

# 深圳近岸海域海水及沉积物中放射性核素水平

丁敏霞<sup>1,2</sup>, 刘国卿<sup>1,\*</sup>, 苏玲玲<sup>1</sup>, 冯江平<sup>2</sup>, 时劲松<sup>2</sup>, 罗奇<sup>1</sup>

1. 深圳大学 物理与能源学院, 核技术应用研究所, 广东 深圳 518060;  
2. 深圳市核与辐射管理中心, 广东 深圳 518049

**摘要:** 采集并分析了深圳近岸海域海水和沉积物中放射性核素的水平。结果表明, 海水中<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th、<sup>40</sup>K和<sup>137</sup>Cs的活度浓度分别为12.8~42.6 Bq/m<sup>3</sup>(平均值为(24.2±8.6) Bq/m<sup>3</sup>)、3.2~15.6 Bq/m<sup>3</sup>(平均值为(8.8±3.6) Bq/m<sup>3</sup>)、529.7~974.1 Bq/m<sup>3</sup>(平均值为(786.4±158.4) Bq/m<sup>3</sup>)和1.7~3.7 Bq/m<sup>3</sup>(平均值为(2.6±0.7) Bq/m<sup>3</sup>); 沉积物中<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th、<sup>40</sup>K和<sup>137</sup>Cs的比活度分别为17.9~35.0 Bq/kg(平均值为(26.5±5.4) Bq/kg)、32.9~59.8 Bq/kg(平均值为(43.2±9.1) Bq/kg)、326.2~415.3 Bq/kg(平均值为(364.2±32.4) Bq/kg)和0.9~3.5 Bq/kg(平均值为(1.8±0.8) Bq/kg); 海水及沉积物中<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>的含量均低于检测限。深圳近岸海域海水和沉积物中放射性核素水平与我国其它海域相当, 未见大亚湾海域海水及沉积物放射性核素含量异常。

**关键词:** 放射性核素; 海水; 沉积物; 深圳近岸海域

**中图分类号:** P736.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-9950(2017)06-0442-05

**doi:** 10.7538/hhx.2017.YX.2016067

## Radionuclides in Seawater and Sediments From Near-Shore Area of Shenzhen

DING Min-xia<sup>1</sup>, LIU Guo-qing<sup>1,\*</sup>, SU Ling-ling<sup>1</sup>, FENG Jiang-ping<sup>2</sup>, SHI Jin-song<sup>2</sup>, LUO Qi<sup>1</sup>

1. Institute of Applied Nuclear Technology, College of Physics and Energy,  
Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

2. Shenzhen Nuclear and Radiation Management Center, Shenzhen 518049, China

**Abstract:** In this study, seawater and sediment were collected from the near-shore area of Shenzhen and analyzed for radionuclides. The results indicate that, the radioactive concentration of <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs in the seawater are in the range of 12.8-42.6 Bq/m<sup>3</sup> (averaged (24.2±8.6) Bq/m<sup>3</sup>), 3.2-15.6 Bq/m<sup>3</sup> (averaged (8.8±3.6) Bq/m<sup>3</sup>), 529.7-974.1 Bq/m<sup>3</sup> (averaged (786.4±158.4) Bq/m<sup>3</sup>) and 1.7-3.7 Bq/m<sup>3</sup> (averaged (2.6±0.7) Bq/m<sup>3</sup>), respectively. In the sediment, the specific activity are in the range of 17.9-35.0 Bq/kg (averaged (26.5±5.4) Bq/kg), 32.9-59.8 Bq/kg (averaged (43.2±9.1) Bq/kg), 326.2-415.3 Bq/kg (averaged (364.2±32.4) Bq/kg) and 0.9-3.5 Bq/kg (averaged

