

国内外防护服的发展与对比

刘何清^{1,2*}, 刘天宇¹, 高黎颖¹, 李伊洁¹

(1. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 防护服是个体防护的主要防护用品之一, 生产过程中必须按要求穿戴. 随着社会的发展, 各行各业均根据自身作业及环境特点研发了适合本行业需要的防护服. 通过对国内外防护服相关标准的比较, 对不同行业、不同种类防护服的功能和使用面料的分析, 认为国内有关防护服的标准较少、且更新不及时; 传统的防护服已不能满足作业人员及环境的要求, 应开发新型、多功能防护服; 加强特种防护服材料、舒适性的研究, 提高防护服的舒适性和经济性.

关键词: 防护服; 防护性能; 防护面料; 安全生产

中图分类号: TS941.731

文献标志码: A

文章编号: 1674-5876(2016)03-0071-06

Development and contrast of domestic and overseas protective garments

LIU Heqing^{1,2}, LIU Tianyu¹, GAO Liying¹, LI Yijie¹

(1. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Protective garments are used as one of the protective articles of personal protection, which are strictly required to be worn during the production process. With the development of society, the protective garments have been extensively designed to meet the different requirements of different trades based on one's own operation and the environment conditions. Comparing the standards of domestic and overseas protective garments, this paper analyzes the function and the fabrics of different protective garments. It concludes that the standards of the protective garments are insufficient and outdated. Traditional protective garments can't meet the requirements of workers and the environments any more. New and multi-functional protective garments should be widely developed. Meanwhile, we should foster the study of the materials and the comfortableness of protective garments and improve their comfortableness and economical efficiency.

Key words: protective garments; protective performance; protective fabrics; safety production

劳动防护用品是保障作业人员安全生产的必需品, 各行各业均根据自身作业和环境特点研发了适合本行业的劳动防护用品. 防护服是个体防护的主要防护用品之一, 生产过程中必须按要求穿戴. 本文就国内外防护服的发展进行分析、比较.

随着社会的发展、科技的进步, 人们对个体防护用品的要求不断变化、提升. 现在的防护服, 已不仅仅是保障劳动者的作业安全的作用, 还根据行业特点赋予了更多新的作用. 如, 处于高温环境作业的人员, 防护服还应具备人员穿着舒适的要求. 早在 1977 年美国的学者 R. F. Goldman 在服装的功能设计中就强调了“4F”原则——时尚(Fashion)、合适(Fit)、感觉(Feel)、功能(Function)^[1]. 1995 年, 沈润娥提出了防护服“安全、适用、美观、大方”的设计原则^[2]. 贾司光提出, 要从安全、舒适、工效和耐受限度这 4 个方面来衡

收稿日期: 2015-07-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51474105)

*通信作者, E-mail: hqliu8222638@163.com

量“人-机-环境”系统的效能^[3]. 这样的设计原则和思想也同样的适用于防护服的设计.

1 国内外相关标准

有关防护服产品的设计标准,在国内外都已经形成了较为完善的体系. 由于西方发达国家的工业进程远早于我国,所以在制定防护服的标准方面也先于我国. 国际标准化组织(ISO)制定了有关防护服的 ISO 标准 42 项,European Norm(欧洲标准 EN)已经发布了 51 项有关标准,美国国家标准学会(ANSI)也有了 20 项相关标准,British Standard(英国标准 BS)制定了相关标准 29 项,这些标准大多都向 ISO 制定的标准靠拢,Japanese Industrial Standards(日本工业标准 JIS)共有 78 个有关个体防护的标准,其中参照 ISO 标准的多达 46 项^[4,5]. 这些标准已经广泛的应用于各类的防护服的设计和及相关性能测试. 我国有关防护服的标准体系虽然已经有了一定的改善,但是在我国近 2 万余项的国家标准中,与防护服有关的仅有 10 余项,见表 1.

