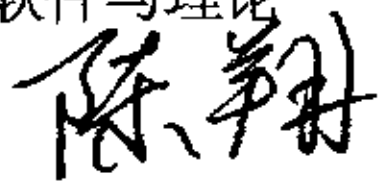


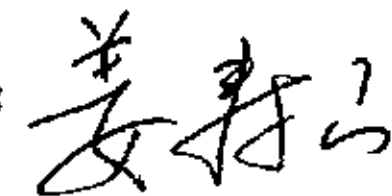
皮鞋的计算机辅助设计系统研究

学科：计算机软件与理论

研究生签字：



指导教师签字：



摘 要

针对个体脚型特征,对个性化鞋楦造型设计及皮鞋 CAD 系统进行了应用性基础研究。分析和讨论了如何根据个体脚型设计和制造出符合个性化要求的鞋楦,提出了个性化皮鞋 CAD 设计模式。主要研究内容和取得的成果有:

1) 分析了脚型规律与鞋楦设计的关系规则,选择标定了六个关键部位用来描述个体脚型特征,利用三维非接触激光扫描系统对在校大学生进行了脚部立体扫描,提取了脚型特征数据,为实现个性化鞋楦及皮鞋设计提供了依据。

2) 利用三维非接触激光扫描系统获取鞋楦测量数据,引入逆向工程技术,分析了鞋楦点云数据处理及特征线构建技术,提出了鞋楦 3D 自由曲面模型的快速重建方法,实现了鞋楦设计的数字化。

3) 基于 SolidWorks 平台实现了鞋楦曲面模型的三维显示和参数化几何造型设计。根据脚型特征数据与鞋楦参数之间的关系规则,提出了符合个体脚型的个性化鞋楦造型设计方法。

4) 通过 Visual C++6.0 工具,运用 DLL 技术、COM 接口技术和 DAO 数据库技术对 SolidWorks 进行二次开发,编写了皮鞋 CAD 软件功能模块,建立了具有 Windows 图形用户界面风格的皮鞋 CAD 系统,基本实现了鞋楦造型设计、鞋帮设计、鞋底造型设计和三维款式设计功能,以及三维效果显示和交互式修改设计。

关键词: 脚型特征 个性化 鞋楦 皮鞋 CAD 逆向工程 曲面重建

Leather Shoes CAD System Research

Discipline: Computer Software and Theory

Student signature: *Chen Xiang*

Supervisor signature: *Jiang shou shan*

Abstract

To the individual foot-type characteristic, the dissertation addresses the individualized last shape-designing and leather shoes CAD system. According to the individual foot-type, how to design and produce the last which accord with the individualized request is analyzed and discussed. The mode of individualized leather shoes CAD is put forward.

The main contributions are follows:

1) The relation rule of the foot-type law and last design is analyzed. For describing the individual foot-type characteristic, six pieces of key position are chosen. The 3D non-contact measurement laser scanner system is utilized to scan the feet of university students, the foot-type characteristic data have drawn, which offers basis on which realize individualized last and leather shoes to design.

2) The 3D non-contact measurement laser scanner system is utilized to obtain the last measurement data, leading reverse engineering into, it is analyzed that last cloud data processing and characteristic line structure technology. The fast reconstruction method of the last 3D free-from surface model is proposed, which realizes the digitization of the last design.

3) On the basis of SolidWorks platform, the 3D display and parameter geometry shape-designing of the last curved surface model are realized. According to the relation rule between the foot-type characteristic data and last parameter, the individualized last modeling design method according with the individual foot-type is proposed.

4) The DLL, COM interface and DAO database technologies are applied to carry on the SolidWorks secondary development through Visual C++6.0 tool. The leather shoes CAD software function modules are compiled; the leather shoes CAD system with user's interface style of Windows figure is set up. The design functions in last shape-designing, design of upper of last, sole shape-designing and three-dimensional style are realized basically, as well as the 3D result display and interactive revised design.

Key words: foot-type characteristic; individualized; shoe last; leather shoes CAD;
reverse engineering; surface reconstruction

1 绪论

1.1 前言

计算机辅助设计(CAD)可定义为用计算机系统来辅助一个设计工作的产生、修改、分析或优化。计算机辅助制造(CAM)可定义为通过对工厂生产资源的直接或间接的计算机接口联系,以达到用计算机系统对制造厂的作业进行设计、管理和控制。

CAD/CAM 技术具有高智力、知识密集、更新速度快、综合性强、效益高、初始投入大等特点。它是当前国际上科技领域的前沿课题,也是世界各国竞相大量投资的高技术——集成化制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, 简称 CIMS)的核心技术基础之一。

在发达国家中, CAD/CAM 技术已进入普及阶段, 商品化软件已趋于成熟, 应用普及, 因而使产品的设计制造和组织生成的传统模式产生了深刻变革。它改变了工程技术人员的工作方式, 缩短了产品研制周期, 显著改善了产品质量, 提高了开发新产品的成功率, 打破了传统上的职业界限, 它使密集性的劳动行业逐步被密集性的中心工厂所代替, 小批量产品生产能以大批量生产效率处理。目前, CAD/CAM 技术在美、英、日、西欧诸国已经形成了一个推动各行各业技术进步的、能够创造大量财富的、具有相当规模的新兴产业部门——软件产业。

CAD/CAM 技术的重要性在于它推动了几乎一切领域的设计革命, CAD/CAM 技术的发展和水平已成为衡量一个国家的科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。CAD/CAM 技术从根本上改变了过去的手工绘图、发图、拼图纸, 组织整个生成过程的技术管理方式, 将它变为在图形工作站上交互设计、用数据文件发送产品定义、在统一的数字化产品模型下进行产品的设计打样、分析计算、工艺计划、工艺装备设计、数控加工、质量控制、编印产品维护手册、组织备件订货供应等等。在当今这个高效率、高效益、高技术竞争的时代, 要想适应瞬息万变的市场需求, 促使产品更新换代, 就必须采用 CAD/CAM 技术。

1.2 CAD/CAM 技术在皮鞋制造业中的应用

皮鞋是人们日常生活必须品, 它既是满足生理及运动需要的功能性实体, 也是服饰美的必要组成部分, 对于保证人体健康和增进美感有重要的意义。

从运动及生理的角度分析, 皮鞋要能够保证脚部健康。首先必须要“合脚”, 也就是穿起来舒服, 无夹脚、挤脚、顶脚、压脚、拖跟等现象, 静态时无不适感觉。其次是运动生理需要, 要求皮鞋在行走中能够满足人体运动生理的需要, 无短时行走疲劳感觉与其他不良感觉。此外, 皮鞋还要求有良好的透气性、保温性或散热性等等。

从服饰整体美感来讲, 皮鞋又是美的载体, 体现着文化素养、审美观念和经济实力水平。一方面, 不同款式和档次的服装配以相应的皮鞋才会在整体上产生协调的美。另一方面, 皮鞋本身也具有统一的美感, 比如头势尖、狭型的皮鞋, 其后跟跟型宜细且弯, 而头

势方、圆的，其跟型宜粗且直。

随着人民生活水平的提高，皮鞋的需求量越来越大，对皮鞋的要求也越来越高，人们已经不满足于简单的穿着需要，对舒适性、运动功能性和款式的要求在不断提高，皮鞋的分类越来越细，款式变化越来越快。相应地，能够快速设计与生产既满足舒适性与运动功能的需要，又满足变化的审美要求的新款皮鞋，从而获得良好的经济效益已经成为设计者与生产者所希望达到的目标^[1-3]。紧随 CAD/CAM 技术的发展，借助于计算机技术，将传统的制鞋经验、方法和工艺构成专家系统，应用在帮样设计、楦型设计、鞋底设计等环节上，已使传统的皮鞋制造业发生了深刻的变化^[4-7]。

1.2.1 国外发展现状

国外的研究与应用比较成熟，自 1976 年欧美第一套制鞋 CAD 系统问世以来，到 1981 年发展到三家鞋厂采用，而到 1986 年竟达五十多家采用 CAD 系统，其普及率达 40%，到 2000 年普及率几乎已达到 100%。使用较为普遍的国外的 CAD/CAM 系统有^[8]：

- 1) 英国的 Crispin 及 Shoemaster 系统。
- 2) 美国的 Microdynamics 系统。
- 3) 奥地利的 Pro CAM 公司的 2D/3D 系统。

限于篇幅及厂商提供的资料所限，就目前运用较多的两个系统作介绍：

a. Crispin 系统 是优仕恩公司目前在市面上使用最多的一套 CAD/CAM 系统，这是一套用于鞋楦、底部和后跟的模具设计和制造的 CAD/CAM 计算机辅助系统。它由九个工作站组成，其中以放样为中心，在三维方面着重于鞋面上的设计，楦头设计方面正在继续发展。CRISPIN 系统数据由平面二维数位板输入或由三维的 Shoe design 输入，然后 Pattern Engineering 可以进行鞋面设计、纸版分片设计、技术绘图、运动鞋大底设计，以及鞋面和大底的级放。相关构造线功能使设计的修改十分简单、迅速，并可从屏幕上看到实际的效果。级放功能的灵活性使简单的级放可以有效的完成，最复杂的群组级放及混合级放也非常容易执行，所有级放可以在完成以后再重复检查。而相关的数据可以输出到其它 CRISPIN 产品，送到绘图机绘图。

b. Shoemaster 系统 坦森行所代理的 Shoemaster 系统，是由英国的克拉克公司开发的。Shoemaster 系统的重心是在楦头，传统的制鞋流程将许多的时间花费在楦头制作与打样上，面对今日少量多样的流行市场，如能在开发过程中利用 Shoemaster 的功能辅助开发工作，则可提早在计算机上看到楦头各种角度所呈现的形状，并可在计算机上做楦形的修改，设计师也可以在计算机上预先看到打样结果；如有不同材质的设计，Shoemaster 则提供了着色与材质配合使用的强大功能。

Shoemaster 的鞋样设计可分为二维及三维。三维的鞋样设计在贴好美纹胶带的楦头或塑料真空成型模上，设计师划出心目中想要的造型线，再由点楦机输入，造型线将同时显示在计算机屏幕上，输入完成后，设计师可以再在三维或二维上修改，直到满意为止。二维的鞋样设计就是在半面版上设计，可以先利用已分好的内外腰的半面版做草图的构想，再利用数字版输入造型线，同样，输入之后设计师也可以再做设计修改。

1.2.2 国内发展现状

国内计算机辅助鞋样设计系统的研究始于上世纪 80 年代中期，当时比较著名的单位

有,原轻工部制鞋科学研究所、重庆大学光机所、四川电子科技大学、上海皮革研究所等。其中,重庆大学 1990 年研究出的 CSC-II 系统水平较高。该软件首次在 UNIX 系统上实现了基本的三维鞋帮造型设计功能,其曲面拟合、分割、真实感渲染算法都是自行研制完成的,开创了国内高端鞋业 CAD 应用系统研发先河,有很高学术研究价值。

1994 年原轻工部制鞋研究所推出首套基于 WINDOWS 平台的制鞋 CAD 系统,但没有得到大面积推广。同年,温州经伟公司推出基于 DOS 平台的商用制鞋 CAD 系统。1996 年,北京奥斯曼软件公司在原鞋所系统的基础上,开发出基于 WINDOWS 平台的商业鞋样 CAD 系统。该系统主要采用高精度扫描仪作为输入设备,相比采用数字化仪的输入方式,样片输入精度有了大幅提高。1998 年,奥斯曼公司推出新一代鞋样 CAD 系统,该系统一经推出,就赢得了国内众多鞋企和鞋业学校的积极响应。

随后,国内很多高校和科研单位也开始研究把 CAD/CAM 引入制鞋业^[9]。四川大学光电系研制的“LMA-100 鞋楦三维面形自动测量系统”,可以获得高精度的楦体三维数据,在此基础上又于 1999 年开发完成了基于 Windows95 平台的帮样辅助设计软件,软件的第一版已在实际中得到使用,并得到了一部分用户的认同。成都科技大学研制的“鞋样 CAD 系统”用手工测量的方法获取鞋楦特征部位的三维数据,用双三次 B 样条曲面拟合逼近算法构造鞋楦表面,然后进行展平、曲跷处理。轻工业部研究所研制的“皮鞋 CAD/CAM 系统”解决了用测楦数据控制刻楦机的功能。重庆皮鞋工业科研所与重庆大学光电信息系、轻工部制鞋研究所相继研制的出三维 SCAD-100 鞋帮 CAD 系统,在技术上实现了鞋帮三维曲面展平处理和采用无接触方式对鞋楦进行测量等功能。

步入 21 世纪后,国内制鞋软件行业得到了进一步的发展,制鞋 CAD 软件也深入到高端的鞋样 2D/3D 设计、鞋底、鞋楦设计,优化排料等领域。北京奥斯曼公司引进美国最新的三维设计平台,从底层开始研发。至今,已成功地开发出鞋楦展平、鞋帮取跷处理、平面参数化设计、鞋帮三维造型设计;鞋底、鞋楦参数化设计;优化排料算料等核心模块,并正在进一步开发商业级应用系统。新系统利用了国际上新的曲面造型技术,并融合了独到的计算机取跷处理算法,软件的综合性能,完全可与国外先进系统媲美,在软件的易用性方面也将有大幅提升^[10]。中国皮革和制鞋工业研究院研制的鞋帮、鞋楦 CAD/CAM 系统,较好地实现了鞋帮平面设计放码、鞋帮三维设计和鞋楦三维设计主要功能^[11]。浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室研制的 Shoe CAD/CAM System—PowerShoe 系统,使用 DGP (Digital Geometry Processing, 数字几何处理) 和 CAGD 的新技术,开发了一套皮鞋 CAD/CAM 系统并且解决了鞋楦的测量与展开,以及交互式的设计等几个关键问题,能有效地利用现有的设备生产皮鞋^[12]。

综合上述文献资料可知,皮鞋制造业正面向设计无纸化、数据科学化和生产数字化方向发展^[9]。

a. 设计无纸化 计算机能够逼真地以 1:1 的比例显示皮鞋设计效果图和鞋楦的效果图,生成楦体图、效果图、帮样展平图等以及修改设计、动态观察等工作都可在计算机上完成并实现基于计算机网络的数据传递,这将使设计者无须绘制图纸、制作实体模型或样品就能完成设计的全过程,实现设计无纸化。

b. 数据科学化 以鞋楦测量结果作为鞋楦造型的几何描述数据,以解剖学、运动生理学、人机工程学等学科的理论分析与实测数据作为皮鞋设计的数据库、专家库基础,使经验规律和测试结果量化,再进一步结合材料、有限元、计算机图形学等相关学科的技术,

在计算机上实现静态与运动仿真模拟,使所设计的每一种皮鞋都符合生理、运动等方面的要求并具有设计者理想中的美感,真正从经验设计转变到以大量科学合理的数据和分析方法为基础的优化设计,实现数据的量化存储与传递。

c. 生产数字化 建立鞋楦几何体的数学模型就可以相应地得到曲面上的点和其他信息,将这些信息传递给后置数控编程等模块,可以进行干涉校验、生产规划并编制出相应的数控加工程序,从而实现鞋楦加工、帮样展平剪裁数字化。

1.3 课题的提出和意义

随着社会现代化程度和物质生活水平的不断提高,人们对自己所穿的皮鞋的舒适性和个性化的需求日益增强,而现有的皮鞋 CAD/CAM 系统在设计 and 制造中存在以下两点需要解决及完善的问题:

- 1) 对于某个体,工厂流水线生产的皮鞋不一定适合他的脚型。
- 2) 长期穿不符合个体脚型生理特点的皮鞋会影响脚骨的发育。

存在的困难是:

1) 皮鞋设计是以鞋楦(母楦)为依据,皮鞋造型、定型依赖于楦模的形体;而鞋楦的造型是按人群脚型规律和动、静态时的生理需求美化设计的,所以各种类型皮鞋的鞋楦不会是一种款式规格,而且不同国家和不同地区的鞋楦要按各国和各地区人群脚型规律、流行和习俗来设计,因此,基于母楦设计的皮鞋不一定适合某个个体的脚型,是必然存在的。

2) 脚型是制作楦型的依据,但脚型并不等于楦型。鞋楦的造型是根据脚型的特点、尺度及人们对鞋的使用需要结合审美因素设计加工而成的,是对脚型的抽象和升华,而且鞋楦是自由曲面体,传统的解决方法是采用手工定做,但不适合现代化生产制造要求。

国外在这方面的研究与应用比较成熟,如近年由法国克雷奥公司推出的“定做皮鞋系统”,从在商店里进行脚型测量开始到工厂定做出一双皮鞋需要三天的时间^[9]。

在国内,从文献资料看,仅有浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室等联合共同开发的“基于人脚动力学原理的个性化皮鞋 CAD 软件系统”,利用普通三维扫描仪获取的人脚点云数据,计算出脚长、跖围、跗围等重要参数,并重建出个性化的人脚三维模型;然后根据人脚数据对鞋楦进行微调,并生成符合特定人脚数据的个性化鞋楦模型^[10]。但是该系统需采集 50 左右个人脚点参数作为人脚建模的约束性条件,工作量和难度较大;而且没有鞋楦数字化模型创建过程的描述。

正是由于上述原因,为了适应人们不断增长的物质需求,本课题提出了基于个体脚型的个性化皮鞋 CAD 系统的应用性基础研究。

本课题研究的意义在于使过去只有经验丰富的老鞋匠才能手工定做出的皮鞋,如今借助现代先进的计算机技术和制造方法同样也可以方便快速地制作出来,并更能适合社会的现代化发展,使更多的人可以穿上符合自己生理特点的皮鞋,满足人们对皮鞋的舒适性和个性化需求。

1.4 课题的研究内容和结构安排

个性化皮鞋设计中最核心的问题是,如何根据个体脚型设计和制造出符合个性化要求

的鞋楦。因为鞋楦是制鞋工艺中皮鞋款式的基准，是制鞋的基础。只有在鞋楦满足个性化需求的前提下，才有可能设计和生产出对某个体而言是最合脚、最舒适的皮鞋^[13]。

通过三维测量系统一方面获取个体脚型的特征数据，一方面输入尽可能丰富的参考母楦，并把这些母楦参数化，则可按个体脚型的特征数据从楦型库中搜索相似的母楦，提取出其特征线、面等进行重新构型，或调整母楦参数，就能实现个性化的鞋楦造型设计，以及个性化皮鞋设计。

鉴于此，本课题将利用先进的 CAD 技术、计算机辅助测量技术和逆向工程技术进行以下方面地研究：

1) 根据脚型规律，提出个体脚型特征部位的标定方法及选择依据，利用三维非接触激光扫描仪对在校大学生进行脚部立体扫描，获取用来描述个体脚型的特征数据，为个性化鞋楦设计提供数据依据。

2) 根据课题特点，按照逆向工程的要求，提出鞋楦点云数据处理及特征线构建技术和方法，实现鞋楦 3D 自由曲面模型的快速重建，为鞋楦造型设计提供丰富的参考母楦。

3) 根据鞋楦自由曲面体特点，以 Visual C++6.0 为开发工具，基于 SolidWorks 平台进行面向个体的鞋楦实体参数化设计，实现鞋楦曲面体三维显示和参数化几何造型设计。

4) 根据个体脚型特征数据对母楦曲面模型进行造型设计，提出符合个体脚型的个性化鞋楦设计方法，实现个性化皮鞋 CAD 系统。

论文的整体框架如图 1.1 所示。

第一章 绪论	
第二章 皮鞋设计基础	
第三章 计算机辅助脚型测量	第五章 SolidWorks 二次开发技术
第四章 鞋楦 3D 曲面模型逆向构建和设计	
第六章 皮鞋 CAD 系统设计与功能实现	
第七章 结论与展望	

图 1.1 论文框架图

2 皮鞋设计基础

设计是一门将人类物质文明与精神文明融合中和的应用学科，它不仅要求设计师有较高的视觉敏感度和扎实的形象表达技能，眼手协调，还要通晓设计规则，而且还要求设计师能对技术和艺术做出思考和研究，要能广泛地将自然科学和社会科学的知识加以应用，不断创新^[14,15]。所以，本章将在皮鞋设计基础上分析和讨论皮鞋的设计理论和方法。

2.1 皮鞋设计及一般步骤

2.1.1 皮鞋与设计

皮鞋设计是以皮鞋为对象，考虑其各种机能、选择素材、运用一定技法来完成一双或一系列皮鞋的形体，使设想实物化的创造性行为。皮鞋设计是皮鞋机能、素材、技法三者的统一体，见图 2.1。

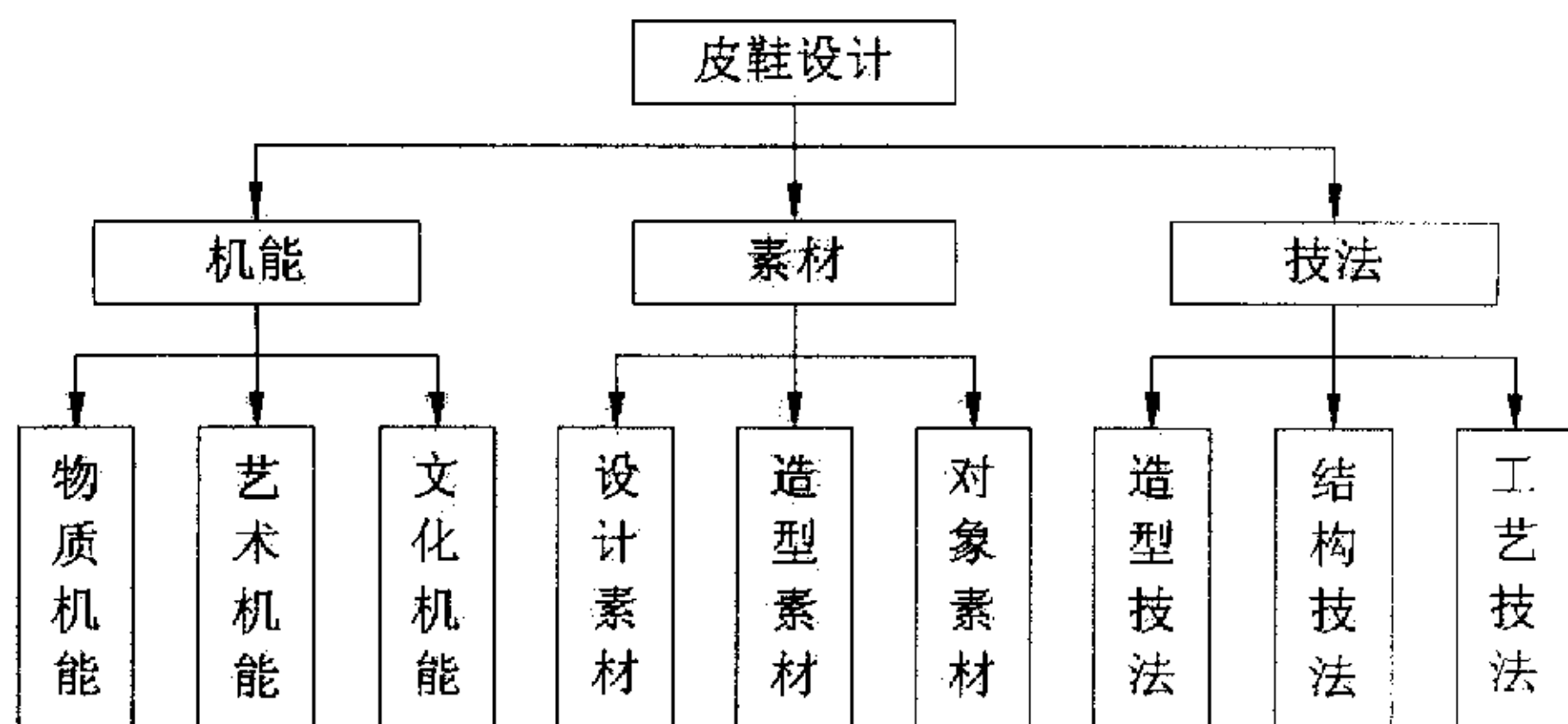


图 2.1 皮鞋设计的三内涵的具体内容

2.1.2 皮鞋设计的一般步骤

皮鞋设计的内容可分为三部分：一是造型设计，主要由鞋楦和跟型设计来完成；二是结构设计，包括鞋帮结构设计和鞋底结构设计，有平面设计法和复样设计法；三是工艺设计，是要针对产品质量设计出加工的流程。鞋体外形是由鞋楦的造型决定的，有了鞋楦，才能着手结构设计，进行帮样设计、鞋面设计、内底设计、外底设计、主跟和包头设计。

