

服装的保温力与计算

陈有卿

(长沙大学)

【摘要】 本文通过人体热平衡方程式，说明服装的保温力和热舒适的关系，并建立服装保温力的简化表达式，以指导正确科学着装。

在环境气温较低的气候条件下，人所穿衣服约遮盖住身体表面积的82%，人体代谢产热量的75%以上是经皮肤表面对流和辐射向外散发。由于衣服能阻断95%左右发自人体皮肤的长波红外线，因此温暖了衣服的内表面。同时由于服装材料纱线之间的空隙和纺织纤维中都含有大量静止空气，它们具有良好的绝热性，能有效阻止服装内外表面间热传递，对热流起了屏障作用，形成一个温暖舒适的衣下空气层。但是冬天衣服不能穿着过多，否则人体产热大于散热，出现积热，会使皮肤温度升高，同样会不舒适。人要感到不冷也不热，即产生舒适感，基本条件是产热和散热达到热平衡，人体热平衡差S等于零，即

$$S = M - R - C - E - W = 0 \quad (1)$$

式中：M为人体代谢产热量；R为人体皮肤辐射散热量；C为人体皮肤对流散热量；E为人体水份蒸发散热量，包括皮肤出汗散热和不感知水份蒸发散热及呼吸道散热；W为人体对外作功所消耗的热量。此公式没有涉及传导散热，因人体对环境传导散热甚微，故忽略。

人体在进行轻微劳动和静坐休息时，对外作功W可视为0。其中R+C又是通过服装向环境的传热量Q_o，故式(1)可写作：

$$M - E = Q_o = R + C \quad (2)$$

服装材料的导热性能可用传热系数K来衡量，它表示织物两表面间温度差为1℃时，1s内通过1m²织物的热量焦耳(J)数，单位为w/m²℃，即

$$K = Q / [A(t_2 - t_1) \cdot T] = (Q / AT) / (t_2 - t_1) = \phi / (t_2 - t_1) \quad (3)$$

式中：Q为传热量(J)；A为传热面积(m²)；t₂-t₁为两表面温度差(℃)；T为传热时间(s)；

φ为热量传递密度(J/m²·s)或(w/m²)。

我们将K的倒数定义为热阻m，单位m²·℃/w。引入热阻概念便于应用电模拟原理，使问题简化。m等价于电阻；φ等价于电流强度；(t₂-t₁)等价于电位差。仿效欧姆定律：

$$m = (t_2 - t_1) / \phi \quad (4)$$

人在着装条件处于热平衡状态时，人体周围温度场有3个等温面：衣下空气层温度即人体表面加权平均皮肤温度t_s；衣服外表面边界层温度t_{cl}；环境气温t_a。当环境气温较低时，即t_a<35℃时，有t_s>t_{cl}>t_a。现应用欧姆定律讨论人一服装—环境这一热系统，(见

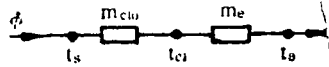


图 人一服装—环境热系统

图)。图中m_{clo}是服装的热阻，m_e是服装边界层的热阻。参照欧姆定律可建立下列方程：

$$(t_s - t_a) / \phi = m_{clo} + m_e \quad (5)$$

$$m_{clo} = (t_s - t_a) / \phi - m_e$$

在服装卫生学中，用保温力I_{clo}即克罗值(clo)作为热阻的单位。克罗的定义为：1个安静坐着或从事轻度脑力劳动的人(新陈代谢率为58w/m²)，在室温为21℃、相对湿度小于50%，风速不超过0.1m/s的环境中，感觉舒适时，并能保持皮肤表面平均温度为33.3℃时，他所穿的服装热阻值为1clo。

根据这一定义 1clo = 0.155m²·℃/w，
1m²·℃/w = 6.45clo。

在风速小于或等于0.1m/s时，服装边界层热阻约等于0.8clo。式(5)可写作：

$$I_{clo} = 6.45(t_s - t_a) / \phi - 0.8 \quad (6)$$

将式(2)代入(6)式

$$I_{clo} = 6.45(t_s - t_a) / (M - E) - 0.8 \quad (7)$$

式中： I_{clo} 为服装的保温力，单位为克罗(clo)。为进一步简化公式(7)排除一些次要因素，人在室内环境时，当风速 $\leq 0.1m/s$ ，相对湿度 $\leq 70\%$ ，从事轻便劳动的人，感觉舒适时，汗腺分泌应为零，服装传热量约占代谢产热75%，平均皮肤温度约在 $31.5\sim 34.5^{\circ}C$ ，取频率分布主体温度 $33.3^{\circ}C$ ，代入(7)式，可得简化计算公式：

