

准噶尔盆地南缘八道湾组扇三角洲露头 基准面旋回与储层的响应关系

谭程鹏¹ 于兴河¹ 李胜利¹ 瞿建华² 魏凌云² 李晓路¹ 杜永慧¹

(1.中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083;2.中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院,新疆 克拉玛依 834000)

摘要:准噶尔盆地南缘八道湾组四棵树剖面发育扇三角洲沉积,可划分为2个长期基准面旋回,并细分为3个中期旋回。基于露头精细解剖,将扇三角洲成因砂体分为叠加型、过渡型及孤立型砂体3种类型,分别对应于辫状水道、辫状水道向分流水道过渡及分流水道成因,其宽度、厚度及宽厚比由叠加型向孤立型逐渐减小。3类砂体的特征、形成与变化与基准面旋回变化及所处的位置有关。A/S比值由低到高依次发育叠加型、过渡型、孤立型砂体。水道砂体的规模与A/S比值呈负相关关系,即随A/S比值的增大而减小。随着基准面的上升,八道湾组水道砂体出现的频率减小,叠加厚度减薄,砂体之间的连通性变差,水道砂体的粒度变细,发育于陆地的古土壤减少,且宽厚比也逐渐减小。

关键词:准噶尔盆地南缘;八道湾组;扇三角洲;基准面旋回;储层;露头

中图分类号:TE121 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)01-0197-09

高分辨率层序地层学自T. A. Cross首次提出以来^[1-2],引起了广泛的关注和深远的影响,特别是对于中国陆相盆地具有普遍的适用性。1995年邓宏文教授首次将该理论体系引入中国^[3],在这近20年的时间里,高分辨率层序地层学在中国得到了全面实践应用,有力地推动着中国油气勘探开发的高效发展。与此同时,在指导生产实践中,该体系得以进一步丰富与完善^[4-12]。

基准面旋回变化对沉积物保存程度、砂体叠加样式、相序及相类型的控制作用是高分辨率层序地层学的研究的核心^[13]。近年来,诸多学者对基准面旋回与储层发育的响应关系进行了深入研究^[14-21],试图通过高分辨率层序地层学理论指导储层的预测,提高勘探开发的精度。这些研究多以井下地质特征研究为主,具有一定的局限性,露头作为直观、

准确、具体的研究对象,对于基准面旋回和砂体叠加样式的识别具有得天独厚的优势,且结论准确可靠。国内对滦平扇三角洲露头研究较为全面^[22-24],也对准噶尔盆地南缘露头开展了部分研究^[25-29]。

本文研究对象四棵树剖面位于新疆准噶尔盆地南缘乌苏市境内,前人尚未单独对该典型露头剖面进行精细的高分辨率层序地层研究,且该处露头剖面地层连续出露好、沉积现象丰富、层序界面清晰、层序发育完整,是开展野外地质研究的天然实验室。同时,露头基准面旋回与储层的响应关系对于井下油气勘探开发具有重要的理论与实践意义。鉴于此,对该露头剖面的研究是刻不容缓、势在必行、行之有效的,这将对加深与丰富高分辨率层序地层学的认识具有一定的实践意义,并且对准噶尔盆地南缘下部成藏组合的油气勘探具有一定

收稿日期:2013-03-17;改回日期:2013-10-27

基金项目:国家自然科学基金项目(41072084)和教育部博士点基金(20120022130002)联合资助。

作者简介:谭程鹏,男,1988年生,博士,矿产普查与勘探专业,主要从事沉积学、储层评价方面的研究工作;Email:cugbtcp@gmail.com。

通讯作者:于兴河,男,1958年生,教授、博士生导师,主要研究方向为沉积学、储层表征建模及油气地质;Email:billyu@cugb.edu.cn

的指导意义。

1 地质概况

准噶尔盆地南缘是指北天山以北的准噶尔盆地南部山前褶皱-冲断带,东起吉木萨尔水西沟,西至乌苏四棵树,南邻依连哈比尔尕山,北到盆地腹部昌吉凹陷,东西长约500 km,南北宽40~90 km,面积约为 $3.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在新生代强烈的构造作用下,

在北天山北麓诸多北向的河流切割作用下,南缘巨厚地层被抬升出露,形成了许多地质研究的天然实验室,本次研究的四棵树剖面位于新疆维吾尔自治区西北部乌苏市境内,距乌苏市区约40 km($E84^\circ 24'40.63''$ 、 $N44^\circ 08'23.61''$,图1)。

准噶尔盆地南缘侏罗系自下而上划分为八道湾组(J_1b)、三工河组(J_1s)、西山窑组(J_2x)、头屯河组(J_2t)、齐古组(J_3q)及喀拉扎组(J_3k)。下侏罗统八道

