

高效节能型无纺布烘干设备及其智能控制方法研究

王如坚

金华鑫荣无纺布有限公司 321015

【摘要】在当今全球环保意识日益增强的背景下，无纺布作为一种重要的环保材料，在医疗、卫生、包装等多个领域得到了广泛应用。然而，传统的无纺布烘干设备在能耗、效率以及产品质量方面存在诸多不足，如能耗高、热效率低、烘干不均匀、飞毛残留等问题，这些问题不仅增加了生产成本，也限制了无纺布生产企业的可持续发展。针对上述问题，本文提出了一种新型高效节能型无纺布烘干设备及其配套的智能控制方法。通过在上壳体两端设置第一轴承安装往复丝杆，并设计辅助机构驱动刮水条进行动态清理，该设备有效解决了烘干腔内水滴与飞毛积聚的行业痛点。同时，结合智能温湿度控制算法和热回收系统，设备的综合能耗降低了30%，烘干效率提升了25%，无纺布含水率均匀性误差小于2%。本研究成果对于推动无纺布生产的绿色化、智能化进程具有重要的应用价值，有助于提升无纺布生产企业的竞争力和市场地位。

【关键词】无纺布烘干；节能技术；往复丝杆；刮水机构；智能控制；环保材料；热回收系统

Research on energy saving and efficient nonwoven fabric drying equipment and its intelligent control method

Wang Rujian

Jinhua Xinrong Nonwoven Co., LTD. 321015

【Abstract】In today's global context of increasing environmental awareness, nonwoven fabric, as an important eco-friendly material, has been widely applied in various fields such as medical care, hygiene, and packaging. However, traditional nonwoven fabric drying equipment falls short in terms of energy consumption, efficiency, and product quality, with issues like high energy use, low thermal efficiency, uneven drying, and residual lint. These problems not only increase production costs but also limit the sustainable development of nonwoven fabric manufacturing companies. To address these issues, this paper proposes a new type of high-efficiency energy-saving nonwoven fabric drying equipment and its accompanying intelligent control method. By installing a reciprocating screw at both ends of the upper shell and designing auxiliary mechanisms to drive the scraper for dynamic cleaning, the equipment effectively resolves the industry pain point of water droplet and lint accumulation in the drying chamber. Additionally, by integrating intelligent temperature and humidity control algorithms with a heat recovery system, the overall energy consumption of the equipment is reduced by 30%, drying efficiency is increased by 25%, and the moisture content uniformity error of nonwoven fabric is less than 2%. This research finding holds significant application value for promoting the greening and intelligence of nonwoven fabric production, helping to enhance the competitiveness and market position of nonwoven fabric manufacturing companies.

【Key words】non-woven fabric drying; energy saving technology; reciprocating screw; wiper mechanism; intelligent control; environmental protection materials; heat recovery system

1.引言

无纺布，作为一种新型的环保材料，凭借其独特的透气性、吸湿性、柔软性和抗菌性，在医疗、卫生、包装、建筑等多个领域展现出了广泛的应用前景。近年来，随着全球环保意识的增强，无纺布的市场需求持续攀升，对无纺布的生产质量和效率也提出了更高的要求。然而，传统的无纺布烘干设备在烘干过程中存在能耗高、效率低、飞毛残留等问题，这些问题不仅增加了生产成本，还严重影响了无纺布的产品质量和市场竞争力。据统计，无纺布的烘干工序在生产总能耗中占比高达40%以上，因此，如何改进烘干技术，提高烘

干效率，降低能耗，减少飞毛残留，已成为无纺布生产企业亟待解决的关键技术难题。

本研究致力于通过机械结构创新与智能控制技术的融合，研发一种高效节能型无纺布烘干设备及其配套的智能控制方法，旨在实现无纺布烘干效率与质量的双重提升，为无纺布生产的绿色化、智能化转型提供有力的技术支撑。通过本研究，我们期望能够显著降低无纺布烘干过程中的能耗，提高烘干效率，同时保证产品的质量和稳定性，为无纺布行业的可持续发展贡献力量。

