

文章编号: 0253-9985(2002)01-0058-05

塔里木盆地中部生物屑灰岩段滩体特征及储集性*

王兴志¹, 王振宇¹, 马青¹, 杨满平¹, 田军², 刘胜²

(1. 西南石油学院, 四川南充 637001; 2. 塔里木油田公司, 新疆库尔勒 841000)

摘要: 塔里木盆地中部生物屑灰岩段中发育多种不同的滩体。其中生物屑滩、砂屑滩沉积体及其组合的岩石微相以生物屑灰岩、生物屑砂屑灰岩为主, 在中期胶结和压实的作用下, 原生孔隙基本消失, 后期成岩作用对其改造不强, 孔隙度和渗透率低, 多为非储层, 局部地区, 该滩体经过后期构造作用改造并在埋藏溶蚀作用配合下, 可形成具一定储集能力的储层, 如罗南 1 井-和 2 井一带。核形石滩、鲕粒滩及其相关组合的岩石微相以核形石灰岩、鲕粒灰岩及白云岩为主, 在白云石化和中期溶解作用的改造下, 晶间孔、晶间溶孔等较发育, 孔渗性大为提高, 是区内最有利的储层。纵向上, 核形石滩、鲕粒滩主要分布在生物屑灰岩段的中部, 与海平面升降密切相关, 随海侵的进行滩体向东、北和北东方向抬高。平面上, 主要分布在塔中 22 井-塔中 14 井和塔中 4 井-塔中 103 井井区一带, 即台内近陆一侧。

关键词: 塔里木盆地; 生物屑灰岩; 滩体; 成岩作用; 储层; 分布

第一作者简介: 王兴志, 男, 36 岁, 教授(博士后), 沉积学、储层地质学

中图分类号: P618.130.2⁺1 文献标识码: A

研究区横跨北部坳陷、塔中隆起和西南坳陷 3 个一级构造单元, 东以塔中 28 井一线为界、南至玛参 1 井附近、西到群 5 井、北至哈德 2 井一线, 面积约 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。区内下石炭统巴楚组生物屑灰岩段分布稳定, 厚 20~45 m, 具有由西南向东、北和北东方向减薄的趋势, 具有良好的油气储集潜力。但迄今为止, 除在区内东部的塔中 4-塔中 103 井、西部的群 5-群 4 井和西南部的玛 8-玛 401 井一带发现有良好的储层, 并探明了一批油气藏外, 其余广大地区尚未取得明显的进展。究其原因, 主要在于控制该套储层形成与演化的因素较多。其中, 沉积作用是基础, 不仅决定了主要储层的大致展布范围, 还影响着后期成岩作用类型及强度; 成岩作用是关键, 它决定了孔隙的内部结构和储层的最终分布; 构造作用是条件, 不仅可提供一定的储集空间, 还可大大提高储层的渗透率。由此可见, 储层的形成与演化受多种因素的控制, 是各种地质作用相互影响下的最终产物。因此, 对于储层, 特别是碳酸盐储层的研究, 应将沉积、成岩和构造作用加以综合分析^[1~3]。

1 岩石微相及储集性

塔里木盆地在生物屑灰岩段沉积时, 基本处于一台地环境之中^[4]。研究区处于该台地内部, 由于受到区外南部或西南部台地边缘水下隆起(滩或礁)的屏蔽作用, 使得由西南向海向区内推进的波浪作用受到较大程度的削弱, 并导致区内水动力条件总体较弱, 形成了一套以低能泥晶灰岩、生物(屑)泥晶灰岩和泥-粉晶白云岩为主的沉积体; 在这一大的低能沉积背景下, 局部井区可长时间受到较强波浪、风暴浪和潮汐作用的改造, 形成以颗粒岩为主的各类滩体沉积。滩体类型不同, 所经历的成岩作用类型、强度也有差异, 从而导致储集特征有较大的变化(表 1)。