表 1 我国防护服的有关标准

标准编号	标准名称
GB/T 12014 - 1989	防静电工作服
GB 12799 - 1991	抗油拒水防护服安全卫生性能要求
GB/T 13661 - 1992	一般劳动防护服
GB 13640 - 1992	劳动防护服号型
GB/T 13459 - 1992	劳动防护服 防寒保暖要求
GB 15701 - 1995	焊接防护服
GB 16757 - 1997	X 射线防护服
GB 8965 - 1998	阻燃防护服
GB/T 17599 - 1998	防护服用织物 耐热性能 抗熔融金属滴冲击性能的测定
GB 18136 - 2000	高压静电防护服及试验方法
GB 6568 - 2000	带电作业屏蔽服
GB 19082 - 2003	医用一次性防护服技术要求
GB/T 20097 - 2006	防护服一般要求

我国现在防护服主要实行的是 GB/T 20097 - 2006《防护服一般要求》的标准. 此标准就是参考了 ISO 13688 - 1998 标准,结合我国的 GB 13640 - 1992《劳动防护服号型》修改制定的. GB/T 20097 - 2006 中从防护服的性能、老化、人类工效学、尺寸及标志等多方面都给出了详细的规定和性能指标^[6]. 在 2013 年 3 月 ISO 提出并通过的 ISO 13688 - 2013(Protective clothing - General requirements)^[7]和 1998 年的 ISO 标准相比,ISO 13688 - 2013 强调了标准应与其他相关标准的联合使用,并且增加了性能等级的测定,同时对防护服的人类工效学和尺寸,标识等方面提出了更高,更具体的要求^[8].

2 防护服的分类

根据防护服应用领域不同可划分为军用、工业用、矿用、医疗卫生用、农业用、建筑用等几大类. 根据作业环境不同可分为高温防护服和低温防护服. 按防护功能可分为健康型防护服,安全型防护服和保障穿着者卫生的防护服. 按防护对象的不同又可分为一般劳动防护服和特种劳动防护服^[9,10].

一般劳动防护服是指为了保障劳动者在生产作业中防脏、防机械类绞伤、防磨损等物理伤害用的防护服装. 一般劳动防护服按照功能又可分为保护劳动者自身衣着洁净用、保护产品质量用和作业场所卫生清洁用防护服. 主要用于建筑行业、机械加工企业、食品加工等服务类行业. 此类防护服对材料要求不高,一般的纺织材料均可满足其要求. 如生活中较为常见的棉、涤纶、化纤等均能满足相应的防护服装的材料要求.

特种劳动防护服是指为了保障在特殊环境中作业的劳动者的人身安全健康,并尽可能减轻职业危害、避免伤亡的防护服. 如:矿山企业、化工企业、航天事业、消防行业等特殊领域或恶劣环境下使用的防护服. 特种防护服必须根据行业特点及使用环境特点,经过精心设计、选材、制作、防护性能测试等环节制作出满足行业特点和使用环境要求的防护服. 例如:在高温环境下使用的防护服,不仅需要耐高温的性能,同时

还需具备良好的隔热、散热、散湿等性能,以防止高温对人体的侵害.

3 防护服的发展与对比

3.1 一般劳动防护服

仇美君和季英超在《浅谈我国的防护服装》中按照用途将一般劳动防护服分为军用防护服和民用防护服^[11].

3.1.1 军用防护服

以前,军用防护服主要是用来抵御低温、雨水等环境因素的影响,保障士兵的战斗能力.但是随着军事科技的发展,军用防护服的性能和种类也随之提升^[12].

例如在二战中发展起来的防弹衣.运用其内部的纱线的拉伸、断裂来消耗掉子弹的动能,以保障使用者不受伤害.现在防弹衣通过选用性能更好的材料、增加织物的密度和层数等方法,提高防弹衣的性能^[13].如,耐热性强,吸收能量大的 PBO 纤维材料,复合材料,纳米材料和生物材料等.在环氧树脂中添加纳米 SiO₂,可大大的提高了防弹衣的强度和韧性;利用生物材料——仿蜘蛛丝纤维的弹性和强度,可使防护服的舒适性和防护性实现跨越式提升^[14,15].

