

盆-山耦合控制下塔里木盆地库车坳陷上三叠统 黄山街组层序地层特征

王正和^{1,2}, 张荣虎^{3,4}, 岳勇⁵, 程锦翔^{1,2}

[1. 中国地质调查局 成都地质调查中心(西南地质科技创新中心), 四川 成都 611230; 2. 自然资源部 沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 611230; 3. 中国石油 杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023; 4. 中国石油 勘探开发研究院 塔里木盆地研究中心, 新疆 库尔勒 841000; 5. 中海石油(中国)有限公司 上海分公司研究院, 上海 200030]

摘要:前人对塔里木盆地库车坳陷上三叠统黄山街组三级层序划分方案不一,导致对其内部关键界面性质及沉积演化过程的认识各异。基于库车坳陷野外露头的精细观察与分析重新划分了黄山街组的三级层序。结果表明:①黄山街组的4个岩性段构成2个三级层序。黄(黄山街组)一段—黄三段构成东薄、西厚的三级层序SQ1,黄四段构成东厚、西薄三级层序SQ2。2个三级层序均发育低位体系域(LST)、水进体系域(TST)和高位体系域(HST)。②三级层序界面SB1,SB2和SB3分别对应于黄山街组底界、黄三段顶界及黄山街组顶界。SB1和SB3都为岩性和岩相突变转换面,SB3也是侵蚀与沉积间断面。SB2是区域抬升形成的沉积间断,有区域可对比的古土壤。③盆-山耦合变化控制了黄山街组所包含的2个三级层序的形成。古天山在SQ1低位体系域和高位体系域沉积之初分别经历了2幕强烈的快速隆升,在SQ1末期被侵蚀夷平。盆地沉积响应由强烈拗陷快速沉积充填过渡为稳定拗陷沉积充填,再次强烈拗陷快速沉积充填形成SQ1。发生沉积间断后,在弱拗陷背景下持续稳定沉积充填形成SQ2。

关键词:层序地层;盆-山耦合;黄山街组;上三叠统;库车坳陷;塔里木盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Basin-mountain coupling-controlled sequence stratigraphic characteristics of the Upper Triassic Huangshanjie Formation, Kuqa Depression, Tarim Basin

WANG Zhenghe^{1,2}, ZHANG Ronghu^{3,4}, YUE Yong⁵, CHENG Jinxiang^{1,2}

[1. Chengdu Center of China Geological Survey (Geosciences Innovation Center of Southwest China), Chengdu, Sichuan 611230, China; 2. Key Laboratory of Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Natural Resources, Chengdu, Sichuan 611230, China; 3. Hangzhou Research Institute of Geology, PetroChina, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 4. Tarim Basin Research Center, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China; 5. Research Institute of Shanghai Branch of CNOOC (China) Ltd., Shanghai 200030, China]

Abstract: Previous classification schemes for the third-order sequences in the Upper Triassic Huangshanjie Formation in the Kuqa Depression, Tarim Basin have different views on the nature of its internal key boundaries and the sedimentary evolution process. Following fine observation and analyses of outcrops in the Kuqa Depression, we reclassify the third-order sequences in the Huangshanjie Formation. The results indicate that the four members of the Huangshanjie Formation constitute two third-order sequences: SQ1 and SQ2. SQ1 comprises the 1st, 2nd, and 3rd members of the formation, proving thin in the east and thick in the west. SQ2 consists of the 4th member of the formation, being thick in the east and thin in the west. Both sequences contain lowstand systems tracts (LSTs), transgressive systems tracts (TSTs), and highstand systems tracts (HSTs). The third-order sequence boundaries, i. e., SB1, SB2, and SB3, correspond to the bottom boundary of the Huangshanjie Formation, the top boundary of the 3rd member of the formation,

收稿日期:2024-05-13;修回日期:2024-07-04。

第一作者简介:王正和(1976—),男,博士、教授级高级工程师,沉积层序及石油地质学。E-mail: 3121927631@qq.com。

通信作者简介:张荣虎(1976—),男,博士、教授级高级工程师,沉积与储层。E-mail: zrh_hz@petrochina.com.cn。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司基础性前瞻性科技重大专项(2023ZZ02);国家自然科学基金企业创新发展联合基金集成项目(U22B6002)。

and the top boundary of the formation, respectively. SB1 and SB3 exhibit sharp transitions of lithology and lithofacies, with SB3 also identified as an erosional and depositional hiatus surface. SB2 emerges as a depositional hiatus caused by regional uplifting, and forms regional paleosol that can be correlated far away. The changes of basin-mountain coupling govern the formation of the two third-order sequences in the formation, in which the paleo-Tianshan Mountain experienced two episodes of rapid uplifting during the initial deposition of the LSTs and HSTs in SQ1, and then got eroded to peneplain at the end of SQ1 deposition. Accordingly, the basin's sedimentary response transitions from the early intense subsidence and rapid sedimentary infilling to the stable subsidence and sedimentary infilling, and then to the second phase of intense subsidence and rapid sedimentary infilling to form the SQ1. After depositional hiatus, the basin continues to be filled steadily under the background of weak subsidence, forming SQ2.

Key words: sequence stratigraphy, basin-mountain coupling, Huangshanjie Formation, Upper Triassic, Kuqa Depression, Tarim Basin

引用格式:王正和,张荣虎,岳勇,等.盆-山耦合控制下塔里木盆地库车坳陷上三叠统黄山街组层序地层特征[J].石油与天然气地质,2024,45(5):1247-1258. DOI:10.11743/ogg20240504.

WANG Zhenghe, ZHANG Ronghu, YUE Yong, et al. Basin-mountain coupling-controlled sequence stratigraphic characteristics of the Upper Triassic Huangshanjie Formation, Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(5): 1247-1258. DOI: 10.11743/ogg20240504.

塔里木盆地库车坳陷上三叠统黄山街组既发育优质的湖相烃源岩^[1-5],也发育潜在储层^[6-8],兼具源、储、盖共生的特征,可能是库车坳陷未来潜在的油气勘探接替目标。前人^[9-19]对塔里木盆地黄山街组或包含黄山街组在内的哈拉哈塘组(哈拉哈塘组属于上三叠统,等同于库车坳陷上三叠统黄山街组与塔里奇克组,但塔北隆起上的GP5井^[17]揭示其与库车坳陷黄山街组纵向上一样具有“两硬两软”的结构)开展过层序地层研究。

对库车坳陷黄山街组开展层序地层研究时,何宏等^[12]将库车河露头剖面黄山街组划分出4个三级层序,但并未给出层序界面的确定标准;宗文明^[13]以岩相突变面及准层序叠置样式转换面作为层序界面,将库车坳陷北缘山前带的卡普沙良河和库车河等露头剖面黄山街组分为2个三级层序,并将2个层序之间的界线置于黄山街组上部砂砾岩段内部;吴嘉鹏等^[17]以粗粒碎屑岩对下伏细粒碎屑岩的冲蚀面作为层序界面,将库车河露头剖面黄山街组划分出3个三级层序。

对库车坳陷区域以外的黄山街组开展层序地层研究时,马立驰与朱筱敏^[9]依据岩性与测井曲线的变化将巴楚隆起东部和阿瓦提凹陷北部地区(该地区位于库车坳陷以外)的黄山街组划分为1个三级层序;吕雪雁等^[10]将塔里木盆地台盆区(该地区位于库车坳陷以外)上三叠统整个划为1个三级层序,层序顶界为三叠系与侏罗系之间的区域性不整合面,但未说明底界的特性;傅恒等^[11]基于Cross的基准面旋回理论,将塔里木盆地塔北-塔中地区哈拉哈塘组划

