

# 黔中隆起及周缘地区灯影组古岩溶储层发育特征和控制因素

曹建文, 梁 彬, 张庆玉, 淡 永

CAO Jian-wen, LIANG Bin, ZHANG Qing-yu, DAN Yong

中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学开放实验室, 广西 桂林 541004

*Institute of Karst Geology, CAGS/ Karst Dynamics Laboratory, MLR & GZAR, Guilin 541004, Guangxi, China*

**摘要:**黔中隆起及周缘地区的上震旦统灯影组经历了震旦纪末的桐湾运动, 发生了古风化壳岩溶作用, 形成了一系列的岩溶储集空间。通过样品物性测试、薄片分析、野外观测等手段, 从岩性、沉积相、白云岩化、构造等内外控制因素对岩溶储集空间的成因进行了分析。虽然灯影组属于低孔低渗储层, 但较强的水动力环境形成的藻(屑)白云岩仍具有较高的孔隙度。白云岩化作用使储层的孔隙度增大, 增加了岩石的可溶性; 沉积间断使岩石经历了大气淡水的风化淋滤, 形成了以裂缝及孔洞为主的储集空间。灯影组古岩溶储层在研究区内具有良好的发育条件, 将为中国南方寻找深部油气资源提供极为重要的场所。

**关键词:**灯影组; 黔中隆起; 岩溶; 储层

中图分类号: P534.31; P618.130.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2012)11-1902-08

**Cao J W, Liang B, Zhang Q Y, Dan Y. The development features and controlling factors of reservoirs of Sinian Dengying Formation in central Guizhou uplift and its adjacent areas. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(11): 1902-1909**

**Abstract:** Upper Sinian Dengying Formation in central Guizhou uplift and its adjacent areas experienced the Tongwan movement at the end of Sinian Period, which resulted in the karstification of the paleo-weathering crust. A lot of reservoir space was formed in this period. This paper analyzed the genesis of the reservoir space on the basis of investigating such controlling factors as rock characteristics, sedimentary facies, dolomite and structure by means of testing samples, analyzing flakes and conducting field work. Although both porosity and permeability of Dengying Formation are low, the porosity of alga dolomite formed under the strong water dynamic condition remains relatively high. In addition, the dolomitization effect increased the porosity of rocks. As a result, the solubility of rocks became higher. The sedimentation hiatus caused the leaching of rocks by atmosphere water, accompanied by the formation of some reservoir space. In conclusion, the formation condition of Dengying Formation paleo-karst reservoirs was very favorable in the study area. The central Guizhou uplift and its adjacent areas will become very important places for the exploration of petroleum resources in southern China.

**Key words:** Dengying Formation; central Guizhou uplift; karst; reservoir

国内学者将第四纪以前形成的岩溶称为古岩溶<sup>[1]</sup>。由于岩溶形成的大量孔洞缝体系可以为油气聚集成藏提供可观的储集空间, 当代国内外地质工作者对古岩溶的研究不断深入, 其理论也得到不断发展和丰富, 并成功地应用到油气勘探实践中, 发现了如美国德克萨斯州西部中陆盆地下奥陶统顶

部的岩溶储集层, 中国在塔里木、鄂尔多斯、四川等诸多盆地都发现了古岩溶油气田<sup>[2-8]</sup>。其中, 四川盆地的威远震旦系灯影组气藏是中国发现的时代最老的气藏, 该气藏已钻探 100 多口井。其主要产气层集中在震四 2(Z4<sup>2</sup>), 震四 1(Z4<sup>1</sup>)和震三(Z3)中。据前人对灯影组古岩溶的研究, 威远气田灯影组储层

收稿日期: 2012-08-06; 修订日期: 2012-09-13

资助项目: 中国地质调查局地质调查项目《雪峰山西侧海相油气地质调查及综合研究》(编号: 1212010782003)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目《碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理及提高采收率基础研究》(2011CB201001)、国土资源部公益性行业科研专项《塔里木盆地古潜山奥陶系风化壳油藏岩溶储层预测》(编号: 201211082)

作者简介: 曹建文(1983-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事古岩溶研究。E-mail: cug830422@126.com

的发育主要受控于古岩溶作用,即受层间岩溶与桐湾期风化壳岩溶的控制<sup>[9]</sup>。

黔中隆起及其周缘地区与四川盆地毗邻,跨黔中隆起、黔西南坳陷和黔南坳陷 3 个二级构造单元,东靠江南隆起、武陵坳陷,南临南盘江坳陷、桂中坳陷、罗甸断坳,西为滇东隆起,北近黔北坳陷<sup>[10]</sup>(图 1),在震旦纪末—寒武纪早期具有与威远气田类似的区域构造条件,受桐湾运动影响发生了古风化壳岩溶作用,具备形成良好古岩溶储层的条件<sup>[11]</sup>。

