doi: 10.12097/gbc.2021.09.018

松科 2 井早白垩世沙河子组孢粉组合及其古气候意义

张德军[1,2]，郑月娟[1]*，张淑芹[3]，张健[1]，黄欣[1]，陈树旺[1]，孙雷[1]
ZHANG Dejun[1,2], ZHENG Yuejuan[1]*, ZHANG Shuqin[3], ZHANG Jian[1], HUANG Xin[1], CHEN Shuwang[1], SUN Lei[1]

1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;
2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;
3. 吉林大学古生物学与地层学研究中心, 吉林 长春 130026
1. *Shenyang Center*, *China Geological Survey*, *Shenyang* 110034, *Liaoning*, *China;*
2. *Institute of Geology*, *Chinese Academy of Geological Sciences*, *Beijing* 100037, *China;*
3. *Research Centre of Palaeontology and Stratigraphy*, *Jilin University*, *Changchun* 130026, *Jilin*, *China*

摘要: 为探讨黑龙江省安达市松科 2 井深层（3395.46~3901.35 m）地层的时代特征，分析地史时期的古植被及古气候条件演变，利用孢粉学方法对松科 2 井进行研究。结果显示，研究井段可划分为 *Leiotriletes* sp.−*Cyathidites australis*−*Chasmatosporites* sp.孢粉组合（3832.94~3901.35 m）和 *Klukisporites triangulus*−*Aequitriradites* sp.−*Pristinuspollenites* sp.孢粉组合（3395.46~3613.62 m），孢粉组合指示的地质时代为早白垩世欧特里夫期（Hauterivian）—巴列姆期（Barremian）早期，可作为松辽盆地沙河子组上部生物地层学对比的标志；此外，孢粉组合反映的植被类型演化规律是针叶林、灌草丛—常绿阔叶林—针叶林、灌木丛—针阔叶混交林，揭示研究区沙河子组后期气候带演替规律是暖温带—南亚热带—暖温带—温带，气候干湿变化规律为湿润—半湿润—湿润—半湿润。

关键词: 松科 2 井；早白垩世；沙河子组；孢粉组合；古气候；松辽盆地
中图分类号: P534.53; Q913.84　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1671−2552(2024)02/03−0429−14

Zhang D J, Zheng Y J, Zhang S Q, Zhang J, Huang X, Chen S W, Sun L. Early Cretaceous spore-pollen assemblages from the Shahezi Formation in Well SK-2 and their paleoclimate significance. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(2/3): 429−442

Abstract: Well SK-2 is located in the Anda City of Heilongjiang Province, China. A total of 4134.8 m continuous core in Well SK-2 provides a unique chance to study the Lower Cretaceous in the Songliao basin, being an important part in the continental scientific drilling program. Based on the distribution of pollen and spores in the Well SK-2, two assemblages are established for the upper part of the Shahezi Formation. They are named as *Leiotriletes* sp.−*Cyathidites australis*−*Chasmatosporites* sp. assemblage (at the depth of 3832.94~3901.35 m) and *Klukisporites triangulus*−*Aequitriradites* sp.−*Pristinuspollenites* sp. assemblage (at the depth of 3395.46~3493.24 m). The geological age of the Shahezi Formation is assigned to Hauterivian – Early Barremian (Early Cretaceous) according to the characteristics of the assemblages. The reconstructed vegetation changes from coniferous forest and tussock to evergreen broad-leaf forest, to coniferous forest and tussock, and to coniferous and broad-leaved mixed forest during the time interval. The reconstructed climate changes from humid warm temperate to semi-humid south subtropical, to humid warm temperate, and to semi-humid temperate.

Key words: Well SK-2; Early Cretaceous; Shahezi Fomation; pollen and spore assemblage; paleoclimate; Songliao basin

收稿日期: 2021−09−18; **修订日期:** 2022−04−15
资助项目: 中国地质调查局项目《东北地区地层古生物地质调查》(编号: DD20230220)和国家自然科学基金项目《黑龙江嘉荫盆地晚白垩世中—晚期植物群演替及其古环境背景》(批准号: 42172017)、《大兴安岭中南部中侏罗世植物群及地层新探》(批准号: 42172024)
作者简介: 张德军(1987−), 男, 博士, 高级工程师, 从事地层古生物研究工作。E-mail: 532413639@qq.com
* **通信作者:** 郑月娟(1963−), 女, 教授级高级工程师, 从事地层古生物研究工作。E-mail: 1152746127@qq.com

松辽盆地是世界上最大的陆相白垩纪湖盆，发育了完整的白垩纪陆相沉积，保留了白垩纪重大地质事件记录。松科 2 井是国际大陆科学钻探计划（International Continental Scientific Drilling Program，ICDP）资助的大陆科学钻探井之一，在松辽盆地成功地完成了 7018 m 陆相地层钻探及测录井任务，获取了基底–火石岭组–沙河子组–营城组–登娄库组下部连续完整的岩心资料，为进一步的科学研究提供了物质基础。目前有学者根据岩心精细描述和年龄数据，初步构建了松科 2 井的精细地层格架（侯贺晟等，2018），为建立松辽盆地陆相地层“金柱子”及早白垩世环境演化研究奠定了基础。生物地层的研究对建立“金柱子”具有不可替代的作用，同时是研究古湖泊环境演化的重要方法之一。孢粉化石作为陆相沉积盆地重要的化石门类之一，在松辽盆地早白垩纪地层研究中占有重要的位置。部分学者对早白垩世孢粉化石组合序列及所代表的气候环境进行研究，取得了一系列重要成果（王淑英，1989；高瑞祺等，1999；迟元林等，2000；任延广等，2003；万传彪等，2009），但由于受客观条件限制，如研究材料来自不连续的岩心或岩屑、不同钻孔之间地层的对比与衔接也存在一定问题等，致使研究成果难以获得普遍认同。松科 2 井获取了营城组—火石岭组连续的岩心资料，为研究早白垩世陆相地层，特别是研究沙河子组的“金柱子”及环境演化提供了重要契机。本文对采自松科 2 井沙河子组上部的孢粉化石进行研究，探讨其时代及所反映的古气候特征，进而恢复和重建当时的植被面貌及气候类型，并从生物地层方面，为建立白垩纪沙河子组“金柱子”提供基础资料。

1 区域地质背景

松辽盆地白垩纪基底为松嫩地块（侯贺晟等，2018），晚古生代—早三叠世，作为中国东北地区的重要组成部分，松辽盆地和周缘的露头区一样，位于中亚造山带的东段，处于古亚洲洋、蒙古–鄂霍茨克洋和太平洋三大构造域叠合区域，随着古生代古亚洲洋的闭合，松嫩地块与周边的微陆块先后拼合在一起，并于二叠纪—早三叠世沿索伦–西拉木伦–长春缝合带与华北板块相接（孙德有等，2004；李锦轶等，2007；Hou et al.，2015；Liu et al.，2017；张德军等，2020），三叠纪及侏罗纪早期，古亚洲洋闭合残留的北方蒙古–鄂霍茨克洋呈由西向东剪刀式闭合（Wang et al.，2015；Yang et al.，2015）。受古亚洲洋闭合影响，早期沉积地层普遍遭受抬升剥蚀，伴有大规模火山活动。侏罗纪晚期，来自北东、南西的不同板块向东亚大陆多向俯冲汇聚，早白垩世初期又发生剧烈的大陆岩石圈伸展和火山岩浆活动（董树文等，2007），松辽盆地恰萌发于该时期的区域大地构造背景下（程银行等，2016；刘晓文等，2023）。

早白垩世，包括松辽盆地在内的广大东北亚地区，在北部蒙古–鄂霍茨克和东部锡霍特–阿林 2 个活动陆缘带的共同作用下，形成了大范围以火山沉积序列为主的晚白垩世裂谷盆地群。晚白垩世，在太平洋板块作用下松辽盆地进入快速沉降期，沉积了厚达 6000 余米的上白垩统沉积，松辽盆地白垩纪经历了同裂谷（150 ~ 105 Ma）、后裂谷（105 ~ 79.1 Ma）和构造反转（79.1 ~ 64 Ma）3 个构造演化阶段，经历了连续长达 86 Ma 的盆地演化和沉积过程，是全球范围内发育历史最长、沉积厚度和沉积速率最大，并以湖相细粒碎屑沉积为主的白垩纪盆地，记录了丰富的白垩纪古气候演化信息（王璞珺等，2017；Wang et al.，2023；王婷婷等，2023）。

松科 2 井位于松辽盆地东南断陷区徐家围子断陷（图 1），自上而下钻遇了明水组、四方台组、嫩江组、姚家组、青山口组、泉头组、登楼库组、营城组、沙河子组、火石岭组及基底，连续取心层段为登楼库组底界以上 100 m（2865 m）至基底（7018 m）。

