

高海拔环境下防护服的设计原则与方法

汪秀花^{1,2}, 王云仪^{1,2,3}, 李俊^{*1,2,3}

(1. 东华大学 服装与艺术设计学院, 上海 200051; 2. 东华大学 功能防护服装研究中心, 上海 200051; 3. 东华大学 现代服装设计与技术教育部重点实验室, 上海 200051)

摘要:高海拔环境的气候特征及其变化对服装的热舒适性提出了较高要求。通过对高海拔环境分析并以人体热平衡机理出发,提出“通过抑制内热传递、促进外热吸收”的热防护机理以及温差调节功能的设置,得出高海拔环境下防护服的设计原则与方法,为该环境下的防护服设计提供参考。

关键词:高海拔;防护服;热舒适性;设计方法

中图分类号:TS 941.17 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2017)02-0095-07

Design Principle and Methodology of Protective Clothing in High Altitude Environment

WANG Xiuhua^{1,2}, WANG Yunyi^{1,2,3}, LI Jun^{*1,2,3}

(1. Fashion and Design College, Donghua University, Shanghai 200051, China; 2. Protective Clothing Research Center, Donghua University, Shanghai 200051, China; 3. Key Laboratory of Clothing Design and Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: The climate characteristics and the changes of high altitude environment have high requirements for the thermal comfort of the clothing. Clothing provides a way to control heat conversion between body and the external environment. The changing climate and environment requires clothing to continuously adjusting thermal comfort ability. Through the analysis about the high altitude environment and the body heat balance mechanism, the thermal protection mechanism is put forward as follows: "inhibiting internal heat transfer, promoting external heat absorption" and the function setting of temperature adjustment is proposed. The design principle and methodology were obtained, which could provide a reference to the design of protective clothing in similar environment.

Key words: high altitude, protective clothing, thermal comfort, design methodology

高海拔环境因素较为复杂,低温、昼夜温差大及强紫外线等特殊的环境条件会对人体尤其是初入高原者造成不同程度的伤害。服装作为人体与环境之间的缓冲体,能够有效隔热、减轻人体热应激、为人体提供热防护^[1]。在以往的研究中,对低温环境下防护服装研发和设计较为普遍^[2],而针对

高海拔复杂环境下防护服装设计与研发尚未有深入研究。文中遵循基础的防护服装设计理论,基于热防护服装的设计模式,从高海拔环境分析、人体热防护机理、服装热功能设计手段3个层面,总结高海拔环境下的服装设计需求,并提出相应的设计原则与解决方案。

收稿日期:2017-02-06; 修订日期:2017-04-08。

基金项目:国家自然科学基金项目(51576038);中央高校基本科研业务费专项基金项目(16D110713)。

作者简介:汪秀花(1992—),女,硕士研究生。

* 通信作者:李俊(1970—),男,教授,博士生导师。主要研究方向为服装舒适性与功能服装设计。

Email:lijun@dhu.edu.cn

1 高海拔环境分析

高海拔,一般指平均海拔在 3 000 m 以上的地域。在海拔 3 000 m 左右的大多数人在静息状态下会出现不同程度的高原反应,超过这个海拔高度,

人体在机能代谢上的改变愈加明显^[3]。该环境由多个环境影响因素构成,对环境合理而全面的解析将为防护服的设计研发及性能评价提供准确可靠的基础数据(见表 1)。由表 1 可知高海拔地区的环境特点及其影响主要以低温、大温差以及强紫外线等环境因素为主。

表 1 高海拔地区的环境特点及其影响

Tab. 1 Environmental characteristics and its effects in high altitude area

环境因素	特 点	对人体的影响	对服装的要求
低 温	一般海拔每升高 1 000 m,气温下降约 6 ℃,部分地区甚至每升高 150 m 可下降 1 ℃	温度低,生理机能减弱	保暖性能良好
大温差	白天由于空气稀薄,太阳辐射能力强,温度上升速度快,温度较高,烈日当空时气温可高达 20 ~ 30 ℃,晚上及清晨气温可降至 0 ℃ 以下	初入高原者抵抗力下降,易感风寒,诱发高原病	服装隔热性能可调节
紫外线	海拔每升高 100 m,紫外线强度增强约 1.3% ^[4]	强紫外线和太阳热辐射导致暴露的皮肤容易发生不同程度的皮肤损伤	增加服装对人体的覆盖面积

