

文章编号: 1009-3850(2001)01-0027-06

## 岩溶作用对沙雅隆起奥陶系碳酸盐岩储集层的控制作用

金 涛<sup>1</sup>, 罗传容<sup>2</sup>, 吴亚军<sup>2</sup>

(1. 成都理工学院 石油系, 四川 成都 610059; 2. 中国石油化工集团总公司 勘探研究院, 湖北 荆州 434100)

**摘要:** 沙雅隆起经历了多期构造活动和长期岩溶作用的改造, 形成分布极不均匀的裂缝、孔洞系统, 构成了奥陶系碳酸盐岩储层的主要储集空间, 在沙雅隆起奥陶系碳酸盐岩地层沉积、成岩之后, 经历了加里东期—印支期—燕山期多次构造抬升、暴露、剥蚀和岩溶作用, 形成了区内广泛分布的风化壳型岩溶作用。研究区至少发育 4 期岩溶作用, 即加里东中晚期, 海西早期, 海西晚期和印支期—燕山期, 其中海西早期和海西晚期是岩溶发育的主要时期。岩溶作用对奥陶系碳酸盐岩储层的形成和分布具有重要的控制作用, 其储层发育层段限制在岩溶作用影响深度范围内。

**关键词:** 沙雅隆起; 岩溶作用; 奥陶系; 碳酸盐岩

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

## Controls of karstification on the Ordovician carbonate reservoirs of the Xayar uplift in Xinjiang

JIN Tao<sup>1</sup>, LUO Chuan-rong<sup>2</sup>, WU Ya-jun<sup>2</sup>

(1. Department of Petroleum, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, China National Petroleum Ltd. Co., Jingzhou 434100, Hubei, China)

**Abstract:** The multiphase tectonic events and long-term karstification are responsible for the formation of the uneven fissure and pore space systems as main storage spaces of the

收稿日期: 2000-10-28

作者简介: 金涛(1973—), 男(汉族), 成都理工学院石油地质硕士研究生。

Ordovician carbonate reservoirs in the Xayar uplift in Xinjiang. Following the deposition and diagenesis of the Ordovician carbonate sediments, there occurred the Caledonian-Indosinian-Yanshanian tectonic uplifting, exposure, erosion, karstification, leading to the appearance of the widespread weathering-type karstification. Four stages of karstification have been distinguished: middle and late Caledonian, early Hercynian, late Hercynian and Indosinian-Yanshanian, of which early and late Hercynian are considered to be most important stages of karstification. The karstification is believed to control the formation and distribution of the Ordovician carbonate reservoirs.

**Key words:** Xayar uplift; karstification; Ordovician; carbonate rock

1 地质概况

沙雅隆起位于塔里木盆地北部, 塔里木河以北, 呈东西向展布, 面积为 36600km<sup>2</sup>。为一个长期发育的古隆起, 经历了多期构造运动。可分为哈拉哈塘凹陷、阿克库勒凸起、草湖凹陷、库尔勒鼻凸起 4 个次级区(图 1)。本区先后发现多个油气田, 阿克库木、阿克库勒、西达里亚、塔河油田和东达里亚凝析气田及一批有利含油气构造。其中塔河油区奥陶系油气田最具勘探潜力, 具有形成大型油气藏的地质背景。

