

松辽盆地东南隆起区白垩系嫩江组一段沉积相、旋回及其与松科1井的对比^{*}

高有峰 王璞珺** 瞿雪姣 王国栋

GAO YouFeng, WANG PuJun **, QU XueJiao and WANG GuoDong

吉林大学地球科学学院,长春 130061

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2009-07-03 收稿, 2009-11-11 改回.

Gao YF, Wang PJ, Qu XJ and Wang GD. 2010. Sedimentary facies and cyclostratigraphy of the Cretaceous first member of Nenjiang Formation in the Southeast uplift zone, Songliao Basin and its correlation with the CCSd-SK-I. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1):99–108

Abstract Described (centimeter scale) the field section of Cretaceous Nenjiang Formation (K_2n) in southeast uplift zone of Songliao Basin. There are three sedimentary subfacies including deep lake, shallow lake and coastal lake subfacies. The water level fluctuated frequently with large fluctuation amplitude. The first member of Nenjiang Formation was composed of 34 meter-scale cycles, 11 fifth-order cycles and 2 fourth-order cycles in the field section. Ostracoda limestone layer, dolomite concretion and volcanic ash layer which developed in the field section were also found in the core section of CCSd-SK-I. Comparing the Fischer plots between the field section and the core section, from the fifteenth cycle to twenty-fifth cycle, the depocenter of Songliao Basin moved from southeast to northwest corresponding to the uplift of eastern basin.

Key words Songliao Basin; Southeast uplift; Cretaceous first member of Nenjiang Formation; Sedimentary facies; Cyclostratigraphy; CCSd-SK-I

摘要 对松辽盆地东南隆起区嫩江组剖面进行厘米级刻画,分析其为一套深湖相与滨浅湖交互相沉积。在滨浅湖交互相沉积段,水体频繁波动,且波动幅度大。根据颜色、岩性将嫩江组一段地层划分为34个米级旋回,Fischer图解分析将米级旋回归并为11个五级旋回和2个四级旋回。剖面中发育的介形虫灰岩、白云岩结核和火山灰层在松科1井嫩江组一段连续取心中都有响应;剖面和井的Fischer图解对比发现,第15个旋回开始到第25个旋回结束,松辽盆地沉积中心向西北方向迁移,且可能伴随着盆地东缘的抬升运动。

关键词 松辽盆地;东南隆起区;白垩系嫩江组一段;沉积相;旋回地层;松科1井

中图法分类号 P588.2

1 引言

嫩江组是松辽盆地主要生油层和储层。以往对其基础地质、烃源岩和储层的研究主要基于钻井岩心和测井、录井等资料,对野外露头剖面的研究程度较低,目前仅见有刘万洙和王璞珺(1997)对德惠市姚家站嫩江组剖面中白云岩结

核的研究,Li *et al.* (2009)和席党鹏等(2009)对德惠市姚家站嫩江组剖面古生物以及嫩江组和姚家组界线的研究和李罡等(2004)对同属嫩江阶的太平林场组底界层型剖面的研究。本文研究的嫩江组剖面位于德惠市姚家站东北方向松花江边,与刘万洙和王璞珺(1997)、Li *et al.* (2009)和席党鹏等(2009)所研究的剖面相同,属嫩江组一段地层。最近,在此剖面的东侧约2km处江边,又开挖出一个完整的掌子面,

* 本文受国家“973”项目(2006CB701403 和 2009CB219303)资助。

第一作者简介:高有峰,男,1982年生,博士研究生,矿产普查与勘探专业,E-mail:gaojf_1982@163.com

** 通讯作者:王璞珺,男,1959年生,博士,教授,博士生导师,从事盆地火山岩和油气地质勘查研究与教学,E-mail:wangpj@jlu.edu.cn

据观察发现,这个掌子面与姚家站嫩江组剖面的上部地层可对比。笔者在前人研究的基础上,对姚家站嫩江组剖面和其东侧新开挖的剖面详细测制,系统研究了他们的岩石组合、沉积层序、沉积构造、沉积相和沉积旋回,并将岩性地层和旋回地层研究结果与松科1井进行对比,目的是为松辽盆地嫩江组区域地层对比、湖泊边缘相沉积特征和盆地演化等研究提供新资料与新证据。

2 地质背景及剖面位置

1929年谭锡畴、王恒升将黑龙江省嫩江县附近产叶肢介的褐色页岩命名为嫩江页岩系(谭锡畴和王恒升,1929),定为早白垩世,其层位相当于嫩江组一、二段。1942年小林贞一和铃木好一在吉林省农安县伏龙泉地区建立“伏龙组”,并将其归入上白垩统(郝诒纯等,1986)。1958年原地质矿产部第二石油普查勘探大队依据钻井剖面建立伏龙泉组,1959年松辽石油普查大队第四区队在《松辽平原上白垩系伏龙泉层及以上地层专题研究报告》中将伏龙泉层形成年代归为晚白垩世^①。最终在1974年东北三省地区地层会议上据优先命名法取消“伏龙泉组”一名,采用最早创立的“嫩江组”。

嫩江组的命名剖面位于黑龙江省嫩江县西北的蒋家屯东,在黑龙江省北安县、海伦县和吉林省农安县伏龙泉镇、怀德县大黑林子、公主岭及第二松花江江桥附近亦有出露。虽然嫩江组地表剖面较多,但没有一条能够完整揭示嫩江组地层,所以将嫩江组层型剖面选在黑龙江省肇州县光荣乡郑德福屯北的25号钻孔中(黑龙江地质矿产局,1997)。嫩江组以盆地中部和东部地区发育较全。中部地区厚500~1000m,三肇拗陷、大庆、古龙等地大于1000m,东部为504~645m,北部、西部一般为170~400m。嫩江组可分为五段,一、二段的岩性以灰黑、深灰色泥岩为主,夹油页岩、灰绿色粉砂岩和砂质泥岩,是主要的生油层,其分布范围很广,沉积边界已超过现今盆地边界。三、四、五段在盆地中部三肇凹陷和古龙地区较厚,盆地东部地区遭受剥蚀,岩性以灰绿、深灰、灰、棕色泥岩、粉砂岩、细砂岩为主。

姚家站嫩江组剖面位于吉林省德惠市菜园子镇姚家兵站松花江桥南岸,出露嫩江组一段地层(图1)。剖面出露完好,地层倾角较缓,呈近平行出露,实测产状120°∠4°,总厚度42.47m。主体岩性有深灰色、绿灰色泥页岩,灰白色粉细砂岩,灰色介形虫灰岩和深灰色油页岩等,为一套滨浅湖相与半深湖、深湖相交互沉积。

本次测量在3个剖面出露点进行,如图1所示,A-A'和C-C'为两条长剖面,剖面水平长分别为320m和190m;B为冲沟观测点。3个观测点以A-A'剖面嫩江组一段地层发育最完整,B、C-C'观测点经对比均为A-A'剖面的上部层位。