2 人体热防护机理

2.1 人体热平衡

热平衡是人类生存的必要条件,维持热平衡是保持生命体征及获得热舒适的基本条件。当所处的外界环境发生改变导致热平衡被打破时,人体可以通过一系列的生理机体活动来调节暂时的失衡。在人体、服装、环境这一系列热力系统中,人体除了通过传导、对流、辐射方式与周围环境交换热量外,还可通过皮肤表面汗液的蒸发散失热量^[5]。在此热量传递过程中,服装能够有效地调节皮肤与环境之间的热交换。

从生理学的角度看,热舒适的先决条件是人整体以及局部肢体都处于良好的热平衡之中,这意味着皮肤温度必须处于一个较小的变化范围并保持相对的稳态^[6]。在低温及温差较大的环境下,要保持人体良好的热平衡,应抑制对流、辐射及蒸发过程中的热量损失,同时增加对于外界辐射及传导热的吸收。

2.2 服装系统中的热传递

当人体处于低温环境时,皮肤温度远高于环境温度,服装内表面温度高于外表面温度,在这种正温差条件下,服装的防护机理可以总结为抑制内热散失和促进外热吸收两个方面,低温防护服的防护机理如图 1 所示。

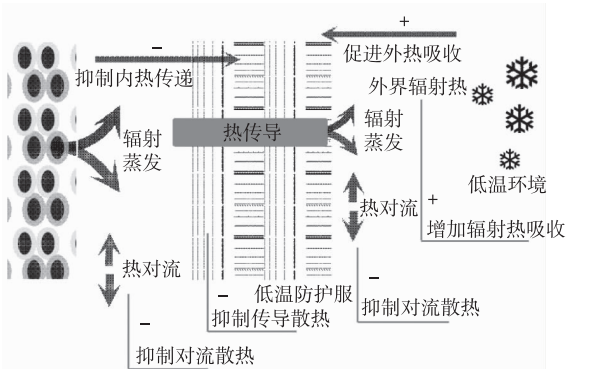


图 1 低温防护服的防护机理

Fig. 1 Protective mechanism of low temperature protective clothing

一方面,由于热量是由皮肤表面通过服装向环境传递,需要服装能够抑制传导和对流散热,被动减少人体向外界的热量传递^[7];另一方面,通过外部热源升温 and 服装材料对辐射热吸收主动获取外界环境中的热量来辅助达到维持人体热平衡的目的。

3 服装热功能设计手段

3.1 抑制内热传递

抑制内热传递主要是利用服装材料、结构和配件的设置,减少人体与外部热环境之间的热交换以维持体内热平衡,这也是高海拔环境下防护服热功能设计的主要手段。

3.1.1 材料功能选择与配置

1) 保暖材料配置。服装材料的选择和配置在

低温防护服设计中起着至关重要的作用。目前国内对保暖材料的研究主要集中在保暖纤维、保暖絮料以及相应的保暖面料^[8]。从发展最早的超细纤维、三维卷曲纤维、远红外纤维、远红外中空保暖纤维,到新型环保的咖啡炭纤维,针对不同高海拔环境的温度需求可以选择合适的纤维材料。此外,还可以通过在服装设计中进行特别的配置组合,满足人体不同身体部位的生理需要^[9]。

2)材料厚度设计。对于相同的材料,厚度的增加可以提高其热阻从而有效提高服装的隔热能力^[10]。研究表明在织物絮层材料相同的情况下,10 mm 厚度的隔热能力比 5 mm 厚度的隔热能力平均提高 30%,20 mm 厚度的隔热能力比 10 mm 厚度的隔热能力平均提高 44%^[11]。但两者并不呈线性相关关系,当材料厚度增加到一定程度时,其隔热能力的增加趋势将逐步减小。因此需要根据织物絮层材料及隔热要求来设计最佳的材料厚度。

3)防风面料。保暖纤维、保暖絮料的开发是低温防护的基础,此外织物的组织形式、后整理等对保暖性也有很重要的影响。由于风对人体有致冷作用,增加对流散热,加速体热散失,降低服装的隔热保暖效果^[12],所以在高海拔多风环境下,外层材料应选择防风性较好,组织紧密、手感厚实的面料,且对面料表面进行特殊防风处理使服装达到更好的保暖效果。

