

# 潜江凹陷北部潜江组成藏动力系统划分及成藏模式

吴娟<sup>1</sup>, 叶加仁<sup>2</sup>, 康建云<sup>3</sup>

(1.成都理工大学 能源学院, 四川 成都 610059; 2.中国地质大学(武汉) 构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074; 3.中国石化西南石油工程有限公司 测井分公司, 四川 成都 610100)

**摘要:**潜江凹陷北部潜江组是江汉盆地油气勘探与研究的重点, 蕴藏着较为丰富的石油资源, 但其油气成藏缺乏系统、深入的研究, 制约了勘探的进程。运用成藏动力学理论和方法对潜江凹陷北部潜江组的成藏动力系统进行了研究和划分。以构造—沉积演化的阶段性与旋回性为基础, 结合生储盖组合、地层压力系统、油源特征和封闭程度将研究区潜江组划分为底部自源超压半封闭成藏动力子系统、下部混源超压半封闭成藏动力子系统、中部混源弱超压半封闭成藏动力子系统和上部他源常压半开放成藏动力子系统。总结出潜江凹陷北部潜江组的3种成藏模式, 分别为自源—砂体—侧向成藏模式、混源—断层—砂体—垂向—侧向成藏模式和他源—断层—砂体—垂向—侧向成藏模式。

**关键词:**成藏动力系统 子系统 成藏模式 潜江组 潜江凹陷

**中图分类号:** TE112.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2013)05-0010-05

潜江凹陷是中国典型的新生代断陷盐湖盆地, 为受北东向潜北大断裂及通海口大断裂所夹持的双断型箕状凹陷。现今构造整体表现为一凹两斜坡的构造格局, 根据北西向构造分带和断裂展布特征, 可将潜江凹陷北部地区进一步划分为潜北陡坡断裂带、蚌湖向斜带、周矶向斜带、东部斜坡带和西部斜坡带5个二级构造带。潜江组作为凹陷内主要的勘探目的层系之一, 蕴藏着较为丰富的石油资源, 其资源探明率为61.9%, 具有较大的勘探潜力。前人针对油气成藏地质背景和静态地质要素的配置关系等方面提出了一些有益的认识<sup>[1-8]</sup>, 但随着勘探程度的提高, 研究油气在多种动力学机制作用下的运移—聚集过程显得尤为重要。为此, 笔者以成藏动力学理论和方法为基础, 对潜江凹陷北部潜江组的成藏动力系统进行了划分, 总结油气成藏模式。以期寻找隐蔽油气藏, 指导研究区的油气勘探提供依据。

## 1 成藏动力系统划分基础及依据

受地球深部动力学控制的盆地构造—沉积旋回是划分成藏动力系统的基础, 而区域分布的致密岩层和异常高孔隙流体压力界面可作为区分不同

成藏动力系统的界面<sup>[9-14]</sup>。因此, 以构造—沉积演化的阶段性与旋回性为基础, 以生储盖组合、地层压力系统、油源特征和封闭程度为依据, 对潜江凹陷北部潜江组的成藏动力系统进行了研究和划分。

### 1.1 构造—沉积演化的阶段性与旋回性

沉积盆地构造—沉积演化的阶段性与旋回性不仅控制了盆地油气形成的物质条件, 也控制了油气系统形成的时空配置关系及其宏观分布。潜江凹陷潜江组沉积时期的构造运动经历了多个演化阶段, 受构造运动控制及古气候干湿频繁交替影响, 潜江组纵向上具有明显的旋回性。

前人根据盆地内的5个区域性不整合, 自下而上将研究区白垩系—第四系划分为构造 I 幕—构造 V 幕共5个构造幕<sup>[15]</sup>, 其中构造 IV 幕为荆沙组(E<sub>j</sub>)沉积末期—荆河镇组(E<sub>jh</sub>)沉积时期。根据凹陷内断裂活动和构造演化特征进一步将构造 IV 幕潜江组沉积时期细分为3个阶段: ①第1阶段距今约45~42 Ma, 对应荆沙组沉积末期—潜四下段(E<sub>q4</sub><sup>F</sup>)沉积中期, 为潜江凹陷的强烈断陷阶段; ②第2阶段距今约42~37 Ma, 对应潜四下段沉积末期—潜三段(E<sub>q3</sub>)沉积时期, 为湖盆发育的断拗阶段; ③第3阶段距今约37~32 Ma, 对应潜二段(E<sub>q2</sub>)—潜一段(E<sub>q1</sub>)沉积时期, 为湖盆发育的拗陷

