

# 塔中奥陶系大型不整合面与风化壳岩溶发育

陈新军<sup>1,2</sup>, 蔡希源<sup>3</sup>, 纪友亮<sup>2</sup>, 周卓明<sup>2</sup>

(1. 同济大学 海洋与地球科学学院, 上海 200092; 2. 中石化勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151;  
3. 中国石油化工集团公司, 北京 100027)

**摘要:** 塔里木盆地经历了多期构造运动, 造成沉积间断, 继而形成一系列重大的地层不整合面. 塔中地区奥陶系主要发育有两个大型的不整合面  $T_7^4$  和  $T_7^0$ , 它们受构造和海平面的共同控制, 暴露时间长, 规模大, 在区域上控制了二期强烈的风化壳岩溶事件的发育. 第一期位于下奥陶统顶部不整合面之下, 第二期位于上奥陶统顶部不整合面之下. 这两期岩溶特征因其上覆不整合面的特征不同而不同. 不整合面对岩溶发育的控制主要体现在两个方面, 一是不整合面形态对分化壳岩溶发育范围的控制, 二是不整合面的强度级别对分化壳岩溶发育深度的控制.

**关键词:** 塔中地区; 岩溶; 不整合面

中图分类号: P 588.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-374X(2007)08-1122-06

## Relationship Between Large Scale Unconformity Surface and Weathering Crust Karst of Ordovician in Tazhong

CHEN Xinjun<sup>1,2</sup>, CAI Xiyuan<sup>3</sup>, JI Youliang<sup>2</sup>, ZHOU Zhuoming<sup>2</sup>

(1. School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi 214151, China; 3. SINOPEC, Beijing 100027, China)

**Abstract:** The Tarim basin has experienced periods of structure movements and developed a series of large stratigraphic unconformities. The Ordovician has two large unconformity surfaces  $T_7^4$  and  $T_7^0$  in central of Tarim, which are predominated by structure movements and sea level changes. Being exposed for a long time, the development of two periods regolith karst is locally controlled. The first period karst locates under the unconformity top of lower Ordovician, the second locates under the unconformity top of upper Ordovician. The character of two periods' karst are different for their different unconformities. The effects of the unconformity surface on karst mainly include two aspects: one is the configuration of unconformities which controls the development scale of regolith karst, another is the intensity of unconformities which controls the development depth of regolith karst.

**Key words:** central of tarim area; karst; unconformable surface

地层之间的不整合接触关系是地面露头 and 地震剖面上常见的地质现象, 分析不整合对于划分地层层序, 确定地层格架和构造运动, 分析盆地的形成、

演化和改造, 以及研究与不整合有关的圈闭均具有重要的意义. 为此, 许多学者曾对不整合的概念、类型及其在油气勘探中的应用进行了广泛的研究, 并

收稿日期: 2005-12-14

作者简介: 陈新军(1975-), 男, 新疆哈密人, 讲师, 工学博士. E-mail: chenxj2008@sina.com

取得了重要的进展<sup>[1]</sup>. 对不整合的认识与研究自 18 世纪末以来已经历了 200 年的历史, 但直到 20 世纪 30 年代, 才因其与油气圈闭有关而受到广泛关注. 在总结以往研究成果基础上, Bates 和 Jackson 在美国地质词汇中对不整合这样定义: 它是相接触岩层的构造关系, 以沉积间断、风化作用或特别是新岩层沉积前的陆上或水下侵蚀作用为特点, 常常(但不总是)表现为地层间的非平行接触关系<sup>[2]</sup>. 然而, 20 世纪 70 年代以来, 随着地震地层学及层序地层学的发展, 在层序地层学中, 不整合面更多地是在成因上与海面相对变动联系起来, 并被作为划分层序级别及类型的关键界面. Vail 等将作为层序界面的不整合面划分为代表陆架暴露的第一类层序界面和陆架未暴露的第二类层序界面, 以分别反映海面的相对下降幅度<sup>[2]</sup>. 但是, 并非所有不整合面都可归为低海平面成因, 因为多数全球性构造事件在时间上与海面上升期相对应<sup>[3]</sup>. 许效松则从 Vail 等的两类层序界面划分中独立出第三类层序界面, 专指发育于碳酸盐岩层序之上的溶蚀型卡斯特界面, 以区别于碎屑海岸由河流回春作用形成的侵蚀界面, 并且这一划分是非成因的<sup>[4-5]</sup>.

