# 第1章 绪论3504

1.1 研究背景

1.1.1 信息化背景下的服装产业

近十几年，信息通信技术的发展日新月异，制造业的发展则显得相对缓慢。每个行业的制造业升级，都要先后经历机械化、自动化、信息化和智能化的过程。完成工业资源的信息化,是实现智能化的基础，可以产生巨大的创新推动力。信息化的目标是将物理世界的事物数据化，使得在物理世界进行的实际生产成为对数字化计算的验证，达到“验证即生产, 实体即数据”[1,2]。工业信息化在德国叫做工业4.0，其重要性堪比前三次工业革命[3]。在我国，类似的战略构想被称为智能制造，它是推动中国制造业转型升级的关键所在[4]，极大地提升了产品的设计、生产、管理效率，整合了整个产品生命周期[5]。

随着未来几年我国人口红利的消失、人力成本的上升，服装企业的升级和转型迫在眉睫。另外，单一化的成衣生产越来越无法满足消费者个性化的需求，降低定制服装的成本从而实现大规模定制已经成为服装企业亟待解决的问题。发展工业4.0与智能制造，实现信息化，能够提高服装的生产效率，有助于服装企业解决上述痛点、增强竞争力。

据此，一些软件公司纷纷推出了服装信息化的整体解决方案，涉及服装设计、制板、生产、管理及销售等多个环节，但是在非标准化的服装工艺流程面前，多数因不够专业化而折戟沉沙。对于如何降低成本、实现大规模的服装定制，国内外都有不少企业进行了尝试，如美国的Stitch Fix、亚马逊（Amazon Wardrobe服务）、安德玛公司以及中国的服装定制公司酷特智能。

然而，大部分中小企业作为我国服装产业的主体，仍然在使用低生产效率的方法。以服装制板为例，多数资深制板师是从文化程度不高的缝纫工做起的，他们主要采取手工制板或使用智尊宝纺、ET等服装CAD软件制板，而且制板高度依赖经验，以致于大学毕业生的入行门槛高[6]。这种非标准化和不可复制性，严重制约了服装生产的信息化。

1.1.2 相关概念廓清

大规模定制

服装定制，是指根据消费者的个人情况量体裁衣，实现服装的量身定制（MTM, Made-to-Measure），它能够提升消费者对服装产品的满意度、消费者在服装设计上的参与度。大规模定制（MC, Mass Customization）是指用工业化方法进行大批量服装定制。但是由于个性化服装的板型、制作流程上有差别，导致流水线生产效率降低、服装生产成本抬高，所以大规模定制难以实现。

智能CAD

传统的CAD系统并没有达到智能化，人们希望CAD除了能提高工作效率之外还能取代设计师的一部分智力活动，即让计算机像设计师那样具有思维、能自动进行设计，于是便开始展开智能CAD（ICAD）的研究[7]。ICAD系统既具有传统CAD系统的数值计算和图形处理能力, 又有设计工程师所具有的推理和决策能力, 所以能满足设计过程自动化、智能化的要求[8]。虽然智能CAD的概念已经提出很久了，与之相关的课题和研究也不在少数，但是我们仍不能看清楚智能CAD的样貌，或者至少，还没有被广泛认可的智能CAD出现[9]。

样板CAD

服装工业中包含CAD、CAPP（计算机辅助工艺规划）和CAM（计算机辅助制造）等传统IT模块，其中广泛使用的服装CAD/CAM系统中就包含样板CAD系统[10]。样板CAD是指用计算机辅助进行服装样板设计。

服装PDS

多数情况下，样板设计也可称作服装结构设计、纸样设计、板型设计、制板或打板，而样板也可以称作纸样、板型、衣片……这些名词，概念上有差别，但在业界使用时常常是通用的，因为服装业的概念并不像IT那样标准化。因为PDS（Pattern Design System）意为纸样设计系统，所以服装PDS就是样板设计系统，本质上也就是样板CAD系统。

1.2 智能制板研究综述

**服装CAD**

**样板CAD**

**（服装PDS）**

**智能CAD**

女裤样板智能CAD

图1 服装CAD、样板CAD、智能CAD之间的关系

服装定制要求“一人一板”，不同的客户、款式、面料、工艺，都会使板型不一样，这给板型制作带来很大的挑战，多数服装企业只能减少定制量、增加制板师，有些则使用自动制板的方法[11]。普通PDS除了能提供几何线条、图案的绘制之外，只能提供像省道转移、打褶、放缝份等功能，但智能PDS提供了自动打板、虚拟打板的功能[10]。例如日本yuka公司的产品EX-Order能针对固定的标准化款式进行自动打板，用户只须选择款式、输入尺寸就能得到纸样[12]。

