


# 中国辐射水平

ZHONGGUO FUSHE SHUIPING

潘自强 刘森林 等编著

 原子能出版社

# 中国辐射水平

潘自强 刘森林 等编著

原子能出版社



## 图书在版编目(CIP)数据

中国辐射水平/潘自强,刘森林等编著. —北京:原子能出版社,  
2010.1  
ISBN 978-7-5022-4779-9

I. 中… II. 潘… III. 辐射防护-中国 IV. TL7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 008314 号

## 内 容 简 介

《中国辐射水平》总结了我国近 50 年来有关中国辐射水平的主要成果。研究表明,在 2000 年左右我国公众所受最大剂量来自天然本底辐射,平均约为 3.1 mSv/a。公众所受最大人工照射为医疗照射,平均约为 0.21 mSv/a;其次为世界核武器实验引起的照射,平均约为  $6 \times 10^{-3}$  mSv/a;燃煤电站产生的照射约为  $2.3 \times 10^{-3}$  mSv/a。核电及其燃料循环产生的照射约为  $4 \times 10^{-6}$  mSv/a。到 2007 年底,我国放射性同位素和核技术应用事故导致人员因辐射致死人数为 10 人;核电站及其燃料循环未发生因辐射导致死亡的事。全书共分 6 章,第 1 章总论;第 2 章天然辐射源;第 3 章人为活动引起的公众照射;第 4 章职业照射;第 5 章医疗照射;第 6 章辐射事故照射。可供从事辐射与核安全、核工业、核电站、核和辐射技术应用及相关专业的工作人员、教师和研究人员参考。

## 中国辐射水平

---

总 编 辑 杨树录  
责任编辑 孙凤春  
责任校对 徐淑惠 冯莲凤  
责任印制 丁怀兰 潘玉玲  
印 刷 保定市 中画美凯印刷有限公司  
出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)  
经 销 全国新华书店  
开 本 787 mm×1092 mm 1/16  
印 张 20.25 字 数 502 千字  
版 次 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5022-4779-9 定 价 98.00 元

---

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: [atomep123@126.com](mailto:atomep123@126.com)

发行电话: 010-68452845

版权所有 侵权必究

# 《中国辐射水平》 编审委员会

主 编：潘自强

副主编：刘森林

委 员：(以姓氏笔画为序)

马吉增	马成辉	王仲文	任天山	刘 华
刘森林	刘福东	孙全富	苏 旭	李 夏
李俊杰	张 静	张良安	张海霞	陈晓秋
范深根	尚 兵	赵兰才	赵亚民	郝建中
修炳林	侯长松	宣义仁	潘 苏	潘自强
潘英杰				

# 《中国辐射水平》 编写组

第一章 潘自强 刘森林  
校者 刘 华  
第二章 潘自强  
校者 赵亚民  
第三章 陈晓秋 任天山 潘英杰 刘森林 徐翠华 赵 力  
姜子英  
校者 赵亚民  
第四章 马吉增 张良安 刘福东 尚 兵  
校者 刘森林  
第五章 苏 旭 赵兰才 侯长松 齐雪松 李开宝 岳保荣  
校者 张良安 王仲文  
第六章 范深根 张海霞  
校者 孙全富

编写工作得到了刘永德、杨大助的大力支持。

以下同志也先后参加了编写组的工作(以姓氏笔画为序):

王春红 杨连珍 岳 峰 郑钧正 诸洪达 商照荣 焦志娟

本研究工作得到国家国防科技工业局(原国防科学技术工业委员会),环境保护部(原国家环境保护总局),卫生部,国家自然科学基金委员会以及中国核工业集团公司的大力支持和资助。

