

doi:10.3799/dqkx.2016.051

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

徐桂芬¹, 林畅松^{1,2}, 刘永福³, 孙琦³

1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083

2. 中国地质大学海洋学院, 北京 100083

3. 中石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000

摘要: 古隆起是含油气盆地重要的构造单元, 研究古隆起的分布及演化, 并阐明其对沉积的控制作用, 对于油气勘探具有重要的研究意义。通过岩心、测井资料、地震资料和野外露头的综合研究, 建立了塔北西部层序地层格架, 卡普沙良群内部划分为 4 个三级层序, 在此基础上再造了卡普沙良群各层序发育时期古隆起的分布及其演化, SQ1 沉积时期古隆起呈近东西向展布, 横跨整个工区, 由中部向东、西两侧加宽, 隆起剥蚀面积为 1946 km², SQ2 时期隆起范围缩小, 中部隆起被淹没, 东部残余 2 个小的剥蚀区, 西部剥蚀区范围较大, 总面积约为 1365 km², SQ3 时期隆起范围进一步缩小, 东部整体被淹没, 西北部残余古隆起面积为 899 km², 至 SQ4 时期古隆起消失。立足于岩心观察, 结合岩矿组合、测井等资料, 识别出辫状河三角洲、氧化型浅水三角洲、滨浅湖滩坝和滨浅湖 4 种主要的沉积体系类型。最终充分运用地震、测井、岩心及分析化验等资料, 采用盆地分析的思想, 综合研究了构造、古隆起、沉积古地理等要素, 揭示了古隆起及源—汇体系的配置关系, 研究区发育自古隆起向南北两侧供源及南部远源供源两套物源体系, 北部临近隆起剥蚀区的两侧发育短物源形成的辫状河三角洲沉积, 随着隆起面积的减小, 辩状河三角洲分布范围逐渐减小, 而南部长轴物源形成氧化型浅水三角洲沉积体系, 呈现出 SE 向 NW 向逐步进积的趋势, 范围逐步扩大。古隆起的发育除为区域提供物源外, 还有利于岩性圈闭和地层圈闭的发育, 南部的滨浅湖滩坝砂体也具有作为岩性圈闭的良好潜力。

关键词: 古隆起; 沉积体系; 源汇系统; 层序地层; 卡普沙良群; 塔里木盆地; 沉积学。

中图分类号: P622.6; P631.4

文章编号: 1000-2383(2016)04-0619-14

收稿日期: 2015-08-09

Evolution of Palaeo-Uplift and Its Controlling on Sedimentation of Kapushaliang Group of Early Cretaceous in Western Tabei Uplift

Xu Guifen¹, Lin Changsong^{1,2}, Liu Yongfu³, Sun Qi³

1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, Tarim Oil Field Company, PetroChina, Korla 841000, China

Abstract: Palaeo-uplift is an important tectonic unit in the petroleum basin. The Research of palaeo-uplift distribution, its evolution and statement its influence on the development of sediment have important study significance for oil and gas exploration. Based on the comprehensive research of core, logging data, seismic data and outcrop, the sequence stratigraphy framework of Kapushaliang Group was established, which was divided into four third-order sequences internally. Then the palaeo-uplift distribution and its evolution in each sequence developmental stages of Kapushaliang Group were reconstructed. In SQ1 period, palaeo-uplift was EW trending, across the entire work area, widening from the middle to east and west, with an erosion area of 1946 km². In SQ2 period, the palaeo-uplift area was decreased and submerged in the central uplift, 2 small eroded areas remained in the east and bigger eroded area in the west, with a total area of approximately 1365 km². In SQ3 period, the palaeo-

基金项目: 国家自然科学基金项目(No.40372056, 41130422); 国家科技重大专项项目(No.2011ZX05001-002)。

作者简介: 徐桂芬(1979—), 女, 博士研究生, 主要从事沉积学与盆地分析研究。E-mail: guifen1106@163.com

引用格式: 徐桂芬, 林畅松, 刘永福, 等. 2016. 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. 地球科学, 41(4): 619—632.

uplift area was further decreased, the east was submerged overall and the northwest residual palaeo-uplift was 899 km², and the palaeo-uplift disappeared to SQ4. According to the core observation, combined with rock combination and logging data, four kinds of sedimentary system types are identified: the braided river delta, oxidized shallow delta, beach-and-bar facies and shore-shallow lake. Finally the configuration relationship between palaeo-uplift and source-to-sink system is revealed, based on seismic data, logging, core and other analysis data, using the idea of basin analysis, and studying the factors of structure, palaeo-uplift, facies comprehensively. It is found that there are two source systems developed in the research area: the source from the palaeo-uplift to the north and south sides and source from distant southern source. The northern side near the erosion uplift area developed short provenance, which formed braided river delta deposition. With the decrease of erosion area, the braided river delta distribution decreases, while the long axis provenance in the south formed the oxidized delta sedimentary system, with a trend gradually from northeast to northwest direction, and the scope expanded. In addition to supply sediment, the development of palaeo-uplift also conducive to the development of lithological and stratigraphic traps, and the sand beach-and-bar of shore-shallow lake in the south also had good potential as a lithological trap.

Key words: palaeo-uplift; sedimentary system; source-to-sink system; sequence stratigraphy; Kapushaliang Group; Tarim basin; sedimentology.

0 引言

古隆起是指盆地形成演化过程中某一地质历史阶段的隆起构造,是沉积盆地重要构造单元,也是油气勘探的重要领域(翟光明和何文渊,2004).沉积盆地内部的古隆起及其对沉积相的控制作用研究,是当前国内外沉积地质和含油气盆地分析的一个十分活跃的热点领域.利用高分辨率的地震资料、层序地层学和沉积学,即“地震地貌学”的理论和方法,在古地貌恢复的基础上,研究其对沉积体系的控制作用,已成为近期相关国际学术会议讨论的热点问题和新的分支学科生长点(Zeng *et al.*, 2001; Carter, 2003; Posamentier and Kolla, 2003; Sawyer *et al.*, 2007).

塔北隆起是塔里木盆地油气最富集的一级构造单元之一,在油气勘探开发中有着无可替代的地位(张光亚等,1994;周凤英等,2001;孙龙德等,2002;孙龙德和李曰俊,2004;安海亭等,2009).前人对塔北隆起的形成、演化、成因机制、对油气成藏的控制取得了大量的成果认识(汤良杰,1997;何登发等,2008;程海艳等,2009;邬光辉等,2009).塔北隆起前期勘探主要以前中生界碳酸盐岩为主要目标,随着羊塔克、英买力、牙哈、提尔根、雅克拉等一系列白垩系—古近系油气田(藏)的发现,预示着白垩系具有良好的勘探前景.前人针对白垩系在库车坳陷进行了较为深入的研究,主要涉及沉积(靳卫广和梅冥相,2005)、构造(苗继军等,2005;沈军等,2006)、储层(贾进华等,2001;张丽娟等,2006;季丽丹等,2009)、成藏(贾承造等,2002;施立志等,2006)等方面,而针对塔北隆起白垩系的研究较少,仅对局部油区亚格列木组沉积、储层(赵敖山等,1999;王英民

等,2011;苏娟等,2014)做过少量的研究.目前针对白垩时期塔北隆起演化及与沉积体系的空间展布和配置关系的精细研究尚没有报道,亟待展开深入的工作.

本文利用高分辨率地震剖面、钻井及露头资料,建立塔北西部卡普沙良群的层序地层格架,在此基础上,运用古地质图和拉平古隆起上覆沉积层的古沉积水平面的方法,恢复了卡普沙良群沉积前的古地貌,进行了地貌单元的划分,并运用层序对比的方法,对不同层序发育时期的古隆起的形态、分布进行了厘定,揭示古隆起的演化;最终结合岩心、地震属性、重矿物等资料,探讨了古隆起演化及其对沉积相发育和分布的控制作用,并指出了岩性地层圈闭发育的有利区带,对研究区下一步的油气勘探工作具有一定的指导性意义.

1 区域地质背景

塔北隆起是塔里木盆地的一级构造单元,从盆地隆—坳格局的角度讲,它是一个“残余古隆起”或“改造古隆起”(何登发等,2008),又称之为“深埋古隆起”(李曰俊等,2012).塔北隆起呈东西向展布,受轮台、轮北、亚肯 3 条 NNE 向和 EW 向逆冲断层的影响,轴脊沿新和一轮台一线展布,而东西向走滑调节断层使南部呈现凹、凸相间的格局.隆起西部以喀拉玉尔滚断裂、柯吐尔断裂与阿瓦提凹陷相隔,东与库鲁克塔格断隆相连,北靠库车坳陷,南邻满加尔坳陷(图 1),是一个古生代—中生代的大型叠合古隆起.自加里东期开始隆起初具雏形,海西期由于塔里木板块南北两侧昆仑山、天山挤压隆升,形成了一系

