

分类号: TS973.1

单位代码: 10363

密 级: 公开

学 号: 2220410115

安徽工程大学

题 目 运动鞋烘干机制分析及其性能评测研究

英文并列

**题 目 ANALYSIS OF DRYING MECHANISM
AND PERFORMANCE EVALUATION
OF SPORTS SHOES**

学生姓名: _____ 万梓豪

校内导师: _____ 袁惠芬(教授)

校外导师: _____ 吴开明

专业学位类别: _____ 材料与化工

研究方向(领域): _____ 服装科学与工程技术

论文答辩日期: 2025 年 5 月 16 日

安徽工程大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

学位论文作者签名：万科前
日期： 年 月 日

安徽工程大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权安徽工程大学可以将本学位论文的全部内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 _____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☒。

学位论文作者签名：万科前

日期： 年 月 日

指导教师签名：袁东芳

日期： 年 月 日

运动鞋烘干机制分析及其性能评测研究

摘 要

近年来,随着全球健康意识的不断增强和运动休闲风的广泛流行,使运动鞋逐渐成为大众青睐的日穿鞋品之一。然而,运动鞋在日常穿着过程中极易沾染污渍,需经常清洗以保持其清洁和卫生。而运动鞋又是一种具有多层面料或者夹层结构的产品,传统自然晾晒很难使其快速干燥,且易受天气条件限制,不能满足现代消费者对其高效便捷烘干的需求。目前,学术界对运动鞋的研究集中在穿用过程中的热湿舒适性方面,关于运动鞋烘干的研究相对较少。因此,本课题通过消费者需求调研与市场分析,筛选主流运动鞋材质作为实验材料,开展平面和立体烘干实验,优选性能变化显著的材料组进行参数优化实验,探究烘干参数对鞋材性能的影响,构建运动鞋烘干综合评价模型,以期为企业产品开发和工艺改进提供参考。以下是本研究的具体内容及结果:

(1) 运动鞋市场调研与特征分析: 针对运动鞋烘干研究中,消费者对烘干设备需求与运动鞋材质的问题,开展了问卷调查和市场调研,分析筛选出实验材料。结果表明: 男性群体对运动鞋烘干有着迫切的需求,特别是 18 至 39 岁的青中年。而当消费者在选购运动鞋时,倾向选择适用户外行走和跑步训练的中性色系款式,其配置包括翻毛皮鞋面、棉氨混纺内里、双底三明治网鞋舌、EVA 鞋底与鞋垫、涤

纶鞋带，并倾向采用冷粘工艺制造的低帮设计，鞋面结构以两到三层为主，为后续烘干实验提供可靠的样本基础。

（2）运动鞋自身烘干特性与趋势分析：针对（1）中市场调研主流运动鞋材质，筛选确定了实验材料，开展了运动鞋单层、双层、三层和立体烘干实验，测出其相关性能指标，并对它们进行烘干特性研究与趋势分析。结果表明，在洗涤方式上，采用洗涤剂洗涤的实验材料在各项性能指标上的变化程度比清水洗涤更为明显；在运动鞋材料上，鞋面材料牛津纺、中间层材料防水透气膜，内里材料棉涤和鞋底材料 EVA 在性能指标上表现更为明显。在鞋面层数上，不同层数的材料在烘干过程中表现很大差异。例如，立体单层牛津纺相比立体三层牛津纺，断裂强度低、色差高、磨损程度高，但最终含水率低、透气性好、硬挺度高。

（3）运动鞋烘干设备特性与趋势分析：针对（2）中仅改变运动鞋自身参数的情况，本部分通过调整运动鞋烘干设备参数气流温度和气流量，进行一系列立体烘干实验，以此全面评估不同实验条件下运动鞋烘干性能的变化规律。结果表明，当气流温度为 60 °C 时，最终含水率最低，透气性、断裂强度、硬挺度和耐磨性均达到较高水平，但色差变化较大。当气流量为 149 m³/h 时，运动鞋保持较低含水率和色差值，同时实现了较高的耐磨性、透气性、硬挺度和断裂强度，显示出最佳的综合性能。

（4）运动鞋烘干综合评测模型构建与验证：基于（2）、（3）中运动鞋烘干后样本数据，通过极差分析筛选与确定运动鞋自身特性

参数和烘干设备特性参数指标，然后运用 MATLAB 软件构建运动鞋烘干综合评测模型。结果表明，将运动鞋自身特性参数以及烘干设备特性参数的特性指标（透气性、硬挺度、断裂强度、粘合强度）作为模型的输入变量，将用户对烘干效果的满意程度（满意或不满意）作为输出变量，构建的运动鞋综合评测模型在预测运动鞋烘干满意程度方面表现出较高的准确率，达到了 97.8%。

综上，本研究聚焦于运动鞋高效烘干这一技术难题，系统地开展了问卷调查、运动鞋产品自身特征调研、烘后性能变化、烘干过程温湿度变化及其综合评测模型构建等方面的协同研究。通过深入探究，揭示了运动鞋在不同烘干条件下的性能变化规律，并阐释了其内在的烘干机理，构建了运动鞋烘干综合评测模型。本研究成果为企业研发运动鞋烘干设备，提升运动鞋烘干效率和质量提供了科学依据。

关键词：运动鞋，烘干机制，性能评测，前馈神经网络，预测模型

ANALYSIS OF DRYING MECHANISM AND PERFORMANCE EVALUATION OF SPORTS SHOES

ABSTRACT

In recent years, with the continuous enhancement of global health awareness and the widespread popularity of athleisure trends, sports shoes have gradually become one of the preferred daily footwear choices for the public. However, sports shoes are prone to stains during daily wear and require frequent cleaning to maintain hygiene. As multi-layered or sandwich-structured products, sports shoes are difficult to dry quickly through traditional air-drying methods and are highly susceptible to weather conditions, failing to meet modern consumers' demand for efficient and convenient drying. Currently, academic research on sports shoes mainly focuses on thermal-wet comfort during wear, while studies on drying techniques remain relatively scarce. Therefore, this study conducts consumer demand surveys and market analysis to select mainstream sports shoe materials as experimental samples. Through both planar and three-dimensional drying experiments, materials with significant performance variations are identified for parameter optimization studies, investigating the effects of drying parameters on shoe material properties. A comprehensive evaluation model for sports shoe drying is established to provide references for enterprise product

development and process improvement. The specific research contents and results are as follows:

(1) Market research and characteristic analysis of sports shoes: To investigate consumer demands for drying equipment and material selection in sports shoe drying research, comprehensive market surveys and questionnaires were conducted to identify suitable experimental materials. The results revealed a particularly strong demand for efficient drying solutions among male consumers aged 18-39. Analysis of purchasing preferences showed consumers predominantly select neutral-colored sports shoes designed for outdoor walking and running, featuring suede leather uppers, cotton-polyamide blend linings, double-layered sandwich mesh tongues, EVA soles and insoles, polyester laces, and low-top designs manufactured through cold cementing processes with 2-3 layer upper constructions. These findings established a representative sample base for subsequent drying performance experiments.

(2) Analysis of self-drying characteristics and trends in sports shoes: Based on the mainstream sports shoe materials identified in the market research (1), experimental materials were selected to conduct single-layer, double-layer, triple-layer and three-dimensional drying experiments. Relevant performance indicators were measured, followed by characteristic analysis of drying behavior and trend evaluation. The

results demonstrated that: Regarding cleaning methods, detergent-washed samples showed more significant changes in all performance indicators compared to water-washed ones; For material types, oxford fabric (upper), waterproof breathable membrane (middle layer), cotton-polyester blend (lining) and EVA (sole) exhibited more pronounced performance variations; Material layer numbers significantly affected drying outcomes. For instance, single-layer 3D oxford fabric showed lower breaking strength, higher color difference and greater abrasion but lower final moisture content, better air permeability and higher stiffness compared to triple-layer 3D oxford fabric.

(3) Analysis of characteristics and trends in sports shoe drying equipment: Building upon the previous investigation of shoe-specific parameters (2), this section systematically evaluates the impact of drying equipment settings-specifically, airflow temperature and flow rate-through a series of three-dimensional drying experiments. The results demonstrate that: At an airflow temperature of 60 °C, the shoes achieved the lowest final moisture content while maintaining high levels of air permeability, breaking strength, stiffness, and abrasion resistance. However, this condition also resulted in greater color deviation. With an airflow rate of 149 m³/h, the shoes exhibited optimal overall performance, balancing low moisture retention, minimal color change, and superior durability (abrasion resistance), breathability, stiffness, and

tensile strength.

(4) Development and validation of a comprehensive evaluation model for sports shoe drying performance: Based on the sample data of sports shoes after drying in (2) and (3), the characteristic parameters of sports shoes themselves and the characteristic parameters of drying equipment were screened and determined through range analysis. Then, a comprehensive evaluation model for sports shoe drying was constructed using MATLAB software. The results showed that using the characteristic parameters of sports shoes themselves and the characteristic parameters of drying equipment (permeability, stiffness, breaking strength, and bonding strength) as input variables for the model, and user satisfaction (satisfied or dissatisfied) with the drying effect as the output variable, the constructed comprehensive evaluation model for sports shoes exhibited high accuracy in predicting user satisfaction with sports shoe drying, reaching 97.8%.

In summary, this research focuses on the technical challenge of efficient drying of sports shoes, conducting a systematic collaborative study covering aspects such as questionnaire surveys, research on the inherent characteristics of sports shoes, changes in performance after drying, variations in temperature and humidity during the drying process, and the construction of a comprehensive evaluation model. Through in-depth exploration, it reveals the performance change patterns of sports

shoes under different drying conditions, explains the underlying drying mechanism, and constructs a comprehensive evaluation model for sports shoe drying. The research results provide a scientific basis for enterprises to develop sports shoe drying equipment and improve the efficiency and quality of sports shoe drying.

WAN Zihao (Materials and chemical industry)

Supervised by Yuan Huifen

KEY WORDS: sports shoes, drying mechanism, performance evaluation, feedforward neural network, predictive mode

目录

摘 要	I
ABSTRACT	IV
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究现状与不足	2
1.2.1 运动鞋起源与发展	2
1.2.2 运动鞋相关研究概述	4
1.2.3 运动鞋相关烘干技术概述	8
1.2.4 运动鞋烘干相关问题概述	10
1.3 研究内容与意义	12
1.3.1 研究内容	12
1.3.2 研究意义	13
1.4 研究重点与难点	13
1.4.1 研究重点	13
1.4.2 研究难点	13
1.5 研究方法与技术路线	13
1.5.1 研究方法	14
1.5.2 研究技术路线	14
第 2 章 运动鞋市场调研与特征分析	15
2.1 引言	15
2.2 运动鞋烘干设备需求调研	15
2.2.1 问卷调研的目的	15
2.2.2 问卷调研设计	15
2.2.3 问卷被试选择	16
2.2.4 问卷回收与分析	16
2.3 运动鞋自身特征调研	20
2.3.1 款式分析	21

2.3.2 配色分析	23
2.3.3 鞋帮面料分析	23
2.3.4 鞋舌面料分析	27
2.3.5 鞋底面料分析	28
2.3.6 鞋垫材料分析	32
2.3.7 鞋带材料分析	33
2.3.8 运动鞋制造工艺分析	33
2.3.9 运动鞋后帮高度分析	35
2.3.10 运动鞋面料层数分析	36
2.4 本章小结	36
第 3 章 运动鞋自身烘干特性与趋势分析	38
3.1 引言	38
3.2 实验部分	38
3.2.1 实验材料与仪器	38
3.2.2 样品制备与预处理	39
3.2.3 实验设计与方案	40
3.2.4 实验测试指标与方法	43
3.3 结果与讨论	44
3.3.1 运动鞋单层烘干特性与趋势分析	44
3.3.2 运动鞋双层烘干特性与趋势分析	51
3.3.3 运动鞋三层烘干特性与趋势分析	58
3.3.4 运动鞋立体烘干特性与趋势分析	70
3.4 本章小结	76
第 4 章 运动鞋烘干设备特性与趋势分析	78
4.1 引言	78
4.2 实验部分	78
4.2.1 实验材料与仪器	78
4.2.2 实验变量	78
4.2.3 实验测试指标与方法	79

4.3 结果与讨论	79
4.3.1 烘干气流温度的影响	79
4.3.2 烘干气流量的影响	90
4.4 本章小结	101
第 5 章 运动鞋烘干综合评测模型构建与验证	102
5.1 引言	102
5.2 综合评测指标筛选与确定	102
5.2.1 运动鞋自身特性参数的筛选与确定	102
5.2.2 烘干设备特性参数的筛选与确定	105
5.3 前馈神经网络	107
5.3.1 前馈神经网络概述	107
5.3.2 前馈神经网络结构	108
5.4 前馈神经网络的训练过程	111
5.4.1 训练样本的准备与预处理	111
5.4.2 模型构建	113
5.4.3 算法设计	114
5.5 模型训练结果评估	116
5.5.1 迭代次数	116
5.5.2 混淆矩阵	117
5.5.3 训练状态	117
5.5.4 训练误差	118
5.6 本章小结	119
第 6 章 结论与展望	120
6.1 结论	120
6.2 创新点	121
6.3 展望	121
参考文献	123
附录 1 运动鞋烘干设备需求问卷	129
附录 2 运动鞋烘干设备需求问卷调查结果	131
附录 3 模型运行代码	134
攻读学位期间所取得的相关科研成果	135

致谢	136
----------	-----

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

随着现代生活水平的提高和社会物质文明的进步，人们对服饰的需求已不再局限于防寒保暖或者日常穿着。如今，提升个人形象、展现个性风格成为服饰消费的主要动力^[1]。在这种趋势下，鞋子不再仅是行走的工具，而是逐渐演变为潮流文化的重要载体，能够展现个人品味与时尚态度。全民健身的国家战略为中国运动鞋市场的发展奠定了坚实基础，推动了中国运动鞋行业的持续快速增长。根据《2024 年都市人群运动洞察调研报告》的数据显示，都市人群中超过 95% 的人都保持着一定的运动习惯，其中孩子人均参与 3.3 个运动项目，平均运动时长为 48 分钟左右。这表明定期运动的习惯已经成为人们生活不可或缺的一部分。进一步的数据分析显示，超过 70% 的运动人群会对运动鞋服和装备消费进行买单，其中运动鞋是过去一年购买最多的品类，占比高达 75.74%。因此，运动鞋的市场容量庞大，烘干的市场需求潜力不容小觑。

运动鞋在日常穿着时，经常容易沾上污渍，因此，需要频繁清洗以保持其洁净和卫生。尽管传统的自然晾干方法操作简便且成本不高，但它烘干效率低且受到天气影响很大。而且，在清洗后水分常常滞留鞋材夹层中，自然晾干难以彻底蒸发这些水分。这种无法完全干燥的状态可能会导致鞋材老化、变形甚至受损，进而缩短运动鞋的使用寿命。因此，适当的烘干在运动鞋的日常护理中至关重要。烘干作为人类生活中最广泛存在的一个复杂热物理过程，是应用于化工、食品、农业、轻工、建筑、煤炭、纺织和木材等各领域的重要工序^[2]。魏禹同^[3]通过实验研究了核桃层中温度、湿度、压力及风速随干燥时间的变化规律，揭示了干燥过程中各参数之间的动态关系及其对干燥效果的影响；于昕辰^[4]则深入探讨了干衣机滚筒转动对织物运动的影响，分析了织物运动模式与干燥特性及烘干效果之间的关联；包伟^[5]进一步研究了干衣机中织物温度、含水率以及机械作用对羊毛织物尺寸收缩的影响规律，并通过机理解释揭示了尺寸变化的内在原因。然而，学术界对运动鞋的研究集中在穿用过程中的热湿舒适性方面，关于运动鞋烘干的研究相对较少^[6-16]。

因此，本课题基于以往研究，采用市场调研与实验测试的研究方法。首先开展问卷调查，收集消费者对运动鞋的整体认知、评价，基于个人体验对运动鞋烘干需求的评估，以及家中鞋子的拥有情况。然后调研运动鞋市场现状，涵盖鞋面材料、内里材料、鞋垫材料、中底材料、外底材料、鞋舌材料、制造工艺、鞋带材料、颜色、类型、鞋面层数等方面。依据调查结果确定实验材料，随后开展多

种实验,包括单层平面烘干实验、双层平面烘干实验、三层平面烘干实验以及立体烘干实验,并测试相关性能指标。从实验中筛选出性能突出的面料组进一步实验,筛选并确定运动鞋自身特性参数和烘干设备特性参数综合指标。在此基础上,借助前馈神经网络构建运动鞋烘干综合评测模型。深入探究运动鞋在烘干设备烘干过程中的变化及规律,进一步研究此过程中运动鞋烘干机制,探寻性能优化方案。

1.2 研究现状与不足

1.2.1 运动鞋起源与发展

运动鞋的演变与橡胶工业的技术进步密不可分。1889年,固特异研发的硫化工艺赋予了橡胶更加坚固和耐用的特性,从而推动了制鞋行业的创新与发展。早在1868年,世界上第一双采用硫化橡胶作为鞋底、帆布作为鞋面,并在边缘添加围条的运动鞋便已出现,这被视为现代运动鞋诞生的重要里程碑。1870年,首双网球鞋诞生,推动了网球运动的发展。到1890年,美国已有19家鞋厂专门生产运动鞋。随后,篮球鞋、足球鞋等专业运动鞋相继兴起,满足了不同运动项目的需求。

1896年,第一届奥运会在希腊雅典举行,正式拉开了现代奥林匹克运动的序幕。并对运动鞋发展产生深远影响。到1908年奥运会,胶底运动鞋被运动员广泛使用,这不仅体现了运动鞋的性能优势,也反映了其在国际体育赛事中的重要地位。1911年,鞋底前掌开花纹的设计增强了运动鞋的抓地力和稳定性。

随着第二次世界大战的落幕,新百伦(New Balance)和匡威(Converse)等品牌率先崭露头角,凭借其创新的设计和卓越的品质,迅速在市场中占据了一席之地。紧随其后的耐克(Nike)和锐步(Reebok),也以其专业的运动鞋生产技术和对运动性能的深刻理解,迅速崛起成为行业的领先者。耐克创始人之一的比尔·鲍沃曼(Bill Bowerman)是一位资深的田径教练,另一位合伙人菲尔·奈特(Phil Knight)是一位运动员,他们对田径运动的深刻洞察和对运动鞋性能的精准把握,使得耐克能够迅速在竞争激烈的市场中脱颖而出。他们率先研发了尼龙帮面运动鞋。尼龙材料因其轻便、高强度及优异的耐洗涤性能,在当时的运动鞋市场中迅速崭露头角,赢得了运动界人士的高度赞誉。尽管与皮革帮面相比,尼龙帮面的透气性略显不足,但其低廉的成本优势使其在中低端市场中迅速占据了主导地位。

二十世纪70年代,运动鞋制造业迎来重要技术革新。Etonic公司研发出复合底技术,其结合了橡胶外底的耐磨性和EVA内底的高弹性与低密度性的优点,有效提升了运动鞋的舒适度、适应性和耐用性。与此同时,Adidas设计出了护跟圈,这不仅增强了运动鞋的减震和护足功能,而且还提高了其稳定性和支撑性,

为消费者进行高强度运动提供了可靠的安全保障。

自 20 世纪 80 年代起, 电脑辅助设计 (CAD) 开始广泛应用, 耐克 (Nike) 推出了在鞋底内置气垫的气垫鞋, 增加的气垫提供了良好的缓震效果, 改善了运动舒适性和保护性。同时, 聚氨酯 (PU) 和热塑性弹性体 (TPR) 在运动鞋底材制造中的广泛应用进一步推动了运动鞋的技术进步。20 世纪 90 年代, 计算机辅助设计 (CAD) 和制造 (CAM) 技术的引入推动了运动鞋研发的新纪元, 重点转向提升脚部保护功能, 如减震和防扭伤。耐克的“气垫鞋”成功后, 锐步研发出了“蜂窝片”技术增强支撑, 亚瑟士研发出了硅胶垫用于提供缓冲, 李宁则推出“弓”技术增强弹性和支撑。这些创新使运动鞋不仅是装备, 更是保护运动员和提升表现的重要工具。

在当今时代, 全成形技术的出现为运动鞋行业带来了革命性变革。短短十年内, 该技术吸引了全球生产商和消费者的广泛关注, 成为研发和生产的重要焦点。耐克 (Nike) 和阿迪达斯 (Adidas) 等巨头纷纷投入资源, 推出全成形产品并展开专利竞争。全成形编织技术的应用再次将针织技术推向公众视野。

图 1-1 展示了运动鞋的发展历程, 从中能看到运动鞋在不同时期的技术革新和材料变革。运动鞋的发展可划分为几个关键阶段, 每个阶段都意味着运动鞋性能有着大幅提升以及设计理念发生了转变。第一阶段: 硫化橡胶运动鞋的出现。运动鞋的发展历程始于硫化橡胶鞋底的引入。硫化橡胶技术的应用增强了鞋底的耐磨性和弹性, 为后续运动鞋的发展奠定了基础。第二阶段: 鞋底前掌纹运动鞋的创新。随着运动需求的多样化, 鞋底前掌纹运动鞋应运而生。这种设计首次在鞋底添加了纹路, 有效提高了运动鞋的抓地力和防滑性能。第三阶段: 尼龙帮面运动鞋的突破。尼龙材料因其轻便、高强度和出色的耐洗涤性能, 成为运动鞋帮面材料的新选择。这一变革提升了运动鞋的舒适度和耐用性。第四阶段: 复合底运动鞋的演进。复合底运动鞋将橡胶外底与 EVA 内底相结合, 增加了运动鞋的舒适度、适应性和耐用性。第五阶段: 气垫运动鞋的革新。气垫技术的应用为运动鞋提供了良好的缓震效果, 进一步改善了运动的舒适性和保护性。第六阶段: 全成形编制运动鞋的诞生。全成形编制运动鞋代表了运动鞋制造技术的最前沿, 这种设计通过一体化的编织技术, 实现了运动鞋的轻量化和个性化定制, 满足了消费者对运动鞋性能和外观更高的要求。



图 1-1 运动鞋发展历程

Fig. 1-1 Development history of sports shoes

1.2.2 运动鞋相关研究概述

1.2.2.1 运动鞋材质造型研究

(1) 造型风格

运动鞋的设计风格主要分为休闲、竞赛、复古和科技感等类别。休闲鞋注重舒适性和日常搭配，颜色丰富，线条简洁；竞赛鞋注重轻量化、支撑性和速度感；复古风格以经典款式致敬历史；科技感运动鞋则注重创新材料和功能性。景银^[17]以闽南非遗文化为研究对象，深入挖掘其独特的文化意象。陈臻^[18]聚焦于三国文化，深入剖析其历史背景、人物形象与文化内涵。结合现代设计理念和工艺技术，他巧妙地将三国元素融入运动鞋设计，实现了传统文化与现代设计的完美融合。崔同占^[19]以休闲运动鞋为研究主线，从生产工艺、帮面结构、穿着场景等多个视角展开权属分析，他深入探讨了休闲运动鞋的外观造型设计、结构设计和功能性设计要素。宋曦微^[20]从芭蕾文化中提炼出核心设计元素，将芭蕾风格的独特魅力融入女鞋款式设计中，她的设计不仅展现了芭蕾的优雅与艺术感，还为女性鞋履注入了新的活力。谢晨迪^[21]将清代瑞兽纹样引入鞋类设计，巧妙地将传统文化元素与现代科技相结合，她的设计不仅展现了传统美学的独特魅力，还使传统文化在现代设计中焕发出新的活力。



图 1-2 不同风格的运动鞋

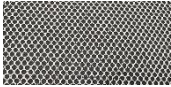
Fig. 1-2 Different styles of sports shoes

(2) 鞋面材质

运动鞋鞋面常见的材质包括网眼布、合成革、皮革、牛津纺和 Flywire 纤维等，如表 1-1 所示。近年来，功能面料的创新也为运动鞋的时尚性带来了新的突破。例如，防撕裂网布融入了丰富的色彩与独特的图案；提花针织布通过手工细节与针织工艺的结合，展现出丰富的纹理与立体感。钟华^[22]改性制备了超细纤维合成革基材，优化了鞋用超细纤维合成革的综合性能。赵凯^[23]利用水性聚氨酯，以水为介质，采用浸渍工艺成功制备了适用于运动鞋的水性聚氨酯超细纤维合成革贝斯，满足了现代运动鞋对环保和安全的要求。方华玉^[24]详细介绍了以再生涤纶为原料开发的一系列再生经编间隔鞋面的工艺。这些鞋面不仅具有双色提花的外观效果，展现出独特的时尚感，还因其弹性纤维的加入，具备了透气、透湿、抗撕裂以及良好的弹性等特性，极大地提升了穿着的舒适性。

表 1-1 鞋面材质

Table. 1-1 Upper material

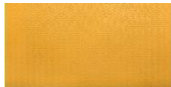
材质种类	特点	图例
网眼布	采用纱罗组织织制的透孔织物, 具有良好的回弹性、透气性和耐磨性	
合成革	是由合成纤维、树脂和其他添加剂组成的人造材料, 具有耐挠曲、抗老化、防水性好、	
皮革	是由天然蛋白质纤维在三维空间紧密编织构成的, 具有优良的透气性、吸湿性和保	
牛津纺	由纯棉纱线采用牛津纺织法织成, 具有丝质光泽、手感柔软、透气性好等优点	
Flywire 纤维	由高强度尼龙纤维制成, 具有超轻重量、高强度、耐磨性好等优点	

(3) 鞋底设计

运动鞋鞋底常采用的材质包括橡胶、EVA、PU 和 TPR 材质。唐邦全^[25]采用聚氨酯作为基体材料, 并引入纳米材料作为改性剂, 成功制备了一种高性能的纳米材料/聚氨酯复合材料。这种复合材料被用于制造运动鞋鞋底, 不仅提升了鞋底的耐磨性和弹性, 还增强了其整体性能, 为运动鞋的舒适性和耐用性提供了有力保障。卢晓春^[26]以阔叶木纤维、聚乙烯醇和聚酯等环保型原材料为基础, 开发出一种新型的运动鞋发泡缓冲鞋底。这种鞋底不仅具备良好的缓冲性能, 还能有效减轻运动时对脚部的冲击。

表 1-2 鞋底材质

Table. 1-2 Sole material

材质种类	特点	图例
橡胶	是指具有可逆形变的高弹性聚合物材料, 具有优异的耐寒性、耐磨性、弹性和耐老化性	
EVA	是一种由乙烯和醋酸乙烯酯共聚而成的材料, 具有良好的弹性、耐磨性、柔韧性和耐腐蚀性	
PU	即聚氨酯, 具有良好的耐磨性、耐温性、弹性和可塑性	
TPR	以苯乙烯类弹性体 SBS、SEBS 为基体材料, 添加其他组分共混制成高分子合金材料, 具有良好的弹性、柔韧性和抗疲劳性	

(4) 色彩图案

2025 春夏运动鞋的色彩趋势包括扭曲线圈、黑白笔触、无序线条、经典格纹和斑驳迷彩等元素。这些元素不仅为运动鞋带来了独特的设计感，还充满了现代气息和艺术感。此外，品牌联名和限量版设计也成为运动鞋时尚化的关键。例如，KENZO 与 ASICS 的联名运动鞋系列，通过独特的双层中底和外底结构，结合 EVA 材料和 GEL 减震技术，不仅提升了运动性能，还展现出强烈的时尚感。

表 1-3 不同色彩图案运动鞋

Table. 1-3 Different color pattern sneakers

扭曲线圈	黑白笔触	无序线条	经典格纹	斑驳迷彩	品牌联名
					

(5) 科技创新

现代运动鞋融入了许多高科技元素，如 Nike 的 Air Zoom、Adidas 的 Boost、Under Armour 的 HOVR 等。这些技术通过内置气垫和能量回馈系统，提升了穿着者的舒适度和性能表现。同时，3D 打印技术的应用为运动鞋设计带来了前所未有的可能性，实现了个性化定制和复杂结构的一体化制造。薛艳敏^[27]采用 3D 打印技术，将长征文化元素融入运动鞋设计，探索出一套系统化的创新设计方法。她提取长征文化中的经典元素，结合现代设计理念，将其中蕴含的物质与非物质资源巧妙融合，实现了“传统文化+现代科技”的完美结合。



图 1-3 3D 打印运动鞋

Fig. 1-3 3D printed sports shoes

1.2.2.2 运动鞋热湿舒适性研究

运动鞋的热湿舒适性是指在穿着过程中，脚部与运动鞋之间以及运动鞋与外界环境之间形成的动态平衡状态，这种平衡涉及到热量和湿气的传递，直接影响穿着者的舒适感。热湿舒适性不仅关乎运动鞋的物理性能，还与穿着者的生理和心理感受密切相关。在鞋材透气透湿性能研究方面，左露娇^[28]采用实验方法与数值方法相结合的研究路径，探究影响鞋材透气透湿性能的关键因素，验证数值模拟预测织物性能的可行性。Sundar^[29]通过酶和化学方法改善水蒸气渗透性，同时

不影响皮革的其他机械性能。在鞋材性能评价方面，Kraner 等^[30]利用李氏圆盘实验仪和单试样热流计评测鞋材的热性能。Horiashchenko^[31]建立了鞋用聚合物材料热防护性能的数学模型，计算鞋材的热通量和胶粘厚度的热阻，预测鞋靴在不同气候条件下的热性能。Zhao^[32]通过传统方法和移动人体模型方法测试运动鞋的温度和湿度。在热湿舒适性综合评价方面，Fordzyun^[33]测试多种天然合成鞋里材料的多个湿舒适性指标，并借助雷达图呈现综合评价结果。Yick^[34]评估了由皮革和网状间隔织物制成的鞋类的热湿舒适性，研究主观感受与鞋的感知温度，湿度和舒适度之间的关系。在数学模型与模拟方面，丁绍兰等^[35]运用 Matlab 建立了皮鞋帮面卫生性能与透气性、透水汽性、吸湿性、导热系数及耐菌性的回归方程。Chorny^[36]开发了在鞋靴环境中热量和水分传输的耦合数学模型。Su^[37]提出了有限体积模型来模拟极冷条件下电加热鞋（EHF）中的二维传热，分析了能源效率与加热元件的布置和连接、加热温度、鞋类材料的厚度和导热系数的关系。

1.2.2.3 运动鞋洗涤研究

目前，运动鞋的主流清洗方式包括人工清洗、家用洗鞋机清洗以及干洗店的专业护理，如表 1-4 所示。这些清洗方式各有其优缺点。人工清洗虽然能够细致地处理污渍，但过程费时费力，且难以彻底清洁鞋内深处的污垢；干洗店的专业护理虽然清洗效果较好，但成本较高，且需要将鞋子送到店铺，不够便捷；而传统的家用洗鞋机虽然操作方便，但存在清洗死角，且可能会对鞋子造成损伤，影响鞋子的使用寿命和外观。

表 1-4 运动鞋洗涤
Table. 1-4 Sports shoe washing

洗涤方式	洗涤方法	洗涤设备	图例
人工清洗	用软毛刷或湿布去除鞋面浮灰	软毛刷	
家用洗鞋机	拆下鞋带、取出鞋垫，放入洗鞋机内，通过毛刷与鞋的相互作用来清洗	全自动洗鞋机	
干洗店的专业护理	取出鞋带、鞋垫单独处理，区分鞋面材质定制清洗方案，使用手搓式洗鞋机清洗	全自动手搓式洗鞋机	

Wang Y 等^[38-41]设计了一种毛刷式的洗鞋机，该设备虽然实现了机械化的鞋

类清洗功能,但仍存在若干技术局限性。该设备整体结构偏大且难以对鞋的内部进行深度清洗。赵宇歌^[42]将微纳米气泡技术与运动鞋清洗相结合,探索出一种高效且温和的清洁方法。微纳米气泡技术利用其独特的物理和化学性质,能够在短时间内彻底去除运动鞋表面及内部的污渍,同时避免对鞋材损伤。

1.2.3 运动鞋相关烘干技术概述

运动鞋在日常穿着时,经常容易沾上污渍,因此,需要频繁清洗以保持其洁净和卫生。在清洗后,水分常常滞留鞋材夹层中,自然晾干难以彻底蒸发这些水分。为了解决这一问题,运动鞋烘干技术应运而生,成为保障鞋子干燥和卫生的重要手段。随着科技的不断进步,运动鞋烘干技术经历了从传统自然晾晒到现代智能烘干设备的巨大转变。传统的自然晾晒方法虽然简单环保,但效率低下且受天气条件限制,难以满足现代快节奏生活的需求。而现代智能烘干设备则通过先进的技术手段,实现了快速、均匀且高效的烘干效果,极大地提升了用户体验,同时也保护了鞋子的材质和结构。

(1) 自然晾干

自然晾晒是目前最为普遍的运动鞋烘干方式之一。它通过将鞋子放置在通风条件良好的环境中,借助自然风力和阳光的热量来蒸发鞋内的水分,从而达到干燥的效果。这种方法的优点在于它的简便性和经济性——无需任何额外的设备或能源消耗,只需将鞋子放置在合适的位置即可。然而,自然晾晒也存在一些明显的局限性。首先,它高度依赖于天气和环境条件。在阴雨天气或湿度较高的环境中,鞋子的干燥速度会显著减慢,甚至可能无法完全干燥。其次,自然晾晒的烘干时间相对较长,通常需要数小时甚至更久,这对于那些需要快速干燥鞋子的用户来说可能不太实用。



图 1-4 自然晾晒

Fig. 1-4 Natural drying

(2) 电热烘干

电热烘干器作为一种广泛使用的家用烘干设备,凭借其便捷性和高效的烘干性能,深受众多家庭的喜爱。它的工作原理是通过内置的电热元件产生热量,再借助热风循环系统将热空气均匀地吹入鞋内或其他需要烘干的物品中,从而加速水分的蒸发过程,实现快速干燥的效果。在众多电热烘干器中,家庭迷你烘干机以其小巧的体积和便捷的操作,成为许多家庭的首选。悬挂式干衣机,也被称为便携式干衣机,其灵活的使用方式和便于携带的特点,为用户提供了更多的便利。

热泵烘干机则以其高效节能的特性脱颖而出，它通过热泵技术将环境中的热量转移到烘干机内部，从而实现高效的热量利用，不仅烘干速度快，而且能耗较低，是一种环保且经济的选择。直排式烘干机则以其直接的热风排放方式而闻名，它能够快速地将热风吹入鞋内或其他物品中，实现快速烘干的效果。



图 1-5 迷你烘干机 (a)、便捷式干衣机 (b)、热泵干衣机 (c) 及直排式干衣机 (d)

Fig. 1-5 Mini dryer (a), portable dryer (b), heat pump dryer (c) and direct dryer (d)

(3) 紫外线烘干

紫外线烘干器是一种集热风烘干与紫外线杀菌功能于一体的先进设备。它不仅能够在短时间内高效地烘干鞋子，还能通过紫外线强效杀菌，彻底杀灭鞋内潜藏的细菌和真菌，从根本上防止异味的产生，为用户提供更加健康、卫生的穿着体验。这种烘干器通常配备了智能定时功能和精准的温度控制系统。用户可以根据鞋子的潮湿程度和材质，灵活设置烘干时间，确保鞋子在适宜的时间内完成烘干过程，避免过度烘干对鞋子材质造成损伤。同时，温度控制功能能够精确调节烘干温度，确保设备在安全的温度范围内运行，有效防止因高温引发的安全隐患。



图 1-6 紫外线烘干机

Fig. 1-6 UV drying machine

(4) 微波烘干

微波烘干技术巧妙地利用了微波的穿透特性，能够直接作用于鞋子内部的水分子。当微波能量穿透鞋材时，会激发水分子快速振动，这种高频振动使水分子之间产生摩擦，从而迅速产生热量。这种热量的产生是均匀且高效的，能够从鞋子的内部向外快速驱散水分，实现极高的烘干速度。然而，微波烘干技术的应用

也存在一定的局限性。一是它需要专门的微波烘干设备,这些设备通常价格较高,且操作需要一定的技术知识,这在一定程度上限制了其在家庭环境中的普及。二是微波烘干对鞋子的材质有较为严格的要求。并非所有材质的鞋子都适合微波烘干,一些含有金属部件或特定合成材料的鞋子可能会在微波场中产生危险的热量积聚,甚至引发火灾。

罗锐捷^[43]在热风干燥的基础上增加一个微波馈源,以实现热风与微波的耦合干燥。这种耦合方式能够综合热风干燥和微波干燥的优点,实现物料内外同时加热,从而显著缩短干燥时间。为了验证这一理论的可行性,他使用了电磁仿真软件 HFSS 对织物的微波加热过程进行了计算机仿真。实验结果显示,热风微波耦合干燥不仅缩短了干燥时间,还提高了干燥后织物的品质。



图 1-7 微波烘干机

Fig. 1-7 Microwave dryer

1.2.4 运动鞋烘干相关问题概述

1.2.4.1 烘干效率

运动鞋的材质和结构通常较为复杂,尤其是那些厚底鞋或配备有先进缓震技术的鞋款。这些设计虽然在穿着时提供了卓越的舒适性和功能性,但也使得水分更容易残留在鞋底和夹层中,增加了烘干的难度。例如,一些运动鞋采用了多层结构,包括透气网眼布、合成纤维、橡胶外底和内部的缓震材料,这些层次在提供良好性能的同时,也为水分的留存提供了场所^[44]。现代烘干设备的出现,虽然在很大程度上提高了烘干效率,但它们在使用时仍需谨慎对待。对于某些特殊材质的鞋子,如皮革或防水面料,烘干温度和控制时间的控制至关重要。皮革材质在高温下容易变硬、开裂,而防水面料则可能因过度烘干而失去其防水性能。因此,在使用现代烘干设备时,需要根据鞋子的具体材质和结构,合理调整烘干参数,以避免对鞋子造成不可逆的损坏。

1.2.4.2 材质损伤

高温烘干对运动鞋材质的潜在危害是不容忽视的,它可能会对鞋子的结构和性能造成不可逆的损伤。具体来说:

皮革鞋面: 皮革作为一种天然材料,对温度变化较为敏感。在高温环境下,

皮革中的水分会迅速蒸发，导致皮革纤维结构变得紧绷，从而使皮革变硬、失去柔韧性。此外，高温还可能引发皮革内部化学成分的变化，导致其表面出现开裂现象，甚至可能使皮革褪色，失去原有的光泽和质感^[45]。

胶合部位：运动鞋的鞋底与鞋面之间通常通过胶水粘合。高温会使胶水的化学结构发生变化，降低其粘合力。当温度过高时，胶水可能会软化甚至熔化，导致鞋底与鞋面之间的粘合失效，进而出现开胶现象。这不仅会影响鞋子的外观，还会降低鞋子的稳定性和耐用性。

缓震材料：现代运动鞋中广泛使用的缓震材料，如 EVA、Boost 等，虽然具有良好的弹性和缓震性能，但在高温条件下，这些材料的物理性质会发生改变。例如，EVA 可能会因高温而变形，失去原有的形状和弹性；Boost 材料在高温下也可能出现类似的变形问题，导致其缓震性能下降。这不仅会影响穿着的舒适性，还可能对运动表现产生负面影响。

因此，在对运动鞋进行烘干时，必须谨慎控制温度，避免高温对鞋子材质造成不可逆的损伤。



图 1-8 常见材质损伤

Fig. 1-8 Common material damage

1.2.4.3 能耗与环保

传统电热烘干器在使用过程中能耗较高，长时间使用可能会显著增加电费支出。此外，部分烘干设备在运行过程中会使用化学杀菌剂或产生臭氧，这些物质虽然具有杀菌效果，但可能对环境造成一定污染。相比之下，环保型烘干技术（如太阳能或热泵烘干）虽然在节能方面表现出色，但由于设备成本较高，导致其普及率较低。

传统电热烘干器通常采用电热元件产生热量，通过热风循环系统将热空气吹入鞋内，从而加速水分蒸发。然而，这种烘干方式存在明显的局限性：能耗高：传统电热烘干器的热效率较低，在烘干过程中，大量热量通过废气损失，导致能耗较高。烘干温度高：传统烘干技术的烘干温度通常较高，这可能会对某些材质（如皮革或防水面料）造成不可逆的损伤。

环保型烘干技术，如太阳能和热泵烘干，近年来逐渐受到关注。这些技术具有显著的节能优势。热泵烘干技术，利用逆卡诺原理，通过压缩机将空气中的热量转移到烘干房内，实现高效节能的烘干效果，比传统烘干方式更节能。太阳能烘干，利用太阳能作为热源，不仅节能，还符合环保要求。然而，这些环保型烘

干技术也面临一些挑战,如环保型烘干设备的初期投资成本较高,这在一定程度上限制了其普及率。

1.3 研究内容与意义

1.3.1 研究内容

本文先通过问卷调查,了解消费者对烘干设备的需求,然后进行市场调研,汇总分析市面上销量较高的运动鞋,再从运动鞋的鞋面材料、内里材料和鞋底材料三个方面入手,筛选出市面上常用的材料作为实验材料进行运动鞋平面和立体烘干实验,测试不同烘干条件下运动鞋的性能指标(最终含水率、磨损程度、透气性、硬挺度、色差、断裂强度、粘合强度)。通过筛选出性能变化明显的面料组进行运动鞋烘干设备特性参数试验,分析不同参数下运动鞋材料指标的变化。利用极差分析确定综合指标,筛选出了影响明显的运动鞋自身特性参数和烘干设备特性参数指标,构建综合评测模型和设计算法,并对模型效果进行评测与验证。课题的完成将为运动鞋烘干性能的评测提供理论指导和技术支持。本文拟开展的主要研究内容如下:

(1) 运动鞋市场调研与特征分析

进行了运动鞋市场调研并分析了运动鞋自身特征。通过调查问卷收集消费者的基本资料、消费者基于个人体验对运动鞋烘干需求的评估以及消费者家中运动鞋的数量,了解消费者对于运动鞋烘干的需求。分析调研运动鞋自身特征,并从中筛选出运动鞋的鞋面材料、内里材料、鞋底材料和鞋面层数等,为后续实验设计奠定基础。

(2) 运动鞋自身烘干特性与规律分析

在研究(1)的基础上,为了深入探究不同层次结构对运动鞋性能的影响,分别进行单层平面烘干实验、双层平面烘干实验、三层平面烘干实验以及立体烘干实验,测出其相关性能(最终含水率、磨损程度、透气性、硬挺度、色差、断裂强度以及粘合强度),并对它们进行烘干特性研究与趋势分析。

(3) 运动鞋烘干设备特性与趋势分析

在完成前期实验(1)和(2)的基础上,本研究进一步设计运动鞋烘干设备特性实验,旨在系统探究烘干气流温度和气流量对运动鞋烘干效果的影响,并对测试出的相关指标进行趋势分析,以全面评估不同实验条件下运动鞋烘干性能的变化规律。

(4) 运动鞋烘干综合评测模型构建与验证

在研究(1)、研究(2)以及研究(3)的基础上,通过极差分析筛选与确定运动鞋自身特性参数和烘干设备特性参数指标,基于筛选出的关键参数,构建了一个基于前馈神经网络的运动鞋综合评测模型,从多个角度对训练过程进行了