黔中隆起及其周缘处于上扬子地台东南侧,黔中古隆起周缘海相下组合具有良好的油气资源潜力,是寻找整装大中型油气田、实现南方海相油气勘探重大突破的有利领域。研究区内最主要的勘探目的层是上震旦统灯影组白云岩和中、上寒武统白云岩,本文着重探讨研究区内上震旦统灯影组古岩溶储层的发育特征及控制因素。

### 1 地质背景

#### 1.1 岩性特征

震旦系上统灯影组是南方海相下组合的一套主要储集层,区域上分布广泛,地层厚度 10~600m 不等,由黔中隆起向雪峰古隆起逐渐变薄<sup>[12]</sup>。岩性为大套藻白云岩、泥—粉晶白云岩、砂(鲕)屑白云岩夹角

砾白云岩、岩溶角砾白云岩、薄层砂—泥岩及硅质白云岩等,是广阔浅水台地环境中的产物。岩石结构主要为粉晶结构、砂粒屑结构和亮晶结构;层理以水平纹层状、薄层状、中—厚层状为主;沉积结构主要有叠层构造、葡萄状构造、花边状构造、角砾构造(其中部分为岩溶造成)等,生物以藻类为主。总体而言,震旦系灯影组可分为 2 个岩性段:下部碳酸盐岩段,由深灰色薄—中厚层状白云岩、灰质白云岩、灰岩组成,偶见鲕粒、含藻斑点与膏盐假晶;上部泥质白云岩及硅质白云岩段,由浅灰、深灰色泥质白云岩及灰黑色硅质白云岩组成,夹厚层灰质白云岩。根据岩性差异、藻含量的不同,可进一步将本区灯影组从下至上划分为灯一( $Z_2dn^1$ )、灯二( $Z_2dn^2$ )、灯三( $Z_2dn^3$ )、灯四( $Z_2dn^4$ )4 个段。

#### 1.2 构造—沉积演化

晚震旦世陡山沱期,滇东之西为陆,黔东为海,地势总体呈现西高东低的趋势。此时,黔中地区浸没于海水之下,形成上扬子陆表海、局限台地相、开阔台地相、陆棚—盆地斜坡相和缺氧盆地相,沉积相带呈北东向,也有近东西向的亚相带展布;灯影期是扬子地台第 1 次碳酸盐台地发育的鼎盛期。随着陡山沱期沉积的填平补齐作用,本期除继承前期台、盆分布格局外,黔西—滇东已不显隆起特征,而川南—滇

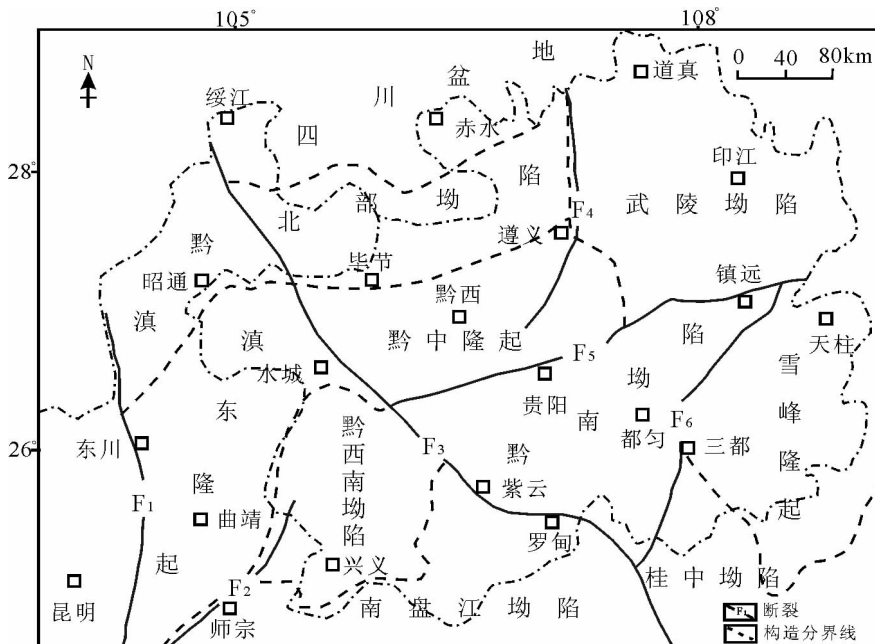


图 1 黔中隆起及其周缘地区位置示意图

Fig. 1 Location of central Guizhou uplift and its adjacent areas

F<sub>1</sub>—小江断裂;F<sub>2</sub>—师宗断裂;F<sub>3</sub>—扯紫—都安断裂;F<sub>4</sub>—遵义断裂;F<sub>5</sub>—贵阳—镇远断裂;F<sub>6</sub>—三都断裂

