



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2405119

引用格式:杨沁超,张莉,窦鲁星,等.干旱气候背景下的季节性浅水三角洲沉积演化:以塔北地区古近系苏维依组为例[J].科学技术与工程,2025,25(13):5316-5329.

Yang Qinchao, Zhang Li, Dou Luxing, et al. Sedimentary evolution of seasonal shallow water delta in arid climate: a case study of the Paleogene Suweiyi Formation in Tabei area[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(13): 5316-5329.

干旱气候背景下的季节性浅水三角洲沉积演化: 以塔北地区古近系苏维依组为例

杨沁超¹, 张莉^{1*}, 窦鲁星², 刘洪平¹

(1. 长江大学地球科学学院, 武汉 430100; 2. 长江大学资源与环境学院, 武汉 430100)

摘要 季节性三角洲是在陆相盆地中由季节性河流控制形成的三角洲沉积体系。现代季节性三角洲主要发育在地形平缓的干旱-半干旱气候环境中,然而在古代沉积记录中季节性三角洲的沉积模式研究仍然不够深入。选取塔里木盆地塔北地区苏维依组作为研究对象,基于研究区 63 口测录井资料及 215.52 m 岩心资料,建立不同沉积微相的测井相模板及岩相类型组合模板,分析总结沉积相平面特征的垂向演化规律,建立研究区整体的沉积模式。结果表明塔北地区苏维依组发育 4 大类、17 小类岩相类型,苏维依下段沉积时期,研究区发育南北两侧不断退积的季节性浅水辫状河三角洲;苏维依上段沉积时期研究区北侧发育多洪水事件且向后退积的季节性浅水曲流河三角洲。最后建立了季节性浅水三角洲受可容纳空间、沉积基准面频繁变化和突发性事件等因素影响的剖面及单井沉积模式。研究成果为深入理解干旱气候背景下的季节性浅水三角洲沉积模式提供了参考,也可以为岩性圈闭勘探提供地质依据。

关键词 塔北地区; 苏维依组; 岩相类型; 季节性浅水辫状河三角洲; 季节性浅水曲流河三角洲; 沉积演化

中图分类号 P624; **文献标志码** A

Sedimentary Evolution of Seasonal Shallow Water Delta in Arid Climate: A Case Study of the Paleogene Suweiyi Formation in Tabei Area

YANG Qin-chao¹, ZHANG Li^{1*}, DOU Lu-xing², LIU Hong-ping¹

(1. School of GeoSciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China;

2. College of Resources and Environment, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

[Abstract] Seasonal deltas are deltaic sedimentary systems controlled by seasonal rivers in continental basins. Modern seasonal deltas are mainly developed in arid and semi-arid climate with gentle topography. However, the study on the sedimentary model of seasonal deltas in ancient sedimentary records is still insufficient. Suweiyi Formation in Tabei area, Tarim Basin was selected as the research object. Based on 63 logging data and 215.52 m core data in the study area, logging facies templates of different sedimentary microfacies and lithofacies type combination templates were established, and the vertical evolution law of sedimentary facies plane characteristics was analyzed and summarized, and the overall sedimentary model of the study area was established. The results show that the Suweiyi Formation in Tabei area developed 4 categories and 17 subtypes of rock facies. During the depositional period of the lower Suweiyi Member, seasonal shallow water braided river deltas were developed in the study area. A seasonal shallow meandering river delta with multiple flood events and retrograde accumulation developed in the north of the study area during the sedimentary period of the upper Suweiyi Member. Finally, the profile and single well sedimentary model of seasonal shallow water delta affected by factors such as accommodable space, frequent change of sedimentary base level and sudden events were established. The results provide a reference for further understanding of the seasonal shallow water delta depositional model under the background of arid climate, and also provide geological basis for lithologic trap exploration.

[Keywords] Tabei region; Suweiyi Formation; lithofacies type; seasonal shallow braided river delta; seasonal shallow meander river delta; sedimentary evolution

收稿日期: 2024-07-08 修订日期: 2025-02-08

基金项目: 国家自然科学基金(41902122)

第一作者: 杨沁超(1998—),男,汉族,山西晋城人,硕士研究生。研究方向:沉积学。E-mail:2439714929@qq.com。

*通信作者: 张莉(1988—),女,汉族,新疆乌鲁木齐人,博士,副教授。研究方向:沉积学。E-mail:zhangx0522@qq.com。

Fisk 在 1954 年首次提出“浅水三角洲”沉积相类型^[1]; Postma^[2] 在 1990 年依据供源体系、沉积盆地水深、河口沉积过程、潮汐及重力作用对沉积物的改造强度等提出浅水三角洲的分类方案。国外对浅水三角洲的研究涉及成因动力学、沉积微相构成、内部构型等多个方面, 指出浅水三角洲与普通三角洲的差异主要表现为骨架砂体类型及扇体形态及沉积亚相带分布差异等多个方面^[3-6]。国内有关浅水三角洲的研究开始多集中在含煤盆地^[7-8], 目前, 中国浅水三角洲的研究主要集中在渤海湾盆地、松辽盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地及准噶尔盆地^[9-13]。国内学者通过结合鄱阳湖、洞庭湖和确尔塔拉湖三角洲等多个现代沉积等提出分枝状浅水三角洲、分流沙坝型浅水三角洲等多种浅水三角洲类型^[14-15], 后期对沉积机理、沉积构型、储层质量等不同方面展开进一步研究^[16-21]。前人研究表明, 中国浅水三角洲发育区地形坡度较缓, 水深较浅, 扇体形态多受气候、沉积物供给、湖平面、河流和湖浪改造等多种因素控制, 以大型拗陷湖盆发育最多, 形成的砂体厚、延伸远的特点^[9-14]。随着浅水三角洲研究不断深入, 研究发现古气候特征对浅水三角洲沉积模式有重要的影响。地形平缓的干旱-半干旱气候环境有利于季节性浅水三角洲的形成和发育。季节性浅水三角洲是一种受控于季节性河流控制, 受阵发性洪水事件影响形成的特殊三角洲类型^[15]。

季节性三角洲有 3 个基本特点: 一是沉积物以红层沉积为主, 在剖面上不存在明显的前积层; 二是河流受季节性降水影响, 流量和沉积载荷总量变化较大, 沉积物中广泛发育超临界流沉积构造; 三是河流作用为主, 盆地中心缺少大面积汇水区^[22]。季节性三角洲主要发育在地形平缓的干旱-半干旱气候环境中^[23]。尽管干旱环境季节性三角洲沉积实例很多, 但是在陆相盆地沉积学中, 干旱环境季节性三角洲, 砂体沉积成因、分布规律、沉积模式相关的研究不够深入, 很多干旱环境季节性三角洲沉积体系可能在古代岩石记录中没有被正确地解释出来。因此, 古代沉积记录中季节性三角洲的沉积模式值得结合实例进一步探索。

古近系苏维依组是塔里木盆地北部地区最主要的油气勘探和生产的主力层系之一。近年来, 随着大涝坝气田、迪那 2 气田、牙哈、红旗和提尔根等气田的发现, 库车山前及于奇地区苏维依组成为重要勘探层系。

研究区在库姆格列木时期曾经发生过一次大规模的海退事件, 而苏维依组沉积时期研究区局部

地区存在残余海水占主导作用的咸水湖泊^[24], 其在湖水上涨、大气降水、干旱气候等多种因素的共同作用下发育膏质沉积。研究区主要位于库车拗陷东部, 同时具备北方向的南天山物源及东南方向的塔北隆起方向物源的供应^[25]。苏维依组沉积时期, 构造活动较弱, 地层坡度较缓。前人对库车拗陷南缘的沉积相类型认识多样, 朱如凯等^[26]认为研究区发育扇三角洲、辫状河三角洲及滨浅湖沉积, 对沉积相的展布特征未展开具体分析; 刘辰生等^[24]认为研究区在苏维依不同时期发育宽浅湖盆沉积、河流相及三角洲相沉积, 研究对象为整个盆地, 局部地区的沉积特征未能有效表述; 刘景彦等^[27]认为干旱气候是影响苏维依组沉积最重要的因素之一, 研究区发育辫状河河流和曲流河河流, 三角洲及滨浅湖沉积, 但是对苏维依组平面上的沉积演化特征未能具体描述; 孙美静等^[28]认为研究区发育辫状河三角洲沉积、湖泊沉积, 局部地区发育浅水重力流沉积, 对上下两段的岩相差异及沉积差异未展开深入研究; 石媛媛等^[29]、贺萍等^[30]认为研究区发育滨浅湖砂坝沉积体系, 对苏维依组下段底部大面积的连通砂岩的沉积机理未能展开有效解释。

塔北地区古近系地层地形平缓, 沉积时期古气候干旱炎热^[31], 为季节性三角洲沉积提供了有利条件。因此现以苏维依组沉积为研究对象, 通过沉积记录的描述和解释, 综合研究沉积相平面特征的垂向演化规律, 从新的角度建立研究区苏维依组受控于季节性浅水三角洲影响下的沉积模式。苏维依地层具有良好的岩性圈闭条件^[32-34]。厘清塔北地区苏维依组的砂体发育的沉积相类型、平面展布形态及沉积模式^[35-36], 可以为下一步岩性圈闭的寻找打下良好基础。

