

文章编号: 1000-0550(2011)02-0328-08

珠江三角洲地区全新世以来的沉积速率与沉积环境分析

韦 惺 莫文渊 吴超羽

(中山大学近岸海洋科学与技术研究中心 广州 510275)

摘 要 为了探讨全新世以来珠江三角洲沉积演变的时空变化特征,将全新世珠江三角洲划分为4个阶段、12个区域,并根据92个钻孔,分别统计计算了不同阶段和区域的沉积速率。研究表明:(1)珠江三角洲在全新世4个阶段中的平均沉积速率有较大变幅,其中在10.0~7.5 ka BP最小,仅为1.27 mm/a,在7.5~5.0 ka BP阶段最大,为2.34 mm/a。这主要受沉积基底地形、海平面上升所引起的沉积空间的差异性所导致;(2)距今2500年以来虽然由于人类活动频繁使珠江来沙量增多,但由于河湾中河道的形成、束窄,沉积物被输运到外海的比例不断增加,使得该时期平均沉积速率并不是全新世各期中最大;(3)由于三角洲复杂边界对河流和海洋动力的改造和重塑,高海面期三角洲的沉积中心同时分布在中部不同区域。表明三角洲的进积模式不同于其它大型三角洲——三角洲的发育并非单一自河口向外海逐渐发展,而是不同区域的沉积体同时多向发育。

关键词 珠江三角洲 全新世 沉积速率 沉积环境

第一作者简介 韦惺 男 1982年出生 博士研究生 河口—海岸沉积 E-mail: wxsysu@gmail.com

中图分类号 P534.63⁺2 **文献标识码** A

三角洲的发育演变发生于中全新世海平面快速上升后维持相对稳定的高海平面期^[1]。海平面的相对稳定或略微下降和大量的河流沉积物输入促进了三角洲的进积。认识三角洲发育历史,其中一个重要方面就是要研究三角洲的沉积过程。沉积速率则是沉积过程的综合反映。长期平均的沉积速率可以反映三角洲历史的形成和发育。另外,将三角洲不同时空的沉积速率加以对比,可以了解主要沉积因素在时间和空间上的变化过程。目前,对珠江三角洲地质历史时期沉积速率的变化与沉积环境关系的研究,除了上世纪80年代初黄镇国等^[2]的工作外,鲜见报道。黄镇国等依据钻孔资料分阶段、分区域讨论了玉木亚间冰期以来珠江三角洲的沉积速率和沉积环境的变化。这对珠江三角洲发育历史的认识提供了参考。然而,由于具有¹⁴C年代数据的钻孔相对有限,计算的钻孔年代数据通常只能依靠沉积岩性作推断,这使得结果造成较大偏差。珠江三角洲全新世以来沉积速率的时空变化,需要更全面地统计,才能做出更加客观的古环境解释。

近几十年来,学者在珠江三角洲做了大量工作,积累了许多沉积柱状样与各种沉积物年龄和沉积物

成分的有关资料。为了研究全新世珠江三角洲的沉积速率时空变化规律,本文收集了92个拥有全新世¹⁴C测年的钻孔,其中74个钻孔资料收集自各类出版物,另外18个钻孔(编号PRD序列)由课题组在三角洲关键部位自行钻取。对PRD序列钻孔沉积物作了高分辨率的¹⁴C测年、古生物鉴定、沉积物粒度分析及颜色反射率等测定。这18个钻孔是区域地层和沉积速率计算的主要参考资料。

1 材料与方法

¹⁴C同位素的半衰期为5730 a,可以有效标定2万年以来的沉积物年龄。用¹⁴C法测定的沉积层年代推算河口海岸地质历史时期的沉积速率已成为重要方法。本文依据的年代数据来源有两部分:(1)自行钻取的18个PRD序列钻孔测年数据共210个,其中AMS测年数据25个^①,常规¹⁴C测年185个^②。多数钻孔全新世测年数据分辨率为1 m。(2)各类出版物公开发表的钻孔72个,共162个全新世测年数据。该部分钻孔中部分钻孔仅有1个测年数据,多数钻孔也只是有2个全新世测年数据。但各个钻孔均有较为详细的沉积环境分析,且每个钻孔作者都依据沉积

