

文章编号:0253-9985(2011)04-0531-11

塔里木盆地下古生界碳酸盐岩层序 界面类型划分及其意义

潘文庆^{1,2}, 王招明², 孙崇浩², 李保华², 任康绪², 韩杰², 姜华³, 袁圣强³(1. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 中国石油 塔里木油田公司, 新疆 库尔勒 841000;
3. 中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:塔里木盆地海相碳酸盐岩储层是增储上产的重要领域。然而按照经典模式划分的碳酸盐岩层序, 在生产中与目标优选及开发方式结合并不紧密, 进而影响了实际生产。因此, 根据不同的层序界面成因(即构造、暴露剥蚀、成岩强度等), 结合塔里木盆地碳酸盐岩野外露头、地震剖面、测井曲线和岩心资料等综合因素, 把海相碳酸盐岩层序界面划分为5种类型: 即Ⅰ型(晚期强烈隆起喀斯特型)、Ⅱ型(早期强制海退剥蚀微喀斯特型)、Ⅲ型(早期溶蚀-弱剥蚀台地边缘型)、Ⅳ型(准同生间歇暴露浅水礁滩型)和Ⅴ型(同生无暴露碳酸盐岩台地型)。虽然不同界面类型的成因和储层特征迥异, 但是依据地震、测井、钻井、岩心等现场资料很容易划分。这套层序划分可操作性强, 在有利区带选择、油气高效富集区优选、开发井井型选择等方面均有很现实的生产指导意义。

关键词:层序界面; 寒武系; 奥陶系; 下古生界; 碳酸盐岩; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Classifications of sequence boundaries in the Lower Paleozoic carbonates in Tarim Basin and their significances

Pan Wenqing^{1,2}, Wang Zhaoming², Sun Chonghao², Li Baohua², Ren Kangxu²,
Han Jie², Jiang Hua³ and Yuan Shengqiang³

(1. School of Geoscience and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China;

2. PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China;

3. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

Abstract: Marine carbonate reservoirs in Tarim Basin are regarded as an important domain for reserve growth and production addition. However, the previous sequence stratigraphic division of the Lower Paleozoic carbonates is not suitable for target selection and development strategy optimization, influencing production. According to the genesis (such as tectonic, exposure and erosion, diagenetic intensity) of the sequence boundaries, and combining with data such as outcrop observations, seismic profiles, logging curves and core analysis of the marine carbonates in Tarim Basin, we recognized five types of marine carbonate sequence boundaries, including Type I (karst-type boundary from late strong uplifting), Type II (micro-karst type boundary from early forced regression and erosion), Type III (platform-margin type boundary from early dissolution and weak erosion), Type IV (shallow reef-bank type boundary from penecontemporaneous intermittent exposure), and Type V (contemporary underwater carbonate platform type boundary). Although the genesis and reservoir characteristics of these sequence boundaries are quite different, they can be easily distinguished according seismic, logging,

收稿日期: 2011-05-10。

第一作者简介: 潘文庆(1967—), 男, 高级工程师, 石油地质。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2011CB201106)。

drilling and core data. This division scheme is practical and can be used to guide selection of favorable plays, identification of sweet spots and selection of development well types.

Key words: sequence boundary, Cambrian, Ordovician, Lower Paleozoic, carbonate rock, Tarim Basin

塔里木盆地层序地层研究始于20世纪80年代初^[1],但下古生界碳酸盐岩层序研究直到“八五”期间才起步^[2-3]。前人对塔里木盆地碳酸盐岩的认识^[2-8]为层序地层深入研究和应用奠定了坚实的基础。2007年,塔里木油田公司层序地层学大会将盆地奥陶系统一划分成8个三级层序^[9],将寒武系划分成6个三级层序^[10]。

过去的层序地层研究主要遵循经典模式^[11-13]界面进行讨论,但是碳酸盐岩经典层序模式常常面临与勘探目标结合不紧密的局面。实际上,塔里木盆地下古生界碳酸盐岩由于时代久、埋藏深、后期改造严重,储层是多种因素叠加改造的结果,遵循“马太效应”。因此从生产应用角度来说,碳酸盐岩层序界面的划分应充分考虑储层改造的主控因素,这样在生产上更有实用性。本文借鉴层序地层学创始团队(即美国Exxon公司Vail层序地层学研究小组)的经验,秉承层序研究最终为油气勘探开发服务的宗旨,以塔里木盆地海相碳酸盐岩20多年的勘探实践为依据,深入探讨下古生界碳酸盐岩层序界面的划分、成因和储层特征。

1 区域地质背景

塔里木盆地下古生界碳酸盐岩主要分布在寒武系和奥陶系。这一时期主要经历克拉通边缘拗拉槽演化过程,区域构造背景为拉张性质,早奥陶世之前为被动大陆边缘,到中、晚奥陶世过渡为活动大陆边缘^[14]。东部库满拗拉槽构成深水槽盆区,拗拉槽外围则成为碳酸盐台地,台地与槽盆之间为一向东开口呈马蹄形的陡窄台缘带。槽盆-台缘过渡带-台地组合为塔里木盆地寒武纪-奥陶纪时期总体沉积格局,主要在台地和台缘沉积了一套巨厚的碳酸盐岩(厚2~4 km)。塔里木盆地下古生界碳酸盐岩含有盆地内潜力最大的烃源岩系,碳酸盐岩自身储盖组合良好,可供勘探面积约 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$,预测资源量高($44 \times 10^8 \sim 117 \times 10^8 \text{ t}$),是寻找与盆地规模相匹配油气田的主要目的层^[12]。

塔里木盆地碳酸盐岩主要形成于台地和斜坡两种环境(图1)。其中碳酸盐岩台地主要分布于塔里木盆地中西部台盆区,可以划分为蒸发台地、局限台地、开阔台地和台地边缘4种亚类^[16],顾家裕等根据地理位置、坡度、封闭性和镶边性把碳酸盐岩台地细分为10种类型^[17]。斜坡环境主要分布于盆地东部环满加尔地区,可以划分为沉积型缓斜坡和跌积型陡斜坡两类^[16]。

