

2019—2021 年参加全国个人剂量监测比对结果与分析

翟贺争, 武权, 吴香君, 王曼瑶, 张琪, 周巍, 苏锴骏, 周鹏跃, 张文艺

中国医学科学院放射医学研究所, 天津市放射医学与分子核医学重点实验室, 天津 300192

摘要: **目的** 分析全国个人剂量监测比对过程, 检验个人剂量监测能力, 保障实验室监测结果的准确性和可靠性。**方法** 依据 2019—2021 年的比对方案, 准备能量鉴别式热释光剂量计, 测量相应的剂量结果, 同时进行不确定度评定, 然后与参考值进行比较。**结果** 2019—2021 年的比对目标量均为 $H_p(10)$ 。2019 年单组性能差异为 $-0.02 \sim 0.02$, 综合性能为 0.02; 2020 年单组性能差异为 $0.02 \sim 0.10$, 综合性能为 0.05; 2021 年单组性能差异为 $-0.02 \sim 0.02$, 综合性能为 0.01。连续 3 年的比对结果均被比对组织者判定为优秀。**结论** 本实验室的个人剂量检测系统运行的质量控制状况良好, 检测结果准确、可靠。重视刻度工作和提升人员知识水平是比对乃至个人剂量监测工作的重点。**关键词:** 个人剂量监测; 比对; 质量控制; 不确定度

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2023)02-0102-06

Results and analysis of intercomparison in the 2019—2021 national personal dose monitoring

ZHAI Hezheng, WU Quan, WU Xiangjun, WANG Manyao, ZHANG Qi,

ZHOU Wei, SU Kaijun, ZHOU Pengyue, ZHANG Wenyi

Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences, Tianjin Key Laboratory of Radiation Medicine and Molecular Nuclear Medicine, Tianjin 300192 China

Abstract: **Objective** To analyze the process of intercomparison of national personal dose monitoring, evaluate the ability of personal dose monitoring, and ensure the accuracy and reliability of monitoring results in our laboratory. **Methods** In accordance with the intercomparison protocol for 2019—2021, an energy-discriminant thermoluminescence dosimeter was used for measurement at different doses. The uncertainty of measurement was evaluated and compared with the reference value. **Results** $H_p(10)$ was measured for intercomparison in 2019—2021. In 2019, the single group performance difference was -0.02 to 0.02 and the comprehensive performance was 0.02 . These values were $0.02 \sim 0.10$ and 0.05 in 2020, and -0.02 to 0.02 and 0.01 in 2021. The intercomparison results were rated as excellent in the three consecutive years. **Conclusion** The personal dose monitoring system in our laboratory was in good condition, and the monitoring results were accurate and reliable. Improving the knowledge of personnel and cultivating a serious working attitude are important for intercomparison and personal dose monitoring.

Keywords: Personal dose monitoring; Intercomparison; Quality Control; Uncertainty

Corresponding author: ZHANG Wenyi, Email: zhangwenyi@irm-cams.ac.cn

个人剂量监测是职业病危害监测工作的重要组成部分,也是放射工作人员职业健康监护的重要内容和职业病诊断的重要依据,也是评价放射性工作场所防护状况的主要手段^[1-2]。因此,放射工作人员接受个人剂量监测,做好个人剂量监测工作,不仅可以优化放射防护管理工作,也是保障放射工作人员的健康和安全的重要措施。

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所根据国家卫生健康委员会职业健康司的工作要求,组织开展 2019—2021 年度全国放射卫生技术机构个人剂量监测考核工作,结合 GBZ 207—2016《外照射个人剂量系统性能检验规范》^[3],制定了考核方案^[4-6]。本实验室依据 GBZ 128—2016^[7]和 GBZ 128—2019^[8]《职业性外照射个人监测规范》,采用热释光监测法开

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助(3332022097);中国疾病预防控制中心公共卫生领域卫生健康标准评估和前期研究

作者简介:翟贺争(1986—),男,河南上蔡人,硕士,副研究员,主要从事辐射检测与评价、个人剂量监测工作。E-mail: 18822281847@126.com
通信作者:张文艺, E-mail: zhangwenyi@irm-cams.ac.cn