深入分析，包括迭代次数对模型收敛性的影响、混淆矩阵对分类精度的反映、训练状态曲线的动态变化以及误差分布的特征。

1.3.2 研究意义

本文的研究意义主要体现在：

（1）理论价值

通过探究运动鞋在烘干过程中性能变化规律，深化此过程中运动鞋烘干机制及性能评测的研究，得到了运动鞋在不同烘干条件下的性能变化规律和阐明了运动鞋烘干机制。研究成果不仅丰富了运动鞋烘干的理论基础，而且为优化运动鞋烘干工艺参数提供了理论支撑。为企业研发运动鞋烘干设备，提升运动鞋烘干效率和质量提供了帮助。

（2）实际应用价值

通过分析运动鞋在不同烘干条件下性能变化规律的研究，得到了运动鞋自身特性参数（鞋面材质、鞋面层数）和运动鞋烘干设备特性参数（温度、气流量）对鞋材形变及耐久性的影响结果。研究成果可为企业节约实验成本，为研发人员确定最佳烘干参数提供参考。

1.4 研究重点与难点

1.4.1 研究重点

（1）基于当前运动鞋烘干机市场发展现状，开展市场调研。先通过问卷调查的方式重点考察消费者对运动鞋烘干机的认知程度、购买意愿、功能需求等。其次，对实体店和网店销售的运动鞋进行调研与分析，调研内容包括运动鞋鞋面材料、内里材料、鞋垫材料、外底材料、制造工艺、鞋带材料、颜色、类型、鞋面层数等。

（2）建立一套科学的运动鞋烘干综合评测模型，以实验数据为基础，筛选出变化明显的性能指标作为输入量，以消费者满意程度作为输出量，并通过模型迭代和数据分析不断完善评测体系，确保其科学性和实用性。

1.4.2 研究难点

（1）需开展多组单层平面烘干实验、双层平面烘干实验、三层平面烘干实验以及立体烘干实验，并对每种实验的相关性能进行了精确测量。每种实验都需要重复进行 20 次，以确保实验结果的准确性和可靠性。

（2）需要系统地学习前馈神经网络的基本原理、架构设计以及训练技巧。通过深入研究和实践，期望能够提高对前馈神经网络的理解和应用能力，从而在运动鞋烘干综合评测模型的构建中，更有效地利用这工具来处理和分析数据，以实现运动鞋性能的智能评估和优化。

1.5 研究方法与技术路线

1.5.1 研究方法

(1) 文献研究法

利用学校图书馆、网络学术资源以及国内外权威电子数据库收集相关文献资料，了解当前运动鞋以及运动鞋烘干领域的研究现状。

(2) 市场调研法

通过问卷调查的方式了解消费者对于运动鞋烘干设备的需求，然后利用主流的电商平台和实体店实地调研了解运动鞋的市场现状，并归纳汇总运动鞋自身特性参数。

(3) 测试实验法

筛选出市面上常用的材料作为实验材料进行运动鞋平面和立体烘干实验，测出其相关性能（最终含水率、磨损程度、透气性、硬挺度、色差、断裂强度以及粘合强度）。

1.5.2 研究技术路线

研究技术路线图，详见图 1-9。

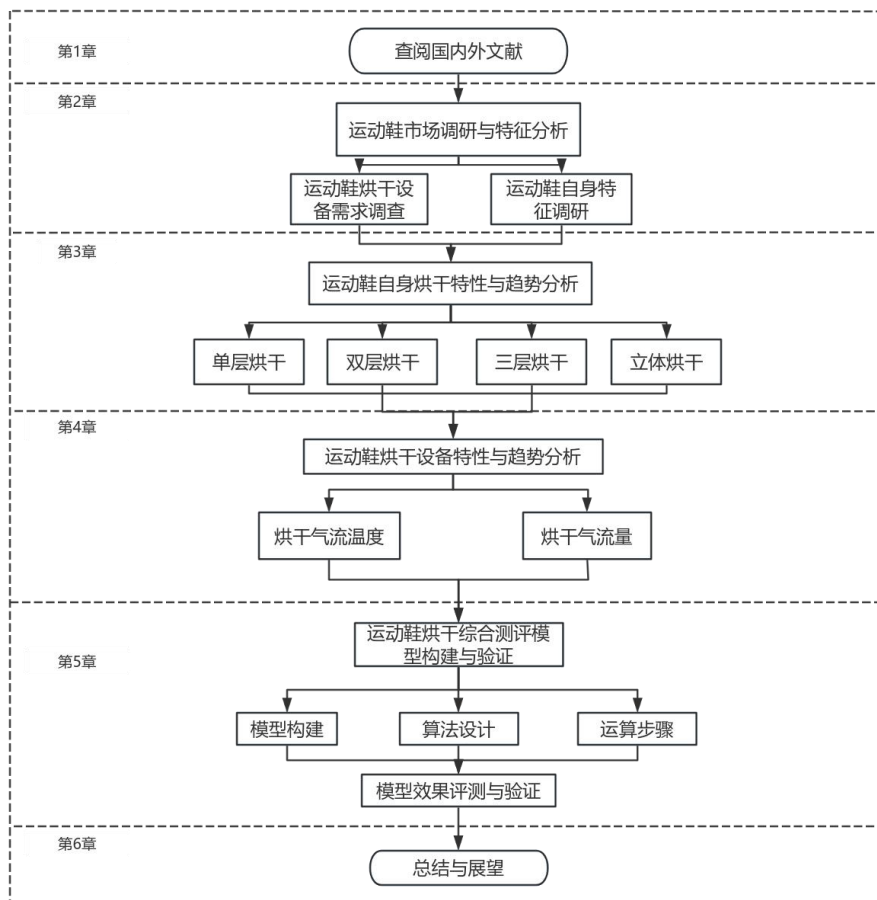


图 1-9 研究技术路线图

Fig. 1-9 Research technology roadmap

第 2 章 运动鞋市场调研与特征分析

2.1 引言

为了深入了解消费者在日常生活中对运动鞋烘干设备的需求,本文采用抽样调查的方式,对不同年龄、省份和运动习惯的消费者进行了广泛的调研,收集了大量关于消费者对运动鞋烘干的需求、偏好以及认知等信息。在完成消费者需求调研后,进一步对市场上的运动鞋款式进行了全面的信息收集与分类。通过分析各大品牌的产品目录和电商平台数据情况,详细记录了以下关键信息:运动鞋鞋面材料、内里材料、鞋垫材料、中底材料、外底材料、鞋舌材料、制造工艺、鞋带材料、颜色、类型、鞋面层数等。通过对这些信息的系统分析,确定了实验材料,为后续的烘干实验提供了科学依据。

2.2 运动鞋烘干设备需求调研

2.2.1 问卷调研的目的

本文调研主要目的是为了解现代消费者对运动鞋烘干设备的需求,主要是从以下几个方面进行调研:消费者的基本资料、消费者基于个人体验对运动鞋烘干需求的评估以及消费者家中鞋子的拥有情况。通过这些维度,了解消费者在运动鞋烘干设备方面的实际需求和期望,以此保证后续实验的研究意义。

2.2.2 问卷调研设计

本次调研以调查问卷的形式为主。首先,本课题设计并发放了 40 份预调研问卷。调研结果显示,男性对运动鞋烘干的需求显著高于女性。基于这一发现,本课题将重点聚焦于男性运动鞋烘干需求的深入调研。在预调研的基础上,我们对问卷的部分内容和形式进行了细致的调整与优化,以确保问卷的科学性和有效性。经过修改,最终确定的问卷版本见附录 1。该问卷采用结构化形式,调研对象限定为成年男性,以聚焦于男性群体对运动鞋烘干的需求。问卷的调研进度详细记录在表 2-1 中。最终确定的问卷内容主要分为以下三个部分^[46]:

第一部分,这部分旨在收集调研对象的基本信息,包括年龄、所在地、收入水平等,以便对调研对象进行分类和背景分析,对应问卷 1~4 题;

第二部分,此部分聚焦于调研对象家中鞋子的拥有情况,包括鞋子的总数、运动鞋的数量以及运动鞋的种类。通过这些问题,我们能够了解消费者对运动鞋的依赖程度和使用频率,对应问卷 5~7 题;

第三部分,这部分是问卷的核心内容,旨在深入了解消费者对运动鞋烘干功能的认知和实际需求。问题涉及运动鞋通风烘干的原因、是否愿意购买运动鞋烘

干机等。通过这些问题，我们能够准确评估消费者对运动鞋烘干机的需求程度，对应问卷最后三题。

表 2-1 问卷调研计划表
Table. 2-1 questionnaire survey schedule

调研进度	时间
预调研问卷设计	2024 年 4 月 1 日 2024 年 4 月 7 日
预调研	2024 年 4 月 8 日 2024 年 4 月 15 日
预调研结果分析与问卷修改	2024 年 4 月 16 日 2024 年 4 月 23 日
正式调研	2024 年 4 月 24 日 2024 年 5 月 18 日
问卷回收及分析	2024 年 5 月 19 日 2024 年 6 月 3 日

采用的问卷调研方式主要有：

- （1）为了高效地收集消费者对运动鞋烘干需求的反馈，本研究采用了第三方问卷调查的方式。我们利用专业的在线调查平台——问卷星，创建并发布了详细的调研问卷。
- （2）电子邮件邀请，通过发送电子邮件进行问卷调研。
- （3）人工实地发放并回收。

2.2.3 问卷被试选择

实验参与者全部为男性，年龄主要集中在 18 至 49 岁之间，包括在校大学生和研究生。运动鞋作为当下潮流文化中不可或缺的单品以及运动装备，在青壮年群体中尤为受到青睐。它们不仅因其出色的搭配性能而备受推崇，而且其多功能性和时尚性也使其成为青壮年人表达个性和追求时尚生活方式的重要载体。

2.2.4 问卷回收与分析

本次调查共发放问卷 200 份，回收问卷 174 份，剔除无效问卷，回收有效问卷 174 份，问卷回收率 87%，问卷有效率 100%。

2.2.4.1 受访者基本信息数据分析

2024 年 4 月，针对消费者对于运动鞋日常烘干的需求，开展了抽样调查。调研涉及江苏、安徽、山东等全国约 25 个地区，最终回收有效问卷 174 份，样本具有较广泛的区域特征，样本区域统计结果见图 2-1。

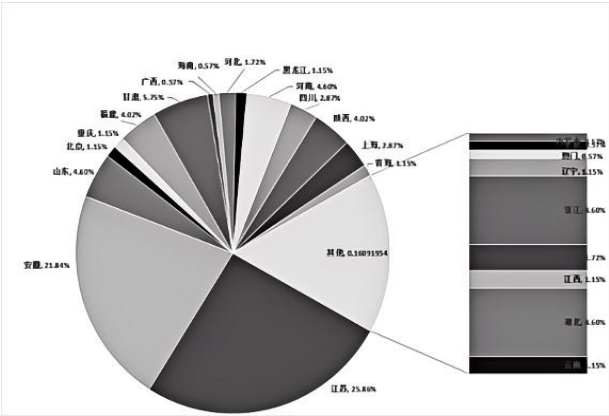


图 2-1 调研对象省份分布

Fig. 2-1 Distribution of surveyed provinces

调研结果显示,参与问卷的答卷者涵盖了广泛的年龄范围,且家庭月平均收入水平各异。具体来看,如表 2-2 和表 2-3 所呈现的数据表明,在排除 18 岁以下和 60 岁以上的年龄段后,剩余年龄层的分布显示出较为均衡的特点。此外,调研样本中家庭月平均收入在各个层级均有广泛分布,这一现象证明了调研样本具有较高的多样性和广泛性。这样的样本构成不仅增强了调研结果的普遍适用性,而且提高了研究结论的可信度。进一步分析调研数据,我们发现 44.83%的受访者所在家庭为三口之家,而 39.08%的受访者所在家庭为四口之家。

表 2-2 调研对象年龄分布

Table. 2-2 Age distribution of research subjects

调研对象年龄	百分比
18 岁以下	1.15%
18~29	26.44%
30~39	32.18%
40~49	25.29%
50~59	12.64%
60 岁以上	2.3%

表 2-3 调研对象家庭月平均收入

Table. 2-3 Age distribution of research subject

家庭月平均收入	百分比
5000 元以下	0.57%
5000 元~1 万元	26.44%
1 万元~3 万元	36.78%
3 万元~5 万元	25.86%
5 万元~10 万元	8.05%
10 万元以上	2.3%

2.2.4.2 消费者家中鞋子的概况及分析

由图 2-2 和图 2-3 所知,消费者家中鞋子的总数量主要集中在 20~30 双和 10~20 双两个区间,而运动鞋的数量则以 10~15 双最为常见,其次为 15~20 双。值得注意的是,消费者家中鞋子的总数和运动鞋的总数并未随着家庭人口数量的增加而呈现明显的增长趋势。这一现象可能与家庭的月平均收入水平以及日常消费习惯密切相关。分析观察到运动鞋在消费者家庭鞋子总数中所占比例通常能达到 50%左右。鉴于此,运动鞋烘干机的市场潜力巨大,不容忽视。

由图 2-4 可知,休闲运动鞋因其穿着舒适、款式百搭的特点,在日常生活中备受消费者青睐。在本次调研中,共有 174 人填写了问卷,其中 169 人表示拥有休闲运动鞋,这一比例高达 97.1%,充分说明了休闲运动鞋在消费者中的普及程度。随着人们健康意识的不断提升,越来越多的人开始参与健步运动或走进健身房^[47]。这种趋势促使运动鞋市场不断细分,功能性运动鞋如篮球鞋、训练鞋等的

需求也在逐渐增加^[48]。这些功能性运动鞋不仅在设计上更加专业，还针对不同运动场景提供了针对性的性能支持，因此其市场潜力巨大^[49]。

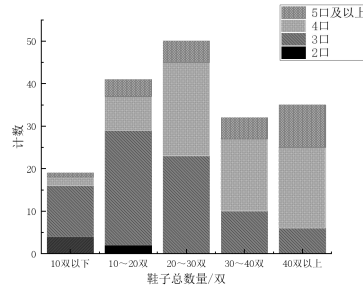


图 2-2 调研对象家中所有鞋子数量

Fig. 2-2 The number of shoes in the household of the research subject

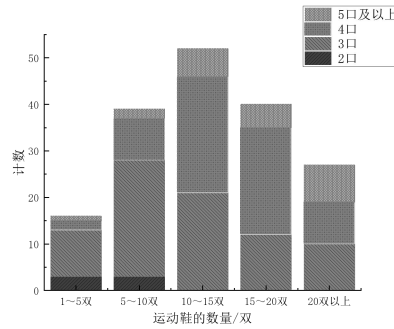


图 2-3 调研对象家中所有运动鞋数量

Fig. 2-3 The number of sports shoes in the household of the research subject

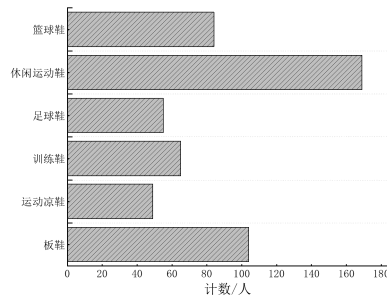


图 2-4 调研对象家中运动鞋品类

Fig. 2-4 Research subjects' home sports shoe categories

2.2.4.3 运动鞋烘干机市场需求分析

在消费者的日常生活中，晾晒运动鞋是一种常见的行为，其主要目的是为了烘干鞋子和去除异味。根据我们的问卷调查结果（如表 2-4 所示），在所有参与问卷填写的消费者中，有 52.3% 的人表示，在下雨或刷洗运动鞋后，他们会通过晾干的方式让鞋子中的水分自然蒸发。此外，还有 16.09% 的消费者表示，他们在日常穿着中，由于脚部出汗导致鞋子潮湿，也需要通过晾晒来解决这一问题。然而，晾晒运动鞋并非没有弊端。在强烈的阳光下直接暴晒，可能会导致鞋材发

黄、褪色甚至损坏，从而缩短鞋子的使用寿命。特别是在夏季，紫外线的强烈照射会对鞋面材料造成不可逆的损伤。此外，在梅雨季节，空气湿度较大，自然晾干运动鞋的难度显著增加。在这种高湿度的环境下，鞋子不仅难以快速干燥，还容易滋生霉菌，出现发霉的现象，进一步影响了鞋子的使用寿命和穿着体验。因此，尽管晾晒是一种简单且常见的干燥方式，但其局限性也不容忽视。

表 2-4 调研对象烘干运动鞋的原因

Table. 2-4 Reasons for drying sports shoes for research subjects

原因	占比
运动鞋有异味	22.41%
下雨或刷洗后晾晒烘干	52.3%
日常穿着后有潮湿感	16.09%
发霉	9.2%

在本次调研中，我们共回收了 174 份有效问卷，这些问卷的数据为我们的研究提供了重要的参考依据（量表如表 2-5 所示）。通过对这些问卷的分析，我们发现，有接近六成的答卷者认为运动鞋的烘干功能是必要的，这一结果表明，大多数消费者对运动鞋烘干功能有着较高的需求和期待。此外，还有 24.14% 的答卷者对运动鞋烘干的必要性持中立态度，这部分消费者可能对运动鞋烘干功能的必要性存在一定的保留意见，或者认为这一功能的实用性因个人使用习惯和场景而异。更令人关注的是，超过 50% 的答卷者表示愿意购买运动鞋烘干机（如图 2-5 所示）。这一数据不仅反映了消费者对运动鞋烘干功能的高度认可，也揭示了运动鞋烘干机在市场上的潜在需求和商业价值。这表明，随着消费者对运动鞋护理需求的增加，运动鞋烘干机作为一种便捷、高效的工具，正逐渐受到市场的关注和青睐。

表 2-5 调研对象认为运动鞋烘干的必要程度

Table. 2-5 The research subjects believe in the necessity of drying sports shoes

必要程度	占比
必要	56.32%
中立	24.14%
没必要	19.54%

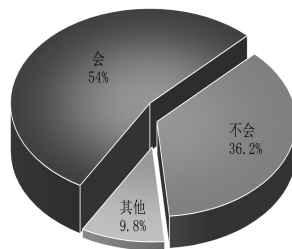


图 2-5 调研对象购买运动鞋烘干设备意向

Fig. 2-5 Research subjects' intention to purchase sports shoe drying equipment

此外，本次调研结果还揭示了一个现象：运动鞋烘干机的购买意愿在不同年龄层之间存在较大差异。具体而言，如图 2-6 所示，30~39 岁的消费者群体表现出最高的购买意愿，而 60 岁以上的消费者群体则表现出最低的购买意愿。对于 30~39 岁的消费者来说，他们正处于人生的“黄金阶段”：既要照顾家庭生活的琐碎事务，又要兼顾事业的上升发展。这种双重压力往往导致时间上的冲突，使得他们更加倾向于寻找能够节省时间和精力解决方案。运动鞋烘干机作为现代智能家居产，正好满足了他们的这一需求。此外，90 后一代成长于科技快速发展的时代，他们对新兴事物的接受速度更快，包容性也更高。因此，当面对运动鞋烘干机这样的创新产品时，他们更愿意尝试并接受。相比之下，60 岁以上的消费者大多处于老年阶段，他们的生活方式和消费观念相对较为传统。他们可能认为运动鞋烘干机是一种不必要的奢侈品，或者对这类新兴科技产品的实用性和必要性持怀疑态度。因此，他们在购买运动鞋烘干机时表现出了较低的意愿。基于以上分析，运动鞋烘干机的主要目标消费群体应定位在 18~39 岁的青中年人群。这一年龄段的消费者不仅对新兴科技产品有较高的接受度，而且他们所面临的实际需求也使得运动鞋烘干机成为一种极具吸引力的解决方案。

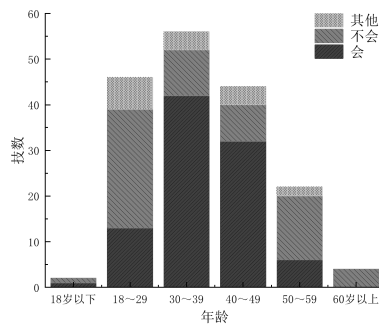


图 2-6 运动鞋烘干机购买意向统计图

Fig. 2-6 Statistical chart of purchase intention for sports shoe dryer

2.3 运动鞋自身特征调研

调研内容：调研市场销量较高的运动鞋鞋款，汇总归纳其款式的类型、颜色、鞋面材质、内里材质、鞋垫材质、鞋垫材质、中底材质和外底材质等信息。

调研方式：在淘宝网、抖音商城、拼多多中搜索运动鞋，根据销量由多到少的顺序，调研各平台排名前 50 款运动鞋的品牌。

调查渠道：淘宝网、抖音商场、拼多多。

调研时间：2024 年 7 月 1 日至 7 月 15 日。

调研结果分析：本次调研款式 150 个，共调研运动鞋品牌 48 个，包含安踏、耐克等知名运动品牌，重点调研的运动鞋品牌是安踏、李宁、New Balance 和 Nike，李宁和 Nike 这两个品牌是三个平台销量与口碑均比较好的高端品牌，安踏和

New Balance 这两个品牌是三个平台销量与口碑均比较好的中低端品牌，对这四个品牌销量前 20 款运动鞋进行分析。

表 2-6 调研款式与品牌数量
Table 2-6 Research styles and brand quantity

调研品牌	总计	安踏	李宁	New Balance	Nike
数量	80款	20款	20款	20款	20款
运动鞋 图片					

2.3.1 款式分析

运动鞋按运动场地分类，大致可以分为下列七类。第一类：户外行走及跑步的训练鞋。这类鞋包含了大多数户外运动的跑步鞋、散步鞋、练习鞋、旅游鞋、健身鞋等；第二类：小型球场专用鞋。这是一类在特定球场运动的专业鞋，尤其是指室内球场或场地较小的运动项目，例如网球鞋、羽毛球鞋、排球鞋、篮球鞋等；第三类：大型球场专用鞋。这一类鞋包含大多数属于户外运动鞋，例如足球鞋、橄榄球鞋、棒球鞋等；第四类：田径专用鞋。这一类运动鞋泛指各种田赛和径赛的专用鞋，例如跑鞋、跳鞋等；第五类：野外运动鞋。这一类运动鞋，用于各种野外休闲运动。例如山地徒步鞋、荒漠探险靴等；第六类：冰雪运动鞋，专为冰雪环境设计，例如滑冰鞋、滑雪鞋等；这一类第七类：特种运动鞋。这一类鞋有别于前六类鞋种，包括各种车类比赛项目用鞋、水上运动专用鞋，以及运动人员相对较少的项目鞋。例如攀岩运动、蹦极运动、滑板运动、蹦床运动、技巧小轮车运动等用鞋^[50]。



图 2-7 户外行走及跑步训练鞋（a）、田径专用鞋（b）、小型球场专用鞋（c）视角图

Fig. 2-7 Mini dryer (a), portable dryer (b), heat pump dryer (c) and direct dryer (d)

在进行市场调研时，我们发现当消费者在众多的运动鞋市场中挑选时，他们倾向于选择专为特定活动设计的鞋款。具体来说，户外行走及跑步训练鞋、专为田径运动设计的鞋款以及为小型球场量身定制的运动鞋深受消费者的喜爱。这一

趋势的根源是消费者越来越注重运动鞋的功能性和舒适性。人们在选择运动鞋时，不再只关注外观和品牌，而是更加注重鞋子能否提供足够的支撑和缓冲，以确保在运动过程中的舒适和安全。另外，运动鞋的易搭配性也是消费者考虑的重要因素，他们期望一双鞋既能满足运动需求，又能在日常穿着中展现出时尚感。总的来说，消费者在选择运动鞋时，越来越注重鞋子的实用性和专业性，这不仅反映了他们对健康生活方式的追求，也体现了现代消费者对生活品质的不断提升。随着运动文化的不断深入，我们可以预见，未来运动鞋市场将更加注重产品的功能性与个性化。

从表 2-7 可知，在众多运动鞋种类中，户外行走及跑步训练鞋款脱颖而出，成为消费者的首选^[51]。主要可以归纳为以下几点原因：一是舒适性：这类鞋款在设计上注重人体工程学，采用柔软的内衬和贴合脚型的鞋型，使得穿着者在长时间户外活动或跑步时也能够享受到舒适感^[52]。二是透气性：考虑到户外活动和跑步时脚部容易出汗，这些鞋款通常采用透气材料，如网眼布或特殊透气膜，以确保鞋内空气流通，保持脚部干爽。三是多功能性：许多户外行走及跑步训练鞋在设计上兼顾了支撑性和缓震性，使其不仅适合跑步和徒步，还能应对多种运动场景。

徒步鞋在支撑力方面的表现尤为卓越，这得益于其坚固的鞋底和加强的中底设计，能够适应复杂地形和负重状态下的登山或徒步。为了进一步提升舒适度和保护性，徒步鞋通常会采用先进的缓震技术，如气垫、EVA 泡沫等材料，这些材料能够有效吸收地面的反作用力，减轻地面对脚部的冲击，保护关节和骨骼免受损伤^[53]。相比之下，田径专用鞋和小型球场专用鞋则在设计上更加注重专业性。它们通常具有出色的灵活性和抓地性能，以满足运动员在高速运动中的快速转向、加速和稳定的需求。这些鞋款的设计旨在为消费者提供科学的保护和良好的运动体验感。综上所述，消费者在选择运动鞋时，会根据不同的运动需求和个人喜好，选择最适合自己的鞋款。

表 2-7 运动鞋产品类型信息汇总

Table. 2-7 Summary of product type information for sports shoes

分类	款式数量（双）	比例（%）	图例
户外行走及跑步的 训练鞋	68	85	
田径专用鞋	7	8.75	
小型球场专用鞋	5	6.25	

2.3.2 配色分析

如表 2-8 所示,在众多运动鞋色彩的选择中,消费者们似乎对中性色系情有独钟。原因可能是:中性色系因其百搭的特性,能够轻松驾驭各种场合,无论是日常通勤还是周末休闲,都能展现出穿着者的品味。它们的经典魅力在于,永远不会因时间的流逝而显得过时^[54]。中性色系的运动鞋在搭配上能够与衣柜中的任何服装相得益彰,无论是休闲的牛仔裤还是运动时的短裤,都能穿出简约而不失格调的风格。此外,中性色系的运动鞋在耐脏性上也表现出色,易于清洗和保养。然而,冷色系和暖色系运动鞋也深受消费者追捧。冷色系以其清新脱俗的特质,给人以宁静和内敛的感觉,它们在视觉上的收缩效果,更是为追求纤细、修长外观的消费者提供了理想选择。而暖色系运动鞋则以其鲜明的个性和活力四射的形象,成为那些希望在人群中脱颖而出的消费者的首选。它们不仅能够激发穿着者的积极情绪,还能在寒冷季节中带来温暖的感觉,为整体搭配增光添彩。

表 2-8 运动鞋产品颜色信息汇总

Table. 2-8 Summary of color information for sports shoe products

分类	说明	款式数量 (双)	比例 (%)	图例
冷色系	在视觉上能给人带来清新、宁静和凉爽的颜色	10	12.5	
暖色系	在视觉上能给人带来温暖、热情、欢快感受的颜色	5	6.25	
中性色系	黑色、白色及由黑白调和的各种深浅不同的灰色系列	65	81.25	

2.3.3 鞋帮面料分析

运动鞋的帮面面料分为鞋面材料、内里材料和鞋跟材料。

鞋面面料:

(a) PU 合成革,全称为聚氨酯合成革,属于聚氨酯弹性体的一类,具有光泽柔和、自然、手感柔软、真皮感强的外观。它不仅具有与基材粘接性能优异、耐挠曲、抗老化等优异的机械性能,还具备耐寒性好、防水性好、可洗涤、易于保养、价格低廉等优点,但也有透气性差、不耐高温、质感不如真皮和不耐磨损等缺点。

(b) 双底三明治网布是一种特殊的经编网布,其结构由网孔表面、连接单丝和平布底面组成。这种网布通常由涤纶制成,上下两面为涤纶丝,中间连接丝为涤纶单丝,厚度一般在 2-4mm 之间。它具有透气性好、质地轻、易洗涤、造型多变等优点,但也有不耐久,相比皮革更容易受到磨损和撕裂。

(c) 翻毛皮是一种皮革，它是由动物皮革经过特殊处理后形成的一种表面质感类似于翻毛的皮革。它具有透气性好、染色性能佳、面料柔软舒适、穿着体验极佳、质感上乘、不易产生折痕、耐磨损性能优越等优点，但也有容易吸附尘灰，颜色牢度相对较低，表层皮毛磨损后修复难度较大等缺点。

(d) 牛津纺是一种纺织品材料，其主要由纯棉纱线采用牛津纺织法织成。具有丝质光泽、手感柔软、透气性好的特点，但易皱、易缩水、易变形、易粘毛等缺点。

(e) 飞织面料主要由化纤制成，以混纺面料为主，具体成分可能包括涤纶、氨纶和棉纱等。这种面料通常用于鞋面，因其纺织原材料的多样性，飞织面料具有较好的透气性和舒适度。飞织面料通过特殊的纺织技术将纱线制成，经过两种以上的纱线捻合而成，形成均匀、紧密的网格状结构，具有很好的透气性和吸湿排汗性，有轻盈、柔软、易折叠、易干洗等特点，而缺点包括不防水和不适合冬季穿^[55-56]。

(f) 人造革是一种外观、手感类似于天然皮革的塑料制品，通常以织物为底层，表面涂覆合成树脂制成。具有耐磨、轻便、成本低、环保等优点，同时也存在透气性差、可能含有塑料味、外观不如天然皮革自然等缺点。

表 2-9 运动鞋鞋面面料

Table. 2-9 Sports shoe upper fabric

PU 合成革	双底三明治网布	翻毛皮	牛津纺	飞织	人造革
					

运动鞋内里材料：

(a) 棉氨混纺面料是将棉纤维和氨纶纤维混合在一起制成的纺织品。这种面料结合了棉和氨纶两种材料的优点，具有柔软舒适、透气、弹性佳、吸湿性强和耐穿性等优点。然而，棉氨混纺面料也有一些局限性，比如氨纶含量过高可能会导致面料的透气性降低，以及在某些情况下可能不如纯棉面料耐高温。

(b) 棉是一种由受精胚珠的表皮细胞经伸长、加厚而成的种子纤维，主要组成物质是纤维素。具有舒适度高、柔软舒适、耐穿性强等优点，但不耐磨、吸汗后不易干等缺点。

(c) 棉涤混纺天鹅绒是一种将棉和涤纶两种纤维混合制成的织物。这种混纺面料结合了棉的柔软舒适和涤纶的强度与耐用性，使得成品天鹅绒具有独特的质感和性能。但有可能产生静电和不易保养等缺点。

表 2-10 运动鞋内里面料

Table. 2-10 Interior fabric of sports shoes

棉氨混纺	棉	棉涤混纺
		

表 2-11 运动鞋面料信息汇总

Table. 2-11 Summary of fabric information for sports shoes

面料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
PU 合成革	15	18.75	
双底三明治网布	22	27.5	
翻毛皮	24	30	
牛津纺	2	2.5	
飞织	9	11.25	
人造革	8	10	

表 2-12 运动鞋内里材质信息汇总

Table. 2-12 Summary of material information inside sports shoes

面料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
锦纶涤纶混纺	65	81.25	
棉	4	5	
天鹅绒	11	13.75	

表 2-13 运动鞋鞋跟材质信息汇总

Table. 2-13 Summary of shoe heelmaterial information for sports shoes

面料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
PU 合成革	29	36.25	
飞织	4	5	
牛津纺	2	2.5	
双底三明治网布/TPU	5	6.25	
PU 合成革/TPU	2	2.5	
飞织/TPU	1	1.25	
PU 合成革/PP 膜	1	1.25	
橡塑材质	4	5	
双底三明治网布	5	6.25	
翻毛皮	15	18.75	
人造革	10	1.25	
人造革/TPU	2	2.5	

在运动鞋面料的选择上，翻毛皮面料因其柔软的绒毛质地而备受欢迎，它不仅提供了卓越的舒适感，而且相比光滑的皮革，翻毛皮的透气性能也相当不错，有助于保持脚部的干爽。除了翻毛皮，双底三明治网布和 PU 合成革也是市场上的热门选择。

在运动鞋内里材质的选择上，棉氨混纺材料备受青睐，是因为这种面料巧妙

地融合了棉纤维和氨纶纤维的特质，带来了一系列显著的优势。一是柔软舒适性：棉氨混纺面料质地柔软，手感细腻，能够轻柔地贴合穿着者的脚型，显著减少摩擦和不适，为穿着者提供较好的舒适体验感。二是透气性：得益于棉纤维的天然透气性，棉氨混纺面料能够快速地将汗气排出，维持鞋内的干爽与舒适，有效防止细菌的滋生。三是弹性：氨纶纤维的加入，赋予了面料优异的弹性。这种弹性使得面料能够自如地适应穿着者的各种动作，提供稳定的支撑和保护。综上所述，棉氨混纺面料以其柔软舒适、透气、弹性佳、等特点，成为鞋面内里材料的上佳之选，为穿着者提供了全面的舒适保障和持久的耐用性能。

表 2-13 可知，鞋跟面料种类繁多，常用面料也与鞋面面料大致相同，有些运动鞋鞋跟会加有 TPU，原因是 TPU 具有优异的耐磨性，能够承受高强度使用，延长鞋使用寿命，而且 TPU 材料具有良好的弹性能够提供适当的支撑和缓冲效果，有助于减轻运动时对脚部的冲击。

2.3.4 鞋舌面料分析

根据表 2-14 可知，在鞋舌外表面面料的选择上，双底三明治网布是市场上的主流选择，主要是因为其卓越的透气性能，它特殊的结构设计，能够高效地促进空气流通，有效排出鞋内的湿气和汗水，从而维持鞋内的干爽环境，为穿着者提供更为舒适的体验。此外，双底三明治网布的轻量化特性也是其备受推崇的原因之一。相较于其他面料，这种材料的重量更轻，这不仅减轻了鞋子的整体负担，还提升了穿着时的舒适度和灵活性。

在运动鞋的设计中，鞋舌内衬的选择对于提升整体穿着体验至关重要。海绵因其卓越的柔软性和适应性，成为了鞋舌内衬的理想材料。其细腻的质地，能够轻轻地包裹住穿着者的脚部，提供了较好的舒适度。而且海绵材料的可塑性极强，可以根据鞋舌的具体形状进行精细的加工和塑形。鞋舌内里材料与鞋面内里材料相同，原因一致。

表 2-14 运动鞋鞋舌外表面材质信息汇总

Table. 2-14 Summary of material information for the outer surface of sports shoe tongue

面料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
双底三明治网布	45	56.25	
双底三明治网布/PP 膜	1	1.25	
双底三明治网布/PU 合成革	34	13.75	

表 2-15 运动鞋鞋舌内衬材质信息汇总

Table. 2-15 Summary of material information for tongue lining of sports shoes

面料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
海绵	80	100	

表 2-16 运动鞋鞋舌内里材质信息汇总

Table. 2-16 Summary of material information for the tongue inner of sports shoes

面料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
棉氨混纺	65	81.25	
棉	4	5	
棉涤混纺	11	13.75	



图 2-8 运动鞋鞋舌结构视角图

Fig. 2-8 Perspective view of tongue structure diagram of sports shoes

表 2-17 运动鞋鞋舌内内里

Table. 2-17 Inside the tongue of sports shoes

锦纶涤纶混纺	棉	棉涤混纺
		

2.3.5 鞋底面料分析

根据表 2-18 可知，在运动鞋中底的选择上，EVA 占据了主导地位，原因有以下几点：一是 EVA 是运动鞋中底最早使用的发泡材料之一，其纯 EVA 发泡的回弹性较高，这一性能远远超过了 PVC、橡胶等传统材料，为穿着者提供了显

著的舒适度和能量回馈。二是 EVA 材质轻便和易于加工。在鞋材领域，EVA 的化学发泡工艺主要有三种：传统的平板大发泡、模内小发泡和注射交联发泡。其中，注射交联发泡因其优异的质量和效率，成为了运动鞋加工企业的主流工艺。为了进一步提升 EVA 制品的物理性能，制造商们还会在 EVA 原料中加入各种弹性体进行共混改性。这些弹性体包括 EPDM、POE、OBCs 和 TPE。通过利用 EPDM 的橡胶性、POE 的高弹性、OBCs 的柔软结晶性和 TPE 的柔软性，可以显著提升 EVA 制品的性能。FuelCell/PEBA 材料也成为了运动鞋中底的优选材料。FuelCell/PEBA 的结合带来了一系列显著的优点，包括了轻量化、高能量回馈以及优良的缓震性能等。

在运动鞋的外底材质选择中，橡胶占据了绝大多数。原因是橡胶作为一种高分子化合物，具备良好的弹性和耐磨性，能够在长时间的使用过程中维持其形状，不容易发生磨损和变形，提供了持久的耐用性。此外，其还具有良好的耐酸碱性，适合在各种环境中穿着，包括雨天或湿滑环境。除了橡胶外，EVA/橡胶的组合也是运动鞋制造商常用的材料之一。这种组合充分发挥了两种材料的优势，兼顾了耐磨性、抓地力、缓震性和轻质感。EVA 是一种常用于运动鞋中底的材料，它具有良好的柔软性和弹性，与橡胶结合使用时，可以提供更好的缓震和舒适度。

表 2-18 运动鞋中底材质信息汇总

Table. 2-18 Summary of midsole material information for sports shoes

材料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
EVA	35	43.75	
橡胶	3	3.75	
A-FLASHFOAM	3	3.75	
FuelCell/PEBA	19	23.75	
LIGHT FOAM 科技/䨻科技 /TPEE	1	1.25	
超临界发泡 氮科技	3	3.75	
李宁云（EVA、橡胶） /PROBAR LOC 稳定装置/䨻	1	1.25	

续表 2-18

材料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
碳素橡胶	1	1.25	
生胶	1	1.25	
泡棉	4	5	
A-FLASHEDGE	1	1.25	
LIGHT FOAM ULTRA 科技/ 䨻科技	1	1.25	
Lightfoam Ultra	1	1.25	
PG7(融合热塑性弹性体)	1	1.25	
Phylon	3	3.75	
A-SHOCK	1	1.25	
LIGHT FOAM	1	1.25	

表 2-19 运动鞋外底材质信息汇总

Table. 2-19 Summary of material information for outsoles of sports shoes

面料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
EVA	11	13.75	
EVA/TPEE	1	1.25	
EVA/橡胶	29	36.25	

续表 2-19

面料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
EVA/橡胶/TPU	3	3.75	
尼龙/橡胶/TPU	1	1.25	
橡胶	34	42.5	
橡胶/乙烯/醋酸乙烯 共聚物 EVA	1	1.25	

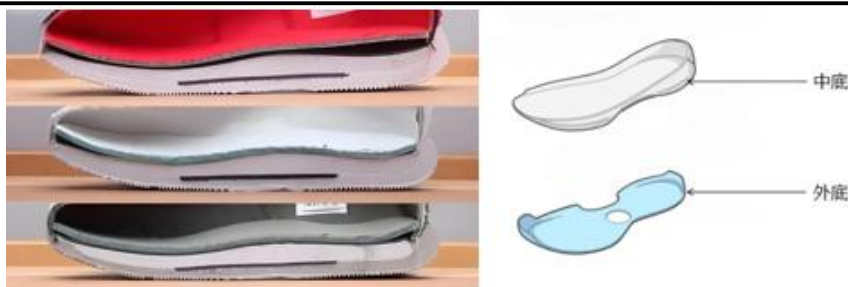


图 2-9 运动鞋鞋底结构

Fig. 2-9 Sole structure of sports shoes

鞋底纹路大致分为三大类，如表 2-20，抓地力大小分别为：类钉鞋型纹路>横向型纹路（垂直于运动方向）>纵向型纹路（平行于运动方向）。类钉鞋型纹路这种设计通过鞋底上排布的凸出颗粒造型，紧紧咬合路面，从而提供出色的抓地力。这一特性使得类钉鞋型纹路成为竞速型鞋款的首选，特别是在高速奔跑时对抓地力有严格要求的场合。这种纹路的设计通常集中在鞋子的前掌区域，这样在运动员跑步时，鞋底能够更好地与地面接触，确保力量的有效传递，从而产生强大的推进力。然而，类钉鞋型纹路的设计也存在一些弊端。由于这种设计使得鞋底的接触面积相对较小，压力更多地集中在凸出的颗粒上，这可能会加速颗粒的磨损，影响鞋子的耐用性。横向纹路设计的运动鞋底以其出色的纵向弯折性备受推崇，这种设计能够使大底与地面紧密贴合，从而产生良好的抓地力。其常见于强调弯折性的鞋款，尤其是在需要快速起步和急停的运动中。然而，横向纹路设计虽然在纵向的抓地力和弯折性方面表现出色，但在侧向的抓地力和弯折性方面则相对较弱。

纵向纹路设计的运动鞋底以其独特的构造在运动鞋底占据了一席之地。这种设计虽然在纵向弯折性上可能略逊一筹，但它提供了优异的纵向刚性、滚动顺畅性以及侧向的抓地力。然而，这种设计存在一定的局限性。由于纵向纹路的接触

面积相对较小，压力更集中于这些纹路上，这可能会牺牲一定的耐用性、稳定性和舒适性。

表 2-20 运动鞋外底纹路分类

Table. 2-20 Classification of patterns on the outsole of sports shoes

外底纹路	类钉鞋型纹路	横向纹路	纵向纹路
图例			

2.3.6 鞋垫材料分析

根据表 2-21 的数据，我们可以得出结论，EVA 材质在运动鞋鞋垫的选择中占据了主导地位。EVA 树脂，作为一种共混发泡产品，它拥有卓越的柔软性和弹性，使得鞋垫能够提供舒适的脚感和恰当的足弓支撑。其不仅能够缓解行走和跑步时对脚部的冲击，还能有效吸收震动，减少对腿部的压力，从而降低受伤的风险^[57]。紧随其后的是 PU 和海绵鞋垫。PU 鞋垫因其质轻和拥有卓越的弹性而受到大众青睐，它不仅提供了额外的舒适度，还增强了鞋垫的耐用性。选择 PU 鞋垫的运动鞋，可以在保证性能的同时，提供更好的运动体验感^[58]。而海绵鞋垫则以其出色的透气性著称，有助于脚部湿气的散发，保持脚部干爽。此外，海绵还具有一定的弹性和缓震性能，可以在运动中吸收冲击力，减少对脚部和腿部的压力，提供额外的舒适感和保护。

表 2-21 运动鞋鞋垫材质信息汇总

Table. 2-21 Summary of material information for sports shoe insoles

面料成分	款式数量（双）	比例（%）	图例
EVA	36	45	
ortholite	2	2.5	
PU	21	26.25	
海绵（聚酯氨）	21	26.25	

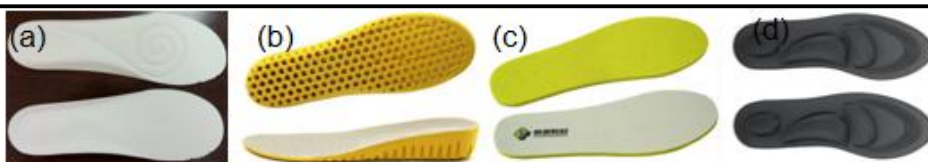


图 2-10 EVA (a)、PU (b)、ortholite (c) 和海绵 (聚酯氨) 鞋垫 (d)