分为1个中周期层序;陈旭等^[14]利用地震和钻井资料将塔里木盆地台盆区的塔北、顺托果勒、满加尔和阿瓦提等地区的哈拉哈塘组划为1个三级层序,层序顶、底界面在满加尔凹陷东部的东西向地震剖面上均呈削截不整合;王家豪等^[15]也以地震剖面上的削截不整合为界将塔里木盆地台盆区的哈拉哈塘组划分为1个三级层序;唐武等^[16]将轮南低凸起一带所钻揭的黄山街组整体划分为1个三级层序,在地震剖面上,层序底界为超覆不整合,顶界为与侏罗系接触的角度不整合(之间缺失塔里奇克组);陈兆芹等^[18]利用钻井资料,通过小波变换与高分辨率层序地层学相结合的方式,将塔里木盆地英买力地区钻揭的黄山街组划分为1个三级层序;董火祥等^[19]利用钻、测井资料,基于测井资料的小波变换,将塔北隆起带钻揭的黄山街组划分为1个三级层序,对应于2个中周期旋回。

综上所述,前人针对塔里木盆地黄山街组给出了不同的层序划分方案,其原因在于几个方面:①所依据的层序地层学学派有别,除少数划分方案^[11,18]是依据高分辨率层序地层学理论以外,其余的研究成果要么不是依据高分辨率层序地层学理论,要么未明确所参照的理论;②所采用资料不同,针对库车坳陷黄山街组的研究^[12-13,17]均基于坳陷北缘山前带的野外露头资料,其他区域因无地层出露而采用井、震资料开展研究;③层序界面的划分依据不一,除少数学者^[14-16]在研究库车坳陷区域以外的黄山街组或含黄山街组在内的哈拉哈塘组时以不整合面作为层序界面之外,其余划分方案中的层序界面从本质而言基本上均以

其上覆的塔里奇克组(T_3t)。其自克拉玛依组沉积晚期至塔里奇克组沉积期,由北(冲)断南超、北深南浅及北陡南缓向构造相对平静和地势近于准平原化演变,沉积则由浅湖—一半深湖—深湖演变为湖—沼间互^[26]沉积。

库车坳陷黄山街组沉积于温暖潮湿的热带和亚热带^[27]环境,主要发育砾质粗碎屑及灰绿—灰黑色细粒沉积,局部夹煤线、菱铁矿及灰—深灰色薄层状、凸透镜状、飞碟状或倒锥状泥质或泥晶灰岩,纵向上的宏观岩性组合被描述为具有“两硬两软”的特征^[13],自下而上可分为4个特征明显的岩性段。其中,黄(黄山街组)一段(T_3h^1)和黄三段(T_3h^3)均以砾质粗碎屑为主,分别对应于下硬和上硬;黄二段(T_3h^2)和黄四段(T_3h^4)以暗色细粒沉积为主,分别对应于下软和上软

(图1,图2)。在地表露头上,两软通常被侵蚀为负地形,两硬通常呈突出的正地形。黄一段与黄二段整体上构成一个向上逐渐变细的沉积旋回,黄三段单独构成一个向上变细的沉积旋回,黄四段为一个向上变细然后再变粗的沉积旋回(图1)。

2 层序划分及特征

2.1 层序划分方案

基于库车坳陷多条露头剖面纵向的沉积演化及内部界面的性质,针对黄山街组提出新的三级层序划分方案,将其划分为2个三级层序(图3,图4)。其中,第一个三级层序SQ1由黄一段—黄三段构成,且黄一段

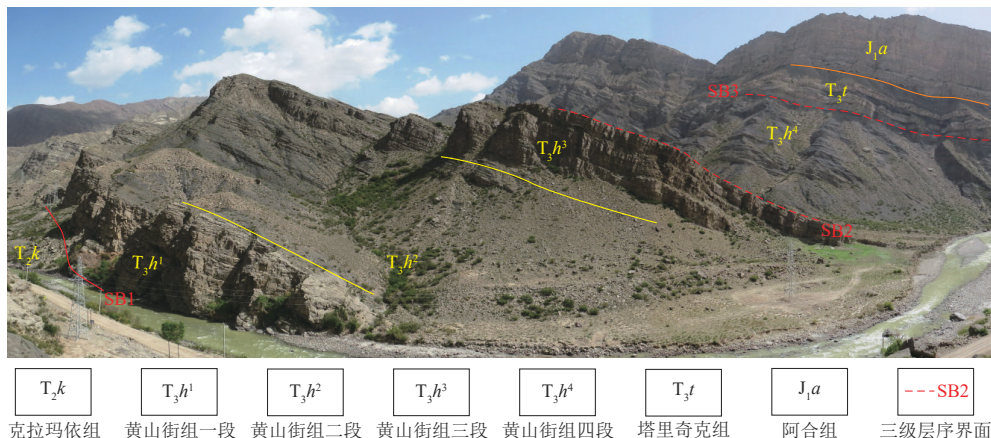


图2 库车坳陷黄山街组卡普沙良河剖面露头宏观特征及岩性段划分野外照片

Fig. 2 Macroscopic characteristics of the outcrop and the division of lithological members of the Huangshanjie Formation along the Kapushaliang River section, Huangshanjie Formation

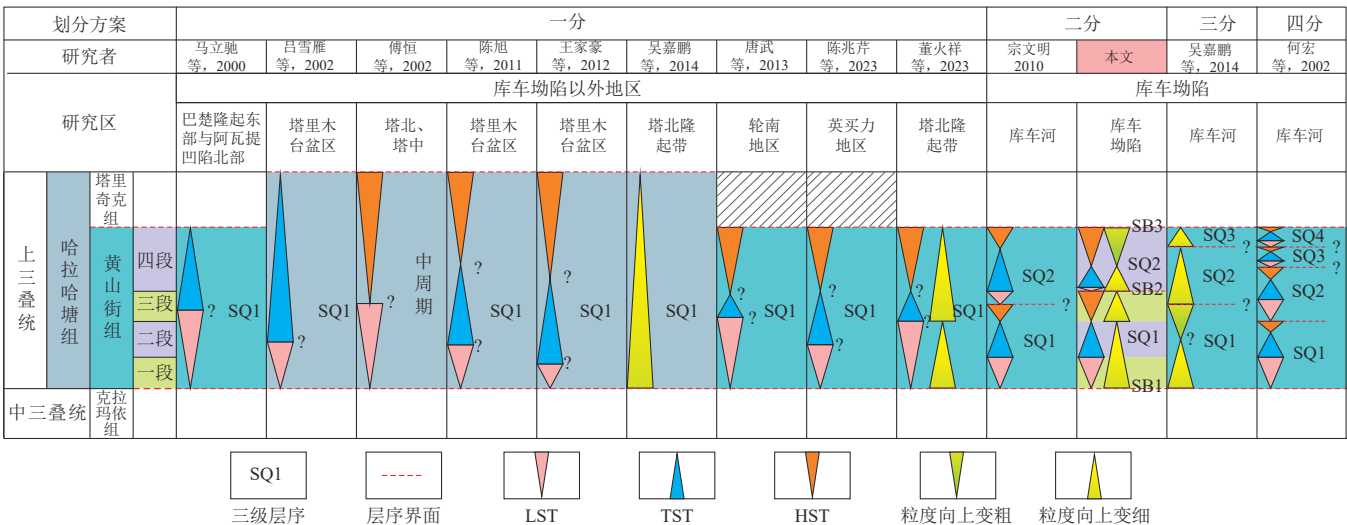


图3 塔里木盆地黄山街组不同的三级层序划分方案^[9-18]

