



中华人民共和国国家标准

GB/T 33658—2017

室内人体热舒适环境要求与评价方法

Thermal comfort requirements and evaluation for indoor environment

2017-05-12 发布

2017-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国人类工效学标准化技术委员会(SAC/TC 7)提出并归口。

本标准起草单位：中国标准化研究院、青岛海尔空调器有限总公司、中标能效科技(北京)有限公司、北京航空航天大学、清华大学、中国建筑科学研究院、中国航天员训练中心、广东威凯检测技术研究院、广东美的制冷设备有限公司、珠海格力电器股份有限公司、大金(中国)投资有限公司、宁波奥克斯空调有限公司、四川长虹空调有限公司、TCL 空调器(中山)有限公司、广东欧科空调制冷有限公司。

本标准主要起草人：赵朝义、呼慧敏、付裕、张新起、张佳崢、齐云、邵光达、丁立、邱义芬、王瑞、徐伟、李正、张万欣、王涛、吴志东、张桃、陈超新、胡明霞、张建强、白韡、吉昌琪、张波、陈军。

室内人体热舒适环境要求与评价方法

1 范围

本标准规定了室内人体热舒适环境的技术要求和评价方法。

本标准适用于日常工作和生活的中等热条件下室内热环境的设计和评价,也可用于房间空气调节系统热舒适性评价。电影院、医院等特殊条件下的人体热舒适环境要求可参照本标准使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5701 室内热环境条件

GB/T 7725 房间空气调节器

GB/T 10000 中国成年人人体尺寸

GB/T 18048 热环境人类工效学 代谢率的测定

GB/T 18049 中等热环境 PMV 和 PPD 指数的测定及热舒适条件的规定

ISO 7726 热环境人类工效学 物理量测量仪器(Ergonomics of the thermal environment—Instruments for measuring physical quantities)

3 术语和定义

GB/T 18049、GB/T 5701 和 ISO 7726 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热环境 thermal environment

影响人体换热的环境特性。

[GB/T 5701—2008,定义 3.7]

3.2

热舒适 thermal comfort

表示对热环境的主观满意程度,通过主观评价进行评定。

[GB/T 5701—2008,定义 3.4]

3.3

预计平均热感觉指数 predicted mean vote

PMV

大样本人群通过 7 点热感觉量表(见表 1)进行表决的平均值。

表 1 热感觉量表

量表	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
感觉描述	热	暖	稍暖	适中	稍凉	凉	冷

[GB/T 5701—2008, 定义 3.19]

3.4

垂直空气温差 vertical air temperature difference

室内环境达到热稳定状态后,垂直方向上存在的空气温差。

3.5

吹风感指数 draught rate

DR

由于气流带走人体热量所导致的不满意人群的百分数。

3.6

温度均匀度 temperature evenness

室内环境达到热稳定状态后,在同一时刻,不同测点温度的差异状况。

3.7

热稳定状态 thermal stable state

在约 1 h 的时间间隔内,每 20 min 计算一次室内所有测点的平均值,连续 3 个平均值的差值不大于 1 °C 时的热环境状态。

3.8

温度波动 temperature fluctuation

室内环境达到热稳定状态后,规定时间段内室内温度的变化幅度。

3.9

等效空间温度 space equivalent temperature

假想的风速为零、包裹壁和内部空气具有均匀温度的空间温度,在该空间内,加热的全尺寸人体形状的感测器通过辐射和对流换热的干热与其在实际非均匀环境内的换热量相同。

3.10

额头高度 height of forehead

在坐姿或立姿状态下,从眉间点(两眉之间的中心点)到水平地面的垂直距离。

4 技术要求与评分

4.1 热环境参数要求与评分

4.1.1 温度波动

室内热环境稳定后,按照第 5 章给出的方法,测量采集时间内各检测点的温度值。

单个测点 j 的温度波动($T_{t,j}$)用该测点温度在采集时间内的标准偏差表示,见式(1)。

$$T_{t,j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_t} (t_i - t_a)^2}{N_t - 1}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$T_{t,j}$ ——室内第 j 测点的温度波动值,单位为摄氏度(°C);

N_t ——在规定时间内测点记录的温度个数;

t_i ——该测点的瞬时温度,单位为摄氏度(°C);

t_a ——该测点在采集时间内的平均温度,单位为摄氏度(°C)。

$$t_a = \frac{\sum_{i=1}^{N_t} t_i}{N_t}$$

整个室内环境的温度波动($T_{f, \text{whole}}$)为所有测点温度波动的平均值,见式(2)。

$$T_{f, \text{whole}} = \frac{\sum_{j=1}^{M_i} T_{f, j}}{M_i} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

M_i ——室内温度测点总数。

室内环境达到热稳定状态后,在1 h内环境温度波动值($T_{f, \text{whole}}$)应不大于2 °C。室内环境温度波动依据式(3)进行评分。

$$R_{Tf} = 5 - 2.857(T_{f, \text{whole}} - 0.6) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

R_{Tf} ——室内环境温度波动的得分;当 $T_{f, \text{whole}} \leq 0.6$ °C, $R_{Tf} = 5$;当 $T_{f, \text{whole}} > 2$ °C, $R_{Tf} = 1$ 。

4.1.2 温度均匀度

室内热环境稳定后,按照第5章给出的方法,测量采集时间内各检测点的温度值。按照式(4)计算第*i*时刻的瞬时室内温度均匀度。

$$T_{s, i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{M_i} (t_j - t_b)^2}{M_i - 1}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$T_{s, i}$ ——第*i*时刻的瞬时温度均匀度,单位为摄氏度(°C);

