

塔里木盆地塔东凸起西部中上奥陶统 地震层序与海底扇沉积

钟广法¹, 刘学锋², 邓常念³, 万里皋³

1. 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

2. 上海大学通信与信息工程学院, 上海 200436

3. 东方地球物理公司研究院乌鲁木齐分院, 新疆乌鲁木齐 830016

摘要: 根据区域地震资料研究塔里木盆地塔东凸起西部中上奥陶统层序地层格架及沉积演化, 在中上奥陶统识别出了2个地震层序, 发现了叠置的丘状前积反射地震单元, 综合岩心观察、岩屑录井和薄片资料, 确认为海底扇沉积体。海底扇沉积主要由块状砂、砾岩, 递变层理砂岩, 平行层理砂岩, 砂纹层理粉砂岩, 变形或包卷层理粉砂岩, 水平层理泥质粉砂岩或粉砂质泥岩, 块状或递变的粉砂质泥岩和泥岩等岩相组成, 形成于中扇和外扇环境, 物源来自研究区南部的岛弧带。海底扇的发现对于塔东凸起乃至整个塔里木盆地中上奥陶统油气勘探具有重要意义。

关键词: 地震解释; 层序; 海底扇; 浊流沉积; 奥陶纪; 塔里木盆地。

中图分类号: P539.1

文章编号: 1000-2383(2006)03-0366-06

收稿日期: 2005-07-20

Middle-Upper Ordovician Seismic Sequences and Submarine Fan Deposits in West Tadong Uplift, Tarim Basin, Northwest China

ZHONG Guang-fa¹, LIU Xue-feng², DENG Chang-nian³, WAN Li-gao³

1. State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

2. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200436, China

3. Urumqi Branch of Geophysical Research Institute, Bureau of Geophysical Prospecting, CNPC, Urumqi 830016, China

Abstract: Middle-Upper Ordovician sequence stratigraphy and sedimentary evolution are studied based on the interpretation of regional seismic data in west Tadong uplift, Tarim basin, Northwest China. Two seismic sequences are identified in the Middle-Upper Ordovician, and a group of seismic reflection units with mounded geometry and clinoforms are confirmed as stacked submarine fan deposits calibrated by cores and lithological logs. The submarine fan deposits mainly consist of seven types of lithofacies, which are massive conglomerates and sandstones, normal-graded sandstones and siltstones, parallel-bedded sandstones and siltstones, rippled siltstones, convolute siltstones, horizontal-laminated silty shales, and massive or graded shales, respectively. The submarine fans were sourced from the Middle-Late Ordovician island arcs located to the south of our study area. The findings of this study are significant to hydrocarbon exploration in the Tarim basin.

Key words: seismic interpretation; sequence; submarine fan; turbidite; Ordovician; Tarim basin.

0 引言

塔里木盆地中上奥陶统以暗色泥页岩为主, 其分布广、厚度大, 被认为是塔里木盆地重要的烃源岩

之一(梁狄刚等, 2000)。随着勘探程度的加深, 塔中等地相继发现了中上奥陶统具有工业开采价值的碳酸盐岩储层(陈景山等, 1999; 代宗仰等, 2001), 还出现了内潮汐、等深流等潜在储集体可能存在的报道

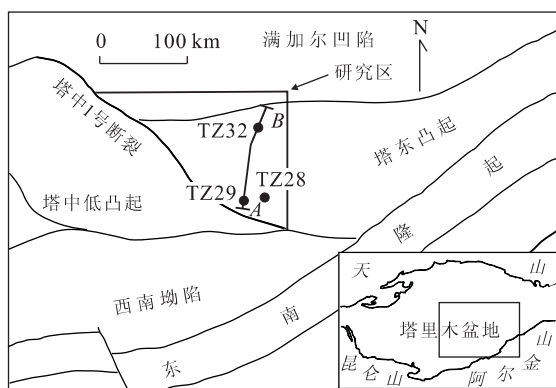


图1 研究区构造位置略图(据贾承造等,1995改绘)

