

文章编号: 1000-0550(2009) 03-0435-08

# 塔里木盆地台盆区中西部中下奥陶统鹰山组 沉积环境研究

刘 伟 张兴阳 顾家裕

(中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

**摘 要** 关于鹰山组的等时性,前人已作过论述,在此基础上,通过露头、地震相、地层等厚图和岩心分析等手段,恢复了鹰山组沉积环境,明确了以下几个问题: 1)道保湾阶和大湾阶台地边缘相带展布及台地边缘类型,指出台带边缘相带上高能礁滩体分布的不连续性; 2)碳酸盐台地台缘滩和台内滩广泛发育,滩体形状多为长条形或椭圆型,其走向多平行于台地边缘; 3)台地内部有台内洼地存在,台内洼地周围有颗粒滩和生物丘分布,通常在迎风面为滩体,在背风面为生物丘。台内洼地内的沉积物通常是“深水”的富含有机质的碳酸盐,具有较好的生油条件。

**关键词** 塔里木盆地 奥陶系 鹰山组 沉积环境

**第一作者简介** 刘伟 男 1978 年出生 博士 沉积储层与层序地层学 E-mail liuwei086@yahoo.com.cn

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

近年来,针对塔里木盆地古生界海相碳酸盐岩体系的岩相古地理研究取得了丰硕的成果。随着勘探步伐的加快,中下奥陶统鹰山组逐渐成为勘探的热点层位,对其研究也在逐步深入。在此背景下,我们充分利用露头、地震、钻、测井资料重新分析了塔里木盆地台盆区中西部鹰山组的沉积环境,明确了鹰山组沉积期台地边缘的展布特征,描述了台内滩的分布规模和特点,并且指出了台内洼地存在的一些证据。

## 1 地层

塔里木盆地奥陶纪地层主要出露于巴楚、柯坪、库鲁克塔格地区,覆盖区奥陶纪地层分布十分广泛,在塔北、塔中、阿满、巴楚、塘古孜巴斯和塔西南等地区均有钻遇<sup>[1,2]</sup>。

鹰山组以浅灰—深灰色中—厚层灰岩为特征,主要包括藻纹层灰岩、泥晶灰岩、泥粉晶砂屑灰岩、亮晶砂砾屑灰岩、生屑灰岩、粉晶白云岩等。根据岩性特征可以分为上段和下段,下段白云岩比例较高,上段无白云岩或只有少量白云岩夹层<sup>1</sup>。鹰山组牙形石一般可分为两个带,即下部的 *Serratonathus diversus*—*Paroistodus proteus* 带和上部的 *Serratonathoides chuxinensis*—*Scolopodus euspinus*—*Tangshanodus* sp 带, *S. diversus*—*P. proteus* 带时限为早奥陶世道保湾期, *S.*

*chuxinensis*—*S. euspinus*—*T. sp* 带的时限为中奥陶世大湾期(图 1)。

鹰山组顶底界面在地震剖面上分别对应 Tg5-2 和 Tg5-4 Tg5-3 是鹰山组上、下段的界面。鹰山组在台地相区分布广泛,并且变化不大,在地震剖面上可以进行区域追踪对比。

## 2 沉积相研究

针对鹰山组钻遇井较少,揭示层位不完全,而地震资料品质较好等特点,在生物地层、岩石地层、层序地层与地震地层统层的基础上,深入分析露头及钻井沉积特征,以地震资料的地质解释为重要根据,恢复鹰山组沉积环境。

### 2.1 术语体系

研究区面积超过  $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,不同部位碳酸盐台地发育类型有所差异,为避免混乱,有必要对术语的意义进一步明确。本文采用塔克(1981)沉积模式来描述镶边型台地,区分出局限台地、开阔台地、台地边缘、台缘斜坡、盆地共 5 个沉积相带<sup>[3]</sup>。缓坡型碳酸盐台地体系可划分为内缓坡、中缓坡、外缓坡及盆地 4 个沉积相带。考虑到研究区内镶边型与缓坡型碳酸盐台地共存的特点,建立了两者的对应关系(表 1)。

