



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106539558 A

(43)申请公布日 2017.03.29

(21)申请号 201610880313.X

(22)申请日 2016.10.09

(71)申请人 西安工程大学

地址 710048 陕西省西安市金花南路19号

(72)发明人 王丽娟 狄育慧 尹慧 种鼎

(74)专利代理机构 西安弘理专利事务所 61214

代理人 杨璐

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

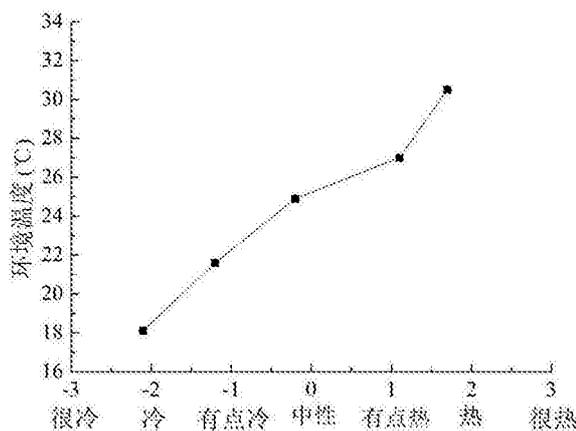
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法

(57)摘要

本发明公开的考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法,具体为:根据热量守恒得到人体皮肤表面对流散热、辐射散热、水分扩散散热和汗液蒸发散热之和等于人体皮肤层由内而外的导热与水分从人体内排到表面由于温降而携带的热量之和;得到修正后的当量热阻R表达式;设从人体排出的汗液无滑落全用于蒸发,皮肤扩散热量和汗液蒸发散热量等于从体内排出水分的汽化潜热量,根据该原理获得通过皮肤层排出的单位面积水流量 \dot{m} 、并根据现有技术得到皮肤扩散热量和汗液蒸发散热量;将 \dot{m} 以及皮肤扩散热量和汗液蒸发散热量代入修正后的当量热阻R表达式中得到修正后的当量热阻R。本发明的生物皮肤当量热阻计算方法得到皮肤当量热阻与实际规律一致。



1. 考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法,其特征在于,具体按照以下步骤实施:

步骤1、根据热量守恒,得到人体皮肤表面对流散热、辐射散热、水分扩散散热和汗液蒸发散热之和等于人体皮肤层由内而外的导热量与水分从人体内排到表面由于温降而携带的热量之和,具体算法如下:

$$q + E_{diff} + E_{rsw} = \frac{t_{in} - t_{skin}}{R} + \dot{m}c(t_{in} - t_{skin}) \quad (1);$$

式(1)中: q 表示人体皮肤表面对流散热量和辐射散热量总和, W/m^2 ; E_{diff} 表示人体皮肤水分扩散散热量, W/m^2 ; E_{rsw} 表示人体汗液蒸发散热量, W/m^2 ; t_{in} 表示人体皮肤层内侧温度, $^{\circ}C$; t_{skin} 表示人体皮肤表面温度, $^{\circ}C$; \dot{m} 表示通过皮肤层排出的单位面积水流量, $kg/s \cdot m^2$; c 表示水的比热,取 $4.2 \times 10^3 J/kg \cdot ^{\circ}C$, R 表示修正后的当量热阻;

步骤2、对经步骤1得到的算法进行变形处理,得到修正后的当量热阻 R ,其表达式具体如下:

$$R = \frac{t_{in} - t_{skin}}{q + E_{diff} + E_{rsw} - \dot{m}c(t_{in} - t_{skin})} \quad (2);$$

步骤3、经步骤2得到修正后的当量热阻 R 的表达式后,设定从人体排出的汗液没有滑落,全用于蒸发,则得到人体皮肤扩散热量和人体汗液蒸发散热量等于从体内排出水分的汽化潜热量,即为如下算法:

$$E_{diff} + E_{rsw} = \dot{m}r \quad (3);$$

在式(3)中, r 表示汽化潜热量, $2450 kJ/kg$; \dot{m} 表示通过皮肤层排出的单位面积水流量, $kg/s \cdot m^2$; E_{diff} 表示人体皮肤水分扩散散热量, W/m^2 ; E_{rsw} 表示人体汗液蒸发散热量, W/m^2 ;

