

doi:10.3799/dqkx.2017.554

# 开鲁盆地东北部钱家店凹陷晚白垩世姚家组 孢粉组合及其古气候意义

徐增连<sup>1,2</sup>, 魏佳林<sup>1,2</sup>, 曾辉<sup>1,2</sup>, 里宏亮<sup>3</sup>, 李建国<sup>1,2</sup>, 朱强<sup>1,2</sup>, 张博<sup>1</sup>, 曹民强<sup>3</sup>

1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170
2. 中国地质调查局天津地质调查中心非化石能源矿产实验室, 天津 300170
3. 辽河石油勘探局新能源开发公司, 辽宁盘锦 124010

**摘要:** 对于开鲁盆地姚家组孢粉学的研究不仅丰富了该地区晚白垩世孢粉学资料, 而且为该地区晚白垩世地层划分与对比提供了依据。通过对开鲁盆地钱家店凹陷钻孔 QIV-48-61 深 315~447 m 井段的岩心做了详细采样、描述, 并进行了孢粉化石的处理、鉴定和分析, 在其中的 10 个层位中发现了丰富的孢粉化石, 共计 73 属 88 种, 并建立了 3 个孢粉组合, 自下而上依次为 *Schizaeoisporites-Cyathidites-Tricolpopollenites*, *Schizaeoisporites-Classopollis-Ta-xodiaceapollenites* 和 *Schizaeoisporites-Exesipollentites-Tricolpopollenites*, 根据孢粉组合内一些重要分子的地质时限及与外区有关孢粉组合的对比, 将其时代划归为晚白垩世 Coniacian 晚期-Santonian 早期, 其层位相当于姚家组。根据孢粉母体植物形态和生态特征、干湿度环境和气候环境, 将其孢粉植物群反映的植被、干湿度和气候带划分为 3 个演化阶段: 第 1 演化阶段(405.9~413.2 m) 沉积时期植被面貌大体为针叶林与草本共生, 对应于湿润、半湿润的热带-亚热带气候; 第 2 演化阶段(389.7~405.9 m) 植被面貌演化为以高大乔木型针叶树种占优势地位, 并出现一次明显的干旱化事件, 对应于半干旱的热带-亚热带气候; 第 3 演化阶段(336.0~389.7 m) 植被面貌与第 1 阶段相似, 为针叶林与草本共生, 干旱化有所缓解, 对应于半湿润-半干旱的热带-亚热带气候。

**关键词:** 孢粉组合; 古气候; 姚家组; 晚白垩世; 钱家店凹陷; 开鲁盆地; 古生物。

中图分类号: P52

文章编号: 1000-2383(2017)10-1725-11

收稿日期: 2017-05-23

## Late Cretaceous Palynological Assemblage and Its Palaeoclimate Record from Yaojia Formation in Qianjiadian Depression, Kailu Basin

Xu Zenglian<sup>1,2</sup>, Wei Jialin<sup>1,2</sup>, Zeng Hui<sup>1,2</sup>, Li Hongliang<sup>3</sup>, Li Jianguo<sup>1,2</sup>, Zhu Qiang<sup>1,2</sup>, Zhang Bo<sup>1</sup>, Cao Minqiang<sup>3</sup>

1. Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China
2. Laboratory of Non-Fossil Energy Minerals Resources, Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China
3. Development Company of New Energy Sources of Liaohu Petroleum Exploration Bureau, CNPC, Panjin 124010, China

**Abstract:** The study on the palynology from the Yaojia Formation can provide palynology data and lay the basis on Late Cretaceous stratigraphic classification and correlation in the northeastern area of Kailu basin. Abundant sporopollen fossils of 88 species from 73 genera were recognized from the interval of 315 to 447 m of well QIV-48-61 in the Qianjiadian depression, Kailu basin in this study. Three sporopollen assemblages are established, namely the *Schizaeoisporites-Cyathidites-Tricolpopollenites* assemblage, the *Schizaeoisporites-Classopollis-Ta-xodiaceapollenites* assemblage and the *Schizaeoisporites-Exesipollentites-Tricolpopollenites* assemblage. According to the geological range of some important elements and the correlation with relevant assemblages of other areas, the geological era of these sporopollen assemblages is assigned to the Late Cretaceous, which is equal to the Late Coniacian-Early Santonian Stage. Based on ecological characteristics, climate and humidity condition for the vegetation type of the sporopollen from the Qianjiadian area, 3 phases of paleovegetation and paleoclimate are reconstructed as follows. (1) It was humid/semi-humid tropic-subtropic climate during the interval of 405.9 to 413.2 m, presenting a vegetation landscape of coniferous forest and grass. (2) The vegetation type during the in-

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(No.2015CB453000); 中国地质调查局项目(No.DD20160128)。

**作者简介:** 徐增连(1985-), 男, 工程师, 博士, 主要从事孢粉学与古气候研究。ORCID: 0000-0002-1077-4638. E-mail: lz\_xu870601@126.com

**引用格式:** 徐增连, 魏佳林, 曾辉, 等, 2017. 开鲁盆地东北部钱家店凹陷晚白垩世姚家组孢粉组合及其古气候意义. 地球科学, 42(10): 1725-1735.

interval of 389.7 to 405.9 m was characterized by the dominance of coniferous forest, and the climate turned hot and dry, marked by the increase in the drought-tolerant taxa, corresponding to semi-arid tropic-subtropic climate. (3) Similar to the first phase, the vegetation type during the interval of 336.0 to 389.7 m was also coniferous forest including grass, which belonged to semi-humid and semi-arid tropic-subtropic climate.

**Key words:** palynological assemblage; palaeoclimate; Yaojia Formation; Late Cretaceous; Qianjiadian depression; Kailu basin; paleontology.

## 0 引言

利用孢粉资料探讨各个地质历史时期的古气候是国内外普遍应用的有效方法 (Archangelsky and Gamarro, 1967; Burger, 1980), 孢粉是植物的生殖细胞, 是从其母体植物产生的, 反映或代表了母体植物的生态特征。植物素有“温度计”之称, 不同的植物群落生长在不同的气候条件或地理环境之中, 随着环境的变化, 植物群也随之发生更替或演变, “就地带性植物而言, 植被类型是一定气候区域产物” (黄清华等, 1999)。地质时期古气候学的研究是地球科学研究的一个重要内容, 有着重要的理论意义与经济意义, 许多矿产资源的形成, 受古气候的控制, 如石油、天然气、煤、盐类等。利用孢粉资料探讨古气候, 是孢粉学应用的一个重要内容。

晚白垩世是地质历史时期中一个十分重要的时期 (Huber *et al.*, 2002; Skelton, 2003; Friedrich *et al.*, 2012)。当时全球气候有“泛热带”之称, 热带与亚热带分布范围很广。各种古气候指标表明, 赤道地区海水表面温度比现今高约 8~10 °C (Wilson and Norris, 2001); 二氧化碳浓度是现今的 2~4 倍 (Wang *et al.*, 2014); 海平面也比现今高约 50 m (Miller *et al.*, 2005)。晚白垩世的气候变化非常接近于现代全球变暖的趋势变化, 因此, 研究晚白垩世古气候变化, 不仅可以帮助我们了解过去, 也可以帮助我们预测未来的气候变化, 及时作出应对措施。本文通过对开鲁盆地钱家店凹陷 QIV-48-61 井孢粉样品的鉴定分析, 恢复了当时的古植被与古气候变化, 有助于我们进一步了解晚白垩世气候的演变。

## 1 区域地质与地层概况

开鲁盆地位于松辽盆地西南部, 是上叠于海西地槽褶皱基底之上的中生代断拗型盆地, 总面积约  $3.1 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 构造走向北东, 自东南向西北依次由哲东南隆起、哲中拗陷、舍伯吐隆起、陆家堡拗陷和西缘斜坡 5 个次级构造单元组成。钱家店凹陷位