不整合面不仅是构造运动或海面变动事件的记录者, 还代表了后期地质作用对前期沉积岩(物)的不同性质和程度的改造. 这一改造通常具有明显的经济价值. 风化作用除能直接形成残坡积风化矿床外, 与风化面相关的岩溶型油气藏已在碳酸盐岩油气勘探中占据了重要地位<sup>[6-8]</sup>. 与不整合面发育相伴的岩溶作用强度及其分带性是控制碳酸盐岩次生储集空间形成与展布的关键因素, 而不同成因的不整合面以不同方式控制着岩溶储层的产出. 油气勘探证明, 世界许多含油气盆地均发育碳酸盐岩古风化壳含油气层, 据统计, 世界油气的 20%~30% 与不整合面有关, 且主要与古风化壳岩溶有关<sup>[9]</sup>. 因此, 研究整合面对岩溶储层具有非常重要的意义.

1 区域地质概况

塔里木盆地位于我国西北边陲, 面积约 56 万 km<sup>2</sup>, 是我国最大的内陆盆地. 塔中地区在区域构造位置上属中央隆起中段的塔中低隆起, 北起塔中 1 号断裂带与满加尔凹陷相邻, 西面及南面分别与阿瓦提凹陷和塘古孜巴斯凹陷成斜坡过渡关系, 东与塔中东凸起相邻(图 1). 目前, 该区已经开展了大量

的基础地质研究工作, 对碳酸盐岩储层发育规律已形成基本共识, 即岩溶作用是控制碳酸盐岩储层质量的关键因素. 为此, 众多研究者运用各种理论和方法对碳酸盐岩储层的岩溶发育规律进行了多方面的研究<sup>[10-13]</sup>. 笔者欲从不整合面分析的角度出发研究风化壳岩溶的发育规律, 为油气勘探服务.

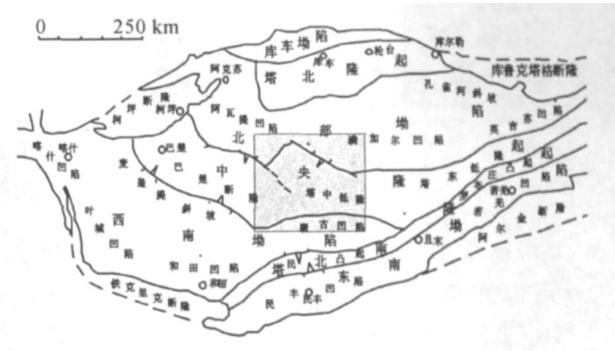


图 1 研究区平面位置图

Fig. 1 Sketch map of study area

2 不整合面发育情况及其特征

塔里木盆地自震旦纪以来, 经历了加里东、海西、印支和喜马拉雅运动期构造旋回, 形成四大构造层<sup>[14]</sup>. 每个构造旋回又发生过多期构造运动, 相应地引起了海平面的大规模相对升降变化, 造成沉积间断和地层变形, 继而形成一系列重大的地层不整合面. 其中, 在塔中地区奥陶系主要发育两个大的不整合面(图 2), 一个在下奥陶统与中上奥陶统之间 T<sub>7</sub><sup>4</sup>, 另一个是奥陶系顶与志留系之间的区域性不整合面 T<sub>9</sub><sup>0</sup>, 其接触类型主要为上超或削截或顶超. 这两个大的不整合面都由加里东运动造成, 同时受全球性大规模海平面下降的影响<sup>[11]</sup>, 受构造和海平面的共同控制, 不整合面 T<sub>7</sub><sup>4</sup> 和 T<sub>9</sub><sup>0</sup> 暴露时间长、规模大, 在区域上控制了两次强烈的暴露岩溶的发育.

2.1 T<sub>7</sub><sup>4</sup> 不整合面

该不整合面在塔里木盆地普遍分布, 位于下奥陶统顶, 在塔中地区剥蚀程度较大, 在剖面上容易识别(图 2). T<sub>7</sub><sup>4</sup> 不整合面形成于早加里东运动时期, 当时, 塔里木地台第一次受到挤压构造作用, 一系列正断层发生反转, 构造上拱, 受塔中 I、II 号断层上盘隆升的控制, 塔中隆起基本成型. 隆起部位下奥陶统地层遭受强烈剥蚀, 形成广泛的不整合面, 下奥陶统之上普遍缺失了大湾期的鹰山组的上部、牯牛潭期、



上奥陶统顶部不整合面之下. 这两期岩溶发育特征因其上覆不整合面的发育特征不同而不同.

