



探索织物动态透气性



信息速览

- 100% 羊毛内层服装在户外“动停”类运动中(例如徒步旅行、骑自行车和攀岩)提供更高的热舒适性,而这在这些运动的休息阶段最为明显,因为此时“运动后冷感”的感知最为明显。
- 研究表明,穿着羊毛的运动员维持体感温度平衡所需的能量比穿着其他天然混纺合成面料的运动员要少,因此运动员可以将更多的能量投入于运动和比赛。
- 应对ISO 11092测试方式的动态变量正在开发中,以便更紧密地模拟运动员在动停类运动中的体验。

什么是动态透气性？

人类和其他哺乳动物进化出适应极端自然环境的能力，包括火、雨、高温、潮湿和寒冷。我们所知的羊毛、羊绒、羊驼毛、骆驼毛和马海毛（以及人的头发）等结构复杂的蛋白质纤维，是大自然历经亿万年精心设计而成，旨在最大限度地提升在不断变化的环境条件下（例如体力活动、昼夜节律和季节变化）的热舒适性。哺乳动物物种的持续存在证明了这些纤维对使用者的成功。

徒步、骑行和攀岩等剧烈的户外运动也被称为“动停”类运动，因为它们需要高强度的体力消耗，随后是短暂的休息。动停类项目的运动员在活动阶段会出汗，汗水会被衣服吸收，在随后的休息阶段从衣服中排出——动停类运动的一个固有特征就是活动和休息的连续性。动停类项目的运动员对衣服的温度变化异常敏感，尤其在出汗阶段的升温和干燥阶段蒸发冷却之间的交替变化阶段。羊毛服装能够通过缓冲织物和皮肤之间的微气候来保持更稳定的热舒适性，这一点已得

到充分证实，并得到了运动员亲身体验后的认可，例如：

“羊毛在潮湿时仍能保持其保暖特性”

“我既不会感到冷，更重要的是，也不会感到热和出汗”

“即使湿了，它仍然能让你保持温度”

然而，由于缺乏合适的测试方法，户外服装设计者们使用“稳态”实验室设备来开发用于动停类项目的运动服装，即使这些设备并非用于稳态。因此，诸如 ISO 11092 “稳态条件下热阻和水蒸气阻测量”之类的织物测试方法无法有效区分用于动停运动服装的热舒适性。

我们着手探索这一知识差距，并开发 ISO 11092 测试方法的变量，以更准确地模拟运动员在动停运动中经历的动态阶段。

当前科学的结论

热舒适性指的是将体温维持在最佳水平（37 摄氏度±0.5 摄氏度），这不仅体现在稳定的环境中，也体现在周围环境（例如从热变冷）或身体代谢率（例如开始或停止运动）发生变化时。人类依靠衣物来调节体感温度，而羊毛比所有其他常见的服装纤维更能帮助维持衣物与身体之间稳定的微气候。

隔温和水蒸气管理这两种特性结合在一起，可以通过独立作用或组合作用为羊毛产品使用者带来一系列益处。

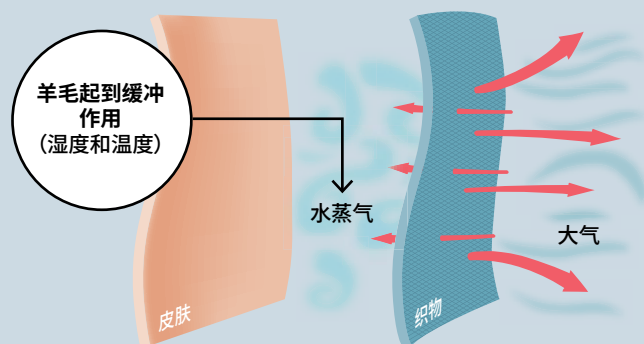


图 1 羊毛起到缓冲织物和皮肤之间动态微气候的作用

研究内容

北卡罗来纳州立大学是纺织领域的研究领导者，其首席研究员 Emiel Den Hartog 教授发表了 60 多篇关于纺织品及其对人类舒适度和幸福感的影响的论文。

最近完成的一项为期三年的博士研究遵循了结构化的研究流程，最终目标是开发一种更有意义的织物测试方法。研究使用了五种精心搭配、由不同纤维类型制成的织物，并通过现有的织物测试、动态出汗人体模型测试和人体试验对其进行评估。

