

干冰喷射去除带有油漆涂层金属表面污染实验

李 烨 张 东 王 萍 李涛文 孙 宇 赵 丹 谭昭怡

(中国工程物理研究院核物理与化学研究所 绵阳 621900)

摘要 采用干冰喷射去污技术去除金属表面油漆涂层, 实验显示, 随着喷嘴行走速度的增加, 油漆涂层的去除重量及去除宽度均呈下降趋势; 最佳靶距为 25 mm, 最佳入射角度为 63°, 压缩空气压力为 0.6–0.7 MPa 时, 对金属表面油漆涂层的去除效果较好; 空气净化装置净化效果>99%; 去除油漆涂层时生成的气溶胶集中在 5.8–9.0 μm 。结果表明, 干冰喷射去污技术可将 ^{137}Cs 表面污染水平降至仪器探测限以下; 对于 ^{235}U 污染样品, 可达到清洁解控水平。

关键词 干冰, 去污, 涂层, 气溶胶

中图分类号 X591

干冰喷射去污, 是利用机械力和热能强化去污, 去污过程产生的二次废物很少, 对于表面具有油漆涂层的金属材料, 去污效果较好^[1–4]。本文报道我们优化该去污工艺的实验结果。

1 实验材料和方法

1.1 样品制备

非放射性样品: 未经抛光的不锈钢板(223 mm×335 mm, 与去污实验箱样品架尺寸匹配), 用无水乙醇洗净表面并用纱布擦干, 均匀涂刷油漆(佳涂士调和漆, 重庆三峡油漆股份有限公司生产), 置于干燥通风处, 待油漆干燥后再均匀涂刷一层, 共三次, 油漆完全干燥后备用。

放射性样品: 在制备好的油漆涂层样品表面分别刷涂放射性标准溶液 ^{137}Cs 及 ^{235}U , 采用 40°C 低温烘干或电炉灼烧制备放射性样品。

1.2 仪器设备

干冰制备系统由干冰造粒机^[5]和液态二氧化碳盛装容器——杜瓦瓶(标准设备)组成。可制备直径为 3 mm、4 mm 和 5 mm 的干冰颗粒, 产量约为 20 kg/h。

干冰喷射去污系统包括螺杆空压机、储气罐、气体过滤器、冷冻干燥机(以上均为标准设备)及干冰清洗机。最大喷射压力 0.8 MPa, 使用圆喷嘴时干冰颗粒喷出速度为 525.0 m/s。

干冰去污密闭实验箱由中国工程物理研究院核物理与化学研究所研制, 带有取样口及净化通风口, 配备步进电机, 带动喷嘴作一维平移运动, 行走速度、靶距、入射角度可调。

空气净化装置: JPZ-500 型高效净化小车, 中国辐射防护研究院研制, 通过管道与干冰去污密闭实验箱相连, 实验过程中开启装置, 净化实验箱内气体。

气溶胶取样装置包括 FA-3 型气溶胶粒度分布采样器(辽阳市康洁仪器研究所研制)及 KC-120E 型低噪声中流量 TSP 采样器(青岛崂山电子仪器总厂有限公司研制), 前者用于检测实验过程中生成气溶胶粒度分布规律, 后者用于检测空气净化装置的净化效率。

表面污染测量装置为 FJ-2207 型表面污染测量仪, 262 厂生产, 仪器效率 35%。

干冰喷射去污实验系统示意图如图 1 所示。

1.3 实验方法

考虑喷射去污影响因素的复杂性, 设计实验方法改变考察参数, 其他参数保持不变, 即采用单一因素法。去除质量采用检定合格并在有效期内的电子天平(精度 0.01 g)称量, 去除宽度、靶距采用游标卡尺测量 5 次后取平均值; 去污前后样品表面比活度采用表面污染测量仪测量 5 次后取平均值; 对去污过程中产生的气溶胶进行取样和测量。

