

doi:10.3799/dqkx.2013.080

塔中地区良里塔格组沉积微相及其对有利储层的控制

高达¹, 林畅松^{1,2}, 杨海军³, 左璠璠¹, 蔡振忠³, 刘景彦¹, 张丽娟³, 李虹¹

1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083

2. 中国地质大学海洋学院, 北京 100083

3. 中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000

摘要: 良里塔格组作为塔里木盆地塔中地区重要的含油气层段引起广泛关注, 但沉积微相分析及其对有利储层控制研究尚且薄弱. 研究利用大量岩心、薄片和测井资料, 开展了精细的微相分析、高精度的层序对比及其对有利储层的控制等研究. 在良里塔格组碳酸盐岩台地内识别出9种沉积微相(Mf1-Mf9), 概括出台缘礁—滩型(MA1)、台缘—台内滩型(MA2)和台内环滩坪型(MA3)等3种微相组合, 在三级层序内以次级海泛面限定的四级层序中可发育一个或多个微相组合. 在高精度层序与沉积微相对比的基础上建立了主要储层段即良里塔格组SQ2高位域的沉积微相模式, 重点揭示了台地边缘各微相发育分布的差异. 高能微相是良里塔格组有利储层的物质基础, 易受准同生大气淡水溶蚀且更易产生裂缝从而形成优质储渗体, 低能微相在构造裂缝、埋藏岩溶和(或)表生岩溶叠加改造后也能成为有利储层.

关键词: 沉积微相; 微相组合; 高精度层序; 有利储层; 塔里木盆地; 地层学.

中图分类号: P588.245; P539.2

文章编号: 1000-2383(2013)04-0819-13

收稿日期: 2013-01-28

Microfacies of Late Ordovician Lianglitage Formation and Their Control on Favorable Reservoir in Tazhong Area

GAO Da¹, LIN Chang-song^{1,2}, YANG Hai-jun³, ZUO Fan-fan¹, CAI Zhen-zhong³,
LIU Jing-yan¹, ZHANG Li-juan³, LI Hong¹

1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla 841000, China

Abstract: The Lianglitage Formation has been of great scientific interest for being the main reservoir for oil and gas in Tazhong area, Tarim basin. However, researches on depositional microfacies and their controls on reservoir quality are inadequate. Based on cores, thin-sections and well-logging data, detailed microfacies analysis, high-resolution sequences and controlling factors on favorable reservoir are studied in this paper. 9 microfacies (Mf1-Mf9) are recognized in carbonate platform and 3 microfacies associations (MA1-MA3) are established, which are interpreted as platform margin reef and sand bank, platform margin-interior sand bank, and platform interior peri-tidal types respectively. One or more microfacies associations can be developed within a fourth order sequence which is constrained by subordinated flood surface. Depositional model for HST of SQ2 is constructed, based on high-resolution sequences and microfacies analysis and their correlation between wells. The high energy microfacies are the primitive material for favorable reservoir, because they might have been more probably to be dissolved by meteoric water during penecontemporaneous diagenetic progress, and also more easily to be fractured. The reservoir quality of low energy microfacies could have been improved if tectonic fractures, burial dissolution and/or karstification developed.

Key words: depositional microfacies; microfacies association; high-resolution sequence; favorable reservoir; Tarim basin; stratigraphy.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目“中国西部叠合盆地深部有效碳酸盐岩储层形成机制与分布预测”(No. 2011CB201103); 国家自然科学基金重点项目“塔里木盆地古生代古构造、古地理演变与成藏效应”(No. 41130422).

作者简介: 高达(1990—), 男, 博士研究生, 主要从事盆地分析和碳酸盐岩沉积层序研究. E-mail: gaoda18@gmail.com

0 引言

碳酸盐岩沉积微相分析是碳酸盐岩沉积研究的基础,通过沉积微相分析来识别沉积旋回、解释沉积环境和建立研究区的精细相模式进而探讨储层发育的控制因素是当前碳酸盐岩沉积储层研究领域的热点(Flügel, E. and Flügel, C., 1997; Reolid *et al.*, 2007; Tiwari and Mishra, 2007; Lanfranchi *et al.*, 2011). 塔中地区上奥陶统良里塔格组为一套稳定的碳酸盐岩台地沉积,其台地边缘受塔中 I 号断裂带控制而发育的礁、滩相作为塔中地区碳酸盐岩油气藏的主力储层,一直以来受到勘探界的广泛关注(周新源等, 2006; 王招明等, 2007; 杨海军等, 2011). 前人研究认为,构造及古地貌控制了良里塔格组沉积期台地边缘相的分布(张丽娟等, 2007; Lin *et al.*, 2009, 2012; 林畅松等, 2009, 2011; 彭莉等, 2009; Li, 2012), 在其内部可划分出多种沉积亚相. 生物礁和颗粒滩亚相作为有利储层的主要物质基础,其发育分布研究取得了许多认识(陈景山等, 1999; 顾家裕等, 2005; 赵宗举等, 2007; 陈轩等, 2009). 但随着勘探的深入,仅针对有利沉积亚相的研究显然略显欠缺. 塔中地区良里塔格组储层基质孔渗性差,发育孔隙型、裂缝型和裂缝—孔隙型等 3 类储层,不同井区和岩性段内的主要储层存在差异(杨海军等, 2000; 刘洛夫等, 2008; 王振宇等, 2010; 潘建国等, 2012), 但不同类型储集空间发育的制约因素尚不明确. 从精细的沉积微相分析入手探讨多种类型储集空间的发育分布及其制约因素研究方面明显薄弱,

亟待开展更加深入详细的工作.

本研究利用大量岩心、薄片和测井资料,通过精细的观察对比研究识别出研究区内发育的 9 种沉积微相,概括出构成四级层序充填的 3 种垂向上典型的微相组合模型;并通过连井的高精度层序及沉积微相对比建立了研究区沉积微相发育的空间展布模式. 对各种微相下复杂多样的储集空间类型进行了研究,探讨了高能和低能沉积微相制约下的有利储层发育的控制因素,对该区进一步开展油气勘探具有一定的指导意义.

1 区域地质背景

塔中地区位于塔里木盆地中央隆起带中部,面积约 $2.75 \times 10^4 \text{ km}^2$,北以塔中 I 号断裂带与满加尔坳陷相邻,南部为塘古孜巴斯坳陷(图 1). 塔中地区在震旦纪至早、中寒武世表现为弱伸长的被动大陆边缘斜坡环境,晚寒武世到早奥陶世为碳酸盐岩台地环境. 早奥陶世晚期到晚奥陶世末是塔里木盆内中加里东构造运动活跃阶段,塔中地区在盆地周边洋盆关闭挤压的背景下,构造古地貌发生重大变革. 中奥陶世至晚奥陶世早期由于盆地接受了强烈的挤压作用,塔中古隆起开始发育,形成了中下奥陶统鹰山组顶部不整合(Tg⁵). 晚奥陶世海侵形成的碳酸盐岩台地环境基本继承了前期的古隆起地貌,在古隆起北斜坡边缘塔中 I 号断裂带上形成了台地边缘生物礁和颗粒滩等高能相带,构成了研究区重要的油气储集层. 晚奥陶世晚期大规模海侵造成了

