

文章编号: 1000-0550(2011)06-1069-10

准噶尔盆地西北缘二叠系碎屑岩储层成岩相 与成岩演化研究^①

何周¹ 史基安² 唐勇³ 丁超¹ 张顺存²

(1. 新疆油田公司风城油田作业区 新疆克拉玛依 834000; 2. 中国科学院油气资源研究重点实验室 兰州 730000;
3. 新疆油田公司勘探开发研究院 新疆克拉玛依 834000)

摘要 西北缘克百地区二叠系砂砾岩储层是准噶尔盆地最重要的油藏储集岩之一。运用偏光显微镜在对碎屑岩储层的成岩作用、自生矿物及孔隙特征详细观察的基础上,结合扫描电镜、孔渗测试及测井、录井资料的分析,对该区二叠系砂砾岩储层的岩石类型和成岩作用进行了研究,指出压实作用、胶结作用、溶蚀作用是影响该类储层物性的主要成岩作用。在此基础上,结合成岩作用和成岩阶段的研究,划分出了7个成岩相:1)高成熟强溶蚀相,2)高成熟强胶结相,3)高成熟中胶结中溶蚀相,4)高成熟弱压实相,5)高成熟强压实相,6)低成熟弱压实相,7)低成熟强压实相,并对各个成岩相的形成条件、成岩特征、成岩环境、成岩演化序列和成岩模式进行了归纳和总结,对不同成岩相的砂砾岩储集性能进行了分析,阐述了优良储层发育的主要成岩相带及沉积相带。

关键词 准噶尔盆地西北缘 二叠系碎屑岩 成岩作用 成岩相 储集性能

第一作者简介 何周 男 1967年出生 高级工程师 石油地质学 E-mail: hezhou@petrochina.com.cn

中图分类号 TE122.2 **文献标识码** A

0 前言

准噶尔盆地西北缘克百地区二叠系以碎屑岩为主,主要分布于克百断裂下盘,在二叠系底部的佳木河组可见到少量的火山岩沉积。碎屑岩中砂砾岩(包括砂砾岩及细砾岩)含量较大,占总体含量的55%以上。该区储层物性变化非常大,即使同一种岩性,其物性随着沉积环境和成岩作用的不同,变化也较大。研究区储层物性总体上比较差,以低孔、低渗储层为主,也有一些地方的物性相对较好,属于有利储层发育区带。研究表明该区以砂砾岩为主的碎屑岩储层的储集性能一方面受沉积相的控制,同时也明显受到成岩作用的影响。研究区二叠系的沉积环境以扇三角洲为主,有利储层往往发育于扇三角洲前缘沉积相带,但这种沉积环境在纵向和横向的变化较快,导致了储层的非均质性增强;加之不同沉积相带和不同埋藏深度下,储层的沉积成岩作用类型差别很大,对储层的影响作用也不一样,因此,有利储层的预测难度很大。本文试图通过对砂砾岩类碎屑岩储层的沉积条件和成岩作用特征的深入研究,根据影响储层物性的砂砾岩的形成条件(水动力条件)以及压

实、胶结和溶蚀等成岩作用的强度,对砂砾岩储层的成岩相进行分类,在此基础上,研究不同成岩相对砂砾岩储层的控制作用,以期为优质储层的预测及其发育状况的研究提供借鉴。

1 概况

准噶尔盆地是我国西北大型含油气盆地之一,盆地西北缘是新疆油田公司重要的油气产区,该区西北边界为大型逆冲断裂带,从南西到北东,主要有红一车断裂带、克一乌断裂带、乌一夏断裂带等大型断裂带^[1-3]。本文的研究区是盆地西北缘克百断裂的南段克百断裂下盘二叠系(图1),该区自南向北分别分为白22井区、克89井区和百口泉井区,本项研究所涉及的层位为二叠系的风城组、夏子街组和下乌尔禾组。

岩芯描述和录井资料显示,研究区二叠系储集岩类有两类岩石:一类是火山岩,分布较局限,主要见于二叠系底部的佳木河组;另一类则是以砂砾岩为主的碎屑岩类,其岩性主要为砂砾岩(除绝大多数为砂砾岩外,还包括少量细砾岩和砂质砾岩),另见少量中砾岩。克百地区二叠系砾岩非常发育,砾岩所占比例

^①国家科技重大专项(2008ZX05001-006)项目和国家重点基础研究发展计划(973项目)(编号:2011CB201104)资助。
收稿日期:2010-09-20;收修改稿日期:2010-11-11

可达到70%~75%,部分地区甚至更高。其特征为:①砾岩中细砾岩和小砾岩所占比例较高;②部分灰绿色砾岩的结构成熟度较高,砾石颗粒具有较好的分选性和磨圆度。棕红色和紫红色岩石的结构成熟度较低、杂基含量往往较高;③砾岩中所夹的泥岩或砂岩较少,厚度较薄;④砾岩岩屑中火山岩类岩屑特别是凝灰岩岩屑非常发育,统计结果显示,砂砾岩中砾石成分众多,其中凝灰岩占60%,砂岩占10%,安山岩、霏细岩和流纹岩分别占9%、8%和7%^[4]。