收稿日期: 2013-07-15。

作者简介: 吴娟, 女, 博士, 从事成油体系与成藏动力学研究。联系电话: 18381070155, E-mail: qyh5678@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项“富烃凹陷特征及类比研究”(2011ZX05023-001-001), 国家科技重大专项“断陷盆地油气成藏动力系统与驱动机制研究”(2008ZX05000-006)。

阶段。对应研究区不同的构造演化阶段,其盐湖层序及其体系域的发育特征也不同,可归纳为上部层序、中部层序和下部层序3类。潜江凹陷构造—沉积演化的阶段性与旋回性是划分研究区成藏动力系统的基础,不同层序间大套致密泥膏岩对应于最大湖泛面,是区分不同成藏动力系统的重要界面。

### 1.2 多套生储盖组合

构造—沉积演化的旋回性决定了潜江凹陷纵向上具有多套生储盖组合。潜江组主要为一套咸淡频繁交替的石膏盐岩与泥岩夹砂岩组成的韵律沉积,潜二段—潜一段为区域性盖层,潜四段和潜三段为主力烃源岩层,整个潜江组构成一套完整的生储盖组合。同时,Eq4<sup>0中</sup>,Eq3<sup>3下</sup>,Eq2<sup>2下</sup>和Eq1<sup>1</sup>等油组中稳定分布的泥岩、膏盐层具有良好的封闭性,可与下伏储层构成4套次一级的储盖组合。每套生储盖组合自成系统,地下流体主要在对应的生储盖组合内进行侧向运移,这是划分不同成藏动力系统的重要依据。

### 1.3 多个纵向发育的欠压实带

研究区潜江组泥岩具有明显的欠压实和异常高孔隙流体压力特征,且泥岩压实曲线具有明显的旋回性;自下而上至少可见3个偏离正常压实趋势线的欠压实带,且在横向上可以追踪对比(图1)。泥岩的欠压实反映出地层压实的不均衡,欠压实段发育的异常高孔隙流体压力强化了盖层对油气的封盖作用,可有效地限制流体的垂向运移,致使流体多在2个高孔隙流体压力界面之间进行侧向运移。潜江凹陷北部潜江组3个较明显的欠压实带分别对应于潜四上段中部、潜三下段中下部和潜二段中下部,与Eq4<sup>0中</sup>,Eq3<sup>3下</sup>和Eq2<sup>2下</sup>油组中稳定分布的泥岩具有较好的对应关系,可作为划分成藏动力系统的主要依据。