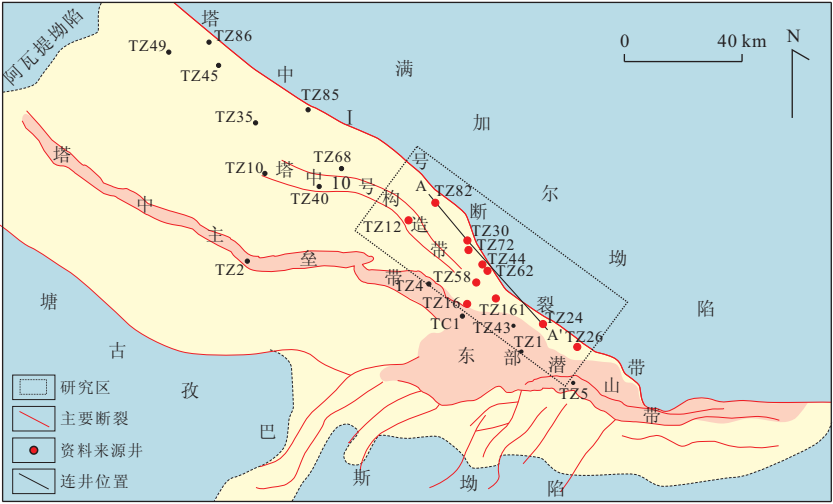


图 1 塔中古隆起区域构造
Fig. 1 Tectonic framework of study area

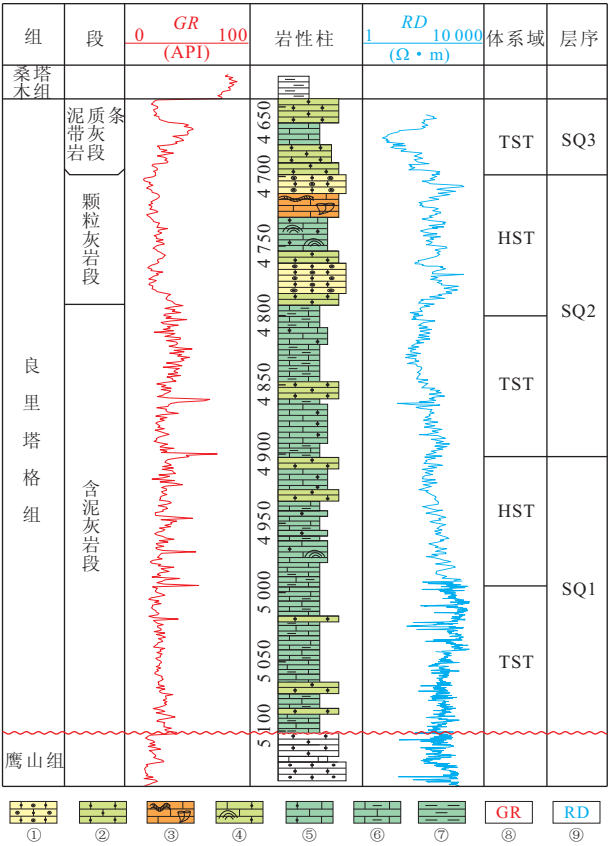


图 2 塔中地区良里塔格组层序划分岩相特征
Fig. 2 Sedimentary sequences and lithofacies of Lianglitage Formation, Tazhong area

① 鲕粒砂屑颗粒灰岩; ② 砂屑泥粒灰岩; ③ 生物礁灰岩; ④ 藻粘结灰岩-粒泥灰岩; ⑤ 粒泥灰岩-泥晶灰岩; ⑥ 泥晶灰岩-含泥泥晶灰岩; ⑦ 泥岩; ⑧ 自然伽马曲线; ⑨ 深电阻率曲线

碳酸盐岩台地的淹没(Yang *et al.*, 2010; 阳孝法等, 2010; Lin *et al.*, 2012), 塔中地区转变为深水陆棚-盆地环境, 沉积了巨厚的以硅质碎屑泥岩为主的桑塔木组。奥陶纪末盆地遭受强烈挤压作用, 塔中隆起强烈隆升, 形成奥陶系顶部不整合(Tg5), 塔中主坳带、东部潜山带和“帚状”分布的断裂系统基本形成(贾承造和魏国齐, 2002; 黄文辉等, 2006; Lin *et al.*, 2009; 林畅松等, 2011; 任建业等, 2012; Lin *et al.*, 2012)。

上奥陶统良里塔格组与下伏中下奥陶统鹰山组不整合接触, 在塔中大部分区域与上覆上奥陶统桑塔木组整合接触, 在东部潜山区高隆带遭受一定剥蚀, 与下志留统柯坪塔格组不整合接触。整体上为一套以灰岩、泥灰岩为主的碳酸盐岩地层, 厚度约 120~880 m, 依据主要岩性自下而上可分为含泥灰岩段、颗粒灰岩段和泥质条带灰岩段(杨海军等, 2000)(图 2)。

2 三级层序与沉积特征

2.1 三级层序与岩相特征

根据钻井资料, 可在良里塔格组内识别出 3 个三级层序, 由下至上分别为 SQ1、SQ2 和 SQ3。其中 SQ1 和 SQ2 的海侵域大致对应良里塔格组含泥灰岩段, 以薄-中层泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩、粒泥灰岩为主, 在 SQ1 的高位域间断发育泥粒灰岩和颗粒灰岩; SQ2 的高位域大致对应颗粒灰岩段, 以中-厚层颗粒灰岩、泥粒灰岩和生物灰岩为主, 夹中-薄层泥晶灰岩和粒泥灰岩; SQ3 为海侵型层序, 无高位域, 以含泥质条带的粒泥灰岩、泥粒灰岩和泥晶灰岩互层为特点(Yang *et al.*, 2010; 阳孝法等, 2010)。其中 SQ2 高位域即颗粒灰岩段是主要的储层发育层段, 且研究区内多数钻井仅钻至此, 因此本研究重点研究 SQ2 高位域和 SQ3, 以下详细介绍该段发育的主要岩石类型。

2.2 主要岩石类型

(1) 颗粒灰岩与泥粒灰岩。其包括鲕粒砂屑颗粒灰岩(图 3a)、棘屑颗粒灰岩等亮晶颗粒灰岩, 以及核形石生屑泥粒灰岩(图 3b)、砂屑生屑泥粒灰岩等泥晶颗粒灰岩, 反映中高能的水体环境, 是颗粒滩相的主要岩石类型。

(2) 粒泥灰岩与泥晶灰岩。其包括生屑粒泥灰岩、粉屑粒泥灰岩等颗粒泥晶灰岩(图 3e), 以及泥晶灰岩(图 3f)、泥质泥晶灰岩, 反映较低能的水体环境, 对应滩间海和(或)台内潟湖亚相。

(3) 生物灰岩。良里塔格组发育的生物灰岩包括红藻格架岩、珊瑚障积岩和藻粘结岩。红藻格架岩由红藻、珊瑚、层孔虫和苔藓虫等生物的造架作用形成(图 3c), 指示高能环境; 珊瑚障积岩由枝状或丛状的珊瑚和苔藓虫等生物障积水体中的灰泥而形成(图 3d), 指示相对中低能环境, 二者对应生物礁亚相; 粘结灰岩由蓝绿藻类粘结灰泥形成, 对应灰泥丘亚相。

3 沉积微相与沉积环境

3.1 沉积微相与微相组合

碳酸盐岩微相分析旨在通过薄片鉴定中对岩石学和古生物学特征描述, 进而建立微相组合来解释沉积环境(Flügel, 2004)。本文基于 500 余片薄片观察分析, 识别出研究区良里塔格组发育的 9 种主要

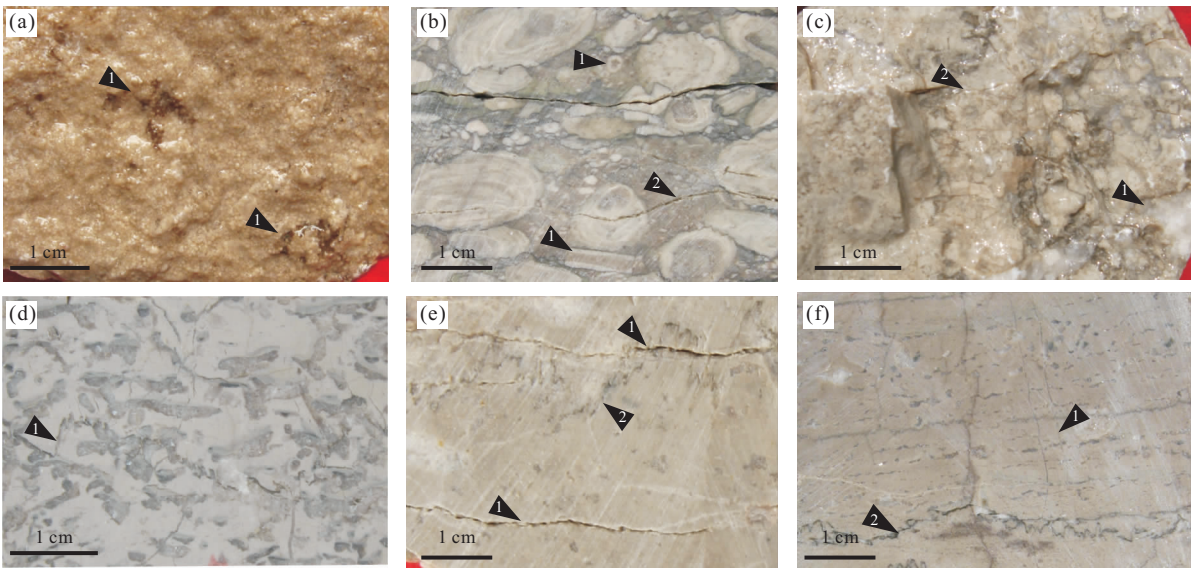


图 3 塔中地区良里塔格组主要岩石类型

Fig. 3 Photographs of cores showing the main types of carbonate rocks of Lianglitage Formation

a. 鲕粒灰岩,发育孔隙充填沥青(箭头 1),塔中 30 井,5 102 m;b. 核形石生屑泥粒灰岩,颗粒主要为椭球状核形石和海百合碎屑(箭头 1),发育裂缝(箭头 2),塔中 82 井,5 372 m;c. 红藻格架灰岩,生物含量>60%,部分格架被方解石充填(箭头 1),发育裂缝(箭头 2),塔中 24 井,4 499.2 m;d. 珊瑚障积灰岩,原地珊瑚含量约 30%,珊瑚体腔为亮晶方解石,生物间为灰泥,发育缝合线(箭头 1),塔中 30 井,5 049 m,薄片见图 4d;e. 粉屑粒泥灰岩,发育成岩收缩缝(箭头 1)和缝合线(箭头 2),塔中 82 井,5 467 m;f. 泥晶灰岩,发育顺层状鸟眼孔(箭头 1)和缝合线(箭头 2),塔中 162 井,4 595 m

