

# 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,以及用于此次评价的剂量估算模式和计算机程序及其质量检验报告。本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

潘 自 强 主 编

责 任 编 辑 韩国光

李 镁

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京海淀吴海印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

(限国内发行)

☆

开本787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张32.625·字数814千字

1989年11月北京第一版·1989年11月北京第一次印刷

印数 1—800

ISBN 7-5022-0251-X

TL·99 定价: 32.50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 任镜暄

吴卫红 张永兴 陈竹舟

杨启烈 肖宝鉴 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。全面总结核工业 30 年来的环境质量,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;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  $\text{km}^2$ ,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和推广,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、核工业部第二设计研究院、核工业部第四设计研究院、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

|                                           |         |
|-------------------------------------------|---------|
| 中国原子能科学研究院辐射环境质量评价·····                   | ( 1 )   |
| 西南反应堆工程研究设计院辐射环境质量评价·····                 | ( 44 )  |
| 理化工程研究院辐射环境质量评价 ·····                     | ( 89 )  |
| 国营二七二厂辐射环境质量评价·····                       | ( 111 ) |
| 国营七一二矿辐射环境质量评价·····                       | ( 150 ) |
| 国营七一二矿辐射环境质量评价·····                       | ( 180 ) |
| 国营七一五矿辐射环境质量评价·····                       | ( 205 ) |
| 国营七一五矿辐射环境质量评价·····                       | ( 231 ) |
| 国营七二一矿辐射环境质量评价·····                       | ( 263 ) |
| 国营七二四矿辐射环境质量评价·····                       | ( 299 ) |
| 国营七四一矿辐射环境质量评价·····                       | ( 320 ) |
| 国营七四三矿辐射环境质量评价·····                       | ( 344 ) |
| 国营七四五矿辐射环境质量评价·····                       | ( 375 ) |
| 国营七七一矿辐射环境质量评价·····                       | ( 409 ) |
| 国营七九六矿辐射环境质量评价·····                       | ( 443 ) |
| 用于核工业 30 年辐射环境质量评价的剂量估算模式与参数·····         | ( 456 ) |
| 用于核工业 30 年辐射环境质量评价剂量估算的 YEAR30 计算机程序····· | ( 490 ) |
| 对核工业 30 年辐射环境质量评价所用计算机程序的几个问题的讨论·····     | ( 502 ) |

# 中国原子能科学研究院辐射环境质量评价

潘自强 张永兴 宋绍仪

中国原子能科学研究院位于北京西南郊,距市区约 40 km,它是一个多学科的核科学研究中心,拥有核反应堆、回旋加速器、放射性同位素生产车间等大型核设施。1959 年开始辐射环境常规监测,1982 年开始进行辐射环境评价研究。本文介绍了本院近 30 年的环境辐射水平监测结果,并根据放射性流出物监测结果和本地区的气象、水文、地质、人口分布和膳食结构等调查(或实测)资料,用模式计算了本地区居民所受最大个人有效剂量当量和半径 80km 评价范围内居民所受集体有效剂量当量。结果表明,关键居民组个人所受照射多年平均值为  $7 \times 10^{-5} \text{ Sv}$ ,最高年份(1978)为  $4 \times 10^{-4} \text{ Sv}$ 。关键核素是  $^{131}\text{I}$ ,关键途径是食入,关键居民组是北方位 0~1km 区间内的幼儿组。80km 范围内的年集体有效剂量当量平均为 2.0 人·Sv,最高年份(1978)为 11.9 人·Sv。文中还讨论了环境监测与模式评价的关系以及模式可靠性检验等。

## 1. 前 言

中国原子能科学研究院的前身是中国科学院近代物理所(1950 年),1956 年迁至现址。1958 年重水研究性反应堆(HWRR)运行后至今约有 30 年的历史。它是一个多学科的核科学研究中心,主要从事核物理、放射化学、反应堆工程、放射性同位素生产、加速器物理、核电子学与核探测技术、核辐射应用、辐射防护和环境保护等方面的基础研究和应用研究。研究院现有 40 余个研究室,约 4500 名职工。目前,院内操作放射性物质和从事辐射研究的场所和设备主要有:(1)反应堆:研究性重水反应堆(HWRR)建成于 1958 年,热功率为 7 MW(加强功率 10 MW),1980 年改建后热功率提高到 10MW(加强功率 15MW)。该反应堆除用于研究工作外还用于放射性同位素生产和元件考验等工作。游泳池式反应堆于 1964 年 12 月达到临界,主要用于元件和材料的辐照考验、各种样品的辐照和放射性同位素生产等。中子源堆于 1983 年建成,热功率为 27kW,可用于中子活化分析、短寿命放射性同位素生产和中子照相等工作。零功率实验室有两个零功率实验堆,用于进行各种临界实验。(2)放射性同位素的生产:现在生产的放射性同位素约有 50 余种,主要有  $^{131}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{198}\text{Au}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Mo}$ - $^{90\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{113}\text{Sn}$ - $^{113}\text{In}$  等。 $^{131}\text{I}$  的年产量可达 17TBq。另外还生产  $^{210}\text{Po}$ -Be 和  $^{241}\text{Am}$ -Be 等中子源、 $^{241}\text{Am}$  低能 X 射线源、 $^{239}\text{Pu}$   $\alpha$  源等。用于生产放射性同位素的建筑物主要有六栋。(3)用于放射化学、分析化学、后处理和乏燃料元件研究等的操作开放性放射性核素的实验室约 100 间和热室 10 个。(4)放射性废水和固体废物处理和处置设施。(5)加速器:包括 1 台 1.2m 可变能量回旋加速器、1 台 2.5MV 静电加速器、1 台 600kV 高压倍加器、1 台强流电子脉冲加速器、1 台 HI-13 型串行加速器。(6)辐射源:现有两座小的辐照装置,一座活度为 2PBq(约  $5 \times 10^4 \text{ Ci}$ )的  $^{60}\text{Co}$  辐照源,一座活度为 40 GBq(约  $1 \times 10^3 \text{ Ci}$ )的  $^{60}\text{Co}$  辐

