

## 2018 年度苏州市个人剂量监测能力考核结果分析

宋彬, 许哲, 魏召阳, 孙国庆, 张殷

苏州市疾病预防控制中心, 江苏 苏州 215004

**摘要:** **目的** 通过分析总结参加 2018 年度全国个人剂量监测能力考核结果, 检验实验室个人剂量监测能力, 查找缺陷和不足, 进一步提高个人剂量监测能力和结果准确性。 **方法** 按照中国疾控中心辐射安全所指定的考核方案, 参加 2018 年度全国个人剂量监测能力考核。 **结果** 5 组考核组测量值与约定真值的单组性能偏差  $P_i$  值分别为  $-0.03$ 、 $-0.13$ 、 $-0.03$ 、 $-0.12$  和  $-0.02$ , 综合性能为  $0.007$ 。根据判定标准单组性能判定和综合性能均合格。 **结论** 本实验室个人剂量监测系统性能稳定可靠, 结果准确, 符合国家有关标准的要求。但仍需加强质量控制, 规范操作流程以进一步提升个人剂量监测能力。

**关键词:** 个人剂量; 能力考核; 监测系统; 质量控制

中图分类号: R144.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2019)04-0436-04

### Analysis of the test results of external individual dose monitoring ability in 2018 in Suzhou

SONG Bin, XU Zhe, WEI Zhaoyang, SUN Guoqing, ZHANG Yin

Suzhou Center for Disease Prevention and Control, Suzhou 215004 China

**Abstract:** **Objective** To inspect the personal dose monitoring capability of our laboratory and identify the defects or deficiencies for further improvements. **Methods** According to the designated assessment plan issued by the National Institute for Radiological Protection of China CDC, participate in the 2018 national intercomparisons. **Results** The single group performance deviations ( $P_i$  values) between the measured values and references of the 5 groups were  $-0.03$ ,  $0.13$ ,  $-0.03$ ,  $0.12$  and  $-0.02$ , respectively, and the overall bias ( $B$  value) of all groups was  $0.007$ . According to the judgment standards, both the single group performance and overall performance were all qualified. **Conclusion** Our laboratory's personal dose monitoring system is stable and reliable, with accurate results and meets the requirements of relevant national standards. However, there is still a need to strengthen the quality control and standardize operational procedures to further enhance the individual dose monitoring capability.

**Key words:** External Individual Dose; Capability Test; Monitoring System; Quality Control

**Corresponding author:** XU Zhe, E-mail: 479671951@qq.com

个人剂量监测数据是评价放射工作人员是否受到辐射危害和辐射防护效果的重要依据<sup>[1]</sup>。其中, 可靠性是个人剂量监测工作中对监测数据的基本要求<sup>[2]</sup>, 个人剂量监测能力考核又是检验个人剂量服务机构在日常工作中质量保证情况的重要手段<sup>[3]</sup>, 对提高技术服务机构监测结果可信度、实验室技术水平、监测系统性能具有重要的意义。为提高个人剂量监测服务水平, 更好地为放射工作人员服务, 我实验室于 2018 年 7 月参加了中国疾控中心辐射安全所(以下简称“辐射所”)组织的个人剂量监测能力考核, 此次考核能够检验我实验室个人剂量监测能力, 查找不足, 进一步提高

监测水平。本文就本实验室参加 2018 年能力考核情况和结果进行介绍。

#### 1 材料和方法

**1.1 仪器和材料** RGD-3D 热释光剂量仪和 V 型热释光精密退火炉(北京海阳博创); LiF(Mg, Cu, P) 探测器, 分散性  $< 1\%$ , 圆片状(北京光润意通); CTLD-J4000E 型鉴别式个人剂量计(北京旭辉腾业, 以下简称“剂量计”)。

**1.2 考核方法** 本次考核按照辐射所下发的方案要求进行, 准备 7 组剂量计, 每组包括 3 个剂量计; 其中

基金项目: 省部共建放射医学与辐射防护国家重点实验室开放课题(GZK1201815)

