

非空调环境下性别与热舒适的关系

广东海洋大学 江燕涛[☆]

湖南大学 杨昌智 李文菁

湛江市环境监测中心 王 海

摘要 对长沙某高校的 600 多名学生进行了为期一年的现场问卷调查,对有关空气参数进行了测量。统计分析结果表明,女性的耐寒能力比男性差;预期平均评价 PMV 指标对男女热感觉的预测效果较差;男女对湿感觉的评价无较大差异,只在温度较低时,女性比男性觉得更潮湿;女性的吹风感比男性强;热舒适评价不仅受热、湿感觉影响,还受其他环境因素及心理因素的影响。

关键词 非空调环境 性别 热舒适 热感觉 湿感觉 吹风感

Relation of sexes and thermal comfort in non-air-conditioned environment

By Jiang Yantao[★], Yang Changzhi, Li Wenjing and Wang Hai

Abstract Within a period of one year, conducts a questionnaire survey in more than six hundred students of a university in Changsha, and measures some related air parameters on the spot. Analysing collected data, finds that chillness-tolerance of females is poorer than that of males, that the predicted effect of thermal sensation is not accurate by predicted mean vote (PMV) index, that evaluation on humidity sensation for males and females is almost the same except in a low-temperature environment where females are more sensitive to humidity than males, that draught sensation of females is more obvious than that of males, and that thermal comfort evaluation is affected by more environmental and psychologic factors besides thermal and humidity sensations.

Keywords non-air-conditioned environment, sex, thermal comfort, thermal sensation, humidity sensation, draught sensation

★ Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong Province, China

①

0 引言

为了创造一个舒适的室内环境,必须了解人体热感觉和热舒适的影响因素及其影响规律。目前国外的研究主要是针对空调环境下的实验室和现场。而中国绝大多数人通常生活、工作在非空调环境中,因而研究一年中不同气候条件下非空调环境中人们的感受很有必要。男女由于基础代谢率不同,对多种环境因素的生理反应不同,所以会造成对室内环境的评价和要求的 inconsistency,对此笔者进行了分析和研究。

1 现场调查介绍

笔者于 2004 年 1 月至 2005 年 1 月在湖南省

长沙市某高校对 615 名大学生进行了现场调查。考虑到调查时的热感觉等评价与之前的活动程度、环境状态有关,为避免这些因素的干扰,在处理数据时,剔除在此状态逗留时间少于 30 min 的人群,剩下统计样本量是 523 人,其中男性 322 人,女性 201 人,年龄为 18~23 岁,来自全国各地,活动方式是静坐阅读(代谢率 $M=1.0 \text{ met}$ ($1 \text{ met}=58.2$

①[☆] 江燕涛,女,1967 年 10 月生,硕士研究生,工程硕士,讲师
524000 湛江市解放东路 40 号西十三栋 402 房
(0759) 2382148 (0) 13543551390

E-mail: jiang238@tom.com

收稿日期:2005-12-30

修回日期:2006-03-07

W/m^2)), 服装计算热阻 $I_{clo} = 0.82 \times \sum I_{clo,i} + 0.07 \text{ clo}$ (0.07 clo 为考虑人体与教室椅子的接触而增加的热阻) ($1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$), 为 0.32 ~ 2.13 clo。现场调查的地点是非空调环境的教室, 冬季采用自然通风, 夏季采用自然通风和吊顶风扇相结合的通风方式。

采集的现场物性参数有: 室内外温度、湿度, 室内黑球温度、风速。问卷调查项目有: 热感觉 TS (thermal sensation)、湿感觉 HS (humidity sensation)、热舒适 TC (thermal comfort) 和吹风感 DS (draught sensation)。

