

(续)

中国核工业三十年 辐射环境质量评价 文集

潘 自 强 主 编



原子能出版社

内 容 简 介

本书收入了核工业生产单位和研究院、所的辐射环境质量评价研究报告。本书是《中国核工业三十年辐射环境质量评价文集》一书的续集。全套书较系统和全面地反映了核工业有关生产单位和研究院、所30年的辐射环境质量状况。

本书内容丰富，具有宝贵的科学价值，可供从事核能和环保工作的领导、管理人员和科技人员参考，也可供高等院校有关专业教师参考。

中国核工业三十年 辐射环境质量评价文集（续）

（内部资料）

潘自强 主编

责任编辑 韩国光

李 钺

原子能出版社出版

（内部发行）

☆

开本787×1092¹/₃₂ · 印张16.5 · 字数400千字
1990年8月北京第一版 · 1990年8月北京第一次印刷

书号：5022·内29

定价：16.55元

《中国核工业三十年辐射环境质量评价文集》

编 辑 委 员 会

主 编

潘 自 强

副 主 编

王志波 陈竹舟 张永兴

编 委

(按姓氏笔画排列)

王志波 吕中兴 邢世雄

刘雪涛 孙维藩 任镜喧

吴卫红 张永兴 陈竹舟

杨启烈 肖宝鑫 吴浩林

范 宇 栾 弘 徐树林

高起发 耿耀东 韩国光

谢建伦 潘自强 潘英杰

前 言

中国核工业自1955年创业,迄今已历经30多年了。对核工业30年来的环境质量进行全面总结,对进一步研究和制定环境保护工作的战略目标、工作重点和管理措施是十分必要的。

对30年辐射环境质量进行全面评价,标志着中国核工业环境保护工作进入了一个新的阶段。这项工作对加强国际科技交往有重要意义,对我国核电事业的发展将起着有力的推动作用。

核工业辐射环境质量评价工作已进行了7年。其主要工作包括编写《核工业环境保护》试用教材、培训技术干部,成立专业技术组织;调研有关国外辐射环境评价资料、制定评价方案、编制《辐射环境质量评价纲要》、研究技术课题、统一比对分析测量方法;进行评价试点、组织评价现场技术交流、选择模式参数、开发剂量估算计算机程序、进行计算机程序质量检验;调查污染源项、分析源项数据、整理历年环境监测数据;收集和整理有关水文、气象、人口、食谱等环境数据与资料;编写审定各单位的评价报告等。据统计,现已获得500多万字的各类技术资料。

核工业辐射环境质量评价是在调查、研究、总结大量实际资料的基础上,采用统一推荐的剂量估算模式参数,对核工业部各生产、科研单位的环境质量作出的定量客观评价。

评价区是以排放点为圆心、以80km为半径,划分12个同心圆、16个方位、192个子区,评价核素有20种。评价地区包括四川、青海、甘肃、陕西、贵州、广东、江西、湖南、浙江、河北、辽宁、北京、天津、内蒙古等14个省市自治区,覆盖面积约60万km²,统计计算了数百万个数据。通过7条照射途径给出了评价区范围内的最大个人有效剂量当量和集体有效剂量当量,对关键核素、关键途径、关键居民组进行了具体分析,并提出了保持良好环境质量的最优化措施。

为了进一步组织成果的交流 and 推广,建立成果档案和数据库,并为做好今后各年度的辐射环境质量评价提供借鉴,我们决定编辑出版《中国核工业三十年辐射环境质量评价文集》。这些成果是核工业部广大科技人员和工人辛勤劳动的结晶,是中国核工业的宝贵财富。

世界各国有核国家继美国60年代初发表的辐射环境报告之后,也陆续公开发表了本国的辐射环境状况的年度评价。中国核工业辐射环境质量评价工作起步较晚,此次将30年的评价资料编辑出版,在我国还是第一次。收入文集的论文虽然经过多次修改、审定,但由于水平所限,错误和不妥之处在所难免,希望广大读者提出宝贵意见。

参加核工业辐射环境质量评价工作的单位有核工业部所属生产厂、矿26个,研究院、所7个。核工业部矿冶局、湖南矿冶局、江西矿冶局、广东矿冶局、四川核工业局参加了有关的组织协调工作。核工业部科学技术委员会安防卫生专业组和核工业部安防局环保处,在评价各阶段工作中发挥了技术指导作用。核工业部环境保护科技情报网对评价工作提供了大量有价值的情报资料。

