

文章编号: 1009-3850(2001)04-0054-07

威远气田震旦系灯影组古岩溶与成藏探讨

罗啸泉, 郭东晓, 蓝江华

(中石化新星公司西南石油局研究院, 四川 成都 610081)

摘要: 四川威远震旦系灯影组为一套浅海相潮坪环境下沉积的藻白云岩沉积, 其发育的古岩溶特征具有纵向上的多期性和横向上的不均性。根据古岩溶的特征, 笔者将其划分为成层间岩溶, 风化壳岩溶和缝洞系岩溶三种类型, 并对其不同的判别标志进行了详细研究和论述。层间岩溶为碳酸盐岩地层在沉积期或成岩早期因抬升暴露地表, 受到大气淡水渗入淋滤所发生的岩溶作用; 风化壳岩溶系指碳酸盐岩地层长时间受到大气淡水的淋滤作用, 由于淡水的渗入和循环, 使地表被改造为岩溶型地貌, 并伴随着风化壳形成而发育的岩溶; 缝洞系岩溶是指碳酸盐岩地层进入埋藏期后, 随着埋藏深度的增加, 在地层中不断排出压释水作用下, 碳酸盐岩中发生的岩溶。威远构造的灯影组的震四¹ 顶的层间岩溶和震四² 顶的风化壳岩溶, 成为威远气田气藏的主要储集层。尤其是震四² 顶风化壳岩溶发育时, 形成一个古潜丘, 孔洞发育的潜丘属于古圈闭类型, 有利于油气的早期聚集成藏。

关键词: 威远气田; 灯影组; 储集层; 古岩溶

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

An approach to the palaeokarsts and pool accumulation in the Dengying Formation (Sinian) of the Weiyuan gas field, Sichuan

LUO Xiao-quan, GUO Dong-xiao, LAN Jiang-hua

(Research Institute of Southwest China Bureau of Petroleum, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The Dengying Formation (Sinian) in Weiyuan, Sichuan is mostly built up of algal dolostones deposited in the shallow-marine tidal-flat environments, where the palaeokarsts are well developed. The palaeokarsts may be divided, according to their

收稿日期: 2001-09-04

features, into three types: intraformational, weathering crust and porous palaeokarsts. The intraformational karsts resulted from the karstification produced by the leaching of the uplifted carbonate rocks during deposition and early diagenesis by meteoric water. The weathering crust karsts are associated with the surficial karst-type landform and weathering crust generated by the permanent penetrating and leaching of the carbonate rocks by meteoric water. When carbonate rocks are buried, the interstitial water was steadily released with increasing depths, thus resulting in the formation of the porous palaeokarsts. The intraformational karsts and weathering crust karsts at the uppermost parts of $Z4^1$ and $Z4^2$, respectively are believed to be the most important reservoirs in the gas field. In particular, the weathering crust karsts developed as a porous buried hill at the uppermost part of $Z4^2$ may facilitate the early accumulation of oil and gas in this region.

Key words: Weiyuan gas field; Dengying Formation; reservoir; palaeokarst

威远震旦系灯影组气藏是我国发现的时代最老的气藏。该气藏已钻 100 多口井。其主要产气层集中在震四²($Z4^2$), 震四¹($Z4^1$)和震三($Z3$)中^[1]。据前人研究威远地区灯影组(Z_2dn)的早期风化淋滤形成的缝洞大部分被充填, 储层有效储集空间主要以褶皱期的构造缝及沿其发育的溶蚀孔洞为主。通过对灯影组古岩溶的研究, 威远气田灯影组储层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控制。

1 震旦系灯影组古岩溶特征

1.1 层间岩溶特征

威远震旦系灯影组为一套浅海相潮坪环境下沉积的藻凝块白云岩和藻粒屑白云岩。在沉积成岩过程中由于地壳轻微震荡运动, 地层时常抬升露出海面, 接受短暂的大气淡水的风化淋滤, 为发育层间岩溶提供了条件。

1. 地质特征

灯影组在其岩溶面以下以发育冲刷面为特征, 冲刷面之上沉积有一套蓝灰色泥岩, 表明沉积基准面有过抬升和下降。岩溶面之下溶孔发育。由于短暂的暴露, 发生准同生期白云岩化, 一般认为在低温及早期白云化作用形成的白云石都为减体积白云石化, 可以形成大量的晶间孔, 为层间岩溶发育提供了条件; 岩溶面之下见洞穴充填物, 与岩溶面之上的沉积物相似, 属于相同物源。威113井井深3044.18m见蓝灰色泥岩的洞穴充填物, 中子活化分析证实(图1), 与该岩溶面之上的蓝灰色泥岩属于同一物源, 而与井深3180.06m的充填物成分不同。

