

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2019010901

北部湾盆地涠西南凹陷古、新近系古生物记录及古环境意义

李君, 王任, 覃军干, 邱琨祁

中海油能源发展股份有限公司工程技术湛江分公司, 湛江 524057

摘要:对北部湾盆地涠西南凹陷 WZ5-X-Y 井 85 份沉积样品开展了孢粉和藻类分析,探讨了钻孔所在区域古近纪—新近纪沉积环境的变化和植被类型的演替,并推断了气候条件的变化。研究结果显示,钻孔所在区域始新世—渐新世古湖泊发育,水域范围存在波动,渐新世整体上湖泊水域范围有所收缩,中新世湖泊进一步收缩,并持续受到海水入侵的影响。始新世钻井周边丘陵和低山地区发育以常绿栎和胡桃为主的常绿落叶阔叶混交林,湖泊周边生长桉木林,气候温暖湿润,渐新世的植被类型仍是以常绿落叶阔叶混交林为主,但是常绿林的缩小和针叶林的扩张则指示气温和湿度下降,中新世常绿林的扩张则指示了温度和湿度回升。

关键词:孢粉;藻类;古环境;古植被;古气候;涠西南凹陷

中图分类号:P736.22 文献标识码:A

Paleogene-Neogene micropaleontological records of the Weixinan Depression, Beibuwan Basin and their paleoenvironmental significance

LI Jun, WANG Ren, QIN Jungan, QIU Kunqi

China National Offshore Oil Corporation, EnerTech-Drilling & Production Co., Zhanjiang 524057, China

Abstract: Changes in palaeoenvironment and palaeovegetation, and implications for climatic fluctuations were discussed in this paper, based on micropaleontological fossils including spores, pollen, freshwater algae and dinoflagellates cysts from the Well WZ5-X-Y which is located in the Weixinan Depression of Beibuwan Basin. Results suggest that the study area was a palaeolake during the study period. The lake shrank in Neogene but invaded by sea water in Miocene. The Paleogene vegetation was dominated by evergreen deciduous broadleaved forest, indicating a warm and humid climate condition, while the expansion of coniferous forest and contraction of evergreen broadleaved forest during Neogene suggest the decline of the temperature and humidity. The relatively wide distribution of evergreen broadleaved forest during Miocene indicate the improvement of the climate conditions.

Key words: spores and pollen; freshwater alga dinoflagellates cysts; palaeoenvironment; palaeovegetation; palaeoclimate; Weixinan Depression

1 区域地质背景

北部湾盆地位于南海北部大陆架的西部,为新生代陆相裂谷盆地,面积约为 $3.9 \times 10^4 \text{ km}^2$,是我国南海一个重要的油气勘探区。该盆地在形成演化过程中具有先断后拗的特点,因此盆地充填上具有古近系断陷层和新近系拗陷层两套构造层。其中古近系断陷层由老至新包括古新统长流组、始新统流沙港组和渐新统涠洲组,新近系拗陷层由老至新则包括中新统下洋组、角尾组和灯角楼组、上新统

望楼港组^[1]。北部湾盆地已经历了几十年的油气勘探,盆地内已钻探几十口井,大部分井集中在盆地西北部的涠西南凹陷内,凹陷中已发现一系列油气田和含油气构造,其中一部分油田已投入开发,成为南海北部大陆架之上的一个重要的油气生产区,展示出这一盆地良好的油气勘探前景。

北部湾盆地的古、新近纪孢粉分析始于 1976 年,从此孢粉分析结果和资料的积累随着这一地区油气勘探的进展从未间断。至今南海北部大陆架地区根据孢粉分析结果和资料进行总结性的孢粉

资助项目:中海油能源发展股份有限公司工程技术湛江分公司直属单位级项目“涠西南凹陷生物地层格架及地质意义”(GCJSXMHT-F1706);广东省软科学研究计划项目“广东省海上高温高压油气藏勘探开发企业重点实验室”(2018B030323028)

作者简介:李君(1982—)女,工程师,从事微体古生物研究工作, E-mail: 93962156@qq.com.cn

收稿日期:2019-01-09; 改回日期:2019-02-28. 文凤英编辑

地层研究有两次重要的工作。1981年完成的南海北部大陆架(包括珠江口、莺歌海、琼东南、北部湾盆地和雷琼地区)第三纪孢粉地层的研究,首次建立了莺歌海盆地第三纪孢粉组合序列^[2]。发表于1994年的《中国油气区第三系(VIII)——南海北部大陆架油气区分册》是南海东、西部两大石油公司联合完成的“南海北部大陆架油气区第三系研究”课题成果的结晶。其内容之一是在总结当时拥有的197口钻井14 236个样品孢粉分析结果的基础上,建立南海北部陆架诸盆地内的古、新近纪孢粉组合序列,北部湾盆地即是其中之一^[3]。最近十多年来,北部湾盆地尤其是涠西南凹陷新井数量剧增,新的资料不断涌现,需要对孢粉数据所蕴含的古环境、古植被和古气候信息进行新的解读。

本次工作以来自涠洲5-X构造的WZ5-X-Y井(图1)为研究对象,对沉积物中的孢子、花粉、淡水藻类和海相沟鞭藻开展了研究,并探讨了其所反映的古植被、古气候以及沉积环境信息。

2 材料与方法

涠洲5-X构造位于涠西南凹陷一号断裂带中段下降盘,距离涠洲岛大约39 km,距广西北海市约79 km。WZ5-X-Y井于2012年完成钻探,钻遇地层由上至下依次是第四系,新近系望楼港组、灯楼角