Fig. 3 Different division schemes for the third-order sequences in the Huangshanjie Formation, Tarim Basin^[9-18]

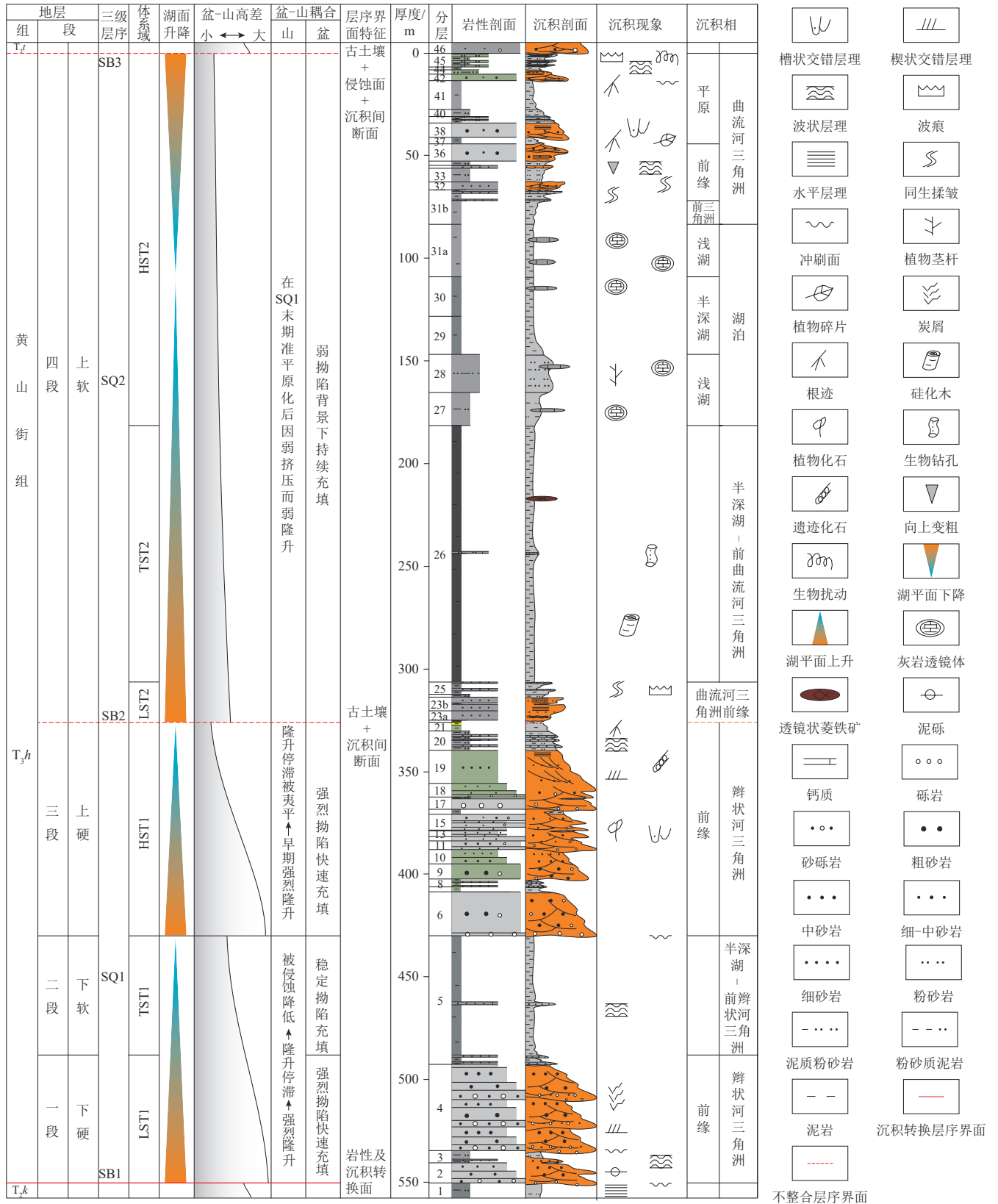


图4 库车坳陷黄山街组宿相河露头剖面沉积层序柱状图

Fig. 4 Column of sedimentary sequences in the Suxianghe outcrop section of the Huangshanjie Formation, Kuqa Depression

构成低位体系域LST1,黄二段构成水进体系域TST1,黄三段构成高位体系域HST1;黄四段单独构成第2个

三级层序SQ2,下部构成低位体系域LST2,中部构成水进体系域TST2,上部构成高位体系域HST2。

2.2 层序特征

2.2.1 层序界面特征

库车坳陷黄山街组三级层序SQ1的底界SB1为其

与下伏克拉玛依组的界面,是岩性和岩相突变与转换面,也是沉积转换面(图4)。界面之上为黄山街组粒度分异相当显著的大套砾质粗碎屑沉积,界面之下为克拉玛依组顶部的一套暗色细粒沉积,前者对后者形成明显的底冲刷(图5a)。在轮南低凸起,唐武等^[16]发