皮鞋造型设计不是进行简单的模仿或修改，应该是设计师创造性思维在皮鞋造型上的体现，这样一来，就要求皮鞋的造型设计要按照一定的设计程序去完成，皮鞋设计的程序大致包括三部分：构思、设计和修改，而这种皮鞋设计程序的细分便形成皮鞋设计程序的相应步骤。一般认为，皮鞋设计程序相应的设计步骤如图 2.2~2.4^[14]。

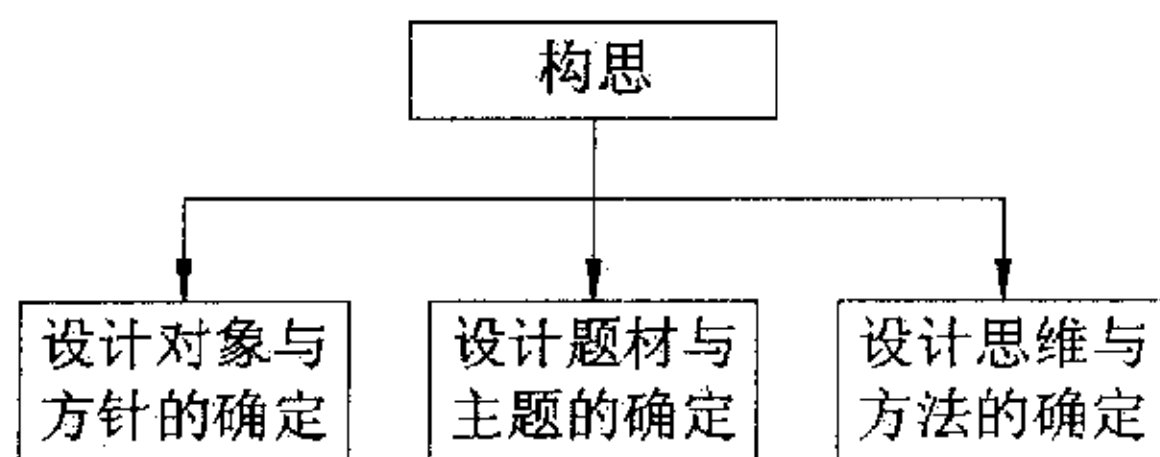


图 2.2 构思程序的相应步骤

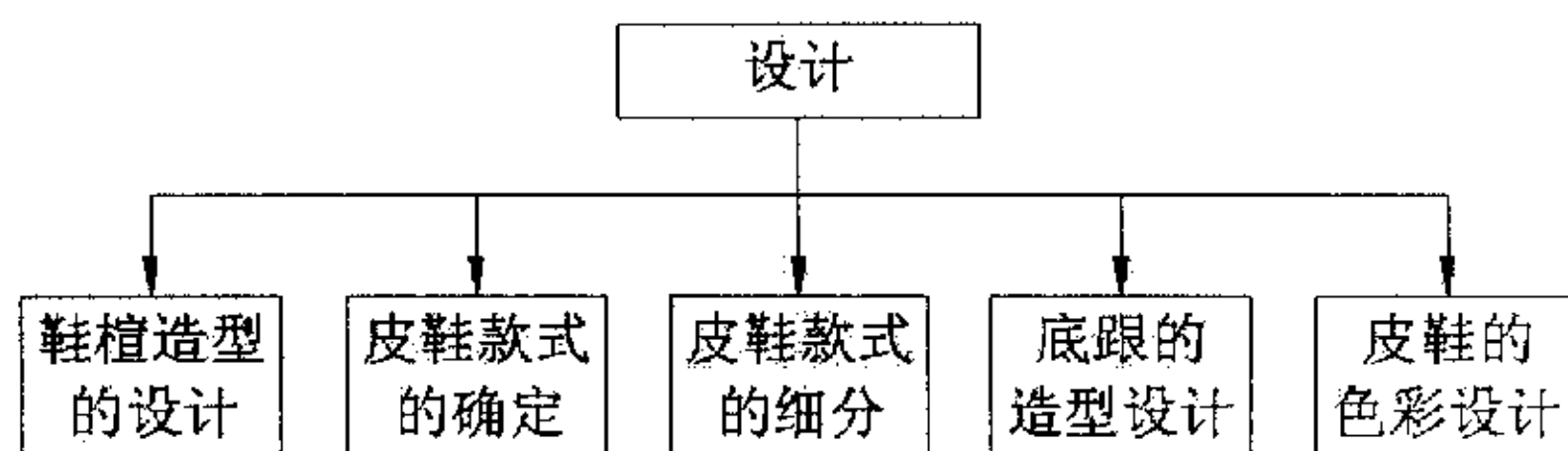


图 2.3 皮鞋设计的三内涵的具体内容

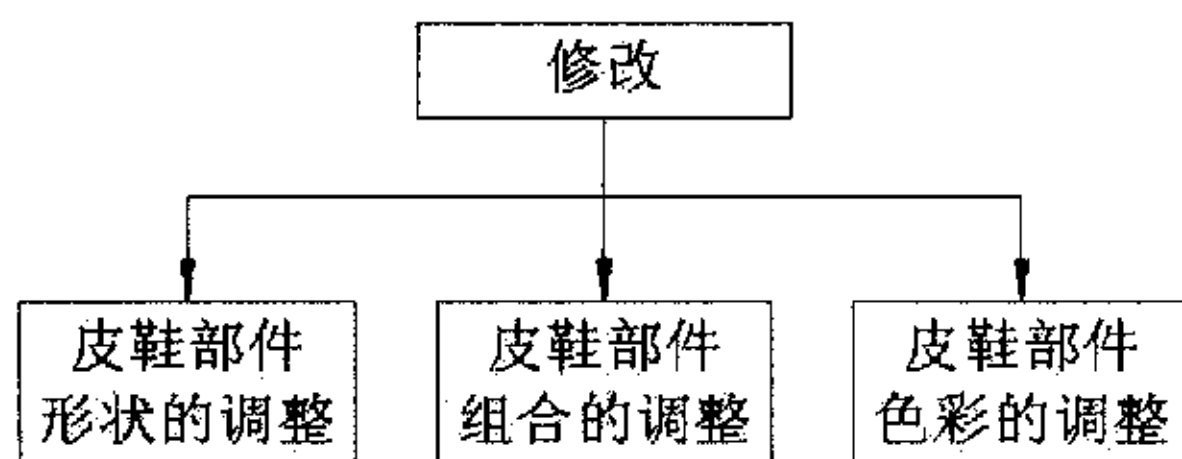


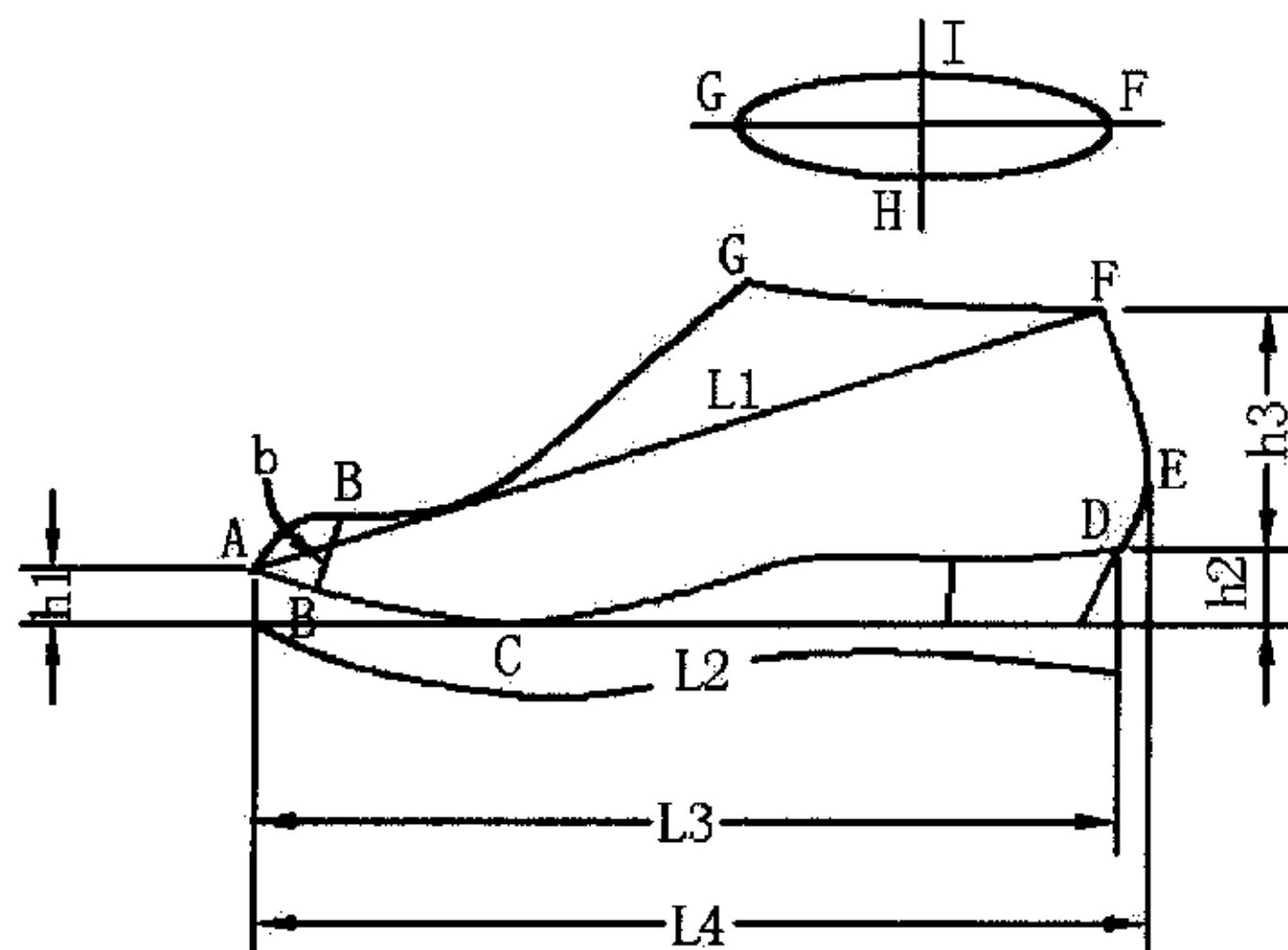
图 2.4 修改程序的相应步骤

2.2 脚型与鞋楦

皮鞋设计是以鞋楦为依据，皮鞋造型、定型则依赖于楦模的形体；而鞋楦的造型设计是按人的脚型规律和动、静态时的生理需求美化设计的，所以各种类型皮鞋的鞋楦不会是一种款式规格。不同国家和不同地区的鞋楦要按各国和各地区人的脚型规律、流行和习俗来设计，即所谓不能“削足适履”，因此各国各地区的鞋楦形体规格也有所区别。作为设计人员必须了解脚型规律和楦型的有关知识，才能设计出结构合理，穿着舒适，造型美观的皮鞋。

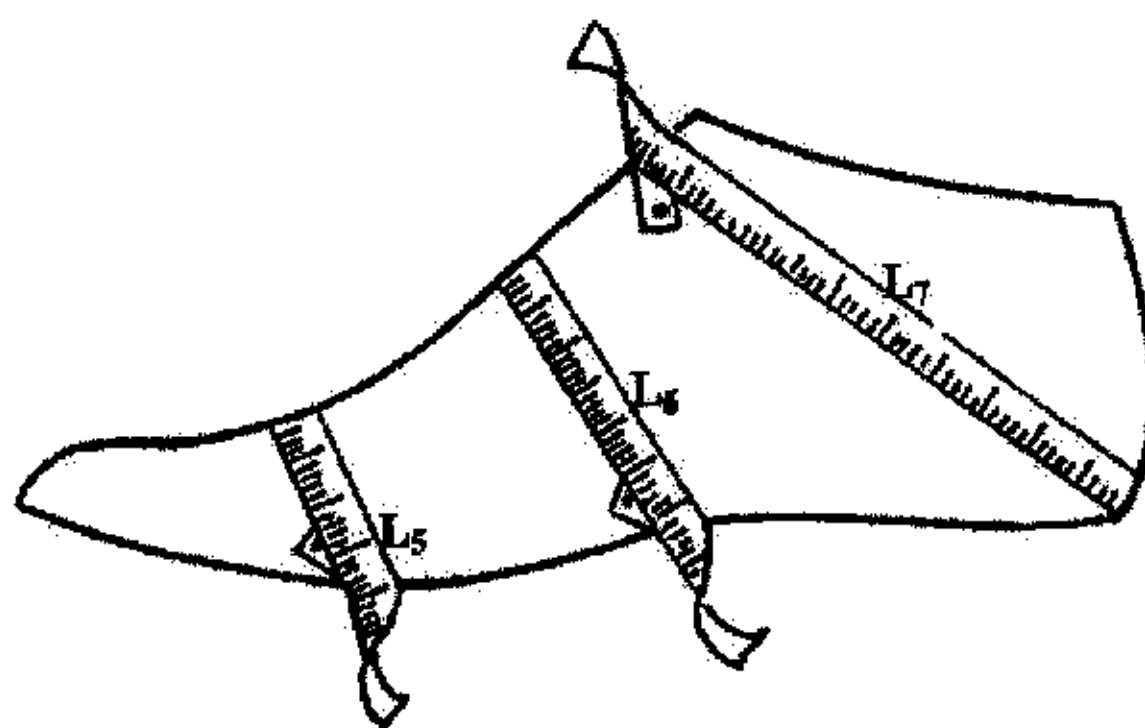
2.2.1 鞋楦的基本结构及术语

鞋楦是人脚的模型，是一个空间自由曲面体，为了表达出鞋楦的空间结构，一般有两组数据：一组为沿鞋楦底样长度尺寸，称为号；另一组为沿底样长纵剖面面积或周长（围度），表示鞋楦的肥瘦，称为型^[16, 17]。沿鞋楦底样长度方向的关键点和主要尺寸如图 2.5 所示。沿鞋楦全长纵剖的三个围度，如图 2.6 所示。



A—楦底前端；B—脚趾端点；C—前掌着地点；D—楦底后端点；E—后跟突点；F—统口后点；
G—统口前点；L1—楦斜长；L2—楦底样长；L3—楦底长；L4—楦全长；b—楦头厚；
h3—后身高；h2—后跷高；h1—前跷高；GF—楦统口长；HI—楦统口宽

图 2.5 鞋楦尺寸测量示意图



L5—楦跟围；L6—楦跖围；L7—楦兜跟围

图 2.6 鞋楦围度的垂直距离

2.2.2 脚型与楦型的关系

脚型是制作楦型的依据，但脚型并不等于楦型。鞋楦的造型是根据脚型的特点、尺度及人们对鞋的使用需要结合审美因素设计加工而成的，是对脚型的抽象和升华。因此，我们必须了解脚型与楦型的关系，下面根据脚的几个主要部位分述脚型与楦型之间的关系。

a. 脚长与楦长 脚长是制订鞋号的基础，也是设计鞋楦底长的依据，但是无论哪一种结构和式样的鞋楦，它的底长都必须大于脚长。这是因为：

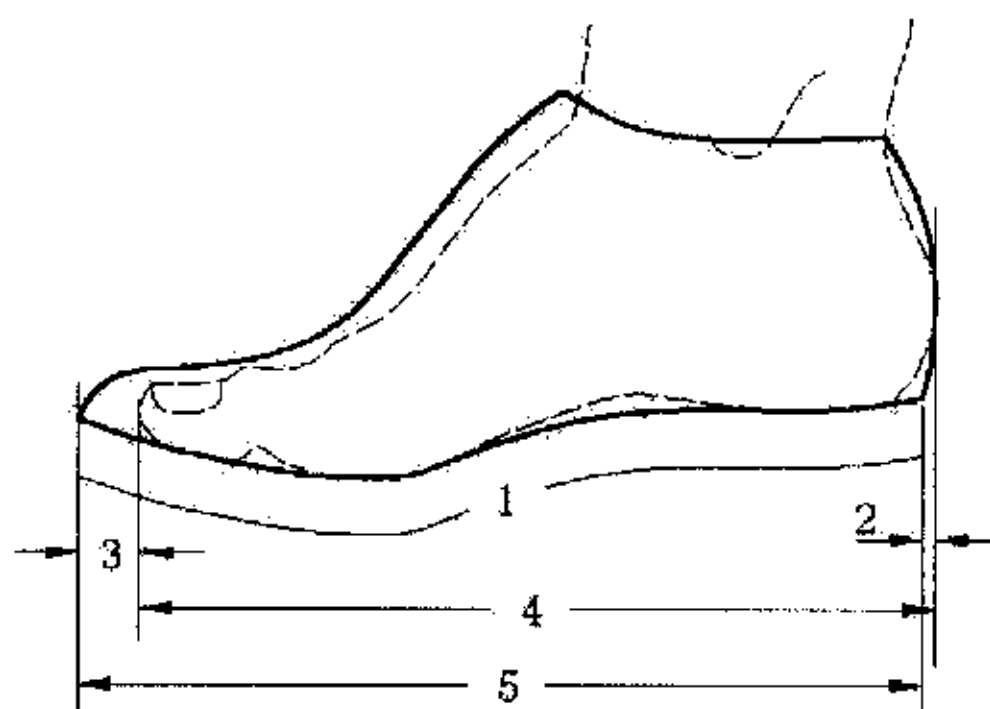
第一，脚的长度往往受气候、季节和从事劳动强度的不同而有所变化。同一双脚，如在冬季测量时的长度为 248mm，而在夏季测量时可增加到 252mm 左右。当人们在从事重体力劳动或长时间行走时，足弓韧带会被拉长，引起足纵弓下塌，因此也会引起脚长的变化。

第二，人在行走时，脚在鞋内必须要有一定的活动余地，因为人在行走时，脚在鞋内弯曲伸长，当抬起脚跟起步时，前掌就弯曲成弧形，鞋底处外弧，脚处内弧。这一移动范

围一般为 5mm~10mm。

第三, 为了鞋样变化的需要, 鞋的头部往往要有一定的加放长度。一般表现为: 鞋的头尖越狭瘦或越扁, 楦的底长比脚的长度增加量就越大, 反之, 它的增长量就相应减少。因此, 鞋楦底长与脚长的关系为(见图 2.7):

$$\text{楦底长} = \text{脚长} + \text{放余量} - \text{后容差} \quad (2.1)$$



1—楦底样长; 2—后容差; 3—放余量; 4—脚长; 5—楦底长

图 2.7 脚长与楦长的关系图

可见, 我们在确定鞋楦的底长时, 为了保证脚趾在鞋内有足够的活动空间, 因而应加一定的放余量。鞋楦的后跟应有适当地凸度(后容差)与脚后跟部的弧度相适应, 这样才使鞋能包跟, 使人行动时合脚, 避免出现拖跟、塌跟和坐跟等毛病。一般皮鞋楦的后容差约为围长的 2%。

b. 脚围长与楦围长的关系 围长是肥瘦的依据, 鞋楦的肥瘦依据是按脚的围长而定的, 一般规律是脚的围长不等于楦的围长。确定鞋楦的肥瘦, 主要根据脚的跖围和跗围两大部位来定。

(1) **跖围** 脚跖围是走路时发生弯曲的关键部位, 如果楦跖围尺寸不当, 不仅穿着不舒服, 影响身体健康, 而且对鞋的跖围部位带来早期破损, 楦跖围确定的依据, 除了脚跖围之外, 还与鞋样有关。如: 素头、三接头式鞋的楦跖围需比脚跖围小 35mm, 这样鞋的跖围部位卡住跖关节, 维护脚趾不至前冲顶痛。

(2) **跗围** 跗围指脚心、脚背的围长。倘若鞋楦跗围太小, 成鞋会挤压脚背; 太大, 成鞋后不跟脚, 行走时容易脱落。跗围在脚型规律中一般比跖围大 1mm。可是制楦不能按此比例做, 楦跗围大小不论什么式样都必须大于脚跗围, 一般可大 2mm~6mm。

对于兜围, 一般规律为楦兜围须大于脚兜围, 便于活动和穿脱。

c. 脚型宽度与楦型宽度的关系 鞋楦的宽度不等于人脚的宽度, 如图 2.8 所示。

宽度, 是指鞋楦底样各部位的宽度, 楦底样宽度以脚的宽度为依据, 脚的宽度有两个, 即轮廓宽和脚印宽。其次, 这两个宽都不能作真正的楦底样宽。脚印宽是脚底掌最高点部分的着地轮廓范围, 而尚未到边, 当然也不能作楦底样宽。经验证明, 除了前后两端(后容差、放余量)需要缩放之外, 其余部位均需取其轮廓宽和脚印宽之间的 1/2 点为底样宽。与人脚宽度的关系是楦底盘各部位宽度必须在脚印与轮廓线之间, 各边距的数值应根据造型

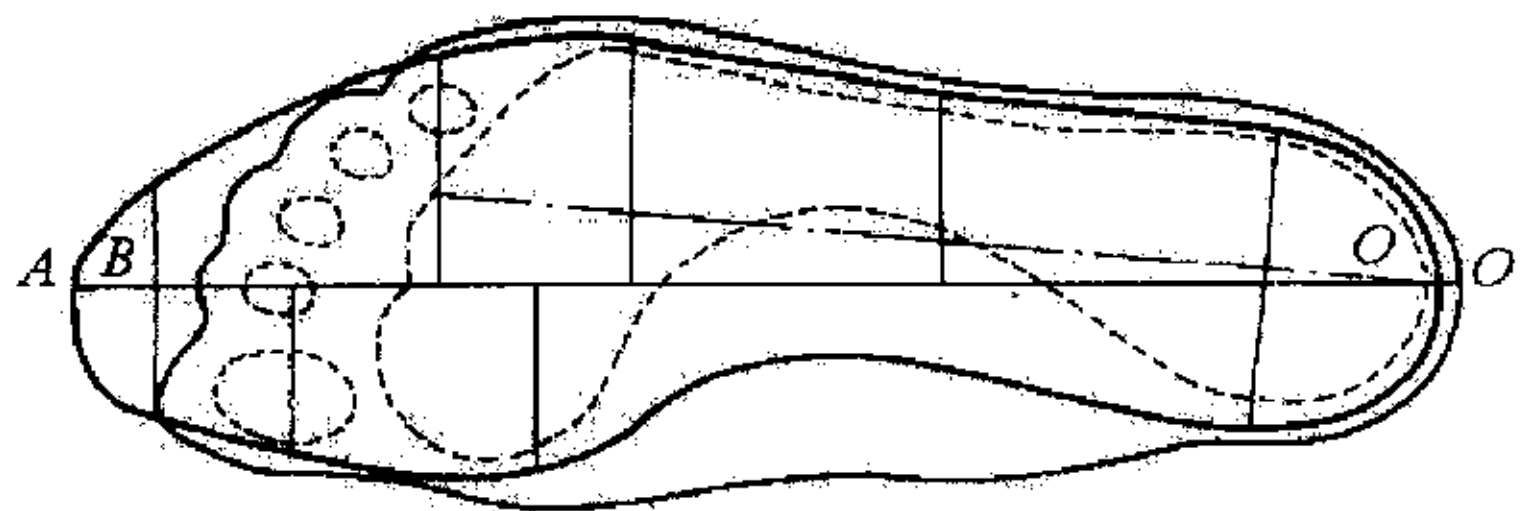


图 2.8 鞋楦宽度与人脚宽度的关系

设计的诸因素取最佳值确定基本宽度。宽度过窄，成鞋夹脚，过宽则“太旷”且不经济。经验证明，除了前后两端(后容差、放余量)需要缩放之外，其余部位均需取其轮廓宽和脚印宽之间的 $1/2$ 点为底样宽。

