



地学前缘
Earth Science Frontiers
ISSN 1005-2321, CN 11-3370/P

《地学前缘》网络首发论文

题目: 松辽盆地及周缘地区侏罗系/白垩系界线区域对比特征探讨
作者: 瞿雪姣, 高有峰, 林志成, 王璞珺, 吴康军
DOI: 10.13745/j.esf.sf.2020.7.3
收稿日期: 2020-01-05
网络首发日期: 2020-07-10
引用格式: 瞿雪姣, 高有峰, 林志成, 王璞珺, 吴康军. 松辽盆地及周缘地区侏罗系/白垩系界线区域对比特征探讨. 地学前缘. <https://doi.org/10.13745/j.esf.sf.2020.7.3>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

松辽盆地及周缘地区侏罗系/白垩系界线区域对比特征探讨

瞿雪姣¹, 高有峰^{2,✉}, 林志成¹, 王璞珺³, 吴康军¹

(1. 重庆科技学院 石油与天然气工程学院, 重庆 401331 2. 吉林大学 东北亚生物演化与环境教育部重点实验室, 吉林 长春 130026 3. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061)

✉通信作者 高有峰 (1982—), 男, 博士, 副教授, 主要从事沉积学与地层学研究。E-mail: gaoyoufeng@jlu.edu.cn

摘要 松辽盆地及周缘地区是白垩纪时期全球最大的陆地出露区, 是开展陆相 J/K 界线研究的理想地区。但是, 受制于盆内埋深大、盆缘露头出露不佳等原因, 松辽盆地及周缘地区 J/K 界线发育区域及层段仍然存在较大争议。同时, 对于陆相 J/K 界线划分与对比这样的重大疑难问题, 其研究很难一步到位。总结一套影响广泛、区域对比性强的 J/K 界线区域对比框架性特征可以有效聚焦目标区域和层段, 为进一步的精细研究明确方向。通过系统梳理松辽盆地及周缘典型地区 J/K 界线上下地层中记录的区域构造背景、岩浆事件和生物宏观演化阶段发现: (1) 松辽盆地以西和以南地区晚侏罗世为块体碰撞后陆壳加厚坍塌或拆沉的伸展环境, 早白垩世为推覆陆壳加厚坍塌或拆沉的伸展环境; 松辽盆地晚侏罗世为碰撞后持续造山环境, 早白垩世为双侧活动陆缘影响下的区域性伸展-裂陷环境; 松辽盆地以东地区晚侏罗世-早白垩世可能为走滑构造背景。(2) 松辽盆地及周缘地区晚侏罗世-早白垩世生物演化阶段表现为晚侏罗世燕辽生物群的衰落和白垩纪热河生物群的兴起, 其中中晚侏罗世孢粉组合以裸子植物花粉占绝对优势、高 *Classopollis* 含量为特征, 早白垩世则以松柏类两气囊花粉占绝对优势、低 *Classopollis* 含量为特征。(3) 冀北-辽西地区的土城子组、黑龙江东部的东安镇组和东荣组应是 J/K 界线进一步工作的重点层段, 大兴安岭地区的满克头鄂博组、松辽盆地常家围子断陷及其以西至大兴安岭局部地区可以尝试开展 J/K 界线研究工作。

关键词 侏罗系/白垩系界线; 构造背景; 生物演化阶段; 松辽盆地及周缘地区

中图分类号 P597 文献标志码 A DOI: 10.13745/j.esf.sf.2020.7.3

Review on the characteristics of the Jurassic/Cretaceous boundary correlation in the Songliao Basin and adjacent areas

QU Xuejiao¹, GAO Youfeng^{2,✉}, LIN Zhicheng¹, WANG Pujun³, WU Kangjun¹

(1. School of Petroleum and Gas Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China 2. Ministry of Education Key Laboratory for Evolution of Past Life and Environment in Northeast Asia, Jilin University, Changchun 130026, China 3. College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract The Songliao Basin and adjacent areas on one of the largest Cretaceous sedimentary landmass, is an excellent candidate for recovering a complete terrestrial sedimentary record from the top of the Upper Jurassic to the Cretaceous. However, the J/K boundary bearing areas and beds in the Songliao Basin and adjacent areas have not been confirmed until now because of discontinuous outcrops and deep burial depth. It is important to note that the division and correlation of terrestrial J/K boundary is a complex issue with no quick solutions. A set of framework characteristics of correlation needs to be devised. In this report, we discussed the framework characteristics of the J/K boundary correlation in the Songliao Basin and adjacent areas and summarized the basis of tectonic setting, magmatic events and biotic macroevolution from the Late Jurassic to the Early Cretaceous. The region west and south of the Songliao Basin has a post-collision extensional setting

收稿日期: 2020-01-05

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(41790453); 重庆市基础科学与前沿技术研究专项(cstc2017jcyjAX0456); 重庆科技学院内科研基金项目(CK2016B15, CK2017zkyb008)

作者简介: 瞿雪姣(1986—), 男, 博士, 讲师, 主要从事大陆科学钻探和石油地质研究。E-mail: quxuejiao2008@aliyun.com

网络首发时间: 2020-07-10 15:38:53 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3370.P.20200710.1037.001.html>

related to the closure of the Mongol-Okhotsk Ocean in the Jurassic, and an extensional setting in the Cretaceous caused by continental crust thickening and delamination related to the thrusting from north to south. The Songliao Basin was in a post-collision orogeny setting related to the closure of the Mongol-Okhotsk Ocean in the Jurassic, and in an extensional setting in the Cretaceous caused by plate reorganization involving the northern and eastern active continental margins. The region east of the Songliao Basin was in a strike-slip setting from the Late Jurassic to the Early Cretaceous. The Yanliao and Jehol Biotas are two big fossil groups representing the Jurassic and the Cretaceous, respectively. The Jurassic palynological assemblage is dominated by gymnosperm pollens with high abundance of *Classopollis*, while the Cretaceous one is dominated by bisaccate pollens of conifers with low abundance of *Classopollis*. The Tuchengzi Formation in northern Hebei-western Liaoning, the Donganzhen Formation in Raohe and Dongrong Formation in Suibin are the most probable J/K boundary bearing beds. The J/K boundary may also present in the Daxinganling Manketoubo Formation, the Changjiaweizi Fault Depression and the area between the Changjiaweizi Fault Depression and Daxinganling.

Key words Jurassic/Cretaceous boundary; tectonic setting; biotic macroevolution; Songliao Basin and adjacent areas

QU Xuejiao, GAO Youfeng, LIN Zhicheng, et al. Review on the characteristics of the Jurassic/Cretaceous boundary correlation in the Songliao Basin and adjacent areas. *Earth Science Frontiers*,

侏罗系/白垩系界线 (J/K 界线) 一直以来都是国内外地质界激烈争论的复杂问题之一^[1-3], 这严重制约了中生代地质年代序列的完善及相关问题的研究, 长期以来一直是国际地质科学联合会 (IUGS) 和国际地层委员会 (ICS) 试图解决的目标之一。目前国际 J/K 界线研究以海相地层为主, 并且取得了许多重要的进展和共识。中国侏罗系、白垩系以陆相地层发育为特征^[3]。中国陆相 J/K 界线既是国际 J/K 界线研究的重要组成部分, 同时也更具区域特色和应用价值。白垩纪时期, 由于高海平面的原因, 全球陆地面积减少, 全球最大的陆地出露在以松辽盆地为核心的东北亚地区^[4], 因而松辽盆地及周缘地区是开展陆相 J/K 界线研究的理想地区。但是, 受制于盆内埋深大、钻井岩心不连续, 盆缘覆盖严重、露头出露不佳等原因, 松辽盆地及周缘地区 J/K 界线发育区域及层段仍然存在较大争议。同时, 对于陆相 J/K 界线划分与对比这样的重大疑难问题, 其研究很难一步到位, 由粗到细、逐步聚焦是较为可行的研究策略。本文通过系统梳理松辽盆地及周缘典型地区 J/K 界线上地层中记录的区域构造背景、岩浆事件和生物的宏观演化阶段, 明确其时代属性, 以期总结一套影响广泛、区域对比性强的 J/K 界线区域对比框架性特征, 为松辽盆地及周缘地区 J/K 界线进一步的精细研究提供基础。

1 J/K 界线研究的一些重要进展

1.1 国际海相 J/K 界线研究进展

目前, Berriasian 阶的存在已得到认可, 比较一致的意见是将其归入下白垩统的第一个阶, 并将特提斯区的该阶底界作为 J/K 界线^[3]。以钙质超微化石 *Nannoconus steinmannii minor* 和 *N. kamptneri minor* 的始现面^[5], 翁虫类 *Calpionellid* 带的底部或微小、丘形 *Calpionellid alpina* 的爆发面^[6-7]作为 J/K 界线的生物标志。常规的菊石 *Pseudosubplanites grandis-Berriasella jacobii* 带则作为辅助标志, 即将 J/K 界线置于 *Berriasella jacobii* 菊石带中部^[1]。

近年来国际地层表推荐的 J/K 界线年龄 145.5 Ma 或 145.0 Ma, 虽然只是一个推算值, 缺少真正的地层记录支持, 但越来越多的资料证明其可信性。Mahoney 等^[8]测定了西北太平洋区 Shatsky Rise 的 Berriasian 阶最底部反极性玄武岩岩层 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 (144.6 ± 0.8) Ma, 且该年龄由钙质超微化石 NK1 带和放射虫 *Pseudodictyomitra carpatica* 带所限定。Pálfy^[9]报道了 Berriasian 阶底界年龄值为 141.8 Ma。Liu 等^[10]在西藏南部浪子卡地区桑秀组下部获得的位于 Berriasian 阶之上 *Nannoconus steinmannii minor* 带的锆石 U-Pb (SIMS) 年龄为 142~140 Ma, 表明 Berriasian 阶底界年龄应老于 142~140 Ma。Vennari 等^[11]研究表明, 安第斯地区 J/K 界线位于 Berriasian 底界 *Nannoconus Kamptneri minor* 带, 对其上约 22 m 凝灰岩层进行锆石 U-Pb 定年后将 140 Ma 作为 J/K 界线, 但考虑凝灰岩之下还有约 22 m 的泥页岩, 安第斯地区 J/K 界线的年龄也应老于 140 Ma。Tripathy 等^[12]对挪威海 Ribban 盆地 Nordland VII 地区页岩 Re-Os 同位素直接测年显示, J/K 界线年龄应小于国际地层表

(2017) 指定的约 145Ma, 为 145.5~142 Ma。

国际地层表 (2004) [13] 中, 将 *Berriasella jacobii* 菊石带底部对应于地磁极性带 M19n.2n 的中部, 年龄为 145.5 Ma。虽然国际 J/K 界线工作组根据不同类别生物标志, 提出界线可能位于 M19n.1n 之底, 或 M19n.1r 之底的不同方案, 但仍把 M18r 极性带底部作为一个重要事件, 并将其作为一个工作界线标志 [14]。在国际地层表 (2012) [1] 中, 也将 J/K 界线对应于 M18r 极性带底部。俄罗斯地层学家在 Nordvik 地区的磁性地层学研究显示, J/K 界线位于地方性菊石 *Craspedites taimyrensis* 带内, 对应于极性带 M19/M18 界线; 国际 J/K 界线工作组近期则将与 *Calpionellid alpina* 亚带底界相关联的位置精确对应于极性带 M19n.2n 内部 [3]。

1.2 冀北-辽西地区陆相 J/K 界线研究进展

与松辽盆地邻近的冀北-辽西地区作为中国陆相侏罗系、白垩系发育和研究的典型地区, 经过数十年的研究, 取得了许多重要进展, 但对于 J/K 界线的认识仍存在两类较大的分歧。