Fig. 2-10 EVA (a), PU (b), ortholite (c) and sponge (polyester ammonia) insole (d)

2.3.7 鞋带材料分析

由表 2-22 可知, 涤纶在鞋带材料中的占比最高, 原因是涤纶纤维拥有出色的强度和耐磨性, 使得鞋带在日常穿着和运动中的拉扯及摩擦下不容易断裂, 从而延长了鞋带的使用寿命。另外涤纶纤维的弹性堪比羊毛, 它能在受到拉伸之后迅速恢复原状, 这不仅有助于鞋带保持紧固, 避免在运动中意外松脱, 还能提供良好的弹性反馈, 增强穿着时的体验感。更重要的是涤纶的生产成本相对较低, 这使得涤纶作为鞋带材料的运动鞋在价格上更具竞争力。在鞋带材料的选用上, 锦纶和涤棉也是常见的选择。锦纶纤维拥有优良的弹性和回弹性, 它能够在拉伸后快速恢复原状, 保证了鞋带的紧固和舒适的系带体验。此外, 它还是一种高强度纤维, 具有良好的耐磨性能, 这使得鞋带在日常使用中更加耐用。涤棉材料在干湿状态下能够保持较好的尺寸稳定性, 缩水率小, 确保鞋带即使经过多次洗涤也能保持合适的长度和张力。而且涤棉的吸湿性较低, 不易沾染污渍和起球, 使得清洁和保养变得更加简便, 为消费者节省了大量的时间和精力。

表 2-22 运动鞋鞋带材质信息汇总

Table. 2-22 Summary of material information for sports shoe laces

面料成分	款式数量 (双)	比例 (%)	图例
涤纶	27	33.75	
涤棉	20	25	
棉	10	12.5	
锦纶	23	28.75	



图 2-11 涤纶 (a)、涤棉 (b)、棉 (c) 和锦纶鞋绳 (d)

Fig. 2-11 Polyester (a), polyester cotton (b), cotton (c), and nylon shoe rope (d)

2.3.8 运动鞋制造工艺分析

运动鞋制造工艺可以分为冷粘、热硫化粘贴、注射及浇注、模压运动鞋等。

冷粘运动鞋：即在常温环境下，进行帮面与鞋底结合，所用的结合剂为胶黏剂。此种工艺操作简单、方便，具有代表性。热粘工艺鞋：即在高温的硫化罐中使鞋帮与鞋底结合。通常在 130℃左右条件下粘合。对鞋材的耐高温性要求较高，鞋材耐温性差时，易引起变形或老化。注射及浇注工艺鞋：通过注射机的注射或人工浇注，使鞋底成型的同时与帮面结合在一起。这种工艺是一次性加工定型，生产效率高。模压工艺鞋：通过模压机的模具使鞋底成型，同时使其与鞋帮面相结合。

由表 2-23 可知，在运动鞋的制造工艺中，冷粘运动鞋占据了市场的主导地位。这主要是因为冷粘工艺通过使用特定的粘合剂将鞋底与鞋面结合，无需与硫化鞋那般依赖厚重的橡胶材料 and 高温硫化过程，从而减轻了鞋子的重量。但是冷粘运动鞋在洗烘后可能出现以下很多问题，一是开胶：由于冷粘工艺依赖胶水将鞋底与鞋面粘合，洗烘过程中的高温和湿气可能导致胶水性能下降，从而引起鞋底和鞋面之间的开胶现象。二是变形：洗烘过程中的高温可能会导致鞋子的某些部分，尤其是塑料或橡胶部件的变形，如鞋跟的硬胶部分。三是材质损伤：高温可能会导致鞋子的某些材质，特别是网面或皮革部分，出现干裂、硬化或褪色现象。四是鞋底弓起：洗烘过程中的湿气和热量可能会导致鞋底材料发生弓起，影响鞋子的稳定性和穿着体验感。

表 2-23 运动鞋制造工艺信息汇总

Table. 2-23 Summary of manufacturing process information for sports shoes

制造工艺	款式数量（双）	比例（%）	图例
冷粘运动鞋	77	33.75	
热粘运动鞋	3	25	

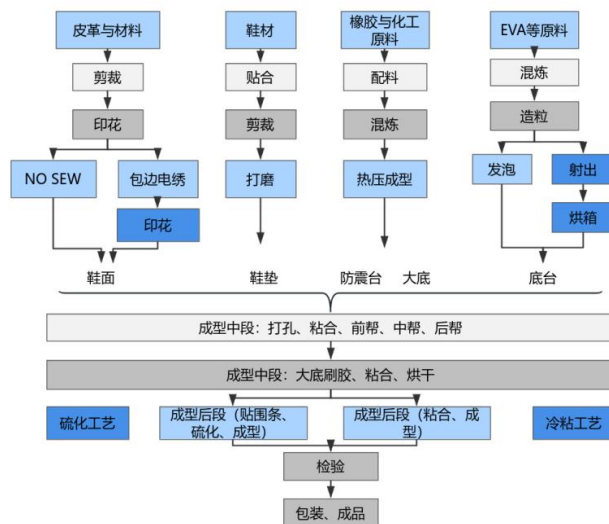


图 2-12 运动鞋生产制造流程

Fig. 2-12 Production and manufacturing process of sports shoes

冷沾工艺鞋子的制作方法如图 2-13，具体步骤如下：1.准备工作：准备好鞋帮、鞋身、鞋底等制鞋材料，把水性胶和其它辅助材料准备好；2.涂胶：将鞋帮、鞋身、鞋底等材料的粘结表面涂上水性胶；3.排布：将每个部件按照设计排放好，调整好位置；4.压制：用机器或手动压制方法，将各部件进行压合，并保持相应的时间；5.精修：冷沾工艺鞋子的成品制作过程中，需要进行多次精修，包括挑线、打磨等过程，保证成品的美观度和质量。

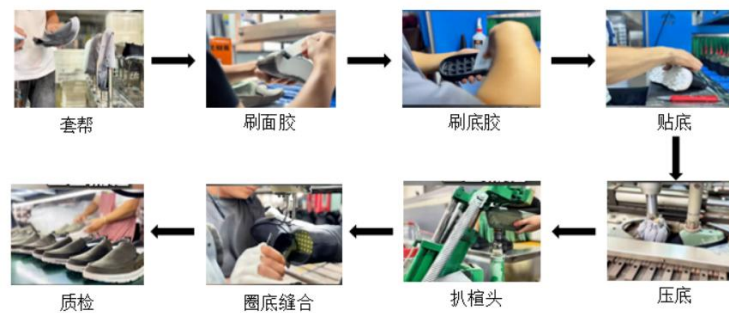


图 2-13 冷粘运动鞋的制造流程

Fig. 2-13 Manufacturing process of cold bonded sports shoes

2.3.9 运动鞋后帮高度分析

从表 2-24 可知，运动鞋后帮高度选择上低帮占大多数，原因是低帮设计可以提供更多的灵活性和自由度，这对于需要快速移动和变向的运动尤为重要。此外，低帮鞋通常比高鞋轻，有助于减少腿部的负担，提高运动效率。低帮鞋的设计也有利于脚部的自然运动，减少运动时的限制，同时提供足够的支撑和保护，预防脚踝扭伤等运动伤^[59-62]。其次是中帮，原因是中帮运动鞋的后帮高度设计是为了提供适当的脚踝支撑，同时保持一定的灵活性。中帮设计可以在不限制脚踝自然运动的前提下，提供必要的支持，帮助运动员在激烈运动中保持脚踝的正确位置。此外大多数人在行走和跑步时是后脚跟先接触地面，然后前脚掌推地前进。因此，运动鞋的后帮部分可能会设计得更高一些，以提供额外的缓冲和稳定性。

表 2-24 运动鞋后帮高度信息汇总

Table. 2-24 Summary of height information for the rear of sports shoes

高度	款式数量（双）	比例（%）	图例
低帮	55	68.75	
中帮	25	31.25	

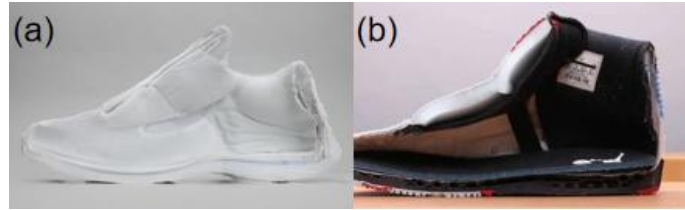


图 2-14 低帮和中帮运动鞋侧剖图

Fig. 2-14 Side profile of low top and mid top sports shoes

2.3.10 运动鞋面料层数分析

由表 2-25 可知，运动鞋两层和三层面料的设计成为主流。两层鞋面设计通过巧妙地结合不同材料的特性，实现了透气性、支撑性和舒适度的完美结合。这种设计不仅能够提供运动所需的灵活性，还能确保脚部在长时间运动后的舒适感。三层鞋面设计则在两层的基础上更进一步，中间层通常采用防水透气膜，这种材料以其独特的微孔结构，能有效阻止雨水和外部水分的渗透，同时允许水蒸气通过，从而保持鞋内干燥舒适^[63]。这种设计在多变的气候条件下尤为重要，它确保了运动鞋在雨天或湿地上的适用性。此外，海绵和 TPU 薄膜也是三层设计中常见的中间层材料。海绵的柔软质地不仅提供了额外的舒适度，减少了摩擦，还因其轻质特性，使得鞋子的整体重量得以控制，提升了穿着的轻便感和灵活性。TPU 薄膜则因其良好的支撑性和保护性，赋予鞋面丰富的立体感和美观性，增强了运动鞋的耐用性和运动表现。

表 2-25 运动鞋鞋面层数信息汇总

Table. 2-25 Summary of information on the number of layers on the upper of sports shoes

制造工艺	款式数量（双）	比例（%）	图例
两层	40	50	
三层	40	50	

2.4 本章小结

通过深入分析消费者问卷调查，发现了男性消费者对运动鞋烘干功能有着极为迫切的需求，这一需求在 18 至 39 岁的青中年群体中表现得尤为突出。这一年龄段的消费者不仅对新兴科技产品表现出较高的接受度，而且他们的生活方式和实际需求也使得运动鞋烘干机成为一种不可或缺的日常用品。

在对市场销量较高运动鞋的调研汇总中，发现了户外行走及跑步训练鞋因为其出色的舒适性、支撑性和功能性而受到消费者喜爱。在颜色方面，消费者更偏爱中性色系，比如黑色、白色和灰色等，这些颜色经典百搭适合各种场合。在鞋帮面料的选择上，因为翻毛皮面料有着柔软的质地和良好的透气性，受到消费者

的欢迎。鞋面内里和鞋舌内里材质大多采用棉氨混纺材料，它结合了棉的舒适性和氨纶的弹性，为消费者提供了良好的穿着体验。鞋舌外表面多选用双底三明治网布，这种材料不仅透气性好，而且能有效防止雨水和灰尘的侵袭。在鞋底材料方面，大多数消费者首选 EVA 是因为其轻便、弹性好且具有良好的缓震性能。鞋垫材质同样以 EVA 为主，它能进一步增强了鞋子的舒适性。鞋绳的材料则多采用涤纶，因其耐用性强且不易变形，能够长期保持鞋带的紧固性。制造工艺方面，冷粘工艺因其环保、高效且能提供良好的粘合效果，成为市场上的主流选择。在运动鞋的设计细节上，后帮高度多为低帮设计，这不仅便于穿脱还能提供足够的脚踝活动空间。鞋面层数方面，两层和三层是目前的主流选择，这不仅能够提供更好的保护和支撑，还能满足消费者在不同季节的穿着需求。

第 3 章 运动鞋自身烘干特性与趋势分析

3.1 引言

前期,本课题组对运动鞋市场进行了深入的调研,选择了网络电商平台销量较高的运动鞋款进行汇总分析,筛选并确定了市面上常用的运动鞋鞋面、鞋舌、内里、中间层材料以及粘合工艺等关键要素。基于这些分析结果,制备了实验样品,并进行了多层次的烘干实验。实验中,测量了运动鞋在烘干后的相关性能指标,包括最终含水率、磨损程度、透气性、硬挺度、色差、断裂强度以及粘合强度。通过对运动鞋自身烘干特性研究与趋势分析,为运动鞋烘干设备的研发提供重要的参考依据,以满足市场对运动鞋烘干设备的需求。

3.2 实验部分

3.2.1 实验材料与仪器

实验材料: PU 合成革(聚氨酯合成革)、双底三明治网布、翻毛皮、牛津纺、海绵、棉涤混纺(20%棉 80%涤纶)、棉、橡胶、EVA 和南宝水性胶;本章实验中所用的材料基本参数见表 3-1 所示:

表 3-1 实验材料的基本参数

Table. 3-1 Basic parameters of experimental materials

材质	成分	克重(g/m ²)	厚度(mm)	生产厂家
PU 合成革	聚氨酯	210	0.5	绍兴柏锦纺织品有限公司
翻毛皮	化纤	250	0.8-1.2	鸿达布业
双底三明治网布	100%涤纶	230	1.5	运发针织
海绵	聚氨酯	80	5	江苏华艺泡棉科技有限公司
棉	100%棉	140	0.5	绍兴市柯桥区梓祁布行
橡胶	橡胶	3500	5	聚丰优品
牛津纺	100%棉	190	0.5	南通唯诚纺织有限公司
EVA	EVA	3000	5	东莞市谦洵包装材料有限公司
水性胶	氯丁橡胶树脂			福州南宝实业有限公司

续表 3-1

材质	成分	克重(g/m ²)	厚度(mm)	生产厂家
防水透气膜	PP 纺粘无纺布、 PE 高分子透气膜	85	0.3	佛山市立大立塑新材料有 限公司
棉涤混纺	20%棉 80%涤纶	120	0.2	华美布料纺织厂

实验中所用的主要设备见表 3-2 所示，部分仪器与设备图片如图 3-1 所示。

表 3-2 实验设备

Table. 3-2 Experimental equipment

设备名称	设备型号	生产厂家
小天鹅干衣护理机	TH100-H93WZ	无锡小天鹅电器有限公司
电子天平	YH-C30001	舜宇恒平仪器有限公司
洗衣机	DG-F75366BCX	合肥荣事达三洋电器股份有限公司
织物强力机	YG026Q	宁波纺织仪器厂
八篮烘箱	Y802N	武汉国量仪器有限公司
全自动织物硬挺仪	YG207	武汉国量仪器有限公司
显微镜	GP-300C	昆山高晶精密仪器有限公司
织物透气量仪	YG461E-II	武汉国量仪器有限公司
织物密度镜	Y511B	宁波纺织仪器有限公司
织物厚度仪	YG141	武汉国量仪器有限公司
相机	ZV-1F	索尼有限公司

3.2.2 样品制备与预处理

3.2.2.1 样品制备

在实验前，将 PU 合成革（聚氨酯合成革）、双底三明治网布、翻毛皮、牛津纺、海绵、锦纶涤纶混纺、棉、棉涤混纺、防水透气膜、EVA 和橡胶按照样板裁剪成 25 cm×5 cm 的标准试样布，自制缝合双层面料和三层面料。制作过程如图 3-1 所示，样品制备成果如图 3-2 所示。

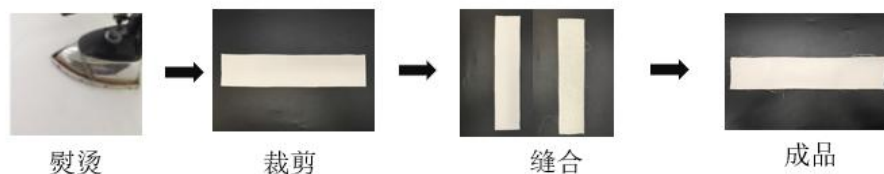


图 3-1 制备流程

Fig. 3-1 Preparation process

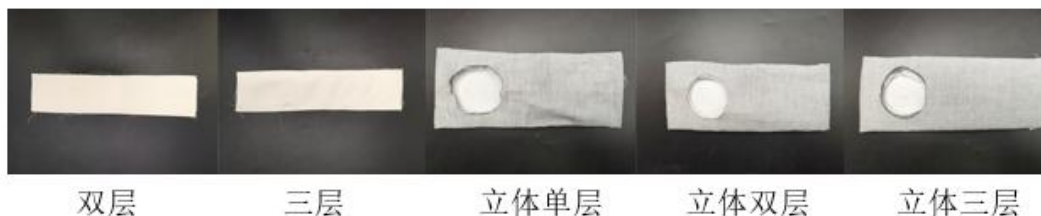


图 3-2 样品制备成果图

Fig. 3-2 Sample preparation results chart

3.2.2.2 预处理

参照 ISO 6330-2000 《纺织品试验时采用的家庭洗涤和干燥程序标准》。采用帝度 DG-F75366BCX 型洗衣机，选用清水水洗和含有 4A 沸石的洗涤剂（选用含有 4A 沸石的超能洗衣液，洗涤剂用量为织物重量的 1%，两种情况进行水洗预处理。水洗预处理程序设置如下所示：洗涤程序为水温 30 ± 3 °C、水量 40 L、时间 15 min、转速脱水 30 r/min。脱水程序为时间 3 min、转速 900 r/min（正转 0.8 s，停止 0.6 s，反转 0.8 s，停止 0.6 s）。

3.2.3 实验设计与方案

3.2.3.1 实验设计

（1）确定运动鞋材料的绝干重量 m_0 ：

通过八篮烘箱在 45 °C 的环境下烘干，以 5 min 的间隔称重，质量的变化不大于 0.25% 时，即认为达到了运动鞋材料绝干重量 m_0 。

（2）初始含水率的确定

初始含水率公式为：

$$W = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (3-1)$$

式中 W 为初始含水率，以百分率表示之， m_0 为试样干燥后的绝干重量，以公克为单位，m 为试样水洗预处理以后的重量，以公克为单位。

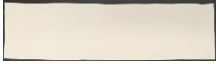
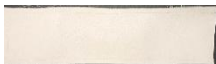
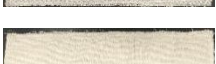
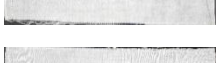
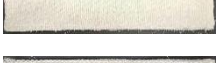
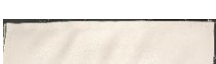
分别计算每种基布的初始水率，选取初始含水率中水平的基布为实验最终基布。

（3）烘干实验：

在负载（ 2000 ± 10 g 运动鞋材料和陪洗布）的环境下，将含水率为 50% 的运动鞋材料放置在干衣机内烘干。

烘干实验面料组合如表 3-3 所示。

表 3-3 面料组合
Table. 3-3 Fabric combination

组合	图例	组合	图例
橡胶		EVA	
PU		棉	
棉涤		牛津纺	
翻毛皮		双底三明治网布	
防水透气膜		海绵	
PU、棉		PU、棉涤	
			
翻毛皮、棉		翻毛皮、棉涤	
			
双底三明治网布、棉		双底三明治网布、棉	
			
牛津纺、棉		牛津纺、棉涤	
			
双底-三明治网布、棉、海绵		双底三明治网布、棉涤、海绵	
			
双底三明治网布、防水透气膜、棉		双底三明治网布、防水透气膜、棉涤	
			
PU、防水透气膜、棉		PU、防水透气膜、棉涤	
			

续表 3-3

组合	图例	组合	图例
翻毛皮、防水透气膜、 棉		翻毛皮、防水透气膜、 棉涤	
牛津纺、防水透气膜、 棉		牛津纺、防水透气膜、 棉涤	
牛津纺、防水透气膜、 棉		牛津纺、防水透气膜、 棉涤	
牛津纺、防水透气膜、 棉		牛津纺、防水透气膜、 棉涤	

3.2.3.2 实验步骤

烘干程序参照 ISO 6330-2000《纺织品试验时采用的家庭洗涤和干燥程序标准》。采用小天鹅干衣机搭载的自动判干功能，将织物分别烘烤 0、5、10 和 20 次后，测量实验指标的变化。

(1) 平面实验（单、多层）

1. 实验进行前尽量擦去机器表面少量的浮沉、污渍。

2. 先将运动鞋材料放入洗衣机中进行洗涤预处理，洗涤程序为水温 $30 \pm 3^\circ\text{C}$ 、水量 40 L、时间 15 min、转速脱水 30 r/min。脱水程序为时间 3 min、转速 900 r/min（正转 0.8 s，停止 0.6 s，反转 0.8 s，停止 0.6 s）。将预洗完的鞋面材料编号。

3. 每组实验开始前进行机器调试，运行机器使达到需要的实验环境和实验条件后（烘干温度为 50°C 、气流量为 $171\text{ m}^3/\text{h}$ ），迅速打开干衣机机器，将运动鞋材料摆放至干衣机内，然后关闭机器门开始烘干。

4. 烘干实验完成后，然后进行织物性能测试（最终含水率、磨损程度、透气性、硬挺度、色差、断裂强度）。

(2) 立体实验

1. 实验进行前尽量擦去机器表面少量的浮沉、污渍。

2. 先将运动鞋鞋面材料、内里材料进行缝合后，用运动鞋胶水将外底和鞋面内里材料相粘（选用南宝树脂公司生产的 NP-105S），制成简易立体运动鞋。放入洗衣机中进行洗涤预处理，洗涤程序为水温 $30 \pm 3^\circ\text{C}$ 、水量 40 L、时间 15 min、转速脱水 30 r/min。脱水程序为时间 3 min、转速 900 r/min（正转 0.8 s，停止 0.6 s，反转 0.8 s，停止 0.6 s）。将预洗完的鞋面材料编号。

3. 每组实验开始前进行机器调试，运行机器使达到需要的实验环境和实验条件后（烘干温度为 50°C 、气流量为 $171\text{ m}^3/\text{h}$ ），迅速打开干衣机机器，将运动鞋材料摆放至干衣机内，然后关闭机器门开始烘干。

4. 烘干实验完成后，然后进行织物性能测试（最终含水率、磨损程度、透气性、硬挺度、色差、断裂强度、粘合强度）。

3.2.4 实验测试指标与方法

3.2.4.1 最终含水率

最终含水率是指在烘干结束时织物的含水率，计算公式如 3-2 所示：

$$W_f = \frac{m_f - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (3-2)$$

其中： W_f 为最终含水率； m_f 为烘干程序完成时，3 min 内称得的负载质量，g； m_0 为原始负载重量，g。

3.2.4.2 磨损程度评测

试样尺寸 5 cm×5 cm，在中央剪一个直径为 3.5 cm 的圆孔。对烘干前后的试样进行照相记录，用显微镜观察磨损情况。

3.2.4.3 透气性

织物透气性用透气率表示，据 GB/T5435-1997 规定，透气率为织物两面在规定的压差下，单位时间内，垂直通过织物面积的气流流量。单位为 mm/s。实验步骤如下：

实验仪器 YG-461D 型织物透气量仪

实验方法:实验按照 GB/T5453-1997 《纺织品织物透气性的测定》的标准操作，先将试样至于标准大气环境下调湿 24 小时，然后打开开关，设置试验参数，受力表面积 20 cm²，然后将试样放在测试头上，听到咔的一声后，压头自动吸食，真空吹风机自动启动，开始测试，测试完毕，机器自动停止，测试三次取平均值。

3.2.4.4 硬挺度

参考 GB/T18318.1-2009 《纺织品弯曲性能的测定第 1 部分:斜面法》，利用型号为 YG207 的全自动织物硬挺仪进行污染布洗涤前后的硬挺度测试，并使用如下公式计算其抗弯刚度：

$$G = m \times C^{3 \times 10^{-3}} \quad (3-3)$$

式中： G ：单位宽度的抗弯刚度，单位为毫牛厘米(mN•cm)； m ：试样的单位面积质量，单位为克每平方米(g/m²)； C ：试样的平均弯曲长度，单位为厘米(cm)，样品尺寸为 2.5 cm×25 cm。

3.2.4.5 色差

为探讨运动鞋材料烘干后色差，采用分光光度计（DS-700 C，色谱技术（浙江）有限公司）对运动鞋材料物进行不同烘干条件后的色差进行了测定。在测试过程中，采用 Lab 颜色模型，以烘干前运动鞋材料为标准样品，测试了每个样品经过不同烘干条件后 4 个不同位置的色差，以保证测试结果的稳定性和重复性，并取其色差的平均值作为测试样品的最终色差值。通过以下公式计算色差：

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta a^*)^2} \quad (3-4)$$

式中： ΔL^* 为亮度指数； a^* 为红绿色指数； B^* 为黄蓝色指数； ΔE 为色差。

3.2.4.6 断裂强度

断裂强度采用 YG026Q 织物强力机对织物进行力学性能测试。

断裂强度测试：将材料测试裁剪成有效长度为 20 cm×5 cm（4 cm×1 cm）的布条，以 200 mm/min 的拉伸速度进行拉伸，记录试样最大断裂负荷，试验结果以经、纬向各 5 块试样的算数平均值表示，精确至 0.1 N。

3.2.4.7 温度、湿度变化

在每组运动鞋烘干实验过程中，每 2 分钟记录温度以及湿度数据，最终整理绘制温度、湿度变化折线图，分析其规律。

3.3 结果与讨论

3.3.1 运动鞋单层烘干特性与趋势分析

按照 3.2 节中确定的制备方法，裁剪出翻毛皮、PU、橡胶、EVA、牛津纺和双底三明治网布各 7 块，除各留一块原样外，分别选用清水水洗和含有 4A 沸石的洗涤剂，两种情况进行水洗处理。

3.3.1.1 最终含水率

由图 3-3 可知，清水和洗涤剂两种水洗方式下翻毛皮、PU、橡胶、EVA、牛津纺和双底三明治网布分别在洗涤 5 次、10 次和 20 次后的最终含水率的变化。从图中可以看出，随着洗烘次数的增加，大多数材料的最终含水率呈现出下降趋势。具体来看，无论是清水清洗还是洗涤剂清洗，翻毛皮和 PU 材料在经过 20 次洗涤后，其最终含水率明显低于洗涤 5 次后的含水率，这表明这两种材料对洗烘次数较为敏感，原因可能是翻毛皮的纤维结构在反复的洗烘过程中失去了原有的吸湿性，纤维间的空隙减小，从而导致了吸水能力的下降；PU 材料在经过受热后，高分子链的结构发生了变化，表面微孔结构可能发生了塌陷或者闭合，降低了材料的吸水能力。橡胶和 EVA 材料在使用洗涤剂清洗后的含水率变化相比清水清洗更为显著，这可能是洗涤剂含有的化学成分与材料反生了反应，破坏了材料表面的疏水层，改变了材料表面的电荷分布。相比之下，牛津纺和双底三明治网布在清水和洗涤剂洗涤后的含水率变化相对较小，表明这两种材料对洗涤次数的敏感性相对较低，原因可能是多层的编织结形成了稳定的微环境、纤维间空隙分布比较均匀。总体而言，洗涤次数和洗涤剂的使用对材料的最终含水率有一定的影响，尤其是对翻毛皮、PU、橡胶和 EVA 材料。

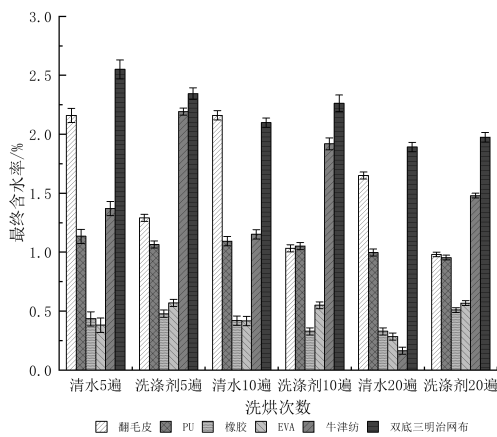


图 3-3 运动鞋单层烘干最终含水率

Fig. 3-3 Single layer drying final moisture content of sports shoes

3.3.1.2 磨损程度

由表 3-4、3-5 可知，在清水和洗涤剂两种水洗方式下翻毛皮、PU、橡胶、EVA、牛津纺和双底三明治网布磨损程度的变化。从表中可以看出，翻毛皮、PU、橡胶和 EVA 等材料，随着洗烘次数的增加，磨损程度并没有显著的增加，表明这些材料无论是对清水清洗还是洗涤剂清洗都具有具有一定的耐受性。特别是橡胶材料，在 20 遍洗烘后，其磨损程度几乎没有变化，原因可能是其分子链交联结构增强了机械强度以及耐腐蚀性比较强。从表 3-6 可以看出，与清水清洗相比，洗涤剂清洗对材料的磨损影响相对显著。特别是对于 EVA 和牛津纺材料，在经过洗涤剂清洗并烘干 10 次和 20 次之后，其磨损程度显著加剧。这可能是因为洗涤剂中常见的化学成分，如表面活性剂、碱性物质以及酶制剂等，对 EVA 和牛津纺这类材料的纤维结构产生了一定程度的破坏，从而加速了材料的磨损过程。

表 3-4 清水洗涤磨损程度

Table. 3-4 Wear and tear degree after washing with clean water

组别	翻毛皮	局部	PU	局部	橡胶	局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						

续表 3-4

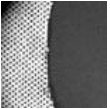
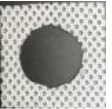
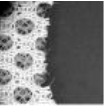
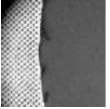
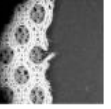
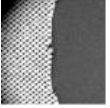
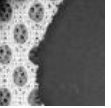
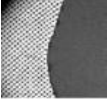
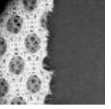
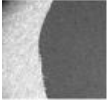
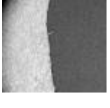
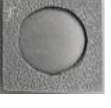
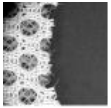
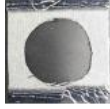
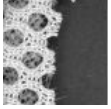
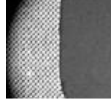
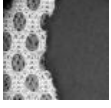
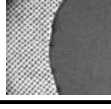
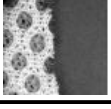
组别	EVA	局部	牛津纺	局部	双底网布	局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						

表 3-5 洗涤剂洗涤磨损程度

Table. 3-5 The degree of wear and tear caused by detergent washing

组别	翻毛皮	局部	PU	局部	橡胶	局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	EVA	局部	牛津纺	局部	双底网布	局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						

3.3.1.3 透气性

由表 3-6 可知, 在清水和洗涤剂两种水洗方式下翻毛皮、PU、橡胶、EVA、牛津纺和双底三明治网布透气性的变化。从图中可以看出, 对于所有材料, 随着洗烘次数的增加, 透气量总体上呈现出先增加后趋于稳定或略有下降的趋势。这可能是由于洗烘初期去除了材料表面的阻隔物, 从而提高了它们的透气性, 而随着洗烘次数的增加, 材料可能发生了一定程度的结构变化, 从而导致透气性能逐渐稳定或略有下降。具体来看, 双底三明治网布在所有洗烘次数下透气量均超过 3000 mm/s, 透气性明显优于其他材料。这表明双底三明治网布具有优异的透气性能, 即使经过多次洗烘处理, 透气性能仅是略微下降, 但洗涤剂清洗时下降的幅度明显高于清水清洗, 原因可能是因为洗涤剂残留部分堵塞了双底三明治网布的孔隙。其他材料如翻毛皮、PU、橡胶、EVA 和牛津纺, 在洗烘前的透气性相对较低, 但在经过洗烘后, 透气量有所提高。特别是 EVA 材料, 在洗涤剂清洗方式下洗烘 10 遍和 20 遍后, 透气量有所升高, 这可能是因为经过多次洗烘后部分醋酸乙烯酯基团发生了水解, 形成了更多的微孔和通道。而翻毛皮和牛津纺的透气量在洗烘次数增加后变化相对不大。综合来看, 双底三明治网布展现出了最佳的透气表现, 而 EVA 材料在洗涤剂清洗方式下洗烘后透气量提升较为显著。

表 3-6 运动鞋单层烘干透气性

Table. 3-6 Single layer drying and breathability of sports shoes

样品名称	翻毛皮	PU	橡胶	EVA	牛津纺	双底网布
原样	27.31	44.55	395.33	56.78	44.38	4286.67
清水 5 遍	25.92	57.28	297.53	41.83	185.20	3537
清水 10 遍	26.64	72.47	374.63	41.17	202.1	3421.67
清水 20 遍	28.36	83.26	421.33	41.51	356.67	3345.33
样品名称	翻毛皮	PU	橡胶	EVA	牛津纺	双底网布治网布
原样	27.31	44.55	395.33	56.78	44.38	4286.67
洗涤剂 5 遍	28.56	63.48	279.9	43.97	342.9	3399.33
洗涤剂 10 遍	27.6	73.13	335.2	10.34	353.77	3353
洗涤剂 20 遍	29.71	70.58	490	24.91	371.67	3270.33

3.3.1.4 硬挺度

由表 3-7 可知, 在清水和洗涤剂两种水洗方式下翻毛皮、PU、牛津纺和双底三明治网布硬挺度的变化。从表中可以看出, 对于 PU 材料, 随着洗烘次数的增加, 伸出长度和抗弯长度变化幅度较小, 原因可能是其具有稳定的交联网络结构, 刚性链段提供了稳固的结构支撑。对于双底三明治网布材料来说, 总体来看随着洗烘次数的增加, 伸出长度和抗弯长度都随之减少, 原因可能是经过多次洗烘后层间结构发生了位移, 编织结构变得松弛。对于翻毛皮材料, 其伸出长度和抗弯长度经过多次洗烘后下降较多, 原因是其纤维间结合力减弱了, 胶原纤维结

构变得松弛。牛津纺的伸出长度和抗弯长度随着洗烘次数的增加呈现出上下波动的情况，这可能是纤维取向度变化的不确定性。综合来看，不同材料在经过不同次数和不同方式的洗烘后，其硬挺度的变化趋势各不相同。PU 在多次洗烘后硬挺度变化不大，而翻毛皮和双底三明治网布硬挺度下降明显，牛津纺呈现出上下波动的趋势。

表 3-7 运动鞋单层烘干硬挺度
Table. 3-7 Single layer drying stiffness of sports shoes

样品名称	PU		双底三明治网布	
组别	伸出长度/mm	抗弯长度/mm	伸出长度/mm	抗弯长度/mm
原样	61.6	31.3	109.4	55.7
清水 5 遍	63.7	32.4	83	42.2
清水 10 遍	59.8	30.4	73.7	37.5
清水 20 遍	58.9	29.9	66.8	34
洗涤剂 5 遍	62.5	31.8	85.5	43.5
洗涤剂 10 遍	62.1	31.6	65.4	33.3
洗涤剂 20 遍	62.4	31.7	82.4	41.9
样品名称	翻毛皮		牛津纺	
原样	52.3	26.6	47.1	23.9
清水 5 遍	37.9	19.3	41.9	21.3
清水 10 遍	39.8	20.2	42.1	21.4
清水 20 遍	42.7	21.7	48.2	24.5
洗涤剂 5 遍	43.3	22	49.4	25.1
洗涤剂 10 遍	38.4	19.5	39.2	19.9
洗涤剂 20 遍	41.4	21	60.7	30.9

3.3.1.5 色差

由图 3-4 可知，在清水和洗涤剂两种水洗方式下翻毛皮、PU、橡胶、EVA、牛津纺和双底三明治网布色差的变化。从图中可以看出，EVA 材料在所有洗烘次数下都显示出了极高的色差值，均超过 75，但波动浮动不大，这可能是因为 EVA 固有的着色稳定性比较差，初次洗烘后色差值就已经接近饱和。翻毛皮、橡胶、牛津纺、双底三明治网布的色差，随着洗烘次数的增加并没有明显的波动，这说明洗烘次数对材料的色差值影响不大。PU 材料在洗烘 5 遍时，在清水清洗方式下的色差值比洗涤剂清洗方式下的色差要小，说明使用洗涤剂会导致更大的色差，原因是洗涤剂中通常含有 4A 沸石等化学成分，这些化学物质在洗涤过程中可能与材料发生反应，从而影响其色差值。但洗烘 10 遍、20 遍后色差值波动不大，则说明材料在 5 次洗烘后色差值就已经接近饱和。

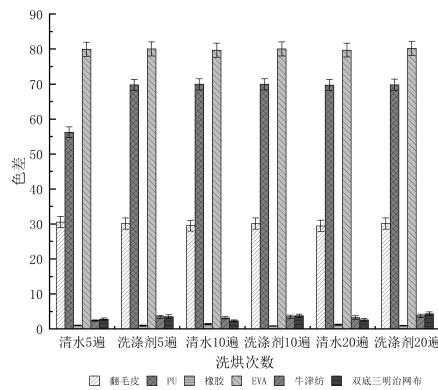


图 3-4 运动鞋单层烘干色差

Fig. 3-4 Single layer drying color difference of sports shoes

3.3.1.6 断裂强度

由图 3-5 可知，在清水和洗涤剂两种水洗方式下翻毛皮、PU、橡胶、EVA、牛津纺和双底三明治网布断裂强度的变化。从图 3-5 (a)、(b) 中可以看出，对于翻毛皮材料，其经向拉伸强力在洗烘次数增加后先增加后下降，这可能是因为在初始阶段热机械作用使纤维排列更紧密，过渡阶段，纤维间结合力达到了最大，衰减阶段，机械应力的不断累积损伤，导致纤维间的结合力减弱。而其纬向拉伸强度经过洗烘后呈波动趋势，相比原样纬向拉伸强度减弱很多，原因可能是纬向纤维在机械作用下断裂。对于 PU 材料，其经向拉伸强力随着洗烘次数增加后先降后升再降，原因可能是初始下降阶段，在热机械作用下分子链段松弛，中间上升阶段，分子链的重新取向连接，最终下降阶段，机械力的累积下分子链断裂。而橡胶、EVA、牛津纺、双底三明治网布材料的拉伸强力随着洗烘次数增加后变化不大，表明它们在初次洗烘后表面和界面结构进行了重组，相比原样拉伸强力是下降的，但随后它们达到了新的平衡状态，所以波动幅度不大。

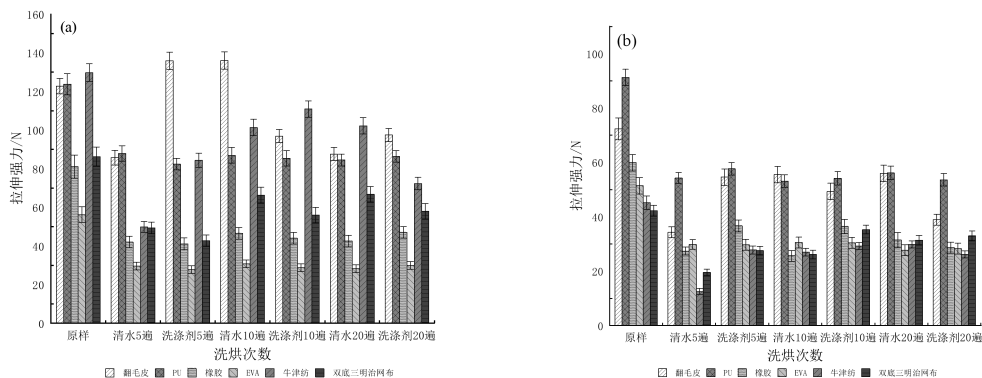


图 3-5 运动鞋单层烘干拉伸强度 (a) 经向拉伸 (b) 纬向拉伸

Fig. 3-5 Single layer drying tensile strength of sports shoes (a) warp tensile strength (b) weft tensile strength

3.3.1.7 烘干过程气流温湿度变化规律分析

由图 3-6 可知,在运动鞋单层烘干过程中温度和湿度的变化情况。从图中可以看出,无论是使用清水清洗还是洗涤剂清洗,随着洗烘次数的增加,烘干过程中的温度和湿度均呈现出一定的变化规律。在清水洗烘的情况下(图 a、图 b、图 c),随着时间的增加,温度逐渐上升而湿度逐渐下降。这表明随着烘干过程的进行,水分逐渐被蒸发,从而导致湿度降低。特别是在清水 20 遍(图 c)的情况下,湿度的降低更为明显,这可能是因为更多的水分被去除。

在洗涤剂洗烘的情况下(图 d、图 e、图 f),洗烘 5 遍和洗烘 10 遍的情况下,温度和湿度的变化趋势与清水洗烘相似,但湿度的下降幅度相对较小。这可能是因为洗涤剂中的某些化学物质影响了水分的蒸发速率。在洗烘 20 遍时,湿度在 30 min 后呈现出陡峭下降的趋势,这可能是经过多次洗烘后的材料亲水性下降,洗涤剂中表面活性剂残留的增加。

比较不同次数的洗烘过程,可以发现,无论是清水清洗还是洗涤剂清洗,随着洗烘次数的增加,湿度的降低幅度逐渐减小,而温度上升的幅度逐渐增大。

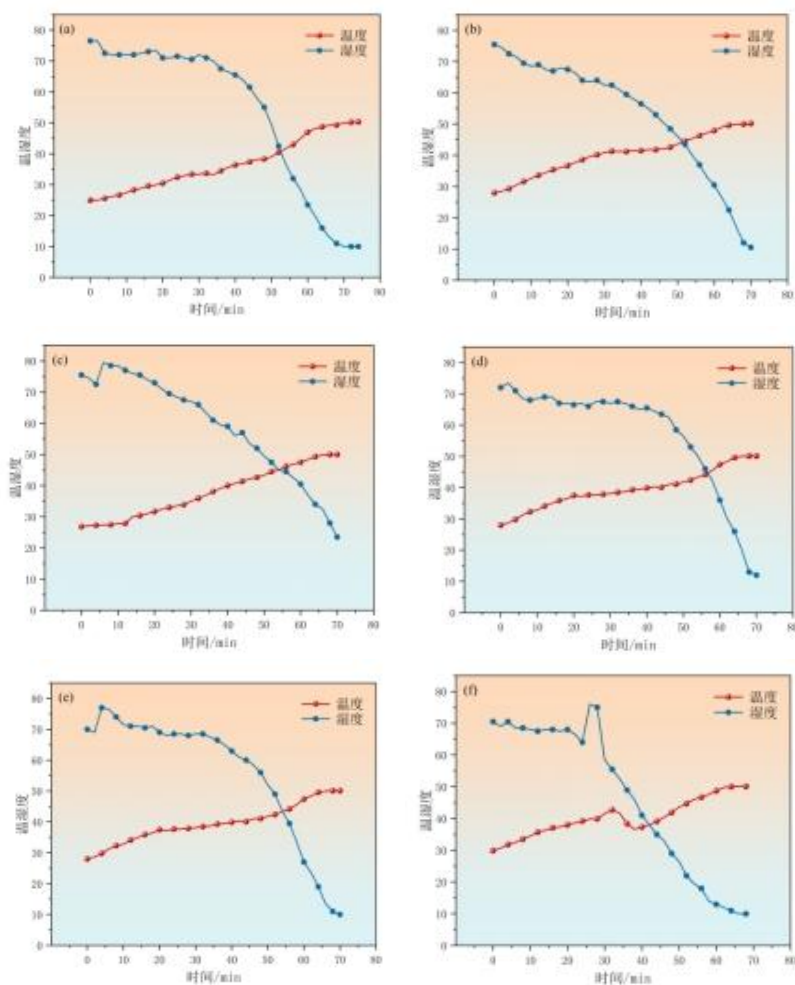


图 3-6 运动鞋单层烘干温湿度 (a) 清水 5 遍 (b) 清水 10 遍 (c) 清水 20 遍 (d) 洗涤剂 5 遍 (e) 洗涤剂 10 遍 (f) 洗涤剂 20 遍