于开鲁盆地东北部, 属于哲东南隆起的次级负向构造单元 (图 1a)。凹陷内基底为前震旦纪花岗岩和石炭一二叠系变质岩组成。白垩纪是研究区盖层发育的主要阶段, 地层厚度达 6 000 m。关于开鲁盆地白垩纪地层的研究工作在 20 世纪 50 年代后期开始展开, 20 世纪 60~70 年代地矿部、吉林石油会战指挥部、大庆油田研究院等先后在本区开展物化探及浅孔钻探工作, 揭示了上白垩统地层 (图 1b), 包括泉头组 (K<sub>2</sub>q)、青山口组 (K<sub>2</sub>qn)、姚家组 (K<sub>2</sub>y)、嫩江组 (K<sub>2</sub>n)、四方台组 (K<sub>2</sub>s) 和明水组 (K<sub>2</sub>m)。20 世纪 80 年代以来, 辽河石油勘探局先后在开鲁盆地开展了大面积的地球物理勘探和数十口井的深井钻探, 获得了丰富的早白垩世生物地层方面的宝贵资料 (吴炳伟, 2006, 2007), 而晚白垩世相对较少, 主要集中在嫩江组湖相沉积地层中 (吴炳伟, 2014)。

开鲁盆地上白垩统姚家组沉积时期属于辫状河流相, 与下伏青山口组和上覆嫩江组均为假整合接触, 岩性为杂色、黄色、浅灰色细砂岩、含砾砂岩与紫红色泥岩、灰色粉砂岩不等厚互层, 钻井揭示最大厚度 200 m。由于沉积物粒度较粗, 各种生物化石不易保存。为进一步丰富开鲁盆地晚白垩世孢粉地层学内容, 笔者对钱家店凹陷 QIV-48-61 井 315~447 m 深度的岩心进行连续取样, 依据孢粉化石分布特征划分 3 个组合, 为今后松辽盆地井下晚白垩世孢粉地层对比提供了最新参考资料, 为邻区晚白垩世生物地层对比以及古植被和古气候分析提供了孢粉学证据, 也为研究中国东北地区晚白垩世植被的演化打下了坚实基础。

## 2 材料与方法

本次对钱家店地区 QIV-48-61 井 315~447 m 深度连续采集了孢粉样品, 去除粒度较粗、不适合进行孢粉测试的样品外, 共采集样品 11 块。孢粉化石分析由中国科学院南京地质古生物研究所完成。分析鉴定采用常规方法, 取 100 g 样品在实验室里经过酸、碱 (盐酸去除钙质、氢氟酸去除硅质、弱碱去除

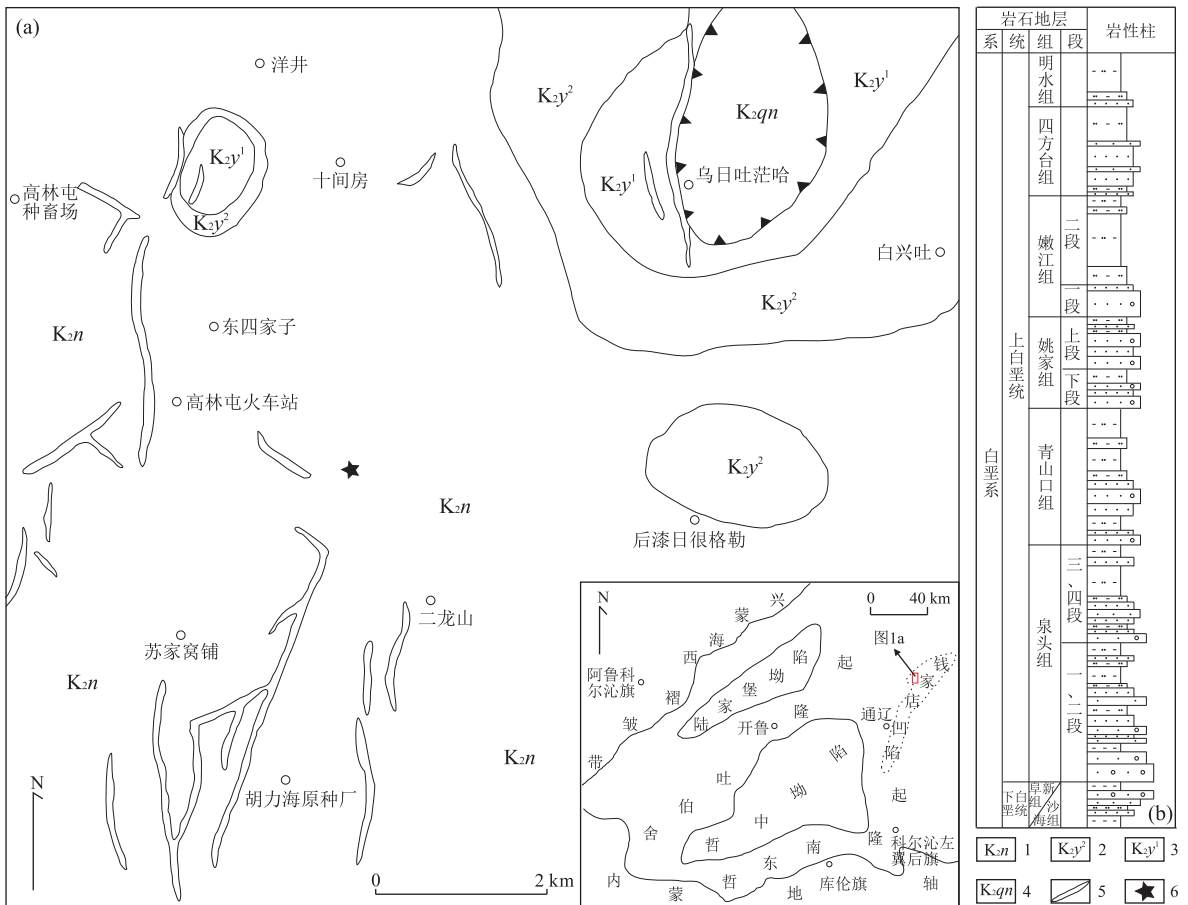


图 1 区域地质背景及钱家店凹陷钻孔位置

Fig.1 Geology background and location of the bore-hole QIV-48-61 in Qianjiadian depression

a.钱家店地区前第四纪地质略图及钻孔位置;b.钱家店地区地层综合柱状图.图 a 据罗毅等(2012)和荣辉等(2016)修改;图 b 据董文明等(2007)修改.1.嫩江组;2.姚家组上段;3.姚家组下段;4.青山口组;5.辉绿岩脉;6.钻孔位置

有机质)等化学处理,换水清洗到中性后,用比重为 2.1 以上的重液在离心机上进行离心浮选,再经冰乙酸水稀释、集中,纯净水清洗至中性后制到试管,最后制活动玻片在生物显微镜下进行观察、鉴定、统计.

### 3 孢粉分析结果

经中国科学院南京地质古生物研究所处理、鉴定,在其中 10 块样品中见到丰富的孢粉化石(4 342 粒),平均每块样品中统计有 434 粒,最高达 686 粒;共计鉴定孢粉化石 73 属 88 种,化石保存状况较好.其中以裸子植物花粉(22 属 27 种,占组合的 28.29%~86.29%,平均为 58.05%)和蕨类植物孢子(42 属 51 种,占组合的 13.40%~69.74%,平均为 40.24%)为主,此外被子植物花粉(9 属 10 种,占组合的 0.31%~4.27%,平均为 1.70%),详细的孢粉类型及含量见表 1 和图 2.

