

黔北震旦系灯影组顶部古风化壳特征及油气意义

刘家洪 杨 平 汪正江 卓皆文 杜秋定

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要:古风化壳对岩溶储层的形成及油气运聚成藏具有重要的意义。野外地质调查发现黔北震旦系灯影组顶部普遍发育一套黄褐色渣状粘土层, 地球化学特征表现为 MgO 的淋失和 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Fe_2O 、 P_2O_5 、 TiO_2 不同程度的相对富集, 为震旦纪末桐湾运动所形成的古风化壳。该风化壳在不同相带发育程度不尽相同, 造成了下伏岩溶储层的差异。台地边缘相区受后期构造抬升影响显著, 原生孔隙发育, 有利于大气水下渗, 岩溶作用强, 改善了下伏颗粒白云岩储层, 形成了大量的溶蚀孔洞、粒内溶孔、粒间溶孔和裂溶缝; 其他相区受岩溶作用改造弱, 储层物性较差。因此, 黔北隐伏的灯影组滩相—风化壳区应为下阶段油气勘探的重点区域。

关键词:古风化壳; 岩溶储层; 桐湾运动; 灯影组

中图分类号: P152.1⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2012)04-0931-08

1 引 言

川南震旦系威远气田具有 40 多年天然气勘探开发历史, 是四川盆地的功勋气田。能否在震旦系开拓新的勘探领域, 是当前南方海相油气勘探面临的挑战之一。上扬子台地震旦系灯影组地层分布面积广, 上下紧邻上震旦统陡山沱组和下寒武统牛蹄塘组黑色页岩, 这两套深水相黑色页岩被证实是南方重要的烃源岩^[1]。古风化壳是碳酸盐岩经过长期的表生作用形成的特殊地质体, 其内部特殊的地质结构决定其不但具备良好的油气储集条件^[2-3], 而且对油气运移起着重要作用^[4]。风化壳的结构、发育机制及油气成藏效应是国内外研究的热点和难点^[5-7]。油气勘探表明, 与风化壳相关的岩溶油气藏是隐蔽油气藏勘探的重要领域^[8-10]。据统计, 世界上许多大型含油气盆地均发育有岩溶储层, 全球 20%~30% 的油气资源与不整合面有关^[11]。中国先后在鄂尔多斯盆地、塔里木盆地的奥陶系顶部发现古喀斯特油气藏, 佐证了海相油气勘探过程中古风化壳的特殊意义^[12]。

区域调查资料表明中国南方大部分区域发育多

套古风化壳, 笔者在黔北地区进行野外油气地质调查中, 发现该地区的震旦系灯影组顶部普遍存在一层 10 cm 左右的黄褐色渣状粘土岩、粘土质角砾白云岩, 界面凹凸不平, 具古风化壳地质特征。本文拟通过对粘土层的详实观测和地球化学特征分析, 证实其古风化壳的存在, 并进一步研究该岩溶储层特征及古风化壳的石油地质意义。

2 地质背景及剖面地质特征

上扬子台地是中国沉积岩最为发育的地区之一, 前寒武纪—寒武纪之交是上扬子台地地质历史中的重要转折期之一, 其南缘发生了从裂谷盆地向被动大陆边缘盆地的转化, 灯影组以大套的白云岩沉积为特征, 岩相单一, 厚度巨大, 具有形成有利储层的优良条件。震旦纪末期的桐湾运动使上扬子地区整体抬升, 造成灯影组顶部风化壳岩溶十分发育^[13]。碳酸盐台地边缘相区的沉积序列及层序结构对海平面变化的响应最为明显, 本文所指黔北地区位于涪潭以南、开阳以东、余庆以西、福泉以北的区域, 在区域上位于上扬子台地东南缘。根据野外露头资料编制的古

收稿日期: 2011-12-14; 改回日期: 2012-02-27

基金项目: 中国地质调查局“中上扬子海相含油气盆地分析与油气成藏条件综合调查评价”项目(1212010733505)资助。

作者简介: 刘家洪, 男, 1983 生, 硕士, 助理工程师, 主要从事沉积学研究; E-mail: 66955408@qq.com。

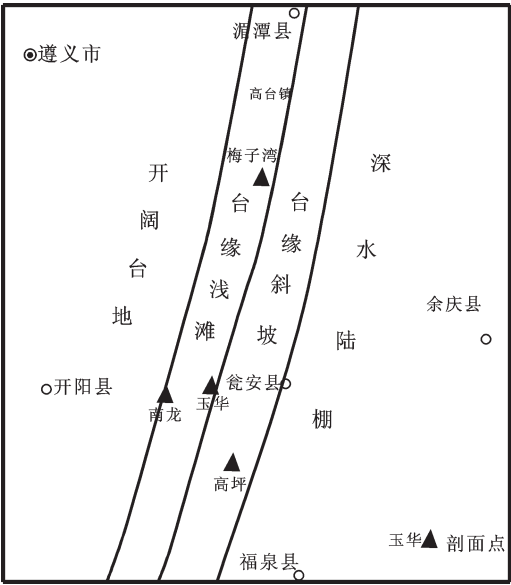


图 1 研究区位置及黔北地区灯影期古地理简
Fig.1 Location of the study area and palaeogeographic
map of Dengying period in northern Guizhou

