

文章编号: 1000-0747(2008)02-0170-05

乐山—龙女寺古隆起洗象池群 有利储集层发育机制

王素芬¹, 李伟², 张帆¹, 王兴志¹

(1. 西南石油大学资源与环境学院; 2. 中国石油勘探开发研究院)

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司全国石油预探区带综合评价与战略方向研究(040110-1)

摘要: 四川盆地乐山—龙女寺古隆起受基底隆起的控制, 在其形成与演化过程中经历了多期或多旋回的同沉积隆起与剥蚀隆起。该区中上寒武统洗象池群发育一套碳酸盐岩储集层, 岩性较为致密, 基质孔隙度和渗透率极低, 但局部存在高孔隙层和溶洞层, 高孔隙层段一般多出现在针孔状白云岩和粗结构白云岩中; 裂缝的发育可以极大地改善储集层的渗流条件, 高渗透率值往往与裂缝的发育有关, 即古岩溶层与构造裂缝共生的区域是储集层发育的有利区带。对储集层建设性的成岩作用主要是沉积期与风化期的岩溶作用。古岩溶斜坡带岩溶孔洞发育, 流体渗透量大, 岩溶作用强烈。因而, 研究区古岩溶风化壳及岩溶斜坡带与构造裂缝发育带共存区是有利储集层的主要发育带。图5表1参11

关键词: 四川盆地; 乐山—龙女寺古隆起; 寒武系洗象池群; 古岩溶; 储集层

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Developmental mechanism of advantageous Xixiangchi Group reservoirs in Leshan-Longnusi palaeohigh

WANG Su-fen¹, LI Wei², ZHANG Fan¹, WANG Xing-zhi¹

(1. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: The Leshan-Longnusi palaeohigh in the Sichuan Basin controlled by basement uplift underwent multistage or multicyclic syndepositional uplifting and denudation uplifting during evolution. Carbonate reservoirs are developed in the Lower-Upper Cambrian Xixiangchi Group in this area. The reservoirs are compact and have low matrix porosity and permeability. But porous and dissolution layers exist locally, and porous layers commonly occur in pinhole and coarse textural dolomites. Fracture growth may improve the reservoir penetration conditions. Karstification in the depositional and weathering stages is the main diagenesis of the reservoirs. The main developmental zones of excellent reservoirs are palaeo-karst crust of weathering and the area where karst ramps and structural fractures coexist.

Key words: Sichuan Basin; Leshan-Longnusi palaeohigh; Cambrian Xixiangchi Group; paleokarst; reservoir

0 引言

乐山—龙女寺古隆起寒武系洗象池群是四川盆地重要的勘探领域和接替层系。勘探实践与资料表明, 研究区洗象池群发育古岩溶, 是下古生界主要的储集层, 但其埋藏深、勘探程度低、储集层非均质性强, 致使目前对岩溶相分布规律认识不清, 严重制约了对有利储集层的预测。因而, 本文对该套储集层进行研究, 以期今后的勘探与开发提供地质依据。

1 地质概况

乐山—龙女寺古隆起从四川盆地西南向北东延伸, 是横亘四川盆地的一个大型隆起。古隆起受基底隆起的控制, 在其形成与演化过程中经历了多期或多

旋回的同沉积隆起与剥蚀隆起^[1]。该隆起的核部在川西南部, 最老的地层已剥蚀至震旦系灯影组顶部, 由核部向外, 依次剥蚀至寒武系、奥陶系和志留系, 川东地区残留有泥盆系和石炭系(见图1)。洗象池群主要位于古隆起的顶部和上斜坡带。

