

# 江陵凹陷新沟咀组下段成岩特征及高孔隙带的分布规律

田继军<sup>1,2</sup>, 姜在兴<sup>3</sup>, 陈振林<sup>4</sup>

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;  
3. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 4. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 江陵凹陷成岩作用明显受沉积水介质性质的控制, 成岩特征呈现出淡水-半咸水介质富碳酸盐胶结与盐湖富硬石膏胶结特征, 两种胶结物含量存在互为消长的关系。从分析盐湖成因角度合理解释了成岩规律, 认为盐湖环境成因受控于深层卤水和古气候。淡水-半咸水环境和盐湖环境成岩作用模式的差异导致两种环境抗压实的机理存在着差异, 相应的高孔隙带分布规律不同, 淡水-半咸水环境的早期碳酸盐胶结物被溶蚀形成高孔隙发育带, 盐湖环境的膏岩层发育区有利于形成深部异常高压的“封存箱”, 保存原生孔隙, 从而发育高孔隙带。

**关键词:** 江陵凹陷, 沉积水介质, 成岩作用, 高孔隙带

中图分类号: TE122.2; P512.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2008)01-0039-06

## Diagenetic features and distribution of high-porosity zones in lower Xingouzui Formation of Jiangling depression

TIAN Ji-jun<sup>1,2</sup>, JIANG Zai-xing<sup>3</sup> and CHEN Zhen-lin<sup>4</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Diagenesis of Jiangling depression is controlled by sedimentary water and characterized by rich carbonate cementation in fresh to semi-salt water and rich anhydrite in salt water. The abundances of the two cements show a mutual growth and decline relationship. The salt environment is controlled by the deep brine and paleo-climate. The differences of the diagenetic model between the fresh water-semisalt environment and the salt environment lead to the differences between the two environments in the mechanism of resistance to compaction and the distribution of high-porosity zones. Early carbonate cement dissolution in the fresh water-semisalt environment forms high-porosity zones, while the development zone of gypsum and anhydrite is beneficial to forming a mothballed box of overpressure at depth, thus preserving original pores and leading to the development of high-porosity zones.

**Key words:** Jiangling depression; sedimentary aqueous media; diagenesis; high-porosity zone

江陵凹陷是江汉盆地最大的次级构造单元,也是江汉盆地增储上产寄予希望的凹陷(图 1)。该凹

陷资源量近  $1 \times 10^9$  吨,现提交的探明资源量  $1.5 \times 10^7 \text{ m}^3$  (主要是新沟咀组下段),探明率仅为 15%。

收稿日期: 2007-03-30; 修订日期: 2007-06-28

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科技开发资助项目(P01027)

作者简介: 田继军(1978-),男,博士研究生,主要从事层序地层学与沉积学研究,电话: 13367255193, E-mail: tianjijun3414@163.com

