

牛仔布工业丛书

服装起拱 与力学工程设计

香港理工大学纺织及制衣学系
香港服装产品开发与营销研究中心

编著

FUZHUANGQIGONGYULIXUEGONGCHENGSHIJI



41.17

中国纺织出版社

• 牛仔布工业丛书 •

服装起拱与力学工程设计

香港理工大学纺织及制衣学系
香港服装产品开发与营销研究中心 编著



中国纺织出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了作者结合服装起拱的工程设计问题进行的理论和实验研究。全书共分 12 章, 主要内容包括: 人体与服装的接触分析、起拱测试与评价方法、机织物起拱的流变学机理、建立起拱模型与参数优化方法、数字化模拟人体与服装之间的三维弹性接触、服装力学性能工程设计 CAD 系统的开发和应用等。本书介绍的研究方法和结果, 为服装力学性能的工程设计提供科学依据和方法, 是提高服装产品竞争力的理论与技术知识。

本书可作为高等院校和生产单位有关科学研究和技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

服装起拱与力学工程设计/香港理工大学纺织及制衣学系, 香港服装产品开发与营销研究中心编著. —北京: 中国纺织出版社, 2002. 10

(牛仔布工业丛书)

ISBN 7-5064-2383-9/TS·1610

I. 服… II. ①香… ②香… III. 服装-工程力学-设计

IV. TS941.17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 065513 号

策划编辑: 郑 群 张福龙 责任编辑: 邢声远
责任校对: 楼旭红 责任设计: 李 然 责任印制: 刘 强

中国纺织出版社出版发行

地址: 北京东直门南大街 6 号 邮政编码: 100027

电话: 010-64160816 传真: 010-64168226

<http://www.c-textilep.com>

E-mail: faxing@ c-textilep.com

中国纺织出版社印刷厂印刷 各地新华书店经销

2002 年 10 月第一版第一次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 11.25

字数: 255 千字 印数: 1—2000 定价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前言

牛仔布从诞生至今一直流行不衰,牛仔服装遍及整个世界。牛仔布生产在全球范围内的竞争越来越激烈,如何占领市场,是牛仔布生产厂家极为关注的问题。

市场成功的关键是开发满足、甚至引导消费者需要的产品。为了提高在国际市场上的竞争力,推动牛仔布生产技术和提高,香港理工大学在其战略发展学科中将服装产品开发与营销作为研究对象。在这个项目中,牛仔布与牛仔服装的生产与营销为一个主要研究分支。在该研究中,开发了牛仔产品信息系统([http:// www.asd.polyu.edu.hk](http://www.asd.polyu.edu.hk)),该系统主要由下列几大模块组成:

- 消费市场——消费者需要,品牌意识与偏爱,着装喜好,购买习惯;
- 产业分析——原材料及相关产品供应市场,中国大陆、香港及全世界生产能力的分布;
- 牛仔布行业通讯录——全球、香港和中国大陆;
- 牛仔布产品技术说明与测试——织物与成衣检测与质量管理;
- 牛仔布加工技术——纤维的选取,纺纱与织布,染色和后整理;
- 服装设计——服装设计与纸样工程;
- 服装生产技术——牛仔服装生产及洗涤;
- 贸易——贸易过程,国际贸易;
- 时装零售——商场展示,定位及广告;

这些内容都已收录在上述网站中。在这个信息系统的基础上,还将陆续出版下述有关牛仔布与牛仔服装的书籍:

- 牛仔布生产与质量控制
- 牛仔服装的设计加工与后整理
- 中国大陆与香港牛仔布工业

- WTO与全球牛仔布产品贸易
- 服装起拱与力学工程设计
- 服装舒适性与产品开发

起拱是影响服装外观并导致耐用性降低的一个重要的服装力学性能。服装力学性能的工程设计是运用人机工学、纤维学、服装力学和纺织品客观测试等知识,对服装穿着过程中的力学行为进行评价、预测、修改直至满足需求的设计过程。实现服装质量与性能的工程设计,是21世纪纺织服装工业重要的研究与发展方向,对于提高服装产品竞争力具有非常重要的工程技术价值和社会经济效益。近年来,我们结合服装起拱的工程设计问题,进行了一系列理论和实验研究,现汇于此专著,希望能为这方面的研究与发展起到抛砖引玉的作用。