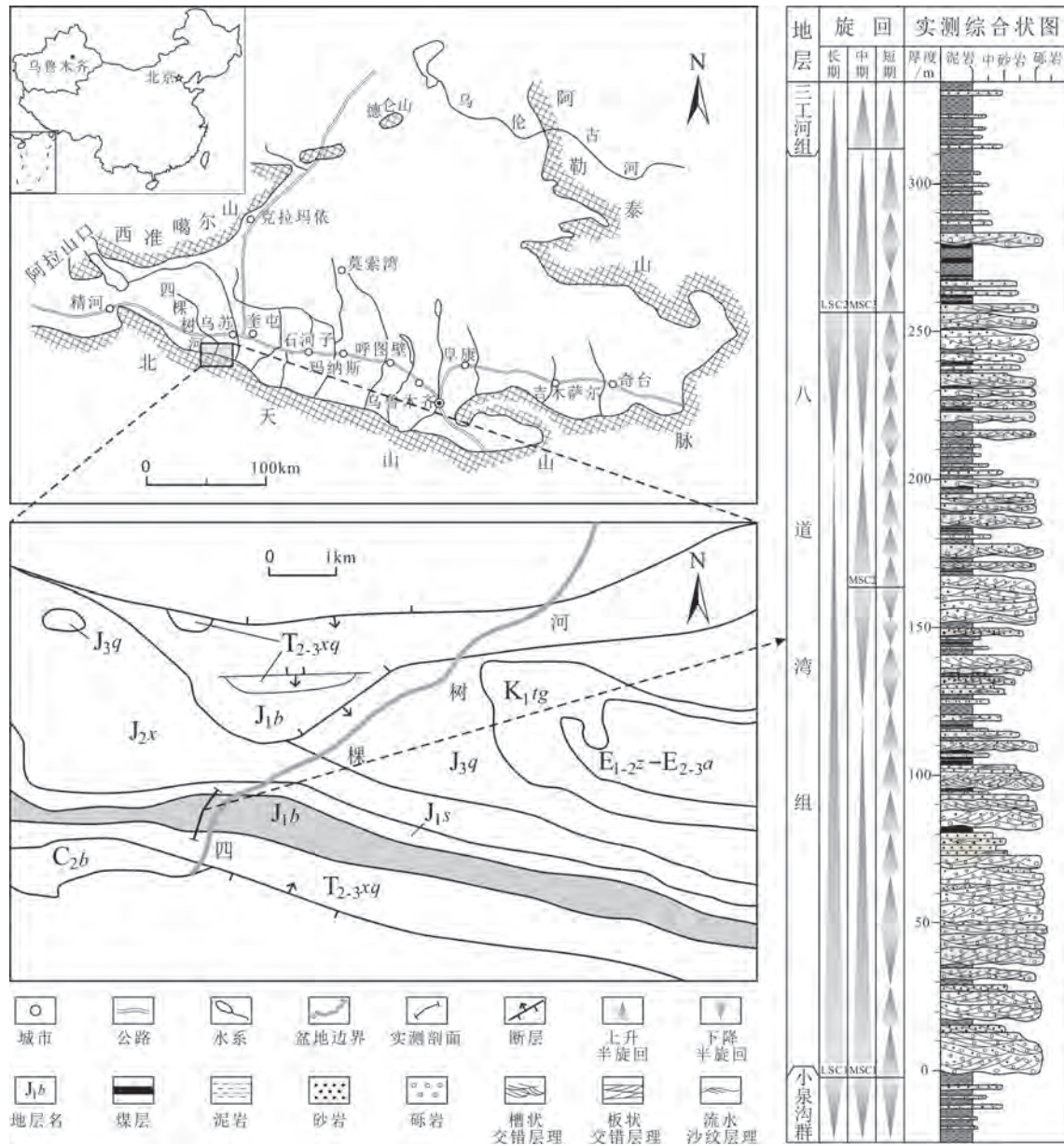


图1 准噶尔盆地南缘四棵树剖面位置与八道湾组实测综合柱状图
Fig. 1 Location of Sikeshu section in southern Junggar Basin and integrated stratigraphic columnar section of Badaowan Formation

湾组与下伏三叠系小泉沟群之间为假整合接触,是在全盆范围内均可对比的层序界面;其中下部为一期完整的旋回,顶部与上覆三工河组呈整合接触。作为准噶尔盆地最重要的两个工业产煤层之一,八道湾组总体表现为含薄煤层的浅灰色、灰白色巨厚砂砾岩,夹灰绿色、灰色粉砂质泥岩与泥岩;砂砾岩分选磨圆中等—较差,碎屑成分复杂,植物茎干碎片常见,广泛发育各类牵引流成因沉积构造,反映了适宜植被生长的温暖潮湿背景下近源扇三角洲沉积。八道湾组层序特征在露头剖面上表现明显,共识别出若干个短期旋回,并将其叠加组合为3个中期旋回(图1)。

2 沉积与层序特征

四棵树剖面八道湾组为扇三角洲沉积,扇三角洲平原、扇三角洲前缘及前扇三角洲亚相均有发育,扇三角洲平原亚相为辫状水道相互切割叠置,形成巨厚的砂砾岩体夹一些薄层的水道间沉积,典型岩相组合序列为 Gm→Gt→Ss→Sp→Fl(图2-A)。扇三角洲前缘亚相以水下分流河道与水下分流间湾间互沉积为主,水道砂体厚度较平原亚相明显减薄,典型的岩相组合序列为 Gt→Sl→Fsc→Fm(图2-B)。前扇三角洲亚相为厚层灰绿色、灰色浅湖泥岩夹薄层中细砂岩,岩相较为简单,典型组合序列为 M→Fl→Fsc→M(图2-C)。

