

松辽盆地东缘岳王城剖面嫩江组二段生物地层及其对湖侵事件的响应

史忠叶^{1,2}, 席党鹏², 覃祚焕², 童晓宁³, 祝孟博³, 俞志强², 顾安琪², 宋建中³,
胡建芳³, 王旭日⁴, 万晓樵²

SHI Zhongye^{1,2}, XI Dangpeng², QIN Zuohuan², TONG Xiaoning³, ZHU Mengbo³, YU Zhiqiang²,
GU Anqi², SONG Jianzhong³, HU Jianfang³, WANG Xuri⁴, WAN Xiaoqiao²

1. 上海科技馆, 上海 200120;

2. 中国地质大学(北京)生物地质与环境地质国家重点实验室, 北京 100083;

3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;

4. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

1. *Shanghai Science and Technology Museum, Shanghai 200120, China;*

2. *State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

3. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China;*

4. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

摘要:松辽盆地嫩江组二段下部沉积期发生了大规模的湖侵事件,在整个盆地范围形成一套黑色泥页岩夹油页岩。然而,前人对嫩江组二段的生物地层及相关地质事件的研究主要基于井下岩心,地表露头不多见。通过调查,在松辽盆地东缘农安县青山口第二松花江沿岸发现一新的剖面——岳王城剖面,出露连续的嫩江组一段顶部—二段下部地层。通过对该套地层进行厘米级的描述和详细的分层,将该剖面地层划分为24层,累计厚度31.54m。第1层为嫩江组一段顶部,为青灰色砂质泥岩,含少量介形类化石;第2~24层为嫩江组二段下部,主体为暗色泥页岩夹油页岩、泥灰岩等,含丰富的介形类、叶肢介、鱼类,少量有孔虫及其他生物。此外,在嫩江组底部还发现一层火山灰和一层磷块岩。对其中的介形类化石进行初步研究,识别出11属18种。通过介形虫古生态和沉积学研究,并结合其他手段,初步探讨了该沉积期的湖泊环境,认为嫩江组二段下部沉积期经历了一次大规模湖侵,从一段顶部的滨浅湖过渡为二段下部的深湖环境,之后湖平面在波动中逐渐下降。

关键词:松辽盆地;嫩江组;介形类;晚白垩世;湖侵;古环境

中图分类号:P534.53;Q915 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2019)07-1095-10

Shi Z Y, Xi D P, Qin Z H, Tong X N, Zhu M B, Yu Z Q, Gu A Q, Song J Z, Hu J F, Wang X R, Wan X Q. The biostratigraphy of the 2nd Member of the Nenjiang Formation from the Yuewangcheng section of the eastern Songliao Basin and its response to the lake transgression event. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(7):1095-1104

Abstract: Large-scale lake transgressions occurred in the lower part of the 2nd Member of the Nenjiang Formation in the Songliao Basin, which deposited a set of dark mudstone and black shale with intercalation of oil shale throughout the basin. However, previous researches on strata and related geological events in the 2nd Member of the Nenjiang Formation were mainly based on the cores, with very insufficient attention paid to outcrops. A new section called Yuewangcheng section was found along the Di'er Songhua River in

收稿日期:2018-07-15;修订日期:2019-04-01

资助项目:国家自然科学基金项目《松辽盆地与辽西地区早白垩世古湖泊环境演化》(批准号:41790452)、《华北克拉通破坏与生物演化》(批准号:41688103)和中国地质调查局项目《松科2井晚中生代地层的划分与对比》(编号:DD20160207)

作者简介:史忠叶(1993-),女,硕士,从事古生物学与地层学相关研究。E-mail:shizy@ssttm.org.cn

通讯作者:席党鹏(1982-),男,博士,副教授,从事晚中生代—早新生代微体古生物与环境研究。E-mail:xdp1121@163.com

Qingshankou, Nong'an County, eastern margin of Songliao Basin, which successively exposes the top of the 1st Member to the lower parts of the 2nd Member of the Nenjiang Formation. In this study, the strata were described in centimeter-level and divided in detail into 24 layers with a cumulative thickness of 31.54m. The first layer is the top of the 1st Member of the Nenjiang Formation, which deposited bluish gray sandy mudstone with a small quantity of ostracods. 2nd–24th layers constitute the lower part of the 2nd Member of Nenjiang Formation, which is composed of dark shale with oil shale and marl, characterized by rich ostracods, phylloids and fish, with a small amount of foraminifera and other organisms. In addition, a layer of volcanic ash and phosphorite was found at the bottom of Nenjiang Formation. 18 species of 11 genera of ostracods were preliminarily identified. On the basis of sedimentology and ostracod palaeoecology combined with other evidence, the lake environment is preliminarily discussed. It is suggested that a large-scale lake transgression occurred in the lower part of the 2nd Member of Nenjiang Formation. The shore-shallow lake environment at the top turned to a deep lake environment at the bottom, and then the lake level was gradually declined in fluctuation.

Key words: Songliao Basin; Nenjiang Formation; ostracod; Late Cretaceous; lake transgressions; paleoenvironment

白垩纪是典型的温室气候时期,发生了大火成岩省、超静磁带、大洋缺氧、生物辐射与灭绝等一系列重大地质事件^[1-4]。然而,对白垩纪气候和地质事件的认识多来源于海相地层,对陆相地层的研究相对有限。大陆湖盆能提供连续的陆相沉积,记录了丰富的古生物、古环境、古气候等信息,是系统开展大陆古环境、古气候变化和生态响应研究的理想对象^[5-6]。松辽盆地是中国最大的含油气陆相盆地之一,盆地内完整发育了一套晚白垩世湖相沉积地层^[7-9]。因此,松辽盆地成为研究陆相白垩纪古环境和古气候的理想地点。

晚白垩世早—中期是松辽盆地发育的全盛时期,在该时期湖盆水域宽阔,生物繁盛,沉积了一套巨厚层的砂泥碎屑岩建造^[10-11]。其中在青山口组一段和嫩江组一、二段沉积时期,发生了盆地演化史上的3次大规模湖侵事件(第三次湖侵事件的规模最大),引发了3次全盆地缺氧事件,在盆地内形成3套巨厚层的暗色泥岩、页岩和油页岩^[10-16]。这套地层记录了丰富的陆相古环境、古气候信息,成为了解陆相白垩纪古环境、古气候的重要渠道。

