

文章编号: 1001-6112(2007)03-0265-04

古岩溶地貌及其对岩溶储层的控制

——以塔里木盆地轮古西地区奥陶系为例

刘小平^{1,2}, 孙冬胜³, 吴欣松²

(1. 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 2. 中国石油大学 油气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249; 3. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 岩溶地貌是岩溶作用与各类地质作用综合作用的结果, 不同地貌形态对岩溶储层发育又起着控制作用。以塔里木盆地轮古西地区为例, 通过地震层拉平技术恢复了该区的古岩溶地貌, 发现研究区岩溶地貌起伏变化很大, 自东向西依次发育峰丛洼地、峰林谷地和峰林平原地貌组合。根据测井、钻井、录井等资料对不同地貌区垂向上的岩溶相带进行了划分, 并在此基础上, 探讨了不同古地貌区岩溶储层的发育特征, 结果表明不同古岩溶地貌区、不同岩溶相带中不同类型岩溶储层发育状况存在较大差异, 反映了古岩溶地貌明显控制岩溶相带的空间发育, 并进一步控制了岩溶的发育。

关键词: 古岩溶地貌; 岩溶相带; 储层; 奥陶系; 轮古西地区; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

ORDOVICIAN PALAEOKARST LANDFORM AND ITS CONTROL ON RESERVOIRS IN WEST LUNGU REGION, THE TARIM BASIN

Liu Xiaoping^{1,2}, Sun Dongsheng³, Wu Xinsong²

(1. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism of Education Ministry, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Karst landform is the result of the compositive process of karst and various geology. And various shapes of karst landforms also control the karst reservoir development. The palaeokarst landform in west Lungu region was restored by using seismic horizon flattening technique. The results show that the surface of the karst is undulate greatly, and develops the landform combination of peak cluster depression, peak forest valley and peak forest plain from east to west. The vertical karst facies belts in different landform was divided according to the data of well logging, drilling and geological log. Then, the development characteristics of reservoirs in different landforms are discussed. Research results indicate that the great differences of cavern development and filling status exist among various palaeokarst landforms and karst facies belts, which reflect that the palaeokarst landforms control the spatial development of karst facies belt and reservoirs.

Key words: palaeokarst landform; karst facies; reservoirs; Ordovician; west Lungu region; the Tarim Basin

海相碳酸盐岩层系已成为我国油气勘探的重要领域, 该层系储层类型多样, 古岩溶储层是其中常见而又十分重要的类型之一, 目前已在塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地和渤海湾盆地等中生代中发现了大量古风化壳岩溶型储层, 并找到

了塔河、轮南、长庆等许多大型油气田^[1~3]。由于古岩溶储层的形成受沉积作用、成岩作用、构造活动、水文条件和地貌条件等多种因素的控制, 与碎屑岩储层相比, 其分布表现为更强的非均质性, 因此古岩溶储层的分布预测极其困难。古岩溶地貌

收稿日期: 2006-10-30; 修订日期: 2007-04-01。

作者简介: 刘小平(1971—), 男(汉族), 安徽无为, 博士, 工程师, 主要从事油气储层及油气成藏机理研究。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2005CB422108)。

是岩溶作用与各类地质作用综合作用的结果,不同地貌形态对岩溶储层发育又起着控制作用^[4]。所以,研究古岩溶地貌特征及其区域分布规律对掌握岩溶发育的空间分布规律、评价储层特性有着重要意义。

研究区位于塔里木盆地轮南低凸起的西部,勘探面积近 200 km²,其东部以轮西断裂与轮南断垒相接,南部与塔河油田毗邻,西部以斜坡逐渐过渡到哈拉哈塘凹陷。目的层为奥陶系鹰山组,与岩溶作用有关的洞穴、溶孔和裂缝是最主要的油气储集空间,其中尤以大型洞穴最为重要^[5~7]。本文通过对研究区古岩溶地貌的恢复,在平面上划分了古岩溶地貌的类型及其分布范围,进一步根据钻井、测井等资料探讨了古岩溶地貌的垂向分带特征,在上述工作的基础上分析了各类古岩溶地貌区的储层发育特征。

