

塔里木盆地塔北隆起区中生界沉积演化特征

吴高奎^{1,2}, 张忠民¹, 林畅松², 田纳新¹, 左小军³, 李浩², 孔凡军¹, 李军¹

[1. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京) 海洋学院, 北京 100083;

3. 中国石油 塔里木油田公司 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000]

摘要:针对塔里木盆地塔北隆起区中生界层序地层划分和沉积充填演化认识不够明确的问题,综合地震、测井、岩心和露头资料,重新厘定了层序地层格架,识别了主要的沉积体系类型,揭示了沉积充填演化特征及其与塔北隆起中生代隆升—衰亡过程的响应关系,共识别出4个区域性角度不整合、1个区域性平行不整合和7个局部不整合,并据此将中生界划分为4个二级层序(I—IV)和11个三级层序。晚三叠世(I—SQ3),东西走向的塔北隆起提供了大量物源,北坡陡而南坡缓,分别发育冲积扇/扇三角洲和辫状河三角洲沉积;早侏罗世(II—SQ1),塔北隆起范围增大,物源供给增多,地势宽缓的南坡发育更大规模的辫状河三角洲沉积;白垩系卡普沙良群沉积末期(III—SQ4),塔北隆起主体消亡,主要发育三角洲沉积(物源来自东南部大陆蚀源区);白垩系巴什基奇克组沉积末期(IV—SQ3),研究区演变为南倾斜坡,主要发育浅水辫状河三角洲沉积(物源来自东部大陆蚀源区及北部造山带)。研究结论有助于深化对塔北隆起区中生代陆相湖盆沉积充填演化的认识,也可为油气勘探提供借鉴。

关键词:沉积体系;沉积充填演化;层序地层学;中生界;塔北隆起;塔里木盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Evolution of Mesozoic sedimentary fill in the Tabei Uplift region, Tarim Basin

Wu Gaokui^{1,2}, Zhang Zhongmin¹, Lin Changsong², Tian Naxin¹, Zuo Xiaojun³, Li Hao², Kong Fanjun¹, Li Jun¹

[1. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China; 2. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company Ltd., Korla, Xinjiang 841000, China]

Abstract: To enhance the Mesozoic sequence stratigraphic division and sedimentary fill evolution reconstruction in the Tabei Uplift region of the Tarim Basin, an integral analysis of seismic, logging, core and outcrop data is carried out to redefine the sequence stratigraphic framework, identify the major sedimentary systems and reveal the sedimentary fill evolution features and their correspondence to the emergence and disappearance of the Tabei Uplift. Four second-order sequences (I—IV) and eleven third-order sequences are divided with the recognition of four regional angular unconformities, one regional parallel unconformity and seven local unconformities in the study area. Analyses indicate that during the Late Triassic (I—SQ3), the EW-trending Tabei Uplift provided abundant sediments to its steep narrow north slope and gentle broad south slope where alluvial fan/fan deltas and braided deltas were formed respectively. During the Early Jurassic (II—SQ1), the uplift expanded and provided more sediments to the south slope where larger braided deltas were developed. By the end of deposition of the Lower Cretaceous Kapushaliang Group (III—SQ4), the uplift was mostly disappeared and sediments in the area were mainly sourced from a denuded zone in the southeast and deposited as deltas. By the end of the Lower Cretaceous Bashijiqike times (IV—SQ3), the study area turned into a south-dipping slope with sediments mostly sourced from a denuded zone in the east and an orogenic belt in the north and deposited as a shallow-water braided delta. This study may help understand the depositional evolution of the Mesozoic continental lacustrine basin in the region and provide a reference for future exploration.

收稿日期:2021-11-04;修订日期:2022-05-15。

第一作者简介:吴高奎(1989—),男,博士、工程师,含油气盆地分析。E-mail: vvu126@126.com。

通讯作者简介:张忠民(1971—),男,博士、教授级高级工程师,石油地质。E-mail: zzm.syky@sinopec.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41902119);中央高校基本科研业务费优秀教师基金项目(2-9-2019-120)。

Key words: sedimentary system, depositional fill evolution, sequence stratigraphy, Mesozoic, Tabei Uplift region, Tarim Basin

引用格式: 吴高奎, 张忠民, 林畅松, 等. 塔里木盆地塔北隆起区中生界沉积演化特征[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(4): 845-858. DOI: 10.11743/ogg20220409.

Wu Gaokui, Zhang Zhongmin, Lin Changsong, et al. Evolution of Mesozoic sedimentary fill in the Tabei Uplift region, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(4): 845-858. DOI: 10.11743/ogg20220409.

塔里木盆地是中国面积最大的典型叠合含油气盆地^[1-2], 因在中生代经历了多期构造运动, 形成了一系列标志性的区域性角度不整合。盆地的古构造和古地理也几经变迁, 不利于盆地的层序地层划分和沉积充填演化研究, 制约着盆内的油气勘探^[3-5]。综合多学科分析方法, 在层序地层划分的基础上, 识别塔里木盆地主要的沉积体系类型, 揭示其沉积充填演化特征, 是阐明盆地动态演化过程和取得盆内油气勘探突破的关键, 也是相关学科(如沉积学和石油地质学等)的研究热点^[6-8]。

塔北隆起区位于塔里木盆地的北缘, 内有多个中生界区域性角度不整合和大型古隆起^[9-10], 沉积类型丰富, 可勘探层系较多, 是塔里木盆地的重要油气勘探区。前人对塔北隆起区中生界层序地层划分^[11-15]及沉积充填演化^[16-20]开展了不少研究, 但多因资料数量和质量的局限, 在层序地层的划分方案上难以达成一致, 亟需综合多种资料对塔北隆起区中生界的层序地层格架进行重新厘定。在沉积充填演化方面, 现有的研究也多是针对局部地区或个别层组展开, 鲜有基于中生界层序地层格架揭示区内中生界沉积充填特征及其与塔北隆起发育演化过程的响应关系。

针对上述问题, 综合塔北隆起区丰富的二维地震、重点区三维地震、测井(含岩心)和野外露头等资料, 应用多学科理论分析方法, 在重新划分区内中生界层序地层格架的基础上, 总结了主要的岩相组合特征, 识别了主要的沉积体系类型, 系统地揭示了沉积充填特征及其与塔北隆起中生代发育演化的响应关系, 深入认识了塔北隆起区中生界陆相湖盆碎屑岩的沉积演化过程。

1 地质背景

塔里木盆地位于中国西北部, 被天山、昆仑山和阿尔金山所环绕, 面积达 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地于中生代进入陆内盆地演化阶段^[2], 形成了“三隆四坳”7个一级构造单元, 自北向南依次是库车坳陷、塔北隆起、北部坳陷带、中央隆起带、塔西南坳陷带、塔东南隆起带和塔东南坳陷带^[21]。研究区主要涉及塔北隆起与库车坳陷(图1)。

塔北隆起为东西向展布, 长约400 km, 宽约80 km, 东起柯坪断隆, 西至库鲁克塔格断隆, 南邻北部坳陷带, 北接库车坳陷, 形成于早古生代^[21], 在中生代演化

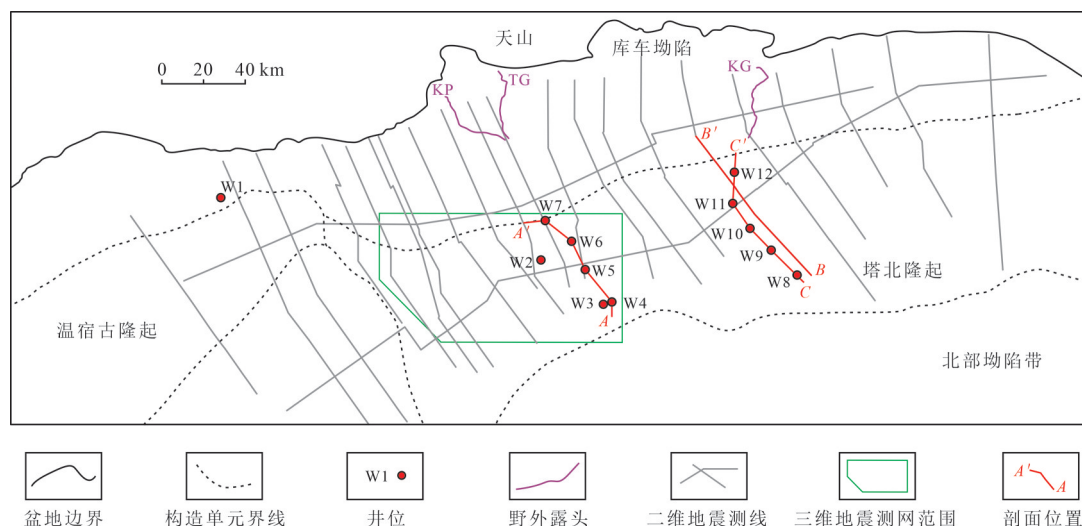


图1 塔北隆起区构造简图及资料分布情况

Fig. 1 Simplified structural map of the Tabei Uplift region with data used in the study