在基准面旋回识别划分标准与原则的指导下^[15-19],结合露头剖面实际层序特征,四棵树剖面八道湾组

划分为2期长期旋回,中、下部为一期长期基准面旋回 LSC1,其上部与三工河组下部构成另一长期基准面旋回 LSC2。LSC1 旋回由2个中期旋回组成(MSC1 和 MSC2),LSC2 在八道湾组顶部为1个中期旋回 MSC3,每个中期旋回由若干数量不等的短期旋回构成。

长期基准面旋回 LSC1 底界面为八道湾组与三叠系小泉沟群之间的大型冲刷面,界面上下地层结构发生了明显变化。MSC1 旋回相当于八道湾组一段,巨厚层灰黄色、浅灰色砂砾岩与浅灰绿色中细砂岩,夹炭质泥岩或薄煤层。扇三角洲平原亚相为主要成因地层单元,辫状水道频繁冲刷叠置,通常把下降半旋回剥蚀,正韵律辫状水道在基准面上升时保存在地质记录中,因而短期旋回中多以上升半旋回为主。MSC2 旋回对应于八道湾组二段,灰黄色砾岩、含砾粗砂岩与灰绿色泥质粉砂岩互层,见煤线。该段主要发育扇三角洲前缘亚相,水下分流河道砂体厚度较小,多呈透镜状分布于水下分流间湾或浅湖相中,造成以上升半旋回为主在垂向上多期叠加而形成 MSC2 旋回。LSC1 旋回整体以基准面上升为主,最大湖泛面位于 MSC2 旋回的湖泛面处。

LSC1 与 LSC2 旋回之间的界面明显,LSC1 旋回砂体广泛发育,LSC2 旋回为厚层泥岩夹薄层砂岩为主,在野外露头剖面上二者被一条冲沟所分割。LSC2 旋回在八道湾组范围内只有 MSC3 中期旋回,且 MSC3 旋回仅有上升半旋回。整体表现为扇三角洲前缘逐步向前扇三角洲过渡,以厚层泥岩为主。

3 基准面旋回与砂体叠加样式关系

3.1 砂体叠加样式

野外观察到的砂体以水道成因为主,约占整个剖面的72%。根据砂体的几何形态、规模、叠加样式及相序特征,将水道砂体分为3种类型:叠加型、过渡型和孤立型。

叠加型水道砂体为多层叠加而成的巨厚水道砂体,砂体出现的频率高,单期水道切割下部水道砂体,底面起伏不平,顶面常被切割而保存不完整。由于砂体之间相互切割接触,叠加型砂体的连通性较好。水道的底部发育大型槽状交错层理,偶

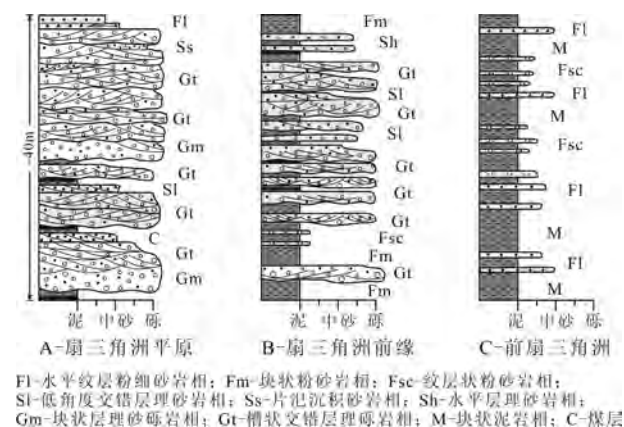


图2 八道湾组典型岩相组合

Fig.2 Typical lithofacies associations of Badaowan Formation

见块状堆积和片汨沉积。在野外对砂体的宽度和厚度进行实际测量,其宽度为296~488 m,平均379.2 m,厚度为4.2~7.2 m,平均6.2 m,经计算其宽厚比变化范围为48~77,平均62(图3)。叠加型砂体可解释为辫状水道在平面上的迁移或合并,最终在垂向上逐渐叠加形成。

过渡型砂体是叠加型向孤立型过渡的中间类型,当水道下切深度比细泛滥平原的厚度小的时候,后期水道就不会切割到早期形成的水道,水道之间开始出现泛滥平原沉积。因而,过渡型砂体既存在相互间切割的砂体(整体厚度相对叠加型较薄),也存在具有较薄泥岩隔层的叠加砂体。砂体的宽度和厚度也逐渐减小,其宽度为205~311 m,平均251.4 m;厚度为3.7~4.8 m,平均4.48 m,计算出宽厚比为46~74,平均57(图3)。过渡型砂体可解释为辫状水道向分流水道的过渡。