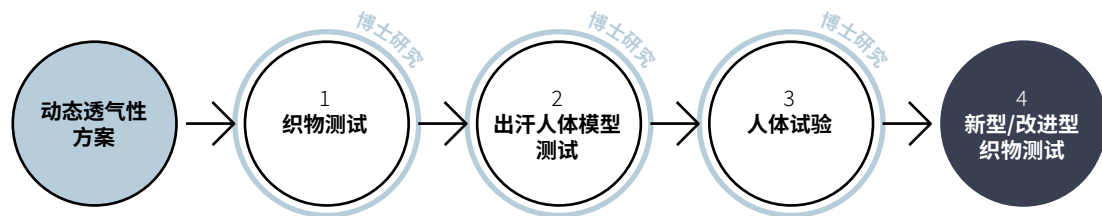


图 2 动态透气性研究流程
3 年博士研究 - 北卡罗来纳州立大学

第一阶段——面料测试

所有服装的主要功能，尤其是在户外和运动环境中，都是为了保护我们的健康和福祉。在这些环境中，人们经常活动，因此他们所穿的服装不仅要适应环境和气候，还必须能够适应人们活动量的变化。

我们可以通过测量纺织品的特性来确定特定最终用途的最佳纺织品，例如其控湿能力、对人体微气候以及整体环境相关的热量渗透性。这些特性通常被称为纺织品的“透气性”。

最值得关注的测试包括：

- 液体水分管理 - AATCC TM 195、AATCC 200 和 201、重量吸收试验、水平 (AATCC TM198) 和垂直 (AATCC TM197) 芯吸试验

- 耐热性和水蒸气管理 - ISO 11092。

所有这些测试都是为了测量稳态性能而设计的，这可能会提供误导性的结果，因为人类及其环境很少是静止的。

五种由不同纤维类型制成但质量和厚度非常接近的织物 (表 1) 接受了行业标准测试，包括重量吸收率、MMT 湿气管理 (AATCC 195) 和干燥速率 (AATCC TM201)。

毫不意外，由羊毛等动物纤维制成的纺织品，其设计目的是在动态情况下保护动物本身，但在这些静态测试中往往表现不佳。

更现实地说，纺织品的性能应该在“非静态”条件下进行评估，即我们应该测量它们的动态透气性——它们在随时间变化的温度和湿度条件下的热量和水分的传输特性。

实现这一目标的两种方法是出汗人体模型和人体试验，这两种方法既耗时又相对昂贵。

表 1 织物详情

序号	样品 ID	织物成分	织物结构	重量 [g/m ²]	厚度 [mm]	描述
1	WBT	100% 美丽诺羊毛	针织平针	213	0.69	疏水羊毛 (天然羊毛)
2	WLT	100% 美丽诺羊毛	针织平针	220	0.69	羊毛 - 亲水
3	CL	100% 纯棉	针织平针	188	0.65	亲水棉 (天然棉)
4	PLT	100% 涤纶	针织罗纹	199	0.69	涤纶-亲水
5	VB	100% 粘胶纤维	针织平针	204	0.67	粘胶纤维-亲水

第二阶段——人体模型研究

出汗人体模型研究可以为人类在精心管理的环境条件下对纺织品的体验提供有用的见解。

Abedin 和 DenHartog 于 2023 年进行的研究表明, 普通疏水性羊毛在从 45% 相对湿度 (RH) 环境过渡到 80% RH 时, 其热缓冲效率最佳, 比粘胶纤维高 26%, 比棉高 45%, 比涤纶高 96%。而在稳态测试中未观察到这种差异。

