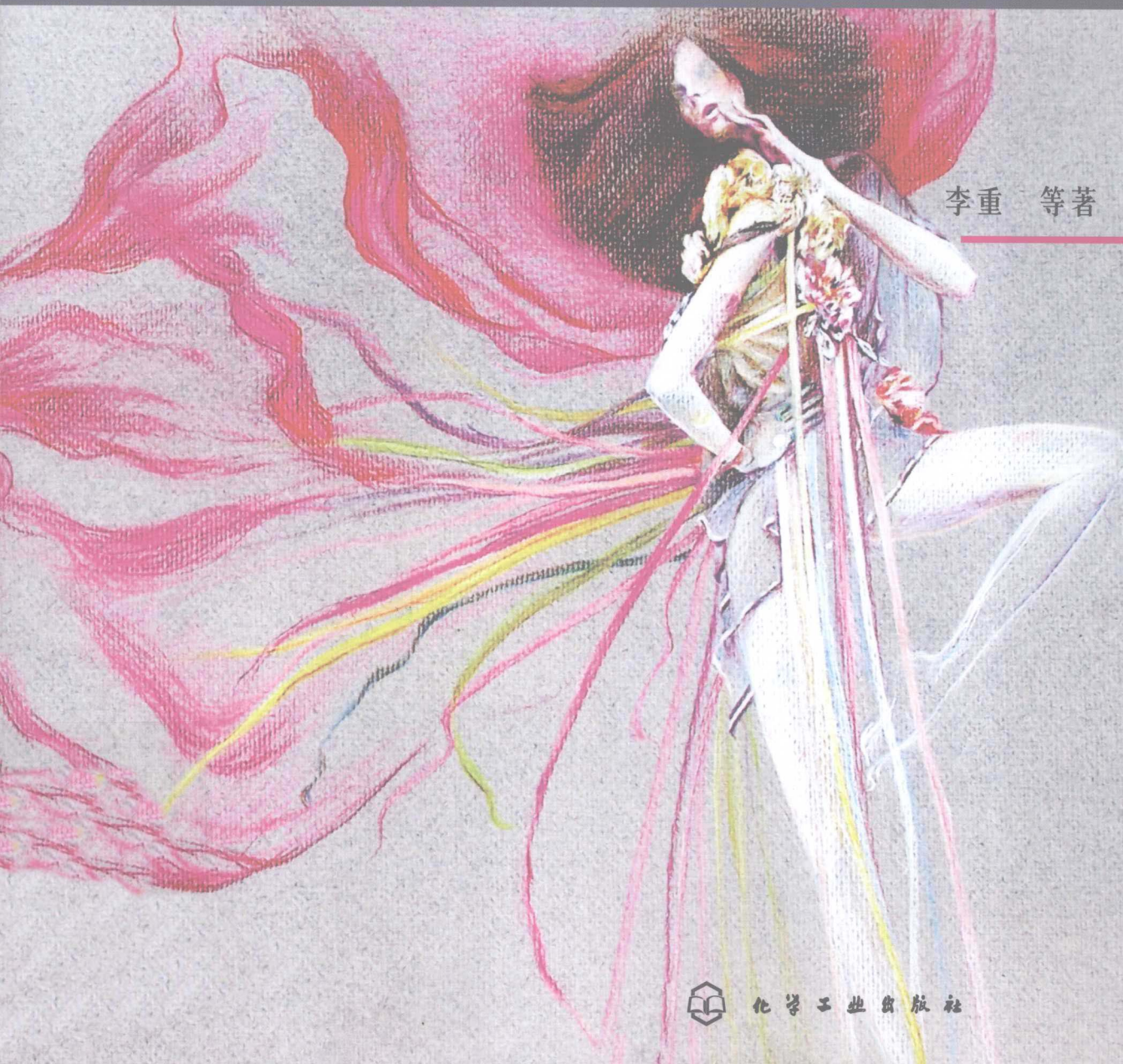


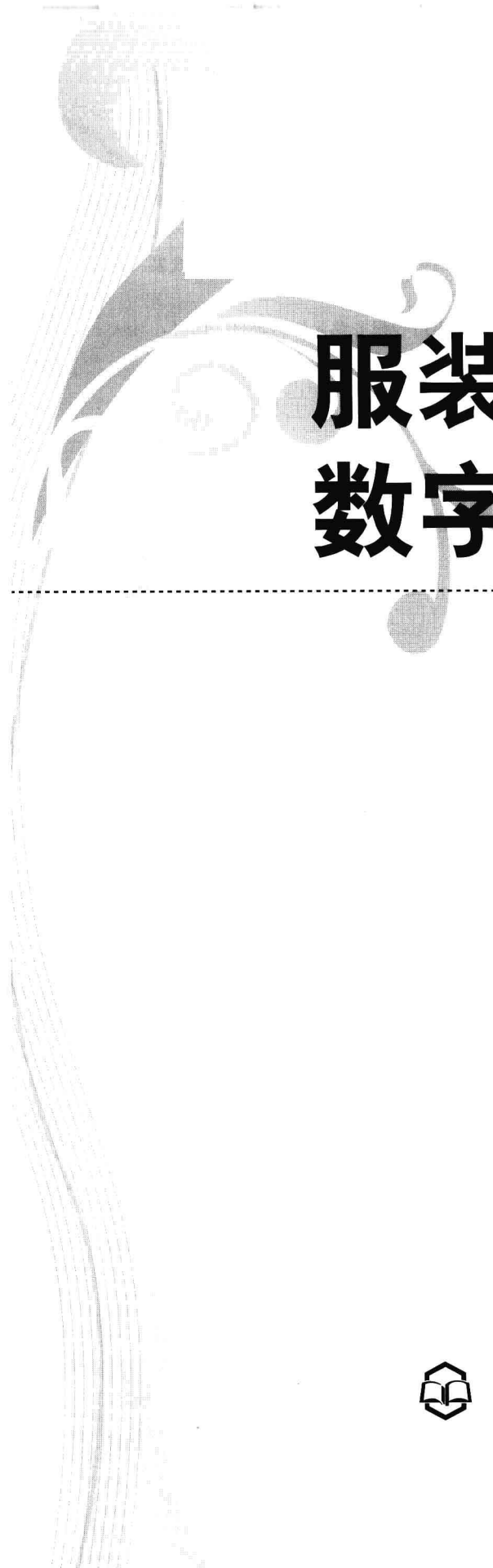
FUZHUANG CAD ZHONG DE
SHUZI JIHE CHULI

服装CAD中的 数字几何处理

李重 等著



化学工业出版社



服装CAD中的 数字几何处理

李重 等著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是关于服装 CAD 数字几何处理相关内容的专著,详细介绍了当今服装 CAD 几何造型和处理中一些新的技术方法和解决方案。本书以服装 CAD 中的数字几何处理为中心,综合应用计算机辅助几何设计、应用数学、计算机图形图像、计算机视觉、多媒体信息技术、专家系统等各个学科的知识和技术,就该领域中的一些热点问题进行了研究,并详细介绍了当今一些新的研究方法和可行方案。本书反映了作者多年来将数学和计算机等理论方法应用在服装 CAD 中,从事交叉领域教学和研究的成果。技术领先,内容先进,对我国服装 CAD 的发展有重要的指导意义。

本书可供高等学校服装工程、纺织工程、应用数学、计算机应用等相关专业作为教材。同时,对从事服装 CAD/CAM 教学、系统开发与应用的研究人员和技术人员也具有重要的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

服装 CAD 中的数字几何处理/李重等著. —北京:化学工业出版社, 2012. 10

ISBN 978-7-122-15723-2

I. ①服… II. ①李… III. ①服装-计算机辅助设计
IV. ①TS941. 26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 258353 号

责任编辑: 崔俊芳

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 徐贞珍

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 11½ 字数 254 千字 2012 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

图书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

作者简介

李重 (Zhong Li), 男, 1975 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 中国智能 CAD 与数字艺术专业委员会委员, 中国数字娱乐仿真专业委员会委员, 中国纺织工程学会高级会员, 中国计算机学会会员。现任浙江理工大学数学科学系主任, 信息处理及可视化实验室负责人。曾获浙江省高校科研成果三等奖 (第 1 完成人)、浙江省 151 第三层次培养人员、浙江省钱江人才 D 类项目资助人员等。