M_i ——室内温度测点总数;

t_j ——检测点*j*的瞬时温度,单位为摄氏度(°C);

t_b ——所有测点的瞬时平均温度,单位为摄氏度(°C)。

$$t_b = \frac{\sum_{j=1}^{M_i} t_j}{M_i}$$

整个室内的温度均匀度($T_{s, \text{whole}}$)为采集时间内瞬时温度均匀度的平均值,见式(5)。

$$T_{s, \text{whole}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} T_{s, i}}{N_i} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

N_i ——在规定时间内测点记录的温度个数。

室内环境达到热稳定状态后,温度均匀度($T_{s, \text{whole}}$)应不大于2 °C。室内环境温度均匀度依据式(6)进行评分。

$$R_{Ts} = 5 - 2.222(T_{s, \text{whole}} - 0.2) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

R_{Ts} ——室内环境温度均匀度的得分;当 $T_{s, \text{whole}} \leq 0.2$ °C, $R_{Ts} = 5$;当 $T_{s, \text{whole}} > 2$ °C, $R_{Ts} = 1$ 。

4.1.3 垂直空气温差

室内热环境稳定后,按照第5章给出的方法,测量采集时间内人员坐姿状态下的头和脚踝部位置处检测点的温度值。由于头和脚踝部位置处垂直空气温差导致室内人员的不满意百分率(PD)用式(7)(参见ISO 7730:2005)计算。

$$PD_j = \frac{100}{1 + \exp(5.76 - 0.856 \times \Delta t_{a, v})} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

PD_j ——在第*j*条垂直线上的头和脚踝部垂直空气温差导致的不满意率, %;

$\Delta t_{a,v}$ ——同一条垂直线方向上,头和脚踝部位置处在采集时间内的平均垂直空气温差[见式(8)],单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$),式(7)仅适用于 $\Delta t_{a,v} < 8^{\circ}\text{C}$ 时。

$$\Delta t_{a,v} = \frac{\sum_{i=1}^{N_t} (t_{\text{head},i} - t_{\text{foot},i})}{N_t} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

N_t ——在规定时间内测点记录的温度个数;

$t_{\text{head},i}$ ——第 i 时刻的头部测点温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

$t_{\text{foot},i}$ ——第 i 时刻的脚踝部测点温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

室内环境的垂直空气温差导致的不满意率(PD_{whole})为所有垂直线上头和脚踝部位置测点组的不满意率的平均值,见式(9)。

$$\text{PD}_{\text{whole}} = \frac{\sum_{j=1}^L \text{PD}_j}{L} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

PD_{whole} ——室内环境的垂直空气温差导致的不满意率, %;

L ——室内垂直测量线的总数。

室内环境达到热稳定状态后,由于垂直空气温差导致的不满意率(PD_{whole})应不大于 20%。垂直空气温差依据式(10)进行评分。

$$R_{T_v} = 5 - 0.235(\text{PD}_{\text{whole}} - 3) \dots\dots\dots (10)$$

式中:

R_{T_v} ——室内环境头和脚踝部位置垂直空气温差的得分;当 $\text{PD}_{\text{whole}} \leq 3$, $R_{T_v} = 5$;当 $\text{PD}_{\text{whole}} > 20$, $R_{T_v} = 1$ 。

4.1.4 吹风感指数

室内热环境稳定后,按照第 5 章给出的方法,测量采集时间内各检测点的温度值和风速。按照式(11)计算检测点 j 在采集时间内的局部吹风感指数(DR)(参见 ISO 7730:2005)。

$$\text{DR}_j = (34 - t_a) (v_a - 0.05)^{0.62} (0.37 \times v_a \times T_u + 3.14) \dots\dots\dots (11)$$

式中:

DR_j ——第 j 检测点的吹风感指数,若 $\text{DR}_j > 100\%$,则取 $\text{DR}_j = 100\%$;

t_a ——局部平均空气温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

v_a ——局部平均空气流速,单位为米每秒(m/s);若 $v_a \leq 0.05 \text{ m/s}$,则取 $v_a = 0.05 \text{ m/s}$;

T_u ——局部紊流强度,%,即为局部空气流速的标准差与局部平均空气流速之比[见式(12)],在 10%~60%之间,若未知,可取 40%。

$$T_u = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_v} (v_w - v_a)^2}{N_v - 1}}}{v_a} \times 100 \dots\dots\dots (12)$$

式中:

N_v ——在规定时间内测点记录的风速个数;

v_w ——第 i 时刻的局部瞬时空气流速,单位为米每秒(m/s)。

室内环境的吹风感指数取所有检测点的局部吹风感指数的平均值(DR_{whole}),见式(13),室内环境的吹风感指数应不大于 40%。

$$\text{DR}_{\text{whole}} = \frac{\sum_{j=1}^{M_t} \text{DR}_j}{M_t} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

DR_{whole} ——室内环境的吹风感指数, %;

M_i ——室内吹风感指数检测点总数。

室内环境吹风感指数依据式(14)进行评分。

$$R_{\text{DR}} = 5 - 0.133(DR_{\text{whole}} - 10) \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

R_{DR} ——室内环境吹风感指数的得分;当 $DR_{\text{whole}} \leq 10$, $R_{\text{DR}} = 5$; 当 $DR_{\text{whole}} > 40$, $R_{\text{DR}} = 1$ 。

