

文章编号:1671-6906(2020)01-0020-03

## 射线防护复合材料的制备及性能研究

袁祖培<sup>1</sup>, 陈洁<sup>1</sup>, 沈洁<sup>1</sup>, 荣文<sup>1</sup>, 梁栋<sup>2</sup>

(1. 湖北华强科技有限责任公司, 湖北 宜昌 443003; 2. 中国辐射防护研究院, 山西 太原 030006)

**摘要:** 以无铅型金属作为屏蔽剂,以天然橡胶为包覆载体,采用混炼—多辊压延的方式制备了防辐射复合材料。采用扫描电镜(SEM)、能谱仪(EDS)对防辐射复合材料的微观形貌及屏蔽剂元素成分进行了分析,采用万能试验机对其拉伸强度及拉断伸长率进行了测试,采用铅当量和防护效率表征复合材料对X射线的防护性能,并将其与美国A型、B型两种射线防护服的相关性能指标进行了对比。结果表明:制备的复合材料,力学性能优异,铅当量及防护效率均满足GB 16757—2016中关于I型X射线防护服的材料要求。

**关键词:** X射线;防护服;防辐射;复合材料

**中图分类号:** TQ336.8

**文献标志码:** B

**DOI:**10.3969/j.issn.1671-6906.2020.01.004

X射线作为一种短波电离辐射源,在国防建设、工业探伤、医疗卫生等领域应用广泛。但超剂量的X射线辐射会对人体造成危害,损伤人体器官及组织,导致辐射疾病甚至死亡。X射线防护服可有效降低X射线辐射对人体造成的伤害。其传统的制备材料一般是含铅材料,但这种材料对人体有害,不易回收,且污染环境。近年来,关于少铅或无铅的防X射线辐射材料的研究越来越多<sup>[1-5]</sup>。北京化工大学和中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所合作,以混合镧系元素及其化合物为屏蔽剂,开发出无铅X射线屏蔽橡胶材料及防护服<sup>[3]</sup>。天津工业大学以聚丙烯为基体,以含铅、钡的粉体为屏蔽剂,混合造粒后,经熔融纺丝制成防X射线复合纤维及非织造布,并以此制备出X射线防护服<sup>[6]</sup>。美国以改性聚乙烯和聚氯乙烯为屏蔽织物,以金属钽作这两种织物间的屏蔽夹层,研制出防辐射织物及全身辐射防护服<sup>[6]</sup>,其中A型防护服可对X射线、 $\gamma$ 射线进行有效防护,B型防护服有内、外两层,且均由无铅射线防护材料制成。

本文以无铅型金属作为屏蔽剂,以天然胶为包覆载体,采用混炼—多辊压延的方式制备了防辐射复合

材料,按照GBZ/T 147—2002的规定对材料的拉伸强度、拉断伸长率、硬度进行了测试,并将其与美国A型、B型两种防护材料的性能进行了对比。

### 1 实验

#### 1.1 复合材料的制备

将份数分别为100份、18份、100~900份的天然胶、硫化助剂、3种原子序数不同的金属屏蔽材料(W、Bi、Sn,粒径为1.0~35  $\mu\text{m}$ )加入混炼机混炼0.5~1 h,混炼温度不超过65  $^{\circ}\text{C}$ ,然后滤胶。将混合胶料与硫黄在开炼机上开炼15 min后下胶。将混炼胶在三辊压延机上压延成型,压延厚度为0.9 mm、精度为 $\pm 0.06$  mm。将压延后的样片在鼓式硫化罐中硫化成型,用于防护性能的测试,样片的硫化温度为145  $^{\circ}\text{C}$ ,硫化压力为0.6 MPa。

改变混炼胶金属屏蔽材料的种类,制备出3种防辐射复合材料。1#样片中添加的金属屏蔽材料为Bi、Sn,其份数比为97:10;2#样片中添加的金属屏蔽材料为W、Sn,其份数比为97:10;3#样片中添加的金属屏蔽材料为W,其与天然胶的份数比为107:20。

**收稿日期:**2019-12-10

**基金项目:**国家重点研发计划项目(2018YFC0810301)

**引文格式:**袁祖培,陈洁,沈洁,等.射线防护复合材料的制备及性能研究[J].中原工学院学报,2020,31(1):20-22,43.

YUAN Zupei, CHEN Jie, SHEN Jie, et al. A research on preparation and properties of rays protective composites[J]. Journal of Zhongyuan University of Technology, 2020, 31(1): 20-22, 43(in Chinese).

