

新型无纺布加热装置的结构设计与性能测试

王如坚

金华鑫荣无纺布有限公司 321015

【摘要】本文针对传统无纺布生产过程中存在的热能利用率低、烘干均匀性不足以及产品褶皱缺陷等突出问题，提出了一种集成热风循环系统、双面烘干结构和辅助平整模块的创新加热装置。通过分层式热风循环设计，实现了热量的分区管理，有效提高了热能利用效率。同时，采用上下对称式条形出风管，实现了材料的双面同步烘干，显著提升了烘干的均匀性。此外，结合三角形刮平板与多级吸水海绵组件，进一步优化了成品质量，减少了褶皱缺陷。实验结果表明，该装置相较于传统设备节能23.7%，含水率偏差降低至 $\pm 0.8\%$ ，产品平整度达到了标准的一级要求，具有显著的经济效益与工程应用价值。

【关键词】无纺布生产；热风循环；双面烘干；节能降耗；平整度控制

Structural design and performance test of the new non-woven cloth heating device

Wang Rujian

Jinhua Xinrong Non-woven fabric Co., LTD. 321015

【Abstract】In view of the outstanding problems of low heat energy utilization rate, insufficient drying uniformity and product fold defects in the production process of traditional non-woven fabric, this paper proposes an innovative heating device that integrates heat air circulation system, double-sided drying structure and auxiliary leveling module. Through the layered hot air cycle design, the heat partition management is realized, and the heat energy utilization efficiency is effectively improved. At the same time, the upper and lower symmetrical strip air duct is adopted to realize the double-sided synchronous drying of the material, which significantly improves the uniformity of drying. In addition, combining triangular scraping plate and multistage absorbent sponge components further optimizes the quality of the finished product and reduces the fold defects. The experimental results show that compared with the traditional equipment, the device saves 23.7%, the water content deviation is reduced to $\pm 0.8\%$, the product flatness reaches the first level requirements of the standard, and has significant economic benefits and engineering application value.

【Key words】non-woven fabric production; hot air circulation; double-sided drying; energy saving and consumption reduction; flatness control

1.引言

1.1 行业背景分析

近年来，随着全球经济的持续发展和人们生活水平的不断提高，无纺布作为一种新型环保材料，在医疗、卫生、包装、建筑等多个领域得到了广泛应用。据市场研究机构统计，2023 年全球无纺布市场规模已达 530 亿美元，且呈现出稳步增长的趋势。特别是在医疗和卫生用品领域，由于新冠疫情的推动，无纺布的需求量急剧增加，年增长率高达 8.2%。然而，传统无纺布生产过程中采用的热辊式加热方式存在传热效率低、易造成材料热应力变形等问题，严重影响了无纺布的生产质量和效率。

1.2 技术痛点

在传统无纺布生产过程中，由于采用单面加热方式，导致材料含水率偏差较大，通常超过 5%。这种含水率的不均匀分布不仅影响了无纺布的物理性能，还容易在后续加工过程中产生褶皱等缺陷。此外，开放式热风系统由于缺乏有效的循环机制，能耗损失高达 38%，严重增加了生产成本。同时，后处理过程中的褶皱率也较高，通常超过 12%，进一步降低了无纺布的产品质量和市场竞争力。

1.3 创新价值

为了解决上述技术痛点，本装置突破性地整合了三大核心模块：双区独立热风循环系统、正反向气流对冲烘干结构以及在线动态平整与湿度控制单元。通过这三大模块的有机结合，实现了无纺布生产过程中的高效、均匀烘干和在线平整控制，显著提高了无纺布的生产质量和效率。

2.整体架构

本装置的设计理念源于模块化思想，整体结构紧凑且布局合理，便于维护和管理。装置主要由三大部分构成：进料张力控制段、主加热舱和后处理冷却段。

2.1 进料张力控制段

进料张力控制段，作为无纺布进入加热装置前的一个至关重要的预处理环节，其设计和功能都显得尤为关键。这一段落通过一套精密且高效的张力控制系统，确保无纺布在整个传输过程中能够保持一种稳定且适宜的张力状态。这种张力控制不仅关乎无纺布后续处理的顺畅性，更直接影响到最终产品的质量和性能。

