

解放军医学图书馆天然外照射的测量与比较

李蓉 郭勇¹ 罗成基 杜杰² 张建¹ 王卫东 严恩光¹

(第三军医大学复合伤研究所, 重庆 400038)

中图分类号: R145; X591 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(1999)03-0147-04

天然辐射是人类所受辐射照射的最大来源, 在正常本底地区, 来自天然本底外照射的年有效剂量估计为 $800\mu\text{Sv}^{[1]}$ 。环境中天然贯穿辐射的本底是每个国家的重要国情资料之一。我国, 1983~1990 年, 卫生系统和国家环境保护局分别完成了全国环境天然电离辐射水平调查。但对一些有着特殊意义的场所, 其环境中天然贯穿辐射水平可能不同于一般建筑物, 其测定工作, 还有待于逐步开展。

解放军医学图书馆主要为军队医务工作者乃至全国各地的读者提供医学信息, 是全军医学图书资料中心和全军医学信息交流中心。图书馆有卫星数据通信网络系统与广州、上海、重庆、西安四个军医大学图书馆相联。整个大楼总面积 12380m^2 , 20 个阅览室, 藏书 70 万册, 工作人员约 200 人, 每天有读者近 700 人。

然而, 由于下列原因: (1) 北京气候冷暖变化较大, 图书馆采用了夏季空调, 冬季暖气的办法, 全年共有 240 多天, 整个图书馆是在封闭或半封闭状态, 窗户开放时间较少; (2) 大量地使用计算机、显示器等放出射线的仪器; (3) 书库库存量大, 藏书较多; (4) 地下室通风状况大好, 易导致氡及其子体的累积, 浓度上升; 这些因素有可能导致图书馆辐射水平较一般建筑物高。1997~1998 年, 我们对解放军医学图书馆的天然贯穿辐射水平进行了测量, 研究了其四季的变化规律, 并对其进行了评价, 以此为天然贯穿辐射累积测量的研究积累资料; 同时探讨了图书馆环境中的天然辐射剂量对工作人员、广大读者的辐射影响。

1 仪器与方法

1.1 瞬时测量法

1.1.1 便携式智能辐射仪 BZNF-1

常州第二电子仪器厂生产, 北京防化研究院研制。该仪器具有较高的灵敏度, 对地层 γ 辐射和宇宙射线有良好的能量响应特性, 稳定性好。测量前与 Reuter-Stokes RSS-111 型高压电离室进行现场比对。

1.1.2 测点的选择和布设

根据图书馆的特点, 在各层选择不同用途、不同

建筑材料的房间, 或具有代表性的房间, 每个房间设 5~10 个调查点。

1.1.3 测量时间

一年中的春、夏、秋、冬四个季节, 选取晴朗天气, 避开强烈的季节因素影响, 如避开风霜雨雪的天气; 同时选择在每天的相同时间, 进行测量。测量时探头距地面在 $1.0\pm 0.3\text{m}$, 每个测点读 50 个读数, 每隔 5s 测读一次。

1.2 热释光测量法

1.2.1 仪器设备 (1) 英国 VINTEN 654 型热释光读出器; (2) 北京核仪器厂 FJ-411 型退火炉; (3) 军事医学科学院放射医学研究所研制的 BIRM-1000 型徽章式热释光剂量计; (4) 全军医用放射计量总站的 ^{60}Co 刻度源。

1.2.2 测量方法 热释光剂量计内置 4 个 LiF: Mg, Cu, P 热释光探测器 (以下简称探测器), 长 \times 宽 \times 厚为 $4.5\text{mm}\times 4.5\text{mm}\times 1\text{mm}$ 。

每次测量周期三个月, 每个测量周期均同时放置本底剂量计。测量中若发现两个月剂量 $\geq 1.5\text{mGy}$ 者, 认真查明剂量较大原因, 确属于不真实的测量数据或现场监测结果表明完全没理由出现该数据时, 则剔除它。

1.2.3 质量控制

(1) 定期筛选, 刻度标准曲线: 每个测量周期都使用同一批探测器, 在使用前对探测器按标准偏差法进行筛选分档, 其分散性在 $\pm 5\%$ 范围内; 每两个周期进行一次筛选和刻度, 得出刻度系数。经中国计量科学研究院检定的刻度源和探测器刻度系数偏差 $\leq 2\%$ 。

