

轮船轮机员用新型智能化温控复合降温背心的试制及其降温效果评价

卢浩¹ 张洲瀛¹ 陈佳晖² 傅亚婷² 常文军² 于旭东³

1. 上海理工大学 健康科学与工程学院, 上海 200433;
2. 海军军医大学 海医系, 上海 200433;
3. 海军特色医学中心 特种作战医学研究室, 上海 200433

摘要:针对一代降温背心在环境温度40℃以上降温效果不明显的问题,分别对其温控系统主机的核心元件、蓄电池和降温服进行优化,制成新型降温背心——新型智能化温控复合降温背心,以减轻轮船轮机员作业时的热负荷。选择10名受试者在37、41和45℃的高温模拟环境下,穿着工作状态和非工作状态的新型智能化温控复合降温背心,测试并评价其降温效果。结果表明:新型智能化温控复合降温背心在40℃以上环境温度中仍有显著的降温效果,且在不同的试验环境温度中,受试者穿着工作状态的新型降温背心的各项生理指标均有显著和非常显著性的降低,主观舒适度评分也明显低于穿着非工作状态新型降温背心的评分($P < 0.05$),人体舒适度提高。该新型降温背心设计合理,能有效减少人体热应激,具有良好的降温效果。

关键词:降温背心;智能化温控;高温耐受试验;直肠温度;降温效果

中图分类号:TS 941

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2024)01-0002-06

Trial production of new intelligent temperature-controlled composite cooling vest for ship engineers and evaluation of their cooling effects

Lu Hao¹, Zhang Zhouying¹, Chen Jiahui², Fu Yating², Chang Wenjun², Yu Xudong³

1. School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200433, China;
2. Department of Maritime Medicine, Naval Medical University, Shanghai 200433, China;
3. Special Operations Medical Research Laboratory, National Naval Medical Center, Shanghai 200433, China

Abstract: Aiming at the problem that the cooling effect of the first generation cooling vest was not obvious when the ambient temperature was above 40℃, the core component, battery and cooling suit of the host of the temperature control system were optimized, and the new cooling vest, a new type of intelligent temperature-controlled composite cooling vest, was made, in order to reduce the heat load of ship engineers during operation. Ten subjects were selected to wear the new intelligent temperature-controlled composite cooling vest in working and non-working state under the high temperature simulated environments of 37, 41 and 45℃ to test and evaluate their cooling effects. The results showed that, the new intelligent temperature-controlled composite cooling vest still had a significant cooling effect in ambient temperatures above 40℃, and in different experimental ambient

收稿日期:2023-08-29

基金项目:军队创新专项(13A1106)

作者简介:卢浩,男,1998年生,在读硕士研究生,主要研究方向为智能穿戴防护技术

通信作者:于旭东,yuxudongtoy@263.net

temperatures, the physiological indexes of the subjects wearing the new cooling vest in the working state were significantly and very significantly reduced, and the subjective comfort scores were also lower than those of the subjects wearing the new cooling vest in non-working state ($P < 0.05$), and the human comfort was improved. The new cooling vest is reasonably designed, which can effectively reduce the human body heat stress load and has a good cooling effect.

Keywords: cooling vest; intelligent temperature-controlled; high temperature tolerance experiment; rectal temperature; cooling effect

近年,随着全球气候的变暖,世界各地平均气温都有些许增高,于是许多与热相关的问题显现出来^[1]。尽管使用空调系统是最常用的降温方法^[2],但轮船空间非常有限,且轮船轮机舱内有柴油机、电机、风机、水泵等大型设备,它们工作运转时会产生大量的热^[3],故在此环境中使用空调系统降温效果并不明显。轮机员在进行轮机舱机械设备的操作、检修和保养时很容易出现中暑、热衰竭等症状,严重时还会引发热痉挛、热射病等职业病^[4-5]。为了延长轮船轮机员在高温环境下的工作时间,提高工作效率,避免热应激和热负荷过大对人体造成热损伤,本文设计了一款新型智能化温控复合降温背心(下文简称“新型降温背心”),并对其降温效果进行了评定。