2.设备结构设计创新

2.1 主体框架优化

针对传统无纺布烘干设备存在的热损失大、烘干不均匀等问题,本研究对设备主体框架进行了全面的优化设计。首先,我们采用了双层不锈钢壳体结构,内层设置了微孔陶瓷保温层,这种设计不仅提高了设备的整体强度和耐久性,还显著降低了热损失率。实验数据表明,相比传统单层结构,双层不锈钢壳体结构结合微孔陶瓷保温层的设计使得热损失率降低了18%以上。

其次,我们对烘干腔体的长宽比进行了精细的优化,以确保在无纺布输送速度1.5-2m/min的工业标准下,烘干腔内温度能够保持均匀性和稳定性。这一优化不仅提高了烘干效率,还避免了因温度分布不均而导致的烘干质量问题。

此外,我们还为设备配备了高效的进出料系统,该系统能够实现无纺布的连续、稳定烘干,避免了传统设备中因进出料不畅而导致的生产中断和能耗浪费。通过这一系列优化设计,我们成功打造了一款高效、节能、稳定的无纺布烘干设备。

2.2 动态清洁系统

传统无纺布烘干设备在烘干过程中,常常会因为水滴和飞毛的积聚而引发一系列问题,如滤网堵塞、能耗上升,甚至影响到烘干效率和无纺布的质量。为了解决这一难题,本研究团队经过深入研发,设计了一种具有创新性的动态清洁系统。该动态清洁系统主要由三部分组成:往复丝杆-刮水机构联动装置(即运动机构)、清洁组件以及收集系统。

(1) 运动机构: 两端第一轴承支撑的 $\phi 32\text{mm}$ 精密滚珠丝杆,配合0.5mm重复定位精度的伺服电机,实现了刮水条0-2m/s的无级变速。这种设计不仅提高了清洁效率,还确保了清洁过程中的稳定性和可靠性。

(2) 清洁组件: 高分子弹性刮水条与304不锈钢滤网形成 30° 接触角,双行程清理周期小于15s。刮水条采用高分子弹性材料制成,具有良好的耐磨性和耐腐蚀性,确保了清洁效果和使用寿命。同时,304不锈钢滤网具有优异的耐腐蚀性和过滤效果,有效防止了飞毛和水滴的积聚。

(3) 收集系统: V型导流槽+离心分离装置,飞毛收集效率达98.7%。通过V型导流槽的设计,将刮水条清理下来的飞毛和水滴引导至离心分离装置中,实现了飞毛的高效收集和處理。

2.3 热回收系统

为了进一步提高设备的节能效果,本研究还设计了一套热回收系统。该系统利用烘干过程中产生的废气余热,通过热交换器将其回收并重新利用于烘干过程中。热回收系统的应用不仅降低了能耗,还提高了设备的综合能效比。

在热回收系统中,我们采用了高效的热交换器作为核心部件。该热交换器具有传热效率高、结构紧凑、耐腐蚀性强等优点,能够确保废气余热的高效回收和利用。通过实验验证,我们发现热回收系统的应用使得废气余热回用率超过了65%,设备的综合能效比(COP)达到了4.2以上。这一成果不仅为无纺布烘干设备的节能降耗提供了新的解决方案,也为推动无纺布生产的绿色化进程做出了积极贡献。

3.智能控制系统设计

为了实现无纺布烘干的智能化控制,本研究设计了一套智能控制系统。该系统包括多参数感知网络、智能控制策略和人机交互界面三部分,能够实现对无纺布烘干过程的全面监控和精确控制。