3.1.2 服装保暖结构设计 针对低温的防护服整体结构设计,常采用上下身分离、衣裤连体和大褂 3 种形式。在上下分离款式中,裤子除常规的运动裤款式外,还可以采用背带裤的形式以增加服装重叠的面积,对于腰部的保暖具有积极的作用。为增加保暖效果,还可以在腰部、腹部添加护腰、护腹结构^[13]。

在服装结构设计上,可以通过多种细部设计来提高服装的保暖能力,包括增加皮肤表面的覆盖面积来达到保暖的效果;将开口部位缩小或封闭,例如将脚口、袖口收紧,这样的造型结构可以减小烟囱效应;协调尺寸与体型之间的配伍关系,使衣下空气层厚度达到最佳的保暖效果^[14]。此外,易产生冷感的部位应采用特殊结构进行加强,如领子采用翻立双用领等^[15]。

3.1.3 配件设计 低温环境下,一些血流较少或裸露的部位,如肢端、耳廓、面部,更容易发生冻伤,Imray C 等^[16]研究表明,90% 冻伤发生在手部和脚部,手脚部位受冷是户外工作者面临的极大威胁。因此,针对这些局部部位需加以特别的保暖防护,

以防止产生全身性的病症^[17]。常用的防护配件包括防寒面罩、外套靴、护耳、防寒手套、帽子、围巾、内衣、口罩、保暖袜等,可以根据具体的人体活动需求进行选择配置^[18-20]。

3.2 促进外热吸收

可以通过增加面料对辐射的热吸收补给人体维持热平衡所需热量,达到促进外热吸收的目的。不同表面状态、不同颜色的服装材料,对热射线的反射、吸收有较大差别^[21]。吸收和透过的热射线越多,隔热保暖能力越强。

一般情况下,平滑表面对热射线的反射较大,粗糙表面反射较小;而对热射线的吸收率则是粗糙表面较大,平滑表面较小^[22]。就服装材料颜色而言,染色布对热射线的吸收比白色布多,深色布比浅色布多,其中黑色布对热射线的吸收最多^[23]。所以在高海拔环境防护服的设计中,可以采用粗糙、深色的面料来达到更好的保暖效果。

3.3 温差调节功能设计

3.3.1 可调节结构设计 服装结构中的宽松度、开口度以及覆盖率是影响服装热阻的 3 个主要结构因素,在温度变化较大的环境下,可以利用服装热阻的可调节性来改变服装的隔热性能,以适应环境需求^[24]。

服装结构的宽松度直接影响到着装衣下空气层厚度,衣下保持的空气层越厚,对服装表面热流的阻碍作用越明显,服装的热阻越大,保暖效果越好。在温差较大的气候环境下,可以通过防护服的细部结构设置,如内层抽绳^[25]、外层可调节束带来调整服装的宽松度以达到不同的热阻需求,从而适应高海拔地区昼夜温差变化。

服装的开口主要在领口、袖口、底摆和裤口处,它们与服装衣下空间的对流散热关系密切,服装开口度的大小会改变服装微气候内空气分子的运动性质和速度,进而影响服装的热传递性。将袖口、底摆通过调节袢设置成可调结构,促进或阻碍烟囱效应使其适应温度变化^[26]。周永凯等^[27]通过实验得出,服装开口度在 0~1.5 cm 时,服装热阻随开口度增加而逐渐增大;服装开口度大于 1.5 cm 时,服装热阻随开口度的增加而下降,并逐渐接近裸体时人体的边界空气层热阻值 0.87 K/W。

服装对人体体表的覆盖面积,可以在很大程度上调节体热散失^[27]。被覆盖部分身体表面的空气层成为静止空气层,会阻碍热与水分的散失。材质相同而覆盖面积各异的服装热阻,随覆盖面积的增加而增加,二者呈正相关关系。郭晓芳等^[28]对青藏

高原地区常见的3种藏袍着装方式(双袖、单袖和无袖)进行热阻测试。发现这种可调节热阻对于不同的环境温度需求表现出优良的适应性,这对于高海拔非稳态环境下服装研发具有一定价值。

3.3.2 多层结构的配套 除了在服装中设计可调节结构外,服装系统多层结构之间的配套组合设计也是实现服装可调性的另一手段。美军现行的冬季防寒服为6个基本层次,全套服装可按不同组合方式合理加减,从而适应 $-4\sim 51\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间的天气环境,不仅极大地改善了服装的防护性能,质量也比普通棉衣减少了28%^[12]。