表 1 塔中地区良里塔格组发育的主要沉积微相描述与环境解释

Table 1 Microfacies description and sedimentary interpretation of Lianglitage Formation, Tazhong area

微相代码	微相描述	沉积环境解释	微相组合
Mf1	砂屑鲕粒颗粒灰岩,鲕粒为主,其次为砂级内碎屑,分选好,含少量棘皮和藻类化石(图 3a、4a、9a 和 9b)	台地边缘、潮下高能带	MA1
Mf2	生屑内碎屑颗粒灰岩,颗粒为内碎屑、生屑,分选中等一较好,含棘皮、藻类、软体和苔藓虫等生物化石(图 4b 和 9c)	台地边缘、潮下中等一高能带	MA2
Mf3	棘屑颗粒灰岩,颗粒主要为棘皮生物碎屑,分选较好,多发育共轴增生型亮晶方解石胶结物,含少量苔藓虫或藻类生屑(图 4c)	台地边缘、潮下带高能带	MA1-2
Mf4	红藻格架岩,红藻类可达 50%,含苔藓虫、软体和介形虫等生物,生物间主要为亮晶胶结物(图 3c、4e 和 4f)	台地边缘,潮下浪基面附近中等一高能带	MA1
Mf5	珊瑚障积岩,珊瑚含量约 30%,此外含苔藓虫、腹足、藻类、介形和三叶虫等生物,生物间为泥晶基质(图 3d 和 4d)	潮下中一低能带	MA1
Mf6	内碎屑生屑核形石泥粒灰岩,颗粒包括粉砂、砂屑、生屑和核形石,分选中一较差,含珊瑚、藻类、苔藓虫和软体生物(图 4g)	潮下中一低能带	MA1-3
Mf7	生屑粒泥灰岩,常发育泥质条纹,含粉砂级内碎屑,以及少量介形虫、苔藓虫、藻、腕足和珊瑚等生物(图 3e 和 4h)	潮下低能带	MA1-3
Mf8	泥晶灰岩,泥质泥晶灰岩,常发育泥质条纹,仅含少量介形、腹足等生物(图 11b)	台内洼地、潮下低能带	MA2-3
Mf9	藻粘粒泥灰岩、纹层状泥晶灰岩,不含颗粒或仅含少量粉砂级内碎屑,粘结结构,发育鸟眼孔,含藻和介形虫等(图 4i 和 11a)	台内潮间一潮上低能带、局限潟湖	MA3

沉积微相(Mf1-Mf9),并建立起 3 种微相组合(MA1-MA3).

(1)台缘高能礁滩型微相组合(MA1). 该微相组合主要发育在 SQ2 的高位域中,由台地边缘潮下带的几种微相构成:底部为生屑粒泥灰岩(Mf7)和

粉一砂屑生屑泥粒灰岩(Mf6),中部发育珊瑚障积礁(Mf5)和红藻格架礁(Mf4),顶部为棘屑颗粒灰岩(Mf3)和鲕粒砂屑颗粒灰岩(Mf1),单个旋回厚约 20~40 m(图 5 和图 6). 自然伽马测井曲线上表现为下部中一高幅微齿化、上部高幅光滑的弱的漏斗

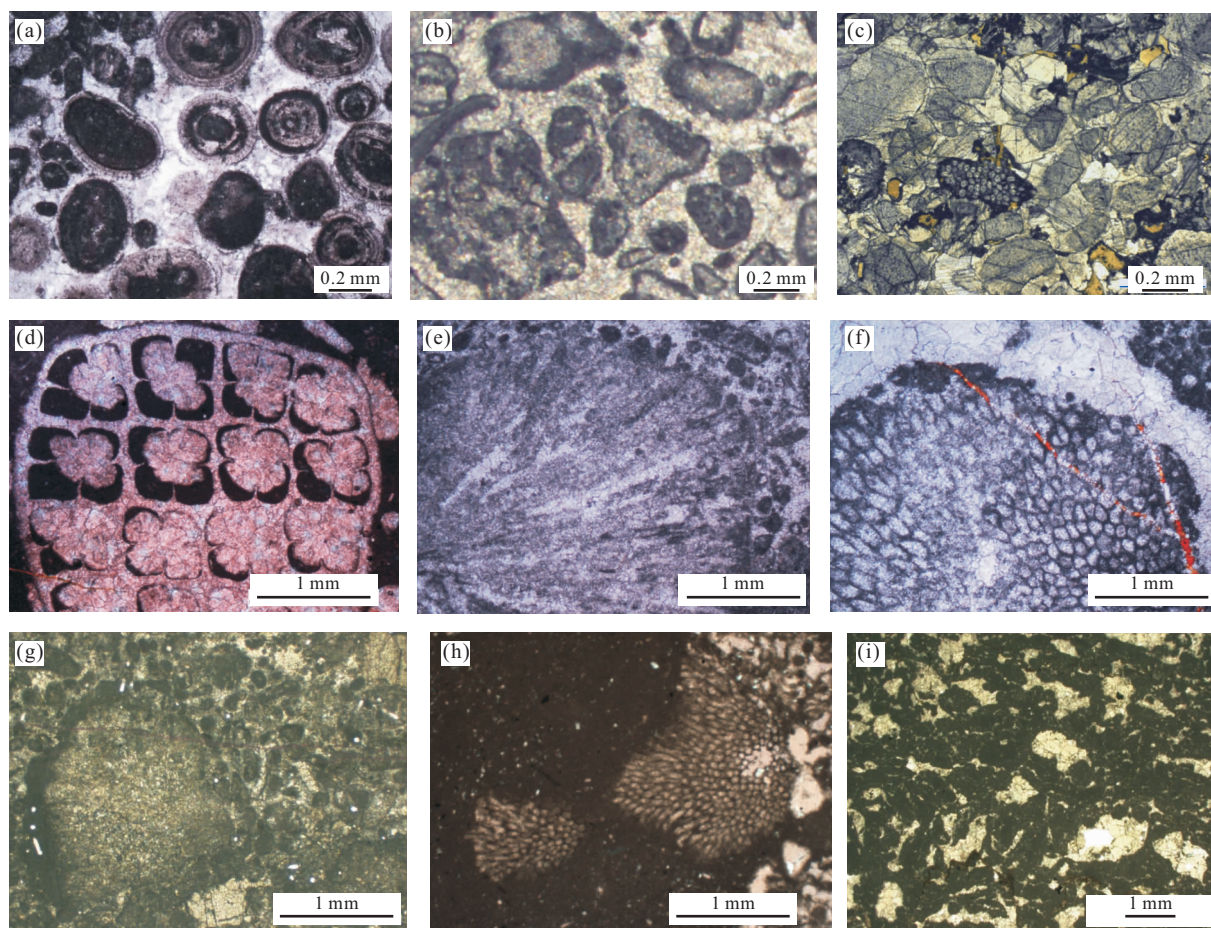


图4 塔中地区良里塔格组主要沉积微相

Fig. 4 Photographs of thin-sections showing microfacies of Lianglitage Formation

a. Mf1, 鲕粒砂屑颗粒灰岩, 塔中 30 井, 5 061 m; b. Mf2, 内碎屑生屑颗粒灰岩, 塔中 26 井, 4 284.4 m; c. Mf3, 棘屑颗粒灰岩, 塔中 62 井, 4 751 m; d. Mf5, 珊瑚障积岩, 珊瑚横切面, 生物间为泥晶, 同图 3d; e. Mf4, 红藻格架岩, 红藻生物个体, 含砂屑, 颗粒间为亮晶, 塔中 30 井, 5 035 m; f. 同 4e, 发育裂缝, 颗粒表面有生物钻孔; g. Mf6, 粉-砂屑生屑泥粒灰岩, 塔中 82 井, 5 436.2 m; h. Mf7, 生屑粒泥灰岩, 藻类生物, 塔中 82 井, 5 428.2 m; i. Mf9, 藻粘结灰岩, 发育鸟眼孔, 塔中 12 井, 4 881.5 m

形,通常为顶底突变(图5和图6).该微相组合构成了一个向上变浅的沉积相序,完整记录了碳酸盐岩台地边缘环境下由中低能粒屑滩、障积礁向高能格架礁、粒屑滩等沉积相发育演化的过程,当碳酸盐生长速率较高时,则表现为生物礁和高能粒屑滩的快速叠置.研究区塔中24井、44井、62井及30井等钻井均揭示该微相组合.

