DOI 10.3969/j.issn.2095-4107.2026.05.003

松辽盆地梨树断陷层序地层格架烃源岩发育特征

于志炜[1]，王宏语[1]，李瑞磊[2]，徐　文[2]，李　阔[2]，张浩宇[1]
（1. 中国地质大学(北京) 能源学院，北京　100083；2. 中国石化东北油气分公司 勘探开发研究院，吉林 长春　130026）

摘　要：松辽盆地梨树断陷沙河子组和营城组烃源岩生烃潜力较好。为明确烃源岩的展布特征及其受层序地层的约束关系，采用三维地震、测井、录井、岩心资料与烃源岩地球化学指标测试，以及层序地层学与沉积学方法，确定沙河子组和营城组层序地层格架，研究各层序烃源岩发育特征。结果表明：松辽盆地梨树断陷在沙河子组的 4 个陡地貌、三分体系域结构显著的三级层序(SQ1—SQ4)中，湖相暗色泥岩单层厚度、累计厚度大，烃源岩地球化学指标好(ω(TOC)大于 1%)；在以平缓地貌、两分体系域结构为主的营城组 2 个三级层序(SQ5—SQ6)中，高位域占主导，砂泥岩互层频率高、单层厚度与累计厚度小，烃源岩地球化学指标相对较差(ω(TOC)小于 1%)。该结果为梨树断陷沙河子组和营城组优质烃源岩有利区带及有利层位预测提供支持。

关　键　词：松辽盆地；梨树断陷；沙河子组；营城组；层序地层格架；烃源岩；发育特征
中图分类号：TE122；P618.13　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：2095-4107(2026)05-0037-21

0　引言

梨树断陷是松辽盆地深层的复杂次级断陷，经历多个次级小断陷、复合箕状断陷和缓坡湖盆的演化历程[1-3]，具有多阶段的构造演化、复杂的断裂体系与沉积充填特征[4-9]，影响烃源岩发育特征及其分布规律研究。解习农[10]、李群等[11]利用钻井、地震等资料，采用层序地层学方法，引入“地震群”和“地震组”概念[11]，对比划分梨树断陷地层，认为沙河子组和营城组为断陷构造层。武继跃等[12]将梨树断陷西丁家地区沙河子组划分为 2 个三级层序。陈贤良等[13-15]、伍岳等[16]将梨树断陷沙河子组和营城组分别划分为 2 个三级层序，将七棵树地区沙河子组划分为 1 个三级层序[17-18]。

根据钻井、测井与三维地震资料，建立梨树断陷三级层序地层格架，层序方案未统一[19-20]，层序界面在盆地不同构造单元对比存在争议。随梨树断陷钻井数量的增加和三维地震资料的补充，层序划分方案有待进一步优化。有关梨树断陷烃源岩的研究，主要采用地球化学测试实验数据分析。宋振响等[21-22]、顾忆等[23]、肖永军等[24]、李耀华等[25]、李卓等[26]、谢环羽等[27]研究表明，沙河子组和营城组是主力烃源岩层。吉梨页油 1 井沙河子组高产气流表明沙河子组为主力烃源岩层[28]。沙河子组和营城组烃源岩生烃潜力相对较好[29-34]。人们将地球化学指标的采样和解释纳入时间地层格架，实现梨树断陷烃源岩的空间预测[35-37]。

笔者采用三维地震、测井、岩性录井、岩心资料综合解释与烃源岩地球化学指标测试，以及层序地层学与沉积学方法，确立三级层序地层格架，分析泥页岩、烃源岩在层序地层格架中的分布规律，研究层序地层控制下的烃源岩发育特征及规律，为梨树断陷深部油气勘探提供地质依据，为其他类似断陷湖盆烃源岩预测评价提供思路。

1　区域地质概况

松辽盆地是具有断、坳双层结构的大型陆相湖盆。梨树断陷是位于松辽盆地东南部的深部断陷[38]，面积约为 2.3×10^3 km^2；基底主要由海西期、印支—早燕山期火成岩侵入体组成[39]。中生代白垩纪早期沉积厚层的河流与湖—扇体系[40]；根据断层和地层展布特征，研究区可划分苏家屯洼陷、桑树台洼陷、秦家屯次凹、金岗洼陷、金山洼陷、双龙洼陷和北部斜坡带等二级构造单元[41]（见图 1(a)）。

收稿日期：2026-04-22；**编辑**：刘丽丽
基金项目：国家科技重大专项(2025ZD1400801)；中国石化科研项目(DBKJ2024010)
作者简介：于志炜(2002—)，男，硕士研究生，主要从事沉积学与石油地质学方面的研究。

梨树断陷地区的裂陷过程经历裂陷Ⅰ幕、裂陷Ⅱ幕、断拗转换期 3 个主要构造演化阶段(见图 1(b))。白垩纪早期,研究区进入裂陷Ⅰ幕阶段,大量的火山喷发形成以火山岩和火山碎屑岩为主的火石岭组[19];随后在多个局限的地堑与半地堑中沉积一套扇三角洲—半深湖碎屑岩沉积,形成沙河子组一段。

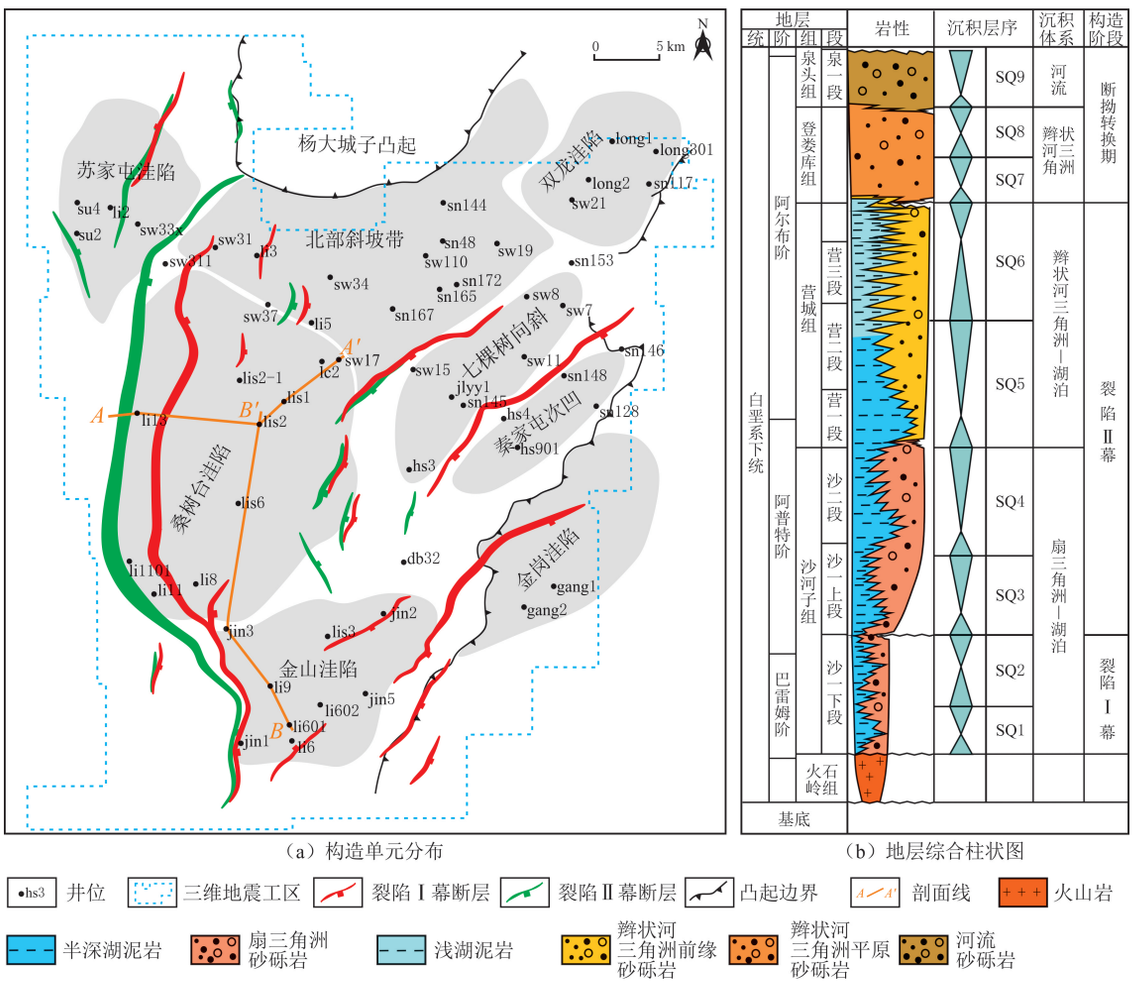


图 1　梨树断陷构造单元分布及地层综合柱状图

Fig. 1 Tectonic division distribution and comprehensive stratigraphic column in Lishu Fault Depression

巴雷姆阶沉积末期,松辽盆地经历挤压构造活动[42];梨树地区形成抬升、褶皱,结束裂陷Ⅰ幕,区域发育 T42 削蚀型不整合面。随后进入裂陷Ⅱ幕阶段,形成以桑树台断层为控边断裂的多坡、多洼的复合箕状断陷,充填以扇三角洲、辫状河三角洲—湖泊为主的沉积体系,形成巨厚的沙河子组上部地层及营城组。裂陷Ⅱ幕期间,盆地发育伸展裂陷背景下的断块翘倾形成的 T41 边缘局限型不整合面。

阿普特阶沉积中期,由于太平洋板块俯冲,松辽盆地经历压扭性构造活动[43],梨树断陷地区继续抬升,发育皮家、小宽等具有挤压走滑性断裂,区域发育 T4 不整合面。随后,伸展速率降低,进入断拗转换期,发育以河流—三角洲—浅水湖泊沉积为主的登娄库组。

2　资料与方法

2.1　资料

研究区收集面积为 2.16×10^3 km^2 的三维地震数据,覆盖整个梨树断陷(见图 1);道间距为 20 m×20 m,主频为 25 Hz。收集 180 余口钻井的测井与岩性录井资料,给出自然伽马(GR)、声波(AC)、电阻率(RT)、深浅侧向电阻率(LLD/LLS)等测井曲线及岩性记录;收集 41 口井的总有机碳质量分数(w(TOC))、镜质体反射率(R_o)、有机元素(H/C、O/C)等烃源岩地球化学测试数据;收集 40 多口井 70 多个

取心段的岩心观察照片与扫描资料。

2.2　方法

2.2.1　地层格架

对于断陷层系,在过井地震剖面上,采用地震地层学方法进行关键不整合面解释;根据测井曲线响应和岩性特征标定,进行三级层序划分;结合地震相划分体系域,解释层序格架中的最大湖泛面及初次湖泛面;根据地震剖面的交叉闭合解释,确定梨树断陷各层序及体系域的厚度与展布范围;建立研究区三级层序及关键体系域地层格架,与松辽盆地其他地区的对应。

2.2.2　泥岩发育特征

在建立的层序地层格架的分层数据基础上,根据 57 口关键井的岩性录井资料及岩心资料,统计各体系域泥岩段的总厚度,分析各层序体系域累计厚度分布。

2.2.3　烃源岩发育特征

根据测井曲线、岩性记录和岩心资料,确定各层序中烃源岩层的纵向分布特征,明确地震响应特征,完成各井位附近烃源岩层的标定;基于测井—地震资料校准,绘制梨树断陷各层序烃源岩的厚度分布图。

分析梨树断陷不同地区营城组和沙河子组(4 个层序)烃源岩样品地球化学测试结果,绘制各层序的烃源岩评价指标图;按照 SY/T 5735—2019《烃源岩评价地球化学方法》评价烃源岩质量;基于不同层序地层单元烃源岩发育特征,明确不同层序地层烃源岩发育特征,探讨发育规律。

研究区地球化学指标数据由中国石油化工股份有限公司东北油气分公司、长江大学、中国石油化工股份有限公司河南油田分公司、中国石油大庆油田有限责任公司等提供。烃源岩样品优先选取暗色泥页岩,剔除风化、钻井污染及含运移沥青岩块;经稀盐酸脱去无机碳酸岩,在高温氧气中燃烧,总有机碳转化为 CO_2,利用有机碳分析仪检测 CO_2 质量分数,获取总有机碳质量分数(w(TOC));利用沉积物的岩石热解实验,计算样品的 H/C 和 O/C 原子比;样品经过粉碎后进行反射光实验测试,取多次测试反射率的平均值,得到镜质体反射率(R_o)。梨树断陷烃源岩样品地球化学测试结果(w(TOC)大于 10%的样品为煤或碳质泥岩)见表 1。

表 1　梨树断陷烃源岩样品地球化学测试结果

Table 1 The geochemical test results for source rocks in Lishu Fault Depression

层序	w(TOC)/%	H/C	O/C	R_o/%
SQ2	0.20～37.91 4.03(92)	0.49～0.73 0.61(19)	0.04～0.24 0.12(19)	0.78～2.00 1.31(35)
SQ3	0.12～19.4 2.28(148)	0.41～1.04 0.64(30)	0.03～0.25 0.11(30)	0.74～2.84 1.37(42)
SQ4	0.06～5.99 1.25(290)	0.28～1.19 0.67(31)	0.04～0.31 0.13(31)	0.46～2.97 1.57(89)
SQ5	0.02～4.43 0.92(434)	0.44～1.67 0.67(64)	0.04～0.30 0.16(64)	0.67～2.75 1.48(152)

注:$\frac{\text{最小}\sim\text{最大}}{\text{平均(样品数)}}$。

3　层序地层格架

3.1　层序地层划分

3.1.1　li9 井层序解释

研究区 li9 井井震资料层序解释见图 2-3。裂陷Ⅰ幕层序较薄,处于南断北超,可识别 2 个三级沉积旋回(SQ1 和 SQ2)。裂陷Ⅱ幕层序可识别 4 个三级沉积旋回(SQ3、SQ4、SQ5 和 SQ6)。

SQ1 偏泥质沉积,底界面(T43 反射界面)为火山岩和碎屑岩界面,深度为 4 644.00 m。测井曲线 GR 出现明显台阶跳跃;地震资料响应为强波峰(黑轴),上部为碎屑岩超覆底界,下部表现为角度不整合。

MFS1 深度为 4 601.80 m，GR 为极大。MFS1 界面之下为弱退积准层序，之上为进积准层序；地震资料响应为强波峰，下部地层向洼陷深部延伸相变为弱振幅。

