

Reprint 1281

香港三十年環境輻射監測

江如秋 & 李淑明

21 世紀初輻射防護論壇第十五次會議
中國的輻射水平及影響研討會論文集, p.32-38

2017

香港三十年环境辐射监测

江如秋, 李淑明

(香港天文台, 中国香港)

摘要: 香港天文台在一九八零年代开展了全面的环境辐射监测计划, 持续监测香港环境辐射水平的长期变化, 尤其是观察广东核电站与岭澳核电站投产后可能出现的任何变化。计划至今已进行了三十年, 多年的结果显示, 香港的环境伽马剂量率的变化俱在本底范围之内。除了在前苏联切尔诺贝利核事故及日本福岛核事故期间于部分所收集的样本检出异常但微量的人工放射性核素外, 其余时间环境及食物样本中的人工放射性核素活度均属正常。本文主要介绍该计划的内容、主要发展, 及总结多年来的测量结果。

关键词: 环境辐射监测; 人工放射性核素; 取样检测; 大亚湾

30 Years of Environmental Radiation Monitoring in Hong Kong

YC Kong, Olivia SM Lee

(Hong Kong Observatory, Hong Kong, China)

Abstract: The Hong Kong Observatory commenced a comprehensive Environmental Radiation Monitoring Programme in 1980s to continuously monitor the long term trend of environmental radiation level in Hong Kong, in particular to observe any changes which might be related to the operation of Guangdong Nuclear Power Station and Lingao Nuclear Power Station. The programme has been in operation for thirty years hitherto. Based on the measurement results over the years, the variations of ambient gamma dose rates were all within the background range. Apart from the abnormal but trace amount of artificial radionuclides measured in some collected samples during the Chernobyl nuclear accident in the former Soviet Union and the Fukushima nuclear accident in Japan, the activity concentrations of artificial radionuclides measured in the environmental and food samples in the programme were normal. This paper introduces the content and development of the programme and reviews the overall measurement results.

Key words: environmental radiation monitoring; artificial radionuclides; sampling and analysis; Daya Bay

1 简介

香港处于华南沿岸, 市区距离大亚湾西南约 50 公里(图 1)。由于广东大亚湾核电站的兴建, 香港天文台早在一九八零年代开始筹备一项全面的环境辐射监测计划。



图 1 香港的位置

计划分为两阶段，第一阶段在一九八七至一九九一年进行，旨在广东核电站投产前确定香港的本底辐射水平^[1]，作为参考水平的基线，以判别核电站运作后可能为香港辐射水平带来的影响。第二阶段则由一九九二年开始实行至今，内容涵盖第一阶段的重要项目，亦因应累积的经验来修订取样及测量工作，持续进行并优化，监测香港环境辐射水平的长期变化。

2 监测内容

整个计划主要是透过监测网络直接测量香港的环境伽马辐射水平，以及透过常规取样，测量各类环境及食物样本中的伽马、贝他及阿尔法人工放射性核素的活度。随着第二阶段运行，计划的内容陆续扩展，并加入不同的系统作常规测量及巡测，更全面地监测香港的环境辐射水平。测量系统多年来亦有进行更新，现时计划所采用的各个仪器型号可参阅最新发布的摘要^[2]。

2.1 环境伽马辐射水平测量

天文台设有两个网络持续测量环境伽马辐射水平，分别是「辐射监测网络」及「热释光剂量计网络」。

辐射监测网络由高压电离室组成，每个监测站均设有一个高压电离室，实时测量环境伽马辐射剂量率，并每一分钟将数据传送至香港天文台总部。监测站数目由计划第一阶段的四个扩展至现时的十二个（图 2）。

热释光剂量计网络主要用以测量长时间累积的环境伽马辐射剂量。网络采用五个一组的热释光剂量计，监测点分布在全港不同地方，每季更换及读取数据一次。随着土地用途的改变及辐射监测网络的扩展，天文台亦不时检讨热释光剂量计监测点的分布及数量，由计划第一阶段的四十三个优化至现时的二十九个（图 2）。

