

吐鲁番坳陷北部七克台组的沉积与成岩作用

刘林玉 柳益群 邸世祥

(西北大学地质系, 陕西西安 710069)

吐鲁番坳陷北部七克台组发育扇三角洲沉积。扇三角洲前缘水下分流河道形成的碎屑岩体是扇三角洲沉积的主体部分, 成为主要的油气储集体。储集层碎屑岩的岩石类型为岩屑砂岩和岩屑砂砾岩, 其主要组分为凝灰岩和喷出岩岩屑。储集层在成岩过程中的主要成岩变化为机械压实作用、水化水解作用和胶结作用。碎屑岩在成岩作用改造下成为低孔低渗的致密型储集层。

关键词 吐鲁番坳陷 七克台组 扇三角洲 储集层 成岩作用 物理性质

第一作者简介 刘林玉 男 31 岁 讲师 储层地质学 沉积学

吐鲁番坳陷位于吐-哈盆地的西部, 面积约为 $28\ 600\text{ km}^2$ 。中侏罗世七克台早期, 坳陷北部的博格达山前一带发育扇三角洲沉积, 多个扇三角洲沉积体经过复合叠加后形成扇三角洲复合体。扇三角洲前缘水下分流河道碎屑岩体构成了本区七克台组主要的油气储集体, 碎屑岩储集层在成岩过程中发生了一系列成岩变化和作用。

1 扇三角洲沉积

1.1 沉积地质背景

扇三角洲是从邻近高地进入静水体的冲积扇^[1], 它的形成必须具备丰富的粗碎屑沉积物和稳定的水体沉积环境。

在吐鲁番-哈密地区, 七克台组主要为灰绿色、紫红色、灰色泥岩、砂质泥岩夹薄层砂岩和砂砾岩, 视电阻率曲线呈低阻平直状, 自然电位曲线呈基线平直状。泥岩发育水平层理, 含动植物化石。孢粉组合中以耐干旱的 *Classopollis* 占绝对优势, 常见有 *Classopollisannulatus*; 此外有少量 *Cycadopites*, *Quadraculina* 和 *Cyathidites*。这说明当时为干旱气候条件下的滨浅湖沉积环境。

据地质勘探资料分析, 吐鲁番坳陷北界为博格达山前断裂带, 其下降盘为坳陷北部沉积区, 上升盘为博格达造山带的风化剥蚀区。断裂活动造成吐鲁番坳陷北部坡度陡、高差大, 使该区具备了古湖盆扇三角洲发育的地形条件^[2, 3]。在干旱气候条件下, 母岩区因发生强烈的物理风化作用而产生了较丰富的粗碎屑物质, 突发性的山区暴洪携带碎屑物质流经很短的距离便直接进入滨浅湖形成扇三角洲沉积。

1.2 沉积相分析

在吐鲁番坳陷北部博格达山前断裂带以南地区, 七克台组缺乏陆上扇三角洲平原沉积, 仅发育扇三角洲前缘亚相和前扇三角洲亚相等扇三角洲的水下沉积部分。

1.2.1 扇三角洲前缘亚相

扇三角洲前缘是扇三角洲水下沉积的主要部分, 分布于吐鲁番坳陷北部地区。它受河湖水动力的共同作用, 其中河流水动力的作用是影响粗碎屑搬运的主要因素。扇三角洲前缘可划分为水下分流河道和水下河道间两种沉积类型, 其突出特征是河口砂坝不发育, 在沉积层序上缺乏自下而上沉积颗粒由细变粗的反粒序特征。

水下分流河道沉积是扇三角洲前缘沉积的主体, 在扇三角洲沉积体中占有很大比重。单个水下分流河道沉积的厚度大小不一, 一般为 1~ 15 m, 主要为灰绿色、灰色砂砾岩和砂岩, 其中砾石直径一般为 2~ 6 mm, 最大为 23 mm。水下分流河道碎屑岩体与滨浅湖泥岩呈冲刷接触, 底部具有冲刷面, 碎屑岩体具有下粗上细的正粒序沉积特征。砂岩中含有植物碎屑, 发育交错层理。自然电位曲线呈波状或箱状, 视电阻率曲线呈高阻峰状或箱状(图 1)。