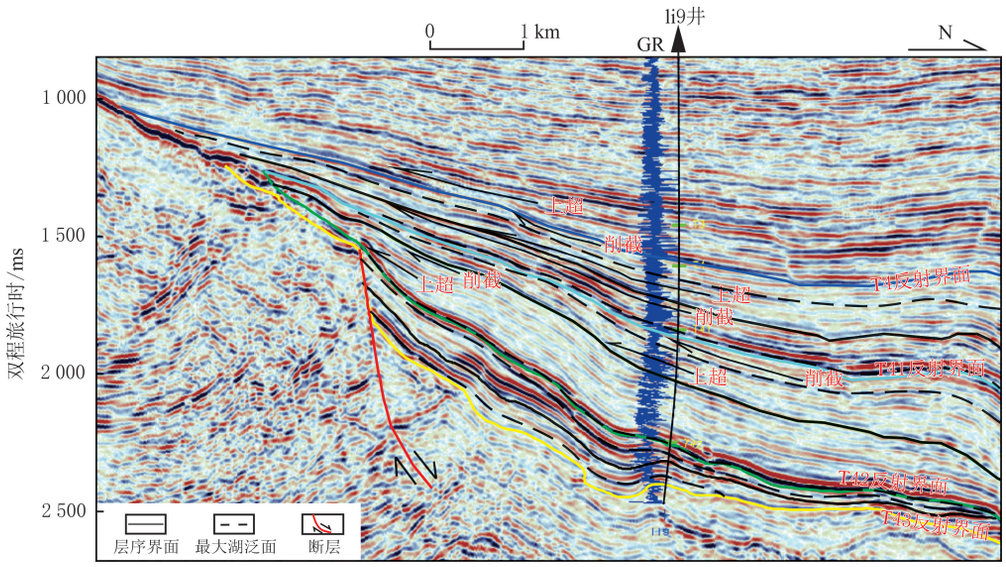
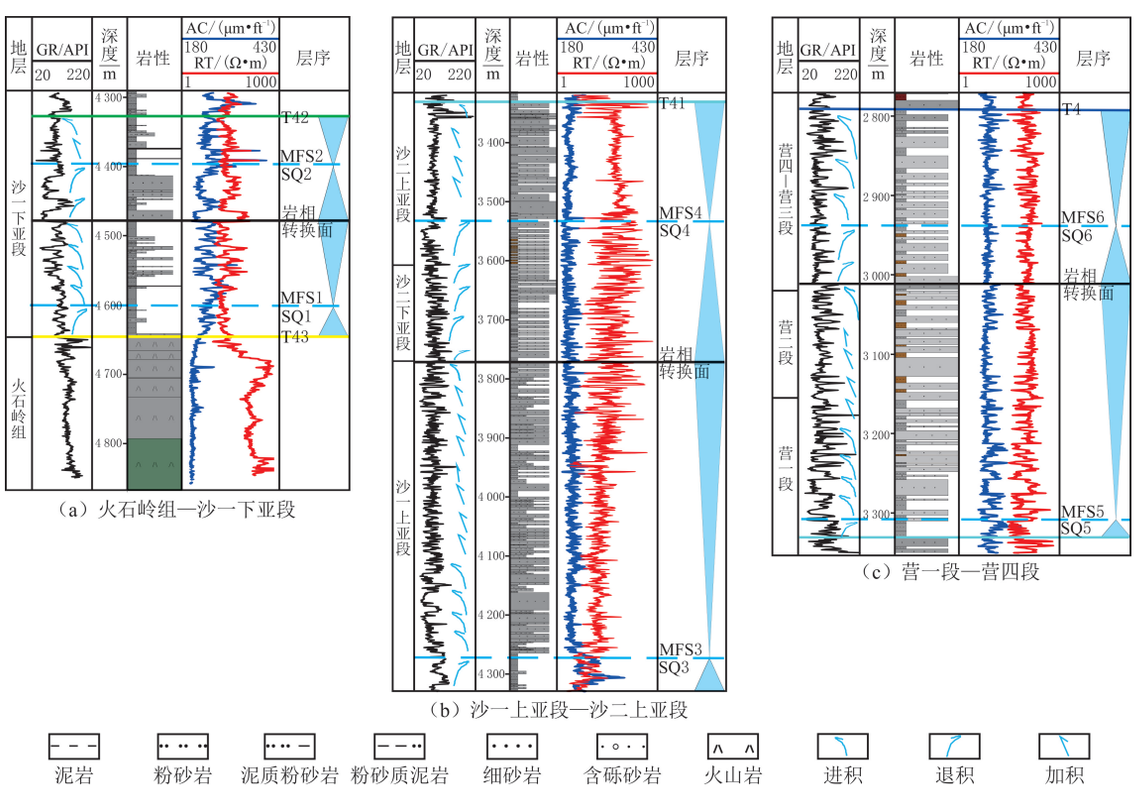


图 2　研究区 li9 井地震资料层序解释方案

Fig. 2 Seismic sequence interpretation scheme for well li9 in the study area



（a）火石岭组—沙一下亚段

（b）沙一上亚段—沙二上亚段

（c）营一段—营四段

图 3　研究区 li9 井单井测井层序解释方案

Fig. 3 Sequence stratigraphic log interpretation scheme for well li9 in the study area

SQ2 底界面深度为 4 471.77 m，测井曲线上为砂砾岩底面，界面之下为进积准层序，之上为退积准层序；地震资料响应为波谷（红轴），界面之下地层以向北的上超现象为主。MFS2 深度为 4 398.00 m，GR 呈高值，界面之下为退积准层序，之上为弱进积—加积准层序；地震响应为强波峰，向洼陷中部或坡折上延伸相变为弱振幅。SQ2 顶界面（T42 反射界面）深度为 4 327.45 m，为薄层粉砂质泥岩底面，界面之下为

加积—进积准层序;地震资料响应为波谷处,底部见顶超现象,向桑树台方向削截现象明显。

SQ3 超越裂陷Ⅰ幕次级洼陷范畴,进入裂陷Ⅱ幕;MFS3 深度为 4 270.45 m,为砂砾岩底部泥岩段,GR 呈高值;界面之上为加积—进积准层序,地震资料响应为强波峰;湖泛泥岩薄。SQ3 顶界面深度为 3 770.20 m,为砂砾岩顶面,界面之上为退积准层序,地震资料响应为波谷。

MFS4 深度为 3 524.50 m,GR 呈高值,界面之上以加积准层序为主,之下为退积准层序;地震资料响应为强波峰,下部见上超现象。SQ4 顶界面(T41 反射界面)深度为 3 332.10 m,为砂砾岩顶面,界面之上为退积准层序,向上泥岩增厚;地震资料响应为波谷,下部见削截现象。

MFS5 深度为 3 303.60 m,GR 呈高值,界面之上为加积—进积准层序,之下退积特征不显著,为加积准层序;地震资料响应为强波峰,可能为岩性突变界面。SQ5 顶界面(T41 反射界面)深度为 3 010.00 m,界面之下以加积—退积为主,砂岩单层厚度减小,砂泥互层频率增加;地震资料响应为中等振幅波峰,上部为更大范围上超。

MFS6 深度为 2 935.00 m,界面之上为加积—进积准层序,之下为退积准层序;地震资料响应为强波峰,下部见上超现象。SQ6 层序顶界面(T4 反射界面)深度为 2 789.00 m,为砂砾岩底面,界面之下为加进—进积准层序;地震资料响应为波谷,下部见削截现象,上部见上超现象。

3.1.2　井震资料解释

研究区白垩系沙河子组和营城组可识别 4 个区域不整合面(T43、T42、T41、T4 反射界面)、3 个层序岩相转换面、4 个初始湖泛面和 6 个最大湖泛面,可划为 6 个三级层序(见图 4)。

T43 反射界面为沙河子组底面(见图 4);界面之下的火石岭组以火山岩或火山碎屑岩为主,地震剖面上多呈中—弱振幅、较差连续性或杂乱反射特征(见图 5);界面之上以连续性更好的沙河子组砂泥岩沉积为主(见图 4),地震剖面上多表现为中—强振幅、高连续性的反射特征。在凹陷边缘地区和火山岩隆周缘可见上超沉积现象。

T42 反射界面为沙河子组内部的一个不整合面;在地震剖面上,不同地区分别有“下削蚀/上超覆、下平行/上超覆、下削蚀/上平行”等不同的界面上、下地层接触关系。研究区 sw17 井 GR 曲线揭示在 T43、T42 反射界面处的明显突变响应(见图 5)。

T41 反射界面是沙河子组与营城组之间界面;在凹陷边缘多表现为“下削蚀/上超覆”的地层接触关系;在凹陷内部大部分地区,界面之上显示为强反射、高连续性的地震反射特征,界面之下为中等振幅—较好连续性的地震反射特征(见图 5)。

T4 反射界面是营城组的顶面;在地震剖面上,界面之下多显示为中—强振幅、好连续性的反射特征,界面之上多为中—弱振幅、中等—较差连续性的反射特征;在凹陷的周缘可见“上超覆/下削蚀、上超覆/下平行”的界面上、下地层接触关系;在凹陷内部大部分地区表现为平行接触的假整合特征。

在 T43、T42、T41 与 T4 反射界面,每两个区域不整合之间,钻井揭示发育 3 个岩相转换面;主要显示为岩相序列的由细变粗过程,转换为由粗变细的序列;代表水体的深度与物源供给的强弱变化,间接反映层序界面附近的沉积情况(见图 4)。

湖泛面在钻井上主要表现为纵向厚度较大、横向对比稳定的泥岩段(见图 4);在地震剖面上,不同地区泥岩的单层厚度及其与相邻砂岩的互层频率不同,大部分地区呈强反射、连续性的反射特征,在部分地区呈弱反射、不连续性的反射特征。

3.2　层序地层展布

梨树断陷沙河子组—营城组发育泥岩、砂砾岩和火山岩等岩性,不同地区横向层速度存在差异。SQ1 展布范围较小,主要分布于几个次凹地区,各个次凹之间地层展布不连通(见图 6(a-b))。受断层影响,各个次凹地层呈西北厚、东南薄特征;桑树台次凹双程旅行时为 20～110 ms;金岗次凹双程旅行时更大,低位—湖扩域最大为 290 ms(见图 6(a)),高位域最大为 240 ms(见图 6(b))。

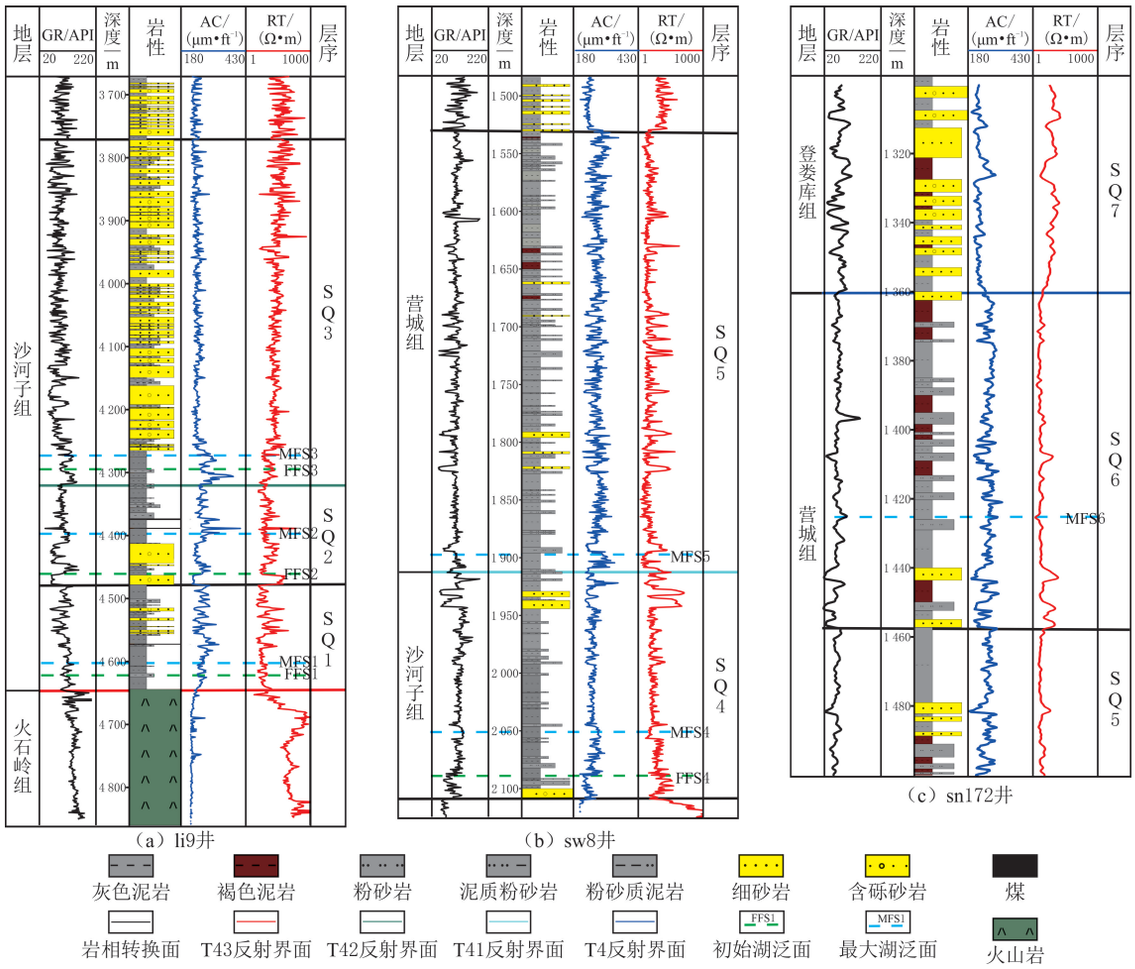


图 4　梨树断陷关键井岩性与测井响应特征

Fig. 4 Lithology and logging response characteristics of key wells in Lishu Fault Depression

