

# 雪峰山西侧地区埃迪卡拉系层序格架下的 生储盖组合特征

李旭兵 赵 灿 刘 安危 凯 李继涛

(武汉地质矿产研究所,湖北 武汉 430223)

**摘要:**采用“从岩相到米级旋回,从沉积相到层序划分”的层序地层研究方法,详细划分和描述了雪峰山西侧地区埃迪卡拉系区域上可以较好对比的 2 个二级层序和 7 个三级层序。并从层序格架出发,以储层为中心、重点研究储层和烃源岩的时空分布,综合考虑影响成藏的烃源岩和盖层与储集层的匹配关系,将埃迪卡拉系碳酸盐岩油气生储盖组合划分为界面型、海侵型和高位型 3 种类型。研究结果显示研究区受层序界面控制的生储盖组合具备最优越的原始地质条件,高位型组合通常与岩溶或界面型组合共生,也是构成有效性明显的一类生储盖组合。

**关键词:**埃迪卡拉系;米级旋回;层序特征;生储盖组合

**中图分类号:**P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)05-1493-12

近年来,中国海相油气地质理论取得了长足进展,并在指导油气勘探实践中发挥了愈来愈重要的作用,使海相油气勘探呈现快速发展的大好势头,在中国中西部地区相继取得重大发现和突破<sup>[1-3]</sup>。最新的研究成果表明,“沉积型礁/滩及白云岩储集层、后生溶蚀-溶滤型储集层和埋藏-热液改造型白云岩储集层”这 3 类储集层是形成大型油气田的有规模、有效的储集层<sup>[3]</sup>。从这一理论来看,雪峰山西侧的埃迪卡拉系发育了碳酸盐潮坪、浅滩、开阔台地、台地边缘等众多沉积相类型,其中不乏有可为储集层发育奠定基础的相区;同时受该时期极端“温室效应”的影响<sup>[4,5]</sup>,研究区埃迪卡拉系灯影组颗粒和泥粒白云岩、藻白云岩或白云岩化的碳酸盐岩在整个台地内有广泛分布;另外,受晚埃迪卡拉世多期次海平面升降变化影响,早期表生大气淡水对不稳定碳酸盐矿物和膏盐岩的溶解作用在灯影组内部也时有发生。这些油气地质无疑给该地区的深入勘探带来了希望。然而,研究区的埃迪卡拉系又具有时代

老、埋藏深、演化时间长、经受的构造期次多<sup>[6]</sup>的特殊性,使得该地区研究难度大、勘探技术要求高,多年来未实现大的突破。为此,本文在以“从米级旋回到沉积相再到层序划分”的三级层序地层研究方法指导下,详细划分和描述了针对研究区埃迪卡拉系可以实现区域上对比的三级层序。并从层序格架出发,以储层为中心、综合考虑影响成藏的烃源岩、盖层与储集层的匹配关系,将埃迪卡拉系碳酸盐岩油气生储盖组合划分为界面型、海侵型和高位型 3 种类型,探讨层序格架中生储盖组合的成因类型及时空展布规律,以期指导该地区的油气勘探。

## 1 地质背景

雪峰山西侧地区,现今处于中上扬子地块东部边缘与雪峰山基底拆离造山带之间,属于雪峰山前缘向四川盆地主体过渡的区域。西起重庆黔江、东抵湖南桃园、南至湖北秭归、北到湖南涟源,大致夹持于齐岳山与雪峰山之间两大山脉<sup>[6]</sup>。该地区震旦

收稿日期:2012-11-09;改回日期:2013-03-07

基金项目:中国地质调查局项目“桑植—石门及邻区油气地质综合调查及层序对比研究”(1212011220745)资助。

作者简介:李旭兵,男,1974年生,副研究员,主要从事石油地质及地层研究;E-mail:yclxubing@163.com。

纪—早中生代曾经历与四川盆地类似的沉积充填演化过程但强度有明显不同的多期次构造改造剥蚀事件, 现今广泛埋藏分布的震旦纪—早古生代海相地层具备与四川盆地类似的区域性烃源岩层(牛蹄塘组、五峰组、龙马溪组)、储集岩层(灯影组、清虚洞组、娄山关组、红花园组)、盖层(下寒武统、中上奥陶统、下志留统等)等良好的成油气地质条件, 是中国南方震旦系—下古生界重要的海相油气勘探新层系和新地区。针对埃迪卡拉系而言, 研究区西北部的浅水地区灯影组白云岩地层厚度较大, 在其中部发育较多的颗粒和泥粒白云岩、藻白云岩, 相应地在陡山沱组中发育盆地相黑色页岩系和陆棚相炭泥质白云岩; 在东南部的深水背景中, 埃迪卡拉系厚度明显变小(数十米至百余米), 陡山沱组以硅质岩为主, 灯影组白云岩中夹硅质层。本文通过多条剖面测制, 找出适合于本区的层序界面识别标志, 同时并密切注意地层中发育的高频旋回类型特征, 采用“从岩相序列到米级旋回、从沉积相序列到三级层序划分”的层序划分理念<sup>[7-11]</sup>进行研究。

## 2 米级旋回类型及特征

“米级旋回”的概念出自于地层堆积作用的“间断—加积—旋回”模式<sup>[12]</sup>, 被定义为“露头上能直接识别的数厘米至数米厚、成因相关的岩相单元所构成的地层序列”<sup>[13]</sup>。梅冥相等详细总结了碳酸盐岩米级旋回分类体系, 并将碳酸盐岩米级旋回大致归为 4 大类<sup>[8]</sup>: (1) 环潮坪型碳酸盐岩米级旋回; (2) 潮下型碳酸盐岩米级旋回; (3) L-M 型碳酸盐岩米级旋回; (4) 深水非对称型碳酸盐岩米级旋回。基于前人的理论基础和实践成果, 通过研究区近十条剖面的精细测制, 笔者发现上述四种类型米级旋回层序在研究区均有发育, 且以环潮坪型碳酸盐岩米级旋回最常见。

### 2.1 环潮坪型碳酸盐岩米级旋回

环潮坪碳酸盐岩米级旋回早期由 Read(1985) 以潮坪碳酸盐相序模式的形式进行了描述和总结, 并有国内外许多学者对其进行过研究<sup>[13, 15]</sup>。

环潮坪型碳酸盐岩米级旋回见于峡东地区埃迪卡拉系陡山沱组三段(图 1-a, 图 2-a)、灯影组蛤蟆井段。以宜昌黄牛岩剖面灯影组蛤蟆井段为例, 构成“米级旋回”的岩相单元常包括: A, 形成于下潮间坪至潮下带上部的灰质白云岩、鲕粒灰岩、粒屑灰岩;

B, 形成于下潮间坪波状叠层石白云岩; C, 形成于上潮间坪的(含砂屑)泥晶白云岩; D, 形成于潮上坪的泥质白云岩、含膏白云岩; E, 形成于泻湖相白云质泥页岩。上述 5 种岩相单元要组成厚度近 100 余 m 的地层序列, 构成若干个环潮坪型碳酸盐岩米级旋回, 每一种岩相单元重复性地产出, 并随着沉积环境水体的逐渐变化, 各旋回层的相序组构也发生有规律的改变。在三级海平面上升所造成的沉积环境水体加深过程中, 组成灯影组蛤蟆井段的岩相单元 A、单元 B 和单元 C 较为发育, 且以近似对称的岩相序列为特征; 反之, 在三级海平面下降所造成的沉积环境水体变浅过程中, 单元 A 和 B 相对不发育, 取而代之的是单元 C、单元 D 和单元 E 的频繁出现, 旋回层由近似对称的岩相序列变为不对称的向上变浅序列。