主要研究简历: 2003 年 6 月在浙江大学数学系获博士学位, 2004 年 12 月~2006 年 12 月在上海交通大学计算机系做博士后研究, 2007 年 9 月~2008 年 9 月在美国加州大学伯克利分校 (University of California at Berkeley) 计算机系学术访问 1 年, 另曾多次在加拿大 Manitoba 大学、法国 Universite Joseph Fourier 大学和美国 University of Wisconsin-Milwaukee 等进行学术访问。2003 年 7 月起在浙江理工大学参加工作, 2009 年 11 月被评为教授职称, 2012 年 6 月被评为博士生导师, 期间与浙江大学 CAD & CG 国家重点实验室、浙江理工大学先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室进行开放课题合作与研究。

现主要研究方向为服装 CAD、计算机应用、数值计算与模拟, 发表学术论文 60 余篇 (SCI、EI 检索论文 40 余篇), 其中以第一作者身份在《Computer-Aided Design》《Computers & Graphics》《The Visual Computer》等国际重要期刊、会议上发表论文近 30 篇; 申请发明专利 2 项、软件著作权 1 项; 主持国家自然科学基金 (2 项)、国家教育部重点项目 (1 项)、浙江省自然科学基金 (2 项) 等, 与服装公司、企业通过产学研合作研发相关课题多项。

前言

服装 CAD 全称是服装计算机辅助设计，是服装 Computer Aided Design 的缩写，是利用计算机软件 and 硬件技术对服装新产品、服装工艺过程，按照服装设计的基本要求，进行输入、设计及输出等的一项专门技术，也是一项综合性的，集计算机辅助几何设计、计算机图形图像、计算机视觉等计算机、数学及其他领域知识于一体的高新技术，用以实现产品技术开发和工程设计，被人们称为艺术和计算机科学交叉的边缘学科，是以尖端科学为基础的不同于以往任何一门艺术的全新艺术流派。

服装 CAD 系统由硬件系统和软件系统两部分组成。服装 CAD 软件从功能上来分一般包括：款式设计、结构设计（俗称纸样或打板）、样片推码、样片排料等内容。随着服装 CAD 研究内容从二维到三维、从静态到动态的方向发展，以及服装设计的虚拟化、个性化发展趋势，与数学和计算机应用等学科的交叉研究已日趋重要。同时，随着三维扫描和数据重建技术的快速发展，与服装 CAD 相关的数字几何处理技术已成为服装 CAD 的重要研究基础，我们有必要系统地、深入地学习和研究相关知识和内容。

