

文章编号: 1001-6112(2009)06-0547-04

塔河油田奥陶系岩溶作用模式及控制因素

周江羽¹, 吕海涛², 林忠民², 吴冲龙¹

(1. 中国地质大学(武汉) 构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074;

2. 中国石化西北分公司 勘探开发规划设计研究院, 乌鲁木齐 830001)

摘要: 碳酸盐岩储层具有异常复杂的非均质性, 碳酸盐岩岩溶作用研究是当今储层沉积学和储层地球化学研究的重要前缘领域。塔河油田所处的阿克库勒凸起是在前震旦系变质岩基底上长期发育的一个古隆起, 经历了加里东期和海西期多期次的构造抬升和海平面变化影响, 并受到后期构造运动的叠加改造, 发育了一套寒武—奥陶系碳酸盐岩岩溶—缝洞型储层。结合塔河油田岩溶作用的基本特点和勘探实践, 建立了奥陶系碳酸盐岩储层岩溶作用的 3 种基本模式, 并分析了岩溶发育的主要控制因素。

关键词: 岩溶作用模式; 碳酸盐岩; 奥陶系; 塔河油田; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.221

文献标识码: A

KARSTIFICATION MODELS OF THE ORDOVICIAN CARBONATES AND THEIR INFLUENTIAL FACTORS IN THE TAHE OILFIELD, THE TARIM BASIN

Zhou Jiangyu¹, Lü Haitao², Lin Zhongmin², Wu Chonglong¹

(1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources (China University of Geosciences),

Ministry of Education, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. Design and Planning Institute of Northwest Petroleum Bureau, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830001, China)

Abstract: Karstification research of a complicated anisotropic carbonate reservoir is presently an important leading field for reservoir sedimentology and geochemistry. Akekule convex included Tahe Oilfield is a long-term developed paleo-uplift based on the pre-Sinian metamorphic basement, which affected by multi-period of Caledonian and Hercynian tectonic uplift and sea-level changes, and superposing reformed by late tectonic movement. A set of Cambrian—Ordovician carbonate karst—fracture—hole reservoirs were developed in Akekule convex. Combined with the karstification and exploration in Tahe Oilfield, three karstification models were established in the area and the key controlling factors of karst development were analyzed.

Key words: karstification models; carbonate; Ordovician; Tahe Oilfield; Tarim Basin

大气环境(或裸露地表条件)和埋藏条件下碳酸盐岩溶蚀和成岩过程与油气的重要储集空间——次生孔缝洞的发育机理密切相关, 是当今储层沉积学和储层地球化学研究的重要前缘领域, 也是国内外沉积学、石油地质学和其它有关学科研究的重要内容之一^[1~5]。为了解决碳酸盐岩储层异常复杂的非均质性问题, 20 世纪 80 年代以来, 对碳酸盐岩储层岩溶作用和控制因素开展了广泛而深入的研究工作, 取得了丰硕的成果。集中体现在不同温压和介质条件下的岩溶作用模拟、岩溶作用的地球化学、古岩溶期次划分、岩溶储层特征、岩

溶作用机理和模式、岩溶作用控制因素等^[6~15]。本文结合塔河油田岩溶作用的基本特点, 试图建立奥陶系碳酸盐岩储层岩溶作用的基本模式, 分析岩溶发育的主要控制因素。

1 岩溶作用基本特点

阿克库勒凸起是在前震旦系变质岩基底上长期发育的一个古隆起, 经历了加里东期和海西期多期次的构造抬升和海平面变化影响, 并受到后期构造运动的叠加改造, 发育了一套寒武—奥陶系碳酸盐岩岩溶—缝洞型储层, 塔河油田位于其中部(图 1)。

