工作人员摄入放射性核素的个人监测：设计和解释

国际放射防护委员会第54号出版物

原子能出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

国际放射防护委员会第54号出版物

工作人员摄入放射性核素的个人监测：设计和解释

国际放射防护委员会第4专门
委员会工作组报告

（委员会1987年3月通过）

李树德 译

原子能出版社

ICRP Publication 54
Individual Monitoring for Intakes
of Radionuclides by Workers,
Design and Interpretation
ICRP, Pergamon Press, 1988

国际放射防护委员会第54号出版物
工作人员摄入放射性核素的
个人监测：设计和解释
李树德 译
原子能出版社出版
（北京2108信箱）
北京昌平兴华印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售
☆
开本 787×1092 1/32 ·印张10.875 ·字数242千字
1990年6月北京第一版·1990年6月北京第一次印刷
印数1—710
ISBN7-5022-0253-6
TL·100 定价：6.60元

内 容 简 介

本报告取代了以前出版的ICRP第10号和第10A号出版物，论述了个人内照射监测计划的设计，阐述了放射性核素被摄入体内后的分布、滞留和排泄的模式，以及监测技术，如体内放射性核素的直接测量，排泄物的分析，和利用个人空气取样器对空气中浓度的测量等，并阐述了将测量结果换算成摄入量或待积剂量当量的方法。本报告附录的内容极为丰富，便于实际应用，是全书的重要部分，其中对30多种常见的放射性核素，用曲线图和数据表的形式，提供了单位摄入量所导致的在不同的监测周期或摄入后的不同时刻体内含量、排泄速率和待积剂量当量的数据，以供将监测结果进行换算之用。对于探测比较困难的钍、铀和超铀元素的监测计划，作了特别的论述。

本书可供从事辐射防护工作的专业人员以及大专院校和科研机构有关人员参考。

序　言

第4专门委员会认识到有必要修订ICRP第10号出版物《职业照射体内污染辐射剂量的估算》及其续编ICRP第10A号出版物《反复或持续吸收放射性核素后体内沾染量的估算》，以便与ICRP第26号出版物《国际放射防护委员会建议书》中登载的委员会的建议取得一致。这份报告就是修订的结果，它取代了ICRP第10号和第10A号出版物。与工作人员辐射防护有关的ICRP的其他报告是：ICRP第30号出版物《工作人员的放射性核素摄入量限值》和ICRP第35号出版物《工作人员辐射防护监测的一般原则》。

这份报告是由第4专门委员会的一个工作组编写的，这个组的成员是：

J.C.Nenot（主席），

R.H.Clarke，F.A.Fry，J.Piechowski

委员会谨向给予本工作宝贵贡献的其他许多同仁表示感谢，其中包括：W.J.Bair，R.J.Berry，I.Buchina，K.F.Eckerman，J.R.Johnson，E.Kunz，R.V.Osborne，和J.Thomas.

在编写本报告期间，第4专门委员会的成员是：

H.J.Dunster（主席）　　A.Salo

需要全本请访问 www.ertongbook.com

G.Bengtsson	S.D.Soman
R.E.Cunningham	F.Steinhäusler
A.J.González	G.L.Voelz
A.A.Moiseev	王作元
J.-C.Nenot	G.A.M.Webb
R.V.Osborne	B.C.Winkler
S.Prêtre	吉泽康雄

目　录

序言 …… (1)
术语解释 …… (1)
符号一览表 …… (5)
1. 引言 …… (9)
2. 委员会的有关建议 …… (11)
2.1 内照射和外照射的相加 …… (11)
2.2 监测的目的 …… (12)
2.3 监测计划的类型 …… (13)
2.4 参考水平 …… (14)
2.5 调查水平 …… (14)
2.6 记录水平 …… (15)
2.7 导出参考水平 …… (16)
3. 生物动力学模式 …… (16)
3.1 术语的解说 …… (18)
3.2 数学表述 …… (19)
3.3 呼吸系统的模式 …… (20)
3.4 胃肠道的模式 …… (23)
3.5 分布和滞留的模式 …… (24)
3.6 周身性起源的排泄模式 …… (24)
3.7 模式的适用性 …… (24)
4. 个人监测的方法 …… (25)
4.1 体内活度的测量 …… (26)
4.2 排泄物和其他生物物质的分析 …… (28)
4.3 估算钍、铀和超铀放射性核素摄入量的方法 …… (30)