**收稿日期:** 2016-06-27; **修订日期:** 2016-11-02

**基金项目:** 广东省自然科学基金资助项目(2016A030313037); 深圳市科技研发资金资助项目(JCYJ20150324141711585); 深圳市人居环境委专项资金资助项目(0851-1361S200C262)

**作者简介:** 丁敏霞(1990—), 女, 湖南岳阳云溪人, 硕士, 从事核分析技术研究

\* **通信联系人:** 刘国卿(1977—), 男, 广东梅州平远人, 博士, 教授, 从事核技术应用研究, E-mail: liugq@szu.edu.cn

( $1.8 \pm 0.8$ ) Bq/kg), respectively. The radioactive concentrations of  $^{110}\text{Ag}^m$  in the seawater and sediment are all below the detection limit. The radioactive concentration of these radionuclides fall in the range of those obtained from other near-shore areas of China, and no abnormal radioactivity nuclide level are observed in seawater and sediment samples from Daya Bay.

**Key words:** radionuclide; seawater; sediment; near-shore area of Shenzhen

海洋中的放射性核素分两大类,一类是天然放射性核素,如 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$ 等,在海洋中广泛存在;另一类是人工放射性核素,如 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{131}\text{I}$ 等。近几十年来,大气层核试验裂变产物中的 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 等人工放射性核素,已通过各种途径进入海洋;此外,随着核能和核技术应用的日益广泛,核动力船舰、核工业等产生的放射性废液也排入海洋。海洋中的天然和人工放射性核素不断参与海洋地球物理和化学过程,并通过海洋生物被富集和放大,又以海产品的形式被人们所摄入,对人体产生内辐照风险。

近岸海域作为河流与海洋相互作用的区域,其环境污染特征及其演化趋势一直是环境海洋学研究的热点之一。研究近岸海域海洋放射性核素水平,这对于保护人体健康,控制海洋污染,保护水产资源具有重要意义。深圳是我国的三大核电基地之一,拥有我国第一座大型商用核电站——大亚湾核电站,后续又建有岭澳核电站。要正确评估核电站运行对周边海洋环境的影响,需要全面了解海洋中放射性核素水平的现状与变化。本研究旨在分析研究深圳市近岸海域海水及沉积物中的放射性核素水平,为近岸海域海洋辐射安全评估提供决策参考。

## 1 样品采集

2013年9月,在深圳近岸海域(包括珠江口、深圳湾、大鹏湾和大亚湾)共采集10个站位表层海水样品和沉积物样品,采样站位地理位置列于表1。表层沉积物采用抓斗式采样器采集,用聚乙烯塑料袋封装,运回实验室后冷藏保存;表层(0.5 m)海水用普通潜水泵收集,每个水样采集约50 L,事先加入硝酸进行酸化处理( $\text{pH} \leq 2$ ),运回实验室后处理分析。

## 2 样品处理与分析

沉积物样品在实验室自然风干后,剔除贝壳、沙粒等杂物,研磨过100目筛,然后在 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘

至恒重。海水中放射性核素的浓集方法参考文献[1-2],采用 $\text{Ag}^+$ 载体共沉淀海水中的 $^{110}\text{Ag}^m$ ,用亚铁氰钴钾共沉淀海水中的 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{40}\text{K}$ 等核素,然后先虹吸后离心收集沉淀物,再烘至恒重。

表1 深圳近岸海域海水、沉积物监测点位  
Table 1 Sampling location of seawater and sediment in the near-shore area of Shenzhen

站位编号	站位名称	北纬	东经
YMK001	杨梅坑海域	22°35.00′	114°31.00′
GDN064	核电外海	22°34.10′	114°31.00′
GDN059	大鹏湾1	22°56.00′	114°35.10′
GDN061	大鹏湾2	22°46.80′	114°44.00′
GDN058	珠江口内	22°66.00′	113°70.70′
GDN060	伶仃水道	22°54.10′	113°72.70′
GDN062	伶仃洋	22°40.50′	113°74.40′
GDN063	深圳湾口外	22°34.10′	113°89.00′
GDN057	深圳湾出口	22°26.27′	113°53.55′
GDN053	深圳湾中	22°29.46′	113°57.72′