3 剖面特征

3.1 A-A'剖面测量方法及剖面描述

A-A'剖面长320m,由于倾角仅4°,地层呈近水平分布,加之在不同地点剖面出露不完整,所以在不同位置设计4条导线进行测量,具体测量位置见图2。^①号导线设计在剖面西端的探槽中,探槽长20余米,深1m,揭露了嫩江组一段最下部地层,共划分11层(1~11层)。^②号导线在探槽东测的人工挖坑中,为嫩江组一段下部深灰色油页岩夹介形虫灰岩和粉砂岩,共划分3层(12~14层)。^③号导线位于剖面中部斜坡的西端,沿斜坡向上拉导线,斜坡倾角30°,描述了一套绿灰色、深灰色、灰色泥岩,灰色介形虫灰岩,灰白色、灰色、黄灰色粉砂岩互层沉积,共划分47层(15~61层)。^④号导线在剖面斜坡的东端,从^③号导线顶部的土黄色泥岩开始测量,共划分19层(62~80层),主要为绿灰色泥岩夹浅黄灰色粉砂质泥岩、粉砂岩层。剖面描述分层原则较以往更为精细,一般岩性的最小分层厚度5cm,小于5cm作夹层;特殊岩性的最小分层厚度为2cm,小于2cm作夹层。

在^①号导线所在的探槽中见有姚家组二、三段和嫩江组一段的界线,嫩江组一段底部为一套绿灰色泥岩沉积,姚家组二、三段顶部为橄榄灰色泥岩与灰白色粉砂岩互层沉积,划分原则依据Li et al. (2009)、席党鹏等(2009)对该剖面的研究成果和与松科1井嫩江组与姚家组界线岩性地层(高有峰等,2008)的对比。剖面层序描述如下:

嫩江组一段(未见顶)		
80	绿灰色泥岩,水平层理	0.75m
79	橄榄灰色泥岩夹薄层浅黄灰色粉砂质泥岩,水平层理	0.70m
78	绿灰色泥岩,断续水平层理	0.15m
77	浅黄灰色粉砂质泥岩	0.10m
76	绿灰色泥岩,断续水平层理	1.55m
75	浅黄灰色粉砂质泥岩	0.10m
74	绿灰色泥岩,断续水平层理	1.08m
73	浅黄灰色粉砂质泥岩	0.10m
72	绿灰色泥岩,断续水平层理	0.65m
71	浅黄灰色钙质粉砂岩	0.15m
70	绿灰色泥岩,具水平层理	1.05m
69	绿灰色泥岩与浅黄灰色粉砂岩互层,泥岩顶部见泥裂	0.90m
68	黄灰色钙质粉砂岩,具波状层理	0.25m
67	深灰色泥岩,具水平层理,中部见灰白色粉砂岩薄层和透镜体	2.00m
66	浅灰色粉砂岩与绿灰色泥岩薄互层	0.75m
65	绿灰色泥岩	0.10m

^① 郭彧,刘旺勋,杨樸,吴玉兰. 1959. 松辽平原上白垩系伏龙泉层及以上地层专题研究报告

64	浅灰色粉砂岩和深灰色泥岩薄互层,泥岩顶面见有泥裂,粉砂岩具波状层理,顶面见有波痕,见少量生物化石碎片	1.05m	31	浅灰色粉砂岩,具波状层理	0.25m	
63	灰色介形虫灰岩,介形虫大小1mm左右,上部具波状层理,下部平行层理	0.20m	30	灰色泥岩夹多层浅灰色粉砂岩,具水平层理和断续水平层理,上部泥岩中见黄铁矿颗粒,距底1m处见厚1cm的火山灰层	1.75m	
62	绿灰色泥岩,在距顶0.20m处见一组串珠状白云岩结核。此层发现脊椎动物骨骼化石	1.60m	29	灰色泥岩与灰色含介形虫泥岩互层,局部见有介形虫富集层,见零星分布有白云岩结核	0.85m ³	
61	土黄色泥岩,滴酸不起泡	0.13m	28	深灰色泥岩与浅黄灰色含介形虫粉砂岩互层	0.10m	
60	绿灰色泥岩	0.35m	27	深灰色含介形虫泥岩	0.10m	
59	黄灰色粉砂质泥岩夹薄层状粉砂岩,水平层理	0.13m	26	深灰色泥岩与黄灰色含介形虫粉砂岩互层,粉砂岩具波状层理、包卷层理	0.35m	
58	绿灰色泥岩	0.10m	25	灰色含介形虫细砂岩,较致密,上部见变形层理,下部见平行层理,底部见有冲刷面	0.20m	
57	黄灰色粉砂质泥岩	0.13m	24	深灰色泥岩,距底0.65m处和距顶0.1m分别见一层白云岩结核富集层,顺层分布,单个结核扁椭球状,长20~40cm,厚度7~15cm,局部见夹极薄层(厚0.2~0.5cm)的介形虫富集层	1.15m	
56	绿灰色泥岩,具断续水平层理	0.20m	23	灰色泥岩与浅黄灰色细砂岩互层,泥岩中见有介形虫化石,局部见介形虫化石富集层;砂岩中见丘状交错层理	1.25m	
55	黄灰色粉砂质泥岩,水平层理	0.10m	22	灰色泥岩,发育断续水平层理,泥岩风化都碎裂呈蒜瓣状;下部见夹浅黄灰色含介形虫粉砂岩层,厚5mm~1cm,具波状层理;距底0.4m处见一层顺层分布的白云岩结核层,结核单体长10~30cm,厚5~8cm	0.70m	
54	绿灰色泥岩,具水平层理	0.40m	21	浅灰色粉砂岩与深灰色泥岩互层,具有波状层理,透镜状层理	0.10m	
53	灰色泥灰岩	0.10m	20	深灰色油页岩,页理构造发育,富含介形虫和叶肢介化石,保存完整	0.80m	
52	绿灰色泥岩,距顶0.25m处见顺层分布的白云岩结核,结核直径10cm,厚3cm	0.50m	19	灰色泥岩,具断续水平层理	0.50m	
51	浅绿色钙质粉砂岩夹薄层黄色泥灰岩	0.10m	18	浅灰色粉砂岩,钙质胶结,具波状层理	0.10m	
50	绿灰色泥岩,发育水平层理,见少量介形虫化石	0.50m	17	灰色泥岩,具断续水平层理	0.50m	
49	绿灰色泥岩与浅绿灰色钙质粉砂岩互层,粉砂岩具波状层理,泥岩中见褐铁矿化黄铁矿层,厚1cm	0.60m	16	浅黄灰色细砂岩与深灰色泥岩互层,见透镜状层理	0.60m	
48	灰色介形虫灰岩(风化面土黄色),具平行层理,介形虫由下至上个体变大,距底0.25m处粒级分界,下部为1mm左右,上部为2mm左右,最大可达3mm	0.45m	15	浅黄灰色含介形虫细砂岩,见介形虫碎屑	0.25m	
47	绿灰色泥岩,中部见夹几薄层浅灰色钙质粉砂岩	1.80m	14	深灰色页岩,见夹浅黄灰色粉砂岩透镜体和薄层,距底1.5m处见1cm厚介形虫灰岩层,透镜状粉砂岩中见有较多生物化石碎屑	3.45m	
46	浅灰色细砂岩,发育波状层理,底面见泥裂印模	0.10m	13	浅黄灰色泥质粉砂岩	0.05m	
45	灰色介形虫质泥岩,介形虫含量10%左右,介形虫大小1mm,发育水平层理,顶部发育泥裂构造	0.10m	12	深灰色油页岩(劣质油页岩),具页理构造,距顶0.2m处见有一层介形虫灰岩层,厚2~3cm,介形虫含量大于80%,介形虫大小为1mm左右	1.65m	
44	灰色介形虫灰岩(风化面呈土黄色),下部见平行层理,上部波状层理,在距顶0.10m处夹有钙质粉砂岩薄层和透镜体,介形虫个体向上变大	0.60m	11	黄灰色泥灰岩,块状构造	0.10m	
43	绿灰色泥岩与浅灰色粉砂岩互层	0.10m	10	深灰色油页岩,具页理构造,含较多介形虫化石,偶见叶肢介化石	2.10m	
42	绿灰色含介形虫泥岩,水平层理,距顶0.10m处见断续分布的白云岩结核,厚2~3cm,直径5~10cm	0.60m	9	黄灰色泥灰岩,块状构造	0.10m	
41	土黄色泥灰岩,块状构造,滴酸起泡后有泥质残余	0.10m	8	绿灰色泥岩,水平层理,含较多介形虫和叶肢介化石	1.05m	
40	绿灰色泥岩与灰白色含介形虫粉砂岩互层,断续水平层理	0.35m	————整合————			
39	绿灰色泥岩,断续水平层理,夹几层松散灰白色介形虫灰岩	0.50m	姚家组三段			
38	绿灰色泥岩与介形虫灰岩互层,具水平层理,岩石松散	0.10m	7	橄榄灰色泥岩与灰白色粉砂岩互层,具水平层理	0.50m	
37	绿灰色泥岩,具水平层理	1.30m	6	浅黄灰色细砂岩	0.50m	
36	土黄色泥灰岩,块状构造,滴酸强烈起泡后有泥质残余	0.10m	5	黄灰色粉砂质泥岩,块状构造	2.00m	
35	绿灰色泥岩,距顶0.1m处见有断续分布少量白云岩结核,结核顺层产出,长20~40cm,厚5~15cm	0.35m	4	灰白色细砂岩,具波状交错层理	1.00m	
34	深灰色泥岩,具水平层理,泥岩中见少量透镜状浅灰色粉砂岩,距顶0.3m处夹两薄层状(厚0.5~1.0cm)褐铁矿化黄铁矿层	0.90m	3	绿灰色泥岩	0.30m	
33	灰色介形虫灰岩(风化面呈土黄色),具平行层理,粒序层理,介形虫个体向上变小,但大小都在1mm左右,含量大于90%	0.25m	2	灰白色细砂岩,底部见下部泥岩泥裂印模,见有泥砾,发育波状交错层理,虫孔发育	0.40m	
32	浅绿灰色粉砂质泥岩	0.15m	1	绿灰色泥岩,后期裂缝发育,裂缝中充填石膏(未见底)	1.35m	