目前的智能制板方法主要可以分为三类：第一类利用人工神经网络、模糊逻辑算法等，调用数据库资源生成样板；第二类在3D人体模型的基础上，展平服装曲面获得个性化样板；第三类是基于参数化设计的自动打板技术[13]。对于使用第一类方法的研究，因为受限于特定算法的适用范围，所以不能直接自动生成样板[14,15]，它往往与参数化方法结合；第二类方法的难点在于如何获取客户的3D人体模型；而第三类方法是应用最广泛的，比如已有的基于AutoCAD等工具进行参数化打板的研究[16–18]。但是参数化的基础是基于规则的专家系统，而专家知识的数据化却没有比较系统的研究，导致制板系统很难适应不断变化的服装款式[19]。以下对不同高校近年来开展的参数化PDS研究做简单介绍。

北京服装学院对不同类型服装的PDS进行了持续的研究（详见表1），以平衡、比例和多米诺律三大原则为技术核心研制专家系统[20–26]。

表1 北服服装PDS研究情况

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 服装类型 | 专家知识 | 程序设计 | 合作企业 | 是否申请专利 |
| 2005 | 西装 | 黎晶晶 | 邱亮 |  | 是 |
| 2006 | 西裤 | 张金梅 | 蒋秀英 |  |  |
| 2007 | 休闲装（夹克、衬衫） | 赵晓玲 | 蒋秀英 |  |  |
| 2010 | 第二代西装 | 王艳辉 | 胡长鹏 |  |  |
| 2013 | 企业化西装 | 尹丽芳 | 胡长鹏、刘玉玉 | 恒龙 | 是 |
| 2014 | 衬衫 | 李静 | 胡长鹏 | 恒龙 | 是 |

天津工业大学曾建立服装MTM平台网站，其PDS结合了现成服装CAD软件的基准纸样库和放码功能[27]。此外，还构建了男西裤的参数化结构模型，并在富怡CAD上验证了其参数化制板的高效性[28]。

苏州大学曾以男裤的结构、款式分析为基础，通过实验推导了男裤基础样板模型的生成规则，完成了男裤自动打板系统[29]。此外，还针对衬衫MTM提出了样板重构的方法：避开体型分类，直接对人体关键控制部位的尺寸进行号型归档，然后对样板轮廓线进行重构，生成个性化样板[30]。

东华大学研究过牛仔裤、女套装、连衣裙、男衬衫的自动打板，在研究服装款式和结构的基础上，进行服装结构的参数化设计，通过智尊宝纺CAD的柔性模型技术，建立样板部件的模型，再进行参数设置，将柔性模型组合，准确、快速生成不同款式、号型、面料的样板，并且采用虚拟试衣进行了验证[13,31–33]。

1.3 研究内容与意义

本课题的主要目标是研制具有实用价值的女裤样板智能CAD系统。在运用女裤样板设计的专家知识的基础上，该系统可以自动生成指定款式、尺寸的女裤的样板，且样板的文件格式与服装打板软件ET兼容，以便投入成衣生产环境。这就要分析系统的需求，设计合理的系统架构，并对主要的智能制板功能进行深入研究。另外，本课题希望通过剖析服装制板领域专家知识的数据化方法，探究计算机软件技术及工业智能在服装PDS中如何发挥更大的作用，这是本课题研究的特色。

智能打板技术是服装企业提升生产力、实现大规模服装定制的关键技术。本课题研究的女裤PDS不但可以满足大规模定制中制板环节对快速、个性化的要求，提高MC服装生产的效率，而且在PDS设计过程中所总结的专家知识数据化方法、参数化打板的通用性方法，对于服装产业未来的智能化发展也具有一定的价值。

开发女裤样板的智能CAD系统，既是对服装行业信息化的尝试，也是对产学研结合的实践。只有在开发的过程中才能发现工业生产中存在的问题和痛点并设法解决之，才能真正将学术科研与工业应用相结合，并为服装制造业的智能制造转型提供经验。

