科 学 通 报
第 42 卷 第 16 期 Chinese Science Bulletin 1997 年 8 月

【研究简报】

末次冰期以来钱塘江河口湾充填的物质来源

张桂甲 李从先
(同济大学海洋地质与地球物理系,上海 200092)

关键词 钱塘江 河口湾充填 物质来源 末次冰期

更新世末(约 20 000 a)以来,中国东部的海面经历了急剧下降-快速上升-最大海侵-高位小幅振荡的变化[1]. 钱塘江河口湾地区产生了下切河谷形成-古河谷楔形体充填-海泛沉积-河口湾充填的沉积旋回[2]. 其沉积量十分庞大,仅沙坎沉积估计就有 425×10^8 m^3 [3].

1 钱塘江下切河谷充填的沉积量计算

钱塘江河口湾地区在晚更新世末,古钱塘江所经过的地方表现为深切河谷,形成厚层砂砾质沉积,古河间地则大多为陆上暴露面(局部地区为基岩山丘),形成广泛分布的硬粘土层. 因此,冰后期的沉积物与其下的沉积物有着明显的区别.

本文利用近百口钻孔所揭示的分层厚度对各沉积相的体积进行了计算(表 1). 其方法是,先利用钻孔揭示的分层厚度作出分层等厚线图,然后在各区间内用面积乘以平均厚度来计算沉积体的体积.

表 1 末次冰期以来钱塘江河口湾地区的总沉积量

沉积相	面积/km^2	加权平均厚度/m	沉积量$\times10^8$/m^3	体积百分比/%
河床相	1 035.62	26.4	114.35	2.96
河漫滩相	5 059.31	20.1	1 751.27	45.32
海相	14 245.96	16.0	1 641.65	42.49
河口湾相	5 828.94	9.4	356.66	9.23
总沉积量			3 863.93	100.00

钱塘江河口湾地区末次冰期以来的河床相砂砾层沉积可以分为两个阶段,即早期基面下降、河流下切时形成的河床滞留沉积,和晚期海面上升产生的溯源堆积和加积沉积[2],在这里则将它们统一计算. 按沉积量加权平均计算的平均厚度为 26.4 m,这大大地超过了正常现代河流河床相沉积一般不超过 10 m 的情况[4]. 这说明,在钱塘江河口湾地区冰后期河床相沉积中,溯源堆积产生的加积和退积的厚度超过河流沉积层之半.

随着基面抬升,河谷满水面积明显加大,河漫滩相沉积也比河床相分布广得多(表 1). 河漫滩相沉积的加权平均厚度约为 20.1 m,显示它同样经历了溯源堆积作用的过程.

随着海侵的发展,海水溢出古河谷,海相沉积(包括滨海相和浅海相,但以浅海相沉积为主)的分布又进一步扩大,至最大海侵时,海相沉积在大多数地区直达今日的山麓. 但由于沉积空间的突然增大,沉积速率减低,海相沉积的加权平均厚度只有 16.0 m 左右.

最大海侵以来,尽管海面一直维持较高的水平,小幅振荡,并无明显的下降,但庞大的河口湾沉积使岸线前展,河口湾缩小. 河口湾相沉积的加权平均厚度约 9.4 m,总沉积量约为 357×10^8 m^3(表 1). 这个数值,比早些时候的估计值(425×10^8 m^3)[3]要略小一些.

末次冰期以来，钱塘江河口湾地区在末次冰期时的大河谷及河间地上，堆积了约 3 864 × 10^8 m^3 的沉积(表 1). 其中河漫滩相和海相沉积分别占 45.32%(体积百分比)和 42.49%，而河口湾相和河床相则所占比例较小，分别为 9.23%和 2.96%. 尽管上述沉积量的计算仍是比较粗略的，但这些相对精确的数值，有助于对该区的冰后期沉积有一个直观而定量的了解，也有助于对该区巨量沉积物的来源作更深入的探讨.

2 冰后期钱塘江下切河谷充填的物质来源

这些庞大的冰后期沉积(图 1)的物质来源，一直受到研究者的关注. 这里在沉积量计算的基础上，结合前人的研究成果，对该河口湾地区各沉积相的物质来源作一些探讨.