展放射工作人员个人剂量监测工作。通过连续 3 年参加全国个人剂量比对工作,检验了所使用的读出仪、探测器和剂量盒的稳定性和可靠性,同时也检验了相关工作人员的技术水平,提高了个人剂量监测结果的准确度,保证了出具的个人剂量报告的质量,为有序开展个人剂量监测工作打下基础。本文介绍 3 年的比对过程和注意事项,为全国放射卫生技术服务机构开展个人剂量监测和比对工作提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验设备与材料 北京海阳博创科技股份有限公司生产的 RGD-3D 型热释光剂量读出仪,北京光润意通有限公司生产的分散性 3% 的 RA206 型 LiF(Mg, Cu, P)圆片(ϕ 4.5 mm \times h 0.8 mm)探测器,CTLD-J4000 型能量鉴别式剂量盒,2000B 型热释光探测器退火炉等。

1.2 个人剂量筛选与刻度

1.2.1 筛选探测器 采用 2000B 型退火炉对 RA206 型 LiF(Mg, Cu, P)探测器进行探测器退火(条件是 240℃, 10 min),然后在本实验室的²⁴¹Am 源室进行照射 60 min(约 1.0 mSv),放置 24 h 后,用 RGD-3D 型热释光测读仪器进行测量,选取测量结果一致性为 2% 的探测器备用。

1.2.2 能量和剂量刻度 选择能量鉴别式剂量盒 33 个,分为 11 组(10 组能量响应测试 + 1 组本底),每个剂量盒内安装 8 片探测器(金属过滤 4 片 + 非过滤 4 片),放置在 ISO 水组织等效 30 cm \times 30 cm \times 15 cm 的板模中轴线上,在中国计量科学研究院的²⁴¹Am、¹³⁷Cs 和 X 射线 N60(48 keV)、N80(65 keV)、N100(83 keV)、N120(100 keV)、N150(118 keV)、N200(164 keV)、N250(208 keV)和 N300(250 keV)的参考辐射场垂直照射约 1.0 mSv 的辐照剂量,检测后得到不同射线质下的能量响应和刻度因子。选择能量鉴别式剂量盒 27 个,分为 9 组(7 组剂量测试 + 2 组本底),每个剂量盒内安装 4 片探测器,放置在 ISO 水组织等 30 cm \times 30 cm \times 15 cm 的板模中轴线上,在中国计量科学研究院的¹³⁷Cs、N80 和 N100 参考辐射场垂直照射,参考照射剂量约 0.30 mSv~5.10 mSv,实验室对剂量刻度的探测器测读后,将数据发予计量院,从而得到个人剂量监测系统的¹³⁷Cs、N80 和 N100 的刻度因子。

1.3 个人剂量比对

1.3.1 比对安排 依据《外照射个人剂量系统性能检验规范》(GBZ 207—2016)^[3]和考核方案^[4-6],考核类型为 II 类(X 和 γ 射线)。选择考核的目标量为个人剂量当量 $H_p(10)$ 。方案要求比对单位准备 21 个剂量计,分为 7 组(5 组参加比对 + 1 组备用 + 1 组本底),并在剂量计上清楚标明单位名称和样品组号。样品组号统一按照“X-Y”标记,X 代表组号,用 1~7 标记,Y 代表组内剂量计编号,用 A、B、C 标记。将准备好的 21 个能量鉴别式剂量计每个里面安装 8 片探测器,快递给组织机构。组织机构将比对剂量计在参考辐射场(未知,需要比对单位甄别)中照射未知剂量,然后将照射后的剂量计快递给比对单位。

1.3.2 比对结果判定^[4-6] 组织机构在收到所有参加比对单位在规定的时间内提交的结果报告后,对考核报告进行判定,具体判定方法如下:

(1) 单组性能检验

单组判定指标通过(1)式计算得到,即:

$$P_i = \frac{H_R(d)_i - H_P(d)_i}{H_P(d)_i} \quad (1)$$

式中, $H_R(d)_i$ 为参加考核机构提交的第 i 组剂量计的个人剂量当量值, mSv; $H_P(d)_i$ 为第 i 组剂量计的个人剂量当量参考值, mSv。

当 $|P_i| \leq L$ 时,则判定该类型的第 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 ≥ 2 时,则判定个人剂量系统对该类型的单组性能检验不合格。允许水平 L 的取值为 0.30。

(2) 综合性能检验

综合判定指标通过(2)式计算得到,即:

$$B = \bar{P} = (1/5) \sum_{i=1}^5 P_i \quad (2)$$

综合标准偏差 S 通过(3)式计算得到,即:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (P_i - \bar{P})^2}{4}} \quad (3)$$