1.4 研究思路与预期结果

本文最终将要实现女裤的PDS并对其进行生产环境下的测试。该PDS的设计与实现大致分为四个步骤：

(1) 对系统的需求和业务逻辑进行分析，并在此基础上确定系统需要实现的功能，并做出大致的架构设计。

(2)总结实际生产过程中女裤纸样设计的规则、方法，将样板设计的专家知识参数化、逻辑化和系统化，抽象成结构化、标准化的数据。

(3)分析与设计核心功能——智能制板功能，关键在于剥离女裤款式设计与制板规则的复杂度。这部分是本文的重点。

(4)系统的技术实现。主要分为如下几个部分：实现专家知识库与UI视图的联动；实现女裤款式设计的功能；实现自动制板功能计、实现样板处理的功能。

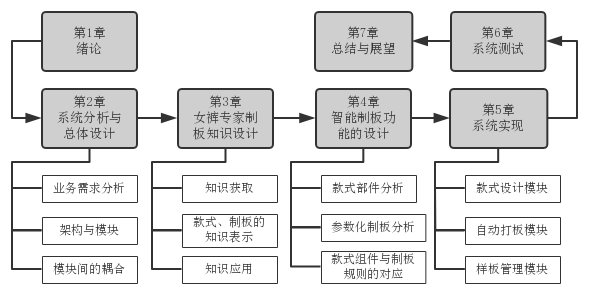


图2 论文组织结构图

1.5 本文的组织结构

本文共分7章，它们的组织结构如图2所示，各章节的内容如下：

第一章介绍了课题的研究背景，综述了服装智能制板领域的研究现状，说明了课题的研究内容、意义、思路，安排了文章结构。

第二章分析了系统的业务需求，对系统的架构与模块进行总体设计。

第三章从知识获取、知识表示、知识应用三方面对女裤制板的专家知识进行分析，其重点在于款式设计和制板规则的知识表示。

第四章在第三章基础上设计了系统的智能制板功能，它是系统的核心功能，主要涉及款式设计的组件化、制板过程的参数化，以及款式设计与制板之间的关系分析。

第五章讲系统的技术实现，涉及面向对象编程思想的运用。

第六章对系统进行测试，通过实验证实了系统对于实际生产具有一定价值。

第七章总结本文的工作，论述本文取得的成果以及局限性，并展望未来的研究方向。

# 第2章 系统分析与总体设计4500

2.1 业务需求分析

2.1.1 需求分析

2.1.2 业务逻辑分析

2.2 系统架构设计

2.3 系统模块划分

2.4 模块耦合关系分析

2.5 本章小结

# 第3章 女裤专家制板知识分析4500

3.1 专家知识获取

这部分工作旨在将工业制造系统中凌乱繁杂的隐性知识，转化为统一严谨的显性知识。这些知识，包括女裤款式应该如何分类、不同款式女裤的制板公式是什么。

3.2 女裤款式设计的知识表示

3.3 女裤制板规则的知识表示

3.4 专家知识应用

3.5 本章小结

# 第4章 智能制板功能的设计6000

4.1 部件化款式设计

4.2 女裤款式的组件管理模块

4.3 参数化样板绘制

参数化设计思想的原理为：当参数改变时，各个结构线之间的几何关系保持不变。将几何关系作为函数，纸样的各种尺寸就是以设计条件为参数的函数值。具体而言，参数化设计将制板过程存储在计算机中，即按一定数据结构存储各个结构线之间的几何关系，使得计算机具有可以随时调用的知识库，形成专家系统[34]。

