

文章编号: 1000-0550(2006) 03-0424-06

陇东三叠系延长组主要油源岩发育时期的古气候特征

吉利明^{1,2} 吴涛^{1,3} 李林涛^{1,3}

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所 兰州 730000 2. 中国地质大学研究生院 武汉 430074 3. 中国科学院研究生院 北京 100069)

摘要 鄂尔多斯盆地西南部陇东地区延长组长 8 段和长 7 段分别发现以 *Aratisporites-Punctatisporites* 和 *Asseretospora-Walchiites* 为代表的孢粉组合, 时代分别为中三叠世晚期与晚三叠世早期。通过现生主要植物类型生态环境分布规律的讨论和孢粉植物群已知亲缘关系类型的地层分布特征研究, 推测陇东地区中晚三叠世气候温暖潮湿, 雨量充沛, 植被茂盛。孢粉植物群反映的古气候为温带—亚热带暖湿或湿热气候。孢粉植物群特征与孢粉化石分异度曲线都表明, 本地区长 8—长 7 段沉积时期为持续温暖潮湿的适宜期, 与湖泊发展的长 8 期大规模湖进和长 7 期的最大湖泛相一致。孢粉植物群具有北方植物群的明显特征, 由于本地区当时濒临大型湖泊, 而且长 8—长 7 段沉积时期正处于湖泊扩张的鼎盛期, 因此显示出更为湿润的古环境特征。正因为长期稳定温暖潮湿气候和广大的深水湖泊环境为水生藻类的大规模发育创造了条件, 从而为本地区长 7 期优质烃源岩的形成提供了母质来源。

关键词 鄂尔多斯盆地 延长组 孢粉组合 古气候

第一作者简介 吉利明 男 1963 年出生 博士 副研究员 古生物学与石油地质学

中图分类号 P532 **文献标识码** A

延长组是鄂尔多斯盆地中生界油藏的主要油源岩^[1]。近年来在盆地西南部陇东地区发现的西峰油田的主力油源是延长组长 7 段富有机质泥岩^[2]。前人对陇东地区延长组长 8—长 6 段源岩显微组分研究发现, 泥岩段中藻类体较为发育, 笔者在本地区延长组长 7 段发现丰富的疑源类和葡萄藻, 大量发育的藻类无疑是本地区原油的重要母质来源。为了进一步探索藻类发育的古环境特征, 探讨有利烃源岩分布的主要控制因素, 本文对延长组相关层段进行了系统的地层孢粉学研究, 通过孢粉植物群及其古生态恢复, 讨论主要油源岩沉积时期的古环境特征。

孢粉分析是迄今最有效的古气候与古环境恢复方法之一, 在各地质历史时期古气候研究, 特别是第四纪全球气候变化研究中已得到广泛应用。还原性的湖相沉积是孢粉化石保存的重要场所, 但他们是湖泊周围陆地生态系统中各类植物所产生的, 通过地表流水体系搬运汇入湖泊, 带气囊的类型也可以通过气流带入湖泊, 因此是外源的, 其组合特征反映的孢粉植物群在很大程度上代表着陆地植物群的基本面貌, 是陆地生态系统和气候环境信息的重要载体。

孢粉组合反映了植物群落的面貌, 而植物的生

长、发育、繁盛、衰落都和一定的气候环境有着密切的关系, 因此, 对化石孢粉可能母体植物及其生长环境的分析研究可推测当时的古植被和古气候。值得注意的是孢子花粉在沉积过程中存在一定的分选, 特别是具气囊的花粉由于比重较轻, 在湖泊中可分布较远, 可能成为深水区的主要沉积类型。

中生界孢子花粉的分类命名一般采用半自然的器官属名, 这是由于中生界的植物类型有一部分现在仍然存在, 其母源关系和生物分类可以通过与现代类型的对比而得知。也有相当一部分植物种类已经绝灭, 无法直接与现代的植物类型相联系。但是通过原位孢子花粉研究不仅能够确定孢子花粉与植物母体的亲缘关系, 而且通过母体的形态比较可以推测其分类位置^[3,4]。随着原位孢子花粉的不断发现, 人们对中生代分散孢子花粉的植物学属性的认识日趋完善^[5,6]。

