

文章编号: 1671-0444(2013)06-0760-07

高空清洁作业服的开发与性能测评

李俊^{a, b, c}, 田苗^{a, b, c}, 黄伟伟^a

(东华大学 a. 服装和艺术设计学院; b. 功能防护服装研究中心;
c. 现代服装设计与技术教育部重点实验室, 上海 200051)

摘要: 通过实地调研和工效学分析了解高空清洁作业服的需求, 根据动作分析确定高空清洁人员作业过程中的常用动作, 结合功能服装设计模式及局部结构设计开发了两套具有特别面料配置的新型服装. 通过性能测评和对比分析, 验证了新型高空清洁作业服较现有作业服具有更优的灵活性、舒适性和防护性, 由此可改善作业人员的工作环境. 研究结果为高空清洁作业人员作业服的研发和优化提供了方法.

关键词: 高空清洁; 防护服; 动作分析; 舒适性; 工效学

中图分类号: TS 941.731

文献标志码: A

Development and Evaluation of Work Clothing for Aloft Cleaners

LI Jun^{a, b, c}, TIAN Miao^{a, b, c}, HUANG Wei-wei^a

(a. Fashion and Art Design Institute; b. Protective Clothing Research Center;
c. Key Laboratory of Clothing Design & Technology, Ministry of Education,
Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: The requirements of work clothing for aloft cleaners were figured out with the methods of field research and ergonomic analysis. Key operation motions when the cleaners were conducting aerial cleaning work were characterized through body motion analysis. A combination of the functional design process for protective clothing and local function structure application contributed to the two sets of work clothing with specific fabric configurations for aloft cleaners. Through performance evaluation and comparative analysis, the study demonstrated that better flexibility, comfort and functions were provided by the new work clothing compared with current work clothing, which improved the security and conditions for the aloft cleaners when they were on operation. Furthermore, the research provides an approach of developing and optimizing for work clothing of aloft cleaners.

Key words: aloft cleaning; protective clothing; motion analysis; comfort; ergonomics

高空清洁作业人员在离地面一定距离的高空进行楼宇擦洗工作^[1], 仅靠一根绳子负担身体及工具的全部重量, 在进行大幅度扭摆动作的同时仍要保

持身体的协调与平衡, 这对作业人员造成了生理以及心理的双重负担. 另外, 长期接触化学试剂及高强度的工作也令高空清洁作业人员存在安全隐患. 近

收稿日期: 2012-10-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51106022); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-10-0321); 教育部高校博士学科点专项科研基金资助项目(20110075110005, 20110075120009); 上海市教委科研创新资助项目(12ZZ068)

作者简介: 李俊(1970—), 男, 重庆人, 教授, 博士, 研究方向为高性能服装. E-mail: lijun@dhu.edu.cn

年来,有关单位针对频发的安全事故出台了一系列规章制度,但目前尚未对高空清洁作业人员防护服进行统一规定。

国内外针对高空清洁作业的研究主要围绕作业设备^[2]及作业平台^[3]等方面,而关于高空作业服的研究涉及较少。如何进行集安全性、防护性、舒适性于一体的新型高空清洁作业服的研发成为亟待解决的问题。

本文将针对高空清洁作业的环境和特征,分析影响作业安全的因素,通过工人作业的动作分析建立高空清洁作业动作流程,运用结构设计和特殊面料配置的方案解决现有作业服存在的问题。另外,运用主客观评价相结合的方法对作业服的舒适工效性能进行评价,在综合试验的基础上,评估新型高空清洁作业服的功能性设计对实际作业的影响,并为同类功能性防护服和劳保服的研发和评价提供研究方法。

1 研究方法和途径

文献^[4]运用功能服装的设计模式,为草地消防员研发出一套在合体性、舒适性和灵活性上均优于原有防护服的服装。同样,遵循功能服装设计模式,文献^[5]为早产儿分别设计了长款和短款两套婴儿服装,使早产儿在日常活动和医疗护理等方面更加方便。另外,在热防护飞行服^[6]、女性采梨果农工作服^[7]等功能服装的设计中均涉及功能服装的设计模式。