3.1 平面发育特征

从平面上看, 下奥陶统顶部的风化壳岩溶分布范围较大, 岩溶作用比较强烈, 溶蚀深度较大. 主要分布在塔中 II 号构造带、TZ3—TZ7 井区、TZ48—TZ38 井区、塘古 1 井区、塘北 2 井区.

上奥陶统顶部的风化壳岩溶早期分布范围很小, 岩溶作用也不大, 仅在 TZ25—TZ27 井区. 随着后期构造运动的改造, 在 Z1—TZ37—TZ16—TC1—TZ101 一线及塘北 2 井周围一定范围内, 由于缺失上奥陶统泥岩段而形成比较强的岩溶作用, 该期岩溶作用在上奥陶统灰岩厚度不大的地区还间接地影响到下奥陶统顶面的岩溶发育.

3.2 纵向发育特征

从纵向上看, 塔中地区两期风化壳岩溶都具有良好的分带性, 大致可以分为三个带, 由上而下依次为: 垂直渗流带、水平潜流带和深部缓流带(图 4).

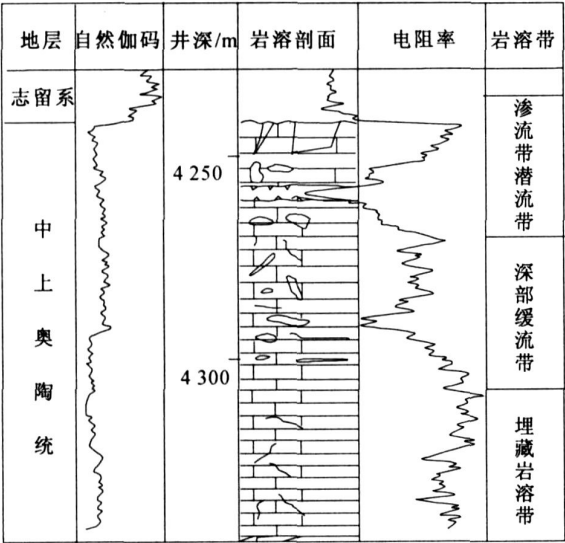


图 4 塔中 16 井中的上奥陶统岩溶带  
Fig.4 Karst belt of up ordovician in TZ16 well

(1) 垂直渗流带 常位于不整合面与最高潜水面之间, 沉积物以代表古土壤的紫红色泥岩、灰绿色粘土质泥岩、覆盖角砾灰岩及角砾白云岩等为主. 岩溶作用以垂直方向为主, 常形成一些垂向溶孔、溶缝、侵蚀沟、古梁和孤立的落水洞等. 最大特点是发育各种裂缝, 尤其是风化缝和构造缝, 而且这些裂缝常被溶蚀. 这主要是因为垂直渗流带处于不整合面地表附近, 岩石温度随季节变化而变化, 岩石在冷热温差悬殊下极易产生风化缝<sup>[15]</sup>. 这些垂向溶孔、溶

缝和溶洞常被泥、粉砂、各种成因的角砾(垮塌角砾、构造角砾、岩溶角砾)所充填, 有些还被方解石胶结物所充填. 这些充填物的形态极不规则, 大体上与围岩垂直或形成近于垂直的囊状或脉状产出, 与围岩呈清晰的溶蚀接触.

垂直渗流带在测井曲线上常呈漏斗形, 因为在垂直渗流带中, 各种胶结、充填作用较强, 储集性能较差, 常形成岩溶带中相对致密的岩溶壳, 电阻率相对于其下部的潜流带要高, 自然伽马测井曲线相对于不整合面顶部要低. 在地震剖面上, 有时可见一些沿不整合面发育的侵蚀沟, 呈 V 或 U 形. 垂直渗流带的发育深度与岩溶作用强度、所处构造部位、潜水面高低有关, 一般在距侵蚀面 50 m 内.