组、角尾组以及下洋组,古近系涠洲组二段和三段,流沙港组一段和二段以及石炭系灰岩地层。

本次孢粉分析工作共采集样品85个,全部为岩屑,分布范围为1 005~2 801 m,涵盖的地层包括中新统下洋组,渐新统涠洲组和始新统流沙港组。其中下洋组分布在井段1 000~1 144 m,岩性主要为绿灰色泥岩及浅灰色泥质细砂岩,夹少量的浅灰色泥质粉砂岩、灰白色灰质(中)粗砂岩;涠洲组分布在井段1 144~1 966 m,涠二段分布在1 144~1 690 m井段,岩性以杂色泥岩为主,夹少量的浅灰色泥质粉砂岩,中部沉积了浅灰色泥质中砂岩、浅灰色粗砂岩与杂色泥岩互层,涠三段分布在1 690~1 966 m井段,岩性主要为浅灰色泥质粉砂岩与杂色泥岩互层,下部含有少量的浅灰色细砂岩夹层;流沙港组分布在1 966~2 799 m井段,流一段分布的井段为1 966~2 286 m,分为上下两个层序,流一段上层序(1 966~2 133 m)主要以杂色、灰色、褐灰色泥岩为主,与少量的浅灰色粉砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩互层,底部沉积褐灰色页岩,流一段下层序(2 133~2 286 m)上部以浅灰色灰质粗砂岩、灰白色灰质中砂岩为主,夹少量的褐灰色泥岩,下部为浅灰色粗砂岩与灰白色灰质中砂岩不等厚互层;流二段分布在2 286~2 799 m井段,分为上下两个层序,流二段上层序(2 286~2 776 m)上部以浅灰色粉砂岩、浅灰色细砂岩为主,夹有少量的褐灰色页岩,中部以

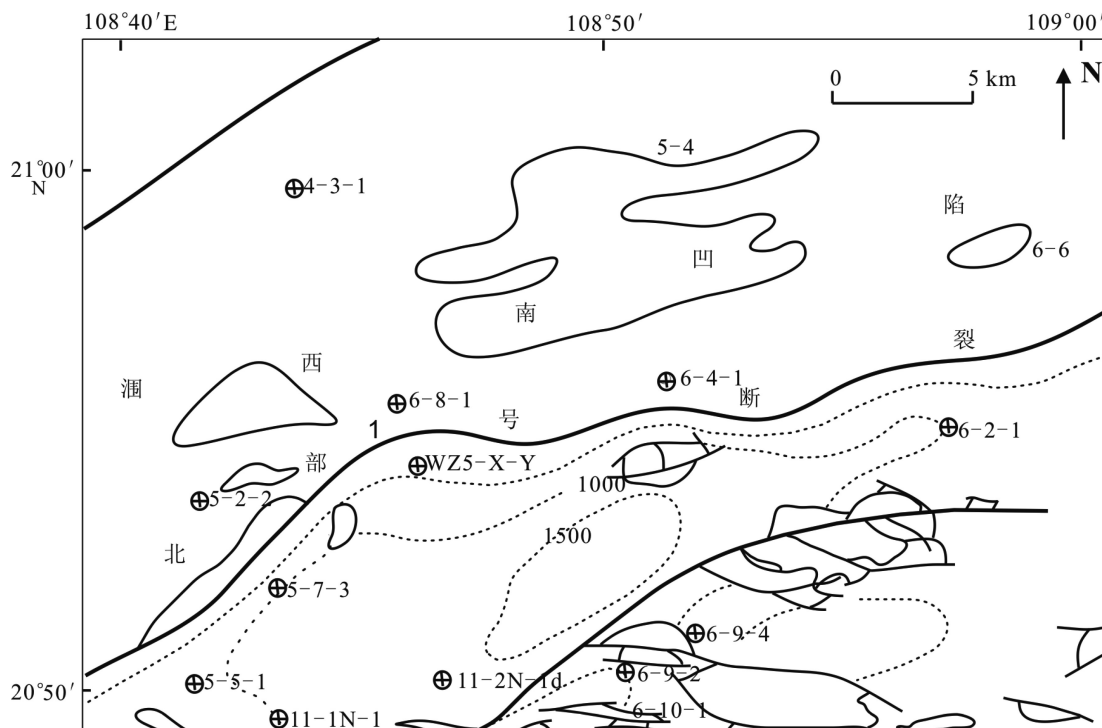


图1 北部湾盆地涠西南凹陷WZ5-X-Y钻井位置图

Fig.1 Location of Well WZ5-X-Y in Weixinan Depression, Beibuwan Basin

浅灰色细砂岩、浅灰色粉砂岩为主,下部以浅灰色细砂岩、中砂岩、褐红色(少量的灰色)泥岩为主,呈不等厚互层,夹有少量的褐灰色泥岩,流二段下层序(2 776~2 799 m)为灰白色白垩土质中砂岩与浅灰色变质砂岩互层。本次工作在泥岩层段的采样间距为5~10 m,用量30 g左右,砂岩层段的采样间距为20~30 m,用量45 g左右。颗粒粗大的样品先放在研钵中稍加破碎,然后加入HCl以去除钙质,加入HF以去除硅质,最后再加入稀HCl去除CaF₂,经水洗筛选后取得剩余物,其中包含孢粉、浮游藻类等化石。水洗过筛在超声清洗器中进行,所用筛布孔径为10 μm。经水洗过筛后将大于10 μm的物质富集于试管中,以备制片作透射光显微镜观察用。在Leica DM4000生物显微镜下对孢子、花粉、淡水藻类和海相沟鞭藻进行鉴定和统计。为了保证孢粉类型的代表性,每个样品中的花粉统计数下限为100粒,花粉统计数量不足100粒的样品不参与讨论,本次工作共有71个样品所统计的花粉数量超过100粒。孢粉图谱用Tilia 2.0软件绘制^[4],花粉组合带用CONISS聚类程序采用地层约束最小方差原则进行分带^[5],图谱中蕨类植物孢子、草本植物花粉、木本植物花粉、淡水藻类、海相沟鞭藻和亲缘关系不明确花粉的含量指的是其占有孢粉、藻类总数的百分比,而各个主要属种的含量指的是占花粉总数的百分比。

