

Radiation Monitoring of the Transportation Environment for Category I Radioactive Materials and Technological Improvements

Jinghao Wang

Sichuan Management and Monitoring Center Station of Radioactive Environment, Chengdu, Sichuan, 611139, China

Abstract

To reduce the personal dose of radiation monitoring personnel during the transportation of Class I radioactive materials and to better protect radiation workers, improvements have been made to the environmental radiation monitoring technology for such material transportation. By analyzing the environmental radiation dose rate and the personal dose rate of monitoring personnel over a two-year period of Class I radioactive material transportation activities at a certain company, it was proposed to increase the measurement distance to further reduce the exposure dose of environmental radiation monitoring personnel. A long-pole radiation meter was used to monitor the environmental radiation during the transportation activities of Class I radioactive materials at the company. The results showed that after adopting the long-pole radiation dose monitoring instrument, the total annual personal doses of the two monitoring personnel were reduced by 95.3% and 93.1%, respectively, compared to traditional monitoring methods. The results indicate that the improved method is feasible and effective, significantly reducing the personal dose of radiation monitoring personnel and lowering radiation safety risks.

Keywords

radioactive material; transportation; personal dose; supervision and inspection

一类放射性物质运输环境辐射监测与技术改进

汪竞豪

四川省辐射环境管理监测中心站, 中国·四川成都 611139

摘要

为降低一类放射性物质运输监测过程中辐射监测人员的个人剂量,更好地保护辐射工作人员,对一类放射性物质运输环境辐射监测技术进行了改进。结合某公司某2年一类放射性物质运输活动环境辐射剂量率与监测人员个人剂量率的监测,通过对监测数据的处理与分析,为进一步降低环境辐射监测人员受照射剂量,提出增大测量距离的监测方法,采用长杆式辐射仪对某公司一类放射性物质运输活动环境辐射进行了监测。结果显示采用长杆式辐射剂量监测仪后,两位监测人员的个人年剂量总量分别比传统的监测方法分别下降了95.3%和93.1%。结果表明改进方法实验可行且有效,能明显降低辐射监测人员的个人剂量,降低辐射安全风险。

关键词

放射性物质; 运输; 个人剂量; 监督检查

1 引言

近年来,我国社会经济高速发展,放射性同位素已经广泛使用于医疗卫生、工农业、地质勘探、科技研发等众多领域,放射性同位素的运输数量也不断在增加,根据国务院第562号令《放射性物品运输安全管理条例》及环境保护部

第11号令《放射性物品运输安全许可管理办法》规定,一类放射性物品启运前,托运人应当报起运地省级人民政府环境保护主管部门备案,省级人民政府环境保护主管部门应当对启运活动进行监督检查及监督性监测。本文以四川省某放射性同位素生产企业某2年度共计57次一类放射性物品运输活动作为研究对象,根据《放射性物质安全运输规程》(GB11806-2019)^[1]要求对货包及运输工具进行监测,在获得的测量数据基础上进行分析讨论,并提出技术改进。

【基金项目】四川省生态环境保护科技项目“核技术利用废放射源、放射性废物收贮准则研究”(项目编号:2024HB11)。

【作者简介】汪竞豪(1990-),男,中国四川成都人,硕士,工程师,从事核技术利用监管与辐射环境监测研究。

2 一类放射性物质运输辐射水平的监测

2.1 监测要求

根据生态环境部《辐射环境监测技术规范》(HJ 61—2021)^[2]规定,运输过程中的辐射环境监测出发地、中转站、

到达地均须进行辐射环境监测,一般包括运输工具、货包、工作场所等 α 、 β 表面污染和 γ 辐射空气吸收剂量率。

2.1.1 γ 辐射空气吸收剂量率

《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)对货包外表面的 γ 辐射空气吸收剂量率的作出了明确限值,这是监督检查过程中执法部门的重要依据。在我国卫生部制定的关于《含密封源仪表的放射卫生防护要求》(GBZ 125—2009)^[3]中,需要对密封源罐的外表面5 cm和100 cm处等位置进行监测。