Fig. 1 Sketch map of study area

(谢晓安等,1996;高振中等,2000;何幼斌等,2003),使得中上奥陶统成为塔里木盆地油气勘探的热点。

寒武—奥陶纪,塔里木盆地发育2种原型盆地:东部为库鲁克塔格—满加尔坳拉槽(简称库满坳拉槽),西部为塔西克拉通内坳陷。库满坳拉槽的发育始于震旦纪,中晚奥陶世是其最主要的沉降和充填期(贾承造等,1995;魏国齐等,2000)。塔西克拉通内坳陷在寒武纪—早奥陶世发育碳酸盐台地沉积,中晚奥陶世台地范围逐渐缩小,并转化为混积陆棚(何远碧等,1995;贾进华等,1998;李宇平等,2000)。

研究区位于塔里木盆地中央隆起塔东凸起西部,其西南侧以塔中1号断裂与塔中低凸起分界(图1)。早奥陶世,这里是塔西克拉通内坳陷的一部分,接受碳酸盐台地沉积。中晚奥陶世,库满坳拉槽向西扩展,本区沦陷为其西南缘的组成部分。因此,该区是了解中晚奥陶世库满坳拉槽形成演化、塔中1号断裂带成因及塔西碳酸盐台地沉没消亡等区域地质事件的关键区域。本文根据区域地震剖面研究中上奥陶统的层序结构,发现了叠置的丘状前积反射单元,结合岩心观察、岩屑录井和薄片资料分析,证实为海底扇沉积体,并对其沉积特征进行探讨。海底扇沉积的发现,对于塔东凸起乃至整个塔里木盆地中上奥陶统油气勘探具有重要意义。

1 地震层序格架及沉积演化

研究区奥陶系以 Tg3 或 Tg5 为顶界,以 Tg6 为底界(图2)。Tg3 和 Tg5 分别是中上奥陶统与上覆石炭系和志留系之间的不整合面。研究区中南部,中上奥陶统以高角度终止于 Tg3 界面,北部则与

Tg5 呈低角度不整合接触。Tg6 为下奥陶统与下伏寒武系之间的分界面,该界面上下,地震反射同相轴基本平行,为一个整合面或假整合面。

奥陶系内部可以识别出2个明显的不整合面,即 Tg5' 和 Tg5''(图2)。Tg5' 位于中上奥陶统内部,其上下地层产状不协调,上覆地层倾角较陡,与 Tg5' 界面近于平行,局部见上超、下超现象;下伏地层反射同相轴较 Tg5' 平缓,局部终止于 Tg5' 界面,表现为削蚀或视削蚀特征。Tg5'' 是中上奥陶统碎屑岩与下伏下奥陶统碳酸盐岩之间的分界面,为一强反射面和区域下超面,其下伏地层(O₁)与 Tg5'' 平行,上覆地层(O₂₊₃)由南而北依次下超终止于该界面。中上奥陶统介于 Tg3/Tg5 与 Tg5'' 之间。以 Tg5' 为界,可以划分为2个地震层序,分别是介于 Tg5' 与 Tg5'' 之间的层序1和介于 Tg3/Tg5 与 Tg5' 的层序2(图2)。

层序1由一组自南而北逐渐收敛和下超的反射单元构成,沉积厚度由南向北明显减薄(图2)。TZ29井中上奥陶统残厚2438m,均位于该层序内,主要为深灰色泥页岩,夹薄层泥灰岩、粉砂岩和细砂岩,泥页岩产深水化石组合,细、粉砂岩发育递变层理和 Bomma 序列,为浊流沉积,与下伏下奥陶统浅水台地相灰岩沉积形成鲜明对照(图3a)。由于中上奥陶统与下伏下奥陶统间无陆上暴露和陆上侵蚀证据,因此层序1的底界 Tg5'' 为一水深突然增加和沉积相突变界面,相当于 Schlager and Camber(1986)的“淹没不整合面”。

