

海拉尔盆地扎赉诺尔群的沉积学特征

张金亮 沈 凤

(江汉石油学院, 湖北沙市)

海拉尔盆地是在华力西褶皱基底上形成的中生代断陷盆地。扎赉诺尔群为盆地充填沉积, 可划分为四套沉积组合, 构成较完整的盆地充填序列, 形成充填早期湖泊相、深陷期湖泊相和充填晚期湖泊相。砂岩形成于陆内深断陷盆地, 物源为活动大陆边缘或大陆岛弧。主要储层可分为近岸水下扇砂(砾)岩体、浊积砂体和湖滨砂体三类不同的成岩模式。

关键词 海拉尔盆地 盆地充填序列 湖泊相 成岩模式 大气水埋藏成岩作用

第一作者简介 张金亮 男 27岁 博士 储层地质学

海拉尔盆地位于内蒙古自治区呼伦贝尔盟西南部, 总面积为70480 km², 在我国境内的面积为40550 km², 其余在蒙古人民共和国境内。该盆地是晚中生代以来, 在张应力场的作用下, 沿袭前已存在的断裂带形成的晚侏罗世至早白垩世断陷盆地。盆地内部结构复杂, 具有三拗两隆的构造格局, 由东向西依次为呼和湖坳陷、巴彦山隆起、贝尔湖坳陷、嵯岗隆起和扎赉诺尔坳陷。扎赉诺尔群为海拉尔盆地的盆地充填沉积, 可分为下部的大磨拐河组 and 上部的伊敏组, 厚度一般2000—4500 m, 下伏地层为兴安岭群(与基底分界不清), 上覆有较薄的白垩系青元岗组、第三系和第四系^[1]。研究其沉积演化规律, 对油气和煤的勘探将具有重要意义。

一、盆地的充填沉积格局

从断陷盆地的形成到盆地消失期间的沉积统称为盆地充填沉积。在盆地的不同演化阶段, 由于块断活动的性质和规模不同, 可以形成不同的沉积序列和不同的相组合。

(一) 盆地充填序列

海拉尔盆地扎赉诺尔群的沉积序列(图1), 自下而上由下列沉积组合构成:

1. 底部粗碎屑沉积段(I) 该段可划分为两种类型, 即碎屑沉积段(I₁)和含煤粗碎屑沉积段(I₂)。前者基本上由一套红色和棕色的粗碎屑冲积物组成, 主要分布在巴彦山隆起以西的盆地中; 后者主要分布在巴彦山隆起以东的盆地中。这表明两者具有不同的构造背景和古气候背景。