收稿日期: 2009-06-05; 修订日期: 2009-11-08。

作者简介: 周江羽(1962—), 男, 教授, 主要从事含油气盆地沉积学和盆地分析科研和教学工作。E-mail: zjy522@163.com。

基金项目: 中国石化重点科技攻关项目(P04026)。

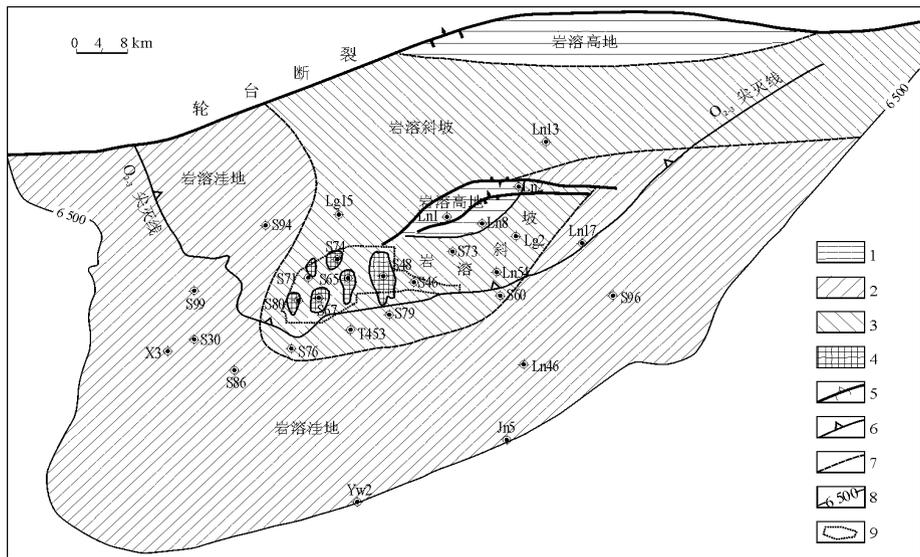


图 1 塔里木盆地阿克库勒凸起岩溶古地貌

1. 岩溶高地; 2. 岩溶洼地; 3. 岩溶斜坡; 4. 岩溶缓坡上的残丘; 5. 断层; 6. 尖灭线;
7. 古地貌分界线; 8. 下奥陶统顶面等深线/m; 9. 塔河油田位置

Fig. 1 Karst paleotopography in Akekule uplift, the Tarim Basin

塔河油田总体处于阿克库勒凸起的岩溶斜坡区,在加里东和海西期形成演化过程中,受构造、沉积和古气候的影响,普遍发育大气水暴露、大气水覆盖、断裂带溶蚀等主要岩溶作用^[10,16~18]。从加里东中期 I 幕开始,古隆起的抬升幅度逐步加大,在中晚奥陶世,阿克库勒凸起北部仅存在短暂暴露和轻微岩溶。加里东中期 II 幕表现在晚奥陶世良里塔格期的大气水暴露岩溶作用,局部地区还发现有同生期岩溶作用;桑塔木期大部分地区属于大气水覆盖型岩溶作用,顺着断裂带溶蚀作用相对发育。加里东中期 III 幕表现在晚奥陶世桑塔木期与志留纪之间的岩溶作用,是塔河油田西北部中下奥陶统储层岩溶缝洞型发育的一幕重要的岩溶作用,中下奥陶统岩溶缝洞型储层初具规模。海西早期,阿克库勒凸起的构造形态发生较大变化,NE—SW 向的鼻状凸起已然呈现,总体北高南低的构造格局和强烈的剥蚀作用,使得该期岩溶作用极为强烈,对早期岩溶作用形成的缝洞体系进行改造。海西晚期的构造抬升作用,使阿克库勒凸起岩溶作用主要发育在石炭系尖灭线以北地区。

2 岩溶作用模式

基于对塔河油田岩溶作用基本特点、类型的认识和油气勘探实践,将塔河油田岩溶作用模式分为:同生大气混合水岩溶作用、表生大气水裸露风化壳型和覆盖承压型岩溶作用、深部热液和有机酸溶蚀作用模式。

2.1 同生大气混合水岩溶作用

发育在阿克库勒凸起奥陶系一间房组上部、良里塔格组上部及桑塔木组的颗粒灰岩中。在海岸线附近,因海平面变化导致碳酸盐岩沉积物进入大气水改造环境,与岩溶水混合,伴随淡水和咸水成岩过程发育的岩溶作用。受次级沉积旋回和海平面变化的控制,粒屑滩、骨架礁等浅水沉积体出露海面,受到富含 CO₂ 的大气淡水的淋滤,发生选择性淋滤岩溶作用^[19]。同生岩溶作用的碳酸盐岩 Sr、Na 含量较高,并与含量低的样品共生,具有强烈的组构选择性和层位控制性,平面上或横向上的非均质性较明显,溶蚀孔隙的发育与特定层位的颗粒灰岩相联系;溶蚀作用主要选择颗粒内部进行,并以粒内溶孔、铸模孔储渗空间优势发育为特征。在陆地淡水区,发育落水洞和钙质结壳,在潜水面和混合带附近,发育洞穴(图 2)。