地理图显示，研究区灯影组沉积期的古地理可划分为 4 个相带，自北西西向南东东分别为开阔台地、台地边缘浅滩、台缘斜坡和深水陆棚相区。台地相以中—厚层细晶白云岩为特征，台地边缘浅滩相以鲕粒白云岩和砂、砾屑白云岩为标志，台缘斜坡以发育滑塌角砾状白云岩及黑色页岩为特征，深水陆棚以发育薄层含泥白云岩、硅质岩和黑色页岩沉积为特征。本次研究选取的福泉高坪剖面灯影组上部为台缘斜坡相区，湄潭梅子湾、瓮安玉华和开阳南龙剖面

灯影组上部主要为台地边缘浅滩相区(图 1)。

由于研究区气候温暖湿润，植被茂盛，震旦系灯影组之上的下寒武统牛蹄塘组黑色页岩层较为软弱，在地貌上多为负地形，剖面露头不连续，为古风化壳的研究带来了不便。福泉高坪剖面出露震旦系灯影组顶部及下寒武统牛蹄塘组下部地层，两者为平行不整合接触（图 2）。灯影组顶部为灰黑色厚层—块状滑塌角砾状白云岩，角砾成分为含泥白云岩、微晶白云岩，角砾大小不一，砾径从数毫米至数厘米不等，磨圆差，无分选，角砾间为泥质白云岩充填，局部有少量沥青显示。灯影组顶部与牛蹄塘组界面凹凸不平，充填 3~10 cm 厚的黄褐色渣状粘土层，宏观特征与基岩截然不同。粘土层之上为下寒武统牛蹄塘组灰黑色炭质、硅质页岩。

湄潭梅子湾剖面位于湄潭县石莲乡，灯影组下部出露完整，灯影组上部与下寒武统牛蹄塘组呈平行不整合接触。灯影组经历了局限台地—台缘斜坡—开阔台地—台缘浅滩的沉积序列，下部以细—微晶白云岩为主要特征，中部为炭质页岩、滑塌角砾岩为主要特征，上部以颗粒白云岩为主要特征(图 3)。

开阳南龙剖面及瓮安玉华剖面灯影组上部均为台地边缘相沉积的厚层—块状的台地边缘浅滩的颗粒白云岩，含丰富的沥青显示。

3 古风化壳的地球化学证据

岩石中元素抗风化能力存在较大差异，活动性元素(Ca、Mg、K、N a 等)极易随流体发生迁移并被

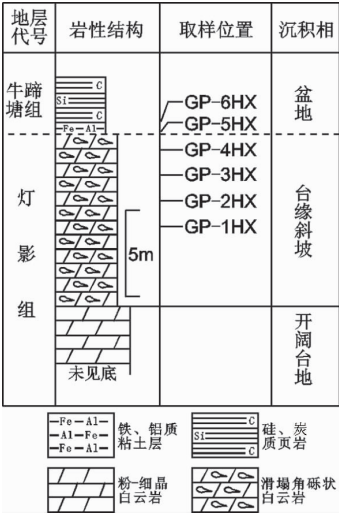


图 2 福泉高坪剖面古风化壳特征及样品分布
Fig.2 Paleo-weathering crust characteristics and sample distribution of Gaoping Township, Fuyuan County