1.2.1 界线位置高于 145 Ma

中国学者以往一贯主张采用 135 Ma 或 137 Ma 作为 J/K 界线的年龄值 [15], 同时, 也不排除国际 J/K 界线年龄会向年轻方向变化, 甚至恢复至 Valanginian 阶底界 (139.4 Ma) 位置 [3]。全国地层委员会 [16] 2002 年将中国陆相 J/K 界线置于义县阶与大北沟阶之间, 采用 137 Ma 的界线年龄。河北滦平盆地生物地层学的综合研究结果将滦平盆地 J/K 界线置于大北沟组与家店子组之间 [17-21], 根据大北沟组上部实测同位素年龄推测界线年代为 130 Ma [22]。王思恩等 [2,23] 根据生物地层国际对比, 指出大北沟组与家店子组之间的生物地层界线与国际上 Tithonian 与 Berriasian 界线一致, 界线年龄接近 130.7 Ma。磁性地层研究结果则显示, 义县组底部的 M₁₆ 正极性时对应的年龄为 132 Ma, 土城子组顶部 M₂₂ 正极性时对应的年龄约为 140 Ma, 表明辽西 J/K 界线位于义县组与土城子组角度不整合之间 [24]。

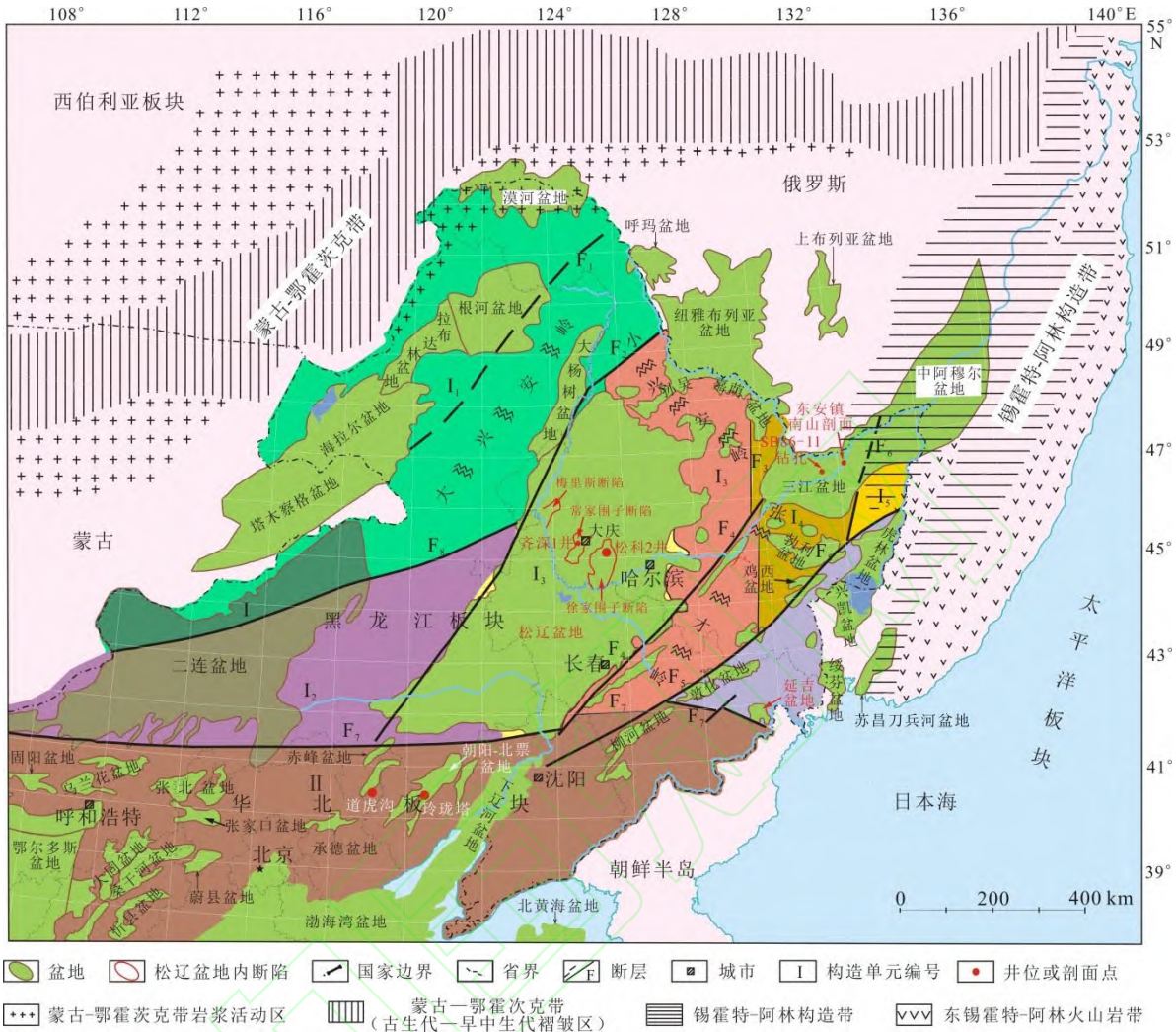
1.2.2 界线位置接近 145 Ma

国际地层表 (2012) [1] 中 J/K 界线年龄为 145 Ma, 为与国际接轨, 在 2013 年的第四届全国地层会议上, 国内众多相关专家同意将中国地层表 J/K 界线年龄调整为 145 Ma [25]。因此, 如果仅根据同位素测年结果推测, 冀北-辽西地区 J/K 界线应该位于土城子组之内。辽宁北票地区土城子组上部透长石单晶的平均年龄为 139.4 Ma, 表明土城子组上部至少可以归于早白垩世, 辽西地区非海相 J/K 界线可能位于土城子组或更早的地层 [26]。Davis [27] 和孙立新等 [28] 分别系统梳理前人同位素测年结果后指出, 土城子组年龄为 156~139 Ma, J/K 界线位于土城子组内部。季强 [29] 根据土城子组顶底分别获得的年龄 137 Ma 和 154 Ma, 亦将冀北-辽西地区 J/K 界线置于土城子组内部。张宏等 [30] 测得滦平小营土城子二段底部凝灰质熔岩的锆石 U-Pb 年龄为 (142.6 ± 1.3) Ma, 许欢等 [31] 梳理髫髻山组顶部测年结果后将土城子组底界年龄确定为 154 Ma, 显示 J/K 界线可能位于土城子组一段。土城子组陆相孢粉组合也反映了晚侏罗世-早白垩世早期的特征, 中国陆相 J/K 界线可能位于土城子组内部 [32-33]。黄迪颖 [34] 进一步综合土城子组同位素年代序列和生物组合指出中国陆相 J/K 界线在燕辽地区应位于土城子组一段上部。万晓樵等 [35] 根据叶肢介、介形类和孢粉组合特征将燕辽地区 J/K 界线暂定于土城子组二段与三段之间, 年龄约为 145 Ma, 并建议以北票巴图营乡剖面作为对比标准。

2 松辽盆地及周缘地区区域地质概况

松辽盆地位于中国东北部, 构造上位于西伯利亚、太平洋和蒙古-华北三大板块交汇区。松辽盆地北部通过蒙古-鄂霍茨克缝合带与西伯利亚板块 (陆壳) 相连, 东部通过锡霍特-阿林构造带与太平洋板块 (洋壳) 相连 [36] (图 1)。蒙古-华北板块为蒙古-鄂霍茨克带以南的全部陆壳区域, 包括黑龙江板块、华北板块等。晚古生代之前, 额尔古纳-兴安板块 (I₁)、松辽-张广才岭微板块 (I₃)、佳木斯微板块 (I₄) 等一系列微板块拼合形成黑龙江板块 (I) [39-40]。晚二叠世, 黑龙江板块-蒙古板块 (亦统称为佳蒙地块 [41]) 沿西拉沐沦河缝合带 (F₇) 与华北板块 (II) 北缘对接 (图 1), 奠定了松辽盆地基底。基底之上, 松辽盆地发育并完整保存了总厚度超过 10 000 m 的晚侏罗世-古近纪早期陆相

沉积^[38, 42-43], 为陆相 J/K 界线研究提供了绝佳的地质基础。



I—黑龙江板块; I₁—额尔古纳-兴安板块; I₂—温都尔庙-贺根山大陆边缘增生带; I₃—松辽-张广才岭微板块; I₄—佳木斯微板块; I₅—完达山山体; II—华北板块; F₁—塔源-喜桂图旗断裂带; F₂—嫩江断裂带; F₃—牡丹江断裂带; F₄—佳木斯-伊通断裂带; F₅—敦化-密山断裂带; F₆—下黑龙江断裂带; F₇—西拉沐伦河断裂带; F₈—贺根山断裂带。

图 1 松辽盆地及周缘地区区域构造图
(据文献^[37]修改; 松辽盆地断内断陷边界据文献^[38])

Fig. 1 Tectonic setting of the Songliao Basin and adjacent areas (modified after ^[37])
showing fault depressions boundaries (after ^[38])

嫩江断裂 (F₂) 属于松辽盆地西界的控盆断裂系统^[37], 断裂以西是大兴安岭中生代火山岩和以漠河及海拉尔盆地为代表的中-新生代盆地发育区^[44]。佳木斯-伊通断裂 (F₄) 属于松辽盆地东界控盆断裂系统, 表现为边界为主断层控制的不对称堑垒构造带^[37]。佳木斯-伊通断裂以东发育有东北走向的敦化-密山断裂 (F₅), 以及柳河盆地、敦化盆地、延吉盆地等中小型中-新生代盆地 (图 1)。牡丹江断裂 (F₃) 呈南北走向, 以东分布有以三江、勃利和鸡西等为代表的众多中小型中-新生代盆地 (图 1)。西拉沐伦河缝合带呈东西走向构成了松辽盆地南边界, 属于蒙古-华北板块内部的板内缝合带^[37], 其南部包括内蒙古中部、河北北部、辽宁南部、吉林东南部等地区, 其中冀北-辽西地区发育有朝阳-北票盆地、张家口盆地等的中生代盆地 (图 1)。

松辽盆地及周缘地区位于侏罗纪-白垩纪之交东亚地区构造转换的关键位置^[45-47]。燕山运动引发了东亚地区晚侏罗世多向挤压和陆内造山与早白垩世大规模伸展和岩石圈减薄, 进而导致了生态环境

巨变^[48-49], 造成燕辽生物群的灭绝和热河生物群的更替。不同时间节点的区域构造事件、岩浆事件、生物演化阶段为约束松辽盆地及周缘地区 J/K 界线提供了天然锚点。

3 区域构造背景与岩浆事件对比特征

“燕山运动”最初是指发生在华北燕山地区中晚侏罗世的重大构造事件^[50-52]。90 年多来, 对于燕山运动的认识不断演变和深入, 形成了中国特色的大地构造理论——“东亚多向板块汇聚”^[48-49, 53]。燕山运动分为 3 个构造期, 包括挤压期 (约 175~136 Ma)、主伸展期 (135~90 Ma)、弱挤压期 (约 80 Ma)^[48, 54]。从构造体制来看, 挤压期表现为多向强烈挤压、板块多向汇聚, 导致陆内造山、陆内变形和地壳岩石圈增厚; 主伸展期表现为受古太平洋板块俯冲和东亚活动大陆边缘系统控制的岩石圈伸展、减薄^[48, 53]。在燕山运动大的区域构造背景下, 侏罗纪-白垩纪之交松辽盆地及周缘地区区域构造背景与岩浆事件总体上呈现一致性, 局部地区呈现区域性的特点 (表 1)。

表 1 松辽盆地及周缘地区晚侏罗世-早白垩世构造背景、岩浆事件综合对比表

Table 1 Comprehensive correlation of tectonic setting and magmatic events from the Late Jurassic to the Early Cretaceous for the Songliao Basin and adjacent areas