① 由中国科学院广州地球化学研究所测定

② 由波兰GADAM Centre, Silesian University of Technology测定

收稿日期: 2010-01-11; 收修改稿日期: 2010-05-13

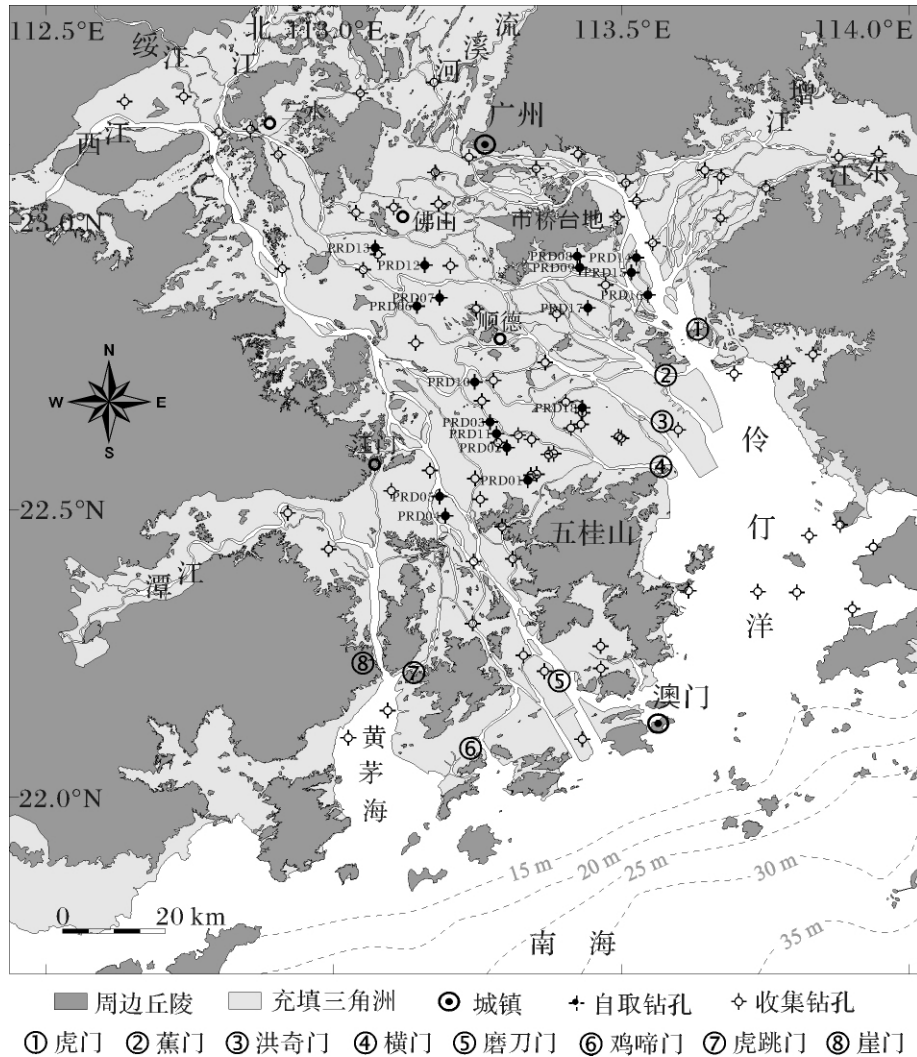


图 1 珠江三角洲地区研究钻孔分布

Fig. 1 Location of the bore holes in the Pearl River delta

物及沉积层序特征划分出了 Q_4^1 、 Q_4^{2-1} 、 Q_4^{2-2} 和 Q_4^3 所对应的沉积厚度。相较于没有测年数据的钻孔, 本文认为这些钻孔的沉积厚度划分是可信的, 各钻孔至少有一个测年数据作为划分的参考依据。由此本文选取了该部分钻孔并采用其沉积厚度划分结果作为沉积速率的计算。各计算钻孔分布见图 1。

海平面升降是全新世环境演变的主导因素。在全新世早期海平面尚较低的时期, 三角洲受海洋动力作用较小, 河流是其主要物质来源及输运者、改造者; 全新世中期海平面快速上升及至相对稳定, 海洋动力成为参与三角洲环境演变的重要因素之一。三角洲的沉积环境、沉积空间的变化和沉积相带的分布(图 2) 受海平面变化的直接影响。因此, 为了反映珠江三角洲全新世沉积过程的时间变化特征, 并结合

收集的钻孔资料的数据特征, 将全新世划分 4 个阶段, 分别为: Q_4^1 (10 000 ~ 7 500 a BP)、 Q_4^{2-1} (7 500 ~ 5 000 a BP)、 Q_4^{2-2} (5 000 ~ 2 500 a BP) 和 Q_4^3 (2 500 a BP—现代)。

珠江三角洲是一个由多条河流在半封闭海湾内充填而成的三角洲, 且古河口湾内地貌形态十分复杂, 沉积性质在时空上存在很大差异。吴超羽等根据钻孔资料和长周期数值模拟等的分析, 指出珠江三角洲的推进模式并不是简单的由北而南, 在复杂边界作用下存在种种不同趋势, 三角洲在形成演进过程中根据形成机制和地理位置可以划分为若干个子三角洲, 其中三角洲中部平原可以划分为番禺平原、顺德平原和大鳌平原^[3-6]。龙云作等^[9]根据钻孔资料分析得出的珠江三角洲沉积相分布特征(图 2) 亦反映了这