KP. 卡普沙良河露头; TG. 塔里齐克沟露头; KG. 克孜勒努尔沟露头

为一个由温宿、西秋、新和和牙哈等4个次隆构成的大型古隆起带,整体处于衰亡阶段^[22]。塔北隆起兼有海相寒武系-奥陶系含油气系统和陆相三叠系-侏罗系含油气系统,具有重要的油气勘探价值和理论研究意义^[23-25]。库车坳陷为东西向展布,长约470 km,宽40~90 km,东起库鲁克塔格断隆,西至温宿凸起,南邻塔北隆起,北接天山。三叠纪初,继上二叠统厚层磨拉石沉积之后,库车坳陷进入前陆盆地演化阶段^[26],发育了数千米厚的中生界陆相碎屑沉积体,是开展油气勘探、解析“盆-山耦合”的重要研究对象之一^[27-28]。

研究目的层包括三叠系、侏罗系和白垩系(图2)。三叠系(T)残余厚度为0~700 m,与前三叠系呈高角度削截不整合接触。三叠系底部的俄霍布拉克组(T_{eh})主要发育湖相泥岩和粉砂岩沉积,局部地区可见底砾岩发育,其中普遍发育早三叠世轮藻、介形虫和孢粉等古生物化石。三叠系中部的克拉玛依组(T_{kl})主要发育一套辫状河三角洲沉积,为厚层粗砂岩,该组富含中三叠世早期真蕨类和松柏类等植物化石。三叠系顶部的黄山街组(T_{jh})为一套湖相泥岩沉积,发育晚三叠世孢粉和叶肢介等植物化石。区内侏罗系(J)西部缺失,东部则南薄、北厚,与三叠系呈微角度不整合接触。在塔北隆起西部的三维工区,侏罗系仅残余下

侏罗统阳霞组(J_{ly}),厚度为0~300 m,为一套粗粒辫状河三角洲沉积,砂砾岩和粗砂岩为主。白垩系(K)在研究区仅发育下白垩统,以不整合面 TK_{bs} 为界,自下而上分为卡普沙良群(K_{kp})和巴什基奇克组(K_{bs})。 K_{kp} 的残余厚度为0~390 m,与侏罗系呈角度不整合接触,其底部的亚格列木组(K_{ly})为辫状河三角洲沉积,由砾岩、含砾砂岩和细砂岩构成。 K_{kp} 中部的舒善河组(K_{sy})是以泥岩-粉砂岩为主的滨浅湖沉积,富含多种早白垩世古生物化石(如叶肢介)。 K_{kp} 顶部的巴西改组(K_{bx})为一套由粉砂岩和细砂岩构成的曲流河三角洲沉积。白垩系巴什基奇克组(K_{bs})主要为细粒辫状河三角洲沉积,含有早白垩世介形类组合。

2 层序地层划分

2.1 划分方案

识别层序界面并建立层序地层格架是盆地分析的首要任务^[29]。据地震反射特征、测井岩性和电性突变、露头岩性和产状突变等,在研究区内共识别出4个区域性角度不整合(TT,TJ,TK和TE)和1个区域性平行不整合(TK_{bs}),据此明确了二叠纪末/三叠纪初、三叠纪末、侏罗纪末和晚白垩世/白垩纪末为盆地的4次

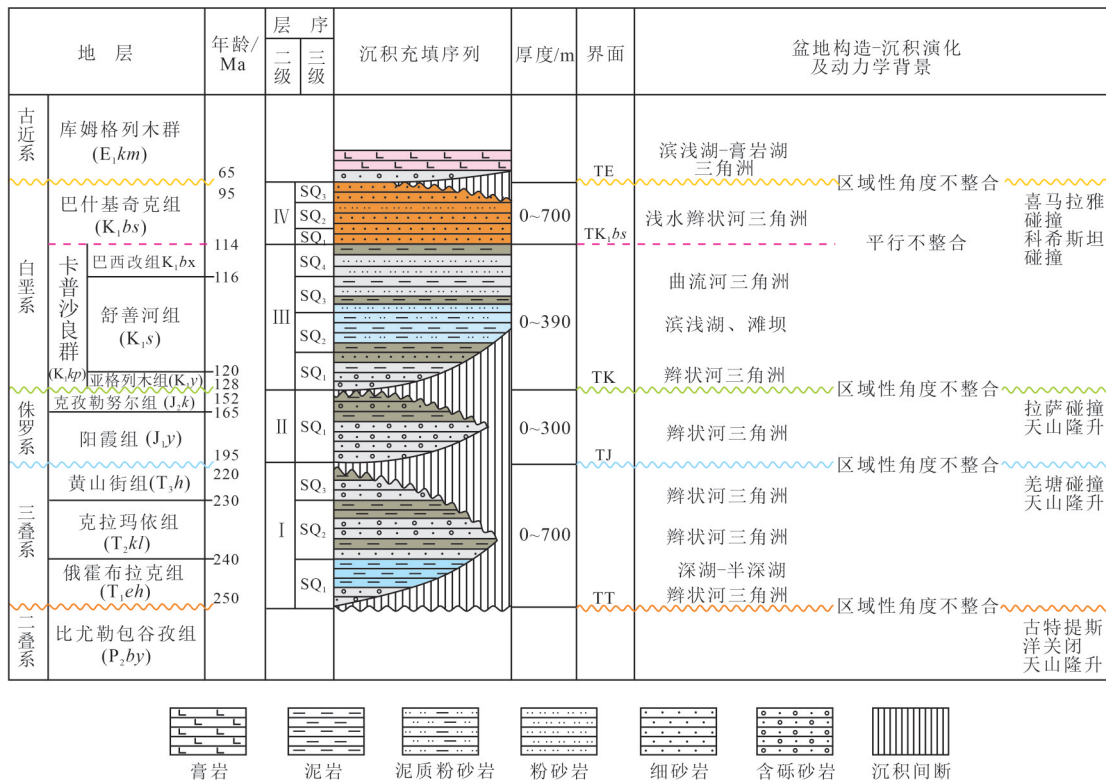


图2 塔北隆起中生代构造-地层序列^[10]

Fig. 2 Generalized Mesozoic tectono-stratigraphy succession of the Tabei Uplift^[10]

变革期,划分中生界为4个二级层序(I—IV),大体上依次与T₁J, K₁kp和K₁bs相对应。据二级层序内部的局部不整合及其对应整合面,进一步划出了11个三级层序(图2):二级层序I划分为I-SQ1, I-SQ2和I-SQ3等3个三级层序,依次对应T₁eh, T₂kl和T₃h;二级层序II残余厚度薄,划分为三级层序II-SQ1;二级层序III划分为III-SQ1, III-SQ2, III-SQ3和III-SQ4等4个三级层序,依次对应K₁y和K₁s下部、K₁s中部、K₁s上部和K₁bx;二级层序IV划分为IV-SQ1, IV-SQ2和IV-SQ3等3个三级层序,依次对应K₁bs的下部、中部和上部。

2.2 界面特征

二级层序界面(主要不整合TT, TJ, TK和TE)的识别特征已有详细论述^[30],以下重点介绍7个三级层序界面的识别特征。

三级层序I-SQ1和I-SQ2之间层序界面Tsb2,是T₁eh和T₂kl的分界线,为冲刷不整合面及其对应整合界面。地震反射上,Tsb2表现为强相位,连续性较好,上超且尖灭于古隆起之上,界面下可见削截(图3)。

测井曲线由平直状向上过渡为箱形或锯齿状箱形,岩性从底部泥岩向上突变为粉砂岩(图4)。

三级层序I-SQ2和I-SQ3之间的层序界面Tsb3为T₂kl和T₃h的分界线,表现为冲刷不整合界面及其对应整合界面,其与界面Tsb2具有相似的地震反射特征(图3)。测井曲线上,Tsb3位于水退到水进的转换处。Tsb3界面之下以进积为主,粒度向上变粗、砂质含量增加,界面之上反之(图4)。

三级层序III-SQ1和III-SQ2之间的层序界面Ksb2位于K₁s下部,反射弱,连续性差,界面之下局部可见削截(图3)。在测井曲线上,界面之下一般为低GR和低电阻率的薄层粉-细砂岩,呈现漏斗形或箱形,为三角洲前缘的河口坝或水下分流河道沉积,界面之上一般为湖相泥岩和粉砂质泥岩(图4)。

三级层序III-SQ2和III-SQ3之间的层序界面Ksb3位于K₁s中部,地震反射强度和连续性一般,在W7井附近可见上超现象(图3)。在测井曲线上,界面之下的GR曲线呈指状,界面之上则变为箱形。界面之下为砂、泥互层,界面之上砂岩厚度增大,泥质含量变少(图4)。