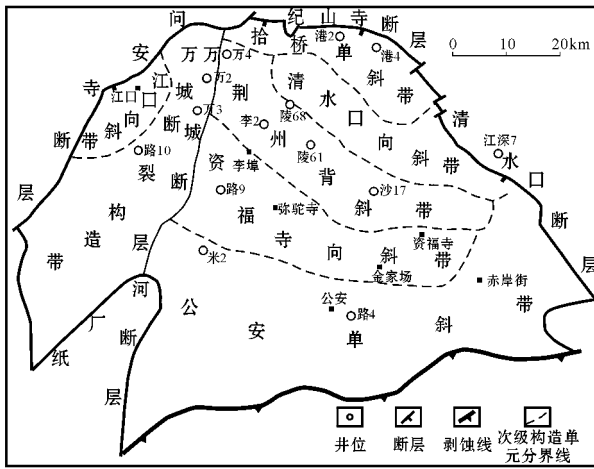


图1 江陵凹陷构造分区简图

Fig. 1 Schematic map showing division of tectonic units in Jiangling depression

探明率低的主要原因是该区储层特征比较复杂,成岩作用对储层的改造强烈。前人对江陵凹陷新沟组下段的成岩作用、孔隙特征(王泽中等,1996;唐克江,2004)以及潜江凹陷潜江组的盐湖环境与油气关系(柳保军等,2004)做过较多深入研究,对江陵凹陷沙市组盐湖环境对储层的影响也做过部分研究(刘丽军等,2003),但均缺少盐湖环境对江陵凹陷新沟组下段储层成岩作用和高孔隙带分布规律的研究。这是由于江陵凹陷新沟组下段不是典型的盐湖沉积,与潜江凹陷潜江组典型的盐湖沉积有着明显不同,因此许多研究者多强调新沟组下段储层成岩特征与典型盐湖环境储层的不同(王泽中等,1996)。笔者通过进一步研究发现,江陵凹陷新沟组下段储层成岩作用特征与袁悛楠等(1997)总结的淡水-半咸水湖盆储层成岩模式有明显不同,其成岩特征与盐湖环境有很大关系。为此笔者研究了淡水-半咸水和盐湖环境与成岩作用特征的关系,并探讨其对高孔隙带的影响。

## 1 沉积水介质性质及沉积环境

### 1.1 沉积水介质性质

江陵凹陷新沟组早中期处于干旱-半干旱气候条件,湖盆水体以微咸水至咸水为主,地层水矿化度较高。新沟组下段广泛分布着白云质泥岩、灰质泥岩、石膏、芒硝和岩盐交互的盐湖相沉积,泥膏岩、白云岩、泥灰岩等可占地层厚度的3.44%~

6.10%,其顶部大膏层连续分布面积达2300 km<sup>2</sup>,约占整个凹陷面积的35.4%,发育稳定,有利于油气的保存。石膏、硬石膏及芒硝的稳定分布说明沉积水以SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>为主,代表古湖盆向硫酸盐湖阶段演化的趋势,表明研究区向更干旱的方向发展。

### 1.2 沉积特征

新沟组下段沉积时期,江陵凹陷除在断裂附近表现为小型断陷外,总体上呈平缓的“碟状凹陷型凹陷”,厚度稳定(300~500 m),其中砂岩占地层厚度的20%~30%。盆地西北部、北部、东北部及南部提供物源,但南部物源较小,北部物源体系控制了江陵凹陷新沟组下段沉积体系的展布,从盆地北部边缘向盆地中心依次展布三角洲平原、三角洲前缘亚相和浅湖亚相。

新沟组下段沉积时期雨量较少,来自物源区的水系侵蚀能力也相对较弱,被搬运入盐湖的碎屑物质粒级较细,多为粉砂和细砂。由于湖水盐度高,部分地区为盐湖环境,沉积水溶液密度较高,细粒碎屑物质可以被搬运到湖盆内部沉积,形成广泛分布的浅水湖滩及砂坝,沉积物延伸较远,从北部物源区的物源可以延伸到湖盆中心。因而,从盆地边缘到湖盆中心依次沉积了三角洲平原分流河道、三角洲前缘水下分流河道、浅湖相湖滩砂体、砂坝等有利储集砂体,其中高孔隙砂体是有利的勘探目标。

## 2 砂岩成岩作用模式

成岩作用模式一般与埋藏史、构造史、热演化史等密切相关(袁悛楠等,1997),但江陵凹陷成岩模式主要受控于成岩早期古湖盆的水介质条件。淡水-半咸水环境与盐湖环境下砂岩成岩事件和成岩特征有明显差异,成岩作用模式也有很大差异。盐湖环境下成岩作用强烈,成岩现象丰富,除了淡水-半咸水环境成岩中的机械压实、碳酸盐胶结、交代作用、溶蚀作用等外,还具有盐湖环境特有的成岩现象。

### 2.1 淡水-半咸水环境成岩模式

盆地边缘由于受河流注入淡水的影响,湖水被稀释,淡水-半咸水的成岩环境控制了早期成岩事件,并影响了后期的成岩演化。

#### 2.1.1 碳酸盐胶结

碳酸盐强烈胶结是淡水-半咸水环境成岩作用的最明显特征,根据23口井235块薄片镜下鉴定统

计,碳酸盐胶结物主要为方解石,平均含量为 11.2%,最高可达 40%;其次为白云石,含量 1%~2%。铁方解石及铁白云石含量较少。碳酸盐胶结物呈团块状、斑点状不均匀分布。阴极发光镜下可明显看到粉晶状、细晶状碳酸盐呈基底式或孔隙式胶结颗粒。碳酸盐胶结物主要有 4 种类型:粉-细晶方解石、连晶方解石、白云石、铁方解石和铁白云石,分别代表不同时期、不同成岩环境的产物。