1 工区地质概况

研究区位于塔里木盆地北部, 北邻南天山, 南至轮南低凸起, 西至库车县, 东至库尔勒鼻状凸起(图 1)。依据马庆佑等^[37]的划分方案, 研究区位于库车拗陷与塔北隆起的结合部位, 次级构造单元主要包括天山前冲断带、阳霞凹陷、轮台凸起、轮南低凸起及英买力低凸起。

研究目的层为新生代古近系苏维依组, 其与下伏的库姆格列木群和上覆的吉迪克组均呈整合接触关系。苏维依组在研究区全区稳定发育, 且地层厚度较为均一, 为 140 ~ 170 m。邵龙义等^[38]研究认为塔里木盆地古近系可分为 5 个三级层序; 刘景彦等^[27]将塔里木盆地库车拗陷古近系苏维依组分为 2 个三级层序(图 2); 刘辰生等^[24, 39]通过岩性分析及

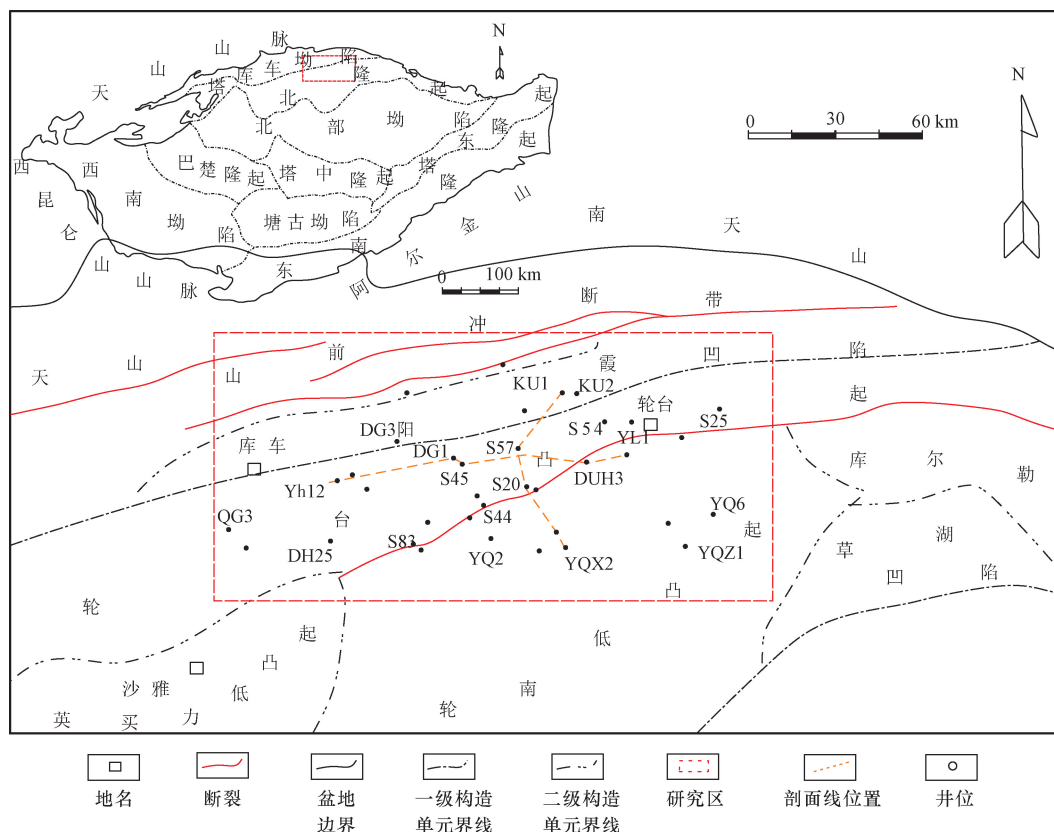


图1 研究区构造划分及位置图

Fig. 1 Structural division and location map of the study area

沉积相研究将塔里木盆地苏维依分为2个三级层序,并分别识别出完整的低位体系域、湖侵体系域和高位体系域。在前人划分方案的基础上,按将苏维依地层划分为 E_3s1 和 E_3s2 两段,每段又可划分为 SQ1、SQ2 和 SQ3 共3个小层。

2 苏维依组沉积特征

2.1 苏维依组岩相类型划分

基于对研究区内 15 口取心井,共计 43 回次, 215.50 m 的岩心资料,对苏维依组岩相类型及典型沉积构造进行了系统的描述分析。岩相作为一定水动力条件环境下形成的具有相同或近似组分结构的岩石单元,是水动力机制、物源供给、古地貌等多种因素共同作用的综合体^[13,40-42]。根据岩性组分、粒度和沉积构造等因素,将苏维依组划分出 4 大类 17 种岩相类型(表 1),选取典型的岩心照片建立岩相模板,为岩相类型统一标准,同时为进一步分析沉积相类型奠定基础。苏维依地层主要岩相类型为蒸发岩相(E)、砾岩相(G)、砂岩相(S)和泥岩相(M)。

2.2 苏维依下段沉积特征

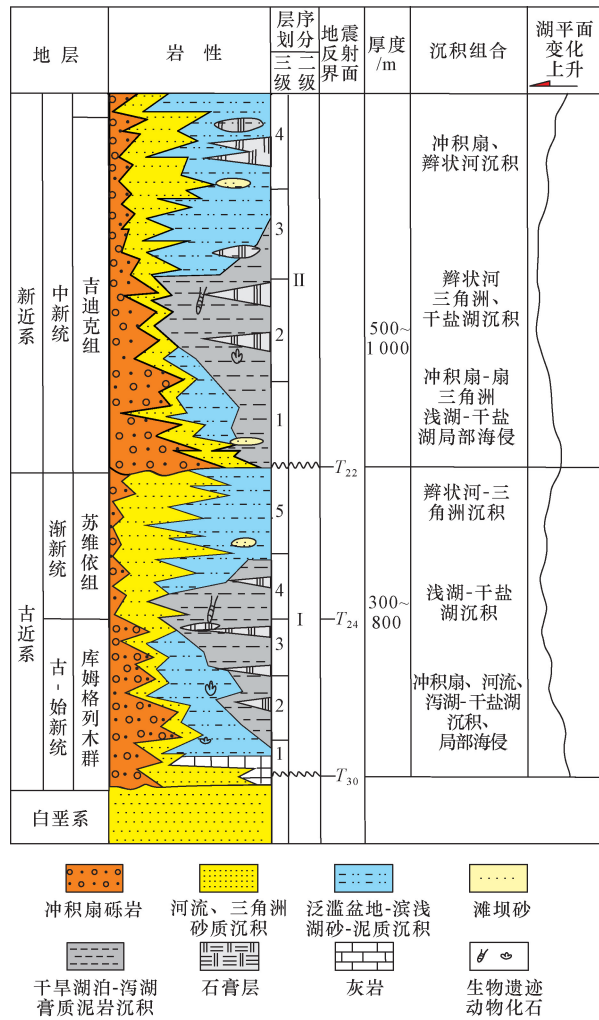
2.2.1 岩相与典型沉积构造

苏维依下段,主要的岩相类型为细砂岩、粉砂

岩和砾质砂岩相,反映了季节性浅水辫状河三角洲前缘亚相为优势的沉积环境。细砂岩、粉砂岩和砾质砂岩主要发育低角度交错层理和块状层理[图 3(a)~图 3(e)],可反映较强的动力环境及充足的物源供给条件。砂岩中所含砾石粒度为 2~3 mm,且其分选和磨圆度较好,以圆-次圆为主,反映远源的远距离搬运特征,同时砾石均呈层状排列,角度为 $10^\circ \sim 15^\circ$ 。在砂岩中未见到明显的砾岩沉积,仅能见到成层排列的泥砾富集层段,指示突然增强的水动力环境,且泥砾的磨圆度较差,为棱角-次棱角状。粉砂岩及泥质粉砂岩中常见水平层理、砂纹交错层理及上攀交错层理[图 3(f)~图 3(h)],指示了水体较浅且水动力相对较弱的沉积环境^[12]。部分井区发育有不同形态的膏岩和膏泥岩沉积、钙质结核沉积构造[图 3(i)~图 3(j)],均指示研究区炎热干旱的古气候条件^[31]。

2.2.2 砂体沉积微相

根据岩石相类型、典型沉积构造和前人研究成果,认为研究区在苏维依下段沉积时期是在干旱环境下形成的季节性浅水辫状河三角洲前缘沉积。物源方向主要为研究区北侧的南天山物源及南侧的塔北隆起物源,且南北两个物源的砂质供给量较为充足,沉积物岩性较粗,主要为细砂岩、粉砂岩和砾质砂岩。

图2 库车古-新近纪前陆盆地充填序列和层序划分^[20]Fig. 2 Modification of filling sequence and sequence division of Kuqa Palaeo-Neogene foreland basin^[20]

通过岩相类型特征分析,苏维依下段主要发育季节性浅水辫状河三角洲前缘亚相,沉积微相主要发育水下分流河道、河口坝、席状砂和滩坝砂4种类型。

(1) 水下分流河道微相。水下分流河道是水上分流河道在水下的延伸,岩性多为中砂岩、细砂岩和砾质砂岩,河床底部的冲刷面往往多为富泥砾且成层排列的正粒序沉积,厚度较厚,单期河道多为2~4 m [图4(a)]。沉积构造多为块状层理和低角度交错层理,河道充填沉积岩性主要为细砂岩和砾质砂岩,层理主要包括块状层理、低角度交错层理和平行层理。岩相类型主要包括 Ssg、Sm、Ssr、Ssm、Smg、Ssa、Sg 和 Sp。GR 曲线显示中高振幅钟形和箱形特征。