1 材料与方 法

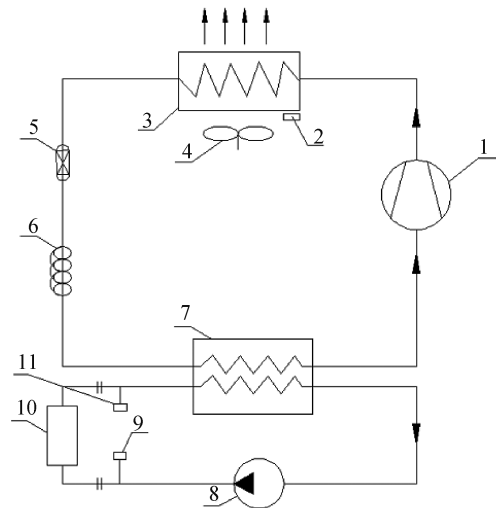
1.1 研究对象

受试者为体检合格的 10 名健康男性,年龄在(24±2)岁,身高为(1.75±0.10)m,体质量为(72.9±3.8)kg,身体质量指数(BMI)为(24.7±2.45) kg/m²^[6],且无热习服史和中暑史。

1.2 背心原型

新型降温背心由变频压缩机、微通道冷凝器(含板式换热器)、蒸发水箱、水泵、电控系统和网格背心等组成,其运行原理和相关器件见图 1。通电后,低温低压气态制冷剂经变频压缩机压缩成高温高压气态制冷剂,排出后通过微通道冷凝器,经风冷冷凝成中温高压液态制冷剂,再通过节流阀小孔喷出,膨胀为低温低压气态制冷剂,并在蒸发水箱处与外界交换热量,吸热后流回变频压缩机入口^[7]。如此往复循环,实现对人体的持续降温。

与一代降温背心相比,新型降温背心:冷源改为变频压缩机制冷,制冷功率 120 W,是一代降温背心



1—变频压缩机;2—环境温度传感器;3—微通道冷凝器;
4—冷凝风机;5—干燥过滤器;6—节流毛细管;
7—蒸发水箱;8—水泵;9—出水温度传感器;
10—网格背心;11—进水温度传感器。

图 1 新型降温背心运行原理及相关器件示意

Fig. 1 Operation principle and related device schematic of new cooling vest

的 2 倍;采用了更大流量的低噪声离心式水泵(水泵流量 0.9 L/min),以及更大散热量的板式换热器;增加了微通道冷凝器、冷凝风机和蒸发水箱等核心元部件,使降温效果最大化;采用了电控系统,可实时设定进水口水温,并实时监测出水口水温;主机机壳采用 3A21 铝合金材料,轻巧、坚固,能保证倾倒后设备继续工作;电池改为更大容量的电池组(24 V 直流电,6.5 A),续航时间为一代降温背心的 1.6 倍;网格背心面料原料采用涤纶和尼龙,款式由以前的半袖式改为帽衫式,头部位置也排列有水管,降温效果提升。

1.3 试验设计

1.3.1 试验环境和测试时间

试验模拟了 3 种环境:温度 37 ℃,相对湿度

70%~80%;温度 41 ℃,相对湿度 60%;温度 45 ℃,相对湿度 55%~60%。测试时间为 90 min。如果试验期间受试者感觉不适,则立即停止试验。

1.3.2 着装

受试者基本着装一致,均穿戴统一配发的训练服套装(含半袖上衣、短裤和运动鞋)及新型降温背心。其中,试验组穿着训练服套装和工作状态的新型降温背心,对照组穿着训练服套装和非工作状态的新型降温背心。