人体模型研究清楚地区分了羊毛通过抵消织物干燥的蒸发冷却效应在活动后休息阶段保持热舒适的潜力。

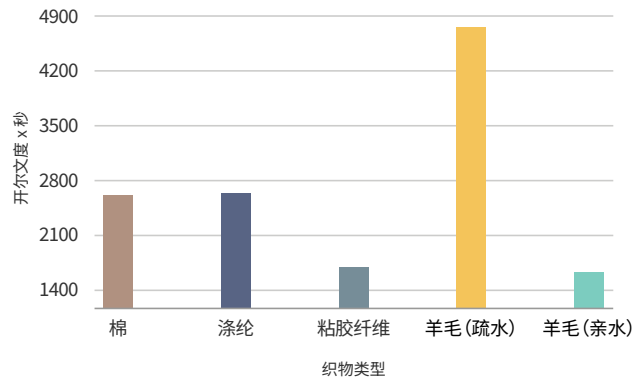


图3 冷却阶段的热量滞留

第三阶段——人体研究

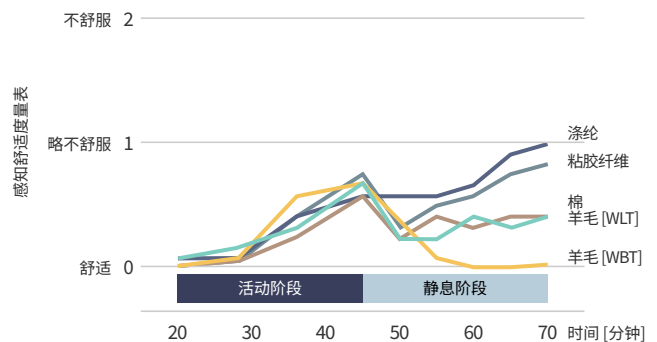
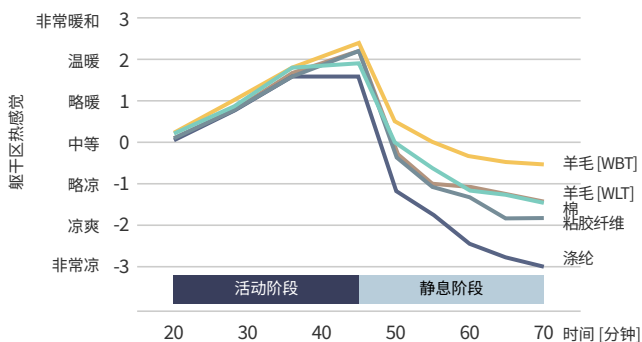


图4 在动停类运动中, 活动阶段和静态休息阶段的体感温度和舒适度感知评分随时间的变化

人体研究对于验证和阐释织物和人体模型测试中获得的客观证据至关重要。众所周知, 热舒适性与服装热阻 (Clo 值) 以及人体活动水平相关。对于给定的 Clo 值和活动水平, 存在一个最佳温度范围。对于穿着内层服装的运动员来说, 代谢率下降对舒适度的影响可能非常显著。身体必须利用储存的能量来产生热量, 以维持核心体温。

Abedin 和 DenHartog 2023 评估了人体受试者在温度和风力条件下进行一段时间运动, 然后休息一段时间后纺织品的性能, 模拟了动停运动的场景。

图 4 中的关键发现表明:

- 在活动阶段, 不同纤维在舒适度和体感温度方面没有显著差异;
- 只有羊毛在整个休息阶段保持了持续的舒适性, 其他所有纤维类型都会出现冷感;
- 不同纤维维持体感温度的性能差异持久存在, 25 分钟后仍存在差异。

第四阶段——开发一种新的、更简单、更便宜的动态透气性测试方法

常规使用人体模型和人体测试/试验是不经济的,因此需要采用替代方法来测量动态透气性。

现行标准方法为ISO 11092“稳定状态下热阻和水蒸气阻的测量”,该方法采用“出汗防护热板仪”装置。该方法经过修改,可用于评估功能性面料在动停活动中动态情况下的性能。

