



Reprint 1349

香港天文台在 2017 年一次大型核事故应急响应
演习所采取的辐射监测行动

陈兆伟，孔繁耀，马伟民

中国辐射防护学会 2018 年学术年会

11 月 13 日-17 日，广州

香港天文台在 2017 年一次大型核事故应急响应 演习所采取的辐射监测行动

陈兆伟，孔繁耀，马伟民

(香港天文台，中国香港)

摘要：香港天文台建立了一套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。此外，香港特区政府制定了一套核应急计划（名为大亚湾应变计划），在核事故发生时天文台会加强环境辐射监测。2017 年 12 月 20 至 21 日，一个为期两天以大亚湾应变计划为基础的大型跨部门演习「棋盘二」在香港举行，该演习主要测试特区政府在严重核事故时的应变能力。在演习中，天文台进行了一系列的环境辐射监测行动，以应对演习模拟的核事故情景。本文主要介绍天文台在演习不同阶段时所采取的策略及行动，并分享从演习中所获得的经验。

关键词：大亚湾应变计划；环境辐射监测；核事故应急响应；空中辐射监测系统；辐射巡测车

Radiation Monitoring Activities of the Hong Kong Observatory during a Large-scale Nuclear Emergency Response Exercise in 2017

SW Chan FY Hung WM Ma

(Hong Kong Observatory, Hong Kong, China)

Abstract: The Hong Kong Observatory (HKO) has established a comprehensive Environmental Radiation Monitoring Programme to monitor long-term changes in environmental radiation levels in Hong Kong. Besides, the Hong Kong Special Administrative Region (SAR) Government has established a nuclear emergency response plan, known as the Daya Bay Contingency Plan (DBCP), of which HKO will enhance its environmental radiation monitoring during a nuclear emergency. On 20-21 December 2017, a two-day large-scale inter-departmental exercise on the DBCP, codenamed Exercise Checkerboard II, was organized in Hong Kong to test the response capabilities of the SAR Government in a severe nuclear accident. During the Exercise, HKO carried out a number of environmental emergency radiation monitoring activities in response to the simulated scenarios and events of the Exercise. This paper presents the strategies and the activities of HKO at different phases of the Exercise and share the experience learned from the Exercise.

Key words: Daya Bay Contingency Plan; Environmental Radiation Monitoring; Emergency Response for Nuclear Accident; Aerial Radiation Monitoring System; Radiological Survey Vehicle

1 前言

2017年12月20至21日，一个以香港特别行政区政府(以下简称‘政府’)大亚湾应变计划[1]为基础的大型跨部门演习「棋盘二」(以下简称‘演习’)在香港举行，演习主要测试政府在严重核事故时的应变能力。演习为期两天，参加者来自包括35个决策局、部门和其他机构逾1400名人员，以及约200名志愿者。

当大亚湾核电站进入紧急状态时，香港天文台(以下简称‘天文台’)会根据不同情况加强香港的环境辐射监测及进行事故后果评估，并与其他有关政府部门评估核事故对香港可能造成的影响，向政府建议需要采取的公众防护措施。而天文台的整体应急监测及评估工作主要由天文台的监测及评估中心(以下简称‘监评中心’)人员作策略及统筹。在该演习中，监评中心需要因应事先不知情的模拟核事故的发展过程，而实施相应的应急环境辐射监测措施。本文会按模拟事故的情景变化，导出天文台应急环境辐射监测的策略及措施，并分享从演习中所获得的经验。



图 1 香港与大亚湾核电站的地理位置

2 背景

2.1 演习情景

政府委聘了法国辐射防护与核安全研究院[2]的专家担任该演习的顾问，其中的工作包括设计核事故的情景及发展过程。演习的开场情境是模拟广东大亚湾核电站发生一连串机件事故，最终造成辐射外泄影响核电站以外地方，亦即站外紧急情况。为期两天的模拟核事故情景大致可分为以下三个阶段：第一个阶段是‘释放前阶段’，第二个阶段是‘烟羽阶段’，而第三个阶段是‘后烟羽阶段’。演习的参与者事先并不知道情景详情及发展过程，需要在演习进行当时作出决定和回应。