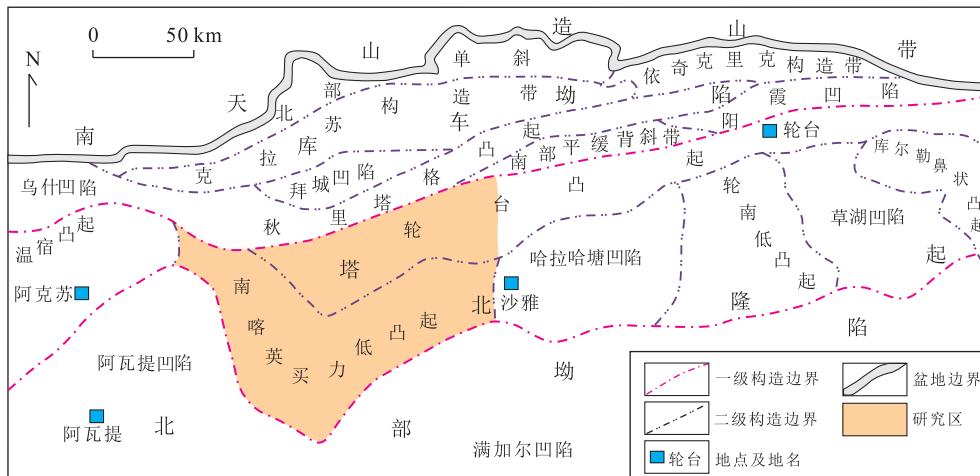


图1 塔北隆起构造单元划分及工区位置

Fig.1 Location of study area and division of structural units in Tabei uplift

列逆冲断层,塔北隆起发展到鼎盛时期,轮台断隆强烈发育,成为塔北隆起带隆升最高、剥蚀最强的构造带,古生代地层发生不同程度的剥蚀,东部剥蚀严重,在海西晚期,塔北隆起基本定型,受印支运动影响,三叠纪末期,再次发生较强的上隆和剥蚀;燕山—喜山早期,隆起趋于稳定,并渐北倾(李国会等,2007;何登发等,2008;安海亭等,2009),侏罗系—白垩系沉积超覆在隆起之上,起着“填平补齐”的作用,塔北隆起逐渐衰亡,白垩系就是在这样的构造背景下沉积而成。

研究区内白垩系总体呈平行不整合、角度不整合覆盖于下伏前白垩系之上,主要发育下白垩统,上白垩统被剥蚀。下白垩统自下而上可分为亚格列木组、舒善河组、巴西盖组和巴什基奇克组,其中亚格列木组、舒善河组和巴西盖组统称为卡普沙良群。亚格列木组岩石类型以灰绿色、棕红色砂砾岩以及中细砂岩为主,暗色矿物含量高。舒善河组主要以大套棕红色泥岩为主夹粉砂岩,砂岩成分成熟度较低,石英含量约为41%,长石、岩屑平均含量分别为13%和46%,岩石类型主要为岩屑砂岩。巴西盖组以棕红色、棕褐色厚层细砂岩和厚层泥岩互层为特征。整体讲,卡普沙良群以氧化色调为主,不含暗色泥岩,表明塔北地区当时处于干旱一半干旱的古气候环境。

2 层序划分与分布

2.1 层序划分及界面特征

对白垩系的层序划分前人已提出过很多方案。笔者通过野外露头、地震资料、测井及岩心资料的分

析,认为卡普沙良群的充填序列反映了一个区域性从水进到水退的二级层序旋回(图2)。白垩系底界面为区域性的不整合面,研究区南部呈平行不整合上覆于下侏罗统阳霞组之上,向北至隆起的高部位与下伏的古生界、前震旦系呈高角度不整合接触,自西向东地层逐渐变老,隆起北侧平行不整合于下伏三叠系之上(图3和图5)。在库车河露头剖面中白垩系亚格列木组砂砾岩上覆在侏罗系喀拉扎组泥岩、粉砂岩之上,岩性发生突变,界面凹凸不平。卡普沙良群顶界面为区域性的平行不整合面,在地震剖面上主要表现为地震轴反射能量的变化,界面之上反射能量弱,界面之下反射能量强;在野外露头和岩心资料上,巴什基奇组底界面是一个明显的冲刷不整合面,界面之上为大套厚层细砂岩、含砾细砂岩,界面之下为厚层砂岩与厚层泥岩互层,沉积环境发生突变,测井曲线上界面上下电性特征也发生突变。

三级层序是以不整合及与之对应的整合面为界所限定的一套地层单元。卡普沙良群内部识别出了4个三级层序,自下而上依次为SQ1、SQ2、SQ3和SQ4(图2)。区内三级层序界面存在2种基本形式:①在亚格列木组、巴西盖组中的三级层序界面均为局部不整合或下切冲刷面及其对应的整合面,在界面上一般发育下切谷或明显冲刷的、底部滞留的河道砂砾岩充填,层序具有向上变细或向上变粗的旋回特征(图6),在地震剖面上巴西盖组底部即SQ4底界面之上可见明显的上超;②在舒善河组中三级层序界面主要以从滨湖或小型三角洲沉积向浅湖过渡的沉积转换面为界(图6),地震剖面上界线不明显。

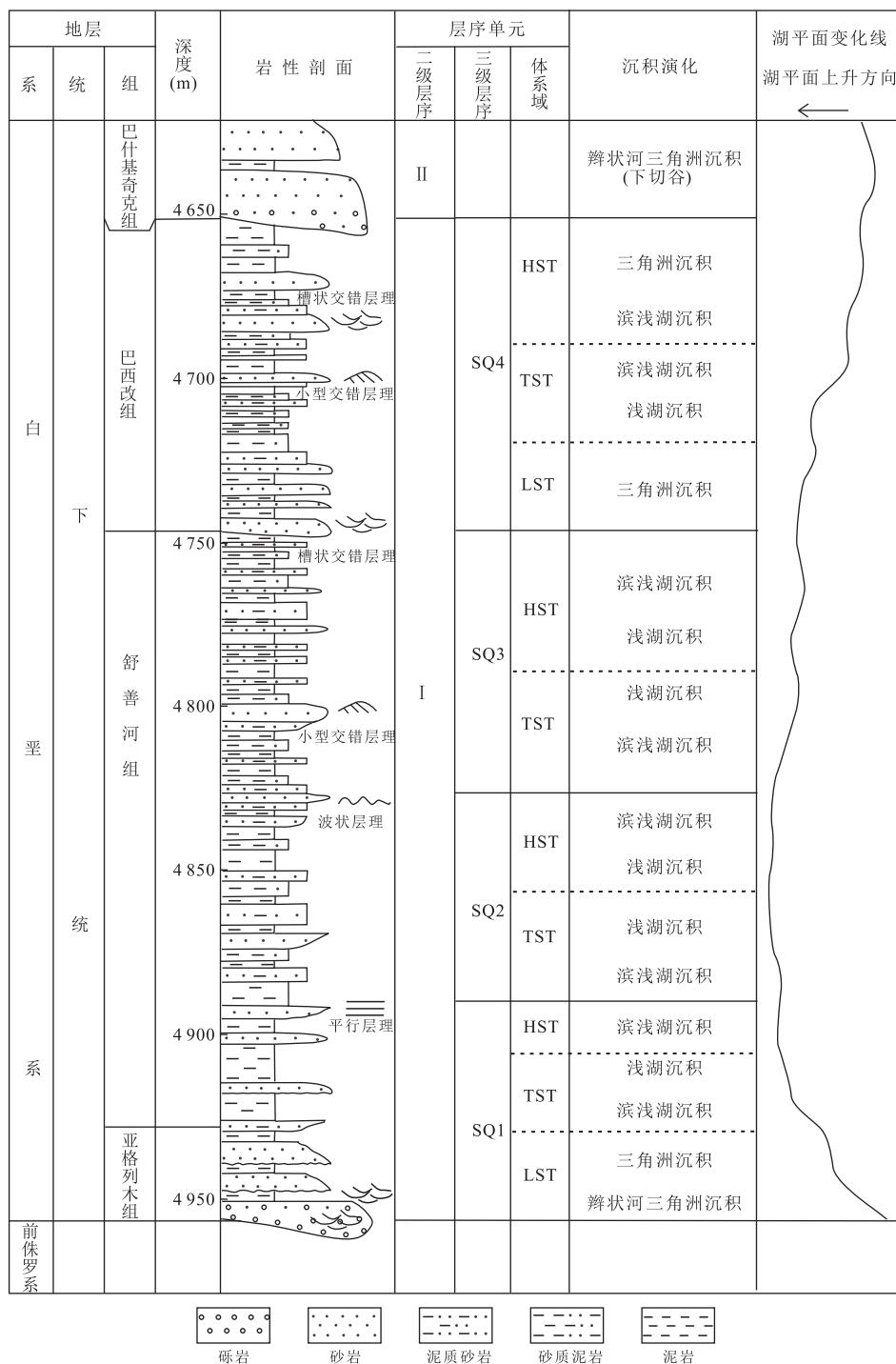


图 2 塔北隆起卡普沙良群充填序列和层序单元

Fig.2 The sequence unit and filling section of the Kapushaliang Group in Tabei uplift

2.2 层序分布

笔者在井—震结合建立层序格架的基础上,对每个三级层序界面进行了平面的追踪,确定了每个三级层序的分布范围。从图 3a 上看,工区南部发育 4 个三级层序,自南向北,层序逐步上超于隆起之上,受走滑断层的影响,斜坡较陡,层序迅速尖灭消失,

隆起高部位仅发育 2 个三级层序;隆起北部低部位发育 4 个层序,自北向南各层序逐步上超尖灭。笔者在确定各层序平面分布的基础上,选择合适的时深关系,并结合钻井的地层厚度,编制了各层序的厚度分布图(图 4)。