2.2 环境及食物样本取样分析

计划另外重要的一环是收集并分析样本中伽马、贝他及阿尔法人工放射性核素的活度。计划主要分析的核素包括有碘-131、铯-137、氡、锶-90、碳-14[#]及钷-239。

取样的范围包括海、陆、空三方面有代表性的样本（图 3）。在大气方面，样本包括气溶胶、沉降灰、气态碘、大气水蒸气；在地面方面，样本包括食米、牛奶、蔬菜、水果、家禽、肉类及土壤；在水体方面，样本包括食用水、地下水、海水、海水中的悬浮粒子、海鲜、海藻及沉积物等。

天文台定期检讨样本的种类及其代表性。在一九九五年起除了湿沉降灰外，也加入总沉降灰取样以确保旱季时亦能收集大气沉降灰样本。此外，因广东的墨鱼样本曾被检出人工放射性核素，天文台在一九九七年起加入墨鱼样本的取样。当樽装饮用水渐趋普及时，天文台在二零零七年起新增检测市场上的樽装饮用水。

现时，气溶胶每周取样，累积每月样本作分析。气态碘则每周取样及分析。而食物样本则每季从市场上购买，来源地主要是本地及广东地区。除地下水及海床沉积物每年取样一次，大部分样本都是每季或在台时的季节取样。土壤样本则在香港境内三十九个指定地点抽取，每一地点取样周期为五年。每个地点抽取的土壤样本均来自两个不同的深度：上层由地面至 15 厘米深，下层则由 15 至 30 厘米深。海水样本主要在香港东部沿岸水域取样，每季两个地点，每个地点分上、中、下层取样。

计划的第一阶段收集了约 2100 个环境及食物样本。自第二阶段运行以来，天文台每年约收集 300 至 400 个样本，累积至今约 9000 个。

[# 碳-14 的长期趋势在计划中期曾进行检讨^[3]，结果显示香港境内碳-14 的活度与全球下降趋势一致，没有因核电站运作后而有所增加。而 UNSCEAR 的报告^[4]亦指出，相对自然界所产生的碳-14 数量，压水式反应堆（广东核电站与岭澳核电站均为压水式反应堆发电机组）排放至环境中的碳-14 数量并不显着，因此碳-14 活度的分析工作于二零零三年终止。]



图 2 环境伽马辐射水平测量点(左)及图 3 环境样本取样点(右)的分布

2.3 其他常规测量

天文台的流动辐射监测站(巡测车)在计划第一阶段已开始运作，巡测车设有各类取样仪器、便携式仪器、高压电离室及伽马谱仪等，在香港不同地方巡测。

在一九八九年，天文台亦开始使用便携式高压电离室用作于淡水湖上进行宇宙射线测量。

在一九九四年，为监测高空的辐射水平的垂直变化，开始利用气球携带探空仪及附带的辐射探测组件在京士柏进行高空辐射探测工作。每个辐射探测组件，含有两支盖革弥勒(Geiger Müller)管，一支是只量度伽马辐射的伽马管，另一支是量度伽马及高于 0.25 兆电子伏(MeV)贝他辐射的伽马及贝他管。

在一九九六年，于香港东北大鹏湾上的平洲设置了自动伽马谱法系统，该系统主要利用一个镀上硫化锌(ZnS)的塑料闪烁器来测量气溶胶中的阿尔法及贝他活度、以一个高纯度锗(HPGe)探测器来测量气溶胶释出的伽马射线、及利用一个碘化钠探测器来量度碳滤盒中的碘-131 活度。

在一九九八年，开始利用直升机搭载空中辐射监测系统在空中常规巡测，系统设有碘化钠(NaI)探测器，实时进行伽马谱法分析及计算环境伽马剂量率。

3 测量结果

3.1 环境伽马剂量率

综合辐射监测网络及热释光剂量计网络的数据(表 1)，香港的环境伽马剂量率的长期年平均值相当稳定。由于测量点的地理位置不同，数值的空间分布介乎在每小时 0.08 至 0.20 微戈之间，而整体平均值在计划第一及第二阶段均为每小时 0.12 ± 0.02 微戈，t 检验两组数据的分布没有显著分别。

