

文章编号: 1000-0550(2010)01-0166-10

珠江口沉积物²¹⁰Pb 分布特征及环境意义^①

刘志勇¹ 潘少明¹ 程功弼¹ 李向东²

(1 南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室 南京 210093; 2 香港理工大学土木及结构工程学系 九龙红磡 香港)

摘要 根据珠江口及其邻近海域中的 14 个沉积柱样的²¹⁰Pb 随深度分布的测量数据以及²¹⁰Pb 过剩衰减法的原理,建立了基于傅立叶级数的变沉积速率模型,对珠江河口近 50 年来河口沉积物的沉积序列进行了分析。分别对各柱样的²¹⁰Pb 数据使用变沉积速率模型进行计算,获得了柱样更切实的沉积速率变化过程并分析沉积速率、年代计算结果与同时期内沉积环境之间的关系。结果表明:珠江口不同站位的沉积速率差异很大,几个站位的整体平均沉积速率分别是 7.25 cm/a、5.36 cm/a、3.26 cm/a、3.03 cm/a、1.58 cm/a;沉积速率的变化与同时期发生在区域内的洪水、风暴潮、人类活动、河口演变等一系列综合因素有较好的对应关系,这说明使用基于傅立叶级数的变沉积速率模型得到的²¹⁰Pb 沉积速率变化的垂直分布能够解释其对应时段内的沉积环境,此模型亦可为其它河口区域的²¹⁰Pb 沉积速率计算提供借鉴。

关键词 沉积速率 同位素测年 傅立叶级数的变沉积速率模型 ²¹⁰Pb 珠江口

第一作者简介 刘志勇 男 1981 年出生 博士研究生 河流与海岩相互作用 E-mail: yongjxu@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

利用核素²¹⁰Pb 来研究沉积物的地质年代学在国内起源于 20 世纪 80 年代初^[1-3],主要用于河口、海湾、陆架、湖泊等区域数十年至百年尺度内的沉积环境计年^[4-9],其结果能较客观地反映沉积作用趋势^[10,11]。²¹⁰Pb 垂直剖面的分布受很多因素的影响,如悬浮体的浓度、沉积物的粒度、有机质组成、重金属含量、再迁移作用等^[12-16]。因此可通过分析²¹⁰Pb 垂直剖面的异常情况,结合²¹⁰Pb 在沉积物中的衰变规律,探讨²¹⁰Pb 剖面异常与对应时间段的沉积环境,分析河口沉积物演变的历史特征^[13,17]。本文以野外获取的珠江口及邻近海区的 14 个沉积剖面柱样为载体,通过 α 谱仪测量得到²¹⁰Pb 随深度分布的数据,基于²¹⁰Pb 过剩衰减法的原理^[18,19],建立了基于傅立叶级数的变沉积速率模型,将实验数据转化为对应深度的沉积速率信息,对珠江河口洪水和风暴潮等自然事件在短期内改变河口沉积物的沉积序列进行了分析。

1 材料与方法

使用重力采样器于 2000 年 9 月在珠江口不同区域采集 14 个不同的柱状沉积物,采样站位分布见图 1。用分样器按所需层段厚度间隔(一般取 1~5 cm)进行逐层分样,并分别称其湿重。离去样品中的过剩水,以小于 110℃ 将样品干燥至恒重,然后将样品研

磨成粉末,再以 450℃ 高温加热 2~3 h,即可分装待用。测量方法采用²¹⁰Po-α 法进行²¹⁰Pb 分析,测量仪器为美国 ORTEC 公司生产的金-硅面垒 α 谱仪,型号 576A,测量误差在 16%~25% 之间,上述实验在南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室完成。

沉积物中蓄积的²¹⁰Pb 一部分来自沉积物所含天然铀系产物²²⁶Ra 的衰变子体²¹⁰Pb(补偿²¹⁰Pb,标记为²¹⁰Pb_{com}),常被作为本底值加以扣除;另一部分来自大气沉降的²²²Rn 衰变子体²¹⁰Pb(过剩²¹⁰Pb,标记为²¹⁰Pb_{ex}),²¹⁰Pb_{tol}为沉积物样品中的²¹⁰Pb 总量,式 1 所示。本文²¹⁰Pb 沉积速率的计算采用 CIC 模式^[10]。

$$^{210}\text{Pb}_{\text{tol}} = ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}} + ^{210}\text{Pb}_{\text{com}} \quad (1)$$

2 实验结果

2.1 柱样的粒度特征

根据采样站位在口门区域的分布,选取了 4 个柱样,对其粒度特征进行分析,各粒级的分级方法为:砂(63 μm~2 mm)、粉砂(4~63 μm)、泥(<4 μm)^[20]。结果表明,4 个柱样的黏土含量较多,柱样 6、B、7、15 的黏土平均含量分别为 18.5%、55.85%、38.6% 和 58.6%,B 与 7 柱样的黏土含量有从表层往下递增的趋势^[20],沉积物各组分的含量如图 2。将 4 个柱样的²¹⁰Pb 活度和黏土含量进行相关性分析发

①国家重点基础研究发展规划项目(批准号:2002CB412401)和南京大学研究生科研创新基金资助。
收稿日期:2008-11-03;收修改稿日期:2009-03-13

