

文章编号:0253-9950(2011)01-0057-04

# 中性硅酮胶用于氚污染不锈钢的 暂时性封闭

张莉<sup>1,2</sup>, 张东<sup>1</sup>, 但贵萍<sup>1</sup>, 文炜<sup>1</sup>

1. 中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621900;  
2. 西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010

**摘要:**为获得氚污染不锈钢的暂时性封闭材料,在对中性硅酮胶膜进行表面形貌和比表面积分析的基础上,用其在316L氚污染不锈钢模拟样品上进行了暂时性封闭实验。结果表明:膜厚度、时间、水和水温这些因素对封闭效果的影响很小。

**关键词:**中性硅酮胶;封闭;氚;不锈钢

**中图分类号:**TL941 **文献标志码:**A

## Temporarily Sealing Tritium-Contaminated Stainless Steel With Neutral Silicone Sealant

ZHANG Li<sup>1,2</sup>, ZHANG Dong<sup>1</sup>, DAN Gui-ping<sup>1</sup>, WEN Wei<sup>1</sup>

1. China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China;  
2. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology,  
Mianyang 621010, China

**Abstract:** In order to find a proper material for temporarily sealing tritium-contaminated stainless steel, the surface morphology and specific surface area of neutral silicone sealant film were characterized in this paper. Base on it, the temporary sealing experiments were carried on modeling samples of tritium-contaminated 316L stainless steel with neutral silicone sealant. It shows that the influence of four factors such as film thickness, storage time, water leaching at different temperatures are not obvious.

**Key words:** neutral silicone sealant; sealing; tritium; stainless steel

氚是氢的放射性同位素,它的半衰期为12.3 a,发射出的 $\beta$ 射线的最大能量为18.5 keV,因此属于强渗透性和低毒性的放射性核素<sup>[1-2]</sup>。目前在氚操作场所有大量的含氚污染不锈钢部件,在对这些不锈钢进行解体、运输过程中,污染物表面的氚极易因轻微的扰动而逸出。为了防止

氚的这种扩散,在氚污染不锈钢表面涂覆暂时性封闭层极具实际意义。

目前关于氚防护的研究大多是针对防止氚渗透的阻挡层进行的,如文献[3]在316L不锈钢表面涂覆的TiN+TiC+TiN/SiO<sub>2</sub>复合涂层。而在防止氚扩散的封闭材料方面只有少量应用

报道,如美国洛斯阿拉莫斯国家实验所 Harper 等<sup>[4]</sup>在氚污染实验室退役过程中将屋面沥青、油灰带和一种硅橡胶黏合剂应用于封闭氚污染不锈钢。本工作选用中性硅酮胶作为氚污染不锈钢的暂时性封闭材料,它是有机硅氧化物的聚合物,其特点是胶体固化后耐水性、柔韧性强<sup>[5]</sup>,易剥离。实验在对中性硅酮胶膜作透气性考察的基础上,用其在 316L 氚污染不锈钢模拟样品表面制成封闭膜(即用于封闭的中性硅酮胶膜),测试封闭效果。

## 1 实验部分

### 1.1 主要材料与仪器

氚污染 316L 不锈钢模拟样品,  $\phi 50$  mm; 793-A 中性硅酮胶, 透明, 广东省佛山市宏英实业有限公司。

S440 立体扫描电子显微镜, 放大倍数为 5~30 万倍, Leica Cambrige LTD; NOVA3000 高速自动比表面与孔隙度分析仪, 测量范围为 0.35~200 nm, 美国康塔公司; JE-3 表面氚污染测量仪, 探测效率为 49%, 有效探测面积为 20 cm<sup>2</sup>, 中国工程物理研究院核物理与化学研究所; 2550TR/LL 液体闪烁分析仪, 美国 PACKARD 公司。

### 1.2 实验方法

将中性硅酮胶制成不同厚度的膜用以封闭不锈钢, 注胶后可用抹刀或木片修整其表面。由于胶膜固化是靠空气中的水分, 随着膜厚度的增加, 其实干时间相应增长, 如室温 20 °C 左右时, 2 mm 厚的胶膜实干时间为 7 h。但要将中性硅酮胶作为氚污染不锈钢的封闭材料还需考察其透气性, 故实验首先进行了胶膜的表面形貌和比表面积分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 胶膜性能表征