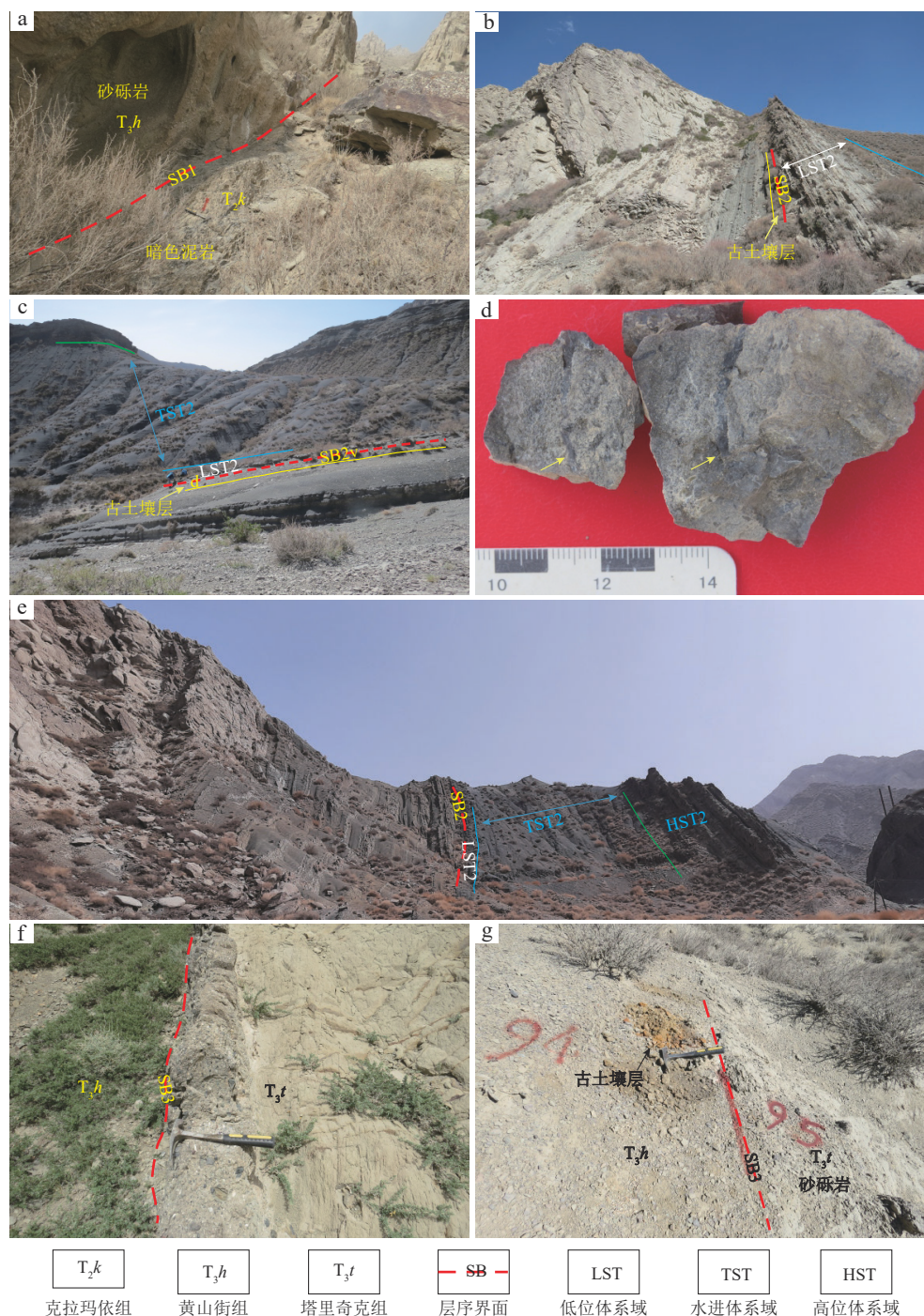


图5 库车坳陷黄山街组2个三级层序界线在露头上的宏观特征

Fig. 5 Outcrop-derived macroscopic characteristics of the boundaries of the two third-order sequences in the Huangshanjie Formation, Kuqa Depression
a. SB1上、下岩性突变特征,宿相河剖面;b. 古土壤层形成的SB2及界面之上的低位体系域LST2,宿相河剖面;c. 古土壤层形成的SB2及界面之上的低位体系域LST2与水进体系域TST2,卡普沙良河剖面;d. 古土壤层中的炭化植物根,手标本;e. SB2构成灰绿/灰黑转换面;f. 岩性突变及冲刷面形成的SB3,克拉苏河剖面;g. 古风化壳形成的SB3,克孜勒阔坦剖面
(黄线为古土壤层底界;蓝线为LST2顶界;绿线为TST顶界。)

现此界面为典型的超覆不整合界面。

黄山街组内部三级层序SQ1与SQ2的界面为SB2,也是黄三段(T_3h^3)与上覆黄四段(T_3h^4)的界面(图4),是一个由平行不整合面形成的三级层序界面(前人研究中无人识别出这一界面)。该界面之下为厚1 m左右且横向宽度超过100 km的古土壤层(图5b, c),发育含炭化植物根(图5d)的黄绿色根土岩,表明经历过长时间暴露。这一古土壤层与黄山街组辫状河三角洲平原上所发育的古土壤性质和意义不一样。该层古土壤在纵向上处于辫状河三角洲前缘向前辫状河三角洲过渡的位置,表明是区域性抬升或水退而遭受长期风化形成。该界面在野外露头上表现为较明显的灰绿/灰黑转换面(图5e,库车河剖面),即界面以下岩石整体呈现灰绿色,界面以上岩石则整体呈现灰黑-深灰色。

三级层序SQ2顶界面SB3为黄山街组与上覆塔里奇克组分界面,是岩性和岩相突变与转换面(图4,图5f),具底冲刷特征。在这一界面上,前人在库车河剖面中发现厚约10 cm,延伸约10 m的淡黄色古土壤层^[9],笔者在克孜勒阔坦露头剖面上也发现厚30 cm左右的黄褐色古土壤形成的风化壳(图5g)。这表明遭受过长期的风化作用,也意味着上覆塔里奇克组与黄山街组之间存在着一定的沉积间断。

2.2.2 层序及体系域特征

在露头上,库车坳陷黄山街组所表现出明显的4个岩性特征,所发育的2个三级层序及其内部的体系域具以下特征:

SQ1的厚度明显小于SQ2,但SQ1中的粗碎屑粒度远大于SQ2,SQ1以辫状河三角洲-湖相沉积体系为主,而SQ2以曲流河三角洲-湖相沉积体系为主(图4)。

LST1由以砾质粗碎屑为主并夹透镜状暗色泥岩的黄一段(T_3h^1)构成,呈多个向上变细的次级旋回,主要为辫状河三角洲前缘沉积(图4),其抗风化能力强,高角度出露于地表时,往往呈凸出状(图6a)。TST1由以暗色泥岩为主并夹少量薄层状及透镜状泥晶灰岩或粉-细砂岩的黄二段(T_3h^2)构成,主要为前辫状河三角洲-半深湖沉积(图4),其抗风化能力弱,高角度出露于地表时,往往被侵蚀成显著的沟槽状(图6a, b)。HST1由以砾质粗碎屑为主的黄三段(T_3h^3)构成,主要为辫状河三角洲前缘沉积,往往也包含多个向上变细的次级旋回(图4),且高角度出露地表时也因抗风化能力强而呈显著的凸出状(图6a, c, e)。

从LST1到TST1,岩性有过渡,由砾质粗碎屑向上

过渡为暗色细粒沉积,但岩性转换极为迅速(图4,图6b),表现为粗碎屑层迅速减薄、碎屑粒度迅速减小,并与暗色细粒沉积互层,然后快速过渡为连续发育的大套暗色细粒沉积。这一快速转换过程表明湖平面上升极其迅速。TST1到HST1,岩性由暗色细粒沉积突变为砾质粗碎屑沉积,无渐变过渡,呈岩性突变接触(图4,图6c),可能意味着湖平面受构造事件影响而快速湖退。

LST1与TST1总体构成一个完整的向上变细的沉积旋回,且粗碎屑与细粒沉积厚度大体相当(图4)。HST1表现为一个向上变细的沉积旋回,但在厚度上上部暗色细粒沉积(图4中层20-层21)远小于下部粗碎屑沉积(图4中层6-层19)(图6e),横向甚至尖灭。HST1顶部为厚1 m左右且区域上可对比的古土壤层直接覆盖于暗色细粒沉积之上。据此推断,HST1上部的暗色细粒沉积可能因区域性的构造抬升作用而中断,并遭受了一定时期的风化剥蚀。

黄四段(T_3h^4)单独构成SQ2,以暗色细粒沉积为主(图4,图6d,图6e)。其中,LST2主要为曲流河三角洲前缘沉积,以单层厚度较小的粉-细砂岩夹泥岩为主;TST2由前曲流河三角洲向上过渡为半深湖沉积,以暗色泥岩为主,夹少量薄层状或大型透镜状(长轴1 m左右)泥晶灰岩(有时伴生叠锥构造),偶见菱铁矿结核;HST2为曲流河三角洲沉积体系,以细粒沉积为主,细砂岩次之,局部区域发育有粗砂岩。纵向岩性和岩相变化特征表明,LST2,TST2和HST2整体上构成一个先向上变细,再向上变粗的沉积旋回,但3个体系域之间无明确界线,均呈渐变且缓慢的岩性过渡。此外,3个体系域所构成的粗-细-粗旋回极不对称,下部LST2的粗碎屑沉积厚度很薄,中部TST2的暗色细粒沉积厚度较大,而上部HST2的厚度最大(图6d, e)。