Fig. 3-6 Single-layer drying temperature and humidity for sports shoes (a) 5 times clean water (b) 10 times clean water (c) 20 times clean water (d) 5 times detergent (e) 10 times detergent (f) 20 times detergent

3.3.2 运动鞋双层烘干特性与趋势分析

照 3.2 节中确定的制备方法，裁剪出翻毛皮、PU、牛津纺和双底三明治网布各 8 块，棉、棉涤混纺 16 块布，并将它们进行配对缝合。参考第 3.3.1 节的实验结果，我们了解到材料在洗涤剂洗涤后的性能变化相较于仅用清水洗涤来说更为敏感。这表明洗涤剂中的化学成分可能会对材料造成更显著的影响。因此，为了更准确地评估不同材料的耐洗性及其在实际使用中的性能表现，我们决定后续都采用洗涤剂进行洗涤处理。

3.3.2.1 最终含水率

由图 3-7 可知，在运动鞋双层面料烘干过程中最终含水率的变化情况。从图中我们可以看出，由牛津纺和棉组成的双层面料的最终含水率是最高的，这一现象可能是因为牛津纺作为一种紧密编织的织物，其结构本身具有较好的储水能力；而棉纤维作为天然纤维，其分子结构中含有大量亲水性羟基，能够通过氢键作用吸附大量水分。这两种材料组成的双层面料形成了一个高效的“储水系统”，导致水分在烘干过程中难以完全的被去除。相比之下，双底三明治网布与棉组成的双层面料的最终含水率是最低的。这可能是因为双底三明治网布其特殊的结构，它的三维立体编织结构不仅能够提供良好的透气性，还形成了有效的排水通道，在烘干过程中能够加快水分的蒸发。同时值得注意的是，牛津纺与棉涤、双底三明治网布与棉以及翻毛皮与棉涤这三种双层面料组合的最终含水率呈现出较大的波动幅度。

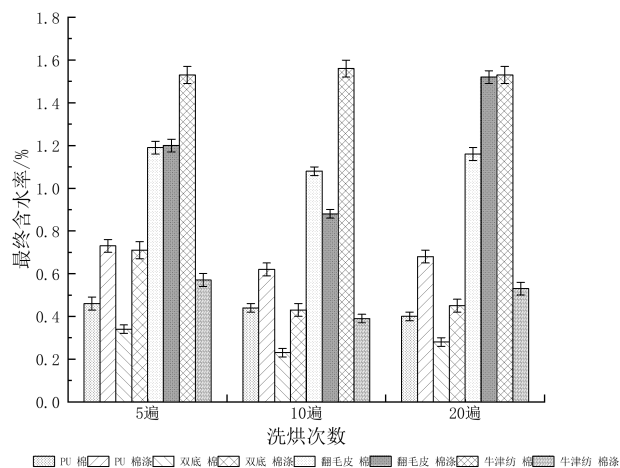


图 3-7 运动鞋双层烘干最终含水率

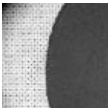
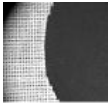
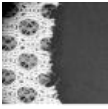
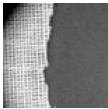
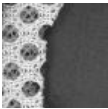
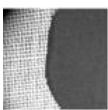
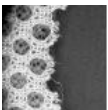
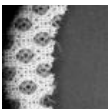
Fig. 3-7 Double layer drying final moisture content of sports shoes

3.3.2.2 磨损程度

由表 3-8 可知，在双层面料烘干过程中磨损程度的变化情况。各个面料经过多次洗烘后，都存在一定程度的磨损，但总体来看，磨损程度相对较低。具体而言，PU 材料在经过 20 次洗烘后，表面出现了轻微起毛和光泽度下降的现象，这可能是因为 PU 表层的涂层在机械摩擦和化学洗涤剂的作用下受到了损伤，双底三明治网布虽然保持了基本的完整结构，但在高倍显微镜下，观察到了部分网眼结构出现了轻微变形的情况，这主要是因为受到反复的机械应力所引起的。翻毛皮面料在多次洗烘后，其表面绒毛出现了轻微倒伏和局部稀疏的现象，但是没有出现明显的皮层开裂或者脱落的情况。牛津纺面料在边缘缝合处出现了轻微磨损，具体表现为缝线边缘处的纤维出现了轻微起毛，局部纱线呈现出略有松动的迹象，但是没有出现断裂或者破洞等严重损坏的情况。棉涤混纺材料在洗烘的过程中表现出优异的尺寸稳定性，仅出现轻微的表面起球现象，这主要是因为涤棉混纺中的涤纶成分提供了支撑作用。纯棉材料虽然出现了轻微的表面起毛现象，但由于其天然纤维特性，整体结构仍然保持较为良好。

表 3-8 运动鞋面料磨损程度

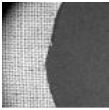
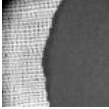
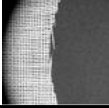
Table. 3-8 Wear degree of double-layer fabric in sports shoes

组别	PU（PU 棉）	PU 局部	棉（PU 棉）	棉局部	PU（PU 棉涤）	PU 局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	棉涤 （PU 棉涤）	棉涤 局部	双底 （双底棉）	双底局部	棉 （双底棉）	棉局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						

续表 3-8

组别	双底 (双底棉涤)	双底局部	棉涤 (双底棉涤)	棉涤局部	翻毛皮 (翻毛皮棉)	翻毛皮局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	棉 (翻毛皮棉)	棉局部	翻毛皮 (翻毛皮棉涤)	翻毛皮局部	棉涤 (翻毛皮棉涤)	棉涤局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	牛津纺 (牛津纺棉)	牛津纺局部	棉 (牛津纺棉)	棉局部	牛津纺 (牛津纺棉涤)	牛津纺局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	棉涤 (牛津纺棉)	棉涤局部				
原样						

续表 3-8

组别	棉涤 (牛津纺棉)	棉涤局部
5 遍		
10 遍		
20 遍		

3.3.2.3 透气性

由图 3-8 可知，在运动鞋双层面料烘干过程中透气性的变化情况。从图中可以看出，双底三明治网布和牛津纺的透气性变化最为明显。双底三明治网布的透气性明显下降，这可能是因为材料在洗涤和烘干过程中发生了结构变化，反复的机械作用导致双底三明治网布的三维立体结构发生塌陷，孔隙率降低；同时，在高温烘干的状态下，引起了材料收缩，进一步压缩了空气流通的通道。与之相反的是牛津纺的透气性显著提升，出现这种情况可能是以下几个因素：一是洗涤过程中的机械作用可能使原本紧密的织物结构变得相对松散，增加了织物间隙；二是多次的洗涤可能去除了织物表面的部分整理剂，降低了空气流通的阻力；三是烘干过程中温度的影响改变了纤维的排列方式，形成了更有利于空气流通的微观结构。值得注意的是，作为运动鞋内里材料的棉和棉涤也表现出不同的透气性变化。纯棉材料随洗烘的次数的增加透气性呈现出下降的趋势，这可能是由于棉纤维在湿润状态下发生溶胀，烘干后纤维间空隙减小了。而棉涤混纺材料则随着洗烘次数的增加透气性有一定的增加，这可能得益于涤纶纤维的疏水特性，在洗涤过程中，涤纶成分保持相对稳定的形态，同时可能带动了棉纤维形成更开放的织物结构，从而提高了整体透气性能。

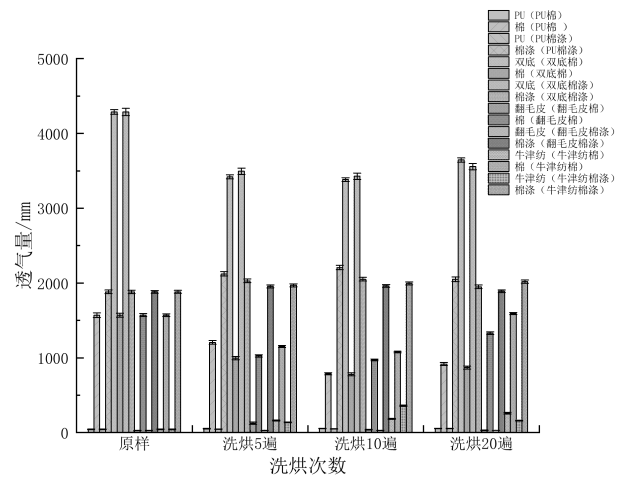


图 3-8 运动鞋双层烘干透气性

Fig. 3-8 Double layer drying and breathability of sports shoes

3.3.2.4 硬挺度

由表 3-9 可知，在运动鞋双层面料烘干过程中硬挺度的变化情况。从表中可以看出，经过多次洗烘后，双底三明治网布与棉、翻毛皮与棉以及牛津纺与棉涤这三种双层面料组合的硬挺度变化比较明显。通过对比实验数据从中发现，这些材料的硬挺度指标与原样相比都出现大幅下降的情况。对于双底三明治网布与棉的组合，随着洗烘次数的增加硬挺度逐渐降低，原因是反复的机械洗涤作用导致双底三明治网布的三维立体支撑结构发生了变形，其原有的刚性骨架受到了破坏；与此同时，棉纤维在多次洗烘循环中发生了疲劳损伤，纤维间的结合力减弱，从而进一步降低了整体硬挺度。对于翻毛皮与棉组合，也是随着洗烘次数的增加硬挺度逐渐降低，原因是翻毛皮在经过多次水洗后，其胶原纤维结构发生了松弛，导致皮质变软；而与其组合的棉面料在湿热环境下发生了不可逆的收缩，导致两种材料间的结合状态改变，最终整体硬挺度随洗烘的次数增加而降低。对于牛津纺与棉涤组合，同样也是随着洗烘次数的增加硬挺度逐渐降低，原因是虽然棉涤混纺材料本身具有较好的尺寸稳定性，但牛津纺的紧密编织结构在反复洗涤过程中发生了松弛，织物经纬纱间的摩擦力减小，导致面料整体刚性下降。此外，洗涤过程中的机械作用可能破坏了织物表面的整理层，进一步加剧了硬挺度的损失。

表 3-9 运动鞋双层烘干硬挺度

Table. 3-9 Double layer drying stiffness of sports shoes

样品名称	PU (PU 棉)		棉 (PU 棉)	
组别	伸出长度/mm	抗弯长度/mm	伸出长度/mm	抗弯长度/mm
原样	61.6	31.3	50.3	25.6
5 遍	62.1	31.6	36.6	18.6
10 遍	53.5	27.2	34.5	17.5
20 遍	59.2	34	34	17.3
样品名称	PU (PU 棉涤)		棉涤 (PU 棉涤)	
原样	61.6	31.3	43.8	22.3
5 遍	60.4	30.7	41.4	21
10 遍	61.4	31.2	38.9	19.8
20 遍	61.2	31.1	39.8	20.2
样品名称	双底三明治网布 (双底棉)		棉 (双底棉)	
原样	109.4	55.7	50.3	25.6
5 遍	70.8	36	41.1	20.9
10 遍	87.2	44.4	35.3	18.2
20 遍	71.5	37.3	38.4	19.5
样品名称	双底三明治网布 (双底棉涤)		棉涤 (双底棉涤)	

续表 3-9

样品名称	双底三明治网布（双底棉涤）		棉涤（双底棉涤）	
原样	109.4	55.7	43.8	22.3
5 遍	86.6	44.1	40.3	20.5
10 遍	77	39.2	37.6	19.1
20 遍	66.9	34	34.3	17.4
样品名称	翻毛皮（翻毛皮棉）		棉（翻毛皮棉）	
原样	52.3	26.6	50.3	25.6
5 遍	37.9	19.3	38.1	19.4
10 遍	41.5	21.1	32.6	16.6
20 遍	46.9	23.8	23.7	12.0
样品名称	翻毛皮（翻毛皮棉涤）		棉涤（翻毛皮棉涤）	
原样	52.3	26.6	43.8	22.3
样品名	翻毛皮（翻毛皮棉涤）	棉涤（翻毛皮棉涤）	样品名	翻毛皮（翻毛皮棉涤）
5 遍	39.7	20.2	38.4	19.5
10 遍	44.4	22.6	39.4	20
20 遍	43.7	22.2	35.8	18.2
样品名	牛津纺（牛津纺棉）		棉（牛津纺棉）	
原样	47.1	23.9	50.3	25.6
5 遍	41.8	21.2	39.5	20.1
10 遍	35.4	18	42.4	21.5
20 遍	49.8	25.3	29.6	15
样品名	牛津纺（牛津纺棉涤）		棉涤（牛津纺棉涤）	
原样	47.1	23.9	43.8	22.3
5 遍	25.7	18.1	33.9	17.2
10 遍	38.2	19.4	34	17.3
20 遍	42	21.3	32.5	16.5

3.3.2.5 色差

由图 3-9 显可知，在运动鞋双层面料烘干过程中色差的变化情况。图中可以看到，PU 材料的色差明显高于其他材料，这种结果与单层烘干实验中的结果一致，可以看出面料层数并不影响鞋面材料色差的变化趋势。PU 材料色差值较高的原因是其分子结构容易受到洗涤剂中化学物质的侵蚀，从而导致了颜料分子发生降解或者迁移，从而降低了颜色的稳定性。此外，PU 材质的表面特性可能会导致其更容易吸附洗涤剂中的化学成分，从而进一步加剧颜色的变化。相比之下，棉和棉涤材质的色差值较小，这种差异可能是因为与它们是运动鞋内里材料有关，由于内里材料与洗涤剂的直接接触相对较少，而且棉和棉涤纤维本身就具有较强的化学惰性，因此能够更好地保持原有色泽。值得注意的是，牛津纺与棉涤组合的双层面料中牛津纺的色差值变化比较明显。

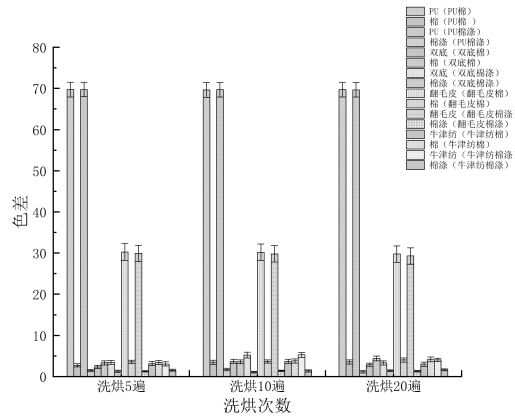


图 3-9 运动鞋双层烘干色差

Fig. 3-9 Double layer drying color difference of sports shoes

3.3.2.6 断裂强度

由图 3-10 可知,运动鞋双层面料烘干过程中断裂强度的变化情况。由图 3-10 (a)、(b) 中可以看出,在经向拉伸强度方面,所有面料的断裂强度都随着洗烘次数的增加先增加后减小,其中鞋面材料翻毛皮与牛津纺和内里材料棉涤表现的较为明显。原因可能是牛津纺作为一种紧密编织的织物,其经向纱线在反复洗涤过程中承受了较大的机械应力,初期使纤维收缩,结构变得更为紧密,使其初期断裂强度变大,但后期过大的机械应力导致纤维疲劳和纱线结构损伤,从而断裂强度变小;对于翻毛皮面料,初期原因类似于牛津纺,后期其表面纤维受过的大机械摩擦的损伤,断裂强度变低。而棉涤混纺材料中,虽然涤纶成分具有较好的强度,但棉纤维的降解和两种纤维界面结合力的减弱,最终导致了整体强度的显著下降。在纬向拉伸强度方面来看,除了翻毛皮和牛津纺外,其余面料的纬向拉伸强度变化相对较小,这种差异可能是因为翻毛皮表面纤维松散,纬向结构相对较弱,容易受到洗烘的影响,从而导致其强度明显变小;牛津纺则由于其特殊的编织结构,纬向纱线在洗烘的过程中容易发生位移和结构松弛的情况。而其他材料,如双底三明治网布和棉质面料,由于其纬向结构相对稳定或者经过了特殊的后整理加工,因此在多次洗烘后断裂强度变化不大。

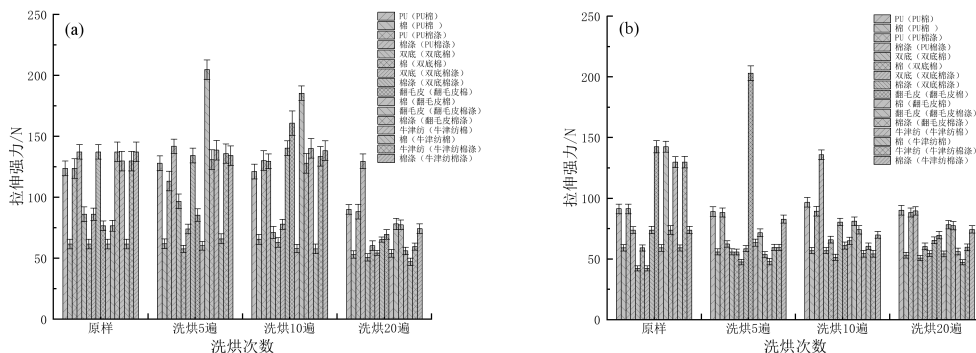


图 3-10 运动鞋双层烘干拉伸强度 (a) 经向拉伸 (b) 纬向拉伸

Fig. 3-10 Double layer drying tensile strength of sports shoes (a) warp tensile strength (b) weft tensile strength

3.3.2.7 烘干过程气流温湿度变化规律分析

由图 3-11 可知, 在运动鞋双层面料烘干过程中温度和湿度的变化情况。从图中可以看到, 在洗烘 5 遍 (图 a) 时, 湿度在烘干开始时较高, 在 50 min 之前呈现出来回波动的情况, 50 min 后湿度逐渐降低, 温度逐渐升高。这表明烘干刚开始时, 面料含水量高, 导致了环境湿度迅速上升, 而热量主要用于面料所含水分的蒸发, 温度上升较为缓慢, 在 50 min 之前的波动阶段, 水分不断蒸发, 湿度在较高的水平波动, 这可能是织物水分分布不均匀有关, 在 50 min 后的稳定阶段, 随着时间的增加, 织物所含水分减小, 蒸发速度减慢湿度逐渐降低。在洗烘 10 遍 (图 b) 时, 温度随着时间的增加缓慢增加, 湿度随着时间的增加逐渐降低, 波动幅度较小。而洗烘 20 遍 (图 c) 的情况下, 湿度和温度的变化趋势与 10 遍时类似, 但初始湿度相对较低、温度相对较高, 可能是因为经过多次洗烘后, 烘干机内部累积了更多的热量, 导致了初始温度较高, 从而加速了水分的蒸发, 因此初始湿度相对较低, 也有可能是因为多次的洗烘致使织物纤维结构发生了变化, 吸水性能下降, 初始含水量相对减小, 因此初始湿度较低。

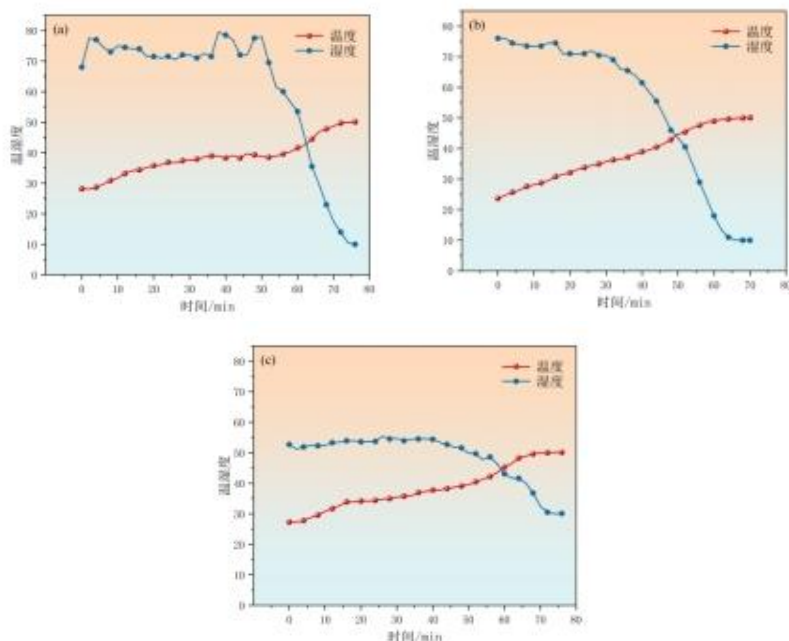


图 3-11 运动鞋双层烘干温湿度 (a) 洗烘 5 遍 (b) 洗烘 10 遍 (c) 洗烘 20 遍

Fig. 3-11 Double layer drying temperature and humidity for sports shoes (a) wash and dry 5 times (b) wash and dry 10 times (c) wash and dry 20 times

3.3.3 运动鞋三层烘干特性与趋势分析

按照 3.2 节中确定的制备方法, 裁剪出翻毛皮、PU、牛津纺和海绵各 8 块, 棉、棉涤混纺 20 块布, 双底三明治网布 16 块以及防水透气膜 32 块, 并将它们

进行配对缝合。

3.3.3.1 最终含水率

由图 3-12 可知, 在运动鞋三层面料烘干过程中最终含水率的变化情况。从图中我们可以看到, 随着洗烘次数的增加, 各个三层面料的最终含水率呈现出不同的变化趋势。从鞋舌面料的测试结果开看, 由双底三明治网布、海绵和棉涤混纺组成的三层面料的最终含水率高于由双底三明治网布、海绵和纯棉组成的三层面料。这种差异可能是因为棉涤混纺材料中的涤纶成分具有疏水性, 虽然能够快速排出水分, 但是与海绵层的界面结合处可能会形成微小的储水空间; 同时, 棉涤混纺材料中的棉纤维虽然具有吸湿性, 但是由于涤纶的阻隔作用, 导致水分在材料内部蒸发效率降低。相比之下, 纯棉材料具有更好的吸湿排湿性能, 能够通过毛细作用将水分均匀分布并且快速蒸发。从鞋身面料的实验结果来看, 大部分面料是随着洗烘次数的增加最终含水率逐渐下降, 比如由牛津纺、防水透气膜和棉涤组成的三层面料, 原因可能是多次的洗烘致使这些材料纤维发生收缩, 从而导致纤维间的空隙有所减小, 吸水性能下降。而由 PU、防水透气膜和棉共同组成的三层面料, 随着洗烘次数的增加先减小后增加, 原因可是在初始下降阶段, PU 和棉受热和机械作用的影响变得更加紧致, 减小了水分渗透, 在后期上升阶段, 随着洗烘次数的增加, PU 因为老化和疲劳出现了细微裂纹和破损, 导致了防水性能下降, 水分更容易渗透, 而棉纤维表面发生了损伤或者角质化, 吸水性增强, 从而导致面料整体最终含水率的升高。

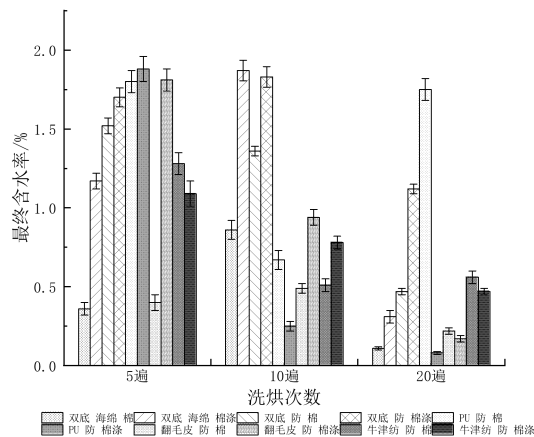


图 3-12 运动鞋三层烘干最终含水率

Fig. 3-12 Three layer drying final moisture content of sports shoes

3.3.3.2 磨损程度

由表 3-10 可知, 在运动鞋三层面料烘干过程中磨损程度的变化情况。各个面料经过多次洗烘后, 都出现了一定程度的磨损, 但总体来看, 磨损程度都控制在相对较低的水平。从鞋舌面料的磨损程度测试结果来看, 由双底三明治网布、海绵和棉涤混纺组成的三层面料表现出相对较高的磨损程度, 这是因为棉涤混纺

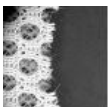
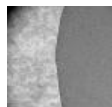
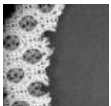
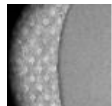
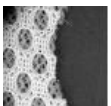
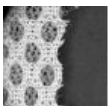
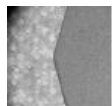
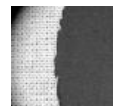
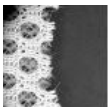
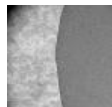
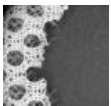
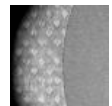
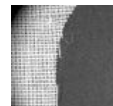
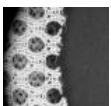
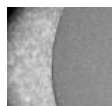
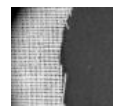
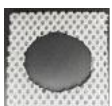
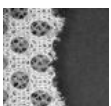
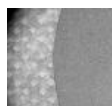
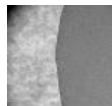
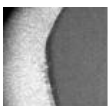
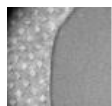
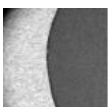
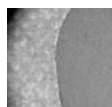
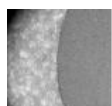
材料中的涤纶成分虽然具有较好的强度,但是其与海绵的界面结合处可能存在应力集中的情况,在反复受到机械力作用时容易产生细微的裂纹;同时,棉涤混纺材料中的两种纤维在磨损过程中的不同特性也有可能就会导致材料整体结构稳定性的下降。相比之下,纯棉材料虽然强度较低,但其拥有均匀的纤维结构和良好的韧性,能够保持一定的磨损程度。从鞋面面料的测试结果来看,其磨损情况与双层面料的结果基本一致,呈现出相似的变化规律。但发现一个有意思的情况,中间层防水透气膜磨损程度较小,在洗烘多次后几乎未出现明显磨损。这可能有以下原因,一是防水透气膜通常采用高性能聚合物材料制成,具有优异的机械强度和抗疲劳性能;二是其特殊的微孔结构设计不仅实现了防水透气的功能,还在微观层面形成了有效的应力分散机制;三是在多层复合结构中,防水透气膜被内外层材料的保护,减少了直接摩擦和与洗涤剂直接接触的情况。

表 3-10 运动鞋三层面料磨损程度

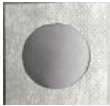
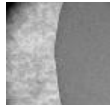
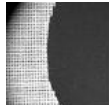
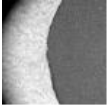
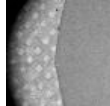
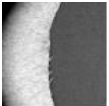
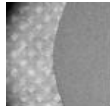
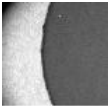
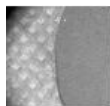
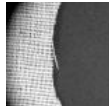
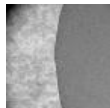
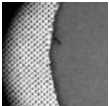
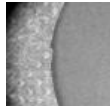
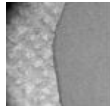
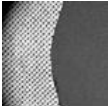
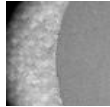
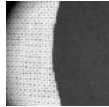
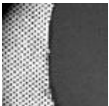
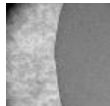
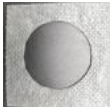
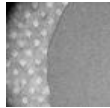
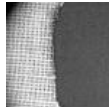
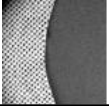
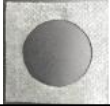
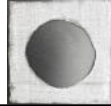
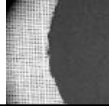
Table. 3-10 Wear degree of three-layer fabric in sports shoes

组别	双底(双底 海绵棉)	双底局部	海绵(双底 海绵棉)	海绵局部	双底(双底 海绵棉)	棉局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	双底(双底 海绵棉涤)	双底局部	海绵(双底 海绵棉涤)	海绵局部	棉涤(双底 海绵棉涤)	棉涤局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						

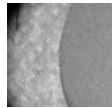
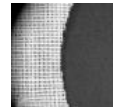
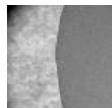
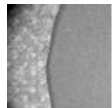
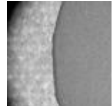
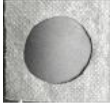
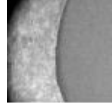
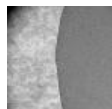
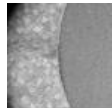
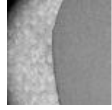
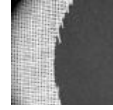
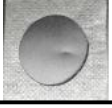
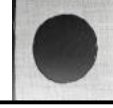
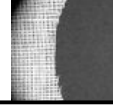
续表 3-10

组别	双底（双底防棉）	双底局部	防（双底防棉）	防水透气膜局部	棉（双底防棉）	棉局部
原样						
5 遍						
10 遍						
组别	双底（双底防棉）	双底局部	防（双底防棉）	防水透气膜局部	棉（双底防棉）	棉局部
20 遍						
组别	双底（双底防棉涤）	双底局部	防（双底防棉）	防水透气膜局部	棉涤（双底防棉涤）	棉涤局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	翻毛皮（翻毛皮防棉）	翻毛皮局部	防（翻毛皮防棉）	防水透气膜局部	棉（翻毛皮防棉）	棉局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						

续表 3-10

组别	翻毛皮（翻毛皮防棉涤）	翻毛皮局部	防（翻毛皮防棉涤）	防水透气膜局部	棉涤（翻毛皮防棉涤）	棉涤局部
原样						
5 遍						
组别	翻毛皮（翻毛皮防棉涤）	翻毛皮局部	防（翻毛皮防棉涤）	防水透气膜局部	棉涤（翻毛皮防棉涤）	棉涤局部
10 遍						
20 遍						
组别	牛津纺（牛津纺防棉）	牛津纺局部	防（牛津纺防棉）	防水透气膜局部	棉（牛津纺防棉）	棉局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	牛津纺（牛津纺防棉涤）	牛津纺局部	防（牛津纺防棉涤）	防水透气膜局部	棉涤（牛津纺防棉涤）	棉涤局部
原样						
5 遍						
10 遍						

续表 3-10

组别	牛津纺（牛津纺防棉涤）	牛津纺局部	防（牛津纺防棉涤）	防水透气膜局部	棉涤（牛津纺防棉涤）	棉涤局部
20 遍						
组别	PU（PU防棉）	PU局部	防（PU防棉）	防水透气膜局部	棉（PU防棉）	棉局部
原样						
组别	PU（PU防棉）	PU局部	防（PU防棉）	防水透气膜局部	棉（PU防棉）	棉局部
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	PU（PU防棉涤）	PU局部	防（PU防棉涤）	防水透气膜局部	棉涤（PU防棉涤）	棉涤局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						

3.3.3.3 透气性

由表 3-11 可知，在运动鞋三层面料烘干过程中透气性的变化情况。从鞋舌面料的透气性测试结果来看，采用双底三明治网布、海绵和棉涤混纺组成的三层面料在多次洗烘后，其透气性呈出现了小幅度的增长情况。这种增长可能是由于材料在洗烘的过程中逐渐松弛，使得空气流通的通道略微扩大。然而，鞋面面料的表现则有所不同。双底三明治网布在经过多次洗烘后，透气性有一定程度的下

降,这可能是由于材料在反复的机械作用下发生了一定程度的压缩或者变形,导致增加了空气流通的阻力。相比之下,PU、牛津纺和翻毛皮面料的透气性在洗烘的过程中却有所上升。特别是牛津纺面料,它的透气性上升幅度最为显著,这可能是由于其纤维结构在洗烘后变得更加松散,从而提高了空气的流通性。在内里材料方面,棉和棉涤混纺材料的透气性在洗烘后下降幅度较大。这可能是由于棉纤维在洗烘的反复过程中发生了收缩和硬化,导致材料内部的孔隙减少,从而降低了其透气性。

表 3-11 运动鞋三层烘干透气量

Table. 3-11 Three layer drying and breathability of sports shoes

样品名称	双底（双底 海绵棉）	海绵（双底 海绵棉）	棉（双底海 绵棉）	双底（双底 海绵棉涤）	海绵（双底 海绵棉涤）	棉涤（双底 海绵棉涤）
原样	4286.67	2244.67	1570.33	4286.67	2244.67	1882.33
5 遍	3661.33	2071.67	1317.67	3785.67	2348	2033.67
10 遍	3620.67	2316.33	1008	3707.67	2449.33	2030.67
20 遍	3851.67	2428.33	1107.33	4162.33	2587	1942.33
样品名称	双底（双底 防棉）	防（双底防 棉）	棉（双底防 棉）	双底（双底 防棉涤）	防（双底防 棉）	棉涤（双底 防棉涤）
原样	4286.67	34.54	1570.33	4286.67	34.54	1882.33
5 遍	3828.33	160.73	971.67	3764	61.67	1944
10 遍	3529	145.87	822.33	4606.33	112.4	1854.67
20 遍	4047.67	23.57	865	4273	67.43	1827.67
样品名称	翻毛皮（翻 毛皮防棉）	防（翻毛皮 防棉）	棉（翻毛皮 防棉）	翻毛皮（翻 毛皮防棉 涤）	防（翻毛皮 防棉涤）	棉涤（翻毛 皮防棉涤）
原样	27.31	34.54	1570.33	27.31	34.54	1882.33
5 遍	28.25	206.10	1172.67	30.85	72.42	1832
10 遍	28.64	159.10	921	28.37	74.35	1806.33
20 遍	30.02	28.61	936	30.49	24.44	1707.33
样品名称	牛津纺（牛 津纺防棉）	防（牛津纺 防棉）	棉（牛津纺 防棉）	牛津纺（牛 津纺防棉 涤）	防（牛津纺 防棉涤）	棉涤（牛津 纺防棉涤）
原样	44.38	34.54	1570.33	44.38	34.54	1882.33
5 遍	168.77	198.43	938.33	136.57	87.83	1763.67
10 遍	370.67	244.03	1089	124.73	151.7	1751.67
20 遍	166.27	22.19	784.33	301.3	26.1	1727.33

续表 3-11

样品名称	PU (PU 防 棉)	防 (PU 防 棉)	棉 (PU 防 棉)	PU (PU 防 棉涤)	防 (PU 防 棉涤)	棉涤 (PU 防棉涤)
原样	43.55	34.54	1570.33	43.55	34.54	1882.33
5 遍	47.89	82.66	818.33	70.9	57.86	1793
10 遍	90.37	109.57	967.67	49.73	96.2	1712.33
20 遍	57.24	24.3	941.67	48.57	27.9	1768.67

3.3.3.4 硬挺度

由表 3-12 可知, 在运动鞋三层面料烘干过程中硬挺度的变化情况。从表中可以看出, 经过多次洗烘后, 除了 PU 面料, 其余面料的硬挺度相对原样都出现了大幅下降的情况, 原因可能是 PU 分子链中含有大量的氨基甲酸酯基团, 这些极性基团能够形成较强的分子间作用力, 同时其分子链中的刚性链段也提供了良好的支撑作用。此外, PU 材料在加工过程中通常会形成交联结构, 这进一步增强了材料的尺寸稳定性和机械性能。相比之下, 其他面料的分子结构相对简单, 因此在相同条件下更容易发生分子链的松弛和重排, 从而导致硬挺度下降。其中, 双底三明治网布、防水透气膜与棉涤混纺面料的组合, 以及牛津纺、防水透气膜与棉涤混纺面料的组合, 它们的硬挺度下降的最为明显。这种显著的性能变化可能有以下原因: 一是双底三明治网布因其独特的立体结构, 在受到外力作用时更容易发生形变; 二是防水透气膜与棉涤混纺面料的组合在多次使用或洗涤过程中, 可能因界面结合力的减弱从而导致了整体刚性下降; 三是牛津纺面料其紧密编织结构在多次洗烘后致使纤维收缩或者损伤而变得松散, 硬挺度因此下降。

表 3-12 运动鞋三层烘干硬挺度

Table. 3-12 Three layer drying stiffness of sports shoes

样品名称	双底 (双底海绵棉)		海绵 (双底海绵棉)		棉 (双底海绵棉)	
组别	伸出长度	抗弯长度	伸出长度	抗弯长度	伸出长度	抗弯长度
	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm
原样	109.4	55.7	117.8	59.9	50.3	25.6
5 遍	104.2	53.1	98.9	50.3	39.6	20.1
10 遍	77.6	39.5	113.2	57.6	34	17.3
20 遍	74.2	37.7	84.5	43	33.8	17.2
样品名称	双底 (双底海绵棉涤)		海绵 (双底海绵棉涤)		棉涤 (双底海绵棉涤)	
原样	109.4	55.7	117.8	59.9	43.8	22.3
5 遍	102.7	52.3	111.6	56.8	42.7	21.7
10 遍	84.1	42.8	105.5	53.7	41.4	21
20 遍	68.7	34.9	88.9	45.2	36.1	18.3

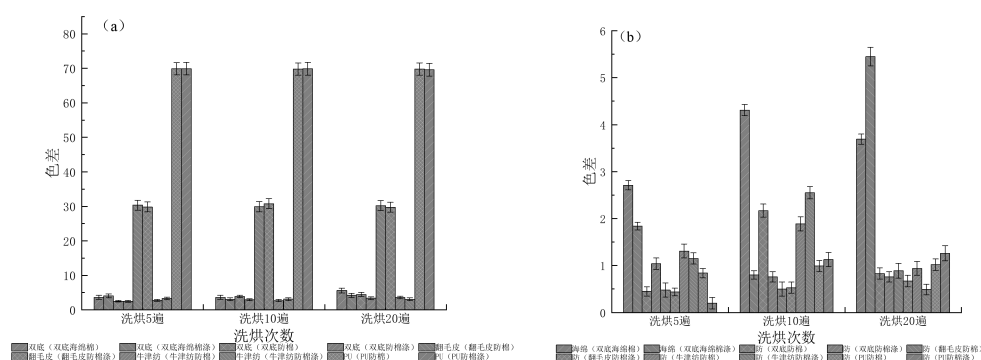
续表 3-12

样品名称	双底（双底防棉）		防（双底防棉）		棉（双底防棉）	
原样	109.4	55.7	83.9	42.7	50.3	25.6
5 遍	84.6	43	68.2	34.7	44.5	22.6
10 遍	62.2	31.6	67	34.1	43.5	22.1
20 遍	69.3	34.9	65.5	33.3	37.7	19.2
样品名称	双底（双底防棉涤）		防（双底防棉涤）		棉涤（双底防棉涤）	
原样	109.4	55.7	83.9	42.7	43.8	22.3
5 遍	78.9	40.1	76.9	39.1	38.8	19.7
10 遍	80.2	40.8	76.2	38.8	34	17.3
样品名称	双底（双底防棉涤）		防（双底防棉涤）		棉涤（双底防棉涤）	
20 遍	75.8	38.6	70.3	35.8	29.8	15.1
样品名称	翻毛皮（翻毛皮防棉）		防（翻毛皮防棉）		棉（翻毛皮防棉）	
原样	52.3	26.6	83.9	42.7	50.3	25.6
5 遍	45.2	23	67	34.1	35.8	18.2
10 遍	40	20.3	47.4	24.1	44.6	22.7
20 遍	42.2	21.4	66.4	33.8	43.4	22.1
样品名称	翻毛皮（翻毛皮防棉涤）		防（翻毛皮防棉涤）		棉涤（翻毛皮防棉涤）	
原样	52.3	26.6	83.9	42.7	43.8	22.3
5 遍	40.2	20.4	57.7	29.3	42.9	21.8
10 遍	41.5	22.2	52.2	26.5	30.2	15.3
20 遍	40.7	20.7	50.7	25.8	41.5	21.1
样品名称	牛津纺（牛津纺防棉）		防（牛津纺防棉）		棉（牛津纺防棉）	
原样	47.1	23.9	83.9	42.7	50.3	25.6
5 遍	24.3	12.3	44.3	22.5	28.7	14.6
10 遍	20.8	10.5	58.3	29.6	29.9	15.2
20 遍	29.8	15.1	52.2	26.5	36.5	19.2
样品名称	牛津纺（牛津纺防棉涤）		防（牛津纺防棉涤）		棉涤（牛津纺防棉涤）	
原样	47.1	23.9	83.9	42.7	43.8	22.3
5 遍	29.9	15.2	52.5	26.7	41.8	21.2
10 遍	42	21.3	55.2	28.1	34.3	17.4
20 遍	42.5	21.6	50	25.4	31.2	15.8
样品名称	PU（PU 防棉）		防（PU 防棉）		棉（PU 防棉）	
原样	61.6	31.3	83.9	42.7	50.3	25.6
5 遍	60.2	30.6	67.1	34.1	50.7	25.8
10 遍	59.5	30.6	53.8	27.4	42.1	21.4
20 遍	61	31	65.5	33.3	44.6	33.9

样品名称	PU（PU 防棉涤）		防（PU 防棉涤）		棉涤（PU 防棉涤）	
原样	61.6	31.3	83.9	42.7	43.8	22.3
5 遍	65.1	33.1	53.4	27.1	37.6	19.1
10 遍	64.3	32.7	58.7	29.8	38.8	19.7
20 遍	66.7	33.9	53	26.9	36.7	18.6

3.3.3.5 色差

由图 3-13 (a)、(b) 和 (c) 可知, 在运动鞋三层面料烘干过程中色差的变化情况。从图中可以看出, 就鞋面材料而言, PU 面料的色差值最大, 这与单层、双层烘干实验的结果一致, 原因是其分子结构容易受到洗涤剂中化学物质的侵蚀, 导致了颜料分子发生降解或迁移, 从而降低了颜色的稳定性。此外, PU 材质的表面特性可能会导致其更容易吸附洗涤剂中的化学成分, 从而进一步加剧了颜色的变化。其次是翻毛皮材料, 这可能是因为翻毛皮表面有绒毛, 纤维方向不一样, 从而导致在烘干过程中受热和受力不均匀, 也有可能是翻毛皮表面粗糙, 更容易吸附水分和洗涤剂残留物, 这些残留物可能会导致其局部色差值偏大。值得注意的是, 尽管 PU 和翻毛皮在初始阶段表现出较大的色差值, 但经过多次洗烘后, 其色差值变化幅度相对并不大。相对而言, 牛津纺面料虽然初始色差值较小, 但在经过多次洗烘后色差值变化较大, 这可能是因为牛津纺面料使用的染料逐渐褪色以及洗涤剂残留物累积过多。从中间层材料来看, 当鞋面采用双底三明治网布组合材料时, 中间层材料的色差变化尤为明显, 这可能是由于双底三明治网布其特殊的结构, 从而导致防水透气膜受热不均匀, 加速了其褪色过程。就内里材料而言, 面料均呈现出了随着洗烘次数的增加色差值也逐渐增加的趋势。



