

吐鲁番拗陷中上侏罗统储集层成岩作用研究

刘林玉

(西北大学地质系, 西安 710069)

笔者根据铸体薄片、扫描电镜、X-衍射和物性资料,研究了吐鲁番拗陷中上侏罗统储集层主要的成岩作用特征,认为压实作用和胶结作用是导致储集层孔隙结构变差的主要因素,溶解作用是改善储集层孔隙结构的主要因素。中侏罗统三间房—西山窑组碎屑岩在溶解作用改造下具有较高的孔隙度和渗透度,成为吐鲁番拗陷重要的油气储集层。

关键词 吐鲁番拗陷 储集层 成岩作用 物理性质

第一作者简介 刘林玉 男 30岁 讲师 储层地质学、沉积学

吐鲁番-哈密盆地是新疆维吾尔自治区3大含油气盆地之一,面积约为48000km²。吐鲁番拗陷位于吐鲁番-哈密盆地的西部,西起喀拉乌成山,北临博格达山,南接觉罗塔克山,东以了墩隆起与哈密拗陷相隔(图1)。吐鲁番拗陷中上侏罗统地层自下而上分为中侏罗统西山窑组、三间房组、七克台组和上侏罗统齐古组、喀拉扎组。西山窑组是一套富煤的河流沉积,主要为灰色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩与灰色、灰白色砂岩和煤层,厚度一般为550~950m,是在潮湿气候条件下沉积形成的。三间房—七克台组为暗紫色、灰绿色、灰色泥岩、泥质粉砂岩夹砂岩和砂砾岩,厚度约为5410~930m,属于滨浅湖和三角洲相沉积,是在干燥气候条件下沉积形成的。齐古组为棕色泥岩、粉砂质泥岩夹薄层砂岩和砂砾岩,厚度约为830~1350m,是在干燥气候条件下滨浅湖相沉积形成的。喀拉扎组为浅棕红色、杂色砂砾岩和砾岩,厚度约为45~70m,是在干燥气候条件下冲积扇沉积形成的。中上侏罗统河流、三角洲、冲积扇和滨

浅湖沉积形成的碎屑岩体构成了吐鲁番拗陷主要的油气储集层。碎屑岩储集层在埋藏成岩过程中发生了一系列成岩变化和作用。

1 储集层主要的成岩作用

吐鲁番拗陷中上侏罗统储集层的主要成岩作用为机械压实作用、水化水解作用与自生粘土矿物的成岩转化、碳酸盐胶结作用和溶解作用。

1.1 机械压实作用

吐鲁番拗陷中上侏罗统碎屑岩的岩石类型主要为岩屑砂岩和长石岩屑砂岩(表1),碎屑组分中岩屑的平均相对含量超过40%,最高可达96%,其中以中酸性喷出岩和凝灰岩岩屑为主,泥岩岩屑次之,这些软性岩屑在埋藏成岩过程中非常容易变形,导致碎屑颗粒彼此之间多呈线状接触,同时部分柔性岩屑发生“假杂基”化。强烈的机械压实作用使碎屑之间紧密接触,并发生定向—半定向排列。在中上侏

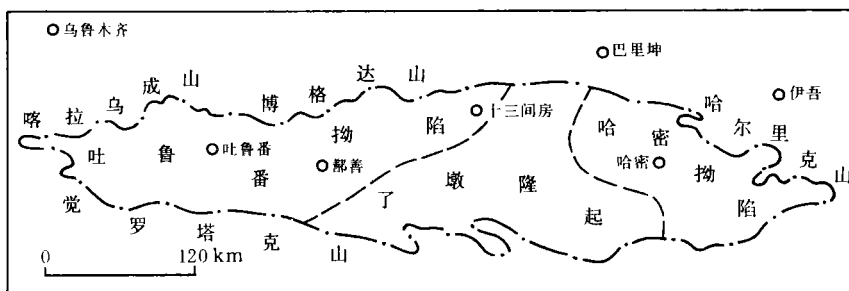


图1 吐鲁番-哈密盆地构造简图

表 1 吐鲁番拗陷中上侏罗统碎屑岩的岩性特征(据 275 个样品统计)