本书的主要内容与作者的多年研究密切相关，是作者近年来科研和教学工作的总结。本书的内容来源也是作者作为研究生导师培养研究生期间的合作成果。例如，第二章服装 CAD 中的曲线曲面造型是黄键同学的研究生主要内容；第三章布料及服装模型的动态仿真是高军同学的研究生学习内容；第四章数字服装模型的边界提取与编辑是石尖锋同学的研究生工作总结；第五章数字人体与服装模型的尺寸提取及参数化是宋红星同学的研究生学习汇总；第六章数字服装模型的切割及优化是金耀同学的研究生工作积累；第七章三维服装模型虚拟试衣是刘军同学的研究生学习内容。这些内容都是研究生读书期间辛勤工作的研究结果，在此对这些研究生表示衷心地感谢！

本书的特点有：

1. 强调理论、实践和应用

传统服装 CAD 书籍主要以介绍服装工艺 CAD 和服装设计 CAD 为主，如服装工艺中的服装制板、服装样板缩放、服装排料等方面的功能和操作知识；服装设计中的效果图设计、图案设计、款式设计、针织设计、立体模拟、印花面料设计等知识。本书主要讲授服装 CAD 中的理论知识，主要包括服装 CAD 数字几何处理中涉及的一些数学理论、计算机方法等知识，本书所论述的内容都经过理论学习和研究，介绍的相关研究算法，通过计算机程序设计实现，进行实例验证和归纳总结，并应用在服装 CAD 中的相关领域中，增

强了实践性和应用性。

2. 兼顾传统方法和最新研究成果

服装 CAD 内容近年来得到了广泛的关注, 研究内容也在不断地更新和发展。本书内容新颖全面, 重点突出, 介绍了服装 CAD 中的数字几何处理主要内容, 包括传统的服装曲线曲面造型方法、布料及服装模型的三维仿真, 对最近的一些研究热点进行了介绍, 如服装模型的边界编辑、模型切割等, 也对一些最新研究成果进行了介绍, 如服装参数化、虚拟试衣等内容。

3. 兼顾不同需求, 应用面较广, 可供不同专业和研究人員学习

服装 CAD 属于交叉学科, 以纺织工程、服装工程为主, 同时涉及数学、计算机、机械等专业知识。本书可供不同专业人员学习。同时, 本书图文并茂、由浅入深、兼顾不同需求, 可供不同阶段研究人員学习。本书可分为初级部分(第一~第三章)、高级部分(第四~第七章)。其中, 初级部分适用于高职和高等院校学生及工程技术人员; 高级部分可作为研究生教材, 为研究开发人员提供参考价值。

本书撰写过程中得到了国家自然科学基金(60903143, 51075421)的资助, 期间也得到了浙江省自然科学基金(Y1110504)、浙江省钱江人才项目(QJD0902006)、浙江省科技厅项目(2012C21035)、机械设计与理论浙江省高校重中之重学科优秀青年人才培养基金(ZSTUMD2011B004)、浙江省服装工程技术研究中心开放基金(2012003)等科研项目的资助, 为本书的出版提供了强有力的支持。

本书也凝聚了多位教授的指导和关心, 特别感谢加拿大 Manitoba 大学计算机系 D. S. Meek 和 D. J. Walton 教授、美国加州大学伯克利分校计算机系 Brian Barsky 教授、上海交通大学计算机系马利庄教授、浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室金小刚教授、浙江理工大学理学院胡觉亮教授和服装学院邹奉元教授、浙江大学数学系韩丹夫和吴庆标教授等, 通过与他们的学习、访问和合作, 作者受益匪浅, 在此向各位教授致以深切的谢意。另外也向曾经帮助过作者的朋友们表示谢意, 感谢大家的关心和支持。

本书也是作者指导的多位研究生的心血, 在此向与本书创作有关的研究生及其家庭表示衷心的感谢, 向所有帮助过本书出版的研究生及其他学生表示感谢, 感谢她(他)们对我国服装 CAD 科学研究事业的支持。

感谢我的父母和姐姐, 她(他)们对我的关爱和鼓励为我在学业上的进步提供了可靠的保证。同时感谢我的妻子和女儿, 他们对我的理解和支持使我有更多的时间和精力完成本书的创作。

由于作者水平有限及时间仓促, 书中的不足和疏漏在所难免, 恳请读者批评、指正。

李重

浙江理工大学

2012 年 9 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 服装 CAD 研究现状	1
1.2 数字几何处理介绍	2
1.3 服装 CAD 发展趋势与应用	3
1.3.1 服装 CAD 发展趋势	3
1.3.2 服装 CAD 的应用	3
参考文献	4
第二章 服装 CAD 中的曲线曲面造型	5
2.1 纸样设计中的传统曲线造型方法	6
2.1.1 三次参数样条插值曲线	6
2.1.2 Bezier 曲线	7
2.1.3 B 样条曲线	9
2.2 纸样设计中的一些新曲线造型方法	11
2.2.1 三次 Bezier 样条曲线	11
2.2.2 三次 T-Bezier 样条曲线	13
2.3 三维服装 CAD 中的传统曲面造型方法	18
2.3.1 Bezier 曲面	18
2.3.2 B 样条曲面和 NURBS 曲面	19
2.3.3 传统曲面造型方法存在的问题	21
2.4 三维服装 CAD 中的一些新曲面造型方法	21
2.4.1 T-Bezier 曲面的拼接在纺织服装造型中的应用	21
2.4.2 双三次 Bezier 样条曲面	25
参考文献	29
第三章 布料及服装模型的动态仿真	31
3.1 研究现状	31