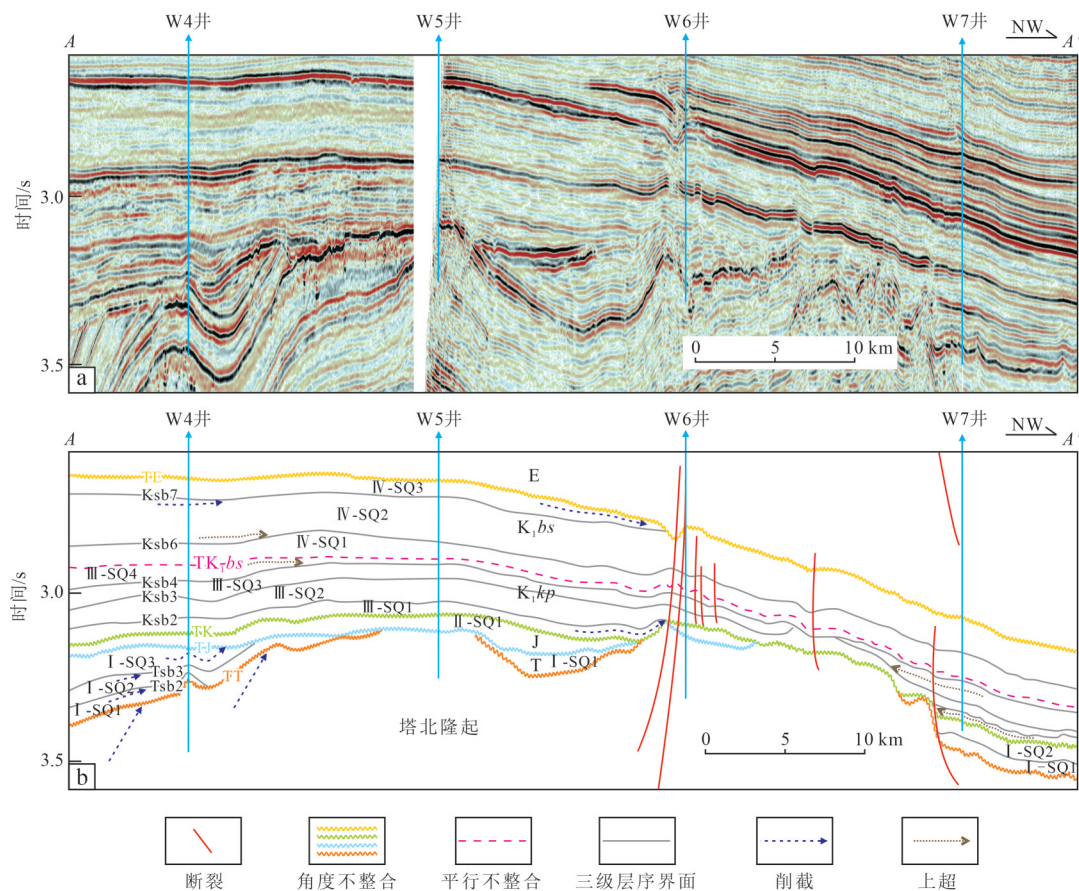


图3 跨塔北隆起三维地震剖面层序地层划分(剖面位置见图1)

Fig. 3 Seismic section across the Tabei Uplift and corresponding sequence stratigraphic division (see Fig. 1 for the location)

a. 跨塔北隆起三维地震剖面; b. 基于三维地震剖面的层序地层划分

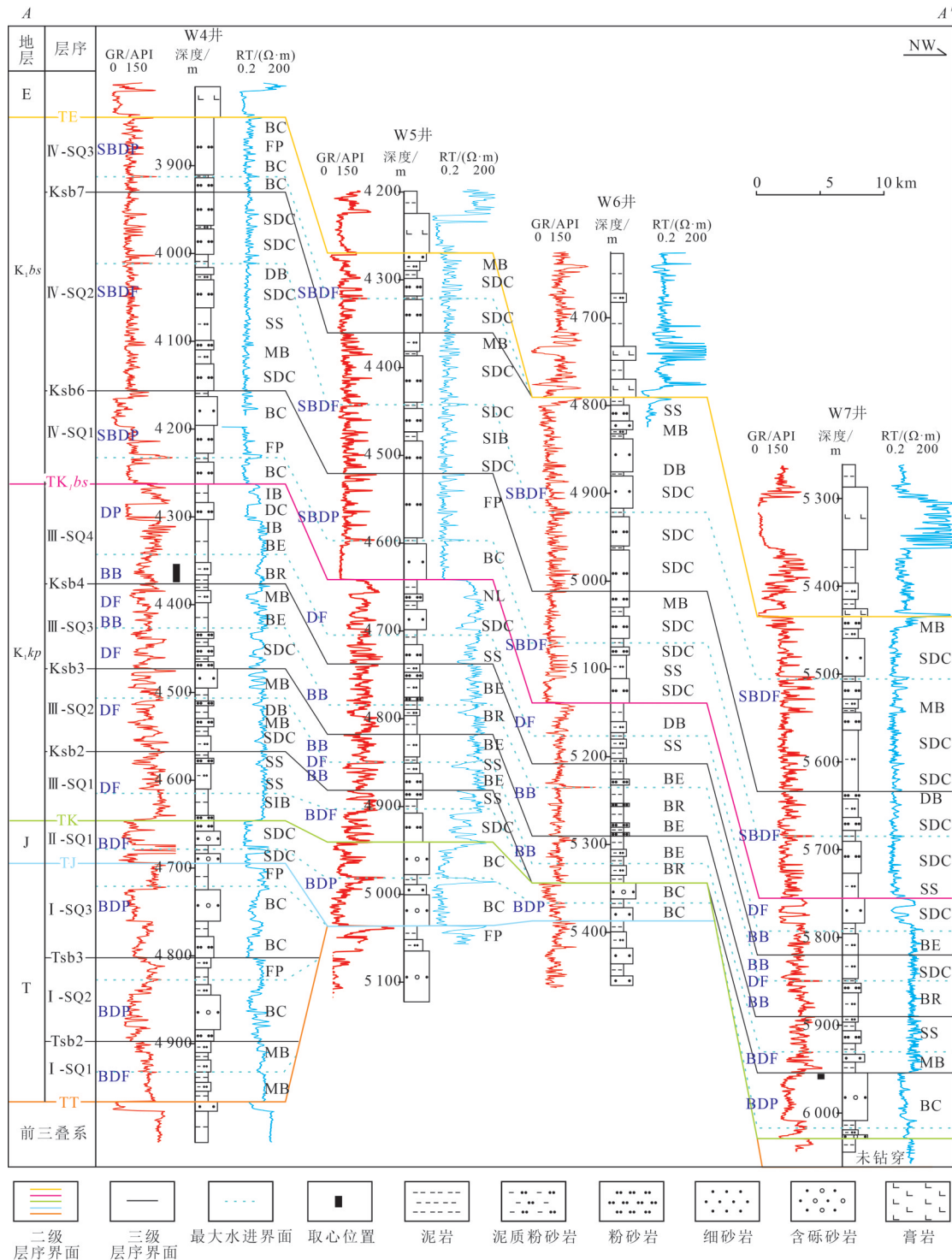


图4 跨塔北隆起连井剖面层序-沉积相对比(剖面位置见图1)

Fig. 4 Cross-well correlation of stratigraphic sequence-sedimentary facies in the Tabei Uplift

(see Fig. 1 for the location)

SBDP. 浅水辫状河三角洲平原; SBDF. 浅水辫状河三角洲前缘; DP. 三角洲平原; DF. 三角洲前缘; BDP. 辫状河三角洲平原; BDF. 辫状河三角洲前缘; BB. 滩坝; DC. 分流河道; IB. 分流间; SDC. 水下分流河道; SIB. 水下分流间; MB. 河口坝; DB. 远砂坝; SS. 席状砂; NL. 天然堤; BC. 辫状河道; FP. 泛滥平原; BE. 滩砂; BR. 坝砂

三级层序Ⅲ-SQ3和Ⅲ-SQ4之间的层序界面为Ksb4,是K_{1s}和K_{1bx}的分界线,在地震上表现为局部不整合面,可见其削截Ksb3(图3)。相比Ksb3与Ksb2,

其地震反射能量较强,连续性好。在W5井区,界面之下表现为滩坝沉积,界面之上则为三角洲前缘相水下分流河道沉积(多期叠置),测井曲线呈箱形(图4)。

三级层序IV-SQ1和IV-SQ2之间的层序界面Ksb6位于K₁bs中下部,地震资料显示界面之上存在上超(图3)。在W4井附近,界面之下主要为辫状河三角洲平原沉积,测井曲线为箱形;界面之上则过渡为辫状河三角洲前缘沉积,测井曲线变为锯齿状(图4)。

三级层序IV-SQ2和IV-SQ3之间的层序界面Ksb7位于K₁bs中上部,为地震反射能量较弱的波峰,连续性较好。在W4井附近,界面之下可见明显的削截;在W6井附近被不整合TE削截(图3)。从测井曲线上看,界面之下主要为辫状河三角洲前缘沉积,向上过渡为辫状河三角洲平原沉积(图4)。

3 沉积体系识别

沉积单元的级次划分采用了“沉积体系—沉积相—沉积微相”方案^[31]。综合分析测井(图5)、岩心(图6)、露头(图7)和地震(图8)等资料,在研究区内的中生界识别出了11种岩相组合,确认了辫状河三角洲、曲流河三角洲、滩坝和冲积扇/扇三角洲等4种主要沉积体系组合(表1)。