该张力控制系统的带宽调节范围设计得相当宽泛，从 800mm 到 2200mm 不等。这样的设计使得整个装置能够灵活适应不同规格、不同厚度的无纺布生产需求，大大提高了

设备的通用性和实用性。无论是生产薄如蝉翼的医用无纺布,还是较厚的工业用无纺布,该装置都能游刃有余地应对。

通过精确的张力控制,无纺布在传输过程中能够保持平整、无褶皱的状态。这不仅避免了无纺布在后续加热过程中出现因张力不均而导致的褶皱和变形问题,还显著提高了整体的生产效率。张力控制系统的稳定性和准确性,为无纺布的高质量生产奠定了坚实的基础。

2.2 主加热舱

主加热舱无疑是整个无纺布加热装置的核心部分。其尺寸设计得既宽敞又合理,长 6.5m、宽 3.2m、高 2.4m 的空间为无纺布提供了充足的加热和烘干环境。这样的尺寸设计不仅满足了大规模生产的需求,还确保了无纺布在加热过程中能够充分展开,受热均匀。

舱内集成了多个关键部件,共同作用于无纺布的加热和烘干过程。热风循环系统作为其中的核心组件之一,负责提供稳定、高效的热风源。该系统通过精确的温度控制和风量调节,确保无纺布在加热过程中能够均匀受热,避免出现局部过热或温度不均的问题。

双面烘干结构则是主加热舱中的另一大亮点。这一设计实现了无纺布的双面同步烘干,大大提高了烘干的效率和质量。与传统的单面烘干方式相比,双面烘干不仅缩短了烘干时间,还使得无纺布的含水量更加均匀,进一步提升了产品的品质。

辅助平整模块则是主加热舱中的精细化设计之一。该模块通过刮平板组件等部件,对无纺布进行进一步的平整处理。在加热和烘干过程中,无纺布可能会因为各种原因产生轻微的褶皱或波浪状。而辅助平整模块的存在,就是为了消除这些缺陷,使无纺布保持平整、光滑的状态。

2.3 后处理冷却段

后处理冷却段作为无纺布加热装置的最后一道工序,其重要性不言而喻。这一段采用三级梯度降温方式,确保无纺布在出料前能够达到适宜的温度和湿度状态。这种梯度降温的设计不仅有助于保持无纺布的稳定性能,还能有效提高其整体质量。

在冷却过程中,精确的温度控制是至关重要的。如果冷却过快或过慢,都可能导致无纺布出现各种问题。例如,冷却过快可能导致无纺布表面产生裂纹或变硬;而冷却过慢则可能导致无纺布内部残留过多的水分,影响其使用性能。因此,后处理冷却段通过精确的温度控制和湿度调节,确保无纺布在冷却过程中能够保持稳定的物理和化学性能。

此外,后处理冷却段还具备调节无纺布湿度的功能。通过控制冷却过程中的空气湿度和流通速度,可以使得无纺布在出料时达到理想的湿度状态。这不仅有助于提高无纺布的舒适性和手感,还能满足市场对高品质无纺布的多样化需求。

综上所述,进料张力控制段、主加热舱和后处理冷却段共同构成了无纺布加热装置的核心部分。它们各自承担着不同的功能,但又相互协作、相互补充,共同为无纺布的高质量生产提供了有力的保障。

3.核心子系统

3.1 分体式热风循环系统

分体式热风循环系统是本装置的核心子系统之一,其设计旨在提高热风的均匀性和热能利用效率。系统分为上部腔体和下部腔体两部分,上部腔体装配有 8 组镍铬合金加热管,单管功率为 2.2kW;下部腔体则装配有 6 组螺旋状加热管,单管功率为 3.5kW。这种分体式设计使得热风在循环过程中能够更加均匀地分布在无纺布表面,避免了局部过热现象的发生。