松辽盆地嫩江组二段下部的时代为 Santonian 晚期—Campanian 早期,是白垩纪气候由“温”向“凉”转变的关键时期^[17-18]。该时期发生的最大湖侵事件及可能存在的湖海沟通事件,不仅记录了湖相气候—环境信息,还可能记录了海、陆交互的气候—环境信息,一直是学者们关注的焦点。由于地表露头多不完整,详细研究不多见,目前对松辽盆地地层和最大湖侵事件的研究多基于岩心资料^[18,19]。松辽盆地涉及嫩江组一、二段湖侵相关层段的地表剖面主要为姚家车站剖面和后金沟剖面^[20-21],前者较完整地出露嫩江组一段下部地层,后者仅出露嫩江组一段上部—二段底部地层,其

中嫩江组二段出露厚度不足10m,仅记录了湖侵事件的开始,制约了对松辽盆地最大湖侵事件的理解。笔者在野外调查时,于吉林农安县青山口乡第二松花江沿岸,发现一个新的剖面——岳王城剖面(图1),出露良好的嫩江组二段下部地层,为松辽盆地最大湖侵事件的沉积。对其研究,不仅可建立该时期的地表观察剖面,还可解释这一特殊时期的古湖泊学特征,结合其他资料,探讨松辽盆地最大湖侵和可能的湖海沟通事件,为海侵问题提供新证据。本文基于良好的露头剖面,对该套地层进行了厘米级描述和详细的分层,开展了系统的采样,根据岩石地层、生物地层、沉积学等手段,对嫩江组一段顶部—嫩江组二段下部的地层进行了划分与对比,初步探讨了最大湖侵事件的过程及其对应的古生物和古环境响应,有助于更好地理解松辽盆地优质烃源岩的形成环境及白垩纪陆地湖泊系统。

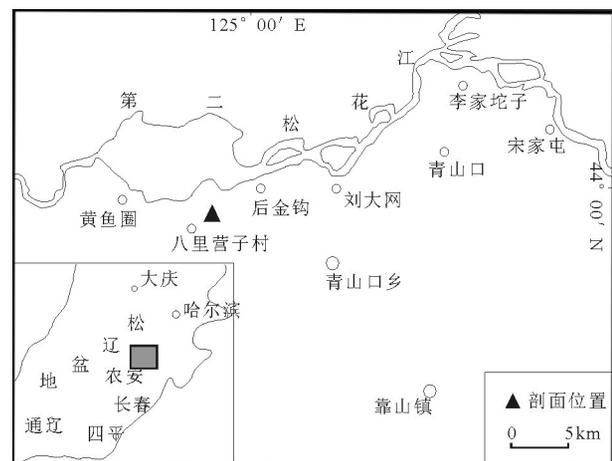


图1 岳王城剖面地理位置

Fig. 1 Location of the Yuewangcheng section

1 地质概况

松辽盆地自下而上可分为下白垩统火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组,上白垩统泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组和明水组及上覆地层^[8,22],除火石岭组和登娄库组外,其他层位均发现丰富的古生物化石。嫩江组分布广泛,基本上在全盆地均有分布。嫩江组包括黑龙江省嫩江县、吉林省农安县伏龙泉镇和青山口乡,怀德县大黑林子、公主岭及第二松花江桥附近的露头剖面,分布不均匀,只在伏龙泉镇一带出露较多,完整的嫩江组见于井下剖面^[23-24]。

在沉积相上,嫩一、二段为半深湖、深湖相,嫩三一五段属于滨浅湖相-三角洲相-冲泛平原相^[25]。松科 1 井揭露了完整的嫩江组^[8,26-27],嫩一段(厚度 103.04m)发育深灰色、灰色泥岩夹灰绿色砂质泥岩、粉砂岩,下部夹劣质油页岩,全盆地均分布嫩一段底部的黑色泥岩夹劣质油页岩(厚 5~20m)。

嫩二段(厚 56.96m)底部油页岩层在全盆地呈稳定分布(厚 5~15m),下部为灰黑色泥岩、页岩夹油页岩薄层,中部为暗灰色、灰黑色泥岩,上部为灰黑色泥岩夹灰色、灰白色泥质砂岩、粉砂岩。文中剖面主要出露层位为嫩一、二段。

岳王城剖面位于吉林省德惠市农安县黄鱼圈乡八里营子村东约 1000m 的江(湖)岸边(图 1),起点坐标为北纬 42°52′17.01″、东经 125°30′17.41″。岩层产状近水平,嫩江组一段与二段界线十分清楚,出露完整的嫩江组二段下部地层,产丰富的介形类、叶肢介、鱼类等化石。此外,在嫩二段底部发现了一层火山灰层和磷块岩层(图 2-B、C)。

2 材料与方法

对野外露头剖面开展了厘米级观察、描述和精细的地层划分,系统采集了微体化石样品。在实验室对每件样品称 100g,首先机械破碎至 0.5~1cm 大小的碎块,然后将碎样放入事先编好号的样品杯



图 2 岳王城剖面野外照片

Fig. 2 Photos of the Yuewangcheng section

A—岳王城剖面;B—嫩二段底部黄白色的火山灰薄层;C—嫩二段磷块岩

中,倒入水浸泡至绝大部分样品松散。之后过筛冲洗,上层网筛孔径1mm,下层网筛孔径0.1mm。过滤完毕后,烘干并装袋。最后在双目立体显微镜下挑选介形类和相关化石,并对介形类化石进行鉴定。

3 岩石地层与生物地层

3.1 岩石地层

岳王城剖面发育嫩一段顶-嫩二段地层,总厚32.34m,未见顶,其中嫩一段顶部为灰绿色泥岩,厚0.8m,嫩二段主要为黑色泥页岩、黑褐色油页岩,厚31.54m。该剖面的详细描述如下(图3)。