区域	松辽盆地以西地区		松辽盆地以南地区 (冀北-辽西)		松辽盆地		松辽盆地以东地区	
构造背景、岩浆事件	构造背景	岩浆事件	构造背景	岩浆事件	构造背景	岩浆事件	构造背景	岩浆事件
早白垩世	蒙古-鄂霍茨克洋闭合后, 自北向南推覆事件导致陆壳加厚, 加厚陆壳坍塌或拆沉伸展背景	海拉尔盆地: 铜钵庙组火山碎屑岩, 大兴安岭北部: 吉祥峰组 A 型流纹岩特征的流纹岩-英安岩 (约 142 Ma), 大兴安岭中段: 玛尼吐组粗面英安岩、粗面岩 (148~139 Ma), 大兴安岭南部: 白音高老组钠闪石流纹岩 (141 Ma)	蒙古-鄂霍茨克洋闭合后, 自北向南推覆事件导致陆壳加厚, 加厚陆壳坍塌或拆沉伸展背景	高钾钙碱性火山岩系列。义县组以基性火山熔岩为主, 含酸性和偏碱性火山熔岩和角砾岩; 张家口组为流纹岩、流纹质火山碎屑岩、粗面岩和粗安岩	北部鄂霍茨克洋俯冲/缝合和东部太平洋板块俯冲/走滑, 双侧活动陆缘影响下的区域性伸展-裂陷环境	火石岭组沉积-火山序列, 火山岩包括安山岩、玄武岩、粗面岩、流纹岩等	新生陆缘断裂系统, 继承了晚侏罗世的走滑构造属性	岩浆事件缺乏
晚侏罗世	蒙古-鄂霍茨克洋闭合, 块体碰撞, 加厚陆壳坍塌或拆沉伸展背景	晚期: 偏碱性的酸性火山碎屑岩和熔岩, 以满克头鄂博组为代表 早期: 玄武岩、粗安岩等, 为亚碱性-碱性过渡类型, 以塔木兰沟组为代表	蒙古-鄂霍茨克洋闭合, 块体碰撞, 加厚陆壳坍塌或拆沉伸展背景	多具有埃达克质岩石的地球化学属性, 以髻髻山组和蓝旗组为代表	蒙古-鄂霍茨克洋闭合, 块体碰撞陆壳加厚, 持续造山	中-酸性岩浆作用, 包括闪长岩 (155 Ma)、凝灰岩 (151 Ma)、变质流纹岩 (149 Ma)、安山玄武岩 (144 Ma) 等	新生陆缘断裂系统, 古太平洋板块对欧亚大陆俯冲间歇期, 可能为走滑的构造属性	岩浆事件缺乏, 仅张广才岭见有长英质岩脉 (147 Ma) 和石英二长岩 (161 Ma)

3.1 中-晚侏罗世区域构造背景与岩浆事件

3.1.1 松辽盆地以西和以南地区

中生代期间蒙古-鄂霍茨克洋自西向东具有剪刀式闭合的特征, 两侧块体发生强烈碰撞造山^[55-57], 东部闭合的时间可能持续到晚侏罗世-早白垩世^[58-59]。对于额尔古纳地块而言, 其西北侧蒙古-鄂霍茨克洋的闭合时间应发生在中侏罗世 (170~165 Ma)^[45]。松辽盆地以西的额尔古纳-兴凯地块地区、华北克拉通北缘的冀北-辽西地区存在一次重要的陆壳加厚过程, 而中-晚侏罗世 (166~158 Ma) 广泛发育的火山岩应是这次加厚陆壳坍塌或拆沉伸展背景下的产物^[60-62]。额尔古纳-兴凯地块晚侏罗世火山岩早期以中基性熔岩溢流为主, 形成玄武岩、粗安岩等, 为亚碱性-碱性的过渡类型, 以塔木兰沟组为代表^[63-65], 晚期以酸性、中酸性爆发式火山活动为主, 形成偏碱性的酸性火山碎屑岩和熔岩, 以满克头鄂博组为代表^[66-67]。华北克拉通晚侏罗世火成岩大多数具有埃达克质岩石的地球化学属性, 以髻髻山组和蓝旗组为代表^[68-69]。

3.1.2 松辽盆地

松辽盆地侏罗系主体属中侏罗统, 称大庆群, 分为下部的碎屑岩段和上部的蚀变火山岩段, 区域

上可与盆地西缘的红旗组、万宝组（松辽盆地西南部曾称为“白城组”）等含煤火山-沉积岩系对比^[70]。但其在盆地内分布局限，不成规模，钻井揭示的大庆群仅发育于常家围子断陷，包括大庆的萨尔图、让胡路及其西南，仅在松基 6 井中见大庆群被营城组（早白垩世）不整合覆盖，其它各井所见均为登娄库组二段及更高层位的地层覆盖，说明大庆群的沉积盆地在晚侏罗世已闭合隆起^[71]。需要指出的是，大庆群沉积盆地闭合后，中-酸性岩浆活动仍较为活跃，岩石类型包括齐深 1 井 3 611.5 m 凝灰岩年龄为（154.0 ± 2.5）Ma、朝深 2 井 3 165.2 m 闪长岩年龄为（154.6 ± 2.2）Ma、同深 1 井 3 907 m 凝灰岩年龄为 150.6 Ma、松基 6 井 4 690 m 变质流纹岩年龄为 149.0 Ma、松基 6 井 4 247 m 安山玄武岩年龄为 144 Ma 等^[70-72]。这些岩浆活动指示晚侏罗世造山作用仍在继续^[71]，结合该时期东北地区主要受蒙古-鄂霍茨克构造带控制^[61-62]，推测碰撞（盆地闭合）后加厚陆壳坍塌或拆沉作用在松辽盆地并不明显。

3.1.3 松辽盆地以东地区

早-中侏罗世，现今位于松辽盆地东北部的完达山地体快速向北移动并发生强烈的左旋走滑活动，并在晚侏罗世与佳木斯地块拼贴^[73-75]。显然，完达山地体的快速走滑以及拼贴，受到 Izanagi 板块向东亚大陆边缘斜向俯冲^[76-77]的制约。由于古太平洋构造体系开始向欧亚大陆俯冲导致岩石圈增厚拆沉，早-中侏罗世小兴安岭-张广才岭地区处于伸展环境，形成了流纹岩与基性岩的双峰式火山岩组合^[78-80]。而到晚侏罗世，仅张广才岭报道有两处晚侏罗世（均为 147 Ma）的长英质岩脉^[81]和一处 161 Ma 的石英二长岩^[82]，表明松辽盆地以东的小兴安岭-张广才岭地区普遍缺乏该期岩浆事件。这暗示该时期古太平洋板块对欧亚大陆并没有发生俯冲作用，处于俯冲的间歇期，东北亚陆缘与古太平洋板块之间可能为走滑的构造属性^[60-61]。

3.2 早白垩世早期区域构造背景与岩浆事件

3.2.1 松辽盆地以西和以南地区

侏罗纪晚期-白垩纪早期，蒙古-鄂霍茨克洋闭合后，松辽盆地以西和以南地区（包括大兴安岭西坡和冀北-辽西地区）存在一次自北向南的推覆事件^[83-84]。这次推覆事件是中侏罗世之后又一次陆壳加厚事件，随后的坍塌或拆沉使该地区在早白垩世早期再次处于伸展环境^[60-61, 85]。大兴安岭以西自北东南西发育的漠河盆地、海拉尔盆地、二连盆地均记录了该次推覆事件。在漠河盆地和二连盆地表现为区域性抬升剥蚀和局部的挤压构造变形，上侏罗统与下白垩统呈角度不整合接触^[86-87]。海拉尔盆地则表现为早白垩世早期（约 145~133 Ma）的冲断-褶皱变形事件^[88]，下白垩统铜钵庙组火山碎屑岩和砂泥岩不整合于上侏罗统塔木兰沟组中基性火山岩之上。大兴安岭北部表现为吉祥峰组 A 型流纹岩特征的流纹岩-英安岩（约 142 Ma）、中段表现为玛尼吐组粗面英安岩、粗面岩（148~139 Ma）^[89]、南部表现为白音高老组钠闪石流纹岩（141 Ma）^[90]，不整合覆盖于满克头鄂博组流纹岩（162 Ma）之上^[60]。冀北-辽西地区表现为基底变质岩系和中元古界逆冲推覆于晚侏罗世土城子组之上^[91]，土城子组与上覆张家口组、义县组高钾钙碱性系列火山岩（135~133 Ma）^[92-94]之间的区域性不整合。

3.2.2 松辽盆地

松辽盆地基底之上经历了断陷期（自下而上包括火石岭组、沙河子组、营城组）、拗陷期和构造反转期三个阶段^[37]。松辽盆地早白垩世早期岩浆作用以断陷层火石岭组为代表。火石岭组作为松辽盆地断陷层第一套充填序列，其下部为正常沉积岩，上部为火山岩、火山碎屑岩夹沉积岩，火山岩类型包括安山岩、玄武岩、粗面岩、流纹岩等^[95]。松辽盆地基底之上断陷层表现为区域地壳伸展、张性破裂、差异性裂陷和块断，以火山岩类为主要充填单元，依据沉降机制、断裂性质和充填特征，该构造层属于同裂谷期火山-裂谷盆地充填^[37]。松辽盆地断陷层是在北部鄂霍茨克洋俯冲/缝合和东部太平洋板块俯冲/走滑，双侧活动陆缘影响下，出现区域性伸展-裂陷的结果^[46, 96]。

3.2.3 松辽盆地以东地区

佳木斯-伊通断裂作为松辽盆地的东界控盆断裂系统，晚侏罗-早白垩表现为左旋走滑特征，标志

着板块重组背景下一个新生陆缘断裂系统的形成^[97]。而早白垩世早期岩浆作用与晚侏罗世类似，在松辽盆地以东的陆缘区以及日本和朝鲜半岛不发育，暗示地区可能继承了晚侏罗世的走滑构造属性。直到早白垩世中晚期，松辽盆地以东地区开始处于挤压造山作用之后的间歇期或松弛阶段，在相对拉张的构造环境下形成局限的裂陷盆地，并伴有中酸性火山活动。其中作为断陷盆地最早期的充填序列，东部的延吉盆地屯田营组顶部安山岩锆石 U-Pb 测年结果为 $(125.1 \pm 2.7) \text{ Ma}$ ^[98]，东北部的鸡西盆地滴道组和勃利盆地东部裴德组均发育剪切拉分成因的钙碱性中酸性火山岩^[98]，推算其形成时间为 131~128.3 Ma^[100]。

4 生物演化阶段对比特征

生物演化具有不可逆性、阶段性和统一性，使其成为地质历史阶段划分的依据，对于 J/K 界线的划分，首要的是确定生物标志^[3]。晚侏罗世最末期与早白垩世最早期之间，任何大的生物群均缺少明显变化，而持续的大海退使得动物群和植物群的区域性更加显著，难以找到可供全球等时对比的最有益标志^[101]。生物地层研究应着眼于识别陆相生物的宏观演化阶段，以避免过于细化的生物地层对比出现的人为地“择优录取”^[3, 102]。松辽盆地及周缘地区 J/K 界线生物演化阶段区域对比特征主要是陆地生态系统的变迁，导致晚侏罗世燕辽生物群的衰落和白垩纪热河生物群的兴起（表 2）。

值得注意的是，燕辽生物群和热河生物群代表性分子均以水生生物为主，它们扩散、迁移受水域系统的影响，不同门类生物地层对比还远未达成比较统一的意见。同时，考虑松辽盆地及周缘地区覆盖严重、露头出露不佳，J/K 界线研究以钻井岩心为主的实际情况，生物演化区域对比特征应以易于迁移、分布广泛、特征明显、数量繁多、个体微小的分子为主，辅以生物群代表性分子。孢粉属于微体化石，传播快、分布广，适于进行大区域甚至全球的地层对比，具有其它化石没有的优越性^[23]。

表 2 松辽盆地及周缘地区晚侏罗世-早白垩世生物演化阶段及代表性孢粉组合分析表

Table 2 Correlation of biotic macroevolution and representative palynological assemblages from the Late Jurassic to the Early Cretaceous for the Songliao Basin and adjacent areas