因此,以国内外的相关研究为基础,结合高空清洁作业环境特征和作业特点,本文首先确定了新型高空清洁作业服的研发测评流程。在了解高空清洁作业的现状以及工人对作业服的需求后,结合清洁作业的动作流程,遵循安全防护、高效工作、穿着舒适等设计原则,运用优化服装结构和面料配置的方法设计新型高空清洁作业服。然后通过肢体活动角度和服装压等客观测试,评价新型作业服和现有作业服对工人活动灵活性的影响;通过服装压力和肢体活动灵活性测试,评价受试者穿着作业服的主观感受。

2 现状与需求分析

2.1 高空清洁作业的现状

高空清洁作业主要分为大楼外墙清洗、大楼外墙翻新和大楼外墙维修3个部分。在被调查的162名高空清洁人员(从事大楼外墙清洗作业)中,近50%的人员都有转向困难的情况,约70%的人员在

进行大幅度动作时有困难,对高空作业存在安全顾虑的有65人。在工作过程中,工人需要弯曲、扭转身体和大幅度摆动手臂。穿着现有作业服仅能满足一般动作的要求,进行大幅度擦洗动作时并不方便,同时也存在安全隐患。另外清洁工人长期接触玻璃水、瓷砖外墙清洗剂等化学洗涤剂,162名受试者中64人有被化学洗涤剂溅湿的经历。

高空清洁的作业环境对作业服的活动适应性提出了较高的要求,而78%的作业人员都是穿着普通保洁服或日常服装,因此,必须研发新型高空清洁作业服。通过结构的优化设计减少服装对人体大幅度动作的束缚,运用局部的人性化设计提升高空清洁作业的安全性。

2.2 高空清洁的动作分析

在清洗过程中,人体涉及弯腰、伸手、探身等大幅度伸展动作,而服装产生的牵绊阻碍等作用降低了服装的舒适工效性能,导致工作人员操作不规范而产生安全隐患。可见,服装面料的不合理运用以及服装结构的不合理设计会束缚人体动作,降低工作服的整体防护功能。因此,服装设计手段的应用及版型的制定都要根据高空清洁作业的动作需求合理化配置。

经过分析,可将高空清洁作业整个流程的典型动作归纳为穿衣、走路、蹲地整理绳索、爬上墙壁、爬下墙壁、侧身弯腰取物、横向擦洗、右前上方擦洗、直上方擦洗、直前方擦洗、直下方擦洗、反方向上方擦洗、反方向下方擦洗等(见图1所示)。

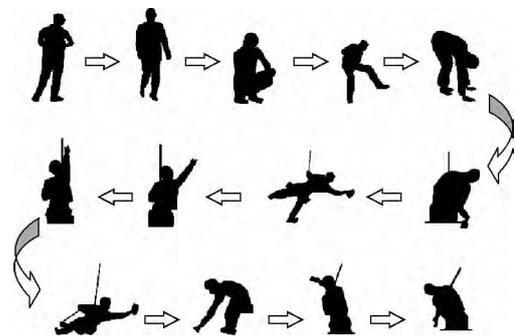


图1 高空清洁作业人员动作分析

Fig. 1 Motion analysis of aloft cleaners

2.3 现有作业服存在的问题及解决方案

由受试者对现有高空清洁作业服的主观评价结果表明,现有作业服主要存在以下3个问题。

(1) 束缚性大。虽然现有作业服穿着较为合体,但由于作业时腰部需紧绑一根安全带,导致手臂伸

展时服装对人体的束缚增大. 具体表现为服装肩部至腋下部位拉力增大, 以及肩背部由于松量不足阻碍手臂向外伸展.

(2) 防护性差. 由于服装结构束缚导致人体作业时衣袖滑移, 手掌至小臂处完全暴露在空气中, 清洗时易被洗涤剂腐蚀.

(3) 易沾湿. 在进行高空清洗作业时, 工人大腿部位极易被溅湿, 从而被洗涤剂腐蚀.