2 储集层基本特征

2.1 储集层岩性及分布

研究区洗象池群主要为一套海相台地白云岩^[2], 受古隆起及加里东期构造运动后期抬升的影响, 呈现西北薄、东南厚的展布特征。

洗象池群主要岩性为灰色—灰白色白云岩、砂泥质白云岩, 局部夹鲕粒白云岩、角砾状白云岩及硅质条带或结核, 中下部夹灰黄色、紫红色砂岩、粉砂岩和泥

表 1 乐山—龙女寺古隆起寒武系取心井段白云岩储集层物性统计表

井号	井段/ m	岩性	孔隙度				渗透率				裂缝发育情况
			样品数	最小值/ %	最大值/ %	平均值/ %	样品数	最小值/ 10 ⁻³ μm ²	最大值/ 10 ⁻³ μm ²	平均值/ 10 ⁻³ μm ²	
女深 5	4 527.41~4 587.90	含沥青白云岩	88	0.13	3.11	0.83	85	0.000 098	52.9	0.19	见微裂缝
	4 572.32~4 573.39		3	2.46	3.11	2.74	3	0.029 6	0.671	0.283	
威 4	2 358.22~2 358.87	针孔状白云岩	5	4.1	19.18	11.95					
合 12	4 608.95~4 863.82	针孔状白云岩	291	0.11	7.13	1.19	276	0.000 032	145	1.4	见裂缝
	4 695.61~4 696.74		4	4.32	7.13	5.9	4	0.026 7	0.408	0.161	
	4 848.34~4 848.78	砂屑白云岩	2	3.03	5.32	4.18	2	0.002 65	6.81	3.41	
临 7	3 265.00~4 280.26	粗粉、细晶针孔状白云岩	409	0.15	9.16	1.10	398	< 0.009 87	75.4	2.78	见裂缝
	3 273.65~3 274.23		4	2.44	9.16	5.59	4	< 0.009 87	13.9	3.50	微细裂缝发育, 呈网状

3 有效储集层发育的主要控制因素

研究区海相碳酸盐岩储集层的发育条件十分复杂, 其有效储集层的形成不仅受早期沉积环境的控制, 而且还受成岩后期白云岩化作用以及沉积期、风化剥蚀期等阶段溶解作用的控制。

3.1 沉积环境

沉积环境不但制约着储集层的分布范围、基本特征和内部结构, 而且沉积相带也为后期建设性成岩作用(岩溶作用)奠定了基础^[5,9]。

受桐湾运动的影响, 震旦纪末地壳抬升, 海水退出盆地, 震旦系灯影组遭受风化剥蚀。寒武纪早期, 海水从盆地东南方向侵入, 开始了又一次大规模的海侵。

晚寒武世地壳相对稳定, 气候炎热干燥, 蒸发作用强烈, 该时期四川海盆继承了中寒武世晚期的沉积特点, 为半封闭的沉积环境, 沉积物以碳酸盐台地相为主, 紧靠西部古陆一侧, 有较多的陆源碎屑物沉积, 发育近岸潮坪相(见图 3)。

沉积环境对碳酸盐岩组分及分布的控制表现在, 潮坪相和粒屑滩相发育粒屑云岩、晶粒云岩, 对岩溶较有利。据测井资料统计, 局部地区发育台内粒屑浅滩沉积, 如自深 1 井、女基井, 粗结构碳酸盐岩(鲕状云岩和砂屑云岩)层厚度分别为 24 m 和 22 m; 合 12 井粗结构碳酸盐岩(粒屑和针孔状云岩)层厚度约为 80 m。由此看出, 在水动力较强环境下形成的局限台内浅滩沉积有利于发生古岩溶作用、形成较好的储集层。

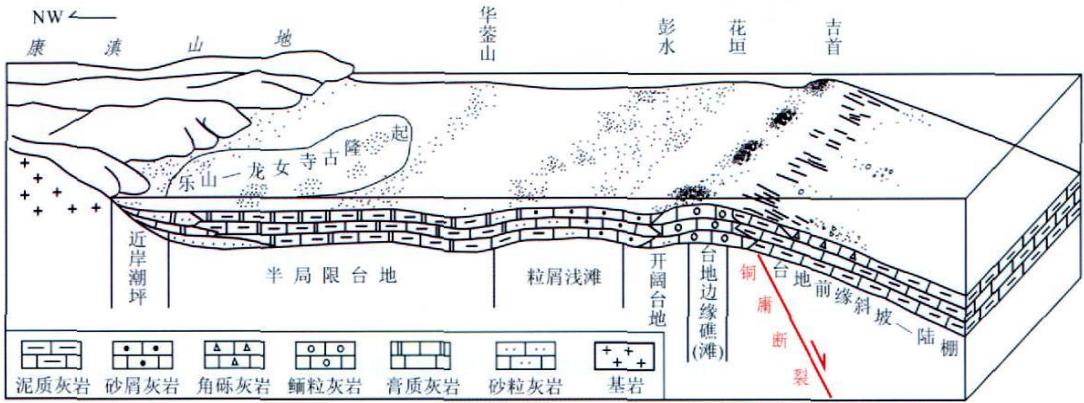


图 3 晚寒武世沉积相模式图(据文献[7]修改)