第一作者: 李 烨, 女, 1980 出生, 2003 年毕业于南京大学, 助理研究员, 研究方向为核设施退役与放射性废物治理技术

通讯作者: 谭昭怡, Email: hty20604@tom.com

收稿日期: 2012-03-20, 修回日期: 2012-05-26

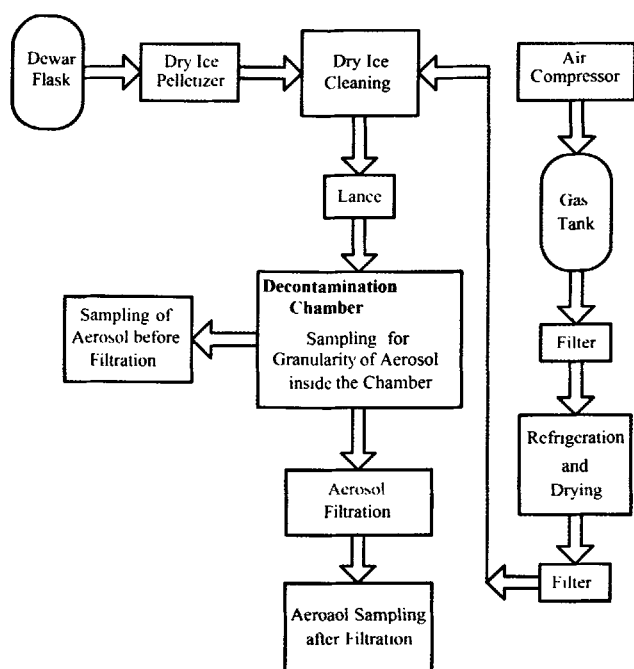


图 1 干冰喷射去污实验系统示意图

Fig. 1 Schematics of the dry ice jet experimental system.

2 结果与讨论

2.1 干冰喷射去除金属表面油漆涂层的影响因素

2.1.1 喷嘴行走速度

当喷射靶距为 76 mm、入射角度为 0°(垂直), 行走速度为 5.0–23.1 mm/s 时, 考察了喷嘴行走速度对去除样品表面油漆效果影响规律, 实验结果表明, 油漆涂层的去除重量随喷嘴行走速度下降。由此认为, 行走速度加快致使喷射干冰还未达到去除油漆涂层的效果, 喷嘴即已行走至下一处。

2.1.2 靶距

当喷嘴的平移速度为 16.9 mm/s、入射角度为 90°(垂直), 靶距在 0–50 mm 时, 考察了靶距对去除样品表面油漆效果影响规律, 实验结果表明, 当靶距小于 3 mm 时, 由于喷嘴与样品间空间过于狭窄, 致使干冰颗粒无法喷射至样品表面而达不到去污目的, 当靶距等于 3 mm 时, 仅能去除部分油漆涂层, 效果不理想, 而当靶距大于 3 mm 时, 干冰颗粒可顺利喷射至样品表面, 并获得较好去除效果。因此可认为干冰喷射临界靶距为 3 mm。

在 3–50 mm 内随着靶距的增加, 对油漆涂层的去除质量先增加, 当靶距为 25 mm 时, 对油漆涂层的去除质量达到最大值, 而后靶距继续增加, 油漆涂层的去除质量呈下降趋势。

2.1.3 干冰入射角度

当靶距为 42 mm、行走速度为 16.9 mm/s 时, 考察了入射角度在 53°–90°内, 干冰对油漆清除的效果。结果表明, 油漆完全去除的宽度随入射角度先增加后下降, 63°时达到最大。与 90°垂直喷射相比, 入射角度 63°时去除质量可增加 15%。

2.1.4 系统压力

当靶距为 50 mm、行走速度为 16.9 mm/s、垂直入射, 观察了系统压力为 0.2–0.8 MPa 时, 干冰对油漆清除的效果。实验结果表明, 随着系统压力的增加, 单位时间内干冰喷射去除油漆涂层的面积呈增大趋势, 当压力为 0.6–0.7 MPa 时, 对金属表面的油漆涂层去除效果较好, 而当压力继续增大至 0.7–0.8 MPa 时去除效果反而有所下降。这可能是由于当压力过大时, 致使干冰颗粒与待去污表面接触时间极短, 导致去污效果变差。