作者简介: 宋彬(1987—), 男, 山东枣庄人, 硕士, 主管医师, 从事放射防护和评价工作。E-mail: hustsongbin@126.com

通讯作者: 许哲, E-mail: 479671951@qq.com

1~5 组是盲样组,第 6 组作为本底组,第 7 组备用。热释光探测器经实验室筛选后退火,并装鉴别式入剂量计中,在要求的时间内邮寄给辐射所进行照射。照射后,辐射所寄回考核剂量计,不提供盲样组辐照能量及角度等信息。由被考核者依据流程完成检测工作,给出照射剂量估测值,并计算得到相对扩展不确定度( $k=2$ )。

1.3 盲样测量 采用与检定相同条件测量辐射所寄回的剂量计,记录测量值,报告值和参考值均为个人剂量当量  $H_p(10)$ 。按照下式计算报告值结果:

$$H_p(10) = C_f \times (\bar{X} - \bar{X}_{bg}) \quad (1)$$

式中: $H_p(10)$ —个人剂量当量; $\bar{X}$ —考核组每组读数的平均值; $\bar{X}_{bg}$ —本底组读数的均值; $C_f$ —刻度因子。

1.4 不确定度评定 参照《外照射个人剂量系统性能检验规范》<sup>[4]</sup>附录 E 评定 A 类不确定度、B 类不确定度、合成不确定度和相对扩展不确定度。

1.5 结果判定 按照《外照射个人剂量系统性能检验规范》<sup>[4]</sup>第 7 条进行判定。

#### 1.5.1 判定指标

单组性能  $P_i$  判定:

$$P_i = [H_R(d)_i - H_p(d)_i] / H_p(d)_i \quad (2)$$

式中, $P_i$ :第  $i$  照射组剂量计单组性能; $H_R(d)_i$ :第  $i$  照射组剂量计的个人剂量当量值; $H_p(d)_i$ :第  $i$  照射组剂量计的个人剂量当量参考值。

综合性能偏离  $B$ :

$$B = \bar{P} = (1/n) \sum_{i=1}^n P_i \quad (n=5) \quad (3)$$

综合标准偏差  $S$ :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} \quad (n=5) \quad (4)$$

1.5.2 判定标准 当  $|P_i| \leq 0.30$  时,则第  $i$  照射组的单组性能为合格;如同一类型单组性能检验不合格的组数  $\geq 2$  时,则判定个人剂量系统对该类型的单组性能

能检验不合格。

如满足  $B^2 + S^2 \leq 0.09$  时,则判定个人剂量系统对该类型的综合性能检验为合格。

当单组性能和综合性能中有一种出现不合格的情况,则判定该个人剂量系统性能不合格。

## 2 结果

2.1 能量鉴别 根据厂家说明书,CTLD-J4000E 型鉴别式个人剂量计探测器不同窗口读数比值与能量之间的关系见表 1。

参加考核的 CTLD-J4000E 型鉴别式个人剂量计 1~5 组考核组不同窗口读数比值见表 2。辐射所采用了 X 射线和  $\gamma$  射线照射五组考核组。从表 2 中不同考核组的右上/右下与右上/左下比值与表 1 中比值与能量关系可以鉴别出第 1、3、5 考核组的射线类型是  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  射线,第 2、4 考核组的射线类型是 N100 X 射线。

表 1 剂量计读数比值与能量之间的关系

比值	N60	N80	N100	N150	$^{137}\text{Cs}$	$^{60}\text{Co}$
右上/右下	5.37	4.14	2.72	1.70	1.00	0.77
右上/左下	2.50	1.59	1.31	1.12	1.02	0.78

表 2 1~5 组考核组不同窗口读数比值与射线类型

比值	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组	第 5 组
右上/右下	1.02	3.24	1.01	3.12	1.04
右上/左下	1.02	1.30	1.02	1.30	1.06
射线类型	$^{137}\text{Cs}$	N100	$^{137}\text{Cs}$	N100	$^{137}\text{Cs}$