3 结果

3.1 孢粉类型

本次工作从WZ5-X-Y钻井中获取了种类较丰富的孢粉和藻类。其中出现的孢子主要有紫萁孢属(*Osmundacidites*)、石松孢属(*Lycopodiumsporites*)、粗网孢属(*Crassoretitriletes*)、粗肋孢属(*Magnastriatites*)、平瘤水龙骨单缝孢属(*Polypodiisporites*)、水龙骨单缝孢属(*Polypodiaceoisporites*)和凤尾蕨孢属(*Pterisisporites*)等;花粉主要有高藤粉属(*Gothanipollis*)、藜粉属(*Chenopodipollis*)、蓼粉属(*Persicarioipollis*)、禾本粉属(*Graminidites*)、双束松粉属(*Pinuspollenites*)、铁杉粉属(*Tsugaepollenites*)、杉粉属(*Taxodiaceapollenites*)、柳粉属(*Salixipollenites*)、胡桃粉属(*Juglanspollenites*)、山核桃粉属(*Caryapollenites*)、桤木粉属(*Alnipollenites*)、莫米粉属(*Momipites*)、栗粉属(*Cupuliferoipollenites*)、常绿栎类花粉(主要为小栎粉*Quercoidites minutus*和小亨氏栎粉*Quercoidites*

microhenrici)^[6]、落叶栎类花粉(以粗糙栎粉*Quercoidites asper*为主)、芸香粉属(*Rutaceipollenites*)、楝粉属(*Meliaceoidites*)、榆粉属(*Ulmipollenites*)、枫香粉属(*Liquidambarpollenites*)、蜡瓣花属(*Corylopsis*)和双沟粉属(*Dicolpopollis*)等;淡水藻类主要出现了盘星藻(*Pediastrum*)、光面球藻(*Leiosphaeridia*)和粒面球藻(*Granodiscus*);海相沟鞭藻主要是刺甲藻未定种(*Spiniferites* spp.)。此外,沉积样品中还出现了诸如三沟粉属(*Tricolpopollenites*)、三孔沟粉属(*Tricolporopollenites*)和三瓣粉属(*Trilobapollis*)等亲缘关系不明确的花粉,即无法归入自然分类系统的花粉。

3.2 花粉组合

根据WZ5-X-Y井主要花粉的含量变化,可划分出5个花粉组合(图2、图3),由下而上,各花粉组合带的特征如下:

(1)始新统流沙港组出现两个花粉组合,分述如下:

①WZ-A: 2 801~2 430 m,常绿栎类花粉-桤木粉-胡桃粉-双束松粉组合

2 801~2 430 m层段木本植物花粉占优势,含量为31.1%~86.7%(占有孢粉藻类数,下同),其次是以光面球藻和粒面球藻为主的淡水藻类,淡水藻类在个别层位出现高含量,最高可达63.9%,三沟粉和三孔沟粉等亲缘关系不明确的花粉也有一定含量,其变化范围为1.0%~18.9%。蕨类植物孢子和草本植物花粉含量相对较低,两者分别为2.9%~6.9%和0.5%~3.5%,海相沟鞭藻含量极低,仅在钻井底部,即2 801 m出现0.7%的海相沟鞭藻。

花粉组合以常绿栎类花粉为主,其含量均超过25.0%(占有花粉数,下同),最高含量可达49.1%,其次是桤木粉,除2 570 m层位含量较低(5.4%)外,其余层位中桤木粉含量均超过14.0%,最高可达27.7%。此外,胡桃粉和双束松粉的含量也较显著,两者分别为2.9%~12.8%和2.1%~26.3%,莫米粉、栗粉、粗糙栎粉、榆粉、枫香粉等持续出现,含量均比较低。

②WZ-B: 2 430~2 028 m,常绿栎类花粉-桤木粉-胡桃粉组合

2 430~2 028 m层段木本植物花粉仍然维持高含量,其变化范围为34.0%~76.0%,其次是淡水藻类,其含量在绝大多数层位均小于40.0%,2 140 m层位出现高值,为60.2%,与其下伏地层相似,淡水藻类仍是以光面球藻和粒面球藻为主。此外含量

