



核辐射防护服研制

陆 宁

(中国化工集团曙光橡胶工业研究设计院有限公司, 广西 桂林 541004)

摘要: 本文系统论述了核辐射对人体危害和屏蔽机理; 讨论了功能材料与高分子材料共混要点和核辐射防护服研制。

关键词: 核辐射屏蔽; 稀土元素; 高分子材料; 复合材料; 核辐射防护服

1 概述

1.1 辐射源应用的广泛性和防护重要性

二十世纪以来, 随着人们对核能和核技术的研究广泛深入, 核材料和核能得到了广泛应用, 随之核辐射对人类伤害事故时有发生。对于核辐射污染, 即放射性污染, 往往只注意到现代科学研究中的核辐射核在工厂某些特殊车间产生的放射性物质造成的危害, 或者医院的 X 射线治疗所产生的放射性造成的影响及损害, 而未考虑生活中还会有放射性污染源。实际上, 生活中的放射性物质能通过多种途径进入人体, 造成对机体的慢性损害。要防止生活中的放射性污染源对人体健康的危害, 政府和执法部门要加强对放射性物质的管理, 对容易受放射性物质污染的商品要进行定期监测, 在加强必要防范的同时, 对于发生的核事故, 抢险人员必须装备专用防护服, 避免和减少因事故造成的国家和人民生命财产损失。

1.2 核辐射防护的复杂性

自然界射线分两种: 电离辐射和非电离辐射。非电离辐射指电磁波辐射, 可分为长波、中波、

短波、超短波、微波、远红外、红外线、可见光、紫外线、低能 x 射线、 γ 射线等。电离辐射是指核裂变产生的高能粒子射线, 如 α 射线、 β 射线、高能 x 射线、 γ 射线以及中子流和一些高能粒子。高能射线经过区域会引起空气电离成正负离子, 周围环境物质产生原子核变化, 生成放射同位素, 再进一步产生二次裂变和二次放射, 人们称之为核污染。核辐射对生物体造成的伤害要比非电离辐射大得多, 而且核辐射对生物体危害的不同射线又有较大区别, 因而对核辐射防护的研究远比非电离辐射复杂。

1.3 核辐射对生物体危害的严重性

高能粒子流进入生物体切割细胞分子键和分子内结构会造成细胞死亡。射线轰击细胞原子核, 产生放射性同位素, 如锶、钾、碘等同位素, 这些同位素有半衰期。同位素裂变的结果, 发出的射线粒子在生物体内器官形成零距离接触, 慢性和不断地攻击体内细胞, 引起生物生长混乱, 无序分裂, 结果导致产生白血病、癌症。据报导, 发生白血病、癌症发生原因可追溯到数十年前的核爆炸。

1.4 研制专用核辐射防护服的必要性

根据辐射源和使用环境不同, 人们设计和生

作者简介: 陆 宁(1970-) 男, 广西梧州市人, 工程师, 主要从事橡胶制品配方研究工作。

产了多种辐射防护服。使用的屏蔽材料多样化,大多数使用铅和一些重金属,也有使用硼及其化合物。近年来,随着稀土金属研究和开发,使用稀土元素及其化合物等复合材料作屏蔽层的报导很多。市场上供应的辐射防护服多用于核工作场所和医用场合的防护,但防护水平较低,尚未有明确的防护标准。

在突发核事故中,辐射源往往比较强,参加救援的着装人员需要强有力的防护,采用市场现有辐射防护服显然不合适,因此必须有专用的高功能核辐射防护服。

采用最新科研成果,选择使用高效屏蔽材料,研究制造轻便、柔软、具有高力学性能的屏蔽层,再复合骨架材料制成的高端较大剂量防御平台的核辐射防护服,制订高防护功能的新标准,可满足装备需求。

1.5 核辐射防护服配置检测器材

核辐射事件往往是突发事件,情况难料,进入现场处理需了解情况,及时准确地取得效果最大化。穿戴防护服人员应该准确了解自己所处环境状况,以便向指挥人员汇报并采取措施,以便保护着装人员避免过量辐射,而且进入现场处理人员应该以两三人为一组,以便互相照应。还需要配戴检测仪器,如5keV~7MeV辐射个人剂量计(JJG36-2014)。

2 核辐射防护和防护材料

2.1 核辐射防护原理

核辐射防护实质上是在辐射通道上设置阻隔辐射传递的屏蔽装置,对电离辐射的屏蔽是以吸收能量和吸收粒子来完成的。能量吸收是射线与屏蔽物相遇,屏蔽物粒子发生弹性或非弹性散射方式进行,发生光电效应。屏蔽物质对辐射能量吸收能力大小以该物质原子序数4次方成正比。