综上所述, 干冰喷射去除油漆涂层的最佳参数为行走速度 5.0 mm/s, 靶距 25 mm, 入射角度 63°, 系统压力 0.6–0.7 MPa。

2.2 干冰喷射去除油漆涂层金属表面放射性污染实验

2.2.1 气体冲洗与干冰冲洗效果比较

将 ^{137}Cs 标准溶液涂于带有油漆涂层的样品表面, 分别采用同样压力的气体和干冰对相同制备条件的样品去污, 去污前后分别测量表面放射性污染水平, 并计算去污效率。结果显示, 干冰喷射去污效果明显优于气体冲洗。气体冲洗仅能去除样品表面松散的放射性污染物, 去污后样品表面油漆涂层完好, 经多次冲洗后去污效率仅为 40%。而干冰喷射去污后, 样品表面的油漆涂层全部去除, 其表面的放射性污染也随之去除, 表面污染水平降至仪器探测限以下, 使样品达到清洁解控水平(β 污染水平 $<0.8 \text{ Bq/cm}^2$, α 污染水平 $<0.08 \text{ Bq/cm}^2$)。表明去污过程中干冰喷射较高压气体喷射具有极高的优势和明显的效果。

2.2.2 不同制备条件下污染样品去污效率

涂抹相同量的 ^{137}Cs 或 ^{235}U 标液, 分别采用电炉烧制和 40°C 烘干两种条件制备样品后, 测量其表面放射性污染水平。再将样品置于干冰去污实验箱, 利用以上实验获得的最佳参数条件进行干冰喷射去污, 去污后再次测量其表面放射性污染水平, 计算去污效率, 结果见表 1。表中 LLD 表示低于仪器探测限。

表 1 污染样品不同制备条件样品去污效率
Table 1 Decontamination rate of polluted samples under different preparation conditions.

核素 Nucleus	制备条件 Preparation condition	去污前/ Bq.cm ⁻² The original	去污后/ Bq.cm ⁻² Decontaminated	去污效率 Efficiency of Decontamination / %
¹³⁷ Cs	电炉烧制 Sintered in an electric oven	3.42	LLD*	—
¹³⁷ Cs	40℃ 烘干 Dried at 40℃	3.26	LLD	—
²³⁵ U	电炉烧制 Sintered in an electric oven	0.40	0.02	95.00
²³⁵ U	40℃ 烘干 Dried at 40℃	0.53	0.02	96.23

对于表面涂有油漆的不锈钢样品，采用电炉烧制或低温烘干，其表面的放射性污染均随油漆涂层一起去除(且为一次去污)，均达到了清洁解控水平，且 ¹³⁷Cs 污染样品表面污染水平均低于仪器探测限。

2.3 干冰喷射去除油漆涂层污染铅罐去污验证

采用干冰喷射去污技术对核设施退役现场污染铅罐（外表面带有油漆涂层）进行去污验证，结果见表 2。

表 2 带有油漆涂层铅罐外表面去污结果
Table 2 Decontamination results of polluted plumbum
kettles

样品编号 Sample No.	去污前 Original / Bq.cm ⁻²	去污后 Decontaminated / Bq.cm ⁻²	去污效率 Efficiency of decontamination / %
2711	3.93	LLD	—
2303	0.54	LLD	—
2241	0.30	0.15	50.23
2721	0.58	LLD	—
2690	0.23	LLD	—
2780	0.64	LLD	—
2932	0.66	LLD	—
2939	2.14	0.24	88.87
2719	0.51	0.24	52.97
2687	1.16	0.16	86.58

去污结果表明，采用干冰喷射对铅罐外表面去污后，铅罐外壁的油漆涂层可全部被消除，其表面的放射性污染也随之去除。干冰喷射对项目涉及的铅罐外壁去污后清洁解控率达到 100%。大部分铅罐外壁经去污后其表面放射性活度低于仪器探测限。因此干冰喷射去污技术对于表面带有油漆涂层的污染部件具有较好的去污效果。