1.2 复合材料的性能检测

对开炼后的混炼胶进行平板硫化,平板模具为标准强度片模具,其尺寸为 160 mm×110 mm×2 mm,硫化条件根据硫化曲线确定,得到相应配比下的样片。按照国家标准检测其拉伸强度、拉断伸长率及硬度,并以未加金属的母样片作对比。其中,拉伸强度、拉断伸长率按 GB/T 528—2009 的规定进行测试,采用哑铃状 1 型试样,试验拉伸速度为(500±50) mm/min;硬度按照 GB/T 531.1—2008 的规定进行测试,最小测试厚度不小于 6 mm。采用 JSM—7500F 型扫描电镜及其附件 INCA 能谱仪分析复合样片的微观形貌及屏蔽剂的元素成分。按照 GBZ/T 147—2002 的规定对复合样片的铅当量进行检测,X 射线管电压为 130 kV,过滤铜板厚度为 0.25 mm。按下式计算材料的防护效率:

$$\eta = \frac{n_0 - n_d}{n_0 - n_b} \times 100\%$$

式中: $\eta$  表示防护效率(%); $n_0$  为未加样片时的剂量率; $n_d$  为加样片后的剂量率; $n_b$  为本底剂量率。

2 结果与讨论

2.1 物理性能

复合样片的物理性能测试结果见表 1。由表 1 可以看出:1#~3#样片的硬度均比母样片的硬度大,而拉伸强度及拉断伸长率均比母样片小,这是因为金属屏蔽剂会破坏包覆载体的结构,导致异相缺陷的产生;3 种配比下样片的物理性能均满足 GB 16757—2016 中关于 I 型 X 射线防护服材料的要求。

表 1 不同样片的物理性能

样品	密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	硬度 /邵 A	拉伸强度 /MPa	拉断伸长 率/%
母样片	0.96	40	30.2	780
1#样片	3.78	63	9.3	520
2#样片	4.38	54	13.1	530
3#样片	4.52	49	9.2	500
国标I型要求	—	≤68	≥4.8	≥320

2.2 防护性能

复合样片的铅当量与防护效率测试结果见表 2,拟合关系曲线见图 1。由图 1 可知,样片的铅当量与防护效率之间呈现一种线性关系。结合表 1 发现,

样片密度与铅当量之间并未呈正比关系,其原因是 3 种金属屏蔽剂的组合和配比不同。这说明可以通过选择屏蔽剂种类及配比来减轻复合材料重量,提高其防护性能。由表 2 可知,3 种配比下样片的铅当量均满足 GB 16757—2016 中关于 I 型 X 射线防护服的铅当量要求。

表 2 不同样片的铅当量及防护效率

参数	1#样片	2#样片	3#样片	国标 I 型要求
铅当量 /mmPb	0.31	0.29	0.28	0.25≤Pb<0.35
防护 效率/%	64.7	61.1	59.2	—

