

塔里木盆地塔中地区志留系沉积相模式探讨^①

侯会军 王伟华 朱筱敏
(石油大学,北京 102200)

提 要 研究表明塔中志留系为陆表海碎屑潮坪沉积。从其沉积特点及古地理背景出发,结合古陆表海环境的水动力特点,建立起塔中地区志留系的陆表海碎屑潮坪沉积模式,认为它可分为三个微相:泥坪、砂泥坪和砂坪。部分泥坪和大部分砂泥坪发育在水下,砂坪的沉积水动力与现代的潮坪相比相对较弱。障壁岛沉积不发育,潮汐流和风暴流对碎屑搬运和改造起主要作用,砂坪和砂泥坪中潮汐水道沉积和风暴沉积发育。水进时垂向上发育向上变粗的沉积序列,砂体中广泛发育交错层理;水退时可形成大面积连续性好的砂体及分布面积广而稳定的泥坪。砂坪微相的一些水下高地存在可能成为有利储层的纯净的石英砂岩。塔中 11井实例说明此相模式在塔中志留系的研究中是适用的。

关键词 陆表海 碎屑潮坪 相模式 塔中地区

分类号 P 512. 2/P 534. 43

第一作者简介 侯会军 男 24岁 硕士 沉积学

1 概 况

塔中地区位于塔里木盆地中部的沙漠腹地,构造上隶属于中央隆起带的塔中低隆,西部为巴楚断隆,东部为塔东低隆,北邻满加尔凹陷,南接塘古孜巴斯凹陷。志留系沉积时为稳定的克拉通内拗陷,沉积了一套滨浅海陆源碎屑沉积,总体上呈西薄东厚、南薄北厚的分布特点,在地震反射剖面上显示岩性和厚度分布较为均一,同相轴呈振幅中等偏弱,连续性中等偏低,频率中到高的平行或亚平行的反射特点。由于晚加里东构造运动,塔中地区中上奥陶统泥岩段遭受剥蚀而准平原化,所以地形起伏不大,地势平缓。志留系表现为一种浅水的陆表海沉积特征^①,主要为细粒沉积物,常见灰色或褐色细砂岩、粉砂岩与灰绿色泥质粉砂岩、绿色粉砂质泥岩或褐色粉砂质泥岩薄层互层,发育潮汐层理、交错层理等滨浅海的沉积构造组合。

2 塔中志留系的沉积特征

前面已述,塔中志留系为一套细砂岩、粉砂岩与泥岩的交互的细粒滨浅海陆源源碎屑沉积,它具有以下沉积特征:

2.1 沉积物具有潮坪沉积的结构特点和构造组合

塔中志留系碎屑颗粒中的岩屑含量高,分选与磨圆中到好,这种成分成熟度低而结构成熟度高的特点表明它是近源沉积,同时又受到过较强的水动力改造。在粒度曲线上一般表现为跳跃和悬浮搬运两个总体,没有粗尾。粒级分布为细砂级至粉砂级,泥质含量约 5%~10%,相似于三角洲沉积环境中的水下分流河道的粒度特点(图 1),但古地理研究表明本区不是三角洲环境,所以它是潮汐水道沉积的特征。在钻井岩芯上常见潮汐层理(波状层理、透镜状层理、脉状层理)、羽状交错层理、平行层理、低角度交错层理、收缩裂隙、微冲刷构造以及生物扰动构造等构造,为潮坪沉积的构造组合(图 2)。同时还常见到含泥岩撕裂层、具递变层理的风暴沉积。

2.2 具有相似于浅海砂体的沉积特征

塔中志留系分布面积大,但相带变化小,岩性和厚度较为均一。相带走向平行于古岸线,具有“东西向延伸,南北向分异”分布特点^②。垂向层序上常见向上变粗的序列,序列的下部为粉细砂岩,上部是含交错层理的细至中砂岩。这些特点相似于一些古老的大型浅海砂体,如北美西部的香农、维金、萨塞克斯等中生代浅海砂体,它们长宽均约在几十公里,厚可达数十米,沉积时水深度约为 40~70 m,其共同