SQ1 沉积期,隆起处于剥蚀状态,南、北两侧地

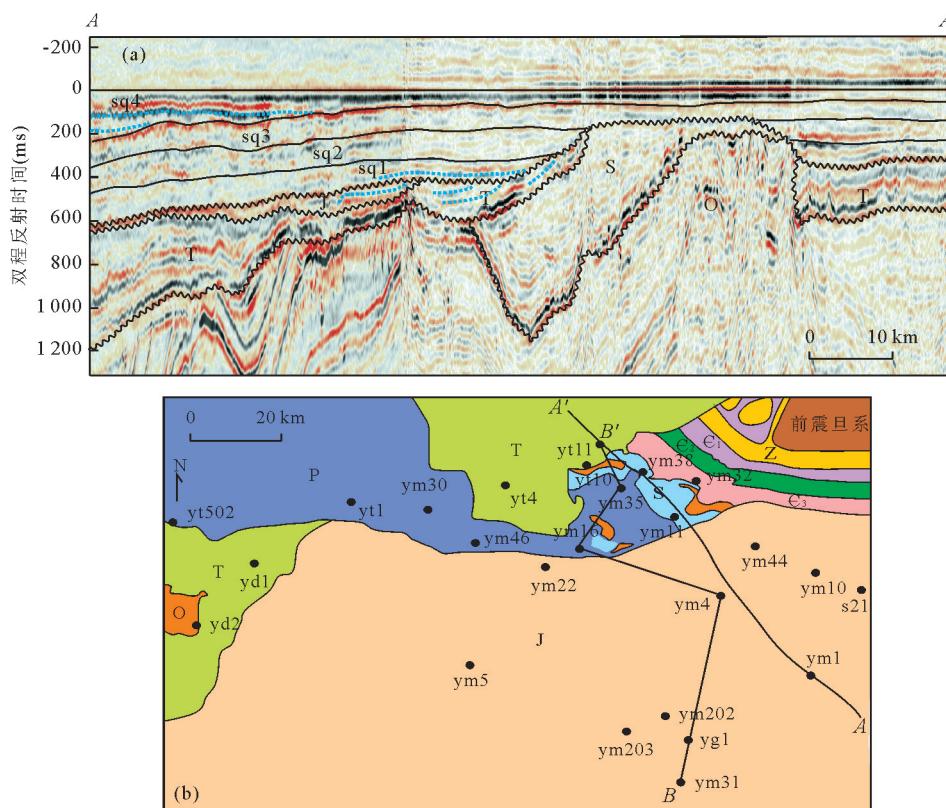


图3 塔北隆起卡普沙良群古地质图和地质剖面解释

Fig.3 The ancient geological sketch and the interpretation of geological profile for Kapushaliang Group in Tabei uplift

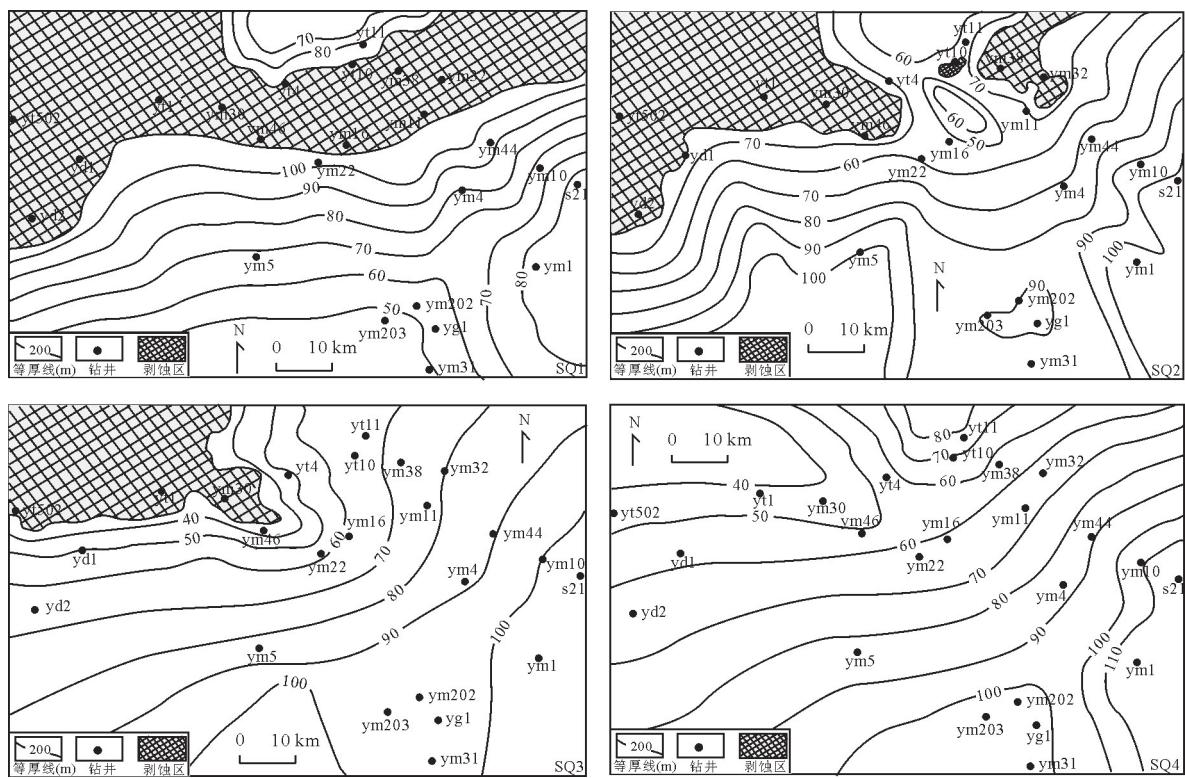


图4 塔北隆起卡普沙良群层序厚度等值线

Fig.4 Isopach sketch of sequence thickness of Kapushaliang Group in Tabei uplift

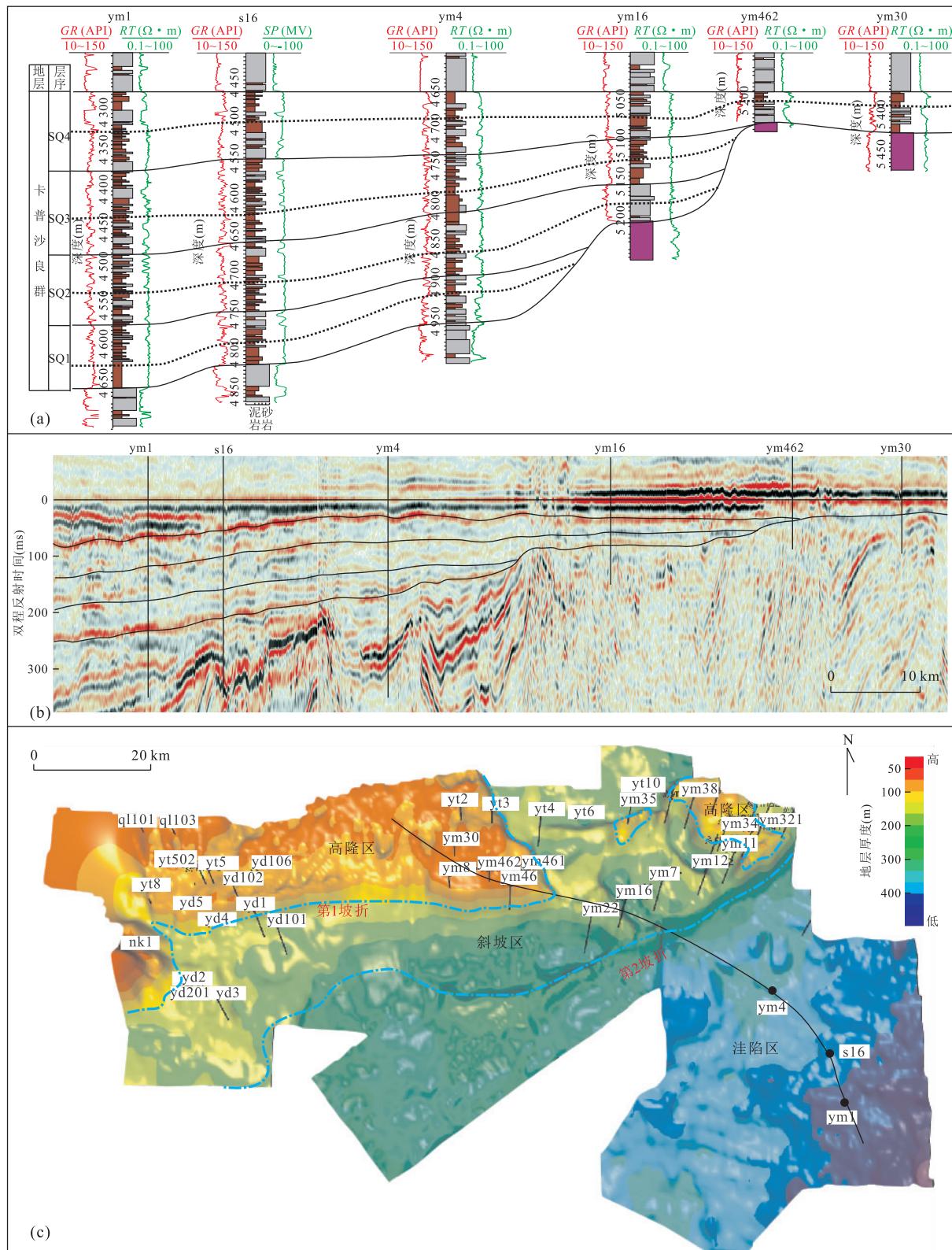


图 5 塔北隆起卡普沙良群连井层序对比和卡普沙良群沉积前古地貌图

Fig.5 Sequence stratigraphy comparison and geomorphological sketch during the Kaqushaliang Group

