

# 《放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范》编制说明

刘庆芬,刘 强,武 权,樊体强,李 松,刘宝娜,张良安

中图分类号: R141 文献标识码: A 文章编号: 1004 - 714X(2011) 01 - 0049 - 02

【摘要】 目的 制(修)订 GB/T 16148 - 2009 放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范。方法 依据国际放射防护委员会(ICRP)和国际原子能机构(IAEA)最新研究成果方法及相关技术标准。结果 采用最新生物动力学模型和剂量学模型,以及剂量系数进行放射性核素摄入量和内照射剂量估算。结论 该标准的修订是必要的,修订后的估算方法更为实用、简单。

【关键词】 国家标准;放射性元素;摄入量;剂量

根据 2007 年卫生标准制(修)订项目的计划,接受卫生部放射性疾病诊断标准委员会委托,我们对《放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范》(GB/T 16148—1995)进行修改。经过两年多的调研、征求同行专家意见,经卫生部放射性疾病诊断标准委员会审议,形成了新版国家标准《放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范》(GB/T 16148 - 2009),该标准已由中华人民共和国质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会于 2009 年 10 月 15 日联合发布,2009 年 12 月 1 日实施。

## 1 立项背景

GB/T16148 - 1995 标准起草时间较早,在此标准颁发后,ICRP 的内照射模型、剂量方法及相关参数都发生了变化,IAEA 也按新的内照射模型和剂量方法制定了相应的技术标准。GB/T16148 - 1995 主要基于 IAEA 和 ICRP 早先的一些概念、方法和参数,因此难于再采用。此次修订中,主要参考了 Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides”(Safety Reports Series No. 37, 2004)及“Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides”(Safety Guide,, No. RS - G - 1.2, 1999),对标准进行了制订。见表 1。

## 2 基础依据和采用方法说明

2.1 标准基础依据 本次修订主要基于国际放射防护委员会(ICRP)最新的放射性核素摄入量估算方法(ICRP 78 号出版物)和内剂量估算方法(ICRP 80、ICRP 72、ICRP 71 等出版物)。依据 IAEA 的相关标准(IAEA International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources; IAEA Safety Standards Series No. RS - G - 1.2, Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes

of Radionuclides; IAEA Safety Reports Series No. 37, Methods for Assessment of Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides),并等效采用 IAEA Safety Reports Series No. 37,对原标准、方法进行实质性的修改。

表 1 新旧标准主要修改对照表

修改内容	原标准	新标准
结构	5 章和三个附录(附录中包含了术语与定义)	7 章四个附录术语与定义移到了正文,正文中增加了不确定度的内容。
主要依据	ICRP 30 和 56 号出版物	ICRP 67、69、71、72、78 号等出版物,IAEA Safety Reports Series No. 37, 2004 和 IAEA Safety Guide, No. RS - G - 1.2, 1999
主要剂量学和生物学模型	ICRP 30 号出版物,1982	消化道 ICRP 30 号出版物,1982 呼吸道 ICRP 66 号出版物,1995
剂量学方法	ICRP 30 号出版物推荐的方法	剂量系数方法
摄入量估算	1989 年 ICRP 54 号出版物推荐的方法	1999 年 ICRP 78 号出版物推荐的方法和参数

2.2 采用方法说明 IAEA Safety Reports Series No. 37 及 Safety Guide, No. RS - G - 1.2 内容十分丰富,引用 IAEA Safety Reports Series No. 37 内容多的部分就有:内照射剂量估算的生物动力学模型,直接和间接测量结果的解释,不确定度,剂量记录、保存和报告,质量保证及相关的附件等主要内容。

2.2.1 生物动力学和剂量学模型 在放射性核素摄入量及内照射剂量估算时采用 IAEA Safety Reports Series No. 37 使用的生物动力学和剂量学模型。这些模型的主要内容已在标准附录 A 中作为资料性附录进行了介绍,这里不再重复。

基金项目:卫生部基金资助项目天津市分子核医学重点实验室  
作者单位:中国医学科学院辐射医学研究所,天津 300192  
作者简介:刘庆芬,副主任技师,从事放射卫生方面研究。  
通讯作者:张良安,博士生导师, zhangla43@163.com

[15] ILO. Technical and ethical guidelines for worker's health surveillance, Occupational and Health Safety Series No. 72 [S]. Geneva: International Labour Office, 1998.