### 2.2 深水非对称型碳酸盐岩米级旋回

该类旋回最早由 Masetti 等<sup>[16]</sup>提出并系统描述和研究, 其总体特征类似于潮下型。研究区该类米级旋回与 L-M 型碳酸盐岩米级旋回相似, 但是规模上更大, 旋回内各单元的厚度更大。以湖南慈利溪口剖面陡山沱组陡二段为例, 旋回可以由 4 个单元组成: A, 黑色炭质页岩或深灰色钙质页岩; B, 炭质泥灰岩; C, 含炭质泥微晶灰岩; D, 含砂屑泥晶灰岩, 但完整的旋回层序很少见, 剖面中共发现了 5 种组合方式(图 1-b): (1) 单元 A(黑色炭质页岩)与 B(泥灰岩)组合; (2) 单元 A(深灰色钙质页岩)与单元 C(含炭质泥微晶灰岩)组合; (3) 单元 A(深灰色钙质页岩)与单元 D(泥晶灰岩)组合; (4) 单元 B(泥灰岩)和单元 C(含炭质泥微晶灰岩)、(5) 单元 C(含炭质泥微晶灰岩)和单元 D(粒屑灰岩)组合。

### 2.3 潮下型碳酸盐岩米级旋回

该类旋回最早由 Osleger(1991) 提出并系统总结, 这种类型的旋回不具暴露作用特征<sup>[17]</sup>。此类米级旋回在研究区广泛发育, 以开阔台地环境以及碳酸盐礁、滩等环境中最为常见。以张家界三岔剖面为例, 该旋回主要有两种组合方式: (1) 泥晶灰岩与粒屑灰岩组合, 下部岩石单元常为薄层状泥晶灰质白云岩或含生屑泥晶白云岩, 上部岩石单元为鲕粒白云岩或砾屑、砂屑白云岩。该类型最为常见属受波浪动力控制形成的旋回类型; (2) 钙质或云质页岩与粒屑灰岩组合, 下部岩石单元为钙质页岩, 上部岩石单元为鲕粒白云岩或砂屑白云岩(图 1-c)。

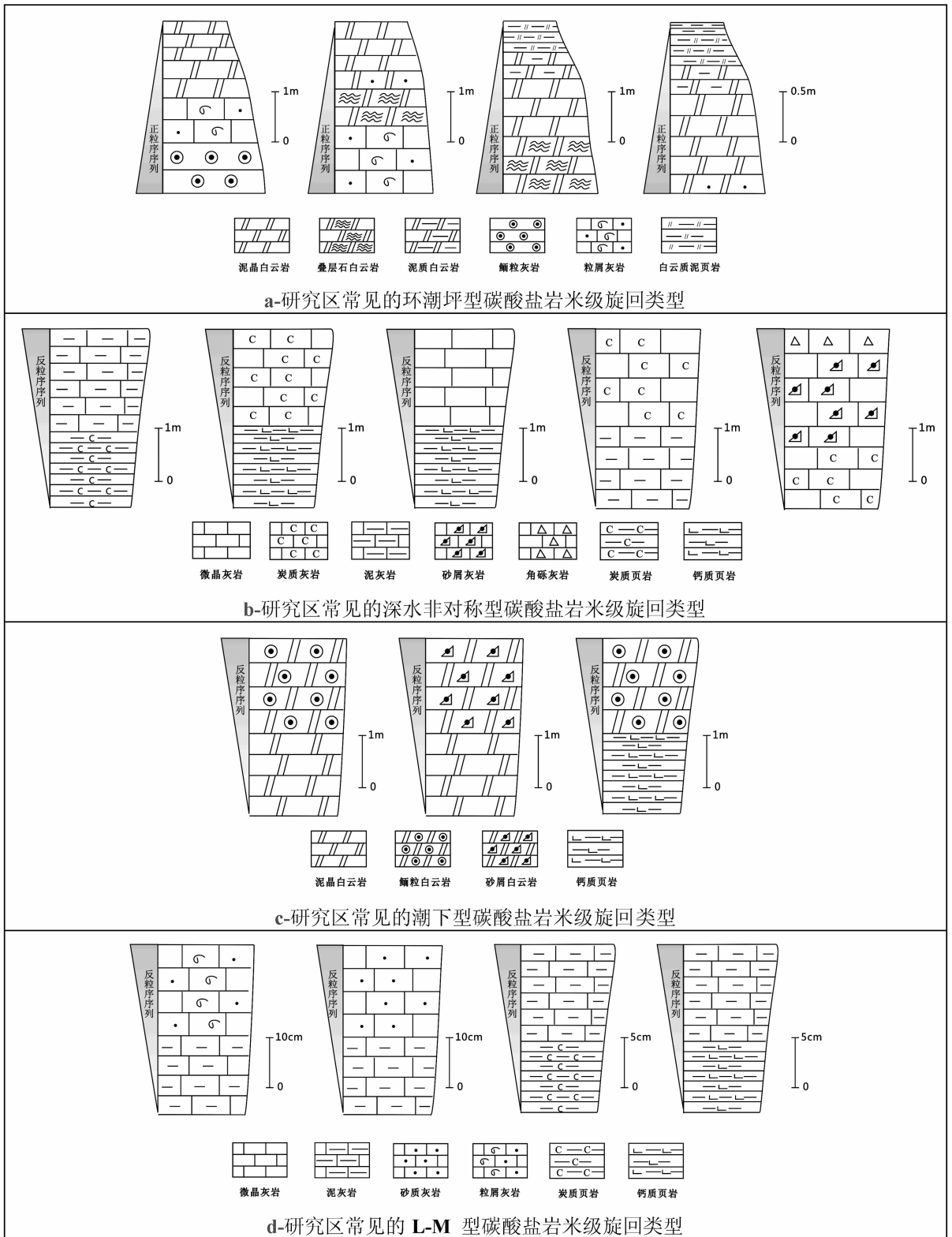


图 1 研究区埃迪卡拉系的米级旋回特征

Fig.1 Types of Carboniferous meter-scale cyclic sequence



## 2.4 L-M 型碳酸盐岩米级旋回

该类米级旋回是研究的最早的一种沉积旋回类型<sup>[8]</sup>,由泥灰岩(Marl)和灰岩(Limestone)构成的一种简单韵律形式而得名,形成在斜坡至陆棚背景之中。宜昌黄牛岩剖面陡山沱组陡三段和湖北秭归青林口剖面、三斗坪剖面的灯影组石板滩段(图 2-d)均保存有典型的该类米级旋回。最常见的是两个单元组成的序列,研究区以下 3 种类型(图 2-d)最为常见:(1)单元 A(钙质页岩或含炭质页岩)与单元 C(泥灰岩)组合;(2)单元 B(泥灰岩)与单元 D(泥晶灰岩或粒屑灰岩)的组合;(3)单元 C(泥灰岩)与单元 E(砂质灰岩)组合(图 1-d);梅冥相等(1996)认为这种碳酸盐岩米级旋回层序下部单元较薄且陆源泥质物多,而上部较厚单元以碳酸盐组分为主,主要形成于较深水的斜坡地带<sup>[9]</sup>。赵灿等(2011,2012)的研究认为该类旋回属于硅质碎屑岩与碳酸盐岩旋回性互层或相互交叉形成的混积岩中的一种类型,即混积物本身的交互沉积,内潮汐作用、原地混合作用和浊流事件使得该种下混积作用得以发生,并证实了受米兰科维奇旋回影响的气候因素对此类混合沉积作用的发生、发展具有极为重要影响<sup>[19,20]</sup>。