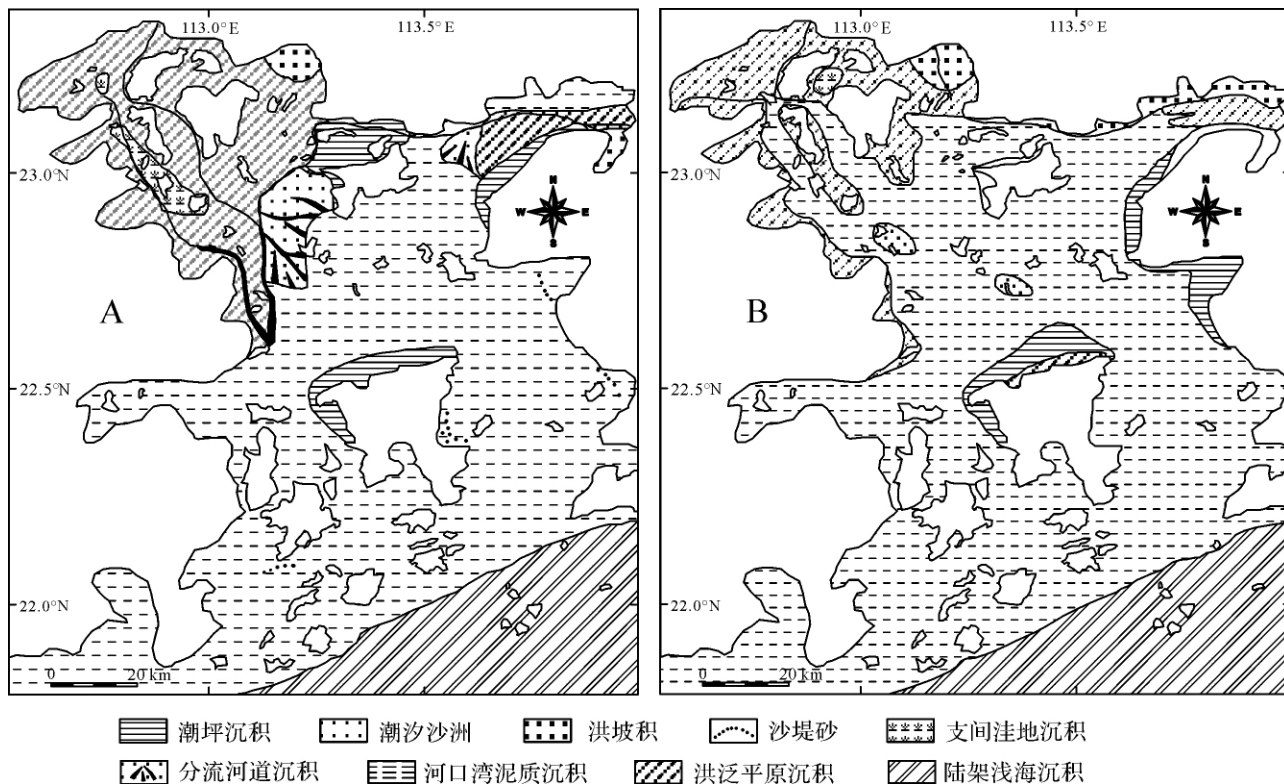


图2 珠江三角洲全新世中期沉积相分布

A. 大西洋期; B. 亚北方期(修改自文献 [9])

Fig. 2 Sedimentary facies of the Zhujiang River delta

A. in the Atlantic Stage of the middle Holocene; B. in the Sub-Boreal Stage of the middle Holocene(modified from Long 1997)

一特点,如五桂山北麓潮坪沉积的自南而北发育,顺度中部潮汐沙洲的发育等。为了反映珠江三角洲发育特征和沉积的空间变化,本文在吴超羽等的研究基础上,并根据珠江三角洲沉积相带分布特点(图2),进一步将三角洲划分成12个子区域(图4),即:(1)高要区;(2)陈村区;(3)西樵山区;(4)广州区;(5)顺德区;(6)番禺区;(7)大鳌区;(8)东江区;(9)潭江区;(10)黄茅海河口湾区;(11)磨刀门河口湾区;(12)伶仃洋河口湾区。其中位于三角洲北部的高要区、陈村区和广州区受山体限制,形成相对封闭的系统,沉积发育相对独立;分别处于三角洲东、西部的东江区和潭江区的发育亦相对独立,少受西、北江的影响;黄茅海河口湾区、磨刀门河口湾区和伶仃洋河口湾区受地形的影响亦相对独立。对三角洲各个子区域在各不同阶段的平均沉积速率分别进行统计计算。

沉积速率是采用所测年代及其相应的控制深度来计算而得的。考虑到沉积层经过长期自重压实和脱水过程,其厚度会减少。因此,首先消除压缩率,恢

复初始厚度,再按初始厚度和年代计算沉积速率,才是实际的沉积速率。砂粒层和砂层的压缩率很小,可予忽略。淤泥和淤泥质粉砂层的压缩率较大,而且年代越久,压缩率越大。按黄镇国等的计算,珠江三角洲的淤泥、粘土层的压缩率在 Q_4^{2-1} 的平均值为38.11%,在 Q_4^3 的平均值为11.53%^[2]。每根柱样的沉积速率(分层或整柱)均采用年代所控制的长度加权平均求得,对于几个柱子间的平均速率则采用算术平均求得。所以本文所提供的沉积速率是反映一段较长时间内该区沉积物堆积的大致速度,或者说是沉积速率变化的总趋势。

2 结果

限于篇幅,本文依据的原始数据(92个钻孔的位置、水深、文献、测年数据及各期沉积厚度)及计算结果(各钻孔在不同时期的沉积速率)一律从简。所得结果,示于表1、图3和图4。应当说明的是有些子区域由于计算钻孔相对较少,得出的数据可能不一定完全反映该子区域的真实情况。

表 1 珠江三角洲的沉积速率 (单位: mm/a)
Table 1 Sedimentation rate of the Pearl River Delta (Unit: mm/a)