3.2 白云岩化作用

白云岩化作用是碳酸钙(CaCO₃)沉积物被白云石(CaMg(CO₃)₂)所交代的过程^[8]。对大量样品镜下观察得知, 白云岩化作用能够提高岩石的有效孔隙度, 主要原因在于, 早期沉积的泥晶灰岩在演变成自形一半自形的粉—细晶白云岩的过程中, 其晶粒变得更加粗大, 晶体形态更趋于自形, 使得早期原本不连通的微小晶间孔重新组合, 原来的孔隙喉道更加光滑平直。图 4a 为自形一半自形的粉—细晶白云岩, 有少量晶间孔

隙(白云岩化作用形成)已被沥青充填。但在研究区, 白云岩化作用所形成的这种次生晶间孔并非是改变储集层孔渗条件的主要因素。

3.3 古岩溶

由于该区主要以台地相沉积为主, 只发育局限的台内浅滩沉积, 而缺乏高能环境下的台地边缘礁滩沉积, 因此沉积环境对该区有效储集层发育的控制作用不是主要的, 而古岩溶是有效储集层发育的主要控制因素。

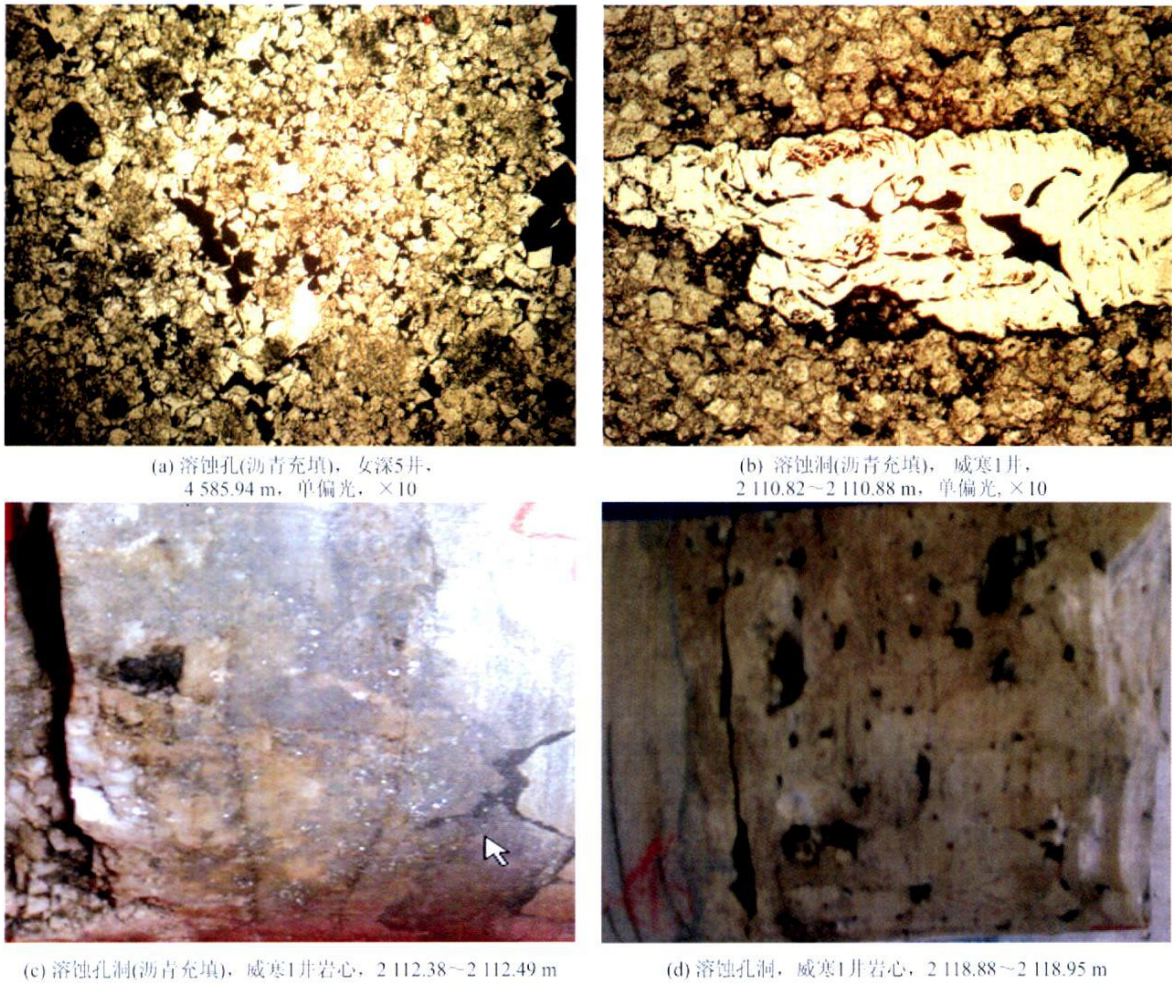


图4 女深5井和威寒1井洗象池群薄片镜下及岩心特征图

3.3.1 古岩溶作用

中上寒武统碳酸盐岩与上覆下奥陶统地层之间存在沉积间断或剥蚀面, 并发育古风化壳。剥蚀面之下, 碳酸盐岩古岩溶作用广泛发育, 具有层间不平整的剥蚀或溶解面、溶解裂隙及与之连通的岩溶洞穴等古岩溶作用特征^[9]。这些特征是在古隆起的控制下, 经历多期古岩溶作用而形成的。其中, 主要的古岩溶作用是沉积期、风化期的岩溶作用。

3.3.1.1 沉积期的岩溶作用