# 目 录

<b>第一章 总 论</b> .....	(1)
1.1 天然辐射水平 .....	(1)
1.2 公众照射 .....	(3)
1.2.1 核试验 .....	(3)
1.2.2 核燃料循环 .....	(4)
1.2.3 放射性同位素应用 .....	(5)
1.2.4 核研究设施 .....	(6)
1.2.5 人为活动引起的天然辐射水平变化对公众产生的剂量 .....	(6)
1.2.6 公众剂量小结 .....	(7)
1.3 职业照射 .....	(8)
1.4 医疗照射 .....	(9)
1.5 事故照射的伤害 .....	(11)
1.6 结束语 .....	(11)
附件 1 中国参加 UNSCEAR 历届会议成员 .....	(13)
<b>第二章 天然辐射源</b> .....	(17)
2.1 宇宙辐射 .....	(17)
2.1.1 电离成分 .....	(17)
2.1.2 中子成分 .....	(18)
2.1.3 宇生放射性核素 .....	(18)
2.2 陆地 $\gamma$ 辐射 .....	(18)
2.2.1 室外环境 $\gamma$ 外照射辐射水平 .....	(19)
2.2.2 室内 $\gamma$ 外照射辐射水平 .....	(21)

2.3	氡、钍射气及其子体的水平 .....	(22)
2.3.1	室外氡、钍射气及其子体的水平 .....	(22)
2.3.2	室内氡、钍射气及其子体的水平 .....	(23)
2.4	环境介质和食品中天然放射性核素水平 .....	(24)
2.4.1	土壤中天然放射性核素活度浓度 .....	(24)
2.4.2	水体中天然放射性核素浓度 .....	(25)
2.4.3	食品和饮水中天然放射性核素活度浓度 .....	(26)
2.5	天然本底辐射对人体产生的剂量 .....	(27)
2.5.1	外照射剂量 .....	(27)
2.5.2	内照射剂量 .....	(27)
2.5.3	人体所受天然辐射的总剂量 .....	(28)
	参考文献 .....	(29)

### 第三章 人为活动引起的公众照射 .....

3.1	引言 .....	(32)
3.2	核试验 .....	(32)
3.2.1	核试验概况 .....	(32)
3.2.2	全球落下灰照射 .....	(37)
3.2.3	局部地区落下灰照射 .....	(76)
3.3	核燃料循环及核电生产 .....	(78)
3.3.1	铀矿开采和水冶 .....	(78)
3.3.2	铀转化生产 .....	(85)
3.3.3	铀同位素分离的环境影响 .....	(87)
3.3.4	核燃料元件制造 .....	(91)
3.3.5	核电站 .....	(98)
3.3.6	研究与开发 .....	(137)
3.3.7	固体废物的处置 .....	(146)
3.4	核与辐射技术应用 .....	(148)
3.4.1	核与辐射技术的医学应用 .....	(148)
3.4.2	其他应用 .....	(153)

---

3.5 人为活动引起公众天然辐射照射的变化 .....	(156)
3.5.1 引 言 .....	(156)
3.5.2 燃煤对公众引起的辐射照射 .....	(157)
3.5.3 其他人类活动引起的公众照射变化 .....	(161)
3.5.4 小 结 .....	(161)
3.6 结 论 .....	(162)
3.6.1 核试验 .....	(162)
3.6.2 核燃料循环及核电生产 .....	(163)
3.6.3 核与辐射技术应用 .....	(165)
3.6.4 人为活动引起公众天然辐射照射的变化 .....	(166)
参考文献 .....	(166)
<b>第四章 职业照射 .....</b>	<b>(170)</b>
4.1 引 言 .....	(170)
4.2 职业照射水平 .....	(171)
4.2.1 核工业 .....	(171)
4.2.2 医学职业照射 .....	(188)
4.2.3 工业探伤职业照射 .....	(202)
4.2.4 放射性同位素研制和生产的职业照射 .....	(205)
4.2.5 其他职业性照射 .....	(208)
4.3 人为活动引起的天然辐射职业照射 .....	(209)
4.3.1 引 言 .....	(209)
4.3.2 煤矿矿工职业照射水平 .....	(209)
4.3.3 有色金属矿矿工受射水平 .....	(212)
4.3.4 稀土矿 .....	(213)
4.3.5 其他人为活动引起的辐射水平增加 .....	(214)
4.3.6 机组人员的职业照射水平 .....	(220)
4.3.7 我国人为活动引起的天然辐射职业照射小结 .....	(224)
4.4 职业照射小结 .....	(225)
参考文献 .....	(233)