(2) 水平潜流带 位于枯水期的最低潜水面之下, 距侵蚀面一般 30~200 m, 厚度与补给区高程有关. 以发育大量的溶洞和溶孔为主, 当然也有一些溶缝, 但远不及垂直渗流带发育. 这是因为地处于包水带, 地下水十分活跃, 并多沿水平方向流动, 在潜水面附近, 地下水不饱和, CO<sub>2</sub> 含量高, 分压大, 岩溶地下水交替快, 溶蚀作用强, 易形成水平溶洞, 甚至地下暗河. 由于构造运动引起地表升降, 在古岩溶地层中可形成若干层水平溶洞<sup>[16]</sup>.

水平潜流带在自然伽玛曲线与电阻率曲线上都表现为低值, 深、浅侧向电阻率间有较大的正幅度差. 在地震上, 常表现为低能量、低频率、弱反射, 反射轴的连续性极差. 若地下暗河发育, 该带在地震剖面上表现为弱反射带, 且与相邻反射成切割接触, 呈水平囊状体. 由于有大量的孔洞和溶缝, 即使被充填, 也仍有许多有效储集空间, 故常成为良好的油气储层.

(3) 深部缓流带 位于水平潜流带下, 最大底界深度是岩溶作用的下限, 一般可达侵蚀面下 300 m 左右. 该带仅见一些小型水的溶孔和零星溶缝, 与普通未发生岩溶作用的层段差别不大, 胶结作用较明显.

在对岩溶发育特征研究基础上, 建立了该区奥陶系的岩溶地貌发育模式. 其岩溶地貌表现了较大的地形起伏. 从整体上看, 具有明显的北高南低的特征, 南北两侧是岩溶高地, 中间部位为岩溶谷地, 二者之间为岩溶斜坡.

4 不整合面与岩溶发育关系

影响碳酸盐岩岩溶发育的因素有很多, 如古气候、海平面的升降以及构造活动等<sup>[17]</sup>. 其中, 构造不

整合面决定古递降水流平衡面、地下水的深度及活动范围. 水动力场的大小对碳酸盐岩岩溶发育起到了极其重要的作用, 尤其是风化壳岩溶. 因为, 碳酸盐岩必须直接出露地表或出露到大气水能改造的范围内才会受大气水中溶解的  $\text{CO}_2$  形成的碳酸溶解<sup>[13, 15]</sup>. 构造挤压运动形成隆起, 地层出露水面遭受剥蚀, 形成不整合面. 这为岩溶的发育提供了最基本的条件. 研究表明, 不整合面对岩溶发育的控制主要体现在两个方面, 一是古构造所形成的不整合面形态, 二是古构造形成不整合面的强度级别.

#### 4.1 不整合面形态对分化壳岩溶发育范围的控制

通过细致研究塔中地区岩溶发育区图(图 5), 可以发现, 塔中地区奥陶纪的岩溶几乎都分布在古构造高点, 四周被断层所包围, 形成了构造控制岩溶的格局. 在古构造的高点, 下奥陶统上部和中上奥陶统顶部的地层在不同时期都出露地表遭受剥蚀, 造成其灰岩直接出露于不整合面之上, 遭受大气水的淋滤、溶蚀, 形成分化壳岩溶. 也就是说, 分化壳岩溶发育范围受不整合面形态的控制, 即只有在不整合面发育区域, 分化壳岩溶才有可能发生.