层分别上超于隆起之上, 平面上有 3 个沉积、沉降中心, 分别位于隆起的南北两侧和 ym1 井一带, 隆起

南部地层较北部地层厚, 在 100 m 以上, 南部 ym2 井区受近南北向深埋古隆起的影响, 地层厚度最薄,

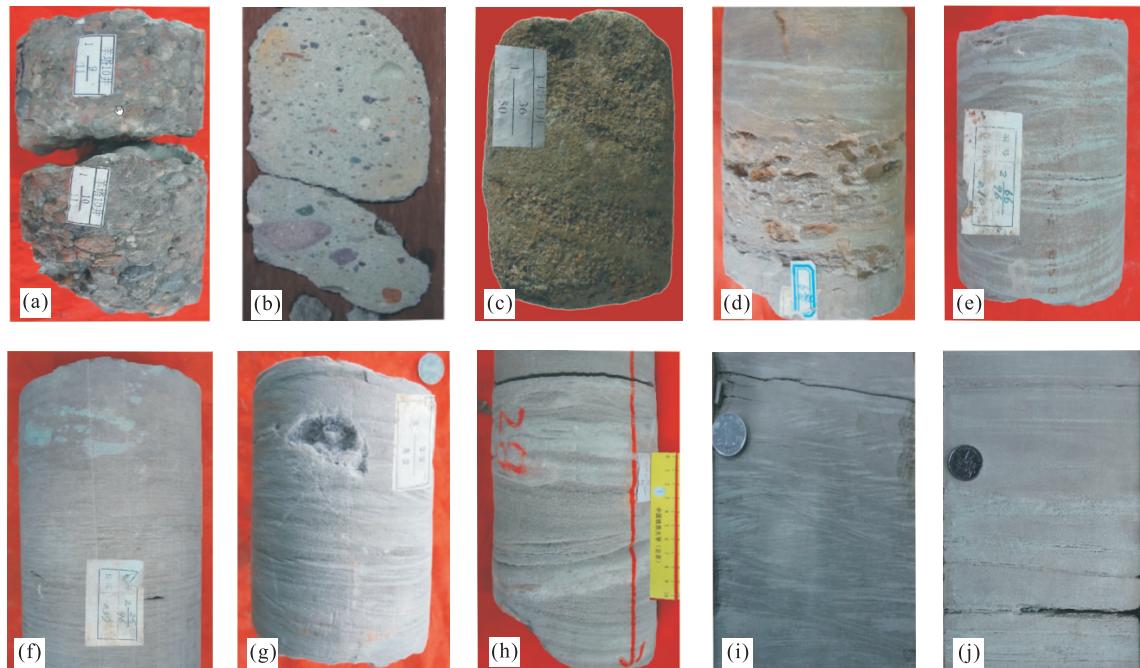


图6 卡普沙良群典型沉积构造类型

Fig.6 Typical sedimentary structure types of Kapushaliang Group

a.杂色砾岩,块状构造,辫状河道,yt10井,5 774.0 m;b.含砾细砂岩,递变层理,辫状河三角洲前缘水下分流河道,yt10井,5 773.0 m;c.砂砾岩,高角度交错层理,辫状河三角洲前缘水下分流河道,yt11井,5 955.6 m;d.细砂岩,定向排列椭圆形泥砾,分流河道,ym31井,4 226.0 m;e.粉砂岩夹泥岩,脉状层理,水下天然堤,ym101井,4 362 m;f.粉砂岩,顶部生物扰动构造,水下分流河道,ym101井,4 356.8 m;g.粉砂岩,板状交错构造,水下分流河道,ym101井,4 355.5 m;h.细砂岩,槽状层理,水下分流河道,ym463井,5 098.0 m;i.粉砂岩,小型交错层理,砂质坝,ym1井,4 367.0 m;j.平行层理、低角度斜层理,砂质坝,ym1井,4 359.0 m;图a~f比例尺同图g中硬币参照物

不足50 m,地层厚度等值线的延伸趋势与隆起的走向一致,近东西向展布.SQ2沉积期,南、北两侧地层在局部连通,沉积、沉降中心迁移至研究区南部,地层最大厚度在100 m以上,有ym5和ym1两个沉积中心;靠近隆起的周围,地层厚度略有增大,但沉积厚度远小于南部.总体来讲,隆起周围等值线延伸方向仍与隆起走向一致,说明隆起对整个地层的展布有明显的控制作用.SQ3沉积期,隆起剥蚀区范围进一步缩小,基本继承了SQ2时期的沉积格局,沉积中心仍位于研究区的南部,地层厚度由SE方向往NW方向逐渐减薄.SQ4沉积期,整体被水淹没接受沉积,沉积中心仍位于ym1井区,最大厚度在110 m以上,此外有ym3和yt11两个次沉积中心, yt1井附近地层最薄,仅40 m左右.

3 古隆起的分布与演化

3.1 古隆起的恢复方法

古地貌的研究起步于20世纪50年代,自20世纪70年代我国学者开始重视古地貌研究(邓宏文

等,2001).认识古地貌有助于认识古地理,并揭示物源与沉积体系的配置关系,是石油地质研究中非常重要的一项研究内容.近年来,关于古地貌恢复的研究在国际上受到越来越多的关注.然而,如何进行古地貌的恢复目前仍然是有待探索的课题.目前古地貌恢复的研究大多停留在定性阶段,由构造恢复和地层恢复两部分组成,前者难度很大,后者包括剥蚀量恢复和去压实校正.目前恢复古地貌的方法主要有沉积学分析法、残余厚度法、印模法、层序地层法、地球物理法等(苗钱友等,2014).本次研究综合运用地震、测井、录井等资料,采用古地质图分析法、拉平近似古水平面的方法对卡普沙良群沉积前古隆起进行了恢复和地貌单元的划分,并在此基础上运用层序对比的方法,揭示了各层序发育时期古隆起的分布及演化.

3.2 古隆起地貌单元的划分

盆内重要构造不整合面的接触关系在不同的构造单元或构造带上常发生显著的变化,可以从高角度不整合接触过渡为微角度不整合、平行不整合或整合接触关系,反映了从盆地的构造隆升区向斜坡

和坳陷区过渡的变化。从图 3 看,在研究区的中部下白垩统与志留系、奥陶系、寒武系等古生代、早古生代地层呈高角度不整合接触,在南、北两侧分别与侏罗系和三叠系呈平行不整合接触关系,反映了由中部隆起区向南、北坳陷区的过渡。

笔者在初步了解构造格局的基础上,采用了拉平古水平面的方法,进行了地貌单元的划分。具体步骤是:①3D 地震资料解释是进行三维空间古隆起形态恢复的重要基础,建立了全区 16×16 解释框架,使其能够控制整个研究区地层的分布;②选择距离高隆部位被水体淹没之后较近的巴西盖组与巴什基奇克组的分界面作为古水平面,界面之下为浅湖相泥岩沉积,界面之上为具下切谷的辫状河道沉积,环境相对稳定,因此在对古水平面精细解释的基础上,直接拉平这个沉积层,即可恢复下伏古隆起的地貌形态;③结合 VSP(全称 vertical seismic profile)和井—震资料,选择合理的时深关系,对地震时间数据进行深度转换,重塑卡普沙良群沉积前的古地貌。从所恢复的古构造地貌图(图 5)上看,卡普沙良群沉积期前古隆起主体为近 EW 走向,表现为东窄西宽的特点,且西部隆起幅度比东部大,中间连接部位略凹,具有复杂的古地貌特征。依据整体的地貌特点,研究区内可识别出 2 个坡折带,第 1 坡折带呈弧形展布,位于研究区北部,第 2 坡折带呈 NE 走向,位于中部,横跨了整个研究区。依据坡折带可划分出高隆区、斜坡区和洼陷区 3 个地貌单元,其中高隆区有 3 部分组成,西部高隆起的范围大、幅度大,呈 NW 走向,轴部位于却勒—玉东—羊塔一线,在研究区西部与温宿凸起相连;东部高隆区位于 $ym34 \sim ym341$ 井区,受资料范围的影响,未刻画完整,隆起四周斜坡较陡;中部高隆区局限于 $ym35$ 井附近,范围较小。从北西—南东向横跨隆起区—斜坡区—坳陷区的连井层序对比来看,第 2 坡折带之下的坳陷区 3 口井的地层厚度最大,发育有 4 个三级层序;第 1 坡折和第 2 坡折之间的斜坡区, $ym16$ 井地层厚度减薄,发育 3 个三级层序;而高隆区的 $ym462$ 井和 $ym30$ 井地层厚度最薄,仅存在 1 个三级层序(图 5)。

3.3 古隆起的演化

在井—震结合建立全区层序地层格架的基础上,在三维空间上对每个三级层序内部的上超点进行了追踪,对各时期的隆起展布进行了精细的刻画(图 4),进而揭示了古隆起的演化。