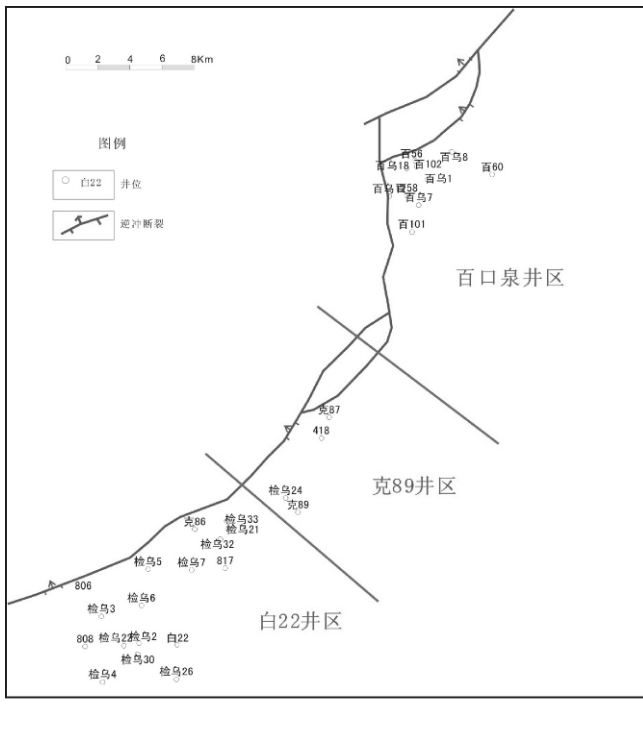


图1 研究区二叠系井位及井区分布图

Fig. 1 The distribution of Permian wells in the study area

2 成岩作用类型及特征

研究区二叠系砂砾岩经受了较强的成岩作用改造,其中能反映其成岩阶段或经历较高成岩温度的特征有:①砂砾岩中含铁方解石和自形白云石等晚期碳酸盐岩自生矿物常见;②不仅石英次生加大或硅质胶结作用常见,而且许多火山岩岩屑受压发生强烈变形或发生破裂;③自生沸石类矿物常见,许多沸石发生强烈溶蚀;④对砂砾岩碳酸盐氧、碳稳定同位素测定结果显示,其形成温度主要在70~90℃之间^[5]。据此研究区的砂砾岩主要处于晚成岩A期成岩阶段。

影响克百地区二叠系砂砾岩储层物性的主要成

岩作用为压实作用、胶结作用和溶蚀作用,压溶作用、交代作用和重结晶作用等对储层物性影响较小。研究结果显示,其中压实作用、胶结作用、溶蚀作用与储层物性的关系极其密切。压实作用是储层物性最主要的破坏作用;胶结作用一方面作为骨架支撑颗粒,抵御了部分压实作用的影响,另一方面也成为堵塞储层孔隙的物质;溶蚀作用不但在一定程度上提高了储层的孔隙度,而且还连通了部分孔隙,增加了油气迁移的通道^[6]。

(1) 压实作用

研究区二叠系处在克百断裂下盘,埋藏较深,压实作用对研究区砂砾岩储层物性具有较强破坏作用。在显微镜下可观察到的压实现象有:塑性的云母碎片发生挠曲、一些泥岩岩屑挤压变形、形成假杂基、刚性颗粒断裂等。一般认为,压实作用的最大深度为2500 m^[7,8]。由于研究区砾岩中含有较多的火山岩岩屑,其中部分火山岩岩屑如凝灰岩岩屑、火山碎屑岩岩屑等在埋藏深度达到3500 m以下时,在强压实应力作用下就会发生部分塑性变形,与周围碎屑颗粒呈凹凸接触,使砂砾岩中的粒间孔隙遭到进一步破坏,导致砂砾岩储层物性急剧变差,这时砂砾岩的孔隙度一般小于10%,渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。研究区砂砾岩储层的压实作用强度除了与埋藏深度有关外,还与岩石的成分成熟度及结构成熟度相关。当研究区二叠系砂砾岩的成分成熟度和结构成熟度较低,火山岩及杂基含量较高时,抑制了碳酸盐类等早期化学胶结作用的发育,加之泥质杂基的润滑作用,造成机械压实作用对储层物性的影响显著增大(图2)。

(2) 胶结作用

显微观察和研究表明,研究区二叠系砂砾岩的胶结物类型多样,常见的有硅质(包括石英增生)、碳酸盐类(包括方解石、含铁方解石和白云石)、沸石类(主要为方沸石、片沸石和浊沸石)、自生黏土矿物(常见高岭石、绿泥石和伊利石)和石膏等^[9-12]。由于研究区砂砾岩沉积时,准噶尔二叠纪古湖泊环境为微咸水体,造成早成岩阶段水介质偏碱性,这有利于砂砾岩中早期方解石胶结物和沸石类胶结物的发育,虽然这些胶结物占据了砂砾岩的粒间孔隙,并对其物性条件产生一定负面影响,但是早期胶结物的支撑作用可大大减缓压实作用对砂砾岩储层粒间孔隙的破坏,当粒间孔隙水的地球化学性质发生改变时,这些早期胶结物常发生溶蚀作用,可改善砂砾岩的储集条件(图3)。

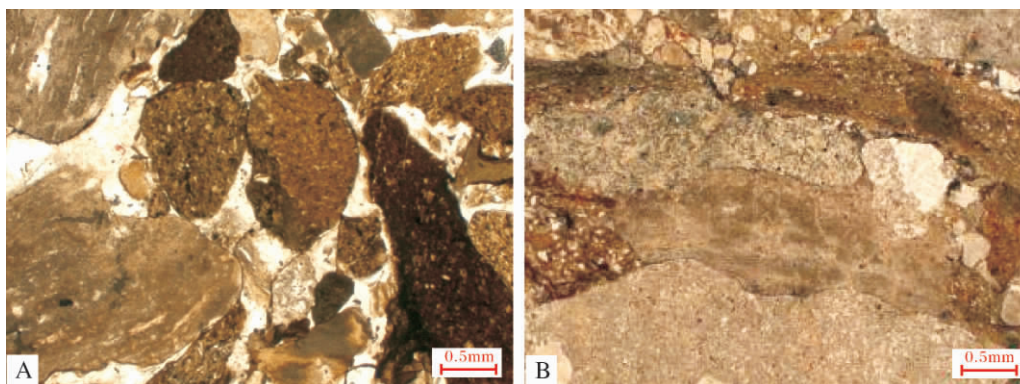


图 2 研究区二叠系砂砾岩的压实作用特征

- A. 百 101 井 2 659.71 m P_2x 砂砾岩的成熟度高 杂基含量少 压实作用弱 粒间孔发育。
- B. 白 22 井 4 293.0 m P_1f 砂质砾岩。杂基含量较高 泥质胶结 强烈压实作用使火山岩屑发生塑性变形 粒间孔隙丧失殆尽。

Fig.2 The characteristics of the compacted Permian sandy conglomerates

- A. Well Bai101 ,2659.71m , P_2x ,conglomerates with high degree of maturity and low degree of the content of matrix , less cementation , develops intergranular pores; B. Well Bai 22 ,4 293.0 m , P_1f ,sandy conglomerates with high degree of the content of matrix , severe compaction and shale cementation result in plastic deformation taking place in lithic fragments with the intergranular pores completely filled.