研究区在寒武纪主要属于局限海碳酸盐台地相沉积。由于当时整个海域水体极浅, 再加之全球性海平面的频繁升降, 使碳酸盐沉积物在沉积期都曾暴露于地表并受到大气淡水的淋滤与溶蚀, 从而形成各种沉积期岩溶, 在具有向上变浅层序的潮坪和浅滩沉积中, 沉积期古岩溶尤为发育。合12井寒武系洗象池群向上变浅序列的顶部普遍发育暴露面, 暴露面之下溶孔、溶洞发育, 局部可见渗流物和塌积物充填, 溶蚀深度为1~2 m(见图5)。

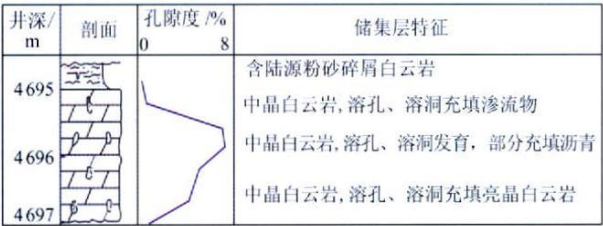


图5 合12井向上变浅序列晶粒云岩旋回的储集层物性特征

3.3.1.2 风化期的岩溶作用

由于构造抬升, 碳酸盐岩沉积体在风化剥蚀过程中于侵蚀面附近常发生岩溶作用, 乐山—龙女寺古隆起古风化壳岩溶即在该期形成。这类岩溶产生时的地质背景较沉积期岩溶有重大变化, 其碳酸盐沉积物已固结成岩, 岩石的孔渗物性显著变差, 且岩溶区与海域无关, 从而决定了该期岩溶的主要识别标志是: ①溶蚀作用不受组构限制, 形成不规则溶洞、溶缝和少量溶孔, 溶蚀型溶洞和溶塌型溶洞发育; ②洞穴中的塌积物主要由岩石角砾、泥铁质、晶屑组成, 常见石英砂; ③孔

洞中缺乏混合水云石,典型充填模式为淡水方解石(或已云化)→粗晶云石→沥青;④主要分布于侵蚀面附近,发育深度为数十米至百余米;⑤岩溶段碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 呈显著偏负现象^[8]。

