

# 松科 1 井北孔选址、岩心剖面特征与特殊岩性层的分布

高有峰<sup>1</sup>, 王成善<sup>2</sup>, 王璞珺<sup>1,\*</sup>, 万晓樵<sup>2</sup>, 任延广<sup>3</sup>, 程日辉<sup>1</sup>, 王国栋<sup>1</sup>

1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061
2. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083
3. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

Gao Youfeng<sup>1</sup>, Wang Chengshan<sup>2</sup>, Wang Pujun<sup>1,\*</sup>, Wan Xiaoqiao<sup>2</sup>, Ren Yanguang<sup>3</sup>,  
Cheng Rihui<sup>1</sup>, Wang Guodong<sup>1</sup>

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China
2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China
3. Institute of Exploration and Development of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163712, China

Gao Youfeng Wang Chengshan, Wang Pujun et al. Well site selecting core section characteristics and distribution of the special lithological layers in CCSD-SK-In borehole Songliao Basin. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(6): 104-112

**Abstract:** CCSD-SK-In borehole (China Cretaceous Continental Scientific Drilling-Songke I—the north borehole) is the north one of the two drilling wells of the Cretaceous Scientific Drilling Project in Songliao Basin. It is located in Talaha syndine in Gulong sag of center depression, north Songliao Basin. Based on the detailed description of the cores from the Taikang Formation to the first member of the Nenjiang Formation in CCSD-SK-In borehole, we have established the core section and identified five special lithological layers, including dolomite, volcanic ash, oil shale, lime mudstone and marl. The total number of special lithological layers is 73 with total thickness of 7.08 m. They distribute in the second to the fifth member of the Nenjiang Formation and the second member of the Mingshui Formation. The detailed description of the cores from CCSD-SK-In borehole and the identification of special lithological layers will benefit the further studies.

**Key words:** CCSD-SK-In borehole; continental Cretaceous; scientific drilling; core description; core section; special lithological layer

**摘要:** 松科 1 井北孔是松辽盆地白垩系科学钻探工程的两个钻孔之一, 位于松辽盆地北部中央坳陷区齐家古龙凹陷他拉哈向斜上。通过对松科 1 井北孔泰康组到嫩一段顶部连续取心资料的详细描述, 建立松科 1 井北孔岩心剖面。识别出白云岩、火山灰、油页岩、灰质泥岩、泥灰岩 5 种特殊岩性, 特殊岩性出现的总层数为 73 层, 总厚度为 7.08 m, 分布在嫩二段、嫩三段、嫩四段、嫩五段和明二段中。对松科 1 井的精细岩心描述和对特殊岩性的识别是开展后续研究工作的基础。

**关键词:** 松科 1 井北孔; 陆相白垩系; 科学钻探; 岩心描述; 岩心剖面; 特殊岩性

**中图分类号:** P534.53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2321(2009)06-0104-09

收稿日期: 2009-10-20; 修回日期: 2009-11-01

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2006CB701403)

作者简介: 高有峰(1982—), 男, 博士研究生, 主要从事石油与天然气地质勘查方面的研究。E-mail: gaoyf\_1982@163.com

\* 通讯作者简介: 王璞珺(1959—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事油气地质勘查、沉积学与火山岩储层方面的研究与教学。E-mail: wangpj@jlu.edu.cn

松科1井是国家重点基础研究发展计划“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”的重要组成部分,是全球在陆地上实施的第一口陆相白垩系科学钻探井。目前国际上海相白垩系的钻孔较多,但陆相科学钻探还没有先例,松科1井钻探工程的开展,将填补国际上对陆相白垩系科学钻探的空白,因之被誉为“陆相白垩系开创性研究手段”<sup>[1-2]</sup>。松辽盆地是世界范围内陆相白垩纪地层和地质记录最为完整的地区之一,是中国石油工业成长的摇篮,在这里实施白垩纪科学钻探既有科学优势又有技术优势。

目前,对松辽盆地古环境、古气候的研究主要集中在孢粉、碳氧同位素以及生物化石研究上<sup>[3-12]</sup>,不论采用哪种手段,到目前为止,研究尺度仍是以几十万年到百万年计,精度很低,与国际上白垩纪古环境、古气候的对比研究很少。没有连续的、系统的研究样品是制约松辽盆地古环境、古气候高分辨率研究的主要原因。松科1井对松辽盆地古近系泰康组底部至白垩系泉头组三段顶部进行了连续的钻探取心。通过对这口钻井岩心的精细描述及厘米级样品取样与分析,把传统地质学百万年的时间分辨率提高到万年尺度,不仅可以建立松辽盆地下白垩统上部 and 上白垩统完整的岩性剖面,而且也作为松辽盆地沉积地层、磁性地层、旋回地层、同位素地层、年代地层、生物地层、古气候以及油气勘探提供最完整的第一手资料。目前,对松科1井南孔已经进行了精细岩性剖面<sup>[13-16]</sup>、沉积相<sup>[17]</sup>、旋回剖面<sup>[18-19]</sup>等方面的研究,取得了丰硕的研究成果,这些成果的取得都得益于松科1井的长井段连续取心。

## 1 选址

松科1井的选址工作是从2005年9月开始的,王成善教授组织相关专家首先明确了松科1井选址的6项基本原则,即上白垩统一第三系地层连续、缺失最小;重要地质和气候事件无遗漏;沉积厚度小;外源碎屑影响小;地层有确定的上下限;工程难度最小<sup>[2]</sup>。在此原则之下从4个备选井位中优选了位于松辽盆地北部中央拗陷区古龙凹陷敖南鼻状构造作为松科1井的井位,主要原因为:(1)松辽盆地白垩纪沉积中心几经迁移,但基本上都位于齐家古龙凹陷内部;(2)齐家古龙凹陷位于松辽盆地中部,是一个长期发育的继承性较强的古构造,地层的发育和

