

松辽盆地拗陷期湖盆层序地层研究^①

赵波¹⁾ 张顺¹⁾ 林春明²⁾ 卓弘春³⁾

1) 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712;

2) 成矿作用研究国家重点实验室, 南京大学地球科学系 江苏南京 210093;

3) 国土资源部经济研究院环境室 北京 101149

摘要:以横跨松辽盆地北部东西向大剖面为例, 综合应用钻井岩芯、测井曲线、古生物和地震资料, 进行松辽盆地北部拗陷期(早白垩世晚期—晚白垩世)湖盆层序地层学研究, 共识别出2个二级层序界面和13个三级层序界面, 划分出2个二级层序和13个三级层序。2个二级层序以姚家组底界不整合面为界, 自下而上命名为SSI、SSII。

关键词:层序地层学, 二级层序, 三级层序, 层序界面, 拗陷期, 白垩纪, 松辽盆地, 黑龙江

中图分类号: P 534.53, P 539.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4959(2008)02-0159-10

层序地层学是地层学和沉积学相结合形成的一个新的分支学科。近年来, 层序地层学经众学者发展和完善, 层序地层研究已由当初的被动大陆边缘海相盆地扩展到陆相湖泊盆地, 并且在陆相湖盆的地层对比、沉积体系空间分布预测中发挥重要作用, 成为当今盆地分析和隐蔽油气藏预测的一种有效技术(Payton *et al.*, 1977; Wilgus *et al.*, 1993; 史晓颖等, 1996; 王训练, 1999; 王训练、林善园, 1999; 彭军等, 2000; 胡宗全、朱筱敏, 2002)。松辽盆地是中国最大的中生代大型陆相拗陷型含油气盆地(图1), 自20世纪90年代初松辽盆地已开展了大量层序地层学研究工作, 但层序划分尺度不尽相同: 一是

三级层序的时间跨度较大, 与层序级别存在着一定的差异, 对沉积体系的控制性较弱的粗分方案(王嗣敏等, 2000; 朱建伟等, 2001; 张世奇、任延广, 2003); 二是有利于油田生产, 但由于地层较薄, 等时性存在一定误差的细分方案(任延广、徐宏, 1995)。关于层序地层单元级次划分及时限问题, 国内外许多学者提出了不同的分类方案。笔者在综合国内外众多学者研究成果的基础上, 总结出了陆相二级层序和三级层序单元的时限范围(表1)。对松辽盆地北部层序地层研究而言, 结合钻井岩性、测井、古生物和地震等资料选用最优层序划分时限, 进行盆地内部地层层序合理划分及地层对比。

表1 二级层序和三级层序单元时限划分与对比(Ma)

Tab. 1 Time classification and comparison of the second-order and third-order sequence units (Ma)

旋回 级别	Cooper (1990)	Brett <i>et al.</i> (1990)	Wagoner <i>et al.</i> (1990)	Vail <i>et al.</i> (1991)	Mitchum <i>et al.</i> (1991)	王鸿祯等 (1996)	郑荣才等 (2001)	本文
二级层序	20—50	10—30	36—40	27—40	29—30	30—40	10—50	10—20
三级层序	1—3	2—3	0.1—3	0.5—5	1—2	2—5	1.6—5.25	2—5

一、地质背景

松辽盆地总面积为 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$, 基底为古生代和前寒武纪的变质岩系及火成岩系; 沉积盖层主要由中、新生代碎屑沉积系组成。松辽盆地属于大型陆相中生界伸展型含油气盆地, 经历了热隆张裂阶

段、裂陷阶段、拗陷阶段和萎缩褶皱阶段4个构造演化阶段(翟光明、王志武, 1993)。白垩系泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组沉积时期为拗陷期(辛仁臣等, 2004), 松辽盆地含油层位主要分布在该时期沉积的地层(图2)是本文研究的重点层位。

^① 973项目白垩纪地球表层系统重大地质事件与温室气候变化(No. 2006CB701400)资助。

文稿接受日期: 2007-10-24; 修改稿收到日期: 2008-01-22。

第一作者简介: 1979年3月生, 男, 黑龙江肇州人, 2005年获南京大学硕士学位, 现主要从事石油地质和地层学研究工作; E-mail: bzhao@petrochina.com.cn