李东平^[30]通过研究多层结构服装穿着层序与服装热阻之间的关系得出,服装穿着合体能提高服装的保暖性。当采用内紧外松的层序合理搭配穿着时,应保持层间适量的空气层,对提高多层服装套穿的温差调节性能具有显著作用。

多层结构服装的配套设计,包括3层设计考量,内层、中间层和外层。内层紧贴皮肤以减少衣下微气候的热对流;中间层为隔热层,其厚度和面料的选择根据环境要求各不相同,可以包含若干单独层;最外层则保护人体免受外界风、雨、雪、摩擦及化学物质等伤害,同时也提供额外的热阻^[31]。这种设计思路对于高海拔环境下防护服的设计具有很好的参考和借鉴意义。

3.3.3 相变材料应用 利用相变材料(PCM-Phase Change Material)的相变潜热(指物质在等温等压情况下,从一个相变化到另一个相吸收或放出的热量)来实现与人体的热量交换,从而达到升降温的目的,为实现温差调节功能提供了另一种思路。在服装中添加相变材料,当外界环境温度升高时,相变材料吸收热量,从固态变为液态,减少向人体传递热量;相反,当外界环境温度降低时,相变材料释放热量,从液态变为固态,减少人体冷感。可见,相变材料可以在一定的相变范围内调节“衣内微气候”^[32],减缓高海拔地区昼夜温差带来的不舒适感。

李发学等^[33]利用相变材料的吸热和放热原理,将相变材料应用于新型红外伪装服的研发,在已开发出的近红外伪装服的基础上,通过复合相变温度与环境温度一致的相变材料,可逆地吸收或释放大潜热(人体或探测仪发射的热红外能量),使物体表面温度始终与环境温度一致,从而使这种服装对于主、被动式热红外探测仪具有伪装效果。

Gao C等^[34]在暖体假人上测试了PCM背心对假人躯干的吸热情况,并测试了受试者穿着PCM背心与不穿降温背心、不穿消防服时的热应激。研究

表明,PCM的相变温度与暖体假人的表面温度之间的温差越大,PCM的覆盖面积越大,用量越大,吸热降温效果越好。穿着PCM背心后,受试者的核心温度、平均皮肤温度均有所降低。

4 高海拔服装设计方法

4.1 设计目标

4.1.1 热舒适性 通过对高海拔地区环境的综合分析,发现低温及温差是造成该环境下人体不舒适的主要环境因素。为了达到人体热平衡,可以通过服装来实现与外界环境之间的有效隔热,因此,热舒适性是设计中最重要也是首要的设计目标^[35]。

4.1.2 可调节性 在高海拔环境防护服的设计中,除了解决低温环境对热平衡的维持外,还需应对低压下稀薄空气导致的昼夜温差以及人体本身活动所造成的热量变化。为了维持不同条件下人体的热舒适状态,对服装热阻的要求也各不相同。因此,将方便简易可调节式热阻加入到服装设计中,应对温度变化是实现多功能设计的关键目标。

4.1.3 运动灵活性 人体着装的运动灵活性往往与防护服的防护性能存在矛盾,而前者又是人们日常生活和作业的基本需求。因此,在满足和提升防护性能的基础上,同时关注并兼顾运动灵活性,是该项设计的基础和必要目标。在防护服工效学研究中,以肢体活动范围作为运动灵活性的评价指标能够较好地表征防护服对人体的束缚程度。在满足高海拔地区气候环境下热舒适性及可调节性时,还需针对不同的防护作业需求,通过结构设置来满足作业任务的肢体活动范围。

4.1.4 可生产性 任何设计都必需具有可实现性,才能从构想转化成实物。可生产性一方面体现在结构及工艺技术的难易程度上;另一方面体现在是否具有市场竞争力的生产成本上。因此,可生产性是设计得以实现的保障性目标。

4.2 设计手段

参考HUCK J等^[35-36]建立各设计手段之间的交互矩阵,具体见表2。基于不同设计目标以获得诸多设计手段间的平衡方案。

由表2中的交互矩阵比较结果可以发现,可调节性中的“覆盖率”因素与运动舒适性中的“肢体活动角度”因素相冲突,这种冲突可以通过合理的结构设计和松量设计而减小。“多层结构配套”、“生产成本”及“生产难度”因素相冲突,企业在大规模生产时,可以将层间织物配套与织物材料及厚度的