沉积分区	发育阶段			
	Q ₄ ¹ (10.0~7.5 ka BP)	Q ₄ ²⁻¹ (7.5~5.0 ka BP)	Q ₄ ²⁻² (5.0~2.5 ka BP)	Q ₄ ³ (2.5~0.0 ka BP)
1	0.51	2.71	2.64	1.84
2	3.41	2.17	2.47	0.58
3	0.94	2.42	1.58	2.52
4	1.47	1.08	0.85	1.80
5	0.90	3.82	2.63	1.82
6	1.17	3.27	1.94	2.81
7	0.59	0.55	1.32	2.30
8	0.86	1.70	1.82	1.29
9	1.17	2.51	1.68	2.46
10	1.61	1.99	1.86	1.40
11	1.46	2.67	2.15	5.33
12	1.12	3.18	2.38	3.04
全三角洲平均值	1.27	2.34	1.94	2.27

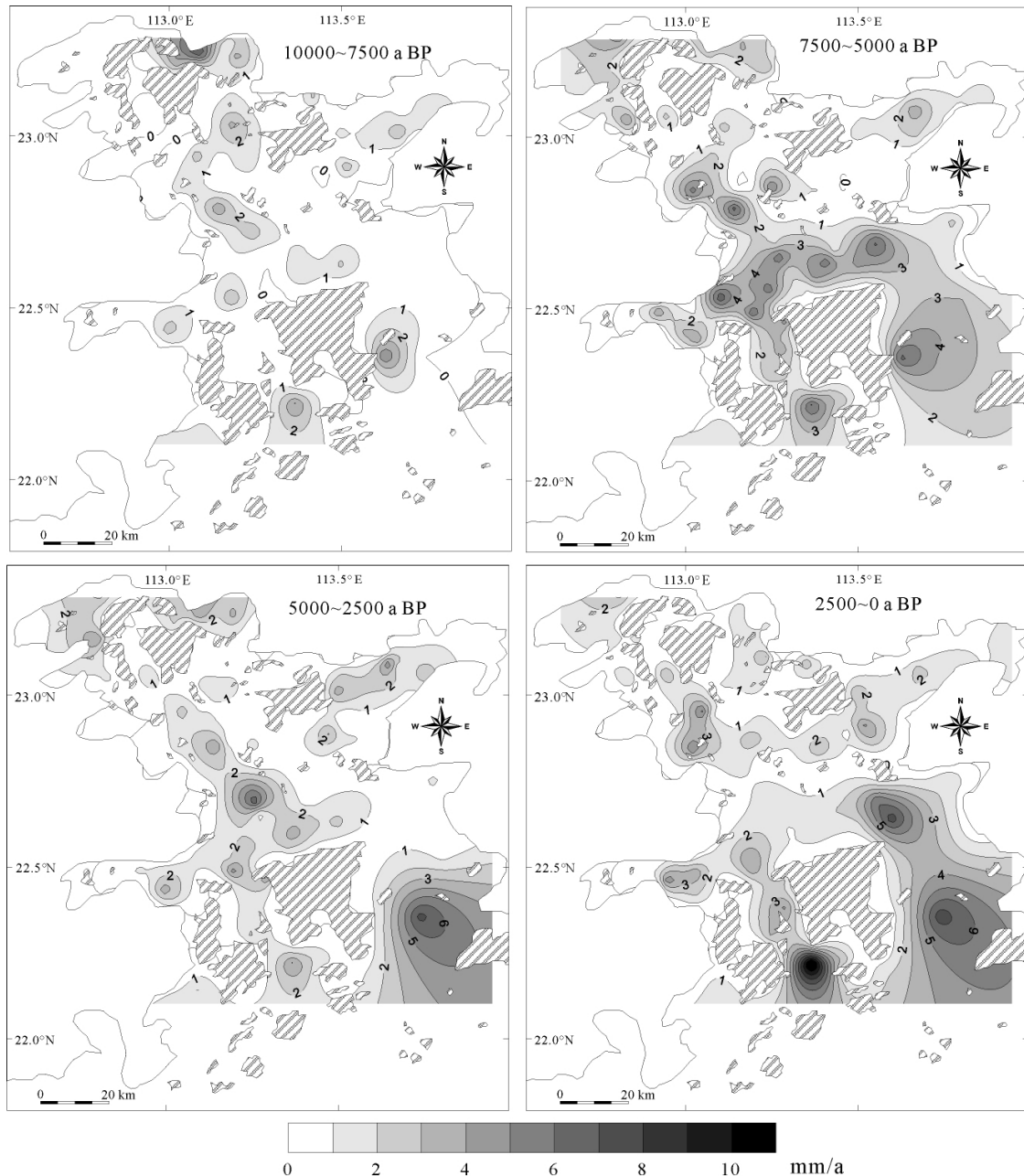


图 3 珠江三角洲地区全新统沉积速率的分布

Fig. 3 Distribution of the sedimentation rates in the Pearl River Delta during Holocene series