### 3.1 孢粉化石组合特征

通过分析剖面上出现的孢粉类型及百分含量在 315~447 m 井段的变化,笔者发现各分子类型在剖面上基本稳定出现,仅百分含量有渐变趋势,从各样品中选择最高百分含量超过 1% 且生态意义较大的孢粉属种,用 Tilia 软件绘制孢粉百分比图谱(图 3),根据孢粉图谱中各孢粉属种的变化特征,自下而上划分为 3 个孢粉组合.各个孢粉组合的特征分述如下:

孢粉组合 I *Schizaeoisporites-Cyathidites-Tricolpopollenites* (405.9~413.2 m),该孢粉组合特征为:(1)蕨类植物孢子占优势,平均含量 57.34%;裸子植物花粉次之,平均含量 40.29%;被子植物花粉含量最低,仅占 2.37%;(2)蕨类中以莎草蕨科的 *Schizaeoisporites* 最为丰富,平均占 15.66%;桫欏科的 *Cyathidites* 也以较高含量连续出现,大约占组合的 6.12%;此外还有数量可观的具环三缝孢子,如 *Polycingulatisporites*, *Foraminisporis*,

表 1 开鲁盆地东北部钱家店凹陷晚白垩世姚家组孢粉统计

Table 1 Statistics of sporopollen from Late Cretaceous Yaojia Formation in Qianjiadian depression

化石名单	井深(m)										
	336	349.5	372.8	378.4	384.6	389.7	393.2	405.9	408.5	413.2	430.6
蕨类植物孢子	28.20	42.99	28.90	25.73	31.77	26.55	10.24	67.95	36.43	50.74	85.71
<i>Sphagnumsporites</i> sp.	0.30			0.65		0.25	0.24		0.49		
<i>Deltoidospora</i> sp.				0.65		0.13	0.48	0.96		0.27	
<i>Cyathidites</i> sp.		3.12	4.91	2.91	2.82	0.63	2.86	3.21	4.40	5.41	
<i>C. minor</i>	0.30			2.43		0.25		1.60		1.62	
<i>Toroisporis</i> sp.		0.62	0.29				0.24		0.49		
<i>Undulatisporites</i> sp.		0.31		0.16							
<i>Cibotiumspora</i> sp.				0.16			0.24				
<i>Granulatisporites</i> sp.				0.32		0.51	0.24	0.64			
<i>Acanthotriletes</i> sp.		0.31									
<i>Lophotriletes</i> sp.				0.49		0.38	1.19	0.32		0.81	
<i>Converrucosisporites</i> sp.										0.54	
<i>Conbaculatisporites</i> sp.										0.41	
<i>Punctatisporites</i> sp.				1.29				0.64		1.76	
<i>Cyclogranisporites</i> sp.	1.22			0.65		1.14		0.64		2.84	
<i>Apiculatasporites</i> sp.		1.56								0.27	
<i>Apiculatisporis</i> sp.	0.30					1.14					
<i>Apiculatisporis</i> sp.		0.93	0.58	0.97	0.19	1.01	0.24	1.28	0.49	1.62	
<i>Concavissimisporites</i> sp.										0.27	
<i>Verrucosisporites</i> sp.	0.30			0.97		0.51		0.64		0.27	
<i>Neoraistrickia</i> sp.			0.29								
<i>Leptolepidites</i> sp.						0.13					
<i>Pterisisporites</i> sp.	0.15					0.13	0.24			0.41	
<i>Polypodiaceisporites</i> sp.							0.24				
<i>Osmundacidites</i> sp.	1.07			0.49						0.27	
<i>O. parvus</i>										0.54	
<i>Retusotriletes</i> sp.	0.30	1.25	0.87	1.46	0.56	0.63		2.24	1.96	1.35	
<i>Interulobites</i> sp.	0.30					0.63		0.64	0.24	0.81	
<i>Zlivoisporis</i> sp.	1.52	0.62	0.58		0.38	0.38		0.64	0.73	2.71	
<i>Lycopodiumsporites</i> sp.	0.15	0.93		0.32	0.19	0.38	0.24		0.49	1.08	
<i>Appendicisporites</i> sp.							0.24				
<i>Cicatricosisporites</i> sp.	0.30	0.31		0.49			0.95	31.73	0.24	0.14	
<i>C. minutaestriatus</i>			0.29							0.73	
<i>Aequitriradites</i> sp.	0.15		1.16	0.16	0.56				0.73	0.14	
<i>Densosporites</i> sp.	0.30										
<i>Polycingulatisporites</i> sp.		2.49	2.60	3.56	1.69	2.28	0.71	1.92	2.93	4.06	
<i>P. circulus</i>				0.97				0.64		0.54	
<i>P. triangularis</i>				0.32							
<i>P. triangularis</i>		2.80	1.73	0.65	2.26			1.28	2.20	0.27	
<i>Densoisporites</i> sp.		0.62							0.49	0.14	
<i>Annulispora</i> sp.							0.48				
<i>Foraminisporis</i> sp.	0.76	3.43	1.16	0.32	3.95	0.63		2.88	3.18	3.79	
<i>Nevesisporites</i> sp.		0.93					0.95		0.49		
<i>N. radiatus</i>	0.46	0.31		2.59	2.63	1.26		2.56	0.73	2.44	
<i>Yichangsporites</i> sp.	4.88	0.62	0.58		0.94	1.26				0.95	
<i>Wulongspora</i> sp.	0.15										
<i>Gabonisporis</i> sp.	0.15									1.22	
<i>Schizaeoisporites</i> sp.	15.09	9.97	8.96	1.94	11.28	12.52	0.48	12.82	14.67	13.40	85.71
<i>S. vitilis</i>		2.80	2.89		2.07						
<i>S. brevis</i>		5.61							0.73		
<i>Crybelosporites</i> sp.										0.14	
<i>Laevigatosporites</i> sp.		3.43	2.02	0.81	2.26	0.38		0.64		0.27	
裸子植物花粉	53.66	55.14	68.21	73.62	67.29	71.43	89.29	28.53	62.35	44.52	14.29