(2) 河口坝沉积微相。河口坝沉积微相是河道在入湖后受到密度差异作用和湖底摩擦等因素,水流速度骤减,沉积物向前运移所需动力不足开始大量堆积形成的。河口坝粒度在垂向上呈现反韵律的特征,岩性主要为细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩,常见低角

度交错层理、砂纹交错层、水平层理和上攀交错层理 [图4(b)]。单期河口坝厚度多为0.2~0.8 m。岩相类型包括 Ssa、Sa、Sm、Ssd 和 Ssr。自然伽马(GR)曲线形态主要为中高振幅齿化漏斗形。

(3) 席状砂微相。席状砂微相主要为河口坝和末端水下分流河道砂受到湖水频繁升降的改造作用,在三角洲前缘位置形成,其分选性较好,多为细砂岩和粉砂岩,其垂向厚度较薄,多为0.2~0.8 m,但其横向延伸距离较远。岩相类型包括 Ssh、Ssa 和 Ssm。GR 曲线主要表现为中低幅指状。

(4) 滩坝砂微相。滩坝砂微相是湖浪作用和湖平面的频繁升降对湖岸原有沉积物的改造且形成滨浅湖沉积中^[43],其所处相对位置不同,砂体规模和形态也有较大差异,湖岸线近端发育厚度和规模较大的滩坝砂,远端发育薄层滩坝砂。其厚度规模相差较大,且部分滩坝砂体相互叠置,厚度为1~3 m。岩相类型包括 Sa、Ssa、Ssr 和 Ssh。GR 曲线形态呈现齿化指状或漏斗形。

2.3 苏维依上段沉积特征

2.3.1 岩相与典型沉积构造

苏维依上段沉积时期,由于南天山和塔北隆起两个物源方向的沉积物供给量减少,以及干旱气候的共同作用下,研究区主要发育季节性浅水曲流河三角洲前缘亚相沉积以及滨浅湖沉积。沉积微相以水下分流河道、河口坝、席状砂、以及滨浅湖滩坝砂、滨浅湖泥为主。

苏维依上段,细砾岩、砾质砂岩、细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩为主要的岩石相,反映了季节性浅水曲流河前缘亚相为优势的沉积环境。其中粉砂岩主要发育沙纹交错层理,反映了研究区在沉积时期多为较弱的水动力环境,同时数量较少的砾岩沉积、粉砂质泥岩偶见砂质团块的沉积构造、发育水平层理和块状构造的粉砂岩反映了研究区偶因洪水事件所导致的水动力条件的突然增强 [图5(a)、图5(b)、图5(f)],砾石分选和磨圆度一般,粒度常为0.6~1.8 cm,为次圆一次棱状,同时在砂岩中也可多见厚度较薄的成层排列的小砾石或次棱状的泥砾。粉砂岩、泥质粉砂岩中可见生物扰动构造、波状交错层理和泥质夹层 [图5(c)~图5(e)],反应在低能环境下形成的细粒沉积。

2.3.2 砂体沉积微相

根据岩石相类型、典型沉积构造和前人研究成果,认为研究区在苏维依上段沉积时期是在干旱环境下形成的季节性浅水曲流河三角洲沉积。物源方向主要为南天山物源,且物源供给量较少,沉积物岩性较细,主要为粉砂岩和泥质粉砂岩;研究区在

表1 研究区苏维依组岩相类型

Table 1 Lithofacies types of Suweiyi Formation in the study area

类别	符号	岩相名称	岩性特征	沉积构造	成因解释
蒸发岩相(E)	Eps	膏质泥岩相	泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩	石膏呈团砾状定向排列或云雾状,分选次棱-次圆、平行层理	表现为膏岩受洪水一定距离搬运或原地沉积
砾岩相(G)	Gms	块状层理细砾岩相	砾岩	块状层理	辫状河道
	Gt	槽状交错层理细砾岩相	砾岩	小型槽状、大型槽状交错层理	间歇性辫状河道
	Gb	板状交错层理细砾岩相	砾岩	板状交错层理	间歇性河道沉积
	Ssg	砾质细砂岩相	可见细-粗砂岩	底部为冲刷面	河道滞留沉积
	Sg	含砾砂岩相	细砂-中砂岩	砾石成层排列、低角度交错层理	水动力较强的河道沉积
	Sm	块状层理砂岩相	细砂-粗砂岩	块状层理	河道充填及河口坝砂体
	Sa	低角度交错层理砂岩相	细砂、粗砂岩	低角度交错层理	河道沉积、溢岸沉积和河口坝沉积、滩坝沉积
砂岩相(S)	Smg	多泥砾、含砾粉砂岩相	泥砾和砾石磨圆度较好、粒径较小	偶见泥砾、砾石	多为水动力的突然增强
	Ssr	波状层理粉砂岩相	粉砂岩、泥质粉砂岩	波状层理	低流态沉积、分流间湾
	Ssa	低角度交错层理粉砂岩相	粉砂岩	低角度交错层理	水动力较强远源沉积
	Ssm	块状层理粉砂岩相	粉砂岩	块状层理	供给量充足、水动力强的快速堆积
	Ssr	砂纹交错层理粉砂岩相	粉砂岩	砂纹交错层理	水动力较弱的细粒沉积
	Ssh	水平层理粉砂岩相	粉砂岩	水平层理	河口坝砂体、河道填充、远源沉积
	Ssmm	泥质粉砂岩相	泥质粉砂岩	块状层理、平行层理	废弃河道沉积、低流态沉积
泥岩相(M)	Ms	粉砂质泥岩相	粉砂质泥岩	砂纹、波状、变形构造	滨浅湖、分流间湾
	M	块状层理泥岩相	膏质、泥岩	干裂	分流间湾



(a) KU1井,第6回次,6 036.05 m,低角度交错层理砂砾岩;(b) KU2井,第2回次,6 048.55 m,泥砾定向排列;(c) KU1井,第5回次,6 013.25 m,平行层理细砂岩;(d) S44井,第1回次,4 465.59 m,块状层理粗砂岩;(e) S25井,第2回次,块状层理中砂岩;(f) S20井,第1回次,4 457.95 m,水平层理泥质粉砂岩;(g) DG3井,第1回次,5 946.51 m上攀交错层理泥质粉砂岩;(h) DG3井,第1回次5 938.04 m,砂纹交错层理粉砂岩;(i) S25井,4 773.78 m,团砾状膏岩;(j) S44井,4 464.70 m,含钙质结核粉砂岩

图3 苏维依下段典型岩心照片

Fig. 3 Typical core photos of the lower part of the Suweiyi

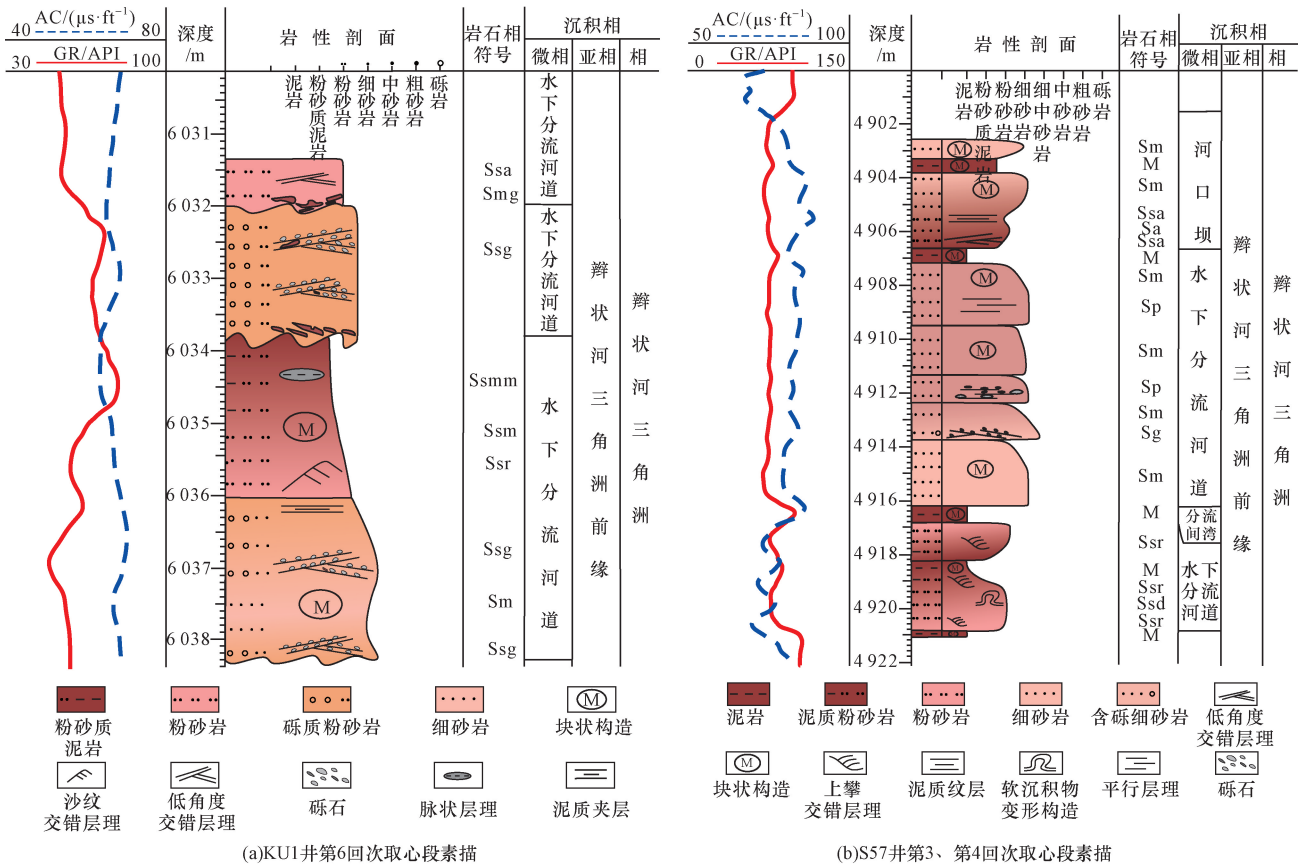


图 4 苏维依下段取心段素描图

Fig. 4 Sketch of the core section of the lower section of Suweiyi

洪水期发育有厚度较薄的砾岩沉积。通过岩相类型特征分析,苏维依组上段主要发育曲流河三角洲前缘亚相,其中砂体沉积微相主要发育水下分流河道、河口坝、席状砂和滩坝砂 4 种类型。

