

# 环境气溶胶的核孔膜、扫描电子显微镜 和微电子探针研究

郭士伦<sup>1</sup>, R. Brandt<sup>2</sup>, P. Vater<sup>2</sup>

(1. 中国原子能科学研究院 核物理研究所, 北京 102413; 2. Kernchemie, Universitat Marburg, Germany)

**摘要:**用云母核孔膜、扫描电子显微镜和微电子探针对工艺房间空气中悬浮的气溶胶进行了采集,并对气溶胶的粒径分布、微粒形态及结构、元素成分和捕集机制进行了研究。

**关键词:**气溶胶;核孔膜;粒径分布;元素成分;捕集机制

**中图分类号:**X531;X830.2; **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6931(2002)06-0558-03

## Studies on Environmental Aerosols With Nuclear Track Filter, Scanning Electron Microscope and Electron Microprobe

GUO Shi-lun<sup>1</sup>, R. Brandt<sup>2</sup>, P. Vater<sup>2</sup>

(1. China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-96, Beijing 102413, China;  
2. Kernchemie, FB15, Universitat Marburg, D-35032 Marburg, Germany)

**Abstract:** Aerosols in the air of a workshop were collected with mica track filters, and the size distribution, shape, structure, elemental compositions and capture mechanisms of aerosols were studied. The techniques and results of the studies are described.

**Key words:** aerosol; nuclear track filter; size distribution; elemental compositions; capture mechanisms

环境空气中含有大量微米和亚微米级悬浮固体微粒(气溶胶)。这些颗粒受空气分子的碰撞而作布朗运动,长期悬浮在空气中,并能扩散或迁移到其他地方。环境气溶胶的粒径分布、结构形态和化学成分与气溶胶源的性质有关<sup>[1]</sup>,故其鉴别方法可作为某些特殊领域的侦察手段。

核孔膜是用重离子在绝缘物质薄膜上打孔和蚀刻扩孔而成的有许多穿透性微孔的薄膜<sup>[2]</sup>,孔径均一(0.01~10 μm),与气溶胶的粒

径范围一致。核孔膜表面光滑透明,气溶胶微粒被捕集在核孔膜表面,便于仪器观察和测量。

为调查工艺房间污染状况、发展气溶胶研究方法、揭示气溶胶运动规律和捕集机制,用云母核孔膜、扫描电子显微镜(SEM)和微电子探针对工艺房间的气溶胶进行采集和研究。

### 1 气溶胶采集、SEM观察和粒径测量

本工作采用的核孔膜用厚 50 μm 白云母

收稿日期:2002-01-11;修回日期:2002-03-13

基金项目:中国-德国科技合作项目

作者简介:郭士伦(1937—),男,河北河间人,研究员,原子核物理专业

片在德国重离子研究中心(GSI)加速器 UNILAC 上用重离子照射和 48% HF 蚀刻扩孔而成。采样器核孔膜成级联形式,第 1~4 级核孔膜的孔径分别为 7.0、3.6、1.0 和 0.3 μm,核孔膜的有效直径皆为 4 cm,孔隙率约 5%。在负压 34.4 kPa 下抽滤采样。

首先,把采样后带有气溶胶微粒的核孔膜表面溅射金层作为导电层,并把核孔膜放入 SEM 进行扫描和拍摄照片。图 1 为第 1 级核孔膜捕集的气溶胶的 SEM 照片。从图 1 可见白云母核孔膜菱形微孔的一角,微孔入口边缘处有许多亚微米气溶胶微粒,孔下方有一粒径较大的微粒。为了对粒径较小的气溶胶进行精确测量,将 SEM 放大倍数从 15 000 增大到 38 000~80 000。用校准直尺在照片上测量每个气溶胶的粒径(最大长度)。图 2 示出第 1 级核孔膜上气溶胶的粒径分布。由图 2 可见:大部分气溶胶的粒径在 0.025~0.3 μm 之间,在 0.1 μm 附近呈现极大值。这可能与工艺房间是净化车间有关,较大气溶胶微粒已被净化设备滤除,偶见的较大气溶胶是新产生的。