层序2残存于 TZ29、TZ28 井一线以北,主要由

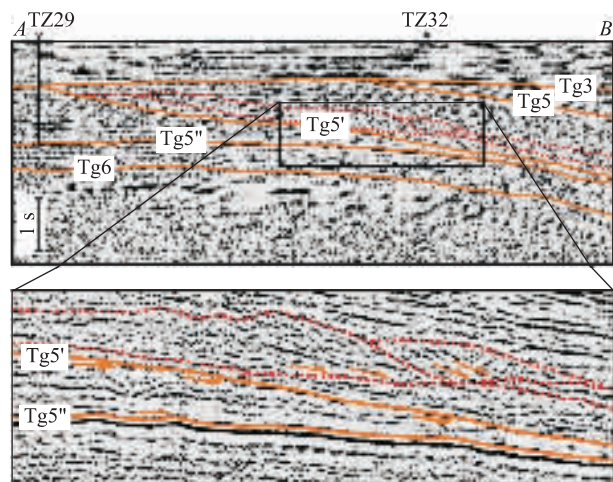


图2 中上奥陶统地震层序划分及特征(剖面AB的位置见图1)
Fig. 2 Characteristics of the Middle-Upper Ordovician seismic sequences along Profile AB

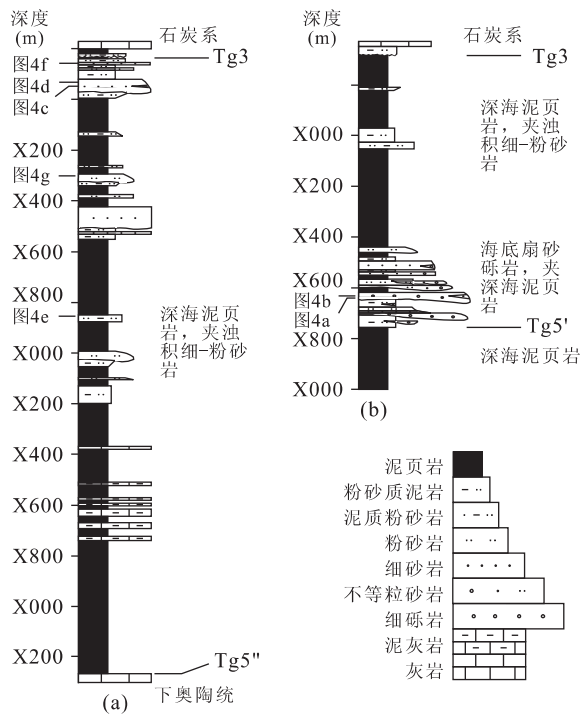


图 3 中上奥陶统 TZ29 井(a)和 TZ28 井(b)地层剖面

Fig. 3 Middle-Upper Ordovician lithological columns at Well TZ29 (a) and Well TZ28 (b)

2 部分组成,下部以叠覆的丘状反射单元为特征,内部发育前积结构,局部反射杂乱(图 2). TZ28 井 X435~X703 m 钻遇该套地层,厚 268 m,主要由块状或具正粒序的砂、砾岩组成,根据其上、下地层及内部夹层均为笔石页岩和钙质泥岩,属深水沉积,推测为叠置的海底扇沉积(图 3b). 层序 2 中上部反射连续性变好,发育平行反射结构,局部下超于下伏丘状单元之上. TZ28 井揭示,层序 2 中部紧靠丘状反射之上,为笔石页岩和钙质泥岩,夹薄层浊积岩,属深水沉积. TZ32 井钻揭层序 2 顶部,为泥岩与粉、细砂岩不等厚互层,泥岩深灰色,发育水平层理,生物扰动构造呈层状富集,粉砂岩发育波状、透镜状、脉状层理,细砂岩见槽状交错层理,推测为潮控陆棚沉积.

根据层序 1 向北收敛减薄和发育深水泥页岩沉积,推测该层序发育时期,本区可能位于库满拗拉槽西南缘斜坡底部及其与东北部深水海槽的过渡带. 层序 2 下部以叠置的海底扇碎屑岩为特征,反射层的产状较层序 1 变陡,说明层序 2 发育早期,本区已处于斜坡环境. 到层序 2 发育晚期,水深进一步变浅,主要为陆棚砂、泥岩沉积. 因此,从层序 1 到层序 2,本区沉积环境经历了从斜坡脚或盆地平原到斜坡扇,直至潮控陆棚的演变,总体上表现为一水深变浅

的进积序列.

