

钱塘江北岸晚第四纪沉积与古环境演变

顾明光

(浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203)

摘要:通过钱塘江北岸第四系钻孔岩心的岩石学、年代学以及孢粉带、有孔虫化石组合的综合分析,认为 HQB7 孔全新世沉积始于孔深 35.7 m 处(年代约为 10.4 ka B.P.),其下至孔深 71.1 m 属晚更新世沉积,并将该孔 31.2 ka B.P.以来的古环境演变划分为 5 个发展阶段。系统阐述了各阶段的古植被、古气候与古地理特征,指出第 2 阶段(20.1~10.4 ka B.P.)处于低海面时期,气候凉冷干燥,其早期可能对应于末次盛冰期(LGM);第 4 阶段(7.5~2.5 ka B.P.)为高海面时期,气候温热潮湿,相当于与全球变化相一致的全新世气候适宜期。本区晚第四纪 3 万年以来的气候变化特点与中国南方的深圳湾地区有很好的可比性。

关键词:晚第四纪;年代地层;古环境演变;钱塘江北岸

中图分类号:P534.63 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)02-0378-09

钱塘江—杭州湾沿岸地区位处长江三角洲南翼,滨临东海。地势总体上呈南西高北东低,包括低山丘陵和平原两大地貌单元,其中南部和西部区域属低山丘陵区。平原区属湖沼—海滨堆积平原,地势低洼平坦,除少数孤丘外,海拔高程一般小于 6 m,地表水系发育。钱塘江由富春江和浦阳江于萧山闻家堰汇合成“之”字形向东注入东海,年径流量达 $390.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上;入海处的杭州湾呈喇叭状,水槽宽浅,潮汐汹涌澎湃。本区属亚热带温暖湿润的季风气候,年平均气温约为 16°C ,最高温度 38.8°C ,最低温度 -15°C 。年平均降雨量为 1363.3 mm,最高达 2018.2 mm,最少仅 837.6 mm。因人类活动的影响,目前已无原始植被,除耕地外,多为次生草本植物群、灌木丛和稀疏乔木,以及人工栽培的用材林、经济林、防护林及部分天然薪炭林。但野生树木则有松、柏、槐、樟、梧桐、枫杨、柳、栎、冬青、漆、榆、银杏、女贞、枫香等。海涂盐碱沙生植物有盐蒿、碱蓬、莎草属等;水生草本植物分布广泛,有灯芯草属、莲、菱、慈姑、眼子菜等。

晚第四纪以来,研究区处在浙西北持续上升,沿

海平原和长江三角洲稳定下降的过渡地带,由于海平面升降速度远远大于构造运动速度,对第四纪沉积的分布起主要控制作用的应是流水切割的古地形、海平面升降以及物源和沉积物供应量的变化,而具全球性的海平面变化控制了地层沉积的发生和发展^[1]。区内晚第四纪沉积物以海陆交互相为主,包括粘土、粉砂质或淤泥质粘土、粘土质粉砂、粉细砂等,岩性组合复杂多变,沉积构造较发育,蕴含着环境演变的丰富信息。

20 世纪 90 年代,前人运用层序地层学基本原理,对钱塘江末次冰期下切河谷体系进行了详细研究^[1-5],为冰后期河口湾充填模式的认识、层序地层分析和古环境演变的进一步研究奠定了基础。

近年来,国内一些地学工作者通过钻探取心或剖面勘测等手段,在钱塘江沿岸地区相继开展了第四纪多学科综合研究,探讨了全新世古环境的阶段性演变规律^[6-8]。但是,这些研究工作主要局限于钱塘江南岸地区,且缺乏晚更新世古气候、古环境研究的详细资料。笔者通过对钱塘江北岸现代湖沼平原的第四纪全孔取心钻探与采样分析,开展了地层学、

收稿日期:2008-08-15;改回日期:2008-10-15

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200413000021)资助。

作者简介:顾明光,男,1968年生,高级工程师,从事第四纪地质、环境地质调查工作;E-mail:freebeing@163.com。

同位素年代学、古生物学等综合研究,试图恢复本区晚更新世以来的古植被、古气候与古环境演化序列。

1 研究钻孔概况

HQB7 钻孔布设在杭州地区第四系厚度较大的沉降中心附近(图 1),位于钱塘江北岸的杭州市塘栖镇港北村(30°27'53"N, 120°12'21"E),地面标高 2.2 m。孔深为 74.6 m,其中第四系总厚度 71.1 m,揭露基岩 3.5m。本次研究对整个岩心柱进行了现场观察、描述与取样。其中 ^{14}C 测年样品主要选择碳含量相对较高的层位,截取长 10~15 cm 的完整岩心,去掉外皮以防泥浆污染,同时用塑料袋密封包装以免泄漏水分;实验仪器主要是 1220 型超低本底液体闪烁能谱仪,由国土资源部海洋地质实验检测中心完成,共获得有效年龄数据 4 个。

孢粉除岩心底部的砂砾石层和顶部的人工填土层外,均进行全孔连续取样(深度范围 1.9~66.2 m),采样间距一般控制在 1~2 m,每个样品重约 300 g,用干净样品袋包装。共采集孢粉样品 58 件,由中国地质调查局水文地质环境地质调查中心完成分析鉴定。每块样品取 50~70 g 经酸、碱处理后加水洗净,通过重液浮选法提取,最后在生物显微镜下制活动玻片进行观察、鉴定。