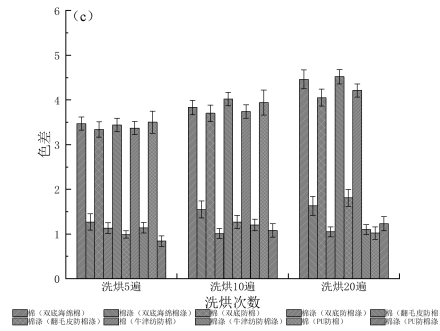
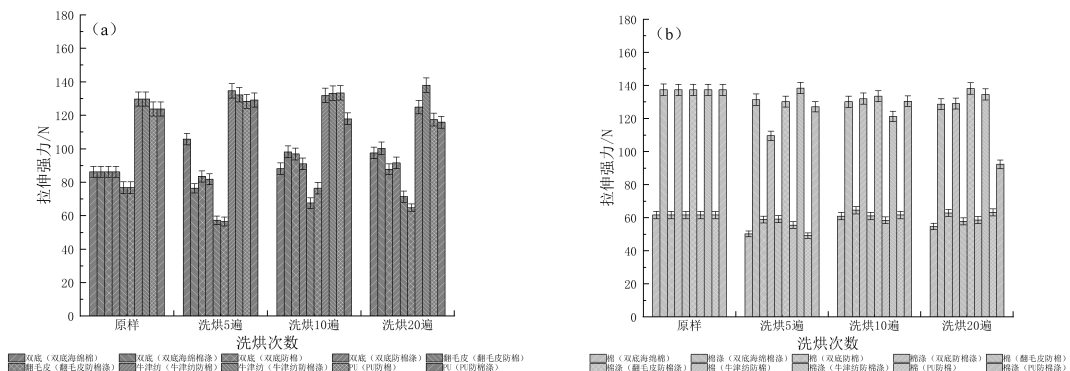


图 3-13 运动鞋三层烘干色差 (a) 鞋面材料 (b) 中间层材料 (c) 内里材料

Fig. 3-13 Three layer drying color difference of sports shoes (a) Upper material (b) Middle layer material (c) Inner material

3.3.3.6 断裂强度

由图 3-14、3-15 可知，在运动鞋三层面料烘干过程中断裂强度的变化情况。从图中可以看出，经过多次洗烘后，各个面料在经向和纬向上的拉伸强度均发生了显著变化，且不同材料的变化程度存在明显不同。从经向拉伸强度方面来看，双底、防水透气膜与棉或棉涤混纺组成的三层面料，以及牛津纺、防水透气膜与棉或棉涤混纺组成的三层面料，其拉伸强度下降幅度最为明显。这主要有以下原因：一是双底三明治网布的结构在经向上承受的机械应力较大，导致纤维在反复洗烘的过程中更容易发生疲劳损伤；二是防水透气膜与棉或棉涤混纺的界面结合力在湿热环境下可能会出现弱化情况，从而影响整体结构的力学性能；三是牛津纺面料虽然具有较好的初始强度，但其经纬纱线的交织结构在多次洗烘后容易发生松弛，导致经向强度下降。从纬向拉伸强度方面来看，翻毛皮、防水透气膜与棉或棉涤混纺组成的三层面料断裂强度变化最大。这主要有以下原因：一是翻毛皮在纬向上的纤维排列较为松散，在洗烘的过程中更容易发生结构变形；二是防水透气膜在纬向上的热收缩率与棉或棉涤混纺存在差异，导致界面应力集中；三是多次洗烘的过程中机械作用可能会导致纤维表面磨损，从而影响了材料的整体力学性能。



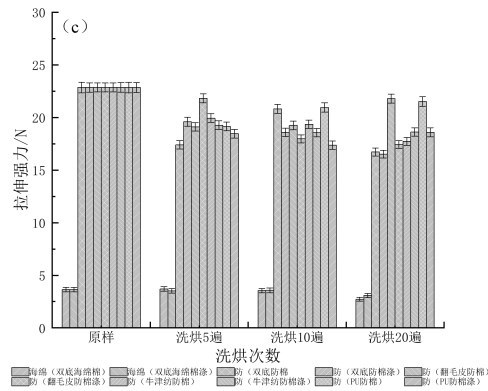


图 3-14 运动鞋三层烘干经向拉伸强度 (a) 鞋面材料 (b) 中间层 (c) 内里材料
Fig. 3-14 Three layer drying and longitudinal tensile strength of sports shoes (a) upper material (b) middle layer (c) inner material

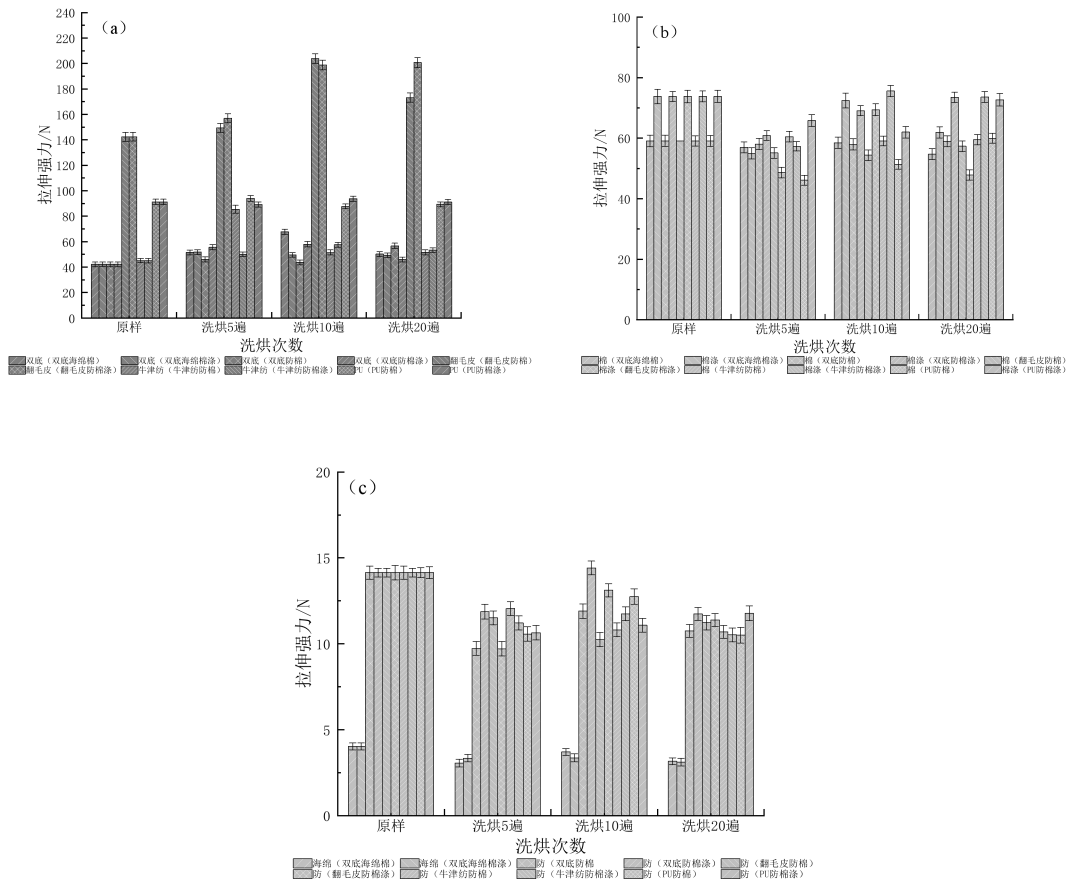


图 3-15 运动鞋三层烘干纬向拉伸强度 (a) 鞋面材料 (b) 中间层 (c) 内里材料
Fig. 3-15 Sports shoes with three-layer drying and latitudinal tensile strength (a) Upper material (b) Middle layer (c) Inner material

3.3.3.7 烘干过程气流温湿度变化规律分析

由图 3-16 可知，在运动鞋三层面料烘干过程中温度和湿度的变化情况。从图 3-16 (a) 可看出，温度先缓慢上升然后下降再上升，原因是烘干初期，热量

逐渐增加,烘干机内部温度缓慢上升,当烘干机内水分开始大量蒸发时,在这过程中会吸收大量的热量,导致温度暂时下降,而随着水分蒸发的减少,温度再次上升。再看湿度变化情况,先缓慢下降然后陡增再下降,原因是烘干初期温度缓慢上升,水分开始蒸发,湿度缓慢下降,面料内部的水分开始大量蒸发形成水蒸气,湿度急剧上升,随着烘干机内水蒸气被排出,湿度逐渐下降。根据图 3-16 (b),与 5 遍相比,温湿度的波动并不明显,都是缓慢发展的趋势。从图 3-16 (c) 所示,在这一部分,温湿度的变化则显得更加剧烈,表明在多次洗烘后,面料的材质和结构可能已经发生了较大的变化,导致烘干过程中的温湿度响应不再稳定。总体来看,随着洗烘次数的增加,运动鞋在烘干过程中的温湿度变化可能变得更加不稳定,原因可能是材料的老化和磨损。

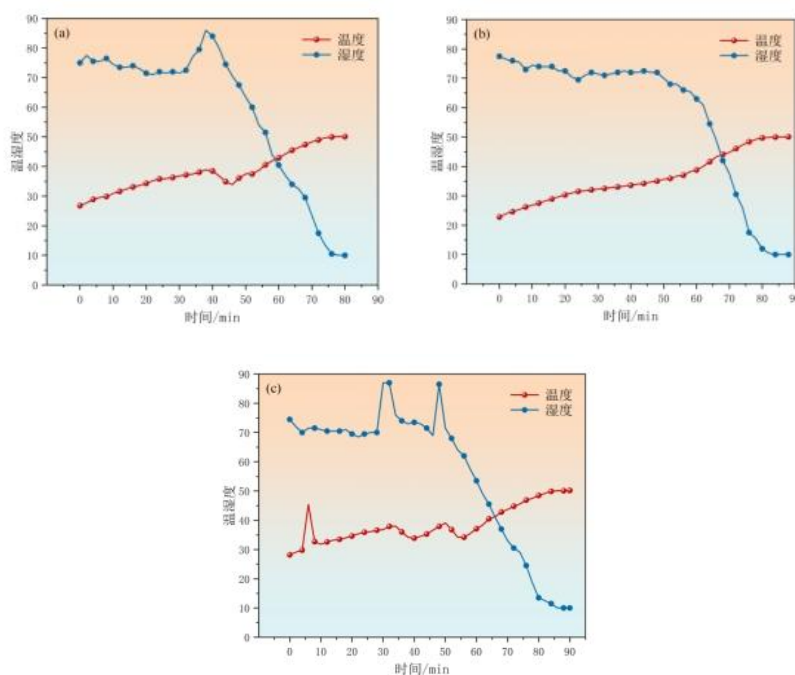


图 3-16 运动鞋三层烘干温湿度 (a) 洗烘 5 遍 (b) 洗烘 10 遍 (c) 洗烘 20 遍

Fig. 3-16 Three layer drying temperature and humidity for sports shoes (a) wash and dry 5 times (b) wash and dry 10 times (c) wash and dry 20 times

3.3.4 运动鞋立体烘干特性与趋势分析

根据第 3.3.1 节、第 3.3.2 节和第 3.3.3 节的实验数据,我们对运动鞋的材料选择进行了优化。鞋底部分,我们选用了 EVA 材料,鞋面材料则选定了牛津纺,内里材料选择了棉涤混纺,中间层选择防水透气膜。根据第 3.2 节中详细描述的准备流程,我们进行了以下步骤的操作:首先,我们裁剪出 12 块牛津纺材料、8 块棉涤混纺材料以及 4 块防水透气膜。其中, EVA 材料裁剪成 22cm×8cm,而牛津纺、防水透气膜和棉涤则被裁剪成 26cm×12cm。随后,依照既定的要求,我们将牛津纺、防水透气膜和棉涤材料配对并进行缝合。完成缝合后,将这些组件

与 EVA 材料进行粘合，组成立体单层面料(牛津纺和 EVA)、立体双层面料（牛津纺、棉涤和 EVA）、立体三层面料（牛津纺、棉涤、防水透气膜和 EVA）。

3.3.4.1 最终含水率

由图 3-17 可知，在运动鞋立体面料烘干过程中最终含水率的变化情况。由图可知，随着洗烘次数的增加，运动鞋立体面料的最终含水率总的来说呈现下降的趋势。然而，立体三层面料的最终含水率相对较高，而立体单层和双层面料的最终含水率则相对较低。这一现象的主要原因是立体三层面料的中间层选用了防水透气膜。这种特殊材料在保持防水性能的同时，也具备一定的透气性，导致了水分在中间层滞留的比较多，从而使得整体含水率相对较高。相比之下，单层和双层结构由于没有这种防水透气膜，水分更容易通过面料蒸发，因此最终含水率较低。

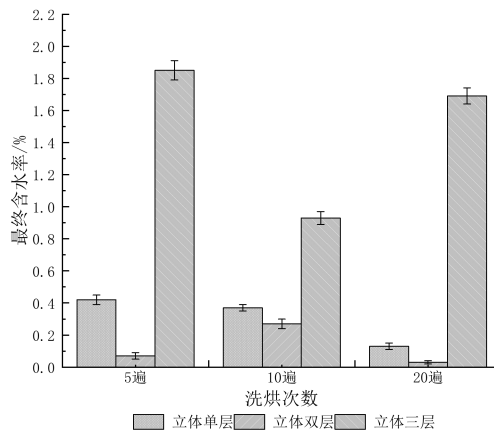


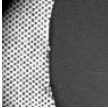
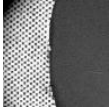
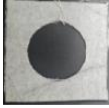
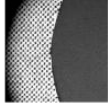
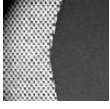
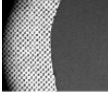
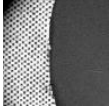
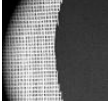
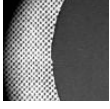
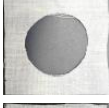
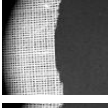
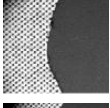
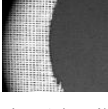
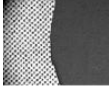
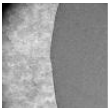
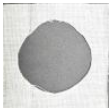
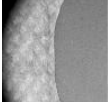
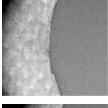
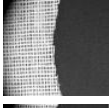
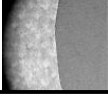
图 3-17 运动鞋立体烘干最终含水率

Fig. 3-17 Final moisture content of three-dimensional drying of sports shoes

3.3.4.2 磨损程度

由表 3-13 可知，在运动鞋立体面料烘干过程中磨损程度的变化情况。随着洗烘次数的增加，各个面料的磨损程度均呈现出一定程度的增长：牛津纺材料无论是立体单层还是多层，在洗烘 5 遍、10 遍和 20 遍后的磨损程度均有所增加，原因是经过多次洗烘，牛津纺材料的纤维因反复受力而发生了疲劳损伤，纤维表面出现了细微裂纹，甚至出现了断裂情况。EVA 材料表现出较好的耐磨性，随着洗烘次数的增加，磨损程度的增加相对较小，原因是 EVA 材料具有优异的高弹性和柔韧性，能够在受到机械力作用时有效分散应力，从而减少了表面磨损。棉涤材料的磨损程度在洗烘的过程中逐渐轻微增加，原因是棉涤混纺中的棉纤维耐磨性较差，容易遭受机械摩擦而受到磨损。防水透气膜在立体三层结构中表现出较好的耐磨性，即使在洗烘 20 遍后，磨损程度的增加也相对较小。这可能是因为防水透气膜被外层牛津纺和内里棉或棉涤的双重保护，有效减小了直接摩擦和机械损伤的风险，还有可能是其本身就具有较好的机械强度和耐磨性。

表 3-13 运动鞋立体面料磨损程度
Table. 3-13 Wear degree of three-dimensional fabric in sports shoes

组别	牛津纺(立 体单层)	牛津纺 局部	EVA(立体 单层))	EVA 局部	牛津纺(立 体双层)	牛津纺 局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	棉涤(立体 双层)	棉涤局部	EVA (立体 双层)	EVA 局部	牛津纺 (立 体三层)	牛津纺 局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						
组别	防 (立体三 层)	防水透气膜 局部	棉涤 (立 体三层)	棉涤局部	EVA (立体 三层)	EVA 局部
原样						
5 遍						
10 遍						
20 遍						

3.3.4.3 透气性

由图 3-18 可知, 在运动鞋立体面料烘干过程中透气性的变化情况。从图中可以看出, 立体单层牛津纺的透气性比立体双层、三层牛津纺的透气性都好, 原因是单层结构相比多层结构, 结构简单且经过多次洗烘后受到机械力和热作用后, 纱线容易变得松散, 纤维间空隙增大。无论是立体单层棉涤面料还是立体多层棉涤面料, 其透气量的变化相对较小, 仅呈现略微增加的趋势, 这可能是棉涤混纺具有较好的耐久性, 且作为内里面料难以受到机械摩擦的影响。此外, 立体三层结构中的防水透气膜在经过多次洗烘后, 其透气量仅出现轻微增加, 这可能是因为防水透气膜身为中间层, 难以受到机械摩擦和与洗涤剂接触, 受到的影响较小, 且防水透气膜通常由高分子材料制成, 这些材料具有较高的化学稳定性和热稳定性, 不易发生热老化或者降解。总体来看, 立体单层的牛津纺面料相比其余两种立体多层结构的牛津纺透气性较好, 棉涤混纺和防水透气性膜在多次洗烘后透气性变化较小。

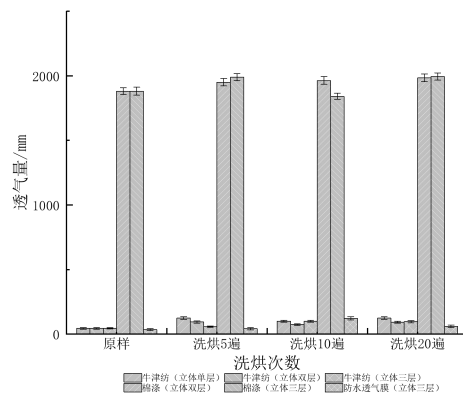


图 3-18 运动鞋立体烘干透气性

Fig. 3-18 Three dimensional drying and breathability of sports shoes

3.3.4.4 硬挺度

由表 3-14 可知, 在运动鞋立体面料烘干过程中硬挺度的变化情况。不同结构面料在多次洗烘后的硬挺度呈现出不同的变化。具体而言, 立体单层牛津纺和立体双层牛津纺在经过多次洗烘后, 硬挺度均有所增加, 这可能是因为面料在洗涤和烘干过程中纤维结构发生了一定程度的收缩, 纤维间的空隙减小, 面料变得更紧致, 从而提升了整体的硬挺度。然而, 立体三层牛津纺的硬挺度却出现了下降趋势, 这可能是由于多层结构的复杂性导致面料在洗烘的过程中受力不均匀, 进而影响了其硬挺度性能。此外, 立体双层棉涤面料的硬挺度明显高于立体三层棉涤面料, 这可能是因为双层结构相对简单, 面料在洗烘后能够更好地保持其原有的硬挺度。值得注意的是, 立体三层结构中的防水透气膜在多次洗烘后, 硬挺度有一定程度的增加, 这可能是因为防水透气膜在洗烘的过程中逐渐趋于稳定, 增强了整体结构的支撑性。

表 3-14 运动鞋立体面料硬挺度

Table. 3-14 Stereoscopic fabric stiffness of sports shoes

样品名称	牛津纺(立体单层)		牛津纺(立体双层)		棉涤(立体双层)	
组别	伸出长度 /mm	抗弯长度/ mm	伸出长度/ mm	抗弯长度/ mm	伸出长度/ mm	抗弯长度/ mm
原样	47.1	23.9	47.1	23.9	43.8	22.3
5 遍	52.4	26.6	50.9	25.9	41	20.8
10 遍	58.8	29.9	54.2	27.6	35.9	18.2
20 遍	51	25.9	47.1	23.9	54.6	27.8
样品名称	牛津纺(立体三层)		防水透气膜(立体三层)		棉涤(立体三层)	
原样	47.1	23.9	83.9	42.7	43.8	22.3
5 遍	45.6	23.2	98.7	50.2	42.1	21.4
10 遍	54	27.5	82.4	41.9	47.4	24.1
20 遍	39.5	20.1	107	54.4	41.7	21.2

3.3.4.5 色差

由表 3-15 可知, 在运动鞋在立体烘干过程中色差的变化情况。由图可以看到不同层次面料在多次洗烘后的色差变化呈现出一定的规律性。具体来看, 立体单层牛津纺面料随着洗烘次数的增加, 色差逐渐下降, 这可能是因为洗烘初期面料中没有完全固着的染料被洗去, 导致色差明显, 随着洗烘次数的增加, 剩余染料更加稳定均匀, 色差逐渐减小。与之相比的是立体双层牛津纺和立体三层牛津纺的色差变化较小, 这可能是因为多层结构的面料在洗涤过程中受到的摩擦和拉伸较为均匀, 导致色差变化不是很大。此外, 无论是立体单层、双层还是三层结构, EVA 材料的色差仅表现出轻微的变化, 这可能是因为 EVA 材料本身具有较好的色牢度和稳定性, 能够在多次洗烘后保持较为一致的色差。另外, 三层立体棉涤面料和防水透气膜的色差几乎保持不变, 这可能是因为其特殊的材质和加工工艺使得染料分子更加牢固地附着在纤维上, 以及它们难以直接接触洗涤剂, 洗涤剂中的化学成分和残留物对它们的影响较小。

表 3-15 运动鞋立体烘干色差

Table. 3-15 Three dimensional drying color difference of sports shoes

样品名称	牛津纺(立 体单层)	牛津纺(立 体双层)	牛津纺(立 体三层)	棉涤(立体 双层)	棉涤(立体 三层)	防水透气 膜(立体三
5 遍	2.14	2.25	2.75	1.29	0.8	1.47
10 遍	2.7	2.43	3.05	1.02	1.11	1.13
20 遍	2.89	2.45	2.78	1.39	1.08	1.24

续表 3-15

样品名称	EVA(立体 单层)	EVA(立体 双层)	EVA(立体 三层)
5 遍	79.9	80.01	79.29
10 遍	80.01	79.66	79.59
20 遍	79.93	78.92	79.27

3.3.4.6 断裂强度

由图 3-19 可知，在运动鞋立体烘干过程中断裂强度的变化情况。从图 3-19 (a) 可以看到，经过多次洗烘后，立体双层牛津纺和立体三层牛津纺的经向拉伸强度均呈现出增大的趋势。这可能是因为多层结构在洗涤和烘干过程中，纤维之间的结合更加紧密，从而增强了面料的经向拉伸性能。相比之下，其他材料的经向拉伸强度变化比较小。从图 3-19 (b) 中可以看出，立体单层 EVA 的纬向拉伸强度变化较为明显，呈现出增大的趋势，这可能是因为 EVA 材料在洗涤和烘干过程中结构发生了变化，增强了其纬向的拉伸能力。然而，立体双层 EVA 和立体三层 EVA 的纬向拉伸强度变化并不大，表明多层结构对 EVA 材料的纬向性能影响较小。立体双层棉涤和立体三层棉涤的纬向拉伸强度随洗烘次数的增加并不明显，原因可能是因为多层结构相互支撑，分散了机械力作用，减少了单层纤维的受力，尤其是作为内里材料的棉涤，其本身就有很好的耐久性和结构稳定性。此外，作为中间层的防水透气膜，其无论是经向拉伸强度还是纬向拉伸强度变化都不明显，原因可能是在立体多层结构中，防水透气膜被外层和内层材料包裹，减少了直接受到机械摩擦和拉伸的机会，所以拉伸强度变化不明显。

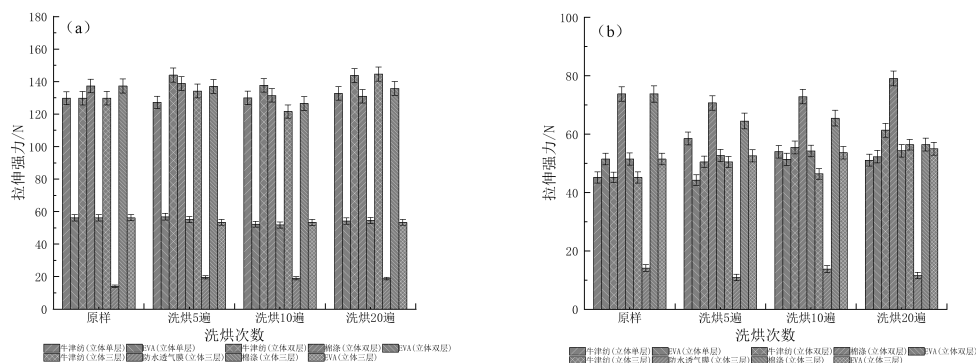


图 3-19 运动鞋立体烘干拉伸强度 (a) 经向拉伸 (b) 纬向拉伸

Fig. 3-19 Sports shoes three-dimensional drying tensile strength (a) warp tensile strength (b) weft tensile strength

3.3.4.7 烘干过程气流温湿度变化规律分析

由图 3-20 可知，在运动鞋立体面料烘干过程中温度和湿度的变化情况。从

图中可以观察到,在洗烘 5 遍的情况下,温度和湿度随时间的变化相对平稳,表明烘干过程较为稳定。随着洗烘次数增加到 10 遍,温度和湿度的波动开始增大,这可能是因为多次洗烘致使材料内部结构发生变化,影响了热传导和水分蒸发效率。当洗烘次数达到 20 遍时,温湿度的波动更加显著,表明材料在多次洗烘后可能出现了更明显的结构变化或损伤,导致烘干过程中的温湿度控制变得更加困难。总体来看,随着洗烘次数的增加,烘干过程中的温湿度变化逐渐加剧,这可能会对运动鞋的材料性能和耐用性产生一定的影响。

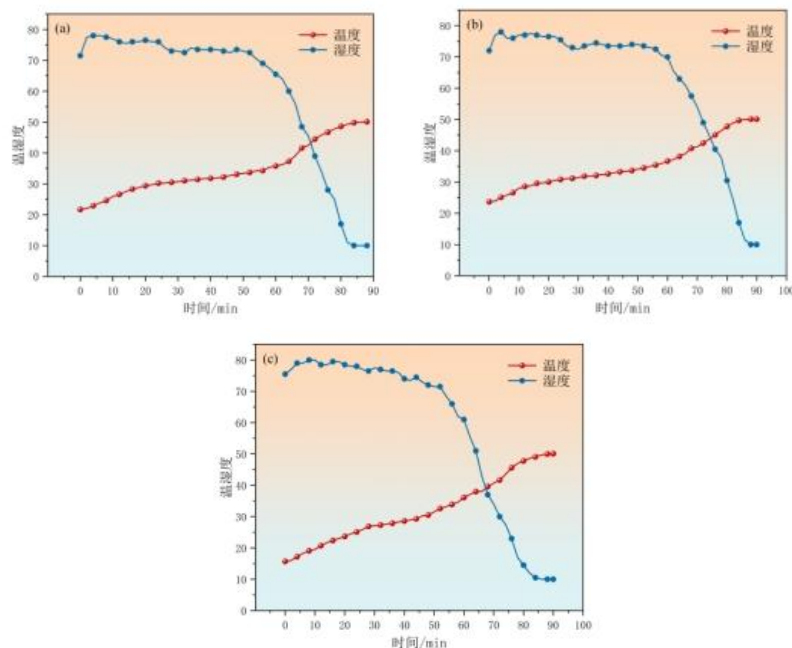


图 3-20 运动鞋立体烘干温湿度 (a) 洗烘 5 遍 (b) 洗烘 10 遍 (c) 洗烘 20 遍

Fig. 3-20 Three dimensional drying temperature and humidity for sports shoes (a) wash and dry 5 times (b) wash and dry 10 times (c) wash and dry 20 times

3.4 本章小结

(1) 在运动鞋单层烘干的实验研究中,我们采用了清水清洗和洗涤剂清洗两种不同的洗涤方式,并对面料测试后的六种评测指标进行了对比分析。实验结果表明,使用洗涤剂洗涤的方式在各项评测指标上表现出更为明显的变化。通过对比实验结果,我们还发现 EVA 材料的评测指标变化比橡胶材料的更为明显。

(2) 在运动鞋双层面料和三层面料烘干实验研究中,评估了各项实验指标的测试结果并进行了对比分析,筛选出测试指标相对明显变化的面料组,分别是鞋面面料牛津纺和内里面料棉涤。将它们以及中间层面料防水透气膜选为运动鞋立体烘干实验的材料。

(3) 在运动鞋立体烘干的实验研究中,我们系统探讨了不同材料和结构在烘干过程中的性能变化。通过比较分析了温湿度变化、透气性、硬挺度、色差以及断裂强度等评测指标,研究结果表明,不同材料和结构的运动鞋在烘干过程中

的表现存在显著差异。例如，立体单层牛津纺相比立体三层牛津纺，断裂强度低、色差高、磨损程度高，但最终含水率低、透气性好、硬挺度高；立体单层棉涤相比立体三层棉涤，色差高、透气性小、磨损程度高，但最终含水率低、硬挺度高、断裂强度高。

第 4 章 运动鞋烘干设备特性与趋势分析

4.1 引言

本章通过单因素实验设计，系统研究了不同运动鞋烘干设备特性参数下运动鞋的烘干品质和面料性能的变化情况。具体而言，实验重点关注了最终含水率、磨损程度、透气性、硬挺度、色差、断裂强度和粘合强度等关键性能指标。通过对这些指标的定量分析，能够更全面评估烘干参数对运动鞋性能的影响。

4.2 实验部分

4.2.1 实验材料与仪器

实验材料：参考 3.3.4

实验仪器：参考 3.2.1

4.2.2 实验变量

为探究运动鞋烘干的影响因素，本实验选择不同气流温度和气流流速作为实验变量(以上变量来自前人研究与市场调查)。其中气流温度和气流流速设计为单因素实验。实验的变量具体设计如表 4-1 所示：

表 4-1 实验变量表
Table. 4-1 Experimental variable table

实验变量		实验水平	
气流温度（℃）	40	50	60
气流量（m³/h）	149	171	185

表 4-2 气流温度对运动鞋烘干实验变量表
Table. 4-2 Variable table of airflow temperature on drying experiment of sports shoes

实验序号	气流温度（℃）	气流量（m³/h）
1	40	171
2	50	
3	60	

表 4-3 气流量对运动鞋烘干实验变量表
Table. 4-3 Variable table of air flow rate on drying experiment of sports shoes

实验序号	气流量（m³/h）	气流温度（℃）
1	149	50
2	171	
3	185	

4.2.3 实验测试指标与方法

4.2.3.1 粘合强度

参考 GB/T 21396-2008 《鞋类 成鞋试验方法 帮底粘合强度》。具体操作为：通过切割帮面和底部的连接部分(制样成品鞋内侧和外侧长 50 mm 宽为 10 mm 的长条各一条)或者切割组合底的边缘连接部位(试样宽度为 15 mm, 长度不小于 50 mm), 利用拉力机来计算分离两者的力, 以此来评估胶粘剂的使用成效。拉力机 (100±20) mm/min 速度剥离试样。结果表达式 $R=F/A$, 及粘合强度=平均值/平均宽度。

其余指标参考 3.3.4。

4.3 结果与讨论

4.3.1 烘干气流温度的影响

4.3.1.1 最终含水率

由图 4-1 可知, 在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中最终含水率的变化情况。从图中可以看到, 随着温度的增高, 运动鞋立体面料的最终含水率呈现出明显的下降趋势, 可能有以下几点原因: 一是温度越高, 水分子的动能越大, 更容易从液态转变为气态, 从而加速水分的蒸发。二是在高温环境下, 面料纤维可能会发生收缩, 导致面料孔隙率增加, 水分更容易从孔隙中逸出。从整体情况来看, 在不同的气流温度条件下, 运动鞋立体面料最终含水率的大小排列为: $60^{\circ}\text{C} > 50^{\circ}\text{C} > 40^{\circ}\text{C}$ 。

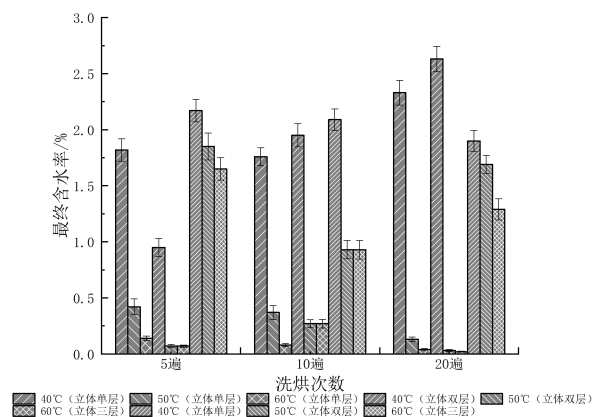


图 4-1 不同气流温度烘干下的最终含水率

Fig. 4-1 Final moisture content after drying at different airflow temperatures

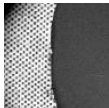
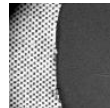
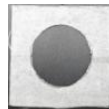
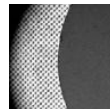
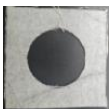
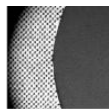
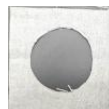
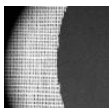
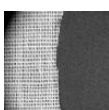
4.3.1.2 磨损程度

由表 4-4 可知, 在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中磨损程度的变化情况。随着温度的升高, 运动鞋立体面料的磨损程度呈现出逐渐增加的趋势。

具体来看,在较低温度条件下,面料的磨损程度相对较轻,表明材料在低温环境下具有较好的耐磨性能。然而,随着温度逐渐升高,面料的磨损程度有所增加,尤其是在高温条件下,磨损现象相对明显。这一现象可能是因为高温导致面料纤维出现软化或者结构变得松弛,使其在机械摩擦作用下更容易受到损伤。此外,不同层次的面料随温度的变化也存在一定差异。例如,单层面料在高温下的磨损程度可能比双层面料或三层面料更为明显,这是因为多层结构可能在一定程度上分散了摩擦力的作用,从而减缓了磨损的程度。综上所述,随着温度的升高,运动鞋立体面料的磨损程度逐渐增加,具体磨损程度大小排序为: $60^{\circ}\text{C} > 50^{\circ}\text{C} > 40^{\circ}\text{C}$ 。

表 4-4 不同气流温度烘干下 5 遍的磨损程度

Table. 4-4 Wear degree after 5 drying cycles at different airflow temperatures

组别	牛津纺 (立体单层)	牛津纺局部	EVA (立体单层)	EVA 局部	牛津纺 (立体双层)	牛津纺局部
原样						
40℃						
50℃						
60℃						
组别	棉涤 (立体双层)	棉涤局部	EVA (立体 双层)	EVA 局部	牛津纺 (立 体三层)	牛津纺局部
原样						
40℃						
50℃						
60℃						
组别	防 (立体三 层)	防水透气膜 局部	棉涤 (立体 三层)	棉涤局部	EVA (立体 三层)	EVA 局部

续表 4-4

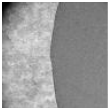
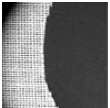
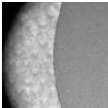
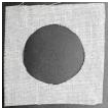
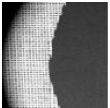
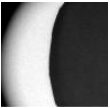
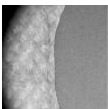
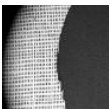
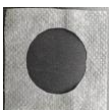
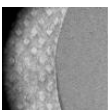
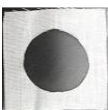
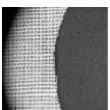
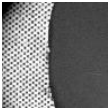
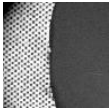
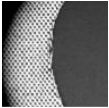
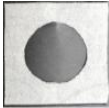
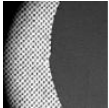
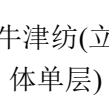
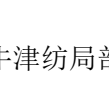
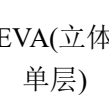
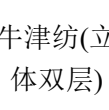
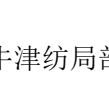
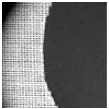
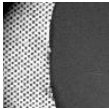
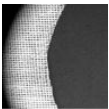
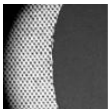
组别	防（立体三层）	防水透气膜局部	棉涤（立体三层）	棉涤局部	EVA（立体三层）	EVA 局部
原样						
40℃						
50℃						
60℃						

表 4-5 不同气流温度烘干下 10 遍的磨损程度

Table. 4-5 Wear degree after 10 drying cycles at different airflow temperatures

组别	牛津纺(立体单层)	牛津纺局部	EVA(立体单层)	EVA 局部	牛津纺(立体双层)	牛津纺局部
原样						
40℃						
50℃						
60℃						
组别	棉涤(立体双层)	棉涤局部	EVA（立体双层）	EVA 局部	牛津纺（立体三层）	牛津纺局部
原样						
40℃						

续表 4-5

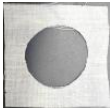
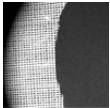
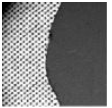
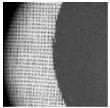
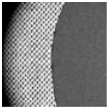
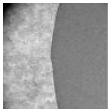
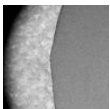
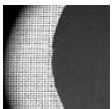
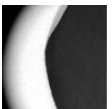
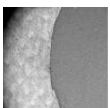
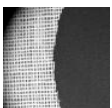
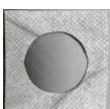
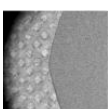
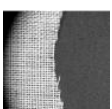
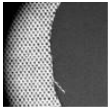
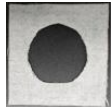
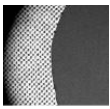
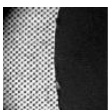
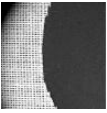
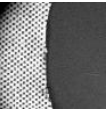
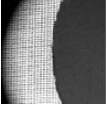
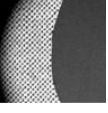
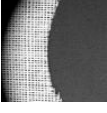
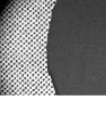
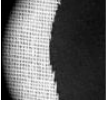
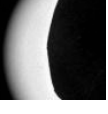
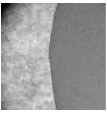
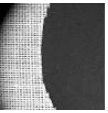
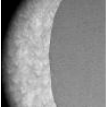
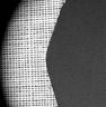
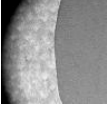
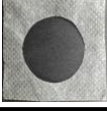
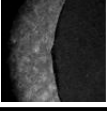
组别	棉涤(立体 双层)	棉涤局部	EVA (立体 双层)	EVA 局部	牛津纺 (立 体三层)	牛津纺局部
50℃						
60℃						
组别	防 (立体三 层)	防水透气膜 局部	棉涤 (立体 三层)	棉涤局部	EVA (立体 三层)	EVA 局部
原样						
40℃						
50℃						
60℃						

表 4-6 不同气流温度烘干下 20 遍的磨损程度

Table. 4-6 Wear degree after 20 drying cycles at different airflow temperatures

组别	牛津纺(立 体单层)	牛津纺局部	EVA(立体 单层)	EVA 局部	牛津纺(立 体双层)	牛津纺局部
原样						
40℃						
50℃						
60℃						
组别	棉涤(立体 双层)	棉涤局部	EVA (立体 双层)	EVA 局部	牛津纺 (立 体三层)	牛津纺局部

续表 4-6

组别	棉涤(立体 双层)	棉涤局部	EVA (立体 双层)	EVA 局部	牛津纺 (立 体三层)	牛津纺局部
原样						
40℃						
50℃						
60℃						
组别	防 (立体三 层)	防水透气膜 局部	棉涤 (立体 三层)	棉涤局部	EVA (立体 三层)	EVA 局部
原样						
40℃						
50℃						
60℃						

4.3.1.3 透气性

由表 4-7 可知，在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中透气性的变化情况。根据表中的实验数据，可以得出以下结论：运动鞋立体单层面料和立体双层面料的透气性均随着温度的升高而呈现出上升趋势。这说明，随着温度的升高，这两种面料的结构可能发生了变化，从而促进了空气的流通，增强了透气性能。对于运动鞋立体三层面料来看，它的表现较为复杂。具体来看，三层面料中牛津纺的透气性随着温度的升高而升高，这与单层和双层面料的趋势一致。中间层的防水透气膜和内里面料棉涤的透气性则呈现出先下降后上升的非线性变化。原因可能是温度升高的初期，面料因受热收缩变得更加紧致，导致透气性降低。随着温度的继续升高，面料结构也趋于稳定，面料纤维排列的更加均匀，透气性因此改善提高。综上所述，不同层次面料的透气性随温度的变化存在显著差异。但不

论是单层、双层还是三层面料，在 60 °C时表现出较好的透气性能。

表 4-7 不同气流温度烘干下的透气性

Table. 4-7 Breathability under different airflow temperatures during drying

样品 名称	牛津纺立 体 单 层 (40°C)	牛津纺立 体 单 层 (50°C)	牛津纺立 体 单 层 (60°C)	牛津纺立 体 双 层 (40°C)	牛津纺立 体 双 层 (50°C)	牛津纺立 体 双 层 (60°C)
原样	44.38	44.38	44.38	44.38	44.38	44.38
5 遍	97.47	124.27	654	73.17	93.72	87.41
10 遍	113.5	100.05	603.67	102.4	73.91	112.03
20 遍	84.04	124.3	664	81.2	92.47	113.4
样品 名称	牛津纺立 体 三 层 (40°C)	牛津纺立 体 三 层 (50°C)	牛津纺立 体 三 层 (60°C)	棉涤立 体 双 层 (40°C)	棉涤立 体 双 层 (50°C)	棉涤立 体 双 层 (60°C)
原样	44.38	44.38	44.38	1882.33	1882.33	1882.33
5 遍	77.87	57.77	112.53	2029.33	1951.67	1995
10 遍	117.6	100.37	186.73	1979.67	1964.33	2009
20 遍	70.55	96.36	117.3	1963	1985.33	1905.33
样品 名称	棉涤立 体 三 层 (40°C)	棉涤立 体 三 层 (50°C)	棉涤立 体 三 层 (60°C)	防水透 气 膜 立 体 三 层 (40°C)	防水透 气 膜 立 体 三 层 (50°C)	防水透 气 膜 立 体 三 层 (60°C)
原样	1882.33	1882.33	1882.33	34.54	34.54	34.54
5 遍	1843.67	1990.33	1955	77.41	42.16	156.13
10 遍	1932.33	1842	1953.33	116.7	122.3	150.7
20 遍	1894	1995	1977.33	108.87	60.57	127.97

4.3.1.4 硬挺度

由表 4-8 可知，在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中硬挺度的变化情况。根据表中的实验数据，我们可以得出以下结论：运动鞋立体单层面料和立体双层面料的硬挺度随温度的变化呈现出先下降后上升的趋势。原因可能是在升温初期，材料发生了一定程度的软化或者结构变得松弛。当温度持续升高后，此时材料的结构在高温下重新趋于稳定，甚至可能发生某种程度的硬化或结晶，从而提升了面料的刚性。对于运动鞋立体三层面料，牛津纺和棉涤混纺面料的硬挺度在 60 °C时达到最大值，这与单层和双层面料的趋势一致，表明这两种材料在高温下同样表现出较好的结构稳定性。中间层防水透气膜的硬挺度则在 50 °C时达到峰值，随后随着温度的进一步升高而有所下降。这可能是因为随着温度升高