<sup>1</sup> /塔里木盆地奥陶纪地层划分与对比研究”塔里木油田研究报告,2007

收稿日期:2008-07-18 收修修改稿日期:2008-09-08

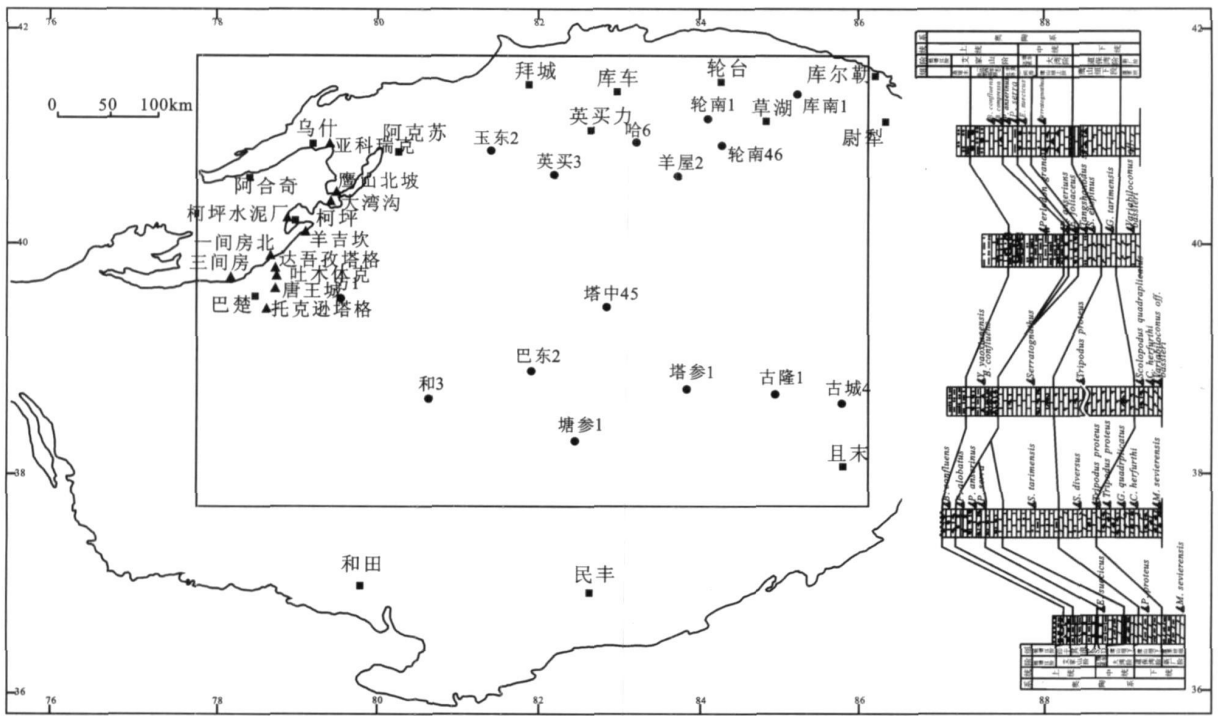


图 1 研究区位置图及塔里木盆地奥陶系地层对比图

Fig 1 Location map of the study area and stratigraphic correlation of Ordovician in Tarim Basin

表 1 塔里木盆地奥陶系碳酸盐台地术语体系

Table 1 The terminology of carbonate platform

台地类型	沉积相			
镶边型碳酸盐台地	盆地	斜坡	台地	开阔台地
缓坡型碳酸盐台地	盆地	外缓坡	中缓坡	内缓坡
局限碳酸盐台地	下斜坡	上斜坡	边缘	台内洼地 浅海颗粒滩

2.2 露头及单井沉积相分析

2.2.1 缓坡型碳酸盐台地沉积特征

鹰山组下段主干剖面包括巴楚达板塔格、柯坪县北水泥厂、鹰山北坡、蓬莱坝及亚科瑞克五条剖面

(表 2), 基本可控制盆地西缘的沉积相带展布特征。露头区鹰山组下段表现为一个均斜缓坡型碳酸盐台地的海侵期沉积特征, 在缓坡台地的不同部位表现为不同沉积旋回特征 (图 2)。

内缓坡 (达板塔格剖面) 为浅灰色—灰色泥粉晶白云岩、(泥) 亮晶粉屑灰岩、亮晶砂屑灰岩、泥晶灰岩互层, 剖面中上部发育藻纹层及灰色砾屑灰岩, 总体表现为潮间带泥坪向潮下高能带过渡的海侵沉积旋回。中缓坡水体能量较高, 以形成碳酸盐砂体为特征, 如柯坪水泥厂剖面鹰山组下段为一套灰—浅灰色泥亮晶砂屑粉屑灰岩、藻纹层灰岩与泥粉晶灰岩<sup>[4]</sup>。

表 2 露头区鹰山组下段沉积特征及沉积环境

Table 2 Sediment character and sedimentary environment of Lower Yingshan Formation in outcrop area

剖面名称	厚度 $m$	沉积特征	沉积环境
达板塔格	201.58	岩性总体为浅灰色—灰色泥粉晶白云岩、亮晶粉(砂)屑灰岩、泥晶粉屑灰岩、泥晶灰岩互层。下部含深色硅质条带; 中部见腹足类化石; 中上部发育藻纹层及灰色砾屑灰岩	潮间带泥坪向潮下带或开阔台地过渡的海侵沉积旋回
柯坪水泥厂	60.46	灰—浅灰色泥粉晶灰岩、藻粘结灰岩、藻纹层灰岩与泥亮晶砂屑粉屑灰岩	中缓坡
鹰山北坡	20.4	底部为一套深灰色中厚层状泥晶灰岩, 中上部为薄层状泥晶灰岩	内缓坡相对低能环境
蓬莱坝	9.6	灰黑色薄层状灰岩	外缓坡
亚科瑞克	—	深灰—灰黑色薄层状瘤状泥质灰岩或灰质泥岩	外缓坡