2 塔里木盆地碳酸盐岩层序界面类型

2.1 层序界面划分依据

从油田的勘探开发工作性质来看,古老碳酸盐岩层序界面的划分既应体现理论性,又要具有实用性,这样才真正做到理论与实践有机结合。

经典碳酸盐岩层序界面划分主要考虑海平面变化对沉积的控制作用,描述的主要目标是在某个时期海平面位置条件下,沉积物的岩性特征和沉积叠加样式,这种模式强调的是沉积相对储层和有利勘探目标的控制作用,比较适用于西方中新生界碳酸盐岩为主要目的层的研究。但是,中国古老碳酸盐岩多经历过数亿年的成岩作用,基质孔隙度非常低,层序界面的划分应重点考虑储层的主要改造因素^[18],即岩溶作用。目前塔里木盆地已经探明的 $15 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量的碳酸盐岩石油地质储量全部与岩溶储层有关,而岩溶作用主要受控于沉积阶段(或早期)海平面降低形成的暴露、构造抬升引起的剥蚀以及成岩阶段等。

从生产角度考虑,层序界面划分应充分考虑油田的技术手段和实用性。即一方面要能够很容易地使用地震、钻井、测井和野外剖面等基础资料,找出特征的识别标志,把层序界面进行准确划分;另一方面要能使层序界面类型和勘探开发目标紧密结合。笔者基于塔里木盆地的生产实践和认识,结合现代层序地层学理论^[11-12]、串珠状反射缝洞型储层的量化技术和现代油气岩溶



图 1 塔里木盆地奥陶系鹰山组沉积时期岩相古地理

Fig. 1 Lithofacies paleogeography of the Ordovician Yingshan Age in Tarim Basin

学认识^[18-25],把塔里木盆地碳酸盐岩层序界面划分成 5 个目标类型:即 I 型(晚期强烈隆起喀斯特型)、II 型(早期强制海退剥蚀微喀斯特型)、III 型(早期溶蚀-弱剥蚀台地边缘型)、IV 型(准同生间歇暴露浅水礁滩型)和 V 型(同生无暴露碳酸盐岩台地型)(图 2)。不同类型界面具有不同的成因,其储层特征也大为不同。

2.2 层序界面类型及成因

2.2.1 晚期强烈隆起喀斯特型

碳酸盐岩沉积成岩后由于构造隆升,岩层长期出露地表遭受大气淡水淋滤,形成岩溶喀斯特地貌。当相对海平面再次上升接受沉积,则碳酸盐岩地层与上覆地层之间就形成喀斯特型层序界面。轮南奥陶系顶面是此类层序界面的典型代表,轮南奥陶系沉积后经历了多期抬升剥蚀,形成了与多套上覆地层呈不整合接触的古潜山。潜山相对高点的轮南 1 井与位于斜坡的轮古 34 井相比,缺失石炭系至奥陶系一间房组厚度达 2 083 m,表明轮古潜山相对隆升高度至少在 2 000 m 以上。长期风化剥蚀和岩溶作用使轮古潜山形成了地表以溶丘、溶峰、溶沟、岩溶洼地及其组合为特

征,地下以大型岩溶洞穴及地下河系统为特征的喀斯特地貌(图 3)。

2.2.2 早期强制海退剥蚀微喀斯特型

该界面主要是受强制性海退导致高能滩暴露溶蚀而成,最典型实例是塔中北斜坡鹰山组顶部不整合面。鹰山组沉积末期大规模构造挤压使塔中地区隆起,早期的强制海退使塔中地区遭受剥蚀,发育区域性大型不整合,缺失鹰山组顶部、一间房组和吐木休克组,暴露时间逾 10 Ma,剥蚀厚度达 400 ~ 600 m^[19-21]。其层序界面控制的古地貌为一个局部地形起伏较大的大型斜坡(图 4),平行塔中 I 号坡折带方向从内带向外带逐渐降低,依次发育岩溶高地、岩溶斜坡及岩溶洼地;有效储集体呈准层状分布在垂直渗流带和水平潜流带内,储层集中分布在下奥陶统顶面以下 270 m 地层厚度范围内,这与目前钻井油气产出情况符合程度非常好。