2 海底扇沉积特征

2.1 海底扇沉积证据

本区海底扇沉积的证据主要有:(1)中上奥陶统主要由深灰色泥页岩组成,产浮游笔石—薄壳腕足化石组合,证明总体为深水沉积环境(何远碧等, 1995). (2)夹于深水泥页岩中或与之互层的砂、砾岩主要有 2 类,一是块状或无层理的砾岩、砂质砾岩、砾状砂岩、含砾砂岩和砂岩,相当于 Shanmugam (1997)的非粘性碎屑流沉积;二是发育递变层理、平行层理、砂纹层理、包卷层理,并可用 Bomma 序列描述的砂岩和粉砂岩,为典型的浊流沉积. (3)层序 2 底部重力流成因的砂、砾岩体表现为明显的丘状外形,内部发育前积反射结构,且其产状较下伏层序 1 明显变陡,按 Exxon 的 1 型层序模式解释,应属斜坡坡扇(Van Wagoner *et al.*, 1988). 此外,层序 1 由南往北整体下超收敛,沉积厚度向北迅速减薄. 这种横向上厚度的快速变化,某种程度上可能是斜坡脚海底扇(裙)的反映.

2.2 海底扇岩相类型及特征

本区海底扇岩相类型可以归纳为以下 7 类:(1)块状砂、砾岩,中、细砾碎屑物质随机地“漂浮”在砂质基质中,砾石含量 0%~60%不等,分选差,块状无层理,顶、底突变,单层厚 3~20 cm,多个块状砂、砾岩层常相互叠置,构成厚层砂砾岩序列(图 4a, 4b). 可细分为砾岩(Mg)、砂质砾岩或砾状砂岩(Mgs)和含砾砂岩或砂岩(Ms),解释为非粘性碎屑流沉积(Shanmugam, 1997). (2)发育正向递变层理的砂岩(Gs),底部可见细砾及灰色—深灰色泥砾,底突变,顶部与发育平行层理的砂岩(Ps)过渡,单层厚 3~15 cm(图 4c—4e),相当于 Bouma 序列 a 段. (3)发育平行层理的细砂岩或粉砂岩(Ps),有时见正向递变,底部突变或叠置在 Gs 之上,顶部渐变为发育砂纹层理或包卷层理的粉砂岩(Rs、Cs),单层厚 3~10 cm(图 4c, 4d, 4f, 4g),相当于 Bouma 序列 b 段. (4)发育不对称爬升砂纹层理的粉砂岩或泥质粉砂岩(Rs),底部突变或覆于 Ps 之上,顶部渐变为发育水平层理的泥质粉砂岩或粉砂质泥岩(Hs),单层厚 1~8 cm(图 4d, 4f),相当于 Bouma 序列 c 段. (5)发育变形或包卷层理的粉砂岩或泥质粉砂岩(Cs),底部覆于 Ps、Rs 之上,顶部渐变为发育水平