4.1.5 预计平均热感觉指数(PMV)

室内热环境稳定后,选取坐姿活动状态(办公室、居所、学校、实验室)下的人体代谢率(70 W/m^2),选择穿衬裤、短袖衬衫、轻便裤子、薄短裤、鞋时的服装热阻(0.50 clo),或选择穿衬内裤、衬衫、裤、夹克、袜、鞋时的服装热阻(1.00 clo),按照第5章给出的方法,测量采集时间内各检测点的温度、湿度和风速等参数值。参照附录A中的方法,考虑中国人体热舒适特性,计算出检测点的PMV,室内环境的PMV取所有检测点PMV的平均值。

针对不同活动状态和着装情况,在计算PMV时,可根据实际情况参照附录B选取服装热阻,参照附录C选取不同活动代谢率。

当PMV值确定后,使用式(15)计算室内人员对该热环境的预计不满意率(PPD)。

$$\text{PPD} = 100 - 95 \times \exp(-0.03353 \times \text{PMV}^4 - 0.2179 \times \text{PMV}^2) \quad \dots\dots\dots(15)$$

室内环境的PMV应在(-1, +1)范围内,即室内环境的预计不满率(PPD)应不大于25%。室内环境PMV依据式(16)进行评分。

$$R_{\text{PMV}} = 5 - 0.211(\text{PPD} - 6) \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

R_{PMV} ——室内环境PMV的得分;当 $\text{PPD} \leq 6$, $R_{\text{PMV}} = 5$; 当 $\text{PPD} > 25$, $R_{\text{PMV}} = 1$ 。

4.2 暖体假人评价要求与评分

参见附录D中要求的暖体假人的等效空间温度 $t_{\text{eq, whole}}$ 进行热环境舒适性评价。将标定好的假人置于5.1规定的暖体假人检测位置,测试假人头、左右上臂、左右前臂、左右手、背部、胸部、臀部、左右大腿、左右小腿、左右足等部位温度及加热热流,待室内环境达到热稳定状态,暖体假人满足附录D中的控制要求后,记录采集时间内的测试数据。等效空间温度与人体热感觉的关系取决于人体活动水平及着装状况。室内活动时,代谢率取 70 W/m^2 , 着装热阻取 0.50 clo 和 1.00 clo 两种状态。暖体假人的等效空间温度 $t_{\text{eq, whole}}$ 按式(17)进行计算:

$$t_{\text{eq, whole}} = t_{\text{sk, whole}} - \frac{Q_{\text{whole}}}{h_{\text{cal, whole}}} \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中:

$$t_{\text{sk, whole}} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{\text{sk}, i} \times A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$Q_{\text{whole}} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$t_{\text{eq, whole}}$ ——暖体假人面积加权平均等效空间温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

Q_{whole} ——暖体假人的面积加权加热热流率,单位为瓦每平方米(W/m^2);

$h_{\text{cal, whole}}$ ——暖体假人表面与环境间的换热系数,在标准均匀热环境中测定(参见附录D),单位为瓦每平方米摄氏度 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$];

- i —— 暖体假人分段号, $n=16$;
- $t_{sk,i}$ —— 暖体假人分段 i 的表面温度, 单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- Q_i —— 暖体假人分段 i 的加热热流, 单位为瓦每平方米(W/m^2);
- A_i —— 暖体假人分段 i 的表面积, 单位为平方米(m^2)。

等效空间温度计算式(17)中假人表面温度及加热热流的测试控制原理参见附录 D。

着装热阻取 0.50 clo 时, 暖体假人的等效空间温度 $t_{eq,whole}$ 应在 $23.3\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 28.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 依据式(18)进行评分; 着装热阻取 1.00 clo 时, 暖体假人的等效空间温度 $t_{eq,whole}$ 应在 $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 26.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 依据式(19)进行评分。

$$R_{teq,summer} = 5 - 1.905 \times |t_{eq,whole} - 25.9| \dots\dots\dots(18)$$

式中:

$R_{teq,summer}$ —— 着装热阻取 0.50 clo 时, 室内环境暖体假人评价得分; 若 $R_{teq,summer} > 5$, 则取 $R_{teq,summer} = 5$; 若 $R_{teq,summer} < 1$, 则取 $R_{teq,summer} = 1$ 。

$$R_{teq,winter} = 5 - 1.429 \times |t_{eq,whole} - 23.1| \dots\dots\dots(19)$$

式中:

$R_{teq,winter}$ —— 着装热阻取 1.00 clo 时, 室内环境暖体假人评价得分; 若 $R_{teq,winter} > 5$, 则取 $R_{teq,winter} = 5$; 若 $R_{teq,winter} < 1$, 则取 $R_{teq,winter} = 1$ 。

5 检测

5.1 检测点设置

5.1.1 检测点水平布置

检测点应选在室内人员已知或者预期所处的位置。在工作区域内选择有代表性的地点设置检测点。如果空间的使用布置无法预计, 可在房间的中心位置设置检测点。应在可能出现极端热参数的人员活动区域内设置检测点, 这样的区域可包括窗户附近、室内出口扩散处、角落和入口处等。相邻温度检测点间的距离应小于 0.5 m。

