



硕士学位论文



论文题目	服装生产环节碳排放模型研究
	与优化分析
研究生姓名	俞璐
指导教师姓名	陈雁
专业名称	服装设计与工程
研究方向	服装设计与生产
论文提交日期	2015-6-24

ETD 论文管理系统

苏州大学学位论文使用授权声明

本人完全了解苏州大学关于收集、保存和使用学位论文的规定，即：学位论文著作权归属苏州大学。本学位论文电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。苏州大学有权向国家图书馆、中国社科院文献信息情报中心、中国科学技术信息研究所（含万方数据电子出版社）、中国学术期刊（光盘版）电子杂志社送交本学位论文的复印件和电子文档，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存和汇编学位论文，可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索。

涉密论文 ☐

本学位论文属 _____ 在 _____ 年 _____ 月解密后适用本规定。

非涉密论文 ☐

论文作者签名： 俞璐 日期： 2015.5.18

导师签名： 陈伟 日期： 2015.5.18

苏州大学学位论文独创性声明

本人郑重声明：所提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。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果，也不含为获得苏州大学或其它教育机构的学位证书而使用过的材料。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人承担本声明的法律责任。

论文作者签名： 俞璐 日 期： 2015.5.18

服装生产环节碳排放模型研究与优化分析

中文摘要

为了缓解全球变暖、雾霾、沙尘暴等恶劣气候及空气污染，很多国家和不同组织已经出台了一系列针对碳排放的法规和准则。纺织服装行业的各个环节都存在碳排放，由于产业链庞大，因此产生大量的碳排放。本文主要通过建立模型、量化计算和优化分析对服装生产环节的碳排放进行了系统的研究，以便于对服装生产碳排放控制提供依据。

本文首先对纺织服装行业碳排放现状及背景进行总结归纳，比较分析了国际上通用的碳排放核算标准及方法，同时对服装生产过程、生产设备及工序进行了分析，并对三种常见款式的生产设备及工序进行了实例分析。

本文根据碳排放相关规则及定义，从生产设备、传输过程、废弃物排放、人力损耗等方面分别对裁剪、缝制、后整理等生产环节的碳排放因素建立对应各个环节的碳排放计算模型，将所有能耗转换为二氧化碳当量进行核算以便进行碳排放评估。

根据 PAS 2050 中碳排放计算的流程，对男衬衫生产过程进行了实例分析，对该款男衬衫进行流程分析、功能单位分析、数据搜集和碳排放计算。碳排放量化计算结果表明，男衬衫生产过程中，生产过程的碳排放量大于男衬衫所用面料产生的碳排放量，且缝制环节产生的碳排放量最高。

在上述研究的基础上，本文对服装生产过程降低碳排放的措施进行了讨论，以男衬衫生产为例，对缝制环节中的工序进行了编排优化，将优化前后生产环节产生的碳排放量进行对比分析，结果表明，仅在缝制环节就减少 7kg 碳排放。此外还对人力传输、传送带传输这两种生产传输方式进行了对比分析，计算结果表明，采用传送带传输方式比人力得传输方式产生的碳排放量要降低很多。

本研究建立的模型、碳排放计算流程和方法，同样适用于其他款式服装的生产过程，可以为服装生产企业进行碳排放监督与评价提供依据与参考。

关键词：碳排放；服装生产过程；男衬衫；工序；传输方式

Optimization and Model Research of Carbon Emission in Garment Production Processes

Abstract

In order to mitigate global warming, haze, dust storms and other inclement weather and air pollution, many countries and different organizations have issued a series of regulations and standards on carbon emissions. There are carbon emissions in every link of the textile and garment industry and because of the huge industrial chain, large amounts of carbon emissions have been produced. This paper mainly studies carbon emissions in garment production processes through the establishment of model, quantitative analysis and Optimization in order to provide the basis for carbon emission control of clothing production .

This paper first summarizes the carbon emission status and background of textile and garment industry, a comparative analysis of the carbon emission accounting standards and the current international method has been carried on. At the same time, garment production process, production equipment and procedure were analyzed. The paper also analyzes the production equipment and process of three common style garments as examples

According to the related rules and definitions of carbon emissions, the paper establishes carbon emission calculation model corresponding to the various segments of the production equipment from transmission process, waste disposal, labor loss and carbon emission factors for cutting, sewing and finishing production processes. All energy are transferred into carbon dioxide equivalent for carbon emissions accounting and evaluation .

According to the evaluation process of carbon emissions in PAS 2050, the paper analyzes the carbon emissions in male shirt production through process analysis, functional units, data collection and carbon emission calculation. The quantitative calculation results show that the carbon emissions in male shirts production are higher than carbon emissions the male shirts with fabric produced. Sewing processes produces the highest quantity of carbon emissions.

On the basis of the above research, this paper discusses the approaches of reducing carbon emissions in clothing production process. Take male shirt production as an example, the paper arranges and optimizes the sewing process. A comparative analysis was made between the production process before and after the optimization of carbon emissions. The results showed, 7kg carbon emissions decreased in the sewing process. In addition, human transmission and conveyor belt transmission, these two kinds of transmission modes are compared. The results show that under the conveyor belt transmission, the carbon emissions are reduced a lot of compared to manpower transmission.

The process and method of carbon emissions calculation model established in this paper are also applicable to other styles of the clothes, which can provide a basis and reference for supervision and evaluation of carbon emissions of the clothing production enterprises.

Keywords: Carbon emission; Garment production process; Male shirts; Procedure; Transmission mode

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景及现状.....	1
1.1.1 纺织服装行业碳排放研究背景.....	1
1.1.2 国外纺织服装领域碳排放研究现状.....	2
1.1.3 国内纺织服装领域碳排放研究现状.....	3
1.1.4 纺织服装领域碳排放方法研究现状.....	4
1.2 研究目的和意义.....	5
1.2.1 研究目的.....	6
1.2.2 研究意义.....	6
1.3 研究内容和方法.....	7
1.3.1 研究内容.....	7
1.3.2 研究方法.....	7
1.4 研究路线与创新点.....	8
1.4.1 研究路线.....	8
1.4.2 论文创新点.....	10
第二章 碳排放核算标准分析与比较.....	11
2.1 碳排放相关概念.....	11
2.1.1 碳关税的提出.....	11
2.1.2 碳足迹的定义.....	12
2.1.3 碳标签的使用.....	12
2.2 碳排放核算标准.....	13
2.2.1 温室气体议定书(The Greenhouse Gas Protocol).....	13
2.2.2 PAS2050: 2008 标准.....	13
2.2.3 ISO 14064 标准.....	14
2.2.4 各标准的对比分析.....	15
2.3 碳排放核算方法.....	16
2.3.1 生命周期评价法 (LCA)	16

2.3.2 投入产出法 (I-O)	17
2.3.3 碳排放计算器	18
2.3.4 各方法的对比分析	18
2.4 本章小结	19
第三章 服装生产过程碳排放要素分析	20
3.1 服装生产流程组织	20
3.1.1 服装一般生产流程分析	20
3.1.2 生产线组织方式	21
3.1.3 流水线及工作地安排	23
3.2 服装生产设备及工序分析	26
3.2.1 男衬衫生产设备及工序分析	27
3.2.2 男西裤生产设备及工序分析	29
3.2.3 女西裙生产设备及工序分析	31
3.3 本章小结	34
第四章 服装生产过程碳排放计算模型	35
4.1 服装生产环节碳排放计算准备过程	35
4.1.1 服装生产过程图绘制	35
4.1.2 边界核查及优先序确定	37
4.1.3 数据搜集	38
4.2 碳排放计算模型建立	39
4.2.1 裁剪环节碳排放计算模型	39
4.2.2 缝制环节碳排放模型	41
4.2.3 后整理环节碳排放模型	43
4.3 生产环节碳排放计算案例	43
4.3.1 案例概况分析	44
4.3.2 过程图及功能单位	47
4.3.3 数据收集	47
4.3.4 碳排放计算	48

4.4 本章小结.....	50
第五章 服装生产环节碳排放优化措施分析.....	51
5.1 服装工序优化对碳排放量的影响.....	51
5.1.1 男衬衫工序编排优化.....	51
5.1.2 男衬衫生产优化后碳排放量计算.....	55
5.1.3 优化效果分析.....	57
5.2 服装生产传输方式对碳排放量的影响.....	58
5.2.1 人力传输方式分析.....	58
5.2.2 传送带传输方式分析.....	58
5.2.3 两种传输方式碳排放结果对比分析.....	59
5.3 本章小结.....	60
第六章 结论.....	61
6.1 论文研究成果.....	61
6.2 后续研究方向.....	62
参考文献.....	63
攻读硕士期间公开发表的论文.....	67
致谢.....	68

第一章 绪论

随着人类社会的发展和人口不断增长,很多产业所需的传统能源产生了大量的碳排放,造成了温室效应等不少负面效益。我国纺织服装产业在国民经济和工业体系中占据着十分重要位置,然而在纺织服装产品生产的各环节中都存在着不同程度的碳排放,对环境造成一定的影响。面对严峻的事实,很多企业都在寻找新的方式来应对碳排放对环境造成的压力。

1.1 研究背景及现状

我国是世界上公认的服装生产和出口大国,同时也拥有世界上最大的服装生产基地和消费市场。但是最近几年的金融危机给我国纺织服装产业带来了巨大的冲击,这在一定程度上阻碍了行业的发展,却也加速了整个行业的优胜劣汰进程。如今的纺织服装行业开始趋于规范化,面对日新月异的行业发展规模,纺织服装行业也有许多新的问题亟待解决:国内外市场的差异化需求、企业生产的高能耗与高成本、消费者对个性化产品的追求等,这些问题使得企业越来越注重服装生产中完善的加工和生产体系、完善的产业链条、丰富的生产管理经验^[1]。

1.1.1 纺织服装行业碳排放研究背景

随着国际市场的进一步开放,我国服装业面临的问题就逐渐凸显出来,尽管为国民经济带来了巨大的发展空间,纺织服装业依然是排污大户。大多数纺织服装企业,尤其是中小企业的生产工艺仍然处于较为落后的水平,导致能源消耗比发达国家高出几倍。截止 2012 年 2 月 20 日,在中国污染地图数据库收录的有过违规超标记录的企业中,纺织企业的记录超过 6000 条^[2]。

据 IPCC(联合国气候变化政府间专家委员会)数据显示:到 2030 年世界温室气体排放将增长 $340 \times 10^8 \text{t}$,我国的温室气体排放将增长到 $120 \times 10^8 \text{t}$ ^[3]。现有的能源结构将会给我国能源和经济发展带来很大压力,面对严峻的现状,我国已经提出至 2020 年单位 GDP 碳排放要在 2005 年的基础上下降 40%-45% 的目标。气候变化已经逐渐

成为未来很长时期内各个国家需要慎重考虑的挑战之一,而温室气体的排放已经引起了许多发达与发展中国家的高度重视,甚至因此而造成了贸易往来间的利益权衡。随着工业化进程的加速,保护环境的过程中不断出现很多新的问题需要我们用新方法去解决^[4]。

长期以来,我国经济的持续发展造成了大量的温室气体排放。2007年9月8日,胡锦涛在亚太经合组织第15次领导人会议上郑重提出“发展低碳经济”^[5]。2009年6月5日,温家宝指出,把应对气候变化、降低二氧化碳排放强度纳入国民经济和社会发展规划^[6]。2014年11月12日,习近平宣布了2020后应对气候变化的行动,计划2030年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰,并计划到2030年非化石能源占一次能源消费比重提高到20%左右^[7]。根据赵荣钦等人的调查研究^[8],将产业空间分为生活与工商业、交通业、农业、渔业与水利业和其他产业,分别对这五个产业空间进行碳排放计算,发现生活与工商业的单位面积碳排放最高,这意味着食品、餐饮、零售、住宿、纺织服装等与生活相关的行业存在着巨大的碳排放量。因此,纺织服装行业的节能减排工作势在必行。纺织服装行业在“十二五”期间的节能减排目标为:到2015年,单位工业增加值能源消耗比2010年降低20%,工业CO₂排放强度比2010年降低20%^[9]。

1.1.2 国外纺织服装领域碳排放研究现状

目前国内外对于纺织服装领域碳排放现状已在国家、地区、行业等不同层面进行了广泛的研究。此外,为了帮助一些纺织服装企业控制产品的碳排放量,引导企业向低碳生产的模式转变,一些研究机构和环保组织也积极地研究相关产品碳排放的评估和测算方法^[10]。例如世界气象组织(WMO)和联合国规划署(UNEP)在1998年共同建立了政府间气候变化专门委员会(IPCC),编写了《2006年IPCC国家温室气体清单指南》,该清单对温室气体的排放量作出可靠的估计。IPCC排放因子数据库(EFDB)也提供了具有针对性的排放因子和相关参数^[11]。

在国外,面对气候变暖的现实,很多国家也相继开展了碳排放计算及评估的一系列研究,其中西方国家的研究较多,成果较为先进。

英国服装零售业通过研究发现,从纱线生产阶段到消费者使用阶段,整个过程包

括纺纱、织造、染整、裁剪、缝制、后整理以及运输等，每公斤织物排放的 CO_2 达到 12.5kg。而 T 恤生产过程的碳排放量达到其自身重量的 12 倍以上^[12]。英国剑桥大学制造研究所对服装碳排放的研究结果显示^[13]，一件重量约为 250g 的纯棉 T 恤在使用过程中大约会排出 7kg CO_2 ，是其自身重量的 28 倍。一件使用寿命约为 2 年、成分中含有 10%涤纶的裤子，整个生产消费环节的碳排放量约为 47 千克，是其自身重量的 117 倍。英国马莎集团通过研究服装产品的碳排放量，发现服装产品在使用阶段的碳排放量可以占到整个产品全部碳排放量的 70%。英国大陆服装公司也对有机棉 T 恤产品进行了碳排放量估算，并通过积极推行减碳措施，降低产品碳排放^[14]。

美国安维尔服装公司对其生产的 (Anvil Knitwear) Anvil organic、Anvil recycled 及 Anvil sustainable 系列有机棉、回收棉 T 恤产品进行了碳排放量核算，并通过回收技术以回收的有机棉和 PET 塑料瓶作为生产原料的一部分，使得产品成为“碳中和”产品^[15]。

德国服装业也对某些产品完成了碳排放评估，其研究结果显示^[16]，一件女士长款衬衣的碳排放约为 7kg CO_2 当量，其中棉花生长阶段产生碳排放 1.27kg CO_2 当量。在孟加拉国生产服装的碳排放为 3kg CO_2 当量，包括纺纱、染布环节和缝制的碳排放约为 1kg CO_2 当量；而其余包装、运输、仓储、消费等产生的碳排放约为 3kg CO_2 当量。此外，该研究结果还包括深色织物的碳排放量比浅色织物碳排放量多一倍。

意大利染整机械制造商 Flmnox 公司也提出了可持续发展战略，于 2009 年推出了纺织机械行业首个碳排放标签的设备 Umve~MNRP 滚筒染色机，由第三方机构 Rexizon 根据 ISO14044 和 PAS2050 方法对该设备进行了生命周期评估，测试了产品的碳排放^[17]。

1.1.3 国内纺织服装领域碳排放研究现状

在国内，杨自平等人对大麻纤维产品进行了碳排放测量分析^[18]，各计算要素排放因子采集源自国家环境保护部、政府间气候变化专业委员会(IPCC)及碳信托(Carbon Trust)提供的全球及地区平均数值，分别计算种植过程碳贮存量、运输过程碳排放量和加工生产过程碳排放量，交付结果以二氧化碳当量为单位。

韩晨晨等人对棉纺厂碳排放进行计算研究^[19]，将棉纺厂能耗分析分为：主机、空

调系统、照明、空气压缩机和辅机的电能消耗。根据碳燃烧氧化为二氧化碳的化学方程式及分子量求出每消耗 1t 碳排放的二氧化碳量为 3.67 t, 单位电耗(1 kW·h)所需的标准煤量 123 g 计算出单个工序及单个流程的二氧化碳排放量。

董艳红等人采用过程分析法计算一件纯棉纺织品的碳排放^[20], 对各阶段温室气体排放种类及排放源分析; 王来力等人采用排放系数法计算全行业的碳排放^[21], 文中还列出了我国各类能源的碳排放系数, 1991 年至 2009 年间我国纺织服装行业的历年能耗与工业总产值, 定义了碳排放强度。

屠莉华等人对牛仔裤生产过程进行了碳排放研究, 对纺纱、织造、成衣阶段建立不同的碳排放模型, 并且对牛仔裤低碳生产设计进行了探究和分析^[22]。研究表明, 后整理阶段对环境的影响最大, 纺纱阶段最小。生产过程中 CO₂ 排放量占所有温室气体之首。

李戎等核算了轧染黑色棉氨纶贡缎生命周期部分阶段的碳排放^[23]。结果表明, 原材料碳排放所占比例最大为 64.54%, 其次是废水排放以及能源消耗部分, 所产生的碳排放占 34.33%。

蒋婷等核算了黑色桑蚕丝香云纱面料从原料获取到成品仓储阶段的碳排放^[24]。结果表明, 每米香云纱产品的碳排放为 1.88 kg CO₂e, 其中原料获取阶段的碳排放所占比例最大, 为 74.5%, 其次为产品的生产加工。

陈建伟等人采用生命周期评价法对女士涤纶衬衣进行研究, 定量分析整个周期中的能源消耗及污染排放^[25], 结果表明, 服装消费阶段对全球碳排放贡献最大。

1.1.4 纺织服装领域碳排放方法研究现状

除了学者对碳排放的研究外, 众多企业也加入到低碳生产的行列中。盛虹化纤、恒力化纤、鹰翔化纤、新民科技 4 家企业成为国内首批化纤协会推荐进行碳排放核算的企业, 并顺利获得 Intertek-CCFA 产品碳排放认证及绿叶标签^[26]。旭荣集团和海东青集团、上海出入境检验检疫局等也在进行纺织品碳排放、碳标签认证等研究^[27-29]。

2009 年起, 在科技部质检公益性行业科研专项、东华大学中央高校基本科研业务费专项、上海市技术性贸易措施应对专项以及香港制衣业训练局等项目和单位支持下, 由多家单位组成的课题组, 调研了 18 家大型纺织服装企业。基于现有国际标准

方法,提出了“模块化纺织服装产品工业碳排放核算方法”,核算了从纺纱、织造、染整、制衣到服装辅料共计 35 种产品的工业碳排放,获得了科学合理的核算结果^[30]。

以上是国内外纺织服装领域中企业、机构进行的一些碳排放计算的研究案例,而现阶段国际上有通用的碳排放计算方法,较为常用的有两种:流程分析法和投入产出法^[31]。

(1) 流程分析法(Process Analysis, PA)^[32]: 流程分析法是将与产品相关的各个单元过程建立完整的生命周期流程图,再收集流程图中各过程单元的温室气体排放数据,统一计量单位后进行定量描述,最后将所获得的温室气体排放数据转换为 CO₂ 当量来表示。该方法用于计算产品的碳排放量较为精确,在后来衍伸出的生命周期评价法(LCA)也属于流程分析法。

(2) 投入产出法(Input-Output, I-O)^[33]: 投入产出法的整个过程是从产品原料获取开始,直至产品的最终废弃。评价使用的是国家层面各部门的平均数据,并通过将产品相关部门间的供应链强度相乘来计算整个系统的碳排放。该方法在分析宏观碳排放量上有着明显的优势,多用于城市或国家层面的碳排放计算。

在纺织服装领域,由于所涉及的排放与产品生命流程有紧密联系,现阶段的研究主要采用流程分析法比较多。如 Bevilacqua 等人核算了纯棉羊毛衫全生命周期的碳排放量^[34], Steinberger 等人对纯棉 T 恤和涤纶夹克衫全生命周期碳排放进行了研究^[35]。而投入产出法在供应链、城市、家庭、系统、消费等领域中应用较多^[36-37]。

目前,纺织服装领域运用各种方法进行的碳排放、碳排放、碳标签相关的研究还较少,不仅是由于节能减排意识的淡薄,而且减排相关的数据获取也有一定的困难。在纺织服装生产环节的碳排放评估中,很多企业存在很大的碳减排发展空间,但缺乏有说服力的计算模型。

1.2 研究目的和意义

我国的纺织服装行业属于劳动密集型和能源消耗型产业,这造成了单位 GDP 能耗高,再加上技术与资金短缺,我国难以在短时间内大幅度降低碳排放量。随着节能减排标准的提高和执行力度的强化,纺织服装产业内部的结构调整和产业升级显得尤为紧迫。而在生产过程阶段进行碳排放量建模与核算,为企业适应碳关税征收、建立

