



服装高等教育“十五”部委级规划教材

服装舒适性与功能

CLOTHING COMFORT AND FUNCTION

张渭源
主编

构建“人体—服装—环境”系统

阐述服装舒适性的

基本概念与评价方法

反映服装功能研究的

最新进展与科研成果



中国纺织出版社

服装高等教育“十五”部委级规划教材

服装舒适性与功能

张渭源 主编

 中国纺织出版社

内 容 提 要

围绕“人体—服装—环境”系统的作用机制,本书全面阐述了服装以人为本要求的舒适性、对应环境要求的功能性的基础理论与知识。主要内容包括服装舒适性的基本概念,服装系统内热、湿传递的基本途径与规律,服装服用舒适性的主观评价方法,暖体假人对服装热学性能的评价原理以及相关的服装舒适性能设计涉及的材料学知识。书中反映了服装舒适性与功能研究的一些最新进展与科研成果,密切联系服装产品舒适性能与功能性开发的实际需求。

全书涉及了人体工学、纺织服装材料学、服装卫生学、环境工学、传热传质学等众多相关学科。内容深入浅出,突出了服装舒适性与功能学科交叉性的特征。同时,篇章结构清晰合理,内容理论联系实际。

本书作为大专院校服装设计与工程专业的教材,同时也是服装学科研究人员与从业人员有价值的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

服装舒适性与功能/张渭源主编. —北京:中国纺织出版社,
2005.7

(服装高等教育“十五”部委级规划教材)

ISBN 7-5064-3009-6/TS·1806

I. 服… II. 张… III. ①服装—舒适性—高等学校—教材
②服装—功能—高等学校—教材 IV. TS941.17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 052606 号

责任编辑:姜娜琳 特约编辑:王文浩 范 森

责任校对:俞坚沁 责任设计:何 建 责任印制:初全贵

中国纺织出版社出版发行

地址:北京东直门南大街6号 邮政编码:100027

邮购电话:010—64168110 传真:010—64168231

http://www.c-textilep.com

E-mail: faxing@c-textilep.com

三河艺苑印刷厂印刷 三河正发装订厂装订

各地新华书店经销

2005年7月第1版第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:9.25

字数:150千字 印数:1—5000 定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社市场营销部调换

本书编审人员

主 编	张渭源
撰稿人	刘 岩(第一章) 李 俊(第二章) 张渭源、刘丽英(第三章) 刘丽英(第四章) 朱利君、陈益松、张渭源(第五章) 王革辉(第六章)
审 稿	王传铭

序

为了加快中国教育的国际化进程,促进中国教育的全面发展,教育部在狠抓教育改革的同时,制定了“十五”国家级教材规划。受教育部的委托,全国纺织教育学会组织纺织工程、服装设计与工程两专业教学指导委员会编写了国家级高等教材 18 种,另外还组织编写了部委级高等教材。

两专业教学指导委员会根据教育部的专业教学改革方案,组织具有丰富教学经验和有一定权威的教师编写了国家级和部委级规划教材。

本套教材自成体系,在编写上有所突破、有所创新,体现了教材的先进性、前瞻性、通用性和实用性,可以说,既有编写特色,更有运用特色,对于新一轮教材建设将起到极大的推动作用。

全国纺织教育学会
教材编辑出版部

前言

《服装舒适性与功能》取名于英文“Clothing Comfort and Function”一词。在美国一些设有服装工程学科的大学中,如马里兰大学(University of Maryland)、康乃尔大学(Cornell University)、加州大学戴维斯分校(Davis University of California)、北卡罗来纳州立大学(North Carolina State University)等均开设此课。不少来自世界各国的访问学者与留学生在这一领域中进行科学研究及攻读博士学位,并将他们取得的成果应用于工业、农业、军用及航天开发等领域,为部队战士和航天员的着装提供可靠的生命保障。