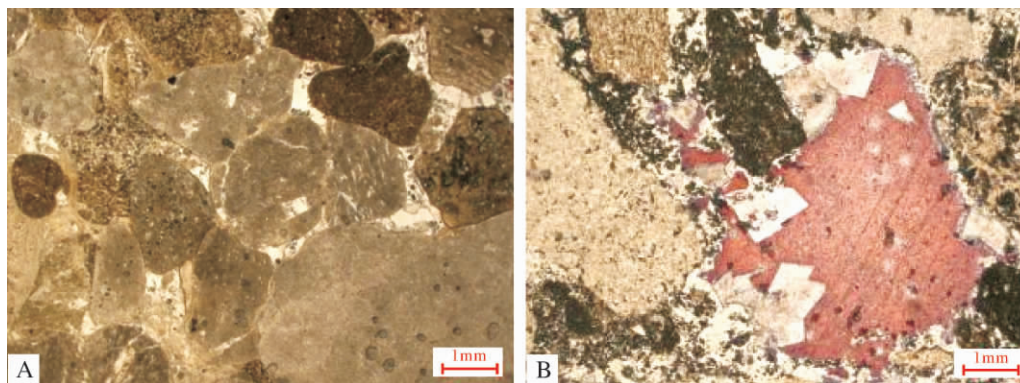


图 3 研究区二叠系砂砾岩胶结作用特征

- A. 百 101 井 2659.71m P_2x 砂砾岩的结构成熟度较高 杂基含量非常少 早期钙质胶结发育 压实作用较弱。
- B. 克 86 井 3211.27m P_1f ,灰色砂质砾岩。可见方解石和白云石两期碳酸盐胶结物

Fig.3 The characteristics of the compacted Permian sandy conglomerates

- A. Well Bai 101 ,2659.71m , P_2x ,conglomerates with high degree of texture maturity and low degree of the content of matrix. the early calcareous cementation is developed. the compaction is weak; B. Well Ke 86 ,3211.27m , P_1f , grey sandy conglomerates which can be seen two kinds of carbonate cement: calcite and dolomite.

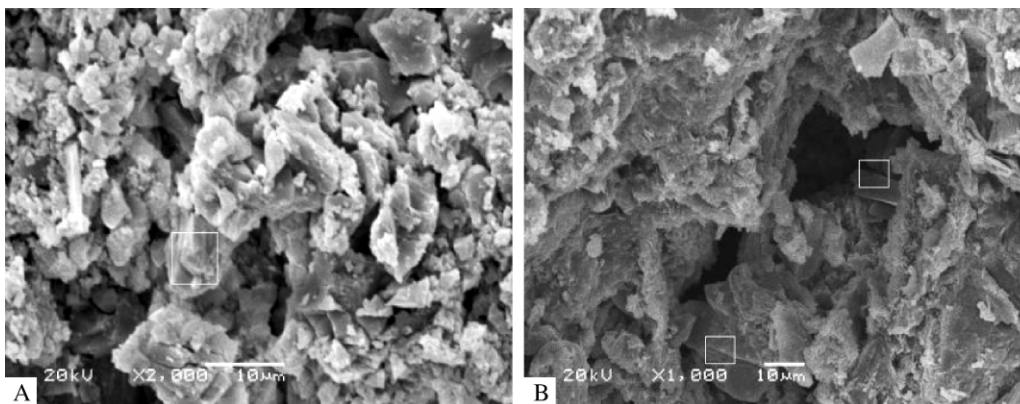


图 4 研究区二叠系储层中溶蚀作用特征

- A. 百 56 井 3 344.75 m P_1f 砾岩中早期泥晶方解石胶结物已发生强烈溶蚀作用; B. 百乌 7 井 2 667.50 m P_2x 油浸砾岩中沸石胶结物溶蚀特征

Fig.4 The characteristics of the dissolved Permian sandy conglomerates

- A. Well Bai 56 ,3 344.75 m , P_1f ,the early micritic calcite in conglomerates which had severe corroding effect;
- B. Well Baiwu 7 ,2 667.50 m , P_2x ,the dissolution characteristics of laumontite cement in conglomerates which is oil immersion

(3) 溶蚀作用

在研究区,这种溶蚀作用对砂砾岩储层的各种组分的溶解程度是不同的。主要表现在各种易溶的砂砾岩组分发生部分溶解、甚至全部溶解,并形成多种类型的次生孔隙,因而对砂砾岩的储集性能有较大的改善作用^[6,10-13]。溶蚀作用的发生必须具备三个前提条件:①充足的酸性流体;②砂岩中有一定量的可溶组分;③可供酸性流体运移的通道。微观研究表明,研究区碎屑岩中可供溶蚀的组分非常丰富,常发生的溶蚀作用有:①碎屑颗粒的溶蚀作用,主要是凝灰岩、安山岩、霏细岩等火山岩碎屑发生溶蚀形成各种黏土矿物;②胶结物的溶蚀作用,主要为早期碳酸盐胶结物和沸石类(片沸石、方沸石和浊沸石等)胶结物及少量长石质胶结物发生溶蚀;③杂基的溶蚀作用,主要是长石质或碳酸盐岩类等易溶物质为主的粗杂基发生溶蚀作用(图4)。

3 成岩相的划分

3.1 成岩相划分方案

由于储集岩的成岩作用是沉积环境的继续和发展,沉积环境必然对储集岩的成岩作用产生巨大影响。而成岩相是在成岩与构造等作用下,沉积物经历一定成岩作用和演化阶段的产物,包括岩石颗粒、胶结物、组构、孔洞缝等综合特征。它反映的是不同成岩环境和成岩矿物的组合特征,是由成岩作用组合特征所决定的。某类成岩相时空分布的范围称为成岩相区。成岩相可以根据成岩环境和成岩类型来划分^[14,15]。