嫩二段

(未见顶,被第四纪松散沉积物覆盖)

- 24. 灰绿色泥岩,距底50cm处见2~3cm土黄色泥灰岩夹层,含介形类碎片及其他生物碎屑 4.0m
- 23. 灰棕色钙质泥岩和深灰绿色泥岩互层,产介形类、叶肢介、有孔虫和其他生物碎屑,其中介形类化石保存较差,多为印模和内核 1.3m
- 22. 深灰色泥岩夹数层土黄色薄层钙质泥岩,含 *Mongolocypris*, *Candoniella* 等介形类化石,多为碎片,此外还见叶肢介、有孔虫和鱼类碎片 5.21m
- 21. 深灰褐色泥岩,含介形类、叶肢介等化石 0.4m
- 20. 灰褐色泥岩,水平层理发育,含丰富的 *Candona*, *Candoniella*, *Mongolocypris* 等介形类化石和叶肢介、有孔虫、鱼类牙齿和其他生物碎屑 3.6m
- 19. 灰棕色粉砂质泥岩,含叶肢介等化石 0.07m
- 18. 灰黑色泥岩,水平层理发育,含介形类 *Candona*, *Candoniella*, *Mongolocypris*, 以及叶肢介、有孔虫、鱼类牙齿和其他生物碎屑 1.49m
- 17. 灰棕色钙质泥岩夹褐黑色油页岩,含少量介形类化石 0.3m
- 16. 黑色页岩,页理发育,产介形类、叶肢介及少量有孔虫化石,偶见植物碎屑 3.0m
- 15. 褐黑色泥岩夹土灰棕色薄层钙质泥岩,具水平层理;产丰富的 *Candona*, *Candoniella*, *Ilyocypris*, *Daqingella*, *Mongolocypris* 等介形类化石,以及叶肢介、有孔虫和其他生物碎屑 0.47m
- 14. 棕灰色泥岩,含丰富的介形类、叶肢介等化石 0.45m
- 13. 深灰色块状泥岩,产 *Candoniella*, *Periacanthella*, *Ilyocypris*, *Mongolocypris* 等丰富的介形类化石,以及叶肢介、有孔虫、鱼化石碎片和其他生物碎屑 5.7m
- 12. 棕灰色薄层泥灰岩 0.02m
- 11. 黑色页岩,含介形类、叶肢介、有孔虫及其他生物碎屑 2.3m
- 10. 褐黑色油页岩,页理发育,含少量介形类化石 0.27m

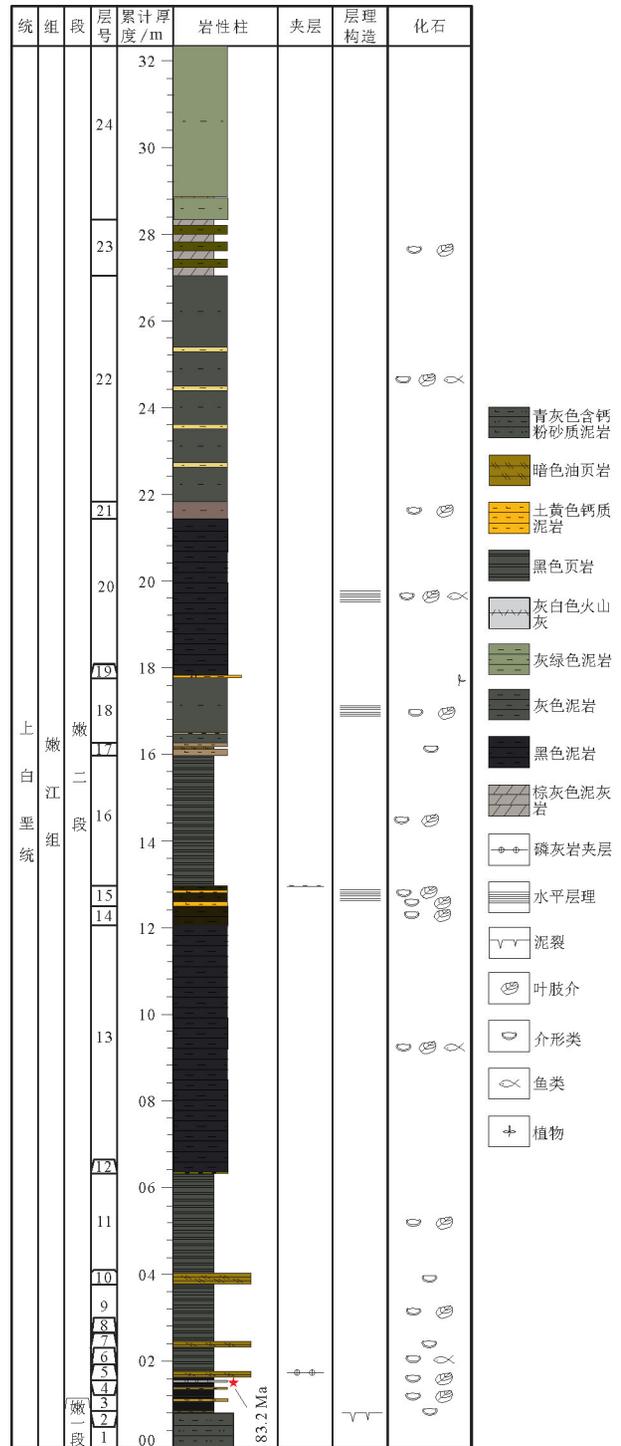


图3 岳王城剖面岩性柱状图
Fig. 3 Lithological column of the Yuewangcheng section

- 9. 黑色页岩,含介形类、有孔虫、叶肢介化石和其他生物碎屑 1.3m
- 8. 褐黑色油页岩,页理发育,含介形类 *Clinocypris*,

<i>Lycoperocypris</i> , 以及鱼类牙齿和其他生物碎屑	0.15m
7. 黑色页岩, 含介形类和鱼类碎片	0.55m
6. 褐黑色油页岩, 页理发育	0.14m
5. 黑色页岩, 含介形类 <i>Daqingella</i> , <i>Clinocypris</i> , <i>Cypridea</i> , 叶肢介及鱼类碎片	0.07m
4. 灰白色薄层火山灰层, 风化后呈土黄色	0.04m
3. 黑色页岩、油页岩, 夹两层褐灰色磷块岩(图 2-C), 磷块岩的厚度分别为 0.5cm 和 4cm, 富含介形类、叶肢介等化石	0.66m
2. 深灰色油页岩, 页理发育, 富含介形虫 <i>Lycoperocypris</i> , <i>Candona</i> , <i>Djungarica</i> , <i>Limnocypridea</i> , 以及其他生物碎屑	0.05m
—————整合—————	
1. 青灰色含钙粉砂质泥岩, 顶部见泥裂等沉积构造, 含介形类 <i>Lycoperocypris</i> , <i>Cypridea</i> 和其他生物碎屑 (未见底)	0.8m