相应的碳标签提供理论依据，从而进一步降低企业碳排放，接受社会监督。

1.2.1 研究目的

我国纺织服装行业全过程能耗大约为 4.84 吨标煤/吨纤维，随着社会的发展和人口的增加，每年生产的服装也在逐年递增，服装的消费量是相当可观的，相应的碳排放量也是不可忽略的。一件成衣从原材料的生产到制作、运输、使用以及到最后的废弃都存在着不同程度的碳排放，对环境造成了潜移默化的影响，而服装的裁减、缝制、后整理等主要生产环节不仅让大多数服装企业耗费了主要成本，也是服装生产中温室气体排放的主要来源，倘若能够建立一个标准化的模型对这些生产环节的碳排放进行评价，为企业提供更环保更优质的生产方案，不仅节约了生产成本，也为环境的改善作出了一些贡献。

1.2.2 研究意义

碳排放量的迅速增加不仅对地球的生态系统构成威胁，而且使人类的健康面临长期的危险。越来越多的国家正在努力的减少碳排放。《中华人民共和国节约能源法》也指出“节约资源是我国的基本国策。国家实施节约与开发并举、把节约放在首位的能源发展战略。”全球的碳排量正在逐年增加，纺织服装行业是一个主要的消费的水和燃料(能源所需的电力,蒸汽和运输)的行业，每年人均消费的纺织品大约 20 公斤。根据美国能源信息管理局,纺织行业是碳排放的第五大贡献者。若每年全球纺织品生产 600 亿公斤的织物，生产如此数量的织物需要的能源和水估计为^[38]：1.074 万亿千瓦时的电力和约 6-9 米公升的水，而减少生产过程中的碳排放将会对企业、消费者都产生积极的意义。

(1) 社会层面意义：本文的碳排放核算研究包括模型建立与实例分析，能够对服装生产过程产生的碳排放进行评估，从而为降低服装行业总体的碳排放量而做出微薄的贡献，为社会减轻碳排放造成的压力。社会可以对企业进行监督，促进企业以低碳、环保的工艺生产出高质、高量的产品。

(2) 企业层面意义：本文的碳排放计算实际上是对产品的环境效益进行了量化的评估，企业可以通过本文模型对其生产环节中的碳排放量进行计算，选择不同的生

产方法或者采取相关的减排措施,从而降低生产成本和社会总的碳排放量,为保护环境做贡献。此外还可以对外界公布所生产产品的碳排放,实现企业内部的碳排放管理,有利于提高企业的市场竞争力。

(3) 消费者层面意义:对消费者而言,企业将提供更加安全、低碳、环保的产品,消费者可以通过碳排放评价选择所需的产品,满足消费者的期望,提高生活质量。

1.3 研究内容和方法

前人的研究中关于调查碳排放现状、分析影响及对策的较多,其中也应用了不同的理论和实践研究方式,提供了良好的参考性。而关于构建碳排放计算模型或者详细进行碳排放评价的研究大多与建筑、交通、造纸、钢铁行业相关,纺织服装领域在这一块存在着明显的不足。

1.3.1 研究内容

本文借鉴了前人的经验基础,参考了现有的各种碳排放标准,结合了交叉学科的模式构建方式,撰写了以下的主要内容:

(1) 适用于服装生产的碳排放标准分析。本文主要对温室气体议定书、ISO14064 系列标准、PAS2050:2008 规范进行了概述和分析比较,对主流评价方法生命周期评价法、投入产出法等做了详细的介绍和对比分析。对碳排放计算方法进行了介绍和评价分析,包括使用的目标对象、边界划分、参与对象、数据搜集等方面。

(2) 根据碳排放标准计算方法,选择适当的服装产品类型,统计以服装生产环节为生命周期的碳排放量,对该类型服装生产相关的能耗进行清单分析,确定系统边界,并将生产环节分为裁剪、缝制和后整理三部分,对其设备、人员、废弃物进行分析,确定每个环节的计算方法及碳排放因子,再由此建立整个流程的计算模型。搜集每个环节所需的数据资料,再根据所建模型进行最终计算汇总。

(3) 以实例分析并找出各环节影响碳排放量的主要因素,结合服装生产线的组织设计(如工序编排,人员配置等)探索该类服装产品在生产环节中低碳排放的方案优化设计,在寻求低能耗的同时也为企业提高生产效率。

1.3.2 研究方法

本文主要通过选定产品种类,根据服装生产环节(裁剪、缝制、后整理等)绘制涉及碳排放的过程图,进行边界核查及确定优先序,搜集过程图中所需的数据并将其转换为 CO₂ 当量。

根据不同环节构建碳排放计算模型,将所转换的数据代入模型进行计算,得出该产品在每个环节的碳排放量,并进行汇总。

在计算出各环节及总碳排放量后,结合服装生产管理知识,针对一种服装款式进行整体方案优化设计并进行比较分析,综合得出最优方案,即碳排放量最少的方案。

本文采用文献阅读,模型构建,实践调查,比较分析等方法,通过对前人研究的总结归纳,了解服装生产环节碳排放研究的意义和目的,找出行业缺口;对生产环节的分析和设置,阐述整个生产运行过程,整理需要搜集的数据和资料,根据相关标准构建通用计算模型;将实例应用于模型中,并对影响生产环节碳排放的因素进行分析,通过改变部分参数进行比较。

1.4 研究路线与创新点

本文从服装生产过程开始,分析了生产过程中碳排放各个要素,并总结分类,对不同款式的服装工序及设备进行了详细的分析;以 PAS 2050 规范为基础,对服装生产环节碳排放建立通用模型,并通过男衬衫案例来进行碳排放量核算。为了探究影响服装生产环节碳排放量的因素,在模型分析的基础上,进一步对工序、传输方式进行了编排与优化分析,实现通过改变不同参数来进行碳减排的应用。

1.4.1 研究路线

本文在查阅了大量的碳排放标准和方法 and 纺织服装行业碳排放相关文献的基础上,对服装生产环节碳排放量进行了深入系统的研究和探讨。首先,本文分析了不同款式服装的生产流程,对常见的生产组织方式和工作地布置的方法进行了探究;在此基础上分别对三种不同类型的服装(衬衫、西裤、西裙)的工序、作业时间及设备进行了汇总分析。其次,对服装生产环节碳排放涉及到的排放要素进行分析,依据 PAS 2050 规范,分别从过程图、优先序及数据搜集三方面进行研究;并根据不同环节排放源和排放因子来建立每一个环节的碳排放计算模型。以男衬衫为例,对模型进行实例计算分析。最后,本文进行了参数调节,从工序和传输路线两方面进行优化设计,

从而进一步对优化后碳减排效果进行评价。本文的技术路线如图 1-1 所示。

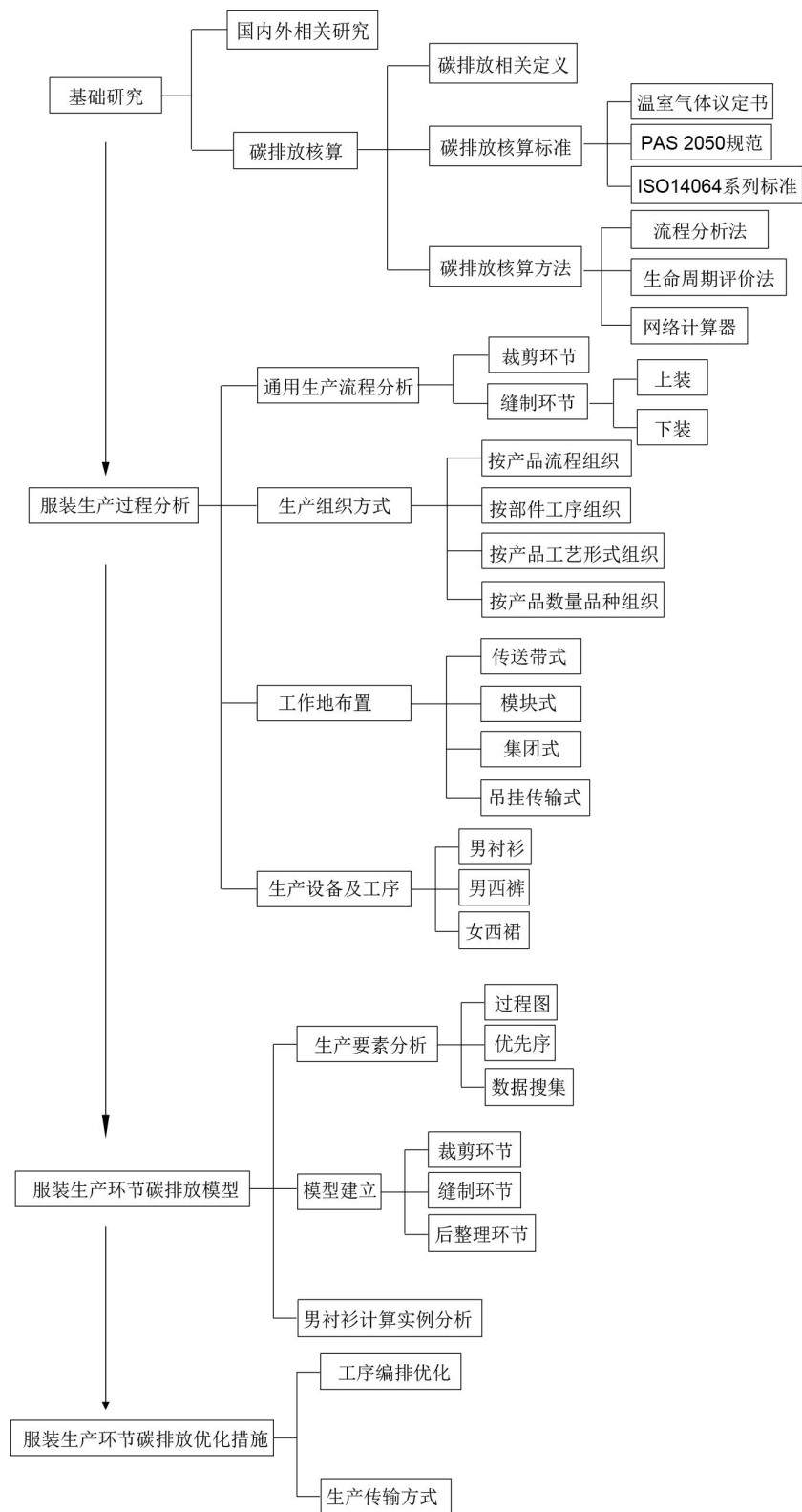


图 1-1 论文技术路线图

1.4.2 论文创新点

在现有的相关文献中，许多学者的研究范围主要集中于整个行业的碳排放计算和评估，因为从行业整体情况来说，纺织服装行业亟需进行碳减排。也有部分研究人员针对某些具体的产品进行了碳排放核算，但基本都是由原材料输入指产品输出全阶段的研究，所采用的数据范围多，数量大，精确性较低。本文综合考虑以上几点内容，对纺织服装行业中服装企业生产环节进行碳排放研究，论文创新点为：

（1）本文的研究范围细化到生产过程的每一项必要要素，针对材料、设备、人员三方面进行了详细的探讨分析，对生产过程的每一个环节分别建立计算模型，再将各个排放源产生的碳排放转化为二氧化碳当量进行核算，

（2）将生产组织、流程、工作地的安排布置与生产过程碳排放核算相结合，选用常见男衬衫款式进行具体案例分析。

（3）在建立模型的基础上，探讨分析工序编排、传输方式和生产设备对碳排放量的影响效果，对这三项内容分别进行优化评价。

第二章 碳排放核算标准分析与比较

碳排放揭示了人类活动对全球气候产生的影响，其量化方法主要采用碳排放核算。国内外有关碳排放的研究都始于 20 世纪 90 年代，尚属于起步阶段，距今的发展历史也不过短短 20 年，涉及的领域有工业、交通、建筑等，随着各国对温室气体排放问题的日益重视，近年来，出台的碳排放评价标准主要应用于企业和产品碳排放评价。如 GHG Protocol, PAS 2050, ISO14064 等。众多的研究人员和机构也纷纷寻找着合适的碳排放评价方法。本文对碳排放相关概念进行介绍、对国际通用的标准、常见的核算方法进行比较与分析。

2.1 碳排放相关概念

近年来，由于不断升温的温室气体排放问题，国际上相继提出了相关的标准法规，至今为止，至少已经有 15 种不同的计划或方案来评价产品的碳排放，同时也出现了“碳关税”、“碳排放”、“碳标签”等概念，充分了解和熟悉这些标准和概念，才能让我国纺织服装企业在不断的挑战和冲击中生存与发展。

2.1.1 碳关税的提出

碳关税（Carbon Tax），又叫“边境调节税，是指对部分高耗能的进口产品特别征收的二氧化碳排放关税。碳关税的提出，与地球环境气候的变化息息相关，但它的本质是发展中国家对发达国家出口的一些产品进行关税的征收。虽然现在碳关税还没有正式施行，但 WTO 的相关条款中已经明确了“允许 WTO 成员国在某些情况下采取基于环境理由的贸易限制”。因此，发达国家向发展中国家征收因环境问题而产生的关税是指日可待。碳关税的终极目的是保护地球环境，希望能够通过降低或减少二氧化碳排放来减缓全球变暖的趋势。

碳关税的提出，对我国的贸易，尤其是加工密集型企业的出口将产生不容忽视的影响。例如我国的纺织服装行业，在国内生产厂家中高碳排放的为多数，能够有碳减排意识的企业很少，倘若纺织服装产品出口至发达国家，很有可能成为被征收碳关税的对象。一旦如此，纺织服装生产企业中高碳排放的将面临很高的税收，直接增加了

出口成本。而当碳关税形成新的贸易壁垒之后,我国包括纺织服装行业在内的制造业有可能出口额会下降。对于还没有掌握具体规范的碳减排技术的企业来说,冲击是相当大的。因此形成我国自主研究的碳减排技术、对生产企业进行碳排放核算与评估十分重要。

2.1.2 碳足迹的定义

碳足迹(Carbon Footprint),是指企业组织、产品或个人的活动、通过交通运输、食品生产和消费以及各类生产过程等引起的温室气体排放的集合。对于某个产品而言,碳足迹就是产品或者工艺在整个生命周期中二氧化碳或其它温室气体的排放总量。一个产品的碳足迹是由各个过程汇总起来的,要进行碳减排,从每一个环节分别入手是一个理想合适的方法。

国家现在正在大力加强生态文明建设,绿色、低碳、环保也是当今生产企业的发展方向。要在保证质量、产品功能多样化、产品品质丰富的基础上,兼顾低碳环保生产过程,企业又要获得一定的利润,对于很多企业来说转变的跨度很大。除了节约能源、使用新能源、新材料以外,对于以前的旧技术进行革新,对于生产过程的方案进行调整,利用新方法对各环节进行碳排放评估也是众多企业追求的。

2.1.3 碳标签的使用

碳标签(Carbon Labeling),是为了减少温室气体排放,推广低碳排放技术,把商品在生产过程中所排放的温室气体排放量在产品标签上用量化的指数标示出来,以标签的形式告知消费者产品的碳信息。

有关这些概念的研究也不在少数,黄瑞、孙庆智等人根据碳排放展示形式^[39],可将碳标签分为低碳标志、碳得分、碳等级 3 种,并分别介绍了美国、香港地区、台湾地区、瑞士、德国、英国、法国、加拿大、日本、韩国的碳标签。黄文秀详细说明了法国实施的碳标签体系^[40],标签上除碳排放外还显示出其他的环境因素(如水排放)。此外,智利开发了葡萄酒、农产品的碳标签,泰国有减碳标签和碳排放标签,新加坡近年也发布了新加坡碳标签。2010 年 11 月,我国 11 家企业 292 种型号的产品通过了中国环境标志低碳产品认证^[41]。这些认证体系的出现使得全球碳排放评估逐渐完善并对企业和个人都提出了更高的要求。

2.2 碳排放核算标准

碳排放核算标准主要有温室气体议定书、PAS 2050 规范及 ISO14064 系列标准。

2.2.1 温室气体议定书(The Greenhouse Gas Protocol)

温室气体议定书（GHG Protocol，又称“GHG 议定书”），是由世界资源研究所(WRI)与世界可持续发展工商理事会（WBCSD）共同发起的，由企业界、非政府组织、政府等多方利益相关团体共同制定，目的为企业是开发一套国际认可的温室气体评价与报告准则，并可以在企业与组织间推广使用^[42]。GHG Protocol 是全球第一个温室气体核算标准，除了提供核算框架外，还为发展中国家提供了一套国际公认的管理工具，增加发展中国家的企业在全世界市场中的竞争力以及帮助他们的政府在气候变化方面做出明智的决策，同时也标志着全球企业量测及申报 GHG 排放量标准化工作的开始。新版的温室气体议定书的主要内容为清单编制目标及设计、设定组织边界、设立运营边界、跟踪长期排放量、识别与计算温室气体排放量、管理排放清单质量、核算温室气体减排量、报告温室气体排放量、核查温室气体排放量、设定温室气体目标等。温室气体议定书目前已被多个国际节能减排行动和包括壳牌、联合利华、宜家、IBM、福特、索尼等在内的 900 多家企业采用。

2.2.2 PAS2050：2008 标准

PAS2050：2008，即“商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范”，是由英国标准协会(BSI)、英国碳信托机构(Carbon Trust)和英国环境、食品与农村事务部(Defra)联合发布的，是一项公开可获取的独立的规范，主要用于计算产品和服务在整个生命周期内温室气体排放量^[43]。PAS2050 是第一部通过统一的方法评估组织产品生命周期内温室气体排放的规范，也是目前国际上唯一认可的对产品碳排放进行评价的标准，它对产品碳排放的定义、温室气体排放的相关数据以及如何评价产品的碳排放作了详尽的分析介绍。同时，PAS2050 还提供了使用指南：如何评价商品和服务的碳排放，指南中将碳排放评价分为了启动阶段、产品碳排放计算及后续步骤，并给出了服务示例和计算案例。PAS2050 规范的碳排放计算主要分为三个步骤^[44]：启动阶段，产品碳排放评价和后续步骤，计算的主要层面在于产品层面的各种碳排放，并不考虑

企业层面的排放。整个流程如下图 2-1:

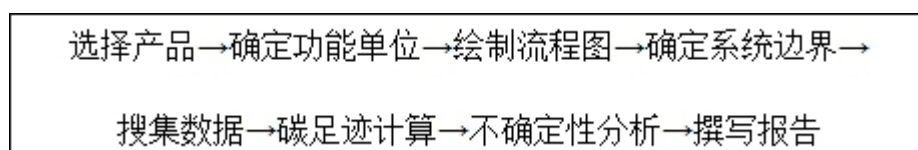


图 2-1 PAS2050 中规范的碳排放流程

尽管 PAS 2050 的目的是覆盖所有类别的产品和服务,但 PAS2050 仍然是一个针对消费品的评价方法,不适合于长寿命的产品。对产品使用过程的描述有限,没有提到回收的情况,对上游数据的要求很难适用在大量供应商身上。PAS 2050 中产品的碳排放的量化评价依赖于产品种类规则(PCR),目前虽然已制定了 73 类产品种类规则,但大多为食品、蔬果类产品,其他产品则需要另外寻找对应的方法。

2.2.3 ISO 14064 标准

ISO14064 是由来自 45 个国家的 175 位国际专家以及许多社会组织共同努力来完成的。该标准规定了国际上最佳的温室气体资料和数据管理、汇报和验证模式,由三部分组成,包括一套 GHG 计算和验证准则,确定了温室气体排放限值,量化组织的温室气体排放,规定了有关部门温室气体清单的质量管理、报告、内审及机构验证责任等方面的要求和指南^[45]。此外还阐述了实际验证过程,规定了核查策划、评估程序和评估温室气体等要素。

近年来 ISO 14067 标准草案也逐渐出台,发展目的是为提供产品温室气体于量化与沟通方面之要求事项,此标准分为两部分^[46]: ISO 14067-1(温室气体—产品碳排放—第 1 部分:量化)、ISO 14067-2(温室气体—产品碳排放—第 2 部分:沟通)。ISO 14067 国际标准是基于 PAS2050 为基础,将碳排放所需要评估的范围更加扩大纳入计算考虑,特别是产品废弃阶段,ISO 14067 特别要求将回收料件等处理与二次料加工都必须列入计算。如此才能完整计算到一项产品的从摇篮到坟墓:从原物料的开采,原物料加工成组件,零组件组装,产品运送到各零售商,产品使用阶段,产品废弃阶段的碳排放总量。表 2-1 中列出了 ISO 14064 标准三部分及 ISO 14067 的对比。

表 2-1 ISO 14064 标准三部分及 ISO 14067 对比

标准	说明
ISO14064—1: 2006	详细规定了设计，开发，管理和报告的组织或公司 GHG 清单的原则和要求。包括确定温室气体排放限值，量化组织的温室气体排放，清除并确定公司改进温室气体管理具体措施或活动等要求
ISO14064—2: 2006	讨论旨在减少 GHG 放量或加快温室气体的清除速度的 GHG 项目（如风力发电或碳吸收和储存项目）。 它包括确定项目基线和与基线相关的监测、量化和报告项目绩效的原则和要求
ISO14064—3: 2006	规定了核查策划、评估程序和评估温室气体等要素。 这使 ISO14064-3 可用于组织或独立的第三方机构进行 GHG 报告验证及索赔
ISO 14067	以 PAS 2050 为主要参考依据,包括量化、计算与沟通、标识两部分内容

