文章编号:1009-3850(2014)02-0036-07

塔北奥陶系碳酸盐岩沉积演化特征及台地发育模式

赵学钦¹,杨海军²,马青³,周成刚⁴,孙崇浩²,

尹铁君¹,蔡 泉²,孙仕勇¹

 (1. 西南科技大学环境与资源学院,四川 绵阳 621010; 2. 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; 3. 西南石油大学资源与环境学院,四川 成都 610500;
4. 中国石油东方地球物理有限责任公司研究院库尔勒分院,新疆 库尔勒 841000)

摘要:通过对塔北奥陶系碳酸盐岩沉积相类型、相带区域组合及分布特征的研究,根据岩石特征、沉积结构和相序特 征的分析,建立了塔北奥陶系碳酸盐岩的沉积演化模式。研究认为塔北下奥陶统蓬莱坝组、中下奥陶统鹰山组、中 奥陶统一间房组和上奥陶统吐木休克组沉积相横向分布较稳定。蓬莱坝组、鹰山组鹰四段、鹰三段为局限台地相; 鹰二段为半局限台地相;鹰一段和一间房组属于开阔台地相,但向上水体不断变浅,一间房组沉积时期开始出现点 礁;上奥陶统吐木休克组沉积时期区域整体沉降,为沉没台地-斜坡-盆地沉积。上奥陶统良里塔格组沉积时期盆地 整体抬升,区域沉积厚度和沉积相出现较大变化,早中期发育碳酸盐开阔台地相,后期为典型的台地边缘相。

关键 词:塔里木盆地;奥陶系;碳酸盐岩;台地边缘

中图分类号: P512.2 文献标识码: A

碳酸盐岩沉积相模式不但可以反映沉积时的 水动力、古气候条件、海平面升降、大地构造背景以 及它们的演化特点,也是描绘和模拟碳酸盐岩中的 储集相的有效工具^[1-3]。塔里木盆地古生界尤其是 寒武系一奥陶系碳酸盐岩地层分布面积广,厚度 大,油气勘探潜力大^[4-44],目前发现和探明了塔河、 哈德逊、英卖力、塔中一号断裂折坡带^[7-41]等油气 田。塔北地区奥陶系碳酸盐岩是塔里木盆地油气 重要的产量区带,目前已建成塔河、哈德逊、英卖力 等多个油气区块。本文在沉积相类型研究的基础 上,重点对塔北奥陶系碳酸盐岩地层沉积相类型及 相带区域分布特征开展研究,结合区域地质特征和 沉积背景,建立奥陶系碳酸盐岩沉积演化模式。

1 区域地质概况

研究区位于塔里木盆地北部(以下简称塔北),

北靠库车坳陷,南邻满加尔凹陷,包括轮南、英买力 及哈拉哈塘等地区,呈近东西向展布^[15,16](图1)。 区内奥陶系地层可划分为下奥陶统蓬莱坝组(O₁ *p*),中下奥陶统鹰山组(O₁₂*y*),中奥陶统一间房组 (O₂*y*),上奥陶统吐木休克组(O₃*t*)、良里塔格组(O₃ *l*)和桑塔木组(O₃*s*)^[17,18]。下奥陶统蓬莱坝组主要 在研究区北部钻遇,而且仅少数井钻遇,该组岩性 以云质泥晶灰岩为主夹砂屑灰岩、砂屑云岩;中、下 奥陶统鹰山组可以分为4段,其中鹰一段和鹰二段 为中奥陶统,岩性以泥晶灰岩为主夹砂屑灰岩,属 开阔台地台内洼地夹台内砂屑滩沉积;鹰三段和鹰 四段为下奥陶统,岩性为泥晶灰岩、颗粒灰岩、云质 灰岩、灰质云岩、白云岩、灰质泥岩薄互层,属半局 限台地沉积。一间房组岩性以亮晶颗粒灰岩为主 夹生物灰岩、泥晶灰岩薄层,沉积相为开阔台地浅