[16] IAEA, ILO, WHO. Health surveillance of persons occupationally exposed to ionizing radiation: guidance for occupational physicians, Safety Reports Series No. 5 [R]. Vienna: IAEA, 1998.

[17] IAEA. Health effects and medical surveillance, IAEA - PRTM - 3(Rev. 1) [M]. Vienna: IAEA, 2004.

[18] IAEA, ILO. Occupational radiation protection in the mining and processing of raw materials: Safety Guide, Safety Standards Series No. RS - G - 1.6 [S]. Vienna: IAEA, 2004.

[19] 刘长安,陈尔东. 放射工作人员职业健康检查表的修订 [J]. 中国辐射卫生 2005, 14(4): 248 - 250.

2.2.2 剂量系数方法 在放射性核素摄入量及内照射剂量估算时, 采用了新的内照射剂量估算方法, 即剂量系数方法, 采用了 ICRP 和 IAEA 给出的相关参数。

在内照射剂量估算中, 最常用的是待积器官当量剂量  $H_T(\tau)$  和待积有效剂量  $E(\tau)$ , 它们分别用以下公式计算:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} q_s(t, t_0) SEE(T \leftarrow S; t) dt \quad (1)$$

$$E(\tau) = \sum_{T=1}^{12} W_T H_T(\tau) + W_{\text{其余}} H_{\text{其余}}(\tau) \quad (2)$$

式中:  $q_s(t, t_0)$  是  $t_0$  时刻摄入  $t$  时刻源器官内核素的放射性活度, 单位为 Bq;  $SEE(T \leftarrow S; t)$  是比有效能量, 它是  $t$  时刻源器官 (S) 内每次核蜕变引起靶器官 (T) 内的当量剂量, 单位为  $Sv \cdot (Bq \cdot s)^{-1}$ ;  $\omega_T$  是组织权重因子;  $H_{\text{其余}}(\tau)$  是其余器官的待积当量剂量。  $H_T(\tau)$  和  $E(\tau)$  是摄入放射性物质后, 随时间积分的一个剂量学量。如果没有特殊说明, 对成年人  $\tau$  的值为 50 年, 对于婴幼儿为 70 年, 通常情况下, 积分时间从 20 到 70 年。

用上述公式直接计算  $H_T(\tau)$  和  $E(\tau)$  比较困难。

在辐射防护中我们并不需要这样复杂的计算, 而是在采用简单的隔室模型代表器官中的放射性核素的转移、沉积和排除进行简化, 此时, 复杂的内照射计算估算可以简化。

采用 IAEA Safety Reports Series No. 37 使用的生物动力学和剂量学模型时放射性核素的代谢可用指数模式描述。从而有:

$$q_s(t, t_0) = \sum_m A_0 f_{1s} T_m a_m (1 - e^{-0.693t/T}) \quad (3)$$

其中  $A_0$  为  $t_0$  时刻摄入的总活度,  $f_{1s}$  为放射性物质转移到体液的份数,  $f_s$  为从体液转移到源器官 (s) 的份数,  $T_m$  为该放射性物质相应于  $m$  指数项 (隔室) 的有效半排出期,  $a_m$  为  $m$  指数项占的份数。将 (3) 代入 (1), 并定义  $h_T(\tau)$  为:

$$h_T(\tau) = \int_0^{\tau} \sum_s A_0 f_{1s} T_m a_m (1 - e^{-0.693t/T}) SEE(T \leftarrow S; t) dt \quad (4)$$

则 (1) 式可改写为:

$$H_T(\tau) = A_0 h_T(\tau) \quad (5)$$

$h_T(\tau)$  称作待积器官当量剂量的剂量系数, 即每单位摄入量的待积器官当量剂量的预定值, 单位为  $Sv/Bq$ 。

用同样的方法可以得出:

$$E(\tau) = A_0 e(\tau) \quad (6)$$

在 (5) 和 (6) 式中:  $A_0$  是放射性核素的摄入量, 单位为 Bq;  $e(\tau)$  称作待积有效剂量的剂量系数, 即每单位摄入量引起的待积有效剂量预定值, 单位为  $Sv/Bq$ 。