如果房间或热调节区域内湿度分布不存在显著差异, 被测房间或区域只需要测量一点的湿度即可。暖体假人检测点位置应位于室内中央或人员主要活动区域的中心附近。

5.1.2 检测点距地面高度布置

检测点距地垂直高度布置应考虑室内人员的不同活动姿势和人体尺寸。坐姿状况下温度和风速的测量高度应至少包括距地面垂直距离 0.10 m 和 0.90 m 处(0.10 m 是第 5 百分位中国女性脚踝高度, 0.90 m 是第 95 百分位中国男性坐姿额头高度); 而立姿状况下测量高度应至少包括距地面垂直距离 0.10 m 和 1.70 m 处(1.70 m 是第 95 百分位中国男性立姿额头高度)。中国成年人人体尺寸数据见 GB/T 10000。

5.2 测试用仪器仪表

测试用仪器仪表的特性应满足表 2 的要求, 其他测量仪器要求见 ISO 7726。

表 2 测试用仪器仪表的要求

测量项目	测量范围	准确度	响应时间	备注
空气温度	$0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 10\text{ s}$	—
辐射温度	$10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 10\text{ s}$	—

表 2 (续)

测量项目	测量范围	准确度	响应时间	备注
相对湿度	30%~70%	±5%	—	—
风速	0.05 m/s~5 m/s	±0.1 m/s	≤0.5 s	除非气流为单向,否则风速传感器应可以测量任意方向的风速

5.3 测试数据采集状态和时间

室内环境达到热稳定状态后,开始采集测试数据,各测点应采集 1 h 的温度、湿度、风速等测量参数,数据采集间隔时间应不大于 30 s。

5.4 房间空气调节器热舒适性检测

房间空气调节器热舒适性检测方法见附录 E。

6 评价

6.1 评分权重

室内热环境舒适性评价得分由热环境参数评价得分和暖体假人评价得分加权平均得到,评价项目的权重见表 3。

表 3 评价项目的权重

评价项目	权重/%
温度波动	15
温度均匀性	10
垂直空气温差	20
吹风感指数	15
PMV	30
暖体假人	10

6.2 热环境评级

根据第 4 章给出的计算方法,分别得出室内热环境参数评分和暖体假人评价得分。根据 6.1 中各评价项目的权重,进行加权求和,得出室内热环境舒适性评价得分。

室内热舒适性环境评价等级采用 5 星级制,5 星为最好。各星级室内热环境舒适性评价得分(得分的总分为 5.00 分)应符合表 4 中的规定。

表 4 室内热舒适环境评价星级

星级	评价得分
★★★★★	≥4.50
★★★★	4.00~4.49
★★★	3.50~3.99
★★	3.00~3.49
★	≤2.99

附 录 A
(资料性附录)
PMV 计算公式

PMV 可根据式(A.1)计算得出:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5\,733 - 6.99(M - W) - P_a] - \\ 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5\,867 - P_a) - \\ 0.001\,4M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times \\ [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} & \text{当 } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v_{ar}} \\ 12.1\sqrt{v_{ar}} & \text{当 } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290I_{cl} & \text{当 } I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} \\ 1.05 + 0.645I_{cl} & \text{当 } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} \end{cases}$$

PMV —— 预计平均热感觉指数;

M —— 代谢率,单位为瓦每平方米(W/m²);

W —— 外部做功消耗的热量(对于大多数活动可忽略不计),单位为瓦每平方米(W/m²);

P_a —— 水蒸气分压,单位为帕斯卡(Pa);

t_a —— 空气温度,单位为摄氏度(°C);

f_{cl} —— 着装时人的体表面积与裸露时人的体表面积之比;

t_{cl} —— 服装表面温度,单位为摄氏度(°C);

\bar{t}_r —— 平均辐射温度,单位为摄氏度(°C);

h_c —— 对流换热系统,单位为瓦每平方米摄氏度[W/(m²·°C)];

I_{cl} —— 服装热阻,单位为平方米摄氏度每瓦(m²·°C/W);

v_{ar} —— 空气流速,单位为米每秒(m/s)。

PMV 指数是从静止状态下得到的。在应用中,当一个或多个参数有微小变动时,可用参数的前 1 h 的时间加权平均数值,也能取得很好的近似结果。

建议只有当 PMV 值处于 -2~+2 时,才能使用 PMV 指数。

此外,当下列 6 种主要参数在以下范围时,可推荐使用 PMV 指数。

M=46.25 W/m²~232.60 W/m² (0.8 met~4 met)

I_{cl}=0 m²·°C/W ~0.31 m²·°C/W (0 clo~2 clo)

t_a=10 °C~30 °C

\bar{t}_r =10 °C~40 °C

v_{ar}=0 m/s~1 m/s

P_a=0 Pa~2 700 Pa

考虑到不同的工作类型,用附录 C 可估算代谢率。对于不同的代谢率,建议估算前 1 h 期间的时间加权平均值。用附录 B 可估算服装的隔热值,并要考虑一年中接触的时间。

