

文章编号: 1009-3850(2010)03-0084-06

塔北与塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层成因对比研究

阮 壮¹, 于炳松², 李朝晖³, 谭广辉¹

(1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 3. 吉林油田 勘探开发研究院, 吉林 松原 138000)

摘要: 通过储层发育层段、储层类型、沉积演化、岩溶作用等方面的对比, 发现塔北与塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层在发育层位、沉积演化及岩溶期次上既有相似性, 也有差异性。在塔中地区的油气勘探中, 应注意下奥陶统古风化壳岩溶发育与塔北地区的差异性, 加强对上奥陶统礁滩储集体的勘探。

关键词: 塔里木盆地; 奥陶系; 碳酸盐岩储层; 岩溶作用

中图分类号: TE122.2⁺21

文献标识码: A

塔里木盆地海相碳酸盐岩有巨大的油气资源潜力^[1~3]。但在塔中地区, 虽然早在 1989 年和 1994 年分别先后发现了塔中 1 井下奥陶统白石岩潜山凝析气藏和塔中 16 井上奥陶统良里塔格组风化壳岩溶型油藏, 但塔中地区奥陶系岩溶储层特征和分布规律目前尚存诸多疑问, 制约了该区碳酸盐岩油气勘探的进一步突破。近年来, 塔中地区的勘探研究有了较大进展。本文通过对塔中、塔北地区奥陶系碳酸盐岩储层的对比, 分析两者在发育特征上的异同点, 期望为塔中地区下一步油气勘探提供参考。

1 储层基本特征

1.1 岩石学特征

塔里木盆地寒武系奥陶系碳酸盐岩储层主要为石灰岩和白云岩两大类, 其次是它们之间的过渡类型。灰岩主要分布在下奥陶统上部 and 上奥陶统下部, 储层岩石类型主要为亮晶粒屑灰岩、泥晶粒屑灰岩、生物灰岩及粒屑泥晶灰岩。白云岩在下奥陶统中相对发育, 主要为不同成岩环境中形成的交代白

云岩, 并大多经历了埋藏期较高温度的改造。

1.2 储层物性特征

在塔北, 灰岩的孔隙度分布范围为 0.1% ~ 2.9%, 平均仅为 0.67%, 渗透率的分布范围为 $0.002 \times 10^{-3} \sim 44.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $0.196 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ^[1]; 塔中地区上奥陶统 890 块小直径岩石样品常规物性分析资料统计表明: 上奥陶统灰岩孔隙度平均值为 1.15%, 主要集中在 0.1% ~ 1.5%, 约占全部样品的 76.3%; 渗透率平均值为 $3.31 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 主要集中在 $0.01 \sim 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 约占总样品的 43.13%。下奥陶统碳酸盐岩 550 块小直径岩样孔隙度分析资料统计表明: 孔隙度分布范围为 0.20% ~ 8.63%, 孔隙度小于 1% 的样品占 36%, 有 50% 的样品孔隙度小于 1.14%, 因此, 塔北、塔中地区的碳酸盐岩储层基质具有低孔低渗的特点。

1.3 储层类型

按储层的成因与岩性, 可将塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层划分为白云岩溶蚀孔洞型储层、白云岩溶缝洞型储层、灰岩岩溶缝洞型储层、礁滩相溶蚀

收稿日期: 2010-01-20 改回日期: 2010-08-05

作者简介: 阮壮 (1983—), 男, 博士研究生, 岩石学、矿物学、矿床学专业

资助项目: 受国家自然科学基金项目 (40472064 40672079) 和中国地质大学 (北京) 海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室开放基金项目 (2008-01)

孔洞型储层和裂隙型储层 5 种类型。塔北奥陶系碳酸盐岩储层分为洞穴型、风化裂隙型、构造裂隙型、台缘滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型、花斑状灰岩裂隙孔隙型和地表残积物裂隙孔隙(洞)型等 6 种类型。其储渗空间包括溶蚀孔隙、溶蚀孔洞、大型洞穴、风化裂隙和构造裂隙 5 种类型^[4]。可见,无论是塔北地区,还是塔中地区,后期改造形成的孔、隙、缝、洞是造成碳酸盐岩储层储油物性变好的直接原因^[5-9]。

