

松散污染物雾化固定模拟试验研究

郭丽潇 武明亮 张文俊 张晓文 王旭东

(中国辐射防护研究院 太原 030006)

摘要 针对核工业厂房内的放射性松散污染物,运用超声雾化技术,将固定剂在无人员进入的情况下通入模拟设备室的试验间,采用碳酸钙粉末作为模拟物,模拟松散污染物并进行固定试验。使用风机沿平行地面方向对固定后的松散污染物进行扰动,考察不同松散污染物沉积量和不同固定剂用量对扰动后再悬浮因子的影响和扰动前后气溶胶粒径分布的变化。结果表明,扰动后,再悬浮因子随着松散污染物沉积量增大;提高固定剂通入量可增强固定效果,有效降低再悬浮因子;达到一定量后,继续增加固定剂通入量作用微小。对该模拟粉尘,每 $1 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的松散污染物需要通入 $0.57 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的固定剂。根据松散污染物量,使用适量的固定剂进行雾化固定,可以有效固定松散污染物,显著降低松散污染物的再悬浮因子,降低工作人员受照的风险。

关键词 辐射防护, 松散污染物, 固定, 雾化, 再悬浮因子

中图分类号 TL71

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2014.rj.32.040601

我国核工业工厂因多年的放射性操作,设备室及厂房地面积存较多的放射性松散污染物。在去污或退役过程中,由于工作人员或设备的进入,对地面积存的放射性粉尘形成扰动,导致大量小粒径放射性粉尘在空气中形成类似气溶胶的悬浮物质^[1],进而引发潜在的内照射危险。为了保证退役去污工作人员的人身安全,对于有较多松散污染物的厂房或设备室要进行预固定,抑制松散污染物悬浮。传统方法中的喷涂油漆、可剥离涂料等表面松散污染固定技术,对作业环境中的气溶胶有较好地抑制作用^[2-4],但需要作业人员直接进入污染区域进行工作,且对污染表面扰动幅度很大,工作人员有可能受到高品位内照射。本试验中采用 3 m^3 密闭试验间进行热室、房间、设备室的模拟,以碳酸钙粉尘为松散污染物模拟粉尘,建立试验模拟系统。旨在为该工艺技术的现场实用提供技术支持与依据,以期早日实现现场验证,保障退役去污工作人员的安全。

1 模拟试验设计

1.1 试验流程

采用超声雾化技术^[5-7],将一定配方比例的固定剂进行雾化,产生小粒径雾滴。在无人员进入的条

件下输送至目标处理区域,一定时间后雾滴沉降并粘附于地面、墙壁等附着面,在松散污染物表面形成固定,防止其在扰动条件下悬浮,进而达到降低再悬浮因子的目的。同时,雾滴沉降也能对空气中现有的气溶胶起到了捕集作用。图1为试验流程图。

设备室气溶胶粒子粒径 $0.2\text{--}2 \mu\text{m}$,地面松散污染物有气溶胶内粒子沉降后形成。精细碳酸钙粉尘具有类似粒径分布,且不溶解于水,所以采用碳酸钙粉尘模拟松散污染物。使用 BEG-1000 气溶胶发生器,将模拟松散污染物的碳酸钙粉尘均匀发入试验间内部,粉尘沉降后沉积在试验间地面和侧面,模拟松散污染物的形成。将一定比例的固定剂预热后装入雾化发生装置,通过超声雾化,将固定剂雾化并通入试验间。固定剂通入后将空气中残留气溶胶进行捕集,并沉降于松散污染物表面,对松散污染物形成固定。24 h 后使用风机对试验间内底部松散污染物进行扰动,模拟工作人员工作状态。使用气溶胶采样泵定量采集扰动后的空气样品 60 L,粉尘截留于采样膜上,取样效率可达 99.97%。样膜通过化学分析,得到该工艺对松散污染物预固定的效果。使用 Welas-2000 digital 粒径谱仪对模拟试验间内扰动前后空气气溶胶进行测量。

第一作者:郭丽潇,男,1988年9月出生,2010年毕业于西安交通大学,化学工程与工艺专业,于中国辐射防护研究三废治理研究所工作, E-mail: glxy0303@163.com