① 本文由国家教委科研基金资助

② 塔里木盆地志留—泥盆系找油方向,1995,石油勘探开发科学研究院塔里木分院

收稿日期:1996-06-01

特点是具有向上变粗的序列,下部是生物扰动页岩,中部为具对称波痕的细砂岩,上部是含有交错层理的砂岩。砂体的延伸平行于区域性岸线。它们通常被认为是由潮汐流和风暴流共同搬运而沉积在离岸几十公里的地方的^[2]。另外,在塔中志留系钻井岩芯上可见震积岩发育,一些砂岩中可见到水下岩脉及泄水构造等,也说明其形成于具有一定水深的浅海环境中(图2)

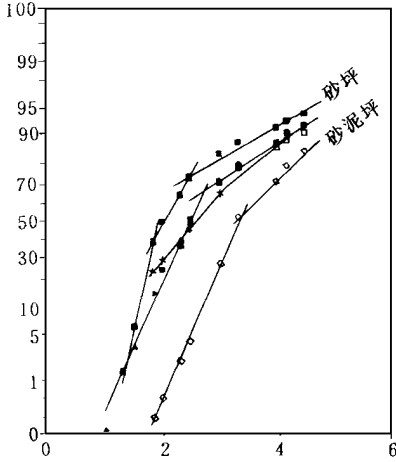


图1 粒度概率曲线特征

Fig. 1 Feature of the probability accumulation curve of grain size

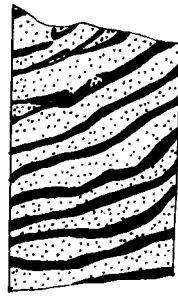
2.3 障壁岛沉积不发育

在钻井和测井中没有发现典型的障壁岛沉积,地震反射剖面上没有发现反映障壁岛存在的地震相类型^①。

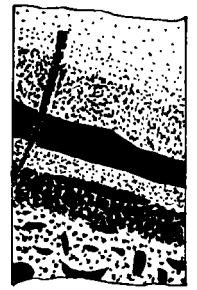
可以看出,塔中志留系既具有碎屑潮坪沉积的特点,又具有浅海砂体沉积的特点,而且障壁岛沉积不发育,所以它应当形成于一种古代开阔海-陆表海环境中。

3 陆表海碎屑潮坪沉积相模式

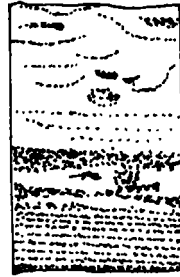
前人的研究虽然认识到塔中志留系形成于陆表海环境,为碎屑潮坪沉积,但其相模式却是在现代潮坪环境的基础上建立起来的,而这样的相模式与古地理环境不吻合,预测的精确性便需要进一步探讨。因此,本文从陆表海环境这一沉积背景出发,依据陆表海环境的水动力特点,建立起陆表海碎屑潮坪沉积模式,以期提高预测精确性。



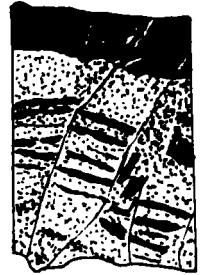
TZ4,18- $\frac{5}{103}$ 波状层理



TZ4,19- $\frac{2}{84}$ 水下岩脉及撕裂状泥砾



TZ11,3- $\frac{56}{79}$ 脉状层理及平行层理



TZ4,20- $\frac{20}{86}$ 震积岩

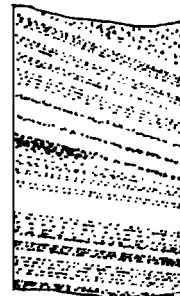


图2 塔中地区典型沉积构造

Fig. 2 Typical depositional structure in the Tazhong area

3.1 陆表海的水动力特点

陆表海的概念是肖(1964)在研究碳酸盐沉积时提出的,他认为陆表海是位于大陆内部或陆棚内部的、低坡度的(海底坡度一般小于每英里一英尺)、范围广阔的(延伸可达几百到几千英里)、很浅的(水深一般只有几十米)浅海。由于其水浅坡缓,所以可以发育大面积潮坪沉积,一般清水时沉积碳酸盐岩,而有大量陆缘碎屑注入时便形成陆源碎屑潮坪沉积。其水动力能量作用带上不同于现代的滨海,欧文和杨曾对陆表海的能量带作了划分,其主要分带基本相似,从陆向海由低能带(Z带)、高能带(Y带)、低能带(X带)三个能量带组成^[3]。在岸线一侧较远的地方(一般几十到几百公里),由于海底摩擦使水体