2.2.3 层序格架特征

基于库车坳陷北缘山前带野外露头剖面所建立的近东西向层序格架(图7)表明,SQ1东薄西厚,而SQ2东厚西薄。SQ1由辫状河三角洲及湖相沉积体系构成,SQ2由曲流河三角洲及湖相沉积体系构成。在黄山街组沉积时期,库车河以北的克孜勒阔坦地区比克拉苏河及以西的地区离古天山物源区相对更近,故辫状河三角洲相与曲流河三角洲平原相更发育。在SQ1中,TST1中的暗色泥岩主要发育于克拉苏河及以西地区,HST1上部的暗色细粒沉积只发育于克拉苏河以西地区。SQ2中,LST2与HST2均呈往西减薄的趋势;

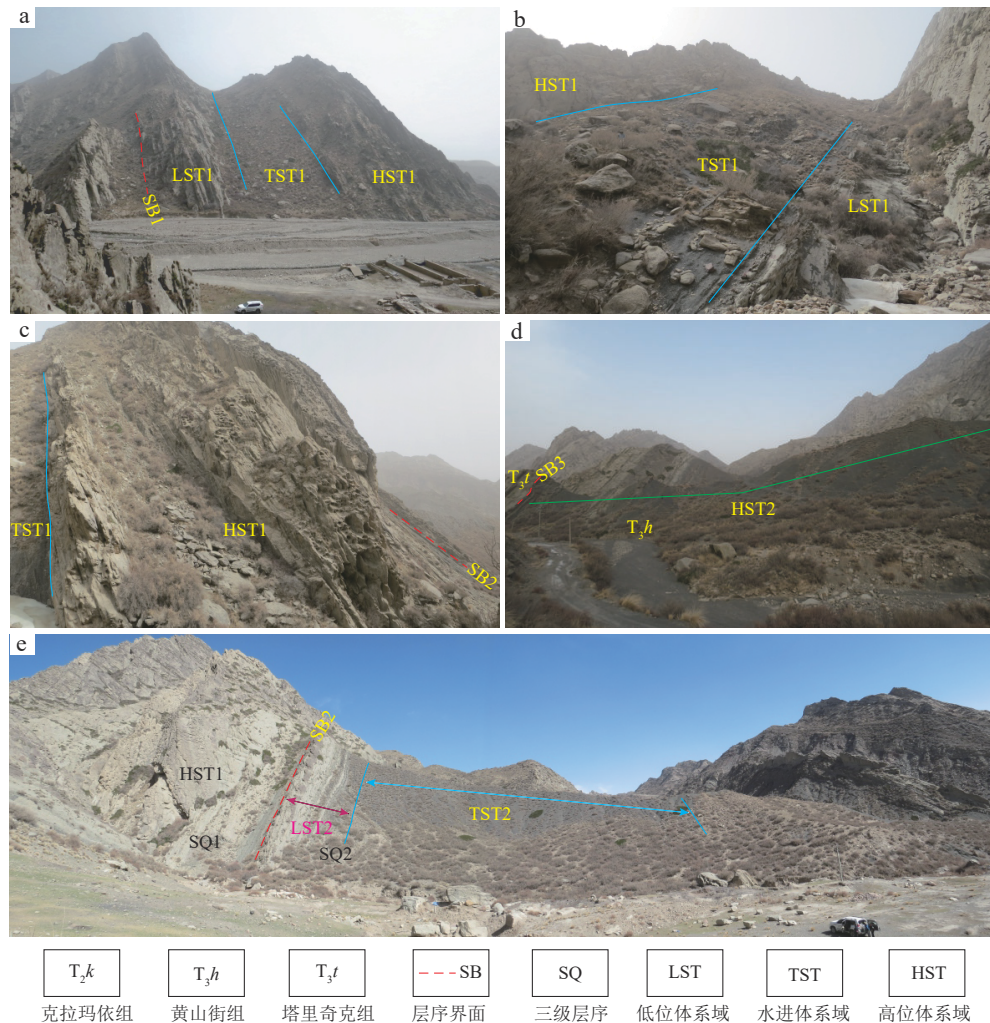


图6 库车坳陷黄山街组2个三级层序各体系域在露头上的宏观特征野外露头照片

Fig. 6 Outcrop-derived macroscopic characteristics of various systems tracts of the two third-order sequences in the Huangshanjie Formation, Kuqa Depression

a. SB1, LST1, TST1 和 HST1 特征, 宿相河剖面; b. LST1, TST1 和 HST1 特征, 宿相河剖面; c. HST1 和 SB2 特征, 宿相河剖面; d. HST2 和 SB3 特征, 宿相河剖面; e. HST1, SB2, LST2 及 TST2 特征, 宿相河剖面
(蓝线为体系域之间的界线; 绿线为 HST2 的露头范围。)

TST2 厚度大且横向展布范围广, 也覆盖了 SQ1 中的辫状河三角洲平原区带, 表明其沉积时期的古湖盆范围显著扩展, 从而形成较好的潜在烃源岩和区域性盖层。HST1 中的砾质粗碎屑与 TST2 中的暗色细粒沉积可构成较好的潜在储-盖组合。湖相细粒沉积对比表明, SQ2 比 SQ1 沉积时期的湖盆范围显著扩展, 这应当是 SQ1 沉积时期的古天山物源区已准平原化, 使得 SQ2 沉积时期的水侵能远距离向陆延伸。

2.2.4 盆-山耦合对层序的控制

库车坳陷自三叠纪开始进入封闭的挤压挠曲型盆地发展阶段, 在整个三叠纪演化的不同时期, 逆冲挤压应力先逐渐增强又逐渐减弱^[25], 在幕式挤压背景下,

形成三叠系多个下粗上细的“二元”沉积结构^[17]。这种幕式构造背景下的盆-山耦合也明显控制了库车坳陷三叠系黄山街组所发育的三级层序及体系域特征, 2 个三级层序形成于差异较大的盆-山格局。

三级层序 SQ1 整体形成于构造活动较强的时期。在 LST1 及 HST1 沉积初期, 构造活动最强, 古天山强烈隆升, 盆地则发生了强烈坳陷并被快速充填。盆内突然出现的 2 大套砾质粗碎屑是当时的盆-山耦合沉积响应的直接证据, 也表明提供物源的古天山发生了 2 幕快速的构造隆升, 使得盆-山高差显著增大(图 4, 图 8a, 图 8c)。TST1 沉积期, 构造活动相对较弱且盆-山高差缩小(图 8b), 稳定的大套暗色细粒沉积为其沉积响应。HST1 底部砾质粗碎屑沉积与下伏 TST1 暗色细