对算法 $E_{diff} + E_{rsw} = \dot{m}r$ 进行变形整理,则得到通过皮肤层排出的单位面积水流量 \dot{m} 的算法如下:

$$\dot{m} = \frac{E_{diff} + E_{rsw}}{r} \quad (4);$$

皮肤扩散热量和汗液蒸发散热量分别为:

$$E_{diff} = 3.045(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) \quad (5);$$

$$E_{rsw} = \omega 16.7h_c(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) \quad (6);$$

在式(5)和式(6)中, p_a 表示皮肤周围环境的水蒸气分压力, kPa ; ω 为皮肤湿度, $\%$; h_c 表示对流传热系数, $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$;

步骤4、将步骤3中的人体皮肤扩散热量、汗液蒸发散热量及通过皮肤层排出的单位面积水流量与经步骤2得到的修正后的当量热阻 R 结合,并经过进一步整理后得到修正后的当量热阻,即为考虑到水分流失的生物皮肤当量热阻。

2. 根据权利要求1所述的考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法,其特征在于,在所述步骤1中人体皮肤表面对流散热量和辐射散热量总和 q 由热流密度传感器和数据采集器获得。

3. 根据权利要求1所述的考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法,其特征在于,所述步骤3具体按照以下方法实施:

将步骤3中的 $\dot{m} = \frac{E_{diff} + E_{rsw}}{r}$ 、 $E_{diff} = 3.045(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a)$ 以及 $E_{rsw} = \omega 16.7h_c(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a)$ 代入到经步骤2得到的表达式 $R = \frac{t_m - t_{skin}}{q + E_{diff} + E_{rsw} - \dot{m}c(t_m - t_{skin})}$ 中, 然后进行整理, 则得到如下算法: $R = \frac{t_m - t_{skin}}{q + 3.045(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) + \omega 16.7h_c(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) - \frac{c(t_m - t_{skin})(E_{diff} + E_{rsw})}{r}}$ 。

考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法

技术领域

[0001] 本发明属于生物当量热阻计算方法技术领域,具体涉及一种考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法。

背景技术

[0002] 在一般情况下,平面物体的热阻是根据傅里叶定律测试而得到的,即通过公式 $q = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t$ 得到,在该公式中: q 表示流过物体的热流密度, W/m^2 ; λ 表示物体的导热系数, $W/(m \cdot ^\circ C)$; δ 表示物体壁厚, m ; Δt 表示物体两侧表面的温差, $^\circ C$ 。根据上述公式,可导出该物体的热阻为: $R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\Delta t}{q}$,而此公式表明:只要测出流过物体的热流密度 q 和两侧温差 Δt ,就可以得到该物体热阻 R 。同理。若测得物体的厚度为 δ ,则可得到该物体的热导系数 λ 。

[0003] 目前,生物体皮肤层的热阻或导热系数也是根据 $R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\Delta t}{q}$ 间接测得。然而,这种方法并不能正确反映恒温生物的生理调节规律。如果环境温度降低,人体为了减少散热会进行血管收缩,因此皮肤层内毛细血管血流量减少,从而导致皮肤层的传热系数减小、当量热阻增大,但是基于公式 $R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\Delta t}{q}$ 所测试的当量热阻是减小的。相反,如果环境温度升高,人体为了增加散热会进行血管舒张,增加血管中血液流量,从而减小当量热阻,而公式 $R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\Delta t}{q}$ 所得结果是增加的。由此可见,目前测试生物体皮肤层当量热阻的方法是有一定缺陷的。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法,利用该方法计算出的生物皮肤当量热阻与实际规律一致,且能准确反应生物血管舒张或收缩。

[0005] 本发明所采用的技术方案是,考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法,具体按照以下步骤实施:

[0006] 步骤1、根据热量守恒,得到人体皮肤表面对流散热、辐射散热、水分扩散散热和汗液蒸发散热之和等于人体皮肤层由内而外的导热量与水分从人体内排到表面由于温降而携带的热量之和,具体算法如下:

$$[0007] \quad q + E_{diff} + E_{rsw} = \frac{t_{in} - t_{skin}}{R} + \dot{m}c(t_{in} - t_{skin}) \quad (1);$$

[0008] 式(1)中: q 表示人体皮肤表面对流散热量和辐射散热量总和, W/m^2 ; E_{diff} 表示人体皮肤水分扩散散热量, W/m^2 ; E_{rsw} 表示人体汗液蒸发散热量, W/m^2 ; t_{in} 表示人体皮肤层内侧温度, $^\circ C$; t_{skin} 表示人体皮肤表面温度, $^\circ C$; \dot{m} 表示通过皮肤层排出的单位面积水流量, kg/s 。

m^2 ; c 表示水的比热,取 $4.2 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, R 表示修正后的当量热阻;

[0009] 步骤2、对经步骤1得到的算法进行变形处理,得到修正后的当量热阻 R ,其表达式具体如下:

$$[0010] \quad R = \frac{t_{in} - t_{skin}}{q + E_{diff} + E_{rsw} - \dot{m}c(t_{in} - t_{skin})} \quad (2);$$

[0011] 步骤3、经步骤2得到修正后的当量热阻 R 的表达式后,设定从人体排出的汗液没有滑落,全用于蒸发,则得到人体皮肤扩散热量和人体汗液蒸发散热量等于从体内排出水分的汽化潜热量,即为如下算法:

$$[0012] \quad E_{diff} + E_{rsw} = \dot{m}r \quad (3);$$

[0013] 在式(3)中, r 表示汽化潜热量,2450kJ/kg; \dot{m} 表示通过皮肤层排出的单位面积水流量,kg/s $\cdot m^2$; E_{diff} 表示人体皮肤水分扩散散热量,W/ m^2 ; E_{rsw} 表示人体汗液蒸发散热量,W/ m^2 ;

[0014] 对算法 $E_{diff} + E_{rsw} = \dot{m}r$ 进行变形整理,则得到通过皮肤层排出的单位面积水流量 \dot{m} 的算法如下:

$$[0015] \quad \dot{m} = \frac{E_{diff} + E_{rsw}}{r} \quad (4);$$

[0016] 皮肤扩散热量和汗液蒸发散热量分别为:

$$[0017] \quad E_{diff} = 3.045(0.256t_{skin} - 3.37 - P_a) \quad (5);$$

$$[0018] \quad E_{rsw} = \omega 16.7h_c(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) \quad (6);$$

[0019] 在式(5)和式(6)中, P_a 表示皮肤周围环境的水蒸气分压力,kPa; ω 为皮肤湿度,%; h_c 表示对流传热系数,W/ $m^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

[0020] 步骤4、将步骤3中的人体皮肤扩散热量、汗液蒸发散热量及通过皮肤层排出的单位面积水流量与经步骤2得到的修正后的当量热阻 R 结合,并经过进一步整理后得到修正后的当量热阻,即为考虑到水分流失的生物皮肤当量热阻。

[0021] 本发明的特点还在于:

[0022] 在步骤1中人体皮肤表面对流散热量和辐射散热量总和 q 由热流密度传感器和数据采集器获得。

[0023] 步骤3具体按照以下方法实施:

[0024] 将步骤3中的 $\dot{m} = \frac{E_{diff} + E_{rsw}}{r}$, $E_{diff} = 3.045(0.256t_{skin} - 3.37 - P_a)$ 以及 $E_{rsw} = \omega 16.7h_c$

$(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a)$ 代入到经步骤2得到的表达式 $R = \frac{t_{in} - t_{skin}}{q + E_{diff} + E_{rsw} - \dot{m}c(t_{in} - t_{skin})}$ 中,然后进行整理,则得到如下算法:

$$[0025] \quad R = \frac{t_{in} - t_{skin}}{q + 3.045(0.256t_{skin} - 3.37 - P_a) + \omega 16.7h_c(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) - \frac{c(t_{in} - t_{skin})(E_{diff} + E_{rsw})}{r}}$$