(2)台缘一台内滩型微相组合(MA2).该微相组合主要发育在SQ2的高位体系域以及SQ3中,由潮下带的几种沉积微相构成:底部为生屑粒泥灰岩(Mf7)和泥晶灰岩(Mf8),中部为内碎屑生屑泥粒灰岩(Mf6),顶部为棘屑颗粒灰岩(Mf3)和内碎屑生屑颗粒灰岩(Mf2),单个旋回厚约20~40 m(图5和图6).自然伽马测井曲线上表现为中—高幅微齿化的漏斗形,顶底突变接触(图5).该微相组合也构成

了一个向上变浅的沉积相序,顶部颗粒灰岩发育完整的旋回指示在台地边缘礁后生屑—内碎屑颗粒滩环境(图6,塔中82井),顶部颗粒灰岩欠发育的旋回指示台地内部低能潟湖与中低能颗粒滩沉积环境(图6,塔中30井上部),总体都是向上变浅的,不发育生物礁.研究区塔中12井、58井、30井、82井都不同程度地钻揭该微相组合.

(3)台内环潮坪型微相组合(MA3).该微相组合主要发育在SQ1和SQ2的海侵体系域中,由相对中低能的台内潮坪环境下发育的几种沉积微相构成:底部为生屑粒泥灰岩(Mf7)和泥晶灰岩(Mf8),中部为内碎屑生屑泥粒灰岩(Mf6),顶部为发育鸟眼孔的泥晶灰岩、藻粘结粒泥灰岩(Mf9),单个旋回厚约10~30 m(图5和图6).自然伽马测井曲线上表现为下部中幅漏斗形、上部中低幅钟形,底部突

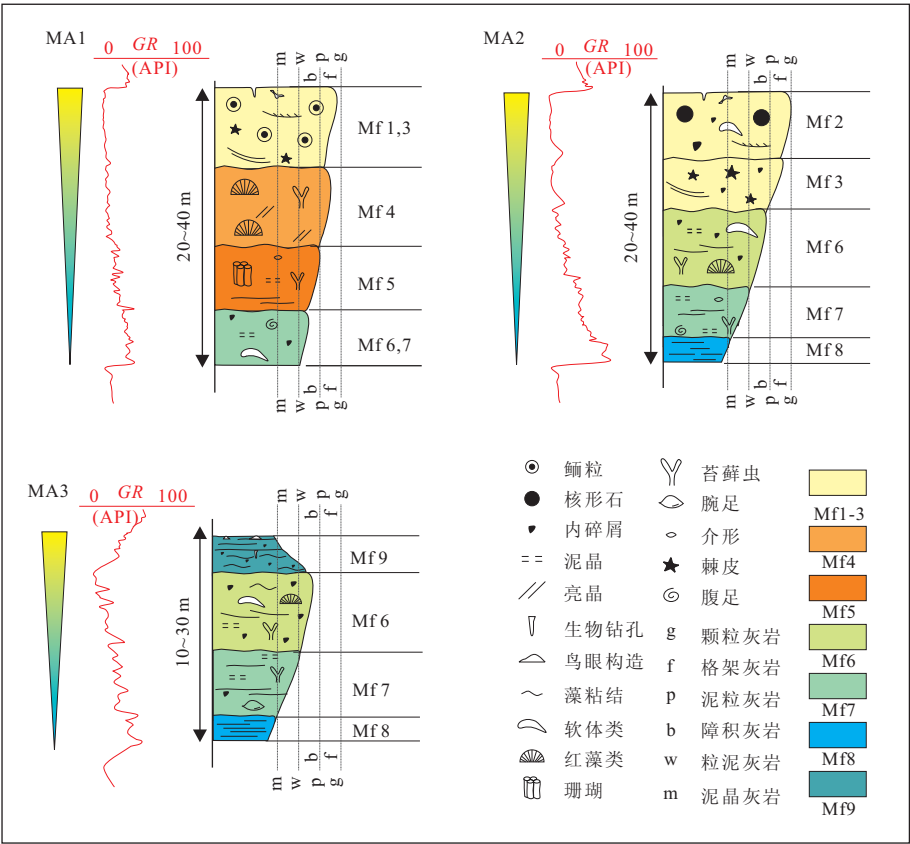


图 5 塔中地区良里塔格组发育的 3 种典型沉积微相组合

Fig. 5 Three modal microfacies associations developed in Lianglitage Formation in Tazhong area

变、顶部渐变(图 5 和图 6). 该微相组合与前两种显著区别, 代表着台地内部环潮坪型沉积序列, 由底到顶分别对应潮下低能静水灰泥质沉积、潮下中能粒屑滩和顶部间歇性暴露的潮间和潮上藻席沉积, 构成了台内潮坪环境下的沉积相序. 研究区塔中 16 井、58 井等钻井均揭示该微相组合(图 7).

3.2 高精度层序对比与沉积模式

碳酸盐岩沉积微相受高频海平面变化影响显著, 结合测井和微相分析, 在研究区多口钻井的三级层序格架内识别出高精度的四级层序. 每个四级层序以次级海泛面为底界, 以发育相对低能的沉积微相为主; 向上水动力逐渐增强, 以中—高能沉积微相沉积为主; 其顶部以次级海退界面为界, 可能形成短暂的暴露型沉积间断. 在一个四级层序内可发育一个或多个微相组合, 位于台地边缘的钻井以发育 MA1 和 MA2 型微相组合为主, 位于台地内部的钻井则以 MA3 和 MA2 型微相组合为主.

塔中 82 井、30 井和 24 井位于研究区塔中 I 号断裂带附近(图 1), 钻遇良里塔格组 SQ3 和 SQ2 的高位域. 对比发现高频层序格架内微相及微相组合

呈现规律性的差异变化(图 6). 3 口钻井的 SQ2 高位域均以发育台缘礁滩型(MA1)和台缘—台内滩型微相组合(MA2)为主, 但是塔中 30 井和 24 井以礁滩相叠置发育, 而塔中 82 井则仅发育滩相沉积. SQ3 海侵型层序在塔中 24 井发育很薄, 而在塔中 30 井和塔中 24 井均包含 3 个四级层序, 且以发育指示海侵作用的核形石泥粒灰岩为特征(图 3b), 向顶部有滩体减薄、低能沉积增厚的趋势. 层序及其内部沉积微相发育的差异与海平面变化、碳酸盐沉积速率及以及同沉积期塔中 I 号断裂带的活动强度等因素有关.

对研究区其他取心井的 SQ2 高位域也进行了研究, 发现塔中 58 井以台内滩型微相组合(MA2)为主, 塔中 12 井发育台内滩型(MA2)和环潮坪型(MA3)微相组合, 塔中 16 井、162 井以环潮坪型微相组合(MA3)为主, 均为典型的台地潮坪沉积环境. 结合上文以塔中 82 井、30 井和 24 井为代表的台地边缘环境内的微相分析, 初步建立了研究区良里塔格组 SQ2 高位期沉积微相发育分布模式(图 7). 良里塔格组 SQ2 高位期主要为台地边缘和台地