**粉-细晶方解石**:充填于粒间孔隙之中或呈基底式胶结,对颗粒很少有交代现象,在电镜下呈片状、纤状分布于粒间,或呈晶簇状分布于粒表,阴极射线下发桔黄色或桔红色光。

**连晶方解石**:是最普遍发育的一种碳酸盐胶结物类型,含量 10%~20%,多呈斑块状,阴极发光显桔红、橙-亮橙色,对颗粒交代强烈,胶结处颗粒多呈点接触或因强烈交代而呈基底式胶结。连晶方解石胶结颗粒呈点接触,甚至漂浮接触的事实,说明这种胶结物形成时间较早,为早成岩期胶结。

**白云石**:多呈自形晶充填溶孔,含量较少,阴极射线下发棕褐色光。

**铁方解石和铁白云石**:含量低,呈菱形自形晶充填孔隙,交代颗粒以及连晶方解石,阴极射线下发暗红色光。

### 2.1.2 粘土矿物

新沟咀组下段砂岩中粘土矿物的组成及含量在垂向上的分带不太明显,在平面上分布具有规律性。在河流入湖口地区(如万 2、荆参 1 井等)可见高岭石,高岭石矿物自形程度较高,多呈假六方书页状集合体,表明高岭石为自生粘土矿物,其形成环境为偏酸性的淡水环境。在江陵-沙市地区粘土矿物以伊/蒙无序混层为主,伊利石含量 < 65%,其形成于偏碱性富钾微咸水-半咸水环境。分析显示从盆地边缘到盆地中心,亦即越近盐湖环境,伊利石含量越高,由伊/蒙无序混层渐变为伊/蒙有序混层,因而,粘土矿物的平面分布也受沉积水介质的控制。

### 2.1.3 交代作用

交代作用强烈,形式多样,最普遍的是碳酸盐矿物交代石英、长石。由于石英的化学稳定性较强,方解石往往从颗粒边缘开始交代,使其形成锯齿状或港湾状边缘,一些石英边缘因被交代而变得不规则、不完整。发生石英溶蚀被交代现象的原因是:当孔隙水 pH 值由低变高时,尤其是 pH > 8.5 时,石英将会呈不稳定状态而发生溶蚀作用,如果此时  $Ca^{2+}$  的

浓度适合,则会发生碳酸盐交代石英的过程。从结构上看,有时可见石英颗粒漂浮于碳酸盐胶结物中,这种漂浮结构也正是由于胶结物对碎屑颗粒的强烈溶蚀交代造成的。

### 2.1.4 溶蚀、溶解作用

新沟咀组下段的溶蚀、溶解作用最早发生在早成岩期的 A、B 亚期,主要表现为同生期和成岩早期形成的泥晶、微亮晶方解石胶结物的溶解和长石、岩屑等不稳定碎屑颗粒的溶蚀。但是,这一时期形成的次生孔隙在后期的成岩过程中,大都为后期形成的胶结物充填,故该期溶蚀、溶解作用对砂岩的储集物性影响不大。表现得更为明显、对砂岩的储集物性影响更大的溶蚀、溶解作用发生在晚成岩 A、B 亚期,烃类运移过程中往往伴随有机酸的运移,碎屑中不稳定的组分,长石、早中期碳酸盐胶结物及碳酸盐岩屑受有机酸溶蚀,形成次生孔隙发育带。

### 2.2 盐湖环境成岩模式

江陵凹陷资福寺向斜在新沟咀组下段沉积时处于湖盆中心,为浅湖-半深湖环境,其成岩模式与淡水-半咸水环境有着显著不同,同时也不同于典型盐湖环境(裴悻楠等,1997),具有独特的盐湖沉积特征(图 2)。