附录 B
(资料性附录)
各类典型服装组合热阻

各类典型服装组合的热阻(I_{cl})可从表 B.1 中给出的数据直接估测。

表 B.1 服装的各种典型组合的热阻

工作服	I_{cl}		日常着装	I_{cl}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$		clo	$m^2 \cdot K/W$
内裤、锅炉服、袜、鞋	0.70	0.110	内裤、T 恤衫、短外衣、薄袜、便鞋	0.30	0.050
内裤、衬衫、裤、袜、鞋	0.75	0.115	内裤、衬裙、长袜、轻便女服有袖、便鞋	0.45	0.070
内裤、衬衫、锅炉服、袜、鞋	0.80	0.125	衬裤、短袖衬衫、轻便裤子、薄短裤、鞋	0.50	0.080
内裤、衬衫、裤、夹克、袜、鞋	0.85	0.135	内裤、长袜、短袖衬衫、裙、便鞋	0.55	0.085
内裤、衬衫、裤、罩衫、袜、鞋	0.90	0.140	内裤、衬衫、轻便长裤、袜、鞋	0.60	0.095
有短袖和短裤腿的内衣。衬衫、裤、夹克、袜、鞋	1.00	0.155	内裤、衬裙、长裤、连衣裙、鞋、内衣、衬衫、裤、袜、鞋	0.70	0.105
有短袖和短裤腿的内衣。衬衫、女裤、锅炉服、袜、鞋	1.10	0.170	内衣、衬衫、裤、袜、鞋	0.70	0.110
有长袖和长裤腿的内衣、保暖夹克、袜、鞋	1.20	0.185	内衣、毛衣与长裤、长短袜、运动鞋	0.75	0.115
有短袖和短裤腿的内衣。锅炉服、保暖夹克、袜、鞋	1.25	0.190	内裤、衬裙、衬衫、裙、厚的至膝袜、鞋	0.80	0.120
短袖和短裤腿的内衣。锅炉服、保暖夹克和裤、袜和鞋	1.40	0.220	内裤、衬衫、裙、圆领毛衣、厚的至膝袜、鞋	0.90	0.140
短袖短裤腿的内衣。衬衣、裤、夹克、保暖夹克和裤、袜、鞋	1.55	0.225	衬裤、短袖汗衫、衬衫、V 字领毛衣、袜、鞋	0.95	0.145
有短袖和短裤腿的内衣、衬衫、裤、夹克、厚填料外套夹克和工装裤、袜、鞋	1.85	0.285	衬内裤、衬衫、裤、夹克、袜、鞋	1.00	0.155
有短袖短裤腿的内衣。衬衫、裤、夹克、厚填料外用夹克和工装裤、袜、鞋、帽、手套	2.00	0.310	内裤、长袜、裙、衬衫、马甲、夹克	1.00	0.155
有长袖及长腿内衣。保暖夹克和裤、外用保暖夹克和裤、袜、鞋	2.20	0.340	内裤、长袜、女上衣、长裙、夹克、鞋	1.10	0.170

表 B.1 (续)

工作服	I_{cl}		日常着装	I_{cl}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$		clo	$m^2 \cdot K/W$
有长袖及长腿内衣。保暖夹克及裤、有厚填料风雪大衣、工装裤、袜、鞋、帽及手套	2.55	0.395	内衣、短袖汗衫、衬衫、裤、夹克、袜、鞋	1.10	0.170
			内衣、短袖衬衫、衬衫、裤、马甲、夹克、袜、鞋	1.15	0.180
			有长袖及长腿的内衣、衬衫、裤、V形领毛衣、夹克、袜、鞋	1.30	0.200
			有短袖及短裤腿的内衣、衬衫、裤、马甲、夹克、外衣、袜、鞋	1.50	0.230

附录 C
(资料性附录)
不同活动代谢率

不同活动的代谢率见表 C.1。代谢率较详细的信息见 GB/T 18048。

表 C.1 不同活动的代谢率

活 动	代 谢 率	
	W/m ²	met
斜倚	46	0.8
坐姿,放松	58	1.0
坐姿活动(办公室、居所、学校、实验室)	70	1.2
坐姿,轻度活动(购物、实验室工作、轻体力工作)	93	1.6
坐姿,中度活动(商店售货、家务劳动、机械工作)	116	2.0
平地步行		
2 km/h	110	1.9
3 km/h	140	2.4
4 km/h	165	2.8
5 km/h	200	3.4

附 录 D

(资料性附录)

暖体假人的控制原理与要求

D.1 暖体假人测试控制原理

暖体假人根据人体舒适状态下的热平衡方程进行控制,假人表面温度数值取决于人体与周围环境间的换热量。在不考虑人体对外做功情况下,人体舒适状态热平衡方程见式(D.1)、式(D.2)和式(D.3):

$$M = Q_t = Q_{res} + E_s + Q \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

$$Q_{res} = 1.7 \times 10^{-5} M(5\ 867 - P_a) + 0.001\ 4M(34 - t_a) \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

$$E_s = 3.05 \times 10^{-3} (5\ 733 - 6.99M - P_a) + 0.42(M - 58.15) \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

M ——人体代谢产热,单位为瓦每平方米(W/m^2);

Q_t ——人体与环境间的总换热,单位为瓦每平方米(W/m^2);

Q_{res} ——人体呼吸换热,单位为瓦每平方米(W/m^2);

E_s ——人体皮肤蒸发换热,单位为瓦每平方米(W/m^2);

Q ——人体与环境间的对流辐射换热,单位为瓦每平方米(W/m^2);

P_a ——环境水蒸气分压,单位为帕斯卡(Pa),取 1 500 Pa;

t_a ——空气温度,单位为摄氏度($^{\circ}C$),取 20 $^{\circ}C$ 。

由式(D.1)、式(D.2)和式(D.3)得到人体和环境间的总散热 Q_t 与人体和环境间的对流辐射换热 Q 间的关系见式(D.4):

$$Q_t = 1.96Q - 21.56 \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

舒适状态下人体平均皮肤温度 t_{sk} 与总散热 Q_t 间的关系见式(D.5):

$$t_{sk} = 35.77 - 0.028Q_t \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