续表 1

化石名单	井深(m)										
	336	349.5	372.8	378.4	384.6	389.7	393.2	405.9	408.5	413.2	430.6
<i>Abietinaepollenites</i> sp./ <i>Pinuspollenites</i> sp.	1.83	3.43	4.91	7.77		4.80	2.14	8.33	3.91	5.01	14.29
<i>Parcisporites</i> sp.		0.62			0.56						
<i>Cedripites</i> sp.		0.93	0.29			0.38		0.32	0.24		
<i>Piceaepollenites</i> sp.			0.29	0.32		0.88	0.24	0.64	0.73	0.27	
<i>Keteleeriaepollenites</i> sp.								0.64			
<i>Podocarpidites</i> sp.	0.30	0.93	0.87	1.29	0.75	0.63	0.71	2.24	0.73	1.08	
<i>Piceites</i> sp.			0.58			0.25			1.47		
<i>Pseudopicea</i> sp.		0.62			0.19			0.32		0.41	
<i>Protoconiferus</i> sp.	0.30			0.49		0.63		0.96		0.27	
<i>Psophosphaera</i> sp.			8.96		3.38				6.85		
<i>Chasmatosporites</i> sp.	1.83	6.54	4.91	3.07	1.69	1.77		0.64	2.93	1.22	
<i>Cycadopites</i> sp.	3.35	2.80	4.62	7.12	3.38	1.90	0.48	2.24	3.18	0.68	
<i>Classopollis</i> sp.							23.57				
<i>C. annulatus</i>	10.21	5.61	4.05	0.32	4.32	6.95	7.62	0.64	3.91		
<i>C. triangulus</i>	0.91	0.62				0.38					
<i>C. parvus</i>	6.40			2.27		11.38		0.64		0.68	
<i>Exesipollentias</i> sp.	0.15	6.54	18.50	5.99	11.28	10.11	7.38		2.69	3.25	
<i>E. tumulus</i>		8.41			18.61	3.54		7.05	5.38		
<i>E. pseudotriletes</i>				12.94		2.02		0.96		0.68	
<i>Perinopollenites</i> sp.					0.56				0.73		
<i>Jugella</i> sp.	0.46	0.31				0.25		0.64		3.79	
<i>Brenneripollis</i> sp.						0.13					
<i>Steevesipollenites</i> sp.		0.31	0.58						0.24		
<i>Monosulcites</i> sp.						0.13				0.27	
<i>Ephedripites</i> sp.							0.24				
<i>Taxodiaceapollenites hiatus</i>	13.72	8.72	9.83	16.02	11.28	12.52	23.57	0.96	14.67	13.40	
<i>Araucariacites</i> sp.	0.46					0.25		0.32		0.14	
被子植物花粉	2.74	1.25	1.16	0.81	0.56	1.26	0.24	1.92	0.73	3.65	
<i>Myrtaceidites</i> sp.				0.32		0.25		0.64		0.81	
<i>Cranwellia</i> sp.							0.24			0.68	
<i>C. striatus</i>										0.54	
<i>Proteacidites</i> sp.				0.16		0.51		0.64		0.81	
<i>Symplocospollenites</i> sp.										0.27	
<i>Lythraites</i> sp.	0.15										
<i>Triporopollenites</i> sp.	1.68	0.31	1.16		0.38	0.38		0.32	0.73	0.41	
<i>Tricolpopollenites</i> sp.	0.91			0.32						0.14	
<i>Retitricolpites</i> sp.		0.93									
<i>Quantonenpollenites</i> sp.					0.19	0.13		0.32			
每块样品鉴定化石数量(粒)	656	321	346	618	532	791	420	312	409	739	7

*Nevesisporitesradiatus* 等;其余多为一些具粒、刺、瘤等纹饰的三缝小孢子,如 *Granulatisporites*, *Cyclogranisporites*, *Apiculatisporis* 等。海金砂科的 *Cicatricosisporites* 在 405.9 m 井段处频繁出现,含量高达 32.57%,并随井深增加有衰退之势;(3)裸子植物以松柏类两气囊花粉为主,占 10.13%,多为 *Abietinaepollenites*/*Pinuspollenites*, *Piceaepollenites*, *Podocarpidites* 等;单沟类的 *Chasmatosporites*, *Cycadopites* 以及无口器类的 *Psophosphaera* 均有较多数量;*Exesipollentias* 在组合中连续出现,含量超过 7.0%,包括 *E. tumulus* 和 *E. pseudotri-*

*letes*;杉科花粉繁盛,尤其是 *Taxodiaceapollenites hiatus* 平均含量约 11.31%;(4)被子类植物花粉中含量最高的是 *Tricolpopollenites*,其他还见有 *Myrtaceidites*, *Cranwellia*, *Proteacidites* 等。

孢粉组合 II *Schizaeoisporites-Classopollis-Taxodiaceapollenites* (389.7~405.9 m),该孢粉组合特征为:(1)以裸子植物花粉含量高于蕨类植物孢子为特征,前者占 67.93%~86.29%,平均 77.11%;后者 13.40%~40.61%,平均 22.0%;被子植物花粉含量最低,占组合的 0.88%。(2)蕨类孢子中含量最高的是 *Schizaeoisporites*,平均含量约 7.53%,其次

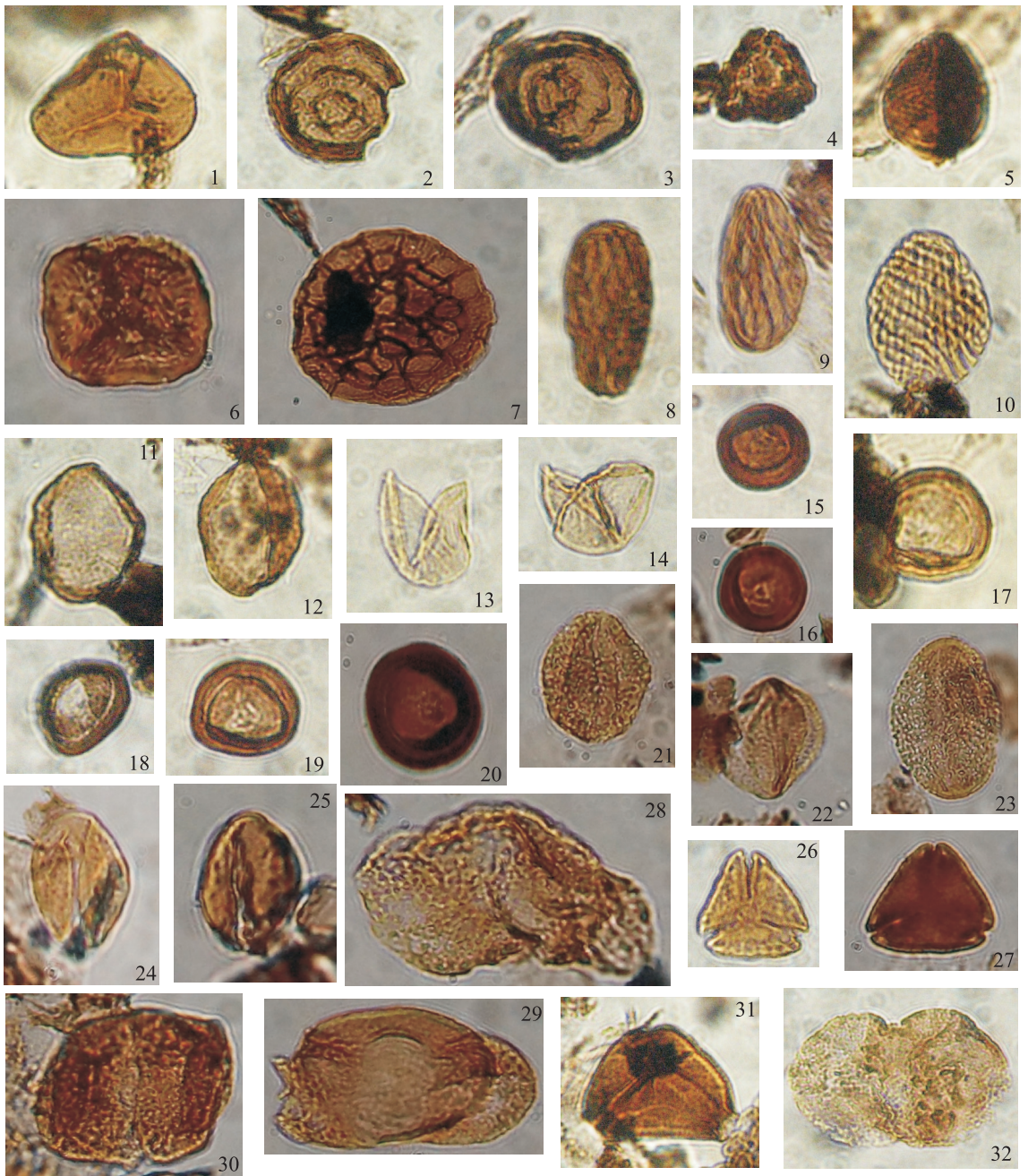


图 2 开鲁盆地东北部钱家店凹陷晚白垩世姚家组代表性孢粉化石

Fig.2 Late Cretaceous representative sporopollen from Yaojia Formation in Qianjiadian depression