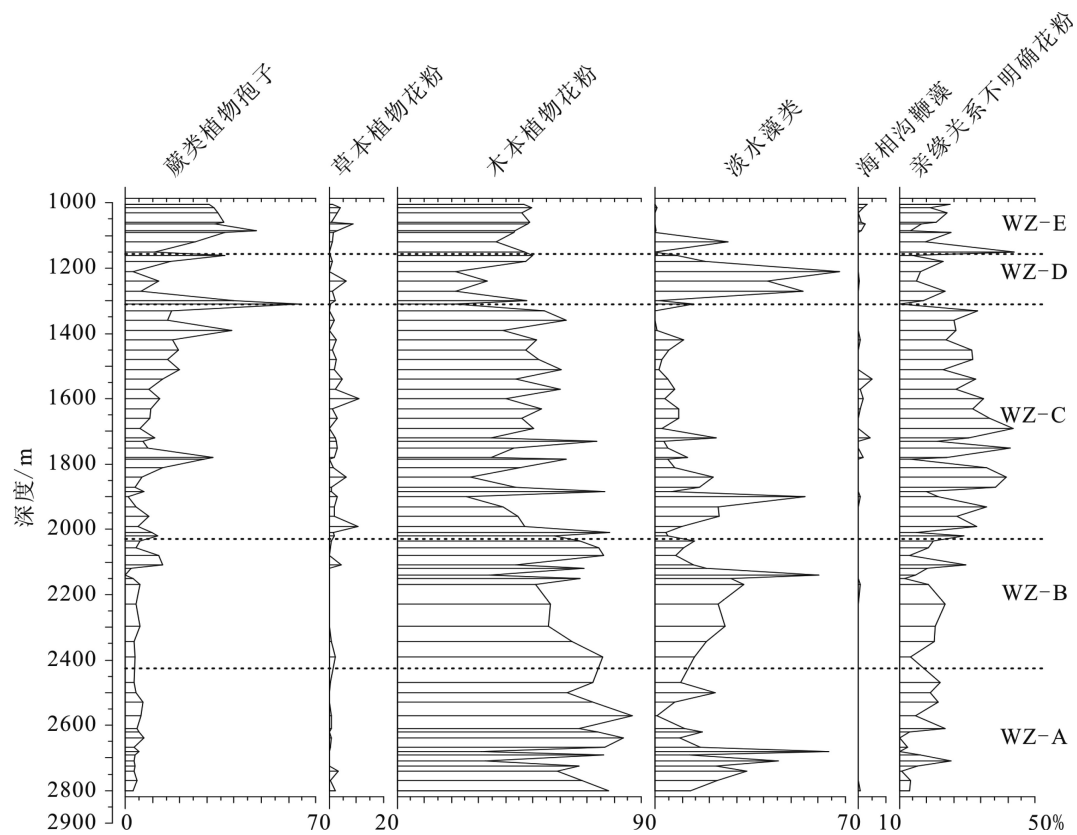


图2 WZ5-X-Y井孢粉、藻类图式

Fig.2 Characteristics of sporopollen, freshwater algae and dinoflagellate cysts of the Well WZ5-X-Y

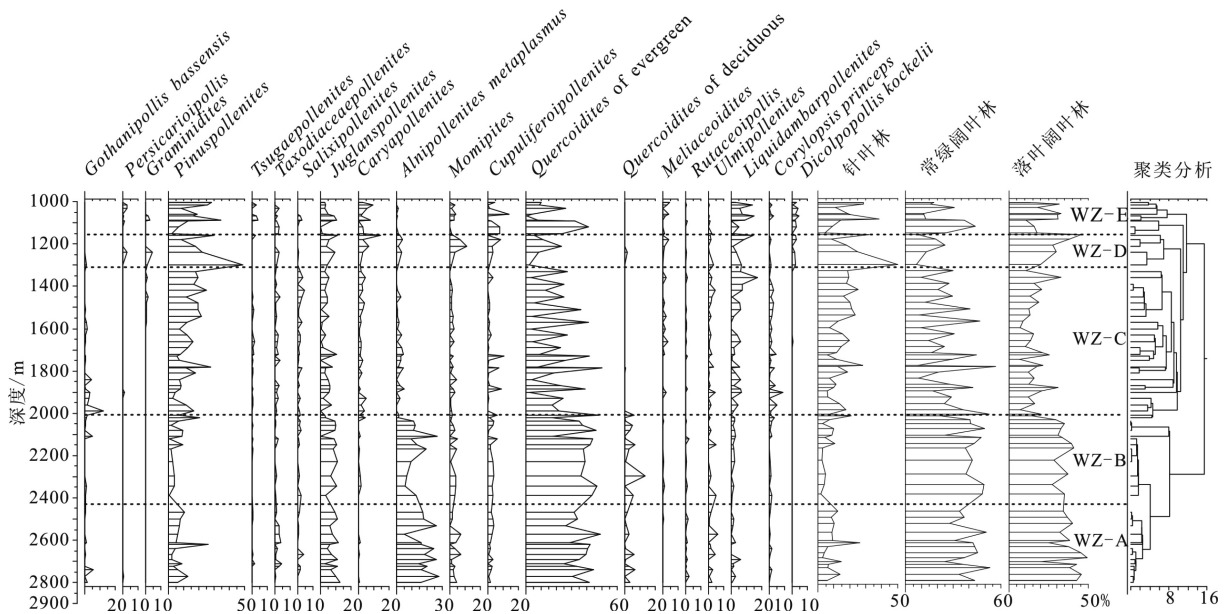


图3 WZ5-X-Y井花粉图式

Fig.3 Pollen characteristics of Well WZ5-X-Y

较显著的是三沟粉和三孔沟粉等亲缘关系不明确的花粉,其含量为2.0%~24.3%,蕨类植物孢子和草本植物花粉含量较低,两者分别为2.1%~13.6%和0.6%~4.3%,海相沟鞭藻仅在2170 m层位出现,其含量为0.6%。

花粉组合仍是以常绿栎类花粉为主,除2110 m层位含量较低(17.8%)外,其余层位的含量均超过35.0%,最高可达46.6%(2344 m层位),与下伏地层相比较,胡桃粉、莫米粉和栗粉含量变化较小,而桤木粉和双束松粉含量则略有下降,两者含量分别为