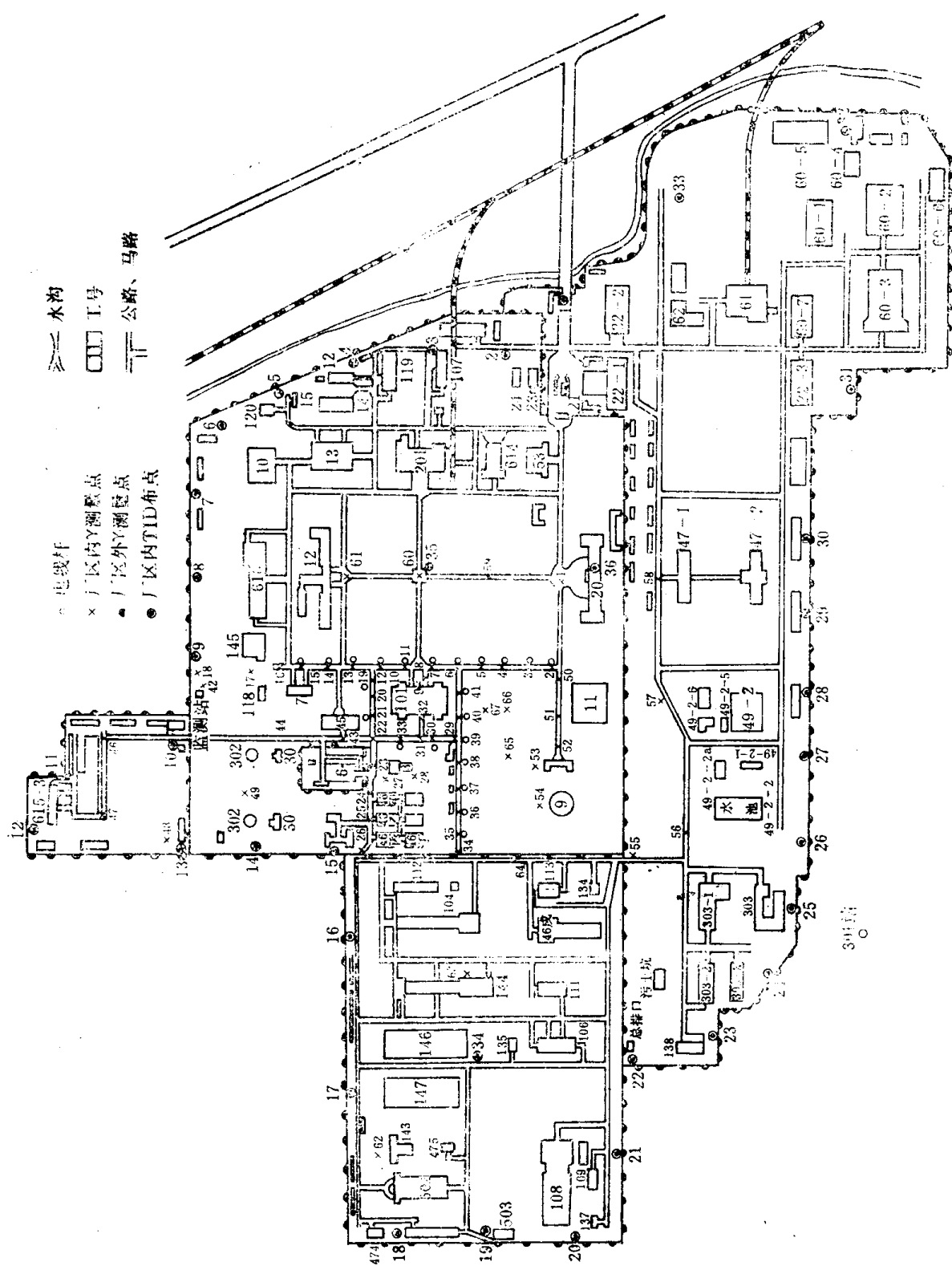


图 1.1 院内核设施平面分布图

1 01——重水反应堆；49-2——游泳池式反应堆；201——回旋加速器；503——中子源生产车间；502——氦-靶靶生产车间；303——热室；106——废水处理工号；108——放射性废水贮存工号；46 甲、乙、丙——放射实验室；144——医用放射性同位素生产车间；111——放射性同位素生产通风中心；615——铀扩散研究实验厂。

照源。图 1.1 为这些设施的平面分布图。

本院地处北京郊区, 周围人口密度较大。10km 内人口平均密度为 839 人/km<sup>2</sup> (1983 年统计)。80km 内总人口近 1 千万。我院操作和贮存大量放射性物质, 除有两座核反应堆运行外, 还生产大量放射性同位素。因此, 环境保护部门和居民关心我院环境问题是自然的。北京市环境保护局明确要求我院尽快做出全面环境评价报告。从我院环境保护工作看, 也有必要和义务提出环境评价报告, 因为只有作出环境评价, 才有可能明确治理的目标, 才能准确地提出加强环境管理的措施, 才能有效地改善和加强环境监测工作。由此可见, 尽快作出我院全面环境评价报告是必要的。

我院辐射环境质量评价的研究工作开始于 1982 年初, 先后完成了水文地质、大气扩散、人口分布、食物来源、放射性流出物监测、辐射环境监测和单项评价等方面的研究报告近 40 篇<sup>[1]</sup>。考虑到我院流出物监测和环境监测还不完善, 尚无明确的监测质量保证制度, 对评价模式和参数的选择也没有作全面深入的研究; 本地区的大气扩散参数测量和地下水迁移与弥散的研究工作还未全部完成。因此, 现在的评价只能认为是初步辐射环境质量评价。

评价的主要指标是: 关键居民组所受最大个人有效剂量当量, 半径 80km 评价范围内居民所受集体有效剂量当量。环境介质中放射性物质的浓度作为参考指标。环境评价的标准主要是我国的《放射防护规定》, 同时也参考 ICRP 和 IAEA 的有关标准, 并与天然辐射水平加以比较。评价区域的范围是 80km 为半径的区域。评价的方法是模式计算和实测结果相结合。

## 2. 自然环境概况

中国原子能科学研究院位于北京市房山区东北部约 7km 处的大石河冲积扇的二阶台地上, 东经 116°3', 北纬 39°46', 在北京市的西南, 距市区约 40km。大石河在厂区西侧约 1km 处由北向南流过。它是一条间歇性河流, 雨季有水, 旱季断流。1970 年前, 其径流量在洪水季节可达 200m<sup>3</sup>/s。现在, 由于上游兴建了水库, 水库下游已断流。附近农民饮用的是浅层地下水(孔隙水)。地下水的补给主要来自大气降水及农田灌溉水的回渗。区内大气降水入渗率大于 40%。地下水通道是大石河河床, 水力坡度大于 2%, 径流条件好。