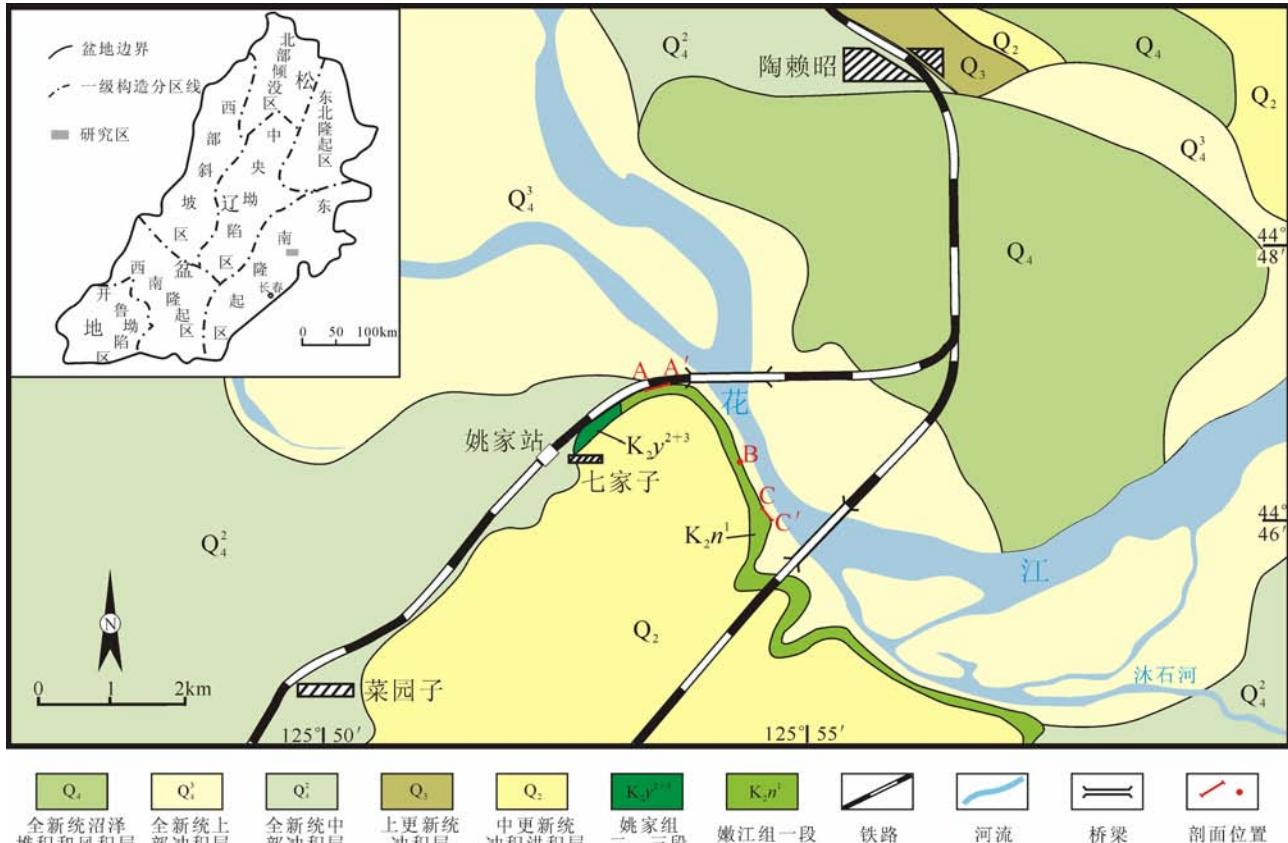


图1 德惠市姚家站松花江桥地区地质图及嫩江组剖面位置

Fig. 1 Geological map of Yaojiazhan area showing outcrop locations

3.2 B 观测点地层特征

B 为一冲沟观测点,位于姚家兵站松花江桥 180° 方向 1km 处(图 1)。剖面拉垂向导线测量,导线长 8.75m,共划分出 15 层,为嫩江组一段上部层位,可与 A-A' 剖面的 48~63 层对比。B 观测点剖面层序描述如下:

嫩江组一段(未见顶)

15	浅灰色介形虫灰岩,风化面呈土黄色	0.20m
14	绿灰色泥岩,在距底 0.40m 处见一白云岩层,泥岩具水平层理,局部变形	2.00m
13	浅灰色粉砂岩,具波状层理,上部见粉砂岩与泥岩的极薄互层,互层中砂岩发育液化变形构造,见生物碎屑	0.10m
12	绿灰色泥岩,距顶 0.30m 处发育一层白云岩结核富集层	1.20m
11	浅灰色钙质粉砂岩,见较多生物碎屑和介形虫碎屑,具波状层理,生物碎屑顺层分布,顶部见粉砂岩与泥岩极薄互层,互层中砂岩具液化变形构造	0.10m
10	绿灰色泥岩,在顶部夹一层白云岩结核	0.45m
9	绿灰色泥岩与浅灰色钙质粉砂岩薄互层,具波状层理,砂岩呈透镜状	0.60m
8	浅灰色介形虫灰岩,风化面呈土黄色,具水平层理,该层下部介形虫直径小,为 1~2mm;上部直径大,为 2~3mm,分界线在距底 0.25m 处	0.50m