2. 湖泊粗碎屑沉积段(II) 该段主要由重力流沉积物组成, 为扇状砂砾岩体, 近盆缘断裂的边缘很厚, 向盆地中心变薄。巴彦山隆起以东的盆地多缺少此套沉积组合。

3. 湖泊细碎屑沉积段(III) 由一套富含有机质的暗色细粒沉积间夹非扇状浊积岩组

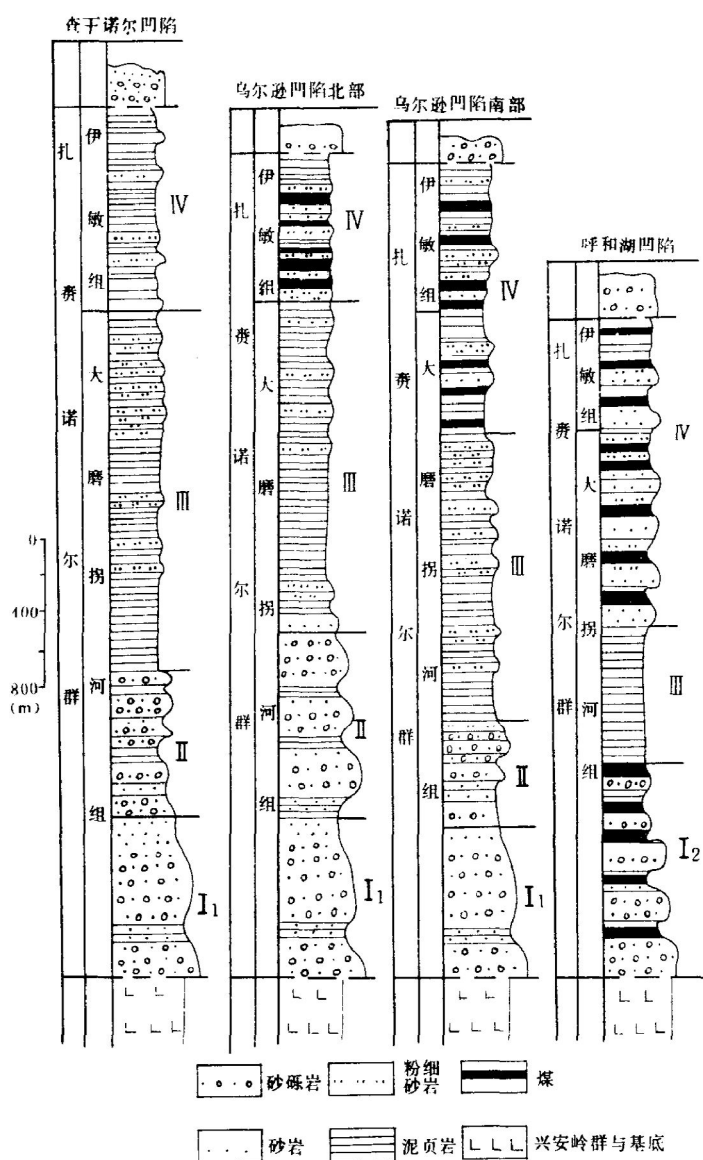


图1 海拉尔盆地的沉积序列

从而决定了相的组成和空间配置特征。海拉尔各断陷盆地在其沉积发育的不同阶段，皆表现出不同的沉积格局，形成不同的湖泊相。

1. 充填早期湖泊相

这一时期的湖泊水体极浅，为盆地的形成初期，可概括为两种湖泊相类型。

(1) 盆缘冲积扇-浅水湖泊相：该湖泊相广泛发育于巴彦山隆起以西的断陷盆地。由于处于盆地初陷期，周围地形起伏大，加之古气候干热，间歇性山洪沿凹陷短轴方向顺坡而下，形成一系列裙状冲积扇群，远离物源的洼地则为浅水充氧陆源湖泊相。由于盆地较窄，两边的扇体可在盆地中心对接或叠置。冲积扇剖面的总体特征表现为“红、粗、厚”，厚度一般大于

成，分布广泛。本段顶部可出现总体上向上变粗的层序，主要由三角洲前缘沉积组成。

4. 含煤碎屑沉积段(IV)

上覆于湖泊细碎屑沉积段，并多与其呈渐变关系，是在构造强度变弱的情况下，由三角洲、砂坝、浅水湖泊和沼泽沉积组成。本段在巴彦山隆起以东的盆地中最为发育，如呼和湖凹陷的含煤碎屑沉积段厚达800m，垂向上可分为3个次级旋回，每个次级旋回含有一个煤层组，煤层累积厚度达100m。

扎赉诺尔群的四套沉积组合基本上与李思田^[2,3]提出的东北地区晚中生代断陷盆地充填序列中五套沉积组合的前四个相当。在扎赉诺尔群的顶部，相当于白垩系青元岗组，普遍存在一套粗碎屑冲积物，厚度不等，主要由砾质河道沉积组成，相当于李思田的第V段，即顶部粗碎屑冲积物段，为断陷消失后的披覆沉积。海拉尔盆地沉积发育的总过程，从下而上表现出红—黑—红，粗—细—粗，湖泊水体浅—深—浅，代表了一个完整的构造旋回。

(二) 湖泊相的主要类型

湖盆中沉积物的分布特征主要决定于盆地构造的格架。构造格架与构造活动的性质和形式有关，它们直接表现在盆地的几何形态上，

500m, 最厚可达 1000m 以上。综合地质和地震资料可将其细分为三部分: 扇根、扇中和扇端。扇根为杂基支撑的无序砾岩和砂砾岩剖面, 沉积体内部无明显的波阻抗差和稳定的波阻抗界面, 具弱-中振幅、不连续、变频率的反射特征。扇中主要由泥石流和辫状河道砂砾岩组成 (图版 I-1, 2, 3, 4), 主要为碎屑支撑的砂砾岩, 常具漂浮砾石、正递变层理和冲刷现象。波阻抗界面亦不稳定, 走向剖面表现为变振幅、不连续反射结构, 倾向剖面可出现中-强振幅的较连续反射。扇端属湖相浅水密度流沉积, 以红色或杂色砂泥沉积为主, 具弱振幅、较连续、平行的反射结构特征。盆缘冲积扇的发育表明断裂作用强烈, 地壳一开始就下陷很快, 造成了明显的地形高差, 为形成粗碎屑沉积物提供了条件。上述湖泊相组合可以查干诺尔凹陷为实例 (图 2)。