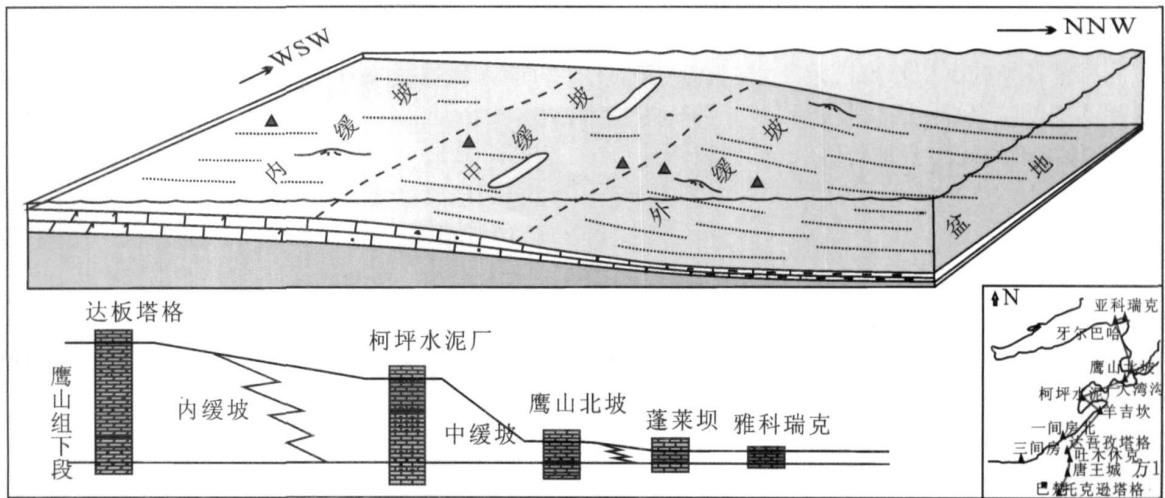


图 2 塔里木盆地露头区下奥陶统鹰山组下段沉积模式图

Fig 2 Depositional model of Lower Yingshan Formation in outcrop area

其北侧的鹰山北坡剖面以中厚层泥晶灰岩为主,为外缓坡相对低能环境的产物。亚科瑞克剖面鹰山组下段为深灰—灰黑色薄层状瘤状泥质灰岩或灰质泥岩,向上泥质含量加重,单层厚度变薄,总体表现为向上水体加深的低能外缓坡至浅海盆地相海侵沉积旋回。

根据地层厚度及岩性特征判断,海侵方向由北向南,地层厚度和沉积特征与经典碳酸盐岩层序地层模式类似<sup>[5]</sup>。这一沉积及层序地层模式为覆盖区地层等厚图的沉积相解释奠定了基础。

### 2.2.2 镶边型碳酸盐台地沉积特征

通过岩心和薄片分析,在覆盖区鹰山组镶边型碳酸盐台地识别出以下几种沉积相类型:

#### a 半局限台地

半局限台地相分布有限,和 4 井、轮南 1 井、塔参 1 井、塔中 43 井等有钻遇。岩性特征为泥粉晶白云岩、泥质条带泥晶白云岩、藻纹层粉晶白云岩、粒屑白云岩及泥亮晶砂屑灰岩、泥晶灰岩;颗粒主要为竹叶状砾屑、砂屑、藻屑及鲕粒等。

#### b 开阔台地相

开阔台地相生物丰富,沉积物类型多样。在研究区内,根据沉积物特征,可细分为台内滩亚相、滩间海亚相和灰泥丘亚相。

台内滩岩性以亮晶(含砾)砂屑灰岩、亮晶生屑砂屑灰岩、亮晶粉屑灰岩为主,在滩的翼部或低能滩有较多的泥粒和粒泥灰岩,颗粒含量通常可达 70%~80% 以上,滩体在纵向上表现为若干个厚约 2~3 m 的旋回;滩间海以泥晶灰岩、泥粒灰岩和粒泥灰岩

为主,偶尔夹有亮晶颗粒灰岩;塔中 162 井第 10~14 次取心(鹰山组下段)岩性以浅灰色藻凝块泥晶灰岩、藻纹层泥晶灰岩、泥晶灰岩为主,间夹藻粘生屑砂屑灰岩、泥晶砂砾屑灰岩,鸟眼孔和窗格孔发育,应属开阔台地内部的灰泥丘沉积。

#### c 台缘斜坡

台缘斜坡大致可分为两种地形:一种具有较陡峭的悬崖,另一种是较缓的斜坡,两者的沉积物特征也有很大不同。塔中 5 井和库南 1 井鹰山组下段为典型的台缘斜坡沉积。

塔中 5 井 3 520~3 608 m(鹰山组下段)岩性为灰色白云质崩塌角砾岩,角砾成分主要是浅灰色藻叠层泥晶白云岩、亮晶砂屑白云岩,少量为深灰—黑灰色泥晶白云岩,角砾呈棱角状,大小混杂。孔金平等认为这套角砾岩中的“角砾”为破碎的叠层石和凝块石<sup>[6]</sup>。结合区域地质背景及地震地层等厚图资料(参见图 4),这套角砾岩可能属于台缘斜坡的礁前塌积物。塔北地区库南 1 井 4 091~4 639 m(相当于鹰山组下段沉积期产物),下部为灰绿色中—薄层瘤状灰岩、薄板状泥质泥晶灰岩夹薄层灰黑色条带状钙质泥岩、泥晶砂屑灰岩,中上部为绿灰色厚层含泥质泥晶灰岩、灰绿色或黑色薄层泥晶灰岩、瘤状灰岩、粉晶灰岩不等厚互层夹砂屑灰岩,为较典型的下斜坡沉积特征。