孤立型水道砂体底面为下切冲刷的凸面,顶面较平整,因其孤立于细粒沉积物中,故称为孤立型水道砂体。它的底部见滞留砾石,且槽状交错层理发育,向上粒度变细,呈正粒序,发育流水沙纹层理和平行层理。经测量,四棵树剖面孤立型水道的宽度为42~144 m,平均89.2 m;厚度为1.2~2.9 m,平均2.25 m;计算出宽厚比为25~49,平均39(图3)。孤立型水道砂体解释为分流水道切割泛滥平原或分

流间沉积。

通过对实际测量结果分析发现,3类砂体的宽度、厚度及宽厚比呈一定的规律性变化,即宽度、厚度及宽厚比由叠加型向孤立型逐渐减小。宽度和厚度之间均为正比例关系,即砂体宽度随厚度变厚而变宽,通过拟合得出线性经验公式,拟合度达到0.8(图4)。

3.2 基准面旋回对砂体类型的控制

3类砂体的特征、形成与变化与基准面旋回变化和所处的位置有关。基准面是改变容纳空间的

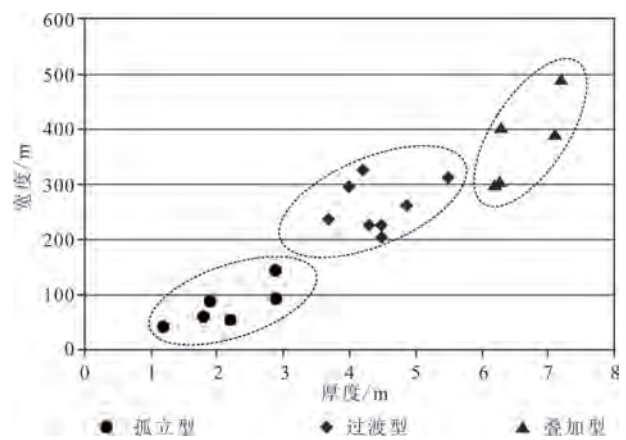


图4 砂体宽度与厚度关系

Fig.4 Relationship between width and thickness of sand bodies

	野外照片	水道砂体沉积序列与叠加样式	宽度		厚度		宽/厚	
			R	A	R	A	R	A
孤立型			42~144m	89.2m	1.2~2.9m	2.25m	25~49	39
过渡型			205~311m	251.4m	3.7~4.8m	4.48m	46~74	57
叠加型			296~488m	379.2m	4.2~7.2m	6.2m	48~77	62

图3 砂体分类及其沉积序列与叠加样式

Fig.3 Classification, sedimentary sequences and superposition patterns of sand bodies