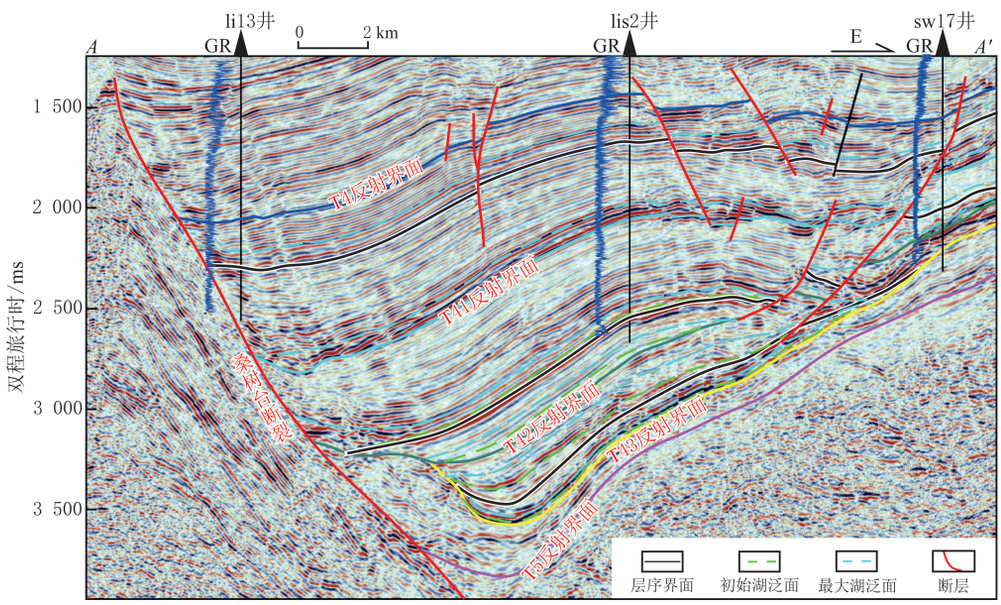


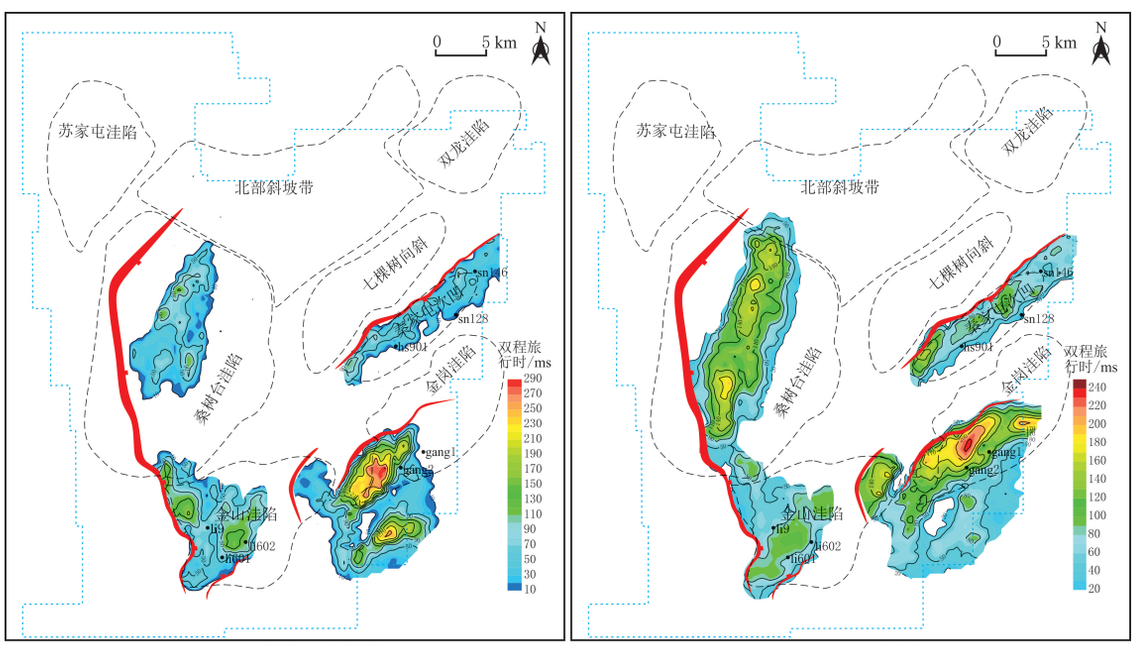
图 5　梨树断陷层序解释方案(剖面位置见图 1(a))

Fig. 5 Stratigraphic sequence interpretation framework in Lishu Fault Depression(section location as shown in Fig. 1(a))

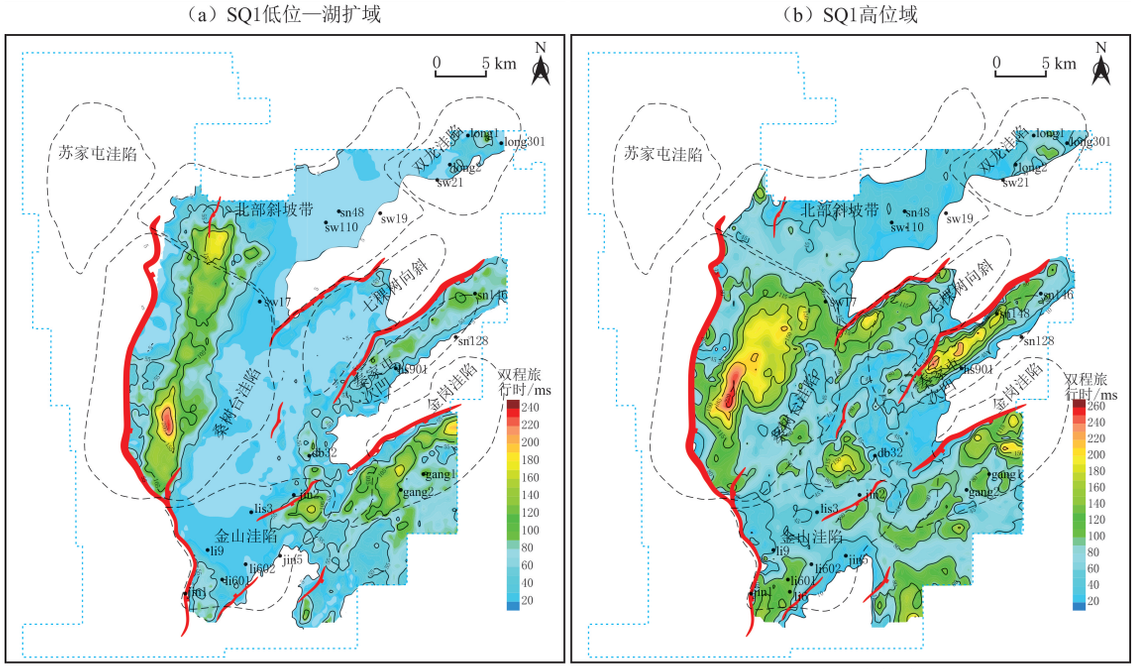
SQ2 展布范围相较于 SQ1 的明显扩大,多个次凹连通,存在多个沉积中心(见图 6(c-d))。桑树台次凹厚度较大,低位—湖扩域双程旅行时为 240 ms(见图 6(c)),高位域最大为 260 ms(见图 6(d))。

SQ3 展布范围继续扩大;研究区西北部苏家屯地区开始发育沉积,双程旅行时为 10～50 ms(见图 6(e-f))。低位—湖扩域西部地区双程旅行时为 90～130 ms,其他区域双程旅行时为 10～70 ms(见图 6(e))。与低位—湖扩域相比,高位域具有更大的厚度与展布范围,特别是南部地区累计较大的沉积厚度(见图 6(f))。

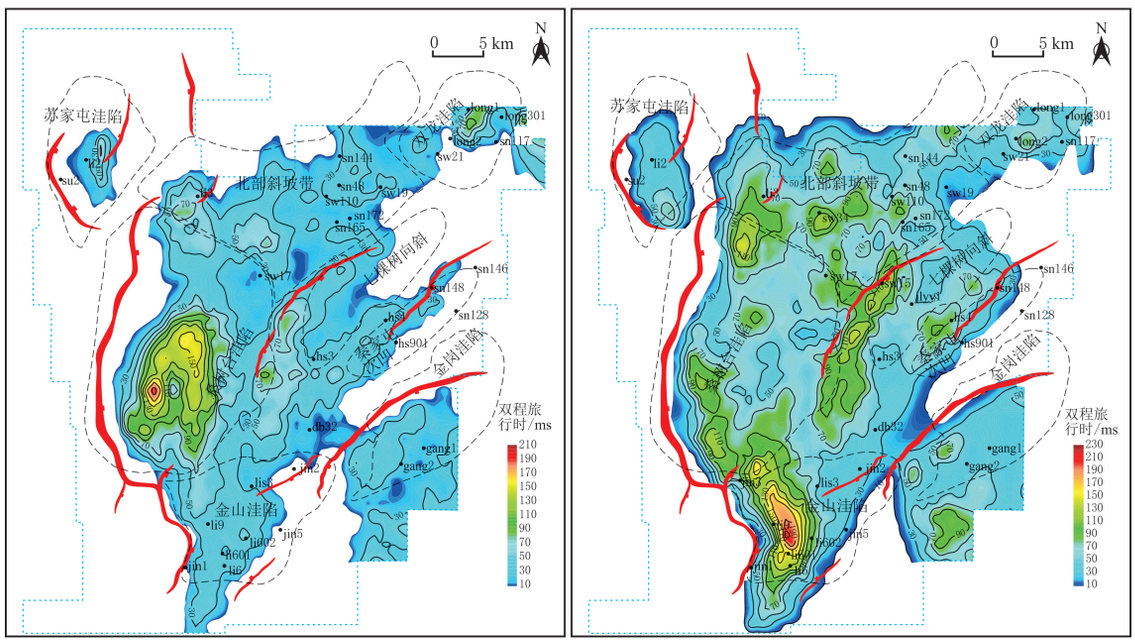
SQ4 展布范围持续增大,呈西厚、东薄的箕状断陷特征(见图 7(a-b))。低位—湖扩域双程旅行时最大为 280 ms,大部分地区的在 10～100 ms 之间(见图 7(a));高位域具有更大的双程旅行时,最大为 650 ms,大部分地区的在 10～170 ms 之间(见图 7(b))。从低位—湖扩域到高位域,凹陷沉积中心呈明显的由南向北迁移特征。



（a）SQ1低位—湖扩域　　（b）SQ1高位域



（c）SQ2低位—湖扩域　　（d）SQ2高位域



（e）SQ3低位—湖扩域　　（f）SQ3高位域

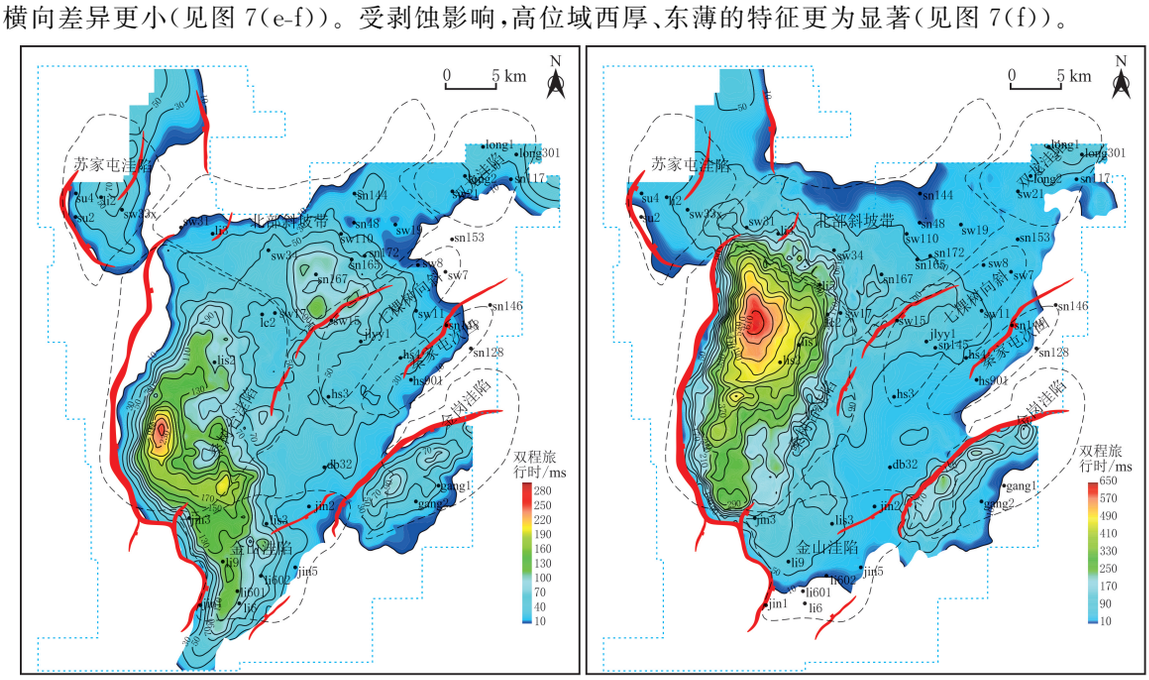
•hs3 井位　　三维地震工区　　断层

图 6　梨树断陷层序 SQ1—SQ3 体系域厚度

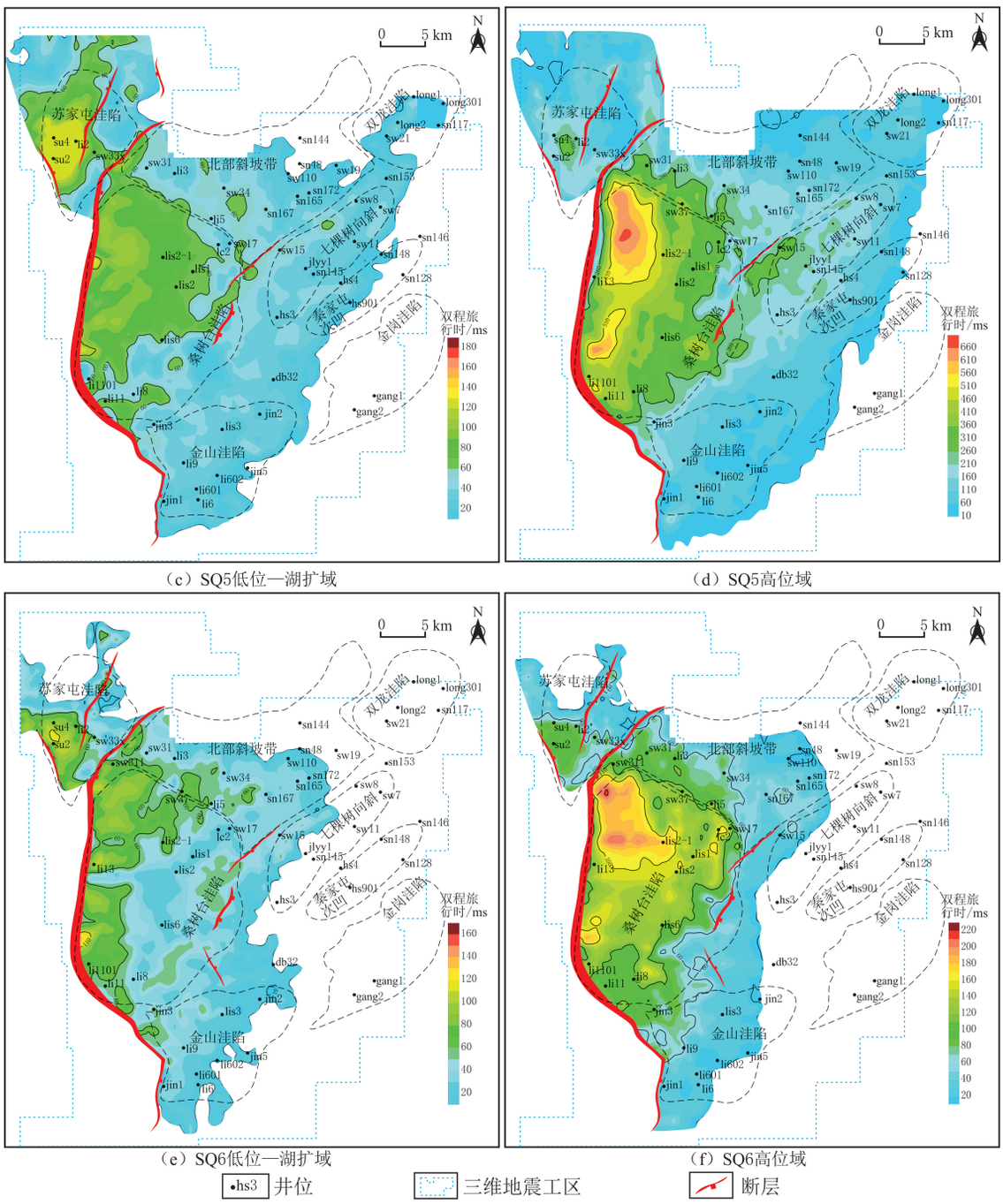
Fig. 6 System tract thickness of sequences SQ1-SQ3 in Lishu Fault Depression