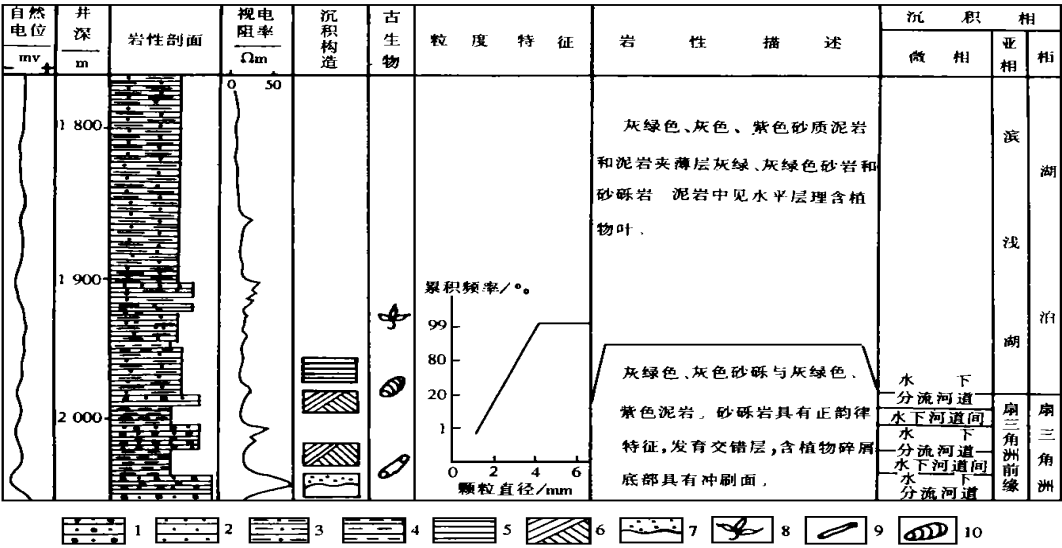


图 1 D1 井扇三角洲前缘亚相岩性岩相柱状剖面图

1—砂砾岩; 2—砂岩; 3—砂质泥岩; 4—泥岩; 5—水平层理; 6—交错层理; 7—冲刷构造;
8—植物叶; 9—植物茎; 10—轮藻

水下河道间沉积主要为灰绿色、灰色、紫色泥岩、粉砂质泥岩、砂质泥岩夹少量薄层砂岩, 自然电位曲线和视电阻率曲线呈低值直线状。

1.2.2 前扇三角洲亚相

前扇三角洲主要为灰绿色、灰色、紫色泥岩、粉砂质泥岩、砂质泥岩夹薄层灰色粉砂岩, 沉积构造为水平层理, 并含有植物化石碎片, 与滨浅湖沉积呈过渡状态, 二者很难截然分开, 因此将二者统归于滨浅湖沉积。

2 扇三角洲前缘碎屑岩体

2.1 分布

在扇三角洲的沉积过程中, 扇三角洲前缘水下分流河道的侧向迁移和纵向叠置导致吐鲁

番坳陷北部形成一套碎屑岩沉积。主要分布于七克台组的下部,是七克台组主要的油气储集岩。

七克台组厚度为 280~ 350 m,分布比较均匀,变化不大。碎屑岩主要为砂砾岩,由北向南由砂砾岩逐渐变为砂岩。根据 56 口钻井资料编制的吐鲁番坳陷七克台组碎屑岩百分比等值线图显示(图 2),碎屑岩的百分含量由北向南逐渐降低,碎屑岩层厚度逐渐减小,碎屑岩颗粒逐渐变细,其中以博格达山前一带碎屑岩百分比最高,一般超过 30%,最高超过 40%。扇三角洲前缘碎屑岩体的分布特征决定了吐鲁番坳陷七克台组油气储集层的宏观展布规模。