1.3.3 监测设备

利用 233621 SENSE 颈挂式体温心率监测蓝牙耳机(温度测量范围 30.0~38.5 ℃,测量精度 ± 0.2 ℃;心率测量范围 40~240 次/min)监测受试者的耳蜗温度和心率。利用 SV224 智能测温胶囊(测量范围 25.0~43.0 ℃,测量精度 ± 0.2 ℃)测量受试者的胸部、背部、腹部、腰部、前臂、上臂、大腿、小腿和腋窝等 9 处的皮肤温度,以及直肠温度与网格背心内微小气候区温度。利用 SV223 测温胶囊(测量范围 25.0~43.0 ℃,测量精度 ± 0.2 ℃)测量受试者的口腔温度。利用精密人体秤(测量精度 ± 0.01 g)测量受试者试验前后体质量的变化,以获得出汗量。

1.3.4 评价标准

本文主要利用平均体温(T_b)、直肠温度、网格背心内微小气候区温度(T_m)以及主观感觉等指标,评价新型降温背心的冷却效果。

按式(1)计算加权平均皮肤温度(T_s),按式(2)式计算 T_b ^[8]:

$$T_s = 0.110T_{\text{胸}} + 0.110T_{\text{腹}} + 0.110T_{\text{背}} + 0.110T_{\text{腰}} + 0.085T_{\text{上臂}} + 0.085T_{\text{前臂}} + 0.230T_{\text{大腿}} + 0.160T_{\text{小腿}} \quad (1)$$

$$T_b = 0.8T_{\text{rec}} + 0.2T_s \quad (2)$$

式中: $T_{\text{胸}}$ 为前胸部温度,℃; $T_{\text{腹}}$ 为右腹部温度,℃; $T_{\text{腰}}$ 为腰部温度,℃; $T_{\text{上臂}}$ 为右上臂温度,℃; $T_{\text{前臂}}$ 为右前臂温度,℃; $T_{\text{大腿}}$ 为右大腿温度,℃; $T_{\text{小腿}}$ 为右小腿温度,℃; T_{rec} 为直肠温度,℃。

采用 ASHRAE 评分法进行局部温热感评价^[9],即 1 分表示冷,2 分表示微冷,3 分表示凉,4 分表示舒适,5 分表示微热,6 分表示热,7 分表示很热。舒适度指标评分标准为 0 分表示舒适,1 分表示轻度不舒适,2 分表示不舒适,3 分表示很不舒适,4 分表

示不可忍受。采用 RPE 评分法进行疲劳度评价^[10],即 6 分表示没有感觉,7 分表示非常轻松,8、9 分表示很轻松,10、11 分表示尚轻松,12、13 分表示稍累,14、15 分表示累,16、17 分表示很累,18、19、20 分表示精疲力竭。

1.4 统计分析

测试数据的平均值采用“均值 \pm 标准差”的形式表示。试验组与对照组数据的比较采用配对样本 t 检验法,且所有试验数据利用 SPSS 21.0 软件进行分析,检验显著性水平取 0.05。

2 试验结果与分析

2.1 皮肤温度

表 1 和表 2 分别为 3 种环境条件下测得试验组和对照组各部位的皮肤温度,可以看出:试验组由于穿着了工作状态的新型降温背心,与对照组相比,前者躯干部位(如胸部、背部、腹部、腰部、腋窝等)的皮肤温度均有显著性降低($P < 0.01$),甚至未被覆盖的四肢部位(如前臂、上臂、大腿和小腿)的皮肤温度也有显著性降低($P < 0.01$);即便在 45 ℃ 的高温极端环境下,新型降温背心对人体仍具有良好的降温效果。

2.2 其他生理指标

表 3 和表 4 分别列出了 3 种环境条件下测得试验组与对照组的其他生理指标值,可以看出:

(1) 心率是检验热应激的一项重要生理指标^[11]。对比 3 种环境条件下试验组与对照组的心率发现,试验组的心率比对照组的低约 16%。

(2) 相较于对照组,试验组的耳蜗温度、口腔温度、出汗量、 T_s 和 T_b 均存在非常显著性的差异($P < 0.01$)。穿着工作状态的新型降温背心能有效改善高温环境下人体的生理机能,减少热应激。