保存完好。但是,由于白垩纪末的构造运动和湖盆中心的迁移,该井位缺少明水组地层,故设计四方台组、明水组地层在西部斜坡正在进行的勘探井中补充取心,作为松科1井的补充取心井。2006年上半年,相关人员赴大庆进行调研和野外踏勘,对松科1井的井位进行了重大调整,改变了原来“一井双孔”的内容,即原来位于古龙凹陷敖南鼻状构造上的松科1井保留,但取心层位由原来的全井段取心改成从嫩江组二段底部到泉头组三段顶部的取心,称作“松科1井南孔”;原来准备在西部斜坡补心的井改作在齐家古龙凹陷他拉哈区块钻另一口科探井,取心从泰康组到嫩一段顶部,称作“松科1井北孔”。“一井双孔”施工方案充分利用了大庆油田丰富的油气勘探资料,利用在全盆地具有可对比性的嫩二段底部油页岩层作为两孔衔接的纽带(图1)。

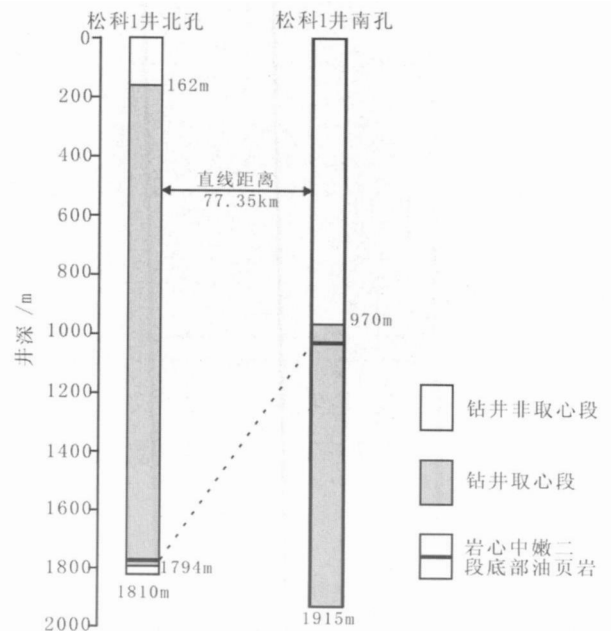


图1 松科1井“一井双孔”取心示意图  
Fig 1 Schematic diagram of the core interval of “one well two drillings”

为了保证地层的连续和降低工程难度,在进一步的选址中要求避开断层及发育的地层厚度最小。利用该区已有的三维地震解释资料,针对松科1井北孔主要钻探嫩一段顶部到泰康组底部的地层,最后将井位定于黑龙江省大庆市大同区小庙子屯东约150m处(图2),构造位置处于松辽盆地北部中央拗陷区古龙凹陷他拉哈向斜上。从邻井资料和最后确定的松科1井北孔过井地震剖面看(图3),本区嫩一段至明水组地层发育齐全且相对厚度小,同时