化石照片放大 600 倍。1. *Deltoidospora*; 2, 3. *Yichangsporites*; 4. *Pterisporites*; 5. *Cicatricosisporites*; 6. *Nevesisporites*; 7. *Zlivisporis*; 8, 9, 10. *Schizaeoisporites*; 11, 12. *Chasmatosporites*; 13, 14. *Taxodiaceae pollenites hiatus*; 15, 16, 17, 18, 19, 20. *Classopollis annulatus*; 21, 22, 23. *Retitricolpites*; 24, 25. *Cycadopites*; 26, 27. *Tricolporopollenites*; 28, 29. *Abietinae pollenites / Pinus pollenites*; 30. *Parcisporites*; 31. *Lythraites*; 32. *Podocarpidites*

为一些带环孢子, 平均含量大约 4.22%, 包括 *Polycingulatisporites*, *Foraminisporis*, *Nevesisporites radiatus* 和 *Yichangsporites* 等; 光面三缝孢子以 *Cyathidites* 为主, 约占组合 2.38%; 其余多为一些具粒、刺、瘤等纹饰的三缝小孢子, 如 *Granulatisporites*, *Cyclogranisporites*, *Verrucosisporites*,

*Lophotriletes*, *Apiculatasporites* 等。(3) 裸子类植物花粉中 *Classopollis* 含量居首位, 平均含量约 31.19%; *Taxodiaceae pollenites hiatus*, *Exesipollenites*, *Cycadopites* 的含量也较高, 分别为 22.64%、13.87% 和 1.40%; 松柏类两气囊花粉(包括气囊分化未完善的原始松柏类)平均含量 6.40%,

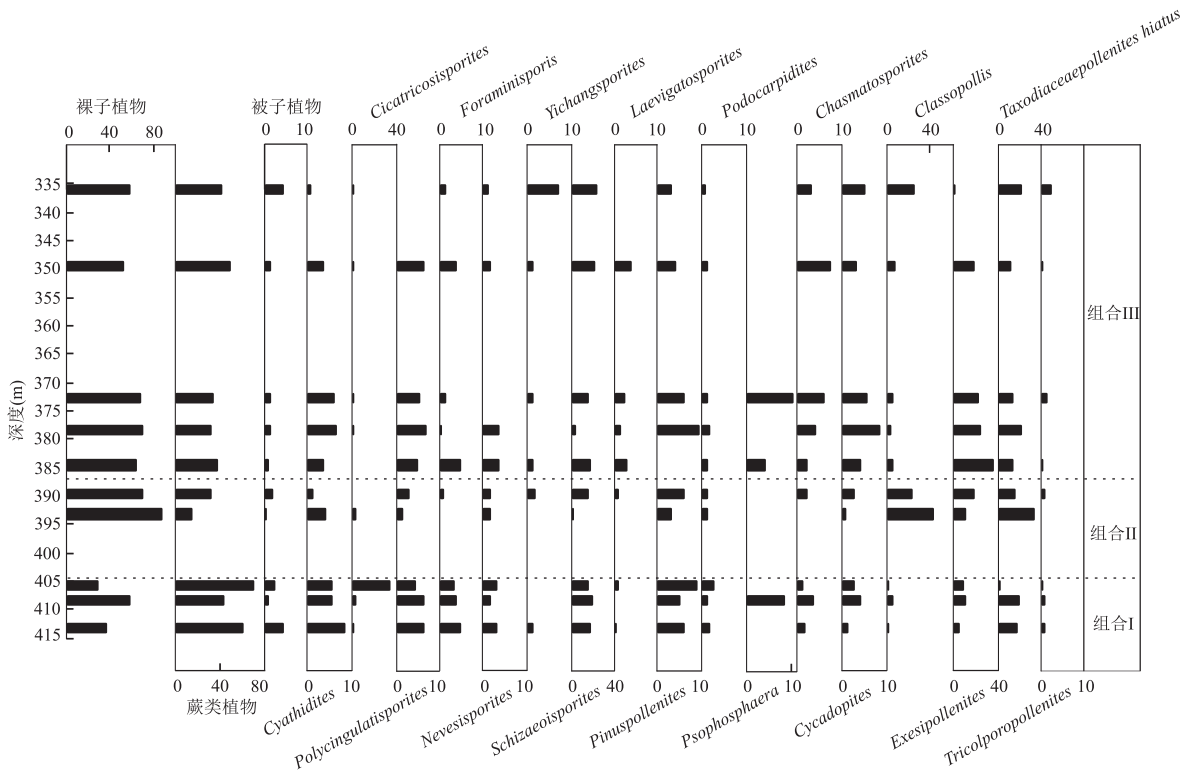


图 3 开鲁盆地东北部钱家店凹陷 QIV-48-61 井主要孢粉属种图谱(单位为%)

Fig.3 The diagram of sporopollen spectrum of well QIV-48-61 in Qianjiadian depression

比如 *Abietinaepollenites*/*Pinuspollenites*, *Podocarpidites*, *Protoconiferus* 等;其他常见类型有 *Chasmatosporites*, *Jugella* 等。(4)被子植物花粉类型较单调,含量最高的是 *Proteacidites*,其他还见有 *Myrtacidites*, *Cranwellia*, *Triporopollenites* *Quantonenpollenites* 等。

孢粉组合 III *Schizaeoisporites-Exesipollenites-Tricolporopollenites* (336~389.7 m),该孢粉组合特征为:(1)裸子植物占优势,平均 61.09%;蕨类植物次之,平均 37.28%;被子植物最少,占组合的 1.63%。(2)蕨类孢子中,*Schizaeoisporites* 在组合中占绝对优势,其含量高达 14.48%,包括 *S. vitilis*, *S. brevis*;带环孢子如 *Polycingulatisporites*, *Foraminisporis*, *Nevesisporitesradiatus* 和 *Yichangsporites* 次之,少量光面三缝孢子和具粒、刺、瘤等纹饰的三缝小孢子。(3)裸子花粉中 *Exesipollenites* 含量最高,平均 18.79%;其次是 *Taxodiaceapollenites hiatus* (平均 14.38%)、*Classopollis* (平均 8.83%)和松柏类两气囊花粉(平均 6.39%)。(4)被子植物花粉以三沟类花粉为主,含量最高的是 *Tricolporopollenites*,其他还见有 *Myrtacidites*, *Proteacidites*, *Tricolporopollenites* 等。

### 3.2 地质时代讨论

组合中除 *Classopollis* 在侏罗纪十分发育,且在白垩纪仍占有重要位置,其他分子如 *Cicatricosisporites*, *Polycingulatisporites*, *Foraminisporis*, *Schizaeoisporites*, *Pterisisporites*, *Laevigatosporites*, *Concavissimisporites*, *Zlivisporis*, *Nevesisporites*, *Gabonisporis*, *Yichangsporites*, *Wulongspora*, *Exesipollenites* 和 *Cranwellia* 等很少见于侏罗纪,而是白垩纪常见重要分子。

蕨类孢子中 *Cicatricosisporites* 是一个划分侏罗系和白垩系界限十分重要的标志化石,多发现于白垩系地层中(万传彪, 2006),广泛分布于北美、苏联西伯利亚早白垩世晚期至晚白垩世早中期(余静贤, 1981);*Schizaeoisporites* 在世界各地几乎都在白垩纪,尤其在早白垩世晚期以后大量繁盛,到早第三纪已很少见,中国晚白垩世早、中期地层中均很丰富(宋之琛, 1986), *S. Vitilis* 见于 Cenomanian-Santonian 期(Bolchovitina, 1967);*Nevesisporitesradiatus* 为苏联、北美及我国晚白垩世地层中常见的种;*Interulobites* 是美国东部早白垩世晚期—晚白垩世早期的重要分子(Stover, 1963);裸子植物花粉中 *Steevesipollenites* 常见于西非 Cenomanian-

Turonian 期孢粉组合中, 尚未见有早白垩世以前的记录(朱丽霞等, 2012). *Exesipollenites* 和 *Classopollis* 在我国最后的高含量产出是在晚白垩世, 在古近纪地层中通常只有很低含量, 如江苏北部盆地和广东三水盆地(李建国等, 2008). 因此, 该套沉积地层应属于白垩纪.