2.2 数据处理结果 根据照射射线类型不同选择相应的刻度因子修正监测数据,修正后 5 组考核样的结果见表 3。各组个人剂量当量均值在 0.61~4.25 mSv 范围内,标准偏差较小,最小是第 5 组,为 1.4%,最大是第 2 组,为 2.2%,表明结果离散程度较小。相对扩展不确定度最低为第 2 组,为 7.0%,最高为第 2 和第 4 组,为 18.6%,由此可见,5 组考核组结果较稳定。

表 3 1~5 组考核组测量数据处理结果

盲样组号	测量值 $H_p(10)/\text{mSv}$	$H_p(10)$ 标准 偏差 $\mu_A/\%$	A 类不确定 度 $\mu_B/\text{mSv}$	B 类不确定度 $\mu_C/\text{mSv}$	合成标准不确定度/ $\text{mSv}$	相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(k=2)$
第 1 组	4.25	2.1	$3.23 \times 10^{-2}$	$1.49 \times 10^{-1}$	$1.52 \times 10^{-1}$	7.2%
第 2 组	0.83	2.2	$5.60 \times 10^{-3}$	$7.67 \times 10^{-2}$	$7.69 \times 10^{-2}$	18.6%
第 3 组	0.95	1.7	$6.08 \times 10^{-3}$	$3.32 \times 10^{-2}$	$3.38 \times 10^{-2}$	7.1%
第 4 组	0.61	1.8	$4.33 \times 10^{-3}$	$5.69 \times 10^{-2}$	$5.71 \times 10^{-2}$	18.6%
第 5 组	1.67	1.4	$6.84 \times 10^{-3}$	$5.84 \times 10^{-1}$	$5.88 \times 10^{-2}$	7.0%

2.3 考核结果 由表 4 可知,单组性能  $|P_i|$  的范围在 0.02~0.13,其中第 1、3、5 组考核组与真值较为相近,第 2、4 组考核组与真值相对偏离较大,但均

$< 0.30$ ,因此 5 组考核组的单组性能判定均合格。由单组性能结果可得,偏离  $B = -0.066$ ,综合标准偏差  $S = 0.054$ ,综合性能  $B^2 + S^2 = 0.007 < 0.09$ ,综合性能

判定为合格。因此,由单组性能和综合性能均合格可以判定待考核个人剂量系统性能合格。

表 4 2018 年度个人剂量监测能力考核结果

盲样组号	参考 辐射	辐射鉴 别结果	参考值 $H_p(10)$ /mSv	测量值 $H_p(10)$ /mSv	单组性能 $P_i$	综合性能 $B^2 + S^2$	结果判定
第 1 组	$^{137}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	4.40	4.25	-0.03	0.007	合格
第 2 组	N100	N100	0.95	0.83	-0.13		
第 3 组	$^{137}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	0.98	0.95	-0.03		
第 4 组	N100	N100	0.70	0.61	-0.12		
第 5 组	$^{137}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	1.70	1.67	-0.02		

### 3 讨论

此次个人剂量监测能力考核经由辐射所判定结果为合格,监测结果符合《外照射个人剂量系统性能检验规范》<sup>[4]</sup>的要求,说明我中心个人剂量监测系统性能相对稳定,能够满足日常监测工作的需要。通过对考核结果的分析,虽然各考核组的相对偏差均在允许范围内,但第 2、4 组的单组性能  $|P_i|$  的偏差 > 10%,且相对扩展不确定度均为 18.6%,提示本实验室的质量控制工作还需进一步加强。

结果分析显示,第 1、3、5 组为  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  射线照射,相对偏差较小;第 2、4 组为 N100 X 射线照射,相对偏差较大。可能是因为此次考核采用了鉴别式个人剂量计,而此次用于修正的刻度因子是采用普通剂量计检定而来,导致了 N100 X 射线刻度因子的结果偏差,最终导致 N100 X 射线剂量结果经刻度因子修正后出现偏差<sup>[5]</sup>。因此,质量控制除了每年的强制检定以外,也需要定期核查和复查仪器刻度。

