

盐湖盆地层序地层特征

黄春菊, 陈开远, 杨香华

(中国地质大学石油系, 湖北武汉 430074)

摘要: 盐湖盆地与碳酸岩盐的层序地层是有区别的。因此, 须从气候、构造和盐类物质来源等方面分析岩盐沉积, 利用岩盐沉积物中的地球化学特征揭示湖平面的变化并划分岩盐层序。潜江凹陷潜江组的碳、氧同位素在水进体系域中较轻, 而在高位和低位体系域中较重; 硼含量亦有类似的变化规律, 低位域和高位域末期的硼含量一般较高, 而在水进体系域中则变小。综合分析潜江凹陷潜江组不同物源及古地形等因素, 可将潜江组划分为 3 大体系域和 7 个层序。

关键词: 盐湖盆地; 盐湖层序; 地球化学特征; 盐湖面; 潜江凹陷

第一作者简介: 黄春菊, 女, 27 岁, 博士生, 层序地层学与地震油藏描述

中图分类号: P618

文献标识码: A

据统计, 世界上大多数的咸化盆地都是重要的含油气区, 因此国内外石油地质界一直特别关注咸化盆地的油气远景与勘探。咸化湖发展到一定阶段, 即达到一定盐度时, 则成为盐湖。盐湖盆地具有独特的成藏地质条件, 仅我国的数个盐湖盆地来看, 在高达 2.0 的压力系数下, 还可形成较大的油气富集; 同时也可在基本不具孔隙的泥质、膏质混合岩中发现高产油气流。如东濮凹陷的濮卫油气田、潜江凹陷的王场油田等等。中东地区的一些特大型油气田, 如布尔干、加瓦尔油气田等, 多与寒武纪以来的蒸发岩塑性流动所产生的大型长垣密切相关^[1]。因此, 研究盐湖盆地的沉积充填演化历史及岩盐沉积在层序发育中的位置和作用, 对于盐湖盆地的油气勘探尤其是预测油气的分布有着极其重要的作用。

迄今为止, 世界上研究程度较高的咸化盆地绝大多数是海相沉积盆地, 其层序地层模式一直借鉴碳酸岩盐层序地层模式^[2, *]。然而, 勘探证实, 陆相盐湖盆地的层序地层并非如此。

1 陆相咸化盆地沉积

1.1 形成条件

1.1.1 地貌和气候

封闭条件能保持盆地内盐类物质继续积聚, 湖泊只有内陆河流或潜水的注入, 这是形成大规模盐类沉积的重要条件。盐类沉积是由地表浓缩的卤水经过沉淀作用而形成的, 它是封闭盆地在蒸发量

大于补给量(降雨量+径流量)的干旱或半干旱气候条件下的产物^[3]。

1.1.2 构造

盐湖盆地的形成与断层密切联系, 我国新生代大型盐湖如江汉、柴达木、塔里木、准噶尔以及渤海湾盆地的东营凹陷、东濮凹陷等, 几乎全都受断块陷落或边界断裂活动作用的控制。我国潜江凹陷潜江组盐湖, 在差异性沉降作用和继承性断裂持续活动的作用下, 形成了比深值较大的湖泊, 发育时间超过 17 Ma, 形成了巨厚的盐类沉积^[1, 4, 5]。

1.1.3 盐类物质来源

(1) 地表原岩风化中的易溶盐类物质被地表水和地下水潜流带入湖盆, 这是最主要的来源。(2) 海侵的海水提供盐分。(3) 地下热卤水或热水来源。(4) 来源于下部含盐岩系, 通过深大断裂的上升泉溶解了地下深部的含岩盐系中盐类物质。(5) 来源于火山喷出物。(6) 来源于卤盐, 原来含盐海相沉积岩被风化淋滤出来的盐类组分^[1]。

1.2 沉积演变

咸化湖的水面有季节性变化(汛期和干期或湿季和干季)、长年性变化(丰水年和贫水年)、历史性变化(沛水期和柘水期或雨期和间雨期)等^[1]。根据盐湖阶段的湖平面高低可以划分为: 高位面和低位面。一般高位面的层序反映湖水由浅往深变化的沉积相环境。低位面的层序反映湖水由深往浅变化的沉积相环境。盐类沉积出现的部位视其超覆基底的岩性而有差异。大陆干旱-半干旱区的湖泊沉积作用有两种不同的形式, 即湖泊碎屑流和盐类饱和流, 也即盐湖对环境的记录具有双向性, 这也就决定了盐湖沉积记录对环境变化的敏感性和全息性。