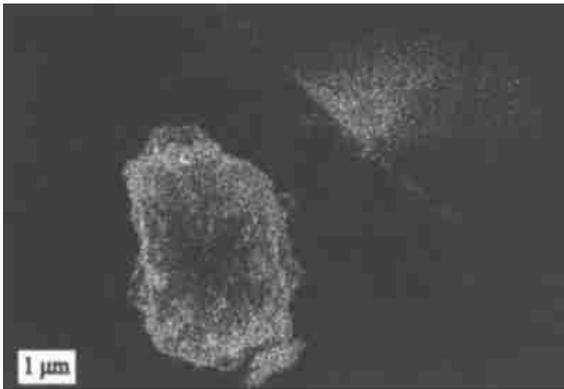


图 1 第 1 级核孔膜捕集的气溶胶的 SEM 照片  
Fig. 1 Scanning electron microscopy photograph of aerosols on the first mica track filter

## 2 气溶胶化学成分的微电子探针分析

微电子探针由装入 SEM 的微电子束发生装置和 Si(Li) 探测器以及外部的能谱仪组成。微电子束直径 < 0.02 μm,远小于上述气溶胶粒径。微电子束轰击某气溶胶微粒时,微粒中的原子被电子激发,在退激过程中发射特征 X 射线,用 Si(Li) 探测器记录各种原子的特征 X 射线能谱,由特征 X 射线峰能量和强度推知气

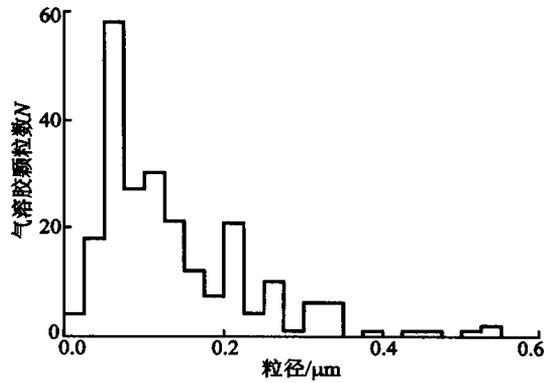


图 2 第 1 级核孔膜捕集的气溶胶的粒径分布  
Fig. 2 Size distribution of aerosols on the first mica track filter

溶胶微粒的化学成分和元素含量。图 3 是 1 个铀气溶胶微粒产生的特征 X 射线能谱。图中 U 的特征 X 射线 3.171 keV (M<sub>1</sub>)、3.337 keV (M<sub>2</sub>) 和 13.617 keV (K<sub>1</sub>) 清楚可辨。微电子探针可测定元素周期表中 Z 5 的所有元素。本工艺房间中探到数量可观的不锈钢组分元素 (Fe、Ni) 的气溶胶微粒,它们可能是因机器磨损产生并进入空气中的。

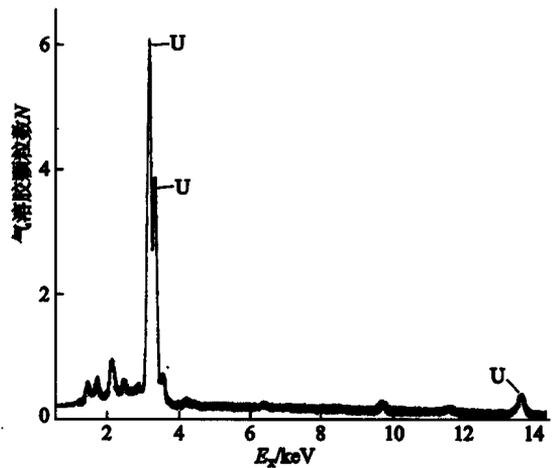


图 3 铀气溶胶微粒产生的特征 X 射线能谱  
Fig. 3 X-ray spectrum of a uranium aerosol

## 3 铀气溶胶微粒及其结构特征

为了观测工艺房间内空气中是否含有铀微粒并研究其特征,用微电子探针粗测各气溶胶微粒的化学成分,选出铀微粒,测定其粒径。第 1 级核孔膜捕集的铀气溶胶粒径分布示于图 4。其粒径大部分处在 1~5 μm 间,比其他气溶胶

粒径大。这说明,房间内的生产操作仍产生了大量微米级铀微粒进入空气并悬浮在空气中。

通过对不同化学成分气溶胶的观察可得到如下经验规律:铀气溶胶内部结构较为致密(图1中粒径最大的气溶胶);其他气溶胶(不锈钢气溶胶除外)质地较疏松。这可能与气溶胶产生机制有关。比如,由金属或晶体脱落形成的气溶胶可能较为致密,而风化形成的气溶胶可能较为疏松。