本书共分12章。第一章介绍工程设计的方法和特点,以及纺织品和服装力学性能工程设计的发展与现状。第二章介绍服装起拱力学特征。第三章介绍起拱实验方法。第四章至第六章介绍起拱主客观评价技术。第七章介绍机织物起拱的流变学机理研究。第八章介绍起拱织物应力分布研究。第九章至第十章介绍起拱数学模型及参数优化方法。第十一章介绍数字模拟膝部与服装间三维弹性接触。第十二章介绍服装力学性能工程设计CAD系统的开发和应用。本书系统地介绍了服装起拱性能工程设计的研究方法和结果。

《服装起拱与力学工程设计》由张欣博士(西安工程科技学院教授)和杨国荣教授(香港理工大学副校长)、李毅博士(香港理工大学副教授)、姚穆院士(西安工程科技学院教授、名誉院长)共同完成。本书的研究工作和编写出版得到香港理工大学博士奖学金和博士后研究基金以及香港理工大学战略发展领域(ASD)基金的支持。对此,我们表示诚挚的感谢。

在此书完成之际,我们衷心感谢香港理工大学为此书的完成所提供的经费支持,没有该经费的支持,很难保证此书的完成。

牛仔布生产技术的发展日新月异,由于资料的收集及水平的限制,书中一定有许多不足之处,敬请各位读者指教。

作者

2002年2月

目 录

第一章 工程设计	1
第一节 引言	1
第二节 工程设计方法	3
一、工程研究方法与科学研究方法的比较	3
二、工程设计的基本过程	4
三、工程设计中的模型	4
四、工程设计中的优化设计	5
五、工程设计中的人机工学	5
六、工程设计中的协作工程	6
第三节 纺织品和服装力学性能的工程设计	7
一、纺织品和服装力学性能	7
二、有关纺织品和服装力学性能工程设计的基础研究	8
三、织物力学作为设计工具的概念	9
四、纤维集合体结构工程设计	9
五、计算机辅助工业用布结构设计系统	12
六、计算机辅助服装机织物材料的总体设计概念	13
第二章 服装起拱的力学特点	16
第一节 服装起拱与人体运动	16
第二节 服装起拱的受力分析	16
第三节 服装起拱的疲劳现象	18
第四节 服装起拱和服装压力	19

第三章 起拱实验方法	21
第一节 塞拉尼斯(Celanese)起拱测试方法	21
第二节 Zweigle 起拱实验	22
第三节 测量起拱体积的实验装置	23
第四节 原纺织工业部标准	24
第五节 织物起拱疲劳性能的实验方法	24
一、实验原理	25
二、确定实验参数	26
三、验证实验方法	28
第四章 织物起拱的主观评价	31
第一节 引言	31
第二节 主观评价实验	32
一、拍摄起拱织物照片	32
二、主观评价	33
第三节 数据处理和分析	34
一、全体评判者的一致性	35
二、评价照片和评价试样之间的一致性	36
三、两个心理量表所得主观值之间的相关性	37
第四节 起拱的心理物理学机理	37
一、实验心理学定律	37
二、起拱的感觉量—物理量关系	38
第五章 织物起拱的客观评价	42
第一节 引言	42
第二节 起拱疲劳实验中能量的变化	43
第三节 建立力学指标	44
一、抗起拱性 F_{resist}	44
二、起拱疲劳度 F_{fatig}	45
第四节 检验客观评价指标的有效性	45
一、起拱疲劳度 F_{fatig} 与残余起拱高度 $R_{residual}$ 的关系	48
二、抗起拱性 F_{resist} 与残余起拱高度 $R_{residual}$ 的关系	48
三、起拱疲劳度 F_{fatig} 与抗起拱性 F_{resist} 的关系	49