此外,在埋深 1.9~66.2 m 的微细粒沉积物中还采集了 58 个有孔虫样品,采用室内常规方法进行分析鉴定,由中国地质科学院水文地质环境地质研究所完成。

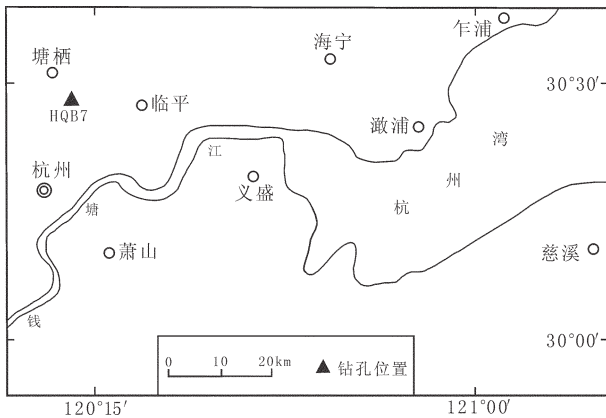


图 1 HQB7 钻孔位置图

Fig.1 Location of Drill Hole HQB7

2 岩性岩相特征

依据钻孔岩性变化及沉积物结构构造、包含物等基本特征可划分为 9 层,自上而下简要描述如下:

上覆人工堆积层(0~1.61 m) 灰黑色杂填土,含较多生活与建筑垃圾。

9 层:1.61~3.08 m 灰褐色粉砂质粘土,含少量铁锰质斑点。

8 层:3.08~8.50 m 深灰色淤泥质粘土,局部见少量半炭化植物残体。

7 层:8.50~25.50 m 灰色淤泥质粉砂质粘土与粉砂互层,见大量生物潜穴或扰动遗迹,发育水平纹理,纹理细密处呈“千层饼”状。底部见贝类介壳碎片。

6 层:25.50~35.70 m 灰色淤泥质粘土,发育鳞片状构造,局部见贝类介壳残体及少量半炭化木块。

5 层:35.70~42.55 m 灰褐色粉砂质粘土,含较多棕黄色锈斑,见少量铁锰质结核及半炭化植物碎屑。

4 层:42.55~45.35 m 灰黄色粉细砂,偶夹薄层状粉砂质粘土。

3 层:45.35~50.50 m 黄绿色粉砂质粘土、粘土,见大量黄褐色铁锰质结核或斑块。

2 层:50.50~66.20 m 浅灰色粉砂质粘土夹粉砂,中小型潜穴和生物扰动构造较发育。

1 层:66.20~71.12 m 灰黄色砂砾石,砾径一般为 0.5~3.5 cm,个别达 5 cm 以上。顶部为厚约 20 cm 的粉细砂。

下伏地层(71.12~74.61 m) 纹质晶屑凝灰岩的基岩风化壳。

以上 HQB7 钻孔岩心的分层描述表明,第四纪沉积物的色调、粒度、构造等均呈现出较明显的周期性变化,反映了沉积相、沉积环境的阶段性演化,总体上由 5 套地层组成:第一套(相当于钻孔剖面第 1 层)为灰黄或黄褐色砂砾石层,砾石磨圆度较好,属河流相沉积,厚 4.92 m。第二套相当于第 2 层,主体为河口滨岸相浅灰—灰色粉砂质粘土或粘土,其间常夹有薄层粉砂、粘土质粉砂,生物扰动遗迹较常见,厚 15.7 m。第三套包括第 3、4、5 层,由灰黄、棕黄、黄绿或灰褐色粉砂质粘土、粘土为主,夹少量灰黄色粉细砂、粘土质粉砂;普遍含铁锰质结核、斑点、团块及植物根茎残体,局部发育冲刷充填构造,为一套河湖相沉积,厚 14.8 m。第四套由第 6、7 层组成,岩性主要有灰、深灰色淤泥质粘土、粉砂质粘土、粉砂、粘土质粉砂,粘性土与(粘土质)粉砂常呈薄互层状产出,构成水平纹理和“千层饼”状构造;见大量虫

孔、虫迹,局部含贝壳和半炭化植物碎片;可能属滨海—浅海相沉积,厚达 27.2 m。第五套包括第 8、9 层,为湖沼相灰、灰褐色淤泥质粘土和粉砂质粘土,局部含有机质和半炭化植物残体,偶见水平层理,顶部因暴露、氧化而变为浅色调,总厚约 6.9 m。

按照浙江省岩石地层划分方案^[9],可将上述第一、二、三套地层划归上更新统宁波组(Qpn),第四、五套划为全新统镇海组(Qhzh)。

3 地层年代与沉积速率

¹⁴C 测年结果(表 1)表明,HQB 7 孔底部砂砾石层的顶界(孔深 66.1 m 附近)年龄约为 31.2 kaB.P.,属晚更新世晚期。结合岩石地层研究成果,认为 HQB 7 孔全新统与更新统的界线应位于孔深 35.7 m 处(其分界年龄约为 10.4 kaB.P.),即 35.7 m 以上为全新世沉积地层,35.7~71.1 m 属晚更新世沉积。总的来看,从晚第四纪有效 ¹⁴C 年龄与深度相关图(图 2)可以看出,年龄随深度变化的趋势是逐渐增

大的,变化是协调的,但沉积速率上部较大,下部较小,这可能与沉积环境的差异、海侵层的发育程度和地层压实作用等因素有关^[10]。分 2 段计算钻孔地层的平均沉积速率:3.2~37.9 m 为 3.42 mm/a,37.9~66.1 m 为 1.4 mm/a;晚第四纪平均沉积速率为 2.08 mm/a。根据平均沉积速率可以推算每一深度的年龄值。

相对于其他沉积环境来说,河口湾—三角洲及海湾地区沉积速率较高^[11],本文计算的晚第四纪平均沉积速率与尼罗河东北部^[12]、上海东部滨海平原^[13]等地区的研究结果相近。