基于 ICRP 通过生物动力学和剂量学模型, 对  $h_T(\tau)$  和  $e(\tau)$  值进行了计算, 并在 ICRP 的 67、69、71、72 出版物中给出了计算的结果, IAEA 标准中也采用了相关的参数, 在本标准的附录 C 中也列出了主要核素的剂量系数值。

因此, 只要我们能估算出摄入量 ( $A_0$ ) 再结合 ICRP 给出的  $h_T(\tau)$  或  $e(\tau)$  值, 就可以方便的计算出积器官当量剂量  $H_T(\tau)$  或待积有效剂量  $E(\tau)$ 。

### 3 常用的方法介绍

3.1 消耗量剂量模式下  $A_0$  的估算 在消耗量剂量模式中主要分为吸入和食入两大类。在进行吸入  $A_0$  估算时除了要考虑空气污染监测结果外, 还应考虑呼吸率和居留因子等因素对结果的影响。食入又分为饮水和食用两大类。在进行饮水  $A_0$  估算时除了要考虑水污染监测结果外, 还应考虑水系损失、饮用量等因素对结果的影响。此时若用环境测量数据计算既麻烦误差也大, 最好直接测量这些食物的放射性含量。

通过以上的分析, 这时的摄入量 ( $A_0$ ) 可以用下式计算:

$$A_0 = A_{\text{吸}} + A_{\text{饮水}} + A_{\text{食用}} \quad (7)$$

式中:  $A_{\text{吸}}$  是吸入空气造成的放射性核素摄入量;  $A_{\text{饮水}}$  是饮

水造成的放射性核素摄入量;  $A_{\text{食用}}$  是食用各类食物造成的放射性核素摄入量。

一般来说只要测得空气放射性含量 (单位:  $Bq/m^3$ )、呼吸率、居留系数就可方便的计算出  $A_{\text{吸}}$ 。空气监测结果通常以时间积分浓度 ( $Bq \cdot s/m^3$ ) 表示。居留系数是指在污染地区停留的时间份额, 除突发事件的情况外, 可以不考虑。对于某一种核素  $j$  累计时间内的摄入量  $A_{j\text{吸}}$  可以用下式计算:

$$A_{j\text{吸}} = C_{j\text{空}} B_{\text{空}} \quad (8)$$

式中:  $C_{j\text{空}}$  是核素  $j$  在空气中的时间积分浓度 ( $Bq \cdot s/m^3$ );  $B_{\text{空}}$  是人员呼吸率 ( $m^3/s$ )。

一般来说只要测得水的放射性含量 (单位:  $Bq/m^3$ )、水系损失、饮用量就可方便的计算出  $A_{\text{吸}}$ 。水系损失是指取监测样品的水中与饮用水中放射性核素, 由于各种原因的差异, 只要我们尽可能的适时在实际的饮用水中取样监测, 此时也可不考虑这种修正。对于某一种放射性核素  $j$  的摄入量  $A_{j\text{饮水}}$  可以用下式计算:

$$A_{j\text{饮水}} = c_{j\text{饮水}} Q_{\text{水}} \quad (9)$$

式中:  $c_{j\text{水}}$  是放射性核素  $j$  在水中的含量 ( $Bq/kg$ );  $Q_{\text{水}}$  是饮水量 ( $kg$ )。饮水量也随地区、年龄、习惯等因素而异, 一般在计算机系统中用 UNSCEAR 的成人数据 ( $500 kg/a$ ) 作为其系统的默认值。

对于某一种放射性核素  $j$  的摄入量  $A_{j\text{食用}}$  可以用下式计算:

$$A_{j\text{食用}} = \sum_i c_{ji\text{食}} Q_{i\text{食}} \quad (10)$$

式中:  $c_{ji\text{食}}$  是放射性核素  $j$  在  $i$  类食品中的含量 ( $Bq/kg$ );  $Q_{i\text{食}}$  是  $i$  类食品的食用量 ( $kg$ )。