收稿日期: 2014-01-16; 改回日期: 2014-01-28

作者简介: 赵学钦(1977-), 男, 讲师, 博士, 主要从事于石油地质勘探和构造地质学的教学科研工作

滩夹点礁。上奥陶统吐木休克组是塔北地区的区 域性标志层,岩性以棕色、青灰色泥灰岩、泥晶灰 岩、泥晶生屑灰岩为主,为台地整体沉没至上斜坡 时期的沉积;良里塔格组岩性以瘤状灰岩为主,上 部出现较纯的台缘礁滩体砂屑灰岩和生物灰岩,为 台地边缘-斜坡沉积;桑塔木组岩性以深灰色泥岩为 主夹灰岩,为混积陆棚-斜坡盆地沉积^[19]。从区域 地层分布情况看,在靠近塔北古隆起中部区域的奥 陶系遭到强烈剥蚀,而在南部地区奥陶系保存较全 (图1)。



图 1 塔北地区奥陶系分布图 Fig. 1 Distribution of the Ordovician strata in northern Tarim Basin

2 沉积相展布规律

研究区上奥陶统吐木休克组岩性从青灰色、灰 绿色泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩相变到棕褐色瘤状灰 岩再相变到棕褐色钙质泥岩,测井曲线特征明显, 自然伽玛和电阻率曲线均表现为漏斗型特征,其在 全区分布且易于对比。因此,吐木休克组通常被作 为塔北奥陶系的对比标志层^[19]。

本次研究将吐木休克组的顶拉平进行区域沉 积相分析,建立东西向区域连井沉积相对比图(图 2),该连井剖面西起英买力低凸起 YM2 井、YM101 井,穿过哈拉哈塘凹陷 HA6 井、HD17 井,东至轮南 低凸起的 LG35 井、LG36 井。分析表明,中下奥陶 统鹰山组、一间房组和上奥陶统吐木休克组的沉积 相横向分布较稳定,上奥陶统良里塔格组沉积相横 向变化较大。具体特征如下:

(1)下奥陶统蓬莱坝组和中下奥陶统鹰山组下 部(鹰三段、鹰四段)在本区仅有少数井钻遇并钻 穿 岩性主要为粉晶云岩、细晶云岩与含云灰岩呈 近等厚互层,间夹薄层状砂屑灰岩、泥晶灰岩,为局 限台地泻湖-潮坪相夹障壁滩坝沉积,厚度分布稳 定,东部 LG36 井附近障壁滩坝发育。中下奥陶统 鹰山组鹰二段下部为泥晶灰岩、泥晶砂屑灰岩、含 云灰岩、粉晶云岩、细晶云岩互层(图 3b),上部以泥 晶灰岩为主,间夹中厚层状砂屑灰岩,表现为半局 限台地向开阔台地沉积环境的转变,主要为滩间海 夹砂屑滩沉积,厚度分布稳定,东部 LG36 井附近砂 屑滩发育。

(2)中下奥陶统鹰山组鹰一段的岩性在 YM2 井区、HA6 井区和 HD23 井区主要以褐灰色含燧石 结核泥晶灰岩为主夹砂屑灰岩和砂砾屑灰岩薄层 (图 3a),为开阔台地台内洼地沉积物,在 YM101 井 区和轮南低凸起的 LG35 井区、LG36 井区岩性主要 为亮晶砂屑灰岩夹泥晶灰岩,为开阔台地台内滩夹 滩间海沉积,并且厚度分布比较稳定。

(3) 中奥陶统一间房组沉积时期的沉积相类型 基本继承了鹰山组开阔台地相特征,但海水变浅, 为开阔台地台内浅滩夹托盘类生物点礁,发育为砂 屑灰岩、砂砾屑灰岩夹托盘类生物灰岩(图 3d)。 HD17 井区的一间房组沉积物变粗,发育砂砾屑灰 岩和塌积角砾岩(图 3c),显示出 HD17 井区的海水 较浅、波浪能量高的沉积特征;在 YM2 井区,一间房 组岩性较细,为砂屑灰岩和生屑砂屑灰岩夹泥晶灰 岩薄层。一间房组和鹰山组的分层界线较难确定, 特别是在 HA6 井区。

(4) 奥陶系上统吐木休克组地层在研究区沉积



图 2 塔北奥陶系碳酸盐岩沉积相东西向连井对比剖面

Fig. 2 EW-trending well-tie section correlation of the sedimentary facies of the Ordovician carbonate rocks in northern Tarim Basin

