

吐哈盆地台北凹陷三角洲沉积与成岩作用

刘林玉, 柳益群, 李文厚, 邸世祥

(西北大学地质系, 陕西西安 710069)

摘要: 吐哈盆地台北凹陷中侏罗统三间房组沉积时, 凹陷北部因地形较陡, 发育扇三角洲; 凹陷南部因地形较缓, 发育辫状河三角洲。分流河道沉积的碎屑岩复合体在扇三角洲和辫状河三角洲沉积中非常发育, 是其沉积主体。三间房组碎屑岩的成岩作用主要为机械压实作用、胶结作用和溶解作用。凹陷北部扇三角洲前缘碎屑岩体以机械压实作用为其主要特征, 溶蚀作用微弱, 碎屑岩体在强烈的机械压实作用改造下, 原生粒间孔大部分消失, 成为低孔低渗的致密储集体; 凹陷南部辫状河三角洲以自生矿物的胶结作用和不稳定组分的溶解作用为特征, 由于刚性物质含量较高, 因而虽经机械压实作用, 但却保留了较多的残余粒间孔, 碎屑岩体在溶蚀作用的改造下, 成为物性良好的储集体。

关键词: 吐哈盆地; 扇三角洲; 辫状河三角洲; 沉积; 分布; 成岩作用

第一作者简介: 刘林玉, 男, 36 岁, 副教授, 沉积学、储层地质学

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

台北凹陷位于吐哈盆地北部坳陷带的中部, 近东西走向, 面积约为 10 000 km²。近年来, 发现台北凹陷中侏罗统三间房组发育三角洲沉积^[1], 通过进一步研究, 我们发现三间房组的三角洲沉积包括辫状河三角洲和扇三角洲两种沉积类型, 在滨浅湖的沉积背景下形成了辫状河三角洲前缘碎屑岩复合体和扇三角洲前缘碎屑岩复合体, 这两类复合体在埋藏期后经历了不同的成岩作用和变化。

1 沉积

吐哈盆地台北凹陷中侏罗统三间房组中发育的滨浅湖相沉积*, 其主要岩性为灰色、褐色泥岩与粉砂岩, 发育水平层理和波状层理, 视电阻率曲线呈低阻锯齿状, 自然电位曲线呈基线平直状。从侏罗纪开始, 北部坳陷带中的托克逊凹陷、台北凹陷和哈密凹陷整体连通后形成统一的吐哈盆地^[2], 其中台北凹陷中侏罗统三间房组沉积时总体背景为东西长、南北窄、地势南缓北陡的狭长湖盆。在凹陷北部, 古地形坡度陡, 盆地断裂及构造活动强烈, 博格达山前形成的冲积扇推进到湖盆后形成扇三角洲沉积体。在凹陷南部, 古地形坡度缓, 在艾

丁湖斜坡形成的辫状河三角洲平原推进到湖盆后形成辫状河三角洲沉积体。扇三角洲和辫状河三角洲是台北凹陷三间房组三角洲沉积的两种类型, 它们可分为三角洲平原亚相、三角洲前缘亚相和前三三角洲亚相。

1.1 三角洲平原亚相

台北凹陷北部三间房组扇三角洲平原沉积因受后期构造活动的改造而遭到强烈剥蚀, 因而不发育。

台北凹陷南部三间房组辫状河三角洲平原沉积分布于凹陷以南的艾丁湖斜坡一带。该套沉积在后期构造活动亦遭到强烈剥蚀。残留的辫状河三角洲平原沉积包括河道砂坝和泛滥平原两种沉积类型。河道砂坝沉积以灰色砂岩、含砾砂岩和砂砾岩为主, 发育大型板状、槽状交错层和平行层理, 砂坝底部常见有冲刷面, 冲刷面之上发育滞流沉积。泛滥平原沉积以灰色泥岩、粉砂质泥岩夹粉砂岩为主, 发育水平层理和沙纹交错层理。河道砂坝与泛滥平原沉积在垂向上形成自下而上由粗变细的正粒序, 沉积岩石类型自下而上依次为砂砾岩、砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩。