3.2 个人监测下  $A_0$  的估算 个人监测方法是在核和辐射事故情况下评价个人内照射剂量的一种十分重要的方法, 它能够快速地给出比较直观、有效的结果。人们常常通过个人监测来检查职业人员受到内照射的程度, 它是评价个人体内放射性污染的主要根据。在核和辐射事故发生的情况下, 也常常需要个人监测方法来检测职业人员和公众是否受到了内照射。个人监测方法主要有空气个人监测方法、生物样品个人监测方法和体外个人监测方法。

空气个人监测方法通常是采用个人空气采样器 (PAS) 直接对内污染进行监测, 并用监测结果估计放射性核素吸入量。

当监测结果是监测周期内的累积放射性活度, 则可直接视为此时的摄入量  $A_0$ 。若监测结果是核素空气浓度  $c_{j\text{空}}$  ( $kBq/m^3$ ), 还需要有呼吸率 ( $B_{\text{空}}$ ) 和监测周期 ( $T$ ) 的值, 这时核素  $j$  的摄入量  $A_{j0}$  可用下式计算:

$$A_{j0} = c_{j\text{空}} B_{\text{空}} T \quad (11)$$

体外直接测量法是使用探测器直接从体外测量全身或器官内放射性核素的活度用以估算摄入量的一种方法, 其结果较生物样品测量法的结果更加可靠。这一方法在核和辐射事故应急测量中经常使用。但是, 它仅适用于那些能发射可以逃逸出人体的射线的核素, 即能发射 X 射线、 $\gamma$  射线、正电子 (检测其湮灭后放出的  $\gamma$  射线)、高能  $\beta$  粒子 (检测其发出的韧致辐射) 以及某些  $\alpha$  发射体 (检测其特征 X 射线) 的核素。直接从体外测量全身或器官内放射性核素的含量可以快速而简便地估算体内相应器官或组织的放射性活度, 从而可首先估算出  $A_0$  再估算内剂量。

用测量值 ( $M$ ) (Bq) 推算  $A_0$  的基本公式如下:

$$A_0 = M/m(t) \quad (12)$$

其中  $m(t)$  是摄入 1 Bq 某核素  $t$  天时体内或器官内核素的含量 (Bq),  $m(t)$  在国家职业卫生标准 GBZ129 中可查得。应当说明的是, 公式 (12) 不适用于连续摄入的情况, 此时可用  $m(T/2)$  代替  $m(t)$  进行计算,  $T$  为监测周期 (d)。

对不释出  $\gamma$  射线或仅释出低能光子辐射的放射性核素, 个人体内污染量的监测主要借助于排泄物的分析。用测量值 ( $M$ ) (Bq/d) 推算  $A_0$  的方法如下:

浅谈信息管理系统的应用

韩艳清,岳保荣,范瑶华,胡京钢

中图分类号: G203 文献标识码: C 文章编号: 1004 - 714X( 2011) 01 - 0051 - 02

【摘要】 目的 建立一个能够覆盖本单位外事管理工作的计算机管理信息系统 ,利用计算机网络技术简化人工管理流程 ,逐步实现全所外事工作自动化管理。方法 通过外事工作管理信息系统需求分析 ,组织开发与设计。结果 组织开发了本单位外事工作管理系统 ,提高了工作效率。结论 该系统的应用极大地促进了本单位科技管理能力和工作效率的提高 ,为推进放射防护领域的国际交流与合作工作的规范化、科学化提供了有效的管理平台和现代化手段。