2.2.3 早期溶蚀-弱剥蚀台地边缘型

柯坪-巴楚露头区野外下奥陶统蓬莱坝组为早期溶蚀-弱剥蚀台地边缘型沉积;自北西向南

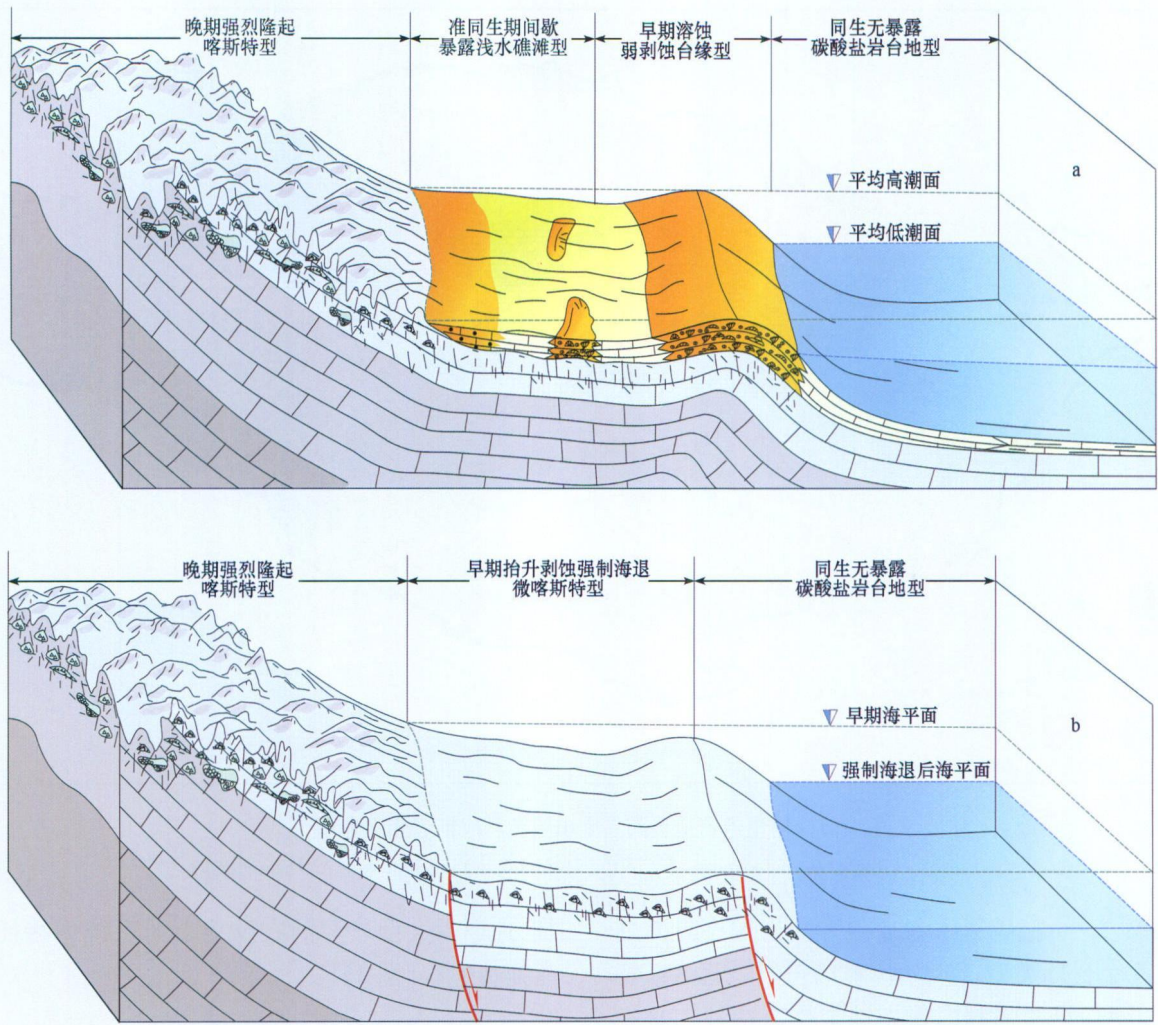


图 2 塔里木盆地碳酸盐岩层序界面类型

Fig. 2 Types of carbonate sequence boundaries in Tarim Basin

a. 正常海平面变化的碳酸盐岩地貌及界面划分;b. 强制海退背景的碳酸盐岩地貌及界面划分

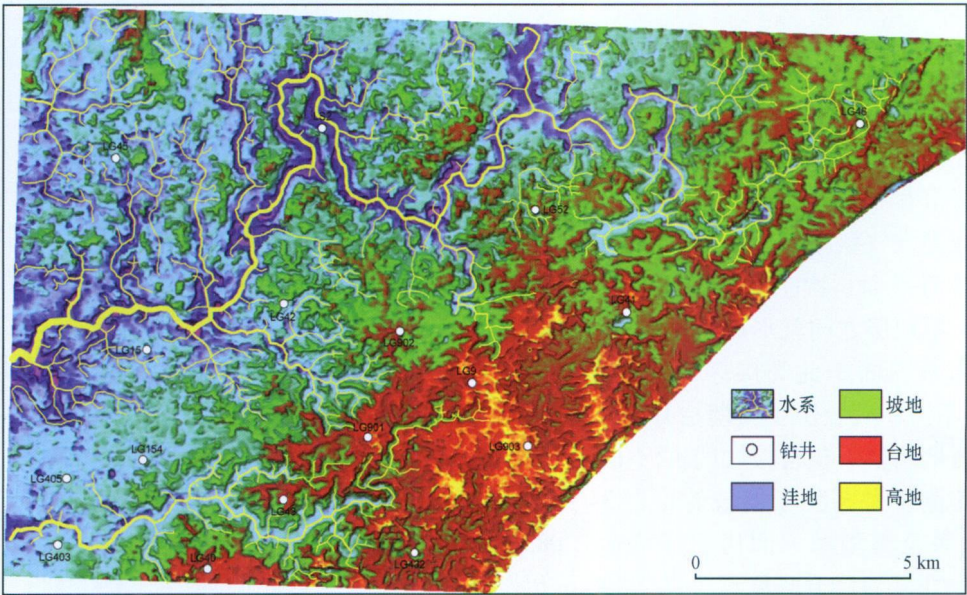


图 3 轮古西潜山古地貌及水系恢复图

Fig. 3 Restoration map of palaeogeomorphology and ancestral rivers on Lunguxi buried hill

东方向沿牙尔巴哈-鹰山北坡-蓬莱坝-水泥厂-羊吉坎-永安坝剖面,蓬莱坝组发育了台地边缘斜坡相-台地边缘高能相带-台内较低能相带沉积。其中,牙尔巴哈剖面发现典型斜坡相角砾岩和典型滑塌构造沉积,蓬莱坝剖面存在典型台地边缘高能相带,向内到水泥厂、羊吉坎和永安坝剖面一带,能量逐渐降低,过渡为台内滩相和泻湖相沉积(图5)。

2.2.4 准同生间歇暴露浅水礁滩型

准同生间歇暴露浅水礁滩型界面,是构造弱抬升形成间断暴露及海平面间歇性下降形成无沉积,容易在地处相对高部位的浅水礁滩形成准同

生间歇暴露型界面。典型例子是塔中I号坡折带良里塔格组礁滩体储层和哈拉哈塘地区奥陶系礁滩体储层。塔中地区良里塔格组所形成3期叠加发育的礁体生长与台地演化的构造阶段性密切相关,同时控制了礁滩复合体微相类型上的多样性和分异性,3期暴露面形成了3套优质储层发育段。礁滩复合体地貌隆起和高频海平面变化所导致的暴露,以及准同生期大气淡水淋滤、溶蚀作用是控制台缘礁滩体优质储层发育的动力学基础(图6),沉积后层序界面的暴露淋滤形成了上部优质孔洞型储层,岩溶作用层位主要发育于良二段和良一段上部,岩溶强烈,是优质储层和高产油组的发育层位^[22-25]。