例如防生化服.由于各种化学、生物武器的发展,现在的军用防护服不仅需要能抵御外界的恶劣环境,还需要能应对生化战争和辐射污染.早在 20 世纪 90 年代,美军利用活性炭的吸附性,将泡沫活性炭和微孔半渗透膜结合制作了防生化服.德国利用活性炭泡沫材料制作的防护服,在海湾战争中得到应用.有些纳米材料具有良好的吸附性,单位面积吸附能力大大超过活性炭等吸附材料,利用纳米材料制作的防生化服克服以前防生化服体积大、过于笨重的缺点.复合纤维材料、生物材料也由于它良好的吸附能力和韧性在防生化服中迅速得到运用.如,法国已经研制出一种生物纤维,其利用生物酶防毒,实现了防生化服的一项重大技术突破.东华大学的王伟副教授提出运用凝胶包埋钯活化技术在普通的纺织材料上面进行整合提高原位生成的金属钯的活性.利用此材料可以提升防护服的防辐射性能^[16].

3.1.2 民用防护服

民用防护服中,比较常见的就是医疗防护服,用于减少医疗工作人员在工作环境中受病毒等传染性物质的侵害.

每个人的血液或体液中都可能携带着某些病毒,医护人员每天都可能与病毒携带者接触.正是医疗防护服的防护作用,保障了医护人员的安全健康.在发达国家,医疗防护服的研究很早就得到发展,美国在医疗防护服的研究一直处于世界先进水平.在二战期间,美军就利用极细的比马丝光棉制作出具有较强拒水性能的防护服,二战结束后将其运用于医疗手术中.20 世纪 80 年代,美国研发的异质膜、非对称膜、均质膜和复合膜 4 种薄膜材料和 Gore 织物材料,既具有良好的阻碍病毒透过性能,还具有良好的透气性能^[17].在 1992 年,美国消防协会(National Fire Protection Association)制定了有关医疗防护服的标准——NFPA 1999(现在已更新到 2013 年版),该标准对医疗防护服的性能、阻隔病毒的最低防护要求及性能测定方法等均做了严格的规定^[18].

我国的医疗防护服是在 2003 年 SARS 病毒席卷全国之后开始重视和发展起来的.针对 SARS 传染病毒,2003 年 4 月紧急出台了 GB 19082-2003《医用一次性防护服技术要求》,对一次性防护服的结构、防护性能和阻隔病毒的最低要求作出了相关规定^[19].当时我国的制作防护服的材料主要为普通的无纺布或橡胶等,其中普通无纺布的防护性能差,无法达到国家防护标准;橡胶虽然有较好的防护性能,但是透气性较差,无法适用于医疗工作环境.后经科技工作者的共同努力,研制出了聚丙烯纺粘和熔喷纺粘复合材料(SMS)非织造布,SMS 材料不仅有良好的抗菌性和透气性,还能抵抗高静水压力,通过对 SMS 材料的抗菌、抗老化、抗静电等技术处理,可适应多种不同的环境条件,用 SMS 非织造布制作的高档手术服已在国内外得到广泛的应用;但是在传染力极强的区域,SMS 的防护效率依旧不能满足要求,还有待进一步研究^[20].之后国内有关学者运用静电丝装置制备出 Nylon-6/TiO₂ 复合超细纤维无纺布,将其运用于医疗防护服中可以提高防护服的抗菌性能和抗紫外线性能,同时,也有人提出将氯胺化合物所制成的抗菌剂作为防护口罩的保护层,将提升防护口罩的杀菌性能.为了解决医疗防护服的有关难题奠定了基础^[21,22].为了更好的解决医疗防护服的有关难题,俞建勇院士和龚夔教授提出将生物材料和复合材料运用与医疗行业,相信将对医疗防护服的发展注入新的力量^[23].