[0026] 本发明的有益效果在于:

[0027] (1) 本发明考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法与现有方法相比有着明显的不同,充分考虑了生物体水分流动和蒸发的事实。

[0028] (2) 本发明考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法,能反映冷热环境下皮肤层的血管舒张和收缩的生理调节功能,更加真实可靠。

[0029] (3) 本发明考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法,简单易行,操作方法,弥补了目前测试生物体皮肤层当量热阻的方法的缺陷。

附图说明

[0030] 图1是实施例中人体热感觉随环境温度变化特性图;

[0031] 图2是皮肤当量热阻修正前随环境温度变化的曲线图;

[0032] 图3是皮肤当量热阻修正后随环境温度变化的曲线图。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明。

[0034] 分析生物皮肤层构造与一般物体构造的差异,发现一般物体表面散热方式只有对流和辐射这两种显热散热,而生物体表面的散热方式除了对流和辐射外,还有蒸发和扩散这两种潜热散热。目前,一般采用 $R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\Delta t}{q}$ 间接测量皮肤当量热阻的仪器,但只能测试显

热散热量,实际上仅采用 $R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\Delta t}{q}$ 就忽略了生物体潜热散热的特殊性。

热散热量,实际上仅采用 $R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\Delta t}{q}$ 就忽略了生物体潜热散热的特殊性。

[0035] 本发明考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法,(该方法只适用于有生理调节功能(血管舒张、收缩、排汗)的恒温生物),具体按照以下步骤实施:

[0036] 步骤1、根据热量守恒,得到人体皮肤表面对流散热、辐射散热、水分扩散散热和汗液蒸发散热之和等于人体皮肤层由内而外的导热量与水分从人体内排到表面由于温降而携带的热量之和,具体算法如下:

$$[0037] \quad q + E_{diff} + E_{rsw} = \frac{t_{in} - t_{skin}}{R} + \dot{m}c(t_{in} - t_{skin}) \quad (1);$$

[0038] 式(1)中:q表示人体皮肤表面对流散热量和辐射散热量总和, W/m^2 ; E_{diff} 表示人体皮肤水分扩散散热量, W/m^2 ; E_{rsw} 表示人体汗液蒸发散热量, W/m^2 ; t_{in} 表示人体皮肤层内侧温度, $^{\circ}C$; t_{skin} 表示人体皮肤表面温度, $^{\circ}C$; \dot{m} 表示通过皮肤层排出的单位面积水流量, $kg/(s \cdot m^2)$; c表示水的比热,一般取 $4.2 \times 10^3 J/(kg \cdot ^{\circ}C)$, R表示修正后的当量热阻;

[0039] 其中,人体皮肤表面对流散热量和辐射散热量总和q由热流密度传感器和数据采集器获得。

[0040] 步骤2、对经步骤1得到的算法进行变形处理,得到修正后的当量热阻R,其表达式具体如下:

$$[0041] \quad R = \frac{t_{in} - t_{skin}}{q + E_{diff} + E_{rsw} - \dot{m}c(t_{in} - t_{skin})} \quad (2)。$$

[0042] 步骤3、经步骤2得到修正后的当量热阻R的表达式后,设定从人体排出的汗液没有滑落,全用于蒸发,则得到人体皮肤扩散散热和人体汗液蒸发散热量等于从体内排出水分的汽化潜热量,即为如下算法:

$$[0043] \quad E_{diff} + E_{rsw} = \dot{m}r \quad (3);$$

[0044] 在式(3)中, r 表示汽化潜热量,2450kJ/kg; \dot{m} 表示通过皮肤层排出的单位面积水流量,kg/(s·m²); E_{diff} 表示人体皮肤水分扩散散热量,W/m²; E_{rsw} 表示人体汗液蒸发散热量,W/m²;