2 采样井段及研究方法

根据岩性、地震及古生物特征与邻井地层综合对比，松科 2 井 3320 ~ 5670 m 井段为沙河子组，主要岩性为泥岩、泥质粉砂质、粗砂岩、泥质粉砂、泥质细砂、砂砾岩等（高有峰等，2017），沙河子组顶部以泥质粉砂岩与营城组砾岩为分界，底部以砂砾岩与火石岭组凝灰质砂砾岩为界。

取样井段为 3356.65 ~ 3901.35 m，取样间距为 1 ~ 2 m，为沙河子组上部层段，取样岩性为黑色、灰黑色泥岩、粉砂质泥岩（图 2）。孢粉分析在吉林大学古生物学与地层学研究中心完成，实验处理方法如下。

（1）碎样过筛：经砸样器处理的泥质岩、粉砂岩样品，过孔径为 0.25 ~ 0.5 mm 的筛子。

（2）将已过筛称重的样品装入烧杯中，加入 10% ~ 36% 盐酸溶液（加盐酸的量约为样品体积的 1 倍左右），用玻璃棒充分搅拌，然后放置 1 ~ 2 h，让其充分

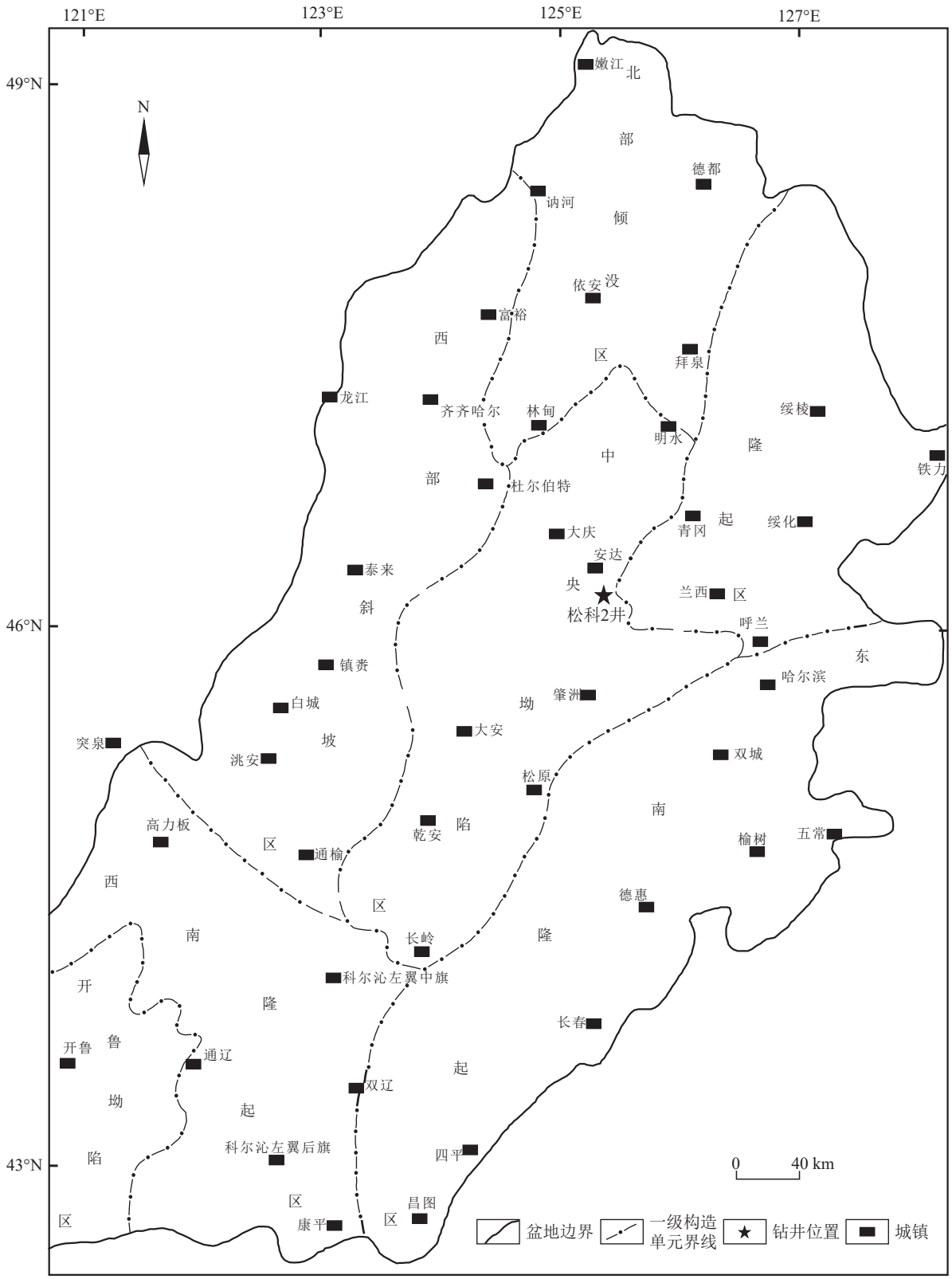


图 1　松辽盆地松科 2 井地理与构造位置 (据万传彪等, 2009 修改)

Fig. 1　Location map of Well SK-2 in Songliao basin

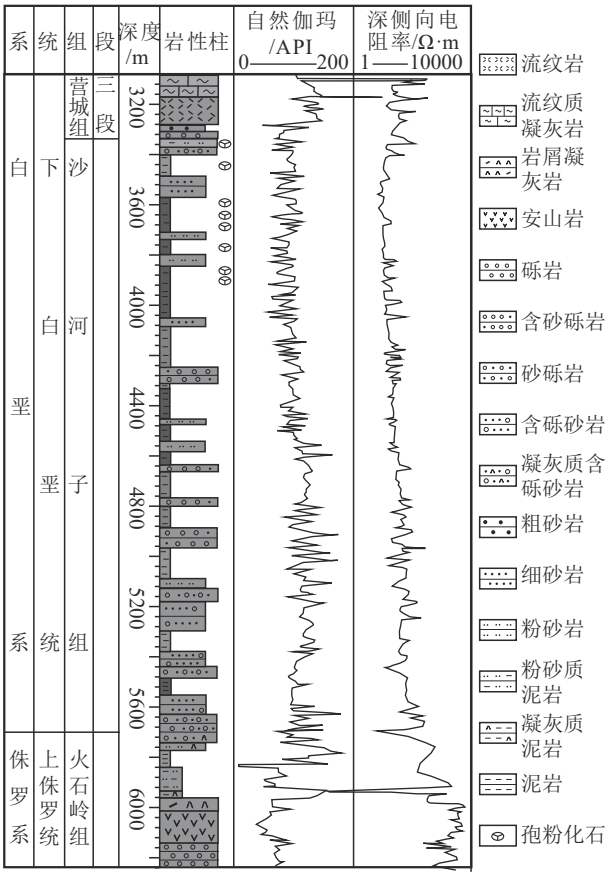


图 2 松科 2 井沙河子组综合柱状图(据侯贺晟等, 2018 修改)

Fig. 2 Integrated core histogram of the Early Cretaceous Shahezi Formation of Well SK-2

反应, 直到起泡现象完全停止, 以除去全部钙质及铁、铝不同状态的大量三价、二价氧化物。

(3)加水洗涤 3 ~ 4 次, 每次洗涤后自然沉淀 4 h 左右, 吸水时, 尽量不要吸去样品上部所浮的物质, 因为里面往往含有孢粉。这样在吸水时就必须把橡皮管一下插到烧杯的中下部位, 靠着杯壁, 慢慢将水吸出, 浮在水面上的悬浮物也随之下沉而保存下来。

(4)用洗瓶器吸出剩余的水分, 再加入 5% 左右浓度的碱溶液。用玻璃棒充分搅拌, 为加快反应速度可以进行加热, 加热时间的长短, 需根据溶液含有机质的多少, 胶结紧或松而定, 一般含有机质较多而质松者, 加入碱溶液后呈褐色时, 煮沸即可; 若有机质较少而质硬者, 加碱溶液后无明显变色的, 加热时间要略放长些, 煮沸后 2 ~ 3 min 即可。

(5)用步骤(3)描述的方法洗涤样品中的碱溶液。在洗涤 2 ~ 3 次后, 保留在样品中的一些悬浮液, 往往会出现反混现象, 但只要自然沉淀 4 h 左右, 烧杯中的混浊溶液可尽量用橡皮管吸去(多次检查, 沉淀 4 h 以上, 混浊液中基本不含孢粉, 全是微细颗粒)。

经过上述酸、碱的处理, 此时样品中的有机遗骸同其他矿物颗粒已经分离开来, 可用重液浮选, 将孢粉富集。

(6)将碱处理后的样品洗到 pH = 7(中性), 吸去样品中的水溶液, 倒入 50 mL 量大的离心管中, 用每分钟 2000 转的离心速度离心 10 min 左右, 将水倒掉, 加入 2.25 ~ 2.3 比重的重液, 量为样品体积的 2 ~ 3 倍。