东北的蒸发台地型潮坪—泻湖依然存在,总体仍呈现北北东向展布的特征。在震旦纪与寒武纪之交的台地淹没事件之后,寒武纪形成一个从深水盆地相黑色页岩系到大套台地碳酸盐岩的沉积序列<sup>[3]</sup>,黔中地区也由早期的拗陷逐渐发展为中、晚期的水下隆起(图2)。

在早寒武世,震旦系灯影组沉积以后,受桐湾运动的影响,研究区处于隆起的高部位,侵蚀作用较为强烈,造成上震旦统灯影组与下寒武统牛蹄塘

组之间的假整合接触。

## 2 灯影组古岩溶储层的发育特征

### 2.1 古岩溶作用的特征

结合区内地质资料、区域上的露头特征和构造演化史,笔者认为本区灯影组中存在古岩溶作用,其发生的时间是震旦纪末的桐湾运动期,主要特征如下:

(1)通过研究区内岩孔、松林、瓮安、习水等地区

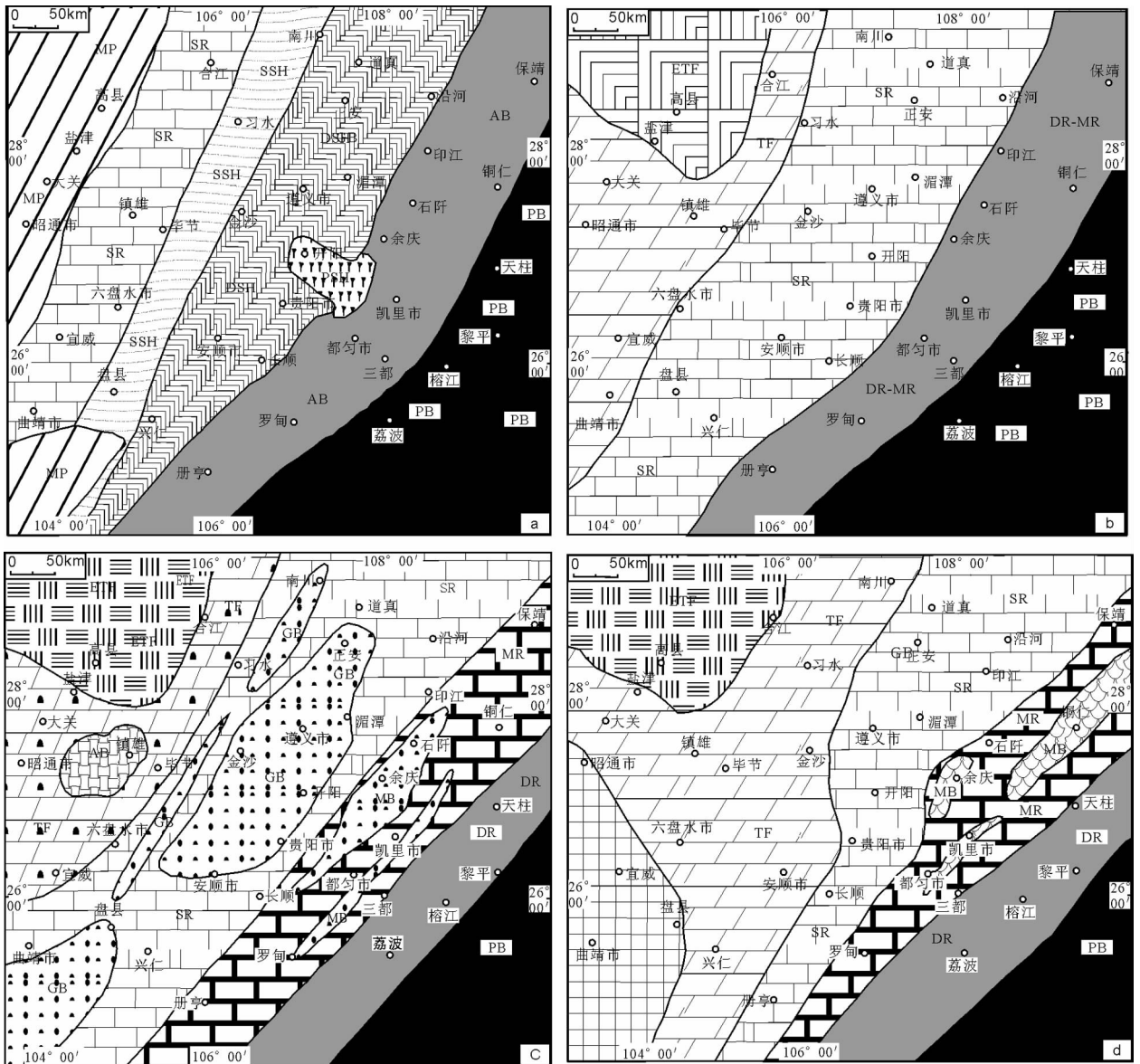


图2 黔中隆起及其周缘地区震旦纪—早寒武世沉积演化(据参考文献[12])