前已述及,沉积环境在宏观上控制着克百地区砂砾岩储层的物性条件,其中最重要的影响机理是:不同的沉积环境由于其水动力条件不同,造成砂砾岩的磨圆度、分选性和杂基含量的差异,从而导致结构成熟度和成分成熟度的差异,这不仅产生了砂砾岩的原始孔隙度的差别,更重要的是其中杂基含量对砂砾岩在成岩过程中发生的压实、胶结和溶蚀等成岩作用产生了巨大影响。因此,根据对克百地区二叠系砂砾岩的沉积和成岩作用与储集性相关性的研究,可以归纳出:砂砾岩中的杂基含量、压实作用、胶结作用和溶蚀作用是决定砂砾岩储层物性最重要的因素,这也是研究区二叠系砂砾岩储层的成岩相带划分的基本因素。

根据砂砾岩中杂基含量的多少(以10%为界),将砂砾岩分为高成熟和低成熟两类(杂基含量低于10%的砂砾岩为高成熟砂砾岩,亦即有较高的结构成

熟度和较高的成分成熟度,杂基含量高于10%的砂砾岩为低成熟砂砾岩,其结构成熟度和成分成熟度都较低),再根据压实作用的强弱(主要根据碎屑颗粒接触强度和半塑性的火山岩岩屑是否变形来确定)分为强压实和弱压实两类。通常情况下,经受强压实的砂砾岩中,胶结作用一般都较弱,因此溶蚀作用也不发育,也就是说强压实砂砾岩中不存在发育中等以上程度的胶结和溶蚀作用的条件,因此不再对该类砂砾岩储层进行细分。而低成熟(杂基含量高于10%)分为强压实和弱压实两类成岩相,其中弱压实成岩相的砂砾岩,虽还保留一定的孔隙,但其孔径和喉道都极细,也不存在发育中等以上程度胶结和溶蚀作用的条件,因此这类砂砾岩储层也不再细分。剩下的就是高成熟度中压实和弱压实的砂砾岩,这类砂砾岩由于其原生孔隙度较高,其成岩特征和物性条件多变,表现出它所经受的成岩环境和成岩序列多样,归纳起来主要有四类:弱压实类,其中胶结作用和溶蚀作用都不突出;强溶蚀类,溶蚀作用非常发育;强胶结类,胶结和交代作用非常发育,胶结物含量超过10%;中等胶结和中溶蚀类,胶结作用和溶蚀作用既不强也不弱。

这样就将克百地区二叠系砂砾岩分为以下7个成岩相,并对研究区风城组和夏子街组各段的成岩相平面分布进行了研究:1)高成熟强溶蚀相;2)高成熟强胶结相;3)高成熟中胶结中溶蚀相;4)高成熟弱压实相;5)高成熟强压实相;6)低成熟弱压实相;7)低成熟强压实相。

3.2 各类成岩相的发育条件及特征

(1) 能高成熟强溶蚀相

1) 形成条件:碎屑颗粒经过较充分的淘洗;早期胶结作用较发育;酸性流体大量侵入;溶解物质大部分被带出;晚期胶结作用较弱。2) 成岩特征:碎屑颗粒表面较干净,粒间杂基含量低;早期胶结作用较发育,碎屑颗粒之间碳酸盐、沸石等易溶胶结物发育;酸性环境下不稳定的沸石类矿物、碳酸盐矿物强烈溶蚀;自生黏土矿物较少。3) 储层孔喉特征:碎屑颗粒分选较好,原生粒间孔隙发育;溶蚀孔隙主要为粒间溶蚀扩大孔;孔隙喉道较粗,溶蚀物质不易沉淀。4) 代表井:百乌18井、百101井、检乌7井等。

(2) 高成熟强胶结相

1) 形成条件:碎屑颗粒经过较充分的淘洗;早期胶结作用非常发育;酸性流体侵入很少;溶蚀作用不发育;晚期孔隙水为强碱性。2) 成岩特征:碎屑颗粒

表面较干净,粒间杂基含量低;早期方解石胶结作用非常发育;压实作用较弱;溶蚀作用不发育,自生黏土矿物较少;发育强烈的晚期碳酸盐胶结交代作用。

3) 储层孔喉特征:碎屑颗粒分选中等,原生粒间孔隙较发育;原生孔隙大都被早期胶结物所充填;孔隙喉道较细,孔隙水流动不畅;晚期胶结物使孔隙丧失殆尽。

4) 代表井:白22井、克202井、克89井等。

(3) 高成熟中胶结中溶蚀相

1) 形成条件:碎屑颗粒经过一定的淘洗;中期沸石类胶结作用较发育;有酸性流体大量侵入;溶蚀作用较发育;晚期孔隙水为碱性,造成碳酸盐矿物沉淀。

2) 成岩特征:碎屑颗粒间杂基含量较低;中期沸石类胶结作用非常发育;沸石类溶蚀作用较发育,自生黏土矿物较常见;晚期碳酸盐胶结交代作用较发育。

3) 储层孔喉特征:碎屑颗粒分选中等,原生粒间孔隙较发育;粒间孔大都被沸石类胶结物所充填;孔隙喉道中等,自生黏土矿物常见;晚期胶结物使孔隙损失较大。

4) 代表井:白22井、检乌7井、百101井等。

(4) 高成熟弱压实相

1) 形成条件:碎屑颗粒经过充分淘洗;早期胶结作用较发育,中期胶结物较多;有酸性流体大量侵入,溶蚀作用较发育;埋藏深度不大,晚期孔隙水性质变化不大;晚期自生矿物罕见。

2) 成岩特征:碎屑颗粒间杂基含量很低;早期和中期碳酸盐及沸石类矿物胶结作用较发育;溶蚀作用较发育,自生黏土矿物较少;埋深较浅,压实作用较弱;晚期胶结作用不发育。