厚度稳定,沉积物和沉积序列特征基本一致,岩性 从青灰色/灰绿色泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩相变到 棕褐色瘤状灰岩再相变到棕褐色钙质泥岩(图3e、 f),沉积相均为沉没台地-斜坡相,反映了塔北地区 中奥陶统一间房组为开阔台地整体沉没至上斜坡 的沉积特征。

(5) 奥陶系上统良里塔格组的沉积厚度和沉积 相变化较大,哈得17、YM2和YM1井区良里塔格组 沉积厚度较薄,主要为鲕粒灰岩、生屑泥晶灰岩、泥 晶生屑灰岩夹薄层泥岩(图3h、i、j),为台内洼地 (滩间海)沉积;而在HA6井区、LG35井区和轮古 36井区,良里塔格组上部沉积了较厚的台地边缘台 缘洼地瘤状灰岩和台缘滩砂屑灰岩沉积(图3g),显 示出孤立台地沉积特征,顶部出现较纯的砂屑灰岩 和砂砾屑灰岩沉积物(图3h),沉积时能量较高,显 示沉积期曾经暴露于海平面之上。

3 碳酸盐岩台地沉积演化模式探讨

通过对研究区钻井岩石特征、沉积结构的研究,以及沉积相在纵横向剖面上的组合变化特征的 详细分析,结合区域地质特征和沉积背景,根据威 尔逊碳酸盐岩台地沉积模式^[3],建立了塔北地区奥 陶纪之不同时期的碳酸盐岩台地沉积模式(图4)。

3.1 早奧陶世局限台地-半局限台地沉积

从塔北地区蓬莱坝组和鹰山组下部地层岩性 组合关系看,塔北地区的早奥陶世沉积格局是寒武 纪沉积格局的沿续^[18_20],发育泥晶灰岩与细晶白云 岩、粉晶白云岩呈略等厚互层沉积,为局限台地-半 局限台地沉积环境。局限台地可进一步划分为潮 坪、泻湖和障壁滩坝3个亚相,半局限台地进一步 划分为半局限泻湖、台内滩和滩间海3个亚相 (图4A)。

3.2 中奥陶世开阔台地沉积

塔北地区中奥陶统包括鹰山组上部和一间房 组 岩性组合下部以泥晶灰岩为主夹亮晶颗粒灰 岩 往上颗粒逐渐变粗;上部以亮晶颗粒灰岩为主 夹泥晶灰岩。一间房组出现生物礁灰岩。从沉积 环境上看,塔北地区中奥陶世为开阔台地沉积环境 (图4B),水体深度向上变浅;地层厚度上,厚度稳 定,无显著性变化。中奥陶世开阔台地可进一步分 为台内滩、台内生物点礁、滩间海(台内洼地)3个亚 相^[19] 其中台内点礁主要分布在中奥陶统一间房组。



图 3 塔北地区奥陶系碳酸盐岩沉积特征

a. 灰褐色泥晶灰岩 縫合线、裂缝发育,YM2 井 5918.08m ,鹰山组; b. 灰白-灰绿色云质泥晶灰岩,缝合线、裂缝发育,HA6 井 7044.21m ,鹰山 组; e. 浅褐色含生屑砂屑灰岩,见微裂缝发育被方解石半充填-全充填;HD23 井 6323.37m ,一间房组; d. 浅灰色瓶筐石障积岩,见完整的托盘类 瓶筐石,HD17 井 6462.00m ,一间房组; e. 青灰色生屑泥晶灰岩、藻粘结岩,多海绿石,发育一条近垂直裂缝充填方解石,HA902 井 6635.25m , 吐木休克组; f. 灰色泥质条带含生屑泥晶灰岩,见少量生屑,夹深灰色泥质条带,HA601-2 井 6636.09m ,吐木休克组; g. 浅灰色泥质条带泥晶灰 岩 裂缝及溶洞发育,溶洞半充填渗流粉砂,YM1 井 5352.20m ,良里塔格组; h. 下部为灰色、灰白色泥晶灰岩,晶洞发育,上部为含砾屑砂屑灰 岩,见底冲刷面,发育平行层理,粒度反旋回,YM4 井 5071.5m ,良里塔格组; i. 灰褐色亮晶砂屑鲕粒灰岩,见黑色泥质条带(冲刷面),HD23 井, 6256.30m ,良里塔格组; j. 灰色钙质泥岩和泥质灰岩,砂纹层理,生物潜穴和生物扰动构造发育,垂直裂缝被方解石完全充填,YM2 井, 5794.62m ,良里塔格组。