① 塔里木盆地岩相古地理与沉积发展史研究,1995,塔里木勘探开发指挥部

活动受到限制,能量减小甚至消失,形成宽阔的低能带。其外侧是相对较窄的高能带,可以受到强烈的潮汐作用及波浪作用的影响。再向外是浪底以下的低能带,它也相对较宽,通常只有强大的风暴浪才能影响到(图3)。

3.2 陆表海用于研究陆源碎屑沉积的概况

陆表海自提出以来通常是用于对碳酸盐岩沉积的解释,用于碎屑岩沉积研究的例子不多见。拉波特(1968)曾提到在陆源碎屑供应充足的陆表海环境中,可以建立起与碳酸盐岩沉积相模式类似的相模式^[4],但并未深入分析其沉积微相的划分及沉积特征。塞利(1970)在研究约旦南部沙漠区的古生代乌姆萨赫姆组的陆源陆棚沉积物时,曾用过欧文的陆表海水动力分带将其划分为浅滩砂岩相(Y带)和潮坪页岩相(Z带)^[5],也没有提出完整的沉积模式。在其它的古代浅海砂体(如北美西部的香农、维金、萨塞克斯等中生代浅海砂体)研究中,一般是着重于其形成机制的探讨,也未见有相对完善的沉积相模式建立^[2]。本文建立起陆表海碎屑潮坪沉积相模式便是想在这方面作一些尝试性探索。

3.3 陆表海碎屑潮坪沉积相模式

根据陆表海的水体能量特点和塔中志留系的沉积特征,建立如下的古陆表海碎屑潮坪沉积体系模式(图3),其向陆侧为可提供大量陆源碎屑的高地物源区,滨浅海可划分泥坪、砂泥混合坪和砂坪三个微相,向海方向邻接过渡带和陆棚。

与现代的潮坪沉积中的泥坪不同,陆表海碎屑潮坪沉积体系中的泥坪不但可沉积于水上,而且也可沉积水下。由于古陆表海坡度极缓,基底的摩擦使潮汐能量大大减弱,甚至在离岸一段距离时,高潮能量便减小到零,广海的波浪作用也损失殆尽,只有风暴浪和微弱的地方性风浪的影响,这样内侧的浅水区常处于极低的能量环境,发育以泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩为主的泥坪沉积,其中常见水平纹层、生物扰动及生物潜穴构造等,局部可见泥裂。

陆表海碎屑潮坪沉积体系中的砂泥坪则大部分发育在水下,即低潮作用消失带和高潮作用消失带之间,此时广海的波浪作用已相当微弱,上部只有风暴浪才能影响到。砂泥坪岩性为不等厚互层的泥岩、泥质粉砂岩和细砂岩。发育生物扰动、波状层理、透镜状层理等沉积构造,有时可见具递变层理或块状层理及片状泥砾的风暴沉积物。

砂坪发育在晴天浪底与低潮作用消失带之间,受到潮汐和波浪双重作用的影响,是潮坪沉积体系的相对高能带。此带主要以改造前期沉积下来的沉积物为主,并且也沉积了由潮汐流和风暴流带来的沉积物,所以砂坪沉积主要岩性为细砂岩夹薄层粉砂岩和泥岩。砂岩中发育楔状交错层理、冲洗交错层理、层面的浪成波痕沉积构造、底冲刷、生物扰动构造及潜穴构造。潮汐水道沉积和风暴沉积常见。