1.4 储层发育层位

塔中地区储层主要有两个层段,分别为下奥陶统鹰山组 and 上奥陶统良里塔格组。鹰山组的岩性以灰质白云岩及白云岩为主,其上缺失了中奥陶统的一间房组和却尔却克组,直接覆盖上奥陶统的良里塔格组和桑塔木组地层。良里塔格组的岩性以生物屑泥晶灰岩、泥晶砂屑灰岩和生物礁灰岩为主。

塔北地区储层发育层段为中奥陶统一间房组,岩性以一套开阔台地相的生物屑泥晶灰岩、砂屑灰

岩为主。大部分地区一间房组之上的中上奥陶统地层全部缺失,直接与志留系地层不整合接触。

2 沉积特征

2.1 沉积演化

1. 塔中地区

塔中地区晚寒武世一早奥陶世早中期发育厚层状灰质白云岩,晚期发育泥晶灰岩。中奥陶世末,由于海平面迅速下降,致使中下奥陶统顶部遭受侵蚀^[7]。在地层结构中,由于上寒武统以上奥陶统内部地层岩性较均一,缺乏好的岩性界面,地震反射以平行、弱反射为主,甚至认空白反射为主。在经历了中奥陶世末海平面大规模下降之后,晚奥陶世海平面快速回升。在旋回的早期,发育良里塔格组局限台地相生物屑泥晶灰岩、泥晶砂屑灰岩和生物礁灰岩。向上灰岩层逐渐减小,而碎屑岩沉积增多,发育混积内陆棚环境下的巨厚层暗色泥岩沉积(图 1)。

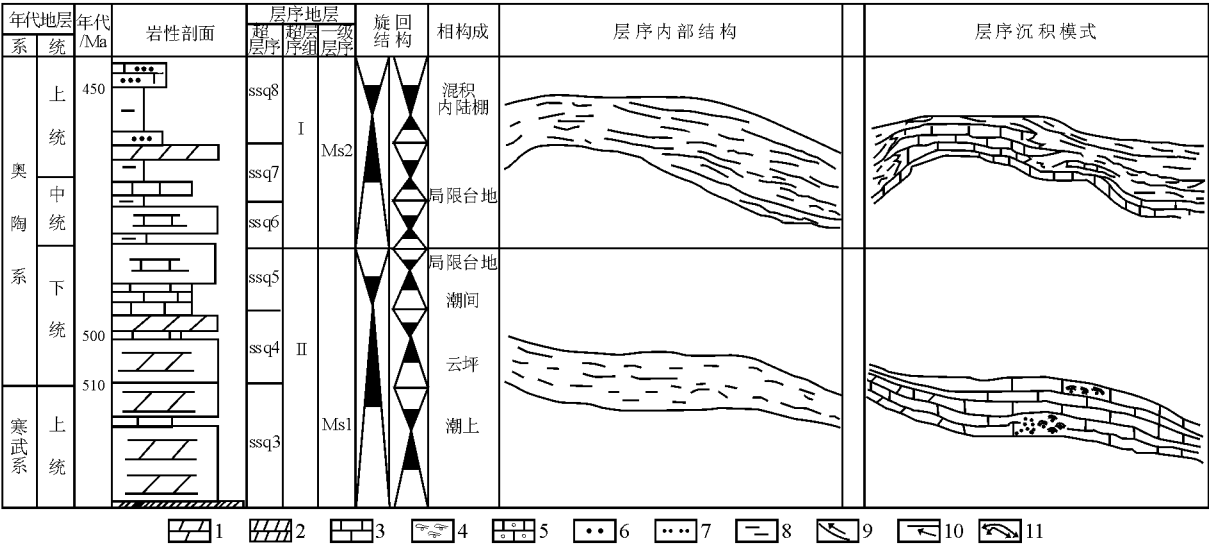


图 1 塔中地区寒武—奥陶系层序结构与沉积模式

1. 白云岩; 2 石膏岩; 3 灰岩; 4 礁灰岩; 5. 粒屑长岩; 6 砂岩; 7 粉砂岩; 8 泥岩; 9 上超; 10 削截; 11. 丘形体

Fig 1 Internal structures and sedimentary model for the Cambrian-Ordovician stratigraphic sequences in central Tarim Basin
1= dolomite 2= gypsum 3= limestone 4= reef limestone 5= grainstone 6= sandstone 7= siltstone 8= mudstone 9= onlap
10= truncation 11= mound