1.2 三角洲前缘亚相

台北凹陷三间房组扇三角洲前缘和辫状河三角洲前缘可划分为水下分流河道和水下河道间两

* 李文厚. 吐哈盆地 M1 井沉积相研究报告. 1992

收稿日期: 2002-05-21

种沉积类型,其中水下分流河道沉积是三角洲前缘沉积的主体,具有正韵律沉积特征。台北凹陷扇三角洲和辫状河三角洲前缘沉积中河口坝不发育,沉积层序中缺乏自下而上碎屑颗粒由细变粗的反韵律沉积特征。

台北凹陷北部扇三角洲前缘的水下分流河道沉积以灰色、褐色砾岩和砂砾岩为主,次为含砾砂岩和砂岩,砾石直径一般为2~8 mm,最大的达30 mm×40 mm。碎屑岩体呈下凸的透镜体状,与下伏滨浅湖泥岩呈冲刷接触。从垂向上看,砾岩、砂砾岩层常常与粉砂质泥岩、泥岩层频繁互层,这是在台北凹陷北部博格达山持续上升、湖盆持续下沉的背景下,垂向剖面上扇三角洲体逐个叠复,导致扇三角洲前缘的碎屑岩层与湖相泥岩层呈指状交错而形成的^[3]。其中单个扇三角洲体的垂向厚度一般为几米至几十米,扇三角洲体碎屑岩的结构成熟度和矿物成熟度很低,碎屑大小混杂,岩层内部具有大型槽状交错层理。从电性特征上看,自然电位曲线呈波状起伏或箱状,视电阻率曲线呈高阻峰状或齿状(图1A)。

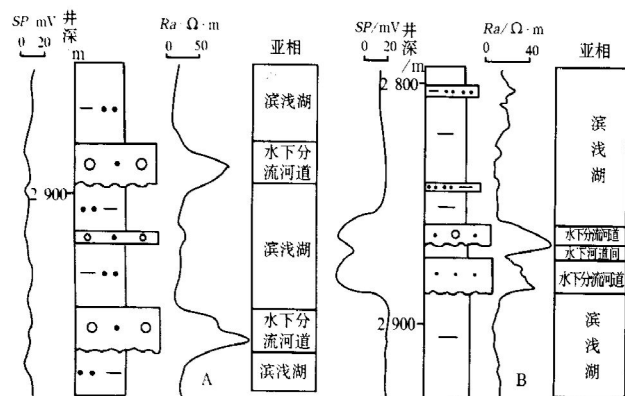


图1 台北凹陷M1井辫状河三角洲体(A)和D1井扇三角洲体(B)的垂向剖面

Fig. 1 Vertical profile of braided delta body(A) from M1 well and fan delta body(B) from D1 well in Taibei sag

台北凹陷南部辫状河三角洲前缘的水下分流河道沉积以灰色砂岩和含砾砂岩为主,碎屑分选较好。砂体呈上平下凸的透镜体,横向上砂体厚度不稳定。在砂体底部常见冲刷充填构造,与下伏滨浅湖泥岩呈冲刷接触;向上碎屑颗粒由粗变细,依次为含砾砂岩、粗砂岩、中细砂岩和粉砂岩,沉积构造具有递变层理,砂体下部具有平行层理和大型板状、槽状交错层理,上部变为沙纹交错层理。概率曲线为无滚动组分的两段式和正常的三段式。多个水下分流河道砂体常呈冲刷接触,形成多个正韵律组合。