3.1.1 布料仿真的研究现状·····	31
3.1.2 数字服装模型仿真的研究现状·····	32
3.2 布料模型的三维模拟·····	33
3.2.1 布料仿真的物理学模型·····	34
3.2.2 布料仿真的数值计算方法·····	35
3.2.3 基于四叉树细分的布料自适应动态仿真·····	37
3.3 数字服装的生成与人体模型碰撞研究·····	44
3.3.1 人体模型·····	45
3.3.2 衣片的缝合及数字服装的生成·····	46
3.3.3 球形包围盒的建立及简化·····	47
3.3.4 多分辨率椭球包围盒模型的生成·····	49
3.3.5 应用实例·····	54
参考文献·····	54

第四章 数字服装模型的边界提取与编辑····· 57

4.1 数字服装模型的预处理·····	57
4.1.1 网格模型的描述方法及孤立三角片的去除·····	57
4.1.2 孔洞区域的修复·····	60
4.1.3 数字服装模型的光顺处理·····	63
4.2 数字服装模型的拾取·····	66
4.2.1 视点坐标系中射线的形成·····	67
4.2.2 射线在场景坐标系下的表示·····	68
4.2.3 射线在物体局部坐标系下的表示·····	69
4.2.4 拾取数字服装模型上的任意点·····	70
4.2.5 应用实例·····	72
4.3 数字服装边界提取与延展·····	72
4.3.1 边界点的提取·····	73
4.3.2 边界点归类和样条曲线型值点的选取·····	74
4.3.3 反算样条曲线控制点及边界曲线的构造·····	74
4.3.4 边界长度计算·····	75
4.3.5 服装边界区域曲面延展·····	76
4.3.6 应用实例·····	77
4.4 数字服装边界切割和裁剪·····	78
4.4.1 编辑区域的拾取·····	79
4.4.2 切割面的形成与求交·····	79
4.4.3 服装模型的三角网格分离和重建·····	81
4.4.4 应用实例·····	82

参考文献	83
------------	----

第五章 数字人体及服装模型的尺寸提取及参数化	85
------------------------------	----

5.1 基于近似最短路径的三维人体尺寸提取	85
5.1.1 初始路径的计算方法	86
5.1.2 近似最短路径的矫正	87
5.1.3 针对边点算法的改进	90
5.1.4 应用实例	91
5.2 基于特征线的服装网格模型交互分割	93
5.2.1 离散曲率估算方法	94
5.2.2 特征点的提取	97
5.2.3 特征线的自动生成	98
5.2.4 交互式分割方法	100
5.2.5 应用实例	100
5.3 服装网格模型的均匀面积参数化及纹理映射	100
5.3.1 基于“弹簧模型”的平面参数化算法	101
5.3.2 改进的均匀面积参数化算法	103
5.3.3 纹理映射	104
5.3.4 算法实例与分析	105
参考文献	111

第六章 数字服装模型的切割及优化	113
------------------------	-----

6.1 服装模型表面点拾取及切割相关定义	113
6.1.1 表面任意点的拾取	113
6.1.2 切割线的定义	115
6.1.3 种子点的拾取	116
6.2 基于最小网格边曲率路径的切割算法	117
6.2.1 引言	117
6.2.2 网格边曲率定义	118
6.2.3 最小边曲率路径算法	119
6.2.4 算法的改进	120
6.2.5 算法实例与分析	121
6.3 基于最优切割面的网格最直路径切割算法	123
6.3.1 引言	123
6.3.2 法向量相关的最直路径算法	124
6.3.3 基于最优切割面的最直路径算法	126
6.3.4 特殊情况处理	128

6.3.5 算法实例与分析	128
6.4 切割边界网格重建与区域搜索	130
6.4.1 引言	130
6.4.2 切割线边界网格重建	131
6.4.3 切割片区域搜索	134
6.4.4 算法实例与分析	135
参考文献.....	136
 第七章 三维服装模型虚拟试衣.....	 139
7.1 三维人体模型和服装模型的建立	139
7.1.1 三维人体测量	139
7.1.2 三维数字人体模型的建立	140
7.1.3 三维服装模型的建立	144
7.1.4 常用的人体和服装建模的实现方案	147
7.2 三角网格模型上离散曲率和挠率的估算	149
7.2.1 三角网格模型的形式化描述及其基本定义	149
7.2.2 经典微分几何的曲率和挠率定义	150
7.2.3 已有的曲率和挠率估算方法	152
7.2.4 新的网格顶点离散微分几何特性的估算方法	152
7.3 三维试衣的理论及三维曲面匹配方法分析	155
7.3.1 三维试衣的理论分析	156
7.3.2 已有的三维试衣方法介绍	156
7.3.3 三维曲面匹配方法分析	157
7.3.4 曲面匹配的刚体变换矩阵计算	158
7.4 三维人体模型与服装模型的匹配	160
7.4.1 特征提取及相关工作	161
7.4.2 基于特征匹配的三维试衣算法	162
7.4.3 实验结果分析	167
 参考文献.....	 170