3.1 辫状河三角洲沉积体系

辫状河三角洲沿塔北隆起南北斜坡在T₁hl, J₁y和K₁y均有发育,在K₁bs沉积时期表现为浅水辫状河三角洲^[32]。辫状河三角洲前缘相包括岩相组合FA1和FA2,前者为厚层灰绿色含砾砂岩(砾石直径小于1 cm),分选性和磨圆度一般,成熟度低,发育递变层理或大型槽状交错层理,多期正旋回垂向叠置,GR曲线呈箱形或钟形(表1),解释为辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积^[33];后者为含砾细砂岩、细砂岩或粉砂岩,呈反旋回,GR曲线呈漏斗形,解释为辫状河三角洲前缘河口坝沉积(表1)。

浅水辫状河三角洲前缘相包括岩相组合FA3和FA4,前者为棕红色的中-细粒砂岩,分选较好,成熟度较低,发育平行层理,局部可见冲刷泥砾,垂向上呈多期叠置发育,砂体厚度不大(一般在3~6 m),测井曲线为箱形或钟形,解释为浅水辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积(表1);后者为棕红色细砂岩和粉砂岩,呈反韵律,测井曲线为漏斗形,对应小规模河口坝沉积(表1)。

3.2 三角洲沉积体系

K₁hp沉积时期,研究区内东南部发育大规模三角洲沉积,主要可识别出三角洲平原和三角洲前缘等相

类型。三角洲前缘相包括岩相组合FA5, FA6和FA7。FA5为细砂岩和粉砂岩沉积,石英含量较高,槽状交错层理发育,多期正旋回垂向叠置,单个砂体厚度在5~10 m,测井曲线为箱形;FA6为细砂岩和粉砂岩沉积,反旋回,GR曲线呈漏斗形;FA7为块状泥质粉砂岩和泥岩沉积,GR曲线低平。上述岩相组合,依次解释为三角洲前缘相的水下分流河道、河口坝和水下分流河道间^[34-35]。

在卡普沙良河(图7b)及克孜勒努尔沟(图7c)野外剖面,可见三角洲前缘河口坝和水下分流河道沉积在K₁s的大规模发育。三角洲前缘河口坝主要为红棕色细砂岩,呈反旋回,厚度可达5 m,发育平行层理;水下分流河道以红棕色中砂岩和细砂岩为主,底部发育冲刷面,向上粒度变细,厚度约为1~7 m,发育槽状和楔状交错层理,多期河道垂向切割和叠置。

3.3 滩坝沉积体系

K₁hp沉积时期广泛发育滩坝沉积,主要为滩砂和坝砂两种相类型。发育完整的滩砂由顶部滩脊和底部滩席构成,砂体厚度一般小于1 m,测井曲线表现为高GR,底部为锯齿化的漏斗形,顶部呈多个指状或尖刀状复合而成的钟形(图5d),代表岩相组合FA8(表1)以薄层粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩互层为特点,发育小型交错层理、波状层理和平行层理(图6d)。发育完整的坝砂,由顶、底部的坝侧翼微相和中部的坝主体微相构成,垂向上呈“下反上正”的复合旋回^[35],下部测井曲线为齿化漏斗形,上部则为钟形,GR值变化幅度较大且频率较快(图5d,图6d),代表岩相组合FA9(表1)以钙质胶结薄层细砂岩、粉砂岩或泥质粉砂岩为主,厚度多小于10 m,分选和磨圆度较好,石英含量较高,成分成熟度高,发育小型浪成交错层理、波状层理、爬升沙纹层理和平行层理等。

塔里齐克沟(图7d,e)及克孜勒努尔沟等野外剖面上均有滩坝沉积出露(图7f,g),以细砂岩或粉砂岩为主,氧化型红棕色和褐色,砂体分选较好,多见爬升沙纹层理、丘状交错层理、小型浪成交错层理、平行层理和楔状交错层理等沉积构造,说明水流冲洗或波浪改造作用频繁。

3.4 冲积扇/扇三角洲沉积体系组合

冲积扇是间歇性河流携带的大量粗碎屑物质在山口堆积、发育的扇状沉积体,扇三角洲是冲积扇推至稳定水体发育的一种三角洲^[29]。限于资料精度,在研究区难以对二者进行区分,因而统称为冲积扇/

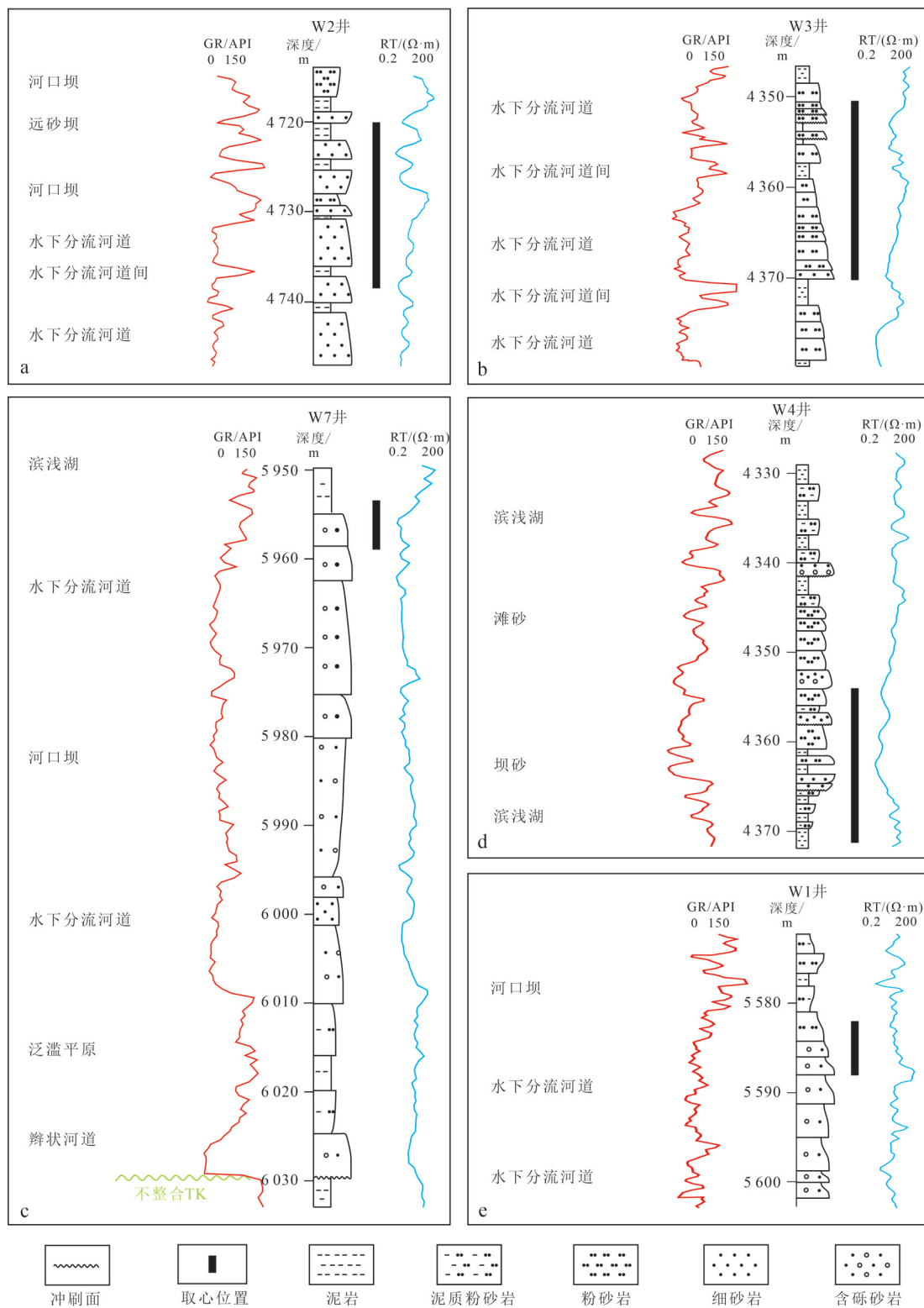


图5 塔北隆起区主要沉积体系测井识别特征(井位置见图1)

Fig. 5 Logging identification of the major sedimentary facies developed in the Tabei Uplift region (see Fig.1 for well locations)

a. 浅水辫状河三角洲沉积典型井, W2井, 取心深度4 720. 12~4 738. 35 m, 取心层位为 K_1bs ; b. 三角洲沉积典型井, W3井, 取心深度4 350. 60~4 370. 40 m, 取心层位为 K_1s ; c. 辫状河三角洲沉积典型井, W7井, 取心深度5 952~5 958. 86 m, 取心层位为 K_1y ; d. 滩坝沉积典型井, W4井, 取心深度4 354. 10~4 371. 20 m, 取心层位为 K_1s ; e. 冲积扇/扇三角洲沉积典型井, W1井, 取心深度5 582. 10~5 588. 00 m, 取心层位为 K_1bs

扇三角洲沉积体系组合(以扇三角洲沉积体系代指)。扇三角洲沉积体系在 K_1bs 沉积时期最为发育, 主要可

识别出扇三角洲前缘相, 代表岩相组合FA10和FA11(表1), 前者为厚层砾岩和含砾砂岩沉积, 砾石混杂



图6 塔北隆起区主要沉积体系岩心识别特征(对应岩心素描见图5)