世	生物演化阶段	典型生物组合	代表性孢粉组合及特征		
			时代	地区及组段	组合及特征
早白垩世	热河生物群	狼鳍鱼-三尾拟浮游-东方叶肢介，以及共生的北票鲟、鸟类和昆虫	K ₁ 中期	冀北-辽西地区大北沟组下段	“拟云杉粉 (<i>Piceites</i>) - 罗汉松粉 (<i>Podocarpidites</i>) - 希指蕨孢 (<i>Schizaeisporites</i>)”组合，以裸子植物花粉占优势，蕨类植物孢子含量较低为特征
			K ₁ 早期	大兴安岭东南部满克头鄂博组、冀北-辽西地区土城子组上部	以松柏类两气囊花粉占绝对优势、 <i>Classopollis</i> 低含量为特征。满克头鄂博组：“凹边瘤面孢 (<i>Concavissimisporites</i>) - 拟云杉粉 (<i>Piceites</i>)”组合，土城子组上部：无突肋纹孢 (<i>Cicatricosisporites</i>) - 瘤面海金沙孢 (<i>Lygodioisporites</i>) - 蛟河粉 (<i>Jiahepollis</i>) 组合
晚侏罗世	燕辽生物群	晚期玲珑塔生物群：柴达木叶肢介-额尔古纳蚌-古鲑	J ₃ -K ₁ 初期	冀北-辽西地区土城子组中-下部	“克拉梭粉 (<i>Classopollis</i>)”组合，以裸子植物花粉占绝对优势为特征
			J ₂ 末期-J ₃ 早期	辽东小东沟组和大兴安岭东南部傅家洼子组及相当地层	“四字粉 (<i>Quadraeculina</i>) - 克拉梭粉 (<i>Classopollis</i>)”组合，裸子植物花粉占绝对优势 (大于95%)，蕨类植物孢子十分贫乏 (小于5%)
		J ₂ -J ₃ 早期	冀北-辽西地区髻髻山组	“桫欏孢 (<i>Cyathidites</i>) - 苏铁粉 (<i>Cycadopites</i>) - 克拉梭粉 (<i>Classopollis</i>)”组合，以蕨类植物孢子和裸子植物花粉的共同繁荣为特征	
		J ₂	松辽盆地大庆群碎屑岩段	“单远极沟粉 (<i>Monosulcites</i>) - 桫欏孢 (<i>Cyathidites</i>)”组合，裸子植物花粉优势 (79.95%)，蕨类植物孢子含量低 (20.65%)，不含被子植物花粉	

4.1 燕辽生物群

燕辽生物群源自洪友崇等^[103]命名的“燕辽昆虫群”，之后任东^[104]将其含义扩大为“燕辽动物群”，孙革^[105]将辽西及其邻区冀北、内蒙古宁城等地的侏罗纪生物群统称为“燕辽生物群”，产有数百种昆虫类化石，还产有大量植物化石，以及叶肢介、介形类、双壳类、鱼类、恐龙、翼龙和两栖类等化

石, 范围东可达辽东, 西可至新疆和中亚, 北至俄罗斯贝加尔湖地区。黄迪颖^[106]将燕辽生物群划分为早期和晚期两个生物组合, 早期以中侏罗世中晚期道虎沟生物群为代表, 晚期以晚侏罗世早期玲珑塔生物群为代表。燕辽生物群的早期组合, 以“中华燕辽划蝽 (*Yanliaocorixa chinensis*) - 溱平真叶肢介 (*Euestheria.luanpingensis*) - 西伯利亚费尔干蚌 (*Ferganoconcha sibirica*) - 天义初螈 (*Chunerpeton tianyiensis*)”为代表, 晚期组合以“柴达木叶肢介 (*Qaidamestheria*) - 额尔古纳蚌 (*Arguniella*) - 古鳕 (*Palaeoniscids*)”为代表^[106]。

我国(包括东北地区)晚侏罗世植物群以耐干旱的松柏类 *Classopollis* 花粉占统治地位, 通常含量在 50%以上, 蕨类孢子极其贫乏为特征^[107-108]。根据孢粉组合, 晚侏罗世和早白垩世组合的主要区别是前者以出现大量 *Classopollis*, 无或很少 *Cicatricosisporites* 为特征, 后者则以不仅数量, 而且 *Cicatricosisporites* 种类较多为特征^[108]。

冀北-辽西地区髫髻山组时期(中侏罗世-晚侏罗世早期), “桫椤孢 (*Cyathidites*) - 苏铁粉 (*Cycadopites*) - 克拉梭粉 (*Classopollis*)”组合, 以蕨类植物孢子和裸子植物花粉的共同繁荣为特征^[33]。蕨类植物孢子中以光面三缝孢含量最高, 达 43%, 其它常见分子有旋脊孢 (*Duplexisporites*)、石松孢 (*Lycopodiumsporites*)、新叉瘤孢 (*Neoraestrackia*)、紫萁孢 (*Osmundacidites*) 等。裸子植物中单沟类花粉含量占 22%, 克拉梭粉含量约为 9.5%, 具囊松柏类花粉较少, 反映了典型的温暖、湿润的亚热带气候。该组合与松辽盆地大庆群碎屑岩段(中侏罗世)的“单远极沟粉 (*Monosulcites*) - 桫椤孢 (*Cyathidites*)”组合^[109]相似。

冀北-辽西地区土城子组中-下部(晚侏罗世-早白垩世早期), “克拉梭粉 (*Classopollis*)”组合, 以裸子植物花粉占绝对优势为特征, 其中 *Classopollis* 的含量达 90%以上, 其它分子含量很低, 蕨类植物孢子十分贫乏, 反映了典型的炎热、干旱的热带、亚热带气候^[33]。该组合与陶明华等^[110]论述的“四字粉 (*Quadraeculina*) - 克拉梭粉 (*Classopollis*)”组合相似, 除分布于辽西土城子组外, 还见于辽东小东沟组和大兴安岭东南部傅家洼子组及相当地层。

4.2 热河生物群

“热河生物群”源于“热河系”, 最早由美国地质古生物学家 Grabau^[111]提出, 原指辽宁西部产叶肢介、狼鳍鱼和双壳类等化石的中生代沉积地层, 将该地层中产出的化石群称为“热河动物群”^[112]。此后, 这一化石群在冀北、辽西地区广泛发育, 因而“热河动物群”这一名称也被广泛采用。顾知微^[113]将以“狼鳍鱼 (*Lycoptera*) - 三尾拟浮游 (*Ephemeropsis trisetalis*) - 东方叶肢介 (*Eosestheria*)”为代表的化石群通称为“热河生物群”。随着后续研究的深入和长羽毛恐龙、最早被子植物等化石的发现, 热河生物群的内容已大大扩展, 面貌更为丰满, 但仍可继续以“*Lycoptera-Ephemeropsis trisetalis-Eosestheria*”三者的共生为定义, 并将与热河生物群代表分子共生的北票鲟, 以及后期发现的鸟类和昆虫等化石共同作为识别热河生物群的依据^[114]。热河生物群的地理分布很广, 以中国东北地区为核心扩散, 东至松辽盆地、朝鲜、日本, 向北至蒙古、外贝加尔、远东等地, 西至祁连山以北直到准噶尔盆地, 南至豫、鄂、浙、闽等省。

我国早白垩世北方区孢粉植物群以含有大量的具气囊松柏类花粉和丰富的海金砂科孢子 (*Cicatricosisporites*) 为特征^[115]。从世界范围看, 尽管无突肋纹孢属 (*Cicatricosisporites*) 在晚侏罗世的最晚期已有零星出现, 但在多数地区在界线之上出现, 无突肋纹孢的分布情况在我国也大致如此, 其对划分 J/K 界线的作用, 甚至比仅在早白垩世早期出现的一些类型还要大^[116-117]。

冀北-辽西地区和大兴安岭地区早白垩世早期孢粉组合均以松柏类两气囊花粉占绝对优势、*Classopollis* 低含量为特征, 明显区别于晚侏罗世及早白垩世初期以 *Classopollis* 高含量为特征的组合。大兴安岭东南部满克头鄂博组(早白垩世早期), 以“凹边瘤面孢 (*Concavissimisporites*) - 拟云杉粉 (*Piceites*)”组合为代表, 主要特征是裸子植物花粉占绝对优势, 蕨类植物孢粉极为贫乏, 裸子植物花粉中以松柏类双囊粉为主, 其中以气囊与本体分化较差的古老类型占绝对优势, 主要为 *Piceites* (70%左右), 进化型双囊花粉约占 18.2%, 主要为 *Pinuspollenites*、*Piceapollenites*、*Podocarpidites*, 时代为晚侏罗世晚期^[110]。对比王大宁等^[33]论述的侏罗-白垩纪之交各孢粉组合特征,

其时代为早白垩世早期似乎更合理。辽西四合屯附近土城子三段组（早白垩世早期），为“无突肋纹孢（*Cicatricosisporites*）-瘤面海金沙孢（*Lygodioisporites*）-蛟河粉（*Jiaohepollis*）”组合，以松柏类两气囊花粉占绝对优势，三缝孢子、*Classopollis* 低含量为特征^[118]。

冀北-辽西地区大北沟组下段（早白垩世中期），为“拟云杉粉（*Piceites*）-罗汉松粉（*Podocarpidites*）-希指蕨孢（*Schizaeoisporites*）”组合，主要特征是：（1）裸子植物的花粉占优势，含量达 94%，主要是具囊松柏类花粉和单沟粉，以及一些气囊分化不好的原始松柏类花粉；（2）蕨类植物孢子含量较低；（3）喜温凉、中湿的分子含量较高，约 32%；（4）喜湿热分子的含量约为 11.5%，主要为蕨类植物；（5）喜干旱、干热的分子含量很低，主要是克拉梭粉和希指蕨孢；反映半干旱-半湿润的温带气候^[33]。该组合与陶明华等^[110]论述的大北沟组“拟云杉粉（*Piceites*）-四字粉（*Quadraeculina*）-原始松柏粉（*Protoconiferus*）”组合特征相似。

冀北-辽西地区大北沟组上段（早白垩世中期），可称为“无突肋纹孢（*Cicatricosisporites*）-滦平孢（*Luanpingspora*）-纵肋单沟粉（*Jugella*）”组合，其主要特征是：（1）裸子植物的花粉占绝对优势（95%~75%），其中双囊松柏类花粉最多（78.5%~49%），主要是单束松粉（*Abietinaepollenites*）、阿里粉（*Alisporites*）、双束松粉（*Pinuspollenites*）、雪松粉（*Cedripites*）、云杉粉（*Piceaepollenites*）等，还见有少量蛟河粉（*Jiaohepollis*）和纵肋单沟粉（*Jugella*）；（2）蕨类植物孢子含量逐渐增加，约占 25%~5%，其中出现了较丰富的海金沙科的无突肋纹孢；（3）喜干旱气候环境的莎草蕨科希指蕨孢（*Schizaeoisporites*）含量极低；反映湿热、温凉的气候特征^[33]。该组合与高瑞祺等^[119]论述的松辽盆地火石岭组“*Piceites-Piceaepollenites-Cyathidites*”组合特征相似，同时盆内该组中还多见有劣质煤层（线），反映了较湿润的亚热带气候。

5 区域构造背景和岩浆事件对生物演化的制约

地球表层重大地质事件直接或间接控制或改造着地球表层古地理和古生态环境，生物群只得调整自身去适应环境和生态背景的改变^[120]。陆地生态系统的变迁，原因是地貌、气候的变迁。侏罗纪-白垩纪之交松辽盆地及周缘地区区域构造背景的转变与岩浆事件的差异，深刻影响着区域古地貌和古地理环境，同时在气候变迁的共同作用下，最终导致生态系统的显著差异，表现为燕辽生物群与热河生物群的交替。

5.1 松辽盆地以西和以南地区

中侏罗世，西北侧蒙古-鄂霍茨克洋的闭合，松辽盆地以西和以南地区陆壳加厚，中侏罗世以前的沉积盆地闭合隆起，北票组等含煤沉积建造结束，并伴有强烈剥蚀和砾石堆积（九龙山组-海房沟组砾岩），局部岩浆侵入和火山喷发，形成晚侏罗世早期有限高原和区域性中小型湖泊。中-晚侏罗世该地区气候总体温暖湿润，在火山物质的促进下，湖泊生态系统初步建立，并逐渐繁盛，形成了以“中华燕辽划蝓（*Yanliaocorixa chinensis*）-滦平真叶肢介（*Euestheria.luanpingensis*）-西伯利亚费尔干蚌（*Ferganoconcha sibirica*）-天义初螈（*Chunerpeton tianyiensis*）”为代表的道虎沟生物群等燕辽生物群早期组合^[106]（表 2）。