由式(D.4)和式(D.5)得到人体平均皮肤温度 t_{sk} 与对流辐射换热 Q 之间的关系如式(D.6)所示:

$$t_{sk} = 36.4 - 0.054Q \quad \dots\dots\dots (D.6)$$

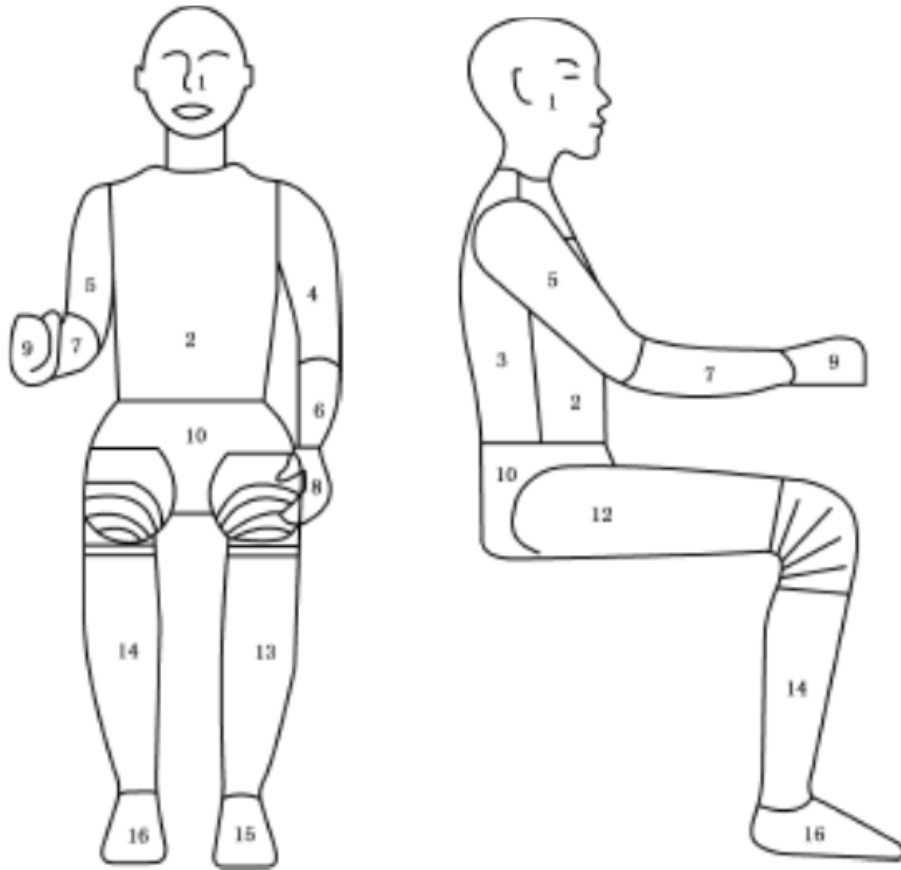
式(D.6)即为暖体假人表面温度的调节控制方程,暖体假人表面温度高低取决于假人与环境间的散热量或者是假人的加热功率。根据暖体假人各分段发热功率 Q_n 及表面温度 $t_{sk,n}$ 可以计算假人等效空间温度 $t_{eq,whole}$ 。

D.2 暖体假人构成

暖体假人按第 50 百分位中国成年男性人体尺寸制造,分为 16 个独立温度控制分段,如图 D.1 所示。暖体假人具有髌、膝、肘等活动关节,包括立姿及坐姿。

暖体假人每个分段均采用低压电源进行单独加热控制,并布置温度传感器测量表面温度,对于换热条件差别较大的分段应布置更多的传感器测量表面温度,如腿部、躯干以及臀部等位置。假人每个分段的加热热流与表面温度由计算机测量控制,控制模式见 D.1 中所述的舒适状态平衡方程。

由于辐射换热与测量表面的吸收率与发射率有关,因此假人表面应与实际人体表面的辐射特性近似。暖体假人着装或裸露表面应按实际人体模拟。



说明:

- | | | | |
|---------|---------|----------|----------|
| 1——头; | 5——右上臂; | 9——右手; | 13——左小腿; |
| 2——胸部; | 6——左前臂; | 10——臀部; | 14——右小腿; |
| 3——背部; | 7——右前臂; | 11——左大腿; | 15——左足; |
| 4——左上臂; | 8——左手; | 12——右大腿; | 16——右足。 |

图 D.1 暖体假人及其加热控制分段划分

D.3 暖体假人标定

D.3.1 表面温度标定

暖体假人在检测前及检测后需标定表面温度。表面温度在箱体或气候室中标定,采用均匀环境条件 $t_a = t_r = 34\text{ }^\circ\text{C} \pm 0.2\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta t_{0.1\text{ m} \sim 0.9\text{ m}} < 0.4\text{ }^\circ\text{C}$,其中 t_r 为环境辐射温度, $\Delta t_{0.1\text{ m} \sim 1.1\text{ m}}$ 为离地高度 0.1 m 及 0.9 m 处空气的垂直温差。

在整个测量范围内标定表面温度时,采用更高精度的基准仪器校准。暖体假人测量的面积加权平均表面温度与基准仪器测量结果的偏差应小于 $\pm 0.3\text{ }^\circ\text{C}$ 。