SQ5 展布范围与 SQ4 的相似，低位—湖扩域与高位域厚度差异更大。低位—湖扩域厚度较薄，横向差异小，双程旅行时在 20～140 ms 之间（见图 7(c)）；高位域厚度呈三分的阶梯状特征，自西往东减薄（见图 7(d)）。

SQ6 受 T4 反射界面地层剥蚀影响，东部地区被剥蚀范围大，层序残留范围显著减小（见图 7(e-f)）；厚度趋势与 SQ5 的相似，具有西厚、东薄特征。与 SQ4 和 SQ5 相比，SQ6 厚度较小，低位—湖扩域厚度更薄、横向差异更小（见图 7(e-f)）。受剥蚀影响，高位域西厚、东薄的特征更为显著（见图 7(f)）。



（a）SQ4低位—湖扩域　　（b）SQ4高位域



（c）SQ5低位—湖扩域　　（d）SQ5高位域

（e）SQ6低位—湖扩域　　（f）SQ6高位域

图 7　梨树断陷层序 SQ4—SQ6 体系域厚度

Fig. 7 System tract thickness of sequences SQ4-SQ6 in Lishu Fault Depression

3.3　层序地层结构样式

受断裂发育期次与速率差别的影响,梨树断陷由早期的多个次凹逐渐发育成一个以桑树台断裂为控边断层的箕状断陷;随盆地构造演化及地貌变缓,层序结构样式发生变化(见图 8)。

SQ1—SQ2 沉积时期,沉积局限在火山岩隆及断裂联合控制的各个次凹中,具有较陡的斜坡及坡折地貌。层序内部低位、湖扩、高位体系域的三分特征较为显著;从次凹边缘的扇三角洲体系沉积,快速过渡到以半深湖沉积为主的凹陷中心,具有相变快、相带窄的特征。在次凹中心地区及物源缺乏地区积累较厚的暗色泥岩,边缘地区扇三角洲体系中的泥岩累计厚度迅速减薄。

SQ3—SQ4 沉积时期,研究区以一个统一的箕状断陷为沉积背景,具有斜坡地貌,在钻井与地震剖面

上，可区分层序内部的低位、湖扩及高位体系域；随物源体系规模的增大，各扇体与湖泊沉积平面范围增大，以进积为特征的高位体系域占据越来越大的空间。

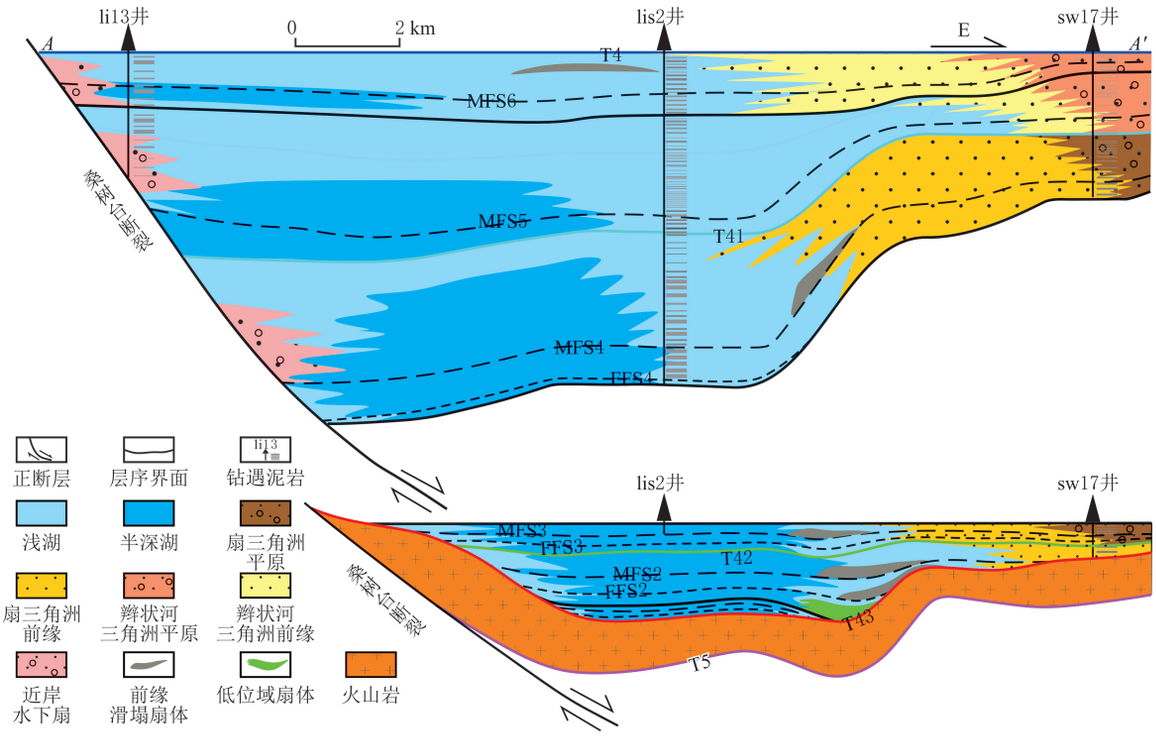


图 8　梨树断陷沉积层序及其泥页岩发育特征剖面(剖面位置见图 1(a))

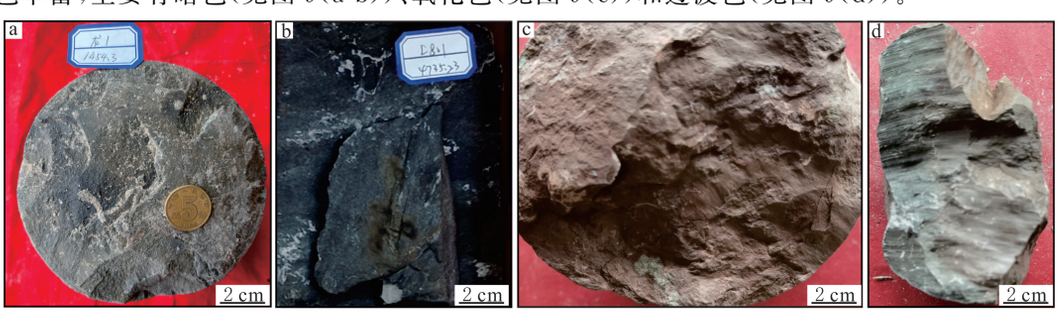
Fig. 8 Sedimentary sequence and shale development characteristics profile in Lishu Fault Depression(section location as shown in Fig. 1(a))

SQ5—SQ6 沉积时期，随沉积的充填，湖盆地貌变缓，凹陷内由扇三角洲—湖泊沉积体系转变为辫状河三角洲—湖泊沉积体系；不易区分层序内部的低位体系域，层序以湖扩、高位体系域的二分结构为特征。发育大面积的辫状河三角洲前缘沉积，内部砂、泥沉积互层频率增高，砂、泥岩单层厚度变小。

4　烃源岩发育规律

4.1　泥岩特征

岩心观察与岩性录井统计表明，梨树断陷岩性主要有粉砂质泥岩、泥岩、碳质泥岩及页理发育的页岩；泥岩颜色丰富，主要有暗色(见图 9(a-b))、氧化色(见图 9(c))和过渡色(见图 9(d))。



(a) 碳质泥岩，long1井，1 454.30 m；(b) 深黑色泥岩，li801井，4 735.23 m；(c) 棕红色泥岩，jin5井，2 085.11 m；(d) 灰绿色泥岩，jin5井，2 414.00 m

图 9　梨树断陷岩心沉积特征

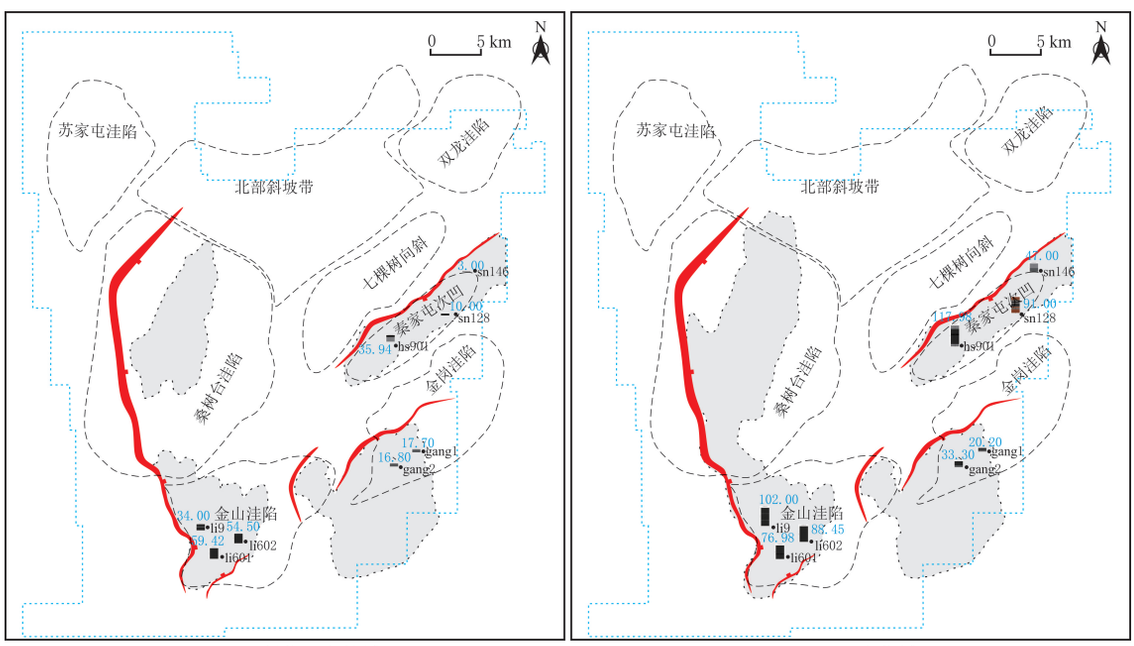
Fig. 9 Sedimentary characteristics of cores in Lishu Fault Depression

SQ1—SQ2 泥岩以湖相碳质泥岩(见图 9(a))、暗色泥岩(见图 9(b))为主，具有单层厚度大、分布广泛

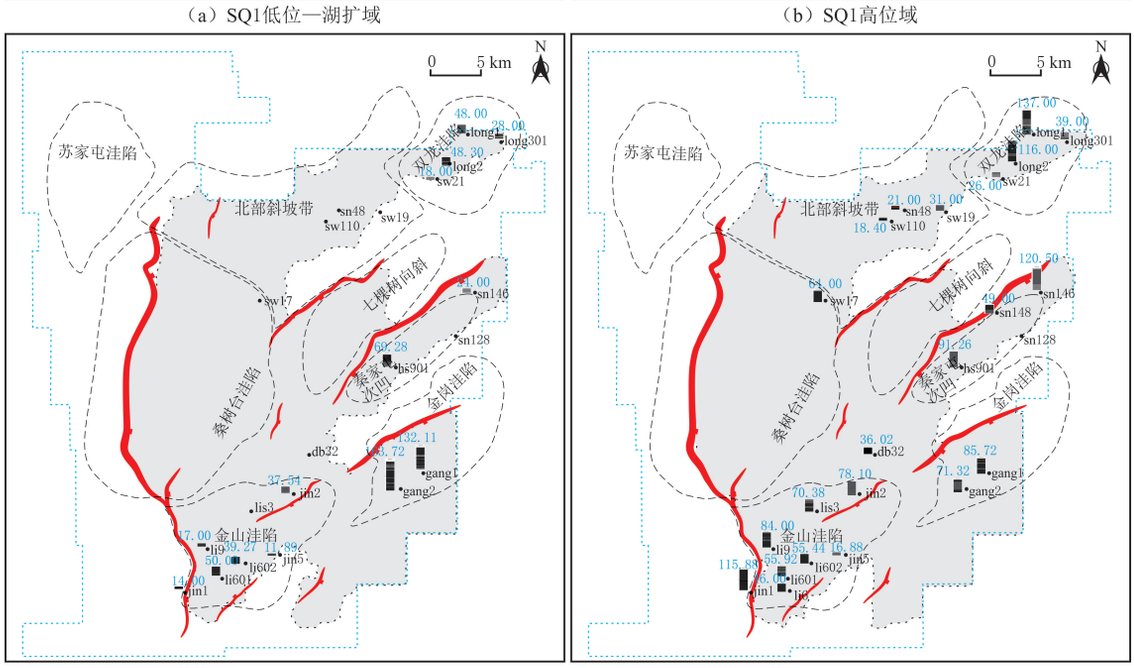
和累计厚度小的特征(见图 10(a-d)),在边缘扇体内发育薄层氧化色与过渡色泥岩层。纵向上主要分布湖扩域与早期高位域。