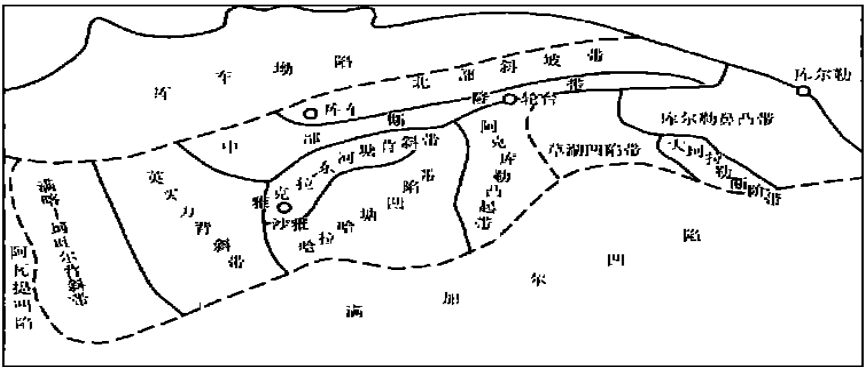


图 1 塔里木盆地北部构造区划

Fig. 1 Tectonic division of the northern part of the Tarim Basin

2 储层特征

沙雅隆起奥陶系碳酸盐岩主要为开阔-局限台地相的巨厚层灰岩, 中下部夹较多的白云质灰岩和白云岩。灰岩主要为泥微晶灰岩、含砂屑微晶灰岩、微晶砂质灰岩和亮晶砂屑灰岩等。奥陶系碳酸盐岩沉积后, 由于经历后期的成岩改造作用, 基质孔隙度及渗透率极低, 因此, 碳酸盐岩储层的好坏, 主要受洞缝的发育程度, 即后期的构造及岩溶作用所控制。本区经历了多期构造活动和长期岩溶作用的改造, 形成分布极不均匀的裂缝、孔洞系统, 构成了奥陶系碳酸盐岩储的主要储集空间<sup>[1]</sup>。奥陶系碳酸盐岩储层的基本特征是基质孔渗差, 不

受沉积相控制, 储层在纵向上和横向上非均质性极强, 主要储集空间为受构造及岩溶作用控制, 分布极不均一的裂缝-溶蚀孔洞

### 3 岩溶作用

沙雅隆起从上震旦统至下奥陶统为广阔的碳酸盐岩台地, 是古岩溶发育的有利地区。多期构造运动使碳酸盐岩台地发生多次暴露和淹没过程, 从而发生多期岩溶作用。根据塔河油田奥陶系大量钻井岩心的岩溶特征描述、岩溶充填物的电子探针元素分析、碳氧同位素测定、包裹体测温、裂缝充填物之间的交切关系、后期裂缝和岩溶改造等方面的研究成果表明, 本区发育有加里东中晚期、海西早晚期和印支期—燕山期的岩溶作用。

#### 3.1 加里东中晚期的岩溶作用

加里东中期岩溶作用主要表现为下奥陶统与中上奥陶统之间的古岩溶。在早中奥陶世之交, 正是塔里木古构造环境由拉张、离散向聚敛、挤压的转换阶段, 盆地由内源沉积为主转变为以陆源沉积为主, 中下奥陶统之间为低角度不整合, 为典型的 I 型层序界面。中上奥陶统与下奥陶统之间呈超覆接触关系, 中上奥陶统不同层位超覆在下奥陶统之上, 其间存在短暂的沉积间断, 仅造成下奥陶统顶部的短暂暴露和岩溶作用。

#### 3.2 海西早晚期的岩溶作用

该期的岩溶作用在阿克库勒凸起最为显著, 下石炭统与下伏下奥陶统、中奥陶统、志留系和泥盆系呈角度不整合接触关系。下奥陶统碳酸盐岩受到强烈的古岩溶作用, 形成各种类型的溶蚀缝洞孔隙空间。

石炭系沉积前及沉积时至海西晚期是沙雅隆起岩溶发育的主要时期, 海西晚期的岩溶作用, 使灰岩普遍经受溶蚀作用, 形成许多溶缝和溶蚀孔洞, 它们与后期裂缝一起, 形成了奥陶系灰岩的主要储集空间。根据岩溶作用的不同形式又可分为 3 个重要的岩溶发育阶段。

**基岩裸露期的淡水岩溶阶段** 自海西早期运动开始, 由于强烈的剥蚀作用, 使志留系—泥盆系、中上奥陶统已在阿克库勒凸起的大部分地区剥蚀殆尽, 下奥陶统灰岩开始暴露地表, 遭受风化、剥蚀和岩溶作用。

**浅埋藏期淡水混合的岩溶阶段** 石炭系巴楚组沉积时, 随着海平面的不断上升, 南部兰尕地区成盐环境已经结束。巴楚组下泥岩段沉积时, 气候条件相对湿润, 降水也有所增加, 岩溶作用相对加强。在牧场北、艾北和塔河油田附近形成大面积的淡水与咸水混合岩溶区。岩溶水的混合溶蚀现象, 会降低其方解石的饱和度或重新对方解石具有侵蚀性。这种混合溶蚀作用在咸水与淡水混合的岩溶地区表现最为明显。随着混合溶蚀作用, 在滨海地带发育多层溶洞, 在海岸地带形成了许多地表和地下的溶蚀空间。

**混合溶蚀作用对碳酸盐岩的岩溶发育起重要作用。**阿克库勒凸起在海西早期的巴楚组沉积时, 其东南西三面均为海水所包围, 随着海平面的上升, 海岸线也逐渐向凸起顶部的阿克库勒一带推进, 沿岸可形成淡水与咸水的混合区, 并产生混合岩溶作用, 形成大量沿海岸线分布的溶洞。这种类型的溶洞可能沿中上奥陶统尖灭线分布, 或沿巴楚组厚度等值线分布。在塔河油田的东南部有可能沿中上奥陶统尖灭线发育该类溶洞, 并可能与早期沿断裂形成的洞相互改造。