如满足下式(4)时,则判定个人剂量系统对该类型的综合性能检为合格。

$$B^2 + S^2 \leq L^2 \quad (4)$$

式中,允许水平 L 的取值为 0.30。

单组性能检验和综合性能检验同时合格的个人

剂量监测系统性能判定为合格。

(3) 不合格判定

单组性能和综合性能判定中,只要有一种不合格则该个人剂量系统性能不合格。参加考核的机构收到已照射的盲样剂量计后,未按考核进度要求提交结果报告且未提供相关证明文件,视为不合格。

(4) 优秀判定

合格得 60 分,同时满足 $|P_i| \leq L$ 和 $B^2 + S^2 \leq L^2$ (L 取 0.10) 两个条件得 70 分,对检测报告评分(分值 10 分),共 80 分方可参与优秀评比,然后进行 Q 值评定, Q 值评定分值为 20 分。 Q 值评定 ≥ 15 ,即总分 ≥ 95 分的单位为优秀。 Q 值评定主要考查溯源证明文件是否有效、原始记录是否完整、数据处理是否正确、不确定度评定是否准确等要素。

1.4 个人剂量比对数据处理

1.4.1 能量鉴别与剂量计算 根据 5 组比对剂量计的测读结果,分别减去本底剂量计读值后,得到过滤与非过滤对应的比值,从而判别出对应的射线辐射质。然后采用式(5)中的计算方式,得到每组个人剂量当量。

$$D = Xi \times C_f \quad (5)$$

式中, D 为实测剂量值, mSv; Xi 为测读值(仪器测量平均值-本底测量平均值); C_f 为对应辐射质的 X 或 γ 校准因子。

1.4.2 A 类不确定度评定 个人剂量监测比对过程中每组的探测器的测量随机误差即为 A 类不确定度,主要是数据的统计分析,采用(6)和(7)式进行计算,包含本底组和测量组的结果。

$$u_A(x_i) = s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6)$$

$$u_A(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

式中, x_i 为第 i 次测量的数值; n 为测量数量。

1.4.3 B 类不确定度评定 B 类不确定度未能按照统计方法来确定,通过(8)式计算,该值不会因测量平行样品数量多些而减少,其受探测器的能量响应、角度响应、非线性、刻度因子和一致性等因素的影响。

$$u_B = \sqrt{u_B^2(E) + u_B^2(A) + u_B^2(L) + u_B^2(C) + u_B^2(C_f)} \quad (8)$$

式中, E 为能量响应; A 为角度响应; L 为线性; C 为一致性; C_f 为对应辐射质的 X 或 γ 校准因子。

1.4.4 合成不确定度 扩展不确定度评定通过(9)和(10)式计算得到,即:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (9)$$

$$U = ku_c (k=2) \quad (10)$$

式中, U 为扩展不确定度; u_c 为合成不确定度; k 为包含因子。

1.5 质量控制措施 依据全国个人剂量监测能力考核方案制定比对方案和步骤,调试热释光读出仪,做好日常质量控制工作;筛选个人剂量计,送计量院检定或校准,确保刻度因子在有效期范围内;筛选比对剂量计及质量控制剂量计,保证设备和剂量计稳定可靠;具有资质的检测人员进行测试、校核原始记录,规范记录测试数据并分析结果。

2 结果

2.1 能量鉴别 经中国计量科学研究院的 ^{241}Am 、N60、N80、N100、N120、N150、N200、N250、N300 和 ^{137}Cs 参考辐射场垂直照射后,通过能量鉴别剂量计下区域探测器(金属过滤)与右上区域探测器(非过滤)平均读出值的比值来确定参考辐射类型。不同射线质的射线对应的比值结果见下表 1。

经过比对测试结果验证:2019 年的 1、2 和 4 组的比值分别为 0.976、0.972 和 0.949,即判定这 3 组均为 γ 射线(^{137}Cs)照射;3 和 5 组的比值分别为 0.352 和 0.350,即判定这 2 组均为 X 射线(N100)照

表 1 热释光探测器在不同射线质下的测试结果

Table 1 Results of measurement by thermoluminescence detectors under different radiation qualities

能量	N60	N80	N100	N120	N150	N200	N250	N300	^{241}Am	^{137}Cs
过滤读值	390	435	486	550	630	802	900	970	250	1282
非过滤读值	1460	1321	1190	1070	1142	1089	1180	1200	745	1320
比值	0.205	0.266	0.346	0.456	0.502	0.706	0.737	0.788	0.216	0.968