Fig. 2 Sedimentary evolution of central Guizhou uplift and its adjacent areas

a—陡山沱期; b—早灯影期; c—中灯影期; d—晚灯影期—早寒武世; MP—沉积台地相; SR—混积台地相; SSH—浅水陆棚相; DSH—深水陆棚相; PSH—含磷陆棚相; AB—藻生物丘; MB—泥晶生物丘; PB—深水盆地相; ETF—蒸发潮坪相; TF—潮坪相; SR—浅缓坡相; DR—MR—深缓坡—中缓坡相



的实测剖面资料可知,震旦纪末桐湾运动造成灯影组与上覆地层牛蹄塘组呈不整合或假整合接触关系(图 3),如灯四段只在局部地区有残留,灯三段在不同地区存在程度不同的剥蚀现象。

(2)灯影组与牛蹄塘组接触面附近发育一层褐铁矿化层(图版 I-a),灯影组上部地层中发育有大量溶孔、溶洞、溶缝(图版 I-b,c),并出现反映古风化壳存在的岩溶角砾岩段(图版 I-d)。这些孔、洞、缝主要分布在不整合面以下的地层中,发育深度为 50m 之内。

(3)溶蚀作用不受组构控制,为非组构选择溶蚀,从而区别于以组构选择性溶蚀为特征的(准)同生溶蚀作用。由图版 II-a,b 可以看出,空隙的位置与边界和组构要素(原生沉积颗粒、交代产物及胶结物等)无明显关系,方解石脉沿微缝穿插岩石,且沟通性良好,褐铁矿、不透明矿物呈质点状星散分布在方解石粒间或沿微裂隙分布。

(4)在溶蚀孔、洞、缝中发现与淡水作用有关的白云石充填物,并出现特征的葡萄花边状构造(图版 I-e,f)。这些“花边”多沿斜交穿层的溶缝、溶洞充填,有时可出现分叉复合现象。同时,在溶蚀孔、洞、缝中也发现上覆寒武系磷质、陆源碎屑、生物屑等渗流充填物。

## 2.2 灯影组古岩溶储层发育特征

震旦系总体上在区内出露较少,主要在金沙岩孔、遵义松林、瓮安朵丁一带出露,仁怀大湾有零星分布。上覆牛蹄塘组和下伏陡山沱组为研究区的烃源岩。

研究区内灯影组主要为局限台地和潮坪相沉积,厚度一般在几十米至数百米之间,对金沙古油藏及松林等地的震旦系灯影组白云岩样品的物性分析结果表明(表 1),研究区震旦系灯影组储层孔隙度介于 0.86%~7.05%之间,平均 2.83%,其孔隙性相对较差;渗透率介于  $0.0014 \times 10^{-3} \sim 4.1049 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间,平均  $0.3987 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,相对低。总体来看,灯影组属于低孔低渗储层,其储集性和渗透性都较差,孔隙度与渗透率的整体相关性较差,其原因是灯影组储层的储集空间主要为次生孔隙,原生孔隙相对不发育,对储渗性能起主要作用的不是孔隙和喉道,而是微裂缝。研究区内灯影组产沥青,在方解石裂缝中发育流体包裹体,包裹体类型为原生包裹体,形态不规则,包裹体中气相部分以烃类为主,且  $\text{CH}_4$  含量较高,具明显的干气特征。

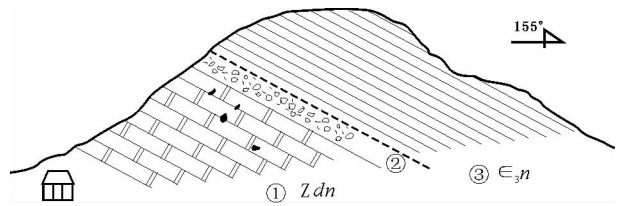


图 3 遵义松林灯影组与牛蹄塘组不整合面素描图

Fig. 3 Unconformity surface between Dengying Formation and Niutitang Formation in Zunyi-Songlin area

- ① 浅灰—灰白色中厚层状白云岩,顶部溶蚀孔发育;
- ② 岩溶角砾岩,砾石成分主要为灯影组白云岩,砾径 0.3~0.5cm;
- ③ 灰黑—黄灰色炭质页岩与頁岩;Zdn—震旦系灯影组;  
ε, n—寒武系牛蹄塘组

通过对 35 件样品的薄片鉴定及野外露头观察,按孔隙成因和产出状态来划分,研究区储层空间主要有晶间微孔、铸模孔、裂缝(图版 II c-f)、溶蚀孔洞(图版 I-b,c)4 类。