深埋藏期的地下水溶蚀及淡水渗滤岩溶阶段 巴楚组沉积时本区的大部分地区处于浅埋藏期混合岩溶阶段。之后,在石炭系卡拉沙依组沉积时,由于隆起主体部位的奥陶系可溶岩之上沉积了巴楚组下泥岩段等非可溶岩,大部分地区不能见到地表岩溶的各种现象,以地下水的溶蚀作用为主。地下水可沿裂缝、溶孔、溶隙产生较为缓慢的溶蚀作用,而且经充填或半充填状态。受海西晚期构造运动的影响,产生了许多深达下奥陶统的断裂,同时, LN1-少9井一带还处于暴露区的岩溶环境,地表岩溶水通过断裂输入、渗滤至奥陶系可溶岩中,与原来的水系产生新的混合溶蚀作用,但此时水动力条件差,地下水交替缓慢。在深埋藏岩溶环境中,早期形成的溶孔、溶隙等,易为自身溶蚀反应中的物质所沉淀封闭。

### 3.3 印支期—燕山期至今的深部岩溶作用

深部岩溶是指可溶岩石被深埋于地下,与外部水基本隔离的封闭环境下的岩溶作用。以热液型溶蚀、特殊气体的溶蚀和有机酸的溶蚀等形式出现。后者可能是阿克库勒凸起深部岩溶作用的主要形式。

本地区奥陶系碳酸盐岩埋藏深度大都在 5000m 以下,地温可达  $130^{\circ}$  以上,干酪根进入热降解过程(指二次生油期),可产生羧酸、 $\text{CO}_2$  气体和  $\text{SO}_2$  等。由于温度和压力的变化,将导致水的气-液相转换,使之长期不断地产生凝析水,塔河油区油样表明,基本上都含凝析水。这种凝析水在空间运动时,一方面由于这种水溶有羧酸、 $\text{CO}_2$  等物质将对碳酸盐岩产生溶蚀作用,另一方面这种矿化度特低的新生水与矿化度较高的地层水混合后又将产生混合溶蚀作用<sup>[3]</sup>。

由于各阶段形成的岩溶形态互相叠加、改造,使本区岩溶作用变得更加复杂<sup>[3]</sup>。

## 4 岩溶作用对储集层的控制

在塔北地区奥陶系碳酸盐岩油气储层的储集空间类型中,溶孔、溶缝、溶洞及构造裂缝等主要是由古岩溶作用、后期的构造作用及埋藏溶蚀作用共同形成的,其储层的发育层位和储层类型与古岩溶作用有着密切的关系。

### 4.1 对储集空间形成及类型的控制

阿克库勒凸起是一个自加里东期就开始发育的大型由北向南倾伏的鼻状古隆起,海西早期构造运动使鼻状凸起上形成 NE 向的断裂和褶皱,并且使大部分地区剥蚀缺失志留系、泥盆系、中上奥陶统及部分下奥陶统,从而使中下奥陶统碳酸盐岩普遍遭受了长期的风化剥蚀及岩溶作用。岩溶作用是富  $\text{CO}_2$  的大气水和地下水对碳酸盐岩的淋滤、深解、崩塌、搬运及沉积等地质作用的总和表现。大气水和地下水以垂直渗流、河流下切和近似水平的地下潜流等作用,沿先期的微裂缝、溶孔、晶间溶孔、构造裂缝进行溶蚀作用<sup>[4]</sup>。最终在碳酸盐岩中形成毫米级、厘米级以至更大的溶孔、溶洞及晶间溶孔等储集空间类型。此外,本区奥陶系碳酸盐岩还发育有缝合线空隙和微孔隙(图 2)两种特殊的空隙。

裂缝是本区奥陶系碳酸盐岩储集层的主要渗滤通道,也是重要的储集空间。并与岩溶作用密切相关。

### 4.2 对储集层类型分布的控制

根据储集岩石类型、特性参数、古岩溶发育程度、钻井录井特征、裂缝发育程度、含油气



图2 柯坪蓬莱坝下奥陶统灰岩中沿缝合线分布的溶蚀孔隙  
(溶蚀孔隙中均充填重质原油)

Fig. 2 Distribution of the solution pore spaces along the stylolites in the Lower Ordovician limestones from Penglaiba, Keping. All these solution pore spaces are filled with heavy crude oil