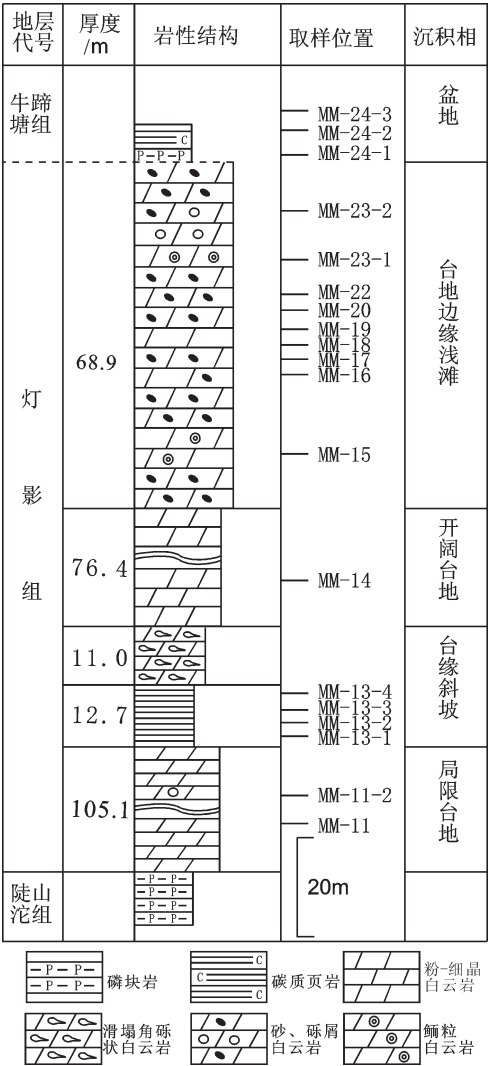


图 3 湄潭梅子湾剖面特征及样品分布

Fig.3 Profile characteristics and sample distribution of Meiziwan, Meitan County

1 为福泉高坪震旦系顶部基岩及渣状粘土层的常量元素分析结果,从表中可以看出,与灯影组上部基岩相比,粘土层主要表现为 MgO 的淋失和 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、Fe₂O、P₂O₅、TiO₂ 不同程度的相对富集,K₂O、Na₂O、CaO 在基岩与粘土层中的差异并不明显。代表氧化环境的 Fe₂O₃ 元素在粘土层中的含量大幅增加,表明该套渣状粘土层形成时处于暴露氧化条件;而易溶性元素 Mg 的被淋失表明当时气候温暖湿润,利于元素的淋失;SiO₂、Al₂O₃ 等难溶成分的含量有大幅度的增加,可能与暴露期间地表径流带来的陆源碎屑有关。粘土层中 P 元素的高度富集可能在一定程度上与当时的生物活动以及热液活动有关。常量元素地化特征表明,该套黄褐色渣状粘土层即是震旦系末期形成的古风化壳。

4 灯影组储层特征及控制因素

震旦纪末期的桐湾运动造成研究区台地相区广泛抬升成陆,构造运动的破裂作用以及大气淡水的淋滤,对灯影组储层产生了积极的影响。

4.1 储集岩类型及特征

研究区内灯影组白云岩发育,岩石类型主要为岩溶白云岩、颗粒白云岩及结晶白云岩(图 4)。

岩溶白云岩是岩溶作用形成的特殊岩类,如岩溶角砾白云岩和岩溶溶蚀白云岩。岩溶角砾白云岩中的岩溶角砾成分为晶粒白云岩或颗粒白云岩,角砾间被泥质充填;岩溶溶蚀白云岩的基质为颗粒白云岩或晶粒白云岩,普遍发育溶蚀孔洞和溶蚀缝。

颗粒白云岩主要为砾屑白云岩及鲕粒白云岩,厚层-块状为主,主要分布于灯影组中上部地层。颗粒含量 40%~80%,几乎均被白云石交代,具交代残余结构。交代颗粒的白云石一般比较浑浊,晶面呈云

表 1 福泉高坪灯影组顶部基岩与古风化壳常量元素含量/%

Table 1 Major element content of bedrock and paleo-weathering crust in Dengying Formation of Gaoping Township, Fuquan County

样品号	岩性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	灼失
GP-6HX	粘土	16.29	12.05	3.78	0.53	25.75	0.48	1.47	<0.04	0.18	23.48	<0.0015	11.84
GP-5HX	粘土	10.61	3.54	8.27	0.47	35.4	0.18	0.2	<0.04	0.06	27.77	0.013	7.76
GP-4HX	白云岩	4	0.66	2.88	0.44	28.16	19.82	0.19	<0.04	0.039	0.17	0.22	43.36
GP-3HX	白云岩	3.53	0.67	0.38	0.26	29.62	20.26	0.2	<0.04	0.043	0.22	0.13	44.62
GP-2HX	白云岩	3.24	0.6	0.64	0.2	29.18	20.41	0.18	<0.04	0.077	0.12	0.15	44.71
GP-1HX	白云岩	2.39	0.49	0.082	0.44	29.82	20.93	0.16	<0.04	0.046	0.099	0.079	45.26

