

## 放射性物质摄入量的内监测：

# 国际放射防护委员会的新办法

### 国际放射防护委员会有关出版物综述

A. A. Moiseev 和 J. C. Nenot

国际放射防护委员会 (ICRP) 已经提出了关于辐射防护基本原则的建议。国际原子能机构 (IAEA)、世界卫生组织 (WHO)、国际劳工组织 (ILO) 以及经济合作与发展组织核能机构 (NEA / OECD) 1982 年编写《辐射防护基本安全标准》修订本时, 采用了这些基本原则。该标准为世界各国制订兼顾各种因素又符合世界潮流的辐射防护标准提供了一个基础。\* 修订过的这个标准, 是机构在它持续不断地致力于减少由使用放射性物质或其他电离辐射源所造成的危险的工作中, 所走出的新的重要一步。ICRP 辐射防护基本原则的主导思想, 是通过专用的剂量限值、辐射防护最优化、以及使包括受辐射照射在内的一切实践正当化等措施控制个人危险。

ICRP 在《工作人员辐射防护监测的一般原则》中及 IAEA 最近在《职业性辐射监测的基本原则》中,\*\* 已给负责工作人员电离辐射防护的主管机构

Moiseev 先生是 IAEA 核安全处工作人员。Nenot 先生是法国原子能委员会封特耐欧罗斯核研究中心防护研究所防护部工作人员。两位先生都是 ICRP 第 4 专门委员会成员, Nenot 先生还是负责起草 ICRP 第 54 号出版物的工作组组长。

\* *Basic safety standards for radiation protection*, Safety Series No.9, IAEA, Vienna (1982).

\*\* *General principles of monitoring for radiation protection of workers*, a report of the ICRP Committee 4, ICRP Publication 35, *Annals of the ICRP*, Vol.9, No.4, Pergamon Press, Oxford (1982); and *Basic principles for occupational radiation monitoring*, IAEA Safety Series No.84, IAEA, Vienna (1987).

和专职人员, 以及同规划和管理职业性辐射防护有关的人员, 提供了一般原则。工作人员辐射监测的主要目标是, 保证照射量保持在可合理做到的尽可能低的水平, 保证不超过管理限值。

所需辐射监测的类型和范围, 取决于有关工作区的放射学条件和与所从事工作有关的辐射条件。这样的监测计划, 除了进行其他方面的监测 (例如个人的外照射剂量、皮肤和衣服污染情况的测定, 以及包括测定工作场所的辐射水平、空气污染和表面污染情况在内的工作场所监测) 外, 还需要有对体内辐射的全面监测。利用专门设计的能测量人体发出的辐射的仪器 (例如全身计数器或监测器, 或甲状腺计数器一类的人体局部计数器) 和 (或) 用生物分析方法 (分析尿和粪便), 可达到这一要求。

直到前不久, 从剂量限制体系、放射性核素年摄入量限值、内监测的原则, 直至测量结果的解释为止的这一链条中, 都一直缺少资料。根据 ICRP 用于定量评价内照射量的一般原则, 利用这些方法的监测计划必须这样设计和实施, 即能利用监测结果估算出初级量 (待积有效剂量当量或待积剂量当量) 以便与初级限值比较, 或估算出次级量 (放射性核素摄入量) 以便与年摄入量限值 (ALI) 比较。但是, 这一链条中的最后一环, 即将每日实践中的测量结果换算成剂量或放射性物质摄入量时使的数据, 实际上一直没有受到应有的重视。人们于 60 年代曾试图开展这部分监测计划, 但由于缺少技术基础, 因而没有完全成功。\*

\* 见 *Evaluation of radiation doses to body* (转下页)

## 剂量限制体系

ICRP 的剂量限制体系是建立在控制一年的工作实践所引起的危险这一原则之上的。为使这一原则转变成剂量限制体系, ICRP 引入了待积剂量这一概念, 并在待积剂量限值等于年剂量限值的基础上推导出各个 ALI 值。

在控制工作人员的辐射照射量时, 要求任何一年里的外照射剂量当量和摄入的放射性核素所引起的待积有效剂量当量之总和, 低于相应的年剂量限值。因此, 必须按年份推导出该年内摄入的放射性核素所引起的待积有效剂量当量。