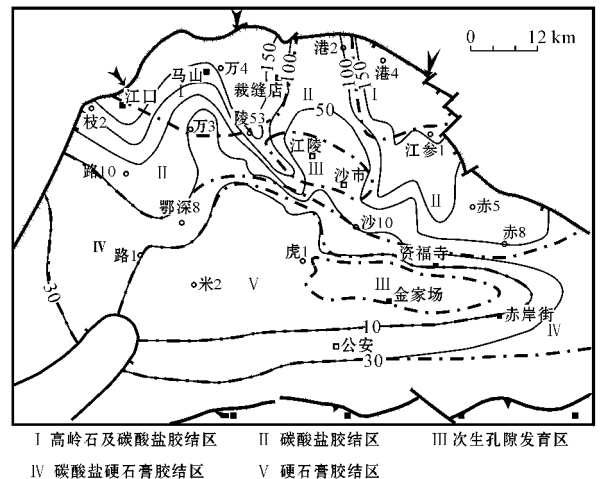


图 2 江陵凹陷新沟咀组下段成岩相带分布图

Fig. 2 Distribution of diagenetic facies of lower Xingouzu Formation in Jiangling depression

### 2.2.1 碳酸盐胶结

镜下观察薄片发现,研究区盐湖环境下碳酸盐胶结物含量少,平均含量在 5% 以下,以方解石为主,含少量铁方解石、白云石及铁白云石。这与东濮凹陷沙河街组盐湖环境砂岩强烈碳酸盐胶结有所不

同,东濮凹陷沙河街组沉积水以  $\text{HCO}_3^-$  为主,而江陵凹陷以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主,  $\text{SO}_4^{2-}$  是由深层底卤水提供,这将在下面进一步分析。

### 2.2.2 硬石膏胶结

硬石膏呈凝块状胶结碎屑是资福寺向斜盐湖环境最明显的成岩作用特征,镜下常见纤维状或团块状硬石膏充填于剩余粒间孔、溶蚀孔内,含量最高可达 30%。硬石膏发育于杂基和岩屑含量少的净砂岩中,呈基底式充填于颗粒之间,致使孔隙基本消失。从硬石膏的含量与砂岩储集性关系来看,随着硬石膏含量的增加,砂岩储集性明显变差。

### 2.2.3 粘土矿物

盐湖环境中粘土矿物以伊利石-绿泥石组合为主,蒙皂石在成岩阶段早期随湖水的咸化就已完成了向伊利石和绿泥石的转化。伊利石常呈碎片状、自生片状,少见自生丝缕状,主要以孔隙充填式产出,少许丝缕状伊利石呈网状搭桥式分布于砂岩之中,致使孔喉减小,弯曲度增加,严重时会使砂岩完全丧失储集性能。

### 2.2.4 交代作用强烈

硬石膏交代石英、长石现象十分普遍,硬石膏交代颗粒边缘,使其形成锯齿状或港湾状边缘,一些石英边缘因被交代而变得不规则、不完整。

通过本次研究发现,在同一个湖盆中,呈现出淡水-半咸水介质富碳酸盐胶结物与盐湖富硬石膏胶结物的特征,两种胶结物之间存在着互为消长的关系(图3),这是与前人研究结果的主要不同之处。

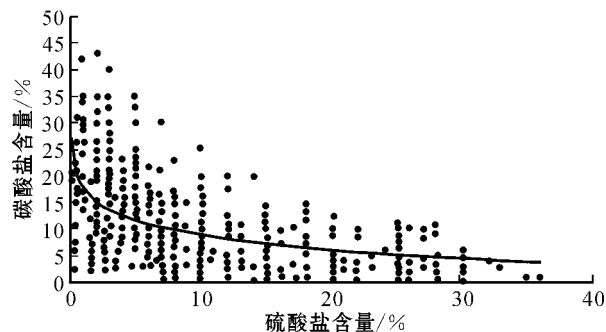


图3 江陵凹陷新沟咀组下段碳酸盐与硫酸盐关系

Fig. 3 Plot of carbonate cement versus anhydrite cement from lower Xingouzui Formation in Jiangling depression

## 3 盐湖成因讨论及成岩作用规律解释

与传统的盐湖成因模式相反,江陵凹陷不是干盐湖成因模式。干盐湖湖盆是一套盐类与粗碎屑岩

共生的地层组合,而江陵凹陷新沟咀组下段基本上薄层粉砂岩、细砂岩、泥岩和盐类的共生组合。这说明江陵盐湖不仅仅受控于古气候和沉积环境,构造运动才是江陵凹陷新沟咀组下段盐湖环境形成的最重要因素,活动性大断裂和古气候共同控制了盐湖环境的形成及分布。