1 古岩溶形成的地质背景

根据区域构造演化史分析,轮南奥陶系潜山形成于加里东—海西期,经历了海西中—晚期、印支期及燕山期的强烈改造,定型于喜马拉雅期。在加里东—海西早期,该区大规模抬升,遭受了强烈的风化剥蚀,北部剥蚀程度大于南部,致使由南向北不仅泥盆系、志留系被剥蚀殆尽,而且奥陶系也遭受不同程度的风化剥蚀;海西中—晚期,在早期构造背景下,形成了近东西向的轮南断垒带和桑塔木断垒带以及两者之间的斜坡带;印支—燕山期,该区构造格局变化不大;到喜马拉雅期,该区整体北倾,最终形成了现今的构造格局。轮古西地区剥蚀作用较为强烈,石炭系由西向东逐渐超覆在潜山顶面,潜山出露地层为中下奥陶统鹰山组,是一套开阔海台地沉积的石灰岩地层,其下伏地层为中下奥陶统蓬莱坝组。

早海西期,塔里木盆地处在北半球低纬度地区,属热带温暖湿润气候条件,大气降水充沛。轮古西中下奥陶统鹰山组以台地相泥晶灰岩、砂屑灰岩、粒屑灰岩为主,岩性脆,厚度大,提供了良好的可溶岩。海西早期受区域性挤压抬升形成向西南倾伏的大型凸起,断裂较为发育,为岩溶发育提供了有利的构造条件。适宜的气候条件、良好的可溶岩石、强大的古水动力、长期的风化剥蚀,使得本区碳酸盐岩岩溶极为发育,洞穴系统发育规模大,是本区古岩溶储层发育的根本原因。由于潜山长期出露地表,遭受强烈的风化剥蚀和大气水淋滤作用,在轮古西地区鹰山组形成复杂而形态多样的古

岩溶地貌,导致空间上(平面、剖面)岩溶作用的差异,从而控制着岩溶储层的发育。

2 古岩溶地貌平面分区特征

2.1 古岩溶地貌恢复

研究区奥陶系潜山上覆石炭系双峰灰岩段具有分布广泛且厚度稳定(20.5~21.5 m)的特点,它既是一个重要的地震反射标准层,又是地质研究的一个重要对比标志层。根据层序地层学原理,石炭系双峰灰岩属于最大洪泛期开阔台地相沉积,它代表了沉积等时界面,为塔里木盆地台盆区稳定的标志层。因此可以认为,双峰灰岩下伏石炭系地层是在古岩溶地貌基础上填平补齐的结果,奥陶系潜山顶面也是一个等时界面。利用三维地震的层拉平技术,将石炭系双峰灰岩底面拉平,拉平后的奥陶系潜山顶面的面貌,基本代表了海西早期岩溶发育时的地貌特征。

2.2 古地貌分区

古岩溶地貌恢复结果表明,研究区岩溶地貌起伏变化很大,平面上具有明显的三区性。自东向西依次发育峰丛洼地、峰林谷地和峰林平原地貌组合(图 1),这种古岩溶地貌特征与广西现代岩溶地貌极其相似^[8]。

峰丛洼地地貌区主要分布在 LG9 井—LG41 井以东,轮西大断裂以西,以及 LG40 井附近,总体表现为山峰海拔比较高,多个山峰环绕一个洼地,地势起伏大。LG9 井及其南部地区以峰丛为主,峰洼比高,往东北至 LG41 井附近洼地面积比较大,往西南则以洼地为主,峰洼比低。

