

西安市室内环境辐射水平

强永刚 冯平恩 陈随明 高怀伟 侯振海 刘其华

(陕西省卫生防疫站)

摘要 本文用高灵敏度 $\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$ 热释光剂量计测量了西安地区居民室内环境辐射水平,并估算了居民受照剂量。结果表明,西安居民室内 γ 辐射水平为 $9.10 \times 10^{-8} \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$, 宇宙辐射电离成分的贡献为 $2.82 \times 10^{-8} \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。室内 γ 辐射致西安居民的年有效剂量当量和年集体有效剂量当量分别为 $374 \mu\text{Sv}$ 和 $1.36 \times 10^3 \text{Man} \cdot \text{Sv}$ 。

在人类赖以生存的室内环境中,人们一直受到天然存在的各种电离辐射源的照射。人类的大部分时间在室内度过,特别在工业发达的国家里,绝大多数人 80% 以上的时间是在室内度过^[1]。室内天然辐射主要来源于室内地面、建筑材料中天然放射性核素产生的 α 、 β 辐射体,以及次级宇宙辐射、贯穿入室内的室外辐射、室内物体产生的放射性和氡、氡放射性气体等。但室内 γ 辐射是他们一生中所接受天然辐射照射的主要来源。所以,近来一些欧洲国家进行了室内 γ 辐射的大规模调查^[2]。由于地下资源的不断开发和各种矿渣的综合利用,建筑材料的类型发生了巨大变化,为了研究不同建筑材料室内辐射水平,我们于 1987 年春季,采用热释光累积剂量测定法和 FD-71 型微伦仪瞬时剂量测定法对西安市室内环境天然辐射水平进行了测定,最后对西安市居民所接受的辐射剂量进行了估算。本文没有考虑室内氡、氡及子体所致的内剂量问题。

一、仪器与方法

本次调查的剂量元件采用国产高灵敏度氟化锂 [$\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$] 粉末,经 250°C 、15 min 严格退火处理后、封装在 $\phi = 3 \times 10$

mm 聚乙烯塑料管内,剂量计选用壁厚 3.00 mm 聚丙烯塑料制成外壳为 $\phi = 52 \times 13 \text{mm}$ 的圆型塑料盒。每个剂量计放置剂量元件 3 枚,根据不同建筑材料和建筑类型,将剂量计放置在室内(包括正厅、厨房、卧室、厕所等)桌子的抽屉内、床上或悬挂在离地面 $1.0 \pm 0.3 \text{m}$ 处,避免与陶瓷、金属等物体接触,连续放置三个月,取回用 FJ-377 型热释光剂量仪测读,每个剂量计可测读 6 个数据取算术平均值。

西安市居民室内环境辐射水平选择西安市区和市属长安县农区两个调查区,根据统计学样本容量公式^[3] $N = \left(\frac{U_{\alpha/2} \cdot S}{L} \right)^2$, 算得

每个调查区选择 35—61 个调查点即可满足统计学要求。美国 Livermore 实验室利用热释光方法曾在 100 所住宅内做过调查^[4]。波兰也在农村选择 22 个测点用氟化锂对室内做过调查。西安市共选得 104 所住宅,每个住宅内放置剂量计一枚,收回 99 枚,丢失 5 枚,回收率为 95%。

该次调查采用铅室直接布放剂量计,由始终放在铅室内对照剂量计的环境辐射水平 ($1.69 \times 10^{-8} \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$), 可以准确地估算出附加照射量,提高了测点的准确度。同时为了消除或减少热释光剂量计由于衰退、自辐射、光敏和测量仪器等引起的误差,每个调查

* 现已调广州医学院神经科学研究所。

点从同批剂量计中取出数枚投放,而刻度剂量计仍存铅室内,到 $\frac{1}{3}-\frac{2}{3}$ 调查周期,由铅室内取出刻度剂量计,用英国放化中心生产的 185.37 MBq 标准镭源,照射一组已知量,再存入铅室,等到调查周期结束,剂量计收回后同调查剂量计一起在仪器上交替测量。