4.4 制板规则的领域特定语言

4.5 女裤款式与制板规则的关系

4.6 本章小结

# 第5章 系统实现6000

5.1 知识库的实现

5.1.1 款式部件数据库设计

5.1.2 制板知识数据库设计

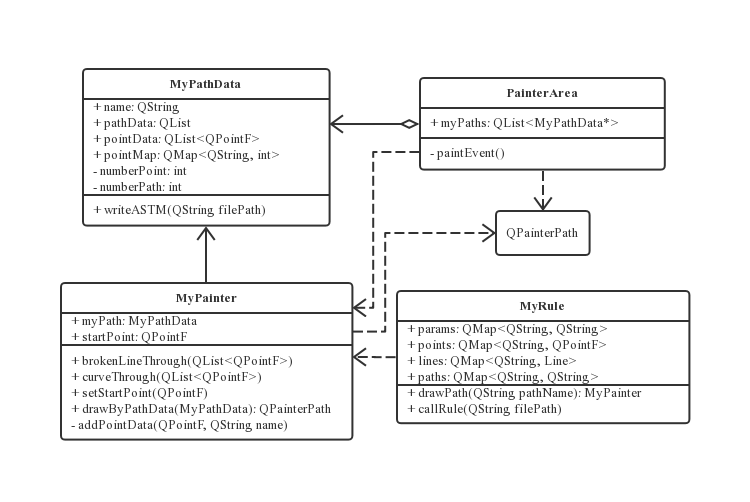
5.2 款式设计与尺寸输入

5.3 样板图形的自动生成1650

狭义上，图形是指二维平面中由一系列点、线所描述的形状。Qt中用QPainter类作为工具来绘制（绘制不包含显示）图形，用QPainterPath类作为容器来存储图形，而QWidget类可以作为显示图形的载体。女裤PDS中，针对女裤样板图形的特殊性，创建了如图X所示的几个类来绘制样板。其中，PainterArea继承自QWidget类，是PDS中占大面积的绘图区域；MyPathData类用来存储样板数据，它是进行样板数据管理的基础；MyPainter类是一个样板绘制工具，它不但能够根据一系列点的位置生成样板数据（MyPathData的实例），还能根据样板数据生成QPainterPath图形；MyRule类的作用则是对样板规则文件中的制板语言进行解析。

5.3.1 图形数据类MyPathData

图X 与绘图相关的类

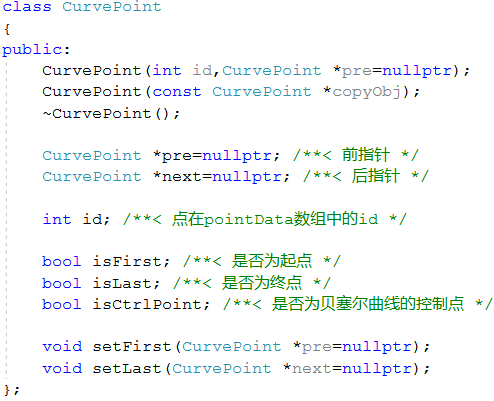


MyPathData类用于存储样板的图形信息，一个MyPathData类对象对应了一个服装样片。它主要包含如下的属性：样片名称name，路径数据列表pathData，点数据列表pointData，点名字典pointMap。其中，pointData表中记录了组成样片要用到的所有关键点的坐标，包括路径的起点、终点、曲线的经过点和控制点；pathData表记录了组成样片的所有路径（直线段或曲线段），每个单独的路径数据都是一个结构体PathData；点名字典pointMap中则记录了点的名称与该点在pointData表中索引值的对应关系。有了所有点的数据、完整的路径数据，就可以确定一个样片图形的位置和形状。所以MyPathData类描述了基本的样板数据。

路径数据结构体PathData

上面提到的路径数据结构体PathData中包含如下的数据：起点指针startPoint，终点指针endPoint，区分直线和曲线的布尔变量isLine，以及一个指示路径性质的属性astmTag。其中，起点指针和终点指针分别指向一个CurvePoint类的对象（图X），该对象有一个整型的id属性，表示点在pointData表中的索引值。除此以外，CurvePoint最重要的属性是前驱指针pre和后继指针next，分别指向了路径中该点的前一个CurvePoint点和后一个CurvePoint点。而astmTag是一个枚举类型，包含“边界线”、“内部线”、“经向线”这几个枚举值。

5.3.2 绘图工具类MyPainter



图X CurvePoint类

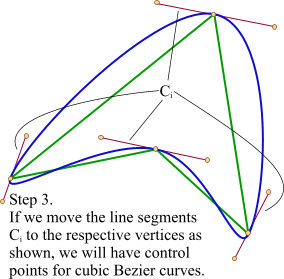
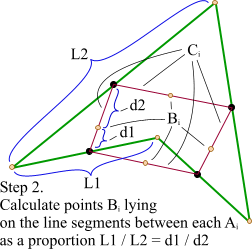
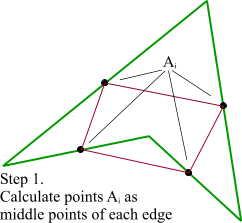
MyPainter类要解决的问题是如何生成样板数据类MyPathData的对象，以及如何根据MyPathData对象来绘制QPainterPath图形，因为有了QPainterPath对象才能让绘图区域PainterArea通过重载QWidget的paintEvent方法在屏幕上显示出图形。

于是本文设计的MyPainter类拥有MyPathData类的知情权（体现为引用了后者的头文件），使用brokenLineThrough和curveThrough方法来为样板数据对象添加折线和曲线，使用drawByPathData方法来根据样板数据对象生成QPainterPath对象。