---

<b>第五章 医疗照射</b> .....	(239)
5.1 引言 .....	(239)
5.2 医疗照射概述 .....	(239)
5.2.1 医疗照射应用类型 .....	(239)
5.2.2 资料来源 .....	(240)
5.2.3 基本情况 .....	(241)
5.2.4 检查频度与剂量 .....	(243)
5.2.5 质量保证 .....	(246)
5.2.6 小结 .....	(246)
5.3 X射线诊断 .....	(247)
5.3.1 检查技术 .....	(247)
5.3.2 剂量测量 .....	(248)
5.3.3 检查频度 .....	(248)
5.3.4 剂量 .....	(251)
5.3.5 质量保证 .....	(256)
5.3.6 发展趋势 .....	(257)
5.3.7 小结 .....	(261)
5.4 核医学 .....	(262)
5.4.1 放射性药物的诊断性应用 .....	(262)
5.4.2 放射性药物的治疗性应用 .....	(273)
5.5 放射治疗 .....	(278)
5.5.1 中国放射治疗发展概况 .....	(278)
5.5.2 剂量学及其质量保证 .....	(278)
5.5.3 治疗频度 .....	(281)
5.5.4 发展趋势 .....	(282)
5.5.5 存在问题分析 .....	(284)
5.6 主要结论 .....	(286)
参考文献 .....	(287)

---

<b>第六章 辐射事故照射</b> .....	(294)
6.1 引 言 .....	(294)
6.2 核设施事故照射 .....	(294)
6.3 核与辐射技术应用中职业人员和公众受照事故 .....	(297)
6.3.1 放射源和放射性物质失控 .....	(298)
6.3.2 运行中的事故 .....	(301)
6.3.3 皮肤烧伤事故 .....	(305)
6.3.4 小结 .....	(306)
6.4 医疗照射中的事故照射 .....	(306)
6.5 其 他 .....	(308)
6.6 结束语 .....	(309)
参考文献 .....	(310)

# 第一章 总 论

自古以来人类就受到电离辐射的照射。19 世纪末居里夫人发现了天然放射性核素。20 世纪初科学家发现电离辐射对人体可能产生伤害作用。20 世纪 40 年代美国在研制原子弹的过程中,对电离辐射及其可能引起的危害有了较深入的了解。20 世纪 40 年代末期和 50 年代初期进行的大气层试验,引起了全世界公众的广泛关注。1965 年联合国第十届大会决定成立联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)。1986 年联合国大会决定委员会成员增加至 21 个,邀请中国作为成员国。

我国电离辐射水平与效应的研究工作,开始于 20 世纪 50 年代后期,随着核工业、放射性同位素和辐射应用的发展而壮大,成立了专门的研究机构。为监测和评价核试验的影响,20 世纪 60 年代初在全国设立了监测网。20 世纪 80 年代初,我国核电开始起步,人们开始关注核工业对环境和工作人员的影响,进一步开展了核工业和核技术应用的辐射水平、全国环境辐射水平、医疗照射水平与效应的研究。1987 年我国派魏履新(国家代表)、李德平和吴德昌代表中国参加 UNSCEAR 第 36 届会议(历届中国代表团国家代表和成员名单见附件 1),我国科技界在原子辐射水平与效应方面拓宽了一个新的交流领域,在 UNSCEAR 报告中反映我国研究成果的内容逐渐增多,我国参加会议成员也从交流中了解和学习了许多新的知识和经验。为了加强原子辐射水平与效应的研究工作,促进与 UNSCEAR 的交流,1999 年中国国家原子能机构(CAEA)成立了 UNSCEAR 国内专家组。专家组研究,为了适应我国核电、放射性同位素技术和国民经济的发展,有必要总结与研究我国近 50 年来原子辐射水平与效应的研究成果。这些成果的取得也有利于与国际同行的交流。由于人力和资源等条件的限制,现在首先出版《中国辐射水平》(2010 年)。中国电离辐射水平与效应中的效应部分正在研究之中,电离辐射水平的研究也是初步的,有许多问题也尚需进一步深化。

