

防辐射复合材料的性能研究

张松森

(河南省科学院同位素研究所)

提 要: 本文介绍的是利用交联反应工艺制成的一种防辐射复合新材料的性能。通过实测数据的列举和运用比较的方法,从比重、对 x 、 γ 射线的防护作用、耐辐射能力、物理特性等方面证实了这种新材料的良好使用效果。在辐射技术和环境保护等领域有广泛的应用前途和开发价值。

关键词: 复合材料, 交联反应, 当量防护厚度, 减弱率

1 前 言

应用合成方法成型出的用于辐射防护复合材料,对 x 、 γ 射线有较强的防护能力。它不仅一定的条件下可以代替铅金属和钢材,而且和非金属防护材料相比,由于对射线的减弱率高,可以大大缩减当量厚度。这种材料成本低廉、成型方便,可以在防护建筑设施上广泛应用。

2 复合材料的工艺原理和主要技术指标

复合材料是用天然矿物质作填充料、以树脂产品为粘合剂,经过聚合反应而凝结成的固体物质。填充料是根据对材料的性能要求而进行配制的。粘合剂是线型聚脂树脂和具有聚合能力的单体物质。在交联反应过程中可用化学方法引发,也可用射线引发,都有良好的聚合效果。

主要技术指标:

比重: $2.42 \sim 5.32 \text{ g/cm}^3$;

2^{mm}铅当量厚度: $9.37 \sim 4.26 \text{ mm}$;

2^{mm}厚度的 x 射线减弱率: 不小于95%;

7^{mm}厚度的 γ 射线平均减弱率: 40% (0.122 Mev以下)。

抗压强度: 不小于 1300 kg/cm^2 ;

吸水率: 不大于0.05%

3 复合材料的性能实验和测试

3.1 实验和测试目的:

3.1.1 以复合材料作为对 x 、 γ 线的屏蔽物时,用剂量率表测量经过屏蔽后的射线强

· 本文1988年9月6日收到

度, 以确定其对射线减弱程度之大小;

3.1.2 在强辐射作用下, 复合材料的理化性能稳定程度;

3.2 实验和测试内容:

3.2.1 比重测量:

表1 不同配制方法的复合材料比重

测量编号	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*
配方类型	A ₁	A ₂	A ₃	B	C	D	G
比重(g/cm ³)	2.42	2.67	2.88	3.46	4.02	4.89	5.32

表2 常用防护材料比重表

物质名称	水	土壤	砂	混凝土	岩石	铁	铅
比重(g/cm ³)	1	1.9	2.2	2.3	2.58	7.8	11.34

3.2.2 复合材料的防护能力测试

对 γ 射线而言, 防护材料的比重越大, 防护效果越好。因此, 可以根据防护材料的比重计算出它的当量防护厚度。

表3 2mm铅当量厚度的防护材料厚度

物质名称	水	土壤	砂	混凝土	岩石	A ₁	A ₂	A ₃	B	C	D	G	铁	铅
当量防护厚度(mm)	22.68	11.94	10.31	9.86	8.79	9.37	8.49	7.88	6.56	5.64	4.64	4.26	2.91	2

实验一 用如图所示的方法, 以同样厚度(7mm)不同配方的复合材料作屏蔽物时, 可以看出比重越大, 防护效果越好。

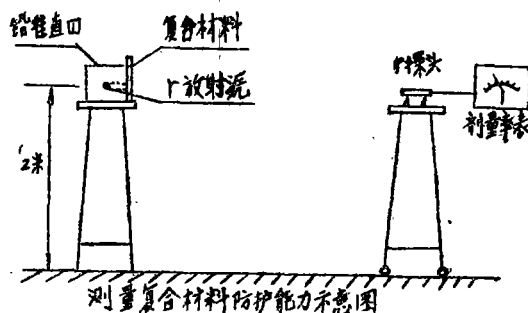


表4 不同比重的复合材料防护能力比较

防护材料	(无屏蔽)	A ₁	A ₂	A ₃	B	C	D	G
测量率指示($\mu r/h$)	4.8	3.0	2.5	2.0	1.6	1.4	1.1	0.9

实验二 以同种材料(A₂型),不同厚度的复合材料作屏蔽物时,可以看出厚度不同,防护效果也不同。

表5 不同厚度的复合材料防护能力比较

复合材料厚度(mm)	(无屏蔽)	3	5	7	10	15
剂量率指示($\mu\text{r/h}$)	4.8	3.9	3.1	2.5	1.7	0.5

实验三 用不同能量的 γ 射线源,以不同比重的防护材料作屏蔽物时,可以看出,射线的能量越低,复合材料的减弱率越高;对同种能量的射线而言,复合材料的比重越大,其减弱率也越高。以表7中的 ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{57}Co 为例作比较(见表6)

表6 对不同能量的射线源进行减弱比较

放射源核素 减弱率%	屏蔽材料				
	砂	混凝土	岩石	A ₃	D
^{241}Am (能量0.060MeV)	2.5	10	25	30	37.5
^{137}Cs 0.662MeV	0	2.5	5	7.5	10
^{57}Co 0.122MeV	4	10	36	38	42
^{22}Na 1.275MeV	0	1.8	3.6	6.3	7.1

表7 对不同能量的 γ 射线防护效果比较(探头灵敏区中心距放射源中心16cm)

放射源核素			^{241}Am	^{57}Co	^{133}Ba	^{137}Cs	^{54}mn	^{60}Co	^{22}Na	^{88}y
γ 射线能量(MeV)			0.060	0.122	0.356	0.662	0.835	1.25	1.275	1.836
源强(μu)			2.16	0.74	2.43	3.68	0.538	2.97	1.74	0.012
屏蔽材料										
类别	比重 g/cm^3	厚度 <mm>	$\mu\text{r/h}$	$\mu\text{r/h}$	$\mu\text{r/h}$	$\mu\text{r/h}$	$\mu\text{r/h}$	$\mu\text{r/h}$	$\mu\text{r/h}$	$\mu\text{r/h}$
无屏蔽			40	50	116	80	40	112	112	31
砂	2.2	7	39	48	114	80	39	112	112	31
混凝土	2.3	7	36	45	104	78	39	110	110	30
岩石	2.58	7	30	32	78	76	37	106	108	29
A ₁	2.42	7	33	33	84	78	38	108	110	30

A ₁	2.67	7	29	33	80	78	37	106	108	29
A ₂	2.88	7	28	31	76	74	36	105	106	28
B	3.46	7	27	31	75	73	36	105	104	28
C	4.02	7	26	30	74	71	35	104	102	27
D	4.89	7	25	29	72	72	35	104	100	27
G	5.32	7	24	28	66	68	34	101	96	26

实验四, 对x射线防护能力测量

本实验是在x射线房中模拟钡餐治疗时进行的。x射线管电压为70KV, 电流3mA, 操作人员距透视体1m处的无防护吸收剂量率为15mrad/h。在测量时, 对使探头有可能接受到的散射剂量进行2mm的铅屏蔽

表8 A₂型复合材料对x射线的防护能力

复合材料厚度<mm>	<无屏蔽>	2	4	6.5	8.5	10
剂量率表指示<μr/h>	15	0.6	0	0	0	0

3.2.3 复合材料的耐辐射性能测试:

复合材料和常用的防护材料不同的是, 其内含有相当比例的高分子材料。在强辐照条件下, 高分子材料的性能变化将直接决定着复合材料的物理稳定性。

实验五, 实验受照剂量和外观特征: 在强度为8000居里的COCO放射源辐照室中以两种照射量率做连续受照试验:

表9 受照剂量分组

被照射材料	I组: A ₀ A ₁ A ₂ A ₃ BCDG	II组: A ₀ A ₁ A ₂ A ₃ BCDG
照射量率<r/h>	1.80×10 ⁵	2.64×10 ⁵
总照射剂量<rem>	2.17×10 ⁶	3.80×10 ⁶

取出后在室温下放置24小时, 观察其外观特征:

- ①体积、比重无变化;
- ②无龟裂痕迹, 无破碎现象;
- ③颜色: I组无变化, II组略有加深感;

实验六, 对辐照后的复合材料进行抗压强度测试, 其结果见表十

表10 辐照前后抗压强度比较

测试内容	抗压强度(kg/cm ²)							
样品编号	1	2	3	(1)	5	6	7	(2)
配方型号	A ₁	A ₂	A ₃	B	A ₁	A ₂	A ₃	B
辐 照 前					1268.50	1346.30	1299.10	1476.10
辐 照 后	1473.80	1444.20	1662.10	1566.50				

注: (1) 辐照剂量率 $2.64 \times 10^5 \text{ r/h}$; 总照射量 $3.80 \times 10^8 \text{ rem}$;

(2) 测量仪表误差: $\pm 1\%$;

(3) 表中的每个数据均为每组数据(每组五个样品)的平均值;

实验七, 在一块A₃型复合材料上作辐照前后的其他物理性能测试:

表11 吸收率测试结果

测量编号	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇
配方型号	A ₁	A ₂	A ₃	B	C	D	G	A ₁	A ₂	A ₃	B	C	D	G
吸水率(%)	0.05	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01

注: (1) W₁₋₇: 表示未辐照的材料

F₁₋₇: 表示经辐照的材料

(2) 受照量为 $80 \times 10^8 \text{ rem}$;

(3) 表中每个数据均为一个组数据(每组5个)的平均值;

实验八, 表面光泽度测量

将一块A₃型复合材料均分成6块, 其中3块经 ^{60}Co γ 射线照射(总照射量为 $3.80 \times 10^8 \text{ rem}$)以F标记, 另3块未经照射, 以W标记。配制浓度为20%的NaOH溶液和浓盐酸溶液(浓度为38%), 各300毫升于两个容器中。两个容器中分别放入W和F材料各2块, 密封容浸泡8小时。捞出洗净凉干, 和未经酸碱处理的2块材料(W、F各一)同时进行光泽度测量, 其结果见表十二

表12 表面光泽度测量结果

测量编号	(1)	(2)	FJ	F	FS	WJ	W	WS
配方型号	A ₂	A ₂	A ₃	A ₃	A ₃	A ₃	A ₃	A ₃
光泽度(度)	82	85	100	97	97	96	98	94

注: (1) 表中每个数据均为一个组数据的平均值;

- (2) A₂型复合材料未作酸、碱处理; (1) 为未经辐照的, (2) 为经辐照的;
(3) 编号说明:

FJ: 辐射后的碱浸材料;
F: 辐射而未经酸碱浸泡材料;
FS: 辐射后的酸浸材料;
WJ: 未辐射的碱浸材料;
W: 未辐射未经酸碱浸泡材料;
WS: 未辐射的酸浸材料

4 讨 论

- ① 复合材料有较高的比重;
- ② 复合材料对 α 、 γ 射线有明显的防护作用, 且比常用的非金属防护材料效果要好;
- ③ 复合材料可以经受较高的辐射剂量, 且抗压强度不会减弱;
- ④ 复合材料有理想的吸水率, 且不因受照而增加;
- ⑤ 耐酸碱性能良好。
- ⑥ 有较长的抗辐射使用寿命;
- ⑦ 成本低廉, 一个单位防护体积相当于铅材料的十四分之一;
- ⑧ 聚合材料有良好的抗老化能力, 可在恶劣环境应用。

参 考 文 献

- [1] 《化工辞典燃料》 化学工业出版社 1969年版
- [2] 《辐射防护基础》 原子能出版社 1982年版
- [3] 《辐射应用》 科学文献出版社重庆分社 1981年版
- [4] 《 γ 射线屏蔽参考手册》 原子能出版社 1976年版

Study for the Performance of the Radiation— Proof Composite Matertial

Zhang Songsen

(Isotope Research Institute, Henan Academy of sciences)

Abstract: This paper presents the performance of a radiation-proof composite material prepared by the cross-linking raecion process. From the specific density, the protection from X-and γ -ray, the radiation-resistant ability and the physical property, the good useful effects of this new material have been proved by illustrating the measured data and by employing the comparative method. This material has the wide applications in the radiation teechnique and the environ-mental protection and the Value of development.

Keywords: composite material, cross-linking reaction, equivalent protection depth, decay rate