(7)将样品和重液充分搅拌均匀, 离心 10 ~ 15 min(1500 ~ 2000 转/min), 经过离心分成 2 层, 下部是岩矿颗粒, 重液上部浮着的是孢粉和其他有机物。用重液进行第二次浮选, 比重为 2.15 ~ 2.2。

(8)加水稀释, 加水的量为重液体积的 3 ~ 4 倍(在水中加入 3% ~ 5% 醋酸水溶液, 除去由于重液和水混和产生的不溶于水的氧化锌絮状物), 将重液比重由 2.0 左右降到 1.3 左右, 静止沉淀 4 h 或更长时间, 让孢粉及有机物部分下沉到杯底。

(9)当孢粉和有机质均匀沉淀于烧杯底部之后, 将稀释液先用乳胶管吸一大部分, 后再用洗瓶器吸, 尽量不摇动杯子底部的沉淀物。

(10)将杯底沉淀物倒入 10 mL 容量的离心管中离心, 直到样品完全分离为止, 用水洗到 pH = 7, 再加入几滴甘油, 即可在镜下观察孢粉含量情况。

孢粉鉴定主要以《中国孢粉化石——中生代孢粉 (第二卷)》为依据(宋之琛等, 2000)。

3 孢粉组合特征

本次研究共分析了 201 件样品, 在 122 件样品中发现孢粉化石, 但只有 2 个样品孢粉数量超过 50 粒, 21 件样品孢粉数量超过 10 粒,24 件样品只发现 1 粒孢粉, 其他在 2~10 粒之间, 为蕨类植物孢子和裸子植物花粉 (图版Ⅰ、图版Ⅱ), 没有发现被子植物花粉。表 1 对含量超过 10 粒的 23 件样品孢粉分布进行了统计, 因大多数样品发现的化石数量达不到统计数量, 故按孢粉特征相近的 5 个井深段进行孢粉数量统计。可以看出, 3395.46 ~ 3613.62 m 井段和 3832.94 ~ 3901.35 m 井段的蕨类孢子与裸子类花粉在百分含量上有明显区别, 据此将松科 2 井沙河子组上部的孢粉化石划分为 2 个孢粉组合, 介绍如下。

3.1 *Leiotriletes* sp.−*Cyathidites australis*-*Chasmatosporites* sp.组合(LCC 组合)

LCC 组合分布在沙河子组中上部 3832.94 ~

3901.35 m 井段(表 1),组合特征如下。

(1)蕨类孢子百分含量(60.67% ~ 90.18%)占绝对优势,裸子类花粉较低(9.82% ~ 39.33%),没有见到被子类花粉。

(2)蕨类孢子中百分含量最高的类型是 *Cyathidites australis*(8.99% ~ 64.29%),其次是 *Leiotriletes* sp.(11.24% ~ 15.18%), *Cyclogranisporites* sp.(3.57% ~ 7.87%),有时代意义的类型还有 *Cicatricosisporites exilis*, *C. minutaestriatus*, *C. splendidus*, *C. australiensis*, *C.* sp., *Klukisporites* sp., *Maculatisporites* sp., *Triporoletes singularis*, *Trilobosporites tribotrys*, *Aequitriradites* sp., *Polycingulatisporites reduncus* 等。

(3)裸子类花粉中百分含量最高的类型是 *Chasmatosporites* sp.(6.25% ~ 6.74%),其次是 *Psophosphaera* sp.,其他类型的百分含量则很低,但古松柏类花粉类型相对多些,有时代意义的类型还有 *Parvisaccites* sp., *Erlianpollis minisculus*, *Paleoconiferus* sp., *Pseudowalchia* sp., *Classopollis* sp.等。

3.2 *Klukisporites triangulus*−*Aequitriradites* sp.−*Pristinuspollenites* sp.组合(KAP 组合)

KAP 组合分布在沙河子组上部 3395.46 ~ 3613.62 m 井段(表 1),孢粉组合特征如下。

(1)裸子类花粉百分含量(53.03% ~ 72.13%)最高,其次为蕨类孢子(27.87% ~ 46.97%),未见到被子类花粉。

(2)裸子类花粉中百分含量最高的类型是 *Alisporites parvus*(6.78% ~ 16.39%),其次是 *Piceaepollenites* sp.(0.00% ~ 26.27%),含量较高的类型还有 *Chasmatosporites* sp.(3.03% ~ 14.75%), *Pinuspollenites divulgatus*(1.52% ~ 13.11%), *Pristinuspollenites* sp.(0.85% ~ 8.20%)等,有时代意义的类型还有 *Parvisaccites otagoensis*, *P.* sp., *Erlianpollis minisculus*, *E. mediocris*, *Jiaohepollis* sp., *Classopollis classoides* 等。

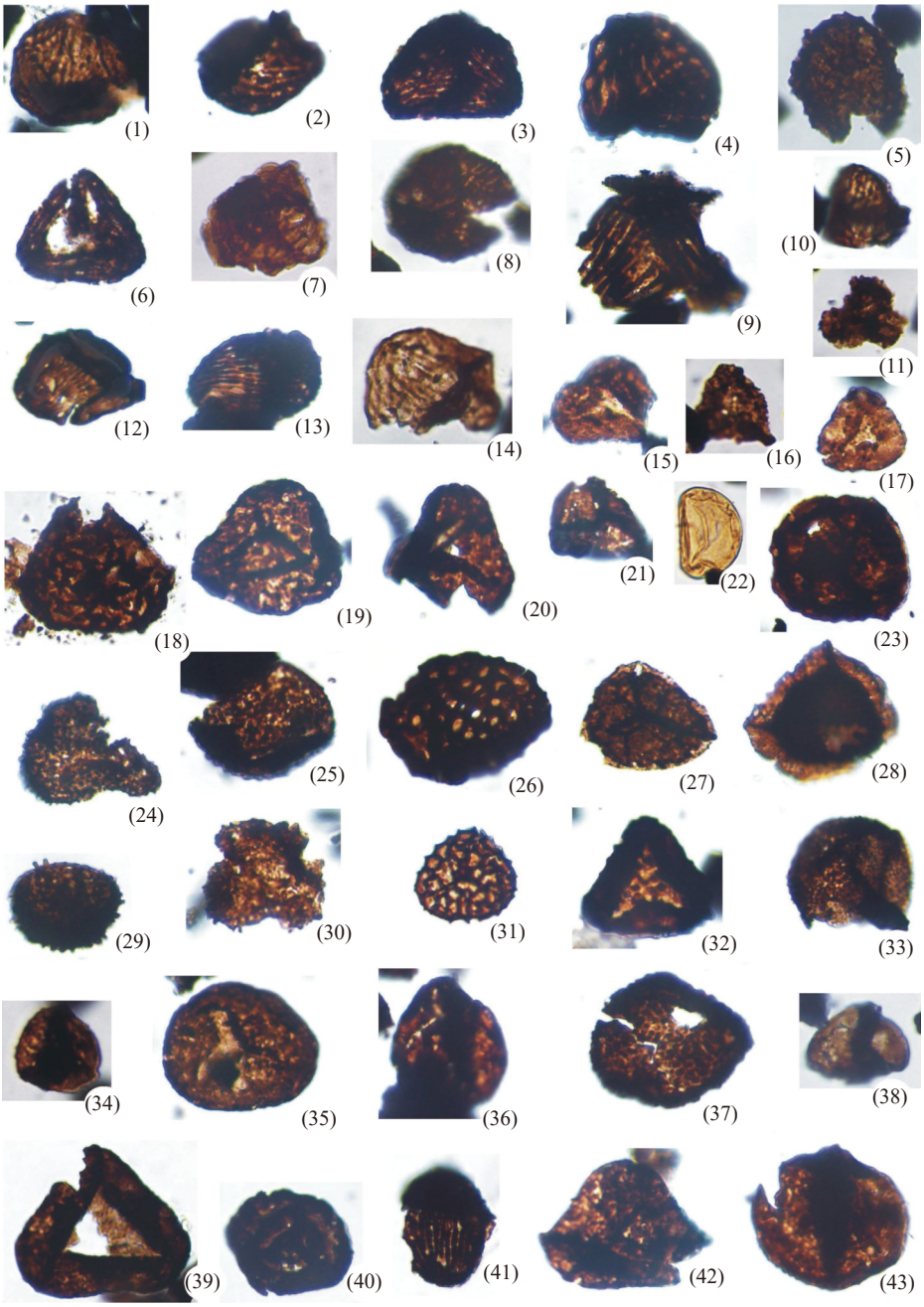
(3)蕨类孢子中百分含量最高的类型是 *Klukisporites* sp.(0.00% ~ 7.58%),其次是 *Leiotriletes* sp.(4.92% ~ 6.78%)和 *Cyathidites australis*(0.00% ~ 6.78%),含量较高的类型还有 *Cyclogranisporites* sp.(1.52% ~ 5.08%)等,有时代意义的类型还有 *Cicatricosisporites exilis*, *C. apiteretus*, *C. australiensis*, *Klukisporites triangulus*, *K. variegates*, *Pilosisporites scitulus*, *Impardecispora* sp., *Levisporites wulinensis*, *Triporoletes singularis*, *Trilobosporites humilis*, *Aequitriradites* sp., *Schizaeoisporites* sp.等。