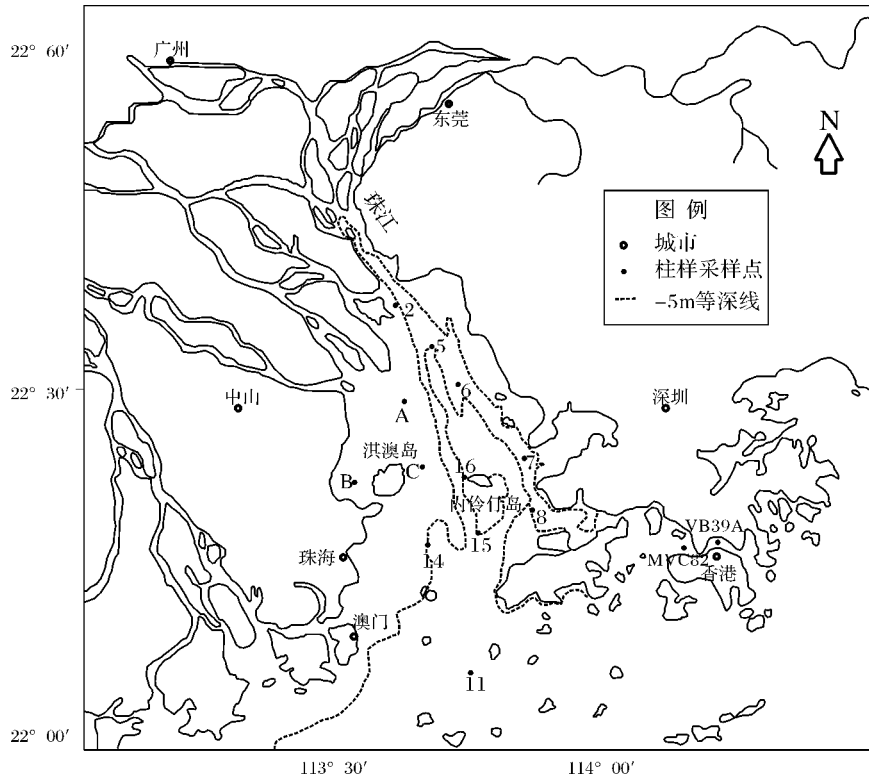


图 1 采样位置示意图

Fig. 1 Map showing the sampling location

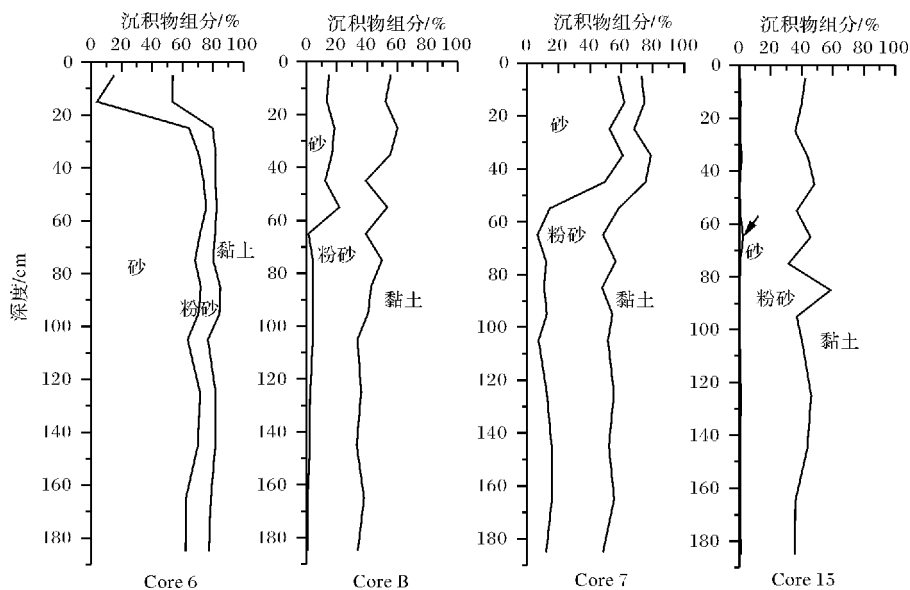


图 2 部分柱样的沉积物组分特征

Fig. 2 The characteristic of sediment components for some cores

现,它们之间均不存在显著的相关性,不能使用归一化方法^[9,14]对²¹⁰Pb 的剖面进行标准化处理,本区域内柱样的²¹⁰Pb 活度受沉积物粒度因素影响不大。

2.2 柱样的²¹⁰Pb 剖面特征及其反映的沉积环境

根据放射性同位素²¹⁰Pb 的测量数据所作的剖面图有下述不同类型。正常类型:三区形,即混合区、衰变区和本底区,如 CoreMvc82、CoreVb39A;二区形,只有衰变区和本底区,如 Core6;一区形,²¹⁰Pb 剖面从上

到下基本一致,呈直线状态,无法求得斜率和沉积速率,如 Core5、Core14 等,产生这种现象的主要原因有,底栖生物或强烈水动力作用产生扰动改造的高度混合区,或处于快速沉积区与无现代沉积区^[10,11]。异常类型:²¹⁰Pb 的剖面呈现倒置、平行和混乱状等形态,如 Core7。

Core7 的²¹⁰Pb 剖面分布出现倒置现象,见图3,该采样位置靠近深圳湾,处于航道中央与码头附近,受航道疏浚,底泥开挖等因素等人类活动的干扰,使得表层的沉积物倾入到底层,出现了这种倒置现象。

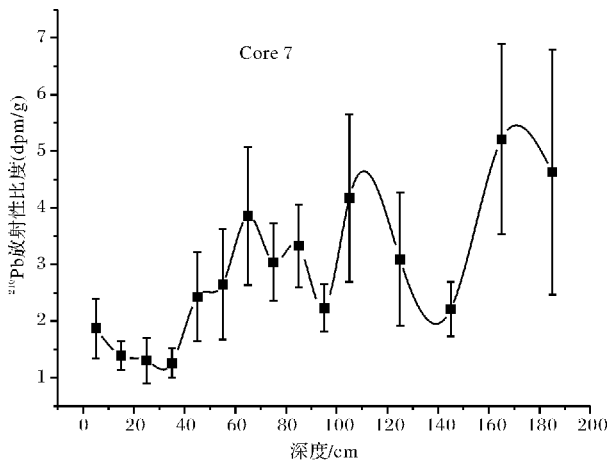


图3 倒置现象的情况
Fig.3 The situation shows an inversion

Core6 的²¹⁰Pb 的剖面呈现出沉积段和本底段,反映了无明显扰动的沉积环境,见图4,该采样地点位于矾石浅滩与矾石水道的交界处,此处受河流径流作用为主,沉积环境相对稳定,沉积速率比较缓慢。

表层 10 ~ 20 cm 的²¹⁰Pb 比活度数值比较接近,越往深处呈现指数衰减规律,符合此特征的柱样

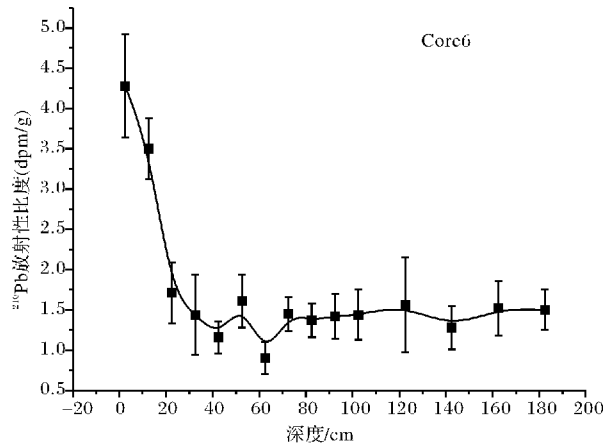


图4 无明显扰动的情况
Fig.4 The situation shows an indefinite disturbance

CoreMvc82、CoreVb39A,见图5,两站位于九龙湾内,是人类活动密集区和水生生物的富集区。该区沉积物结构主要是由生物扰动强烈的粉砂质泥质所组成的类均匀块状构造,无机层理几乎全被破坏,存在大量生物尸体、虫孔、潜穴及搅动斑点,顶部浮泥层薄。由于采样深度不够,本底区缺失,该分布类型实际应属于三区形。