2.2.4 各标准的对比分析

从 90 年代起，世界各国以及各个机构便开始注重全球碳排放日益严重的问题，并陆续发布相关的标准并出台各项政策，从 1998 年温室气体核算体系开始，至 2013 最新发布的 ISO14067 标准，全球碳减排的步伐始终没有停下，以上所介绍的各标准发布时间轴如下图 2-2 所示：

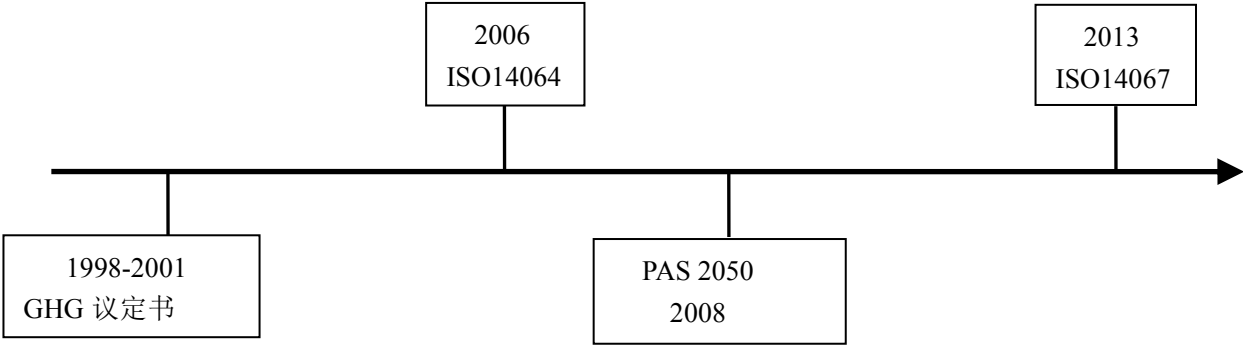


图 2-2 各标准发布的时间年线

国际上已有的这三个碳排放评估标准和规范其理论依据、针对目标、边界划分、数据采集等方面都有差异，但在实际使用过程中相互也有串通的地方，如 PAS2050 是专门针对产品和服务的碳排放进行评价，其原则包括相关性、完整性、一致性、准确性、透明性，这与 ISO 14064 中是一致的。而 PAS2050 和 GHG Protocol 虽然是分别从产品角度和企业角度进行碳排放的评估，但实际上都同时考虑了产品层面的排放信息，计算的过程中也均不包括与产品不直接相关的温室气体排放。GHG Protocol、PAS2050、ISO14064 的对比如下表 2-2。

表 2-2 GHG Protocol、PAS2050、ISO14064 比较

	GHG Protocol	PAS2050	ISO14064
目标对象	企业、项目	产品、服务	企业、项目
边界划分	按组织运行划分	按生命周期划分	按组织运行划分
参与对象	单个组织	多个供应链环节	单个组织
数据搜集	总能耗清单	各环节能耗清单	温室气体活动数据

2.3 碳排放核算方法

碳排放量揭示了人类活动对全球气候的影响，其量化方法主要采用碳排放核算。随着各国对碳排放问题的日益重视，近年来，出台了不少评价标准应用于企业 and 产品碳排放及碳排放评价方法，其中，生命周期评价法、投入产出法是现阶段主流的核算方法，已经逐渐应用于各行各业。

2.3.1 生命周期评价法（LCA）

生命周期评价（Life cycle assessment，即 LCA）是一种用于评价产品在其整个寿命周期中，即从原材料的获取，产品的生产、使用直至产品使用后的处置过程中，对环境产生的影响的技术和方法^[47]。环境毒理学和化学学会（SETAC）1993 年提出 LCA 方法的技术框架^[48]，将生命周期评价的基本归纳为四个有机联系的部分：目标和范围的界定、清单分析、影响评价、改善评价，四者关系如下图 2-3 所示：

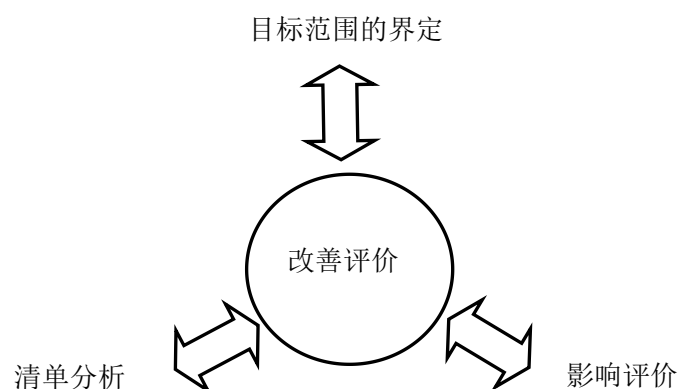


图 2-3 LCA 生命周期评价技术框架

生命周期评价首先是确定研究目的与界定研究范围，研究目的应包括一个明确的关于 LCA 研究的原因说明及未来结果的应用。研究范围则取决于研究的目的，范围界定的主要内容包括系统功能、功能单位、系统边界、环境影响类型、数据要求、假设及限制条件等。LCA 生命周期评价方法作为一种有着自身的特点^[49]。

（1）寿命周期评价面向的是产品或者产品系统。产品系统是指与产品生产、使用 and 用后处理的相关全过程，包括原材料获取、材料生产、产品制造、产品使用和废旧产品处理；

（2）寿命周期评价是对产品或服务从“摇篮”到“坟墓”的全过程的评价；

（3）应保证 LCA 方法学的开放性以便容纳新的科学发现与最新技术发展；

（4）LCA 研究不存在一种统一模式，组织应保持灵活性，按照 ISO 标准提供的原则与框架，并根据具体的应用意图和用户要求予以实施。

2.3.2 投入产出法（I-O）

美国经济学家 Wassily W. Leontief 教授在 1936 年提出投入产出法^{[50][51]}，即将相关部门在单位时期内的所有投入和产出列成表，运用数学模型，计算出消耗系数来进行经济分析和预测的方法，这也是目前比较成熟的分析方法。该方法统计直接生产部门的生产行为、为生产部门提供能源的能源企业生产行为以及生产环节中整个生命周期中的生产行为所产生的碳排放。

Matthews^[52]等人结合投入产出模型与生命周期评价法建立了投入产出一生命周

期评价模型，可用于评价家庭、工业企业部门以及其他组织的碳排放。其碳排放的计算分为三个方面：正常工作运转的直接碳排放计算；为正常工作运转提供能源的部门的直接碳排放计算；为正常工作运转提供支持的其他直接或间接碳排放计算。

2.3.3 碳排放计算器

碳排放计算器是网络上碳排放计算软件，常用来计算个人或家庭或运输工具 CO₂ 排放量，其计算方法简单，便于理解。目前网络比较流行的碳排放计算方法有^[53]：

家居用电的二氧化碳排放量(kg)=耗电度数×0.785；

开车的二氧化碳排放量(kg)=油耗公升数 ×0.785；

食肉的二氧化碳排放量(kg)=食肉千克数 ×1.24；

乘坐飞机的二氧化碳排放量(kg)：

短途旅行(<200km)：千米数 ×0.275；

中途旅行(200~1000km)：(千米数-200)×0.105+55；

长途旅行(>1000km)=千米数×0.139

2.3.4 各方法的对比分析

LCA 生命周期评价虽然已经发展了数十年，但仍然存在一些不足之处：缺乏标准化的生命周期清单分析方法（包括确定系统边界，数据选择标准，分析处理方法以及标准化的清单模型）；缺乏有效的标准化数据库等。此外，LCA 评价法在实际应用时由于数据的时间、空间跨度较大，最终的计算结果可靠性会因此受到影响；对于 LCA 排放源搜集并没有统一的方法，对计算结果产生的影响评价也没有统一的标准来参照，而核算碳排放的目的之一就是要对计算结果作出评价，从而进一步采取减排措施。

投入产出法也是比较流行的方法之一，但由于该计算方法是以部门模块化的方式进行统计，所以无法得到某个产品的碳排放值，一般适用于组织或行业的碳排放的计算，并不适用单个产品的碳排放计算。当涉及到某个领域的碳排放量时，数据会因为过多或者过大而降低可靠性。此外，由于工程量的巨大，很多数据无法获取而需要采用次级数据，次级数据是否适用于该计算方法仍然值得商榷。

碳排放计算器是流行于网络的计算方法。由于不同碳排放计算器的复杂程度和包含的项目不同，因此结果差别大，有时候甚至相互矛盾，在理论研究和实际应用上该方法用的很少，只能初步为大众提供一个自我评估的计算方法。

2.4 本章小结

本章主要回顾了碳排放相关概念、标准与方法，包括碳关税、碳足迹、碳标签等新兴词汇的概念和含义；对于常见的国际认可度较高的碳排放评价标准、规范以及方法的介绍和比较。本章的具体结论如下：

（1）碳关税和碳标签的提出和使用将会对我国纺织服装行业产生不容忽视的冲击，应对方法是企业进行技术工艺设备等方案的改革，通过建立起完善的碳减排机制或方法来降低企业的生产能耗，努力提高产品质量和标准，争取与国际标准接轨。

（2）温室气体议定书、PAS2050 以及 ISO 标准对碳排放核算的目标、对象、边界等都有不同的规定，每一种标准或规范有其自身的优势和不足之处，在选用时要注意对象的适用性和条件性。

（3）LCA 评价方法与投入产出法虽然是现阶段比较常用的两种方法，但在适用范围、数据获取、边界确定等细节方面仍然有很多模糊不定的地方。而碳排放计算器仅仅是个人进行计算的一个参考，没有系统的理论和依据。

第三章 服装生产过程碳排放要素分析

一件服装生命周期内的碳排放源包括原材料、生产加工、运输、使用和废弃几个部分,其中生产过程的碳排放占了整个生命周期碳排放的举足轻重的地位。生产环节的碳排放量涉及到的因素很多,在研究的过程中需要全面考虑,避免遗漏。不同的服装由于其生产过程各异,所产生的能耗也不一样,为了便于今后对更多类型的服装进行碳排放分析,本文现选取男衬衫、男西裤、女西裙这三种常见款式,对其生产过程进行分析。

在服装生产过程中,设备情况、设备利用率、生产方法、生产效率以及管理水平都对碳排放量有着至关重要的影响。不同的工作地流水线安排,不同的设备安放情况,或者工序编排的不同,生产同一种产品,所产生的碳排放量也是不一样的。即使是在相同流程的生产线上,由于生产效率的不同,能耗也会有相当大的区别。不同的工艺参数配置,设备的运转功率不同,生产能力不同,能耗也会不同。对生产环节进行碳排放计算的意义在于追求较高的管理水平、较高的生产效率,较低的能耗损失和碳排放,尽可能以同样的时间和资源来产出更高质量却更低碳的产品,以降低企业的生产成本,提高生产率。

3.1 服装生产流程组织

服装生产流程组织是对从布料进入裁剪车间、裁片进入缝制车、成品进入整烫车间直至包装成品所涉及到的所有技术内容进行分析、规划和安排使整个缝纫流程能顺畅且高效率、高质量地运行。分析服装生产组织有利于对碳排放过程中的排放因素进行进一步分析,排放量计算是基于生产过程安排的,对于不同组织方法的碳排放也可以进行比较探讨。

3.1.1 服装一般生产流程分析

服装生产具体过程由于款式各异而不同,但整体的流程却是相似的,服装生产主要由裁剪、缝制、整烫、检验、包装这几个环节组成,根据款式的不同在缝制环节的

流程会有所不同。通用流程分析的目的是对碳排放计算进行框架初步建立，对任何一种服装均可采用此流程进行碳排放计算。裁剪、缝制环节可分解为如下作业过程：

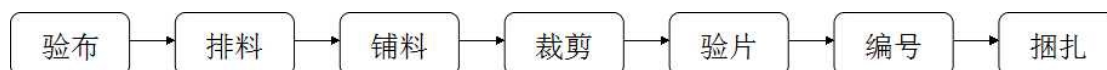


图 3-1 裁剪环节作业过程

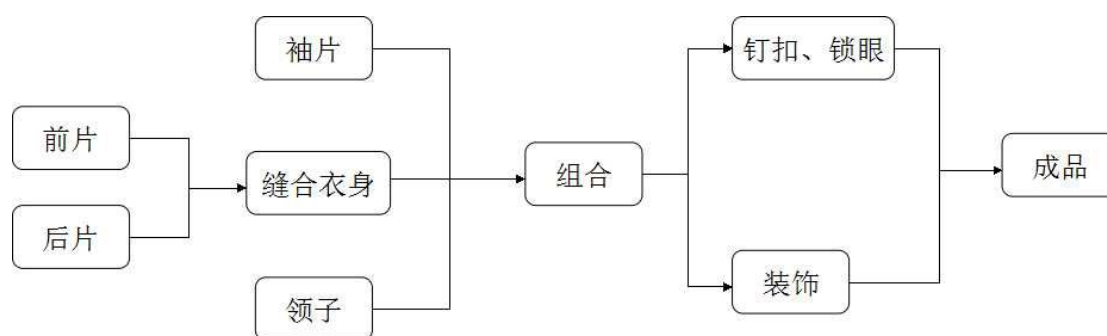


图 3-2 缝制环节作业过程（上装类）

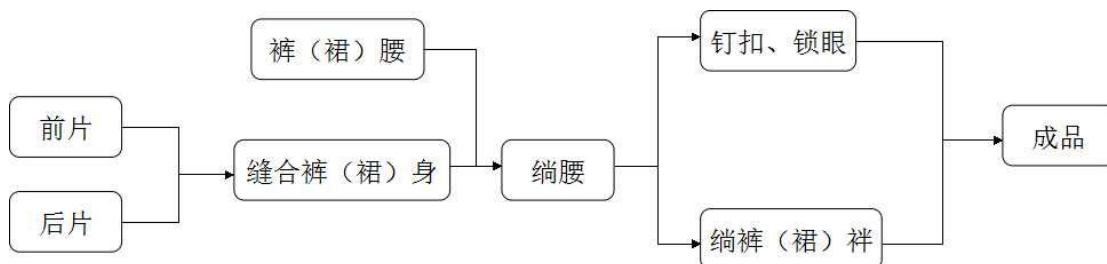


图 3-3 缝制环节作业过程（下装类）

3.1.2 生产线组织方式

在生产不同款式、批量或其他要求的服装时，生产线组织方式对生产效率有一定的影响，对整个生产过程的碳排放量控制也有很大影响。选用正确合适的生产线组织，会为企业降低生产成本，提高生产效率，甚至减小环境污染。目前，服装企业生产线的组织方式可以大致分为以下三种：产品流程组织，部件工序组织，产品工艺组织及

产品数量品种组织^[54]。

(1) 按产品流程组织, 就是根据产品工艺流程中加工的先后顺序来安排设备和工作地等。在生产过程中, 采用这种形式组织的生产线稍有不当, 则很容易发生中断, 对生产效率有很大影响。此外, 如果造成机器利用率不高, 机器空转时间增加, 也会相应增加能耗和排放。

(2) 按部件工序组织, 就是将产品加工分解为不同部件的加工, 每一个部件的加工设备和工作地组成一个区域, 所有工序集中在这个区域内完成, 构成生产线的支流, 然后再对各部件进行组合, 形成生产线的主流。这种生产线组织形式中产品的移动次数少, 是现在企业常用的方式之一, 生产周期也可以控制在较短的时间内, 具有较强的品种适应性, 本文的碳减排即在此组织方法基础上进行研究。

(3) 按产品工艺形式组织, 就是将使用相同设备的类似工序集中在同一个区域中进行。采用这种组织形式生产时, 会出现半成品在不同的加工区域之间进行往复移动的情况, 传递路线的重复会导致路程增加, 相应的时间、能耗也会增加。

(4) 按产品数量品种组织又可以分为单一品种大批量生产和多品种小批量生产。大批量生产是指每个工作地完成一道固定的工序, 完成一定的批量之后再传给下一个工作地完成另一道工序; 小批量生产是指几个工作地组成一个生产小组, 每个工作费需要完成多道工序。

这四种生产组织方式的特点如下表 3-1 所示:

表 3-1 生产组织方式特点比较

组织形式	特点
按产品流程组织	物料移动距离最短、生产周期短、生产管理简单方便、但一个环节出现问题会影响整条生产线、设备有可能得不到充分利用。
按部件工序组织	产品质量稳定、生产周期短、有很好的灵活性, 适应品种变换, 但需要较高的、多种加工技能
按产品工艺形式组织	设备利用率高、某个工作地出现问题不会对整条生产线造成影响、有利于专业化管理、生产组织和管理比较简单

	但需要较大的储存空间、物料移动距离长、生产周期长、一般只在局部按工艺布置设备。
单一品种大批量组织	机器和工作地位置固定，工人熟练度高，生产的产品质量相对稳定，但灵活性不强。
多品种小批量组织	组内工作地位置需要调整，生产品种多，生产周期短，在制品数量少，但对工人技术要求高，生产不稳定。

生产线组织方式的要求是以适合相应生产结构的生产方式为基础，将各种生产要素组合起来，对生产的各个环节进行合理安排，使其成为一种协调且平衡的作业方式。合理组织生产线，将有利于产品的制作工艺路线最短最优、加工时间最省，合理控制人流、物流和财流，在保证物品质量的情况下如期交货，这样的生产具有市场的竞争优势。服装生产设计的任务是对产品整个生产过程，包括从裁剪直至包装成品所涉及到的所有技术内容进行分析、规划和安排使整个生产过程顺畅且高效、高质地运行。根据表 3-1 所分析的内容，可以将几种组织形式组合运用，取长补短，组成适合产品的生产线。

3.1.3 流水线及工作地安排

在进行服装生产流水线及工作地安排之前，首先要分析生产的产品种类、作业人员数量、工作时间、预计产量等信息，根据以上条件及作业要求安排适合工厂实际情况的生产流水线。一条设计合理的流水线会使生产过程顺利、成本降低，对于生产过程碳减排，合理顺畅的流水线是基础条件。

工作地布置是流水线的重要技术内容，它的任务主要是根据组合工序的要求进行机械设各种类和位置的配置。一条运行顺畅的流水线除了工艺设计和人员的作业配合外，工作地组织得合理与否也是决定因素之一^[55]。

工作地设计应当充分考虑车间布置与工厂结构，以及产品种类和空间利用率作业与运送工具应配合得当，使物料在缝制工程中传递顺畅；设备种类、位置和数量以及工作地数应满足产品作业内容和生产节拍平衡的需要；设备的安放考虑到人员作业浮余内容的要求，根据人体工效原则设计作业员动作和作业空间；物料流动保证运送时

间和流动路线最短或降至最低限度,以提高生产效率;车间布置在工艺路线、原料出入和水电分布上应与工厂结构密切结合;工作地的配置要有一定的灵活性,以适应品种变化的需要;尽可能有效地利用空间,使车间的利用率达到最大。当车间的效率得到提高,设备运转率、人员作业时间、工序节拍、材料利用率等都会有大幅度的改良,而设备、材料、人员是碳排放核算研究的三大要素,这三项分别规划设计好后,企业的碳排放也会顺应减少。

表 3-2 常见工作地布置及特点

工作地平面类型	内容	特点
传送带式	用传送带作为衣片或半成品的传送方式,分为直线形和环形两种布置方法。	适合厂房面积大,生产批量大,加工品种稳定的企业,需要一定的设备投入量,环形比直线形空间利用率高。
模块式	每个工作地即一个模块,配置多台类型各异的设备。	适用于小批量、多品种的产品,但借助的吊挂传输装置要求较高。
集团式	成衣的各个部件分别由若干个专业加工组完成,最后集中缝合。	适合大批量生产,流水线的生产能力很大,但只适于加工品种稳定的产品。
吊挂传输式	加工过程中整个系统通过电脑或控制器控制每个吊架进行半成品和成品的传输。	适用于精益生产,能节省半成品传输的辅助作业时间,生产效率高,周期短,但系统的成本投入高,必须提高产品价值及降低劳动力成本。

传送带式系统是将制品放于输送箱内,借助皮带传输送到所需的工作位置,皮带输送根据生产需要设定,加工不会中断,有直线型和环形两种,如下图所示:

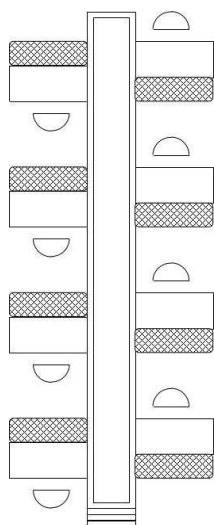


图 3-4 直线型皮带传输

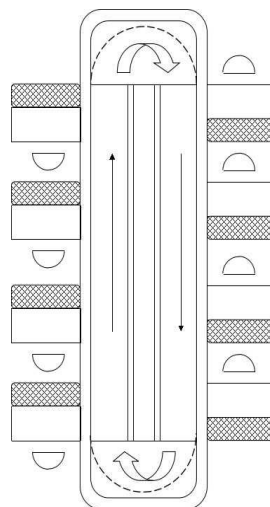


图 3-5 环型皮带传输

模块式系统是将不同设备、不同工艺组合在一个工作地，当一个工作地需要生产不同品种的产品时采用这种系统比较合适，但对作业人员的技术要求较高。小型定制加工企业常采用模块式系统。模块式系统如下图所示：

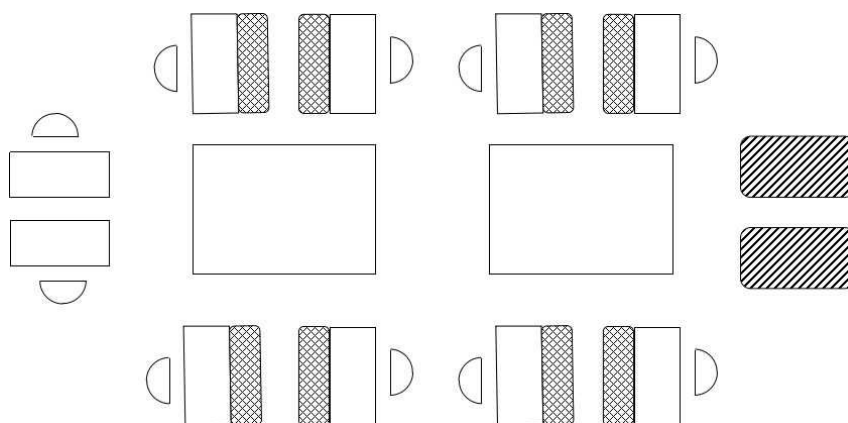


图 3-6 模块式系统

集团式系统通常加工工序多而不集中的产品，一般按照产品部件分为若干个组分别进行加工，加工部件完成后另外一组负责装配各个部件形成成品。有时候两个组会共用部分设备，如烫台等。集团式系统如下图所示：

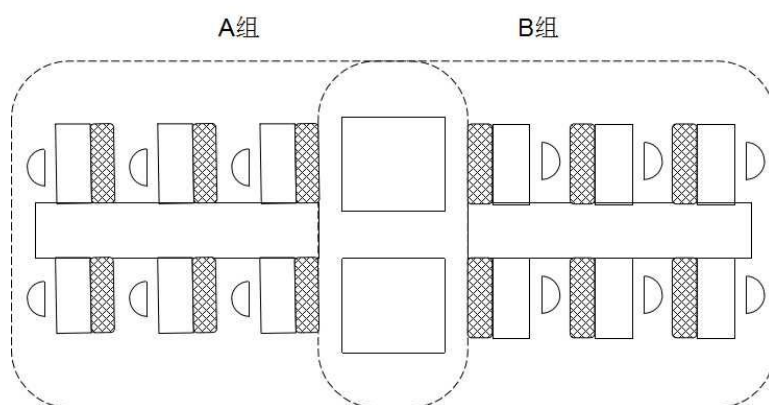


图 3-7 集团式系统

吊挂式系统是根据生产加工工艺的要求，自动将衣片、半成品及成衣按已经编排好的加工顺序输送到各个加工工位，并且直接输送到每个作业人员最方便的位置上。服装吊挂系统不受加工线路长短和加工位置排列的限制，系统可长可短，可高可低，可根据需要自由排列组合，灵活方便，是一种弹性组合系统^[56]。服装吊挂生产管理系统特别适合于各种需要连续加工的生产场合，可以在提高产品质量的同时降低返修率，减少半成品占地面积，为企业实现信息化管理提供必要的途径。其工位安排图如下所示：

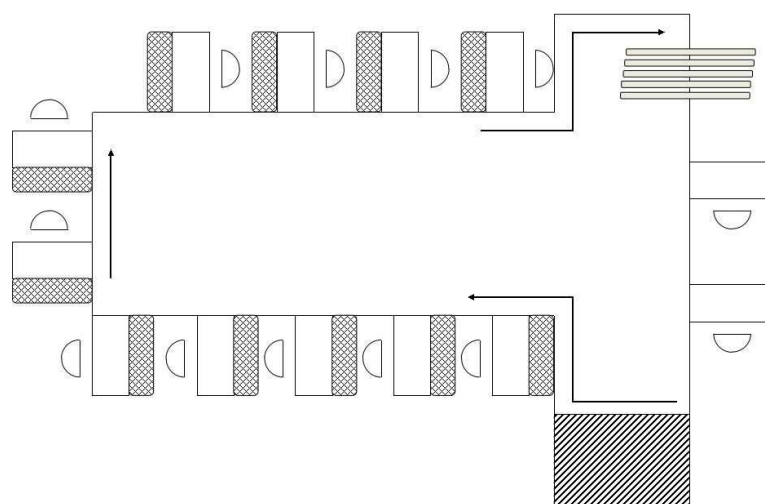


图 3-8 吊挂式系统

3.2 服装生产设备及工序分析

服装生产过程中每一个环节的碳排放都涉及到生产设备的能耗，而缝制环节中很大一部分便是服装生产工序的编排，为了探讨其对服装生产碳排放的影响，在本节中，

以男衬衫、女西裙、男西裤为典型，选用基本款式，分别进行生产设备及工序划分，在以后的计算中，可以以这几个款式为基础，根据实际情况进行适当的调整，从而为计算服装生产环节中的碳排放提供便利。

对服装进行工序分析是为了明确每一工序的加工方法及顺序，成为碳排放核算及优化的参考依据，成为生产设计的基础资料。工序分析的表达主要由以下几部分组成：工序符号，例如：加工、检验、停滞等；缝制符号，例如平缝、手工作业、特种机器作业等；图表表示，例如：半成品名称、作业时间、工序名称和设备名称等。在编排次序时，首先要确定衣片的组合数、组合次序及编排位置，由服装主要部位开始按顺序分析，编排顺序并列出作业时间表。

3.2.1 男衬衫生产设备及工序分析

男衬衫的款式有很多种，领型、袖长、门襟、下摆、口袋、育克等不同部位的款型使得男衬衫的生产流程会不同。一般来说，男衬衫可以分为休闲和正式两种风格，款式在细节之处略有不同，如领口、门襟、袖口和下摆等。而这些也是男衬衫缝制工序中的重点部位。休闲衬衫对面料要求不高，而正式衬衫则对色彩、面料、对条格都有较高要求。本文选取的男衬衫款型为：翻领、长袖、明门襟、下摆弧形、左胸口袋、肩育克两条明褶。具体款式如下图（图 3-9）：

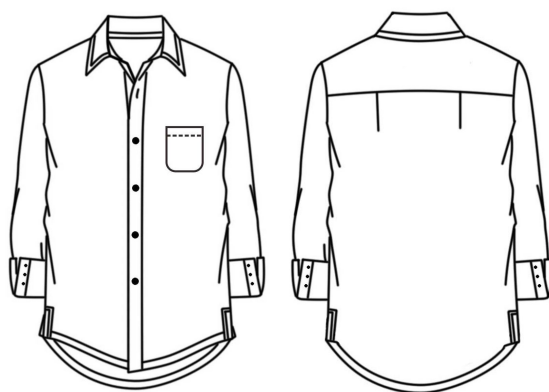


图 3-9 男衬衫款式图

男衬衫的缝制生产环节需要的设备有平缝机、包缝机、锁眼机、钉扣机、电熨斗、领角定型机、整烫机等。缝制男衬衫时，合理安排所用设备及工作地，尽可能平衡各个工作地的生产节拍，使每一台设备的效率达到最高，所产生的碳排放量就会较少。

下表（表 3-3）列出了男衬衫缝制生产的工序及对应设备功率。

表 3-3 男衬衫缝制生产的工序及对应设备功率

工序编号	工序种类	机械设备	功率 (kw)	作业时间 (s)
1	烫门襟、里襟	电熨斗	0.5	20
2	钉口袋	工业平缝机	0.37	25
3	钉商标	工业平缝机	0.37	20
4	锁门襟扣眼	平头锁眼机	0.36	18
5	拼接袖衩	工业平缝机	0.37	10
6	绱袖衩	工业平缝机	0.37	18
7	烫袖子	电熨斗	0.5	10
8	粘袖头衬	电熨斗	0.5	12
9	合袖头	工业平缝机	0.37	20
10	翻烫袖头	电熨斗	0.5	10
11	缉袖头上口明线	平缝自动剪线机	0.37	10
12	锁袖头扣眼	平头锁眼机	0.36	12
13	粘领衬	电熨斗	0.5	25
14	合翻领	工业平缝机	0.37	20
15	翻烫翻领	电熨斗	0.5	12
16	领角定型	领角定型机	0.5	8
17	缉翻领、底领明线	平缝自动剪线机	0.37	20
18	合翻底领	工业平缝机	0.37	12
19	缉底领下口明线	平缝自动剪线机	0.37	10
20	锁领头扣眼	平头锁眼机	0.36	3
21	绱过肩	平缝自动剪线机	0.37	20
22	合肩缝	平缝自动剪线机	0.37	25
23	绱袖子,合底摆缝	5 线包缝机	0.37	45
24	绱领子	工业平缝机	0.37	20
25	绱袖头	平缝自动剪线机	0.37	22
26	钉扣	钉扣机	0.25	24
27	整烫衣身	吸风整烫机	0.55	20

男衬衫生产的工序比较复杂，特别是现在衬衫品种越来越多，小批量生产也逐渐兴起，但是无论款式怎么变化，每款衬衫都由领子、前片、后片、袖子四大部分来组成，所以衬衫各部位的基本缝制工序还相对比较固定。分析工序时主要从前身、后身、袖子、翻领、底领、袖头这几个部位按顺序编排，主线为衣身，其余部件在适当的位置插入，图 3-10 为男衬衫工序流程图：

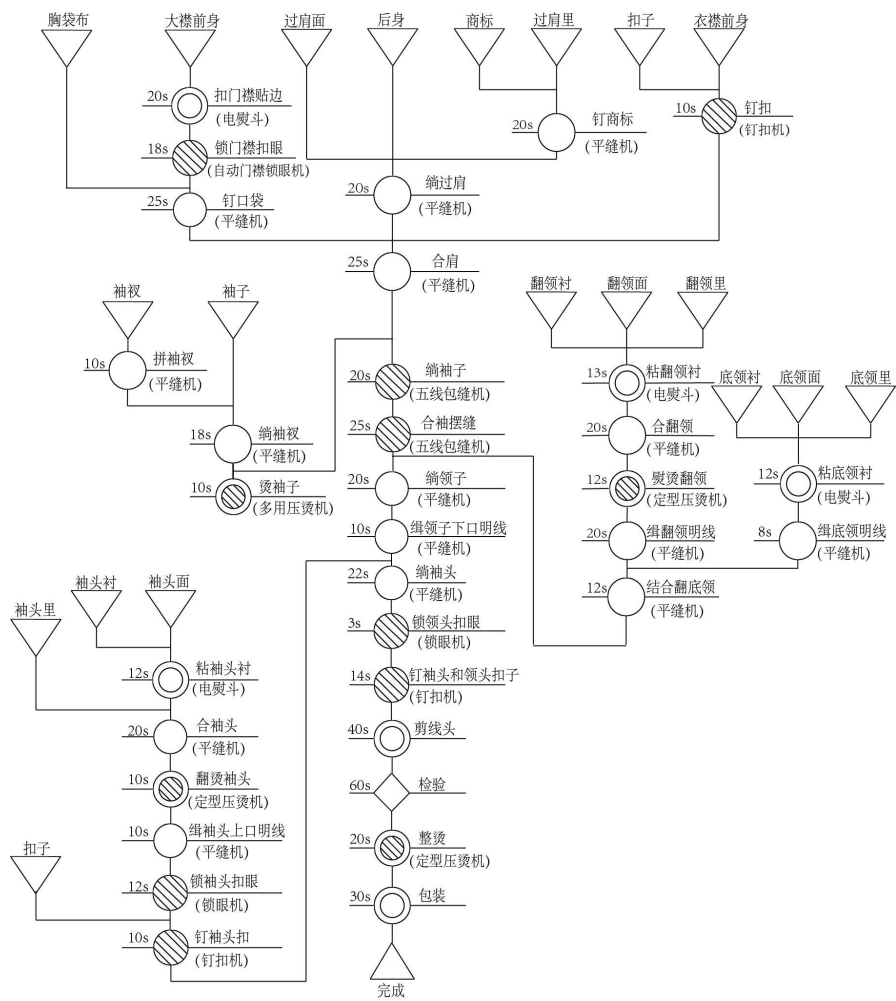


图 3-10 男衬衫工序流程图

3.2.2 男西裤生产设备及工序分析

男西裤的款式变化并不多，在款式上主要的变化在于腰头、口袋、裤型这三个要素。本文所分析的男西裤款式为窄腰头、直筒型。款式图如图 3-11 所示：

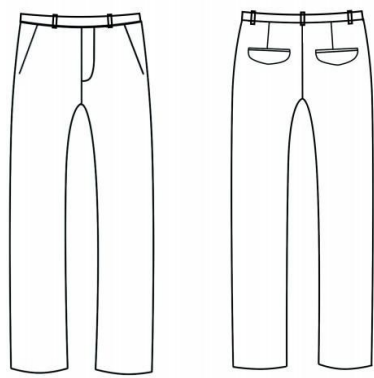


图 3-11 男西裤款式图

男西裤生产相关的设备主要有平缝机、自动开袋机、拉链机、电熨斗、包缝机、压烫机、锁眼机、钉扣机等。下表为男西裤缝制生产的工序及对应设备功率：

表 3-4 男西裤缝制生产的工序及对应设备功率

工序编号	工序种类	机械设备	功率(kw)	作业时间(s)
1	后袋垫布接缝	工业平缝机	0.37	20
2	缝后省	平缝自动剪线机	0.37	12
3	烫省	定型压烫机	2.5	18
4	开后袋	自动开袋机	0.6	10
5	分烫后袋嵌线	电熨斗	0.5	15
6	缝后袋贴边	工业平缝机	0.37	28
7	缝合后袋盖	工业平缝机	0.37	22
8	翻烫后袋盖	电熨斗	0.5	14
9	绱后袋盖	工业平缝机	0.37	20
10	缝后袋上嵌暗线、明止口	平缝自动剪线机	0.37	30
11	缝垫布	工业平缝机	0.37	24
12	缝内袋	工业平缝机	0.37	32
13	烫内袋	电熨斗	0.5	10
14	绱内袋	工业平缝机	0.37	22
15	缝斜袋口明止口	平缝自动剪线机	0.37	40
16	缝斜袋口	工业平缝机	0.37	14
17	粘门襟衬	电熨斗	0.5	12
18	缝门襟拉链	拉链机	1.1	20
19	缝门襟	平缝自动剪线机	0.37	42
20	封门襟止口	平缝自动剪线机	0.37	10
21	扣烫下档小布片	电熨斗	0.5	10
22	缝下档布片	工业平缝机	0.37	22
23	粘腰头衬	电熨斗	0.5	10
24	缝合腰头	工业平缝机	0.37	18
25	翻烫腰头	电熨斗	0.5	15
26	做裤带袷	平缝自动剪线机	0.37	60
27	前后裤片缝合	工业平缝机	0.37	48
28	分烫栋缝	定型压烫机	2.5	35
29	绱腰头、裤带袷	工业平缝机	0.37	54
30	缝裤钩	手工		30
31	缝裤口、底摆	5线包缝机	0.37	65
32	钉扣	钉扣机	0.25	10
33	锁扣眼	平头锁眼机	0.36	10
34	整烫	吸风整烫机	0.55	40

图 3-12 为男西裤工序流程图：

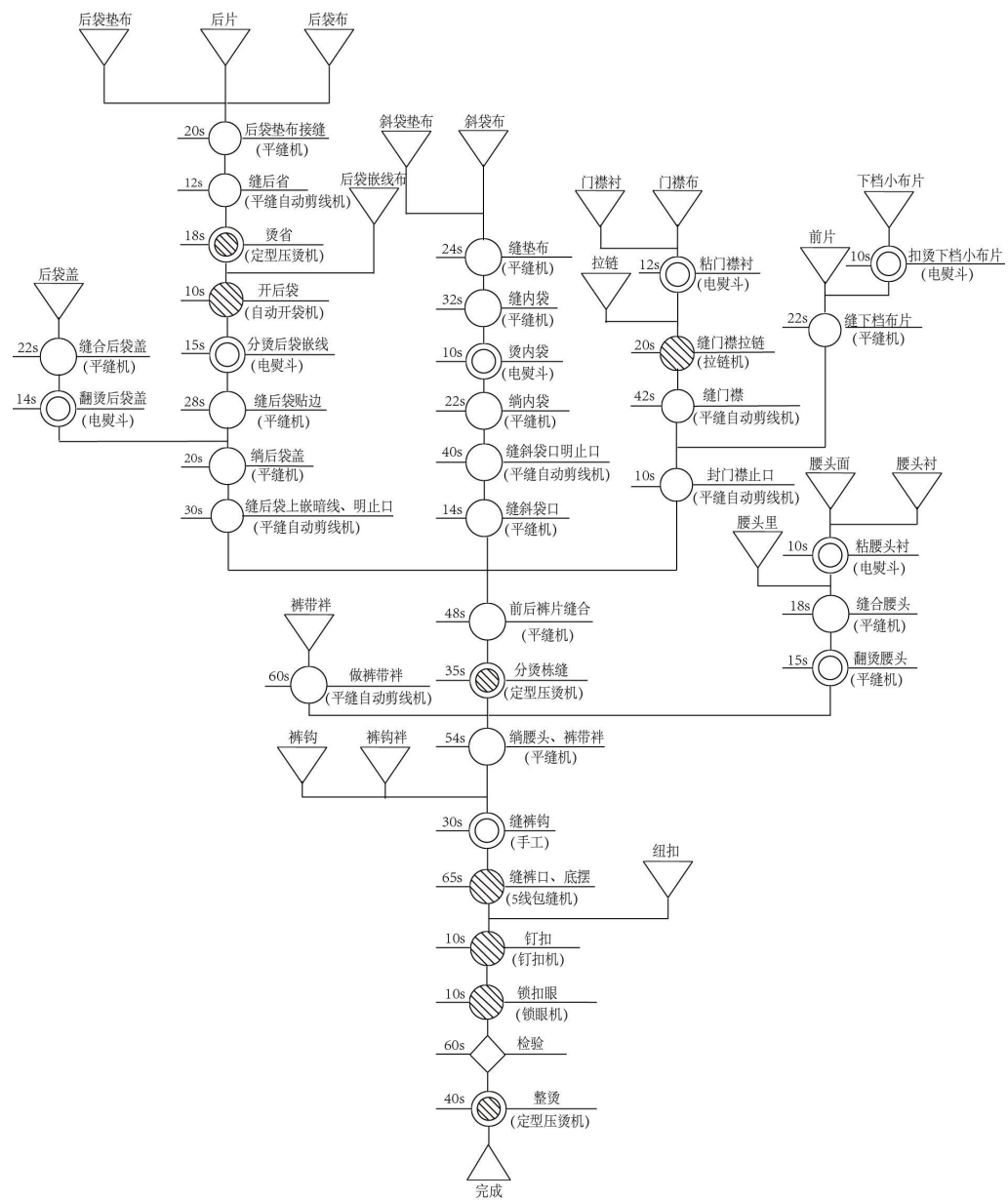


图 3-12 男西裤工序流程图

3.2.3 女西裙生产设备及工序分析

女西裙是女士西装套装中的一部分，相对男士西裤来说，女西裙的款式变化相对多一些，尤其在褶裥、开衩位置、开衩高低等位置变化为丰富。而从生产角度来说，女西裙的生产工序相对较少，所用生产设备和种类也较少。下图为本文所分析的女西