从垂向剖面上看,辫状河三角洲体亦呈楔状插入湖相泥岩中。从电性特征上看,水下分流河道沉积的自然电位曲线呈箱状,视电阻率曲线呈高阻峰状。

水下河道间沉积主要为灰色、灰绿色泥岩和泥质粉砂岩。自然电位曲线和视电阻率曲线均呈低值平直状(图1B)。

1.3 前三角洲亚相

台北凹陷北部的前扇三角洲沉积和凹陷南部的前辫状河三角洲沉积主要为灰色、灰绿色泥岩、粉砂质泥质夹粉砂岩,沉积构造为水平层理和波状层理,粉砂岩多呈透镜体分布,延续性差。前三角洲沉积与滨浅湖沉积很难截然分开,因此通常将其划归于滨浅湖沉积。

2 分布

在台北凹陷北部,扇三角洲前缘水下分流河道的迁移叠置,形成了以砾岩和砂砾岩为主体的粗碎屑岩复合体;在台北凹陷南部,辫状河三角洲前缘水下分流河道的迁移叠置,形成了以砂岩为主的中碎屑岩复合体。钻井资料显示,台北凹陷三间房组的厚度一般为230~330 m,其中碎屑岩总厚度一般为40~150 m,单层厚度1~15 m,最大单层厚度为29.2 m。利用30余口钻井资料编制的三间房组碎屑岩百分比等值线图显示,台北凹陷北区扇三角洲前缘碎屑岩复合体和南区辫状河三角洲前缘碎屑岩复合体的碎屑岩百分比一般为20%~50%,最高为55.5% (图2)。其中凹陷北区扇三角洲前缘碎屑岩复合体呈朵状,扇体较宽,但扇角较小,碎屑沉积物主要来源于北方的博格达剥蚀区,由北向南碎屑岩厚度逐渐减薄,碎屑岩百分比逐渐降低,并且碎屑颗粒由粗变细。在博格达山前一带,三间房组碎屑岩以砾岩和砂砾岩为主;向南碎屑岩逐渐由砾岩变为砂岩。凹陷南区辫状河三角洲前缘碎屑岩复合体呈扇状,入湖后扇体由窄变宽,扇角较大,碎屑沉积物主要来源于南部的觉罗塔格剥蚀区,由东南向西北方向碎屑岩厚度逐渐减薄,碎屑岩百分比逐渐降低,并且碎屑颗粒由粗逐渐变细。在鄯善东南区,三间房组中含砾砂岩较为发育;向北三间房组碎屑岩以砂岩为主,含砾砂岩明显减少。