(3) 试验组的直肠温度在 3 种环境温度下均有降低,尽管数字上差异不显著,但仍有统计学意义。

(4) 环境温度越高,试验组显示的网格背心内微小气候区的降温效果越明显。穿着工作状态的新型降温背心在 37、41 和 45 ℃ 的环境温度中,最大有效降温分别达 0.9、1.6 和 2.4 ℃。

(5) 在人体热量散发到热环境的过程中,汗液发挥着至关重要的作用。出汗是有效缓解人体热

表 1 3 种环境条件下试验组和对照组各部位皮肤温度

Tab. 1 Skin temperatures of test groups and control groups under three kinds of environmental conditions 单位:℃

项目	37 ℃		41 ℃		45 ℃	
	对照组	试验组	对照组	试验组	对照组	试验组
胸部	36.17±1.19	34.25±1.95	36.16±1.51	35.22±1.78	36.45±1.67	35.62±1.93
背部	36.34±1.31	34.60±1.95	36.74±1.56	35.34±2.14	37.20±1.73	35.91±2.26
腹部	35.71±1.41	34.59±1.38	36.08±1.35	34.75±1.91	36.40±1.67	35.18±2.15
腰部	35.63±1.67	34.55±1.53	37.00±1.67	35.11±1.89	38.28±1.92	36.52±2.18
前臂	36.43±1.02	35.99±0.90	36.70±0.95	36.04±0.88	37.35±1.24	36.54±1.28
上臂	36.11±1.04	35.63±1.23	36.47±1.26	35.76±1.55	36.86±1.84	36.14±1.86
大腿	36.24±1.17	35.46±0.92	36.19±1.33	35.58±1.53	36.74±1.43	35.86±1.83
小腿	36.90±1.09	36.46±0.92	37.74±1.48	36.89±1.56	38.33±1.71	37.38±1.66
腋窝	36.76±0.38	36.29±0.31	36.94±0.49	36.64±0.36	37.32±0.61	36.96±0.54

注:所有 $P < 0.01$ 。

表 2 3 种环境条件下试验组和对照组各部位皮肤温度的变化情况

Tab. 2 Changes of skin temperatures of test groups and control groups under three kinds of environmental conditions