沉积物和海水样品烘干、称重后封装于聚乙烯样品盒(75 mm×15 mm),放置3~4周,以使镭与氦及其短寿命子体达到放射性平衡<sup>[3]</sup>。样品放射性核素含量分析采用Ortec公司生产的高纯锗 $\gamma$ 谱仪,其能量分辨率(对 $^{60}\text{Co}$ 的1.33 MeV)为1.8 keV,相对探测效率为22%。体标准源使用中国计量科学研究院提供的河流沉积物环境放射性标准物质,样品及标准源测量时间均为24 h。采用相对比较法求解样品中放射性核素的含量,选用的 $\gamma$ 射线特征峰分别为: $^{226}\text{Ra}$ , 352 keV;  $^{232}\text{Th}$ , 911 keV;  $^{40}\text{K}$ , 1.46 MeV;  $^{137}\text{Cs}$ , 661.6 keV;  $^{110}\text{Ag}^m$ , 657.8 keV。

## 3 结果与讨论

### 3.1 沉积物中的天然放射性核素

深圳近岸海域沉积物样品天然放射性核素分析结果示于图1(GDN062点位样品均为沙石,未

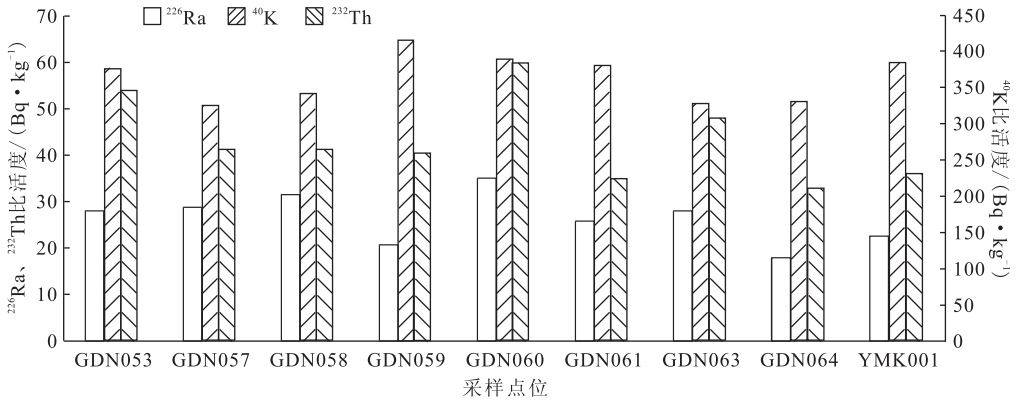


图1 深圳近岸海域沉积物中天然放射性核素含量分布

Fig. 1 Spatial distribution of natural radionuclides in the near-shore sediments of Shenzhen

分析)。沉积物中 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$ 的比活度分别为32.9~59.8、17.9~35.0、326.2~415.3 Bq/kg,平均值分别为 $(43.2 \pm 9.1)$ 、 $(26.5 \pm 5.4)$ 、 $(364.2 \pm 32.4)$  Bq/kg。郑远来等<sup>[4]</sup>分析了大亚湾海域沉积物中的放射性核素, $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$ 的比活度平均值分别为30.6、36.2、452 Bq/kg,本研究大亚湾站位 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$ 的比活度平均值分别为22.6、36.1、385.7 Bq/kg,除开采样点差异因素外,数据结果互为验证。表2为我国不同海域沉积物中放射性核素的含量比较<sup>[4-10]</sup>,相比较而言,深圳近岸海域沉积物中 $^{40}\text{K}$ 的比活度略低, $^{226}\text{Ra}$ 比活度与其他海域相当,但 $^{232}\text{Th}$ 的比活度水平远高于青岛近岸海域。众所周知<sup>[11]</sup>,珠江三角洲是我国天然放射性高本底地区之一,土壤中 $^{232}\text{Th}$ 的含量远高于广东省以及世界平均水平,这应是深圳近岸海域沉积物中 $^{232}\text{Th}$ 的比活度相对较高的主要原因。通过对