### 1.4 原油性质及来源的垂向差异性

潜江凹陷北部潜江组不同层位的原油性质具有明显的差异性。在原油的化学组成上,潜四下

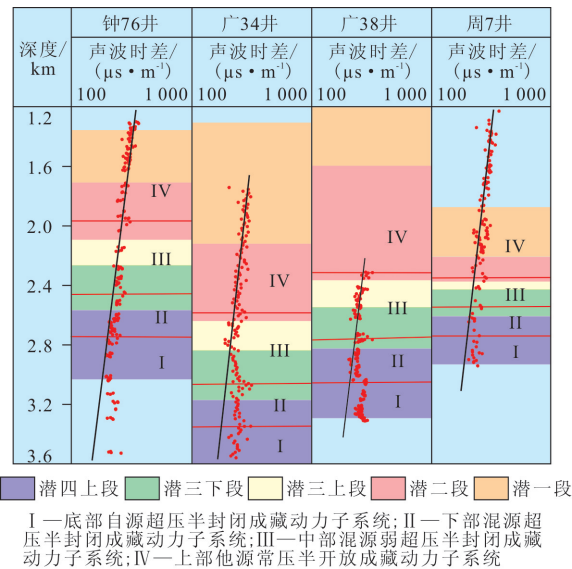


图1 潜江凹陷北部潜江组泥岩声波时差特征横对比

段—潜一段具有饱和烃和芳烃含量逐渐减小、非烃类和沥青质含量逐渐增加的趋势。在原油的物理性质上,潜四下段—潜一段原油的密度、粘度及含硫量整体均表现为逐渐增加的趋势(表1)。其中,潜四段原油为低—中密度、低—中粘度,潜三段原油为中—高密度、中—高粘度,潜二段—潜一段原油为高密度、高粘度。在原油成熟度上,不同层位的原油成熟度也存在差异。潜四下段原油主要为高成熟原油,潜四上段原油以高成熟原油为主(西部斜坡带和周矶向斜带原油为低成熟原油);潜三下段原油多为成熟原油(西部斜坡带原油为低成熟原油),而潜三上段和潜二段原油则主要为低成熟原油,反映出研究区不同层位的原油来自不同成熟阶段的烃源岩,存在不同的成藏动力系统。

### 1.5 流体垂向封闭的差异性

地层水类型、矿化度和化学系数等可以有效地指示成藏动力系统的封闭程度。通常可用于分析成藏动力系统封闭程度的地层水指标有矿化度、钠氯系数、脱硫系数、钠钙系数、钙镁系数及碳酸盐平衡系数等<sup>[16-19]</sup>。潜江组地层水受沉积环境影响,主

表1 潜江凹陷北部潜江组原油物理性质

层位	地层原油密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		地层原油粘度/(mPa·s)		凝固点/°C		含硫量,%	
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
潜一段	0.81~1.03	0.96	5.74~209	86.1	16~31.6	25.7	1.40~10.35	6.07
潜二段	0.87~1.02	0.92	14.1~337	73.3	18.4~35	24.8	1.44~8.03	3.60
潜三上段	0.83~0.98	0.89	1.82~378.6	31.4	9.7~34.9	25.1	0.15~10.36	1.87
潜三下段	0.80~1.03	0.89	1.86~251.2	30.4	4.5~40	24.4	0.01~5.31	1.76
潜四上段	0.77~1.02	0.86	1.4~186.1	21.5	3~39	24.1	0.14~5.47	0.66
潜四下段	0.83~0.89	0.86	7~29.4	19.3	6.6~31	21.1	0.17~1.28	0.65

要为Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>型。受地表水或大气降水影响程度不同,导致各层段地层水的水型存在差异。潜二段及其以上地层的层水除Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>型,还有NaHCO<sub>3</sub>型和CaCl<sub>2</sub>型,且NaHCO<sub>3</sub>型所占比重大于CaCl<sub>2</sub>型,而潜二段以下地层则为CaCl<sub>2</sub>型所占比重大于NaHCO<sub>3</sub>型;表明潜二段及其以上地层与地表水或大气降水的交替活动较强,以半开放状态为主,潜二段以下地层与地表水或大气降水的交替活动较弱,处于半封闭状态。地层水的钠氯系数、脱硫系数、钠钙系数和碳酸盐平衡系数均随埋深增加呈逐渐减小的趋势,而钙镁系数随埋深增加呈逐渐增加的趋势,说明随着埋深的增加,地层封闭性更好,地层水变质程度更高,更有利于油气的保存,也进一步表明

研究区存在不同的成藏动力子系统。

## 2 成藏动力系统划分及其特征

潜江凹陷北部潜江组发育完整的生储盖组合,具有统一的油气运移和聚集动力源,因此其宏观上为1个复杂的成藏动力系统。根据油源条件、压力分布和封闭程度等特征将研究区潜江组进一步划分为4个成藏动力子系统,分别为底部自源超压半封闭成藏动力子系统(Ⅰ)、下部混源超压半封闭成藏动力子系统(Ⅱ)、中部混源弱超压半封闭成藏动力子系统(Ⅲ)和上部他源常压半开放成藏动力子系统(Ⅳ)(图1,图2)。