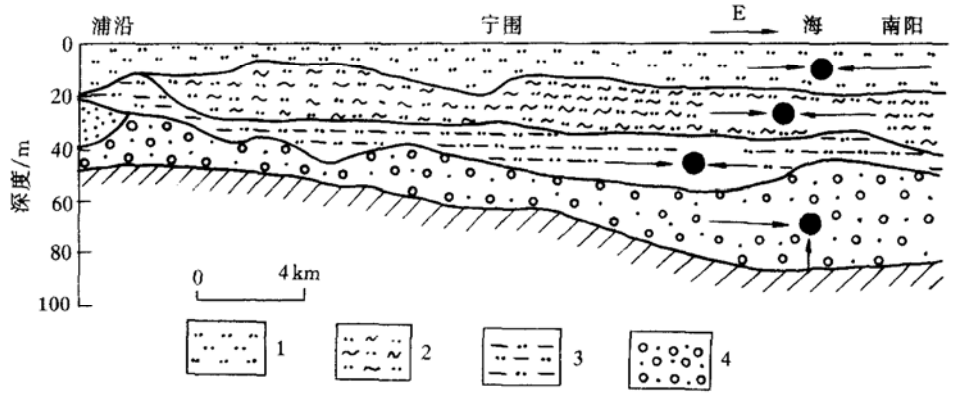

图 1 钱塘江河口湾下切河谷充填不同沉积相的物质来源示意图

图中箭头向上表示来自原地侵蚀，向左表示来自海域，向右表示来自河流上游. 1——河口湾相粉砂，2——浅海相粉砂质淤泥，3——河漫滩相泥质粉砂，4——河床相砂砾层

2.1 河流相、海相沉积的物质来源

下切河谷充填底部的河床相砂砾沉积，从形成过程上可以分为两个阶段，即下部的河床相滞留沉积和上部的随基面抬升而产生的加积和退积. 其砾石的直径可达数厘米，磨圆度也较差，也无海相化石的出现，这些都说明该相的沉积物绝大部分来自上游河流和钱塘江及其支流，少量来自原地基底的侵蚀.

河床相沉积之上的河漫滩相沉积，厚度也达 20～30 m，其中富含淡水软体动物化石[2]，且壳体完整，还可见植物碎屑、植物根茎. 但在该沉积相的较高部位出现少量的小个体有孔虫，而且其数量向上逐步增多，反映了海相影响的增加. 因此，该沉积相的主要沉积物来源为上游河流，而口外带入的沉积物则占较小的比例，但其含量向上有逐步增加的趋势.

在河流相沉积形成阶段，由于当时的长江和钱塘江都表现为深切河谷，相互隔离，长江对钱塘江河谷内的沉积也没有物源上的贡献.

海相沉积(主要为浅海相)由灰色粉砂质淤泥构成，夹粉砂纹层，显水平层理，含大量的有孔虫，50 g 干样中多达数百粒. 显然，其沉积物主要来自口外，但在海相沉积的边缘地带仍有一些河流输入一定的沉积物.

河口湾相的物质来源较为复杂，也较为特殊，这里从正反两方面对其作详细的讨论.

2.2 河口湾相沉积的物质来源

该区河口湾相约在 5 000 年前开始沉积，至今其沉积量已达 356.66 × 10^8 m^3(表 1). 取平

均比重为 2.5，则其平均堆积速率约为 $1\ 783\times10^4\ t\cdot a^{-1}$. 进入钱塘江河口湾的河流有钱塘江、甬江、曹娥江，它们的现代年均输沙量分别为 658.7×10^4, 35.9×10^4, $128.7\times10^4\ t$[1)]，三条河流的年均总输沙量为 $823.5\times10^4 t$. 即使这些河流搬运的沉积物全部堆积在河口湾地区，也不足河口湾相年均堆积速率的一半. 更何况，河流通过杭州湾入海，必然会有相当一部分的相对较细的沉积物进入口外海域. 而海相沉积的年均堆积速率高达 $8\ 208\times10^4\ t\cdot a^{-1}$(时间跨度取 5 000 年，沉积物比重取 $2.5\ t\cdot m^{-3}$)，其物源更不可能是仅来自上述三条河流的输沙.

既然河流输沙不足以提供足够的物源，便有理由相信还有相当一部分的沉积物来自口外，下述多方面的证据也证明了这一点. 北邻钱塘江河口湾的长江是水丰沙多的大河，其年均输沙量为 $48\ 600\times10^4$ t，是钱塘江年均输沙量的 73.8 倍，也是钱塘江、曹娥江、甬江年均输沙量总和的 59.0 倍. 长江携带的巨量泥沙，部分在其口部沉积，形成不断向外延伸的长江三角洲；部分随潮流进入苏北沿岸海域，为苏北辐射沙洲的发育提供重要的物源；还有一部分随沿岸流南下，进入杭州湾的口外海区，再随涨潮流进入杭州湾[3]. 正是这部分物质提供了河口湾相沉积的主要物源，其证据是多方面的，也是令人信服的.

首先，从长江口及杭州湾口的潮流场分布趋势[3]上也可以看出，南汇嘴附近的潮流无论是在涨转落，还是落转涨的转流期间，都有一股沿南汇嘴边滩指向杭州湾的分流，这说明了长江水体可以直接进入杭州湾的口门区域. 其次，杭州湾内的盐度等值线为 NE-SW 方向，且呈北部低、南部高的特点[3]；相关分析也表明，多年长江大通站月平均流量与金山嘴月平均盐度的相关系数为 −0.78，有着较好的线性负相关. 此外，在重矿物[3]和粘土矿物[5]组合及其特征上，杭州湾的现代沉积也表现出与长江口外海滨沉积的一致性，而与钱塘江河口段的重矿物组合特征明显不同.