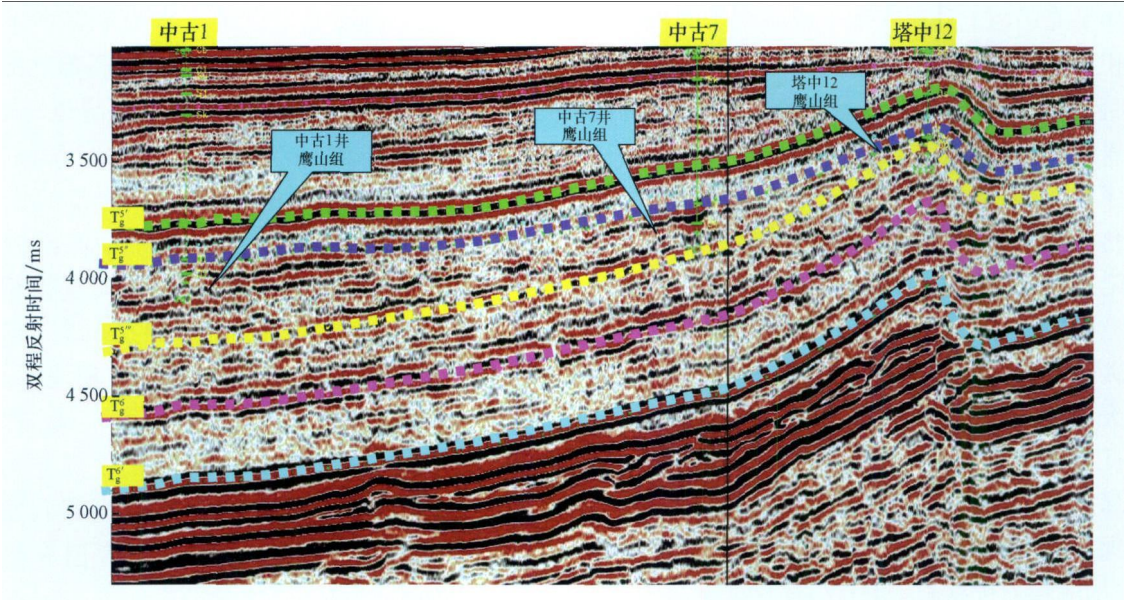


图4 塔中隆起北斜坡鹰山组地震地层标定剖面

Fig. 4 Calibrated seismic section of the Yingshan Formation in the north slope of Tazhong uplift

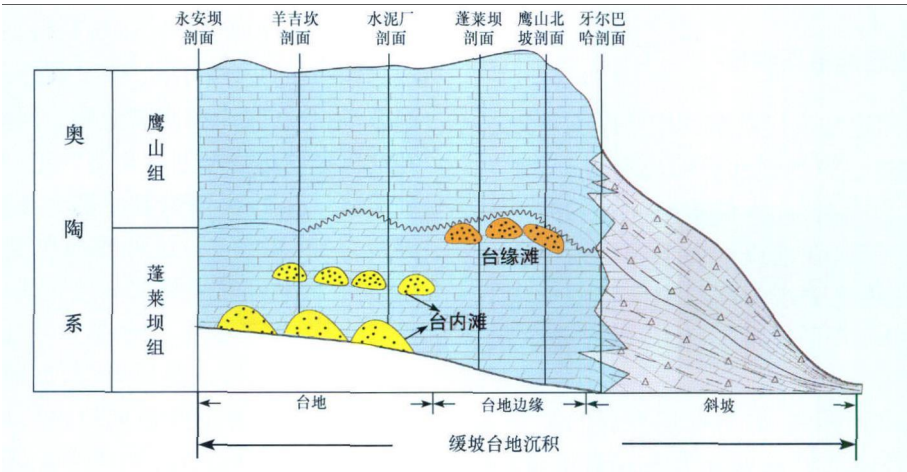


图5 柯坪-巴楚地区奥陶系沉积相模式

Fig. 5 Sedimentary facies model of the Ordovician in Kalpin-Bachu area

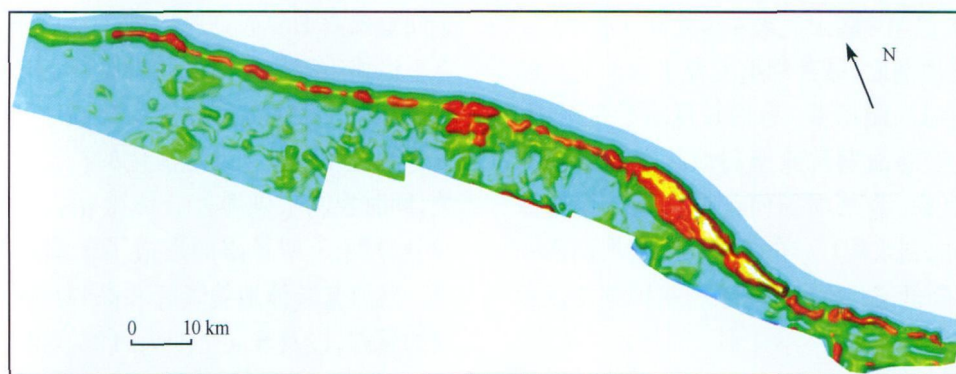


图6 塔中I号坡折带礁滩体古地貌

Fig. 6 Palaeogeomorphology of reef-banks in Tazhong-I slope-break belt

2.2.5 同生无暴露碳酸盐岩台地型

如果海平面上升速率等于或略大于沉积物向上堆积速率,碳酸盐岩台地接受沉积时基本未暴露,而且埋藏成岩后亦未遭受构造抬升剥蚀,则碳酸盐岩地层与上覆地层之间形成一种同生无暴露型层序界面,相当于经典层序地层格架中的与暴露不整合面“可以对比的整合面”^[11]。

哈得地区奥陶系良里塔格组顶面应当属于此种类型的层序界面。该区在良里塔格组沉积早期发育碳酸盐岩台缘沉积,此后海平面快速上升,水深加大,逐渐过渡为斜坡-盆地相半深水-深水沉积。良里塔格组灰岩沉积后,既未发生长时间同沉积暴露,也未遭受后期剥蚀改造,因此其地貌上基本保留沉积时的状态,以起伏较低的水下平台、缓坡、浅滩等为特点。

3 层序界面储层特征

3.1 晚期强烈隆起喀斯特型

这类界面储层与现代潮湿气候下喀斯特地区的碳酸盐岩储集空间类型和分布特征类似,典型储集空间为大型缝洞,此类储集空间在钻井上经常发生放空或井漏,在地震剖面上表现为串珠状强反射,测井曲线上表现为深浅侧向电阻率较低且出现正幅度差,井径异常扩径,声波时差跳跃,密度异常降低等。

受排泄基准面控制,岩溶储层在纵向上具有分带性,自地表向下可以划分为表层岩溶带、垂向渗滤带、径流溶蚀带和潜流溶蚀带。表层岩溶带除大气淡水溶蚀等化学风化作用,还存在物理