【关键词】 系统建设; 功能模块; 信息检索

随着信息技术的迅猛发展 ,计算机网络以其“实用化、高效益”在科研管理工作中得到迅速发展。通过计算机管理信息网络系统的应用 ,不仅能大大地提高工作效率 ,提高科技管理水平 ,而且使科研管理人员最大限度地开发和利用网上信息资源成为可能。为了加快信息化建设步伐 ,进一步做好放射卫生防护相关的国际合作与交流工作 ,不断提高科技管理水平 ,本单位针对外事管理工作的特点 ,结合本所外事工作管理程序 ,而定制开发了一套外事管理软件 ,取得了良好的运行效果。本系统集外事出访、外事接待、相关项目申报于一体 ,将人员动态管理、审批、相关系统辅助功能等有机结合 ,通过运用先进的网络与计算机软件技术 ,进行信息化管理以及提供相关数据多种方式的查询、统计和汇总功能 ,逐步实现全所外事工作自动化管理。

1 外事工作管理信息系统需求分析与设计

1.1 需求分析 改革开放三十年来 ,本所不断深化改革 ,扩大对外开放 ,使科研领域的国际合作和学术交流从无到有、从小到大蓬勃开展起来。30 年来 ,本所的国际交流与合作取得丰硕成果 ,双边、多边对外交流与合作日趋频繁 ,同时积累了丰富的对外合作与交流的信息和数据资源 ,但这些信息资源大多只以纸质版形式存在 ,并存在信息不完整等现象 ,为数据统计、分析、检索、监督检查等带来一定的难度。如何利用现代化的

计算机技术和网络技术 ,更好地管理和利用本单位多年的信息资源 ,科学运用数据库技术和网络技术实现国际合作信息管理的现代化 ,提高本单位科研管理工作的水平 ,更好地做好放射卫生防护工作 ,是本所科研管理部门面临的新项目。为了实现这一目标 ,通过对本所外事活动的各项工作业务及流程的需求分析 ,我们组织设计开发了本所外事工作管理信息系统。

1.2 功能目标 建立一个能够覆盖全所主要科研业务管理的计算机管理信息系统 ,利用计算机网络技术简化人工管理流程 ,实现信息的一次录入多方共享及信息的综合加工 ,满足不同管理层次对各类信息的需求 ,是我们组织开发管理系统的目标。同时实现系统应及时为本所各级相关业务部门提供国内外科研动态信息<sup>[1]</sup>。

2 外事工作管理系统结构

系统分为功能模块和辅助模块。功能模块是系统的核心部分 ,着重根据外事相关工作流程 ,实现管理功能。辅助模块包括系统管理、规章制度发布、办事指南、以及共享资源等部分。

2.1 出访模块 包括出访人员申请、回国汇报、各级审核及信息检索等功能。

2.2 来访模块 包括来访申请、来访汇报、各级审核及检索信息等功能。

2.3 项目申报模块 包括项目申报、项目审核、项目汇报及检索信息等功能。

2.4 辅助功能模块 包括办事指南、档案、查询统计、表格下

作者单位: 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 ,北京 100088  
作者简介: 韩艳清( 1968 ~ ) ,女 ,北京市人 ,副研究员 ,从事辐射防护管理工作

$$A_0 = M/m(t) \tag{13}$$

其中  $m(t)$  是摄入 1Bq 某核素  $t$  天时 ,日排泄量( Bq/d) 的预期值。 $m(t)$  在国家职业卫生标准 GBZ129 中可查得。应当说明的是 ,公式( 13) 不适用于连续摄入的情况 ,此时可用  $m(T/2)$  代替  $m(t)$  进行计算 , $T$  为监测周期( 天) 。

3 标准的应用

在发布的标准中 ,附加了 4 个资料性附录 ,可供使用者参考查阅。附录 A: 生物动力学和剂量学模型; 附录 B: 用直接和间接测量数据估算摄入量的方法; 附录 C: 主要核素的剂量系数; 附录 D: 摄入量和内照射剂量估算举例。

( 志谢: 在标准的修订过程中 ,张良安教授提供了翔实的资料性文献 ,在此表示衷心的感谢。)

参考文献:

[1] ICRP 67、69、71、72、78 号出版物 [R].

[2] IAEA International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources [S].

[3] IAEA Safety Standards Series No. RS - G - 1.2 ,Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides [S].

[4] IAEA Safety Reports Series No. 37; Methods for Assessment of Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides [S].

( 收稿日期: 2010 - 06 - 11)