

核医学仪器 使用指南

用于核反应堆事故后
环境放射性污染的测量

程荣林 吴生财 译
尉可道 吴文凯 校

人 民 卫 生 出 版 社

核医学仪器使用指南

用于核反应堆事故后
环境放射性污染的测量

程荣林 吴生财 译
尉可道 吴文凯 校

人 民 卫 生 出 版 社



WHO Collaborating Centers for:

- Standardization of Protection Against Nonionizing Radiations
- Training and General Tasks in Radiation Medicine
- Nuclear Medicine



核医学仪器使用指南

——用于核反应堆事故后
环境放射性污染的测量

程荣林 吴生财 译

人民卫生出版社出版发行
(100050 北京市崇文区天坛西里10号)

三河市宏达印刷厂印刷

新华书店经销

787×1092 16开本 $3\frac{1}{4}$ 印张 65千字

1997年3月第1版 1997年7月第1版第2次印刷

印数: 00501—1500

ISBN 7-117-02657-X/R·2658 定价: 6.60元

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

摘 要

本书旨在提供有关核应急情况时核医学实验室的使用指南,内容涵盖了计数能力、测量类型、普通核医学仪器的优缺点和局限性以及仪器校准等方面的内容。书中介绍了 γ 照相机校准的应用实例,而实例中所用的方法学同样也适用于核医学实验室中其他任何仪器;书中还介绍了校准、污染样品和待检人员放射性分析中涉及的有关测量方法。本书对于核事故后医学应急和救援工作具有重要的参考作用,而对于广大医院里核医学实验室的平时工作亦有一定参考价值。

前 言

本书译自美国 HHS Publication, FDA 95-8285 (December 1994):

“Guide on the Use of Nuclear Medicine Instrumentation for Measuring Environmental Radioactivity Following a Nuclear Reactor Accident”, 该报告是由弗拉基米尔·沃洛金博士 (Dr. Vladimir Volodin) 领导的世界卫生组织一个小组委员会, 和德国诺伊堡放射卫生研究所共同召开的一次会议的讨论结果, 会议议题是如何帮助核医学实验室, 在核事故引起的广泛污染事件中, 确定环境与人体中放射性核素的存在。

由布鲁斯·伯林顿医学博士 (D. Bruce Burlington, M. D.) 领导的放射卫生和设备中心 (Center for Devices and Radiological Health, CDRH) 是美国健康和人类服务部 (Department of Health and Human Services, HHS) 食品和药品管理局 (Food and Drug Administration, FDA) 下属的一个研究和管理机构, 它的主要任务是: 在医疗设备和放射卫生领域中, 发展和执行国家级的保护公众健康计划, 这些计划的目的是为了保障医疗设备有效和正当使用中的安全, 为了控制具有潜在危害的电离辐射和非电离辐射对人类的非必要照射, 以及为了保证这些辐射有效使用中的安全。本书所涉及的内容, 实际上也是该中心与世界卫生组织协作研究的一个课题。此外, 根据世界卫生组织 (WHO) 及美国健康和人类服务部 (HHS) 共同签署的备忘录: 双方均可从对方得到有关放射卫生方面的技术资料; 而原美国放射卫生处 (Bureau of Radiological Health, BRH; 即相当于现今的 CDRH) 建立的以下三个世界卫生组织合作中心, 仍继续在放射卫生和设备中心指导下运作:

WHO 非电离辐射防护标准化合作中心;

WHO 放射医学培训和总务合作中心;