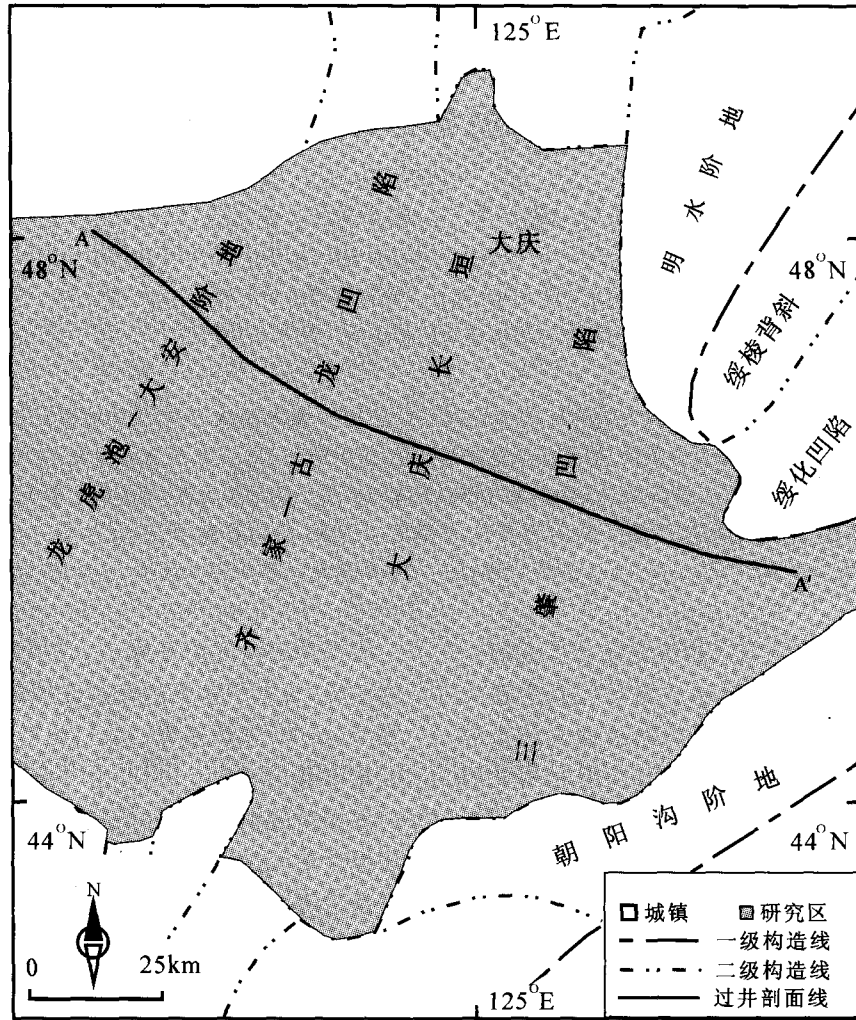


图 1 松辽盆地北部构造分区及剖面位置图

Fig. 1 Location of section and tectonic division in northern Songliao Basin

二、层序划分及其界面特征

在研究区内,综合应用钻井岩芯、测井曲线、古生物和地震资料,详细描述了层序界面地质属性,将松辽盆地北部拗陷期地层划分为 2 个二级层序和 13 个三级层序。

1 二级层序

大量研究成果表明,青山口组和嫩江组沉积时期,松辽盆地遭受了 2 次大规模的海侵(Xue Liang-qing & Galloway, 1993; 魏魁生, 1996; 叶淑芬、魏魁生, 1996; 魏魁生等, 1996; 高瑞琪、蔡希源, 1997; 刘招君等, 2002; 萧德铭等, 2005), 致使拗陷期松辽盆地的湖平面变化表现为明显的两进两退特征, 与此同时全球海平面大幅度下降。松辽盆地拗陷期地层具多级次旋回性, 以姚家组底界不整合面为界, 划分为 2 个二级层序(图 3), 自下而上分别命名为 SSI 和 SSII, 若以拗陷期(103—72Ma)为 31Myr 计, 平均每个层序约为 15.5Myr。

1.1 二级层序界面特征 许多学者对松辽盆地拗陷期层序构成特征研究从层序跨越的地质年龄、地层厚度与海相盆地和断陷盆地的研究经验对比分析出发, 认为存在大范围暴露和侵蚀特征的青山口组和姚家组的分界面为二级层序界面(翟光明、王志武, 1993; 任延广、徐宏, 1995; 张世奇、任延广, 2003; 辛仁臣等, 2004)。青山口沉积末期发生了构造整体抬升, 对应于晚燕山运动主要幕次造成的区域不整合面, 形成了短暂的沉积间断, 此界面为区域湖退面。该界面在姚家组一段发育区为姚家组一段底界, 在姚家组一段缺失而姚家组二、三段发育地带区, 该界面为姚家组二、三段底界, 在地震、岩性、测井、古生物等资料上都有比较明显的表现。

地震剖面上表现为: 二级层序界面一般为不整合界面, 在地震剖面上最明显的特征是削截和上超反射终止现象。姚家组底部(地震反射界面为 T1-1)形成可进行全盆地对比的不整合面(图 4)。

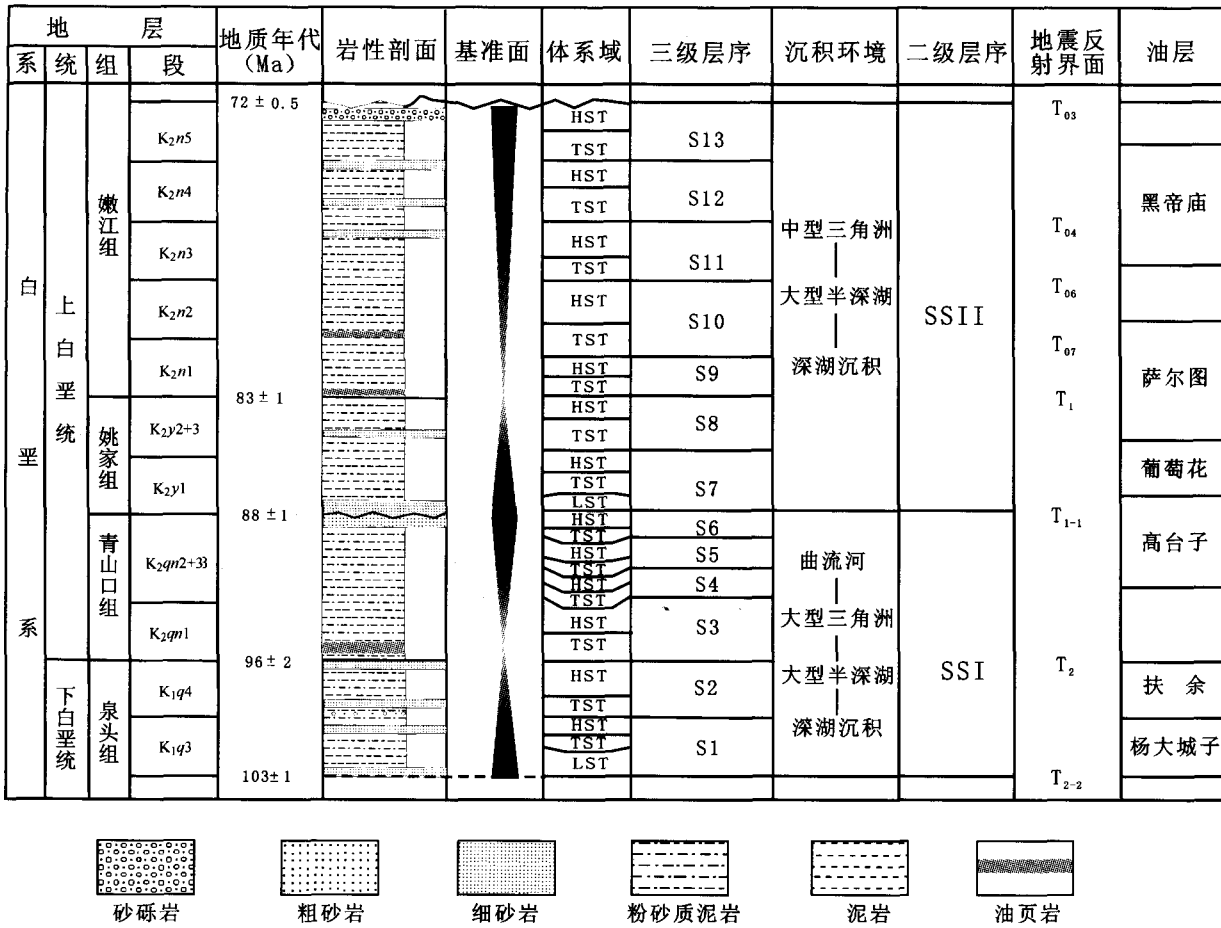


图 2 松辽盆地北部拗陷期地层综合柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of the depressive stage in northern Songliao Basin

