

## 南沙海区表层沉积物放射性核素分布特征\*

刘广山 黄奕普 陈敏 邱雨生

(厦门大学海洋系, 亚热带海洋研究所 361005)

**提要** 用 HPGe  $\gamma$  能谱方法测定了南沙海域表层沉积物。探测到的核素有  $^{40}\text{K}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$ 。整体趋势为： $^{40}\text{K}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$  4 种核素比活度为海盆 > 陆坡 > 陆架； $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  为陆坡 > 海盆 > 陆架；在陆坡区未探测到  $^{137}\text{Cs}$ ，海盆的  $^{137}\text{Cs}$  高于陆架。坡折沉积物中核素含量表现了与陆架和陆坡区不同的特征。陆坡区  $^{40}\text{K}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$  4 种核素的比活度由西向东逐渐降低。整个海区  $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$  两种核素由南向北逐渐增大。

**关键词** 南沙海域, 沉积物, 天然放射性核素,  $^{137}\text{Cs}$

南沙海区由南向北为南部大陆架、大陆坡、深海盆, 形成逐级下降的 3 级阶梯地形<sup>[1]</sup>。80 年代以来, 我国科学工作者对该地区进行了多次专项调查<sup>[2-6]</sup>。对海区海洋物理、化学、生物、地质和环境进行了广泛研究。但是, 沉积物的天然放射性核素研究较少, 梁卓成<sup>[2]</sup>、刘韶等<sup>[3, 6, 7]</sup>、温孝胜等<sup>[8]</sup>用  $\alpha$  能谱法测定了该海区一些测站柱样的铀钍同位素含量, 并就其沉积特征进行了研究。本文用 HPGe  $\gamma$  谱方法研究了南沙海域表层沉积物中的天然放射性核素  $^{40}\text{K}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$  和人工放射性核素  $^{137}\text{Cs}$ , 对其分布特征进行了研究。

## 1 方法

1994 年 7 月采集了样品。样品用抓斗式采样器采集, 均为表层沉积物。采样站位如图 1 所示, 其中 1~13 号站位位于海盆或西侧陆坡上, 本文称这些测站为海盆区, 水深为 1 800~4 306 m; 38、41、59、62、65、67、68、70 号测站位于大陆架, 站位水深为 75~244 m。其余测站位于大陆坡上, 水深为 1 130~2 048 m。采集到的样品用塑料袋封装, 回实验室晾干后磨细、混匀, 80 目过筛, 用  $\phi 75\text{ mm} \times 50\text{ mm}$  的聚乙烯塑料盒封装。在装样的同时, 另取 5 g 左右, 在 105  $^{\circ}\text{C}$  温度下烘至恒重测其含水量。用 HPGe 探测器  $\gamma$  谱仪 (美国 Canberra 公司) 测量样品。刻度源用 GBW 04124 铀矿渣标准物质掺入模拟基质制作的源物质和 KCl 试剂制成。由于样品与刻度源密度不一致, 对低能  $\gamma$  射线的效率用 Si ma 1992 年报道的方法作了自吸收校正。

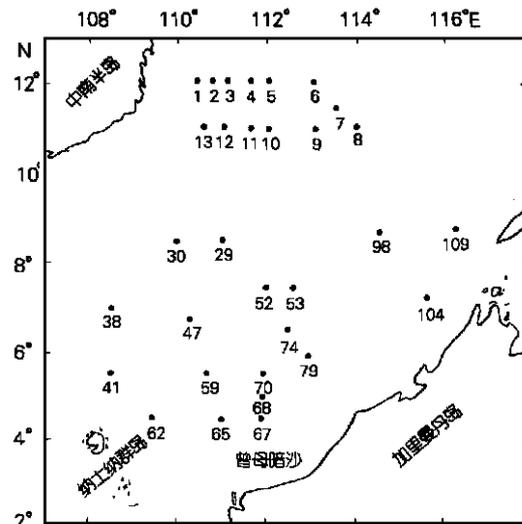


图 1 采样站位

Fig.1 The sampling stations

## 2 核素分布特征

在全部 31 个站位的样品中均探测到了  $^{40}\text{K}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$ , 陆坡区未探测到  $^{137}\text{Cs}$ , 陆架和海盆区的大部分站位探测到了  $^{137}\text{Cs}$ 。各核素含量分布如图 2 所示, 7 种核素在不同区域呈现出不同分布特