WHO 核医学合作中心。

核反应堆事故后, 环境有可能遭到广泛的污染。为此, 有必要对环境中和人体内的放射性污染进行测量和评价。在我国, 有关部门虽已建立了相应的核事故应急组织, 但是在核事故情形下, 有时单靠这些专业人员仍可能难以完成上述的测量和评价任务。根据国外经验, 广大医院里的核医学实验室, 只要经过适当培训和特殊准备, 就很容易临时应付核应急情况, 帮助测量和评价核事故后环境中和人体内的放射性污染。为此, 我们核事故医学应急救援中心组织翻译和出版了本书, 目的在于借鉴国外这方面的经验, 贯彻“积极兼容”的方针, 为在核应急情况下核医学实验室的利用提供实用指南, 并提高它们执行应急任务的能力, 以便进一步做好核事故医学应急与救援的准备工作。本书所涉及的内容, 可作为核事故医学应急培训的参考教材, 对于平时的核医学实验室工作亦具有一定的参考价值。

卫生部核事故医学应急救援中心主任

李开宝

序 言

1986年4月切尔诺贝利事故发生以后,使人们更清楚地认识到在因核事故而造成的广泛污染情况下,核医学实验室能够帮助评估环境中 and 人体内放射性核素的存在。而且,对一个日常处理大量放射性活度(与环境样品相比)的核医学实验室,一旦必要,经过特殊的准备和训练后就能够很容易地改成为应付应急情况。

本报告基于WHO与德国、诺伊堡、辐射卫生研究所联合召开工作组会议的讨论稿。会议代表名单参见附录7,对他们的贡献深表谢意。特别要感谢美国康涅狄格州、丹伯里市、丹伯里医院(Danbury Hospital, Danbury, CT, U. S. A.)尼洛·埃雷拉(Nilo Herrera)博士和美国马里兰州、罗克维尔市、食品和药品管理局/放射卫生和设备中心(FDA/CDRH, Rockville, MD, U. S. A.)彼得·帕拉斯(Peter Paras)博士的贡献:作为联合主席的埃雷拉博士大力促成了会议意见的一致;而作为会议报告起草者/编辑者的帕拉斯博士,负责起草、修改和编辑了本报告。应当感谢的还有WHO三个合作中心所作的贡献:德国、诺伊堡、辐射卫生研究所,该所作为主人大会提供了服务;美国、马里兰州、罗克维尔市、放射卫生和设备中心;以及美国、康涅狄格州、丹伯里市、丹伯里医院实验医学部。CDRH的帕拉斯博士研究开发了校准方法/测量技术(见本报告中的论述),并与埃雷拉博士及董博士合作,在康涅狄格州、丹伯里市、丹伯里医院试验了校准程序。此外,CDRH和丹伯里医院还对本报告的出版给予了大力支持。

本报告企图为核医学实验室在应急情况下的利用提供指南。前两章讨论了普通核医学仪器的计数能力、测量类型、优缺点和局限性,以及污染预防措施、必要训练和准备。第3章乃本报告的精髓,讨论了仪器的校准,内容包括使用标准源或校准源的校准技术,对单位活度仪器响应性、最小可探测活度以及伴随误差的确定。虽然选了 γ 照相机校准作为实例,但其方法同样也适用于核医学实验室里的其他仪器。第4和5章给出了有关污染样品放射性分析和人员污染检查,及其正确校准涉及的特殊测量方法。为了章节的完整,文章有些地方作了一些重复性叙述。

会议组织者还要对许多审阅报告草稿并提出宝贵意见的单位和个人表示感谢:英国,牛津,迪德科特,国家放射防护局(弗朗西斯A. 弗赖伊, Frances A. Fry); WHO环境卫生处(Division of Environmental Health, EHE), 辛辛那提大学医学中心(尤金L. 森格尔, Eugene L. Saenger); 美国环境保护局(理查德J. 吉蒙德, Richard J. Guimond); 美国能源部(詹姆斯S. 罗伯逊, James S. Robertson); 美国核管会(诺曼·麦肯罗伊, Norman McEnroy); 美国商务部NIST(伯特M. 库尔西, Bert M. Coursey); 美国健康和人类服务部, FDA/CDRH(珍妮T. 刘易斯, Jeannine T. Lewis); 美国国家辐射防护和测量委员会(肯·卡斯, Ken Kase); 国际放射防护委员会(查尔斯迈因霍尔德和朱利安·利尼基, Charles Meinhold & Julian Liniecki)。最后,但并非不重要,要对原稿打字员CDRH的雪莉·布劳顿(Shirley Broughton)和埃雷拉博士的研究助手亨德里卡·保尔森(Hen-