被子植物花粉对划分和对比白垩纪及其以后的地层有着决定性的意义(Doyle, 1969; Muller, 1970; Norris *et al.*, 1975). 由于当前这一孢粉植物群中出现了 *Cranwellia* 和 *Tricolporites* 等被子植物的花粉, 其地质时代就排除了早白垩世的可能性, 因为 *Cranwellia* 属一般出现在晚白垩世一早第三纪地层中, 为世界性分布的晚白垩世重要分子, 加拿大、苏联西伯利亚上白垩统, 新西兰下渐新统至上中新统, 我国塔里木盆地西部上白垩统库克拜组和乌依塔克组(张一勇和詹家祯, 1991)、江西会昌周家店组都有发现, 南极半岛坎佩尼期至古新世地层也有发现(曹流, 1990); *Tricolporites* 属在早白垩世晚期才开始出现, 在晚白垩世早期以后大量出现, *Tripopollenites* (三孔粉) 和 *Tricolporopollenites* (三孔沟粉) 是继 *Tricolpites* (三沟粉) 之后发育起来的晚白垩世类型; 同时被子花粉的类型和含量不具备新生代被子花粉繁盛特征. 由此笔者认为该植物群年龄应为晚白垩世.

组合中特殊的 *Gabonispuris* 常发现于加拿大晚白垩世中、晚期地层中, 在我国新疆地区 Turonian-Santonian 期孢粉组合中出现(宋之琛等, 1981), 在塔里木盆地西部 Campanian 期含量逐渐增加(王大宁等, 1990). 本次孢粉植物群中 *Gabonispuris* 的含量较低, 仅占 0.16%, 表明该孢粉植物群不晚于 Campanian 期.

另外, 本次孢粉植物群可与我国苏北盆地 Coniacian-Santonian 期泰州组一段孢粉组合对比(宋之琛和钱泽书, 1989). 裸子花粉都以 *Classopollis*、*Exesipollenites*、*Taxodiaceapollenites* 占主导, 蕨类孢子中以 *Schizaeoisporites* 的大量繁盛为特征, 被子植物花粉种类较本组合丰富. 同时, 松辽盆地松科一井南孔晚白垩世 Turonian 晚期—Santonian 早期的孢粉组合(赵静, 2013) 也与本组合类似. 鉴于松辽盆地 Turonian 晚期—Coniacian 晚期青二、三段的特征分子 *Balmeisporites* 在该井段中未有出现. 笔者推测该孢粉植物群不早于 Coniacian 晚期.

综合上述组合中孢粉类型、含量特征及其与其他地区孢粉组合对比情况, 笔者最终确定该井段地

质时代为晚白垩世 Coniacian 晚期—Santonian 早期, 层位大致相当于姚家组.

## 4 古植被与古气候分析

在地球生物圈这个统一体中, 生物与环境既相互依存, 又相互制约; 一定的孢粉组合能反映一定的植物群, 而一定的植物群必须要有相应的生态环境. 根据孢粉母体植物对气温和湿度的适应性, 通常将其分为喜热组、喜温组、广温组和早生、湿生和中生组. 喜热组主要分布于热带至亚热带, 少数可达暖温带; 喜温组主要分布于暖温带, 少数可达亚热带或寒温带; 广温组母体植物广布于热带至温带(姚益民等, 1994).

第 1 演化阶段(393.2~413.2 m): *Schizaeoisporites*-*Cyathidites*-*Tricolpopollenites* 孢粉组合显示孢粉植物群以蕨类植物占优势, 其中莎草蕨科占 13.16%~18.16%, 桫欏科占 5.19%~8.55%, 海金沙科占 0.48%~33.23%; 裸子植物次之, 其中掌鳞杉科占 0.79%~4.61%, 松科占 5.76%~10.20%, 柏科占 4.59%~9.51%, 杉科占 0.99%~18.15%; 被子植物含量极低. 现代蕨类植物大多为草本, 广泛分布于世界各地, 以生活于热带亚热带地区最为丰富, 其中桫欏科之 *Cyathidites* 多为树蕨, 分布于热带、亚热带的潮湿环境中; 海金沙科之 *Cicatricosisporites* 常为攀援植物, 生长于疏林或灌木丛中, 分布于热带和亚热带的潮湿环境中(边彦明等, 2013); 现代希指蕨植物多分布于热带和南半球干燥地区. 我国希指蕨有 2 种, 分布于海南岛、台湾和雷州半岛干燥而贫瘠的砂质土中(王开发等, 1989). 裸子植物大都为常绿针叶乔木, 稀为阔叶乔木和灌木, 其中杉科之 *Taxodiaceapollenites* 和柏科之 *Exesipollentites* 生活在亚热带沼泽湿地环境; 广温的松科之 *Pinuspollenites* 生活于亚高山区的中生环境中. 笔者推断当时的植被面貌是针叶林与草本共生, 表现为以 *Taxodiaceapollenites* 母体植物杉科为主的针叶林, 在林下生长着希指蕨等蕨类植物, 在一些低洼处生长着 *Cyathidites* 等桫欏科植物, 而周围山地或山坡分布着少量松、罗汉松、苏铁等. 从各生态组含量变化曲线(图 4) 也可以看出植被中喜热组成分占 61.48%, 早生成分仅占 18.67%, 同时考虑到大部分蕨类植物性喜潮湿, 可以推测该阶段为湿润、半湿润的热带—亚热带气候.

第 2 演化阶段(389.7~393.2 m): 裸子植物含



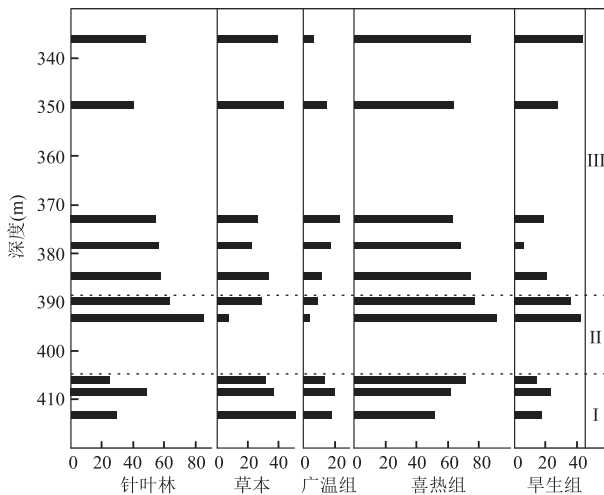


图 4 开鲁盆地东北部钱家店凹陷 QIV-48-61 井孢粉生态类型含量变化(单位为%)

Fig.4 The diagram of sporopollen ecological types contents of well QIV-48-61 in Qianjiadian depression

量迅速增加并占绝对优势,其中掌鳞杉科占 21.57%~40.81%,松科占 3.11%~7.00%,柏科占 9.66%~18.08%,杉科占 14.43%~30.84%;蕨类植物次之,其中莎草蕨科占 0.62%~14.43%,桫欏科占 1.17%~4.36%,海金沙科占 0.58%~1.25%;被子植物含量依然很低.最明显的变化是早生的裸子植物掌鳞杉科之 *Classopollis* 含量的明显增加.此外,早生的 *Schizaeoisporites* 也常见;*Schizaeoisporites-Classopollis-Taxodiaceapollenites* 组合反映的植物群面貌是以高大乔木型针叶树种占优势地位,其中尤以与柏科有关的 *Exesipollentites*,与掌鳞杉有亲缘关系的 *Classopollis* 和与杉科有关的 *Taxodiaceapollenites* 为主,被子植物花粉个别出现.目前关于 *Classopollis* 的生态有许多学者进行过研究,由于 *Classopollis* 母体植物属生长在热带-亚热带地区的掌鳞杉科,多数认为 *Classopollis* 生长于干热的环境(李建国等, 2008),其花粉含量的增加是和干燥气候的扩大有关.鉴于该孢粉组合中蕨类孢子和裸子花粉其母体多为热带亚热带地区生长的植物,同时喜热组成分含量增加,平均 84.20%,表明气温有上升的趋势,反映了一种热带、亚热带气候的延续.早生组成分尤其是以 *Classopollis* 及 *Schizaeoisporites* 等为代表的耐干旱植物孢子花粉含量呈现一个较显著的高峰,平均 39.40%,反映气候干旱化增强,综上笔者推测该阶段为半干旱的热带-亚热带气候.