通讯作者:武明亮,硕士,高级工程师, E-mail: Wumigl@163.com

收稿日期:初稿 2014-02-17;修回 2014-04-24

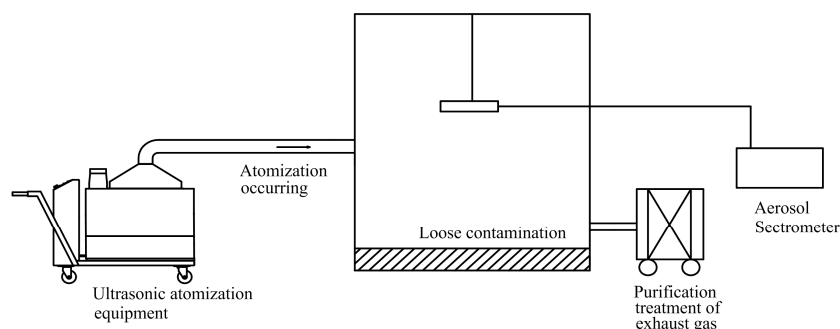


图1 松散污染物预固定模拟试验流程示意图

Fig.1 The flow chart of loose contamination pre-fixed simulation test

1.2 材料与装置

采用 3 m^3 有机玻璃试验间模拟试验环境；雾化发生装置（自制）包含 100 个不同超声频率雾化头，雾化能力为 $2\text{--}4\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ；Welas-2000 digital 粒径谱仪，德国 Palas 公司，测量范围 $0.3\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ ；BEG-1000 气溶胶发生装置，德国 Palas 公司；ZL-2006 移动式气溶胶取样装置；UV-1801 紫外/可见分光光度计，北京瑞利分析仪器有限公司。固定剂（由去离子水、多糖、醇和表面活性剂组成）；精细碳酸钙粉尘。

2 结果与讨论

2.1 松散污染物模拟与粒径分布

通过 BEG-1000 气溶胶发生装置将烘干冷却除静电后的精细碳酸钙粉尘通过气溶胶分布器，均匀分布于试验间内形成气溶胶。24 h 后粉尘沉积在模拟试验间内地面与侧面形成松散污染物。通过空气动力学粒径谱仪测定形成松散污染物的粉尘粒径分布，如图 2 所示。

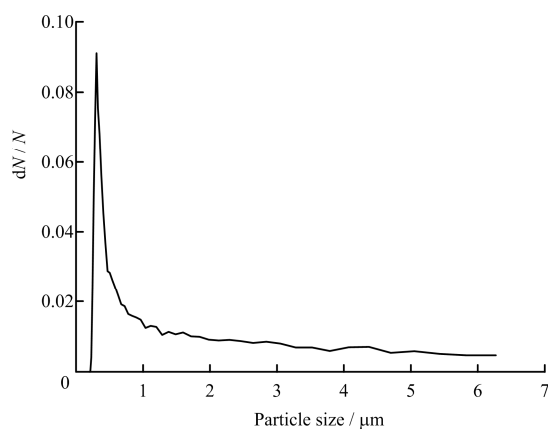


图2 模拟粉尘粒径分布

Fig.2 Simulation of dust particle size distribution

2.2 固定剂超声雾化

使用自行设计开发的超声波雾化发生装置，采用 1.7 MHz 的超声频率，对一定量的固定剂进行超声雾化，雾化能力为 $2.7\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ 。雾化后雾滴众数粒径为 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ ，将雾化后的固定剂雾滴用送风设备通入模拟试验间。固定剂雾滴充满试验间后，通过凝并作用降落到试验间地面。固定剂沉降过程中对空气中现有的气溶胶形成了捕集，并沉降于试验间底面松散污染物表面，起到抑制松散污染物再悬浮的作用，整个沉降过程约 1 h。图 3 为固定剂通入后，不同时间的粒径分布图。