晶间微孔:指组成碳酸盐的矿物晶粒之间的孔隙。从白云岩中该类孔隙成因看,主要是成岩交代白云岩化作用形成的。其原因在于,在白云石化过程中,离子半径较小的  $\text{Mg}^{2+}$  交代了方解石中离子半径较大的  $\text{Ca}^{2+}$ ,其晶体体积缩小 12%~13%,从而使碳酸

表 1 金沙—松林震旦系灯影组储层物性数据

Table 1 Physical data of Dengying Formation in Jinsha-Songlin area

样品编号	岩性	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$
SL001	泥微晶白云岩	1.76	0.0026
SL002	砂屑白云岩	3.30	2.0061
SL003	砂屑白云岩	2.53	0.0153
SL004	砾屑白云岩	0.86	0.0014
SL005	砾-砂屑白云岩	2.47	4.1049
SL006	砂屑白云岩	1.70	0.0028
SL007	含砾屑砂屑白云岩	4.09	0.0047
SL008	微晶白云岩	1.43	0.0136
JS001	纹层状藻砂屑微晶白云岩	1.60	0.1630
JS002	葡萄状泥晶白云岩	5.53	0.0877
JS002	砂屑白云岩	3.70	0.6738
JS003	藻粘结白云岩	4.00	0.0058
JS004	砂屑白云岩	3.10	0.0080
JS005	藻粘结白云岩	1.31	0.0057
JS006	泡沫状凝块石白云岩	1.07	0.0016
JS007	藻砂屑白云岩	1.03	0.0126
JS008	细粉晶白云岩	4.74	0.0035
JS009	残余砂屑白云岩	7.05	0.0257
JS010	残余砂屑砾屑白云岩	2.71	0.0225



图版 I Plate I



a.不整合面附近的褐铁矿化层;b.灯影组上部发育的溶蚀孔洞、溶蚀缝,方解石半充填;  
c.顺藻纹层发育的溶蚀缝及溶蚀孔洞,白云石及方解石充填;d.灯影组顶部岩溶角砾岩;  
e.灯影组葡萄状构造白云岩及发育的溶蚀洞;f.灯影组雪花状白云岩(遵义松林附近)

盐岩的孔隙度(即次生晶间孔隙)增大 10%。

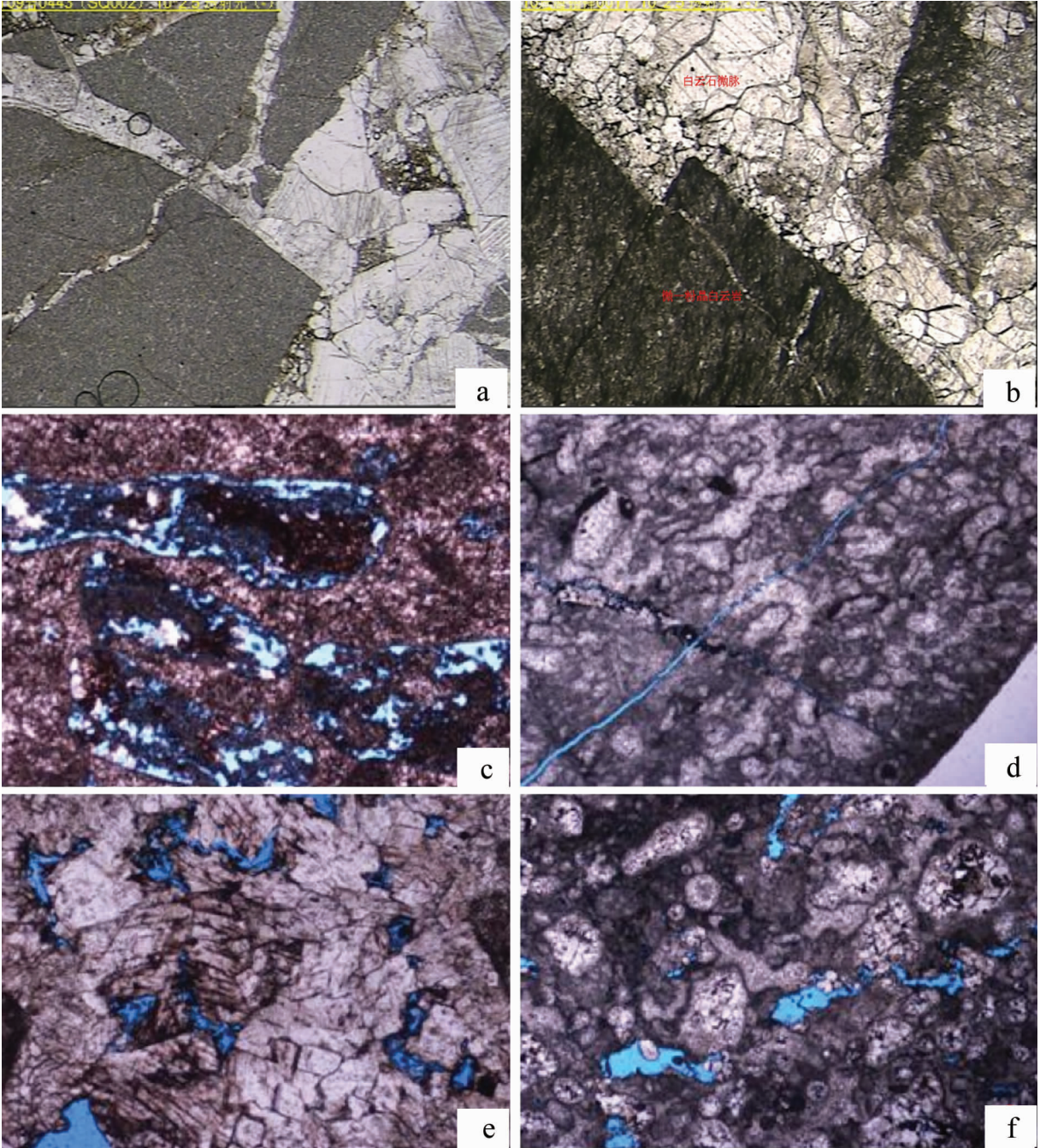
**铸模孔:**是在选择性溶解作用下,原生的粒屑或晶粒全部溶蚀而保留原来粒屑或晶粒外形的一种孔隙。铸模孔与一般溶蚀孔的主要区别在于,铸模孔保留原生颗粒或晶粒的外形,表示原生颗粒或晶体完全溶解。