1 地层概况与样品分布

鄂尔多斯盆地中上三叠统延长组是一套以大型内陆凹陷盆地为背景, 以河流和湖泊相为主的陆源碎屑岩沉积, 底部与中三叠统纸坊组呈假整合接触, 顶部受到不同程度的剥蚀, 与下侏罗系统延安组或富县

组呈假整合接触。早中三叠世气候干燥, 以河湖相粗碎屑沉积为主。中晚三叠世, 由于气候从干旱转变为温暖潮湿, 处于湖盆发育、扩张时期, 沉积形成了巨厚的深湖、半深湖生油岩系; 晚三叠世末, 盆地基底抬升导致湖盆消亡。

延长组自下而上按岩性可区分出 5 个岩性段 ($T_2 y_1 - T_3 y_5$), 自上而下按岩性, 特别是标志层 ($K_0 - K_9$)、电性及含油气情况又可划分为 10 个油层组 (长 1—长 10)。根据生产需要, 各油层组可根据油层组内部沉积旋回特征和岩性组合特点, 再细分为 2~3 个油层段, 其中, 长 1—长 3 长 6 和长 7 为三分, 长 4 + 5 和长 8 为二分。延长组大约以北纬 38° 为界, 北部以粗碎屑沉积为主, 厚度在 100~600 m 之间, 南部细碎屑沉积发育, 厚在 1 000~1 300 m 之间。

陇东地区钻井目的层为长 8—长 6 段, 西峰油田钻井取芯层位分布于长 8—长 7 段, 因此本次微体古

生物研究的样品也限于该层段内。样品主要采自西 17 井、西 30 井、西 36 井、西 41 井、西 44 井和宁 4 井。样品经钻井剖面标定和地层对比, 确定其相对位置。

2 分析结果

样品分析结果表明, 长 8—长 7 段含非常丰富的孢粉化石, 经系统鉴定和统计共发现孢粉化石 93 属 131 种, 依据主要类型的地层分布特征可明显区分为两个孢粉组合, 长 8 段为 *Aratisporites-Punctatisporites* 组合, 长 7 段为 *Asseretospora-Walchites* 组合。

根据分散孢子花粉已知亲缘关系的研究成果, 本文对陇东地区中、晚三叠世孢粉植物群主要成员的分类位置进行了确定 (表 1), 从而为恢复孢粉植物群的面貌和开展古气候研究奠定了基础。图 1 是陇东地区已知亲缘关系的孢子花粉科级含量统计及其地层分布。