## 1.1 天然辐射水平

自古以来天然辐射无处不在,人类就无时无刻地不受到天然辐射的照射。天然辐射包括:来自外层空间的宇宙射线和地壳中的原生放射性核素。人们所受天然辐射照射的大小是与人类生活的地点和方式相关的。因此,人们所受天然辐射照射的大小也是随时间、地点和社会发展情况而变化的。

表 1-1 列出了天然辐射对我国公众产生的年有效剂量。由该表可以看出:我国公众现在所受天然辐射照射平均年有效剂量为 3.1 mSv,高于同期世界平均值 2.4 mSv。与以前(20 世纪 90 年代初)估算值 2.3 mSv 的差异,主要原因是:(1)表 1-1 中所列现在氦及其短寿命子体的数据比 20 世纪 80 年代末的估算值约高 70%。(2)以前估算值中其他

放射性核素产生的剂量,采用的是 UNSCEAR 报告中的世界典型值,现在的估算值是采用了我国的研究结果。即用每年 315  $\mu\text{Sv}$  取代了以前每年 170  $\mu\text{Sv}$  的数值。(3) 采用 UNSCEAR 2000 年报告中的中子有效剂量每年 100  $\mu\text{Sv}$ ,取代了以前每年 57  $\mu\text{Sv}$  的数值。表 1-1 中所列数据基本上反映了 20 世纪 80 年代末后 20 年以来我国有关天然辐射水平的研究成果。

表 1-1 公众所受天然辐射照射年有效剂量

 $\mu\text{Sv}$ 

射线源	中 国		世 界
	现在估算值	20 世纪 90 年代初估算值	
外照射	宇宙射线		
	电离成分	260	260
	中子	100	57
	陆地 $\gamma$ 辐射	540	540
内照射	氡及其短寿命子体	1 560	916
	钍射气及其短寿命子体	185	185
	$^{40}\text{K}$	170	170
	其他核素	315	170
	总 计	约 3 100	约 2 300

20 世纪 90 年代初估算的我国室内氡照射剂量是根据 20 世纪 80 年代的调查数据综合估算得到的。这些数据中有些结果明显偏低。表 1-2 列出了中国和世界空气中氡活度浓度和土壤中  $^{226}\text{Ra}$  活度浓度平均值的比较。中国和世界室外、室内空气中氡活度浓度平均值比值为 1.4 和 0.6,土壤中镭的活度浓度比值为 1.2。在 20 世纪 80 年代之前我国建房用材料主要来自土壤和岩石,这种情况与世界上大多数国家是一致的,室内空气中氡活度浓度比值仅为 0.6 是不合理的。21 世纪初,一些研究工作者对我国居室内氡活度浓度开展了进一步的调查工作,这些调查结果表明:我国居室内氡活度浓度可能比 20 世纪 90 年代初的调查结果高约 70%,其原因可能是:(1) 20 世纪氡的测量方法基本上是采用抓取方法进行的,取样时间又多在白天上午 9 点到下午 5 点之间,这个时间段内室内氡活度浓度通常较低。(2) 近 20 年来我国新建了大量住房,建材中利用工业废渣的比例在不断升高,而工业废渣中放射性核素的含量大部分明显地高于一般建材。(3) 空调的普遍使用和建筑物密封性的提高。

表 1-2 中国和世界空气中氡活度浓度和土壤中  $^{226}\text{Ra}$  活度浓度的比较

项 目	中 国	世 界	比值(中国/世界)
氡 <sup>1)</sup>	室外/(Bq/m <sup>3</sup> )	14	10
	室内/(Bq/m <sup>3</sup> )	24	40
镭	土壤/(Bq/kg)	38.5(按人口加权)	32(按人口加权)

1) 中国氡浓度为 20 世纪 80 年代末估算值。

表 1-1 中钍射气及其短寿命子体产生的剂量是根据湖北、广东、包头和陕西的四组数据计算推算的。如果考虑近期钍射气的数据,则我国居民所受天然本底辐射照射的平均值可能还会更高。但考虑到钍射气数据现在仍然较少,故暂不考虑调整原推荐值。