**裂缝:**按成因可分为构造缝与非构造缝两大类。

构造缝是固结岩石在区域构造应力或局部构造应力作用下破裂而形成的裂缝,具有一定的方向性,常连接成规则的网状(图版 II -b);非构造缝的形成与构造作用产生的应力无关,成因可以是沉积物失水收缩、压溶、表生风化等。还有一种属于过渡类型的沉积-构造裂缝,指在构造应力作用下沿岩石的层理面或层内的沉积不均匀面裂开而形成的层理缝、层



图版 II Plate II



a.白云质压碎角砾岩,无定向构造压碎角砾结构、变余粉晶结构,白云岩角砾间被方解石呈脉穿插填隙;  
 b.不等晶白云岩,它形及半自形粒状结构,众多方解石微脉穿插岩石;c.粒屑白云岩中的铸模孔;  
 d.粒屑白云岩中的缝合线;e.颗粒白云岩中的晶间孔;f.粒屑白云岩中的溶蚀缝  
 a、b 由广西壮族自治区地质矿产测试研究中心检测。偏/反光显微镜 10×2.5 透射光(+),视域横径 5.12mm

间缝、层内缝等,均是重要的油气运移及储集空间。

溶蚀孔洞:指孔径大于 2mm 的空隙空间,大多是溶蚀作用形成的。研究区内早期的溶蚀孔洞是在大气

水成岩环境中形成的,发育于沉积间断面之下,孔径一般较小(多小于 10mm),在后期碳酸盐岩的长期暴露、剥蚀之下,溶蚀孔洞及其相关的溶缝发生扩溶现

象,形成规律较大的溶蚀孔洞(图版 I -b),这些溶蚀孔洞的形成是非选择性溶蚀的,且多沿微裂缝发生。

### 3 灯影组岩溶储层的控制因素

岩石与水是岩溶发育的基本物质条件。具体而言,岩溶发育有4个基本条件,即岩石的可溶性、透水性和水的侵蚀性、流动性<sup>[14]</sup>。然而,岩溶发育是内、外营力共同作用的结果,外因主要表现为构造作用对溶蚀的主动影响,内因表现为灯影组可溶岩本身对溶蚀的被动影响。因此,在分析区域岩溶形成与发育的影响与控制因素时应作具体分析,不可笼统、孤立和绝对化。可见,岩溶作用和岩溶发育过程及其所表现的岩溶现象,是一个系统工程。

#### 3.1 地层岩性对岩溶作用的影响

可溶岩是岩溶作用的物质基础,在控制与影响岩溶发育的各种因素中,岩石的矿物成分和结构是首要因素。碳酸盐岩不同的岩性特征对岩溶的发育强度具有较明显的影响。岩溶发育的规模、岩溶化程度具有纯碳酸盐岩高于不纯的碳酸盐岩、灰岩高于白云岩的规律。