参加本书编写的人员绝大多数是本学科中已取得博士学位的科研、教学人员,他们将其研究成果编入了本书。

虽然在服装舒适性及功能服装的研究方面,我国的现状与西方发达国家相比还较年轻,但不少学者如姚穆院士、欧阳烨教授、曹俊周教授及其他著名学者,均做了大量卓有成效的工作。本书也引用了他们不少很好的见解。

在此,我要特别感谢美国马里兰大学的 Steven Spivak 教授和 Norman Hollies 教授。我作为访问学者在美国的三年中,在他们两位著名学者的悉心指导下获取了大量的知识,使我能在过去的 20 年时间里从事于这一领域的科研和教学工作。遗憾的是, Hollies 教授已经离开了我们,我和所有参编人员愿以本书作为对 Norman Hollies——这位在此领域中功勋人士的深切怀念。

张渭源

2005 年 4 月于上海

目录

第一章 服装舒适性概论	1
第一节 服装舒适性的研究与发展 /	1
第二节 服装舒适性的概念与定义 /	3
第三节 人、服装、环境与舒适性的关系 /	12
第四节 描述人体、服装、环境的量和单位 /	13
第二章 服装的热传递	19
第一节 人体和服装表面的散热原理 /	19
第二节 服装导热的原理 /	30
第三节 服装的热阻 /	32
第四节 影响服装热阻的因素 /	35
第五节 服装隔热性能的实验评价 /	44
第三章 服装湿传递理论和湿阻的计算	51
第一节 服装(织物)的湿传递理论 /	51
第二节 服装的湿阻及其计算方法 /	55
第三节 服装的透湿指数及其影响因素 /	58
第四节 服装的动态湿传递及其测量方法 /	61
第五节 服装—人体微气候内动态热湿传递 /	65
第四章 服装舒适性的主观评价	74
第一节 服装舒适性主观评价概述 /	74
第二节 服装舒适性主观评价的应用 /	75
第三节 服装舒适性主观评价方法 /	77
第四节 着装人体热舒适性因子分析 /	83
第五节 服装舒适性主观评价的影响因素 /	88

第六节 主观评价等级方法在研究服装舒适性问题上的应用前景 / 89

第五章 暖体出汗假人系统90

第一节 暖体出汗假人概述 / 90

第二节 暖体出汗假人的表面湿态 / 95

第三节 暖体出汗假人的分析与评价 / 98

第四节 暖体出汗假人系统的研究与发展 / 102

第六章 服装用织物的力学性能与服装的接触舒适性113

第一节 织物的手感 / 113

第二节 织物在低应力下的力学性能 / 119

参考文献130

服装舒适性概论

第一节 服装舒适性的研究与发展

一、服装舒适性的研究范畴

服装舒适性是研究人—服装—环境之间关系的一门边缘科学。从人体的需要出发,系统研究各种服装及其材料的服用性能,从而为科学制衣、穿衣,维持一个有利于人类生活与工作的舒适满意的状态提供依据,因此具有重要的社会意义和经济意义。

服装舒适性研究的侧重点是人体与服装及环境之间的热、湿两方面的相互耦合作用。服装与人体的热平衡包括显热和潜热两部分。显热是指由人体与环境之间的温度差引起的热能交换;潜热是由水和蒸汽相变导致的能量交换,它与水蒸气的浓度变化密切相关。显热和潜热反映了人体与服装之间的热湿交换,这种交换是复杂的相关系统,而不是两种独立的或平行的关系。只有当皮肤感到较凉并有极少汗水时,热量的传递才是单纯由温度差所引起的。服装的隔热性能和透湿性能是表达热湿交换的主要指标,它们比较准确、合理地反映了服装的热湿性能。