表1中各点位地理位置,可见离岸最远的GDN064站,其天然核素含量略低,而其余点位天然核素含量差异不明显。刘广山等<sup>[12]</sup>的研究发现,南海北部表层沉积物中 $^{40}\text{K}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 的比活度随离岸距离的增加而减小;另外,珠江口沉积物中 $^{226}\text{Ra}$ 的比活度亦随距河口距离的增大而减小<sup>[13]</sup>,反映了陆源输送对沿岸沉积物的影响。

### 3.2 海水中的天然放射性核素

深圳近岸海域海水样品天然放射性核素分析结果示于图2。海水中 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$ 的放射性活度浓度分别为3.2~15.6、12.8~42.6、529.7~974.1 Bq/m<sup>3</sup>,平均值分别为 $(8.8 \pm 3.6)$ 、 $(24.2 \pm 8.6)$ 、 $(786.4 \pm 158.4)$  Bq/m<sup>3</sup>。与国内其他海域相比(表3),深圳近岸海域海水中 $^{226}\text{Ra}$ 的放射性活度浓度与渤海和青岛近海海域相当,而高于黄海、东海和南海; $^{232}\text{Th}$ 的放射性活度浓度则与黄海相当,高于渤海、东海、南海和青岛近岸海域。通过对表1中各点位的地理位置,可见远岸、深水区的 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 含量明显低于近岸和浅水区。研究表明<sup>[14]</sup>,海水中的钍主要以水合态 $\text{Th}(\text{OH})_n^{(4-n)+}$ 存在,对海洋颗粒物具有很强的亲合力,是典型的颗粒活性核素,远岸海水中 $^{232}\text{Th}$ 的低比活度可能与水体中颗粒物含量相对较低有关。与钍不同,海水中的 $^{226}\text{Ra}$ 主要以溶解态形式存在,其主要来自沉积物中 $^{230}\text{Th}$ 的衰变<sup>[15]</sup>。水深越浅,沉积物中向上扩散至表层水中的 $^{226}\text{Ra}$ 就越多,使得浅水区的 $^{226}\text{Ra}$ 含量要高于远岸海区。另外,深圳湾(GDN053)和大鹏湾(GDN059)的低 $^{226}\text{Ra}$ 值可能与淡水和洋流的稀释有关,各站 $^{226}\text{Ra}$ 含量的差异主要源于底部沉积物的不同贡献。

表2 我国近海海域沉积物中 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$ 含量比较Table 2 Comparison of  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , $^{40}\text{K}$  in the near-shore sediments of China

海域	$a/(\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1})$			参考 文献
	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$	
深圳近岸海域	43.2	26.5	364.2	本工作
大亚湾海域	36.2	30.6	452	[4]
胶州湾表层沉积物		26.5	688.0	[5]
渤海近岸表层沉积物		25.9	710.0	[6]
青岛近海表层沉积物	未检出	30.6	781.4	[7]
冲绳海槽表层沉积物		34.5	575.0	[8]
南海东北部表层沉积物		27.7	538.0	[9]
长江口及其邻近海域		48.5	18.5	[10]