核工业部科学技术司、中国原子能科学研究院、核工业部辐射防护研究所、核工业部科

学技术情报研究所、核工业部第二研究设计院、核工业部第四研究设计院、核工业部华清环境保护技术公司等单位对有关工作给予了大力支持和热情帮助。李德平先生对本工作给予了指导并提出了许多宝贵意见。卢荣光同志对本书稿进行了审阅。夏益华、刘书田、叶维荣等同志审查了部分论文初稿，在此一并致谢。

核工业部科学技术委员会
核工业部安全防护卫生局
1987年8月26日于北京

目 录

前 言

西南工程物理研究院第二研究所辐射环境质量评价.....	(1)
国营二〇二厂辐射环境质量评价.....	(21)
天然铀燃料元件生产厂辐射环境质量评价.....	(45)
核动力堆燃料元件生产分厂辐射环境质量评价.....	(80)
国营五〇四厂辐射环境质量评价.....	(106)
国营八一四厂辐射环境质量评价.....	(140)
国营四〇四厂辐射环境质量评价.....	(162)
国营八二一厂辐射环境质量评价.....	(193)
国营二二一厂辐射环境质量评价.....	(218)
国营九〇三厂辐射环境质量评价.....	(237)

西南工程物理研究院第二研究所

辐射环境质量评价

邢世雄

本报告介绍了我所建所以来的辐射环境质量状况。通过对环境监测数据的处理和异常现象的分析,说明外界核试验和核事故是造成污染的主要原因,常规工况下未对环境造成显著影响。利用统一的模式和参数进行的剂量当量估算表明,在距烟囱80km范围内,常规工况下放射性流出物使居民接受的年集体有效剂量当量在 $0.15 \sim 24.8 \text{人} \cdot \text{mSv}$ 的范围内,年最大个人有效剂量当量为 $7.10 \times 10^{-6} \sim 6.63 \times 10^{-6} \text{Sv}$,均远远低于国家规定的居民个人的年剂量限值。

1. 单位概况

我所是军工设计研究单位,1976年正式投产。核设施的运行和实验室的使用有两个特点:一是间断性,一是操作核素种类多,但量较少。因此,本所生产中排入环境的放射性流出物也较少。

2. 环境介质中放射性水平监测

2.1 环境状况与监测方案

本所地处深山河谷地带。1985年气象观测结果如下:大气压91kPa;年降雨量1400~1600mm;日照率15%,年均气温11.7℃;年均相对湿度90.6%;年均风速0.8m/s;主导风频(西风)7.8%;静风频率51%。以上气象参数表明,本地区潮湿多雨,静风频率高,风速小,日照率低,不利于扩散和排放。

本所西北方向是高山和森林,居民稀少;东南方向是河谷山丘区,居民较多。整个地形成为西北向东南倾斜的态势。

表2.1 辐射环境监测方案

监测项目	监 测 区			
	所 环 境 区		所 外 环 境 区	
	取 样 周 期	布 点 数	取 样 周 期	布 点 数
河水	月	4	半年	3
沉降物	月	3	—	—
农作物	年	6	年	6
空气中和水中氡	月或季	5	半年	2
γ 贯穿辐射	年	8	年	6
放射性气体	不定期	2	—	—

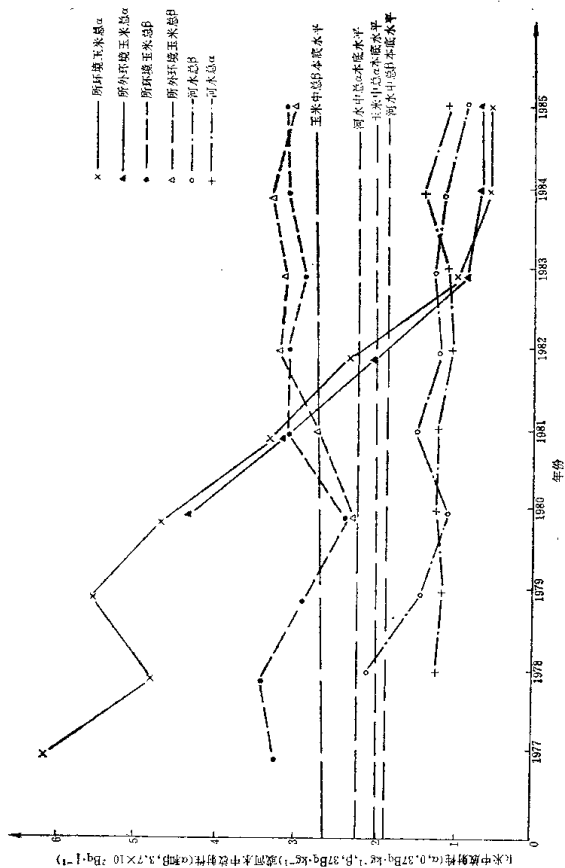


图2.1 河水、玉米中 α 、 β 放射性水平随年份的变化

淮水河枯水期流量为 $0.5\text{m}^3\cdot\text{s}$ ，洪水季节为 $50\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ，水力坡度为 $1\sim 2\%$ 。在河流下游，部分居民饮用河水，也利用河水灌溉大量农田。