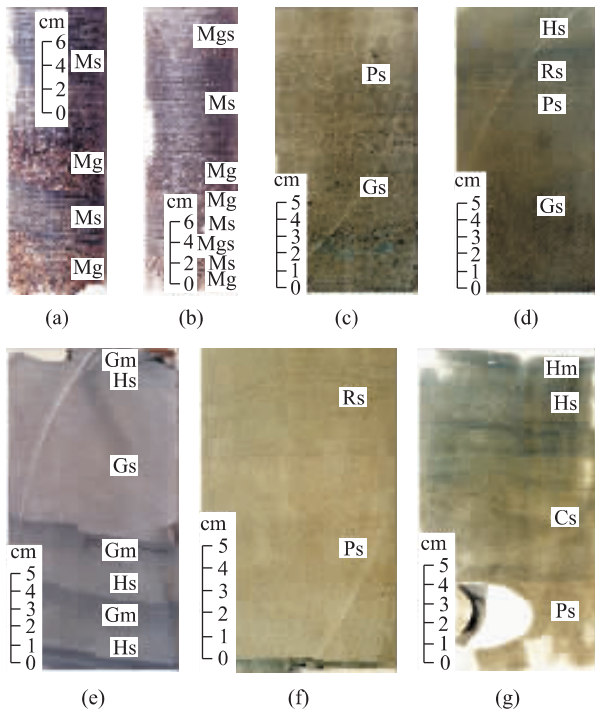


图 4 海底扇的岩相类型及组合特征

Fig. 4 Lithofacies and their combinations in submarine fan deposits

岩心照片的位置见图 3,符号说明见正文

层理的泥质粉砂岩或粉砂质泥岩(Hs),单层厚 1~8 cm(图 4g),相当于 Bouma 序列 c 段。(6)发育水平层理的泥质粉砂岩或粉砂质泥岩(Hs),底部突变或与 Rs、Cs 呈渐变接触,顶部渐变为块状或递变的粉砂质泥岩和泥岩(Gm),单层厚 1~5 cm(图 4e, 4g),相当于 Bouma 序列 d 段。(7)块状或递变粉砂质泥岩和泥岩(Gm),深灰色,块状,有时见正向递变,由泥质含量向上增加、颜色向上变深显示出来,覆盖在 Hs 之上,单层厚 0.5~3 cm(图 4e, 4g),相当于 Bouma 序列 e 段。

上述岩相的组合主要有 2 类:一是不同粒级的块状砂、砾岩叠置(图 4a, 4b);二是岩相 2~7 组合成不同类型的 Bouma 序列(图 4c—4g)。这 2 种岩相组合均产于发育深水化石组合的深灰色泥页岩背景沉积之中(图 3)。

2.3 物源分析

在区域南北向地震剖面上,层序 1 向北下超,地层厚度依次减薄,表明物源位于研究区以南。层序 2 下部叠置的海底扇丘状反射体内可见清晰的由南向北的前积结构,亦证实物源来自南方(图 2)。

本区海底扇砂岩碎屑组成为:岩屑(L)60%~

95%,平均 70.6%;石英(Q)4%~37%,平均 23.8%;长石(F)1%~10%,平均 5.6%(图 5)。岩屑以凝灰岩、流纹岩等酸性火山岩为主,含少量中基性火山岩、硅质片岩、泥质片岩、板岩、变砂岩、变粉砂岩及硅质岩,表明物源以酸性岩浆弧为主,少量浅变质岩及硅质岩岩屑可能来自于岛弧造山带。在 Dickinson *et al.* (1983)的砂岩成分与物源区构造环境关系图解上,本区海底扇砂岩落入岩浆弧及紧邻岩浆弧的再旋回造山带区域(图 5),支持上述推论。研究区南部岩浆弧物源区的形成可能与早奥陶世末阿尔金洋壳向北俯冲导致塔里木板块南部被动边缘向活动边缘的转化有关(贾承造等,1995;魏国齐等,2000)。

2.4 沉积环境

海底扇沉积环境可以划分为内扇、中扇和外扇 3 个带(Mattern, 2005)。根据岩相特征分析,本区海底扇沉积主要形成于中扇和外扇环境,内扇(即重力流主水道区)不发育,推测应位于研究区南部更靠近物源的部位。

中扇主要由分支重力流水道、水道间区及水道末端快速堆积的叶体组成。分支重力流水道沉积主要由块状砂、砾岩(Mg、Mgs 和 Ms)和递变层理砂岩(Gs)组成。其中,块状砂、砾岩(Mg、Mgs 和 Ms)系充填重力流水道的非粘性碎屑流沉积产物,递变层理砂岩为浊流沉积产物。水道间区通常以浊积细、粉砂岩及泥质岩为主,但不易保存,易被水道改道或叶体侧向迁移破坏。

外扇位于中扇与深海平原之间的过渡部位。由于缺少水道限制,且地势变平坦,加之粗碎屑已在中扇和内扇沉积下来,浊流密度减小,流速降低,因此沉积物粒度较细,以细、粉砂岩及泥质岩为主,发育

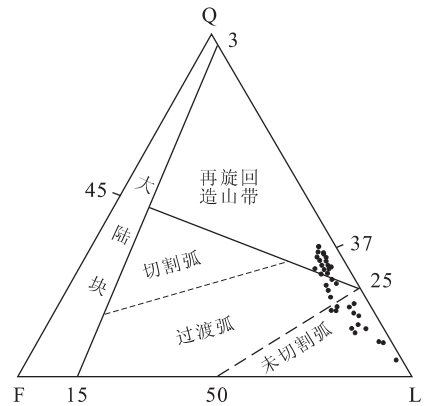


图 5 海底扇砂岩 QFL 图

Fig. 5 QFL diagram of submarine fan sandstones

递变层理、平行层理、爬升砂纹层理、包卷层理等沉积构造,岩相类型有 G_s、P_s、R_s、C_s、H_s 及 H_m 等,岩相组合表现为 bcde、cde、de 等类型的 Bouma 序列,常与深海正常悬浮沉积作用形成的泥页岩共生。