四、力学指标与起拱疲劳曲线	49
第五节 根据力学参数预测残余起拱高度	51
第六节 主观评价和力学指标之间的关系	52
第六章 图像处理技术在客观评价起拱中的应用	54
第一节 引言	54
第二节 获取起拱织物的数字化图像	55
第三节 图像处理	56
一、取样和量化	56
二、过滤	56
第四节 选择指标	59
一、起拱高度	59
二、起拱形状	60
三、起拱体积	60
四、起拱各向异性	61
五、织物表面特征	61
第五节 建立预测模型	63
一、多元回归模型	63
二、加权线性模型	63
三、神经网络模型	64
第七章 织物起拱的流变学模型与分析	67
第一节 引言	67
第二节 关于织物流变性能的研究	67
第三节 机织物起拱的流变学模型	69
一、机织物起拱的力学特点	69
二、织物应力—应变关系	70
三、织物变形能	72
第四节 实验	74
第五节 多元回归分析	76
一、多元回归分析之目的	76
二、对不同组织结构毛织物的分析	76
三、对平纹毛涤混纺织物的分析	78
四、对不同纤维成分平纹织物的分析	79

五、对全部织物样本的分析	80
第六节 讨论与总结	81
第八章 织物起拱的应力分析	85
第一节 引言	85
第二节 织物起拱的弹性薄膜力学模型	86
一、基本假设	86
二、几何关系	87
三、弹性薄壳单元的力平衡	87
第三节 各向同性织物的应力分布	88
一、球冠部分的应力分布	89
二、圆锥台部分的应力分布	90
三、各向同性织物在不同条件下的应力分布	91
第四节 各向异性织物的起拱力学模型	92
一、内部应力与外部起拱力间的关系	92
二、织物应变和拉伸模量	92
三、球形冠状物的应力分布	95
四、圆锥台部分的应力分布	96
五、不同条件下的应力分布	96
第五节 讨论与分析	97
一、应力分布对残余起拱变形的影响	97
二、验证各向异性织物的起拱力学模型	98
第六节 结论	99
第九章 机织物起拱的数学模型	101
第一节 引言	101
第二节 建立数学模型	102
一、纤维的弹性应力	102
二、纤维的粘弹性应力	102
三、纱线和织物结构特征参数	103
四、不考虑织物结构内摩擦的起拱力	104
五、机织物起拱变形中总的内摩擦力	104
六、考虑织物结构内摩擦的起拱力	105
第三节 计算模拟	105

一、计算模拟起拱试验	105
二、所用的基本参数	106
第四节 计算结果与讨论	108
一、与实验结果的对比	108
二、模拟起拱—回复曲线	109
三、模拟分析起拱力中的粘弹力和摩擦力	110
第五节 结论	111
第十章 织物起拱性能的优化设计与分析	113
第一节 引言	113
第二节 用数值模拟方法确定待定参数	114
一、数值模拟的实验设计	114
二、数值模拟的优化指标	114
三、建立回归曲面方程	115
四、待定参数的优化组合	115
五、比较与分析	118
第三节 不同结构毛织物的参数优化	119
一、实验	119
二、参数分析(k_3, k_5, τ)	121
三、比较预测值和实验值	122
四、预测新试样的起拱性能	125
第四节 纤维粘弹性参数优化	126
一、问题的提出	126
二、实验	127
三、讨论	129
第十一章 数字化模拟服装与膝部间的三维	
弹性接触	135
第一节 引言	135
第二节 建立服装与膝部间的弹性接触模型	136
一、膝部接触特点	136
二、模型假设	137
三、模型描述	137
四、控制方程	138

第三节 有限元法求解	139
一、虚功方程	140
二、有限元离散化	141
三、接触搜索与接触约束	143
四、显式算法求近似解	144
第四节 模拟织物与膝部间的三维弹性接触	145
一、有限元几何模型	145
二、材料参数	146
三、模拟参数	147
第五节 模拟结果与讨论	147
一、织物的力学变形	147
二、皮肤的力学变形	149
第六节 验证模型	153
第七节 结论	153
第十二章 服装力学性能工程设计 CAD 系统	155
第一节 引言	155
第二节 建立工程数据库	157
一、工程数据库的特点	157
二、数据模型	158
三、牛仔裤产品的实验	159
第三节 人体—牛仔裤三维弹性接触模型	161
一、研究现状	161
二、牛仔裤—人体接触力学系统	162
三、应用模型	163
第四节 服装力学性能工程设计的 CAD 系统	164
一、CAD 系统的功能模块	164
二、用户界面	165
第五节 牛仔裤力学性能设计示例	166
一、牛仔裤压力性能	166
二、牛仔裤起拱性能	168
第六节 总结	169