(1) 水下分流河道微相。水下分流河道滞留沉积岩性多为砾岩沉积和砾质砂岩沉积[图 6(a)],且厚度通常较小,为 0.5 ~ 1.3 m,多为阵发性的洪水成因。层理构造主要包括槽状交错层理、块状层理、低角度交错层理和平行层理。河道厚度多为 0.9 ~ 2.1 m。岩相类型包括 Sa、Ssg、Gt、Sg、SSm、Sm 和 Ssh。GR 曲线主要为中高振幅钟形和箱形。

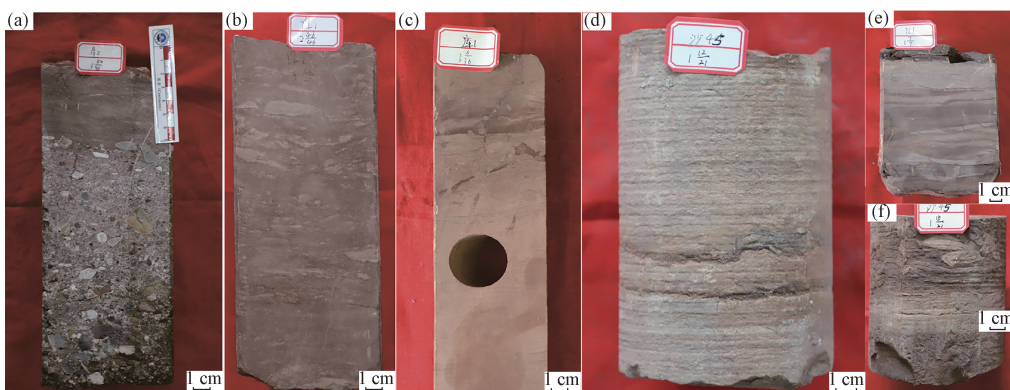
(2) 河口坝沉积微相。河口坝沉积微相岩性相比粒度较细,厚度较薄,岩性主要为细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩,常见低角度交错层理、砂纹交错层、水平层理和上攀交错层理[图 6(a)和图 6(b)]。单层厚度多为 1.8 ~ 3 m。岩相类型包括 Ssm 和 Sm。GR 曲线表现为中等振幅漏斗形。

(3) 席状砂微相。席状砂微相主要为粉砂岩和泥质粉砂岩,其垂向厚度较薄,多为 0.2 ~ 0.8 m,但其横向延伸距离较远。GR 曲线主要表现为中低振幅指状。

(4) 滩坝砂微相。苏维依上段发育的滩坝砂微相相比苏维依下段发育的滩坝沉积微相,其粒度更细[图 6(b)]、规模更小,但分布面积更广,岩相组合类型主要为 Sm、Ms、Ssr,GR 曲线形态呈现齿状或漏斗形。

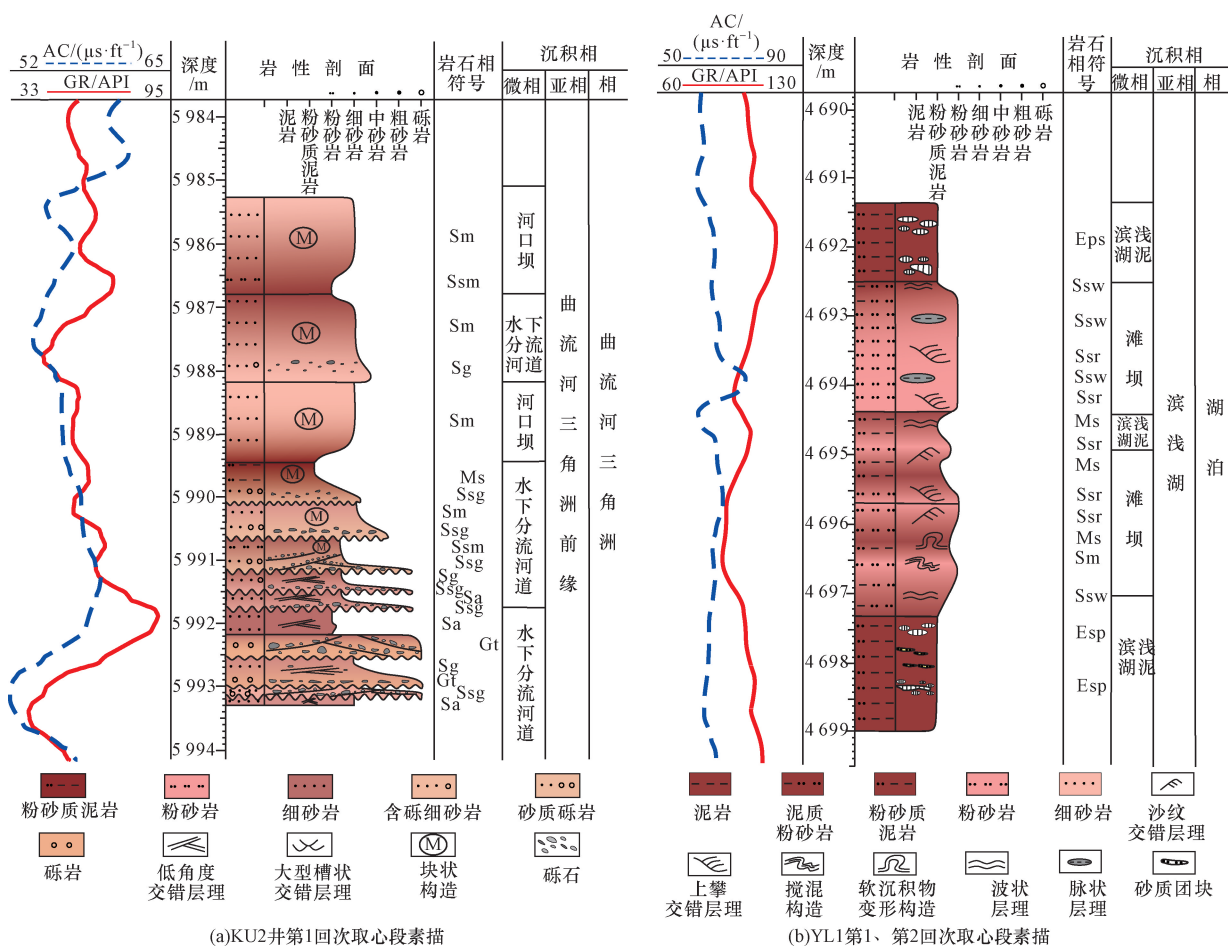
2.4 苏维依上下段岩性及水动力差异

通过对全区共计 215.52 m 岩心资料整理,在苏维依下段,粉砂岩占比 30%,细砂岩占比 23%,含砾砂岩占比 5%,泥质粉砂岩占比 16%,粉砂质泥岩占比 12%,膏盐岩占比 5%,泥岩占比 9%;块状层理占比 61%,砂纹交错层理占比 13%,水平层理占 5%,低角交错层理占比 4%,上攀交错层理占比 4%,过渡状层理占比 6%,平行层理占比 3%,变形构造 3%,搅浑构造 1%;而在苏维依上段,泥岩占比 21%,泥质粉砂岩占比 15%,粉砂岩占比 15%,粉砂质泥岩占比 11%,含泥砾粉砂岩占比 13%,含砾细砂岩占比 10%,膏质泥岩占比 6%,细砾岩占比 5%,细砂岩占比 4%;在沉积构造方面,砂纹交错层理占比 54%,平行层理占比 25%,块状层理占比 13%,变形构造占比 4%,低角度交错层理占比 3%,上攀交错层理占比 1%。



(a) KU2井,第1回次,5 991.75 m,大型槽状交错层理砾岩;(b) YL1井,第2回次,4 700.02 m,含砂质团块粉砂质泥岩;(c) KU1井,第3回次,5 940.00 m,生物扰动粉砂岩;(d) S45井,第1回次,4 890.95 m,含泥质夹层粉砂岩;(e) YL1井,第1回次,4 693.56 m,波状交错层理粉砂岩;(f) S45井,第1回次,4 891.15 m,包卷层理粉砂质泥岩
图5 苏维依上段典型岩心照片