[0045] 对公式(3),即对算法 $E_{diff} + E_{rsw} = \dot{m}r$ 进行变形整理,则得到通过皮肤层排出的单位面积水流量 \dot{m} 的算法如下:

$$[0046] \quad \dot{m} = \frac{E_{diff} + E_{rsw}}{r} \quad (4);$$

[0047] 根据文献【Fanger,P.O.,1970.Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering.New York,McGraw-Hill.】【李百战,郑洁,姚润明,景胜蓝.室内热环境与人体热舒适,重庆:重庆大学出版社,2012】,其中记载皮肤扩散热量和汗液蒸发散热量分别为:

$$[0048] \quad E_{diff} = 3.045(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) \quad (5);$$

$$[0049] \quad E_{rsw} = \omega 16.7h_c(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) \quad (6);$$

[0050] 在式(5)和式(6)中, p_a 表示皮肤周围环境的水蒸气分压力,kPa; ω 为皮肤湿度,%; h_c 表示对流传热系数,W/(m²·°C)。

[0051] 步骤4、将步骤3中的人体皮肤扩散热量、汗液蒸发散热量及通过皮肤层排出的单位面积水流量与经步骤2得到的修正后的当量热阻 R 结合,并经过进一步整理后得到修正后的当量热阻,即为考虑到水分流失的生物皮肤当量热阻,具体方法为:

$$[0052] \quad \text{将步骤3中的 } \dot{m} = \frac{E_{diff} + E_{rsw}}{r}, E_{diff} = 3.045(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) \text{ 以及 } E_{rsw} = \omega$$

$$16.7h_c(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) \text{ 代入到经步骤2得到的表达式 } R = \frac{t_{in} - t_{skin}}{q + E_{diff} + E_{rsw} - \dot{m}c(t_{in} - t_{skin})}$$

中,然后进行整理,则得到如下算法:

$$[0053] \quad R = \frac{t_{in} - t_{skin}}{q + 3.045(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) + \omega 16.7h_c(0.256t_{skin} - 3.37 - p_a) - \frac{c(t_{in} - t_{skin})(E_{diff} + E_{rsw})}{r}}.$$

[0054] 本发明考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法所遵循的规律是热量守恒,从人体内导出的显热和水分流失带走的潜热等于皮肤表面向环境散热的总和(对流、辐射、扩散和蒸发)。本发明考虑水分流失的生物皮肤当量热阻获取方法中涉及的算法所遵循的热量守恒定律是科学中普遍认可的,基于该理论所推导的数学模型是可行的。本发明考虑水分流失的生物皮肤当量热阻获取方法为日后开发更准确的测量生物热阻的仪器提供理论基础。

[0055] 实施例:

[0056] 以人为例,分别测试不同环境温度下的热感觉(如图1所示)和皮肤表面特性,用于说明人体的真实生理情况;

$$[0057] \quad \text{然后,分别用公式 } R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\Delta t}{q} \text{ 和}$$

[0058] 如下公式：

$$[0059] \quad R = \frac{t_{in} - t_{skin}}{q + 3.045(0.256t_{skin} - 3.37 - P_a) + \omega 16.7h_c(0.256t_{skin} - 3.37 - P_a) - \frac{c(t_{in} - t_{skin})(E_{diff} + E_{rsw})}{r}}$$

[0060] 间接测量皮肤当量热阻，用于说明两种方法是否与事实相符，测试结果分别如图2和图3所示。

[0061] 为了充分激发人体生理调节机能，环境温度分别跨越了冷感觉区（18℃～23℃）、舒适区（24℃～26℃）和热感觉区（27℃～30.5℃），具体如图1所示；当环境温度低于22℃时，人体感觉有点冷；而低至18℃时，人体会明显的冷感（人明显感觉起鸡皮疙瘩），此时皮肤表面的毛孔会关闭，血管会收缩，为了减少散热，皮肤热阻应该增大。而图2表明：当环境温度在18℃～25℃变化时，皮肤当量热阻几乎不变，约为0.06（℃·m²）/W。也就是说修正前当量热阻没有反映血管收缩、起鸡皮疙瘩和毛孔关闭这一生理现象。如图3所示，表明：随着环境温度的降低，人体皮肤当量热阻缓慢增加，与真实生理现象一致。