第一节 引言

工程设计是运用从自然科学中获得的知识和实践经验去构成一个有效、可行、适用的系统,以满足人类社会需求的一种有目的的活动。工程设计是一个反复创造、分析、评价、修改直至完善地寻求解决问题的最优方法的过程,它架起了科学原理和社会效益之间的桥梁,并在人类改造和利用自然的实践中不断地发展与完善。工程设计已成功地应用于诸如机器制造、土木工程和桥梁建设等许多工程领域。

纺织产品的试验设计和经验设计方法已持续了数千年。然而,近几十年来,纺织工业界和学术界的专家们越来越意识到工程设计方法对于纺织产品设计的重要性^[1~6]。其主要原因有以下四个方面:首先,在纺织工业领域,新型纤维和新型复合材料的开发为产品设计带来了更大的选择范围,优化设计的重要性显得尤为突出;第二,纺织产品在许多领域得到广泛应用。纺织材料和纺织复合材料已被广泛应用于服装、日用品、工业领域、建筑、飞机、机器零件、土木工程、人造假肢、乐器等领域。对于一件大而昂贵的产品要求有效地使用多年,对产品的计算设计和性能评价就显得更加必要,纺织产品的工程设计显得越来越重要,并具有挑战性;第三,纺织产品市场的频繁多变和激烈竞争,要求新产品的设计、开发和生产制造等诸多环节对市场具有快速反应的能力;第四,自 20 世纪 20 年代初对纤维集合体结构力学的研究,特别是自 20 年代以来数学和力学在纺织材料领域的应用研究,以及计算机技术的迅猛发展,使工程设计纺织产品成为现实。Kawabate^[8]在 2000 年指出,在纤维学、纺织力学和客观测试技术的基础上,实现对服装面料质量和性能的工程设计是 21 世纪的努力方向。这一研究方向对于提高纺织品质量及其性能具有非常重要的工程技术价值和社会经济效益。

综合国内外有关纺织产品工程设计的研究成果,可以看到这一领域的研究工作仍处于发展阶段。随着科学技术的发展,各学科在高度分化的基础上,同时向高度综合和日趋整体化的方向发展。纺织产品计算机辅助工程设计将成为 21 世纪的标准化设计系统。目前研究的主要领域是:(1)全面系统地研究纺织产品应用性能与纺织品基本物理性能指标间的定量关系,纺织品基本物理性能指标与织物结构、纱线性能以及织造、染整工艺间的定量关系,纱线性能与纱线结构和纤维性能之间的定量关系;(2)获得有关纤维性能的数据;(3)建立解决纺织品与服装

力学问题的模型;(4)编写易于使用的软件并验证其应用性能。

起拱是服装在穿着过程中经受来自人体的反复或持久的作用力而产生的三维残余变形。起拱通常产生于人体与服装接触的膝、肘、臀、肩膀等部位。服装起拱不仅影响人的视觉舒适性,也与服装的使用寿命直接相关。在外衣美观性需求比较高的情况下,一件衣服往往由于起拱而被抛弃。因此,减小或消除服装起拱是消费者对服装外观保持性能的一项重要需求。为了制造优质的服装,需要在设计阶段对服装的起拱性能进行分析评价,这是一个工程设计课题。主要涉及两方面内容:(1)如何根据纤维、纱线、织物的基本参数设计预测服装材料的起拱性能;(2)如何客观评价服装穿着中的起拱性能。前者需要建立可定量描述服装起拱与服装材料设计参数之间关系的力学模型,后者需要建立服装起拱的客观评价指标,为服装材料提供质量品质“指纹”,这意味着任何两种材料的可测量指标都存在着一定程度的差异。近年来,本书的作者们结合“起拱”这一服装穿着过程中的力学性能的工程设计问题,进行了一系列研究工作,在此基础上编撰成本书,希望能为这方面的研究与发展起到抛砖引玉的作用。