晚侏罗世，松辽盆地以西和以南地区加厚陆壳坍塌或拆沉伸展导致广泛的火山作用（塔木兰沟组、髻髻山组、蓝旗组），形成系列山间断陷火山-沉积盆地，地理条件和生态环境明显改变。此时气候仍然总体保持温暖湿润状态^[33]，虽然原有生物群遭到极大破坏，但逐渐发育形成了一个具有继承性的湖泊-山地新生态系统，即以“柴达木叶肢介（*Qaidamestheria*）-额尔古纳蚌（*Arguniella*）-古鳕（*Palaeoniscids*）”为代表的玲珑塔生物群等燕辽生物群晚期组合^[106]，植被以蕨类植物和裸子植物共同繁荣为特征^[33]（表 2）。强烈的火山活动为初级生产力提供了丰富的矿物质元素，形成了由低等到高等生物的生物链，促进了生态系统的繁荣。但另一方面，大规模的火山作用也可能是动植物的死亡和有利于遗骸的埋藏与保存的重要因素或条件。侏罗纪晚期-白垩纪初期（土城子组）不断剥蚀形成低海拔高原，气候背景也由原来的温暖、湿润环境变为炎热、干旱环境^[33,121]，双重影响使生态环境

遭到了极大的毁坏，最终导致燕辽生物群的消亡。

早白垩世早期，松辽盆地以西和以南地区推覆加厚后的坍塌或拆沉导致强烈的伸展作用，形成广泛分布的断陷盆地群和新一期大规模的火山-沉积作用（义县组、张家口组）。晚侏罗世到早白垩世，气候背景由炎热、干旱环境逐渐向温凉、湿润环境转变^[33,122]。在新的断陷盆地群内以狼鳍鱼（*Lycoptera*）、三尾拟浮游（*Ephemeropsis trisetalis*）、东方叶肢介（*Eosestheria*）、北票鲟（*Peipiaosteus*）等为代表的热河生物群水生生态系统逐步建立，并逐渐繁盛，同时盆地间的陆地生态系统也得到充分发育，裸子植物占优势，蕨类植物逐渐增加^[33,110]（表 2），为鸟类和昆虫等的发展、繁荣提供了空间和物质基础。

5.2 松辽盆地

中侏罗世，同样在西北侧蒙古-鄂霍茨克洋的闭合作用下，松辽盆地中侏罗世以前的沉积盆地闭合隆起，红旗组、万宝组等含煤沉积建造结束。晚侏罗世，与盆地以西和以南地区碰撞后加厚陆壳发生坍塌或拆沉不同，松辽盆地碰撞后的造山作用仍在继续，由于长期遭受剥蚀，没有形成广泛的伸展盆地，生态系统可能不甚发育。

早白垩世，松辽盆地处于双侧活动陆缘影响下的区域性伸展-裂陷背景，发育了广泛分布的断陷盆地群，断陷盆地内普遍发育了较大规模的火山-沉积作用（火石岭组）。在较湿润的亚热带气候背景下，断陷盆地内水生生态系统可能处于早期发展阶段，介形类、叶肢介以及藻类等浮游植物等均不发育，直到稍晚的沙河子组时期才出现了拟蝙蝠藻属（*Vesperopsis*）-澳大利亚藻属（*Australisphaera*）浮游植物群组合、单肋女星介（*Cypridea uncostata*）-隐湖女星介（*Limnocyprides adscondida*）组合、少量的叶肢介（*Eosestheria persculpta*、*E. cf.*等）、双壳类（*Ferganoconcha ex. gr. curta*、*F. cf. sibirica*等）以及鱼类（*Lycoptera sp.*）等热河生物群典型代表^[109]；而此时陆地生态系统则较为发育，裸子植物仍占优势，蕨类植物明显增加^[119]，植物类型包括真蕨类（*Cladophlebis sp.*、*Coniopteris burejensis*等）、苏铁类（*Nilssonina sinensis*等）、银杏类（*Baiera cf. furcata*、*Ginkgo orientalis*等）、松柏类（*Elatocladus manchurica*等）和有节类（*Equisetum sp.*）等^[108, 123-124]。

5.3 松辽盆地以东地区

松辽盆地以东地区晚侏罗世-早白垩世处于俯冲间歇期，主要为走滑构造属性。晚侏罗世以挤压造山作用为主，区内普遍缺失上侏罗统，白垩系直接与古生界或海西期花岗岩不整合接触。直到早白垩世中晚期，该地区处于挤压造山作用的间歇期或松弛阶段，在相对拉张的构造环境下形成了局限的裂陷盆地，并伴有中酸性火山活动（如屯田营组）。在较湿润的亚热带气候背景下，断陷盆地初期水生生态系统也可能处于早期发展阶段，而陆地生态系统则较为繁盛，发育有真蕨纲、石松纲的蕨类植物，松柏纲、苏铁纲的裸子植物及少数苔藓类的藓纲植物^[125-126]。

松辽盆地东北部的黑龙江东部地区，晚侏罗世-早白垩世 Valanginian 早期曾发生过海侵事件，海水仅限于东安-绥滨一线及其以北地区，海水主要来自东北和北部方向，因而发育北方型的 *Buchia* 喜冷生物群^[127]。到早白垩世中晚期，松辽盆地东北部的三江地区发育了一系列各自独立的断陷盆地，包括鸡西盆地、三江盆地、勃利盆地、虎林盆地等^[128]。断陷盆地早期以海陆交互相沉积为特征，在陆地生态系统较为繁盛的同时，水生生态系统还发育有半咸水沟鞭藻 *Lagenorhyses granorugosus*、*Vesperopsis didaoensis*（滴道组）^[129]和海相双壳 *Aucellina*、*Entolium* 等（裴德组）^[130]。

6 松辽盆地及周缘地区 J/K 界线潜在发育地区及层段探讨

如前文所述，近年来国际地层表推荐的 J/K 界线年龄 145.5 Ma 或 145.0 Ma，虽然只是一个推算值，缺少真正的地层记录，但越来越多的资料证明其可信性。在 2013 年的第四届全国地层会议上，国内众多相关专家同意将中国地层表 J/K 界线年龄调整为 145 Ma^[25]。基于此，开展以下关于松辽盆地及周缘地区 J/K 界线潜在发育地区及层段的探讨。

6.1 松辽盆地以南地区

松辽盆地以南的冀北-辽西地区髫髻山组和蓝旗组形成于蒙古-鄂霍茨克洋闭合后加厚陆壳坍塌或拆沉伸展背景，发育有燕辽生物群晚期组合，其时代为晚侏罗世。张家口组形成于推覆加厚后的坍塌或拆沉导致的强烈伸展环境，为一套火山岩系，几乎未见化石，在河北张家口一带其上部碎屑岩所含少量化石具早期热河生物群面貌^[3]，时代为早白垩世早-中期。张家口组之上的大北沟组生物组合具有典型的热河生物群特征，对应时代为早白垩世中期。同位素测年结果系统分析结果显示土城子组年龄为 156~139 Ma^[27-28]。综合来看，介于髫髻山组、蓝旗组与张家口组之间的土城子组（后城组）是该地区 J/K 界线潜在发育层段，但界线具体发育在土城子组一段内部（图 2），或土城子组二段与三段之间，又或其它位置还需进一步的工作。



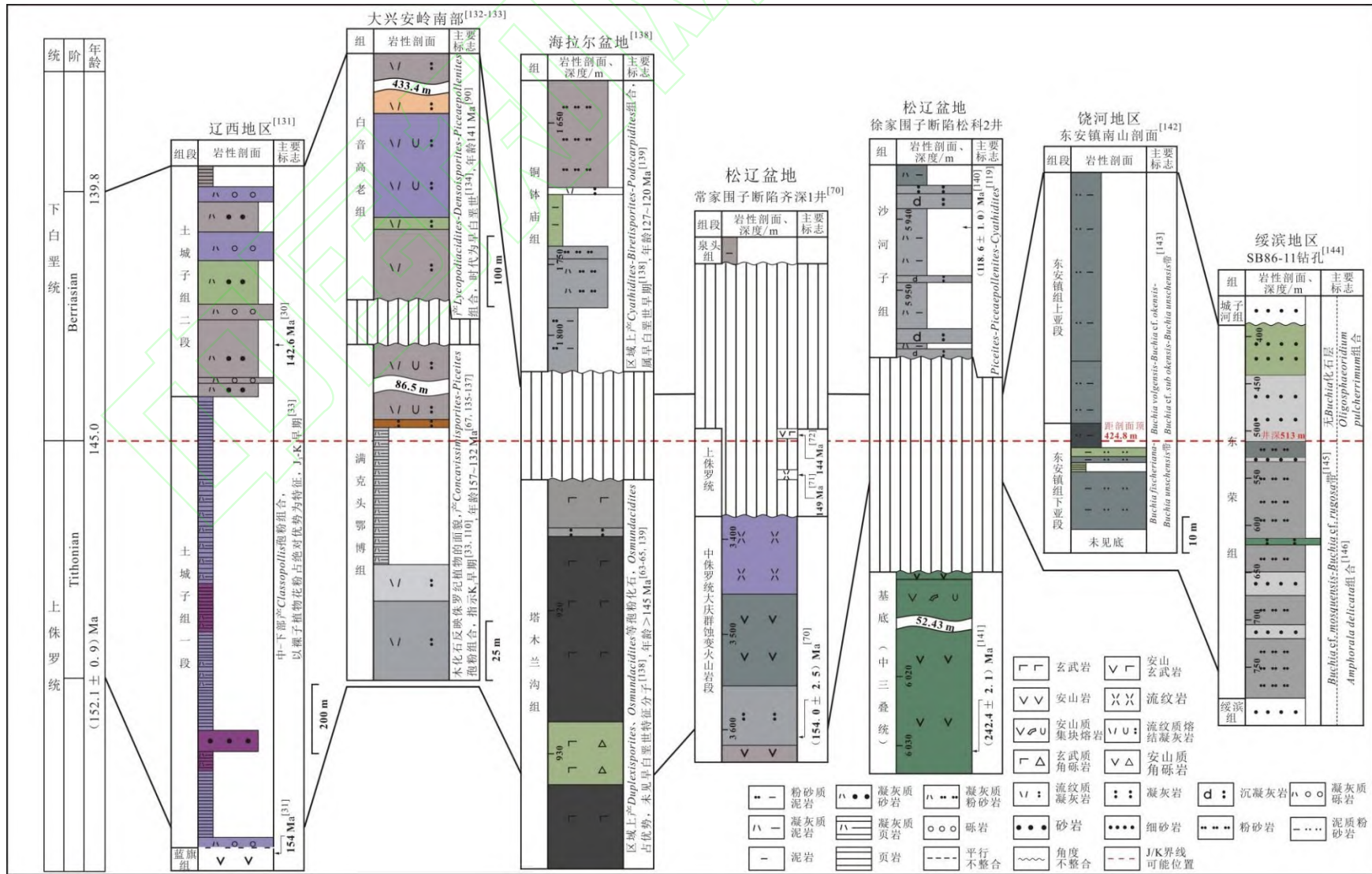


图2 松辽盆地及周缘地区 J/K 界线潜在发育地区及层段对比图
 Fig. 2 The most probable J/K boundary bearing areas and beds in the Songliao Basin and adjacent areas

6.2 松辽盆地以西地区

松辽盆地以西的大兴安岭地区满克头鄂博组形成于蒙古-鄂霍茨克洋闭合后加厚陆壳坍塌或拆沉伸展背景,为一套火山岩系,同位素测年结果较多,157~132 Ma 均有分布^[66, 135-137],但多数学者倾向于将其划归晚侏罗世。内蒙古科尔沁右翼中旗满克头鄂博组火山碎屑沉积岩中所产木化石 *Araucarioxylon batuanse* Duanh、*Protaxodioxylon romanense* Philippe、*Xenoxylon hopeiense* Chang 等,反映了侏罗纪植物的面貌^[147],大兴安岭东南部满克头鄂博组所产 *Concavissimisporites-Piceites* 组合则与冀北-辽西地区早白垩世早期孢粉组合相似。满克头鄂博组上覆白音高老组、玛尼吐组、吉祥峰组形成于推覆陆壳加厚坍塌或拆沉的伸展环境,其主体也主要为一套火山岩系,同位素测年结果基本都为早白垩世^[60, 89-90, 148]。玛尼吐组、吉祥峰组暂未见生物化石报道,白音高老组建组地区巴林左旗哈达英格乡白音高老一带产 *Ferganoconcha sibirica* 等燕辽生物群代表分子^[149],大兴安岭中南部宝日勿苏地区白音高老组相当层孢粉组合为 *Lycopodiacidites-Densoisporites-Piceapollenites* 组合,时代为早白垩世^[134]。虽然满克头鄂博组同位素年代地层与生物地层之间,生物地层内部还不能完全统一,但可作为松辽盆地以西的大兴安岭地区 J/K 界线值得关注的层段(图 2)。