风化和生物风化作用,因而储集空间发育程度往往较高,但大多为小型裂缝孔洞,大型裂缝及洞穴少见。垂向渗滤带以地表水沿裂缝向下入渗作用为主,主要储集空间为垂直或高角度的溶缝或溶洞。径流溶蚀带位于潜水面附近,入渗的地表水汇集于此,形成水平方向的径流,往往发育横向连通性较好的近于水平分布的大型裂缝、洞穴系统。潜流溶蚀带位于径流溶蚀带以下,地下水流速相对较慢,溶蚀空间规模相对较小(图7a)。在平面上,岩溶储层具有分区性,按古水文位置可以划分为补给区、径流区、汇流区等,按古地貌位置可分为岩溶台地、岩溶斜坡、岩溶盆地等。总体上看,补给区孤立岩溶洞穴发育,个体相对较小,径流区大型洞穴发育且连通性较好,汇流区岩溶洞穴发育但充填程度高(图7b)。

3.2 早期强制海退剥蚀微喀斯特型

早期强制海退剥蚀微喀斯特型层序界面所形成的储集空间是溶蚀孔洞和裂缝,可组成大型缝洞系统,分布在岩溶次高地和岩溶斜坡,根据组合特征可把储集类型划分为洞穴型、孔洞型、裂缝型和裂缝-孔洞型4种,其中最主要类型为缝洞-孔洞复合型(图8a)。这种界面在成像测井上呈暗色条带、暗色块状夹局部亮色团块,不规则暗色斑点状、暗色线条分布。地震上可以划分为串珠状反射、片状反射、杂乱反射、弱反射4种类型。根据地震属性的种类及截取值,可以确定不同反射类型的平面分布规律,如塔中地区鹰山组大型不整合风化岩溶主要发生在鹰山组上部(图8b)。塔中鹰山组沉积后受加里东运动影响整体隆升,

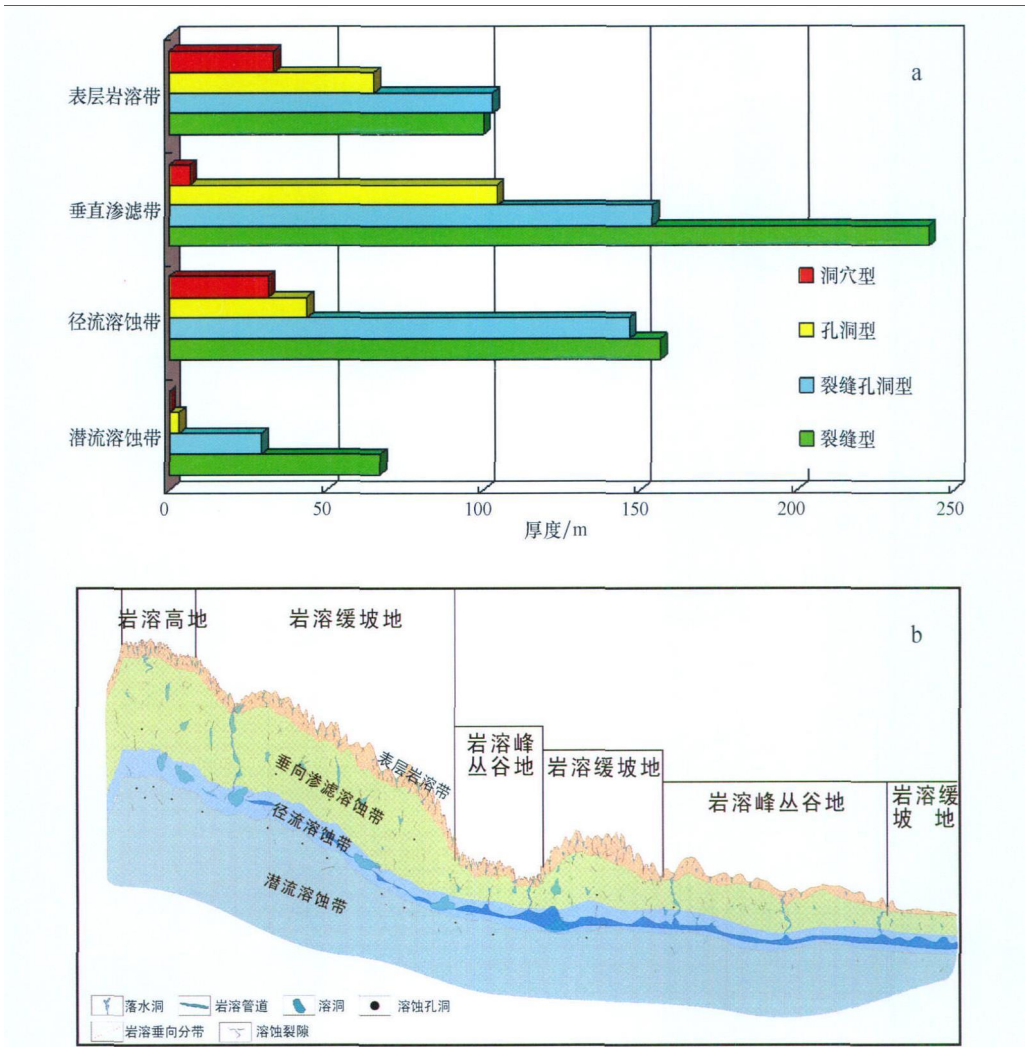


图 7 晚期强烈隆起的典型喀斯特型层序界面储层特征
Fig. 7 Reservoir features of karst-type sequence boundary experienced late strong uplifting
a. 轮古西不同岩溶带储层厚度直方图; b. 轮古潜山溶储层发育模式

鹰山组顶部附近遭受大面积暴露淋滤, 缺失吐木休克组及一间房组, 沿不整合面形成准层状分布的大规模缝洞型储集体, 由于岩溶作用时间长, 缝洞系统非常发育, 形成了纵向厚度大, 横向连续性好的优质储层。

3.3 早期溶蚀-弱剥蚀台地边缘型

早期溶蚀-弱剥蚀台地边缘型层序界面下的储层主要沿台地边缘呈带状展布, 储集空间类型以孔洞型为主, 不发育大型洞穴。储层在地震上表现为丘状杂乱反射, 在成像测井 (EMI 或 FMI) 上表现为“豹斑”状不规则黑色星点, 测井伽马值低-中等, 深浅双侧向差异不明显, 孔洞较发育段扩径明显。由于位于台缘高能相带, 颗粒碳酸盐岩极易遭受早期溶蚀形成粒间孔隙, 若在埋藏期外部产生富镁流体, 则由于可作为流体通道的孔