(2) 严格控制退火和测量条件: 由于 LiF: Mg, Cu, P 探测器对退火温度要求严格, 故在放置剂量计前先将探测器退火 (退火炉经国家计量院刻度), 确保退火温度为 $240\pm 1^\circ\text{C}$, 0.5h 范围内, 快速冷却。在每个周期待放置的探测器中, 留有刻度检验探测器, 以核查探测器的残留剂量及刻度系数。

(3) 调查范围和样本确定: 根据实际情况, 在各楼层各选择不同的测点数, 即样本容量应满足要求; 同时考虑到样本的代表性, 目的是为了做到更详尽的研究, 可获得各测点室内外贯穿辐射水平。室外测量中, 剂量计悬挂在小树干上, 均采取避免阳光直

1. 北京放射医学研究所

2. 二炮防疫防护队

射或避雨淋措施,测点距地面 $1.0 \pm 0.3\text{m}$ 。室内测点考虑了不同房间的不同用途和不同类型建筑材料,剂量计多放在书架上,距墙大于 30cm ,每个房间选三至五个能代表整个房间平均水平的测点,同时对一些特殊意义的地方也选为测点进行重点监测。

(4)宇宙辐射的确定:热释光剂量计测得的值是总贯穿辐射,其中包括 γ 辐射和宇宙辐射(本文均指宇宙辐射中的电离成分)。因估算居民受照剂量时,二者利用的模式不同,因此需把宇宙辐射从总贯穿辐射中分离出来。由于本研究条件所限,我们采用了文献^[1]上的数据作为宇宙辐射的剂量值。为便于与其他方法进行比较,在处理数据时,均用空气吸收

表1 解放军医学图书馆室外天然贯穿辐射空气吸收剂量率($\times 10^{-8}\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)

季节	测量方法	地球 γ 辐射		TLD法/ 瞬时法	总贯穿辐射		TLD法/ 瞬时法
		范围	均值		范围	均值	
春季	瞬时法	4.57~12.38	7.84 \pm 1.21	0.51	7.63~15.44	10.90 \pm 1.79	0.66
	TLD法	3.24~5.02	3.98 \pm 0.87		6.71~8.95	7.18 \pm 1.68	
夏季	瞬时法	5.23~13.57	8.53 \pm 2.08	0.87	8.29~16.63	11.59 \pm 2.46	0.91
	TLD法	6.28~8.56	7.38 \pm 1.23		8.19~13.78	10.58 \pm 2.03	
秋季	瞬时法	4.34~12.61	7.34 \pm 2.57	0.62	7.40~15.67	10.40 \pm 3.68	0.74
	TLD法	3.86~6.29	4.54 \pm 1.17		6.51~9.16	7.74 \pm 1.49	
冬季	瞬时法	5.09~12.63	7.80 \pm 1.34	0.75	8.15~15.69	10.86 \pm 1.59	0.84
	TLD法	4.37~7.76	5.88 \pm 1.56		8.53~11.27	9.08 \pm 2.37	
平均	瞬时法	4.34~13.57	7.88 \pm 1.39	0.69	7.40~16.63	10.94 \pm 2.45	0.79
	TLD法	3.24~8.56	5.44 \pm 0.95		6.51~13.78	8.64 \pm 1.02	

从表中可看出,瞬时法测得室外空气吸收剂量率随四季的变化不大;而热释光法的结果却发现,随着季节的变化,室外空气吸收剂量率也随之变化,夏季最高,春季最低。这似乎表明了室外空气吸收剂量率随季节的变化有一定的变化。而国外学者多认为外照射剂量率很少随季节而变化,作者认为这种结论多是采用瞬时测量,而瞬时测量时,大都要求避开风霜雨雪天气对外照射剂量率的影响,同时也忽略了空气中氡及其子体浓度变化得出的结论,其测量时的气候条件大致相同;而累积测量时,真实地反映了季节因素的影响,故导致了数值的差异。在我

表2 解放军医学图书馆室内 γ 辐射空气吸收剂量率($\times 10^{-8}\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)

季节	瞬时测量法		热释光法		TLD法/ 瞬时测量法
	范围	均值 \pm 标准差	范围	均值 \pm 标准差	
春季	5.87~13.24	8.39 \pm 1.21	4.45~10.73	7.04 \pm 1.24	0.84
夏季	6.25~13.58	8.62 \pm 0.80	7.08~12.74	8.80 \pm 1.37	1.02
秋季	5.48~11.32	7.78 \pm 0.83	4.52~10.23	6.78 \pm 0.94	0.87
冬季	6.78~12.42	8.44 \pm 1.36	5.63~10.84	7.50 \pm 1.05	0.89
平均	5.48~13.58	8.31 \pm 0.73	4.45~12.74	7.53 \pm 0.68	0.91