二、结果与分析

1. 室内辐射水平

西安市居民室内环境天然辐射空气吸收剂量率的频数分布和累积频率分布见图 1 和 2。可见西安市室内天然辐射空气吸收剂量率近似正态分布,用算术均值表示全市室内辐射水平是合理的。西安市室内辐射水平累积测定值与瞬时值比较列于表 1 中,热释光累积测定值比 FD-71 型微伦仪瞬时值偏低,其相对误差为 14.83%。偏低的原因可能

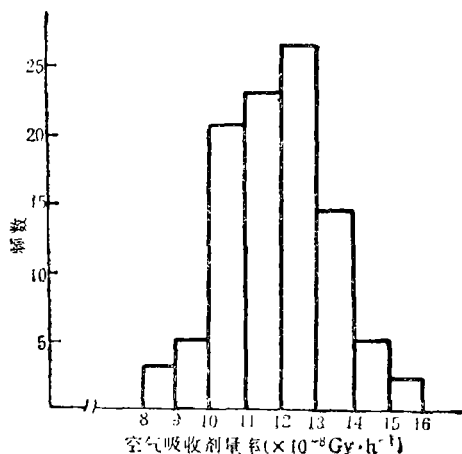


图 1 西安市室内天然辐射空气吸收剂量率频数分布

是累积剂量计连续记录三个月实际情况下各种变化的辐射水平,而 FD-71 型微伦仪主要限于无雨雪晴天的瞬时测量,且探测灵敏度较低,能量响应较差。因此,用累积测定值反映全年实际辐射水平是比较合理的。

热释光累积测得西安市区与农业区室内环境天然辐射水平(表 1)经统计学检验差异有非常显著性 ($P < 0.001$)。

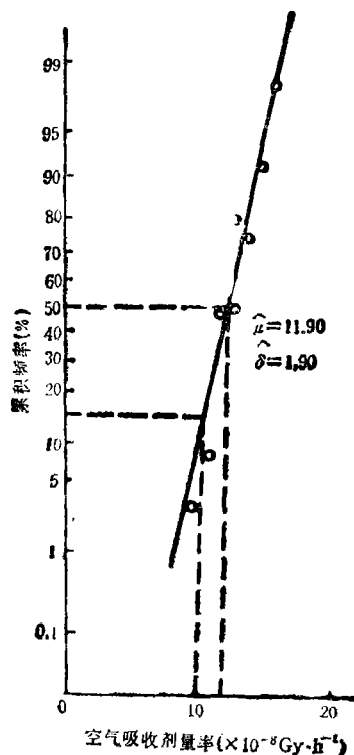


图 2 西安市室内天然辐射空气吸收剂量率累积频率分布

表 1 西安市室内天然辐射水平
($\times 10^{-8} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$)

区域	样本数 (N)	LiF(Mg,Cu,P) ($\bar{x} \pm SD$)	FD-71 型微伦仪 ($\bar{x} \pm SD$)
城市	47	11.40 ± 1.22	13.37 ± 0.87
农村	52	12.33 ± 1.44	14.49 ± 0.75
均值	99	11.89 ± 1.41	13.96 ± 0.98

建筑物内的 γ 辐射水平主要取决于建筑材料和室内地面中放射性核素的种类和含量。西安市居民住宅主要见于楼房和平房,城区以高层楼房和砖木平房为主,农村则以土木、砖木平房和二层小楼居多。不同建筑物室内 γ 辐射水平见表 2。西安城区与农村居民住宅中的 γ 辐射水平列于表 3 中。

调查发现农村室内 γ 辐射水平高于城区,楼房的室内 γ 辐射水平高于砖木平房,土木平房的辐射水平居中。

西安市居民住宅以砖、土、石、木为主要建材,砖、石与土壤有着密切的联系,用

表2 不同建筑物室内 γ 辐射水平
($\times 10^{-8}\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$)

建筑类型	样本数 (N)	FD-71型微伦仪 ($\bar{X} \pm SD$)	LiF(Mg, Cu, P) ($\bar{X} \pm SD$)
砖木平房	26	10.75 $\pm$ 0.85	8.66 $\pm$ 1.37
土木平房	38	11.49 $\pm$ 0.67	9.46 $\pm$ 1.27
二层小楼 (砖、水泥)	8	11.93 $\pm$ 1.00	9.38 $\pm$ 2.08
砖高层 水泥楼房 钢筋	1层	10.96 $\pm$ 0.71	9.05 $\pm$ 0.93
	2层	11.99 $\pm$ 0.74	10.00 $\pm$ 0.79
	3—4层	10.21 $\pm$ 0.42	9.29 $\pm$ 0.71
	均 值	11.16 $\pm$ 0.85	9.09 $\pm$ 1.34