drika Paulsen) 表示谢意。

世界卫生组织合作中心

丹伯里医院

实验医学部

核医学科, 医学博士

尼洛·埃雷拉博士

Dr. Nilo Herrera

Division of Nuclear Medicine

Department of Laboratory Medicine

Danbury Hospital

WHO Collaborating Center

世界卫生组织合作中心

食品和药品管理局

放射卫生和设备中心

核医学部, 副主任

彼得·帕拉斯, 哲学博士

Peter Paras, Ph. D

Assisatant Director for

Nuclear Medicine

Center for Devices and

Radiological Health, FDA

WHO Collaborating Center

实施概况和结论

本报告最初强调的是,评估 γ 照相机和其他设备在辐射事故后放射性核素污染探测方面的价值,以及典型核医学实验室(NML)的可利用性。

本报告的要点为仪器恰当的校准方法;以及在应急情况下,以简捷的方法将实验室体制(部分或全部)转换为能够探测低水平的放射性污染。

核医学实验室这方面的功能,应当是专门当局制定的辐射事故总应急计划的一部分。在这个计划里,为了满足应急评价,有必要作出最低限度的准备。有关职责和协作方面的条文必须用书面形式阐明,并通知有关各方。有关职责,包括参加方每一台仪器的校准规程,都应当成为档案的一部分。为了使在应急时使用的每一台仪器都能进行本指南规定的测量,应当制定一套完整的程序,程序应包括合适的技术标准、校准标准、效率评价和最小可探测活度(MDAs)。应当为指定人员提供一些适当的标准源和训练机会,以便使他们熟悉应急情况时的计数,并由他们建立好包括每一种仪器的计数效率和最小可探测活度,以及使用标准化几何条件在内的规程。虽然这些都是应该做到的,但是应当强调的要点是核医学实验室在应急情况下执行任务的能力。

然而,要记住本指南提供的仅仅是一些实例,一些为了在应急测量时取得最佳准确度而需作合适校准的技术和建议。如果确有必要修订的话,某些决定必须由当地作出,例如容器、操作溶液浓度及样品体积的选定。推荐的方法只是用于辐射应急时快速评价的要则,而不是绝对方法,它能够作为当局决策时提供快速、可靠的信息。

反应堆的应急状态一旦发生,最初的几天有关核医学实验室必须把精力集中在碘-131的测量上[见4.2.1.(4)节]。对于粗筛目的,巡测仪和探测器也许特别有用。人员和样品非常低水平(接近本底)的放射性污染可不必评价,此时会用到下限水平(Cut-off levels),为此应预先建立好该水平。

总之,辐射事故时,核医学实验室利用其仪器和技术人员有能力对放射性核素污染作出足够准确的近似评价。不带准直器的 γ 照相机系统作为限定能谱范围的积分计数探测器,是一种容易得到的普通设备。大尺寸、非常薄的碘化钠(铯)晶体作为探测器可用于测量大体积样品,这一特性使这种探测器具有探测非常低水平的发射 γ 射线的放射性核素的独特能力。测得的最小可探测活度相当于导出干预水平的很小份额;尽管不带准直器的探头会使测得的本底偏高,只要计数时间适当,同样可取得良好的统计学结果。