本地区属中温半干旱的季风气候区。多年平均降雨量为 638mm, 主要集中在 7, 8, 9 三个月, 占全年的 80% 以上。多年平均蒸发量为 1483mm。

采用良乡军用飞机场 1975~1982 年地面气象站逐时观测资料, 用帕斯奎尔-吉福德特纳尔(P-G-T)方法对大气稳定度进行了分类统计。良乡机场在本院东约 8km 处, 其地形与本院的相似, 因此有一定的代表性。1983 年后本院建成 102m 高气象铁塔, 由于该塔位于厂区, 地面(10m)风资料受周围建筑物影响。用 30m 高度处的风记录资料与良乡机场的风(10m)资料进行了相关分析, 发现除风向有 1 个方位的(22.50)系统偏差外, 其余均相似。表 2.1 列出各类稳定度的年频率分布和平均风速。表 2.2 列出稳定度-风向-风速级的联合频率( $F_{ijk}$ )分布。

本地区小于 1m/s 的“静风”的频率较大, 约占 28%, 因此必须考虑静风条件下(计

表 2.1 各稳定度的长期频率和平均风速

| 稳定度       | A    | B    | C    | D    | E    | F    |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| 频率, %     | 2.1  | 7.2  | 15   | 43   | 8.9  | 24   |
| 平均风速, m/s | 1.14 | 1.83 | 2.78 | 3.85 | 2.76 | 1.28 |

算时取  $u=0.5\text{m/s}$  ) 的风向分布。静风的风频分布按所测得的最小风速级 ( $1\sim2\text{m/s}$ ) 的风频分布计, 即

$$ef_{ij} = \frac{N_i'}{\sum_{i=1}^{16} N_i'} \cdot N_j / N_{\text{总}} = f_{i,j1} f_{j,0}$$

式中,  $ef_{ij}$  表示静风时风向  $i$  稳定度  $j$  的联合频率;  $N_i'$  表示  $1\sim2\text{m/s}$  风速级时风向  $i$  的观测次数;  $N_j$  表示静风时出现稳定度  $j$  的次数;  $N_{\text{总}}$  是风的总观测数;  $f_{i,j1}$  是  $1\sim2\text{m/s}$  风速级的风频;  $f_{j,0}$  是静风时出现稳定度  $j$  的频率。