### 3.1 深层卤水控制了盐湖环境的形成

江陵凹陷新沟咀组下段沉积时,凹陷南缘、中部发育剧烈活动的深大张性断裂和一系列同生正断层,古近系新沟咀组、潜江组和荆沙组均有火山岩分布,即为深部卤水活动有动力基础的明显证据。这些深大张性断裂和同生正断层成为沟通凹陷与地壳深部盐类物质的通道。江陵凹陷经历了海相沉积、海陆交互到陆相沉积的纵向演变过程,其中震旦统灯影组、中上寒武统均有膏岩沉积,古盐度可达 28.42%,深层卤水提供了盐类来源。进一步分析发现,从新沟咀组到潜江组火山活动由弱变强,从新沟咀组到潜江组盐类沉积也具有逐渐增多的趋势,这充分证明深层卤水形成了江陵凹陷湖盆中心的盐湖环境。

深层卤水在高温影响下由于膨胀产生巨大压力,沿断裂上涌,汲取围岩中重金属和古老地层中的盐类,以热卤水形式进入湖盆。深层某部位卤水受热上涌之后,邻近的地层水以及通过断裂等渗滤下去的地表水进行补充,受热后再上涌,从而形成深层热卤水的循环(袁静等,2000)。热卤水活动受断裂作用等因素的影响是阵发性的,向凹陷提供的盐类物质时多时少,陆源碎屑物质也可进入凹陷,这就形成蒸发岩与碎屑岩共生的现象。

### 3.2 古气候控制了淡水-半咸水湖和盐湖的分布

沿断裂上涌的卤水由于密度大而向更深的湖底流动,富集在凹陷的较深处,当季节性洪水、雨水进入湖盆时就“浮”在卤水的上部,形成分层卤水,其由3部分组成:①稀释层——相当于微咸水或半咸水,此层受蒸发作用耗量大,当入流水注入量减少时,便会减薄或消失;②盐跃层——含盐度迅速增加,与稀释层之间有一密度界面;③滞水层(卤水层)——基本为饱和盐水,密度大、厚度小,与已沉积的盐类物质呈化学动态平衡。也就是这种半干旱-半潮湿的气候使得湖盆四周有相对稳定的入流存在,盐湖边缘地区经常保持着淡水环境,而在凹陷区,由于卤水分层作用和侧向流动则发育盐湖成岩环境。

### 3.3 盐湖成因模式合理解释了成岩规律

深层卤水、古气候以及卤水分层导致了在同一湖盆中呈现出环带状水介质性质,从而导致了胶结物以及其他成岩作用的规律性变化,也就影响了次生孔隙的分布(袁静等,2000)。在上述论证基础上,以图4示意江陵凹陷新沟组下段盐湖成因模式。

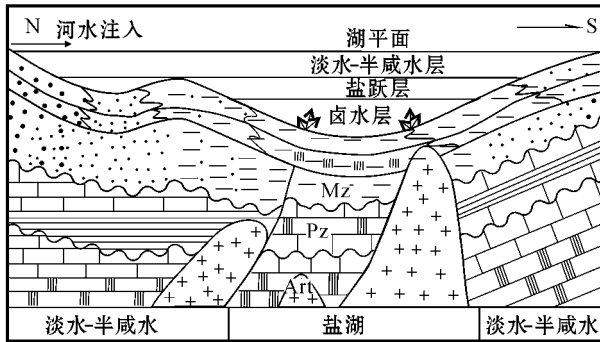


图4 盐湖成因模式及沉积水介质纵向分布图

Fig. 4 Genetic model of salt lake and vertical distribution of aqueous media

## 4 高孔隙带分布规律

江陵凹陷新沟组下段纵向上产生多个高孔隙发育带(图5)。由于埋藏一般较深,无论盆地边缘还是盆地中心都经历了较强的压实作用,但高孔隙带的存在说明必然是具有某种抗压实的有利因素(Scherer,1987)。这就与成岩作用有了密切的关系,淡水-半咸水环境和盐湖环境成岩作用模式的差异也必然导致两种环境抗压实的机理存在着差异,相