与低水平 γ 射线计数(如锗探测器,全身计数器)实验室相比,维持核医学实验室这种能力的代价是非常低的。

目 录

摘要.....	[1]
前言.....	[2]
序言.....	[3]
实施概况和结论.....	[5]
 1 概论	1
1. 1 核医学实验室的利用	1
1. 1. 1 总体考虑	1
1. 1. 2 制定核医学实验室利用的导则	2
 2 总体考虑	3
2. 1 评价食品中放射性核素的导则	3
2. 1. 1 目的	3
2. 1. 2 一般的导出干预水平	3
2. 1. 3 婴儿的导出干预水平	4
2. 2 应急准备	4
2. 2. 1 选择合适的机构	4
2. 2. 2 最低限度的准备	5
2. 2. 3 应急情况时的程序	5
2. 3 用作低水平计数实验室的核医学设施	6
2. 3. 1 核医学仪器	6
2. 3. 2 欲测放射性核素	6
2. 4 用核医学仪器对环境放射性核素监测的局限性	7
2. 5 污染预防措施	7
2. 5. 1 事故后需即时监测、收容的人员	7
2. 5. 2 一般核医学实验室的污染预防措施	8
2. 5. 3 特殊测量室的污染预防措施	8
 3 校准	8
3. 1 校准程序和标准化	9
3. 1. 1 总体考虑	9
3. 1. 2 放射性核素的选择	9
3. 1. 3 常备溶液 (校准源 1)	10

3. 1. 4	操作溶液 (校准源 2)	10
3. 1. 5	实验室容器和玻璃器皿	10
3. 2	校准用的样品溶液	10
3. 2. 1	γ 照相机的校准源	11
3. 2. 2	井型计数器的校准源	11
3. 2. 3	探测器和扫描仪的校准源	11
3. 2. 4	盖革计数器的校准源	11
3. 3	校准的计数和计算	12
3. 3. 1	用于样品测量的 γ 照相机	12
3. 3. 2	用于人员测量的 γ 照相机	13
3. 3. 3	探测器和扫描仪	14
3. 3. 4	井型计数器	14
3. 3. 5	盖革巡测仪	14
3. 3. 6	铯-137 点源的使用	15
3. 3. 7	误差考虑	17
4	样品测量	19
4. 1	采样和样品制备	19
4. 1. 1	概述	19
4. 1. 2	奶类	19
4. 1. 3	肉类	19
4. 1. 4	面粉	20
4. 1. 5	水	20
4. 2	样品分析	20
4. 2. 1	γ 照相机计数	20
4. 2. 2	井型和其他类型计数器计数	21
4. 3	人体样品分析	21
4. 3. 1	概述	21
4. 3. 2	样品制备	21
4. 3. 3	样品计数	21
5	人员测量	21
5. 1	γ 照相机计数 (筛测)	22
5. 1. 1	概述	22
5. 1. 2	本底	22
5. 1. 3	取位和测量	22
5. 1. 4	脉冲高度分析器的使用	23
5. 1. 5	校准	23
5. 1. 6	测量实施	23

5. 2 探测器和扫描仪计数	23
5. 2. 1 概述	23
5. 2. 2 摄取探测系统	24
5. 2. 3 混合型扫描仪	24
5. 2. 4 直线扫描仪	24
参考文献	26
附录 1 最小可探测活度	27
附录 2 校准修正因子	31
附录 3 放射性核素活度仪（剂量仪）的校准	33
附录 4 使用的体模	34
附录 5 样品现场测量用的几何条件和装置	36
附录 6 碘-131 和铯-137 的测定	38
附录 7 代表名单	39

核医学仪器使用指南

用于核反应堆事故后环境放射性污染的测量

1. 概 论

切尔诺贝利、三哩岛和其他一些核事故，以及广泛用于工业和医疗目的的大量放射源的增加，已经引起了许多国家卫生和管理当局对下述问题的注意，即放射性对环境的释放或潜在释放导致的医学应急准备和响应。这些事件的一个重要特点是事件发生后最初几天得不到准确的数据。在未来的偶发事件中，对现场情况当得到满意评价之前很可能已经过了一星期^[1]。这种延误是不希望出现的，可是又是人类面对重大事故反应的一种公认后果。