在一个水进水退旋回中,完整的沉积序列通常表现出两个粗细变化旋回(图4),在水进时常广

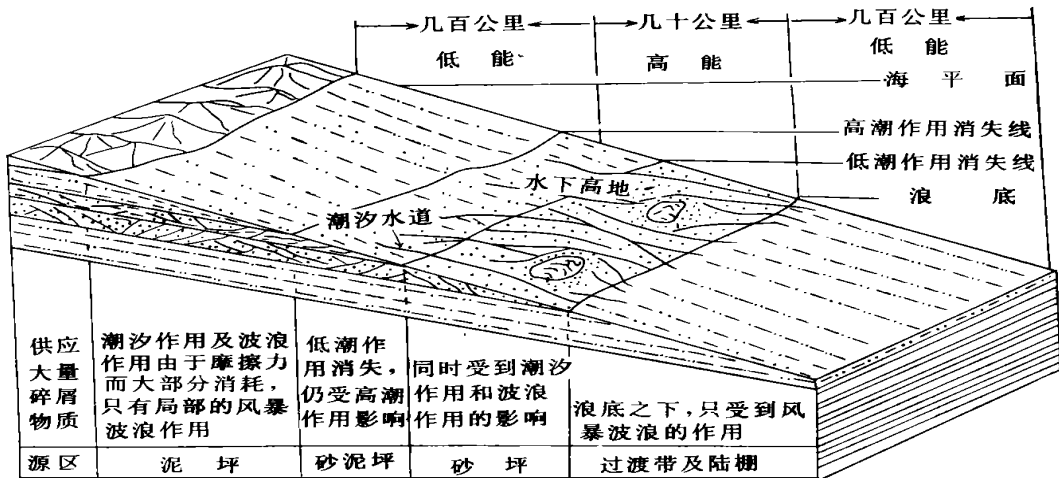


图3 陆表海碎屑潮坪沉积相模式图

Fig. 3 Facies model of the clastic tial flat deposit in an epicontinental sea

泛发育潮道沉积和风暴沉积,具有向上变粗的序列,砂层具反韵律。水进砂泥坪为砂、泥岩不等厚互层,砂层下部为具水平波纹层的泥质粉砂岩,然后是具小型低角度楔状交错层理、波状层理的粉细砂岩,是见具递变层理的含泥砾的粉细砂岩。砂坪的砂层厚度通常较厚,泥质的含量较少,表现为细砂岩和粉细砂岩中夹薄层泥质粉砂岩,具小型低角楔状交错层理及平行层理。水体进一步加深时上部可见夹风暴沉积的过渡带及陆棚粉砂岩和泥岩,它常具有强烈的生物扰动构造。水退时层序表现为正韵律,水退砂坪与水进砂坪相比砂泥比减小,砂层厚度变薄,潮道沉积减少。水退砂泥坪的泥质夹层厚度增大,砂层下部见低角度楔状交错层理粉细砂岩,然后是具透镜状层理、生物扰动构造和水平纹层的泥质粉砂岩和泥岩。进一步的水退可发育广泛的泥坪沉积,表现为具生物扰动的泥岩夹薄层粉砂质泥岩。

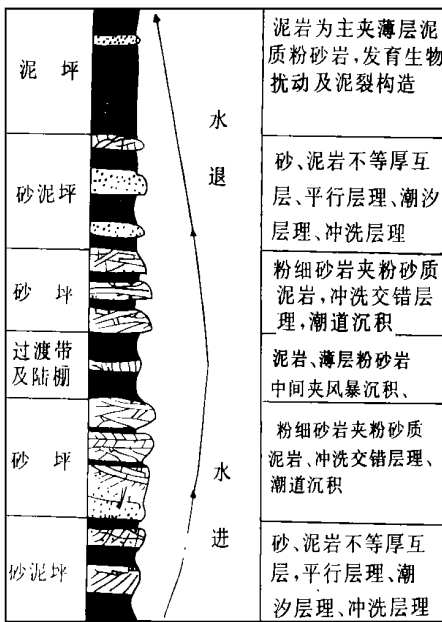


图 4 陆表海碎屑潮坪沉积型向相层序图

Fig. 3 Vertical facies sequence of the clastic tidal foat deposit in an epicontinental sea

由于水进时潮汐作用和风暴作用的强烈改造,较小的旋回形成的泥坪沉积物很难保存下来,这样陆表海的高频旋回很少保存,从而可以形成较厚的砂坪和砂坪沉积,这对储层的形成是有利的;而水退时沉积物较快,砂坪中可形成大面积连续性好的砂体,也可能成为有利储层。水退时较大旋回保存下来的泥坪常常分布面积连续性好的砂体,可能作为区

域地层对比的良好的标志层(如红色泥岩段)

潮汐作用和风暴作用是这一开阔海环境中的物质搬运和改造的主要动力,所以潮汐水道沉积和风暴沉积非常发育,尤其是在砂坪和砂泥坪微相中。坡度低缓导致的基底摩擦起到了类似于障壁岛的作用,而在陆表海环境中,潮汐和波浪由于基底摩擦,在离岸一段距离时,其能量便已大大减弱,甚至减小到零,这样形成滨岸砂体的可能性极小,因此也不可能发育障壁岛,所以虽然在塔中地区广泛发育着潮坪沉积,而在钻井和测井中却没有发现典型的障壁岛沉积。地震反射剖面上也没有发现反映障壁岛存在的地震相类型^[3]。在一些水下高地附近,特别是处于砂坪微相中的水下高地,潮汐和波浪的能量增强,砂体由于强烈的改造可形成较为纯净的石英砂岩,有可能成为好的储层(如塔中 11 井的下砂岩段)。