5.8%~26.7%和0.8%~9.8%,落叶栎类花粉含量略有上升,其变化范围为0.8%~13.3%,榆粉、枫香粉、蜡瓣花粉和柳粉等少量出现。

(2)渐新统涠洲组出现两个花粉组合,分述如下:

①WZ-C: 2 028~1 315 m,常绿栎类花粉-双束松粉-胡桃粉-枫香粉组合

2 028~1 315 m层段木本植物花粉占优势,其含量为25.7%~78.4%,亲缘关系不明确的花粉、蕨类植物孢子、草本植物花粉和海相沟鞭藻含量较下伏地层均有不同程度上升,四种类型的含量分别为4.1%~42.0%、1.0%~39.2%、0.7%~11.1%和0.5%~4.9%,而淡水藻类含量较下伏地层有所下降,除1 900 m层位出现55.4%的高值外,其余层位的含量均不超过25%,淡水藻类出现盘星藻、光面球藻和粒面球藻。

花粉组合以常绿栎类花粉为主,其含量相比下伏地层常绿栎类花粉含量有所下降,为2.3%~50.4%,双束松粉含量有所上升,为2.6%~28.1%,桉木粉含量急剧下降,仅为0.6%~5.4%,胡桃粉含量也有下降的趋势,其变化范围为0.6%~10.5%,枫香粉、山核桃粉和主要蜡瓣花粉含量则略有上升,三者分别为0.7%~17.4%、0.7%~5.3%和0.6%~9.2%,榆粉、楝粉、莫米粉、栗粉和杉粉持续出现低含量。

②WZ-D: 1 315~1 155 m,双束松粉-常绿栎类花粉-枫香粉-胡桃粉组合

1 315~1 155 m层段以木本植物花粉为主,其含量为21.4%~50.0%,其次是淡水藻类,含量为1.4%~68.0%,淡水藻类以盘星藻为主,蕨类植物孢子含量也较显著,为2.8%~63.8%,亲缘关系不明确的花粉和草本植物花粉含量较下伏地层有所下降,两者分别为4.9%~17.0%和0.5%~6.4%,海相沟鞭藻含量极低,仅为0.4%。

花粉组合中双束松粉占优势,其含量为8.6%~48.8%,其次是常绿栎类花粉,含量为2.3%~23.3%,此外含量较显著的是枫香粉和胡桃粉,两者分别为1.4%~14.4%和4.1%~11.1%,山核桃粉、莫米粉、栗粉、柯氏双沟粉和榆粉持续出现,草本植物花粉禾本粉和蓼粉也有少量出现。

(3)中新统下洋组出现一个花粉组合:

WZ-E: 1 155~1 005 m,常绿栎类花粉-双束松粉-枫香粉-胡桃粉组合

该层段中木本植物花粉占优势,除1 120 m层位木本植物花粉含量相对较低(36.5%)外,其余层位的含量均超过40.0%,最高为49.4%,出现在1 015 m层位,蕨类植物孢子和亲缘关系不明确的花粉含量较显著,两者分别为10.8%~48.0%和4.0%~42.2%,

淡水藻类含量在1 120 m层位出现高值,为27.0%,其余层位的含量均未超过1.0%,草本植物花粉和海相沟鞭藻含量均较低,分别为0.8%~8.7%和0.8%~3.0%。

花粉组合以常绿栎类花粉和双束松粉为主,含量分别为0.9%~41.3%和2.2%~34.7%,其次是枫香粉和胡桃粉,含量分别为1.1%~15.2%和1.1%~10.9%。此外,柯氏双沟粉、杉粉、山核桃粉和壳斗粉等持续出现,蓼粉和禾本粉等草本植物花粉少量出现。

4 讨论

4.1 沉积环境变化

我国近海新生代含油气盆地沉积地层中所含浮游藻类化石类型主要有河湖相藻类和海相沟鞭藻^[7]。前者的常见类型是盘星藻、环纹藻、葡萄藻和各种球藻,在新生代地层中普遍存在,因而从古生物学的角度而言其既无地层学意义,也不能代表陆生植物群,无法用于解释古气候,但能够反映河流或湖泊沉积环境^[8]。海相沟鞭藻属于海生浮游藻类(沟鞭藻在休眠期形成的囊孢,为沉积水体中发育的原地植物群之产物),对于陆地植被无指示意义,但可指示海洋沉积环境,并可作为海水温度、盐度和生产力等海洋环境要素的替代性指标^[9]。本次工作根据WZ5-X-Y井孢粉、河湖相藻类和海相沟鞭藻含量及分布特征初步探讨研究区地层的形成环境。

WZ5-X-Y井古近纪流沙港组、涠洲组和新近纪下洋组均有浮游藻类出现,以河湖相藻类为主,海相沟鞭藻在流沙港组零星出现,在涠洲组和下洋组出现概率稍高,但含量均小于5.0%。流沙港组所出现的河湖相藻类以光面球藻和粒面球藻为主,盘星藻少量出现。光面球藻和粒面球藻均属于起源尚不明确的疑源类^[10],常见于淡水或半咸水的河流或湖泊环境之中^[11-15]。涠洲组和下洋组下部的河湖相浮游藻类以盘星藻为主,其次是光面球藻和粒面球藻。盘星藻是典型的淡水藻类,其亲缘关系属于绿球藻目(Chlorococcales)水网藻科(Hydrodictyaceae)^[16]。WZ5-X-Y井所出现的盘星藻以短棘盘星藻(*Pediastrum umbroyanum*)为主,其次是单角盘星藻(*Pediastrum simplex*),短棘盘星藻和单角盘星藻均属于世界广布种^[17],大多数短棘盘星藻广布于稍偏碱性的各种营养性质的池塘、湖泊和沼泽中^[18],而单角盘星藻