2 塔北地区

塔北地区下中奥陶统厚度由台地相区向斜坡—盆地相区迅速减薄,并在其顶部形成视削截型式的退积结构,代表着海平面的快速上升而引发的台地边缘向陆地方向迁移。上奥陶统地层东厚西薄,为一个巨大的楔状体,由东向西呈超覆结构,岩性以泥

岩为主变为泥灰岩与泥岩互层沉积,显示为混积内陆棚环境(图 2)。

由此可见,塔中、塔北地区在沉积演化特征上有着很大的相似性,沉积相的纵向展布上也有一致性。但是在塔中地区, T₇⁴ 不整合面使下奥陶统顶部的地层遭受剥蚀, T₇⁴ 界面下岩溶储层为下奥陶统鹰山组局限台地相白云岩、灰质白云岩。而在塔北地

区, T_4 不整合面造成的剥蚀程度相对较低, 中奥陶统沉积整体发育。因此, T_4 界面控制的岩溶储层是中奥陶统一间房组台缘高能相带的颗粒灰岩类。塔北和塔中地区晚奥陶世地层均发育, 但加里东晚期与海西期构造运动所产生的 T_7^0 不整合面使塔北地区大面积暴露遭受长时间剥蚀, 整个上奥陶统及中奥陶统顶部沉积被剥蚀, 部分地区甚至直接与 T_4 不整合面叠加, 直接剥蚀至下奥陶统, 在上奥陶统依然保留的地区则发育混积陆棚相, 没有形成良好储层的基本条件。在塔中地区, 上奥陶统发育相对完整, 良里塔格组为一套高能礁滩相带灰岩, 构成了一套质量较好的储集体。

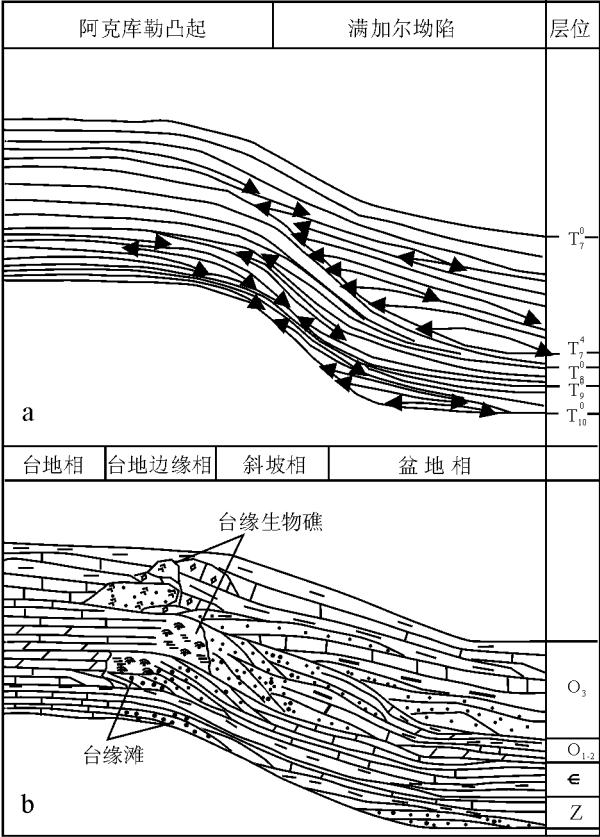


图 2 塔北地区寒武—奥陶系层序结构 (a) 与沉积模式 (b)
Fig 2 Internal structures (a) and sedimentary model (b) for the Cambrian—Ordovician stratigraphic sequences in northern Tarim Basin