## 1.2 公众照射

公众照射主要包括:核试验、核电站及其燃料循环、核技术应用和人为活动引起的天然辐射增强。

### 1.2.1 核试验

图 1-1 描绘了核试验对我国居民产生的年平均剂量负担。我国的测量是从 1963 年开始的,1986 年后全国监测网停止运作,其后的数据是根据 UNSCEAR 的数据推算的。核试验对我国居民产生的年平均剂量负担最高值在 1959 年和 1963 年,分别约为  $203 \mu\text{Sv}$  和  $202 \mu\text{Sv}$ ,到 1995 年已经下降到  $0.67 \mu\text{Sv}$ 。大气层核试验对我国居民产生的平均有效剂量负担约为  $923 \mu\text{Sv}$ 。除核试验场附近外,总的趋势是北方较高,太原最高为  $1780 \mu\text{Sv}$ ;南方较低,福州为  $447 \mu\text{Sv}$ 。相差约 4 倍。我国大气层核试验对居民产生的平均剂量负担所占份额甚小。即使在我国核试验场下风向  $400 \sim 800 \text{ km}$  地区,居民外照射有效剂量负担平均也仅  $4.86 \text{ mSv}$ ,远低于天然本底辐射照射。而在我国核试验场上风向的天池、伊宁地区的外照射有效剂量分别为  $30 \text{ mSv}$  和  $17.3 \text{ mSv}$ ,平均值为  $23.6 \text{ mSv}$ ,远高于下风向的水平,这是由于前苏联塞米巴拉金斯克核试验场的核试验所引起的。

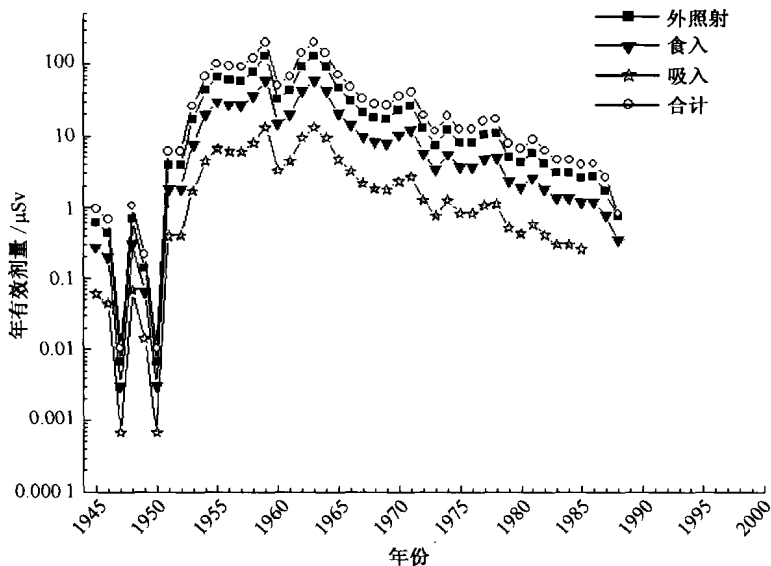


图 1-1 核试验对我国居民产生的年平均剂量负担(不包括 $^{14}\text{C}$ )

## 1.2.2 核燃料循环

表 1-3 列出了我国核燃料循环设施放射性流出物归一化排放量。表 1-4 列出了我国核燃料循环设施放射性流出物所致公众归一化集体有效剂量。从表中可见,我国核燃料循环设施放射性流出物归一化排放量及其所致公众归一化集体有效剂量,从总体上说呈逐年下降的趋势,但是与世界各国核设施相比,除铀矿采冶外,铀转化、浓缩、元件制造和核电站的归一化排放量和归一化集体有效剂量与国际水平大体相同。我国铀矿冶设施与活动所致公众归一化集体有效剂量比国际典型值约高 5 倍。从铀矿冶本身来看,归一化集体有效剂量也是呈下降的趋势,归一化集体有效剂量从 1991—1995 年期间的  $1.73 \text{ 人} \cdot \text{Sv/GWa}$  下降到 2001—2005 年期间的  $0.81 \text{ 人} \cdot \text{Sv/GWa}$ 。在此期间,加强了对矿井水和选冶废水的处理,选冶废水实行了槽式排放。推进了对废石场和矿渣库的治理。但与国际水平相比仍有相当大的差距,应该在进一步治理废水和矿渣库的同时,采取有效措施降低矿井氡的排放量。在这里还需要说明的是,我国铀矿冶归一化集体剂量较高的重要原因之一是,铀矿冶企业周围人口密度远高于世界同类企业。