4 孢粉组合的时代

虽然松科 2 井沙河子组上部划分出的 2 个孢粉组合在蕨类孢子与裸子类花粉的百分含量及属种构成上明显不同,但出现的有时代意义的化石类型基本相同,属于同一个地质时代,现综合其他样品的零散化石一起来讨论其时代归属。当前孢粉组合出现了对时代详细确定意义不大的侏罗纪—白垩纪常见分子,也含有较丰富的早白垩世特有或在早白垩世繁盛的分子: *Cicatricosisporites*, *Klukisporites*, *Aequitriradites*, *Triporoletes*, *Trilobosporites*, *Schizaeoisporites*, *Pilosisporites*, *Parvisaccites*, *Erlianpollis*, *Jiaohepollis*, *Chasmatosporites*, *Paleoconiferae*, *Classopollis* 等。在一些样品中还零星发现如下早白垩世特征分子或在早白垩世繁盛的类型: *Concavissimisporites*, *Maculatisporites*, *Impardecispora*, *Levisporites*, *Polycingulatisporites*, *Appendicisporites*, *Foveotriletes* 等。

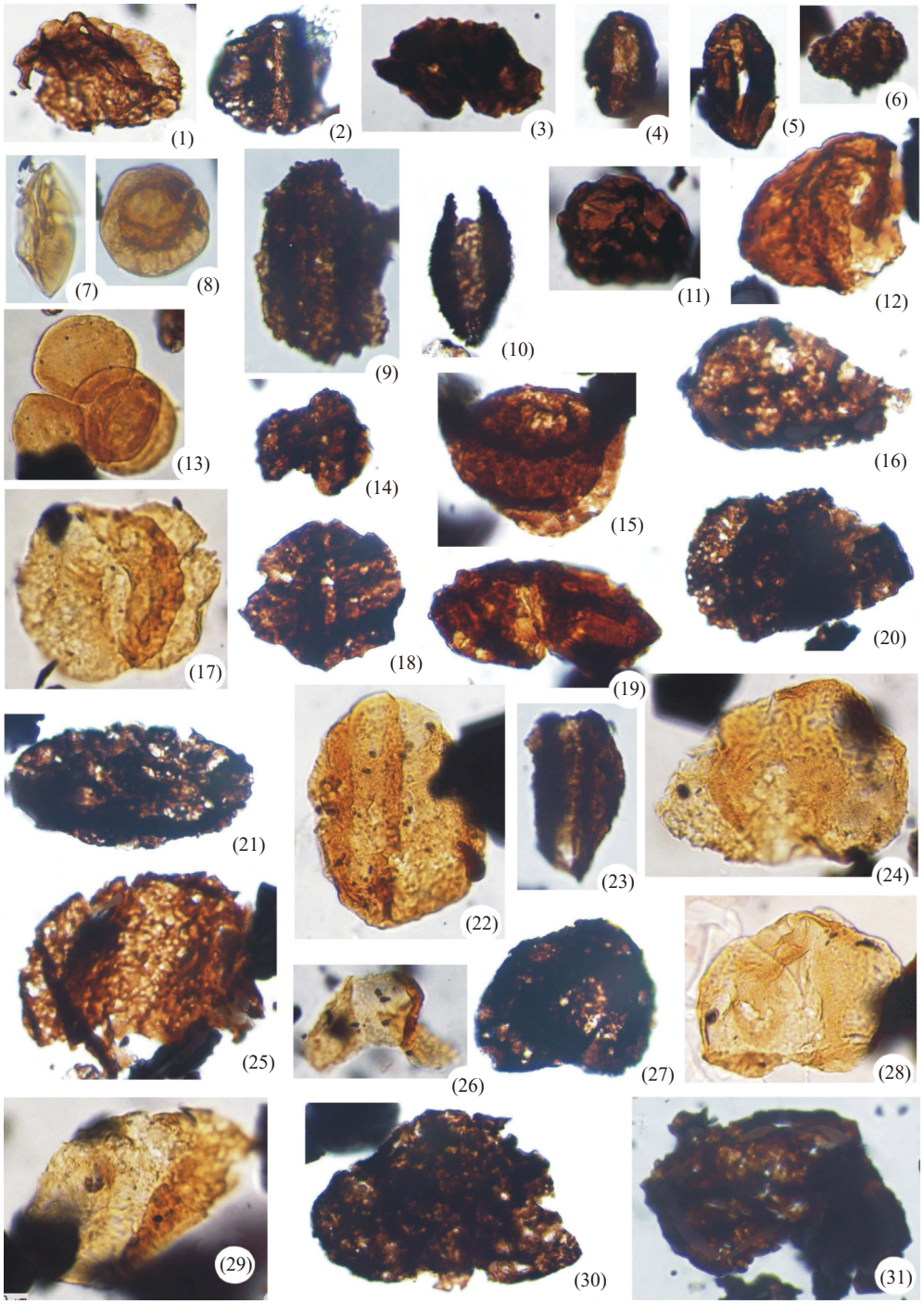
Cicatricosisporites 属在当前孢粉组合中出现 15 种之多,其中 *C. minutaestriatus* 是前苏联西伯利亚、远东等地早白垩世中晚期组合中广为分布的种,在中国见于海拉尔盆地伊敏组(蒙启安等, 2003; Wan et al., 2005)、辽西地区阜新组、沙海组和九佛堂组(张剑等, 2008),黑龙江省东部城子河组(蒲荣干等, 1982)。*C. australiensis* 是 Hauterivian—Albian 期组合常见的重要分子,在松辽盆地沙河子组、营城组、登娄库组、海拉尔盆地伊敏组,大磨拐河组(Wan et al., 2005; Wang et al., 2014)、辽西地区阜新组、沙海组和九佛堂组(蒲荣干等, 1982)、黑龙江省鸡西城子河组为常见分子(尚玉珂, 1997),在中国北方其他地区下白垩统中分布也很广。*C. gracilis* 见于吉林蛟河盆地奶子山组和乌林组、黑龙江鸡西穆棱组、海拉尔盆地伊敏组(蒙启安等, 2003; Wan et al., 2005)、大磨拐河组(Wang et al., 2014)。*C. imbricatus* 见于黑龙江鸡西城子河组(尚玉珂, 1997),辽西地区沙海组(张剑等, 2008)、内蒙古满洲里大磨拐河组(程金辉等, 2015), *C. proxiradiatus* 见

图版Ⅰ Plate Ⅰ



1. *Cicatricosisporites hallei* Delcourt et Sprumont,1955; 2. *C. splendidus* Pu et Wu,1985; 3. *C. apiteretus* Phillips et Filix,1971; 4. *C. imbricatus* (Mark.) Singh,1971; 5. *C. paucistriatus* Han,1983; 6. *C. australiensis* (Cookson) Potonie,1956; 7. *C. solidus* (Pu et Wu) Jia,1986; 8. *C. proxiradiatus* Kemp, 1970; 9. *C. gracilis* Li,1984; 10. *C. imparilis* Pu et Wu,1982; 11. *Trilobosporites humilis* Delcourt et Sprumont,1955; 12. *C. amalocostriatus* Zhang, 1965; 13. *C. minutaestriatus* (Bolkh.) Pocock,1964; 14. *C. ornatus* Srivastava,1972; 15. *Maculatisporites* sp.; 16. *Pilosisporites* sp.; 17. *Gushanispora scabrata* Li,1979; 18. *Klukisporites variegates* Couper,1958; 19. *K.* sp.; 20. *K. triangulus* Jia et Liu,1986; 21. *Undulatisporites* sp.; 22. *Laevigatosporites* sp.; 23. *Triporoletes radiates* (Dettmann) Playford,1971; 24. *Pilosisporites scitulus* Pu et Wu,1982; 25,37. *Verrucosisporites* sp.; 26. *Foveotriletes subtriangulularis* Brenner,1963; 27. *Triporoletes singularis* Mtch.,1960; 28. *Aequitriradites* sp.; 29. *Neoraistrickia callista* Pu et Wu,1982; 30. *Impardecispora* sp.; 31. *Lycopodiumsporites* sp.; 32. *Converrucosisporites* sp.; 33. *Cyclogranisporites* sp.; 34. *Brochotriletes degradatus* Verb.,1962; 35. *Todisporites* sp.; 36. *Levisporites wulinensis* Li,1984; 38. *Leiotriletes* sp.; 39. *Cyathidites australis* Couper,1953; 40. *Polycingulatisporites reduncus* (Bolch.) Playford et Dettmann,1965; 41. *Schizaeoisporites polaris* (Bolkh.) Miao et Zhang,1984; 42. *Hymenophyllumsporites simplex* Pu et Wu,1982; 43. *Foveotriletes* sp.