注:样品由国土资源部西南矿产资源监督检测中心测试。

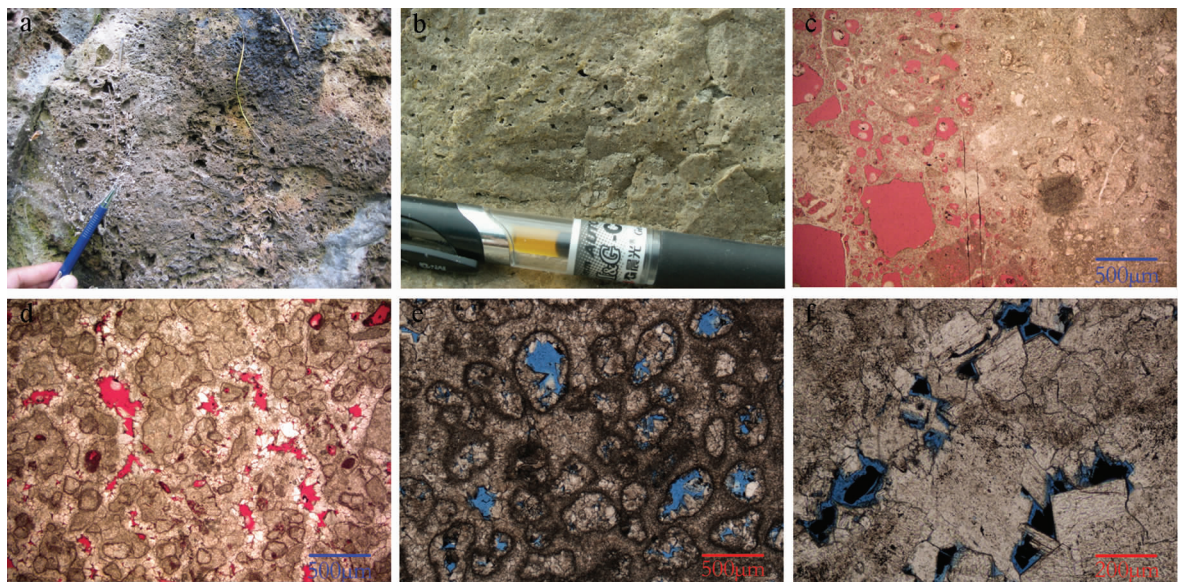


图 4 黔北灯影组白云岩储集空间类型

a—岩溶溶蚀孔洞,湄潭梅子湾;b—岩溶溶蚀孔洞,瓮安玉华;c—溶蚀铸模孔(-),湄潭梅子湾;d—粒间溶蚀孔(-),湄潭梅子湾;
e—粒内溶蚀孔,充填沥青(-),瓮安玉华;f—裂溶缝,充填沥青(-),开阳南龙

Fig.4 Dolomite reservoir space types of Dengying Formation in northern Guizhui

a— Karst corrosion holes (-), Meiziwan, Meitan County;b—Karst corrosion holes, Yuhua Township, Wengan County (-);c—
Corrosion casting hole (-), Meiziwan, Meitan County;d—Intergranular dissolution pore (-), Meiziwan, Meitan County;e—
Intragranular dissolution pores, filled with asphalt (-),Yuhua Township, Wengan County;f—Dissolved seam split, filled with asphalt
(-), Nanlong Township, Kaiyang

雾状,而交代粒间方解石胶结物的白云石则比较明亮,有时可见一颗完整的白云石晶体部分交代颗粒,该类岩石中多见晶间孔及晶间溶孔。

结晶白云岩是由交代作用及其重结晶形成的白云石晶体所组成的一类白云岩,其典型特征是显微镜下可见发育良好的白云石晶粒结构,并且几乎看不到任何原生组构的残余。研究区内结晶白云岩主要分布于灯影组下部地层,根据白云石晶体的大小,震旦系灯影组常见的类型为粉-细晶白云岩,这种白云岩中的白云石晶径为 0.01~0.05 mm,晶体表面一般较洁净明亮,主要呈他形粒状,少量呈半自形粒状,晶体间镶嵌接触,有时可见晶间微孔和晶间溶孔。

4.2 储集空间类型

通过对研究区岩石手标本、普通薄片和铸造薄片等资料的分析,区内灯影组储层中主要的储集空间有溶蚀孔洞、粒内溶孔、粒间溶孔和裂溶缝。

(1)溶蚀孔洞:溶蚀孔洞主要出现于岩溶溶蚀白云岩中,孔洞规模大小不一,发育于古风化壳之下 0~100 m。表层岩溶带的孔洞最发育,如湄潭县梅子湾剖面灯影组上部的砾屑白云岩及瓮安玉华剖面灯

影组上部的鲕粒白云岩广泛发育溶蚀孔洞,孔径主要变化于 1~30 mm(图 4-a, b)。在较深的水平潜流带有可能发育大型洞穴。显微镜下还常见岩溶作用形成的溶蚀铸模孔,这类孔隙由整个颗粒被溶蚀殆尽而成(图 4-c)。溶蚀孔洞是研究区最重要的储层类型之一。