隙发育, 使早期的沉积构造和孔隙极易被白云岩化作用破坏, 但同时又可以形成新的储集空间——白云石晶间孔。此外, 后期的抬升弱剥蚀期也可以使一部分晶间孔扩溶, 改善储集性能。

3.4 准同生间歇暴露浅水礁滩型

该型层序界面所形成的原生孔隙、洞穴发育, 孔隙类型多样, 孔洞间连通性好, 孔隙度、渗透率高, 经后期成岩和构造作用的改造产生大量次生孔隙和裂缝, 储集空间类型主要以孔洞型为主, 储层发育位置以台地边缘高位最为有利。该类型储层成像测井上表现为不规则暗色斑点状分布, 地震上主要表现为串珠状反射。由于海平面的高频变化和生物的追长性, 礁滩复合体发育过程中频繁暴露发生溶蚀 (图 9), 后期经历表生大气淡水淋滤溶蚀, 发生较大规模的岩溶, 形成了叠置连

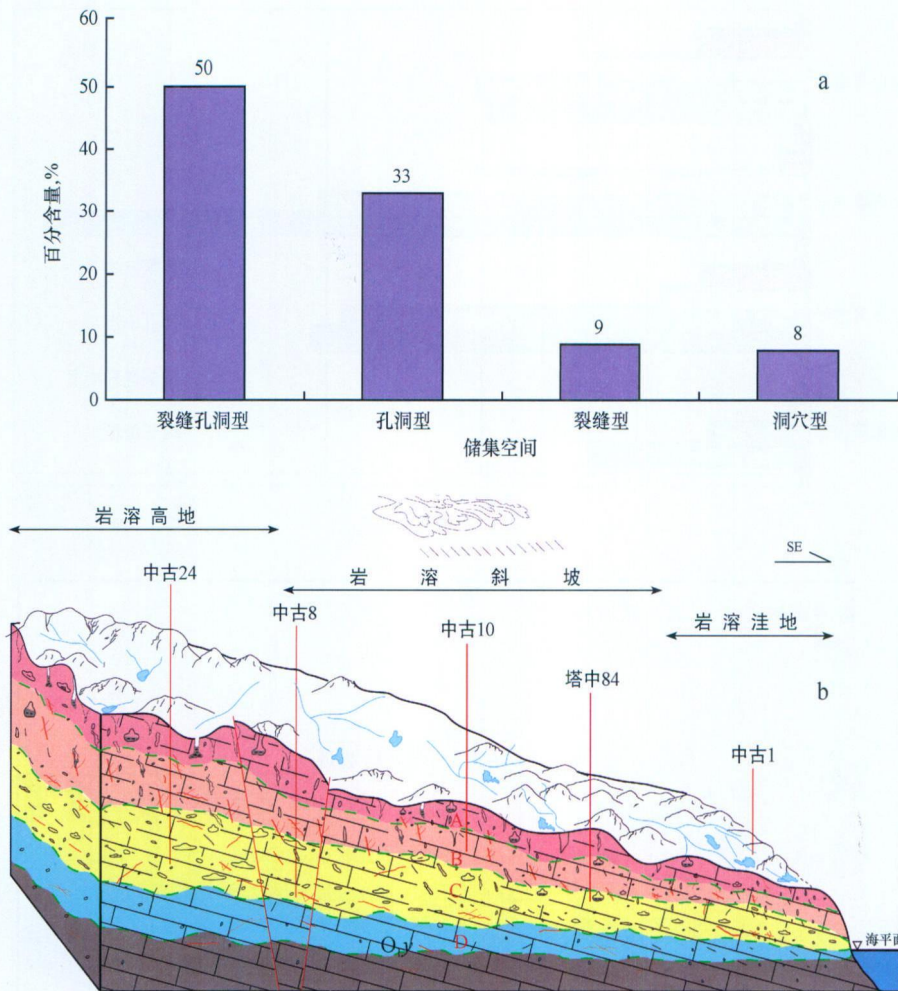


图8 早期强制海退剥蚀微喀斯特型层序界面储层特征

Fig. 8 Reservoir features of micro-karst-type sequence boundary experienced early forced regression and erosion

a. 塔中地区鹰山组储集空间类型分布直方图; b. 塔中地区下奥陶统鹰山组层间岩溶模式

A. 表层岩溶带; B. 垂向渗滤溶蚀岩溶带; C. 径流溶蚀带; D. 潜流溶蚀带

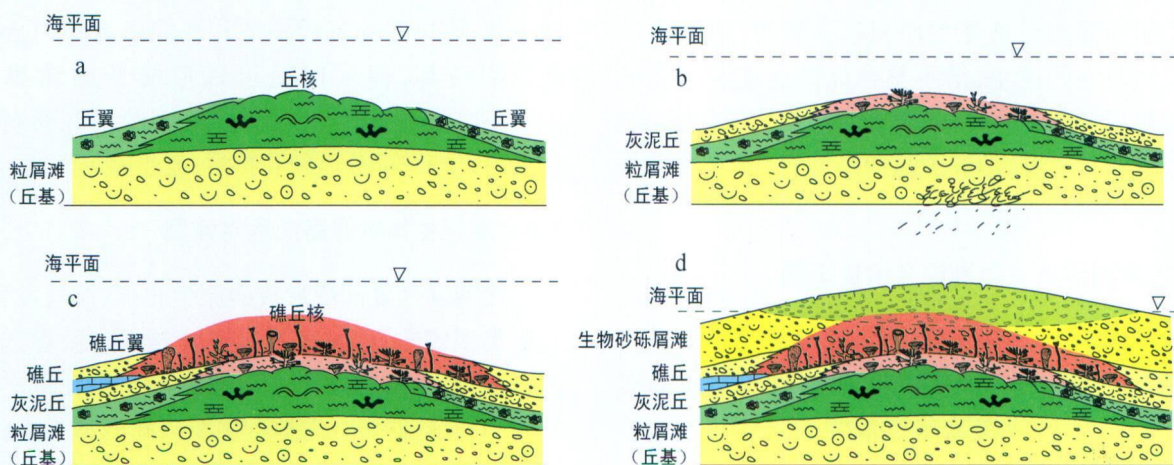


图9 准同生间歇暴露浅水礁滩型层序界面储层发育模式

Fig. 9 Reservoir development models of shallow reef-bank-type sequence boundary experienced

penecontemporaneous intermittent exposure

a. 海平面上升,在粒屑滩的基础上发育隐藻凝块石灰泥丘;b. 海平面相对下降水体变浅,能量增强,在灰泥丘的顶部发育珊瑚、层孔虫骨架礁;c. 海平面继续下降,波浪作用极强,造礁生物被风浪打碎,生物停止生长,形成生物砂砾屑滩;d. 海平面下降到最低点,生物砂砾屑滩暴露,接受大气水溶蚀改造,在大气成岩透镜体中发育孔洞层