## 3 层序划分及层序格架

本文在系统的沉积旋回识别基础上,以大区域上可以实现良好对比为准则,对埃迪卡拉系的二级层序和三级层序进行了划分。关于埃迪卡拉系二级层序的划分,前人的研究较为笼统,基本上是将陡山沱组和灯影组分别作为一个二级层序对待<sup>[21]</sup>。但从其沉积序列看,陡山沱组一段、二段和三段,构成了埃迪卡拉系下部的一个海平面升降的二级层序(SS1),而陡山沱组四段、灯影组构成另一个二级层序(SS2)。其中,陡山沱组可以划分出 1 个二级层序和 4 个三级层序。二级层序的划分以南华系南沱组大冰期顶部的不整合面为层序界面,以直接覆盖在南沱组之上的陡山沱组一段的帽白云岩为二级层序海侵体系域(TST);凝缩段单元(CS)为盖帽白云岩之上陡山沱组二段的炭泥质白云岩夹黑色薄层状炭质页岩;高水位体系域(HST)为陡山沱三段下部的泥—粉晶白云岩、微晶灰岩组合,HST 以弱退积的沉积序列为特征。陡山沱组构成一个独立的层序地层格架(图 3),陡山沱组内部细分的 4 个三级层序(SQ1-SQ4)在区域上可以较好对比,并具备如下特点:

(1)层序 SQ1 相当于陡山沱组一段—陡二段中部沉积,层序底界面为南沱冰期之后的陆超覆不整合面,属 I 型层序界面,以“盖帽白云岩”为初始海泛沉积,“盖帽”之上常为潮下带沉积的黑色薄层状炭质页岩夹炭泥质白云岩,构成该三级层序的海侵体系域(TST),高水位体系域(HST)沉积厚度相对较小,岩石类型以炭质微晶白云岩、泥质白云岩夹黑色页岩为特征。该层序发育潮下型碳酸盐岩米级旋回和深水非对称型米级旋回,尤其在层序高水位体系域阶段,岩层向上变厚、颗粒向上变粗的“反粒序相序序列”表现较明显。总体上,SQ1 层序显示上升半旋回明显大于下降半旋回厚度的层序样式,具有缓慢海侵快速海退的特点。

(2)层序 SQ2 特征基本类似于 SQ1,但其底界面特征在研究区湖北秭归、鹤峰、湖南慈利等大多数地区表现为以可容纳空间迅速增长造成的碳酸盐岩淹没作用,即碳酸盐岩与上覆的细粒沉积之间“淹没不整合面”,而湖南石门中岭剖面该界面主要以覆盖在 SQ1 层序顶部白云岩之上的炭质灰岩作为瞬时加深面。

(3)层序 SQ3 相当于峡东地区的陡山沱组三段沉积,其层序界面属于 II 型层序界面,即岩性、岩相转换面。在大多数地区该三级层序的海侵体系域(TST)岩性为中层状泥质白云岩偶夹含炭质灰岩,高位体系域(HST)发育退积序列明显的岩石组合,常由微晶灰岩、微晶白云岩组成,该层序以发育环湖坪型米级旋回为特征。值得一提的是,在湖北鹤峰地区由于古地理背景的特殊性层序 SQ3 依然显示深水沉积的特征,层序底部为一套厚度近百米的台盆相深黑色炭质泥岩地层所组成的凝缩段(CS)沉积,层序的高位体系域(HST)以灰黑色泥晶白云岩夹黑色炭质泥岩、钙质泥岩为特征,显示随海平面下降过程沉积环境也逐渐变浅。而在斜坡相区的张家界田坪地区,与此次海平面下降响应的是 SQ3 层序顶部出现了一套滑塌沉积,经滑动形成大型的包卷层理(图 2-e)在该剖面十分发育。

(4)层序 SQ4 界面之下常为台地相沉积的微晶灰岩、微晶白云岩,大多数地区界面之上为盆地相沉积的薄层炭质泥岩偶夹炭质白云岩,该三级层序常仅以凝缩段(CS)出现,层序的下降半旋回仅在少数地区可以观察到,高水位体系域不甚发育,该阶段海平面再次上升带来的沉积环境加深效应十分明显。





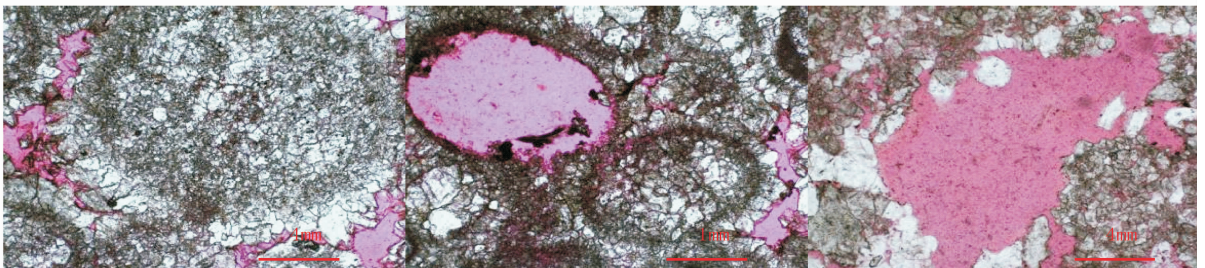
(a) 环潮坪型碳酸盐岩米级旋回, 湖北秭归青林口, 陡山沱组 3 段  
 (b) 潮下型碳酸盐岩米级旋回, 湖南慈利, 陡山沱组 2 段  
 (c) 深水非对称型碳酸盐岩米级旋回, 湖北秭归黄牛岩, 陡山沱组 2 段



(d) L-M 型碳酸盐岩米级旋回, 湖北秭归三斗坪, 灯影组石板滩段  
 (e) 滑塌变形构造, 湖南张家界田坪, 陡山沱组 4 段  
 (f) 亮晶鲕粒灰岩层, 湖北鹤峰白果坪, 灯影组下部



(g) 石板滩段常见的水平层理, 湖北秭归三斗坪, 灯影组石板滩段  
 (h) 膏溶角砾岩, 见石膏溶蚀残留的晶形外貌, 湖北秭归三斗坪, 灯影组蛤蟆井段顶部  
 (i) 次生溶孔和溶蚀缝, 湖北秭归三斗坪, 灯影组蛤蟆井段顶部



(j) 亮晶鲕粒云岩, 发育粒间溶孔, 铸体薄片, 单偏光, 湖南张家界三岔, 灯影组  
 (k) 亮晶鲕粒云岩, 见铸模孔及粒间溶孔, 铸体薄片, 单偏光, 湖南张家界三岔, 灯影组  
 (l) 粉—细晶云岩, 经溶蚀扩大形成的超大溶孔, 单偏光, 湖南张家界三岔, 灯影组