表 1 香港环境伽马剂量率的总结

时段	监测站数目 ⁽¹⁾	长期年平均值 ($\mu\text{Gy/h}$)	标准差 ($\mu\text{Gy/h}$)	分布 ($\mu\text{Gy/h}$)	t 检验 ⁽²⁾
1987 年至 1991 年 (第一阶段)	53	0.12	0.02	0.08 – 0.19	P 值 > 0.05 (没显著分别)
1992 年至现在 (2016 年) (第二阶段)	41	0.12	0.02	0.09 – 0.20	

注：(1) 辐射监测网络及热释光剂量计网络的测量点数目总和。(2) 假设两者分布相同

3.2 人工放射性核素分析

环境及食物样本的放射性分析均于天文台位于京士柏的辐射实验室进行，一般经过下列一项或多项程序分析：

- (a) 伽马谱法分析检测伽马放射性核素的活度。
- (b) 液体闪烁计数法检测氚的活度，在一九八七年至一九九四年期间亦用作检测锶-90 的活度。
- (c) 低本底总贝他计数法检测锶-90 的活度(一九九五年起)。
- (d) 阿尔法谱法分析检测钚-239 的活度。

相关的参考水平主要是基于计划第一阶段的测量结果。由于一九八六年发生切尔诺贝利核事故，当年天文台于大气样本检出微量的人工放射性核素^{[5][6]}。在随后一年即是计划第一阶段开始的第一年，天文台亦于部分所收集的样本检出稍高但微量的放射性铯，当中还包括半衰期较短的铯-134，相信跟切尔诺贝利核事故相关，未能真正反映广东核电站运作前的长期本底水平，所以该年所有的样本核素分析结果并没有列入参考水平范围。此外，假如样本没有在第一阶段进行测量，天文台则以该样本首五个年期的测量结果为参考水平，测量结果以年报或摘要在天文台的网页发布(<http://gb.weather.gov.hk/publica/pubrhc.htm>)。

计划的第二阶段至今所收集约 9000 个样本中，天文台所检出人工放射性核素活度浓度基本在参考水平内(表 2)。虽然期间曾检出个别稍为高出参考水平的样本，但随后的加密检测并没有异常，相信与核电站运作无关。此外，在日本福岛核事故期间，天文台于本地大气样本中亦检出放射性碘及铯^[7]，每月累积的气溶胶检出的铯-137 最大值为 $41 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ，而每周收集的浸渗银沸石滤盒所检出的碘-131 最大值为 $947 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ，含量非常低，对人体健康没有影响。

在其他样本中，铯-137 和钚-239 较常在土壤、潮间带土及海床沉积物检出。当中土壤及潮间带土的铯-137 活度浓度有下降趋势，而钚-239 检测不确定性较大，整体在参考水平内变动。此外，个别食物样本中亦曾检出微量的铯-137。相对而言，碘-131 的检测结果基本上低于探测下限。

大气核试所产生的氚多年来随着全球水循环系统进入海洋并稀释，它的影响在一九六零年代初的高峰期逐渐降至一九八零年代后期(即计划的第一阶段开展时)接近天然水平的量级^[8]，相信以第一阶段为基础的参考水平已十分接近天然本底。在第二阶段样本中所检出氚的活度浓度整体属于参考水平之内，但由于测量结果大多接近仪器的本底，不确定性相当大，较难准确地作长期趋势分析。

在锶-90 方面，主要来源是大气核试时期的残余。锶-90 沉降至地面后能被植物根部吸收累积，因此相信在食米、蔬菜及牛奶样本中较容易反映出锶-90 的长期变化。初步研究发现这些样本的锶-90 活度浓度有指数性的衰减趋势，回归分析其修正半衰期，食米样本得出的结果与 UNSCEAR 报告中的实证模型^[3]较为吻合(表 3)。当然，锶-90 在环境自然流失的不确定性是主要影响这次推导的结果，但整体而言，锶-90 的活度浓度没有因核电站运作而有所上升。