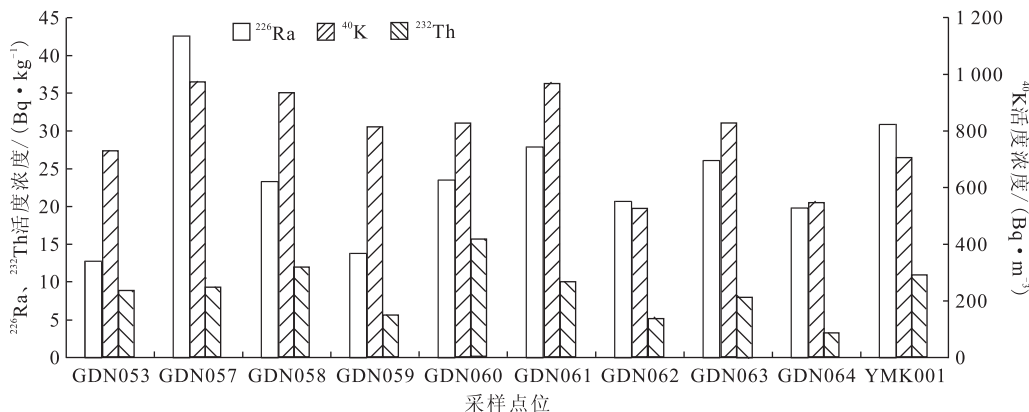


图2 深圳近岸海域海水中天然放射性核素含量分布

Fig. 2 Spatial distribution of natural radionuclides in the near-shore sea water of Shenzhen

表3 我国近海海域海水中<sup>232</sup>Th、<sup>226</sup>Ra、<sup>40</sup>K含量比较

Table 3 Comparison of <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>40</sup>K in the near-shore sea water in China

海域	活度浓度/(Bq·m <sup>-3</sup> )			参考文献
	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>40</sup> K	
深圳近岸海域	8.8	24.2	786.4	本工作
渤海近海	0.5	19.5		[5]
黄海近海	8.1	2.1		[5]
南海近海	3.4	9.0		[5]
东海近海	4.0	7.7		[5]
青岛近海	未检出	21		[6]

### 3.3 人工放射性核素<sup>137</sup>Cs和<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>

<sup>137</sup>Cs和<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>是核电站向环境排放的两种重要人工放射性核素,<sup>137</sup>Cs为核裂变产物,而<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>为反应堆控制棒的活化产物。通过分析发现,深圳近岸海域海水及沉积物中<sup>137</sup>Cs的放射性活度浓度和比活度范围分别为1.7~3.7 Bq/m<sup>3</sup>(平均值为(2.6±0.7) Bq/m<sup>3</sup>)和0.9~3.5 Bq/kg(平均值为(1.8±0.8) Bq/kg),各站<sup>137</sup>Cs含量无明显差异;而海水及沉积物中<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>的含量均低于检测限。本实验结果与文献数据相近,如陈志东等<sup>[16]</sup>所报道的大亚湾核电站周边海水和沉积物中<sup>137</sup>Cs的含量分别为2.7 Bq/m<sup>3</sup>和1.0 Bq/kg;刘广山和黄奕普<sup>[17]</sup>报道的大亚湾与南海东北部海域沉积物中<sup>137</sup>Cs的含量分别为2.3 Bq/kg和1.2 Bq/kg。对于<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>而言,大亚湾核电站1994—2003年间环境辐射监测结果<sup>[18]</sup>表明,海水中的<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>均低于检测限,2000年后的沉积物中已检测不到<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>;另外,广东省环境辐射研究监测中心的监测结果<sup>[19]</sup>亦表明,<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>在大亚湾海

域中的含量很低,仅在部分珍珠贝、马尾藻、墨鱼等海洋生物中能检测到。

## 4 结论

深圳近岸海域(珠江口、深圳湾、大鹏湾以及大亚湾)海水和沉积物中<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th、<sup>40</sup>K、<sup>137</sup>Cs的放射性活度浓度和比活度平均值分别为(24.2±8.6)、(8.8±3.6)、(786.4±158.4)、(2.6±0.7) Bq/m<sup>3</sup>和(26.5±5.4)、(43.2±9.1)、(364.2±32.4)、(1.8±0.8) Bq/kg,海水和沉积物中的<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>含量均低于检测限。深圳近岸海域各监测点位放射性核素水平与历史数据无明显差异,均属正常本底范围,未见大亚湾海域海水和沉积物放射性核素污染。