图 2 研究区埃迪卡拉系的沉积特征

Fig.2 Sedimentary characteristics of Ediacaran system in the study area

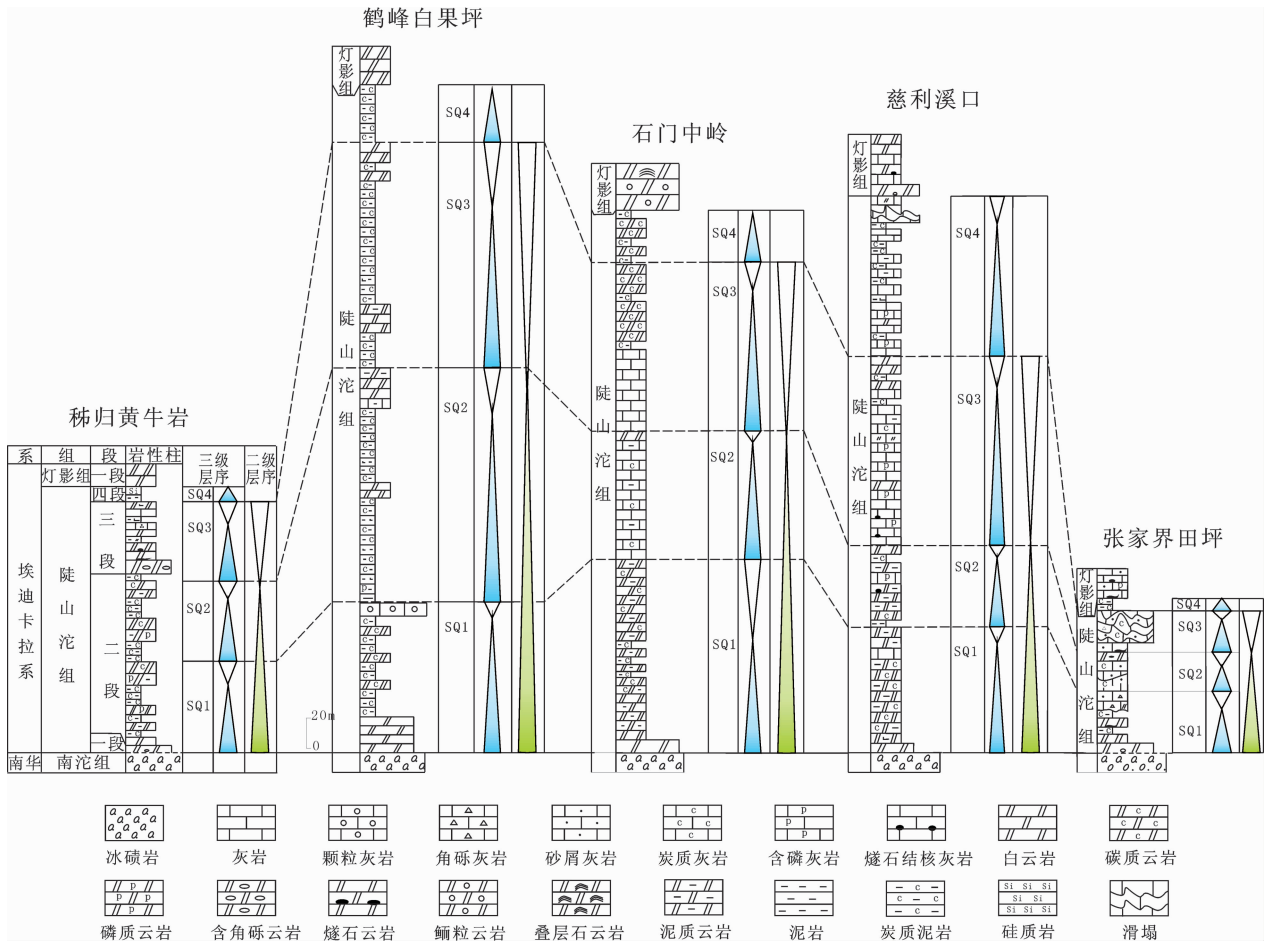


图3 研究区埃迪卡拉系陡山沱组 SQ1-SQ4 层序地层格架

Fig.3 Diagram showing sequence framework of Doushantuo Formation in the study area

陡山沱组四段和灯影组一段、二段则代表了埃迪卡拉系上部二级旋回的海侵体系域，灯影组三段的厚层白云岩沉积为该旋回的高位域沉积（图4）。划归为另一个二级层序(SS2)，内部细分的3个三级层序(SQ5-SQ7)常具备如下特点：

(1)SQ5 层序相当于灯影组下部蛤蟆井段。层序界面属于Ⅱ型层序界面为岩性、岩相转换面。该三级层序的海侵体系域(TST)沉积厚度较小，高位体系域(HST)发育退积序列较明显的鲕粒白云岩、粒屑白云岩等岩石组合，灯影早期总体海平面出现下降趋势。

(2)灯影组中部研究区绝大多数地区经历一次海侵过程(图2-g)，沉积了一套以含硅质结核的灰岩或叠层石白云岩发育为特征的海侵产物。层序SQ6在研究区均以海侵体系域(TST)发育为优势。

(3)从层序SQ5和SQ7的层序结构来看，优势

体系域为高位体系域。HST厚度大于海侵体系域(TST)。这种样式经常具有快速海侵缓慢海退的成因。缓慢海退则常常处于补偿或过补偿状态 HST沉积物较粗，储集岩主要发育在水体较浅的层序，主要与H型层序样式的HST有关，与灯影组白云岩储集性通常较好的事实相一致。

## 4 层序格架内沉积物分布特征

### 4.1 烃源岩分布特征

主要发育在研究区埃迪卡拉系三级层序格架内的层序SQ1和SQ4的海侵体系域(TST)，分布在陡山沱组二段以及四段地层中。

陡山沱组烃源岩层厚度最大超过300m，主要分布在湖北鹤峰一带台内盆地相区(图5-A)。并以鹤峰白果坪为中心，碳质泥岩厚度向外围递减，在鹤峰以西的潮坪相区的湖北恩施一带，厚度递减为