多年来,国内外许多学者对服装舒适性进行了大量的探索与研究。随着研究的深入,人们已逐步认识到人体—服装—环境是一个不可分割的系统,与服装舒适性有着密切的关系,三者相互依存、相互制约、相互补偿。作为准生理系统的服装在人与环境的热湿交换中起着调节作用,增强了人体对冷热环境的适应性,维持了人体舒适满意的热湿平衡。这在适应特定外界环境条件的特种职业服装上表现得更为明显。运用科学的方法,建立人体热湿模型,准确地评价服装热湿舒适性能,有利于合理地设计、制作服装,有利于人体对环境的适应性,对保证人体着装时正常的生理机能和舒适的热感觉具有积极的作用。

二、服装舒适性的研究方法

服装舒适性的研究,可追溯到第二次世界大战时期。虽然只有几十年的历史,但其发展是比较快的。服装的舒适性研究大致从物理学、生理学和心理学三个方面着手。

物理学方法将人视为一个热源,在其机体内部产生热量,但又必须以同样速率散热,以便保持热湿平衡。保持人体、服装和环境之间的热平衡是物理学研究服装热湿舒适性的基础,它不考虑不舒适的感觉和人体对冷热的反应。它的最终目的是根据人体产热速率和皮肤温度等指标,运用传热机理建立人体的热平衡方程。对于研究各种环境因素对散热的影响和建立舒适性指标,该方法是非常有效的。

生理学方法是从人体的热调节机制出发,研究人体对冷热的反应机理,如血管舒缩、出汗、寒颤等。人体是一个复杂的巨系统,它具有许多相互影响的控制系统,很难区别各种刺激的作用。生理学研究倾向于研究特殊状态下人体的反应机理。

心理学方法着重研究人的感觉。人的感觉无法测量,只能通过观察有关的反应来加以推断。由于研究的方法不同,心理学研究划分为许多学派:心理生理学借助于测量心率或皮肤电阻等反应来观察情绪与感觉间的关系;心理物理学通过要求受试者用数值评定感觉的强度,以使感觉量化;行为心理学则观察人体刺激出现后的行为变化;而神经生理学是利用测量神经末梢对刺激的反应来研究感觉等。

今天人们已从单一的研究方法发展到综合的研究方法,即不但从物理学方面,而且从生理学与心理学方面全面地研究服装舒适性。它把人、服装和环境看作是一个系统的三大要素,在深入研究三者各自性能的基础上,强调从全系统的整体出发,通过三者间的热湿传递,形成一个相互关联的复杂系统,并运用科学方法,使系统具有“安全、高效、经济”等综合效能。所谓“安全”,是指保持人体舒适的热湿感觉,不出现人体的生理危害;所谓“高效”,是指系统整体具有最好的热湿平衡状态,提高人的工作效率;所谓“经济”,是指在满足人体热湿舒适性的前提下,保证服装投资的经济性。服装热湿舒适性是从一个更高的层次、更广的视野去分析和综合人体、服装和环境的热湿交换规律。

三、服装舒适性理论发展概述

对服装舒适性的研究始于 20 世纪 30 年代的美国,人们真正认识服装的隔热防寒原理并建立服装功能与舒适性这门独立的学科,仅仅 60 多年的历史。由于两次世界大战中参战士兵冻伤人数的增加,引起了生理学家、物理学家等对服装热学性能的重视,并促进了服装舒适性理论的研究和发展。

1940 年,生理学家 P. Siple 等人发表了《选择寒冷气候服装的原则》的论文。在这篇论文中,作者总结了当时从生理学和气候学方面得到的许多新知识,提出了服装防寒隔热的原理,对服装的选材和设计起到了重要的指导作用。1941 年,生理学家格杰(A. P. Gagge)等人提出了通用的服装热阻定量单位——克罗(clo)。用克罗值来衡量服装热阻的大小,既能反映服装材料和工艺制作的特性,又能反映人体热平衡调节的生理状态。克罗值概念的提出,开创了服装热湿舒适性研究的新纪元,为服装热湿舒适性的评价提供了统一指标。同年,Rees 使用热板导热仪测定了“织物冷感”,这是服