演习的模拟天气情景也有相当的变化来测试参与者的响应能力。12月20日当日香港短暂时间有阳光。早上吹和缓东北风，中午后转吹东风，而晚上东风增强并有一两阵雨。12月21日部分时间有阳光，稍后有一两阵小雨。吹和缓至清劲东风，初时离岸及高地间中吹强风。模拟的风向使放射性烟羽吹向香港，而天气情景变化大以及加上有雨，湿沉降过程也有较大机会产生放射性‘热点’。这样的天气情景设计加重了实施应急环境辐射监测的挑战。

2.2 天文台应急环境辐射监测设施

天文台的应急境辐射监测设施大致分为两大类：固定监测站和流动监测站。

固定监测站主要包括 12 个长期不停运作的辐射监测站以及 17 个在应急时启动的消防局辐射监测站（见图 2）。固定监测站的优势是可以持续监测同一个地点的环境辐射水平，以作长时间环境辐射水平评估。而固定站点 24 小时待命的设施也可以确保在应急响应时能够快速地被启动。每个天文台监测站均设有高压电离室、放射性碘取样器、高容量空气取样器及总沉积物收集器。在正常情况下，高压电离室不停监测实时环境伽马剂量率，而放射性碘取样器及高容量空气取样器则是处于候命状态。在应急响应时，天文台监评中心人员可以遥控启动 12 个监测站的放射性碘取样器及高容量空气取样器，以收集空气中的气态碘及大气飘尘样本。这些样本会连同沉积物样本送往天文台京士柏辐射实验室进行分析。在大鹏湾的东平洲辐射监测站（见图 2），更装设了自动伽马谱法系统，连续不断测量环境中的放射性核素，当中包括测量空气中阿尔法及贝他活度浓度、放射性碘活度浓度，以及空气样品的伽马谱法分析资料。而 17 间消防局的人员会在应急时，协助天文台利用盖革弥勒管(GM Tube)探测器测量实时环境伽马剂量率，收集大气飘尘、放射性碘及总沉积物样本。收集到的样本也会透过政府民安队送往京士柏辐射实验室（见图 3）作分析。



图 2 固定监测站：12 个天文台辐射监测站及 17 间消防局应急辐射监测站。



图 3 京士柏辐射实验室的伽马谱法仪及低本底阿尔法-贝他粒子计数系统。

流动监测站主要包括一套空中辐射监测系统及两台辐射巡测车（见图 4）。流动监测站可补足固定监测站在灵活性上的限制。在应急响应时，天文台可在短时间内出动一支空中巡测队及两支流动巡测队。空中巡测队利用安装在政府飞行服务队直升机上的空中辐射监测系统，能快速及广泛地探测本港上空是否有辐射烟羽存在或测量沉降于地面的放射性核素含量，较少受地理条件限制。空中辐射监测系统是由 4 支 2.5 公升的碘化钠(NaI(Tl))闪烁体探测器组成，可以透过烟羽探测模式或地面污染探测模式测量环境伽马剂量率以及进行放射性核素分析。两台辐射巡测车均设有伽马辐射测量仪器，可以实时把巡测过程中测量到的环境伽马剂量率数据传送至天文台评监中心。此外，两台辐射巡测车设有多款便携式或特别设计的辐射及气象测量仪器，可以灵活地按应急响应的需要在不同的区域进行测量和收集大气飘尘、放射性碘及其他环境样本。所收集到的环境样品都会送到京士柏辐射实验室，利用精确的仪器进行详细的量化分析，以便进一步评估核事故的影响。



图 4 流动监测站：直升机上的空中辐射监测系统（左图）及辐射巡测车（右图）。

3. 应急环境辐射监测策略及措施

本节会按演习中核事故的三个主要阶段来讨论天文台应急辐射监测策略及措施。

3.1 释放前阶段

在核电站还未进入站外紧急情况前，天文台的策略主要是加强监测当前的香港环境辐射水平，并尽快收集和分析有关的环境辐射水平数据，以确认环境有没有受到影响。同时组织应急人员作好应急响应准备，并让公众了解香港环境辐射的最新情况[3]。在演习期间释放前的阶段，天文台两队地面辐射巡测队出动到香港东北部地区进行环境监测，而空中巡测队则在香港大鹏湾以及香港东部地区的上空进行辐射烟羽探测。收集到的数据通过内部通信系统提供给其他参加演习的政府部门，并透过特定模拟网页向公众发放（图 5）。