4 塔中志留系陆表海碎屑潮坪沉积相特点分析

塔中志留系发育有陆表海碎屑潮坪沉积和过渡带陆棚沉积,其中以塔中 11 井中上志留统红色泥岩段至下砂岩段最为典型(图 5)。过渡带陆棚沉积主要是灰绿色泥岩中夹有风暴沉积,陆表海碎屑潮坪沉积的具体特点如下:

4.1 泥坪微相

其岩性以紫红色、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩为主,泥岩中具水平纹层,砂岩中具生物扰动、生物潜穴及变形构造,局部发育有泥裂,自然电位曲线起伏很小,自然伽玛曲线则呈高频的锯齿状、值较高。泥坪在塔中地区分布广泛,尤其是上志留统的红色泥岩段,沉积厚度大,分布相对稳定。

4.2 砂泥坪微相

砂泥坪岩性为不等厚互层的棕褐色、灰绿色易碎泥岩、粉砂质泥岩和浅灰色粉、细砂岩。砂岩的成分成熟度不高,而结构成熟度较高。石英含量 35%~70%,长石含量 <10%,岩屑成分复杂,含量 26%~60%。颗粒次棱角状至次圆状,分选一般较好。

砂泥坪沉积物的粒度概率图由跳跃和悬浮两个总体构成两段式,跳跃总体粒度在 2~3 ϕ 之间,含量约 30%~70%,细截点在 3.2 ϕ 左右,悬浮总体含量较高,从 30%~60% 不等,泥质含量也较高,在 20% 左右,这可能是由于在陆表海水浅坡缓,砂泥坪环境能量又稍弱,底部摩擦引起的能量梯度的变化比较快的缘故。

砂泥坪沉积物中发育波状层理、透镜状层理以及板状交错层理。波状交错层理的砂泥间互层的单层砂、泥厚度约为 0.3~3 cm 有时还可见到包卷层理、递变层理或块状层及顺层分布的片状泥砾, 泥砾