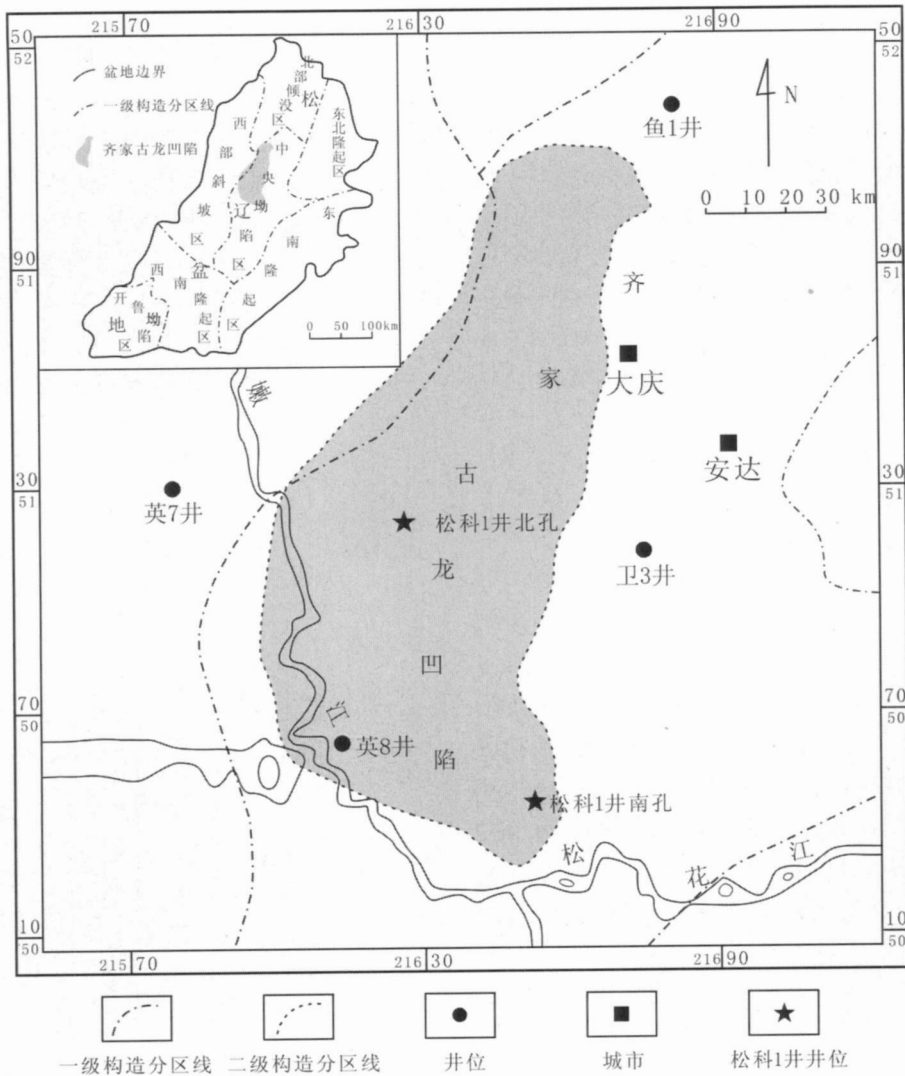


图2 松科1井井位图

Fig 2 Locations of the CCSD-SK-Is and CCSD-SK-In boreholes

处在目标层位沉积时期水体相对较深的位置, 沉积物中泥岩总厚度大、泥质成分含量相对较多, 对于白垩纪古气候的研究非常有利。

## 2 取心及岩心描述情况

松科1井北孔自2006年8月29日开钻, 于2006年10月23日一开完钻, 2007年4月10日二开, 于2007年10月22日二开完钻, 完成全部设计取心任务。完钻井深为1 811.18 m, 一开共完成90回次取心, 进尺为80.23 m, 心长为66.71 m, 取心收获率为83.15%, 二开共完成285回次取心, 进尺为1 550.18 m, 心长1 474.95 m, 收获率为95.15%, 综合一开、二开的总取心进尺为1 630.41

m, 总心长为1 541.66 m, 总收获率为94.56%, 高于设计的90%。取心段涉及嫩一段顶部至泰康组底部的所有地层。

松科1井北孔的岩心精细描述工作与南孔一样, 也是在钻井现场随钻进行, 目的是尽可能地在第一时间掌握岩心的原始面貌和主要地质特征。岩心描述方法和遵循的原则在原有的“中国石油天然气股份有限公司企业标准 Q/SY 128—2005”上结合科学钻探的目的和要求做了有针对性的调整和改进, 例如对特殊事件层的重点描述和颜色描述的标准等。以往油田的取心工作主要围绕储层展开, 而松辽盆地北部大庆探区储层主要分布在嫩三、四段, 姚家组, 青二、三段和泉头组中, 因此对这些层段的取心较多, 对泥岩段和白垩系上部明水组、四方台组

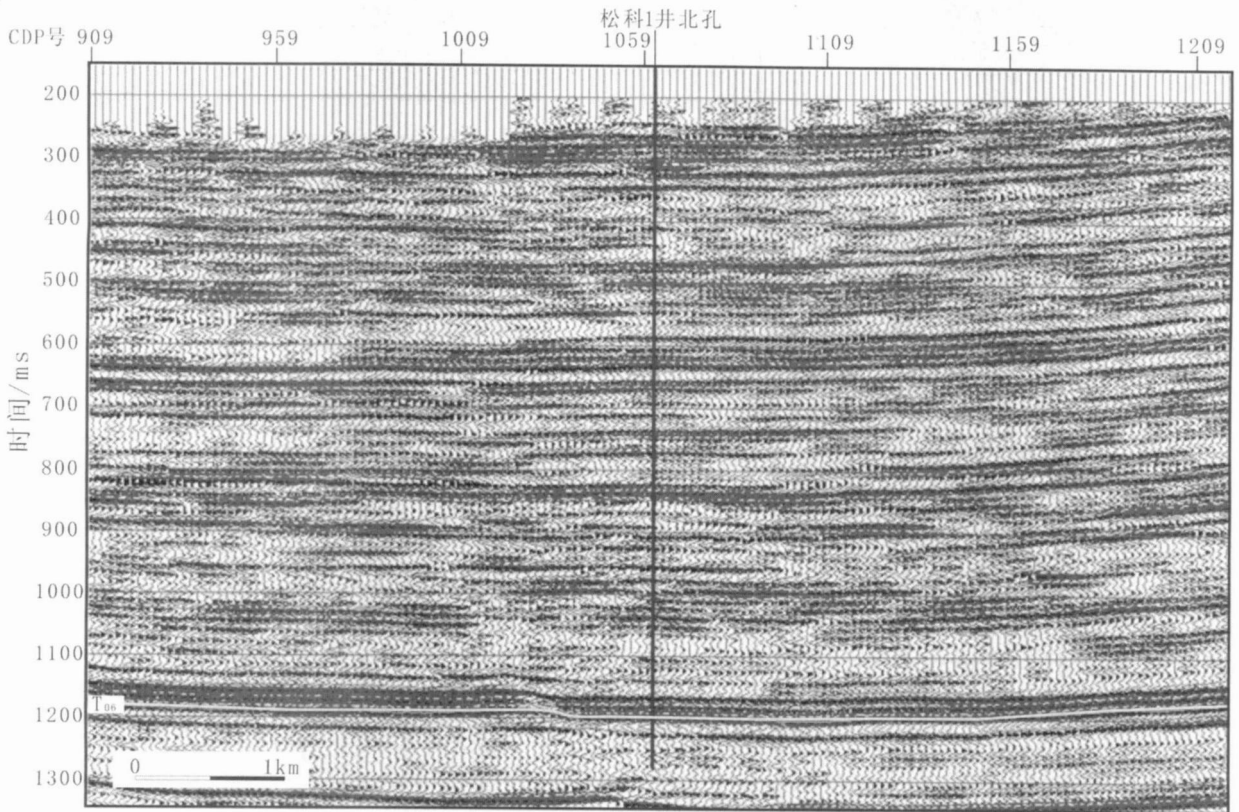


图3 过松科1井北孔东西向地震剖面

Fig 3 Seismic section across CCSD-SK-In drilling site (east-west transect)