图版 Ⅱ　Plate Ⅱ



1,12. *Alisporites* sp.; 2. *A. parvus* De Jersey,1962; 3. *Pinuspollenites divulgatus* (Bolkh.) Qu,1980; 4. *Chasmatosporites* sp.; 5. *Monosulcites* sp.; 6. *Parvisaccites otagoensis* (Couper) Hua,1986; 7. *Cycadopites* sp.; 8. *Callialasporites dampieri* (Balme) Sukh Dev,1961; 9. *Quadraeculina* sp.; 10. *Monosulcites irroratus* Zhang,1988; 11. *Psophosphaera* sp.; 13. *Classopollis annulatus* (Verbitzkaja) Li,1974; 14. *Podocarpidites minisculus* Singh,1964; 15. *Erlianpollis* sp.; 16. *Paleoconiferus* sp.; 17. *Podocarpidites multicinus* (Bolkh.) Pocock,1970; 18. *Protoconiferus* sp.; 19. *Podocarpidites* sp.; 20. *Pseudopicea* sp.; 21. *Protopinus* sp.; 22. *Pristinuspollenites lunaris* Zhang,1986; 23. *Pristinuspollenites quadriangulus* (Chlonova) Zhang,1984; 24. *Piceites expositus* Bolkh.,1956; 25. *Pseudopicea variabiliformis* (Mal.) Bolkh.,1956; 26. *Pinuspollenites distortus* (Bolkh.) Pu et Wu,1982; 27. *Pseudowalchia* sp.; 28. *Pinuspollenites pernobilis* (Bolkh.) Xu et Zhang,1980; 29. *Protopicea firma* Li,1984; 30. *Abiespollenites* sp.; 31. *Pinuspollenites alatiopllenites* (Rouse) Liu,1982

表 1 松辽盆地松科 2 井沙河子组上部孢粉化石分布和比例

Table 1 Distribution and percentage occurrence of spores and pollen from the Shahezi Formation in SK-2 Well

组合	KAP组合孢粉谱/%				LCC组合孢粉谱/%		
井深/m	3395.46 ~ 3493.24	3530.89 ~ 3570.79	3595.02 ~ 3613.62	3395.46 ~ 3613.62 m	3832.94 ~ 3846.16	3879.82 ~ 3901.35	3832.94 ~ 3901.35 m
a.蕨类孢子	17	40	31	27.87 ~ 46.97	101	54	60.67 ~ 90.18
Cicatricosisporites exilis			1	0 ~ 1.52		1	0 ~ 1.12
C. minutaestriatus						2	0 ~ 2.25
C. apiteretus		1		0 ~ 0.85			
C. splendidus						2	0 ~ 2.25
C. australiensis		1		0 ~ 0.85		1	0 ~ 1.12
C.sp.	1	2	1	1.52 ~ 1.69		1	0 ~ 1.12
Leiotriletes sp.	3	8	4	4.92 ~ 6.78	17	10	11.24 ~ 15.18
Cyathidites australis		8	4	0 ~ 6.78	72	8	8.99 ~ 64.29
C. minor						1	0 ~ 1.12
Cyclogranisporites sp.	2	6	1	1.52 ~ 5.08	4	7	3.57 ~ 7.87
Klukisporites triangulus	2	5	2	3.03 ~ 4.24			
K. variegatus		1	1	0 ~ 1.52			
K. sp.		1	5	0 ~ 7.58	5	5	4.46 ~ 5.62
Punctatisporites sp.					1		0 ~ 0.89
Todisporites sp.						3	0 ~ 3.37
Verrucosisporites sp.			1	0 ~ 1.52			
Converrucosisporites sp.	1	2		0 ~ 1.69			
Osmundacidites sp.	1			0 ~ 1.64			
Pilosisporites scitulus			2	0 ~ 3.03			
P. sp.	1			0 ~ 1.64			
Brochotriletes degradatus	2			0 ~ 3.28			
Dictyotriletes sp.			2	0 ~ 3.03			
Lycopodiumsporites sp.	1		2	0 ~ 3.03	1		0 ~ 0.89
Impardecispora sp.			1	0 ~ 1.52			
Gushanispora scabrata			2	0 ~ 3.03			
Levisporites wulinensis			1	0 ~ 1.52			
Maculatisporites sp.						1	0 ~ 1.12
Undulatisporites sp.						1	0 ~ 1.12
Hymenophyllumsporites simplex						2	0 ~ 2.25
Triporoletes singularis		1		0 ~ 0.85	1		0 ~ 0.89
Trilobosporites humilis	1			0 ~ 1.64			
T. tribotrys						4	0 ~ 4.49
Aequitriradites sp.	1	3	1	1.52 ~ 2.54		4	0 ~ 4.49
Polycingulatisporites reduncus						1	0 ~ 1.12
Laevigatosporites sp.	1			0 ~ 1.64			
Schizaeoisporites sp.		1		0 ~ 0.85			
b.裸子类花粉	44	78	35	53.03 ~ 72.13	11	35	9.82 ~ 39.33
Pinuspollenites divulgatus	8	3	1	1.52 ~ 13.11			
P. minutus		1		0 ~ 0.85			

续表 1

组合	KAP组合孢粉谱/%				LCC组合孢粉谱/%		
井深/m	3395.46 ~ 3493.24	3530.89 ~ 3570.79	3595.02 ~ 3613.62	3395.46 ~ 3613.62 m	3832.94 ~ 3846.16	3879.82 ~ 3901.35	3832.94 ~ 3901.35 m
P. alatiopllenites			1	0 ~ 1.52			
P. pernobilis	2		1	0 ~ 3.28			
P. sp.		5	5	0 ~ 7.58			
Alisporites parvus	10	8	7	6.78 ~ 16.39		12	0 ~ 13.48
A. sp.			6	0 ~ 9.09	1		0 ~ 0.89
Pristinuspollenites quadriangulus			1	0 ~ 1.52			
P. sp.	5	1	2	0.85 ~ 8.20		1	0 ~ 1.12
Podocarpidites minisculus	1	1	1	0.85 ~ 1.64			
P. multicinus			1	0 ~ 1.52			
P. fortis	2			0 ~ 3.28			
P. sp.	1	1	1	0.85 ~ 1.64			
Piceaepollenites omoriciformis	1			0 ~ 1.64			
P. sp.		31		0 ~ 26.27			
Protopinus sp.						2	0 ~ 2.25
Abietineaepollenites sp.	1	2		0 ~ 1.69			
Parvisaccites otagoensis	1			0 ~ 1.64			
P. sp.		1	1	0 ~ 1.52		1	0 ~ 1.12
Erlianpollis minisculus		1		0 ~ 0.85		2	0 ~ 2.25
E. mediocris		1		0 ~ 0.85			
E. sp.			1	0 ~ 1.52			
Piceites expositus						1	0 ~ 1.12
P. sp.		1		0 ~ 0.85			
Pseudopicea rotundiformis					1		0 ~ 0.89
P. sp.					1	2	0.89 ~ 2.25
Abiespollenites sp.		1		0 ~ 0.85		1	0 ~ 1.12
Cedripites globulisaccatus							
C densireticulatus	1			0 ~ 1.64			
Paleoconiferus sp.						1	0 ~ 1.12
Pseudowalchia sp.						1	0 ~ 1.12
Jiaohepollis sp.		1		0 ~ 0.85			
Psophosphaera sp.			2	0 ~ 3.03	1	3	0.89 ~ 3.37
Monosulcites irroratus		1		0 ~ 0.85			
M. sp.	1	1	2	0.85 ~ 3.03		1	0 ~ 1.12
Chasmatosporites sp.	9	15	2	3.03 ~ 14.75	7	6	6.25 ~ 6.74
Classopollis classoides	1			0 ~ 1.64			
C. sp.		2		0 ~ 1.69		1	0 ~ 1.12
合计(粒)	61	118	66		112	89	

于兴安岭地区伊敏组和大磨拐河组、辽西地区阜新组和沙海组(李凤霞, 2005)及吉林延边大拉子组(黄嫔等, 2002)。*C. amalocostriatus* 见于吉林蛟河乌林组、辽西阜新组、鸡西穆棱组。*C. solidus* 见于内蒙古二连盆地赛汉塔拉组(李凤霞, 2005)。*C. splendidus* 见于吉林延边大拉子组(黄嫔等, 2002)。其他种也均见于中国北方下白垩统。从出现的种数看, 介于海拉尔盆地大磨拐河组(11 种)与伊敏组(20 种)之