²¹⁰Pb 的剖面分布几乎呈水平趋势,²¹⁰Pb 的值在某一个平衡位置上下涨落,符合此特征的柱样有 Core5、Core14、Core15、Core16、CoreC,见图6。Core5 位于虎门、蕉门、洪奇沥的入海交汇处,径流量大且易受洪水影响,属于能够在某一极短时间内快速沉积的区域;Core16 位于西槽内部,内伶仃岛西北侧,属于高淤积区,沉积速率较快;Core14 和 Core15 位于内伶仃洋外边界,主要受潮流作用,该地沉积速率较慢;CoreC 紧靠淇澳岛东侧,该处沉积速率较快,且生物扰动作用强烈,沉积物被快速混合。

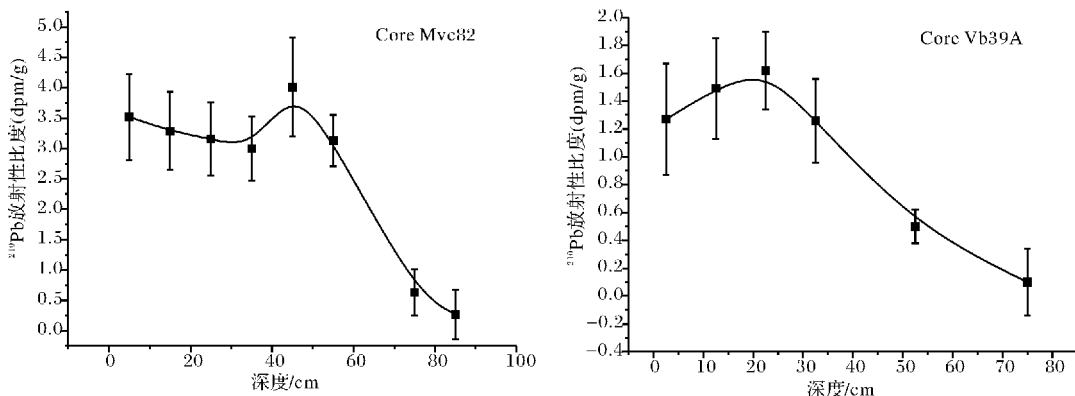


图5 表层高度混合的情况
Fig.5 The situation shows a high mixture in surface layer

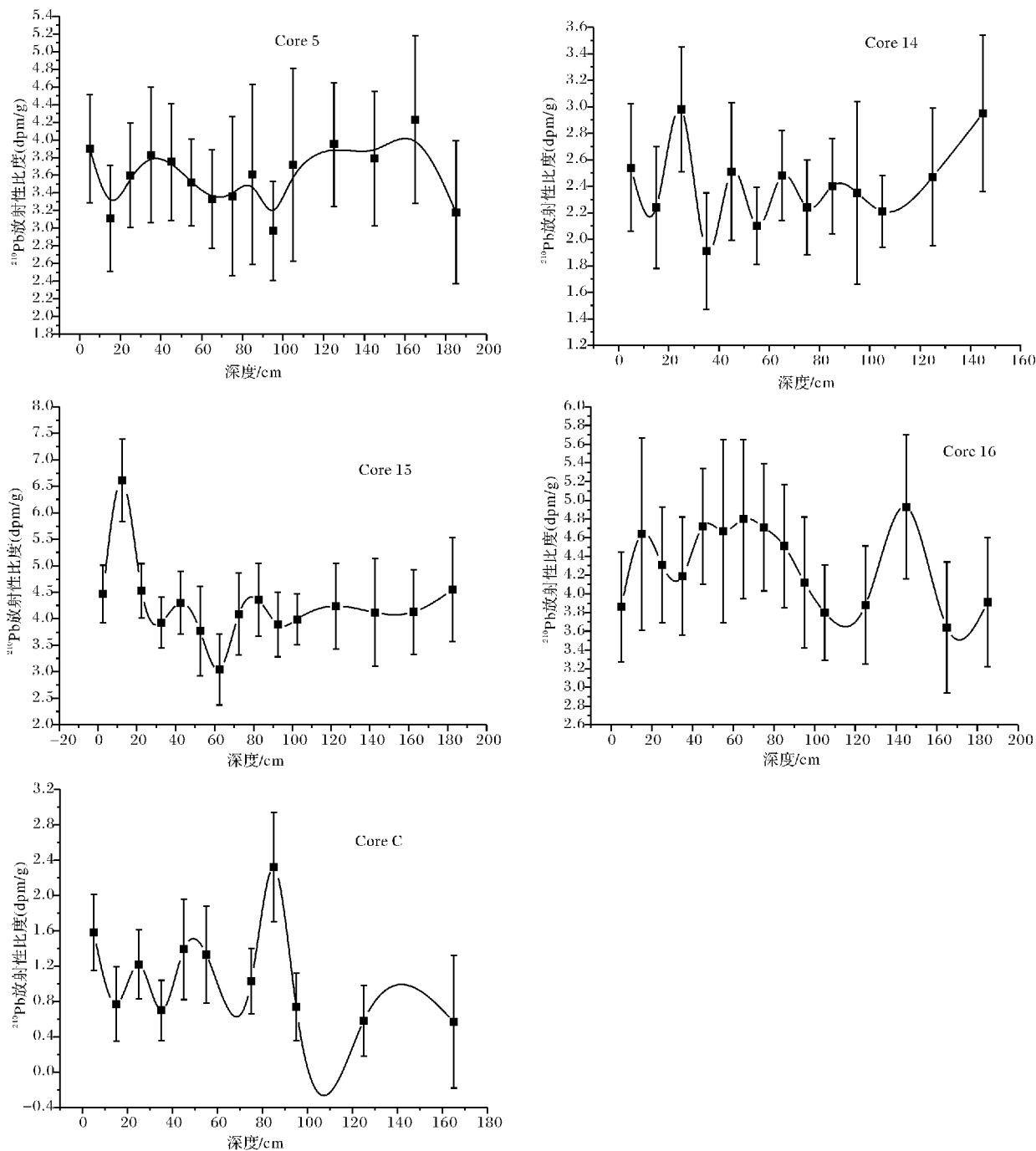


图 6 近乎水平分布的情况

Fig. 6 The situation shows a contiguous horizontal distribution

²¹⁰Pb 的剖面分布呈现波动,符合此特征的柱样有 CoreA、CoreB、Core2、Core8、Core11,见图 7。CoreB 表层 0 ~ 5 cm 的²¹⁰Pb 活度为 5.19 ± 1.13 dpm/g, ²¹⁰Pb 初始值在所有柱样中最高,由于 CoreB 的采样地点靠近河流入海口门,径流量大,悬浮体浓度相对较低,淇澳岛西侧沉积环境相对比较稳定,径流携带的