1.1 生物屑滩

常呈透镜状、中-薄层状夹于其他低能沉积相带中, 厚层较少, 单一滩体难以在各井之间长距离追踪对比。生物屑滩沉积体在区内分布较广泛, 其中又以西南部的罗南 1 井-和 2 井和中部的巴东 2 井一带最为发育, 成为这些井区的相对优势相, 主要由生物屑灰岩(F_1)、砂屑生物屑灰岩(F_2)和生物屑质泥晶灰岩(F_3)组成; 其余井区虽有较多分布, 但单层厚度和总厚度不大。

* 油气藏地质与开发国家重点实验室资助项目(编号: 9903)

收稿日期: 2001-08-28

表 1 塔中生物屑灰岩段滩体类型及储集特征简表

Table 1 Bank types and reservoir properties of bioclastic limestone in Central Tarin

滩体类型	生物屑滩	砂屑滩	核形石滩	鲕粒滩
主要岩石微相	生物屑灰岩、砂屑生物屑灰岩、生物屑质泥晶灰岩	含砾砂屑灰岩、砂屑灰岩、生物屑砂屑灰岩、粉屑灰岩	核形石灰岩、鲕粒核形石灰岩	鲕粒灰岩、鲕粒白云岩、砂屑鲕粒灰岩、核形石鲕粒灰岩
主要成岩作用类型及强度	压实、胶结较强, 溶蚀较弱	压实、胶结强	胶结强, 白云石化弱	胶结、白云石化和溶蚀强
储集孔隙类型	裂缝较多, 少量溶孔、溶洞, 残余粒间孔、生物体腔孔和遮蔽孔偶见	偶见残余粒间孔、粒内溶孔和溶洞	残余粒间孔、铸模孔、晶间孔和晶间溶孔较少	晶间孔、晶间溶孔发育, 残余粒间孔、粒内溶孔、铸模孔较少
孔隙度/ %	0.28~ 9.77/ 2.87	0.12~ 5.32/ 2.73	0.23~ 4.72/ 3.31	0.34~ 14.31/ 5.22
渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	0.003~ 4.92/ 0.48	0.01~ 3.56/ 0.34	0.02~ 3.75/ 0.14	0.01~ 7.82/ 1.93
储集性	中等-差	差	中-较差	中-好
主要分布井区	罗南 1 井-和 2 井、巴东 2 井	满西 2-塔中 45 井	塔中 22-塔中 14 井、塔中 2 井、塔中 401 井	塔中 4-塔中 103 井

注: 0.28~ 9.77/ 2.87= 最小值~ 最大值/ 平均值

1.1.1 生物屑灰岩(F₁)

灰、浅灰色为主, 中-薄层状。结构组分中, 生物(屑) 含量 35 %~ 60 %, 最高可达 70 % 以上, 分选、磨圆中等-差, 破碎者常见, 部分完整, 大小一般 0.5~ 1.5 mm, 最大可达 2.5 cm 以上, 种类较多, 以棘屑、珊瑚、苔藓、腹足和瓣鳃类常见, 另有少量介形虫及三叶虫碎片, 其中完整粗大的生物膏化明显; 此外, 岩石中可含或多或少的粉屑、砂屑和砾屑, 并随这些组分含量的增多, 逐渐向粉屑灰岩、砂屑灰岩和砾屑灰岩过渡。颗粒间填隙物中, 灰泥基质一般多于亮晶方解石胶结物。

1.1.2 砂屑生物屑灰岩(F₂)

特征基本同生物屑灰岩。不同的仅是颗粒中含 20 %~ 35 % 的砂屑, 由分选、磨圆较差的泥晶藻灰岩组成; 亮晶方解石少于泥晶灰泥, 前者具有栉壳状和粒状两期胶结形式。

1.1.3 生物屑质泥晶灰岩(F₃)

常与生物屑灰岩和砂屑生物屑灰岩过渡沉积, 呈灰、黑灰色, 中-薄层常见。生物屑含量 20 %~ 30 %, 种类基本同生物屑灰岩, 另具少量藻粉屑; 颗粒分选、磨圆极差, 基质支撑为主。