第一章 绪论

1.1 服装 CAD 研究现状

服装 CAD (Computer Aided Design) 技术, 即计算机辅助服装设计技术, 是利用计算机的软、硬件技术对服装新产品、服装工艺过程, 按照服装设计的基本要求, 进行输入、设计及输出等的一项专门技术, 是一项综合性的, 集计算机图形学、数据库、网络通讯等计算机及其他领域知识于一体的高新技术, 用以实现产品技术开发和工程设计^[1,2]。它被人们称为艺术和计算机科学交叉的边缘学科, 是以尖端科学为基础的不同于以往任何一门艺术的全新的艺术流派。服装设计传统上为手工操作, 效率低, 重复量大。而 CAD 借助于电脑的高速计算及储存量大等优点, 使设计效率大幅度提高, 具有有关的数据统计和企业的应用调查显示, 使用服装 CAD 可以比手工操作提高效率 20 倍。目前服装 CAD 技术已经涉及影视创作、游戏开发、虚拟现实、服装的真实感仿真等^[3]。

世界上最早出现的服装 CAD 系统是美国在 1972 年研究发明的 MARCON 系统, 经过商业产品化, 美国 Gerber (格柏) 公司率先把这套服装 CAD 系统推向市场, 成为国际上关于服装 CAD 系统的先驱。在接下来短短不到几年的时间内, 法国、日本、西班牙等国家也纷纷推出类似系统, 服装 CAD 系统的完善性逐渐成为衡量一个国家的服装设计水平和质量的重要标志。其中美国、法国、加拿大等国家研究开发的三维服装 CAD 软件比较先进, 如美国 Gerber 公司的服装设计系统和 AccuMark V-Stitcher 软件、美国 PGM 公司的 PGM 服装设计系统、法国 Lectra (力克) 系统及它的 Modaris 3D Fit 系统、加拿大 PAD 的三维立体样衣系统 (System 3D Sample) 等^[4,5]。

国内最初服装 CAD 的研究是于“六五”规划时期在引进、消化、吸收国外服装 CAD 系统的基础上进行的。到了 20 世纪 80 年代, 就将服装 CAD 系统的研制和开发正式列入了“七五”国家星火项目, 80 年代中期开始在引进国外 CAD 系统基础上进行服装 CAD 的研制开发。技术水平与国外发达国家相比虽然尚有一段距离, 但发展速度较快。到目前

为止, 二维的服装 CAD 技术已比较成熟, 各功能模块的开发和配置已经达到国外同等水平。至今已有 50 余套系统通过各种形式的鉴定并提交用户使用, 软件功能较齐全, 应用领域较广泛, 在一定程度上可与国外高水平软件相媲美。国内三维 CAD 起步较晚, 但在三维 CAD 应用上的研究已取得初步进展, 实现了仿三维 CAD 设计。国内网络上的“三维试衣”可通过 Flash 技术帮助网友挑选合适的搭配, 其中的服装和人体虽然能够旋转, 但只是多个平面照片的粘合而已, 距离国际上通行的三维试衣技术还有一定的距离。不过近几年, 经过国内研究人员的努力, 也出现了些比较出色的三维试衣系统。现在国内比较有名的服装 CAD 系统与试衣系统主要有: 中国航天工业总公司 710 研究所的 ARISA 系统、杭州爱科系统、北京和炫三维试衣软件等^[6]。

1.2 数字几何处理介绍

在国内外学者的共同努力下, 以二维计算机图形学为基础的放码、排料、款式设计、纸样设计等为主的服装 CAD 技术已得到成熟应用。与此同时, 随着人们对服装的合体性、舒适性、个性化要求, 以及服装生产、销售的质量和效率等需求的提高, 三维服装 CAD 引起了国内外众多研究机构的重视和兴趣, 成为一个世界范围内的研究热点。其研究方向主要集中在人体测量、服装和人体的建模、服装设计、裁片缝合、虚拟服装展示和三维服装展成二维衣片等方面^[7]。服装 CAD 的迅速发展使其含义已升华和扩展到以图形图像数据为信息中心、综合应用计算机辅助几何设计、多媒体信息存储和交换、计算机视觉、计算机网络、软件工程、专家系统等各个学科和领域的知识和技术, 具有几十项模块功能、智能化、集成化的计算机应用系统^[8]。

由于受到三维扫描技术和三维重建技术发展的推动, 三维虚拟服装不仅可以通过几何建模、物理建模以及两者混合建模等方式获取^[9], 也可运用三维扫描仪扫描获得, 且后者在建模效率和效果上均取得了较大的提高。各种基于网格模型的三维虚拟服装相关算法的研究受到关注。三维虚拟服装通常用三角网格模型表示。这主要得益于用三角网格模型描述模型的众多优点: 一方面它表达简单, 可通过大量三角形边形网格逼近描述任何复杂模型, 另一方面它在曲面的各种运算处理方面较为高效^[10]。