岩溶面上下岩石的岩性、结构和构造变化较大^[2]。在威113井井深为3085.5m以下大量出现雪花、花斑结构, 据前人和笔者研究认为“雪花”的出现是岩溶发育的标志。“雪花”的成因是早期暴露的针孔、鸟眼孔经过溶蚀扩大并被白云石充填。从表1中可以看出, “雪花”中的白云石与围岩的白云岩具有碳氧同位素相同的特征, 说明“雪花”中的白云石来源于

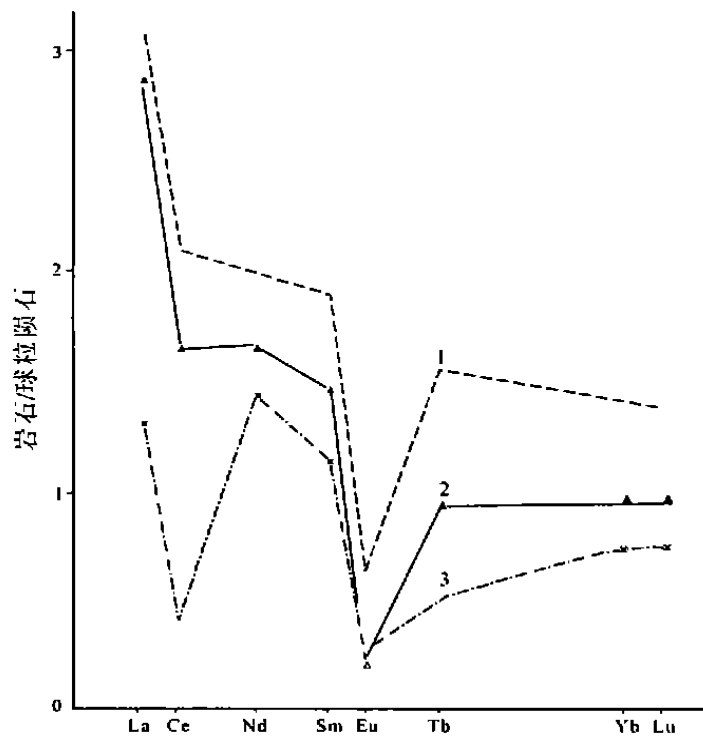


图1 威113井Z4¹,Z4²和Z3中子活化分析

1. Z4¹(3044.3m)充填物; 2. Z4²底部的蓝灰色泥岩(3024.25m); 3. Z3(3180.06m)充填物

Fig.1 Neutron activation analyses of the blueish grey mudstones from Z4¹, Z4² and Z3 of the Wei-113 well
1= Z4¹ fillings at the depth of 3044.3 m; 2= blueish grey mudstones from the depth of 3024.25 m at the bottom of Z4²; 3= Z3 fillings at the depth of 3180.06 m

表1 威113井“雪花”、“花斑”及围岩同位素特征

Table 1 Isotopic characteristics of the snowflake and granophyric festoon dolostones and their country rocks from the Wei-113 well

样品		层位	井深/m	特征	同位素	
					$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^8\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$
78	A	Z3	3097.33	A 为花斑云岩, B 为皮壳(纤状)	0.975	-8.981
	B				0.801	-9.070
91	A	Z3	3168.37	A 为雪花白云岩, B 为雪花中的白云石	-1.762	-9.294
	B				1.865	-10.126
92	A	Z3	3172.99	A 为雪花白云岩	2.713	-7.107
	B			B 为交代雪花白云岩	2.300	-8.851
	C			C 为花斑充填(纤状)	2.347	-8.157
95	A	3	3188.09	A 为雪花白云岩	3.532	-7.210
	B			B 为雪花斑中的白云石	2.984	-11.584

围岩。在镜下能够观察到完整的“雪花”,其内为两个世代的白云石充填。在阴极发光下“雪花”壁具溶蚀特征,“雪花”中白云石发光较围岩强,说明雪花的形成与淡水作用有关。“雪花”在岩心上具有顺层分布特点。花斑结构比雪花规模大,是在岩溶洞穴的基础上充填形成,充填物一般为纤状白云石,粒状白云石和硅质。在岩溶面之下的岩石发生垮塌,改变了原来的构造特征。