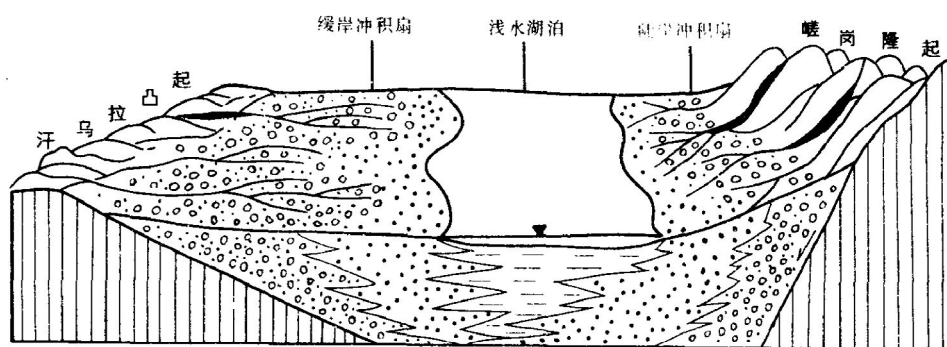


图 2 盆地早期盆缘冲积扇-浅水湖泊相

(2) 浅水沼泽湖泊相: 该类湖泊相与上述情况形成鲜明的对照。除了沿盆地边缘有少量粗碎屑堆积外, 整个湖盆多由褐煤、薄砂层和富含碳屑泥岩的互层层序组成, 岩性组合以 I₂ 段为特点。该湖泊相主要分布在巴彦山隆起以东的盆地中, 可以呼和湖凹陷作为代表 (图 3)。该凹陷的底部充填了一套大面积分布的浅水沼泽间夹席状洪流的沉积砂层。在盆地的陡坡边缘可发育小型的盆缘冲积扇, 而在盆地的缓坡一带, 主要为砾质和砂质的辫状河道沉积。辫状河道沉积的主要岩性为碎屑支撑的砾岩、板状交错层理的含砾粗砂岩和显示不规则纹层的粗砂岩 (图版 I-5, 6)。表明盆地下沉的速度较缓慢, 否则将不利于沼泽泥炭的发育。

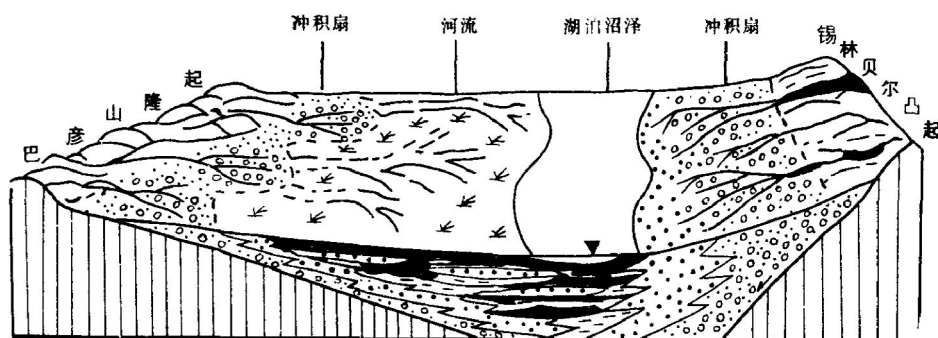


图 3 盆地早期浅水沼泽湖泊相

2. 深陷期湖泊相

盆地的深陷期是盆地内湖泊面积最大的时期,也是生油层和储集层同时发育的时期,可分为两种湖泊相。

(1) 深水湖泊相: 主要分布在巴彥山隆起以西的盆地。由于块断活动强烈,地形坡度较陡,因而沉积作用都发生在深水盆地,滨线沉积不发育。由于盆地不同位置具有不同的构造特征,沉积物可分为三大体系,即横向陡坡体系、横向缓坡体系和纵向体系(图4)。在靠近盆缘大断裂一侧,近源、坡陡、流急的洪水直接入湖,形成近岸水下扇体;在相对较缓的一侧,可形成具供给水道的远岸浊积扇^[4];沿盆地轴部,发育以横向搬运转化为轴向搬运的浊积体系。