7	绿灰色泥岩,下部夹薄层黄灰色粉砂岩	0.70m
6	灰色粉砂质泥岩,水平层理	0.10m
5	绿灰色泥岩夹两层白云岩结核富集层,发育断续水平层理	0.40m
4	深灰色泥岩,偶见介形虫化石,距顶 0.15m 处见一层厚 2cm 的黄灰色介形虫碎屑富集层	1.00m
3	深灰色粉砂质泥岩,中部和上部见两层黄灰色泥灰岩层,偶见介形虫化石	0.45m
2	浅灰色介形虫灰岩,风化面土黄色,该层下部介形虫直径小,为 1mm 左右;上部直径大,为 1~2mm,分界线在距底 0.20m 处,具波状层理	0.45m
1	绿灰色泥岩,见介形虫化石 (未见底)	0.50m

3.3 C 观测点地层特征

C-C' 为一条长剖面,位于松花江老江桥西桥头 320° 方向 400m 处。剖面水平长 190m,出露厚度仅 6.45m,主要为一套绿灰色泥岩夹浅灰色粉砂岩、细砂岩沉积,推测为 A-A' 剖面顶部已被剥蚀的地层。C-C' 观测点剖面层序描述如下:

嫩江组一段(未见顶)

11	浅灰色细砂岩,风化面呈土黄色,底部与绿灰色泥岩互层,具波状层理	1.00m
----	---------------------------------	-------

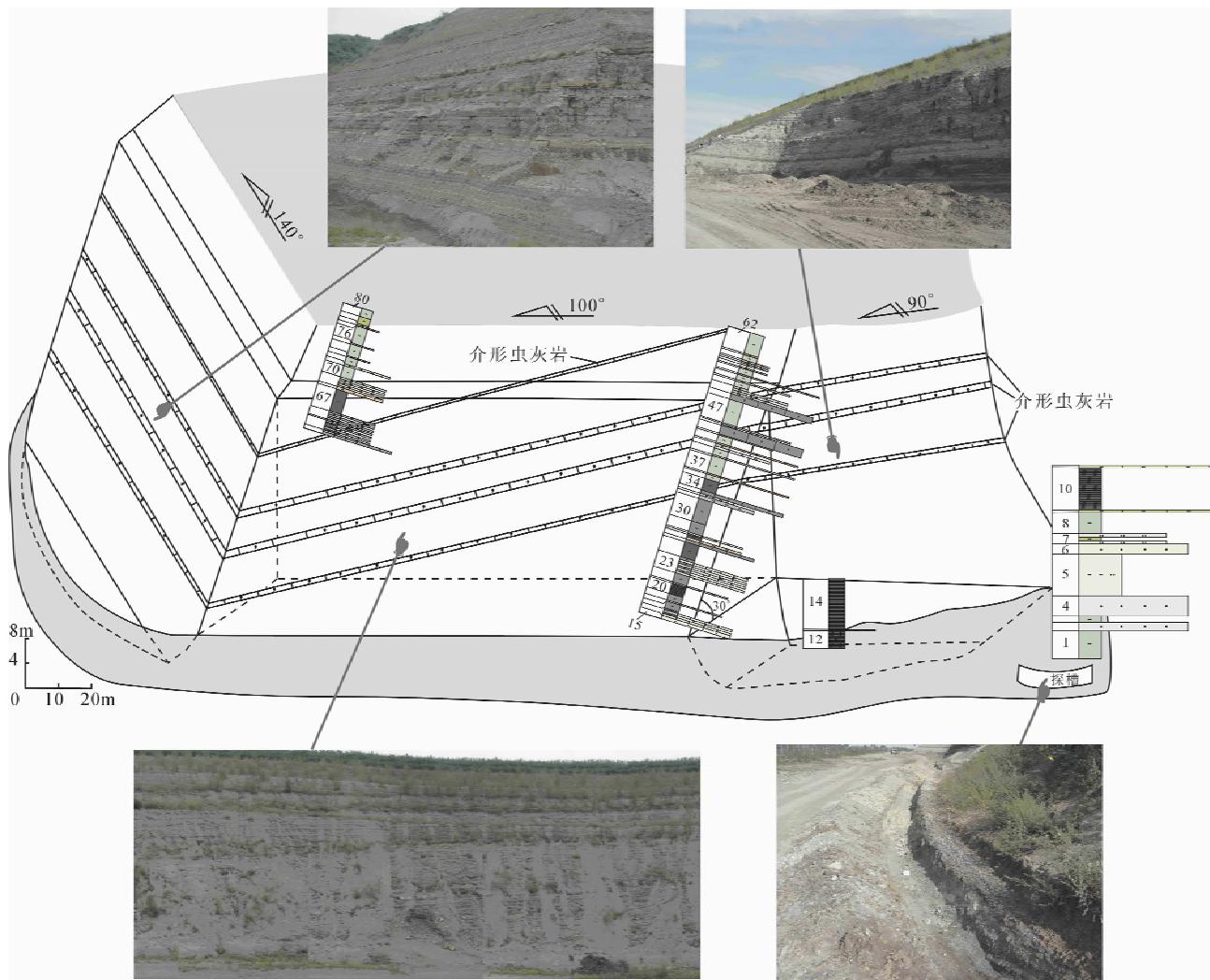


图2 A-A'剖面掌子面略图及测量位置(柱状图所在位置即为导线位置)

Fig. 2 Sketch of measuring position of A-A' section (the location of the column section is the survey line's location)

10	绿灰色泥岩	0.60m
9	浅黄灰色细砂岩,风化面呈土黄色,具波状层理	0.10m
8	绿灰色泥岩	1.00m
7	黄灰色泥质粉砂岩	0.30m
6	绿灰色泥岩,断续水平层理	0.60m
5	灰白色细砂岩与绿灰色泥岩薄互层,波状层理,砂岩透镜体	1.50m
4	绿灰色粉砂质泥岩,具水平层理	0.20m
3	灰白色细砂岩与绿灰色泥岩薄互层,砂岩具波状层理	0.35m
2	黄灰色泥质粉砂岩	0.30m
1	绿灰色泥岩,断续水平层理 (未见底)	0.50m

半深湖和深湖亚相。滨湖亚相中主要见有滨岸泥坪沉积微相,表现为粉砂岩与泥岩薄互层沉积,粉砂岩具波状层理,有时层面可见波痕(图3-1);泥岩具水平层理,顶面常发育泥裂构造,在砂岩的底面上见有泥裂印模(图3-2)。

浅湖亚相包括静水泥质沉积、浊流和面状砂3种沉积微相。静水泥质沉积主要以绿灰色和灰色泥岩为主,发育水平层理和断续水平层理,常见有完整介形虫化石和其他生物化石碎片。此外,在浅湖泥岩中还见有多层白云岩结核顺层产出(图3-3),结核多呈椭球状,单个结核长20~50cm,厚5~15cm,关于该剖面白云岩结核的成因,刘万洙和王璞珺(1997)进行过详细的论述,认为白云岩结核为同沉积或早期成岩结核,白云岩结核的扁椭球状外形是白云岩同生结晶成岩-收缩-微层间拉断-上覆沉积物持续压实等作用的综合结果,笔者赞成该成因解释。该套嫩江组剖面的沉积序列中发育有4层介形虫灰岩,厚度在25~60cm,介形虫含量均在90%以上,个体大小为1~3mm,具波状层理和平行层理,第