装舒适性中相当重要的指标。1945年,美国哈佛疲劳研究所 Belding 等人在人工气候条件下,对穿着不同保暖服装的士兵进行了测试,测试结果已作为比较不同军服效率的实际基础。1946年,Burton 发表论文,详细地论述了人体舒适性取决于自身产生的热量和向环境散失热量之间的能量平衡。人体与环境之间的热平衡,由于服装的介入会有所改变,服装既可以看作是环境的一部分,又可以作为人体本身的拓展和延伸。1948年,Herrington 等人用有限数量的人体测定值和舒适带图表概念,对潜水艇里穿着服装的人的生理指标进行了测定。这一特殊研究对辐射、传导和蒸发所产生的舒适性热平衡做出了突出的贡献。1949年,英国出版了 Newburgh 的经典著作《热调节生理学和服装科学》,这是第一本服装生理学教材。1959年,Kennedy 等人在讨论士兵服装相互联系要素的基础上形成了一种思想,即人体、服装和环境这三者是一个统一的整体,在服装热湿舒适性的研究中缺一不可。

20世纪四五十年代,主要是研究防寒服,服装舒适性的评价指标只有服装热阻(clo值)。60年代,由于化学纤维的快速发展,合成纤维织物给人们带来了福音,也带来了闷热。为了寻找闷热的原因,评价锦纶类服装闷热的程度,使人们在热环境中尽可能地着装舒适,从而热环境下服装的舒适性,逐渐引起了学者们的重视。1962年,美国服装科学专家伍德科克(Woodcock)在控制环境温湿度和风速的条件下,将测试织物包覆在一个湿的圆筒上,测定湿织物的表面温度。基于此测试数据提出了服装的透湿指数 i_m 这个量纲为1的物理量,作为评价热环境条件下服装热湿舒适与否的指标。透湿指数的提出,是服装热湿舒适性发展的里程碑。20世纪60年代中期,美国著名服装生理学家 Goldman 非常成功地运用服装热阻和透湿指数来描述服装系统的特性,提出了服装蒸发散热效能指数这一评价指标,完善了服装热湿舒适评价指标体系。60年代末,美国陆军环境医学研究所等单位研制了用出汗假人测试服装的透湿指数。20世纪70年代初期, Norman Hollies 和 Steven Spivak 将服装舒适性主观评价和客观评价相结合,使服装舒适性评价系统提升到了一个新的高度。1967年,Fanger 以堪萨斯州立大学的实验数据为基础,发表了热湿舒适方程式。随着服装舒适性理论的完善,20世纪70年代以后,学者们开始致力于服装舒适性的实际应用研究。许多研究机构相继研制了不同模拟装置对服装舒适性进行评价。随着测试技术的逐步完善,用以模拟人、服装、环境之间热湿交换的暖体假人正得到广泛的应用和推广。

第二节 服装舒适性的概念与定义

一、人体生理学基础

人体是一个复杂的系统。体温的相对稳定和新陈代谢是维持人体正常功能和活

动的基本保证。人体的体温调节和代谢产热机制是研究服装舒适性的生理学基础,只有了解和认识了人体的热调节机制,才能科学、合理地研究和评价服装或面料的服用性能。

(一) 能量代谢

1. 能量代谢概述

人体通过摄取食物而获得碳水化合物、蛋白质、脂肪等营养物质。这些物质既是构筑机体结构,实现组织自我更新及其他一些重要生理功能所不可短缺的物质,又是机体能量的主要来源。各种能源物质在体内发生氧化反应释放能量,其中 50% 以上迅速转化为热能以维持人体体温,并不断向体外散发;其余部分则转化成以三磷酸腺苷(ATP)等物质为载体的可以做功的“自由能”,保证机体的各种生命活动。这种能量的产生与利用的全过程,就是新陈代谢。在新陈代谢过程中所伴随着的能量释放、转移和利用等,通常称为能量代谢。