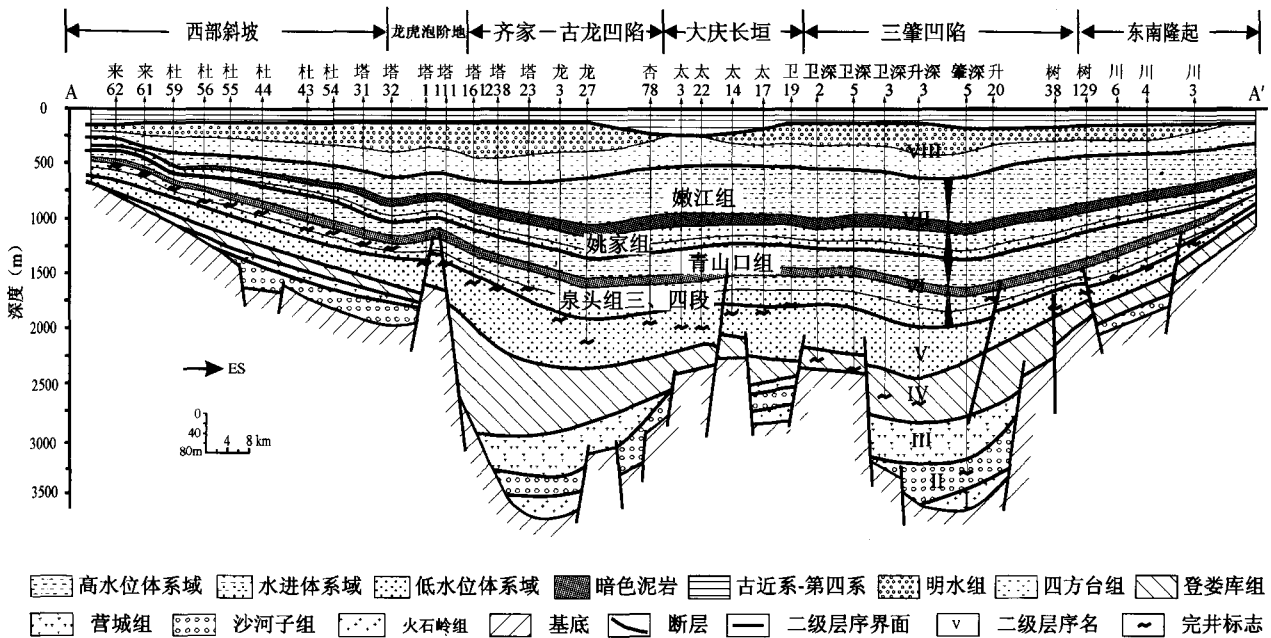


图 3 松辽盆地北部二级层序地层格架

Fig. 3 The second-order sequence stratigraphic framework in northern Songliao Basin

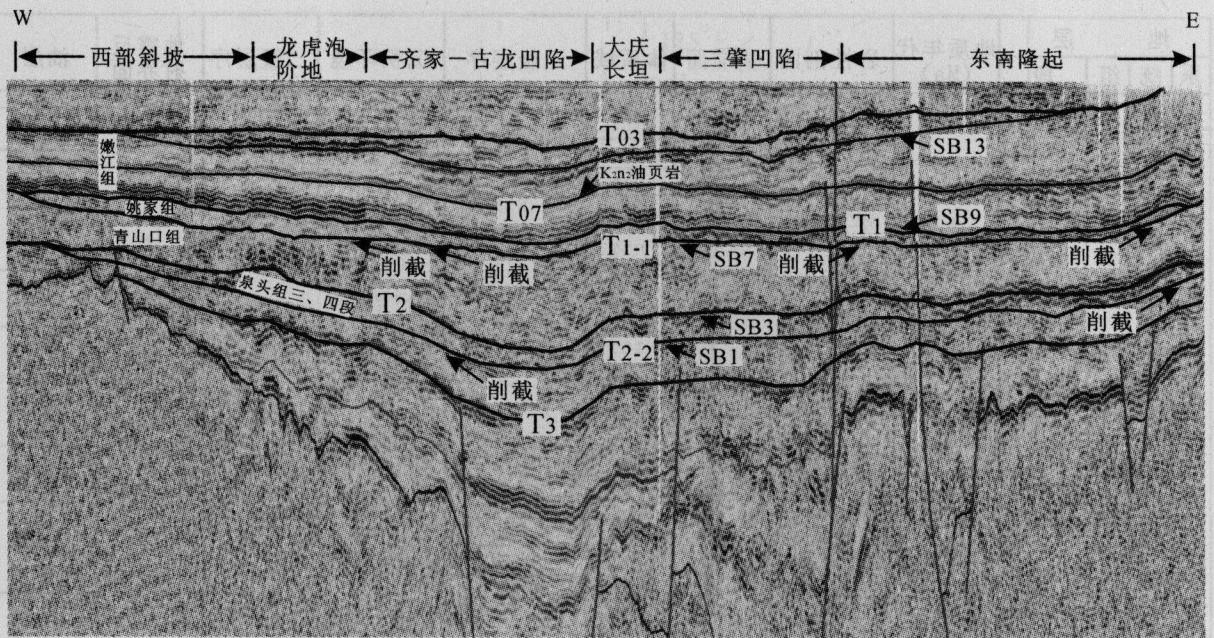


图 4 松辽盆地北部层序界面地震反射特征

Fig. 4 Seismic reflection features of sequence boundary in northern Songliao Basin

二级层序界面在岩芯记录层序边界的表现型式主要有古土壤及根土岩、浅水相直接覆盖在深水相沉积之上、河床滞留砾岩、水进滞留砾岩、钙质结核及界面之下广泛分布红色土壤层(图 5)。

测井响应特征表现为退积/前积渐变型, 前积/加积突变型, 加积/前积型, 加积/退积型(图 6)。

生物演化上表现为界面之下曲线女星介-端尖三角星介组合(*Cypridea panda-Triangulicypris fusiformis*)及粒面球藻属组合-棒球藻属(*Grano-discus-Filisphaeridium*)基本消失; 界面之上发育外饰女星介-后拉狼星介组合(*Cypridea exornata-Lycopterocypris retractilis*)和盘星藻属-粒面球藻属组合(*Pediastrum-Grano-discus*)。这一界面构成生物群环境更替和变异的界线, 表现为姚家组新兴生物分子的出现, 而青山口组繁盛的生物群分子则衰退以至绝灭。