灰绿色或棕红色, 呈大小大等的棱角状。这可能是风暴浪作用的结果。

砂泥坪沉积在剖面层序上既可表现为下粗上细的正韵律, 也可表现为上粗下细的反韵律。在水进层

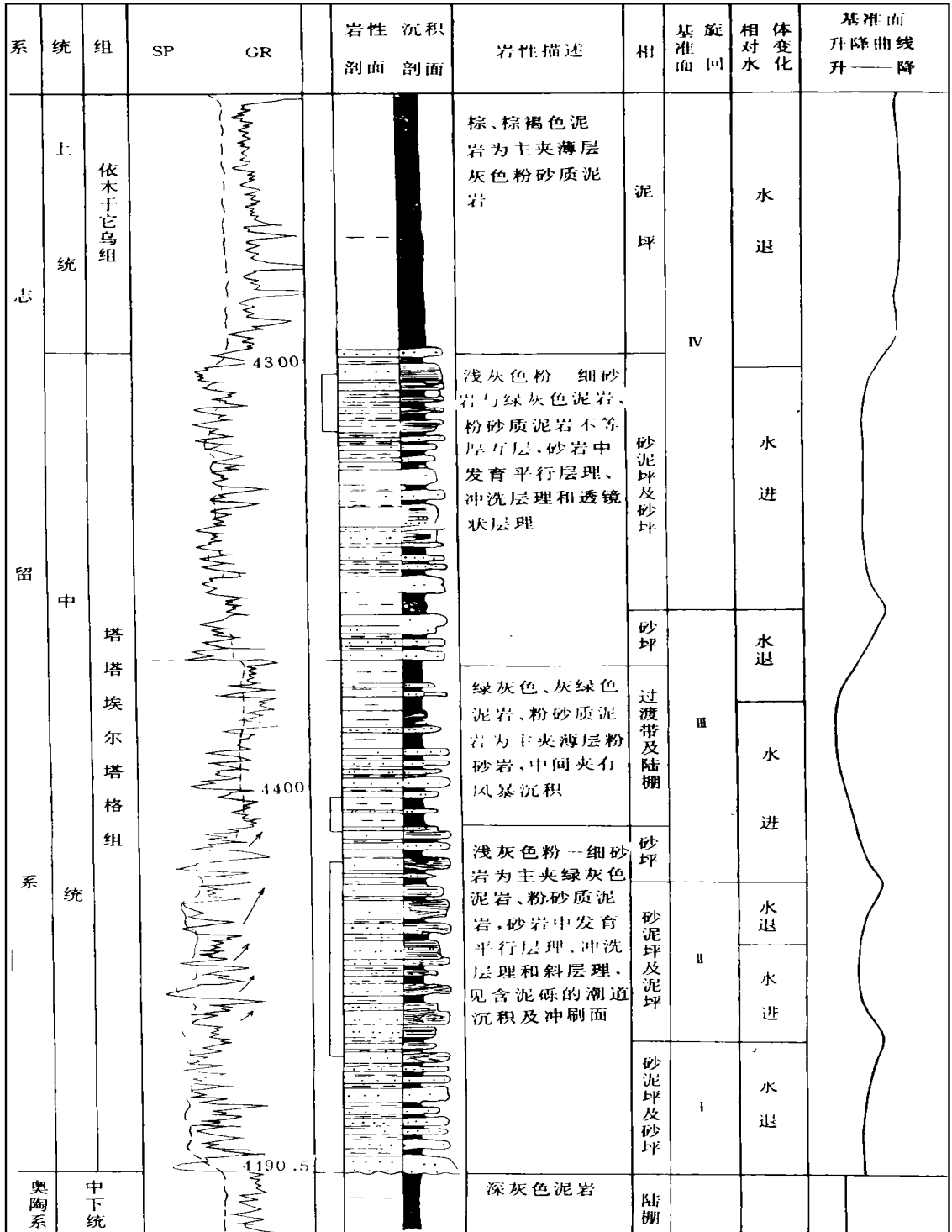


图 5 塔中 11 井志留统沉积相及层序划分综合剖面图

Fig. 5 Integrated section map of the Mid-Silurian depositional facies and sequence division of the Tazhong-11 well

序中通常为反韵律,泥质的含量较少,砂层略厚。下部为具水平波纹层的泥质粉砂岩和粉砂质泥岩,然后是具小型低角度楔状交错层理、波状层理的粉细砂岩,时见具递变层理的含泥砾的粉细砂岩。自然电位曲线上表现为漏斗状。水退层序中表现为正韵律,泥质的含量较多,韵律下部为低角度楔状交错层理粉细砂岩,然后是具透镜状层理、生物扰动构造和水平纹层的泥质粉砂岩和泥岩。自然电位曲线上表现为平滑钟形。

4.3 砂坪微相

砂坪沉积主要岩性为棕褐色、浅灰色细砂岩、沥青质细砂岩夹薄层浅灰绿色粉砂岩和泥岩,砂岩的成分成熟度及结构成熟度均较高。石英含量 62%~90%,长石含量 4%~8%,岩屑成分复杂,含量 6%~31%,颗粒次棱角状至圆状,分选性中等到好。砂岩具颗粒支撑结构。

砂坪沉积物的粒度概率图可见三种:即两段式、过渡式和三段式,它们的共同特点是跳跃总体粒度在 $1-2.5\phi$ 之间,含量约 70%~80%,细截点在 2.75ϕ 左右,悬浮总体含量 15%~20%,泥质含量约 5%~10%,只不过过渡式和三段式在 $2-2.75\phi$ 之间形成一个过渡段或另一个悬浮总体。它们反映了砂坪沉积环境中潮流作用和波浪作用的影响较强,使得部分较粗的沉积物可以在半悬浮状态搬运,也反映了回流影响的双向水流作用。

砂坪的砂岩中常见冲洗交错层理、层面的浪成波痕沉积构造以及生物扰动和潜穴。在砂坪沉积环境中常发育潮汐水道沉积,它是由含砾细砂岩—粉砂岩的冲刷—充填叠置而成。垂向上表现为由粗变细、层理规模变小和厚度变薄的正旋回。下部为发育粒序层理、块状层理、板状交错层理、水平层理和底冲刷的含泥砾粉细砂岩,泥砾呈大小不等的片状或透镜状,略具定向排列。上部为具小型槽状交错层理和羽状交错层理粉砂岩和泥质粉砂岩。由风暴浪引起的含大量无定向泥岩撕裂屑的风暴沉积物也非常常见。这些也表明砂坪沉积环境中潮流和风暴作用的影响较强,具有回流冲刷的双向水流作用特点。