3.2 特种劳动防护服

特种劳动防护服主要是指在消防、矿山、航天等特殊工作环境下保障劳动者安全健康的防护服。

3.2.1 消防防护服

消防防护服是消防人员在火灾现场实施救援时保护自身安全的重要防护用具。消防防护服的性能及测定方法,国内外都作出了相关规定。我国在2002年12月发布了GA 10-2002消防员灭火防护服(现已更新到2014年版),并在2006年8月发布了GA634-2006消防员隔热防护服,对消防防护服的规格、性能、设计要求、实验方法以及检测规则等都做了详细的规定^[24,25]。由于消防防护服的工作环境主要是在火灾等高温环境下,所以我国有关消防防护服的性能测定,主要测定织物的阻燃性能。目前,我国较为完整的测定织物阻燃性能的方法有氧指数法、水平法、垂直法、45°倾斜法和烟浓度法等。而国际上主要用的是欧盟定制的TPP明火测试法^[26]。为了更真实的测评到消防防护服在火灾条件下的热防护性,可以通过模拟真实环境对防护服进行测评。如:“燃烧假人”系统。该系统是利用安装在假人身上的一系列温度传感器来模拟不同燃烧环境对消防人员的伤害。但由于“燃烧假人”系统的复杂性,并没有广泛的运用到防护服的研究中^[27]。随着计算机仿真技术的发展,一些模拟软件(如:CFD)在防护服的研究方面得到了运用。

在消防防护服材料研究方面,国外的一些企业走在前列,20世纪80年代,美国为航天事业开发出了PBO纤维(聚对苯撑苯并双噁唑纤维),由于PBO纤维柔软且阻燃性良好,很快被应用于消防防护服的研发。被誉为世界合成纤维十大发明之一的Kynol纤维(酚醛系纤维)也由于其稳定的化学性质和良好的绝热性,被应用于阻燃防护服和消防服的研发。德国BASF公司在20世纪90年代生产了Basofil纤维(三聚氰胺纤维)具有良好的耐火性能和防护性能,也被用作消防防护服的面料。2008年,美国杜邦公司研发的具有智能纤维技术的高新纤维可以提高20%的防护性能。

我国在隔热阻燃材料的研究方面起步较晚,目前还主要处于模仿国外产品的阶段。我国研发的代表性阻燃材料主要有山东烟台氨纶股份有限公司生产的间位芳纶、上海合成纤维研究所和上海纺织科学研究院共同研发的PSA(芳砜纶)^[28]。2014年,朱方龙、樊建彬等人提出将相变材料运用到消防服中,为消防防护服的发展迈出了全新的步伐^[29]。

宗艺晶、张向辉、李俊等人对上述几种材料用TPP明火测试的方法进行了热防护性能测试,测得PBO纤维和Kynol纤维较其它材料有更好的热防护性能,并得出消防防护服的热防护性能随织物的密度及厚度的增加而增强的结论^[30]。

3.2.2 矿用防护服

矿山行业主要分为煤矿和非煤矿山。由于煤矿开采过程中常伴随瓦斯涌出,并有大量粉尘产出。瓦斯(狭义瓦斯指甲烷气体,广义瓦斯是指井下所有有毒有害气体)和有些煤尘具有爆炸危险性。因此,对煤矿工人穿着的工作服或防护服提出了更高的要求。1999年国家颁布了煤矿工作服的有关标准——MT/T 843-1999《矿工普通工作服》^[31],该标准只适用于矿用普通工作服,对矿用工作服的面料和耐磨性能等做了基本的规定,但是没有涉及井下特殊环境的特别防护要求。

由于煤矿井下空气湿度大,作业环境潮湿,为了防止矿工长期暴露在这样的工作环境下受到伤害,对矿用防护服也要求有一定的拒水性。卢霜等人经过相关实验研究,发现将DH-3650防水剂注入纯棉材料中,不仅能提高防护服的拒水性能,而且多次洗涤后依旧能保障防护服良好的拒水效果^[32]。同时,针对煤矿井下存在瓦斯和粉尘爆炸的危险,要求煤矿用普通防护服应使用防止产生静电的全棉织品或经严格防静电处理的织品制作^[33]。目前,煤矿普遍使用不能产生静电的全棉工作服,经防静电处理的织品制作的工作服还处在研究试验阶段。如:顾园提出将纯棉材料和阻燃纤维结合,并在纺织过程中加入导电纤维,然后在经过整理,可以同时满足矿用防护服的要求^[34]。