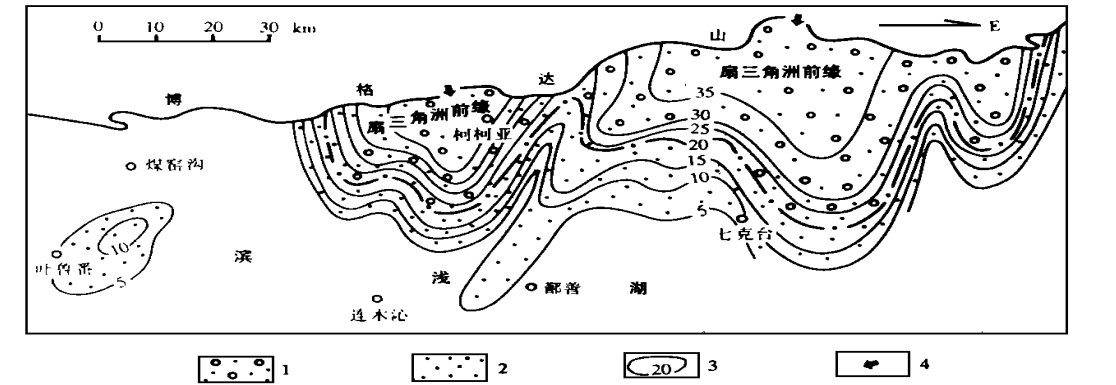


图 2 七克台组碎屑岩的分布及碎屑岩百分比等值线图
1—砂砾岩; 2—砂岩; 3—碎屑岩百分比等值线; 4—物源方向

2.2 岩石学特征

吐鲁番坳陷七克台组储集层主要岩石类型为岩屑砂岩和岩屑砂砾岩(表 1)。碎屑组分中

表 1 七克台组碎屑岩储集层的岩石学特征										
井号	井深/ m	岩石类型	碎屑相对含量/ %			碎屑接触关系	磨圆度	胶结类型	填隙物 含量/ %	
			石英	长石	岩屑					
S1 井	2 800~ 2 810	细粒岩屑砂岩	痕量~ 4	3~ 9	88~ 97	线状	次棱角	孔隙式、镶嵌式	2~ 9	
	2 840	岩屑砂砾岩	10	3	87	点一线状	次棱角	孔隙式	20	
	2 848~ 2 855	岩屑粗粉砂岩	1~ 2	3~ 7	92~ 95	不接触、点一线	次棱角	基底、镶嵌	6~ 35	
	2 858	不等粒岩屑砂岩	3	6	91	不接触	次棱角	基底式	29	
	2 878	岩屑粗粉砂岩	1	7	92	点一线	次棱角	孔隙式	10	
	2 882~ 2 894	中、细粒岩屑砂岩	6~ 12	2~ 7	78~ 92	点一线	次棱角	孔隙式	11~ 17	
	2 900	岩屑粗粉砂岩	1	2	97	点一线	次棱角	孔隙式	15	
	2 930	中粒岩屑砂岩	14	4	82	点一线	次棱角	孔隙式	15	
	2 934	岩屑砂砾岩	4	4	92	点一线	次棱角	孔隙式	13	
	2 936~ 2 957	中、细粒岩屑砂岩	1~ 4	3~ 5	93~ 94	线状、点一线	次棱角	镶嵌、孔隙式	1~ 12	
	3 020	岩屑砂砾岩	0	0	100	点一线	次棱角	镶嵌式	12~ 13	
	3 022~ 3 023	中、粗粒岩屑砂岩	1~ 2	2~ 5	93~ 97	线状	次棱角	镶嵌式	1~ 2	
L1 井	1 241~ 1 538	中、细粒岩屑砂岩	4~ 5	3~ 5	93~ 95	线状、不接触	次棱角	镶嵌、基底式	6~ 31	