是喜温藻类,多出现在各种中性和偏碱性的富营养的水体中^[18]。该钻井浮游藻类的变化特征指示钻井所在研究区域始新世和渐新世为湖泊环境,是涠西南古湖的一部分,具有较高的生产力^[13]。淡水藻类在始新统流沙港组含量较高,涠洲组整体有所下降,但该组上部(1310~1180 m层段)淡水藻类含量急剧上升,由流沙港组到涠洲组,湖泊水域经历了扩张—收缩—扩张的变化。钻井所出现的海相沟鞭藻均属 *Spiniferites* spp., *Spiniferites* spp.是广布型海相沟鞭藻,最适宜的生长环境是水温最低不低于12℃,盐度超过28‰的广大海域^[19]。*Spiniferites* spp.在流沙港组和涠洲组零星出现,可能是由风暴潮携带而来,下洋组1155~1005 m层段淡水藻类含量极低,持续出现的少量 *Spiniferites* spp.则指示钻井所在区域已经受到海水入侵的影响。下洋组蕨类孢子含量显著,蕨类植物多生长于近河流的沼泽和低地,其产生的孢子是所有孢粉中最易被流水搬运的类型,下洋组孢粉组合中蕨类孢子高含量反映水动力较强,对应于湖泊周边河沼发育的湖泊收缩期。

4.2 古植被与古气候变化

WZ5-X-Y井所在区域流沙港组—下洋组(2801~1005 m)为湖相沉积,沉积物中绝大多数花粉是来自于当时湖泊集水区及其周边生长的木本植物和草本植物。整个钻井木本植物花粉占优势,其中既出现了小栎粉、小亨氏栎粉、柳粉、芸香粉、楝粉、冬青粉、漆树粉、桃金娘粉和柯氏双沟粉等常绿阔叶树的花粉,同时也出现了粗糙栎粉、桉木粉、胡桃粉、枫香粉、山核桃粉、榆粉和栗粉等落叶阔叶树的花粉和双束松粉、杉粉和铁杉粉等针叶树花粉。少量出现的草本植物花粉主要是蓼粉、禾本粉和藜粉。花粉组成反映了沉积区所在地区低山区广泛发育亚热带常绿落叶阔叶混交林,周边低地有草本植物生长,较远山地有针叶林分布。根据花粉组合的变化特征,WZ5-X-Y井始新世—中新世的植被演替及其所反映的气候条件可以划分为3个阶段。

阶段1:始新世

该阶段包含WZ-A和WZ-B两个花粉组合,组合中常绿阔叶组分以小栎粉和小亨氏栎粉为主,楝粉、芸香粉和冬青粉少量出现,落叶阔叶组分以桉木粉和胡桃粉为主,莫米粉、栗粉、榆粉、枫香粉和山核桃粉等含量较低,针叶树主要是双束松粉,杉粉和铁杉粉零星出现,指示的植被类型是常绿落叶阔叶混交林,针叶林零星分布。小栎粉和小亨氏栎粉是北部湾盆地始新统流沙港组最主要的阔叶树

组分^[3,20],大多数是常绿类型^[6],常绿栎主要分布在我国秦岭及秦岭以南,主产西南高山地区^[21]。桉木粉的亲缘关系是桦木科,共有40余种,分布于我国东北、华北、华东、华南、华中及西南地区,大多数种类见于我国东部及北部的阳光充足、土壤湿润肥沃的地带及水边^[22],在广东北部海拔1300 m以下溪边、河滩和山间沼泽地带具有江南桉木(*Alnus trabeuculosa*)林分布^[21]。胡桃粉的亲缘关系是胡桃科胡桃属,现代胡桃属分布在我国华北、西北、西南、华中、华南和华东地区,生长于海拔400~1800 m的山坡及丘陵地带^[22]。WZ5-X-Y井始新统花粉组合特征显示当时钻孔所在区域低山及丘陵地区分布有以常绿栎和胡桃为主的常绿落叶阔叶混交林,湖泊周边有桉木生长,反映了温暖湿润的气候条件。

阶段2:渐新世

该阶段包含WZ-C和WZ-D两个花粉组合,与始新世花粉组合显著的区别是常绿栎类花粉和桉木粉含量下降,常绿栎类花粉含量波动明显,而双束松粉含量则明显上升,花粉组合特征指示常绿阔叶林的收缩和针叶林的扩张,随着湖泊水域范围的收缩,桉木林的分布范围也明显缩小,植被类型为常绿落叶阔叶和针叶混交林,与始新世相比,该阶段的气温下降,湿度降低。渐新世温度和湿度较始新世下降的变化趋势在我国有广泛的记录。渤海湾盆地沙一段下部及以下的沙河街组(始新统)小亨氏栎粉、桉木粉、芸香粉和楝粉含量突出,而沙一段上部和东营组(渐新统)则是以榆粉、胡桃粉和椴粉为主,植被类型由现今苏南、浙西一带的暖温带常绿落叶阔叶混交林演替为江苏一带暖温带常绿落叶阔叶混交林,气温有所下降^[23]。南海北部大陆架地区琼东南盆地渐新统崖城组、陵水组时期的植被类型是热带、亚热带常绿阔叶林及针叶、常绿、落叶阔叶混交林,指示了较温凉的气候特征^[24],而北部湾盆地海中凹陷的孢粉和黏土矿物研究结果也显示了涠洲组时期的湿润程度较流沙港组时期明显下降^[25],较低的气温和较少的降水也可能造成了该阶段湖泊水域范围的收缩。