对于切尔诺贝利事故，在诸如使用的仪器种类、为权衡公众危险而采取的行动以及对食品、水和土壤的环境监测等应急响应方面许多国家各不相同。对事故情况作全面评价是困难的。

许多国家把核医学仪器用于人员和环境污染的评估。由于在这种应急情况下，这些仪器的使用几乎没有经验，也没有国际契约和明确的导则，因此许多研究中心获得的结果不容易与其他实验室的结果相比较，也不容易与用其他技术（如全身计数器，锗探测器）测得的结果相比较。

因此，为了在一定的范围内评价主要由于核反应堆事故造成的环境和人员污染，尤其在合适的专用设备缺乏的情况下，提供有关统一使用核医学设备的一批推荐书就显得非常有用和必要。

1.1 核医学实验室的利用

1.1.1 总体考虑

上述重大事故后的活动，表明核医学实验室在这样的事故中可以成为主要技术骨干。这一特殊医学部门的原有人员只要稍经培训就能合格地测量环境污染和解释其数据，并对病员和公众提出必要行动的建议^[1]。

经适当校准的 γ 照相机（见 3.3.1 节），在应急情况下能为分析食品和人员放射性污染提供灵敏的探测系统。 γ 照相机用于大体积样品，可相对地缩短测量低水平活度（相当于导出干预水平的一部分，见 2.1 节）的计数时间，并可于相当短的时间内在允许的准确度范围内测完大量欲测样品。合适的校准可保证所用探测系统有最好的准确度。例如，

用 γ 照相机计数样品可达到20%的准确度(见3.3.7节),而对人员计数预期可获得50~100%的不确定度。必须预先确定并获得每一台要想用的探测系统测量准确度的性能。而且, γ 照相机探测系统能在相当短的时间内筛测大量已被污染或怀疑污染的人员。

此外,也可使用其他一些合适的校准过的探测系统,例如直线扫描仪、探测器、场区监测仪和巡测仪。

对一个已充分配备了仪器、物资和人员的核医学实验室,这些人员只要给予适当培训,就能迅速对应急事件的放射学影响作出评价,并为当局决策是否采取必要防护行动提供重要信息。在缺乏配备有现代化低水平 γ 谱仪和全身计数器的实验室情况下,核医学实验室变得特别有用。

除了这些很明显的优点外,当然也要考虑它们的一些缺点和危险性。当检查和测量了许多人员后,很可能发生仪器和工作人员的污染。如果忽略了一切应当采取的预防措施,仪器、实验室和工作人员就可能受到污染,污染主要来自受污染的样品和受污染的人员,也可能来自校准源。这种情况一旦发生,按最坏的情况估计,探测器去污或维修或两者兼有的费用可达五万美元(基于1989年价格的估计)。替代应急核医学实验室的方法有:

- 1) 送样品给一些合适的实验室作评价;
- 2) 购买合适的仪器建立低水平辐射实验室;
- 3) 什么也不做。

特别是对那些发展中国家,也许所有这些都不能接受。

一方面,为了减少仪器被污染的危险,有可能使用了过于冗余的安全预防措施,例如探测器盖了硬质护套和吸水纸后再盖上两层塑料布。应当将所有样品放在没污染的塑料袋里,如果是液体样品,应盛于塑料容器内;应当特别划出一块存放样品的地方,样品在送去分析之前应当贴上合适的标签。加强后勤措施和行政管理也有助于减少污染的危险。另一方面,除了场所、设备和物资之外,低水平计数实验室的建立还需要专业技术人员(建成之后还需要由他们来操作)。建立一个这样的实验室,代价将是昂贵的;而且,它也许实际上永远用不上。

因此,对于一个能常规处理(与环境样品相比)相当大量活度的核医学实验室,一旦需要,通过专门准备和培训后即可很容易适用于应付应急情况,而且在操作、标准化和校准上只需花最小的代价就能对样品测量取得优于20%的准确度,对人员测量取得优于50%的准确度。延误对事故放射学影响的评价,其损失远大于核医学实验室用于应急监测可能所花的代价。例如食品不必要的毁坏或辐射的其他影响,可能要花去好几百万美元。