* Mancini E A, Tew B H, Mink R M. Jurassic sequence stratigraphy in the Mississippi Interior Salt Basin of Alabama: 40th Annal Gulf Coast ASS Geol SOC & 37TH Annal SEPM Gulf Coast Sect MTG (Lafayette) Trans. 1990. 40: 521~ 529

收稿日期: 2001-08-29

2 研究方法

盐湖盆地层序地层学研究的关键是如何解释岩盐沉积在层序发育中的地位和作用, 如何确定不整合面, 了解岩盐沉积的湖平面变化特征, 确定体系域的发育位置和分布, 从而研究盐湖盆地的油气分布。封闭盐湖的沉积记录对环境的变化具敏感性和全息性, 因此在分析盐湖盆地的岩盐建造旋回层序时, 必须要有反映环境、气候和物理化学事件的其他资料, 必须考虑到影响蒸发盆地的输入量、输出量、蒸发量、沉淀盐量及渗透量之间的平衡关系和因素。这些因素和变量又与古地理和古构造条件有直接联系。

封闭盐湖中原生碳酸岩盐和粘土矿物的形成与湖泊水体的化学性质密切相关。湖泊从低水位到高水位, 由于湖泊扩张, 水体化学性质在一定范围内依次变化, 如 $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ 平均值, Sr/Ba , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 比值和溴、氯、硼等微量元素的含量都由高变低; 粘土矿物中伊利石、蒙脱石的含量以及绿泥石的含量和类型都发生有规律的变化; 这些指标都可以指示水介质的古盐度, 并与封闭湖泊不同演化阶段的沉积特征密切相关。因而, 湖相碳酸岩盐的同位素组成、粘土矿物、泥岩和膏岩中的微量元素组成都对沉积环境的水文变化很敏感, 可以有效揭示湖平面的变化^[3~8]。

3 实例

潜江凹陷潜江组沉积时期的构造演化大致可

分 3 个阶段: 早期(潜四^下时期)为断陷阶段, 潜北大断裂活动强烈, 盆底呈北低南高走向北西的箕状; 中期(潜四^上至潜二段沉积时期)主要为断坳期, 北部边界断层持续活动但强度减弱, 且派生出多个二级断层, 形成北东向的断-洼-隆构造格局, 沉降中心位于蚌湖-王场一带; 晚期(潜一至荆河镇组时期)主要为坳陷阶段, 北东向断层活动减弱, 使凹陷古地形总趋势呈北低南高, 北陡南缓, 洼、隆、坡相间的箕状凹陷。在此古地形背景之上, 由于盐湖内岩盐的塑性流动和上拱, 促使其箕状古地貌进一步复杂化。渐新世末期喜山运动第一幕使凹陷整体抬升, 今构造定形, 盐湖消失^[1]。

3.1 地球化学特征

潜江组是江汉古盐湖发展的鼎盛时期, 地层古生物化石种类单调, 缺乏底栖生物群, 岩盐异常发育, 局部出现杂卤石层和钾岩层, 说明为高盐度水体。据 Degens 资料, 形成于不同盐度中的碳酸岩盐稳定同位素含量不同, 淡水碳酸岩盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-0.5\text{‰} \sim 1.5\text{‰}$ (PDB), $\delta^{18}\text{O}$ 为 $1.0\text{‰} \sim 2.5\text{‰}$ (SMOW), 海相(咸水)碳酸岩盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-0.5\text{‰} \sim 0.5\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 为 $2.5\text{‰} \sim 3.0\text{‰}$ 以上。潜江组不同层序的水进体系域(TST)(水体相对淡化期)和低位体系域(LST)/高位体系域(HST)(相对咸化期)沉积在不同地区的碳氧同位素变化说明其湖盆的水体经历了高盐度浓缩期和相对淡化期的周期性变化(表 1), 地层发育具有明显的旋回性。

表 1 潜江凹陷潜江组碳、氧同位素变化特征(自下而上)

Table 1 change characteristics of Isotope for carbon and oxygen in Qianjiang Formation of Qianjiang depression