我所开工前对所在地区进行了放射性本底调查，为开工后生产提供了安全评价的背景数据。开工后制定了较完善的环境监测方案，获取了环境中放射性水平变化的信息。

整个所区环境 40km 范围可划分成所环境区 (3km 范围) 和所外环境区 (最远 40km)。所环境区布点于所区烟囱下风向、主要污染源周围以及生活区。所外环境区布点主要集中在东南方向居民区。取样周期和监测项目见表 2.1。

2.2 主要环境介质中放射性水平和变化趋势

河水中总 α 、总 β 放射性水平随年份的变化见图 2.1。从图中数据可以看出：

(1) 河水中总 α 随年份没有显著变化，而总 β 随年份有下降的趋势，但并不显著。说明近 20 年河水中放射性水平没有显著变化。

(2) 玉米样品中 α 放射性水平逐年下降 (从 2.3 降到 $0.2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)，而总 β 变化不明显。由于总 β 中主要是 ^{40}K 的贡献，人工放射性核素的变化被掩盖了，而总 α 放射性的变化才有可能真实地反映环境水平的变化。同时可以看出，虽然所环境和所外环境的总 α 水平随年份有相似关系，但两者相比 (1983 年以前)，前者略高些。这种差别可能与我所放射性操作有关。

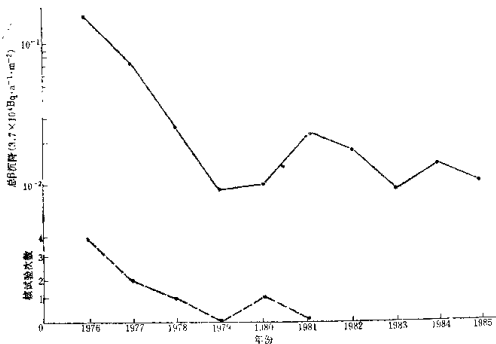


图 2.2 所环境年总 β 沉降量、核试验次数与年份的关系曲线

大气沉降物中 β 放射性年沉降量随年份的变化示于图 2.2。从图 2.2 可以看出，几年来出现了几次沉降异常的现象。现将其对环境的影响和产生的原因讨论如下：

(1) 总 β 沉降量与外界核试验的关系：厂区放射性年总 β 沉降量、核试验次数与年份的关系曲线如图 2.2 所示。由曲线可以看出，年总 β 沉降量逐年在下降，1979 年达到最小，1981 年出现了沉降高峰，1982 年有所下降，1983 年开始在 1979 年沉降水平上下波动。将年沉

降量与逐年的试验次数进行相关分析,表明在99%置信限下两者是相关的,说明沉降物数量的变化与核试验相关。1981年以后我国已停止了大气层核试验,但1981年出现了年沉降量高峰。