3.3 其他监测结果

流动辐射监测站

监测站在香港不同地方巡测的结果显示辐射水平并没有异常。

宇宙射线测量

每季在淡水湖上进行宇宙射线测量，扣除空气、水及人体钾-40 的影响^[9]，宇宙射线所引致的伽马剂量率的范围为每小时 0.027 至 0.039 微戈，长期平均值为每小时 0.033 ± 0.003 微戈。

高空辐射探测

宇宙射线与大气层的分子作用产生天然放射性核素，辐射水平在接近地面时因陆地照射而变化较大，随后基本随着高度而增加，并在高空 15 至 20 公里达到最大值(Pfotzer maximum)，多年的结果显示，本港上空的最高值平均约在 16 公里，而在 1 公里以下的辐射水平则较受天气影响^[10]。

自动伽马谱法系统

系统旨在连续及自动检测空气中的人工放射性核素，取样及测量时间较实验室分析为短，因此探测下限约在 $4 \text{ mBq}/\text{m}^3$ (气溶胶)及 $1 \text{ Bq}/\text{m}^3$ (气态碘)。多年的监测结果没有检出人工放射性核素。

空中辐射监测系统

系统能以烟羽追踪模式或地面辐射污染测量模式运作，主要在香港东面的岛屿作巡测，从未检出人工放射性核素。

表 2 各类样本在计划第二阶段测量结果的总结

(表示方式：最大值(参考水平上限⁽¹⁾)，探测下限以“<XX”表示，XX 为测量下限值)

样本类型	单位	碘-131	铯-137	钚-239	氚	锶-90
气溶胶(每月累积)	μBq/m ³	<10 ⁽²⁾ (<10)	41 ⁽³⁾ (<10)	<0.2 (<0.2)	/	6 ⁽⁴⁾ (5)
气态碘	mBq/m ³	0.9 ⁽³⁾ (<0.6)	/	/	/	/
湿沉降	Bq/L	<0.1 (<0.1)	<0.1 (<0.1)	<0.0002 (<0.0002)	7 (12)	0.031 (0.039)
总沉降	Bq/m ²	<120(<120)	<120(<120)	<0.1 (<0.1)	2210 (2210)	3.9 (3.9)
大气水蒸气	Bq/m ³	/	/	/	174 (242)	/
食米	Bq/kg	<0.1 (<0.1)	0.3 (0.9)	/	1.1 ⁽⁴⁾ (<1)	0.026 (0.056)
牛奶	Bq/L	<0.2 (<0.2)	0.3 (0.3)	/	5.1 (<6)	0.069 (0.081)
蔬菜	Bq/kg	<0.3 (<0.3)	<0.4 (<0.4)	/	7.7 ⁽⁴⁾ (7.4)	1.02 ⁽⁵⁾ (0.57)
水果	Bq/kg	<0.2 (<0.2)	<0.3 (<0.3)	/	3.9 (<4)	0.106 ⁽⁴⁾ (0.084)
家禽	Bq/kg	<0.1 (<0.1)	<0.2 (<0.2)	/	2.4 (3.5)	0.019 (0.053)
肉类	Bq/kg	<0.3 (<0.3)	1.1 ⁽⁴⁾ (0.9)	/	5.5 ⁽⁴⁾ (5.3)	0.026 (0.043)
土壤	Bq/kg	<2 (<2)	6.1 (10)	0.42 ⁽⁶⁾ (<0.2)	/	27.0 (27.3)
水样本	Bq/L	<0.1 (<0.1)	<0.1 (<0.1)	/	6.7 ⁽⁴⁾ (<6)	/
海产	Bq/kg	<0.1 (<0.1)	0.2 (0.2)	<2 (<2)	4.0 (4.9)	0.060 (0.105)
海藻	Bq/kg	0.2 (<1)	<2 (<2)	0.09 (0.10)	2.8 (<5)	1.71 ⁽⁴⁾ (1.44)
海水悬浮粒子	Bq/L	<0.01 (<0.01)	<0.02 (<0.02)	<0.3 (<0.3)	/	0.007 (<0.007)
潮间带土/海床沉积物	Bq/kg	<0.4 (<0.4)	1.9 (3.1)	0.66 ⁽⁴⁾ (0.57)	/	/