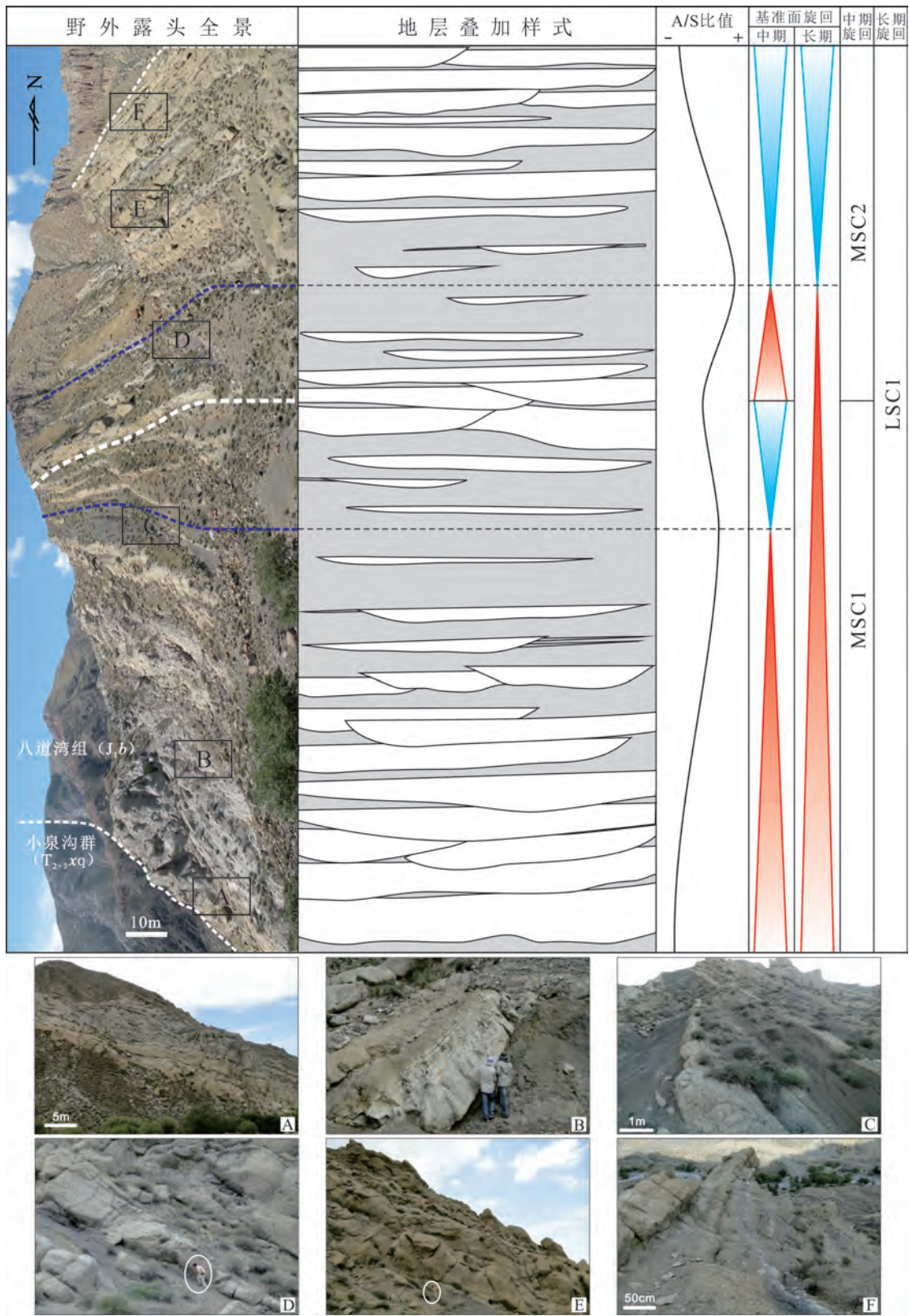


图5 基准面旋回与砂体类型的响应关系

照片A~F分别对应上部全景照片中A~F所出现的位置

Fig. 5 Response relationship between base level cycles and type of sand bodies

能量与地表发生沉积或侵蚀作用的能量之间的平衡面,要达到和保持平衡,地表要不断地通过沉积或侵蚀作用改变其形态,并向靠近基准面的方向运动,以达到两者处于同一位置的平衡状态。地层基准面的变化受控于A/S比值的变化,A/S比值与物质守恒共同决定了砂体类型。基准面旋回升降变化过程中的时间-空间关系对应于地层记录中的岩石-界面关系^[17-19,30]。

依据基准面旋回对砂体样式的控制,对八道湾组露头进行精细解剖,建立了八道湾组长期基准面旋回LSC1内由下到上砂体组合样式(图5)。

在八道湾组底部层序界面之上,长期基准面旋回LSC1早期,以及LSC1的晚期,随着基准面旋回的上升与下降,广泛发育叠加型砂体,形成了八道湾组底部巨厚的砂砾体,经剖析巨厚层段为相互切割叠置的多期水道沉积,水道的厚度较大,横向延伸的宽度较广。在低A/S比值条件下,基准面低于地表,为达到平衡,辫状水道冲刷侵蚀作用占主导,且沉积物供给充足,水道相互间切割叠置,因而水道砂体类型为叠加型。

在中期基准面旋回MSC1上升半旋回的中期,以及MSC1与MSC2的转换面附近,水道冲刷切割的能力降低,泛滥平原或水道间的细粒沉积有所增厚,造成水道砂体之间出现细粒的隔层,且砂体规模有所减小。此时A/S比值中等,主要发育过渡型砂体。在中期基准面旋回MSC1和MSC2的湖泛面附近,砂体呈透镜状孤立于厚层泥岩中。砂体的宽度与厚度均为最小。

3.3 基准面旋回对砂体规模的控制

基准面旋回对砂体的控制不仅体现在对砂体叠加样式的变化上,而且与砂体的发育规模也具有一定的响应关系。将野外测量的19个砂体宽度、厚度及宽厚比按野外出现的位置进行投点,识别出砂体规模随基准面旋回变化的规律。砂体的规模主要体现为砂体宽度、厚度及宽厚比三种属性。经统计分析,砂体的宽度与厚度呈正比例关系,即随着砂体宽度变宽,厚度也逐渐变厚,相应的宽厚比也基本符合此变化规律。与此同时,从投点图可以看出,砂体规模与A/S比值为负相关,即随A/S比值的增大而减小(图6)^[30]。

在层序界面附近,低A/S比值条件下,沉积物供

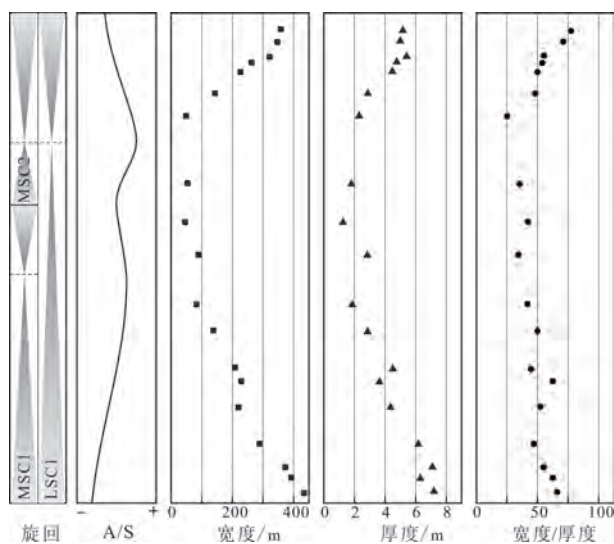


图6 基准面旋回与砂体规模的响应关系

Fig. 6 Response relationship between base level cycles and dimension of sand bodies