3.2 生物地层

3.2.1 介形类

岳王城剖面保存有丰富的生物化石, 含介形类及叶肢介、有孔虫、介形类卵、鱼类牙齿、鱼类碎片等。本文以介形类为主要研究对象, 其他化石的研究将在今后开展。共识别出介形类 11 属 18 种(图 4), 分别为 *Candona prona*, *Candona delicata*, *Candona fabiforma*, *Candona avata*, *Candoniella alveolata*, *Candoniella amabila*, *Daqingella arca*, *Daqingella ventricastata*, *Clinocypris postacuta*, *Clinocypris longulata*, *Lycoperocypris triangularis*, *Lycoperocypris valida*, *Limnocypridea subscalariformis*, *Periacanthella portentosa*, *Ilyocyprimorpha netchaeva*, *Djungarica spatiosa*, *Mongolocypis magna*, *Cypridea spiniferusa*。

嫩一段顶部(0.4m)介形类丰度高, 壳体颜色呈白色-浅黄色, 保存较差, 以碎壳居多, 介形类壳体多附着于围岩, 以印模和内核形式出现。壳面光滑或具浅蜂孔。识别出 *Lycoperocypris triangularis*, *Lycoperocypris valida*, *Cypridea spiniferusa*。嫩二段底部(0.82m)介形类丰度降低, 但分异度较高, 识别出 *Lycoperocypris triangularis*, *Djungarica spatiosa*, *Limnocypridea subscalariformis*, *Candona prona*, *C. delicata*, *C. fabiforma*, *Cypridea spiniferusa*, 壳体大小差异大, 颜色呈乳白色-土黄色-红棕色-黑色, 壳面光滑或具蜂孔。1.56~2.38m 之间, 介形类保存很少但比较完整, 部分壳体砂质胶结, 呈灰白色-土黄

色-棕色, 壳面光滑, 识别出 *Daqingella arca*, *Clinocypris longulata*, *C. postacuta*, *Lycoperocypris triangularis*, 2.38m 处, 发现鱼类牙齿。3.06~5.53m, 见极少的介形类碎片, 出现大量有孔虫及介形卵, 颜色为黄色-黑色, 形态多样。6.85m 处, 介形类丰度及分异度猛增, 壳饰复杂, 出现多种具突、具刺、蜂窝状的纹饰, 壳壁较厚, 个体较大, 颜色以乳白色为主, 识别出 *Candoniella alveolata*, *Periacanthella portentosa*, *Mongolocypis magna* 等。7.85~12.05m, 只见少量介形类碎片。12.70m 处, 介形类丰度增大, 形态及壳饰复杂, 识别出 *Ilyocyprimorpha netchaeva*, 黑色 *Daqingella ventricastata*, *Candona fabiforma*, *Candoniella alveolata* 等。12.91m 开始, 只见光滑与蜂孔的壳饰, 刺状壳饰的属种消失, 介形类丰度依然较高, 然而分异度低, 延续了下部地层中的一些属种, 如 *Candona fabiforma*, *Candona ovata*, *Candoniella alveolata*。13.97~15.97m, 介形类保存很少, 只识别出 *Lycoperocypris triangularis*。16.35~22.53m, 介形类丰度、分异度较稳定, 属种延续了下部地层。24.74m 开始介形类显著减少, 仅识别出 *Mongolocypis* 的碎片及 *Candoniella* 的印模。30.14m 处, 见大量保存不完整的介形类碎片, 难以鉴定。

根据介形类的分布特征, 将岳王城剖面的介形类划分为 3 个生物组合, 由下至上为第 1 组合(0~0.8m): *Cypridea spiniferusa*-*Lycoperocypris valida* 组合; 第 2 组合(0.8~16.27m): *Periacanthella portentosa*-*Ilyocyprimorpha netchaeva* 组合; 第 3 组合(16.27~28.34m): *Candoniella amabila*-*Mongolocypis magna* 组合。

3.2.2 其他生物

除介形类外, 地层中还发现叶肢介、鱼牙、有孔虫、鱼类碎片和其他一些难以鉴定的化石(图 5)。有孔虫直径为 0.1~0.4mm, 保存差, 多被压扁。有孔虫自 3.1m 处开始出现, 分布较连续, 从 7.85m 处开始减少, 至 17.30m 处消失。在 20.83m, 有孔虫再度出现, 至 24.74m 之后逐渐消失(图 5)。鱼牙在多个层位均有出现, 保存良好。一些鱼类化石的碎片在整个剖面广泛分布。上述化石将进一步详细研究。