因此, 为了提供人体必要的活动舒适性, 提高服装的防护性能, 高空清洁作业服在设计时必须考虑动作需要的松量及局部部件设计的功能化、合理化. 高空清洁作业服的功能性设计方法^[8]见表 1 所示. 在新型高空清洁作业服的研发过程中将会遵循安全防护、高效工作等原则, 进行结构的设计和面料的选择. 通过整体结构的合理设置、肩背部和腋下结构的重点优化解决服装的限制性问题; 通过防护性贴片的运用、口袋的人性化设计、袖口及脚口的开口设计等加强服装的综合防护性能.

表 1 高空清洁作业服功能性设计方法

Table 1 Functional design methods for work clothing of aloft cleaners

功能	面料选择	结构设计
安全防护	防酸面料	立领、过肩、翻盖门襟 可调节袖口、腰带等
高效工作	弹性面料	腋下插片、阴褶设计 翻盖口袋、拉链等
穿着舒适	吸湿、透气、柔软	省道、褶裥等

3 新型高空清洁作业服的研发

3.1 规格设计

基于国家号型标准中对 175 cm 男性的人体测量数据以及人体动作试验的分析, 制定新型高空清洁作业服规格, 如表 2 所示.

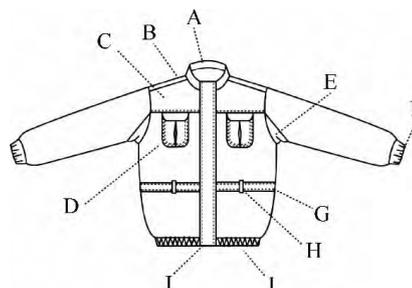
表 2 规格尺寸
Table 2 Size specifications cm

部位	规格	部位	规格
衣长	72.0	领窝长	45.0
胸围	120.0	领外长	42.0
袖长	65.0	腰围	80.0
袖口周长	20.0	臀围	118.0
前领深	8.0	裤长	107.0
后领深	2.5	脚口周长	26.0
领高	4.0	前直裆	28.0

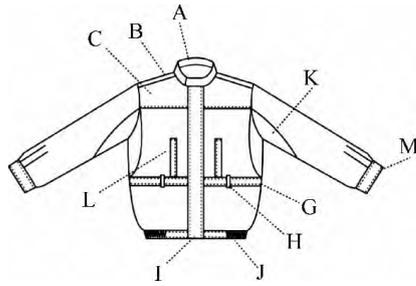
3.2 款式和结构设计

两款新型高空清洁作业服的设计特征见图 2 所示, 其中, 1# 采用插片结构设计, 2# 采用弹性面料设计, 袖子中部至衣身腰部采用弹性面料. 对图中各结构设计说明如下:

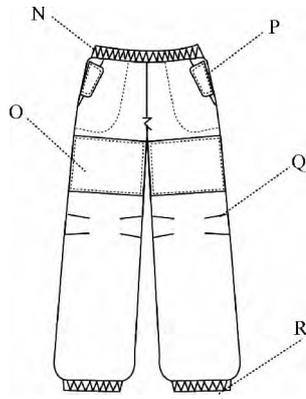
- A—立领设计, 防止洗涤剂溅入衣内;
- B—过肩设计, 增强抗污性, 提升美观性;
- C—双层前胸贴片, 增强抗污性能, 加强耐磨性能;
- D—口袋设计, 方便存取小物品, 翻盖避免物品掉出;
- E—腋下插片设计, 提供活动松量, 提升整体的活动灵活性;
- F—松紧带收紧袖口, 防止洗涤剂溅入, 增强活动伸缩性;
- G—双层加衬腰带, 减缓腰部压力, 加强防护性及耐磨性;
- H—攀带设计, 用于固定安全绳, 加强安全性;
- I—翻盖门襟设计, 防止洗涤剂溅入, 增加安全性;
- J—下摆松紧带设计, 防止洗涤剂溅入, 增强活动伸缩性;
- K—弹性面料嵌入设计, 增强活动灵活性;
- L—拉链插袋设计, 方便存取小物品, 袋盖防止洗涤剂溅入;
- M—克夫袖口设计, 防止洗涤剂溅入, 方便调整大小;
- N—腰部松紧带设计, 方便人体穿脱和调节;
- O—防酸面料贴片, 防止洗涤剂的侵蚀, 增强穿着牢度;
- P—翻盖设计, 防止物品掉出, 便于开合;
- Q—省道设计, 增加膝部活动量;
- R—脚口松紧带设计, 方便穿脱和调节, 防止洗涤剂溅入.