D.3.2 换热系数测量

暖体假人与环境间的换热系数 $h_{\text{cal, whole}}$ 在箱体或气候室中测定,采用均匀环境条件 $t_a = t_r = 24\text{ }^\circ\text{C} \pm 0.2\text{ }^\circ\text{C}$, $v_a \leq 0.05\text{ m/s}$, $\Delta t_{0.1\text{ m} \sim 0.9\text{ m}} < 0.4\text{ }^\circ\text{C}$,其中 v_a 为空气流速。

推荐在暖体假人检测前及检测后测定换热系数 $h_{\text{cal, whole}}$ 。

测量过程中传感器应布置在与暖体假人实际检测时同样的位置,假人放置方式应与实际检测时一

致,否则换热系数将产生变化。

暖体假人应坐在有网孔或类似的座椅上,以免由于座椅增大假人表面与环境间的热阻。假人同一分段上表面温度差别不能超过 3 ℃。

D.4 暖体假人技术要求

暖体假人主要用于测量室内环境的等效空间温度,表 D.1 列出了与测量有关的暖体假人技术要求及参数。

表 D.1 测量等效空间温度 $t_{eq, whole}$ 时暖体假人技术要求

因素	典型值/变量	要 求
服装	暖体假人着装应考虑宽松程度及热阻两个方面。由于假人用于室内中等热环境的评价,因此采用室内常见着装,同时为使重复性偏差最小,假人应穿紧身服装	夏季着装:短内衣、长袖衬衣、长裤、薄短袜及薄鞋(0.50 clo) 冬季着装:内衣裤、衬衫、裤、夹克、袜、鞋(1.00 clo)
恢复时间	指关断仪器电源 3 min 后再接通电源,稳定后的等效温度恢复到关断前相同等效温度平均值 ± 0.5 ℃范围所需要的时间。恢复时间取决于假人控制方式及传感器热容等	恢复时间 < 30 min
精度	指暖体假人测量的等效空间温度与实际均匀环境温度的偏差。精度取决于以下条件:表面温度、着装、假人尺寸、姿态及表面分区	允许精度 $< \pm 1.0$ ℃
重复性	指同一操作人员采用同样方法、同样仪器在同样环境中多次测量等效空间温度后产生的最大偏差	允许重复性 $< \pm 0.5$ ℃
复现性	指不同操作人员采用同样方法在同样环境中测量等效空间温度后产生的差别。两次测量应间隔一段时间,重新准备试验,并移动暖体假人	允许复现性 $< \pm 1.0$ ℃
分辨率	表面温度测量仪器的分辨率	允许分辨率 < 0.2 ℃
范围	包括测量温度范围及储存温度范围	测量温度范围: 0 ℃ $< t_{eq, whole} < 40$ ℃ 储存温度范围: 0 ℃ $< t_{eq, whole} < 50$ ℃

附 录 E (规范性附录)

房间空气调节器营造的室内环境热舒适性检测方法

E.1 范围

本附录规定了 GB/T 7725 范围内的房间空气调节器(以下简称空调器)所提供的室内环境热舒适性检测方法。

E.2 检测

E.2.1 检测条件

E.2.1.1 检测实验室

空调器热舒适性检测实验室分为内室和外室。内室中放置室内机的房间为内室 A,其余空间为内室 B。在内室 A 中进行空调器营造的环境热舒适性测试。外室放置室外机和环境控制机组,环境控制机组可控制环境的湿球温度和干球温度。

内室和外室之间的墙体为外壁,内室 A 和内室 B 之间的墙体为内壁,外壁和内壁的结构均为保温库板,厚度为数十毫米至 100 mm 左右(建议厚度为 50 mm~100 mm)。

内室 A 中除去天花板和地面,外壁面积占 50%、内壁面积占 50%,外壁设有窗户,外室和内室 B 与周围环境之间的墙体结构是保温库板。

为了对内室 A 进行热负荷控制,可在内室 A 天花板的四周设置开孔,从天花板背面导入的外室空气可以经过该开孔沿内室 A 的墙壁落下,由于该导入空气气流是沿着墙壁落下的,开孔距墙壁间的区域为非测试区域,该区域的温度不进行检测。同时在地面附近设置有充分面积的吸风口,以将开孔导入的空气排到外室,带走的热量为被测空调器额定能力的 70%。

内室 A 检测所需面积为与检测试验机匹配的代表性室内面积,高度为代表性的室内高度。

E.2.1.2 检测点设置

E.2.1.2.1 温度检测点

在水平的宽度方向,以内室 A 宽度的轴线为中心每隔一定间隔对称布置一个测温点,宽度方向布置 7 排或 9 排等奇数测温点;在水平的长度方向,用与水平的宽度方向同样方式布置测温点。墙面附近的非测试区域内不布置测温点。在垂直方向,从地面至天花板按照一定间隔的间距布置测温点,同时在距离地面 0.1 m 和距离天花板 0.1 m 处也应布置测温点,检测点在垂直方向的布置应考虑人员的不同活动姿势(如坐姿或立姿等)和人体尺寸,应在第 5 百分位中国成年女性脚踝高度、第 95 百分位中国成年男性坐姿和立姿的额头高度位置附近布置温度检测点,中国成年人人体尺寸数据参见 GB/T 10000。