3.3 地层划分与对比

岳王城剖面嫩一段仅出露 0.8m, 以青灰色泥岩为主, 可以与后金沟剖面、松科 1 井顶部的岩性对

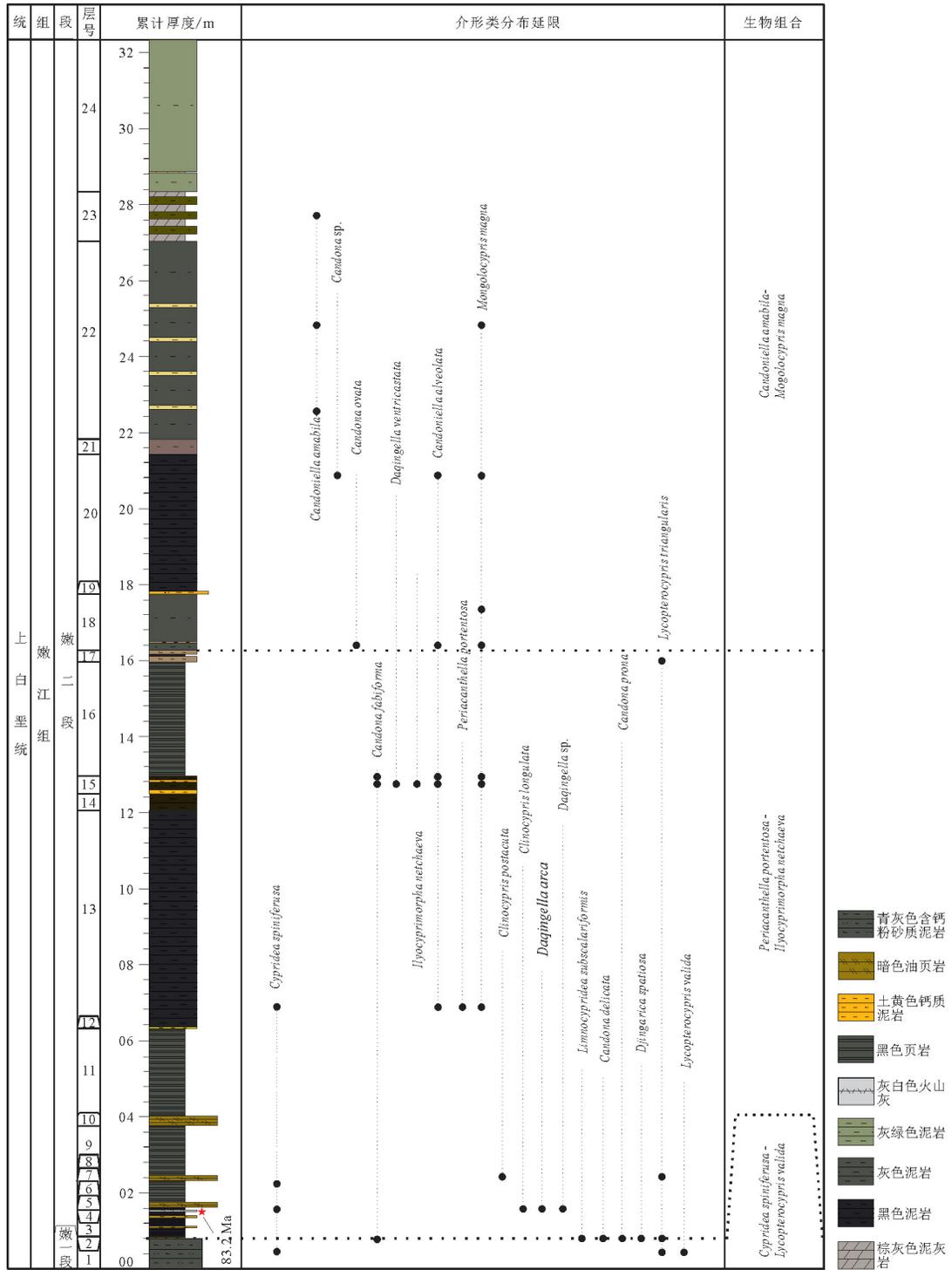


图4 岳王城剖面介形类生物组合

Fig. 4 Ostracod assemblage zone of the Yuewangcheng section

比^[20,26],后金沟剖面为灰绿色泥岩、岳王城剖面为深灰绿色、橄榄灰色泥岩。同时,嫩一段顶部含少量保存较差的 *Lycoperocypris*, *Cypridea* 等介形类化石,