3) 储层孔喉特征:碎屑颗粒分选好,原生粒间孔隙发育;部分粒间孔被易溶胶结物所充填;孔隙喉道较大,自生黏土矿物罕见;埋藏较浅,晚期胶结物罕见。

4) 代表井:百乌18井、百101井、412井等。

(5) 高成熟强压实相

1) 形成条件:碎屑颗粒经过充分淘洗;早期和中期胶结作用不很发育;少量酸性流体侵入,溶蚀作用不发育;埋藏深度较大,晚期孔隙水性质变化不大;晚期自生矿物罕见。

2) 成岩特征:碎屑颗粒间杂基含量较低;早期和中期碳酸盐及沸石类矿物胶结作用不发育;溶蚀作用不发育,自生黏土矿物较少;埋深较大,压实作用强烈,半塑性颗粒变形明显;晚期胶结作用不发育。

3) 储层孔喉特征:碎屑颗粒分选好,原生粒间孔隙发育;压实作用使大部分粒间孔丧失;孔隙喉道较细,自生黏土矿物罕见;埋藏较深,晚期胶结物较少。

4) 代表井:克87井、检乌9井、克202井、百56井等。

(6) 低成熟弱压实相

1) 形成条件:沉积时水动力稳定性差,碎屑颗粒未经过淘洗;早期和中期胶结作用不很发育;溶蚀作用不发育;埋藏深度不大,压实作用不是很强;晚期自生矿物罕见。

2) 成岩特征:碎屑颗粒分选差,杂基含量高;早期和中期碳酸盐及沸石类矿物胶结作用不发育;溶蚀作用不发育,自生黏土矿物较少;埋深较浅,压实作用不是很强;晚期胶结作用不发育。

3) 储层孔喉特征:碎屑颗粒分选差,原生粒间孔隙低;压实作用是粒间孔丧失的最主要原因;孔隙喉道较细,自生黏土矿物罕见;埋藏较浅,晚期胶结物对储层孔隙度影响较小。

4) 代表井:百56井、百乌18井、412井等。

(7) 低成熟强压实相

1) 形成条件:沉积时水动力稳定性差,碎屑颗粒未经过淘洗;早期和中期胶结作用不很发育;溶蚀作用不发育;埋藏深度大,压实作用强烈;晚期自生矿物罕见。

2) 成岩特征:碎屑颗粒分选差,杂基剪含量高;早期和中期碳酸盐及沸石类矿物胶结作用不发育;溶蚀作用不发育,自生黏土矿物较少;埋深较大,压实作用使半塑性碎屑颗粒发生变形;晚期胶结作用不发育。

3) 储层孔喉特征:碎屑颗粒分选差,原生粒间孔隙少;压实作用是粒间孔丧失的最主要原因;孔隙喉道较细,自生黏土矿物罕见;埋藏较大,半塑性颗粒变形使储层孔隙丧失殆尽。

4) 代表井:克202井、检乌3井、百60井、克89井等。

4 成岩序列和孔隙演化模式

4.1 成岩环境和成岩条件分析

准噶尔盆地西北缘二叠纪发育了多次抬升、沉降,经历了多个构造、沉积旋回。构造运动控制了沉积作用和火山作用的发生、发育频率及分布^[1-3]。克百地区二叠系发育于前陆盆地晚期的盆地演化序列中,沉积序列受控于盆地边缘断裂的逆冲推覆体的活动频率、周期、湖平面的升降变化以及沉积物的供给等参数。该地区二叠纪的沉积环境具有多物源、近物源、堆积快、变化大、水动力强和沉积水体深度变化大等特点,这些沉积环境特征对该区粗粒碎屑岩成岩作用产生的影响主要表现在:

(1) 机械压实作用对原生孔隙破坏程度大。镜下观察和统计表明,受压实作用损失的原生孔隙基本在20%左右,部分样品可达30%以上,经受强烈压实作用后砂砾岩的剩余原生孔隙度一般只有10%左

右,所以研究区二叠系砂砾岩储层普遍为低孔、低渗。该区二叠系储集砂砾岩大多为近源砂体,具近物源、多物源、分选差、堆积快、变化快等特点,发育的沉积相主要为冲积扇、扇三角洲、辫状河等相,这些近源砂体(特别是冲积扇、辫状河河道等岸上沉积砂体)易受地表淡水影响,一般缺乏早期碳酸盐胶结物,抗压实能力较弱。玄武岩、安山岩、凝灰岩及火山碎屑岩是研究区二叠纪的主要沉积物源,因此二叠系砂砾岩中含有丰富的火山岩岩屑,特别是凝灰岩和火山碎屑岩岩屑的抗压实能力较弱,当埋藏深度超过4 000 m时,这类火山岩岩屑将发生半塑性变形,使剩余粒间孔隙丧失殆尽。

(2) 胶结作用发育差异大、类型多、持续时间长。西北缘二叠系风城组等地层中发育有多层白云岩和白云岩化泥岩,说明西北缘的二叠系湖盆具有微咸水或半咸水的性质,由于咸水(盐湖)盆地早期水介质具有碱性特点,所以该地区的扇三角洲等水下沉积砂体中容易发育早期碳酸盐胶结物(甚至硫酸盐胶结物)。由于研究区碎屑岩中含有丰富的火山岩岩屑,这类岩屑在碱性水介质条件下极易自生方沸石、片沸石和浊沸石等沸石类胶结物。此外,碎屑颗粒中长石和石英胶结(增生)也较常见。在成岩晚期(晚成岩阶段B期),随着砂砾岩中孔隙水地球化学环境的变化(pH值增大、CO₂分压的降低),含铁方解石、白云石等晚期碳酸盐胶结物将大量充填砂砾岩的残余粒间孔隙中。