### 2.3 地震资料解释

不同沉积相带的沉积体在地震剖面上有不同的响应<sup>[7,8]</sup>,根据其特征的地震响应可以直接确定相应

沉积相带的位置,甚至确定沉积体的类型。

### 2.3.1 台地边缘—台缘斜坡—盆地相带的确定

不同相带各异的沉积特点决定了它们在地震剖面上有不同的响应特征,根据地震反射上明显的差异,可以比较准确的确定台地边缘、台缘斜坡和盆地的位置。

#### a 台地边缘

台地边缘相带由于生物丘(礁)的存在,通常可以见到丘状反射特征。丘状反射以一系列离散连续或不连续的反射波为特征,这些反射波构成较大的底平顶凸的反射轮廓,在丘状体两翼可以见到明显的上超现象(图 3)。然而对于弱镶边型或缓坡型碳酸盐台地,台地边缘(中缓坡)与台地内部(内缓坡)的区分要困难的多。

#### b. 台缘斜坡

碳酸盐台地外侧的台缘斜坡坡脚通常为  $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$  (Schlager 和 Camber 1986), 虽然有时局部出现垂直甚至外突的斜坡 (Grammer 和 Ginsburg 1992, Janes 和 Ginsburg 1979)。碳酸盐斜坡脚沉积显示下超、交互的上超和下超,或仅仅是上超。另外,这些沉积可以通过变薄而聚集,过渡为盆地沉积。研究区内斜坡通常是起始于地层厚度开始变厚的点,终止于地层厚度最大的点,或者是地层厚度开始稳定的点(具体情况取决于台地类型,前者多为镶边型和远端变陡型台地后者多为等斜缓坡型台地),形态上为一向盆地方向变薄的楔状体<sup>[9]</sup>。

地震反射以中—强振幅、中等—好连续性为特征,靠近台地边缘位置也可见到杂乱或丘状反射,可能为斜坡滑塌产物或台缘斜坡内侧的灰泥丘反射。

#### c 盆地

地层厚度薄,在地震剖面上通常只有一个反射轴,厚度横向变化不大,振幅较强—强,连续性好,这些为盆地相典型的地震反射特征(图 3)。

### 2.3.2 台地内部反射特征

台地内部地震反射复杂多变,仅有一些特征的结构能够识别。

a 碳酸盐滩通常表现为弱振幅、低频、较连续的杂乱反射,有些地区可以见到并不明显的前积特征。单纯从地震剖面很难对滩体的位置和轮廓做出精确的解释,需要结合地层等厚图、钻井和测井等信息综合判断。

b 台内洼地是指台地上相对低洼、水体相对较深的地区,其底部位于晴天浪基面之下,但通常在风暴浪基面之上 (Read 1985)。台内洼地内部通常以中—强振幅、中—好连续性为特征,反映了台内洼地内部为一套静水环境下的沉积产物;在台内洼地周缘常有丘状反射和杂乱反射存在,并且在台内洼地周围有上超。杂乱反射可能是台内洼地周缘滩体的反映,丘状反射可能为台内洼地周缘或台内洼地内部发育的灰泥丘,而台内洼地周围的上超反映出沉积期该地区处于相对低的地形部位。

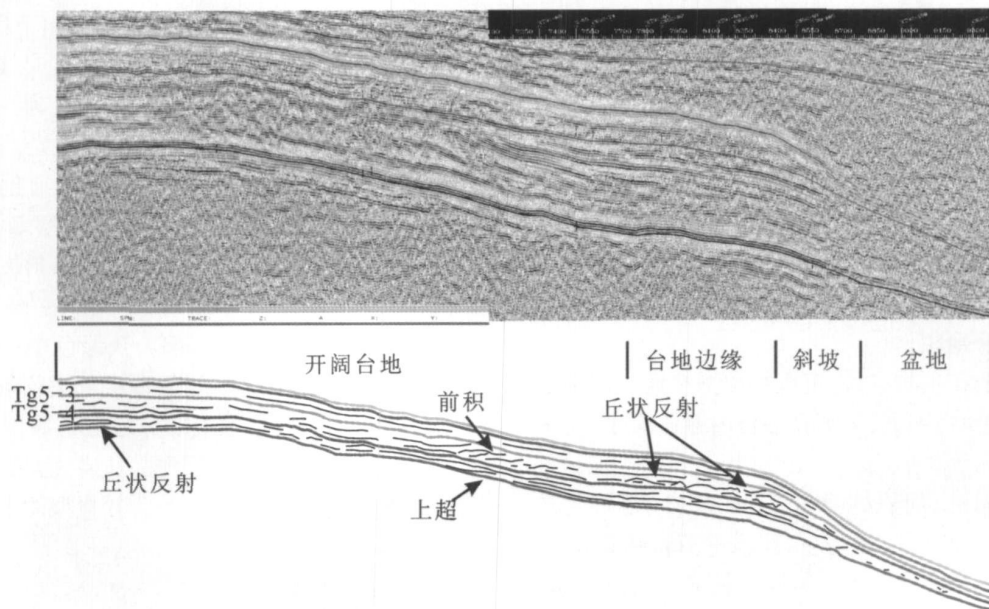


图 3 塔里木盆地 L350测线地震反射特征

Fig. 3. Reflection character of Seismic line 350.