井号	层位	岩性	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ (SMOW)	Z 值	沉积时的水 介质特征	体系域	层序
王 4- 2 ²	Eq1 ¹	白云质泥岩	- 0.649	- 0.618	2.448 9	110.930 8	相对淡化期	HST	S VII
王 4- 2 ²	Eq1 ²	白云质泥岩	- 0.735	- 0.421	2.637 4	112.512 3	相对淡化期	TST	
王 4- 2 ²	Eq2 ¹	含盐云质泥岩	- 0.405	- 0.137	3.944 8	118.323 3	相对咸化期	HST	S VI
王 4- 2 ²	Eq2 ³	含盐云质泥岩	- 0.458	- 0.189	2.891 2	115.873 0	相对咸化期	LST	
王四新 7- 3	Eq2 ^{2上}	岩盐夹白云岩	- 0.476	- 0.023	3.109 7	117.666 1	相对咸化期	HST	S VI
王四新 7- 3	Eq2 ^{2下}	白云质泥岩	- 0.700	- 0.560	2.508 7	110.175 2	相对淡化期	TST	
王四新 7- 3	Eq3 ¹	白云质泥岩	- 0.235	- 0.002	3.083 9	122.477 2	相对咸化期	HST	S V
王四新 7- 3	Eq3 ^{3下}	含盐白云岩	- 0.478	- 0.134	2.947 9	116.843 2	相对咸化期	LST	
潭 25	Eq4 ¹	灰质泥岩	- 0.564	- 0.472	2.599 4	113.398 7	相对咸化期	HST	S IV
潭 25	Eq4 ⁰	灰质泥岩	- 0.417	- 0.486	2.585 0	116.339 6	相对淡化期	TST	
潭 25	Eq4 ^{0下}	含膏泥岩	- 0.491	- 0.140	2.941 7	113.318 9	相对咸化期	LST	
潭 25	Eq4 ²	泥灰岩	- 0.737	- 0.642	2.424 2	109.009 1	相对淡化期	TST	S III
潭 25	Eq4 ³	灰质泥岩	- 0.413	0.227	2.800 4	117.412 5	相对咸化期	LST	
潭 25	Eq4 ^下	灰质泥岩	- 0.502	- 0.102	2.980 8	116.511 1	相对咸化期	HST	S II
潭 25	Eq4 ^下	灰质泥岩	- 0.435	- 0.590	2.477 8	115.453 0	相对淡化期	TST	

国内外研究表明,微量元素硼的含量与水体的盐度有很好的线性关系,即水体盐度越高,硼含量就越大,通过岩石中硼含量可定量计算古盐度^[7,8];对于陆相盐湖沉积,石盐中的溴氯系数值亦与成盐阶段相关,随着卤水浓度的升高,溴氯系数增大^[6]。据 31 块样品的计算结果可得出潜江组水体盐度具如下特点:(1) 水体盐度高而变化范围大;(2) 同时期水体盐度自凹陷西部、凹陷边缘向凹陷中心及东南方向由淡变咸,具明显的分区性,盐度变化受物源及淡水补给方向的影响。低位域和高位域末期的硼含量和溴氯系数一般较高;水进体系域随着湖盆的扩张,湖水的逐渐淡化,硼含量和溴氯系数将变小,而在层序界面处硼含量和溴氯系数都很高(图 1)。根据地化指标可在同一层序内划

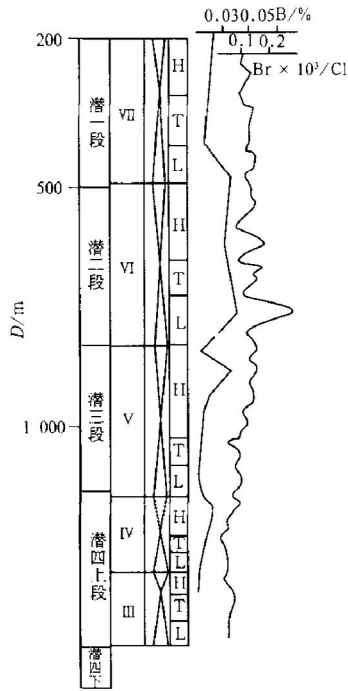


图 1 潜江组硼和溴氯系数综合层序特征

Fig. 1 Characteristics of synthetic sequence of coefficient of boron, bromine and chlorine in Qianjiang Formation

