

# 2013 年福建省 99 台核仪表放射防护检测 results 分析

林丹, 陈新伟, 翁振乾, 黄海潮, 魏伟奇, 黄丽华, 郑琪珊

福建省职业病与化学中毒预防控制中心 福建 福州 350001

**摘要:** 目的 为进一步了解和掌握我省含密封源仪表的放射防护情况。方法 依据国家标准 GBZ 125-2009《含密封源仪表的放射卫生防护要求》和 GB 18871-2002《电离辐射防护与放射源安全基本标准》对核仪表周围的辐射水平进行检测评价。结果 所检测的 99 台含密封源仪表离源容器外表面 5 cm 周围剂量当量率检测结果均值为  $(10.52 \pm 24.08) \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ , 距源容器外表面 1 m 周围剂量当量率检测结果均值为  $(2.12 \pm 6.11) \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。检测仪表使用场所要求对人员的活动范围不限的为 28 台, 占 28.3%。结论 所检测的工作场所辐射水平符合国家标准中对源容器使用场所的放射防护要求, 说明工作人员安全。

**关键词:** 含密封源仪表; 放射防护; 检测结果

中图分类号: TL75+2 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2015)01-038-02

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2015.01.015

随着核能与核技术的开发和利用, 小型密封源制成的料位计、核子秤等计量仪表, 因较少受到温度、湿度及其他环境因素变化的影响, 运行可靠, 而广泛应用于化工、煤炭、石油等行业。为了进一步了解和掌握我省含密封源仪表的放射防护情况, 充分利用含密封源仪表为人类造福, 将放射危害合理降到尽可能低的水平, 保障广大放射工作人员的身心健康, 我们对本省范围内 4 家企业应用的含密封源仪表放射卫生防护情况进行了调查, 现将 2013 年对我省 4 家工业用含密封源仪表使用单位 99 台含密封源仪表放射卫生防护检测结果分析如下。

## 1 材料与方法

**1.1 研究对象** 以我中心 2013 年检测的 4 家工业用含密封源仪表使用单位 99 台含密封源仪表为研究对象。

**1.2 检测仪器** 451P X、 $\gamma$  辐射巡测仪, 探测下限为  $0.01 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ; FD-3013B 智能  $\gamma$  辐射仪, 探测下限为  $0.01 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。上述仪器每年都经中国计量科学研究院检定。

**1.3 项目与方法** 依据国家标准 GBZ 125-2009《含密封源仪表的放射卫生防护要求》<sup>[1]</sup> 和 GB 18871-2002《电离辐射防护与放射源安全基本标准》<sup>[2]</sup> 对核仪表周围的辐射水平进行检测评价。

## 2 结果

### 2.1 核仪表的总体分布及周围剂量当量率检测结果

2013 年 4 家工业用含密封源仪表使用单位 99 台含

密封源仪表, 分布在福建省 3 个行政区域中, 使用核仪表量多的泉州地区, 共 70 台, 占总台数的 71.7%。不同含密封源仪表种类、放射源核素、活度及其外围的周围剂量当量率检测结果统计见表 1。

核仪表的类别及其行业分布根据核仪表使用功能的不同, 将分布在全省范围内的核仪表分为料位计(98 台)、密度计(1 台)。其中, 料位计的使用量最大, 占核仪表总数的 99.0%, 主要应用在石油、化工行业。

所检测的 98 台料位计离源容器外表面 5 cm 周围剂量当量率检测结果均值为  $(9.97 \pm 23.57) \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ , 距源容器外表面 1 m 周围剂量当量率检测结果均值为  $(2.13 \pm 6.14) \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。1995-2000 年调查的 66 台料位计距源容器外表面 5 cm 周围剂量当量率检测结果均值为  $16.83 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 距源容器外表面 1 m 周围剂量当量率检测结果均值为  $2.24 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。所检测的 98 台料位计距源容器外表面周围剂量当量率检测结果与 1995-2000 年调查检测统计结果相近<sup>[3]</sup>。