物质在此部位以细颗粒沉积为主,同时受径流作用与潮流作用的扰动,悬浮颗粒在水体滞留时间延长,因此 CoreB 的过剩²¹⁰Pb 初始值最高。横门和洪奇沥口门外的 CoreA 与 CoreB 所处的沉积环境相似,其²¹⁰Pb 测量结果也显示了相对较高的初始值。

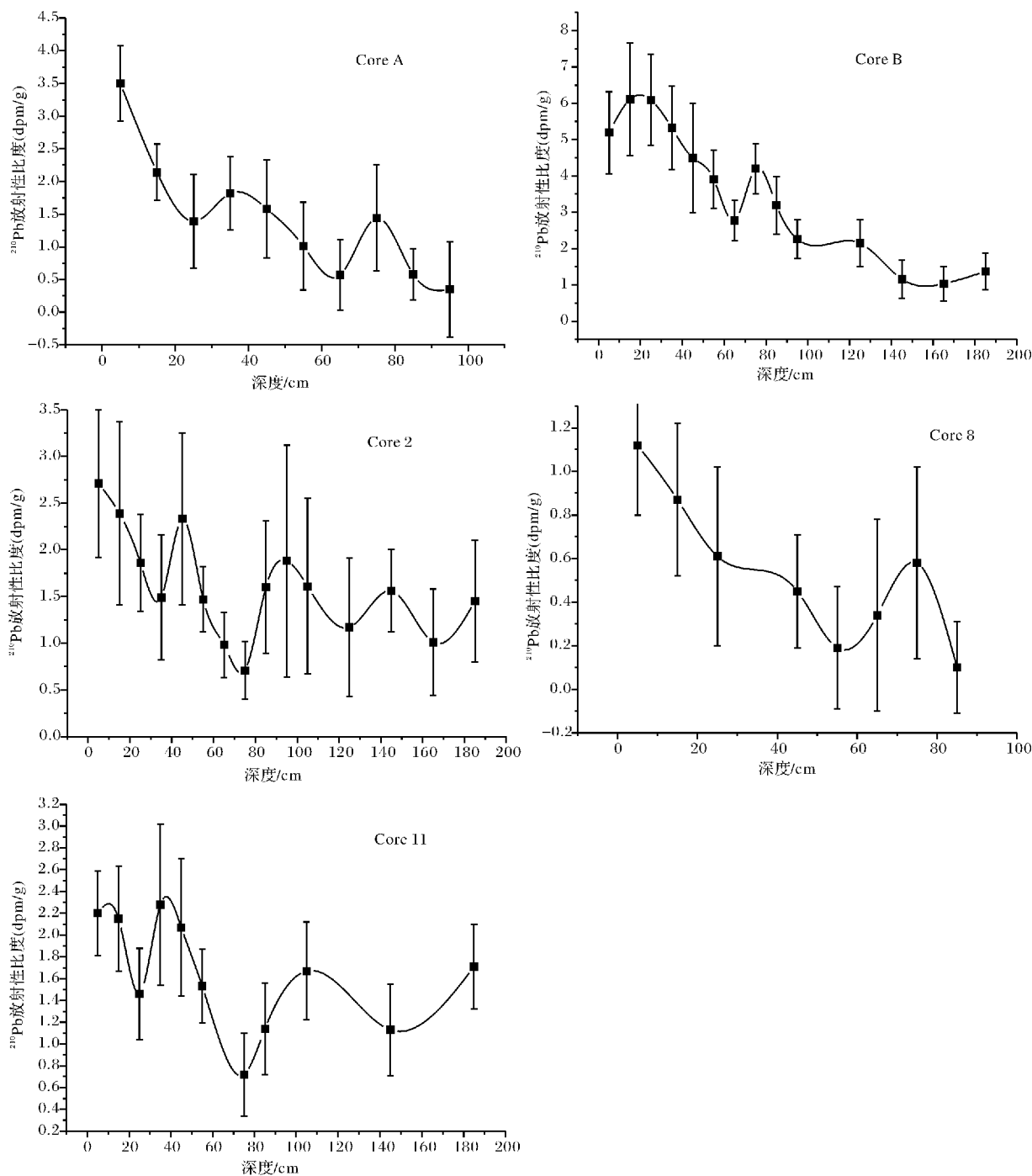


图7 沉积速率变化明显可见的情况

Fig.7 The situation shows obvious change on sedimentation rate

虎门口外的 Core2 与外伶仃洋的 Core11, ^{210}Pb 测量结果显示相对较低的初始值。由于 Core2 靠近入海口门, 携沙量大且水动力强, 沉积环境比 CoreA 更复杂; Core11 位于万山群岛附近, 该处受河流径流影响较小, 但是易受潮流作用影响, 而且从表层 0 ~ 45 cm 的 ^{210}Pb 测量结果看, 数值较为均一、波动幅度不

大, 说明有比较强的扰动作用, 混合效应明显。混合区的存在反映了该区域表层沉积物受波浪和沿岸流影响较强, 同时由于底栖生物、特别是钻洞有孔虫的活动, 沉积物被扰动而混合, 从而会形成较厚的表面混合层, 所以 Core2 与 Core11 的过剩 ^{210}P 初始值相对 CoreA 来说更低一些。

深圳湾口外大濠岛北侧的 Core8 ,显示了最低的²¹⁰Pb 初始值。由于该处靠近码头与港口 ,航道疏浚底泥开挖等人为因素影响 ,该柱样原表层的沉积物可能已被搬运移动 ,现在的采样结果只是其中相对较深的一部分。