Fig. 5 Typical core photos of the upper part of Suweiyi



(a)KU2井第1回次取心段素描

(b)YL1第1、第2回次取心段素描

1 $\mu\text{s}/\text{ft} = 3.28 \mu\text{s}/\text{m}$

图6 苏维依上段取心井素描

Fig. 6 Sketch of the core well in the upper section of Suweiyi

通过岩心段岩性资料与沉积构造统计对比,在苏维依下段,岩性以细砂岩和粉砂岩为主,水下分流河道底部冲刷多见泥砾,不发育砾岩沉积,单期河道厚度多在2~4 m,同时沉积构造多发育块状层理,表明研究区发育物源供给充足的远源季节性浅水辫状河

三角洲前缘沉积;在苏维依上段岩性明显变细,以泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和粉砂岩为主,同时发育一定的砾岩沉积,沉积构造多发育反映低能沉积环境的砂纹交错层理和水平层理,少见反映高能沉积环境的块状层理和低角度交错层理,其单期河道

厚度多在 0.3 ~ 0.7 m, 河道底部多为砾岩沉积, 其多表现为洪水时期形成的短暂性河道, 偶见 1.2 m 厚度的单期河道, 表现为物源供给相对减少, 洪水事件多发的季节性浅水曲流河三角洲沉积。

3 垂向剖面沉积演化

从塔北地区顺物源和横切物源方向剖面(图 7 和图 8)可以看出, 苏维依组下段(E_3s1)SQ1 沉积时期, 研究区砂地比的含量较高, 且呈现“满盆砂”的特征; 在 SQ2 沉积时期, 砂地比的含量有所降低, 南源扇体规模开始减小, 向后退积, YQ9 和 YQX2 井区间以及 DUH2 井区出现滨浅湖沉积; 在 SQ3 沉积时期, 湖平面上升, 南北两侧物源供给与扇体规模均明显减小, 北侧扇体末端 S49 和 DUH3 井区发育厚度较薄的河道与河口坝砂体, KU1、S57、YH12 等井区发育滩坝砂体, DG1 井区还发育有灰白色膏岩沉积。

苏维依上段(E_3s2)发育的砂体含量与厚度明

显低于苏维依下段(E_3s1), 属于曲流河三角洲沉积发育特点; 在 SQ1 沉积时期, 仅在北侧发育季节性浅水曲流河三角洲砂体, 扇体前缘的 DG1、S45、S49 和 DUH3 井区发育厚度较薄, 大面积连续分布席状砂体, 同时在 YH12 井区发育膏岩沉积; 在 SQ2 沉积时期, 在湖平面及物源供给双重因素的控制下, 扇体规模进一步减小, 退积至 KU1 井区附近; 在 SQ3 沉积时期, 湖平面进一步上升, 全区发育滨浅湖沉积, 在 KU1、S57、S20、DG1、S49 和 DUH3 等井区发育滩坝砂体。

4 沉积相平面展布特征

在对研究区苏维依组开展沉积特征、岩相识别基础上, 结合单井及连井剖面砂体的识别与对比, 编制研究区苏维依上下 2 段及各 3 个小层的沉积相平面展布图。研究区苏维依组下段 SQ1 沉积时期[图 9 (a)], 物源供给充足, 南北两侧均发育的季节性浅水

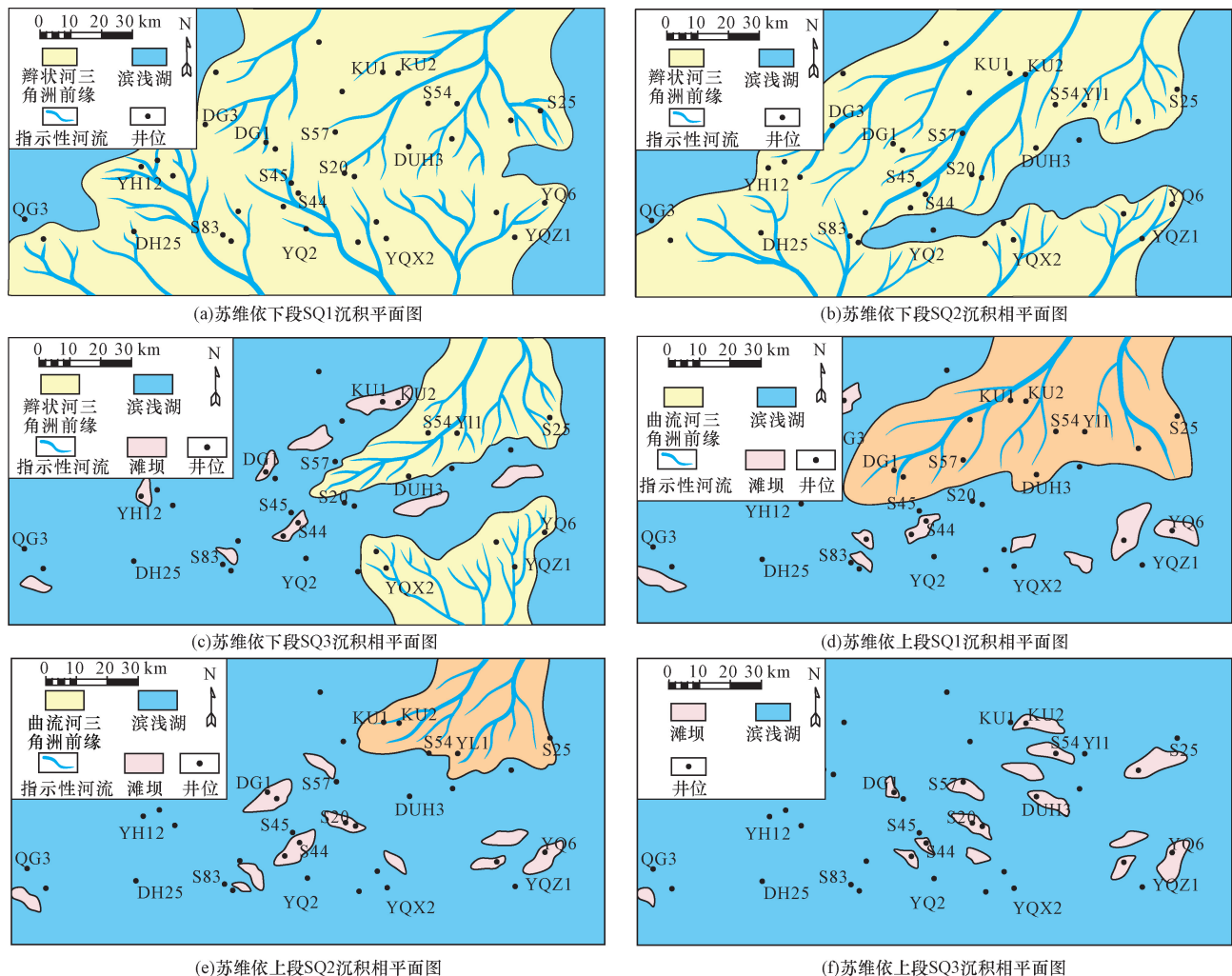


图 9 塔北地区苏维依组沉积相平面展布特征

Fig. 9 Planar distribution characteristics of sedimentary facies of Suweiyi Formation in Tabei area