$SQ1$ 沉积时期古隆起剥蚀区呈近 EW 走向,横跨整个研究工区,中部 $ym46$ 井附近宽度最小,南北

方向宽为 9 km,向东稍有加宽,向西呈弧形逐渐变宽,至西部玉东井区南北向宽度最大为 42 km,隆起剥蚀区面积为 1936 km^2 。 $SQ2$ 沉积期,随着湖平面的上升,沉积物的逐层上超,隆起范围减小,中部 $ym16$ 井一线南、北两侧贯通,此时西部隆起范围略有减小为 1365 km^2 ,东部在 $yt10$ 井和 $ym38$ 井处残余 2 个小的剥蚀区,面积分别为 273 km^2 和 7.69 km^2 。 $SQ3$ 时期隆起范围进一步缩小,东部已被淹没,仅在研究区的西北角处残余一处隆起区,呈现西宽东窄的地貌特点,并向东收敛倾没,隆起面积较 $SQ2$ 时期进一步缩小,面积约为 899 km^2 。 $SQ4$ 时期隆起完全被淹没消失,反映了古隆起自 $SQ1$ 时期到 $SQ4$ 时期逐渐缩小、淹没的演化过程。

4 古隆起对源—汇体系的控制

4.1 沉积体系分析

从岩心观察入手,综合岩性、岩矿组合、沉积构造、测井相及区域地质构造背景等,笔者分析认为研究区卡普沙良群发育辫状河三角洲、氧化型浅水三角洲、滨浅湖滩坝和滨浅湖 4 种主要的沉积体系类型。

辫状河三角洲岩性主要由杂色砾岩、砂砾岩及灰色、灰白色中粗砂岩、细砂岩等粗粒岩性构成,岩石的成分成熟度低,其中变质岩和岩浆岩岩屑平均含量分别为 23% 和 27%,暗色矿物含量高。以 $yt11$ 井为例,GR 测井曲线表现为微齿化,曲线上下幅度变化不大,证明物源充足,与上下泥岩呈突变接触。从图 7 中可识别出辫状河道和河口坝微相,辫状河道发育大型的槽状交错层理、递变层理,有大量砾石充填,包括成分复杂的岩屑砾石和泥砾(图 6a~6c),岩性呈逐渐向上变细的正旋回,且砾石含量向上逐渐变少,河流的“二元”结构明显,但细粒部分欠发育;河口坝呈向上变粗的反旋回,主要发育板状交错层理。辫状河道和河口坝微相主要位于临近隆起部位钻井的 $SQ1$ 和 $SQ2$ 中(图 8)。

氧化型浅水三角洲是卡普沙良群最主要的沉积相类型,岩性以棕红色、红褐色、灰绿色细砂岩以及粉砂岩为主,是一种在干旱炎热气候条件、水体频繁动荡、极浅古水深、物源充足的条件下形成的特殊类型的三角洲。因为地形平缓、水体浅,在地震剖面上顶积、前积和底积的三层结构不明显,具有典型的从前三角洲、三角洲前缘到三角洲平原的向上变粗的三角洲沉积序列,可识别出分流河道、水下分流河道、河口坝、水下天然堤、分流间湾等沉积微相类型。

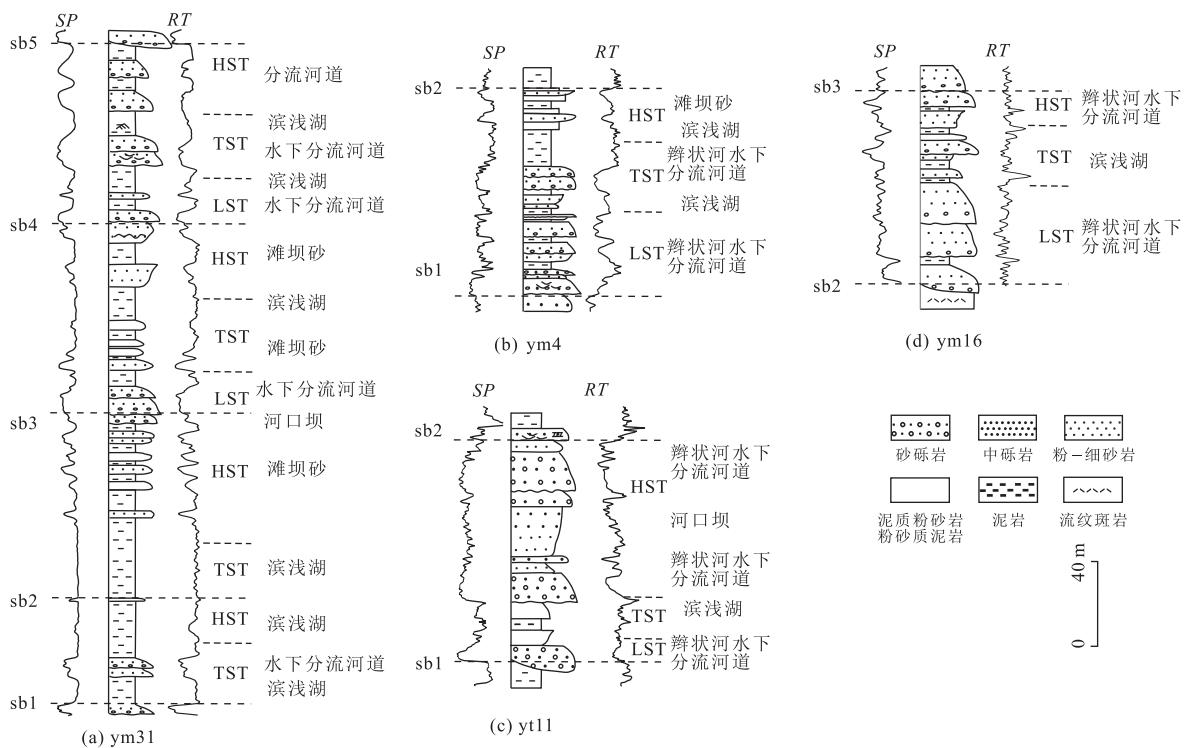


图7 卡普沙良群单井垂向序列

Fig.7 Vertical successions of Kaqushaliang Group

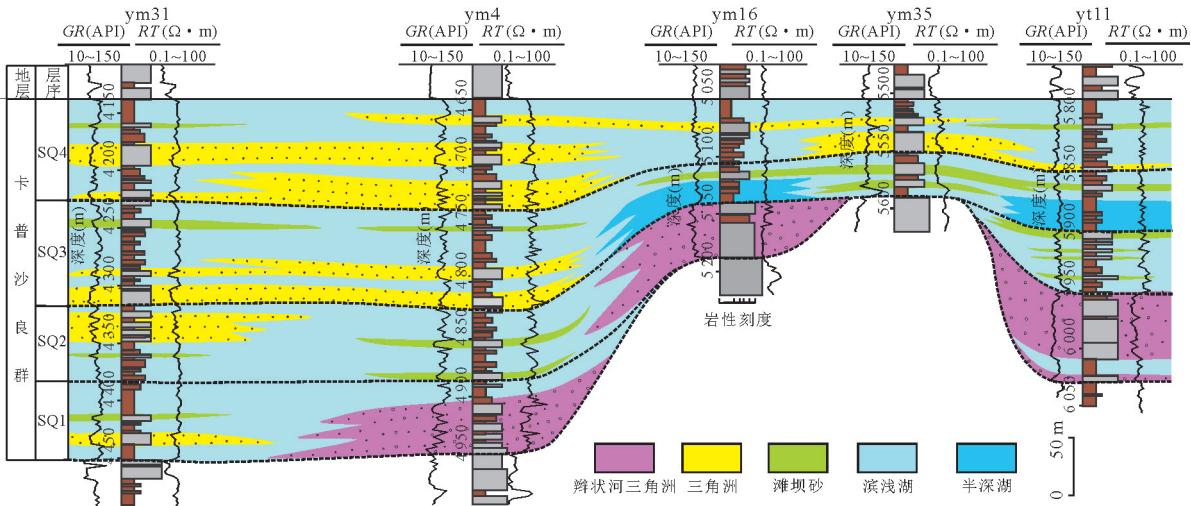


图8 卡普沙良群层序沉积相连井对比剖面

Fig.8 Sequence stratigraphy and deposition comparison profile of Kapushaliang Group

剖面位置见图3b的B-B';图中岩性刻度从左到右依次代表颗粒最细的泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、颗粒最粗的砂岩,向右依次变粗

(图7).三角洲平原分流河道以细砂岩为主,底部冲刷面明显(图6d);水下分流河道砂体最为发育,单层厚度为10 m左右,岩心内部有多期的河道冲刷面,见大量泥砾,发育槽状交错层理、板状交错层理、小型交错层理、平行层理、生物扰动等多种沉积构造(图6f~6h).岩性以细砂岩、粉砂岩为主,成分成熟度中等,其中石英含量平均为58%,分选中等,颗粒

呈次棱一次圆状,粒度概率曲线为两段式,滚动组分不发育,跳跃组分含量为70%~80%.测井曲线呈钟形或箱型.河口坝为向上变粗的反旋回,内部夹薄层红褐色泥岩,发育低角度交错层理、小型交错层理及波状交错层理.