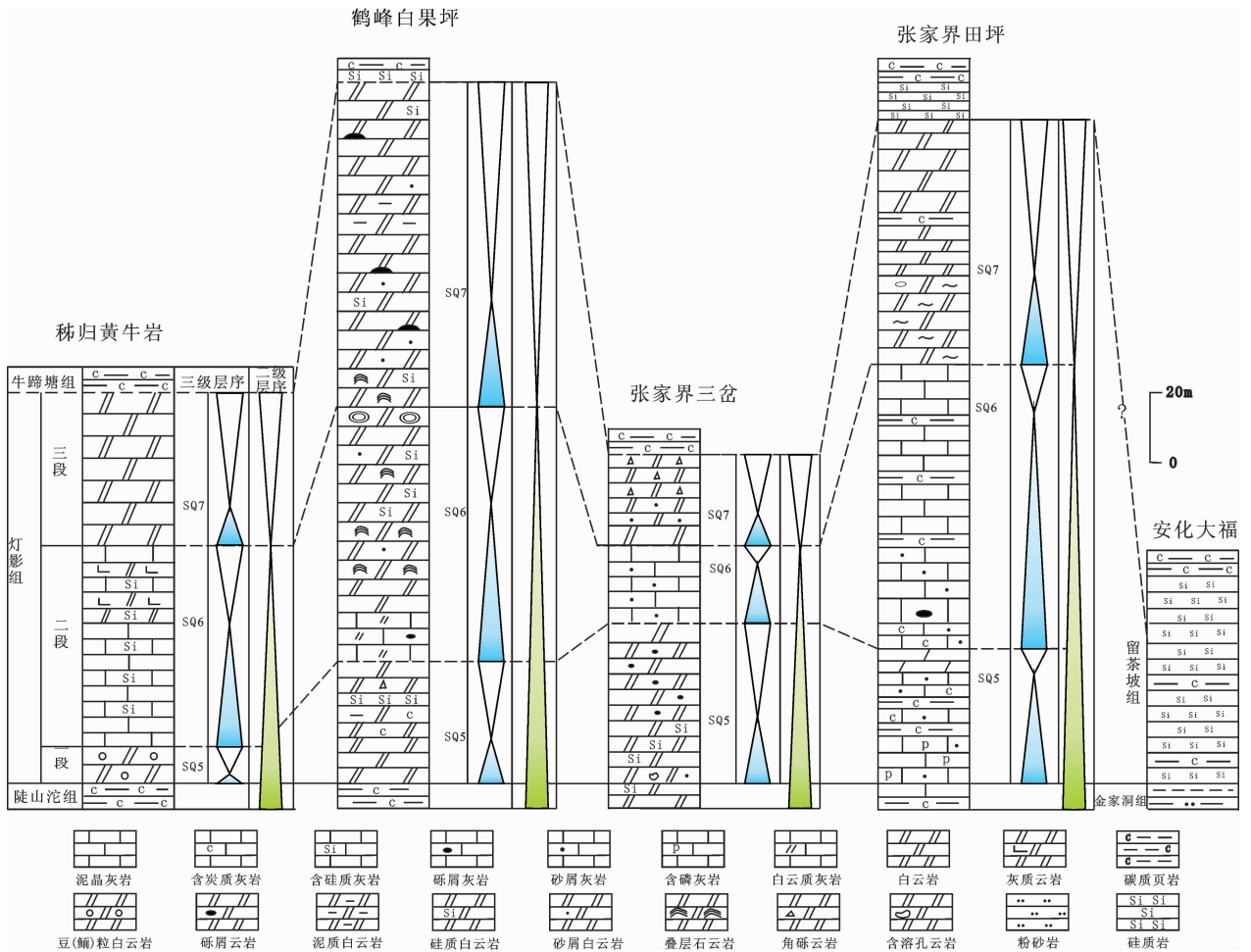


图 4 研究区埃迪卡拉系灯影组 SQ5-SQ7 层序地层格架

Fig.4 Diagram showing sequence framework of Dengying Formation in the study area

30~40 m,到湖北咸丰一带厚度不足 10 m;在鹤峰白果坪以东的湖北宜昌一带,炭质泥岩厚度为 50~100 m,到局限台地相区的湖北宜都一带厚度仅在 10 m 左右。雪峰山西侧地区的埃迪卡拉系陡山沱组碳质页岩的分布受控于沉积环境(图 5-B)。

在湖北鹤峰白果坪一带,陡山沱组有机碳丰度为 0.55%~2.14%,平均有机碳丰度 1.14%,永顺地区有机碳丰度为 1.31%~2.23%,平均有机碳丰度为 1.63%,宜昌花鸡坡剖面有机碳丰度为 0.51%~1.79%,平均有机碳丰度为 1.09%。从平面分布看,泥页岩有机碳丰度一般为 1.0%~2.0%,高值区分布在台缘斜坡—台盆过渡带的慈利—永顺一带(图 5-C)。陡山沱组烃源岩中干酪根显微组分以富含腐泥组及壳质组的组分为主体,体现了腐泥型 I 或腐植腐泥 II 1 型的母质特征。烃源岩总体演化程度较高,

成熟度普遍大于 2.0%,一般为 3.0%~3.5%,主体处于过成熟阶段。受武陵隆起影响,其周缘地区相对稍低,Ro 值位于 2.0%~2.5%之间,部分小于 2.0%。相对高值区集中于湘鄂西恩施、桑植一带,一般(图 5-D)为高成熟度气藏。就生烃强度而言,陡山沱组烃源岩主力生烃在加里东期,尤以湾潭周边生烃强度最大,阶段生烃强度为  $49.87 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ,排烃强度为  $37.69 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。海西—早印支期,湘鄂西区阶段生排烃强度较低,多数地区在  $(10\sim 20) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。湘鄂西区以泥质烃源岩占绝对优势,尤以鹤峰—桑植—湾潭区域生烃强度最大,高效烃源灶主要集中在该区域,属于有利生烃区。

对雪峰山西侧地区来说,页岩气是一个很有潜力的非常规油气勘探新领域,结合上述对该区炭质页岩的厚度、有总有机碳、有机质类型、成熟度的研



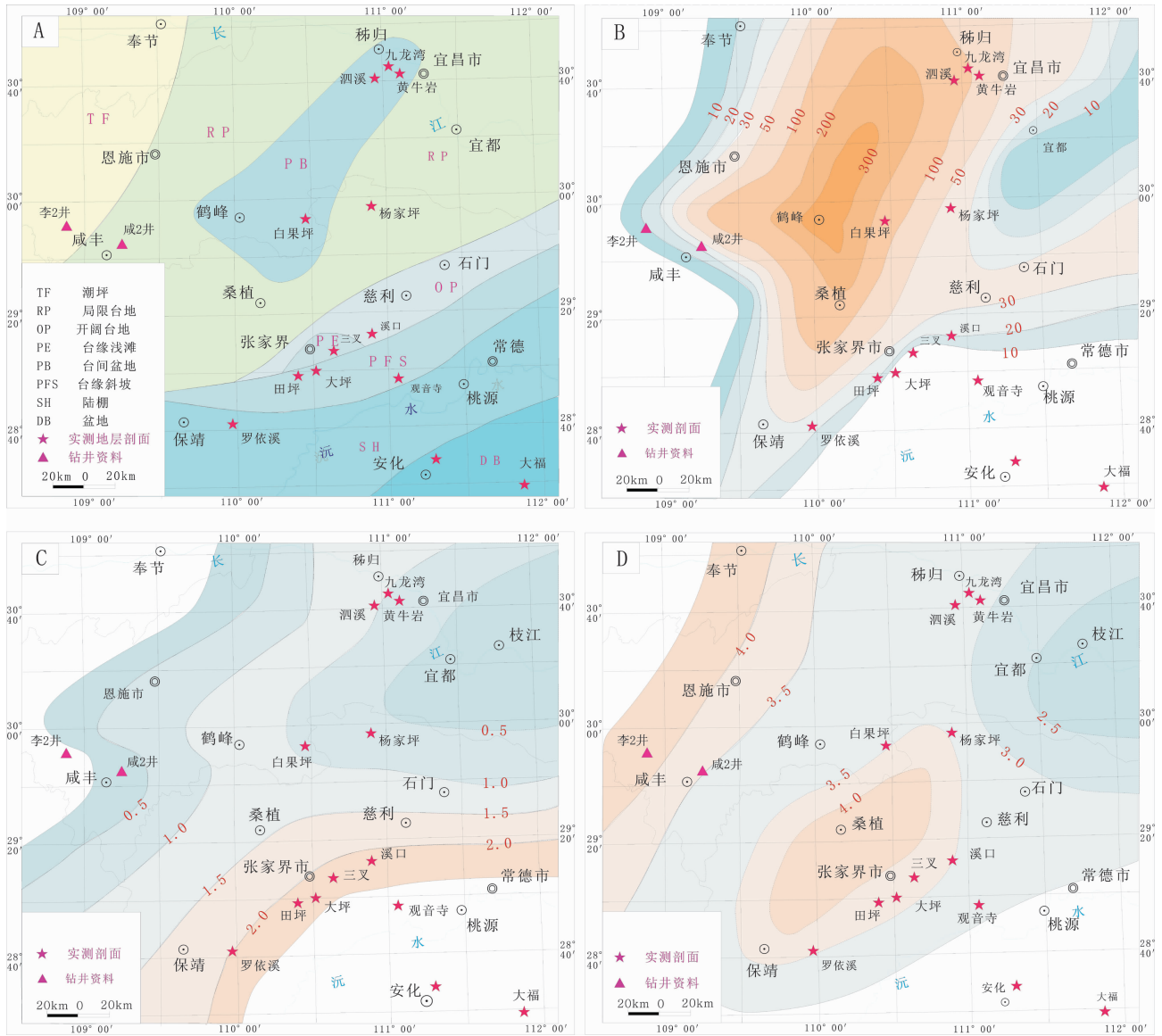


图5 研究区烃源岩特征及分布图

A—岩相古地理图；B—炭质泥岩等厚度图；C—有机碳丰度等值线图；D—成熟度等值线图

Fig.5 A—Lithofacies-palaeogeographical maps; B—Isopach diagram of carbonaceous mudstone;