2.2 碳酸盐岩台地沉积体系

虽然塔北、塔中地区沉积演化相似, 但控制储层发育的因素还包括了其它许多方面, 其中台地结构对于储层的影响很大。在中奥陶世时, 塔中、塔北两地的台地沉积形态有很大的差异。

经典层序地层学理论指出: 碳酸盐岩的坡折带通常是由台地边缘礁滩相发育形成的。当然, 构造

断裂系统也可以成为控制坡折带发育的主要因素。这两种不同因素所控制的台缘形态在中上奥陶统中塔北地区得到了典型的体现, 塔中地区主要受 T_4 断裂带的控制, 发育断崖型台地边缘结构 (图 3); 而塔北地区地形平坦, 台地边缘发育的礁滩成为了控制台缘形态的主要因素, 可将其称为陡坡型台地边缘结构 (图 4) [8]。

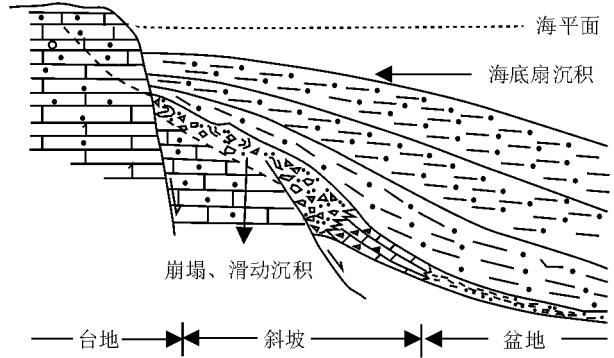


图 3 塔中地区断崖型台缘结构示意图
Fig 3 Schematic diagram of the cliff-type platform margin in central Tarim Basin

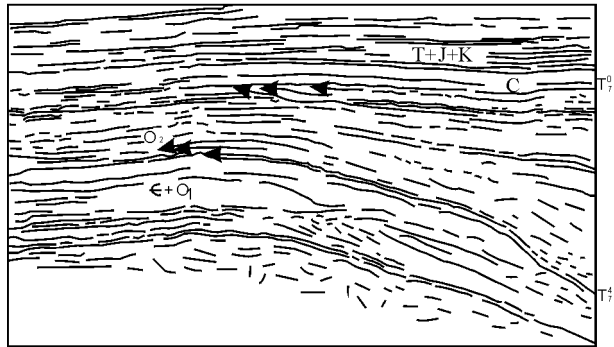


图 4 塔北地区陡坡型台缘
Fig 4 Schematic diagram of the scarp-type platform margin in northern Tarim Basin

塔中地区在中晚奥陶世的地层中发育大量断裂系统, 这有利于晚奥陶世该地区的同生期岩溶作用发育, 沿着断裂带在良里塔格组的台缘礁滩相中往往发育淡水淋滤作用, 淡水透镜体发育 [10]。但断层所造成的古地貌落差导致塔中地区的暴露面积小, 往往断层上盘才得以暴露。塔北地区的平坦古地貌导致了地层的整体抬升暴露。因此, 塔中地区接受风化壳岩溶改造的面积、时间远不如塔北, 且均一性也比塔北地区差。

3 岩溶作用

塔北与塔中地区的岩溶作用按发生的成岩环境, 可划分为同生岩溶、风化壳岩溶和埋藏岩溶等 3

种类型。这3种不同类型的岩溶在塔中、塔北地区奥陶系碳酸盐岩中发育良好,是储层形成的主控因素之一。

3.1 同生岩溶

同生岩溶作用发生于同生期大气成岩环境中。受次级沉积旋回和海平面变化的控制,尤其在海退沉积序列中,伴随海平面周期性相对下降,粒屑滩、骨架礁等浅水沉积体,时而出露海面或处于淡水透镜体内,在潮湿多雨的气候下,受到富含 CO_2 的大气淡水的淋滤,发生选择性和非选择性的淋滤、溶蚀作用,形成大小不一、形态各异的各种孔隙。同生期岩溶产生的孔隙通常难以保存,塔中与塔北地区同生岩溶作用所产生的孔隙往往都被后期充填^[9]。