SQ3—SQ4 泥岩颜色更为丰富、分布更为广泛;湖扩域泥岩单层厚度增大,横向连续性更好,高位域氧化色泥岩与暗色泥岩交替发育,暗色泥岩累计厚度显著增大(见图 10-11)。

SQ5—SQ6 泥岩分布广泛、累计厚度大(见图 11(c-f))。相比 SQ1—SQ4,SQ5—SQ6 暗色泥岩占比大幅降低(见图 12)。湖扩域泥岩层以灰色、深灰色泥岩为主,粉砂质泥岩纹层增多,具有单层厚度大、层数少、横向连续性好的特征。高位域砂泥岩互层频率高,泥岩单层厚度较小,粉砂质泥岩增多,呈“以湖心暗色与过渡色为主、湖缘氧化色主导”的颜色分布特征(见图 11(d-f));暗色泥岩累计厚度大的地区分布在桑树台洼陷中心地带,具有由南向北迁移趋势。



(a) SQ1低位—湖扩域　　(b) SQ1高位域



(c) SQ2低位—湖扩域　　(d) SQ2高位域

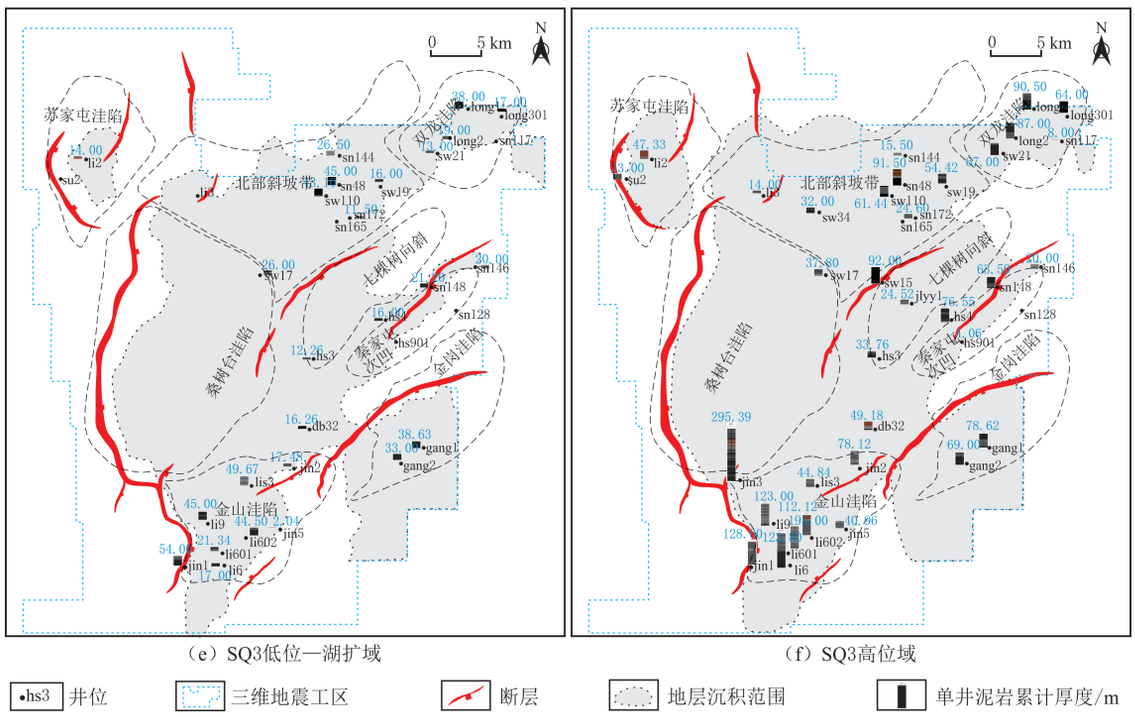


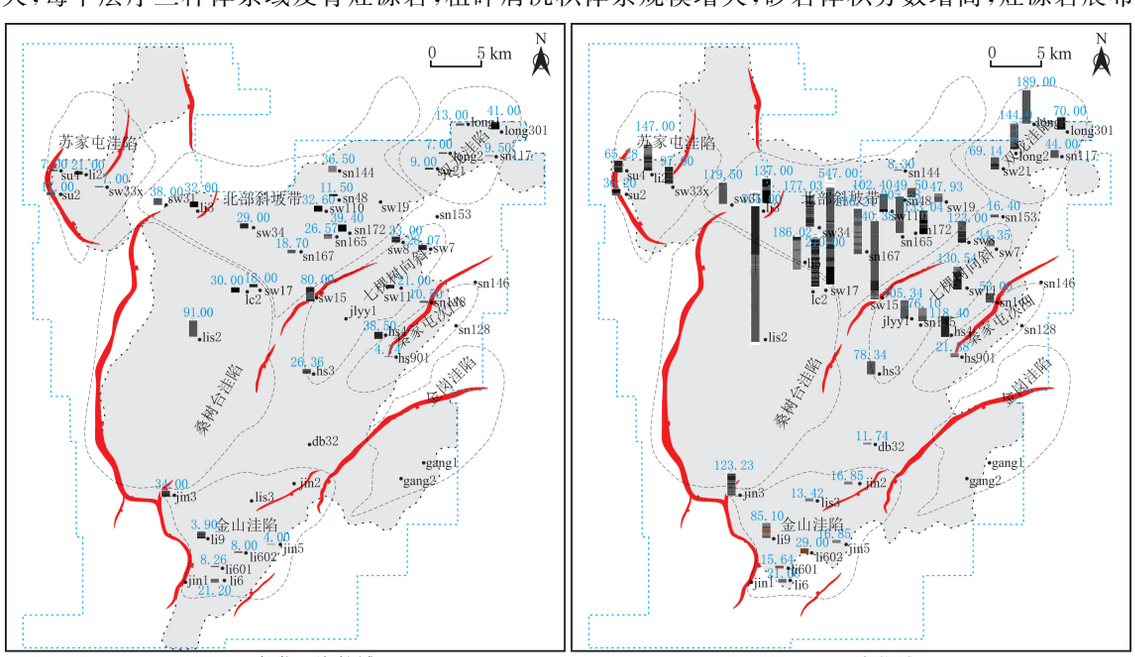
图 10　梨树断陷层序 SQ1—SQ3 泥岩累计厚度

Fig. 10 Cumulative mudstone thickness of sequences SQ1-SQ3 in Lishu Fault Depression

4.2　烃源岩分布

井震资料标定解释表明，研究区烃源岩主要分布在 SQ1 与 SQ2 的各个次凹中心地带，以及 SQ3—SQ6 的西部地区（见图 13）。烃源岩的展布范围规模与凹陷规模、湖盆地貌及边缘粗碎屑沉积体系的充填规模相关。

SQ1—SQ2 沉积时期，地层展布范围小、厚度较薄（见图 6(a-d)），湖盆地貌较陡，边缘粗碎屑体系规模局限，三种体系域发育暗色泥岩，具有较大的烃源岩累计厚度与展布范围。SQ3—SQ4 沉积时期，凹陷规模增大，每个层序三种体系域发育烃源岩，粗碎屑沉积体系规模增大，砂岩体积分数增高，烃源岩展布范围



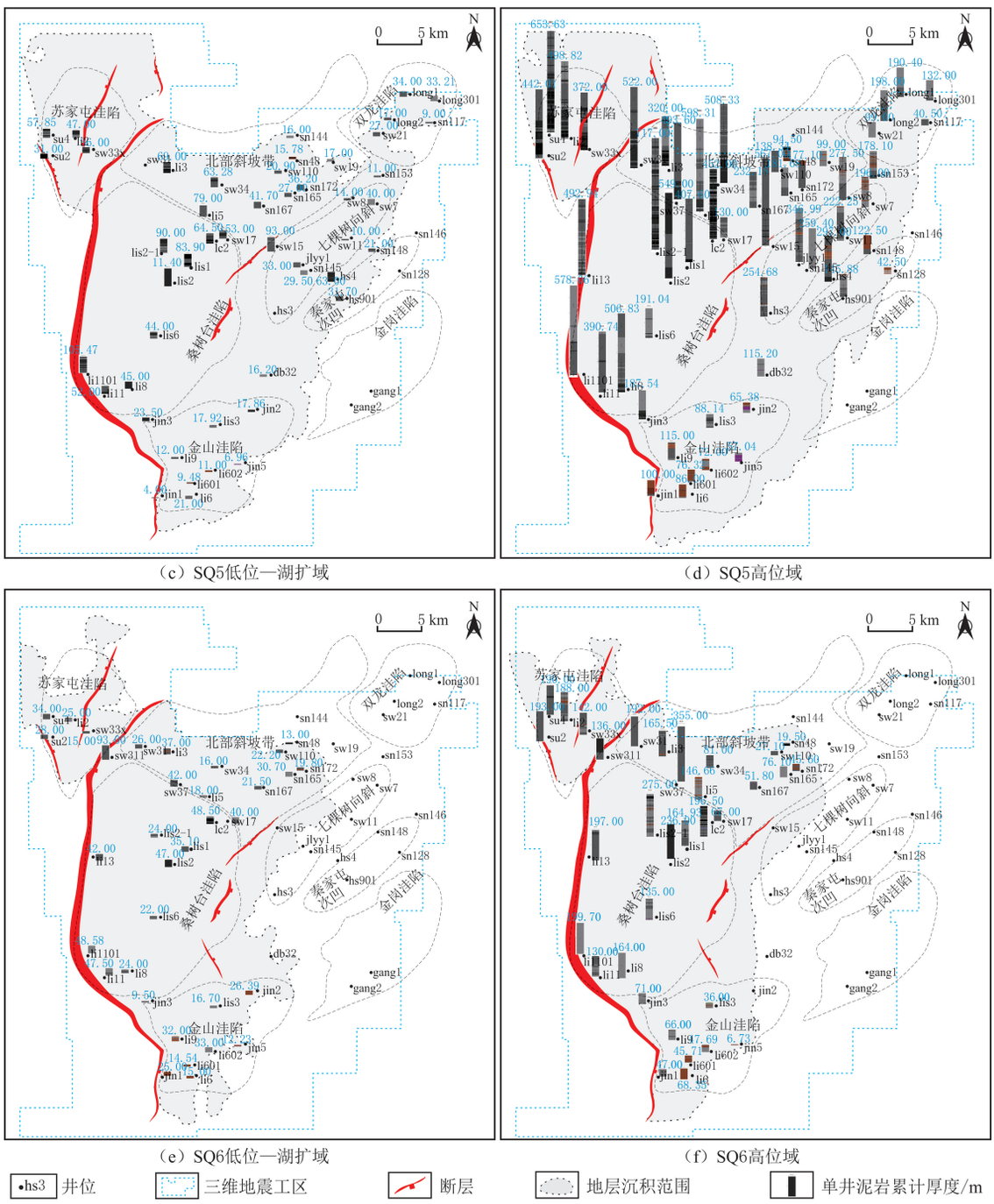


图 11　梨树断陷层序 SQ4—SQ6 泥岩累计厚度

Fig. 11 Cumulative mudstone thickness of sequences SQ4-SQ6 in Lishu Fault Depression

增大时,烃源岩的累计厚度变小。SQ5—SQ6 沉积时期,湖盆面积持续增大,地貌变缓、变浅,扇体面积增大,砂泥岩互层频率增高;暗色泥岩单层厚度减小,层数增多,地层厚度及烃源岩累计厚度增大,展布范围向北迁移。

4.3　烃源岩发育特征

研究区 SQ2—SQ4 烃源岩有机质丰度整体优于 SQ5 的(见图 14(a、d、g、j));有机质干酪根类型以Ⅲ型为主(见图 14(b、e、h、k)),热演化处于成熟—高成熟阶段,生烃以天然气为主(见图 14(c、f、i、l))。

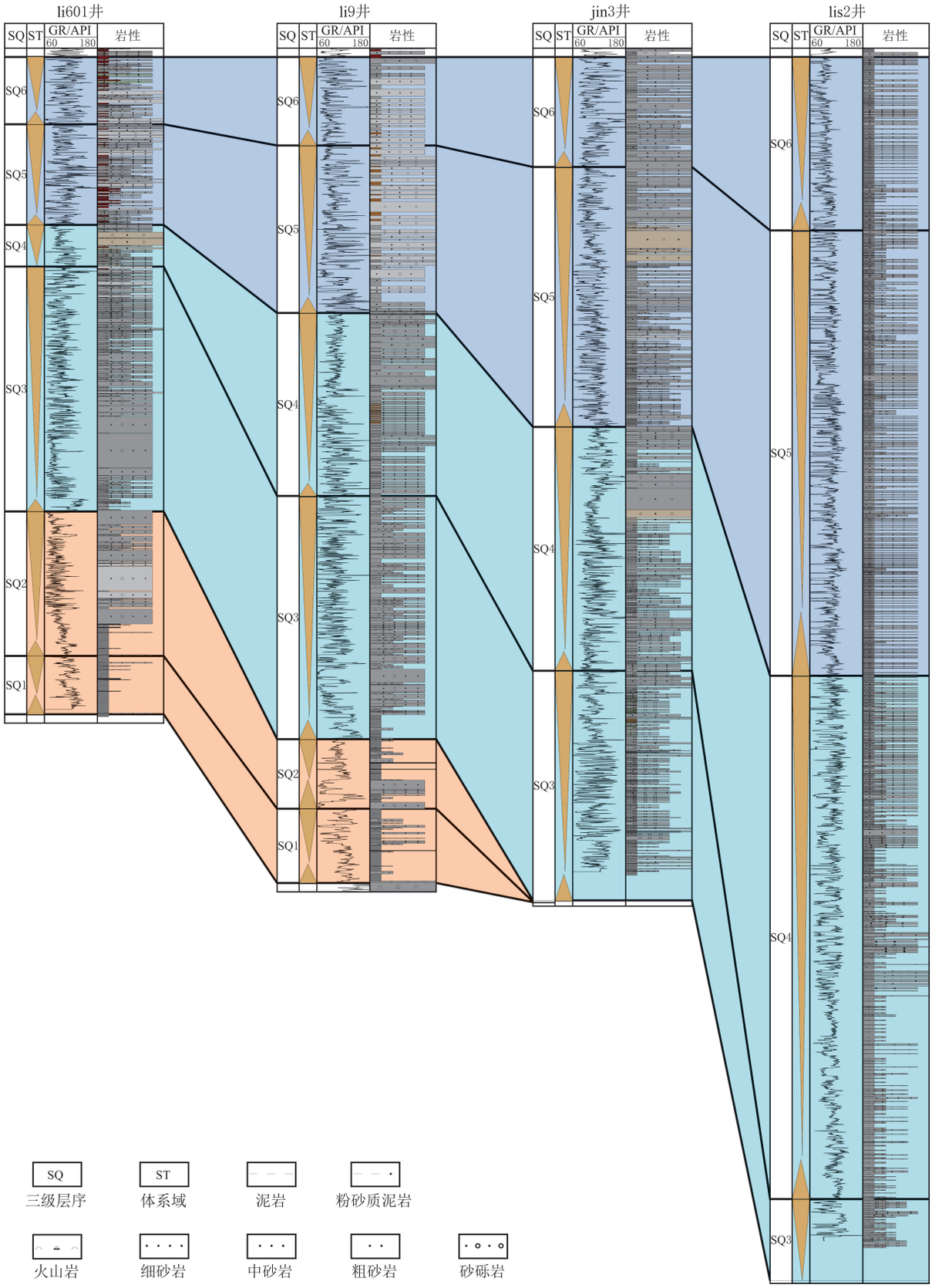


图 12　梨树断陷 li601—li9—jin3—lis2 井连井剖面(剖面位置见图 1(a)