虽然对于摄入短寿命和中等寿命放射性核素情况, 应用这种剂量控制方法不会有什么问题, 但对于摄入能在人体内滞留较长时间的放射性核素情况, 问题就来了, 需要作进一步的研究。在这种情况下, 与年剂量限值相比, 摄入后任何一年内实际受到的剂量都较小。按照待积剂量的定义, 它是 50 年内实际所受剂量的积分, 这相当于让控制有关危险的时间大大超过了人预计的有生之年。

人们迄今尚未提出另外的计算年有效剂量当量的方法; 这种计算方法可能允许工作人员在一年之内摄入相当大数量的某种放射性核素, 然后在今后若干年中对他所从事的工种加以限制。这当然会在档案管理方面产生新的问题, 工作人员的工作发生变动时尤其如此。

## 待积剂量当量

待积剂量当量的概念在照射量数据的档案管理方面引起了许多问题。

工作人员可能受到体外辐射源的辐射照射, 也可能受到摄入体内的放射性物质的辐射照射。ICRP 要求把来自所有源的剂量加起来考虑, 并使其服从非随机性和随机性辐射效应的剂量当量限值的基本要求。所以, 鉴于存在着这种摄入放射性物质的情况, 必须

计算人体内受到较大辐照的各个组织所受的剂量当量。ALI 是在“待积剂量当量”(历时 50 年) 概念的基础上导出的。不了解放射性核素的代谢规律, 就不可能计算出具体数值。这就是说, 需要有摄入的放射性核素的物理性质及其代谢规律(放射性核素及其子体产物在人体各组织内的吸收、滞留、和分布规律) 方面的完整资料。关于放射性核素的物理性质(主要是所发射辐射的性质和能量), 人们早已了如指掌。\* 至于建立代谢模型问题, 近 20 年来已取得长足的进步, ICRP 另外两种出版物(第 2 号和第 30 号出版物)\*\* 内容上的变化证明了这一点。

ICRP 第 30 号出版物列出了许多放射性核素的食入和吸入 ALI, 这些 ALI 将确保人体不同组织的剂量限值不超过 ICRP 所规定的限值。第 30 号出版物的目的在于给出有关放射性核素进入人体后命运的完整资料(即给出有关的每一器官和每一组织的滞留函数)。

严格地说, 内照射量个人监测计划, 通常不可能以能表征当事工作人员的具体代谢特点的模型和数据为基础。事先也不可能清楚地知道这种模型和数据。即使事后建立了这种模型和数据, 在低照射量的场合下它们的使用(往往导致一些因人而异的监测计划) 也不一定是正确的。此类场合一般使用通用模型。

ICRP 第 30 号出版物还描述了表征成人人体代谢规律的通用模型和单个化学元素的代谢模型。这些模型可用于建立涉及工作人员内照射量的次级基本限值。年摄入量限值一般供制订防护规划用, 它们是选用保守的而不是平均的或真实的参数和假设后得到的。而且它们未必总是把排出量和代谢过程的早期阶段描述清楚, 这些情况虽然对建立 ALI 是不重要的或重要性不大, 但对监测工作可能是重要的。

尽管如此, ICRP 的剂量限制体系比较简明, 与工作人员的年龄和性别无关, 这是一个有吸引力的特点, 这一特点可以绰绰有余地弥补这一体系引起的那

\* *Radionuclide transformations: Energy and intensity of emission*, ICRP Publication 38. *Annals of the ICRP*, Vols 11-13, Pergamon Press, Oxford (1983).

\*\* *Recommendations: ICRP report of Committee 2 on permissible dose for internal radiation, 1959*, ICRP Publication 2, Pergamon Press, Oxford (1960); and *Limits for intake of radionuclides by workers*, ICRP Publication 30 Part 1, *Annals of the ICRP*, Vol 2, No.3/4, Pergamon Press, Oxford (1979).

(接上页) *tissues from internal contamination due to occupational exposure*, a report of the ICRP Committee 4, ICRP Publication 10, Pergamon Press, Oxford (1968); and *The assessment of internal contamination resulting from recurrent or prolonged uptakes*, a report of ICRP Committee 4, ICRP Publication 10a, Pergamon Press, Oxford (1971).