4 孢粉组合特征

对采自 HQB 7 钻孔剖面上部 66.2 m 以内的 58 个样品进行了孢粉分析,大部分样品含丰富的孢粉,深度在 40.7~50.2 m 的样品含孢粉较少。经鉴定和统计共获得各类孢粉 12819 粒,归入 56 个植物自然分类科、属,包括木本 31 个、草本 16 个、蕨类 9 个,分析结果用百分比表示。样品中木本植物花粉含量占绝对优势,平均为 63.6%,草本和蕨类植物花粉含量相对较少。其中木本植物花粉主要有松属(*Pinus*)、栎属(*Quercus*)、铁杉属(*Tsuga*)、胡桃属(*Juglans*)、栗属(*Castanea*)、桦属(*Betula*)、榛属(*Corylus*)、椴属(*Tilia*)、枫香属(*Liquidambar*)等;草本花粉主要为蒿属(*Artemisia*)、十字花科(*Cruciferae*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、菊科(*Compositae*)、禾本科(*Gramineae*)等;蕨类植物孢子有水龙骨科(*Polypodiaceae*)、凤尾蕨属(*Pteris*)等。

根据各样品所出现的孢粉种类及其含量变化,结合沉积物岩性岩相特征,可将 HQB7 钻孔 66.2 m 以上的孢粉组合自下而上划分为 5 个孢粉带(图 3)。

带 I (66.2~50.5 m):以松(*Pinus*)—栎(*Quercus*)—胡桃(*Juglans*)—蒿(*Artemisia*)—菊科(*Compositae*)为主孢粉带。共 17 个样,检测到孢粉 4397 粒。本带孢粉含量高,属种多,以木本植物花粉占绝对优势,为孢粉总数的 65.74%~95.65%,草本植物花粉次之,为 4.35%~32.87%,蕨类植物孢子仅为 0.46%~6.96%。在木本植物花粉中,以松、栎、胡桃所占比例最高,其中栎属主要为落叶栎,平均含量达 22.23%,胡桃属花粉平均含量为 13.99%;其次为铁杉、榆,另见少量桦、椴、水青冈、枫香、栗等。草本植物花粉中,蒿、菊科、藜科较多,平均花粉含量分别为 6.40%、2.22%、

表 1 HQB7 孔 ¹⁴C 年龄测定结果

Table 1 ¹⁴C age of samples from Drill Hole HQB7

样品编号	取样深度/m	沉积物岩性特征	¹⁴ C 年龄/aB.P.
HQB7-C1	3.2	淤泥质粘土	931 ± 157
HQB7-C3	36.7	粘土	10862 ± 405
HQB7-C4	37.9	粘土	11076 ± 115
HQB7-C5	66.1	粘土	31195 ± 990