峰林平原地貌区包括 LG15—1 井、LG42 井、

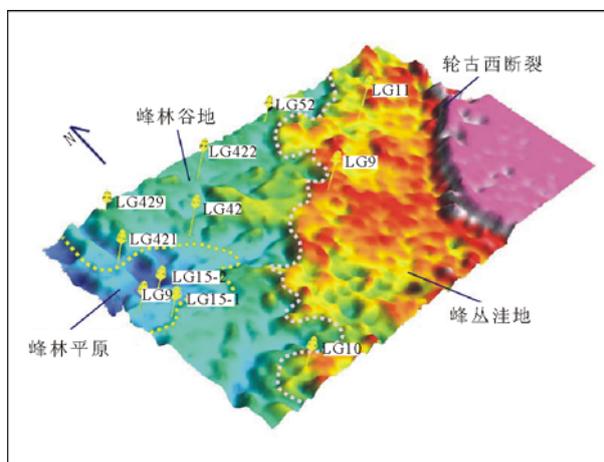


图 1 塔里木盆地轮古西地区奥陶系古岩溶地貌分区

Fig. 1 Division of the Ordovician palaeokarst landforms in west Lungu region, the Tarim Basin

LG421 井环绕的区域, 总体表现为地势低洼, 山峰数量较少, 多呈孤立存在, 多条河流流向该区。

峰林谷地地貌区位于峰丛洼地与峰林平原之间的过渡地带, 包括 LG421 井—LG42 井以东, LG41 井、LG9 井以北, 以及 LG15—1 井以南、LG40 井以北的广大地区, 其地貌特点是明河发育, 沿河谷两侧多山峰。

峰丛洼地位于供水区, 峰林平原属于汇水区, 而峰林谷地位于供水区和汇水区的过渡地带。不同的地貌特点是影响该区岩溶发育差异性的主要因素之一。钻探结果显示, 位于峰丛洼地地貌区高部位的 LG9 井、LG41 井大型洞穴不发育, 而位于峰林谷地、峰林平原的 LG15—2, LG42 井普遍发育大型洞穴, 这与岩溶系统的供水区和汇水区岩溶发育规律相吻合。

2.3 古水系分布

轮古西地区早海西岩溶期奥陶系风化壳地表河流主要分布在峰林谷地区, 河流的流向与地势坡降方向一致, 总体上为自东向西(图 2)。位于北部的峰林谷地区的主河流, 流向为北偏西方向, 流经 LG41 井、LG422 井, 南北各有一条支流汇入, 北部支流流经 LG52 井附近, 南部的一支发源于 LG9 井西侧。位于南部峰林谷地的一条主河流, 发源于 LG40 井北部, 总体为西南流向, 然后在 LG40 井北拐向西南流, 河流切割深度比前者大。另外, 在峰林谷地中部明显见 3 条河流汇流于 LG15—2 井东部地区。

3 古岩溶地貌的垂向分带特征

据现代地貌学和岩溶学理论, 按照水动力条件

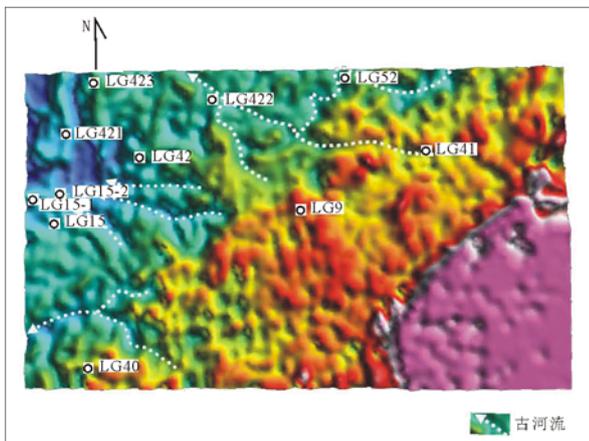


图 2 塔里木盆地轮古西地区奥陶系古水系分布
Fig. 2 Distributions of the Ordovician palaeoriver systems in west Lungu region, the Tarim Basin