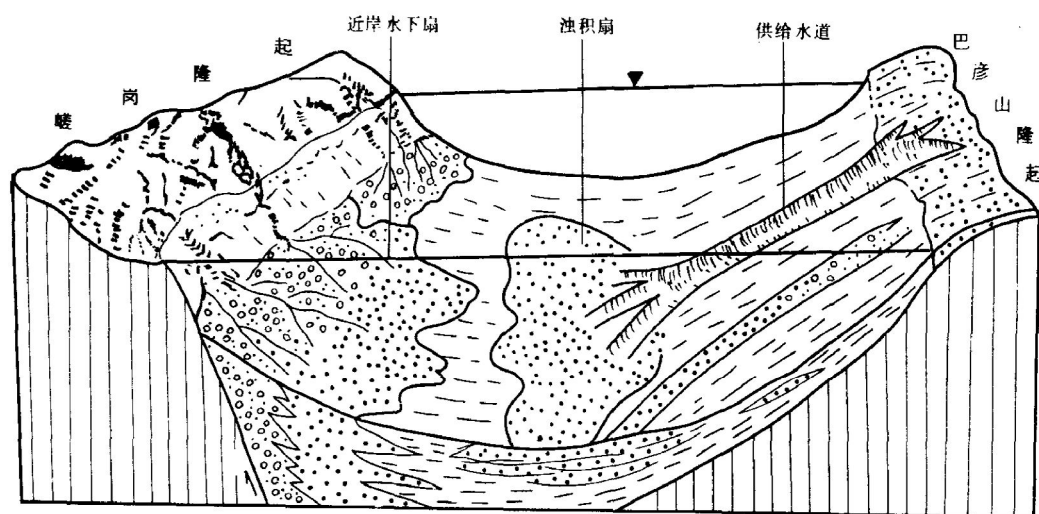


图4 盆地深陷期深水湖泊相

(2) 湖滨-较深湖泊相: 随着构造趋于稳定,湖盆性质由断陷向拗陷转化,湖滨环境开始发育。最常见的滨线沉积为小型三角洲、砂坝和湖湾等。湖滨相砂岩中发育平行层理、低角度交错层理和浪成沙纹层理(图版1-7)。与砂岩互层的泥岩和泥质粉砂岩可出现生物潜穴,以垂直和倾斜者为主(图版1-8,9)。该类湖泊相广泛分布在各断陷盆地中,图5概括了查干诺尔凹陷该时期的沉积轮廓。在中等坡度和碎屑物质供应充分的情况下,缓坡地带可发育辫状河三角洲,其沉积特征可与 McPherson 等^[5]所定义的辫状三角洲相对比。辫状河道沉积由厚层的细砾岩和粗砂岩组成,缺乏向上变细的层理旋回,发育板状斜层理。与河道伴生的前缘砂坝呈向上变粗的垂向层序,发育平行层理、浪成沙纹层、低角度交错层理和多向排列的泥岩砾石(图版1-10,11)。在这一时期,虽然陡岸一侧仍然有小规模的扇三角洲发育,但扇三角洲砂体尖灭很快,产生浊流沉积的可能性极小。

3. 充填晚期湖泊相

在盆地充填晚期,湖泊主体部分为大面积的浅水沼泽,并进一步发展为被河道分割的小面积的浅水湖泊和湿地。这一情况,见于各断陷盆地的伊敏组。这一时期以后,湖泊消失。盆地消失后的披覆沉积由河流相粗碎屑沉积组成。