给充足,形成了展布较广,堆积较厚的砂体,砂体的宽厚比较大。随着A/S比值增大,可容纳空间增大,沉积物供给减少,砂体厚度和宽度逐步受到限制,水道变窄,厚度减薄。由于水道宽度变窄的幅度小于水道变厚的幅度,因而水道砂体的宽厚比也相应地减小。

综合分析认为,随着基准面的上升,水道砂体出现的频率减小,叠加厚度减薄,砂体之间的连通性变差,水道砂体的粒度变细,发育于陆地的古土壤减少,且宽厚比也逐渐减小。

4 结论

(1)准噶尔盆地南缘八道湾组四棵树剖面发育扇三角洲沉积体系,划分为2个长期基准面旋回(LSC1和LSC2旋回),LSC1旋回由2个中期旋回组成(MSC1和MSC2),LSC2在八道湾组顶部为1个中期旋回MSC3,每个中期旋回由若干数量不等的短期旋回构成。

(2)将成因砂体分为叠加型、过渡型及孤立型砂体3种类型,分别对应于辫状水道、辫状水道向分流水道过渡及分流水道成因。经野外测量,叠加型砂体宽度为296~488 m,平均379.2 m,厚度为4.2~7.2 m,平均6.2 m,宽厚比为48~77,平均62;过渡型砂体宽度为205~311 m,平均251.4 m;厚度为3.7~

4.8 m, 平均4.48 m, 宽厚比为46~74, 平均57; 孤立型砂体宽度为42~144 m, 平均89.2 m, 厚度为1.2~2.9 m, 平均2.25 m, 宽厚比在25~49, 平均39。

(3) 3类砂体的特征、形成与变化与基准面旋回变化及所处的位置有关。地层基准面的变化受控于A/S比值的变化, 因而A/S比值控制了砂体类型。在低A/S比值条件下, 发育叠加型砂体, 中A/S比值条件下, 发育过渡型砂体, 高A/S比值条件下, 发育孤立型砂体。

(4) 水道砂体的规模与A/S比值呈负相关关系, 即随A/S比值的增大而减小。随着基准面的上升, 水道砂体出现的频率减小, 叠加厚度减薄, 砂体之间的连通性变差, 水道砂体的粒度变细, 发育于陆地的古土壤减少, 且宽厚比也逐渐减小。

致谢:感谢中国石油新疆油田分公司研究院的同仁及中国地质大学(北京)能源学院的李顺利、陈彬滔、许磊等研究生在野外露头实测中给予的关心与帮助。

参考文献(References):

- [1] Cross T A. Applications of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis[J]. Collection Colloques et Seminaires-Institut Francais Du Petrole, 1993, 51: 11.
- [2] Cross T A. High-resolution stratigraphic correlation from the perspective of base-level cycles and sediment accommodation[C]. Proceedings of Northwestern European Sequence Stratigraphy Congress. 1994: 105-123.
- [3] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派: 高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97.
Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U.S.: High-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas geology, 1995, 16(2): 89-97(in Chinese with English abstract).
- [4] 张世广, 柳成志, 卢双舫, 等. 高分辨率层序地层学在河、湖、三角洲复合沉积体系的应用——以朝阳沟油田扶余油层开发区块为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(3): 361-368.
Zhang Shiguang, Liu Chengzhi, Lu Shuangfang, et al. The application of high-resolution sequence stratigraphy in multiplex deposition system of the river, lake and delta—to take the development block of Fuyu Oil Layer in Chaoyanggou reservoir for example[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2009, 39(3): 361-368(in Chinese with English abstract).
- [5] 刘春慧, 金振奎, 张鑫, 等. 高分辨率层序地层学理论在准噶尔盆地勘探中的应用[J]. 沉积学报, 2008, 26(2): 249-256.
Liu Chunhui, Jin Zhenkui, Zhang Xin, et al. Application of the theory of high-resolution sequence stratigraphy to Junggar Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(2): 249-256(in Chinese with English abstract).
- [6] 郑荣才, 朱如凯, 翟文亮, 等. 川西类前陆盆地晚三叠世须家河期构造演化及层序充填样式[J]. 中国地质, 2008, 35(2): 246-255.
Zheng Rongcai, Zhu Rukai, Zhai Wenliang, et al. Tectonic evolution and sequence filling patterns in the western Sichuan forland-like basin in the Upper Triassic Xujiahe period[J]. Geology in China, 2008, 35(2): 246-255(in Chinese with English abstract).
- [7] 孙致学, 凌庆珍, 邓虎成, 等. 高分辨率层序地层学在油田深度开发中的应用[J]. 石油学报, 2008, 29(2): 239-245.
Sun Zhixue, Ling Qinzhen, Deng Hucheng, et al. Application of high-resolution sequence stratigraphy in deep development of oil field[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(2): 239-245(in Chinese with English abstract).
- [8] 肖玉茹, 何峰煜. 高分辨率层序地层学在储层预测中的应用[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 169-173.
Xiao Yuru, He Fengyu. Application of high resolution sequence stratigraphy in reservoir prediction[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(2): 169-173(in Chinese with English abstract).
- [9] 赵俊兴, 陈洪德. 高分辨率层序地层学方法在沉积前古地貌恢复中的应用[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2003, 30(1): 76-81.
Zhao Junxing, Chen Hongde. The possibility of rebuilding paleogeomorphology before basin deposition by high-resolution sequence stratigraphy[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(1): 76-81(in Chinese with English abstract).
- [10] 郑荣才, 柯光明, 文华国, 等. 高分辨率层序分析在河流相砂体等时对比中的应用[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2005, 31(6): 641-647.
Zheng Rongcai, Ke Guangming, Wen Huaguo, et al. Isochronic correlation of fluvial sandbodies by high-resolution sequence technique[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2005, 31(6): 641-647(in Chinese with English abstract).
- [11] 靳松, 朱筱敏, 钟大康. 扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 212-220.
Jin Song, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang. High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distribution characteristics of sandbodies[J]. Geology in China, 2006, 33(1): 212-220(in Chinese with English abstract).
- [12] 于兴河. 油田开发中后期储层面临的问题与基于沉积成因的地质表征方法[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 1-14.
Yu Xinghe. Existing Problems and Sedimentogenesis-based methods of reservoir characteriation during the middle and later periods of oilfield development[J]. Earth Science Frontier, 2012, 19(2): 1-14(in Chinese with English abstract).
- [13] 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 360-366.