(2) 1981年沉降物中异常现象的分析:从图2.2中看出,1981年未进行核试验,但明

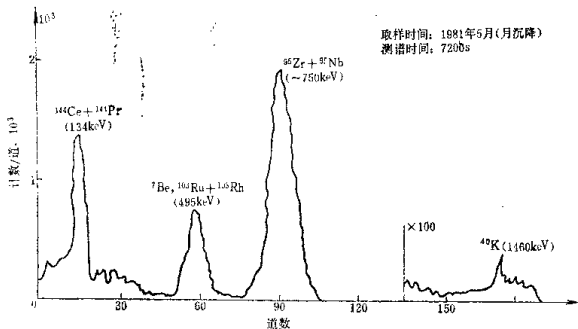


图2.3 1981年5月异常沉降样品的 γ 谱

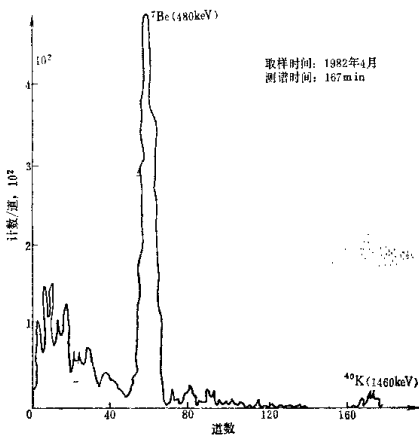


图2.4 常规正常沉降样品的 γ 谱

显的出现沉降量高峰。当时实测的沉降样品的 γ 谱如图2.3所示。 γ 谱中明显的存在 ^{90}Zr - ^{90}Nb , ^{103}Ru - ^{103}Rh 等半衰期为几十天的裂变产物, 这样高水平的沉降持续了3个月(4~6月)。常规正常沉降样品的 γ 谱如图2.4所示。该 γ 谱只有 ^7Be 和 ^{40}K 存在。 ^7Be 是由宇宙射线在大气中发生的核反应产生的, 其沉降量与雨量的大小有关, 是沉降物中天然本底的主要来源之一。沉降样中正常与异常 γ 谱相比较, 差别是明显的。此外, 1981年4月的平均总 β 沉降为 $7.6\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 而1982年4月平均总 β 沉降为 $1.1\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 两者之比为7:1。据调查, 当时所内各工号没有操作大量的裂变产物, 本所流出物污染的可能性不大。文献[1]报道了中国核试验对环境污染的研究报告, 认为1981年4月世界性的核沉降, 是1980年10月中国核试验后由大气回流的二次沉降造成的。

(3) 核事故对环境的影响: 1982年我所发生了一次核事故。图2.5表示核事故后的沉降物的 γ 谱。谱中主要核素是半衰期为几小时至几十小时的裂变产物。事故月份的总 β 沉降量比往年同月份沉降增加了5倍, 使年总 β 沉降量也相应比往年高, 是1979年或1983年沉降量的2倍。但核事故对年沉降量的影响, 与核试验结果相比则很小: 1982年的年沉降量仅是1976年沉降量的十分之一。

上述异常沉降现象的分析表明, 沉降异常主要是核试验或核事故造成的, 常规工况下, 本所现有的生产规模, 对环境未造成显著影响。

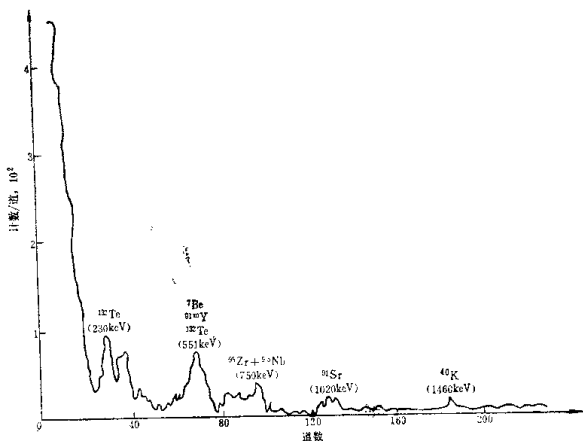


图2.5 核事故后所区沉降样品的 γ 谱

3. 放射性流出物监测与剂量估算模式

3.1 烟囱放射性流出物监测与废水排放

核反应堆运行与放射性同位素生产是我所环境污染的主要来源。我们在540°排放中心(堆与同位素生产的排放烟囱)建立了放射性总排放量监测站。每月在反应堆开堆和同位素生产期间连续监测烟囱废气的总排放量;利用活性炭滤纸连续收集 ^{131}I 样品;用流气 β 闪烁计数器连续记录 ^{41}Ar 排放水平;测量放射性的同时,利用热敏电阻补偿方法测量烟囱里的气体排放量。监测实现了遥测遥控; ^{131}I 的测量采用手动和自动两套系统同时进行, ^{41}Ar 和烟囱总流量测量利用单板机控制,实现了连续自动测量,从而保证了测量的质量和连续性。

加速器运行和氚靶生产中 ^3H 的排放是环境污染的另一个来源。目前,加速器广泛应用散热性能好的铜靶靶和钛泵系统, ^3H 的释出量比过去大为减少。氚靶生产中,分装 1×10^{12} Bq级以上 ^3H 的工艺流程的改进,使排入环境中的剩余 ^3H 量减少到 1×10^7 Bq级水平。总之,由于防护水平的提高,常规工况下, ^3H 对环境的污染的可能性大大降低。

我所在科生产产生了少量的放射性废水,年平均120~150t。产生的废水经废水处理达到一定排放控制标准后,排入两个500t大罐贮存,待每年洪峰期排入淮水河。排放前,对大罐中的废水进行总放射性、 γ 谱分析和总氚量记录,计算出各种核素的总排放量。