情况等参数将本区储集层划分成好储集层、较好储集层、中等储集层和差储集层四种类型。

受地下水动力分带的控制,在垂向上岩溶发育具有明显的分带性,自上而下可分为地表岩溶带、渗流岩溶带和潜流岩溶带<sup>[3]</sup>。

地表岩溶带位于奥陶系顶部的风化壳表层。本区处于岩溶残丘上的钻井中多数地表岩溶带不发育。在地表岩溶带中,常发育零至几十米厚的紫红色/灰色泥岩、粉砂岩、角砾灰岩等岩溶残积物。其中,以碎屑支撑的角砾灰岩孔渗性能较好,可作为良好的储层,如轮南 44 井等,但分布局限。地表岩溶残积物孔渗性很差,但当裂缝发育时,可以成为储层,如 T403、TK419 等井,均在地表岩溶带钻遇油气层。

渗流岩溶带岩溶水受重力梯度控制<sup>[1]</sup>,主要沿着岩层中裂缝向下渗流、淋滤,形成溶沟、溶缝、溶蚀洼地和落水洞。该带储集岩有两类:一类是洞穴充填物,储集空间类型为粒间孔、角砾灰岩的砾间溶孔。它们主要发育于灰岩型岩溶剖面中,位于侵蚀面之下 0~200m 的范围内,该类储层横向上不连续,呈非均质斑状、脉状产出;另一类是碳酸盐岩围岩,主要储集空间为半充填溶缝、溶蚀孔洞。同时,近地表渗入带还可发育未充填的大型溶洞,如沙 48 井距不整合面 0.74m,即放空 1.54m,是极好的储层。在垂直渗滤带也可发育未完全充填的溶洞,如 T417、TK411、LN15 等井,均在垂直渗滤带钻遇油气层,测井解释均为未完全充填的溶洞。

潜流岩溶带位于地下水潜流带上部,受压力梯度和水流交替控制,在潜水面附近的潜流地下水呈较强的水平运动,且地下水中碳酸钙不饱和,CO<sub>2</sub> 含量高,因此溶蚀作用强烈,可形成众多规模较大的水平溶洞。灰岩型岩溶中,大型的水平溶洞多为洞穴充填物充填。未充填及半充填的大型溶洞仅见于少量井中,如沙 61 井、T301 井、T401 井、T402 等井。潜流岩溶带发育的水平溶洞型储层发育比较连续,在横向上具有可对比性。

岩溶地貌与储层发育关系密切,岩溶高地以垂直渗流岩溶带发育为特征,仅在其边缘有水平潜流岩溶带发育;同时溶蚀孔洞多被砂泥质等充填。岩溶斜坡的岩溶纵向分带明显,渗流、潜流岩溶带均发育;尽管相当数量的溶蚀孔洞亦被砂泥质等充填,但其保留的相遇是各岩溶地貌单元中最高者,特别是其中的缓坡及其上的岩溶残丘。岩溶谷地中靠近岩溶斜坡

一侧,岩溶发育特征近似于岩溶斜坡,但充填作用更严重,其余部分岩溶作用不发育。

综上所述,岩溶作用对塔北地区奥陶系碳酸盐岩储层的形成及区域分布起着重要的控制作用。可以说,风化壳岩溶作用是本区奥陶系碳酸盐岩储层发育的一个重要的基础。它为以后有效储集空间的进一步形成奠定了良好的基础,使奥陶系碳酸盐层的主要发育段限制在岩溶作用深度的框架内。

本文完成过程中参阅、学习了西北石油地质局及荆州勘探院的许多研究资料,得以草成此文,特此致谢!

#### 参考文献:

- [1] 叶德胜等. 塔里木盆地北部寒武系—奥陶系碳酸盐岩储层特征及油气前景[M]. 成都: 四川大学出版社, 2000.
- [2] 叶德胜. 塔里木盆地北部寒武系—奥陶系碳酸盐岩的深部溶蚀作用[J]. 沉积学报, 1994, 12(1): 69.
- [3] 白玉雷等. 塔里木盆地寒武系—奥陶系岩溶型储层特征及发育模式[A]. 塔里木盆地油气勘探论文集[C]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1992.
- [4] 程绪彬等. 塔里木盆地奥陶系古风化壳储层空间类型及其成因分析[J]. 天然气勘探与开发, 2000, 23(1): 38.
- [5] 周永昌等. 塔里木盆地阿克库地区奥陶系碳酸盐岩油气藏条件及勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 106.