2. 碳氧同位素特征

通过对威 113 井岩心进行系统的碳氧同位素分析,将碳氧同位素变轻确定为层间岩溶面(图 2)。这是由于层间岩溶面是接受大气淡水作用的面,大气淡水中富含轻同位素,使得层间岩溶面之下的岩石 $\delta^3\text{CPDB}$ 值偏轻,再往下因淡水作用逐渐减弱, $\delta^3\text{CPDB}$ 值逐渐趋于正常海相碳酸盐岩的 $\delta^3\text{CPDB}$ 值。

2 风化壳岩溶特征

震旦纪末的桐湾运动,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,如威 113 井震顶发育约 1m 厚的岩溶角砾岩。

通过对古水文的模拟发现,震顶古岩溶属原洼地残丘型。威远地区处于加

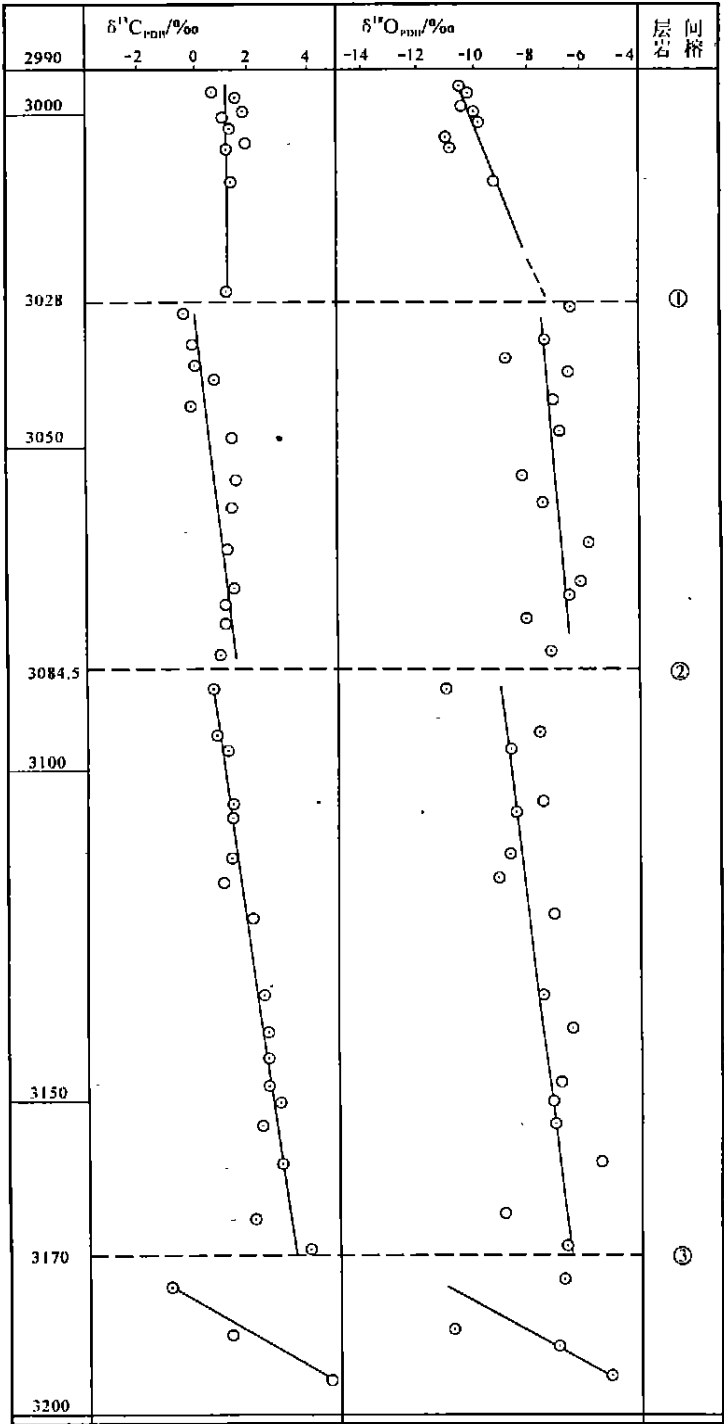


图 2 威 113 井 Z 同位素纵向分布图

Fig. 2 Longitudinal distribution of carbon and oxygen isotopes from the Sinian strata in the Wei-113 well