3 模型的建立与应用结果

3.1 基于傅立叶级数的变沉积速率模型的建立

²¹⁰Pb 呈现波动原因可能是沉积速率变化引起的 ,为了分析柱样内部真实的沉积速率 ,Carroll 曾利用小波分析原理建立模型^[17] ,对亚马逊河口沉积物的²¹⁰Pb 含量垂直分布的异常情况作过深入研究 ,确定其沉积速率的变化。本文使用基于傅立叶级数的变沉积速率模型 ,对珠江口 14 个沉积柱样的沉积速率的试验结果进行分析。

放射性同位素²¹⁰Pb 的衰变与沉积深度有关 ,只考虑衰变因素的情况下 ,且沉积速率在任何时间均是常数 ,同位素的浓度随时间的衰变遵循以下指数关系:

$$P(x) = P_0 \exp(-\lambda x/V) \quad (2)$$

X 是沉积深度 t 是时间 P_0 是柱样表层的同位素浓度 λ 是同位素固有的衰变速率 , V 是沉积速率。使用基本的傅立叶序列原理 ,通过转换 ,可以将上式表达为时间与深度的对应关系式:

$$t = x_{\max} [Bz + \sum_{n=1}^N \frac{\alpha_n}{n\pi} \sin(n\pi z)] \quad (3)$$

初始假定单位质量沉积物中的同位素含量是一个常数很明显是不正确的 ,在大多数情况下同位素含量在某一深度会出现极值。如果暂时不考虑放射性衰变和沉积速率变化的作用 ,同位素含量随深度的变化是由于物源自身随时间发生的变化而引起的。如果没有充分的自然原因说明当时的物源表征值不等

于现在表层的数值 P_0 ,那必定满足条件:任意的物源变化值都为正。为了同时解决上述问题引入函数

$$F(z) = \sum_{n=1}^N \frac{b_n}{n\pi} [1 - \cos(n\pi z)] \quad (4)$$

只考虑物源变化 ,单独写出关于物源变化的函数 $P(z) = P_0 \exp[F(z)]$,结合放射性衰变因素和物源变化因素 ,可以得到普适公式:

$$P(z) = P_0 \exp\{-\tau(z) + F(z)\} \quad (5)$$

使用标准矩阵变换法^[21]来确定系数 a_n 和 b_n 。最终可用获得数据计算沉积速率 ,如公式 5 所示。

$$\nu = \frac{1}{2B + 2 \sum_{n=1}^N \frac{A_n}{n\pi} \cos(n\pi z)} \quad (6)$$

3.2 模型的测试与应用

为了验证模型的正确性和可行性 ,对前人同类型研究的数据进行了再分析。选取吴良基和范时清在研究珠江口外海区的沉积物²¹⁰Pb 含量的数据^[13] ,利用该模型进行沉积速率求算 ,计算结果如表 1 所示。

表 1 两种模型对珠江口外²¹⁰Pb 柱样的沉积速率结果对比
Table 1 Comparison of two models for sedimentation rate of ²¹⁰Pb samples

采样站位	简单模型计算的沉积速率/(cm/a)	变沉积速率模型计算的沉积速率/(cm/a)
361	0.26	0.26
362	0.27	0.27
363	0.29	0.32

计算结果表明 ,两种模型的计算结果吻合度较好 ,显示出计算结果较好的可信度 ,建立的模型符合该研究的机理需要 ,为进一步分析数据提供了基础。

应用本模型对珠江口 14 个沉积柱状样品的²¹⁰Pb 测量数据进行计算 ,并将其与前人研究^[22-24]的部分

表 2 不同方法计算的沉积速率结果对比

Table 2 Comparison on sedimentation rates calculated by various methods

区域位置	历史海图对比法*	¹⁴ C 测年法*	¹³⁷ Cs 法*	²¹⁰ Pb 法(1)*	²¹⁰ Pb 法(2)	²¹⁰ Pb 法(3)	²¹⁰ Pb 法(4)
内 东滩	0.5 ~ 1.5	0.130	0.75 ~ 0.88				
伶 东槽	1.5 ~ 2.7		1.5	7.11	3.31/2.98	12.8	
仃 中滩	1.0 ~ 2.0	0.071					
洋 西槽	5.4 ~ 7.0			5.4 ~ 7.0	9.11	5.43	5.36
洋 西滩	3.0 ~ 5.0	0.592/0.075				3.04/3.53	3.26/3.03
外伶仃洋		0.5 - 1.5			1.16/2.32	1.42	1.58

注:以上单位均为 cm/yr 其中*数据来自广州地理研究所中心实验室(1991)。

结果进行对比,见表2。表2中所列的 ^{210}Pb 法(1)(2)(3)(4)分别指的是常通量模型、常通量模型^[25-26]、简单模型^[27]、基于傅立叶级数的变沉积速率模型。其中 ^{210}Pb 法(3)与 ^{210}Pb 法(4)所计算的对象为同一组样品。

上表对比表明,利用基于傅立叶级数的变沉积速率模型计算得到的现代沉积速率结果,基本符合实际情况,数值范围属于正常范畴,本模型的原理与设计基本正确,应用于现代河口地区的沉积速率研究是可行的。

3.3 沉积环境的探讨

3.3.1 同一柱样反映的沉积环境

^{210}Pb 的垂直分布会出现三种异常分布:垂直均匀分布、正(偏大)异常、负(偏小)异常,这被认为与该区域近百年来发生的台风、洪水、地震事件有对应关系^[13]。本文以CoreB为例,运用基于傅立叶级数的变沉积速率模型,来分析该柱样的沉积速率数据变化,定量化异常波动的影响,并解释产生变化的原因,表3给出了CoreB的各深度的沉积速率与对应年代值的具体数据。

表3 Core B的沉积速率与对应年代值

Table 3 Sedimentation rate and related date of Core B

深度 /cm	^{210}Pb 比活度 /(dpm/g)	误差 /(dpm/g)	沉积速率 /(cm/a)	距采样日期 /a	年代
5	5.19	1.13	1.73	2.88	1997.9
15	6.11	1.55	1.43	6.87	1993.8
25	6.09	1.25	2.10	11.63	1989.0
35	5.32	1.15	3.34	14.62	1986.0
45	4.50	1.51	4.24	16.98	1983.7
55	3.91	0.80	3.30	20.01	1980.6
65	2.77	0.56	3.21	23.12	1977.5
75	4.20	0.69	4.66	25.26	1975.4
85	3.19	0.79	3.39	28.21	1972.4
95	2.26	0.54	3.37	31.17	1969.5
125	2.15	0.65	3.36	40.1	1960.5
145	1.16	0.53	1.57	52.85	1947.8
165	1.03	0.48	1.85	63.67	1936.9
185	1.37	0.51			