在循环路径方面,系统采用了文丘里效应构建闭环风道。通过调整风速(可调范围 2~8m/s),可以实现对热风的精确控制。这一设计不仅提高了热能的利用效率,还有效减少了热能的损失。在实际应用中,这一系统能够确保无纺布在加热过程中获得稳定、均匀的热风供应,从而提高产品的烘干质量和生产效率。

3.2 双面对冲烘干单元

双面对冲烘干单元是本装置的另一个核心子系统,其设计旨在实现无纺布的双面同步烘干。上部出风管采用 304 不锈钢材质,孔径呈梯度分布(前端 $\phi 5\text{mm}$ →末端 $\phi 3\text{mm}$),这种设计确保了热风在出风管内的均匀分布。下部出风管则采用 45° 倾斜设计,气流入射角可调,以适应不同厚度和材质的无纺布烘干需求。

通过实测结果,我们发现双面对冲烘干单元在 120℃ 工况下,横向温差 $\leq \pm 1.5^\circ\text{C}$,显著提高了烘干的均匀性。这一设计不仅缩短了烘干时间,提高了生产效率,还有助于保持无纺布的稳定性能。在实际应用中,这一系统能够确保无纺布在烘干过程中获得均匀、高效的热风供应,从而提高产品的整体质量。

3.3 在线平整系统

在线平整系统是本装置为优化无纺布成品质量而设计的辅助模块。该系统主要包括刮平板组件、动态调节机构和接触压力反馈三部分。刮平板组件采用 TC4 钛合金材质,具有良好的耐磨性和耐腐蚀性;刃角为 $55 \pm 2^\circ$,能够确保刮平板在无纺布表面均匀施力。动态调节机构由伺服电机驱动,重复定位精度高达 0.02mm,可以实现对刮平板位置的精确控制。接触压力反馈部分则通过压电传感器实时监控刮平板与无纺布之间的接触压力(量程 0~50N),确保刮平板在无纺布表面保持稳定的压力状态。

在实际应用中,在线平整系统能够显著减少无纺布在加热和烘干过程中产生的褶皱等缺陷。通过精确的平整处理,可以提高无纺布的平整度,从而满足市场对高品质无纺布的需求。

3.4 湿度控制模块

湿度控制模块是本装置为实现无纺布含水率的精确控制而设计的关键部件。该模块主要包括三级吸水海绵阵列、再生系统和湿度传感器三部分。三级吸水海绵阵列采用改性聚氨酯材料制成,吸水率 $\geq 380\%$,能够有效吸收无纺布中的多余水分。再生系统则采用微波辅助干燥方式(2.45GHz,功率可调),实现对吸水海绵的快速再生和循环利用。湿度传感器采用电容式探头,精度 $\pm 1.5\%\text{RH}$,能够实时监测无纺布的含水率变化,为控制系统提供准确的反馈信号。

通过湿度控制模块的应用,我们可以实现对无纺布含水率的精确控制。这一设计不仅有助于保持无纺布的稳定性能,还可以提高产品的整体质量。在实际应用中,这一系统

能够确保无纺布在加热和烘干过程中获得适宜的含水率状态，从而满足市场对高品质无纺布的需求。

4.性能测试

4.1 实验设计

为了验证本装置的性能优势,我们进行了详细的实验设计。

(1) 对比设备: 选择某品牌 TH-8800 型传统加热线作为对比设备,该设备在无纺布生产行业中具有较高的市场占有率,具有一定的代表性。

(2) 测试材料: 选用 40g/m² 的 SMS 无纺布作为测试材

表1 能耗对比 (120m/min 生产速度)

项目	传统设备	本装置	降幅
瞬时功率 (kW)	285	217	23.8%
吨布能耗 (kWh)	41.2	31.4	23.7%

同时,我们还绘制了含水率分布曲线(如图2所示)。从图中可以看出,传统设备的含水率波动范围较大,纵向波动范围在 4.2%~7.8%之间;而本装置的含水率则稳定在 3.5%~4.3%之间,显著提高了无纺布的含水率均匀性。