2. 能量代谢测量方法和代谢产热率

对能量代谢的测量,通常有两种方法:直接测热法和间接测热法。

直接测热法是利用各种类型的测热装置直接测定机体在一定时间内所散发的总热量的方法。这种测热法不能用来测试人劳动或活动时的能量代谢。

间接测热法是基于研究人体呼吸气体交换理论,通过测量受试者一定时间内的耗氧量和二氧化碳产生量,并根据化学反应中的定比关系,计算出机体的能量代谢率。

在相同条件下,同一个体的能量代谢是相当恒定的,日间变动值仅限于很小范围之内。但对于体格各异的不同个体来说,他们的能量代谢就会有所不同。研究表明,人体的能量代谢与体表面积有一定的内在联系,它们基本上成正比。如一个身材高大者与一个身材瘦小者相比较,身材瘦小者单位体重的代谢量显著高于身材高大者,但单位体表面积的代谢量两者就比较接近。这样,可以用单位体表面积作为能量代谢的相对衡量标准,即代谢产热率,其单位为 kW/m^2 。

人体的体表面积同样是比较难以测量的,通常用一些经验公式来估算。较为常用的是 Dubois 公式和 Stevenson 公式。

Dubois 公式为:

$$A = k \cdot w^{0.425} \cdot h^{0.725} \quad (1-1)$$

式中: A ——人体体表面积的数值,单位采用 m^2 ;

w ——人体体重的数值,单位采用 kg ;

h ——人体身高的数值,单位采用 m ;

k ——不同人种常数。

Dubois 公式适用于欧美人群的体表面积计算。

Stevenson 公式为:

$$A = 0.0061 \times h + 0.0128 \times w - 0.1529 \quad (1-2)$$

Stevenson 公式适用于亚洲人群的体表面积计算。

3. 外部机械功

在某些活动中,人体氧化过程释放的代谢产热量 M ,有时部分地转化为外部机械功 W ,但它主要是转化为体内的热量 Φ 。它们之间的关系可用下式表示:

$$\Phi = M - W \quad (1-3)$$

人体在从事许多工作时,尽管很费劲,却往往做功极少。通常用机械效率 η 来描述做功的程度。其表达式为:

$$\eta = W/M \quad (1-4)$$

人体的机械效率取决于作业的性质和工作的速率,人的健康状况和工作的熟练程度也能改变机械效率。人体机械效率的生理上限为 20%~22%,极限不超过 25%。

4. 基础代谢及其影响因素

基础代谢或称基础代谢率,是指人体在清醒而又极端安静的状态下,不受肌肉活动、环境温度、食物及精神紧张等因素影响时的能量代谢率。基础代谢率并不是能量代谢率的最小值,睡眠时的代谢率比基础代谢率还低 10% 左右。

人在清醒时,维持基本生命活动的呼吸器官、肝脏等主要器官的运动是产生基础代谢的重要原因。研究表明,人体的基础代谢受身体的大小、年龄、性别和季节等因素的影响。年龄越大,基础代谢率越低;同年龄的人,男性高于女性。我国人体正常的基础代谢率平均值见表 1-1 所示,上下相差 10%~15% 都为正常。

表 1-1 我国人体正常基础代谢率平均值

性别	单 位	年 龄						
		11~15	16~17	18~19	20~30	31~40	41~50	51~
男性	kcal/(m ² ·h)	54.3	53.7	46.2	43.8	44.1	42.8	41.4
	kJ/(m ² ·h)	227.34	224.83	193.43	183.38	184.64	179.20	173.33
女性	kcal/(m ² ·h)	47.9	50.5	42.8	40.7	40.8	39.5	38.5
	kJ/(m ² ·h)	200.55	211.43	179.20	170.40	170.82	165.38	161.19