3.2 源项数据的估算

利用总排放量监测和其他估算方法,我们获得了历年的气态流出物的源项数据,其结果列入表3.1。表中 ^3H 是通过实验测定并结合 ^3H 的总操作量综合考虑而确定的,其误差较大。由于 ^3H 对环境中的集体有效剂量当量的贡献相比 ^{131}I 是很少的,因此 ^3H 源项数据的不确定性,对总结果影响不大。 ^{131}I 和 ^{41}Ar 是直接测量值,其结果准确可靠。

表3.1 烟囱中气态流出物的放射性核素年排放量(Bq)

年 份	^3H	^{131}I	^{41}Ar
1980	—	—	5.01×10^{11}
1981	—	2.89×10^9	3.25×10^{12}
1982	2.51×10^{11}	6.77×10^9	5.28×10^{12}
1983	7.90×10^{11}	1.11×10^{10}	4.80×10^{12}
1984	1.55×10^{12}	3.70×10^{10}	4.40×10^{12}
1985	1.25×10^{12}	1.10×10^{10}	3.30×10^{12}
1986	6.48×10^{11}	5.92×10^9	6.03×10^{12}

表3.2 液态流出物的放射性核素排放量(Bq·a $^{-1}$)

年 份	$^{235}\text{U}^*$	^{137}I	^{137}Cs	^{60}Co
1977	1.52×10^4	—	—	—
1980	8.36×10^4	—	—	—
1981	9.40×10^3	—	3.30×10^5	—
1982	5.07×10^3	9.10×10^5	6.50×10^4	—
1985	—	4.06×10^6	1.94×10^4	4.44×10^5

* 铀核化铯,比放射性为 $1.27 \times 10^{-5} \text{Bq} \cdot \mu\text{g}^{-1}$

表3.2列出了液态流出物的源项数据。本所使用的铀材料系贫化铀。铀的数据是放化分析的结果,其他核素的放射性活度由低水平 γ 谱仪测量而得。

3.3 剂量估算模式

3.3.1 气态流出物的扩散模式

根据环境的地形地貌,将80km范围分为两个区段:深山河谷区(0~20km)和平原丘

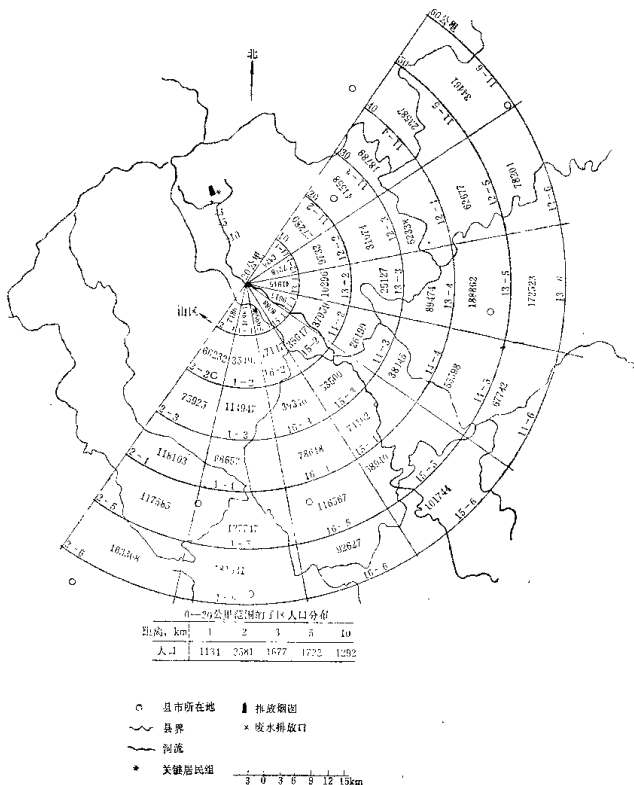


图3.1 环境评价子区划分图

陵区 (20~80km)。根据两大区的地形特点, 选择相应的计算模式。

我所厂址处于深山河谷地区, 整个山谷北临大山, 山后进入原始森林区, 山谷东西走向, 气流走向基本上沿山谷而行。虽然排放烟囱口与河谷底相距 145m, 但大气扩散实验表明, 排放烟羽仍然未穿过坡风厚度, 出现烟肉附近污染严重的现象。我们拟定: 0~3km 范围, 烟羽扩散形式直接采用本地区 SF₆ 示踪大气扩散试验的结果; 3~20km 范围, 利用均匀混合的箱式模式估算。而且认为, 烟羽的影响范围只限于河谷附近, 人口稀少的非河谷区的影响可忽略。