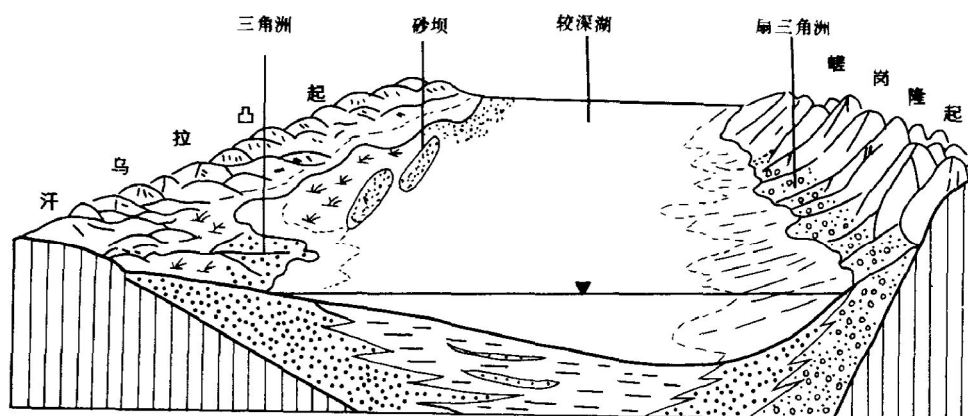


图 5 盆地深陷期湖滨-较深湖湖泊相

二、砂岩化学成分特征

表 1 列出乌尔逊凹陷扎赉诺尔群 8 块砂岩样品的化学分析结果。将其中有关数据进行计算并将结果投到 Pettijohn 等^[6]和 Blatt 等^[7]的砂岩化学成分分类图及 Bhatia^[8]的砂岩构造背景化学成分判别图上 (图 6, 7, 8)。从这三张图上可以看出:

表 1 海拉尔盆地扎赉诺尔群储集层的化学组成

样品号	1	2	3	4	5	6	7	8
井 号	新乌 1	新乌 1	新乌 1	乌 101	乌 101	乌 8	乌 8	乌 8
深度	1558.5	1587.0	1608.8	1756.3	1727.3	1237.2	1296.2	1408.0
SiO ₂	74.64	73.90	75.10	73.66	74.56	78.34	69.86	69.66
TiO ₂	0.38	0.25	0.23	0.25	0.41	0.15	0.26	0.41
Al ₂ O ₃	11.28	11.23	11.54	13.02	13.12	9.35	13.86	11.68
Fe ₂ O ₃	0.9	1.08	1.11	1.11	1.59	1.26	1.31	1.10
FeO	1.18	1.16	1.53	1.95	0.35	2.63	2.54	3.13
MnO	0.21	0.18	0.25	0.10	0.38	0.04	0.18	0.53
MgO	0.56	0.45	0.57	0.61	0.45	0.53	0.69	1.05
CaO	0.39	0.34	0.39	0.39	0.62	0.68	0.74	1.24
Na ₂ O	3.10	2.68	2.73	2.21	2.32	1.53	2.47	3.49
K ₂ O	3.12	3.35	3.4	3.52	3.27	3.65	2.68	2.58
P ₂ O ₅	0.18	0.12	0.16	0.13	0.20	0.37	0.28	0.35
烧失	3.76	4.15	3.98	3.00	2.85	1.49	4.96	4.44

(1) 这些砂岩属于低 SiO₂/Al₂O₃、不成熟的粘土加铝硅酸盐的砂岩类型;

(2) 图 7 投影点皆落入钾质砂岩范围内, 表明砂岩形成于断裂地槽, 即形成于陆内深断陷盆地;

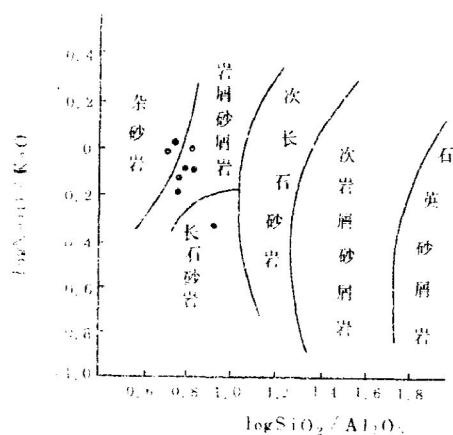


图6 砂岩化学成分分布图

(据 Pettijohn 等, 1972)

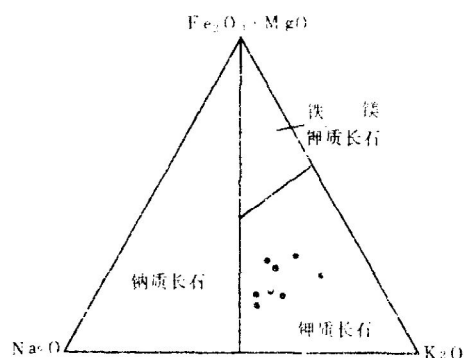
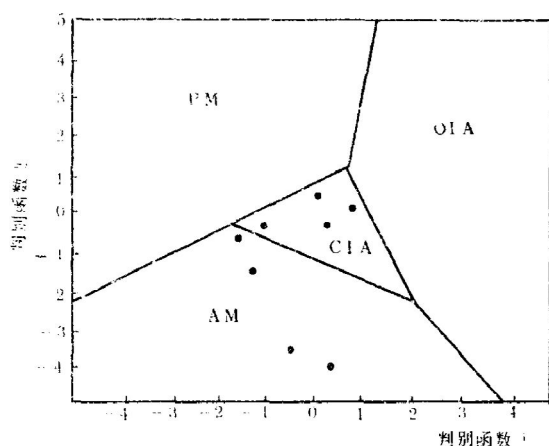