**2.2 含密封源仪表周围剂量当量率检测结果** 福建省 4 家工业用含密封源仪表使用单位 99 台含密封源仪表距源容器外表面 5 cm 和 1 m 周围剂量当量率检测结果分类统计见表 2。

国家标准中按距源容器外表面 5 cm 和 1 m 周围剂量当量率检测结果泄漏辐射水平列出了四类检测仪表使用场所的相应要求。这种分类对于固定安装的核仪表较为适宜。本调查中, 检测仪表使用场所要求对人员的活动范围不限的为 28 台, 占 28.3%; 要求在距源容器外表面 1 m 的区域内很少有人停留的为 48 台, 占 48.5%; 要求在距源容器外表面 3 m 的区域内不可能有人进入或放射工作场所设置了监督区的为 23 台, 占

作者简介: 林丹(1973-), 女, 福建福州人, 从事职业卫生与放射卫生工作。

23.2% ; 要求只能在特定的放射工作场所使用 , 并按控制区、监督区分区管理的为 0 台。

2.3 核仪表所含密封源核素种类及强度统计结果见表 3。

表 1 不同含密封源仪表种类、放射源核素、活度及其外围的周围剂量当量率检测结果<sup>1)</sup> (  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  )

企业编号	仪表名称	台数	放射源核素	核素活度( Bq)	离源容器外表面 5 cm		离源容器外表面 1 m		工作场所周围环境	
					范围	均值	范围	均值	范围	均值
1	料位计	3	$^{137}\text{Cs}$	$1.11 \times 10^{10}$	7.24 ~ 9.28	$8.02 \pm 0.10$	0.22 ~ 0.46	$0.31 \pm 1.13$	0.12 ~ 0.22	$0.18 \pm 0.05$
2	料位计	18	$^{137}\text{Cs}$	$5.55 \times 10^8 \sim 7.40 \times 10^{10}$	0.05 ~ 37.74	$8.33 \pm 9.57$	0.05 ~ 6.94	$2.01 \pm 1.94$	0.07 ~ 0.54	$0.19 \pm 0.10$
2	料位计	4	$^{60}\text{Co}$	$1.85 \times 10^{10} \sim 3.70 \times 10^{10}$	0.57 ~ 0.97	$0.73 \pm 0.15$	0.24 ~ 41.82	$13.40 \pm 17.00$	0.15 ~ 2.04	$0.70 \pm 0.78$
3	料位计	2	$^{137}\text{Cs}$	$3.22 \times 10^9 \sim 3.70 \times 10^{10}$	/	/	0.31 ~ 2.55	$1.43 \pm 1.12$	0.26 ~ 0.31	$0.28 \pm 0.02$
3	料位计	2	$^{60}\text{Co}$	$2.22 \times 10^{10}$	1.48	/	0.82 ~ 1.55	$1.18 \pm 0.36$	0.16 ~ 0.20	$0.18 \pm 0.02$
4	料位计	63	$^{137}\text{Cs}$	$3.70 \times 10^7 \sim 1.85 \times 10^{10}$	0.06 ~ 127.5	$12.62 \pm 28.33$	0.03 ~ 8.40	$1.00 \pm 1.56$	0.01 ~ 1.02	$0.19 \pm 0.18$
4	料位计	6	$^{241}\text{Am} - ^9\text{Be}$	$1.85 \times 10^9$	0.20 ~ 0.46	$0.30 \pm 0.31$	0.12 ~ 0.24	$0.20 \pm 0.22$	0.15 ~ 0.17	$0.16 \pm 0.06$
4	密度计	1	$^{137}\text{Cs}$	$1.85 \times 10^9$	/	64.26	/	1.12	/	0.24
总计	料位计	99	$^{137}\text{Cs}$ $^{60}\text{Co}$	$3.70 \times 10^7 \sim 7.40 \times 10^{10}$	0.05 ~ 127.5	$10.52 \pm 24.08$	0.03 ~ 41.82	$2.12 \pm 6.11$	0.01 ~ 1.02	$0.23 \pm 0.30$
	密度计		$^{241}\text{Am} - ^9\text{Be}$							

注: 1) 表中数据未扣除天然辐射本底读数( 0.03 ~ 0.25)  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

表 2 含密封源仪表距源容器外表面周围剂量当量率检测结果<sup>1)</sup>

单位	台数	距表面 5 cm 处 H 频数分布( 台)				距表面 1 m 处 H 频数分布( 台)			检测仪表使用场所要求台数分布( 台)		
		<2.5	$2.5 \leq H < 25$	$25 \leq H < 250$	未测到	<2.5	$2.5 \leq H < 25$	$25 \leq H < 250$	人员活动 不受限制	1 m 区域内很少 有人停留	3 m 的区域内 不可能有人进入 <sup>2)</sup>
企业 1	3	0	3	0	0	1	2	0	0	3	0
企业 2	22	11	9	2	0	3	11	8	2	10	10
企业 3	4	1	0	0	3	0	3	1	0	3	1
企业 4	70	40	14	11	5	28	35	7	26	32	12
总计	99	52	26	13	8	32	51	16	28	48	23