层位	岩石类型	碎屑相对含量(%)			填隙物含量(%)	碎屑接触关系	分选性	磨圆度	胶结类型
		石英	长石	岩屑					
齐古组	岩屑砂岩为主	6.18	13.89	79.93	19.68	线状及点-线状	中	次棱角状	孔隙式与镶嵌式
七克台组	岩屑砂岩为主	4.4	4.44	91.16	10.8	线状	中	次棱角状	镶嵌式与孔隙式
三间房组	长石岩屑砂岩为主	30.64	17.77	41.59	4.75	线状	好	次棱角-次圆状	镶嵌式与孔隙式
西山窑组	长石岩屑砂岩为主	27.1	21.7	51.2	9.37	线状	中-好	次棱角状	镶嵌式与孔隙式

罗统地层中,齐古-七克台组碎屑岩中凝灰岩、喷出岩和泥岩等柔性岩屑的平均相对含量最高,超过 75%,因而在机械压实作用中表现出来的碎屑变形现象最为强烈,岩屑“假杂基”化现象非常普遍。三间房-西山窑组碎屑岩中柔性岩屑的平均相对含量较低,平均低于 50%;石英与长石等刚性碎屑的平均相对含量较高,平均高于 50%,因而机械压实作用相对较弱一些。强烈的机械压实作用使碎屑岩的原生粒间孔隙大量减少,特别是齐古-七克台组碎屑岩中原生粒间孔隙的损失尤为显著。

1.2 水化水解作用与自生粘土矿物的成岩转化

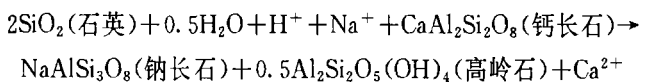
岩石学特征表明,本区中上侏罗统碎屑岩富含火山岩岩屑,属于典型的贫石英砂岩。碎屑沉积物在浅埋藏成岩阶段发生了强烈的水化水解作用,其主要表现为火山岩岩屑发生强烈的蒙脱石化和少量绿泥石化及沸石化。水化水解作用的结果导致镜下观察碎屑岩时,火山岩岩屑表面模糊,颗粒界线不清,火山岩岩屑与泥岩岩屑很难截然分开。成岩早期火山岩岩屑的水化水解作用使 K⁺、Na⁺ 等离子进入孔隙水后,导致孔隙水介质的 pH 值大于 7。在碱性介质条件下,斜长石碎屑发生钠长石化。在高 pH 值和低温低压条件下形成的蒙脱石、绿泥石、沸石和钠长石矿物成为纯碱性孔隙水介质条件下成岩早期的水化水解矿物组合。这一矿物组合主要分布于本区上侏罗统储集层中。根据砂岩薄片观察的扫描电镜分析,齐古组砂岩中富含自生蒙脱石和绿泥石粘土矿物、方沸石胶结物和少量钠长石。蒙脱石和绿泥石在砂岩中分布很普遍,呈薄膜状围绕碎屑形成粘土包壳。方沸石和钠长石在局部层段砂岩中分布,呈孔隙充填式胶结,其中方沸石含量较高,一般为 1%~10%。

随着埋藏深度的增加,地层的温度和压力逐渐升高,成岩早期水化水解作用形成的粘土矿物逐渐发生成岩转变,形成新的粘土矿物。蒙脱石粘土矿物在成岩过程中逐渐转变为伊/蒙混层,最后形成伊利石。伊/蒙混层和伊利石粘土矿物主要分布于本区中侏罗统碎屑岩中,其中七克台组碎屑岩中粘土矿物以伊/蒙混层为主,混层中蒙脱石的含量多数高于 40%;三间房-西山窑组碎屑岩中粘土矿物以伊利石为主,伊/蒙混层中蒙脱石的含量多数低于 40%。蒙脱石粘土矿物的成岩转变反映了碎屑岩成岩强度的加深。