C—Isopach diagram of TOC; D—Isopach diagram of organic matter maturity

究分析,雪峰山西侧地区的桑植—石门复向斜及宜都鹤峰背斜区的陡山沱组页岩具有较好的勘探潜力。

4.2 储集层分布特征

灯影组的沉积相由台地相(局限台地以及开阔台地)—台缘浅滩—台缘斜坡—陆棚—深水盆地逐渐过渡,控制了岩性、储层的物性及厚度(图6)。

峡东地区、湖北五峰、鹤峰以及湖南石门一带,主要为局限台地沉积,灯影组岩性四分明显。在湖北秭归莲沱一带,其中灯影组一段为厚层块状鲕粒白

云岩、砾屑、砂屑白云岩、含溶蚀孔白云岩,厚度最大可达130 m,为湖坪高能相带沉积,孔隙度最大值为11.00%,平均值为8.26%。渗透率最大值为 $7.72 \times 10^{-3} \mu m^2$ ,平均值为 $3.66 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。在秭归黄牛岩一带,灯影组三段以主要为灰白色厚层块状白云岩,厚40余米,孔隙度最大值为6.40%,平均值为3.60%,渗透率平均值为 $0.41 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。在湖北鹤峰白果坪一带,灯影组主要为叠层石白云岩、砂屑白云岩、含大量核形石,其中三段厚度最大可达120 m。湖南张

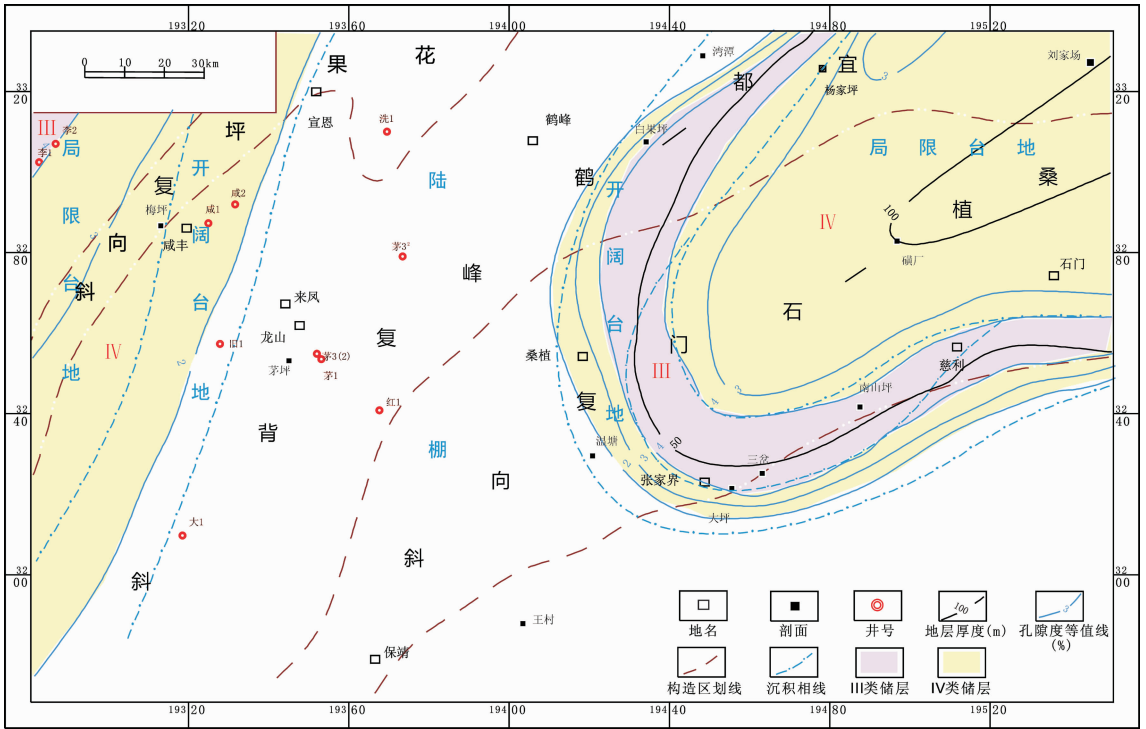


图 6 研究区埃迪卡拉系灯影组储层平面分布图

Fig.6 Reservoir distribution in Dengying Formation in western Xuefeng Mountain area

家界三岔—慈利一带,存在小范围的台缘浅滩相沉积。张家界三岔一带灯影组三段颗粒云岩厚约 86 m,其中孔隙度大于 1.5%的储层达 44 m,孔隙度大于 2%的储层为 21 m。

湖南张家界田坪、古丈罗依溪以及保靖一带,为埃迪卡拉纪古斜坡带沉积,处于地台相向盆地相的过渡相区。灯影组一段为含磷质砂屑灰岩,含磷质、炭质砂屑灰岩夹少量黑色炭质页岩,厚约 20 m;二段为黑色含炭质泥岩,含炭质泥灰岩并夹少量砾屑灰岩及砂屑灰岩,厚 134 m,其孔隙度最大值为 1.17%,平均值为 1.03%,渗透率最大值为  $0.015 \times 10^{-3} \mu m^2$ ,平均值为  $0.008 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。三段为块状白云岩,鲕粒白云岩及少量含角砾白云岩,厚 86 m,其孔隙度最大值为 2.26%,平均值为 1.12%,渗透率最大值为  $0.081 \times 10^{-3} \mu m^2$ ,平均值为  $0.02 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。

松桃、古丈以及沅古坪一线以南,为深水陆棚—盆地相,在雪峰山地层区的湖南安化大福一带与之对应的是留茶坡组硅质岩,厚约 30 m。

综上所述,在峡东地区、五峰、鹤峰白果坪以及湖南石门一带,灯影期主要为局限台地沉积,有利于

储层发育。而张家界三岔一带,为台缘浅滩沉积,亦发育较好的储集层段。而在松桃、古丈以及沅古坪一线以东,处于深水陆棚相区或盆地相区的深水沉积无法作为有效储层。

## 5 生储盖组合特征

结合前文所述,按前人以储层研究为中心和动态实用的生储盖分类原则<sup>[22-24]</sup>,本文将研究区埃迪卡拉系碳酸盐岩油气生储盖组合划分为如下 3 种类型:(1)界面型生储盖组合;(2)海侵型生储盖组合;(3)高水位型生储盖组合。各种生储盖组合类型具备以下特征:

### 5.1 界面型

研究区该类型生储盖组合主要是受埃迪卡拉纪—寒武纪界线附近的二级层序界面即 I 型层序界面控制的、呈区域分布。与埃迪卡拉纪—寒武纪之交的“慧亭运动”有关<sup>[25]</sup>,在宜城至京山一带,这一运动表现为早寒武世天河板组直接覆盖在埃迪卡拉系灯影组之上,在峡东地区寒武系内部的水井沱组与灯影组上部天柱山段之间形成了一个明显的以岩性转