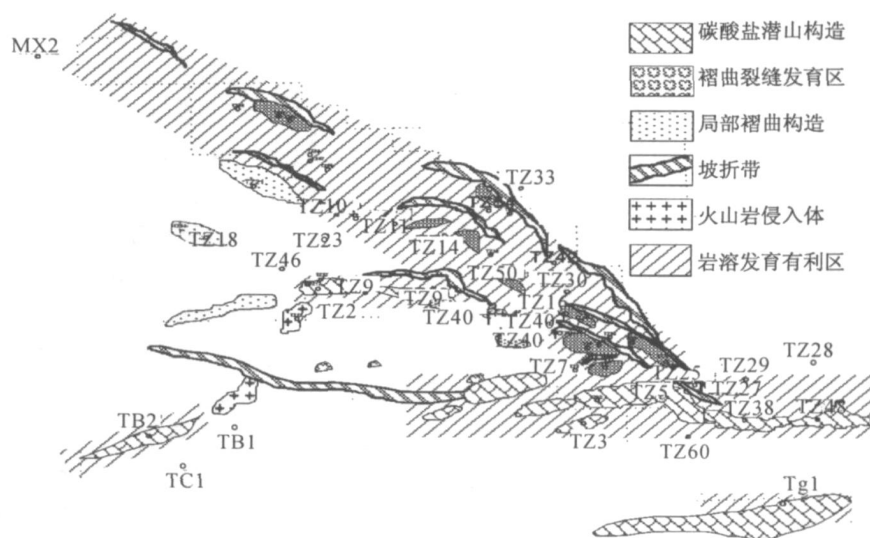


图 5 塔中地区岩溶发育区示意图

Fig. 5 Sketch map of karst develop in central of tarim

值得注意的是, 出露于不整合面之上的中上奥陶统顶部灰岩, 由于大部分地区发育一套泥岩沉积, 阻隔了中上奥陶统顶部灰岩与大气水的接触, 抑制了分化壳岩溶的发育. 这些被泥岩所包围的碳酸盐岩“岩块”区域, 在地貌上为高地或丘陵. 虽然在志留系前的古地貌背景上存在区域上的地表水古径流体系, 但对这些“岩块”, 其古地表径流的作用不太大. 这些“岩块”区的补给主要靠自身捕获的大气降水. 另外, 这些“岩块”区顶部的岩性、岩相特征也是控制其岩溶作用发育的因素之一. 塔中 50—15 井区处于棚内缓坡、棚内洼地与棚缘内的相变区内, 其上部的泥质条带灰岩段厚度大、泥质含量高. 这些含泥质的泥晶灰岩孔、缝发育较差, 可溶性差, 其较低的渗透性和较差的可溶性, 影响了岩溶作用的发育.

#### 4.2 不整合面强度级别对分化壳岩溶发育深度的控制

分化壳岩溶发育在垂向上的发育深度不仅与古

地貌、构造、岩性、古水文条件等因素有关, 还与不整合面的强度级别有关.  $T_4^4$ ,  $T_9^0$  两个不整合面, 由于遭受加里东运动的早中晚期以及早海西运动等多期构造运动的叠加改造, 暴露时间长、规模大, 为出露于不整合面之上的碳酸盐岩充分接受大气水的淋滤、溶蚀提供了时间、空间上的保证. 同时, 处于大型不整合面下部经过溶蚀的碳酸盐岩, 其溶蚀孔、缝、洞一般来说都比较发育, 因而大气水十分丰富, 并多沿垂直方向渗流形成一些垂向溶孔、溶缝、侵蚀沟和孤立的落水洞等, 造成分化壳岩溶发育深度较大. 如 TZ1 井中的下奥陶统顶部的分化壳岩溶, 影响深度可达不整合面以下 700 多米深处.

综上所述, 在全球性的海平面大规模下降时形成的大型不整合面, 对岩溶发育具有控制作用. 在古地貌较高部位, 由于遭受强烈剥蚀, 缺少泥岩封盖, 碳酸盐岩直接出露地表, 因而岩溶作用相对较发育.

5 结论

多期构造运动和海平面的大规模相对升降变化, 形成了该区大型不整合面的发育, 并对风化壳岩溶作用产生一定的控制. 风化壳岩溶发育在不整合面的下部, 岩溶特征因其上覆不整合面的发育特征不同而不同. 不整合面的形态控制了分化壳岩溶发育范围, 不整合面的强度级别控制了分化壳岩溶发育深度. 塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩为特低孔和特低渗储层, 因此, 研究碳酸盐岩储层的岩溶发育规律, 对于正确预测碳酸盐岩储层的发育规律, 显得尤为重要. 本文将不整合面特征与岩溶作用研究相结合, 探讨不整合面对风化壳岩溶发育的控制作用, 旨在探索该区碳酸盐岩的油气储层研究的新思路.

参考文献:

[ 1 ] 陈发景, 张光亚, 陈昭年. 不整合分析及其在陆相盆地构造研究中的意义[ J ]. 现代地质, 2004, 18( 3 ): 269.  
CHEN Fajing, ZHANG Guangya, CHEN Zhaonian. Unconformity analysis and its significance in the study of continental basin tectonics[ J ]. Geoscience, 2004, 18( 3 ): 269.

[ 2 ] Bates R L, Jackson J A, Church F. Glossary of geology[ R ]. Virginia: American Geological Institute, 1980: 749.

[ 3 ] Miall A D. Principles of sedimentary basin analysis[ M ]. New York: Springer Verlag, 1984.