(a) 1# 上衣



(b) 2# 上衣



(c) 1# 和 2# 下装

图 2 新型高空清洁作业服原型

Fig. 2 Prototypes of new work clothing for aloft cleaners

3.3 面料的选择

面料的选择主要包括主体面料、局部弹性面料和局部防酸面料。主体面料选取常见的工作服面料,分别编号为 I, II 和 III; 3 种弹性较好的面料,编号为 IV, V 和 VI; 针对防化性需求,选取两种防酸性功能面料,编号为 VII 和 VIII。面料基本信息见表 3 所示。

表 3 面料基本信息表

Table 3 Specification of fabrics

类别	编号	成分	组织	厚度/ mm	面密度/ (g · m ⁻²)
主体 面料	I	65%涤/35%棉	斜纹	0.289	250
	II	65%涤/35%棉	斜纹	0.383	240
	III	100%涤	斜纹	0.180	210
局部弹性 面料	IV	100%棉	平纹	0.811	260
	V	100%涤	平纹	0.678	290
	VI	100%涤	平纹	0.501	220
局部防 酸面料	VII	65%涤/35%棉	斜纹	0.205	260
	VIII	65%涤/35%棉	平纹	0.232	280

面料性能测试包括面密度、厚度、拉伸弹性及特殊面料的防酸性能。

面料的弹性测试采用 Instron 弹性测量仪。采用高空清洁作业过程中时常接触的酸性洗涤剂进行面料防酸性能测试。面料弹性和防酸性能测试结果见表 4 和 5 所示。

表 4 Instron 面料弹性测试结果

Table 4 Results of fabrics' elasticity testing by Instron

面料编号	定伸长弹性回复率/%	
	经向	纬向
IV	82.82	96.27
V	88.58	93.73
VI	92.51	97.32

表 5 面料防酸测试结果

Table 5 Results of fabrics' acid-proof testing

面料编号	无试剂	1 min 后		30 min 后	
		75% H ₂ SO ₄	98% H ₂ SO ₄	75% H ₂ SO ₄	98% H ₂ SO ₄
VII					
VIII					

由表 3 可知 3 种主体面料在厚度、面密度和拉伸弹性等方面差异不大,不会对服装着装工效性能评价产生干扰影响。3 种弹性面料较厚,吻合人体动作拉伸时弹性面料变薄的趋向。

由表 4 可知,弹性面料 VI 在经向和纬向上弹性回复率都很高,所以选择 VI 作为局部弹性面料用于工作服。

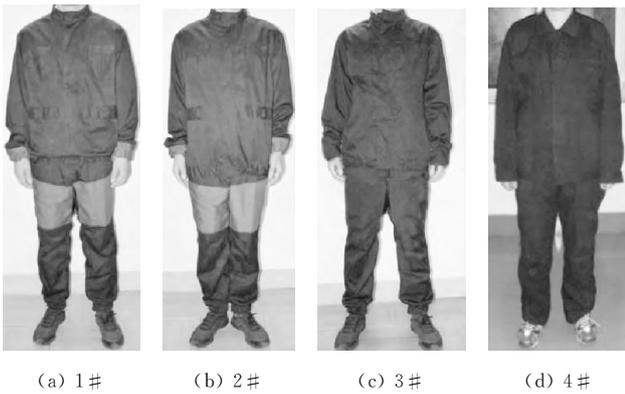
由表 5 可知,试验开始 1 min 后,两种防酸性功能面料 VII 和 VIII 都没有被腐蚀的迹象,其表面试剂滴落后呈水珠状,表明两者的防水性较好。30 min 后面料 VII 表面试剂仍未被吸收,但面料部分被腐蚀,试剂变成红色;面料 VIII 未被试剂腐蚀且试剂颜色不变。所以选择面料 VIII 作为作业服局部防酸面料来加强对人体的保护。

根据选取的主体面料、功能型面料以及结构设计,制作两套新型高空清洁作业服。

4 作业服的性能测评及对比分析

通过人体着装试验,评价受试者在穿着服装时的肢体灵活性以及作业服的覆盖防护性能。测试服装共 4 套,其中,1# 和 2# 服装为新型高空清洁作业服,3# (不加局部设计的作业服)和 4# (国内高空作业普遍采用的作业服)为参照服装。4 套测试服

装如图 3 所示.