钱塘江河口湾沉积的物质来源，除了上述的河流输沙及长江间接的供沙外，还可来自基底的冲刷及侧翼的侵蚀. 杭州湾的潮流冲刷槽非常普遍. 在澉浦以上主要是落潮冲刷槽，这些冲刷槽体积较小，仅 $(14\sim20)\times10^{-6}\ m^3$ [3]，对沉积量高达数百亿立方米的河口湾沉积来说，其侵蚀产生的物质可以不作考虑；但在澉浦以下的涨潮冲刷槽，则体积较为庞大，据地貌测量估计，仅在口门以内，它们便可提供近 $4\times10^9\ m^3$ 的物质[3]. 海岛周围的底部疏松物质，也受到潮流的冲刷，并进入杭州湾. 此外，钱塘江沙坎沉积是一种嵌入式的庞大沙体，底部原先的沉积物被冲刷起来，代之以沙坎物质. 这种代置物质一般厚达 5 m 左右[3]，它们为沙坎的形成也提供了部分物质. 因此，由潮流冲刷侵蚀作用产生的物质，也是杭州湾沉积的一个不容忽略的来源. 在钱塘江河口湾的发育过程中，侧翼的物质也可能因受到侵蚀而参与河口的泥沙运动，但岸线的变化表现为南张北塌的特点，其净侵蚀量并不大，对巨量的杭州湾沉积，这也是一个相当次要的物质来源.

3　结论

冰后期以来，钱塘江河口湾地区在下切河谷内及古河间地上堆积了约 $368\times10^9\ m^3$ 的沉积物. 在不同的演化阶段，不同沉积相沉积物的物质来源、搬运动力、搬运方向明显不同.

在末次冰期低海面时形成的河床相滞留沉积，其物源为河流上游腹地的侵蚀物及河流对流域基底原地下切产生的残留物. 海侵早期形成的上部河床相沉积及河漫滩相沉积，受到了

1) 浙江省海岸带资源综合调查队. 浙江省海岸带资源综合调查论文集，1986，5～68（内刊）

科 学 通 报
第42卷 第16期 Chinese Science Bulletin 1997年8月

【研究简报】

顾及椭球扁率效应的统一引力场表示

朱灼文
(武汉测绘科技大学现代地球动力学实验室,武昌 430079)

关键词 统一引力场表示 椭球域重调和方程 Dirichlet 内问题 径向伸缩变换 逼近问题 异常密度

作者首次提出的统一引力场表示理论是对扰动引力位就球近似情况建模的[1,2]. 我们知道,球近似会使结果携带着椭球扁率级的固有误差. 对一般实际应用,这一误差可忽略;但若欲达到更高精度,则必须顾及之. 本文旨在拓展统一引力场表示理论,使之包含椭球扁率级效应的情况,以满足当代物理大地测量学发展及相关地学学科对地球引力场进一步提出的高精度要求.

1 基本定解问题

记 $\bar{\Omega}=\Omega+\Sigma$,这里 Σ 表示 Marrusi 的 Telluroid 曲面,并视之为旋转椭球面,Ω 表示它所界的地球内部开点域. 设已由观测并经离心力场等相关改正得到了扰动位和引力扰动在 Σ 上的分布 f_1 和 $(-f_2)$. 统一引力场表示理论向椭球情况拓展归结为:求异常密度 ρ,使扰动位

溯源堆积和沿程淤积的双重控制,沉积物仍主要来自上游河流携沙. 但在河漫滩相沉积中,有少量物质来自口外,并且其含量向上增高. 海相沉积(包括浅海相和滨海相,但以浅海相为主)主要来自口外输沙,少部分来自众多河流. 河口湾相沉积具有多元化的来源. 其中,最主要的是北邻的长江的间接输沙,次为河口湾注入河流的输沙,潮流对杭州湾内及口外岛屿周围基底的冲刷侵蚀也可以为杭州湾内的沉积提供一定的物质来源. 河口湾两侧的海岸侵蚀是一个很次要的物质来源.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:29476380)资助项目.

参 考 文 献

1 蔡祖仁,林洪泉. 浙北杭嘉湖平原的全新统地层. 地层学杂志,1984,8(1):10~17
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. 海洋地质与第四纪地质,1995,5(4):57~67
3 陈吉余,恽才英,虞志英. 杭州湾的动力地貌. 见:陈吉余,王宝灿,虞志英等主编. 中国海岸带发育过程和演变规律,上海:上海科技出版社,1989. 81~96
4 Allen G P, Posamentier H W. Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: the gironde estuary (France). Journal of Sedimentary Petrology, 1993, 63(3): 378~381
5 许世远,李 萍,王靖泰. 长江三角洲的沉积模式. 见:严钦尚,许世远等著. 长江三角洲现代沉积研究,上海:华东师范大学出版社,1987. 264~277

(1996-09-19 收稿,1997-02-21 收修改稿)