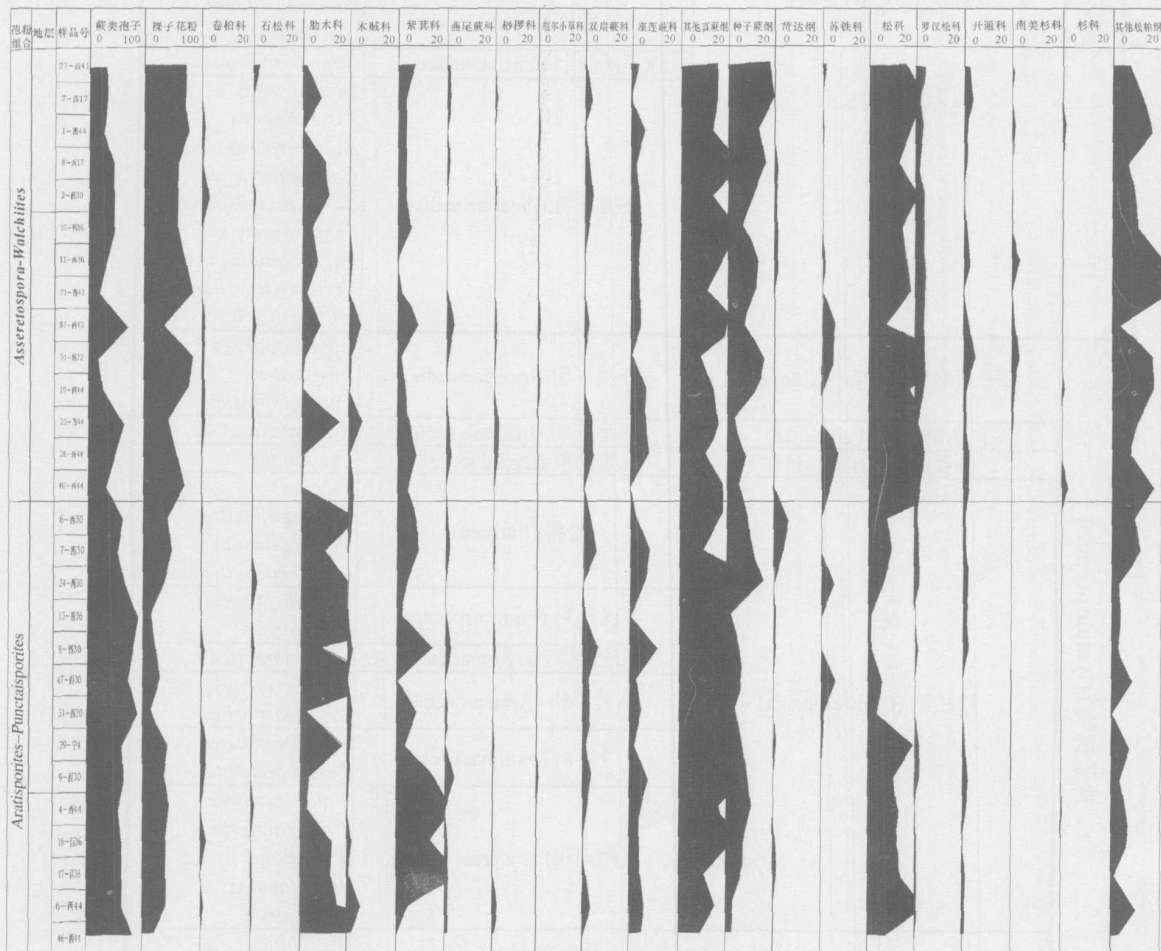


图 1 延长组主要孢粉类型地层含量分布图 (%)