表3 西安市室内 γ 辐射水平
($\times 10^{-8}\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$)

区域	样本数 (N)	LiF(Mg, Cu, P) ($\bar{X} \pm SD$)	FD-71 型微伦仪 ($\bar{X} \pm SD$)
城市	47	8.84 $\pm$ 1.16	10.82 $\pm$ 0.79
农村	52	9.32 $\pm$ 1.45	11.47 $\pm$ 0.79
均值	99	9.10 $\pm$ 1.34	11.16 $\pm$ 0.85

Ge(Li) γ 谱和 Ge(Li) 反康普顿 γ 谱分析技术测得西安市郊土壤中放射性核素及含量^[5]

表4 西安市郊土壤中放射性核素含量

放射性核素 土壤	^{238}U (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	总 β (Bq/kg)
荒地土壤	41.7 $\pm$ 6.5	36.9 $\pm$ 2.9	54.0 $\pm$ 2.9	685 $\pm$ 24	5.4 $\pm$ 2.2	1109 $\pm$ 108
耕地土壤	43.1 $\pm$ 12.9	36.4 $\pm$ 3.3	53.7 $\pm$ 2.9	688 $\pm$ 32	5.5 $\pm$ 1.9	1056 $\pm$ 127

表5 西安市室内宇宙辐射电离成分
($\times 10^{-8}\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$)

区 域	修 正 值 ($\bar{X}$)	未修正值 ($\bar{X}$)
农村	3.06	3.21
城市	2.56	3.17
均值	2.82	3.19

城市居民为 150 μSv 。集体年有效剂量当量按西安市农业人口数和非农业人口数以

$$S_{\text{eff}} = \sum_i H_{\text{eff}_i} \cdot N_i \text{ 加权。西安市居民的集}$$

的算术均值列于表4中。据 Beck 等给出的换算因子, 算得距地面 1 m 处土壤中天然放射性核素给出的空气吸收剂量率为 $8.11 \times 10^{-8}\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。这与表3实际测量值 $9.10 \times 10^{-8}\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 比较接近。

2. 居民剂量估算

热释光剂量计测得西安市室内 γ 辐射水平列于表3中, 宇宙辐射的估算仅考虑电离成份, 根据海拔高度和地磁纬度按 NCRP 报告 (NO.45, 1975) 来确定, 忽略了太阳活动周期、太阳耀斑、大气温度等的影响见表5, 室内用房屋屏蔽修正系数修正^[6]见表6。

居民年有效剂量当量的估算按联合国原子辐射效应科学委员会 1982 年报告书中的估算方法, 居民各种环境居留因子的统计列于表7中。由此算得室内 γ 辐射致西安居民的年有效剂量当量为 374 μSv , 其中农村居民的年有效剂量当量为 314 μSv ; 城市居民为 429 μSv 。宇宙辐射致西安居民年有效剂量当量为 165 μSv , 其中农村居民为 179 μSv ;

表6 对房屋建议的宇宙射线屏蔽系数 (S)

平 房	S	楼房*	S
木房	1.00	平台	1.00
草顶房	1.00	1 层	0.90
瓦房	0.95	2 层	0.80
砖(土、石)房	0.90	3—8 层	0.70
(房顶为土层或水泥)		9—20 层	0.60
窑洞	0.50	21—35 层	0.50

* 由顶层向下数, 即把习惯说法倒过来。

体年有效剂量当量为 $1.36 \times 10^3 \text{Man} \cdot \text{Sv}$ 。

1) 卫生部, 中国环境电离辐射水平及居民受照剂量(外照射部分), 4 页, 北京, 1986 年。

表7 西安市室内外环境居留因子(q)