第 3 演化阶段(336.0~389.7 m):孢粉植物中仍

然以裸子植物占优势,蕨类植物次之,被子植物含量最低.裸子植物中早生的掌鳞杉科之 *Classopollis* 含量大幅降低,约占组合的 3.08%~24.73%.其他喜沼生、中生环境的亚热带-广温性分子如柏科(0.22%~33.83%)、杉科(9.62%~19.35%)和松科(0.85%~9.61%)含量呈现稳定的波动,总体呈增加趋势;蕨类孢子中早生的莎草蕨科之 *Schizaeoisporites* 占 2.31%~21.29%,含量有所升高,喜潮湿的桫欏科含量略有升高,占组合的 0.43%~7.12%;总之,*Schizaeoisporites-Exesipollentites-Tricolpopollenites* 组合植被面貌整体表现为针叶林和林下蕨类植物共生的景观,与第 1 演化阶段类似.植被中喜热组成分占 68.90%,早生组成分占 24.57%,笔者推测当时的气候可能为半干旱-半湿润的热带-亚热带气候,干旱化有所缓解.

## 5 结论

(1)通过对钻孔 QIV-48-61 在 315~447 m 井段孢粉化石特征的分析,自下而上划分出 *Schizaeoisporites-Cyathidites-Tricolpopollenites*, *Schizaeoisporites-Classopollis-Taxodiaceapollenites* 和 *Schizaeoisporites-Exesipollentites-Tricolpopollenites* 3 个孢粉组合;根据典型分子时代分布、重要种属含量上的变化及横向组合对比,确定其地质时代为晚白垩世 Coniacian 晚期-Santonian 早期,层位大致相当于姚家组.

(2)依据孢粉组合推测第 1 演化阶段(405.9~413.2 m)沉积时期植被面貌大体为针叶林与草本共生,对应于湿润、半湿润的热带-亚热带气候;第 2 演化阶段(389.7~405.9 m)植被面貌演化为以高大乔木型针叶树种占优势地位,并出现一次明显的干旱化事件,对应于半干旱的热带-亚热带气候;第 3 演化阶段(336.0~389.7 m)植被面貌与第 1 阶段相似,为针叶林与草本共生,干旱化有所缓解,对应于半湿润-半干旱的热带-亚热带气候.

致谢:中国地质调查局天津地质调查中心司马献章教授级高级工程师、孙立新研究员为文章的修改和完善提供了宝贵意见;论文审稿过程中匿名审稿专家为本文的修改完善提出了建设性的意见,编辑也给予了许多帮助,在此一并致以感谢!

## References

Archangelsky, S., Gamero, J.C., 1967. Spore and Pollen Type of the Lower Cretaceous in Patagonia. *Review of Palae-*

- obotany and Palynology*, 1(1-4): 211-217. doi: 10.1016/0034-6667(67)90123-6
- Bian, Y.M., Yu, J., Shao, Z.G., et al., 2013. Palynological Assemblages in the Paiku Co Basin of Tibet since Late Pleistocene and Their Paleoclimatic Significance. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(1): 87-94 (in Chinese with English abstract).
- Bolchovitina, N. A., 1967. The Fossil Spores of the Family Gleicheniaceae (Morphology and Taxonomy). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 3(1-4): 59-64. doi: 10.1016/0034-6667(67)90039-5
- Burger, D., 1980. Palynological Studies in the Lower Cretaceous in the Surat Basin, Australian. *Bureau of Mineralogical Resources Bulletin*, 189: 1-106.
- Cao, L., 1990. Discovery of Late Cretaceous Palynoflora from Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica and Its Significance. *Acta Palaeontologica Sinica*, 29(2): 140-146 (in Chinese with English abstract).
- Dong, W.M., Lin, J.R., Xia, Y.L., et al., 2007. Sequence Stratigraphy of the Upper Cretaceous and Its Relation to Sandstone-Type Uranium Mineralization in the Southwest of Songliao Basin. *World Nuclear Geoscience*, 24(3): 125-135 (in Chinese with English abstract).
- Doyle, J.A., 1969. Cretaceous Angiosperm Pollen of the Atlantic Coastal Plain and Its Evolutionary Significance. *Journal of the Arnold Arboretum*, 50(1): 1-35. doi: 10.5962/bhl.part.24686
- Friedrich, O., Norris, R. D., Erbacher, J., 2012. Evolution of Middle to Late Cretaceous Oceans a 55 m. y. Record of Earth's Temperature and Carbon Cycle. *Geology*, 40(2): 107-110. doi: 10.1130/G32701.1
- Huang, Q. H., Zheng, Y. L., Yang, M. J., et al., 1999. On Cretaceous Paleoclimate in the Songliao Basin. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 16(1): 95-103 (in Chinese with English abstract).
- Huber, B. T., Norris, R. D., Macleod, K. G., 2002. Deep-Sea Paleotemperature Record of Extreme Warmth during the Cretaceous. *Geology*, 30(2): 123-126. doi: 10.1130/0091-7613(2002)030<0123:DSPROE>2.0.CO;2
- Li, J. G., Zhang, Y. Y., Cai, H. W., et al., 2008. Cretaceous and Paleogene Palynological Successions at Zhongba, Tibet and Its Significance. *Acta Geologica Sinica*, 82(5): 584-593 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Y., He, Z. B., Ma, H. F., et al., 2012. Metallogenic Characteristics of Qianjiadian Sandstone Uranium Deposit in Songliao Basin. *Mineral Deposits*, 31(2): 391-400 (in Chinese with English abstract).
- Miller, K. G., Wright, J. D., Browning, J. V., 2005. Visions of Ice Sheets in a Greenhouse World. *Marine Geology*, 217(3-4): 215-231. doi: 10.1016/j.margeo.2005.02.007
- Muller, J., 1970. Palynological Evidence on Early Differentiation of Angiosperm. *Biological Reviews*, 45(3): 417-450. doi: 10.1111/j.1469-185X.1970.tb01649.x
- Norris, G., Jarzen, D. M., Awai-Thorne, B. V., 1975. Evolution of the Cretaceous Terrestrial Palynoflora in Western Canada. *Geological Association of Canada Special Paper*, 13: 333-364.
- Rong, H., Jiao, Y. Q., Wu, L. Q., et al., 2016. Epigenetic Alteration and Its Constraints on Uranium Mineralization from the Qianjiadian Uranium Deposit, Southern Songliao Basin. *Earth Science*, 41(1): 153-166 (in Chinese with English abstract).
- Skelton, P. W., 2003. *The Cretaceous World*. Cambridge University Press, London, 350.
- Song, Z. C., 1986. A Review on the Study of Early Cretaceous Angiosperm Pollen in China. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 3(4): 373-386 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. C., Qian, Z. S., 1989. Spores and Pollen Grains from Taizhou Group of North Jiangsu. In: Institute of Geology, Jiangsu Oil Exploration and Development Corporation, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, eds., *Stratigraphy and Palaeontology of the Taizhou Formation and the First Member of the Funing Formation, North Jiangsu Basin*. Nanjing University Press, Nanjing, 33-110 (in Chinese).
- Song, Z. C., Zheng, Y. H., Liu, J. L., et al., 1981. Cretaceous and Tertiary Palynological Successions of the Jiangsu Area. *Geological Publishing House*, Beijing, 268 (in Chinese).
- Stover, L. E., 1963. Some Middle Cretaceous Palynomorphs from West Africa. *Micropaleontology*, 9(1): 85-94. doi: 10.2307/1484611
- Wan, C. B., 2006. *Cretaceous Palynological Flora in Hailar Basin (Dissertation)*. Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Wang, D. N., Sun, X. Y., Zhao, Y. N., et al., 1990. Palynoflora from Late Cretaceous to Tertiary in Some Regions of Qinghai and Xinjiang. In: The Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Institute of Petroleum Exploration and Exploitation, Administrative Bureau of Petroleum, Xinjiang, eds., *The Study on the Micropaleobotany from Cretaceous-Tertiary of the Oil Bearing Basin in Some Regions of Qinghai and Xinjiang (Part I)*. China Environmental Science Press, Beijing, 1-158 (in Chinese).
- Wang, K. F., Zhang, Y. L., Jiang, H., et al., 1989. Cretaceous-Tertiary Spore-Pollen Assemblages of Zhejiang with