符合嫩江组一段上部的生物面貌特征。嫩江组一段与二段界线在岳王城剖面非常清楚,存在一条明显的灰绿色泥岩/油页岩的界线。岳王城剖面嫩江

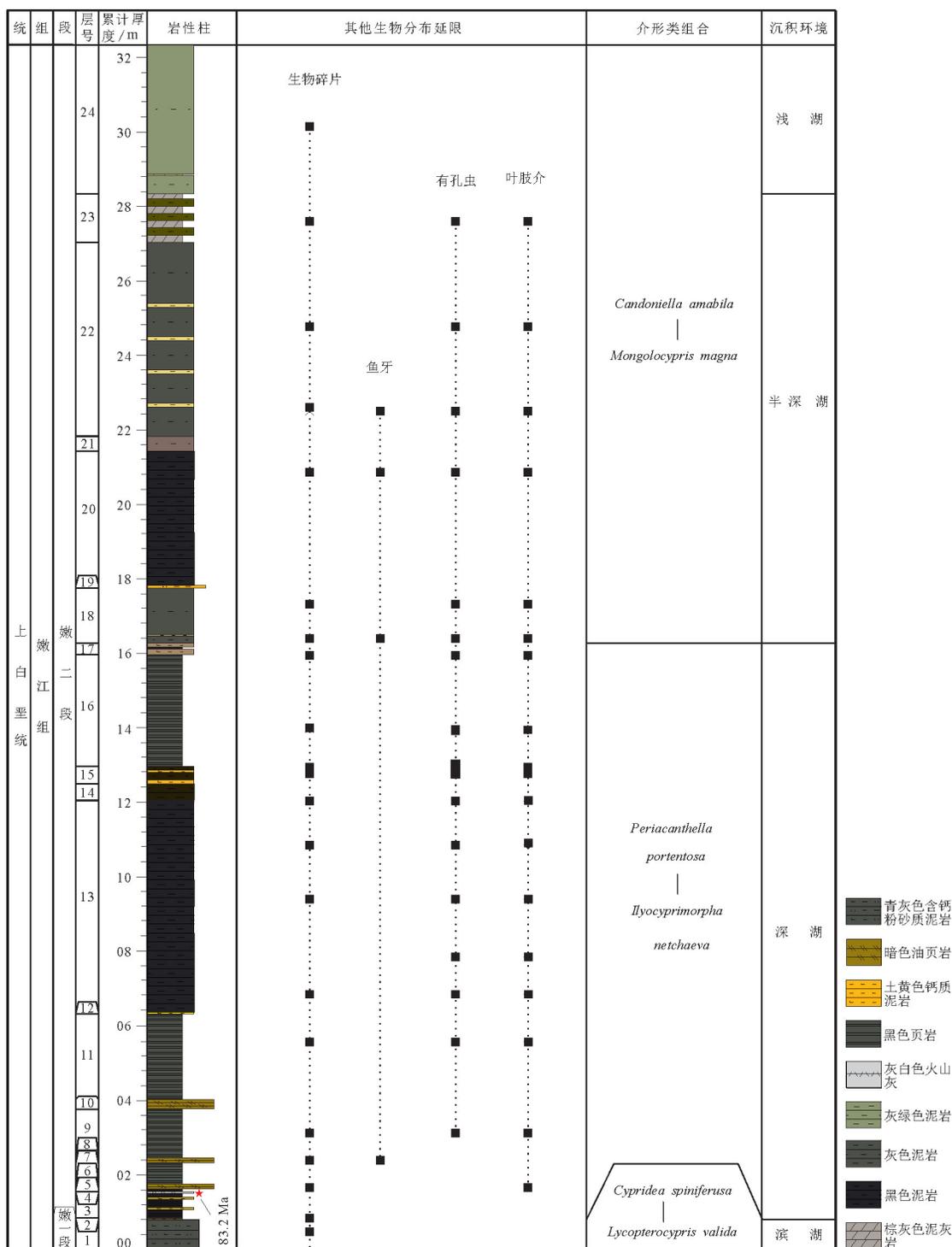


图5 岳王城剖面与候金沟剖面和松科1井(南孔)的对比

Fig. 5 Stratigraphic correlation of the Yuewangcheng section, Houjingou section and Sk1(s)

组二段厚31.54m,其中下部为一套黑色页岩夹油页岩,含大量壳体为金黄色的叶肢介、大个体的 *Mongolocypis* 和小个体的 *Candona*,以及少量具瘤、

刺的其他介形类化石,可以和后金沟剖面、松科1井,以及松辽盆地其他地区嫩江组二段底部的黑色页岩夹油页岩层进行广泛对比。岳王城剖面嫩江

组二段黑色页岩夹油页岩之上的地层为深灰色-浅灰色泥岩,至剖面顶部渐变为灰绿色泥岩,含介形类化石组合为 *Periacanthella portentosa-Ilyocyprimorpha netchaeva*,与嫩江组二段下部的介形类组合 *Ilyocyprimorpha netchaevae-Cypridea bella* 可以对比。此外,在嫩江组二段底部还获得一层火山灰,初步的测年结果为 $83.2\text{Ma}^{[28]}$,可与松科1井对比。

嫩江组一段的厚度一般为60~120m,二段的厚度一般为150~250m^[22],但在盆地东部厚度相应减小。岳王城剖面出露嫩一段厚0.8m,嫩二段厚31.54m,仅包括嫩一段最顶部和嫩二段中下部。从岩石地层和生物地层对比看,该剖面应当包括嫩江组二段底部的油页岩和中部的深灰色泥岩,缺乏上部的浅灰色/灰绿色泥岩层。在上述分析的基础上,初步将松科1井南孔、岳王城剖面 and 后金沟剖面进行了对比(图6)。嫩江组二段底部的油页岩可以作为对比的标志层,三者可以精确对比。此外,在嫩江组二段底部广泛发育一套火山灰,在盆地东南

区嫩二段底部广泛发育一套磷块岩,亦可以对比。虽然后金沟剖面 and 岳王城剖面相距仅100m左右,但前者并未发现火山灰。目前,嫩二段只能根据岩石地层和生物地层进行初步对比,进一步详细的对比还需要旋回地层等深入工作的开展。

4 松辽盆地最大湖侵事件

嫩江组二段下部沉积期发生了松辽盆地最大规模的湖侵事件,在全盆地广泛沉积了一套黑色页岩和油页岩^[4],并可能伴随有间歇性的海水侵入^[16,29-31]。目前,该事件的沉积记录来源于钻井岩心及后金沟剖面。钻井岩心基本位于盆地中心,以暗色泥岩为主,对湖平面变化的响应不明显,后金沟剖面虽然记录了这次规模最大的湖侵事件^[30],但由于出露有限,对该次湖侵事件的记录不完整。岳王城剖面完整地记录了本次湖侵事件的开始和发展过程,是研究本次湖侵事件的良好剖面。