实测的热感觉采用 ASHRAE 七级热感觉标尺, 湿感觉采用七级标尺, 热舒适和吹风感采用五级标尺^[1], 见表 1。

表 2 服装热阻

	clo												
$ET^*/^{\circ}\text{C}$	7.2	9.9	10.7	11.6	12.5	13.8	15.7	16.4	17.6	18.0	19.6	20.8	21.5
月份	1	1	1	11	12	3	3	3	11	3	10	10	4
男女平均服装热阻	1.67	1.71	1.67	1.62	1.69	1.58	1.28	1.39	1.38	1.43	0.78	0.77	0.79
男性服装热阻	1.62	1.70	1.69	1.56	1.69	1.58	1.30	1.30	1.28	1.26	0.76	0.77	0.90
女性服装热阻	1.77	1.77	1.64	1.69	1.67	1.58	1.25	1.53	1.49	1.68	1.03	0.78	0.57
$ET^*/^{\circ}\text{C}$	22.5	23.4	23.8	23.8	23.9	24.0	24.2	26.3	28.8	29.3	30.1	30.6	31.2
月份	10	5	5	10	4	5	10	5	5	9	6	7	9
男女平均服装热阻	0.64	0.58	0.46	0.58	0.70	0.54	0.57	0.44	0.43	0.41	0.43	0.40	0.39
男性服装热阻	0.64	0.58	0.46	0.54	0.62	0.58	0.55	0.44	0.42	0.40	0.38	0.38	0.38
女性服装热阻	0.63	0.57	0.47	0.61	0.76	0.49	0.63	0.42	0.44	0.42	0.40	0.42	0.42

从热季到冷季的过渡季节, 人们的着衣量仅有少许差异, 在几乎相同的 ET^* 下, 4 月份的平均服装热阻大于 10 月份, 但在统计这两个季节人们的热感觉时, 没有发现明显的差异; 在绝大多数温度下, 女性的着衣量比男性多, 当去除调查中特殊样本的影响后, 可以认为在同样的 ET^* 下女性比男性的服装热阻大, 但随着温度的上升, 两者的差别缩小。

2.2 热感觉 TS 与预期平均评价 PMV 的比较

同样把所测的室内温、湿度和风速值转化为 ET^* , 将调查得到的全部 TS 值和计算得到的 PMV 值^[2]以算术平均的形式统计, 并作相应的曲线拟合, 如图 1 所示。从图中可以发现, 平均热感觉 MTS 的斜率比平均 PMV 小得多, 人们对热感觉的主观判断比 PMV 预测的敏感程度要小。

MTS 和 PMV 曲线相交于 $ET^* = 23.72^{\circ}\text{C}$, $MTS = -0.06$ 处。当 $MTS = 0$ 时, $ET^* = 24.59^{\circ}\text{C}$ 。

表 1 感觉标尺

热感觉 TS/PMV	热 +3	暖 +2	稍暖 +1	中性 0	稍凉 -1	凉 -2	冷 -3
湿感觉 HS	很湿 +3	湿 +2	较湿 +1	中性 0	较干 -1	干 -2	很干 -3
热舒适 TC	舒适 0	稍不舒适 1	不舒适 2	很不舒适 3	不可忍受 4		
吹风感 DS	无感觉 0	微风 1	稍强 2	强 3	不可忍受 4		

2 分析和结果

2.1 服装热阻

为方便比较, 把调查时所测的室内温、湿度和风速值转化为新有效温度 ET^* 。所有调查对象全年的平均服装热阻见表 2。从表中可以看出, 人们所穿的衣服随着温度升高而减少, 从冷季到热季或

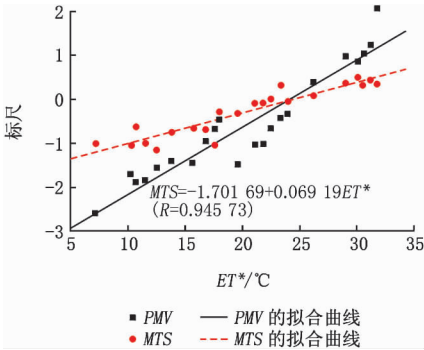


图 1 各种 ET^* 时的平均热感觉 MTS 和 PMV

男性和女性的 PMV 值和 MTS 值见图 2 和表 3。分析图 2 和表 3 可得: 1) PMV 受室内空气温度、湿度、流速, 室内平均辐射温度, 人体代谢率和服装热阻 6 个参数影响, 对于同一个采样点, 只有每个人的服装热阻是变量, 其他 5 个参数是定量, 从图 2 中男性和女性的 PMV 曲线同样可以得到 2.1 节的结论, 即在同一种条件下, 女性的服装热阻比男性大, 低温时相差较大, 随着温度的升高,