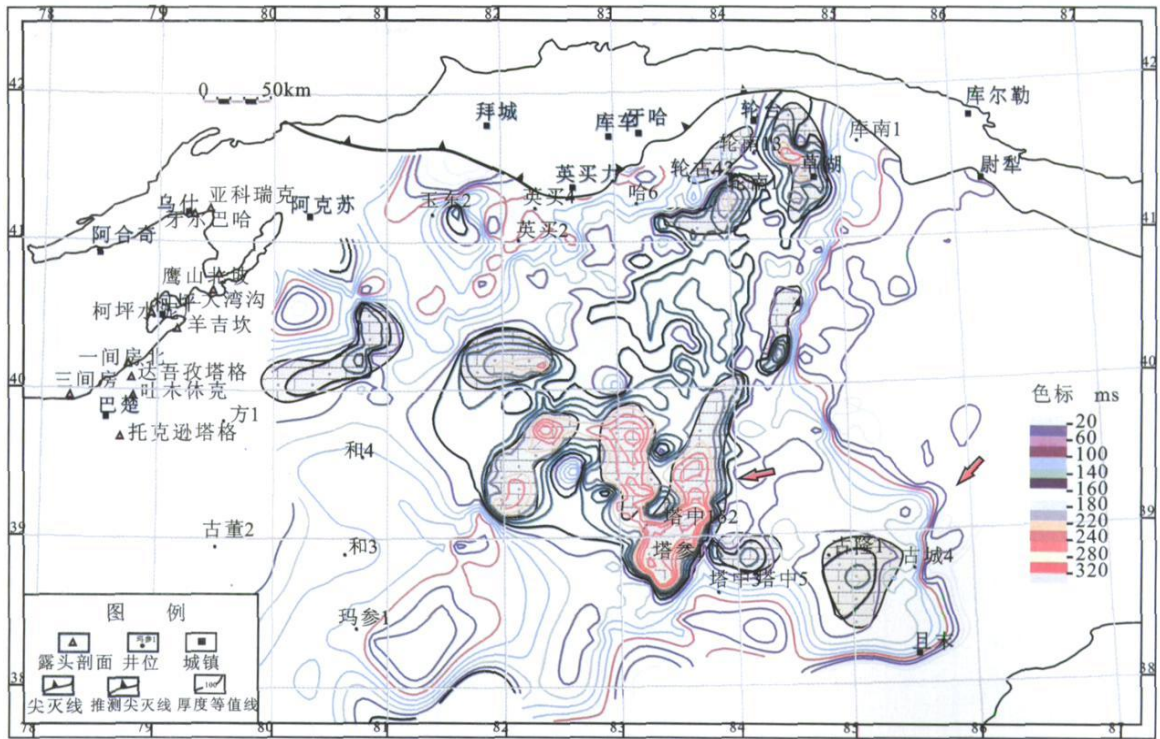


图 4 塔里木盆地中西部 Tg5-3-Tg5-4(鹰山组下段)地震地层等厚图

Fig 4 Isopach map of Tg5-3-Tg5-4 (Lower Yingshan Formation) in the mid-western Tarim Basin

### 2 4 地层等厚图综合解释

根据塔里木盆地中西部地区奥陶纪地层对比和解释成果(据中国石油勘探开发研究院邓胜徽, 赵宗举, 李宏辉等), 完成 Tg5-3~ Tg5-4地震地层等厚图(图 4), 有以下几个特点:

- 1) 碳酸盐台地与盆地过渡区, 地层厚度呈现明显的两级台阶(图中箭头)。第一台阶在中、下奥陶统一直存在, 可能是早、中奥陶世真正意义上的台地边缘; 第二级台阶为台地内部的一个地形变化带。
- 2) 塔中、轮南、和 4 井之间存在一个三角形的地层厚度高值区, 轮南和塔中是厚度值最大的地方。
- 3) 三角形高值区内地层厚度并非是一成不变的, 同样存在小范围的相对厚度高值区。
- 4) 英买力地区、塔中 43 井、羊屋 2 井之间存在一个地层厚度相对低值区。

根据总碳酸盐产率与深度的关系(Wilson 1975, Schlager 1981), 推断研究区内三角形地层厚度高值区在鹰山组下段沉积时期是一个相对浅水区, 处于古地貌相对高部位, 循环通畅, 光照充分, 生物丰富, 是碳酸盐产率最大的地区, 因而形成较其他地区更厚的碳酸盐岩沉积。根据地震地层厚度等值线分台阶的特点, 将开阔台地分为较深水开阔台地和较浅水开阔台地, 其分界线为第二级台阶。

区域厚度高值区及低值区可以反映水体的相对深浅, 但并不一定反映水体的能量, 而它们内部的相对高值区往往反映了较强水体能量下形成的滩或丘滩复合沉积。这是因为, 在同一沉积时期内, 台内滩的沉积厚度较周围滩间海的厚度要大<sup>[3, 10]</sup>。根据这一原则, 可以在地层厚度等值线图上标注出相对的厚度高值区来确定滩体的分布(图 4)。当然这并不是绝对的, 礁(丘)同样处于等值线高值区域, 但是通过地震反射特征可以较好的将两者区分。钻井资料一方面进一步证实了这一观点——目前相对高值区内钻遇鹰山组下段的探井, 除塔中 162 井灰泥丘及滩同时发育外, 其它井的优势岩相均为颗粒灰岩或白云岩化的颗粒灰岩, 如塔中 43 古隆 1 塔参 1 井等。