1.3 碳酸盐胶结作用

本区中上侏罗统碎屑岩中碳酸盐胶结物分布非常普遍,且含量较高,但分布很不均匀。在同一地区不同层段或同一层段不同地区的碎屑岩中,碳酸盐的含量变化很大。碳酸盐胶结物是储集层重要的填隙物组分之一,主要为方解石,次为少量铁方解石。

方解石是在成岩早期的碱性介质条件下化学沉淀形成的,一般发生在斜长石的钠长石化之后,斜长石的钠长石化产生的 Ca²⁺ 为方解石的化学沉淀提供了部分来源:



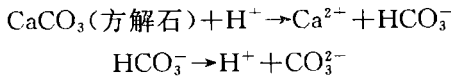
碳酸盐胶结物的充填作用堵塞了原生孔隙,使储集层的孔隙度和渗透率进一步降低。但是另一方面,碳酸盐矿物在酸性介质条件下极易溶解,从而为储集层形成溶蚀型次生孔隙提供了物质基础。

1.4 溶解作用

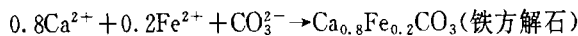
溶解作用是本区储集层中非常重要的一种成岩作用,主要发生于三间房-西山窑组长石岩屑砂岩中。溶解作用使砂岩储集层形成了较为发育的溶蚀

型次生孔隙,从而有效地改善了储集层的孔隙结构。

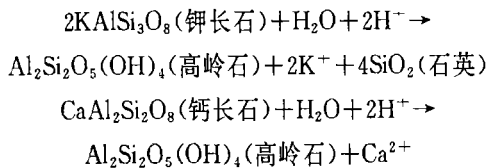
勘探资料显示,西山窑组地层中富含暗色泥岩和煤层。在深埋藏成岩过程中,西山窑组暗色泥岩和煤层的有机质逐渐发生成岩分解,在成熟期产生大量的有机酸和 CO₂。这些物质进入三间房—西山窑组砂岩后,导致储集层孔隙介质的 pH 值降低,孔隙溶液呈酸性。在酸性介质条件下,碎屑岩中的不稳定组分很容易发生溶解。在成岩早期碱性介质条件下形成的方解石胶结物在酸性介质中发生溶解:



方解石溶解产生的 CO₃²⁻ 很容易与孔隙溶液中的 Ca²⁺、Fe²⁺ 结合形成晚期的铁方解石胶结物:



长石碎屑在酸性介质条件下亦发生溶解:



长石溶解后形成自生高岭石-石英矿物组合充填孔隙。根据取心砂岩的扫描电镜观察发现,三间房-西山窑组长石岩屑砂岩中广泛分布有大量自生高岭石,呈假六方板状集合体充填孔隙,这说明三间房-

西山窑组储集层在成岩过程中发生了较强烈的溶解作用。

除上述成岩作用之外,中上侏罗统储集层在成岩过程中还发生了破裂作用。本区储集层的破裂作用强度较弱,仅在三间房-西山窑组部分层段的储集层中形成了少量裂缝。

2 储集层成岩阶段划分

本区中上侏罗统的碎屑沉积物在埋藏成岩过程中经历了不同的成岩阶段。碎屑岩的成岩阶段是在一定的埋藏深度下,地层的温度、压力和孔隙流体的性质等多种因素共同作用的结果。在不同的成岩阶段,碎屑岩储集层具有不同的自生矿物组合和孔隙发育特征。目前国内外不同学者提出了不同的碎屑岩成岩阶段的划分方案(图 2)。在本文中我们采用了 1989 年南充成岩作用研讨会上通过的碎屑岩的成岩阶段划分方案,以便于不同学者在研究碎屑岩的成岩作用阶段时进行对比。