注:同一批次的本底平均读值为 114, 比值为各平均读值减去本底值后再计算的结果。

射。2020 年的 1、2 和 3 组的比值分别为 0.966、0.976 和 0.955, 即判定这 3 组均为 γ 射线(^{137}Cs)照射; 4 和 5 组的比值分别为 0.348 和 0.354, 即判定这 2 组均为 X 射线(N100)照射。2021 年的 1、2 和 3 组的比值分别为 0.968、0.980 和 0.950, 即判定这 3 组均为 γ 射线(^{137}Cs)照射; 4 和 5 组的比值分别为 0.342 和 0.357, 即判定这 2 组均为 X 射线(N100)照射。

2.2 比对结果 2019 年个人剂量监测系统的比对 5 组样品的检测结果范围为 0.80~8.1 mSv, 参考辐射剂量范围为 0.80~8.00 mSv, 扩展不确定度范围为

0.22~2.20 mSv, 单组性能偏差 P_i 在 -0.02~0.02, 综合性能计算结果为 0.02, 具体的结果见表 2。2020 年个人剂量监测系统的比对 5 组样品的检测结果范围为 0.94~4.1 mSv, 参考辐射剂量范围为 0.90~4.00 mSv, 扩展不确定度范围为 0.30~1.3 mSv, 单组性能偏差 P_i 在 0.02~0.10, 综合性能计算结果为 0.05, 具体的结果见表 3。2021 年个人剂量监测系统的比对 5 组样品的检测结果范围为 0.61~3.28 mSv, 参考辐射剂量范围为 0.60~3.30 mSv, 扩展不确定度范围为 0.18~0.99 mSv, 单组性能偏差 P_i 在 -0.02~0.02, 综合性能计算结果为 0.01, 具体的结果见表 4。

表 2 2019 年个人剂量监测比对数据与不确定度结果

Table 2 Intercomparison data and uncertainty of personal dose monitoring in 2019

组号	辐射质	报告值 /mSv	A类不确定度 /mSv	能量响应 /mSv	角度响应 /mSv	非线性 /mSv	刻度因子 /mSv	一致性 /mSv	B类不确定度 /mSv	扩展不确定度 /mSv	参考值 /mSv	P_i	综合性能
1	^{137}Cs	8.1	0.0130	0.7947	0.7012	0.1402	0.2672	0.0935	1.1060	2.20	8.00	0.01	
2	^{137}Cs	1.00	0.0020	0.0984	0.0868	0.0174	0.0331	0.0116	0.1369	0.27	1.00	0.00	
3	N100	0.80	0.0024	0.0784	0.0691	0.0138	0.0263	0.0092	0.1091	0.22	0.80	0.00	0.02
4	^{137}Cs	2.34	0.0098	0.2295	0.2025	0.0405	0.0772	0.0270	0.3194	0.64	2.30	0.02	
5	N100	1.27	0.0036	0.1247	0.1100	0.0220	0.0419	0.0147	0.1740	0.35	1.30	-0.02	

表 3 2020 年个人剂量监测比对数据与不确定度结果

Table 3 Intercomparison data and uncertainty of personal dose monitoring in 2020

组号	辐射质	报告值 /mSv	A类不确定度 /mSv	能量响应 /mSv	角度响应 /mSv	非线性 /mSv	刻度因子 /mSv	B类不确定度 /mSv	扩展不确定度 /mSv	参考值 /mSv	P_i	综合性能
1	^{137}Cs	1.11	0.0047	0.1472	0.0960	0.0192	0.0305	0.1790	0.36	1.10	0.02	
2	^{137}Cs	1.74	0.0054	0.2310	0.1507	0.0301	0.0478	0.2820	0.56	1.70	0.02	
3	^{137}Cs	4.1	0.0138	0.5407	0.3526	0.0705	0.1120	0.6590	1.30	4.00	0.02	0.05
4	N100	0.94	0.0043	0.1246	0.0812	0.0162	0.0258	0.1520	0.30	0.90	0.04	
5	N100	1.32	0.0044	0.1751	0.1142	0.0228	0.0363	0.2130	0.43	1.20	0.10	