\* 国家“九五”重点科技攻关计划资助项目 97-926-04-02 号。  
收稿日期: 2001-04-03; 修回日期: 2001-05-10

表1 核素含量范围与平均值(Bq/kg)

Tab.1 The range and mean values of radionuclide contents in sediments

核素	陆架			陆坡			海盆		
	范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差
<sup>40</sup> K	218~553	358	118	155~676	554	170	742~868	820	34
<sup>137</sup> Cs	0.32~1.67	0.72	0.56	未探测到			0.41~1.65	1.25	0.36
<sup>210</sup> Pb	27.1~200	67	55	35.7~334	169	84	52.6~97.9	75	14
<sup>226</sup> Ra	14.1~27.2	20.4	4.6	18.5~147	86	43	27.9~41.7	35.2	3.9
<sup>228</sup> Ra	20.7~44.6	32.3	8.0	11.0~61.0	44	16	49.4~80.0	61.6	9.6
<sup>228</sup> Th	20.8~44.2	32.2	7.8	10.5~56.6	42	15	49.0~78.5	58.2	9.4
<sup>238</sup> U	25.5~56.3	36	11	19.9~60.1	39	14	43.0~70.2	60.8	8.0

征,坡折区几个站的核素比活度呈现出与陆架、陆坡不同的特征。表1列出3个阶梯区域中各个核素的含量范围与平均值。

### 2.1 <sup>40</sup>K

在海盆区沉积物有较高的<sup>40</sup>K含量,而且含量差异较小;陆坡区含量低于海盆区,位于由陆架区向陆坡区过渡的109号站为155 Bq/kg,98号站为339 Bq/kg,其余站位<sup>40</sup>K含量差异较小,为582~676 Bq/kg,平均为631 Bq/kg;陆架区沉积物中的<sup>40</sup>K含量总体上低于陆坡区,而且含量差异较大。就3个阶梯区而论沉积物中<sup>40</sup>K含量随水深增加而增加。

### 2.2 <sup>137</sup>Cs

海盆区和陆架区的大部分测站探测到了<sup>137</sup>Cs,陆坡区全部站位均未探测到<sup>137</sup>Cs。海盆区3,11,13号站未探测到<sup>137</sup>Cs,10号站<sup>137</sup>Cs含量为0.41,其余站位1.12~1.65 Bq/kg,平均为1.35 Bq/kg,在实验误差范围内是一致的;陆架区38,69,70号站未探测到<sup>137</sup>Cs,59号站含量为1.67 Bq/kg,其余站含量为0.32~0.74 Bq/kg,平均为0.48 Bq/kg。

### 2.3 <sup>210</sup>Pb

3个区中<sup>210</sup>Pb含量平均值依次为陆坡>海盆>陆架。除59号站外,陆架<sup>210</sup>Pb含量范围为27.1~71.5 Bq/kg,平均为48 Bq/kg;59号站为200 Bq/kg,更接近陆坡<sup>210</sup>Pb的含量水平。在陆坡区,109号站<sup>210</sup>Pb含量为35.7 Bq/kg,与陆架水平一致;47号站为334 Bq/kg,是全部站位中含量最高的,其余站位<sup>210</sup>Pb含量为98.2~220 Bq/kg,平均为184 Bq/kg,除109号站外,各站均高于陆架与海盆。海盆各站<sup>210</sup>Pb的含量差异较小,平均水平与陆架接近。

### 2.4 <sup>226</sup>Ra

与<sup>210</sup>Pb相似,3个区中<sup>226</sup>Ra含量平均值依次为陆坡>海盆>陆架,未发现含量明显异常的站。陆坡<sup>226</sup>Ra含量范围较宽,基本上涵盖了整个海区的含量