根据包体测温、扫描电镜观察、有机质镜煤反射率、砂岩中粘土矿物的 X-衍射分析(表 2)和铸体薄片观察资料研究发现,吐鲁番拗陷中上侏罗统储集层处于早成岩 A 期—晚成岩 A 期:

成岩阶段	古地温 (°C)	有机质		泥质岩		机械压实作用	压溶作用	砂岩中自生矿物							溶蚀作用			接触类型	孔隙类型	孔隙损失	次生孔隙形成	
		R ^o (%)	孢粉颜色	混层类型	S/I 中 S 层 (%)			蒙皂石	伊蒙混层	高岭石	伊利石	绿泥石	石英增生	方解石胶结	白云石胶结	浊沸石	长石					碳酸盐
早成岩期	A	>70	淡黄	蒙皂石带	<70														点状为主	I 类为主		
	B	90	淡黄	无序混层带	50																	
晚成岩期	A	130	棕褐	有序混层带	20														点、线状	I~II 类		
	B	170	暗褐	伊利石绿泥带	<20														线状为主	I~III 类		
	C	>170	黑	伊利石绿泥带	0														线、缝合状	III~IV		

图 2 碎屑岩的成岩阶段划分方案及主要标志(据史基安等,1995)

表 2 吐鲁番拗陷中上侏罗统砂岩中粘土矿物的 X-衍射分析

层位	样品数 (个)	高岭石 (%)	绿泥石 (%)	伊利石 (%)	伊/蒙混层 (%)	伊/蒙混层中蒙脱 石的百分含量(%)
齐古组	2	9.0	6.5	14.0	70.5	93.0
七克台组	48	15.1	19.0	28.6	37.4	60.6
三间房组	66	39.1	30.7	18.1	12.2	45.7
西山窑组	8	48.0	17.3	21.3	12.7	24.9

(1)上侏罗统喀拉扎—齐古组储集层处于早成岩 A 期。碎屑岩主要的成岩作用为机械压实作用和火山岩岩屑的水化水解作用,水化水解的产物以蒙脱石为主。蒙脱石粘土矿物呈蜂窝状垂直于碎屑表面生长。这一时期在碎屑岩中开始大量析出方解石胶结物。根据包体测温资料,在石英次生加大边和碳酸盐胶结物中测得包裹体形成时的古地温为 30~75℃。孢粉颜色为淡黄—黄色。碎屑岩储集层在压实作用改造下逐渐转变为致密型岩石。

(2)中侏罗统七克台组储集层处于早成岩 B 期。碎屑岩主要的成岩作用为强烈的机械压实作用,蒙脱石粘土矿物向伊/蒙混层粘土矿物的成岩转化和方解石的胶结作用。扫描电镜和 X-衍射资料显示七克台组碎屑岩中自生粘土矿物以伊/蒙混层为特征,伊/蒙混层中蒙脱石的百分含量为 50%~71%,平均为 60.6%。有机质的镜煤反射率为 0.48%~0.55%。孢粉颜色为淡黄—棕黄色。在碎屑岩的石英次生加大边中测得的包裹体形成时的古地温为 72℃。这一时期碎屑岩在机械压实作用和胶结作用改造下,储集层的原生孔隙大量减少。

(3)中侏罗统三间房—西山窑组处于晚成岩 A 期。碎屑岩主要的成岩作用为溶解作用。地层中有机质的镜煤反射率为 0.6%~0.8%。X-衍射资料显示,储集层中自生粘土矿物以高岭石为主体,伊/蒙混层粘土矿物中蒙脱石的百分含量为 5%~60%,一般为 25%~45%。在碎屑岩的石英次生加大边和方解石胶结物中测得的气体(CO₂+H₂S+CH₄+SO₂)和液体(水溶液)两相包裹体形成时的古地温为 92~108℃,在石英和长石碎屑微裂缝中测得包裹体形成时的古地温为 99~119℃。在这一时期有机质分解产生的酸性介质导致长石岩屑砂岩中方解石胶结物和长石碎屑等不稳定组分发生溶解。砂岩的溶解作用导致储集层产生较发育的溶蚀型次生孔隙。同时砂岩在构造应力作用下发生破裂作用产生