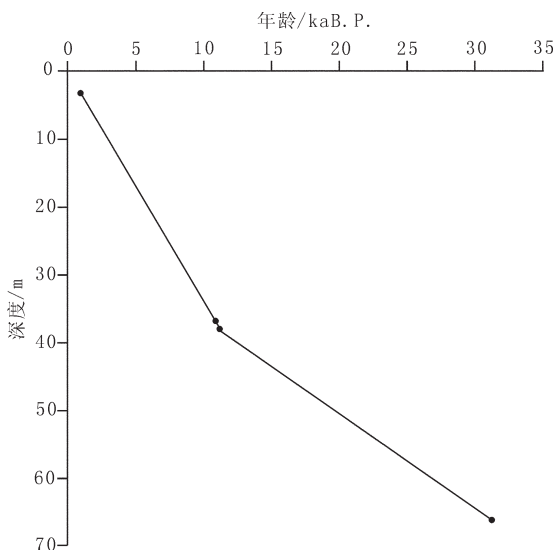


图 2 HQB7 孔年代与深度关系图

Fig.2 Age-depth curve of Drill Hole HQB7

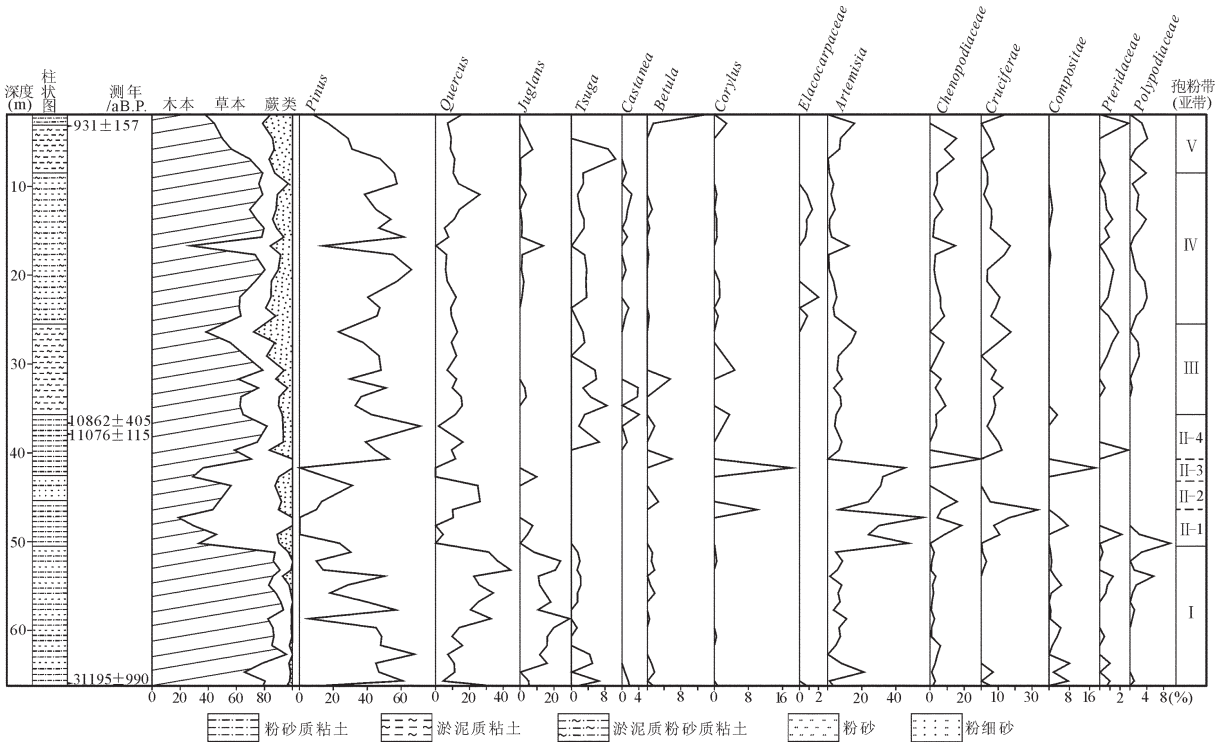


图 3 钱塘江北岸 HQB7 孔孢粉百分比图式

Fig.3 Spore-pollen percentage of Drill Hole HQB7 on the northern bank of the Qiantang River

2.15%,此外,还出现少量十字花科、蓼、豆科、禾本科等花粉。蕨类孢子主要有水龙骨科、凤尾蕨科,平均含量分别为 0.83%、0.36%。

带 II (50.5~35.7 m): 蒿 (*Artemisia*)-松 (*Pinus*)-十字花科 (*Cruciferae*)-藜科 (*Chenopodiaceae*) 为主孢粉带。共 13 个样,孢粉总数为 950 粒。总的来看,本带孢粉贫乏,种属较单调,木本植物花粉含量较 I 带呈现急剧下降趋势,草本植物花粉上升到本剖面的最高值,两者含量相近,平均各为 48.12%和 44.94%,蕨类孢子比 I 带有所增多,占孢粉总数的 6.59%~16.43%。木本植物花粉以松、落叶栎为主,还见到一些榛、榆、胡桃、椴、桦、鹅耳枥、云杉等,其中喜凉的榛、桦、鹅耳枥等属种有明显增加,喜冷的云杉花粉含量平均为 0.70%。草本植物花粉中,蒿属、十字花科、藜科居多,平均花粉含量分别为 24.30%、7.65%、6.70%;菊科、茜草科花粉次之,另见少量的禾本科、蓼属、豆科等花粉。蕨类孢子主要有水龙骨科单缝孢类、水龙骨科、中国蕨科、凤尾蕨科等。本带根据孢粉成分上下的变化特点可进一步细分为 4 个亚带:

II-1 亚带 (50.5~46.4 m) 木本花粉较低,平均为

31.84%,最低仅 18.75%,由落叶栎、榆及少量松、胡桃、云杉等花粉组成;而草本植物花粉则高达 43.48%~81.25%,平均为 63.06%,以耐旱的蒿、藜科以及半干旱的菊科、十字花科等为主;仅见少量水龙骨科等蕨类孢子。II-2 亚带 (46.4~43.2 m) 木本花粉含量与 II-1 亚带相比有明显回升,介于 43.33%~56.25%,平均约为 48.98%,以松、落叶栎为主,榛、桦等也较常见;草本植物花粉含量锐减至 31.25%~46.67%,平均为 40.88%,主要有蒿、十字花科、藜科等;蕨类植物孢子有所增多,包括水龙骨科单缝孢类、三缝孢类等。II-3 亚带 (43.2~40.7 m) 木本花粉含量比前一亚带有显著降低,平均为 32.70%,且以耐寒的松、云杉等针叶树和喜凉的榛、鹅耳枥等落叶阔叶树种为主,另见少量胡桃、椴等属种;草本植物花粉含量则急剧升高至 61%以上,平均达 62.46%,以蒿属为主,其次为菊科、茜草科等;见少量水龙骨科单缝孢类。II-4 亚带 (40.7~35.7 m) 以木本花粉含量占绝对优势,一般为 60%~70%,主要有松、落叶栎等,常见的还有椴、桦、铁杉、榛等,未见云杉花粉;草本植物花粉一般占 20%~30%,有藜科、十字花科、蒿属和

少量蓼属花粉;蕨类孢子比Ⅱ-3亚带有明显增多,以水龙骨单缝孢类、三缝孢类、凤尾蕨科等为多见。

带Ⅲ(35.7~25.5 m):以松(*Pinus*)-栎(*Quercus*)-椴(*Tilia*)-十字花科(*Cruciferae*)-蒿(*Artemisia*)为主带。共9个样,孢粉总数为2321粒。本带孢粉含量高,属种较多,与前带(Ⅱ带)相比,草本植物花粉大幅下降,木本植物花粉则显著回升,蕨类植物孢子也呈明显上升趋势,其中木本植物花粉含量为38.53%~78.88%,平均63.11%;草本植物花粉14.49%~33.94%,平均25.05%;蕨类植物孢子3.54%~27.52%,平均为11.84%。木本植物花粉以松、栎、椴、铁杉为主,栎属中常绿阔叶树种所占比例大幅增加;此外,栗、胡桃、榆、桦、榛等也较常见。草本植物花粉中十字花科、蒿、藜科较多,平均含量分别为8.60%、8.29%、4.55%,另外,茜草科、蓼属、狸草属、菊科、禾本科、大戟属等也有零星出现。蕨类植物孢子以水龙骨单缝孢类、凤尾蕨科、水龙骨科为主,另见少量中国蕨科、水蕨属等。