4 沉积相与旋回地层

4.1 沉积相特征

嫩江组剖面出露为一套湖相沉积层序,包括滨湖、浅湖、

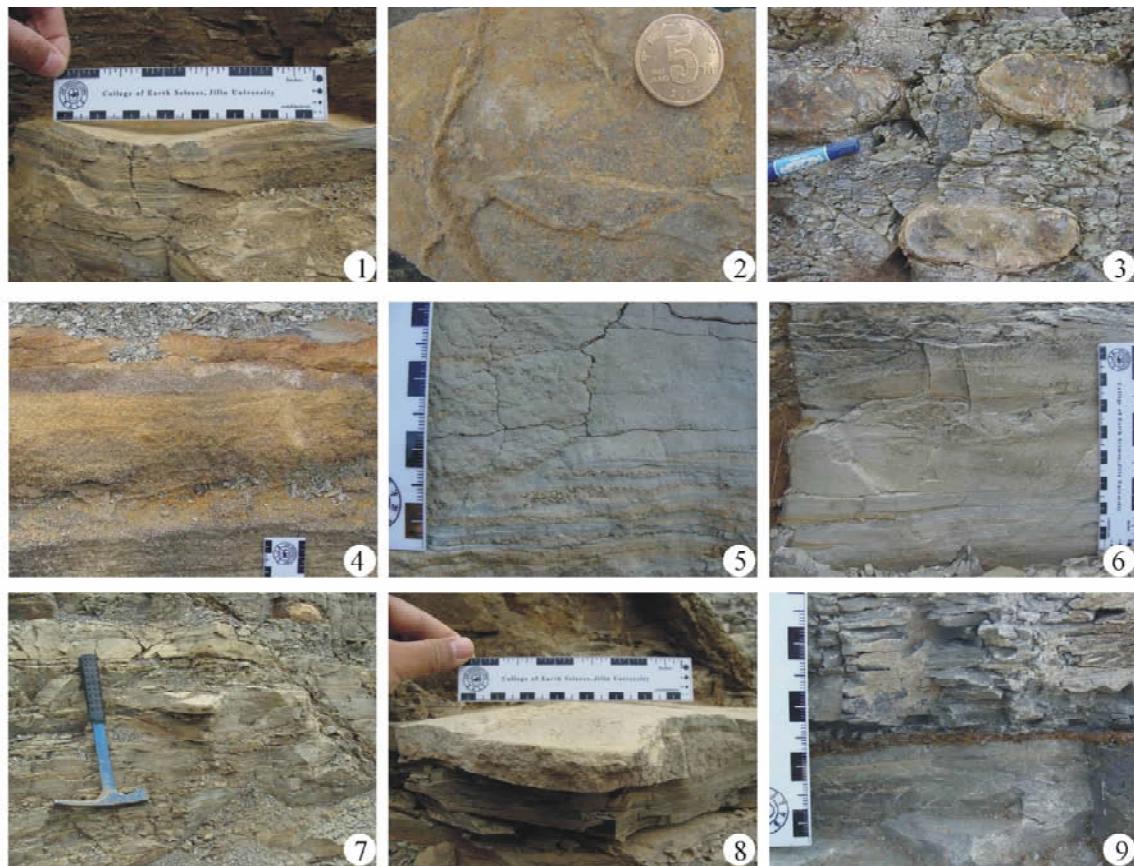


图3 嫩江组剖面沉积构造及特殊层

1-波痕,A-A'剖面第64层;2-泥裂印模,A-A'剖面第46层;3-白云岩结核,A-A'剖面第52层;4-粒序层理,A-A'剖面第33层;5-细砂岩底部冲刷面,A-A'剖面第25层;6-下部平行层理,上部变形层理,A-A'剖面第25层;7-丘状交错层理宏观照片,A-A'剖面第23层;8-丘状交错层理,A-A'剖面第23层;9-褐铁矿化黄铁矿层,A-A'剖面第49层

Fig. 3 Photos showing features of sedimentary structure and special layers in the Nenjiang section

1-ripple mark, the 64th layer in A-A' section; 2-mud crack impression, the 46th layer in A-A' section; 3-dolomite concretions, the 52th layer in A-A' section; 4-graded bedding, the 33th layer in A-A' section; 5-erosion surface in the bottom of sand stone, the 25th layer in A-A' section; 6-parallel bedding and deformation bedding, the 25th layer in A-A' section; 7-hummocky cross bedding, the 23th layer in A-A' section; 8-hummocky cross bedding, the 23th layer in A-A' section; 9-the pyrite layer with limonitization, the 49th layer in A-A' section

33层还具有明显的粒序层理(图3-4),为浊流成因。面状砂沉积微相主要表现为薄层状粉砂岩沉积,厚一般为10~15cm,具波状层理或水平层理,主要出现在绿灰色厚层状泥质沉积中。

半深湖亚相中主要见有静水泥质沉积、浊流和风暴岩沉积3种沉积微相。静水泥质沉积的泥岩呈灰色,发育水平层理;浊流沉积的粉细砂岩底部发育冲刷面(图3-5),通常在冲刷面上之上发育一层具平行层理或波状层理的细砂岩,向上变为具变形层理的粉砂岩(图3-6),可解释为鲍玛序列的B段和C段,即下平行纹层段和波纹、波状或旋涡纹层段。风暴重力流沉积发育在砂泥岩互层的沉积序列中,砂岩中见有丘状交错层理(图3-7,3-8),波长15~25cm,波高4~6cm,由于为湖相风暴岩沉积,其形成规模远不及海相层序,但其形态特征和成因与Harms(1975)描述的海相层序丘状交错层理

相同。

深湖亚相包括暗色油页岩、页岩、浊流和泥灰岩沉积,油页岩沉积主要出现在剖面中嫩江组一段的底部,具页理构造,表面风化严重,油味淡,为劣质油页岩;泥灰岩沉积通常以薄夹层的形式出现,与上下岩层整合接触,多呈黄灰色,块状构造,滴酸起泡后有泥质物质残余;浊流沉积以灰色粉砂岩薄层的形式夹在暗色油页岩中。

4.2 米级旋回及 Fischer 图解

米级旋回是指一套代表最小成因单元的单一岩性或相关岩性的叠加样式(郑荣才等,2001),其对应于层序地层中的韵律层和高分辨率层序地层中的超短期基准面旋回,是最小的成因单元,具体指在野外露头中能以常规方法识别出的最小层序。Fischer图解是Fischer(1964)在研究奥地利三叠