(a) 1# (b) 2# (c) 3# (d) 4#

图 3 测试服装

Fig. 3 Work clothing for testing

5 名受试者均为身高(175±2)cm 和体重(65±5)kg 的健康男性. 试验环境模拟高空作业人员的工作环境(如图 4 所示). 试验时受试者坐上坐板后脚离开地面并尽量规范地完成试验的各个动作. 试验环境温度为(25±2)℃, 相对湿度为(50±2)%.

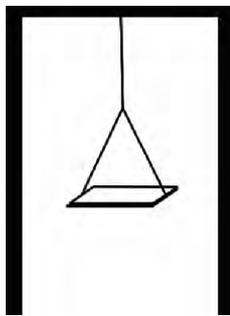


图 4 高空清洁作业模拟试验设备示意图

Fig. 4 Scheme device of aloft cleaning simulation experiments

4.1 肢体活动灵活性评价

肢体活动灵活性是衡量工作服对人体活动限制程度的重要指标. 采用气囊式压力测试系统测试服装压, 获得不同着装情况下测量点的压力差异以及人体动作与着装压力之间的关系. 使用角度仪量取受试者在做指定动作时各相关部位关节的打开角度, 角度越大说明服装对人体肢体活动的限制越小, 即灵活性越好. 分别用五级压感评分标尺^[9]评价受试者在做指定动作时肩部周围的压力感觉以及服装对肩背部的束缚性.

4.1.1 服装压力测试

(1) 客观评价. 利用服装压测试系统测试受试者在做 5 个动作时 4 个部位的服装压^[10], 测试部位如图 5 所示, 测试动作如表 6 所示. 服装压测试结果

如表 7 所示.

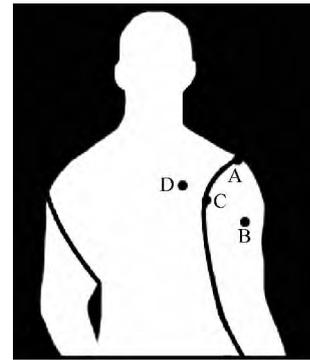


图 5 服装压测量点位置

Fig. 5 Landmark of clothing pressure measurements

表 6 试验动作表

Table 6 Experimental motions

标识字母	动作
a	自然平坐
b	手臂右前上方伸展
c	手臂反方向上方伸展
d	手臂横向水平伸展
e	手臂直前上方伸展

表 7 服装压测试结果

Table 7 Results of clothing pressure testing

部位	动作	服装压			
		1#	2#	3#	4#
A	a	47	47	51	57
	b	26	16	37	37
	c	39	13	31	20
	d	50	26	30	25
	e	62	6	52	24
B	a	26	13	20	26
	b	166	151	244	280
	c	119	92	167	245
	d	65	60	71	142
	e	91	51	52	147
C	a	22	10	20	14
	b	22	39	30	22
	c	171	145	190	139
	d	29	26	20	10
	e	45	35	63	48
D	a	9	11	18	20
	b	25	12	17	11
	c	100	49	60	76
	d	11	21	9	19
	e	24	27	31	33

注: 由于作业服设置的松量较大且压力测试仪仅测试某点压力, 因此, 在个别部位或姿势会出现压力过小的情况.

由于 4 套作业服均不是紧身类服装,所以整体着装压力并不大。由表 7 可知,从测量部位来看,肩端点处(A)的压力值在 5 个动作状态下变化不大,但上臂、背部处的压力值变化较大,在做 b 和 c 动作时上臂和背部的压力值相对于自然平坐状态明显较大,这主要是由于手臂大幅度活动导致皮肤与服装贴合,手臂和背部服装发生牵扯扩张作用,局部压力值随之上升,由此增强了着装的牵扯感和压力感。从单件服装来看,在做 b 和 c 动作时,除肩点外,其他各部位压力值相差较大。