(3) 沸石类和碳酸盐类矿物的溶解可在砂砾岩储层中形成大量次生孔隙,可显著地改善其(特别是深部储层)的储集条件。克百地区二叠系砂砾岩储层的次生孔隙形成主要是在早成岩阶段B期和晚成岩阶段A期,在该时期由于玛湖凹陷的二叠系湖相泥岩中含丰富的有机质,在其热演化过程中,有机质可以通过脱羧基作用生成一元、二元有机酸,并释放出CO₂和氮等组分,这些物质可以溶入泥岩成岩演化过程中释放出的压实水和层间水中,并运移到砂砾岩的孔隙系统中,造成孔隙水的地球化学环境从弱碱性变为弱酸性,这时成岩早期形成的碳酸盐胶结物和沸石类矿物等易溶组分在酸性环境下就会发生强烈的溶蚀,形成次生孔隙发育带。研究区二叠系次生孔隙发育带砂砾岩的孔隙度基本都可达到10%以上,其中次生孔隙所占比例可达40%~60%。

4.2 成岩序列和成岩模式

通过以上对成岩作用的分析,在明确了克百地区二叠系的主要成岩作用特征与形成条件的基础上,结合显微镜和扫描电镜对研究区砂砾岩的自生矿物形成特征和相互关系的观察与研究,建立了研究区二叠系各成岩相砂砾岩的成岩序列和成岩模式(图5和图6为高成熟中胶结中溶蚀相的成岩序列和成岩模式,其它各成岩相的图略)。不同的成岩相,其成岩序列、成岩环境、成岩模式都不同,主要表现在早期不同含量的黏土杂基沉淀(高成熟的成岩相为少量黏土杂基)、早期不同含量的方解石胶结、早期不同含量的沸石类胶结、酸性流体侵入后碳酸盐和沸石类胶结物(特别是沸石类胶结物)的不同程度的溶蚀、晚期自生矿物的沉淀、碳酸盐类胶结物的胶结、交代等方面。由于篇幅所限,以下仅高成熟中胶结中溶蚀相成岩序列及成岩模式进行表述:

(1) 高成熟中胶结中溶蚀相成岩序列:少量黏土杂基沉淀→早期方解石胶结→机械压实→少量硅质胶结→大量沸石类胶结→酸性流体侵入→部分沸石类矿物溶蚀→自生黏土矿物沉淀→晚期方解石胶结交代(图5)。该成岩相的沉积环境介于高成熟强溶蚀相和高成熟强胶结相之间,因此其沉积时的水动力条件介于扇三角洲前缘水下分流河道与水下分流河道之间,该环境沉积的砂砾岩的结构成熟度稍高,黏土杂基含量略低。早成岩期水介质主要呈弱碱性至中性,因此早期方解石胶结物相对比较发育,早期方解石胶结物有效地抵御了机械压实作用对原生孔隙的破坏,同时也为方沸石和片沸石等沸石类自生矿物的形成提供了空间,因此在晚成岩阶段A期溶蚀作用也相对较发育,虽然在晚成岩B期有少量含铁方解石和白云石等胶结物充填,但其孔隙度仍可保持在10%左右(图5)。

(2) 高成熟中胶结中溶蚀相砂砾岩由于早期方解石胶结物较发育,储层物性受压实作用损失的孔隙度并不是很大,一般为22%~28%,早期碳酸盐胶结物含量通常大于5%(图6),由于大量粒间孔隙得以保存,为沸石类自生矿物的发育创造了条件,并对后期溶蚀作用的发育创造了条件,因此该类砂砾岩在油气成熟阶段平均孔隙度可达15%左右,可能成为油气运移的通道和聚集的主要场所,在成岩晚期虽有含铁方解石和白云石的充填,但剩余原生孔隙和溶蚀孔隙的总和常在10%以上,因此该成岩相砂砾岩储层的孔隙度常常可达到10%以上(图6)。

的产能。因此,在对油气勘探目标区储层进行评价和预测中,影响储层物性的主控因素是最重要的分析因素。

前已述及,研究区的储层主要是砂砾岩储层,其储集性能既与沉积相类型有关,也与成岩作用存在密切的关系。本文在对砂砾岩储层成岩相的划分和研究中已经考虑了沉积环境(水动力条件)对储层成岩作用及物性特征的影响,因此运用成岩相可以有效地对该区不同层位砂砾岩储层特征进行分析和预测。限于篇幅本文仅对研究区二叠系夏子街组(第二岩性段)的砂砾岩储层成岩相分布特征及优良储层分布进行分析和预测。

克百地区二叠系夏子街组砂砾岩储层各段的物性明显好于风城组,但总体上低孔、低渗类储层仍占有绝大多数,优良储层所占比例不到 10%(表 1)。砂砾岩储层物性随着埋藏深度的增加而明显减少,当埋藏深度大于 3 500 m 时,由于压实作用增强,碎屑颗粒出现线接触和凸凹接触,粒间孔隙急剧减少,造成孔隙度明显下降,但在不同井区,由于其成岩相带,储层的储集性能也存在显著差异。如研究区夏子街组二段,其中砂砾岩储层物性最好的成岩相是高成熟强溶蚀相,主要发育于百口泉井区。高成熟弱压实相的储层物性比高成熟强溶蚀相的稍差,主要发育于白 22 井区和百口泉井区。而物性较好的成岩相是高成