Fig 1 Content distribution of main sporopollen class from the Yanchang Formation

表 1 延长组主要孢粉类型分类位置

Table 1 System position of main sporopollen genus from Yanchang Formation

蕨类植物 (Pteridophyta)	石松纲 (Lycopsida)	肋木科 (Pleuromeiaceae)	<i>Aratrisporites</i>
		石松科 (Lycopodiaceae)	<i>Camarozonosporites</i> <i>Lycopodiacidites</i>
		卷柏科 (Selaginellaceae)	<i>Densoisporites</i> <i>Neoraistrickia</i>
	楔叶纲 (Sphenopsida)	木贼科 (Equisetaceae)	<i>Calamospora</i>
	真蕨纲 (Filicopsida)	合囊蕨科 (Marattiaceae)	<i>Marattisporites</i>
		座莲蕨科 (Angiopteridaceae)	<i>Apiculatisporis</i> <i>Acanthotriletes</i>
		瓶尔小草科 (Ophioglossaceae)	<i>Undulatisporites</i>
		紫萁科 (Osmundaceae)	<i>Baculatisporites</i> <i>Osmundacidites</i> <i>Biretisporites</i> <i>Todisporites</i> <i>Cyclogranisporites</i>
		海金沙科 (Schizaeaceae)	<i>Leiotriletes</i>
		马通蕨科 (Matoniaceae)	<i>Matonisporites</i>
		桫欏科 (Cyatheaceae)	<i>Cyathidites</i>
		双扇蕨科 (Dipteridaceae)	<i>Dictyophyllidites</i> <i>Converrucosporites</i>
		燕尾蕨科 (Cheiropleuriaceae)	<i>Concavisporites</i>
		分类不明 (Incertae sedis)	<i>Dictyotriletes</i> <i>Asseretospora</i> <i>Duplexisporites</i> <i>Cingulatisporites</i> <i>Concavissimisporis</i> <i>Punctatisporites</i> <i>Polycingulatisporites</i> <i>Verrucosporites</i> <i>Laevigatosporites</i>
裸子植物 (Gymnospermae)	种子蕨纲 (Pteridospermopsida)	分类不明 (Incertae sedis)	<i>Chordasporites</i> <i>Alisporites</i> <i>Taeniaesporites</i>
	科达纲 (Cordaiopsida)	分类不明 (Incertae sedis)	<i>Cordaitena</i>
	苏铁纲 (Cycadopsida)	苏铁科 (Cycadaceae)	<i>Cycadopites</i>
	松柏纲 (Coniferopsida)	松科 (Pinacea)	<i>Piceites</i> <i>Piceapollenites</i> <i>Pinuspollenites</i> <i>Abietinaepollenites</i>
		罗汉松科 (Podocarpaceae)	<i>Podocarpidites</i> <i>Platysaccus</i>
		开通科 (Caytoniaceae)	<i>Caytoniapollenites</i>
		南美杉科 (Araucariaceae)	<i>Araucariacites</i> <i>Callialasporites</i>
杉科 (Taxodiaceae)		<i>Psophosphaera</i> <i>Perinopollenites</i>	
分类不明 (Incertae sedis)	<i>Palaeoconiferus</i> <i>Protoconiferus</i> <i>Protopinus</i> <i>Pseudopicea</i> <i>Protopicea</i>		
分类不明 (Incertae sedis)	<i>Walchites</i> <i>Pseudowalchia</i>		

3 古气候讨论

3.1 现生主要植物类型的生态分布

现生松柏类植物一般为喜温凉的针叶树种, 多适宜于中等湿度的环境条件, 主要生长在低纬度的山地, 是南北温带森林的主要组成分子。松科植物大都为常绿乔木, 稀为灌木, 广泛分布于北温带^[7], 松科植物中的云杉属植物为常绿乔木, 现生的多分布于北半球, 在我国分布于东北、华北、西北、西南及台湾等地的高海拔山区; 松属植物主要为常绿乔木, 多分布于北半球; 罗汉松科植物为常绿乔木或灌木, 现今多分布于南半球热带、亚热带和南温带的湿润地区, 我国主要分布于长江以南和台湾。苏铁类植物为典型热带和亚热带木本常绿植物, 分布于南北半球热带、亚热带潮湿多雨的气候环境。南美杉科植物主要分布于热带、亚热带。以 *Classopollis* 为代表的掌鳞杉科植物是现已绝灭的旱生植物, 为常绿乔木, 主要生长于斜坡高地的炎热、干旱环境。

现生真蕨纲蕨类植物广泛分布于世界各地, 并以热带、亚热带地区最为丰富, 大多生长在温暖潮湿的森林环境或沼泽地带, 是森林植被草本层的主要成员^[8]。现生的紫萁科、卷柏科植物多数为陆生中型植物, 遍布全球温带-热带地区, 少数为草本植物, 主要生长在阴凉、潮湿的沼泽湿地或林下溪边等环境中。石松科和水藓科等林下植物喜欢湿润气候及酸性土壤, 多发育在低洼、潮湿的地面; 桫欏科大多为木本, 仅有的少数现生种类生存于热带-亚热带潮湿的河湖沿岸及低洼地区, 适宜于潮湿-中等湿度之间的过渡型生态环境。木贼科现生的仅一属, 即木贼属, 广布于寒、温、热带。双扇蕨科植物分布于亚热带。现代莲座蕨目广布于世界各地热带和亚热带森林中, 其中莲座蕨属 (*Angiopteris*) 为陆生大型植物。燕尾蕨科则生长于热带和亚热带林下石灰岩上。