脚型腰窝里段肉体呈拱形向上过渡，而脚底面很窄，外踝面的活动量较小。该部位曲线圆滑，曲面犹如半个球面的一半。

脚踵心宽度略小于楦踵心宽度以确保人在直立和劳动时受负荷变形的容量。

d. 鞋楦的前翘 一头向上仰起，叫做翘。脚趾前端边缘同样属弧形，且偏上仰。这是鞋楦需有前翘的因素之一。同时，在脚不负重悬空的状态下，整个脚趾自然向上仰起。这一翘度与脚底平面成一角度为自然翘度，据观测约为 15° ，这是确定鞋楦前翘的主要依据。除自然翘之外，还有前学凸度，后跟高度与楦前翘亦密切相关。一般皮鞋楦的前翘高度，男楦为 $18\text{mm} \sim 20\text{mm}$ ，女楦为 $15\text{mm} \sim 18\text{mm}$ 较为适宜。

2.3 鞋楦的部位点标定

楦体是由三部分组成的：相对于脚弯或脚腕部位，鞋楦横向截面是扁长形的，叫做鞋楦的统口；相对于脚面、脚背和脚后跟的侧面部位，形似脚罩的整个曲面，叫做鞋楦的楦面；相对于脚底板的鞋楦底部曲面，叫做鞋楦的楦底。

鞋楦上部位点的标定是设计、制造和检测鞋楦体的依据，在传统设计方法中被广泛采用。在以形状数学为工具的几何描述中，它提供了合理划分截面的依据，如何处理好通过这些部位点的截面曲线进而处理曲面问题是至关重要的^[4, 18]。

a. 鞋楦体上特定的点线 鞋楦的统口与楦面相交，构成一条空间性质的封闭曲线，叫做统口边沿线，这条曲线的中间是长条形的，前后两端成圆弧形。

鞋楦的楦面与楦底相交，形成的一条空间曲线，叫做楦底边沿曲线，其形态比较复杂，它的前后两端近似圆弧形，外怀中部属偏直一些的缓坡曲线，内怀中部是与脚底弯近似的自由曲线。

在鞋楦后身端正的条件下，通过楦底前后两端圆弧曲线和统口前后两端边沿曲线中点的平面，从正中将鞋楦分成内、外两部分，分别叫做内怀和外怀。鞋楦体与这一个平面的相交处，构成一条平面曲线，由这条封闭曲线围成的图形，叫做鞋楦纵剖图。这个纵剖图所在的平面，叫做鞋楦的纵剖面。

在鞋楦的纵剖面上，鞋楦底边沿前后两圆弧中点，分别叫做楦底前端点和楦底后端点，这两点之间的连线，在楦底面上，从垂直于楦底的方向看是直线，垂直于纵剖面方向看是

一条曲线,叫做楦底轴线,鞋楦统口与鞋楦纵剖面的交点,分别叫做统口前点和统口后点,它们之间的连线位于鞋楦统口中间,叫做统口线。楦底前 endpoint 与统口前 endpoint 之间的连线叫做背中线,位于楦面前部正中间,从俯视的角度看是一条直线,在纵剖面上是一条曲线。楦底后 endpoint 与统口后点之间的连线,叫做后弧线,位于楦面后身的正中,由后向前或俯视的方向看是一条直线,在剖面上它是一条曲线。

b. 鞋楦体上对应人脚的特征点 楦体上没有什么明显的特征点,但是楦体的设计与造型却是按照脚的特征、生理结构、运动情况和工艺要求进行的。因此有必要在鞋楦上根据脚的特征部位标定出各种特征点。

2.4 鞋楦设计依据与基本规律

2.4.1 鞋楦的设计依据——脚型规律

掌握脚型规律,不仅是制鞋的重要依据,而且也是楦型设计和制订鞋、型号的重要依据^[15]。因此,掌握脚型规律(见表 2-2 和表 2-3)是掌握整个制鞋技术的一门基础知识。

鞋楦上的部位点绝大多数位于楦底轴线上,只有个别点在后弧线上,一般以楦底后端为起点,由后向前和从下往上顺次读出各部位数据即可。各个部位数据的来源和规律如下:楦面上各部位数据来源于脚型规律。

脚长与脚的特征部位长之间关系可以用长度部位系数来表示。长度部位系数是指各个特征部位在底中线上的长度与脚长的百分比数,即:

$$\text{脚的长度部位系数} = \text{脚特征部位长度} / \text{脚长} \times 100\% \quad (2.2)$$

通过对大量脚型测量数进行分析,最后得到一组有规律的数值(见表 2-2)。对于某一具体的脚来说,它的长度系数不一定和规律值相等,也可能会有某几项与规律值相同,但测的数值总体上不会有太大出入。按规律值设计的脚型是一种理想化的标准脚,从整体上看,长度系数规律值代表了中国人脚型特点。

根据我国鞋号的制订原则和鞋楦设计标准可知,楦底上各个部位数据计算方法:

$$\text{某部位的长度} = \text{脚长} \times \text{该长度部位系数}\% - \text{后容差} \quad (2.3)$$

公式中脚长一般指中等脚长,即成年男子是 250mm,成年女子是 230mm。根据文献的说明,中等鞋号的鞋楦,不论样式和楦底样长度怎样变化,只要同属一类,后容差的数据不变,那么它们各对应部位的数据是相同的(见表 2-3)。

2.4.2 鞋楦设计基本规律

作为人脚的模型,鞋楦变化必须随人脚的变化而变化,在长期的设计实践中所总结出的鞋楦变化规律具体来说有以下几点:

①楦体后身几乎不变,或者说随人体解剖生理变化缓慢;②变化的焦点主要集中在头势和后跷高(后跟高);③楦型变化的主导因素是楦底样。

虽然严格地追究起来,鞋楦某一部分变化势必会导致其他部位的变化,但根据实践中总结出来的规律和国家标准的規定,后身标准化的主张是极其合理并有科学依据的。

综观鞋的发展史,不难发现头势的变化配合跟底的变化是主流。头势的形状是鞋造型

设计个性表现之所在,也常是流行款式特色的表征。其基本造型有以下六种(图 2.9):

表 2-2 全国成年男女脚型规律表(部分)

	部位系数(%脚长)	男 25 号脚数值	女 23 号脚数值
脚长部位	100	250	230
拇趾外突点部位	90	225	207
小趾端点部位	82.5	206.25	189.75
小趾外突点部位	78	195	179.4
第一跖趾关节点部位	72.5	181.25	166.75
第五跖趾关节点部位	63.5	158.75	146.05
前跗骨突点	55.3	138.25	127.19
外腰窝部位	41	102.5	94.3
舟上弯点部位	38.5	96.25	88.55
外踝骨中心部位	22.5	56.25	51.76
踵心部位	18	45	41.4
后跟边距	4	10	9.2
前掌凸度点部位	68.8	172	158.24

表 2-3 儿童及成年男女脚型尺寸系列(单位:mm)

鞋号	脚长	肥瘦型 (二型)跖围	鞋号	脚长	肥瘦型 (二型)跖围
13	130	152	20	200	201
13.5	135	155.5	20.5	205	204.5
14	140	159	21	210	208
14.5	145	162.5	21.5	215	211.5
15	150	166	22	220	215
15.5	155	169.5	22.5	225	218.5
16	160	173	23	230	222
16.5	165	176.5	23.5	235	225.5
17	170	180	24	240	236
17.5	175	183.5	24.5	245	232.5
18	180	187	25	250	236
18.5	185	190.5	25.5	255	239.5
19	190	194	26	260	243
19.5	195	197.5	26.5	265	246.5
备 注	1. 长度号差: 号差为 10mm; 半号差为 5mm 2. 跖围号差: 号差为 7; 半号差为 3.5 3. 型差: 型差为 7; 半型差为 3.5 《鞋号》(GB/T 3293.1-1998)				



图 2.9 头势造型的基本形式

鞋楦造型规律从人体工程学考虑，并不是按照一个模式来做，设计人员在灵活运用造型手段表现个性和意象外，还应考虑以下几点：

①前跷高度；②头势厚度；③前掌凸度；④底心凹度；⑤踵心凸度；⑥后跟凸度；⑦后身高度；⑧统口宽度。

2.5 鞋楦的主要功能

鞋楦是制鞋工艺中皮鞋款式的基准，是制鞋的基础。皮鞋款式的变化直接依赖于鞋楦的造型设计，并且鞋楦的质量直接影响鞋的质量。在整个制鞋业中鞋楦的功能主要表现在以下三个方面：

a. 鞋楦是皮鞋帮样设计的依据 迄今为止，人们所见到的皮鞋帮样设计方法，还没有不依靠鞋楦的具体造型而凭空想象来设计的。设计人员在设计皮鞋帮样时无论是使用平面设计方法、立体设计方法、还是计算机辅助设计方法，都必须依据鞋楦的具体造型进行设计。

b. 皮鞋楦是皮鞋底部件和鞋的成型模具设计的依据 皮鞋底部件包括内底、半内底、外底、鞋跟、主跟和内包头等。皮鞋成型模具包括模压皮鞋模具、硫化皮鞋模具、注塑皮鞋模具、胶粘皮鞋模具、内底压型模具、主跟压型模具和鞋跟注塑模具等。它们的设计都是依据楦体的具体造型数据而进行的。

c. 皮鞋楦是制作皮鞋和固定皮鞋造型的依据 在皮鞋的生产过程中，无论是手工绷楦还是机器绷楦，皮鞋都必须经过一段时间的干燥，才能出楦。在皮鞋的干燥过程中，由于有了皮鞋楦在鞋腔内的支撑，皮鞋的造型才能坚固。在整个制鞋设计与生产中，鞋楦体的造型决定了鞋的式样和型号，鞋的花色品种和款式的翻新也是基于鞋楦来设计的，根据现代制鞋工业生产技术的要求，不论鞋的种类和式样，在加工过程中都必须使用鞋楦成型。可以说鞋楦是鞋的母体，各类鞋都脱胎于鞋楦。因此鞋楦的结构和造型设计及加工的正确与否，会直接影响鞋的定型及穿着的舒适和美观。用造型优美的鞋楦制造的皮鞋穿着起来既能美化人们的生活，又能增强市场竞争力。如果楦型设计不合理或定型加工不正确，就会破坏鞋的原始式样，甚至还会给鞋的加工造成困难。如果人们长期穿着用不合理鞋楦制成的鞋，会使脚逐渐变成畸形，最终造成脚疾。

由此可见，鞋楦造型设计及生产是制鞋业的关键工艺，它既是各种款式鞋产品的设计依据，又是鞋在加工过程中的支撑体，其地位在制鞋过程中无可替代。因此，用计算机辅助设计等现代化设计手段取代落后的手工设计方式在制鞋业中是十分必要的^[9]。

2.6 本章小结

本章介绍了皮鞋设计的基础理论，分析和讨论了皮鞋设计方法，指出了脚型与鞋楦的相互关系，以及鞋楦设计特点与其重要性。皮鞋设计是以鞋楦为依据，皮鞋造型、定型则依赖于楦模的形体；而鞋楦的造型设计是依据脚型规律进行的。掌握脚型规律，不仅是制鞋的重要依据，而且也是楦型设计和制订鞋型、款式的重要依据。

3 计算机辅助脚型测量

皮鞋的设计是从鞋楦开始的。鞋楦设计是依据脚型规律进行的。掌握脚型规律,就要进行脚型测量及脚型规律的分析研究。要实现个性化鞋楦设计,首先是要获取个体脚型的特征数据。本章将在分析脚型特征的基础上,研究个体脚型特征部位的标定方法及选择依据,建立计算机辅助脚型测量平台,获取用来描述个体脚型的特征数据。

3.1 脚型测量目的和意义

a. 建立人群脚型数据库

脚型是指脚的形态和构造。虽然人的每只脚都是由 26 块骨骼和肌肉、韧带、血管、神经、皮肤等部分所构成,也就是人体脚型的共性,但是每个人的脚又有其不同的特点即个性,特别是我国地域辽阔、气候复杂、劳动生活习惯各不相同,足型差异较大。不同地区、不同职业、不同性别和不同年龄人的脚型具有不同的特点和变化规律。了解脚型对鞋子的设计和制作非常重要,为了获得脚型尺寸,必须进行脚型测量。在 60 年代我国曾经开展过两次全国性的脚型调查,采用接触式测量方法测量和分析了 25 万人的脚型,基本掌握了我国脚型特点和变化规律,为我国鞋楦设计、制定鞋号奠定了十分重要的基础,也是目前我国制鞋业执行的鞋楦、鞋号标准取用的脚型测量数据^[19]。随着生活水平的提高,国民特别是青少年身体状况发生了很大变化,脚型规律也应相应改变。鞋业界公认,鞋楦、鞋号标准每五年应进行一次修正,脚型每隔十五年就要重新进行抽样调查。

据悉,由中国皮革和制鞋工业研究院、温州日泰鞋业公司等共同承担的国家公益项目《中国人群脚型规律的研究》已在北京通过科技部验收,其主要研究内容为^[20]:脚型测量及脚型规律的分析研究;中国鞋号及鞋楦系列尺寸标准的制订;中国人群脚型数据库的建立等。该项目的完成,对我国制鞋行业的发展有着重要及深远的意义。它填补了我国 3 至 17 岁未成年人每个年龄段脚型规律的空白,研究了中国人群脚型特征及其变化趋势,制订了新的中国鞋号鞋楦系列尺寸标准,弥补了我国制鞋行业脚与楦、脚与鞋之关系的基础理论方面的不足等。

b. 实现个性化皮鞋设计

个性化皮鞋设计中最核心的问题是,如何根据特定的人脚设计和制造出符合个性化要求的鞋楦。因为在制鞋行业中,人们将鞋楦称为皮鞋的“灵魂”,由此可知鞋楦在皮鞋设计和制造过程中的地位和作用。只有在鞋楦满足个性化需求的前提下,才有可能设计和生产出对某个人而言是最合脚、最舒适的皮鞋。而脚型测量和脚型分析是鞋楦设计和整个制鞋工艺的基础性工作。

如近年由法国克雷奥公司推出的“定做皮鞋系统”,从在商店里进行脚型测量开始到工厂定做出一双皮鞋需要三天的时间^[9]。在台湾也有直接扫描双足,获取三维数据输入电脑,自动刻制鞋楦,同时还可以输出鞋帮的几何图形,由电脑控制的机器自动下料,最后制成完全符合每个人特性的皮鞋^[21]。由浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室等共同开发的“基于人

脚动力学原理的个性化皮鞋 CAD 软件系统”，利用普通三维扫描仪获取的人脚点云数据，计算出脚长、跖围、跗围等重要参数，并重建出个性化的人脚三维模型；然后根据人脚数据对鞋楦进行微调，并生成符合特定人脚数据的个性化鞋楦模型^[13]。

3.2 计算机辅助脚型测量平台

目前，随着计算机性能价格比的不断提高，计算机辅助脚型测量平台在制鞋业是个研究热点。即通过三维扫描设备，将计算机图形学、计算机辅助设计等先进技术应用到脚型测量中，建立设计简单、操作简便、便于在生产实践中推广应用的测量平台，进行脚部扫描，并对脚部三维图像进行了关键部位的数据采集，为鞋与脚部的匹配设计与舒适性设计提供参数^[13, 22, 23]。

3.2.1 脚型测量方法

脚型测量的方法分为非接触测量式和接触测量式^[24]。接触式测量较为简单、易操作，但是劳动强度大、效率低、准确性差，不适宜进行大量的脚型测量。所以，为了避免这些缺点，目前一般都采用非接触式测量的方法。本课题研究使用陕西省服装工程技术研究中心引进的德国 TechMath 公司的 Vitus 三维非接触激光扫描仪。该扫描仪测量速度快、精度高，可以满足大量的脚部数据的采集。该系统采用了对人眼安全的低功率激光，四个激光发生器和 CCD 摄像头被封装在四个柱子中，柱子内有机械机构驱动激光发生器和 CCD 摄像头沿滑轨上下移动，如图 3.1 所示。扫描时，四个柱子内的成像系统由计算机控制从上而下从四个角度严格同步进行扫描，从而快速获得扫描对象表面的三维数据。

Vitus 系统具有强大的三维图像处理能力，能够读入和输出多种图像格式，能读入的图像格式有 OBJ、STL、SPX (3D Dimension)、PLY (Cyberware)，能够输出的图像格式有 VRML、OBJ、ASCII、DXF、STL (ASCII and Binary)。对于扫描生成的三角网格数据，Vitus 系统能够删除冗余点，优化网格，进行曲面拟合等高级操作。

3.2.2 个体脚型测量部位

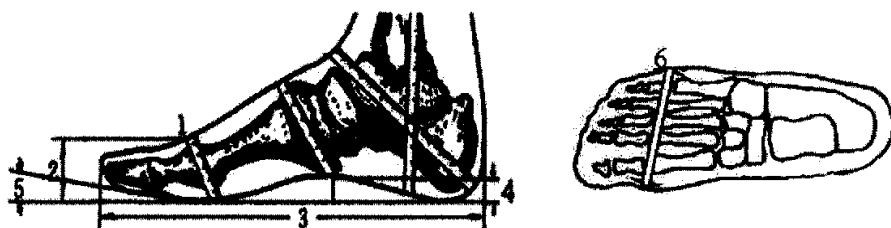
通过三维激光扫描及图像处理可获取脚部曲面多点三维坐标，以及进行立体建模，并开展脚型特征部位数据测量。其中，脚型特征部位的标定是实现个性化鞋楦及鞋设计与制作的重要研究内容^[13, 22, 23, 25]。

我国脚型大规模普查—2003 年国家公益项目《中国人群脚型规律的研究》中标定了 31 个测量与分析部位，分别为脚长、脚宽、趾围、跗围、后跟兜围、脚腕围、腿肚围、膝下围、膝下高、腿肚高、脚腕高、外踝骨高、后跟凸点高、舟上弯点高、前跗骨高、第一趾关节高以及拇指高等。从原理上讲，曲面模型上任意部位尺寸均可通过计算获得，但测量点密度过大会影响测量速度，也增加了测量工作的难度。因此，应根据我国制鞋业与鞋楦业的需要，在具体设计过程中有针对性地选择主要测量部位^[26]。

参照全国脚型普查时所选择的测量部位，并针对皮鞋的设计特点，在本课题研究中拟订选择了六个关键部位(见图 3.2)进行脚型测量。该六个关键部位的选择理由是^[22]：



图 3.1 Vitus 非接触式三维人体扫描仪



1—跖趾围长；2—第一跖趾关节高度；3—脚长；
4—足弓高度；5—脚趾与脚底平面的夹角；6—脚宽

图 3.2 脚型测量部位

- 1) 脚长和脚宽是现行国家标准鞋号的两个特征指标，是选择鞋的基础。
- 2) 跖趾围长处于脚的最宽处，是决定脚肥瘦的主要标志，是鞋楦设计、做鞋和穿鞋的最重要的尺寸。
- 3) 因为在跖趾围长相同的情况下，也可能出现“宽而扁”和“窄而厚”两种不同的脚型，所以增加了第一跖趾关节高度这个特征尺寸。
- 4) 足弓是最主要的减缓振动和缓解地面对人体冲力的部位，是防止人体运动系统受损害的重要部位。所以为了体现人体脚部承受压力的能力和更准确的描述足底曲面形状，提出了足弓高度和脚趾与脚底平面夹角两个新的测量部位。

选择的六个关键部位定义为：

- 1) 跖趾围长：围绕第一、第五跖趾关节突出点测量的围长，简称跖围。
- 2) 第一跖趾关节高度(简称跖趾关节)：脚的第一跖趾关节最高点至脚底着地面的垂直距离。

3) 脚长: 最长脚趾的端点所接触的垂直线与后跟突点所接触的垂直线之间的水平距离。

4) 足弓高度: 足弓由两个纵弓和两个横弓组成, 足弓高度就是内纵弓和后横弓相交处的最高点到脚底平面的垂直距离。

5) 脚趾与脚底平面夹角(简称夹角): 人脚本身有一定的自然跷度, 在自然状态中, 由脚趾部位向前, 脚趾自然向上弯曲, 与脚底平面成一定角度, 叫做脚趾与脚底平面夹角。

6) 脚宽: 以第一、第五跖趾关节的连线作为脚宽, 也叫做跖趾斜宽。

足在不同状态下, 其尺寸变化较大, 即在抬脚、静坐、站立、运动等不同姿势下, 足的同—部位尺寸亦不一样(见表 3-1)^[9], 人体通常处于站立状态(见图 3.3), 但是考虑到要测量足弓部位自然状态(不受力情况)下的高度和所选仪器的测量范围(不能够测量到被测量物的顶部和底部), 所以采用图 3.4 所示的被试者抬脚姿势。

表 3-1 不同姿势下脚尺寸对比 (单位:mm)

测量部位	静坐比抬脚		站立比静坐		运动比站立	
	男	女	男	女	男	女
脚长	+4.5	+3.3	+5	+4	+1	+0.5
跖趾围长	+9	+10.5	+3.5	+4.3	+1	+1.6

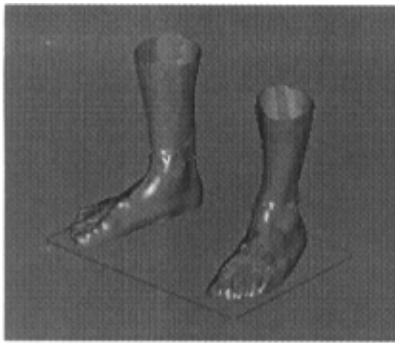


图 3.3 站立状态脚部视图

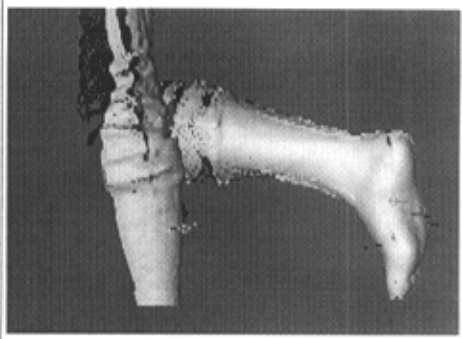


图 3.4 抬脚状态脚部视图

3.2.3 测量步骤

1) 随机抽取 57 名年龄在 19 岁~26 岁之间的在校大学生作为被试者, 并填写个人资料(见表 3-2)。

2) 用皮尺测量脚前后最突出点的最大长度即为脚长(由于三维扫描局限, 不能保证脚长测量的准确性, 所以采用手工测量)。

3) 用 Vitus 三维非接触激光扫描系统分别进行左、右脚扫描。

4) 在 ScanWorX 软件中对脚部三维图像进行测量部位的数据采样(如图 3.5 为在脚部三维图像上采样脚型跖趾围长数据的过程)。

获取的脚型特征尺寸数据结果按表 3-3 的结构记录, 或采用 Access 2000 建立脚型特

征数据库进行数据记录。全部脚型测量数据采集结果见附录。

表 3-2 测试者个人资料

姓名:	性别:
学号:	来自: 农村 / 城市
年龄:	鞋号:
是否平足:	脚长: (左) (右)

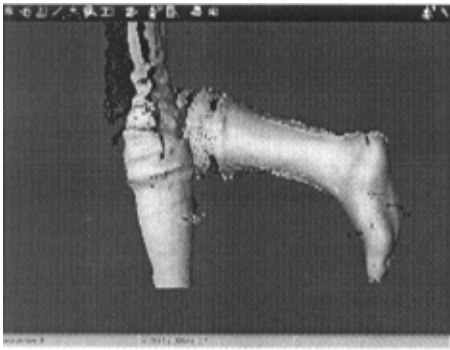


图 a 脚部三维图形

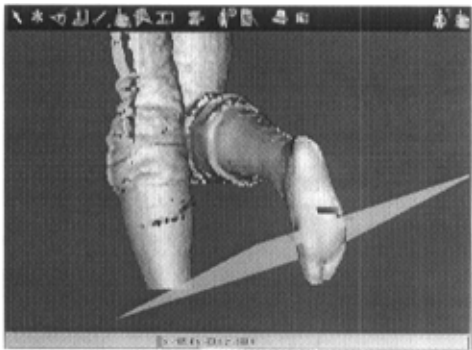


图 b 对脚部跖趾围长部位进行纵切

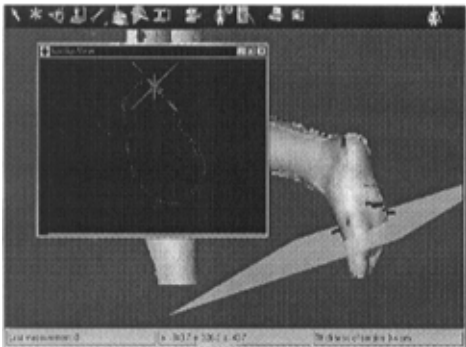


图 c 脚部跖趾围长部位的纵切面图形

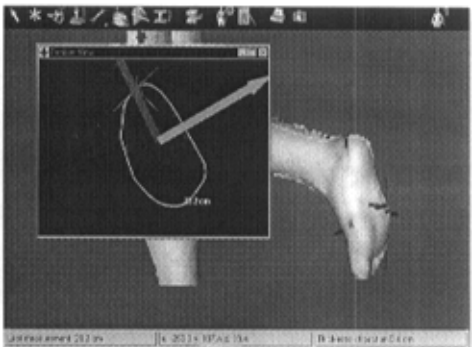


图 d 对跖趾围长纵切面的围长进行测量

图 3.5 利用 ScanWorX 软件采样脚型跖趾围长数据

表 3-3 脚型测量数据采集结果

编 号	脚 长 (mm)	脚 宽 (mm)	跖趾围长 (cm)	足弓高 (mm)	跖趾关节高 (mm)	夹 角 (°C)
2004-07-12-01	235	90.3	23.1	16.6	37.4	10
2004-07-12-02	228	78.9	20.9	18.6	31.1	13
2004-07-12-03	232	80.3	21.5	13.3	34.1	8
...	...	...	...	...	...	...