2.2 表生大气水裸露风化壳型和覆盖承压型岩溶作用

表生大气水裸露风化壳型岩溶作用在阿克库勒凸起上奥陶统桑塔木组尖灭线以北中下奥陶统最为发育,是该区岩溶缝洞型储层发育的主控岩溶作用。是指碳酸盐沉积成岩后,在海西早期原岩被抬升并暴露到地表发育的岩溶作用(图 3)。具有发育不规则裂缝系统、缝合线、溶蚀孔洞和洞穴坍塌等特征。表生大气水覆盖承压型岩溶作用在塔河油田南部上奥陶统桑塔木组覆盖区典型发育,是指碳酸盐沉积成岩后,在加里东中晚期构造抬升背景下,原岩抬升到区域型潜水面附近但未暴露到地

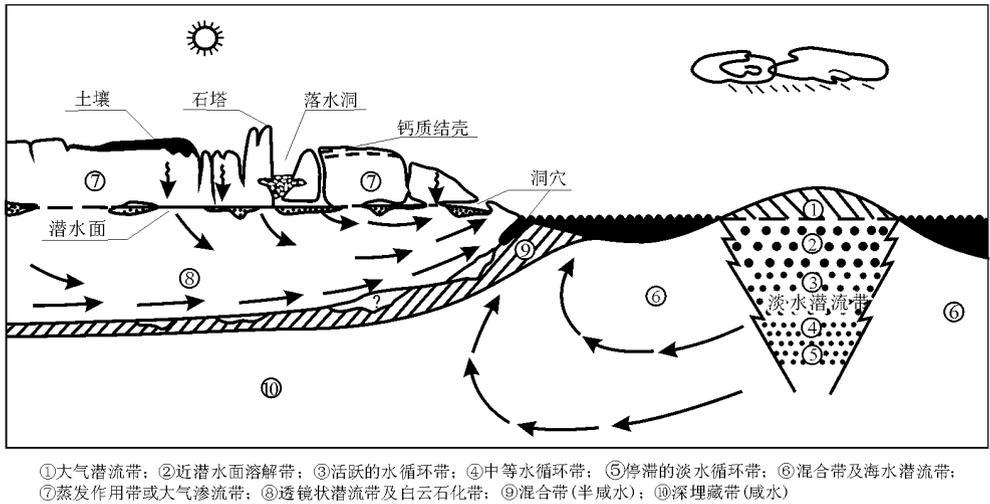


图 2 同生大气混合水岩溶作用模式

据文献[19]修编。

Fig. 2 A karstification model with syngenes atmospheric mixed water

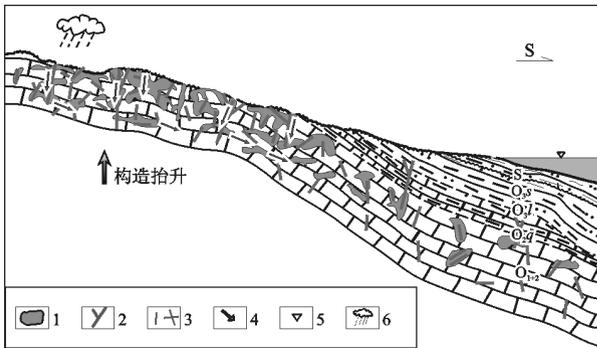


图 3 表生大气水裸露风化壳型岩溶作用模式

1. 溶蚀缝洞; 2. 断裂; 3. 裂缝; 4. 地下水流方向; 5. 海平面; 6. 降水

Fig. 3 A karstification model of exposic weathering crust in epi-atmosphere water