记住了这些简单的道理,就能更好地对应急情况作出快速分析,就能更有效地避免延误。

1.1.2 制定核医学实验室利用的导则

世界卫生组织(WHO)和德国放射卫生研究所(IRH,诺伊堡)于1988年10月17~21日在诺伊堡共同就以下两件事召开了一次工作组会议,该所是由德意志联邦共和国(FRG)联邦政府青年、家庭、妇女和卫生部提供财政支持的一个世界卫生组织合作中心。

(1) 研究关于重大辐射事故后核医学仪器在对人员、食品和环境的放射性应急测量中的应用及其局限性;

(2) 拟写有关这一课题国际应用的建议书。

希望这些建议书将对一些国家的卫生当局有所帮助,特别是对那些尚未建立国家级辐射防护网站的国家。

在那些得不到专用辐射测量仪器的地方,这些建议书对他们说来应该也是很有帮助的。这些建议书将说明,如何利用核医学实验室对放射性核素事故释放造成的人员和环境污染相对快速地作出可接受准确度的估计。

2. 总体考虑

虽然已经出版了不少有关核事故公众防护的导则(例如 IAEA 1985b, ICRP 1984b, WHO 1984 及 1985)。但是,目前这本指南的重点则是介绍,在核事故广泛污染时如何利用核医学仪器对环境和人体中放射性核素的存在作出大致的评估。本指南的基础部分是通过应用标准计数技术获得尽可能高的探测效率,从而使低水平计数变得容易。本指南的出版,希望能有助于为发生事故的国家当局在管理时对最初控制食物作出决策,以及对有关污染类型或水平方面提供信息。

2.1 评价食品中放射性核素的导则

2.1.1 目的

世界卫生组织所出版的一些导则以及有关的导出干预水平(DILs, Derived Intervention Levels),旨在帮助公众健康决策者们(他们并不是辐射防护专家)进行应急响应的判断^[2],但是,这些导则和导出干预水平并不具有法律性,除非它们由国家作为法律公布于众。对于那些尚无核动力计划或者没有研究过干预领域专门知识的国家,它们是具有特殊功效的。世界卫生组织所确定的食品导出干预水平的指导值,其依据是不超过国际放射防护委员会所推荐的对全身 5mSv(有效剂量当量),或对诸如甲状腺等的单个器官 50 mSv 的干预水平下限值。

2.1.2 一般的导出干预水平^[2]

另外,食品中放射性核素的导出干预水平世界卫生组织指导值(见表 1),其计算依据为:

(1) 膳食是假定的,根据世界上不同地区不同食品成分的代表性消耗值;

(2) 设置了两个放射性核素剂量级别组:一组象锶系一类元素,具有单位摄入量高剂量因子;另一组象放射性铯一类元素,具有单位摄入量低剂量因子。

表 1 食品的导出干预水平 WHO 指导值 (Bq/kg)⁽²⁾

放射性核素组	谷类	根类或 块茎类	蔬菜	水果	小麦	奶类	鱼类	饮水
单位摄入量 高剂量组 ^①	35	50	80	70	100	45	350	7
单位摄入量 低剂量组 ^②	3500	5000	8000	7000	1000	4500	3500	700

①适用于铯-239 和其他锶系元素 (转换因子为 10^{-6} Sv/Bq)。

②适用于所有感兴趣的其它放射性核素, 如铯-134, 铯-137, 锶-90 和碘-131 等 (转换因子为 10^{-8} Sv/Bq)。

2.1.3 婴儿的导出干预水平

由于一些特殊的放射性核素对婴儿所致的剂量可能显著地高于对成人所致的剂量, 为此为婴儿的奶类食品单独研究了指导值, 其值列于表 2 中。这些值的计算依据是, 假定婴儿一年消耗 275 公斤奶类和 275 公斤水, 以及适用于婴儿的放射性核素单位摄入量特别的剂量因子。