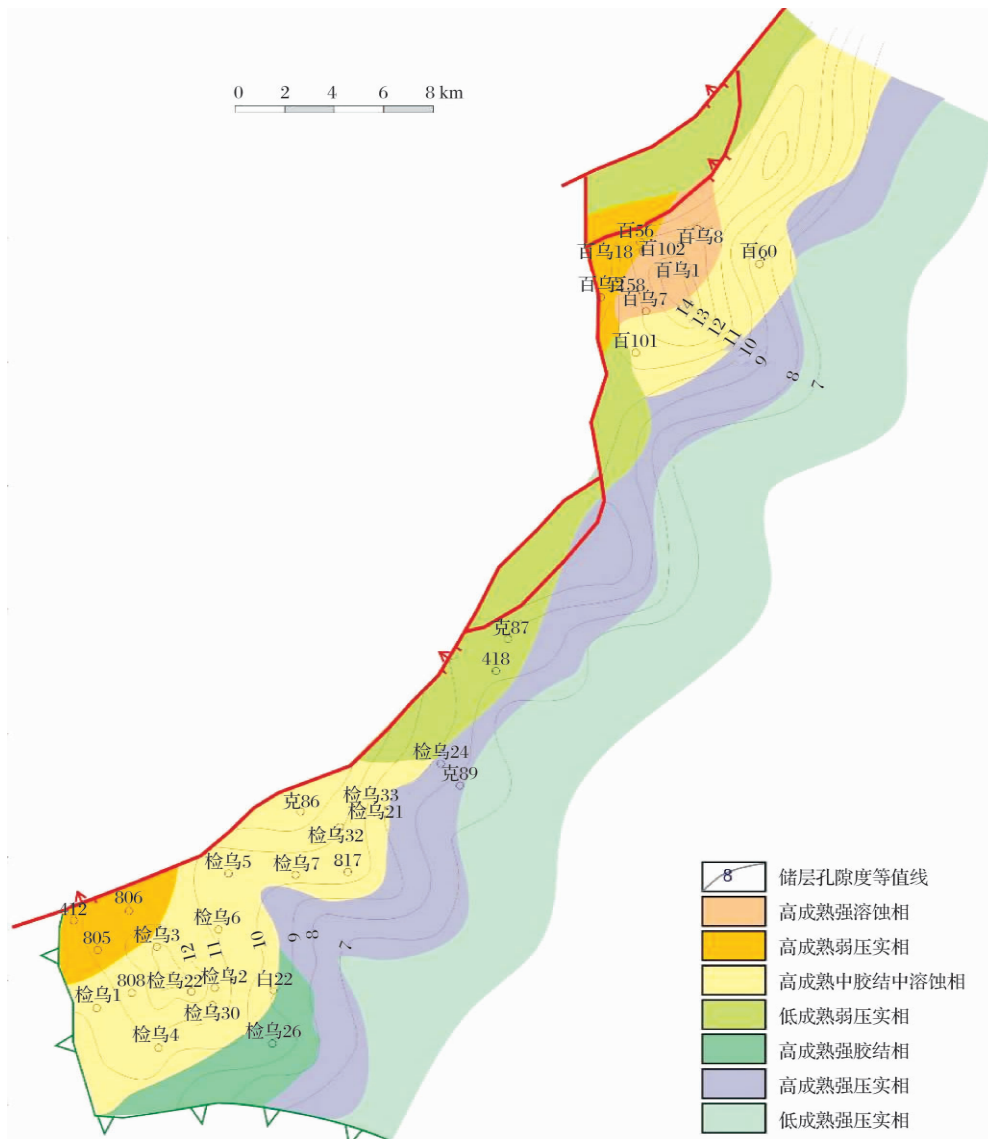


图 7 研究区二叠系夏子街组二段成岩相图

Fig. 7 The diagenetic facies of the second member in Xiazijie Formation of Permian in the study area

表1 克百地区二叠系夏子街组砂砾岩储层物性分区统计

Table 1 The reservoirs properties of Xiazijie Formation sandy conglomerates in the study area

层位	物性	白22井区	克89井区	百口泉区	
夏子街组 (P ₂ x)	样品数/个	893	44	475	
	孔隙度	最小值	12.89	13.31	21.44
		平均值	3.57	3.40	3.00
		最大值	7.87	7.90	10.57
	渗透率	最小值	109.80	2050.85	896.62
	/10 ⁻³ μm ²	平均值	<0.01	0.06	<0.01
		最大值	2.38	82.91	24.36

熟中胶结中溶蚀成岩相,在白22井区和百口泉井区的发育范围都较大。结合夏子街组二段储层的埋藏深度,该段中最有利的储层发育区位于百口泉井区百乌7井、百乌1井、百乌8井一带;有利储层发育于白22井区805井、806井一带及百口泉井区高成熟强溶蚀成岩相分布区的西北面百56井、百乌18井一带;而较有利的储层发育位于上述两种成岩相分布区的外围,如白22井区检乌4井、白22井、检乌7井、检乌33井一线之西北地区,百口泉井区高成熟强溶蚀成岩相分布区的东南面一带(图7)。

6 结论

(1) 研究区二叠系砂砾岩的储集性能既与沉积环境存在密切的关系,也明显受成岩作用所影响。研究表明,影响该区二叠系砂砾岩储集性能的成岩作用类型主要是压实作用、胶结作用和溶蚀作用。

(2) 在对研究区二叠系砂砾岩储层的成岩相研究和分析中,在充分研究了影响砂砾岩储层物性的沉积和成岩主控因素后,将其划分为7个成岩相:①高成熟强溶蚀相;②高成熟强胶结相;③高成熟中胶结中溶蚀相;④高成熟弱压实相;⑤高成熟强压实相;⑥低成熟弱压实相;⑦低成熟强压实相。

(3) 研究区二叠系砂砾岩7种成岩相具有不同的形成条件、成岩特征、成岩环境、成岩序列和成岩模式。运用成岩相可以有效地对该区不同层位砂砾岩储层特征进行分析和预测。

参考文献(References)

- 雷振宇,鲁兵,蔚远江,等.准噶尔盆地西北缘构造演化与扇体形成和分布[J].石油与天然气地质,2005,26(1):86-91 [Lei Zhenyu, Lu Bing, Wei Yuanjiang, et al. Tectonic evolution and development and distribution of fans on northwestern edge of Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 86-91]
- 王惠民,吴华,靳涛,等.准噶尔盆地西北缘油气富集规律[J].