整体而言,新型高空清洁作业服的着装压力值低于现有高空清洁作业服,可见新型作业服可以有效降低服装对作业动作的牵扯影响,在活动适应性方面有了较大改进。其中,穿着 2# 服装时在较多部位和动作中测得的压力比穿着 1# 服装时小,因此,整体灵活性更好。

(2) 主观评价。4 套高空清洁作业服压力感的主观评价结果如表 8 所示,分数越高表示压感越强。

表 8 服装压主观评价结果

Table 8 Subjective evaluation of clothing pressure

编号	部位	服装压主观评价分值				
		a	b	c	d	e
1#	肩部	1.0	3.6	3.4	3.2	3.4
	背部	1.2	2.0	2.6	2.4	2.8
	上臂	1.0	2.8	2.8	2.8	2.8
2#	肩部	1.0	3.2	3.0	3.0	3.0
	背部	1.0	2.4	2.4	2.4	2.2
	上臂	1.0	3.2	2.4	2.4	2.2
3#	肩部	1.0	3.4	4.0	3.0	4.2
	背部	1.2	2.6	3.4	2.8	3.2
	上臂	1.0	3.2	3.6	3.2	3.6
4#	肩部	1.0	4.0	3.6	3.2	4.0
	背部	1.0	2.4	3.2	2.8	3.2
	上臂	1.2	3.4	3.2	3.0	3.8

整体而言,各动作状态下新型高空清洁作业服的着装压感弱于现有高空清洁作业服;有局部松量结构设计的作业服 1# 和 2# 的着装压感弱于无局部设计的 3# 作业服。两套新型作业服相比,受试者认为 2# 作业服的压感较弱,与客观测试结果一致。

4.1.2 肢体活动角度测试

(1) 客观评价。利用角度仪测量受试者穿着试

验服装做 5 个动作时的手臂打开角度^[11],试验动作如表 9 所示,测试结果如图 6 所示。

表 9 试验动作表
Table 9 Experimental motions

编号	1	2	3	4	5
动作	侧举	右前上方上举	前举	反方向上方上举	水平内收

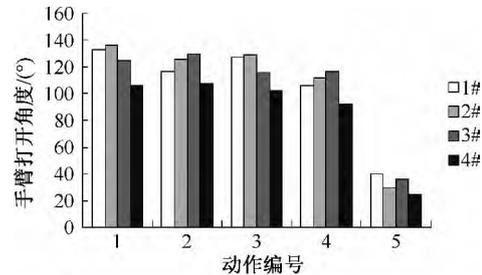


图 6 4 套作业服的手臂打开角度测量结果比较
Fig. 6 Results analysis of arm' range-of-motion among 4 sets of working clothing

由图 6 可知,受试者穿着 2# 作业服时,做侧举、右前上方上举、前举和反方向上方上举动作时的手臂打开角度均大于穿着 1# 作业服的结果,说明两套新型高空清洁作业服中,2# 作业服可以提供更好的灵活性。人体穿着新型高空清洁作业服时手臂的最大活动角度较穿着现有高空清洁作业服时提升 9°~27°,说明受试者穿着 1# 和 2# 新型高空清洁作业服的上肢活动灵活性更好。

整体而言,相对于国内高空作业普遍采用的 4# 作业服,1#, 2# 和 3# 作业服均适合人体上肢做较大幅度的伸展动作,其中,2# 和 3# 的整体灵活性表现更好。1# (局部插片设计)和 3# (无局部设计)作业服虽然也提高了人体的活动性,但稳定性不如 2# 作业服。

(2) 主观评价。在着装主观评价方面,2# 作业服的整体得分最高,肩部、背部、上臂、小臂等部位的穿着束缚性很小,这主要是由于弹性面料易于伸展,厚重感较小,便于人体随意活动。3# 作业服着装束缚性比 1# 和 2# 大,但小于 4# 作业服。

4.2 覆盖防护性能评价

通过模拟实际高空清洁作业的 13 种动作状态(如表 10 所示)下袖口与中指的距离,表征工作服的覆盖防护性能,测试结果如图 7 所示。

表 10 试验动作
Table 10 Experimental motions

编号	动作	编号	动作
1	自然平坐	8	前举 90°
2	侧举 0°	9	前举 135°
3	侧举 45°	10	前举 180°
4	侧举 90°	11	右前上方上举
5	侧举 135°	12	反方向向上
6	侧举 180°	13	反方向向下
7	前举 45°		