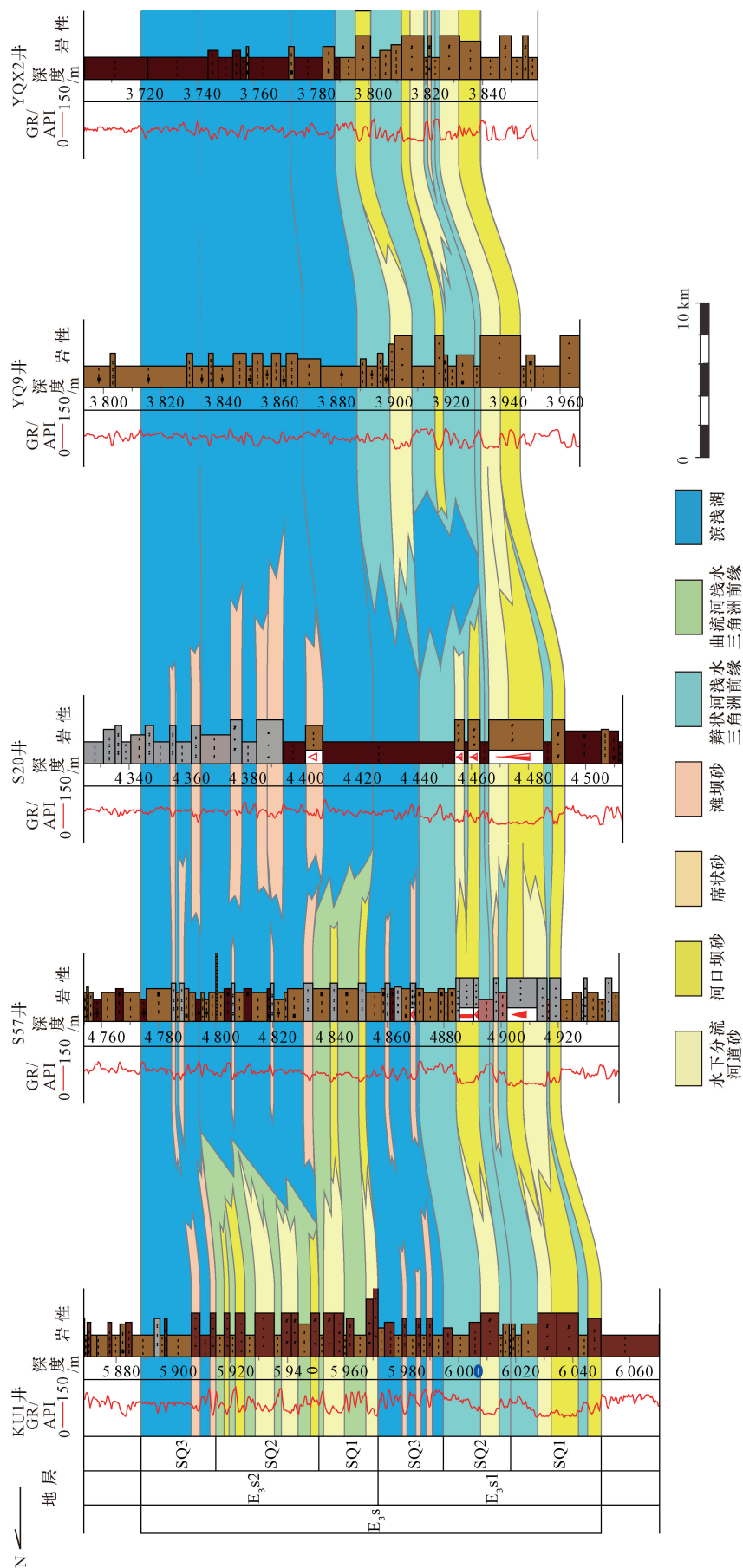


图 7 塔北地区苏维依组地层顺物源方向 KU1-S57-S20-YQ9-YOX2 连井砂体对比剖面(剖面位置见图 1)
Fig. 7 KU1-S57-S20-YQ9-YOX2 sand-body correlation profile of Suweiyi Formation along source direction in Tabei area (see Fig. 1 for the profile position)

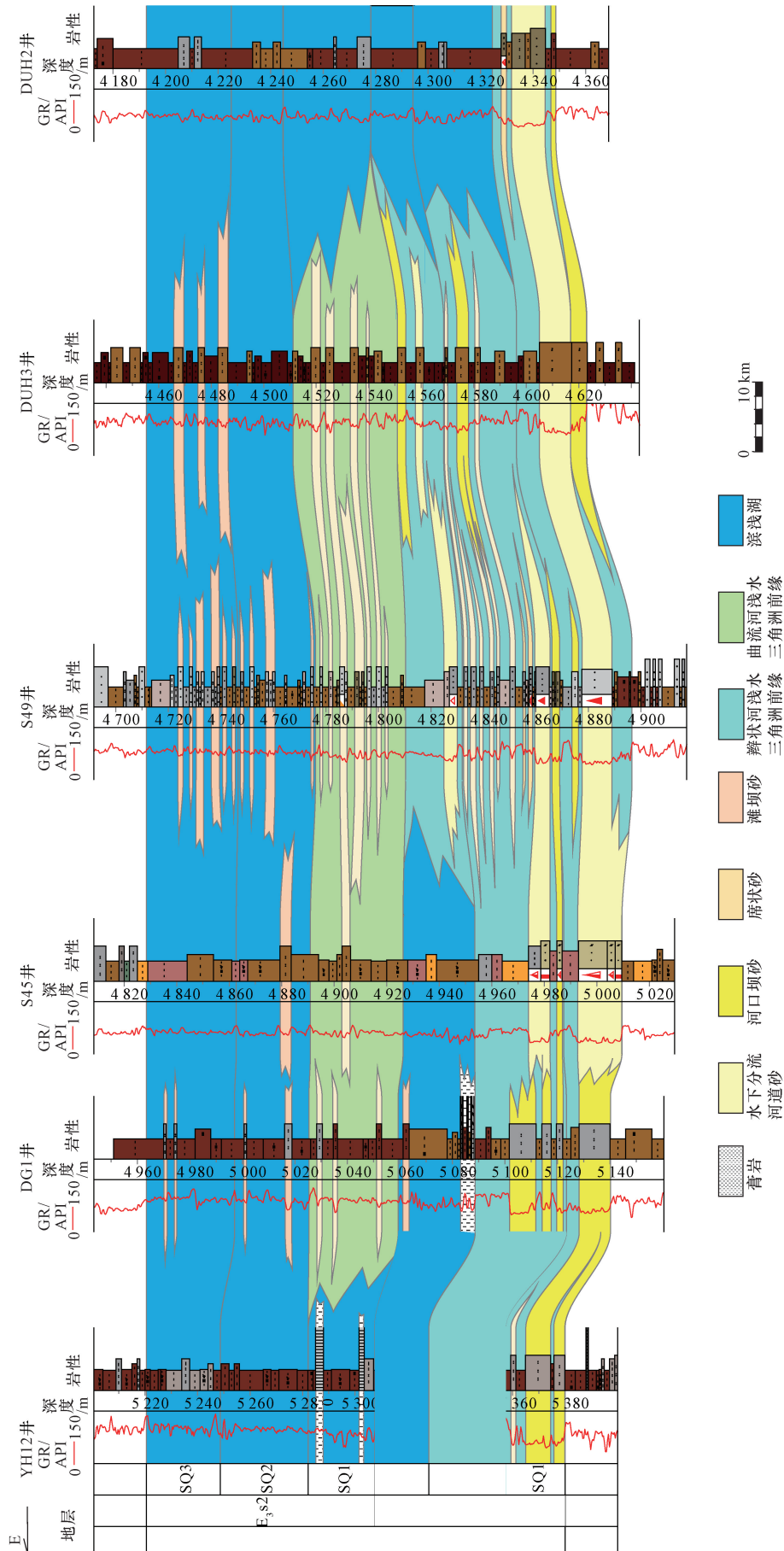


图 8 塔北地区苏维依组地层横切物源方向 YH12-DG1-S45-S49-DUH3-DUH2 连井砂体对比剖面(剖面位置见图 1)
 Fig. 8 KU1-S57-S20-YQ9-YQX2 sand-body correlation profile of Suweiyi Formation along source direction in Tabei area (see Fig. 1 for the profile position)

辫状河三角洲沉积在研究区中部 YH12-YD3-S20 剖面方向上汇聚,且砂体相互连通;苏维依下段 SQ2 沉积时期[图 9(b)],南侧物源供给量相对减少,北侧辫状河三角洲向前进积,在 S83-YQ2-YQ21 剖面位置附近发育滨浅湖沉积,但砂体仍在 YH12-Y3 剖面位置相互连通;SQ3 沉积时期[图 9(c)],由于湖平面的明显上升及南北两侧物源的供给量的减弱,使得季节性浅水辫状河三角洲的扇体规模相对变小, KU1、KU2、DUH2 和 S44 等井区发育滩坝沉积, S3、S20、S45、DH25 等井区发育滨浅湖泥岩沉积;苏维依组上段 SQ1 沉积时期北侧发育季节性浅水曲流河三角洲前缘沉积[图 9(d)],而 QN1、S44、YQ21、YQ5 等井区发育滩坝沉积, DUH2、S20、DG3 和 DH25 等井区发育滨浅湖泥岩沉积;SQ2 沉积时期[图 9(e)],北侧季节性浅水曲流河三角洲向后退积至 KU2-S25 剖面位置,规模相对减小, YQ15、S20、S4、DG2 等井区发育

滩坝砂沉积微相,在 S3、DUH2、DUH1 和 KU1 等远源井区发育滨浅湖沉积;SQ3 沉积时期[图 9(f)],研究区全区发育滨浅湖沉积,偶见在 S25、DUH1、S57、YD3 等井区发育滩坝砂沉积微相。

5 沉积模式演化

苏维依下段沉积时期,气候炎热干旱,南北两侧物源供给充足,部分井区发育有膏湖沉积,岩性主要为细砂岩、砂砾岩,研究区整体发育季节性浅水辫状河三角洲沉积模式。SQ1-SQ2 沉积演化时期,湖平面总体呈现不断上升的趋势,可容纳空间也随之增大, SQ3 沉积时期,可容纳空间有一定程度的减少。在南北两侧物源的供给量不断减少的情况下,研究区可容纳空间与物源供给的比例随之不断增大,研究区南北两侧扇体不断退积规模也不断减小[图 10(a)]。