3.1 多参数感知网络

为了实现无纺布烘干过程的精准控制,我们在设备内部部署了12组PT100温度传感器($\pm 0.1^\circ\text{C}$ 精度)和电容式湿度传感器($\pm 1.5\%\text{RH}$)。这些传感器能够实时监测烘干腔内的温度和湿度变化,并将数据实时传输给智能控制策略部分进行处理和分析。通过构建烘干腔三维温场模型,我们能够更加直观地了解烘干腔内的温度分布情况,为优化烘干工艺提供有力支持。

此外,我们还采用了先进的信号处理技术对传感器数据进行预处理和滤波,以提高数据的准确性和可靠性。通过这些措施,我们确保了多参数感知网络能够稳定、准确地为智能控制策略提供数据支持。

3.2 智能控制策略

(1) 动态温度控制: 基于物料含水率反馈的模糊PID算法,实现了分区温度调控误差 $< \pm 1.5^\circ\text{C}$ 。该算法能够根据无纺布的含水率变化实时调整烘干温度,确保了烘干过程的稳定性和均匀性。同时,通过模糊控制算法的应用,提高了系统的自适应能力和鲁棒性。

(2) 风速自适应调节: 根据无纺布克重($30\text{-}150\text{g}/\text{m}^2$)自动匹配风速($0.8\text{-}3\text{m}/\text{s}$)。通过实时监测无纺布的克重变化,智能控制系统能够自动调整风速大小,以确保无纺布在烘干过程中得到充分的热量传递和气流分布。这种设计不仅提高了烘干效率,还避免了因风速过大或过小而导致的烘干不均匀问题。

(3) 热回收优化: 废气余热回用率 $> 65\%$,综合能效比(COP)达4.2。通过热回收系统的应用,将烘干过程中产生的废气余热进行回收并重新利用于烘干过程中。这种设计不仅降低了能耗,还提高了设备的综合能效比和环保性能。

3.3 人机交互界面

为了方便用户操作和维护我们设计的高效节能型无纺布烘干设备,我们还精心打造了一套人机交互界面。这套界面采用了先进的触摸屏设计,不仅外观时尚、大方,而且具有直观、易操作的特点,让用户能够轻松地与设备进行交互。

通过这套人机交互界面,用户可以实时地查看设备的运行状态,包括烘干温度、湿度数据以及设备的工作模式等关键信息。同时,界面还会实时显示故障报警信息,一旦设备出现故障或异常情况,用户能够第一时间得知,并采取相应的处理措施,确保设备的正常运行。

除了实时查看设备状态外,该界面还支持远程控制功能。用户可以通过网络连接,远程对设备进行操作和控制,无需亲临现场即可调整设备的工作参数或进行其他设置。这一功能不仅提高了用户的使用便利性,还有助于用户更好地

管理和维护设备。

此外,人机交互界面还支持数据导出功能。用户可以将设备运行过程中产生的数据导出至外部存储设备或云端服务器,以便进行后续的数据分析和处理。这一功能为用户提供了更多的数据支持和决策依据,有助于用户优化设备的使用效率和维护计划。

在人机交互界面的设计中,我们充分考虑了用户的使用习惯和需求。通过合理的布局和简洁的操作流程,我们确保了用户能够轻松上手并快速掌握设备的操作方法。同时,我们还提供了详细的操作指南和维护手册,以帮助用户更好地了解设备的功能特点和使用方法,以及如何进行日常的维护和保养工作。相信这套人机交互界面将为用户带来更加便捷、高效的使用体验。

4.实验验证

为了全面验证本研究提出的高效节能型无纺布烘干设备及其智能控制方法的可行性和有效性,我们精心设计了实验验证环节。实验中,我们特意选用了 $25\text{g}/\text{m}^2$ 的纺粘无纺布作为测试材料,其初始含水率严格控制在 $65\% \pm 3\%$ 的范围内。随后,我们将这份测试材料分别放入传统蒸汽烘干设备和本研究自主研发的高效节能型无纺布烘干设备中进行烘干处理。在烘干过程中,我们密切关注并记录了两种设备的各项性能指标,包括烘干效率、能耗情况以及烘干后的无纺布质量等,并对这些指标进行了详细的对比和分析。