砂坪沉积在剖面层序上一般表现为上粗下细的反韵律,多发育在水进层序中,砂层的厚度通常较厚,泥质的含量较少,垂向上韵律厚约 $1-8\text{m}$ 。下部为泥质粉砂岩和粉细砂岩,上部是具小型低角楔状

交错层理及平行层理的细砂岩和粉细砂岩,顶部常见泥质或泥质粉砂岩薄夹层。自然电位曲线上表现为平滑漏斗状,其中常可发现,具重力流特征的潮汐水道沉积物和风暴作用沉积物。

塔中 11 井中上志留统红色泥岩段至下砂岩段的垂向剖面基本上反映了一个完整的水进水退旋回(图 5),水进时表现为一个向上变粗的序列,在砂坪和砂泥坪中广泛发育着潮汐水道沉积和风暴沉积,砂层中广泛出现交错层理,形成了下砂岩段储层;水退时形成了稳定的红色泥岩段,可作为良好的标志层。可以看出,无论是在微观分析或是宏观表现及垂向序列组合上,塔中志留系都与所建立的陆表海碎屑潮坪沉积相模式的环境的水动力特点及沉积特征吻合的很好,说明这一相模式在塔中志留系的研究中是合理的、适用的。

5 结 论

本文建立了塔中志留系陆表海碎屑潮坪沉积相模式。陆表海碎屑潮坪沉积相带宽阔,岩相变化小;可分为三个微相:泥坪、砂泥坪和砂坪。与现代的潮坪沉积相比它们的沉积水体较深,部分泥坪和大部分砂泥坪可以发育在水下,砂坪的沉积水动力也相对较弱,障壁岛沉积不发育,潮汐流和风暴流在碎屑搬运和改造起主要控制作用,砂坪和砂泥坪中潮汐水道沉积和风暴沉积非常发育。砂坪沉积可形成有利储层。塔中 11 井实例分析表明塔中志留系在宏观和微观表现都与陆表海碎屑潮坪沉积相模式的环境水动力特点及沉积特征相吻合,说明这一相模式用于塔中志留系的研究是合理的、适用的。

参 考 文 献

- [1] 朱筱敏. 塔里木盆地志留系与泥盆系碎屑潮坪沉积. 见: 沉积学及相古地理学新进展. 王英华等编. 北京: 石油工业出版社, 1995, 166~169.
- [2] G R沃克编. 沉积相模式. 地质情报研究所译. 1982.
- [3] 冯增昭主编. 沉积岩石学. 北京: 石油工业出版社, 1993, 286~296.
- [4] Meif Laporte. Ancient environments. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1979, 105~118.
- [5] 何镜宇, 孟祥化编. 沉积岩和沉积相模式及建造. 北京: 地质出版社, 1987.

Study of Depositional Model of Silurian System in Tazhong Area, Tarim Basin

Hou Huijun Wang Weihua Zhu Xiaomin

(University of petroleum, Beijing 102200)

Abstract

Studies showed that the Silurian system in the Tazhong area was deposited in an epicontinental sea tidal flat environment. Combined its depositional feature and setting with the hydrodynamic feature of epicontinental sea area, an epicontinental sea facies model of clastic deposits of the Silurian system in the Tazhong area is established. Furthermore, it can be subdivided into three microfacies: mud flat and mixed flat, and sand flat. Its facies is broad and stable, but there exist no barrier island deposits. Compared with the flat depositional facies nowadays, it is deposited in deeper water. part of the mud flat and most of the mixed flat develop under the water, the hydrodynamics of the sand flat is relatively weak. Tidal current and hurricane current mainly control the transportation and reconstruction of the clastics, so their deposits are popular, especially in the sand flat and mixed flat. A vertical coarsening-upward sequence is present in the transgressive period and cross-bedding is common in the sandstone. In the retrogressive period, sandstones with good continuity and a stable mud flat are formed in a broad area. Near some of the underwater high land in the sand flat environment, there may exist purer quartz sandstones, which may be a good reservoir. As an example, the analysis of the Tazhong-11 well shows that it is suitable for the study on the Silurian system in the Tazhong area with this model.

Key Words epicontinental sea clastic tidal flat facies model Silurian System Tazhong area