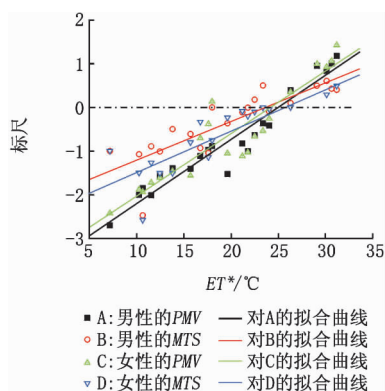


图2 男性和女性的平均热感觉 MTS 和 PMV

表3 男性和女性的 PMV 和 MTS 值的拟合

拟合公式	
男性	$PMV = -3.68177 + 0.14737ET^* (R=0.9667)$ $MTS = -2.09066 + 0.08822ET^* (R=0.8426)$
女性	$PMV = -3.45514 + 0.142934ET^* (R=0.92854)$ $MTS = -2.42827 + 0.09443ET^* (R=0.86819)$
MTS=0	男性: $ET^* = 23.41^\circ\text{C}$ 女性: $ET^* = 25.56^\circ\text{C}$

差别缩小;2) 男性和女性的热感觉在温度低时差别较大,随着温度的上升,差别同样缩小;3) 在相同温度下男性的 MTS 值更高些,即感觉更温暖;4) 由于 D 的拟合曲线的斜率更大,说明女性对温度更敏感;5) 在同样温度下,女性穿衣量比男性多,但热感觉却比男性冷,证明了女性耐寒能力比男性差;6) PMV 指标对于男性热感觉的预测效果比较差。

2.3 湿感觉 HS 和吹风感 DS

人们的湿感觉不仅与空气相对湿度有关,还受室内温度的影响。图 3 给出了不同 ET^* 时的相对湿度和平均湿感觉,从图中可以看出,随着温度的升高,人们对相对湿度的接受能力增强。图 4 显示了男女对湿感觉的评价基本没区别,只在低温度区域时,可能由于女性的吹风感比男性强些,所以觉得潮湿些。

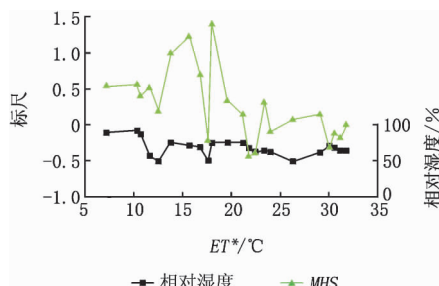
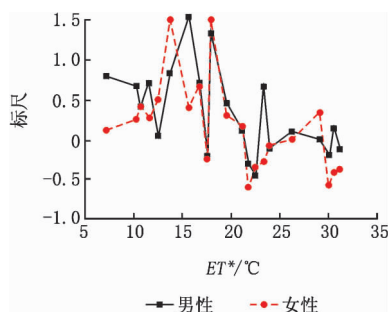
图3 各种 ET^* 时的相对湿度和平均湿感觉 MHS

图4 男性和女性的平均湿感觉 MHS

$ET^* \leq 13.8^\circ\text{C}$ 时,风速 $v \leq 0.08 \text{ m/s}$; $ET^* = 15.7 \sim 26.3^\circ\text{C}$ 时, $v = 0.05 \sim 0.1 \text{ m/s}$; $ET^* \geq 29.1^\circ\text{C}$ 时, $v = 0.15 \sim 0.25 \text{ m/s}$ 。但从图 5 可以看出, $ET^* \geq 29.1^\circ\text{C}$ 时的吹风感与 $ET^* \leq 13.8^\circ\text{C}$ 时相近,所以吹风感与温度有很大的关系。从图 6 可以看出,女性对吹风感的评价比男性通常要高些,说明女性对风速更敏感。