2 三级层序

三级层序是层序地层学研究的主要对象和基本层序地层单位。根据岩芯观察、测井曲线特征、地震剖面特征及古生物特征, 将松辽盆地拗陷期地层划分出 13 个三级层序, 自下而上分别命名为 S1—S13。上述 13 个三级层序反映研究区拗陷期具有 13 个湖平面升降旋回, 若以拗陷期为(103—72Ma) 31Myr 计, 平均每个层序约为 2.4Myr。

2.1 三级层序界面特征 层序边界是由于湖平面

相对下降造成的陆上或水下侵蚀而产生的, 标志着湖平面的相对下降, 具有很好的等时性, 是层序划分的基础。限于地震剖面的分辨率, 三级层序界面主要在钻井、古生物及测井曲线上识别。松辽盆地北部岩芯资料比较丰富, 利用这些资料可以在一定条件下准确识别沉积层序界面。三级层序界面在研究区岩芯资料上主要表现为根土岩、冲刷面和沉积相的突变等特征, 测井曲线上表现为明显的水退、水进转换面(图 7)。三级层序界面的暴露和侵蚀特征仅发育于盆地的边缘地带, 在盆地内部, 三级层序界面的表现特征明显不同。

2.2 层序划分对比 通过横跨松辽盆地北部东西向大剖面上的典型井的岩芯观察、测曲线特征及古生物对比研究, 进行了三级层序地层测井曲线对比(图 7)。本文从下而上按层序沉积的先后进行层序对比分析。

S1: 对应的岩石地层单位为泉头组三段。层序界面为二级层序界面, 在此不作赘述。

S2: 对应的岩石地层单位为泉头组四段。层序界面之上广泛分布古土壤层, 含有钙质结核和植物根系, 局部见大型干裂(树 113 井)^①, 代表长期的地表暴露, 此界面为进积与退积的沉积转换面。再上广泛分布粒度为中细砂岩的河道砂沉积, 具有大型槽状交错层理。界面处测井曲线特征为, 自然电位曲线变大, 双侧向电阻率曲线变小。

①王始波. 2005. 大庆长垣及以西地区扶杨油层油气运聚成藏及有利区带预测研究.

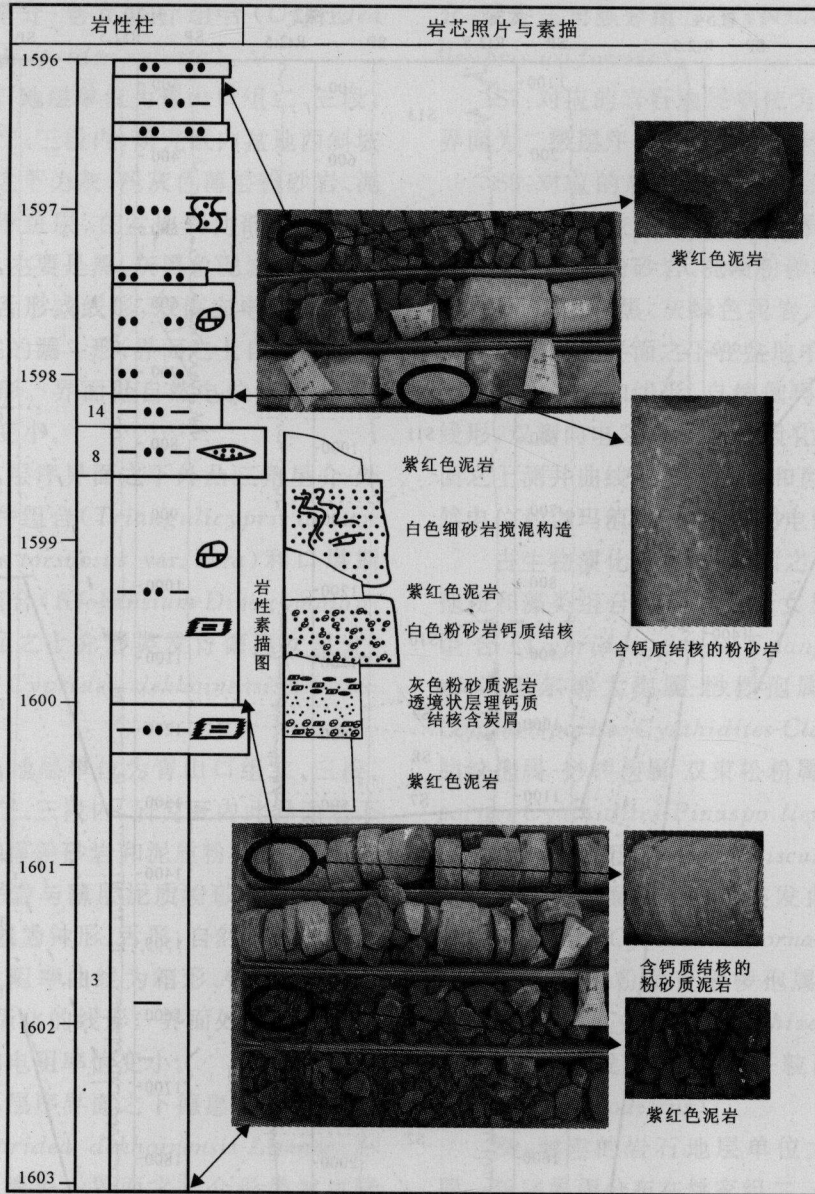


图 5 树 118 井姚家组底部岩性特征

Fig. 5 Lithologic features in the Yaojia Formation of Shu118 Well

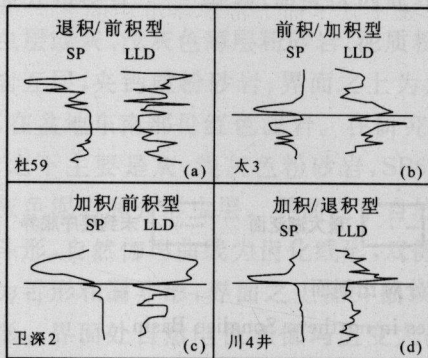


图 6 松辽盆地北部二级层序界面测井曲线特征

Fig. 6 Logging curves of the second-order sequence boundary in northern Songliao Basin

