

接触冷感的仪器测试与穿着实验的研究

王晓东 刘让同 姚 穆

(西北纺织学院)

【摘要】 本文分析了皮肤与低温物体接触时的变温规律，找出了特征物理指标，并通过传感器的特殊安装进行了仪器模拟；同时设计了穿着实验，对仪器测试结果与穿着实验结果间的关系进行了探讨。

接触冷感是服装穿着舒适性的一项重要内容。日本在八十年代前中期对此做过测试和研究，但在模拟方法，指标选取上都与实际穿着有一定差距。对接触冷感的研究希望在理论和测试上均有所突破，迈出理论指导实践的第一步，但最终要以实际穿着效果为准绳，希望仪器测试也能有效地反映穿着特征，通过仪器的物理测试能够推知人的生理感觉量 and 心理知觉量。当然不同的人由于生理、心理差异，感觉会有差异。而群体却有某种趋势，这也是穿着实验可行的依据。基于此，本文针对织物冷暖感仪测出的物理指标和穿着实验结果的关系进行了探讨。

一、测试方法和仪器

低温织物与皮肤接触将引起皮肤温度的变化，其变化规律如图 1 所示曲线^[1]。能够反映该温变规律的特征物理指标有：初始降温变化速率(这里采用 0.5 秒触落温差 ΔT_1 ℃ 表示)，(接)触(降)落温度 ΔT_2 ℃，触落温度时间 t_2 ，温度达到最低时皮肤放出的累积热量(简称积分 S)等。人体皮肤综合感知这些物理量后作出判断，主诉结果则是：冷感的强弱(由于皮肤浅层和深层分别有两种感温神经元，浅层要比深层先感到降温过程，因此会出现前期冷感 V_1 、后期冷感 V_2)，冷感消失时间 t_3 ，穿着实验时还可测出皮肤降温量 ΔT_3 (℃)。

织物冷暖感仪是西北纺织学院自制仪器，用热敏电阻做传感器，仪器测头结构^[3]如图 2

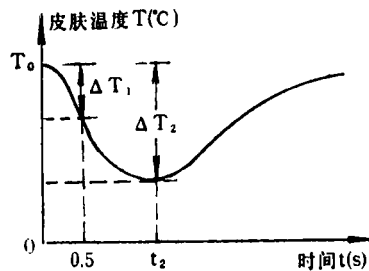


图 1 接触低温物体后皮肤温变规律

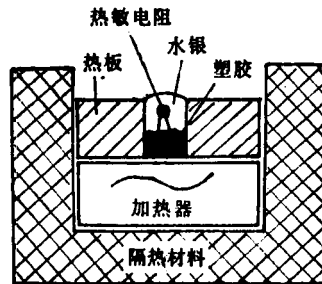


图 2 仪器测头结构

所示。热敏电阻安装在热板上，从热板下方穿入并位于距热板上表面约 0.5mm 处，孔的下方用塑胶密封固定，热敏电阻与热板间充满水银，热敏电阻表面涂有很薄的绝缘漆。当低温物体接触热板时首先从导热系数大的水银吸热并使之迅速降温，又在水银与热板间涂有少量绝缘漆，使热板给水银的补热有一个延缓过程，模拟了皮肤接触区域降温后体内对其补热的特点，规律上模拟了皮肤的感温过程，根据对中国人体皮肤触感神经元的研究，其关系是接近的。但热板不是皮肤，不能给出冷感主诉评价，需要对仪器测试与穿着试验做对比——生理感觉和心理知觉的“标定”。