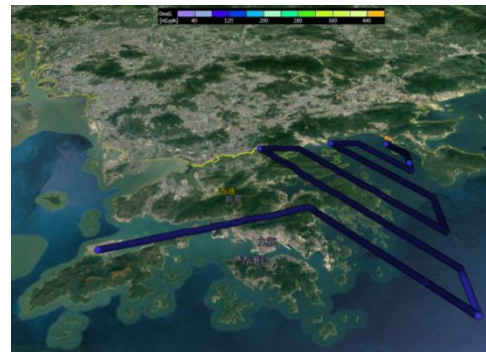


图 5 上图分别为天文台辐射监测站（左）及消防局应急辐射监测站(右)在 12 月 20 日早上的模拟环境伽马剂量率。下图分别为辐射巡测车（左）及空中辐射监测系统(右)在早上测量的模拟环境伽马剂量率。

3.2 烟羽阶段

烟羽阶段的辐射监测重点在于收集实时环境辐射数据及大气样品作分析,以评估放射性烟羽对香港市民及环境的影响，并制定相应的公众防护措施。辐射监测的结果会与天文台的事故后果评价系统分析结果作比较，从而进一步调整及优化事故后果评价的结果。在这阶段，天文台可以通过固定监测站及辐射巡测车的实时环境伽马剂量率变化和在烟羽模式下操作的空中辐射监测系统，来判断烟羽的走向和强度（图 6 及图 7），并随即与事故后果评价结果作比较分析。除了实时环境伽马剂量率，更需要在烟羽所覆盖范围内，根据对公众健康的影响程度，按先后次序收集并分析大气样品（包括气溶胶，总沉降物，气态碘等）。这样有助决策者能根据大亚湾应变计划下的公众辐射防护通用标准，把握核事故对香港影响的广度，深度和强度，对优化公众防护行动的资源调配有相当大的裨益。

在烟羽阶段中也发生了一个与主线相关的情境。当时有传言指在香港东北部地区的一个小村探测到较高的辐射水平，怀疑受发生事故的核电站所释放的放射性物质所污染，引起公众恐慌。天文台收到消息后，立即派出辐射巡测队到该区进行应急辐射监测，监测结果发现该区的环境辐射水平与其他受烟羽影响的区域没有明显差异,推断该怀疑辐射‘热点’事件与发生事故的核电站无关，以消除公众的疑虑。

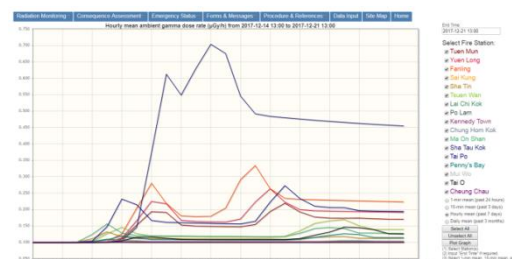
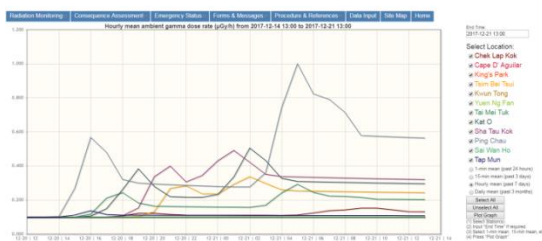