从上述特征可看出, 生物屑灰岩和砂屑生物屑灰岩形成于台地内潮下较高能环境中, 主要受到波浪和风暴浪的改造, 但其水动力条件还不足以形成分选、磨圆较好的颗粒结构和将灰泥基质全部淘洗带走; 而生物屑质泥晶灰岩是波浪或风暴浪消失过程的产物。这 3 种岩石微相在沉积时, 原生粒间孔、晶间微孔、生物体腔孔和遮蔽孔较发育, 它们经过两期胶结和较强的压实作用后基本消失, 仅偶见

生物内残余体腔孔、遮蔽孔和残余粒间孔, 孔隙度和渗透率也低, 常不能构成良好的储集岩。如果经过后期构造和埋藏溶蚀作用的改造, 也可形成部分溶孔、溶洞和裂缝, 从而构成具有一定储集性能的岩石微相, 如玛扎塔克构造带上的罗南 1 井-和 2 井井区。

1.2 砂屑滩

主要以中-薄层状、透镜状分布在满西 2 井-塔中 45 井一带, 向周边井区明显减少, 常由砂屑灰岩(F₄)、粉屑灰岩(F₅)、生物屑砂屑灰岩(F₆)、砾屑灰岩(F₇) 组成, 但砾屑灰岩(F₇) 较少。

1.2.1 砂屑灰岩(F₄)

灰、深灰色, 中-薄层状。颗粒以藻砂屑为主, 含量大于 50 %, 富含有机质, 分选、磨圆中等; 另具少量藻粉屑、棘屑、介形虫和腕足碎片, 含量小于 10 %。颗粒间的栉壳状和粒状亮晶方解石胶结物含量丰富, 灰泥基质较少, 部分灰泥基质发生弱白云石化。

1.2.2 粉屑灰岩(F₅)

颗粒以藻粉屑为主, 其他特征基本同砂屑灰岩。

1.2.3 生物屑砂屑灰岩(F₆)

特征基本同砂屑灰岩, 不同的是颗粒中有 20 %~ 30 % 的生物屑, 以棘屑常见。

1.2.4 砾屑灰岩(F₇)

砾屑含量 30 %~ 60 %, 主要由泥晶灰岩、藻球粒灰岩组成, 大小杂乱, 分选、磨圆较差; 砾间细粒粉屑、生物屑、灰泥和亮晶均有, 但分布不均。

上述 4 种岩石微相沉积特征表明它们是潮下高

能环境的产物,主要受到波浪作用的改造,强的水动力条件利于颗粒岩的形成。这些颗粒岩沉积时,原生粒间孔发育,但经过多期亮晶方解石胶结后基本消失,后期的成岩改造也不强,多为非储集岩。

1.3 核形石滩、鲕粒滩

这两类滩体常共生和过渡沉积,呈厚-中层状、透镜状,在塔中22井-塔中14井和塔中4井-塔中103井一带有较多分布,其他井区偶见,主要由核形石灰岩(F_8)、鲕粒灰岩(F_9)、鲕粒白云岩(F_{10})及其过渡岩类组成。

1.3.1 核形石灰岩微相(F_8)

灰、褐灰色,中-厚层状。颗粒以核形石为主,呈圆、椭圆和不规则状,含量一般大于40%,粒径0.5~2 cm,由蓝绿藻粘结粉屑、灰泥围绕砂屑呈环带状生长而成;粒间填隙物以藻粉屑、细砂屑和灰泥为主,亮晶方解石较少,灰泥基质可发生弱的白云石化,局部核形石间分布有较多的针状、纤维状石膏和板片状硬石膏及光卤石等胶结物。

1.3.2 鲕粒灰岩(F_9)、鲕粒白云岩(F_{10})微相

鲕粒灰岩(F_9)以灰、浅灰色为主,中-厚层块状。鲕粒在颗粒中的含量占90%以上,以圆、椭圆状正常鲕常见,表皮鲕、复鲕和多晶鲕较少,鲕粒圈层暗淡,可能有较多藻类的参与;核心以藻屑常见,其核心的形态决定了鲕粒的形态;另有少量藻砂屑和生物屑颗粒,含量小于10%;颗粒总体分选、磨圆较好。填隙物以亮晶方解石为主,一般有两期,早期呈纤维状-栉壳状,晚期粒状,具明显的充填结构;灰泥基质较少,分布不均。