范围。陆架与海盆含量范围较小。各个阶梯区中,含量随水深均未出现明显的变化趋势。

### 2.5 <sup>228</sup>Ra与<sup>228</sup>Th

<sup>228</sup>Ra与<sup>228</sup>Th呈现一致的变化趋势。3个阶梯区中<sup>228</sup>Ra与<sup>228</sup>Th含量均为海盆区>陆坡区>陆架区,即整体说来<sup>228</sup>Ra与<sup>228</sup>Th含量随水深呈增加趋势。陆坡区的109号站<sup>228</sup>Ra含量为11 Bq/kg,明显低于其余站位,其余站位为27.5~61.0 Bq/kg,与<sup>228</sup>Ra类似;109号站的<sup>228</sup>Th含量为10.5 Bq/kg,明显低于其余站位,其余站位为24.0~56.6 Bq/kg。各个站的<sup>228</sup>Ra与<sup>228</sup>Th含量在误差范围内相等,并因此其范围与平均值一致,说明在实验误差范围内<sup>228</sup>Ra与<sup>228</sup>Th已达到衰变平衡。<sup>228</sup>Ra与<sup>228</sup>Th半衰期分别为5.75 a和1.91 a,刘韶等<sup>[6]</sup>测得南沙海区沉积速率为cm/ka量级,以此可以推断沉积物中的<sup>228</sup>Ra、<sup>228</sup>Th与其长寿命母体达到了衰变平衡,所以沉积物中的<sup>228</sup>Ra与<sup>228</sup>Th代表<sup>232</sup>Th的分布特征,同一经度上的5,10,52,70,68和67六个测站的<sup>228</sup>Ra与<sup>228</sup>Th比活度随纬度增加而增大。由于研究海区随纬度增加水深也增加,进一步明确了<sup>228</sup>Ra与<sup>228</sup>Th的比活度是随水深增加的,与刘韶等得到的南沙沉积物中<sup>232</sup>Th含量随水深呈增加趋势的结论一致。

### 2.6 <sup>238</sup>U

各个阶梯区<sup>238</sup>U含量离散均较大,大体趋势为海盆>陆坡>陆架,陆坡区与陆架区<sup>238</sup>U含量范围在同一水平,平均值在误差范围内一致,但明显低于海盆区。陆架区、陆坡区与文献<sup>[2,3,6]</sup>给出的同区域柱样的<sup>238</sup>U测值范围是一致的,本文海盆区的<sup>238</sup>U高于文献<sup>[6]</sup>的柱样测定结果。本文海盆区样品采自114°E以西,文献<sup>[6]</sup>的柱样采自12°N,116°E,纬度一致,经度不同。将本文处于海盆(水深3910 m以下)各站的<sup>238</sup>U含量对经度进行线性拟合,得到以下方程:

$$A = -7.68L + 924.11 \quad (R^2 = 0.85) \quad (1)$$

式(1)中A是<sup>238</sup>U的比活度,L是纬度,由式(1)