的不同, 通常在岩溶剖面上, 自上而下可划分为表层岩溶带、垂直渗滤带、水平潜流带等不同的岩溶相带, 各带具不同的水动力特征, 并形成不同的岩溶形态及岩溶储集空间^[9,10]。自然伽马、电阻率、井径、FMI 成像等测井资料以及钻井、录井资料能较好地识别各岩溶相带的发育特征^[11]。根据单井岩溶相带的响应特征研究, 研究区存在 2 期岩溶旋回。该区及邻区构造史研究表明, 在泥盆纪末期到石炭纪早期, 曾经发生过 2 次地壳抬升^[12,13], 这 2 期岩溶正是这 2 期地壳抬升的产物, 在现今地质剖面上对应为下部岩溶旋回和上部岩溶旋回, 其中上部岩溶旋回可进一步划分为表层岩溶带、上垂直渗滤带、上水平潜流带; 下部岩溶旋回由下垂直渗滤带和下水平潜流带 2 个岩溶相带构成, 该旋回的表层岩溶带由于被后期的岩溶旋回改造而不复存在。

轮古西地区奥陶系风化壳发育最大厚度在 190 m 左右, 各岩溶相带厚度的平面差异性主要受岩溶地貌及微地貌的控制。表层岩溶带的发育厚度明显受微地貌的控制, 其厚度一般小于 30 m。位于峰丛洼地地貌区山峰部位的 LG40, LG9, LG41 井表层岩溶带一般在 15~25 m 之间; 位于峰林谷地、峰林平原地貌区山峰部位的 LG42, LG423 等井表层岩溶带厚度也在 10~20 m 之间; 而位于地势较低部位的 LG15, LG421, LG15—2 等井该带厚度很小或者不发育; 垂直渗滤带的发育厚度也明显受微地貌的控制, 从已有的钻井分析结果可以看出, 其厚度从 20 m 到 70 m 不等。据 10 口井统计结果, 该带平均厚度为 80 m 左右。位于峰丛区山峰部位的 LG40, LG41, LG9 井, 该带厚度均在 100 m 以上; 位于峰林谷地部位的 LG42, LG52 等井, 该带厚度一般在 50~120 m 以上, 而位于峰林平原区的井, 该带厚度一般小于 100 m。水平潜流带的发育厚度与地貌区关系密切, 从峰丛洼地到峰林谷地, 再到峰林平原, 该带厚度具有逐渐加大的趋势。峰丛洼地地区揭穿该带的只有 LG9 井, 其厚度为 35 m; 峰林谷地、峰林平原区揭穿该带的 LG42, LG15—2, LG47 井水平潜流带厚度均在 35 m 以上。

4 古岩溶地貌对岩溶储层发育的控制

溶孔、溶洞、裂缝是古岩溶储层的主要储集空间类型, 并形成孔洞型、裂缝型、裂缝—孔洞型及洞穴型 4 种储层类型。研究区各类储集空间的发育明显地受到古岩溶地貌的控制。平面上不同古岩溶地貌区及垂向上不同古岩溶相带, 溶孔、溶洞、裂

缝的发育状况存在较大差异,从而出现以不同类型储层占优势的现象。

从平面上来看, LG9—LG41 井峰丛洼地地貌区,地貌较高,也靠近 LG9 井断层,有效储层以裂缝—孔洞型为主; LG42—LG52 井峰林谷地地貌区,储层以裂缝型为主,物性较差,除 LG42 井有 8.6 m 的裂缝—孔洞型储层提供有效产能外,其它井均无产能; LG15—LG47 井峰林平原地貌区,地貌较低,位于泄水区,表层岩溶带发育洞穴型储层,同时在洞穴的上部还发育裂缝—孔洞型储层,产能较高,而 LG15—2 和 LG47 井井位较低,储层物性较差,基本无产能。

从垂向岩溶分带来说,表层岩溶带附近洞穴型储层和裂缝—孔洞型储层发育;上渗流带除 LG9 井各类储层较为发育外,其它井储层都不太发育;上潜流带各类储层都较发育,同时发育少量小型洞穴,但洞穴规模比表层岩溶带发育的洞穴规模小,储渗能力也差很多;下渗流带总体上来说,储层不太发育;下潜流带大型洞穴发育,但基本全充填,充填物以粉砂质泥岩为主,基本不具备储集能力。

从岩心及镜下观察结果来看,裂缝主要发育于距风化壳顶 90~140 m 的范围内,属于岩溶分带的上潜流岩溶带—下渗流岩溶带。

受断层及古地貌的影响,在 LG40, LG42, LG9 井之间的广大区域内,裂缝型储层、孔洞型储层以及裂缝—孔洞型储层都比较发育,而 LG15—LG47 井区则为洞穴型储层的发育区。