改进的方法需要在与评估场景相关的环境中操作出汗防护加热板,即适当的温度、相对湿度和气流(图5)。一项关键的调整是移除织物和加热板之间的标准半透膜,使一定量的液态水能够渗透到织物中。

亲水性(即吸水)织物表现出液态水的快速蒸发,如图6中观察到的聚酯纤维的热通量较高所示。相反,对于疏水性羊毛织物,液态水不会扩散,因此由于其与环境接触的表面积较小,蒸发速度较慢。

通过计算图6中曲线下的面积,我们可以估算出人体维持体感温度平衡所需的热量或能量。

鉴于能量管理在动停类运动中的重要性,区分需要运动员输入较少能量的面料非常重要。

穿着羊毛的运动员在活动和休息阶段维持热舒适所需的能量更少,综合能量消耗仅为所有其他纤维的一半或更少(图7)。

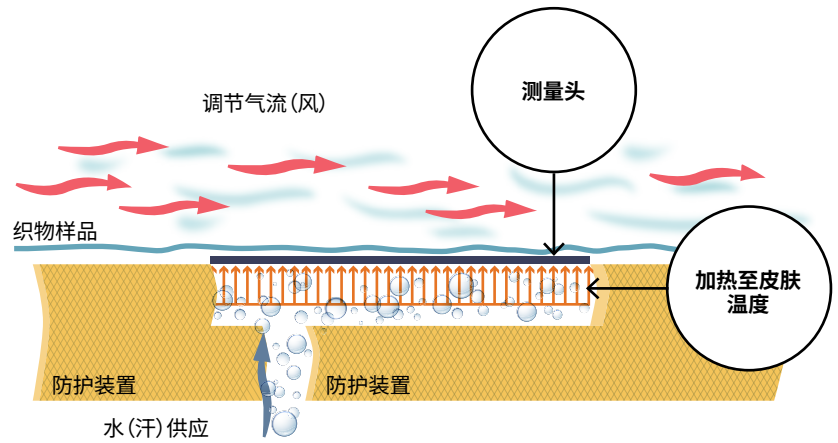


图5 改进型(无半透膜)出汗防护加热板

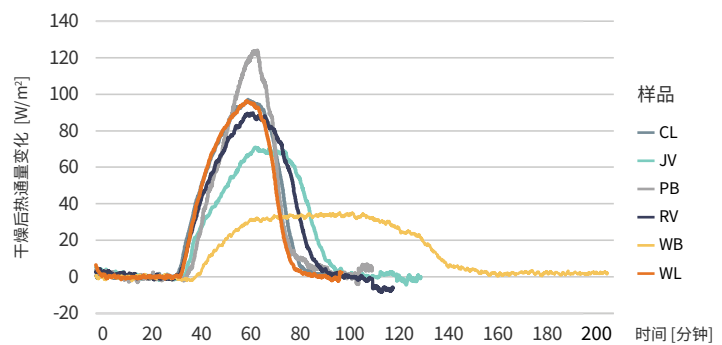


图6 6种纺织面料的热通量分布 (CL - 亲水性棉布, JV - 疏水性粘胶单面针织物, PB - 亲水性涤纶罗纹, RV - 疏水性粘胶罗纹, WB - 疏水性羊毛针织物, WL - 亲水性羊毛针织物)