种不公平。

监测实践得到的结果，如果不作进一步的整理分析，就得不到有意义的资料，即使在特殊条件下（例如，直接监测甲状腺中的放射性碘或计算摄入并达到平衡后排出的尿中的氟化水）也是如此。为克服解释体内污染测量结果方面的困难，ICRP 第 4 专门委员会编写了一份新的出版物，即《工作人员个人放射性核素摄入量监测：设计和解释》。<sup>\*</sup> 该文件已由 ICRP 的总委员会通过。

该出版物在回顾了个人监测的原则和在这项业务中如何应用导出参考水平后，介绍了一些已用于建立放射性核素滞留和排出函数的代谢模型。接着，详细地给出了供这种监测用各种方法，有的是对个人进行直接测量，有的是对排泄物进行放射性毒理分析。对于受铀系元素照射后的跟踪这一难题，则做了专门的介绍。该文件概论的最后部分讨论了监测计划，其依据是 ICRP 第 26、30 和 35 号出版物的各项建议，并同时考虑到负责跟踪受照人员的人所面临的实际问题。一方面，这些监测计划涉及所谓的常规监测，这种监测与对长期从事有内照射危险的工作的人进行个人跟踪有关；另一方面，它们涉及发生事故后，或当特殊工作带来严重照射危险时进行的特别监测。

对测量结果的解释（即把体内积存量或排出量换算成摄入量或剂量）是监测工作的基本组成部分，而辐射防护方面的决策，可象取决于工作场所那样取决于被观测的个人。当然，把测量结果的解释作为重点考虑是合理的。在常规监测的情况下，注意标准的代谢规律和剂量测定模型也就够了，这时主要使用按常人规定的生物参量。这在正常工作条件下看来是合适的。反之，如已发现照射量增大，或发生其意义已被特别监测的初步结果证实的事故，最好是尽可能利用比较符合所研究情况的模型。

#### 实用中的限制

ICRP 第 54 号出版物中推荐的那些个人监测计划，还注意了实用中的各种限制。尤其是不管受照人员是短期工作还是长期工作，不管人员是在固定岗位上工作还是从事流动性很大的工作，也不管照射情况

（例如，摄入的时间）是十分明确还是相当不确定，测量结果都应该能确切地得到解释：关于选择两次常规监测试验之间的时间间隔问题，ICRP 第 54 号出版物给出了独特的解决办法。做这种选择的目的在于减少解释测量结果方面的误差，而不管受污染的时间（一般不知道）。此外，这种时间间隔选择还取决于有无必要改善对编制检查日程的管理，对于拥有大量工作人员的一些单位，编制检查日程会很快变得十分复杂。人们关心的另一个问题是，希望制订简单明了和使用方便的解释与决策规则。最经常的情况是，个人污染监测仅仅是负责提出和实施这种监测的那些人员的工作的一部分。就这方面来说，导出参考水平以及用于超出该水平时作出决策的某些简单规则，成了个人跟踪方面不可缺少的依据。将测量结果与导出参考水平直接比较，人们便能立即知道污染的程度，并知道应采取的对策。

ICRP 第 54 号出版物中的附录内容十分广泛。它为核工业、研究所、以及在医学和药理学方面应用放射性同位素的部门通常遇到的放射性核素内照射个人监测，提供了必不可少的数据。这些附录中仅考虑了吸入引起的照射量。对于由意外事件造成的其它摄入方式，人们需根据每一情况的特点进行调查和采取特别行动。

该出版物描述了每个有关元素的代谢规律，和可能使用的旨在减少体内积存量的治疗方法的效果。随后讨论了与每种元素有关的各种同位素。首先给出了它们发出的能用于探测它们的主要辐射，接着叙述了测量技术及其探测极限，最后列出了剂量因子（每吸入 1 贝可勒尔的希沃特数）、ALI 和导出空气浓度 (DAC)。

附录提供了常规监测和特殊监测的详细资料。对于常规监测，提出了每种同位素的检查时间间隔表，这样的间隔可以使测量结果的解释不会有过大的误差。还提供了与发生意外事件后头 7 天的特殊监测有关的数据。对于每一种有关的测量方法，第 54 号出版物载有一组以摄入量份额计的放射性活度和导出调查水平表。给出了长期生活摄入相当于 ALI / 365 放射性活度以后的平衡滞留量和排出量。最后，针对三种粒子直径，以曲线形式给出了每种同位素吸入后 10 000 天时以全身积存量份额计的滞留量和排出量。

总而言之，第 54 号出版物是辐射防护人员，将 ICRP 在相关的其它出版物中发表的建议应用于个人体内污染监测方面的一份重要的技术文件。

<sup>\*</sup> *Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers: Design and interpretation, a report of the ICRP Committee 4, ICRP Publication 54, Annals of the ICRP, Vol.9, No.4, Pergamon Press, Oxford (1988).*