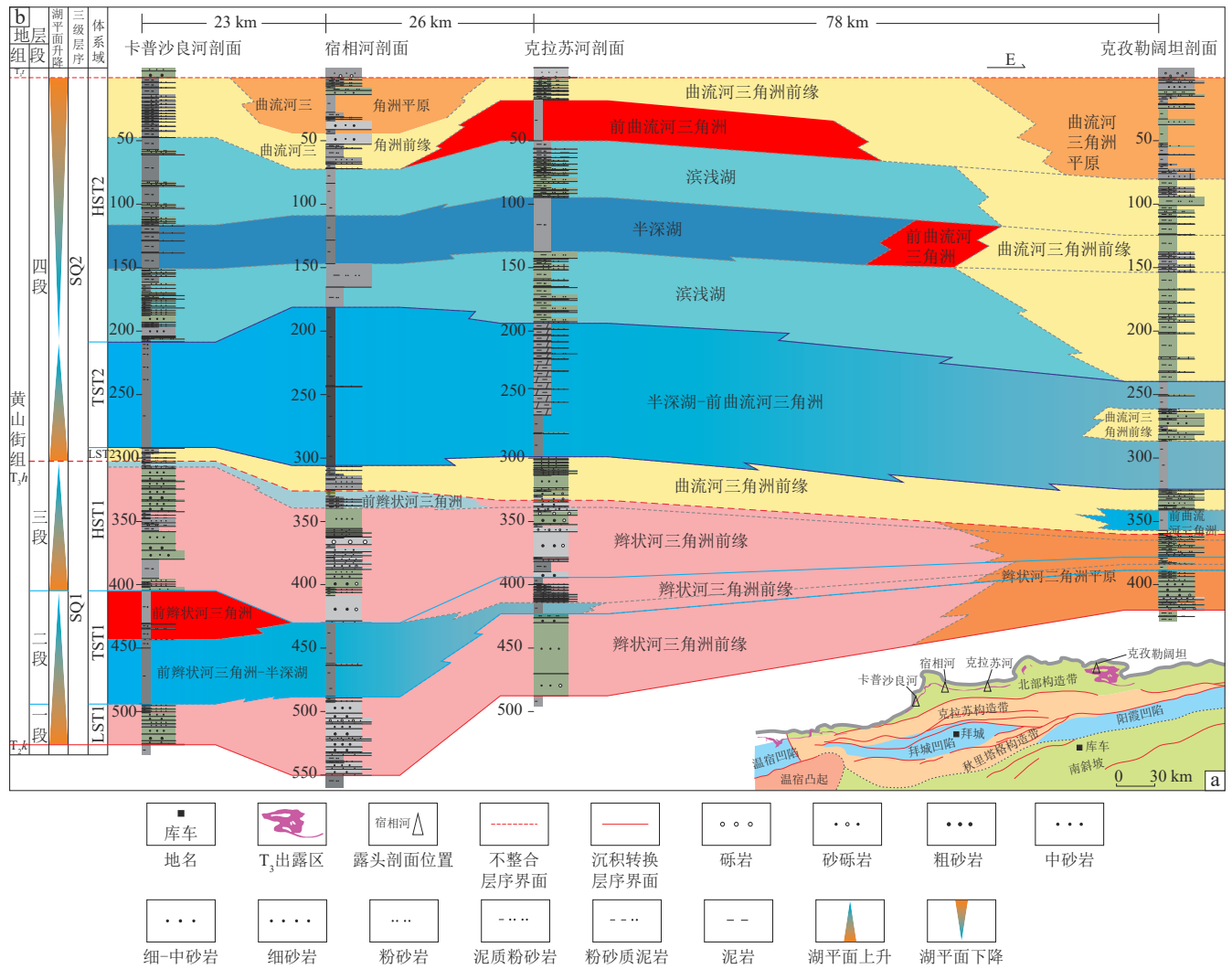


图7 库车坳陷黄山街组层序格架剖面

Fig. 7 Profile showing the sequence stratigraphic framework of the Huangshanjie Formation, Kuqa Depression

a. 黄山街组露头剖面位置; b. 黄山街组层序格架剖面

粒沉积之间呈显著的岩性和粒度突变,顶部由辫状河三角洲前缘向前辫状河三角洲过渡的暗色细粒沉积出现中断,SQ2再无砾质粗碎屑发育且区域上可对比的古土壤层等,这些意味着HST1沉积早期,古天山发生过强烈的快速隆升,随后隆升停滞,最终被侵蚀夷平至准平原化,而盆地内部则由早期的强烈拗陷和快速充填过渡到弱拗陷和缓慢充填,然后发生区域性抬升,致使盆地内水体相对较深的低能相带沉积亦被暴露地表,遭受风化作用(图4)。

三级层序SQ2整体形成于弱而稳定的构造活动期。在整体的弱挤压背景下,准平原化的古天山再度弱隆升提供物源,盆地弱拗陷接受沉积。因物源区再度隆升的幅度相当小,所以在LST2沉积期仅发育总厚度与单层厚度均很小的粉-细砂岩。低高差的盆-山耦合导致湖平面上升并形成更大范围的水侵,从而形

成横向展布范围更广且稳定的水侵体系域TST2(图7,图8d)。在长期稳定的低高差盆-山格局下,沉积响应体现为SQ2中再无砾质粗碎屑出现且发育厚度很大、展布很广的暗色细粒沉积。SQ2发育中-晚期,库车坳陷由湖相沉积体系向曲流河三角洲沉积体系演进,意味着古天山进一步被夷平,而湖盆最终被填平补齐。之后,再一次发生整体的区域性抬升,形成新的沉积间断。