鲕粒白云岩(F_{10})是鲕粒灰岩白云石化后的产物,以浅灰、褐灰色为主。较强的白云石化使鲕粒灰岩多转化为具残余鲕粒结构的粉-细晶白云岩,在阴极射线下可清晰辨认出鲕粒的环带结构;其中可含或多或少的灰质组分。

核形石灰岩、鲕粒灰岩和鲕粒白云岩均是潮下-潮间高能环境的产物,受到波浪和潮汐作用的共同影响,发育大量的粒间孔,它们经过多期亮晶胶结、压实和压溶作用后基本消失,仅见少量残余粒间孔。准同生期的白云石化作用和埋藏溶蚀作用是这些岩石中储集空间形成的主要原因,核形石灰岩的白云石化和溶蚀作用较弱,仅能形成部分晶间孔和不规则状溶孔,储集性中-较差;但白云石化强的鲕粒白云岩在埋藏溶蚀作用的配合下,发育有大量的晶间孔、晶间溶孔和粒

内溶孔,镜下面孔率5%~10%,孔隙度最高可达14.31%,平均渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,具有良好的储集性能,是区内滩体中最好的储集岩石微相。

2 组合类型及储集性

在区内各单井沉积相分析的基础上,按照各滩体间、滩体与其他沉积相带间的相互组合关系,特别是它们在纵向上的演变规律,可总结出4种滩体组合类型(图1)。滩体组合类型不同,沉积环境、成岩作用和储集性也有一定的差异。

2.1 生物屑滩夹滩间洼地组合

该组合在罗南2井-和2井和巴东2井一带最为发育,单组合厚0.2~2.5 m不等(图1a)。组合中、下部为较高能生物屑滩,由中-薄层砂屑生物屑灰岩和生物屑灰岩组成,冲刷侵蚀面和中、小型交错层理常见,总体岩性常组成正粒级递变,逆粒级递变较少;上部是低能沉积体或滩间洼地沉积,与生物屑滩过渡,由泥晶灰岩(F_{11})夹生物屑泥晶灰岩和粉屑泥晶灰岩(F_{12})组成,生物扰动构造和水平层理发育。滩体中、下部的砂屑和生物屑多来自于下伏或相邻地层,与较低海平面快速海侵过程^[6]或较强的波浪、风暴浪冲刷淘选改造有关,其沉积组合代表潮下较高能滩体沉积;随着能量的消失或滩体横向的迁移,早期较高能滩体沉积部位被低能滩间洼地取代,形成富含生物扰动和水平层理的泥晶灰岩夹生物屑泥晶灰岩和粉屑泥晶灰岩的低能沉积体。此组合常位于台地内向海一侧较为开阔的水体之中,易于生物的生长和风暴浪、波浪的改造作用。

生物屑滩夹滩间洼地组合中的粒间孔、生物体腔孔、遮蔽孔和晶间微孔经过胶结和压实作用后基本消失,后期成岩对其改造亦不强,常形成储集性能较差的组合类型,中、下部物性相对较好。但如经过后期构造以及与构造作用有关的埋藏溶蚀作用改造,可较大程度改善其储集性能,从而构成相对较好的储集组合。如玛扎塔格构造带上的罗南2井-和2井井区,由于受到南、北两条背冲断裂的控制,导致生物屑灰岩段中发育三期叠加的裂缝系统,裂缝密度可达每米2~7.3条,面缝率一般0.45%~2.65%;沿裂缝进行的埋藏溶蚀作用可形成较多的溶孔、溶洞,面孔(洞)率达1%~3%。这些裂缝和溶孔、溶洞构成了玛扎塔格构造带生物屑灰岩段气藏的主要储集空间,形成裂缝-孔洞型储层。