T<sub>06</sub>: 嫩一段与嫩二段地震反射界线

的取心则很少。松科1井北孔取心贯穿上白垩统嫩江组一段顶部到新近系泰康组的地层, 所取岩心连续、厚度大, 对松辽盆地事件层、白垩系上部层位的研究提供了丰富的资料。另外, 在对岩心的颜色描述方面也有很大改进, 油田对探井岩心的颜色描述没有特定的颜色标准, 主要是靠技术员的经验对岩心颜色的判断来确定, 本次岩心描述工作使用了“GSA (The Geological Society of America; Rock-Color Chart) 颜色标准”, 这将使岩石的颜色描述更加准确, 从而建立统一的客观标准, 便于后续研究及计算机处理。

### 3 岩心剖面及岩性特征

松科1井北孔所取岩心层位由下至上依次是嫩一段顶部、嫩二段、嫩三段、嫩四段、嫩五段、四方台组、明二段、明一段和泰康组底部。根据岩心描述资料和测井资料绘制了松科1井北孔的综合岩心剖面, 见图4。

#### 3.1 泰康组岩性特征

松科1井南孔取心段揭示泰康组厚度45.8 m, 底深210.6 m, 岩性以浅灰色砂质砾岩和含砾砂岩为主, 胶结松散, 有些层段甚至未固结成岩。沉积构造在岩心中表现不明显, 仅可见一些不清晰的槽状交错层理。泰康组与下伏大明水组二段地层呈不整合接触。

#### 3.2 明水组岩性特征

明水组在松科1井中厚度为596.5 m, 底深807.1 m, 岩性以粉砂岩和泥岩为主, 其次为泥质粉砂岩和粉砂质泥岩, 砂质砾岩、含砂砾岩、细砂岩、中砂岩仅在局部出现且厚度较薄。砂岩颜色以灰色为主, 泥岩颜色有灰色、灰黑色、黑色、紫红色、绿灰色、灰绿色。在粉砂岩、细砂岩中可见平行层理、浪成沙纹层理、浪成交错层理, 局部见小型槽状交错层理和滑塌变形层理, 偶见正粒序层理; 紫红色、绿灰色、灰绿色泥岩发育块状层理, 灰色、灰黑色、黑色泥岩中发育水平层理和水平波纹层理; 砂质砾岩发育块状层理和变形构造。砂岩中见较多碳屑, 在局部的砂岩层理面上见植物碳屑富集。动物化石少,