选择结合成本进行综合考量与配置。“多层结构配套”因素与“肢体活动角度”因素相冲突,可以通过优化、合理设置单层结构的松量以及采用内紧外松

的层序套穿方式减小冲突。在后续的具体服装设计方案中,应对上述“冲突”加以特别关注,并在设计评价实验中进一步进行检验和确认。

表 2 各设计因素交互矩阵

Fig. 2 Interactive matrix of design factors

	项目	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
热舒适性	A		2	2	1	1	1	2	1	1	1
	B			2	2	2	2	1	1	1	2
	C				2	2	2	2	2	1	1
可调节性	D					2	2	2	1	1	1
	E						2	2	1	2	2
	F							2	0	2	2
运动灵活性	G								0	0	0
	H									2	2
可生产性	I										2
	J										

注： =0 表示“冲突” = 1 表示“可配伍” =2 表示“不相关”

A.服装结构

B.面料热阻

C.配件

D.宽松度

E.开口度

F.覆盖率

G.多层结构配套

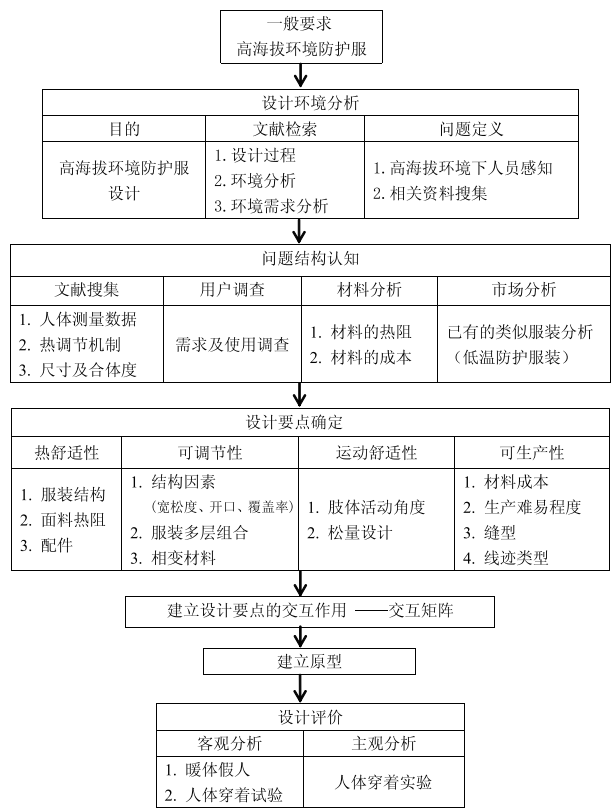
H.肢体活动角度

I.生产成本

J.生产难度

4.3 设计流程

基于以上分析,总结提炼出针对高海拔环境防护服装的设计方法和流程,具体如图 2 所示。设计方法总体包括环境分析、问题结构认知、设计要点确定、原型的建立和设计评价 5 个步骤,可以作为此类服装设计开发的一般参考模式。



5 结 语

高海拔环境因素的复杂性使得防护服在设计研发时需要综合考虑服装对人体的防护性能。文中从高海拔环境分析以及人体热平衡机理出发,提出“通过抑制内热传递、促进外热吸收”的热防护机理以及可调节式热阻的结构设置。

从热舒适性、可调节性、运动舒适性以及可生产性 4 个方面入手,分析了其设计过程并从交互矩阵结果得出可调节热阻中的“覆盖率”因素与“肢体活动角度”因素相冲突,“多层结构配套”因素与“生产成本”、“生产难度”以及“肢体活动角度”因素相冲突,在同类防护服的设计过程中结合实际设计需求综合考虑将冲突最小化的配置方法。最后,基于防护服的一般设计模式,提出高海拔环境下防护服的设计方法及流程,为该环境下的防护服设计提供参考。

参考文献:

[1] Gambichler T, Laperre J, Hoffmann K. The European standard for sun-protective clothing: EN 13758 [J]. Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology, 2006, 20(2): 125-130.

[2] 李晓霞. 基于需求计算的相变低温防护服热需求分析 [D]. 苏州: 苏州大学, 2014.