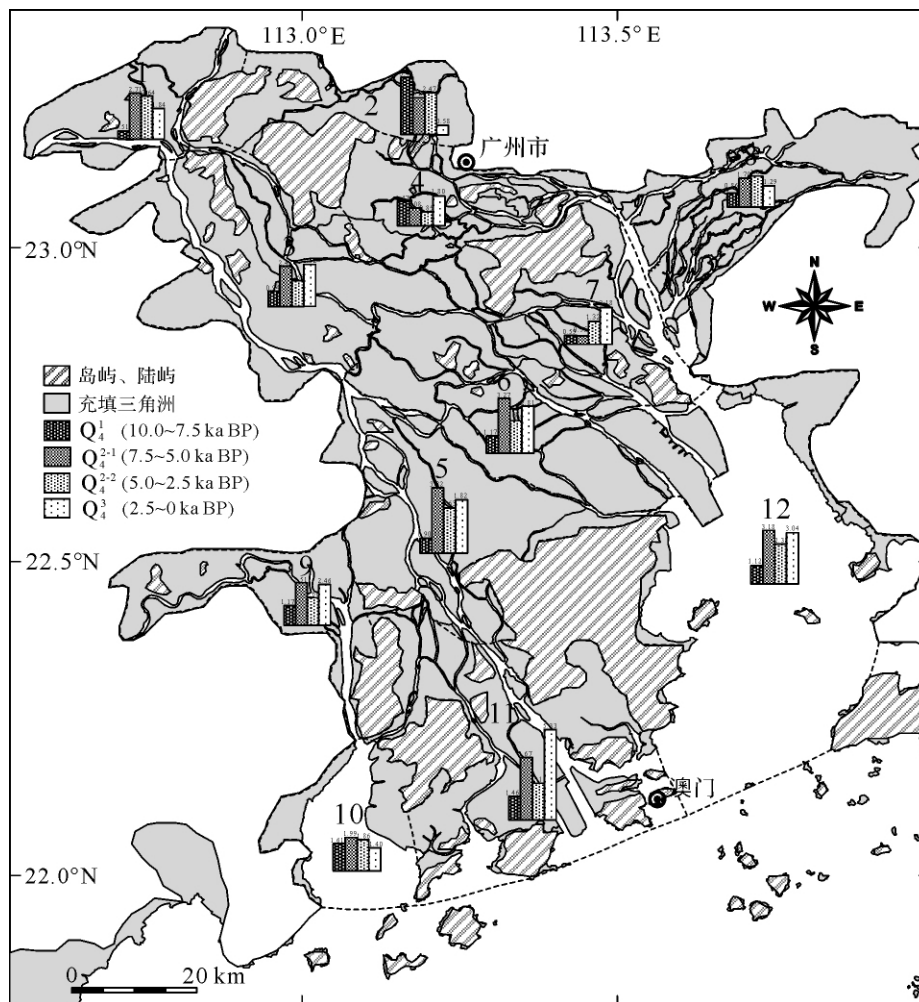


图4 珠江三角洲各子区域的沉积速率在全新世4个不同阶段的变化

Fig. 4 Sedimentation rates of the subarea in 4 stages of the Holocene

3 讨论

3.1 沉积速率与沉积环境的时空变化特征

3.1.1 Q_4^1 (10.0~7.5 ka BP) 阶段的变化特征

从沉积速率的统计结果看,该时期珠江三角洲的沉积速率最小,仅为1.27 mm/a。沉积速率在空间上的变化表现为由三角洲南部向内陆及上游地区逐渐减小。这主要是受相对海平面及三角洲沉积空间的变化所影响。距今1.3万年左右,珠江口外陆架最低海平面比现今海平面低131 m^[7]。此时本地区大部分区域为风化花斑粘土^[2,8,9],河流深切谷地。珠江大部分泥沙被搬运到远离现今岸线以南100~200 km的南海海域。随着冰后期海平面上升,三角洲南部一些地势较低的地区开始受海进影响,沉积空间增加,河海作用交织,沉积物堆积速度加快。但在三角洲中部和上游地区除了河谷堆积外,大部分地区仍处

于陆地环境。

3.1.2 Q_4^{2-1} (7.5~5.0 ka BP) 阶段的变化特征

该时期珠江三角洲地区相对海平面以约11 mm/a的速度迅速上升(图5)。南部大部分面积开始接受海进沉积,并形成河口湾沉积环境。三角洲顶部地区仍以河流作用为主,形成洪泛平原沉积环境。在河流注入河口湾地区形成分流河道沉积。此时珠江三角洲的平均沉积速率为2.34 mm/a。1,3,5,6,11,12区为沉积中心,沉积速率在这6个区平均值达到3.01 mm/a。这主要是由于西、北江径流强、输沙运量大,三角洲在该区域的推进速度快。同时也反映了当时1,3,5,6,11,12区为古河谷所在区域,海平面上升即沦为溺谷。