二、仪器测试

利用织物冷暖感仪对 12 种不同规格的织

表1 织 物 参 数

织物编号	织物名称	颜色	组 织	材 料	厚度 (mm)	重量M (g/cm ²)	初始压缩模量E (10 ⁶ P/m)	容重P (g/cm ³)	支持面率 f (%)	纤维导热系数K (J/m ² ·sec)	纤维比热C (J/g·°C)
1	3636苎麻	白	平纹	苧麻	0.627	0.0143	1.667	0.228	32.0	0.079	1.697
2	粘胶软缎	白	缎纹	粘胶	0.324	0.0090	2.500	0.278	50.0	0.063	1.705
3	毛花呢	浅灰	平纹	羊毛	0.702	0.0209	2.500	0.298	32.0	0.053	1.810
4	真丝双绉	白	平纹	丝	0.389	0.0072	2.500	0.185	14.0	0.052	1.618
5	涤纶哗叽	白	斜纹	涤纶	0.605	0.0145	2.500	0.240	20.0	0.084	1.350
6	腈纶棉毛布	白	双正面	腈纶	1.336	0.0198	1.000	0.148	32.0	0.051	1.547
7	21×19平布	白	平纹	棉	1.123	0.0159	1.429	0.142	35.0	0.072	1.492
8	171麻棉布	白	平纹	苧麻、棉	1.055	0.0233	1.667	0.221	42.0	0.076	1.597
9	棉汗布	白	纬平针	棉	0.840	0.0147	0.833	0.175	34.0	0.072	1.492
10	棉毛衫	白	棉毛	棉	1.460	0.0231	0.625	0.158	42.0	0.072	1.492
11	绒衣	蓝	衬垫	棉	3.700	0.0639	0.238	0.173	53.3	0.072	1.492
12	羊毛衫	咖啡	罗纹	羊毛	3.030	0.0300	0.417	0.099	55.0	0.053	1.810

物进行了测量，其有关参数如表1所示。测试顺序按随机方区排列，试样裁成直径为80mm的圆形，为稳定织物与热板的接触状态，将织物预先包覆在表面有下凹的泡沫塑料圆柱块织物架上。试验前，试样存入温度低于10℃的冰箱内平衡，再放到恒温热板上，可得到水银温变曲线，所有水银温变曲线都有一个先下降后回升的过程。对于轻薄光面织物回升较快，如图3(a)，厚重绒毛织物回升则比较缓慢如图3(b)，试验结果汇总于表2。

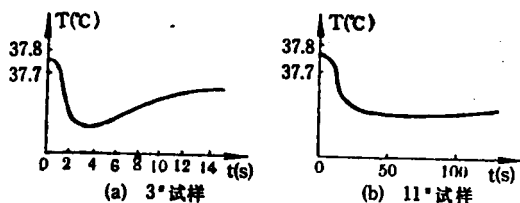


图3 实测触落温度曲线

三、穿着试验

(1) 服装

对前面已经取得仪器测试结果的织物制成衬衣类服装进行穿着实验，衣服的款式基本相同，只是为了不同的受试者尺寸有所不同。

(2) 受试者

对所有服装是由三位健康男性自愿受试进行，并对他们做了专项检验，一致性较好。告诉他们实验目的和设计，并要求主诉评分。他们的平均年龄、体重、身高分别为：26.5(±1.5)岁、60(±5.2)kg、1.74(±0.04)m。

(3) 方案

测试在气候可调的房间进行，温湿度分别控制在15(±1)°C/65(±3)%，房间风速小于0.1m/sec。为了求得统一的稳定的人体姿势，要求被试者采用仰卧，双腿伸直双臂平放在体侧，枕头高低以被试者舒适为度。被试者上衣脱光，下身穿内裤，盖里料为纯棉的棉被，四周掖好，被的上沿顶至下颌，测试时把衣服从低于10℃的冰箱中抽出，迅速坐起穿好衣服，再钻进被窝并独立主诉评分，至冷感消失，感觉判断完毕。同时，平行测试胸部皮肤温度，然后脱下被试服装，被试者重新躺下至皮温恢复正常同时感觉良好为止，再试穿下一件。皮温以前胸部为准。

(4) 测试

① 生理方面：主要测量正常皮肤温度 T_0 (°C)，穿上低温服装后的最低皮温 T_3 (°C)以及皮温变化量 $\Delta T_3 = T_0 - T_3$ (°C)。