注:除动作 1(自然平坐)之外,其他动作均要求受试者躯干和四肢都做到人体的极限状态。

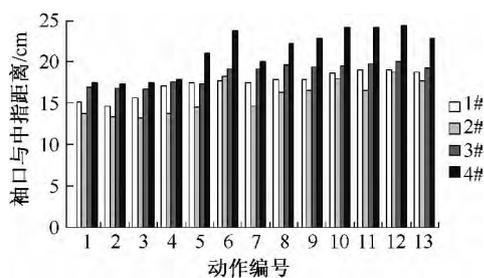


图 7 4 套作业服在 13 种动作状态下袖口与中指距离测量结果比较

Fig. 7 Results analysis of the distance between cuff and middle finger among 13 kinds of motions

由图 7 可知,4# 作业服在 13 种动作状态下袖口与中指的距离大于其他 3 套服装,最长距离为 24.4 cm;2# 作业服的袖口与中指的距离最小;1# 作业服局部插片结构设计提升了服装整体的覆盖防护性能,但效果不及有弹性面料设计的 2# 作业服显著。

整体而言,新型高空清洁作业服对手臂的覆盖防护性能均优于现有高空清洁作业服,且 2# 作业服的覆盖防护性能最好。

5 结 语

本文运用局部功能性结构设计以及功能性面料相配伍的设计方法,所开发的新型高空清洁作业服具有更好的合体性,并能满足高空清洁工人作业时肢体活动的需求,通过优化作业服的舒适性和安全

性,提高工人工作效率。经过一系列舒适工效性的测评,证明与现有高空清洁作业服相比,新型作业服的结构和性能均得到了优化,人体穿着新型作业服时的肢体活动角度提高了 $9^{\circ} \sim 27^{\circ}$,对于受试者的肢体活动限制更小;运动时袖口与中指的距离减小了 $5\% \sim 31\%$,因此,覆盖防护性更好;在特殊部位的面料配伍使新型高空清洁作业服具备了防酸性能。

研究表明,2# 新型高空清洁作业服的局部弹性面料结构设计有效,且综合舒适工效性能和覆盖防护性能好于 1# 作业服。1# 新型作业服局部袖笼插片面料与秋冬季工作服的厚实面料匹配,作为一种设计方法可在其他工作服中加以扩展和运用。

参 考 文 献

- [1] 相建诚. 浅析准高处作业坠落事故频发的原因[J]. 建筑安全, 2003(7):22-23.
- [2] 魏娜,王进,张华. 高空作业机械在外墙保温施工中的应用[J]. 建筑机械化,2011(1):50-52.
- [3] 张磊庆. 国内外高空作业平台市场展望[J]. 建筑机械化,2012(4):42-43.
- [4] HUCK J, KIM Y. Coveralls for grass fire fighting [J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 1997,9(5):346-359.
- [5] BERGEN M E, CAPJACK L, MCCONNAN L G, et al. Design and evaluation of clothing for the neonate [J]. Clothing and Textiles Research Journal, 1996,14(4):225-233.
- [6] TAN Y B, CROWN E M, CAPJACK L. Design and evaluation of thermal protective flight suits part I: The design process and prototype development [J]. Clothing and Textiles Research Journal, 1998,16(1):47-55.
- [7] CHOI M S, ASHDOWN S P. The design and testing of work clothing for female pear farmers [J]. Clothing and Textiles Research Journal, 2002,20(4):253-263.
- [8] 辛丽莎,李俊,王云仪. 防护服功能设计模式研究[J]. 纺织学报,2011,32(11):119-125.
- [9] 王云仪,王晓琼,李俊. 服装接触舒适性感知评价标尺的开发[J]. 纺织学报,2007,28(5):104-108.
- [10] 李东平,夏涛,李俊. 穿着压力舒适性的研究进展与探讨[J]. 纺织导报,2007(11):98-100.
- [11] HUCK J. Protective clothing systems: A technique for evaluating restriction of wearer mobility [J]. Applied Ergonomics, 1988,19(3):185-190.