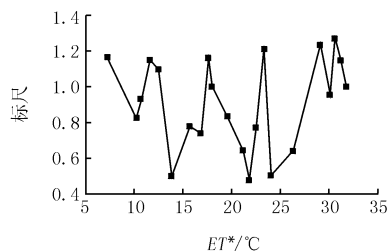


图5 平均吹风感 MDS

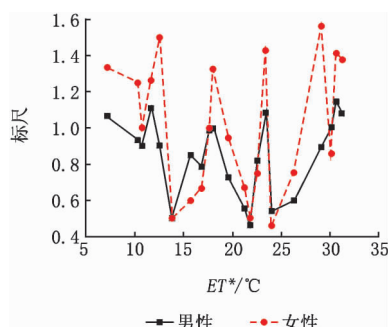


图6 男性和女性的吹风感

由于女性在低温区的 TS 值比男性低,说明人们对热感觉、湿感觉及吹风感三者的评价是相互耦合的。

2.4 热感觉 TS 与热舒适 TC 的比较

平均热舒适 MTC 随 ET^* 的变化如图 7 所示。从图 7 可以看出,在 ET^* 的影响下, MTC 偏离热舒适趋势与 MTS 偏离热中性的趋势基本一致,但细微的波动却与平均湿感觉 MHS 相似。因此,可以认为在静态下热舒适 TC 并非只受冷热感的

在温度较低时,为了保暖,把门窗关闭,在

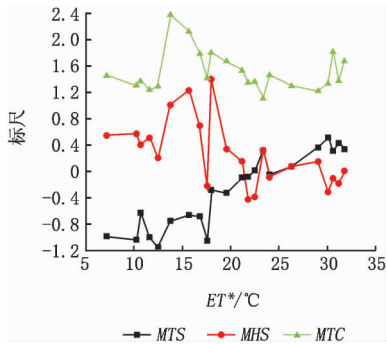


图 7 平均热感觉 MTS、平均湿感觉 MHS 和平均热舒适 MTC

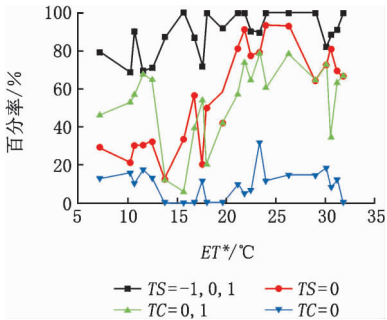


图 8 两种 TS 和 TC 范围所占的百分率

影响,也受湿感觉的影响。

表 4 是 ET^* 为 $24.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时各投票值的平均值。两者的热感觉和湿感觉都几乎是适中,但热舒适并非中性,而是处于稍不舒适和不舒适之间。因此可以认为,热舒适 TC 是一个复杂的评价指标,即使在稳态的情况下,不仅受温度、湿度的影响,还受更多的外界因素及心理因素作用。这同样解释了为什么调查中 $TC=0$ 的百分率远远低于 $TS=0$ 。

表 4 ET^* 为 $24.0, 26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时各项投票平均值

$ET^*/^{\circ}\text{C}$	热感觉	湿感觉	吹风感	热舒适
24.0	-0.065 6	-0.098 4	0.508 2	1.459 0
26.3	0.071 4	0.071 4	0.642 9	1.285 7

2.5 满意率

从两方面进行分析,一是 $TS=-1, 0, 1$ 和 $TS=0$ 所占的百分率;二是 $TC=0, 1$ 和 $TC=0$ 的百分率。如表 5 所示,热适中 $TS=0$ 的百分率是热舒适 $TC=0$ 的 4.09 倍,可见热舒适比热中性的要求严格得多。

表 5 TS 和 TC 的比较

指标	投票值	性别	数量	占同性别人数比例/%	占调查人数比例/%
TS	0	男	181	56.2	57.6
		女	120	59.7	
	-1,0,1	男	289	89.8	87.4
		女	168	83.6	
TC	0	男	46	14.3	14.1
		女	28	13.9	
	0,1	男	184	57.1	56.4
		女	111	55.2	

图 8 显示了 $TS=0$ 和 $TS=-1, 0, 1$ 的百分率变化情况。 $TS=0$ 和 $TS=-1, 0, 1$ 的百分率最高值出现在 $ET^*=24.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,分别是 93.44% 和 100%。综合图 1 的情况,分析 $ET^*<15.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, $TS=0$ 的百分率却反常升高的原因,结论是: 1)