在裸露环境下,灰岩岩溶化强度一般高于白云岩(表2)。在灰岩与白云岩互层发育岩层中,由于灰岩溶解速度快,地下水流及溶蚀作用越来越集中于灰岩层中,差异性溶蚀越来越明显,在灰岩层中常形成一系列层状溶洞,而在白云岩层中则难以形成大

型层状溶洞。这一差异是由碳酸盐岩岩石的矿物成分和晶体结构决定的<sup>[15]</sup>,这也是研究区内灯影组储集空间以溶蚀缝—溶蚀孔为主,而缺少大型岩溶缝洞系统的原因。

#### 3.2 沉积相对岩溶储层的影响

首先,沉积相带决定了沉积物的结构和矿物成分,这是岩溶作用发育与否的内在因素。一般情况下,较强的水动力环境形成较粗颗粒的沉积物,有利于原生、次生孔隙的形成,是有利于岩溶储层发育的沉积环境;而水动力相对较弱的沉积环境储层相对不发育。研究区内灯影组中较强水动力环境形成的藻(屑)白云岩的孔隙度明显高于水动力相对较弱环境形成的非藻(屑)泥粉晶白云岩(表1)。其次,水体极浅的浅滩、生物礁滩等沉积环境,当海平面下降时,沉积物暴露出水面,是大气淡水成岩作用发育的有利地带,可形成古风化壳,有利于溶蚀孔、洞、缝的发育,是形成优良储层的有利区带。

#### 3.3 白云岩化作用对岩溶储层的影响

灯影组白云岩地下岩溶形态以蜂窝状溶孔、小溶洞、溶缝为主,没有大中型地下溶洞。所形成的溶孔形状比较匀称,以圆形、椭圆形为主。溶蚀孔洞的形成一类是由于白云岩中的方解石脉被优先溶解,岩石局部破坏成岩石碎块,角砾与角砾之间经溶蚀形成;另一类是由于白云岩溶蚀分解,脱落的白云岩颗粒(白云岩粉)被冲刷带走而形成的。

表2 不同岩石成分溶蚀能力试验结果<sup>[15]</sup>

Table 2 Experiment results of the corrosion capabilities of different elements in rocks

岩石名称	化学成分/%		CaO/MgO	酸不溶物/%	矿物成分/%		孔隙率/%	相对溶解速度(平均值)
	CaO	MgO			方解石	白云石		
泥晶灰岩	53.18	0.87	61.12	2.99	93.0	4.0	1.9	1.03
斑状白云质灰岩	49.49	4.52	10.94	2.08	77.2	20.7	0.5	1.03
生物碎屑灰岩	54.1	0.54	100.2	2.03	95.5	2.5	0.4	1.03
白云质泥质灰岩	50.17	2.36	21.26	5.19	84.1	10.7	/	1.09
灰质白云岩	36.92	15.12	2.44	3.48	27.4	69.1	4.6	0.82
泥晶白云岩	3.07	18.18	1.66	5.36	10.1	84.5	7.9	0.80
细晶白云岩	28.83	19.36	1.48	7.33	4.2	88.5	3.1	0.77
泥晶灰岩	54.27	0.36	150.75	2.25	95.0	/	/	1.09
泥亮晶生物灰岩	53.70	1.19	45.13	1.99	98.0	1.0	/	1.11
膏溶灰质白云岩	34.63	15.41	2.24	6.06	75.0	68.0	/	0.93
泥晶灰质云岩	41.00	10.93	3.74	3.09	38.0	60.0	/	0.93
微晶白云岩	32.19	15.87	2.03	9.17	5.0	85.0	/	0.96
细晶白云岩	28.96	20.15	1.44	5.62	2.5	95.0	/	0.51



白云岩化作用是研究区内碳酸盐岩中普遍发育的一种交代作用,能使碳酸盐岩的孔隙度增大及岩石孔隙类型增多,从而增强其可溶性。白云岩化过程中,当白云石含量大于 50%时,孔隙度增加很快;当白云石含量达到 80%时,岩石的平均孔隙度为 19%;当白云石含量超过 80%时,孔隙度及渗透率均降低<sup>[7]</sup>。白云岩化作用对溶蚀有一定促进作用,但能否使岩溶强烈发育,还与其它因素有关。

### 3.4 古表生岩溶作用对岩溶储层的影响

古表生岩溶(古风化壳岩溶)作用是地层在漫长的埋藏地史中,因构造作用曾经抬升至地表,遭受大气淡水风化淋滤而发生的溶蚀作用。研究区内灯影组白云岩在震旦纪末因桐湾运动而抬升至地表发生古表生岩溶作用,形成了牛蹄塘组与灯影组之间的不整合面接触。不整合面是古岩溶发育的主控因素,决定了古岩溶发育的广度和深度。岩溶不整合面也是一个构造薄弱面,在假整合面附近断裂、裂缝(构造缝、风化缝)发育,彼此连通好,构成有利于岩溶水汇集运移的复合系统,正负向岩溶形态及岩溶建造发育,组合复杂,地表水通过这个构造薄弱面得以和地下水进行沟通,形成一个水循环体系,这是岩溶发育的关键因素之一。