滨浅湖滩坝砂体是舒善河组中下部最为发育的沉积体系类型,以砂、泥岩薄互层为特征,具有“下反

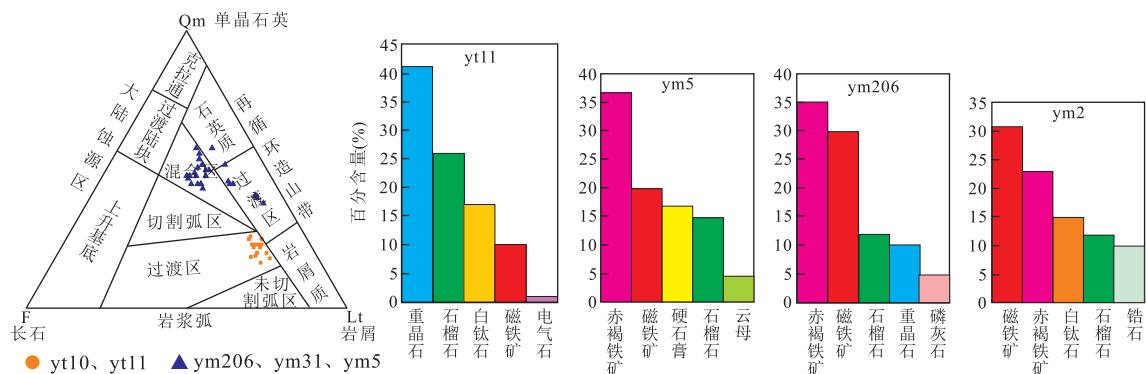


图 9 卡普沙良群 SQ1 时期岩屑组成及重矿物分析

Fig.9 The elastic composition and the heavy mineral analysis of Kaqushaliang Group

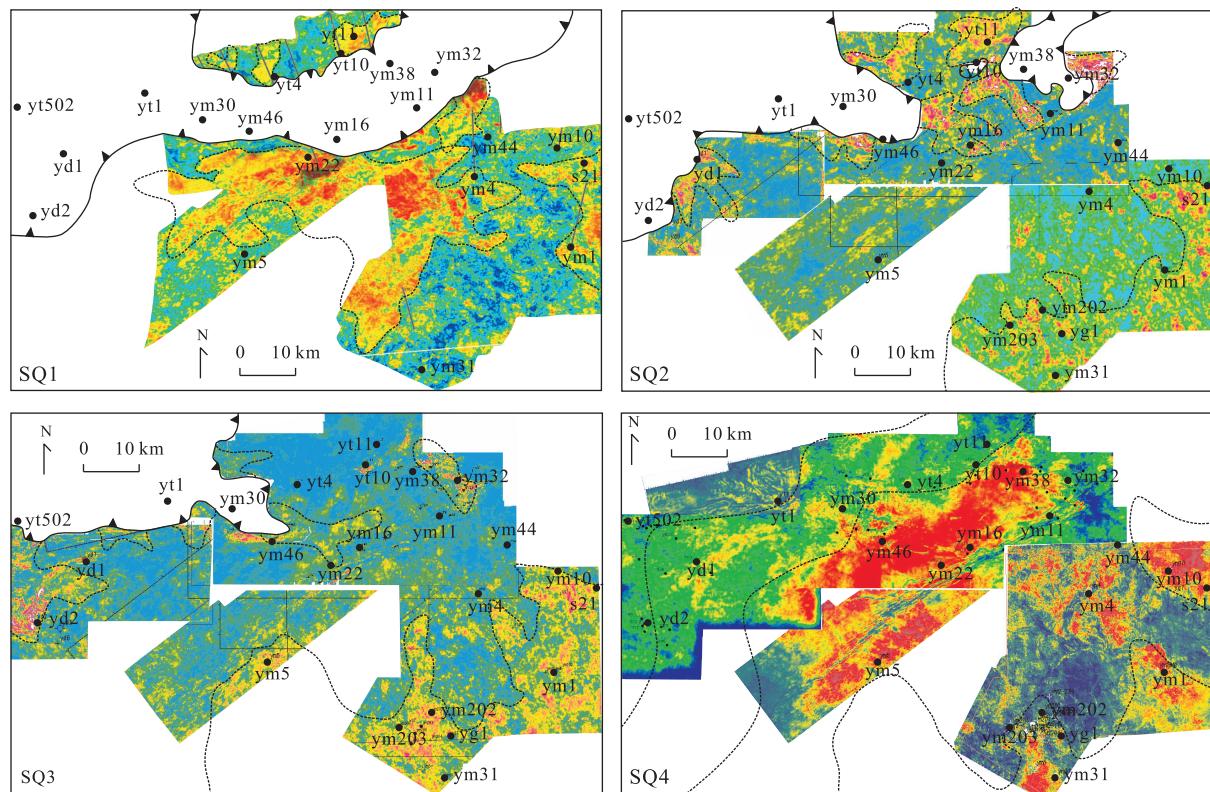


图 10 卡普沙良群 RMS 属性

Fig.10 RMS amplitude of Kapushaliang Group

上正”的复合旋回，砂质坝厚度一般小于 10 m，顶、底为滨浅湖的厚层泥岩，以大量平行层理和波状交错层理的出现为典型特征（图 6i~6j）；砂质滩的砂体厚度一般小于 3 m，发育大量波状交错层理，在 SQ2、SQ3 层序广泛发育（图 7）。

滨浅湖相以泥岩、粉砂质泥岩和粉砂岩频繁互层为特点，由于水体较浅，颜色多样，红褐色、棕色、杂色和灰绿色频繁变化，薄层粉砂岩发育小型的交错层理，厚度很薄，一般小于 1 m，测井曲线整体表

现为高 GR，齿化严重，局部出现“尖刀”现象（图 7）。

4.2 源—汇体系分布及演化

4.2.1 SQ1 沉积期 （1）碎屑物质组成及重矿物分析。从岩石的碎屑组成及构造背景图上看（图 9），yt11 和 yt10 井平均岩屑含量为 61%，长石和石英含量分别为 17% 和 22%，ym206、ym31、ym5 井平均岩屑、长石、石英含量分别是 33%、24% 和 48%，均为岩屑长石砂岩，相比而言，靠近隆起的岩石的成分成熟度更低。所不同的是靠近隆起 yt10 和 yt11 井

的岩石成分落在了 Qm-F-Lt 三角图的切割弧区与未切割弧区中间的过渡区,且从薄片的观察中发现岩浆岩和变质岩含量均在 20% 以上,说明这一区域的沉积物碎屑与岩浆活动有关;南部 ym206、ym31 和 ym5 井岩石成分大部分落在混合区,少部分落在再循环造山带的过渡区,说明研究区南部物源比较复杂,可能存在双向供源。重矿物分析图显示,靠近隆起 yt11 井主要的重矿物包括重晶石、石榴石、白钛石和磁铁矿,南部 3 口井主要的重矿物虽然有不同之处,但总体而言均以赤褐铁矿和磁铁矿为主,且两者含量均超过了 50%,可见应存在隆起和南部两套不同物源体系。

(2) 地震属性特征。笔者通过全区三维地震工区均方根振幅,并结合钻井的砂地比值可以看出(图 10),属性对砂体异常区和泥岩分布区分异明显,靠近隆起两侧砂体发育,两侧存在不对称性,且南部砂体分布范围更广;远离隆起的南部为低振幅区,以泥岩为主,仅在 ym1 井区存在振幅异常区,但能量比隆起周围低,说明该时期古隆起向南北两侧凹陷区提供物源,东部存在一个大的物源。

(3) 沉积相分布。SQ1 沉积期,由于隆起剥蚀范围较大,物源供给充足,在隆起南北两侧发育辫状河三角洲沉积体系,具体高砂体比的特点,其中 yt11 井砂地比为 0.7。南部发育 4 个短源供给的辫状河三角洲,呈近 NS 向、SW 向和 SE 向延伸,ym22 井的朵体面积最大,可分出 2 个主干分支,另外 3 个规模较小,延伸距离短。研究区东南部 ym1 井区有来自远源的三角洲体系注入,主要为三角洲前缘亚相,规模较小,其次在局部低隆起部位发育滨浅湖滩坝。

4.2.1 SQ2-SQ4 沉积期

SQ2 时期,随着湖平面上升,地层逐步超覆,隆起范围缩小,物源供给能力减弱,此时围绕东西 2 个隆起分别形成一系列的小型的辫状河三角洲,ym35 井的砂体失去提供物源的作用。来自东部、南部的三角洲面积扩大,连为一体,研究区内仍为三角洲前缘沉积类型。SQ3 时期隆起范围缩小至研究区的西北角,辫状河三角洲数量和范围进一步缩小,发育有 5 个小型的朵叶体;来自东部和南部的物源汇聚在一起,三角洲进一步向研究区推进,且在 ym31、s21 井一带发育三角洲平原亚相,在隆起剥蚀区物源和东南部物源之间分布滨