扇三角洲和辫状河三角洲前缘碎屑岩复合体的发育规模控制了台北凹陷三间房组油气储集层的宏观分布。

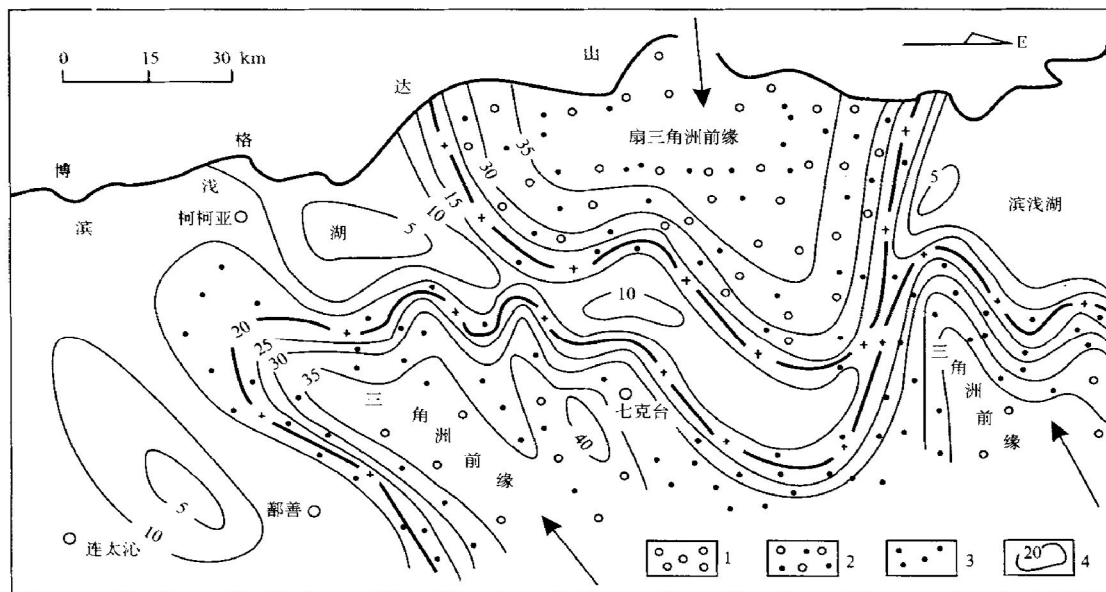


图2 台北凹陷三间房组碎屑岩的分布及碎屑岩百分比等值线图

Fig. 2 Distribution and percentage isopleth map of classic rocks from Sanjianfang Formation in Taibei seg

1—砾岩; 2—砂砾岩; 3—砂岩; 4—碎屑岩百分比等值线

体^[4,5]。

3 成岩作用

岩石薄片分析显示,台北凹陷中侏罗统三间房组碎屑岩属于岩屑砂岩(砾岩)类,其中北区扇三角洲前缘碎屑岩主要为岩屑砂砾岩和岩屑砾岩,南区辫状河三角洲前缘碎屑岩主要为长石岩屑砂岩,二者在埋藏期后具有不同的成岩作用特征。据钻井资料分析,三间房组碎屑岩主要的成岩作用为机械压实作用、自生矿物的胶结作用和不稳定组分的溶解作用。其中凹陷北区扇三角洲前缘碎屑岩的机械压实作用较强烈,南区辫状河三角洲前缘碎屑岩的胶结作用和不稳定组分的溶解作用较强烈。

3.1 机械压实作用

机械压实作用在三间房组碎屑岩中是很突出的,但是不同地区的碎屑岩在埋藏期后经受的机械压实作用的强度是不同的。

台北凹陷北区扇三角洲前缘碎屑沉积物中喷出岩和泥岩岩屑的相对含量平均超过75%,这些岩屑的抗压强度较差,受力后非常容易变形,因而碎屑沉积物在埋藏期后发生了非常强烈的压实作用,主要表现为:一方面,碎屑颗粒之间多呈线-凹凸状接触,形成以镶嵌式为主的胶结类型,岩屑的假杂基化现象也非常普遍;另一方面,碎屑颗粒的定向-半定向排列和压实缝的大量出现。在强烈的机械压实作用改造下,碎屑岩有效的原生粒间孔隙绝大部分消失,有效砂体遭到破坏而变为无效砂

台北凹陷南区辫状河三角洲前缘碎屑沉积物中石英和长石等刚性碎屑的相对含量较高,平均超过50%。这些碎屑的抗压强度较高,因而碎屑沉积物在埋藏后经历的机械压实作用相对较弱。这主要表现在:一方面碎屑颗粒间以线状接触为主,部分为点-线状接触,凹凸状接触较少,形成以孔隙式为主的胶结类型;另一方面,石英和长石等碎屑的刚性破裂现象增多,软性岩屑的假杂基化现象较少。碎屑岩经过机械压实作用改造后仍然保留了较多的残余粒间孔隙,但是不同层段碎屑岩中残余粒间孔隙的分布是很不均匀的。

3.2 胶结作用

台北凹陷北区扇三角洲前缘的粗碎屑岩复合体因原生粒间孔隙消失,成岩矿物失去了自由生长的空间,因而胶结作用微弱,自生矿物胶结物的含量很低,一般<5%,平均为1.81%(据D1井岩石薄片统计),主要为自生粘土矿物和方解石,此外有少量钠长石。其中自生粘土矿物以伊/蒙混层为主,伊/蒙混层中蒙脱石的含量为55%~75%;此外有少量绿泥石和伊利石。自生粘土矿物围绕碎屑表面分布或垂直于碎屑表现生长形成粘土膜,在碎屑岩中分布较为普遍。方解石和钠长石呈镶晶状分布,仅在局部碎屑岩中出现。