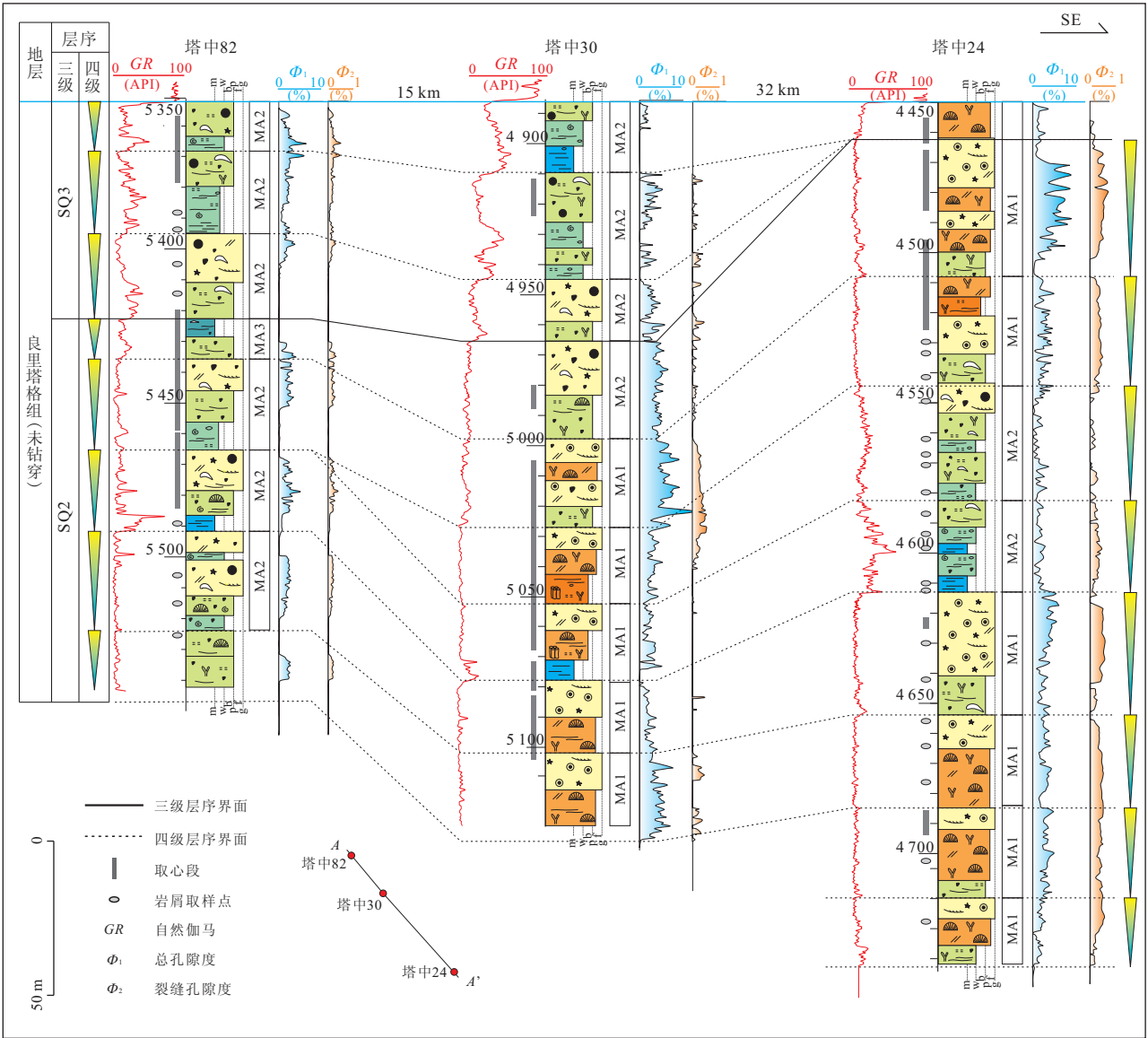


图 6 塔中 82-30-24 井微相组合与孔隙分布对比(剖面位置见图 1,A-A')

Fig. 6 Microfacies association and porosity distribution correlation section, the location of which is A-A' shown in Fig. 1

内部两种沉积环境,塔中 I 号断裂带控制台地边缘颗粒滩和生物礁(Mf1-Mf5)分布,但横向上各井区的微相发育有差异;向台内过渡为相对低能微相(Mf6-Mf9)沉积;台内古地貌高部位为潮坪沉积,总体上沉积微相呈带状分布。

4 沉积微相对储层的控制作用讨论

前人对台地边缘不同相带的储集物性进行统计,结果表明粒屑滩和生物礁亚相的储层孔渗性更好,灰泥丘和滩间海的物性略差(赵宗举等,2007),这几种亚相分别与本研究的 9 种微相类型中的几种相对应(表 2)。从连井的微相和孔隙度对比中可以发现,

发育高能礁滩型微相组合(MA1)的井段有普遍较高的孔隙度(图 6,塔中 30 井 SQ2 和塔中 24 井),发育台内滩型微相组合(MA2)的井段(图 6,塔中 30 井 SQ3 和塔中 82 井)平均孔隙度减小,且相对高孔带常出现四级层序的顶部相对高能的沉积微相中断续分布,低孔带均对应四级层序下部相对低能的沉积微相(图 6)。良里塔格组储层的储集空间类型复杂多样,从大量的岩心和薄片观察识别出各微相内的常发育的多种储集空间类型,并总结出它们在各微相中所占比重(图 8)。以下分别讨论各不同类型微相控制下的有利储层发育的控制因素。

4.1 高能沉积微相制约的有利储层

生物礁和颗粒滩相被普遍认为是最有利的储

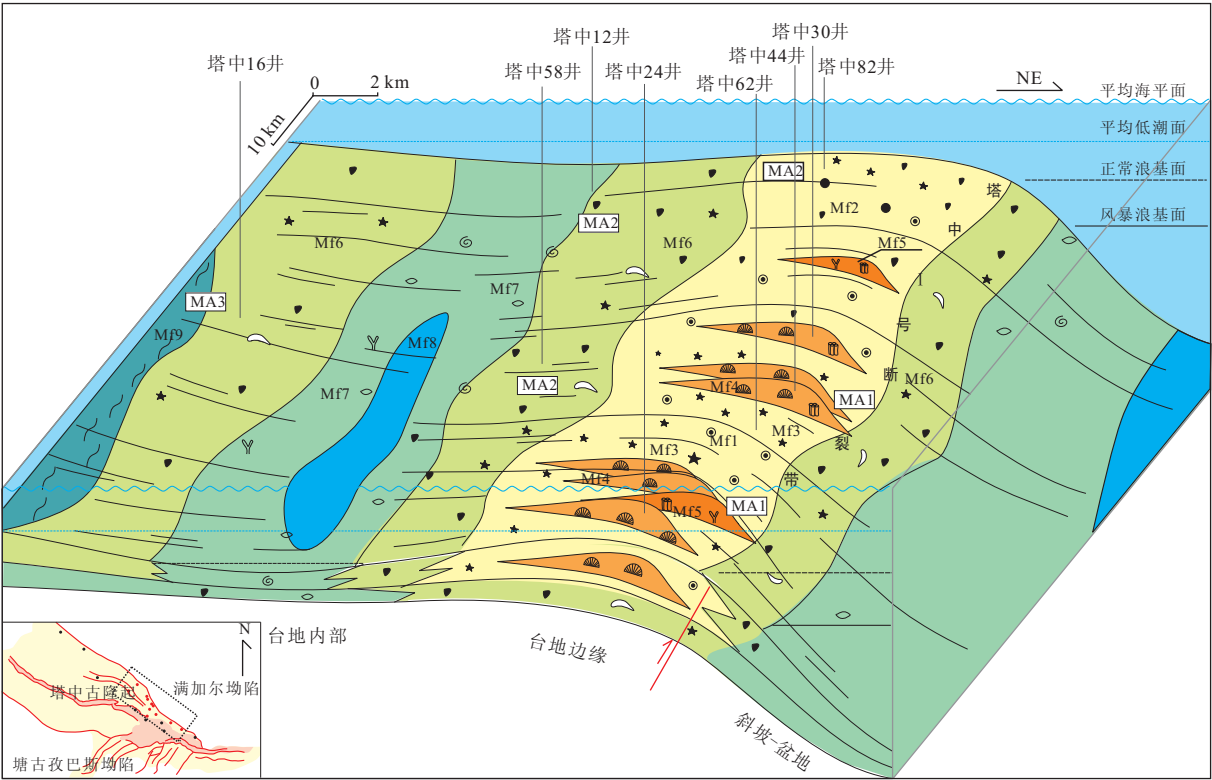


图 7 塔中地区良里塔格组 SQ2 高位期沉积微相空间展布模式

Fig. 7 Depositional model for HST of SQ2 in Lianglitage Formation, Tazhong area

表 2 塔中地区良里塔格组储层基质孔渗统计表(基础数据来源据赵宗举等,2007)

Table 2 Porosity and permeability statistics of Lianglitage Formation, Tazhong area

微相	亚相类型	孔隙度(%)			渗透率($10^{-3} \mu\text{m}^2$)		
		样品数	范围	平均值	样品数	范围	平均值
Mf1,2,3,6	粒屑滩	563	0.06~12.74	2.68	303	0.003~348	4.544
Mf4,5	生物礁	171	0.56~7.15	1.44	90	0.008~318	6.592
Mf7,8,9	灰泥丘、滩间海	723	0.10~7.71	1.03	596	0.002~279	1.602