贝塞尔曲线插值法生成曲线

值得一提的是QPainterPath对象中曲线的生成方法。Qt的绘图方法库中使用的唯一曲线是贝塞尔曲线，贝塞尔曲线的曲率控制点（锚点）在曲线之外。而对于服装的制板来说，曲线的确定方式是给定一个或多个辅助点，曲线必须经过辅助点，并尽量保持圆顺——即辅助点在曲线之上。因此，贝塞尔曲线无法与制板的规则相对应，我们要在Qt的贝塞尔曲线绘图方法的基础上用插值的办法构建新的曲线绘制方法，具体步骤如图X所示。这个插值方法在MyPainter类的内部实现，curveThrough方法就是使用它绘制曲线的。

工具的使用场景——显示样板



图X 贝塞尔插值法拟合曲线的步骤

绘图区域PainterArea中包含一个myPathData样板数据的列表叫做myPaths，绘图区域每次更新画面时都会调用paintEvent方法，使用MyPainter工具将myPaths中的零至多个myPathData样板数据转化为QPainterPath对象，再调用QPainter的drawPath方法将这些QPainterPath对象显示到绘图区域中。

工具的使用场景——解析规则

除了根据样板数据来显示样板以外，MyPainter工具的另一个作用是生成样板数据，一个典型的使用场景是MyRule类在解析规则时，需要依赖MyPainter工具来将一系列几何实体的数据转换为样板数据。

5.3.3 规则解析类MyRule

在第4章中构建了一种服装制板的领域特定语言，称为制板规则语言。使用制板语言编写的文件被称为规则文件，规则文件需要使用C++编写的解释器来进行解析。MyRule类就是这样的一个解析器，它可以读取规则文件中用制板语言编写的程序，对程序进行词法分析和语法分析，然后根据分析结果生成组成样板的几何实体，最终使用MyPainter生成myPathData样板数据或者QPainterPath绘图路径对象。

MyRule类的对象会在系统进行规则文件解析的时候被创建，当它解析完一个规则文件（调用完其drawPath方法）后就被销毁。在解析过程中，若遇到嵌套使用的规则（例如一段制板语言程序中，调用了另一个规则文件A.txt），MyRule对象会生成一个MyRule类型的子对象，调用其callRule方法来解析被嵌套使用的规则文件（如例中的A.txt）。解析完毕后，得到一个规则文件中唯一的输出实体，并将其以myPathData对象的形式返回给MyRule的drawPath方法的调用者。

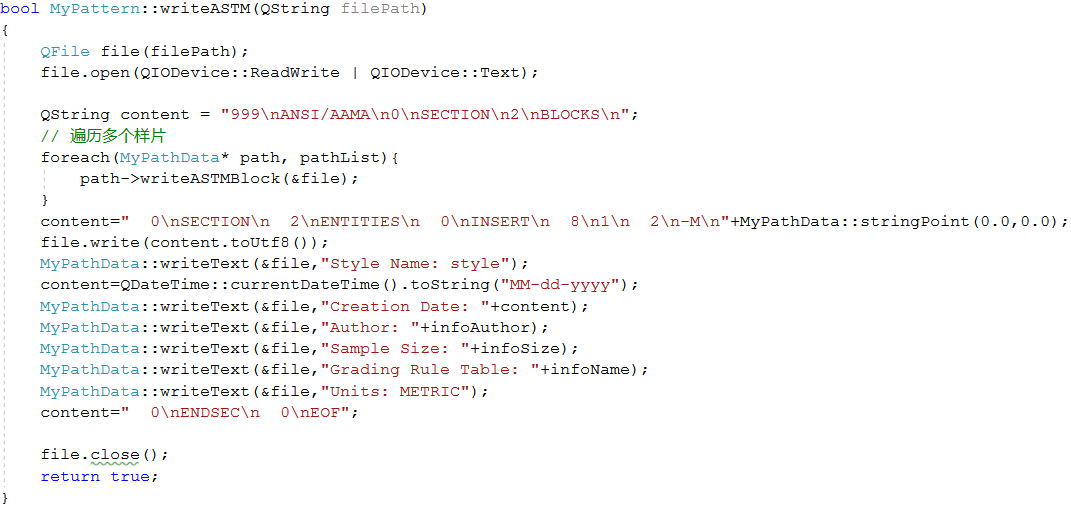
5.4 样板数据的可视化管理1500

5.4.1 基于点的样板编辑



5.4.2 样板工艺信息管理

5.4.3 样板数据的格式化输出



5.5 本章小结

# 第6章 系统测试3000

# 第7章 总结与展望1500

[1] 林雪萍. 洞察工业4.0之局[J]. 装备制造, 2015(11): 82–85.