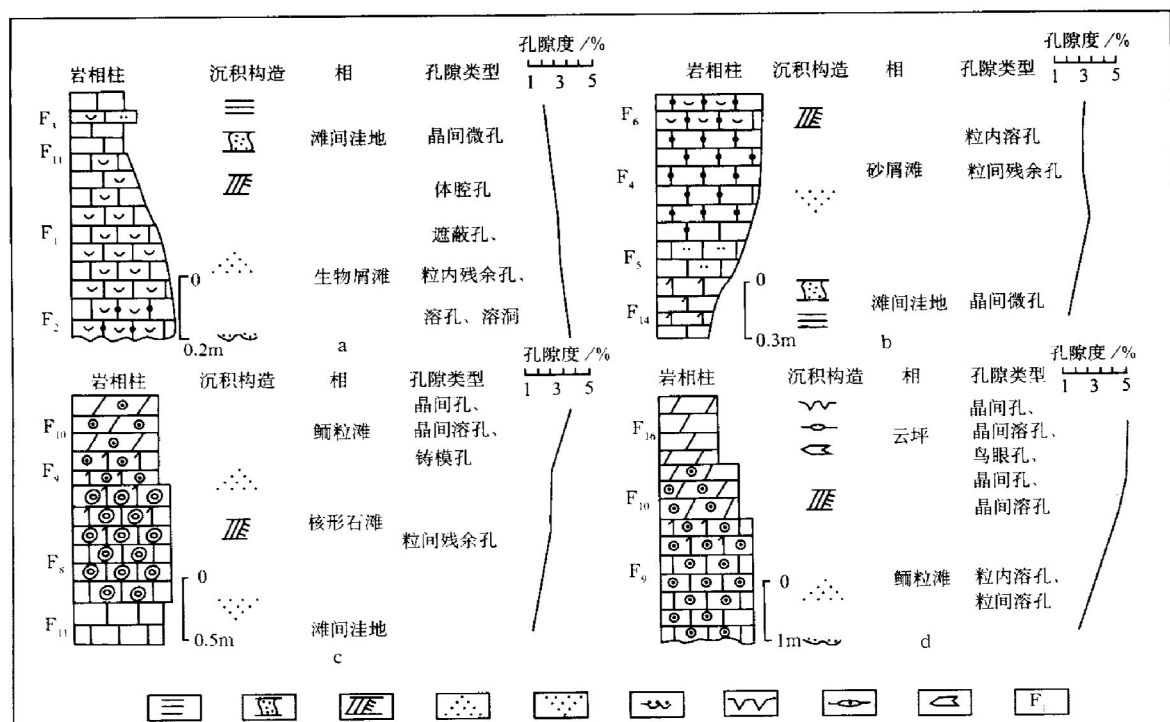


图1 塔中生物屑灰岩段滩体和相关组合类型及特征

Fig1. Types and characteristics of bioclastic limestone banks and related association in Central Tarim

a—生物屑滩夹滩间洼地组合; b—砂屑滩-滩间洼地组合; c—核形石-鲕粒滩组合; d—鲕粒滩-云坪组合

2.2 砂屑滩-滩间洼地组合

主要分布于满西2井-塔中45井一带, 其他井区较少, 单组合厚0.3~2.4 m (图1b)。主要由球粒泥晶灰岩(F₁₃)、泥晶灰岩(F₁₄)、粉屑灰岩、砂屑灰岩、生物屑砂屑灰岩、含砾砂屑灰岩夹白云质泥晶灰岩(F₁₅)等组成, 浪成交错层理、潮汐层理在颗粒岩中发育, 下部细粒岩生物扰动和水平层理常见。这些岩石微相常过渡沉积, 主要构成逆粒级递变, 正粒级递变较少。其沉积特征表明, 砂屑滩是较低能局限潮下或滩间洼地基础上发育起来的高能沉积体, 单一组合代表一次较低级海平面下降的结果, 随着海平面的下降, 水动力条件增强, 沉积物的结构成熟度变好, 粒径变粗。该微相组合多位于台地内靠近陆地一侧, 较高的水体盐度不利于生物的大量生长发育, 沉积的颗粒岩中生物组分不多。