间(蒲荣干等, 1985), 与鸡西盆地城子河组相当(也是 15 种)(蒲荣干等, 1982), 故本组合中 *Cicatricosisporites* 类型的多样化显示了 Valangnian−Barremian 期的特点。*Klukisporites* cf.*variegatus* 见于三江绥滨地区城子河组底部海相层及松辽盆地昌五地区沙河子组中(任延广等, 2003)。*K. triangulus* 见于内蒙古赛罕塔拉组(宋之琛等, 2000)。*Aequitriradites* 广泛分布于世界各地的白垩系中, Berriasian 期开始出现, Valanginian—Albian 期较繁盛, Cenomanian 期开始衰落, 绝灭于 Maastrichtian 期, 见于松辽盆地南部德惠断陷沙河子组、吉林蛟河盆地乌林组(任延广等, 2003)、海拉尔盆地南部大磨拐河组、伊敏组(李凤霞, 2005)。*Schizaeoisporites* 在早白垩世晚期和晚白垩世早期最繁盛(万传彪等, 2002), 海拉尔盆地大磨拐河组(薛云飞等, 2010)、开鲁盆地阜新组(李凤霞, 2005)均有该属的分子出现。*Trilobosporites tribotrys* 见于世界各地的白垩系, 尤其是下白垩统, 在中国常见于下白垩统中期, 如吉林蛟河地区乌林组、磨石砬子组、黑龙江省鸡西地区城子河组(尚玉珂, 1997)。*Triporoletes radiatus* 见于澳大利亚和北美 Albian 期, 在国内见于海拉尔盆地伊敏组, *T. singularis* 在阿根廷、加拿大始见于 Barremian 期, 在乌克兰见于 Hauterivian—Albian 期, 在北美、欧洲、澳大利亚、前苏联西伯利亚和远东广泛发育于 Aptian—Albian 期, 在中国见于松辽盆地登娄库组一、二段、海拉尔盆地伊敏组(Wan et al., 2005)、大磨拐河组(蒙启安等, 2003)。*Concavissimisporites* 从 Berriasian 期到 Valanginian 期有明显的分异趋势, Valanginian 期开始繁盛, 是辽西地区九佛堂组的代表分子(余静贤等, 1986), 开鲁盆地阜新组也有发现(李凤霞, 2005)。*Impardecispora*, *Maculatisporites* 在海拉尔盆地大磨拐河组常见(Wang et al., 2014), 亦见于开鲁盆地阜新组(李凤霞, 2005)。*Foveotriletes subtriangularis* 见于加拿大、美国的 Berriasian—Albian 期及中国吉林汪清罗子沟盆地早白垩世大拉子组(尚玉珂, 1991)。*Polycingulatisporites reduncus* 见于苏联早白垩世及中国辽西沙海组、阜新组下部及孙家湾组, 兴安岭地区大磨拐河组、伊敏组, 黑龙江省东部城子河组、穆棱组, 内蒙古固阳地区固阳组(尚玉珂等, 1991)。*Pilosisporites scitulus* 在海拉尔盆地现于大磨拐河组(蒲荣干等, 1985), 在开鲁盆地见于阜新组(李凤霞, 2005)。*Appendicisporites* 初现于贝里阿斯期(Berriasian), 在早白垩世中晚期达到鼎盛, 晚白垩世初期逐渐衰退(万传彪, 2006)。

裸子植物花粉 *Erlianpollis* 中, *E. mediocris* 出现于昌五地区沙河子组中及内蒙古巴彦花组中下段(任延广等, 2003)。*Jiaohepollis* 见于宁安盆地穆棱组(赵传本等, 1993)、吉林蛟河盆地早白垩世乌林组(王淑英, 1989)及吉林屯田营组(黎文本, 2001)。*Classopollis classoides* 和 *C. annulatus* 见于松辽盆地沙河子组和营城组(高瑞祺等, 1999; 迟元林等, 2000), 后者见于黑龙江省东部城子河组和穆棱组(蒲荣干等, 1982), 也分布在海拉尔盆地的大磨拐河组中(蒙启安等, 2003)。*Parvisaccites* 是在 Hauterivian 期开始出现(高瑞祺等, 1999), 见于海拉尔盆地大磨拐河组(薛云飞等, 2010)。*Quadraeculina*, *Callialasporites* 只延续到早白垩世早中期(高瑞祺等, 1999)。古松柏类花粉(Paleoconifer)在前侏罗纪就已经开始出现, 侏罗纪进一步发展, 晚侏罗世和早白垩世早中期繁盛, 早白垩世 Aptian—Albian 期急剧衰退至晚白垩世绝灭(薛云飞等, 2010; 韩刚等, 2019)。松科 2 井沙河子组孢粉组合中古松柏类花粉虽然类型多, 但百分含量并不高, 显示了早白垩世早中期的特点。

前人曾将沙河子组孢粉化石分为上、下 2 个组合(高瑞祺等, 1999; 郑月娟等, 2019)。下部组合为 *Classopollis−Piceites−Osmundacidites* 组合带, 分布于沙河子组一、二段, 裸子植物花粉占明显优势(71.3%～85.7%), 以具气囊的松柏类花粉为主, 无气囊松柏类花粉占有一定数量, *Classopollis* 经常存在; 蕨类孢子含量低(14.3%～28.3%), 蕨类植物孢子中 *Cyathidites, Osmundacidites, Granulatisporites* 含量较高, *Cicatricosisporites* 经常见到, 有一定含量, 时代为早白垩世 Valanginian 期。上部组合为 *Granulatisporites−Lophotriletes−Cicatricosisporites* 组合带, 分布于沙河子组三、四段, 主要特征是蕨类植物孢子占绝对优势(75.0%～85.7%), 以 *Granulatisporites, Lophotriletes, Cicatricosisporites* 为最多, 裸子植物花粉百分含量低(14.3%～25.0%), 其中具气囊的松柏类花粉含量也很低, 时代为早白垩世 Hauterivian 期。松科 2 井沙河子组井深段为 3336～5696 m, 厚达 2360 m, KAP 组合分布在 3395.46～3613.62 m 井段, LCC 组合分布在 3832.94～3901.35 m 井段, 均属于沙河子组上部层位, LCC 组合蕨类孢子百分含量(60.67%～90.18%)占绝对优势, 裸子类花粉较低(9.82%～

39.33%), 从组合特点看, 可以与高瑞祺等(1999)建立的沙河子组上部 *Granulatisporites – Lophotriletes–Cicatricosisporites* 组合带大致对比, 而松科 2 井沙河子组顶部 KAP 组合层位显然高于高瑞祺等(1999)建立的沙河子组上部孢粉组合, 前者 KAP 孢粉组合与 LCC 孢粉组合出现的有时代意义的孢粉类型更多且时代更新。

综上所述, 松科 2 井沙河子组上部的 2 个孢粉组合海金砂科孢子繁盛, 类型多样化, 且没有发现早期被子植物花粉, 因此指示的地质时代属于早白垩世 Hauterivian—Barremian 早期(宋之琛, 1986; 余静贤, 1990; 张一勇, 1999; 万传彪等, 2004)。

5　古气候意义

运用孢粉研究古地理、古气候, 历来被国内外学者普遍认可, 并认为是有效的方法。孢粉是植物的繁殖器官, 不同属种孢粉的存在意味着孢粉母体植物的存在。依据孢粉母体植物及与现代的对比, 可"将今论古"了解其古生态, 推测地史时期的古地理、古气候(高瑞祺等, 1999; 王丽岩等, 2008)。