4 层序界面类型实际应用

前文对碳酸盐岩层序界面提出了新的划分方案,在此以塔里木盆地塔北残余古隆起的碳酸盐岩为例,讨论不同类型界面的有利区带、富集特征、开发方式和油气分布规律。

塔北残余古隆起最有利勘探开发区是北部地区Ⅰ型层序界面,以轮古-塔河潜山区为典型代表,勘探有利区是岩溶斜坡带,油气在剖面上受风化壳储层控制呈准层状不连续连片分布的特征,平面上在岩溶带或者潜山背斜局部富集,储量丰度最大,基质孔隙度比较低,以发育洞穴型储层为典型特征。主要开发单元是潜流带缝洞体(即潜山溶洞体)和表层岩溶带裂缝孔洞复合体,在开发井的设计上主要考虑钻直井打溶洞体。

塔北残余古隆起比较有利的勘探开发区是中部地区Ⅱ型层序界面,以哈6井区为代表,受层状孔洞段的控制,油气呈层状连续连片分布,以断裂体系和局部构造呈现出局部富集的特征,油气储量丰度中等,基质孔隙度比较高。主要勘探有利区是一间房组顶面40~50 m范围内的层状孔洞发育段,主要开发单元为受断裂改造的层状孔洞和缝洞体,高效开发单元是沿着断裂带发育的缝洞体和层间岩溶带内厚层状孔洞段,开发井设计上主要考虑使用水平井钻探孔洞层。

塔北残余古隆起南部地区发育有勘探开发价值的Ⅴ型层序界面,以哈得地区为典型代表,油气在剖面上呈无层状断裂网格状分布,平面线状分布,储量丰度最低,基质孔隙度非常低。勘探有利区是以断裂为中心的缝洞体系,局部可以形成断裂控制的线状储层富集带,设计上以水平井钻探断裂体系为中心的缝洞体系。

5 结论

以海平面变化与构造活动为基础,以剥蚀暴露程度、成岩作用差异和勘探开发实践为依据的层序界面类型,方便油田生产应用,是经典等时格架界面的深化,操作性和指导性都很强。

Ⅰ型层序界面因长期暴露,具有典型喀斯特地貌特征,储集空间为大缝大洞型,易于识别,是寻找高产井的最佳位置。Ⅱ型层序界面以高能滩暴露溶

蚀形成缝洞-孔洞复合型储集空间为特征,通常规模都比较大,容易形成大型连片的特大型油气藏。Ⅲ型层序界面发育微型喀斯特地貌,地形平缓,储集空间以孔洞型为主。Ⅳ型层序界面原生孔隙、洞穴基础好,后期改造又产生大量次生孔隙和裂缝,总体储集空间表现为孔洞型,储层好,也是寻找高效井组的有利区域;Ⅴ型层序界面原生储集空间不发育,但常沿断裂带发育溶洞,地震上表现为串珠状。

参考文献

- [1] 杨世倬,温常庆,陈志祥. 塔里木盆地西南缘下第三系石炭系碳酸盐研究[C]//地矿部西北石油地质局,塔里木盆地石油地质论文集,北京:地质出版社,1990:21-32.
Yang Shizhuo, Wen Changqing, Chen Zhixiang. Study on Carbonates of Lower Tertiary and Carboniferous in the Southwestern Margin of the Tarim Basin[C]//Western Petroleum Geological Survey of Geological Ministry, Volumes of petroleum geology in Tarim Basin, Beijing: Geological Publishing House, 1990: 21-32.
- [2] 于炳松. 塔里木盆地北部中下奥陶统碳酸盐陆棚-盆地的层序地层分析[J]. 矿物岩石, 1995, 15(3): 44-49.
Yu Bingsong. Analysis of typical carbonate sequences in northern Tarim Basin[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1995, 15(3): 44-49.
- [3] 张振生,刘社平. 塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩层序地层学研究[J]. 石油地球物理勘探, 1995, 30(2): 245-256.
Zhang Zhensheng, Liu Sheping. Sequence stratigraphy analysis of carbonate series of Lower Palaeozoic group in the Tarim Basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1995, 30(2): 245-256.
- [4] 王维纲,吕炳全. 小尺度的碳酸盐岩层序地层学分析-塔里木盆地桑塔木断垒带奥陶系层序地层学研究[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 24-29.
Wang Weigang, Lu Bingquan. The small scale sequence stratigraphy of the Ordovician carbonate of the Sangtamu Horst in the tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 24-29.
- [5] 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.
Liu Zhongbao, Yu Bingsong, Li Tingyan, et al. Sequence development controls on syngenesis karst of the Middle-Upper Ordovician carbonate in Tazhong area, Tarim basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 103-109.
- [6] 樊太亮,于炳松,高志前. 塔里木盆地碳酸盐岩层序地层特征及其控油作用[J]. 现代地质, 2007, 21(1): 57-65.
Fan Tailiang, Yu Bingsong, Gao Zhiqian. Characteristics of carbonate sequence stratigraphy and its control on oil-gas in Tarim Basin[J]. Geoscience, 2007, 21(1): 57-65.
- [7] 王招明,赵宽志,邬光辉,等. 塔中Ⅰ号坡折带上奥陶统礁滩型储层发育特征及其主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 797-801.
Wang Zhaoming, Zhao Kuanzhi, Wu Guanghui, et al. Charac-