3.3 个体脚型特征数据分析

3.3.1 数据分析内容

a. 描述性分析

1) 各测量部位数据的直方图，见图 3.6 所示。

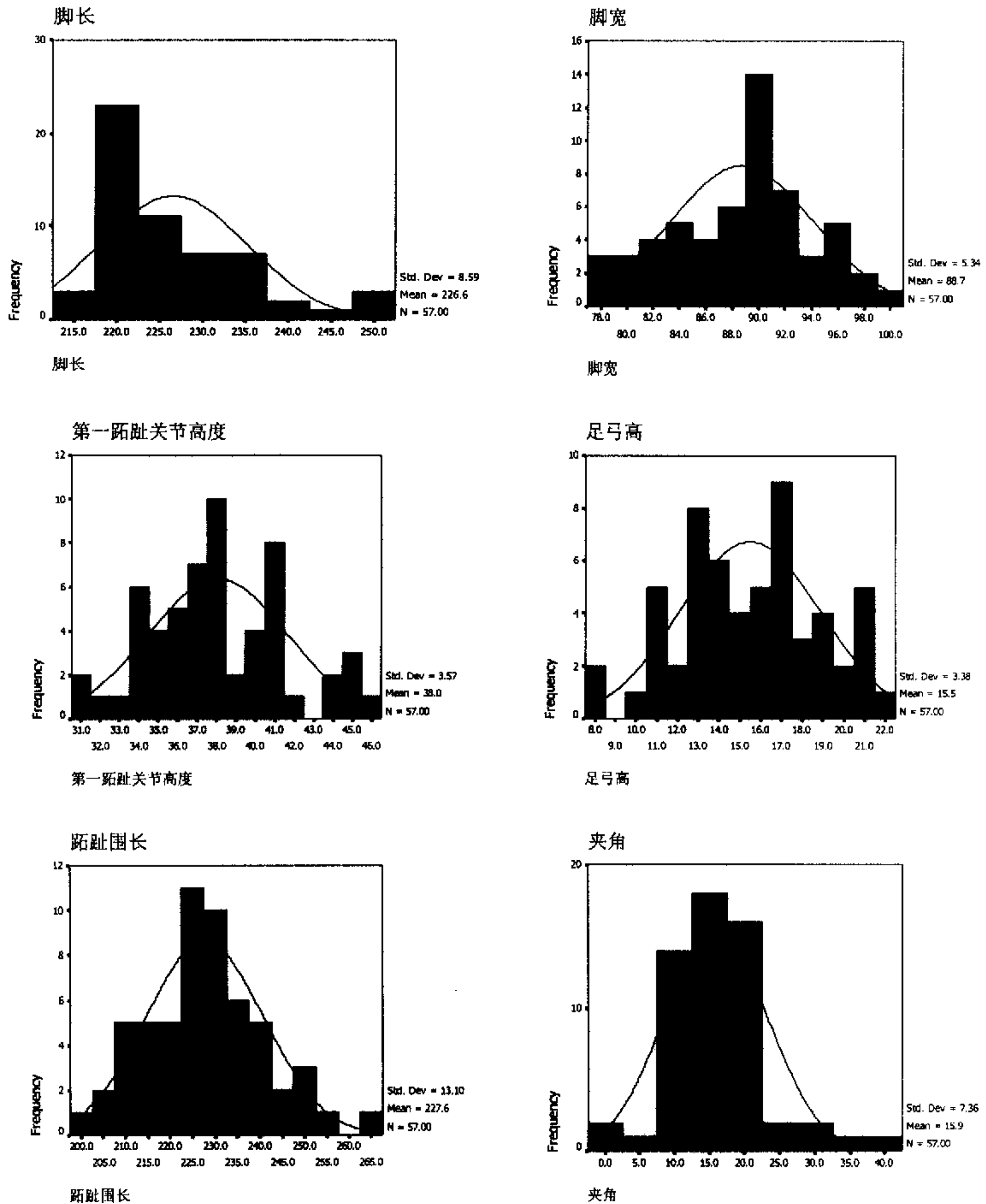


图 3.6 各测量部位的直方图

2) 各测量部位数据的 Q-Q 图, 见图 3.7 所示。

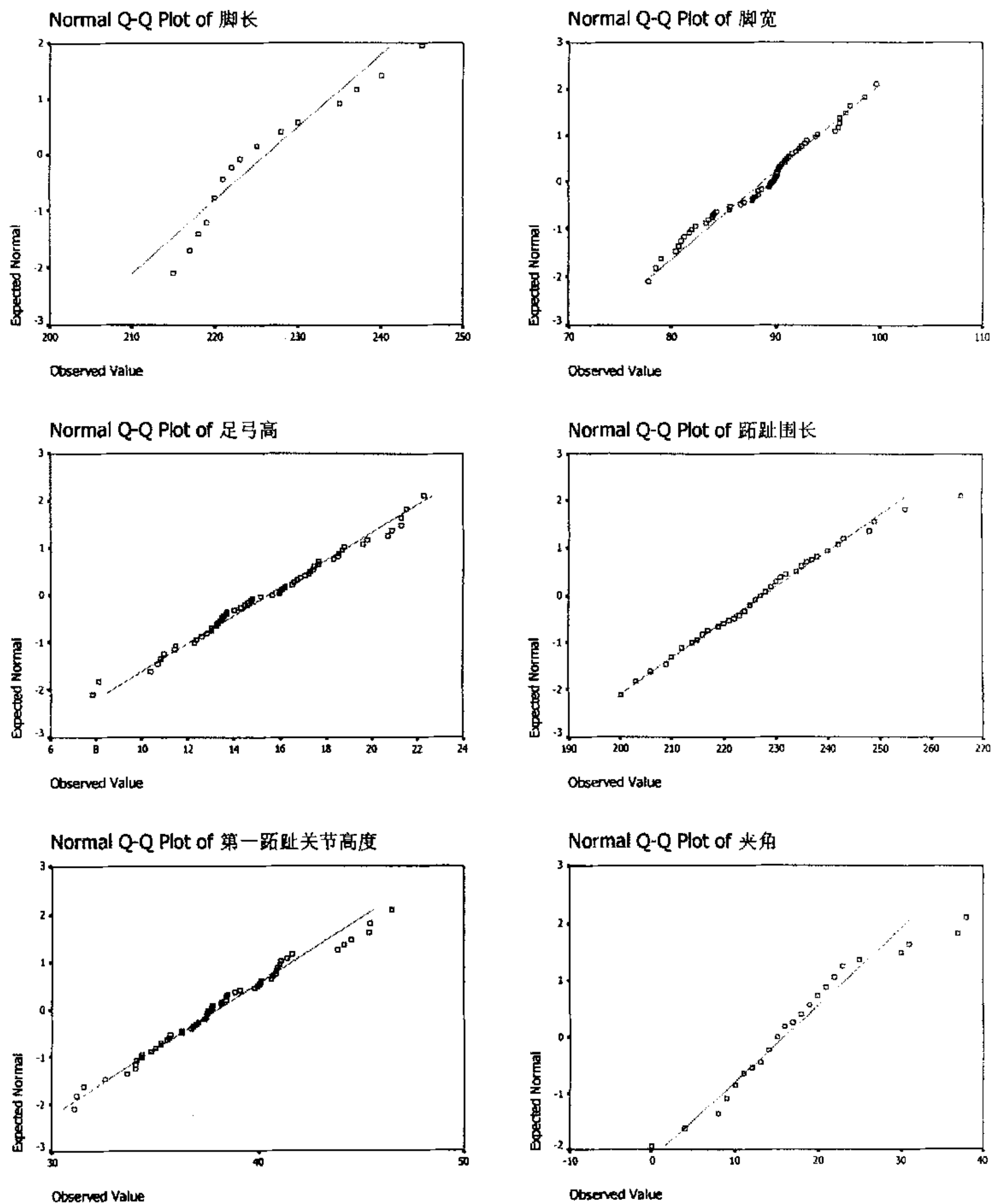


图 3.7 各测量部位的 Q-Q 图

从上面的直方图和 Q-Q 图可以看出脚长、脚宽、跖趾围长、跖趾关节高、足弓高、夹角六个变量呈正态分布, 为方差分析创造了前提条件。

3) 测量数据的描述性分析结果, 见表 3-4 所示。

表 3-4 描述性分析结果

	脚 长		脚 宽		足弓高	
	右	左	右	左	右	左
均 值	230.02	230.88	88.73	89.34	15.49	16.35
标准差	8.11	6.88	5.34	4.90	3.38	3.94
方 差	65.60	47.32	28.51	23.96	11.39	15.55

表 3-4 描述性分析结果(续)

	跖趾关节高		跖趾围长		夹 角	
	右	左	右	左	右	左
均 值	38.05	37.09	227.65	231.58	15.86	15.95
标准差	3.57	2.58	13.10	12.72	7.36	5.87
方 差	12.72	6.65	171.48	161.89	54.16	34.41

对比表 3-4 中左、右脚的分析结果可以知道每个人的左右脚的形状是有差异的, 其中左右脚的平均长度差 Δ 为: $|\Delta| = 230.88 - 230.02 = 0.86\text{mm}$ 。

b. 相关分析

从表 3-5 中右脚的相关系数可知: 脚长与脚宽之间为中度相关^[26] ($0.5 \leq |r| = 0.721 < 0.8$); 脚长和跖趾围长之间为中度相关 ($0.5 \leq |r| = 0.548 < 0.8$); 脚宽和跖趾围长之间为中度相关 ($0.5 \leq |r| = 0.597 < 0.8$); 第一跖趾关节高度和跖趾围长有相关性 ($0.3 \leq |r| = 0.470 < 0.5$)。其他的变量之间相关系数 $|r| < 0.3$, 均可视为无相关性。对比表 3-5 中左脚与右脚的相关系数可知: 变量间的相关性没有变, 但相关变量间的相关程度有所变化。

c. 显著性分析

中国鞋号标准 GB3293-1982 中明确规定, 中国鞋号的各种鞋的“长度号差”为 10mm, 半号差为 5mm。表 3-6 列出了各鞋号适应的成年脚长范围。

根据标准 GB3293-1982 的脚长范围将左、右脚数据分别分成 8 组, 并将分组后的数据进行方差分析, 结果见表 3-7:

表 3-5 各测量部位的相关系数表

测量部位		脚 长	脚 宽	足弓高	跖趾关节高	跖趾围长	夹 角
脚长	右	1.000	.721	.023	.359	.548	-.130
	左	1.000	.833	-.159	.227	.739	-.125
脚宽	右	.721	1.000	-.039	.295	.597	-.053
	左	.833	1.000	-.171	.302	.804	-.180
足弓高	右	.023	-.039	1.000	.387	.039	.272
	左	-.159	-.171	1.000	.185	-.042	.196
跖趾关节高	右	.359	.295	.387	1.000	.470	.212
	左	.227	.302	.185	1.000	.487	.086
跖趾围长	右	.548	.597	.039	.470	1.000	-.039
	左	.739	.804	-.042	.487	1.000	-.068
夹角	右	-.130	-.053	.272	.212	-.039	1.000
	左	-.125	-.180	.196	.086	-.068	1.000

表 3-6 各鞋号适应的成年人脚长范围(单位:mm)

鞋号	脚长范围	鞋号	脚长范围	鞋号	脚长范围
215	213——217	230	228——232	245	243——247
220	218——222	235	233——237	250	248——252
225	223——227	240	238——242	255	253——257

表3-7 方差分析结果

测量部位		组间(不同脚长范围之间)			组内(不同个体之间)			T检验 概率
		平方和	自由度	均方差	平方和	自由度	均方差	
脚长	右	3630.57	5	726.11	54.87	51	1.076	.000
	左	2572.56	5	514.51	77.57	51	1.52	.000
脚宽	右	868.79	5	173.75	729.36	51	14.30	.000
	左	885.87	5	177.17	455.94	51	8.94	.000
足弓高	右	3183.24	5	636.64	6543.70	51	128.30	.001
	左	5064.03	5	1012.80	4001.85	51	78.46	.000
跖趾关节高	右	124.53	5	24.90	415.97	51	8.15	.002
	左	41.83	5	8.36	330.72	51	6.48	.283
跖趾围长	右	349.01	5	69.80	2610.74	51	51.19	.253
	左	169.87	5	33.97	1756.96	51	34.45	.425
夹角	右	27.45	5	5.49	516.82	51	10.13	.743
	左	48.59	5	9.71	822.39	51	16.12	.698

从表 3-7 可知:

1) 脚长、脚宽和跖趾围长三个变量的 $P < 0.05$, 说明三个变量对于标准号型分组效果显著, 即脚宽和跖趾围长这两个变量随着脚长的变化有显著的规律性变化。这也验证了我国标准鞋号的准确性。

2) 跖趾关节高在方差分析中左脚: $P = 0.283$ 、右脚: $P = 0.002$, 说明该变量左、右脚的分析结果差异较大, 因此不能直接得出结论。但它与跖趾围长的相关系数(左脚: $r = 0.487$ 、右脚: $r = 0.470$) 说明两者具有较大的相关性, 故可推断它对于号型分组效果是显著的。

3) 足弓高和夹角两个变量对于分组效果不显著 ($P > 0.05$), 说明随着脚长的增加或减少, 这两个变量没有相应的规律性变化。

4) 足弓高和左脚分析中夹角的组内误差都大于组间误差, 右脚分析中夹角的组内误差接近组间误差。可知在每个分组中, 足弓高和夹角对于组内的每个人都是显著不同的。同时这也反映了我国现行标准鞋号的一个缺陷, 即按照脚长和脚宽两个特征尺寸来确定鞋型, 并不能准确的反映出同一号型中不同个体的脚型。

3.3.2 数据分析结果

1) 从数据的相关分析中可知足弓高、夹角分别与其它变量之间没有相关性, 符合人类学标准化理论^[19], 即被挑选作为描述脚型主要特征的那些特征尺寸, 应该彼此间相关性较小的原理。

2) 通过方差分析可知足弓高、夹角两个变量对于不同的个体是显著不同的, 所以可将它们作为描述脚型特征的特征指标。

3) 虽然脚长、脚宽、跖趾关节高和跖趾围长这四个特征尺寸有较强的相关性, 但是考虑它们的重要性, 故仍将其保留作为描述脚型的特征指标。

综上所述, 将脚长、脚宽、跖趾围长、跖趾关节高、足弓高和夹角六个变量作为描述个体脚型的六个特征指标, 是有效的, 也是可靠的。

获取了个体脚型特征数据, 就可以根据我国制鞋行业通用的脚型参数与鞋楦参数之间的关系规则, 建立一套转换模型, 得到与个体脚型特征相应的所有鞋楦参数, 与已有的标准鞋楦数据库进行比较, 选择最佳匹配的标准鞋楦, 或对标准鞋楦进行调整生成符合该个体脚型的特定鞋楦模型, 最终实现个性化的鞋楦造型设计, 满足特定顾客的需求。

3.6 本章小结

本章介绍了计算机辅助脚型测量目的和意义, 讨论了个体脚型特征部位的标定依据, 定义了个体脚型的六个关键特征部位, 通过三维非接触激光扫描系统, 获取了个体脚型特征数据, 并通过统计工具分析了特征数据的相关性和显著性, 不仅提供了制鞋的重要依据, 而且也提供了实现个性化的鞋楦造型设计的重要依据。

4 鞋楦 3D 曲面模型逆向构建和应用

鞋楦是制鞋工艺中皮鞋款式的基准,是制鞋的基础。皮鞋款式的变化直接依赖于鞋楦的造型设计,并且鞋楦的质量直接影响鞋的质量。在皮鞋 CAD 系统中,获取数字化的鞋楦模型是进行设计的关键。利用上章的 Vitus 三维非接触激光扫描系统获取标准鞋楦的数据,本章将引入逆向工程技术着重讨论鞋楦 3D 曲面模型的重建技术和方法,以及个性化鞋楦造型设计系统的实现。

4.1 逆向工程在鞋业中的应用

目前消费大众对皮鞋的需求,不仅强调鞋型的功能性与舒适性,更重视与最新流行趋势相契合。因为不但鞋款造型变化万千,同时鞋型款式推陈出新的时间也大量缩短。面对如此的趋势,制鞋工业在鞋款复杂度愈来愈高与制作时间愈来愈短的情况下,如何快速建立鞋楦 3D 自由曲面模型是鞋楦设计制作及鞋底模具制作的重要课题之一。

传统鞋楦制作是利用手工的方式依设计图来产生第一只标准尺寸鞋楦,再利用鞋楦仿削机进行各个不同尺寸鞋楦的量产。如此的制作流程,固然可快速且大量地生产出全号头的鞋楦,但是在鞋面与鞋底的 CAD 设计,却没有任何可利用的 3D 数据来辅助设计。利用逆向工程技术^[27-28]可快速取得完整的 3D 点数据,并且重建出曲线曲面;数据汇入 CAD/CAM 系统后,可完成 3D 实体鞋楦模型。此 3D 鞋楦模型不仅可辅助鞋面及鞋底的设计,同时对往后鞋楦的设计修改亦提供一变更的基础,增加往后鞋楦设计的速度与效率。

因此国内外相继开展了将逆向工程技术引入鞋楦的设计,并将设计的结果应用于制造及其他相关领域的研究,如美国、英国、意大利等国家,开发了多个鞋楦专用及相关系统,形成了一整套鞋楦辅助设计制造的解决方案^[30-32]。我国在这方面也积极进行研究开发,如刘冬等^[33]针对逆向工程技术,提出了鞋楦曲面数字化特征信息识别法;陈俊华等^[34]基于通用 CAD/CAM 软件,提出了一套完整的鞋楦逆向设计及数控加工的方法;王丽萍等^[35]基于逆向工程研究了制鞋 CAD 系统。

4.2 鞋楦 3D 自由曲面模型重建

本节选用 25 号男皮鞋标准楦为例,利用 Imageware 逆向工程软件,说明鞋楦 3D 自由曲面重建的关键技术及其逆向重建处理流程的建立,最后实现了鞋楦 3D 自由曲面模型的快速重建^[36]。

Imageware 由美国 EDS 公司出品,是最著名的逆向工程软件,采用 NURBS 曲面为基础的曲面构造方案,处理数据的流程遵循点—曲线—曲面原则^[37]。

4.2.1 数据采集和输入

数据采集是逆向工程建模的第一环节,良好的测量数据能大大提高曲面重建的速度与品质^[38]。使用 Vitus 三维非接触激光扫描仪进行鞋楦三维数据采集,采集的数据文件采用 .stl 或 .asc 格式输入 Imageware 软件中,打开点云数据后,进行简单的散乱点去除,使用 Construct|Polygon Mesh|Polygonize Cloud 方法将点云数据计算成三角网格格式,借助光影在对象上的分布判断鞋楦的外观形状,结果如图 4.1 所示。

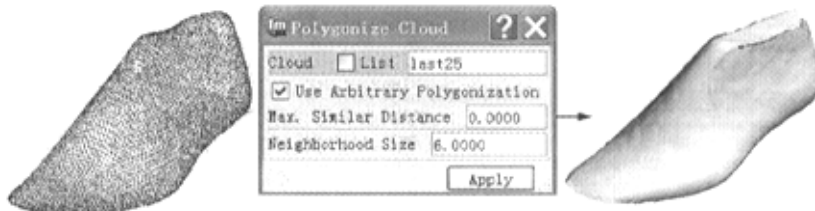


图 4.1 鞋楦点云数据处理

4.2.2 鞋楦尖点识别和楦底曲面重建

在模型重建时,需要将整个点云数据按特征线进行分割,每一片点云用特定的曲面来拟合,并进行曲面延拓、拼接等操作,形成复杂曲面。但特征线往往完全淹没在采集所得的点云数据之中,如何有效地提取特征线,提高逆向处理的精度和速度是任何从事逆向工程设计的人员所热切关心的问题^[33,39]。

鞋楦是一个自由空间曲面体,获得鞋楦采集数据后,关键是要进行尖点的识别。本课题采用近似曲率识别方法,依照点云曲率分布取出曲率较大的范围(Construct|Feature Line|Sharp edges),根据此曲率分布计算出尖角位置的点群,求得所需的尖角点群(图 4.2),将其光滑并构建出一条封闭的均匀曲线,即生成鞋楦的转折锐边特征线。利用此特征线分割出楦底点数据,使用 Construct|Surface From Cloud|Uniform Surface 方法依底部点数据构建出自由曲面(图 4.3)。最后,将上述特征线投影至曲面上,利用投影生成的 2D 曲线将其外围曲面修剪掉,即重建出楦底自由曲面模型(图 4.4)。

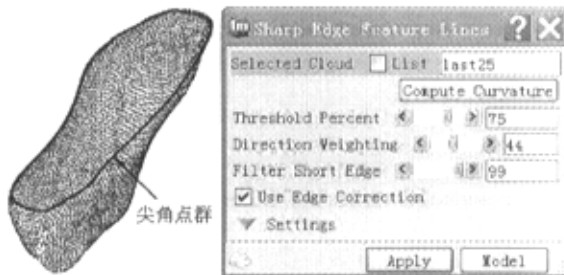


图 4.2 鞋楦底部尖角点群

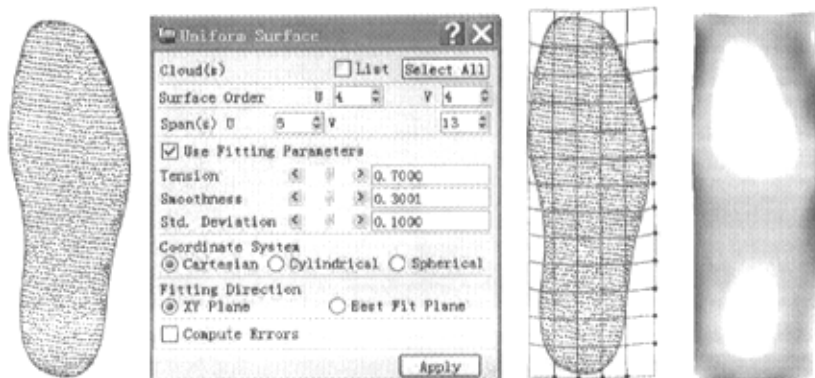


图 4.3 Imageware 所建构的鞋楦底部自由曲面

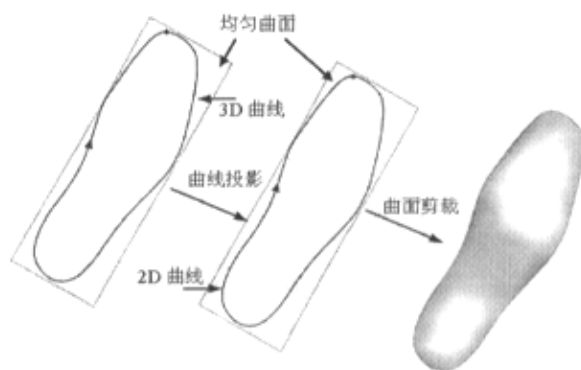


图 4.4 楦底自由曲面模型

4.2.3 楦面曲面重建

a. 楦面边界线构建 楦面上无特殊的特征作为分割曲面的参考, 本课题采用 4 条边界线+边界内部的点群 (Fit/w Cloud and Curves) 的方法来进行楦面曲面重建。关键是如何构建边界线, 首先将点云数据转至侧视, 依据鞋楦内外腰形状, 大致切一断面提取点群并分割成 2 段, 然后依此点群数据构建出 2 条均匀曲线。重复上述的过程, 依鞋楦前掌、后跟、顶部形状各切一断面, 整理各断面点群并构建出 3 条均匀曲线 (鞋楦顶部处为封闭曲线), 结果见图 4.5 所示。

b. 鞋楦顶部曲面重建 利用鞋楦顶部封闭曲线, 分割出顶部点数据, 删除不必要的点, 构建成一平面, 并将顶部封闭曲线投影至此平面, 利用投影生成的 2D 曲线将此平面修剪成所需的楦顶形状。

c. 楦面曲面重建 先把上述修剪鞋楦底面与顶面的 2D 曲线转换成 3D 曲线, 并依照侧边、前掌、后跟边界线将其分别打断为 4 段曲线, 使用 Modify | Continuity | Match 2 Curve 方法, 固定打断后的曲线, 移动楦面上的边界线与其彼此连接并成为封闭的环。边界线连接的关键是要保证曲线之间的 G^0 连续性。Match 连接完成之后, 依据 4 条封闭的边界线分