Fig. 6 Core photos showing the major sedimentary facies developed in the Tabei Uplift region (see Fig. 5 for core sketches)

a. 浅水辫状河三角洲沉积; b. 三角洲沉积; c. 辫状河三角洲沉积; d. 滩坝沉积; e. 冲积扇/扇三角洲沉积

PB. 平行层理; TCB. 槽状交错层理; GB. 递变层理; WCB. 楔状交错层理; SCB. 小型交错层理; CRB. 爬升沙纹层理; T. 顶面; B. 底面

分布,分选和磨圆差,成分和结构成熟度低,底部可见冲刷面,正粒序,GR曲线呈顶底突变的箱形或钟形,垂向上多期叠置,解释为扇三角洲前缘水下分流河道沉积^[36];后者为粉砂岩和泥质粉砂岩,反韵律,电测曲线表现为锯齿化的漏斗形,解释为扇三角洲前缘河口坝沉积。

4 沉积充填演化

4.1 沉积充填序列

研究区沉积充填序列通过选取不同构造部位的重点井进行连井层序-沉积相对比,再赋予地震相以

沉积学意义而得到揭示。以 K_1kp 为例,其地震剖面 $B-B'$ 上可辨识出5种地震相:①强振幅、中频、连续性好的平行反射构型;②中等振幅、中低频、连续性中等的波状反射构型;③弱振幅、中频、连续性差的前积反射构型;④中强振幅、中频、连续性差的前积反射构型;⑤强振幅、中频、连续性差的杂乱反射构型(图8a)。与剖面 $B-B'$ 对应的连井 $C-C'$ 上显示出 K_1kp 由南到北依次发育三角洲前缘、滨浅湖和辫状河三角洲沉积(图8b),其中来自南向物源的三角洲呈“先退积、后进积”,物源来自古隆起的辫状河三角洲仅在斜坡底部层序中发育。平行、波状和前积反射构型等3种地震相依次对应三角洲前缘相、滨浅湖相和辫状河三角洲沉积。

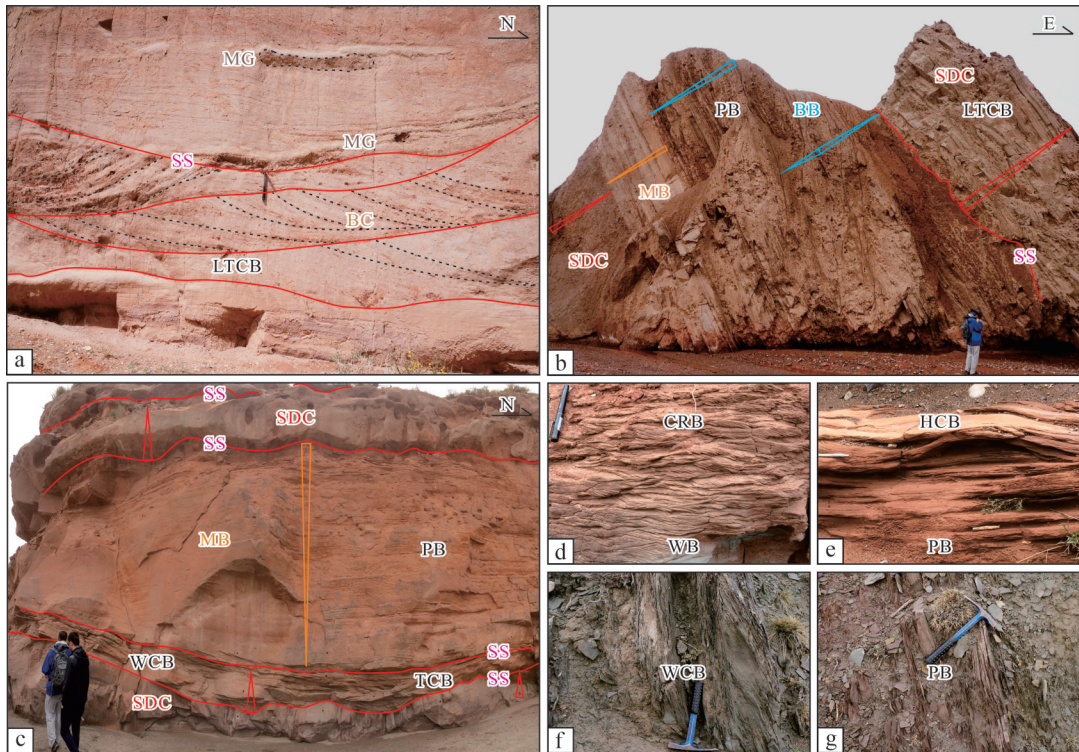


图7 塔北隆起区主要沉积体系露头识别特征(露头位置见图1)

Fig. 7 Outcrop photos showing the major sedimentary facies developed in the Tabei Uplift region (see Fig.1 for outcrop locations)

a. 克孜勒努尔沟浅水辫状河三角洲沉积; b. 卡普沙良河三角洲沉积; c. 克孜勒努尔沟三角洲沉积;
d, e. 克孜勒努尔沟滩坝沉积; f, g. 塔里齐克沟滩坝沉积

MG. 泥砾; SS. 冲刷面; LTCB. 大型槽状交错层理; SDC. 水下分流河道; BB. 滩坝; PB. 平行层理; MB. 河口坝; TCB. 槽状交错层理;
CRB. 爬升沙纹层理; WB. 波状层理; HCB. 丘状交错层理; WCB. 楔状交错层理; BC. 辫状河道

4.2 沉积演化特征

4.2.1 晚三叠世(三级层序 I-SQ3)

研究区在晚三叠世发育了两个古隆起带,东西向呈雁列式分布,南北向则分成两排。古隆起的剥蚀和供源对区内沉积体系的类型和展布有着明显的控制作用^[30]。在隆起南坡,主要发育辫状河三角洲(分为平原相和前缘相)以及滨浅湖相沉积体系,前者向稳定水体推进距离较远。在隆起北坡,主要发育冲积扇/扇三角洲、辫状河三角洲(从平原相向北过渡为前缘相)和湖泊沉积体系(从滨浅湖相向北过渡为半深湖相),其中辫状河三角洲沉积的展布范围窄于南坡(图9a)。

4.2.2 早侏罗世(三级层序 II-SQ1)

早侏罗世,塔北隆起带“一字型”近东西向展布并分割湖盆,对研究区内的主要沉积体系的发育类型和展布范围有着明显的控制作用^[30];南坡主要发育辫状河三角洲平原相、辫状河三角洲前缘相和滨浅湖相^[20],辫状河三角洲南向推进距离很远,展布形态契

合古隆起带的南侧轮廓线。北坡主要发育冲积扇/扇三角洲、辫状河三角洲和湖泊沉积体系(滨、浅湖相),辫状河三角洲沉积北向推进距离有限(图9b)。

4.2.3 白垩系卡普沙良群沉积末期(三级层序 III-SQ4)

塔北隆起主体消亡,仅剩温宿次隆暴露于西南部,但剥蚀供源有限,对沉积作用影响较小^[30]。研究区内主要发育三角洲、辫状河三角洲、冲积扇/扇三角洲沉积组合和滩坝沉积等,其中三角洲沉积占优,物源可能来自东南方^[35]。库车坳陷则以北部造山带物源形成的辫状河三角洲沉积为主。来自温宿次隆的物源在南坡发育小型辫状河三角洲沉积,在北坡则发育冲积扇/扇三角洲沉积。区内其他部位可见滩坝沉积发育(图9c)。

4.2.4 白垩系巴什基齐克组沉积末期(三级层序 IV-SQ3)