阶段3:中新世

该阶段出现了WZ-E一个花粉组合。与下伏涠洲组花粉组合较大的区别是小亨氏栎粉和小栎粉含量有所升高。此外,从涠洲组1300 m层位往上,柯氏双沟粉含量尽管未超过5%,但持续出现。柯氏双沟粉的亲缘关系是棕榈科,棕榈科植物起源于热带和亚热带地区^[26],在南海北部大陆架地区,其花粉在温暖湿润时期的地层中含量较显著^[3,27-28]。

该阶段的花粉组合对应的植被类型为常绿落叶阔叶混交林,针叶林有一定分布,气温和湿度较下伏涠洲组时期有所回升。

5 结论

WZ5-X-Y 钻井的孢粉、藻类记录了钻井所在区域始新世—中新世的沉积环境变化、古植被演替的信息。始新世和渐新世,钻井所在区域湖泊发育,渐新世整体上湖泊水域范围有所收缩,但 1 270~1 180 m 层段对应的时期,湖泊水域范围有所扩张,中新世湖泊收缩并受到海水入侵的影响。钻孔周围始新世植被类型为常绿落叶阔叶混交林,气候温暖湿润,渐新世常绿阔叶林和桉木林有所收缩,针叶林有所扩张,温度和湿度较始新世有所下降,中新世植被类型为常绿落叶阔叶混交林,针叶林有一定分布,温度和湿度较渐新世有所回升。

致谢: 感谢中海油能源发展股份有限公司工程技术湛江分公司赵鹏肖、王晓炜、黄智进、张伟、左晓东、杨锐在样品采集过程中所提供的帮助。

参考文献 (References)

- [1] 席敏红, 余学斌, 黄建军. 涠西南凹陷(西部)古近系层序地层及沉积特征研究[J]. *海洋石油*, 2007, 27(3): 1-12, 21. [XI Minhong, YU Xuebin, HUANG Jianjun. Paleogene stratigraphic sequence and sedimentary feature in the west of Weixinan Depression [J]. *Offshore Oil*, 2007, 27(3): 1-12, 21.]
- [2] 中华人民共和国石油勘探公司南海分公司, 中华人民共和国地质勘探公司广州分公司, 中国科学院南京地质古生物研究所, 等. 南海北部大陆架第三纪古生物图册[M]. 广州: 广东科技出版社, 1981. [South Sea Branch of Petroleum Corporation of the People's Republic of China, China National Geological Exploration Corporation Guangzhou Branch, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, et al. Tertiary Palaeontology of North Continental Shelf of South China Sea[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1981.]
- [3] 蒋仲雄, 曾麟, 李明兴, 等. 中国油气区第三系(VIII): 南海北部大陆架油气区分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. [JIANG Zhongxiong, ZENG Lin, LI Mingxing, et al. Tertiary in Petroliferous Regions of China (VIII): The North Continental Shelf Region of South China Sea[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994.]
- [4] Grimm E C. TGview Version 2. 0.2. Illinois State Museum Research Collection Center[R]. Springfield, 2004.
- [5] Grimm E C. CONISS: a fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares [J]. *Computers & Geosciences*, 1987, 13(1): 13-35.
- [6] 王伟铭, 陈耿娇, 廖卫. 广西南宁盆地渐新世孢粉植物群及其古环境意义[J]. *第四纪研究*, 2015, 35(3): 650-659. [WANG Weiming, CHEN Gengjiao, LIAO Wei. Oligocene palynoflora from Nanning Basin in Guangxi and its palaeoenvironmental significance [J]. *Quaternary Sciences*, 2015, 35(3): 650-659.]
- [7] 朱伟林. 中国近海新生代含油气盆地古湖泊学与烃源条件[M]. 北京: 地质出版社, 2009. [ZHU Weilin. Paleolimnology and Source Rock Studies of Cenozoic Hydrocarbon-Bearing Offshore Basins in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.]
- [8] 唐领余, 毛礼米, 吕新苗, 等. 第四纪沉积物中重要蕨类孢子和微体藻类的古生态环境指示意义[J]. *科学通报*, 2013, 58(25): 3125-3139. [TANG Lingyu, MAO Limi, LV Xinmiao, et al. Palaeoecological and palaeoenvironmental significance of some important spores and micro-algae in Quaternary Deposits [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(25): 3125-3139.]
- [9] 何承全, 宋之琛, 祝幼华. 中国沟鞭藻类化石[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [HE Chengquan, SONG Zhichen, ZHU Youhua. Fossil Dinoflagellates of China[M]. Beijing: Science Press, 2009.]
- [10] 尹磊明. 中国疑源类化石[M]. 北京: 科学出版社, 2006. [YIN Leiming. Acritarch Study in China[M]. Beijing: Sciences Press, 2006.]
- [11] 徐长贵, 姜培海, 武法东, 等. 渤中坳陷上第三系三角洲的发现、沉积特征及其油气勘探意义[J]. *沉积学报*, 2002, 20(4): 588-594. [XU Changgui, JIANG Peihai, WU Fadong, et al. Discovery and sedimentary characteristics of the Neogene Delta in Bozhong Depression and its significance for oil and gas exploration [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 588-594.]
- [12] 米立军, 毕立刚, 龚胜利, 等. 渤海新近纪古湖发育的直接证据[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2004, 24(2): 37-42. [MI Lijun, BI Ligang, GONG Shengli, et al. Direct evidence for development of Bohai Paleolake during the Neogene [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2004, 24(2): 37-42.]
- [13] 朱伟林, 吴国璋, 黎明碧. 南海北部陆架北部湾盆地古湖泊与烃源条件[J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35(1): 8-14. [ZHU Weilin, WU Guoxuan, LI Mingbi. Palaeolimnology and hydrocarbon potential in Beibu Gulf Basin of South China Sea [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(1): 8-14.]
- [14] 吉利明, 王少飞, 徐金鲤. 陇东地区延长组疑源类组合特征及其古环境意义[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2006, 31(6): 798-806. [JI Liming, WANG Shaofei, XU Jinli. Acritarch Assemblage in Yanchang Formation in eastern Gansu Province and its environmental implications [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2006, 31(6): 798-806.]
- [15] 杜庆祥, 郭少斌, 沈晓丽, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷南部古近系沙河街组一段古水体特征[J]. *古地理学报*, 2016, 18(2): 173-183. [DU Qingxiang, GUO Shaobin, SHEN Xiaoli, et al. Palaeo-water characteristics of the Member 1 of Paleogene Shahejie Formation in southern Nanpu sag, Bohai Bay Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2016, 18(2): 173-183.]
- [16] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 等. 中国淡水藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980. [HU Hongjun, LI Yaoying, WEI Yinxin, et al. [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1980.]
- [17] Komárek J, Jankovská V. Review of the green algal genus *Pediastrum*;