(2)粒内溶孔:主要指颗粒内部组分被溶解而成的一类储集空间,研究区内常见于鲕粒白云岩内部核心被全部或者部分选择性溶蚀而成,从而导致鲕粒结构被破坏,大多以残余鲕粒的形式存在。粒内溶孔部分被胶结物充填,但多不完全,单个孔隙较好,为岩石储集性能的改善起到了积极的作用,是研究区主要的储集空间类型之一(图 4-d)。

(3)粒间溶孔:主要表现为颗粒间的胶结物、填隙物被溶蚀扩大而形成的孔隙,主要见于鲕粒白云岩、砂砾屑白云岩间,形状不规则,一般沿裂缝发育,具较好连通性。此类孔隙也同样部分被充填,亦是研究区重要的储集空间类型(图 4-e)。

(4)裂溶缝:由裂缝溶蚀扩大而成,是构造作用和岩溶作用的叠加产物,形状一般不规则,呈线状,

断续延伸,主要发育于垂直渗流带。部分裂溶缝中充填有泥质、有机质、碳酸盐矿物等。它不仅提供了储集空间,还大大提高了储集岩的渗滤能力(图 4-f)。

4.3 储层物性及孔隙结构

储层物性主要是用孔隙度(φ)和渗透率(K)两个基本参数来表征。通过对湄潭梅子湾 14 件储层样品的常规物性分析(表 2),灯影组储层孔隙度为 1.27%~24.11%,平均为 4.99%,渗透率为 $0.00336\times 10^{-3}\sim 113\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,根据储层评价划分标准^[16],21.4%的样品孔隙度小于 2%,属Ⅳ类储层;57.1%的样品孔隙度在 2%~6%,为Ⅲ类储层;14.3%的样品孔隙度在 6%~12%,为Ⅱ类储层;7.1%的样品孔隙度大于 12%,为Ⅰ类储层。因此,湄潭梅子湾灯影组主要为Ⅲ~Ⅳ类储层。

开阳南龙及瓮安玉华储层岩石类型为砂、砾屑白云岩、鲕粒白云岩及粗晶白云岩,由于震旦系、寒武系的沉积间断。砂屑白云岩、鲕粒白云岩及粗晶白云岩均遭淡水淋滤形成大量孔洞,主要孔隙类型为铸模孔和晶间溶孔、孔隙多被沥青充填,晚期被方解石充填改造造成孔隙度急剧下降,即便如此,实测残余孔隙度瓮安玉华为 4.38%~6.27%,开阳南龙为

1.76%~4.35%,储集性良好,原始孔隙度应为Ⅰ~Ⅱ类储层。

根据毛管压力曲线的形态,可将梅潭梅子湾剖面 14 件样品的毛管曲线分为 3 种类型:第一类为进汞曲线略向左凹,共 3 件样品,分别是 MM-15、MM-20 及 MM-23-1,以 MM-15 为例(图 5),Pd 为 0.0193 Mpa,Rd 为 $38.8938\mu\text{m}$,Pc50 为 1.2312 Mpa,Rc50 为 $0.6195\mu\text{m}$,为中高孔中喉型储层;第二类进汞曲线呈陡的斜线上升,略向左凹或左凸,共 8 件样品,Pd 在 0.7547~3.4116 Mpa,Rd 为 0.2198~ $0.9938\mu\text{m}$,Pc50 为 2.8744~119.7224 Mpa,为低孔中小喉型;第三类为进汞曲线完全左凸,共 3 件样品,Pd 为 1.9315~3.5749 Mpa,Rd 为 0.2098~ $0.3883\mu\text{m}$,Pc50 为 18.2346~71.8182 Mpa,为微孔小喉型非常规储层。对比研究表明,好—较好储层均为台缘浅滩相的颗粒白云岩,而台地内部的结晶白云岩物性普遍较差。

4.4 储层发育的控制因素

上述分析表明,研究区的储层主要发育在灯影组顶部风化壳之下的台地边缘滩相颗粒溶蚀白云岩,这主要与沉积相类型、岩溶作用、构造运动三大

表 2 湄潭梅子湾灯影组物性及压汞分析参数
Table 2 Reservoir physical properties and mercury injection parameters of
Dengying Formation in Meiziwan, Meitan County