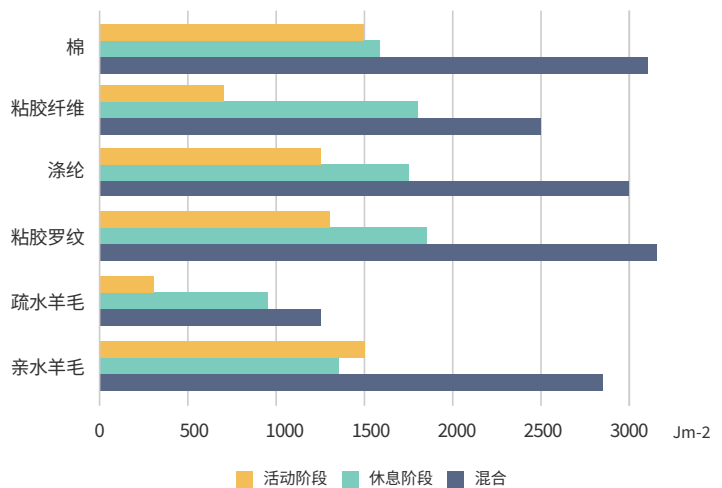


图7 30分钟活动和30分钟休息阶段的能量曲线



下一步

迄今为止，研究重点集中在一个场景：活动30分钟，休息30分钟。进一步的研究正在进行中，通过模拟走走停停运动中实际活动和休息时间的场景，评估三种纤维（羊毛、棉和涤纶）的保暖性能。

与此同时，重要的是开始与ISO 11092的负责机构合作，提出并鼓励对该方法进行动态变量修改。

概括

吸湿疏水纤维（例如羊毛）已被证明能够降低运动员的能量需求，并提升他们在动停类运动中的舒适度。

通过对出汗防护热板仪进行简单的改进，ISO 11092 标准方法可以测试纺织面料是否适用于注重节能和舒适的体育项目。

需要核心运动品牌的支持，以鼓励 ISO 机构更快地做出这些改变。

来源

- showed normal hydrophobic wool as best in buffering thermal change during transition from 45% relative humidity (RH) environment to 80% RH - showcasing a temperature buffering efficiency 26% superior to viscose, 45% superior to cotton, and 96% superior to polyester.

Abedin, Faisal, and Emiel DenHartog. "A new approach to demonstrate the exothermic behavior of textiles by using a thermal manikin: Correction methods of manikin model." **Polymer Testing** 128 (2023): 108195.

- no significant differences between fibres in perceived comfort or thermal sensation during the activity phase;
- only wool maintained ongoing comfort throughout the resting phase, with after-chill experienced for all other fibre types; and
- thermal performance differences are long-lived, with fibres still diverging after 25 minutes.

Abedin, Faisal, and Emiel DenHartog. "Clothing impact on post-exercise comfort: skin-clothing physiology in transient environment." **Ergonomics** (2023): 1-17.

- Fabric test methods such as ISO 11092 (Methods for the measurement of the thermal resistance and water-vapour resistance, under steady-state conditions) are consequently unable to effectively distinguish the thermal comfort performance of garments made from different fibre types

J. Huang, Sweating guarded hot plate test method, *Polymer Testing*, Volume 25, Issue 5, 2006, p709-716

- The ability of wool garments to maintain more stable thermal comfort by buffering the microclimate between the fabric and the skin is well documented.
- For an athlete wearing base-layer clothing, the effect of decreased metabolic rate on comfort can be dramatic. The body must create heat using stored energy reserves to maintain core body temperature.

Li, Y The Science of Clothing Comfort, *Text Prog* 31 2001 p 55

- Humans rely on clothing to help regulate their body temperatures and wool, more than all other common apparel fibres, helps maintain a more stable microclimate between the garment and the body.

Li, Y. Holcombe B. V. and Apcar F., Moisture buffering behaviour of hygroscopic fabric during wear, *Textile research Journal*, 1992, 619-627.

- The two properties of thermal insulation and moisture vapour management are coupled and can impart a series of benefits to users of wool products through acting independently or in combination

J. C. Barnes and B.V. Holcombe, Moisture Sorption and transport in clothing during wear, *Textile Research Journal*, 1996, 77-786.

"wool maintains its insulating properties when damp"

"I get neither cold, nor more importantly, hot and sweaty"

"It still keeps you warm even when wet"

<https://road.cc/content/feature/merino-wool-cycling-kit-really-sustainable-290265>