割出 4 片点数据(图 4.6)，应用 4 条封闭的边界线+边界内部点群的方法重建生成各片曲面(图 4.7)。

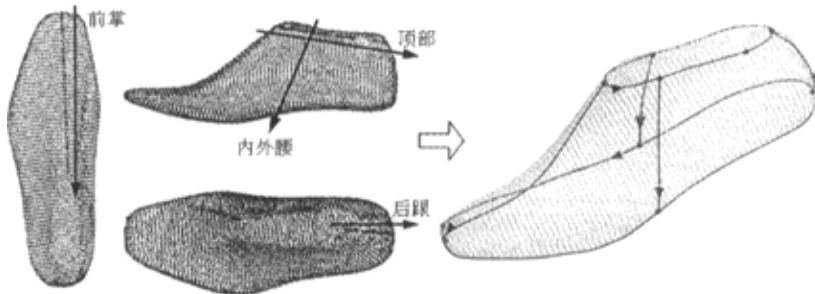


图 4.5 鞋楦边界线位置及构建

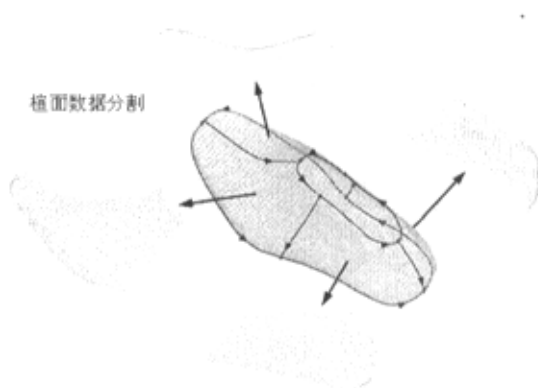


图 4.6 楦面四个边界范围内的点数据分割

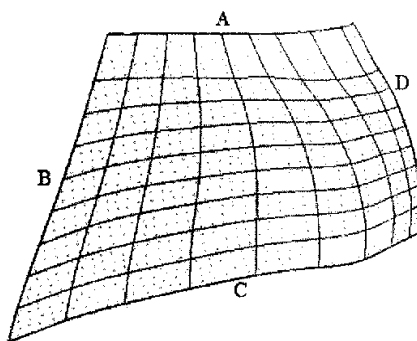
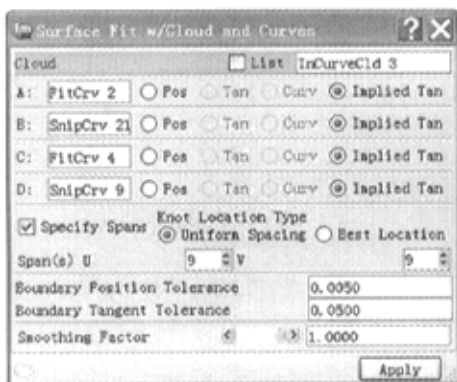


图 4.7 楦面一个边界范围内的曲面重建

4.2.4 鞋楦 3D 自由曲面模型

重建的楦面四片曲面之间的连续性应采用 Modify | Continuity | Match 2 Surface 方

法来处理。连接处理时若得到的结果不是很好，则需要调整其曲面边界附近的控制点，直到连续后的结果可以达到要求，一般至少要做到 G^1 连续且着色后曲面边界处无痕迹(图 4.8)。全部完成之后，鞋楦 3D 自由曲面模型如图 4.9 所示。成品按 Iges 曲面数据格式输出，就可汇入 CAD/CAM 系统，进行鞋面设计、鞋底设计，或生成加工路径等。

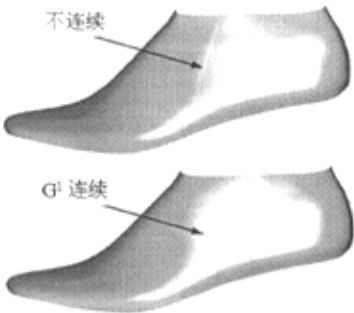


图 4.8 曲面间处理前后的连续性



图 4.9 鞋楦 3D 自由曲面模型

4.2.5 鞋楦重建模型精度分析

在逆向过程中，从数据测量到模型的重建完成，误差是不可避免地存在的。逆向工程的误差模型主要由原型误差、测量误差、数据处理误差、造型误差等组成。通过检验测量点到曲面模型的距离来评价重建模型的精度是一种简单的方法，这个评价指标没有包含测量误差，是一种近似和权宜的方法。但在目前的技术条件下，逆向模型评价还是选择该方法。本课题也是通过计算点到模型的距离来比较差异，进行精度分析。图 4.10 为鞋楦底部曲面与点群距离的误差分析结果图，相应求得楦面(4 片曲面)与点群的距离误差，最终统计结果见表 4-1。

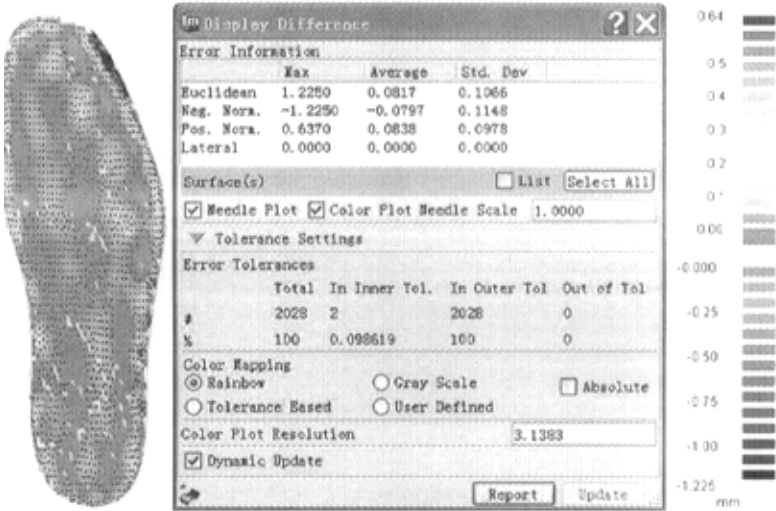


图 4.10 鞋楦底部曲面与点群距离误差分析

表 4-1 鞋楦重建模型精度统计表 (单位:mm)

重建曲面检测			模型精度分析指标		
曲面部位	检测点数	类别	正向距离	负向距离	绝对距离
鞋 楦 底 部	2028	最大值	0.6370	-1.2250	1.2250
		平均值	0.0838	-0.0797	0.0817
		标准误差	0.0978	0.1148	0.1066
鞋 楦 面	1	最大值	0.6822	-1.3212	1.3212
		平均值	0.0865	-0.1219	0.1039
		标准误差	0.1157	0.2321	0.1830
	2	最大值	0.8840	-1.1832	1.1832
		平均值	0.0731	-0.1339	0.1051
		标准误差	0.1103	0.2050	0.1683
	3	最大值	0.4333	-1.0831	1.0831
		平均值	0.0880	-0.1273	0.1099
		标准误差	0.0883	0.1726	0.1423
	4	最大值	0.6451	-1.3320	1.3320
		平均值	0.1100	-0.1338	0.1196
		标准误差	0.1143	0.2494	0.1815

由表 4-1 可知,鞋楦重建模型与测量点群之间绝对距离的标准误差最大值为 0.183mm,单个点与模型之间的绝对距离最大值为 1.332mm。进一步的分析发现,误差值较大的点位置都出现在鞋楦的转折锐边处,此处较大误差产生原因及来源主要有两个:①采集到的鞋楦点云数据中包含的尖点信息不够准确、全面,尖点的识别过程带来误差;②根据尖角点群构建特征曲线存在拟合误差,重建的特征线与鞋楦锐边配合带来误差。因此,在日后的工作中应进一步完善鞋楦尖点数据信息的采集,以及解决曲线、曲面拟合的允差大小(或拟合精度)控制问题,以及改进识别方法,有效地提取特征线。

4.3 鞋楦曲面模型在制鞋 CAD/CAM 技术中的意义

在制鞋工业中,无论是新设计的样楦,还是大批量生产的鞋楦,都必须对其楦身各特征部位的尺寸及外型进行测量检验^[40]。鞋楦测量是款式设计的基础。获得重建生成的鞋楦曲面模型,就能方便地对其进行测量,输入现有的制鞋 CAD/CAM 系统中,就可进行鞋楦设计、帮样设计等,以及汇入其它图形平台中,如基于 UG 造型平台的鞋楦 CAD 系统开发^[41];基于 Rhino3D 平台的鞋楦二、三维相互转换的设计^[42]等。将鞋楦曲面数据信息传递给后置数控编程等模块,就可以进行干涉校验、生产规划并编制出相应的数控加工程序,从而实现鞋楦加工、帮样展平剪裁数字化^[43]。因此鞋楦曲面三维数据及鞋楦 3D 自由曲面模型是制鞋 CAD/CAM 的基础。图 4.11 表明了鞋楦三维数据在制鞋 CAD/CAM 技术中的意义^[44]。

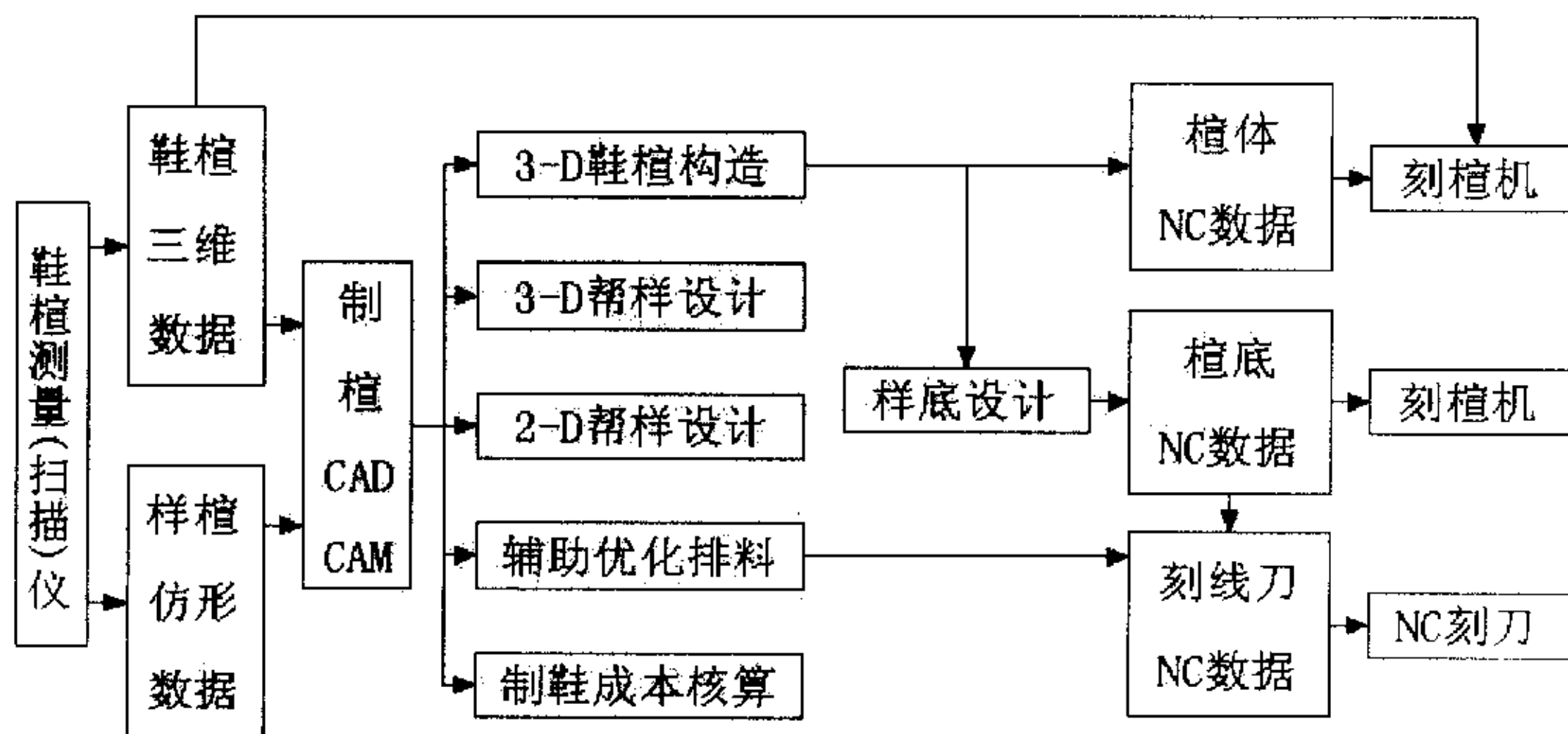


图 4.11 鞋楦三维数据在制鞋 CAD/CAM 中的应用框图

4.4 个性化鞋楦造型设计

随着社会现代化程度和物质生活水平的不断提高,人们对自己所穿的鞋子的舒适性和个性化的需求日益增强,尤其是从事特定职业的人员(如运动员、舞蹈演员、军人等)对个性化鞋子的需求更加迫切。传统的鞋子制造方法都是简单地将鞋子分为男鞋、女鞋、童鞋、婴儿鞋和老年鞋等几大类,然后根据特定的鞋号(如中国鞋号、法国鞋号、英国鞋号和美国鞋号等尺码)及特定的款式设计和制作出固定的、通用化的标准鞋楦,再根据这些标准鞋楦批量化生产鞋子。该方法虽然操作简单,成本低廉,但在舒适化和个性化等方面做得还远远不够。因为世界上不存在两个人的脚的大小和形状完全相同的情况,所以人们在选购鞋子的时候,往往是迫使自己的双脚去适应已经成型的鞋子,很难根据自己双脚的实际情况选购到非常合脚的鞋子(除非到鞋厂定制,但是这样的价格是非常昂贵的,一般的人根本无法承受)。因此,传统的基于标准鞋楦生产的鞋子在很大程度上无法满足客户对鞋子的个性化和人性化需求。个性化鞋楦造型设计方法就是针对这种需求而提出的^[13]。

影响鞋类产品舒适性的因素主要有五大类:楦型设计、帮样设计、底部件设计、材料的选用及工艺设计^[45]。鞋楦的设计是以脚各部位数据为基础的,从鞋类设计的角度讲,属于第一位的。楦型设计的好坏,直接影响成鞋的美观及舒适。

个性化鞋楦造型设计系统从人的需求出发,坚持“以人为本”的设计原则,强调鞋楦的个性化和舒适化,根据个体脚型设计和制造出符合个性化要求的鞋楦,并为通用 CAD/CAM 系统进行三维皮鞋造型和款式设计创造条件。因为只有在鞋楦满足个性化需求的前提下,才有可能设计和生产出对某个人而言是最合脚、最舒适的皮鞋。图 4.12 为个性化鞋楦造型设计系统简图。

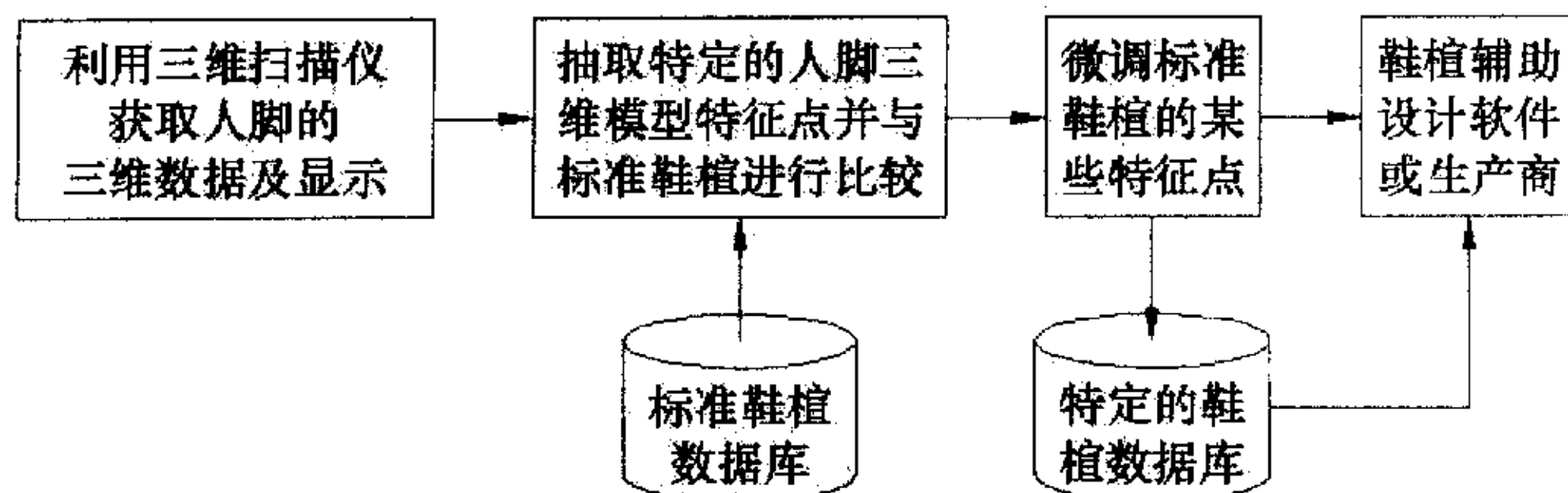


图 4.12 个性化鞋楦造型设计系统简图

鞋楦造型个性化设计方法的步骤如下：

1) 按照 3.2 节内容，标定个体脚型的六个关键特征部位，利用三维扫描仪对脚部进行立体扫描，获取个体脚型特征数据(跖趾围长，跖趾关节高度，脚长，足弓高度，夹角，脚宽)。

2) 按照 4.2 节内容，利用三维扫描仪获取尽可能丰富的标准化鞋楦(母楦)的三维数据，重建鞋楦 3D 自由曲面模型，并利用现有的 CAD/CAM 系统或制鞋系统实现鞋楦的参数化设计模型。

3) 根据我国制鞋行业通用的脚型参数与鞋楦参数之间的关系规则，建立一套转换模型，得到与个体脚型特征相应的所有鞋楦参数，与已有的标准鞋楦数据库进行比较，选择最佳匹配的标准鞋楦，或对标准鞋楦进行调整生成符合该个体脚型特定的鞋楦模型。最终实现个性化和舒适化的鞋楦造型设计，满足特定顾客的需求。

其中，Leon Kos^[46]等提出一种基于“迭代最近点”(ICP Interactive closest point)算法的刚性匹配技术，建立最佳刚性变换函数，来实现脚和鞋楦的线框曲面模型的匹配，进行匹配测量，从而获得最适合的鞋楦。

本课题使用 SolidWorks 的参数化曲面造型功能，建立鞋楦的参数化模型，通过尺寸驱动进行人机交互式修改，实现鞋楦造型设计以及满足个性化鞋楦造型设计的要求。利用获取的六个脚型特征数据，从标准楦型库中搜索相似的母楦，采用参数调整的方法实现个性化皮鞋设计模式和功能：

- ①按个体脚型的脚长数据选择标准鞋楦(母楦)；
- ②按个体脚型的脚宽数据调整(母楦)楦宽度参数；
- ③按个体脚型的跖趾关节高、跖趾围长数据调整(母楦)楦面参数；
- ④按个体脚型的足弓高、夹角数据调整(母楦)楦底参数；
- ⑤最后调整生成符合该个体脚型的鞋楦模型。

皮鞋模型是在参数化鞋楦模型的基础上创建的，因此也是一个参数化模型，相应的鞋楦模型参数调整，也将调整生成了符合该个体脚型的个性化皮鞋款式。

上述设计方法的具体实现过程将在第六章采用图例进行说明。

4.5 本章小结

鞋楦是皮鞋成型和定型的的关键支撑，皮鞋的设计与制造都必须在鞋楦曲面体上开展进行。本章导入逆向工程技术，阐述了其在鞋业中的应用，提出了点云数据处理及特征线构建的技术和方法，实现了鞋楦 3D 自由曲面模型的快速重建；并利用脚型特征数据库，提出了个性化鞋楦造型设计方法。设计出满足个性化需求的鞋楦，就可设计和生产出对某个个体而言是最合脚、最舒适的皮鞋。

5 SOLIDWORKS 二次开发技术

CAD 系统是以计算机硬件为基础, 系统软件和支撑软件为主体, 应用软件为核心的面向对象设计系统。当今的计算机硬件技术发展非常迅速, 软件开发和工具也非常丰富。本课题研究的皮鞋 CAD 系统, 选用微机作为硬件平台, Windows XP 作为操作系统, 三维 CAD 软件 SolidWorks 2003 作为图形平台, 面向对象编程(OOP)工具 Visual C++6.0 作为编译环境。皮鞋 CAD 系统应用和开发的软硬件环境及各部分之间的关系如图 5.1 所示。完成的软件模块是在 SolidWorks 2003 平台上开发的。本章将综合运用 COM 接口技术、动态链接库(DLL)技术和 DAO 数据库技术分析和讨论 SolidWorks 的二次开发技术与方法。

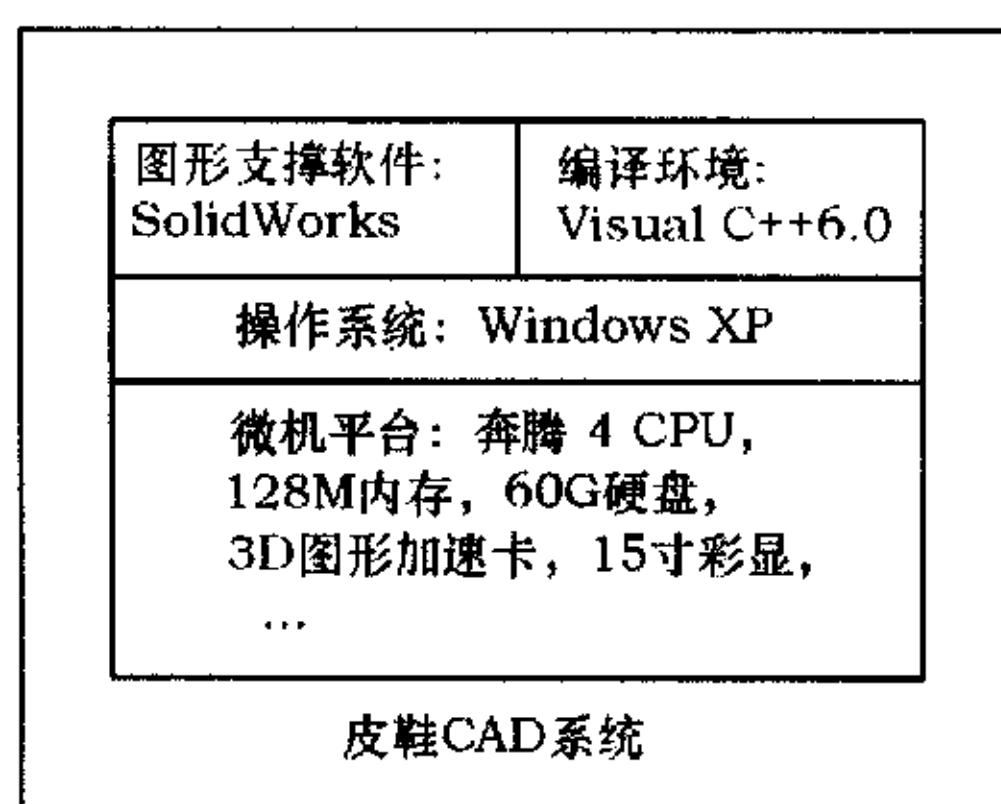


图 5.1 皮鞋 CAD 系统的应用和开发环境

5.1 用 Visual C++开发 COM 的应用

Visual C++从 4.0 版本就已经提供了全面的 COM 支持, 尤其在 5.0 和 6.0 版本中, 不仅 MFC 库提供 COM 应用的支持, 而且 Visual C++的集成开发环境 Visual Studio 也为 COM 的应用提供了各种向导支持, 并且 Visual C++还提供了另一套模板库 ATL 专门用于 COM 应用的开发。在这一小节里, 将介绍如何用 Visual C++建立一个基本的 COM 程序。