3 结论

通过野外露头精细观察,综合分析黄山街组相关界面性质和纵向岩性、岩相组合及其变化特征,将黄山街组自下而上划分出4个岩性段及2个三级层序。

1) SQ1由黄一段—黄三段构成,SQ2由黄四段构

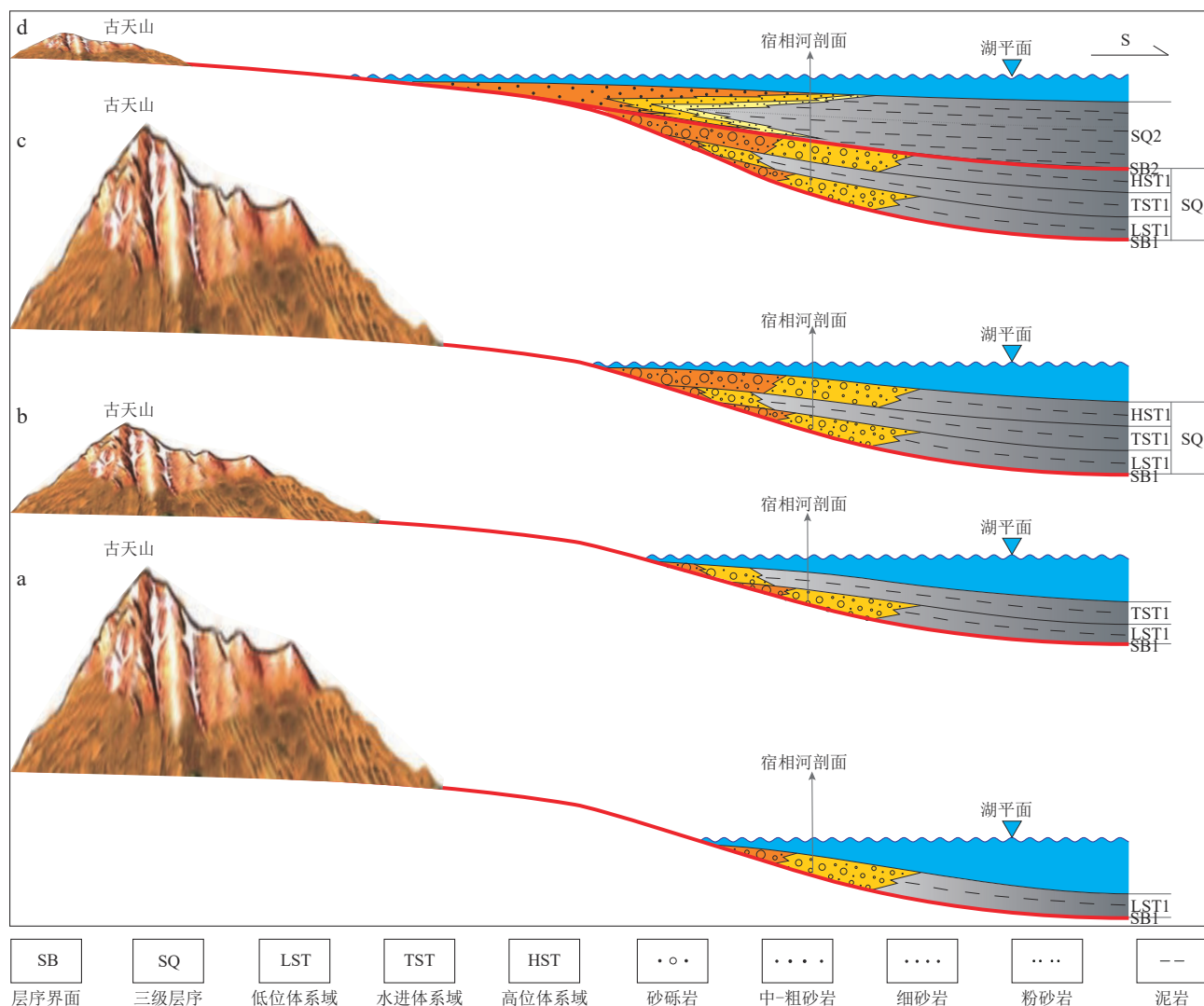


图8 库车坳陷黄山街组在盆-山耦合控制下2个三级层序发育过程示意图

Fig. 8 Schematic diagram showing the basin-mountain coupling-controlled developmental process of the two third-order sequences in the Huangshanjie Formation, Kuqa Depression

a—c. SQ1发育背景;d. SQ2发育背景

成,2个三级层序均包含低位体系域、水侵体系域及高位体系域;SQ1厚度明显比SQ2的厚度小,且SQ1东薄西厚,SQ2东厚西薄。

2) SQ1的底界SB1为黄山街组与下伏克拉玛依组的界线,是岩性、岩相突变转换面及沉积转换面;SQ1的顶界SB2为古天山准平原化之后区域抬升形成的沉积间断,伴随发育有区域可对比的古土壤层;SQ2的顶界SB3既是岩性、岩相突变转换面及冲刷侵蚀面,也有沉积间断所形成的古土壤。

3) SQ1中,辫状河三角洲前缘沉积的黄一段砾质粗碎屑构成LST1,前辫状河三角洲—半深湖环境下发育的黄二段暗色细粒沉积构成TST1,辫状河三角洲前缘沉积的黄三段砾质粗碎屑构成HST1;SQ2中,曲流河三角洲前缘沉积的黄四段底部厚度较薄且以细粒碎

屑为主的层段构成LST2,前曲流河三角洲—半深湖环境下形成的黄四段下部暗色细粒沉积构成TST2,前曲流河三角洲—曲流河三角洲平原沉积形成的黄四段中、上部构成HST2。因此,总体而言,SQ1由辫状河三角洲及湖相沉积构成,SQ2由曲流河三角洲及湖相沉积构成。

4) 盆-山耦合变化控制着黄山街组2个三级层序的发育。SQ1沉积期,古天山由2幕强烈快速隆升至隆升停滞的旋回构成,盆地则相应发生2期从强烈拗陷(对应快速的砾质粗碎屑充填)至弱拗陷(对应稳定的细粒沉积)的沉积响应;在第二幕末期,古天山近准平原化后发生区域性整体抬升,形成区域展布的古土壤层及一定程度的沉积间断。SQ2沉积期,古天山再度弱隆升,盆地同步发生弱拗陷,出现持续稳定充填响

应。SQ2沉积后,再次发生区域性整体抬升,形成一定程度的沉积间断及一定规模的风化壳。

参 考 文 献

- [1] 张水昌,邓攀,彭燕,等. 塔里木盆地轮台断隆带中生代陆相原油成因及其源岩潜力评价[J]. 新疆石油地质, 1995, 16(4): 307-311.
- ZHANG Shuichang, DENG Pan, PENG Yan, et al. Origin of Mesozoic-Cenozoic continental facies oil and hydrocarbon-generated potential evaluation of source rock, Lun-Tai faulted uplift zone in Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 16(4): 307-311.
- [2] 秦胜飞,贾承造,陶士振. 塔里木盆地库车坳陷油气成藏的若干特征[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 103-108.
- QIN Shengfei, JIA Chengzao, TAO Shizhen. Some characteristics of oil and gas accumulation in the Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Geology in China, 2002, 29(1): 103-108.
- [3] 王飞宇,杜治利,李谦,等. 塔里木盆地库车坳陷中生界油源岩有机成熟度和生烃历史[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 136-146.
- WANG Feiyu, DU Zhili, LI Qian, et al. Organic maturity and hydrocarbon generation history of the Mesozoic oil-prone source rocks in Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Geochimica, 2005, 34(2): 136-146.
- [4] 杜治利,王飞宇,张水昌,等. 库车坳陷中生界气源灶生气强度演化特征[J]. 地球化学, 2006, 35(4): 419-431.
- DU Zhili, WANG Feiyu, ZHANG Shuichang, et al. Gas generation history of Mesozoic hydrocarbon kitchen in Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Geochimica, 2006, 35(4): 419-431.
- [5] 冯佳睿,高志勇,张宇航,等. 库车坳陷大北克深井区白垩系储层含盐特征与分布规律[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2022, 52(1): 38-54.
- FENG Jiarui, GAO Zhiyong, ZHANG Yuhang, et al. Characteristics and Distribution of Salt-Bearing in Cretaceous Reservoirs of the Deep North Kekeya Area in the Kuche Depression [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022, 52(1): 38-54.
- [6] 吕志凯,张建业,张永宾,等. 超深层裂缝性致密砂岩气藏储层连通性及开发启示——以塔里木盆地库车坳陷克深2气藏为例[J]. 断块油气田, 2023, 30(1): 31-37.
- LV Zhikai, ZHANG Jianye, ZHANG Yongbin, et al. Connectivity of Ultra-Deep Fractured Tight Sandstone Gas Reservoirs and Implications for Development: A Case Study of the Keshen 2 Gas Reservoir in the Kuche Depression, Tarim Basin [J]. Block Oil and Gas Fields, 2023, 30(1): 31-37.
- [7] 唐武,仲米虹,田建华,等. 塔北地区黄山街组湖盆滩坝砂体沉积模式[J]. 新疆石油地质, 2015, 36(3): 299-303.
- TANG Wu, ZHONG Mihong, TIAN Jianhua, et al. Depositional model for lacustrine beach bars of Huangshanjie Formation in Tabei area, Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2015, 36(3): 299-303.
- [8] 朱卫红,吴胜和,尹志军,等. 辫状河三角洲露头构型——以塔里木盆地库车坳陷三叠系黄山街组为例[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(3): 482-489.
- ZHU Weihong, WU Shenghe, YIN Zhijun, et al. Braided river delta outcrop architecture: A case study of Triassic Huangshanjie Formation in Kuche Depression, Tarim Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(3): 482-489.
- [9] 马立驰,朱筱敏. 塔里木盆地西北部三叠系层序地层学研究[J]. 复式油气田, 2000(1): 40-42.
- MA Lichi, ZHU Xiaomin. A study of sequence stratigraphy of Triassic in northwest Tarim Basin [J]. Multiple Oil-Gas Field, 2000(1): 40-42.
- [10] 吕雪雁,朱筱敏,申银民,等. 塔里木盆地台盆区三叠系层序地层研究和有利勘探区预测[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 32-35.
- LYU Xueyan, ZHU Xiaomin, SHEN Yinmin, et al. The Triassic sequence stratigraphy and the prediction of the favourable exploration targets in Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 32-35.
- [11] 傅恒,宋杉林,刘海兴. 塔北-塔中盆地三叠纪陆相层序地层划分及沉积演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(2): 31-46.
- FU Heng, SONG Shalin, LIU Haixing. Continental sequence stratigraphy and sedimentary evolution of the Triassic strata in the north-central Tarim Basin, Xinjiang [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, 22(2): 31-46.
- [12] 何宏,郭建华,彭苏萍,等. 库车前陆盆地三叠系层序地层研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(3): 32-36.
- HE Hong, GUO Jianhua, PENG Suping, et al. Triassic sequence stratigraphy in Kuqa foreland basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(3): 32-36.
- [13] 宗文明. 塔里木盆地库车坳陷三叠纪层序地层与古地理分析[D]. 北京: 中国地质科学院, 2010.
- ZONG Wenming. Sequence stratigraphy research and palaeogeography analysis of Triassic in Kuqa Depression, Tarim Basin [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2010.
- [14] 陈旭,董玉文,陈红汉,等. 塔里木盆地台盆区三叠系三级层序界面和体系域界面的识别与应用[J]. 沉积学报, 2011, 29(5): 917-925.
- CHEN Xu, DONG Yuwen, CHEN Honghan, et al. Identification and application of sequence boundaries and system tract boundaries for the Triassic of Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(5): 917-925.
- [15] 王家豪,陈红汉,云露,等. 塔里木盆地台盆区三叠纪大型挤压陷湖盆层序地层及构造响应[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2012, 37(4): 735-742.