数字几何模型是真实世界中各种物体几何形状的数字表示, 亦即数字化的物理实体。数字几何处理即用计算机对这种三维几何数据进行处理, 以达到不同应用所要求的数据转换、模型表示或场景绘制等目的。目前, 基于网格模型的数字几何处理算法已被成功移植、应用于虚拟服装网格模型的处理, 其中切割和参数化算法在三维服装 CAD 中有着广泛而重要的应用, 例如服装自由编辑、虚拟立体裁剪、衣片纹理映射、服装曲面展平等^[11-12]。现有的切割方法主要针对某种特殊的应用, 往往比较单一, 对于款式多样、模型复杂的虚拟服装, 较难完成理想的切割工作。而与切割相关的网格参数化算法通常在保角映射和保面积映射方面较难取得平衡, 如何寻求变形小、均匀面积的参数化方法, 以更好地实现虚拟服装的纹理映射, 增强虚拟服装的真实感也是一个热点课题。因此, 研究针对不同情形的切割算法以及适合于虚拟服装应用的参数化方法, 对满足虚拟服装的不同应

用要求,丰富服装 CAD 的内容和扩充其功能具有重要意义。

1.3 服装 CAD 发展趋势与应用

1.3.1 服装 CAD 发展趋势

目前的三维服装 CAD 正沿着从二维到三维、静态到动态、近地到远程、服装设计过程的一体化、服装设计的自动化、服装设计的便捷化、服装设计的虚拟化、服装设计的个性化的方向发展^[13]。重点包括三维人体模型的形体测量、个性化服装设计、三维服装造型研究、立体裁剪、立体缝合、虚拟试衣、动画模拟以及基于互联网的定做、销售和展示等。总结下来主要有下面几个发展趋势:

(1) 网络共享化 随着全世界互联网的高速发展,网络服装设计逐渐成为主流。在越来越专业化、全球化的生产经营模式下,服装 CAD 开发商、经销商和用户将通过网络相互联系、共享资源,针对一些问题相互讨论、相互学习。企业基于网络的 CAD 系统实现数据的共享和标准化,产品的并行设计也将为 CAD 系统的高效快速发展提供支持^[14]。如今顾客可以进入网络的虚拟现实环境中购买服装,任意选择最适合的服装。

(2) 智能化 服装 CAD 产品将朝着智能化的方向发展,通过建立更多的服装样板模块及设计向导为设计人员提供智能支持,这些智能支持包括自学习、自组织、自适应、自纠错、并行搜索、联想记忆、模式识别、知识自动获取等多种智能技术的支持。也许以后我们只要给定服装各部位尺寸数据,按照一定款式模型,系统就可以自动生成样板图,然后通过服装设计师进行创新设计,在最短的时间内得到最佳设计方案并生成样衣^[15]。

(3) 三维立体化 三维服装 CAD 技术的立体化,可以使服装设计人员利用网络传输功能与三维虚拟现实设计技术在虚拟的三维环境下进行服装设计工作^[16]。根据平面样板生成的三维服装图、在人台上进行立体裁剪并自动生成样板图。

(4) 标准化 目前服装 CAD 没有一个统一的标准,都是各自为政。随着各大系统朝着智能化、从二维的服装 CAD 到三维服装 CAD 的快速变化,需要有规范统一的技术准则^[17]。以后随着服装 CAD 系统逐步成熟,进行了标准化建设,使得各个 CAD 系统能够统一输入输出格式,有利于企业的管理。

1.3.2 服装 CAD 的应用

国内外市场上三维服装 CAD 的应用主要有两类:

一是用于服装设计:针对特定客户人体的参数测量及其对服装款式的特定要求(如放松量、长度、宽度等方面的喜好信息),进行服装设计,再生成相应的平面服装样片^[18]。此类产品是专业的三维服装 CAD 处理系统,主要面向的人群是专业的服装设计或制作者,不利于普通消费者使用。其中以美国、英国、法国、德国、日本、瑞士的系统较为先进。

二是用于模拟试衣系统：通过对顾客体型的三维测量，调用后台数据库中的基本三维人体模型，作适当的调整，模拟顾客的体型，试穿服装，也就是我们平常所说的三维试衣系统。这类应用可利用互联网进行电子商务的远程控制实现，适合普通消费者网上购物，如美国的 Land'send 公司在互联网上可建立顾客的人体虚拟模型，通过顾客的简单操作，可试穿该公司所推出的服装，还可进行适当立体互动设计，直到顾客满意为止。