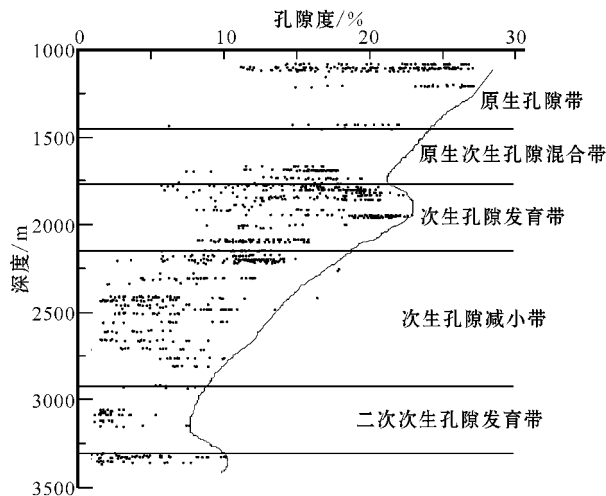


图5 江陵凹陷新沟组下段次生孔隙发育带

Fig. 5 Secondary pores-developed area of lower Xingouzui Formation in Jiangling depression

应的高孔隙带分布规律也会不同(王建伟等,2004;游国庆等,2006)。

### 4.1 淡水-半咸水环境

砂岩富碳酸盐胶结,在强烈机械压实作用发生之前,原始粒间孔尚未破坏,碳酸盐胶结物就直接从孔隙水中沉淀结晶出来,碳酸盐晶体有充分的生长空间,因而趋向于形成自形晶体,早期碳酸盐胶结物对储层的物性影响较大。一般而言,碳酸盐胶结作用对储层的储集物性起破坏作用,但本区的情况有所不同,早期碳酸盐胶结物起到了抗压实的作用,不仅减弱了压实作用,而且为后期提供了溶蚀的物质基础。晚成岩A期含有机酸及CO<sub>2</sub>气的酸性地下水溶蚀碳酸盐胶结物形成了大量的粒间次生溶孔,对储层的孔渗性起到了改善作用。

淡水-半咸水环境中,高孔隙的发育主要受两个方面的原因制约,一是碳酸盐胶结物的含量,碳酸盐胶结物在储层中的分布是不均一的,早期方解石的胶结作用在部分储层中造成了原生粒间孔隙的封闭或半封闭,在粒间孔全封闭的储层中,后期溶蚀作用很弱,形成了难以改造的致密层。因此,含有一定数量的碳酸盐胶结物,且未完全堵塞粒间孔隙是形成后期溶蚀的重要通道;二是有机酸的溶蚀能力,邻近烃源岩区且为运移的指向区,有机酸含量高,有利于碳酸盐等不稳定矿物的溶蚀,形成次生孔隙的发育带。

### 4.2 盐湖环境

砂岩富硬石膏胶结,有机酸无法形成对硬石膏胶结物有效的溶蚀。但是当盐湖环境存在大量膏盐层时,形成砂岩和膏盐层的互层,在未固结沉积物中,同生水不能通过非渗透性的膏盐层逸出,砂岩中的地层水便会承载上覆岩层和其他沉积物,形成孔隙流体的超压(Weedman *et al.*,1996),有利于形成深部异常高压的“封存箱”,减缓压实作用,保存原有孔隙。同时也有利于后期成烃过程中富含有机酸及CO<sub>2</sub>气体的酸性地下水活动,形成对长石和少量碳酸盐胶结物溶蚀,产生部分次生孔隙。因此,膏岩层有利于形成原生、次生混合的高孔隙带。

## 5 结论

(1) 碟状拗陷型凹陷和湖盆中心的盐湖环境控制了沉积体系的类型和分布,细粒碎屑物质被搬运到湖盆内部形成广泛分布的浅水湖滩及砂坝。

(2) 江陵凹陷成岩特征呈现出淡水-半咸水介质富碳酸盐胶结物与盐湖富硬石膏胶结物的特征,两者之间存在着互为消长的关系。

(3) 深层卤水形成了江陵凹陷湖盆中心的盐湖环境,古气候控制了淡水-半咸水湖和盐湖的分布。

(4) 淡水-半咸水环境和盐湖环境成岩作用模式的差异,导致两种环境抗压实的机理存在着差异,相应的高孔隙带分布规律的不同,淡水-半咸水环境早期碳酸盐胶结物溶蚀形成高孔隙发育带,盐湖环境膏岩层大量发育区有利于形成深部异常高压的“封存箱”,保存原生孔隙。

## References

Liu Baojun, Chen Kaiyuan, Shi Zhongsheng, *et al.* 2004. Reservoir prediction of the saline deposit in the Qianjiang Sag, Jiangnan Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 31(2): 74~80 (in Chinese with English abstract).