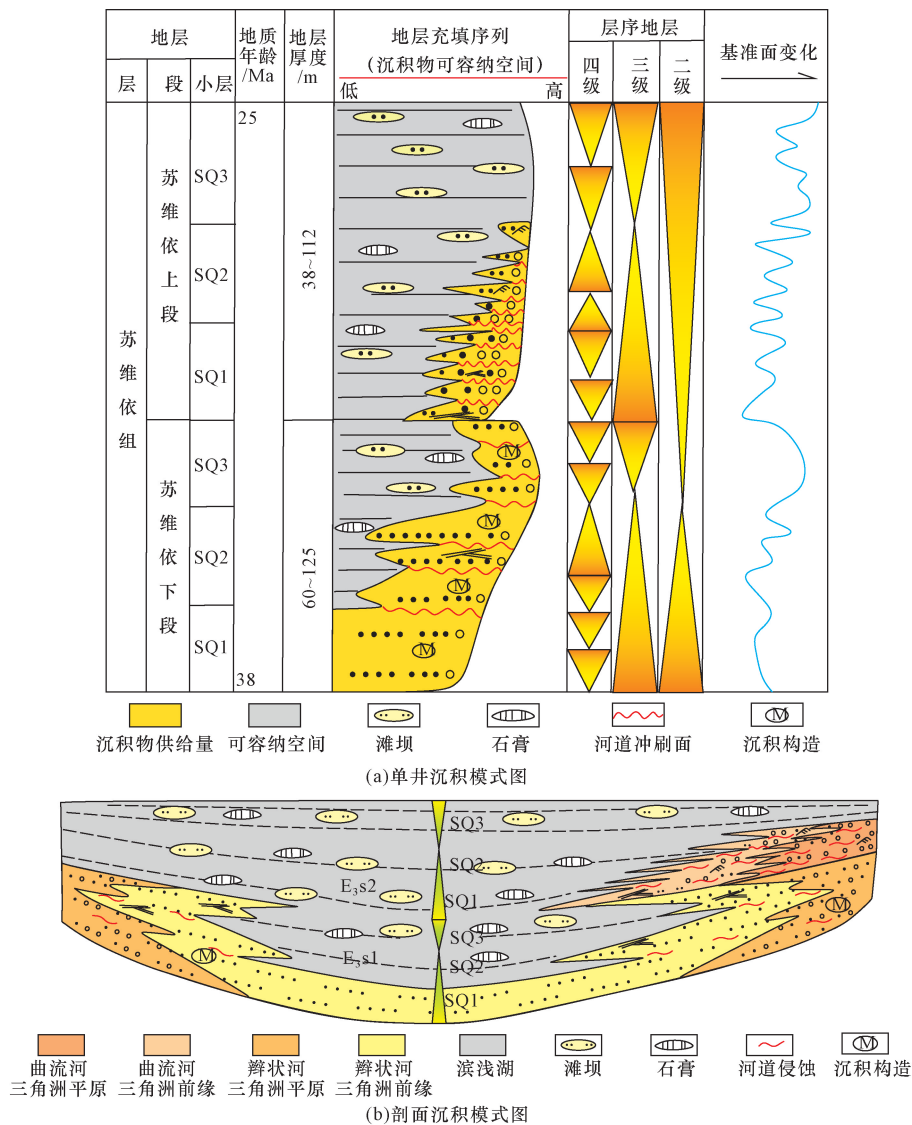


图 10 塔北地区苏维依组沉积模式演化图

Fig. 10 Evolution map of sedimentary model of Suweiyi Formation in Tabei area

苏维依上段沉积时期, 气候较为干旱, 多发洪水事件性沉积, 部分地区发育膏岩、盐岩及膏泥岩沉积, 研究区岩性主要为粉砂岩及少量砾岩, 同时在南北两侧砂质供给量明显减少以及和干旱气候的共同作用下, 研究区整体发育季节性浅水曲流河三角洲沉积模式。在 SQ1-SQ2 沉积时期, 由于南侧物源不再向研究区提供沉积物或砂质供给量较小, 研究区不发育南侧物源三角洲扇体, 仅在北侧发育季节性浅水曲流河三角洲前缘亚相, 同时伴随着可容纳空间与物源供给比值的不断增大, 北侧季节性浅水曲流河三角洲扇体不断退积, 至 SQ3 沉积时期, 研究区全区发育滨浅湖泥及滩坝沉积[图 10(b)]。

6 结论

(1) 在研究区岩心资料的观察与整理的基础上, 通过岩性组分、粒度和沉积构造等不同因素的分析, 将苏维依组划分出 4 大类 17 种岩相类型, 建立 7 种不同微相的测井相模板及岩相类型组合方案。

(2) 结合沉积微相横向、纵向展布特征分析, 研究区苏维依下段主要发育季节性浅水辫状河三角洲沉积及滨浅湖沉积, 苏维依上段发育多洪水事件的季节性浅水曲流河三角洲沉积和滨浅湖沉积。

(3) 在干旱炎热的气候背景下, 随着湖平面的频繁变化、砂质供给量的不断减少和苏维依上段多发的洪水事件性沉积, 其可容纳空间与物源供给量的比值也随之增大或减小。建立了研究区苏维依下段(E_3s1)和苏维依上段(E_3s2)沉积时期的剖面沉积模式及单井沉积模式。

参 考 文 献

- [1] Fisk H N. Sedimentary framework of the modern Mississippi Delta [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1954, 24(2): 76-99.
- [2] Postma G. An analysis of the variation in delta architecture [J]. *Terra Nova*, 1990, 2(2): 124-130.
- [3] Donaldson A C. Pennsylvanian sedimentation of central Appalachians [J]. *Geological Society of America Special Papers*, 1974, 148(5): 47-48.
- [4] McPherson J G, Shanmugam G, Moiola R J. Fan deltas and braid deltas: varieties of coarse-grained deltas [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1987, 99: 331-340.
- [5] Olariu C, BhaTtacharya J P. Terminal distributary channels and delta front architecture of river-dominated delta systems [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2006, 76(2): 212-233.
- [6] Hoy R G, Ridgway K D. Sedimentology and sequence stratigraphy of fan-delta and river-delta deposystems, Pennsylvanian Minturn Formation, Colorado [J]. *AAPG Bulletin*, 2003, 87(7): 1169-1191.
- [7] 龚绍礼. 河南禹县早二叠世晚期浅水三角洲沉积和聚煤环境 [J]. *煤田地质与勘探*, 1986, 14(6): 2-9.
- [8] 孙永传, 李蕙生, 邓新华, 等. 山西寿阳—阳泉地区石炭—二叠系沉积环境及其沉积特征 [J]. *地球科学*, 1986, 11(3): 273-280.
- [9] 朱筱敏, 邓秀芹, 刘自亮, 等. 大型拗陷湖盆浅水辫状河三角洲沉积特征及模式: 以鄂尔多斯盆地陇东地区延长组为例 [J]. *地学前缘*, 2013, 20(2): 9-28.
- [10] 张新涛, 周心怀, 李建平, 等. 敞流沉积环境中“浅水三角洲前缘砂体体系”研究 [J]. *沉积学报*, 2014, 32(2): 260-269.
- [11] 罗超, 罗水亮, 胡光明, 等. 松辽盆地扶新隆起带东缘泉四段沉积特征及沉积模式分析 [J]. *东北石油大学学报*, 2015, 39(4): 11-20.
- [12] 高志勇, 周川闽, 冯佳睿, 等. 库车坳陷白垩系巴什基奇克组泥砾的成因机制与厚层状砂体展布 [J]. *石油学报*, 2016, 37(8): 996-1010.
- [13] 付文俊, 张昌民, 冀东升, 等. 准噶尔盆地南安集海河剖面中侏罗统头屯河组浅水三角洲沉积特征 [J]. *岩性油气藏*, 2023, 35(4): 145-160.
- [14] 张昌民, 尹太举, 朱永进, 等. 浅水三角洲沉积模式 [J]. *沉积学报*, 2010, 28(5): 933-944.
- [15] 薛丹, 胡明毅, 邓猛, 等. 松辽盆地浅水三角洲沉积特征及模