2.1.2 α 、 β 表面污染

在物体表面存在超过限值的放射性物质即视作被表面污染。GB11806中规定货包的表面污染水平应满足: β 和 γ 发射体及低毒性 α 发射体应低于 $0.4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$,所有其他 α 发射体应低于 $0.04 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ 。监测时超过限值的货包不得开展运输活动,应当去污处理后重新监测达标方可运输。

2.2 货包辐射水平监测点位的选取

2.2.1 货包表面监测点位的选取

本文中源罐表面5 cm处作为货包表面监测位置,将货包表面最大值1 m处计算运输指数。

2.2.2 运输工具监测点位的选取

GB11806规定了对运输工具的辐射水平限值:2 m处任一点不得超过 0.1 mSv/h ,因此,布点选取为货车左侧、右侧、尾部正对源罐2 m处作为监测点位,同时为保障运输人员安全,选取主、副驾驶位作为补充监测点位,如图1所示。

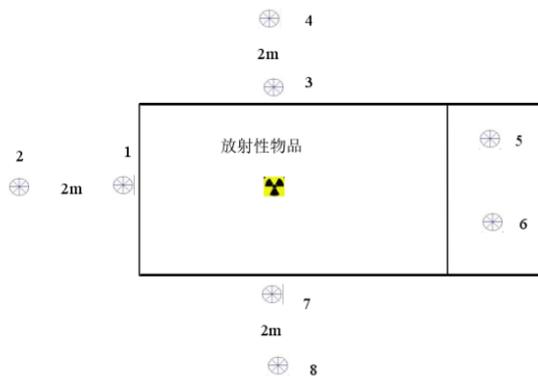


图1 某公司I类放射源运输辐射环境监测布点示意图

2.2.3 货包表面污染监测点位的选取

货包表面污染选取源罐表面和顶部,车体内表面和车体外表面作为表面污染监测点位。

2.3 货包辐射水平监测仪器的选取

2.3.1 x - γ 剂量率仪的选取

传统 γ 剂量率测量选用了美国的Thermo Fisher FH40G+FHZ672E-10便携式 x - γ 剂量率仪^[4],该仪器具有灵敏度高,体积小,使用方便等特点,能量响应范围 $40 \text{ keV} \sim 4.4 \text{ MeV}$;FHZ672E-10探头测量范围为 $1 \text{ nSv/h} \sim 100 \mu \text{ Sv/h}$,FH40G主机测量范围为 $10 \text{ nSv/h} \sim 1 \text{ Sv/h}$ 。

2.3.2 α 、 β 表面污染监测仪的选取

传统 α 、 β 表面污染水平测量选用德国Berthold LB124

表面污染监测仪^[5],该仪器具有使用方便,携带方便,操作简单等特点,仪器有效探测面积为 170 cm^2 ,本底为 α : 0.1 CPS ; β/γ : $(15 \sim 25) \text{ CPS}$ 。

2.4 监测结果与分析评价

2.4.1 货包启运前监测结果

按照前文确定的监测点位选取,对某第一年33次运输活动进行了 γ 剂量率以及 α 、 β 表面污染水平的测试,同时对参与监测人员进行了个人剂量率的监测(表1)。

表1 某第一年监测人员个人 X - γ 辐射累积剂量 $H_p(10)$ 检测结果 单位: mSv

姓名	样品编号	职业类别	佩戴日期	测量结果
1号	WGQ2017120201030	6C	第一年第一季度	0.35
1号	WGQ2018030901031	6C	第一年第二季度	0.82
1号	WGQ2018060901031	6C	第一年第三季度	0.56
1号	WGQ2018091701024	6C	第一年第四季度	0.62
合计				2.35
2号	WGQ2017120201032	6C	第一年第一季度	0.22
2号	WGQ2018030901033	6C	第一年第二季度	0.65
2号	WGQ2018060901033	6C	第一年第三季度	0.42
2号	WGQ2018091701026	6C	第一年第四季度	0.45
合计				1.74