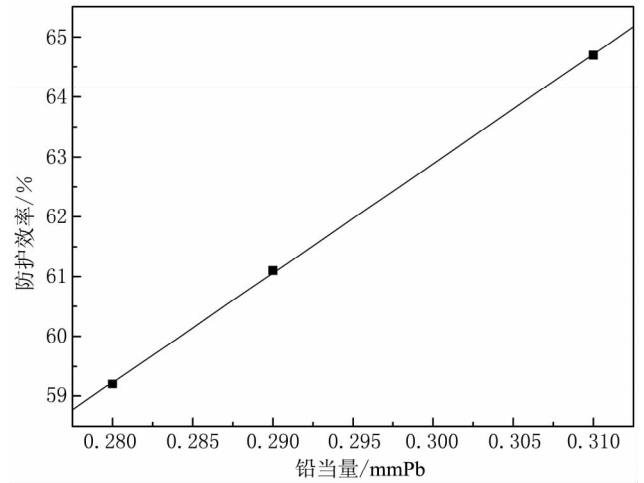


图 1 铅当量与防护效率的拟合关系曲线

2.3 微观形貌

屏蔽剂在橡胶基体中的分散情况会影响材料的防护性能。屏蔽剂分散越均匀,材料防护性能的一致性越好,而屏蔽剂在橡胶基体中的团聚会破坏材料防护性能的一致性,影响这种材料的服装的整体防护效果。因此,在制备防辐射复合材料时,应提高其分散均匀度,尽量避免屏蔽剂在橡胶中的团聚。

采用扫描电镜分析样片的微观形貌及屏蔽剂在橡胶基体中的分散情况。图 2 为 1#样片(因 1 号样片防护性能最好,分散也比较均匀,以其作为代表与其他产品进行对比)及美国 A 型产品、B 型产品的 SEM 图片。由图 2 可以看出:1#样片中屏蔽剂在基体中分散均匀,其粒径为 1~10 μm;而产品 A 及产品 B 中的屏蔽剂均存在不同程度的团聚,其粒径为几十微米。

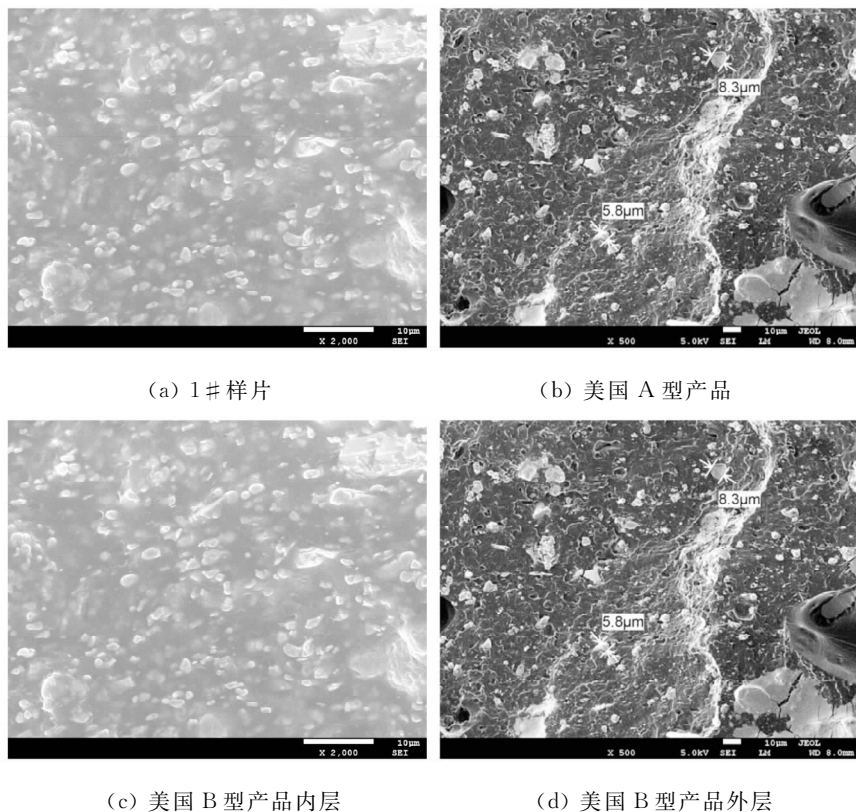


图 2 防护材料的 SEM 图

## 2.4 综合性能

表 3 为样片与美国两种产品的综合性能对比情

况。通过对比发现,1#样片无论是物理性能还是防护性能均优于美国产品,环保无铅且更接近国标要求。

表 3 试制样片与美国 2 种产品的综合性能对比

样品	厚度 /mm	密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	硬度 /邵 A	拉伸强度 /MPa	拉断 伸长率/%	铅当量 /mmPb	屏蔽剂
1#样片	0.9	3.78	63	9.3	520	0.31	Bi、Sn
美国 A 型产品	0.88	2.07	73	6	420	0.09	W
美国 B 型产品外层	0.40	4.25	74	3	250	0.14	Pb
美国 B 型产品内层	0.57	5.38	75	4	280	0.16	Pb、Sb