图5示出第2级核孔膜上气溶胶粒径分布。与第1级核孔膜捕集的气溶胶粒径分布比较可见:两级核孔膜上气溶胶粒径分布基本相同,核孔膜的筛分作用不明显。第1级核孔膜孔径为 $7.0\mu\text{m}$ ,远大于气溶胶微粒粒径( $0.025\sim 0.3\mu\text{m}$ ),气溶胶微粒几乎不受阻挡地穿过第1级核孔膜微孔进入第2级核孔膜的过滤空间,故两组核孔膜捕集的气溶胶粒径基本相同。

#### 4 捕集机制

由图1中气溶胶微粒的位置可推测有截留、撞击和粘留3种核孔膜捕集气溶胶的机制。

1) 大于核孔膜孔径的固体微粒不能通过核孔膜微孔而被截留在微孔入口。截留机制的特点是微孔至少为气溶胶提供两个跨越孔口的支点。在照片中未显示被截留的气溶胶。

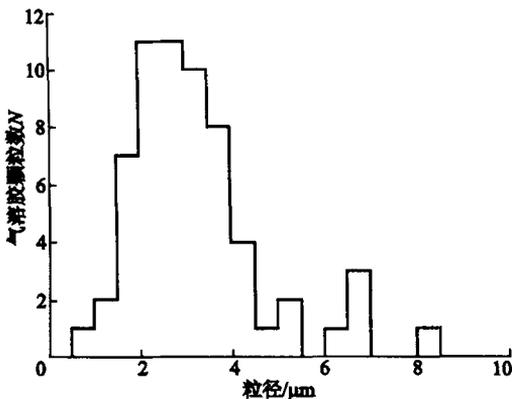


图4 第1级核孔膜捕集的铀气溶胶的粒径分布

Fig. 4 Size distribution of uranium aerosols on the first mica track filter

2) 在图1中,有些气溶胶微粒被捕集在距微孔较远的核孔膜表面,这是由于它们除随气流飘动外,还因颗粒无规则的布朗运动使其偏

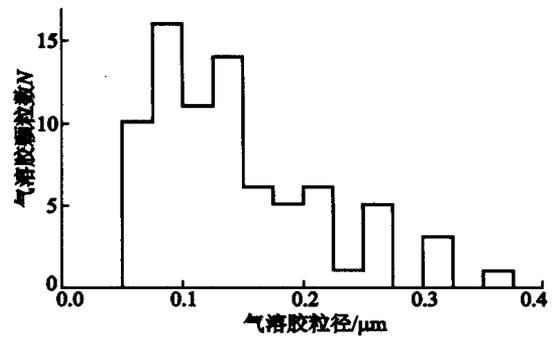


图5 第2级核孔膜捕集的铀气溶胶的粒径分布

Fig. 5 Size distribution of aerosols on the second mica track filter

离气流方向撞击并粘附在核孔膜表面。该机制的特点是:气溶胶的着落点与微孔相距较远,其颗粒的布朗运动起显著作用。

3) 在图1微孔入口尖缘上粘留了许多气溶胶微粒,粘留与截留机制不同,它们无跨越孔口的两个以上支点;又与撞击机制有别,看不出布朗运动的迹象,它们随气流经过孔口,触及核孔膜微孔尖缘,因表面力作用,被尖缘粘留。其特点是:气溶胶颗粒位于孔口周围,微观和亚微观(纳米)物体的表面力起主导作用。

用以上3种气溶胶捕集机制能较全面地解释气溶胶微粒在核孔膜上的分布状态。

#### 5 结束语

对环境气溶胶的研究表明,将核孔膜、SEM和微电子探针组合用作采集、研究、鉴定和追踪气溶胶的工具,能鉴别和测定周期表中几乎所有元素成分气溶胶微粒,并能对气溶胶捕集机制进行直观和定量研究。在环境科学和纳米科学蓬勃发展的今天,借助这套组合工具进行相关学科的深入研究必将取得丰硕结果。

#### 参考文献:

- [1] Guo Shilun, Brandt R, Vater P, et al. Realization of Nuclear Track Filters and Their Applications to the Study of Environmental Aerosol Samples [J]. Nucl Tracks Radiat Meas, 1988, 15: 751~753.
- [2] 郭士伦. 核孔膜的特性和应用 [J]. 物理, 1988, 17: 285~289.