图7 砂岩化学成分及其与构造背景关系

(据 Blatt 等, 1980)

图8 砂岩构造背景的化学成分
判别函数图

(据 Bhatia, 1983)

PM—被动大陆边缘, AM—活动大陆边缘,
CIA—大陆型岛弧, OIA—大洋型岛弧

(3) 图8投影点落入活动大陆边缘和大陆型岛弧范围内, 表明沉积物的母岩为活动大陆边缘和大陆型岛弧。

三、储层成岩模式初探

综合构造背景、沉积相和岩石学特征, 可将扎费诺尔群主要砂体的成岩模式简述如下:

1. 近岸水下扇成岩模式

近岸水下扇主要发育在盆地深陷期, 以大磨拐河组中下部最为发育。这是一个与大气水有关的成岩模式。首先, 扎费诺尔群沉积期气候温暖潮湿、雨量充沛, 煤层的发育可作为佐证。其次, 在近岸水下扇沉积期间, 盆地内各隆起区一直处于剥蚀上升状态, 成为渗入水的补给源, 大气降水通过盆缘断裂

及破碎带等渗入地下, 形成地下潜流进入含水系统是个不可避免的问题, 在距补给源近的地区, 水交替现象可能是十分活跃的。第三, 在近岸水下扇储层中可见到大量的氧化钛和褐铁矿。氧化钛矿物的产状有两种: 一种以环边的形式包裹碎屑颗粒, 并出现在石英的早期加大边之后, 阴极发光下可见亮蓝色发光特征; 第二种氧化钛矿物以充填粒间孔和长石溶孔的形式出现, 电镜下可见棉团状的形态。褐铁矿沿裂隙和孔隙的边缘分布, 某些菱铁矿也不同程度的褐铁矿化。这说明含氧大气水的活动是十分活跃的。第四, 在近岸水下扇储层中还可见到碳酸盐泥晶包壳, 出现在石英加大边的外围并略具重力结构, 即包壳厚度不均匀, 常在一

侧偏厚，为成岩过程中粒间水在颗粒周围呈泪滴状下垂而造成的。第五，近岸水下扇沉积以后（即大三段沉积后），全区发生水退，有利于大气水向湖边缘砂体的入侵。第六，在近岸水下扇沉积序列中，砂/页岩比值很高，缺乏生油岩，有机质的脱羧反应是十分小的，因此次生孔隙的形成主要是大气水下渗淋滤的结果，为大气水埋藏成岩作用。第七，近岸水下扇储层中碳酸盐胶结物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值较高，说明在碳酸盐形成过程中无有机质参与。本区碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 值均在 -18% (PDB) 以下，反映出非卤水成因的特点。将碳酸盐矿物的碳氧同位素值代入 Keith 和 Weber^[9] 所提出的区分海相和淡水相灰岩的计算公式：

$$Z = 2.043 \times (\delta^{13}\text{C} + 50) + 0.498 \times (\delta^{18}\text{O} + 50)$$

计算结果 Z 值均小于 120，表明本区碳酸盐胶结物皆形成于淡水环境（表 2）。事实上，所有近岸水下扇的地层水分析结果皆为矿化度极低的 NaHCO_3 型水。

表 2 碳酸盐胶结物的碳氧同位素分析结果

序 号	井 号	深 度 (m)	矿 物	沉积相	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)	Z 值
1	新乌 1	993.50	片钠铝石	半深湖砂	-3.74	-18.69	110.33
2	新乌 1	1007.80	片钠铝石	半深湖砂	-3.91	-19.47	109.60
3	乌 5	1334.50	铁方解石	湖岸砂坝	-15.34	-23.55	84.16
4	乌 5	2264.80	铁方解石	盆缘冲积扇	-8.35	-26.64	102.08
5	乌 8	1313.84	铁方解石	深湖油积岩	-10.63	-24.90	93.13
6	乌 101	1755.89	铁白云石	近岸水下扇	-3.02	-21.68	116.32
7	乌 101	1774.60	铁白云石	近岸水下扇	-1.06	-21.85	114.25