粒子吸收是高能粒子流对屏蔽物质原子核外层电子相互作用,使外层电子由基态变为激发态,激发态电子跃回基态时,其能量以热能形式散发。决定屏蔽物质对射线粒子的吸收能力是衡量屏蔽物质原子核K层电子吸收区能不能覆盖射线粒子能量的量度。能量较低的粒子、屏蔽物质原子核L层电子也会起作用。

传统射线屏蔽的理想材料是铅,但铅对粒子吸收有一个弱区,在40~88keV区间,铅对粒子吸收存在这样的弱吸收区,需其它材料填补。此外,铅的生物毒性较大,主要伤害人的神经、血液,会引起智障、贫血,特别是儿童更敏感。在近代,人们发现一些元素屏蔽效果更好,可代替铅,尤其是对辐射的屏蔽上,稀土元素起着重要作用。

2.2 核辐射屏蔽材料

根据射线不同,屏蔽材料有所区别。

α 射线屏蔽材料:氦核质量大,运动过程中产生电离的能力最大,运动中能量迅速下降,穿透力最弱。 α 射线的电离粒子必须隔离在体外,隔绝式防毒衣就可以起到很好作用。

β 射线屏蔽材料: β 射线是高能电子流。它与物质作用时,部分能量转变成 x 射线(称韧致辐射)。韧致辐射量与屏蔽物质原子序数 Z 的平方成正比。例如:能量为1MeV的 β 射线照射到铅 Pb^{82} 有3%能量转变成 x 射线,而照射铝(Al^{23})时,韧致射线只有0.4%,所以屏蔽高能 β 射线时,前面使用有机玻璃,后面是原子序数高的金属。

x 射线和 γ 射线屏蔽材料:高能光子流主要产生光电效应、康普顿散射和产生游离电子对等三种效应。光电效应产生几率与屏蔽材料原子序数4次方成正比;康普顿散射效应与屏蔽材料的原子序数成正比;电子对产生与屏蔽材料原子序数平方成正比。就是说,要屏蔽 x 射线与 γ 射

线屏蔽应该选择原子序数高的元素。近年来许多专利报导采用镧系元素或高磁性材料都取得了很好效果。

中子流屏蔽材料：中子流的散射和吸收与中子能量有关。一般中子流分三种：慢中子能量为5keV（其中0.25keV称热中子）以下；中能中子能量为5~10keV；快中子能量为0.1~500MeV。中子穿透力特别强，吸收中子能力最强的是原子序数低的元素，含氢多的元素如水、石蜡、聚乙烯等高分子材料、轻金属硼、碳化硼等都是很好的中子流屏蔽材料。

2.3 核辐射屏蔽材料多样性组合

通常遇到的核辐射往往不是一种射线，所以制造屏蔽层也要复合多种屏蔽材料。也有人主张使用多种屏蔽材料应该根据射线不同，有所偏重。必须指出的是，屏蔽材料是以原子核为单位对射线起作用，原子核越分散，其屏蔽截面就越大。有的元素不好磨细，可以做成化合物晶体再粉碎，当然，屏蔽纵深（厚度）越大，效果会更好。

将屏蔽材料做成屏蔽层，必须使用基材。基材是将高分散度屏蔽材料粘合在一起，形成均匀屏蔽层，高效屏蔽层基材多使用高分子材料如橡胶、聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）和聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）等。要做成核辐射防护服，其屏蔽层还需具有服用性，即高效、轻便、柔软、良好成型工艺性等。

3 核辐射防护服研制

3.1 屏蔽材料的选择、配比和加工

要根据防护射线品种和防护辐射强度要求选择屏蔽材料。传统使用的金属铅（ $Z=82$ ）具有良好能量吸收特性，性能相对稳定，铅和其它重金属配合使用是市场上许多辐射防护服屏蔽材料首选。

经过大量研究，人们发现稀土元素具有独特

的4f电子层结构，电子跃迁的能量吸收边能谱很广，屏蔽射线能量和高能粒子的效率远优于铅，稀土元素填补了铅的弱吸收空档（13~88keV区间）而减少了射线溢出；对中子流的吸收屏蔽截面也比镉（Cd）、硼（B）大，常选用稀土元素有铈（Ce）、钆（Gd）、铕（Eu）、镱（Lu）等，镧系元素也具有较好的对辐射屏蔽能力。研究表明，常规屏蔽材料与稀土元素组合的复合材料能发挥更好的屏蔽效果，如Nd-Fe-B和Pb/PE等。