- Zheng Rongcai, Yin Shimin, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(3): 360–366(in Chinese with English abstract).
- [14] Cross, T.A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 322–350.
- [15] 邓宏文. 高分辨率层序地层学应用中的问题探析[J]. *古地理学报*, 2009, 11(5): 471–480.
- Deng Hongwen. Discussion on problems of applying high resolution sequence stratigraphy[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11(5): 471–480(in Chinese with English abstract).
- [16] 邓宏文, 王红亮, 宁宁. 沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层学的理论基础[J]. *地质前缘*, 2000, 7(4): 305–313.
- Deng Hongwen, Wang Hongliang, Ning Ning. Sediment volume partition principle: Theory basis for high-resolution sequence stratigraphy[J]. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 2000, 7(4): 305–313(in Chinese with English abstract).
- [17] 邓宏文, 王洪亮, 李小孟. 高分辨率层序地层对比在河流相中的应用[J]. *石油与天然气地质*, 1997, 18(2): 90–96.
- Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xiaomeng. Application of high-resolution sequence stratigraphic correlation to fluvial facies[J]. *Oil & Gas geology*, 1997, 18(2): 90–96(in Chinese with English abstract).
- [18] 郑荣才, 彭军. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. *沉积学报*, 2001, 19(2): 249–255.
- Zheng Rongcai, Peng Jun. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(2): 249–255(in Chinese with English abstract).
- [19] 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才. 浅谈陆相盆地高分辨率层序地层研究思路[J]. *成都理工学院学报*, 2000, 27(3): 241–244.
- Zheng Rongcai, Wu Chaorong, Ye Maocai. Research thinking of high-resolution sequence stratigraphy about a terrigenous basin[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2000, 27(3): 241–244(in Chinese with English abstract).
- [20] 陈全红, 李可永, 张道锋, 等. 鄂尔多斯盆地本溪组—太原组扇三角洲沉积与油气聚集的关系[J]. *中国地质*, 2010, 37(2): 421–429.
- Chen Quanhong, Li Keyong, Zhang Daofeng, et al. The relationship between fan delta and hydrocarbon accumulation in Benxi-Taiyuan Formation, Ordos Basin[J]. *Geology in China*, 2010, 37(2): 421–429(in Chinese with English abstract).
- [21] 温立峰, 吴胜和, 岳大力, 等. 胜二区沙二段7砂组地层基准面旋回与沉积微相研究[J]. *中国地质*, 2010, 37(1): 144–151.
- Wen Lifeng, Wu Shenghe, Yue Dali, et al. Stratigraphic base-level cycles and sedimentary microfacies of Es₂-7 Formation in the Shengtuo Oilfield[J]. *Geology in China*, 2010, 37(1): 144–151(in Chinese with English abstract).
- [22] 贾爱林, 何东博, 郭建林, 等. 扇三角洲露头层序演化特征及其对砂岩储集层的控制作用[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(S1): 103–105.
- Jia Ailin, He Dongbo, Guo Jianlin, et al. Sequence evolution of fan-delta outcrops and its controlling on the sandstone reservoirs[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(S1): 103–105(in Chinese with English abstract).
- [23] 贾爱林, 陈亮, 穆龙新, 等. 扇三角洲露头区沉积模拟研究[J]. *石油学报*, 2000, 21(6): 107–110.
- Jia Ailin, Chen Liang, Mu Longxin, et al. A study on sedimentary simulation of fan-delta Outcrop[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(6): 107–110(in Chinese with English abstract).
- [24] 郭建林, 贾爱林, 何东博, 等. 滦平上侏罗统—下白垩统扇三角洲露头层序地层学研究[J]. *中国地质*, 2007, 34(4): 628–635.
- Guo Jianlin, Jia Ailin, He Dongbo, et al. Sequence stratigraphy of Upper Jurassic-Lower Cretaceous fan-delta outcrops in Luanping[J]. *Geology in China*, 2007, 34(4): 628–635(in Chinese with English abstract).
- [25] 林童, 王东良, 王岚, 等. 准噶尔盆地南缘侏罗系齐古组物源特征及其对储层发育的影响[J]. *中国地质*, 2013, 40(3): 909–918.
- Lin Tong, Wang Dongliang, Wang Lan, et al. The provenance feature of Jurassic Qigu Formation and its effect on reservoir development in the southern margin of Junggar basin[J]. *Geology in China*, 2013, 40(3): 909–918(in Chinese with English abstract).
- [26] 陈彬滔, 杨丽莎, 于兴河, 等. 准噶尔盆地南缘三工河组和西山窑组辫状河三角洲水动力条件与砂体分布规模定量分析[J]. *中国地质*, 2012, 39(5): 1290–1298.
- Chen Bintao, Yang Lisha, Yu Xinghe, et al. Quantitative analysis of hydrodynamic conditions and sand body distribution dimensions of the braided river delta in Sangonghe Formation and Xishanyao Formation on the south margin of Junggar Basin[J]. *Geology in China*, 2012, 39(5): 1290–1298(in Chinese with English abstract).
- [27] 彭雪峰, 田继军, 汪立今, 等. 新疆准噶尔盆地南缘八道湾组沉积特征与聚煤规律分析[J]. *中国地质*, 2010, 37(6): 1672–1681.
- Peng Xuefeng, Tian Jijun, Wang Lijin, et al. Sedimentary characteristics and coal-accumulation pattern analysis of Badaowan Formation in southern margin of Junggar Basin, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2010, 37(6): 1672–1681(in Chinese with English abstract).
- [28] 曹全斌, 李昌, 孟祥超, 等. 准噶尔盆地南缘中段紫泥泉子组三段物源体系分析[J]. *中国地质*, 2010, 37(2): 367–373.
- Cao Quanbin, Li Chang, Meng Xiangchao, et al. A material source system analysis of the 3rd Member of Ziniquanzi Formation in the central part of southern margin of Junggar Basin[J]. *Geology in China*, 2010, 37(2): 367–373(in Chinese with English abstract).
- [29] 王明磊, 张廷山, 王兵, 等. 重矿物分析在古地理研究中的应用——以准噶尔盆地南缘中段古近系紫泥泉子组三段为例[J]. *中国地质*, 2009, 36(2): 456–464.