3.1.3 Q_4^{2-2} (5.0~2.5 ka BP) 阶段的变化特征

根据海平面变化曲线(图5),海平面在6000~5000 a BP接近现今海平面并保持相对稳定,此时海

侵达到最大。西、北三角洲的滨线约在南海的九江—灶岗—西樵山东麓—大岸—罗村镇务岗—寨边村—河宕—深村—梁边—奇槎—雅瑶—坦边—颖水—广州新市葵涌一线^[10]形成了顺德龙江锦屏山、广州七星岗、番禺莲花山等海蚀地形和相应的海积沙堤。古河口湾的沉积环境为周围为低山、丘陵、台地、近河口段为滨海平原(三角洲平原),河口湾分布面积广大,湾内岛礁星罗棋布,构成了古珠江河口湾复杂的地形边界(如图 2)。河流和海洋动力受到改造和重塑,进而影响沉积物的运输和沉积。据统计结果,珠江三角洲在该时段的平均沉积速率为 1.94 mm/a。由表 1、图 3 和图 4 显示,该阶段三角洲沉积中心的不仅分布于古河口湾的河口区域(如 1 区),而且也同时分布于三角洲的中部地区,如在 5 区沉积速率达 2.63 mm/a。表明高海面期三角洲的建造并不是单一的自北向南,自河口向外海逐渐发展,而是各区同时多向发育的。这与吴超羽等^[4]的研究结果相一致。这一沉积规律是珠江三角洲独特而复杂的地貌特征所导致的,反映珠江三角洲演进的各种复杂地貌动力和沉积动力机理。由珠江三角洲在亚北方期的沉积相图(图 2),五桂山北麓的潮坪相沉积由南向北扩展,在古河口湾中部潮汐沙洲发育。据吴超羽等的研究,此时珠江三角洲的沉积模式包括河口拦门沙沉积、平行出海水道间沉积、岛屿丘陵边沿沉积和双向射流沉积系统等。

3.1.4 Q_4^3 (2.5 ~ 0.0 ka BP) 阶段的变化特征

该时期,发生了由湾内充填型三角洲向进积型三角洲的转化,岸线明显向海方向推进^[9]。三角洲平原区明显扩大。根据沉积速率统计结果,珠江三角洲

在该阶段的平均沉积速率为 2.27 mm/a,并非为全新世 4 个阶段中最大的一个阶段。这与黄镇国等的计算结果不同。按黄镇国等计算统计,在珠江三角洲发育演变的各阶段中距今 2 500 以来的平均沉积速率是最快的,理由是由于该时期人类活动频繁使珠江来沙量增多,从而导致了沉积速率的加快。这个观点是可以进一步讨论的。由于约 6 000 以来海平面的相对稳定和前期沉积物的充填作用,三角洲沉积空间总体上不断减小,即使该时期珠江来沙量增多,亦并不一定会使得三角洲平均沉积速率更大。河流下泄的沉积物会随着古河湾沉积空间的减少和河湾中河道的形成、束窄而被输运到外海的比例不断增加。表 1 和图 4 显示,距今 2 500 年以来三角洲的沉积中心分布于 3, 7, 6, 9, 11, 12 区,相对于 Q_4^2 沉积中心南移了,磨刀门成为西、北江主要的出海水道和输沙方向。在磨刀门区(11 区) 2 500 年以来的平均沉积速率达到了 5.33 mm/a。此外,值得关注的是番禺区(7 区)沉积速率的变化。若以近 5 000 年计,则后 2 500 年比前 2 500 年的沉积速率大 74.2%。表明番禺区在 5 000 ~ 2 500 a BP 沉积物来源少,水动力活跃;在 2 500 年以来随着三角洲的淤积演变,该区水动力逐渐减弱,沉积物开始快速堆积。

3.2 沉积速率与动力结构

按照沉积学的原理,沉积速率在河口三角洲的不同发育阶段是有变化的,即使在同一部位,沉积体形成的早期和晚期的沉积速率也是不一样的。河口湾和三角洲沉积体的形成,是各种沉积环境在不同发育阶段长期共同作用的结果。沉积速率的快慢变化是多种因素相互作用的结果,而不仅仅是水深的函数。

