



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39605—2020

---

## 服装湿阻测试方法 出汗暖体假人法

Test method for measuring the evaporative resistance of clothing—  
Sweating manikin method

2020-12-14 发布

2021-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国纺织工业联合会提出。

本标准由全国服装标准化技术委员会(SAC/TC 219)归口。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准起草单位：苏州大学、北京邦维高科特种纺织品有限责任公司、上海纺织集团检测标准有限公司、苏州裂空科技有限公司、张家港市宏裕新材料有限公司、深圳市诗恩商业智能有限公司、温州市大荣纺织仪器有限公司。

本标准主要起草人：卢业虎、李秀明、杨秀月、陈国旗、周双喜、徐卫红、候贺萍、任玮、陈晓娜、张孟胜。

# 服装湿阻测试方法 出汗暖体假人法

## 1 范围

本标准规定了使用出汗暖体假人测试服装湿阻的术语和定义、测试原理、测试装置、试验步骤、湿阻计算及试验报告。

本标准适用于直立、静止状态下整套服装的湿阻测试。上装或下装的单独湿阻测试以及不同的风速、人体姿势和运动速度下服装湿阻的测试均可参照执行。

## 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 6529 纺织品 调湿和试验用标准大气

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 18398 服装热阻测试方法 暖体假人法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**整套服装 clothing ensemble**

按一定的次序穿在假人身上的一组服装。

### 3.2

**服装面积因子 clothing area factor**

$f_{cl}$

着装前后的假人人体表面积的比值。

### 3.3

**出汗暖体假人 sweating manikin**

模仿人体体型,具有出汗和加热功能,可以测量在稳态条件下通过服装的干态散热和蒸发散热的人体模型。

注:稳态条件指恒定的出汗率、热流量、人体表面和外界环境之间的温差。

### 3.4

**服装总湿阻 clothing total evaporative resistance**

$R_{et}$

水蒸气透过服装和周围边界空气层由人体向外部环境蒸发散热的阻力。

### 3.5

**服装固有湿阻 clothing intrinsic evaporative resistance**

$R_{ecl}$

水蒸气透过服装本体由人体向外部环境蒸发散热的阻力。

### 3.6

服装总热阻 clothing total thermal resistance

$R_{\text{t}}$

假人着装后通过服装和周围边界空气层由人体向外界环境干态散热的总阻力。

## 4 测试原理

在规定的温度、湿度和风速条件下,待环境条件稳定后将待测服装穿着在出汗暖体假人上,在试验条件达到稳态后,利用直立的出汗暖体假人测量服装的湿阻。服装的湿阻可以通过测量假人的功率消耗(方法 1)或测试通过服装传递的液态水的蒸发率(方法 2)来获得。

## 5 测试装置

### 5.1 出汗暖体假人系统

#### 5.1.1 出汗暖体假人

##### 5.1.1.1 出汗暖体假人的尺寸和外形应符合:

- a) 具有男性或女性的体型和尺码,处于直立状态,见图 1;
- b) 该假人应模拟人体的轮廓,应包括头、胸部、背部、腹部、臀部、手臂、手(宜包含可以伸展且可以戴手套的手指)、腿和脚;
- c) 假人的身高在 1.5 m~1.9 m 之间,总体表面积在 1.5 m<sup>2</sup>~2.1 m<sup>2</sup> 之间。

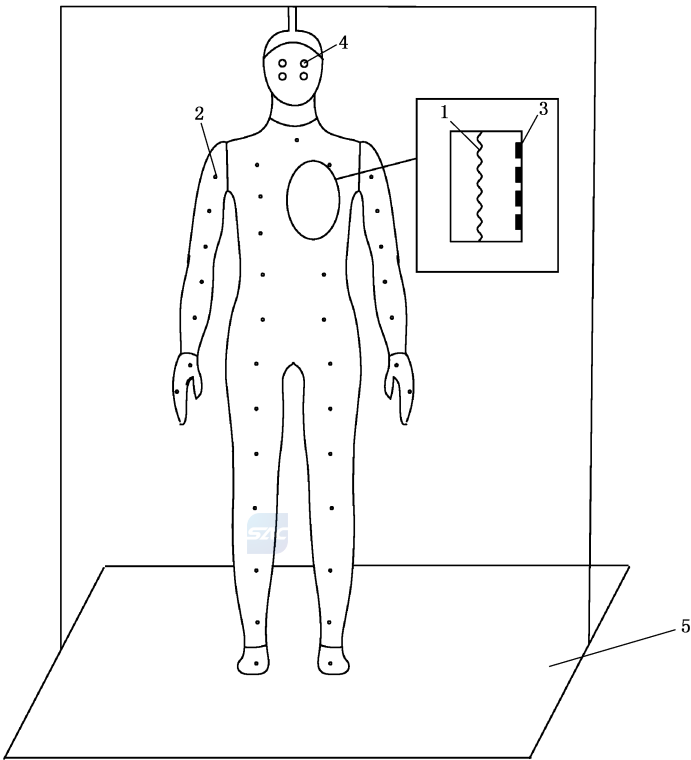
##### 5.1.1.2 出汗暖体假人具有可控和量化热流量的内部加热系统,假人表面平均皮肤温度应为(34±0.5)℃。