Wang Minglei, Zhang Tingshan, Wang Bing, et al. The application of heavy mineral analysis to palaeogeographic research: a case study of the 3rd Member of Ziniquanzi Formation in the central southern margin of Junggar Basin[J]. *Geology in China*, 2009, 36

(2): 456–464(in Chinese with English abstract).

[30] Kjemperud A V, Schomacker E R, Cross T A. Architecture and stratigraphy of alluvial deposits, Morrison formation (Upper Jurassic), Utah[J]. *AAPG bulletin*, 2008, 92(8): 1055–1076.

The response relationship between base–level cycle and reservoirs of fan delta in Badaowan Formation, Southern Junggar Basin

TAN Cheng–peng¹, YU Xing–he¹, LI Sheng–li¹, QU Jian–hua², WEI Ling–yun²,
LI Xiao–lu¹, DU Yong–hui¹

(1. *School of Energy Resource, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 2. *Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay 834000, Xinjiang, China*)

Abstract: Fan delta sediments are well developed in Badaowan Formation along Sikeshu section in Southern Junggar Basin. Two long–term base–level cycles were identified in Badaowan Formation, which can also be subdivided into three medium–term cycles. Based on the dissection of outcrops, the authors divided fan delta sand bodies into three types, i.e., superposition, transitional and isolation types, corresponding respectively to the genesis of braided channel, transformation of braided channel to distributary channel, and distributary channel. The width, thickness and width–to–thickness ratio decrease from superposed to isolated sand bodies gradually. The characteristics, formation, and variation of sand bodies are controlled by the variation and the relevant position. Superposed, transitional and isolated sand bodies are developed under the conditions of low, middle, and high A/S ratios. Furthermore, the dimension of sand bodies is in inverse proportion to the A/S ratio, i.e., the dimensions decrease with the increase of the A/S ratio. With the rise of base level, the proportion, thickness, interconnection, grain size and dimension (width–to–thickness ratio) of channel sand bodies and paleosols decrease accordingly.

Key words: southern Junggar Basin; Badaowan Formation; fan delta; base–Level cycle; reservoirs; outcrop

About the first author: TAN Cheng–peng, male, born in 1988, doctor candidate, engages in the study of sedimentology and reservoir evaluation; E–mail: cugbtcp@gmail.com.

About the Corresponding author: YU Xing–he, male, born in 1958, professor, doctoral supervisor, engages in sedimentology, reservoir characterization and modeling, petroleum geological; Email: billyu@cugb.edu.cn.