- 新疆地质,2005,23(3):278-282 [Wang Huimin, Wu Hua, Jin Tao, et al. Rule of hydrocarbon accumulation in the northwest edge of Junggar Basin [J]. Xinjiang Geology, 2005, 23(3): 278-282]
- 陶国亮,胡文瑄,张义杰,等.准噶尔盆地西北缘北西向横断裂与油气成藏[J].石油学报,2006,27(4):23-28 [Tao Guoliang, Hu Wenxuan, Zhang Yijie, et al. NW-trending transverse faults and hydrocarbon accumulation in the northwestern margin of Junggar Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(4): 23-28]
- 张顺存,陈丽华,周新艳,等.克百断裂下盘二叠系砂砾岩的沉积模式研究[J].石油与天然气地质,2009,30(6):740-746 [Zhang Shuncun, Chen Lihua, Zhou Xinyan, et al. Sedimentary model of sandy conglomerate of Permian in the footwall of Kebai Fault [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 740-746]
- 张顺存,郭建钢,刘巍,等.克百断裂下盘二叠系砂砾岩中碳酸盐胶结物的氧、碳稳定同位素组成及形成环境分析[J].新疆地质,2009,27(4):359-363 [Zhang Shuncun, Guo Jiangan, Liu Wei, et al. Carbon and oxygen stable isotopic composition of carbonate cementation in Permian rudite of the footwall of Kebai-Fault [J]. Xinjiang Geology, 2009, 27(4): 359-363]
- 姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2003 [Jiang Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003]
- 邹才能,侯连华,匡立春,等.准噶尔盆地西缘二叠—三叠系扇控成岩储集相成因机理[J].地质科学,2007,42(3):587-601 [Zou Caineng, Hou Lianhua, Kuang Lichun, et al. Genetic mechanism of diagenesis-reservoir facies of the fan-controlled Permian-triassic in the western margin of Junggar Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(3): 587-601]
- 张福顺,朱允辉,王芙蓉.准噶尔盆地腹部深埋储层次生孔隙成因机理研究[J].沉积学报,2008,26(3):469-478 [Zhang Fushun, Zhu Yunhui, Wang Furong. Forming mechanism of secondary pores in deep burial reservoirs of Junggar Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(3): 469-478]
- 何海清,晋慧娟.准噶尔盆地陆1井砂岩成岩作用及其对储层的影响[J].沉积学报,1991,9(4):69-77 [He Haiqing, Jin Huijuan. Diagenesis of sandstone and its influence on reservoir property, Well Lu-1 of Luliang Uplift, Junggar Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9(4): 69-77]
- 黄思静,黄培培,王庆东,等.胶结作用在深埋砂岩孔隙保存中的意义[J].岩性油气藏,2007,19(3):7-13 [Huang Sijing, Huang Peipei, Wang Qingdong, et al. The significance of cementation in porosity preservation in deep-buried sandstones [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3): 7-13]
- 薛莲花,史基安,晋慧娟.辽河盆地沙河街组砂岩中碳酸盐胶结作用对孔隙演化控制机理研究[J].沉积学报,1996,14(2):102-109 [Xue Lianhua, Shi Ji'an, Jin Huijuan. Study of controlling mechanism of carbonate cementation on porosity evolution in Lower Tertiary sandstones of the Liaohe Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(2): 102-109]
- 罗静兰,张晓莉,张云翔,等.成岩作用对河流—三角洲相砂岩储层物性演化的影响——以延长油区上三叠统延长组2砂岩为例[J].沉积学报,2001,19(4):541-547 [Luo Jinglan, Zhang

- Xiaoli, Zhang Yunxiang, *et al.* The diagenetic impact on reservoir-quality evolution of fluvial-deltaic sandstone: Taking an example from the Upper Triassic sandstones of Chang 2 Formation in the Yanchang oil field [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(4): 541-547]
- 13 苟迎春, 李建齐, 郑红军, 等. 鄂尔多斯盆地富县探区长6油层组成岩作用及其对物性的影响 [J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(3): 360-364 [Gou Yingchun, Li Jianqi, Zheng Hongjun, *et al.* Diagenesis of the Chang 6 Member, Upper Triassic, Fuxian Area of Ordos Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(3): 360-364].
- 14 邹才能, 陶士振, 周慧, 等. 成岩相的形成、分类与定量评价方法 [J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(5): 526-540 [Zou Caineng, Tao Shizhen, Zhou Hu, *et al.* Genesis, classification and evaluation method of diagenetic facies [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(5): 526-540]
- 15 张敏, 王正允, 王丽云, 等. 靖边潜台南部地区马家沟组储集岩的成岩作用及成岩相 [J]. *岩性油气藏*, 2009, 20(1): 27-33 [Zhang Min, Wang Zhengyun, Wang Liyun, *et al.* Diagenesis and diagenetic facies of reservoir rocks of Majiagou Formation in southern Jingbian tableland, Ordos Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2009, 20(1): 27-33]

Characteristics of Diagenesis and Diagenetic Facies of Permian Clastic Reservoir in Northwest Margin of Junggar Basin

HE Zhou¹ SHI Ji-an² TANG Yong³ DING Chao¹ ZHANG Shun-cun²

(1. Fengcheng Field Operation District, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000;

2. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

3. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000)

Abstract The Permian sandy conglomerates in Kebai area is one of the most important petroleum reservoir rocks in Junggar Basin. According to the result of the polarized microscope analysis of the diagenesis, authigenic mineral assemblage, pore characteristics of the clastic reservoir, and the study of scanning electron microscope (SEM), test of porosity and permeability, mud logging and well logging data, the type of rock and the diagenesis of Permian sandy conglomerates in the study area is studied. It suggests that the factors of influencing reservoir property in the study area are compaction, cementation and dissolution. In terms of the research on stage and characteristics of diagenesis, the Permian sandy conglomerate reservoirs in the study area are divided into seven diagenetic facies: 1) high mature-strong dissolution facies, 2) high mature-strong cementation facies, 3) high mature-middle cementation-middle dissolution facies, 4) high mature-weak compression facies, 5) high mature-strong compression facies, 6) low mature-weak compression facies, 7) low mature-strong compression facies. Then, the conditions of diagenesis facies, the feature of diagenesis, the environment of diagenesis, model of diagenesis and evolutionary sequence of diagenesis are concluded and summarized. Furthermore, the reservoir properties of sandy conglomerate of different diagenesis facies is summarized. The main lithofacies belt and sedimentary facies zone of high quality reservoir development zones is predicted and described.

Key words the northwest edge of Junggar Basin; Permian clastic; diagenesis; diagenetic facies; reservoir properties