单位:℃

项目	37 ℃			41 ℃			45 ℃			
	30 min	60 min	90 min	30 min	60 min	90 min	30 min	60 min	90 min	
胸部	试验组	32.26±1.88**	35.91±0.83**	36.58±0.42**	34.98±1.22	36.40±0.41**	36.96±0.37**	35.52±0.43*	36.81±0.20*	37.48±0.21**
	对照组	36.19±0.58	36.79±0.26	37.37±0.33	35.99±0.57	37.10±0.37	37.69±0.51	36.52±0.35	37.34±0.50	38.16±0.39
背部	试验组	32.85±2.57**	36.23±0.81**	37.00±0.42**	33.74±1.61**	37.15±0.41**	37.58±0.42**	35.38±1.27**	37.55±0.51*	38.24±0.64**
	对照组	36.30±0.68	37.17±0.28	37.62±0.43	36.89±0.42	37.60±0.49	38.06±0.47	37.37±0.35	38.07±0.43	38.88±0.67
腹部	试验组	33.57±1.70*	35.66±0.79**	36.46±0.47**	33.14±1.48**	36.30±0.41**	36.96±0.69**	34.17±1.29**	36.80±0.30**	37.57±0.33**
	对照组	35.34±0.88	36.57±0.49	37.39±0.27	35.86±0.89	36.87±0.51	37.68±0.45	36.22±0.79	37.40±0.50	38.26±0.43
腰部	试验组	33.48±1.65**	35.76±0.72**	36.49±0.28**	34.63±1.73**	36.43±0.45**	37.08±0.32**	36.68±0.89*	37.76±0.47*	38.48±0.48*
	对照组	35.41±0.39	36.64±0.36	37.45±0.37	36.66±1.43	38.25±1.22	38.46±0.83	38.16±1.95	39.21±1.60	40.22±1.65
前臂	试验组	36.56±0.99	36.11±0.68*	36.44±0.40**	36.23±0.63*	36.20±0.30**	36.66±0.30*	36.71±0.93**	36.87±0.63*	37.78±0.69**
	对照组	36.74±0.67	36.64±0.43	37.23±0.31	36.96±0.93	36.92±0.52	37.33±0.68	37.72±1.14	37.25±0.71	38.54±0.70
上臂	试验组	36.20±0.51	35.98±0.62**	36.50±0.43**	36.02±0.50**	36.59±0.29**	36.91±0.46**	36.35±0.77*	37.04±0.36**	37.90±0.51**
	对照组	36.02±0.51	36.67±0.26	37.21±0.26	36.76±0.75	36.94±0.47	37.51±0.75	37.14±0.63	37.63±0.44	38.62±0.69
大腿	试验组	35.52±0.85*	35.94±0.54**	36.25±0.51**	35.39±0.71*	36.58±0.51**	37.11±0.37**	35.91±0.36*	36.92±0.25**	37.68±0.45**
	对照组	36.23±0.62	36.86±0.52	37.40±0.36	36.09±0.37	36.91±0.50	37.54±0.55	36.89±1.11	37.36±0.37	38.36±0.31
小腿	试验组	36.52±0.98	36.62±0.83*	37.01±0.50**	37.86±0.69	37.55±0.62	37.53±0.58**	38.41±1.08*	37.74±0.81**	38.18±1.00**
	对照组	37.12±0.34	37.42±0.28	37.79±0.32	38.29±0.63	37.88±0.84	38.53±0.97	39.14±1.87	38.46±0.89	39.21±0.85
腋窝	试验组	36.27±0.37	36.40±0.29**	36.74±0.26**	36.47±0.33*	36.76±0.40**	37.30±0.45**	36.68±0.22**	37.15±0.25**	37.90±0.21**
	对照组	36.57±0.21	36.86±0.26	37.44±0.30	36.66±0.30	37.19±0.39	37.82±0.58	37.05±0.24	37.54±0.34	38.43±0.36

注:**表示 $P < 0.01$, *表示 $P < 0.05$ 。

表 3 3 种环境条件下试验组和对照组的相关生理指标

Tab. 3 Relevant physiological indices of test groups and control groups under three kinds of environmental conditions

项目	37 ℃		41 ℃		45 ℃	
	对照组	试验组	对照组	试验组	对照组	试验组
心率/(次·min ⁻¹)	92.82±15.37	80.16±7.60	94.32±15.72	88.87±12.53	105.38±22.22	99.78±19.81
耳蜗温度/℃	37.27±0.38	37.02±0.24	37.40±0.43	37.15±0.34	37.66±0.57	37.48±0.56
口腔温度/℃	37.13±0.32	36.83±0.24	37.27±0.44	37.08±0.32	37.43±0.58	37.14±0.49
$T_{rec}/℃$	37.63±0.18	37.35±0.13	37.65±0.23	37.34±0.21	37.58±0.35	37.35±0.28
$T_m/℃$	36.29±0.96	35.54±1.19	36.51±1.69	35.43±2.10	37.35±1.56	36.13±2.02
出汗量/kg	0.610±0.100	0.450±0.110	0.795±0.160	0.523±0.140	0.900±0.210	0.564±0.200
$T_s/℃$	36.23±1.21	35.26±1.16	36.64±1.35	35.64±0.15	37.21±11.57	36.16±1.80
$T_b/℃$	37.35±0.36	36.93±0.33	37.44±0.41	37.00±0.46	37.51±0.54	37.11±0.55