- 式研究——以卫星地区泉头组三、四段为例[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(25): 35-42, 57.
- Xue Dan, Hu Mingyi, Deng Meng, et al. Sedimentary characteristics and models of shallow water delta in Songliao Basin: a case study of Member 3 and 4 of Quantou Formation in Satellite area [J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(25): 35-42, 57.
- [17] 孙靖, 薛晶晶, 费李莹, 等. 粗粒浅水三角洲沉积特征及模式——以准噶尔盆地莫北地区侏罗系三工河组为例[J]. 东北石油大学学报, 2022, 46(2): 13-22, 131-132.
- Sun Jing, Xue Jingjing, Fei Liying, et al. Sedimentary characteristics and model of coarse-grained shallow water delta: a case study of the Jurassic Sangonghe Formation in Mobei area, Junggar Basin [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2022, 46(2): 13-22, 131-132.
- [18] 朱筱敏, 叶蕾, 谢爽慧, 等. 低可容空间陆相湖盆富砂浅水三角洲沉积模式及实例分析[J]. 古地理学报, 2023, 25(5): 959-975.
- Zhu Xiaomin, Ye Lei, Xie Shuanghui, et al. Sedimentary model and case analysis of sand-rich shallow water delta in continental lacustrine basin with low capacity space [J]. Journal of Palaeogeography, 2023, 25(5): 959-975.
- [19] 王于恒, 于福生, 李忠诚, 等. 浅水三角洲相控储层预测研究——以松辽盆地中央坳陷大安地区泉四段为例[J]. 中国矿业大学学报, 2024, 53(3): 564-584.
- Wang Yuheng, Yu Fusheng, Li Zhongcheng, et al. Prediction of facies controlled reservoir in shallow water delta: a case study of Quan-4 Member in Da'an area, Central Depression, Songliao Basin [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2018, 53(3): 564-584.
- [20] 徐振华, 邓航, 吴胜和, 等. 河控浅水三角洲前缘树枝状沙坝沉积构型与形成机理[J]. 古地理学报, 2024, 26(6): 1338-1351.
- Xu Zhenhua, Deng Hang, Wu Shenghe, et al. Sedimentary configuration and formation mechanism of dendritic bar in front of river controlled shallow water delta [J]. Journal of Palaeogeography, 2024, 26(6): 1338-1351.
- [21] 张美, 任新成, 商丰凯, 等. 准噶尔盆地齐古组浅水河控三角洲沉积特征及模式探讨[J]. 特种油气藏, 2024, 31(6): 67-76.
- Zhang Mei, Ren Xincheng, Shang Fengkai, et al. Sedimentary characteristics and models of shallow river controlled delta in Qigu Formation, Junggar Basin [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2024, 31(6): 67-76.
- [22] Gugliotta M, Kurcinka E C, Dalrymple W R, et al. Decoupling seasonal fluctuations in fluvial discharge from the tidal signature in ancient deltaic deposits: an example from the Neuquén Basin, Argentina [J]. Journal of the Geological Society, 2016, 173(1): 94-107.
- [23] 张佩, 钱其豪, 姜明忠, 等. 干旱湖盆边缘浅水三角洲沉积特征与沉积模式——以青海尕斯库勒油田下油砂山组VI油组为例[J]. 沉积学报, 2023, 41(3): 839-854.
- Zhang Pei, Qian Qihao, Jiang Mingzhong, et al. Sedimentary characteristics and sedimentary model of shallow water delta at the edge of arid lake basin: a case study of oil group VI of Lower Youshashan Formation, Gasikule oilfield, Qinghai Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2023, 41(3): 839-854.
- [24] 刘辰生, 郭建华. 宽浅型湖盆层序地层学研究: 以塔里木盆地古近系为例[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(9): 3535-3541.
- Liu Chensheng, Guo Jianhua. Sequence stratigraphy of wide shallow lake basins: a case study of Paleogene in Tarim Basin [J]. Journal of Central South University (Natural Science Edition), 2012, 43(9): 3535-3541.
- [25] 范学文, 万里皋, 时卫东. 塔北隆起中、新生界层序地层学研究[J]. 新疆石油地质, 1996(4): 346-349, 416-417.
- Fan Xuwen, Wan Ligao, Shi Weidong. Study on sequence stratigraphy of Middle and Cenozoic in Tabei Uplift [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1996(4): 346-349, 416-417.
- [26] 朱如凯, 高志勇, 郭宏莉, 等. 塔里木盆地北部白垩系—古近系不同段、带沉积体系比较研究[J]. 沉积学报, 2007(3): 325-331.
- Zhu Rukai, Gao Zhiyong, Guo Hongli, et al. Comparative study on sedimentary systems of different Cretaceous and Paleogene segments and belts in northern Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007(3): 325-331.
- [27] 刘景彦, 丁孝忠, 邱以钢, 等. 新疆库车坳陷古近系苏维依组高精度层序地层及其发育的主控因素探讨[J]. 高校地质学报, 2009, 15(3): 318-327.
- Liu Jingyan, Ding Xiaozhong, Qiu Yigang, et al. High-precision sequence stratigraphy and main controlling factors of Paleogene Suweiyi Formation in Kuqa Depression, Xinjiang [J]. Geological Journal of Universities, 2009, 15(3): 318-327.
- [28] 孙美静, 刘杰. 塔里木盆地天山南缘区带古近系苏维依组沉积储层研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2014, 34(2): 72-78.
- Sun Meijing, Liu Jie. Sedimentary reservoir study of Paleogene Suweiyi Formation in the southern margin of Tianshan, Tarim Basin [J]. Sedimentation & Tethys Geology, 2014, 34(2): 72-78.
- [29] 石媛媛, 洪才均, 房晓璐, 等. 塔里木盆地库东—轮台地区苏维依组II砂组沉积储层特征[J]. 石油实验地质, 2014, 36(4): 422-428.
- Shi Yuanyuan, Hong Caijun, Fang Xiaolu, et al. Sedimentary reservoir characteristics of sand formation II of Suweiyi Formation in Kudong-Luntai area, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(4): 422-428.
- [30] 贺萍, 王青春, 于静波, 等. 大涝坝地区苏维依组滨浅湖砂坝沉积精细刻画[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(10): 3904-3912.
- He Ping, Wang Qingchun, Yu Jingbo, et al. Fine characterization of sand bar deposits in shoal-shallow lake of Suweiyi Formation in Dailaoba area [J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(10): 3904-3912.
- [31] 王壮生, 林小兵, 范峻铭, 等. 陆相石膏赋存状态及沉积过程——以库车坳陷牙哈地区古近系苏维依组底砂岩段为例[J]. 沉积学报, 2023, 41(5): 1354-1365.
- Wang Zhuangsheng, Lin Xiaobing, Fan Junming, et al. Occurrence state and sedimentary process of continental gypsum: a case study of bottom sandstone member of Paleogene Suweiyi Formation in Yaha area of Kuqa Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2019, 41(5): 1354-1365.
- [32] 吕修祥, 金之钧, 周新源, 等. 塔里木盆地乌什凹陷温宿凸起油气勘探前景[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2006,

- 30(1): 17-21, 25.
- Lü Xiuxiang, Jin Zhijun, Zhou Xinyuan, et al. Oil and gas exploration prospect in Wushi Sag and Wensu Uplift of Tarim Basin [J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2006, 30(1): 17-21, 25.
- [33] 焦志峰, 高志前. 塔里木盆地主要古隆起的形成、演化及控油气地质条件分析[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(5): 639-646.
- Jiao Zhifeng, Gao Zhiqian. Analysis of formation, evolution and oil-gas geological conditions of major paleo-uplift in Tarim Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(5): 639-646.
- [34] 高胜利, 高纪杨, 魏雪珂. 鄂尔多斯盆地延长组地层底面古构造定量演化及其石油地质意义[J]. *科学技术与工程*, 2024, 24(5): 1782-1788.
- Gao Shengli, Gao Jiyang, Wei Xueke. Quantitative evolution of paleostructure on the bottom of Yanchang Formation in Ordos Basin and its petroleum geological significance [J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 24(5): 1782-1788.
- [35] 李佳洋, 尹太举, 雷晓红, 等. 塔里木盆地哈拉哈塘-哈得地区三叠系克拉玛依组地震沉积学研究[J]. *科学技术与工程*, 2024, 24(2): 480-494.
- Li Jiayang, Yin Taiju, Lei Xiaohong, et al. Seismic sedimentology of the Triassic Karamay Formation in Halahatang-Hade area, Tarim Basin [J]. *Science Technology and Engineering*, 2018, 24(2): 480-494.
- [36] 杨天祥, 赵卫卫, 段逸飞, 等. 陆相页岩源储特征及其发育模式——以鄂尔多斯盆地东南部延长组长7段为例[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(24): 10209-10219.
- Yang Tianxiang, Zhao Weiwei, Duan Yifei, et al. Source and reservoir characteristics of continental shale and its development model: a case study of Chang 7 Member of Yanchang Formation, southeastern Ordos Basin [J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 23(24): 10209-10219.
- [37] 马庆佑, 吕海涛, 蒋华山. 塔里木盆地台盆区构造单元划分方案[J]. *地质论评*, 2015, 61(S1): 689-690.
- Ma Qingyou, Lü Haitao, Jiang Huashan. Tectonic unit division scheme of Tarim Basin [J]. *Geological Review*, 2015, 61(S1): 689-690.
- [38] 邵龙义, 何志平, 顾家裕, 等. 塔里木盆地古近纪岩相古地理[J]. *古地理学报*, 2006(3): 353-364.
- Shao Longyi, He Zhiping, Gu Jiayu, et al. Paleogene lithofacies paleogeography of Tarim Basin [J]. *Journal of Palaeontology*, 2006(3): 353-364.
- [39] 刘辰生, 郭建华, 郭世钊. 塔里木盆地古近系层序地层学研究[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2012, 42(5): 813-818.
- Liu Chensheng, Guo Jianhua, Guo Shizhao. Study on sequence stratigraphy of Paleogene in Tarim Basin [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2012, 42(5): 813-818.
- [40] 罗晓容, 张立宽, 张立强, 等. 深层碎屑岩储层有效性及其评价方法[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2022, 52(6): 968-986.
- Luo Xiaorong, Zhang Likuan, Zhang Liqiang, et al. Effectiveness of deep-buried clastic reservoir beds and the evaluation methodology [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2022, 52(6): 968-986.
- [41] 刘君龙, 刘忠群, 肖开华, 等. 四川盆地新场地区三叠系须家河组二段致密砂岩有利岩石相表征及油气地质意义[J]. *石油勘探与开发*, 2020, 47(6): 1111-1121.
- Liu Junlong, Liu Zhongqun, Xiao Kaihua, et al. Characterization of favorable lithofacies in tight sandstone reservoirs and its significance for gas exploration and exploitation: a case study of the 2nd Member of Triassic Xujiahe Formation in the Xinchang area, Sichuan Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2020, 47(6): 1111-1121.
- [42] 潘进, 张昌民, 庞雷, 等. 准噶尔盆地玛湖凹陷夏子街扇区三叠系百口泉组沉积演化特征[J]. *古地理学报*, 2019, 21(6): 913-924.
- Pan Jin, Zhang Changmin, Pang Lei, et al. Depositional evolution characteristics of the Triassic Baikouquan Formation in Xiaizijie fan area of Mahu Sag, Junggar Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2019, 21(6): 913-924.
- [43] 纪友亮, 刘君龙, 王天云, 等. 陆相湖盆三角洲—滩坝复合砂体分布模式及编图方法[J]. *古地理学报*, 2016, 18(4): 615-630.
- Ji Youliang, Liu Junlong, Wang Tianyun, et al. Distributing pattern and mapping method of delta and beach barcom positesand bodies in continental lacustrine basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2016, 18(4): 615-630.