Visual C++支持很多种工程类型, 但支持 MFC 的工程包括三种: MFC ActiveX ControlWizard、MFC AppWizard(dll)、MFC AppWizard(exe)。其中 MFC AppWizard(dll)工程可建立支持 MFC 的动态链接库, 包括正规 DLL 或 MFC 扩展 DLL; MFC AppWizard(exe)工程可建立各种 MFC 应用程序, 包括 SDI、MDI 或基于对话框的应用。

如果要建立一个进程内组件程序, 首先选择 MFC AppWizard(dll)工程类型, 然后在对话框右边的编辑框中输入工程名, 再单击 OK 按钮, 于是进入 AppWizard 对话框, 在这个对话框里, 选择 Regular DLL using shared MFC DLL 类型, 在对话框的中间位置上选择 Automation 复选框, 全体选项按缺省设置。当我们单击“Finish”按钮后, 新的工程就创建完成了。有了程序框架后, 就可以利用 ClassWizard 添加 COM 对象类了。为了创建新的

COM 对象类, 在 New Class 对话框中 Base Class 一项时, 要选择 CCmdTarget。在对话框的下部 Automation 选项用于提供对自动化的支持。从 COM 接口的定义以及 COM 库提供的 API 函数可以看出, 它使用的一些数据类型在有些语言中很难表达。如果要全面发挥 COM 的这些特性, 我们就必须使用 C 或者 C++ 语言, 而 VB 在这里就显得有些力不从心。自动化作为 COM 的一种特例或是一种应用, 它为这些高级语言提供了另一条程序相互通信的途径。在这里为了逐步说明 CCmdTarget 对 COM 的支持, 在对话框中我们选择 None 圆形按钮。到这里为止, 一个新的类就创建完成了。

当然, 新创建的类只是一个框架, 只包含基本的构造函数和析构函数, 还要利用接口映射表和其它一些宏使该类支持接口 IDictionary 和 ISpellCheck。首先在 CDictionaryObj 类的定义中加入嵌套类:

```
BEGIN_INTERFACE_PART(Dictionary, IDictionary)
INIT_INTERFACE_PART(CDictionary, Dictionary)
STDMETHOD_(BOOL, Initialize) ();
STDMETHOD_(BOOL, LoadLibrary) (LPOLESTR);
STDMETHOD_(BOOL, InsertWord) (LPOLESTR, LPOLESTR);
... ..
STDMETHOD_(void, FreeLibrary) ();
END_INTERFACE_PART_STATIC(Dictionary)
```

```
//ISpellCheck
BEGIN_INTERFACE_PART(SpellCheck, ISpellCheck)
INIT_INTERFACE_PART(CDictionary, SpellCheck)
STDMETHOD_(BOOL, CheckWord) (LPOLESTR, LPOLESTR *);
END_INTERFACE_PART_STATIC(SpellCheck)
```

然后加入接口映射表说明:

```
DECLARE_INTERFACE_MAP()
```

相应地, 在 CDictionaryObj 类的实现文件中加入接口 IID 和接口映射表的定义。因为 CDictionaryObj 对象是通过类厂才能被创建, 所以我们通过 DECLARE_OLECREATE 定义内嵌的类厂对象在 CDictionaryObj 的头文件的接口映射表声明之后还要加入下面的代码行:

```
DECLARE_OLECREATE(CDictionaryObj)
```

相应地, 在 CDictionaryObj 的实现文件中加入类厂对象的定义。至此, 类 CDictionaryObj 已经提供了标准的 COM 支持, 剩下只需要添加一些内部数据成员并剩下嵌套类对象的成员函数。

最后, 在集成环境中编译连接工程, 于是就会得到新的 MFC 版本的字典组件程序。在它经过注册以后, 客户程序就可以通过 COM 方式调用该组件程序了。

5.2 SOLIDWORKS 二次开发概述

5.2.1 SolidWorks 的几个特点

SolidWorks 软件是完全基于 Windows 的 CAD/CAE/CAM/PDM 的桌面集成系统。SolidWorks 软件采用了与 Unigraphics (简称 UG) 相同的先进底层图形核心 PARASOLID 实体几何建模器, 它的核心技术是在 Windows 环境下生成的, 充分利用和发挥了 Windows 的强大威力和 OLE 技术。该软件提供完整的、免费的发展接口 API (Application Programming Interface, 应用程序接口), 用户可以用微软的 Visual Basic, Visual C++ 或其它支持 OLE/COM 的编程语言建立自己的应用程序, 第三方应用软件也可以方便、无缝地集成到 SolidWorks 设计环境中^[47, 48]。

SolidWorks 将自己定位在中端三维 CAD 软件市场上, 拥有三维 CAD 完整解决方案, 现已成为国际上中端微机三维 CAD 产品的领头羊^[49, 50]。

SolidWorks 软件的优势主要表现在以下几个方面:

a. 友好的界面 一个软件是否好学易用, 容易上手, 它的界面是非常重要的。SolidWorks 软件的菜单一共只有六十几个命令, 其余所有的命令与 Windows 的命令是相同的; 图形菜单设计简单明快, 非常形象化, 一看即知。系统的所有参数设置全部集中在一个选项(option)中, 容易查找和设置。动态导引具有智能化, 一般情况下不需要用户去修改; 特征树独具特色, 所有的实体及光源均可在特征树中找到, 操作特征非常方便; 实体的建模和装配完全符合于自然的三维世界, 特别是装配约束的概念非常简单且容易理解; 对实体的放大、缩小和旋转等操作全部是透明命令, 可以在任何命令过程中使用, 实体的选取非常容易和方便。

b. 数据转换接口 出于 CAD 技术的不断普及应用, 许多企业都使用了多种 CAD、CAE、CAM、PDM 软件, 而各种 CAD 软件之间的数据转换传送始终是个令技术人员头疼的问题, 尽管许多软件都提供各种各样的接口, 但传送的结果总是难尽人意。SolidWorks 在这方面可以说具有大家风范。它的数据接口有以下几个特点:

(1) 它支持的标准比较多 支持的标准 IGES, DXF, DWG, SAT (ACSI), STEP, STL, ASC 或二进制格式 VDAF (VDA), VRML, Parasolid。

(2) 转换成功率高 在 SolidWorks 和 I-DEAS, ADAMS, ANSYS, Pro/Engineer, AutoCAD 软件之间进行转换传递, 都非常成功。

(3) SolidWorks 创新的特征识别技术 标准格式数据的数据转换器让人们可以共享不同 CAD 系统设计的几何信息, 但经过这样转换的几何模型不带特征, 也没有设计历史, 如果要对它们进行编辑修改是很艰苦的, SolidWorks 创新的特征识别技术把智能赋予数据的转换, 将静态的几何模型特征化和参数化, 可直接对标准数据格式文件 (STEP, IGES, SAT, VDAFS, Parasolid) 进行特征识别。

c. 零件的配置功能 在实际设计工作中, 经常用到通用件或形状相似的零件, 如果把这些零件逐个设计后保存, 工作量极大, 管理起来也不方便。SolidWorks 软件在零件设计中提供了一个非常好的配置(configuration)功能, 这个功能允许你建立一个零件而有几个不同的配置, 而这个零件在不同配置中可以屏蔽不同的特征; 或同样的特征在不同的配置

情况下有不同的特征参数值,而这些不同的配置都被保存在同一个文件内;使用时只需选择其中任意一个配置,就可以得到想要的零件。

d. 高级渲染 随着技术的发展,人们品位的提高,产品的外观造型及视觉效果越来越重要。渲染模块 PhotoWorks 很容易实现产品的外形设计和渲染效果。PhotoWorks 与其它类似的渲染软件不同,它不仅可以对零件和装配进行渲染,而且可以使渲染达到近乎照片的真实效果。其二是渲染配置相当容易,如光源的强度,颜色设定,材质纹理选择,背景设定,反光度,透明度及阴影的设置,都非常简单容易。其三是可以输出多种图像格式,如 PosstScript, JPEG, TARGA, TIFF, BMP 等。四是 PhotoWorks 完全集成在 SolidWorks 软件环境中,把高级的渲染手段直接引入到实体建模中,把建模和渲染完全融合在一起,特别适合于工业产品的设计。

5.2.2 SolidWorks API 对象

SolidWorks 提供了几百个 API 对象,每个对象实现了与其相对应的接口(Interface,一组只有声明没有实现的虚函数表),对象也只能调用它实现了的接口,如果选用 VC 开发,则有两种调用方式:Dispatch 和 COM。这些对象涵盖了全部的 SolidWorks 的数据模型,通过对这些对象属性的设置和方法的调用,就可以在用户自己开发的 DLL 中实现与 SolidWorks 相同的功能。SolidWorks 所提供的对象都是从 SolidWorks 开始的,一般可分为三大类,即 PartDoc, AssemblyDoc 和 DrawingDoc,对应着 SolidWorks 的三个基本文件,即零件,装配体、工程图。每一个对象都对应着一个类,这些类的定义都在头文件 amapp.h 中,我们要使用的 API 函数都在里面,在我们使用 API 函数之前,我们必须了解它们,因为 SolidWorks 要求用户自己保证接口的一致性。图 5.4 是 Solidworks API 对象层次图,虽然与 VC++ 中的类导出层次图有些相似,但这并不等同 VC++ 中的类导出层次图,这就是接口对象与类对象不同点之一。

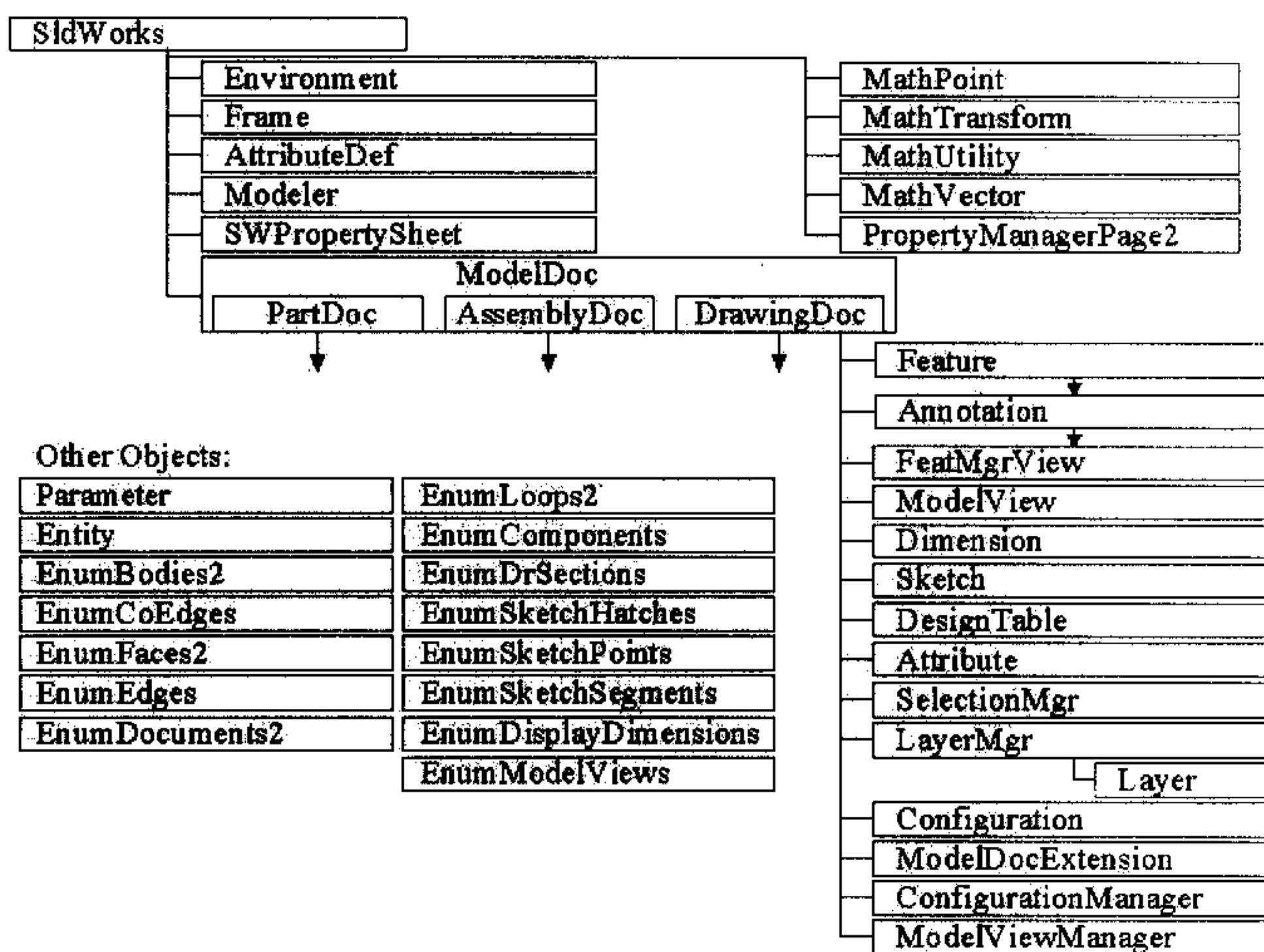


图 5.4 SolidWorks API 对象层次结构简图

5.2.3 SolidWorks API 语法

在 SolidWorks API 帮助文档里, 提供了每个 SolidWorks API 函数语法格式, 先是函数原形, 格式如下:

返回值 对象::函数(参数表)

然后分别是 VB 语法、VC++ Dispatch 接口语法、VC++ COM 接口语法, 对于 COM, 它总是返回一个 HRESULT 类型的返回值, 所以如果还有其它的值要返回, 则必须使用引用(reference)参数来传递, 例如 SelectByID 函数, 它需要一个 ModelDocExtension 对象, 将返回一个布尔值。各种语言使用了一个变量来传递函数。

1) 函数原形

boolean ModelDocExtension::SelectByID (BSTR Name, BSTR Type, double X, double Y, double Z, VARIANT_BOOL Append, long Mark, LPCALLOUT Callout)

2) VB 语法

Dim Result as Boolean

Result = ModelDocExtensionObj.SelectByID ("Point1", "SKETCHPOINT", .2, .3, 0, False, 0, Nothing)

3) VC++ Dispatch 语法

BOOL Result = FALSE;

Result = ModelDocExtensionObj.SelectByID (_T ("Point1"), _T ("SKETCHPOINT"), .2, .3, 0, 0, 0, 0);

4) VC++ COM 语法

VARIANT_BOOL Result = FALSE;

HRESULT hres = ModelDocExtensionObj->SelectByID(_T ("Point1"), _T ("SKETCHPOINT"), .2, .3, 0, 0, 0, 0, &result);

5.3 动态链接库

Windows 的执行文件可以划分为两种形式: 程序(EXE)与动态链接库(Dynamic-Link Library, 简称 DLL)。软件的功能既可以单个可执行程序的方式发布, 也可以库的方式发布; 即把可执行程序中可以分开的部分放进功能库中, 以便其他应用程序也可使用。DLL 不仅可以包含可执行代码, 还能有数据, 各种资源, 扩大了库文件的使用范围。

5.3.1 DLL 的特点

当我们用 VC 等高级编写应用程序时, 典型的情况是产生程序文件。但在某些情况下, 应用动态链接库更具有优越性^[51]。

第一点, 如果多个进程(可能相同, 也可能不相同)使用相同的 DLL, 只需将 DLL 在内存中装载一次, 这样节省了系统内存。DLL 映射到每个进程的专用地址空间中, 但它们的代码使用内存映射程序中只在内存中装载一次。与之相对的是静态链接库, 即普通的函数库,

其在程序链接时将库中的代码拷贝到可执行文件中,这样就使得在多个同样的程序执行时,系统保留了许多重复的代码副本,造成内存资源浪费。使用 DLL 的动态链接并不是将代码拷贝,只是在程序中记录了函数的入口点和接口,在程序执行时才将代码装入内存;不管多少程序使用 DLL,内存中都只有一个 DLL 的副本;当没有程序使用它时,系统就将它移出内存,减少了对内存和磁盘的要求。

第二点,可以提供 DLL 的不同版本,代替当前版本,方便系统的升级。如果 DLL 中的子例程有相同的参数,可以用新版本的 DLL 运行程序,而不需要重新编译程序。如果 DLL 有新的子例程,程序运行根本不会有什么影响。只有当新版本 DLL 中缺少老版本中的子例程时,才可能出现问题。

第三点,使用 DLL 存储公共资源。如可以建立不同版本的 DLL 来保存不同语言的字符串,然后在运行时改变语言;或者可以制备图标与位图库,然后在不同的应用程序中使用它们。这样方便特殊语言版本程序控制和资源重用。DLL 的另一个用途是支持世界各国的语言。开发者可以将依赖于语言的函数和资源分离出来,专门放进 DLL 中,例如中文、英文、法文等,各地使用软件的用户可以安装或运行适当的 DLL,以获得正确的本地信息。这是实现软件商品国际化的一项重要技术。

第四点,其语言无关性,方便各种编程语言编写的应用程序访问。大多数 Windows 编程环境,包括在用户程序中的大部分宏语言,都允许程序员调用存储在 DLL 中的子例程,这意味着,用某一高级编程语言完成的 DLL,无论是 VC++、VB、Delphi 程序,或者其它的 Windows 应用程序都可以调用它。

第五点, DLL 技术对于开发大型软件系统也有可用之处。一个大型系统要是用一个执行文件完成,程序将太庞大了,而且可能有许多重复的功能。这时将系统分成一系列的主程序和 DLL,可以减少开发的工作量。由于每个模块功能小了,访问的速度将提高。例如 Windows 操作系统本身就是这样筑建起来的,在它的 system 目录下存放着数以百计功能各异的 DLL 文件。

5.3.2 DLL 与 SolidWorks 二次开发

通过 VC 编写基于 COM 的动态连接库 DLL,能直接在 SolidWorks 的界面下添加菜单、工具条等。在注册表中注册成功即可成为 SolidWorks 的插件,实现与 SolidWorks 的无缝集成,是众多二次开发方法中的首选。

Visual C++6.0 实现 COM 编程有两种方式,即 ATL 模板和 MFC。本课题是基于 MFC 库的 COM 编程方式。

将 SolidWorks 工程向导文件 Swizard.swx 拷贝至 Visual C++6.0 安装目录\Microsoft Visual Studio\Common\MSDev98\Template 文件夹下,就可在 VC 中用该向导创建 DLL 工程;或直接使用 SolidWorks 安装目录 Samples\comuserdll\i386 文件夹下的基本工程文件,加入相关代码,编译链接后都可生成动态链接库文件(*.dll)。

a. 添加系统菜单和应用程序对话框

(1)添加系统菜单 SolidWorks 的 API 函数 Frame 提供了向 SolidWorks 中添加用户自定义菜单及相应子菜单的函数 AddMenu 和 AddMenuItem。实现方式如下:

```
HRESULT hres;
```

```

VARIANT_BOOL bres;
LPFRAME pFrame;
hres = m_pSldWorks->IFrameObject(&pFrame);
// 添加主菜单
hres = pFrame->AddMenu(auT("皮鞋CAD"), 5, &bres);
// 添加子菜单
hres = pFrame->AddMenuItem(auT("皮鞋CAD"), auT("&皮鞋CAD"), 0,
auT("ShoeD@MenuItemCB, ShoeD application menu item"), &bres);
...

```

(2) 添加应用程序对话框 对话框是一种方便、实用的人机交互界面。SolidWorks 允许用户用 VC 创建自己的对话框，并在对话框中添加所需控件。对话框的创建后，在运用时要新建一个类来控制对话框的各种操作。在程序中添加对话框，通常采用四个步骤：

第一步，用 Developer Studio 资源工具设计并创建一个对话资源(位图、光标、对话框、图标)和各种控件(如按钮、静态文本框、编辑框等)。

第二步，用 ClassWizard 创建一个由 CDialog 派生而来的 C++ 类，其实质是生成两个文件(头文件和 cpp 文件)，以管理对话框。

第三步，如果需要的话，增加处理发送到对话框的消息的函数。

第四步，添加实现功能的程序代码。

b. 入口点函数

```

extern "C" int APIENTRY
DllMain(HINSTANCE hInstance, DWORD dwReason, LPVOID lpReserved)
{
    if (dwReason == DLL_PROCESS_ATTACH)
    {
        g_hinstDll = hInstance;
        TRACE0("ShoeD.DLL Initializing!\n");
        //初始化模块库
        AfxInitExtensionModule(ShoeDDLL, hInstance);
        //把这个模块库插入资源链中
        new CDynLinkLibrary(ShoeDDLL);
        pDynLinkLibrary = new CDynLinkLibrary(ShoeDDLL);
    }
    else if (dwReason == DLL_PROCESS_DETACH)
    {
        TRACE0("ShoeD.DLL Terminating!\n");
        //关闭应用程序
        TheApplication->TerminateApplication();
        delete TheApplication;
        //调用析构函数后结束模块库
    }
}

```

```

        delete pDynLinkLibrary;
        AfxTermExtensionModule(ShoeDDLL);
    }
    return 1;    // ok
}

```

c. 导出函数 因为只有导出函数才能被 SolidWorks 直接调用, 它是 SolidWorks 与应用程序之间的接口, 所以必须定义导出函数。

```

#define DllExport __declspec( dllexport )
//调用这个函数使本模块连接到 SolidWorks 系统
long DllExport InitUserDLL3(LPSLDWORKS pSldWorks)
{
    //这个函数必须在每次会话中都要调用
    if ( TheApplication != NULL )
    {
        ASSERT ( FALSE );
        return 0;
    }
    //开始启动应用程序
    TheApplication = new CShoeDApp(pSldWorks);
    if (!TheApplication->StartApplication())
        return 0;

    //连接成功
    return 1;
}

```

d. 资源管理 为避免用户化的 SolidWorks 应用程序的资源(如对话框、位图等)与平台本身和第三方开发的 SolidWorks 应用程序的资源发生冲突, 必须对应用程序的资源进行管理^[52, 53]。解决资源冲突的方法是在使用新的资源前调用 AfxGetResourceHandle 函数保存当前系统资源, 然后调用 AfxSetResourceHandle 函数把当前资源设置成新的资源, 当使用完自己的资源后, 再调用 AfxSetResourceHandle 函数恢复先前已保存的资源。在使用自己的应用程序资源时, 先要进行如下操作。

```

void CShoeDApp::SetResources()
{
    //保存 SolidWorks 系统的资源实例句柄
    //然后用应用程序的资源实例句柄取代它
    if( m_hSaveInst == NULL)
    {
        m_hSaveInst = ::AfxGetResourceHandle();
        ::AfxSetResourceHandle( ::AfxGetInstanceHandle());
    }
}

```

```

    }
}
void CShoeDApp::ResetResources()
{
    //使用完毕后
    //把资源实例句柄重新设置回 SolidWorks 系统的资源实例句柄
    if( m_hSaveInst != NULL)
    {
        ::AfxSetResourceHandle( m_hSaveInst);
        m_hSaveInst = NULL;
    }
}