4.4 质量保证……(33)
5. 监测计划……(33)
5.1 常规监测……(33)
5.2 常规监测中的不确定度……(34)
5.3 常规监测的测量频次……(34)
5.4 导出参考水平在常规监测中的应用……(35)
5.5 特殊监测和操作监测……(36)
5.6 验证性监测……(37)
6. 监测的实施……(38)
6.1 常规监测……(38)
6.2 特殊监测和操作监测……(40)
6.3 放射性核素的混合物……(41)
6.4 致污物的物理和化学特性……(42)
6.5 对标准模式的偏离……(43)
6.6 除吸入以外的其他摄入途径……(44)
6.7 医学干预的影响……(45)
附录 对各种放射性核素的监测数据……(50)
数据的内容……(50)
放射性核素……(55)
氢 ^{3}H……(57)
磷 ^{32}P……(61)
铬 ^{51}Cr……(66)
锰 ^{54}Mn……(73)
铁 ^{59}Fe……(78)
钴 ^{57}Co, ^{58}Co, ^{60}Co……(85)
锶 ^{85}Sr, ^{89}Sr, ^{90}Sr……(107)
锆 ^{95}Zr……(128)
钌 ^{106}Ru……(135)
银 ^{110}Ag……(144)

锑 ^{124}Sb, ^{125}Sb ……(152)
碘 ^{125}I, ^{129}I, ^{131}I ……(163)
铯 ^{134}Cs, ^{137}Cs……(179)
铈 ^{144}Ce ……(190)
汞 ^{203}Hg ……(200)
镭 ^{226}Ra, ^{228}Ra ……(210)
钍 ^{228}Th, ^{232}Th ……(223)
铀 ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U ……(236)
钚 ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu ……(263)
镅 ^{241}Am……(298)
锔 ^{242}Cm, ^{244}Cm ……(306)
锎 ^{252}Cf ……(320)
附加说明：滞留函数和排泄函数……(332)
1. 概述 ……(332)
1.1 术语……(332)
1.2 滞留量……(334)
1.3 排泄……(335)
2. 代谢过程的数学描述 ……(335)
2.1 微分方程系……(336)
2.2 卷积……(337)
3. 导出参考水平的计算 ……(337)
参考文献 ……(338)

(14)特殊监测是指在实际发生或怀疑发生异常情况下进行的监测。在监测放射性核素摄入量的情形下，特殊监测是由某一已知事件引发的，例如，从自动空气采样器那样的设备发出的警报而认识了的致污物的逸失，察觉到的工作场所中发生的不寻常情况，或者从常规个人监测中获得的不寻常的测量结果。

(15)由于特殊监测和操作监测都是涉及怀疑已经发生的独特事件，而不是潜在的慢性照射，所以在本报告中以类似的方式加以论述。

(16)验证性监测是用来验证工作人员的工作情况良好，他们被认为不致有显著的放射性核素的摄入。

2.4 参考水平

(17)参考水平已在ICRP第26号出版物 (ICRP, 1977a) 中加以叙述："对于在辐射防护计划中测定的任一种量，都可以建立参考水平，不管这些量是否设有限值。参考水平不是一种限值，它的用途是当某一个量的数值超过或预计超过参考水平时，决定采取某种行动。需要采取的行动可以从仅仅把数据记录下来，或者进一步调查原因与后果，一直到采取干预行动。在制定参考水平时，重要的是要规定行动的大致范围，最常用的参考水平的形式是记录水平，调查水平和干预水平。

