

# 可剥离式放射性去污膜的研制和性能

杨恩波 徐宝兰 赵秀岩

(中国原子能科学研究院, 北京)

王德印

(天津有机化工实验厂)

**关键词** 可剥离膜, 放射性, 去污。

## 一、引言

可剥离式放射性去污膜是近年来发展起来的一种新型放射性去污材料。它是具有多种官能团的高分子化合物, 加入各种添加剂: 络合剂、乳化剂、成膜助剂、浸润剂等, 以增强去污能力和改善涂料的物理化学性能。成膜前它是一种溶液或水性分散乳液, 用喷雾法或抹刷法将其涂于沾污表面, 干燥成膜。成膜过程中高分子链上的官能团以及其中的络合剂与引起沾污的核素发生物理化学作用, 使其从污染表面进入膜中, 剥离掉涂膜达到去污目的。对不同的沾污状态, 作用原理是不一样的。

国外已研制出数百种去污膜和去污涂料, 主要是三种类型: (1) 聚乙烯或聚氯乙烯系列, (2) 聚醋酸乙烯及改性物系列; (3) 聚丙烯酸酯系列。文献 [1] 报道, 新型去污材料具有高去污效果, 一次去污可达1—2个数量级, 甚至2—3个数量级。该去污技术只产生极少量的废物且易于压缩或焚烧; 对退役设备, 防止在解体过程中放射性扩散, 以及可反复更换新膜使设备不受污染等具有独特的优点<sup>[2]</sup>。

我们研究去污材料, 其主体结构类似于聚乙烯, 但在主碳链上带有较多的活性基团, 如  $-\text{OH}$ ,  $\text{O}=\overset{\text{I}}{\text{C}}-\text{O}-\text{C}-$  等。已制备的去污材料有A和B两种类型, A型为高分子溶液型; B型为水性分散乳液型。它们具有去污能力强、涂膜性能好、具有较高强度和柔韧性、易于剥离等优点。

## 二、实验和结果

### 1. 放射性去污效果的测试方法

配制含有各种核素的放射性示踪溶液, 介质为  $1-2\text{mol/l HNO}_3$ , 测定其放射性强度。用适当量的上述溶液, 沾污各种材料表面, 在室温下放置大约24h, 干燥, 准确测定沾污水平; 然

1989年12月26日收到, 1990年3月31日收到修改稿。

后在沾污处涂以去污膜液体,待干燥成膜后,将其剥离,测定剩余放射性,计算去污效率 $\eta_n$ 。

$$\eta_n = \left(1 - \frac{A_n}{A_0}\right) \times 100\%$$

式中 $\eta_n$ 为经 $n$ 次涂膜去污后的总去污率, $A_0$ 为原始沾污的放射性, $A_n$ 为 $n$ 次涂膜去污后的剩余放射性。

## 2. $^{134}\text{Cs}$ , $^{144}\text{Ce}$ 和 $^{106}\text{Ru}$ 等 $\gamma$ 放射性沾污的材料表面去污

$\gamma$ 放射性去污对设备退役和维修都是极为重要的。为了使研究具有充分的代表性,我们选择了 $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Pr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ 作为示踪剂。其实验结果列入表1—5。表中数据说明,A-1和B-1型去污膜对上述5个核素均有相当好的去污能力。表1和表2分别表示了对 $^{134}\text{Cs}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 两个同位素的去污效果,数据非常接近。表3和表4为 $^{144}\text{Ce}$ 和 $^{144}\text{Pr}$ 的去污效率,表5为 $^{106}\text{Ru}$ 的去污效率。 $^{106}\text{Ru}$ 的去污效率比其余几个核素的去污效率低,主要是由于 $\text{Ru}$ 的行为比较复杂,也不易找到非常有效的络合剂。对不锈钢和聚氯乙烯地板两种材料中 $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ 和 $^{144}\text{Pr}$ 的去污,前者比后者去污效果好,但对 $^{106}\text{Ru}$ 的去污,两种材料表面无明显差别。

表1  $^{134}\text{Cs}$ 的去污\*

序号	试验材料	去污膜类型	$A_0$ , 计数/分	$A_1$ , 计数/分	$\eta$ , %
1	不锈钢	B-1	6563 (4809)	209 (177)	96.8 (96.3)
2	不锈钢	B-1	8428 (5826)	252 (184)	97.0 (96.8)
3	不锈钢	A-1	5436 (3633)	59 (62)	98.9 (98.3)
4	聚氯乙烯地板	A-1	4825 (3554)	445 (334)	90.8 (90.6)

\*  $\gamma$ 射线能量为604keV (795keV),表中括号内数据为795keV  $\gamma$ 射线的测量结果。

表2  $^{137}\text{Cs}$ 的去污\*

序号	试验材料	去污膜类型	$A_0$ , 计数/分	$A_1$ , 计数/分	$\eta$ , %
1	不锈钢	B-1	44856	1413	96.8
2	不锈钢	B-1	56858	1718	97.0
3	不锈钢	A-1	36081	692	98.1
4	聚氯乙烯地板	A-1	33334	3065	90.8

\*  $\gamma$ 射线能量为661keV。

表3  $^{144}\text{Ce}$ 的去污\*

序号	试验材料	去污膜类型	$A_0$ , 计数/分	$A_1$ , 计数/分	$\eta$ , %
1	不锈钢	B-1	26402	402	98.5
2	不锈钢	B-1	33758	353	99.0
3	不锈钢	A-1	21023	262	98.8
4	聚氯乙烯地板	A-1	20040	360	98.2

\*  $\gamma$ 射线能量为133keV。

表4  $^{144}\text{Pr}$ 的去污\*

序号	试验材料	去污膜类型	$A_0$ , 计数/分	$A_1$ , 计数/分	$\eta$ , %
1	不锈钢	B-1	836	13	98.4
2	不锈钢	B-1	1083	23	97.5
3	不锈钢	A-1	713	22	96.6
4	聚氯乙烯地板	A-1	712	14	98.0

\*  $\gamma$ 射线的能量为695keV。

表5  $^{106}\text{Ru}$ 去污\*

序号	试验材料	去污膜类型	$A_0$ , 计数/分	$A_1$ , 计数/分	$\eta$ , %
1	不锈钢	B-1	2964	180	93.0
2	不锈钢	B-1	3606	167	96.4
3	聚氯乙烯地板	A-1	2204	132	94.0

\*  $\gamma$ 射线能量为511keV。

## 3. 混合裂片元素污染的材料表面的去污

在裂片产物中,除了少数为纯 $\beta$ 放射性外,其余多数核素都是 $\beta$ ,  $\gamma$ 放射性共存。我们用混合裂片(728元件溶解液去除U, Pu基体)作为 $\beta$ 放射性示踪剂,研究了各种常用材料表面 $\beta$ 放射性去污,结果列入表6和表7。从表中数据可以看出,A, B两种类型的去污膜对不锈钢表面的 $\beta$ 去污均有较好的效果。表7给出了玻璃、有机玻璃和聚氯乙烯地板的 $\beta$ 去污情况,有机玻璃和聚氯乙烯地板的 $\beta$ 去污效果较

差。但是对聚氯乙烯地板表面经过简单处理,例如涂一层很薄的石蜡,则去污效果明显增加。

表6 不锈钢表面混合裂片 $\beta$ 放射性去污

序号	去污膜类型	$A_0$ , 计数/分	$A_1$ , 计数/分	$\eta$ , %
1	A-1	6366	215	96.6
		20654	216	99.0
2	A-2	7079	176	97.5
3	B-1	97028	1530	98.2
		90022	1459	98.4
4	B-2	12663	347	97.3
		13083	168	98.7
		14415	435	97.0
		15923	467	97.1
5	B-3	14358	330	97.4
		13630	451	96.7
		11228	269	98.1
		12721	260	98.0

• A- $i$  ( $i=1,2,3\dots$ ), B- $i$  ( $i=1,2,3\dots$ ) 表示A类、B类去污膜中添加不同络合剂。

表7 各种材料表面混合裂片 $\beta$ 放射性去污

试验材料	去污膜类型	$A_0$ , 计数/分	$A_1$ , 计数/分	$\eta$ , %
聚氯乙烯地板	A-2	37890	6618	83.0
		42086	9885	76.0
		71455	2616	96.3
表面涂石蜡的 聚氯乙烯地板	A-2	23783	493	98.1
		17997	134	99.2
		33233	536	98.5
		20317	160	99.2
聚氯乙烯地板	A-1	23250	337	98.5
		10081	150	98.6
		14573	326	97.7
		24163	159	99.3
玻璃	A-2	23178	95	99.6
		73485	1385	98.1
		63930	3415	94.8
有机玻璃	A-2	71562	7017	90.2
		35402	1509	96.0
		18062	1993	89.0

#### 4. 铀沾污的材料表面的去污

用含有 $^{233}\text{U}$ 示踪剂的天然铀为污染物对各种材料表面进行人工沾污,然后用A类去污膜去污,其结果列入表8。对于光滑表面的不锈钢、玻璃和有机玻璃去污效果最好,一次去污达到98-99%。但是,对于不光滑的表面,去污效果明显下降;表面受腐蚀的不锈钢一次去污只有60-70%,表面明显不平整的聚氯乙烯地板一次去污只有80-90%,二次去污达到95%。经过高温(500℃以上)处理并经长期放置的沾污表面,去污是相当困难的。

#### 5. 可剥离去污膜的封闭作用

在退役核设施的解体过程,放射性容易脱落、扩散,污染环境和人体。用一层膜复盖起来就大大减少这种二次污染的可能性。对于 $\alpha$ 放射性污染的表面还可以起到防护作用。表9给出了可剥离膜的封闭作用实验结果。表中数据说明,复盖后的 $\alpha$ 放射性降至本底水平。对于其他放射性物质,涂膜不能屏蔽其射线,但由于放射性物质进入膜中,或者包裹在膜下,就不易散落。

#### 6. 可剥离膜的保护作用

将材料表面先涂一层可剥离膜,待膜干燥后,对其进行人工沾污,过一定时间,将已沾污的膜剥去,测膜下的沾污程度,结果示于表10。表中数据表明,涂膜干燥后,放射性核素不容易穿过膜而使涂膜下的表面沾污。因此,根据沾污的程度,经常更换新的涂层,能保护设

备或工作场所表面不被放射性物质污染。

表8 各种材料表面 $\alpha$ 放射性去污

试验材料	$\eta_1, \%$	$\eta_2, \%$	试验材料	$\eta_1, \%$	$\eta_2, \%$
不锈钢	99.0		聚氯乙烯地板	92.7	96.6
	97.4			87.7	96.5
	99.0			89.2	95.8
	97.8			88.5	94.5
表面腐蚀 不锈钢	76.6	91.9	带纹厚塑料布	98.2	
	62.7	85.5		92.5	
	79.0	84.7	胶木(酚醛树脂)	88.3	
		98.1			
平板玻璃	99.5	99.7	有机玻璃	99.7	
	99.6	99.7		98.8	
	99.9	99.6	粗表面聚乙烯片	98.0	
	98.6				
平板玻璃 (沾污后经高温灼烧, 并 放置5年)	47.9				
	46.4				
	50.9				
	49.9				

表9 可剥离膜的封闭作用\*

表面污染, 计数/分	涂膜后的放射性, 计数/分	涂膜前后相对强 度, %
683	3	0.44
716	6	0.84
712	5	0.70

\*用 $^{235}\text{U}$ 示踪剂, 膜厚0.3mm.

表10 可剥离膜的保护作用

材料	涂膜厚, mm	膜外沾污, $^{235}\text{U}$ , $\alpha$ 计数/分	脱膜后沾污, $\alpha$ 计数/分
胶水	0.2	428	2.5
玻璃	0.2	1546	1.3

### 三、结 论

1. A和B两种类型可剥离去污膜对不锈钢表面上 $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Pr}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ 等核素的 $\gamma$ 放射性一次去污达96—99%, 对 $^{106}\text{Ru}$ 一次去污达90%, 对聚氯乙烯地板一次去污达90%。

2. A和B两种类型可剥离去污膜对不锈钢表面混合裂片 $\beta$ 放射性一次去污达97—99%, 对涂腊地板一次去污达98—99%, 对有机玻璃一次去污达90%以上。

3. A类可剥离去污膜对不锈钢表面 $\alpha$ 放射性( $^{235}\text{U}$ )一次去污达97—99%, 对玻璃、有机玻璃一次去污达98—99%, 对聚氯乙烯地板一次去污达88—93%, 二次去污达95%以上。

4. A和B两类可剥离膜对已沾污的放射性有封闭作用, 可防止二次污染; 用更换新膜的方法可以保护设备表面不被沾污。

唐培家和刘大明同志做了 $\gamma$ 放射性的测量, 在此表示谢意。

### 参 考 文 献

[1] Bernola, O. A., and Filevich, A., Health physics, 19.685(1970).

[2] 钱建华等,原子能科学技术.22(6).669, (1988).

## DEVELOPMENT OF PEELABLE FILMS FOR DECONTAMINATION AND ITS PERFORMANCE

YANG ENBO XU BAOLAN ZHAO XIUYAN

(*Institute of Atomic Energy, P.O.Box 275, Beijing*)

WANG DEYIN

(*Tianjin Organic Chemical Experimental Plant*)

### ABSTRACT

Two kinds of peelable films have been developed which can be coated on surface contaminated by radioactivity for decontamination purposes. Very high levels of radioactive decontamination, especially on smooth surface, are obtained after one application. 90-99% decontamination based on initial activity can be obtained for stainless steel, PVC floor and glass.

**Key words** Peelable film, Radioactivity, Decontamination.

~~~~~  
(上接第139页, Continued from p.139)

## KINETIC STUDIES ON THE SYNERGISTIC EXTRACTION OF URANIUM

HUANG XUENING GAO HONGCHENG PEN QIXIU

(*Department of Technical Physics, Peking University, Beijing*)

### ABSTRACT

The kinetics of synergistic extraction of U(VI) with TOA-TOPO in n-hexane have been investigated using the single drop technique. The extraction rate is found to increase with the addition of synergist TOPO. The effects of the concentrations of U(VI), H<sup>+</sup>, TOA, TOPO, temperature on the extraction rate are studied and apparent activation energy is calculated. The rate-controlling step and a kinetic equation are suggested.

**Key words** Kinetics of extraction, Synergistic extraction, Uranium.