Fig. 12 Cross-well profile of wells li601-li9-jin3-lis2 in Lishu Fault Depression(section location as shown in Fig. 1(a))

研究区 SQ2 中,金山次凹、金岗次凹有机质丰度相对最高(见图 14(a));金岗次凹有机质干酪根类型以Ⅲ型为主,金山洼陷、双龙洼陷以Ⅱ$_2$ 型为主(见图 14(b));烃源岩处于成熟—高成熟阶段(见图 14(c))。

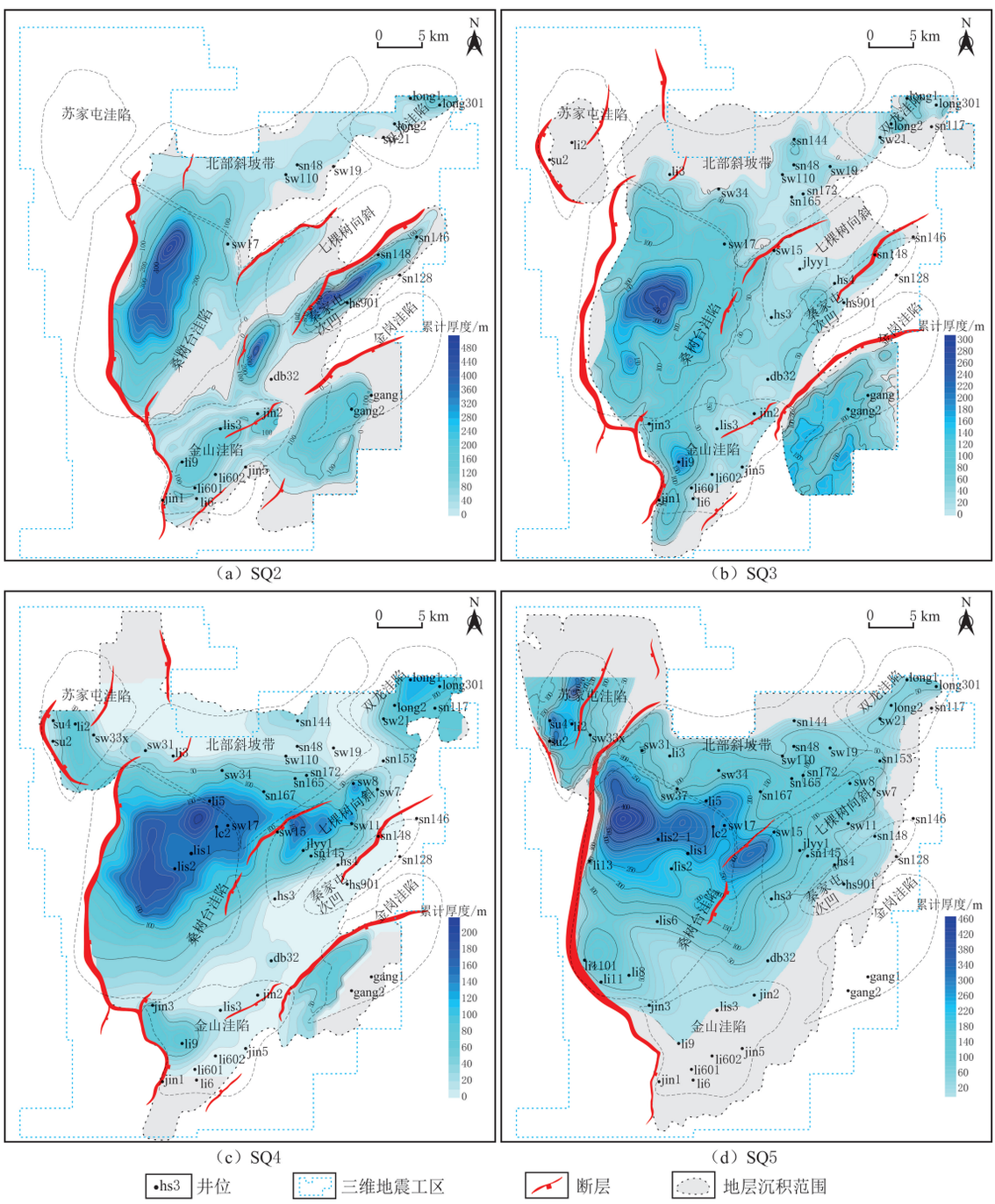


图 13　梨树断陷层序 SQ2—SQ5 烃源岩累计厚度分布

Fig. 13 Cumulative hydrocarbon source rock thickness distribution of sequences SQ2-SQ5 in Lishu Fault Depression

研究区 SQ3 中,金岗次凹、金山次凹、桑树台次凹及北部斜坡地区有机质丰度较高(见图 14(d));有机质干酪根类型以Ⅲ型为主;双龙次凹以Ⅱ$_1$ 型为主,其他地区混有Ⅱ$_1$ 型(见图 14(e))。有机质成熟度基本处于生油或生气阶段,在桑树台次凹中部分烃源岩处于过成熟演化阶段(见图 14(f))。

研究区 SQ4 有机质丰度比 SQ3 的低(见图 14(d、g)),其中桑树台次凹的北部斜坡带与苏家屯次凹有

机质丰度更高。北部斜坡带有机质干酪根类型以Ⅱ$_2$型为主，其他地区的以Ⅲ型为主(见图 14(h))。桑树台次凹带烃源岩热演化处于过成熟阶段，其余地区的整体处于成熟—高成熟阶段(见图 14(i))。

研究区 SQ5 烃源岩有机质丰度大幅降低(见图 14(d、g、j))。苏家屯次凹有机质类型以Ⅱ$_2$型和Ⅲ型为主，相对丰度最高。其他地区有机质干酪根类型以Ⅲ型为主，双龙次凹发育Ⅱ$_1$型(见图 14(k))。烃源岩热演化整体处于成熟—高成熟阶段(见图 14(l))，桑树台次凹处于高成熟—过成熟阶段。

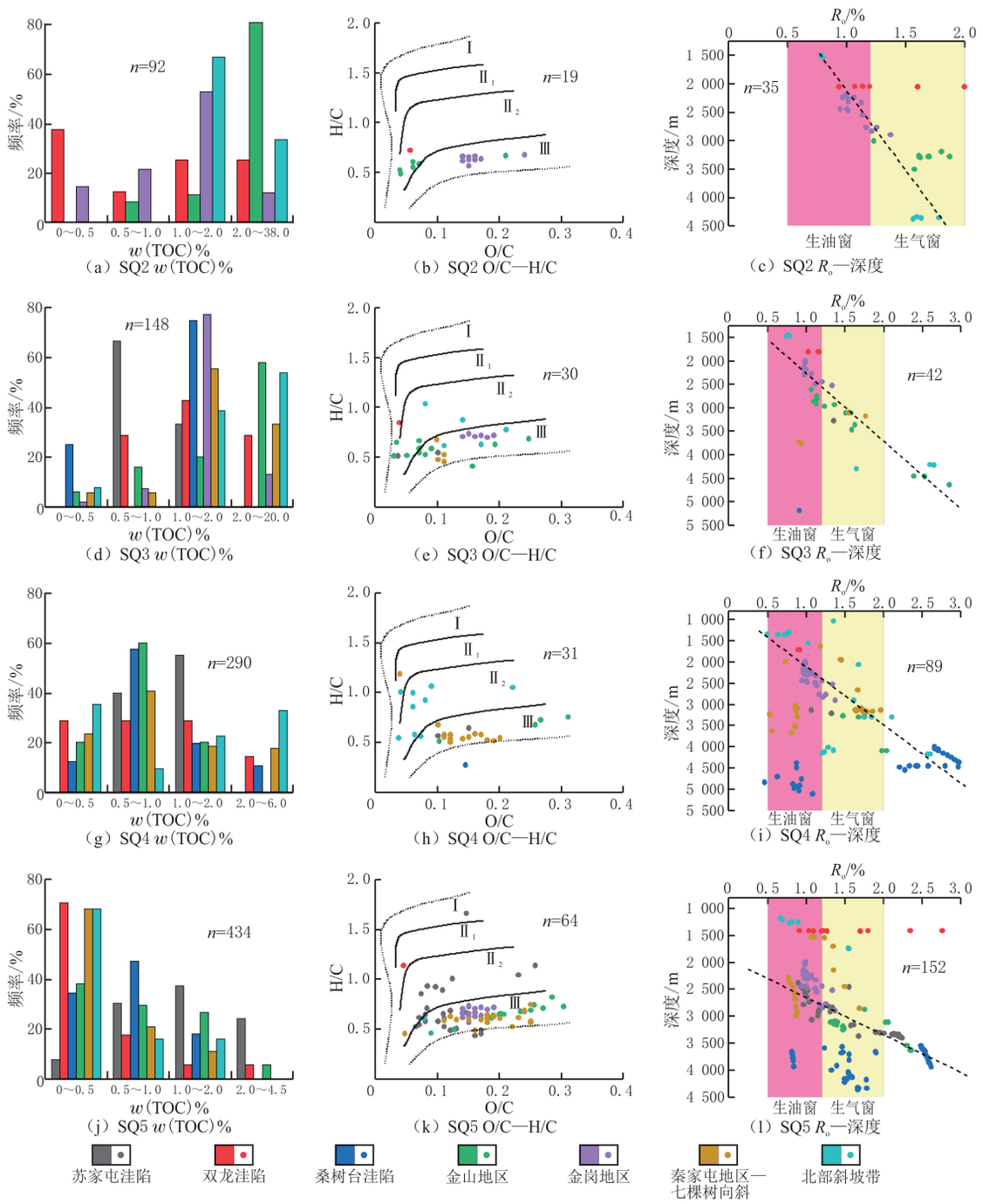


图 14　梨树断陷层序 SQ2—SQ5 烃源岩地球化学指标

Fig. 14 Geochemical indicators of source rocks in sequences SQ2-SQ5 in Lishu Fault Depression

4.4　烃源岩发育规律

梨树断陷的盆地构造演化、层序结构演化、泥岩分布特征和烃源岩地球化学指标变化特征表明，烃源岩发育特征与盆地结构、地貌演化、沉积层序结构及其沉积充填演化相关(见图 15、表 2)。

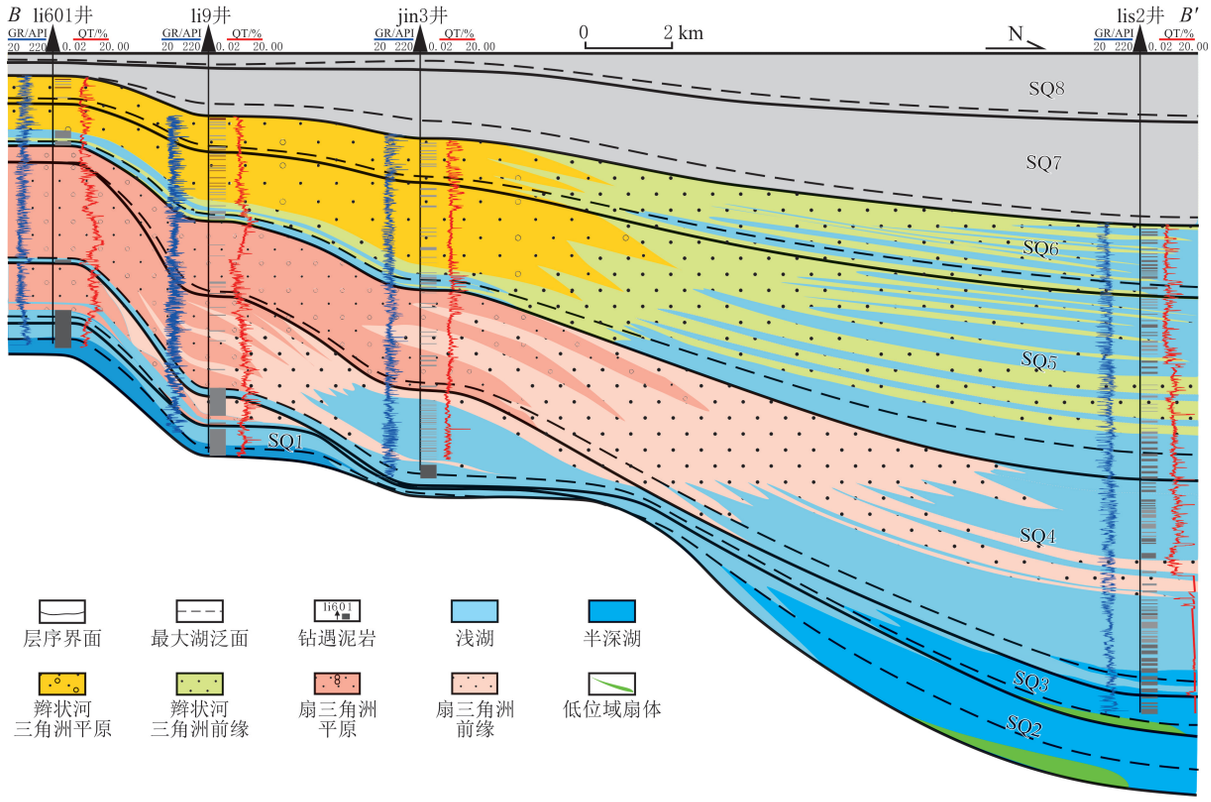


图 15　梨树断陷沉积层序及其泥页岩发育连井剖面(剖面位置见图 1(a))