根据以上原则在鹰山组下段刻画出 11 个碳酸盐岩滩体, 滩体形状为近圆形、近椭圆形和长条状, 其中以长条形最多, 走向多沿北北东方向(近似平行于台地边缘走向)。

总结归纳钻井、地震相、地层厚度图反映的不同沉积相带的特征, 结合露头区研究与联井沉积剖面特征, 最终得到鹰山组下段沉积相平面图(图 5)。用同样的方法, 可以得到鹰山组上段沉积相平面图(图 6)。

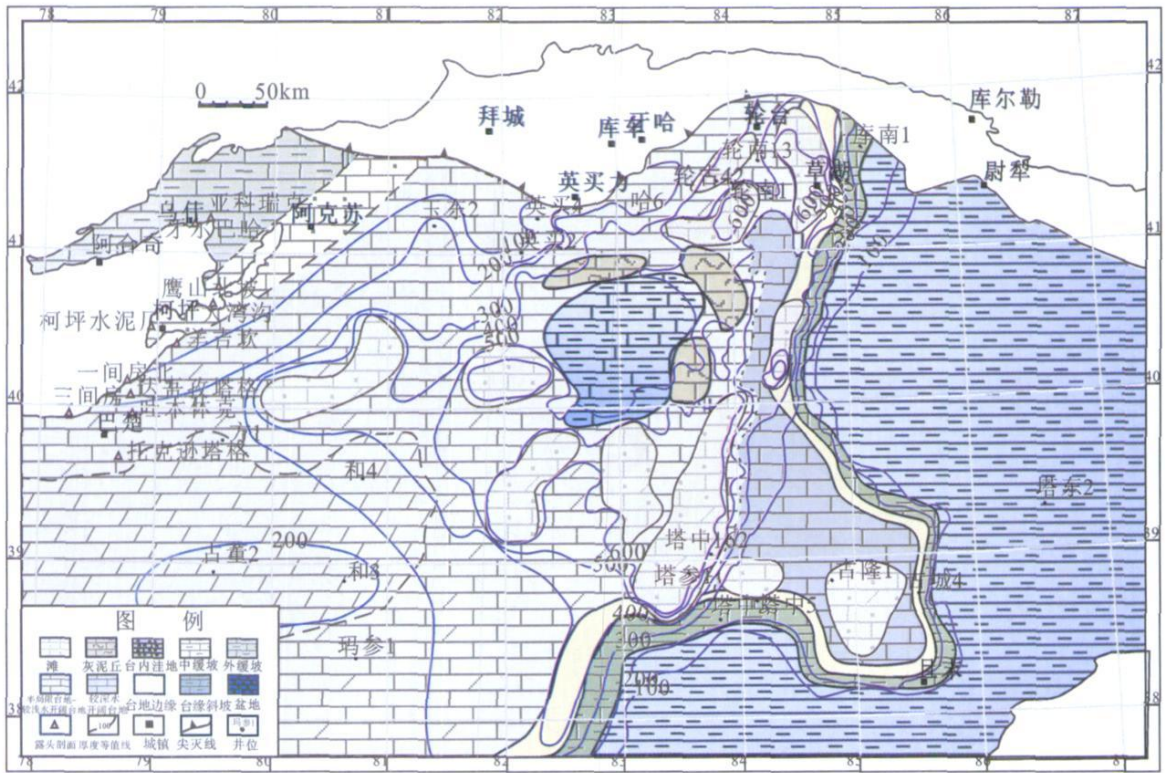


图 5 塔里木盆地中西部鹰山组下段沉积相平面图

Fig. 5 Paleogeographic map of Lower Yingshan Formation in the mid-western Tarim Basin