本书内容主要包括:(1)介绍工程设计的方法和特点,纺织品和服装力学性能工程设计的发展与现状(第一章);(2)由研究人的膝部及肘部的生物力学特征入手,分析服装与人体之间的协调关系和力学变形特点,明确起拱设计过程中的关键问题(第二章);(3)建立快速可重复的起拱疲劳性能的实验方法(第三章);(4)建立以起拱织物照片为评判样本的主观评价方法,研究主观感觉与织物起拱的定量关系(第四章);(5)建立以织物能量衰减为理论依据的起拱性能的客观评价指标(第五章);(6)利用计算机图像处理技术,分析处理织物起拱照片,以获取尽可能全面、科学的信息,客观地评价织物的起拱性能(第六章);(7)建立机织物起拱流变学模型,通过实验方法、连续介质力学方法和多元逐步回归方法的有机结合,进行定性和半定量的宏观性能及微观机理的理论与实验研究,揭示不同纤维及不同组织结构的织物具有不同起拱性能的内在机制(第七章);(8)在假设织物为各向异性的弹性薄膜的基础上,建立模拟起拱实验的力学模型,分析起拱高度、织物与球体间的摩擦以及织物各向异性对起拱织物应力分布的影响,分析应力分布对残余起拱的影响(第八章);(9)建立以纤维粘弹性参数和纱线、织物结构为基本设计参数的数学模型,用于对织物起拱性能的优化设计与分析(第九章);(10)应用回归曲面的统计方法,处理计算机模拟起拱试验结果,确定起拱数学模型中不可测量的参数,实现设计参数的优化组合(第十章);(11)从分析人体膝部的生物力学特点入手,建立能够数字化模拟膝部与服装之间的三维弹性接触的有限元模型(第十一章);(12)建立牛仔裤力学性能的工程设计CAD系统,设计分析牛仔裤的起拱性能和压力舒适性能(第十二章)。

第二节 工程设计方法

我们讨论的是纺织品与服装的工程设计，首先应该对工程设计区别于其他设计方法的特点有所了解。

一、工程研究方法与科学研究方法的比较

在处理问题的方法上，工程设计方法有别于科学研究方法。科学研究方法着重于解释客观事物，探求规律，它的结论是惟一的。工程设计方法则不同，它从人类社会的某项具体需求出发，运用从自然科学中获得的知识和实践经验，提出解决问题的一系列方案，在功能、性能、可靠性、成本等若干目标之间平衡后，找出解决问题的最优方法。图 1-1 是 Percy Hill 对科学研究方法和工程设计方法所作的比较^[7]。他指出科学研究方法起始于科学家对大量现有知识的了解。好奇心驱使科学家不断探索科学定律，最终提出符合逻辑分析的假设。当他对这一新的观点比较满意时，必然辅以足够的证明让学术界认可，然后公布于众，从而扩大发展了科学知识体系。工程设计方法则始于对社会需求和工程技术状况的了解，包括科学知识，也包括器械设备、组件、材料制造方法以及市场和经济状况。其真正的诱因是社会和经济因素的需