注:已扣除工作人员的伴随剂量本底值。为排除其他因素影响,本次实验个人剂量片均只使用于货包监测活动,其余时间与本底剂量片一同储存于该公司无辐射源避光场所内。

2.4.2 监测结果分析评价

根据监测数据对比可知源罐1 m处剂量率(即运输指数)与装源活度变化趋势对比,除当装源活度达到最大值 336.3 TBq 时,运输指数发生较大变化外,其余装源活度与运输指数基本成正比变化,因此该运输活动提供的环境辐射剂量相对稳定,放射源容器屏蔽效果较好,均能满足《放射性物品运输安全监督管理办法》和《放射性物质安全运输规程》(GB11806-2019)的相关要求。

由个人剂量监测数据看,监测人员的个人剂量与估算值基本相符,其主要剂量是受到监测作业时对货包的近距离作业所致,监测人员对货包表面及1 m处剂量率监测需在货包附近持续15~20分钟,故所受照射剂量偏高,根据表1可知,两名辐射监测人员受年度照射剂量分别为 2.35 mSv/a 与 1.74 mSv/a ,虽然低于剂量限值 5 mSv/a ,但已高于一般公众年均值3倍以上。本研究拟通过辐射防护三要素,即时间防护、距离防护和屏蔽防护对监测方法进行改进以降低监测人员所受照射剂量。因监测技术规范限制,监测点位数量与监测时间基本固定,无法做到有效减少接受照射时间,且监测点位为源罐表面及源罐1 m处,无法增加额外屏蔽防护用品,仅靠监测人员穿戴铅衣铅帽等个人防护用品无法达到全方位屏蔽效果。在不改变其他条件的情况下,增加放射源与人员的距离可降低个人剂量,因此,故本方案选取增加防护距离以减少监测人员所受照射剂量。

3 一类放射性物质运输辐射水平监测方法改进

3.1 长杆式辐射监测仪方法与实现

3.1.1 长杆式辐射剂量监测仪长度的确定

通过调研比较后确定,采购该长杆式辐射剂量监测仪(见图2),测量范围可达 $0.1\mu\text{Sv/h}\sim 10\text{Sv/h}$;能量响应范围 $65\text{keV}\sim 1.3\text{MeV}$,满足《辐射环境监测技术规范》要求;长杆最大延伸长度达4.3米。



图2 长杆式辐射剂量监测仪

3.1.2 长杆式辐射剂量监测方法

使用长杆式辐射剂量监测仪开展一类放射性物质运输环境辐射监测时,在尽可能保护辐射监测人员安全的前提下,为保证监测数据质量,结合选定仪器设备的实际性能,选定监测距离为4m,每个点位用时约3分钟。

3.2 长杆式辐射监测方法监测结果与分析评价

3.2.1 长杆式辐射监测结果

本次实验以长杆式辐射剂量监测仪作为改进方向,对该公司某第二年24次货包监测开展对照改进实验,通过对货包装源活度、源罐表面、源罐1米处、运输车辆表面、运输车辆2m处、主副驾驶室以及监测人员个人剂量进行监测,对比个人剂量估算与某第一年实测年度个人剂量值,论证该方法可行性。

对照前文确定的监测点位进行布点,对某第二年24次运输活动进行了 γ 剂量率以及 α 、 β 表面污染水平的监测,同时对参与监测人员进行了个人剂量率的监测(表2)。

表2 某第二年监测人员个人X- γ 辐射累积剂量 $H_p(10)$ 检测结果 单位: mSv

姓名	样品编号	职业类别	佩戴日期	测量结果
1号	WGQ2018121001031	6C	第二年第一季度	0.02
1号	WGQ2019030801031	6C	第二年第二季度	0.05
1号	WGQ2019061101031	6C	第二年第三季度	0.02
1号	WGQ2019091701031	6C	第二年第四季度	0.02
合计				0.11
2号	WGQ2018121001033	6C	第二年第一季度	0.06
2号	WGQ2019030801033	6C	第二年第二季度	0.02
2号	WGQ2019061101033	6C	第二年第三季度	0.02
2号	WGQ2019091701033	6C	第二年第四季度	0.02
合计				0.12