样品编号	岩性	Φ /%	K / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	Pd /Mpa	Rd / μm	Pc50 /Mpa	Rc50 / μm	喉道 类型	储层评 价	沉积相
MM-11	细晶云岩	3.91	6.1975	0.7547	0.9938	2.8744	0.9938	中喉	Ⅲ	开阔台地
MM-11-2	砾屑云岩	1.30	2.4339	1.9315	0.3883	18.2346	0.0411	小喉	Ⅳ	台内滩
MM-12	细晶云岩	1.27	0.1350	2.0247	0.3704	34.4977	0.0217	小喉	Ⅳ	开阔台地
MM-14	细晶云岩	2.33	0.0120	2.6001	0.2885	15.2926	0.0490	小喉	Ⅲ	开阔台地
MM-15	砂屑云岩	10.76	113.0323	0.0193	38.8938	1.2312	0.6195	中喉	Ⅱ	台缘浅滩
MM-16	细晶云岩	2.13	0.01823	3.4116	0.2198	119.7224	0.0063	小喉	Ⅲ	开阔台地
MM-17	细晶云岩	1.49	0.0239	3.5749	0.2098	71.8182	0.0104	小喉	Ⅳ	开阔台地
MM-18	砂屑云岩	2.96	/	1.5140	0.4954	27.0596	0.0277	小喉	Ⅲ	台缘浅滩
MM-19	粉晶云岩	2.54	0.0185	2.1363	0.3511	17.1687	0.0437	小喉	Ⅲ	开阔台地
MM-20	砂屑云岩	8.47	18.9775	0.1250	6.0001	1.7528	0.4279	中喉	Ⅱ	台缘浅滩
MM-21	粉晶云岩	2.31	0.3149	2.0749	0.3615	15.4239	0.0486	小喉	Ⅲ	开阔台地
MM-22	砂屑云岩	3.32	0.0631	1.9813	0.3785	9.0072	0.0833	小喉	Ⅲ	台缘浅滩
MM-23-1	砾屑云岩	24.11	0.2179	0.0522	15.8023	1.5245	0.5217	中喉	Ⅰ	台缘浅滩
MM-23-2	砾屑云岩	2.89	0.0034	1.2922	0.5804	48.5445	0.0154	微喉	Ⅲ	台缘浅滩

注:样品由成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室测试。

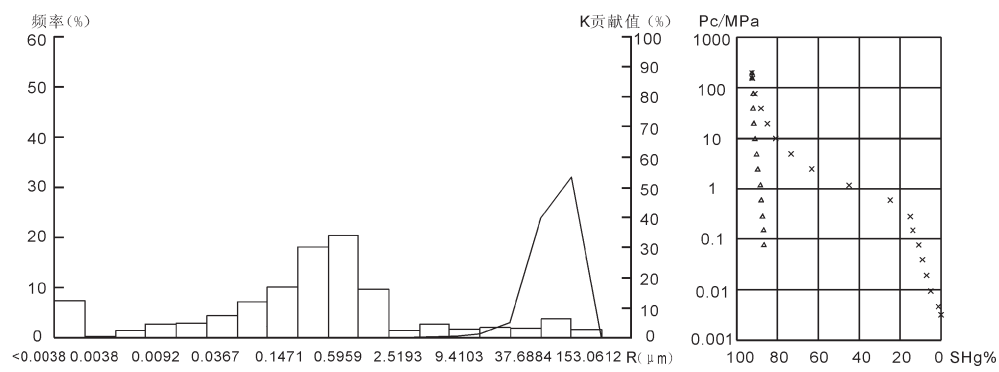


图 5 梅子湾剖面 MM-15 样品孔喉分布及毛管压力曲线图

Fig.5 Pore throat distribution and capillary pressure curve of MM-15 sample from Meiziwan, Meitan County

有利因素有关。

沉积相类型:沉积相带决定了沉积物的岩石结构和矿物成分,一般而言,较强水动力环境中形成的颗粒白云岩,原生孔隙发育,有利于古喀斯特作用。黔北地区震旦系灯影组大部分为碳酸盐台地沉积环境,台地边缘沉积了大套的边缘滩相颗粒碳酸盐岩。震旦纪末的桐湾运动造成研究区大面积抬升暴露,边缘滩相原生孔隙发育,有利于大气水下渗,形成喀斯特溶蚀孔洞。

岩溶作用:研究区灯影组的地层时代老,经历了多次构造运动的改造,其成岩历史十分复杂,成岩作用类型多样^[7]。储层微观特征显示,灯影组白云岩储层的主要储集空间为溶蚀孔洞。这些溶蚀孔洞的形成与岩溶作用有关。岩溶作用主要有两期,第一期发生在震旦纪末期,属于表生岩溶作用,桐湾运动的构造抬升造成灯影组顶部地层暴露剥蚀,遭受强烈的淡水淋滤,特别是在台地边缘相区,抬升幅度较大,岩溶作用较强,这一期形成大量的溶洞、溶孔、裂溶缝和部分晶间溶孔,这一阶段形成的部分孔洞在埋藏压实过程中消失;第二期为后期的埋藏岩溶作用,粒内溶孔和部分晶间溶孔应归功于埋藏岩溶作用。