- WANG Jiahao, CHEN Honghan, YUN Lu, et al. Tectonic responses of Triassic sequence stratigraphy in the large-scale compressional down-warped lacustrine basin of inner Tarim Basin [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2012, 37(4): 735-742.
- [16] 唐武, 王英民, 袁文芳, 等. 桑塔木地区三叠系层序地层特征及有利区带预测[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2013, 28(2): 1-10.
- TANG Wu, WANG Yingmin, YUAN Wenfang, et al. Sequence stratigraphic characteristics and favorable hydrocarbon accumulation prediction of Triassic in Sangtamu area [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2013, 28(2): 1-10.
- [17] 吴嘉鹏, 陆金波, 王英民, 等. 塔里木盆地北部三叠系“二元”层序结构特征及演化模式[J]. *沉积学报*, 2014, 32(2): 325-333.
- WU Jiapeng, LU Jinbo, WANG Yingmin, et al. “Dual feature” of sequence architecture and sequence evolution model of Triassic northern Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(2): 325-333.
- [18] 陈兆芹, 刘景彦, 杨宪章, 等. 塔里木盆地英买力地区三叠系相对湖平面变化分析[J]. *西北地质*, 2023, 56(1): 203-216.
- CHEN Zhaoqin, LIU Jingyan, YANG Xianzhang, et al. Discussion on relative lacustrine level changes of Triassic in Yingmaili area, Tarim Basin [J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(1): 203-216.
- [19] 董火祥, 刘景彦, 李勇, 等. 基于小波变换方法划分塔里木三叠系层序及湖平面变化分析[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(1): 54-65.
- DONG Huoxiang, LIU Jingyan, LI Yong, et al. Division of Triassic sequence and analysis of lacustrine level changes in Tarim Basin based on wavelet transform [J]. *Science Technology and Engineering*, 2023, 23(1): 54-65.
- [20] 王胜军, 唐永亮, 朱松柏, 等. 塔里木盆地库车坳陷北部典型露头剖面白垩系巴什基奇克组三段高分辨率层序地层特征[J]. *石油与天然气地质*, 2022, 43(4): 804-822.
- WANG Shengjun, TANG Yongliang, ZHU Songbai, et al. High-resolution sequence stratigraphy of the third member of Cretaceous Bashijiqike Formation in a typical outcrop section, northern Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2022, 43(4): 804-822.
- [21] 张向全, 谷永兴, 刘军, 等. 库车坳陷秋里塔格构造带西段高精度地震成像[J]. *新疆石油地质*, 2023, 44(5): 626-633.
- ZHANG Xiangquan, GU Yongxing, LIU Jun, et al. High-precision seismic imaging of the western segment of the Qiulitag structural belt in the Kuiche Depression [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2023, 44(5): 626-633.
- [22] 张辉, 鞠玮, 徐珂, 等. 库车坳陷博孜气藏超深致密砂岩储集层现今地应力预测[J]. *新疆石油地质*, 2023, 44(2): 224-230.
- ZHANG Hui, JU Wei, XU Ke, et al. Prediction of Present-Day Stress Field in Ultra-Deep Tight Sandstone Reservoirs of Bozi Gas Field in Kuiche Depression [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2023, 44(2): 224-230.
- [23] 蔡振忠, 徐珂, 张辉, 等. 基于地质工程一体化的超深井提速提产——以塔里木盆地库车坳陷为例[J]. *新疆石油地质*, 2022, 43(2): 206-213.
- CAI Zhenzhong, XU Ke, ZHANG Hui, et al. Accelerating and Enhancing Production of Ultra-Deep Wells Based on Integrated Geological and Engineering Approaches: A Case Study of the Kuiche Depression in the Tarim Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2022, 43(2): 206-213.
- [24] 刘和甫, 梁慧社, 蔡立国, 等. 天山两侧前陆冲断系构造样式与前陆盆地演化[J]. *地球科学*, 1994, 19(6): 727-741.
- LIU Hefu, LIANG Huishe, CAI Liguang, et al. Evolution and structural style of Tianshan and adjacent basins, northwestern China [J]. *Earth Science*, 1994, 19(6): 727-741.
- [25] 纪云龙, 丁孝忠, 李喜臣, 等. 塔里木盆地库车坳陷三叠纪沉积相与古地理研究[J]. *地质力学学报*, 2003, 9(3): 268-274.
- JI Yunlong, DING Xiaozhong, LI Xichen, et al. Triassic paleogeography and sedimentary facies of the Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2003, 9(3): 268-274.
- [26] 赵孟军, 张宝民. 库车前陆坳陷形成大气区的烃源岩条件[J]. *地质科学*, 2002, 37(增刊1): 35-44.
- ZHAO Mengjun, ZHANG Baomin. Source rocks for a giant gas-accumulating area in the Kuqa foreland depression [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2002, 37(S1): 35-44.
- [27] 黄克难, 詹家祯, 邹义声, 等. 新疆库车河地区三叠系和侏罗系沉积环境及古气候[J]. *古地理学报*, 2003, 5(2): 197-208.
- HUANG Kenan, ZHAN Jiazhen, ZOU Yisheng, et al. Sedimentary environments and palaeoclimate of the Triassic and Jurassic in Kuqa river area, Xinjiang [J]. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*, 2003, 5(2): 197-208.

(编辑 刘格云)