3.2 埋藏岩溶

塔北地区奥陶系碳酸盐岩热水溶蚀作用明显。雅克拉地区的晶洞石英溶洞充填矿物中的异形白云石及高岭石充填物中六方板柱状的迪开石都证明了

塔北热水溶蚀作用的存在^[10]。塔中12井4654m处缝洞充填物的矿物学和地球化学分析表明,不同类型、期次和生长环带的矿物微量元素含量虽然有不同的变化,但总体上具有高含量Mg、Ba、Mn、Fe、Ti、N和Zr的特点。其相对高的Zr/N含量指示其形成时的流体介质有深部流体的加入。

3.3 风化壳岩溶

1. 岩溶发育条件

风化壳岩溶受不整合面的控制。对于风化壳岩溶,可主要通过与剥蚀面伴生的风化残积层、高角度溶沟和溶缝、大型溶洞、中小型溶蚀孔洞、钻井过程中的钻具放空以及泥浆的大量漏失、电测井曲线上表现出高自然伽玛和低电阻等标志加以识别。在不整合界面之下,裂缝与溶孔具有伴生的特点(图5)。在塔中与塔北地区的奥陶系中,风化壳岩溶是控制储层发育的最重要因素。储油空间最大的溶洞、溶孔通常都是风化壳岩溶的结果。

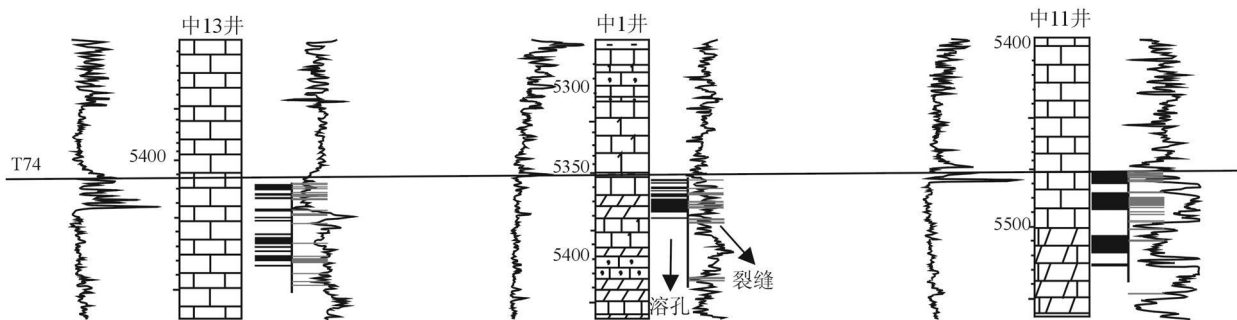


图5 T_7^4 不整合面下裂缝与溶孔发育特征

Fig 5 Characteristics of the fissures and solution openings beneath T_7^4 unconformity

2 岩溶期次

岩溶期次是评价风化壳岩溶的重要因素,一般而言,叠加了多期次岩溶作用的储层质量要好于发生单期次岩溶作用的储层^[11, 12]。

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩经历了中奥陶世末、奥陶纪末—志留纪初、志留纪末—泥盆纪初、晚泥盆世中期四个期次岩溶作用的改造,各期岩溶作用发生的强度在不同构造上存在差异,对储层的影响也不尽相同(表1)。

加里东中期岩溶主要表现为早中奥陶世与晚奥陶世之间、中晚奥陶世内部及晚奥陶世末发生的岩溶作用。该期岩溶可分为3幕:

加里东中期第一幕:为下奥陶统与中下奥陶统之间的古岩溶。沙西地区表现较弱,该区英买1井下奥陶统顶部颗粒灰岩中颗粒周围发育氧化铁环边,并有星散分布的褐铁矿化黄铁矿;下奥陶统顶部

为灰绿色至暗紫红色的杂色灰岩,与上覆中奥陶统底部的深灰色钙质泥岩在岩性和色调上明显突变,表明前者遭受过地表风化。此外据地震资料,阿克库勒凸起围斜及满加尔坳陷下奥陶统与中上奥陶统上超明显,表明其间有间断,塔中地区表现为下奥陶统与中上奥陶统之间的平行不整合接触。因此,该期运动影响范围较大,造成下奥陶统顶部较强的岩溶。