带Ⅳ(25.5~8.5m):松(*Pinus*)-栎(*Quercus*)-枫香(*Liquidambar*)-十字花科(*Cruciferae*)-藜科(*Chenopodiaceae*)为主带,包括14个样品,孢粉总数为4436粒,达本剖面最高值。孢粉属种繁多,以木本植物花粉占优势,平均为69.82%,比Ⅲ带略有增加;草本植物花粉和蕨类孢子含量相对较少,各占孢粉总数的18.40%和11.79%。木本植物花粉以松、栎、枫香、铁杉、胡桃为主,次为栗、漆树、椴等亚热带常见分子,还出现了杜英等喜湿热的常绿阔叶乔木(花粉含量为0.62%~2.02%);此外,杨梅、无患子科、木犀、蔷薇科、杜鹃科、黄杞、水青岗、榆、桦等也有少量出现。草本植物花粉中仍以十字花科、藜科、蒿等为主,平均含量分别为7.16%、4.94%、3.26%,比前期略有降低;还见到一些石竹科、伞形科、香蒲、禾本科、菊科、莎草科等花粉,茜草科、大戟、狸草、苦苣苔科等也有少量出现。蕨类植物孢子主要有水龙骨单缝孢子、凤尾蕨科、水龙骨科等,另外,石松科、中国蕨科、水蕨等也有零星出现。

带Ⅴ(8.5~1.9m):松(*Pinus*)-栎(*Quercus*)-铁杉(*Tsuga*)-禾本科(*Gramineae*)-藜科(*Chenopodiaceae*)为主带。包括5个样品,共检测到孢粉715粒。孢粉含量较前带有所降低,植物种属也较单一,仍以木本植物花粉居首位,含量为37.66%~69.57%,平均为51.61%;草本植物花粉次之,平均为32.20%,较前带

有明显增多;蕨类孢子含量占孢粉总数的16.19%。木本植物花粉主要有松、栎、铁杉等,其次为桦、胡桃、枫香等花粉,此外尚见及少量榛、木犀、麻黄等。草本植物花粉有禾本科、藜科、蒿、十字花科、香蒲等,其中禾本科与香蒲花粉含量突增至本剖面最高值,平均为8.82%和3.64%。蕨类植物孢子主要有水龙骨单缝孢子、水龙骨科、水蕨、中国蕨科,另外也见到一些凤尾蕨科、石松科等孢子。

5 晚第四纪古环境演变

主要依据HQB7孔孢粉组合恢复的植被类型,同时结合沉积物岩性岩相、有孔虫化石组合特征以及地层年代学等资料,可以认为研究区晚第四纪31.2 ka B.P.以来的古植被、古环境演变大致经历了5个发展阶段,分述如下。

第1阶段(31.2~20.1 ka B.P.):为落叶阔叶、针叶混交林植被类型。由落叶阔叶的栎、胡桃、榆、桦、椴、水青冈、枫香、栗以及针叶的松、铁杉等构成森林的主要成分。林下植物主要有菊科、水龙骨科、凤尾蕨科等,海滨生长有蒿、藜科等耐盐草本植物。本阶段的最大特点是木本植物的花粉数量处于峰值(平均达85.15%),且由早到晚针叶树种数量逐渐减少,落叶阔叶树则有增加趋势;草本植物花粉较少,一般为10%~15%,蕨类植物数量处于低谷。沉积物由灰色粉砂质粘土及少量粉砂、粘土质粉砂组成,粘土中分布有大小不一的生物潜穴,含少量毕克卷转虫(*Ammonia beccarii*)、江苏小希望虫(*Elphidiella kiangsuensis*)等有孔虫类,可能形成于滨岸半咸水环境,表明海水曾波及本区。本阶段相当于末次冰期间冰阶,总体上气候温暖较湿,晚期湿度有明显增大的迹象。

第2阶段(20.1~10.4 ka B.P.):稀疏的针叶、落叶阔叶混交林—草地植被类型。山地、丘陵,以松、落叶栎为主组成较稀疏的针叶林和落叶阔叶林,林中混有榆、胡桃、椴、铁杉等亚热带常见分子,喜凉的榛、桦、鹅耳枥明显增多,还出现了喜冷的云杉等针叶树种;林下生长水龙骨科、中国蕨科等蕨类植物。地势相对低平地带,蒿、十字花科、藜科等草本植物形成小片草甸或草丛。总体而言,本阶段植物种群数量锐减,属种单一,植被覆盖率很低,是区内晚第四纪自然环境最恶劣的时期;从植物种类的分布及所占比例来看,木本植物数量严重偏低,仅与草本植物

数量大致相当。该时期相应的沉积物为一套特征的黄色粉砂质粘土及粉砂,粘土中含有大量铁锰质结核和斑点,常见植物碎片或根茎残体,总体显示了陆相贫瘠沉积环境^[4],是由于海平面大幅度下降,河间细粒沉积物长期暴露地表,遭受氧化作用、蒸发作用、粘土淀积作用^[15]而形成的产物。不含有孔虫化石。植被组合和沉积物岩性岩相特征反映本阶段气候总体上凉冷干燥,后期木本植物数量呈逐步上升趋势,标志着晚冰期的结束以及向冰后期植被复苏阶段的过渡。从各孢粉亚带恢复的植被类型及其演替规律可见,本阶段从早到晚古气候条件大致经历了寒冷→凉冷→寒冷→温凉的变化过程,反映了从末次盛冰期(LGM)到全新世之间的气候波动,其早期形成的沉积物(黄褐色粉砂质粘土)可能对应于末次盛冰期。