Fig. 15 Cross-well profile of sedimentary sequences and mudstone-shale development in Lishu Fault Depression(section location as shown in Fig. 1(a))

表 2　梨树断陷烃源岩发育条件与特征

Table 2 Development conditions and characteristics of source rocks in Lishu Fault Depression

层序地层格架	盆地构造古地貌	层序地层结构	沉积相充填	泥岩发育特征	有机质丰度	有机质类型	有机质成熟度	烃源岩规模与质量
SQ1 SQ2	多个局限次级凹陷、陡地貌	“低位—湖扩—高位”三分体系域显著	扇三角洲—湖泊沉积体系、边缘扇体厚而分布局限	以还原色为主,边缘偶见氧化色;单层厚度大	次凹边缘、中部普遍较高	以Ⅲ型为主,可见$Ⅱ_2$型	成熟—高成熟,不同凹陷差异大	质量好、规模较小,以生气为主
SQ3 SQ4	统一箕状断陷、陡地貌	“低位—湖扩—高位”三分体系域较显著	扇三角洲—湖泊沉积体系、扇体规模大,前缘面积较大	还原色、过渡色与氧化色分区分布;还原色泥岩单层厚度大	凹陷带高、边缘带高、低混杂	以Ⅲ型、$Ⅱ_2$型为主,混杂$Ⅱ_1$型	成熟—过成熟	规模大、品质好,以生气为主
SQ5 SQ6	统一箕状断陷、缓地貌	“湖扩—高位”两分体系域显著	辫状河三角洲—湖泊沉积体系,扇体面积大,互层频率高	多种颜色、氧化色泥岩沿湖缘更发育;单层厚度小,互层频率高	整体偏低、湖相与前缘相带过渡色泥岩相对较高	以Ⅲ型为主,混杂$Ⅱ_1$型、$Ⅱ_2$型	成熟—过成熟	规模大、品质较低,有油气

在裂陷Ⅰ幕时期,断层与火山岩隆起联合控制的次级凹陷规模局限,具有较陡的坡折与斜坡地貌;层序地层具有较为显著的三分体系域结构,层序内部充填的扇三角洲在凹陷边缘相带窄;三种体系域中发育暗色泥岩,具有分布广、累计厚度较大、w(TOC)高的特点;有机质类型中,湖相发育$Ⅱ_2$型有机质,扇三角洲体系发育Ⅲ型有机质。

在裂陷Ⅱ幕初期,SQ3 与 SQ4 表现为统一的箕状断陷,具有较陡的斜坡坡折地貌;三级层序体现三分体系域结构,具有“小低位、广湖扩、厚高位”的特点,层序内部充填的扇三角洲面积显著扩大,前积结构较为显著。在平面上,从桑树台洼陷到凹陷边缘特别是东南部地区,泥岩分布由以暗色泥岩为主、互层过渡

色泥岩向以氧化色泥岩为主转变(见图(10-12))。在层序结构中,厚度较大的暗色泥岩主要分布在湖扩及高位体系域的湖中部洼陷地区(见图15),湖扩域泥岩层连续性更好;湖相暗色泥岩、扇三角洲体系的碳质泥岩具有更高的w(TOC)。有机质类型主要以Ⅲ型、$Ⅱ_2$型为主,混有$Ⅱ_1$型。

在裂陷Ⅱ幕后期(SQ5和SQ6时期),梨树断陷表现为统一的箕状断陷,湖盆扩大,地貌更为平缓;三级层序主要充填互层频率高的辫状河三角洲与湖泊沉积体系,层序体现为以湖扩与高位体系域为主的"薄湖扩、厚高位"二元结构特征,辫状河三角洲前缘相带的进、退幅度大,在盆内占据主要面积;暗色泥岩、过渡色泥岩分布较广,单层厚度薄、w(TOC)偏低。有机质类型以Ⅲ型与$Ⅱ_2$型为主。

陡地貌湖相的暗色泥岩层(见图9(b))与扇体平原相带的碳质泥岩层(见图9(a))w(TOC)较高;在陡地貌背景的三分体系域结构中,厚度较大的烃源岩层发育低位、湖扩与高位体系域,可以形成累计厚度较大的烃源岩层。在缓坡地貌背景下,烃源岩w(TOC)偏低,在湖扩体系域具有较大的厚度与较好的连续性。

5　结论

(1)松辽盆地梨树断陷沙河子组划分为4个(SQ1—SQ4)三分结构三级层序,对应裂陷Ⅰ、Ⅱ幕。裂陷Ⅰ幕(SQ1—SQ2时期)局限次凹内各体系域发育暗色泥岩,累计厚度大、平面分布范围广;裂陷Ⅱ幕(SQ3—SQ4时期)箕状断陷阶段暗色泥岩单层与累计厚度显著增大。上覆营城组发育2个(SQ5、SQ6时期)二分结构三级层序,裂陷后期地形平缓,暗色泥岩集中发育于湖扩体系域,单层厚度薄,横向展布稳定。

(2)松辽盆地梨树断陷沙河子组和营城组两套烃源岩有机质类型主要为Ⅲ型,以产气为主,有机质普遍达到成熟—过成熟阶段。SQ2—SQ3烃源岩地球化学指标较好(w(TOC)大于1%);SQ4-SQ5烃源岩地球化学指标较差(w(TOC)小于1%)。

(3)松辽盆地梨树断陷沙河子组至营城组沉积演化过程中,烃源岩沉积中心整体向西北持续迁移。烃源岩的空间展布、厚度与有机质富集程度,受同沉积断裂、古地貌格局、碎屑物源输入等因素共同控制。较陡湖盆地貌、少碎屑物源输入是烃源岩发育的良好基础条件。桑树台洼陷深层陡坡湖盆相带为优质烃源岩有利发育区,深层陡坡湖盆环境更利于优质烃源岩富集。

参考文献(References):

[1] 王宏语,李瑞磊,朱建峰,等.松辽盆地梨树断陷构造沉积学特征及发育机制[J].地学前缘,2023,30(4):112-127.
Wang Hongyu, Li Ruilei, Zhu Jianfeng, et al. Tectono-sedimentary characteristics and development mechanism of Lishu Fault Depression in Songliao Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2023,30(4):112-127.

[2] 刘晓丽,裴家学,蔡国钢,等.箕状断陷湖盆裂陷期层序地层及沉积演化:以松辽盆地西南缘奈曼凹陷九佛堂组下段为例[J].东北石油大学学报,2023,47(2):91-103.
Liu Xiaoli, Pei Jiaxue, Cai Guogang, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary evolution of rifting stage in half-graben lacustrine basin: a case study of the lower member of Jiufotang Formation in Naiman Sag, southwestern margin of Songliao Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2023,47(2):91-103.

[3] 董清水,赵占银,刘招君,等.半地堑式断陷盆地的油气成藏模式:以松辽盆地梨树断陷为例[J].吉林大学学报(地球科学版),2003,43(1):43-47.
Dong Qingshui, Zhao Zhanyin, Liu Zhaojun, et al. Hydrocarbon accumulation model of half-graben fault depression basin: a case study of Lishu Fault Depression in Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2003,43(1):43-47.

[4] 邓铭哲,方成名,邓棚,等.松辽盆地南部梨树地区走滑—逆冲构造的成因:以小宽断裂带为例[J].石油学报,2020,41(9):1089-1099.
Deng Mingzhe, Fang Chengming, Deng Peng, et al. Genesis of strike-slip and thrust structures in Lishu Area, Southern Songliao Basin: a case study of Xiaokuan Fault Zone[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020,41(9):1089-1099.

[5] 程建,周卓明,段铁军,等.梨树断陷基岩潜山油气成藏主控因素分析与勘探前景[J].特种油气藏,2020,27(4):26-32.
Cheng Jian, Zhou Zhuoming, Duan Tiejun, et al. Main controlling factors and exploration prospects of hydrocarbon accumulation in bedrock buried hills of Lishu Fault Depression[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2020,27(4):26-32.

[6] 杨文杰,胡明毅,邓庆杰,等.小型断陷湖盆初始裂陷期沉积充填演化特征:以松辽盆地梨树断陷苏家屯地区火二段为例[J].大庆石油地质与开发,2019,38(6):12-21.

Yang Wenjie, Hu Mingyi, Deng Qingjie, et al. Sedimentary filling evolution characteristics during initial rifting stage of small faulted lacustrine basin: a case study of the second member of Huosiling Formation in Sujiatun Area, Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Daqing Petroleum Geology and Development, 2019,38(6):12-21.

[7] 曲前中.梨树断陷苏家屯油田成藏主控因素及富集规律[J]. 世界地质, 2016,35(3):785-788.
Qu Qianzhong. Main controlling factors and enrichment regularities of hydrocarbon accumulation in Sujiatun Oilfield, Lishu Fault Depression[J]. Global Geology, 2016,35(3):785-788.

[8] 单敬福,葛黛薇,乐江华,等.松辽盆地东南缘层序地层与沉积体系配置及演化:以梨树断陷西北部营城组地层为例[J].沉积学报,2013,31(1):67-76.
Shan Jingfu, Ge Daiwei, Le Jianghua, et al. Configuration and evolution of sequence stratigraphy and sedimentary system at southeastern margin of Songliao Basin: a case study of Yingcheng Formation in Northwestern Lishu Fault Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013,31(1):67-76.

[9] 周卓明,宋振响,湛小红.梨树断陷油气藏分布特征与成藏模式[J].吉林大学学报(地球科学版),2012,42(增刊 2):131-140.
Zhou Zhuoming, Song Zhenxiang, Zhan Xiaohong. Distribution characteristics and accumulation models of oil and gas reservoirs in Lishu Fault Depression[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2012,42(S2):131-140.

[10] 解习农.松辽盆地梨树凹陷深部断陷沉积体系及层序地层特征[J].石油实验地质,1994,16(2):144-151.
Xie Xinong. Sedimentary systems and sequence stratigraphic characteristics of deep fault depression in Lishu Sag, Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1994,16(2):144-151.

[11] 李群,刘殿军,韩晓东.松辽盆地南部梨树断陷地层划分与对比[J].大庆石油地质与开发,1996,15(4):7-11.
Li Qun, Liu Dianjun, Han Xiaodong. Stratigraphic division and correlation of Lishu Fault Depression in Southern Songliao Basin[J]. Daqing Petroleum Geology and Development, 1996,15(4):7-11.

[12] 武继跃,卢海娇,李浮萍,等.松辽盆地东南缘层序地层与沉积充填响应:以梨树断陷西北部沙河子组地层为例[J].东北石油大学学报,2014,38(5):40-50.
Wu Jiyue, Lu Haijiao, Li Fuping, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary filling response at southeastern margin of Songliao Basin: a case study of Shahezi Formation in Northwestern Lishu Fault Depression[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2014,38(5):40-50.

[13] 陈贤良,樊太亮,王宏语,等.松辽盆地梨树断陷层序结构特征及岩性地层圈闭[J].地层学杂志,2016,40(3):308-317.
Chen Xianliang, Fan Tailiang, Wang Hongyu, et al. Sequence architecture characteristics and lithostratigraphic traps of Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Journal of Stratigraphy, 2016,40(3):308-317.

[14] 陈贤良,纪友亮,樊太亮,等.松辽盆地梨树断陷层序类型及发育模式[J].中南大学学报(自然科学版),2014,45(4):1151-1162.
Chen Xianliang, Ji Youliang, Fan Tailiang, et al. Sequence types and development models of Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 2014,45(4):1151-1162.

[15] 陈贤良,纪友亮,樊太亮,等.松辽盆地梨树断陷层序地层格架及沉积体系分布[J].高校地质学报,2014,20(1):122-130.
Chen Xianliang, Ji Youliang, Fan Tailiang, et al. Sequence stratigraphic framework and sedimentary system distribution of Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2014,20(1):122-130.

[16] 伍岳,樊太亮,王宏语,等.松辽盆地梨树断陷下白垩统层序地层特征[J].地层学杂志,2013,37(3):313-320.
Wu Yue, Fan Tailiang, Wang Hongyu, et al. Sequence stratigraphic characteristics of Lower Cretaceous in Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Journal of Stratigraphy, 2013,37(3):313-320.

[17] 陈贤良,纪友亮,樊太亮,等.梨树断陷七棵树地区沙河子组与营城组层序地层格架及其意义[J].地层学杂志,2014,38(1):95-104.
Chen Xianliang, Ji Youliang, Fan Tailiang, et al. Sequence stratigraphic framework of Shahezi and Yingcheng Formations and its geological significance in Qikeshu Area, Lishu Fault Depression[J]. Journal of Stratigraphy, 2014,38(1):95-104.

[18] 陈贤良,纪友亮,樊太亮,等.梨树断陷七棵树地区层序地层与隐蔽油气藏[J].地质科技情报, 2014,33(2):123-129.
Chen Xianliang, Ji Youliang, Fan Tailiang, et al. Sequence stratigraphy and subtle hydrocarbon reservoirs in Qikeshu Area, Lishu Fault Depression[J]. Geological Science and Technology Information, 2014,33(2):123-129.

[19] 林佳佳,阮宝涛,胡明毅,等.松辽盆地梨树断陷苏家屯地区火石岭组—营城组地震相与沉积相[J].东北石油大学学报,2019,43(1):87-98.
Lin Jiajia, Ruan Baotao, Hu Mingyi, et al. Seismic facies and sedimentary facies from Huoshiling Formation to Yingcheng Formation in Sujiatun Area, Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2019,43(1):87-98.

[20] 胡玉双,张明学.松辽盆地梨树断陷沉积演化规律及层序地层学模式[J].大庆石油学院学报,1999,23(1):7-9.
Hu Yushuang, Zhang Mingxue. Sedimentary evolution regularities and sequence stratigraphic model of Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1999,23(1):7-9.

[21] 宋振响,顾忆,路清华,等.松辽盆地梨树断陷天然气成因类型及勘探方向[J].石油学报,2016,37(5):622-630.

Song Zhenxiang, Gu Yi, Lu Qinghua, et al. Genetic types and exploration directions of natural gas in Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016,37(5):622-630.