台北凹陷南区辫状河三角洲前缘的中碎屑岩复合体在埋藏期后发生了较强烈的胶结作用,自生

矿物胶结物的含量为 1%~18%, 平均超过 5% (据 M1 井岩石薄片分析), 主要为方解石和自生粘土矿物, 此外有少量钠长石、石英和黄铁矿等。方解石多呈他形晶充填孔隙。自生粘土矿物以高岭石为主, 次为伊/蒙混层、绿泥石和伊利石。伊/蒙混层、伊利石和绿泥石多围绕碎屑表面分布或垂直于碎屑表面生长形成粘土膜, 高岭石呈假六方板状微晶集合体充填粒间孔隙。

据钻井资料分析, 台北凹陷三间房组碎屑岩中高含量的喷出岩岩屑发生了强烈的水化水解作用, 其主要表现为喷出岩岩屑发生了强烈的蒙脱石化和少量绿泥石化, 蒙脱石在成岩中逐渐转化为伊/蒙混层。水化水解作用产生的 K^+ 、 Na^+ 等使孔隙水介质呈碱性。在碱性介质条件下形成的伊/蒙混层、绿泥石、方解石和钠长石等“碱性”自生矿物组合构成了三间房组碎屑岩的第一期胶结物。在成岩晚期, 位于三间房组之下的西山窑组、八道湾组暗色泥岩和煤层中丰富的有机质发生成岩分解, 产生酸性介质。酸性介质进入三间房组碎屑岩后导致长石碎屑发生分解形成大量的自生高岭石和石英^[4]。自生高岭石和石英等“酸性”矿物组合构成了三间房组碎屑岩的第二期胶结物。该期胶结物在凹陷南区的辫状河三角洲前缘碎屑岩中分布非常普遍, 而在北区扇三角洲前缘碎屑岩中很少见到。

方解石是台北凹陷南区三间房组碎屑岩中主要的胶结物之一, 在砂岩中分布非常普遍, 其含量为 0.5%~10%, 但分布很不均匀。据岩石薄片观察, 方解石胶结物是在成岩过程中产生的, 其晶体粗大, 多呈连晶状分布, 常见方解石交代石英碎屑。方解石属于碎屑岩第一期“碱性”自生矿物胶结物。形成于高岭石和石英等第二期“酸性”自生矿物胶结物之前, 但在碎屑表面的粘土膜和充填孔隙的钠长石等胶结物形成之后。在方解石形成过程中, 碎屑岩中高含量的喷出岩岩屑发生的强烈水化水解作用为方解石的析出提供了 Ca^{2+} , 有机质的分解为方解石的析出提供了 CO_2 。另一方面, 钠长石的析出也为方解石的形成提供了部分 Ca^{2+} 。方解石胶结物形成于碱性介质环境, 在酸性介质条件下非常不稳定, 很容易发生分解。

3.3 溶解作用

台北凹陷北区扇三角洲前缘碎屑岩的颗粒之间呈紧密的镶嵌状接触, 成岩晚期的酸性介质很难在其中流动, 因此溶解作用很微弱, 次生孔隙很不发育。

台北凹陷南区辫状河三角洲前缘的有效砂体在成岩中得到较好的保存, 残余粒间孔隙较为发育, 在成岩晚期酸性介质进入碎屑岩复合体之后, 长石碎屑和方解石胶结物等不稳定组分发生了大幅度的溶解。据铸体薄片观察统计, 本区辫状河三角洲前缘碎屑岩因溶解作用产生的溶蚀型次生孔隙可占总孔隙的 41.24%^[4]。