微相类型	储集空间	组构造选择型			非组构造选择型		
		粒内孔	铸模孔	生物体腔孔	构造缝	溶孔/洞	溶蚀扩大缝
Mf1							
Mf2, 3							
Mf4							
Mf5							
Mf6							
Mf7, 8, 9							

图 8 塔中地区良里塔格组储层孔隙类型与沉积微相对应关系(孔隙分类方案参考 Choquette and Pray,1970)

Fig. 8 Relationship between vary pore types and microfacies of the Lianglitage Formation in Tazhong area

层. 结合精细的微相分析发现, 只有高能颗粒滩相(Mf1-3)及高能格架礁(Mf4)才是主要的储层, 而低

能滩(Mf6)和低能障积礁(Mf5)则通常难以成为储层. 研究发现, 有利沉积微相内的主要储集空间类型各异: 鲕粒灰岩微相(Mf1)常发育粒内孔和铸模孔(图 9b), 粒间溶孔(图 9a, 3a); 砂屑颗粒灰岩微相(Mf2)常残余粒间孔(图 9c); 棘屑颗粒灰岩微相(Mf3)发育粒间孔和粒内孔(图 3c), 这些构成了高能滩相储层的主要储集空间. 礁灰岩中以格架灰岩微相(Mf4)孔隙相对较好, 生物体腔孔是特殊的储集空间(图 3c, 图 9d 和图 9e), 障积灰岩微相(Mf5)则孔隙极低.

台地边缘高能微相通常发育在四级层序的上部, 其顶面为次级水退界面, 受碳酸盐生长速率和高频海平面变化共同控制. 层序上部易形成同生期暴露而发生大气淡水溶蚀, 从而发育大量组构选择型孔隙, 已被证实是区内台地边缘有利储层的主控因

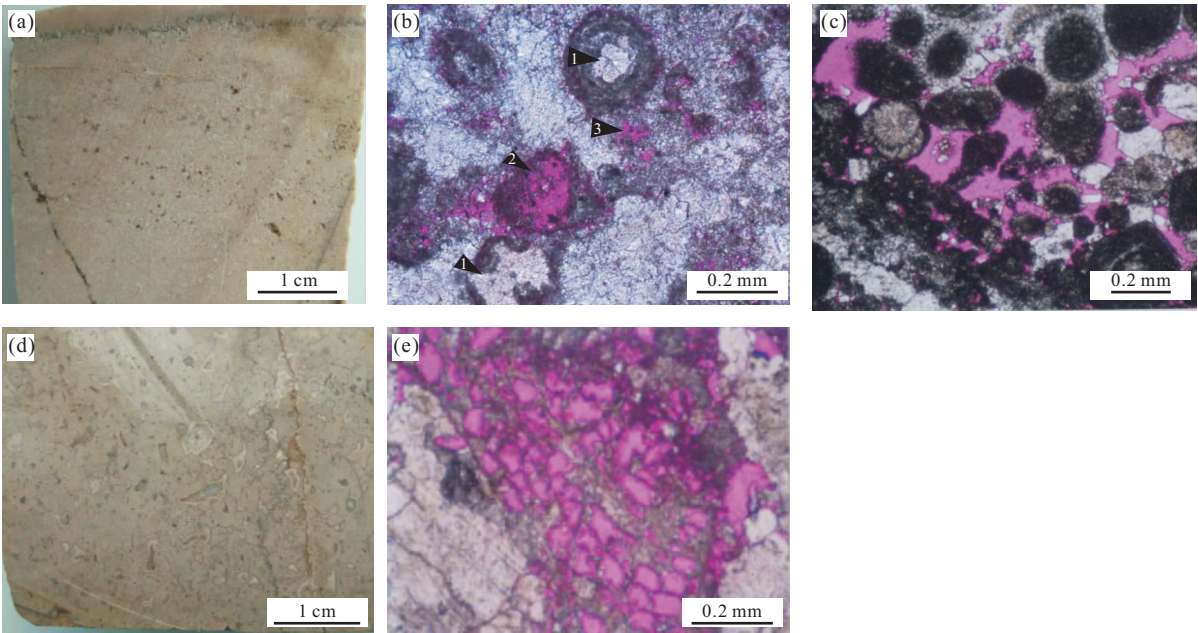


图 9 塔中地区良里塔格组高能沉积微相构造选择型储集空间

Fig. 9 Photographs of fabric-selective pores in high energy microfacies of Lianglitage Formation, Tazhong area
a. 鲕粒灰岩(Mf1),密集发育针状溶蚀孔.塔中 30 井,5 102. 2 m(同图 2a);b. 鲕粒灰岩(Mf1)发育粒内孔(箭头 3)和铸模孔(箭头 2),部分被充填(箭头 1),位置同上;c. 鲕粒砂屑颗粒灰岩,残余大量粒间孔,塔中 83 井,5 042. 8 m;d. 生物灰岩(Mf4),生物体腔孔发育,部分未完全充填,塔中 30 井,5 091. 6 m;e. 生物格架岩(Mf4),体腔孔发育,塔中 82 井.薄片均为红(橙)色铸体,单偏光.图 c 和 e 来自中石油塔里木油田勘探开发研究院

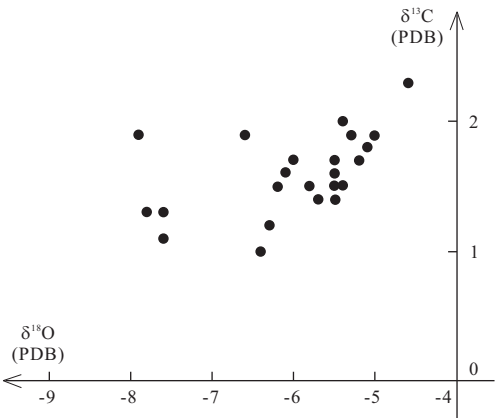


图 10 良里塔格组台地边缘高能滩相灰岩碳、氧同位素特征
Fig. 10 Cross-plot of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of carbonate rocks of high energy sand bank in Lianglitage Formation

素(刘忠宝等,2004;于炳松等,2007;张海军等,2007).连井微相与孔隙分布对比发现,在四级层序的上部通常孔隙更佳,尤其是 MA2 型微相组合内该现象更为明显(图 6,塔中 82 井).对塔中 30 井高能滩相(Mf1 和 Mf2)颗粒灰岩的碳氧同位素测试显示, $\delta^{13}\text{C}$ 主要分布在 1~2(PDB), $\delta^{18}\text{O}$ 主要分布-4~-8(PDB)(图 10),对比前人总结的 $\delta^{18}\text{O}$ ~

$\delta^{13}\text{C}$ 图版(Moore, 2001)发现该数值有同生期大气淡水改造的特点.高频层序顶部大气淡水对台地边缘高能礁滩型微相组合的准同生岩溶改造是有利储层发育的主控因素.同时由于岩石物性的差异,高能沉积微相与低能微相相比更易发育构造裂缝(张鹏等,2011),使渗透率明显提高(图 3c,图 6).因此,精细研究沉积微相并建立研究区的高频层序沉积格架对于揭示高能微相有利储层分布非常重要.

4.2 低能沉积微相叠加改造型储层

通常认为以 Mf5-Mf9 为代表的低能沉积微相具有较差的孔隙度,因其沉积的物质基础以灰泥为主,原生孔隙度低,且不易受到准同生期大气淡水的改造.但统计表明低能微相的孔隙度极高值可达 7.71%,平均值为 1.03%,略低于生物礁相,这说明低能微相虽物质基础较差,但不排除在局部地区叠加有利的改造因素而形成较好的储层.