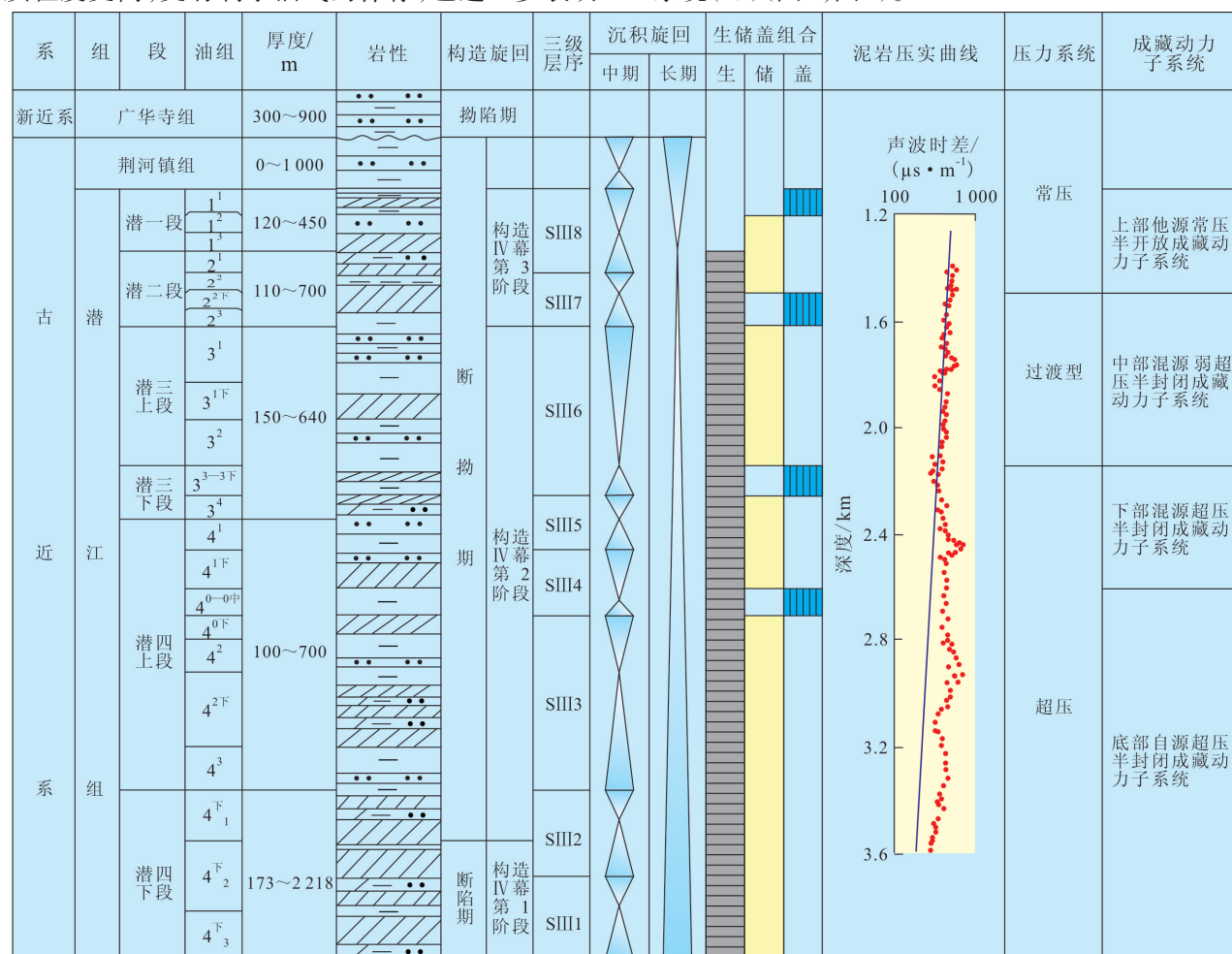


图2 潜江凹陷北部潜江组成藏动力系统划分

### 2.1 底部自源超压半封闭成藏动力子系统

该子系统位于潜江组最底部,以E<sub>q</sub>4<sup>0中</sup>油组为封闭层,主要由潜四下段与潜四上段中下部组成,以油源充足、发育超压为主要特征。该子系统内的烃源岩以蚌湖向斜带的烃源岩级别最高,处于高成熟演化阶段,为潜江凹陷高成熟原油的主要烃源岩,其他构造带的烃源岩也都具备了生烃能力。该