图 6 上图分别为天文台辐射监测站 (左) 及消防局应急辐射监测站(右)12 月 20 日中午时分的模拟实时环境伽马剂量率时间序列及分布。

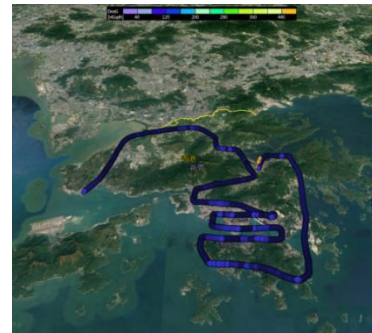
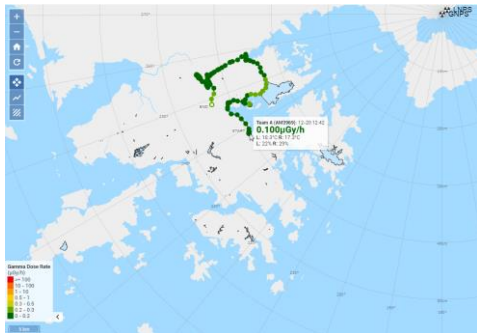


图 7 上图分别为天文台辐射监测站 (左) 及消防局应急辐射监测站(右)在 12 月 20 日 18 时的模拟实时环境伽马剂量率。下图分别为辐射巡测车 (左) 及空中辐射监测系统(右)在当日下午的模拟环境伽马剂量率。

3.3 后烟羽阶段

烟羽过后，从核电站释放出来的放射性物质部分会通过沉降残留在环境中，而通过外照射或进入食物链可对人体健康构成影响。随时间演进，放射性物质在食物链的迁移，累积和消耗过程复杂，通过内照射对人体的影响具有非常大的不确定性。以下讨论主要针对在烟羽过后短时间内的应急环境辐射监测策略。在后烟羽阶段监测的策略主要是尽快搜索环境中可能出现的辐射‘热点’，并按预设行动干预水平所需进行大范围环境辐射监测，以让决策者有效迅速地实施公众防护措施[4]。此外，进一步开展环境、空气和食物 (包括饮用水) 的详细取样分析，来深入评估公众在早中期核事故时通过不同照射途径可能接受的辐射剂

量。

在演习的第二天（12月21日），天文台的应急流动辐射巡测主要参考固定辐射监测站的实测数据，利用两台巡测车及一台空中辐射监测系统在人口稠密和烟羽覆盖的区域进行大范围的地面环境伽马剂量率测量（图8），并搜索当中辐射水平相对较高的地区（简称‘热点’）与 OIL1 和 OIL3 值[1]作比较。这为决策者在不同区域实施相应的公众防护措施提供很好的证据支持。天文台并透过不同的渠道例如模拟视频及网页向公众讲解环境辐射的最新情况，以释公众疑虑。

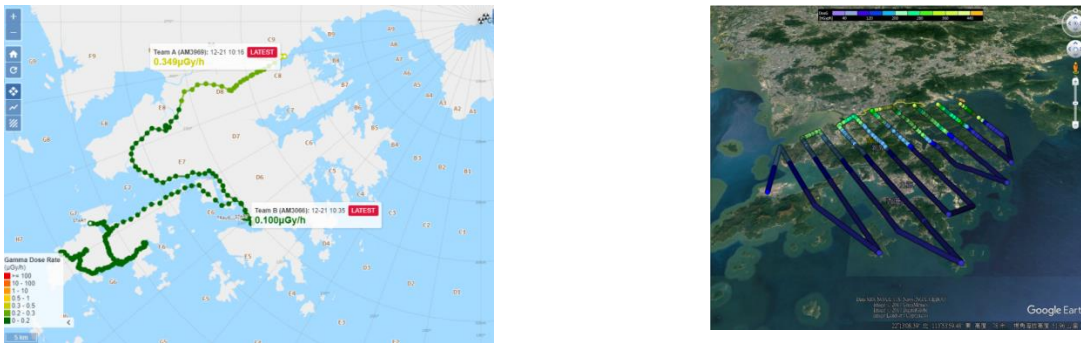


图 8 辐射巡测车（左）及空中辐射监测系统（右）12月21日早上测量的模拟地面环境伽马剂量率。

4. 经验总结

天文台在「棋盘二」演习进行应急环境辐射监测，经历了不同模拟情景变化的考验，对我们提升应对核事故的监测能力有很好的参考价值。以下从应急辐射监测技术，监测策略，辐射防护与公众沟通及教育四方面的经验作总结：