加里东中期第二幕:为中上奥陶统内部良里塔格组与桑塔木组之间的古岩溶。在阿克库勒凸起表现明显。塔中地区不发育。

加里东晚期第三幕:为奥陶系与志留系间的古岩溶,在塔北地区表现明显。地震资料表明,在碳酸盐岩台地沉积区,志留系上超明显,可见下伏地层被切削,表明志留系与奥陶系间多为假整合到微角度不整合接触。该幕在塔中地区表现强烈,造成中央

垒带和塔中东部地区缺失中上奥陶统, 导致下奥陶统较强的溶蚀作用。

海西早期岩溶以阿克库勒地区最为显著, 该区钻井普遍见下石炭统与下奥陶统呈假整合或角度不整合接触, 下奥陶统碳酸盐岩受到强烈的古岩溶作用(可能叠加了加里东中期等二幕)。此外, 雅克拉部分地区(如沙 5 井区)亦受该期岩溶作用。该期岩溶作用在塔中东部表现强烈, 导致塔中东部地区石炭系直接覆盖在下奥陶统碳酸盐岩之上。

海西晚期岩溶以雅克拉至沙西凸起中部及北部最显著, 表现为三叠系与下伏下奥陶统以及寒武系-震旦系碳酸盐岩呈不整合接触, 该区碳酸盐岩受到强烈的古岩溶作用(可能叠加前期古岩溶作用)。

印支-燕山期岩溶仅在局部地区有所表现, 如沙西凸起北部, 表现为侏罗系或白垩系与下奥陶统不整合接触, 使后者受到较强的古岩溶作用。该期岩溶在塔中隆起也不发育。

表 1 塔北、塔中地区奥陶系岩溶期次对比表

Table 1 Comparison of the karstification Phases of the Ordovician strata in northern and central Tarim Basin

岩溶期次		塔北		塔中	
		强度	表现	强度	表现
印支-燕山期	J ₃ K/O ₁	沙西北部局部发育	J ₃ K/O ₁ 的不整合接触	不发育	
海西晚期	T ₂ /O ₁	雅克拉-沙西强烈	T ₂ /O ₁ 、C、Z	不整合	不发育
海西早期	C ₁ /O ₁	阿克库勒强烈	C ₁ /O ₁ 不整合接触	塔中东部强烈	C ₁ /O ₁ 不整合
加里东晚期	S/O	整个塔北强烈	志留系覆盖在不同地层之上	塔中东部和中央垒带强烈	S/O ₁₋₂ , O ₃ 不整合
加里东中期	第二幕 (良里塔格组-桑塔木组)	阿克库勒明显	地震解释超覆关系	不发育	
	第一幕 O ₃ /O ₁₋₂	沙西较弱阿克库勒围斜弱	颗粒氧化边, 地震剖面上的上超	较强	O ₃ /O ₁₋₂ 平行不整合, 上超

3.4 岩溶结果

在塔中与塔北地区的奥陶系中, 同生岩溶及埋藏岩溶都属于相对次要岩溶作用, 同生岩溶几乎都得不到保存。塔中、塔北两地区最大的区别体现在遭受风化壳岩溶的面积与期次上。塔北地区奥陶系碳酸盐岩主要接受海西早期、海西晚期的岩溶改造, 其次是加里东中期; 塔中地区则是加里东中期第一幕、加里东晚期和海西早期三期岩溶作用最强烈。相对而言, 塔北地区奥陶系碳酸盐岩所经受的岩溶期次多、暴露时间长, 且由于台地结构特征暴露面积广。这也是塔北地区能形成塔河-轮南这样亿吨级大油田的原因。当然, 塔中地区比塔北多了良里塔格组储层, 其勘探潜力还有待进一步论证。