到 50 °C 时, 防水透气膜材料则处于其最佳的热响应状态, 分子链段的活性增强, 当温度超过 50 °C 后, 材料分子链段的活性进一步增强, 导致材料逐渐软化, 硬挺度下降。综上所述, 单层面料和双层面料以及三层面料中的鞋面面料和内里面料都在 60 °C 时硬挺度最高, 但中间层防水透气膜的最佳硬挺度则出现在 50 °C。

表 4-8 不同气流温度烘干下的硬挺度

Table. 4-8 Hardness under different airflow temperatures during drying

样品名称	牛津纺立体单层 (40°C)		牛津纺立体单层 (50°C)		牛津纺立体单层 (60°C)	
组别	伸出长度	抗弯长度	伸出长度	抗弯长度	伸出长度	抗弯长度
	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm
原样	47.1	23.9	47.1	23.9	47.1	23.9
5 遍	50.7	25.8	52.4	26.6	43.7	22.2
10 遍	59.9	30.5	58.8	29.9	41.7	21.2
20 遍	53.3	27.1	51	25.9	54.3	27.6
样品名称	牛津纺立体双层 (40°C)		牛津纺立体双层 (50°C)		牛津纺立体双层 (60°C)	
原样	47.1	23.9	47.1	23.9	47.1	23.9
5 遍	34.7	17.6	50.9	25.9	76.7	39
10 遍	58.5	29.7	54.2	27.6	52.3	26.6
20 遍	44	22.4	47.1	23.9	54.5	27.7
样品名称	牛津纺立体三层 (40°C)		牛津纺立体三层 (50°C)		牛津纺立体三层 (60°C)	
原样	47.1	23.9	47.1	23.9	47.1	23.9
5 遍	41.3	21	45.6	23.2	55.3	28.1
10 遍	44	22.4	54	27.5	57.3	29.1
20 遍	45.7	23.2	39.5	20.1	52.1	26.5
样品名称	棉涤立体双层 (40°C)		棉涤立体双层 (50°C)		棉涤立体双层 (60°C)	
原样	43.8	22.3	43.8	22.3	43.8	22.3
5 遍	36	18.3	41	20.8	35.6	18.2
10 遍	24.7	50	35.9	18.2	54.2	27.6
20 遍	45.7	23.2	54.6	27.8	24.6	12.5
样品名称	棉涤立体三层 (40°C)		棉涤立体三层 (50°C)		棉涤立体三层 (60°C)	
原样	43.8	22.3	43.8	22.3	43.8	22.3

续表 4-8

样品名称	棉涤立体三层 (40℃)		棉涤立体三层 (50℃)		棉涤立体三层 (60℃)	
5 遍	49	24.9	42.1	21.4	40.8	20.7
10 遍	46.2	23.5	47.4	24.1	43.5	22.1
20 遍	43.5	22.1	41.7	21.2	52.2	26.5
样品名称	防立体三层 (40℃)		防立体三层 (50℃)		防立体三层 (60℃)	
原样	83.9	42.7	83.9	42.7	83.9	42.7
5 遍	94.5	48.1	98.7	50.2	86.3	43.9
10 遍	87	44.3	82.4	41.9	89	45.3
20 遍	96.2	48.9	107	54.4	89.8	45.7

4.3.1.5 色差

由表 4-9 可知,在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中色差的变化情况。从表中可以观察到运动鞋立体单层面料和立体三层面料的色差随着温度的变化呈现出先上升后下降的趋势。可能是因为在温度升高的初期,面料中的染料因热作用,致使分子结构发生了变化,导致颜色分布不均匀,色差增大。随着温度继续升高,染料分子结构逐渐趋于稳定,颜色分布也因此更加均匀,色差减小。还有可能是因为随着温度继续升高,面料中的纤维结构趋于稳定,收缩和膨胀效应逐渐减弱,使颜色分布的更加均匀,色差减小。相比之下,运动鞋立体双层面料的色差则随着温度的升高而升高,这可能是因为温度升高初期,立体双层面料因受热收缩而被不均匀压缩,色差增大。随着温度继续升高,面料逐渐松弛,但两层材料的松弛程度不一致,导致颜色分布不均匀,色差继续增大。综上所述,单层面料和三层面料在 50℃时色差最大,而双层面料则在 60℃时色差最大。

表 4-9 不同气流温度烘干下的色差

Table. 4-9 Color difference during drying at different airflow temperatures

样品名称	牛津纺立 体 单 层 (40℃)	牛津纺立 体 单 层 (50℃)	牛津纺立 体 单 层 (60℃)	牛津纺立 体 双 层 (40℃)	牛津纺立 体 双 层 (50℃)	牛津纺立 体 双 层 (60℃)
5 遍	2.54	2.14	2.58	2.32	2.25	2.89
10 遍	2.5	2.7	2.22	2.58	2.43	2.94
20 遍	2.37	2.89	2.48	2.33	2.45	2.77
样品名称	牛津纺立 体 三 层 (40℃)	牛津纺立 体 三 层 (50℃)	牛津纺立 体 三 层 (60℃)	棉涤立体 双 层 (40℃)	棉涤立体 双 层 (50℃)	棉涤立体 双 层 (60℃)

续表 4-9

样品名称	牛津纺立 三层 (40℃)	牛津纺立 体三层 (50℃)	牛津纺立 体三层 (60℃)	棉涤立体 双层 (40℃)	棉涤立体 双层 (50℃)	棉涤立体 双层 (60℃)
5 遍	2.19	2.75	2.06	0.94	1.29	0.81
10 遍	2.37	3.05	2.4	0.96	1.02	0.97
20 遍	2.66	2.78	2.5	1.36	1.39	1.06
样品名称	棉涤立体 三层 (40℃)	棉涤立体 三层 (50℃)	棉涤立体 三层 (60℃)	防水透气 膜立体三 层(40℃)	防水透气 膜立体三 层(50℃)	防水透气 膜立体三 层(60℃)
5 遍	0.99	0.8	1	1.14	1.47	1.11
10 遍	0.94	1.11	0.78	2.12	1.13	0.67
20 遍	1.04	1.08	0.79	1.1	1.24	1.36
样品名称	EVA 立体 单层 (40℃)	EVA 立体 单层 (50℃)	EVA 立体 单层 (60℃)	EVA 立体 双层 (40℃)	EVA 立体 双层 (50℃)	EVA 双层 (60℃)
5 遍	78.6	79.9	79.24	79.63	80.01	81.98
10 遍	79.27	80.01	79.11	81.03	79.66	81.73
20 遍	79.73	79.93	79.37	79.82	78.92	80.94
样品名称	EVA 立体 三层 (40℃)	EVA 立 体 三 层 (50℃)	EVA 立体 三层 (60℃)			
5 遍	79.98	79.29	79.42			
10 遍	79.99	79.59	79.28			
20 遍	79.95	79.27	78.96			

4.3.1.6 断裂强度

由图4-2、4-3可知,在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中断裂强度的变化情况。从图中可以看到,运动鞋立体面料在不同温度条件下的拉伸强度表现出不同的变化。从经向拉伸强度来看,在40℃、50℃和60℃的温度时,拉伸强度的变化相对较小,表明经向纤维结构在这些温度条件下具有较好的稳定性,能够有效抵抗温度变化带来的影响。这种稳定性可能是因为经向纤维的排列紧密或者材料本身的耐热性能较好所致。然而,从纬向拉伸强度来看,运动鞋立体面料的拉伸强度随着温度的升高呈现出增长趋势。原因可能是因为温度升高导致纬向纤维的分子链活动性增强,使得纤维在受力时能够更好地延展和重新排列,从

而提升了整体的拉伸强度。此外，高温可能还促进了纤维间的相互作用，进一步增强了材料的力学性能。综上所述，运动鞋立体面料的拉伸强度在经向和纬向上对温度变化呈现出了不同的趋势。经向拉伸强度在40℃至60℃范围内变化不大，表现出较好的温度稳定性；而纬向拉伸强度则随着温度的升高显著增加，在60℃时达到了最大。

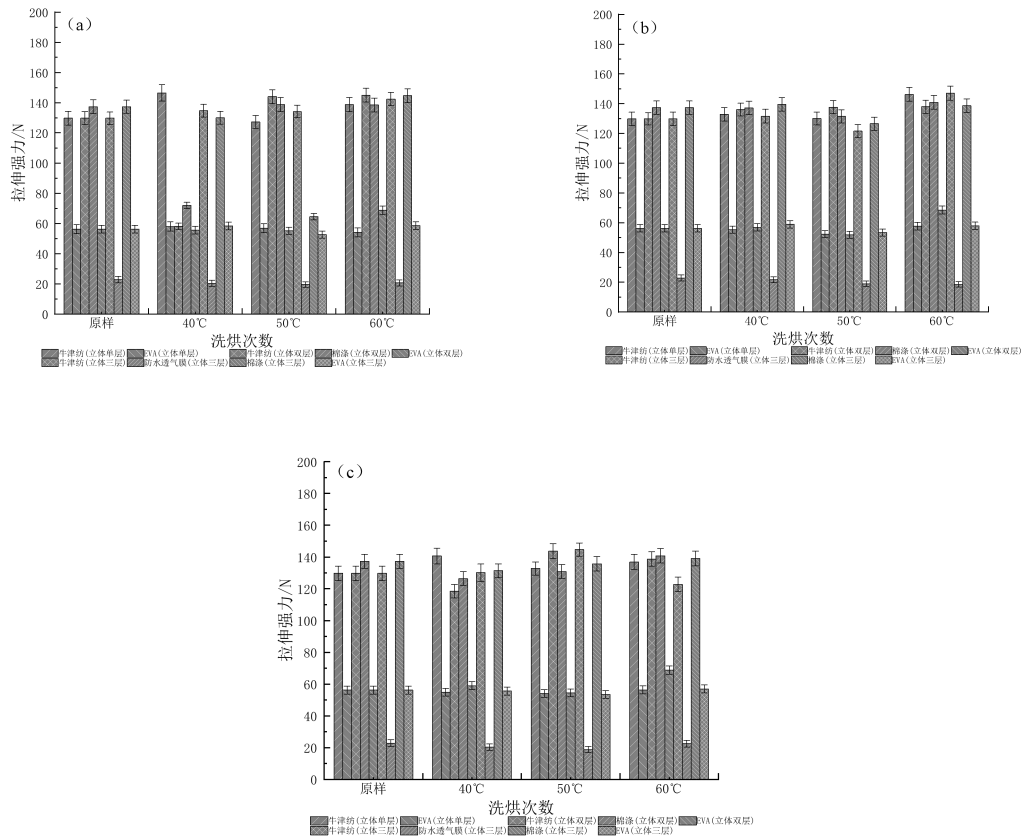
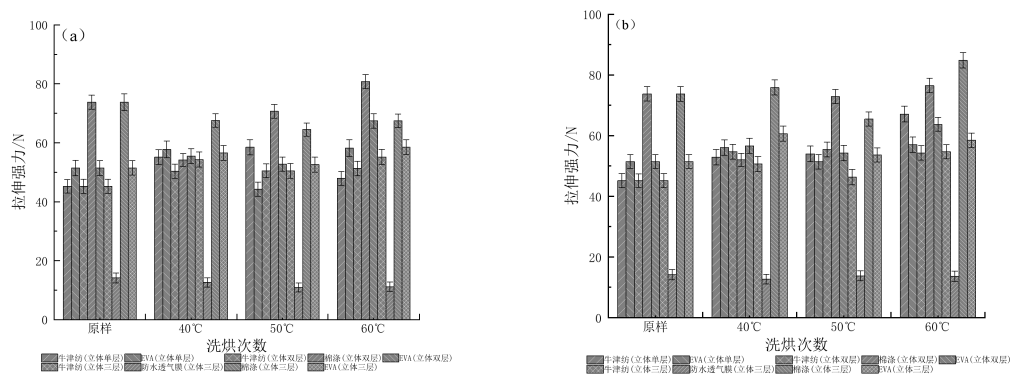


图 4-2 不同气流温度烘干下的拉伸强度 (a) 5 遍 (b) 10 遍 (c) 20 遍

Fig. 4-2 Tensile strength under different airflow temperatures drying (a) 5 times, (b) 10 times, (c) 20 times



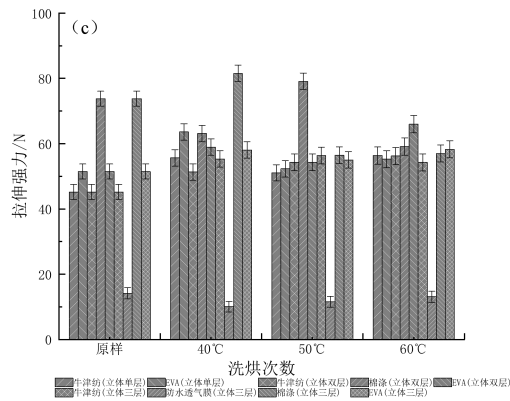


图 4-3 不同气流温度烘干下的纬向拉伸强度 (a) 5 遍 (b) 10 遍 (c) 20 遍

Fig. 4-3 The latitudinal tensile strength under different airflow temperatures drying (a) 5 times, (b) 10 times, (c) 20 times

4.3.1.7 烘干过程气流温湿度变化规律分析

由图 4-4 可知, 在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中温度和湿度的变化情况。从图中可以看出, 随着洗烘次数的增加, 温度和湿度的变化趋势逐渐趋于稳定。具体来看, 洗烘 5 遍时, 温湿度的波动较为明显, 表明此时面料对气流温度的反应较为敏感。洗烘 10 遍时, 温湿度的变化幅度有所减小, 说明面料逐渐适应了气流温度的变化。洗烘 20 遍时, 温湿度的变化趋于平缓, 表明面料在多次洗烘后达到了相对稳定的状态。此外, 不同气流温度对温湿度的影响也有所不同。在较低的气流温度下, 温湿度的变化较为缓慢, 而在较高的气流温度下, 温湿度的变化更为迅速。综合来看, 随着洗烘次数的增加, 面料对气流温度的适应性增强, 温湿度的变化逐渐趋于稳定, 而随着温度的增加, 温湿度变化更为显著。

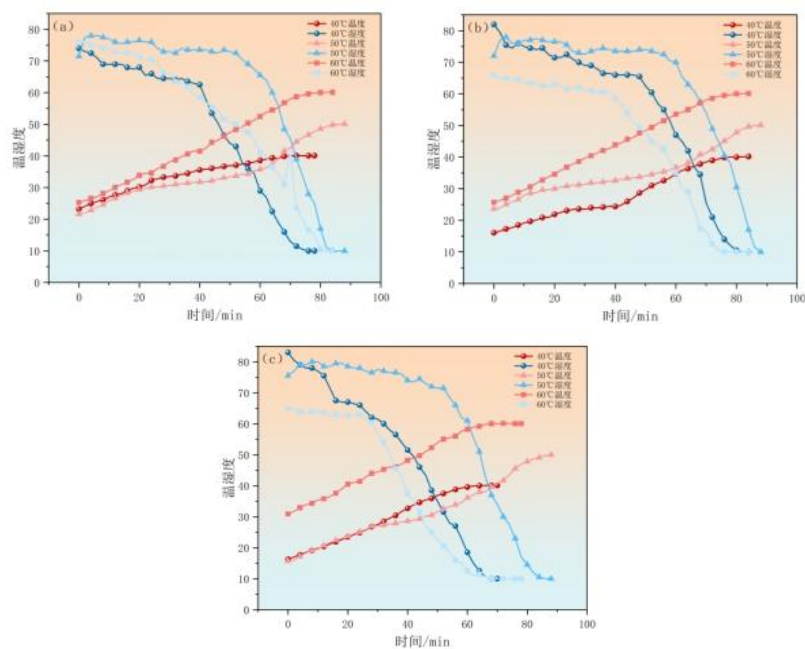


图 4-4 不同气流温度下烘干的温湿度 (a) 洗烘 5 遍 (b) 洗烘 10 遍 (c) 洗烘 20 遍

Fig. 4-4 Drying temperature and humidity at different airflow temperatures (a) 5 times washing and drying (b) 10 times washing and drying (c) 20 times washing and drying

4.3.1.8 粘合强度

由图 4-5 可知,在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中粘合强度的变化情况。从图中可以看到,运动鞋的粘合强度在不同洗烘次数和温度条件下表现出显著的变化趋势。具体来看,在洗烘 5 遍后,40 °C 时的粘合强度达到最大值,随后随着温度的升高,粘合强度逐渐降低。这一现象表明,在较低的洗烘次数下,40 °C 的温度条件能够为粘合剂提供最佳的结合环境,可能是由于在此温度下,粘合剂分子能够充分渗透并与鞋面材料形成牢固的结合,同时避免了高温可能导致的粘合剂软化或分解。然而,随着温度继续升高,粘合强度逐渐下降,可能是由于高温导致粘合剂分子结构发生变化,从而削弱了其结合力。相比之下,在洗烘 20 遍后,粘合强度的变化趋势发生了逆转。此时,60 °C 时的粘合强度达到最大值,并且随着温度的升高,粘合强度呈现出增长的趋势。这一现象可能是由于多次洗烘后,材料表面的微观结构发生了变化,60 °C 的温度条件能够更好地激活粘合剂分子,使其在多次洗涤后仍能保持较强的结合力。此外,高温可能还促进了粘合剂的进一步固化,增强了其抵抗外界应力的能力。综上所述,运动鞋的粘合强度在不同洗烘次数和温度条件下的表现存在显著差异。在洗烘 5 遍后,40 °C 时粘合强度最大,随着温度升高而降低;而在洗烘 20 遍后,60 °C 时粘合强度最大,并随着温度升高而增加。

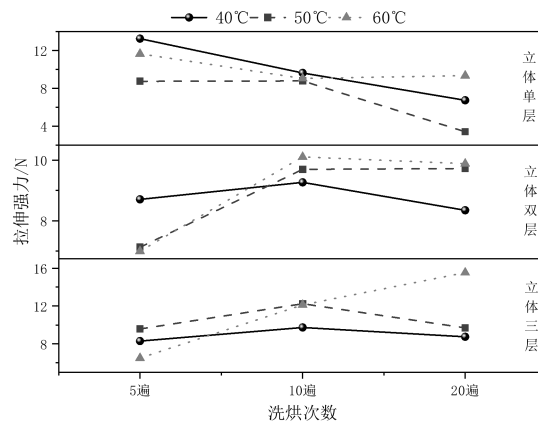


图 4-5 不同气流温度下烘干的粘合强度

Figure 4-5 Adhesive strength dried at different airflow temperatures

4.3.2 烘干气流量的影响

4.3.2.1 最终含水率

由图 4-6 可知,在不同气流量对运动鞋立体面料烘干过程中最终含水率的变

化情况。根据图中所提供的数据，我们可以看到，随着气流量的增高，运动鞋立体面料的最终含水率呈现出先下降后上升的非线性变化趋势。具体来看，在洗烘 20 遍的实验条件下，当气流量从 $149 \text{ m}^3/\text{h}$ 提升至 $171 \text{ m}^3/\text{h}$ 时，立体单层面料的最终含水率从 0.44% 下降至 0.13%，这表明在 $171 \text{ m}^3/\text{h}$ 的气流量情况下，烘干效率达到最佳状态。然而，当气流量进一步提升至 $185 \text{ m}^3/\text{h}$ 时，立体单层面料的最终含水率却从 0.13% 上升至 2.45%，这一现象可能是因为过高的气流量致使面料表面水分重新吸附或者是烘干不均匀。值得注意的是，立体双层面料和三层面料的表现与单层面料基本一致，均呈现出先降后升的趋势，说明气流量的变化对不同结构面料的烘干效果具有普遍性影响。综合来看，在不同气流量情况下，运动鞋立体面料的最终含水率排序为： $171 \text{ m}^3/\text{h} > 149 \text{ m}^3/\text{h} > 185 \text{ m}^3/\text{h}$ 。这一结果表明， $171 \text{ m}^3/\text{h}$ 的气流量是烘干效率的临界点。因此，建议将气流量控制在 $171 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右，以实现运动鞋立体面料的最佳干燥效果，同时也避免了因气流量过高而导致能源浪费或烘干质量下降的问题。

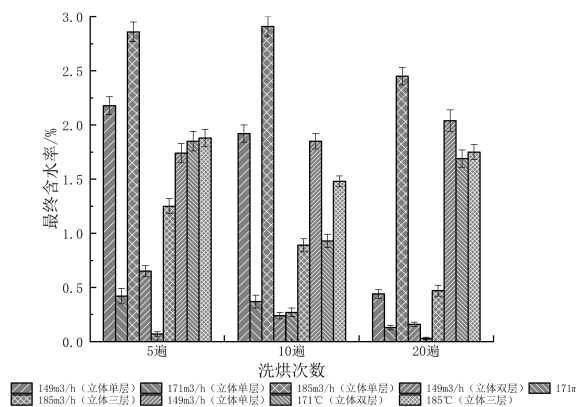


图 4-6 不同气流量烘干下的最终含水率

Figure 4-6 Final moisture content under different air flow drying conditions

4.3.2.2 磨损程度

由表 4-10、4-11、4-12 可知，在不同气流量对运动鞋立体面料烘干过程中磨损程度的变化情况。根据表中所提供的图片，我们可以看到，随着气流量的升高，运动鞋立体面料的磨损程度呈现出逐渐增加的趋势。具体来看，在较低气流量时，面料的磨损程度相对较轻，表明材料在低气流环境下具有较好的耐磨性能。然而，随着气流量逐渐增加，面料的磨损程度明显加剧，尤其是在高气流量时，磨损现象更为明显。这一现象可能是因为高气流量致使面料表面受到更强的气流冲击和摩擦作用，从而加速了材料的磨损过程。此外，不同层次的面料对气流量的变化也存在一定差异。例如，单层面料在高气流量下的磨损程度可能比双层面料或三层面料更为明显，因为多层结构可能在一定程度上分散了气流的冲击力，从而减缓了磨损的速度。综上所述，随着气流量的升高，运动鞋立体面料的磨损程度逐渐增加，因此运动鞋立体面料在气流量为 $149 \text{ m}^3/\text{h}$ 时最佳。

表 4-10 不同气流量烘干下 5 遍的磨损程度
Table. 4-10 Wear degree after 5 drying cycles with different air flow rates

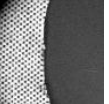
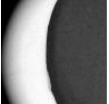
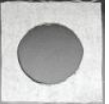
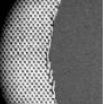
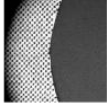
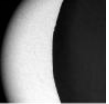
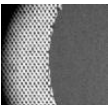
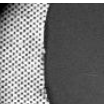
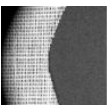
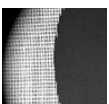
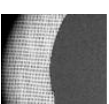
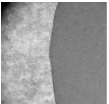
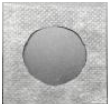
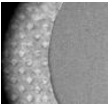
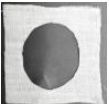
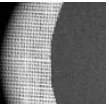
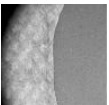
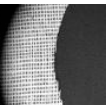
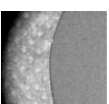
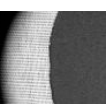
组别	牛津纺 (立体单层)	牛津纺局 部	EVA(立 体 单层)	EVA 局部	牛津纺 (立体双层)	牛津纺局 部
原样						
149m ³ /h						
171m ³ /h						
185m ³ /h						
组别	棉涤 (立体双层)	棉涤局部	EVA (立体 双层)	EVA 局部	牛津纺 (立 体三层)	牛津纺局 部
原样						
149m ³ /h						
171m ³ /h						
185m ³ /h						
组别	防 (立体三 层)	防水透气 膜局部	棉涤 (立体 三层)	棉涤局部	EVA (立体 三层)	EVA 局部
原样						
149m ³ /h						
171m ³ /h						
185m ³ /h						

表 4-11 不同气流量烘干下 10 遍的磨损程度
Table. 4-11 Wear degree after 10 drying cycles with different air flow rates

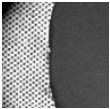
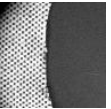
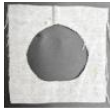
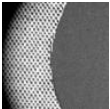
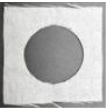
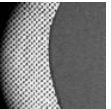
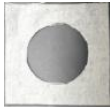
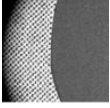
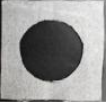
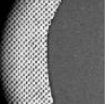
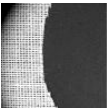
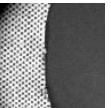
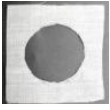
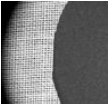
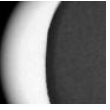
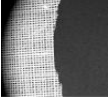
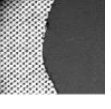
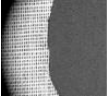
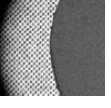
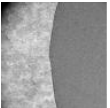
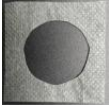
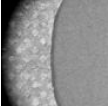
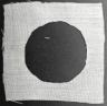
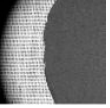
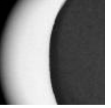
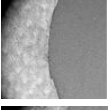
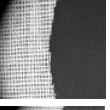
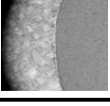
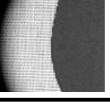
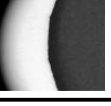
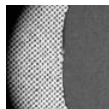
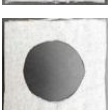
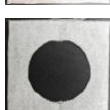
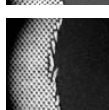
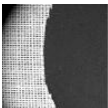
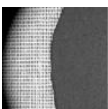
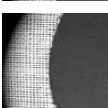
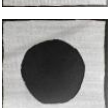
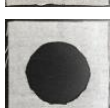
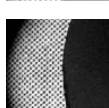
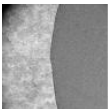
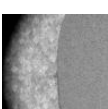
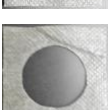
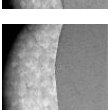
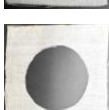
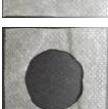
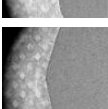
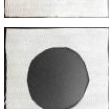
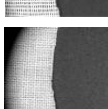
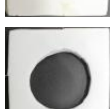
组别	牛津纺 (立体单层)	牛津纺 局部	EVA (立体单层)	EVA 局部	牛津纺 (立体双层)	牛津纺局 部
原样						
149m ³ /h						
171m ³ /h						
185m ³ /h						
组别	棉涤 (立体双层)	棉涤局部	EVA (立体 双层)	EVA 局部	牛津纺 (立 体三层)	牛津纺局 部
原样						
149m ³ /h						
171m ³ /h						
185m ³ /h						
组别	防 (立体三 层)	防水透气 膜局部	棉涤 (立体 三层)	棉涤局部	EVA (立体 三层)	EVA 局部
原样						
149m ³ /h						
171m ³ /h						
185m ³ /h						

表 4-12 不同气流量烘干下 20 遍的磨损程度

Table. 4-12 Wear degree after 20 drying cycles with different air flow rates

组别	牛津纺（立 体单层）	牛津纺局 部	EVA（立体 单层）	EVA 局部	牛津（立体 双层）	牛津纺局 部
原样						
149m ³ /h						
171m ³ /h						
185m ³ /h						
组别	棉涤(立体 双层)	棉涤局部	EVA（立体 双层）	EVA 局部	牛津纺（立 体三层）	牛津纺局 部
原样						
149m ³ /h						
171m ³ /h						
185m ³ /h						
组别	防水透气 膜（立体三 层）	防水透气 膜局部	棉涤（立体 三层）	棉涤局部	EVA（立体 三层）	EVA 局部
原样						
149m ³ /h						
171m ³ /h						
185m ³ /h						

4.3.2.3 透气性

由表 4-13 可知,在不同气流量对运动鞋立体面料烘干过程中透气性的变化情况。对表中的实验数据进行分析,可以得出以下结论:运动鞋立体单层面料的透气性随着气流量的升高呈现出明显的下降趋势。这表明,随着气流量的增加,单层面料的结构可能变得更加紧密,导致空气流通的阻力增大,从而降低了透气性能。相比之下,运动鞋立体双层面料和三层面料的透气性随气流量的变化则呈现出非线性关系。具体来看,在气流量为 149 m³/h 和 185 m³/h 时,这两种面料的透气性表现较好。这可能是因为在这些特定的气流量下,面料的结构达到了一个理想的平衡状态,既能够有效维持材料的稳定性,又能够保证空气的顺畅流通。而在其他气流量时,透气性可能受到材料层间相互作用或结构变化的影响,导致性能波动。综上所述,运动鞋立体面料在 149 m³/h 时表现出最佳的透气性能。

表 4-13 不同气流量烘干下的透气性

Table. 4-13 Breathability under different airflow rates during drying

样品名称	牛津纺立 体单层 149m ³ /h	牛津纺立 体单层 171m ³ /h	牛津纺立 体单层 185m ³ /h	牛津纺立 体双层 149m ³ /h	牛津纺立 体双层 171m ³ /h	牛津纺立 体双层 185m ³ /h
原样	44.38	44.38	44.38	44.38	44.38	44.38
5 遍	109.73	124.27	84.14	109.5	93.72	81.68
10 遍	144.73	100.05	186.7	75.66	73.91	76.46
20 遍	235.07	124.3	118.97	79.17	92.47	71.71
样品名称	牛津纺立 体三层 149m ³ /h	牛津纺立 体三层 171m ³ /h	牛津纺立 体三层 185m ³ /h	棉涤立体 双层 149m ³ /h	棉涤立体 双层 171m ³ /h	棉涤立体 双层 185m ³ /h
原样	44.38	44.38	44.38	1882.33	1882.33	1882.33
5 遍	106.87	57.77	86.41	2074.33	1951.67	1978
10 遍	106.84	100.37	102.67	1980.67	1964.33	2135.33
20 遍	87.76	96.36	86.69	2017.67	1985.33	1884
样品名称	棉涤立体 三层 149m ³ /h	棉涤立体 三层 171m ³ /h	棉涤立体 三层 185m ³ /h	防水透气 膜立体三 层 149m ³ /h	防水透气 膜立体三 层 171m ³ /h	防水透气 膜立体三 层 185m ³ /h
原样	1882.33	1882.33	1882.33	34.54	34.54	34.54
5 遍	2029.67	1990.33	608.67	69.18	42.16	120.6
10 遍	2029.33	1842	630	66.7	122.3	100.7
20 遍	1864.67	1995	661	107.93	60.57	97.13

4.3.2.4 硬挺度

由表 4-14 可知,在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中硬挺度的变化情况。从表中的实验数据可以看出,运动鞋立体单层面料的硬挺度随着气流量

的升高呈现出上升趋势。具体来看,随着气流量逐渐增加,单层面料的硬挺度持续提升,并在气流量达到 $185\text{ m}^3/\text{h}$ 时达到最大值。这表明,较高的气流量可能促进了面料内部结构的紧密化或纤维的重新排列,从而增强了材料的刚性。相比之下,运动鞋立体双层面料和三层面料的硬挺度随气流量的变化则表现出不同的变化。这两种面料在气流量为 $149\text{ m}^3/\text{h}$ 和 $171\text{ m}^3/\text{h}$ 时均表现出较好的硬挺度,说明在中低气流量时,面料的结构达到了一个较为理想的平衡状态,既能够维持材料的稳定性,又能够保证一定的柔软性。然而,当气流量进一步增加时,硬挺度可能会出现波动或下降,可能是由于气流对材料层间相互作用的影响所致。综上所述,单层面料的硬挺度随气流量增加而单调上升,并在 $185\text{ m}^3/\text{h}$ 时达到峰值;而双层面料和三层面料则在 $149\text{ m}^3/\text{h}$ 和 $171\text{ m}^3/\text{h}$ 时表现出最佳的硬挺度。

表 4-14 不同气流量烘干下的硬挺度

Table. 4-14 Hardness under different air flow drying conditions

样品名称	牛津纺立体单层 (149m^3 /h)		牛津纺立体单层 (171m^3 /h)		牛津纺立体单层 (185m^3 /h)	
组别	伸出长度 /mm	抗弯长度 /mm	伸出长度 /mm	抗弯长度 /mm	伸出长度 /mm	抗弯长度 /mm
原样	47.1	23.9	47.1	23.9	47.1	23.9
5 遍	46.7	23.7	52.4	26.6	62.7	31.9
10 遍	41.2	20.9	58.8	29.9	45.8	23.3
20 遍	62.7	48	51	25.9	78.2	29.8
样品名称	牛津纺立体双层 (149m^3 /h)		牛津纺立体双层 (171m^3 /h)		牛津纺立体双层 (185m^3 /h)	
原样	47.1	23.9	47.1	23.9	47.1	23.9
5 遍	88.2	44.9	50.9	25.9	41.4	21
10 遍	50.7	25.8	54.2	27.6	56.6	28.8
20 遍	44	22.4	47.1	23.9	46.5	23.6
样品名称	牛津纺立体三层 (149m^3 /h)		牛津纺立体三层 (171m^3 /h)		牛津纺立体三层 (185m^3 /h)	
原样	47.1	23.9	47.1	23.9	47.1	23.9
5 遍	46.2	23.5	45.6	23.2	60.4	30.7
10 遍	53.9	27.4	54	27.5	42.3	21.5
20 遍	65.5	33.3	39.5	20.1	64.6	32.9
样品名称	棉涤立体双层 (149m^3 /h)		棉涤立体双层 (171m^3 /h)		棉涤立体双层 (185m^3 /h)	
原样	43.8	22.3	43.8	22.3	43.8	22.3
5 遍	46.5	23.6	41	20.8	43.7	22.2
10 遍	68.8	35	35.9	18.2	44.4	22.6
20 遍	50.2	25.5	54.6	27.8	41.2	20.9

续表 4-14

样品名称	棉涤立体三层(149m ³ /h)		棉涤立体三层(171m ³ /h)		棉涤立体三层(185m ³ /h)	
原样	43.8	22.3	43.8	22.3	43.8	22.3
5 遍	35.2	17.9	42.1	21.4	39.4	20
10 遍	42.3	21.5	47.4	24.1	31.7	16.1
20 遍	67	34.1	41.7	21.2	46.4	23.6
样品名称	防立体三层 (149m ³ /h)		防立体三层 (171m ³ /h)		防立体三层 (185m ³ /h)	
原样	83.9	42.7	83.9	42.7	83.9	42.7
5 遍	90.4	47.1	98.7	50.2	81.2	41.3
10 遍	109	55.5	82.4	41.9	88.2	44.9
20 遍	90.1	45.8	107	54.4	81.2	41.3

4.3.2.5 色差

由表 4-15 可知,在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中色差的变化情况。从表中的实验数据可以看出,运动鞋立体面料的色差随着气流量的增加呈现出上升趋势,并在气流量为 185 m³/h 时达到最大值。具体来看,随着气流量的逐渐增加,面料的色差值逐渐增大,表明气流量的增加对材料的颜色稳定性产生了一定的影响。这一现象可能是由于高气流量致使面料表面的染料分子受到更强的气流冲击,从而加速了染料的迁移或分布不均,进而增大了色差。综上所述,气流量为 185 m³/h 时,色差值最大。

表 4-15 不同气流量烘干下的色差

Table. 4-15 Color difference under different air flow drying conditions

样品名称	牛津纺立 体单层 149m ³ /h	牛津纺立 体单层 171m ³ /h	牛津纺立 体单层 185m ³ /h	牛津纺立 体双层 149m ³ /h	牛津纺立 体双层 171m ³ /h	牛津纺立 体双层 185m ³ /h
5 遍	3.67	2.14	2.54	2.31	2.25	2.23
10 遍	2.93	2.7	2.58	2.34	2.43	2.42
20 遍	2.8	2.89	2.99	2.74	2.45	2.4
样品名称	牛津纺立 体三层 149m ³ /h	牛津纺立 体三层 171m ³ /h	牛津纺立 体层 185m ³ /h	棉涤立体 双层 149m ³ /h	棉涤立体 双层 171m ³ /h	棉涤立体 层 185m ³ /h
5 遍	2.43	2.75	2.58	0.81	1.29	6.67
10 遍	2.83	3.05	2.41	0.78	1.02	1.59
20 遍	2.29	2.78	2.77	0.81	1.39	1.06

续表 4-15

样品名称	棉涤立体 三层 149m ³ /h	棉涤立体 三层 171m ³ /h	棉涤立体 三层 185m ³ /h	防水透气 膜立体三 层 149m ³ /h	防水透气 膜立体三 层 171m ³ /h	防水透气 膜立体三 层 185m ³ /h
5 遍	0.69	0.8	6.24	1.03	1.47	0.97
10 遍	0.55	1.11	6.6	0.88	1.13	1.28
20 遍	0.59	1.08	6.82	0.85	1.24	1.378
样品名称	EVA 立体 单层 149m ³ /h	EVA 立体 层 171m ³ /h	EVA 立体 层 185m ³ /h	EVA 双层 149m ³ /h	EVA 双层 171m ³ /h	EVA 双层 185m ³ /h
5 遍	82.06	79.9	79.73	81.82	80.01	79.49
10 遍	82.06	80.01	79.51	82.2	79.66	82.92
20 遍	79.93	79.93	79.8	82.14	78.92	79.65
样品名称	EVA 立体 三层 149m ³ /h	EVA 立体 层 171m ³ /h	EVA 立体 层 185m ³ /h			
5 遍	82.02	79.29	79.77			
10 遍	80.46	79.59	79.53			
20 遍	82.14	79.27	79.61			

4.3.2.6 断裂强度

由图 4-7、4-8 可知,在不同气流量对运动鞋立体面料烘干过程中断裂强度的变化情况。从经向拉伸强度来看,随着气流量的升高,运动鞋立体面料的拉伸强度呈现出逐步增长的趋势,并在气流量达到 185 m³/h 时达到最大值。这一现象可能是因为较高的气流量促使了经向纤维的紧密排列或分子链的重新定向,从而增强了材料在经向上的力学性能。此外,高气流量可能还通过改善纤维间的结合力减少了内部缺陷,进一步提升了拉伸强度。然而,从纬向拉伸强度来看,运动鞋立体面料的拉伸强度却随着气流量的升高呈现出下降趋势,并在气流量为 149 m³/h 时达到最大值。这表明,纬向纤维结构对气流量的增加更为敏感,较高的气流量可能导致纬向纤维的松弛或排列紊乱,从而削弱了材料的拉伸强度。在 149 m³/h 气流量的条件下,纬向拉伸强度达到峰值,说明这一气流量能够较好地维持纬向纤维的结构稳定性,使其在受力时表现出最佳的力学性能。综上所述,经向拉伸强度随气流量增加而提升,在 185m³/h 时达到最大值;而纬向拉伸强度则随气流量增加而下降,在 149 m³/h 时表现最佳。

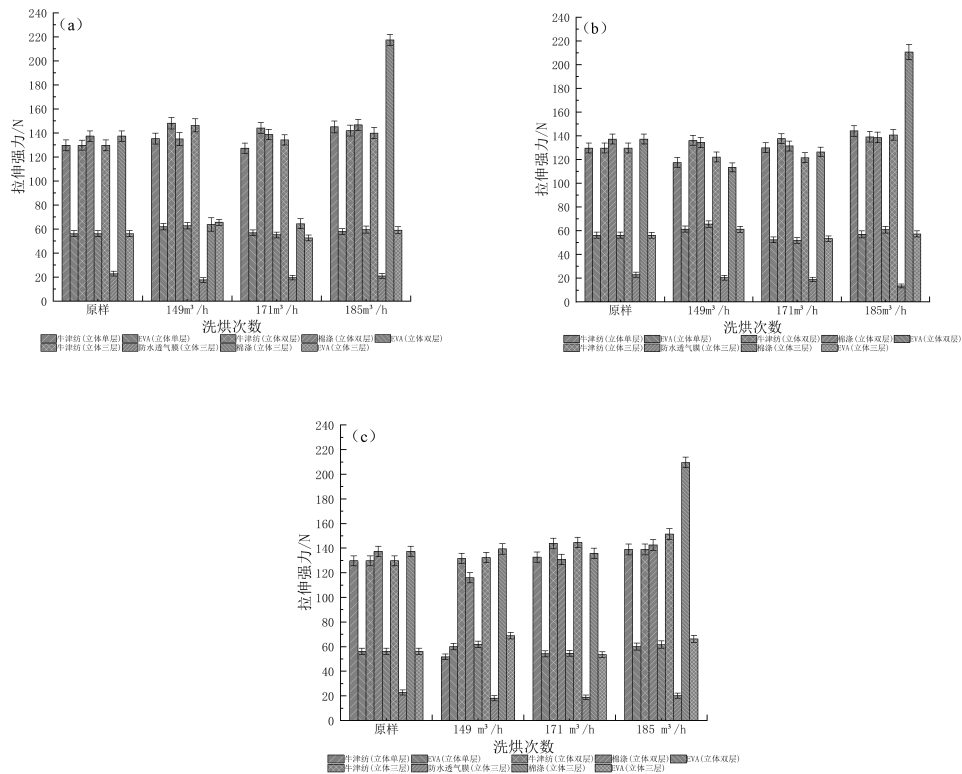


图 4-7 不同气流量烘干下的经向拉伸强度 (a) 5 遍 (b) 10 遍 (c) 20 遍
Figure 4-7 Longitudinal tensile strength under different air flow drying conditions (a) 5 times (b) 10 times (c) 20 times

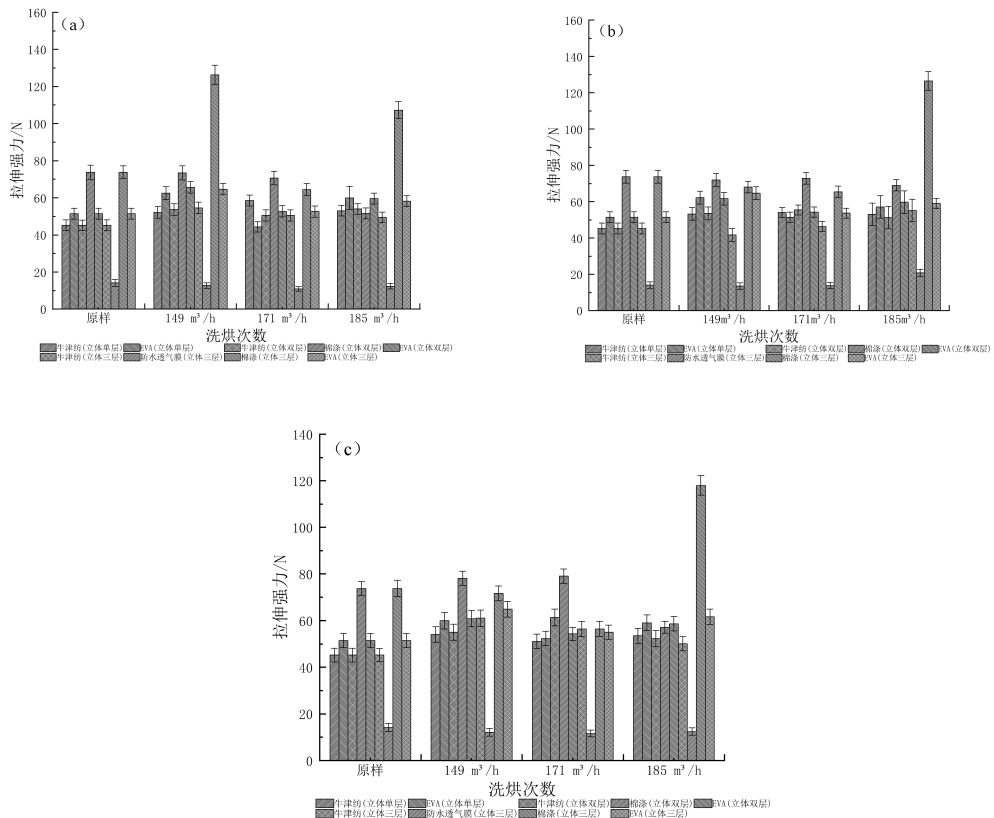


图 4-8 不同气流量烘干下的纬向拉伸强度 (a) 5 遍 (b) 10 遍 (c) 20 遍
Figure 4-8 Longitudinal tensile strength under different air flow drying conditions (a) 5 times (b) 10 times (c) 20 times