2.2.1 季节因素影响 本次测量室内贯穿辐射空气吸收剂量率以夏季稍高,其他季节无显著差别。

剂量率。

(5)热释光剂量计用于环境累积剂量的测量,除了统计误差外,还有受布放点地形、地物影响,季节气候变化以及人为因素有关。我们在布放时,尽可能使这些因素的影响减到最小。

2 结果与讨论

2.1 室外贯穿辐射

表1是用瞬时测量法和热释光法测得的解放军医学图书馆室外天然贯穿辐射空气吸收剂量率的范围与均值。结果表明,瞬时法测得室外全部测点地球 γ 辐射的算术均值为 $7.88 \times 10^{-8}\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$;热释光法测得的算术均值为 $5.44 \times 10^{-8}\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

国两次大规模的天然辐射调查中,南方避开了高温季节,北方避开了高寒季节,即避免强烈的季节因素影响。所以在将来的工作中,尤其在累积测量时,有必要注意季节对室外外照射剂量率的影响。

2.2 室内贯穿辐射水平

室内贯穿辐射水平是本研究的重点,在图书馆内共选择279个点。表2列出了解放军医学图书馆室内天然贯穿辐射空气吸收剂量率。结果表明,瞬时法测得室内地球 γ 辐射空气吸收剂量率算术均值为 $8.31 \times 10^{-8}\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$;热释光法测得地球 γ 辐射空气吸收剂量率的算术均值为 $7.53 \times 10^{-8}\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

这可能与有建筑物屏蔽,四季对室内的影响小有关。对夏季稍高的原因,作者认为可能与图书馆夏季长

时间使用中央空调, 门窗封闭或半封闭, 且降雨较其他季节偏多有关。

为验证季节及楼层对空气吸收剂量率是否有影响, 我们选择了除高度外其余条件均相同的各层楼梯, 排除了其他因素的影响, 测量了三个季节的空气吸收剂量率, 见表 3。结果发现秋季较夏冬季稍低, 但差异不显著, 这说明季节对室内空气吸收剂量率影响较小; 各个楼层之间无显著差异, 这可能与图书馆是砖结构建筑物, 因其屏蔽了室外 γ 辐射的绝大部分, 故楼层与层之间无明显的变化。

表 3 室内各层楼梯瞬时剂量率随季节的变化

楼层/季节	夏季	秋季	冬季
一楼楼梯	9.19±1.90	8.19±1.33	8.91±1.81
二楼夹层楼梯	9.26±2.42	8.47±1.44	8.91±0.87
二楼楼梯	8.77±1.64	8.18±1.88	8.86±2.76
三楼楼梯	9.65±1.66	7.84±1.20	9.39±1.46
四楼楼梯	8.99±1.40	7.93±0.93	9.20±0.84
五楼楼梯	9.33±1.67	8.24±1.03	8.81±1.85

2.2.2 使用视屏显示终端(Visual Display Terminal,

表 4 使用 VDTs 的房间与未使用 VDTs 的房间 γ 辐射空气吸收剂量率($\times 10^{-8}\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)

楼层	测量方法	春季	夏季	秋季	冬季	平均
一楼大厅	瞬时法	8.05±1.43	9.15±1.71	7.46±1.09	8.01±0.40	8.17±1.27
	TLD 法	6.22±1.18	7.11±1.97	5.38±1.08	5.47±1.04	6.05±1.18
检索室	瞬时法	10.28±1.56	9.57±1.56	9.25±2.42	9.21±0.37	9.58±2.34
	TLD 法	6.93±1.37	8.94±1.07	6.08±1.53	7.24±0.67	7.30±1.06
音像资料室	瞬时法	9.34±1.53	8.65±1.26	8.38±1.56	8.87±0.85	8.81±0.89
	TLD 法	6.79±1.08	6.76±1.07	6.02±1.42	7.04±1.58	6.65±0.92
视听室	瞬时法	10.12±1.46	10.69±1.46	10.53±1.62	10.95±1.75	10.57±0.84
	TLD 法	7.56±1.23	7.89±1.28	7.91±1.57	7.53±1.23	7.72±1.64
编辑复制室	瞬时法	9.23±0.60	9.65±1.64	7.72±0.58	9.13±0.77	8.93±0.51
	TLD 法	7.06±1.86	7.06±1.62	6.47±1.29	6.90±0.98	6.87±0.86
二楼计算机房	瞬时法	9.86±0.71	9.75±1.77	7.90±1.42	8.54±0.83	9.01±1.08
	TLD 法	6.77±0.91	8.17±1.54	6.38±1.35	7.37±1.94	7.17±0.81
现刊及检索	瞬时法	7.12±1.16	8.28±2.45	7.14±1.73	7.12±1.88	7.42±1.19
	TLD 法	6.83±1.05	9.37±1.91	7.46±1.82	8.31±1.64	7.99±0.74
四 楼	瞬时法	7.34±1.30	7.48±1.72	6.84±1.31	7.33±0.93	7.25±0.82
	TLD 法	7.42±1.27	10.12±2.01	8.04±1.67	8.16±1.58	8.44±1.31