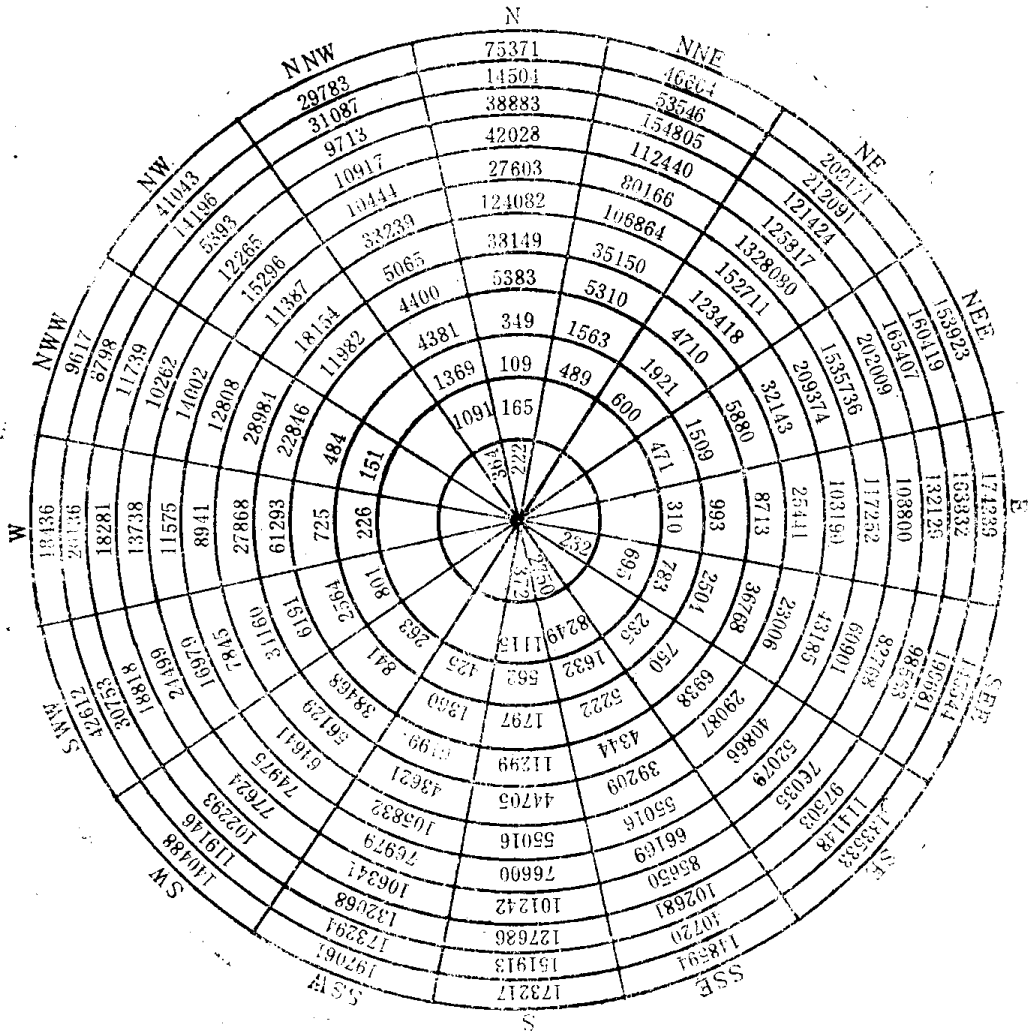


图 2.1 中国原子能科学研究院半径 80km 评价范围内人口分布

表 2.2 风向风速稳定度联合频率分布

| 定度 | 风速级 | N     | NNE   | NE    | ENE  | E    | ESE  | SE   | SES  | S     | SSW   | SW    | WSW  | W    | WNW  | NW    | NNW   |
|----|-----|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|
| A  | 1   | .036  | 0.30  | .102  | .108 | .114 | .155 | .269 | .173 | .245  | .205  | .155  | .036 | .024 | .018 | .036  | .018  |
|    | 2   | .009  | .007  | .025  | .027 | .028 | .039 | .067 | .043 | .061  | .089  | .039  | .009 | .005 | .004 | .009  | .004  |
|    | 3   | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  |
|    | 4   | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  |
|    | 5   | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  |
| B  | 1   | .054  | .180  | .328  | .328 | .308 | .295 | .384 | .340 | .347  | .271  | .222  | .074 | .079 | .035 | .022  | .054  |
|    | 2   | .033  | .108  | .190  | .197 | .185 | .178 | .281 | .205 | .259  | .163  | .233  | .045 | .047 | .021 | .013  | .033  |
|    | 3   | .031  | .085  | .169  | .190 | .125 | .151 | .145 | .154 | .277  | .215  | .193  | .049 | .022 | .009 | .016  | .024  |
|    | 4   | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  |
|    | 5   | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  |
| C  | 1   | .141  | .262  | .465  | .492 | .310 | .275 | .308 | .273 | .505  | .438  | .575  | .158 | .087 | .070 | .090  | .141  |
|    | 2   | .220  | .224  | .395  | .420 | .264 | .234 | .262 | .233 | .430  | .374  | .519  | .135 | .074 | .059 | .077  | .083  |
|    | 3   | .074  | .286  | .568  | .553 | .239 | .193 | .236 | .397 | .778  | .519  | .731  | .254 | .088 | .052 | .061  | .095  |
|    | 4   | .052  | .102  | .144  | .090 | .040 | .027 | .043 | .065 | .255  | .334  | .276  | .060 | .010 | .021 | .046  | .058  |
|    | 5   | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  |
| D  | 1   | .350  | .538  | .674  | .572 | .325 | .271 | .297 | .289 | .570  | .556  | .584  | .173 | .123 | .090 | .171  | .196  |
|    | 2   | .534  | .973  | 1.029 | .873 | .495 | .414 | .452 | .442 | .870  | .594  | .586  | .264 | .191 | .138 | .261  | .300  |
|    | 3   | .601  | 1.389 | 1.600 | .155 | .190 | .288 | .387 | .566 | 1.288 | 1.237 | .965  | .320 | .125 | .150 | .255  | .409  |
|    | 4   | .841  | 1.019 | .850  | .497 | .142 | .088 | .129 | .234 | .587  | 1.087 | .660  | .243 | .086 | .098 | .305  | .562  |
|    | 5   | 2.218 | 1.268 | .495  | .156 | .043 | .016 | .027 | .061 | .231  | .131  | .555  | .125 | .039 | .261 | 1.352 | 3.275 |
| E  | 1   | .010  | .014  | .020  | .013 | .007 | .004 | .007 | .010 | .022  | .020  | .017  | .007 | .004 | .005 | .007  | .008  |
|    | 2   | .133  | .187  | .265  | .172 | .088 | .052 | .096 | .126 | .283  | .259  | .227  | .095 | .046 | .064 | .090  | .104  |
|    | 3   | .285  | .555  | .590  | .434 | .092 | .042 | .071 | .187 | .547  | .831  | .454  | .151 | .086 | .088 | .136  | .235  |
|    | 4   | .236  | .270  | .227  | .117 | .003 | .009 | .010 | .036 | .159  | .215  | .174  | .036 | .006 | .016 | .065  | .211  |
|    | 5   | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  |
| F  | 1   | 1.126 | 1.584 | 1.310 | .750 | .381 | .224 | .413 | .488 | .798  | .633  | 1.121 | .749 | .707 | .595 | 1.094 | 1.072 |
|    | 2   | .552  | .602  | .819  | .479 | .221 | .143 | .165 | .286 | .546  | .452  | .680  | .386 | .332 | .317 | .506  | .581  |
|    | 3   | .236  | .432  | .509  | .265 | .105 | .071 | .068 | .176 | .449  | .553  | .383  | .225 | .128 | .107 | .191  | .222  |
|    | 4   | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  |
|    | 5   | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  | .000  | .000 | .000 | .000 | .000  | .000  |

• 风速级1, 2, 3, 4, 5相应的风速为 <1 , 1~2 , 3~4 , 5~6 , >6m/s.

本区东部和东北部是由白垩系砾岩和砂页岩构成的丘陵，西部为花岗岩体和震旦亚界碎屑岩构成的中低山，南部为平原。气象铁塔观测表明，本区粗糙度  $Z_0$  为  $0.5\sim 0.8\text{m}$ ，依来风方向而定。因此，在本报告中，选用了丘陵地区的典型扩散参数。

评价区域内的人口分布示于图 2.1。半径  $10\text{km}$  范围内的人口是根据各派出所的统计数据计算的。 $10\sim 80\text{km}$ 内的人口数据是根据北京师范大学地理系和北京市测绘处 1979 年编制的人口分布图和由公安部获得的北京市 1980 年的人口数进行计算的。人口增长率平均为  $0.6\%$ 。图中所列人口数都是指长期居住人口，未计入流动人口。

评价区域内各种农作物的总产量和单位面积产量、各年龄组〔分为幼儿组（ $0\sim 7$  岁），少年组（ $8\sim 17$  岁），成人组（ $18$  岁以上）〕的食物消费量和来自评价区域的份额、食物的生长周期、贮运时间和动物的日消费量等评价所需参数分别列于表 2.3 和表 2.4 中。

表 2.3 各种食物的总产量及单位面积产量

| 种 类                   | 粮食               | 蔬菜               | 牛奶               | 猪肉               | 饲料   | 牛肉               | 羊肉               | 油料               |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------------------|
| 总产量, kg               | $2.4\times 10^9$ | $1.8\times 10^9$ | $6.4\times 10^7$ | $1.2\times 10^7$ |      | $3.6\times 10^5$ | $1.0\times 10^7$ | $6.0\times 10^7$ |
| 单产, kg/m <sup>2</sup> | 0.290            | 3.06             |                  |                  | 1.09 |                  |                  | 0.093            |

表 2.4 食物消费量和来自评价区的份额

| 消费量, kg/a      | 种类 | 菜    | 谷类    | 水果   | 蛋    | 奶    | 牛肉  | 羊肉 | 家禽   | 猪肉  |
|----------------|----|------|-------|------|------|------|-----|----|------|-----|
| 幼 儿            |    | 53.1 | 78.8  | 39.5 | 8.1  | 52   | 1.6 | 0  | 0.8  | 5.1 |
| 少 年            |    | 70.4 | 118.2 | 10.6 | 6.0  | 18   | 2.4 | 0  | 1.4  | 10  |
| 成 人            |    | 113. | 185.  | 17.8 | 2.8  | 11.2 | 1.2 | 0  | 0.2  | 10  |
| 来自评价区的份额, %    |    | 93   | 70    | 74   | 68   | 100  | 32  | 32 | 90   | 70  |
| 生长期, d         |    | 110  | 170   | 120  |      |      |     |    |      | 250 |
| 贮运期, d         |    | 1    | 400   | 30   | 30   | 1    | 180 | 90 | 180  | 170 |
| 动物饲料消费量, kg/d  |    |      |       |      | 0.12 | 45   | 14  | 4  | 0.20 | 0.9 |
| 动物饲料中粮食所占份额, % |    |      |       |      | 100  | 43   | 43  | 6  | 100  | 50  |
| 动物食用鲜草份额, %    |    |      |       |      | 100  | 83   | 80  | 67 | 100  | 50  |