第3阶段(10.4~7.5 ka B.P.):针叶、常绿阔叶阔叶混交林植被类型。本阶段植被主要成分是针叶的松、杉,以及落叶阔叶的落叶栎、椴、栗、胡桃、榆、桦、榛,还有常绿阔叶的常绿栎类等,林下生长着十字花科、茜草科、禾本科、菊科、凤尾蕨科、水龙骨科等,海滨有藜科、蒿等构成的小片盐生草甸植被。相对于前阶段,植物种群规模不断扩大,种属的多样性得以逐步体现,植被组合中木本植物渐渐占据优势地位,蕨类植物数量也成倍增长,而草本植物所占的比例则大幅降低,反映了冰后早期植物复苏与发展过程中的生态景观变化。沉积物为一套灰色淤泥质粘土或淤泥质粉质粘土,含植物碎屑及贝壳碎片;有孔虫化石较丰富,50 g干样中常达十至百余枚,但属种单调,分异度较低,主要属种有毕克卷转虫、秋田诺宁虫(*Nonion akitaense*),另见少量多变假轮虫(*Pseudononion gaimardii*)和施罗特假轮虫(*Pseudorotalia schroteriana*)等,可能属潮上带或滨海沼泽沉积环境,反映海平面呈上升趋势,但尚未形成大规模海侵,系全新世海侵初期的表现。本阶段当属全新世早期升温期,总体上气候温和较湿。

第4阶段(7.5~2.5 ka B.P.):植被类型仍然为针叶、常绿阔叶阔叶混交林,此时植被以针叶的松、铁杉,落叶阔叶的落叶栎、枫香、胡桃、栗、漆树、椴,以及常绿阔叶的常绿栎类、杜英、杨梅等为主;林中还混有无患子科、木犀、蔷薇科、杜鹃科、黄杞、水青岗、榆等树种;林下植物有十字花科、藜科、石竹科、伞形科、蒿、禾本科、凤尾蕨科、水龙骨科、石松科等,低洼

积水处还生长着香蒲、莎草科、水蕨等水生植物。本阶段植物种群数量达到峰值,种类繁多,植被十分茂盛,其中木本植物占绝对优势(花粉百分含量一般为63%~78%),草本植物数量比前阶段略有下降。该时期形成的沉积物主要由灰色含粉砂淤泥质粘土组成,夹单层厚度1~2 mm的粉砂纹层,见大量潜穴遗迹,局部有贝壳层富集。有孔虫化石十分丰富,每50 g干样中可达几十至数百枚,发现的属种多达63个,分异度高,其中优势属种有底栖类的毕克卷转虫、孔缝筛九字虫(*Cribrononion porisuturalis*)、布腊德玫瑰虫(*Rosalina bradyi*)、优美小九字虫(*Nonionella decora*)、光滑诺宁虫(*Nonion glabrum*)、小假九字虫(*Nonionella minutum*)、杰克逊小九字虫(*Nonionella jacksonensis*)、亚易变筛九字虫(*Cribrononion subincertum*)、覆盖面颊虫(*Buccella tunicata*)、多变假小九字虫(*Pseudononion variabilis*)、易变筛九字虫(*Cribrononion incertum*)、暖水卷转虫(*Ammonia tepida*)以及浮游类的三室抱球虫(*Globigerina triloculinoides*)、变异抱球虫(*Globigerina varianta*)等;此外还出现了少量水深较大的红拟抱球虫(*Globigerinoides ruber*)、异地希望虫(*Elphidium advenum*)、优美花朵虫(*Florilus decorus*)、多变假轮虫和压扁卷转虫(*Ammonia compressiuscula*)等特征属种,表明该时期海相性程度较高,但基本未超出海湾环境^[16]。因此,总体应属滨岸浅水—海湾沉积环境,海侵由弱至强,其影响范围逐步扩大。综合上述,可推断本阶段相当于全新世中期的气候适宜期,气候温热潮湿,气温比现代高2℃左右。

第5阶段(2.5~0.6 ka B.P.):针叶、常绿阔叶混交林—沼泽植被类型。针叶树种以松、铁杉为主,落叶阔叶包括落叶栎类、桦、胡桃、枫香、榛等,常绿阔叶树种主要为常绿栎类;林下禾本科、藜科、蒿、十字花科等草本植物及水龙骨科、中国蕨科等蕨类植物茂盛,在林间沼泽中,以香蒲、水蕨为代表的水生植物繁茂。总的来看,本阶段植物种类较单调,其中木本植物数量较前阶段出现明显回落,草本植物数量则呈大幅增长趋势,并且随着木本植物中常绿阔叶树种的减少,桦、榛等喜凉的落叶阔叶成分有显著增多。沉积物为灰—灰褐色淤泥质粘土和粉砂质粘土,局部富含腐殖质和植物碎屑,仅在底部偶见个别毕克卷转虫等广盐性有孔虫,因而其主体属淡水湖沼相沉积,顶部因暴露地表而略有固结,标志着海水已

退出本区,海平面高度与现今相近。以上种种迹象表明,本阶段属全新世晚期降温期,气候渐渐转凉而接近于当地的现代气温。

6 讨论与结论

(1) HQB7 钻孔沉积层由全新世和晚更新世地层组成,其中全新世沉积始于孔深 35.7 m 处(年代约为 10.4 ka B.P.),其下至孔深 71.1 m 属晚更新世沉积,分别划归全新统镇海组(Qhzh)和上更新统宁波组(Qpn)。研究表明,全新世沉积速率明显大于晚更新世,这可能与沉积环境的差异、海侵层的发育程度和地层压实作用等因素有关。