石英碎屑的相对含量为 0~ 15%,平均为 4.4%;长石碎屑的相对含量为 0~ 9%,平均为 4.2%;岩屑的相对含量为 78%~ 100%,平均为 91.4%。岩屑组分主要为凝灰岩和中酸性喷出岩,平均相对含量为 77.3%;其次为泥岩和粉砂质泥岩,平均相对含量为 10.4%;此外有少量粉砂岩、石灰岩和石英岩岩屑。碎屑分选中等—差,次棱角状。填隙物含量为 1%~ 35%,平均

为 12.8%, 主要组分为泥质杂基、方解石和自生粘土矿物胶结物, 此外有少量钠长石、方沸石和铁质胶结物, 其中泥质杂基含量平均为 8.5%。上述特征说明碎屑岩的矿物成熟度和结构成熟度很低, 碎屑物质搬运距离较近, 没有经过充分的分选和磨蚀, 为近物源较快速沉积形成的。

2.3 成岩作用特征

2.3.1 成岩阶段

扇三角洲沉积的碎屑物质经过沉积期后的埋藏成岩作用形成了七克台组主要的碎屑储集岩。我们采用柳益群* 的成岩阶段划分方案, 将碎屑岩的成岩阶段划分为早成岩、中成岩和晚成岩 3 个阶段, 其中的中成岩阶段划分为未成熟期、半成熟期、低成熟期和高成熟期(图 3)。

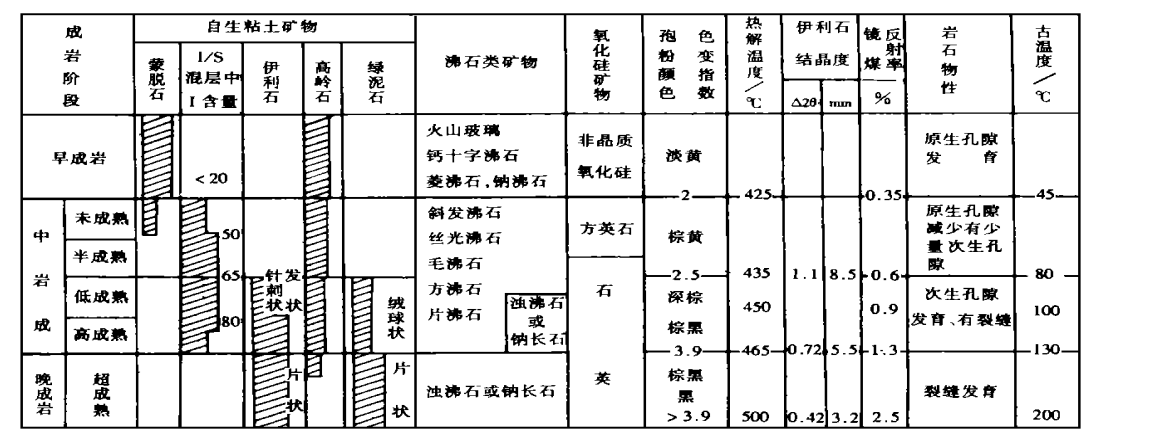


图 3 碎屑岩的成岩阶段划分*

根据上述碎屑岩成岩阶段划分方案, 吐鲁番坳陷七克台组碎屑岩储集层处于中成岩未成熟一半成熟期。根据钻井取芯资料分析, 七克台组有机质的镜煤反射率为 0.35%~ 0.6%, 热解最大温度为 425~ 435℃, 孢粉颜色多为棕黄色, 色变指数为 2~ 2.5。根据扫描电镜观察, 碎屑岩在成岩过程中形成的自生粘土矿物主要为伊/蒙混层, 此外有少量绿泥石(表 2)。根据砂岩中粘土矿物的 X 射线衍射分析, 伊/蒙混层粘土矿物中蒙脱石的百分含量为 59%~ 92%(表 3)。