随着矿山开采深度的增加,矿山开采出现又了高温问题,且在深度矿井开采的过程中,地温及采掘工作面温度会越来越高,有学者提出,采掘工作面高温将是制约未来深部矿山开采的主要难题^[35]。为防止井下高温、高湿环境对人体的侵害,国内为很多科技工作者正致力于适合矿山井下恶劣环境及高强度劳动条件下使用的防护服的研发。如:岳丰田等人发明了1种矿用防护服用于解决矿井高温问题,该防护服由保温层,制冷层和内保温层组成,在制冷层上设有装冰口袋和冰水管路。降温过程为:首先将一定量的冰块装入装冰口袋中,利用冰的融化过程吸收人体热量,随后融化的冰水通过内置的冰水管路送到人体其它部位,吸收其他部位的热量,最后由裤脚排出冰水^[36]。聂百胜、丁敬芝等人设计了2款以高分子吸水树脂为

蓄冷材料的矿用相变冷却服,通过材料相变吸收人体热量,并通过通入服装内的压缩气体控制相变材料冷量的释放^[37,38]。陈宁、马砺等人设计的矿用防护服,利用0.7~0.8 MPa的压缩空气进入涡旋管后产生10℃左右的冷空气沿导气管进入服装内部,再沿细塑料软管上的微型小孔进入衣内微空间,吸收人体热量^[39-41]。梁国志等人以高分子化合物聚乙烯醇为基本原料,以硼砂溶液为胶凝剂,添加冰点降温助剂等,以此配制成的凝胶状蓄冷剂制作了供矿工使用的降温服,服装重1.2~1.5 kg,使用时间4~5 h^[42-44]。虽然这些冷却服为矿山行业做出了贡献,但这些冷却服普遍存在结构复杂、重量大、连续工作时间短、拆洗困难等缺点,还有待进一步改进、完善。

3.2.3 航天用防护服

航天防护服是保障宇航员在执行航天任务时的安全与健康。近年来,随着航天事业的迅速发展,宇航员的出仓活动也更加频繁,因此,对航天防护服的研究有着重要的意义。根据防护性能和航天任务的不同,航天防护服可以分为舱内用,舱外用和舱内外共用防护服^[45]。由于舱内环境是模拟正常大气环境,对舱内用的防护服的防护性能并没有太高要求。3种防护服中,对性能要求最高的就是舱外用防护服。

如:美国在“阿波罗”登月计划中研制出A7L舱外航天服第一次实现了宇航员在舱外的独立活动。但是这中航天防护服只能根据航天员的体形定制,并且穿脱时间为45 min左右^[46]。前苏联从20世纪60年代开始,先后研发了隼,鹞,海鹰等多种航天服,不仅将防护服的重量不断减小,也实现了从半硬式到软式的转化;其中“海鹰”-DMA航天服的使用寿命已经可以达到4年^[47,48]。美国研发出的一体航天服组件EMU航天服,包含航天服及相关组件,还包括生保系统和相关辅助设备,可适用于大多数非极端体形的宇航员,并能重复使用^[49]。这几种防护服经过多年的改进与发展,已经能够适应于复杂的太空环境,保证了宇航员能够完成更为复杂的航空任务。

我国在引进俄国“海鹰”航天服后并加以改进,自主研发了“飞天”航天服,“飞天”航天服在保留了“海鹰”航天服的基本性能后,增加了尺寸调节装置,加强了“飞天”航天服的整体适应性和活动性,并采用了特有的PTFE和Nomex纤维长丝2种材料的复合结构,提高了“飞天”航天服的综合防护性能。为完成我国神七出仓任务提供了技术和安全保障。但是“飞天”航天服依旧存在舒适性和使用寿命短等缺点有待解决^[50,51]。

4 结论

1)国内有关防护服的标准较少,而且更新不及时,ISO有关防护服的标准已经更新到2013年,而国内的标准却没有及时更新。

2)随着劳动人员对劳动安全的重视程度的增加,以及工作环境的复杂化,传统的防护服已经不能满足工人要求,应开发新型防护服,增强防护性能。

3)在保证防护服的基本防护性能的前提下,加强对防护服的舒适性及材料的研究,将复合材料和生化材料运用到防护服领域,扩展防护服的多功能性,提高经济适用性和舒适性。

4)计算机模拟的发展为防护服的实验和性能测试提供了便利,通过预先仿真模拟,有针对性的进行防护服性能改进,降低成品制作成本。

5)有关防护服应该制定详细的保养,维护和淘汰等机制,保障防护性能。

参考文献:

- [1] Liu L Y, Zhang W Y. Subjective evaluation of clothing comfort and their correlation with laboratory test[J]. Journal of Donghua University, 2003(2):75-78.
- [2] 沈润娥. 防护服的发展和改革[J]. 中国劳动防护用品, 1995(1):15-17.
- [3] 李俊,管文静,韦鸿发. 功能防护服装的性能评价及其应用与发展[J]. 中国个体防护装备, 2005(6):23-26.
- [4] 胡福静,邢娟娟. GB/T20097-2006《防护服一般要求》简介[J]. 中国个体防护装备, 2008(1):40-42.
- [5] 王瑜,刘毅. 欧美、日本与中国个体防护标准对比[J]. 中国安全生产科学技术, 2010,6(4):76-80.
- [6] 中华人民共和国标准. GB/T20097-2006 防护服一般要求[S]. 2006.
- [7] International Organization for Standardization. ISO 13688-2013 Protective clothing - General requirements[S]. 2013.
- [8] 赵阳,姜秀慧. 《防护服一般要求》修订初探[J]. 中国安全生产科学技术, 2013,9(6):170-173.

- [9] 赵阳, 田军, 董会君, 滕金山, 朱华, 王瑜. 从欧美标准看我国工业防火类防护服标准的缺失[J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 3(6): 121 - 125.
- [10] 孙文杰, 张雪丽. 防护服装概况[J]. 劳动保护, 1999(9): 40 - 42.
- [11] 仇美君, 季英超. 浅谈我国的防护服装[J]. 中国个体防护装备, 2005(6): 20 - 21.
- [12] 王浩, 李全明. 军用防护服的种类及发展趋势[J]. 产业用纺织品, 2001, 19(9): 4 - 6.
- [13] Ha - Minh C, Boussu F, Kanit T, et al. Analysis on failure mechanisms of an interlock woven fabric under ballistic impact[J]. Engineering Failure Analysis, 2011, 18(8): 2179 - 2187.
- [14] 谢霞, 姜亚明, 邱冠雄. 军事用纺织品的应用及发展[J]. 产业用纺织品, 2006, 24(2): 31 - 35.
- [15] 黄雅婷. 军用防护服的基本要求[J]. 印染, 2014(13): 51 - 53.
- [16] 王炜. 凝胶包埋钬活化技术及高效能导电布[J]. 中国科技奖励, 2008(8): 43.
- [17] 郝新敏, 张建春, 杨元. 医用多功能防护服研究与发展[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(6): 80 - 84.
- [18] National Fire Protection Association. Standard on protective clothing for emergency medical operation[S]. 2013.
- [19] 中华人民共和国标准. GB 19082 - 2003 医用一次性防护服技术要求[S]. 2003.
- [20] 陈康振. 医用防护服材料的发展及应用[J]. 产业用纺织品, 2004, 22(6): 1 - 4.
- [21] 韩晓建, 黄争鸣, 黄晨, 何创龙, 刘玲, 胡影影. 锦纶 6/TiO₂ 复合超细纤维的制备与表征[J]. 纺织学报, 2010(5): 6 - 9.
- [22] 刘超. 抗菌氯胺化合物改性聚丙烯熔喷工艺及性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2011.
- [23] 梁瑞丽. 医卫用纺织品: 花开灿烂难题待解[J]. 中国纺织, 2015(5): 86 - 89.
- [24] 全国消防标准化技术委员会第五分技术委员会. GA10 - 2014 消防员灭火防护服[S] 2014.
- [25] 全国消防标准化技术委员会第五分技术委员会. GA634 - 2006 消防员隔热防护服[S] 2006.
- [26] 华涛, 杨元. 热防护服热防护性能测试方法的探讨[J]. 产业用纺织品, 2003(10): 34 - 37.