从百年时间尺度来看,现代珠江口由于人类活动的加剧,以及淤积速度的加快,伶仃洋内的沉积速率不断加快,由于未考虑压实效应,样品采集与分样过

程中,没有进行压实校正,这是引起柱样顶部40 cm样品沉积速率较慢的原因,见图8,因此在对CoreB进行分析过程中忽略表层的影响。

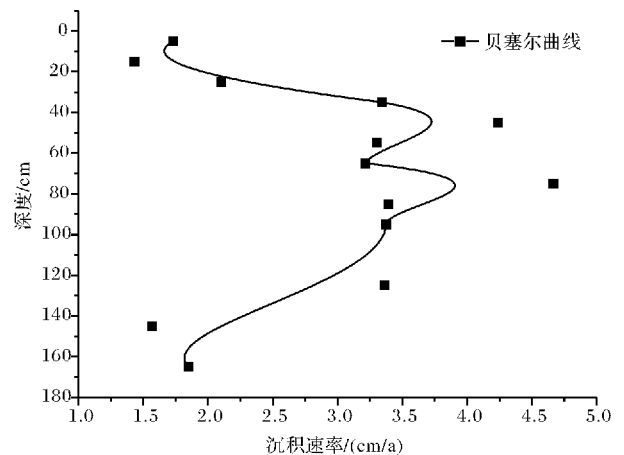


图8 Core B的沉积速率与深度关系

Fig. 8 Relationship between sedimentation rate and depth in Core B

CoreB柱样中对应于45 cm与75 cm两处深度,出现了异常升高的沉积速率数值,而55 cm与95 cm处出现低沉积速率值,表4列出了具体的年代计算结果及原因估计。分析认为,由于汛期降水量强、洪水量猛、输沙量大,把珠江流域和珠江底质较老的物质带入,致使 ^{210}Pb 含量被稀释;或由于水量猛输沙量大,改造了珠江河口的水下地形,珠江河口5~10 m水深处三角洲前缘坡度的角度达 0.3° ^[28],利于滑坡的发生,从而稀释了 ^{210}Pb 的浓度^[14]。

当风速大于15 m/s时,水流的流速和流向基本受风所控制,流速与风速成正比,2 m以上的波浪可搅动起25 m水深的海底淤泥^[29]。珠江口海域的水深大部分在25 m以内,因此在强台风期间,如1969年的特大台风每小时的平均风速超过60 m/s,必然会有大量的海底沉积物被搅起,进入悬浮和搬运状态,台风暴潮的不断改造,使得沉积呈现多旋回序列。

1949~1980年的32年中,登陆广东沿海的台风有193个,直接登陆珠江口的约占20.7%,平均每年1.2次。如此频繁的洪水与风暴潮灾害,必然对珠江口海域的现代沉积序列产生影响。综上所述,由于洪水的稀释作用或侵蚀搬运, ^{210}Pb 数值相对较低的层位对应于沉积速率较慢的时期;风暴潮的搅动和再搬运堆积作用使 ^{210}Pb 数值相对较高的层位对应于沉积速率较快的时期。

表 4 CoreB 柱样沉积速率变化对应的原因估计

Table 4 Estimation on the reason for the sedimentation rate change in Core B

样品深度 /cm	沉积速率 /(cm/a)	沉积速率 表征	年代计算 结果	原因 估计	相关信息
45	4.24	高	1983.6	风暴潮	1983 年的 8309 号台风登陆珠海, 台风过程最大风速达 60 m/s, 恰逢大潮期, 突破历史最高潮位。
55	3.30	低	1980.6	洪水	1979 年与 1982 年珠江流域干流及主要支流发生了两次百年一遇的特大洪水。
75	4.66	高	1975.3	风暴潮	1974 年 11 月“7411”台风袭击珠江口地区, 恰逢大潮期, 增水明显且灾情严重。
95	3.37	低	1969.4	洪水	1962 年西北江特大洪水, 洪峰流量 43200 m ³ /s; 1968 年西北江特大洪水, 洪峰流量 42 600 m ³ /s ^[13] 。

注: 以上“相关信息”除标注外均来源于珠江水利网 www.pearlwater.gov.cn.

3.3.2 不同柱样反映的沉积环境

珠江河口区是个快速变化发展的地貌单元, 滩槽分布位置经常变换, 变化方向与影响因素复杂^[30-33]。现在位于西滩的 CoreA 与 CoreB、虎门入海口的 Core2 与外伶仃洋的 Core11, 分属不同的沉积分区^[24-25], 受径流、潮流、盐淡水混合作用和风浪的作用经历了不同的位置变化^[34-35], 因此不同时段对应的沉积速率差别较大, 表 5 所示的沉积速率变化反映了其沉积环境的变化, 横线表示该柱样对应时段内未能获得沉积速率数据。

表 5 4 个柱样在同一时间段内的沉积速率比较

Table 5 Comparison on sedimentation rates of these four column samples in the same period

年份	CoreA	CoreB	Core2	Core11
1995-2000	1.41	1.73	6.63	1.57
1990-1995	3.44	1.43	7.07	2.80
1985-1990	3.76	2.72	5.66	1.63
1980-1985	3.40	3.77	4.60	--
1975-1980	3.29	3.94	3.70	0.91
1970-1975	4.33	3.39	4.49	3.42
1965-1970	--	3.37	--	--
1960-1965	--	3.36	--	0.73
1955-1960	--	--	--	--
1950-1955	--	--	--	--

Core11 的沉积速率数值最小, 在 1980—1985, 1965—1970 年内不能被标识, 该地区的沉积速率较慢。Core2 在 20 世纪 90 年代以后, 保持着较高的沉积速率, 而在此之前, 尤其是 70 年代以前, 沉积速率明显偏低, 这是由于河口发育的原因, 原来的入海口位置不断南进, 该点的淤积速度不断增快。CoreB 在 20 世纪 80 年代之后, 沉积速率明显减慢, 除了样品处理问题, 也有可能是原先位于入海口位置的该点,

被横门与洪奇沥不断东淤的口门所过掠, 大量的泥沙沉积物不再堆积于此, 使得沉积速率比 1965—1980 期间低了很多。

4 结论

本文基于²¹⁰Pb 过剩衰减法的原理, 建立了基于傅立叶级数的变沉积速率模型, 应用于珠江口 14 个现代²¹⁰Pb 沉积剖面样品的沉积速率及其反映的沉积特征研究, 对基于傅立叶级数的变沉积速率模型进行了论证与检验, 结果证明经过模型运算得到的沉积速率具有较好的可信度。珠江口区域的水下环境复杂, 沉积模式多样, 是一个高沉积速率区, ²¹⁰Pb 的剖面分布形式多样, 基于傅立叶级数的变沉积速率模型得到的沉积物的沉积速率与沉积环境能较好的吻合。²¹⁰Pb 分布特征能够指示其对应时段的环境意义。