表 2 七克台组碎屑岩中自生粘土矿物的能谱分析

化学成分	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ + FeO
伊/蒙混层	3.53	31.32	59.42	0.08	1.85	0	3.80
绿泥石	2.67	22.67	48.56	2.97	0.25	0.68	22.20

表 3 七克台组砂岩中粘土矿物的 X 射线衍射分析

井号	井深/m	高岭石	绿泥石	伊利石	伊/蒙混层	伊/蒙混层中蒙脱石含量
S1 井	2 934.00	26	21	14	39	59
	3 025.25	15	16	8	61	92
K9 井	946.00~ 946.13	29	29.9	21.6	19.5	60
	949.83~ 949.94	20.7	17.1	30.7	31.5	60

* 柳益群. 吐鲁番 哈密盆地吐鲁番坳陷 M1 井储集层评价报告, 1992

2.3.2 主要成岩作用

2.3.2.1 机械压实作用

岩石学特征表明,七克台组碎屑岩中泥质杂基含量较高,一般超过60%,这些粒径很小的泥质质点组成的集合体充填于碎屑颗粒之间,易于变形;另一方面,碎屑岩富含凝灰岩、中酸性喷出岩和泥岩等柔性岩屑,它们的平均相对含量为87.70%,这些碎屑组分也非常容易变形^[4],在上覆压力作用下常被挤压进颗粒之间,发生“假杂基”化,因此在埋藏成岩过程中发生了强烈的机械压实作用,导致碎屑颗粒和杂基质点之间彼此紧密接触,化学胶结物含量较低,部分碎屑岩中碎屑颗粒发生定向-半定向排列,在平行于层理的方向上常常分布着不规则的压实缝。

2.3.2.2 水化水解作用与自生矿物的胶结作用

七克台组碎屑沉积物在埋藏成岩过程中,凝灰岩与喷出岩岩屑发生强烈的蒙脱石化和少量绿泥石化及沸石化。水化水解作用使凝灰岩与喷出岩碎屑颗粒表面模糊,颗粒与泥质杂基之间界线不清,并且与泥岩岩屑很难区分。火山岩岩屑水化水解作用产生的 K^+ , Na^+ 等使孔隙介质的pH值高于7。在碱性介质条件下,碎屑颗粒之间沉淀析出了较发育的方解石胶结物,其中 Ca^{2+} 主要来源于凝灰岩与喷出岩岩屑水化水解的产物。另一方面,在碱性介质条件下,斜长石碎屑发生钠长石化,反应产生的 Ca^{2+} 也为方解石的析出提供了部分来源。在埋藏成岩过程中,随着成岩强度的加深,岩屑水化水解作用产生的蒙脱石在碱性介质中逐渐发生成岩转化,形成伊/蒙混层。

根据钻井取芯资料分析,七克台组碎屑岩中自生矿物胶结物的含量较低,平均为4.30%,主要组分为方解石和伊/蒙混层,此外为绿泥石、钠长石和方沸石,属于典型的纯碱性孔隙介质中形成的矿物组合。其中伊/蒙混层和绿泥石分布于碎屑表面形成粘土包壳,属于衬垫式胶结,在电镜下观察时伊/蒙混层呈不规则弯曲的片状,绿泥石呈叶片状。钠长石、方沸石和方解石分布于碎屑颗粒之间,呈孔隙式充填胶结。

根据自生矿物的形成条件和相互关系,我们得出了七克台组扇三角洲前缘碎屑岩体中主要自生矿物析出的先后顺序为:水化水解作用 $\rightarrow$ 凝灰岩和喷出岩岩屑的蒙脱石化 $\rightarrow$ 伊/蒙混层和绿泥石膜形成 $\rightarrow$ 斜长石碎屑的钠长石化 $\rightarrow$ 方沸石与方解石析出。