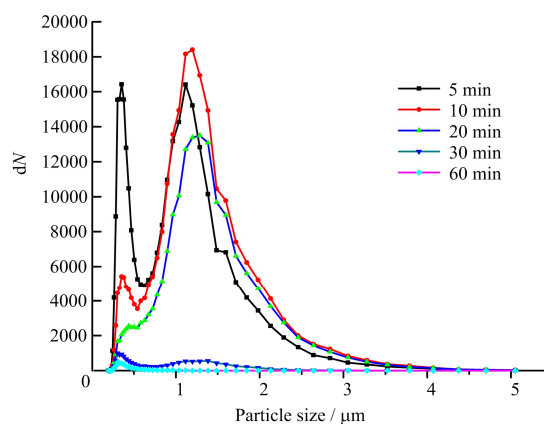


图3 不同时间固定剂粒径分布图

Fig.3 Particle size distribution of fixative at different time

2.3 松散污染物固定试验

通过松散污染物模拟固定试验，在松散污染物为 $1.23\text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的条件下，使用风机对松散污染物进行扰动模拟，扰动地表风速 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，扰动结束时保持风机运行状态，并使用粒径谱仪测量试验间内粒径分布。对比固定剂通入前后的再悬浮气溶胶浓度。固定剂通入量为 $0.8\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。图 4 和图 5 分别

为离地面 0.5 m 和 1.5 m 高度处松散污染物扰动后再悬浮气溶胶分布。

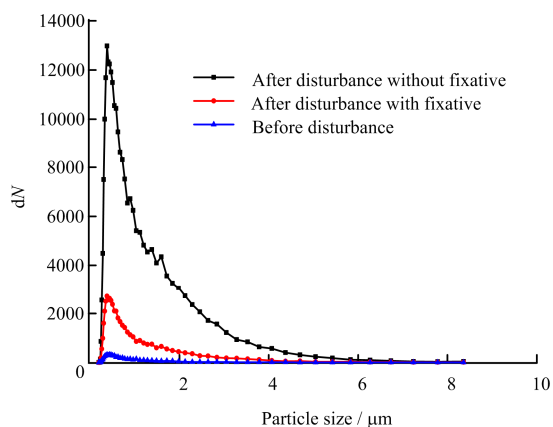


图 4 离地面 0.5 m 处扰动前后粒径分布
Fig.4 Particle size distribution before and after the disturbance at 0.5 m above the ground

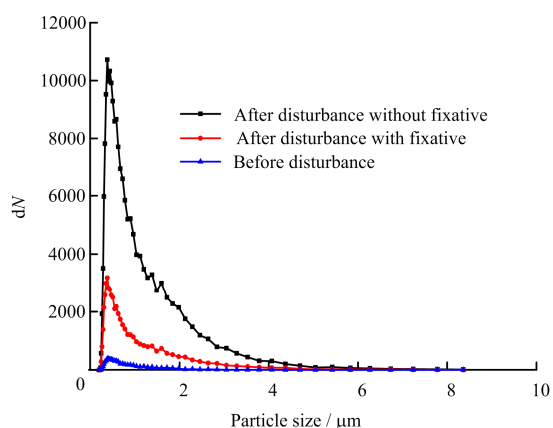


图 5 离地面 1.5 m 处扰动前后粒径分布
Fig.5 Particle size distribution before and after the disturbance at 1.5 m above the ground

对比图 4 和图 5 可知：固定剂对松散污染物具有良好的固定效果，可大大降低松散污染物扰动后的再悬浮；扰动后产生的气溶胶浓度与离地高度有关，高度越高气溶胶浓度越低。

2.4 松散污染物量对固定效果的影响

通过调整模拟粉尘发生时间，以改变试验间地面粉尘沉积量，使用雾化发生装置雾化并通入固定剂，固定剂通入量为 $0.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。固定 24 h 后使用风机对松散污染物进行扰动，通过对扰动后试验间气溶胶浓度进行采样分析，得到松散污染物量对雾化固定效果的影响。采用再悬浮因子作为评价固定效果的参数。

再悬浮因子 (m^{-1}) =

$$\frac{\text{扰动后空气中悬浮的气溶胶浓度} (\text{mg} / \text{m}^3)}{\text{扰动前地面松散污染沉积量} (\text{mg} / \text{m}^2)}$$

图 6 为固定剂通入量相同的条件下再悬浮因子随松散污染物沉积量的变化曲线。根据图 6 可知，随着试验间地面松散污染物沉积量的增加，经扰动后再悬浮因子逐渐增大；再悬浮因子增涨幅度随沉积量的增加而增大。