换面为标志的二级层序界面。在湘西张家界三叉一带,同样存在一个寒武系黑色页岩与白云岩的岩性转换面,同时,寒武系底部还有含磷黑色页岩,其中有 Ni、Mo 等多金属赋存,是一个明显的不整合界面。在组合类型中埃迪卡拉系灯影组碳酸盐台地沉积均被陆屑物质所覆盖,上部主要沉积的是一套黑色泥页岩、炭质泥页岩、硅质页岩为主的黑色岩系,有机碳的含量从百分之几到 20%~30%不等,成为研究区重要的烃源岩之一<sup>[26]</sup>。从该组合类型特点来看,其生、储层在时间上是不连续的,在空间上大部分地区埃迪卡拉系灯影组储集岩与上覆下寒武统水井沱组或牛蹄塘组烃源岩层直接接触,其顶面为区域性平行不整合面,为烃源岩层中油气运移提供了疏通管道,有益于油气聚集于下伏比烃源岩老的储集层中。同时,前人的研究认为上覆式的烃源岩层与储层面接触时,其特点不仅是接触范围大,而且油气疏导能力强<sup>[27]</sup>。受界面控制的生储盖组合无疑提供了优越的原始地质条件。四川盆地威远—资阳地区的埃迪卡拉系灯影组气田的勘探实践就是较好的佐证:一方面,四川盆地寒武统筇竹寺组生成的油气在全盆地已形成良好配合,给灯影组储层提供了广泛而丰富的油气源,另一方面,桐湾运动将盆地整体抬升为陆时,大气淡水通过裂缝,先后在渗流带和潜流带进行溶蚀,使张性缝向下和侧向扩张加长,进而形成许多错综复杂的溶缝和溶洞<sup>[27]</sup>,为“储”的发育奠定了基础。由此看来,在对研究区油气地质调查中对该组合类型精细研究显得十分必要。

## 5.2 海侵型

与海侵体系域储层相关的生储盖组合,称为海侵型生储盖组合。研究区该类型生储盖组合在埃迪卡拉系二级层序 SS2 的海侵体系域(TST)阶段表现较明显,层序 SS2 的海侵体系域(TST)一般包括陡山沱组四段、灯影组一段、二段地层。陡山沱晚期,研究区北东一带五峰地区的碳酸盐开阔台地向北东方向退缩,以石门杨家坪等地为代表的台地沉积仍以灰岩、白云岩沉积为主,陆棚相区范围相对于陡山沱早期扩大,泥岩所占比重增加,陡山沱组四段研究区大部分区域均有炭质页岩、泥灰岩等细粒沉积。而至灯影早期,慈利—张家界—鹤峰一线以东为局限台地和开阔台地相,白云岩沉积占据了主要地位。张家界三岔—鹤峰白果坪一带属台地边缘沉积,岩性几乎全为台地边缘滩相的颗粒白云岩(图 2-f),在该

时期沉积的亮晶砂屑白云岩或鲕粒白云岩中,储集空间(图 2-j-1)常为粒间溶孔—粒内溶孔—晶间孔—裂缝组合,是灯影组重要的储集之一。研究区海侵型生储盖组合受二级海平面上升的影响,层序中海侵体系域中的生储盖层成为连续的成因系列,烃源层、储集体和盖层之间的关系以上覆式为主,部分为侧变式和互层式。该组合类型储集层的发育规模虽不及界面型组合,但封闭能力通常强,易于构成岩性圈闭。因而也是研究区值得重视的一类生储盖组合类型。

## 5.3 高水位型

与高水位体系域储层相关的生储盖组合,称为高水位型生储盖组合。该类型中,与二级层序相关的储集层主要为层序 SS2 灯影组三段,与三级层序相关的储集层主要发育在层序 SQ4 的高水位体系域(HST)即灯影组一段顶部(图 2-h-i)。以 SS2 高水位体系域(HST)时期为例,受二级海平面持续下降的影响,张家界三岔—鹤峰白果坪一带以台地边缘的颗粒白云岩沉积为主,慈利—张家界三岔—杨家坪一线北东属局限台地及开阔台地,以白云岩为主夹灰岩沉积;咸丰以西地区的局限台地白云岩沉积仍占主要地位,溶裂缝和未—半充填溶洞成为该时期主要的储集空间类型。该组合类型中,烃源岩丰富,既可以有早期的海侵期下伏陡山沱组的烃源层,也有晚期形成的上覆牛蹄塘组或水井沱组烃源层。且该组合中,通常与上部岩溶或界面型组合共生,构成有效性明显的生储盖组合。

## 6 结 论

通过前文的分析,本文得出如下结论:

(1)环潮坪型碳酸盐岩米级旋回;潮下型碳酸盐岩米级旋回;L-M 型碳酸盐岩米级旋回及深水非对称型碳酸盐岩米级旋回在研究区广泛发育。在基于对米级旋回的详细研究基础上,本文对埃迪卡拉系的二级层序和三级层序进行了划分。

(2)从层序格架出发,以储层为中心、重点研究储层和烃源岩的时空分布,综合考虑影响成藏的烃源岩和盖层与储集层的匹配关系,将埃迪卡拉系碳酸盐岩油气生储盖组合划分为界面型、海侵型和高水位型 3 种类型。