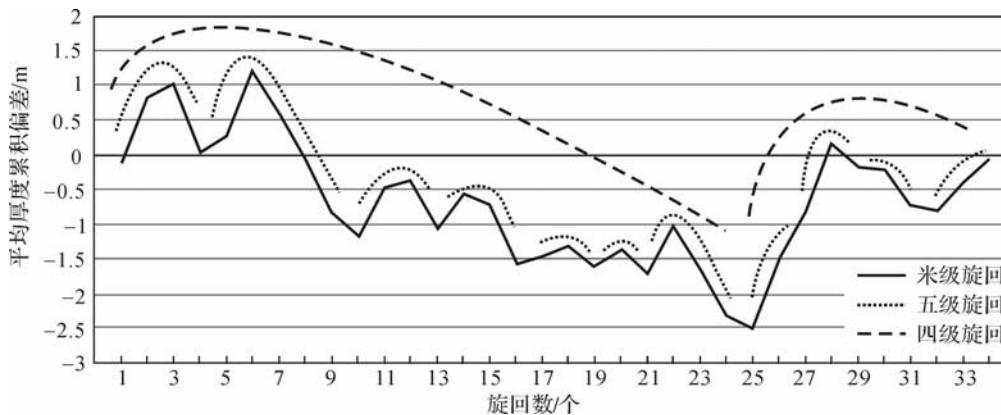


图4 嫩江组剖面 Fischer 图解

Fig. 4 Fischer plots of the first member of Nenjiang Formation of Nenjiang section

系潮坪碳酸盐岩沉积的 Lofter 旋回时首次使用的,其纵坐标为平均厚度累积偏移,指所有米级旋回厚度对于平均旋回厚度的偏移累积,在旋回厚度大于平均厚度处,曲线变陡,反之曲线变缓。横坐标为旋回数。Fischer 图解中旋回厚度对于平均厚度的偏移可以反映沉积物可容纳空间随时间变化的相对变化,故 Fischer 曲线又可称为可容纳空间曲线。

嫩江组剖面的沉积序列展现出不同级别的岩性-岩相旋回。可识别出 5 种类型的米级旋回,它们分别是湖相静水泥质沉积-风暴重力流细砂岩沉积、湖相静水泥质沉积-砂质浊流沉积、湖相静水泥质沉积-邻滨砂坝粉细砂岩沉积、湖相静水泥质沉积-介形虫质浊流沉积、泥灰岩-泥岩型沉积,类型划分参考了程日辉等(2008)对松科1井的研究成果。共划分 34 个米级旋回,并由米级旋回叠加形成了 11 个五级旋回,2 个四级旋回(图 4)。平均 2~6 个米级旋回叠加成 1 个五级旋回,四级旋回分别由 4 个和 7 个五级旋回叠加而成。每一个五级旋回经历一个可容纳空间由小到大再减小的过程,四级旋回及四级旋回的叠加也具有相似的过程。

根据岩性、沉积相和旋回做嫩江组剖面综合柱状图(图 5),相对可容纳空间变化曲线与岩性和沉积相间有很好的对应性。

5 结果与讨论

5.1 嫩江组一段沉积时期湖盆古水深变化

嫩江组剖面揭示嫩江组一段下部为暗色泥岩、油页岩,具丘状层理风暴岩,具平行层理和变形层理浊积岩和块状构造泥灰岩沉积,属半深湖-深湖沉积环境,向上转变为绿灰色泥岩为主夹介形虫质浊积岩以及粉砂岩、泥岩互层,为滨浅湖交互沉积环境,反映水体总体由深到浅的变化。然而,通过分析嫩江组剖面中反映不同水深的沉积标志(表 1)发现,在滨浅湖交互沉积环境中,浅湖浊流成因的细砂岩和介形虫灰岩顶部均发育一套粉砂岩、泥岩互层沉积,且泥岩顶部具

有泥裂构造,反映水深在介形虫灰岩沉积后迅速变浅;同时,在第 49 层粉砂岩泥岩互层沉积中还见有褐铁矿化黄铁矿薄夹层(图 3-9),在泥岩顶部依然发育泥裂构造,说明水深波动幅度大。

5.2 剖面与松科1井南孔嫩江组一段的对比

松科1井南孔为一口从泉三段顶部到嫩江组二段底部的全取心科学探井,位于松辽盆地中央拗陷区齐家古龙凹陷南部,该井对嫩江组一段地层进行了完整的揭示,取心总长 103.04m,收获率达 100% (高有峰等,2008)。姚家兵站嫩江组剖面中可见到明显的姚家组与嫩江组界线,嫩江组一段地层出露完好,累计出露 42.47m。两套嫩江组一段沉积层序分别位于当时湖盆的中部与边缘,其岩性、沉积相、旋回都有一定的可对比性。

5.2.1 岩性地层的对比

剖面中嫩江组一段岩性以深灰色油页岩、泥岩和深灰色、灰色、绿灰色、橄榄灰色泥岩为主,夹少量粉砂岩、细砂岩、介形虫灰岩和泥灰岩,还含有白云岩结核、细砂岩透镜体、褐铁矿化黄铁矿薄层和火山灰薄层。松科1井南孔中嫩江组一段岩性以大套深灰色、中深灰色、橄榄灰色、深绿灰色泥岩和含介形虫泥岩为主,夹数层浅橄榄灰色白云岩、介形虫碎屑岩条带、砂质条带和白云岩结核,在绿灰色泥岩中见黄铁矿颗粒和火山灰薄层。总体来看,两套层序的主体岩性相似,下部都含有一套深灰色劣质油页岩和泥岩沉积,底部与绿灰色泥岩呈整合接触,说明在嫩江组一段下部沉积时期,松辽盆地湖水有一次迅速加深和扩张,无论在湖盆的中部还是盆地边缘地带都有明显的响应,该时期松辽古湖盆的边界超越了现今的盆地边界。

在剖面中油页岩上部识别出 4 层介形虫灰岩层,厚度 25~60cm,相应的在松科1井中发现多层介形虫碎屑灰岩,主要由介形虫破碎的壳体组成,两者都为浊流成因。剖面中介形虫灰岩沉积位置距介形虫集群死亡地点较近,介形虫个体保留完整,而湖盆中部水体较深,介形虫质浊流搬运较远,而