[2] WANG S, WAN J, ZHANG D, 等. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination[J]. Computer Networks, 2016, 101: 158–168.

[3] 德国工业4.0战略计划实施建议(摘编)[J]. 世界制造技术与装备市场, 2014(03): 42–48.

[4] 胡虎. 2017世界智能制造大会举行[J]. 人民邮电, 2017: 001.

[5] ZHONG R Y, XU X, KLOTZ E, 等. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review[J]. Engineering, 2017, 3(5): 616–630.

[6] 周文灿. 服装制板师未来探究[J]. 国际纺织导报, 2015, 43(01): 51–53.

[7] 庄越挺, 潘云鹤. 智能CAD方法评述[J]. 计算机研究与发展, 1994(04): 1–7.

[8] 李建平, 徐林林, 滕启. 智能设计技术[J]. 起重运输机械, 2003(05): 1–3.

[9] HAGEN P J W ten, TOMIYAMA T. Intelligent CAD Systems I: Theoretical and Methodological Aspects[M]. Springer Science & Business Media, 2012.

[10] 孙玉芳, 邬红芳. 服装智能技术的研究现状[J]. 四川丝绸, 2008(02): 32–35.

[11] 耿萌. 服装大规模定制的纸样制作方法和系统: 中国, CN105962509A[P]. 2016-09-28.

[12] 裕輝系統開發有限公司[EB/OL]. [2018-09-08]. http://www.yuka.com.tw/product-alpha-exorder.html.

[13] 王晓丽. 男衬衫样板设计系统实验研究[D]. 东华大学, 2016.

[14] 丛芳, 赵野军. 基于神经网络的服装制板系统[J]. 纺织学报, 2008(01): 129–132.

[15] 刘为敏, 谢红. BP神经网络下的智能化合体服装样板生成[J]. 纺织学报, 2018(07): 116–121.

[16] 叶勤文, 张皋鹏. 基于AutoCAD参数化的个性化服装纸样生成[J]. 纺织学报, 2019, 40(04): 103–110.

[17] 张伶俐, 张皋鹏. 应用MatLab的服装纸样参数化平面制版[J]. 纺织学报, 2019, 40(01): 130–135.

[18] 胡长鹏, 张巨俭, 刘瑞璞. 基于AutoCAD二次开发的西装纸样自动绘制的研究[J]. 浙江纺织服装职业技术学院学报, 2010, 9(04): 21–25.

[19] 马琳. 面向服装样板智能设计的专家知识库构建与研究[D]. 西安工程大学, 2016.

[20] 黎晶晶. 西装PDS智能化专家知识研究[D]. 北京服装学院, 2005.

[21] 张金梅. 裤子纸样设计智能系统的专家知识研究[D]. 北京服装学院, 2006.

[22] 赵晓玲. 休闲装纸样设计专家知识的研究[D]. 北京服装学院, 2007.

[23] 蒋秀英. 男休闲装纸样智能程序化研究[D]. 北京服装学院, 2007.

[24] 李静. 衬衫个性化定制纸样设计自动生成系统专家知识研究[D]. 北京服装学院, 2015.

[25] 胡长鹏. 西装纸样设计智能生成系统数字化研究[D]. 北京服装学院, 2010.

[26] 刘瑞璞, 鲁兴海, 胡长鹏, 等. 西装纸样设计自动生成系统和方法: 中国, CN105528501A[P]. 2016-04-27.

[27] 薛煜东. 基于网络的服装定制MTM系统研究[D]. 天津工业大学, 2006.

[28] 史慧. 参数化技术在男西裤样板中的应用研究[D]. 天津工业大学, 2008.

[29] 徐虹. 男裤自动打板系统研究[D]. 苏州大学, 2007.

[30] 蔡兰. 衬衫个性定制样版重构的方法研究[D]. 苏州大学, 2014.

[31] 周丹. 服装CAD牛仔裤样板设计与快速生成研究[D]. 东华大学, 2012.

[32] 崔艳. 基于三维虚拟试衣技术的女套装样板CAD实验研究[D]. 东华大学, 2014.

[33] 林娜. 基于三维虚拟试衣技术的连衣裙样板设计CAD实验研究[D]. 东华大学, 2014.

[34] 章琦, 张文斌, 张渭源. 服装PDS纸样自动生成专家系统的研究[J]. 中国纺织大学学报, 2000(05): 62–65.