砂屑滩沉积体中的粒间孔和晶间微孔在较强的胶结和压实作用后消失, 后期的成岩和构造作用仅能形成少量粒间溶孔、粒内溶孔、溶洞和微裂缝, 储渗性差, 由下向上物性虽具有变好的趋势, 但多属于非储集层。

2.3 核形石-鲕粒滩组合

在塔中22井-塔中14井和塔中4井-塔中103井一带生物屑灰岩中部较为常见, 单组合厚度一般小于5 m (图1c)。由核形石灰岩、鲕粒灰岩、鲕粒

白云岩及其过渡岩类夹极薄层的泥晶灰岩和灰质泥晶白云岩(F₁₆)组成, 正、逆粒级递变均有。颗粒岩中见冲刷侵蚀面和多种交错层理, 顶部见少量干裂构造; 细粒岩中生物扰动构造、水平层理发育, 并见有少量的膏盐假晶。其沉积特征反映这类组合形成于潮下-潮间高能夹低能环境之中, 随着海平面的下降或滩体沉积加积作用的进行, 水体变浅, 水动力条件逐渐减弱, 并发生间歇性暴露。

该组合下部颗粒岩经过多期亮晶方解石胶结后, 仅偶见残余粒间孔。中、上部鲕粒滩灰岩经过混合水白云石化后, 形成鲕粒白云岩和灰质鲕粒白云岩, 其碳、氧同位素值较为偏负, $\delta^{13}\text{C}$ 为-0.454 ‰, $\delta^{18}\text{O}$ 为-0.468 ‰; 在准同生期大气淡水、混合水和埋藏期地层水溶蚀作用配合下可形成一定数量晶间孔、晶间溶孔和铸模孔, 最高孔隙度可达13 ‰, 构成区内生物屑灰岩段中较好的储集相带组合。

2.4 鲕粒滩-云坪组合

集中分布于塔中4井-塔中103井一带生物屑灰岩的中、上部, 单组合厚0.4~5.5 m (图1d)。下部由鲕粒灰岩和鲕粒白云岩组成, 由下至上, 准同生期的白云石化程度增强; 上部粉晶白云岩和藻叠层泥晶白云岩发育, 含少量膏盐类假晶和较多的潮汐层理、鸟眼和干裂构造, 总体组成正粒级递变构造。上述特征表明, 鲕粒滩-云坪组合是典型潮坪沉积

环境的产物,由下至上,水体变浅、水动力条件变弱,并发生间歇性暴露。

此组合经过胶结和压实作用后,原生孔隙基本消失,但中、上部发生较强的准同生白云石化,碳、氧同位素值偏正, $\delta^{13}\text{C}$ 为 $0.394\text{‰} \sim 0.690\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-0.396\text{‰} \sim 0.072\text{‰}$, 随后在埋藏溶蚀作用的配合下,形成大量的晶间孔、晶间溶孔和膏盐模孔,储集性能良好,下部白云石化较弱,孔隙度有变差的趋势,但总体来看,该组合的物性最好。

综上所述,鲕粒滩-云坪组合是最有利于储层发育的滩体沉积,其次是核形石-鲕粒滩沉积,其余组合较差,但储集性较差的岩石微相及滩体组合经过构造作用的改造后,也可形成具有一定储集性能的沉积相带。

3 分布

3.1 纵向

从近东西向展布的和3井-塔中4井对比剖面(图2)中可看出,区内滩体沉积在生物屑灰岩段中分布广泛,但主要发育于该段的中部。滩体的类型、厚度及分布层位与海平面升降密切相关。随着海侵的进行,即生物屑灰岩段沉积的加厚,滩体分布层位逐渐向东、北和北东方向抬高;同时,滩体规模变大,滩体类型以生物屑滩为主转变为核形石滩和鲕粒滩为主。海退过程中滩体的分布规律正好与海侵相反。