子系统内的欠压实和生烃作用造成泥岩欠压实幅度高,普遍发育超压,具有良好的封闭条件,油气主要通过席状砂和分支河道等渗透性砂体进行侧向运聚成藏,是目前潜江凹陷潜江组探明油气储量最多的子系统。已发现的油气藏主要分布于王广、钟市和黄场地区,以背斜油气藏(如王场油田和广华油田)、地层超覆油气藏(如钟市油田)、砂体前缘上

倾尖灭油气藏(如黄场油田和习家口油田)和断鼻油气藏(如潭口一代河油田)为主。

## 2.2 下部混源超压半封闭成藏动力子系统

该子系统位于 $E_{q4}^{0+}$ 和 $E_{q3}^{3-}$ 油组之间,主要由潜四上段上部和潜三下段组成。该子系统内的烃源岩以蚌湖向斜带的烃源岩质量最优,主要处于低成熟—成熟演化阶段,具有较好的生油能力;原油类型较多,低成熟、成熟和高成熟原油均占有一定的比例。其中,低成熟原油(如周矶油田和浩口油田)和成熟原油(如严河油田和广华油田)来自该子系统内相应成熟度的烃源岩;高成熟原油(如王场油田)主要来源于底部自源超压半封闭成藏动力子系统,主要通过中部车场断层进行垂向运移,然后经砂体进行侧向运移聚集成藏。油气藏类型主要包括背斜油气藏(如王场油田和广华油田)、构造—岩性油气藏(如周矶油田)、削蚀不整合型油气藏(如潭口油田)及砂岩上倾尖灭油气藏(如广北油田)。该子系统的压力发育特征与子系统 I 相似,即泥岩欠压实幅度高,普遍发育超压,超压为欠压实和烃类生成联合作用形成,具有较好的封闭条件。

## 2.3 中部混源弱超压半封闭成藏动力子系统

该子系统的底界为 $E_{q3}^{3-}$ 油组,顶界为 $E_{q2}^{2-}$ 油组中稳定分布的泥膏层,主要由潜三上段和潜二段底部组成。该子系统内的烃源岩在蚌湖向斜带主要处于低成熟演化阶段,具有一定的供烃能力,而在其他构造单元则多处于未成熟演化阶段。原油类型主要为成熟原油和低成熟原油,其中,成熟原油(如王场油田和广华油田等)主要来源于子系统 II 内部的成熟烃源岩,低成熟原油(如浩口油田和丫角油田等)既可以来源于该子系统内部的低成熟烃源岩,也可以是子系统 II 和子系统 I 内的低成熟烃源岩生成的油气通过断层垂向运移聚集形成。油气藏类型主要包括构造—岩性油气藏(如王场油田、广华油田和周矶油田)和地层—构造—岩性油气藏(如钟市油田),是目前潜江凹陷潜江组发现油气储量较多的成藏动力子系统之一。该子系统在向斜带发育以欠压实成因为主的弱超压,具有一定的封闭条件。

## 2.4 上部他源常压半开放成藏动力子系统

该子系统发育于潜江组最顶部,位于 $E_{q2}^{2-}$ 和 $E_{q1}^{1-}$ 油组稳定分布的泥膏岩之间,主要由潜二段中上部和潜一段组成。该子系统内的烃源岩主要处于未成熟演化阶段,基本不具备生烃、供烃能力。

原油类型主要为低成熟原油,是由成藏动力子系统 I, II 和 III 内的低成熟烃源岩生烃并通过断裂系统垂向运移聚集形成。该子系统封闭条件相对较差,目前发现的油气藏类型主要为构造—岩性油气藏(如王场油田)和地层—构造—岩性油气藏(如钟市油田),油气探明储量较为有限。