由于着衣量有所增加,人们着衣的选择可能取决于离开住所时的温湿度和对气候的预测及前一天的着衣情况,当 $ET^*<15.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,室内几乎比室外高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,人们在此环境的着衣量比预期的多; 2) 由于室内温度比室外提高较多,心理满意度增加,影响了投票; 3) 被调查人群的生活和学习环境是非空调环境,心理对环境的要求根据实际情况而作了调整,所以满意率并未大幅下降。

图 8 同时显示 $TC=0$ 和 $TC=0, 1$ 时的百分率变化情况。若把 $TS=-1, 0, 1$ 视为满意,那么满意率大于 80% 的 $ET^*=18.0\sim31.8\text{ }^{\circ}\text{C}$; 若以 $TC=0, 1$ 视为满意,则没有满意率大于 80% 的情况出现。此外, $TS=-1, 0, 1$ 的投票百分率随 ET^* 的变化并不明显,这些说明了人们对温度的接受范围很广,但并不代表热舒适或稍不舒适;人们由于生活习惯和心理的调节,对环境的接受能力很强。

按性别统计,采集样本 $TS=-1, 0, 1$ 及 $TS=0$ 时出现的百分率,如图 9 和图 10 所示。图中显示在温度较低时,男性选择较凉、适中、较暖的概率比女性高;而对于 $TS=0$ 的选择则无多大区别。

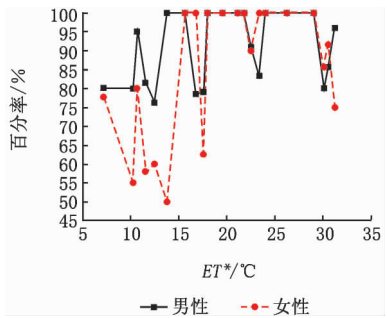


图 9 男性和女性 $TS=-1, 0, 1$ 的百分率

3 讨论

男女性别的差异造成热感觉、吹风感的投票值有所不同。在样本统计上因为男女样本数量不相

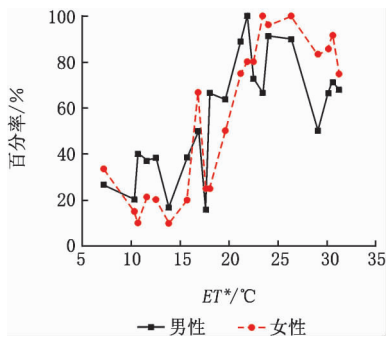


图 10 男性和女性 TS=0 的百分率

等,从而干扰了热感觉、吹风感的总平均值,对分析可能会造成一些影响。

4 结论

4.1 平均热感觉 $MTS=0$ 时, $ET^*=24.59^\circ\text{C}$, 男性 $ET^*=23.41^\circ\text{C}$, 女性 $ET^*=25.56^\circ\text{C}$ 。

4.2 在同样的情况下,女性的着衣量比男性稍大,女性的耐寒能力比男性弱,女性比男性对温度更敏感。

4.3 对于同样的风速,女性通常比男性的吹风感

更强些。而对于湿感觉,男女无较大的差异。

4.4 热感觉、湿感觉影响了热舒适的评价,但是热感觉和湿感觉趋于中性时,热舒适未必趋于中性,所以热舒适是一个复杂的评价指标,受环境因素和心理因素的共同影响。

4.5 从所有样本看,热感觉 $TS=0$ 的投票百分率是热舒适 $TC=0$ 的 4.09 倍, $TS=-1,0,1$ 的投票百分率是 $TC=0,1$ 的 1.55 倍,说明在稳态下热舒适比热中性的要求严格,热舒适指标比热感觉指标严格。

4.6 若把 $TS=-1,0,1$ 视为满意,那么满意率大于 80% 的 $ET^*=18.0\sim31.8^\circ\text{C}$, 比 ASHRAE 的舒适区范围要广,说明人们由于生活习惯和心理的调节,对环境的接受能力很强。