依据孢粉谱和孢粉母体植物的生态特征, 可以定量地划分松辽盆地北部松科 2 井沙河子组上部沉积时期的植被类型及其反映的气温带类型、干湿度带类型等。

5.1　松科 2 井沙河子组上部沉积时期的植被类型

依据各孢粉组合的孢粉谱, 结合所出现的孢粉类型的母体植物的生态资料, 将孢粉各属分别归类于: 针叶林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、灌木林与草本植物 5 个大类, 在此基础上进一步推断其反映的古植被演化规律。松科 2 井沙河子组上部 3879.82 ~ 3901.35 m 井段沉积时期, 反映针叶林的孢粉百分含量最高(31.44%), 反映草本(19.10%)、灌木(19.09%)和常绿阔叶(16.85%)植被的孢粉百分含量相近, 反映落叶阔叶植被的孢粉百分含量最低(1.12%), 属于针叶林、灌草丛植被类型; 沙河子组上部 3832.94 ~ 3846.16 m 井段沉积时期, 反映常绿阔叶的孢粉百分含量最高(70.54%), 反映草本(16.07%)、灌木(4.46%)和针叶树(3.56%)植被的孢粉百分含量均低, 未见到反映落叶阔叶植被的孢粉成分, 属于常绿阔叶林植被类型; 沙河子组上部 3595.02 ~ 3613.62 m 井段沉积时期, 反映针叶林的孢粉百分含量最高(47.02%), 其次是灌木丛(19.72%), 反映草本(10.61%)和常绿阔叶(9.09%)植被的孢粉百分含量相近, 反映落叶阔叶植被的孢粉百分含量最低(3.03%), 属于针叶林、灌木丛植被类型; 沙河子组上部 3530.89 ~ 3570.79 m 井段沉积时期, 反映针叶林的孢粉百分含量最高(51.71%), 其次是常绿阔叶林(19.49%), 反映草本(10.17%)和灌木(9.33%)植被的孢粉百分含量相近, 反映落叶阔叶植被的孢粉百分含量最低(1.70%), 属于针阔叶混交林植被类型; 沙河子组上部 3395.46 ~ 3493.24 m 井段沉积时期, 反映针叶林的孢粉百分含量最高(55.74%), 其次是常绿阔叶林(14.75%), 反映草本(11.48%)、灌木(8.20%)和落叶阔叶(1.64%)植被的孢粉百分含量均很低, 属于针阔叶混交林植被类型。因此, 沙河子组上部 3395.46 ~ 3901.35 m 井段沉积时期孢粉化石组合指示的古植被演化规律是针叶林、灌草丛–常绿阔叶林–针叶林、灌木丛–针阔叶混交林(表 2)。

5.2　松科 2 井沙河子组上部沉积时期的气温带类型

气温带的划分是将各孢粉谱中孢粉各属分别归类于热带植物、亚热带植物、温带植物、广温性的热带—亚热带植物及热带—温带植物五大类。参考中国现代气温带的划分(热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带、暖温带、中温带、寒温带 7 个带), 推测孢粉组合揭示的气温带类型。

松科 2 井沙河子组上部 3879.82 ~ 3901.35 m 井段沉积时期, 反映热带气温的孢粉百分含量最高(29.2%), 其次是热带—温带气温(21.34%), 反映热带—亚热带(13.48%)和温带(10.10%)气温的孢粉百分含量相近, 属于暖温带类型; 沙河子组上部 3832.94 ~ 3846.16 m 井段沉积时期, 反映热带气温的孢粉百分含量占绝对优势(68.75%), 反映热带—亚热带(15.18%)、热带—温带(2.67%)和温带(1.78%)气温的孢粉百分含量相对较低, 属于南亚热带类型; 沙河子组上部 3595.02 ~ 3613.62 m 井段沉积时期, 反映热带—温带气温的孢粉百分含量最高(39.42%), 其次是反映热带气温的孢粉(27.31%), 反映热带—亚热带(9.09%)和温带(4.55%)气温的孢粉百分含量相对较低, 属于暖温带类型; 沙河子组上部 3530.89 ~ 3570.79 m 井段沉积时期, 反映温带气温的孢粉百分含量最高(29.67%), 反映热带(17.81%)和热带—温带(16.95%)气温的孢粉百分含量相近, 属于温带类型; 沙河子组上部 3395.46 ~ 3493.24 m 井

段沉积时期，反映热带—温带气温的孢粉百分含量最高(40.98%)，其次是热带气温(13.12%)，反映温带(9.84%)和热带—亚热带(8.20%)气温的孢粉百分含量相对较低，属于温带类型。因此，沙河子组上部3395.46～3901.35 m井段沉积时期，孢粉化石记录揭示的气候带演替规律是暖温带—南亚热带—暖温带—温带(表3)。前人在松辽盆地北部沙河子组上部做出的古气温带类型是带问号的北亚热带气温(高瑞祺等, 1999)，推测是因为孢粉谱中无法确定母体植物的孢粉百分含量(41.9%)太高所致，本次工作在3832.94～3846.16 m井段的孢粉谱中，无法确定母体植物的孢粉含量仅为11.60%，因此得出的该井深段古气温带类型为南亚热带是可信的，代表了沙河子组上部沉积时期总体属于温带气温的前提下，也曾有过短暂的升温。

5.3 松科2井沙河子组上部沉积时期的干湿度类型

孢粉植物干湿度的划分是将各孢粉谱中孢粉各属按母体植物的生态环境分别归类于旱生、中生、湿生、水生、沼生5个大类。依据各类所占百分含量的不同，可划分出5种孢粉干湿度类型：干旱、半干旱、半干半湿、半湿润、湿润类型，据此推测孢粉化石组合指示的气候干湿变化规律。

松科2井沙河子组上部3879.82～3901.35 m井段沉积时期，反映湿生类型的孢粉百分含量最高(51.67%)，其次是中生类型(20.21%)，反映旱生(1.12%)和沼生(3.37%)类型的孢粉百分含量极低，没有见到反映水生类型的孢粉化石，干湿度属于湿润类型；沙河子组上部3832.94～3846.16 m井段沉积时期，反映湿生类型的孢粉百分含量占绝对优势(85.71%)，反映中生类型的孢粉百分含量极低(2.67%)，没有见到反映旱生、沼生和水生类型的孢粉化石，干湿度属于湿润类型；沙河子组上部3595.02～3613.62 m井段沉积时期，反映湿生(42.47%)和中生(42.45%)类型的孢粉百分含量相近，没有见到反映旱生、沼生和水生类型的孢粉化石，干湿度属于半湿润类型；沙河子组上部3530.89～3570.79 m井段沉积时期，反映湿生类型的孢粉百分含量占优势(54.26%)，反映中生类型的孢粉百分含量相对较低(19.50%)，反映旱生类型的孢粉百分含量极低(2.54%)，没有见到反映沼生和水生类型的孢

表2 松辽盆地松科2井沙河子组植被类型

Table 2 Classification of the vegetation of Shahezi Formation of SK-2 Well in Songliao basin based on the palynological data

井深/m	反映各植被类型的孢粉含量/%						植被类型
	针叶	常绿阔叶	落叶阔叶	灌木	草本	其他	
3395.46～3493.24	55.74	14.75	1.64	8.20	11.48	8.20	针阔叶混交林
3530.89～3570.79	51.71	19.49	1.70	9.33	10.17	7.62	针阔叶混交林
3595.02～3613.62	47.02	9.09	3.03	19.72	10.61	10.62	针叶林、灌木丛
3832.94～3846.16	3.56	70.54	0	4.46	16.07	5.35	常绿阔叶林
3879.82～3901.35	31.44	16.85	1.12	19.09	19.10	12.36	针叶林、灌草丛

表3 松辽盆地松科2井沙河子组气温带类型

Table 3 Classification of Shahezi Formation temperate zone of SK-2 Well in Songliao basin based on the palynological data

井深/m	反映各气温带类型的孢粉含量/%						气温带类型
	热带	热带—亚热带	亚热带	热带—温带	温带	其他	
3395.46～3493.24	13.12	8.20	1.64	40.98	9.84	26.23	温带
3530.89～3570.79	17.81	11.02	0	16.95	29.67	24.57	温带
3595.02～3613.62	27.31	9.09	0	39.42	4.55	19.72	暖温带
3832.94～3846.16	68.75	15.18	0	2.67	1.78	11.60	南亚热带
3879.82～3901.35	29.2	13.48	0	21.34	10.10	25.84	暖温带

粉化石，干湿度属于湿润类型；沙河子组上部3395.46～3493.24 m井段沉积时期，反映中生类型的孢粉百分含量最高（40.98%），其次是湿生类型（29.52%），反映沼生（3.28%）和旱生（1.64%）类型的孢粉百分含量极低，没有见到反映水生类型的孢粉化石，干湿度属于半湿润类型。因此，沙河子组上部3395.46～3901.35 m井段沉积时期孢粉化石组合指示的气候干湿变化规律是湿润—半湿润带—湿润—半湿润（表 4）。

6　结　论

（1）依据松科 2 井沙河子组上部 3395.46～3901.35 m 井段的孢粉化石演化特征，自下而上可划分出 *Leiotriletes* sp.—*Cyathidites australis* —*Chasmatosporites* sp.组合和 *Klukisporites triangulus* —*Aequitriradites* sp.—*Pristinuspollenites* sp.组合，可以作为松辽盆地北部沙河子组上部生物地层学对比的标志。

（2）松科 2 井沙河子组上部 3395.46～3901.35 m 井段所产孢粉组合，指示的地质时代为早白垩世欧特里夫期（Hauterivian）—巴列姆期（Barremian）早期。

（3）松科 2 井沙河子组上部 3395.46～3901.35 m 井段自下而上孢粉组合，反映的植被类型演化规律是针叶林、灌草丛—常绿阔叶林—针叶林、灌木丛—针阔叶混交林；孢粉气候带类型演化规律是暖温带—南亚热带—暖温带—温带；孢粉干湿度类型演化规律是湿润—半湿润带—湿润—半湿润。

致谢：研究过程中得到吉林大学古生物学与地层学研究中心孙跃武教授的悉心指导与帮助，在此表示衷心感谢。

参考文献

Hou H X, Wang H Y, Gao R, et al. 2015. Fine crustal structure and deformation beneath the Great Xing'an Ranges CAOB: Revealed by deep seismic reflection profile[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 113: 491−500.