构造运动:震旦纪以来,研究区发生了多期次的构造运动,构造运动产生的构造裂缝有利于流体活动,促进溶蚀作用的发生,同时也极大地提高了灯影组储层的渗透率。桐湾运动形成的震旦纪和寒武纪间的不整合面是有利的油气运移通道,利于牛蹄塘组黑色页岩生烃后沿该不整合面运移至台缘相区的灯影组顶部岩溶储层中聚集成藏,在开阳南龙、瓮安玉华灯影组台地边缘滩相的鲕粒白云岩均有沥青显示。

5 结论及油气意义

- 1) 野外地质调查发现灯影组顶部界面凹凸不平,发育黄褐色渣状粘土层,地球化学特征表现为 MgO 的淋失和 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、Fe₂O、P₂O₅、TiO₂ 不同程度的相对富集,表明其为震旦纪末形成的古风化壳。
- 2) 灯影组是该区及邻区埋藏最深的勘探目的层,其保存条件相对较好,黔北地区灯影晚期台缘浅滩相发育,如湄潭梅子湾剖面灯影组白云岩厚度大于 261 m,其中台地边缘滩相的颗粒白云岩厚度亦大于 68 m。台地边缘滩、岩溶作用、构造不整合等三大有利因素叠加形成了黔北地区灯影组顶部的优质岩溶储层,储集空间主要有溶蚀孔洞、粒间溶孔、粒内溶孔等。在开阳南龙、瓮安玉华灯影组台地边缘滩相颗粒白云岩中均有较好的沥青显示。
- 3) 加里东中期,寒武系烃源岩已进入生油气阶段,油气开始运聚,是古油藏主要成藏期。同时期形成的黔中隆起为油气运聚提供了大型构造-岩性复合圈闭,古油藏围绕古隆起、斜坡带分布,或分布于古坳陷中的隆起区。
- 4) 油气成藏主要以下组合含油气系统为主,发育于保存条件好的构造-岩性圈闭中,其生、储、盖组合以上震旦统陡山沱组泥岩(生)、下寒武统牛蹄塘组泥岩(生) —上震旦统灯影组白云岩(储) —下寒武统大套泥质岩类(直接盖层) —下寒武统金顶山组泥岩、中上寒武统膏质岩、下志留统龙马溪组泥页岩(区域盖层) 组合为主。
- 5) 桐湾运动形成的构造不整合面是有利的油气

运移通道,有利于下寒武统牛蹄塘组的烃类物质运移至隐伏的灯影组台缘浅滩相所发育的岩溶储层中聚集成藏。

致谢:本文在成文过程中,成都理工大学陈安清老师提出了许多有益的建议,在此表示衷心的感谢!

参考文献 (References):