古生物演化上,层序界面之上介形类发育椭圆形女星介-变形女星介组合(*Cypridea elliptica-Cypridea deformata*),藻类发育蝙蝠藻属-口盖藻属组合(*Nyktericysta-Operculodinium*),而界面之下的清雅蒙古星介-扁平似玻璃介组合(*Mongolocypris limpida-Paracandona planiuscula*)基本消失。

S3:对应的岩石地层单位大致为青山口组一段。层序界面分布在泉头组四段内,表现为砂泥岩突变面,界面之下为灰白色薄层粉砂岩或泥质粉砂岩;界面之上以绿色块状泥岩为主,夹紫红色泥岩。界面之下测井曲线形态为舌形和钟形,界面之上自

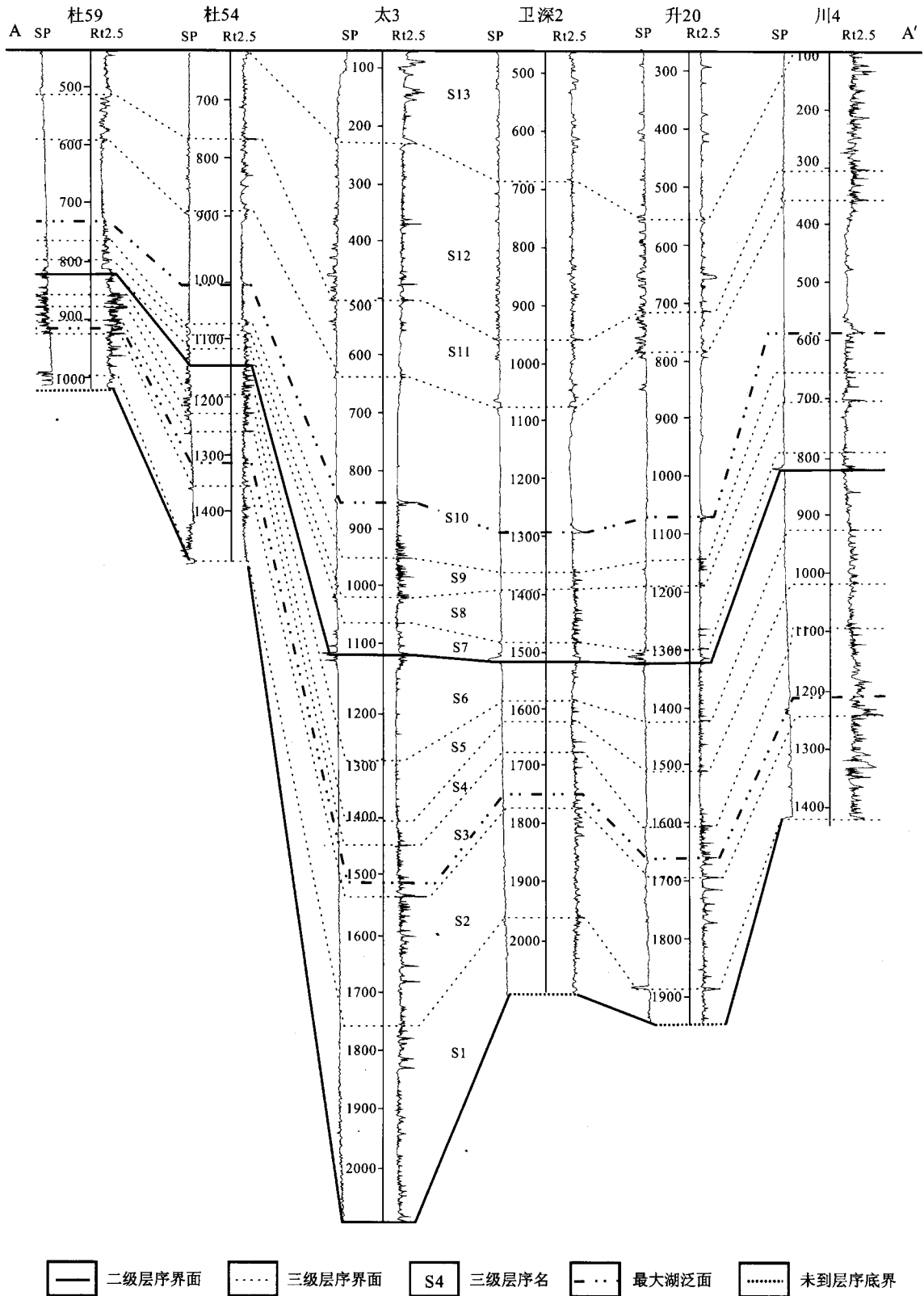


图 7 松辽盆地北部三级层序地层划分对比剖面

Fig. 7 A correlation of the third-order sequence profiles in northern Songliao Basin

然电位曲线形态为线形,自然电位曲线和伽玛曲线幅度变大,双侧向电阻率曲线变小。

古生物演化上,层序界面之下的椭圆形女星介-

变形女星介组合 (*Cypridea elliptica*-*Cypridea deformata*)和蝙蝠藻属-口盖藻属组合 (*Nyktericysta*-*Operculodinium*)基本消失。界面之上介形类

发育似细瘤状女星介-老女星介组合(*Cypridea subtuberculisperga-Cypridea vetusta*)。

S4:对应的岩石地层单位为青山口组二、三段。层序界面分布在青二、三段内,研究区内盆地西斜坡和盆地中心此界面之下为灰、浅灰色薄层粉砂岩、泥质粉砂岩和灰质介形虫层,在盆地其他部位多为灰色粉砂岩;界面之上主要是黑、灰黑色泥岩。界面之下自然电位曲线为舌形或线形,双侧向电阻率曲线为舌形、箱形和齿化的漏斗形;界面之上自然电位曲线为线形或齿化线形。界面处自然电位值变大,双侧向电阻率曲线值变小。

古生物演化上,层序界面之下外凸三角星介-外凸三角星介友谊变种组合(*Triangulicypris torsuosus-Triangulicypris torsuosus var. nota*)和口堪斯藻属-拟沟裸藻属组合(*Kiokansium-Dinogymniopsis*)基本消失。界面之上介形类发育德惠女星介-富湖女星介组合(*Cypridea dekhoinensis-Limnocypridea copiosa*)。