Liu Y J, Li W M, Feng Z Q, et al. 2017. A review of the Paleozoic tectonics in the eastern part of Central Asian Orogenic Belt[J]. Gondwana Research, 43: 123−148.

Wan C B, Qiao X Y, Xu Y B, et al. 2005. Sporopollen assemblages from the Cretaceous Yimin Formation of the Hailar Basin, Inner Mongolia, China[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 79(4): 459−470.

Wang C L, Song L B, Yuan H Q. 2023. Zircon U-Pb age of the volcanic rock from the Huoshiling Formation in the Yingtai Fault Depression, Songliao Basin, China[J]. China Geology, 6(4): 751−752.

Wang L Y, Wan C B, Sun Y W. 2014. A spore-pollen assemblage from the Damoguaihe Formation in the Tamutsag Basin, Mongolia and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 88(1): 46−61.

Wang T, Guo L, Zhang L, et al. 2015. Timing and evolution of Jurassic–Cretaceous granitoid magmatisms in the Mongol–Okhotsk belt and adjacent areas NE Asia: Implications for transition from contractional crustal thickening to extensional thinning and geodynamic settings[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 97: 365−392.

Yang Y T, Guo Z X, Song C C, et al. 2015. A short-lived but significant Mongol–Okhotsk collisional orogeny in latest Jurassic-earliest Cretaceous[J]. Gondwana Research, 28(3): 1096−1116.

程金辉, 尚玉珂. 2015. 内蒙古满洲里扎赉诺尔煤矿早白垩世孢粉组合序列和古气候研究[J]. 古生物学报, 54(3): 316−341.

程银行, 李影, 刘永顺, 等. 2016. 松辽盆地西缘早白垩世伸展事件: 流纹岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学研究[J]. 地质学报, 90(12): 3492–3507.

迟元林, 王璞君, 单玄龙, 等. 2000. 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: 吉林科学技术出版社.

董树文, 张岳桥, 龙长兴, 等. 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释[J]. 地质学报, 81(11): 1449−1461.

高有峰, 翟雪娇, 蒋丽君, 等. 2017. 松辽盆地白垩系大陆科学钻探松科2井钻遇地层界面及岩性剖面预测[J]. 地学前缘, 24(1): 242−256.

高瑞祺, 赵传本, 乔秀云, 等. 1999. 松辽盆地白垩纪石油地层孢粉学[M]. 北京: 地质出版社: 1–173.

韩刚, 曹阳, 张文婧, 等. 2019. 内蒙古海拉尔盆地贝尔凹陷贝 32 井南屯组地层及孢粉组合[J]. 地质通报, 38(6): 916−921.

表 4　松辽盆地松科 2 井沙河子组干湿度类型

Table 4　Classification of Shahezi Formation humidity of SK-2 Well in Songliao basin based on the palynological data

井深/m	反映各干湿度类型的孢粉含量/%						干湿度类型
	旱生	中生	湿生	沼生	水生	其他	
3395.46～3493.24	1.64	40.98	29.52	3.28	0	24.59	半湿润
3530.89～3570.79	2.54	19.50	54.26	0	0	23.72	湿润
3595.02～3613.62	0	42.45	42.47	0	0	15.17	半湿润
3832.94～3846.16	0	2.67	85.71	0	0	11.6	湿润
3879.82～3901.35	1.12	20.21	51.67	3.37	0	23.59	湿润

侯贺晟, 王成善, 张交东, 等. 2018. 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, 45(4): 641−657.
黄嫔, 张光富. 2002. 吉林延边智新盆地大拉子组孢粉组合[J]. 微体古生物学报, 19(3): 263−275.
李凤霞. 2005. 内蒙古开鲁盆地早白垩世阜新组孢粉组合[J]. 微体古生物学报, 22(1): 87−96.
李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等. 2007. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束[J]. 岩石学报, 23(3): 565−582.
黎文本. 2001. 吉林安图县早白垩世屯田营组孢粉组合[J]. 古生物学报, 40(4): 450−456.
刘晓文, 于婕, 胡慧婷, 等. 2023. 油气运聚影响下三维地震精细解译的砂岩型铀矿控矿因素分析——以松辽盆地大庆长垣南端铀矿为例[J]. 地质通报, 42(11): 1834−1842.
蒙启安, 万传彪, 乔秀云, 等. 2003. 内蒙古海拉尔盆地大磨拐河组孢粉组合[J]. 地层学杂志, 27(3): 173−184.
蒲荣干, 吴洪章. 1982. 黑龙江东部晚中生代地层的孢子花粉[J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 5: 383−456.
蒲荣干, 吴洪章. 1985. 兴安岭地区兴安岭群和扎赉诺尔群的孢粉组合及其地层意义[J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 11: 47−113.
任延广, 万传彪, 乔秀云, 等. 2003. 松辽盆地北部昌五地区沙河子组孢粉组合[J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 33(4): 406−412.
尚玉珂. 1991. 吉林汪清罗子沟盆地早白至世抱粉化石之发现[J]. 微体古生物学报, 8(4): 405−422.
尚玉珂, 王淑英. 1991. 吉林九台营城组孢粉组合及古植被、古气候探讨[J]. 微体古生物学报, 8(1): 91−110.
尚玉珂. 1997. 黑龙江省鸡西城子河组被子植物化石层的孢粉研究[J]. 微体古生物学报, 14(2): 161−174.
宋之琛. 1986. 我国早白垩世被子植物花粉研究之回顾[J]. 微体古生物学报, 3(4): 373−386.
宋之琛, 尚玉珂, 刘兆生, 等. 2000. 中国孢粉化石——中生代孢粉 (第二卷)[M]. 北京: 科学出版社: 1–710.
孙德有, 吴福元, 张艳斌, 等. 2004. 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的最后闭合时间: 来自吉林大玉山花岗岩体的证据[J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 34(2): 174−181.
万传彪, 乔秀云, 孔惠, 等. 2002. 黑龙江北安地区早白垩世孢粉组合[J]. 微体古生物学报, 19(1): 83−90.
万传彪, 赵传本, 乔秀云, 等. 2004. 中国早白垩世中、晚期被子植物花粉的特征及其意义[J]. 大庆石油地质与开发, 23(2): 21−24.
万传彪. 2006. 海拉尔盆地白垩纪孢粉植物群[D]. 吉林大学博士学位论文.
万传彪, 李延锋, 薛云飞. 2009. 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, 44(2): 418−434.
王丽岩, 孙跃武, 乔秀云, 等. 2008. 海拉尔盆地早白垩世孢粉古气候特征[J]. 大庆石油地质与开发, 27(5): 39−42.
王璞珺, 刘海波, 任延广, 等. 2017. 松辽盆地白垩系大陆科学钻探“松科 2 井”选址[J]. 地学前缘, 24(1): 216−228.
王淑英. 1989. 吉林省营城组抱粉组合[J]. 地层学杂志, 13(1): 34–39.
王婷婷, 孙振轩, 戴金龙, 等. 2023. 松辽盆地中央坳陷区储层岩性智能识别方法[J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 53(5): 1611−1622.
薛云飞, 王丽岩. 2010. 海拉尔盆地查干诺尔凹陷扎赉诺尔群孢粉组合[J]. 中国煤炭地质, 22(1): 6−14.
余静贤, 蒲荣干, 吴洪章. 1986. 辽西热河群上亚群孢粉组合[J]. 中国地质科学院院报, (2): 93−119.
余静贤. 1990. 中国北方早白垩世被子植物花粉的研究[C]//地层古生物论文集, 23: 212–220.
张德军, 张健, 郑月娟, 等. 2020. 内蒙古自治区兴安盟突泉盆地 TD-2 井晚二叠世孢粉的发现及其油气地质意义[J]. 中国地质, 47(3): 798−809.
张剑, 刘洪涛, 吴炳伟. 2008. 彰武盆地张强凹陷早白垩世孢粉组合[J]. 微体古生物学报, 25(2): 196−203.
张一勇. 1999. 中国白垩纪被子植物花粉的宏演化[J]. 古生物学报, 38(4): 435−453.
赵传本, 乔秀云. 1993. 黑龙江宁安盆地穆棱组及其孢粉型组合新发现[J]. 微体古生物学报, 10(4): 447−458.
郑月娟, 陈树旺, 张德军, 等. 2019. 松科二井早白垩世沙河子组上部孢粉组合特征[J]. 中国地质, 46(5): 1245−1246.