- [1] 陈洪德, 黄福喜, 徐胜林, 等. 中上扬子地区海相成烃物质聚集分布规律及主控因素 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2009, 36(6):569-577.
Chen Hongde, Huang Fuxi, Xu Shenglin, et al. Distribution rule and main controlling factors of the marine facies hydrocarbon substances in the middle and upper parts of Yangtze region, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science and Technology Edition), 2009, 6(6):569-577(in Chinese with English abstract).
- [2] 贾振远, 蔡忠贤. 碳酸盐岩古风化壳储集层(体)研究[J]. 地质科技情报, 2004, 23(4):94-104.
Jia Zhenyuan, Cai Zhongxian. Carbonate paleo-weathered crust reservoirs (body) [J]. Geological Science and Technology Information, 2004, 23(4):94-104(in Chinese with English abstract).
- [3] 贾振远, 蔡忠贤, 肖玉茹. 古风化壳是碳酸盐岩一个重要的储集层(体)[J]. 地球科学, 1995, 20(3):283-289.
Jia Zhenyuan, Cai Zhongxian, Xiao Yuru, et al. Paleo weathering crust:an important reservoir (body) type of carbonate rocks [J]. Earth Science, 1995, 20 (3):283-2894 (in Chinese with English abstract).
- [4] 潘钟祥. 不整合对油气运移聚集的重要性 [J]. 石油学报, 1983, 4 (4):1-10.
Pan Zhongxiang. Significance of unconformity to oil and gas migration and accumulation [J]. Acta Petrolei Sinica, 1983, 4 (4):1-10(in Chinese with English abstract).
- [5] Hopkins J C. Characterization of reservoir lithologies with in subunconformity pools, Pekisko Formation, Medicine River Field, Alberta, Canada[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83 (11):1855-1870.
- [6] Stanley D J, Warne A G, Dunbar J B. Eastern mississippi delta: late Wisconsin unconformity, overlying transgressive facies, sea level and subsidence [J]. Engineering Geology, 1996, 45:359-381.
- [7] 张克银, 艾华国, 吴亚军. 碳酸盐岩顶部不整合面结构层及控油意义[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(5):16-19.
Zhang Keying, Ai Huaguo, Wu Yajun. Characteristics and oil-controlling significance of unconformity structure layer on top of carbonate rock [J]. Petroleum Exploration and Development, 1996, 23(5):16-19(in Chinese with English abstract).
- [8] Martinsen R S. Depositional remnants, part 1: Common components of the stratigraphic record with important implications for hydrocarbon exploration and production [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(12):1869-1882.
- [9] Martinsen R S. Depositional remnants, part 2:Examples from the Western Interior Cretaceous basin of North America [J]. AAPG Bulletin,2003, 87 (12):1883-1909.
- [10] Saller A H, Budd D A , Harris P M. Unconformities and porosity development in carbonate strata:ideas from a Hedberg conference [J]. AAPG Bulletin, 1994,78(6):857-872.
- [11] Fritz R D, Wilson J L, Yurewicz D A. Paleokarst Related Hydrocarbon Reservoirs [M]. New Orleans:Sepm Core Workshop,1993(18):3.
- [12] 许效松, 杜佰伟. 碳酸盐岩地区古风化壳岩溶储层[J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(3):1-7.
Xu Xiaosong, Du Baiwei. The palaeoweathering crust-type karst reservoir rocks in carbonate rocks [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2005, 25 (3):1-7 (in Chinese with English abstract).
- [13] 罗啸泉, 郭东晓, 蓝江华. 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.
Luo Xiaoquan, Guo Dongxiao, Lan Jianghua. An approach to the palaeokarsts and pool accumulation in the Dengying Formation (Sinian) of the Weiyuan gas field, Sichuan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2001, 21 (4), 54-60 (in Chinese with English abstract).
- [14] 朱立军, 李景阳. 碳酸盐岩风化成土作用及其环境效应 [M]. 北京:地质出版社, 2004:1-144.
Zhu Lijun, Li Jingyang. Carbonate Weathering to Soil and Its Environmental Effects [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2004:1-144(inChinese).
- [15] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社, 2001:6-15.
Zhao Chenglin, Zhu Xiaoming. Sedimentary Petrology [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2001:6-15(in Chinese).
- [16] 强子同. 碳酸盐岩储层地质学 [M]. 北京:石油大学出版社, 1998:80-81.
Qiang Zitong. Carbonate Reservoir Geology [M]. Beijing: Petroleum University Press, 1998:80-81(in Chinese).
- [17] 牛晓燕, 李建明. 中上扬子西部地区灯影组白云岩储层控制因素分析[J]. 石油地质与工程, 2009, 23(5):32-34.
Niu Xiaoyan, Li Jianming. Dolomite reservoir and control factors of Dengying formation in the middle and upper parts of Yangtze region[J]. China Petroleum Geology and Engineering, 2009, 23(5):32-34(in Chinese).

Paleo-weathering crust at the top of Sinian Dengying Formation in northern Guizhou and its petroleum exploration significance

LIU Jia-hong, YANG Ping, WANG Zheng-jiang, ZHUO Jie-wen, DU Qiu-ding

(*Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China*)

Abstract: The paleo-weathering crust is important for karst reservoir formation and hydrocarbon accumulation. Field geological survey reveals that there exists a paleo-weathering crust at the top of Sinian Dengying Formation in northern Guizhou, which was formed by Tongwan tectonic movement and is composed of yellowish brown scoriaceous clay rock. Its geochemistry is characterized by depletion of MgO and relative enrichment of SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Fe₂O, P₂O₅ and TiO₂. The paleo-weathering crust is somewhat different in different facies, which results in the difference of underlying karst reservoirs. The platform edge shallow facie was uplifted strongly, and its primary pores were favorable for the meteorological water eluviation, and also favorable for karstification to improve the dolomite reservoir, thus forming lots of reservoir spaces, such as cavern, dissolved seam, intragranular pore and intergranular pore. On the contrary, the other facies were affected relatively weakly by karstification, and the reservoir quality was unfavorable. It is concluded that the buried paleo-weathering crust of the shallow facie at the top of Dengying Formation may become an important exploration area.

Key words: paleo-weathering crust; karst reservoir; Tongwan tectonic movement; Dengying Formation

About the first author: LIU Jia-hong, male, born in 1983, assistant engineer, majors in sedimentology; E-mail: 66955408@qq.com.