环境	UNSCEAR	西 安 市		
		城 市	农 村	综 合
室内	0.8	0.79	0.55	0.67
室外	0.2	0.21	0.45	0.33

三、结 语

西安市居民住宅内的天然辐射水平为 $11.89 \times 10^{-8} \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$; γ 辐射水平为 $9.10 \times 10^{-8} \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$; 宇宙射线电离成分的贡献为 $2.82 \times 10^{-8} \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。室内 γ 辐射水平与测得本市土壤中放射性核素及含量所计算的平均值 $8.11 \times 10^{-8} \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 较接近, 而比联合国原子辐射效应科学委员会规定的世界平均值 $7.0 \times 10^{-8} \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ [2] 偏高, 但仍属正常本底水平。调查还发现西安市居民 67% 的时间

是在室内度过的, 城市居民室内居留时间高达 79%, 而农村居民仅为 55%。

室内 γ 辐射致西安居民的年有效剂量当量为 $374 \mu\text{Sv}$, 城市居民年有效剂量当量高于农村居民, 这与城市居民室内活动时间较多有关。西安市居民的集体年有效剂量当量为 $1.36 \times 10^3 \text{Man} \cdot \text{Sv}$ 。

参 考 文 献

- [1] Karpov V.I. et al., *Health Physics*, 39(5), 819 (1980).
- [2] 诸洪达等, 国外医学放射医学核医学分册, 11(3), 136(1987).
- [3] 高玉堂, 环境监测常用统计方法, 185 页, 原子能出版社, 北京, 1980 年.
- [4] Lindeken C. L. et al., *Health Physics*, 24(1), 81(1973).
- [5] 庞巨丰等, 环境科学, 9(1), 5(1988).

(收稿日期: 1988 年 10 月 4 日)

• 环境信息 •

蒙特利尔关于消耗臭氧层物质议定书的要点

在加拿大的蒙特利尔于 1987 年 9 月 16 日, 46 国签署了外交会议的最后协议, 24 国和欧洲共同体签订了一个条约, 这就是现在称为“蒙特利尔关于消耗臭氧层物质议定书”。该议定书规定了短期和长期计划, 阐明一切损耗臭氧层的物质, 特别是氯氟烃类物质, 其要点是: 立即冻结 8 种氯氟烃的 1986 年消费水平, 继后按 20%, 再其后按 50% 削减其消费量。计算消费量按产量加上进口量, 再减去出口量。

禁止从非签约国进口大量氯氟烃。对发展中国家免除 10 年冻结。鉴于估计到的平流层臭氧耗竭, 要提供防治措施的定期检查, 实施该议定书的必要条件。但对实施该议定书的方法未达成协议。

孙伯英编译自 *JAPCA*, 37(12), 1467(1987) 和 81st *Air Pollut. Control Assoc. Annu. Meet.*, Pap. 88-141.1:18P.

挪威执行国际平流层臭氧议定书的计划

挪威的氯氟烃消费量预计到 1991 年减少 50%, 到 1995 年减少 90%, 这将超过“蒙特利尔关于损耗臭氧层物质议定书”的要求。依照法规规定, 禁止进口一切使用氯氟烃的新产品, 特别是挤压聚苯乙烯泡沫绝缘材料。新规定要求用氯氟烃作为工作液的热泵把泄漏减少到最低限度。到 1990 年以后制造硬质泡沫聚氨酯的氯氟烃用量削减 50%, 1991 年以

后禁止在制冷和空调设备上使用大于 3 公斤的氯氟烃, 禁止在电子工业和石油工业中使用氯氟烃作溶剂。该项计划的费用估计每年要花费 900—2600 万美元或每年人均 7 美元。

孙伯英摘译自 81st *Air Pollut. Control Assoc. Annu. Meeting, Pap.* 88-141.3:4P. (Dallas, 6/19—24/88)

to determine the optimal numbers of stations for monitoring water quality in Xiamen region, Fujian Province. (See pp. 26—30)

Radiative Levels of Indoor Environment in Xia'n City

Qiang Yonggang et al. (Shaanxi Provincial Station of Sanitation and Epidemic Prevention, Xi'an)

This paper presents that the radiative levels of indoor environment in Xi'an City were investigated with a high sensitivity thermoluminescent dosimeter—LiF(Mg, Cu, P).