② 心理方面：要求主诉前、后期冷感等级

表 2 测试结果汇总

织物编号	前期冷感评分 V_1	后期冷感评分 V_2	ΔT_1 ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_2 ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_3 ($^{\circ}\text{C}$)	t_2 (s)	t_3 (s)	积分 S ($s \cdot ^{\circ}\text{C}$)
1	4.30	4.83	0.136	0.242	6.56	4.46	48.94	0.908
2	5.20	1.00	0.176	0.271	6.06	1.72	34.75	0.315
3	3.70	4.76	0.162	0.339	7.76	5.44	54.57	1.556
4	2.00	0.50	0.124	0.185	4.66	1.74	30.52	0.271
5	2.50	2.70	0.107	0.235	4.76	1.99	27.25	0.394
6	2.70	3.50	0.092	0.264	6.76	6.40	45.53	1.406
7	3.10	3.50	0.132	0.267	6.46	5.26	53.68	1.181
8	4.80	5.20	0.142	0.329	8.76	5.79	56.45	1.605
9	1.70	2.50	0.089	0.247	4.16	5.39	29.29	1.121
10	1.80	2.80	0.090	0.270	4.76	9.47	43.44	2.156
11	0.20	5.70	0.046	0.343	7.46	112.84	91.15	32.629
12	0.80	4.20	0.066	0.213	5.76	34.64	64.19	6.209

表 3 仪器测试结果与穿着实验结果相关方程汇总

说 明		相 关 方 程	相关系数	方程编号
0.5秒降温量 ΔT_1 与前期冷感 V_1 触落温度 ΔT_2 与后期冷感 V_2		$V_1 = -0.9650 + 31.2507\Delta T_1$	0.8297	1
		$V_2 = -2.9575 + 24.3360\Delta T_2$	0.7699	2
积分 S 与后期冷感 V_2	1~8	$V_2 = 3.7894 + 2.0943\ln S$	0.8945	3
	9~12	$V_2 = 2.2657 + 0.9907\ln S$	0.9936	4
触落温度时间 t_2 与后期冷感 V_2	1~8	$V_2 = 0.0864 + 2.6501\ln t_2$	0.8585	5
	9~12	$V_2 = 0.5379 + 1.0687\ln t_2$	0.9940	6
触落温度时间 t_2 与冷感消失时间 t_3	1~8	$t_3 = 18.4938 + 21.0813\ln t_2$	0.9679	7
	9~12	$t_3 = -2.9359 + 19.6407\ln t_2$	0.9969	8
触落温度 ΔT_2 与皮肤降温量 ΔT_3	1~8	$\Delta T_3 = 0.3960 + 23.3871\Delta T_2$	0.8935	9
	9~12	$\Delta T_3 = 0.8577 + 19.4315\Delta T_2$	0.6681	10
皮肤降温量 ΔT_3 与后期冷感 V_2	1~8	$V_2 = -3.2709 + 1.007\Delta T_3$	0.7918	11
	9~12	$V_2 = -1.7904 + 1.010\Delta T_3$	0.9933	12
皮肤降温量 ΔT_3 与冷感消失时间 t_3	1~8	$t_3 = -4.3435 + 7.4631\Delta T_3$	0.8930	13
	9~12	$t_3 = -45.7238 + 18.5621\Delta T_3$	0.9961	14
冷感消失时间 t_3 与后期冷感 V_2	1~8	$V_2 = -2.2965 + 0.1261t_3$	0.8293	15
	9~12	$V_2 = 0.7162 + 0.0541t_3$	0.9912	16

(分别有 0 到 6 级, 冷感等级愈高, 冷感愈强烈)和冷感消失时刻。

四、结果分析

经过仪器测试的特征物理指标及穿着实验

中记录的部分生理刺激量和心理感知量汇总于表 2 中。并对其中有些量间做相关分析, 结果见表 3。从表 3 可看出织物编号为 1~8 号的轻薄织物和编号为 9~12 号的厚重织物的冷感特征指标存在明显差异。表 2 中明示了不同规