通过此次研究发现,古岩溶缝洞系统主要发育于不整合面下 0~50m 范围内,不整合面下 50m 以下古岩溶缝洞系统发育较弱,仅受埋藏岩溶作用影响发育少量的溶蚀孔。

根据区域构造演化研究成果,震旦系灯影组与寒武系之间存在的沉积间断时间相对较短,因而震旦系灯影组岩溶储层的主要发育段限制在岩溶作用所能影响的深度框架内,古岩溶缝洞系统以溶蚀孔洞为主,未见大型的古岩溶缝洞系统(古地下河管道),缝洞系统规模较小,储集空间仍是以裂缝及孔洞为主。

## 4 结 论

(1)研究区内灯影组属于低孔低渗储层,其储集性和渗透性都较差。孔隙度与渗透率整体相关性较差,其原因是灯影组储层的储集空间主要为次生孔隙,原生孔隙相对不发育,对储渗性能起主要作用的不是孔隙和喉道,而是微裂缝。

(2)受桐湾运动的影响,研究区灯影组白云岩在早寒武世经历了暴露剥蚀,形成了一系列的古风化壳标志。研究区内古岩溶储层的形成是风化剥蚀、

淡水淋滤、成岩作用和晚期构造作用的综合产物;白云岩化与溶蚀作用的联合加大了古岩溶发育的强度。研究区灯影组所遭受的古岩溶作用,为该区震旦系储层的形成奠定了基础。

(3)灯影组古岩溶储层在区域上分布广泛,金沙、松林、瓮安、习水等地区的灯影组均发育不同程度的暴露剥蚀,形成了裂缝-孔洞型储层;在垂向上受沉积间断面控制,古岩溶缝洞系统主要发育于不整合面下 0~50m 范围内。

**致谢:**中国地质调查局成都地质调查中心罗建宁研究员在成文过程中给予的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

## 参考文献

- [1]袁道先,朱德浩,翁金桃,等.中国岩溶学[M].北京:地质出版社,1994.
- [2]张宝民,刘静江.中国岩溶储集层分类与特征及相关的理论问题[J].石油勘探与开发,2009,36(1):12-28.
- [3]王素芬,李伟,张帆,等.乐山-龙女寺古隆起洗象池群有利储集层发育机制[J].石油勘探与开发,2008,35(2):170-174.
- [4]夏明军,戴金星,邹才能,等.鄂尔多斯盆地南部加里东期岩溶古地与天然气成藏条件分析[J].石油勘探与开发,2007,34(3):291-315.
- [5]张抗,王大锐, Bryan G Huff, 等.塔里木盆地塔河油田奥陶系油气藏储集层特征[J].石油勘探与开发,2004,31(1):123-126.
- [6]韩剑发,于红枫,张海祖,等.塔中地区北部斜坡带下奥陶统碳酸盐岩风化壳油气富集特征[J].石油与天然气地质,2008,29(2):167-173.
- [7]屈海洲,王福焕,王振宇,等.塔中北部斜坡带古岩溶发育特征及演化模式[J].新疆石油地质,2011,32(3):257-261.
- [8]康玉柱.中国古生代碳酸盐岩古岩溶储集特征与油气分布[J].天然气工业,2008,28(6):1-12.
- [9]罗啸泉,郭东晓,蓝江华,等.威远气田震旦系灯影组古岩溶与成藏探讨[J].沉积与特提斯地质,2001,21(4):54-60.
- [10]滇黔桂石油地质志编写组.中国石油地质志(卷十一):滇黔桂油气区[M].北京:石油工业出版社,1987.
- [11]田海琴,郭彤楼,胡东风,等.黔中隆起及其周缘地区海相下组合与油气勘探前景[J].古地理学报,2006,8(4):509-518.
- [12]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].古地理学报,2006,8(2):219-231.
- [13]梅冥相,马永生,邓军,等.上扬子区下古生界层序地层格架的初步研究[J].现代地质,2005,19(4):551-562.
- [14]吕修祥,金之钧.碳酸盐岩油气田分布规律[J].石油学报,2000,21(2):8-12.
- [15]中国地质科学院岩溶地质研究所.桂林岩溶与碳酸盐岩[M].重庆:重庆出版社,1987.
- [16]夏日元,邹胜章,梁彬,等.塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩缝洞系统模式及成因研究[M].北京:地质出版社,2011:14-19.
- [17]张水昌,梁狄刚,朱光有,等.中国海相油气田形成的地质基础[J].科学通报,2007,52(增刊 1):19-31.