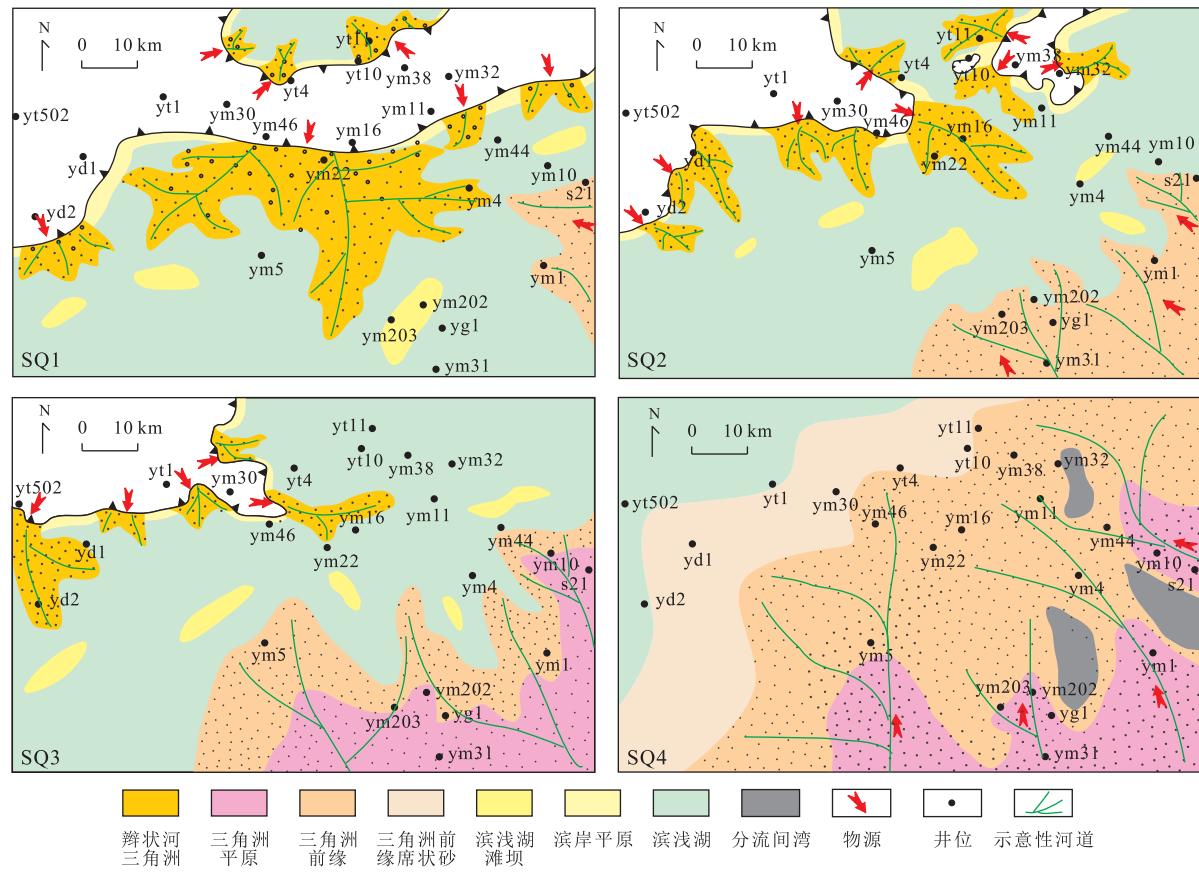


图 11 卡普沙良群沉积体系平面演化

Fig.11 The evolution of the sedimentary system of Kaushaliang Group

浅湖沉积; SQ4 沉积期古隆起被淹没, 来自东南部的物源对研究区起到绝对的控制作用, 自 SE 向 NW 向, 依次发育了三角洲平原、三角洲前缘、三角洲前缘席状砂和滨浅湖。

5 有利储集砂体和岩性地层圈闭的分布

研究表明, 本区卡普沙良群储层由辫状河三角洲砂体、三角洲砂体和滩坝砂体 3 种主要的储集砂体类型。辫状河三角洲分布有前缘亚相—平原亚相, 以河道砂体和河口坝砂体为主要储集砂体, 岩性主要为含砾中和细砂岩, 分选中等, 从钻遇辫状河三角洲的 2 口井的薄片、铸体薄片及物性分析看, 孔隙类型主要为原生粒间孔、粒内溶孔(主要为长石溶孔)和粒间溶孔, 孔隙度为 5.63%~20.56%, 多数为 12.48%~18.79%, 平均孔隙度为 15.8%, 渗透率为 $3.4 \times 10^{-13} \sim 1.7 \times 10^{-10} \text{ m}^2$, 平均值为 $4.36 \times 10^{-11} \text{ m}^2$, 属于中孔低渗储集体类型。三角洲分布有前缘亚相—平原亚相, 以水下分流河道为主要储集类型, 从 5 口井的薄片和物性分析看, 孔隙度为 12.37%~21.37%, 平均值为 18.5%, 渗透率为 $4.36 \times 10^{-12} \sim 198 \times 10^{-12} \text{ m}^2$, 多数为 $15 \times 10^{-12} \sim 42 \times 10^{-12} \text{ m}^2$, 平均值为 $33 \times 10^{-12} \text{ m}^2$, 为中孔中渗储层。滩坝砂体也具有较好的孔渗条件, 为中孔中渗储层, 平均孔隙度为 15% 左右, 平均渗透率为 $27 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 。

目前研究区内已发现油气集中在巴西盖地层中, 以低幅背斜构造下的复合油气藏类型为主。本次在上述研究的基础上, 结合研究区北倾的构造格局(南高北低), 提出了有利岩性地层圈闭的发育区带。隆起南部辫状河三角洲向南上倾尖灭, 可形成砂岩上倾尖灭岩性圈闭; SQ1 时期隆起北部的辫状河三角洲砂体超覆在三叠系稳定泥岩之上, 可形成向上超覆的岩性—地层圈闭; 来自研究区东南部的三角洲砂体, 由于南高北低的构造特征, 不易单独形成岩性地层圈闭, 需依靠背斜或断层遮挡形成复合型圈闭; 此外滩坝砂体四周被泥岩包围可形成良好的砂岩透镜体圈闭类型。

6 结论

塔北隆起卡普沙良群为一个由水进到水退的二级层序, 内部可划分出 4 个三级层序, 确定了每个三级层序平面展布, 受古隆起的影响, 沉积中心在平面

上发生迁移, SQ1 时期有 3 个沉积中心, 分别位于隆起南北两侧和 ym1 井一带, SQ2-SQ4 时期, 主要的沉积中心均位于东南部和南部。

依据地貌特征, 将卡普沙良群沉积前的古地貌划分出了高隆区、斜坡区和凹陷区 3 个地貌单元。对每个层序发育时期的古隆起进行了精细的刻画, SQ1 时期古隆起横跨整个研究工区, 面积最大; SQ2 时期古隆起中部被淹没, 分割出 3 个残余古隆起; SQ3 时期, 古隆起进一步缩小, 仅残留西部古隆起; SQ4 时期古隆起消失。

本文明确了沉积体系的平面分布, 揭示了古隆起对沉积体系分布和演化的控制作用, SQ1 时期古隆起面积最大, 隆起两侧为辫状河三角洲沉积体系, 隆起南、北两侧存在不对称性, 南部辫状河三角洲个数多, 分布范围广; SQ2 时期古隆起面积减小, 隆起两侧地层略有增厚, 发育小的辫状河三角洲; SQ3 时期古隆起面积进一步缩小, 此时辫状河三角洲分布非常局限; SQ4 时期古隆起淹没消失, 三角洲自 SE 向向 NW 向推进, 依次发育三角洲平原、三角洲前缘、三角洲前缘席状砂和滨浅湖。

指出隆起两侧的辫状河三角洲的河道、河口坝砂体及滩坝砂体发育的区带是形成岩性地层圈闭的优势区带; 来自东部和南部的三角洲砂体则需要构造条件的匹配, 形成复合圈闭。

References

- An, H.T., Li, H.Y., Wang, J.Z., et al., 2009. Tectonic Evolution and Its Controlling on Oil and Gas Accumulation in the Northern Tarim Basin. *Geotectonica et Metallogenia*, 33 (1): 142—147 (in Chinese with English abstract).
- Carter, D.C., 2003. 3-D Seismic Geomorphology: Insights into Fluvial Reservoir Deposition and Performance, Widuri Field, Java Sea. *AAPG Bulletin*, 87 (6): 909—934. doi: 10.1306/01300300183
- Cheng, H.Y., Li, J.H., Zhao, X., 2009. Paleozoic Structural Styles and Evolution of the Tarim Uplift. *Geology in China*, 36 (2): 314—321 (in Chinese with English abstract).
- Deng, H.W., Wang, H.L., Wang, D.Z., 2001. Control of Paleo-Morphology to Stratigraphic Sequence in Continental Rift Basins: Take Lower Tertiary of Western Slope in Bozhong Depression as an Example. *Oil & Gas Geology*, 22 (4): 293—296, 303 (in Chinese with English abstract).
- He, D.F., Zhou, X.Y., Yang, H.J., et al., 2008. Formation Mechanism and Tectonic Types of Intracratonic Paleo-Uplifts in the Tarim Basin. *Earth Science Frontiers*, 15