表 4 冷感指标与织物参数的相关

说 明	回 归 方 程	相关系数	方程编号	
0.5秒触落温差 ΔT_1	初始压缩模量 E	$\Delta T_1 = 0.0526 + 4.4013 \times 10^{-9} E$	0.9257	17
	容重 P	$\Delta T_1 = 9.2565 \times 10^{-3} + 0.5575 P$	0.7928	18
0.5秒触落温差 ΔT_1 与 H 相关 积分 S 与 $M \cdot C$ 相关	$H = P \cdot E \cdot f \cdot K$	$\Delta T_1 = -0.03893 - 0.3741 \ln H$	0.9455	19
		$\ln S = -1.3400 + 52.2582 M \cdot C$	0.9646	20

格织物在同样的环境下有不同的冷感效果，而图 3 表明轻薄织物冷感持续时间短，厚重织物持续时间长。影响织物冷感的结构参数和物理指标有初始压缩模量 E 、容重 P 、支持面率 f 等，冷感指标和结构参数的回归分析结果见表 4。由于 E 、 P 不能具体反映织物与皮肤的接触状态，用单一变量求相关不能反映织物与皮肤的实际接触特征，采用综合值 H 与 ΔT_1 的关系来反映。从方程 19 知综合值 H 与 ΔT_1 并不是简单的线性相关，是几个因素交互影响的结果，织物的重量和纤维的比热将同时影响测量的积分值。这也是轻薄、厚重织物冷感相异的原因。

五、论述与结论

(1) 皮肤降温物理过程统一性问题

人体穿上低温服装会感受到前、后期冷感质的区别。从很厚到很薄，光面到绒面的 12 种织物的触落温度曲线的形状是基本相同的，而且根据表 2 求得 S 与 $\Delta T_2 \cdot t_2$ 相关：

$$S = 0.1312 + 0.8388 \Delta T_2 \cdot t_2 \quad (21)$$

相关系数 0.9996，这也证明不同织物的触落温变曲线的形状非常接近，所以不必对前、后期冷感分别测曲线。

(2) 生理量与感觉量的关系

ΔT_3 反映的是皮温下降值，该值能被皮下和皮中的感温神经元感受，因此 ΔT_3 在一定程度上反映了皮肤感温神经元的温度刺激量。表 8 中方程 11、12、13、14 说明在生理量与心理量间存在一个隶属度函数。由于 ΔT_3 并不完全反映生理刺激量的全部特征，不能给出隶属

度函数的全面表达式。

(3) 仪器测试量与生理量、感觉量的关系

由表 3 中方程 9 和 10 知， ΔT_2 能在一定程度上反映皮温的下降值；方程 11 和 12 表明 ΔT_3 与后期冷感有良好的对应关系；而从方程 15 和 16 看出， t_3 和 V_2 呈正相关，表明人的感觉过程是不断采集信息，不断累积的过程。因此， t_3 越大，皮肤降温量也越大，冷感也越强烈。积分 S 就是这样的模拟物理量，反映了降温持续的时间和皮肤降温量的大小。

由方程 7 和 8 可看出， t_2 和 t_3 有密切的相关。 t_2 越大，说明织物的热容量越大。织物与热板的接触热阻越大，穿着时，织物从皮肤吸热时间长，不仅会使皮肤表面温度降低，而且使皮肤深处温度也降低。时间越长，受影响的皮肤越深，周围及深层皮肤对这一区域的补热也就越多，补热所需的时间也越长，冷感也越强烈。这说明 t_2 不仅反映了冷感持续的时间，而且也反映冷感的大小。从传热过程来看， t_2 与 S 在本质上有些相似，两者的相关系数达 0.9935(见式 22)：

$$S = -0.5000 + 0.2850 \times t_2 \quad (22)$$

ΔT_1 反映的是最初 0.5 秒的水银温度降低量，其实质是温度变化率，直接影响前期冷感。 ΔT_1 大，前期冷感剧烈。

参 考 资 料

[1] 《西北纺织学院学报》，1988，No. 2。
 [2] 《西北纺织学院学报》，1988，No. 3.4。
 [3] 西北纺织学院，《织物冷暖感仪技术总结报告》，1990，No. 6。