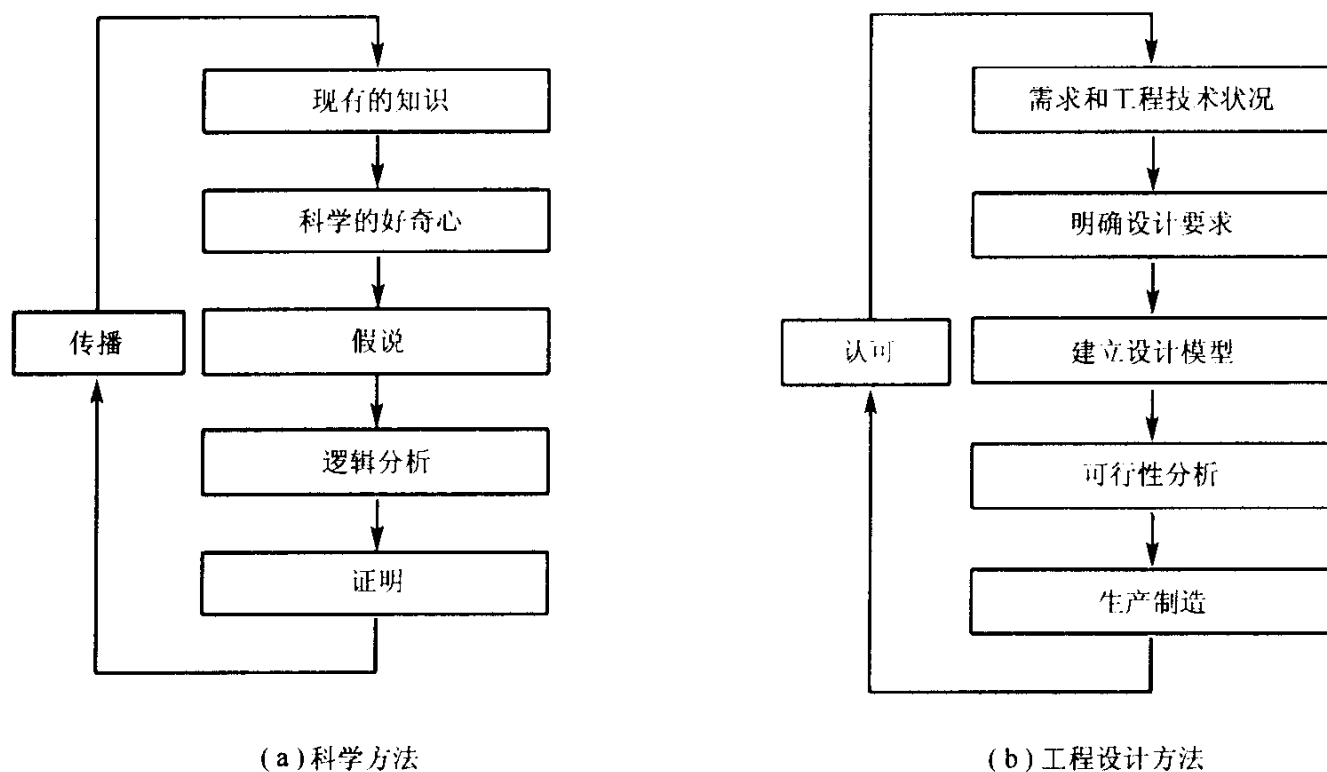


图 1-1 科学方法和工程设计方法的比较

求，而不是出于对科学的好奇心。当这种需求被确定为明确的设计目标后，就被构造为某类设计模型。设计方案确定必须以可信的设计分析为前提，且不断地反复修改，直到满意的产品问世。

二、工程设计的基本过程

图 1-2 表示了一个反复创造、分析、评价、修改直至完善的工程设计过程。同时也表明，任何复杂的系统也能被分解成为一系列的设计目标。尽管各个目标都需要评价，但对每一个设计过程的可重复试验或反复性的要求是相同的。工程设计过程主要包括以下步骤^[8]：