S5:对应的岩石地层单位为青山口组二、三段。层序界面分布在青二、三段内,研究区内此界面之下为灰、浅灰色薄到中厚粉砂岩和泥质粉砂岩;界面之上为灰黑、灰绿色泥岩与薄层泥质粉砂岩互层。界面之下自然电位曲线为钟形、舌形,自然伽玛曲线为齿化线形,双侧向电阻率曲线为箱形、钟形;界面之上测井曲线形态为齿化的线形。界面处自然电位和伽玛值变大,双侧向电阻率值变小。

古生物演化上,层序界面之下德惠女星介-富湖女星介组合(*Cypridea dekhoinensis-Limnocypridea copiosa*)基本消失。界面之上介形类发育隆起湖女星介-膨胀松辽介组合(*Limnocypridea inflata-Sunliavia tumida*)。

S6:对应的岩石地层单位为青山口组二、三段。层序界面分布在青二、三段内,研究区内此界面之下为介形虫层或灰、浅灰色薄层粉砂岩、泥质粉砂岩与黑色泥岩互层,夹钙质粉砂岩;界面之上为黑、灰黑色泥岩,在盆地东南部见红色泥岩。在研究区杜 43 井,SB6 之下主要是灰、浅灰色粉砂岩,SB6 之上主要是黑灰色泥岩和介形虫层。界面之下自然电位曲线为漏斗形,自然伽玛曲线为齿化线形,双侧向电阻率曲线为舌形和漏斗形;界面之上测井曲线形态为齿化线形。界面处自然电位和伽玛值变大,双侧向电阻率值变小。

古生物演化上,层序界面之下隆起湖女星介-膨胀松辽介组合(*Limnocypridea inflata-Sunliavia tumida*)基本消失。界面之上介形类发育曲线女星

介-端尖三角星介组合(*Cypridea panda-Triangulicypris usiformis*)。

S7:对应的岩石地层单位为姚家组一段。层序界面为二级层序界面,在此不作赘述。

S8:对应的岩石地层单位为姚家组二、三段。层序界面分布在姚一段内,在研究区内此界面之下主要为浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩,夹薄层钙质粉砂岩;界面之上为黑、灰绿色泥岩,在盆地东南部出现紫红色泥岩。界面之下在盆地中部和东南部自然电位曲线为钟形和线形,自然伽玛曲线为钟形和齿化线形,双侧向电阻率曲线为齿化的箱形和钟形。界面之上测井曲线形态为线形和齿化线形。界面处自然电位和伽玛值变大,双侧向电阻率值变小。

古生物演化上,层序界面之下发育的介形类、孢粉和藻类组合分别是曲线女星介-端尖三角星介组合(*Cypridea panda-Triangulicypris usiformis*)、巴尔姆大孢属-桫椏孢属-克拉梭粉属组合(*Balmeisporites-Cyathidites-Classpollis*)和无突出肋纹孢属-桫椏孢属-双束松粉属组合(*Cicatricosisporites-Cyathidites-Pinuspo llenites*)和粒面球藻属-棒球藻属组合(*Granodiscus-Filisphaeridium*)基本消失。界面之上介形类发育外饰女星介-后拉狼星介组合(*Cypridea exornata-Lycopterocypris retractilis*)、孢粉发育桫椏孢属-希指蕨孢属-三沟粉属组合(*Cyathidites-Schizaeoisporites-Tricolpites*)和藻类发育盘星藻属-粒面球藻属组合(*Pediastrum-Granodiscus*)。

S9:对应的岩石地层单位大致为嫩江组一段段。层序界面分布在姚家组二、三段内,研究区内此界面之下为灰、浅灰色粉砂岩夹薄层灰黑色泥岩;界面之上盆地西斜坡为厚层灰绿色泥岩,向盆地中心逐渐过渡为灰色泥质粉砂岩夹薄层黑色泥岩和厚层黑色泥岩,盆地东部和南部变为厚层红色泥岩和红色粉砂质泥岩和泥岩互层。界面之下自然电位曲线为舌形和线形,自然伽玛曲线为齿化漏斗形,双侧向电阻率曲线为钟形;界面之上测井曲线形态为线形和齿化线形;界面处自然电位和伽玛值变大,双侧向电阻率值变小。如杜 59 取芯井姚二、三段 816.35m 深处该界面为冲刷面,此界面之下为绿灰色含泥粉砂岩,见泥砾,界面之上数层薄层介形虫层和灰白色结晶灰岩间互出现,其中见 1mm 厚的自生黄铁矿。

古生物演化上,层序界面之下外饰女星介-后拉狼星介组合(*Cypridea exornata-Lycopterocypris retractilis*)、桫椏孢属-希指蕨孢属-三沟粉属组合(*Cyathidites-Schizaeoisporites-Tricolpites*)和盘星

藻属-粒面球藻属组合(*Pediastrum-Granodiscus*)组合基本消失。界面之上介形类发育背角女星介-脊状枣星介组合(*Cypridea dorsoangula-Ziziphocypris concta*)、孢粉发育美丽粉属-杪椌孢属-希指蕨孢属组合(*Beaupaupreaidites-Cyathidites-Schizaeoisporites*)、藻类发育大庆拟沟裸藻(*Dinogymniopsis daqingensis*)。

S10:对应的岩石地层单位大致为嫩江组二段。层序界面分布在嫩一段内,研究区内此界面之下盆地西斜坡为灰、浅灰色粉砂岩、钙质粉砂岩和深灰色泥质粉砂岩夹薄层泥岩,向盆地中心泥岩含量增多,并过渡为介形虫层,自然电位曲线为钟形和线形,自然伽玛曲线为齿化线形,双侧向曲线为钟形和舌形;界面之上为黑、灰黑色泥岩,并向盆地中心转变成含介形虫泥岩,测井曲线形态为线形。测井曲线幅度,自然伽玛和电位曲线变大,双侧向电阻率曲线变小。

古生物演化上,层序界面之上介形类发育粗糙女星介-未名女星介组合(*Cypridea squalida-Cypridea anonyma*),而界面之下的背角女星介-脊状枣星介组合(*Cypridea dorsoangula-Ziziphocypris concta*)基本消失。

S11:对应的岩石地层单位大致为嫩江组三段。层序界面分布在嫩二段内,研究区内此界面之下为深灰、灰黑色的粉砂岩和泥质粉砂岩,并向盆地中心转变成介形虫层,自然电位曲线为舌形和齿化的线形,自然伽玛曲线为齿化的线形,双侧向电阻率曲线为舌形和齿化钟形;界面之上为灰绿、黑和灰黑色泥岩及含介形虫泥岩,测井曲线形态为线形和齿化线形。界面处测井曲线幅度,自然电位曲线处于基值,自然伽玛曲线变大,双侧向电阻率曲线变小。