**2.1.1 表面形貌分析** 图 1 显示了中性硅酮胶膜表面形貌, 可看出胶膜表面致密光滑, 无孔洞。

**2.1.2 比表面积及孔隙度分析** 经比表面及孔隙度分析, 所得胶膜等温线图示于图 2。分析所得中性硅酮胶膜的多点比表面数据低于仪器的比表面测定下限 0.01 m<sup>2</sup>/g, 且由图 2 看出胶膜样品对氮气没什么吸附, 说明中性硅酮胶膜样品无孔。

上述性能测试说明中性硅酮胶膜具有膜层

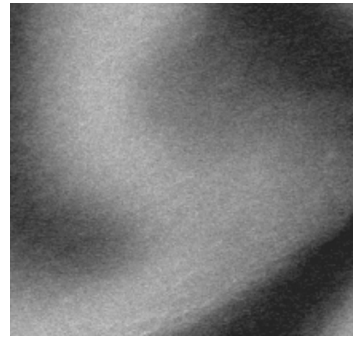


图 1 胶膜 SEM 图谱( $\times 5000$ )

Fig. 1 SEM spectrogram( $\times 5000$ )

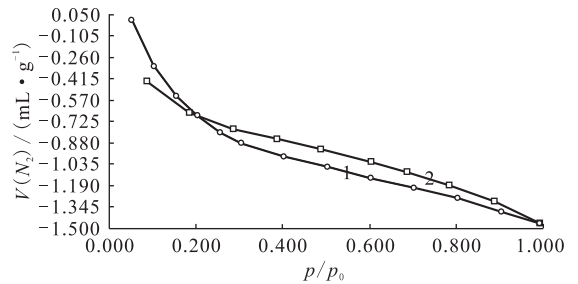


图 2 胶膜等温线

Fig. 2 Isotherms

1——吸附(Adsorption), 2——脱附(Desorption)

致密、透气性差、干燥时间短、柔韧性好和干后易剥离的优点, 满足作为暂时性封闭材料的基本条件。

### 2.2 氚污染不锈钢模拟样品封闭实验

选取 3 个受到不同程度氚污染的不锈钢模拟样品进行封闭实验, 表 1 给出了每个不锈钢片两个表面所含的氚量。

表 1 氚污染不锈钢表面氚量

Table 1 Radioactivity on tritium-borne stainless steel		
No.	表面(Surface)	A(T)/Bq
1	A	181
	B	84
2	A	401
	B	353
3	A	$4.7 \times 10^4$
	B	$4.5 \times 10^4$

**2.2.1 封闭膜厚度对氚释出量的影响** 在 1、2 和 3 号氚污染不锈钢模拟样品上分别制备厚度为

1、3、5 mm 的封闭膜,测量封闭膜背侧面(未接触氚污染不锈钢片一面)的氚量并按式(1)计算氚释出率  $X_{ij}$  (表 2)。假设氚污染不锈钢内部的氚没有参与扩散和渗透,则:

$$X_{ij} = A_1/A_0 \quad (1)$$

式中,  $X_{ij}$  为氚释出率,  $i$  是样品号,  $j$  是膜厚;  $A_0$  为

封闭前样品表面总氚活度;  $A_1$  为封闭膜背侧面总氚活度。表 2 表明,当封闭膜厚度在 1~5 mm 范围内,样品的氚释出量均接近本底水平,氚释出率小于 4%。故在静态条件下封闭膜厚度(1~5 mm)对样品(活度小于  $4.7 \times 10^4$  Bq)的封闭效果没有影响。

表 2 膜厚度对氚释出量的影响  
Table 2 Influence of film thickness on the release of tritium

No.	表面(Surface)	1 mm		3 mm		5 mm	
		$A_1$ /Bq	$X_{ij}$	$A_1$ /Bq	$X_{ij}$	$A_1$ /Bq	$X_{ij}$
1	A	5	3.40%	2	2.26%	3	1.89%
	B	4		4		2	
2	A	7	2.12%	1	0.27%	3	0.80%
	B	9		1		3	
3	A	11	0.03%	3	0.001%	2	0.001%
	B	12		2		3	

**2.2.2 时间对氚释出量的影响** 将膜厚 3 mm 的 2 号氚污染不锈钢模拟样品静置两个月后测量封闭膜背侧面的氚量,测试数据显示封闭膜背侧面的氚量在两个月后仍接近刚封闭时的水平(1 Bq),这说明静态条件下时间对封闭效果没有影响。

**2.2.3 水对氚释出量的影响** 室温条件下( $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$ ),取未封闭的氚污染不锈钢模拟样品作为对比样品(浸泡前样品表面氚活度为  $2.0 \times 10^4$  Bq,在水中浸泡 2 h 氚的释出量为  $3.6 \times 10^4$  Bq),与封闭的 1、2 和 3 号氚污染不锈钢模拟样品分别置于 55 mL 蒸馏水(水温  $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$ )中浸泡,考察水中的氚活度。实验过

程中每隔 2 h 取样,每次取 5 mL 水样,共取 2 次。用液体闪烁仪测量水中的氚量并按式(2)计算氚释出率  $Y_{ij}$ 。假设氚污染不锈钢内部的氚没有参与扩散和渗透,则

$$Y_{ij} = A_2/A_0 \quad (2)$$

式中,  $Y_{ij}$  为封闭样品在水中的氚释出率;  $A_0$  为封闭前样品表面总氚活度;  $A_2$  为封闭样品在水中浸泡 4 h 后的氚释出活度。水对氚释出量的影响结果列于表 3。由表 3 结果可知:(1) 封闭样品在水中的氚释出量,均低于未封闭样品;(2) 样品在水中的氚释出率小于 5%,与浸泡前的 4% 相差仅 1%。故水对封闭效果影响很小。

表 3 水对氚释出量的影响  
Table 3 Influence of water on the release of tritium

No.	浸泡时间 (Soaking time)/h	1 mm		3 mm		5 mm	
		$A_2$ /Bq	$X_{ij}$	$A_2$ /Bq	$X_{ij}$	$A_2$ /Bq	$X_{ij}$
1	2	7	4.53%	6	2.64%	6	2.26%
	4	12		7		6	
2	2	11	1.72%	6	0.80%	7	1.06%
	4	13		6		8	
3	2	88	0.18%	75	0.14%	7	0.01%
	4	162		131		10	

**2.2.4 水温对氚释出量的影响** 将膜厚 1 mm 的 1、2 和 3 号样品按照 2.2.3 节实验方法置于室温及 60 °C 恒温水浴中,考察此时水中的氚释出率  $Y_{ij}$ ,结果列于表 4。表 4 数据显示,在高于室温的条件下,封闭样品在水中的氚释出量有所增加,氚

释出量最多的 3 号样品比原来增加了近 5 倍,但观察表 4 中的氚释出率数据,此时封闭样品的氚释出率均低于 11%。故水温的升高会影响封闭样品的封闭效果,当水温从 24 °C 升至 60 °C 时,氚释出率增加了 6%。

表 4 水温对氚释出量的影响

Table 4 Influence of water's temperature on the release of tritium

No.	浸泡时间 (Soaking time)/h	(24±1) °C		60 °C	
		$A_2$ /Bq	$Y_{ij}$	$A_2$ /Bq	$Y_{ij}$
1	2	7	4.53%	14	10.19%
	4	12		27	
2	2	11	1.72%	16	4.77%
	4	13		36	
3	2	88	0.18%	230	0.99%
	4	162		911	

### 3 结 论

实验获得了中性硅酮胶膜封闭氚污染不锈钢模拟样品的效果,即静态条件下封闭样品的氚释出率小于 5%。而各因素对封闭效果的影响主要表现在以下两个方面:(1) 静态条件下,封闭膜厚度(1~5 mm)和时间(两个月)对封闭效果没有影响;(2) 水和水温对封闭效果影响很小,相比于静态条件下的氚释出率,水的浸泡使氚释出率增加了 1%;当水温从 24 °C 升至 60 °C,氚释出率增加了 6%。

### 参考文献:

- [1] 宋妙发,张亦忠.核环境学基础[M].北京:原子能出版社,1996:81.
- [2] International Commission on Radiological Protection[R]. ICRP Publication 2, Pergamon Press, 1959.
- [3] Yao Zhenyu, Hao Jiakun, Zhou Changshan, et al. The Permeation of Tritium Through 316L Stainless With Multiple Coatings[J]. J Nucl Mater, 2000, 283/287: 1 287-1 291.
- [4] Harper J R, Garde R. The Decommissioning of a Tritium-Contaminated Laboratory[R]. New Mexico: Los Alamos National Laboratory, 1981: 11.
- [5] 王海平.室内装饰工程手册[M].第 3 版.北京:中国建筑工业出版社,1998:141.