影响能量代谢的因素包括人体肌肉活动水平、环境温度等方面,其中肌肉活动对能量代谢的影响最为显著。机体任何轻微的活动都可以提高代谢产热量,剧烈运动和重度体力劳动时,能量代谢可超过安静状态时许多倍,短时间的爆发性运动,能量代谢可达安静状态时的 10~20 倍。肌肉活动的程度叫做肌肉活动强度,也称之为活动水

平。活动水平通常用单位时间内机体的产热量来表示,也就是说,可以把能量代谢值作为评价活动水平的指标。不同活动水平的能量代谢涉及许多因素,如劳动或运动种类、条件等。不同活动水平时,我国人均的能量代谢值见表 1-2 所示。

表 1-2 我国人均能量代谢率平均值

活动水平		轻	中	重	极重	超重
能量代谢值	kcal/(m ² ·h)	93	93~140	140~198	198~256	256~
	kJ/(m ² ·h)	389.4	389.4~586.2	586.2~829.0	829.0~1071.8	1071.8~

环境温度对人体的能量代谢也有一定的影响。实验得出人体处于安静状态时的能量代谢,在 20~30℃ 的环境中最为稳定。当环境温度低于 20℃ 或高于 30℃ 时,能量代谢即开始有所增加,在 10℃ 以下则显著增加。环境温度对代谢产热率的影响可用图 1-1 描述。该图是 Mount 提出的。图中 CE 区域为代谢率最小的区域,人体通过自身的热调节功能使代谢产热率基本不变;CD 区域为热调节最小区域,人体依靠表皮的血管收缩或扩张就可维持热平衡;DE 区域内,人体通过蒸发散热保持热平衡;当环境温度降到 C 点(下临界温度)以下时,人体蒸发散热基本不变,显热散热开始增大,代谢产热率也开始增加;当温度进一步下降至 B 点(适应温度下限)以下时,人体温度也将下降;当环境温度升到 E 点(上临界温度)以上时,代谢产热率也开始增加;当温度升至 F 点(适应温度上限)以上时,人体温度也将升高。

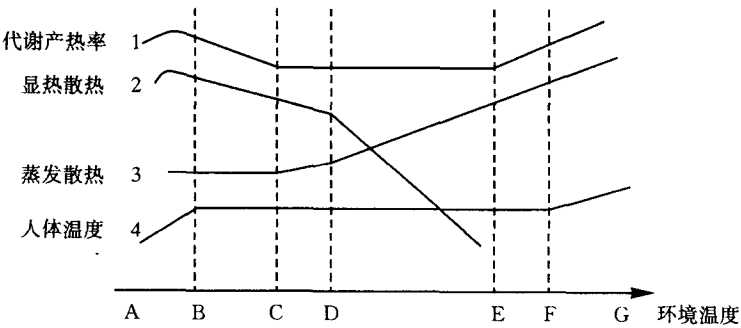


图 1-1 人体能量代谢图

另外,人的精神状态、进食、人种、季节、营养及药物等因素,也对人体能量代谢有一定的影响。比如,人在安静地思考问题时,能量代谢受到的影响并不大,产热量的增加一般不超过 4%;但在精神处于紧张状态,如烦恼、恐惧或强烈情绪激动时,由于随之而出现的无意识的肌肉紧张以及刺激代谢的内分泌激素释放增多等原因,产热量可以显著增加。

(二) 体温调节

1. 人体体温

人体在外界条件发生变化或进行不同水平活动时都能维持一定的体温,这是进行新陈代谢和正常生命活动的必要条件。人体各部位温度并不相同,我们通常所说的体温是指体内温度,或称中心温度。人体恒温的作用就是使包括维持生命所必需的器官在内的人体中心温度保持在相当窄的、对其正常功能来说是必不可少的温度范围之内。人能维持生存的极限体温不超过 43°C ,不低于 25°C 。体内温度是相对稳定的,但又略有不同,如肝脏温度最高,接近 38°C ,脑次之,血液的不断循环使各部位温度趋于一致。在一般情况下,体内温度总是高于皮肤温度,而皮肤温度可随着环境气候和衣着情况的不同而发生变化,这种变化是为了维持体内温度的相对稳定。这是重要的体温调节功能。人体恒温的作用,就是使包括维持生命所需的器官在内的人体中心温度保持在相当窄的、对其正常功能来说是必不可少的温度范围之内。