裙款式，腰头一粒扣、前后双省、后开衩，如图 3-13 所示：

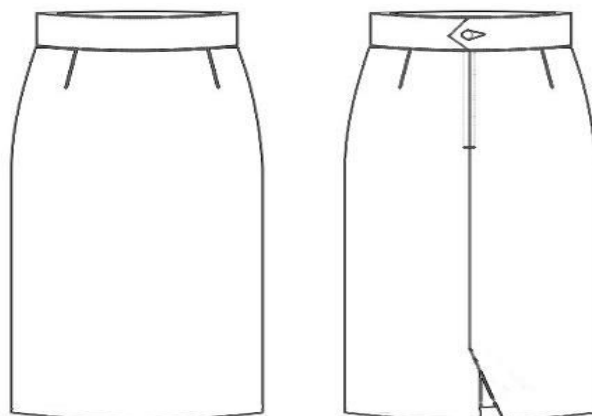


图 3-12 女西裙款式图

女西裙生产相关的主要设备有平缝机、包缝机、拉链机、电熨斗、定型压烫机、锁眼机、钉扣机等。下表为女西裙缝制生产的工序及对应设备功率：

表 3-5 女西裙缝制生产的工序及对应设备功率

工序编号	工序种类	机械设备	功率(kw)	作业时间(s)
1	包缝前片	5 线包缝机	0.37	20
2	包缝后片	5 线包缝机	0.37	20
3	前片缉省	平缝自动剪线机	0.37	15
4	后片缉省	平缝自动剪线机	0.37	15
5	烫省	电熨斗	0.5	8
6	后片缝合	工业平缝机	0.37	18
7	烫后中缝	电熨斗	0.5	12
8	绱拉链	拉链机	1.1	25
9	做后衩	平缝自动剪线机	0.37	40
10	粘腰衬	电熨斗	0.5	14
11	合缝腰头	工业平缝机	0.37	18
12	翻烫腰头	定型压烫机	2.5	15
13	合侧缝	工业平缝机	0.37	18
14	烫侧缝、下摆	定型压烫机	2.5	34
15	绱腰头	工业平缝机	0.37	30
16	锁扣眼	平头锁眼机	0.36	8
17	钉扣子	钉扣机	0.25	10
18	整烫	吸风整烫机	0.55	35

图 3-13 为女西裙工序流程图:

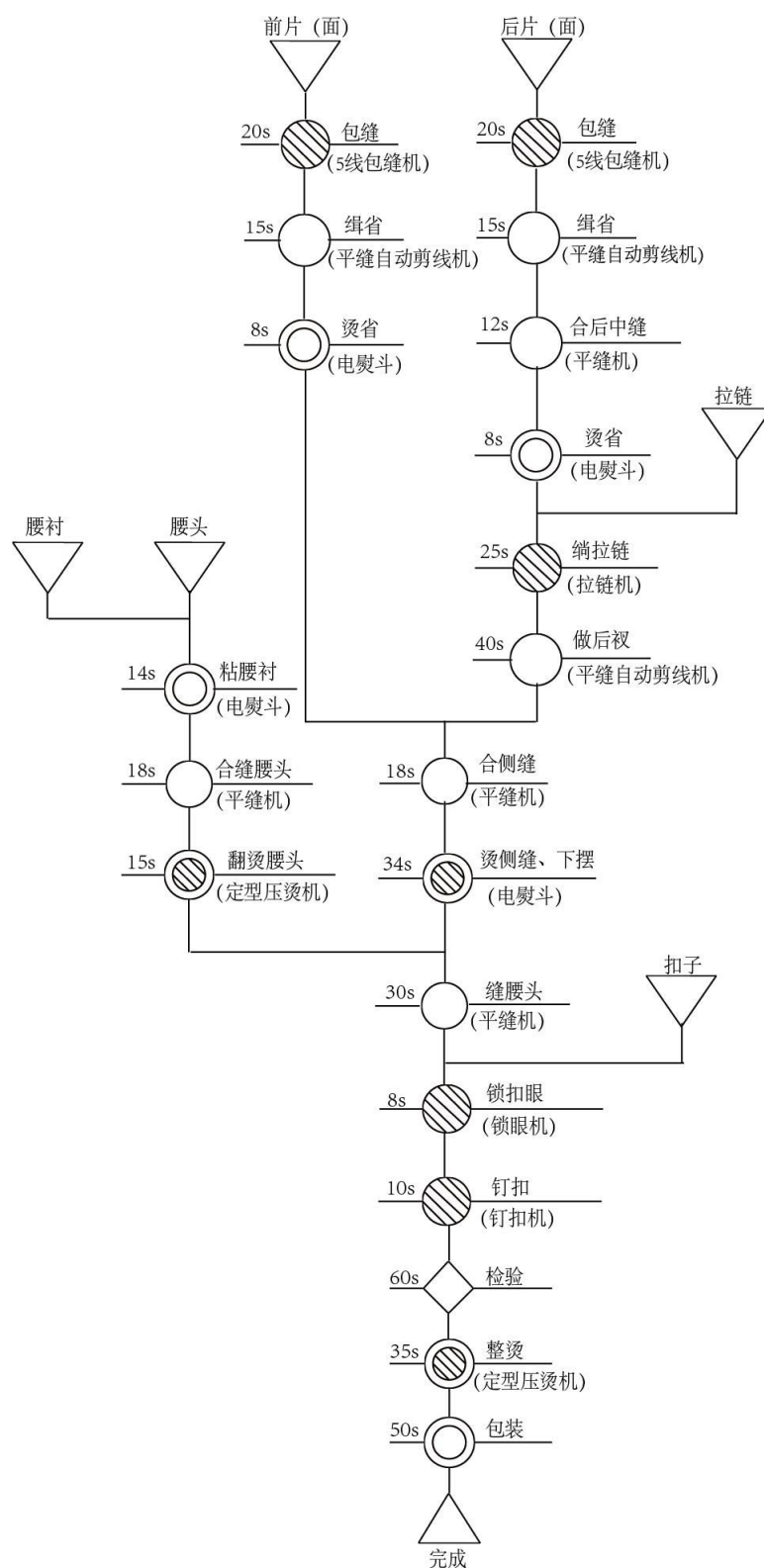


图 3-13 女西裙工序流程图

对以上几种常见服装款式的工序、设备、功率、作业时间等进行简述和分析，为今后分析其他变化款式提供参考基础和模板，以男衬衫为例的示例中，利用设备功率及作业时间等数据，结合相关碳排放规范和方法进行碳排放量核算。为工序编排优化、设备利用、工作地安排和传递路线的优化方案提供详细的数据，为进一步进行碳减排提供减排具体内容和方向。

3.3 本章小结

本章对于服装生产通用流程、生产组织方式、流水线和工作地安排等碳排放核算要素以及男衬衫、男西裤和女西裙三种常见款式服装的缝制工序、设备、作业时间等进行了详细的分析和探讨。具体结论如下：

（1）服装生产组织方式的种类多样，但结合不同款式、要求的服装以及生产线具体情况，需要有针对性的进行选择。按产品流程组织和按产品工艺形式组织只用于少部分生产流水线，产生的能耗相对于按部件工序组织和按产品数量品种组织而言较高。

（2）流水线和工作地的安排常见的有四种，其中传送带式与吊挂传输式为企业常用的两种方式，集团式与模块式是在特定的情况下选择使用较多的。传送带式与吊挂传输式均采用机械传输的方式，在一定程度上减少人力运输过程，提高生产效率，降低生产成本和能耗。

（3）男衬衫、男西裤与女西裙是服装款式中的基础款式，对其分别分析工序、设备、作业时间和缝制流程图可以为其他变化款式提供参照和模板。

第四章 服装生产过程碳排放计算模型

普通服装的生产过程分为裁剪、缝制、整烫、检验、包装这五个阶段。每个阶段均有不同来源的能耗输出，相应会产生不同的碳排放量。主要的碳排放来源有：各工序设备电能消耗、水能消耗、蒸汽量消耗、运输移动成品及半成品的能源消耗等。服装生产过程的碳排放属于 B2B（商业到商业）的模式，其整个过程仅包括材料由裁剪部门通过生产线到达检验包装部门，不包括额外的生产步骤、零售和消费者使用阶段。

4.1 服装生产环节碳排放计算准备过程

本文根据 PAS 2050:2008 标准，建立服装生产环节碳排放计算模型。主要由绘制产品生命周期的过程图，确认边界，收集数据，计算这四部分组成。过程图包括材料流、能量流和废物流；边界确定有助于进行下一步碳排放计算；数据搜集包括整个生产过程所有阶段的材料用量、活动和排放因子的数据。整体步骤过程图如下：

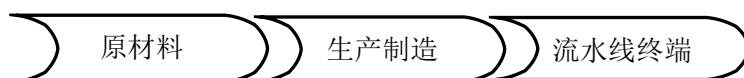


图 4-1 整体过程

4.1.1 服装生产过程图绘制

根据 PAS 2050:2008 标准，服装生产过程图绘制前期需要以下准备工作：

- 1.确定功能单位。过程图的绘制首先要定义功能单位。功能单位通常根据该产品如何消费来定，在服装生产中，功能单位可以定义为 X 件某某服装（例：1000 件男西装上装），X 的范围可以根据企业的日生产能力确定。

- 2.列出原材料的成分及比例。服装生产环节从裁剪开始，原材料包括生产该服装所用的布料、辅料、包装材料。布料应统计为生产某类服装所用的布匹种类，门幅，总长度及重量。裁片是经过排版之后从布匹上裁剪下来的，原材料的利用率与排版效率有很大关系，裁剪完毕之后，统计裁片种类、数量及重量，再与裁剪之前的布料总量比较可得出布料使用率和废弃布料用量。辅料包括服装生产过程中的缝纫线、衬料、拉链、花边、纽扣等使用量。包装材料包括包装塑料袋，纸箱，吊牌等。

- 3.列出生产该服装所涉及的流程。裁剪、缝制、整烫、检验、包装为主要的五个

环节，缝制工序最为复杂，需要根据服装类型绘制相应的生产工序图，细节部分包括裁剪、裁剪地至缝制地的运输、缝制、缝制流水线之间半成品的运输、缝制地至整烫地的运输、整烫、整烫地至检验地的运输、检验、检验地至包装地的运输、包装等。

4.考虑废物的产生和排放。每一个生产环节均会产生一定量的废弃物，包括裁剪环节剩余的碎布料、缝纫环节剩余的辅料、整烫环节蒸汽的排放、包装环节剩余的包装材料等。综上所述，服装生产过程图绘制如下：

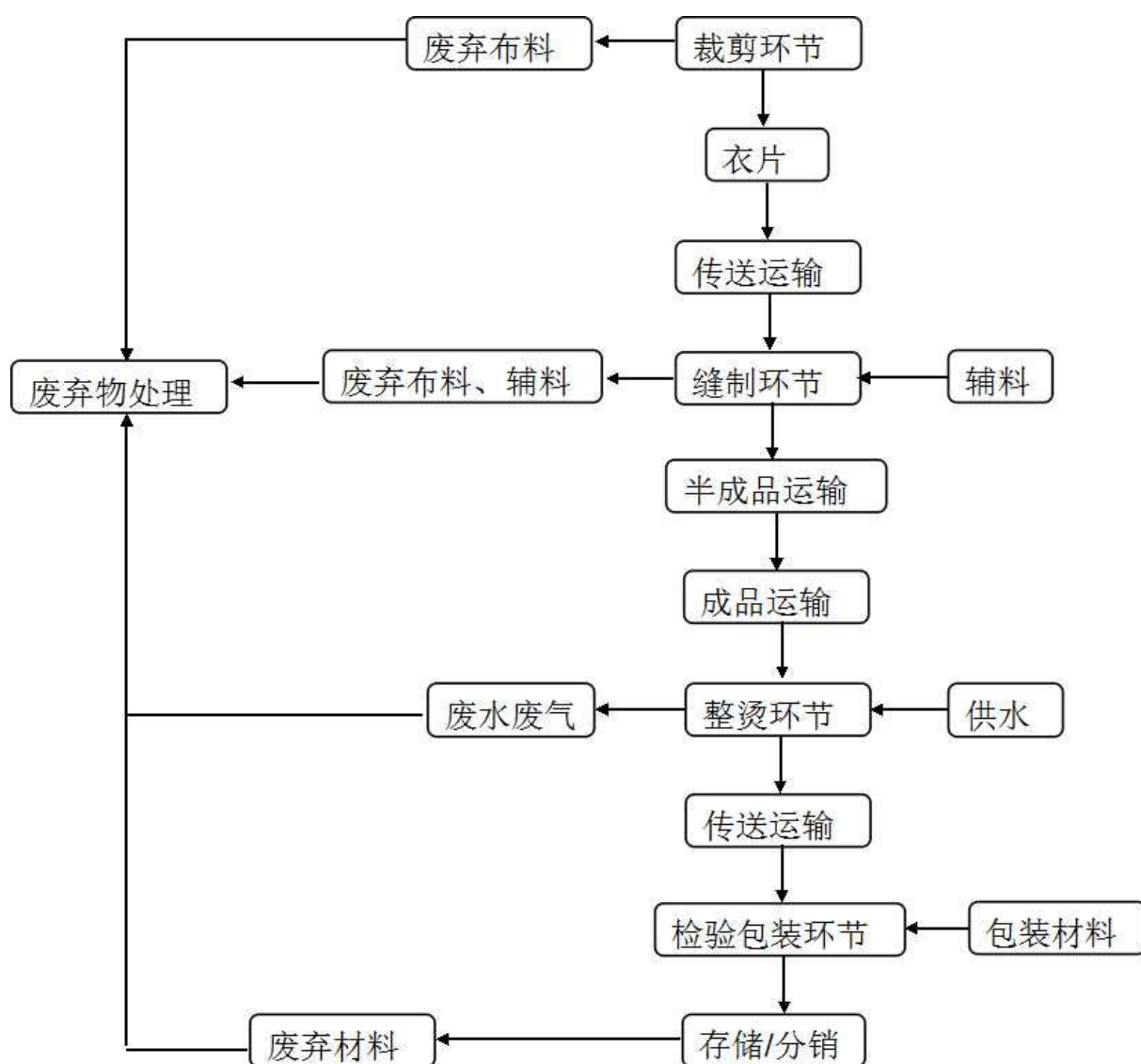


图 4-2 服装生产环节过程图

4.1.2 边界核查及优先序确定

绘制了相应的过程图以后，需要确定系统边界，系统边界定义了产品碳排放计算的范围，即哪些生命周期阶段、输入和输出宜纳入评估。由于研究对象为服装生产环节，不包括布料、辅料的生产，因此，核算范围不包括生产原料所产生的碳排放。此外，占排放总量不到 1% 的任何单一来源和生产过程中所采用的人力也不包括在核算范围内。应列入生命周期的碳排放有：

1. 所有生产过程；
2. 与生产有关的运输、存储；
3. 生产场地相关的排放；
4. 生产过程中产生的所有材料（包括产品、废弃物、废气废水等）。

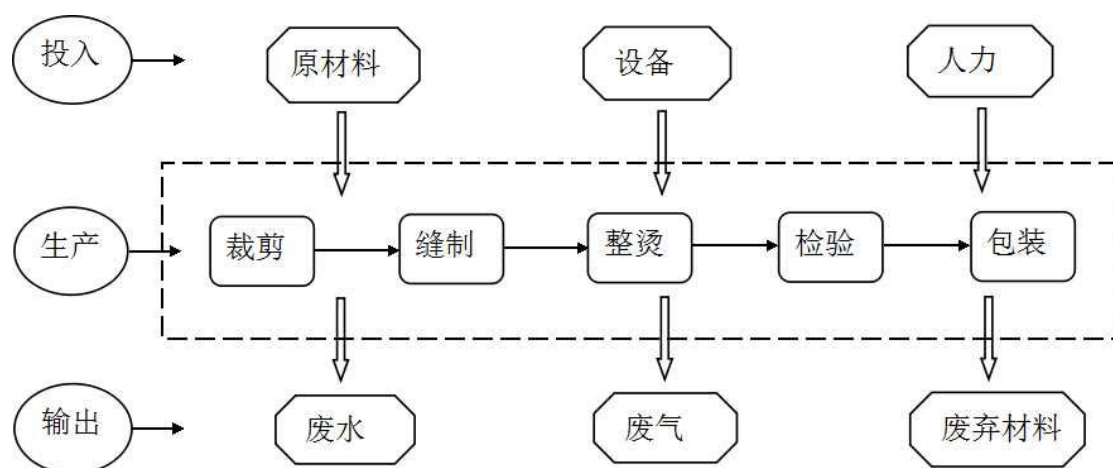


图 4-3 服装生产过程碳排放系统边界

在生产环节中，裁剪、缝制、整烫这三个环节为主要的排放源，对于这三个环节数据的搜集应给与较高的优先度。检验、包装为次要排放源，给与较低的优先度。此外，三个主要的环节中，裁剪设备的电能消耗、废弃物的排放为主要能耗，次要能耗包括与生产有关的运输，生产场地的照明、温度、环境等消耗。应优先搜集裁剪设备相关功率、使用时间、材料使用率、废弃物排放量等数据。

4.1.3 数据搜集

根据 PAS 2050:2008 规范，计算某服装生产过程的碳排放需要两类数据：活动水平数据和排放因子。活动水平数据是指服装生产环节涉及到的所有原材料和能源（物料投入和输出、能源使用、运输等）。排放因子是将这些数量转换成相当的温室气体排放量，即‘单位’活动水平数据排放的温室气体数量（如与电能中每千瓦时使用量相当的温室气体千克数）。这两类数据的来源主要为初级数据和次级数据。初级数据是在服装生产环节由企业或工厂内部对能耗所做的直接测量（如缝纫设备工作时间及功率大小）；次级数据是指不针对具体环节的测量，但是一种对同类过程或材料的平均或通用测量（如《中国能源统计年鉴》）。一般情况，优先使用或搜集初级数据，因为初级数据来源于工厂生产一线，是最准确的数据，初级数据可以使企业更好的了解内部生产情况，对碳减排等可以采取更有效的措施。凡无法获得初级活动水平数据或者初级活动水平数据质量有问题时，采用其它来源的次级数据。

为了进行全面的初级数据搜集，需要制定合理的数据搜集表，以便后续应用进模型时方便核查核对，通用生产系统数据搜集样表如下：

表 4-1 生产系统数据搜集样表

产品名称			工艺阶段			时间段	
	投入量（kg）		产出量（kg）		废弃物量（kg）		
布料							
	名称	型号	额定功率（kW）	有效功率（kW）	生产效率（件/小时）		
设备							
	用水量（t）		用电量（kWh）		蒸汽用量（t）		
能耗							
辅料用量	名称						
	消耗量(kg)						

在研究纺织品生产时，主要排放源为各种能源消耗，而能源消耗的碳排放因子属于次级数据，各类煤炭能源的碳排放因子核算整理如下：

表 4-2 各类煤炭类能源的碳排放因子^[57]

单位: $kgCO_2e/kg SCE$			
E_i	f_i	E_i	f_i
原煤	2.492	洗精煤	2.631
焦炉煤气	1.288	其他煤气	1.288
煤油	2.051	柴油	2.167
其他石油制品	2.126	天然气	2.162
热力	3.212	燃料油	2.219
焦炭	2.977	汽油	1.988
原油	2.104	液化石油气	1.828

4.2 碳排放计算模型建立

服装生产碳排放计算模型由裁剪、缝制、整烫、检验、包装环节分别建立，通过分析各个环节的碳排放源、所用设备及计算公式，先建立各个环节的碳排放计算模型，将能耗转换成二氧化碳当量，最终汇总成通用模型。本文将排放源分析分为材料消耗、设备能耗和人力损耗三部分，材料及设备均采用对应的碳排放量转换，由于目前对人力的碳排放没有统一的排放系数，本文建立一种人力碳排放系数 K 来代入模型计算。本文将人力劳动状态分为静态和动态两种情况，静态工作是指人静坐或站立情况下产生的活动，动态工作是指人行走或奔跑情况下产生的活动。设定工人在静态工作情况下每小时呼吸产生的碳排放量为 $K_1 kg$ ， $K_1(a_{min}, a_{max})$ ；在动态工作情况下每小时呼吸产生的碳排放量为 $K_2 kg$ ， $K_2(b_{min}, b_{max})$ 。 a_{min} , a_{max} , b_{min} , b_{max} 分别为静态工作和动态工作情况下的最小值与最大值。

4.2.1 裁剪环节碳排放计算模型

前文提到，服装裁剪环节主要有验布、排料、铺料、裁剪、验片、编号、捆扎。其中，验布、铺料、裁剪的主要碳排放源为设备能耗及废弃物排放。验布机、拉布机及裁剪设备大多为连续式工作设备，固定产量的耗电量估算公式为：

$$E_l = P_e \times t_p \quad (4-1)$$

式中, E_l 为连续式工作设备耗电量, kWh ; P_e 为设备的额定功率, w ; t_p 为单位产量的生产时间, h 。

此类生产设备在正常工作时, 通常处于满负荷状态。因此, 裁剪环节设备耗电量总量为验布机、拉布机、裁剪机的耗电总和, 所产生的碳排放量是设备能耗乘以电能的排放因子之和。估算公式如下:

$$C_l = \sum_{i=1}^n E_{l_i} \times f_e \quad (4-2)$$

式中, CF_l 为单位产量裁剪设备所产生的碳排放量, $kgCO_2$; E_{l_i} 为第 i 种连续式工作设备单位产量产生的耗电量, kWh ; f_e 为电能的碳排放因子, $kg CO_2e/kg SCE$ (SCE 为标准煤)。