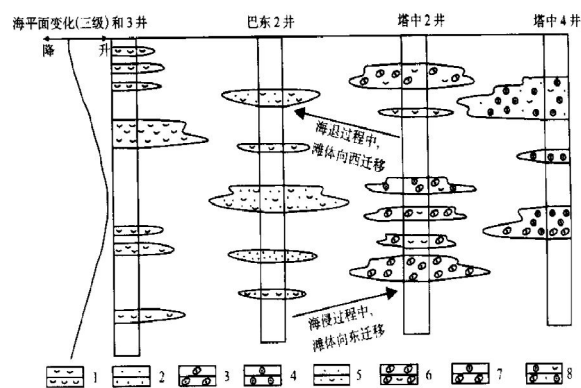


图2 塔中生物屑灰岩段滩体及相关组合横向(近东西向)对比剖面图

Fig 2. Lateral correlation section (East to West) of bioclastic limestone banks and related association in Central Tarim

1—生物屑滩及相关组合;2—砂屑滩及相关组合;3—核形石滩及相关组合;4—鲕粒滩及相关组合;5—生屑砂屑滩及相关组合;6—生屑核形石滩及相关组合;7—鲕粒核形石滩及相关组合;8—复合型滩及相关组合

3.2 平面

根据上述颗粒岩岩石微相和滩体组合在平面上的分布规律,利用优势相和特殊相相结合的作图原则^[4],可勾画出区内生物屑灰岩段滩体发育区在平面上的分布图(图3)。从图中可看出滩体主要分布在5个区块内:生物屑滩在罗南1井-和2井与巴东2井区块内相对发育,以生物屑灰岩和砂屑生物屑灰岩为主的颗粒岩厚度占该段地层厚度的25%以上;砂屑滩主要集中于满西2井-塔中45井一带,滩体累计厚度达10 m以上,占其地层厚度的30%以上;

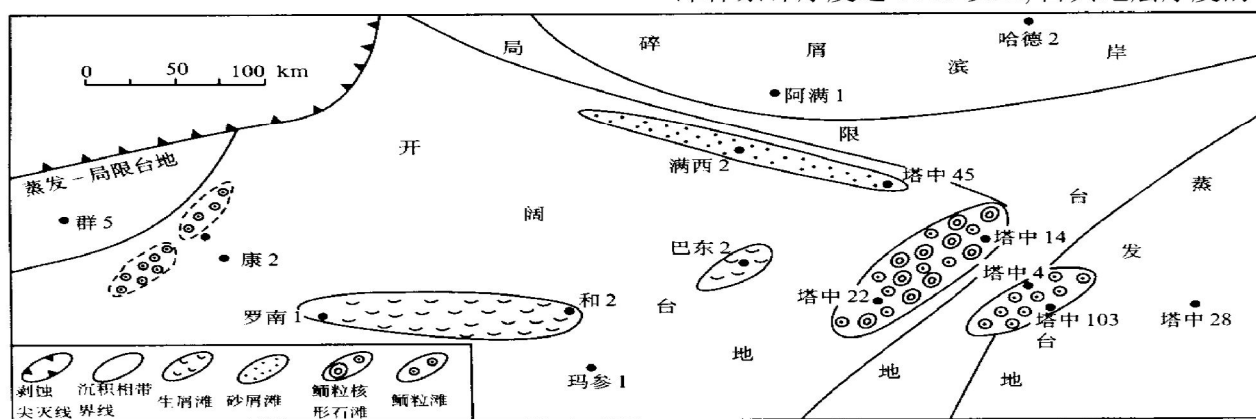


图3 塔中生物屑灰岩段沉积相及滩体展布图

Fig 3. Sedimentary facies and distribution of bioclastic limestone banks in Central Tarim

左右;在塔中22井-塔中14井井区,以鲕粒灰岩、核形石灰岩为主的沉积体厚度占地层厚度的35%;塔中4井-塔中103井井区的鲕粒灰岩和鲕粒白云岩相对发育,累计厚度达8~10 m,加之该

区块中发育较多的云坪沉积,从而构成区内最重要的储集相带分布区。依据相带展布规律,推测在区内西北部的群5井与康2井之间可能也有较多核形石滩和鲕粒滩的分布。(下转第95页)