表 2 婴儿奶类食品的导出
干预水平 WHO 指导值

放射性核素	Bq/l
锶-90	160
碘-131	1600 ^①
铯-137	1800
铯-239	7

①其计算依据为碘-131 的平均寿命为 11.5 天, 以及甲状腺器官剂量为 50mSv。

2.2 应急准备

假定国家核应急计划已经编制好, 那么下列导则为该计划应用于核医学实验室提供了帮助。

一旦辐射应急状态 (例如核反应堆事故) 发生, 最初步骤之一是迅速评估环境 (包括食品) 和人员的放射性污染。应急状态发生后, 以及整个应急期内, 需要尽可能快地获得信息, 因此应当使用快速而简便的技术。当时间并不很紧迫时, 可以应用更准确和费时的方法。可是, 非常重要的是最初步骤的落实不允许延误。为了完成这一任务, 需要作好最低限度的准备。有关这一课题的全面论述已由施赖恩 (Shleien) 给出⁽³⁾。

2.2.1 选择合适的机构

作出有关利用核医学实验室的决议后, 中央有关部门 (例如政府卫生部) 应该备有一份能参加核应急的核医学机构和具有核测量能力的其他机构的名单, 名单中还应包括这些机构中适于这种测量的每一台有用仪器的名称。

每一个国家应当选定专家并成立专家工作组, 以便对每一个将在核事故时使用的核医学设备或设施建好详细的操作程序, 该程序应遵循本手册中的导则, 并与当地可利用的设备情况相适应, 这一切还必须与核事故后国家环境监测总计划协调一致。

2.2.2 最低限度的准备

(1) 校准和必要的附属设备

应当备有用于仪器校准的合适容器、体模（见 3.1.5 节）和校准过的放射源（例如碘-131 和铯-137）。应当预先做好细致的初始校准工作，然后要定期作校准检验，或其他实验室作校准比对（质量保证，实验室间相互比对研究）。

对每一台仪器包括容器、样品体积等在内的校准技术必须标准化，并确定其本底水平。必须由实验室将程序以规程形式书写好，以后全部测量应遵循此规程。

(2) 培训

开始制定每一台选用仪器的规程时，应当特别考虑到对任此工作的核医学实验室工作人员的培训和演练。纳入核事故应急计划的实验室，应当指定专门人员负责今后万一发生的应急事务。应当开办培训班，通过授课使学员熟知低水平计数技术，包括样品统计学、标准化处理和仪器响应性能评价等方面的知识。必须准备好足够的标准源，至少能满足每次培训时测量所用，包括每一台入选仪器校准所用。应当使用模拟实际样品的分装标准源确定每一探测系统的探测效率，以及所用的几何条件。长半衰期点源（最好是铯-137）可被选作校准用分装源，随后它可用于将来的校准检验。校准检验及其频度应当作为规程内容的一部分。这些分装源除了可供检验仪器响应性所用外，显然也可用于培训和演练。

(3) 计划

必须随时准备好校准用的物品和仪器，并准备好能快捷而有效地用于以下几方面的物品和仪器：

- a) 实验材料、工具和实验室表面的去污；
- b) 人员污染甄别；
- c) 食品样品分析。

包括上述规程和培训在内的应急计划应当预先经过试验，以检验全体人员并包括设备在内（工作人员、房间、时间表和运输工具等）的准备情况、机能和有效性。应当确定好每一台能得到的需用仪器的最小可探测活度（Minimum Detectable Activity, MDLs），并与国家的干预水平（见附录 1）作比较。最小可探测活度应当低于干预水平的 20%（例如对水为 140Bq/Kg）。由于所用电子仪器潜在的计数过载（计数丢失）（见附录 1 的图 1 和图 2），最大可探测活度也应当考虑。