2.2.3 不同建筑材料的房间: 在本调查中, 将图书馆按墙体材料和地板材料粗分为四类, 见表 5。

表 5 不同建筑材料的室内 γ 辐射剂量率($\times 10^{-8}\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)

房间类型	个数	范围	均值
砖墙大理石地	9	4.22~8.74	6.05
砖墙水泥地	25	6.94~10.72	8.93
砖墙砖地	6	7.54~10.85	9.12
混凝土墙水泥地	14	7.25~11.02	9.05

因一楼大厅是大理石地面, 其剂量也低于其他建筑材料房间, 其他建筑材料之间无显著差异。瞬时测

VDTs) 的房间

用瞬时法测量时, 使用 VDTs 的房间, 其空气吸收剂量率的均值均高于未使用 VDTs 的房间, 见表 4。国内外有学者^[2]作过大量的调查^[4], 多认为尽管 VDTs 的显象管会发出 X 射线, 但近年来生产的显象管所发出 X 射线已大大降低, 在正常情况下, 照射剂量率小到可忽略不计的程度, 即使在开机、关机状态也不会产生超过本底辐射的剂量率。VDTs 发出射线的主要来源是荧光屏玻壳中 ^{40}K 及微量稀土元素所产生的 β 和 γ 射线, 但这些剂量远低于有关国际标准。本次调查发现, 使用 VDTs 的房间其空气吸收剂量率虽高于未使用的房间, 但仍在北京市室内 γ 剂量率的范围($4.23\sim 15.16$) $\times 10^{-8}\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 之内, 即仍在天然本底辐射的范围之内。用累积法测量时, 这些房间的空气吸收剂量率值并未比别的房间, 如四楼等未使用计算机的房间高。这可能与瞬时测量时计算机多处于开机状态, 而累积法在进行长期测量有关。但详细原因尚待进一步探讨。

量法和累积测量法所得结果一致, 也与北京市对一些特殊景点, 如故宫的测量结果是一致的^[3]。

2.3 剂量估算

剂量估算主要参照 UNSCEAR 1993 年报告采用的方法估算出整个图书馆人员所受的地球 γ 辐射年有效剂量。

2.3.1 年有效剂量计算公式

$$\text{He}(\gamma) = C(Q\text{Da}_{\text{室外}} + Q\text{Da}_{\text{室内}})$$

He(γ): 地球 γ 辐射致电离辐射成份所致年有效剂量;

C: 将空气吸收剂量率换算成年有效剂量的转

换系数, 取 0.7SvGy^{-1} ;

Q: 居留因子, 室内取 0.87, 室外取 0.13;

Da: 室内外空气吸收剂量率按人口加权平均值。

在居留因子的估算中, 据调查资料表明, 国内各类人群约有 89% 以上的时间是在室内度过的^[4], 考虑到世界平均值和我国同类资料的取值, 以及图书馆工作人员和读者在室内呆的时间较长, 室外活动时间较短, 在此处居留因子室内取 0.87, 室外取 0.13。

2.3.2 年有效剂量

在北京市, 宇宙辐射电离成分所致人均年有效剂量约为 $250\mu\text{Sv}^{[5,9]}$, 中子成分产生的年有效剂量暂取文献^[7]中我国居民所受的人均年有效剂量值 $57\mu\text{Sv}$ 。医学图书馆工作人员同样受到宇宙射线的照射, 故宇宙射线致人均年有效剂量取 $307\mu\text{Sv}$ 这一数值, 其集体年有效剂量为 $2.76 \times 10^{-1}\text{man. Sv}$ 。通过上述计算, 综合上述两种方法的结果得出: 图书馆工作人员受到地球 γ 辐射所致的人均年有效剂量为 $481\mu\text{Sv}$, 集体年有效剂量为 $4.32 \times 10^{-1}\text{man. Sv}$ 。天然贯穿辐射所致的人均年有效剂量为 $788\mu\text{Sv}$, 集体年有效剂量为 $7.09 \times 10^{-1}\text{man. Sv}$ 。