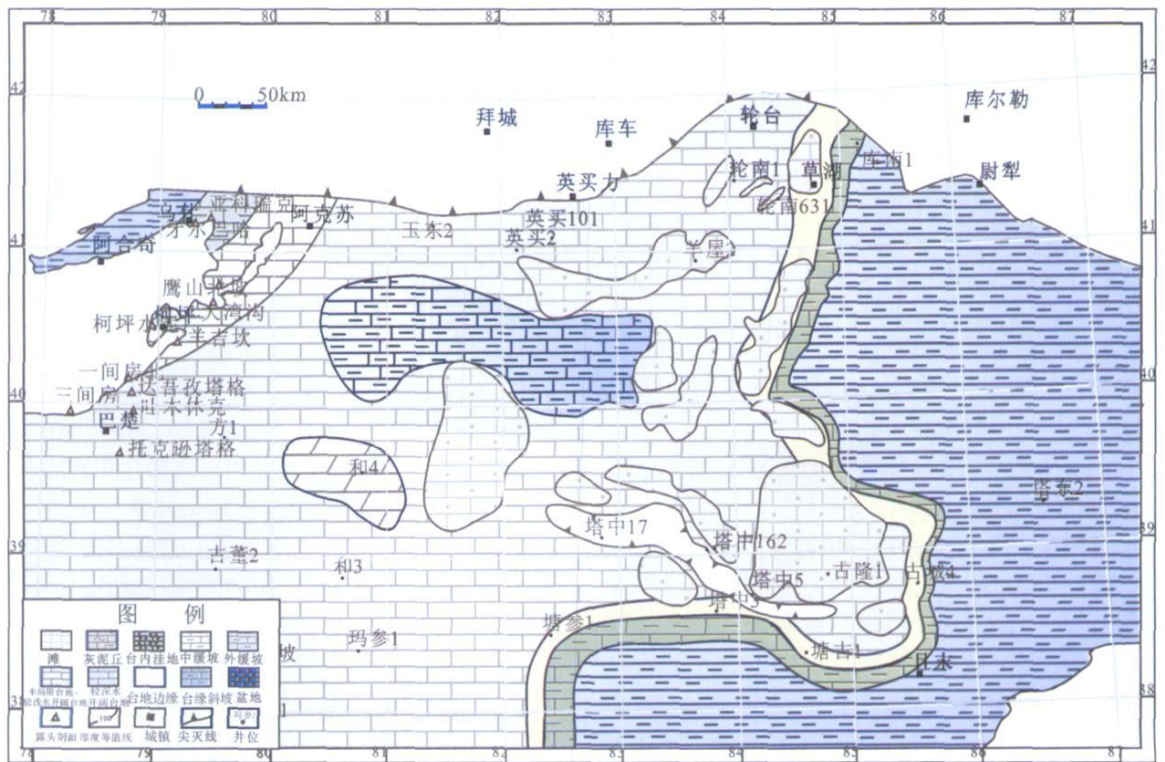


图 6 塔里木盆地中西部鹰山组上段沉积相平面图

Fig. 6 Paleogeographic map of Upper Yingshan Formation in the mid-western Tarim Basin

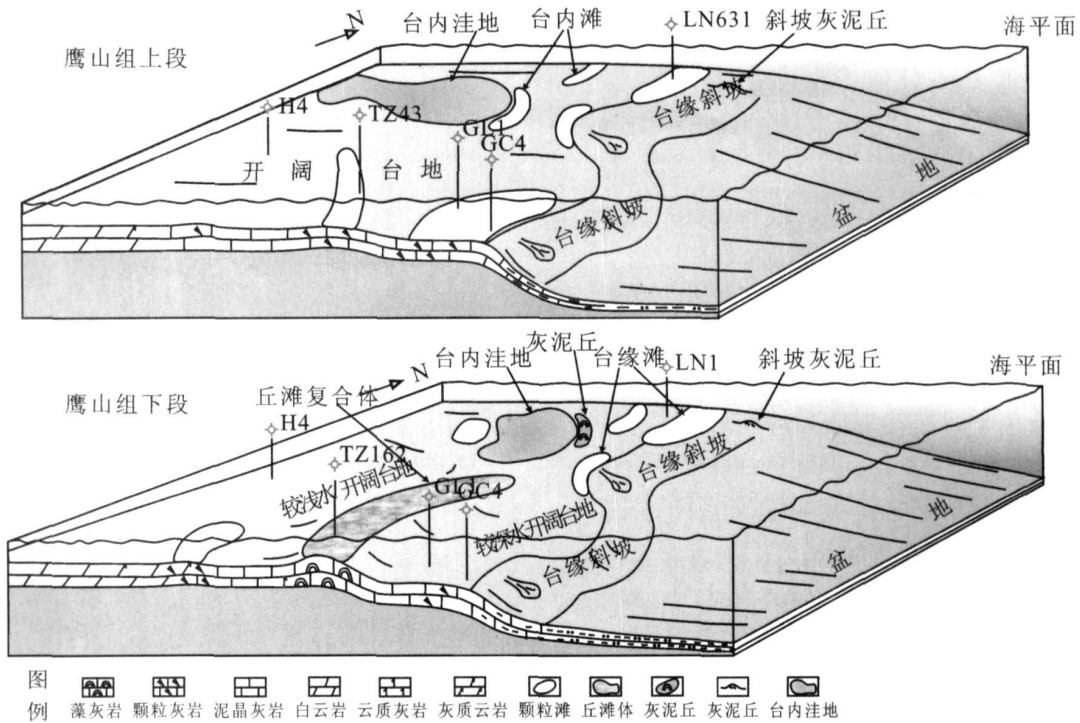


图 7 塔里木盆地中西部鹰山组沉积模式图

Fig 7 Depositional model of Yingshan Formation in the mid-western Tarim Basin

### 3 鹰山组沉积演化模式

早奥陶世中晚期(鹰山组下段沉积期),研究区表现为海侵背景下的清水碳酸盐台地。东南部碳酸盐台地内部出现地形“二台阶”,真正的台地边缘由于水深较大,水体能量较低,并不发育高能礁滩体,反而是较浅水开阔台地与较深水开阔台地的过渡部位由于地形变化的存在,造成了高能滩相及丘滩相发育;北部碳酸盐台地台缘斜坡宽度增大,坡度变缓,有向碳酸盐缓坡过渡的趋势;西部为缓坡型碳酸盐台地沉积体系。碳酸盐台地内部有台内洼地存在,台内洼地周围有滩体和生物丘分布,通常在迎风面为滩体,在背风面为生物丘。