3 讨论与结论

早奥陶世,塔东凸起与其西侧的塔中低凸起一样发育碳酸盐台地沉积,是塔西克拉通内拗陷的重要组成部分。中晚奥陶世,塔东凸起与塔中凸起中上奥陶统沉积特征出现明显差异:塔东凸起区碳酸盐台地消失,代之以巨厚的深水泥页岩夹海底扇沉积,塔中低凸起则为碳酸盐岩台地和混积陆棚沉积(何远碧等,1995;贾进华等,1998;陈景山等,1999;李宇平等,2000;代宗仰等,2001)。由此推测,早奥陶世未开始,塔中 1 号断裂可能已开始活动,并成为库满坳拉槽西南边界断裂系的一部分。塔里木盆地南北两侧板块的俯冲及由此引发的被动边缘向活动边缘的转化,引起库满坳拉槽快速沉降并向西扩展,是导致塔中 1 号断裂形成、塔东凸起碳酸盐台地淹没及海底扇沉积体系发育等一系列的区域地质事件的根本原因。

作为早奥陶世末板块俯冲活动和大陆边缘转化的直接后果,塔里木盆地周缘新生岛弧带崛起,它们在中晚奥陶世向库满坳拉槽提供了大量的陆源碎屑物质,为海底扇的发育奠定了重要的物质基础。此外,陆源碎屑供应的增加,导致环境浊度增大、透光性减低,可能还是塔西克拉通内拗陷碳酸盐台地逐渐萎缩并最终消亡的重要原因。

主要认识或结论如下:塔东凸起西部中上奥陶统可以划分为 2 个地震层序:层序 1 主要由深水泥页岩组成,夹薄层浊积岩,与下伏下奥陶统台地相灰岩特征迥异。层序 1 的底界为一下超面和淹没不整合面,标志着下奥陶统碳酸盐岩台地的淹没和消亡;层序 2 下部发育多个叠置的丘状前积反射单元,钻井资料证实为叠置的海底扇砂、砾岩沉积体。层序 2 中部为深海泥页岩夹薄层浊积岩,顶部演变为潮控陆棚沉积。从层序 1 到层序 2,沉积环境经历了深海平原→海底扇(斜坡)→陆棚的转变,总体上表现为一水深变浅的进积序列。本区海底扇沉积主要由非粘性碎屑流成因的块状砂、砾岩和发育递变层理及平行层理、爬升砂纹层理、变形层理并可用 Bouma 序列描述的浊积岩组成,垂向上产于深海正常悬浮沉积作用形成的深灰色笔石页岩、钙质泥岩、泥灰岩

等细粒背景沉积之中。

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 Paleogeography*, 1(2): 8—17 (in Chinese with English abstract).
- Dai, Z. Y., Zhou, Y., Chen, J. S., et al., 2001. The characteristics and evaluation of Middle & Upper Ordovician reef and shoal-related carbonate reservoir in Tazhong north slope, Tarim basin. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 23(4): 1—4 (in Chinese with English abstract).
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., et al., 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94: 222—235.
- Gao, Z. Z., He, Y. B., Zhang, X. Y., et al., 2000. Internal-wave and internal-tide deposits of the Middle-Upper Ordovician in the central Tarim basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18: 400—407 (in Chinese with English abstract).
- He, Y. B., Gao, Z. Z., Zhang, X. Y., et al., 2003. Internal-tide deposits of the Middle and Upper Ordovician in Well TZ32, Tarim basin. *Journal of Paleogeography*, 5(4): 414—425 (in Chinese with English abstract).
- He, Y. B., Wang, Z. Y., Chen, J. S., et al., 1995. Biologic assemblage and facies of Cambrian-Ordovician in Tarim basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 16(2): 114—122 (in Chinese with English abstract).
- Jia, C. Z., Wei, G. Q., Yao, H. J., et al., 1995. Structural evolution and regional structural geology of Tarim basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 48—51, 71—81 (in Chinese).
- Jia, J. H., Gu, J. Y., Li, X. D., et al., 1998. Stratigraphic framework and sedimentary evolution of Ordovician strata in Tazhong area, Tarim basin. *Marine Origin Petroleum Geology*, 3(4): 31—36 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. P., Li, X. S., Zhou, Y., et al., 2000. Sedimentary characteristics and evolution history of Middle-Upper Ordovician in Tazhong area. *Xinjiang Petroleum Geology*, 21: 204—207 (in Chinese with English abstract).
- Liang, D. G., Zhang, S. C., Zhang, B. M., et al., 2000. Understanding on marine oil generation in China based on Tarim basin. *Earth Science Frontiers*, 7: 534—547 (in