台北凹陷南区辫状河三角洲前缘碎屑岩复合体中较发育的残余粒间孔隙和溶蚀型次生孔隙使碎屑岩成为物性良好的油气储集岩, 其孔隙度为 8%~24.4%, 平均为 14%; 渗透率为 $0.5 \times 10^{-3} \sim 1.145 \times 10^{-3} \mu m^2$, 平均为 $34.7 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。凹陷北区扇三角洲前缘粗碎屑岩复合体缺乏有效的原生和次生孔隙, 碎屑岩物性很差, 孔隙度一般为 2.5%~11.2%, 渗透率一般 $0.01 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。油气勘探实践也证实, 台北凹陷三间房组的油气产层主要分布于南区的辫状河三角洲前缘碎屑岩复合体中, 并且具有油气层以高岭石含量高和非油气层以高岭石含量低的特征^[6,7]。

参 考 文 献

- 1 刘林玉, 邸世祥. 吐鲁番坳陷中侏罗统沉积与储层孔隙发育特征[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(3): 247~260
- 2 吴涛, 张世焕, 王武和. 吐鲁番-哈密成煤盆地构造特征与油气聚集[J]. 石油学报, 1996, 17(3): 12~18
- 3 中国石油学会石油地质委员会编. 碎屑岩沉积相研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1988. 173~181
- 4 刘林玉. 吐鲁番-哈密盆地中生界砂岩次生孔隙研究[J]. 石油实验地质, 1996, 18(3): 317~324
- 5 西北大学地质系. 碎屑岩的成岩作用[M]. 陕西西安: 西北大学出版社, 1986. 111~125
- 6 刘林玉, 柳益群, 陈刚. 吐鲁番坳陷中上侏罗统碎屑岩中的自生粘土矿物特征及其成岩意义[J]. 岩石学报, 1998, 14(2): 258~268
- 7 刘林玉, 曲志浩, 孙卫, 等. 新疆鄯善油田碎屑岩中的粘土矿物特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1998, 28(5): 443~446

(下转 414 页)

presentation of three vertical successions of progradation, aggradation and retrogradation would bring about difficulties for the stratigraphic correlation of small units of well sections only because of the rift lake basin commonly with characteristics of multi-clastic – source supply for the same IV to VI order sequence and various types of variation for different accommodation spaces at different sites. Coarse depositional facies are not found to be developed everywhere along the lake margin, instead this system could be only developed near the main river mouth. Coarse sediments are chiefly developed in low stand system tract under damp climate; whereas coarse sediments are easily developed in high stand phase deposition under dry climate. The axial zone where horizontally coarse depositional system is very well developed. The changes of the lake level is believed to be effected commonly by a large cycle of tectonic subsidence and a small cycle of climate change.

Keywords: rift lake; gentle gradient zone; lake level change; sequence stratigraphy

(上接 405 页)

SEDIMENTATION AND DIAGENESIS OF DELTA IN TAIBEI SAG OF TURFAN– HAMI BASIN

Liu Linyu Liu Yiqun Li Wenhui Di Shixing

(*Department of Geology, Northwest University, Xian, Shanxi*)

Abstract: During sedimentation of the Jurassic Sanjianfang Formation in Taibei sag of Tuha basin, northern part of the sag developed into a fan– delta due to its steeper topography whereas southern part of the sag evolved into a braided channel delta owing to its gentle topography. Clastic rock compounds as a main sedimentation body deposited by means of distributary channel sediments are well developed in the sedimentation of the fan delta and braided channel delta. Mechanical compaction, cementation and solution effects are chief diagenesis of Sanjianfang Formation. Clastic rock body in front of the fan delta in northern part of the sag is mainly characterized by mechanical compaction effort and weaker solution effect. Most of primary interparticle pores would disappear in the reformation of intense mechanical compaction of clastic rock body and become a reservoir body of low porosity and permeability with the main feature of cementation of autogenic minerals and solution effect of unstable compositions. Whereas the braided channel delta in southern part of the sag has not experienced mechanical compaction because of its higher content of rigid material, preserved with a large amount of remaining interparticle pores which become a reservoir of good physical property with the reformation of solution effect.

Key words: Turfan– Hami basin; fan– delta; braided delta; sedimentation; distribution; diagenesis