岳王城剖面的嫩江组一段顶部(第1层)以灰绿色泥岩为主,存在泥裂构造,介形类化石保存差,以

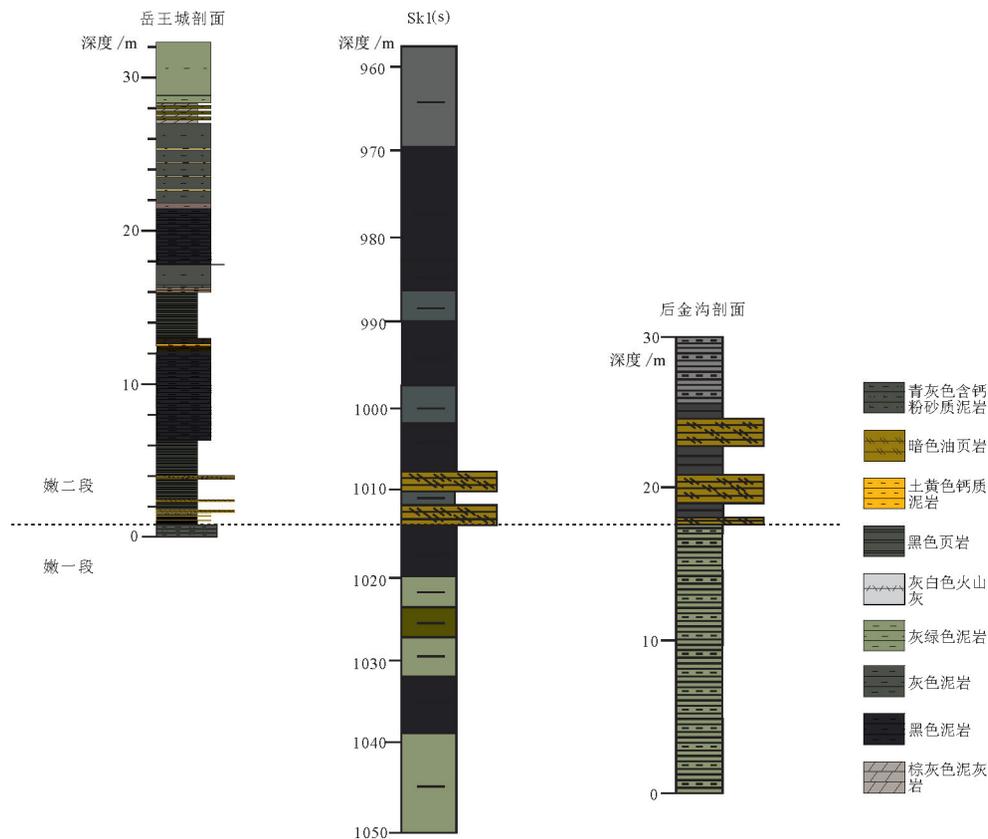


图6 岳王城剖面生物分布与沉积环境(嫩江组二段底部广泛分布的油页岩为对比的标志层)

Fig. 6 Biological distribution and depositional environment along the Yuewangcheng section

碎片居多,表明该剖面所在的东部区域水体可能极浅,水动力较强,可能为滨湖环境,代表湖侵前的浅水环境^[32]。嫩江组二段底部(2~17层)为黑色页岩夹油页岩,介形类丰度和分异度均较低,出现少量具刺的类型,介形虫壳体存在部分溶蚀;同时,该层段的 TOC 较高^[33],特别是最下部 5m 的 TOC 可达 4%~6%。基于上述现象,推测 2~17 层为分层的深湖环境,底层水体缺氧。18~23 层以灰黑色、灰褐色泥岩为主,TOC 含量进一步下降,平均小于 2%^[33-34],该层段的介形类化石 *Candona fabiforma*, *Candona ovata*, *Candoniella alveolata* 表明该时期的水体较下部变浅,可能以半深湖为主。至最后一层,岩性变为灰绿色泥岩,含大量介形类和其他生物碎片,但缺乏完整的介形类化石,该时期的湖水开始进一步变浅,可能以浅湖环境为主。同时,在该剖面的 2~23 层发现少量的有孔虫(图 5),表明该时期可能存在少量的海水侵入,或湖海沟通事件。因此,岳王城剖面完整地记录了松辽盆地的最大湖侵过程,即从嫩一段沉积末期的滨湖环境,随着嫩二段底部大规模湖侵事件的发生,迅速变为深湖环境,向上湖水总体变浅,至顶部变为浅湖环境(图 5)。在最大湖侵期间,介形类、叶肢介、鱼类等湖相生物十分繁盛,此外,由于间歇性的海水侵入,还带有有孔虫等少量海洋生物。嫩江组二段下部最大湖侵期的开始时间为 83.3~83.4Ma^[9,35],对应 *Santonian* 晚期,该时期正好对应全球高海平面期^[36]。嫩江组二段底部介形类丰度减小,沉积了一套黑色页岩夹油页岩,介形类 *Daqingella ventricastata* 的壳体多呈黑色,表明这段时期内湖泊底层水体缺氧。嫩二段下部具刺介形类 *Periacanthella*, *Ilyocyprimorpha* 等开始出现,指示了当时较深的湖泊环境^[37-38]。此外,有孔虫化石的发现,表明这一时期还可能间歇性的海水侵入^[15]。至嫩二段中上部,岩性开始变为土黄色泥岩、泥灰岩,介形类保存差,多碎片及印模,具瘤和具刺的类型消失,表明湖水可能退落,水动力较强。总体上,沉积学和介形虫古生态学的分析表明,嫩江组二段下部经历了一次大规模湖侵。该时期的湖泊环境和湖侵过程仍有待开展更深入的沉积学、古生态学、地球化学等研究。

5 结 论

(1) 吉林省德惠市农安县岳王城剖面发育一套

良好的嫩江组一段顶部-嫩江组二段地层序列,在嫩二段下部发现火山灰、磷块岩、油页岩等丰富的沉积记录,根据岩性及沉积特征将该剖面的地层划分为 24 层,第 1 层为嫩江组一段顶部,第 2~24 层为嫩江组二段中下部。