```

e. DLL 文件的编译和注册 在 VC 中编译和链接时, 不同的操作系统采用不同的设置: Windows95/98 应该采用 MBCS 设置, Windows NT/2000/XP 应该采用 Unicode 设置, 单步调试时应该采用 Pseudo Debug 设置。编译链接成功后, 得到一个动态链接文件 USERDLL.dll 及 USERDLL.lib。运行 SolidWorks, 使用文件/打开菜单, 在文件类型过滤器中选择 Add-Ins (*.dll), 就可加载自己的 DLL 程序; 或运行 Windows 系统的 Regsvr32 命令注册此 DLL 文件。DLL 文件注册成功就可成为 SolidWorks 系统的插件, 实现与 SolidWorks 系统的无缝集成, 在菜单栏上点击生成的开发菜单及子菜单, 就可进行所开发项目的相关功能操作。

5.4 DAO 数据库接口

CAD 设计过程中需要处理大量的数据, 因此在 CAD 系统中使用数据库技术显得非常重要。可以使数据操作对应用系统具有相对独立性。易于管理和操作, 并能实现数据在系统中交换和共享, 确保数据的一致性、完整性和有效性^[51, 54]。

a. Microsoft Data Access Objects 数据库管理

VC++ 的提供了 ODBC 和 DAO 支持对数据库编程, 实际上, ODBC 的类和 DAO 的类非常类似, 它们许多成员函数的名字是一样的, 但 DAO 的功能远远超过了 ODBC。

DAO 的特性之一就是一组 COM 接口, 它与其他所有的 COM 接口一样, 都只是给出了一组纯虚函数的声明。接口的名字有 DAOWorkspace、DAODatabase 和 DAORecordset 等。只是这些接口名不像其他接口名那样以字母 I 打头。

DAO 的另一个特性是这些接口的实现。Microsoft 提供了 COM 模块 DAO350.DLL (JET 3.51)/DAO360.DLL (JET 4.0), 该模块连接到与 Microsoft Access 数据库相同的 Jet 数据库引擎 DLL 上, 提供了 Jet 数据库引擎的 DAO 实现, 而这并不排斥其他的数据库软件公司提供他们的 DAO 实现。

b. DAO 数据库类的封装

从 MFC2.0 开始, 其数据库扩展部分封装了使用 DAO 的细节, 应用程序可以直接使用 MFC 中的 DAO 数据库类来访问数据库。因此程序员可以将更多的精力放在应用程序功能的实现上, 而不必关心其具体的内存机制。

在 MFC 中有下面 5 个 DAO 数据库类:

CDaoWorkspace 管理单个用户的数据库会话的接口

CDaoDatabase 用于数据库的接口

CDaoRecordset 用于一组记录集合的接口(表型记录集合、动态型记录集合或快照型记录集合)

CDaoTableDef 处理基本表或附属表的定义的接口

CDaoQueryDef 查询数据库的接口

这些类或多或少用相应的名字把 COM 接口包装了两个接口: DAOWorkspace 和 DAOEngine。MFC 包装得非常好, 只有当我们需要访问某个数据库的安全特性时, 我们才需要直接进行 COM DAO 调用。如果我们使用 MFC 库, 那么所有的引用计数都是自动管理的; 如果我们直接调用 DAO, 则必须对我们申请的接口调用 Release。

AppWizard 和 ClassWizard 都支持 DAO。我们可以用 AppWizard 产生一个完整的基于表的应用程序, 然后可以用 ClassWizard 产生一个针对某个表的 CDaoRecordset 的派生类。

c. DAO 支持数据库项

打开一个 Access 数据库(MDB 文件), MDB 文件是一个自包含的数据库, 它包括查询定义、安全信息、索引、关系, 还有实际的数据库。我们只需定义 MDB 文件的路径名。

直接打开一个 ODBC 数据源, 针对这种情况有一些重要的限制。我们不能打开用 Jet 引擎作驱动程序的 ODBC 数据源, 但可以使用那些自带 ODBC 驱动程序 DLL 的数据源。

通过 Jet 引擎打开一个 ISAM(被索引的顺序访问方法)类型的数据源, 如 dBase、FoxPro、Paradox、Btrieve、Excel 或者文本文件。即使我们设置了一个用 Jet 引擎来进行文件访问的 ODBC 数据源, 我们也必须作为 ISAM 类型的数据源打开这些文件, 而不是作为 ODBC 数据源。

把外部表附属到 Access 数据库, 实际上, 这是用 DAO 访问 ODBC 数据时首先考虑的方法。我们先用 Access 把 ODBC 表附属到一个 MDB 文件上, 然后用 DAO 打开 MDB 文件。

d. DAO 数据类的应用

运用 DAO 的应用程序必须是基于 MFC 的, 即要 MFC 动态链接库。因为 Access2000 已经使用 Jet 4.0 Engine, 所以采用 DAO 访问 Access 2000 时必须用 DAO360(JET 4.0), 而 Visual C++6.0 默认的是用 DAO350(JET 3.51)。实现方法是要有 DAO360.dll[C:\Program Files\Common Files\Microsoft Shared\DAO\], 并在应用类的 InitInstance() 中加入^[5]:

```
//访问 Access 2000, 指定使用 DAO360
```

```
AFX_MANAGE_STATE(AfxGetModuleState());
```

```
AfxGetModuleState() ->m_dwVersion = 0x0601;
```

也可采用将 Access 2000 文件转换成 Access 97 文件的方式。

确定访问文件格式后, 首先在 Stdafx.h 文件里, 增加如下包含头文件语句以实现 DAO 数据库功能的支持, 保证应用程序能够找到 DAO 类库。

```
#include <afxdao.h>
```

```
//定义一个数据库指针变量
```

```
CDaoDatabase *m_Pdb;
```

```
//打开指定的数据库
```

```
m_pDB->Open(MyDatabasePathName);
```

```

//访问操作
CdaoFieldInfo fieldInfo;
//字段信息
int nFields;
//字段个数
...
//表定义变量
CdaoTableDef td(m_pDB);
//打开指定的数据表
td.Open(strTableName);
//获得字段个数
nFields=td.GetFieldCount();
//获得记录个数
numRow=td.GetRecordCount();
...
//获得字段信息
td.GetFieldInfo(j, fieldInfo);
//定义记录集变量
CDAORecordset rs(m_pDB);
//以下为遍历读取数据表的记录并转换成相应的数据类型
rs.Open(dbOpenDynaset, strSelect);
while(!rs.IsEOF())
{
    COleVariant var;
    for(int i=0; i<nFields; i++)
    {
        var=rs.GetFieldValue(i);
        LV_ITEM m_ListItem;
        m_ListItem.mask=LVIF_TEXT;
        m_ListItem.iItem=nItem;
        m_ListItem.iSubItem=i;
        CString fieldValue=CCrack::strVARIANT(var);
        float invertnum=CCrack::numVARIANT(var);
        zbqworkarray[nItem][i]=invertnum;
    }
    nItem++;
    rs.MoveNext();
}

```

5.5 本章小结

本章讨论了应用 Visual C++6.0 对 SolidWorks 进行二次开发的各种技术, 介绍了 SolidWorks API 对象和应用语法, 对 SolidWorks 图形平台特点也作了简要的介绍, 并详细分析了在开发中所用到的几种高级编程技术及其细节问题, 包括 COM 接口技术、DLL 技术和 DAO 数据库技术。

6 皮鞋 CAD 系统设计与功能实现

皮鞋的设计是从鞋楦开始的。鞋楦是皮鞋成型和定型的关键支撑,皮鞋的设计与制造都必须在鞋楦上进行。在皮鞋 CAD 系统中输入鞋楦 3D 自由曲面模型,利用 SolidWorks 的基于特征建模的三维实体造型功能,本章将着重讨论皮鞋 CAD 系统设计和功能实现。

6.1 皮鞋 CAD 系统概况

为满足人们对皮鞋的舒适性和个性化需求,本课题提出了基于个体脚型的个性化皮鞋 CAD 软件。该软件的开发目标是:

- 借助 3D 扫描和逆向工程技术,使得从成千上万的鞋楦样品(以及皮鞋样品)中获得设计参考成为可能。
- 借助自由曲面的成形和真实感显示技术,使设计过程方便、生动和直观,从而激发设计人员的创造力。
- 借助交互式的使用明显缩短设计周期,进而使用户提高市场竞争力。
- 借助脚型参数与鞋楦参数之间的关系规则,推行个性化皮鞋 CAD 设计模式,满足客户对鞋子的个性化和人性化需求。
- 借助数据库管理系统提高设计资料的管理水平。

考虑到曲线曲面的设计系统本身的复杂性,决定采用二次开发的方法,并选用优秀三维 CAD 软件 SolidWorks 2003 作为软件运行的平台。在 Windows XP 操作系统下,通过面向对象编程(OOP)工具 Visual C++6.0,综合运用动态链接库(DLL)技术、COM 接口技术和 DAO 数据库技术对 SolidWorks 进行二次开发,建立了具有 Windows 图形用户界面风格的皮鞋 CAD 系统。

6.1.1 皮鞋 CAD 系统的总体结构

皮鞋 CAD 系统的总体结构,主要功能模块及其间的关系如图 6.1 所示。该系统的运行环境如图 6.2 所示。

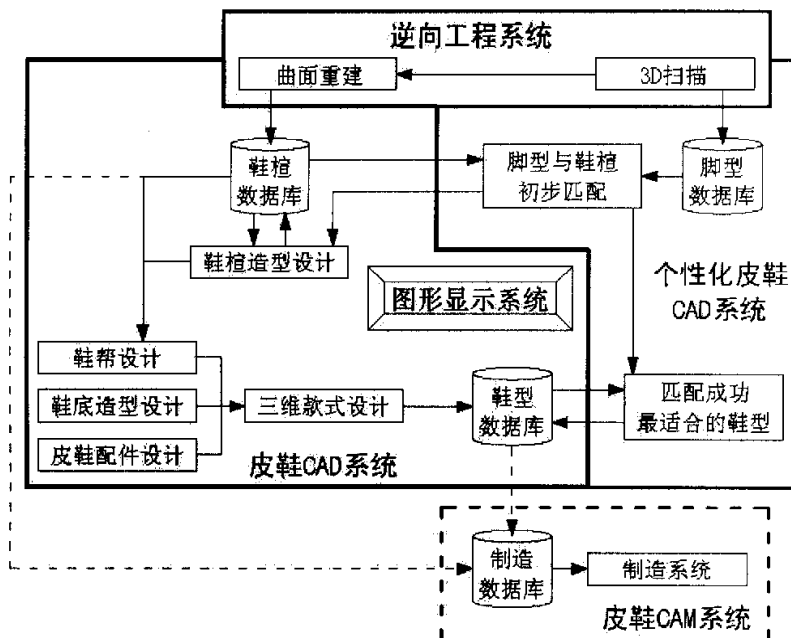


图 6.1 皮鞋 CAD 系统的总体结构图

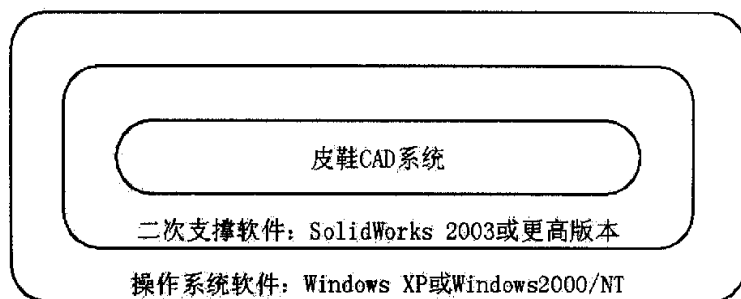


图 6.2 皮鞋 CAD 软件系统的运行环境示意图

6.1.2 皮鞋 CAD 系统结构简介

a. **逆向工程系统** 使用 Vitus 三维非接触激光扫描仪采集脚部与鞋楦数据，获得三维模型数据。利用图形处理软件 ScanWorX，提取脚型特征尺寸（见第三章）；利用 Imageware 软件工具，重建鞋楦 3D 自由曲面模型，建立鞋楦数据库（见第四章），为下一步设计提供数据支持。

b. **皮鞋 CAD 系统** 由鞋楦造型设计、鞋帮设计、鞋底造型设计、皮鞋配件设计和三维款式设计五个功能模块组成，在鞋楦造型设计基础上，设计不同式样的鞋帮和鞋底造型组合成皮鞋款式，并借助直观三维显示效果，进行交互修改，最后建立鞋型数据库。

c. **个性化皮鞋 CAD 系统** 是皮鞋 CAD 系统的扩展，功能的叠加。实现脚型数据库和鞋楦数据库的比较，得到与个体脚型特征最佳匹配的鞋楦（见第四章），在鞋型数据库中选择

此鞋楦号型最合适的皮鞋款式；或通过皮鞋 CAD 软件的功能设计符合个体脚型特征的鞋楦模型以及该鞋楦相应的皮鞋款式，满足客户对鞋子的个性化和人性化需求。

d. 皮鞋 CAM 系统 根据鞋楦数据库和鞋型数据库，分别建立一套转换模型，获得各种楦型、鞋型制作生产时的相关数据，并输入相应的制造系统中完成制作生产(尚待开发)。

e. 图形显示系统 提供以上系统的操作运行环境，具备基本图形、图像的显示功能，以 SolidWorks 2003 作为系统软件的开发平台。

6.2 皮鞋 CAD 软件的功能实现

6.2.1 软件运行界面

皮鞋 CAD 软件运行界面如图 6.3 所示。



a. 菜单及工具栏模式

b. 对话框模式

图 6.3 皮鞋 CAD 软件的运行界面

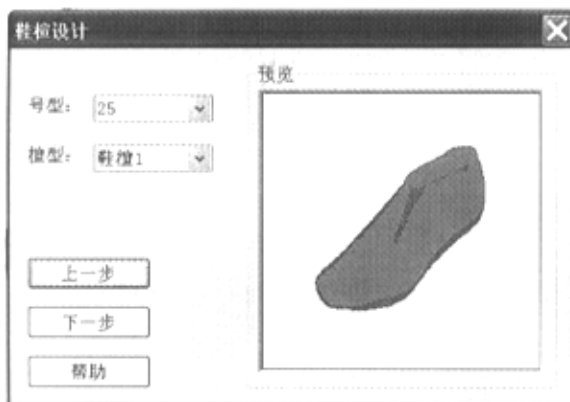
6.2.2 皮鞋 CAD 软件的功能实现

a. 鞋楦造型设计 选择输入鞋楦曲面模型(母楦)，利用 SolidWorks 的参数化曲面造型功能，建立鞋楦的参数化模型，通过尺寸驱动进行人机交互式修改，实现鞋楦造型设计以及满足个性化鞋楦造型设计的要求。图 6.4 为鞋楦造型设计对话框与实例。

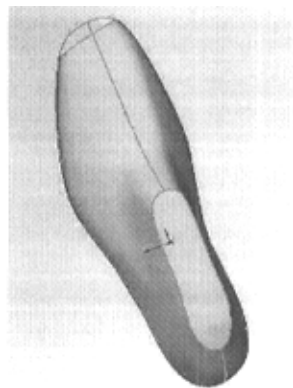
鞋楦造型设计是个性化皮鞋 CAD 软件实现的关键。

利用获取的六个脚型特征数据，从标准楦型库中搜索相似的母楦，采用参数调整的方法实现个性化皮鞋设计模式和功能。

- (1) 按个体脚型的脚长数据选择标准鞋楦(母楦)；
- (2) 按个体脚型的脚宽数据调整(母楦)楦宽度尺寸驱动参数，如图 6.5 所示；

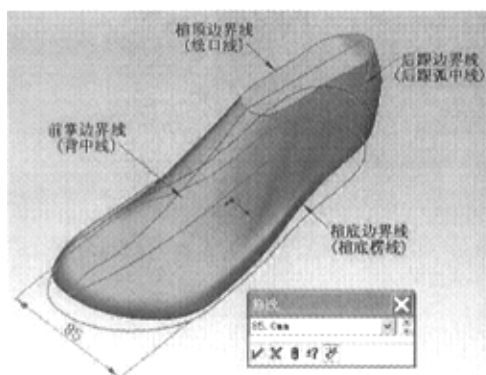


a. 鞋楦造型设计对话框

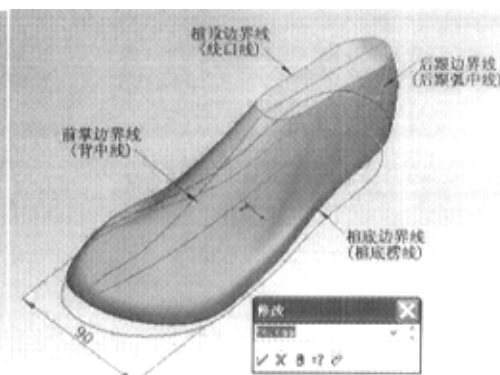


b. 鞋楦造型设计实例

图 6.4 鞋楦造型设计对话框与实例



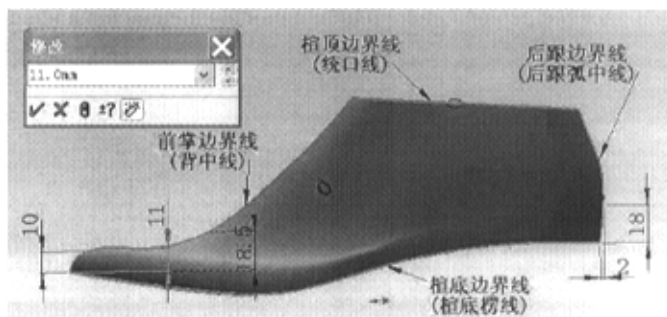
a. 调整前



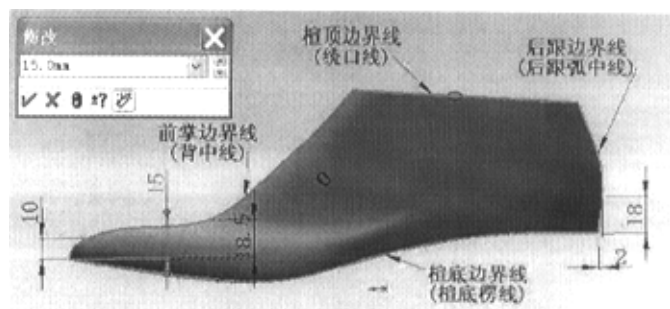
b. 调整后

图 6.5 榫宽度尺寸驱动参数调整

(3) 按个体脚型的跖趾关节高、跖趾围长数据调整(母楦)楦面尺寸驱动参数,如图 6.6 所示;



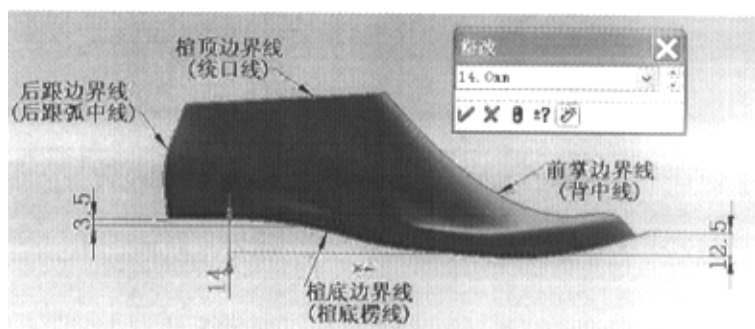
a. 调整前



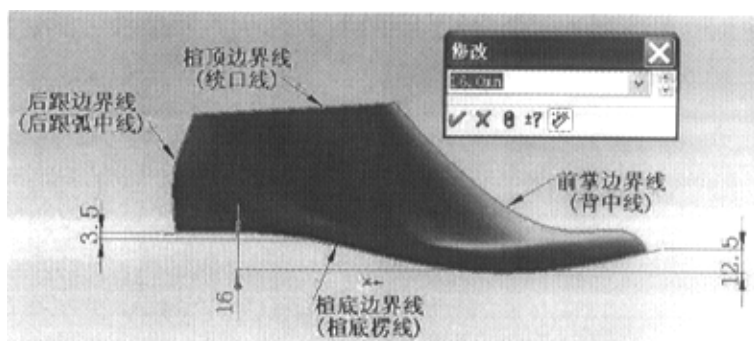
b. 调整后

图 6.6 棺面尺寸驱动参数调整

(4) 按个体脚型的足弓高、夹角数据调整(母楦) 棺底尺寸驱动参数，如图 6.7 所示；



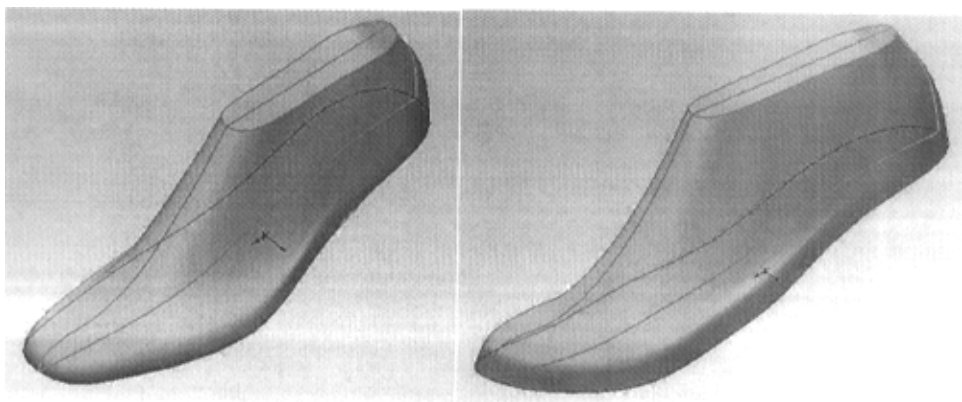
a. 调整前



b. 调整后

图 6.7 棺底尺寸驱动参数调整

(5) 最后调整生成符合该个体脚型的鞋楦模型，如图 6.8 所示。

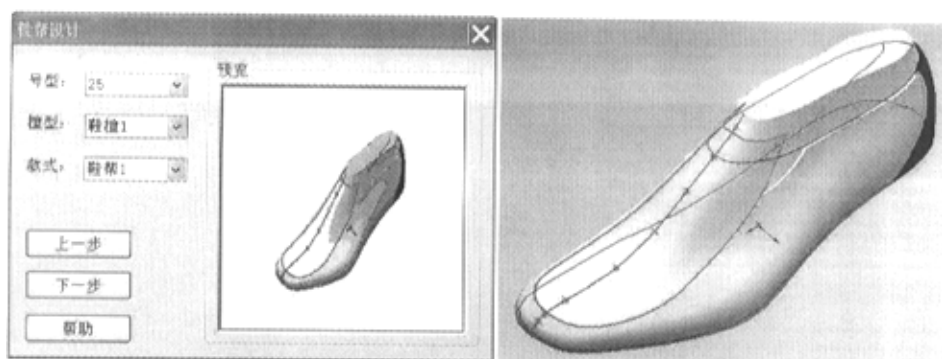


a. 调整前

b. 调整后

图 6.8 个性化鞋楦模型

b. 鞋帮设计 在鞋楦造型设计的基础上，确定皮鞋帮样结构，部件，口门类型及其位置，继续在鞋楦曲面模型上进行皮鞋帮样设计，绘制鞋帮的轮廓线条，构建鞋帮的基本框架，即皮鞋帮样设计的基本控制线。利用 SolidWorks 的色彩和纹理显示获得良好的直观效果。通过交互修改，设计出所需的鞋帮式样。图 6.9 为鞋帮设计对话框与实例。

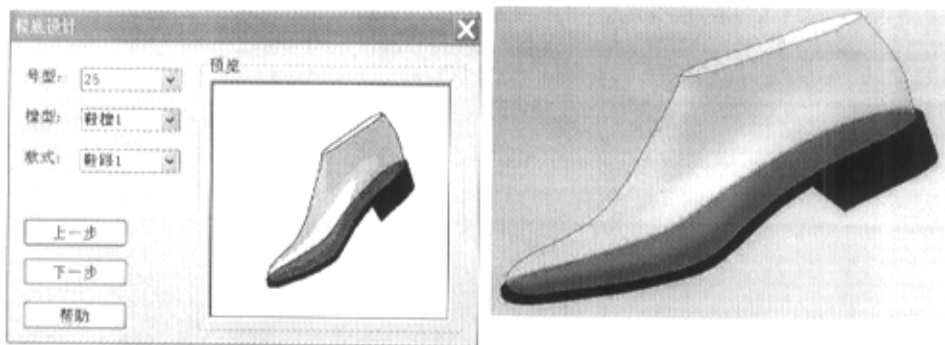


a. 鞋帮设计对话框

b. 鞋帮设计实例

图 6.9 鞋帮设计对话框与实例

c. 鞋底造型设计 在鞋楦造型设计的基础上，利用 SolidWorks 的实体造型功能，选择一组三维实体的参数化设计命令，根据鞋楦底的特征进行鞋底造型设计。图 6.10 为鞋底造型设计对话框与实例。



