-302.
- Zhang Chuanheng, Liu Dianbo, Zhang Chuanlin, et al.

- Stratigraphic constraints on the initial uplift age of Bogda Shan, Xinjiang, northwest[J]. *China Earth Science Frontiers*, 2005, 12(1): 294-302(in Chinese with English abstract).
- [33] 沈传波, 梅廉夫, 刘麟, 等. 新疆博格达山中新生代隆升—热历史的裂变径迹记录[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2006, 26(3):87-92.
- Shen Chuanbo, Mei Lianfu, Liu Lin, et al. Evidence from apatite and zircon fission track analysis for Mesozoic—Cenozoic uplift thermal history of Bogeda mountain of Xinjiang, northwest China [J]. *Maeine Geology & Quaternary Geology*, 2006, 26(3):87-92(in Chinese with English abstract).
- [34] 王利利, 张恺, 高明远, 等. 准噶尔盆地南缘的构造演化特征及含油气预测[J]. *新疆石油地质*, 1986, 7(2):1-9.
- Wang Lili, Zhang Kai, Gao Mingyuan, et al. Tectonic evolution and oil and gas predicting in southern margin of Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1986, 7(2):1-9(in Chinese).
- [35] 汪新伟, 汪新文, 马永生. 新疆博格达山晚中生代以来的差异剥露史[J]. *地质学报*, 2007, 81(11):1507-1517.
- Wang Xinwei, Wang Xinwen, Ma Yongsheng. Differential exhumation history of Bogda Mountain, Xinjiang, Northwestern China Since the Late Mesozoic[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(11):1507-1517(in Chinese with English abstract).
- [36] 李忠权, 陈更生, 张寿庭. 新疆准噶尔盆地南缘拉张伸展动力学环境的探讨[J]. *高校地质学报*, 1998, 4(1):73-78.
- Li Zhongquan, Chen Gengsheng, Zhang Shouting. Discussion on the extensional dynamic setting in the south border of Junggar Basin, Xinjiang, China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 1998, 4(1):73-78(in Chinese with English abstract).
- [37] 罗晓容, 肖立新, 李学义, 等. 准噶尔盆地南缘中段异常压力分布及影响因素 [J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2004, 29(4): 404-412.
- Luo Xiaorong, Xiao Lixin, Li Xueyi, et al. Overpressure distribution and affecting factors in southern margin of Junggar Basin [J]. *Earth Science —Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29 (4):404-412 (in Chinese with English abstract).
- [38] 庄新明. 准噶尔盆地四棵树凹陷石油地质特征及勘探方向[J]. *新疆地质*, 2006, 24(4):429-433.
- Zhuang Xinming. Petroleum geology features and prospecting targets of Sikeshe sag, Junggar Basin[J]. *Xinjiang Geology*, 2006, 24(4):429-433(in Chinese with English abstract).
- [39] 周锋, 梅廉夫, 刘麟, 等. 准噶尔盆地南缘喜马拉雅运动期构造应力场模拟[J]. *新疆石油地质*, 2005, 26(6):640-643.
- Zhou Feng, Mei Lianfu, Liu Lin, et al. Numerical simulation of tectonic stress field during Himalayan Movement in southern margin of Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2005, 26(6):640-643(in Chinese with English abstract).
- [40] 杜治利, 王清晨. 中生代天山地区隆升历史的裂变径迹证据 [J]. *地质学报*, 2007, 81(8):1081-1101.
- Du Zhili, Wang Qingchen. Mesozoic and Cenozoic uplifting history of the Tianshan Region:insight from apatite fission track[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007,81 (8):1081-1101 (in Chinese with English abstract).
- [41] 刘国壁, 张惠蓉. 准噶尔盆地地热场与油气 [J]. *新疆石油地质*, 1992, 13(2):100-107.
- Liu Guobi, Zhang Huirong. The hydrocarbon occurrence and characteristics of geothermal field in Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1992, 13(2):100-107(in Chinese with English abstract).
- [42] 邱楠生, 王绪龙, 杨海波, 等. 准噶尔盆地地温分布特征[J]. *地质科学*, 2001. 36(3):350-358.
- Qiu Nansheng, Wang Xulong, Yang Haibo, et al. The characteristics of temperature distribution in the Junggar Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2001. 36(3):350-358(in Chinese with English abstract).
- [43] 邱楠生, 杨海波, 王绪龙. 准噶尔盆地构造—热演化特征 [J]. *地质科学*, 2002. 37(4):423-429.
- Qiu Nansheng, Yang Haibo, Wang Xulong. Tectono—Thermal evolution in the Junggar Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2002. 37(4):423-429(in Chinese with English abstract).
- [44] 金奎励. 论砂岩储集岩相[J]. *古地理学报*, 2000, 2(2):11-18.
- Jin Kuili. Sandstone reservoir rock facies [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2000, 2 (2):11-18 (in Chinese with English abstract).

The interpretation of the controlling action of Cretaceous to Tertiary tectonic compression on the reservoir in the southern margin of Junggar Basin: vitrinite reflectance and grain packing density

GAO Zhi-yong^{1,2}, HU Yong-jun³, ZHANG Li-hua⁴, ZHU Ru-kai^{1,2}, GUO Hong-li¹

(1. *Petroleum Geology Research and Laboratory Center of RIPED, Beijing 100083, China*; 2. *State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery,*

Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China;

3. *Dagang Branch of East Geophysical Exploration Company, China National Petroleum Corp., Tianjin 300280, China*;

4. *Exploration and Development Research Institute of Danggang Oilfield, Tianjin 300280, China*)

Abstract: Vitrinite reflectance is one of the important reflections of the controlling action of tectonic compression on the reservoir in the southern margin of Junggar Basin. Grain packing density is a direct result of tectonic compression that controls the reservoir. An analysis of the measured vitrinite reflectance of the Cretaceous–Neogene source rocks from the wells and outcrops and a study of the Cretaceous–Upper Tertiary micro–reservoir and grain packing density in 14 wells reveal the evolution of tectonic compression controlling the reservoir in the southern margin of Junggar Basin from Cretaceous to Tertiary. The high R_o values were in the eastern Hutubi area in the southern margin of Junggar Basin, and the low R_o values were in the western area in Cretaceous. And the distribution of grain packing density is the same as the distribution of R_o values, as shown by the map. Because of the uplifting of the Bogeda Mountain in the Late Jurassic to early Cretaceous period, the tectonic compression in Hutubi area was stronger than that in Xihu–Dushanzi area in the southern margin of Junggar Basin. The distribution of vitrinite reflectance in Palaeogene was different from that in Cretaceous. The values of R_o and grain packing density in Anjihai–Manasi–Tugulu anticline area of the middle–distal thrust belt decreased in two directions, i.e., the foot of the thrust belt and the foredeep. So the main reservoir–controlling factor was the buried thermal effect instead of the tectonic compression. Because of the re–uplifting of the Tianshan Mountains in Upper Tertiary, the tectonic compression changed the main reservoir–controlling factor through the distribution of grain packing density. An analysis of the micro–reservoir shows that the relationship between porosity and R_o was in negative correlation, so were the things at the diagenetic stage in Cretaceous; nevertheless, in Lower–Tertiary, the relationship between porosity and R_o was in positive correlation.

Key words: vitrinite reflectance; grain packing density; southern margin of Junggar Basin; foreland basin; tectonic compression; reservoir

About the first author: GAO Zhi-yong, male, born in 1974, engineer, mainly engages in the study of sedimentology and sequence stratigraphy; E-mail: gzybox@163.com.