个人剂量监测的不确定度主要受探测器分散性和重复性、读出器稳定性、刻度因子等因素影响。

探测器的分散性很大程度上决定了个人剂量监测数据的精确性,最终决定了数据的可靠性和真实性。严格把控探测器筛选工作,是把探测器分散性引入的不确定度分量降下来的重要手段。探测器的定期筛选周期一般为 1 年,采用标准差方法计算离散度,一般在  $\pm 5\%$  范围内筛选<sup>[7-8]</sup>。这样既达到个人剂量监测对剂量元件分散性要求,又保证了结果的准确性。对于某些特殊要求的监测来说,探测器分散性不满足要求可能会导致监测结果出现偏差或错误,因此应尽量选取分散性小的探测器。

探测器重复性引入的不确定度分量的降低,关键在于规范合理的退火和冷却,以及探测器的储存和清洗<sup>[7-8]</sup>。退火温度及均匀性、退火时间、冷却速率都会影响探测器的敏感性能<sup>[9]</sup>,因此探测器退火时应严格按照退火流程进行,避免因退火处理不当影响探测

器灵敏度。测量过程中要注意探测器的分类储存,淘汰或者暂时淘汰偏离过大、不符合要求的探测器。同时,探测器应定时清洗以保持清洁,减少对测量不确定度的影响程度。

热释光读出器的稳定性对减少测量不确定度的引入起到决定性的作用,而内置光源、电源以及光电倍增管的稳定性又决定了读出器自身的稳定性。因此,要格外注意读出器加热盘及光源路径镜面的清洁,注重仪器的定期校准与保养,及时除污<sup>[10-11]</sup>,保证测量结果稳定可靠,减少系统误差的出现。

探测器刻度因子是探测器的剂量特性、读出器稳定性、探测器筛选和退火以及实验室技术人员操作等因素的综合反映。刻度系数的不确定度主要受读出器稳定性和探测器的剂量特性影响<sup>[8]</sup>。每年一次的强制性检定并不能一劳永逸的解决质量控制问题,仪器刻度工作需定期进行核查,以确保刻度因子的真实性。在日常工作中,至少做到读出器的参数与刻度时基本一致,保证刻度系数的正常合理使用。同时,系统检定与日常监测和能力考核所选剂量计和探测器尽量为同一类型、同一批次,避免因同质性问题导致刻度因子修正测量数据时出现偏差,而且应根据放射工作人员接触照射的射线类型选择相应的刻度因子进行修正,这是规范评估放射工作人员接触水平的基础。

除此之外,实验室技术人员应具备熟练的测量技术,熟练掌握测量原理、测量程序和操作方法,做好探测器的筛选、退火和仪器的稳定工作,严格按照操作规范和操作流程进行监测工作,同时对检测结果进行质量控制,并对监测过程中的环境条件和出现的问题做好记录,发现问题及时进行验证。在操作的过程中必须重视每一个环节质量控制,规范操作行为,才能有效降低不确定的引入,提高数据的准确性。

通过个人剂量监测能力考核获得监测工作中存在的缺陷和不足,并在日常监测工作中注意并加以改进,最终达到提高监测能力和质量控制的目的,才是

此次考核的意义所在。优化操作步骤,改进质量控制措施,进一步提高个人剂量监测水平是今后的重点工作。只有强化各个环节的质量控制措施,加强操作人员的业务知识培训,提高技术人员监测水平,规范监测流程,才能保证日常监测数据的准确性和可靠性,才能确保为放射防护和放射病诊断提供真实可靠的数据依据。

### 参考文献

- [1] 荣曙,金慧英,郎姗姗,等. 参加 2014 年全国个人剂量监测质量控制比对结果分析[J]. 东南国防医药,2015,17(2):194-195.
- [2] 赵小爱,武凤娇. 太原市 2016 年参加全国个人剂量监测能力考核结果分析[J]. 中国辐射卫生, 2017,26(4):429-430.
- [3] 胡爱英,牛昊巍,郭文,等. 2009 年全国放射工作人员个人剂量监测系统比对[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012,32(1):85-87.
- [4] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 207—2016

外照射个人剂量系统性能检验规范[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.