中奥陶世早期(鹰山组上段沉积期),高的碳酸盐产率导致碳酸盐沉积迅速填满较深水开阔台地,原来台地内部的地形变化消失,在塘参 1 井地区表现为台地边缘向外迁移。研究西部仍然为缓坡型碳酸盐台地,该时期台地边缘高能礁滩相发育。台内洼地继承性发展,并向西扩展,其周缘发育碳酸盐滩(图 7)。

### 4 结论及意义

在多种地层综合对比的基础上,以露头及钻井信

息为根本,以地震资料解释为重要根据,恢复了鹰山组沉积环境,其意义表现在以下三个方面:

(1) 通过露头研究,地震资料的精细解释,配合钻井分析明确了道保湾阶和大湾阶台地边缘相带的展布特征以及台地边缘类型,指出台地边缘相带上高能礁滩体分布的不连续性。

(2) 台地边缘及台地内部有广泛分布的碳酸盐颗粒滩,滩体规模不一,形状多样,但多呈近平行于台地边缘的条带状或不规则椭圆状。需要指出的是由于鹰山组砂屑灰岩坚硬致密,基质孔隙度低,并非有效储层。但是鹰山组下段白云岩化现象普遍,这成为改造储层的一个最有利的条件,此外经热液溶蚀作用改造的滩也有可能成为较好的储层。

(3) 台地内部并非简单的层状结构,而是有台内洼地的存在。台内洼地沉积物通常是“深水”,富含有机质的碳酸盐,具有较好的生油潜力;台内洼地周围为碳酸盐颗粒滩或灰泥丘,常与洼地内富含有机质的碳酸盐形成良好的生储组合。

### 参考文献 (References)

- 1 贾承造,张师本,吴绍祖,等.塔里木盆地及周边地层[M].北京:科学出版社,2004 [Jia Chengzao, Zhang Shibei, Wu Shaoyu, et al

- Stratigraphy of the Tarim Basin and Adjacent Areas [M]. Beijing Science Press, 2004]
- 2 赵治信, 雍天寿, 贾承造, 等. 塔里木盆地地层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 [Zhao Zhixin, Yong Tianshou, Jia Chengzao, *et al*. Stratigraphy of the Tarim Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
  - 3 Maurice E Tucker, Wright V Paul. Carbonate Sedimentology [M]. Blackwell Science, 1990
  - 4 陈明, 许效松, 万方, 等. 塔里木盆地柯坪地区中下奥陶统碳酸盐岩露头层序地层学研究 [J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 110-116 [Chen Ming, Xu Xiaosong, Wan Fang, *et al*. Study on outcrop sequence stratigraphy of the Lower-Middle Ordovician strata in Keping, Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 110-116]
  - 5 Paul M Harris, Sino J A. Advanced in Carbonate Sequence Stratigraphy: Application to Reservoirs, Outcrops and Models [M]. SEPM Special Publication No. 63
  - 6 孔金平, 刘效曾. 塔里木盆地塔中 5 井下奥陶统隐藻类生物礁 [J]. 新疆石油地质, 1998, 19(3): 221-224 [Kong Jinping, Liu Xiaoceng. Lower Ordovician crypto-algae organic reef in Well TZ5 in Tarim Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1998, 19(3): 221-224]
  - 7 Gregor P Eberli, Jose Luis Masafem, Sarg J F. Seismic imaging of carbonate reservoirs and systems [J]. *AAPG Memoir*, 2004, 81
  - 8 Masafem J, Boume R, Jaufréd J C. Three-dimensional seismic visualization of carbonate reservoirs and structure [C] // Eberli G P, Masafem J L, Sarg J F, eds. *Seismic imagination of carbonate reservoirs and systems*. AAPG Memoir, 2004, 81
  - 9 高志前, 樊太亮, 焦志峰, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩台地样式及其沉积响应特征 [J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 19-27 [Gao Zhiqian, Fan Tailiang, Jiao Zhifeng, *et al*. The structural types and depositional characteristics of carbonate platform in the Cambrian-Ordovician of Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(1): 19-27]
  - 10 Robertson C H. Review of carbonate sand-belt deposition of ooid grainstones and application to Mississippiian reservoir, Damme Field, southwestern Kansas [J]. *AAPG Bulletin*, 1988, 72: 1184-1199

## Sedimentary Environment of Lower-Middle Ordovician Yingshan Formation in Mid-Western Tarim Basin

LIU Wei ZHANG Xing-yang GU Jia-yu

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083)

**Abstract** The time equivalent Yingshan Formation in Tarim Basin has been discussed. Based on this, the sedimentary environment of Yingshan Formation was reconstructed with the aid of outcrops, seismic facies, strata contour map and core analysis and draw three conclusions as follows: ① The distribution characteristic of platform edge at Daobaowan Stage and Dawanian Stage and the type of platform were definite. Besides, the view point that the discontinuity of reef and beach along the platform edge was put forward. ② Carbonate sands are wide range and the shape is multifarious. Generally, they are elongate or elliptical and strike of sands is parallel to the platform edge. ③ The existence of intrashelf basin was proved. Along the edge of intrashelf basin, there are carbonate sands and bioherm, generally sands on windward side and bioherm on lee side. In intrashelf basin, sediments predominantly consist of pelagic carbonates, which are commonly rich in organic content.

**Key words** Tarim Basin, Ordovician, Yingshan Formation, sedimentary environment