岩心和薄片观察表明,低能微相也发育多种不同的储集空间.如台地内部潮间一潮上带发育的泥晶灰岩、粒泥灰岩(Mf9)发育大量窗格孔(图 3f, 11a),但大多被亮晶方解石充填;低能微相(Mf7-Mf9)还发育溶孔(洞)、成岩收缩缝(图 3e)、压缩缝合线(图 3d、3e、3f 和图 11b)和构造缝(图 11a)等,

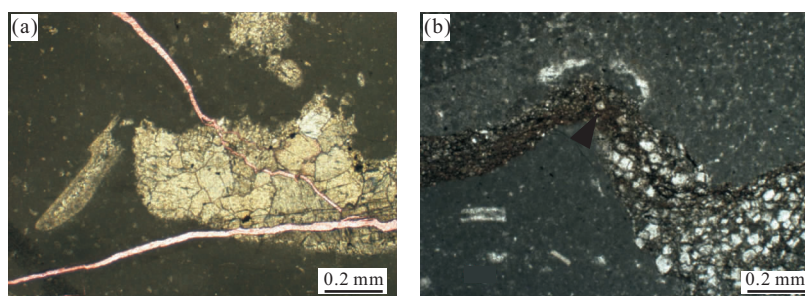


图 11 塔中地区良里塔格组低能微相非组构选择型储集空间

Fig. 11 Photographs of nonfabric-selective porosity in low-energy microfacies of Lianglitage Formation, Tazhong area

a. 泥晶灰岩中两条微裂缝与鸟眼孔交切,微裂缝未充填,鸟眼孔被亮晶方解石全充填,塔中 82 井,5 461 m,红色铸体;b. 泥晶灰岩中缝合线附近白云石化和沥青充填,塔中 162 井,4 698 m;薄片均为单偏光

这些储集空间如果得以保存都能使低能微相形成有利的储层。

低能微相形成有利储层的关键是构造隆升造成的表生岩溶、构造裂缝和(或)埋藏岩溶等因素的叠加改造。塔中古隆起的东部潜山区及附近是构造裂缝及表生岩溶的发育区,塔中 16 井、161 井和 58 井均发育不同规模的缝洞型储层。塔中古隆起走滑断裂发育区良里塔格组发育埋藏岩溶,如塔中 45 井区(王嗣敏等,2004;朱东亚等,2005;杨海军等,2012)。因此,在以发育基质孔隙较差的低能微相为主的台地内部,寻找构造裂缝、表生岩溶和(或)埋藏岩溶集中发育的区带更为重要。

5 结论

塔中地区良里塔格组发育 9 种沉积微相,垂向上常发育 3 种沉积微相组合,解释为台缘礁—滩型(MA1)、台缘—台内滩型(MA2)和台内环潮坪型(MA3)沉积序列。在次级海泛面限定的四级层序内可发育一个或多个微相组合。

研究区良里塔格组 SQ2 高位期沉积环境包括台地内部和台地边缘,微相发育呈近平行于塔中 I 号断裂带的条带状展布,台地内部主要发育台内滩型(MA2)和台内环潮坪型(MA3)微相组合,台地边缘主要发育台缘礁—滩型(MA1)和台缘滩型(MA2)微相组合,但不同井区的沉积旋回特征有差异,塔中 30 井到塔中 24 井一带以 MA1 和 MA2 微相组合叠置发育的高能礁滩型沉积为主;塔中 30 井以西到塔中 82 井一带则以 MA2 叠置发育的台缘—台内滩沉积为主,生物礁沉积减少。

高能沉积微相构成了塔中地区良里塔格组主要的有利储层,以发育组构选择型孔隙为主,四级层序

顶部发育的准同生期大气淡水溶蚀是主控因素,高精度的层序地层格架与精细的微相分析对揭示礁滩型储层发育规律十分重要。低能沉积微相原始物性差,但在局部发育的构造裂缝、表生岩溶和(或)埋藏岩溶集中区域,也能形成有利储层。

致谢:论文研究得到了中国石油塔里木油田的资料支持,勘探开发研究院谢德玉和任康绪等同志在岩心和薄片观察工作中给予许多帮助;中国地质大学(北京)能源学院李哲淳老师在实验室使用上提供诸多方便;成都理工大学邢凤存副教授对稿件提出了修改意见;审稿专家对稿件认真审阅并提出了宝贵的建议。在此表示衷心感谢!

References

- Chen, J. S., Wang, Z. Y., Dai, Z. Y., et al., 1999. Study of the Middle and Upper Ordovician Rimmed Carbonate Platform System in the Tazhong Area, Tarim Basin. *Journal of Palaeography*, 1(2): 8—17 (in Chinese with English abstract).
- Chen, X., Zhao, Z. J., Zhang, B. M., et al., 2009. Delicate Sedimentary Model to Lianglitage Formation of Upper Ordovician in the Northern Margin of Isolated Platform in the Center of Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(5): 1002—1011 (in Chinese with English abstract).
- Choquette, P. W., Pray, L. C., 1970. Geological Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates. *AAPG Bulletin*, 54: 207—250.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*, 2nd Edition. Springer, Berlin.
- Flügel, E., Flügel, C., 1997. *Applied Microfacies Analysis: Provenance Studies of Roman Mosaic Stones*. *Facies*, 37(1): 1—48.

- Gu, J. Y., Zhang, X. Y., Luo, P., et al., 2005. Development Characteristics of Organic Reef-Bank Complex on Ordovician Carbonate Platform Margin in Tarim Basin. *Oil and Gas Geology*, 26(3): 277—283(in Chinese with English abstract).
- Huang, W. H., Yang, M., Yu, B. S., et al., 2006. Strontium Isotope Composition and Its Characteristics Analysis of Cambrian-Ordovician Carbonate in Tazhong District, Tarim Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 47(5): 831—836(in Chinese with English abstract).
- Jia, C. Z., Wei, G. Q., 2002. Structural Characteristics and Petroliferous Features of Tarim Basin. *Chinese Science Bulletin*, 47: 1—11.
- Lanfranchi, A., Berra, F., Jadoul, F., 2011. Compositional Changes in Sigmoidal Carbonate Coliforms (Late Tithonian, eastern Sardinia, Italy): Insights from Quantitative Microfacies Analyses. *Sedimentology*, 58(7): 2039—2060.
- Li, H., Lin, C. S., Zhang, Y. M., et al., 2012. Stratigraphic Architecture and Computer Modeling of Carbonate Platform Margin, Late Ordovician Lianglitage Formation, Central Tarim Basin. *Journal of Earth Science*, 23(4): 627—638.
- Lin, C. S., Li, H., Liu, J. Y., 2012. Major Unconformities, Tectonostratigraphic Framework, and Evolution of the Superimposed Tarim Basin, Northwest China. *Journal of Earth Science*, 23(4): 395—407.
- Lin, C. S., Li, S. T., Liu, J. Y., et al., 2011. Tectonic Framework and Paleogeographic Evolution of the Tarim Basin during the Paleozoic Major Evolutionary Stages. *Acta Petrologica Sinica*, 27(1): 210—218(in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., Yang, H. J., Liu, J. Y., et al., 2009. Paleogeographic Geomorphology of the Paleozoic Central Uplift Belt and Its Constraint on the Development of Depositional Facies in the Tarim Basin. *Science in China (Series D): Earth Science*, 52(6): 823—834.
- Lin, C. S., Yang, H. J., Liu, J. Y., et al., 2012. Distribution and Erosion of the Paleozoic Tectonic Unconformities in the Tarim Basin, Northwest China: Significance for the Evolution of Paleo-Uplifts and Tectonic Geography during Deformation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 46(2): 1—19.
- Liu, L. F., Li, Y., Wang, P., et al., 2008. Reservoir Types and Favorable Oil-Gas Exploration Zone Prediction of the Upper Ordovician Lianglitage Formation in Tazhong No. 1 Fault Belt of Tarim Basin. *Journal of Palaeogeography*, 10(3): 221—230(in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. B., Yu, B. S., Li, T. Y., et al., 2004. Sequence Development Controls on Lyngogenesis Karst of the Middle-Upper Ordovician Carbonate in Tazhong Area, Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(1): 103—109(in Chinese with English abstract).
- Moore, H. C., 2001. Carbonate Reservoir-Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework. Elsevier, 74—78.
- Pan, J. G., Wei, P. S., Cai, Z. X., et al., 2012. Reservoir Architectural System in the Middle-Lower Ordovician Carbonate Rock of Tazhong Areas in Tarim. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(4): 751—763(in Chinese with English abstract).
- Peng, L., Liu, X. P., Lin, C. S., et al., 2009. Late Ordovician Palaeogeomorphology and Its Sedimentary Facies Characteristics in Central Tarim Up-Lift. *Oil Geophysical Prospecting*, 44(6): 767—772 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. Y., Yang, H. Z., Hu, D. S., et al., 2012. Fault Activity and Its Controlling to Marine Cratonic Breakup in Tarim Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(4): 645—653(in Chinese with English abstract).
- Reolid, M., Gaillard, C., Lathuiliere, B., 2007. Microfacies, Microtaphonomic Traits and Foraminiferal Assemblages from Upper Jurassic Oolitic-Coral Limestones: Stratigraphic Fluctuations in a Shallowing-Upward Sequence (French Jura, Middle Oxfordian). *Facies*, 53(4): 553—574.
- Tiwari, R. N., Mishra, D., 2007. Microfacies Analysis of Transgressive Condensed Sequence: A Study from the Oxfordian of Kachchh Basin, Gujarat. *Journal of the Geological Society of India*, 70(6): 923—932.
- Wang, S. M., Jin, Z. Y., Xie, Q. L., et al., 2004. Transforming Effect of Deep Fluids on Carbonate Reservoirs in the Well TZ45 Region. *Geological Review*, 50(5): 543—547(in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. M., Zhao, K. Z., Wu, G. H., et al., 2007. Characteristics and Main Controlling Factors of the Upper Ordovician Reef-Bank Reservoir Development in the Tazhong I Slope-Break Zone. *Oil and Gas Geology*, 28(6): 797—801(in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. Y., Sun, C. H., Zhang, Y. F., et al., 2010. Analysis on the Upper Ordovician Reef Formation along the Tazhong Slopebreak I. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(3): 525—533(in Chinese with English abstract).