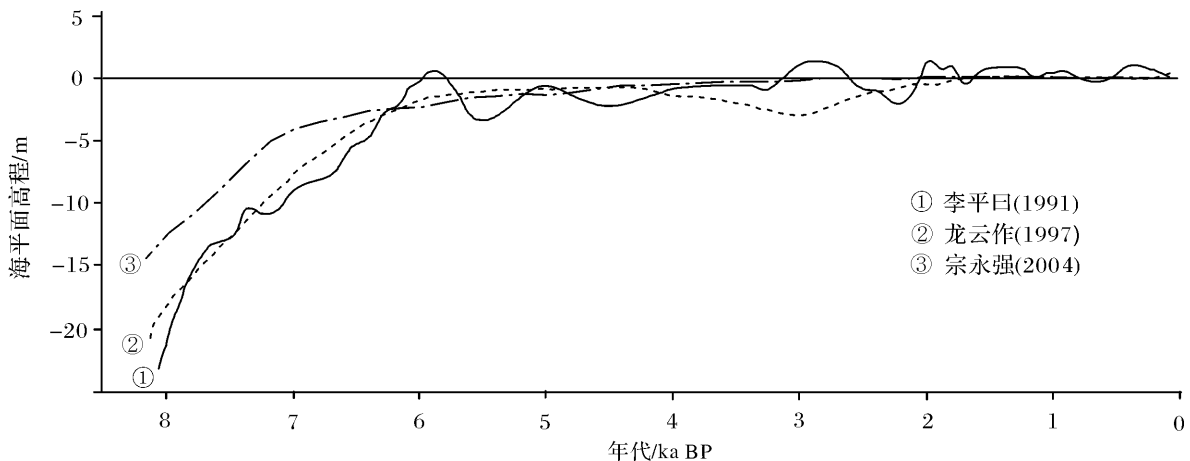


图 5 珠江三角洲 8 000 a 来海平面变化曲线

Fig. 5 The curve of sea level changes in Pearl River Delta since 8 ka BP

PRD 系列钻孔的沉积速率变化(图6)显示,沉积速率的快慢变化在时间和空间上的变化是多样的。在同一时期某地可能出于长时间侵蚀无沉积状态,而另一地区却出现快速沉积(例如图6的 PRD15 孔和 PRD03 孔的沉积速率在 6 500 ~ 5 000 a BP 的变化)。这主要是由于古珠江河口湾复杂的边界条件,使得海洋动力和河流动力受到重大的重塑,往往形成若干在能量分配、运输能力和动力平衡各重要方面各据特色的动力系统,产生多种中小尺度沉积动力结构。诸如“门”地貌单元造成的涨落潮沉积体^[4,12],汇潮回流点形成的快速沉积体^[4]等等。这种动力结构在物质和能量运输、能量消耗具有相对稳定的模式。动力结构具有明确可以判断的驱动力(惯性与摩擦、压力梯度、密度等),而且相对于地貌单元是稳定的,作用的时间尺度可以从湍流尺度到千年尺度或更长。

在三角洲众多岛屿中,有些特别的岛丘之间构成一定的峡口,且峡口上下游均有宽阔的睡眠和较大放宽率,峡口的走向又与主要涨落潮流方向一致,这样的地貌形态往往形成“门”双向射流系统。“门”及相连的地形边界使得它上下两边潮汐的巨大能量,包括动能与位能,集中到峡口附近,产生远比一般河口更强烈的射流。双向的射流系统的存在实际上改变了单纯潮流所形成的流场,造成了无论涨潮或落潮,均产生强烈的方向更替的射流。这一动力结构特征一方面使得射流口门区域由于具有很大流速而发生冲刷,另一方面在射流末端由于流速降低水流挟沙能力减弱而形成涨落潮三角洲沉积体。这一类型动力结构和沉积体如古磨刀门双向射流系统对应的大鳌沙沉积体,虎门双向射流系统对应的海鸥沙沉积体等。不过,许多岛丘之间的峡口并没有形成“门”双向射流系统,这是因为峡口与主要潮流方向呈很大的交角,岛屿间流场混乱,漩涡发育,消能明显,从而泥沙易于在岛屿间堆积。而在水流的交汇处。

沉积体是三角洲最基本的建构单元,我们在通过长期平均的沉积速率了解三角洲形成和发育历史的同时,还要深入的了解三角洲沉积沙体的过程—响应机制,限于篇幅该部分内容将另文讨论。

4 结论

(1) 受相对海平面及沉积空间变化的影响,珠江三角洲在全新世 4 个阶段中的平均沉积速率变幅较大。 Q_4^1 最小,仅为 1.27 mm/a; Q_4^{2-1} 最大,为 2.34 mm/a。

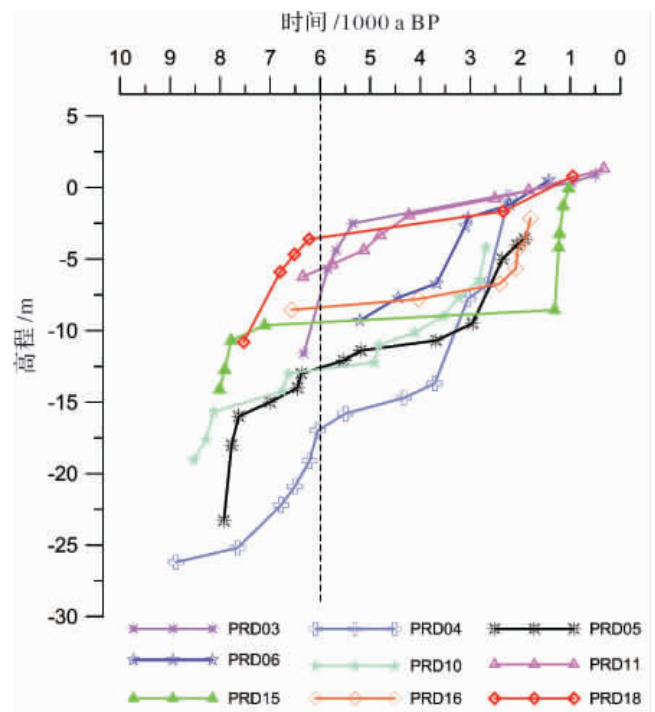


图6 PRD 系列钻孔的沉积速率

Fig. 6 Sedimentation rate of the PRD cores

(2) 珠江三角洲在距今 2 500 年以来的平均沉积速率并不是全新世各期中最大的,虽然该时期由于人类活动频繁使珠江来沙量增多,但由于河湾中河道的形成、束窄,沉积物被运输到外海的比例不断增加。

(3) 受复杂边界的影响,高海面期三角洲的沉积中心并非只分布于河口口门区,而是同时分布在中部不同区域。表明三角洲的进积模式并不同于其它大型三角洲——三角洲的发育并非单一自河口向外海逐渐发展,而是不同区域的沉积体同时多向发育。

参考文献(References)