温宿次隆范围缩小,但在研究区的西南部依旧暴露和剥蚀^[30]。研究区总体演变为南倾斜坡^[30],对应气候干旱炎热、水体较浅且湖盆宽缓^[32],周边大量物源

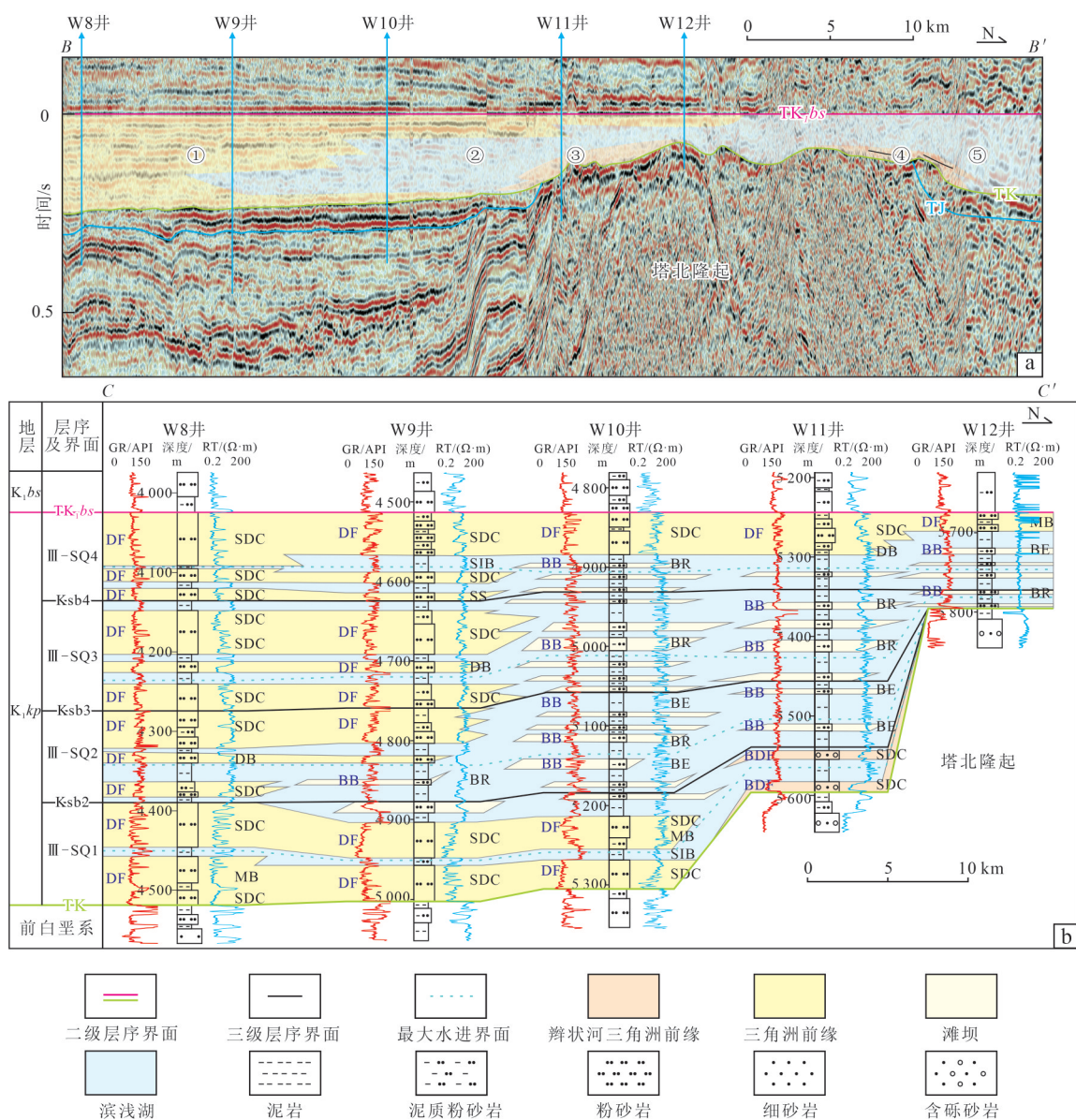


图8 塔北隆起区白垩系卡普沙良群地震相与连井相解释(剖面位置见图1)

Fig. 8 Seismic facies identification and cross-well correlation of depositional facies in the Lower Cretaceous Kapushaliang Group, Tabei Uplift region (see Fig. 1 for the profile location)

a. 地震相解释; b. 连井相解释

- ① 强振幅、中频、连续性好的平行反射构型; ② 中等振幅、中低频、连续性中等的波状反射构型; ③ 弱振幅、中频、连续性差的前积反射构型;
④ 中强振幅、中频、连续性差的前积反射构型; ⑤ 强振幅、中频、连续性差的杂乱反射构型

BB. 滩坝; DF. 三角洲前缘; BDF. 辫状河三角洲前缘; SDC. 水下分流河道; SIB. 水下分流间; MB. 河口坝; DB. 远砂坝; SS. 席状砂; BE. 滩砂;
BR. 坝砂

向盆地中心推进,致使浅水辫状河三角洲(包括辫状河三角洲平原和辫状河三角洲前缘相)在盆内侧向叠置、横向连片发育。另外,该时期研究区还发育了一些小规模冲积扇/扇三角洲沉积,主要分布在研究区的东北角和温宿古隆起的北坡(图9d)。

总体上,晚三叠世,塔北隆起范围较大且是主要物源区^[37],主要发育辫状河三角洲、冲积扇/扇三角洲和湖泊沉积,前者分布在宽缓的南坡,占主导地位^[17];后

者分布在陡窄的北坡^[38-39]。早侏罗世,塔北隆起范围增大且供源增多^[40],地势宽缓的南坡发育更大规模的辫状河三角洲沉积。白垩系卡普沙良群沉积时期,塔北隆起主体逐渐衰亡为水下低隆^[8],主要发育三角洲、滩坝、辫状河三角洲、冲积扇/扇三角洲和湖泊沉积,其中三角洲占优(物源来自东南部大陆蚀源区),打破了三叠纪—侏罗纪主要发育辫状河三角洲的沉积格局。白垩系巴什基奇克组沉积时期,塔北隆起演化为南倾

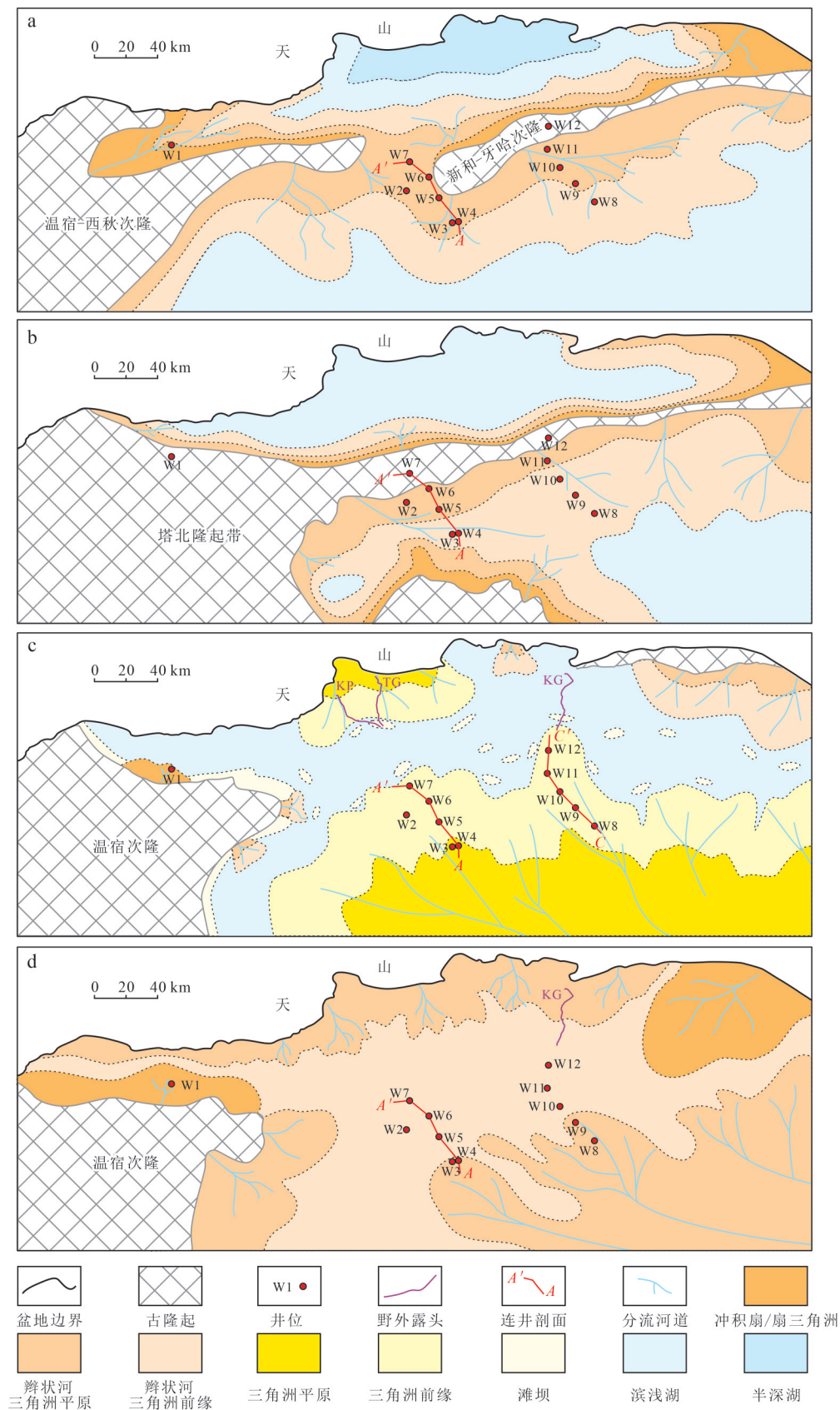


图9 塔北隆起区中生界沉积演化

Fig. 9 Sedimentary fill evolution of the Mesozoic in the Tabei Uplift region

a. I-SQ3(T_3h)沉积末期; b. II-SQ1(J_1j)沉积末期; c. III-SQ4(K_1kp)沉积末期; d. IV-SQ3(K_1bs)沉积末期

KP. 卡普沙良河露头; TG. 塔里齐克沟露头; KG. 克孜勒努尔沟露头

表1 塔北隆起区主要沉积体系岩相组合特征

Table 1 Lithofacies associations of the main sedimentary systems in the Tabei Uplift region