$$I_{clo} = 6.45(33.3 - t_a) / 0.75M - 0.8 \quad (8)$$

式中： t_a 为环境温度($^{\circ}C$)； M 为人体代谢产热量，(W/m^2)，

表1是不同活动状态时，人体的代谢产热量，表2列举了几种常见服装的clo值。人穿多件衣服时，服装的总保温力应等于各件服装clo值之和再乘一个系数修正，可由(9)、(10)两式算得：

$$\text{男装 } I_{clo} = 0.727 \sum I_{clo i} + 0.113 \quad (9)$$

$$\text{女装 } I_{clo} = 0.770 \sum I_{clo i} + 0.05 \quad (10)$$

利用式(8)可以进行有关服装的热工程设计和计算。

例1 某公司办公室冬天室内温度控制在 $15^{\circ}C$ ，风速 $\leq 0.1m/s$ ，问如何设计办公室职员的冬季制服？

表1 部份不同活动状态时代谢产热量

活动状态	代谢产热量 (w/m^2)	活动状态	代谢产热量 (w/m^2)	
睡眠	40	4.8	150	
半躺	46	5.6	186	
静坐	58	6.4	220	
坐着制图	70	8.0	336	
坐着打字	80	上坡路		
		坡度 (%)	速度 (km/h)	
站立	75	5	1.6	140
扫地	160	5	3.2	174
走动作业(木工、金工等)	165	5	4.8	232
		5	6.4	354
掘、铲等工作	255	15	1.6	168
不负重水平行走(km/h)		15	3.2	267
3.2	116	15	4.8	400
4.0	140	25	1.6	209

表2 几种常用服装的clo值

男 子		女 子	
服 装	clo	服 装	clo
汗背心	0.06	乳罩加短裤	0.05
汗衫	0.09	短内裙	0.13
短裤	0.05	长内裙	0.19
长袖内衣	0.10	长袖内衣	0.10
长内裤	0.10	长内裤	0.10
短袖衬衫(薄)	0.14	薄衬衫	0.20
短袖衬衫(厚)	0.25	厚衬衫	0.29
长袖衬衫(薄)	0.22	薄连衣裙	0.22
长袖衬衫(厚)	0.29	厚连衣裙	0.50
马夹(薄)	0.15	薄短裙	0.10
马夹(厚)	0.29	厚短裙	0.22
长裤(薄)	0.26	长裤(薄)	0.10
长裤(厚)	0.32	长裤(厚)	0.44
毛线衣(薄)	0.20	毛线衣(薄)	0.17
毛线衣(厚)	0.37	毛线衣(厚)	0.37
外套(薄)	0.22	外套(薄)	0.17
外套(厚)	0.49	外套(厚)	0.37
短袜	0.04	一般长袜	0.01
长袜	0.10	连裤长袜	0.01
凉鞋	0.02	凉鞋	0.02
皮鞋	0.04	皮鞋	0.04

查表1，办公室职员一般从事轻微劳动，代谢产热量为 $58\sim 80w/m^2$ ，取平均值 $69w/m^2$ ，代入(8)式得：

$$I_{clo} = 6.45 \times (33.3 - 15) / (0.75 \times 69) - 0.8 = 1.48clo$$

办公室职员的冬季制服应按1.48clo进行热设计，具体衣服组合可参照表2和式(9)、(10)进行，男女职员着装均达到1.48clo即可。

例2 某渡假村游泳池旁要建造一个咖啡小吃店，室内无幅射热源，风速 $\leq 0.1m/s$ ，相对湿度 $\leq 70\%$ ，问室内温度应控制在多少度为宜？

首先应考虑泳装的保温力大约是 $0.05\sim 0.1clo$ ，当泳装未干时，保温力几乎为零和裸体差不多。泳客在室内是处于静坐状态，代谢产热 $M = 58w/m^2$ ，将这些数据代入(8)式得：

$$O = 6.45(33.3 - t_a) / (0.75 \times 58) - 0.8$$

解得： $t_a = 28^{\circ}C$

说明小吃店气温应控制在 $28^{\circ}C$ 左右为最宜人。

参 考 资 料

[1] 魏润柏、徐文华著，〈人·环境·服装〉，同济大学出版社，1988年。
[2] 〈长沙大学学报〉，1990年，第1期，P.73。