[3] Havenith G. Heat balance when wearing protective clothing [J]. Annals of Occupational Hygiene, 1999, 43 (5): 289-296.

[4] Humphreys M A. Clothing and the outdoor microclimate in summer [J]. Building and Environment, 1977, 12 (3) :

图 2 高海拔环境防护服设计方法及流程

Fig. 2 Design method and process of high altitude environmental protective clothing

- 137-142.
- [5] 苑秀明. 浅析蒙古袍结构的“烟囱效应”[J]. 天津纺织科技, 2012(2): 37-39.
- YUAN Xiuming. A brief analysis of the "Chimney Effect" of the pattern of mongolian robe [J]. Tianjin Textile Science and Technology, 2012(2): 37-39. (in Chinese)
- [6] 李俊, 何佳臻, 王云仪. 常用高温及低温防护服隔热性能的对比[J]. 纺织学报, 2013, 34(10): 23-25.
- LI Jun, HE Jiazhen, WANG Yunyi. Comparison of heat insulation performance between commonly used high-temperature and low-temperature protective clothing [J]. Journal of Textile Research, 2013, 34(10): 23-25. (in Chinese)
- [7] 吴改红, 吴雄英, 丁雪梅, 等. 低温防护服的设计与评价[J]. 上海纺织科技, 2015, 43(4): 76-80.
- WU Gaihong, WU Xiongying, DING Xuemei, et al. The design and evaluation of low-temperature protective clothing [J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2015, 43(4): 76-80. (in Chinese)
- [8] 韩笑. 冬季防寒服装的开口结构设计研究[D]. 北京: 北京服装学院, 2010.
- [9] 周海亮. 飞行人员高原防寒睡袋研究[J]. 中华航空航天医学, 2013(12): 12-15.
- ZHOU Hailiang. A study on pilots' anti-cold sleeping bag [J]. Chinese Journal of Aerospace Medicine, 2003(12): 12-15. (in Chinese)
- [10] 姜怀. 常用/特殊服装功能构成、评价与展望[M]. 上海: 东华大学, 2010: 263-264.
- [11] 朱松文, 刘静伟. 服装材料学[M]. 4版. 北京: 中国纺织出版社, 2007: 236-248.
- [12] DOLEI P I, Vu-Khanh T. Gloves for protection from cold weather [J]. Textiles for Cold Weather Apparel, 2009(1): 374-398.
- [13] Ghaddar N, Ghali K. Designing for ventilation in cold weather apparel [J]. Textiles for Cold Weather Apparel, 2009(1): 131-151.
- [14] 周书林. 常用高、低温防护服着装舒适性研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(5): 49-53.
- ZHOU Shulin. Study on the comfort of high and low temperature protective clothing [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2013, 9(5): 49-53. (in Chinese)
- [15] 栾加双, 王亚军. 世界各国军用防寒服体系与材料[J]. 中国个体防护装备, 2005(2): 23-26.
- LUAN Jiashuang, WANG Yajun. The system and material of military cold-proof clothing in different countries in the world [J]. China Personal Protective Equipment, 2005(2): 23-26. (in Chinese)
- [16] Imray C, Grieve A, Dhillon S. Cold damage to the extremities: frostbite and non-freezing cold injuries [J]. Postgraduate Medical Journal, 2009, 85(1007): 481-488.
- [17] 于永中. 低温作业的劳动卫生与防护[J]. 工业卫生与职业病, 1992(5): 309-313.
- YU Yongzhong. Labor hygiene and protection at low temperature [J]. Industrial Hygiene and Occupational Diseases, 1992(5): 309-313. (in Chinese)
- [18] VIGO T L, FROST C M. Temperature adaptable fabrics [J]. Textile Research Journal, 1985, 55(12): 737-743.
- [19] Pause B, 钟闻, 纺织品测试公司(美国). 相变材料用于空调建筑的可能性[J]. 新纺织, 2002(2): 32-35.
- Pause B, ZHONG Wen, Textiles Testing (USA). The possibility of phase change materials used in air-conditioned buildings [J]. New Textile, 2002(2): 32-35. (in Chinese)
- [20] 邹振高. 服装用相变材料的研究进展[J]. 中国个体防护装备, 2009(2): 16-21.
- ZHOU Zhengao. Research progress of phase change materials for clothing [J]. China Personal Protective Equipment, 2009(2): 16-21. (in Chinese)
- [21] 赵晓娣, 邓桦. 微胶囊技术在蓄热调温整理上的研究[J]. 纺织导报, 2004(3): 68-70.
- ZHAO Xiaodi, DENG Ye. Study on microencapsulation technology in regulating temperature regulating by heat storage [J]. Textile Review, 2004(3): 68-70. (in Chinese)
- [22] 林雪, 王云仪, 李俊. 藏袍的非对称式隔热对人体舒适性的影响[J]. 纺织学报, 2014, 35(4): 105-109.
- LIN Xue, WANG Yunyi, LI Jun. Influence on asymmetrical thermal insulation Tibetan robe on human thermal comfort [J]. Journal of Textile Research, 2014, 35(4): 105-109. (in Chinese)
- [23] Jelka Gersak, Milan Marcic. The complex design concept for function protective clothing [J]. Journal of Textile and Clothing Technology, 2012(12): 112-115.
- [24] Glanz K, Buller D B, Saraiya M. Reducing ultraviolet radiation exposure among outdoor workers: state of the evidence and recommendations [J]. Environ Health, 2007, 6(22): 1-11.