岩相组合	沉积特征	沉积微相	沉积体系
FA1	厚层含砾砂岩, 递变层理、大型槽状交错层理, 多期正旋回叠置, GR曲线呈钟形或箱形(图5c, 图6c)	水下分流河道	辫状河三角洲沉积
FA2	含砾砂岩、细砂岩、粉砂岩, 反粒序, GR曲线呈中幅漏斗形(图5c)	河口坝	辫状河三角洲沉积
FA3	棕红色细砂岩, 平行层理, 多期正旋回叠置, 厚度3~6 m, GR曲线呈钟形或箱形(图5a, 图6a)	水下分流河道	浅水辫状河三角洲沉积
FA4	薄层棕红色细砂岩、粉砂岩, 反粒序, GR曲线呈中幅漏斗形(图5a)	河口坝	浅水辫状河三角洲沉积
FA5	细砂岩、粉砂岩, 槽状交错层理, 多期正旋回叠置, 厚度5~10 m, GR曲线呈齿化箱形(图5b, 图6b)	水下分流河道	三角洲沉积
FA6	细砂岩、粉砂岩, 反粒序, GR曲线呈中幅漏斗形(图6b)	河口坝	三角洲沉积
FA7	粉砂岩、泥岩, 块状构造, GR曲线低平(图6b)	水下分流河道间	三角洲沉积
FA8	薄层粉砂岩、泥质粉砂岩, 小型交错层理、波状层理(图5d, 图6d)	滩砂	滩坝沉积
FA9	细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩, 块状层理、平行层理、小型浪成交错层理、波状层理、砂纹爬升层理, 复合旋回(图5d, 图6d)	坝砂	滩坝沉积
FA10	紫红色厚层砂砾岩, 递变层理, 底部见冲刷面, 多期正旋回叠置, GR曲线呈钟形、箱形(图5e, 图6e)	水下分流河道	扇三角洲沉积
FA11	粉砂岩、泥质粉砂岩, 反粒序, GR曲线呈齿化漏斗形	河口坝	扇三角洲沉积

斜坡(湖盆宽浅), 浅水辫状河三角洲沉积横向叠置、连片发育(物源来自东部大陆蚀源区及北部造山带), 与前人立足整个塔里木盆地开展的研究认识一致^[36]。

研究区中生界的沉积充填演化是对塔北隆起隆升—衰亡过程的直接响应, 换言之, 盆地的沉积充填记录反映了塔北隆起中生代的发育演化特征: 在三叠纪—侏罗纪, 塔北隆起的剥蚀供源和对沉积的控制作用有所加剧; 到早白垩世初期(三级层序Ⅲ—SQ1)塔北隆起剥蚀供源的规模变得非常有限; 到卡普沙良群沉积末期(三级层序Ⅲ—SQ4)塔北隆起主体衰亡为水下低隆, 到巴什基奇克组沉积末期(三级层序Ⅳ—SQ3), 塔北隆起总体已演化为南倾斜坡。

5 结论

1) 塔北隆起区中生界可划分为4个二级层序(I—IV)及11个三级层序, 主要发育辫状河三角洲、曲流河三角洲、滩坝和冲积扇/扇三角洲等沉积体系(组合)。

2) 晚三叠世(三级层序I—SQ3), 物源主要来自塔北隆起, 隆起北陡、南缓, 分别发育冲积扇/扇三角洲、辫状河三角洲沉积。早侏罗世(三级层序Ⅱ—SQ1), 塔北隆起范围扩大、供源增多, 宽缓南坡发育更大规模的辫状河三角洲沉积。白垩系卡普沙良群(三级层序Ⅲ—SQ4)沉积末期, 仅温宿次隆小规模供源, 研究区主要发育大型三角洲沉积(物源来自东南部大陆蚀源区)。白垩系巴什基奇克组(三级层序Ⅳ—SQ3)沉积末期, 研究区演化为宽浅氧化湖盆, 主要发育浅水辫状河三角洲沉积(物源来自东部大陆蚀源区及北部造山带)。

3) 盆地沉积充填记录反映了塔北隆起中生代的发育演化过程。三叠纪和侏罗纪塔北隆起“隆升剥蚀、

供源控沉”作用强烈且呈加剧趋势, 早白垩世初剥蚀供源有限, 后主体衰亡为水下低隆并于早白垩世末演化为南倾、宽缓的斜坡。

致谢: 冯志强教授和刘景彦教授为文稿撰写提供了指导, 两位审稿专家对文稿修改提出了建议, 在此一并致以诚挚的谢意。

参 考 文 献

- [1] 金之钧, 云金表, 周波. 塔里木斜坡带类型、特征及其与油气聚集的关系[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(2): 127-135.
Jin Zhijun, Yun Jinbiao, Zhou Bo. Types and characteristics of slope zones in Tarim Basin and their relationship with oil accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 127-135.
- [2] Lin Changsong, Yang Haijun, Liu Jingyan, et al. Distribution and erosion of the Paleozoic tectonic unconformities in the Tarim Basin, Northwest China: Significance for the evolution of paleo-uplifts and tectonic geography during deformation[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 46: 1-19.
- [3] 陈赅俊, 何登发, 孙方源, 等. 塔北隆起晚奥陶世—中泥盆世古隆起格局演变[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(2): 285-298.
Chen Jiajun, He Dengfa, Sun Fangyuan, et al. Framework evolution of North Tarim Paleo-uplift from the Late Ordovician to Middle Devonian[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(2): 285-298.
- [4] 林畅松, 杨海军, 刘景彦, 等. 塔里木早古生代原盆地古隆起地貌和古地理格局与地层圈闭发育分布[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 189-197.
Lin Changsong, Yang Haijun, Liu Jingyan, et al. Paleohigh geomorphology and paleogeographic framework and their controls on the formation and distribution of stratigraphic traps in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(2): 189-197.
- [5] 何治亮, 高山林, 郑孟林. 中国西北地区沉积盆地发育的区域构造格局与演化[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 227-240.
He Zhiliang, Gao Shanlin, Zheng Menglin. Regional tectonic framework and evolution of superimposed basins in Northwestern

- China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(3): 227-240.
- [6] He Bizhu, Jiao Cunli, Xu Zhiqin, et al. The paleotectonic and paleogeography reconstructions of the Tarim Basin and its adjacent areas (NW China) during the late Early and Middle Paleozoic[J]. *Gondwana Research*, 2016, 30: 191-206.
- [7] 林畅松. 盆地沉积动力学: 研究现状与未来发展趋势[J]. *石油与天然气地质*, 2019, 40(4): 1-16.
- Lin Changsong. Sedimentary dynamics of basin: Status and trend[J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(4): 1-16.
- [8] 邹光辉, 邓卫, 黄少英, 等. 塔里木盆地构造-古地理演化[J]. *地质科学*, 2020, 55(2): 305-321.
- Wu Guanghui, Deng Wei, Huang Shaoying, et al. Tectonic-paleogeographic evolution in the Tarim Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2020, 55(2): 305-321.
- [9] 何碧竹, 许志琴, 焦存礼, 等. 塔里木盆地构造不整合成因及对油气成藏的影响[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1): 253-265.
- He Bizhu, Xu Zhiqin, Jiao Cunli, et al. Tectonic unconformities and their forming: Implication for hydrocarbon accumulations in Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(1): 253-265.
- [10] 吴高奎, 林畅松, 刘永福, 等. 库车-塔北地区中生代关键变革期主要不整合及古隆起地貌特征[J]. *石油与天然气地质*, 2019, 40(4): 763-777.
- Wu Gaokui, Lin Changsong, Liu Yongfu, et al. Characteristics of major unconformities and paleo-geomorphology during the Mesozoic key transformation stages in Kuqa-Tabei area[J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(4): 763-777.
- [11] 肖建新, 林畅松, 刘景彦. 塔里木盆地北部库车坳陷白垩系沉积古地理[J]. *现代地质*, 2005, 19(2): 253-260.
- Xiao Jianxin, Lin Changsong, Liu Jingyan. Depositional palaeogeography of Cretaceous of Kuqa Depression in Northern Tarim Basin[J]. *Geoscience*, 2005, 19(2): 253-260.
- [12] 时晓章, 王建新, 金振奎, 等. 塔北地区三叠系层序特征及油气勘探意义[J]. *新疆石油地质*, 2010, 31(5): 477-481.
- Shi Xiaozhang, Wang Jianxin, Jin Zhenkui, et al. The sequence characteristic of Triassic and its significance in petroleum exploration in Tabei area, Tarim Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2010, 31(5): 477-481.
- [13] 王改云, 王英民, 张雷, 等. 沙雅隆起白垩系卡普沙良群层序地层与沉积模式[J]. *山东科技大学学报*, 2011, 30(5): 59-65.
- Wang Gaiyun, Wang Yingmin, Zhang Lei, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary model of Kapushanliang Group of Cretaceous in Shaya Uplift, Tarim Basin[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology*, 2011, 30(5): 59-65.
- [14] 刘永福, 夏辉, 孙琦, 等. 塔里木盆地塔北隆起西部巴什基奇克组层序地层及沉积演化[J]. *天然气地球科学*, 2019, 30(1): 62-73.
- Liu Yongfu, Xia Hui, Sun qi, et al. Sequence stratigraphy and depositional evolution of the Bashijiqike Formation in the Western Tabei Uplift, Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2019, 30(1): 62-73.
- [15] 夏辉, 林畅松, 刘永福, 等. 塔里木盆地英买力地区白垩系舒善河组相对湖平面变化[J]. *天然气地球科学*, 2019, 30(11): 1579-1589.
- Xia Hui, Lin Changsong, Liu Yongfu, et al. A research on relative lacustrine level changes of Cretaceous Shushanhe Formation in the Yingmaili area of Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2019, 30(11): 1579-1589.
- [16] 钟大康, 王招明, 张丽娟, 等. 塔里木盆地塔北地区侏罗系沉积特征及演化[J]. *古地理论*, 2010, 12(1): 42-48.
- Zhong Dakang, Wang Zhaoming, Zhang Lijuan, et al. Sedimentary characteristics and evolution of the Jurassic in Northern Tarim Basin[J]. *Journal of Paleogeography*, 2010, 12(1): 42-48.
- [17] 时晓章, 任来义, 曲凤杰, 等. 塔北地区三叠系沉积特征及油气勘探意义[J]. *世界地质*, 2012, 31(4): 712-720.
- Shi Xiaozhang, Ren Laiyi, Qu Fengjie, et al. Depositional characteristics of Triassic in Northern Tarim Basin and its significance for petroleum exploration [J]. *Global Geology*, 2012, 31(4): 712-720.
- [18] 徐桂芬, 林畅松, 刘永福, 等. 塔北西部早白垩世卡普沙良群沉积期古隆起演化及其对沉积的控制作用[J]. *地球科学*, 2016, 41(4): 619-632.
- Xu Guifen, Lin Changsong, Liu Yongfu, et al. Evolution of palaeo-uplift and its controlling on sedimentation of Kapushanliang Group of early Cretaceous in Western Tabei Uplift [J]. *Earth Science*, 2016, 41(4): 619-632.
- [19] 李维锋, 王成善, 高振中, 等. 塔里木盆地库车坳陷中生代沉积演化[J]. *沉积学报*, 2000, 18(4): 534-538.
- Li Weifeng, Wang Chengshan, Gao Zhenzhong, et al. Sedimentary Evolution of Mesozoic Era in Kuche Depression Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentology Sinica*, 2000, 18(4): 534-538.
- [20] 余海波, 漆家福, 杨宪章, 等. 塔里木盆地库车坳陷中生界构造古地理分析[J]. *高校地质学报*, 2016, 22(4): 657-669.
- Yu Haibo, Qi Jiafu, Yang Xianzhang, et al. The Mesozoic tectonic palaeogeographic analysis in Kuqa Depression of Tarim Basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2016, 22(4): 657-669.
- [21] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 1-438.
- Jia Chengzao. Tectonic characteristics and petroleum in Tarim Basin of China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-438.
- [22] 李曰俊, 杨海军, 张光亚, 等. 重新划分塔里木盆地塔北隆起的次级构造单元[J]. *岩石学报*, 2012, 28(8): 2466-2478.
- Li Yuejun, Yang Haijun, Zhang Guangya, et al. Redivision of the tectonic units of Tabei Rise in Tarim Basin, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(8): 2466-2478.
- [23] 何文渊, 李江海, 钱祥麟, 等. 塔里木盆地北部隆起负反转构造成因机制探讨[J]. *地质科学*, 2001, 36(2): 234-240.
- He Wenyuan, Li Jianghai, Qian Xianglin, et al. Mechanism of negative inversion-structuring in North Tarim Uplift [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2001, 36(2): 234-240.
- [24] 刘永福, 赵建华, 范秋海, 等. 塔北隆起中部白垩系卡普沙良群层序地层格架及沉积体系研究[J]. *沉积学报*, 2014, 32