海拉尔盆地及周缘地区塔木兰沟组形成于蒙古-鄂霍茨克洋闭合后加厚陆壳坍塌或拆沉伸展背景,无论是上世纪 90 年带 K-Ar、Rb-Sr 法^[132-133, 150],还是近年来 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法^[63-65, 139]都显示塔木兰沟组同位素年龄大于 145 Ma。海拉尔盆地盆缘塔木兰沟组产 *Pityophyllum* sp.、*Podozamites* sp.等少量植物化石,但不具有时代指示意义。海拉尔盆地内塔木兰沟组产旋脊孢(*Duplexisporites*)、石松孢(*Lycopodiumsporites*)、紫萁孢(*Osmundacidites*)等孢粉化石,其中 *Osmundacidites* 在组合中占优势,未见早白垩世特征分子^[138],这些孢粉特征与冀北-辽西地区群髻髻山组时期(中侏罗世-晚侏罗世早期)相似,显示燕辽生物群的特点。塔木兰沟组盆缘上覆上库力组、盆内上覆铜钵庙组为早白垩世已基本无争议。需要指出的是,塔木兰沟组与铜钵庙组之间有较长时间的沉积间断。因此,海拉尔盆地及周缘地区很可能缺失 J/K 界线(图 2)。

6.3 松辽盆地

松辽盆地晚侏罗世蒙古-鄂霍茨克构造带碰撞(盆地闭合)后造山作用仍在继续,没有形成广泛的伸展盆地,普遍遭受抬升剥蚀,松辽盆地可能不发育广泛的晚侏罗世-早白垩世连续沉积,只在局部地区可能发育有 J/K 界线。

晚侏罗世-早白垩世,在双侧活动陆缘影响下区域性伸展-裂陷造就了松辽盆地断陷层^[37]。断陷盆地第一套充填序列火石岭组是盆内 J/K 界线研究的关键。笔者曾于 2014 年基于松辽盆地南部断陷群建立了火石岭组下部沉积岩段,上部火山岩夹沉积岩段的序列,并基于已有资料指出其跨时代(J_3-K_1)的地质特征^[95, 151]。2018 年随着松辽盆地大陆科学钻探松科 2 井钻探的完成,使得火石岭组的时代问题逐渐清晰。特别是钻探前根据地震剖面层位解释和岩性序列预测为“火石岭组”的层段,实测 6 031.9m 安山岩年龄结果为(242.4 ± 2.1) Ma(中三叠世)^[141],其上 88.71 m(5 943.19 m)流纹质凝灰岩年龄为(118.6 ± 1.0) Ma^[140]。松科 2 井这两个年龄表明,松科 2 井所在的徐家围子断陷缺失了中三叠世-早白垩世 123.8 Ma 的地层, J/K 界线在徐家围子断陷发育的可能性较小。

松辽盆地西缘发育有中侏罗统含煤火山-沉积岩系红旗组、万宝组。盆地中部的大庆萨尔图、让胡路及其西南地区(常家围子断陷,图 1)发育有中侏罗统大庆群,并被早白垩世晚期地层及更高地层覆盖^[71],这表明碰撞(盆地闭合)后造山作用导致该地区在晚侏罗世-早白垩世早期处于地形的高部位,并且长期遭受剥蚀。然而,该地区中侏罗世盆地闭合后中-酸性岩浆活动,特别是晚侏罗世火山岩的存在表明,即使长期遭受剥蚀,晚侏罗世地层在地形高部位也有一定程度的保留。另外,常家围子断陷西北侧的梅里斯断陷(图 1),也有较多晚侏罗世火山岩报道^[72]。因此,在地形相对低的部位,常家围子断陷及其以西至大兴安岭地区可能发育有上侏罗统,可以向上逼近 J/K 界线(图 2)。

6.4 松辽盆地以东地区

松辽盆地以东地区晚侏罗世-早白垩世, 主要为走滑的构造属性, 以挤压造山作用为主, 普遍缺失晚侏罗世-早白垩世早期地层。孢粉组合显示延吉地区屯田营组时代属早白垩世 Berriasian-Valanginian 期^[125-126]。另外, 屯田营组两个角闪石安山岩 Ar-Ar 测年结果显示该组火山喷发的时间为 118~117 Ma^[152]。虽然生物地层与同位素年代地层存在一定的错位, 但都指示松辽盆地以东地区很可能不存在连续的 J/K 界线。

松辽盆地东北的黑龙江东部地区侏罗纪-白垩纪之交以海陆交互相为特征。目前来看, 饶河地区东安镇组和绥滨地区东荣组是两个潜在的 J/K 界线发育层段(图 2)。饶河地区 J/K 界线可能位于东安镇乌苏里江边的东安镇组下部 *Buchia fischeriana*-*Buchia unshensis* 带的顶界, 距东安镇南山剖面顶部约 424.8 m 处^[142-143](图 1、图 2), 或该化石带的底界^[145]。绥滨地区双壳类化石显示 J/K 界线可能位于东荣组上部 *Buchia cf. mosquensis*-*Buchia cf. rugosa* 带与上覆无 *Buchia* 化石层之间^[145]; 沟鞭藻化石则显示界线可能位于 Tithonian 期 *Amphoralia delicata* 组合的消失和 Berriasian-Valanginian 期的 *Oligosphaeridium pulcherrimum* 组合的出现之间, 位于 SB86-11 钻孔井深约 513 m 附近^[144, 146](图 1、图 2)。但东荣组目前尚无可靠的孢粉化石报道, 黎文本^[153]根据上、下层位及邻区相当层的孢粉特征认为其时代最可能是 Valanginian 期。

海陆交互相 J/K 界线的研究具有重要的桥梁意义。一方面通过菊石、放射虫等海相化石资料可以与国际海相 J/K 界线对比, 另一方面通过孢粉化石可以与陆相 J/K 界线对比, 从而实现 J/K 界线的海陆对比。因此, 黑龙江东部地区是松辽盆地及周缘地区陆相 J/K 界线与国际海相 J/K 界线对比的关键区域。

7 结论

(1) 松辽盆地以西和以南地区晚侏罗世为块体碰撞后陆壳加厚坍塌或拆沉的伸展环境, 早白垩世为推覆陆壳加厚坍塌或拆沉的伸展环境; 松辽盆地晚侏罗世为碰撞后持续造山环境, 早白垩世为双侧活动陆缘影响下的区域性伸展-裂陷环境; 松辽盆地以东地区晚侏罗世-早白垩世为一个新生陆缘断裂系统, 可能为走滑构造背景。

(2) 松辽盆地及周缘地区 J/K 界线生物演化阶段区域对比特征表现为晚侏罗世燕辽生物群的衰落和白垩纪热河生物群的兴起, 其中晚侏罗世孢粉以裸子植物花粉占绝对优势、高 *Classopollis* 含量为特征, 早白垩世则以松柏类两气囊花粉占绝对优势、低 *Classopollis* 含量为特征。

(3) 冀北-辽西地区土城子组、黑龙江东部的东安镇组和东荣组应是 J/K 界线进一步工作的重点层段, 大兴安岭地区满克头鄂博组、松辽盆地常家围子断陷及其以西至大兴安岭局部地区可以尝试开展 J/K 界线研究工作。

(4) 针对 J/K 界线潜在发育地区及层段, 加大生物地层学研究, 同时深入开展同位素测年、磁性地层和旋回地层研究, 综合考虑不同学科研究结果, 可以切实推进松辽盆地及周缘地区 J/K 界线的研究。

感谢评审专家提出的宝贵意见和建议, 特此致谢!

参考文献

- [1] GRADSTEIN F M, OGG J G, SCHMITZ M D, et al. The Geologic Time Scale 2012 Volume 2[M]. Amsterdam: Elsevier, 2012:795-813.
- [2] 王思恩, 高林志, 庞其清, 等. 中国陆相侏罗系-白垩系界线及其国际地层对比: 以冀北-辽西地区侏罗系-白垩纪年代地层为例[J]. 地质学报, 2015, 89(8): 1331-1351.
- [3] 万晓樵, 高莲凤, 覃祚焕, 等. 侏罗系、白垩系界线问题及对中国北方陆相界线的思考[J]. 地学前缘, 2016, 23(6): 312-322.
- [4] SCOTESE C R., DREHER C. GlobalGeology[DB/OL]. www.GlobalGeology.com. [2019-12-06].
- [5] CASELLATO C E. Calcareous nannofossil biostratigraphy of Upper Callovian-Lower Berriasian succession from the southern Alps, North Italy[J]. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, 2010, 116(3):357-404.
- [6] REMANE J C. Les zones de calpionelles du passage Jurassique-Crétacé. Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen: Groupe Français d'Étude du Jurassique[J]. Bulletin du Centre Recherches Elf Exploration Production Mémoire, 1997, 17:243-247.
- [7] LÓPEZ-MARTÍNEZ R, AGUIRRE-URRETA B, LESCANO M, et al. Tethyan calpionellids in the Neuquén Basin (Argentine Andes), their