2.5 调查水平

(18)调查水平是待积剂量当量或摄入量的一个数值，超过这一数值的结果被认为足够重要，应当进一步调查。在本报告中，对每一种放射性核素单独计算了调查水平。对于常

其中t_0是摄入时刻，$\dot{H}(t)$是一个器官或组织在t时刻所受的剂量当量率。

待积有效剂量当量（$H_{E,50}$）

是摄入某一放射性核素对各组织产生的待积剂量当量乘以相应的权重因子（w_T）后相加而得的总和。

沉积几率（在肺区）

是被吸入的某种气溶胶的活度或质量沉积在特定肺区内的分数。

排出（Elimination）

是通过尿、粪便、汗水或呼出气从体内清除物质的过程。排泄(Excretion) 通常是指通过尿或粪便的排出。

排泄函数

是描述每天经由尿或粪便排出的物质数量与时间的关系的一个函数。

生物半排期（T_b）

是在一个隔室、一个器官或全身内的物质数量由于生物过程而排出一半所需的时间。

物理半衰期（T_R）

是某一放射性核素的活度由于放射性衰变而失去一半所需的时间。

有效半减期（T_e）

是在一个隔室、一个器官或全身内的某一放射性物质由于生物排出和放射性衰变的联合作用而减少一半所需的时间。

$$\frac{1}{T_e}=\frac{1}{T_b}+\frac{1}{T_R}$$

需要全本请访问 www.ertongbook.com

摄入量

是通过吸入、食入或皮肤而引入体内的物质数量。

调查水平（此处用于放射性核素摄入量）IL

是待积剂量当量或摄入量的水平，超过这个水平时，其结果被认为足够重要，应当进一步调查。调查水平可以针对常规监测(IL_R)，也可以针对特殊或操作监测（IL_S）。导出调查水平DIL_R和DIL_S是对应于调查水平IL_R和IL_S的体内或器官内的含量或排出速率的数值；这些数值是根据摄入、沉积、吸收、滞留和排出的一定模式计算出来的。

肺类别（D，W或Y）

是根据从呼吸道的肺区廓清的速率对被吸入的物质所作的分类。

个人监测

是由于与估算放射性物质的摄入量有关的理由，对全身、身体一部分、从身体排出的物质中的活度或空气中的活度进行的测量。监测这一术语也包括对测量结果的解释。常规监测是在正常运行中每隔一定时期进行的监测。

特殊监测是实际发生或怀疑发生异常情况时进行的监测。

操作监测是与某些操作关联的监测。

验证性监测是在工作人员极少可能遇到显著摄入量的场合下进行的监测，其目的是要证明情况是令人满意的。

记录水平（此处用于放射性核素摄入量）RL

是待积剂量当量或摄入量的水平，超过这个水平时，其结果足以引起关心，值得记录存档，并加说明。记录水

平可以针对常规监测（RL_R），和特殊监测或操作监测（RL_S）。导出记录水平DRL_R和DRL_S是对应于记录水平RL_R和RL_S的体内或器官内的含量或排出速率的数值；这些数值是根据摄入、沉积、吸收、滞留和排出的一定模式计算出来的。