3.2 陇东地区孢粉植物群的古环境

根据已知亲缘关系 (表 1), 陇东地区中上三叠统所产的蕨类植物孢子大多属于真蕨纲薄囊蕨亚纲的真蕨目, 常见的拟紫萁孢、托第蕨孢和粒面圆形孢归属于紫萁科, 凹边孢属于燕尾蕨科, 桫欏孢属于桫欏科, 三角锥刺孢属于海金砂科, 拟网叶蕨孢和三角块瘤孢一般划归于双扇蕨科; 属于真蕨纲厚囊蕨亚纲莲座蕨目的有合囊蕨科的合囊蕨孢, 座莲蕨科的圆形锥瘤孢和三角刺面孢; 真蕨纲分类不明的有圆形光面孢、圆形块瘤孢、阿赛勒特孢、旋脊孢、光面单缝孢等。

其次为石松纲, 其中离层单缝孢归属于肋木科, 楔环孢和石松孢属于石松科, 层环孢和新叉瘤孢属于卷柏科; 属于楔叶纲的只有木贼科的芦木孢。

本区中上三叠统发现的裸子植物花粉主要是松柏纲和种子蕨纲, 其中拟罗汉松粉和蝶囊粉属于松柏纲罗汉松科, 单、双束松粉、云杉粉、拟云杉粉属于松柏纲松柏目松科; 少量出现的有开通科的开通粉, 南美杉科的南美杉粉、冠翼粉等; 分类位置不明的松柏纲花粉有古松柏粉、原始云杉粉、原始松粉等。单脊双囊粉、宽肋粉和阿里粉属于种子蕨纲。其次为苏铁纲, 其中拟苏铁粉属于苏铁目苏铁科或银杏目。还见有科达纲的科达粉。以上孢粉类型组成了本地区中晚三叠世孢粉植物群, 各类群在组合中所占比例及地层分布特征如图 1 所示。

中三叠世晚期的 *Aratisporites - Punctatisporites* 组合明显以蕨类植物孢子占优势, 其中又以石松纲肋木科和真蕨纲紫萁科最为丰富, 其次是真蕨纲的座莲蕨科、双扇蕨科和楔叶纲的木贼科, 少量出现石松纲的卷柏科和石松科, 真蕨纲的燕尾蕨科和桫欏科。此外, 真蕨纲分类位置不明的类型也极其丰富。组合中裸子植物花粉以松科和种子蕨纲占主导地位, 其次是苏铁纲和科达纲, 松柏类的罗汉松科、开通科等少量出现; 分类不明的松柏纲花粉也占相当的比例。晚三叠世早期的 *Asseretospora - Walchiites* 组合虽然以裸子植物花粉占优势, 但无论是裸子植物花粉, 还是蕨类植物孢子的类型基本是下部组合的延续。区别在于各类孢子丰度明显降低, 而各类花粉丰度明显上升。

长 8 期孢粉组合以肋木科 *Aratisporites* 为代表的石松纲孢子的特高丰度为突出特征, 紫萁科及其他真蕨纲孢子较为繁盛。长 7 期孢粉组合中虽然上述蕨类孢子类型也相当丰富, 但含量大大降低; 而松科、松柏类、种子蕨类及分类位置不明的 *Walchiites* 花粉含量明显增高。笔者认为造成这一差别的主要原因是由于, 长 8 期本地区处于滨浅湖环境, 湖水进退频繁, 潮湿的低地、沼泽广泛分布, 有利于蕨类植物的发育, 并且保存了大量的蕨类孢子化石; 而长 7 期的湖进使本地区完全淹没, 处于远离湖岸的半深湖-深湖环境, 主要接受异地的孢粉沉积, 其组合面貌已经在搬运过程被分选, 由于带气囊的裸子植物花粉更容易到达湖泊中心沉积, 因此该类花粉在本地区化石组合中就显得更为突出, 孢粉沉积过程的这种变化特征已经被大量研究所证实^[9, 10]。