##### 5.1.1.3 出汗暖体假人应包含出汗系统,具备从表面蒸发水分的能力。

##### 5.1.1.4 测量出汗暖体假人表面平均皮肤温度应使用点式传感器或分布式温度传感器。应满足:

- a) 点式传感器厚度应不超过 2 mm,测量元件应连接到假人表面。引线应连接到假人表面和/或穿过假人内部。计算假人表面平均皮肤温度时,每个传感温度应按对应区域的面积进行加权。假人表面的温度传感器应不少于 15 个,且头,胸,背,腹部,臀部,左、右上臂、下臂,手,大腿,小腿和脚上应不少于 1 个传感器。每次试验中,传感器应放置在相同的位置,且应在报告中标明放置位置。
- b) 分布式传感器的直径应小于 1 mm,并牢固贴合在假人表面。分布式传感器应均匀分布在假人表面,以便所有区域的权重相等。如果使用多个分布式传感器测量身体不同区域温度,计算假人表面平均皮肤温度时应按不同区域的面积进行加权。





说明：  
1——加热系统；  
2——出汗系统；  
3——温度传感器；  
4——功率测量仪；  
5——质量测试系统。

图 1 出汗暖体假人测试系统

5.1.2 功率测量仪

采用散热法(或热量损失法)(方法 1)计算湿阻时,应实时测试假人消耗的功率。功率测量仪的测量精度应在±2%范围内。

5.1.3 质量测试系统

5.1.3.1 采用蒸发法(或质量损失法)(方法 2)计算湿阻时,使用一套质量测试系统测量由蒸发导致的质量损失,以便精确获得测试期间的蒸发量。质量测试系统的精度为 1 g,可以同时测量输入到假人体内的水的质量和假人体重的变化。

5.1.3.2 湿阻测量时,应使用集水盆储存假人身上滴下的水。为减少集水盆里的水分蒸发,应在集水盆中先放置石蜡。测试结束后,测量滴落的水的质量。

5.2 人工气候室

5.2.1 人工气候室的空间尺寸不小于 1.5 m(长)×1.5 m(宽)×2.5 m(高)(见图 2)。

5.2.2 环境参数在空间内的变化通过测量在假人放置处离地面 0.1 m、0.6 m、1.1 m、1.4 m 和 1.7 m 处的值来计算,相关环境参数应符合下列要求：

- a) 环境温度变化不大于  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度变化不大于  $5\%$ ；
- c) 平均风速变化不大于设定值的  $50\%$ ；
- d) 平均辐射温度与平均环境温度的差异应不大于  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

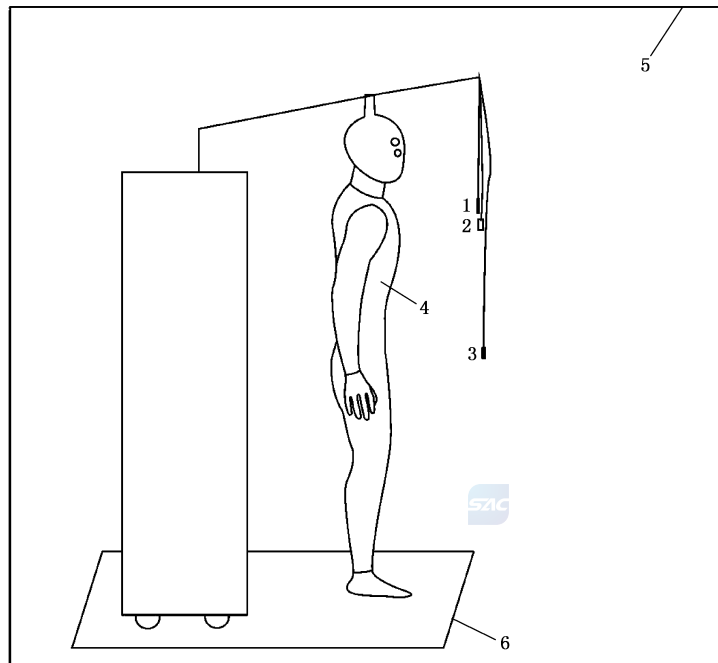
5.2.3 环境参数随时间变化应符合下列要求：

- a) 环境温度变化不大于  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 平均辐射温度变化不大于  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 相对湿度变化不大于  $5\%$ ；
- d) 每  $5\text{ min}$  的平均风速不超过设定值的  $20\%$ 。