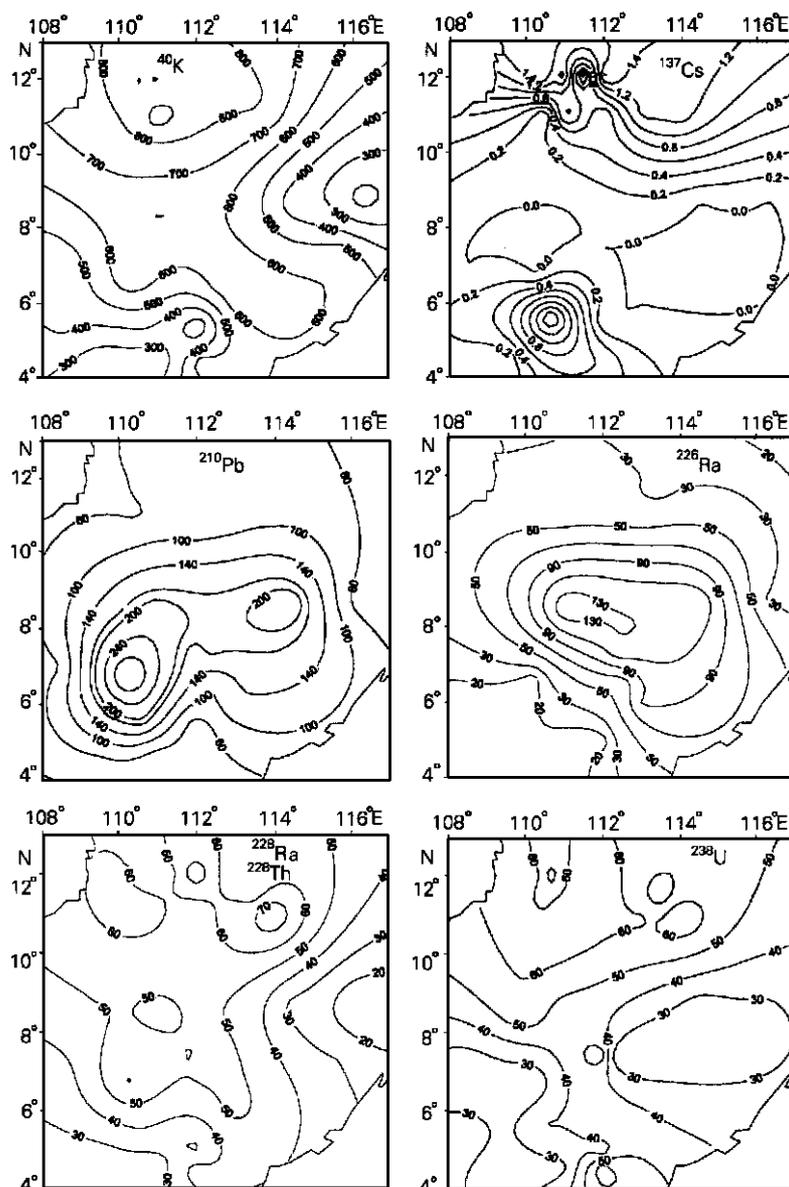


图2 沉积物中核素含量分布

Fig. 2 The distributions of radionuclide contents in surface sediment

外推得 116° 处  $^{238}\text{U}$  的比活度为 32.8 Bq/kg, 在文献 [6] 柱样结果范围内。这也说明海盆沉积物中的  $^{238}\text{U}$  比活度由西向东逐渐降低。在海盆区未发现其他核素存在这种趋势。

### 2.7 $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ 活度比与 $^{210}\text{Pb}$ 过剩

$^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  与  $^{210}\text{Pb}$  同属铀系核素, 平衡条件下其活度比为 1:1:1。本文给出的南沙海域沉积物中  $^{226}\text{Ra}/$

$^{238}\text{U}$  活度比在 0.303 ~ 4.58 之间, 其中陆坡区  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  活度比均小于 1, 为 0.552 ~ 0.812, 平均为  $0.642 \pm 0.11$ ; 陆架区除 47 号站  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  活度比小于 1, 为 0.303 外, 其余站位  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  活度比均大于 1, 为 1.11 ~ 4.58, 平均为  $2.4 \pm 1.0$ ; 海盆区  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  活度比均小于 1, 为 0.456 ~ 0.729, 平均为 0.58 ~ 0.07, 与陆架区相近。

全部测站都出现 $^{210}\text{Pb}$ 过剩,其中59和47两站 $^{210}\text{Pb}$ / $^{226}\text{Ra}$ 活度比分别高达8.81和18.1,除此之外,陆架区、陆坡区和海盆区 $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ 活度比范围依次为1.60~3.78、1.27~2.01和1.45~2.89,平均值依次为2.46、1.61、2.18。整个海区的 $^{210}\text{Pb}$ 随水深没有明显的变化趋势,除59、47号站外,其余站位 $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{226}\text{Ra}$ 含量正相关,相关系数 $R^2 = 0.90$ 。