2.2.3 应急情况时的程序

负责当局作出的快速评价应当及时指明应急的性质，并及时通知他们指定的有关机构。所有涉及的机构应当作出适当的安排，以适应额外的工作负担。

应当把仪器准备好（重新进行校准检验），以应付许多项目的快速和简易测量。在保证取得常规结果精密度和保证能鉴别放射性核素的前提下，计数时间可取得适当的短；但是，另一方面，计数时间又必须足够长，以便获得能满足统计学要求的足够多的计数。应当随时保持辐射防护最优化的预防措施。核反应堆事故后早期，应当把碘-131 假定为占主导地位的放射性核素。在最初五天内，还应当考虑其他一些短寿命核素（碘-132，氙-

133 等)的存在。如果可能,应当进行同位素鉴别,但这一工作并非必须的。在最初阶段,对于碘的总活度测定可采取一些适当的预防措施。

核反应堆事故后二至三月,可以把铯-134 和铯-137 假定为占主导地位的放射性核素。因为仅用铯-137 校准,所以可用基于铯-134/铯-137 比值的修正因子来校正因铯-134 存在而出现的差异(见附录 2,图 2)。当然,这种校正是精确的,但不优先考虑。

要是有可能对放射性核素作鉴定和分别测量(例如用锗探测器作 γ 能谱分析),那么就应当进行这种测量。

较长的计数时间可以得到较高的测量精密度,特别是在低活度和高本底水平的情况下;此外,只有在较低水平的活度(上述确定的本底水平的两倍)被计数时才考虑较长的计数时间。应当由专业人员用巡测仪进行低水平活度的筛测。

2.3 用作低水平计数实验室的核医学设施

2.3.1 核医学仪器

γ 照相机、井型计数器、直线扫描仪和各种探测器是主要的 γ 射线探测器,因此它们都可以被利用。但是,核医学仪器的设计是测量较高计数率而不是为低水平计数的。在应急事件发生时,可以广泛得到的未经校准的 γ 照相机具有筛测大量被怀疑污染或实际污染人员的能力^[4,5]。此外,它也具有测量大量食品样品的能力^[6]。可利用的巡测仪或场区监测仪(盖革计数器或电离室,特别是闪烁探头)也可用来帮助作筛测。

不同大小和形状的碘化钠(铯)晶体既可以用于谱分析,也可以用于简单的闪烁计数,而脉冲高度分析器是专门用于测量较低能量的 γ 射线的(例如,对大多数 γ 照相机最高只能测到 0.5MeV),这样,完整的 X-射线能谱便不能得到。

这里还须指出,核医学实验室通常不具备 α -和 β -射线计数的能力;有一些核医学实验室可能具有液体闪烁计数的能力。只具备简单的 γ 射线计数技术的这种限制,使准确评价环境放射性污染变得困难。

2.3.2 欲测放射性核素

核反应堆事故发生早期,放射性沉降物以气体和粒子形式存在,沉降物中含有能量种类繁多、半衰期长短不一的裂变产物的混合物。在最初几天,虽然由于短半衰期的原因,这些放射性核素中的大多数的贡献已不具有重要意义,但是那些重要核素的测量也许仍然是麻烦的。

然而,环境和食品的污染大概是由两类放射性核素造成的。第一类由短寿命放射性核素组成,主要是惰性气体和挥发性放射性核素,在放射性核素释放的开始阶段它们的量是很大的,可是它们中的大多数衰变很快,所以在反应堆事故后几小时,碘-131 和碘-132 成了这一类中的主导放射性核素。第二类由所有其他的放射性核素组成,其中最主要的为两个铯的同位素,铯-134 和铯-137。

重放射性核素,铀或钚的同位素,通常不会迁移到离释放点很远的地方,这要取决于大气条件和事故严重程度,它们存在的量或许是小的。还可能存在锶、铯或钇,可是