- Their Paleovegetation and Paleoclimate. *Acta Palaeontologica Sinica*, 28(5): 653—662 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. D., Huang, C. M., Sun, B. N., et al., 2014. Paleo-CO<sub>2</sub> Variation Trends and the Cretaceous Greenhouse Climate. *Earth-Science Reviews*, 129(1): 136—147. doi: 10.1016/j.earscirev.2013.11.001
- Wilson, P. A., Norris, R. D., 2001. Warm Tropical Ocean Surface and Global Anoxia during the Mid-Cretaceous Period. *Nature*, 412 (6845): 425—429. doi: 10.1038/35086553
- Wu, B. W., 2006. Early Cretaceous Spores and Pollen Assemblages of Kailu Basin, Nei Mongol. *Acta Palaeontologica Sinica*, 45(4): 549—562 (in Chinese with English abstract).
- Wu, B. W., 2007. Discovery of the Three Cretaceous Biotas in the Kailu Basin of Inner Mongolia and Their Geological Significance. *Journal of Stratigraphy*, 31(3): 280—287 (in Chinese with English abstract).
- Wu, B. W., 2014. Late Cretaceous Palynoflora from the Nenjiang Formation in the Kailu Basin. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 31(3): 303—310 (in Chinese with English abstract).
- Yao, Y. M., Liang, H. D., Cai, Z. G., et al., 1994. Tertiary in Petroliferous Regions of China. IV, The Bohai Gulf Basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 240 (in Chinese).
- Yu, J. X., 1981. Late Cretaceous Sporo-Pollen Assemblages of Shache District, Xinjiang. *Acta Geologica Sinica*, (2): 93—104 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. Y., Zhan, J. Z., 1991. Late Cretaceous and Tertiary Spores and Pollen from the Western Tarim Basin, Xinjiang, China. Science Press, Beijing, 398 (in Chinese).
- Zhao, J., 2013. Late Cretaceous Palynology (Spores, Pollen, Algae), Climate, and Lacustrine Conditions in Songliao Basin (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Zhu, L. X., Tan, F. W., Fu, X. G., et al., 2012. Strata of the Late Mesozoic in the North of Qiangtang Basin: A Discovery of the Early Cretaceous Marine Strata. *Acta Sedimentologica Sinica*, 30(5): 825—833 (in Chinese with English abstract).
- 群的发现及其意义. *古生物学报*, 29(2): 140—146.
- 董文明, 林锦荣, 夏毓亮, 等, 2007. 松辽盆地西南部上白垩统层序地层特征与砂岩型铀成矿作用. *世界核地质科学*, 24(3): 125—135.
- 黄清华, 郑玉龙, 杨明杰, 等, 1999. 松辽盆地白垩纪古气候研究. *微体古生物学报*, 16(1): 95—103.
- 李建国, 张一勇, 蔡华伟, 等, 2008. 西藏仲巴白垩纪—古近纪孢粉组合及其意义. *地质学报*, 82(5): 584—593.
- 罗毅, 何中波, 马汉峰, 等, 2012. 松辽盆地钱家店砂岩型铀成矿地质特征. *矿床地质*, 31(2): 391—400.
- 荣辉, 焦养泉, 吴立群, 等, 2016. 松辽盆地南部钱家店铀矿床后生蚀变作用及其对铀成矿的约束. *地球科学*, 41(1): 153—166.
- 宋之琛, 1986. 我国早白垩世被子植物花粉研究之回顾. *微体古生物学报*, 3(4): 373—386.
- 宋之琛, 钱泽书, 1989. 苏北盆地泰州组孢粉研究. 见: 江苏石油勘探局地质科学研究所, 中国科学院南京地质古生物研究所编, 苏北盆地泰州组、阜宁组一段地层古生物. 南京: 南京大学出版社, 33—110.
- 宋之琛, 郑亚慧, 刘金陵, 等, 1981. 江苏地区白垩纪—第三纪孢粉组合. 北京: 地质出版社, 268.
- 万传彪, 2006. 海拉尔盆地白垩纪孢粉植物群 (博士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 王大宁, 孙秀玉, 赵英娘, 等, 1990. 青海—新疆部分地区晚白垩世—第三纪孢粉植物群研究. 见: 中国地质科学院地质研究所, 新疆石油管理局勘探开发研究院编, 青海、新疆部分地区晚白垩世—第三纪含油盆地微古植物群的研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1—158.
- 王开发, 张玉兰, 蒋辉, 等, 1989. 浙江白垩—第三纪孢粉组合及其古植被、古气候. *古生物学报*, 28(5): 653—662.
- 吴炳伟, 2006. 内蒙古开鲁盆地早白垩世孢粉组合. *古生物学报*, 45(4): 549—562.
- 吴炳伟, 2007. 内蒙古开鲁盆地白垩纪三大生物群的发现及其地质意义. *地层学杂志*, 31(3): 280—287.
- 吴炳伟, 2014. 内蒙古东南部开鲁盆地晚白垩世嫩江组孢粉植物群. *微体古生物学报*, 31(3): 303—310.
- 姚益民, 梁鸿德, 蔡治国, 等, 1994. 中国油气区第三系(IV)渤海湾盆地油气区分册. 北京: 石油工业出版社, 240.
- 余静贤, 1981. 新疆莎车地区晚白垩世孢粉组合. *地质学报*, (2): 93—104.
- 张一勇, 詹家祯, 1991. 新疆塔里木盆地西部晚白垩世至第三纪孢粉. 北京: 科学出版社, 398.
- 赵静, 2013. 松辽盆地晚白垩世早—中期孢粉藻类及古气候古湖泊条件 (博士学位论文). 北京: 中国地质大学.
- 朱丽霞, 谭富文, 付修根, 等, 2012. 北羌塘盆地晚中生代地层: 早白垩世海相地层的发现. *沉积学报*, 30(5): 825—833.

## 附中文参考文献

- 边彦明, 余佳, 邵兆刚, 等, 2013. 西藏佩枯错盆地晚更新世以来的孢粉组合特征及其古气候意义. *地球学报*, 34(1): 87—94.
- 曹流, 1990. 南极乔治王岛菲尔德斯半岛晚白垩世孢粉植物