- (6): 1113-1122.
- Liu Yongfu, Zhao Jianhua, Fan Qiuhai, et al. Study on the sequence stratigraphy and depositional systems of the Kapushaliang Group of Cretaceous in the Central Tabei Uplift[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(6): 1113-1122.
- [25] 赵海涛, 孙琦, 李文浩, 等. 塔北隆起英买力地区白垩系油气成藏规律-以英买46井区为例[J]. *中国矿业大学学报*, 2022, 51(1): 101-111.
- Zhao Haitao, Sun Qi, Li Wenhao, et al. Cretaceous hydrocarbon accumulation rules of the Yingmaili area in the Tabei Uplift: A case study of the Yingmai 46 well block[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2022, 51(1): 101-111.
- [26] 王珂, 张荣虎, 王俊鹏, 等. 超深层致密砂岩储层构造裂缝分布特征及其成因——以塔里木盆地库车前陆冲断带克深气田为例[J]. *石油与天然气地质*, 2021, 42(2): 338-353.
- Wang Ke, Zhang Ronghu, Wang Junpeng, et al. Distribution and origin of tectonic fractures in ultra-deep tight sandstone reservoirs: A case study of Keshen gas field, Kuqa foreland thrust belt, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(2): 338-353.
- [27] 冯建伟, 孙建芳, 张亚军, 等. 塔里木盆地库车坳陷断层相关褶皱对裂缝发育的控制[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(3): 543-557.
- Feng Jianwei, Sun Jianfang, Zhang Yajun, et al. Control of fault-related folds on fracture development in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(3): 543-557.
- [28] 易士威, 李明鹏, 范士芝, 等. 塔里木盆地库车坳陷克拉苏和东秋断上层上盘勘探突破方向[J]. *石油与天然气地质*, 2021, 42(2): 309-324.
- Yi Shiwei, Li Mingpeng, Fan Tuzhi, et al. Exploration directions on the Kelasu and East Qiulitag fault hanging walls, Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(2): 309-324.
- [29] 林畅松. 沉积盆地的构造地层分析-以中国构造活动盆地研究为例[J]. *现代地质*, 2006, 20(2): 185-194.
- Lin Changsong. Tectono-stratigraphic analysis of sedimentary basins: A case study on the inland tectonically active basins in China[J]. *Geoscience*, 2006, 20(2): 185-194.
- [30] Wu Gaokui, Lin Changsong, Yang Haijun, et al. Major unconformities in the Mesozoic sedimentary sequences in the Kuqa-Tabei region, Tarim Basin, NW China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2019, 183, 103957.
- [31] 林畅松. 沉积盆地分析原理与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2016: 1-445.
- Lin Changsong. Principles and application of sedimentary basin analysis[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016: 1-445.
- [32] 林畅松, 王清华, 肖建新, 等. 库车坳陷白垩纪沉积层序构成及充填响应模式[J]. *中国科学D辑*, 2004, 34(S1): 74-82.
- Lin Changsong, Wang Qinghua, Xiao Jianxin, et al. Depositional sequence architecture and filling response model of the Cretaceous in the Kuqa Depression, the Tarim Basin[J]. *Science China (Series D)*, 2004, 34 (S1): 74-82.
- [33] Dong Wei, Lin Changsong, Kenneth A. Eriksson, et al. Depositional systems and sequence architecture of the Oligocene Dongying Formation, Liaozhong Depression, Bohai Bay Basin, North-East China[J]. *AAPG Bulletin*, 2011, 95(9): 1475-1493.
- [34] Zhang Zhiyuan, Lin Changsong, Liu Yongfu, et al. Lacustrine to fluvial depositional systems: the depositional evolution of an intra-continental depression and controlling factors, Lower Cretaceous, Northern Tarim Basin, Northwest China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2021, 126, 104904.
- [35] 夏辉, 林畅松, 刘永福, 等. 辫状河三角洲与曲流河三角洲沉积特征分析-以塔北隆起西部卡普沙良群为例[J]. *东北石油大学学报*, 2018, 42(3): 65-74.
- Xia Hui, Lin Changsong, Liu Yongfu, et al. Sedimentary feature analysis of braided river deltas and meandering river deltas: A case study of Kapushaliang Group in Western Tabei Uplift[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2018, 42(3): 65-74.
- [36] 贾进华. 塔里木盆地早白垩世沉积相特征与古地[J]. *古地理学报*, 2009, 11(2): 167-176.
- Jia Jinhua. Sedimentary characteristics and palaeogeography of the Early Cretaceous in Tarim Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11(2): 167-176.
- [37] 郑孟林, 王毅, 金之钧, 等. 塔里木盆地叠合演化与油气聚集[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(6): 925-934.
- Zheng Menglin, Wang Yi, Jin Zhijun, et al. Superimposition, evolution and petroleum accumulation of Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(6): 925-934.
- [38] 刘海兴, 秦天西, 杨志勇. 塔里木盆地三叠-侏罗系沉积相[J]. *沉积与特提斯地质*, 2003, 23(1): 37-44.
- Liu Haixing, Qin Tianxi, Yang Zhiyong. Sedimentary facies of the Triassic-Jurassic strata in the Tarim Basin, Xinjiang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2003, 23(1): 37-44.
- [39] 刘亚雷, 胡秀芳, 王道轩, 等. 塔里木盆地三叠纪岩相古地理特征[J]. *断块油气田*, 2012, 19(6): 696-700.
- Liu Yalei, Hu Xiufang, Wang Daoxuan, et al. Characteristics of Triassic lithofacies palaeogeography in Tarim Basin[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2012, 19(6): 696-700.
- [40] 张希明. 塔里木盆地中新世沉积演化特征[J]. *新疆地质*, 2001, 19(4): 246-250.
- Zhang Ximing. Evolution of the Mesozoic-Cenozoic deposits in the Tarim Basin[J]. *Xinjiang Geology*, 2001, 19(4): 246-250.

(编辑 卢雪梅)