Chinese with English abstract).

- Mattern, F., 2005. Ancient sand-rich submarine fans; Depositional systems, models, identification, and analysis. *Earth-Science Reviews*, 70: 167—202.
- Schlager, W., Camber, O., 1986. Submarine slope angles, drowning unconformities, and self-erosion of limestone escarpments. *Geology*, 14: 762—765.
- Shanmugam, G., 1997. The Bouma sequence and the turbidite mind set. *Earth-Science Reviews*, 42: 201—229.
- Van Wagoner, J. C., Posamentier, H. W., Mitchum, R. M., et al., 1988. An overview of sequence stratigraphy and key definitions. In: Wilgus, C. W. K., Hastings, B. S., Kendall, C. G. St. C., et al., eds., *Sea level changes: An integrated approach. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.*, 42: 39—45.
- Wei, G. Q., Jia, C. Z., Song, H. Z., et al., 2000. Ordovician structural-depositional model and prediction for profitable crack reservoir of carbonate rock in Tazhong area, Tarim basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18: 408—413 (in Chinese with English abstract).
- Xie, X. A., Wang, R. D., Li, G. W., et al., 1996. The origin of erosional valley of southern Mangar sag in Tarim basin and analysis about its petroleum geology significance. *Acta Sedimentologica Sinica*, 14(2): 41—46 (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. *古地理学报*, 1(2): 8—17.
- 代宗仰, 周翼, 陈景山, 等, 2001. 塔中中上奥陶统礁、滩相储层的特征及评价. *西南石油学院学报*, 23(4): 1—4.
- 高振中, 何幼斌, 张兴阳, 等, 2000. 塔中地区中晚奥陶世内波、内潮汐沉积. *沉积学报*, 18: 400—407.
- 何幼斌, 高振中, 张兴阳, 等, 2003. 塔里木盆地塔中 32 井中上奥陶统内潮汐沉积. *古地理学报*, 5(4): 414—425.
- 何远碧, 王振宇, 陈景山, 等, 1995. 塔里木盆地寒武—奥陶纪生物组合和生物相. *新疆石油地质*, 16(2): 114—122.
- 贾承造, 魏国齐, 姚慧君, 等, 1995. 盆地构造演化与区域构造地质(塔里木盆地油气勘探丛书). 北京: 石油工业出版社, 48—51, 71—81.
- 贾进华, 顾家裕, 李小地, 等, 1998. 塔中地区奥陶系地层格架与沉积演化. *海相油气地质*, 3(4): 31—36.
- 李宇平, 李新生, 周翼, 等, 2000. 塔中地区中及上奥陶统沉积特征及沉积演化史. *新疆石油地质*, 21: 204—207.
- 梁狄刚, 张水昌, 张宝民, 等, 2000. 从塔里木盆地看中国海相生油问题. *地学前缘*, 7: 534—547.
- 魏国齐, 贾承造, 宋惠珍, 等, 2000. 塔里木盆地塔中地区奥陶系构造—沉积模式与碳酸盐岩裂缝储层预测. *沉积学报*, 18: 408—413.
- 谢晓安, 王仁德, 李光文, 等, 1996. 塔里木盆地满加尔南切割谷的成因探讨与石油地质意义浅析. *沉积学报*, 14(2): 41—46.