- [25] 张爱萍,皇甫孝东. 着装方式对服装隔热性能的影响[J]. 纺织学报,2012(12):112-115.
- ZHANG Aiping, HUANGPU Xiaodong. Influence of wearing methods on clothing thermal resistance [J]. Journal of Textile Research, 2012 (12): 112-115. (in Chinese)
- [26] Morioka I, Miyai N, Miyashita K. Hot environment and health problems of outdoor worker at a construction site [J]. Industrial Health, 2006, 44(3):474- 480.
- [27] 周永凯,田永娟. 服装款式特征与服装热阻的关系[J]. 北京服装学院学报,2007,27(3):31-37.
- ZHOU Yongkai, TIAN Yongjuan. The relationship between clothing style and garment thermal resistance[J]. Journal of Beijing Institute of Clothing Technology, 2007, 27(3): 31-37. (in Chinese)
- [28] 王云仪,赵蒙蒙. 高温强辐射下相变降温背心的热调节作用客观测评[J]. 纺织学报,2012,33(5):101-105.
- WANG Yunyi, ZHAO Mengmeng. Objective measurement of heat regulating effect of phase change vest under high temperature and strong radiation [J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(5):101-105. (in Chinese)
- [29] GUO Xiaofang, WANG Yunyi, LI Jun. Evaluation of adjustable thermal insulations of tibetan clothing by manikin testing [J]. Fibres and Textiles in Eastern Europe, 2013, 21(97):87-91.
- [30] 李东平. 服装穿着层序与服装热阻之关系[J]. 纺织学报,1997,18(6):23-25.
- LI Dongpeng. The relationship between clothing wearing sequence and garment thermal resistance [J]. Journal of Textile Research, 1997, 18(6):23-25. (in Chinese)
- [31] 石海峰,张兴祥. 蓄热调温纺织品的研究与开发现状[J]. 纺织学报,2001,22(5):335-337.
- SHI Haifeng, ZHANG Xingxiang. Research and development status of regenerative and temperature-adjustable textiles [J]. Journal of Textile Research, 2001, 22(5): 335-337. (in Chinese)
- [32] Mari E Bergen, Linda Capjack, Linda G Mc Connan, et al. Design and evaluation of clothing for the neonate [J]. Industrial Health, 1996, 23(3):114-121.
- [33] 李发学,张广平,俞建勇. 相变材料在新型红外伪装服上的应用[J]. 纺织学报,2004,32(5):167-170.
- LI Faxue, ZHANG Guangping, YU Jianyong. The application of phase change material in new infrared camouflage [J]. Journal of Textile Research, 2004, 32(5):167-170. (in Chinese)
- [34] GAO C, Kuklane K, WANG F, Holmer I. Personal cooling with phase change material to improve thermal comfort from a heat wave perspective [J]. Indoor Air, 2012, 22(6):523-530.
- [35] HUCK J, KIM Y. Coveralls for grass fire fighting [J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 1997, 9(5):346-359.
- [36] Janice Huck, Younghee Kim. Coveralls for grass fire fighting [J]. IJCST, 1997, 9(5):346-359.

(责任编辑:张雪,邢宝妹)