### 2.8 $^{226}\text{Ra}$ 与 $^{228}\text{Ra}$

$^{226}\text{Ra}$ 和 $^{228}\text{Ra}$ 为同位素,是铀同位素 $^{238}\text{U}$ 和 $^{232}\text{Th}$ 的衰变产物,所研究海域中 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 活度比与 $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ 活度比呈完全相反的变化趋势,陆架区与海盆区 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 活度比大于1,除5号站为2.19外其余站位均小于2;陆坡区的47号站 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 活度比为3.30,其余站位均小于1。

### 2.9 陆坡区核素比活度随经度变化

陆坡区的30、29、98和109号站纬度接近,核素比活度随经度的变化表现出两种不同的类型,其中 $^{40}\text{K}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$ 随经度变化由西向东比活度逐渐减小, $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{226}\text{Ra}$ 则是中央高两边低。

## 3 讨论

### 3.1 天然放射性核素分布

南沙海区沉积物主要为陆源碎屑和生物碎屑<sup>[9]</sup>,主要物源区是湄公河流域。在水力作用下陆源碎屑由西向东在运移中沉积下来。所以形成海盆的 $^{238}\text{U}$ 与陆坡的 $^{40}\text{K}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 和 $^{238}\text{U}$ 由西向东呈减小趋势。陆坡的 $^{40}\text{K}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$ 4种核素平均含量低于海盆,说明陆坡沉积物中陆源物质少,同时生物发育稀释了陆源沉积。同样由于陆坡沉积物中生物碎屑所占比例大,使陆坡沉积物中 $^{226}\text{Ra}$ 和 $^{210}\text{Pb}$ 含量高于陆架区与海盆。

按地球化学沉积环境划分<sup>[10]</sup>,本研究陆架区所属是残留沉积区,海盆与陆坡的大部分属深海沉积区,残留沉积区沉积物的K元素含量约是海盆和陆坡深海沉积的一半。一般认为 $^{40}\text{K}$ 与总钾有恒定的含量比,所以陆架沉积物的 $^{40}\text{K}$ 低于海盆与陆坡。另外,测站98和109属于碳酸盐沉积区,其中的K含量为最低,所以这两个站位有低的 $^{40}\text{K}$ 含量。

### 3.2 $^{137}\text{Cs}$ 分布

南沙海区沉积物中的 $^{137}\text{Cs}$ 分布呈现两个明显的特征,一是浅水的大陆架沉积物中含量低于海盆区,二是陆坡区未探测到该核素。

在海洋中,由北向南 $^{137}\text{Cs}$ 含量呈现出逐渐降低的趋势,海盆区位于海区的北部,其沉积物中的 $^{137}\text{Cs}$ 含量高于陆坡与陆架区是正常的。

一般认为,海洋中的 $^{137}\text{Cs}$ 除直接沉降的放射性落下灰外,近海还有陆源输入的贡献,所以很多沿岸海域沉积物中的 $^{137}\text{Cs}$ 呈随离岸距离增加而减小的趋势<sup>[11]</sup>。在南沙海区陆地输入主要是来自湄公河的径流,该海区夏季盛行西南风,来自爪哇海的南海南部的海水流入南海海域,在越南沿岸漂流强化<sup>[12]</sup>,使湄公河径流输入沿南沙西部陆架经过南沙西边沿北上进入南海海盆;冬季南海盛行东北风,纵贯南北的西南向漂流也在越南沿岸强化,使湄公河径流向南,流向爪哇海。所以陆源输入的主要部分并不进入南沙海域,这就造成陆源输入部分的 $^{137}\text{Cs}$ 大部分没有进入南沙海域。但是,从 $^{40}\text{K}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 和 $^{238}\text{U}$ 天然放射性核素由西向东呈减小趋势推测,应有部分湄公河输入 $^{137}\text{Cs}$ 进入南沙陆坡区。另外经由空中直接进入海洋的落下灰在整个海域应当是均匀输入的,由于在陆坡区的所有测站,亦即珊瑚礁海区未探测到 $^{137}\text{Cs}$ ,所以必然有其他影响 $^{137}\text{Cs}$ 行为的因素存在,这是一个值得进一步探讨的问题。