注:所有 $P < 0.01$ 。

表 4 3 种环境条件下试验组和对照组相关生理指标的变化情况

Tab. 4 Changes of relevant physiological indices of test groups and control groups under three kinds of environmental conditions

项目	37 °C			41 °C			45 °C			
	30 min	60 min	90 min	30 min	60 min	90 min	30 min	60 min	90 min	
心率/(次·min ⁻¹)	试验组	74.30±8.76**	82.70±12.44**	92.20±10.81**	79.90±10.71	94.00±8.67	111.40±11.13*	87.10±10.54	97.70±12.50*	135.70±17.49**
	对照组	81.40±8.13	101.00±12.13	119.50±13.36	80.90±11.21	101.10±16.22	122.50±19.64	88.30±14.22	102.80±12.48	146.50±17.27
耳蜗温度/°C	试验组	37.10±0.20*	37.11±0.25**	37.23±0.25**	37.16±0.14**	37.27±0.13**	37.65±0.19**	37.31±0.24**	37.43±0.21	38.33±0.31**
	对照组	37.24±0.18	37.45±0.22	37.83±0.32	37.28±0.17	37.62±0.28	38.09±0.36	37.42±0.24	37.48±0.26	38.59±0.32
口腔温度/°C	试验组	36.82±0.41*	36.94±0.35**	37.13±0.36**	37.01±0.30	37.20±0.32**	37.62±0.37**	36.94±0.31**	37.09±0.30**	37.91±0.36**
	对照组	37.04±0.24	37.30±0.27	37.69±0.35	37.13±0.37	37.44±0.33	38.05±0.53	37.16±0.35	37.31±0.36	38.45±0.45
T _{rec} /°C	试验组	37.29±0.27*	37.40±0.29**	37.60±0.35**	37.20±0.31**	37.42±0.27**	37.73±0.30**	37.18±0.30*	37.27±0.29*	37.92±0.26**
	对照组	37.52±0.30	37.65±0.30	38.03±0.38	37.49±0.26	37.69±0.27	38.16±0.44	37.32±0.31	37.41±0.34	38.37±0.28
T _m /°C	试验组	35.42±1.19*	36.19±0.51*	36.26±0.47**	35.95±0.94**	36.49±0.66*	36.72±0.37	36.56±0.44**	36.98±0.55**	37.44±0.42**
	对照组	36.33±0.75	36.89±0.55	37.27±0.42	37.42±0.66	37.03±0.66	37.15±0.68	38.06±1.07	37.71±0.53	38.39±0.57
T _s /°C	试验组	34.75±0.81**	36.04±0.42**	36.58±0.21**	35.35±0.53**	36.70±0.20**	37.14±0.30**	36.21±0.47**	37.19±0.24**	37.90±0.33**
	对照组	36.21±0.36	36.89±0.23	37.46±0.22	36.69±0.35	37.31±0.33	37.87±0.51	37.42±0.70	37.83±0.30	38.76±0.39
T _b /°C	试验组	36.78±0.27**	37.13±0.27**	37.40±0.30**	36.83±0.31**	37.28±0.22**	37.61±0.29**	36.99±0.25**	37.38±0.24**	37.92±0.24**
	对照组	37.26±0.25	37.50±0.25	37.92±0.34	37.33±0.25	37.61±0.25	38.10±0.40	37.34±0.25	37.70±0.26	38.45±0.25

注: **表示 $P < 0.01$, *表示 $P < 0.05$ 。

应激的一种方式^[12]。与对照组相比,试验组在 37 °C 时减少了约 26% 的汗液流失,在 41 °C 时减少了约 34% 的汗液流失,在 45 °C 时减少了约 37% 的汗液流失,可见工作状态的降温背心降温效果明显。