Liu Lijun, Xiao Jianxin, Lin Changsong, *et al.* 2003. Depositional system and sequence stratigraphy of the Shashi Formation in Jiangling depression in Jiangnan basin, South China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 30(2): 27~29 (in Chinese with English abstract).

Qiu Yanan, Xue Shuhao and Ying Fengxiang. 1997. Continental Hydrocarbon Reservoirs of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 99~150 (in Chinese with English abstract).

Scherer M. 1987. Parameters influencing porosity in sandstones: a model for sandstone porosity prediction [J]. *AAPG Bulletin*, 71(5): 485~491.

Tang Kejiang. 2004. The distribution of hydrocarbon and its potential prediction of Xingouzui Formation, Jingzhou anticline belt, Jiangling depression [J]. *Hubei Geology and Mineral Resources*, 18(1): 17~21 (in Chinese with English abstract).

Wang Jianwei, Bao Zhidong, Tian Haiqin, *et al.* 2004. The diagenetic environment of sandstone and porosity evolution of pre-foreland basin strata: a case study of Permian strata on the western Ordos foreland

basin [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 23(1): 37~42 (in Chinese with English abstract).

Wang Zehong, Chen Gongyang and Li Longyan. 1996. Geological characteristics of lower Xingouzui Formation at Jiangling depression [J]. *China Offshore Oil and Gas Geology*, 10(5): 311~316 (in Chinese with English abstract).

Weedman S D, Brantley S L, Hiraki R, *et al.* 1996. Genesis competition and fluid chemistry modeling of a sandstone near a pressure seal: Lower Tuscaloosa Formation Gulf coast [J]. *AAPG Bulletin*, 80(7): 1045~1064.

You Guoqing, Pan Jiahua, Liu Shuqin, *et al.* 2006. Diagenesis and pore evolution of Paleocene sandstone reservoir in Dongying depression [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(3): 237~242 (in Chinese with English abstract).

Yuan Jing, Zhao Chengling and Zhang Shanwen. 2000. Genetic model of the deep water salt lake of the Paleogene Sha-4 member in Dongying Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(1): 114~118 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

柳保军, 陈开远, 史忠生, 等. 2004. 潜江凹陷盐湖沉积储集层分布预测 [J]. *石油勘探与开发*, 31(2): 74~80.

刘丽军, 肖建新, 林畅松, 等. 2003. 江汉盆地江陵凹陷沙市组层序地层与沉积体系分析 [J]. *石油勘探与开发*, 30(2): 27~29.

裘怿楠, 薛叔浩, 应凤祥. 1997. 中国陆相油气储集层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 99~150.

唐克江. 2004. 江陵凹陷荆州背斜带新沟咀组下段油气分布规律及前景预测 [J]. *湖北地矿*, 18(1): 17~21.

王建伟, 鲍志东, 田海芹, 等. 2004. 前陆盆地层系砂岩成岩环境特征及其孔隙演化——以鄂尔多斯盆地西缘二叠系为例 [J]. *岩石矿物学杂志*, 23(1): 37~42.

王泽中, 陈恭洋, 李龙滢. 1996. 江陵凹陷新沟咀组下段储层地质特征 [J]. *中国海上油气(地质)*, 10(5): 311~316.

游国庆, 潘家华, 刘淑琴, 等. 2006. 东营凹陷古近系砂岩成岩作用与孔隙演化 [J]. *岩石矿物学杂志*, 25(3): 237~242.

袁静, 赵澄林, 张善文. 2000. 东营凹陷沙四段盐湖的深水成因模式 [J]. *沉积学报*, 18(1): 114~118.