3. 辐射环境监测和放射性流出物监测

3.1 环境监测

本院的环境监测工作开始于 1958 年年中，29 年来累积了大量辐射环境监测和放射性

流出物监测的资料。在此期间，监测项目和内容也不断完善和充实，并写出了一些年度报告和专题总结报告。这些工作为我院辐射环境质量评价奠定了基础。

和世界上大多数核设施的辐射环境监测计划一样，原子能研究院的辐射环境监测计划也由核武器试验产生的放射性落下灰的影响而不断变动。

50 年代末 60 年代初，由于苏、美的核武器试验使全世界的放射性水平显著升高，若以 1962 年末 1963 年上半年的峰值计算，北半球大气中放射性裂变产物的浓度上升到  $\sim 1\text{Bq/m}^3$ ，比现在的大气浓度约高 2~3 个数量级。地面水和土壤中的“人工”放射性含量也升高了 1 个数量级以上。面对这种环境辐射水平不断变化的情况，各核设施环境监测计划的主要目标是确定环境放射性有无显著升高及造成这种升高的来源分析。为此，本院在这一期间（1960~1965 年）的环境监测计划采用“带权随机分布”取样和三元方差分析的数据统计方法<sup>〔2〕</sup>。

1966 年 ICRP 第 7 号出版物《操作放射性物质的环境监测原则》问世。提出了监测目的是：（1）估计居民受照剂量；（2）进行科学研究；（3）改善与居民的关系。在方法学上提出了关键核素、关键途径、关键居民组的“三关键原则”。加上自此以后大气中放射性沉降物日趋减少，因而我们相应地修改了环境监测计划。70 年代由于众所周知的原因，环境监测计划未能贯彻。80 年代开始加强了对流出物的监测，并开展了环境评价方法学的研究。这些情况反映在环境监测计划的不断变更中（见表 3.1）。图 3.1 示出院外监测点

表 3.1 常规环境放射性监测计划

| 环境介质  | 范围         | 监测点数目   | 采样频率    | 分析测量项目                                                                           | 备 注                                        |
|-------|------------|---------|---------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 空气气溶胶 | 所区         | 1~2     | 每天累积样   | 总 $\alpha$ ，总 $\beta$ ， $^{131}\text{I}$                                         | 1966~1976年                                 |
|       | 5km内       | 3 或 5   | 半月或每天累积 | 总 $\alpha$ ，总 $\beta$                                                            |                                            |
|       | 5~10km     | 12      | 每月累积样   | 总 $\alpha$ ，总 $\beta$                                                            | 1960~1966年<br>取瞬时样                         |
|       | 10~25km    | 18      | 季       | 总 $\alpha$ ，总 $\beta$                                                            |                                            |
| 地下水   | 上游<br>3km内 | 3       | 月       | 总 $\beta$ ， $^{90}\text{Sr}$ ， $^{137}\text{Cs}$                                 |                                            |
|       | 下游<br>5km内 | 26      | 月       | 总 $\beta$ ， $^{90}\text{Sr}$ ， $^{137}\text{Cs}$                                 |                                            |
| 地面水   | 10km内      | 4       | 月       | 总 $\beta$                                                                        | 1966年后                                     |
| 土 壤   | 所区         | 13      | 月       | 总 $\beta$                                                                        | 1966 年改为与植物样同时<br>取，1970 年改为在小干河和北坊<br>村取样 |
|       | 5km内       | 7       | 月       | 总 $\beta$                                                                        |                                            |
|       | 5~20km     | 7       | 月       | 总 $\beta$                                                                        |                                            |
| 植 物   | 1km内       | 2       | 年       | 总 $\beta$ ，去k总 $\beta$ ， $^{90}\text{Sr}$ ， $^{137}\text{Cs}$ ， $^{131}\text{I}$ | 1970 年以前只分析测量总 $\beta$                     |
|       | 22km处      | 1       | 年       | 总 $\beta$ ，去k总 $\beta$ ， $^{90}\text{Sr}$ ， $^{137}\text{Cs}$ ， $^{131}\text{I}$ |                                            |
| 牛 奶   | 13km处      | 1       | 季       | 总 $\beta$                                                                        | 1966 年后中断                                  |
| 贯穿辐射  | 所区         | 35 (50) | 月 (2月)  | $\gamma$ 剂量                                                                      | 1963~1974 瞬时观测，1975<br>年改为 TLD             |
|       | 0~25km     | 31 (45) | 月 (2月)  | $\gamma$ 剂量                                                                      |                                            |

分布。表 3.2 列出各种环境介质放射性核素和辐射水平的监测方法和最低探测限以及常规监测所需的探测限。由表 3.2 可见, 本院现行的监测方法基本上能满足常规监测的需要。