- 1 Stanley D J, Warne A G. Worldwide initiation of Holocene marine deltas by deceleration of sea-level rise[J]. *Science*, 1994, 265: 228-231
- 2 黄镇国,李平日,张仲英,等. 珠江三角洲形成发育演变[M]. 广州: 科学普及出版社广州分社, 1982: 1-274 [Huang Zhengguo, Li Pingri, Zhang Zhongying, et al. The Formation and Evolution of the Pearl River Delta[M]. Guangzhou: Guangzhou Branch of Science Popularization Press, 1982: 1-274]
- 3 吴超羽,任杰,包芸,等. 珠江河口“门”的地貌动力学初探[J]. *地理学报*, 2006, 61(5): 537-548 [Wu Chaoyu, Ren Jie, Bao Yun, et al. A preliminary study on the morphodynamic evolution of the ‘gate’ of the Pearl River delta, China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(5): 537-548]
- 4 吴超羽,包芸,任杰,等. 珠江三角洲及河网形成演变的数值模拟和地貌动力学分析: 距今 6000 ~ 2500a [J]. *海洋学报*, 2006, 28

- (4): 64-80 [Wu Chaoyu, Bao Yun, Ren Jie, *et al.* A numerical simulation and morphodynamic analysis on the evolution of the Zhujiang River delta in China: 6000 ~ 2500 aBP [J]. *Acta Oceanologica Scandinavica*, 2006, 28(4): 64-80]
- 5 吴超羽, 何志刚, 任杰, 等. 珠江三角洲中部子平原形成演变机理研究——以大鳌平原为例 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27(5): 814-827 [Wu Chaoyu, He Zhigang, Ren Jie, *et al.* A physical study on the evolution of the sub-deltaic plain in the mid Zhujiang River delta: a case study of Da'ao Sub-delta [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(5): 814-827]
- 6 韦惺, 吴超羽, 任杰, 等. 6 ka 以来广州溺谷湾形成演变的数值模拟和地貌动力学分析 [J]. *中国科学: D 辑*, 2008, 38(11): 1384-1395 [Wei Xing, Wu Chaoyu, Ren Jie, *et al.* A numerical simulation and morphodynamic analysis of the evolution of the drowned valley of Guangzhou since 6 ka BP [J]. *Science in China: Series D*, 2008, 38(11): 1384-1395]
- 7 陈欣树, 包砺彦, 陈俊仁, 等. 珠江口外陆架晚第四纪最低海面的发现 [J]. *热带海洋*, 1990, 9(4): 73-77 [Chen Xinshu, Bao Liyan, Chen Junren, *et al.* Discovery of lowest sea level in late Quaternary at the continental shelf off Pearl River mouth [J]. *Tropic Oceanology*, 1990, 9(4): 73-77]
- 8 赵焕庭. 珠江河口演变 [M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 1-357 [Zhao Huanting. *The Evolution of the Pearl River Estuaries* [M]. Beijing: China Ocean Press, 1990: 1-357]
- 9 龙云作. 珠江三角洲沉积地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997: 1-165 [Long Yunzuo. *Sediment Geology of the Pearl River Delta* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 1-165]
- 10 李平日, 乔彭年, 郑洪汉, 等. 珠江三角洲一万年来环境演变 [M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 1-154 [Li Pingri, Qiao Pengnian, Zheng Honghan, *et al.* *Environmental Changes of the Pearl River Delta in the Last 10 000 Years* [M]. Beijing: China Ocean Press, 1991: 1-154]
- 11 Zong Yongqiang. Mid-Holocene sea-level highstand along the Southeast Coast of China [J]. *Quaternary International*, 2004, 117: 55-67
- 12 何志刚, 莫文渊, 刘春莲, 等. 从沉积速率和沉积物粒度看冰后期海侵以来珠江三角洲西江大鳌沙的形成 [J]. *古地理学报*, 2007, 9(3): 331-336 [He Zhigang, Mo Wenyan, Liu Chunlian, *et al.* Formation of Xijiang Da'aosha in Pearl River Delta during the postglacial period from a perspective of sedimentation rates and sediment grain size [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(3): 331-336]

Analysis on the Sedimentation Rates and Depositional Environment of the Pearl River Delta Area Since Holocene

WEI Xing MO Wen-yuan WU Chao-yu

(Center for Coastal Ocean Science and Technology Research, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275)

Abstract To explore the spatial and temporal evolution of sedimentation in the Pearl River Delta Area (PRDA) since Holocene, the PRDA is divided into 12 subregions, and the evolution history is distinguished into 4 stages. Sedimentation rates of 92 cores were calculated for representing different subregions and evolution stages. The obtained sedimentation rates are 1.27 mm/a, 2.34 mm/a, 1.94 mm/a, 2.27 mm/a in 10.0 ~ 7.5 ka BP, 7.5 ~ 5.0 ka BP, 5.0 ~ 2.5 ka BP, 2.5 ~ 0 ka BP, respectively. Maximum rate occurred in 7.5 ~ 5.0 ka BP and minimum rate occurred in 10.0 ~ 7.5 ka BP. The depocenters were found to be located in the middle area, rather than only at the mouth of the paleo-estuary bay, which is quite different from the normal pattern established in many estuaries. Maximum and minimum rates during different stages were caused by differences in sea-level rise and accommodation space; Since 2 500 a BP, human activities have increased the sediment amount discharged into the bay, but the dispersal to the offshore was also increased by the formation of river network and limitation of the accommodation space relative to the supply. Therefore the largest sedimentation rate was not situated then, contrary to the pre-existing understanding. The existence of multiply depocenters in the paleo-estuary bay indicated a new evolution pattern of the delta that several sand bodies prograded multi-directionally and simultaneously. This is much different from several large-scale delta systems in the world that propagate seaward unidirectionally.

Key words Pearl River Delta Area; Holocene; sedimentation rate; depositional environment