总之，有多种证据说明，近岸水下扇砂体受到了大气水的冲洗，尤其是在近源相中，大气水冲洗的标志较明显；但在远源相中，大气水的影响较弱，表现为正常的埋藏成岩作用^[10]。

2. 浊积砂体成岩模式

这些砂体沉积后多处于封闭水文系统，大气水对其不起作用，由于压实作用所产生的泥岩压实水和粘土成岩水是储层成岩过程中最积极的地质因素，它们与储层孔隙流体不停地发生水的交替和更新。随着有机质的成熟，富含有机酸的流体将对砂体进行溶蚀，产生次生溶孔。乌尔逊凹陷北部所钻遇的高孔高渗储集层的孔隙成因机制，便为有机酸溶蚀作用的典范^[11]。处于成岩深带和超深带的浊积砂体，往往处于蒙皂石向伊利石转化的峰期，相邻页岩中的流体被挤入砂岩，可使铝硅酸盐发生溶解。水中含有的多种络合剂，将溶解的铝络合，随着脱水铝被搬运出砂岩，产生骨架颗粒的溶蚀^[12,13]。由于上覆地层厚度较薄，负荷量不大，这种内循环压挤式水交替强度也就很快减弱，导致矿物在孔隙中沉淀，储集性能变坏。

3. 湖滨砂体成岩模式

三角洲和砂坝是本区主要的湖滨砂体，为火山碎屑砂岩储层。由于早期近地表作用，可出现早期的氧化膜包裹颗粒。早期成岩的两个重要反应是水化反应和碳酸盐化反应，并有早期次生孔隙淋滤带^[11]。在缺乏碳酸盐胶结的储层中，压实作用几乎消除了孔隙。

继盆地充填沉积之后，地壳上升，发生沉积间断，大气水可渗入湖滨砂体中，形成诸如表生成岩期的各种标志。此外，由于晚期发生的断裂活动，可使下伏地层地下水通过断层上升补给至某些湖滨砂体中。值得提及的是，伴随着构造运动，沿深大断裂形成岩浆侵入，可

形成富含 CO_2 的天然气, 这些高压气体将向上运移进入储层, 导致片钠铝石矿物的形成。该矿物具较重的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 说明形成该矿物的 CO_2 为无机成因 (表 2)。该矿物以充填孔隙和裂隙