参考文献 (References)

- 康兴伦, 袁毅, 李培泉, 等. ²¹⁰Pb 法在测定沉积速率中的应用 [J]. 海洋科学, 1985, 9(1): 38-42 [Kang Xinglun, Yuan Yi, Li Peiquan. The determination of sedimentation rate by ²¹⁰Pb method [J]. Marine Sciences, 1985, 9(1): 38-42]
- 钱江初. 长江口邻近陆架²¹⁰Pb 的地球化学特征 [J]. 沉积学报, 1985, 3(4): 31-42 [Qian Jiangchu. Geochemistry features of ²¹⁰Pb in the estuary of the Changjiang River and its adjacent shelf [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(4): 31-42]
- 万国江. 放射性核素和纹层记年对比研究瑞士格莱芬湖近现代沉积速率 [J]. 地球化学, 1986, 3: 259-270 [Wan Guojiang. A comparative study on recent sedimentation rates of lake Greifen, Switzerland using varve counting and radionuclide dating [J]. Geochimica, 1986, 3: 259-270]
- Smith J N, Walton A. Sediment accumulation rates and geochronologies measured in the Saguenay Fjord using the ²¹⁰Pb dating method [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1980, 44: 225-240

- 5 Carpenter R, Bennett J T, Peterson M L. ^{210}Pb activities in and fluxes to sediments of the Washington continental slope and shelf [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1981, 45: 1155-1172
- 6 潘少明, 王雪瑜, John N Smith. 海南岛洋浦港现代沉积速率 [J]. *沉积学报*, 1994, 12(2): 86-93 [Pan Shaoming, Wang Xueyu, John N Smith. Recent sedimentation rates in Yangpu harbour on Hainan island [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12(2): 86-93]
- 7 潘少明, 郭大永, 刘志勇. ^{137}Cs 剖面的沉积信息提取——以香港贝澳湿地为例 [J]. *沉积学报*, 2008, 26(4): 655-660 [Pan Shaoming, Guo Dayong, Liu Zhiyong. Sedimentation and erosion in Pui O salt marsh of Hong Kong from ^{137}Cs distribution in sediment [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(4): 655-660]
- 8 夏小明, 杨辉, 李炎, 等. 长江口-杭州湾毗连海区的现代沉积速率 [J]. *沉积学报*, 2004, 22(1): 130-135 [Xia Xiaoming, Yang Hui, Li Yan, et al. Modern sedimentation rates in the contiguous sea area of Changjiang estuary and Hangzhou bay [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 130-135]
- 9 成国栋, 业渝光, 刁少波. 黄河三角洲的 ^{210}Pb 剖面与再沉积作用 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1995, 15(2): 1-10 [Chen Guodong, Ye Yuguang, Diao Shaobo. ^{210}Pb Profile and redeposition of the Yellow river delta [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1995, 15(2): 1-10]
- 10 万国江. 现代沉积的 ^{210}Pb 计年 [J]. *第四纪研究*, 1997, 3: 230-239 [Wan Guojiang. ^{210}Pb dating for recent sedimentation [J]. *Quaternary Sciences*, 1997, 3: 230-239]
- 11 范德江, 杨作升, 郭志刚. 中国陆架 ^{210}Pb 测年应用现状与思考 [J]. *地球科学进展*, 2000, 15(3): 297-302 [Fan Dejiang, Yang Zuosheng, Guo Zhigang. Review of ^{210}Pb dating in the continental shelf of China [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2000, 15(3): 297-302]
- 12 康兴伦. ^{210}Pb 测年法的数据处理问题 [J]. *海洋科学*, 1986, 10(6): 13-17 [Kang Xinglun. On the data treatment of ^{210}Pb dating method [J]. *Marine Sciences*, 1986, 10(6): 13-17]
- 13 吴良基, 范时清. 珠江口外海区沉积物 ^{210}Pb 波动与沉积环境因子关系研究 [J]. *热带海洋*, 1987, 6(3): 1-9 [Wu Liangji, Fan Shiqing. A study on the relation between ^{210}Pb fluctuations and environmental factors of marine sediments off the Pearl River mouth [J]. *Tropic Oceanology*, 1987, 6(3): 1-9]
- 14 业渝光, 和杰, 刁少波, 等. 现代黄河三角洲 ^{210}Pb 剖面标准化方法——粒度相关法 [J]. *地理科学*, 1992, 12(4): 279-286 [Ye Yuguang, He Jie, Diao Shaobo, et al. Standardization of ^{210}Pb profile in the modern Huanghe River delta—the correlation method of grain size [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1992, 12(4): 279-286]
- 15 徐经意, 万国江, 王长生, 等. 云南省泸沽湖、洱海现代沉积物中 ^{210}Pb , ^{137}Cs 的垂直分布及其计年 [J]. *湖泊科学*, 1999, 11(2): 110-116 [Tu Jingyi, Wan Guojiang, Wang Changsheng, et al. Vertical distribution of ^{210}Pb and ^{137}Cs and their dating in recent sediments of Lugu Lake and Erhai Lake, Yunnan Province [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1999, 11(2): 110-116]
- 16 万国江, 陈敬安, 胥思勤, 等. ^{210}Pb 沉积通量突发增大对湖泊生产力的指示 [J]. *中国科学: D 辑*, 2004, 34(2): 154-162 [Wan Guojiang, Chen Jinan, Xu Siqin, et al. Suddenly increasing of ^{210}Pb flux and its indication on the productivity of Lake [J]. *Science in China: Series D*, 2004, 34(2): 154-162]
- 17 Carroll J L, Lerche I, Abraham J D, et al. Model-determined sediment ages from ^{210}Pb profiles in un-mixed sediments [J]. *Nuclear Geophysics*, 1995, 9(6): 553-565
- 18 Nittrouer C A, Sternberg R W, Carpenter R. The use of ^{210}Pb geochronology as a sedimentological tool: Application to the Washington continental shelf [J]. *Marine Geology*, 1979, 31: 287-316
- 19 Chanton J P, Martens C S, Kipphut G W. ^{210}Pb sediment geochronology in a changing coastal environment [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1983, 47: 1791-1804
- 20 Li Xiangdong, Shen Zhengguo, Onyx W H W, et al. Chemical forms of Pb, Zn and Cu in the sediment profiles of the Pearl River Estuary [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2001, 42(3): 215-223
- 21 Menke W. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory* [M]. San Diego, Academic Press, 1984
- 22 张祖麟, 陈宗团, 徐立, 等. 珠江口外伶仃洋的现代沉积速率及重金属污染 [J]. *海洋通报*, 1998, 17(3): 53-57 [Zhang Zhulin, Chen Zongtuan, Xu Li, et al. Modern sedimentary rate and heavy metal pollution in the Pearl River estuary [J]. *Marine Science Bulletin*, 1998, 17(3): 53-57]
- 23 林瑞芬, 闵育顺, 卫克勤, 等. 珠江口沉积柱样 ^{210}Pb 法年龄测定结果及其环境地球化学意义 [J]. *地球化学*, 1998, 27(5): 401-411 [Lin Ruifen, Min Yushun, Wei Keqin, et al. ^{210}Pb dating of sediment cores from the Pearl River mouth and its environmental geochemistry implication [J]. *Geochimica*, 1998, 27(5): 401-411]
- 24 贾建军, 高抒, 高建华, 等. 珠江口河流输沙、河口沉积与粒度信息之间的联系 [J]. 2005, 23(3): 298-304 [Jia Jianjun, Gao Shu, Gao Jianhua, et al. Linkage of grain size information with river sediment discharge and estuarine deposition at the Pearl River estuary [J]. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(3): 298-304]
- 25 陈耀泰, 罗章仁. 珠江口现代沉积速率及其反映的沉积特征 [J]. *热带海洋*, 1991, 10(2): 57-64 [Chen Yaotai, Luo Zhangren. Modern sedimentary velocity and their reflected sedimentary characteristics in the Pearl River mouth [J]. *Tropic Oceanology*, 1991, 10(2): 57-64]
- 26 陈耀泰. 珠江口现代沉积速率与沉积环境 [J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 1992, 31(2): 100-107 [Chen Yaotai. Modern sedimentary velocity and sedimentary environment in the Pearl River mouth [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1992, 31(2): 100-107]
- 27 郭大永. 珠江口及邻近海域 ^{210}Pb 的分布特征和沉积速率 [D]. 南京大学, 2003, 45-47 [Guo Dayong. The Distribution Characteristics of ^{210}Pb and the Sedimentation Rates in Zhujiang Estuary and Its Adjacent Area [D]. Nanjing University Thesis, 2003: 45-47]
- 28 黄镇国, 张伟强, 蔡福祥. 珠江水下三角洲 [J]. *地理学报*, 1995, 50(3): 206-214 [Huang Zhenguo, Zhang Weiqiang, Cai Fuxiang. The submerged Zhujiang Delta [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1995, 50(3): 206-214]
- 29 Wolanski E, Jones M, Williams W T. Physical properties of great barrier reef lagoon waters near Townsville [J]. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 1981, 32: 321-324