参 考 文 献

- [1] 刘卉, 许端清, 陈纯. 服装 CAD 综述 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12 (6): 473-480.
- [2] 陆永良, 李汝勤, 胡金莲. 虚拟服装的发展历史和现状 [J]. 纺织学报, 2005, 26 (1): 132-134.
- [3] 闫怡, 张瑞云, 李汝勤. 纺织 CAD 的网络设计发展趋势 [J]. 纺织学报, 2004, 25 (1): 115-117.
- [4] 王湛, 张辉, 赵玉玲. 三维服装 CAD 中建模与展示技术 [J]. 纺织学报, 2008, 29 (4): 91-94.
- [5] 徐文鹏, 陆国栋, 王剑等. 三维服装 CAD 中几何约束表达及其求解技术研究 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17 (5): 1054-1059.
- [6] 刘军, 李重, 胡觉亮. 基于特征匹配的三维试衣效果 [J]. 纺织学报, 2009, 30 (1): 122-126.
- [7] Wang C. C. L., Tang K. Pattern Computation for Compression Garment [C]. In Proceedings of ACM Symposium on Solid and Physical Modeling, 2008: 203-211.
- [8] Cho Y, Komatsu T, Inui S, et al. Individual Pattern Making Using Computerized Draping Method for Clothing [J]. Textile Research Journal, 2006, 76 (8): 646-654.
- [9] Cordier F, Seo H, Magnenat-Thalmann N. Made-to-Measure Technologies for An Online Clothing Store [J]. Journal of IEEE Computer Graphics and Applications, 2003, 23 (1): 38-48.
- [10] Sul I. H., Kan T. J. Interactive Garment Pattern Design Using Virtual Scissoring Method [J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2006, 18: 31-42.
- [11] 李基拓. 三角化曲面展开技术研究及其应用 [D]. 浙江大学, 2005: 2-4.
- [12] 马晓宇, 冯毅力. 三维服装模拟技术的研究进展 [J]. 纺织学报, 2004, 25 (4): 121-124.
- [13] Fontana M, Rizzi C, Cugini U. A CAD-oriented cloth simulation system with stable and efficient ODE solution [J]. Computers & Graphics, 2006, 30 (3): 391-406.
- [14] Luo Z, Yuen M. Reactive2D/3D garment pattern design modification [J]. Computer-Aided Design, 2005, 37 (6): 623-630.
- [15] 方萃浩, 彭维, 叶修梓. 以网络为中心的几何造型技术 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17 (5): 879-886.
- [16] 钱素琴. 基于 Web 技术的服装款式图设计系统 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18 (6): 889-892.
- [17] Broun P. J. Consumer choices clothing ideas for people with special needs [R]. Iowa State University Extension, 2003.
- [18] 李旭. 服装 CAD 技术指标评价体系的建立 [J]. 纺织学报, 2006, 27 (2): 105-119.





第二章 服装 CAD 中的曲线 曲面造型

服装 CAD 纸样设计过程中,通常先根据尺寸大小确定控制点,对这些控制点使用直线段绘制样片的大体轮廓,即绘制多边形;然后在控制多边形内用直线或曲线绘制封闭的图形。由于样片的形状不规则,即构成样片的曲线有时比较复杂;有时候用单一的一条曲线无法表达出正确的效果,就需要由多个曲线段拼接而成^[1]。为了使曲线光滑、丰满、有弹性,经常会遇到以下两个问题:(1)曲线与控制边相切的问题^[2]。(2)多个曲线段的光顺拼接问题^[3]。

在纸样设计中,选择合适的曲线方法作为连线的手段是十分重要的,目前,对于这些问题,很多人也做了许多研究,给出了一些方法。Sohel, F. A. 等人提出的动态 Bezier 曲线造型方法^[4],表示方法灵活,但构造相对复杂。王小林等提出了四次 Hermite 插值曲线^[5]方法,该方法构造的曲线满足给定点位置矢量和一阶导数矢量条件,插值精度较高,但插值精度及稳定性还有待于提高。陈文喻等人提出了 PH-C 曲线^[6],该曲线具有较好的性质,如插值离散点得到的曲线具有均匀的曲率分布,具有在恒速或变速时实时插补处理等数控功能等。然而,该曲线方法对于控制顶点的计算却比较复杂,而且需要满足特定的条件,这造成了该曲线的使用受到了一定的限制。苏翎等人给出了一种过控制顶点的二次均匀 B 样条曲线^[7],该曲线具有良好的局部修改性,但是其光顺效果一般,且需要满足一个特定的边界条件。总的来说,这些方法都或多或少存在一些问题,无法同时满足服装纸样设计的效果和效率要求。

在三维服装造型和人体造型建模中,往往需要使用到各种曲面。由于实际几何造型的复杂性,用单一曲面片往往难以实现,必须使用组合曲面,于是常常会出现以下问题:

(1) 参数曲面片间的光滑连接是 CAGD 中一个困难而又重要的问题,如何使几何造型看起来更为光顺、真实,是一个值得研究的问题。

(2) B 样条, NURBS 曲面是几何实体造型的常用方法,但定义及计算相对复杂,在实际三维造型设计中,选择简单、合适的曲面造型方法也是我们要考虑的。

关于这些问题,已经有了很多研究,也提出了一些新的改进方法,如 Wang G 等人提

出了通过一组给定的空间测量曲线构造参数化曲面的设计方法^[8]，取得了较好的造型效果，但是需要较多的数学运算，影响了它的使用。范辉等人给出了 B 样条曲线曲面 GC^2 扩展^[9]方法，该方法构造出来的曲面光顺性较好，曲率变化平坦，几何形状较自然，但需要利用到能量极小化方法，计算较为耗时。吴晓勤等人提出了一种带形状参数的 Bezier 三角曲面片^[10]，该曲面可以在保持控制网格不变的情况下，通过调节参数来改变形状，这对于三维造型是非常有利的，然而，由于其基函数是一组带有参数 λ 的 $(n+1)$ 次多项式，计算相对麻烦。

总的来说，目前很多用于服装设计的曲面造型方法虽然效果较好，但往往存在着计算复杂、拼接困难等问题，还有许多问题需要考虑和解决。

2.1 纸样设计中的传统曲线造型方法

一张服装的纸样图，往往是由许多直线和曲线的线条连接而成的，较之简单直观的直线，服装衣片中的曲线千变万化，对服装成品的外观质量起着至关重要的作用。如上装的袖窿、袖山弧线、领圈弧线、下装的裤后裆以及下裆缝等衣片轮廓线，其准确与否直接决定着服装加工质量及合体程度，这就要利用自由曲线设计方法^[11]。自由曲线设计相对于直线、圆和圆弧比较复杂，因此自由曲线的合理选择是服装 CAD 系统设计的关键。下面介绍几种纸样设计中传统的曲线造型方法。