里东古隆起东南坡的较高部位,溶蚀作用强烈。威远构造总地势是中部高,周边低,高差约40m。微地貌表现为两个封闭洼地及六个槽谷呈放射状排列,为地下水系的发育提供了条件。按岩溶潜水水循环特征,剖面上应明显分为三个带。模拟结果表明,垂直水循环带主要分布在区域中心部位,厚约20m,河口附近没有垂直带分布;水平水循环带厚约30m。根据汇流趋势可以将岩溶发育程度分成强、中、弱三类地区,当然这些岩溶发育区并非与油气储层相对应,因为按照形成岩溶孔洞缝系统的保存条件分析,垂直孔洞易被充填,孤立洞穴和埋藏较深的水平洞穴则相对容易保存。因此,在分析风化壳岩溶对储层的影响时,必须考虑风化壳岩溶埋藏后所经历的岩溶作用,即缝洞系岩溶。

3 缝洞系岩溶特征

缝洞系统岩溶是指碳酸盐岩处于埋藏条件下,在压释水作用下发生的岩溶作用。在漫长的地质时期,灯影组中的缝洞系统岩溶在不断的进行中。多口钻井都具有放空现象,最大放空深度达11.2m,放空层位以Z4¹为主,占69%,Z4²和Z3各占15%(孔金祥等,1989),可见在Z4¹层间岩溶发育的基础上,是缝洞系统岩溶最发育的层位,另外放空井主要分布在构造缝发育的部位。因此,可以说缝洞系统岩溶发育的最佳部位在层间岩溶与构造缝的交汇处。

从表2包裹体资料分析可看出,缝洞系统岩溶在不断地进行着。如威113井Z4²井深3005.39m藻斑点白云岩,其基岩白云岩包裹体的均一温度较低,为60~90℃,说明准同生期白云岩时地表温度较高,而其晶洞壁上白云石晶粒的均一温度为140~160℃,显然晶洞壁上白云石晶体沉淀是在一定埋藏条件下缝洞系统岩溶的产物。又如井深3185.53m处白云岩斑块中的白云石,从第一世代到第三世代及至交代白云石的石英,其成岩温度逐渐增加,从130~160℃,升到200~230℃,而从第二世代起出现了有机质包裹体,说明在油气演化过程中释放出的有机质参与了岩溶作用。

表2 威113井缝洞系岩溶包裹体特征

Table 2 Characteristics of the inclusions from the porous palaeokarsts in the Wei-113 well

井深/m	层位	岩石特征		均一温度
3005.39	Z4 ¹	基岩白云石		60~90℃
		晶洞壁上白云石晶粒		140~160℃
3185.53	Z3	白云石斑	一世代	130~160℃
			二世代(有机包裹体)	140~170℃
			三世代(有机包裹体)	180~200℃
		石英(交代白云石)		200~230℃

4 灯影组古岩溶与成藏讨论

4.1 古岩溶与储层

威远地区灯影组储层的发育主要受控于古岩溶作用^[3],即层间岩溶与桐湾期的风化壳岩溶。

Z4¹顶沉积间断造成的层间岩溶对Z4¹储层发育起着重要作用,Z4²底部的蓝灰色泥岩

在Z4¹中出现,其深度距顶16m,可见Z4¹顶层间岩溶作用涉及深度至少在16m以上。威远气田Z4¹中绝大多数产层发育于距顶20m范围内。此外,Z4¹顶部层间岩溶形成的缝洞,又为后期缝洞系岩溶乃至褶皱期构造裂缝的发育提供了基础。

Z4²储层的发育则受控于震顶风化壳岩溶。Z4²孔洞层分布在中等岩溶发育区,孔洞层厚的分布在Z4²残留厚的“凸起”与残留薄的“凹陷”的过渡带,这是因为溶蚀发育区,由于其地形位置较低,潜水面浅,垂直渗流带窄,水流速度较慢,循环较弱,孔洞在后期易被破坏或充填。而中等或弱发育区,其孔洞在后期具有较好的保存条件。

可见,Z4¹顶层间岩溶,Z4²顶风化壳岩溶与Z4储层的形成密切相关。埋藏后的缝洞系岩溶,褶皱期的构造作用只在这两期岩溶的基础上加以改造。一方面破坏孔洞,将孔洞堵塞成孤立状,造成钻井放空大而测试产能后的现象,如威53井Z4¹钻具放空11.2m,测试仅产气7600m³/d,产水0.87m³/d;另一方面则建设孔洞,扩大并串通古岩溶洞穴,如威远气田Z4储层具统一的压力系统。因此,Z4储层最发育的地区是古岩溶作用与后期建设性作用相匹配的地区,其次是继承性岩溶发育区。