参考文献

- [1] 金招芬,朱颖心,亢燕铭,等. 建筑环境学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2001
- [2] Fanger P O. Thermal comfort [M]. Malabar: Robert E Krieger Publishing Company, 1982

· 封面广告说明 ·

劳特斯空调(江苏)有限公司

第三生产基地总占地 20 万 m^2 , 厂房面积 6 万 m^2 ,
投资额 2 200 万美元建设的轻钢结构厂房及相关配套设施:

一、加工制造装备

1. 钣金加工装备

1) 风机盘管专用钣金冲压生产线: 拥有自主知识产权的成套冷冲压装备 12 台套, 具有配套风盘钣金年生产能力 50 万套。

2) 数控钣金加工装备: 拥有瑞士 Raskin 等 3 个国家先进数控钣金设备 10 台套, 具有配套各类主机及大型末端钣金年生产能力 4 万套。

2. 喷涂装备

拥有中美合资“挣晨”全自动喷塑线生产线及浸塑生产线。具有配套空调钣金喷涂年生产能力 4 万套。

3. 高压聚氨酯发泡装备

拥有德国技术的自动高压聚氨酯发泡机, 具有配套末端产品面板年生产能力 4 万套。

4. 铜管加工设备

拥有中国台湾“和丰”数控弯管机等各类铜管加工设备 12 台套。具有配套各种主机用铜管 $\phi 180\sim\phi 6$ 加工年生产能力 2 万台套。

5. 翅片式换热器装备

拥有美国 OKA 及日本“日高精机”“微研”技术的翅片式换热器生产设备 12 台套。具有生产 $\phi 9, \phi 52$ 及 $\phi 16$ 各种规格翅片换热器年生产能力 50 万台。

6. 套管式换热器

拥有自主知识产权的套管换热器生产技术, 具有配套套管式换热器年生产能力 2 万套。

二、装配制造装备

1. 风机盘管组装机生产线

拥有国内领先水平的自动流水作业组装机生产线 2 条, 具有组装各类风机盘管年生产能力 50 万台。

2. 末端组装机生产线

拥有国内领先水平 62 m 流水作业组装机生产线 2 条, 具有净化风机盘管、柜式风机盘管及组合式空调年生产能力 4 万台。

3. 风管机组装生产线

拥有国内领先水平 62 m、氨质谱检漏、在线检测功能的流水作业组装机生产线 2 条, 具有各种规格风管机年生产能力 5 万台。

4. 水管机组装生产线

拥有国内领先水平 62 m、氨质谱检漏、自主知识产权的在线检测功能的流水作业组装机生产线, 具有各种规格水管机年生产能力 8 000 台。

5. 风冷模块机组生产线

拥有国内领先水平 62 m、氨质谱检漏、在线检测功能的流水作业组装机生产线, 具有四规格模块机年生产能力 6 000 台。

6. 水冷螺杆机组生产线

拥有国内领先水平 62 m、氨质谱检漏、全性能试验及在线检测功能的流水作业组

装生产线, 具有水冷螺杆机年生产能力 2 000 台。

三、检测、试验装备

拥有合肥通用机械研究院设计, 国家压缩机制冷设备质量监督检测中心审核、检验、认可, 国家标准计量院标定的总规模全球前四甲, 国际领先, 目前国内行业最大、性能最全的综合中心试验室之一, 并辅以配套的各种制冷零部件性能检测装备:

- 1) 32 kW 焓差综合性能试验室;
- 2) 105 kW 焓差综合性能试验室;
- 3) 800 kW 风冷综合性能试验室;
- 4) 450 rt 水冷综合性能试验室;
- 5) 噪声性能试验室;
- 6) 10 万风量测量装置;
- 7) 组空调漏风量测量装置。

劳特斯中央空调

LOTUS CENTRAL AIR CONDITIONING

中国区销售服务中心

地址: 中国南京洪武路 359 号福鑫国际大厦 9 层

电话: +86 25 84577550 84577552

84577556 84577558

传真: +86 25 84577551

HTTP://WWW.LOTUSAC.COM.CN

E-mail: SALES@LOTUSAC.COM