5.2.4 应使用屏蔽式环境温度传感器测量环境温度，精度为  $\pm 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在湿阻测试期间，温度传感器应放置在距离假人  $0.5\text{ m}$  处。若采用单个的传感器测量环境温度，则传感器应离地面  $1\text{ m}$  以上；若使用多个传感器应以相等的高度间隔放置，并取其读数的平均值。

5.2.5 应使用相对湿度传感器测量人工气候室内的相对湿度，精度为  $\pm 5\%$  或重复性为  $3\%$ 。测试期间，应监测同一个位置的相对湿度，湿度传感器的位置要求与温度传感器相同（见 5.2.4）。

5.2.6 应使用非定向风速仪测量风速，精度为  $\pm 0.05\text{ m/s}$ ，每个位置的测量值应为至少  $1\text{ min}$  的平均值。测试期间，风速仪的位置要求与温度传感器相同（见 5.2.4）。



说明：

- 1——风速仪；
- 2——湿度传感器；
- 3——温度传感器；
- 4——出汗暖体假人本体；
- 5——人工气候室；
- 6——质量测试系统。

图 2 测试装置示意图

## 6 试验步骤

### 6.1 测试环境条件设定

6.1.1 在等温环境下测试时,环境温度为 $(34\pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ ,风速为 $(0.4\pm 0.1)\text{m/s}$ ,相对湿度为 $(40\pm 5)\%$ 。

注:等温环境指环境温度与假人表面皮肤温度相等。

6.1.2 在非等温环境下,服装湿阻的测试在模拟的实际环境条件下进行,包括环境温度、风速、相对湿度。

### 6.2 出汗暖体假人设定

#### 6.2.1 假人表面平均温度设定

在所有的测试中,假人表面平均皮肤温度应保持在 $(34\pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 范围内。在 30 min 的稳态测试内,假人表面平均皮肤温度的波动不应超过 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

#### 6.2.2 出汗率设定

假人的出汗率设定在  $400\text{ mL}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)\sim 1\,200\text{ mL}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  之间,应保证测试过程中假人全身各部位均为润湿状态,任何部位不应出现干燥现象。水分在供给假人前应加热到 $(34\pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 。

### 6.3 试验样品处理

6.3.1 测试用服装尺寸应与出汗暖体假人的尺寸相符。

6.3.2 当假人的测试结果用来比较服装材料的差异时,服装应采用相同的样版制作,测试应使用相同的服装搭配(例如内衣、鞋类等)。

6.3.3 当测量结果用来比较不同的服装时,应选择相同的服装号型。

6.3.4 按照 GB/T 6529 规定,试验前服装应在温度为 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度为 $(65\pm 4)\%$ 的标准大气环境中至少平衡 12 h。

## 6.4 测试方法

### 6.4.1 出汗暖体假人校准

每个系列服装测试开始之前应先对出汗暖体假人进行校准,校准程序详见附录 A。

#### 6.4.2 方法 1——散热法(或热量损失法)

6.4.2.1 测试服装湿阻前,应先测试服装总热阻( $R_{\text{t}}$ ),测试方法按 GB/T 18398 的规定执行。

6.4.2.2 按照测试要求设定测试环境条件包括温度、相对湿度和风速,详见 6.1。

6.4.2.3 待人工气候室内的温度、相对湿度和风速达到稳定状态后,润湿(例如喷雾)出汗暖体假人表面,直到假人表面处于饱和状态。

6.4.2.4 设定出汗暖体假人的表面平均温度、出汗率和供水温度,打开出汗暖体假人出汗功能,见 6.2。

6.4.2.5 先测试裸态出汗暖体假人湿阻( $R_{\text{ea}}$ )。

6.4.2.6 测得裸态出汗暖体假人湿阻( $R_{\text{ea}}$ )后,给出汗暖体假人穿上测试用服装,调整好假人姿势,使其手臂悬垂在两边。记录所有的服装状态和穿衣程序,例如,下摆位置和紧固件闭合状态,并且记录假人着装后的照片。