(2) 岳王城剖面产丰富的介形类化石,初步鉴定出 11 属 18 种。除介形类外,还产丰富的叶肢介、鱼类、少量有孔虫等化石。

(3) 根据沉积学和古生态学分析,推测嫩江组二段下部发生了一次大规模湖侵事件,在湖侵期间湖平面上升,可能伴有少量间歇性的海水侵入,之后湖平面开始下降。

致谢:感谢中国地质大学(北京)研究生叶蕴琪在室内化石分析过程中的帮助,感谢审稿专家提出的宝贵修改意见。

参考文献

- [1] 王成善, 胡修棉. 白垩纪世界与大洋红层[J]. 地学前缘, 2005, 12(2): 11-21.
- [2] Hu X M, Jansa L, Wang C S, et al. Upper Cretaceous oceanic red beds (CORBs) in the Tethys: occurrences, lithofacies, age, and environments[J]. Cretaceous Research, 2005, 26(1): 3-20.
- [3] Schlanger S O, Jenkyns H C. Cretaceous Oceanic Anoxic Events: Causes and consequences[J]. Geologie En Mijnbouw, 1976, 55(3/4): 179-184.
- [4] 席党鹏, 万晓樵, 李国彪, 等. 中国白垩纪综合地层和时间框架[J]. 中国科学:地球科学, 2019, 49(1): 261-292.
- [5] Williams D F, Liu T S. The study of lake sediments for global change research[J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4(1/2): 34-42.
- [6] Park L E, Cohen A S, Martens K, et al. The impact of taphonomic processes on interpreting paleoecologic changes in large lake ecosystems: ostracodes in Lakes Tanganyika and Malawi[J]. Journal of Paleolimnology, 2003, 30(2): 127-138.
- [7] 杨万里, 高瑞祺, 郭庆福, 等. 松辽盆地陆相油气生成、运移和聚集[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1985.
- [8] Wan X Q, Zhao J, Scott R W, et al. Late Cretaceous stratigraphy, Songliao Basin, NE China: SK1 cores[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2013, 385: 31-43.
- [9] Wang P J, Mattern F, Didenko N A, et al. Tectonics and cycle system of the Cretaceous Songliao Basin: An inverted active continental margin basin[J]. Earth-Science Reviews, 2016, 159: 82-102.
- [10] 黄清华, 郑玉龙, 杨明杰, 等. 松辽盆地白垩纪古气候研究[J]. 微生物古生物学报, 1999, 16(1): 95-103.
- [11] 万晓樵, 吴怀春, 席党鹏, 等. 中国东北地区白垩纪温室时期陆相生物群与气候环境演化[J]. 地学前缘, 2017, 24(1): 18-31.
- [12] 刘召君, 柳蓉. 中国油页岩特征及开发利用前景分析[J]. 地学前

- 缘, 2005, 12(3): 315-323.
- [13]高瑞祺. 松辽盆地白垩纪陆相沉积特征[J]. 地质学报, 1980, 54(1): 9-26.
- [14]刘招君, 孙平昌, 贾建亮, 等. 陆相深水环境层序识别标志及成因解释: 以松辽盆地青山口组为例[J]. 地学前缘, 2011, 18(4): 171-180.
- [15]Xi D P, Wan X Q, Feng Z Q, et al. Discovery of Late Cretaceous foraminifera in the Songliao Basin: Evidence from SK-1 and implications for identifying seawater incursions[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(3): 253-256.
- [16]Hu J F, Peng P A, Liu M Y, et al. Seawater incursion events in a Cretaceous paleo-lake revealed by specific marine biological markers[J]. Scientific reports, 2015, 5: 9508.
- [17]Huber B T, Norris R D, MacLeod K G. Deep-sea paleotemperature record of extreme warmth during the Cretaceous[J]. Geology, 2002, 30(2): 123-126.
- [18]O'Brien C L, Robinson S A, Pancost R D, et al. Cretaceous sea-surface temperature evolution: Constraints from TEX86 and planktonic foraminiferal oxygen isotopes[J]. Earth-Science Reviews, 2017, 172: 224-247.
- [19]侯贺晟, 王成善, 张交东, 等. 松辽盆地大陆深部科学钻探地球科学研究进展[J]. 中国地质, 2018, 45(4): 641-657.
- [20]闫晶晶, 席党鹏, 于涛, 等. 松辽盆地青山口地区嫩江组下部生物地层及环境变化[J]. 地层学杂志, 2007, 31(3): 296-302.
- [21]席党鹏, 李罡, 万晓樵, 等. 松辽盆地东南区姚家组-嫩江组一段地层特征与湖泊演变[J]. 古生物学报, 2009, 48(3): 556-568.
- [22]叶得泉, 黄清华, 张莹. 松辽盆地白垩纪介形类生物地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [23]胡望水, 吕炳全, 张文军, 等. 松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨[J]. 地质科学, 2005, 40(1): 16-31.
- [24]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, (4): 327-338.
- [25]侯启军, 赵志魁, 王立武, 等. 松辽盆地深层天然气富集条件的特殊性[J]. 大庆石油学报, 2009, 33(2): 31-35.
- [26]高有峰, 王成善, 王璞珺, 等. 松科1井北孔选址、岩心剖面特征与特殊岩性层的分布[J]. 地学前缘, 2009, 16(6): 104-112.
- [27]高有峰, 王璞珺, 程日辉, 等. 松辽盆地松科1井上白垩统嫩江组一、二段沉积序列厘米级精细刻画: 岩性·岩相·旋回[J]. 地学前缘, 2011, 18(6): 195-217.
- [28]Yu Z Q, He H Y, Deng C L, et al. New geochronological constraints on the Nenjiang Formation in the Songliao Basin, NE China[J]. Cretaceous Research, 2019, doi:10.1016/j.cretres.
- [29]张弥曼, 周家健. 我国东部中、新生代含油地层中的鱼化石及有关沉积环境的讨论[J]. 古脊椎动物学报, 1978, 16(4): 19-27, 87.
- [30]顾知微, 黄宝玉, 陈楚震, 等. 中国的瓣鳃类化石[M]. 北京: 科学出版社, 1976.
- [31]Xi D P, Cao W X, Huang Q H, et al. Late Cretaceous marine fossils and seawater incursion events in the Songliao Basin, NE China[J]. Cretaceous Research, 2016, 62: 172-182.
- [32]张智礼, 蔡习尧, 张铭, 等. 松辽盆地晚白垩世青山口组—嫩江组一段介形类壳饰, 壳形类型与环境关系分析[J]. 中国地质, 2014, 41(1): 135-147.
- [33]童晓宁, 胡建芳, 祝孟博, 等. 分子标志物揭示的松辽盆地晚三冬期气候环境[J]. 地学前缘, 2017, 24(1): 154-165.
- [34]祝孟博, 宋建中, 童晓宁, 等. 松辽盆地晚三冬期的黑碳记录及其古环境意义[J]. 地学前缘, 2017, 24(1): 166-173.
- [35]He H Y, Deng C L, Wang P J, et al. Toward age determination of the termination of the Cretaceous Normal Superchron[J]. Geochemistry Geophysics Geosystems, 2012, 13: Q02002
- [36]Haq B U. Cretaceous eustasy revisited[J]. Global & Planetary Change, 2014, 113(2): 44-58.
- [37]张智礼, 蔡习尧, 张莹, 等. 松辽盆地晚白垩世介形类古生态学[J]. 微体古生物学报, 2013(2): 132-144.
- [38]李军, 余俊清. 湖相介形虫古生态学在环境变化研究中的应用[J]. 盐湖研究, 2002, 10(1): 66-71.