正常人的体内温度有明显的昼夜周期性变化,清晨 2 时至 5 时体温最低,午后 2 时至 5 时体温最高。变化范围不超过 1°C ,一般为 $0.4\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ 。人体体温还由于年龄、性别、活动水平、季节、时间等因素而产生微小的生理性变化,如儿童体温比成年人体温略高,而成年人体温又比老年人体温略高;女性体温比男性体温略高 0.3°C ;夏季比冬季低 0.3°C ;剧烈活动可使体温升高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 等。

2. 皮肤温度

皮肤温度(又称体表温度)是服装卫生学的重要指标之一。它既反映了人体冷热应激的程度,又可以判断人体通过服装与环境之间进行的热交换。皮肤温度并非是固定不变的,它受外界条件影响较大,可在 $20\sim 40^{\circ}\text{C}$ 之间波动。人体各部位的皮肤温度不尽相同,这种差异在环境温度较低时表现得更为明显。四肢末梢温度最低,越接近躯干、头部,皮肤温度越高。皮肤温度的变化与血管舒缩关系十分密切,凡能影响皮肤血管舒缩的因素都能改变皮肤温度,如环境温度的变化或精神紧张等。当裸体或穿着少量服装的人感觉舒适时,各部位体表温度相接近,平均约为 33.5°C 。

测量体表温度的方法很多。一种方法是用热敏电阻或热电偶贴于待测表面,然后由各点测得的皮肤温度按一定权重后获得加权评价温度,较常用的有 Hardy 和 Dubois 的 8 点测试法、Ramanathan 的 4 点测试法、Olesen 与 Fanger 的 14 点测试等。另外,还有利用红外热图摄影仪来获得完整而连续的皮肤温度分布图等。

计算人体内蓄热时,应知道人体平均温度 t_b 。它是体内温度 t_{cr} 和皮肤温度 t_s 的加权平均值,按下式计算:

$$\text{热环境: } t_b = 0.90t_{cr} + 0.10t_s \quad (1-5)$$

$$\text{冷环境: } t_b = 0.67t_{cr} + 0.33t_s \quad (1-6)$$

在冷环境中,皮肤血液流量减少,有效地减少了热核心的体积,从而改变了加权

系数。

3. 产热

机体安静时,主要产热组织是机体深部的组织、器官,如躯干肌肉、内脏器官及脑等,其中肝脏的产热量最大。机体活动时,肌肉则为主要产热器官。人体几种组织和器官的产热量见表 1-3 所示。

表 1-3 人体几种组织和器官的产热量百分比

组织、器官名称	占体重百分比/%	产热量/%	
		安静状态	活动状态
脑	2.5	16	1
内 脏	34	56	8
肌肉和皮肤	56	18	90
其 他	7.5	10	1

提高代谢率是增加产热量的途径之一。代谢率的增加程度同人的体格、年龄、性别、姿势、着装、适应性以及环境条件等有关,大体上与机体的总隔热性能成反比。例如,人在裸体且外界无风的状态下,环境温度降低 8℃(以 29℃为基数),代谢率增加 2 倍方可维持人体热平衡。人在寒冷环境下还主要依靠寒颤来提高产热量。寒颤是骨骼肌发生不随意地节律性收缩的表现。寒颤产热量很高,可使代谢率增加 4~5 倍。