(3)研究区受层序界面控制的生储盖组合具备最优越的原始地质条件,高位型组合通常与岩溶或界面型组合共生,也是构成有效性明显的一类生储



盖组合。

## 参考文献 (References):

- [1] 马永生. 四川盆地普光超大型气田的形成机制 [J]. 石油学报, 2007, 28(2):9-14.  
Ma Yongsheng. Generation mechanism of Puguang Gas Field in Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28 (2):9-14 (in Chinese with English abstract).
- [2] 马永生, 牟传龙, 郭彤楼, 等. 四川盆地东北部长兴组层序地层与储层分布 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3):179-185.  
Ma Yongsheng, Mu Chuanlong, Guo Tonglou, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution of the Changxing Formation in northeastern Sichuan Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12 (3):179-185 (in Chinese with English abstract).
- [3] 赵文智, 沈安江, 胡素云, 等. 中国碳酸盐岩储集层大型化发育的地质条件与分布特征 [J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(1):1-9.  
Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Hu Suyun, et al. Geological conditions and distributional features of large-scale carbonate reservoirs onshore China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(1):1-9 (in Chinese with English abstract).
- [4] 梅冥相, 聂瑞贞, 张海, 等. 上扬子区震旦系层序地层划分 [J]. 现代地质, 2006, 1:529-544.  
Mei Mingxiang, Nie Ruizhen, Zhang Hai. Sequence-stratigraphic division for the Sinian system of the upper-Yangtze region [J]. Geoscience, 2006, 1:529-544 (in Chinese with English abstract).
- [5] Tucker M E. Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks [M]. Oxford: Blackwell Science Publication, 2001.
- [6] 李旭兵, 刘安, 危凯, 等. 雪峰山西侧地区震旦系灯影组储层特征和分布 [J]. 地质通报, 2012, 34(11):11-16 (in Chinese with English abstract).  
Li Xubing, Liu An, Wei Kai, et al. Reservoir characteristics of the carbonate of the Dengying Formation and its distribution characteristics in western Xuefeng Mountain [J]. Geological Bulletin of China, 2012, 34(11):11-16 (in Chinese with English abstract).
- [7] 梅冥相, 周鹏, 张海, 等. 上扬子区震旦系层序地层格架及其形成的古地理背景 [J]. 古地学报, 2006, 8(2):219-231.  
Mei Mingxiang, Zhou Peng, Zhang Hai, et al. Sequence stratigraphic framework and its palaeogeographical background for the Sinian of Upper Yangtze Region [J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(2):219-231 (in Chinese with English abstract).
- [8] 梅冥相. 从旋回的有序叠加形式到层序的识别和划分: 层序地层学进展之三 [J]. 古地学报, 2011, 13(1):37-54.  
Mei Mingxiang. From vertical stacking pattern of cycles to discerning and division of sequences: The third advance in sequence stratigraphy [J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13 (1):37-54 (in Chinese with English abstract).
- [9] 武振杰, 姚建新, 陈留勤. 塔里木盆地西南缘上石炭统米级旋回组构特征及层序地层研究 [J]. 地质学报, 2011, 84(4): 537-544.  
Wu Zhenjie, Yao Jianxin, Chen Liuqin, et al. Upper Carboniferous meter-scale cyclic characteristics and sequence stratigraphy in the southwestern margin of Tarim Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 84(4):537-544 (in Chinese with English abstract).
- [10] 梅冥相. 淹没不整合型碳酸盐三级旋回层序——兼论碳酸盐台地的凝缩作用 [J]. 岩相古地理, 1996, 16(6): 24-33.  
Mei Mingxiang. The Third-order carbonates cycle sequence of drowned unconformity type with discussions on "condensation" of carbonate platform [J]. Journal of Palaeogeography, 1996, 16 (6): 24-33 (in Chinese with English abstract).
- [11] 梅冥相. 从正常海退与强迫型海退的辨别对层序界面的对比: 层序地层学进展之一 [J]. 古地学报, 2010, 12(5):549-564.  
Mei Mingxiang. Correlation of sequence boundaries according to discerning between normal and forced regressions: The first advance in sequence stratigraphy [J]. Journal of Palaeogeography, 2010, 12 (5):549-564 (in Chinese with English abstract).
- [12] Goodwin P W, Anderson E J. Punctuated aggradational cycles: A general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation [J]. Journal of Geology, 1985, 93:511-533.
- [13] Goodhammer R K, Dumm P A, Hardie L A. Depositional cycles, composite sea-level changes, cycle stacking patterns, and the hierarchy of stratigraphic forcing: Examples from Alpine Triassic platform carbonate [J]. Geological Society of America Bulletin, 1990, 102:515-562.
- [14] Strasser A. Shallowing-upward sequences in Purbeckian peritidal carbonates (lowermost Cretaceous, Swiss and French Jura Mountains) [J]. Sedimentology, 1988, 35(3):369-383.
- [15] Anderson E J, Goodwin P W. The significance of metre-scale allocycles in the quest for a fundamental stratigraphic unit [J]. J. Geol. Soc. London, 1990, 147:507-518.
- [16] Masetti D, Nero C, Bosellin A. Deep water asymmetric cycles and progradation of carbonate platforms governed by high-frequency eustatic oscillations (Triassic of the dolomites, Italy) [J]. Geology, 1991, 19:336-339.
- [17] Osleger D A. Subtidal carbonate cycles: Implications for allocyclic versus autocyclic controls [J]. Geology, 1991, 19:917-920.
- [18] Authur M A, Dean W E, Bottjer D, et al. Rhythmic bedding in Mesozoic-Cenozoic pelagic carbonate sequences: The primary and diagenetic origin of Milankovitch like cycles [C]//Berger, et al. Milankovitch and Climate, 1984, 1:191-222.
- [19] 赵灿, 郑荣才, 于水, 等. 下刚果盆地 A 区块下白垩统阿尔布阶混积相研究 [J]. 岩性油气藏, 2011, 23(3):78-84.  
Zhao Can, Zheng Rongcai, Yu Shui, et al. Study on mixed sedimentary facies of Lower Cretaceous Albion in block A of Lower Congo Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(3):78-84.
- [20] 赵灿, 李旭兵, 李志宏, 等. 湖南慈利溪口震旦系陡山沱组震积岩的发现及其地质意义 [J]. 沉积学报, 2012, 36(6):1107-1116.  
Zhao Can, Li Xubing, Li Zhihong, et al. Characteristics and Geological Significance of Seismites of the Doushantuo Formation in Xikou Hunan Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012,

- 36(6):1107-1116(in Chinese with English abstract).
- [21] 周雁, 陈洪德, 王成善, 等. 中扬子区海相地层序样式及其油气地质意义[J]. 成都理工大学学报, 2002, 29 (1):26-30.  
Zhou Yan, Chen Hongde, Wang Chengshan, et al. A Study on the sequence style of marine strata in the Mid-Yangtze Area[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29 (1):26-30 (in Chinese with English abstract).
- [22] 陈洪德, 倪新锋, 田景春, 等. 华南海相下组合层序地层格架与油气勘探[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3):370-377.  
Chen Hongde, Ni Xinfeng, Tian Jingchun, et al. Sequence stratigraphic framework of marine lower assemblage in South China and petroleum exploration [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 370-377(in Chinese with English abstract).
- [23] 倪新锋. 中上扬子盆地叠加、改造类型及油气勘探前景[J]. 地质学报, 2009, 83(4):468-477.  
Ni Xinfeng. The superimposing and rebuilding of basins in middle-upper Yangtze region and its prospects of marine strata[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83 (4):468-477 (in Chinese with English abstract).
- [24] 陈洪德, 覃建雄, 田景春, 等. 中国南方古生界层序格架中的生储盖组合类型及特征[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1):62-66.  
Chen Hongde, Qin Jianxiang, Tian Jingchun, et al. Types and features of source-reservoir-cap rock combinations in Paleozoic sequence in southern China [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 62-66(in Chinese with English abstract).
- [25] 李忠雄, 陆永潮, 王剑, 等. 中扬子地区晚震旦世—早寒武世沉积特征及岩相古地理[J]. 古地理学报, 2004, 2(6):151-162.  
Li Zhongxiong, Lu Yongchao, Wang Jian, et al. Sedimentary characteristics and lithofacies palaeogeography of the Late Sinian and Early Cambrian in middle Yangtze region [J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 2 (6):151-162 (in Chinese with English abstract).
- [26] 陈代钊, 汪建国, 严德天, 等. 扬子地区古生代主要烃源岩有机质富集的环境动力学机制与差异[J]. 地质科学, 2011, 46 (1):5-26.  
Chen Daizhao, Wang Jianguo, Yan Detian, et al. Environmental dynamics of organic accumulation for the principal Paleozoic source rocks on Yangtze block [J]. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 2011, 46 (1):5-26 (in Chinese with English abstract).
- [27] 陈宗清. 四川盆地震旦系灯影组天然气勘探 [J]. 中国石油勘探, 2010, 15(4):1-14.  
Chen Zongqing. Gas exploration in Sinian Dengying Formation, Sichuan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2010, 15(4):1-14 (in Chinese with English abstract).

## Source-reservoir-cap rock combination based on sequence framework of the Ediacaran system in western Xuefeng Mountain area

LI Xu-bing, ZHAO Can, LIU An, WEI Kai, LI Jitao

(Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Wuhan 430205, Hubei, China)

**Abstract:** This paper divided and depicted in detail two second-order sequences and seven third-order sequences which are regionally well correlatable according to the Ediacaran system, by employing the research method of sequence stratigraphy “from lithofacies to meter-scale cycle, from depositional facies to sequence classification”. With the reservoir as the center, the authors mainly studied the temporal and spatial distribution of source rocks and reservoirs based on sequence framework, and comprehensively considered the matching relationship of source rocks and cover rock affecting reservoir formation. The source-reservoir-cap rock combinations in carbonate rock of the Ediacaran system were divided into 3 types, i.e., boundary type, transgression type and high water type. The findings indicate that the source-reservoir-cap rock combinations associated with sequence boundary in the study area have the most superior initial geological condition, the high water type is usually combined with the karst or boundary type, thus serving as another source-reservoir-cap rock combination with obvious effectiveness.

**Key words:** Ediacaran system; meter-scale cycle; sequence characteristics; source-reservoir-cap rock combination

**About the first author:** LI Xu-bing, male, born in 1974, associate researcher, mainly engages in the study of oil geology and strata; E-mail: yclxubing@163.com.