表 1-3 我国核燃料循环设施放射性流出物归一化排放量

GBq/GWa

辐射源	主要核素	放射性流出物归一化排放量			
		1986—1990	1991—1995	1996—2000	2001—2005
铀矿采冶	$^{222}\text{Rn}$		$6.16 \times 10^4$ <sup>1)</sup>	$3.08 \times 10^4$	$3.96 \times 10^4$
铀转化	U				$0.14$ <sup>2)</sup>
铀浓缩	U		0.14	0.55	$0.14$ <sup>2)</sup>
元件制造	U	$1.92$ <sup>3)</sup>	$2.30$ <sup>4)</sup>	0.70	
PWR 反应堆运行					
气载释放	$^3\text{H}$		$5.54 \times 10^2$ <sup>5)</sup>	$7.80 \times 10^2$	$7.28 \times 10^2$
	惰性气体		$3.10 \times 10^4$ <sup>5)</sup>	$7.55 \times 10^3$	$1.42 \times 10^3$
	碘		$8.38 \times 10^{-1}$ <sup>5)</sup>	$4.40 \times 10^{-2}$	$1.19 \times 10^{-2}$
	其他粒子		$5.96 \times 10^{-2}$ <sup>5)</sup>	$1.45 \times 10^{-2}$	$4.19 \times 10^{-3}$
液态释放	$^3\text{H}$		$1.24 \times 10^4$ <sup>5)</sup>	$1.76 \times 10^4$	$2.32 \times 10^4$
	除氚外核素		$3.60 \times 10^1$ <sup>5)</sup>	3.64	1.30
HWR 反应堆运行					
气载释放	$^3\text{H}$				$2.29 \times 10^4$ <sup>6)</sup>
	惰性气体				$1.39 \times 10^3$ <sup>6)</sup>
	碘				$3.04 \times 10^4$ <sup>6)</sup>
	其他粒子				$1.92 \times 10^{-2}$ <sup>6)</sup>
液态释放	$^3\text{H}$				$1.55 \times 10^4$ <sup>6)</sup>
	除氚外核素				$5.65 \times 10^{-1}$ <sup>6)</sup>

1) 1994—1995 年平均值;2) 2001—2004 年平均值;3) 1988—1990 年平均值;4) 1991、1992、1994 和 1995 年期间 4 年平均值;5) 1993—1995 年平均值;6) 2003—2005 年平均值。



表 1-4 我国核燃料循环设施放射性流出物所致公众归一化集体有效剂量一览表

人·Sv/GWa

辐 射 源	归一化集体有效剂量			
	1986—1990	1991—1995	1996—2000	2001—2005
铀矿采冶	1.46	1.73	1.11	0.81
铀转化				$3.50 \times 10^{-4}$
铀浓缩		$1.99 \times 10^{-3}$	$4.87 \times 10^{-3}$	$4.81 \times 10^{-3}$
元件制造	$8.29 \times 10^{-3}$	$7.31 \times 10^{-3}$	$2.09 \times 10^{-3}$	
PWR 反应堆运行		$6.94 \times 10^{-2}$	$2.23 \times 10^{-2}$	$2.91 \times 10^{-3}$
气载释放		$2.49 \times 10^{-3}$	$4.94 \times 10^{-4}$	$3.19 \times 10^{-4}$
液态释放		$6.69 \times 10^{-2}$	$2.18 \times 10^{-2}$	$2.59 \times 10^{-3}$
HWR 反应堆运行				$1.84 \times 10^{-1}$
气载释放				$1.84 \times 10^{-1}$
液态释放				$2.98 \times 10^{-5}$
总 计			1.88	1.16