表 4 2021 年个人剂量监测比对数据与不确定度结果

Table 4 Intercomparison data and uncertainty of personal dose monitoring in 2021

组号	辐射质	报告值 /mSv	A类不确定度 /mSv	能量响应 /mSv	角度响应 /mSv	非线性 /mSv	刻度因子 /mSv	B类不确定度 /mSv	扩展不确定度 /mSv	参考值 /mSv	P_i	综合性能
1	^{137}Cs	1.11	0.0075	0.1286	0.0964	0.0257	0.0395	0.1670	0.34	1.10	0.01	
2	^{137}Cs	1.08	0.0023	0.1250	0.0937	0.0250	0.0384	0.1630	0.33	1.10	-0.02	
3	^{137}Cs	3.28	0.0207	0.3788	0.2841	0.0758	0.1165	0.4930	0.99	3.30	-0.01	0.01
4	N100	0.61	0.0044	0.0704	0.0528	0.0141	0.0216	0.0917	0.18	0.60	0.02	
5	N100	1.11	0.0038	0.1284	0.0963	0.0257	0.0395	0.1673	0.33	1.10	0.01	

3 讨论

外照射个人剂量监测是放射工作人员职业健康监护的重要组成部分,也是诊断职业放射性疾病、切

实保障放射工作人员健康的重要技术手段。参加放射工作人员职业性外照射个人剂量监测比对工作,一方面提升对标准、专业知识理解能力,一方面能及

时发现实验室的检测系统及质量管理体系的问题,便于对数据表中内容进行分析和总结。如果比对机构发现可疑结果或剂量偏差较大时,建议认真分析过程中的问题,提出改进措施,从而提升个人剂量监测工作的能力^[9]。

连续 3 年参加全国个人剂量监测比对,结果显示本实验室的个人剂量监测系统稳定、可靠,数据处理过程规范,说明了个人剂量监测系统的校准和测试结果的处理是可信的。笔者使用的个人剂量监测系统均送到中国计量科学研究所的基准剂量实验室进行校准。因此,比对结果在一定程度上也反映出基准剂量学实验室的可靠性。

比对工作均采用了能量鉴别式个人剂量计,很容易分析出了 5 组剂量计所受照射射线种类,进而选择个人剂量系统对应的校准因子进行数据计算,从而减少与参考值的差异。结合连续 3 年的个人剂量测量系统的刻度因子发现,每年因子均有所差异。因此,开展个人剂量监测的结构也应该重视每年的刻度工作,同时建议参加比对工作的时间段与刻度工作的时间段尽量一致。当然,开展个人剂量监测的技术服务机构在配置读出仪和探测器时,也可以参考出厂的探测器能量响应的比值数据。

检测数据的结果是否准确,重点是探测器的分散性(一致性)和读出仪器的稳定性。因此,使用探测器之前应进行筛选,使用分散性较小的探测器。同时定期对读出仪进行维护保养,依据 GBZ 128 的方法对个人剂量监测系统开展内部质量控制工作,进而保障数据的可靠性。结合经验,建议同一批片子、同一批剂量盒和同一台读出仪每年可以进行至少 2 次的检定或校准工作。个人剂量监测水平的高低与操作人员的技能水平和经验密切相关。首先操作人员应持证上岗、参加相关专业技术培训,规范监测技术人员操作,尽最大可能减少人为操作引起的误差。同时,开展比对工作前应做好准备工作,研读考核方案和说明文件^[10-11]。参加比对考核工作并取得合格的成绩,对资质评审工作也有一定的帮助^[12]。因此,参与比对工作并重视考核结果也是非常必要的。

GB/T 27025—2019《检测和校准实验室能力的通用要求》^[13]指出,实验室的每个证书或报告应该有关评定或测试结果不确定度的说明。同时,GBZ 207—2016《外照射个人剂量系统性能检验规范》^[3]也给出了测量不确定评定方法,当然,也有其他不确定评定方法^[14-15]。比对过程中的数据处理是否正确和不确定

度评定是否准确等要素是 Q 值评分的重要依据。

通过参加 2019—2021 年的比对工作,不但检验了个人剂量实验室的剂量测量准确度,而且也加深了对个人剂量相关标准的认识与理解,虽然比对过程影响因素很多,特别是不可控的因素(如照射角度)更是增加了比对的难度。但是,重视个人剂量比对工作、提升人员知识水平、培养认真工作态度、加强设备维护保养和优化分析数据过程,可为以后更加规范开展个人剂量监测工作起到积极的推动作用。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,排名无争议。文章不涉及任何利益冲突

作者贡献声明 翟贺争负责论文设计、数据整理和分析、论文撰写和修改;武权和张文艺负责论文审阅与校对;吴香君、王曼瑶和张琪负责数据的测量、收集和整理;周巍、苏锴骏和周鹏跃负责实验室设备环境条件记录和质量控制