寒武纪末的兴凯运动使四川盆地加里东古隆起抬升,经风化剥蚀,洗象池群局部层段已发育各种岩溶孔隙,如各种晶间溶孔、粒内溶孔、粒间溶孔及溶洞等。这些溶蚀孔洞普遍被后来地层水中的白云石、石英物质及运移来的油气(在储集层薄片可见大量的黑色沥青)所全充填或半充填。靠近古风化壳顶部则常被上覆层(下奥陶统)底部泥砾及溶塌角砾岩、黄铁矿等充填。这些现象在合 12 井、女深 5 井及威寒 1 井的岩心中均可见到(见图 4)。

3.3.2 古岩溶地貌

研究区寒武系顶部被剥蚀夷平为平缓型岩溶地貌,以岩溶高地与岩溶斜坡的地形高差小为特点。但寒武系顶部古地形总体表现为西北高、中部斜坡、东南洼的格局,故以此将古岩溶地貌划分为古岩溶高地、古岩溶斜坡及古岩溶盆地等地貌单元^[9-11]。

古岩溶地貌与古岩溶储集层的分布关系密切,不同的古岩溶地貌单元有着不同的水动力条件并控制着古岩溶的发育。岩溶高地划属为渗流区,岩溶水以垂向运动为主,溶缝发育;岩溶斜坡划属为潜流区,除垂向渗入外,以水平运动为主;岩溶盆地划属为排泄-汇聚区。古岩溶斜坡地貌地势相对平坦,地面径流缓慢,渗透量大,岩溶作用强烈发育,因而溶蚀孔洞型储集层普遍发育,岩溶高地则次之。

4 结论

乐山—龙女寺古隆起洗象池群储集层主要是一套海相白云岩。白云岩储集层超低孔低渗,普遍致密,但局部发育高孔层和溶洞层,高孔层段一般多出现在针孔状白云岩和粗结构白云岩中,高渗透率值往往与裂缝的发育有关,即古岩溶层与构造裂缝共生的区域是储集层发育的有利区带。

乐山—龙女寺古隆起在中晚寒武世主要发育浅水碳酸盐半局限台地相沉积,西部靠古陆一侧发育近岸

潮坪相沉积,局部存在台内粒屑浅滩沉积,为后期储集层的形成奠定了物质基础。

研究区对储集层建设性的成岩作用主要是沉积期与风化期的岩溶作用。古岩溶斜坡带岩溶孔洞发育,渗透量大,岩溶作用强烈。因而,研究区古岩溶风化壳及岩溶斜坡带与构造裂缝发育带共存区是有利储集层的主要发育带。

参考文献:

- [1] 宋文海. 对四川盆地加里东期古隆起的新认识[J]. 天然气工业, 1987, 7(3): 8-13.
- [2] 蒲心纯, 周浩达, 王熙林, 等. 中国南方寒武纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [3] 项文礼. 中国的寒武系[M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- [4] 张帆, 文应初, 强子同. 四川盆地寒武系洗象池群碳酸盐岩向上变浅沉积序列[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1999, 18(1): 23-27.
- [5] 吴崇筠, 薛叔浩, 等. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [6] 杨晓萍, 赵文智, 曹宏, 等. 川东北三叠系飞仙关组鲕滩气藏有利储集层的形成与分布[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 17-21.
- [7] 曾良奎. 四川省寒武纪岩相古地理及沉积层控矿产[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1992.
- [8] 马永生, 梅冥相, 陈小兵, 等. 碳酸盐岩储层沉积学[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [9] 程绪彬. 四川盆地乐山—龙女寺古隆起震旦寒武奥陶系沉积相及储层研究报告[R]. 成都: 四川石油管理局地质勘探开发研究院, 1994.
- [10] 成都地质学院沉积地质矿产研究所, 长庆石油勘探局勘探开发研究院. 古岩溶与油气储层[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1991.
- [11] 陈学时, 易万露, 卢文忠. 中国油气田古岩溶与油气储层[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 244-253.

第一作者简介: 王素芬(1981-), 女, 山东东营人, 硕士, 主要从事沉积学与储集层地质学研究。地址: 四川省成都市新都区, 西南石油大学硕士 04 级 4 班, 邮政编码: 610500。E-mail: wsufen@163.com

收稿日期: 2006-08-28 修回日期: 2007-12-25

(编辑 李建国 绘图 付改荣)