除了上述成岩作用之外,七克台组碎屑岩在成岩过程中还发生了轻微的溶蚀作用,部分碎屑组分和填隙物发生了局部溶解,但非常微弱,对改善储集层的性质意义不大。

2.3.3 对储集层物性的影响

七克台组扇三角洲前缘碎屑岩体沉积形成的原生孔隙体系,经过埋藏成岩作用改造后发生了根本性的变化。强烈的机械压实作用和填隙物的充填胶结作用导致碎屑储集岩的原生粒间孔隙绝大部分消失^[5],仅在局部层段砂岩中残留有少量残余粒间孔隙,且多数呈孤立状分布,连通性很差。在碎屑沉积物的埋藏成岩过程中,凝灰岩和中酸性喷出岩岩屑的水化水解作用可产生一定量的溶蚀孔隙,但这些孔隙在成岩中没有保存下来,而且碎屑岩在成岩过程中没有发生较强烈的溶蚀作用,因此储集层有效的原生孔隙和次生孔隙均不发育,主要的孔隙类型为泥质杂基内微孔隙和自生矿物晶间微孔隙,孔隙细小,连通性很差。这导致储集层的孔隙度和渗透率均很低,孔隙度一般低于100%,渗透率一般低于 $2 \times 10^{-3} \mu m^2$,因此本

区七克台组碎屑岩属于物性很差的致密型储集层，油气储集性能较差 (表 4)。

表 4 七克台组碎屑岩物性

井号	深度/m	样品数/个	孔隙度/ $\%$	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$
D1 井	1 987. 1~ 1 989. 46	3	8. 40~ 10. 00	< 0. 10~ 2. 00
S1 井	3 024. 61~ 3 028. 31	2	4. 27~ 5. 04	0. 29~ 0. 44

3 结论

- (1) 吐鲁番坳陷北部七克台组发育扇三角洲沉积，扇三角洲前缘碎屑岩体为七克台组主要的油气储集体。扇三角洲前缘碎屑岩体的宏观展布控制了储集层的发育规模。
- (2) 碎屑岩储集层为石英与长石碎屑含量很低的岩屑砂岩和岩屑砂砾岩，矿物成熟度和结构成熟度很低，以凝灰岩和中酸性喷出岩岩屑为主。
- (3) 碎屑岩储集层处于中成岩未成熟-半成熟期，主要的成岩作用为机械压实作用、水化水解作用和自生矿物的胶结作用。
- (4) 碎屑岩在成岩作用改造下有效的原生孔隙大部分消失，成为孔隙度和渗透率均很低的致密型油气储集岩。

参 考 文 献

1 顾家裕，何斌．塔里木盆地轮南地区三叠系扇三角洲沉积与储集层研究．沉积学报，1994，12 (2)：54~ 61

2 冯敏，王苏民，吴瑞金．古湖盆扇三角洲沉积、搬运过程的特点．见：中国石油学会石油地质委员会编．碎屑岩沉积相研究．北京：石油工业出版社，1988. 173~ 181

3 高延新．我国东部断陷湖盆中的扇三角洲沉积．见：中国石油学会石油地质委员会编．碎屑岩沉积相研究．北京：石油工业出版社，1988. 162~ 172

4 西北大学地质系，碎屑岩的成岩作用．西安：西北大学出版社，1988. 15~ 29

5 邸世祥．中国碎屑岩储集层的孔隙结构，西安：西北大学出版社，1991. 212~ 217

SEDIMENTATION AND DIAGENESIS OF QIKETAI FORMATION
IN NORTH TURPAN DEPRESSION

Liu Linyu Liu Yiqun Di Shixiang

(Department of geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi)

Abstract

Fan delta sediments developed well in the northern area of Turpan Depression. The subaqueous distributary channel clastic rock bodies in the fan delta front formed the main part of the fan delta and the most important oil and gas reservoirs. The clastic rocks of the reservoir are lithic sandstone and lithic sandy conglomerate. The major components of the reservoir clastic rocks are fragmental materials of tuff and extrusive rock. The main kinds of diagenesis are compaction, hydration and hydrolisis, cementation. The diagenesis made the clastic rocks of fan delta front to be dense reservoirs with low porosity and low permeability.