4 主要认识与结论

(1)塔中与塔北地区的碳酸盐岩储层的发育层段不同, 塔中地区储层主要为下奥陶统鹰山组局限台地相白云岩以及上奥陶统良里塔格组高能礁滩相生物屑泥晶灰岩、泥晶砂屑灰岩和生物礁灰岩。塔北地区储层主要为中奥陶统一间房组开阔台地相生物屑泥晶灰岩、砂屑灰岩。

(2)塔中与塔北地区奥陶系的沉积演化特征的相似性造成它们在沉积相的纵向展布上也有很大的相似性。

(3)在塔中地区, 断裂带控制的台缘形态导致该地区遭受风化壳岩溶面积较小; 塔北地区奥陶世的平坦古地貌造成塔北接受风化壳岩溶改造的面积大。

(4)塔北地区奥陶系碳酸盐岩岩溶期次以海西早期、海西晚期最为强烈, 其次是加里东中期。塔中地区则以加里东中期第一幕、加里东晚期和海西早期三期岩溶作用最强烈。塔北地区奥陶系碳酸盐岩所经受的岩溶期次多、暴露时间长, 而塔中地区奥陶系碳酸盐岩的岩溶期次少, 暴露时间相对较短。

(5)根据塔北与塔中地区奥陶系储层的对比研究, 可以预测塔中地区也有着优质碳酸盐岩储层发育的条件。但鉴于两者在构造演化和储层发育上的差异性, 在塔中地区奥陶系储层研究中, 应注意下奥陶统古风化壳岩溶发育与塔北地区的区别, 重视在不整合面下伏地层中寻找与断裂作用密切关联的岩溶。同时, 应加强对上奥陶统礁滩相储集体的勘探。

参考文献:

[1] 康玉柱.再论塔里木盆地古生代油气勘探潜力—纪念沙参 2 井油气勘探重大突破 20 周年 [J].石油与天然气地质, 2004, 25(5): 479— 483.

[2] 贾承照.塔里木盆地构造特征与油气聚集规律 [J].新疆石油地质, 1999 20(3): 177—183

[3] 贾承造,魏国齐,姚慧君,等.盆地构造演化与区域构造地质 [M].北京:石油工业出版社, 1995 42— 70

[4] 闫相兵,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

[5] 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

[6] 章涛,闫相兵,王恕一,等.塔河油田奥陶系一间房组礁滩相溶蚀孔隙型储层特征与成因 [J].石油与天然气地质, 2004, 25(4): 462—466

[7] 高志前,樊太亮,李岩,等.塔里木盆地寒武—奥陶纪海平面升降变化规律研究 [J].吉林大学学报, 2006, 36(4): 549— 556

[8] 陈景山,王振宇.塔中地区中上奥陶统台地镶边体系分析 [J].古地理学报, 1999 1(2): 8— 16

[9] 刘忠宝,于炳松,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

[10] 郭建华.塔北、塔中地区下古生界深埋藏古岩溶 [J].中国岩溶, 1996 15(3): 207— 216

[11] 徐国强,刘树根,李国蓉,等.塔中塔北古隆起形成演化及油气地质条件对比 [J].石油与天然气地质, 2005 26(1): 114— 119.

[12] 乐昌硕,于炳松,田成,等.新疆塔里木盆地北部层序地层及其沉积学研究 [M].北京:地质出版社, 1996

Comparative study of the genesis of the Ordovician carbonate reservoir rocks in northern and central Tarim Basin, Xinjiang

RUAN Zhuang, YU Bing-song, LI Zhao-hui, TAN Guang-hui
(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Exploration, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Research Institute of Oil Field Exploration and Development, Songyuan 138000, Jilin, China)

Abstract: The comparative study of reservoir horizons, reservoir types, sedimentary evolution and karstification Phases indicates that there are both similarities and differences in reservoir horizons, sedimentary evolution and karstification Phases of the Ordovician carbonate reservoir rocks in northern and central Tarim Basin, Xinjiang. In the petroleum exploration in central Tarim Basin, particular attention should be drawn to the Upper Ordovician reef reservoirs due to their differences in the development of paleo-weathering crust karsts in the Lower Ordovician strata in northern Tarim Basin.

Key words: Tarim Basin; Ordovician carbonate rock reservoir; karstification