H—高位域;T—水进域;L—低位域

分出多个淡化—咸化变化周期(图 2)。因碳氧同位素值 Sr/Ba 的比值有随盐度的增高而增大的明显趋势,而 Al_2O_3/MgO 比值则随盐度增高而降低。层序界面处碳、氧同位素值很高, Sr/Ba 比值很高, Al_2O_3/MgO 比值很低;低位域和高位域都有较厚层的岩盐发育,碳、氧同位素值较高, Sr/Ba 比值较高, Al_2O_3/MgO 比值较低,古温度也比较高;在水进体系域,随着湖盆的进一步扩张,可容纳空间的进一步扩大,水体体积不断扩大,湖水逐渐淡

化,在此期间沉积的厚层泥岩增多,岩盐厚度逐渐减薄,碳、氧同位素值不断变小, Sr/Ba 比值不断变小, Al_2O_3/MgO 比值逐渐增大,古温度也较低,说明此期是较湿润的气候。

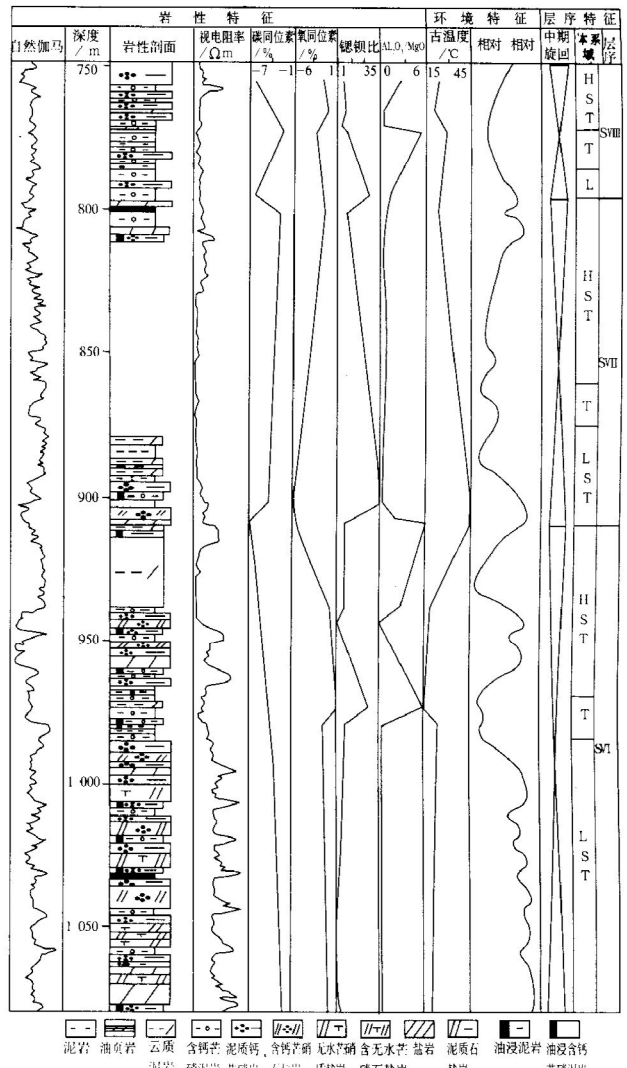


图 2 A 井根据地化指标划分出的三级层序及其体系域

Fig. 2 Third order sequence and its systematic tracts

divided by geochemical index in Well- A

3.2 发育模式

因潜江组各层序发育时,潜江凹陷为一北陡南缓的箕状凹陷。受北部物源的影响,凹陷北部边界潜北大断层的下降盘发育三角洲—扇三角洲砂体,但相带窄、变化快,三角洲前缘砂体常直接插入盐湖中,砂岩直接相变到岩盐。由凹陷中心的岩盐向南的缓坡区逐渐过渡为泥膏岩—膏泥岩—钙芒硝等。所以,在此盐湖划分层序,既要考虑岩盐的成因又要考虑剖面所处的位置和剖面性质。受潜江凹陷物源分布和古地形的影响,潜江组各层序发育时岩性分布各有差异,对于不同位置的剖面应该有不同的划分标准。一般来说,在低水位