古生物演化上,层序界面之上介形类发育公主岭女星介-急剧女星介组合(*Cypridea gunsulinensis-Cypridea ardua*),而界面之下发育的粗糙女星介-未名女星介组合(*Cypridea squalida-Cypridea anonyma*)基本消失。

S12:对应的岩石地层单位大致为嫩江组四段。层序界面分布在嫩三段内,研究区内此界面之下为灰、灰黑色粉砂岩和泥质粉砂岩,自然电位曲线为漏斗形和线形,自然伽玛曲线为齿化的线形,双侧向电阻率曲线为舌形和齿化箱形;界面之上为深灰、黑色厚层泥岩,测井曲线形态为线形。界面处测井曲线幅度,自然电位和伽玛曲线变大,双侧向电阻率曲线变小。

古生物演化上,层序界面之上介形类发育聂氏土神介-非凡边刺介-规则女星介组合(*Ilyo-*

cyprimorpha netchaevae-Periacanthella portentosa-Cypridea ordinata)和叶肢介发育美丽瘤模叶肢介-瘤模叶肢介带(*Calectherites sertus-Estherites mitsuishii*),而界面之下的公主岭女星介-急剧女星介组合(*Cypridea gunsulinensis-Cypridea ardua*)和链叶肢介-绞结叶肢介带(*Halysesstheria qingganensis-Plectestheria arguta*)基本消失。

S13:对应的岩石地层单位大致为嫩江组五段。层序界面分布在嫩四段内,研究区内由于西部斜坡嫩五段全部被剥蚀,故该层序缺失。盆地中部和东南地区此界面之下为灰、浅灰色粉砂岩和泥质粉砂岩,自然电位曲线为漏斗和线形,自然伽玛曲线为钟形和齿化的线形,双侧向电阻率曲线为舌形和箱形;界面之上为灰绿色泥岩,向盆地中心泥岩的含量增多,盆地东南部转变成砾岩,测井曲线形态为线形和箱形。界面处测井曲线幅度,自然电位曲线突变和变大,自然伽玛测线变大,双侧向电阻率曲线变小。

古生物演化上,层序界面之上介形类发育蛙形类女星介(*Talicypridea ranaformis*)、凸隆类女星介(*T. elevata*)、简易哈尔滨介(*Harbinia hapla*)等,而界面之下的宏伟类女星介-简易哈尔滨介组合(*Talicypridea augusta-Harbinia hapla*)基本消失。

三、结 论

研究区泉头组三、四段至嫩江组共识别出2个二级层序和13个三级层序,相应应有2个二级层序界面和13个三级层序界面,其中13个三级层序界面中有2个为二级层序界面。研究区二级层序界面在岩芯、测井、古生物和地震资料上都有显著特征。层序界面之下为古土壤、根土层、冲刷面、钙质结核等现象,颜色多为灰、浅灰色;层序界面之上覆盖鲕粒灰岩、生物屑灰岩,并见虫孔构造、黄铁矿等,颜色多为(较水深环境的)黑色、灰黑色和灰绿色。

参 考 文 献

- 高瑞琪,蔡希源. 1997. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律. 北京:石油工业出版社. 1-188
- 胡宗全,朱筱敏. 2002. 具有地形坡折带的拗陷湖盆层序地层模拟. 沉积学报, 20(2):217-221
- 刘招君,董清水,王嗣敏,郭 巍. 2002. 陆相层序地层学导论与应用. 北京:石油工业出版社. 113-137
- 彭 军,陈洪德,田景春,覃建雄,侯中建,杨晓宁,寿建峰,沈安江,陈子料. 2000. 川滇黔桂地区石炭系层序地层研究. 沉积学报, 18(2):190-197
- 任延广,徐 宏. 1995. 松辽盆地层序地层特征及含油气性. 见:大庆油田勘探开发研究论文集. 北京:石油工业出版社. 132-146