4.3.2.7 烘干过程气流温湿度变化规律分析

由图 4-9 可知,在不同气流量对运动鞋立体面料烘干过程中温度和湿度的变化情况。图中展示了洗烘 5 遍、10 遍和 20 遍三种情况下的温湿度变化。从图中可以看出,随着洗烘次数的增加,温湿度的变化趋势逐渐趋于稳定。具体来看,洗烘 5 遍时,温湿度的波动较为显著,表明此时面料对气流量的变化较为敏感。洗烘 10 遍时,温湿度的变化幅度有所减小,说明面料逐渐适应了气流量的变化。洗烘 20 遍时,温湿度的变化趋于平缓,表明面料在多次洗烘后达到了相对稳定的状态。此外,不同气流量对温湿度的影响也有所不同。在较低的气流量下,温湿度的变化较为缓慢,而在较高的气流量下,温湿度的变化更为迅速。综合来看,随着洗烘次数的增加,面料对气流量的适应性增强,温湿度的变化逐渐趋于稳定。

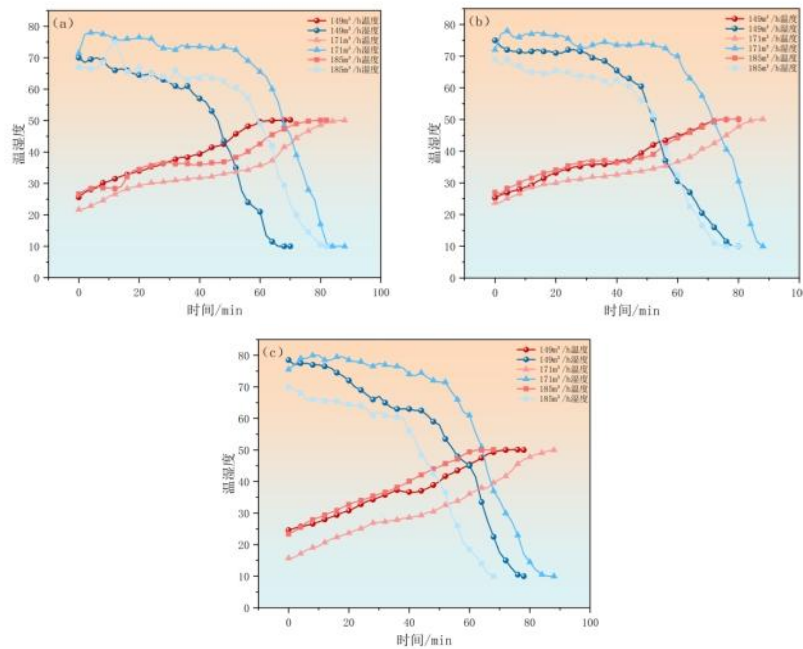


图 4-9 不同气流量烘干下的温湿度 (a) 洗烘 5 遍 (b) 洗烘 10 遍 (c) 洗烘 20 遍
Figure 4-9 Temperature and humidity during drying at different air flow rates (a) wash and dry 5 times (b) wash and dry 10 times (c) wash and dry 20 times

4.3.2.8 粘合强度

由图 4-10 可知,在不同气流温度对运动鞋立体面料烘干过程中粘合强度的变化情况。从图中可以看到,不同层数运动鞋面料的粘合强度与气流量之间存在显著的相关性。对于运动鞋立体单层面料而言,当气流量达到 $149 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,其粘合强度达到最大值,这可能是由于该气流条件下胶粘剂能够充分渗透到面料纤维间隙中,形成最佳的粘合界面。就运动鞋立体双层面料而言,其最佳气流量提升至 $171 \text{ m}^3/\text{h}$,这种变化可能与双层结构增加了胶粘剂的渗透难度有关,需要更大

的气流压力来确保胶粘剂的均匀分布。而对于运动鞋立体三层面料，其最佳气流量进一步上升至 $185\text{m}^3/\text{h}$ ，这反映出随着面料层数的增加，达到最佳粘合效果所需的气流量呈现递增趋势。综上所述，气流量为 $149\text{m}^3/\text{h}$ 时，运动鞋立体面料的粘合强度相对较好。

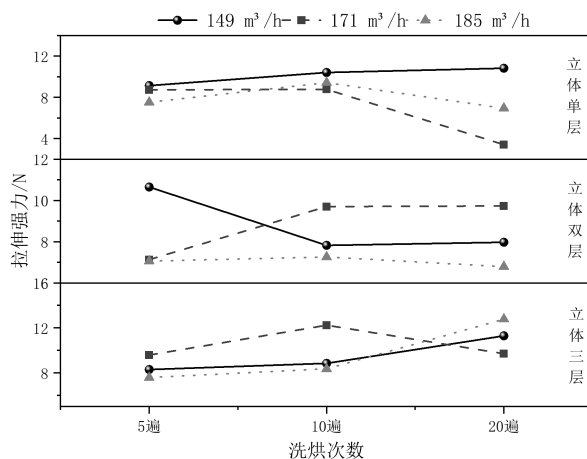


图 4-10 不同气流量烘干下的粘合强度

Figure 4-10 Adhesive strength under different airflow drying conditions

4.4 本章小结

(1) 实验结果表明，当气流温度作为烘干参数时，运动鞋的最终含水率呈现出随着温度升高而下降的趋势。进一步分析发现，随着气流温度的升高，运动鞋的磨损程度、透气性和断裂强度均有所增加。然而，硬挺度的变化趋势较为复杂，它随着温度的上升先下降后上升。色差的变化趋势则表现出随着温度的升高先上升后下降。在较低温度下，色差增加可能是由于颜色稳定性较差；而在较高温度下，颜色稳定性得到改善，色差开始下降。因此，当气流温度设定为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，运动鞋的各项性能指标表现相对较好。在此温度下，最终含水率最低，同时，透气性、断裂强度和耐磨性均达到较高水平，确保了运动鞋的功能性和耐用性。此外，硬挺度和色差也在此温度下表现出较好的稳定性，满足了消费者对运动鞋外观和舒适度的需求。

(2) 实验结果表明，当气流量作为烘干参数时，运动鞋的最终含水率随着气流量的增加呈现出先下降后上升的趋势。进一步分析发现，磨损程度和色差均随着气流量的升高而增加。特别值得注意的是，在气流量为 $149\text{m}^3/\text{h}$ 时，运动鞋表现出良好的透气性、粘合强度和断裂强度。这表明在低气流量下，材料的物理性能较为均衡，既能保持良好的透气性，又能维持较高的机械强度。综合考虑各项性能指标，实验最终确定气流量为 $149\text{m}^3/\text{h}$ 时，运动鞋的各项性能指标表现相对较好。在此气流量下，运动鞋在保持较低含水率和色差值的同时，实现了较高的耐磨性、透气性、硬挺度和断裂强度，显示出最佳的综合性能。

第 5 章 运动鞋烘干综合评测模型构建与验证

5.1 引言

本章将基于运动鞋自身特性参数和烘干设备特性参数,通过系统分析与筛选,提取出在烘干过程中有显著变化的性能指标作为模型的输入变量,同时以用户对烘干效果的满意程度作为输出变量。在此基础上,采用前馈神经网络构建运动鞋烘干综合评测模型,并通过训练和优化模型参数,实现对用户满意程度的精准预测与评估。该模型不仅能够有效反映运动鞋烘干过程中的关键影响因素,还能为用户体验的量化分析提供科学依据,从而为烘干设备的优化设计和用户满意度的提升提供理论支持。

5.2 综合评测指标筛选与确定

5.2.1 运动鞋自身特性参数的筛选与确定

5.2.1.1 筛选思路与依据

本文借助文献研究、市场调研和实验测试的方法,系统地筛选和确定运动鞋的关键特性参数。在文献研究阶段,我们检索和分析了学术文献,重点关注和了解运动鞋设计原理、材料科学、功能特性以及性能评价体系等方面的内容。通过系统梳理国内外相关文献,不仅掌握了运动鞋性能评价的理论基础,还了解到现有研究中的不足之处,为后续研究奠定了理论基础。在市场调研阶段,通过网络电商平台收集了销量较高的运动鞋相关信息,并进行汇总整理,从中筛选出普遍常用的面料作为实验材料。在实验测试阶段,依次进行运动鞋单层、双层、三层烘干实验并测试相关性能指标,测试指标包括透气性、硬挺度、最终含水率、色差和断裂强度等。根据测试结果从而筛选出具有代表性的面料进行运动鞋立体烘干实验,然后系统性的量化分析运动鞋的各项性能参数。

5.2.1.2 筛选指标

运动鞋自身参数的筛选是构建烘干性能评价体系的核心环节。为了全面、系统地评估运动鞋在烘干过程中的性能变化,本研究选取了面料种类和面料层数作为关键参数,并分别进行数据分析。通过计算各参数对最终含水率、透气性、硬挺度、色差、断裂强度等指标的极差(R),评估其对烘干性能的影响程度。基于极差分析结果,将各参数按极差大小排序,筛选出对烘干性能影响显著的指标,为后续评价体系的构建提供数据支持。

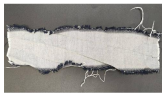
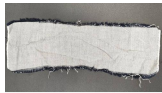
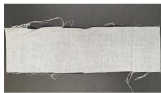
(1) 面料种类

面料种类是一个至关重要的指标,因为它直接影响着运动鞋的吸湿排汗性能、

透气性、耐磨性以及烘干效率等关键因素。不同面料在烘干过程中表现出不同的特性，因此需要对其进行科学分类和评估，以确保评测模型的准确性和全面性。

由于磨损程度属于主观评价指标，本研究建立了五级评分体系对其进行量化评估。如表 5-1 所示，评分等级定义为：1 分表示完全磨损，2 分表示严重磨损，3 分表示中等磨损，4 分表示轻微磨损，5 分表示无磨损。通过该评分体系，可对磨损程度进行标准化评价，为后续分析提供数据支持。此外，表 5-2 展示了面料种类对最终含水率、透气性、硬挺度、色差及断裂强度等指标的极差（R）分析结果。

表 5-1 磨损程度评级
Table. 5-1 Wear level rating

磨损程度	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
图例					

根据表 5-2 的数据分析结果，在其余参数保持不变，仅改变面料种类的条件 下，各评价指标的显著性排序为：透气性>断裂强度>硬挺度>磨损程度>色差 >最终含水率。其中，透气性和断裂强度受面料种类的影响最为显著，而最终含 水率的显著性较低。这是由于本实验采用烘干机的自动判停，所有实验组的最终 含水率均控制在 3%以下，导致不同面料种类间的含水率差异较小，因此显著性 不明显。

表 5-2 面料种类各指标极差
Table. 5-2 Range of various indicators for fabric types

面料种类	最终含水率	透气性极	色差极	硬挺度极	断裂强度极	磨损程度极
(单层)	极差值	差值	差值	差值	差值	差值
翻毛皮	0.31	1.15	0.05	4.9	39.05	1
PU	0.11	9.65	0.83	0.4	3.98	1
牛津纺	0.71	28.77	0.32	21.5	38.6	2
双底三明治	0.37	129.33	0.83	20.1	15.21	1
网布						
面料种类	最终含水率	透气性极	色差极	硬挺度极	断裂强度极	磨损程度极
(双层)	极差值	差值	差值	差值	差值	差值
翻毛皮	0.64	1.31	0.62	4.7	26.34	1
PU	0.11	9.81	0.11	1	16.49	1

续表 5-2

牛津纺	0.18	221.8	2.21	18.4	2.26	1
双底三明治 网布	0.28	128.67	1.86	19.7	10.84	0
面料种类(三层)	最终含水率 极差值	透气性极 差值	色差极 差值	硬挺度极 差值	断裂强度 极差值	磨损程度 极差值
翻毛皮	1.64	2.48	1.02	1.3	43.67	1
PU	1.8	22.33	0.27	2.4	11.17	1
牛津纺	0.62	176.57	0.22	12.6	5.81	1
双底三明治 网布	0.71	842.33	0.93	4.4	9.79	0

根据表 5-2 的数据分析结果,在其余参数保持不变,仅改变面料种类的条件
下,各评价指标的显著性排序为:透气性>断裂强度>硬挺度>磨损程度>色差
>最终含水率。其中,透气性和断裂强度受面料种类的影响最为显著,而最终含
水率的显著性较低。这是由于本实验采用烘干机的自动判停,所有实验组的最终
含水率均控制在 3%以下,导致不同面料种类间的含水率差异较小,因此显著性
不明显。

(2) 面料层数

面料层数是指运动鞋鞋面材料的复合层数。不同层数的面料在烘干过程中可
能表现出不同的热传导性和形变特性,从而影响鞋子的整体性能。因此,面料层
数是评价烘干过程对鞋子材料性能影响的重要参数。

根据表 5-2 的实验数据分析结果,牛津纺面料在最终含水率、透气性、硬挺
度、色差及断裂强度等各项评价指标中均表现出显著的显著性。具体而言,牛津
纺面料在透气性和断裂强度方面表现尤为突出,其极差(R)值高于其他面料类
型,表明其对烘干性能的影响程度较大。此外,牛津纺面料在硬挺度和色差方面
也呈现出较高的稳定性,能够较好地保持运动鞋的形态与外观。基于以上分析,
本研究选择牛津纺面料作为典型面料进行深入研究。

根据表 5-3 的数据分析结果,在其余参数保持不变,仅改变面料层数的条件
下,各评价指标的显著性排序为:透气性>断裂强度>硬挺度>磨损程度>色差
>最终含水率。这一排序结果与在其余参数不变,仅改变面料种类条件下的显
著性排序完全一致。这表明,无论是改变面料种类还是调整面料层数,透气性和
断裂强度都是受影响因素最为显著的指标,而最终含水率则由于采用烘干机的自
动判停,始终保持在较低水平(低于 3%),导致其显著性相对较弱。这一结果进

一步验证了面料种类和面料层数对运动鞋烘干性能的影响具有相似的趋势，同时也凸显了透气性和断裂强度在运动鞋烘干性能评价中的重要性。

表 5-3 面料层数各指标极差

Table. 5-3 Poor range of various indicators for fabric layers

面料层数	最终含水 率极差值	透气性极 差值	色差极差 值	硬挺度极 差值	断裂强度 极差值	磨损程度 极差值
单层	0.712	28.77	0.32	21.5	38.6	2
双层	0.18	96.56	2.21	18.4	2.26	1
三层	0.62	176.57	0.22	12.6	5.81	1

5.2.2 烘干设备特性参数的筛选与确定

5.2.2.1 筛选思路与依据

本文综合运用文献研究、市场调研以及实验测试等方法，系统地筛选并确定运动鞋烘干设备的特性参数。研究过程中，我们对国内外涉及烘干设备设计原理、特性参数以及性能评价的相关文献进行了梳理，由此深入探究烘干技术的发展历程与最新走向。同时，参考行业技术规范，像家用烘干机国家标准、运动鞋烘干设备技术规范等，初步筛选出一系列与运动鞋烘干性能紧密相关的设备特性参数，其中涵盖烘干温度、烘干时间、风速等。此外，我们开展了针对消费者对运动鞋烘干设备需求和偏好的市场调研。之后进行烘干实验，通过这一环节对运动鞋烘干设备的特性参数展开量化分析。具体是通过测试相关指标，依据测试结果来评估不同参数对烘干效果产生的影响。而这些实验结果，能为烘干设备的设计与优化提供科学依据。

5.2.2.2 筛选指标

烘干设备特性参数是构建运动鞋烘干性能评价体系的核心环节，其选择与优化直接影响评价结果的准确性与可靠性。为了全面、系统地评估运动鞋在烘干过程中的性能变化，本研究基于烘干设备的工作原理及运动鞋的实际烘干需求，选取了气流量和气流温度作为关键特性参数，并分别进行数据分析。通过计算各参数对最终含水率、透气性、硬挺度、色差、断裂强度等指标的极差（R），定量评估其对烘干性能的影响程度。极差（R）的大小反映了参数对指标的影响显著性：极差越大，表明该参数对烘干性能的影响越显著；极差越小，则表明其影响较弱。基于极差分析结果，将各参数按极差大小排序，筛选出对烘干性能影响显著的指标，为后续构建科学、合理的运动鞋烘干综合评测模型提供坚实的数据支持与理论依据。

（1）气流量

气流量是指烘干设备在单位时间内通过运动鞋内部的热风体积，通常以立方

米每小时 (m^3/h) 为单位。气流量的大小直接影响热风在鞋内的分布均匀性和烘干效率。较高的气流量可以加速鞋内湿气的排出, 缩短烘干时间, 但过高的气流量可能导致鞋面材料因风速过大而受损; 而较低的气流量则可能使鞋内湿气无法有效排出, 导致烘干不彻底。因此, 气流量是烘干设备的重要参数。

根据表 5-4 的数据分析结果, 在其余参数保持不变, 仅改变气流量的条件下, 各评价指标的显著性排序为: 透气性 > 硬挺度 > 断裂强度 > 粘合强度 > 磨损程度 > 最终含水率 > 色差。其中, 透气性受气流量的影响最为显著, 其极差 (R) 值远高于其他指标, 表明气流量对运动鞋的透气性能具有决定性作用。硬挺度和断裂强度紧随其后, 说明气流量对运动鞋的结构完整性和耐用性也有较大影响。粘合强度和磨损程度的显著性相对较低, 但仍不可忽视, 尤其是在长时间烘干过程中, 气流量可能会对鞋面与鞋底的粘合效果及鞋面磨损产生累积影响。

表 5-4 气流量各指标极差

Table. 5-4 Range of various indicators of air flow rate

气流量 (立 体单层)	最终含水 率极差值	透气性 极差值	色差极 差值	硬挺度 极差值	断裂强度 极差值	磨损程度 极差值	粘合强度 极差值
149 m^3/h	1.78	90.34	0.87	21.5	17.77	0	1.69
171 m^3/h	0.29	24.25	0.75	7.8	5.51	1	5.33
185 m^3/h	0.05	102.56	0.45	32.4	6.09	1	2.48
气流量 (立 体双层)	最终含水 率极差值	透气性 极差值	色差极 差值	硬挺度 极差值	断裂强度 极差值	磨损程度 极差值	粘合强度 极差值
149 m^3/h	0.49	33.84	0.43	40.2	16.46	1	2.83
171 m^3/h	0.24	19.81	0.2	7.1	6.35	1	2.57
185 m^3/h	0.78	9.97	0.19	15.2	2.99	1	0.47
气流量 (立 体三层)	最终含水 率极差值	透气性 极差值	色差极 差值	硬挺度 极差值	断裂强度 极差值	磨损程度 极差值	粘合强度 极差值
149 m^3/h	0.3	19.11	0.54	19.3	24.2	1	3
171 m^3/h	0.92	42.6	0.3	14.5	23.07	1	2.66
185 m^3/h	0.4	16.26	0.36	22.3	11.47	1	5.18

(2) 气流温度

气流温度是指烘干设备在运行过程中热风的温度, 通常以摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$) 为单位。气流温度的高低直接影响运动鞋材料的耐热性和烘干效果。较高的气流温度可以加快水分的蒸发速度, 提高烘干效率, 但过高的温度可能导致鞋面材料变形、

变色或老化；而较低的气流温度则可能延长烘干时间，降低设备的使用效率。因此，气流温度烘干设备的关键参数。

根据表 5-5 的数据分析结果,在其余参数保持不变,仅改变气流温度的条件下,各评价指标的显著性排序为:透气性>断裂强度>硬挺度>粘合强度>磨损程度>色差>最终含水率。其中，透气性对气流温度的变化最为敏感，其极差（R）值高于其他指标，表明气流温度是影响运动鞋透气性能的关键因素。断裂强度和硬挺度紧随其后，说明气流温度对运动鞋的结构强度和形态保持也有重要影响。粘合强度和磨损程度的显著性相对较低，但在高温条件下，气流温度可能会加速鞋面与鞋底粘合层的老化，并加剧鞋面磨损。色差和最终含水率的显著性最低，这可能是由于烘干机的自动判停功能,将最终含水率控制在较低水平(低于 3%)，而色差则更多地受面料种类和烘干时间的影响。

表 5-5 气流温度各指标极差

Table. 5-5 Range of various indicators of airflow temperature

气流温度（ 立体单层）	最终含水 率极差值	透气性 极差值	色差极 差值	硬挺度 极差值	断裂强度 极差值	磨损程度 极差值	粘合强度 极差值
40℃	0.57	29.46	0.17	9.2	13.71	1	6.51
50℃	0.29	24.25	0.75	7.8	5.51	1	5.33
60℃	0.1	23.94	0.36	12.6	9.33	1	2.61
气流温度（ 立体双层）	最终含水 率极差值	透气性 极差值	色差极 差值	硬挺度 极差值	断裂强度 极差值	磨损程度 极差值	粘合强度 极差值
40℃	1.73	29.23	0.26	23.8	77.94	1	0.92
50℃	0.24	19.81	0.2	7.1	6.35	1	2.57
60℃	0.25	25.99	0.17	24.4	7.05	2	3.11
气流温度（ 立体三层）	最终含水 率极差值	透气性 极差值	色差极 差值	硬挺度 极差值	断裂强度 极差值	磨损程度 极差值	粘合强度 极差值
40℃	0.27	47.05	0.47	42.4	4.53	1	2.83
50℃	0.92	42.6	0.3	14.5	23.07	1	2.66
60℃	0.72	74.2	0.44	5.2	24.026	1	9.01

5.3 前馈神经网络

5.3.1 前馈神经网络概述

前馈神经网络（Feedforward Neural Network，FNN），也被称为多层感知机（Multi-Layer Perceptron，MLP），是人工神经网络中最基础且广泛应用的模型

之一。其核心结构由多个神经元分层排列组成，每一层的神经元接收来自上一层神经元的输出信号，并通过特定的权重和偏置进行加权求和与非线性变换，最终生成该层神经元的输出结果^[64]。这些输出结果随后作为下一层神经元的输入，逐层传递，直至到达输出层^[65]。由于信息在网络中的传递是单向的，即从输入层经过隐藏层最终流向输出层，而没有反馈或循环连接，因此这种网络被称为“前馈神经网络”。

前馈神经网络的典型结构包括三个主要部分：输入层、若干个隐藏层和输出层。输入层负责接收原始数据输入，其神经元数量通常与输入数据的特征维度一致。隐藏层是网络的核心部分，通过对输入数据进行多层次的非线性变换和特征提取，逐步抽象出数据的高层次表示。每一层隐藏层由若干神经元组成，神经元之间的连接通过权重矩阵进行参数化，这些权重在训练过程中通过反向传播算法（Backpropagation）进行优化^[66]。输出层则根据隐藏层的最终输出生成模型的预测结果，其神经元数量取决于任务类型——例如，回归任务通常使用单个输出节点，而分类任务则可能使用多个节点以表示不同类别的概率分布。

前馈神经网络的强大之处在于其能够通过多层非线性变换逼近任意复杂的函数关系，从而有效处理非线性分类和回归任务。通过调整网络的层数、每层的神经元数量以及激活函数的选择，前馈神经网络可以灵活适应不同的应用场景^[67]。此外，结合现代优化算法（如随机梯度下降、Adam 等）和正则化技术（如 Dropout、L2 正则化等），前馈神经网络能够在训练过程中避免过拟合，并显著提升模型的泛化能力。

5.3.2 前馈神经网络结构

前馈神经网络模型的拓扑结构主要由三个核心部分组成：输入层（Input Layer）、隐藏层（Hidden Layer）和输出层（Output Layer）。在前馈神经网络中，各神经元分别属于不同的层，层与层之间通过权重连接形成有向无环图（DAG）。每一层的神经元可以接收来自前一层神经元的信号，如图 5-1 所示，前馈神经网络的结构清晰地展示了其信息传递的流程。输入层作为网络的起点，负责接收外界的原始信号或数据输入。这一层的神经元不对数据进行任何处理，而是直接将接收到的信号传递给后续的隐藏层。输入层的神经元数量通常与输入数据的特征维度一致，确保每个特征都能被有效地传递到网络中。隐藏层是前馈神经网络的核心部分，其主要任务是从输入数据中提取有用的特征。每个隐藏层接收来自前一层的输出作为输入，并通过加权求和与非线性激活函数的结合，对数据进行非线性变换。这种非线性变换使得网络能够捕捉数据中的复杂模式和关系，从而提升模型的表达能力。根据任务的复杂性和数据的特点，网络中可以设计一个或多个隐藏层。输出层是网络的最后一层，负责接收来自最终隐藏层的信号，并生成模型的预测输出。输出层的神经元数量取决于任务的具体需求。例如，

在回归任务中，输出层通常只有一个神经元，用于预测连续值；而在分类任务中，输出层的神经元数量可能与类别数一致，每个神经元输出对应类别的概率^[68]。

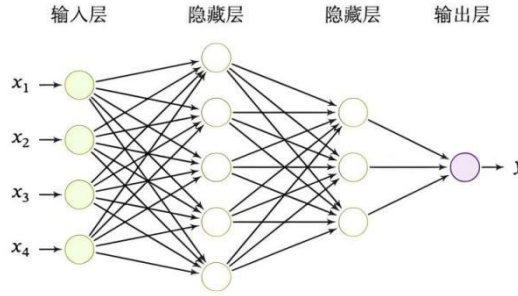


图 5-1 前馈神经网络基础结构

Figure 5-1 Basic structure of feedforward neural network

在前馈神经网络中，每个神经元的输出值是通过以下步骤计算得到的：

(1) 线性变换

令 $a^{(0)}=x$ ，前馈神经网络通过不断迭代下面公式进行信息传播：

$$z^{(l)} = W^{(l)}a^{(l-1)} + b^{(l)} \quad (5-1)$$

$$a^{(l)} = f_l(z^{(l)}) \quad (5-2)$$

其中 $z^{(l)} \in R^{m_l}$ ，表示 l 层神经元的净输入； $W^{(l)} \in R^{M_l \cdot M_{l-1}}$ ，表示第 $l-1$ 到第 l 层的权重矩阵；第 $a^{(l)} \in R^{m_l}$ ，表示 l 层神经元的输出； $b^{(l)} \in R^{m_l}$ ，表示第 $l-1$ 到第 l 层的偏置； $f_l(\cdot)$ 表示第 l 层神经元的激活函数；图 5-1 对输入信息的处理流程是根据第 $l-1$ 层神经元的活性值 (Activation) $a^{(l-1)}$ 计算出第 l 层神经元的净活性值 (Net Activation) $z^{(l)}$ ，然后经过一个激活函数得到第 l 层神经元的活性值。因此，我们也可以把每个神经层看作一个仿射变换 (Affine Transformation) 和一个非线性变换。这样，前馈神经网络可以通过逐层的信息传递，得到网络最后的输出 $a^{(L)}$ 。整个网络可以看作一个复合函数 $\varphi(x; W, b)$ ，将向量 x 作为第 1 层的输入 $a^{(0)}$ ，将第 L 层的输出 $a^{(L)}$ 作为整个函数的输出：

$$x = a^{(0)} \rightarrow z^{(1)} \rightarrow a^{(1)} \rightarrow z^{(2)} \rightarrow \dots \rightarrow a^{(L-1)} \rightarrow z^{(L)} \rightarrow a^{(L)} = \varphi(x; W, b) \quad (5-3)$$

其中， W 和 b 分别表示网络中所有层的连接权重和偏置。

(2) 激活函数

在神经网络中，激活函数 (Activation Function) 是决定神经元输出的关键组件。它的主要作用是对神经元的净输入 (Net Input) 进行非线性变换，从而引入非线性特性。如果没有激活函数，无论神经网络有多少层，其整体结构仍然是一个线性模型，无法捕捉数据中的复杂模式。因此，激活函数是神经网络能够解决非线性问题的核心所在。

在神经网络中，常用的激活函数包括以下几种：

1) Sigmoid 函数

Sigmoid 函数是一种经典的激活函数，其数学表达式为：

$$\sigma(z)^n = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (5-4)$$

其中， z 是神经元的净输入。Sigmoid 函数将输入映射到(0,1)之间，适合用于二分类任务的输出层。

2) Tanh 函数

Tanh 函数是 Sigmoid 函数的改进版本，其数学表达式为：

$$\tanh(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}} \quad (5-5)$$

Tanh 函数将输入映射到(-1,1)之间，具有零中心化的特性，适合用于隐藏层。

3) ReLU 函数

ReLU (Rectified Linear Unit) 函数是当前最常用的激活函数之一，其数学表达式为^[69]：

$$\text{ReLU}(z) = \max(0, z) \quad (5-6)$$

ReLU 函数在输入为正时直接输出该值，而在输入为负时输出 0。

4) Leaky ReLU 函数

为了解决 ReLU 函数的神经元死亡问题，Leaky ReLU 函数被提出，其数学表达式为：

$$\text{LeakyReLU}(z) = \begin{cases} z & \text{if } z > 0 \\ \alpha z & \text{if } z \leq 0 \end{cases} \quad (5-7)$$

其中， α 是一个较小的正数（如 0.01）。Leaky ReLU 在负区间内引入了一个小的斜率，使得神经元在输入为负时仍能更新权重。

5) Softmax 函数

Softmax 函数通常用于多分类任务的输出层，其数学表达式为：

$$\text{Softmax}(z_i)^n = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^n e^{z_j}} \quad (5-8)$$

Softmax 函数将神经元的输出转换为概率分布，适合用于多分类问题。

(3) 损失函数

损失函数 (Loss Function)，也称为代价函数 (Cost Function)，是神经网络中用于衡量模型预测值与真实值之间差异的函数。它是神经网络训练过程中的核心组成部分，直接影响模型的优化方向和最终性能。

损失函数的选择是神经网络设计与训练过程中的关键环节，其合理性直接影响模型的训练效率、预测精度以及泛化能力。下面介绍几种常见的损失函数。

1) 均方误差 (Mean Squared Error, MSE)

均方误差是回归任务中最常用的损失函数，其数学表达式为：

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5-9)$$

其中： y_i 是第 i 个样本的真实值， $\hat{y}_i$ 是第 i 个样本的预测值， n 是样本数量。MSE 通过平方误差的形式放大较大误差的影响，适合用于回归任务。然而，MSE 对异常值较为敏感，可能导致模型过拟合。

2) 平均绝对误差 (Mean Absolute Error, MAE)

平均绝对误差是另一种用于回归任务的损失函数，其数学表达式为：

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (5-10)$$

与 MSE 相比，MAE 对异常值的敏感性较低，但其梯度在零点处不可导，可能导致优化过程不稳定。

3) 交叉熵损失 (Cross-Entropy Loss)

交叉熵损失是分类任务中最常用的损失函数，特别适用于二分类和多分类问题。其数学表达式为：

二分类任务：

$$\text{Binary Cross-Entropy} = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)] \quad (5-11)$$

多分类任务：

$$\text{Categorical Cross-Entropy} = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} \log(\hat{y}_{ij}) \quad (5-12)$$

其中： y_i 是真实标签（二分类）或 one-hot 编码的真实标签（多分类）， $\hat{y}_i$ 是模型预测的概率值， n 是样本数量， m 是类别数量。交叉熵损失通过衡量概率分布的差异，能够有效指导分类模型的优化。

4) Hinge 损失

Hinge 损失通常用于支持向量机 (SVM) 和二分类神经网络中，其数学表达式为：

$$\text{Hinge Loss} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max(0, 1 - y_i \hat{y}_i) \quad (5-13)$$

其中， y_i 是真实标签（取值为 ± 1 ）， $\hat{y}_i$ 是模型预测值。Hinge 损失通过最大化分类间隔，适合用于二分类任务。

5.4 前馈神经网络的训练过程

5.4.1 训练样本的准备与预处理

5.4.1.1 数据整合和预处理

本研究采用实验研究与主观评价相结合的方法,对运动鞋烘干效果进行系统性评估。在实验设计方面,通过系统性地调节运动鞋自身参数(包括面料种类、面料层数)和烘干设备特性参数(气流温度、气流量),获取了多组运动鞋烘干测试数据。为确保实验数据的可靠性和有效性,在数据采集过程中采用了标准化的测试流程,并对原始数据进行了严格的预处理,包括异常值剔除、数据平滑处理以及标准化转换等步骤。在主观评价环节,本研究组建了由三位具有丰富经验的评测人员组成的专业评审小组。评审人员依据统一的评价标准,从透气性、硬挺度、断裂强度、磨损程度等多个维度对烘干后的运动鞋进行综合评价,并采用5级Likert量表进行主观满意度评分。为消除个体评价差异,采用归一化公式对评分结果进行处理,将满意度划分为“满意”和“不满意”两个等级,确保评价结果的客观性和可比性。基于前期研究中对运动鞋自身参数和烘干设备特性参数的显著性分析结果,本研究重点选取了四个对烘干效果具有显著影响的关键指标:透气性(反映鞋内湿气排出效率)、硬挺度(表征鞋面结构保持能力)、断裂强度(衡量材料耐久性)以及粘合强度(评估鞋面与鞋底结合稳定性)。基于上述研究数据,本研究构建了运动鞋烘干综合评测模型。该模型通过整合客观测试数据与主观评价结果,采用机器学习算法对运动鞋烘干效果进行分类预测,最终将烘干效果划分为“满意”和“不满意”两个等级。

5.4.1.2 训练样本构建

本研究基于实验测得运动鞋关键性能指标,构建了一个结构化的数据集,用于烘干效果的综合评估。选取了四个对运动鞋烘干效果具有显著影响的性能指标—透气性、硬挺度、断裂强度以及粘合强度作为模型的输入特征。每个样本的特征向量 x_i 由这四个指标按固定顺序排列构成,即 $x_i=[x_{i1},x_{i2},x_{i3},x_{i4}]$,其中 x_{i1} 表示透气性, x_{i2} 表示硬挺度, x_{i3} 表示断裂强度, x_{i4} 表示粘合强度。每个特征向量 x_i 的维度为4,完整地描述了单款运动鞋在烘干后的性能表现。与此同时,本研究将主观评测得到的满意程度作为目标输出值 y_i 。满意程度被划分为二元分类标签,即“满意”和“不满意”,分别用数值0和1表示。因此,每款运动鞋的烘干效果可以表示为一个输入-输出对 (x_i, y_i) ,其中 $x_i \in \mathbb{R}^4$ 为四维特征向量, $y_i \in \{0,1\}$ 为一维目标标签。最终,将所有运动鞋样本的特征向量和对应的满意程度标签整合,构建了一个完整的数据矩阵 D ,其形式如式(5-14)所示。

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & y \\ x_{1,1} & x_{2,1} & x_{3,1} & x_{4,1} & y_1 \\ x_{1,2} & x_{2,2} & x_{3,2} & x_{4,2} & y_2 \\ x_{1,3} & x_{2,3} & x_{3,3} & x_{4,3} & y_3 \\ x_{1,4} & x_{2,4} & x_{3,4} & x_{4,4} & y_4 \end{bmatrix} \quad (5-14)$$

式中:每一行代表一个样本, x_{ij} 表示第 j 个样本的第 i 个特征值, y_j 表示第

j 个样本的满意程度输出（0 或 1）。

5.4.2 模型构建

5.4.2.1 激活函数：Sigmoid 函数

激活函数在神经网络中扮演着至关重要的角色，它不仅控制着神经元的输出，还显著增强了前馈神经网络处理非线性问题的能力。在本研究中，我们选择了 Sigmoid 函数（如公式 5-15 所示）作为神经元的激活函数，以处理运动鞋自身参数和烘干设备特性参数指标与满意程度之间的复杂映射关系。Sigmoid 函数因其平滑的非线性特性和输出值域（0, 1）而被广泛使用，能够将加权输入信号转化为一个介于满意和不满意程度之间的预测概率值。

$$\sigma(z)^n = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (5-15)$$

Sigmoid 函数的平滑性质确保了梯度信息在反向传播算法中能够有效地流动，而其连续可微分的特性使得网络能够利用梯度下降等优化算法来调整权重和偏差^[70]。尽管在深度神经网络中，Sigmoid 函数可能会面临梯度消失的问题，但在本实验的神经网络结构中，它展现出了良好的性能和稳定的收敛特性。通过将运动鞋自身参数和烘干设备特性参数指标作为输入层，满意程度作为输出层，并利用 Sigmoid 函数进行激活，网络能够在输入空间与期望输出之间划分出非常复杂的边界。这种设计使得网络能够有效地捕捉输入特征与输出结果之间的非线性关系，从而提高了模型的预测精度和泛化能力。

5.4.2.2 损失函数：均方误差

在前馈神经网络的情感类别预测任务中，输出层采用了均方误差（MSE）作为激活函数，旨在将运动鞋自身参数和烘干设备特性参数指标通过多层神经网络的非线性变换，映射为满意程度（即“满意”和“不满意”）的概率值。这一过程通过网络的逐层计算，将输入特征逐步转化为高维空间中的非线性表示，最终输出一个介于 0 到 1 之间的概率值^[71-75]，用于表示用户对运动鞋烘干效果的满意程度。损失函数在神经网络中起着至关重要的作用，它主要用于衡量模型预测值与实际标签之间的差异。为了量化预测误差，并为反向传播算法提供梯度计算的依据，本研究选择了均方误差（MSE）作为损失函数（如公式 5-16 所示）。

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5-16)$$

均方误差通过计算预测值与真实标签之间的平方差，能够直观地反映模型的预测精度。具体而言，当损失值较小时，表明模型的预测结果与真实标签高度一致，模型的性能较好；而当损失值较大时，则说明预测结果与真实情况存在显著偏差，模型的性能有待优化。均方误差损失函数的一个重要优势在于它能够作为标签和预测值之间建立一个概率框架，使得模型在训练过程中能够通过最小化损失

函数来逐步调整权重和偏差，从而提高预测的准确性^[76]。此外，由于其连续可微的特性，均方误差能够为反向传播算法提供稳定的梯度信息，确保网络参数能够有效地更新。在本研究中，通过使用均方误差作为损失函数，神经网络能够在训练过程中不断优化，最终实现对运动鞋烘干效果满意程度的准确预测。

5.4.2.3 优化器：Levenberg-Marquardt 算法（LMA）

本研究采用基于 Levenberg-Marquardt 算法（LMA）的优化器来训练神经网络，以实现模型权重参数的高效调整，从而使损失函数达到全局或局部最小值。Levenberg-Marquardt 算法是一种结合了梯度下降法和高斯-牛顿法的优化技术，特别适用于解决非线性最小二乘问题。其核心思想是通过动态调整阻尼因子，在梯度下降和高斯-牛顿法之间进行平滑切换：当前解远离最优解时，算法倾向于使用梯度下降法以保证稳定性；而当接近最优解时，则更多地依赖高斯-牛顿法以加速收敛。在本研究中，LMA 优化器的引入显著提升了神经网络的训练效率。其优势主要体现在以下几个方面：首先，LMA 能够快速收敛，尤其适用于中小规模的数据集；其次，它能够有效处理损失函数的非凸性，避免陷入局部最优；最后，LMA 通过自适应调整步长，能够在保证收敛稳定性的同时，显著减少训练时间^[77-78]。通过 LMA 优化器，神经网络能够更精确地学习运动鞋自身参数和烘干设备特性参数与满意程度之间的复杂非线性关系，从而实现对烘干效果的准确预测。此外，LMA 优化器在反向传播过程中能够高效计算梯度信息，并通过迭代更新权重参数，逐步缩小预测值与真实标签之间的误差。这种优化机制不仅提高了模型的泛化能力，还确保了训练过程的稳定性。实验结果表明，采用 LMA 优化器的神经网络在训练集和测试集上均表现出较高的预测精度和鲁棒性，为运动鞋烘干效果的智能化评估提供了可靠的技术支持。

5.4.3 算法设计

在构建神经网络模型以研究运动鞋烘干效果的满意程度时，网络参数的合理设置是确保模型有效性和预测精度的关键因素。网络参数的选择不仅影响模型的训练效率，还直接决定了模型能否准确捕捉输入特征与输出结果之间的复杂非线性关系。在本实验中，我们采用 MATLAB 软件作为开发平台，构建了用于运动鞋烘干效果综合评测的前馈神经网络模型。图 5-2 展示了该神经网络的示意图，其结构包括输入层、隐藏层和输出层。输入层接收运动鞋自身参数和烘干设备特性参数指标作为特征输入，隐藏层通过非线性变换提取高层次特征，而输出层则生成满意程度的预测结果。网络的训练过程如下：

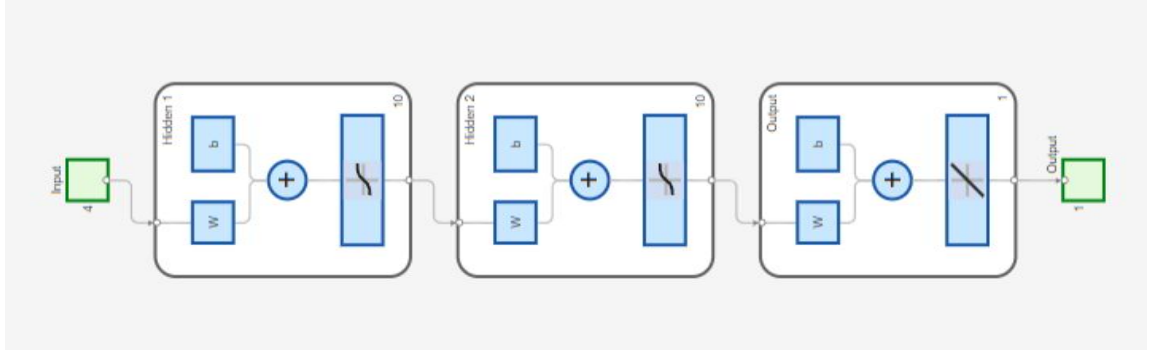


图 5-2 前馈神经网络示意图

Figure 5-2 Schematic diagram of neural network

(1) 输入层。本研究的神经网络输入层由四个关键特征组成，分别为 x_1, x_2, x_3, x_4 ，分别对应运动鞋的透气性、硬挺度、断裂强度和粘合强度。这些特征通过实验测量获得，能够全面反映运动鞋在烘干过程中的性能变化。为了便于计算和处理，将这四个输入特征表示为向量形式，具体如下：