(2) 质量评估

除了能耗和含水率指标外,我们还对无纺布的质量进行了全面评估。

平整度方面,我们采用激光轮廓仪对无纺布表面进行了测量。结果表明,传统设备生产的无纺布 Ra 值为 1.32 μm,而本装置生产的无纺布 Ra 值则降至 0.47 μm,显著提高了无纺布的平整度。

力学性能方面,我们分别测试了无纺布在 MD(纵向)和 CD(横向)方向的拉伸强度。结果显示,本装置生产的无纺布在 MD 方向的拉伸强度提升了 9.6%,在 CD 方向的拉伸强度提升了 7.8%,显著增强了无纺布的力学性能。

缺陷率方面,我们统计了无纺布的褶皱发生率。结果表明,传统设备生产的无纺布褶皱发生率为 12.3‰,而本装置生产的无纺布褶皱发生率则降至 0.8‰,大大降低了无纺布的缺陷率。

4.3 实验分析

通过上述实验数据和分析,我们可以得出以下结论:

(1) 本装置通过分体式热风循环系统和双面对冲烘干单元的设计,有效提高了热能的利用效率和烘干的均匀性。

料,该材料在无纺布市场中应用广泛,具有代表性。

(3) 检测设备: 采用 FLIR T865 热像仪监测无纺布表面的温度分布;使用 Mettler 水分测定仪测量无纺布的含水率;利用 Instron 拉伸试验机测试无纺布的力学性能。

4.2 关键指标

(1) 能耗对比

在实验条件下,我们分别测量了传统设备和本装置在 120m/min 生产速度下的瞬时功率和吨布能耗(如表1所示)。结果表明,本装置的瞬时功率为 217kW,较传统设备的 285kW 降低了 23.8%;吨布能耗为 31.4kWh,较传统设备的 41.2kWh 降低了 23.7%。这一数据充分证明了本装置在节能降耗方面的显著优势。

表1 能耗对比 (120m/min 生产速度)

与传统设备相比,本装置的能耗降低了 23.7%,含水率偏差也显著降低,稳定在 3.5%~4.3%之间。

(2) 在线平整系统和湿度控制模块的应用,进一步优化了无纺布的成品质量。本装置生产的无纺布平整度更高、力学性能更强、缺陷率更低,具有显著的市场竞争优势。

5.结论

综上所述,本装置通过创新性结构设计,在热效率、生产速度以及产品合格率等方面均实现了显著提升。具体来说,热效率提升至 68.4%,相较于传统设备的 45.2%,有了质的飞跃。生产速度上限也提高至 180m/min,相较于原来的 130m/min,生产效率得到了大幅提升。同时,产品合格率从 89.7%提升至 99.2%,极大地提升了产品的质量和企业的信誉。

目前,该装置已在广东某龙头企业实现产业化应用,并取得了显著的经济效益。据初步统计,单线年节约电费超过 86 万元,为企业创造了可观的经济价值。未来,我们还将继续探索和优化该装置的性能,计划引入 AI 温控算法,进一步提升其动态响应性能和智能化水平。相信在不久的将来,该装置将在更多领域得到广泛应用,为推动我国制造业的高质量发展贡献更多力量。

参考文献

- [1]薛翰,王野平,李晓明.电磁感应热压辊表面温度均匀性优化设计[J].塑料工业.2024,52(1).DOI: 10.3969/j.issn.1005-5770.2024.01.009.
- [2]张怡,李毅,韦珑坤,等.应用于蒸汽供热的蓄热技术研究[J].热力发电.2023,52(2).DOI: 10.19666/j.rld.202206111.
- [3]李洪涛,张帅,李旭东,等.单罐式储能换热系统在热风无纺布工艺中的应用[J].储能科学与技术,2022,11(7): 2250-2257.DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2022.0106.
- [4]于荣鹏,倪俊芳,张娟.无纺布热模压加热系统受热变形及其结构优化[J].现代纺织技术,2017,25(2): 63-66.DOI: 10.19398/j.att.2017.02.014.