验片、编号、捆扎在现在的服装企业中基本由人工完成, 这三项工作属于静态工作, 因此产生的碳排放量估算公式如下:

$$C_J = K_1 \cdot \sum_{u=1, r=1}^n t_u \times n_r \times N_r \quad (4-3)$$

式中, CF_J 为生产单位产量服装人在静态工作时呼吸产生的碳排放总量, $kgCO_2$; K_1 为人静态工作时每小时呼吸产生的碳排放量, $kgCO_2$; t_u 为工人做某项具体工序的时间, h ; n_r 为生产单位产量服装该工序重复的次数, 次; N_r 为相应工种的工人数量, 位。

在裁剪环节中, 主要废弃物为裁剪之后的剩余布料, 这些布料大多为排料之后的碎布, 无法回收或用于其他地方, 因此排料的效率和废布产生的碳排放量有很大的关系。排料效率越高, 布匹的利用率越高, 废布剩余就越少, 相应的碳排放量就越小。废弃布料的碳排放量估算如下:

$$C_2 = \left(\sum_{m=1}^n E_m \times f_m \right) \cdot (1 - \eta_m \%) \quad (4-4)$$

式中, CF_2 为单位产量服装产生的废弃布料碳排放总量, $kgCO_2$; E_m 为生产单位产量该布料所需的第 m 种能源的消耗量, $kg/kWh/L/km$; f_m 为对应的能源碳排放因子,

$kgCO_2e/kg/kWh/张$; $\eta_m\%$ 为对应布料种类的排料效率。

综上所述,裁剪环节的碳排放模型为:

$$C_c = f_e \cdot \sum_{i=1}^n p_{e_i} \times t_{p_i} + K_1 \sum_{u=1, r=1}^n t_u \times n_r \times N_r + (\sum_{m=1}^n E_m \times f_m) \cdot (1 - \eta_m \%) \quad (4-5)$$

式中各参数在上文均有说明。

4.2.2 缝制环节碳排放模型

服装生产的缝制环节中碳排放源主要有缝制设备的能耗、辅料的消耗、半成品和成品在工位之间的传送以及废弃物的排放和处理。

在生产过程中,很多缝制设备仅在有样品需要制作时工作,其余时间为空转时间,例如平缝机、包缝机、锁眼机、自动剪线机等,这样的设备为间歇式生产设备,单位产量的耗电量估算公式为:

$$E_j = P_y \times t_y + P_w \times t_w \quad (4-6)$$

式中, E_j 为间歇式生产设备的耗电量, kWh ; P_y 为有效工作功率, w ; t_y 为有效工作时间, h ; P_w 为空转工作功率, w ; t_w 为空转工作时间, h 。

此类生产设备在工作时,会有满负荷和空转两种状态。因此,缝制环节设备耗电量总量为这些设备的有效工作和空转的耗电总和,所产生的碳排放量是设备能耗乘以电能的排放因子之和。估算公式如下:

$$C_3 = \sum_{p=1}^n E_{j_p} \times f_e \quad (4-7)$$

式中, CF_3 为单位产量缝制设备所产生的碳排放量, $kgCO_2$; E_{j_e} 为第 e 种间歇式工作设备单位产量产生的耗电量, kWh ; f_e 为电能的碳排放因子, $kg CO_2e/kg SCE$ (SCE 为标准煤)。

辅料的消耗根据所生产服装款式不同有粘合衬、缝纫线、纽扣、拉链、花边、吊牌、其他装饰等,这些材料的碳排放因子分别为 δ_1 、 δ_2 、 $\delta_3 \dots \delta_q$ 。根据所搜集的数据,辅料消耗碳排放估算公式为:

$$C_f = \sum_{q=1}^n G_q \times \delta_q \quad (4-8)$$

式中， CF_f 为生产单位产量服装所消耗辅料产生的碳排放总量， $kgCO_2$ ； G_q 为生产单位产量的服装所需的各类辅料消耗量， kg ； δ_q 为相应辅料的碳排放因子， $kg CO_2e/kg$ 。缝制环节的主要碳排放源还包括服装部件、辅料等在工位之间的传递，按照如下所示图例安排工位：

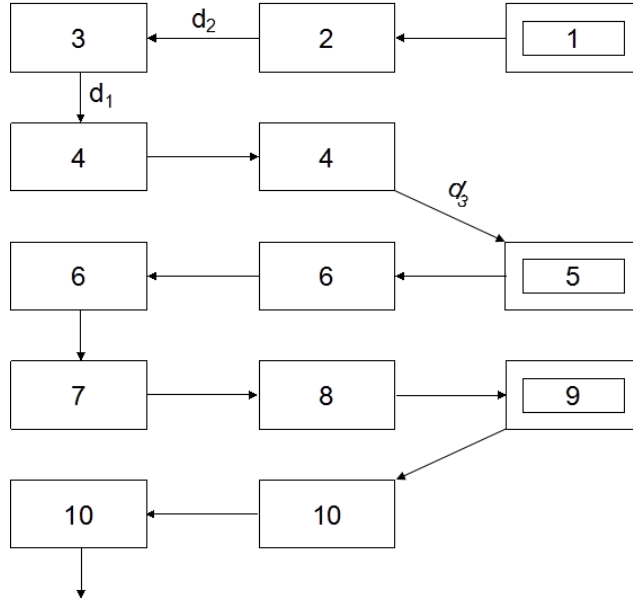


图 4-4 工位传递示意图

假设每个需要传递部件的相邻工位纵向间隔距离为 d_l ，横向间隔距离为 d_2 ，对角线间隔距离为 d_3 ，则需要传递的总路程即为：

$$L = \sum_{i=1, j=1}^n d_i \times N_j \quad (4-9)$$

L 为传递总路程， m ； d_i 为相邻工位间隔距离， m ； N_j 为同一间隔距离的个数。

传递形式分为机械式传递与人力传递两种，人力传递所产生的碳排放主要为人的呼吸，而机械传递所产生的碳排放主要为机器所耗的电能，本文中人力传递碳排放量设定为 $K_2 kg/h$ ， $K_2(b_{min}, b_{max})$ ，机械传递主要为推车，传送带等方式，在工位之间的传递所耗能量均与传递总路程及单位速度有关，部件传递消耗的碳排放估算公式为：

$$C_d = \begin{cases} K_2 \sum_{r=1}^n \frac{L_r}{v_r} \dots\dots \text{人力方式传递} \\ W_e \sum_{e=1}^n \frac{L_e}{v_e} \dots\dots \text{机械方式传递} \end{cases} \quad (4-10)$$

式中, CF_d 为人力传递所产生的碳排放量, $kgCO_2$; K_2 为动态工作情况下呼吸产生的碳排放量, kg/h ; L_r 为人力传递总路程, m ; v_r 为动态工作情况下人传递速率, m/h ; W_e 为机械设备额定功率, w ; L_e 为机械传递总路程, m ; v_e 为机械传递速率, m/h 。综上所述, 缝制环节的碳排放模型为:

$$C_F = f_e \sum_{p=1}^n (p_{y_p} \times t_{y_p} + p_{w_p} \times t_{w_p}) + \sum_{q=1}^n G_q \times \delta_q + (K_2 \sum_{r=1}^n \frac{d_r \times N_r}{v_r} + W_e \sum_{e=1}^n \frac{d_e \times N_e}{v_e}) + K_1 \sum_{u=1, r=1}^n t_n \times n_r \times N_r \quad (4-11)$$

式中各参数在上文均有说明。

4.2.3 后整理环节碳排放模型

在裁剪与缝制环节之后, 一项不可避免的环节即是后整理环节。通常意义的服装后整理包括整烫、检验及包装, 整烫环节主要的碳排放为蒸汽量, 由于整烫机的电能转化的蒸汽一部分用于成品半成品整烫, 另一部分蒸汽排入到空气中, 因此整烫环节的碳排放即可视为整烫机的耗电能量。除了整烫外, 后整理环节也涉及到传递运输, 所产生的碳排放量计算方式与上节相同, 见公式 4-9、4-10。最终将合格产品进行包装, 所产生的碳排放主要为包装材料, 计算方法见公式 4-8。综上所述, 后整理环节的碳排放模型为:

$$C_H = n \cdot P_z \times t_z \cdot f_e + \sum_{q=1}^n G_q \times \delta_q + (K_2 \sum_{r=1}^n \frac{d_r \times N_r}{v_r} + W_e \sum_{e=1}^n \frac{d_e \times N_e}{v_e}) + K_1 \sum_{u=1, r=1}^n t_n \times n_r \times N_r \quad (4-12)$$

式中, CF_H 为后整理环节产生的碳排放量, $kgCO_2$; n 为整烫机数量, 个; P_z 为整烫机功率, w ; t_z 为机器工作时间, h ; f_e 为电能的碳排放因子, $kg CO_2e/kg SCE$; K_2 为动态工作情况下呼吸产生的碳排放量, kg/h ; L_r 为人力传递总路程, m ; v_r 为动态工作情况下人传递速率, m/h ; W_e 为机械设备额定功率, w ; L_e 为机械传递总路程, m ; v_e 为机械传递速率, m/h ; G_q 为包装单位产量的服装所需的各类辅料消耗量, kg ; δ_q 为相应辅料的碳排放因子, $kg CO_2e/kg$ 。

4.3 生产环节碳排放计算案例

以上几节建立了服装生产环节的碳排放计算模型, 为了充分了解服装生产环节的碳排放及模型构建情况, 将以上模型应用到具体实践中, 同样将该案例的生产环节分

为裁剪、缝制、后整理三个阶段来分别进行计算，鉴于本文研究的主要为过程中的碳排放，因此，环节与环节之间的碳排放并未考虑在内。

4.3.1 案例概况分析

基于本章构建的生产环节碳排放计算模型，通过一个典型案例的分析对该模型进行示范。生产车间及过程总体情况如下所示，见表 4-3。

表 4-3 生产车间及过程总体情况

款式	男衬衫	面料	80%棉+20%涤纶	日产量	800 件
工作时间	8h/天	辅料	纽扣、粘合衬、缝纫线	铺料长度	1.2m
门幅	1.5m	包装材料	薄膜、纸箱（16 只）	排料效率	88.7%
纽扣重量	10g/件	衬料重量	12g/件	缝纫线重量	3g/件
薄膜重量	3g/件	面料重量	152.6g/m ²	纸箱重量	280g/只
工人数量	60 人（裁剪 6 人、缝制 42 人、熨烫 12 人）			机器空转功 率	1/3 额 定功率
所需设备 及数量：	验布机 1 台、拉布机 2 台、电剪 2 把、工业平缝机 26 台、平头锁眼机 2 台、钉扣机 2 台、5 线包缝机 4 台、电熨斗 7 把、吸风整烫机 2 台、领角定型机 1 台				
设备间距	横向：1m，纵向：支通道 1m，主通道 1.5m，斜向：1.4m				
设备布置	按照部件布置，分为衣身、袖片、衣领、组合部件四块安排				
传递方式	人力传递，速率为 1.5m/s				

男衬衫款型为：翻领、长袖、明门襟、下摆弧形、无口袋、肩育克两条明褶、门襟五扣、袖口三扣。具体款式如图 4-5：

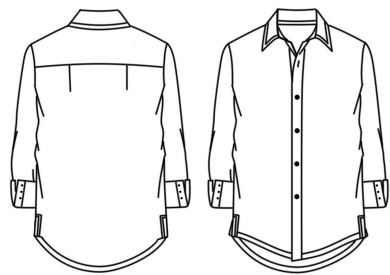


图 4-5 男衬衫款式图

生产设备布置图如下：

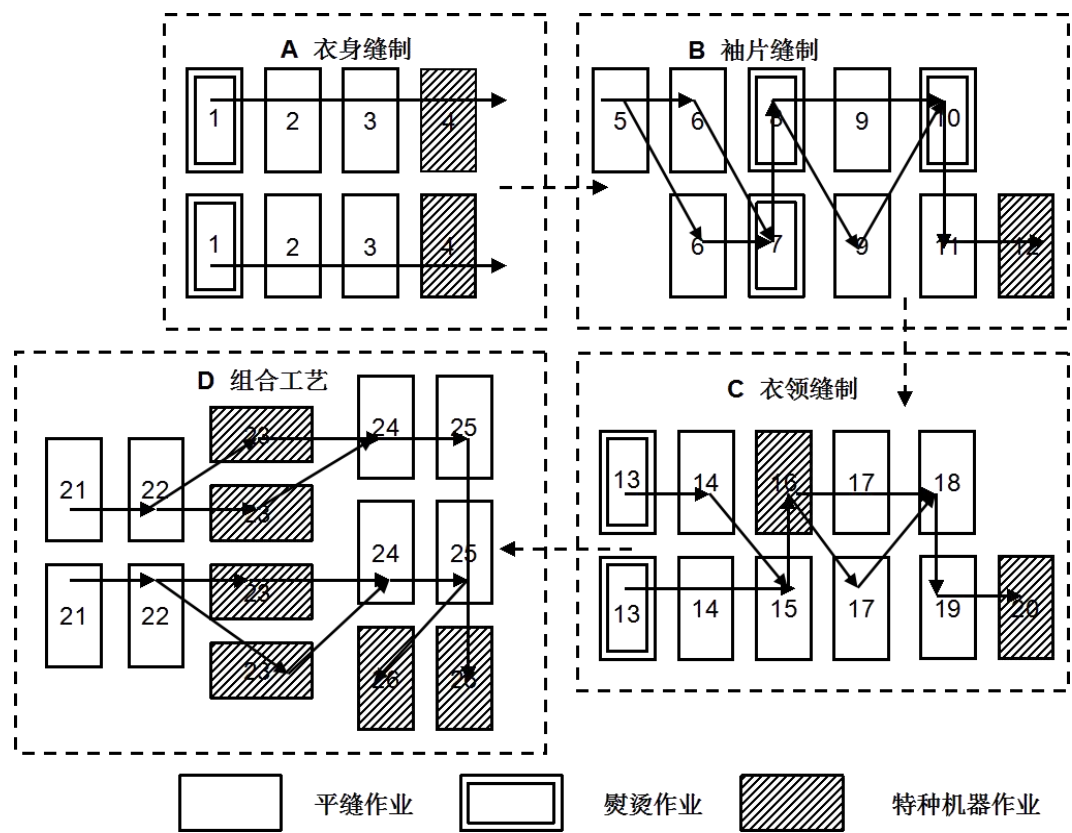


图 4-6 男衬衫生产设备布置图

此设备布置图按照部件缝制安置，图中箭头方向表示部件及半成品的传递路线，路线距离分为横向、纵向、斜向三种路径，分别计算每种路径的个数并做好记录，为计算缝制环节传输过程的碳排放做准备。

碳排放量的计算不可缺少的一块是生产设备的能耗，该款男衬衫生产的工序表及对应设备功率如下表 4-4。

表 4-4 男衬衫生产的工序表及对应设备功率

工序编号	工序种类	机械设备	功率 (kw)	作业时间 (s)
	裁剪工序			
	拉布	拉布机	1	1.5
	裁剪	电剪	0.7	20*10
	缝纫工序			
	衣身缝制			
1	烫门襟、里襟	电熨斗	0.5	20
2	钉口袋	工业平缝机	0.37	25
3	钉商标	工业平缝机	0.37	20
4	锁门襟扣眼	平头锁眼机	0.36	18
	袖片缝制			
5	拼接袖衩	工业平缝机	0.37	10
6	绱袖衩	工业平缝机	0.37	18
7	烫袖子	电熨斗	0.5	10
8	粘袖头衬	电熨斗	0.5	12
9	合袖头	工业平缝机	0.37	20
10	翻烫袖头	电熨斗	0.5	10
11	缉袖头上口明线	平缝自动剪线机	0.37	10
12	锁袖头扣眼	平头锁眼机	0.36	12
	衣领缝制			
13	粘领衬	电熨斗	0.5	25
14	合翻领	工业平缝机	0.37	20
15	翻烫翻领	电熨斗	0.5	12
16	领角定型	领角定型机	0.5	8
17	缉翻领、底领明线	平缝自动剪线机	0.37	20
18	合翻底领	工业平缝机	0.37	12
19	缉底领上口明线	平缝自动剪线机	0.37	10
20	锁领头扣眼	平头锁眼机	0.36	3
	组合工艺			
21	绱过肩	平缝自动剪线机	0.37	20
22	合肩缝	平缝自动剪线机	0.37	25
23	绱袖子,合底摆缝	5 线包缝机	0.37	45
24	绱领子	工业平缝机	0.37	20
25	绱袖头	平缝自动剪线机	0.37	22
26	钉扣	钉扣机	0.25	24
	整理工序			
27	整烫衣身	吸风整烫机	0.55	20

4.3.2 过程图及功能单位

过程图的目的是尽可能地将服装生产环节整个周期中所涉及的原料、活动和过程全部列出,为之后的计算做准备。男衬衫生产过程可以分为原料入厂、生产加工、检验包装、成品出厂,如图 4-7 所示。

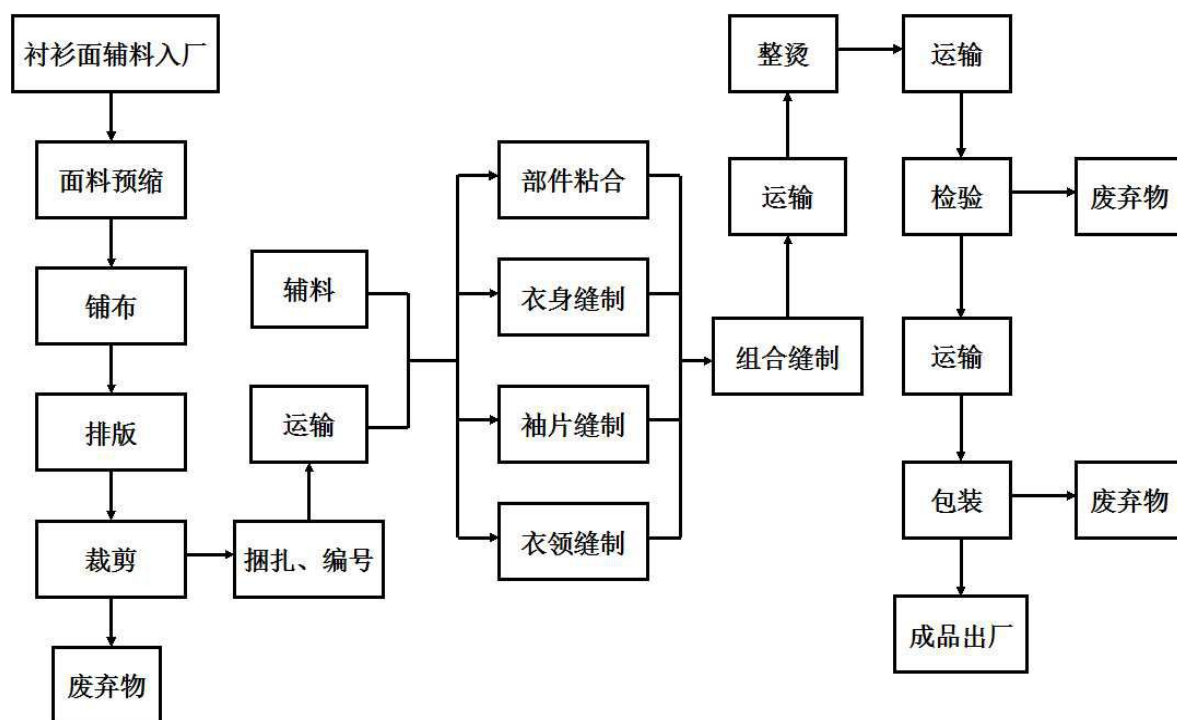


图 4-7 男衬衫生产过程图

功能单位是提供一个在数学意义上统一计量的输入与输出基准,它是整个过程碳排放计算的基准,本文中男衬衫生产过程碳排放计算采用的功能单位生产件数,为了方便研究,本文采用日产量 800 件男衬衫作为碳排放计算的功能单位。在上述的过程中图中包括了男衬衫生产环节所有的排放,但并不是所有的排放都必须纳入碳排放计算,边界核查将对碳排放小的一些流程省略。由于后整理环节的运输与生产场地有关、检验与产品种类、人员数量与安排有关、预缩与产品种类有关,因此将这三个部分产生的碳排放省略。

4.3.3 数据收集

数据收集是本文重点及难点。所有数据包括初级数据和次级数据,初级数据是直

接获得的数据，次级数据主要为排放因子数据。它们是碳排放计算的核心，在男衬衫生产过程中，一些初级数据较易获得，例如生产过程使用的水电、设备功率及工序时间等，而一些次级数据较难获得，例如原料中不同成分的排放因子，不同辅料的排放因子等。因此本文所用数据绝大部分为理论数据，有一部分是通过阅读大量文献得来，如部分材料的排放因子。