[ 4 ] 许效松. 层序不整合界面的综合标志与盆地性质[ M ] // 王英华, 鲍志东, 朱筱敏. 沉积学及岩相古地理学新进展. 北京: 石油工业出版社, 1995: 442- 445.  
XU Xiaosong. The synthesis symbol and basin character of sequence unconformity surface[ M ] // WANG Yinghua, BAO Zhidong, ZHU Xiaomin. The newly evolve of sedimentology and lithofacies palaeogeography. Beijing: Petroleum Industry Publishing Company, 1995: 442- 445.

[ 5 ] Payton C E. Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration[ J ]. AAPG Memoir, 1979, 26: 51.

[ 6 ] Saller H A, Budd A D, Harris M P. Unconformities and porosity development in carbonate strata: Ideas from a hedberg conference [ J ]. AAPG Bulletin, 1994, 78( 6 ): 857.

[ 7 ] Shanmugam G. Origin recognition and importance of erosional unconformities in sedimentary basins[ M ] // Kleinspehn K L, Paola C. New perspectives in basin analysis. New York: Springer Verlag, 1988: 83- 108.

[ 8 ] Sun S Q. Dolomite reservoirs: Porosity evolution and reservoir

characteristics[ J ]. AAPG Bulletin, 1995, 79( 2 ): 186.

[ 9 ] Fritz R D, Wilson J L, Yurewicz D A. Paleokarst related hydrocarbon reservoirs[ M ]. New Orleans: SEPM Core Workshop, 1993.

[ 10 ] 陈强路, 王恕一, 钱一雄, 等. 塔里木盆地阿克库勒地区下奥陶统古岩溶及油气分布[ J ]. 沉积学报, 2002, 20( 4 ): 633.  
CHEN Qianglu, WANG Shuyi, QIAN Yixiong, et al. Paleokarst and distribution of oil and gas of lower ordovician in akekule area, Tarim Basin[ J ]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20( 4 ): 633.

[ 11 ] 陈新军, 蔡希源, 高志前, 等. 寒武、奥陶系海平面变化与烃源岩发育关系——以塔里木盆地为例[ J ]. 天然气工业, 2005, 10( 25 ): 18.  
CHEN Xinjun, CAI Xiyuan, GAO Zhiqian, et al. The relationship between sea level change and source rock development of cambrian ordovician in tarim basin[ J ]. Natural Gas Industry, 2005, 10( 25 ): 18.

[ 12 ] 陈新军, 谢其山, 邢作云, 等. 塔中地区石炭系层序地层分析与沉积相研究[ J ]. 新疆地质, 2004, 2( 22 ): 187.  
CHEN Xinjun, XIE Qishan, XING Zuoyun, et al. Sequence stratigraphy analysis and study on sedimentary facies of carboniferous in central tarim basin[ J ]. Xinjiang Geology, 2004, 2( 22 ): 187.

[ 13 ] 郭建华. 塔里木盆地轮南地区奥陶系潜山古岩溶及其所控制的储层非均质性[ J ]. 沉积学报, 1993, 11( 1 ): 56.  
GUO Jianhua. Burial hill paleokarst and its controlled reservoir heterogeneity in ordovician, Lunnan region of tarim basin[ J ]. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 11( 1 ): 56.

[ 14 ] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1997.  
JIA Chengzao. The structure characteristic and petroleum and gas of tarim basin China[ M ]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.

[ 15 ] 郭建华. 塔北、塔中地区下古生界深埋古岩溶[ J ]. 中国岩溶, 1996, 15( 3 ): 207.  
GUO Jianhua. On the paleokarst of lower palaeozoic group, tarbei and tarzhong regions of tarim[ J ]. Carsologica Sinica, 1996, 15( 3 ): 207.

[ 16 ] 顾家裕. 塔里木盆地轮南地区下奥陶统碳酸盐岩岩溶储层特征及形成模式[ J ]. 古地理学报, 1999, 1( 1 ): 54.  
GU Jiayu. Characteristics and evolutionary model of karst reservoirs of lower ordovician carbonate rocks in lunnan area of tarim basin [ J ]. Journal of Palaeogeography, 1999, 1( 1 ): 54.

[ 17 ] 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.  
MA Yongsheng, MEI Mingxiang, CHEN Xiaobing, et al. Carbonate reservoirs sedimentology[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.

( 编辑: 陶文文 )