- significance in defining the Jurassic/Cretaceous boundary and pathways for Tethyan-Eastern Pacific connections[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2017, 78:116-125.
- [8] MAHONEY J J, DUNCAN R A, TEJADA M L G, et al. Jurassic-Cretaceous boundary age and mid-ocean-ridge-type mantle source for Shatsky Rise[J]. *Geology*, 2005, 33(3): 185-188.
- [9] PÁLFY J. The quest for refined calibration of the Jurassic timescale[J]. *Proceedings of the Geologists' Association*, 2008, 119: 85-95.
- [10] LIU Y Q, Ji Q, JIANG X J, et al. U-Pb zircon ages of Early Cretaceous volcanic rocks in the Tethyan Himalaya at Yangzuoyong Co Lake, Negarze, Southern Tibet, and implications for the Jurassic/Cretaceous boundary[J]. *Cretaceous Research*, 2013, 40: 90-101.
- [11] VENNARI V V, LESCANO M, NAIPAUER M, et al. New constrain on the Jurassic-Cretaceous boundary in the High Andes using high-precision U-Pb data[J]. *Gondwana Research*, 2014, 26(1): 374-385.
- [12] TRIPATHY G R, HANNAH J H, STEIN H J. Refining the Jurassic-Cretaceous boundary: Re-Os geochronology and depositional environment of Upper Jurassic shales from the Norwegian Sea[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2018, 503: 13-25.
- [13] GRADSTEIN F M, OGG J G, SMITH A G. *A Geologic Time Scale 2004*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004: 353-383.
- [14] WIMBLEDON W A P, CASELLATO C E, Rehakova D, et al. Fixing a basal Berriasian and Jurassic/Cretaceous(J/K) boundary: Is there perhaps some light at the end of the tunnel?[J]. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 2011, 117(2): 295-307.
- [15] 季强, 柳永清, 姬书安, 等. 论中国陆相侏罗系-白垩系界线[J]. *地质通报*, 2006, 25(3): 336-339.
- [16] 全国地层委员会. 中国区域年代地层(地质年代)表说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 6.
- [17] 柳永清, 庞其清, 李佩贤, 等. 冀北滦平陆相侏罗-白垩系生物地层界线及候选层型研究进展[J]. *地质通报*, 2002, 21(3): 176-180.
- [18] 田树刚, 庞其清, 牛绍武, 等. 冀北滦平盆地陆相侏罗系-白垩系界线候选层型剖面初步研究[J]. *地质通报*, 2004, 23(12): 1170-1179.
- [19] 庞其清, 田树刚, 李佩贤, 等. 冀北滦平盆地大北沟组-大店子组介形类生物地层和侏罗系-白垩系界线[J]. *地质通报*, 2006, 25(3): 348-356.
- [20] 牛绍武, 田树刚, 庞其清. 冀北滦平盆地大店子组叶肢介生物地层特征与陆相侏罗系-白垩系界线[J]. *地质通报*, 2010, 29(7): 961-979.
- [21] 牛绍武, 辛后田. 冀北滦平盆地九佛堂组-沙海组叶肢介化石的发现与陆相建阶问题的讨论[J]. *地质通报*, 2018, 37(10): 1801-1819.
- [22] 柳永清, 李佩贤, 田树刚. 冀北滦平晚中生代火山碎屑(熔)岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2003, 22(3): 237-244.
- [23] 王思恩, 高林志, 万晓樵, 等. 辽西-冀北地区土城子组的地质时代、年龄及其国际地层对比[J]. *地质通报*, 2013, 32(11): 1673-1690.
- [24] 孙知名, 许坤, 马醒华, 等. 辽西朝阳地区含鸟化石层附近侏罗-白垩系磁性地层研究[J]. *地质学报*, 2002, 76(3): 317-324.
- [25] 殷鸿福. 关于中国地层表的编制和中国地层指南的修编说明[J]. *地层学杂志*, 2014, 38(1): 123-125.
- [26] SWISHER C C III, 汪筱林, 周忠和, 等. 义县组同位素年代新证据及土城子组 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定[J]. *科学通报*, 2001, 46(23): 2009-2012.
- [27] DAVIS G A. The Late Jurassic "Tuchengzi/Houcheng" Formation of the Yamhan fold-thrust belt: An analysis[J]. *Earth Science Frontier*, 2005, 12(4): 331-345.
- [28] 孙立新, 赵凤清, 王惠初, 等. 燕山地区土城子组划分、时代与盆地性质探讨[J]. *地质学报*, 2007, 81(4): 445-453, 580.
- [29] 季强. 中国侏罗-白垩系界线及海陆相地层对比研究新进展[C]//中国古生物学会第十一次全国会员代表大会暨第27届学术年会论文摘要集. 中国浙江东阳, 2013: 254.
- [30] 张宏, 袁洪林, 胡兆初, 等. 冀北滦平地区中生代火山岩地层锆石 U-Pb 测年及启示[J]. *地球科学*, 2005, 30(6): 707-720.
- [31] 许欢, 柳永清, 旷红伟, 等. 华北北部土城子组时代及中国陆相侏罗-白垩系界线探讨[J]. *地学前缘*, 2014, 21(2): 203-215.
- [32] LI W, WAN X Q, MATSUOKA A, et al. Jurassic-Cretaceous boundary strata of the Somanakamura Group in NE Japan and their correlation with coeval Terrestrial deposits in China[J]. *Acta Geologica Sinica(English Edition)*, 2015, 89(1): 285-299.
- [33] 王大宁, 王旭日, 季强. 冀北-辽西地区侏罗-白垩纪之交期的孢粉植物群演替与古气候变化[J]. *地球科学*, 2016, 37(4): 449-459.
- [34] 黄迪颖. 中国侏罗纪综合地层和时间框架[J]. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(1): 227-256.
- [35] 万晓樵, 孙立新, 李玮, 等. 燕辽地区土城子组古生物组合与陆相侏罗系-白垩系界线年代地层[J]. *古生物学报*, 2020, 59(1): 1-12.
- [36] ABRAJEVITCH A, ZYABREV S, DIDENKO A N, et al. Palaeomagnetism of the West Sakhalin Basin: evidence for northward displacement during the Cretaceous[J]. *Geophysical Journal International*, 2012, 190(3): 1439-1454.
- [37] 王璞珺, 赵然磊, 蒙启安, 等. 白垩纪松辽盆地: 从火山裂谷到陆内拗陷的动力学环境[J]. *地学前缘*, 2015, 22(3): 99-117.
- [38] 大庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志·卷二, 大庆、吉林油田(上册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 162.
- [39] 张贻侠, 孙运生, 张兴洲, 等. 中国满洲里-绥芬河地质断面 1: 1000000 说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 6.
- [40] 刘永江, 张兴洲, 金巍, 等. 东北地区晚古生代区域构造演化[J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 943-951.
- [41] WANG C W, SUN Y W, LI N, et al. Tectonic implications of late Paleozoic stratigraphic distribution in Northeast China and adjacent region[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2009, 52(5): 619-626.
- [42] 王东坡, 刘招君, 刘立. 松辽盆地演化与海平面升降[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 6.
- [43] WANG C S, FENG Z Q, ZHANG L M, et al. Cretaceous paleogeography and paleoclimate and the setting of SKI borehole sites[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2013, 385: 17-30.
- [44] 张兴洲, 郭冶, 曾振, 等. 东北地区中-新生代盆地群形成演化的动力学背景[J]. *地学前缘*, 2015, 22(3): 88-98.

- [45] 许文良, 王枫, 裴福萍, 等. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景: 来自中生代火山岩组合时空变化的制约[J]. 岩石学报, 2013, 29(2): 339-353.
- [46] WANG P J, MATTERN F, DIDENKO A N, et al. Tectonic and cycle system of the Cretaceous Songliao Basin: An inverted active continental margin basin[J]. *Earth-Science Reviews*, 2016, 159: 82-102.
- [47] LIU C F, ZHOU Z G, TANG Y J, et al. Geochronology and tectonic settings of Late Jurassic –Early Cretaceous intrusive rocks in the Ulanhot region, Central and Southern Da Xingan Range[J]. *Geological Magazine*, 2017, 154(5): 923-945.
- [48] 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 等. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释[J]. 地质学报, 2007, 81(11): 1449-1461.
- [49] 董树文, 张岳桥, 陈宣华, 等. 晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征[J]. 地球学报, 2008, 29(3): 306-317.
- [50] WONG W H. Crustal movement in eastern China. In: *Proceeding of the 3th Pan-Pacific scientific congress*, [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1926, 1: 265-285.
- [51] WONG W H. Crustal movements and igneous activities in eastern China since Mesozoic time[J]. *Bulletin of the Geological Society of China*, 1927, 6: 7-37.
- [52] WONG W H. The Mesozoic orogenic movement in eastern China[J]. *Bulletin of the Geological Society of China*, 1929, 8: 33-44.
- [53] 董树文, 张岳桥, 李海龙, 等. “燕山运动”与东亚大陆晚中生代多板块汇聚构造: 纪念“燕山运动”90周年[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(6): 913-938.
- [54] DONG S W, ZHANG Y Q, ZHANG F Q, et al. Late Jurassic-Early Cretaceous continental convergence and intracontinental orogenesis in East Asia: A synthesis of the Yanshan Revolution[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 114: 750-770.
- [55] ZORIN Y A. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region(Russia) and Mongolia[J]. *Tectonophysics*, 1999, 306(1): 33-56.
- [56] ZORIN Y A, BELICHENKO V G, TURUTANOV E K. The South Siberia-Central Mongolia transect[J]. *Tectonophysics*, 1993, 225(4): 361-378.
- [57] 莫申国, 韩美莲, 李锦轶. 蒙古-鄂霍茨克造山带的组成及造山过程[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2005, 24(3): 50-52, 64.
- [58] KRAVCHINSKY V A, COGNÉ J P, HARBERT W P, et al. Evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean as constrained by new palaeomagnetic data from the Mongol-Okhotsk suture zone, Siberia[J]. *Geophysical Journal International*, 2002, 148(1): 34-57.
- [59] SOROKIN A A, SOROKIN A P, PONOMARCHUK V A, et al. The age and geochemistry of volcanic rocks on the eastern flank of the Umlekan-Ogodzha volcanoplutonic belt (Amur region)[J]. *Progress in Natural Science*, 2010, 51(4): 369-379.
- [60] 孟恩, 许文良, 杨德彬, 等. 满洲里地区灵泉盆地中生代火山岩的锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 1209-1226.
- [61] XU W L, PEI F P, WANG F, et al. Spatial-temporal relationships of Mesozoic volcanic rocks in NE China: Constraints on tectonic overprinting and transformations between multiple tectonic regimes[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 74: 167-193.
- [62] 唐杰, 许文良, 王枫, 等. 古太平洋板块在欧亚大陆下的俯冲历史: 东北亚陆缘中生代-古近纪岩浆记录[J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(5): 549-583.
- [63] 赵忠华, 孙德有, 苟军, 等. 满洲里南部塔木兰沟组火山岩年代学与地球化学[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(6): 1865-1880.
- [64] ZHANG J H, GAO S, GE W C, et al. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, Northeastern China: Implications for subduction-induced delamination[J]. *Chemical Geology*, 2010, 276(3/4): 144-165.
- [65] 杨华本, 王文东, 闫永生, 等. 大兴安岭北段新林区塔木兰沟组火山岩成因及地幔富集作用[J]. 地质论评, 2016, 62(6): 1471-1486.
- [66] 郭建刚, 张渝金, 张超, 等. 内蒙古阿鲁科尔沁旗坤都地区满克头鄂博组火山岩形成时代与地球化学特征[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1652-1661.
- [67] 张超, 张渝金, 权京玉, 等. 内蒙古扎鲁特盆地坤都地区满克头鄂博组流纹岩锆石 U-Pb 年龄及岩石成因[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1633-1643.
- [68] 赵越, 徐刚, 张拴宏, 等. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 319-328.
- [69] 李伍平. 辽西北票晚侏罗世蓝旗组火山岩的岩浆演化及其岩石成因[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2012, 37(1): 47-56.
- [70] 迟元林, 王璞珺, 单玄龙, 等. 中国陆相含油气盆地深层地层研究: 以松辽盆地为例[M]. 长春: 吉林科技出版社, 2000: 4-199.
- [71] 朱德丰, 任延广, 吴河勇, 等. 松辽盆地北部隐伏二叠系和侏罗系的初步研究[J]. 地质科学, 2007, 42(4): 690-708, 778.
- [72] 高瑞祺, 萧德铭. 松辽及其外围盆地油气勘探新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 13-15.
- [73] 水谷伸治郎, 邵济安, 张庆龙. 那丹哈达地体与东亚大陆边缘中生代构造的关系[J]. 地质学报, 1989, 3: 204-216.
- [74] 邵济安, 唐克东, 王成源, 等. 那丹哈达地体的构造特征及演化[J]. 中国科学(B辑 化学 生命科学 地学), 1991, 21(7): 744-751.
- [75] 刘德来, 马莉. 中生代东亚大陆边缘构造演化[J]. 现代地质, 1997, 11(4): 444-451.
- [76] MARUYAMA S, SEND T. Orogeny and relative plate motions: Example of the Japanese Islands[J]. *Tectonophysics*, 1986, 127(3/4): 305-329.
- [77] MARUYAMA S, ISOZAKI Y, KIMURA G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present[J]. *Island Arc*, 1997, 6(1): 121-142.
- [78] YANG W, LI S G. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in Western Liaoning: Implications for lithospheric thinning of the North China Craton[J]. *Lithos*, 2008, 102(1/2): 88-117.
- [79] YU J J, WANG F, XU W L, et al. Early Jurassic mafic magmatism in the Lesser Xing'an-Zhangguangcai Range, NE China, and its tectonic implications: Constraints from zircon U-Pb chronology and geochemistry[J]. *Lithos*, 2012, 142/143: 256-266.
- [80] 徐美君, 许文良, 王枫, 等. 小兴安岭中部早侏罗世花岗质岩石的年代学与地球化学及其构造意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(2): 354-368.