- Yang, H. J., Zhu, G. Y., Han, J. F., et al., 2011. Conditions and Mechanism of Hydrocarbon Accumulation in Large Reef-Bank Karst Oil/Gas Fields of Tazhong Area, Tarim Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 27(6): 1865—1885 (in Chinese with English abstract).
- Yang, H. J., Li, K. K., Pan, W. Q., et al., 2012. Burial Hydrothermal Dissolution Fluid Activity and Its Transforming Effect on the Reservoirs in Ordovician in Central Tarim. *Acta Petrologica Sinica*, 28(3): 783—792 (in Chinese with English abstract).
- Yang, H. J., Liu, S., Li, Y. P., et al., 2000. Reservoir Characteristics Analysis of Middle-Upper Ordovician in Tazhong Area. *Marine Origin Petroleum Geology*, 5(1—2): 73—83.
- Yang, X. F., Lin, C. S., Yang, H. J., et al., 2010. Application of Natural Gamma Ray Spectrometry in Analysis of Late Ordovician Carbonate Sequence Stratigraphic Analysis in Middle Tarim Basin. *Oil Geophysical Prospecting*, 45(3): 384—391 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. F., Lin, C. S., Yang, H. J., et al., 2010. Depositional Architecture of the Late Ordovician Drowned Carbonate Platform Margin and Its Responses to Sea-Level Fluctuation in the Northern Slope of the Tazhong Region, Tarim Basin. *Petroleum Science*, 7(3): 323—336.
- Yu, B. S., Fan, T. L., Huang, W. H., et al., 2007. Predictive Model for Karst Reservoirs in Sequence Stratigraphic Framework. *Acta Petrologica Sinica*, 28(4): 41—45 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H. J., Wang, X. L., Ding, L., et al., 2007. Carbonate Diagenesis Controlled by Glacioeustatic Sea-Level Changes: A Case Study of the Carboniferous-Permian Boundary Section at Xikou, Zhen'an County, Shanxi Province, China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(3): 329—338 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L. J., Li, Y., Zhou, C. G., et al., 2007. Lithofacies Paleogeographical Characteristics and Reef-Shoal Distribution during the Ordovician in the Tarim Basin. *Oil and Gas Geology*, 28(6): 731—737 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, P., Hou, G. T., Pan, W. Q., et al., 2011. Effect of Carbonate Rock to Development of Structural Fracture in the Area of Keping, Xinjiang, China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 47(5): 831—836 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. J., Wang, Z. M., Wu, X. N., et al., 2007. Genetic Types and Distribution Forecast of Available Carbonate Reservoirs in Ordovician in the Central Area of Tarim Basin. *Petroleum Geology and Experiment*, 29(1): 40—46 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X. Y., Wang, Z. M., Yang, H. J., et al., 2006. Tazhong Ordovician Condensate Field in Tarim Basin. *Marine Origin Petroleum Geology*, 11(1): 45—51 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. Y., Hu, W. X., Song, Y. C., et al., 2005. Fluoritization in Tazhong 45 Reservoir: Characteristics and Its Effect on the Reservoir Bed. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(3): 205—215 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈景山, 王振宇, 代宗仰, 等, 1999. 塔中地区中上奥陶统台地镶边体系分析. *古地学报*, 1(2): 8—17.
- 陈轩, 赵宗举, 张宝民, 等, 2009. 塔里木盆地塔中孤立台地北缘上奥陶统良里塔格组精细沉积建模. *沉积学报*, 27(5): 1002—1011.
- 顾家裕, 张兴阳, 罗平, 等, 2005. 塔里木盆地奥陶系台地边缘生物礁、滩发育特征. *石油与天然气地质*, 26(3): 277—283.
- 黄文辉, 杨敏, 于炳松, 等, 2006. 塔中地区寒武系—奥陶系碳酸盐岩 Sr 元素和 Sr 同位素特征. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(6): 839—845.
- 贾承造, 魏国齐, 2002. 塔里木盆地构造特征与含油气性. *科学通报*, 47(增刊): 1—8.
- 林畅松, 李思田, 刘景彦, 等, 2011. 塔里木盆地古生代重要演化阶段的古构造格局与古地理演化. *岩石学报*, 27(1): 210—218.
- 林畅松, 杨海军, 刘景彦, 等, 2009. 塔里木盆地古生代中央隆起带古构造地貌及其对沉积相发育分布的制约. *中国科学(D辑): 地球科学*, 39(3): 306—316.
- 刘洛夫, 李燕, 王萍, 等, 2008. 塔里木盆地塔中地区 I 号断裂带上奥陶统良里塔格组储集层类型及有利区带预测. *古地学报*, 10(3): 221—230.
- 刘忠宝, 于炳松, 李廷艳, 等, 2004. 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. *沉积学报*, 22(1): 103—109.
- 潘建国, 卫平生, 蔡忠贤, 等, 2012. 塔中地区中一下奥陶统碳酸盐岩孔洞—裂缝储集系统划分及其特征. *地球科学——中国地质大学学报*, 37(4): 751—763.
- 彭莉, 刘小平, 林畅松, 等, 2009. 塔中隆起晚奥陶世古地貌及其沉积相特征. *石油地球物理勘探*, 44(6): 767—772.
- 任建业, 阳怀忠, 胡德胜, 等, 2012. 塔里木盆地中央隆起带断裂活动及其对海相克拉通解体的作用. *地球科学——中国地质大学学报*, 37(4): 645—653.
- 王嗣敏, 金之钧, 解启来, 2004. 塔里木盆地塔中井区碳酸盐

- 岩储层的深部流体改造作用. 地质评论, 50(5): 543—547.
- 王招明, 赵宽志, 邬光辉, 等, 2007. 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. 石油与天然气地质, 28(6): 797—801.
- 王振宇, 孙崇浩, 张云峰, 等, 2010. 塔中 I 号坡折带上奥陶统成礁背景分析. 沉积学报, 28(3): 525—533.
- 阳孝法, 林畅松, 杨海军, 等, 2010. 自然伽马能谱在塔中地区晚奥陶世碳酸盐岩层序地层分析中的应用. 石油地球物理勘探, 45(3): 384—391.
- 杨海军, 刘胜, 李宇平, 等, 2000. 塔中地区中—上奥陶统碳酸盐岩储集层特征分析. 海相油气地质, 5(1—2): 73—83.
- 杨海军, 朱光有, 韩剑发, 等, 2011. 塔里木盆地塔中礁滩体大油气田成藏条件与成藏机制研究. 岩石学报, 27(6): 1865—1885.
- 杨海军, 李开开, 潘文庆, 等, 2012. 塔中地区奥陶系埋藏热液溶蚀液体活动及其对深部储层的改造作用. 岩石学报, 28(3): 783—792.
- 于炳松, 樊太亮, 黄文辉, 等, 2007. 层序格架中岩溶储层发育的预测模型. 石油学报, 28(4): 41—45.
- 张海军, 王训练, 丁林, 等, 2007. 冰川海平面变化控制下的台地碳酸盐岩成岩作用: 以陕西镇安西口石炭—二叠系界线剖面为例. 地球科学——中国地质大学学报, 32(3): 329—338.
- 张丽娟, 李勇, 周成刚, 等, 2007. 塔里木盆地奥陶纪岩相古地理特征及礁滩分布. 石油与天然气地质, 28(6): 731—737.
- 张鹏, 侯贵廷, 潘文庆, 等, 2011. 新疆柯坪地区碳酸盐岩对构造裂缝发育的影响. 北京大学学报(自然科学版), 47(5): 831—836.
- 赵宗举, 王招明, 吴兴宁, 等, 2007. 塔里木盆地塔中地区奥陶系储层成因类型及分布预测. 石油实验地质, 29(1): 40—46.
- 周新源, 王招明, 杨海军, 等, 2006. 塔中奥陶大型凝析气田的勘探和发现. 海相油气地质, 11(1): 45—51.
- 朱东亚, 胡文瑄, 宋玉才, 等, 2005. 塔里木盆地塔中 45 井油藏萤石化特征及其对储层的影响. 岩石矿物学杂志, 24(3): 205—215.