材料对高能辐射线的屏蔽单元是原子，粒子越细相对屏蔽截面就越宽，因此材料粒子最好是纳米级（ 10^{-8}m ）。对元素硬度高，韧性大的金属可以做成化合物晶体，如（硝酸铈），再进行粉碎。

3.2 屏蔽层基材

普通的屏蔽层材料刚性很强，要形成防护服屏蔽层必须将它们均匀分散在高分子材料中。高分子材料含有大量氢元素，也是良好的吸收中子和 β 射线的材料，常用高分子材料有橡胶、聚乙烯、聚氯乙烯、有机玻璃等。防护服的屏蔽层需要具有良好的服用柔软性，所以选用基材必须与经表面处理后的屏蔽材料粉末能良好融合，组成的屏蔽层需均匀一致，有良好的弹性和力学性能，在折叠和小量拉伸时不能产生裂纹、蠕变、掉渣等现象，基材还要求具有一定耐辐射能力和抗天候老化、抗热老化能力，与骨架材料具有良好粘着能力等。

3.3 骨架材料

作为核辐射防护服的骨架材料，必须具有足够的力学性能，具备耐高能粒子冲击，不会因过早降解而失去使用价值；应能与屏蔽层具有良好粘合力，保护屏蔽层不受外力损伤；此外还应具有良好加工性，如适合缝纫和粘合等。因此，采用弹性好、耐热性好、吸水性好、耐磨性好、耐光性好、耐腐蚀的涤纶纤维布较理想。

3.4 其它材料

(1) 屏蔽材料与基材偶联剂

屏蔽材料是一些超细粉末,与基材构成屏蔽层。它们之间必须混合均匀一致,不会因拉伸、屈挠、折叠等原因而出现蠕变、断裂、变形而影响屏蔽效果。偶联剂一般使用硅烷偶联剂或一些专用材料。

(2) 基材的防老剂、硫化剂

核辐射防护服屏蔽层的基材往往选择高分子材料,它存在热氧老化、天候老化、力学疲劳老化等问题,需要加入相应的高分子防老剂。如果基材选用橡胶,加工成屏蔽层后存在低分子联接成网状结构问题,必须加入硫化剂并进行一定处理。

(3) 核辐射防护服成型工艺过程的粘合剂

防护服成型往往使用缝纫工艺,其针孔需要用屏蔽材料封口,需要研究和相应粘合剂,这种粘合剂需要与屏蔽层和骨架材料有较好粘附强度。

4 核辐射防护服结构和防护整体性

辐射防护服结构必须具有轻便、适体、便于

着装人员操作,不会因操作而引起破损。尽管辐射对人体各部位杀伤略有不同,但作为统一机体和血液流通全身的人体,手足沾染或放射尘埃吸入也会造成致命伤害。防护服必须配齐呼吸、头、手足全覆盖,若局部保护不足,会影响整体功效。应配齐具有相同功能的防护服、头罩(带目镜)、呼吸过滤装置、手套、防护靴等。为了使核辐射防护服更好地适应使用要求,防护服应采用头罩、上衣、裤子连成一体的连体式结构。新研制的核辐射防护服规格系列分为大、中、小3个规格,大号适合身高180~190 cm;中号适合身高170~180 cm;小号适合身高160~170 cm。

5 结论

防辐射屏蔽材料广泛应用于军事和民用等诸多领域,随着核技术应用的不断发展,辐射源有多种类型和强度。研制的防护服必须明确防护对象、防护水平、防护等级,以便处理突发事件时选用相应的防护服,加强和提高着装人员处理能力和功效。

市场频道

3D 打印聚合物相关收入预计到 2024 年将达到 240 亿美元

SmarTech 于 2020 年 3 月 10 日发布了聚合物 3D 打印对全球经济的影响,包括对 3D 打印零部件相关收入的首次深入分析。从长远来看,到 2020 年,聚合物 3D 打印将产生 117 亿美元的收入,到 2024 年,将增长到 240 亿美元,到 2030 年,每年将达到 550 亿美元。

聚合物增材制造市场的一些最重要的进展和成就已经在材料科学和当前技术新材料的开发/优化中得到体现。增材制造的价值主张在其应用中最为明显。

(钱伯章 供稿)