我国核电站对公众所致个人有效剂量和集体有效剂量虽与国际水平大致相同,但与先进水平相比仍有相当差距。气态流出物中 $^{131}\text{I}$ 气溶胶和液态流出物中除氙外核素的归一化集体有效剂量明显高于1998—2002年期间全球平均归一化集体有效剂量。有必要遵循废物最小化和尽量采用最佳可用技术的原则,进一步减小废水和废气排放量。我国核电站废水处理工艺基本上还停留在20世纪70年代的水平,100万kW级核电站排放的 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 较高,对水中 $^3\text{H}$ 和 $^{14}\text{C}$ 排放量也未作最小化分析。对气态流出物中 $^{131}\text{I}$ 和气溶胶放射性活度,应在进一步分析和提高测量数据准确性的基础上,分析放射性核素的来源,然后采取相应的措施。

### 1.2.3 放射性同位素应用

表1-5列出了我国医用 $^{125}\text{I}$ 和 $^{131}\text{I}$ 应用所致公众集体有效剂量。其他应用所致公众集体有效剂量,目前尚没有数据。从表1-5中可以看出,我国医用 $^{125}\text{I}$ 和 $^{131}\text{I}$ 应用所致公众集体有

表 1-5 医用 $^{125}\text{I}$ 和 $^{131}\text{I}$ 对公众产生的集体有效剂量

人·Sv/a

核 素	来 源	照射途径	有效剂量
$^{125}\text{I}$	生产	气载途径	0.037
	生产	气载途径	0.14
$^{131}\text{I}$	诊疗	液态途径	0.002
		气载途径	0.18
总 计			0.36

效剂量为  $0.36 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ , 其中医用 $^{125}\text{I}$ 的贡献为  $0.037 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ , 医用 $^{131}\text{I}$ 应用的贡献为  $0.32 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ 。目前 $^{125}\text{I}$ 在医学中的应用主要是微粒种子源和放免药盒标记物, 其对公众照射主要是在生产环节。医用 $^{131}\text{I}$ 应用中所致公众照射主要来源于甲状腺诊断期间的气载流出物环境释放。

### 1.2.4 核研究设施

表 1-6 列出了 1986—2005 年期间中国原子能科学研究院气态流出物释放所致周围公众集体剂量。

该表给出了自 1986 年以来每 5 年期间中国原子能科学研究院所有核设施运行和科研生产活动对厂址周围半径 80 km 范围内公众所产生的集体有效剂量。20 年来总的集体有效剂量约  $7 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ , 总体年均值  $0.36 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ 。总体上讲, 中国原子能科学研究院气载流出物释放所致公众照射主要来源于 101 重水反应堆运行和放射性碘同位素生产的环境排放。绝大多数年份关键核素是 $^{41}\text{Ar}$ , 少数年份 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{125}\text{I}$ 是关键核素。

表 1-6 1986—2005 年中国原子能科学研究院气态流出物释放所致公众集体有效剂量 人·Sv

时 段	集体有效剂量	
	5 年期间累计	5 年期间均值
1986—1990 年	1.87	0.37
1991—1995 年	1.19	0.24
1996—2000 年	0.92	0.18
2001—2005 年	3.16	0.63
合 计	7.14	0.36