(2) 依据钱塘江北岸 HQB7 钻孔岩心的孢粉分析,结合 ^{14}C 测年、有孔虫化石鉴定以及沉积物岩性岩相等资料,将该孔 31.2 ka B.P. 以来的植被、气候和古环境演变划分为 5 个阶段,其中各阶段又包含若干次一级的气候颤动:第 1 阶段(31.2~20.1 ka B.P.)相当于晚更新世末次冰期的间冰阶,植被类型为落叶阔叶、针叶混交林,有孔虫化石稀少,反映气候温暖较湿,可能属河口滨岸相沉积环境,海水一度影响本区,但较微弱,据区域资料分析,这次小规模海侵属晚更新世晚期发生的“杭州海侵”^①。第 2 阶段(20.1~10.4 ka B.P.)植被类型为稀疏的针叶、落叶阔叶混交林—草地,反映了凉冷干燥的气候特征,未见有孔虫化石,总体显示了低海面时期的陆相贫瘠沉积环境。第 3 阶段(10.4~7.5 ka B.P.)为全新世早期升温期,植被组合演变为针叶、常绿落叶阔叶混交林,有孔虫丰度较高,但属种单一,反映气候温和较湿,海平面逐渐上升;第 4 阶段(7.5~2.5 ka B.P.)是晚第四纪以来植被最繁茂的时期,植被组合仍为针叶、常绿落叶阔叶混交林,但喜暖湿的亚热带成分得到了全面发展,有孔虫化石异常丰富,分异度高,反映气候温热潮湿,此时处于高海平面时期,因此相当于本区的全新世大暖期或气候适宜期,其起讫时间与 Hafsten^[17]和施雅风^[18]等的研究结果较为接近;第 3、4 阶段总体为滨海—浅海湾沉积环境,海侵规模逐步扩大,此次海侵对应于全新世早、中期的“富阳海侵”。第 5 阶段(2.5~0.6 ka B.P.)为针叶、常绿阔叶混交林—沼泽植被类型,几乎不含有孔虫化石,气候温暖湿润,因海水退却,海平面恢复到与现今接近的

高度,地理环境向淡水湖沼方向演变。

总之,晚第四纪 31.2 ka B.P. 以来,植被的阶段性的演替反映了气候的演变趋势为温暖较湿→凉冷干燥→温和较湿→温热潮湿→温暖湿润,这种气候波动与海平面升降变化相一致。基于上述植被和气候的节奏性变化而划分的 5 个气候分期,与中国南方的深圳湾地区有很好的可比性^[19]。

(3) 全球第四纪冰期气候在热带、亚热带区的影响,在植被发展中也是有所反映的,主要表现为,低山和平原的区系成分中增多了现代分布在高山区的耐寒成分,如在亚热带区的云杉和冷杉从山上向山下迁移,以及温带植物向南扩展和草本植物的迅速繁衍。但孢粉组合中仍然伴生着相当数量的亚热带喜温暖类群,说明始终保持有亚热带植被生存的基本气候条件^[20]。在本区晚第四纪古环境演变的第 2 阶段(20.1~10.4 ka B.P.),孢粉组合与植被类型也有类似的特点,主要表现为孢粉的贫乏、木本植物数量的锐减、草本植物的蔓延以及喜温凉(如榛、桦、鹅耳枥等)或耐寒冷(如云杉等)树种的增多等等,但依然保留有一定数量的亚热带喜暖树木(如胡桃、椴、铁杉、栗等)花粉。造成此种现象的客观原因尚有待于今后的深入研究。

致谢: 在研究工作中得到了天津地调中心王强研究员、中国地质大学(武汉)地球科学学院李长安教授的热忱指导与帮助,在此谨表示衷心的感谢!

参考文献(References):

- [1] 林春明,李广月,卓弘春,等. 杭州湾地区晚第四纪下切河谷充填物沉积相与浅层生物气勘探[J]. 古地理学报, 2005, 7(1):12-24.
Lin Chunming, Li Guangyue, Zhuo Hongchun, et al. Sedimentary facies of incised valley fillings of the Late Quaternary in Hangzhou Bay area and shallow biogenic gas exploration [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7 (1):12-24 (in Chinese with English abstract).
- [2] 张桂甲,李从先. 钱塘江下切河谷充填及其层序地层学特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(4):56-67.
Zhang Guijia, Li Chongxian. The infilling of the river paleovalley incised Qiantang and its sequence stratigraphic characteristics [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1995, 15 (4):56-67 (in Chinese with English abstract).
- [3] 林春明,蒋维三,李从先. 杭州湾地区全新世典型生物气藏特征分析[J]. 石油学报, 1997, 18(3):44-50.

①浙江省地质矿产局. 1:5 万杭州市幅、临浦镇幅城市地质综合调查报告(内部资料). 1987.