4.1 测试条件

实验过程中,保持两种设备的烘干温度、风速等参数一致,以确保实验结果的公正性和可比性。同时,为了准确测量无纺布的含水率和飞毛残留量等指标,采用了专业的测量仪器和设备进行测量和分析。

4.2 性能指标对比

参数	传统设备	本设备	提升幅度
吨布能耗 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)	285	198	30.5%
含水均匀性 (%)	± 5.2	± 1.8	65.4%
飞毛残留量 (g/m^2)	1.2	0.05	95.8%

通过对比传统蒸汽烘干设备和本研究提出的高效节能

型无纺布烘干设备的性能指标,可以得出以下结论:

(1) 吨布能耗:传统蒸汽烘干设备的吨布能耗为 $285\text{kW} \cdot \text{h}$,而本研究提出的高效节能型无纺布烘干设备的吨布能耗为 $198\text{kW} \cdot \text{h}$,降低了30.5%。这表明本研究提出的高效节能型无纺布烘干设备在能耗方面具有明显的优势。

(2) 含水均匀性:传统蒸汽烘干设备的无纺布含水均匀性误差为 $\pm 5.2\%$,而本研究提出的高效节能型无纺布烘干设备的无纺布含水均匀性误差为 $\pm 1.8\%$,提高了65.4%。这表明本研究提出的高效节能型无纺布烘干设备在烘干均匀性方面具有更好的性能。

(3) 飞毛残留量:传统蒸汽烘干设备的无纺布飞毛残留量为 $1.2\text{g}/\text{m}^2$,而本研究提出的高效节能型无纺布烘干设备的无纺布飞毛残留量为 $0.05\text{g}/\text{m}^2$,降低了95.8%。这表明本研究提出的高效节能型无纺布烘干设备在减少飞毛残留量方面具有显著的效果。

5.结论与展望

本研究通过机械结构与控制系统的协同创新,成功开发出了一种高效节能型无纺布烘干设备及其配套的智能控制方法。该设备采用双层不锈钢壳体结构和微孔陶瓷保温层设计,有效降低了热损失率;通过往复丝杆-刮水机构联动装置和收集系统的设计,有效解决了烘干腔内水滴与飞毛积聚的问题;结合智能温湿度控制算法和热回收系统,实现了无纺布烘干的智能化控制和高效节能。实验验证结果表明,该设备在能耗、烘干效率、含水均匀性和飞毛残留量等方面均优于传统蒸汽烘干设备。

未来,本研究将进一步优化设备的机械结构和智能控制策略,提高设备的可靠性和稳定性。同时,还将探索微波辅助烘干技术等新型烘干技术,以突破传统热传导效率极限,进一步提高无纺布烘干的效率和质量。此外,还将加强对无纺布烘干过程中废气排放和能源消耗等环保问题的研究,推动无纺布生产的绿色化、智能化进程。通过持续的技术创新和优化,为无纺布生产企业提供更加高效、节能、环保的烘干解决方案,助力无纺布行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 闫军, 连素军, 刘满意, 等.一种基于物联网的智能烘干箱设计[J].煤, 2021, 30(7): 71, 93.DOI: 10.3969/j.issn.1005-2798.2021.07.025.
- [2] 刘永福, 李东明, 王福顺, 等.基于 AT89C51 的烘干箱智能控制系统设计[J].微计算机信息, 2008, 24(29): 114-115, 135.DOI: 10.3969/j.issn.1008-0570.2008.29.045.
- [3] 刘福建, 卞晓静, 崔劲松, 等.纺织布烘干设备及湿度自动控制技术改进与应用[J].中国纤检, 2022(12): 102-104.DOI: 10.3969/j.issn.1671-4466.2022.12.032.
- [4] 曹国葳.烘干机械的研发中的节能策略[J].精品, 2022(6): 195-197.