- 史晓颖,雷振宇,阴家润. 1996. 珠穆朗玛峰北坡下侏罗统层序地层及沉积相研究. *地质学报*, **70**(1):73—83
- 王鸿祯,史晓颖. 1998. 沉积层序及海平面旋回的分类级别——旋回周期的成因讨论. *现代地质*, **12**(1):1—16
- 王嗣敏,刘招君,董清水,朱建伟,郭 巍. 2000. 陆相盆地层序地层形成机制分析——以松辽盆地为例. *长春科技大学学报*, **30**(2):139—144
- 王训练. 1999. 露头层序地层学研究的几个理论问题. *中国科学(D 辑)*, **29**(1):22—30
- 王训练,林善园. 1999. 上扬子地台南缘不同沉积相区上泥盆统和下石炭统沉积层序之对比. *沉积学报*, **17**(3):331—338
- 魏魁生. 1996. 非海相层序地层学——以松辽盆地为例. 北京:地质出版社. 46—94
- 魏魁生,叶淑芬,郭占谦. 1996. 松辽盆地白垩系非海相沉积层序模式. *沉积学报*, **14**(4):50—60
- 萧德铭,迟元林,蒙启安,付 广. 2005. 松辽盆地北部向斜区岩性油藏勘探认识与实践. 北京:石油工业出版社. 1—65
- 辛仁臣,蔡希源,王英民. 2004. 松辽拗陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式. *沉积学报*, **22**(3):387—392
- 叶淑芬,魏魁生. 1996. 松辽盆地白垩系的密集段及海水进侵的新证. *地球科学*, **21**(3):267—271
- 翟光明,王志武. 1993. *中国石油地质志 卷二(上册)*. 北京:石油工业出版社. 1—177
- 张世奇,任延广. 2003. 松辽盆地中生代沉积基准面变化研究. *长安大学学报(地球科学版)*, **25**(2):1—5
- 郑荣才,彭 军,吴朝容. 2001. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义. *沉积学报*, **19**(2):249—255
- 朱建伟,刘招君,董清水,刘 葵,郭 巍. 2001. 松辽盆地层序地层格架及油气聚集规律. *石油地球物理勘探*, **36**(3):339—344
- Wilgus C K, Posamentier H W & Hastings B S 著. 徐怀大,魏魁生,洪卫东译. 1993. *层序地层学原理(海平面变化综合分析)*. 北京:石油工业出版社. 1—515
- Brett C E, Goodman W M & Loduca S T. 1990. Sequence, cycles, and basin dynamics in the Silurian of the Appalachian foreland basin. *Sedimentary Geology*, **69**(3-4):191—244
- Couper M R. 1990. Tectonic cycles in Southern Africa. *Earth Science Review*, **28**(4):321—364
- Gao Rui-qi & Cai Xi-yuan. 1997. The formation conditions and distribution of oil and gas pools of Songliao Basin. Beijing: Petroleum Industry Press. 1—188
- Hu Zong-quan & Zhu Xiao-min. 2002. Sequence stratigraphic simulation of depression lake basin with topographic ramp. *Acta Sedimentologica Sinica*, **20**(2):217—221
- Liu Zhao-jun, Dong Qing-shui, Wang Si-min & Guo Wei. 2002. Introduction to continental sequence stratigraphy and application. Beijing: Petroleum Industry Press. 113—137
- Mitchum R M & Wagener J C. 1991. High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles. *Sedimentary Geology*, **70**:131—160
- Payton C E, Vail P R, Brown L F & Fisher W L. 1977. Seismic stratigraphy application to hydrocarbon exploration. *AAPG Memoir*, **26**:1—355
- Peng Jun, Chen Hong-de, Tian Jing-chun, Qin Jian-xiong, Hou Zhong-jian, Yang Xiao-ning, Shou Jian-feng, Shen An-jiang, & Chen Zhi-liao. 2000. Sequence stratigraphy study on the Carboniferous strata in Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi. *Acta Sedimentologica Sinica*, **18**(2):190—197
- Ren Yan-guang & Xu Hong. 1995. Sequence stratigraphy and hydrocarbon accumulations of Songliao Basin. In: *Collected Papers of Daqing Oil Field Exploration and Development*. Beijing: Petroleum Industry Press. 132—146
- Shi Xiao-ying, Lei Zhen-yu & Yin Jia-run. 1996. Lower Jurassic sequence stratigraphy and sedimentary facies on north slope of the Mount Qomolangma. *Acta Geologica Sinica*, **70**(1):73—83
- Vail P R, Audemard F & Bowman S A. 1991. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology: an overview. In: Einsele G, Ricken W & Seilacher A eds. *Cycles and events in stratigraphy*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 617—659
- Wang Hong-zhen & Shi Xiao-ying. 1998. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles: a discussion on the mechanism of sedimentary cycles. *Geoscience*, **12**(1):1—16
- Wang Si-min, Liu Zhao-jun, Dong Qing-shui, Zhu Jian-wei & Guo Wei. 2000. The mechanism of formation analysis of continental sequence stratigraphy. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, **30**(2):139—144
- Wang Xun-lian. 1999. Some fundamental problems in outcrop sequence stratigraphy. *Science in China (Series D)*, **29**(1):22—30
- Wang Xun-lian & Lin Shan-yuan. 1999. Correlation of the Upper Devonian and Lower Carboniferous depositional sequences in the different facies belts on the southern margin of the Upper Yangtze Platform. *Acta Sedimentologica Sinica*, **17**(3):331—338
- Wei Kui-sheng. 1996. Non-marine basin sequence stratigraphy a case study of Songliao Basin. Beijing: Geological Publishing House. 46—94
- Wei Kui-sheng, Ye Shu-fen & Guo Zhan-qian. 1996. Sequence stratigraphic model of nonmarine sediments in Cretaceous, Songliao Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, **14**(4):50—60
- Wilgus C K, Posamentier H W & Hastings B S. 1993. Principle of sequence stratigraphy (analysis on change of sea level). Beijing: Petroleum Industry Press. 1—515
- Xiao De-ming, Chi Yuan-lin, Meng Qi-an & Fu Guang. 2005. Exploration recognition and practice of lithologic reservoirs in syncline area of North Songliao Basin. Beijing: Petroleum Industry Press. 1—65
- Xin Ren-chen, Cai Xi-yuan & Wang Ying-min. 2004. Depositional model of lowstand and characteristics of sequence boundary in deep-water lake, Songliao Depression Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, **22**(3):387—392
- Xue Liang-qing & Galloway W E. 1993. Genetic sequence stratigraphic framework, depositional style, and hydrocarbon occurrence of the Upper Cretaceous QYN Formations in the Songliao Lacustrine Basin, Northeastern China. *AAPG Bulletin*, **10**:1792—1808
- Ye Shu-fen & Wei Kui-sheng. 1996. Condensed section and new evidence of marine inundation in Cretaceous, Songliao Basin.

- Earth Science*, **21**(3): 267—271
- Zhai Guang-ming & Wang Zhi-wu. 1993. Petroleum geology of China (2). Beijing: Petroleum Industry Press. 1—177
- Zhang Shi-qi & Ren Yan-guang. 2003. The study of basin level changes of the Songliao Basin in Mesozoic. *Journal of Chang'an University* (Earth Science Edition), **25**(2):1—5
- Zheng Rong-Cai, Peng Jun & Wu Chao-rong. 2001. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications. *Acta Sedimentologica Sinica*, **19**(2):249—255
- Zhu Jian-wei, Liu Zhao-jun, Dong Qing-shui, Liu Kui & Guo Wei. 2001. Sequence stratigraphic framework and oil-gas accumulation rule in Songliao Basin. *OGP*, **36**(3):339—344

SEQUENCE STRATIGRAPHIC ANALYSIS OF THE DEPRESSION STAGE OF THE NORTHERN SONGLIAO BASIN

ZHAO Bo¹⁾, ZHANG Shun¹⁾, LIN Chun-ming²⁾ and ZHUO Hong-chun³⁾

1) *Exploration and Development Research Institute of Daqing Oil Field Company Ltd.*, Daqing 163712;

2) *Department of Earth Sciences, Nanjing University*, Nanjing 210093;

3) *Chinese Academy of Land and Resource Economics, Environment Department*, Beijing 101149

Abstract Using drilling core, well logs, palaeontology and seismic data, we carried out a comprehensive sequence stratigraphic investigation of the Cretaceous successions along the east-west section in the northern Songliao Basin. The depression stage of the Yaojia Formation in the northern Songliao Basin can be divided into 2 second-order sequences and 13 third-order sequences. The research indicates that second-order sequence boundaries are related to tectonic activity and are regional angular unconformity surfaces or disconformity surfaces. Third-order sequence boundaries are characterized by depositional breaks and minor erosions. They correspond to conformity surface in the central basin.

Key words sequence stratigraphy, second-order sequence, third-order sequence, sequence boundary, depressive stage, Cretaceous, Songliao Basin, Heilongjiang Province