- implication for pollenanalytical research [J]. *Bibliotheca Phycologica*, 2001, Band 108: 1-127.
- [18] Jankovská V, Komárek J. Indicative value of *Pediastrum* and other coccal green algae in palaeoecology [J]. *Folia Geobotanica*, 2000, 35(1): 59-82.
- [19] Rochon A, de Vernal A, Turon J L, et al. Distribution of recent dinoflagellate cysts in surface sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters [J]. *American Association of Stratigraphic Palynologists Contribution Series*, 1999, 35: 1-146.
- [20] 谢金有, 李君, 麦文, 等. 北部湾盆地涠洲组和流沙港组孢粉组合及时代[J]. *古生物学报*, 2012, 51(3): 385-394. [XIE Jinyou, LI Jun, MAI Wen, et al. Palynofloras and age of the Liushagang and Weizhou formations in the Beibuwan Basin, South China Sea [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2012, 51(3): 385-394.]
- [21] 《中国森林》编辑委员会. 中国森林-第3卷(阔叶林)[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000. [The Editorial Board of Forest in China. *Forest in China-Volume 3(Broadleaved Forest)*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2000.]
- [22] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第二十一卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1979. [Editorial Board of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. *Flora of China (Volume 21)*[M]. Beijing: Science Press, 1979.]
- [23] 石油化学工业部石油勘探开发规划研究院, 中国科学院南京地质古生物研究所. 渤海沿岸地区早第三纪孢粉[M]. 北京: 科学出版社, 1978. [Institute of Petroleum Exploration, Development and Plan, Ministry of Petrochemical Industry, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences. *Early Tertiary Spores and Pollen Grains from the Coastal Region Bohai*[M]. Beijing: Science Press, 1978.]
- [24] 覃军干, 吴国瑄, 李君, 等. 琼东南盆地渐新统-上新统孢粉、藻类记录[J]. *微体古生物学报*, 2016, 33(4): 335-349. [QIN Jungan, WU Guoxuan, LI Jun, et al. Spores, pollen, freshwater algae and dinoflagellate cysts recorded in the Oligocene-Pliocene from the Southeast Hainan Basin, South China Sea [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2016, 33(4): 335-349.]
- [25] 罗威, 谢金有, 刘新宇, 等. 北部湾盆地海中凹陷古近纪古气候研究[J]. *微体古生物学报*, 2013, 30(3): 288-296. [LUO Wei, XIE Jinyou, LIU Xinyu, et al. The study of Paleogene Climate in the Haizhong depression, Beibuwan Basin, northern South China Sea [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2013, 30(3): 288-296.]
- [26] 卫兆芬. 棕榈科植物的地理分布[M]//路安民. 种子植物科属地理. 北京: 科学出版社, 1999. [WEI Zhaofen. *Geographic distribution of the Arecaceae*[M]//LU Anmin. *The Geography of Spermatophytic Families and Genera*. Beijing: Science Press, 1999.]
- [27] 雷作淇. 珠江口盆地第三纪孢粉组合序列及相关问题的探讨[M]//郝诒纯, 徐钰林, 许仕策, 等. 南海珠江口盆地: 第三纪微体古生物及古海洋学研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. [LEI Zuoqi. Research on Tertiary Palynological sequence and its related problems in Pearl River Mouth Basin[M]//HAO Yichun, XU Yulin, XU Shice. *Research on Micropalaeontology and Paleoceanography in Pear River Mouth Basin, South China Sea*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996.]
- [28] 张浩, 邵磊, 张功成, 等. 南海始新世海相地层分布及油气地质意义[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2015, 40(4): 660-670. [ZHANG Hao, SHAO Lei, ZHANG Gongcheng, et al. Distribution and Petroleum geologic significance of Eocene marine strata in the South China Sea [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geoscience*, 2015, 40(4): 660-670.]