Fig. 3 Description of the Ordovician carbonate rocks in northern Tarim Basin



图 4 塔北奥陶系碳酸盐岩台地演化模式

Fig. 4 Models showing the evolution of Ordovician carbonate platforms in northern Tarim Basin

3.3 晚奥陶世初期沉没台地沉积

晚奥陶世吐木休克组沉积时期,塔北地区整体 沉降,沉积界面逐渐沉没于正常浪基面之下。下部 岩性为褐灰色、红灰色泥晶灰岩、泥质灰岩、瘤状灰 岩,向上过渡为红色、灰绿色钙质泥岩、泥岩,反应 了向上水体变深,泥质含量增加。测井曲线向上自 然伽马显著升高、电阻率显著降低,表现为钟形。 沉积环境为静水、低能沉积环境,受风暴浪作用时 可形成中高能的风暴沉积层,平面上沉积相组合表 现为沉没台地-斜坡-盆地^[19](图4C)。

3.4 晚奥陶世开阔台地-台地边缘沉积

上奥陶统良里塔格组沉积时期,伴随着构造活动,塔北地区开始整体抬升,但抬升幅度略小于海平面上升幅度^[21]。晚奥陶世早中期主要发育开阔台地,但水体深度较中奥陶世加深,沉积物以鲕粒灰岩、生屑泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩为主,为台内洼地亚相夹台内滩。良里塔格组沉积晚期,塔北地区演化为台地边缘系统,沿LG36-LG35-HD27-HA6井一带形成了一定厚度和规模的台缘礁滩体沉积组合,台地边缘发育台缘滩和台缘洼地组合(图4D)。台地边缘发育历史较短,为一个早期夭折型台地边缘事例^[19]。

4 结论

通过对塔北地区奥陶系碳酸盐岩的岩石特征、 沉积结构的研究,以及沉积相在纵、横向剖面上的 组合变化特征的详细分析,结合区域地质特征和沉 积背景,建立了塔北地区奥陶纪不同时期的沉积 模式:

(1)研究区蓬莱坝组、鹰山组鹰四段、鹰三段为局限台地相,鹰二段为半局限台地相,鹰一段和一间房组沉积时期均属于碳酸盐开阔台地相,向上水体不断变浅,一间房组沉积时期开始出现点礁;上奥陶统吐木休克组沉积时区域整体沉降,为沉没台地-斜坡-盆地沉积。

(2)上奥陶统良里塔格组沉积时盆地整体抬升,为台地边缘-斜坡沉积环境。早、中期以发育碳酸盐开阔台地为特征,晚期演化为台地边缘系统,沿LG36-LG35-HD27井-HA6井一带形成了台缘礁滩体沉积组合在台地边缘发育台缘滩和台缘洼地组合。

参考文献:

- [1] 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(01):21-22.
- [2] TUCKER M E, WRIGHT V P, DICKSON J A D. Carbonate Sedimentology [M]. Oxford: Blackwell Science Ltd., 1990.
- [3] WILLSON J L. Carbonate Facies in Geologic History [M]. New York: Springer-Verlag, Berlin Heidberg New York ,1975.
- [4] 马宝林 温常庆. 塔里木沉积岩形成演化与油气[M]. 北京: 科学出版社,1991.206.
- [5] 顾家裕,周兴熙. 塔里木盆地轮南潜山岩溶及油气分布规律 [M].北京:石油工业出版社2001.268.
- [6] 顾家裕 涨师本 朱极敏 等. 塔里木盆地沉积与储层[M]. 北 京:石油工业出版社 2003.400.
- [7] 景建恩 魏文博 梅忠武. 塔河油田奥陶系岩溶洞穴发育特征 及其与油气的关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版) 2005 35
 (5):622-625.
- [8] 康玉柱. 塔里木盆地寒武一奥陶系油气勘探重大进展及建议[J]. 中国西部油气地质 2006 2(3):237-240.
- [9] 杨宁 ,吕修祥 ,周新源 ,等. 塔里木盆地碳酸盐岩油气聚集带 [J]. 地质学报 2006 80(3):398-405.
- [10] 周新源 杨海军 韩剑发 等.中国海相油气田勘探实例之十 二 塔里木盆地轮南奥陶系油气田的勘探与发现[J].海相油 气地质 2009 ,14(4):67-77.
- [11] 赵学钦,冯青,王振宇,等.断裂对碳酸盐岩地层储集空间的 影响——以塔里木盆地轮古东地区奥陶系碳酸盐岩地层为 例[J].地质科学 2010 45(1):292-306.
- [12] 周庆凡, 汪时成. 塔北地区寒武系—奥陶系源岩含油气系统 研究[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(3): 274-280.
- [13] 刘玉魁 郑多明 汪建宁 等. 塔里木盆地英买力低凸起奥陶 系碳酸盐岩储层特征及其成岩作用[J]. 天然气地球科学, 2005 ,16(5):587-591.
- [14] 赵孟军 秦胜飞 潘文庆 為. 塔北隆起轮西地区奥陶系潜山 油藏油气来源分析 [J]. 新疆石油地质 ,2008 ,29(4):478 -481.
- [15] 贾承造等.盆地构造演化与区域构造地质[M].北京:石油 工业出版社,1995.174.
- [16] 安海亭 李海银 汪建忠 等. 塔北地区构造和演化特征及其 对油气成藏的控制[J]. 大地构造与成矿学 2009 33(1):142 - 147.
- [17] 郭峰, 赖生华, 郭岭. 塔里木盆地大坂塔格奥陶系地层层序 及沉积演化[J]. 地层学杂志 2010 34(2):135-144.
- [18] 王招明,姜仁旗,吴金才,等.塔里木盆地寒武系──奥陶系 碳酸盐岩层序地层特征[J].中国石油勘探 2011(1):9-14.
- [19] 马青 赵学钦 陈沛 等. 轮南周缘地区奥陶系碳酸盐岩沉积 相发育规律[J]. 西南石油大学学报 2007 29(4):26-29.
- [20] 康玉柱. 塔里木盆地寒武-奥陶系古岩溶特征与油气分布 [J]. 新疆石油地质 2005 26(5):14-22.
- [21] 李伟,鲍志东,张枝焕,等. 塔里木盆地奥陶纪海平面变化 [J].中国西部油气地质 2006(2):135-139.

Sedimentary evolution and platform development models for the Ordovician carbonate rocks in northern Tarim Basin

ZHAO Xue-qin¹ , YANG Hai-jun² , MA Qing³ , ZHOU Cheng-gang⁴ , SUN Chong-hao² , YIN Tie-jun¹ , CAI Quan² , SUN Shi-yong¹

(1. College of Environments and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Tarim Oil Field Company, CNPC Korla 841000, Xinjiang, China; 3. College of Resources and Environments, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China; 4. Korla Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Eastern Geophysical Exploration Co., Ltd., CNPC, Korla 841000, Xinjiang, China)

Abstract: The sedimentary models for the Ordovician carbonate rocks in northern Tarim Basin are constructed on the basis of sedimentary facies types, associations and distribution in integration with cores, sedimentary structures and sedimentary facies sequence analysis. The distribution of the sedimentary facies is laterally extensive in the Lower Ordovician Penglaiba Formation, Middle – Lower Ordovician Yingshan Formation, Middle Ordovician Yijianfang Formation and Upper Ordovician Tumuxiuke Formation in northern Tarim Basin. The Penglaiba Formation and 4th and 3rd members of the Yingshan Formation are ascribed to the restricted platform facies. The 2nd member of the Yingshan Formation is assigned to the semi-restricted platform facies. The 1st member of the Yingshan Formation and Yijianfang Formation belong to the open platform facies with shallowing-upward water depths. The patch reefs were initiated during the deposition of the Yijianfang Formation, constituting the drowned platform-slope-basin deposits. Afterwards, the Basin was wholly uplifted during the deposition of the Upper Ordovician Lianglitage Formation, where the open carbonate platform facies occurred during the early and middle stages, and then the typical platform-margin facies appeared during the later stages of the deposition. **Key words**: Tarim Basin; Ordovician; carbonate rock; platform margin