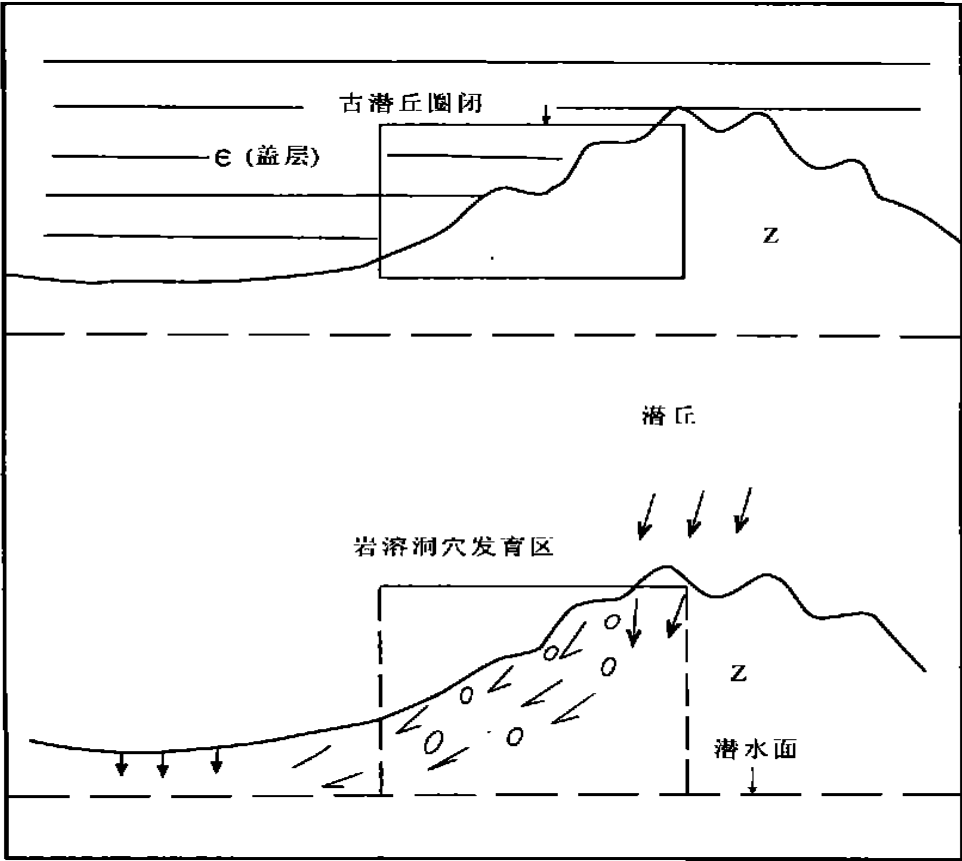


图 3 古潜丘岩溶发育区及圈闭形成示意图

Fig. 3 Sketch to show the formation of the karsts within the fossil buried hills

4.2 岩溶型气藏的成藏模式

威远构造外围 Z_4^2 残留较薄, 最大厚度差约 40m, 残厚最厚的在威 107 井 ~ 威 106 井 ~ 威 63 井附近; 而寒一层在构造外围沉积较厚, 沉积最薄的在威 63 井 ~ 威 95 井 ~ 威 106 井一带, 这两层厚度呈消长关系, 表明威远地区在灯影组末期风化壳岩溶时为一类似潜山的潜丘 (图 3)。当上覆地层沉积后, 其底部的泥岩、泥云岩一部分落入 Z_4^2 地层的洞穴中充填洞穴, 另一部分覆盖在 Z_4^2 顶上, 起到封闭保护作用, 但化学充填作用仍在进行。随着上覆地层的不断加厚, 处于封闭体系地层中的溶蚀与充填基本平衡。当灯影组中的烃源岩进入生油时, 开始生烃并产生酸性介质。酸性介质的进入, 打破了原有的平衡, 发生缝洞系岩溶, 以达到新的平衡。这种在油气生成过程中伴随的岩溶作用所形成的孔洞缝, 将为油气初次运移提供通道, 在已经形成的潜山式圈闭中聚集成藏。若后期褶皱形成的构造与此类气藏相匹配, 则可以形成大中型气藏, 如威远气田。

参考文献:

- [1] 包茨. 天然气地质学 [M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [2] 任美镠, 刘振中. 岩溶学概论 [M]. 北京: 商务印书馆, 1982.
- [3] 宋文海. 对四川盆地加里东古隆起的新认识 [J]. 天然气工业, 1989, 7(3): 6—11.