6.4.2.7 测试服装湿阻时,着装后假人表面平均皮肤温度应达到 $(34\pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ ,整个系统应达到稳定状态(即假人表面的平均皮肤温度和功率波动不大于 $\pm 3\%$ )。在测试过程中,应每分钟记录 1 次假人的功

率、皮肤温度和环境温度。数据记录至少持续 30 min,计算测量值的平均值。

#### 6.4.3 方法 2——蒸发法(质量损失法)

6.4.3.1 测试步骤同散热法,依次设定测试环境条件、润湿假人表面、设定出汗暖体假人的表面平均温度、出汗率和供水温度,打开出汗暖体假人出汗功能。

6.4.3.2 每个系列服装测试之前应先测试裸态出汗暖体假人湿阻( $R_{ea}$ )。

6.4.3.3 给假人穿上测试用服装,待整个系统达到稳定状态后(即假人的平均皮肤温度 and 蒸发率波动不大于 $\pm 3\%$ ),应每 3 min 记录 1 次蒸发率、皮肤温度和环境温度。数据记录至少持续 30 min,计算测量值的平均值。

6.4.3.4 试验结束后,称量集水盆内滴落的水的质量。

#### 6.4.4 重复测试

应进行 3 次独立重复服装测试。如果只有一套测试服装,则该套服装每次测试完应从假人身上脱下、晾干或干燥后再重新穿上后进行下次试验。

### 7 湿阻计算

#### 7.1 服装总湿阻 $R_{et}$

##### 7.1.1 方法 1——散热法(热量损失法)

采用并联法计算服装总湿阻值之前,对所有出汗部位的平均温度按面积加权后求和,对所有身体部位的功率按面积加权平均后求和,服装总湿阻的计算见公式(1)。

$$R_{et} = \frac{(P_{sk} - P_a) \times A}{\sum_i \alpha_i H_{e,i} - \frac{(\sum_i \alpha_i T_{sk,i} - T_a) \times A}{R_t}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$R_{et}$  ——服装总湿阻,单位为千帕平方米每瓦( $\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ );

$P_{sk}$  ——假人出汗表面的水气压,单位为千帕( $\text{kPa}$ );

$P_a$  ——服装表面流动空气的水气压,单位为千帕( $\text{kPa}$ );

$A$  ——假人表面出汗的面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ );

$\alpha$  ——假人身体部位的面积加权系数,无量纲;

$H_e$  ——假人出汗部位所消耗的功率,单位为瓦( $\text{W}$ );

$T_{sk}$  ——假人表面皮肤温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_a$  ——服装表面流动空气的环境温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );

$R_t$  ——服装总热阻,单位为摄氏度平方米每瓦( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ );

$i$  ——假人身体部位编号。

##### 7.1.2 方法 2——蒸发法(质量损失法)

##### 7.1.2.1 水分蒸发率的计算见公式(2)。

$$m_e = m_1 - m_d \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$m_e$  ——蒸发的水分,单位为克每分钟( $\text{g}/\text{min}$ );

$m_1$  ——假人系统减少的水分,单位为克每分钟( $\text{g}/\text{min}$ );



$m_d$ ——滴落的水分,单位为克每分钟(g/min)。

7.1.2.2 采用并联法计算服装总湿阻,见公式(3)。

$$R_{et} = \frac{(P_{sk} - P_a) \times A}{\frac{\lambda \times m_e}{60}} \dots\dots\dots (3)$$

- 式中:
- $R_{et}$  ——服装总湿阻,单位为千帕平方米每瓦(kPa·m<sup>2</sup>/W);
  - $P_{sk}$  ——假人出汗表面的水气压,单位为千帕(kPa);
  - $P_a$  ——服装表面流动空气的水气压,单位为千帕(kPa);
  - $A$  ——假人表面出汗的面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);
  - $\lambda$  ——被测皮肤表面温度下水分蒸发潜热,单位为焦耳每克(J/g)。

7.2 服装固有湿阻  $R_{ecl}$

服装固有湿阻的计算见公式(4)。

$$R_{ecl} = R_{et} - \frac{R_{ea}}{f_{cl}} \dots\dots\dots (4)$$

- 式中:
- $R_{ecl}$  ——服装固有湿阻,单位为千帕平方米每瓦(kPa·m<sup>2</sup>/W);
  - $R_{et}$  ——服装总湿阻,单位为千帕平方米每瓦(kPa·m<sup>2</sup>/W);
  - $R_{ea}$  ——裸态出汗暖体假人湿阻,单位为千帕平方米每瓦(kPa·m<sup>2</sup>/W);
  - $f_{cl}$  ——服装面积因子。