陇东地区中晚三叠世植被中, 主要是反映热带和

亚热带气候条件的常绿植物,除松科一般分布于温带外,其它植物大多产于亚热带和热带;植物群以温湿性分子为主,喜湿热的分子次之,反映温暖湿润的气候特征。湿生的蕨类植物成分繁盛,其中以石松纲木科、真蕨纲紫萁科等为主,他们主要分布于热带、亚热带潮湿地区;还有反映湿生和中湿生环境的桫欏科、双扇蕨科、卷柏科等植物。这种落叶—常绿混交林植被反映了温带—亚热带型气候特征。组合中缺乏中晚三叠纪经常出现的指示干旱环境的掌鳞杉科的 *Classopollis* 属和麻黄科的 *Ephedripites* 属花粉。因此,推测陇东地区中晚三叠世气候温暖潮湿,雨量充沛,属于温暖湿润的温带—亚热带暖湿或湿热气候。

图 2 是陇东地区长 8—长 7 段孢粉化石分异度曲线。自下而上蕨类植物孢子相对含量逐步减少,而裸子植物花粉逐渐增多。图中显示,无论是简单分异度还是复合分异度始终保持较高的分异度值,说明当时处于持续的温暖潮湿的适宜期,植被繁茂,属种繁多,而且没有发生明显的气候波动和植被更替,因此孢子与花粉相对含量的变化不能简单地用气候事件及其所引起的植被演替来解释,而湖进导致的深水沉

积环境可能是主要原因。

花粉的简单分异度曲线相对平直,指示带气囊的以松柏类为主的山地植被分布极为稳定,表明当时邻近湖泊的山系具有较大的海拔高度,很少受气候波动的影响,并且该地区中三叠世晚期至晚三叠世早期没有出现较大的气候变化事件。孢粉总简单分异度与孢子简单分异度的变化趋势完全一致,说明植被类型的变化主要发生于蕨类植物内部。优势度曲线低平,也说明持续的适宜环境和极其丰富的植被类型,只有在长 8 段的部分层段出现高值,相应的简单分异度和复合分异度都显示低值,反映了长 8—长 7 段沉积时期最明显的一次环境—气候事件。

孢粉植物群组合面貌及生态类型分析也表明,中三叠世晚期(长 8 沉积时期)与晚三叠世早期(长 7 沉积时期)植被类型与植物群面貌没有发生明显的变化,本地区长 8—长 7 期为持续的温暖潮湿环境,与长 8 期的大规模湖进和长 7 期持续的最大湖泛相一致。正因为长期稳定温暖潮湿气候和广大的深水湖泊环境为水生藻类的大规模发育创造了条件,从而为本地区长 7 期的优质烃源岩的形成提供了物质基础。