平原与丘陵区 (20~80km), 我们选用高斯扩散模式进行大气扩散因子估算。烟羽出山后, 考虑到山的屏蔽作用, 仅在 2 π 方向划分评价子区。子区的划分和各子区的人口分布见图 3.1。

3.3.2 液态流出物的稀释模式

废水排放是在每年的洪峰期进行 (约 3~4h 排完)。我们选用横向混合均匀的瞬间排放模式进行河中核素积分浓度的计算^[2]。河水流经 20km 后, 河水中放射性核素基本混合均匀, 其核素的积分浓度 $C(X)$ 用下式表示:

$$C(X) = (F_{20}/F_x) C_{20} \exp(-\lambda x/u) \quad (3.1)$$

式中, F_{20} 和 F_x 分别为流经 20km 处和 x km 处的河水流量, m^3/s ; C_{20} 为 20km 处河水中核素积分浓度; λ 为核素的物理衰变常数; x 为以 20km 处为原点的距离, m; u 为河水流速, m/s。

4. 剂量当量估算

利用源项数据和上述的剂量估算模式, 进行了 80km 范围内的剂量当量估算。用 F77 语言编写了计算机程序, 其程序可参见文献[3]。计算是在 PDP11/70 型计算机上完成的。

4.1 气态流出物产生的剂量估算

4.1.1 代表年 (1984 年) 的剂量估算

1984 年是烟肉中排放放射性流出物对居民的辐射影响最显著的一年。以下将详细讨论该年度的剂量估算结果。

(1) 各子区年龄组的个人剂量当量 全身和甲状腺的个人剂量值列入表 4.1 和 4.2 中。从表中数据可以看出以下特点: 随着离排放点的距离增加, 个人剂量当量减小; 幼儿组接受

表 4.1 0~20km 处全身和甲状腺的年有效剂量当量 (Sv)

器官	方向	年龄组	距离, km					
			1	2	3	5	10	20
全身	16	幼少成	0.659 E-05	0.193 E-05	0.110 E-05	0.717 E-06	0.417 E-06	0.237 E-06
			0.416 E-05	0.115 E-05	0.641 E-06	0.438 E-06	0.277 E-06	0.175 E-06
			0.231 E-05	0.605 E-06	0.328 E-06	0.232 E-06	0.153 E-06	0.985 E-07
甲状腺	16	幼少成	0.941 E-04	0.276 E-04	0.157 E-04	0.104 E-04	0.637 E-05	0.407 E-05
			0.703 E-04	0.197 E-04	0.110 E-04	0.764 E-05	0.505 E-05	0.357 E-05
			0.619 E-04	0.181 E-04	0.103 E-04	0.684 E-05	0.416 E-05	0.263 E-05

表4.2 20—80km处全身和甲状腺的年有效剂量当量 (Sv)