3 结语

(1) 随着喷嘴行走速度的增加，油漆涂层的去除重量及去除宽度均呈下降趋势；靶距在 3–50 mm 内，随着靶距的增加，对油漆涂层的去除质量先增加后下降；随着入射角度的增加，在 53°–90°内，对样品表面油漆涂层去除量先增加后下降；压缩空气压力为 0.6–0.7 MPa 时，对金属表面的油漆涂层去除效果较好。

(2) 对于表面带有油漆涂层的金属模拟样品，干冰喷射去污效果明显优于气体冲洗。无论采用电炉烧制还是低温烘干，其表面的 ¹³⁷Cs 和 ²³⁵U 放射性污染均随油漆涂层一起去除(且为一次去污)，均达到了清洁解控水平，且 ¹³⁷Cs 污染样品表面污染水平均低于仪器探测限。

(3) 干冰喷射去污技术对项目涉及的铅罐外壁去污后清洁解控率达到 100%。大部分铅罐外壁经去污后，其表面放射性污染水平低于仪器探测限。

参考文献

1 谭昭怡, 李 烨, 陈大华, 等. NaF+HNO₃ 浸泡法去除金属部件表面 ²⁴¹Am 污染[J]. 化学研究与应用, 2007, 19(3): 289–292
TAN Zhaoyi, LI Ye, CHENG Dahua, *et al.* Study of NaF+HNO₃ immersion decontamination technology for metal parts contaminated by ²⁴¹Am[J]. Chemical Research and Application, 2007, 19(3): 289–292

2 谭昭怡, 田军华, 张子骞, 等. 可剥离膜的研制和去污实验验证[J]. 原子能科学技术, 2004, 38(4): 379–381
TAN Zhaoyi, TIAN Junhua, ZHANG Ziqian, *et al.* Development and decontamination efficiency examination of strippable coating[J]. Atomic Energy Science and Technology, 2004, 38(4): 379–381

3 吴春喜, 陈永晔, 蒋云清, 等译. 核设施退役手册 (1995)[M]. 北京: 核科学技术情报研究所, 1998: 43–49

- WU Chunxi, CHEN Ye, JIANG Yunqing, Manual of nuclear facilities decommissioning(1995)[M]. Beijing: Nuclear Science and Technology Information Institute, 1998: 43-49
- 4 李烨, 王萍, 孙宇, 等. 不锈钢表面钚污染擦拭去污[J]. 同位素, 2011, 24(1): 48-51
- LI Ye, WANG Ping, SUN Yu, *et al.* Studies on the wiping decontamination of stainless steels surfaces contaminated by Pu[J]. Journal of Isotopes, 2011, 24(1): 48-51
- 5 谭昭怡, 楚广. 小型干冰造粒机传动系统的研究设计[J]. 化工装备技术, 2011, 32(5): 46-49
- TAN Zhaoyi, CHU Guang. Research design for transmission system of small dry ice granulator[J]. Chemical Equipment Technology, 2011, 32(5): 46-49

A dry ice jet system for decontamination of painted metal

LI Ye ZHANG Dong WANG Ping LI Taowen SUN Yu ZHAO Dan TAN Zhaoyi

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract In this work, decontamination of painting on metal surface by dry ice jet was carried out. The influence of jet parameters on decontamination efficiency was examined. The results showed that the painting weight loss decreased with increasing speed of jet movement. The optimized parameters were target distance of 25 mm, jet angle of 63°, and the pressure of 0.6-0.7 MPa, with a filtration efficiency of over 99% and 5.8-9.0 μm particle sizes of the aerosol. For the painted samples polluted by ^{137}Cs and ^{235}U , the decontamination effect is excellent. For the polluted plumbum kettles, this method is effective. Therefore, the dry ice jet is an excellent technology for painting on metal surface.

Key words Dry ice, Decontamination, Coat, Aerosol

CLC X591