在风机扰动 15 min 时，采用 Welas-2000 digital 粒径谱仪测定试验间再悬浮的粒子数浓度及粒径分布。图 7 为试验间松散污染物经风机扰动后离地面 1.5 m 高度处气溶胶粒径分布曲线。

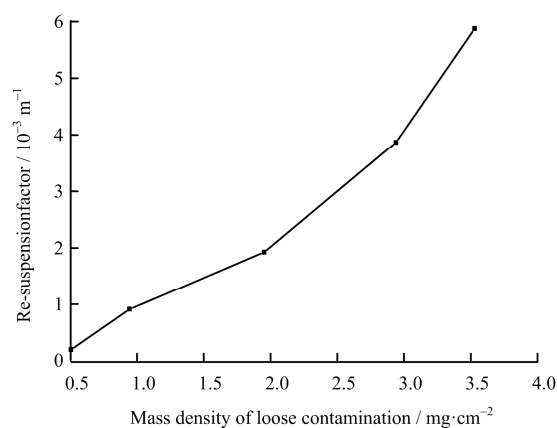


图 6 再悬浮因子随松散污染物沉积量变化曲线
Fig.6 Curve of re-suspension factor with loose contamination of different mass density

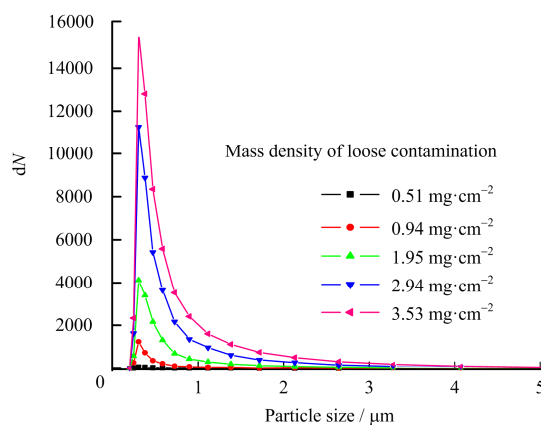


图 7 不同沉积量扰动后再悬浮污染物粒径分布曲线
Fig.7 Particle size distribution curves after disturbance with loose contamination of different mass density

由图 7 可知，在固定剂通入量相同的条件下，随着松散污染物量的增加，固定剂的固定效果明显

变差,大量模拟粉尘粒子在扰动后进入空气中形成气溶胶。当松散污染物超过一定量时需要通过增加固定剂通入量而加强固定效果。

2.5 固定剂通入量对固定效果的影响

在一定的松散污染物沉积量条件下,少量的固定剂不能对松散污染物产生有效的固定效果,而过量的固定剂通入量不仅增加了雾化固定需要的时间,也增加了二次废物的产生量。在一定松散污染物沉积量条件下,进行不同固定剂通入量试验,得到固定剂通入量与再悬浮因子的关系曲线(图8)。

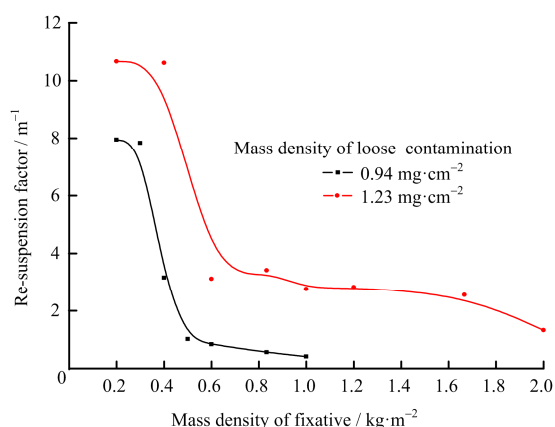


图8 再悬浮因子与雾化量关系曲线
Fig.8 Curves of re-suspended factor and mass density of fixative

由图8可知:固定剂对松散污染物的固定效果随固定剂的通入量增加而增大;固定效果的提升随着固定剂的增加而出现拐点,拐点后继续增加固定剂通入量对固定效果提升不明显。松散污染物量越大,达到同样的固定效果需要的固定剂越多。以该模拟粉尘试验结果,每 $1 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的松散污染物需要至少通入 $0.57 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的固定剂。