- Lin Chunming, Jiang Weisan, Li Chongxian. Analysis on the feature of the typical Holocene biogas pool at Hangzhou Bay area [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1997, 18(3):44-50(in Chinese with English abstract).
- [4] 林春明. 杭州湾地区 15000 a 以来层序地层学初步研究[J]. *地质论评*, 1997, 43(3):273-280.
- Lin Chunming. Sequence stratigraphic study on the Hangzhou Bay since 15000 a B.P. [J]. *Geological Review*, 1997, 43(3):273-280(in Chinese with English abstract).
- [5] 张桂甲, 李从先. 晚第四纪钱塘江下切河谷体系层序地层特征[J]. *同济大学学报:自然科学版*, 1998, 26(3):320-324.
- Zhang Guijia, Li Chongxian. Sequence stratigraphy of the Qiantang River incised-valley system formed since the last Glaciation [J]. *Journal of Tongji University:Natural Science Edition*, 1998, 26(3):320-324(in Chinese with English abstract).
- [6] 顾明光, 陈忠大, 汪庆华, 等. 杭州湘湖剖面全新世沉积物的地球化学记录及其地质意义[J]. *中国地质*, 2005, 32(1):70-74.
- Gu Mingguang, Chen Zhongda, Wang Qinghua, et al. Geochemical records and their geological significance of Holocene sediments from the Xianghu profile, Hangzhou [J]. *Geology in China*, 2005, 32(1):70-74(in Chinese with English abstract).
- [7] 顾明光, 陈忠大, 卢成忠, 等. 浙江湘湖地区全新世孢粉记录及其古气候意义[J]. *中国地质*, 2006, 33(5):1144-1148.
- Gu Mingguang, Chen Zhongda, Lu Chengzhong, et al. Pollen records and their palaeoclimatic significance since the Holocene in Xianghu area of Zhejiang [J]. *Geology in China*, 2006, 33(5):1144-1148(in Chinese with English abstract).
- [8] 刘静伟, 赵淑君, 程捷, 等. 杭州湾钱塘江两岸全新世以来的古植被及古气候研究[J]. *地学前缘*, 2007, 14(5):235-245.
- Liu Jingwei, Zhao Shujun, Cheng Jie, et al. A study of vegetation and climate evolution since the Holocene near the banks of the Qiantang River in Hangzhou Bay [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(5):235-245(in Chinese with English abstract).
- [9] 俞国华, 方炳兴, 马武平, 等. 浙江省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996:175-190.
- Yu Guohua, Fang Bingxing, Ma Wuping, et al. Lithostratigraphy of Zhejiang Province [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1996:175-190(in Chinese).
- [10] 王永红, 沈焕庭. 河口海岸环境沉积速率研究方法[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 22(2):115-120.
- Wang Yonghong, Shen Huanting. The study methods of sedimentation rates in the estuarine and coastal environments [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2002, 22 (2):115-120(in Chinese with English abstract).
- [11] 林春明, 黄志诚, 朱嗣昭, 等. 杭州湾沿岸平原晚第四纪沉积特征和沉积过程[J]. *地质学报*, 1999, 73(2):120-130.
- Lin Chunming, Huang Zhicheng, Zhu Sizhao, et al. Late Quaternary sedimentary characteristics and processes in the Hangzhou Bay coastal plain [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73 (2):120-130(in Chinese with English abstract).
- [12] Stanley D J, Goodfriend G A. Recent subsidence of the northern Suez Canal [J]. *Nature*, 1996, 358:335-336.
- [13] 张玉兰, 贾丽. 上海东部地区晚第四纪沉积的孢粉组合及古环境[J]. *地理科学*, 2006, 26(2):186-191.
- Zhang Yulan, Jia li. Palynological assemblages of Late Quaternary in eastern part of Shanghai and its paleoenvironment [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26(2):186-191(in Chinese with English abstract).
- [14] 刘恩峰, 张祖陆, 沈吉. 莱州湾南岸滨海平原晚更新世以来古环境演变的孢粉记录[J]. *古地学报*, 2004, 6(1):78-84.
- Liu Enfeng, Zhang Zulu, Shen Ji. Spore-pollen records of environmental change on south coast plain of Laizhou Bay since the Late Pleistocene [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6(1):78-84(in Chinese with English abstract).
- [15] 陈忠大, 覃兆松, 梁河, 等. 杭嘉湖平原第四纪地层高精度对比方法研究[J]. *中国地质*, 2003, 30(3):275-280.
- Chen Zhongda, Qin Zhaosong, Liang He, et al. High-resolution stratigraphic correlation method of the Quaternary in the Hangzhou-Jiaxing-Huzhou plain [J]. *Geology in China*, 2003, 30 (3):275-280(in Chinese with English abstract).
- [16] 杨子庚, 林和茂. 中国第四纪地层与国际对比[M]. 北京:地质出版社, 1996:186-195.
- Yang Zigeng, Lin Hema. Quaternary stratigraphy in China and its international correlation [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996:186-195(in Chinese).
- [17] Hafsten, U. A subdivision of late Pleistocene Period on a synchronous basis extended for global and universal usage [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 1976, 7:279-296.
- [18] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件[J]. *中国科学(B辑)*, 1992, 22(12):1300-1308.
- Shi Yafeng, Kong Zhaochen, Wang Sumin, et al. The important climatic fluctuations and events in China during the Holocene Mega thermal [J]. *Science in China(Series B)*, 1992, 22(12):1300-1308(in Chinese).
- [19] 余素华, 张玉兰, 杨晓强, 等. 深圳湾北岸新民孔岩心晚更新世以来的环境记录[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2003, 23(2):9-18.
- Yu Suhua, Zhang Yulan, Yang Xiaoliang, et al. Environmental records in the Xinmin core since the late Pleistocene in the northern coast of the Shenzhen bay [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23(2):9-18(in Chinese with English abstract).
- [20] 李文漪. 中国第四纪植被与环境[M]. 北京:科学出版社, 1998:155-157.
- Li Wenyi. The Quaternary Vegetation and Environment in China [M]. Beijing:Science Press, 1998:155-157(in Chinese).

Late Quaternary sediments and paleoenvironmental evolution on the northern bank of the Qiantang River

GU Ming-guang

(Zhejiang Geological Investigation Institute, Hangzhou 311203, Zhejiang, China)

Abstract: Based on a comprehensive analysis of lithostratigraphy, chronostratigraphy, spore-pollen zones and foraminiferal assemblages of the Quaternary bore core from the northern bank of the Qiantang River, the author holds that the Holocene sedimentation began from the depth of 35.7 m (about 10.4 ka B.P.), and the strata from this level to the depth of 71.1 m should belong to Late Pleistocene. The author also divides the paleoenvironmental evolution of this hole since 31.2 ka B.P. into five development stages, with a systematic description made in such aspects as paleovegetation, paleoclimate and paleogeography of each stage. It is pointed out that the second stage (20.1~10.4 ka B.P.) was within the low sea level period, during which the climate was cool, cold and dry, that the early period of the second stage may correspond to the glacial maximum of last glaciation, and that the fourth stage (7.5~2.5 ka B.P.) was within the high sea level period, when the climate was warm, hot and damp, corresponding to the Holocene climate optimum that was in line with the global change. The climate change of the last 30,000 years since Late Quaternary in this area exhibits a good comparability with that of the Shenzhen Bay area in southern China.

Key words: Late Quaternary; chronostratigraphy; paleoenvironmental evolution; northern bank of the Qiantang River

About the author: GU Ming-guang, male, born in 1968, senior engineer, engages in the study of Quaternary geology and environmental geology; E-mail: freebeing@163.com.