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4]^T \quad (5-17)$$

其中， X 是一个四维列向量，每一维对应一个输入特征。输入层的设计旨在将原始数据高效地传递到隐藏层，为后续的非线性变换和特征提取奠定基础。通过这种结构化的输入表示，神经网络能够更好地捕捉输入特征与输出结果之间的复杂关系，从而提高模型的预测精度和泛化能力。

(2) 第一隐藏层。本研究中，第一隐藏层的维度设计为 $h_1 \times d$ ，其中 h_1 表示该层神经元的数量， d 表示输入特征的维度（在本研究中 $h_1=10$ ， $d=4$ ）。第一隐藏层的计算过程可以表示为以下公式：

$$z^{(1)} = W^{(1)}x + b^{(1)} \quad (5-18)$$

$$a^{(1)} = f^{(1)}(z^{(1)}) \quad (5-19)$$

具体而言，第一隐藏层的每个神经元接收来自输入层的加权信号，并通过激活函数（Sigmoid 函数）进行非线性映射，生成高维特征表示。通过第一隐藏层的计算，输入特征被转化为更高层次的特征表示，为后续层第二隐藏层的进一步处理提供了丰富的信息基础。

(3) 第二隐藏层。第二隐藏层是神经网络中继第一隐藏层之后的又一重要组成部分，其主要功能是进一步提取和组合来自第一隐藏层的高维特征，从而增强网络的非线性建模能力。本研究中，第二隐藏层的维度设计为 $h_2 \times h_1$ ，其中 h_2 表示该层神经元的数量， h_1 则是第一隐藏层神经元的输出维度。第二隐藏层的计算过程可以表示为以下公式：

$$z^{(2)} = W^{(2)}a^{(1)} + b^{(2)} \quad (5-20)$$

$$a^{(2)} = f^{(2)}(z^{(2)}) \quad (5-21)$$

在本研究中，为了确保模型的泛化能力和预测精度，采用随机抽样的方式将

整个数据集划分为三个部分：70%的数据用于训练模型，15%的数据用于验证模型的性能，剩余的 15%的数据用于最终测试。这种划分方式能够有效平衡模型的学习能力和泛化能力，避免因数据分布不均而导致的偏差。在训练过程中，均方误差（MSE）被设置为性能函数，用于量化模型预测值与真实标签之间的差异。通过最小化均方误差，模型能够逐步调整权重和偏差参数，从而优化其预测性能。为了防止模型过拟合，增强其在未知数据上的适用性，训练过程中采用了早停（early stopping）策略。具体而言，当验证数据集的误差不再显著下降时，训练过程将自动终止，以避免模型过度拟合训练数据。通过这种方式，最终获得的神经网络不仅能够在训练数据上表现出色，还能够在验证和测试数据上保持较高的预测精度。训练完成的网络可直接用于处理运动鞋烘干效果的相关数据，并准确预测用户的满意程度。

5.5 模型训练结果评估

5.5.1 迭代次数

均方根误差是衡量模型预测值与真实测量值之间整体偏差的重要指标。其数值大小直观地反映了模型仿真的准确性。RMSE 的计算公式如下：

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5-22)$$

在模型训练阶段，损失曲线是评估模型性能变化趋势的重要工具。图 5-3 所示的训练迭代损失曲线清晰地展示了模型在不同迭代次数下的性能演变。在训练的初期阶段（迭代次数从 0 到 10 轮），可以观察到训练损失、测试损失以及验证损失均从较高水平迅速下降，这一现象表明模型的学习过程是高效的，并且在迭代过程中，其泛化能力得到了持续的增强。特别是在第 10 轮迭代时，模型在验证集上实现了最佳性能，验证损失降至 0.033393，这一结果突显了模型在初期快速学习阶段后，逐渐接近其泛化性能的极限。随着迭代次数的不断增加，当迭代次数接近 35 轮时，三条损失曲线的下降趋势明显减缓，这表明模型的学习速率显著降低，进一步的性能提升空间变得有限。这种现象说明，在经过一定数量的训练迭代后，模型开始进入收敛状态。此时，继续增加迭代次数可能无法带来显著的性能提升，甚至可能引发过拟合问题。因此，为了保证模型性能的同时避免资源浪费和计算过度，训练过程在第 10 轮迭代后提前终止。这一策略不仅有效防止了过拟合，还确保了模型在达到其性能潜力的情况下实现了高效利用。通过这种方式，模型在未经历过度拟合的情况下，实现了最佳的泛化性能，为后续的预测任务奠定了坚实的基础。

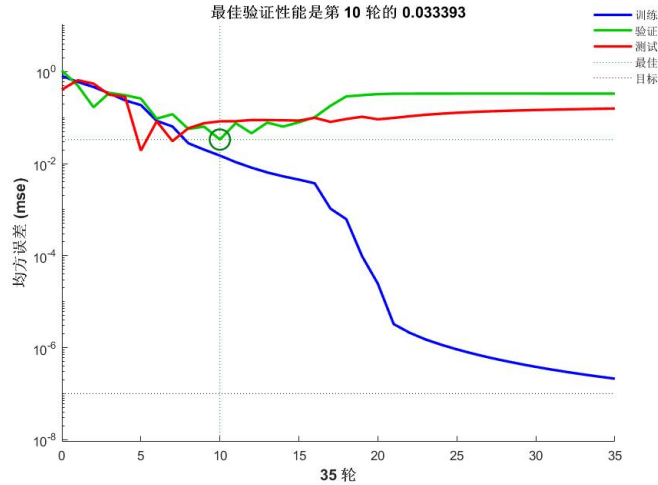


图 5-3 神经网络迭代损失曲线图

Figure 5-3 Neural network iterative loss curve

5.5.2 混淆矩阵

经过精心训练的神经网络虽然能够提供准确的输出结果,但其识别效果往往缺乏直观性,难以直接展示。为了克服这一局限,引入混淆矩阵(Confusion matrix)成为一种必要手段。混淆矩阵是一种评估不同神经网络结构识别准确率的有效工具,它不仅展示了每个类别被正确识别的频率,还清晰地揭示了分类错误的情况,从而提供了一种量化模型分类性能的有效方法。如图 5-4 所示,在全部混淆矩阵中,零类满意程度 62.2%全部识别,对于一类满意程度正确识别为 35.6%,模型整体准确率零类满意程度为 96.6%,而一类满意程度的准确率为 100%,这进一步证实了模型在不同类别上的识别能力。运动鞋烘干综合评测模型的整体准确率高达 97.8%,结果说明了模型训练的优良效果,能够有效且准确地进行运动鞋烘干情况的识别。

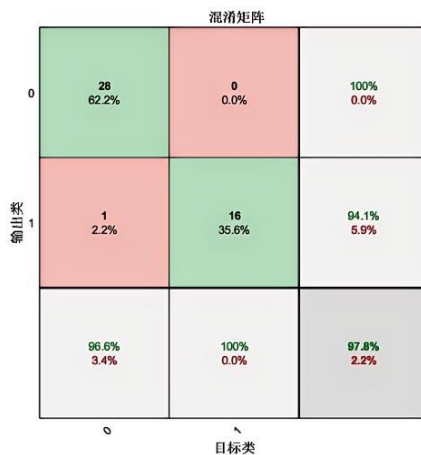


图 5-4 神经网络训练混淆矩阵

Figure 5-4 Neural network training confusion matrix

5.5.3 训练状态

在 MATLAB 前馈神经网络的训练过程中，训练状态图提供了关于模型优化过程的关键信息。从图 5-5 中可以看出，在第 35 轮迭代时，梯度值为 $1.745\text{e-}06$ ，这表明模型的参数更新幅度已经非常小，接近收敛状态。同时，Mu 值（即阻尼因子）为 $1\text{e-}06$ ，进一步验证了优化过程的稳定性。验证检查次数为 25，说明模型在训练过程中多次进行了验证集性能评估，以确保泛化能力。从训练状态图中还可以观察到，随着迭代次数的增加，梯度和 Mu 值逐渐减小，表明模型在逐步逼近最优解。特别是在第 35 轮时，梯度和 Mu 值均达到了较低水平，这意味着模型已经接近收敛，进一步的训练可能不会显著提升性能。因此，可以认为模型在第 35 轮时已经达到了较好的训练效果，适合停止训练以避免过拟合。

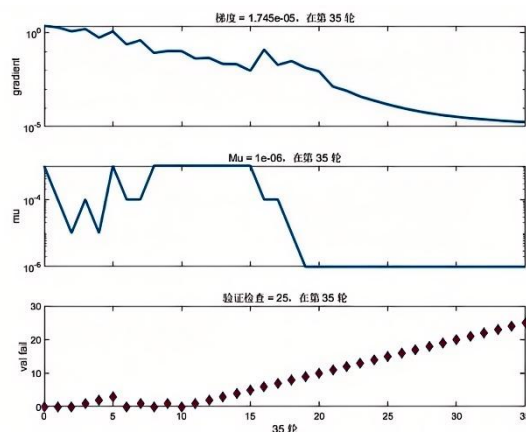


图 5-5 神经网络训练状态

Figure 5-5 Neural network training status

5.5.4 训练误差

误差直方图作为一种评估模型预测性能的关键可视化工具，它能够直观而详细地揭示模型在预测数据时的准确度以及误差分布的一致性。在理想状态下，当模型的预测达到完美准确时，误差将趋近于零值，此时误差直方图会以零为中心，呈现出对称的正态分布。通过分析图 5-7 中的误差直方图，我们可以观察到，在绝对值 0.01296 的中心区域，数据密集度较高，直方图的高度集中在 10 到 12 之间。该区间内数据的密集分布表明，在此误差范围内，模型的预测值与实际值很接近，进一步验证了模型的高精度和稳定性。同时，误差较小的区域占主导地位，表明该模型在数据处理中误差较小，预测结果具有较高的可靠性。随着误差绝对值的增加，直方图的高度迅速减小。当误差超过一定范围时，直方图的实例高度将降至 4 以下。这表明模型的预测频率在较大的误差范围内显著降低，进一步说明模型的预测结果主要集中在较小的误差范围内，具有较好的集中性和一致性。总体而言，运动鞋干燥综合评价模型的误差直方图呈现出较为理想的分布特征，误差集中在零附近，分布较为对称，表明该模型在预测任务中具有较高的准确性和稳定性。该误差分布特征不仅为模型的可靠性提供了有力的支持，而且为后续模型优化和改进提供了重要的参考。

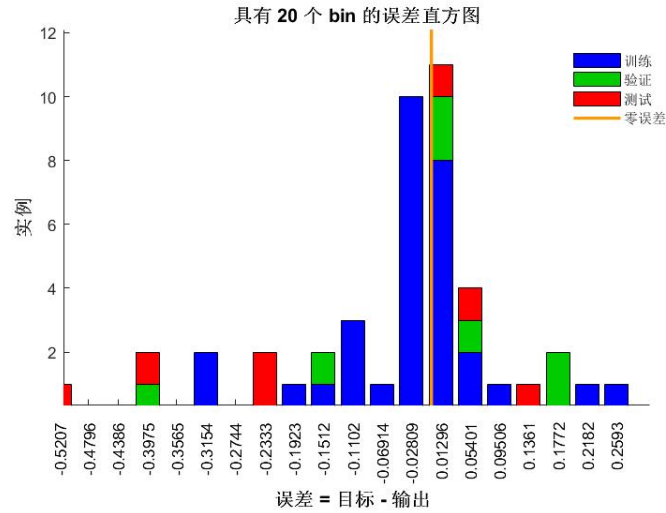


图 5-6 训练误差直方图

Figure 5-6 Training error histogram

5.6 本章小结

本章主要将运动鞋的特性参数和烘干设备的特性参数指标（透气性、刚度、断裂强度、附着力）作为模型的输入变量，以用户对烘干效果的满意程度（满意或不满意）作为输出变量。基于这些输入输出数据，采用前馈神经网络进行模型训练，建立了预测运动鞋烘干满意度的智能评价模型。为了评价模型的性能，本文从多个角度分析了训练过程，包括迭代次数对模型收敛性的影响、混淆矩阵对分类精度的反映、训练状态曲线的动态变化以及误差分布特征。实验结果表明，该模型对运动鞋烘干满意度的预测精度较高，能较好地拟合训练数据，具有较好的泛化能力。另外，通过对误差直方图的分析，发现模型的预测误差主要集中在零附近，且分布是较为对称的，进一步验证了模型的稳定性和可靠性。

第 6 章 结论与展望

6.1 结论

本研究针对运动鞋难高效烘干的日常使用痛点问题,系统地开展了运动鞋市场问卷调查、运动鞋产品自身特征调研、烘后性能变化、烘干过程温湿度变化及其综合评测模型构建的协同研究。通过分层抽样调查,覆盖不同地域、年龄段及运动习惯的消费群体,实证分析了运动鞋烘干的市场需求。采取市场调研的方法对市场上的运动鞋款式进行信息收集与分类,科学筛选并确定实验材料。通过改变运动鞋自身参数和运动鞋烘干设备特性参数进行烘干实验,揭示了运动鞋在不同烘干条件下的性能变化规律,并阐释了其内在的烘干机理。最后,利用 MATLAB 软件中的前馈神经网络模型构建了运动鞋烘干综合评测模型,通过迭代次数、混淆矩阵、训练状态曲线以及误差分布等多维度指标对模型性能进行了全面评估,验证了模型的有效性。具体研究结论如下:

(1) 运动鞋市场调研与特征分析

通过问卷调查和市场调研,明确了消费者对运动鞋烘干需求,筛选确定了实验材料。研究发现:男性消费者对运动鞋烘干功能有着极为迫切的需求。这一需求在 18 至 39 岁的青中年群体中表现得尤为突出。而消费者在选购运动鞋时,更倾向于选择适合户外行走及跑步训练的鞋款。在颜色偏好方面,中性色系如黑色、白色和灰色等,深受消费者青睐。在鞋帮面料的选择上,翻毛皮柔软的质地和优异的透气性,成为消费者的首选。鞋面内里和鞋舌内里材质多采用棉氨混纺材料;而鞋舌外表面则普遍选用双底三明治网。鞋底和鞋垫材质方面,EVA 成为主流选择。鞋绳面料则多采用涤纶,以确保耐用性和抗磨损能力。在制造工艺方面,冷粘是主流选择。此外,在运动鞋的设计细节上,低帮设计的后帮高度更受消费者欢迎,而鞋面层数方面,两层和三层设计因其兼顾轻量化和支撑性,成为市场的主流趋势。

(2) 运动鞋自身烘干特性与趋势分析

通过改变洗涤方式和运动鞋自身特性参数,揭示了运动鞋在烘干过程中的变化规律。实验结果表明,在运动鞋单层烘干的实验研究中,使用洗涤剂洗涤的方式在各项评测指标上表现比清水洗涤更为显著,鞋底材料 EVA 比橡胶指标表现更为明显;运动鞋双层面料和三层面料烘干的实验研究中,基于实验数据的综合分析,筛选出性能指标变化明显的材料组,由此确定鞋面材料为牛津纺,中间层为防水透气膜,内里材料为棉涤;在运动鞋立体烘干的实验研究中,不同材料及其结构在烘干过程中的表现存在显著差异。例如,立体单层牛津纺相比立体三层牛津纺,断裂强度低、色差高、磨损程度高,但最终含水率低、透气性好、硬挺

度高；立体单层棉涤相比立体三层棉涤，色差高、透气性小、磨损程度高，但最终含水率低、硬挺度高、断裂强度高。

（3）运动鞋烘干设备特性与趋势分析

通过改变运动鞋烘干设备特性参数，揭示了运动鞋在不同烘干条件下的变化规律。实验结果表明，当气流量作为烘干参数时，运动鞋的最终含水率随着气流量的增加呈现出先下降后上升的趋势。进一步分析发现，磨损程度和色差均随着气流量的升高而增加。特别值得注意的是，在气流量为 $149 \text{ m}^3/\text{h}$ 时，运动鞋表现出良好的透气性、粘合强度和断裂强度。这表明在低气流量下，材料的物理性能较为均衡，既能保持良好的透气性，又能维持较高的机械强度。当气流温度作为烘干参数时，运动鞋的最终含水率呈现出随温度升高而下降的趋势。随着气流温度的升高，运动鞋的磨损程度、透气性和断裂强度均有所增加。然而，硬挺度的变化趋势较为复杂，它随着温度的上升先下降后上升。色差的变化趋势则表现随着温度的升高先上升后下降。综合考虑各项性能指标，实验最终确定气流量为 $149 \text{ m}^3/\text{h}$ 、气流温度为 60°C 时，运动鞋的各项性能指标表现最佳。在此烘干参数下，运动鞋在保持较低含水率的同时，实现了较高的耐磨性、色差控制、透气性、硬挺度和断裂强度，显示出最佳的综合性能。

（4）运动鞋烘干综合评测模型构建与验证

基于 MATLAB 平台，通过前馈神经网络算法构建运动鞋烘干综合评测模型。将运动鞋的自身特性参数以及烘干设备的特性参数的特性指标（透气性、硬挺度、断裂强度、粘合强度）作为模型的输入变量，将用户对烘干效果的满意程度（满意或不满意）作为输出变量。通过分析迭代次数对模型收敛性的影响、混淆矩阵对分类精度的反映、训练状态曲线的动态变化以及误差分布的特征，结果表明，该模型在预测运动鞋烘干满意程度方面表现出较高的准确率，达到了 97.8%。

6.2 创新点

（1）开展不同层次面料运动鞋的烘干实验，突破了传统研究中仅注重单层面料的局限。通过对比分析立体单层、双层及三层面料在烘干过程中的性能变化，揭示了多层面料在烘干过程中的协同效应与差异性规律。

（2）通过系统筛选和分析，确定运动鞋自身特性参数和烘干设备特性参数的关键指标，构建了一个创新性的运动鞋烘干综合评测模型。通过将消费者的主观满意度转化为可量化的评价指标，实现了对烘干效果的智能化评估。

6.3 展望

本论文成功构建了基于前馈神经网络的运动鞋烘干综合评测模型，该模型在训练过程中表现出较高的准确性和稳定性，能够有效预测用户对烘干效果的满意程度，为运动鞋烘干工艺的优化提供了科学依据。然而，尽管本研究取得了一定

的成果，但仍存在以下几个方面需要进一步改进和提升：

（1）本课题在实验设计上选取了运动鞋的鞋面材料、内里材料和鞋底材料的组合进行简易烘干实验，虽然这一设计能够在一定程度上反映运动鞋在烘干过程中的性能变化，但仍存在一定的局限性。具体而言，实验未能覆盖运动鞋的所有材料类型（如鞋垫、鞋带等）。

（2）本课题成功搭建了基于前馈神经网络的运动鞋烘干综合评测模型，实现了对运动鞋烘干效果的智能化二分类预测。然而，尽管本研究在二分类任务上取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处，当前模型仅针对满意程度的二分类问题进行了研究，未考虑更细粒度的分类需求。例如，用户对烘干效果的满意程度可能存在多个等级。未来可以探索多分类模型的构建，以更精确地反映用户的真实感受；本课题的实验数据主要来源于实验室环境下的测试结果，样本数量和多样性可能不足以完全覆盖实际生产中的复杂情况。未来研究可以扩大数据样本规模，涵盖更多不同类型的运动鞋材质、结构以及烘干设备参数，以提高模型的泛化能力。

参考文献

- [1] 陈冰柔. 艺术与技术的耦合: 浅析当代服装结构设计的新趋势[J]. 艺术教育, 2024, (02): 209-212.
- [2] 赵宇歌, 沈雨生, 何义平, 等. 热风干燥式鞋盒中运动鞋干燥性能表征与分析[J]. 现代纺织技术, 2023, 31 (04): 227-235.
- [3] 魏禹同. 核桃热风干燥过程中湿热传递规律及工艺优化研究[D]. 新疆: 新疆大学, 2021.
- [4] 于昕辰, 丁雪梅, 吴雄英. 滚筒干衣机内织物运动分析方法及其研究[C]/中国家用电器协会. 东华大学; 西安工程大学; 上海海关;, 2020.
- [5] 包伟. 滚筒干衣机中热湿机械用下羊毛针织物毡缩研究[D]. 上海: 东华大学, 2021.
- [6] 陈大志. 运动鞋热湿舒适性的检测方法研究[J]. 皮革科学与工程, 2015, 25 (03): 55-58.
- [7] 高丽. 运动鞋用针织织物设计与热湿舒适性能研究[D]. 浙江: 浙江理工大学, 2017.
- [8] 王欣, 原竞杰. 运动鞋鞋腔热湿传递及热湿舒适感产生机理的研究[J]. 西部皮革, 2014, 36 (21): 46-50.
- [9] 王欣, 原竞杰, 彭飘林, 等. 穿着状态下运动鞋微气候热湿舒适性指标的测试[J]. 中国皮革, 2015, 44 (10): 110-115.
- [10] Bianca E, Dotti F, Ferri A, etc. Heat and mass transfer in footwear: Exploring the moisture evaporation and condensation cycle[J]. Journal of Industrial Textiles, 2025, 55: 15280837251325783.
- [11] Dragoş P F, Şuteu M D, Pancu R, etc. Thermal transfer analysis for sports footwear, for performance athletes, during volleyball training[J]. Sustainability, 2022, 15(1): 652.
- [12] Jin Z, Lei L, Meng H, etc. Study on the thermal-moisture comfort of knitted upper fabric with the foot model[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2018, 30(5): 726-734.
- [13] 弓太生, 杜美娴, 康路平, 等. 热湿交互——防寒鞋热湿舒适性研究的难点与进展[J]. 皮革科学与工程, 2024, 34(01): 53-60.
- [14] 吴若楠, 许秋歌, 郭寻, 等. 超细纤维绒面革热湿舒适性能的预测与分

- 析[J]. 皮革科学与工程, 2024, 34(05): 67-73.
- [15] 郝国庆. 热湿舒适性棉经编休闲面料开发及起拱性能研究[D]. 江苏: 江南大学, 2023.
- [16] 陆洁, 孙浪涛, 徐文意, 等. 鞋材用涤纶经编间隔织物的热湿舒适性研究[J]. 武汉纺织大学学报, 2023, 36(05): 36-40.
- [17] 景银, 程永胜, 朱琳, 等. 基于文化意象的运动鞋款设计方法研究[J]. 皮革科学与工程, 2024, 34(05): 74-80.
- [18] 陈臻, 王瑞华. 三国元素在运动鞋设计中的创新应用[J]. 西部皮革, 2024, 46(16): 103-106.
- [19] 崔同占, 韩建林. 对休闲运动鞋设计要素的再探讨[J]. 皮革科学与工程, 2024, 34(02): 73-76+83.
- [20] 宋曦微, 罗向东, 强威. 芭蕾核风格在女鞋款式设计中的应用研究[J]. 中国皮革, 2024, 53(10): 92-98.
- [21] 谢晨迪, 苏桐, 陈杨轶. 清代瑞兽纹样在运动鞋设计中的创新研究[J]. 西部皮革, 2023, 45(18): 69-71.
- [22] 钟华, 孙莉. 运动鞋用超细纤维合成革基材的制备及其性能研究[J]. 中国皮革, 2025, 54(02): 89-93.
- [23] 赵凯. 运动鞋用水性聚氨酯超细纤维合成革贝斯的制备及性能研究[J]. 中国皮革, 2024, 53(09): 104-109.
- [24] 方华玉. 双色提花芝麻点弹性系列再生经编间隔鞋面的开发[J]. 丝网印刷, 2022, (11): 21-25.
- [25] 唐邦全. 纳米CaCO₃改性聚氨酯复合运动鞋底材料的制备及其性能测试[J]. 塑料助剂, 2024, (04): 14-18+23.
- [26] 卢晓春, 崔昌水. 疏水性植物纤维改性发泡缓冲材料的制备及其性能研究——以应用于运动鞋底材料为例[J]. 造纸科学与技术, 2024, 43(09): 93-96.
- [27] 薛艳敏, 向秋霞, 符威. 基于长征文化传承的3D打印运动鞋设计研究[J]. 设计, 2023, 36(22): 135-139.
- [28] 左露娇. 经编贾卡鞋材的制备与透气透湿性研究[D]. 江苏: 江南大学, 2023.
- [29] SUNDAR V J, MURALIDHARAN C. A study on water vapour permeability with increased functional properties of upper leathers[J]. Revista de Pielarie Incaltaminte, 2017, 17(3): 155.

- [30] Kraner Zrim P, Mekjavic I B, Rijavec T. Properties of laminated silica aerogel fibrous matting composites for footwear applications[J]. Textile Research Journal, 2016, 86(10): 1063-1073.
- [31] HORASHCHENKO S, HORASHCHENKO K, POLISHCHUK O. Mathematical modeling of heat protective properties of polymeric materials for footwear[J]. Advanced Chemical Technologies and Materials for Industry and the Environment, 2020, 15(3): 84-87.
- [32] Zhao W, Yuan P, Kong L. Testing the micro climate in sports shoes by a new manikins measurement system[C]//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020, 964(1): 012007.
- [33] Fordzyun Y, Andreyeva O, Maistrenko L. Level of comfort: artificial and natural shoe materials. A comprehensive assessment[J]. Key Engineering Materials, 2013, 559: 25-30.
- [34] Yick K, Yu A, Li P. Insights into footwear preferences and insole design to improve thermal environment of footwear[J]. International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 2019, 12(3): 325-334.
- [35] 丁绍兰, 弓太生, 葛伟慧, 等. 皮鞋帮面卫生性能数学建模[J]. 皮革科学与工程, 2009, 19(01): 57-61+80.
- [36] Chorny A, Cherunova I, Kornev N. Thermophysical interaction in the shoe-foot system during sport activity[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2021, 176: 121386.
- [37] Su Y, Wang H, Liu G, etc. Numerical study of thermal comfort and energy efficiency about electrically heated footwear under a cold environment[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2024, 36(4): 740-759.
- [38] Wang H. Hand-imitated shoe washing machine, has shoe inner bottom brush mounted on shoe inner brush frame towards shoe bottom, and shoe inner brush frame whose end is located at outer side of shoe and connected with power device: China, CN112773301-A[P]. 2021.05.01.
- [39] Wang Y, Tan J, Cao H, etc. Shoe washing machine, has machine body provided with washing cylinder and turntable whose central position is detachably connected with shoe washing rod, where outer wall of shoe washing rod is distributed with brush hair for washing shoes: China,

- CN211199772-U[P]. 2020.08.07.
- [40] Xu J, Chen F. Cleaning brush structure for shoe washing machine, has brush substrate whose upper end surface is fixedly mounted with brush fixing column that is fixedly installed with cleaning brush, and brush mechanism fixedly mounted on inner wall surface of cylinder: China, CN212853417-U[P]. 2021.04.12.
- [41] Xu J, Chen F. Full-automatic inner cylinder shoe washing machine, has innercylinder whose inner wall surface is fixedly installed with cleaning brush, outercylinder located in machine frame, and damping suspension mechanism fixedly installed on two ends of frame: China, CN212741874-U[P]. 2021.03.19.
- [42] 赵宇歌. 微纳米气泡技术清洗运动鞋鞋材污渍的应用研究[D]. 上海: 东华大学, 2022.
- [43] 罗锐捷. 织物微波干燥实验研究[C]//中国电子学会. 第二十二届真空电子学学术年会论文集. 电子科技大学电子科学与工程学院;, 2024: 435-439.
- [44] 冷梦春, 姚云鹤. 现代鞋用材料的再设计[J]. 皮革科学与工程, 2010, 20(01): 61-63+67.
- [45] 冀琳. 篮球鞋用合成革材料性能优势与生产工艺分析[J]. 粘接, 2022, 49(07): 53-56.
- [46] 赵宇歌, 沈雨生, 何义平, 等. 鞋护理机开发需求调研及发展分析[J]. 家电科技, 2022, (02): 66-71+96.
- [47] 张杰, 王贵玲. 运动服的性能和设计研究[J]. 染整技术, 2024, 46(05): 84-86.
- [48] 张耀珍. Z世代轻奢运动鞋消费偏好分析及营销建议[J]. 中国皮革, 2023, 52(11): 103-107.
- [49] 于涛, 张文慧, 纪向宏. 北京老字号品牌“内联升”传承与创新[J]. 丝网印刷, 2023, (08): 13-16.
- [50] 杜少勋. 运动鞋设计[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 23-24.
- [51] 强威, 罗向东, 张哲滔. 基于LDA模型的跑鞋用户评论主题挖掘和演化分析[J/OL]. 北京服装学院学报(自然科学版), 1-11[2025-03-12].
- [52] 张琦, 左露娇, 屠佳妮, 等. 经编贾卡鞋面材料透气性的数值模拟[J]. 纺织学报, 2024, 45(09): 78-83.

- [53] 丁伟胜. 气垫运动鞋对运动员踝关节运动力学的影响分析[J]. 中国皮革, 2024, 53(12): 75-80+85.
- [54] 王莹辉. 色彩审美在鞋靴设计中的应用探究[J]. 当代旅游, 2019, (08): 258.
- [55] 陆洁, 孙浪涛, 徐文意, 等. 鞋材用涤纶经编间隔织物的热湿舒适性研究[J]. 武汉纺织大学学报, 2023, 36(05): 36-40.
- [56] 丁宁宇. 经编贾卡间隔鞋面材料的制备与力学性能研究[D]. 江苏: 江南大学, 2023.
- [57] 2022年5月运动鞋大数据分析[J]. 鞋类工艺与设计, 2022, 2(12): 4-5.
- [58] 王旭东. 基于运动生物力学的运动鞋定制鞋垫设计综述[J]. 中国皮革, 2025, 54(01): 53-56.
- [59] 赵维维, 付选明, 王勇, 等. 康复治疗结合计算机辅助设计与制作矫形鞋垫对扁平足合并足底筋膜炎的临床疗效观察[J]. 实用医院临床杂志, 2024, 21(03): 90-93.
- [60] 楚仕顺. 个性化鞋垫影响篮球前转身动作的下肢关节生物力学分析[D]. 广东: 广州体育学院, 2024.
- [61] 贾蕊. 超重/肥胖人群膝关节防护的生物力学研究[D]. 广东: 南方医科大学, 2023.
- [62] 杜清锋. 山地户外活动中户外运动鞋对踝关节的运动生物力学影响[J]. 中国皮革, 2024, 53(09): 65-71.
- [63] 刘超. 高分子材料在防水鞋设计中的应用探讨[J]. 鞋类工艺与设计, 2024, 4(01): 12-14.
- [64] 谢正泰, 樊佳亮, 刘梅, 等. 基于神经网络的机器人学习与控制: 回顾与展望[J]. 信息与控制, 2023, 52(01): 37-58.
- [65] Moller M. Efficient training of feed-forward neural networks[M]//Neural Network Analysis, Architectures and Applications. CRC Press, 2024: 136-173.
- [66] Gabella M. Topology of learning in feedforward neural networks[J]. IE EE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2020, 32(8): 3588-3592.
- [67] 吕文琪, 马骁, 简夜明, 等. 基于多层感知机的轻量级遥感影像语义分割方法研究[J]. 软件导刊, 2024, 23(01): 173-181.
- [68] 解东杰. 基于前馈神经网络的无线智能传播模型研究[D]. 云南: 云南师

- 范大学, 2023.
- [69] 李秋红. 基于改进粒子群算法的前馈神经网络识别用户窃电行为[J]. 电气技术, 2022, 23 (11): 44-48.
 - [70] 缪云飞, 邹铭敏, 盛书丽, 等. 基于机器学习的二氧化碳卫星反演方法[J]. 中国环境科学, 2023, 43(S1): 20-27.
 - [71] 田晓迪. 基于深度学习的通信信号调制模式识别方法研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2020.
 - [72] 韩智超. 基于空-时神经网络的脑电情感识别研究[D]. 江苏: 南京信息工程大学, 2023.
 - [73] 汤学民, 吴晓云. 基于前馈神经网络电子病历辅助诊断系统的研究[J]. 中国数字医学, 2023, 18 (03): 42-48.
 - [74] Teso-Fz-Betoño A, Zulueta E, Cabezas-Olivenza M, etc. A study of learning issues in feedforward neural networks[J]. Mathematics, 2022, 10 (17): 3206.
 - [75] 闫王晨, 吴聪康, 罗鑫. 基于机器学习的桥梁疲劳失效与限载分析[J/O L]. 铁道科学与工程学报, 1-11 [2025-03-14].
 - [76] 李靖. 车用燃料电池供氢系统建模与排放策略优化研究[D]. 四川: 电子科技大学, 2024.
 - [77] 温馨. 青藏高原遥感地表温度的时间序列建模与分析[D]. 四川: 电子科技大学, 2020.
 - [78] Akiner M E. Long-term rainfall information forecast by utilizing constrained amount of observation through artificial neural network approach [J]. Advances in Meteorology, 2021, 2021(1): 5524611.

附录 1 运动鞋烘干设备需求问卷

您好，我是一名在读研究生，正在进行一项关于运动鞋烘干的调查研究，恳请您的配合与支持！调研内容仅供课题研究，不作它用。

1. 您的个人月平均可支配收入是_____。 [单选题] *

☐ A、5000 元以下	☐ B、5000 元-1 万元	☐ C、1 万元-3 万元
☐ D、3 万元-5 万元	☐ E、5 万元-10 万元	☐ F、10 万元以上
2. 您的年龄段： [单选题] *

☐ 18 岁以下	☐ 19-29	☐ 30-39	☐ 40-49
☐ 50-59	☐ 60 以上		
3. 您所在省份 [填空题] *

4. 您家有_____口人 [填空题] *

5. 您家有多少双鞋子？ [单选题] *
☐ 10 双以下
☐ 10-20 双
☐ 20-30 双
☐ 30-40 双
☐ 40 双以上
6. 您家有多少双运动鞋？ [单选题] *
☐ 1-5 双
☐ 5-10 双
☐ 10-15 双
☐ 15-20 双
☐ 20 双以上
7. 您家运动鞋品类有哪些？ [多选题] *

☐板鞋

☐运动凉鞋

☐训练鞋

☐足球鞋

☐休闲运动鞋

☐篮球鞋

8. 您家运动鞋烘干的原因？ [单选题] *

☐运动鞋有异味

☐下雨或刷洗后晾晒烘干

☐日常穿着后有潮湿感

☐发霉

9. 您认为运动鞋有必要烘干吗？ [单选题] *

☐必要

☐中立

☐没必要

10. 您是否会购买运动鞋烘干机？ [单选题] *

☐会

☐不会

☐其他

附录 2 运动鞋烘干设备需求问卷调查结果

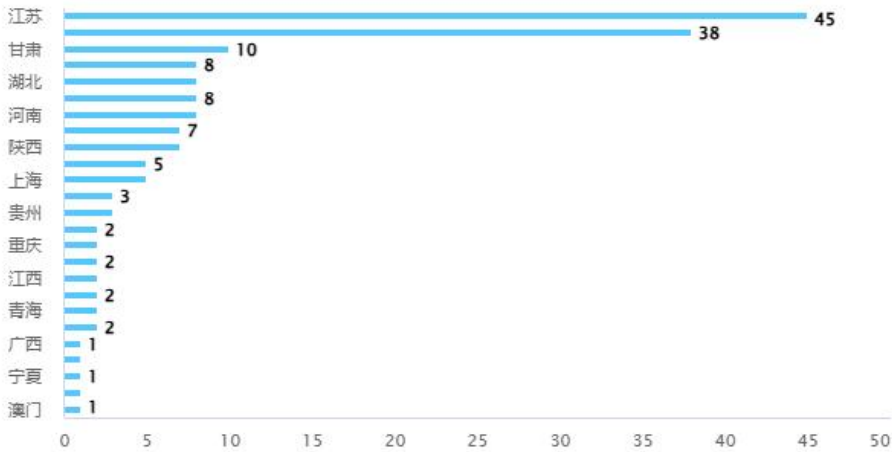
第 1 题 您的个人月平均可支配收入是_____。 [单选题]

选项	小计	比例
A、5000 元以下	1	0. 57%
B、5000 元-1 万元	46	26. 44%
C、1 万元-3 万元	64	36. 78%
D、3 万元-5 万元	45	25. 86%
E、5 万元-10 万元	14	8. 05%
F、10 万元以上	4	2. 3%
本题有效填写人次	174	

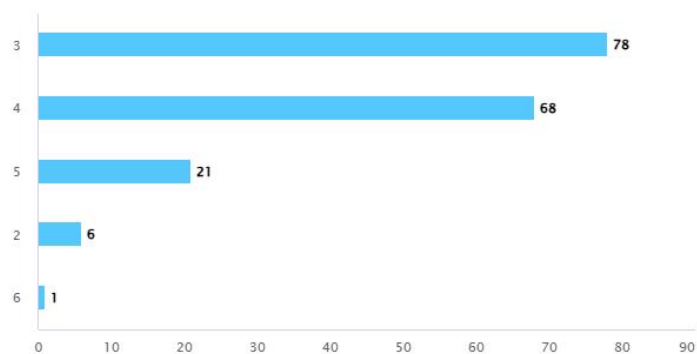
第 2 题 您的年龄段？ [单选题]

选项	小计	比例
18 岁以下	2	1. 15%
19-29	46	26. 44%
30-39	56	32. 18%
40-49	44	25. 29%
50-59	22	12. 64%
60 以上	4	2. 3%
本题有效填写人次	174	

第 3 题 您所在省份 [填空题]



第4题 您家有_____口人 [填空题]



第5题 您家有多少双鞋子? [单选题]

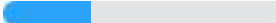
选项	小计	比例
10 双以下	19	10.92%
10-20 双	41	23.56%
20-30 双	50	28.74%
30-40 双	32	18.39%
40 双以上	32	18.39%
本题有效填写人次	174	

第6题 您家有多少双运动鞋? [单选题]

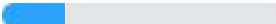
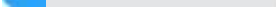
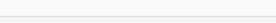
选项	小计	比例
1-5 双	16	9.2%
5-10 双	39	22.41%
10-15 双	52	29.89%
15-20 双	40	22.99%
20 双以上	27	15.52%
本题有效填写人次	174	

第7题 您家运动鞋品类有哪些? [多选题]

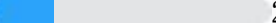
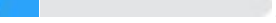
选项	小计	比例
板鞋	104	59.77%
运动凉鞋	49	28.16%
训练鞋	65	37.36%

足球鞋	55	 31.61%
休闲运动鞋	169	 97.13%
篮球鞋	84	 48.28%
本题有效填写人次	174	

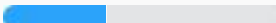
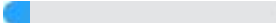
第 8 题 您家运动鞋烘干的原因? [单选题]

选项	小计	比例
运动鞋有异味	39	 22.41%
下雨或刷洗后晾晒烘干	91	 52.3%
日常穿着后有潮湿感	28	 16.09%
发霉	16	 9.2%
本题有效填写人次	174	

第 9 题 您认为运动鞋有必要烘干吗? [单选题]

选项	小计	比例
必要	98	 56.32%
中立	42	 24.14%
没必要	34	 19.54%
本题有效填写人次	174	

第 10 题 您是否会购买运动鞋烘干机? [单选题]

选项	小计	比例
会	94	 54.02%
不会	63	 36.21%
其他	17	 9.77%
本题有效填写人次	174	

附录 3 模型运行代码

```
load data.mat; % 载入数据
net = feedforwardnet([10,10]); % 创建网络，n 为隐藏层神经元个数
net.divideFcn = 'dividerand'; % 随机分配
net.divideMode = 'sample'; % 分割每个样本
net.divideParam.trainRatio = 70/100; % 训练集分配比例
net.divideParam.valRatio = 15/100; % 预测集分配比例
net.divideParam.testRatio = 15/100; % 测试集分配比例
net.trainFcn = 'trainlm'; % LM
net.performFcn = 'mse'; % MSE
net.trainParam.show = 5;
net.trainParam.epochs = 10000;
net.trainParam.goal = 1e-7; % 训练目标
net.trainParam.max_fail = 25; % 最大失败次数 25
inputs = inputs';
targets = targets';
% 训练网络
[net,tr] = train(net,inputs,targets)
% 测试网络
outputs = net(inputs);
errors = gsubtract(targets,outputs);
performance = perform(net,targets,outputs)
% 获得训练、验证和测试的结果
```

攻读学位期间所取得的相关科研成果

- [1] Yuhui Wei, ZiHao Wan, etc. Clothes washing and drying device and method with self-adaptive regulation function.发明专利（第2作者）
- [2] Yuhui Wei, ZiHao Wan, et al. Study on the aging mechanism of textile relics in museum collection environment by accelerated aging experiment[J].Journal of Natural Fibers（SCI）收录。
- [3] 万梓豪,孙琦,韦玉辉,等.空气洗洗护机制及其在衣物除皱护理中的应用研究[J].河南工程学院学报(自然科学版),2024,36(02):18-24.
- [4] 万梓豪,刘璐,韦玉辉,等.羽绒制品烘后性能评测及其影响因素分析[J].中原工学院学报（已录用）
- [5] 第四届纺织类全国大学生工程训练综合能力竞赛（服工组）二等奖
- [6] 第九届安徽省“互联网+”大学生创新创业大赛铜奖（负责人）

致谢

行文至此，意味着我的研究生生涯即将画上句点。回首这段求学旅程，那些在实验室通宵的灯火、文献堆里的辗转反侧、灵感迸发的瞬间，都因许多人的陪伴与帮助而显得珍贵。在此，我谨以最诚挚的笔触，向所有给予我支持的人表达谢意。

师恩如山，铭记于心。首先，我要深深感谢袁惠芬和韦玉辉两位老师。感谢您们从论文选题到定稿的悉心指导，您们严谨的治学态度和敏锐的学术洞察力让我受益匪浅。无论是凌晨回复的修改批注，还是课题组会议上“打破砂锅问到底”的追问，都教会我如何用科学思维探索真理。

同窗之谊，温暖岁月。感谢 D401 的伙伴们，感谢你们在这段时光里的陪伴与支持。感谢我的室友徐亚宁、吴浩、杨祥斌，是你们让远离家乡的求学生活充满欢声笑语。

青葱岁月，因你璀璨。特别要把最柔软的感谢献给我的女友。谢谢你在周末不远千里的奔赴，在我难受时给我的每一个拥抱，更谢谢你始终相信我能跨越所有难关。你是我论文里最美的“因变量”，让这段枯燥的科研旅程开出了温柔的花。

亲情无声，厚重如斯。二十余载求学路，最坚实的后盾永远是家人。感谢我的父母，你们用无条件的支持与包容，让我能心无旁骛地追逐学术理想；父亲沉默转账的银行短信，母亲欲言又止的“别太累”，都是支撑我走到今天的力量。

最后，向参与论文评审与答辩的各位专家致以谢意，感谢您们百忙中拨冗指导。也致敬所有在本领域深耕的前辈学者，您的研究成果如灯塔般照亮我前行的方向。

纸短情长，唯有将这份感恩化作继续攀登的动力。前路漫漫，愿始终怀揣初心，以探索之炬火，映照未知之苍穹。