3 结论

超声雾化固定技术可以对模拟试验间中松散污染物进行固定,显著降低松散污染物在被扰动后的再悬浮因子,起到固定松散污染物的作用。随着试验间地面松散污染物量的增加,经扰动后再悬浮因子逐渐增大,并且增大幅度随着松散污染物量的增加而增大。松散污染物固定效果与松散污染物量和固定剂通入量都有关系,实践中,在保证松散污染物固定效果同时尽量减少二次废物的产生。本研究

中,合理的固定剂通入量为 $1 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的松散污染物,通入 $0.57 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的固定剂。本松散污染物模拟试验验证了雾化固定技术的可行性,并为进一步核设施退役现场应用提供了实验依据。

参考文献

- 1 卢正永,傅木森,梁鸿富,等.核工业部分生产场所的放射性气溶胶粒度分布[J].辐射防护,1991,11(3):193-200.
LU Zhengyong, FU Musen, LIANG Hongfu, *et al.* Particle size distribution of radioactive aerosols in some workplace of nuclear industry [J]. Radiation Protection, 1991, 11(3): 193-200.
- 2 U.S. Department of Energy. Innovative technology summary report: ALARA™ 1146 strippable coating [R]. OST/TMS ID 2314. 2000.
- 3 王震涛,杨翊方,王海军,等.用于设备表面放射性去污的可剥离膜研究[J].核技术,2010,33(9):714-720.
WANG Zhentao, YANG Yifang, WANG Haijun, *et al.* Study on radioactive decontamination of equipment surfaces by Strippable film [J]. Nuclear Techniques, 2010, 33(9): 714-720.
- 4 Rao S V S, Lal K B. Surface decontamination studies using polyvinyl acetate based strippable polymer [J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2004, 260(1): 35-42.
- 5 黄晖,姚熹,汪敏强,等.超声雾化系统的雾化性能测试[J].压电与声光,2004,26(1):62-64.
HUANG Hui, YAO Xi, WANG Minqiang, *et al.* The measurements of atomizing properties of ultrasonic atomizing system [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2004, 26(1): 62-64.
- 6 李冠文,陈凡植,王军,等.超声波雾化除尘的可行性分析[J].工业安全与环保,2008,34(5):20-22.
LI Guanwen, CHEN Fanzhi, WANG Jun, *et al.* The feasibility analysis of ultrasonic of atomization technique in dust removal [J]. Industrial safety and environmental prodection, 2008, 34(5): 20-22.
- 7 陈卓楷,陈凡植,周炜煌,等.超声雾化水雾在除尘试验中的应用[J].广东化工,2006,33(10):74-77.
CHEN Zhuokai, CHEN Fanzhi, ZHOU Weihuang, *et al.* The application of atomization water made by ultrasonic technique in dust removal experiment [J]. Guangdong Chemical industry, 2006, 33(10): 74-77.

Experimental study on encapsulating the loose contamination by atomizing process

GUO Lixiao WU Mingliang ZHANG Wenjun ZHANG Xiaowen WANG Xudong

(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006, China)

ABSTRACT The ultrasonic atomizing technique was used to add fixative to the analog device without human intervention. The simulation experiment on loose contamination was conducted by choosing the calcium carbonate powder as analog solid agent. And then, the encapsulated loose contamination was disturbed by fan along the direction parallel to ground to investigate the amount of loose contamination as well as the fixative vs. the re-suspension factor and particle size distribution. The results showed that the loose contamination deposited amount had a positive correlation on the re-suspension factor. The re-suspension factor decreased with the increasing amounts of fixative. When reaching a certain value, the effects were tiny by increasing the amount of fixative. For $1\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ calcium carbonate powder, $0.57\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ fixative was necessary. According to the amount of loose contamination, an appropriate amount of fixing agent can effectively fix the loose contaminants and significantly reduce the re-suspension factor, which can reduce workers' exposure risk to radiation.

KEYWORDS Radiation protection, Loose contamination, Encapsulating, Atomizing, Re-suspension factor

CLC TL71