The radiative doses absorbed by local residents were also evaluated. The results show that average γ -radiation dose in air absorbed by the residents seems to be $9.10 \times 10^{-8} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ and the contributive component of cosmic ray to be $2.82 \times 10^{-8} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$. The annual effective dose equivalent and collective effective dose equivalent have been determined to be $374 \mu\text{Sv}$ and $1.36 \times 10^8 \text{ Man} \cdot \text{Sv}$. (See pp. 30—34)

Study on Treatment and Utilization of Industrial Wastewater in Dexin Copper Mine

Ni Dong (Beijing Central Engineering and Research Institute for Non-ferrous Metallurgical Industry, Beijing)

Dexin Copper Mine is one of the largest mines in the world. The industrial wastewater discharged from the mine is more than $300000 \text{ M}^3/\text{day}$. The acidic water from the mine in brown colour contains a lot of heavy metal ions, such as ferric ion and copper ion etc. The pH of acidic water is 2 or 3 while the pH of the tailing slurry and sulfur-bearing basic water discharged from the concentrator is 10 to 13. As it contains comparatively high sulphur ions, this water threatens the environment around the lower reaches of the river and causes big loss of resources.

Since Fe^{3+} in mine acidic water is ten times higher than copper ion, the addition of lime can remove Fe^{3+} in the first stage and sulphur-bearing wastewater is added to form sulphide settlings and recover copper in the second stage. In the third stage, the process with addition of basic wastewater for neutralization is adopted and through multitypes of tests, the water can be discharged out or recycled for use. At the same time, copper ion in water can be effectively recovered, thus environmental and economic benefits are achieved. (See pp. 34—39)

Ambient Two-Phase UASB Process for Treatment of Brewery Wastewater

Yan Yuegen, Liu Jingsong and Hu Jicui (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing)

Performance of ambient (25°C) two-phase UASB process treating malting wastewater (diluted to 2000 mgCOD/L) has been investigated. It is shown that this process has a high treatability with organic loading rate of $18 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$, HRT of 2.7 h and soluble COD removal of 86% on a methane phase base. A systematic research is also done on the performance of acid- and methane-phase reactors and property of granules. (See

pp. 39—43)

Rapid Method for Spectrophotometric Determination of Sulphate in Surface Water Using Ion-Exchange Separation and the Sulphate and Chlorophosphonazo III (CPA III)- Ba^{2+} Complex Reaction

Qiu Xingchu, Liu Guoping and Zhu Yingquan (Research Institute of Environmental Science of Ganzhou Prefecture Jiangxi Province)

A rapid spectrophotometric method for determination of SO_4^{2-} in surface water is reported. It is based on the reaction of CPA III- Ba^{2+} complex with SO_4^{2-} in acidic medium in the presence of ethanol. Beer's law is obeyed up to $120 \mu\text{g}$ of SO_4^{2-} in final solution. The molar absorptivity is $6.3 \times 10^3 \text{ liters} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ at 500 nm, and the coefficient of variation varies from 1.85 to 3.10%. The absorbance remains stable for at least 24h and the interfering ions in separated by strongly acidic cation-exchange resin. (See pp. 51—53)

Study on the Microbial Membrane Electrode for BOD Determination

Sun Yusheng and Liu Xianmei (Hebei Institute of Chemical Technology and Light Industry, Shijiazhuang)

The electrodes of four different microbial membranes have been prepared for determining BOD in wastewater. The linear response range of the electrodes is 10—60 mg/L for BOD certified reference materials. The time for reaching equilibrium is between 4 minutes (for low limit concentration) to 7 minutes (for high limit concentration). The electrodes has sustained the initial sensitivity over 20 days. Compared with the standard method for five days, the microbial electrodes prepared for determination of BOD have obtained good results. (See pp. 53—57)

Multi-Target Optimization of Environment-Economic System

Liu Youci and Ying Longgen (Department of Geography, East China Normal University, Shanghai)

Target programming as a kind of multi-target optimization technique has been found to be increasingly utilized. Taking Shanghai Taopu Chemical Industry District as a case study, the authors present three alternative schemes for reducing discharge of pollutants: (1) reduction by 5%; (2) reduction by 10%; (3) discharge in conformity with norm. Then, they set up a model of target programming for the environment-economic system of this industrial district and performed multi-target optimization simulation for the system by means of a computer. The results of optimization provide concrete approaches to rational adjustment of trade structure, which will better coordinate the two principal factors of the system, i. e. environment and economy so as to redress the existing random state of environment-economic system of the district. The system has its integral and comprehensive functions. The optimization schemes not only
(Continued on p. 83)