[22] 宋振响,周卓明.梨树断陷主力烃源岩判定及其地球化学特征[J].石油实验地质,2013,35(4):438-444.
Song Zhenxiang, Zhou Zhuoming. Identification and geochemical characteristics of main hydrocarbon source rocks in Lishu Fault Depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013,35(4):438-444.

[23] 顾忆,秦都,路清华,等.梨树断陷主力烃源岩与油源对比[J].石油实验地质,2013,35(6):662-667.
Gu Yi, Qin Du, Lu Qinghua, et al. Main source rocks and oil-source correlation in Lishu Fault Depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013,35(6):662-667.

[24] 肖永军,李江海,徐春华.松南梨树断陷八屋地区潜山油气藏成藏条件与成藏模式[J].天然气地球科学,2014,25(增刊1):58-63.
Xiao Yongjun, Li Jianghai, Xu Chunhua. Accumulation conditions and models of buried-hill reservoirs in Bawu Area, Lishu Fault Depression, Southern Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014,25(S1):58-63.

[25] 李耀华,徐兴友,张君峰,等.火山活动期断陷湖盆富有机质混积页岩形成条件:以松辽盆地南部梨树断陷沙河子组富有机质页岩为例[J].地球科学,2022,47(5):1728-1747.
Li Yaohua, Xu Xingyou, Zhang Junfeng, et al. Formation conditions of organic-rich mixed shale in faulted lacustrine basin during volcanic activity: a case study of organic-rich shale in Shahezi Formation, Lishu Fault Depression, Southern Songliao Basin[J]. Earth Science, 2022,47(5):1728-1747.

[26] 李卓,朱建峰,姜振学,等.断陷湖盆富有机质页岩沉积古环境演化及其有机质富集机制:以松辽盆地梨树断陷为例[J].中国地质,2026,53(1):356-372.
Li Zhuo, Zhu Jianfeng, Jiang Zhenxue, et al. Sedimentary paleoenvironmental evolution and organic matter enrichment mechanism of organic-rich shale in faulted lacustrine basin: a case study of Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Geology in China, 2026, 53(1):356-372.

[27] 谢环羽,姜在兴,王力,等.火山断陷型湖盆细粒沉积岩有机质富集模式:以松辽盆地梨树断陷下白垩统沙河子组二段下亚段为例[J].石油勘探与开发,2024,51(5):1067-1079.
Xie Huanyu, Jiang Zaixing, Wang Li, et al. Organic matter enrichment model of fine-grained sedimentary rocks in volcanic faulted lacustrine basin: a case study of lower submember of the second member of Lower Cretaceous Shahezi Formation, Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2024,51(5):1067-1079.

[28] 白静,徐兴友,刘卫彬,等.松辽盆地梨树断陷沙河子组页岩与泥岩差异与成因[J].地质论评,2024,70(增刊1):36-38.
Bai Jing, Xu Xingyou, Liu Weibin, et al. Differences and genesis between shale and mudstone of Shahezi Formation in Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Geological Review, 2024,70(S1):36-38.

[29] 马鑫涛,单玄龙,王舒扬.松辽盆地梨树断陷沙河子组烃源岩地球化学特征与潜力评价[J].世界地质,2025,44(4):608-622.
Ma Xintao, Shan Xuanlong, Wang Shuyang. Geochemical characteristics and potential evaluation of hydrocarbon source rocks from Shahezi Formation, Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Global Geology, 2025,44(4):608-622.

[30] 张君峰,徐兴友,白静,等.松辽盆地梨树断陷白垩系沙河子组陆相页岩气形成条件与勘探突破[J].石油勘探与开发,2022,49(3):440-452.
Zhang Junfeng, Xu Xingyou, Bai Jing, et al. Formation conditions and exploration breakthrough of continental shale gas in Cretaceous Shahezi Formation, Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2022,49(3):440-452.

[31] 徐兴友,刘卫彬,陈珊,等.松辽盆地南部陆相页岩油气勘查突破及意义[J].天然气工业,2022,42(3):12-20.
Xu Xingyou, Liu Weibin, Chen Shan, et al. Breakthrough and significance of continental shale oil and gas exploration in Southern Songliao Basin[J]. Natural Gas Industry, 2022,42(3):12-20.

[32] 安天下.松辽盆地梨树断陷白垩系营城组—沙河子组超压特征及其对成岩作用的影响[J].东北石油大学学报,2020,44(1):65-76.
An Tianxia. Overpressure characteristics of Cretaceous Yingcheng-Shahezi Formations and its influence on diagenesis in Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2020,44(1):65-76.

[33] 张玺,宋振响,徐文,等.松辽盆地梨树断陷油气资源动态评价[J].石油实验地质,2013,35(2):224-230.
Zhang Xi, Song Zhenxiang, Xu Wen, et al. Dynamic evaluation of oil and gas resources in Lishu Fault Depression, Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013,35(2):224-230.

[34] 陈岑,胡望水,熊壮,等.松辽盆地梨树断陷营城组一段页岩气成藏条件分析[J].科学技术与工程,2013,13(21):6066-6071.
Chen Cen, Hu Wangshui, Xiong Zhuang, et al. Analysis of shale gas accumulation conditions of the first member of Yingcheng Formation in Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2013,13(21):6066-6071.

[35] Zeng B, Li M J, Wang N, et al. Geochemistry and heterogeneous accumulation of organic matter in lacustrine basins: a case study of the Eocene Liushagang Formation in the Fushan Depression, South China Sea[J]. Petroleum Science, 2022,19(6):2533-2548.

[36] Li Yuanji, Sun Pingchang, Liu Zhaojun, et al. Lake level controls on oil shale distribution in the Lucaogou Formation, Wujiawan Area, Junggar Basin, Northwest China[J]. Energy & Fuels, 2019,33(9):8383-8393.

[37] 郭旭升. 上扬子地区五峰组—龙马溪组页岩层序地层及演化模式[J]. 地球科学,2017,42(7):1069-1082.
Guo Xusheng. Sequence stratigraphy and evolution model of Wufeng-Longmaxi Formation shale in Upper Yangtze Area[J]. Earth Science, 2017,42(7):1069-1082.

[38] Yang X, Wang H, Li Z, et al. Tectonic-sedimentary evolution of a continental rift basin: a case study of the Early Cretaceous Changling and Lishu fault depressions, Southern Songliao Basin, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2021,128:105068.

[39] 徐宏节,温升福,逄海明. 松辽盆地梨树断陷基底结构特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2013,40(3):301-306.
Xu Hongjie, Wen Shengfu, Pang Haiming. Basement structural characteristics of Lishu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), 2013,40(3):301-306.

[40] 刘招君,王东坡,刘立,等. 松辽盆地白垩纪沉积特征[J]. 地质学报,1992,66(4):327-338.
Liu Zhaojun, Wang Dongpo, Liu Li, et al. Cretaceous sedimentary characteristics of Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 1992,66(4):327-338.

[41] Wang H, Fan T, Wu Y. The subsurface structure and stratigraphic architecture of rift-related units in the Lishu Depression of the Songliao Basin, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015,99:13-29.

[42] 刘志宏,宋健,刘希雯,等. 松辽盆地南部白垩纪—古近纪挤压构造的发现与盆地性质探讨[J]. 岩石学报,2020,36(8):2383-2393.
Liu Zhihong, Song Jian, Liu Xiwen, et al. Discovery of Cretaceous-Paleogene compressive structures and discussion on basin nature in Southern Songliao Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2020,36(8):2383-2393.

[43] Wang Pujun, Xie Xiaoan, Mattern Frank, et al. The Cretaceous Songliao Basin: volcanogenic succession, sedimentary sequence and tectonic evolution, NE China[J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 2007,81(6):1002-1011.

(上接第 36 页)

[38] Budd D A. Cenozoic dolomites of carbonate islands: their attributes and origin[J]. Earth-Science Reviews, 1997,42(1):1-47.

[39] Packard J J, Alaasm I S, Samson I M, et al. A Devonian hydrothermal chert reservoir: the 225 bcf Parkland Field, British Columbia, Canada[J]. AAPG Bulletin, 2001,85:51-84.

[40] Feng K, Xu S L, Chen A Q, et al. Middle Permian dolomites of the SW Sichuan Basin and the role of the Emeishan Large Igneous Province in their origin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2021,128:104981.

[41] 杨雨,文龙,宋泽章,等. 川中古隆起北部蓬莱气区多层系天然气勘探突破与潜力[J]. 石油学报,2022,43(10):1351-1368.
Yang Yu, Wen Long, Song Zezhang, et al. Breakthrough and potential of natural gas exploration in multi-layer system of Penglai gas area in the north of Central Sichuan Paleo-uplift[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022,43(10):1351-1368.

[42] 陈兰朴,郭战峰,郑爱维,等. 川东中二叠统茅口组硅质岩岩石学、地球化学特征及成因[J]. 地质科技通报,2026,45(1):68-80.
Chen Lanpu, Guo Zhanfeng, Zheng Aiwei, et al. Petrographic, geochemical characteristics and genesis of the siliceous rock in the Middle Permian Maokou Formation at the Eastern Sichuan Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2026,45(1):68-80.

[43] 牟月,谭秀成,罗冰,等. 川东地区中二叠统茅口组二段上亚段台缘带沉积演化特征及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质,2025,46(1):211-229.
Mu Yue, Tan Xiucheng, Luo Bing, et al. Sedimentary evolution and hydrocarbon exploration potential of platform-margin zones in the upper sub-member of the 2nd member of the Middle Permian Maokou Formation, Eastern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2025,46(1):211-229.

[44] Longman M W. Carbonate diagenetic textures from near-surface diagenetic environments[J]. AAPG Bulletin, 1980,64(4):461-487.

[45] Whitaker F F, Smart P L, Jones G D. Dolomitization: from conceptual to numerical models[J]. Geological Society London Special Publications, 2004,235(1):99-139.

[46] Ehrenberg S N. Porosity destruction in carbonate platforms[J]. AAPG Bulletin, 2006,90(1):41-54.

[47] Eberli G P, Baechle G T, Anselmetti F S, et al. Factors controlling elastic properties in carbonate sediments and rocks[J]. The Leading Edge, 2003,22(7):654-660.

microfacies experienced limited fluid flux and thus lower degrees of dolomitization; although subjected to intense compaction and pressure dissolution during burial, the locally developed dolomite may have provided some mechanical support to the pores. This study provides a reference for understanding how differential dolomitization influences reservoir effectiveness and for predicting and evaluating multiple reservoir types in the deep subsurface of the study area.

Key words: Central Sichuan Basin; second member of Maokou Formation; carbonate rock; dolomitization; reservoir characteristics; diagenesis; pore evolution mechanism

Development characteristics of source rocks in the sequence stratigraphic framework of the Lishu Fault Depression, Songliao Basin/2026,50(5):37-57

Yu Zhiwei[1], Wang Hongyu[1], Li Ruilei[2], Xu Wen[2], Li Kuo[2], Zhang Haoyu[1]

(1. *School of Energy Resources, China University of Geosciences Beijing, Beijing* 100083, *China*; 2. *Research Institute of Exploration and Development, Sinopec Northeast Oil and Gas Branch, Changchun, Jilin* 130026, *China*)

Abstract: The source rocks of the Shahezi and Yingcheng Formations in the Lishu Fault Depression, Songliao Basin, have relatively favorable hydrocarbon-generating potential. To clarify the spatial distribution of source rocks and their stratigraphic controls, this study establishes the sequence stratigraphic framework of the Shahezi and Yingcheng Formations through 3D seismic, logging, core data and source-rock geochemical analyses, The results show that in the four third-order sequences of the Shahezi Formation(SQ1-SQ4), which are characterized by steep paleogeomorphology and a well-defined tripartite systems-tract architecture, lacustrine dark mudstones have large individual-bed and cumulative thicknesses and favorable source-rock geochemical indicators, with w(TOC)>1%. In contrast, the two third-order sequences of the Yingcheng Formation(SQ5-SQ6) are characterized mainly by gentle paleogeomorphology and a bipartite systems-tract architecture, with the highstand systems tract being dominant. These sequences feature frequent sandstone-mudstone interbeds and smaller individual-bed and cumulative mudstone thicknesses, and therefore have relatively poor source-rock geochemical indicators, with w(TOC)<1%. The results provide a geological basis for predicting favorable zones and intervals for the development of high-quality source rocks in the Shahezi and Yingcheng Formations of the Lishu Fault

Depression.

Key words: Songliao Basin; Lishu Fault Depression; Shahezi Formation; Yingcheng Formation; sequence stratigraphic framework; source rocks; development characteristics

Characteristics and connectivity of gravity flow lobes in X Gas Field of north-eastern of Peral River Mouth Basin/2026,50(5):58-70

Yang Jiao[1,2], Dai Yunjiao[1,2], Zhao Hongjuan[1], Yang Peng[1], Zhu Fan[1]

(1. *National Key Laboratory for Efficient Development of Marine Oil and Gas, Beijing* 100028, *China*; 2. *Shenzhen Branch of CNOOC, Shenzhen, Guangdong* 518000, *China*)

Abstract: Gravity flow deposits are well developed in the Middle Miocene of the Baiyun Sag, Peral River Mouth Basin, which is one of the important hydrocarbon-producing areas. The distribution and connectivity of gravity flow channels and proximal lobe sand bodies are complex. Based on core, well-log, seismic, production, and laboratory analytical data, this study investigates the characteristics, architecture, connectivity, and formation mechanisms of lobes in the ZJ470 layer, Zhujiang Formation of the X Gas Field. The results show that gravity flow lobes are extensively developed in the study area and are dominated by proximal lobes. The proximal lobes can be divided into channeled and non-channeled lobes. Channeled lobes are mainly developed in the north, whereas non-channeled lobes predominate in the south. In plan view, the proximal lobes are laterally extensive and are characterized mainly by compensational stacking. Vertically, the reservoirs exhibit stacked sandstone bodies and thick sandstone interbedded with thin mudstone layers, resulting in generally well connectivity. A Y-shaped erosional channel occurs in the central part of the study area. The northern segment of the channel is filled mainly with mudstone, the middle segment is dominated by sandstone, and the southern segment consists predominantly of siltstone. Consequently, the lobes on both sides of the channel are disconnected in the north, well connected in the middle, and weakly connected in the south. This work can improve the understanding of gravity flow depositional systems and provide a geological basis for reservoir characterization and the efficient development of gravity flow channel-lobe systems.

Key words: lobe; gravity flow; sedimentary characteristics; connectivity; Zhujiang Formation; Baiyun Sag; Peral River Mouth Basin