- [27] 胡淑蓉, 李俊. 防护服性能测评的研究进展[J]. 纺织学报, 2011(5): 148 - 154.
- [28] 马新安, 张莹. 纺织品热防护技术研究进展[C]//“力恒杯”第 11 届功能性纺织品、纳米技术应用及低碳纺织研讨会论文集, 2011: 331 - 341.
- [29] 朱方龙, 樊建彬, 冯倩倩, 周宇. 相变材料在消防服中的应用及可行性分析[J]. 纺织学报, 2014, 35(8): 124 - 132.
- [30] 宗艺晶, 张向辉, 李俊, 韩嘉坤. 消防服用外层织物的热防护性能研究[J]. 产业用纺织品, 2009(6): 17 - 20.
- [31] 中华人民共和国煤炭行业标准. MT/T843 - 1999《矿工普通工作服》[S]. 1999.
- [32] 卢霜, 沈华. 多功能纯棉防护服生产工艺探讨[C]//第四届中国(广东)纺织助剂行业年会论文集, 2012: 179 - 187.
- [33] 姚建, 田冬梅. 煤矿专用防护服的研究[J]. 华北科技学院学报, 2014, (1): 69 - 72.
- [34] 顾园. 煤矿用防护服面料的研究与设计[D]. 太原: 太原理工大学, 2010.
- [35] 蔡建. 浅谈高温矿井降温技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2014, (34): 3762 - 3762.
- [36] 岳丰田, 张琳郁, 记河. 矿用个体冷却防护服: 中国, 202375078U[P]. 2012. 08. 15.
- [37] 聂百胜, 祥春, 孟筠青, 申哈. 高分子蓄冷材料矿井降温服: 中国, 103549674A[P]. 2014. 02. 05.
- [38] 丁敬芝, 余刚, 王晓云. 热矿井降温服: 中国, 102113714A[P]. 2011. 07. 06.
- [39] 陈宁, 彭伟. 一种矿用气动降温服: 中国, 201451453U[P]. 2010. 05. 12.
- [40] 柳源, 陈宁, 王磊, 徐宁. 矿井热害气冷式个体防护服设计及研制[J]. 煤炭工程, 2011(7): 120 - 121.
- [41] 马砺, 张李荣, 李贝, 文虎, 王振平. 矿井高温热害防治个体降温装置研究[J]. 煤炭技术, 2014, 33(11): 278 - 281.
- [42] 孙文娟, 梁国志. 矿工降温服蓄冷材料的实验研究[J]. 化学工程与装备, 2010(4): 36 - 39.
- [43] 张奋奋, 梁国志, 周梦颖, 刘永平, 刘欣. 降温服在煤矿中的应用[J]. 能源技术与管理, 2011(2): 114 - 115.
- [44] 周梦颖, 冯立品, 梁国志. 矿用降温服性能测试研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2012, 32(2): 29 - 34.
- [45] 朱铮, 刘长明. 航天服——飞行员和宇航员个体防护装备系列介绍[J]. 中国个体防护装备, 2010(4): 51 - 56.
- [46] Wilson K T. Spacesuit development: The american experience[J]. Journal of the British Interplanetary Society, 1985, 38(2): 51 - 60.
- [47] 朱仁璋, 王鸿芳, 王晓光, 等. 苏/俄舱外航天服技术的进展[J]. 载人航天, 2009, 15(1): 25 - 45.
- [48] Zaratuichenko I K, Kuznetz E I, Filipenkov S N. Human thermoregulation model for space suit: mathematical model for human thermal regulation in a suited mode with ventilation and LiquidCooling Capabilities Provided[R], SA972319, 1997.
- [49] Stephen J H. Advanced EVA Capabilities: a Study for NASA's Revolutionary Aerospace Systems Concept Program[M]. NASA/TP - 2004 - 212068.
- [50] 李潭秋. “飞天”舱外航天服的研制[J]. 载人航天, 2008(4): 8 - 18.
- [51] 李潭秋. 出舱活动与舱外航天服[J]. 科学中国人, 2009(2): 21 - 22.