- [5] 石梦蝶,闵之藤. 2015 年度武汉市个人剂量监测能力考核结果分析[J]. 中国辐射卫生,2017, 26(6):708-709.
- [6] 李秀芹,赵进沛,杨新芳,等. 放射工作人员热释光个人剂量测量不确定度评定[J]. 职业与健康, 2011,27(14):1608-1609.
- [7] 赵同强,卢锐,吴家兵,等. 2012 年十堰市参加全国外照射个人剂量监测盲样比对结果分析[J]. 中国辐射卫生, 2013, 22(4): 414-415.
- [8] 胡利丰,应正巨,赵青青. 职业性外照射个人剂量测量不确定度评定[J]. 中国辐射卫生,2009, 18(4): 424-425.
- [9] 石建华,赵小爱. 太原市 2014 年参加全国个人剂量监测系统质量控制比对结果分析[J]. 中国辐射卫生, 2016 (1): 86-87.
- [10] 杨新芳,赵进沛,李秀芹,等. 热释光剂量测量系统的校准,验证及质量自控[J]. 中国辐射卫生, 2011, 20(4): 480-481.
- [11] 张燕,张珂,叶成,等. 2016 年全国个人剂量监测能力考核的结果分析[J]. 中国辐射卫生,2017, 26(4): 421-423.

收稿日期:2019-03-19

(上接第 435 页)漏气;封堵连接软管,在引压管另一端通入一定压力的气体,用检漏液检测测压管路各部位是否漏气,如有,对其进行密封。

⑤以上方式都不能解决问题时,考虑改动不合理的引压管布局。在改动时,可考虑利用已有的引压管,在适当位置安装三通接头,以减少重新布管增加的开洞、封堵等工作。

若通风系统不允许改动或进行其它改造,可考虑以新安装的净化设备的初始压差为起点,加上一定余量,对规定更换值进行修正。

### 3 讨论

通风系统的阻力大小关系到设备的运行状况,若阻力测量不准确将可能导致设备的频繁更换或无法正常使用,因此建议在通风系统首次调试时对测压系统全面的检查以排除存在的压差问题,确保阻力测量的准确性、代表性。本文运用流体力学原理提出的测压问题解决办法,有助于分析、解决通风系统中遇到的测压问题,可为压差测量装置的设计、安装提供参考。

### 参考文献

- [1] 张群,李永国,韩丽红,等. XZ-1200 型折叠式碘吸附器再用可行性初步研究[J]. 中国辐射卫生,2015,24(12):673-675.
- [2] 王幽燕,赵磊. 碘吸附器在核电厂通风系统中的应用[J]. 暖通空调,2007,47(2):5-8.
- [3] 杨惠钧. 通风系统阻力测定及优化方案分析[J]. 当代化工研究,2019,19(4):48-49.
- [4] 邵良彬,张兴国,翁旭泽,等. 塔山煤矿通风系统阻力测定与分析[J]. 同煤科技,2018,40(2):1-6.
- [5] 朱家骅,叶世超,夏素兰,等. 化工原理[M]. 2 版,北京:科学出版社,2006.
- [6] 杜雅兰. 风道系统压力分布与风机关系的探讨[J]. 铁路节能环保与安全卫生,2011,1(6):279-282.
- [7] 孙杨,蒋能飞. 浅谈通风系统设计中的几个问题[J]. 建筑热能通风空调,2018,37(12):91-94.
- [8] 何勇. 空调通风管道及部件的阻力特性分析[D]. 武汉:华中科技大学. 2018.
- [9] 高卫东,谢鹏,韩揽月. 核电厂通风系统调试[J]. 电工技术, 2016,37(12):122-123.
- [10] 冯朝阳,张振中,江锋,等. 核级高效空气过滤器的结构与阻力关系探讨[J]. 环境科学学报,2008,28(6):1041-1046.
- [11] 侯建荣,李永国,张渊,等. 风量对碘吸附器穿透率影响规律的研究及在现场试验中的应用[J]. 中国辐射卫生. 2014,23(6): 252-255.

收稿日期:2018-12-11