5 结论

1) 轮古西地区早海西期奥陶系古岩溶的形成条件与广西现代岩溶十分相近,发育有热带古岩溶地貌。平面上自东向西依次发育峰丛洼地、峰林谷地和峰林平原地貌组合。

2) 研究区发育 2 期岩溶旋回,是 2 期地壳抬升

的产物。上部岩溶旋回可进一步划分为表层岩溶带、上垂直渗流带、上水平潜流带;下部岩溶旋回由下垂直渗流带和下水平潜流带 2 个岩溶相带构成。各岩溶相带厚度的平面差异性主要受岩溶地貌及微地貌的控制。

3) 溶孔、溶洞、裂缝是古岩溶储层的主要储集空间类型,形成孔洞型、裂缝型、裂缝—孔洞型及洞穴型 4 种储层类型。由于受古岩溶地貌的控制,在平面上不同地区和纵向上不同深度段,不同类型储层发育存在差异。

参考文献:

- 1 陈学时, 易万霞, 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
- 2 顾 忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质, 2002, 22(4): 307~312
- 3 周玉琦, 黎玉战, 侯鸿斌. 塔里木盆地塔河油田的勘探实践与认识[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 363~367
- 4 夏日元, 唐健生, 关碧珠等. 鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天然气富集特征[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 133~136
- 5 肖玉茹, 何峰煜, 孙义梅. 古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究: 以塔河油田奥陶系古洞穴为例[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 75~86
- 6 王敦则, 黎玉战, 俞仁连. 塔里木盆地塔河油田下奥陶统油藏特征及成藏条件分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 122~128
- 7 闫相宾. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 262~265
- 8 刘金荣, 黄国彬, 黄学灵等. 广西区域热带岩溶地貌不同类型的演化浅议[J]. 中国岩溶, 2001, 20(1): 247~258
- 9 杨景春, 李有利. 地貌学原理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005. 1~246
- 10 任美镔, 刘振中. 岩溶学概论[M]. 北京: 商务印书馆, 1983. 1~331
- 11 闫相宾, 李铁军, 张 涛等. 塔中与塔河地区奥陶系岩溶储层形成条件的差异[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 202~207
- 12 顾家裕, 周兴熙. 塔里木盆地轮南潜山岩溶及油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 1~268
- 13 王良俊, 李桂卿. 塔河油田奥陶系岩溶地貌形成机制[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(6): 480~482

(上接第 264 页)

- 49 Scott H P, Hemley R J, Mao H K. et al. Generation of methane in the Earth's mantle: In situ high pressure-temperature measurements of carbonate reduction [J]. PNAS, 2004, 101(39): 14023~14026
- 50 金 强. 裂谷盆地生油层中火山岩及其矿物与有机质的相互作用[J]. 地球科学进展, 1998, 13(6): 542~546
- 51 翟庆龙, 金 强, 万从礼. 裂谷盆地 CO₂ 的一种潜在成因[J]. 天然气工业, 2003, 23(3): 129~131
- 52 郑乐平, 冯祖钧, 徐寿根等. 起源于地球深部的济阳拗陷 CO₂ 气藏[J]. 科学通报, 1995, 40(24): 2264~2266

- 53 郑乐平, 冯祖钧, 廖永胜等. 济阳拗陷非烃气藏(CO₂、He)的成因探讨[J]. 南京大学学报, 1997, 33(1): 79~81
- 54 霍秋立, 杨步增, 付 丽. 松辽盆地北部昌德东气藏天然气成因[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(4): 17~19
- 55 宋 岩. 松辽盆地万金塔气藏天然气成因[J]. 天然气工业, 1991, 11(1): 17~21
- 56 李先奇, 戴金星. 中国东部二氧化碳气田(藏)的地化特征及成因分析[J]. 石油实验地质, 1997, 19(3): 215~221
- 57 杨方之, 周荔青, 郭念发等. 江苏黄桥二氧化碳气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 106~133