注:服装面积因子可依据 ISO 9920 中的相似服装估计或摄影法测得。

7.3 结果判定

- 7.3.1 两种方法计算的服装总湿阻值( $R_{et}$ )和服装固有湿阻( $R_{ecl}$ )均应取 3 次重复测试的平均值,测试结果按 GB/T 8170 修约至 3 位小数。
- 7.3.2 如果 3 次重复测试中任意 2 次结果的波动超过这 3 次的平均值的 10%,则应重复测试在±10%范围之外的样本。如果重测的值在±10%范围内,则用新的值代替;如果重测的值在±10%范围外,则应额外再测 3 次。

8 试验报告

- 8.1 服装湿阻的测试按本标准执行。
- 8.2 应列出如下信息:
- a) 标准编号和年代号;
  - b) 报告点式温度传感器的数量和位置;
  - c) 报告服装在等温或非等温环境下进行测试,在非等温环境下的测试,应报告测试环境的温、湿度;
  - d) 湿阻的测试方法:散热法(热量损失法)或者蒸发法(质量损失法);
  - e) 整套服装的信息(例如款式特点、组成和搭配),并记录服装状态和穿衣程序、假人着装后照片以及服装送样的件数;
  - f) 整套服装总湿阻( $R_{et}$ );

- g) 整套服装固有湿阻( $R_{\text{ecl}}$ )；
- h) 裸态出汗暖体假人湿阻( $R_{\text{ea}}$ )；
- i) 具体测试环境；
- j) 测试日期。



附 录 A  
(规范性附录)  
出汗暖体假人的校准

A.1 样品

- A.1.1 所用服装的尺寸应以校准的暖体假人为基准,应满足 6.3 的要求。
- A.1.2 校准的服装固有湿阻  $R_{\text{ecl}} = 0.016 \text{ kPa} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ ,面积因子  $f_{\text{cl}} = 1.22$ 。此服装的湿阻应定期测量。例如:在每个系列服装测试之前测量,且出汗暖体假人测试系统维修后均应校准。
- A.1.3 出汗暖体假人在校准过程中所穿着的服装为:
- a) 衬衫:克重为  $(203 \pm 10) \text{ g/m}^2$  的平纹织物,有两个胸袋的长袖衬衫(产自 Bulwark,代码为 #SND6NV),最上端的扣子需解开,下摆在裤子外面;
  - b) 裤子:克重为  $(203 \pm 10) \text{ g/m}^2$  的平纹织物,有两个侧口袋和两个背部口袋(产自 Bulwark,代码为 #PNW3NV);
  - c) 男士内裤:克重为  $(180 \pm 18) \text{ g/m}^2$ ,100%棉针织内裤,腰腿部紧贴人体;
  - d) 男士 T 恤:克重为  $(140 \pm 14) \text{ g/m}^2$ ,100%棉的针织短袖圆领 T 恤;
  - e) 男士袜:纬平针组织的针织袜子,长度延伸到小腿不超过 25.4 cm。每只袜子至少含 75%的棉,且每只质量应为  $(33 \pm 5) \text{ g}$ ;
  - f) 运动鞋:织物或软皮革加软鞋底。

A.2 校准流程

- A.2.1 使用等温条件下的测试程序校准出汗假人,设定测试环境条件包括温度、相对湿度和风速,见 6.1.1。
- A.2.2 待人工气候室内的温度、相对湿度和风速达到稳定状态后,润湿假人表面,直到假人表面处于饱和状态。
- A.2.3 设定出汗暖体假人的表面平均温度、出汗率和供水温度,打开出汗暖体假人出汗功能,见 6.2。
- A.2.4 设定好上述条件后,给假人穿上测试用服装,调整好假人姿势,使其手臂悬垂在两边。
- A.2.5 测试服装湿阻时,着装后假人表面平均皮肤温度应达到  $(34 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ ,整个系统应达到稳定状态(即假人的平均皮肤温度和功率波动不大于  $\pm 3\%$ )。在测试过程中,应每分钟记录 1 次假人的功率、皮肤温度和环境温度。数据记录至少持续 30 min。

A.3 结果判定

测试所得的服装固有湿阻值  $R_{\text{ecl}}$  应为  $(0.016 \pm 0.0016) \text{ kPa} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ 。如果测试所得的服装固有湿阻值超出此范围,应调整气候室和假人测试系统,重新校准。

参 考 文 献

- [1] ISO 9920 Ergonomics of the thermal environment—Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble
- [2] ASTM F2370-10 Standard test method for measuring the evaporative resistance of clothing using a sweating manikin
-