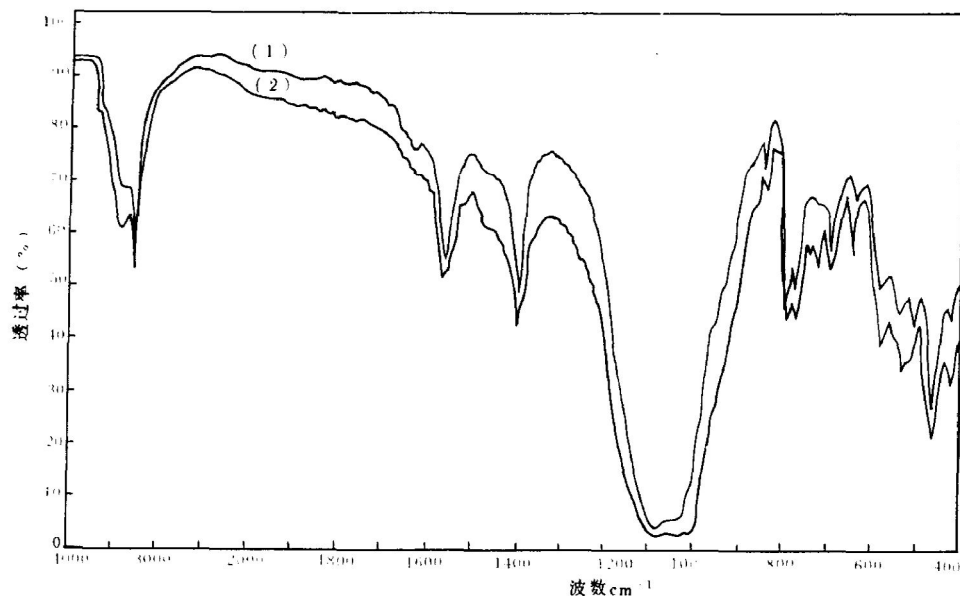


图9 片钠铝石(混有石英)的红外吸收光谱

(1) 一新乌1井, 990.05m, (2) 一新乌1井, 1567.50m

或作为长石交代物的形式出现 (图版 I-1, 2, 3)。图9为所选取的两块砂岩样品胶结物的红外吸收光谱, 该砂岩的胶结物主要由片钠铝石和石英组成。

结 论

(1) 海拉尔盆地的扎赉诺尔群为盆地充填沉积, 可划分为四套沉积组合, 即底部粗碎屑沉积段、湖泊粗碎屑沉积段、湖泊细碎屑沉积段和含煤碎屑沉积段, 构成较完整的盆地充填序列。

(2) 海拉尔盆地在其沉积发育的不同阶段表现出不同的沉积格局, 形成不同的湖泊体系或湖泊相, 盆地充填早期的湖泊体系表现为盆缘冲积扇(扇三角洲)-浅水沉积体系, 盆地深陷期的湖泊体系可进一步分为深水湖泊体系和湖滨-较深水湖泊体系, 盆地充填晚期的湖泊体系以浅水沼泽沉积为主。

(3) 从盆地充填序列和湖泊相的发育情况看, 海拉尔盆地中各断陷存在着差异。以巴彦山隆起为界, 西部断陷比东部断陷的沉积厚度大, 储集层和生油层也较发育, 具有油气生成和聚集的良好条件; 而东部盆地则一般具有成煤条件;

(4) 砂岩的岩石化学分析资料表明, 它们形成于陆内深断陷盆地, 具较低的成熟度, 物源区为活动大陆边缘或大陆型岩浆弧;

(5) 近岸水下扇主要受大气水埋藏成岩作用的影响; 湖滨砂体的成岩作用可分为早期的大气水成岩作用和之后的埋藏成岩作用; 滨外砂体处于封闭水文系统, 大气水对其不起作用。

致谢: 承蒙贺自爱教授级高工、罗蜚潭教授审阅文稿, 并提出宝贵修改意见, 特致衷心

感谢。

参 考 文 献

- [1] 龙水文、张吉光, 石油与天然气地质, 1986; 7 (1)。
- [2] 李思田等, 地球科学, 1982; 7 (3)。
- [3] 李思田主编, 断陷盆地分析与煤聚积规律, 地质出版社, 1988。
- [4] 吴崇筠, 沉积学报, 1986; 4 (4)。
- [5] McPherson J. G. *et al.*, *Bull. Geol. Soc. America*, 1987; 99 (3)。
- [6] Pettijohn F. J., *et al.*, *Sand and Sandstone*, Berlin • Heidelberg • New York: Springer-Verlag, 1972。
- [7] Blatt H. *et al.*, *Origin of Sedimentary Rocks*, New Jersey: Prentice-Hall, 1980。
- [8] Bhatia M. R., *Jour. Geology*, 1983; 91 (2)。
- [9] Keith M. L., Weber J. N., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1964; 28: 1787—1816。
- [10] 张金亮、沈 凤, 石油学报, 1991; 12 (3)。
- [11] 张金亮、沈 凤, 石油勘探与开发, 1990; (5)。
- [12] 张金亮、沈 凤, 矿物岩石, 1990; 10 (1)。
- [13] Siebert, R. M. *et al.*, *AAPG Mem.*, 1984; 37: 163—175。

SEDIMENTARY PROPERTIES OF ZHALAINUOER GROUP IN HAILAR BASIN

Zhang Jinliang Shen Feng

(Jiangnan College of Petroleum, Shashi)

Abstract

Hailar Basin is a fault-depressed basin formed on Variscan folded basement. The Zhalainuoer Group in the basin could be divided into 4 sedimentary assemblages: 1. basal coarse clastic section; 2. lacustrine coarse clastic section; 3. lacustrine fine clastic section; 4. coal-bearing clastic section. They constituted a relatively complete basin-filling sequence. The sandstones in low maturity formed in inland deep fault-depressed basin and derived from active continent margin or island arc. The reservoir models can be classified as nearshore subaqueous fans, turbidity sandbodies and lake shore sandbodies.