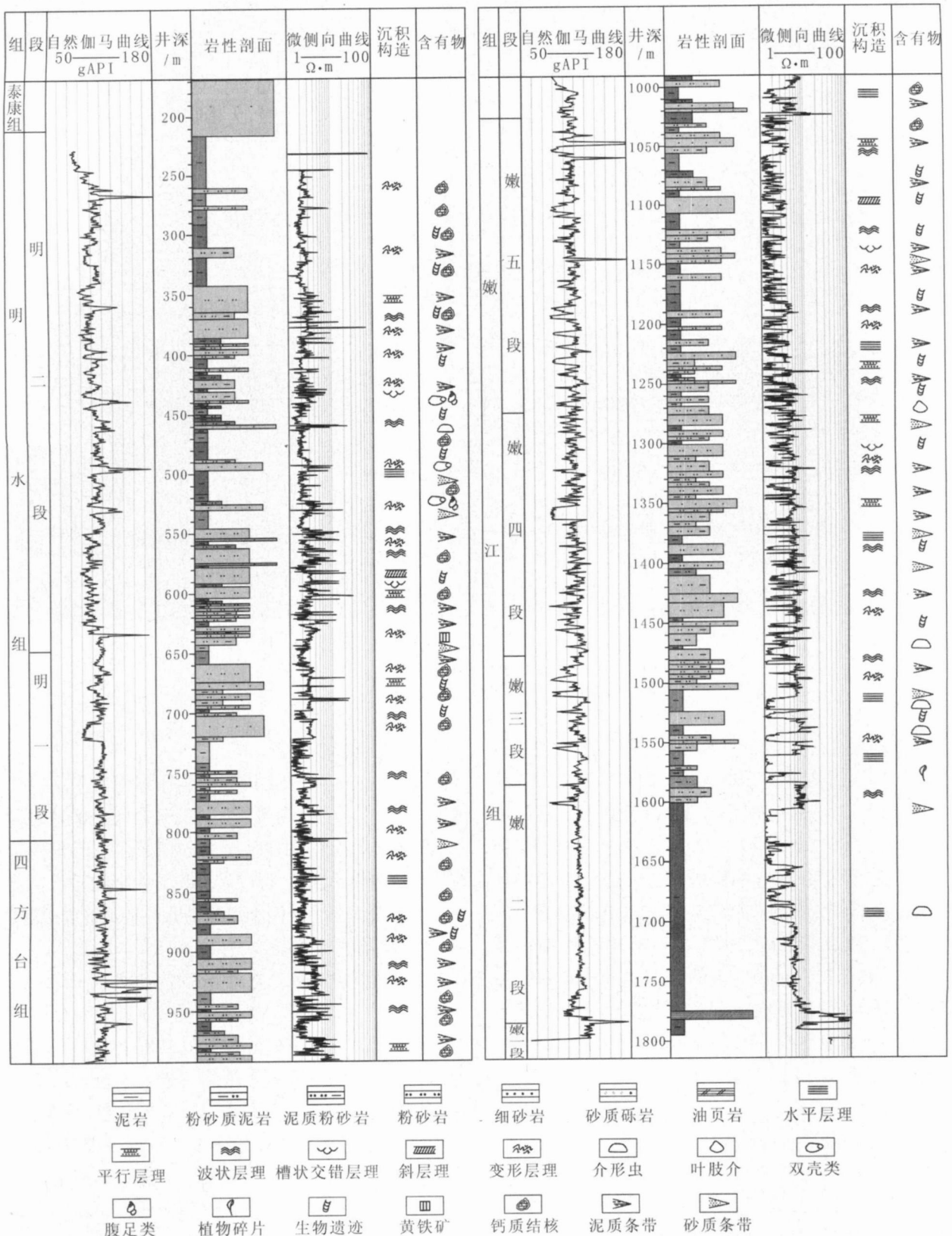


图 4 松科 1 井北孔地层综合柱状图

Fig 4 Comprehensive stratigraphic column of CCSD-SK-1n

偶见蚌化石和螺化石。初步分析属于河流和滨浅湖沉积环境。

### 3.3 四方台组岩性特征

四方台组揭示厚度 214.5 m, 底深 1 021.6 m, 与明水组岩性组合相似, 中、下部以粉砂岩为主, 上部以泥岩为主, 其次为泥质粉砂岩和粉砂质泥岩, 含钙粉砂岩、砂质砾岩、泥砾岩、细砂岩、中砂岩在中、下部和顶部出现且层较薄。砂岩、砾岩颜色为灰色, 泥岩颜色以紫红色、紫红色夹杂灰绿色为主, 其次为灰色、黑色和灰黑色泥岩。在粉砂岩、细砂岩中发育平行层理、波状层理和滑塌变形层理; 紫红色、紫红色夹杂灰绿色泥岩发育块状层理, 偶见水平波纹层理; 灰色、灰黑色、黑色泥岩中发育水平层理和水平波纹层理。在紫红色泥岩中常见有钙质结核, 850~900 m 岩心段的粉砂岩中见较多虫孔构造。岩心中化石较少见, 仅在局部见有少量化石碎片。

### 3.4 嫩江组岩性特征

松科 1 井北孔揭示嫩一段顶部到嫩五段的连续地层剖面, 各段岩性特征分述如下:

嫩五段揭示厚度 251.0 m, 底深 1 272.6 m, 岩性以紫红色泥岩和紫红色夹杂灰绿色泥岩为主, 其次为灰色粉砂岩、细砂岩和泥质粉砂岩沉积, 灰色泥岩和灰绿色泥岩仅在局部发育。砂岩中发育浪成交错层理和波状层理, 见碳屑, 泥岩以块状层理为主, 在砂泥岩界面处常见变形层理, 属于浅湖沉积环境。

嫩四段揭示厚度 204.7 m, 底深 1 477.3 m, 发育一系列的反旋回沉积, 岩性主要由灰色细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩构成, 灰色泥岩、绿灰色泥岩占的比例很小。砂岩中见前积交错层理和波状层理, 在局部细砂岩和粉砂岩中见槽状交错层理。局部发育滑塌变形层理和冲刷面, 砂岩中见碳屑。属于三角洲沉积环境, 以前缘沉积为主。

嫩三段揭示厚度 106.5 m, 底深 1 583.8 m, 中、下部以黑色泥岩和灰色泥岩为主, 上部主要以灰色细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩沉积为主。中、下部砂体中发育槽状交错层理、波状层理, 偶见攀升层理, 局部见变形层理; 上部砂岩主要发育浪成交错层理和波状层理; 暗色泥岩发育水平层理。沉积环境由下部的半深湖向上变为浅湖沉积环境。

嫩二段揭示厚度 199.4 m, 底深 1 783.2 m, 主要发育黑色、灰黑色泥岩, 具水平层理, 局部见砂岩条带。在该段底部发育一套劣质油页岩, 发育页理构造, 具油味。顶部发育由灰色、深灰色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩组成 3 个反旋回, 在砂岩中主要见浪成交错层理、前积交错层理, 粉砂质泥岩和泥质粉砂岩主要发育水平波纹层理, 局部见变形层理。黑色泥岩中见介形虫化石、叶肢介化石和其他生物碎片, 砂岩中偶见碳屑, 属于半深湖-深湖相沉积。

嫩一段上部揭示厚度 11.98 m, 底深 1 795.18 m, 为一套深湖相暗色泥岩沉积, 发育水平层理, 偶见介形虫化石。

## 4 特殊岩性层的特征与分布

通过岩心观察和薄片鉴定, 在松科 1 井北孔中识别出 5 种特殊岩性, 分别为白云岩、灰质泥岩、泥灰岩、火山灰和油页岩。特殊岩性出现的总层数为 73 层, 总厚度达 7.08 m, 分布在 5 个组段中(表 1)。

白云岩特征: 白云岩主要分布在嫩二段地层中, 一般呈浅橄榄灰色和橄榄灰色, 厚度在 2~10 cm, 形态主要为层状(图 5-1)和结核状。白云岩岩心均较完整, 且致密、坚硬, 用小刀只可轻微刻动, 滴 10% 稀盐酸几乎不起泡, 但用小刀刮下的粉末滴盐酸可轻微起泡。