- (2):207—221 (in Chinese with English abstract).
- Ji,L.D.,Gu,J.Y.,Zhao,L.,et al.,2009.Research on Sedimentary Facies and Reservoir Characteristics of Lower Cretaceous in Eastern Wushi Sag, Tarim Basin.*Petroleum Geology & Experiment*,31(5):478—484 (in Chinese with English abstract).
- Jia,C.Z.,Gu,J.Y.,Zhang,G.Y.,2002.Geological Conditions of Large and Medium Gas Fields in Kuqa Depression.*Chinese Science Bulletin*,47(Suppl.):49—55 (in Chinese).
- Jia,J.H.,Gu,J.Y.,Guo,Q.Y.,et al.,2001.Sedimentary Facies of Cretaceous Reservoir in Kela-2 Gas Field of Tarim Basin.*Journal of Palaeogeography*,3(3):67—75 (in Chinese with English abstract).
- Jin,W.G.,Mei,M.X.,2005.Study on Sequence-Stratigraphic Framework and Paleogeographic Evolvement for Early Cretaceous of the Kuche Basin in Xinjiang.*Xinjiang Oil & Gas*,1(1):17—23 (in Chinese with English abstract).
- Li,G.H.,Zheng,D.M.,Wang,C.,et al.,2007.Characteristics of Fault System in Yaha Structure Belt of Northern Uplift, Tarim Basin.*Natural Gas Geoscience*,18(6):859—863 (in Chinese with English abstract).
- Li,Y.J.,Yang,H.J.,Zhang,G.Y.,et al.,2012.Rediision of the Tectonic Units of Tabei Rise in Tarim Basin.*Acta Petrologica Sinica*,28(8):2466—2478 (in Chinese with English abstract).
- Miao,J.J.,Jia,C.Z.,Wang,Z.M.,et al.,2005.Stratigraphic Configuration Control on Tectonic Deformation along the Qiultag Anticline Belt of Kuqa Area, Northern Tarim Basin.*Chinese Journal of Geology*,40(4):558—569 (in Chinese with English abstract).
- Miao,Q.Y.,Zhu,X.M.,Li,G.B.,et al.,2014.Paleogeomorphology Recovery and Reservoir Prediction of Upper Carboniferous in M Block, Pre-Caspian Basin.*Earth Science*,39(7):871—879 (in Chinese with English abstract).
- Posamentier,H.W.,Kolla,V.,2003.Seismic Geomorphology and Stratigraphy of Depositional Elements in Deep-Water Settings.*Journal of Sedimentary Research*,73(3):367—388.doi:10.1306/111302730367
- Sawyer,D.E.,Flemings,P.B.,Shipp,R.C.,et al.,2007.Seismic Geomorphology, Lithology, and Evolution of the Late Pleistocene Mars-Ursa Turbidite Region, Mississippi Canyon Area, Northern Gulf of Mexico.*AAPG Bulletin*,91(2):215—234.doi:10.1306/08290605190
- Shen,J.,Wu,C.Y.,Li,J.,et al.,2006.The Basic Features of the Active Tectonics in the Kuqa Depression of the Southern Tianshan.*Seismology and Geology*,28(2):269—278 (in Chinese with English abstract).
- Shi,L.Z.,Lin,T.F.,Wang,Z.L.,et al.,2006.Research on the Migration and Accumulation Systems of Natural Gas and Hydrocarbon Migration of the Lower Cretaceous Strata in Kuqa Depression.*Natural Gas Geoscience*,17(1):78—83 (in Chinese with English abstract).
- Su,J.,Kang,R.D.,Xing,F.C.,et al.,2014.Source-to-Sink System during Yageliemu Period of Early Cretaceous in Tahe and Southern Tianshan Areas.*Petroleum Geology & Experiment*,36(2):182—187 (in Chinese with English abstract).
- Sun,L.D.,Li,Y.J.,2004.The Lunnan Lower Uplift: A Multiple Oil-Gas Accumulation Play in the Tarim Basin, NW China.*Chinese Journal of Geology*,39(2):296—304 (in Chinese with English abstract).
- Sun,L.D.,Li,Y.J.,Song,W.J.,et al.,2002.Tectonics and Oil-Gas Distribution in the North Tarim Basin, NW China.*Chinese Journal of Geology*,37(Suppl.):1—13 (in Chinese with English abstract).
- Tang,L.J.,1997.An Approach to Major Tectogenesis of Tarim Basin.*Experimental Petroleum Geology*,19(2):108—114 (in Chinese with English abstract).
- Wang,Y.M.,Wang,G.Y.,Zhang,L.,et al.,2011.Sedimentary Characteristics and Main Controlling Factors of Lower Cretaceous Yageliemu Formation in Yakela Area.*Fault-Block Oil & Gas Field*,18(3):293—296 (in Chinese with English abstract).
- Wu,G.H.,Li,Q.M.,Xiao,Z.X.,et al.,2009.The Evolution Characteristics of Palaeo-Uplifts in Tarim Basin and Its Exploration Directions for Oil and Gas.*Geotectonica et Metallogenesis*,33(1):124—130 (in Chinese with English abstract).
- Zeng,H.L.,Ambrose,W.A.,Villalta,E.,2001.Seismic Sedimentology and Regional Depositional Systems in the Mioceno Norte Area, Lake Maracaibo, Venezuela.*Leading Edge*,20:1260—1269.
- Zhai,G.M.,He,W.Y.,2004.An Important Petroleum Exploration Region in Tarim Basin.*Acta Petrolei Sinica*,25(1):1—7 (in Chinese with English abstract).
- Zhang,G.Y.,Chen,F.J.,Wang,X.W.,1994.Deformation Style and Its Distribution in North Tarim Basin, Northwestern China.*Earth Science*,19(6):755—768 (in Chinese with English abstract).
- Zhang,L.J.,Li,D.L.,Sun,Y.S.,et al.,2006.Analysis of Characteristics of Sedimentary Reservoir between Cretaceous and Palaeogene in the Western Part of the Kuqa Depression.*Natural Gas Geoscience*,17(3):355—360 (in Chinese with English abstract).
- Zhao,A.S.,Ding,Y.,Zhao,S.L.,1999.Sediment Facies and

Reservoir Appreciation of Sandstone of Yageliemu Formation from Shaxi-Luntai Zone of Northern Tarim Basin. *Xinjiang Geology*, 17(3): 263—269 (in Chinese with English abstract).

Zhou, F.Y., Sun, Y.S., Zhang, S.C., 2001. Study on Direction, Phases and Pathways of Petroleum Migration in the Lunnan Area, Tarim Basin. *Geological Review*, 47(3): 329—335 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

安海亭,李海银,王建忠,等,2009.塔北地区构造和演化特征及其对油气成藏的控制.大的构造与成矿学,33(1): 142—147.

程海艳,李江海,赵星,2009.塔北隆起古生代构造样式和构造反演.中国地质,36(2):314—321.

邓宏文,王红亮,王敦则,2001.古地貌对陆相裂谷盆地层序充填特征的控制——以渤中凹陷西斜坡区下第三系为例.石油与天然气地质,22(4):293—296,303.

何登发,周新源,杨海军,等,2008.塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型.地学前缘,15(2):207—221.

季丽丹,顾家裕,赵亮,等,2009.塔里木盆地乌什凹陷东部下白垩统沉积相及储层特征研究.石油实验地质,31(5): 478—484.

贾承造,顾家裕,张光亚,2002.库车坳陷大中型气田形成的地质条件.科学通报,47(增刊):49—55.

贾进华,顾家裕,郭庆银,等,2001.塔里木盆地克拉 2 气田白垩系储层沉积相.古地理学报,3(3):67—75.

靳卫广,梅冥相,2005.库车盆地白垩纪层序地层格架与古地理演化.新疆石油天然气,1(1):17—23.

李国会,郑多明,王超,等,2007.塔里木盆地北部隆起牙哈构造带断裂特征.天然气地球科学,18(6):859—863.

李曰俊,杨海军,张光亚,等,2012.重新划分塔里木盆地塔北隆起的次级构造单元.岩石学报,28(8):2466—2478.

苗继军,贾承造,王招明,等,2005.塔里木盆地北部库车地区秋里塔格构造带地层结构及其对构变形的制约.地质

科学,40(4):558—569.

苗钱友,朱筱敏,李国斌,等,2014.滨里海盆地 M 区块晚石炭世古地貌恢复与白云岩储层预测.地球科学,39(7): 871—879.

沈军,吴传勇,李军,等,2006.库车坳陷活动构造的基本特征.地震地质,28(2):269—278.

施立志,林铁锋,王震亮,等,2006.库车坳陷下白垩统天然气运聚系统与油气运移研究.天然气地球科学,17(1): 78—83.

苏娟,康仁东,邢凤存,等,2014.塔河一天山南地区早白垩世亚格列木期源汇系统分析.石油实验地质,36(2): 182—187.

孙龙德,李曰俊,2004.塔里木盆地轮南低凸起:一个复式油气聚集区.地质科学,39(2):296—304.

孙龙德,李曰俊,宋文杰,等,2002.塔里木盆地北部构造与油气分布规律.地质科学,37(增刊):1—13.

汤良杰,1997.略论塔里木盆地主要构造运动.石油实验地质,19(2):108—114.

王英民,王改云,张雷,等,2011.雅克拉地区下白垩统亚格列木组沉积特征及主控因素.断块油气田,18(3): 293—296.

邬光辉,李启明,肖中尧,等,2009.塔里木盆地古隆起演化特征及油气勘探.大地构造与成矿学,33(1):124—130.

翟光明,何文渊,2004.塔里木盆地石油勘探实现突破的重要方向.石油学报,25(1):1—7.

张光亚,陈发景,汪新文,1994.塔北地区变形样式及其分布规律.地球科学,19(6):755—768.

张丽娟,李多丽,孙玉善,等,2006.库车坳陷西部古近系—白垩系沉积储层特征分析.天然气地球科学,17(3): 355—360.

赵敖山,丁勇,赵胜利,1999.塔北沙西—轮台地区亚格列木组砂岩沉积相及储层评价.新疆地质,17(3):263—269.

周凤英,孙玉善,张水昌,2001.塔里木盆地轮南地区油气运移的路径、其次及方向研究.地质评论,47(3): 329—335.