注:已扣除工作人员的伴随剂量本底值。

3.2.2 长杆式辐射监测结果的分析评价

由此可见,24次运输活动中:运输车辆尾部表面

的 γ 辐射剂量率为 $0.0003\sim 0.0055\text{mSv/h}$,平均值为 0.0015mSv/h ;运输车辆尾部表面2m远 γ 辐射剂量率为 $0.0002\sim 0.0012\text{mSv/h}$,平均值为 0.0005mSv/h ;运输车辆左侧表面 γ 辐射剂量率为 $0.0005\sim 0.0076\text{mSv/h}$,平均值为 0.0026mSv/h ;运输车辆左侧表面2m远 γ 辐射剂量率为 $0.0002\sim 0.0013\text{mSv/h}$,平均值为 0.0007mSv/h ;主驾驶室 γ 辐射剂量率为 $0.0001\sim 0.0005\text{mSv/h}$,平均值为 0.0003mSv/h ;副驾驶室 γ 辐射剂量率为 $0.0001\sim 0.0005\text{mSv/h}$,平均值为 0.0002mSv/h ;运输车辆右侧表面 γ 辐射剂量率为 $0.0005\sim 0.0079\text{mSv/h}$,平均值为 0.0026mSv/h ;运输车辆右侧表面2m远 γ 辐射剂量率为 $0.0002\sim 0.0017\text{mSv/h}$,平均值为 0.0007mSv/h ;源罐顶部 γ 辐射剂量率为 $0.0002\sim 0.1012\text{mSv/h}$,平均值为 0.0197mSv/h ;源罐表面 γ 辐射剂量率为 $0.0028\sim 0.0561\text{mSv/h}$,平均值为 0.0221mSv/h ;源罐1米处 γ 辐射剂量率为 $0.0011\sim 0.0114\text{mSv/h}$,平均值 0.0046mSv/h ;放射性货包外表面及放射性物品运输工具 β 表面放射性污染水平均低于探测下限(0.10Bq/cm^2),放射性货包外表面及放射性物品运输工具 α 表面放射性污染水平均低于探测下限(0.01Bq/cm^2)。监测结果表明,2年的运输活动中,各监测点位的辐射剂量率差距不大,没有指数级别的变化,但是两名监测人员的年度个人剂量有明显下降,说明采用长杆方式进行监测,可明显降低人员照射剂量。

4 结果与分析

24次运输活动中:监测人员某第二年年度个人剂量率合计1号为 0.11mSv ,2号为 0.12mSv 。对比可知,某第二年货包运输装源活度总量为 5611.5TBq 较某第一年货包运输装源活度总量 8038.2TBq 下降30.18%,监测人员1号在某第二年货包运输监测个人剂量总量为 0.11mSv 较某第一年货包运输监测个人剂量总量 2.35mSv 下降95.3%;监测人员2号某第二年货包运输监测个人剂量总量 0.12mSv 较某第一年货包运输监测个人剂量总量 1.74mSv 下降93.1%。综上所述,改进监测方法后,监测人员实际所受照射个人剂量均得到显著降低,实测结果 0.11mSv/a , 0.12mSv/a 低于理论估值计算 0.21mSv/a 。该改进方法实验可行且有效。

参考文献

- [1] 全国核能标准化技术委员会.放射性物质安全运输规程GB 11806-2019[S].中国标准出版社,北京:2019.
- [2] 辐射环境监测技术规范:HJ/T 61-2021[S],中国环境出版社,北京:2021.
- [3] 含密封源仪表的放射卫生防护要求:GBZ 125-2009[S],中国标准出版社,北京:2009.
- [4] 李钢,田义宗,伦亚楠,2015.FH40G+FHZ672E-10型 γ 辐射监测仪测量环境 γ 辐射剂量率可靠性的探讨[J].中国辐射卫生,24(04):429-431.
- [5] 何岱,2016. I类放射源运输的辐射环境影响分析——以某辐照中心某次放射源钴-60运输为例[J].四川环境,35(05):76-80.