期, 虽然可容纳空间增加, 但由于水体分布范围不大, 水体体积有限, 所以湖水盐度相对较高, 因而低水位期岩盐较发育, 且盐层较厚; 在湖侵期, 随可容纳空间的增加, 湖水体积逐渐变大, 盐度逐渐变低, 到最大洪泛面处, 此时水体体积最大, 湖水盐度最低, 因而湖侵期岩盐不发育或盐层较薄; 在高水位期, 尽管水体分布范围较大, 但由于可容纳空间的减小和湖泊的淤浅, 湖泊水

体体积并不大, 此时湖水盐度相对较高, 因而高水位期岩盐较发育, 且盐层较厚 (图 3)。由于岩盐后期的溶解和重结晶作用, 导致岩盐垂直层面生长和沿层面流动, 易形成流变界面。界面之上的岩盐与其上覆地层呈明显的不整合接触, 使层序的内部结构发生变形, 且影响后期层序的发育, 使后期的层序界面具有高低不平的起伏特征。潜江组内部各层序界面和层序厚度在平面上变化较为复杂, 反映了岩盐层内流变对层序发育的影响。潜江凹陷北部潜江组 S III- 1~ S III- 9 层序局部地段岩盐层明显加厚, 不仅影响古地形和砂体展布, 而且在滑脱面上下层序结构和空间展布变化较大; 层序 S III- 1~ 2(即潜江组四段下亚段) 岩盐极为发育, 夹“软泥岩”, 反射特征为大段弱反射或空白反射; 层序 S III- 3(潜江组四段上亚段) 砂泥岩与岩盐互层沉积, 反射较连续(图 4)。层序 S III- 3~ 4

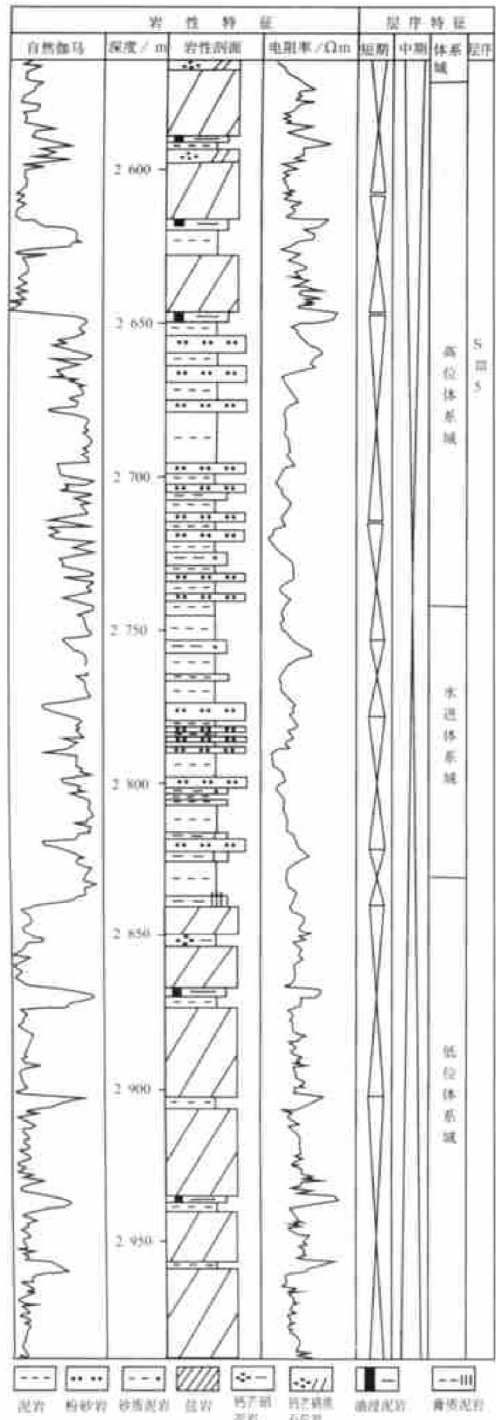


图 3 潜江凹陷 B 井的高精度层序划分

Fig. 3 Sequence division with high resolution in Well- B in the Qianjiang depression