注: 1) 表中数据未扣除天然辐射本底读数( 0.03 ~ 0.25)  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 2) 3m 的区域内不可能有人进入或放射工作场所设置了监督区( 监督区边界剂量率为 2.5  $\mu\text{Sv/h}$ )。

表 3 核仪表所含密封放射性核素的种类及其活度范围

仪表种类	放射性核素种类	不同活度( A ,GBq) 范围内仪表台数				
		$0.037 \leq A < 1.85$	$1.85 \leq A < 3.7$	$3.7 \leq A < 7.4$	$7.4 \leq A < 37$	$37 \leq A \leq 185$
料位计	$^{137}\text{Cs}$	33	12	11	18	12
料位计	$^{60}\text{Co}$	0	0	0	4	2
料位计	$^{241}\text{Am} - ^9\text{Be}$	0	6	0	0	0
密度计	$^{137}\text{Cs}$	0	1	0	0	0
总计	$^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{241}\text{Am} - ^9\text{Be}$	33	19	11	22	14

经统计 , 两类核仪表 99 台 , 核素种类涉及 3 种。包括 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{241}\text{Am} - ^9\text{Be}$ 。各类核素应用最多的是 $^{137}\text{Cs}$  , 有 87 枚 , 占核仪表含源总数的 87.9% , 北京市 2005 年核仪表应用现状调查各类核素应用最多的也是 $^{137}\text{Cs}$  , 占核仪表含源总数的 50.1% [4]。其次是 $^{60}\text{Co}$ 和 $^{241}\text{Am} - ^9\text{Be}$  , 各 4 枚 , 分别占含源总数的 4.0%。可见 ,  $^{137}\text{Cs}$  核素的应用占绝对多数 , 其中活度( A , GBq) 范围主要为  $0.037 \leq A < 1.85$  , 33 台 , 占 33.3%。1 台密度计也应用了 $^{137}\text{Cs}$  核素。

这 3 种放射性核素中 ,  $^{241}\text{Am} - ^9\text{Be}$  的半衰期最长 , 为 433 年 ,  $^{137}\text{Cs}$  的半衰期为 30.17 年 ,  $^{60}\text{Co}$  的半衰期最短 , 为 5.27 年。由于仪表的使用寿命较长 , 应加强使用管理 , 降低废旧核仪表或放射源流落社会而造成的危险。

3 讨论与建议

核仪表在工业、农业、医学、科学研究等各个领域已广泛应用 , 给人类带来了巨大的利益 , 也对放射工作人员和公众带来潜在危害 , 应定期进行放射防护检测。本调查中 , 所检测的工作场所辐射水平符合国家标准中对源容器使用场所的放射防护要求 , 说明工作人员安全。

放射工作人员进入放射工作场所 , 应正确佩戴个人剂量计 , 接受个人剂量监测管理 , 建立并终生保存个人剂量监测档案。做好放射工作人员的个人剂量监测 , 受照剂量控制在国家规定的剂量限值以内 , 并达到最优化水平。

做好放射工作人员的职业健康监( 下转第 42 页)

## 5 讨论

我们对回旋加速器运行时外墙进行监测,机房墙外最大 $\gamma$ 辐射剂量率为 1602 nSv/h。目前,在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30 cm 处周围剂量率应不大于 2.5  $\mu$ Gy/h<sup>[2]</sup>来评价回旋加速器是否满足放射防护要求。我们的监测结果表明在回旋加速器运行时,其放射剂量率均在 2.5  $\mu$ Gy/h 以下,回旋加速器机房的屏蔽防护效果是符合相关放射防护要求。