1986—2005 年期间每 5 年统计均值变化范围是  $0.18 \sim 0.63 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ , 1996—2000 年期间的集体有效剂量最小  $0.92 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ , 而 2001—2005 年期间的集体有效剂量最大  $3.16 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ 。引起这种较大变化的主要原因是: 第一, 1987 年 9 月静电消除器生产转移到新的工作箱进行, 但该新工作箱没有安装密闭罩, 且同时该工号的排风过滤器又失效, 该年度 $^{210}\text{Po}$ 排放量显著增加。第二,  $^{41}\text{Ar}$ 主要来源于 101 重水反应堆的运行。1997 年 101 重水反应堆大部分时间处于停堆状态, 进行电器系统改造。1998 年 1 月 101 重水反应堆发生工艺管断裂事件, 全年一直处于停堆状态, 此年度 $^{41}\text{Ar}$ 排放量主要来源 49-2 堆的运行。2003 年以前 101 重水反应堆辐照单晶硅一直采用真空驱动控制抓具, 但因该驱动方式拒动率较高导致非计划停堆次数较多, 检修人员受照射剂量较多。因此, 从 2003 年开始改为充气驱动控制抓具, 但这种驱动方式导致垂直辐照孔道空气流量增加, 进而导致 $^{41}\text{Ar}$ 产生量增加。2003 年、2004 年、2005 年 $^{41}\text{Ar}$ 环境排放量增加了 1~2 倍。第三, 自 1988 年同位素生产线除碘工号正式投入运行, 碘的环境排放量明显降低。

### 1.2.5 人为活动引起的天然辐射水平变化对公众产生的剂量

表 1-7 列出了人为活动引起的天然辐射变化所致公众辐射照射。从该表可以看出, 人为活动引起的天然辐射变化, 既可以增加公众辐射照射也可以减少公众辐射照射。

表 1-7 人为活动引起的天然辐射变化对公众所致集体剂量

人为活动	集体有效剂量/(人·Sv)	备 注
燃煤电厂	16.5 人·Sv/GW <sub>a</sub>	按电厂装机容量加权平均值
石煤电厂	$7.0 \times 10^3$ 人·Sv/GW <sub>a</sub>	
石煤碳化砖建筑物	$3.3 \times 10^3$	
运输工具		
火车	$-2.8 \times 10^2$	1988 年
汽车	$-1.6 \times 10^2$	1988 年
轮船	$-1.11 \times 10^2$	1988 年
小计	$-5.5 \times 10^2$	
其他活动		
混凝土建筑物	$-7.8 \times 10^3$	1988 年
饮用自来水	$-1.36 \times 10^2$	1990 年
小计	$-7.9 \times 10^3$	

我国燃煤电厂气载流出物排放所致电厂周围半径 80 km 范围居民的归一化集体有效剂量为 16.5 人·Sv/GW<sub>a</sub>。我国主要石煤电厂气载流出物排放所致电厂周围居民的归一化集体有效剂量约为  $7.0 \times 10^3$  人·Sv/GW<sub>a</sub>，明显高于一般燃煤电厂的贡献，高出 400 倍以上。全国石煤碳化砖建筑物引起居民年集体有效剂量约  $3.3 \times 10^3$  人·Sv。因此，在我国石煤开发利用过程中应重视其环境辐射影响。

人类活动不仅可以引起居民照射增高，有些人类活动也可以降低居民辐射照射。钢筋混凝土建筑物减少的照射最大，减少约 80%，其次是饮用自来水，减少约 14%。

## 1.2.6 公众剂量小结

表 1-8 给出 1986—2005 年期间我国居民所受人工辐射源照射的集体有效剂量。由该表可以看出，核武器试验是最大的剂量贡献者，其次分别是切尔诺贝利事故、核燃料循环、核科学技术研究和核与辐射技术应用。

表 1-8 1986—2005 年期间我国居民所受人工辐射所致集体有效剂量 人·Sv

人工辐射 来源	时 段				合计
	1986—1990	1991—1995	1996—2000	2001—2005	
核武器试验	$9.48 \times 10^3$	$4.10 \times 10^3$	$3.13 \times 10^3$	$2.95 \times 10^3$	$1.97 \times 10^4$
切尔诺贝利事故					$5.68 \times 10^3$ <sup>1)</sup>
核燃料循环	5.92	5.44	11.5	16.3	39.2
核与辐射技术应用			0.81	1.51	$2.32$ <sup>2)</sup>
核科学技术研究	1.87	1.19	0.92	3.16	7.14

1) 按照 1986 年人口估算，切尔诺贝利事故所致我国居民集体有效剂量负担；

2) 在这里，因没有 1986—1995 年期间的数据，仅仅是 1996—2005 年期间集体有效剂量的合计。