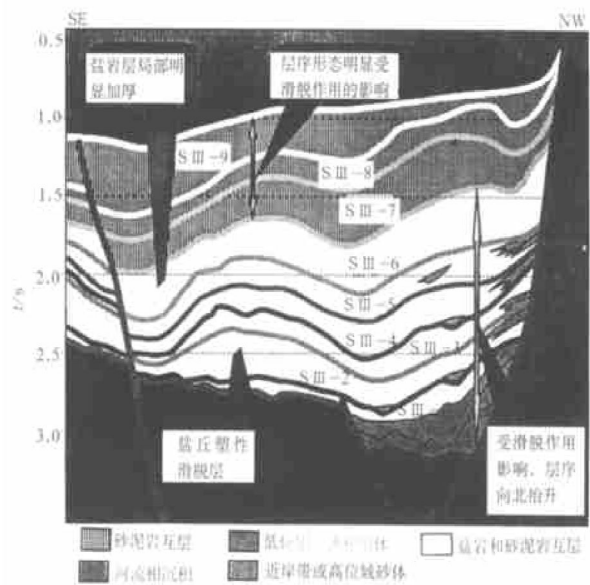


图 4 潜江凹陷北部层序发育模式示意图

Fig. 4 Diagram of sequence development model in northern Qianjiang depression

和 S III- 1~ 2 构成密度倒置, 是层序 S III- 1~ 2 普遍发生流变和上界面起伏不平的原因之一; 层序 S III- 1~ 2 岩盐发育段及其以后发生的层内流变作用影响到潜江组内部层序及其界面发育特点; 潜江组内部层序 S III- 6(即潜江组二段) 与层序 S III- 5(即潜江组三段) 之间为岩盐层内流变形成的层序界面, 界面上下地层样式明显不一致, S III- 6底界面为一较连续的强反射轴。由此可以推断, 潜江组内各层序的发育受古地形以及岩盐后期层内流变的影响很大。层序 S III- 2 底界面即为

一流变面,岩盐呈楔形,具明显的流变特征。因此如何识别盐湖盆地的不整合面,是一个极其复杂的问题。

参 考 文 献

- 1 戴世昭. 江汉盐湖盆地石油地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 15~ 83
- 2 Loucks R G, Frederick J. Carbonate sequence stratigraphy[M]. Tulsa: AAPG Memoir, 1994
- 3 Ibrahim T, Mehmet O. Sedimentology and evaporite genesis of Neogene Continental Sabkha Playa Complex, Karakecili Basin, Central Anatolia Turkey[J]. Carbonates and Evaporites, 1999, 14(1): 21~ 31
- 4 徐昶. 中国盐湖粘土矿物研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1993. 1~ 180
- 5 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 114~ 278
- 6 刘卫国, 肖应凯, 孙大鹏, 等. 柴达木盆地盐湖氯同位素组成的初步研究[J]. 科学通报, 1994, 39(20): 1 918~ 1 919
- 7 孙大鹏, 肖应凯, 王蕴慧, 等. 青海湖硼同位素地球化学初步研究[J]. 科学通报, 1993, 38(9): 822~ 825
- 8 Kakinana H, Ossaka T, Qi T, et al. Boron isotopic ratios of some hot spring water in the Kausatsu- shirane area[J]. Geochemistry Journal, 1987, 21: 133~ 137

CHARACTERISTICS OF SEQUENCE STRATIGRAPHY IN THE SALINE LAKE BASIN

Huang Chunju Chen Kaiyuan Yang Xianghua

(*Earth Resource Faculty, China University of Geosciences, Wuhan*)

Abstract: There are some distinctions between sequence stratigraphy of carbonate rock and sequence stratigraphy of the saline lake basin. Therefore, the analysis of carbonate rock sediment must start from the analysis of climate, structure and sources of saline material etc. and use geochemical characteristics of the saline sediments to reveal changes of the lake surface so as to divide the saline sequence. Isotope of carbon and oxygen in the ingression of water system tracts in Qianjiang Formation of Qianjiang depression is lighter than those in the highstand and lowstand system tracts. Boron content has a similar change regularity, boron content in the late period of highstand and lowstand system tracts is normally higher while in the ingression of water system tracts it's gradually becoming lower. Qianjiang Formation of the Qianjiang depression could be divided into 3 major system tracts and 7 sequence stratigraphies on the basis of combined analysis of its different sediment sources and comprehensive factors of its palaeo- topography.

Key words: saline lake basin; saline lake sequence; geochemistry; characteristic; saline lake surface; Qianjiang depression