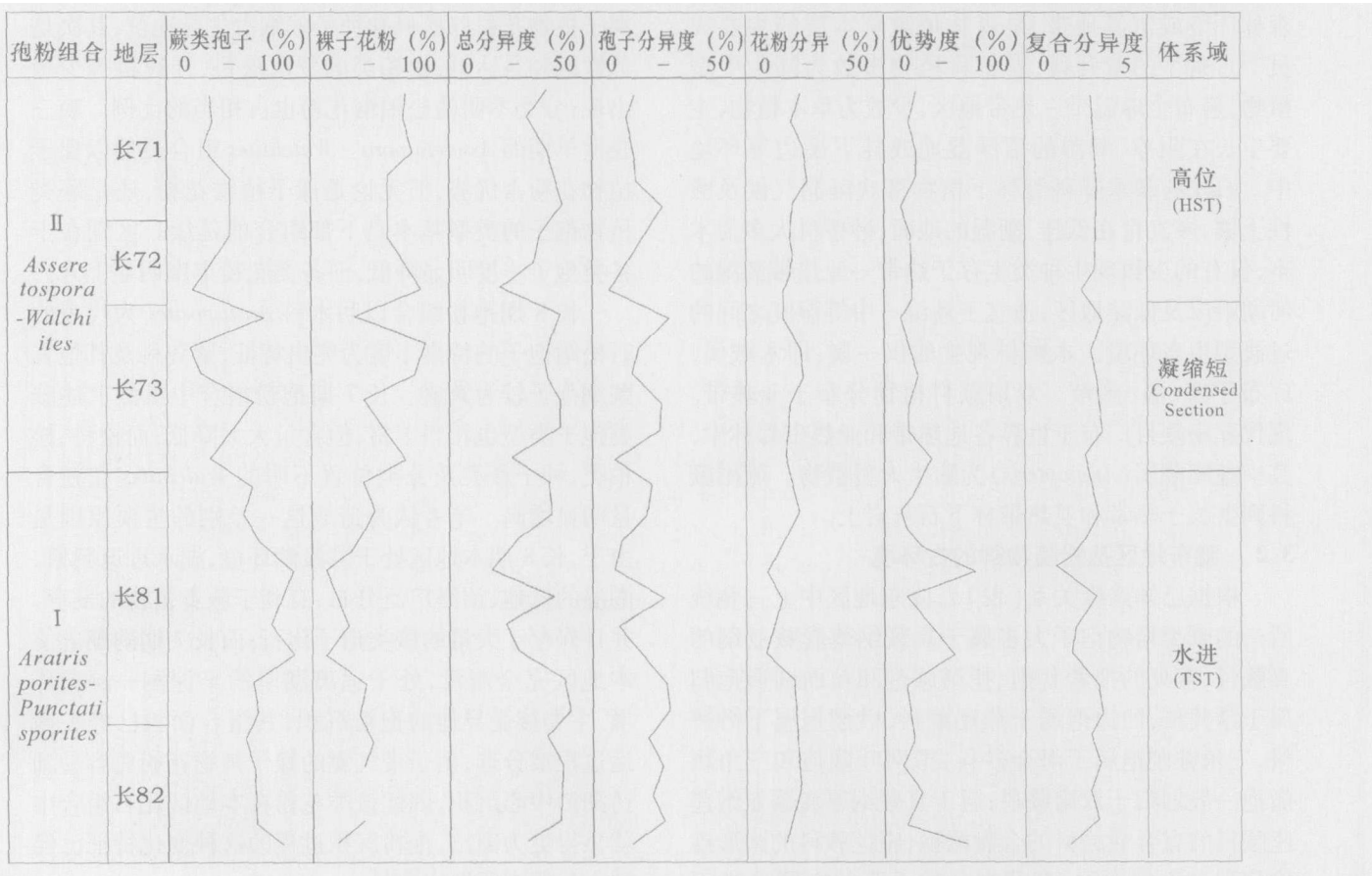


图 2 延长组长 8—长 7 段孢粉分异度曲线

Fig 2 Curve differentiation degree of sporopollen in Chang 7-Chang 8 of the Yanchang Formation

参考文献 (References)