## 4 结语

(1) 用 $\gamma$ 谱方法测定了南沙群岛及其邻近海域沉积物中的放射性核素,测到的核素有 $^{40}\text{K}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$ 。

(2) 按陆架、陆坡和海盆3个不同深度的海域分区,南沙海区沉积物中 $^{40}\text{K}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$ 含量为海盆>陆坡>陆架; $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 为陆坡>海盆>陆架;在陆坡区未探测到 $^{137}\text{Cs}$ ,海盆 $^{137}\text{Cs}$ 高于大陆架。坡折沉积物中核素含量表现了与陆架和陆坡不同的特征。

(3) 陆坡区 $^{40}\text{K}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$ 等4种核素由西向东呈现随经度逐渐降低趋势;在整个研究海区, $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 两种核素由南向北随水深增加逐渐升高。

### 参考文献

- 1 谢以萱.南沙群岛及其邻近海区海底地形图.见:中国科学院南沙综合科学考察队编.南沙群岛及其邻近海区沉积图集.武汉:湖北科学技术出版社,1993.4~5
- 2 中国科学院南沙综合科学考察队.南沙群岛及其邻近海区综合调查研究报告(一)(上、下).北京:科学出版社,1989.1~820
- 3 中国科学院南沙综合科学考察队.南沙群岛及其邻近海区第四纪沉积地质学.武汉:湖北科学技术出版社,1993.1~383
- 4 中国科学院南沙综合科学考察队.南沙群岛海域的同位素海洋化学.北京:海洋出版社,1996.1~185
- 5 中国科学院南沙综合科学考察队.南沙群岛海区物理海洋学研究论文集I.北京:海洋出版社,1994.1~199
- 6 中国科学院南沙综合科学考察队.南沙群岛及其邻近海

## 快报

### EXPRESS Letters

- 域铀钍沉积特征和年代研究。北京:海洋出版社,1996。  
1 ~ 103
- 7 刘 韶 温孝胜 余克服等。海洋地质与第四纪地质,  
1999, **19**(2): 49 ~ 54
- 8 温孝胜 刘 韶 张惠玲等。热带海洋,1997, **16**(3):  
32 ~ 40
- 9 罗又郎 冯伟文 林怀兆。见:中国科学院南沙综合科学  
考察队编。南沙群岛及其邻近海区综合调查研究报告  
(一)(下)。北京:科学出版社,1989。446
- 10 陈绍谋 吴必豪 王贤觉等。南沙群岛及其邻近海区第  
四纪沉积地质学。武汉:湖北科学技术出版社,1993。  
115 ~ 117
- 11 刘广山 黄奕普。辐射防护通讯,1998, **18**(5):40 ~ 43
- 12 陈清朝 陈森强 郭忠信。中国大百科全书(大气科学·  
海洋科学·水文科学)。北京·上海:大百科全书出版  
社。1987。563 ~ 568

## DISTRIBUTION FEATURES OF RADIONUCLIDES IN SURFACE SEDIMENTS OF NANSHA SEA AREAS

LIU Guangshan HUANG Yr-pu CHEN Mn QIU Yrsheng

(*Department of Oceanography, Institute of Subtropical Oceanography, Xiamen University, 361005*)

Received: Apr. 3, 2001

Key Words: Nansha sea areas, Sediment, Natural radionuclide,  $^{137}\text{Cs}$

### Abstract

The surface sediment of Nansha sea area were measured using HPGc  $\gamma$  spectrometer. The detectable nuclides are  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ , and  $^{238}\text{U}$ . The specific activities of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ , and  $^{238}\text{U}$  decrease from basin > slope > shelf. The specific activities of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{226}\text{Ra}$  in slope are greater than those in basin and least in shelf. The  $^{137}\text{Cs}$  has not detected in slope and its reason was discussed. The specific activities of  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$  in sediments of slope decrease as longitude from west to east. In all sea areas studied the specific activities of  $^{228}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Th}$  increase as latitude from south to north.

(本文编辑:张培新)