## 3 油气成藏模式

在研究区成藏动力系统划分的基础上,综合油源条件、输导系统和油气运移方向等因素,认为潜江凹陷北部潜江组具有3种油气成藏模式,分别为自源—砂体—侧向成藏模式、混源—断层—砂体—垂向—侧向成藏模式和他源—断层—砂体—垂向—侧向成藏模式(图3)。

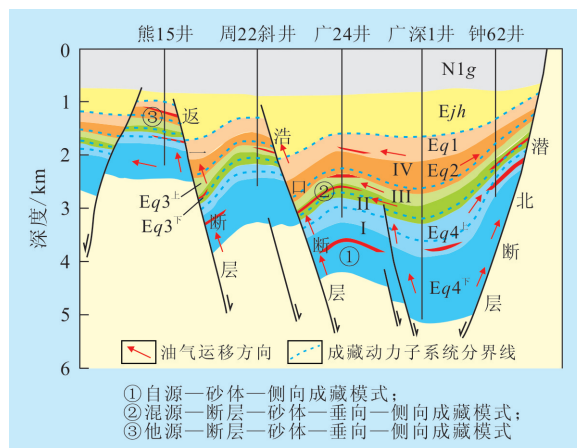


图3 潜江凹陷北部潜江组油气成藏模式

### 3.1 自源—砂体—侧向成藏模式

该成藏模式以底部自源超压半封闭成藏动力子系统最为典型,是研究区最重要的成藏模式。成藏动力子系统 I 内的烃源岩在蚌湖向斜带处于高成熟演化阶段,为潜江凹陷高成熟原油的烃源岩,在其他构造带处于低成熟—高成熟早期演化阶段,已具有很强的供烃能力。因此,该子系统油源充足,油气运聚动力大,而盐湖相对淡化期的砂岩储层多与烃源岩呈不等厚互层式接触,烃源岩生成的油气可直接向邻近的砂岩运移至构造高部位聚集成藏。成藏动力子系统 I 内探明的油气藏,如王场油田、广华油田和黄场油田均为典型的自源—砂体—侧向运移聚集成藏模式。

### 3.2 混源—断层—砂体—垂向—侧向成藏模式

该成藏模式主要发育于研究区下部混源超压半封闭成藏动力子系统和中部混源弱超压半封闭成藏动力子系统,以具备油源条件、断层较发育且

活动性强的钟市、王广和周返地区最为典型,为研究区极为重要的成藏模式。成藏动力子系统Ⅱ和Ⅲ在钟市、王广和周返地区的烃源岩均已达到低成熟—成熟演化阶段,可以为研究区的砂岩储层供烃;同时,钟市地区的潜北断层及其伴生的多条次级断层,王广地区活动时间与油气运移时期匹配的车挡断层,周返地区后期强烈活动的浩口、周矶和返湾湖断层,均有效沟通了底部成藏动力子系统Ⅰ内的油气。钟市、王广和周返地区主要通过断层—砂体输导体系沟通油气,油气与合适的圈闭相匹配即可聚集成藏。断层—砂体输导体系主要包括2个方面:①断层直接接触烃源层,油气首先进行垂向运移,在运移过程中遇到良好的储层后进行分配,然后通过砂体输导进行横向运移,在砂岩尖灭线附近形成岩性油气藏;②砂体与烃源岩直接接触,通过砂体输导进行横向运移,在遇到开启性断裂时油气进行垂向运移并聚集于圈闭中。

### 3.3 他源—断层—砂体—垂向—侧向成藏模式

该成藏模式发育于不具备生烃能力的地层中,油气主要来自1个或多个成藏动力子系统,以研究区上部他源常压半开放成藏动力子系统最为典型。成藏动力子系统Ⅳ的埋深较浅,烃源岩基本都处于未成熟演化阶段,不具备供烃条件,其下部3个成藏动力子系统内的油气主要通过断层—砂体输导体系运移至成藏动力子系统Ⅳ内聚集成藏,且油源条件差,油气成藏规模小。钟市和王广地区潜二段、潜一段油气藏主要发育该种成藏模式。