表 1 松科 1 井北孔岩心中特殊岩性层统计

Table 1 Statistics of the special lithological layers of CCSD-SK-1n

组段	特殊岩性	背景沉积环境	出现深度段/m	出现层数	单层厚度/cm	累积厚度/cm
明二段	灰质泥岩	浅湖	504.68~504.71	1	3	3
嫩五段	灰质泥岩	浅湖	1 266.77~1 267.10	2	6~12	18
	白云岩	浅湖	1 417.60~1 475.91	5	5~15	41
嫩四段	灰质泥岩	浅湖	1 389.83~1 389.88	1	5	5
	泥灰岩	浅湖	1 332.65~1 332.76	1	11	11
嫩三段	白云岩	浅湖	1 479.42~1 582.77	13	2~10	70
	白云岩	深湖	1 583.83~1 765.15	47	2~10	265
嫩二段	油页岩	深湖	1 776.49~1 779.88	2	95~199	294
	火山灰	深湖	1 767.97~1 767.98	1	1	1

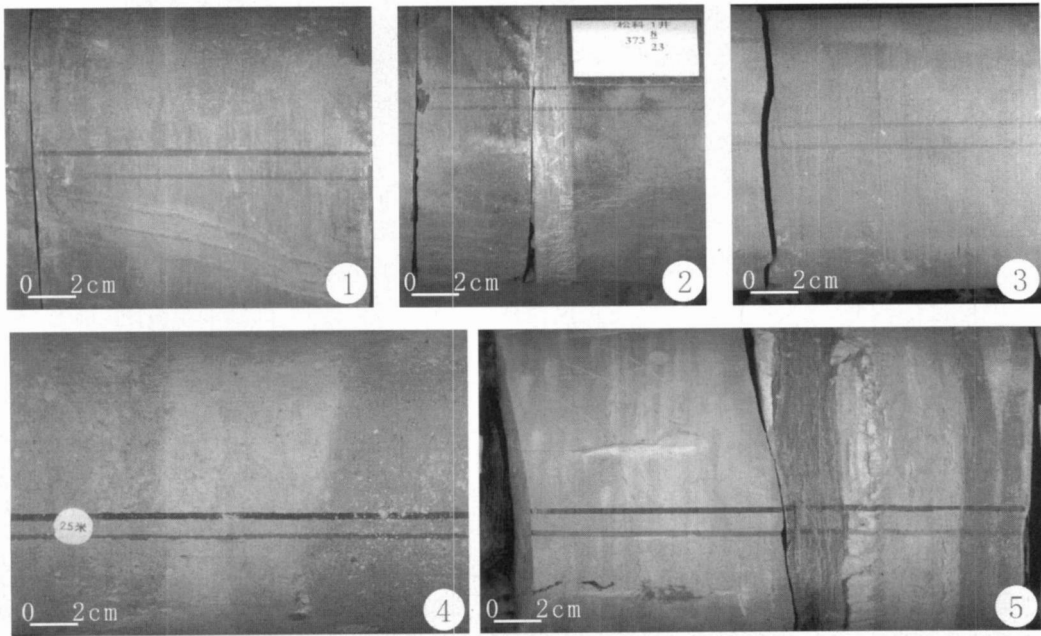


图5 松科1井北孔特殊岩性岩心扫描照片

Fig. 5 Core scanning photos of special lithological layers in CCSD-SK-1n

1—白云岩, 松科1井北孔1 644.01 m, 嫩二段; 2—火山灰, 松科1井北孔1 767.97 m, 嫩二段; 3—油页岩, 松科1井北孔1 778.50 m, 嫩二段; 4—灰质泥岩, 松科1井北孔1 389.83 m, 嫩四段; 5—泥灰岩, 松科1井北孔1 332.65 m, 嫩四段

**火山灰特征:** 在嫩二段地层中识别出1层火山灰(图5-2), 厚度很薄, 为1 cm, 颜色呈灰白色, 非常松散, 在暗色泥岩中呈薄夹层状产出。

**油页岩特征:** 油页岩主要见于嫩二段底部(图5-3)。一般呈深微带黄棕色, 具有明显的页理构造, 有油味, 厚度在95~199 cm。

**灰质泥岩特征:** 灰质泥岩主要分布在嫩四段、嫩五段和明二段地层中, 呈橄榄灰色, 最大厚度可达120 cm(图5-4)。主要呈层状分布在泥岩中, 岩心完整, 比一般泥岩致密、坚硬, 滴10%稀盐酸起泡, 且泡沫浑浊, 反应完后表面留有较多粉末状物质。

**泥灰岩特征:** 泥灰岩在松科1井北孔岩心中见有1层, 厚11.0 cm, 分布于嫩四段地层中, 颜色为橄榄灰色(图5-5)。岩心完整、致密, 滴10%稀盐酸起泡较强烈, 反应后岩心表面留有少量粉末状物质。

## 5 结论及意义

根据松科1井选址6项基本原则, 松科1井北孔井位选择在松辽盆地北部中央坳陷区古龙凹陷他拉哈向斜上。通过对松科1井北孔岩心精细描述建立岩心综合剖面, 共识别出5种特殊岩性(白云岩、火山灰、油页岩、灰质泥岩、泥灰岩), 特殊岩性出现

的总层数为73层, 总厚度为7.08 m, 分布在嫩江组和明二段中。松科1井北孔全井段连续的岩心资料的获得和岩心剖面的建立对于研究松辽盆地顶部油气藏组合、K/T界线问题和陆相地层与海相层序的对比具有重要意义。