[0062] 当环境温度高于29℃时，人体会明显感觉热，此时皮肤表面毛孔打开，血管舒张，为了增加散热，皮肤当量热阻应该减小。而修正前当量热阻，如图2所示，表明：温度越高，皮肤当量热阻越大，而且高达十几倍，这与真实情况不符。修正后的当量热阻，如图3所示，表明：温度越高，皮肤当量热阻越小，与实际生理调节规律相符。由此可见，修正后的皮肤当量热阻计算方法比较准确。

[0063] 本发明种考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法，利用该方法计算出的生物皮肤当量热阻与实际规律一致，且能准确反应生物血管舒张或收缩。

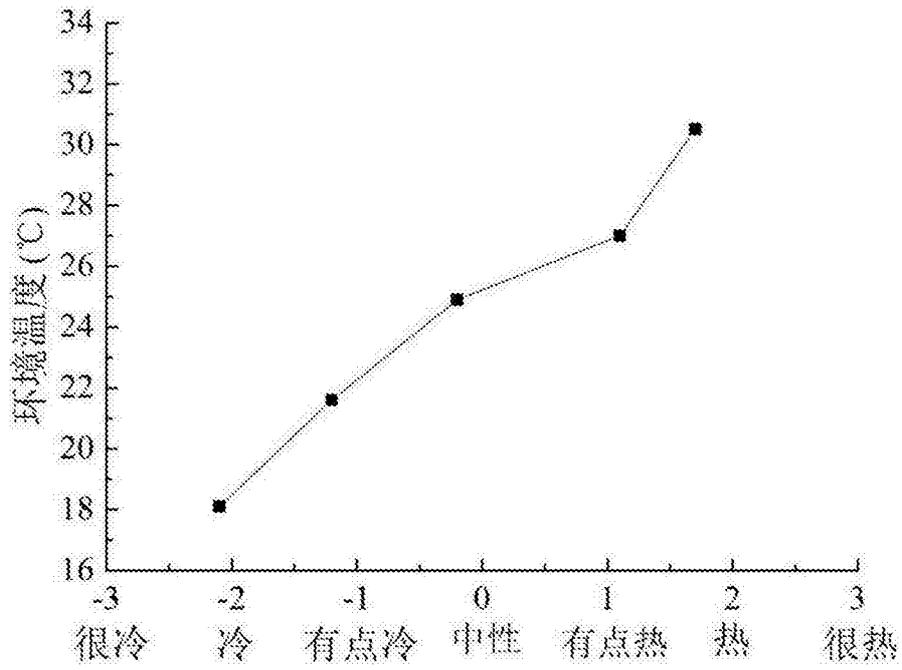


图1

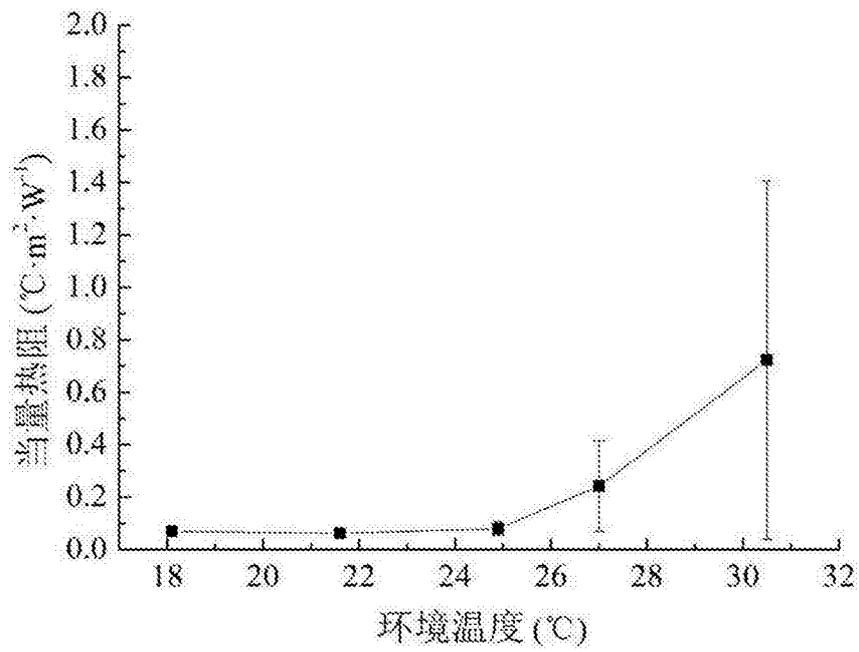


图2

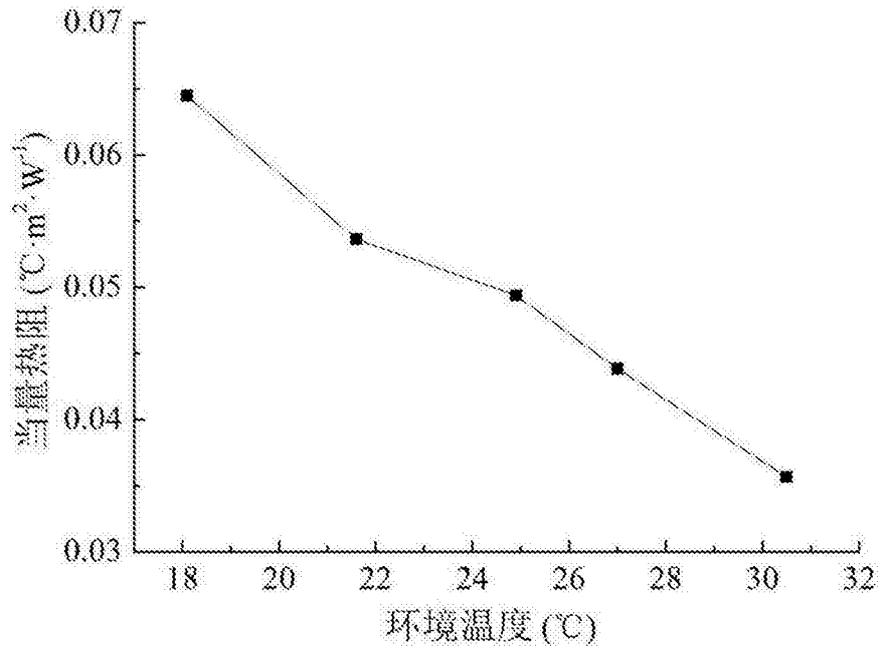


图3

专利名称(译)	考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法		
公开(公告)号	CN106539558A	公开(公告)日	2017-03-29
申请号	CN201610880313.X	申请日	2016-10-09
[标]申请(专利权)人(译)	西安工程大学		
申请(专利权)人(译)	西安工程大学		
当前申请(专利权)人(译)	西安工程大学		
[标]发明人	王丽娟 狄育慧 尹慧 种鼎		
发明人	王丽娟 狄育慧 尹慧 种鼎		
IPC分类号	A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/441 A61B5/72		
代理人(译)	杨璐		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开的考虑水分流失的生物皮肤当量热阻计算方法，具体为：根据热量守恒得到人体皮肤表面对流散热、辐射散热、水分扩散散热和汗液蒸发散热之和等于人体皮肤层由内而外的导热量与水分从人体内排到表面由于温降而携带的热量之和；得到修正后的当量热阻R表达式；设从人体排出的汗液无滑落全用于蒸发，皮肤扩散热量和汗液蒸发散热量等于从体内排出水分的汽化潜热量，根据该原理获得通过皮肤层排出的单位面积水流量并根据现有技术得到皮肤扩散热量和汗液蒸发散热量；将以及皮肤扩散热量和汗液蒸发散热量代入修正后的当量热阻R表达式中得到修正后的当量热阻R。本发明的生物皮肤当量热阻计算方法所得到皮肤当量热阻与实际规律一致。