器官	年龄组	方向	距离, km					
			10	20	30	40	50	60
全身	儿童	11	0.629 E-07	0.208 E-07	0.120 E-07	0.835 E-08	0.639 E-08	0.515 E-08
		12	0.696 E-07	0.213 E-07	0.123 E-07	0.857 E-08	0.656 E-08	0.529 E-08
		13	0.436 E-07	0.115 E-07	0.616 E-08	0.414 E-08	0.310 E-08	0.245 E-08
		14	0.541 E-07	0.151 E-07	0.857 E-08	0.589 E-08	0.446 E-08	0.356 E-08
		15	0.976 E-07	0.302 E-07	0.175 E-07	0.123 E-07	0.941 E-08	0.759 E-08
		16	0.128 E-06	0.399 E-07	0.232 E-07	0.163 E-07	0.125 E-07	0.101 E-07
	少年	11	0.361 E-07	0.110 E-07	0.631 E-08	0.440 E-08	0.356 E-08	0.271 E-08
		12	0.367 E-07	0.112 E-07	0.644 E-08	0.449 E-08	0.341 E-08	0.277 E-08
		13	0.237 E-07	0.622 E-08	0.333 E-08	0.224 E-08	0.168 E-08	0.132 E-08
		14	0.290 E-07	0.820 E-08	0.457 E-08	0.313 E-08	0.237 E-08	0.189 E-08
		15	0.515 E-07	0.159 E-07	0.921 E-08	0.641 E-08	0.493 E-08	0.398 E-08
		16	0.672 E-07	0.209 E-07	0.121 E-07	0.831 E-08	0.652 E-08	0.527 E-08
	成人	11	0.168 E-07	0.505 E-08	0.289 E-08	0.201 E-08	0.154 E-08	0.124 E-08
		12	0.170 E-07	0.513 E-08	0.294 E-08	0.205 E-08	0.157 E-08	0.126 E-08
		13	0.113 E-07	0.292 E-08	0.155 E-08	0.104 E-08	0.775 E-09	0.610 E-09
		14	0.136 E-07	0.381 E-08	0.211 E-08	0.144 E-08	0.109 E-08	0.868 E-09
		15	0.236 E-07	0.729 E-08	0.421 E-08	0.291 E-08	0.225 E-08	0.181 E-08
		16	0.309 E-07	0.956 E-08	0.534 E-08	0.388 E-08	0.297 E-08	0.249 E-08
甲状腺	儿童	11	0.951 E-06	0.291 E-06	0.168 E-06	0.117 E-06	0.899 E-07	0.724 E-07
		12	0.972 E-06	0.298 E-06	0.172 E-06	0.120 E-06	0.920 E-07	0.741 E-07
		13	0.613 E-06	0.163 E-06	0.882 E-07	0.595 E-07	0.446 E-07	0.352 E-07
		14	0.758 E-06	0.217 E-06	0.121 E-06	0.835 E-07	0.633 E-07	0.505 E-07
		15	0.136 E-05	0.423 E-06	0.246 E-06	0.172 E-06	0.132 E-06	0.106 E-05
		16	0.178 E-05	0.537 E-06	0.324 E-06	0.227 E-06	0.174 E-06	0.141 E-06
	少年	11	0.621 E-06	0.190 E-06	0.110 E-06	0.766 E-07	0.586 E-07	0.472 E-07
		12	0.632 E-06	0.194 E-06	0.112 E-06	0.780 E-07	0.597 E-07	0.481 E-07
		13	0.409 E-06	0.110 E-06	0.593 E-07	0.400 E-07	0.300 E-07	0.237 E-07
		14	0.500 E-06	0.143 E-06	0.803 E-07	0.552 E-07	0.418 E-07	0.333 E-07
		15	0.866 E-06	0.275 E-06	0.160 E-06	0.112 E-06	0.856 E-07	0.691 E-07
		16	0.116 E-05	0.361 E-06	0.210 E-06	0.147 E-06	0.113 E-06	0.912 E-07

续表

器官	年龄组	方向	距离, km					
			10	20	30	40	50	60
甲状腺	成人	11	0.630 E-06	0.193 E-06	0.111 E-06	0.778 E-07	0.595 E-07	0.480 E-07
		12	0.644 E-06	0.197 E-06	0.114 E-06	0.796 E-07	0.610 E-07	0.491 E-07
		13	0.406 E-06	0.108 E-06	0.583 E-07	0.393 E-07	0.295 E-07	0.233 E-07
		14	0.502 E-06	0.144 E-06	0.804 E-07	0.552 E-07	0.419 E-07	0.334 E-07
		15	0.903 E-06	0.280 E-06	0.163 E-06	0.114 E-06	0.874 E-07	0.705 E-07
		16	0.118 E-05	0.369 E-06	0.215 E-06	0.151 E-06	0.116 E-06	0.934 E-07
全身	幼儿	1	0.111 E-06	0.339 E-07	0.195 E-07	0.136 E-07	0.104 E-07	0.840 E-08
		2	0.109 E-06	0.220 E-07	0.177 E-07	0.122 E-07	0.926 E-08	0.741 E-08
	少年	1	0.588 E-07	0.178 E-07	0.103 E-07	0.715 E-08	0.547 E-08	0.440 E-08
		2	0.574 E-07	0.114 E-07	0.930 E-08	0.641 E-08	0.487 E-08	0.389 E-08
	成人	1	0.272 E-07	0.819 E-08	0.469 E-08	0.327 E-08	0.250 E-08	0.201 E-08
		2	0.266 E-07	0.632 E-08	0.428 E-08	0.293 E-08	0.222 E-08	0.178 E-08
甲状腺	幼儿	1	0.155 E-05	0.475 E-06	0.274 E-06	0.191 E-06	0.146 E-06	0.118 E-06
		2	0.152 E-05	0.309 E-06	0.248 E-06	0.171 E-06	0.130 E-06	0.104 E-06
	少年	1	0.101 E-05	0.309 E-06	0.178 E-06	0.124 E-06	0.950 E-07	0.765 E-07
		2	0.989 E-06	0.197 E-06	0.163 E-06	0.112 E-06	0.847 E-07	0.678 E-07
	成人	1	0.103 E-05	0.315 E-06	0.181 E-06	0.127 E-06	0.969 E-07	0.780 E-07
		2	0.101 E-05	0.240 E-06	0.164 E-06	0.113 E-06	0.882 E-07	0.690 E-07