- 1 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志 (卷十二). 长庆油田. 北京: 石油工业出版社, 1992. 124~145 [Editorial Committee of Petroleum Geology of Changqing Oilfield. Petroleum Geology of China (Vol 12), Changqing Oilfield. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992. 124~145]
- 2 付金华, 罗安湘, 喻建, 等. 西峰油田成藏地质特征及勘探方向. 石油学报, 2004, 25(2): 24~29 [Fu Jinhua, Luo Anxiang, Yu Jian *et al*. Geological features of reservoir formation and exploration strategy of Xifeng Oilfield. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(2): 24~29]
- 3 Potonié R. Synopsis der Sporen *in situ*. Beih. Geol. Jb., 1962, 52: 1~204
- 4 Van Konijnenburg-van Cittert J.H.A. Dickinsoniaceae spores *in situ* from the Jurassic of Yorkshire, England. Review of Palaeobotany and Palynology, 1989, 61: 273~301
- 5 Liu R.J. Fertile organs and *in situ* spores of ferns from the Late Triassic Chinle Formation of Arizona and New Mexico, with discussion of the associated dispersed spores. Review of Palaeobotany and Palynology, 1985, 44: 101~146
- 6 Balme E. Fossil *in situ* spores and pollen grains: an annotated catalogue. Review of Palaeobotany and Palynology, 1995, 87: 81~323
- 7 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 等. 中国植物花粉形态 (第二版). 北京: 科学出版社, 1995. 461 [Wang Fuxiong, Qian Nanfen, Zhang Yulong *et al*. Pollen flora of China (Second Edition). Beijing: Science Press, 1995. 164]
- 8 中国科学院北京植物研究所. 中国蕨类植物孢子形态. 北京: 科学出版社, 1976. 451 [Beijing Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. Spore Pteridophytum Sinoicum. Beijing: Science Press, 1976. 451]
- 9 龚胜利, 毕力刚. 孢粉沉积作用与 PL19-3 地区晚第三纪沉积环境的关系. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(6): 388~392 [Gong Shengli, Bi Ligang. Palynological sedimentation and its relationship with Neogene Sedimentary environment in PL19-3 Area. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2001, 15(6): 388~392]
- 10 黄克难, 詹家祯, 邹义声, 等. 新疆库车河地区三叠系和侏罗系沉积环境及气候. 古地理学报, 2003, 5(2): 197~208 [Huang Kenan, Zhan Jiazhen, Zou Yisheng *et al*. Sedimentary environments and paleoclimate of the Triassic and Jurassic in Kuqa River Area. Xinjiang Journal of Palaeogeography, 2003, 5(2): 197~208]

Paleoclimatic Characteristics During Sedimentary Period of Main Source Rocks of Yanchang Formation (Triassic) in Eastern Gansu

JILIMing^{1,2} WU Tao^{1,3} LILi-tao^{1,3}

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000;

2. Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan 430074; 3. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100049)

Abstract A great number of sporopollen fossils have been discovered in Chang 8 and Chang 7 intervals of Yanchang Formation from drilling cores of Longdong area in the southwestern Ordos Basin, and they were named as *Araucarioxylon*-*Punctatisporites* assemblage and *Assereto-spora-Walchuetes* assemblage, respectively. Their characteristics are similar to the sporopollen assemblages of Tongchuan Formation and Yanchang Formation discovered in the southeast of the basin, and the geologic times of the assemblages are Ladinian of the late Middle Triassic and Carnian of the early Late Triassic. Based on the environmental distribution of main plant types at present and the analysis of the content of types to recognize the relationship between palynological flora and the characteristics of stratigraphic distribution, we can infer that the climate was warm and moist then, rainfall was plentiful and the vegetation was luxuriant during Middle Triassic and Late Triassic in Longdong area. The paleoclimate reflected by palynological flora was warm-wet or hot-wet in temperate to subtropical. The ecological types of palynological flora and the diversity curves of palynoflora indicate that the Chang 8 and Chang 7 phases were suitable period of continuously warm and humid in the area, and the extensive lacustrine transgression occurred in Chang 8 phase during the development of lake as well as sustaining maximum flooding in Chang 7 phase. It was semi-humidity temperate to subtropical climate during Middle Triassic and Late Triassic in northern China. The palynological flora discovered from the Chang 8 and Chang 7 intervals in Longdong area is obviously characteristic of the northern China flora. However, because the area was close to the large-scale lake at that time, and the Chang 7 and Chang 8 phases were the great prosperous period that lake was being expanded, so the characteristics of moister paleoenvironment was indicated. It was just because of long-term stable warm and wet climate and the extended deep lake environment that created conditions for large-scale growth of hydrophilous algae, consequently they provided organic matter for the high-quality source rocks of Chang 7 section in the area.

Key words Ordos Basin, Yanchang Formation, sporopollen assemblage, paleoclimate