- 30 任美镔. 珠江河口动力地貌特征及海滩利用问题 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1964, 8(1): 135-146 [Ren Meie. Dynamics of topography and the problems on the utilization of beach in Zhujiang estuary [J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 1964, 8(1): 135-146]
- 31 王文介. 伶仃洋近期淤积演变问题 [J]. 热带地理, 1982, 2: 43-48 [Wang Wenjie. Recent deposition and evolution of the Lingding waters [J]. Tropical Geography, 1982, 2: 43-48]
- 32 黄镇国, 李平日, 张仲英, 等. 珠江三角洲的沉积速率 [J]. 地理科学, 1983, 3(1): 37-46 [Huang Zhenguo, Li Riping, Zhang Zhongying, et al. On rate of sedimentation of the Zhujiang delta [J]. Scientia Geographica Sinica, 1983, 3(1): 37-46]
- 33 罗宏毅. 潮汐通道理论在伶仃洋淤积研究上的应用 [J]. 人民珠江, 1985, 2: 45-48 [Luo Hongshou. The application of tidal channel theory on the deposition of the Lingding waters [J]. Pearl River, 1985, 2: 45-48]
- 34 刘沛然, 黄先玉, 仁杰, 等. 珠江口伶仃洋泥沙运动的沉积动力作用 [J]. 台湾海峡, 2000, 19(3): 304-309 [Liu Peiran, Huang Xianyu, Ren Jie et al. Silt movement of Lingdingyang Bay in Zhujiang estuary and analysis of sedimentary dynamics [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2000, 19(3): 304-309]
- 35 黄镇国, 张伟强. 珠江河口近期演变与滩涂资源 [J]. 热带地理, 2004, 24(2): 97-102 [Huang Zhenguo, Zhang Weiqiang. Recent evolution of the Zhujiang estuary and tidal flat resource [J]. Tropical Geography, 2004, 24(2): 97-102]

²¹⁰Pb Characteristic in the Sediment Cores from the Pearl River Mouth and Its Environmental Implication

LIU Zhi-yong¹ PAN Shao-ming¹ CHEN Gong-bi¹ LI Xiang-dong²

(1. Key Laboratory of Coastal and Island Development Ministry of Education, Nanjing University, Nanjing 210093;

2. Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong)

Abstract Based on the principle of lead-210 excess decaying and the characteristics of modern lead-210 sediment profiles of 14 sediment cores from the Pearl River mouth and its adjacent areas, a Fourier series based model for counting variation sediment rates was built. Sediment series was analyzed at the Pearl River mouth within 50 sediment years. The lead-210 of each sediment cores was calculated in the model for counting variation sedimentation rates and gained more specific data of the sedimentation process. Sedimentation rates, dating results and those relations between the sedimentary environmental at the same time were analyzed. The result shows that sedimentation rates are distinct from each other greatly at different stations. The average sediment rates of the stations were 7.25cm/a, 5.36cm/a, 3.26cm/a, 3.03cm/a, 1.58cm/a, respectively. The sedimentation rates variation at different stations has good correlation with the flooding, storms, anthropological activities, geomorphologic evolvement and other environmental elements at the estuary within the same periods. It verified that the characteristic of lead-210 of the sediment profiles calculated from the Fourier series based model for counting variation sediment rates can explain the environmental status/changes at the same time. The model also made experiences for other estuaries which would analyses the sediment rates from the characteristic of lead-210 of the sediment cores.

Key words sedimentation rates; isotope dating; Fourier series based model for counting variation sedimentation rates; lead-210; Pearl River mouth