本文采用的水、电及其他部分生产相关材料的碳排放因子如下：

表 4-5 部分生产相关能源的碳排放因子^[58-61]

E_i	f_i	E_i	f_i
水	0.116kgCO ₂ e/kg	包装纸箱	1.038kgCO ₂ e/kg
电力	0.824kg/kWh	蒸汽	2.530kgCO ₂ e/kg
焚烧废物	0.917kgCO ₂ e/kg	填埋废物	0.015kgCO ₂ e/kg
PVC 薄膜	1.620kgCO ₂ e/kg	A4 打印纸	0.013kgCO ₂ e/张
纯棉织物	10.750CO ₂ e/kg	涤纶织物	25.701CO ₂ e/kg
塑料纽扣	20.136CO ₂ e/kg	树脂纽扣	23.806CO ₂ e/kg
铜纽扣	17.586CO ₂ e/kg	钢合金纽扣	15.596CO ₂ e/kg
铝合金纽扣	15.546CO ₂ e/kg	木纽扣	14.096CO ₂ e/kg
织标	45.863CO ₂ e/kg	印标	45.860CO ₂ e/kg
缝纫线	46.287CO ₂ e/kg	金属拉链	0.147CO ₂ e/kg
尼龙拉链	0.077CO ₂ e/kg	塑钢拉链	0.101CO ₂ e/kg

由于在进行数据搜集时，无法获得所有男衬衫生产中需要的所有材料的排放因子或对于某种材料无法追溯其细分材质种类，则将该材料各种已知材质下的数据结果求平均值即为该种材料的排放因子。此外，生产该男衬衫的详细数据见表 4-4 及 4-5，结合图 4.5 中的传递路程进行计算。

4.3.4 碳排放计算

基于本章所建立的碳排放计算模型及所收集数据，该案例中男衬衫生产环节碳排放计算结果如下表所示：

表 4-6 男衬衫生产环节碳排放计算结果 1

环节	理论公式	计算结果
裁剪	$CF_c = f_e \cdot \sum_{i=1} P_{e_i} \times t_{p_i} + K_1 \sum_{u=1, r=1} t_u \times n_r \times N_r + (\sum_{m=1} E_m \times f_m) \cdot (1 - \eta_m \%)$	367.094kg+178.445 K_1
缝制	$CF_F = f_e \cdot \sum_{p=1} (P_{y_p} \times t_{y_p} + P_{w_p} \times t_{w_p}) + \sum_{q=1} G_q \times \delta_q + (K_2 \sum_{r=1} \frac{d_r \times N_r}{v_r} + W_e \sum_{e=1} \frac{d_e \times N_e}{v_e})$	760.290kg+8.077 K_2
后整理	$CF_H = n \cdot f_e \cdot (P_z \times t_z) + (K_2 \sum_{r=1} \frac{d_r \times N_r}{v_r} + W_e \sum_{e=1} \frac{d_e \times N_e}{v_e}) + \sum_{q=1} G_q \times \delta_q$	244.633kg
合并	$CF_c + CF_F + CF_H$	1.374t+178.445 K_1 +8.077 K_2

上述计算结果中 K_1 、 K_2 为人呼吸产生的碳排放量，为了能够将结果进行定量比较分析，设定人在静止状态下每小时约呼吸 1200 次，每次排出 0.4L 空气，其中二氧化碳约占 4.4%^[62]，则人静止状态下每小时约排出 21.12L 的二氧化碳，通常情况下二氧化碳密度为 1.96g/L，因此约排出 0.041kg 的二氧化碳，即本文中 K_1 设定值为 0.041。设定人在运动的情况下每小时呼吸 1500 次，每次呼吸排出二氧化碳 0.5L 空气，其中二氧化碳约占 8%，则运动状态下每小时约排出 60L 的二氧化碳，重量为 0.12kg，即本文中 K_2 设定值为 0.12。代入上表结果中可得：

表 4-7 男衬衫生产环节碳排放计算结果 2

环节	理论公式	计算结果
裁剪	$CF_c = f_e \cdot \sum_{i=1} P_{e_i} \times t_{p_i} + K_1 \sum_{u=1, r=1} t_u \times n_r \times N_r + (\sum_{m=1} E_m \times f_m) \cdot (1 - \eta_m \%)$	374.410kg
缝制	$CF_F = f_e \cdot \sum_{p=1} (P_{y_p} \times t_{y_p} + P_{w_p} \times t_{w_p}) + \sum_{q=1} G_q \times \delta_q + (K_2 \sum_{r=1} \frac{d_r \times N_r}{v_r} + W_e \sum_{e=1} \frac{d_e \times N_e}{v_e})$	761.259kg
后整理	$CF_H = n \cdot f_e \cdot (P_z \times t_z) + (K_2 \sum_{r=1} \frac{d_r \times N_r}{v_r} + W_e \sum_{e=1} \frac{d_e \times N_e}{v_e}) + \sum_{q=1} G_q \times \delta_q$	236.400kg
合并	$CF_c + CF_F + CF_H$	1.372t

从表 4-7 中可见，男衬衫生产过程中缝制环节的碳排放量最大，是裁剪环节碳排放量的两倍多，而后整理环节的碳排放量最小，日产出碳排放量约为 1.372 吨。

4.4 本章小结

根据相关碳排放规范，本章通过对生产准备过程及各个环节进行详解和分析，以男衬衫为案例，分别从着重研究了男衬衫生产过程中裁剪环节、缝制环节以及后整理环节的设备能耗、传递能耗、材料使用及损耗等排放源，对每一环节建立计算模型，搜集相应的初级和次级数据后，将能耗转化为二氧化碳当量进行汇总计算。本章具体结论总结如下：

（1）生产环节碳排放模型主要由设备、传输、材料的消耗三部分组成，其中设备使用分为空转及满转两种情况，传输分为人力和机械两种方式，材料主要为服装辅料配料使用以及废弃材料。

（2）对计算模型进行汇总以后，以男衬衫为例进行案例计算，计算结果显示男衬衫生产过程中缝制环节的碳排放量最大，是裁剪环节碳排放量的两倍多，而后整理环节的碳排放量最小，日产出碳排放量约为 1.372 吨。

第五章 服装生产环节碳排放优化措施分析

由本文第四章可知,日生产 800 件男衬衫会产生约 1.372 吨的碳排放量,而用于生产的面辅料总重约为 239.744kg,碳排放量总重约为面辅料总重的 5 倍,看似没有很多直接温室气体排放的服装生产环节产生的碳排放量却不容小觑。本章将从服装工序及传输方式这两个方面的合理安排及优化,对男衬衫生产环节的碳减排效果进行分析和评价。

5.1 服装工序优化对碳排放量的影响

服装工序的优化是指在一般程序制定出的工序编排初步方案基础上,采用经验、技巧对部分不太合理、可操作性差或者是作业时间偏离平均节拍太大的工作地内容采取“取消”、“重排”、“合并”、“简化”等手段结合优化规则进行二度处理,使初步方案得到优化和完善,相应的流水线运行效果如编制效率、日产量、设备利用率、负荷平衡程度等进一步提高。

通过对服装企业流水线作业安排及执行情况的调查,以及详细分析生产状态下的各项工艺数据,可以总结出一些对原有方案起优化作用的改进经验和方法,这些方法在一定程度上可以提高日产量,缩短生产周期,提高生产效率。

5.1.1 男衬衫工序编排优化

为了探究工序编排优化对生产环节碳排放量的影响,本文以第四章案例中的男衬衫为例,对其缝制生产环节的工序进行编排及优化。该款男衬衫初始方案设置了 27 个工作地,45 个工位。该款男衬衫生产线的目标日产量为 800 件,每天的有效工作时间为 8h,则生产一件衬衫的理论节拍为 $P = \frac{8 \times 60 \times 60}{800} = 36(s/件)$,按照第四章中的工序表及设备安置图汇总成如下初始方案表,如表 5-1 所示。

表 5-1 男衬衫生产工序初始方案

工序编号	工序名称	标准时间 (s)	工位数 (个)	理论节拍 (s/件)
1	烫门襟、里襟	20	2	10
2	钉口袋	25	2	12.5
3	钉商标	20	2	10
4	锁门襟扣眼	18	2	9
5	拼接袖衩	10	1	10
6	绱袖衩	18	2	9
7	烫袖子	10	1	10
8	粘袖头衬	12	1	12
9	合袖头	20	2	10
10	翻烫袖头	10	1	10
11	缉袖头上口明线	10	1	10
12	锁袖头扣眼	12	1	12
13	粘领衬	25	2	12.5
14	合翻领	20	2	10
15	翻烫翻领	12	1	12
16	领角定型	8	1	8
17	缉翻领、底领明线	20	2	10
18	合翻底领	12	1	12
19	缉底领上口明线	10	1	10
20	锁领头扣眼	3	1	3
21	绱过肩	20	2	10
22	合肩缝	25	2	12.5
23	绱袖子,合底摆缝	45	4	11.3
24	绱领子	20	2	10
25	绱袖头	22	2	11
26	钉扣	24	2	12
27	整烫衣身	20	2	10
总计/均值		471	45	10.3

由于理论节拍远远大于工序中各个工序的标准作业时间，因此要对工序进行合并，使得合并后的各个工作地的工位作业时间等于或接近理论生产节拍，同时在进行工序合并中要注意两个原则：不同加工性质的工序不能合并，前后顺序冲突的工序不能合并。首先将使用相同设备的工序合并，为工序优化调整做准备，见表 5-2。

表 5-2 相同设备工序合并汇总表

工序号	使用设备	作业时间和 (s)	工位和 (个)
1、7、8、10、13、15	电熨斗	89	8
2、3、5、6、9、14、18、24	工业平缝机	145	14
11、17、19、21、22、25	平缝自动剪线机	107	10
4、12、20	平头锁眼机	33	4
16	领角定型机	8	1
23	5 线包缝机	45	4
26	钉扣机	24	2
27	吸风整烫机	20	2

由表 5-2 可以看出,平缝作业占据了作业时间的一半左右,因此在进行工序优化时主要为平缝作业的优化,但需要注意的是生产某一部件时一些工序的顺序不能随意调整。此外,使用不同设备的工序尽量也不要安排在一个工作地。根据以上原则,表 5-3 及 5-4 列出了两种新的方案。

表 5-3 工序优化方案 A

工作地	工序号合并	作业时间 (s)	工位数	理论节拍 (s)
1	2	25	1	25
2	3	20	1	20
3	5、6	28	1	28
4	9	20	1	20
5	14、18	32	1	32
6	24	20	1	20
7	11、25	32	1	32
8	17、19	30	1	30

9	21	20	1	20
10	22	25	1	25
11	1、7	30	1	30
12	8、13	37	1	37
13	10、15、16	30	1	30
14	4、12、20	33	1	33
15	23	45	2	22.5
16	26	24	1	24
17	27	20	1	20
总计/均值	27	471	18	26.4

表 5-4 工序优化方案 B

工作地	工序号合并	作业时间 (s)	工位数	理论节拍 (s)
1	2、3、5、6	73	2	36.5
2	9、14、18、24	72	2	36
3	17、19、21、22	75	2	37.5
4	11、25、23	77	2	38.5
5	1、7、10、15、27	72	2	36
6	8、13	37	1	37
7	4、12、20	33	1	33
8	16、26	32	1	32
总计/均值	27	471	13	35.8

由表 5-3 可知, 该生产线作业时间为 471s, 生产节拍为 26.4s/件, 瓶颈工序的节拍时间为 37s, 大于流水线的平均节拍 36s/件, 且每个工作地的理论节拍波动很大。为了验证方案是否适合用于实际生产线, 本文以编制效率来衡量。编制效率是用来表示作业分配平衡度的一个系数, 其值越大流水线的同步化程度越好, 生产效率也就越高, 一般服装企业要求工序编制效率达到 85%以上, 因此编制效率低于该值的工序安

排不适合用于实际生产。流水线的如下^[63]:

$$\eta = \begin{cases} \frac{P_i}{SPT} \times 100\% \dots\dots (P_i \leq SPT) \\ \frac{SPT}{P_i} \times 100\% \dots\dots (P_i \geq SPT) \end{cases} \quad (5-1)$$

SPT 为流水线平衡后的平均节拍时间, s; P_i 为瓶颈节拍, s。

初始方案中编制效率为 $\eta = \frac{12.5}{36} \times 100\% = 34.7\%$, 编制效率非常低, 流水线非常不平衡。

方案 A 的编制效率为 $\eta = \frac{26.4}{37} \times 100\% = 71.4\%$, 相比初始方案编制效率提高很多,

但不少工序的节拍与平均节拍的差异较大, 因此该方案并不适用于实际生产中。而由

表 5-4 可知, 方案 B 将工作地并为 8 个, 工位减少为 13 个, 虽然瓶颈工序节拍为 38.5s/件, 比方案 A 中的瓶颈工序还多出了 1.5s, 但各工作地的理论节拍与平均节拍差异较小, 其编制效率为 $\eta = \frac{35.8}{38.5} = 93.0\%$, 编制效率很高, 因此该方案适用于实际生产中。

5.1.2 男衬衫生产优化后碳排放量计算

优化后的方案 B 在编制效率上有了很大提高, 按照该方案的工序调整, 绘制相应的设备安置图如下图 5-1:

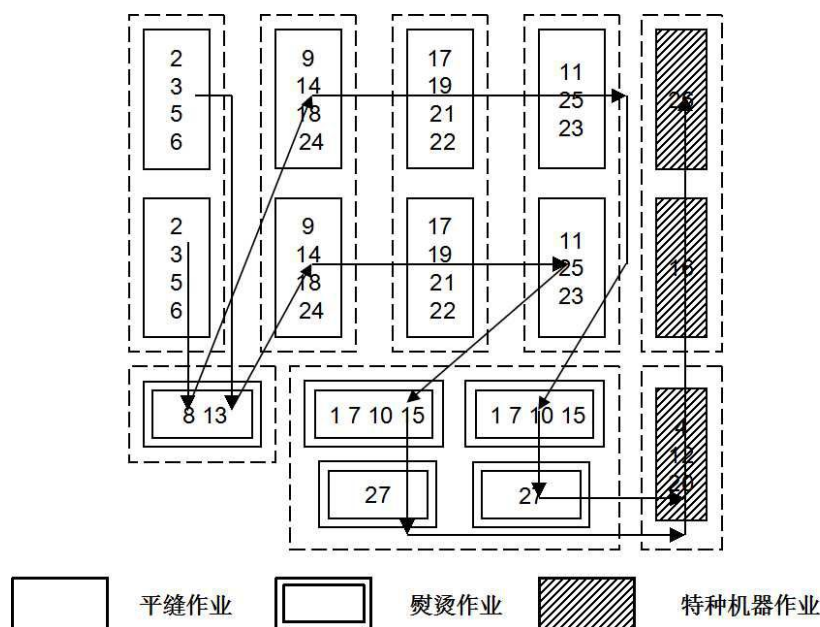


图 5-1 工序优化后设备安置图

在计算工序优化调整后男衬衫生产环节碳排放量时, 其计算模型、传输方式、过程图、功能单位、边界及基础数据均与优化前相同。根据以上设备安置图及工序优化,

男衬衫生产环节所用设备功率及工作时间表如下表 5-5 所示：

表 5-5 男衬衫生产环节所用设备功率及工作时间表

工序编号	工序种类	机械设备	功率 (kw)	作业时间 (s)
	裁剪工序			
	拉布	拉布机	1	1.5
	裁剪	电剪	0.7	20*10
	缝纫、后整理工序			
1	钉口袋、钉商标、 拼接袖衩、绱袖衩	工业平缝机	0.37	73
2	粘袖头衬、粘领衬	电熨斗	0.5	37
3	合袖头、合翻领、 合翻底领、绱领子	工业平缝机	0.37	72
4	缉翻领、底领明线、 缉底领上口明线、 绱过肩、合肩缝	平缝自动剪线机	0.37	75
5	绱袖头、缉袖头上 口明线、绱袖子， 合底摆缝	平缝自动剪线机 5 线包缝机	0.37 0.37	77
6	烫门襟里襟、烫袖 子、翻烫袖头、翻 烫翻领、整烫衣身	电熨斗 吸风整烫机	0.5 0.55	52 20
7	锁门襟扣眼、锁袖 头扣眼、锁领头扣 眼	平头锁眼机	0.36	33
8	领角定型、钉扣	领角定型机 钉扣机	0.5 0.25	8 24

根据上表中数据及第四章中其他未发生变化的数据，优化后碳排放量计算结果如下表 5-6 中所示：

表 5-6 工序优化后男衬衫生产环节碳排放计算结果

环节	理论公式	计算结果
裁剪	$CF_c = f_e \bullet \sum_{i=1} P_{e_i} \times t_{p_i} + K_1 \sum_{u=1, r=1} t_u \times n_r \times N_r + (\sum_{m=1} E_m \times f_m) \bullet (1 - \eta_m \%)$	374.410kg
缝制	$CF_F = f_e \bullet \sum_{p=1} (P_{y_p} \times t_{y_p} + P_{w_p} \times t_{w_p}) + \sum_{q=1} G_q \times \delta_q + (K_2 \sum_{r=1} \frac{d_r \times N_r}{v_r} + W_e \sum_{e=1} \frac{d_e \times N_e}{v_e})$	754.065kg
后整理	$CF_H = n \bullet f_e \bullet (P_z \times t_z) + (K_2 \sum_{r=1} \frac{d_r \times N_r}{v_r} + W_e \sum_{e=1} \frac{d_e \times N_e}{v_e}) + \sum_{q=1} G_q \times \delta_q$	236.400kg
合并	$CF_c + CF_F + CF_H$	1.365t

5.1.3 优化效果分析

经过工序优化后的男衬衫生产环节碳排放计算结果为 1.365 吨，比优化之前减少约 7kg 碳排放量。裁剪和后整理环节均相同，在未减少工序的情况下，合并工序调整生产节拍，使得生产过程中机器的空转率大大降低，提高了机器的使用效率，仅在缝制环节就减少 7kg 碳排放。缝制环节优化前后参数对比如下表 5-7：

表 5-7 男衬衫缝制环节优化前后参数对比

	工序数 (个)	工位数 (个)	工作地 数(个)	编制效 率(%)	碳排放 量(kg)	横向传 输次数	纵向传 输次数	斜向传 输次数
优化前	27	45	27	34.7	761.26	22	16	4
优化后	27	16	8	93.0	754.07	7	8	4

根据上表数据，优化前后的工序数没有合并或删减，而是仅采取了合并的办法进行优化，工位数、工作地数、传输次数均有大幅度减少，编制效率大幅度提高，相应的碳排放量也降低，但碳排放量并没有大幅度降低，主要是由于以下原因：工序数没有减少，因而所用的设备没有减少，工作时间也没有减少，工序仅仅进行了合并优化，而缝制生产环节碳排放量主要为设备能耗及成品、半成品传输，传输过程所消耗的人力占比很小。无论生产何种款式的服装，要使缝制环节碳排放量的降低，必须首先对缝制工序进行优化编排。

5.2 服装生产传输方式对碳排放量的影响

本文第三章中已经介绍了不同的工作地布置方式及部件传输方式，其中服装生产传输方式主要有普通人力传输、传送带传输及吊挂系统传输。这三种传输方式是由纯手动至全自动传输的演变，而如今为了适应不同的生产需求，很多企业采用了若干种传输方式相结合的方法，服装企业的生产效率有了一定程度的提高。为了研究服装生产传输方式对碳排放量产生的影响，本文以男衬衫生产为例，对普通人力传输及传送带方式传输对生产环节碳排放量产生的影响进行探讨分析。

5.2.1 人力传输方式分析

在许多服装企业的生产环节中，由于空间、资金等因素，人力传输是主要的传送方式。人力传输的特点是便捷灵活，但也会导致生产效率低、劳动力损耗大等问题。人力传输方式产生的碳排放主要为人运动呼吸排放，本文已将人力劳动状态分为静态和动态两种情况，静态工作是指人静坐或站立情况下产生的活动，动态工作是指人行走或奔跑情况下产生的活动。设定工人在静态工作情况下每小时呼吸产生的碳排放量为 $K_1\text{kg}$ ， $K_1(a_{\min}, a_{\max})$ ；在动态工作情况下每小时呼吸产生的碳排放量为 $K_2\text{kg}$ ， $K_2(b_{\min}, b_{\max})$ ，人力传输属于运动状态，因而碳排放量为 $K_2\text{kg/h}$ 。