## 4 结论

构造—沉积演化的阶段性与旋回性是潜江凹陷北部潜江组成藏动力系统划分的基础,生储盖组合、地层压力系统、油源特征和封闭程度是成藏动力系统划分的重要依据。潜江凹陷北部潜江组是1个复杂的成藏动力系统,可进一步划分为4个子系统:底部自源超压半封闭成藏动力子系统、下部混源超压半封闭成藏动力子系统、中部混源弱超压半封闭成藏动力子系统和上部他源常压半开放成藏动力子系统;各成藏动力子系统具有不同的特征。研究区潜江组主要具有3种油气成藏模式,其中自源—砂体—侧向成藏模式以成藏动力子系统Ⅰ最为典型,混源—断层—砂体—垂向—侧向成藏模式主要存在于成藏动力子系统Ⅱ和Ⅲ中,成藏动力子

系统Ⅳ以他源—断层—砂体—垂向—侧向成藏模式为主。

### 参考文献:

- [1] 方志雄.潜江盐湖盆地盐间沉积的石油地质特征[J].沉积学报,2002,20(4):608-613.
- [2] 胡辉.江汉盆地潜江凹陷岩性油藏形成条件及分布规律研究[J].地质力学学报,2005,11(1):67-73.
- [3] 方志雄.潜江凹陷隐蔽油藏成藏主控因素及勘探方向[J].石油与天然气地质,2006,27(6):804-812.
- [4] 方志雄,陈开远,杨香华,等.潜江盐湖盆地层序地层特征[J].盐湖研究,2003,11(2):14-23.
- [5] 陈凤玲.潜江盐湖构造演化及沉积充填与油气成藏[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2007,29(2):50-53.
- [6] 张永生,王国力.江汉盆地潜江凹陷古近系盐湖沉积韵律及其古气候意义[J].古地理学报,2005,7(4):461-469.
- [7] 卢明国,陈凤玲,刘俊.江汉盐湖盆地沉积特征[J].中国矿业,2007,16(4):102-104.
- [8] 康建云,叶加仁,郭飞飞,等.潜江凹陷蚌湖—周矶向斜带温压系统特征及油气分布[J].新疆石油地质,2010,31(5):489-492.
- [9] 田世澄,陈建渝,张树林,等.论成藏动力学系统[J].勘探家,1996,1(2):20-25.
- [10] 李坤.塔里木盆地卡塔克隆起古生界油气运移体系与成藏演化[J].石油实验地质,2011,33(4):364-370.
- [11] 冷济高,杨克明,杨宇.川西坳陷孝泉—丰谷构造带须家河组超压与天然气成藏关系研究[J].石油实验地质,2011,33(6):574-579.
- [12] 田世澄,孙自明,傅金华,等.论成藏动力学与成藏动力系统[J].石油与天然气地质,2007,28(2):129-138.
- [13] 刘敬强,田世澄,焦勇,等.层序地层学与成藏动力学的耦合及在油气勘探中的意义[J].石油与天然气地质,2007,28(5):628-633.
- [14] 刘敬强,李博,田世澄,等.地层划分与成藏动力子系统划分之比较及统一性研究[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2007,29(5):19-22.
- [15] 王必金,林畅松,陈莹,等.江汉盆地幕式构造运动及其演化特征[J].石油地球物理勘探,2006,41(2):226-230.
- [16] 郭望,陈践发,曹青,等.油气藏中气态地层水的存在及其意义[J].油气地质与采收率,2013,20(1):36-39,43.
- [17] 李晓燕.东营凹陷地层水成因类型及其与油气运移方向的关系[J].油气地质与采收率,2012,19(3):18-21.
- [18] 张守鹏,张林晔,王伟庆,等.含油气盆地地层水演化过程中含烃酸性流体的浸入效应——以东营凹陷胜坨油田为例[J].油气地质与采收率,2011,18(4):10-12,20.
- [19] 银燕.东营凹陷地层水水化学纵向分带性与成岩耗水系统划分[J].油气地质与采收率,2011,18(3):32-35.