3 小结

通过对解放军医学图书馆的调查结果表明, 使用 HZNF-1 便携式智能辐射仪测量瞬时剂量率, 同时使用热释光法测量累积剂量, 两者的结果在某些

方面有一定的差异, 但总的说来, 两者是相一致的。综合两种方法的结果得出: 图书馆工作人员受到地球 γ 辐射所致的人均年有效剂量为 $481\mu\text{Sv}$, 集体年有效剂量为 $4.32 \times 10^{-1}\text{man. Sv}$ 。天然贯穿辐射所致的人均年有效剂量为 $788\mu\text{Sv}$, 集体年有效剂量为 $7.09 \times 10^{-1}\text{man. Sv}$ 。

参考文献:

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. New York: United Nations, 1993.
- [2] 郭勇, 金冈年, 梁德明, 等. 电离辐射与人类生活. 第一版. 北京: 原子能出版社, 1990, 18.
- [3] 北京环境保护科学研究所. 北京市特殊环境天然放射性水平的调查. 1989.
- [4] 侯悦. 军队卫生学. 第 4 版. 北京: 人民军医出版社, 1998, 159.
- [5] 潘自强, 郭明强, 崔广志, 等. 中国天然辐射本底水平和居民剂量估算. 辐射防护, 1992, 12(1): 251-259.
- [6] 北京环境保护科学研究所. 北京市环境陆地 γ 辐射剂量水平调查. 1989.
- [7] 潘自强. 中国国民剂量初步评价. 辐射防护, 1997, 17(2): 81-101.

收稿日期: 1999-03-09

(上接 146 页)

2.4 IBSS 标准的适用性

IAEA 等 6 个国际组织对 CT 多层扫描平均剂量 (MSAD) 的推荐水平为 50mGy , 在检测中由于层厚和间隔相等, MSAD 在数值上等同于 CTDI^[7], 由对图 1 的分析可知, 757 台 CT 机中 91% 的 CT 机符合推荐水平要求。因此, 从总体应用状况来看, IBSS 标准的推荐水平在我国是适用的。

从 7 台新型 CT 机中有 3 台超过了 50mGy 的指导水平。在使用 CT 装置检查的照射实践中, 剂量学指标首先应服从于影像质量保证要求。随着 CT 机日益向功能化发展; 在某些特殊的诊断中需要较大剂量的照射, 应被视为允许的。IBSS 标准中指出: 如果可靠的临床判断指明要求采用大的照射, 则可以灵活地加以应用^[1]。因此, 我国在制定相关标准和法规时应与 IBSS 同样将 50mGy 定为指导水平, 不应定为强制执行的剂量限值。

此外, 为了满足影像质量保证的要求, 仅仅给出指导水平的上限是不够的, 过低的剂量将严重影响空间分辨力及低对比度分辨力等性能指标。从剂量分布数据并结合临床照片评估结果分析, 剂量指数应保持在 $20 \sim 50\text{mGy}$ 为宜。

(徐家兴教授、章宗穆教授、李铁教授、吴毅教授等参加部分工作并予以指导, 以周连江、王黎云等教授为首的检测组提供了部分数据, 谨此致谢。)

参考文献:

- [1] 国际原子能机构. 国际电离辐射防护和辐射源安全的基本标准(安全丛书 No. 115), 维也纳, 1997, 20-266.
- [2] AAPM Report No. 39. Specification and acceptance Testing of computed tomography scanners. 1993, NY.
- [3] IEC 60601-2-44, Ed. 1; Particular requirements for the safety of X-ray equipment for computed tomography. 1998.
- [4] IEC 1223-2-6; Constancy tests—X-ray equipment for computed tomography. 1994.
- [5] 尉可道. CT 剂量的测量及其表达. 中华放射医学与防护杂志, 1997, 17(5): 347.
- [6] 中华人民共和国国家计量技术规范. 产品质量检验机构计量认证技术考核规范(JJG 1021-90). 北京: 中国计量出版社, 1990.
- [7] 吴毅, 杜国生, 田中青. X 射线计算机断层摄影 (CT) 受检者剂量检测方法的研究. 辐射防护, 1998, 18(3): 185.

收稿日期: 1999-05-25