- teristics and main controlling factors of the Upper Ordovician reef-bank reservoir development in the Tazhong I slope-break zone[J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(6): 798–801.
- [8] 王招明, 张丽娟, 王振宇, 等. 塔里木盆地奥陶系礁滩体特征与油气勘探[J]. *中国石油勘探*, 2007, 6: 1–7.
Wang Zhaoming, Zhang Lijuan, Wang Zhenyu, et al. Features of Ordovician reef beach and exploration activities in Tarim Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2007, 6: 1–7.
- [9] 赵宗举, 潘文庆, 张丽娟, 等. 塔里木盆地奥陶系层序地层格架[J]. *大地构造与成矿学*, 2009, 33(1): 175–188.
Zhao Zongju, Pan Wenqing, Zhang Lijuan, et al. Sequence Stratigraphy in the Ordovician in the Tarim Basin[J]. *Geotectonica Et Metallogenia*, 2009, 33(1): 175–188.
- [10] 赵宗举, 张运波, 潘懋, 等. 塔里木盆地寒武系层序地层格架[J]. *地质论评*, 2010, 56(5): 609–620.
Zhao Zongju, Zhang Yunbo, Pan Mao, et al. Cambrian sequence stratigraphic framework in Tarim Basin[J]. *Geological Review*, 2010, 56(5): 609–620.
- [11] Mitchum R, Vail P, Thompson S. Seismic stratigraphy and global changes in sea level, part 2: the depositional sequence as the basic unit for stratigraphic analysis[A]. Payton C. *Seismic Stratigraphy: Application to Hydrocarbon Exploration*. AAPG Memoir[C], 1977. 26: 53–62.
- [12] Sloss L L. Forty years of sequence stratigraphy[J]. *Geological Society of America Bulletin*. 1988, 1661–1666.
- [13] 朱筱敏, 康安, 王贵文. 陆相拗陷型和断陷型湖盆层序地层样式探讨[J]. *沉积学报*, 2003, 21(2): 283–287.
Zhu Xiaomin, Kang An, Wang Guiwen. Sequence stratigraphic models of depression and faulted-down Lake Basins[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(2): 283–287.
- [14] 贾承造, 魏国齐. 塔里木盆地构造特征与含油气性[J]. *科学通报*, 2002, 47(增刊): 3–11.
Jia Chengzao, Wei Guoqi. Structural feature & hydrocarbon potential in Tarim Basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(s1): 3–11.
- [15] 周兴熙. 塔里木盆地古生界碳酸盐岩油气勘探对策[J]. *新疆石油地质*, 2002, 23(6): 485–488.
Zhou Xingxi. Strategy for exploration of carbonate reservoir of Lower Paleozoic in Tarim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2002, 23(6): 485–488.
- [16] 孙龙德. 塔里木盆地海相碳酸盐岩与油气[J]. *海相油气地质*, 2007, 12(4): 10–15.
Sun Longde. Marine carbonate rocks and hydrocarbon in Tarim Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2007, 12(4): 10–15.
- [17] 顾家裕, 马锋, 季丽丹. 碳酸盐岩台地类型、特征及主控因素[J]. *古地理学报*, 2009, 11(1): 21–27.
Gu Jiayu, Ma Feng, Ji Lidan. Types, characteristics and main controlling factors of carbonate platform[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11(1): 21–27.
- [18] 邹才能, 陶士振. 海相碳酸盐岩大中型岩性地层油气田形成的主要控制因素[J]. *科学通报*, 2007, (S1): 32–39.
Zhou Caineng, Tao Shizhen. Main controlling factors of medium-large scale lithostratigraphic reservoirs accumulation in Marine Carbonate Rock [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, (S1): 32–39.
- [19] 陈新军, 蔡希源, 纪友亮, 等. 塔中奥陶系大型不整合面与风化壳岩溶发育[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2007, 35(8): 1122–1127.
Chen Xinjun, Cai Xiyuan, Ji Youliang, et al. Relationship between large scale unconformity surface and weathering crust karst of Ordovician in Tazhong[J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)*, 2007, 35(8): 1122–1127.
- [20] 韩剑发, 于红枫, 张海祖, 等. 塔中地区北部斜坡带下奥陶统碳酸盐岩风化壳油气富集特征[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(2): 167–173.
Han Jianfa, Yu Hongfeng, Zhang Haizu, et al. Characteristics of hydrocarbon enrichment in the Lower Ordovician carbonate rock weathering crust on the northern slope zone of Tazhong area[J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(2): 167–173.
- [21] 苗继军, 贾承造, 邹才能, 等. 塔中地区下奥陶统岩溶风化壳层特征与勘探领域[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(4): 497–500.
Miao Jijun, Jia Chengzao, Zou Caineng, et al. Characteristics and exploration fields of Paleo-Kast reservoirs at the top of early Ordovician in central Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(4): 497–500.
- [22] 韩剑发, 梅廉夫, 杨海军, 等. 塔中I号坡折带礁滩复合体大型凝析气田成藏机制[J]. *新疆石油地质*, 2008, 29(3): 323–326.
Han Jianfa, Mei Lianfu, Yang Haijun, et al. Hydrocarbon accumulation mechanism of large-sized reef-shoal complex condensate gas field in Tazhong No. 1 Slope-Break Zone, Tarim Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(3): 323–326.
- [23] 王振宇, 严威, 张云峰, 等. 塔中上奥陶统台缘礁滩体储层成岩作用及孔隙演化[J]. *新疆地质*, 2007, 25(3): 287–292.
Wang Zhenyu, Yan Wei, Zhang Yunfeng, et al. Diagenesis and porosity evolution of upper Ordovician platform margin reefs and grain banks reservoir in Ta Zhong area[J]. *Xinjiang Geology*, 2007, 25(3): 287–292.
- [24] 王振宇, 陈景山. 塔中地区中-晚奥陶世碳酸盐陆棚边缘大气成岩透镜体的发育特征[J]. *地质科学*, 2002, 37(增刊): 152–160.
Wang Zhenyu, Chen Jingshan. Characters of atmospheric diagenetic lens along middle-late ordovician carbonate shelf margin in central Tarim area [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2002, 37(S1): 152–160.
- [25] 杨海军, 邹光辉, 韩剑发, 等. 塔里木盆地中央隆起带奥陶系碳酸盐岩台缘带油气富集特征[J]. *石油学报*, 2007, 28(4): 26–30.
Yang Haijun, Wu Guanghui, Han Jianfa, et al. Characteristics of hydrocarbon enrichment along the Ordovician carbonate platform margin in the central uplift of Tarim Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(4): 26–30.

(编辑 董立)