2.1.1 三次参数样条插值曲线

2.1.1.1 曲线的定义及构造

在计算机绘图中，三次参数样条曲线是使用最广泛的一种曲线。因为它是保证各曲线段在连接点处达到二阶连续的最低次曲线，而且三次样条曲线的数学表达式简单，计算方便，且性能稳定，便于分析。参数表示方法还有许多优点，如曲线的方程与坐标系的选择无关，化多值函数为单值函数等。下面简单介绍一下三次参数样条插值曲线。

设有离散点 $P_0(x_0, y_0)$, $P_1(x_1, y_1)$, $\dots$, $P_{n-1}(x_{n-1}, y_{n-1})$ ，若有一条曲线 $P(t)$ 满足：

- (1) 顺次经过点 $P_i (i=0, 1, \dots, n-1)$ ；
- (2) 在每两个点 $P_i, P_{i+1} (i=0, 1, \dots, n-2)$ 之间是三次参数曲线；
- (3) 整段曲线是二阶连续的。

则称曲线 $P(t)$ 为三次参数样条曲线，如图 2-1 所示。

以 t 为参数表示的单参数三次曲线可由下式给定：

$$P(t) = B_1 + B_2 t + B_3 t^2 + B_4 t^3 \quad (2-1)$$

式中， $P(t) = [x(t), y(t)]$ ， $B_i = [b_{1i}, b_{2i}]$ 。

$P(t)$ 可看作是三次曲线上任一点的位置向量，系数 B_i 由对三次曲线段指定的四个边界条件来求定。设这个三次曲线段的端点为 $P_0(t=0)$, $P_1(t=1)$ ，且在这两个端点处的

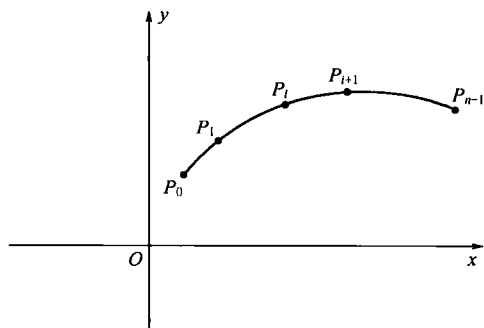


图 2-1 三次参数样条曲线

切线矢量为 $P'_0(t=0)$, $P'_1(t=1)$, 于是我们可计算出以下结果:

$$B_1 = P_0;$$

$$B_2 = P'_0;$$

$$B_3 = 3(P_1 - P_0) - 2P'_0 - P'_1;$$

$$B_4 = 2(P_0 - P_1) + P'_0 + P'_1.$$

将上面求出的四个系数代入式 (2-1), 可整理出下面的表达式:

$$P(t) = (2t^3 - 3t^2 + 1)P_0 + (-2t^3 + 3t^2)P_1 + (t^3 - 2t^2 + t)P'_0 + (t^3 - t^2)P'_1 \quad (2-2)$$

式 (2-2) 就是一段参数三次曲线, 又称为三次 Hermite 曲线。

对于通过一系列离散点 $P_0(x_0, y_0)$, $P_1(x_1, y_1)$, $\dots$, $P_{n-1}(x_{n-1}, y_{n-1})$ 的曲线 $P(t)$ 来说, 不仅每两个点 $P_i, P_{i+1}(i=0, 1, \dots, n-2)$ 之间都是三次参数曲线, 而且相邻曲线段之间还要满足二阶连续, 实现光顺连接。要使相邻曲线段 $P_{i-1}(t)$ 和 $P_i(t)$ 在 P_i 点处二阶连续, 就必须使它们在 P_i 点的二阶导数相等, 即 $P''_{i-1}(1) = P''_i(0)$, 再利用连接点处函数值相等的条件 $P_{i-1}(1) = P_i(0)$, 将前面求出的 B_i 代入, 经过整理可以得到:

$$P'_{i-1} + 4P'_i + P'_{i+1} = 3(P_{i+1} - P_{i-1}) \quad (2-3)$$

从 P_0 到 P_{n-1} 共有 $n-1$ 段曲线, 即 $n-2$ 个连接点, 根据式 (2-3) 只有 $n-2$ 个方程, 因此还需要增加两个约束条件。假设两端点的切矢量为 P'_0 和 P'_{n-1} , 于是根据这些条件, 我们就可以求出各个点的切矢量, 进而确定三次样条曲线的各段曲线。

2.1.1.2 曲线特点及其应用范围

三次参数样条曲线一个突出特点就是曲线曲率的变化与型值点的位置关系较大, 亦即曲线曲率的变化比较灵活, 阶次越高曲线的弹性也越大。在女装设计中, 因体型起伏变化较大, 曲线的曲率变化要求较大, 局部造型较容易实现, 此时采用三次样条曲线是比较适用的。

2.1.2 Bezier 曲线

1962 年法国 P. Bezier 应用 P. de Casteljan 提出的数学公式, 构造了一种以逼近为基础的, 有控制多边形确定的曲线, 即 Bezier 曲线^[12]。Bezier 的方法将函数逼近和几何表示结合起来, 有很强的直观性。设计人员可以根据给定的控制点, 预计曲线的大致形状,