- [81] WU F Y, SUN D Y, GE W C, et al. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41(1): 1-30.
- [82] 孟庆丰, 于晓飞, 郑伟. 吉林季德屯钼矿区石英二长岩 SIMS 锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其成因[J]. *地质学报*, 2016, 90(5): 917-932.
- [83] ZHANG Y Q, DONG S W, ZHAO Y, et al. Jurassic Tectonics of North China: A Synthetic View[J]. *Acta Geologica Sinica(English Edition)*, 2008, 82(2): 310-326.
- [84] YANG Y T, GUO Z X, SONG C C, et al. A short-lived but significant Mongol-Okhotsk collisional orogeny in latest Jurassic-earliest Cretaceous[J]. *Gondwana Research*, 2015, 28(3): 1096-1116.
- [85] 韦忠良, 张宏, 郭文敏, 等. LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年对辽西-冀北地区晚中生代区域性角度不整合时代的约束[J]. *自然科学进展*, 2008, 18(10): 1119-1127.
- [86] 孙求实. 漠河盆地晚侏罗系以来剥露过程研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 46-52.
- [87] 陈志广, 张连昌, 吴华英, 等. 二连盆地北缘晚中生代火山岩 Ar-Ar 年代、地球化学及构造背景[J]. *岩石学报*, 2009, 25(2): 297-310.
- [88] 张科峰, 邓彬, 章凤奇, 等. 海拉尔盆地早白垩世早期挤压变形事件的厘定及其构造意义[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2016, 41(7): 1141-1155.
- [89] 司秋亮, 崔天日, 王恩德, 等. 大兴安岭柴河白音高老组流纹岩锆石 U-Pb 定年及成因探讨[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2016, 37(3): 412-415.
- [90] 王建国, 和钟铨, 许文良. 大兴安岭南部长白山流纹岩的岩石成因: 年代学和地球化学证据[J]. *岩石学报*, 2013, 29(3): 853-863.
- [91] 张长厚, 李程明, 邓洪菱, 等. 燕山-太行山北段中生代收缩变形与华北克拉通破坏[J]. *中国科学: 地球科学*, 2011, 41(5): 593-617.
- [92] 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 等. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义[J]. *地质通报*, 2003, 22(2): 140-141.
- [93] 李伍平, 李献华, 路凤香, 等. 辽西早白垩世义县组火山岩的地质特征及其构造背景[J]. *岩石学报*, 2002, 18(2): 193-204.
- [94] 彭艳东, 黄菲, 邢德和, 等. 辽西朝阳地区张家口组火山岩地球化学特征及构造背景[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2012, 33(9): 1331-1335.
- [95] 瞿雪姣, 王璞琨, 姚瑞士, 等. 松辽盆地南部火石岭组地层序列划分与区域对比[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2014, 45(8): 2716-2727.
- [96] KIRILLOVA G L. Late Mesozoic-Cenozoic sedimentary basins of active continental margin of Southeast Russia: Paleogeography, tectonics, and coal-oil-gas presence[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20(3/4): 385-397.
- [97] 孙晓猛, 龙胜祥, 张梅生, 等. 佳木斯-伊通断裂带大型逆冲构造带的发现及形成时代[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(5): 637-643.
- [98] 孙跃武, 万传彪, 葛文春, 等. 吉林延边地区早白垩世长财组的时代及其对晚中生代火山岩年代格架的约束[C]//中国古生物学会第十次全国会员代表大会暨第 25 届学术年会——纪念中国古生物学会成立 80 周年论文摘要集. 中国江苏南京, 2009: 216-217.
- [99] 李继亮, 肖文交, 闫臻. 盆山耦合与沉积作用[J]. *沉积学报*, 2003, 21(1): 52-60.
- [100] 李仰春, 杨晓平, 周兴福, 等. 黑龙江省东部鸡西群与龙爪沟群综合地层对比研究[J]. *中国地质*, 2006, 33(6): 1312-1320.
- [101] 王启飞, 陈丕基. 白垩纪年代地层学研究简述[J]. *地层学杂志*, 2005, 29(2): 114-123.
- [102] 周忠和, 贺怀宇, 汪筱林. 侏罗系-白垩系界线和我国东北地区下白垩统陆相地层相关问题的探讨[J]. *古生物学报*, 2009, 48(3): 541-555.
- [103] 洪友崇. 北方中侏罗世昆虫化石[M]. 北京: 地质出版社, 1983: 18-19.
- [104] 任东, 卢立伍, 郭子光, 等. 北京与邻区侏罗-白垩纪动物群及其地层[M]. 北京: 地震出版社, 1995: 23-42.
- [105] 孙革, 周立君, 周长付, 等. 30 亿年来的辽宁古生物[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2011: 47.
- [106] 黄迪颖. 燕辽生物群和燕山运动[J]. *古生物学报*, 2015, 54(4): 501-546.
- [107] 蒲荣干, 吴洪章. 辽西中晚侏罗世孢粉组合[J]. *中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊*, 1982, 4: 169-184.
- [108] 王思恩, 等. 中国地层 11 中国的侏罗系[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 319-320.
- [109] 万传彪, 李延锋, 薛云飞. 松辽盆地深层侏罗系-下白垩统生物组合和沉积环境[J]. *地质科学*, 2009, 44(2): 418-434.
- [110] 陶明华, 崔周旗, 陈国强. 中国东北部中生代孢粉组合序列及古气候演变[J]. *微体古生物学报*, 2013, 30(3): 275-287.
- [111] GRABAU A W. Cretaceous mollusca from north China[J]. *Bulletin of China Geology Survey*, 1923, 5(2): 183-197.
- [112] GRABAU A W. Stratigraphy of China, Part II: Mesozoic[J]. Peking: Geological Survey of China, 1928: 1-774.
- [113] 顾知微. 中国的侏罗系和白垩系[C]//全国地层会议学术报告汇编. 北京: 科学出版社, 1962: 1-84.
- [114] 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.
- [115] 黎文本. 中国早白垩世孢粉植物群及其地理分区[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 142-151.
- [116] 赵传本. 孢粉学的侏罗-白垩系界线划分标志[J]. *大庆石油地质与开发*, 1985, 4(4): 1-10.
- [117] 高瑞祺, 赵传本, 乔秀云, 等. 松辽盆地白垩纪石油地层孢粉学[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 44-46.
- [118] 林妙琴, 李建国, 彭俊刚. 辽西北票四合屯早白垩世土城子组三段孢粉组合及其意义[J]. *微体古生物学报*, 2016, 33(3): 261-271.
- [119] 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): 659-678.
- [120] 柳永清, 旷红伟, 姬书安, 等. 晚中生代地球表层重大地质事件的陆地环境剧变与生物群演替响应[J]. *地学前缘*, 2009,

- 16 (5): 37-47.
- [121] 许欢, 柳永清, 刘燕学, 等. 阴山-燕山地区晚侏罗世-早白垩世土城子组地层、沉积特征及盆地构造属性分析[J]. 地学前缘, 2011, 18 (4): 88-106.
- [122] XU X, WANG K B, ZHANG K, et al. A gigantic feathered dinosaur from the lower cretaceous of China[J]. Nature, 2012, 484(7392): 92-95.
- [123] 叶得泉, 钟筱春, 石宝珩, 等. 中国北方含油气区白垩系[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 64-72.
- [124] 吉林油田石油地质志编写组. 中国石油地质志·卷二, 大庆、吉林油田(下册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 54-59.
- [125] 黎文本. 吉林安图县早白垩世屯田营组孢粉组合[J]. 古生物学报, 2001, 40 (4): 450-456.
- [126] 尚玉珂, 程金辉. 吉林省龙井市葆园屯田营组孢粉化石的发现及其意义[J]. 古生物学报, 2018, 57 (1): 105-118.
- [127] SHA J G, FÜRSICH F T, GRANT-MACKIE J A. A revised Early Cretaceous age for the Longzhaogou and Jixi Groups of Eastern Heilongjiang, China, previously considered Jurassic: Palaeogeographic implications[J]. Newsletters on Stratigraphy, 1994, 31(2): 101-104.
- [128] 刘志宏, 梅梅, 高军义, 等. 东北东部虎林盆地的构造特征、成盆机制及敦-密断裂带北东段的形成时代[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44 (2): 480-489.
- [129] 程金辉, 何承全. 黑龙江省东部鸡西盆地早白垩世滴道组的沟鞭藻类[J]. 古生物学报, 2001, 40 (1): 127-133.
- [130] 沙金庚. 黑龙江东部早白垩世生物地层学研究的主要进展[J]. 地学前缘, 2002, 9 (3): 95-101.
- [131] 辽宁省地质矿产局. 中华人民共和国地质矿产部地质专报 1 区域地质 第 14 号 辽宁省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 237-239.
- [132] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 54-261.
- [133] 内蒙古自治区地质矿产局. 中华人民共和国地质矿产部地质专报 1 区域地质 第 25 号 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 241-248.
- [134] 丁秋红, 姚玉来, 王杰, 等. 大兴安岭中南部宝日勿苏地区宝 D1 井早白垩世孢粉化石[J]. 地质与资源, 2018, 27 (3): 235-242.
- [135] 刘凯, 吴涛涛, 刘金龙, 等. 大兴安岭北段图里河地区满克头鄂博组火山岩年代学及地球化学[J]. 中国地质, 2018, 45 (2): 367-376.
- [136] 高龙飞, 和钟铎, 隋振民, 等. 大兴安岭中段索伦地区满克头鄂博组火山岩年龄、地球化学特征及其构造环境[J]. 地质通报, 2018, 37 (5): 881-894.
- [137] 王春宇, 王东彬, 屈嘉骥. 大兴安岭北段克一河地区满克头鄂博组流纹岩的年代及地球化学特征[J]. 黑龙江科技大学学报, 2017, 27 (1): 46-50.
- [138] 万传彪. 海拉尔盆地白垩纪孢粉植物群[D]. 长春: 吉林大学, 2006: 23-110.
- [139] 陈崇阳, 高有峰, 吴海波, 等. 海拉尔盆地火山岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地球科学, 2016, 41 (8): 1259-1274.
- [140] 张立斌. 松辽盆地白垩纪大陆科学钻探松科 2 井火山-沉积地层埋藏史研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019: 37-40.
- [141] YIN Y K, GAO Y F, WANG P J, et al. Discovery of Triassic volcanic-sedimentary strata in the basement of Songliao Basin[J]. Science Bulletin, 2019, 64: 644-646.
- [142] 孙革, 沙金庚, 王义刚, 等. 黑龙江饶河东安镇侏罗-白垩系界线及 Buchia 新知[J]. 古生物学报, 1989, 28 (5): 579-590, 597, 696.
- [143] 孙革, 郑少林, 孙学坤, 等. 黑龙江东部侏罗-白垩系界线附近地层研究新进展[J]. 地层学杂志, 1992, 16 (1): 49-54.
- [144] 孙学坤, 何承全. 黑龙江绥滨地区晚侏罗世东荣组的沟鞭藻类[J]. 古生物学报, 1992, 31 (2): 190-205, 267-270.
- [145] SHA J G, CHEN S W, CAI H W, et al. Jurassic-Cretaceous boundary in Northeastern China: placement based on buchiid bivalves and dinoflagellate cysts[J]. Progress In Natural Science, 2006, 16(sppul): 39-49.
- [146] 何承全, 祝幼华. 黑龙江省东北部绥滨地区东荣组最上部的沟鞭藻组合—兼论该地区侏罗-白垩系界线[J]. 古生物学报, 2003, 42 (3): 328-345.
- [147] 付俊彧, 宋维民, 陶楠, 等. 内蒙古科尔沁右翼中旗上侏罗统满克头鄂博组木化石新资料[J]. 地质通报, 2012, 31 (5): 653-661.
- [148] 李世超, 徐仲元, 刘正宏, 等. 大兴安岭中段玛尼吐组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 地质通报, 2013, 32 (2/3): 399-407.
- [149] 邵积东, 谭强, 王惠, 等. 大兴安岭地区中生代地层特征及侏罗-白垩纪界线的讨论[J]. 地质与资源, 2011, 20 (1): 4-11.
- [150] 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 142-143.
- [151] 瞿雪姣, 王璞珺, 高有峰, 等. 松辽盆地断陷期火山岭组时代归属探讨[J]. 地学前缘, 2014, 21 (2): 234-250.
- [152] 李超文, 郭锋, 范蔚茗, 等. 延吉地区晚中生代火山岩的 Ar-Ar 年代学格架及其大地构造意义[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37 (3): 319-331.
- [153] 黎文本. 黑龙江三江地区早白垩世孢粉组合[J]. 古生物学报, 1992, 31 (2): 178-189, 263-266.