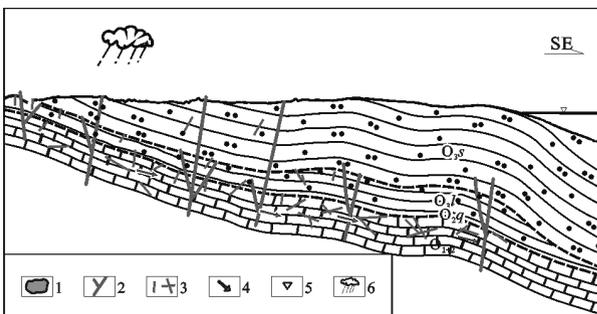


图 4 表生大气水覆盖承压型岩溶作用模式

1. 溶蚀缝洞; 2. 断裂; 3. 裂缝; 4. 地下水流方向; 5. 海平面; 6. 降水

Fig. 4 A karstification model with confined epi-atmospheric water

表,其上还覆盖有厚度较大的非可溶性地层条件下发育的岩溶作用,顺着断裂带溶蚀作用相对发育(图 4)。与表生期裸露型风化壳岩溶作用的主要区别是水体的循环条件发生了较大变化,总体处于

半封闭半开放的(承压)岩溶水循环环境。

2.3 深部热液和有机酸溶蚀作用

广义的热液岩溶作用强调热水来源的多样性,包括岩浆或变质作用释放出的水、埋藏加热的封存水、构造运动加热的深循环水、深部原生水和回注的海水等。狭义的热液岩溶作用倾向于构成热液溶蚀作用的酸性流体的来源,即在构造活动期,从岩浆中生成的二氧化碳、硫化氢、硫及少量的 CO₂, H₂, HCl 等气体,溶于深部热水后形成酸性溶蚀流体,以基底断裂为主要上升通道,在可溶岩层内沿裂缝系统或早期岩溶缝洞体系进行的溶蚀作用(图 5)。深部热液溶蚀作用在塔河地区奥陶系不十分发育,但可能是蓬莱坝组及寒武系等储层发育的一个主要岩溶作用。

有机酸岩溶作用的酸性流体主要有 3 个来源:一是原岩自身的有机质在成熟过程中产生有机酸、CO₂ 和 H₂S,属自源性溶蚀;二是生排烃过程中产生有机酸、CO₂ 和 H₂S 随烃类流体一起经过或进

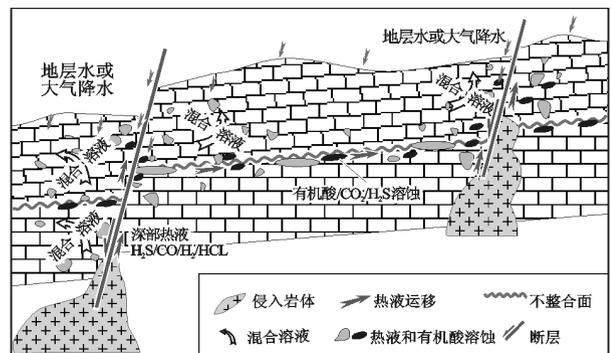


图 5 深部热液和有机酸岩溶作用模式

Fig. 5 A karstification model of deep hydrothermal solution and organic acid

入原岩中进行溶蚀作用;三是烃类热化学硫酸盐还原作用。碳酸盐岩的有机酸溶蚀作用主要是伴随烃源岩有机质热演化及生烃、排烃过程中形成的有机酸性流体沿着不整合面和断层裂缝运移至潜山顶部古风化壳、古岩溶储层并对碳酸盐岩进行溶蚀而形成大量溶蚀孔隙。实验模拟结果表明,有机酸溶蚀作用强弱除了矿物成分外,流体与矿物接触的比表面积大小是至关重要的因素^[12]。由于这类孔隙的形成在时间上与烃类的生成、运聚相匹配,因而成为油气储层的有效储集空间。

3 岩溶作用控制因素分析

多次构造运动、海平面变化与暴露作用,使塔河地区发生了多期岩溶作用。岩心描述、岩溶充填物包裹体测温、元素分析、同位素测定、裂缝充填与交切关系等综合研究认为,海西早期是最主要的岩溶发育时期,其次是加里东中—晚期。奥陶系岩溶发育的控制因素有原岩岩性、构造、古地貌、古气候、古水系和岩溶作用时间等,但主要控制因素是古地貌和古构造。