(6) 3 种环境条件下,试验组的 T_b 值均低于对照组的。且测试过程中,随着时间的推移,试验组与对照组皮肤温度的差值在 35 min 时达到最大(37 °C 环境温度中最大平均皮肤温度差值为 1.3 °C; 41 °C 环境温度中最大平均皮肤温度差值为 1.5 °C; 45 °C 环境温度中最大平均皮肤温度差值为 1.7 °C)。35 min 后,这一差距逐渐降低,直到试验结束($P < 0.05$)。

2.3 主观感受

表 5 和表 6 分别为 3 种环境条件下测得试验组与对照组的主观感受即局部温热感、舒适感和疲劳感评分结果,可以看出:整个试验过程中,试验组的主观感受评分较对照组的都降低了约 1 分,降低效果显著($P < 0.01$)。其中,局部温热感主要与皮肤温度有关,而直肠温度和皮肤温度的变化又会对舒适感产生重大影响^[13]。穿着工作状态的降温背心降低了皮肤温度、直肠温度及生理指标参数,减少了出汗量,改善了局部温热感,提高了人体舒适度,继而减缓了疲劳感的增加。总之,高温环境中穿着工作状态的降温背心会显著降低人体的热应激,改善人体作业时的疲劳度,延长作业时间。

表 5 3 种环境条件下试验组和对照组的主观感受评分

Tab. 5 Subjective feelings of test groups and control groups under three kinds of environmental conditions 单位:分

项目	37 °C		41 °C		45 °C	
	对照组	试验组	对照组	试验组	对照组	试验组
温热感	5.46±0.44	4.54±0.69	5.90±0.41	5.11±0.61	6.40±0.55	5.36±0.61
舒适度	1.04±0.45	0.54±0.43	1.47±0.41	0.76±0.53	2.24±0.94	1.27±0.89
疲劳感	9.71±1.47	8.29±1.40	9.79±1.50	8.89±1.49	11.82±1.99	9.80±1.79

注:所有 $P < 0.01$ 。

3 结语

高温可以引起人体出现脱水、横纹肌溶解及多器官功能障碍等一系列病理性或生理性改变,体温过高导致的死亡率高达 50%^[13]。因此,高温高湿条件下作业人员的安全也一直是国内外相关研究者关注的重点。

本文研制的新型智能化温控复合降温背心与一代降温背心相比,在小于 40 °C 的环境温度中非人体穿着时,测得网格背心内微小气候区的温度比环境温度低 8 °C,降温效果远大于一代降温背心^[14],且背心管路中进水口温度低于环境温度 8~15 °C,进水口最低温度 14.8 °C,进出水口温差 6~9 °C。受试者分别在 30、35 和 40 °C 的温度下穿着新型降温

表 6 3 种环境条件下试验组和对照组的主观感受变化情况

Tab. 6 Changes of subjective feelings of test groups and control groups under three kinds of environmental conditions

单位:分

项目	37 °C			41 °C			45 °C			
	30 min	60 min	90 min	30 min	60 min	90 min	30 min	60 min	90 min	
温热感	试验组	4.20±0.63*	5.10±0.74	5.20±0.63**	4.70±0.68*	5.40±0.84*	5.90±0.74*	4.90±0.88**	5.60±0.70**	6.20±0.79*
	对照组	5.10±0.74	5.60±0.70	6.20±0.79	5.70±0.68	5.90±0.74	6.40±0.84	6.00±0.67	6.80±0.42	7.10±0.32
舒适度	试验组	0.00±0.00*	0.80±0.79	1.20±0.42*	0.30±0.48**	0.80±0.79*	1.50±0.97*	0.60±0.52*	1.70±0.82*	2.60±1.08*
	对照组	0.80±0.63	1.20±0.79	1.80±0.79	1.30±0.68	1.40±0.52	2.10±0.99	1.60±0.84	2.50±0.71	3.60±0.52
疲劳感	试验组	7.10±1.37*	8.90±2.47*	10.30±2.26**	7.80±1.69	9.40±1.71	11.20±2.97	8.70±2.00*	10.60±3.10**	12.20±2.78**
	对照组	8.70±1.83	10.00±2.16	12.00±1.94	8.70±1.77	10.30±2.21	11.90±2.85	10.40±2.91	12.80±2.90	14.80±2.97