4.1 应急辐射监测技术

4.1.1 在演习中能适时获得环境辐射测量结果作事故评估，供政府相关部门及早理解情况和向公众发布是非常重要的。所以除了在上文提到的常规固定和流动辐射监测站设施，天文台在过去几年也陆续引进了超大容量空气采样器，户外在线伽马谱法仪以及车载伽马谱法仪，以提升实时或接近实时的环境辐射监测能力。

天文台会持续加强辐射监测能力，包括更新监测仪器和添置新型仪器以提升效能。

4.1.2 在演习中空中辐射监测系统的运用，在烟羽测量和后烟羽阶段初期的地面放射性污染测量有很好的效果。使用大型的空中辐射监测系统可以进行大范围空中巡测，但它在应急响应时需要较多人力资源和时间去调动操作。由于应急响应过程争分夺秒，我们正研究使用搭载在无人机上的小型空中辐射监测仪器，以

补助应急巡测人员作快速的小区域航测，帮助及早评估情况。

4.2 应急辐射监测策略

4.2.1 应急辐射监测能为决策者及时作出相应的公众防护措施提供很好的证据支持，而应急监测的调动应优先以应急当局或国际标准的指引，以及当时的环境辐射资讯为主要参考准则。尤其是在核事故初期，应急监测的重点应放在快速环境伽马剂量率的测量，并以环境样品的放射性分析作辅助评估。而应急辐射监测的结果也不断地与事故评价系统的模式结果进行比较，从而进一步调整模式以优化事故后果评价结果。演习期间我们按以上的思路去实施辐射监测和事故后果评估，效果良好。

4.3 辐射防护

4.3.1 在演习期间，应用了大亚湾应变计划和国际原子能机构的行动干预水平[4,5]来作为建议实施公众防护措施的参考。另外，还运用了天文台自行设计的剂量评估工具以辅助评估，运作畅顺。不同的应急响应单位应持续交流，优化评估工具的应用，以及深化行动干预水平的运用思路，从而可以进一步优化及协调应急环境辐射监测的工作[6]。

4.3.2 根据 IAEA 的最新指引[7]，除了在核事故保护公众外，也需要为应急人员及志愿者提供合适的辐射防护措施。如果应急人员在释放前或烟羽阶段参与应急辐射监测工作，他们有机会在响应工作中受到外照射，亦不能排除吸入放射性物质而受到内照射，因此必须为工作人员提供适当的辐射防护指引。天文台在演习前为工作人员制定辐射防护措施指引，以便在应急时作部署安排，并为有关人员做好辐射防护的准备。

4.4 公众沟通及教育

4.4.1 在演习中，天文台以影片模拟在电视及其他媒体，向公众汇报天文台应急辐射监测的安排及最新环境辐射水平的资料，获得演习参与者及观察员的肯定。在应急响应准备上，为有关发布系统硬件和软件上预先作好准备，以便具备随时向公众和媒体发布消息的能力。

4.4.2 此外，天文台在公众及媒体沟通上，持续加强与辐射有关的教育资讯，包括透过互联网网页、‘我的天文台’流动应用程序、‘冷知识’短片、公众及校园讲座、参观及展览等渠道，让社会大众更了解相关知识，万一发生核事故时能够作出适当和及时的响应。

在本文写作过程中，得到天文台助理台长徐杰志先生的宝贵建议，在此致以诚挚的谢意。

参考文献

- [1] 大亚湾应变计划 (香港特別行政區政府 2012)
- [2] 辐射防护与核安全研究院 (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire)
- [3] Communication with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency (IAEA 2012)
- [4] Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies (IAEA 2017)
- [5] 付熙明 袁龙 刘英 核事故应急响应中操作干预水平的分析 (中国医学装备 Vol. 12 No.4 2015)
- [6] 郭英蕾 李海成 跨省核事故应急联动协调问题分析与对策 (辐射防护通讯 2013 年 12 月)
- [7] Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency (IAEA 2015)