的个人剂量当量最大,其次为少年组。

(2) 最大受照居民组的剂量当量 通过计算机筛选出各子区中有效剂量当量最大的子区和年龄组:关键居民组在山谷区1km范围内子区,年龄为幼儿,其最大个人有效剂量当量为 $6.6 \times 10^{-6} \text{ Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

最大受照居民组中,各种核素和途径对剂量的贡献列于表4.3。从表中数据可看出如下结果:最大个人有效剂量当量($H_{\text{eff, ind}}$)中 ^{131}I 的贡献在89.4%以上。因此 ^{131}I 是主要核素。从照射途径分析,食入途径占 $H_{\text{eff, ind}}$ 的82%以上,因此食入是居民接受剂量的主要途径。对甲状腺的照射,主要核素仍然是 ^{131}I ,主要途径是食入。

(3) 集体有效剂量当量 80km范围12个子区环上的全身和甲状腺接受的集体有效剂量当量列入表4.4。从表中数据可得如下结果:山谷区(0~20km)的年集体有效剂量当量为 $8.23 \times 10^{-2} \text{ 人} \cdot \text{Sv}$,占80km范围年总有效剂量当量($2.47 \times 10^{-2} \text{ 人} \cdot \text{Sv}$)的1/3,平原区(20~80km)人口占80km范围总人口的99.7%,年集体有效剂量当量为 $1.65 \times 10^{-2} \text{ 人} \cdot \text{Sv}$,

占80km范围总集体有效剂量当量的2/3。甲状腺的集体剂量也有类似结果。80km范围不同器官的年集体有效剂量当量：全身为 2.47×10^{-2} 人·Sv，甲状腺为0.557人·Sv。

表4.3 最大受照居民组中各种核素和途径对剂量的贡献（幼儿组）

核素与途径	年有效剂量当量, μSv		甲状腺年有效剂量当量, μSv	
	$H_{T, \text{max}}$	E, %	$H_{T, \text{max}}$	E, %
^3H	0.078	1.1	0.11	0.1
^{131}I	5.89	89.4	93.5	99.3
^{41}Ar	0.62	9.5	0.62	0.6
合 计	6.60	100	94.2	100
外照射	0.621	9.4	0.621	0.70
衰变沉积	0.045	0.7	0.045	0.05
吸入	0.518	7.9	18.6	19.7
食入	3.41	82.0	71.8	83.6
合 计	6.60	100	94.2	100

表4.4 80km范围12个子区环上的年集体有效剂量当量

器 官	核素	环 带, km						合 计
		0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	
全身, 人·Sv	^3H	0.981 E-04	0.463 E-04	0.144 E-04	0.117 E-04	0.111 E-04	0.105 E-04	8.23×10^{-3}
	^{131}I	0.306 E-02	0.207 E-02	0.771 E-03	0.518 E-03	0.232 E-03	0.136 E-03	
	^{41}Ar	0.703 E-03	0.306 E-03	0.876 E-04	0.798 E-04	0.354 E-04	0.238 E-04	
甲状腺, 人·Sv	^3H	0.137 E-03	0.738 E-04	0.229 E-04	0.235 E-04	0.176 E-04	0.168 E-04	0.171
	^{131}I	0.770 E-01	0.500 E-01	0.168 E-01	0.129 E-01	0.603 E-02	0.376 E-02	
	^{41}Ar	0.703 E-03	0.306 E-03	0.876 E-04	0.798 E-04	0.454 E-04	0.238 E-04	
器 官	核素	环 带, km						合 计
		20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	
全身, 人·Sv	^3H	0.129 E-04	0.992 E-05	0.868 E-05	0.786 E-05	0.847 E-05	0.788 E-05	16.5×10^{-3}
	^{131}I	0.316 E-02	0.310 E-02	0.284 E-02	0.242 E-02	0.246 E-02	0.240 E-02	
	^{41}Ar	0.645 E-04	0.231 E-04	0.888 E-05	0.362 E-05	0.176 E-05	0.742 E-06	
甲状腺, 人·Sv	^3H	0.206 E-04	0.157 E-04	0.137 E-04	0.125 E-04	0.135 E-04	0.126 E-04	0.386
	^{131}I	0.738 E-01	0.736 E-01	0.687 E-01	0.570 E-01	0.579 E-01	0.566 E-01	
	^{41}Ar	0.645 E-04	0.231 E-04	0.888 E-05	0.362 E-05	0.176 E-05	0.742 E-06	