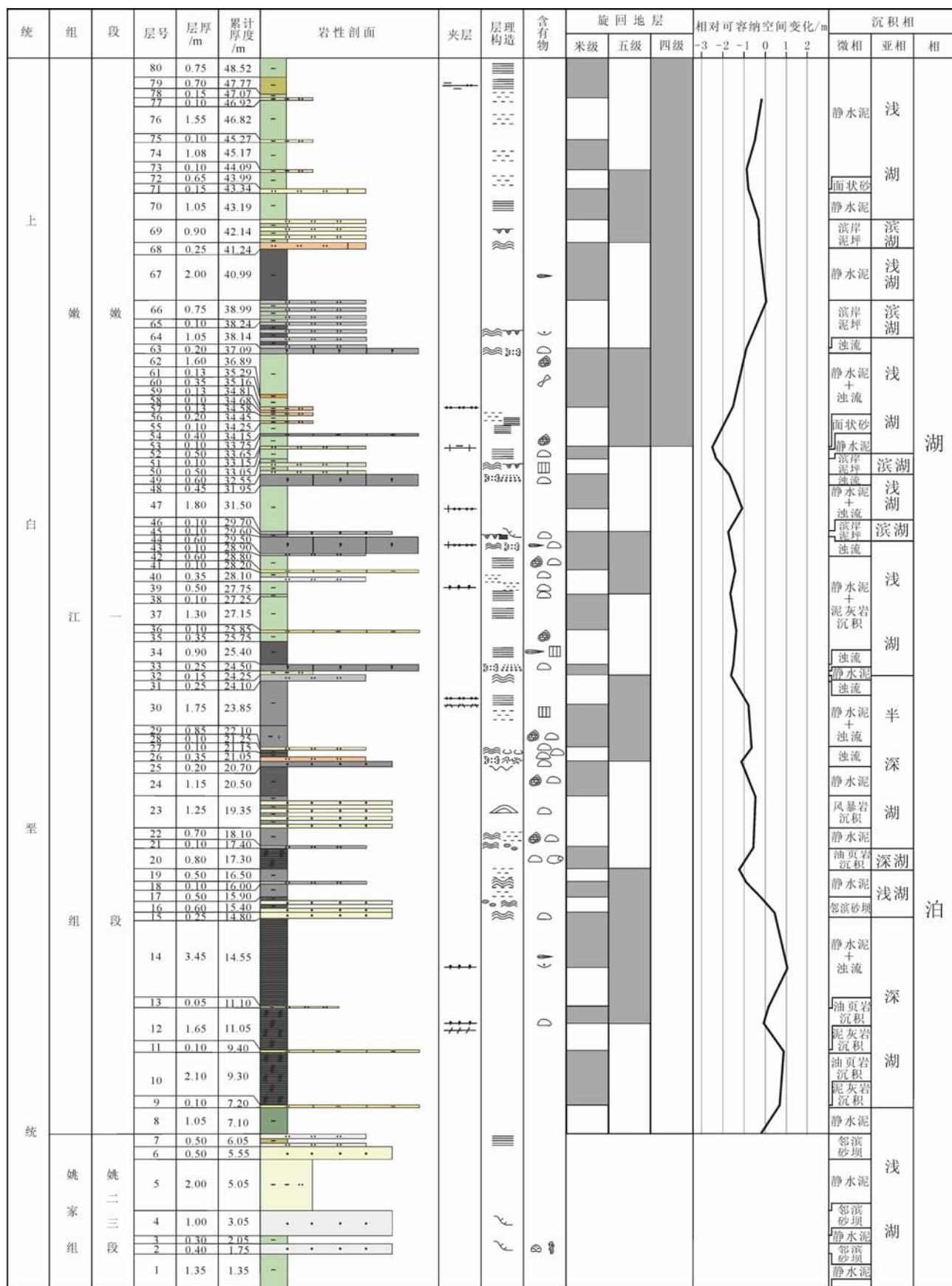




图5 嫩江组剖面姚家组-嫩江组综合柱状图

Fig. 5 Comprehensive stratigraphic column of Yaojia Formation and Nenjiang Formation

表1 嫩江组剖面中不同水深对应的沉积标志和沉积相

Table 1 Relationship between water depth and sedimentary marks of Nenjiang Formation section

水深	沉积标志		沉积相
	沉积构造	岩性	
水上	泥裂	泥岩	滨岸泥坪
浅水 0~5m	透镜状层理、波状层理、波痕 丘状交错层理	砂泥岩互层或泥岩夹砂岩透镜体 风暴成因细砂岩	面状砂或邻滨砂坝 风暴岩沉积
半深水 5~50m	上部变形层理,下部平行层理 上部波状层理,下部平行层理或粒序层理	浊流成因粉砂岩和细砂岩 浊流成因介形虫灰岩	浊流 浊流
深水 >50m	页理构造	暗色页岩、油页岩、黄铁矿层	深湖静水泥质沉积、油页岩沉积

注:表中资料据刘宝珺和曾允孚,1985;王璞珺等,2001;张世奇和任延广,2003 修改

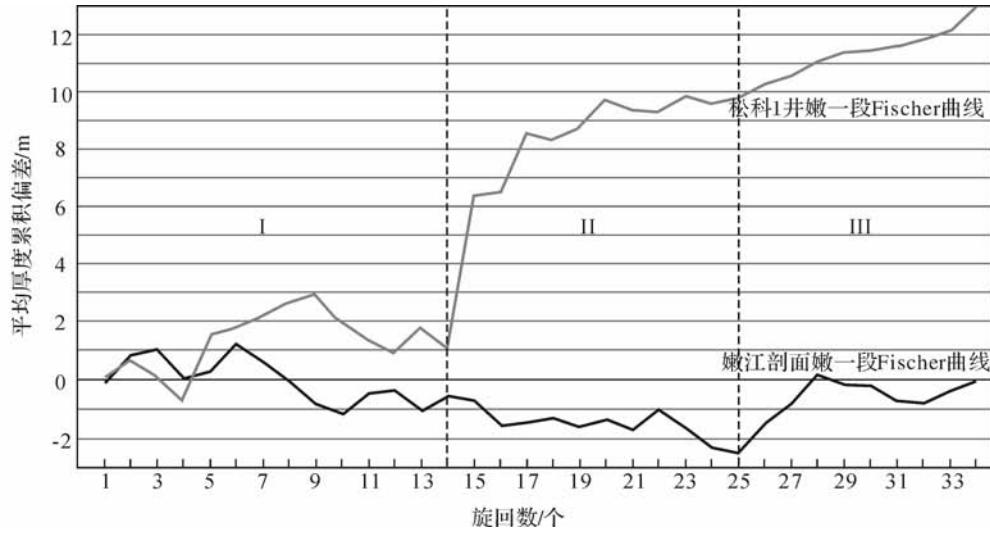


图6 松科1井与嫩江组剖面嫩江组一段Fischer曲线对比

Fig. 6 Fischer plots contrast of the first member of Nenjiang Formation in CCSD-SK-I and Nenjiang section

使介形虫壳体大部分破碎形成介形虫碎屑岩沉积，两者也具有可对比性。

火山灰层在剖面和井中各识别出一层，厚度分别为1cm和2cm，其出现位置也相当，距嫩江组一段底分别为17.05m和15.93m，且都位于第14个米级旋回的上部，应为同期火山活动留下的沉积记录，在松辽盆地青山口期已经发现有火山岩以及同期形成的火山灰沉积（王璞珺等，2009），因此，同处于拗陷期且有火山灰沉积的嫩江组也可能存在火山作用。此外，白云岩结核在剖面和井中均有发育，剖面中34个旋回共发育7层，松科1井中前34个旋回（1075.80~1128.17m）仅发育1层，而第45~第86个旋回（1026.83~1060.25m）却

发育31层（王国栋等，2008），说明盆地中部白云岩沉积比边缘地带具有滞后性。

5.2.2 旋回地层的对比

松科1井嫩江组一段共识别出86个米级旋回，从嫩江组一段底部开始截取前34个与嫩江组剖面的34个米级旋回进行对比，如图6所示。两条旋回曲线在第1到第14个旋回段相对可容纳空间具有两次波动性变化，且变化趋势相似，说明这段时期湖盆的可容纳空间变化在盆地中部和边缘具有相同的响应（图6-I区）。从第15个旋回开始，松科1井旋回曲线显示可容纳空间迅速增大，而嫩江组剖面旋回曲线变化幅度不大，而且可容纳空间还略有减小，由此推断这

一时期松辽盆地沉积中心与松科1井间的距离逐渐缩短,而与嫩江组剖面所在位置的距离逐渐加大,说明盆地沉积中心在向西北方向移动,且可能伴随着盆地东缘的抬升运动,这种变化一直持续到第25个旋回(图6-II区)。从第25个旋回开始松科1井所在位置可容纳空间持续增大,嫩江组剖面在第28个旋回处有一波动,但总体趋势也是增大的,说明该段时期虽然盆地中部和边缘环境差异较大,但可容纳空间总体变化仍然相同(图6-III区)。