了少量的裂缝型次生孔隙。

在中上侏罗统碎屑岩的成岩演化过程中,在不同成岩阶段析出了不同的自生矿物。依据自生矿物的形成条件和相互关系,我们得出了储集层中主要自生矿物形成的先后顺序:

火山岩岩屑的水化水解作用→蒙脱石化→伊/蒙混层与绿泥石薄膜形成→斜长石钠长石化→方解石析出→伊利石形成→高岭石与石英析出→含铁方解石形成。

3 成岩作用对储集层的改造

中上侏罗统碎屑岩在沉积时形成的原生孔隙结构,经过沉积期后的成岩作用改造后形成了由多种类型的孔隙组成的孔隙组合系统,包括残余粒间孔隙、溶蚀粒间孔隙、溶蚀粒内孔隙、填隙物内孔隙和裂缝孔隙。残余粒间孔隙是成岩过程中原生粒间孔隙被自生矿物部分充填后形成的粒间孔隙。溶蚀粒间孔隙是成岩过程中部分长石碎屑和碳酸盐胶结物等组分发生溶解作用后形成的粒间孔隙。溶蚀粒内孔隙主要是长石碎屑沿解理缝溶蚀扩大形成的溶蚀孔隙。填隙物内孔隙包括粘土杂基内微孔隙和成岩过程中形成的自生矿物晶间微孔隙。裂缝是指成岩过程中岩石在构造应力作用下发生破裂作用形成的孔隙。

在碎屑岩成岩过程中,不同的成岩变化对储集层孔隙结构的影响不同。导致本区中上侏罗统储集层原生孔隙减少的成岩作用主要为机械压实作用和胶结作用,导致储集层次生孔隙增加的成岩作用主要为溶解作用。处于不同成岩阶段的碎屑岩在不同成岩作用的改造下形成了不同的孔隙组合关系,这导致不同层段的储集层具有不同的物性特征(表 3):

(1)齐古组储集层在机械压实作用和胶结作用

表 3 吐鲁番拗陷中上侏罗统储集层的物理性质

层位	主要孔隙类型	孔隙组合关系	铸体薄片 面孔率(%)	孔隙度 (%)	渗透率 (%)	排驱压力 (MPa)
齐古组	残余粒间孔隙,杂基内微孔隙,自 生蒙脱石晶间微孔隙	致密型为主,残余孔 隙型次之	0~5	4.8~18.6	0.1~6.3	0.5~1.45
七克台组	杂基内微孔隙为主,少量残余粒间 孔隙	致密型	0~2	5.0~9.5	<0.1~0.44	0.3~3.1
三间房组	溶蚀粒间孔隙,溶蚀粒内孔隙,自 生高岭石晶间孔隙,少量残余粒间 孔隙和裂缝	次生孔隙型为主	1~15	4.5~24.4	0.1~1145	0.02~0.21

改造下,原生粒间孔隙大量减少,其中一部分转变为残余粒间孔隙。储集层主要的孔隙类型为残余粒间孔隙和填隙物内微孔隙。局部层段碎屑岩的机械压实作用相对较弱,保留了较发育的残余粒间孔隙,孔隙连通性较好,铸体薄片面孔率一般为 1%~5%,碎屑岩具有较高的孔隙度和渗透率,孔隙度最高为 18.6%,渗透率最高为 $6.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,此类碎屑岩在齐古组地层中很少见。多数碎屑岩的有效孔隙不发育,以填隙物内微孔隙为主,铸体薄片面孔率一般低于 2%,碎屑岩的物理性质和油气储集性很差,孔隙度一般低于 10%,渗透率一般低于 $2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为致密型储集层。