背心,开启制冷功能前后背心管路中进出水口温差分别为9、7和4 °C,可见即使是在40 °C的极端高温环境下,该新型降温背心仍具有降温效果。

新型降温背心背包式设计,小巧、便携,装备总质量在4.5 kg左右,可根据不同的环境续航3~5 h,能有效地将人体与高温环境隔离,显著改善穿着者的局部温热感和舒适度,进而提高穿着者的作业效能,延长有效工作时间,降低热应激。且多次试验表明,试验组的各项生理指标参数均显著低于对照组的,原因一方面是新型降温背心采用了水冷复合方式降温,能够最大限度地提供冷源^[15],且降温持续,同时避免了冷源输送的束缚,使轮船轮机员动作不受限制;另一方面,背心管路布局为S形,并集中在躯干和头颈部等发热量大的部位,降温效果进一步提升。

总之,本文测得的数据均在正常人体生理数据范围内,有效、可靠,受试者安全且都未发生意外。综合对比心率及直肠温度等指标可以认为,新型降温背心的降温性能达到了预期,相关数据可为水冷降温背心的改进提供参考,并为本试验条件下穿着新型降温背心作业时间的确定提供依据。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

[1] 高悦,罗士琴,钟小辉. 全球气候变暖成因及影响分析[J]. 华商,2008(15):6.
[2] 陈晨,饶冬生. 温和地区温室夏季降温措施探讨[J]. 暖通空调,2023,53(增刊1):126-128.
[3] 付建,廉海波,张鑫,等. 潜艇轮机专业军士岗位任职

能力培养对策[J]. 机械职业教育,2023(3):37-40.
[4] 龚俊,杨渝,陈玺. 警惕夏天的杀手:热射病[J]. 创伤外科杂志,2022,24(9):717-718.
[5] 张慧,刘献飞,燕红雁,等. 消防服用蓄热调温热防护材料的研究[J]. 产业用纺织品,2023,41(6):17-24.
[6] WU X, LI B, LIN W Q, et al. The association between obesity indices and hypertension; which index is the most notable indicator of hypertension in different age groups stratified by sex? [J]. Clinical and Experimental Hypertension,2019,41(4):373-380.
[7] 吴彬彬,程睿. 家用空调变频压缩机高温退磁及控制技术探究及改善[J]. 制冷与空调,2023,23(1):79-82.
[8] 任兆生,石立勇,薛利豪,等. 飞行员新型降温背心冷却效果的评定[J]. 中华航空航天医志,2006(2):124-127.
[9] 陈桔. 散热方式影响半导体制冷效率的实验研究[J]. 实验科学与技术,2005(4):33.
[10] BORG G A. Psychophysical bases of perceived exertion [J]. Med Sci Sports Exerc,1982,14(9):377-381.
[11] YUAN M Q, WEI Y C, AN Q Q, et al. Effects of a liquid cooling vest on physiological and perceptual responses while wearing stab-resistance body armor in a hot environment [J]. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 2020,28(2):1025-1032.
[12] 李宁宁,张昭华,徐苏红,等. 热环境下人体局部皮肤湿敏感性的分布特征[J]. 纺织学报,2022,43(9):182-187.
[13] KATO M, SUGENOYA J, MATSUMOTO T, et al. The effects of facial fanning on thermal comfort sensation during hyperthermia[J]. Pflugers Archiv, 2001,443(2):175.
[14] 张馨丹,傅亚婷,袁浩,等. 一款生化防护服适配型降温背心的试制及其效果评价[J]. 上海纺织科技,2020,48(10):37-40.
[15] 吴琳,王宏光. 水冷电机冷却系统设计与计算[J]. 机械设计与制造,2008(8):40-42.