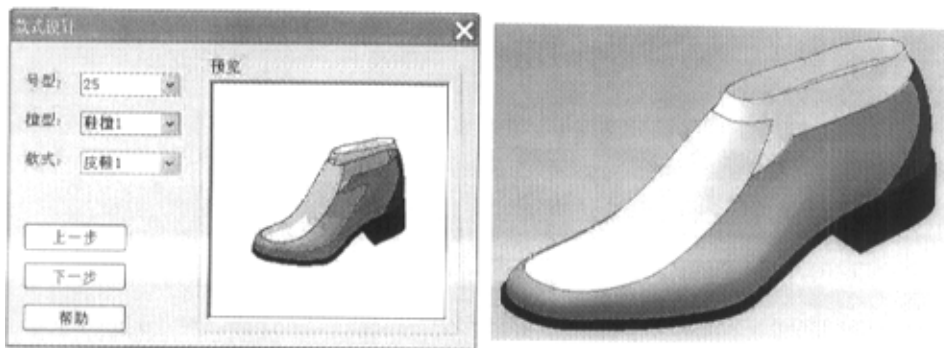
a. 鞋底造型设计对话框

b. 鞋底造型设计实例

图 6.10 鞋底造型设计对话框与实例

d. 皮鞋配件设计 皮鞋配件设计包括鞋带、鞋扣、标记等，通过一组图形管理和装配命令插入皮鞋款式中，从而实现真实感皮鞋款式的显示(尚待开发)。

e. 三维款式设计 选择需要的鞋楦造型，选择不同式样的鞋帮和鞋底造型，组合成该鞋楦号型的皮鞋款式，借助直观三维显示效果，进行交互修改设计，最后建立鞋型数据库。图 6.11 为三维款式设计对话框与实例。



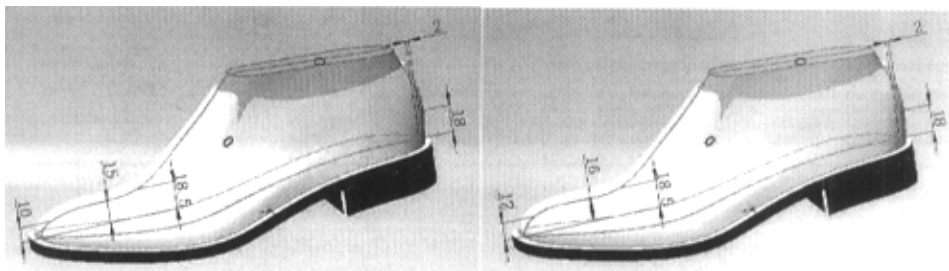
a. 三维款式设计对话框

b. 三维款式设计实例

图 6.11 三维款式设计对话框与实例

皮鞋款式模型是在参数化鞋楦模型的基础上创建的，因此也是一个参数化模型。在实现个性化鞋楦造型设计过程中，相应的鞋楦(母楦)模型参数调整，也将调整生成了符合该个体脚型的个性化皮鞋款式，如图 6.12 所示。

最终设计完成的皮鞋款式模型，可使用 SolidWorks 提供的 PhotoWorks 生成具有特殊品质的逼真图象。图 6.13 为一个皮鞋款式渲染效果图。



a. 调整前

b. 调整后

图 6.12 个性化皮鞋款式模型

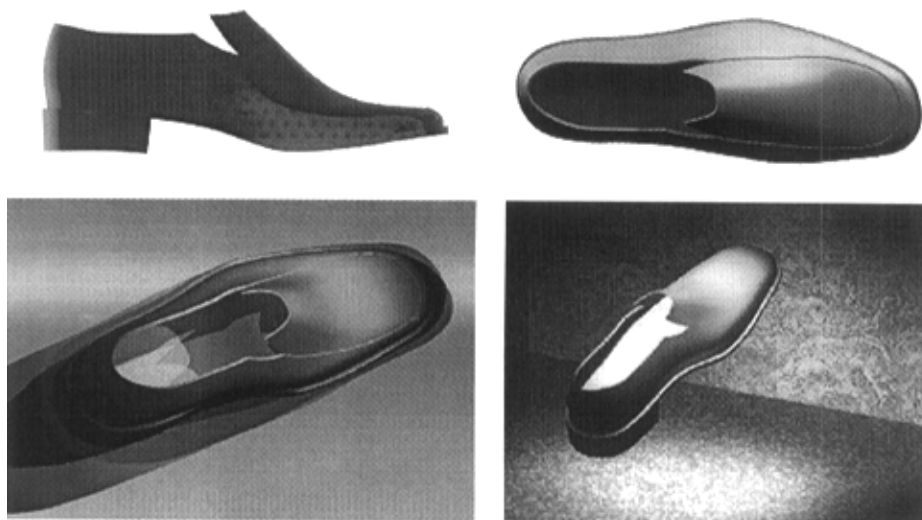


图 6.13 皮鞋款式渲染效果图

6.3 本章小结

本章介绍了皮鞋 CAD 系统概况及其总体结构,说明了皮鞋 CAD 系统的总体结构,主要功能模块及其间的关系,并应用具体实例展示了皮鞋 CAD 软件运行界面和功能实现效果。

7 结论与展望

7.1 全文总结

a. 本文研究的内容及成果如下

1) 根据脚型规律, 选择标定了六个关键部位描述个体脚型特征, 为个性化鞋楦及皮鞋设计与制作研究提供了参考; 利用三维非接触激光扫描测量平台实现了脚型测量, 获取了脚型特征数据, 为实现个性化鞋楦及皮鞋设计提供了依据。

2) 引入逆向工程技术, 研究了鞋楦 3D 曲面构建, 提出了鞋楦 3D 扫描数据的逆向处理流程, 实现了鞋楦 3D 自由曲面模型的快速重建, 有助于建立鞋楦数据库, 为皮鞋 CAD/CAM 系统提供了设计数据和参考。

3) 本文提出的三维非接触激光扫描系统和鞋楦 3D 自由曲面模型重建技术, 使得从成千上万的鞋楦样品(以及皮鞋样品)中获得设计参考成为可能。

4) 根据脚型参数与鞋楦参数之间的关系规则, 提出了符合个体脚型的个性化鞋楦造型设计方法, 基于 SolidWorks 平台实现了鞋楦曲面体三维显示和参数化几何造型设计。

5) 本文通过 Visual C++6.0 工具, 运用 DLL 技术、COM 接口技术和 DAO 数据库技术对 SolidWorks 进行二次开发, 编写了皮鞋 CAD 软件功能模块, 建立了具有 Windows 图形用户界面风格的皮鞋 CAD 系统, 可以实现鞋楦造型设计、鞋帮设计、鞋底造型设计和三维款式设计功能, 以及三维效果显示和交互式修改设计。

b. 本学位论文的创新点

1) 在计算机辅助脚型测量研究中, 通过对脚型数据的相关性及显著性分析提出了采用脚长、脚宽、跖趾围长、跖趾关节高、足弓高和夹角六个关键部位作为描述脚型的六个特征数据。

2) 利用逆向工程技术, 提出了鞋楦点云数据处理及特征线构建技术和方法, 实现了鞋楦 3D 自由曲面模型的快速重建。

3) 通过三维非接触激光扫描系统获取个体脚型的特征数据和母楦数据, 并快速重建参数化鞋楦曲面模型库, 然后按个体脚型的特征数据从楦型库中搜索相似的母楦, 调整母楦参数, 实现了个性化的鞋楦造型设计。

7.2 研究展望及对今后工作的建议

本课题完成了预期目标, 毫无疑问, 开发的个性化皮鞋 CAD 软件不够全面和细致, 有待于深入研究与探讨的基础上, 加以解决与完善。在完成本学位论文的基础上, 作者认为, 以下几个问题有待进一步的研究与探讨:

1) 本文描述个体脚型特征采用的 6 个关键部位, 应获取更多的人群脚型测量数据, 进

一步开展相关性、显著性等数据统计分析。

2) 采用的近似曲率识别方法提取鞋楦尖点群构建特征曲线与存在误差, 应进一步完善鞋楦尖点数据信息的采集, 解决曲线、曲面拟合的允差大小(或拟合精度)控制问题, 以及改进识别方法, 有效地提取特征线。

3) 进一步完善个性化鞋楦造型设计方法。

4) 进一步完善个性化皮鞋 CAD 软件系统, 开发皮鞋配件设计功能模块, 以及增加皮鞋款式的设计, 实现真实感皮鞋款式的显示。

5) 结合本课题建立的个性化皮鞋 CAD 系统, 开展皮鞋 CAM 系统研究。

攻读学位期间发表的论文

1. 陈翔,张欣. 逆向工程在鞋楦自由曲面重建中的应用. 西安工程科技学院学报,2005, 19(2):228~232
2. 陈翔,姜寿山,雷志勇等. Visual C++对 SolidWorks 二次开发技术及应用. 组合机床与自动化加工技术(已收录,定于 2005 年第 4 期发表)

致 谢

本学位论文是在姜寿山教授的亲切关怀和悉心指导下完成的，谨向导师表示衷心的感谢，并致以崇高的敬意！三年来，作者所取得的每一点进步，无不倾注着导师的心血。导师高尚的人格，渊博的学识，一丝不苟、富有启发性的治学作风，坚忍不拔、锐意进取的工作精神，民主而严谨的作风将是作者永远学习的楷模！

感谢雷志勇教授在课题研究中所给予的指导和帮助。

感谢西安工程科技学院服装与艺术设计学院张欣教授在课题研究中所给予的指导和帮助，给作者提供了很多有价值的资料和建议，以及良好的试验环境。

感谢计算机科学与工程学院和建筑工程系的各位老师们在作者攻读硕士学位期间所给予的帮助，给作者提供了良好的学习和科研环境。

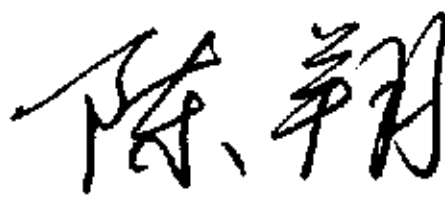
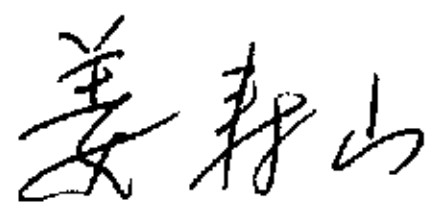
感谢我的学友魏笔凡、任晓伟、高武奇、刘鹏、师兄石俊、师弟魏坤等，以及我的朋友们对我的关心和帮助。

要特别地感谢远在故乡的父母和兄长！在作者漫长的求学生涯中，他们始终在物质上尽一切可能给予支持，在精神上给予不断的鼓励与鞭策！最后，感谢我的女友，感谢她的理解和支持。

学位论文知识产权声明

本人完全了解西安工业学院的有关保护知识产权的规定，即：研究生在校攻读学位期间学位论文工作的知识产权属西安工业学院。本人保证毕业离校后，使用学位论文工作成果或用学位论文工作成果发表论文时署各单位仍然为西安工业学院。学院有权保留送交的学位论文的复印件，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公开学位论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存学位论文。

（保密的学位论文在解密后应遵守此规定）

学位论文作者签名： 
指导教师签名： 
日 期： 2005.4.12

学位论文独创性声明

秉承学校严谨的学风与优良的科学道德，本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，学位论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，不包含本人已申请学位或他人已申请学位或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了致谢。

学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

学位论文作者签名：陈翔

指导教师签名：姜邦山

日期：2005.4.12

参考文献

1. Ravindra S. GOONETILLEKE, Designing footwear: back to basics in an effort to design for people. In: Proceedings of SEAMEC 2003, Kuching, 2003,25~31
2. Frank T. Piller. EuroShoe Consortium: The Market for Customized Footwear in Europe: Market Demand and Consumer's Preferences. A project report from the EuroShoe Project within the European Fifth Framework Program, Munich/Milan, 2002(March)
3. 米红宇. 皮革产品开发与品牌形象研究:[硕士学位论文]. 南京:南京大学,2001
4. 中国皮革和制鞋工业研究院. 鞋帮、鞋楦 CAD/CAM 系统,
<http://www.leather365.com/inst/index/frame/fruit/js11.htm>
5. 彭飘林. 新世纪中国鞋业发展的三大趋势及其对策. 中国皮革,2000, (22):6~9;
(24):10~11
6. Lee R.T., Cheng W.S., A multizone scaling method for CAD in shoe sole design. International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2002,19(5):313~317
7. Paris Ian, Handley Dave, CAD usage and knowledge base technology in shoe design and development. International Journal of Computer Integrated Manufacturing(Mass Customised Shoe Design and Manufacture),2004, 17(7):595~600
8. 贾庆锋. 鞋楦 CAD/CAM 技术研究:[硕士学位论文]. 成都:四川大学,2002
9. 王希. 鞋楦 CAD/CAM 技术及数控刻楦机的研究与实现:[博士学位论文]. 重庆:重庆大学,2001
10. 顾恭. 中国鞋业 CAD 系统的发展与现状. 西部皮革,2005,(01):37
11. 中国皮革和制鞋工业研究院. 鞋帮、鞋楦 CAD/CAM 系统,
<http://www.leather365.com/inst/index/frame/fruit/js11.htm>
12. Zhang Hongxin. Shoe CAD/CAM System:PowerShoe, Geometry Computing,
<http://www.cad.zju.edu.cn/division/GroupGC/index.html>
13. 徐从富,刘勇,蒋云良等. 个性化鞋楦 CAD 系统的设计与实现. 计算机辅助设计与图形学学报,2004,16(10):1437~1441
14. 彭飘林. 皮鞋造型设计, <http://xuetian.myrice.com/xiaoguotujifa/xiaoguotu.html>
15. 李运河. 皮鞋设计学. 北京:中国轻工业出版社,2002
16. 国家技术监督局. 鞋楦尺寸检测方法(GB/T 3294-1998),1998
17. 国家技术监督局. 鞋号(GB/T 3293.1-1998),1998
18. 杨广全. 基于 OpenGL 一类特殊复杂曲面体(鞋楦)CAGD 的研究:[硕士学位论文]. 陕西(咸阳):西北轻工业学院,2002
19. 《中国鞋业大全》编委会. 中国鞋业大全—设计工艺设备. 北京:化学工业出版社,2000
20. 中国皮革和制鞋工业研究院. 中国人群脚型数据库,
<http://www.leather365.com/inst/index/frame/fruit/js12.htm>
21. 赖文娜(台湾). 计算机辅助之鞋类辅具制作技术,
http://www.shoenet.org.tw/magaz/ma200404-1_inc.asp

22. 李慧,张欣,李毅. 基于量脚制鞋的足部三维特征指标研究. 西安工程科技学院学报, 2004,18(3):220~224
23. Luximon Ameersing, Goonetilleke Ravindra S., Tsui Kwok, Foot landmarking for footwear customization. *Ergonomics*, 2003, 46(4):364~383
24. 郑嫦娥. 鞋楦数字化测量及数据处理技术的研究:[硕士学位论文]. 北京:北京林业大学,2003
25. 王玉秀,李晓久. 人体足部非接触测量系统的研究. 天津工业大学学报,2004, 23(5):91~93,97
26. 王苏斌,郑海涛,邵谦谦. SPSS 统计分析. 北京:机械工业出版社,2003,426
27. 柯映林,肖尧先,李江雄. 反求工程 CAD 建模技术研究. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001,6(13):570~575
28. 武剑洁,王启付,黄运保等. 逆向工程中曲面重建的研究进展. 工程图学学报, 2004, (2):133~142
29. 栾贻国,李海峰,唐炳涛等. 反求工程及其相关技术. 山东大学学报(工学版), 2003, 33(2):114~118
30. Song Wanzhong, Su Xianyu, CAD System for Footwear Design Based on Whole Real 3D Data of Last Surface. In: *Advanced Optical Manufacturing and Testing Technology 2000(Proceedings of SPIE Vol. 4231)*,2000, 407~411
31. Azariadis P.N., Aspragathos N.A., Geodesic curvature preservation in surface flattening through constrained global optimization. *CAD Computer Aided Design*,2001,33(8):581~591
32. Joneja Ajay, Tam Angela, Jing Fu, Draping 2D patterns onto 3D surfaces. In: *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 2003,(3):363~369
33. 刘冬,林述温. 鞋楦曲面数字化特征识别与数据压缩. 组合机床与自动化加工技术, 2003,(3):9~11
34. 陈俊华,童森林,陈俊龙. 基于通用 CAD/CAM 软件的鞋楦逆向设计及数控加工. 组合机床与自动化加工技术,2003,(8):31~32
35. 王丽萍,邱飞岳. 基于逆向工程的制鞋 CAD 系统及排样算法. 浙江工业大学学报,2004, 32(4):363~366
36. 陈翔,张欣. 逆向工程在鞋楦自由曲面重建中的应用. 西安工程科技学院学报,2005, 19(2): 228~232
37. 于喆,赵敏. Imageware 优秀的逆向工程软件. 计算机辅助设计与制造, 2000, (9):13~15
38. 单东日,柯映林,刘云峰. 反求工程中复杂曲面测量规划研究. 中国机械工程, 2003, 14(1):9~11
39. 胡鑫,习俊通,金烨. 反求工程中散乱点云数据的自动分割与曲面重构. 上海交通大学学报,2004,38(1):62~65
40. 江卓达,金涛,童水光等. 鞋楦设计制造的现状和对策. 机床与液压,2004, (2):1~5
41. 陈建良,童水光,金涛等. 基于 UG 的鞋楦 CAD 系统开发. 组合机床与自动化加工技术, 2004,(4):11~12
42. 代秋芳,杨恢先,徐又又. 基于 Rhino3D 平台的鞋楦二、三维互转换的设计与实现. 微计算机信息,2004,20(12):134~135,39

43. Jimeno A.M., Chamizo J.M.G, Salas F., Shoe last machining using virtual digitizing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2001,17(10):744~750
44. 贾庆锋,苏显渝,宋万忠. 3C 技术在制鞋工业中的应用. *四川大学学报(自然科学版)*,2002, 39(2):268~272
45. 李园. 浅谈影响成鞋舒适性的因素. *中国皮革*,2002,(18):104~105
46. Leon Kos, Jože Duhovnik, A SYSTEM FOR FOOTWEAR FITTING ANALYSIS. In: *INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE-DESIGN 2002,Dubrovnik*,2002,1187~1192
47. 陈岳坪,罗意平,王平安. 用 Visual C++开发 SolidWorks 的关键技术. *机械与电子*,2002, 23(2):18~21
48. 赵韩,宋晖,朱家. 基于 SolidWorks 的模块化设计关键技术研究. *组合机床与自动化加工技术*,2004,(11):24~26
49. 彭维,叶修梓,陈志杨. 国际 CAD 产业格局与新兴的 CAD 技术公司. *计算机辅助设计与图形学学报*,2003,15(10):1200~1206
50. 张培吉. SolidWorks—3D CAD 完整解决方案. *航空制造技术*, 2004, (1):36~37
51. 朱兵清. SOLIDWORKS 支撑下的离心泵结构 CAD:[硕士学位论文]. 四川:四川工业学院,2001
52. 赵付青,余冬梅,杨亚红. SolidWorks 与 MFC 的接口开发技术及其应用. *计算机工程与应用*, 2004(7):102~104
53. 郝向儒,韩锐,李珣. Solid Works 环境下的参数化建模方法. *机床与液压*,2004, (9):73~75
54. 薛江,梁丽. 数据库技术在 CAD 系统开发中的应用. *机械设计与制造*,2002, (3):36~38
55. 陈翔,姜寿山,雷志勇等. Visual C++对 SolidWorks 二次开发技术及应用. *组合机床与自动化加工技术*(已收录,定于 2005 年第 4 期发表)

附录

表 3-3 脚型测量数据采集结果

编 号	脚 长 (mm)	脚 宽 (mm)	跖跖围长 (cm)	足弓高 (mm)	跖趾关节高 (mm)	夹 角 (度)
2004-07-12-01	235	90.3	23.1	16.6	37.4	10
2004-07-12-02	228	78.9	20.9	18.6	31.1	13
2004-07-12-03	232	80.3	21.5	13.3	34.1	8
2004-07-12-04	245	96.0	25.5	16.0	45.4	11
2004-07-12-05	220	83.3	21.9	14.8	31.6	13
2004-07-12-06	233	87.0	22.2	18.8	45.4	4
2004-07-12-07	230	87.8	22.3	11.5	37.5	14
2004-07-12-08	230	95.7	22.6	16.0	36.3	8
2004-07-12-09	235	81.2	22.3	21.3	44.5	9
2004-07-12-10	220	84.3	22.5	16.9	34.1	15
2004-07-12-11	225	84.0	21.4	20.2	36.8	13
2004-07-12-12	235	85.5	22.5	17.2	34.4	14
2004-07-12-13	230	91.1	21.6	16.8	34.9	11
2004-07-12-14	230	84.0	26.6	17.7	35.8	14
2004-07-12-15	237	93.8	24.0	22.3	40.0	10
2004-07-12-16	220	80.7	21.2	14.6	34.4	14
2004-07-12-17	240	90.4	22.7	13.4	37.0	21
2004-07-12-18	225	78.5	21.9	13.7	36.3	30
2004-07-12-19	230	89.4	24.0	12.6	39.1	15
2004-07-12-20	230	88.6	22.5	12.3	38.5	19
2004-07-12-21	232	90.9	22.8	12.8	35.3	14
2004-07-12-22	235	92.0	24.2	11.5	37.8	11
2004-07-12-23	228	89.6	22.7	13.3	37.6	13
2004-07-12-24	230	88.0	23.5	14.7	40.9	10
2004-07-12-25	235	92.3	24.3	7.8	33.7	12
2004-07-12-26	220	77.8	21.0	14.0	38.0	6
2004-07-12-27	228	88.4	21.0	17.5	37.7	16
2004-07-12-28	242	92.4	23.4	16.1	40.6	20
2004-07-12-29	237	89.9	23.4	17.6	36.8	9
2004-07-12-30	240	105.7	22.8	8.1	38.3	11
2004-07-12-31	228	86.6	22.9	18.3	40.7	18

2004-07-12-32	232	90.0	23.0	17.4	40.1	18
2004-07-12-33	230	91.5	23.2	19.8	43.8	20
2004-07-12-34	240	92.8	23.8	18.7	37.5	11
2004-07-12-35	245	98.5	24.9	16.2	41.0	18
2004-07-12-36	236	88.3	21.6	13.0	37.5	4
2004-07-12-37	240	93.9	24.8	17.1	39.8	15
2004-07-12-38	235	89.7	24.3	17.3	41.1	16
2004-07-12-39	225	83.9	21.7	15.7	38.9	18
2004-07-12-40	237	94.9	23.0	15.0	36.1	12
2004-07-12-41	218	80.9	20.0	14.5	38.4	10
2004-07-12-42	243	96.1	24.9	12.4	41.4	19
2004-07-12-43	228	96.1	22.9	21.5	36.8	14
2004-07-12-44	235	91.2	23.1	13.6	37.8	10
2004-07-12-45	230	90.6	22.8	20.9	41.7	22
2004-07-12-46	229	90.2	23.6	18.5	46.5	31
2004-07-12-47	225	85.6	22.4	13.2	35.0	16
2004-07-12-48	229	90.0	21.2	21.3	41.0	37
2004-07-12-49	235	90.9	24.0	10.4	34.1	22
2004-07-12-50	227	87.8	22.1	10.8	40.1	38
2004-07-12-51	220	83.5	22.0	20.7	38.4	11
2004-07-12-52	245	96.7	23.5	11.0	31.2	9
2004-07-12-53	232	82.3	22.4	13.0	35.6	10
2004-07-12-54	225	81.7	20.3	10.7	32.6	9
2004-07-12-55	235	93.0	23.7	19.6	35.7	18
2004-07-12-56	230	81.9	20.6	13.5	35.3	23
2004-07-12-57	232	97.1	22.6	15.2	40.9	22