(2)七克台组储集层经历了强烈的机械压实作用和自生矿物的胶结作用,原生粒间孔隙基本消失殆尽,仅在局部砂岩中偶见少量孤立分布的残余粒间孔隙。储集层的孔隙类型以填隙物内微孔隙为主。铸体薄片面孔率一般低于 2%,碎屑岩的孔隙度和渗透率很低,孔隙度一般低于 9%,渗透率低于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,因此碎屑岩的油气储集性很差。

(3)三间房—西山窑组碎屑岩经历了较强烈的溶解作用,储集层形成了较发育的溶蚀粒间孔隙和溶蚀粒内孔隙。溶蚀型次生孔隙在储集层中分布比较均匀,且连通性较好,构成了油气富集的主要孔隙空间。溶解作用有效地改善了三间房—西山窑组储集层的孔隙结构。同时破裂作用产生的少量裂缝也在一定程度上改善了储集层的渗透性。砂岩铸体薄片面孔率一般为 1%~15%,孔隙度最高可达

24.4%,渗透率最高可达 $1145 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此三间房—西山窑组碎屑岩具有较好的物理性质,是吐鲁番拗陷中上侏罗统最主要的油气储集层。

4 结 论

吐鲁番拗陷中侏罗统七克台组和上侏罗统碎屑岩处于早成岩阶段,成岩变化以强烈的机械压实作用和胶结作用为特征,有效孔隙不发育,形成物性很差的致密型储集层。中侏罗统三间房—西山窑组碎屑岩处于晚成岩 A 期,成岩变化以砂岩的溶解作用为特征,溶蚀型次生孔隙较为发育,形成物性较好的次生孔隙型储集层。

参 考 文 献

- 1 西北大学地质系编译. 碎屑岩的成岩作用. 西安:西北大学出版社,1986
- 2 邸世祥等. 中国碎屑岩储集层的孔隙结构. 西安:西北大学出版社,1991
- 3 刘林玉. 济源凹陷中新生界砂岩物性特征. 西北大学学报(自然科学版),1995,25(6):67~75
- 4 史基安等. 长石砂岩中长石溶解作用发育机理及其影响因素分析. 沉积学报,1994,(3):67~75

(收稿日期:1996年5月22日)

STUDY ON DIAGENESIS OF THE MIDDLE AND UPPER JURASSIC RESERVOIR IN TURPAN DEPRESSION

Liu Linyu

(Department of Geology, Northwest University)

Abstract

The main diagenesis of the middle and upper Jurassic reservoirs in Turpan Depression is studied by means of the casting thin sections, scanning electron microscope, X-ray diffraction and physical properties. Compaction and cementation are the major factors turning the pore texture of reservoir worse; while dissolution is the major factor making the pore texture of reservoir better. Dissolution transformed the physical properties of reservoirs. Modified by dissolution, the clastic rock of Sanjianfang-Xishanyao Formation in the middle Jurassic became the most important reservoir of oil and gas with its high porosity and permeability in Turpan Depression.

三十届国际地质大会论文集油气分册出版

《第三十届国际地质大会论文集:化石燃料地质——石油与天然气》一书,已由荷兰 VSP 出版社出版发行。该书由中国新星石油公司石油地质中心实验室孙肇才教授、叶德燎、宋国俊高级工程师及中国新星石油公司石油地质研究所王庭斌教授编辑。

该书汇集了来自世界各地的 28 位石油地质学家在三十届国际地质大会上宣读的论文,内容包括:(1)非海相盆地油气生成理论及其聚集条件;(2)90 年代油气新区及勘探目标;(3)储层特征;(4)海相碳酸盐岩源岩及储层;(5)含油气盆地系统。

该书对于了解石油地质理论研究现状及进展具有重要的参考价值。

(本刊编辑部)