(1)松辽盆地顶部油气藏组合。松辽盆地以往研究中, 对四方台组和明水组的钻井取心很少, 导致对这两个组的研究十分薄弱, 松科1井北孔明水组和四方台组揭示厚度814 m, 取得岩心总长770 m, 收获率94.6%, 使我们对这两个组的认识有了更加直观的了解, 也为后续研究提供了丰富的资料。通过对岩心的厘米级精细描述发现, 明水组和四方台组砂泥比高, 砂岩主要为灰白色细砂岩、粉砂岩, 大多为泥质胶结, 可作为良好储层; 泥岩主要呈绿灰色和灰棕、棕灰色, 致密块状, 层理构造不发育, 可作为良好的盖层, 砂泥岩交互沉积使得明水组和四方台组形成多套储盖组合, 可作为松辽盆地的顶部油气藏组合。

(2)松辽盆地中可能存在的K/T界线。目前, 还没有任何关于松辽盆地内部K/T界线研究的报道, 主要受以下几个方面因素的制约: ①现今普遍认为松辽盆地白垩系与第三系的界线在明水组与依安组之间; ②依安组在松辽盆地地表无露头, 明水组的

露头也很少, 很难从剖面上对其进行研究, 只能通过钻孔, 而松辽盆地内对白垩系上部层位明水组、四方台组以及第三系的取心极少; ③ 依安组属第三系渐新统地层, 与明水组之间缺失古新统和始新统地层, 普遍认为松辽盆地内 K/T 界线已遭受剥蚀。但是, 由于对松辽盆地内部上白垩统明水组、四方台组和第三系地层的研究较少, 一些传统的观点和认识还缺乏足够的证据支持, 通过对松科 1 井北孔钻探所取得的连续岩心资料的研究, 有望使松辽盆地内部 K/T 界线问题得到解决。

(3) 松辽盆地陆相地层与海相层序的对比。松科 1 井北孔对松辽盆地泰康组到嫩一段顶部的地层进行了完整的揭示, 精细的岩心描述工作和对特殊岩性的识别是后续研究工作开展的基础。对于确定松辽盆地白垩系周期性湖海沟通事件的沉积记录和地质时代(对碳酸盐岩夹层的地球化学和同位素研究)、提高研究界线的分辨率(对火山灰夹层进行同位素年龄标定)、恢复不同生物门类生物(介形虫、孢粉、叶肢介、双壳类等)的演化阶段、探索松辽盆地陆相地层与海相层序的对比途径, 并据此建立和完善可与海相层序对比的中国白垩纪陆相地层格架等研究内容具有重要的意义。

## References:

- [ 1 ] Wang C S. Coupling of the earth surface system: Inferring from the Cretaceous major geological events[ J ]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(7): 838-842(in Chinese).
- [ 2 ] Wang C S, Feng Z Q, Wu H Y, et al. Preliminary achievement of the Chinese Cretaceous continental scientific drilling Project-SK-I[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(1): 9-20 (in Chinese).
- [ 3 ] Zhang L P, Wang D P. Palaeoclimatic characteristics and the mechanism for climatic changes in the Songliao Basin during the Cretaceous[ J ]. *Journal of Palaeogeography*, 1994, 14 (1): 11-16(in Chinese).
- [ 4 ] Huang Q H, Tan W, Yang H C. Stratigraphic succession and chronostratigraphy of Cretaceous in Songliao Basin[ J ]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 1999, 18(6): 15-18(in Chinese).
- [ 5 ] Fang D J, Ye D Q. Magnetic susceptibility and remanence intensity of Cretaceous rocks from Songliao plain of China— Their significance in paleoclimat[ J ]. *Acta Geophysica Sinica*, 1989, 32(1): 111-114(in Chinese).
- [ 6 ] Fang D J, Wang Z L, Jin G H, et al. Cretaceous magnetic stratigraphy of Songliao Basin, China[ J ]. *Science in China, Series B*, 1989, 10: 1084-1091(in Chinese).
- [ 7 ] Gao R Q, Zhao C B, Zheng Y L, et al. Palynological study of deepbeds (Lower Cretaceous) in Songliao Basin, China[ J ]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1994, 33(6): 659-675(in Chinese).
- [ 8 ] Wang G D, Cheng R H, Yu M F, et al. Basin tectonic setting and paleoclimate revealed from minerals and geochemistry of the sediments[ J ]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2006, 36(2): 202-206(in Chinese).
- [ 9 ] Liu W Z, Wang P J. Genesis and environmental significance of the dolomite concretions from the Nenjiang Formation in the Songliao Basin, Northeastern China[ J ]. *Journal of Palaeogeography*, 1997, 17(1): 22-26(in Chinese).
- [ 10 ] Wang P J, Du X D, Wang J, et al. The chronostratigraphy and stratigraphic classification of the Cretaceous of the Songliao Basin[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 1995, 69(4): 372-381(in Chinese).
- [ 11 ] Wang P J, Wang D P, Du X D. The origin of the black shales and the bottom current model for seawater encroachment in the Cretaceous Qingshankou Formation, Songliao Basin, Northeast China[ J ]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1996, 16(1): 34-43(in Chinese).
- [ 12 ] Huang Q H, Zheng Y L, Yang M J, et al. On Cretaceous paleoclimate in the Songliao Basin[ J ]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 1999, 16(1): 95-103(in Chinese).
- [ 13 ] Gao Y F, Wang P J, Cheng R H, et al. Description of Cretaceous sedimentary sequence of the first member of the Qingshankou Formation recovered by CCSD-SK-Is borehole in Songliao Basin: Lithostratigraphy, sedimentary facies and cyclic stratigraphy[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16 (2): 314-323(in Chinese).
- [ 14 ] Wang G D, Cheng R H, Wang P J, et al. Description of Cretaceous sedimentary sequence of the Quantou Formation recovered by CCSD-SK-Is borehole in Songliao Basin: Lithostratigraphy, sedimentary facies and cyclic stratigraphy[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(2): 324-338(in Chinese).
- [ 15 ] Cheng R H, Wang G D, Wang P J, et al. Description of Cretaceous sedimentary sequence of the Yaojia Formation recovered by CCSD-SK-Is borehole in Songliao Basin: Lithostratigraphy, sedimentary facies and cyclic stratigraphy[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(2): 272-287(in Chinese).
- [ 16 ] Wang P J, Gao Y F, Cheng R H, et al. Description of Cretaceous sedimentary sequence of the second and third member of the Qingshankou Formation recovered by CCSD-SK-Is borehole in Songliao Basin: Lithostratigraphy, sedimentary facies and cyclic stratigraphy[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(2): 288-313(in Chinese).