以图 5.1 中的男衬衫生产设备安置图为例，对该方案的传输过程产生的碳排放进行量化计算，表 5-7 中已列出了横向、纵向、斜向传输路线的次数，第四章中已介绍本文中 $K_2=0.12\text{kg/h}$ ，传输速度为 1.5m/s ，横向距离 1m ，纵向距离 1m ，斜向距离 1.4m 。由公式 4-10 可得：

$$CF_r = K_2 \sum_{r=1} \frac{L_r}{v_r} = 0.46\text{kgCO}_2e$$

因此，男衬衫生产缝制环节单个循环人力传输碳排放量为 0.46kgCO_2e 。

5.2.2 传送带传输方式分析

传送带传输主要分为直线型传输和环形传输。传送带传输适生产批量大，加工品种稳定的企业，需要一定的设备投入量。以图 5-1 中的设备安置图为基础，设计传送带传输路线如图 5-2 所示：

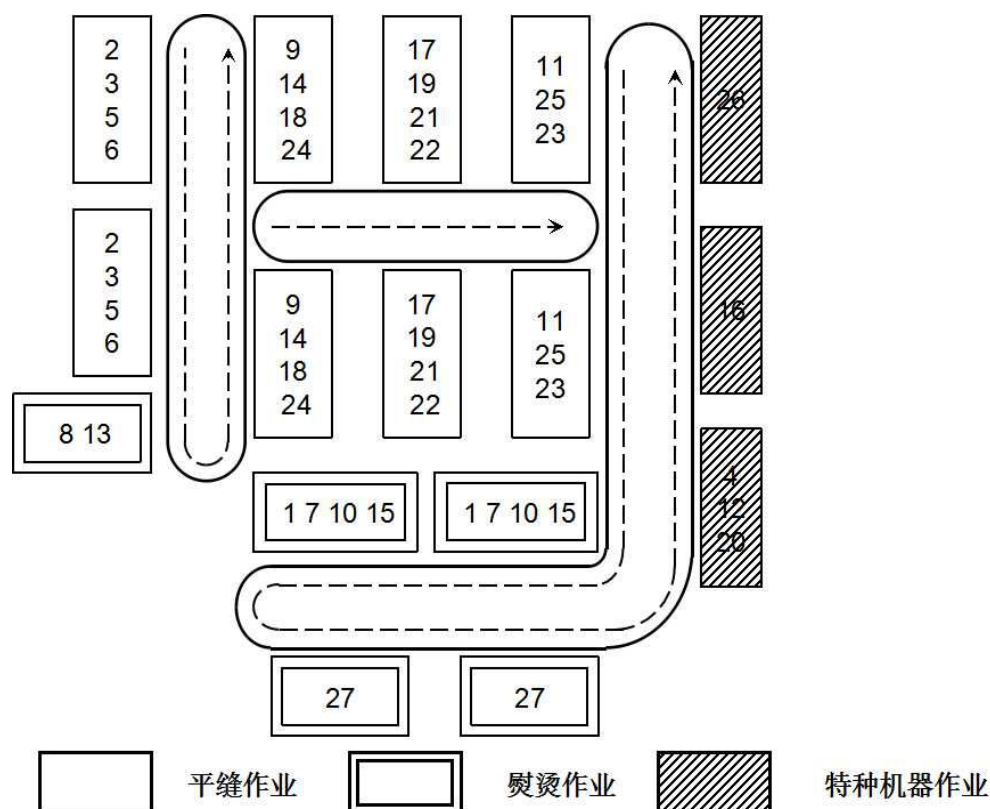


图 5-2 传送带传输设备安置图

图中有三处设置传送带装置，其中两个为环形传输带，一个为直线型传输带，传输路线如图中箭头方向所示。传送带的设计需要保证部件按照工序流程进行加工传输，充分利用空间位置，不会引起加工中断。图中所设计的传送带可以保证半成品部件按次序传输下一个工作地，直至部件生产完毕。传送带速率在传输时保持恒定，为 1m/s，传送带输送机功率为 0.75kw，传输距离为部件所经过路线的总和（拐角部位不计）。设定每个工作台大小为 1.5m×1m，则传输一个循环的总路程为 41m，而传送带传输的同时，工人也生产加工，由表 5-1 可知，一个循环加工总时间为 471s。由公式 4-2 可知，传送带所产生的碳排放量为：

$$CF_c = (P_c \times t_c) \cdot f_e = 0.09 \text{ kgCO}_2e$$

因此，男衬衫生产缝制环节单个循环传送带传输碳排放量为 0.09kgCO₂e。

5.2.3 两种传输方式碳排放结果对比分析

在服装生产缝制环节中，人力传输与机械（传送带）为常用的两种传输方式。本文中选取的男衬衫生产案例工序数为 27，工位数为 16，工作地为 8 个，并不是非常

复杂庞大生产过程，而计算结果表明，以人力传输方式进行的生产线，单个循环产生的碳排放量为 $0.46\text{kgCO}_2\text{e}$ ；以传送带传输方式进行的生产线，单个循环产生的碳排放量仅为 $0.09\text{kgCO}_2\text{e}$ 。数据表明，采用传送带传输方式比人力传输方式产生的碳排放量要少很多。当生产批量多，生产路线复杂，生产线相对固定时，采用传送带等机械方式代替人力传输会大大降低缝制环节产生的碳排放量。

案例选取的男衬衫生产设备安置图虽然是按照男衬衫生产工序设计的，但传送与运输的路线却与款式没有关系，因而无论何种款式的服装，采用传送带传输产生的碳排放量都会相对人力传输较小。应当鼓励企业采用机械传输方式代替人力传输，在节约劳动力成本、提高生产效率、防止工序中断的同时也降低了企业生产碳排放量。

5.3 本章小结

本章在建立了服装生产环节碳排放模型的基础上，对工序和传递路线进行设计编排，通过优化前后的碳排放量对比，探究工序优化及传输路线改变对生产环节碳排放量产生的影响。本章的具体结论如下：

（1）通过以编制效率为参考的优化方式进行工序整合编排，编排后流水线节拍均匀，编制效率为 93%，比优化前提高了 60%，优化后的工序数、工位数、工作地及传输总长度均发生变化，经过工序优化后的男衬衫生产环节碳排放计算结果为 1.365 吨，比优化之前减少约 7kg 碳排放量。

（2）以传送带式的传递方式与人力传输方式为研究对比对象，在生产流程不变的情况下，分别计算两种方式下生产环节单个循环产生的碳排放量，计算结果表明，以人力传输方式进行的生产线，单个循环产生的碳排放量为 $0.46\text{kgCO}_2\text{e}$ ；以传送带传输方式进行的生产线，单个循环产生的碳排放量仅为 $0.09\text{kgCO}_2\text{e}$ 。数据表明，采用传送带传输方式比人力传输方式产生的碳排放量要少很多。

（3）当流水线不平衡时，通过工序编排将作业时间进行整合，可以适当减少生产环节碳排放量；当生产批量多，生产路线复杂，生产线相对固定时，采用传送带等机械方式代替人力传输会大大降低缝制环节产生的碳排放量。

第六章 结论

在这个雾霾横行的社会中，纺织服装行业对空气污染有着重大的贡献。碳排放已经逐渐成为了人们越来越关注的话题。纺织服装行业，尤其是生产企业极度需要进行碳减排。本文通过梳理总结文献中提及的现状和问题，针对服装生产过程的特点，依据相关碳排放规范，对服装生产环节进行碳排放模型建立及案例核算。通过对生产环节中部分条件的优化分析，探究生产环节碳减排的措施。

6.1 论文研究成果

本文得出的主要研究成果如下：

(1) 本文通过对服装生产过程的研究，针对一般的服装生产流程，进行了过程图绘制、功能单位确定、边界划分、数据搜集，通过对生产设备、生产工序、作业时间、传输方式、排放因子等因素的分析，对每一个环节分别建立了碳排放计算模型。

(2) 本文对衬衫、男西裤、西裙等常见款式进行了生产设备和工序分析，并绘制相应的工序流程图及作业时间表。以男衬衫为例代入模型进行碳排放核算，计算结果表明男衬衫生产过程日产出碳排放量约为 1.372 吨，其中缝制环节的碳排放量最大，是裁剪环节碳排放量的两倍多，而后整理环节的碳排放量最小。

(3) 本文对男衬衫案例的工序进行优化编排，并且对优化之后的碳排放与优化前进行比较分析，结果表明经过工序优化后的男衬衫生产环节碳排放计算结果为 1.365 吨，比优化之前减少约 7kg 碳排放量。由于裁剪和后整理环节均相同，合并工序调整生产节拍，仅在缝制环节就减少 7kg 碳排放。

(4) 本文还对男衬衫生产传输方式进行了比较分析，通过将人力传输的耗能与传送带传输的电能转化为二氧化碳当量进行对比，数据表明，缝制环节单个循环人力传输碳排放量为 $0.46\text{kgCO}_2\text{e}$ ；传送带传输碳排放量为 $0.09\text{kgCO}_2\text{e}$ 。

本文提供的碳排放计算模型和方法适用于其他款式服装的生产过程，不仅为服装生产环节碳排放量化研究提供计算依据，还可用于企业碳排放跟踪分析，以及作为生产组织方案优化及服装生产企业进行碳排放监督与评价的参考依据。

6.2 后续研究方向

本文对服装生产环节情况进行了初步分析并且依据相关规范建立了碳排放模型，以案例代入进行核算。在此基础上调整部分参数进行优化设计，来降低生产环节中的碳排放量，为服装企业生产及市场检测提供了参考依据。

然而，碳排放是一个新兴的研究热点，其研究领域很广，还有很多问题需要进行深入探究，本文的后续研究方向可以从以下几个方面进行。

(1) 本文中所用的次级数据大部分来自文献，并且对于一些没有来源的数据采用了取平均数的方法，为了更加精确的进行碳排放核算，数据采集环节需要进行大量的实地测量和大数据汇总分析等。

(2) 本文中的碳排放优化主要集中于缝制环节，后续研究可以为裁剪及后整理环节的碳减排措施，再将三个环节合为一体，制定最终的碳减排方案。

(3) 服装生产环节的碳排放量有很大的减排潜力，人力损耗、机械损耗及材料损耗的减排都是亟待解决的问题，需要不同研究方向的学者通力合作，从生产设备、生产原料、生产地安排等方面进行综合研究。

(4) 当模型体系成熟之后，应当搜集生产不同款式服装耗能的数据，建立起服装生产环节的数据库，让企业能够根据对应的款式来估算生产所产生的碳排放量，也为检测机构及消费者监督企业生产提供依据。

参考文献

- [1] 冯宪. 论纺织产业适应“低碳经济”的发展策略[J]. 浙江纺织服装职业技术学院学报, 2010, 3: 004.
- [2] 中国行业研究网. 2012 年我国纺织业污染情况探讨分析[EB/OL]. [2012-7-20]. <http://www.chinairn.com/news/20120710/084957.html>.
- [3] 舟丹. 什么是“碳减排”、“碳中和”、“碳汇”?[J]. 中外能源, 2011 (16): 38.
- [4] 魏一鸣, 刘兰翠, 范英, 等. 中国能源报告 2008: 碳排放研究[J]. 2008.
- [5] 中国政府网. 胡锦涛在 APEC 第十五次领导人非正式会议上的讲话[EB/OL]. [2007-09-08]. http://www.gov.cn/ldhd/2007-09/08/content_742977.htm.
- [6] 中国政府网. 温家宝主持会议 部署应对气候变化节能减排工作[EB/OL]. [2009-06-05]. http://www.gov.cn/ldhd/2009-06/05/content_1333057.htm.
- [7] 中国政府网. 中美气候变化联合声明 (全文) [EB/OL]. [2014-11-13]. http://www.gov.cn/xinwen/2014-11/13/content_2777663.htm.
- [8] 赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋. 中国不同产业空间的碳排放强度与碳排放分析[J]. 地理学报, 2010, 65(9): 1048-1057.
- [9] 工业和信息化部. 纺织工业“十二五”发展规划[Z]. 2012: 2012.
- [10] Carbon Trust. Carbon Footprint Measurement Methodology[J]. Version 1.1. 27 February 2007, The Carbon Trust, London, UK.
- [11] 杨宏伟. IPCC 能源清单指南进展及其对中国的影响[J]. 气候变化研究进展, 2006, (6): 273-276.
- [12] Zaffalon V. Carbon Mitigation And Textiles[J]. Textile World, 2010: 35.
- [13] 顾娟红. 低碳经济和低碳服装[J]. 中国科技博览, 2010(19): 264.
- [14] Think Climate- wash your clothes at 30°C [EB/OL]. Mark & Spencer Website. <http://plana.Marksandspencer.com/we-are-doing-climate-change-stories/35>.
- [15] Chapman L P, Atkinson G, Cockerham C, et al. Sustainability Checklist Manifesto for New Textile Products Code Number: S10-NS08 Project Team[J].
- [16] 张莉, 陈云. 低碳经济与纺织可持续发展(四)——产品碳排放核算与生命周期评估[J]. 印染, 2011 (3): 38-41

- [17] Valerio Zaffalon. Climate Change, Carbon Mitigation And Textiles[J]. Textile World, 2010, 7/8: 34-35.
- [18] 杨自平, 张建春, 张 华, 张晓霞, 高志强. 基于 PAS2050 规范的大麻纤维产品碳排放测量分析[J]. 纺织学报, 2012, 8 (33): 140-144.
- [19] 韩晨晨 魏孟媛 薛文良. 碳排放计算在棉纺厂的应用研究[J]. 棉纺织技术, 2012, 8 (40): 493-495
- [20] 董艳红, 钱竞芳, 薛文良. 棉纺织品碳排放的研究[J]. 上海纺织科技, 2012, 4 (40): 1-2, 50.
- [21] 王来力, 杜冲, 吴雄英. 我国纺织服装行业的碳排放分析[J]. 纺织导报, 2011 (10): 19-22.
- [22] 屠莉华. 基于 PAS 2050 的牛仔裤生产碳排放研究[D]. 东华大学, 2012.
- [23] 李戎, 吴丹丹, 蒋红, 等. 碳排放及其在染整加工中的测算[J]. 印染, 2011, 37(18): 40-43.
- [24] 蒋婷, 陈泽勇, 姚婷婷, 等. 香云纱面料碳排放评价[J]. 印染, 2012, 38(8): 39-41.
- [25] 陈建伟, 王钰. 服装生命周期影响评价的研究[A]. 第十届陈维稷优秀论文奖论文汇编[C]. 233-236.
- [26] 刘莉. 首批化纤企业获得 Intertek—CCFA 产品碳排放证书[J]. 中国纤检, 2012 (6): 81-81.
- [27] 陈金灿. 节能信念源于对后代的承诺 解读常州旭荣针织印染有限公司的节能策略[J]. 纺织服装周刊, 2013, 37: 015.
- [28] 粘伟诚. 提高中国产业用纺织话语权[J]. 中国纺织, 2011 (4): 67-67.
- [29] 冯文艳, 吴雄英, 丁雪梅. LCA 分配方法在纺织服装碳排放核算中的应用[J]. 印染, 2014, 13: 012.
- [30] 李昕, 吴雄英, 丁雪梅. 纺织服装工业碳排放核算中的若干问题[J]. 印染 ISTIC PKU, 2013, 39(12). DOI:10.3969/j.issn.1000-4017.2013.12.011.
- [31] Wiedmann T, Minx J. A definition of 'carbon footprint'[J]. Ecological economics research trends, 2008, 1: 1-11.
- [32] 聂祚仁. 碳排放与节能减排[J]. 中国材料进展, 2010, 29(2): 60-63.

- [33] Hendrickson C T, Lave L B, Matthews H S. Environmental life cycle assessment of goods and services: An input-output approach[M]. Routledge, 2010.
- [34] BEVILACQUA M, CIARAPICA F E, GIACCHETTAG, et al. A carbon footprint analysis in the textile supply chain [J].International Journal of Sustainable Engineering, 2011, 4(1) : 24-36.
- [35] STEINBERGER J K, FRIOTD, JOLLIETO, et al. A spatially explicit life cycle inventory of the global textile chain[J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2009, 14: 443-455.
- [36] Zhao R, Huang X, Zhong T, et al. Carbon footprint of different industrial spaces based on energy consumption in China[J]. Journal of Geographical Sciences. 2011,21 (2) : 285-300.
- [37] 林剑艺, 孟凡鑫, 崔胜辉等. 城市能源利用碳排放分析--以厦门市为例[J]. 生态学报. 2012, 32(12): 3782-3794.
- [38] 周翔. 纺织工业降低温室气体排放国际国内动态[R]. 上海:东华大学, 2011.
- [39] 黄瑞,孙庆智,吴雄英,丁雪梅.低碳认证与纺织服装业[J].印染,2011(14):40-44.
- [40] 黄文秀.国外产品碳排放评价的发展[J].创新科技,2012(5):12-13.
- [41] 郭燕.论产品碳排放导向的服装低碳消费方式[J].纺织导报,2011(8):19-22.
- [42] 温室气体核算体系企业核算与报告标准[S]
- [43] BSI.PAS 2050:2008 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范 [M].UK:British Standards Institution,2008.
- [44] BSI.《PAS 2050 规范》使用指南如何评价商品和服务的碳排放[M].UK:British Standards Institution,2008.
- [45] 王玉振. ISO14064 温室气体排放核算、验证标准发布[J]. 中国 ISO14000 认证, 2007, (2):50-52.
- [46] Garcia R, Freire F. Carbon footprint of particleboard: a comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration[J]. Journal of Cleaner Production, 2014:199–209.
- [47] 孙启宏, 万年青, 范与华. 国外生命周期评价(LCA)研究综述[J]. 标准科学, 2000,

(12).

[48] Klöpffer W. Part IV: Life Cycle Assessment (LCA)[J]. Environmental Science and Pollution Research, 1994, 1(4):272-279.

[49] 王飞儿,陈英旭.寿命周期评价研究进展[J].环境污染与防治,2001,23(5):249-252.

[50] Leontief,W.The Structure of American Economy 1929—1941[M]. New York: IASP Publishing, 1941.

[51] Leontief,W.Studies in the Structure of the American Economy[M]. London: Oxford University Press, 1953.

[52] Huang Y A, Matthews H S. Seeking opportunities to reduce life cycle impacts of consumer goods-An economy-wide assessment[C]. Electronics and the Environment, 2008. ISEE 2008. IEEE International Symposium on. IEEE, 2008:1-6.

[53] 罗芬,钟永德,王怀琛.碳排放研究进展及其对低碳旅游研究的启示[J].世界地理研究,2010,(3):105-113.

[54] 陈洪倩.服装缝制生产线的编排与优化[D].苏州大学,2012.

[55] 陶海湄.服装缝制流水线的作业编排与优化研究[D].苏州大学,2005.

[56] 李玉玲,服装缝纫吊挂生产线调度技术的研究[D],郑州大学硕士论文,2003.

[57] 曹淑艳,谢高地.中国产业部门碳排放流追踪分析[J].资源科学,2010,(11):2046-2052.

[58] DEFRA.DECC. 2012 Guidelines to Defra/DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting[R].2012.

[59] 2012 年中国区域电网排放因子报告[EB/OL]. 2012.

[60] 姜克隽,魏珣.寻找隐藏在消费品中的碳排放[N].中国经济导报.

[61] 李昕.纺织服装产品工业碳排放核算中若干关键问题的研究[D].东华大学,2014.

[62] 明远会.对人体呼出气体中氮气、氧气、二氧化碳体积分数的测定[J].化学教学,2007,(6).

[63] 刘东.服装生产线组织设计的实例分析[J].纺织学报,2011,(6).

攻读硕士期间公开发表的论文

- [1] 服装生产过程碳排放计算模型，第一作者《纺织学报》。
- [2] 服装生产过程碳排放量核算，第一作者《纺织学报》。

致 谢

在论文即将完成的时候，要说的话和要感谢的人很多，我非常庆幸自己在出国事以及论文进行期间，能够得到各位老师和同学的支持与帮助。

首先我要对导师陈雁教授表示衷心的感谢，感谢陈老师对我的悉心指导及对论文一遍又一遍的探索和修改。陈老师严谨认真的教学态度与循循善诱的指导中，我学到了很多宝贵的东西。陈老师和蔼可亲的态度、博大的胸怀、敏锐的洞察力、渊博的学识、以及对待学生如同自己的孩子一样，这些都成为我今后的工作和学习的榜样。

感谢苏州大学纺织与服装工程学院的各科专业老师、辅导员老师等对我在校期间的热心帮助和辛勤培养。

感谢王立川老师、吴菲非师姐、徐燕妮、周海媚、张旭靖三位师妹在我论文进行过程中给予的鼓励和帮助，在困难的时候，是你们帮助我渡过了一个个难关，让我的论文撰写少走了很多弯路。在我回国之后积极帮助我尽快赶上进度，能够如期顺利完成毕业论文。

感谢本文中所有引用文献的国内外专家学者们，正是他们的探索发现和先期研究成果，本研究才有了扎实的理论基础。

感谢我的父母，正因为有了他们背后默默的支持，有了他们的理解和关心，我才能够顺利地完成学业。