6 结论

本文对德惠市姚家站第二松花江桥附近嫩江组剖面的岩性地层、沉积相、沉积旋回等进行研究与分析,并把所得结果与松科1井进行对比,得出如下一些主要结论:

(1) 对松辽盆地东南隆起区嫩江组一段剖面的研究表明,在嫩江组一段沉积时期研究区为一套深湖相与滨浅湖交互沉积,而且在滨浅湖交互沉积段,水体波动频繁、幅度大。

(2) 通过与松科1井的对比发现剖面中识别出的火山灰、白云岩结核、介形虫灰岩等特殊岩性层在松科1井中都有明显的响应,

(3) 嫩江组剖面嫩江组一段可划分为34个米级旋回,并由米级旋回叠加形成11个五级旋回,2个四级旋回。通过与松科1井嫩江组一段旋回地层的对比发现,从第15个旋回开始到第25个旋回结束,Fischer曲线显示松辽盆地沉积中心向西北方向迁移,且可能伴随着盆地东缘的抬升运动。

致谢 本文获“东北亚生物演化与环境教育部重点实验室”、吉林大学“211”工程三期建设项目和2009年教育部基本科研业务经费(“吉林大学创新团队发展计划”)支持。感谢孙阳和易泽军在野外工作中给予的帮助。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. 1997. Lithostratigraphic of Heilongjiang Province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 159–161 (in Chinese)
- Cheng RH, Wang GD and Wang PJ. 2008. Sedimentary cycles of Quantou-Nenjiang, Cretaceous and Milankovitch cycles from the south hole of CCSD-SK in Songliao Basin. *Acta Geologica Sinica*, 82 (1): 55–64 (in Chinese with English abstract)
- Fischer AG. 1964. The lofer cyclothem of the alpine Triassic. *Kansas Geological Survey Bulletin*, 169(1): 107–149
- Gao YF, Wang PJ, Wang CS, Ren YG, Wang GD, Liu WZ and Cheng RH. 2008. Well site selecting, core profile characteristics and distribution of the special lithology in CCSD-SK II. *Acta Geologica Sinica*, 82(5): 669–675 (in Chinese with English abstract)
- Hao YC, Su DY, Yu JX, Li PX, Li YG and Wang NW. 1986. The Cretaceous in China. Beijing: Geological Publishing House, 1–301 (in Chinese)
- Harms JC. 1975. Stratification and sequence in prograding shoreline deposits. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Short Course* 2: 81–102
- Li G, Chen PJ, Wan XQ, Jiang JH, Liu JC, Yin DS and Yan W. 2004. Stratotype of the basal boundary of the Nenjiang Stage, Cretaceous. *Journal of Stratigraphy*, 28(4): 297–299, 335 (in Chinese with English abstract)
- Li G, Wan XQ, David JB, Batten DJ, Bengtson P, Xi DP and Wang PJ. 2009. Spinicaudatans from the Upper Cretaceous Nenjiang Formation of the Songliao Basin, Northeast China: Taxonomy and biostratigraphy. *Cretaceous Research*, 30: 687–698
- Liu BJ and Zeng YF. 1985. Foundation and Working Methods of Lithofacies Paleogeography. Beijing: Geological Publishing House, 85–96 (in Chinese)
- Liu WZ and Wang PJ. 1997. Genesis and environmental significance of the dolomite concretions from the Nenjiang Formation in the Songliao Basin, northeastern China. *Lithofacies Palaeogeography*, 17(1): 22–26 (in Chinese with English abstract)
- Tan XC and Wang HS. 1929. Geology along the valley of Nenjiang River and Heilongjiang River. *Bulletin of the Geological Survey of China*, 13, 32–41 (in Chinese)
- Wang GD, Cheng RH, Wang PJ and Gao YF. 2008. The forming mechanism of dolostone of Nenjiang Formation in Songliao Basin: Example from CCSD-SKII. *Acta Geologica Sinica*, 82(1): 48–54 (in Chinese with English abstract)
- Wang PJ, Liu WZ, Shan XL, Bian WH, Ren YG, Du XD, Wan CB and Cheng RH. 2001. Depositional Events: Introduction, Example, Application. Changchun: Jilin Science & Technology Press, 83–91 (in Chinese with English abstract)
- Wang PJ, Gao YF, Ren YG, Liu WZ and Zhang JG. 2009. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age and geochemical features of mugearite from the Qingshankou Formation: Significances for basin formation, hydrocarbon generation and petroleum accumulation of the Songliao Basin in Cretaceous. *Acta Petrologica Sinica*, 25(5): 1178–1190 (in Chinese with English abstract)
- Xi DP, Li G, Wan XQ, Jing X and Li S. 2009. Yaojia-Lower Nenjiang Formation and lake evolution of southeastern Songliao Basin, NE China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 48(3): 259–271 (in Chinese with English abstract)
- Zhang SQ and Ren YG. 2003. The study of base level changes of the Songliao Basin in Mesozoic. *Journal of Chang'an University (Earth Science Edition)*, 25(2): 1–5 (in Chinese with English abstract)
- Zheng RC, Peng J and Wu CR. 2001. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(2): 250–255 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

程日辉, 王国栋, 王璞珺. 2008. 松辽盆地白垩系泉三段-嫩江组沉积旋回与米兰科维奇周期. 地质学报, 82(1): 55–64

高有峰, 王璞珺, 王成善, 任延广, 王国栋, 刘万洙, 程日辉. 2008. 松科1井南孔选址、岩心剖面特征与特殊岩性层的分布. 地质学报, 82(5): 669–675

郝治纯, 苏德英, 余静贤, 李佩贤, 李友桂, 王乃文. 1986. 中国的白垩系. 北京: 地质出版社, 1–301

黑龙江地质矿产局. 1997. 黑龙江省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 159–161

李罡, 陈丕基, 万晓樵, 姜剑虹, 刘吉才, 尹德顺, 阎伟. 2004. 嫩江阶底界层型剖面研究. 地层学杂志, 28(4): 297–299

刘宝珺, 曾允孚. 1985. 岩相古地理基础和工作方法. 北京: 地质出版社, 85–96

刘万洙, 王璞珺. 1997. 松辽盆地嫩江组白云岩结核的成因及其环境意义. 岩相古地理, 17(1): 22–26

谭锡畴, 王恒升. 1929. 黑龙江省嫩江两岸之地质. 前中央地质调查所地质汇报, 13: 63–81

王国栋, 程日辉, 王璞珺, 高有峰. 2008. 松辽盆地嫩江组白云岩形成机理——以松科1井南孔为例. 地质学报, 82(1): 48–54

王璞珺, 刘万洙, 单玄龙, 边伟华, 任延广, 杜小弟, 万传彪, 程日辉. 2001. 事件沉积: 导论、实例、应用. 长春: 吉林科技出版社, 83–91

王璞珺, 高有峰, 任延广, 刘万洙, 张建光. 2009. 松辽盆地青山口组橄榄粗安岩: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄、地球化学及其成盆、成烃和成藏意义. 岩石学报, 25(5): 1178–1190

席党鹏, 李罡, 万晓樵, 荆夏, 李顺. 2009. 松辽盆地东南区姚家组-嫩江组一段地层特征与湖泊演变. 古生物学报, 48(3): 259–271

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): 250–255