参考人

是具有ICRP“参考人”工作组的报告中（ICRP，1975）所规定的解剖学和生理学特征的人体。

滞留量（retention）

是在摄入、沉积或吸收后的给定时刻沉积在一个隔室、一个器官或全身内的物质的数量。

滞留函数（retention function）

是描述滞留量与时间的关系的一个函数。

吸收量（uptake）

是吸收到细胞外体液中去的物质数量。它通常表示为吸收来源的那个器官内的沉积量的一个分数。

符号一览表

符号	量	单位
$\dot{a}^{1}(t)$	每单位摄入量的吸收速率，作为单次摄入后的时间 t 的函数	Bqd^{-1}每Bq摄入量
B	作为下角标，表示"生物学"(Biological)的意思，亦即表示所描述的参数是针对稳定元素的	
$\dot{e}^{s}_{0}(t)$	每单位吸收量的周身性起源的总排泄速率，作为吸收后的时间t的函数	Bqd^{-1}每Bq吸收量
$\dot{e}^{s}_{u}(t)$	每单位吸收量的尿排泄速率，作为吸收后的时间 t 的函数	Bqd^{-1}每Bq吸收量
$\dot{e}^{s}_{sf}(t)$	每单位吸收量的周身性起源的粪便排泄速率，作为吸收后的时间t的函数	Bqd^{-1}每Bq吸收量
$\dot{e}^{i}_{0}(t)$	每单位摄入量的周身性起源的总排泄速率，作为单次摄入后的时间t的函数，	Bqd^{-1}每Bq摄入量
$\dot{e}^{i}_{u}(t)$	每单位摄入量的尿排泄速率，作为单次摄入后的时间	Bqd^{-1}每Bq摄入量

	t的函数	
$\dot{e}^{i}_{s,f}(t)$	每单位摄入量的周身性起源的粪便排泄速率，作为单次摄入后的时间t的函数	Bqd^{-1}每Bq摄入量
$\dot{e}^{i}_{d,f}(t)$	每单位摄入量的直接粪便排泄速率，作为单次摄入后的时间t的函数	Bqd^{-1}每Bq摄入量
$\dot{e}^{i}_{f}(t)$	每单位摄入量的总粪便排泄速率，作为单次摄入后的时间t的函数	Bqd^{-1}每Bq摄入量
$E_u(t)$	在t时刻测量出的每日尿中排泄量	Bqd^{-1}
$E_f(t)$	在t时刻测量出的每日粪便中排泄量	Bqd^{-1}
f_f	周身性起源的排泄量经由粪便的分数	
f_u	周身性起源的排泄量经由尿的分数	
f_t	稳定元素在转移至胃肠道之后到达体液的分数	
I	摄入量	Bq
$m(t)$	每单位摄入量在摄入后t时刻预期在器官、全身或每日排泄量中的活度	Bq每Bq摄入量，或Bqd^{-1}每Bq摄入量
$M(t)$	在t时刻测量出的器官、全身或每日排泄量中的活度	Bq或Bqd^{-1}
$r^{s}_{s}(t)$	每单位吸收量的周身性滞留	Bq每Bq吸收量

	量，作为吸收后的时间 t 的函数	
$r^a_o(t)$	每单位吸收量的器官滞留量，作为吸收后的时间 t 的函数	Bq每Bq吸收量
$r^i_{wb}(t)$	每单位摄入量的全身滞留量，作为单次摄入后的时间 t 的函数	Bq每Bq摄入量
$r^i_s(t)$	每单位摄入量的周身性滞留量，作为单次摄入后的时间 t 的函数	Bq每Bq摄入量
$r^i_o(t)$	每单位摄入量的器官滞留量，作为单次摄入后的时间 t 的函数	Bq每Bq摄入量
$R_{wb}(t)$	测量出的在 t 时刻的全身活度	Bq
$R_o(t)$	测量出的在 t 时刻的器官活度	Bq
T	监测周期	d
T_i	在隔室 i 的滞留半减期	d
λ_i	隔室 i 的速率常数	d^{-1}
λ_{SI}	从小肠向体液的转移速率常数	d^{-1}*

---

* 上面列出的符号及其角标取义于英语，为了便于识别，现将它们所代表的意义用汉英对照的形式综述于下。

量的符号：

E　排泄量 (excretion)

e　排泄速率 (excretion rate)

r　滞留量 (retention) (已归一化)

R　滞留量 (retention)

上角标：

i　摄入 (intake)

a　吸收 (absorption，即uptake)

下角标：

wb　全身 (whole body)

o　器官 (organ)

s　周身性 (systemic)

u　经由尿 (urinary)

f　经由粪便 (faecal)

sf　周身性起源经由粪便 (systemic faecal)

df　直接经由粪便 (direct faecal)

SI　小肠 (small intestine)

需要全本请访问 www.ertongbook.com