4. 体温调节机制

人体体温调节是产热和散热及人体内外热交换的调节过程。通过调节机制,维持体内温度的基本恒定。体温调节不仅与人体内部的各个环节紧密相关,还与外部环境条件以及人体的活动水平有关。当体内产热改变或环境发生变化,正常的体热平衡受到破坏时,人体将产生一系列的生理反应和行为动作来调节人体产热或散热速率,维持人体的热平衡。

人体的体温调节可以分为生理性调节和行为性调节,其中生理性调节能力是有限的。在生命的进化过程中,人类为适应大自然多变的温度环境,人体逐渐建立起行为性体温调节,以弥补机体自身调节的不足。体温的行为性调节是以生理性调节为基础的,二者是紧密相关的。最原始和最简单的行为性调节是姿态改变和场所迁移。服装是人类行为性温度调节的重要工具,借此大大增强了人类对大自然的适应能力,如在不同环境条件下,增减衣着,创建人工气候环境,可以达到体温调节的目的。随着科学技术的发展,行为性体温调节的作用显得更为重要。人类利用科技成就制造出许多装备(如航天服装、极地服装等),不但能在特殊环境中从事工作,而且可以进入外层宇宙空间。体温的生理性调节是最基本的调节,是我们进行热舒适性研究的内在规律。体温的行为性调节可看成比生理性调节更为复杂的开环调节,它是生理性调节的补充和保证。

(三)人体出汗

1. 出汗机理

汗腺分泌汗液的活动称为出汗。出汗是人体有效的散热途径,是减少体内淤热的重要体温调节反应之一。

出汗是一种反射性活动,由脑出汗中枢控制。通常在高温或大活动量条件下,人体内热量会积聚。为了促进体热散发,大脑出汗中枢调动出汗功能,依靠出汗促进皮肤表面水分蒸发散热,达到体热平衡、体温稳定的目的。

汗液是由汗腺细胞分泌的。人体汗腺分为大汗腺和小汗腺两种。人体汗腺大部分是小汗腺。分布在全身的汗腺约有 200 万~500 万条,手心、脚掌密度最大,头部次之,四肢最少。汗腺按功能分为有效汗腺和无效汗腺,有效汗腺在出汗中起主要作用,正常人约有 178 万~276 万条有效汗腺。汗液中水分约占 99%,而固体成分则不到 1%,且大部分为氯化钠盐。

2. 温热性出汗

出汗,按其诱导源分为温热性出汗、精神性出汗和味觉性出汗。温热性出汗是由于温度超过临界值所致,是出汗的最重要方式。当外界温度超出临界温度(如安静时为 $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$)时,除手心、脚掌外,全身皮肤都出汗。身体开始出汗时的皮肤温度在 $36.3\sim 37.9^{\circ}\text{C}$ 之间,此时皮肤温度会急剧下降,而后停留在一定温度上。当人精神紧张、情绪激动或突然受到惊吓时,会发生精神性出汗,并主要集中在手心、脚掌、面部及腋窝等处。当人食用酸、辣等食物时,会在面颊和颈部等处出现味觉性出汗的现象。精神性出汗和味觉性出汗在体温调节中意义不大。

大部分人体出汗分布是不均匀的,只有 16% 左右的人全身出汗比较均匀。出汗量多的部位是前额、颈、躯干部和手背,而四肢则出汗较少。根据出汗的情况,可以分为全身均等出汗、下肢出汗少、上肢出汗少和四肢出汗少等类型。

总之,出汗多的地方都是向外开放的部位,而被覆盖的部位出汗较少。人体各部位出汗量分布见表 1-4 所示。

表 1-4 人体各部位出汗量相对值比较

部 位	出汗量相对值/%	部 位	出汗量相对值/%
头 部	12.8~12.9	前 臂	4.0~4.3
胸 部	14.6~15.0	手	4.5~5.0
背 部	9.9~10.2	大 腿	14.2~15.6
腹 部	13.6~13.9	小 腿	4.5~4.9
腰 部	12.2~12.6	脚	3.6~3.9
上 臂	4.1~4.5		