- [17] Cheng R H, Wang G D, Wang P J, et al. Microfacies of deep-water deposits and forming models of the Chinese Continental Scientific Drilling-SKII[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(6): 1026-1032.
- [18] Cheng R H, Wang G D, Wang P J. Sedimentary cycles of Quantou-Nenjiang, Cretaceous and Milankovitch cycles from the south hole of CCSD-SK in Songliao Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(1): 55-64(in Chinese).
- [19] Wu H C, Zhang S H, Huang Q H. Establishment of floating astronomical time scale for the terrestrial Late Cretaceous Qingshankou Formation in the Songliao Basin of Northeast China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(4): 159-169(in Chinese).
- [20] 王成善, 程日辉, 于民凤, 等. 沉积物的矿物和地球化学特征与盆地构造、古气候背景[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2006, 36(2): 202-206.
- [21] 刘万洙, 王璞珺. 松辽盆地嫩江组白云岩结核的成因及其环境意义[J]. *岩相古地理*, 1997, 17(1): 22-26.
- [22] 王璞珺, 杜小弟, 王俊, 等. 松辽盆地白垩纪年代地层研究及地层时代划分[J]. *地质学报*, 1995, 69(4): 372-381.
- [23] 王璞珺, 王东坡, 杜小弟. 松辽盆地白垩系青山口组黑色页岩的形成环境及海水侵入的底流模式[J]. *岩相古地理*, 1996, 16(1): 34-43.
- [24] 黄清华, 郑玉龙, 杨明杰, 等. 松辽盆地白垩纪古气候研究[J]. *微体古生物学*, 1999, 16(1): 95-103.
- [25] 高有峰, 王璞珺, 程日辉, 等. 松科1井白垩系青山口组一段沉积序列精细描述: 岩石地层、沉积相与旋回地层[J]. *地学前缘*, 2009, 16(2): 314-323.
- [26] 王国栋, 程日辉, 王璞珺, 等. 松科1井白垩系泉头组沉积序列精细描述: 岩石地层、沉积相与旋回地层[J]. *地学前缘*, 2009, 16(2): 324-338.
- [27] 程日辉, 王国栋, 王璞珺, 等. 松科1井白垩系姚家组沉积序列精细描述: 岩石地层、沉积相与旋回地层[J]. *地学前缘*, 2009, 16(2): 272-287.
- [28] 王璞珺, 高有峰, 程日辉, 等. 松科1井白垩系青二、三段沉积序列精细描述: 岩石地层、沉积相与旋回地层[J]. *地学前缘*, 2009, 16(2): 288-313.
- [29] 程日辉, 王国栋, 王璞珺. 松辽盆地白垩系泉三段一嫩江组沉积旋回与米兰科维奇周期[J]. *地质学报*, 2008, 82(1): 55-64.
- [30] 吴怀春, 张世红, 黄清华. 中国东北松辽盆地晚白垩世青山口组浮动天文年代标尺的建立[J]. *地学前缘*, 2008, 15(4): 159-169.
- [1] 王成善. 白垩纪地球表层系统重大地质事件与温室气候变化研究——从重大地质事件探寻地球表层系统耦合[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(7): 838-842.
- [2] 王成善, 冯志强, 吴河勇, 等. 中国白垩纪大陆科学钻探工程: 松科一井科学钻探工程的实施与初步进展[J]. *地质学报*, 2008, 82(1): 9-20.
- [3] 张立平, 王东坡. 松辽盆地白垩纪古气候特征及其变化机制[J]. *岩相古地理*, 1994, 14(1): 11-16.
- [4] 黄清华, 谭伟, 杨会臣. 松辽盆地白垩纪地层序列和年代地层[J]. *大庆石油地质与开发*, 1999, 18(6): 15-18.
- [5] 方大钧, 叶得泉. 中国松辽盆地白垩纪岩石磁化率、剩磁强度与古气候意义[J]. *地球物理学报*, 1989, 32(1): 111-114.
- [6] 方大钧, 王兆樑, 金国海, 等. 中国松辽盆地白垩系磁性地层[J]. *中国科学: B辑*, 1989, 10: 1084-1091.
- [7] 高瑞祺, 赵传本, 郑玉龙, 等. 松辽盆地深层早白垩世孢粉组合研究[J]. *古生物学报*, 1994, 33(6): 659-675.

## 参考文献: