

# 防辐射纤维及材料的研究进展

梁 威 杨青芳 马爱洁

**摘 要:**主要概述了防护 X、 $\gamma$  射线和中子射线用纤维及材料的发展状况,介绍了它们的防护效果和组成结构等,并对这些射线的性质和危害作了简述。

**关键词:**射线 防辐射 纤维 防护效果

## 1 前言

防辐射材料是指能够吸收或消散辐射能、对人体或仪器起保护作用的材料。防辐射纤维及材料的研制是一项重要的高功能材料的科研课题,受到世界各发达国家的普遍重视,它的研制对国防和民用都有十分重要的意义。本文主要阐述防 X、 $\gamma$  射线和中子射线用纤维及材料。

## 2 防 X、 $\gamma$ 射线纤维及材料

### 2.1 X、 $\gamma$ 射线的性质,对物质的作用及危害

X 射线和  $\gamma$  射线都是由强光子流组成的电磁波,可间接引起物质电离。它们的波长范围大约为  $10 \times 10^{-10} \sim 14 \times 10^{-10} \text{ m}$ ,波长越短对物质的穿透能力越强。它们二者在本质上并没有什么区别,只是产生方式不同。X 射线是从原子核外产生的,而  $\gamma$  射线是从核内产生的。X 射线和  $\gamma$  射线通过三种方式(光电效应、康普顿效应、电子对效应)与组成机体的各种物质相互作用,转移其能量。它们对人体的伤害很大,如果长期接触这些射线会对人体的性腺、乳腺、红骨髓等产生伤害,超过一定剂量还会引发白血病、骨髓瘤等疾病。

### 2.2 防护材料的发展现状

一般防 X 射线及  $\gamma$  射线的材料,都是含铅的玻璃、有机玻璃和橡胶等制品。实验表明,几乎所有的塑料和橡胶

加入 X 射线屏蔽物质均可制成防 X 射线材料,但防辐射纤维及其织物的研制要困难很多。

20 世纪 80 年代初,前苏联的莫斯科纺织材料研究所就致力于 X 射线防护纤维和防护服的研究开发,先后在核电站防护服、X 射线防护服、屏蔽电磁波防护服等方面取得了重大突破。他们专门设计了适用于核电站消防人员、维修人员和操作值班人员穿着的防辐射服,这种核防护服在组合辐射强度达 100 BER/h (X、 $\gamma$  射线)和 400 BER/h (射线)的条件下,能有效地吸收辐射能量达 200 万 eV 光子射线和 2 MeV 的射线,从而能在 20 min 内保护工作人员免受辐射、灼伤和放射物沾污皮肤以及吸入气体等危害。其中的 SZO 型防护服是为处理紧急事故而设计的,目的是防护射线辐射、高温时的强热曝晒、短时间过热蒸气和明火的烘烤作用。这套服装对  $\alpha$  射线辐射有完全的保护作用。

日本和奥地利的研究者分别将硫酸钡添加到粘胶纤维中制成的防辐射纤维可用于制作长期接触 X 射线的工作人员服装,防辐射效果良好。将防 X 射线纤维加工成的织物经层压或者在织物中间填加含有屏蔽剂的粘合剂后热压制成的层压织物,均是防护 X 射线辐射的良好材料,天津纺织工学院也对此进行了研究。

美国佛罗里达州的一家辐射防护

技术公司用辐射防护技术对聚乙烯和聚氯乙烯进行改性研制成功 demron 防辐射织物,它是由一层聚乙烯(PE)和聚氯乙烯(PVC)聚合物夹在两层普通梭织布之间构成,它不仅能防 $\alpha$ 射线,还能阻挡X射线和 $\gamma$ 射线。这种防辐射织物的防辐射性能跟铅做的衣服一样好,但它不含铅,无毒而且质轻。它的用途很广,既可以制成轻便的全身防护服、防辐射帐篷,又可以作为飞机、宇宙飞船用内衬材料等。

目前研制的新型防X射线纤维,主要是用聚丙烯和固体X射线屏蔽剂材料复合制成的,成品纤维的线密度在2.2 dtex以上,纤维的断裂强度可达20~30 CN/tex左右,断裂伸长率约为25%~45%。由聚丙烯为基础制成的防X射线纤维做成的非织造布,对中、低能量的X射线具有较好的屏蔽效果。当用于防护服的纤维重量在608 g/m<sup>2</sup>以上时,对中、低能量X射线的屏蔽率可达70%以上。

### 3 防中子射线纤维及材料

#### 3.1 中子的性质,对物质的作用及危害

中子是一种不带电荷的中性粒子,中子通过物质时与原子核外电子几乎不发生作用,主要与核作用。中子具有很强的穿透力,它在空气和其他物质中可以传播更远的距离。中子与氢、氧、碳、氮等原子核作用能产生反冲核,这种反冲核在组织中能引起高密度的电离,对人体产生的危害比相同剂量的X射线更为严重。研究表明中子致肿瘤的生物效应(RBE)约为X射线的2~3倍,由中子引起的染色体的畸变大大高于X射线和 $\gamma$ 射线。

#### 3.2 防中子辐射纤维及材料

中子和物质的相互作用有两种形式,一种是快中子的散射和减速;另一

种是慢中子被吸收后放出共化粒子或 $\gamma$ 射线,所以中子的屏蔽实际上是要将快中子减速和将慢(热)中子吸收。氢元素含量较高的石蜡、聚乙烯和聚丙烯等是优良的快中子慢化材料,而含锂元素的氟化锂、溴化锂、氢氧化锂,含硼元素的氧化硼、硼酸和碳化硼等是优良的慢中子吸收物质。将快中子慢化材料和慢中子吸收物质微粉混合后使用,可以得到具有优良的中、低能中子屏蔽性能的新材料。

国外从20世纪70年代中期开始研究纤维状防中子辐射材料方面的技术,其中日本在此方面做了许多工作。日本研制成的离子交换型防中子辐射纤维,是将硼、锂或其他屏蔽物质的离子吸附在纤维上,从而使纤维具有对中子辐射的屏蔽功能。但由于吸附量有限,且洗涤时极易脱落,故屏蔽效果较差。后来日本又对原来的技术进行改进,使离子交换纤维吸附锂或硼的化合物,从而提高了织物中子屏蔽率。

日本将锂和硼的化合物粉末与聚乙烯树脂共聚后,采用熔融皮芯复合纺丝工艺研制了防中子辐射纤维材料,纤维的强度可达20~30 CN/tex,断裂伸长率为21%~32%。由于纤维中锂或硼化合物的含量高达纤维重量的30%,因而具有较好的防护中子辐射的效果,可加工成机织物和非织造布,定重为430 g/m<sup>2</sup>的机织物的热中子屏蔽率可达40%,常用于医院放疗室内医生和病人的防护。

我国的防中子辐射纤维尽管采用的方法与国外不同,但对中子射线的屏蔽效果达到和超过了已知的国外同类研制水平,现已研制成无纺布、机织布,用其制成的防护服装已开始使用。

国内采用硼化合物、重金属化合物与聚丙烯等共混后熔纺制成了皮芯型防中子、防X射线纤维。纤维中碳化硼

含量高达35%,纤维强度可达23~27 CN/tex,断裂伸长率达20%~40%,可加工成针织物、机织物和非织造布,用在原子能反应堆周围,可使中子辐射防护屏蔽率达到44%以上。

透明防中子辐射材料是近年来研究开发起来的防中子辐射材料的又一新品种,它是含硼、锂元素的有机玻璃。这类材料可加工成各种透明视镜和观察窗,使人眼部免受中子辐射损伤,它的研制成功是防中子辐射材料研究史上的一大突破。

### 4 结语

防辐射纤维及材料广泛应用于国防和民用等诸多领域,它的研制对于我国的现代化建设具有重要的意义。目前,防辐射纤维及材料正朝着“专门化”(对某一种射线具有特别好的防护能力)和“多功能化”(适用于存在多种射线的场所)方向发展。相信随着各种射线及射线源广泛的应用,防辐射纤维及材料研究和应用的前景将日益广阔。

### 参考文献

- 1 蒋平平,沈风雷,杨春玲.防辐射有机玻璃研究现状及发展趋势[J].工程塑料应用,1999,27(1):35~37
- 2 段谨源,张兴祥,张华.防辐射纤维及材料研究的发展趋势[J].产业用纺织品,1990(5):4~8
- 3 强永刚,张林.医学影像辐射防护学[M].北京:世界图书出版社
- 4 彭清涛,张康征.辐射防护服[J].中国个体防护装备,2003(2):27~29
- 5 国防科工委科技与质量司编写组.电离辐射计量[M].北京:原子能出版社
- 6 王学晨,牛建津,印瑞斌.聚丙烯与碳化硼共混体系的纺丝与性能研究[J].天津纺织工学院学报,2000,19(2)