温度检测点的设置示例如图 E.1 所示。

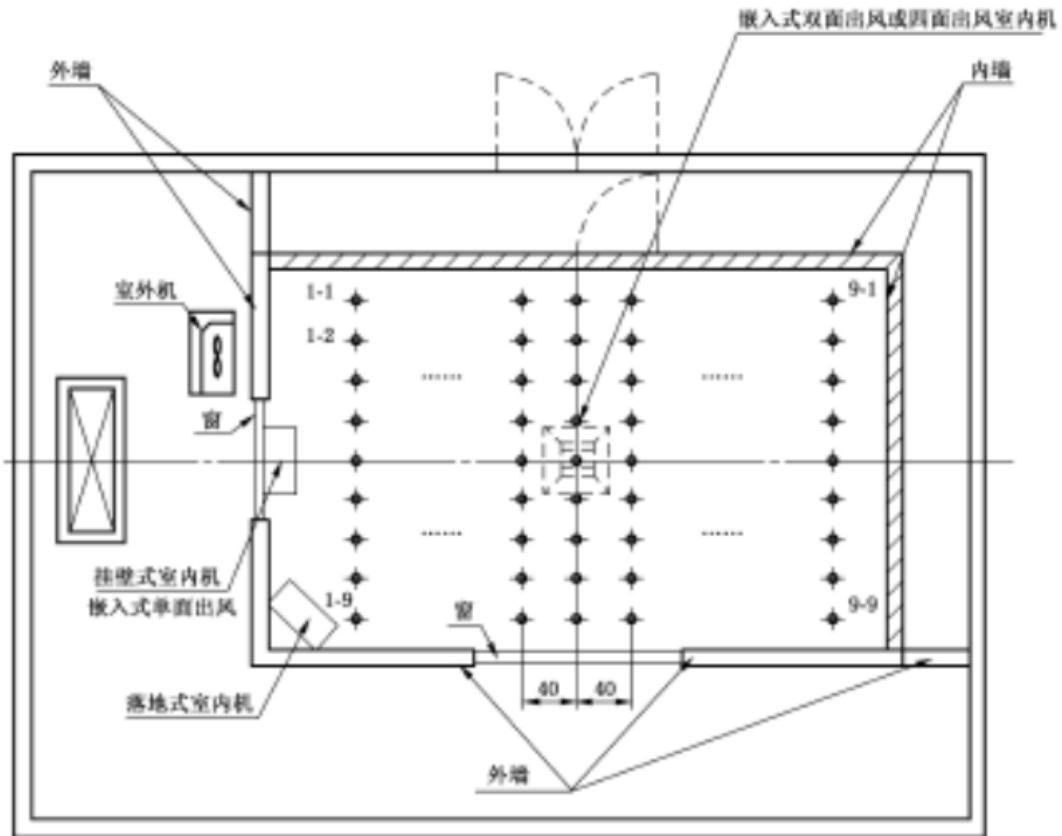


图 E.1 房间空调器舒适性检测实验室示意图

E.2.1.2.2 其他检测点

室内环境的风速检测点的垂直方向上,选取人体活动区域内的几个高度的检测点检测其风速(如成年男性坐姿时的头部、足踝部),每个高度的水平方向应选择数个检测点检测其风速。

室内环境的湿度检测点的垂直方向上,选取人体活动区域内的检测点检测其湿度(如成年男性坐姿时的头部),该高度的水平方向应选择数个检测点检测其湿度。

E.2.1.3 检测实验室工况

空调器热舒适性检测实验室工况如表 E.1 所示。被测空调器运转后外室的环境温度和湿度应维持表 E.1 所规定的要求。

表 E.1 检测实验室运行工况

序号	环境参数	设定值	
		制冷工况(夏季条件)	制热工况(冬季条件)
1	外室干球温度/℃	35±0.5	7±0.5
2	外室湿球温度/℃	24±0.5	6±0.5
3	热负荷/W	额定能力的 70%	

E.2.1.4 被测空调器安装

分体挂壁式被测空调器室内机安装在图 E.1 所示内室 A 外墙宽度方向中间位置处(与被测空调器室内机的出风口的中心对准),高度为 2.3 m(被测空调器室内机下沿距地面高度);分体落地式被测空调器室内机安装在靠近角落位置上(使样机能最近距离靠近墙角),室内机出风方向为房间远角;分体嵌入式单面出风被测空调器室内机安装在内室 A 的外墙宽度方向中间位置(与被测空调器室内机的中心点对准,如图 E.1 所示),高度方向安装到天花板;分体嵌入式双面出风或四面出风被测空调器室内机安装在内室天花板的中心位置,出风口与墙壁平行。被测空调器室外机安装在图 E.1 所示外室环境可控间室中。其他安装条件应按照 GB/T 7725 的相关规定执行。

E.2.1.5 被测空调器运行条件

被测空调器的运行按制造商推荐的条件进行设定;若制造商没有给出推荐值,则基本设定条件为:制冷工况时温度设定为 27 °C、制热工况时温度设定为 20 °C,风速设定为最大,上下导风板和左右导风板调至自动位置进行测试。

E.2.2 检测方法

原则上,当外室满足表 E.1 所规定的检测实验室外室运行工况,且内室 A 达到外室同样的运行工况且处于热稳定状态后,开始进行舒适性测试。被测空调器启动运行 2 h 或进入 5.3 所规定的稳定状态后,开始采集数据。数据采集间隔时间应不大于 30 s,数据采集时间为 1 h。