应该强调指出, 我们的监测计划的目的, 不完全与 ICRP 第 7 号出版物中提出的相同, 我们的监测计划中还有“及时发现异常”这一项要求。

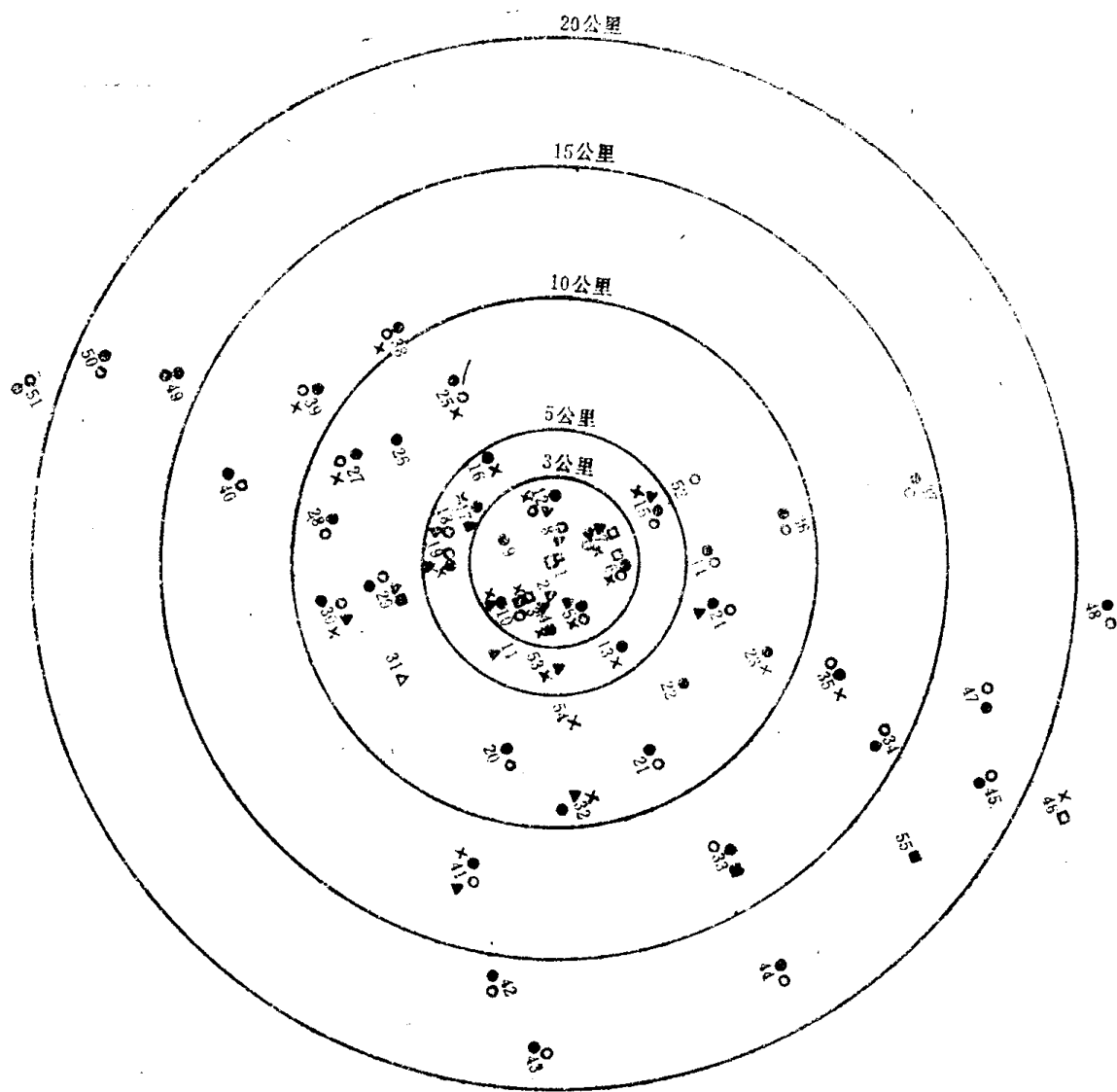


图 3.1 辐射环境监测点分布图

×——土样; ▲——水样;  
□——生物样; ■——牛奶样。

- 1——所区; 2——北坊; 3——污水厂; 4——吴庄; 5——南区; 6——大院; 7——沙窝;  
8——水源井; 9——气象站; 10——焦庄; 11——大董村; 12——八十亩地; 13——庄伙;  
14——土洞; 15——坨里; 16——前朱各庄; 17——羊头岗; 18——丁家洼; 19——马各庄;  
20——炒米店; 21——中航; 22——马家坟; 23——怪村; 24——青龙头; 25——歇息岗;  
26——北庄; 27——红寺; 28——西坟; 29——田各庄; 30——夏村; 31——苏村; 32——良乡;  
33——长阳; 34——云岗; 35——未各庄; 36——晓儿营; 37——后甫营; 38——车场; 39——  
周口店; 40——支楼; 41——七里店; 42——普安屯; 43——前柳子; 44——马场; 45——杜家坎;  
46——芦沟桥; 47——李家峪; 48——东河沿; 49——瓦井; 50——天开; 51——二龙岗;  
52——水浴; 53——小董村; 54——阎村; 55——稻田。

分析近 30 年的大量监测数据发现:

(1) 就废气排放对环境的影响来看,  $^{131}\text{I}$  和  $^{125}\text{I}$  是关键核素。表 3.3 列出距排放点约 600m 处的院内监测点的监测结果 (1981 年该监测站因故被撤消, 新监测站至今未排上计划)。表 3.4 列出院外植物叶面上沉积的  $^{131}\text{I}$  和  $^{125}\text{I}$  的数量。

(2) 在 HWRR 满功率 (10MW) 运行期间,  $^{41}\text{Ar}$  在院区边界 (围墙) 上造成的外照射吸收剂量率约为  $(2\sim 8)\times 10^{-2}\mu\text{Gy/h}$ , 略低于天然贯穿辐射的空气吸收剂量率。

(3) 由于无组织排放 (大量放化实验室屋顶排放孔的排放及工棚矮烟囱排放) 排放出的气流均落在建筑物的尾流区内, 故对院内造成局部污染, 如  $^{210}\text{Po}$  最高空气浓度达到  $8\text{Bq/m}^3$ 。