注：(1) 剔除 1987 年受切尔诺贝利核事故影响的样本后，在计划第一阶段所测得的最大值。

(2) 二零一一年日本福岛核事故期间，每日气溶胶样本曾检出碘-131 日最大值 828 μBq/m³，每月累积样本则没有检出。

(3) 二零一一年日本福岛核事故期间测得。

(4) 误差范围仍在参考水平之内或 t 检验高出的数值并不显著。

(5) 一九九六年其中一个蔬菜样本测得，其后一年加密蔬菜的取样，数值为参考水平内。

(6) 土壤的取样地点因土地用途改变曾作调整，难以作直接比较。

表 3 部分样本种类中锶-90 活度浓度趋势的回归分析

样本类型	修正半衰期 (年)	标准差(年)	相关系数 R	实证模型所使用的修正半衰期 (年)
食米	10.9	1.3	0.65	11.6 (列出的衰变常数为 0.06 a ⁻¹)
蔬菜	19.8	2.5	0.36	
牛奶	14.4	1.2	0.62	

4 未来发展

随着国家的核工业发展，天文台将继续优化计划的内容，更新及添加不同的辐射监测仪器，包括设置户外伽马能谱仪、添置辐射巡测车、使用流动高空辐射探测装置及探讨自动机械装置的使用等，相信能更有效地监测香港的环境辐射水平。此外，天文台同时加强软实力，与不同机构单位交流合作，检讨取样及制样的技术，参加更多国际性的能力比对，确保数据质量符合国际水平。

5 小结

天文台的环境辐射监测计划三十年来不断监测香港的环境辐射水平，累积取样超过一万个。计划多年来不断改进，加入不同的常规测量。数据显示香港的环境伽马辐射水平没有明显改变，核素活度分析结果亦属于正常。当中，铯-137 及锶-90 的活度浓度在某些样本更显示有长期下降的趋势。

参考文献

- [1] Hong Kong Observatory, Background Radiation Monitoring Programme 1987 – 1991, Technical Reports on Environmental Radiation Monitoring in Hong Kong No.8, 1992.
- [2] 江如秋, 吕振文, 翁忠海. 香港环境辐射监测摘要 2015. 香港环境辐射监测技术报告第 36 号, 2016.
- [3] Wong, M.C., HT. Poon, H.Y. Mok & Y.S. Li, Environmental Radiation Monitoring in Hong Kong 1987 to 2002, Technical Notes No. 106, 2003.
- [4] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report Vol I, 2000.
- [5] Lee B.Y. & K.C. Tsui, Retrospective analysis of radiation fallout in Hong Kong after the Chernobyl accident in 1986, Technical Reports on Environmental Radiation Monitoring in Hong Kong No.6, 1991.
- [6] 徐傑志. 香港環境輻射監測與評估. 第四次全國核應急工作研討會. 中國, 成都, 2006.
- [7] 李淑明, 吕振文, 翁忠海. 香港环境辐射监测摘要 2011. 香港环境辐射监测技术报告第 32 号, 2012.
- [8] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2016 Report Vol I, 2016.
- [9] Tsui K.C., M.C. Wong & B.Y. Lee, Field estimation of cosmic contribution to total external gamma radiation in Hong Kong, Technical Reports on Environmental Radiation Monitoring in Hong Kong No.4, 1991.
- [10] Li, S.W., Y.S. Li & K.C. Tsui, Radioactivity in the atmosphere over Hong Kong, Journal of Environmental Radioactivity Vol. 94, pp. 98-106, 2007.