### 参考文献:

- [1] 谢运棉,孟建毅.海水中<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>化学形态和测定方法的研究[J].海洋环境科学,2001,20(1):55-59.
- [2] 邓飞,宋海青,李灵娟,等.海水中放射性核素<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th、<sup>60</sup>Co、<sup>137</sup>Cs浓集实验[J].辐射防护通讯,2012,32(3):43-46.
- [3] Charro E, Pardo R, Peria V. Statistical analysis of the spatial distribution of radionuclides in soils around a coal-fired power plant in Spain[J]. J Envir Radioact, 2013, 124: 84-92.
- [4] 郑远来,郎印海,周鹏,等.大亚湾海域沉积物中放射性γ谱分析测定[J].中国新技术新产品,2009,10:11.
- [5] 姚海云,朱玲,周滢,等.1995—2009年我国近岸海域海水中放射性核素水平监测[J].辐射防护通讯,2010,30(5):13-18.
- [6] 李恒.青岛近海放射性核素的调查研究[D].青岛:

- 中国海洋大学,2009.
- [7] 贾成霞,刘广山,徐茂泉,等. 胶州湾表层沉积物放射性核素含量与矿物组成[J]. 海洋与湖沼,2003,34(5):490-498.
- [8] 李培泉,刘志和,卢光山,等. 渤海近岸区表层沉积物中 U, Ra, Th,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  的 Ge(Li) $\gamma$  谱仪测定及地球化学研究[J]. 海洋与湖沼,1983,14(4):333-340.
- [9] 李培泉,刘志和,卢光山,等. 冲绳海槽沉积物中 U, Ra, Th,  $^{40}\text{K}$  的地球化学研究[J]. 海洋与湖沼,1984,15(5):457-467.
- [10] 王锦龙,杜金洲,张经. 长江口及其邻近海域移动泥及表层沉积物中天然核素活度分布规律及其剂量评价[C]//第十一届全国核化学与放射化学学术讨论会论文摘要集. 成都:中国核学会,2012.
- [11] 富英杰,宋刚,陈迪云,等. 珠三角土壤 $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 和 $^{40}\text{K}$ 含量水平研究[J]. 安徽农业科学,2011,38(30):18582-18584.
- [12] 刘广山,黄奕普,陈敏,等. 南海东北部表层沉积物天然放射性核素和 $^{137}\text{Cs}$ [J]. 海洋学报,2001,23(6):76-84.
- [13] 陈敏,黄奕普,林永革,等. 中国近岸海域沉积物 $^{226}\text{Ra}$ 的分布特征[J]. 海洋学报,1997,19(6):84-94.
- [14] 黄奕普,陈敏. 中国海洋志:海水中的放射性核素[M]. 郑州:大象出版社,2003:291-299.
- [15] 黄奕普,姜德盛,徐茂泉,等. 南海东北部表层海水中 $^{226}\text{Ra}$ 的分布[J]. 中国热带海洋,1997,16(2):75-81.
- [16] 陈志东,林清,邓飞,等. 大亚湾核电站周围海洋介质中核素 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 的放射性水平[C]//全国放射性流出物和环境监测与评价研讨会论文汇编. 杭州:核安全与辐射环境安全专业委员会、中国核学会辐射防护学会,2003.
- [17] 刘广山,黄奕普. 大亚湾与南海东北部海域沉积物中的 $^{137}\text{Cs}$ [J]. 辐射防护通讯,1998,18(5):40-43.
- [18] 吉长余,张东果. 大亚湾核电站1994—2003年环境辐射监测结果与分析[J]. 辐射防护,2004,24(3-4):173-191.
- [19] 黄乃明,陈志东,宋海青,等. 大亚湾和岭澳核电站外围辐射环境监督性监测[J]. 辐射防护,2004,24(3-4):191-206.