表 3.2 辐射环境监测方法和最低探测限

| 介质和核素                               | 样品体积               | 采样分析测量方法                                                                   | 探测限                              | 需要的探测限                           |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 气体 ( $^{41}\text{Ar}$ )             | 20l                | 电离室连续测量                                                                    | $3.7\times 10^4\text{Bq/m}^3$    |                                  |
| 气溶胶总 $\alpha$                       | 80m <sup>3</sup>   | $\phi\text{n n-15}$ 滤纸 Zn (Ag) 计数器                                         | $3.7\times 10^{-5}\text{Bq/m}^3$ | $10^{-4}\text{Bq/m}^3$           |
| 气溶胶总 $\beta$                        | 80m <sup>3</sup>   | $\phi\text{n n-15}$ 滤纸薄塑料闪烁计数器                                             | $3.7\times 10^{-4}\text{Bq/m}^3$ | $1.3\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ |
| $^{131}\text{I}$                    | 80m <sup>3</sup>   | 活性炭滤纸薄塑料闪烁计数器                                                              | $1.1\times 10^{-2}\text{Bq/m}^3$ | $3.7\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ |
| $^3\text{H}(\text{HTO})(\text{空气})$ | 1m <sup>3</sup>    | 硅胶吸附 PPO-POPOP 二氧六环液闪计数器                                                   | $1.9\text{Bq/m}^3$               | 6 Bq/m <sup>3</sup>              |
| 环境气体 ( $^{41}\text{Ar}$ )           | 1.5l               | 塑料闪烁球连续测量                                                                  | $3.7\times 10^2\text{Bq/m}^3$    | 2 Bq/m <sup>3</sup>              |
| 环境气溶胶总 $\alpha$                     | 1m <sup>3</sup>    | $\phi\text{n n-15}$ 滤纸 ZnS (Ag) 闪烁计数器                                      | $1.1\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ | $3.7\times 10^{-4}\text{Bq/m}^3$ |
| 环境气溶胶总 $\beta$                      | 1m <sup>3</sup>    | $\phi\text{n n-15}$ 滤纸流气式 G-M 计数器                                          | $7.4\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ | $7.8\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ |
| $^3\text{H}(\text{HTO})$            | 1m <sup>3</sup>    | 硅胶吸附曲拉通一甲苯液闪计数器                                                            | $1.9\times 10^{-1}\text{Bq/m}^3$ | 6 Bq/m <sup>3</sup>              |
| $^{131}\text{I}$                    | 2m <sup>3</sup>    | 活性炭滤盒低本底 NaI (TI) $\gamma$ 谱仪                                              | $1.1\times 10^{-1}\text{Bq/m}^3$ | $3.7\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ |
| $^{210}\text{Po}$                   | 3m <sup>3</sup>    | $\phi\text{n n-15}$ 滤纸 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HCl}$ 体系镀 ZnS (Ag) 计数器 | $3.7\times 10^{-2}\text{Bq/m}^3$ | $7.8\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ |
| U                                   | 3m <sup>3</sup>    | 2%Li-F-98%NaF 荧光法                                                          | $20\times 10^{-12}\text{kg/m}^3$ |                                  |
| $^{239}\text{Pu}$                   | 5000m <sup>3</sup> | $\phi\text{n n-15}$ 滤纸三正辛胺一二甲苯反相层电沉积半导体 $\alpha$ 计数器                       | $7.4\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ | $3.7\times 10^{-4}\text{Bq/m}^3$ |
| $^{137}\text{Cs}$                   | 1m <sup>3</sup>    | $\phi\text{n n-15}$ 滤纸 NaI (TI) $\gamma$ 谱仪                                | $7.4\times 10^{-2}\text{Bq/m}^3$ | $3.7\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ |
| 液体总 $\beta$                         | 1.5l               | 流气式正比计数器连续测量                                                               | $3.7\times 10^3\text{Bq/m}^3$    | $2.6\times 10^2\text{Bq/m}^3$    |
| $^3\text{H}$                        | 3ml                | PPO-POPOP 二氧六环液闪计数器                                                        | $3.7\times 10^5\text{Bq/m}^3$    | $1.1\times 10^6\text{Bq/m}^3$    |
| 地下水总 $\beta$                        | 2 l                | 蒸发流气式 G-M 计数器                                                              | $7.4\text{Bq/m}^3$               | $2.6\times 10^2\text{Bq/m}^3$    |
| $^3\text{H}$                        | 7ml                | 曲拉通一甲苯液闪计数器                                                                | $3.7\times 10^4\text{Bq/m}^3$    | $1.1\times 10^6\text{Bq/m}^3$    |
| $^3\text{H}$                        | 2 l                | 电解曲拉通一甲苯液闪计数器                                                              | $3.7\times 10^2\text{Bq/m}^3$    | $1.1\times 10^6\text{Bq/m}^3$    |
| $^{90}\text{Sr}$                    | 3 l                | 硫酸盐沉淀流气式低本底 G-M 计数器                                                        | $3.7\text{Bq/m}^3$               | $2.6\times 10^2\text{Bq/m}^3$    |

续表 3.2

| 介质和核素             | 样品体积     | 采样分析测量方法                                         | 探测限                               | 需要的探测限                            |
|-------------------|----------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| $^{137}\text{Cs}$ | 10l      | 磷酸铵沉淀流气式低本底 G-M 计数器                              | $1.1\text{Bq/m}^3$                | $3.7 \times 10^8 \text{Bq/m}^3$   |
| $^{106}\text{Ru}$ | 5l       | COS 沉淀镁粉还原 $\text{CCl}_4$ 萃取流气式 G-M 计数器          | $3.7\text{Bq/m}^3$                | $3.7 \times 10^8 \text{Bq/m}^3$   |
| $^{131}\text{I}$  | 5l       | 离子交换 $\text{Cd}_4$ 萃取 $\text{AgI}$ 沉淀流气式 G-M 计数器 | $8.9\text{Bq/m}^3$                | $3.7 \times 10^2 \text{Bq/m}^3$   |
| U                 | 1l       | 荧光法                                              | $5 \times 10^{-9} \text{kg/m}^3$  |                                   |
| $^{239}\text{Pu}$ | 50l      | 氢氧化物碳酸盐沉淀三正辛胺-二甲苯反相色层电沉积半导体 $\alpha$ 计数器         | $2.6 \times 10^2 \text{Bq/m}^3$   |                                   |
| $^{137}\text{Cs}$ | 0.5l     | 低本底 NaI (TI) $\gamma$ 谱仪                         | $2.6 \times 10^4 \text{Bq/m}^3$   |                                   |
| 土壤总 $\alpha$      | 1g       | 厚源法 ZnS (Ag) 闪烁计数器                               | $3.7\text{Bq/kg}$                 |                                   |
| 总 $\beta$         | 2g       | 厚源法薄塑料闪烁计数器                                      | $1.1 \times 10^2 \text{Bq/kg}$    |                                   |
| $^{90}\text{Sr}$  | 3g       | 熔融硫酸盐沉淀流气式 G-M 计数器                               | $7.4 \times 10 \text{Bq/kg}$      | $7.4 \times 10^{-2} \text{Bq/kg}$ |
| $^{106}\text{Ru}$ | 10g      | 碱熔镁粉还原 $\text{CCl}_4$ 萃取流气式低本底 G-M 计数器           | $1.9 \times 10^2 \text{Bq/kg}$    |                                   |
| $^{239}\text{Pu}$ | 50g      | 硝酸浸取三正辛胺-二甲苯反相色层电沉积半导体 $\alpha$ 计数器              | $1.5 \times 10^{-2} \text{Bq/kg}$ |                                   |
| $^{137}\text{Cs}$ | 100g     | 低本底 NaI (TI) $\gamma$ 谱仪                         | $3.7\text{Bq/kg}$                 | $3.7\text{Bq/kg}$                 |
| 植物总 $\beta$       | 1g(灰)    | 厚源法流气式 G-M 计数器                                   | $1.9 \times 10^{-2} \text{Bq/kg}$ |                                   |
| 去 K 总 $\beta$     | 300g(鲜重) | 磷酸盐沉淀流气式 G-M 计数器                                 | $3.7 \times 10^{-2} \text{Bq/kg}$ |                                   |
| $^{90}\text{Sr}$  | 300g(鲜重) | 硫酸盐沉淀流气式 G-M 计数器                                 | $3.7 \times 10^{-2} \text{Bq/kg}$ |                                   |
| $^{137}\text{Cs}$ | 300g鲜重   | 同水中 $^{137}\text{Cs}$                            | $3.7 \times 10^{-2} \text{Bq/kg}$ | $7.4 \times 10^{-2} \text{Bq/kg}$ |
| $^{106}\text{Ru}$ | 6g(灰)    | 同土壤 $^{106}\text{Ru}$                            | $3.7\text{Bq/kg}$                 |                                   |
| $^{131}\text{I}$  | 500g(鲜重) | $\text{CCl}_4$ 萃取 $\text{AgI}$ 沉淀流气式 G-M 计数器     | $7.4 \times 10^{-2} \text{Bq/kg}$ |                                   |
| $^{137}\text{Cs}$ | 200g(鲜重) | 低本底 NaI (TI) $\gamma$ 谱仪                         | $3.7\text{Bq/kg}$                 |                                   |
| 贯穿 $\gamma$ 辐射    |          | NaI (TI) 探测器连续测量剂量仪                              | $1 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ | $1 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ |
| 贯穿 $\gamma$ 辐射    |          | $\text{CaSO}_4$ : Dy 热释光剂量计                      | $0.1\text{mSv/a}$                 | $0.5\text{mSv/a}$                 |
| 贯穿 $\gamma$ 辐射    |          | 高压电离室                                            | $5 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ | $1 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ |
| 贯穿 $\gamma$ 辐射    |          | 塑料闪烁剂量仪                                          | $1 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ | $1 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ |

(4) 有计划的放射性废水排放没有对地下水造成明显污染, 但  $^3\text{H}$  的浓度有明显升高, 最高值达  $4 \times 10^5 \text{Bq/m}^3$  (《放射防护规定》中规定露天水源中  $^3\text{H}$  的限制浓度为  $1.1 \times 10^7 \text{Bq/m}^3$ )。表 3.5 列出上下游地下水中总  $\beta$  放射性浓度 ( $^3\text{H}$  除外) 的年平均值。

(5) 事故性排放对地下水有显著影响, 表 3.6 列出查明的事事故性排放起因及其影响。由于这些事故以及可能还未查清的废水管线、贮罐的泄漏, 地下水有被  $^{90}\text{Sr}$  污染的迹象

表 3.3 院内环境监测点监测的大气中放射性核素浓度 (Bq/m<sup>3</sup>)

| 核 素   | 总 α                                    | 总 β                                    | <sup>131</sup> I      | <sup>3</sup> H          | <sup>239</sup> Pu                      |
|-------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| 浓度范围  | 2×10 <sup>-4</sup> ~2×10 <sup>-2</sup> | 2×10 <sup>-3</sup> ~4×10 <sup>-2</sup> | 3×10 <sup>-2</sup> ~5 | (3~3.7)×10 <sup>1</sup> | 7×10 <sup>-7</sup> ~2×10 <sup>-6</sup> |
| 年平均浓度 | 4×10 <sup>-4</sup>                     | 1×10 <sup>-2</sup>                     | 1×10 <sup>-1</sup>    | 7×10 <sup>-1</sup>      | 1×10 <sup>-6</sup>                     |

• 1977~1980 年。1981 年该点被迫停止工作。

表 3.4a <sup>131</sup>I 在主导下风向 200~1500 m 内植物叶面上的比活度 (Bq/kg)

| 年 份  | 1975                | 1976                | 1977                | 1978                | 1979                | 1980                | 1981   | 1982   |
|------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|--------|
| 平均浓度 | 1.3×10 <sup>2</sup> | 1.9×10 <sup>2</sup> | 1.5×10 <sup>2</sup> | 5.9×10 <sup>2</sup> | 2.4×10 <sup>2</sup> | 3×10                | 1.1×10 | 6.7    |
| 最大浓度 | 2.8×10 <sup>2</sup> | 4.8×10 <sup>2</sup> | 4×10 <sup>2</sup>   | 6×10 <sup>3</sup>   | 2.1×10 <sup>3</sup> | 1.5×10 <sup>2</sup> | 4.8×10 | 2.8×10 |

表 3.4b <sup>125</sup>I 在主导下风向 400~1500m 内植物叶面上的比活度 (Bq/kg)

| 年 份 | 1979                | 1980   | 1981   | 1982                |
|-----|---------------------|--------|--------|---------------------|
| 平均值 | 1.7×10 <sup>2</sup> | 5.9×10 | 2.4×10 | 6.3×10              |
| 最大值 | 4.8×10 <sup>2</sup> | 8.1×10 | 3.7×10 | 1.1×10 <sup>2</sup> |

表 3.5 地下水中总 β 放射性浓度年平均值 (Bq/m<sup>3</sup>)

| 年份*      | 1960                | 1965                | 1970                | 1975                | 1980                | 1983                |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 地点       |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
| 所 区      |                     |                     |                     | 6.4×10 <sup>3</sup> | 6.3×10 <sup>3</sup> | 6.7×10 <sup>3</sup> |
| 上游 2km 处 | 1.4×10 <sup>2</sup> | 1.0×10 <sup>2</sup> | 1.0×10 <sup>2</sup> | 8.5×10 <sup>1</sup> | 1.0×10 <sup>2</sup> | 7.0×10 <sup>1</sup> |
| 下游 4km 处 | 1.3×10 <sup>2</sup> | 1.0×10 <sup>2</sup> | 7.0×10 <sup>1</sup> | 8.9×10 <sup>1</sup> | 8.5×10 <sup>1</sup> | 9.3×10 <sup>1</sup> |

• 因逐年变化不显著, 故以 5 年为间距列出年平均值。

(见表 3.7)。表中数据表明, <sup>90</sup>Sr 的污染带正在向下游扩展。监测井(非民用井)中最高浓度为 1.1×10<sup>4</sup> Bq/m<sup>3</sup>, 至今仍保持在 1.2×10<sup>3</sup> Bq/m<sup>3</sup>, 而可探测的前沿已迁移至离院南围墙约 1.5km 处。

(6) 无组织的放射性废水排放(通过工业下水系统)造成小干河河床污染。表 3.8 列出 1982 年清除小干河污染淤泥时的监测结果。这些污染主要来自 6 次事故性误排。