放射工作人员职业照射主要来自于工作中放射性核素种类、各种能量的射线和工作性质,如药物制备注射、显像等,总之和受照剂量相关<sup>[3]</sup>。我们的放射工作人员的辐照主要来自回旋加速器运行时产生的 $\gamma$ 射线及标记药物、分装、标记药物注射小动物、小动物显像及实验后小动物处理等过程。监测结果表明放射工作人员受到的年最大有效剂量为 0.31 mSv,公众的可能受到的年最大有效剂量为 0.1 mSv,均小于项目管理目标的要求。放射工作人员职业照射和公众照射限值采用 ICRP60 号报告<sup>[4]</sup>的要求,项目管理目标值取国家标准剂量限值的 3/10 作为剂量约束值:放射职业工作人员年有效剂量不超过 6 mSv,公众年有效剂量不超过 0.3 mSv。我们的监测结果说明放射工作人员在正常工况下受到的辐照剂量是符合有关规定的。

回旋加速器室热室、质控室、micro-PET 实验室等放射工作场所的工作台面及地面表面污染水平检测结果满足规定<sup>[5]</sup>要求。

放射性三废的处理,放射性废气,热室内放射性核素的合成成为全自动系统,核素合成及分装时,合成柜始终处于密封状态,而且热室内无放射工作人员。合成柜自带有通风系统,通风系统中带有活性炭吸附装置,通过吸附处理可将产生的微量放射性气溶胶经通风管道排出室外。回旋加速器室、热室、质控室、

micro-PET 实验室设计有专用的通风系统以排出可能积聚的含<sup>18</sup>F 及<sup>11</sup>C 等的气载放射性气体及活化产物等有害气体。放射性废水:主要是放射性药物生产、使用过程中产生的废液及工作人员洗涤用水等,这些放射性废液中主要是短半衰期的核素,由独立下水管道统一集中到专用衰变池处理,十个半衰期后作为一般医疗废水处理排入城市污水管道;放射性废物主要是少量的注射器、试管、吸水纸、放射性沾污物品等,统一置放射性污物桶中十个半衰期后可作为普通医疗废品处理<sup>[6]</sup>。

micro-PET 实验室小动物要经过放射标记药物注射、micro-PET 动物显像扫描等过程。注射标记药物后小动物及其尸体如何处理在放射防护的工作中尤为重要,我们采取标记后小动物显像结束后用适当方法防腐、干化、灰化。灰化后残渣按放射性固体废物处理。

回旋加速器运行制备放射性核素时除产生 $\gamma$ 射线外,还产生中子、中子活化产物(感生放射性)等方面的放射性危害,由于未开展中子剂量的监测,在实际工作中应考虑中子对放射工作人员、公众及周围环境的辐射影响。

## 参考文献

- [1] 方杰,李士俊.辐射防护导论[M].北京:原子能出版社,1991.
- [2] 中华人民共和国卫生部. GBZ126-2011 电子加速器放射治疗放射防护要求[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [3] Salvatori M, Lucignani G. Radiation exposure, protection and risk from nuclear medicine procedures [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2010 37(6): 1225-1231.
- [4] ICRP. 国际放射防护委员会 1990 建议书[R].李德平.北京:原子能出版社,1993.
- [5] 国家质量监督检验检疫局. GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GBZ120-2006 临床核医学放射卫生防护标准[S].北京:中国标准出版社,2006.

收稿日期:2014-04-21 修回日期:2014-10-11

(上接第 39 页)护工作。放射工作人员上岗前,应当进行上岗前的职业健康检查,符合放射工作人员健康标准的,方可参加相应的放射工作。定期进行职业健康检查,两次检查的时间间隔不应超过两年。脱离放射工作岗位时,进行离岗前的职业健康检查。

使用核仪表的放射工作人员上岗前应接受放射防护和有关法律培训,考核合格方可参加相应的工作。放射工作单位应定期组织本单位的放射工作人员接受放射防护和有关法律培训。

放射工作人员要严格遵守操作规程,做好放射源监管、巡视检查记录、日常维护记录。做好他人和自身防护工作。对暂时不用的放射源和退役源应妥善

处理,防止放射源丢失事故的发生。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部. GBZ 125-2009 含密封源仪表的放射卫生防护要求[S].北京:人民卫生出版社,2009.
- [2] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. GB 18871-2002 电离辐射防护与放射源安全基本标准[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [3] 方国秋,赖苏克,翁振乾,等.福建省核仪表辐射水平调查[J].中国辐射卫生,2011,10(4):255-256.
- [4] 孟庆华,马永忠.北京市核仪表应用现状调查[J].中国公共卫生,2007,23(5):525-526.

收稿日期:2014-08-23 修回日期:2014-12-19