## 3 结论

通过混炼—多辊压延的方式制备了无铅型 X 射线防护服复合材料,测试了其物理性能及对 X 射线的防护性能,并将其与美国 2 种 X 射线防护服材料的综合性能进行了对比。结果表明:试制复合材料,综合性能达到了 GB 16757—2016 中关于 I 型 X 射线防护服的各项要求,环保且防护性能优于美国产品。后续可通过涂胶机在样片两面复合涤纶布,以期制备出所需花型的防辐射复合胶布,从而制出可用于军事、医疗、应急救援等领域的 X 射线防护服,如部队在核泄漏环境下执行任务的防护服、医疗卫生中的射线防护服、民

间应急救援防护服等。

## 参考文献:

- [1] 王来力.高性能防护服的发展现状与展望[J].中国个体防护装备,2009(3):20—22.
- [2] 彭清涛,张康征.辐射防护服[J].中国个体防护装备,2003(2):27—29.
- [3] 张启馨.用于医用 X 射线防护的含混合铜系元素复合屏蔽材料:96106434. X[P].1997—07—02.

(下转第 43 页)

## Design and implementation of online open course credit certification and management system based on .NET platform: A case study of Zhongyuan University of Technology

YANG Deshi, CAO Jian

(Office of Teaching Affairs Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** With the rapid development of Online Open Courses, sharing of high quality education resources has become a trend. mutual Credit certification and credit management of online open courses is one of the problems to be solved in this education reform. According to the case study of Zhongyuan University of Technology, an Online Open Course Credit Certification and Management System based on .NET Platform and B / S Mode, is designed and implemented to meet the needs of credit online certification, online approval and online management of such courses. This system accomplishes data interaction and information sharing between the online open course platform and the teaching administration system, and satisfies the requirements of the credit certification and management of online open courses.

**Key words:** online open courses; credit certification; management system; .NET platform

(上接第 22 页)

- [4] 熊俊,宋涛.防辐射材料的研究进展[J].中国组织工程研究与临床康复,2010,14(12):2209-2212.
- [5] 王建刚,于春阳,王亚丽.防 X 和  $\gamma$  射线辐射防护服的探讨[J].天津纺织科技,2004,42(4):33-35.
- [6] 吴雯.防辐射服装的发展[J].纺织科技进展,2012,2:19-21.

作者简介:袁祖培(1987—),男,工程师,硕士,主要研究方向为核生化防护材料及防护服。E-mail:zpyuan1987@163.com

(责任编辑:姜海芹)

## A research on preparation and properties of rays protective composites

YUAN Zupei<sup>1</sup>, CHEN Jie<sup>1</sup>, SHEN Jie<sup>1</sup>, RONG Wen<sup>1</sup>, LIANG Dong<sup>2</sup>

(1. HubeiHuaqiang High-Tech CO.,LTD., Yichang 443003, China;

2. China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** The preparation method of composites for rayprotective suit was introduced. The radiation-resistant composites were prepared by mixing-Multi-rolling, using lead-free metals as shielding materials and natural rubber as matrix material. The microstructures and elements of the composites were analyzed by scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS). The tensile strengths and elongations at break were analyzed by the universal testing machine. The protective properties of composites against X-ray were characterized by lead equivalent and protective efficiency, and compared with the performance of A-type and B-type radiation protective clothes made in United States. The results showed that the prepared composites had excellent mechanical properties, the lead equivalent and protective efficiency fulfilled the material requirements of type I X-ray protective clothing in GB 16757-2016.

**Key words:** X-ray; protective clothing; rays protection; composites