参考文献

- [1] 侯慧玉,陈少鹏,任静,等. 2015—2019年某医院放射人员个人剂量监测结果分析[J]. 中国辐射卫生, 2020, 29(4): 370-373. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.04.012.
Hou HY, Chen SP, Ren J, et al. Surveillance results and analysis of radiation individual doses in a hospital from 2015 to 2019[J]. Chin J Radiol Health, 2020, 29(4): 370-373. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.04.012.
- [2] 翟贺争,杜仲庆,吴香君,等. 2016—2018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, 2020, 29(1): 45-48. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.01.010.
Zhai HZ, Du ZQ, Wu XJ, et al. Comparison and analysis of the intercomparison results of national personal dose monitoring from 2016 to 2018[J]. Chin J Radiol Health, 2020, 29(1): 45-48. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.01.010.
- [3] 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.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GBZ 207—2016 Testing criteria of personnel dosimetry performance for external exposure[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [4] 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所. 2019年度全国个人剂量监测能力考核方案[Z]. 2019.
National Institute for Radiological Protection, Chinese Center for Disease Control and Prevention. Assessment scheme for national individual dose monitoring ability in 2019[Z]. 2019.
- [5] 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所. 2020年度全国个人剂量监测能力考核方案[Z]. 2020.
National Institute for Radiological Protection, Chinese Center for

- Disease Control and Prevention. Assessment scheme for national individual dose monitoring ability in 2020[Z]. 2020.
- [6] 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所. 2021年度全国个人剂量监测能力比对方案[Z]. 2021.
- National Institute for Radiological Protection, Chinese Center for Disease Control and Prevention. Assessment scheme for national individual dose monitoring ability in 2021[Z]. 2021.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 128—2016 职业性外照射个人监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GBZ 128—2016 Specifications for individual monitoring of occupational external exposure[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [8] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 128—2019 职业性外照射个人监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- National Health Commission of the People's Republic of China. GBZ 128—2019 Specifications for individual monitoring of occupational external exposure[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.
- [9] 姬绪莉, 魏琼, 沈梅, 等. 宁夏2019参加全国个人剂量监测能力考核结果分析[J]. 中国辐射卫生, 2020, 29 (6) : 637-639. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.06.015.
- Ji XL, Wei Q, Shen M, et al. Analysis on the results of Ningxia's participating in the national personal dose monitoring ability assessment in 2019[J]. Chin J Radiol Health, 2020, 29 (6) : 637-639. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.06.015.
- [10] 王恺怡, 丁艳秋, 胡爱英, 等. 2020年全国外照射个人剂量监测能力考核结果与分析[J]. 中国辐射卫生, 2021, 30 (5) : 555-559. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.05.006.
- Wang KY, Ding YQ, Hu AY, et al. Results and analysis of monitoring ability assessment of external exposure personal dose in 2020[J]. Chin J Radiol Health, 2021, 30 (5) : 555-559. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.05.006.
- [11] 丁艳秋, 王恺怡, 张璇, 等. 2015—2019年全国外照射个人剂量监测能力考核结果分析与总结[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2021, 41 (3) : 194-198. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.03.007.
- Ding YQ, Wang KY, Zhang X, et al. Summary and analysis of the intercomparison results of national individual monitoring for external exposure during 2015-2019[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2021, 41 (3) : 194-198. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.03.007.
- [12] 贾天娇, 姚竹, 张伟. 放射卫生技术服务机构检测能力确认方式的思考[J]. 中国辐射卫生, 2021, 30 (1) : 73-77. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.016.
- Jia TJ, Yao Z, Zhang W. Discussion on the method to confirm the testing ability of radiological health technical service institutions[J]. Chin J Radiol Health, 2021, 30 (1) : 73-77. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.016.
- [13] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 27025—2019 检测和校准实验室能力的通用要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 27025—2019 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.
- [14] 翟贺争, 曹磊, 阮书州, 等. 基于核径迹技术的中子个人剂量不确定度评定[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2017, 50 (1) : 35-39.
- Zhai HZ, Cao L, Ruan SZ, et al. Evaluation the uncertainty of solid state nuclear track technology on neutron individual dose monitoring[J]. Acta Sci Nat Univ Nankaiensis, 2017, 50 (1) : 35-39.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. JJF 1059.1—2012 Evaluation and expression of uncertainty in measurement[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.

(收稿日期:2022-10-08)