3.1 古构造背景是古岩溶发育的基础条件

塔河油田所处的阿克库勒凸起是一个加里东期就开始发育的大型由北向南倾伏的鼻状古隆起,加里东中期构造运动使凸起上形成一系列断裂和张裂缝,为地下水流动和岩溶作用提供了重要的通道条件,后期构造运动的叠加改造深刻影响着后期岩溶系统的发育^[16]。塔河油田所处的构造轴部断裂、裂缝和不整合面叠合位置是加里东中晚期和海西早期岩溶发育的最有利地区,大量的溶洞发育在距海西早期不整合面 0~200 m 左右的范围内。

3.2 古地貌控制了古水系和岩溶地貌分区

阿克库勒凸起北高南低的构造格局,控制了本区岩溶地貌的基本形态、古水系和岩溶发育特征,而不同岩溶地貌单元具有各自独特的岩溶发育特征。古水系大致与断裂系统平行延伸并与古地形等高线的法线方向一致。在凸起的周缘斜坡区最为发育,凸起南部水系呈近南北向延伸,水系在中、上奥陶统尖灭线附近发生汇流,呈向南收敛形态,水系发育区及其两侧,是岩溶作用最为发育的部位。塔河油田奥陶系可划分为岩溶高地、岩溶斜坡和岩溶洼地 3 个岩溶地貌单元(图 1),坡度较缓的岩溶斜坡(岩溶缓坡)特别是其上的丘丛是岩溶发育的有利地区。

4 结论

塔河油田所处的阿克库勒凸起是一个加里东

期就开始发育的大型南倾的鼻状古隆起,有利的古构造和古地貌背景使得该地区的岩溶作用极为发育,形成了塔河油田碳酸盐岩岩溶缝洞型储集体系。主要的岩溶作用模式有同生大气混合水岩溶作用、表生大气水裸露风化壳型和覆盖承压型岩溶作用、深部热液和有机酸溶蚀作用模式。岩溶发育的主要控制因素是古地貌和古构造。

参考文献:

- 康玉柱. 塔里木盆地古生代海相碳酸盐岩储集岩特征[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 217~223
- 杨宁, 吕修祥. 塔里木盆地轮南、塔河油田碳酸盐岩储层特征研究——以沙 107 井和轮古 40 井为例[J]. 石油实验地质, 2008, 30(3): 247~251
- 金强, 王端平. 潜山型碳酸盐岩储集空间成因模式[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(5): 12~15
- 饶丹, 马绪杰. 塔河油田主体区奥陶系缝洞系统与油气分布[J]. 石油实验地质, 2007, 29(6): 589~592
- 宋美虹. 塔河油田 4 区奥陶系碳酸盐岩潜山油藏储层预测[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(4): 23~25
- 刘小平, 孙冬胜, 吴欣松. 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[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 265~268
- 顾乔元, 潘文庆. 轮南地区奥陶系油气成藏特征[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3): 210~212
- 吕修祥, 杨宁, 解启来等. 塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 284~289, 296
- 刘显凤, 蔡忠贤, 云露等. 塔河油田岩溶作用元素地球化学的特征响应[J]. 石油实验地质, 2009, 31(3): 270~274
- 林忠民. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件[J]. 石油学报, 2002, 23(3): 23~27
- 康志江, 李江龙, 张冬丽等. 塔河缝洞型碳酸盐岩油藏渗流特征[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 634~640, 673
- 蒋小琼, 王恕一, 范明等. 埋藏成岩环境碳酸盐岩溶蚀作用模拟实验研究[J]. 石油实验地质, 2008, 30(6): 643~646
- Mazzullo S J, Harris P M. Mesogenetic dissolution: Its role in porosity development in carbonate reservoirs[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(5): 607~620
- Carles K. Karst-controlled reservoir heterogeneity in Ellenburger group carbonates of West Texas[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(10): 1160~1183
- Cao H, Yang J, Wang D. Paleokarsts in late Precambrian and Ordovician carbonates, Kepin-Shaya uplift zone, Tarim basin, China[J]. Carbonates Evaporites, 1999, 14(2): 200~208
- 闫相宾. 塔河油田下奥陶统古岩溶作用及储层特征[J]. 江汉石油学院学报, 2002, 24(4): 23~25
- 张涛, 闫相宾. 塔里木盆地深层碳酸盐岩储层主控因素探讨[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 745~754
- 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): 201~207
- 刘忠宝, 于柄松, 李廷艳等. 塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩层序发育对同生期岩溶作用的控制[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 103~109

(编辑 叶德燎)