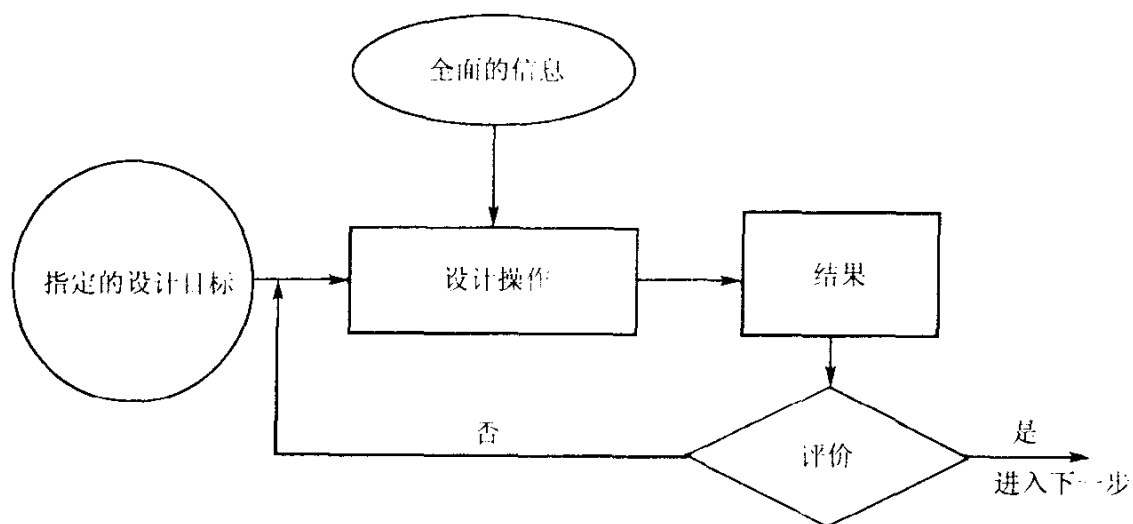


图 1-2 反复的设计过程

- (1)了解需求。需求通常来自于对现状的不满；
- (2)明确设计过程中的关键问题,包括设计目标,专用技术术语,设计约束条件和要使用的设计评价指标；
- (3)收集工程设计中所需要的信息和资料。这些信息和资料多数来源于各种研究和开发技术报告、公司报告、贸易期刊、专利、目录、手册、设备供应商的产品资料等；
- (4)建立设计分析模型。应用自然科学和工程技术对将要设计的物理系统进行数学描述；
- (5)分析和评价。应用设计分析模型对设计性能进行详细地分析评价。在评价过程中,关键要看设计结果能否被归纳到一个设计类别而不是仅仅解决一个特例；
- (6)交流设计方案,以满足顾客或客户的需求。

三、工程设计中的模型

工程设计中的技术分析是借助于建立模型来阐明设计对象的客观规律。一个工程设计项目,大至一个相当大的工程系统,小到某一种纺织材料的设计,按照系统工程的观点,都可以把它看作一个完整的系统。按照系统工程方法,考察系统在实际的或模拟的外部因素作用下

的响应,总是把与系统有关的数量关系归纳为反映系统性能和机制的模型(特别是数学模型)。解决系统问题的技术过程之一是要把问题变为数学模型,通过模型阐明设计概念是工程设计的主要方法。在工程设计过程中,工程师需要用模型来思考、传达,预测、控制和调整系统变量。建立和应用工程设计模型的潜能基于掌握扎实的自然科学知识和基本的工程技术。

模型可分为经验模型和理论模型两类。经验模型是对实验数据最贴切的数学描述,理论模型则是基于已确立的自然规律而对某个客观对象的抽象化的描述。在成本、安全性或时间等原因根本无法进行实验的情况下,使用理论模型模拟某个设计对象的性能具有很多优势。因此,在现代工程设计中,根据理论模型进行数字化模拟的方法被认为是一个强有力的工具。

四、工程设计中的优化设计

优化设计是寻求最佳的设计方案。工程设计首先要明确目标,然后建立模型,分析预测性能,其结果可能有多种设计方案,但第一个往往不是最好的。因此,在寻求最佳方案的过程中,优化设计的重要性就显得尤为突出。在通常情况下,工程设计需要在四个目标之间平衡,即适当的功能、最佳的性能、足够的可靠性和低成本。优化设计是工程设计的基础,是与其他设计的重要区别点。

优化过程是一个寻求最大化期望值或最小化非期望值的过程,它要求明确优化目标与各个设计变量之间的关系。优化设计可采用的方法主要包括^[8]:(1)直觉优化(不需要明确地阐述做出决策的理由);(2)通过反复试验模型法优化(设计模型被反复修改,得到一个不断改进的设计);(3)通过数值算法优化(基于数学的方法寻求最佳值,有设计变量、目标函数和约束函数三个要素)。在工程设计中,没有标准的优化方法,因为每种方法的可行性取决于其解决问题的有效性。

五、工程设计中的人机工学

将人作为工程系统的一个组成部分的研究称为人机工学。工程设计中应用人机工学的目的在于:(1)设计令人愉悦且使用方便的产品;(2)改善机器设备操作的安全、健康和舒适性能;(3)提高工作效率。人机工学是一门跨学科的应用科学,它包含解剖学、人体测量学、生理学、心理学、生物力学、生物工程等学科的知识。人机工学强调以人为本,以人的需求作为评判产品有效性的主要标准,使产品适合人而不是人适合产品。

1986年,由日本马自达(Mazda)汽车公司提出的感性工程(Kansei Engineering),使人机工学的发展进入一个新阶段^[9]。感性是人对一件产品的感觉或印象。感性工程是将消费者对产品的感觉或印象量化为工程设计元素。此项技术涉及哪一类感官属性能引发人们特殊的真实的反应,然后根据引发所期望反应的属性设计产品。感官工程已被成功地应用于自动化工业领域,并且已扩展到包括新型纤维生产和功能性服装设计等其他产品领域^[10]。

六、工程设计中的协作工程

为了适应设计和制造业日趋激烈的需要，将设计产品始于产品的开发阶段已在许多高成本制造业中形成共识。由此，协作工程或称并行工程的概念应运而生^[8]。它是一种使产品设计和市场与制造紧密联系的设计方法。图 1-3 表示的协作工程的模型，其中一个重要特点是将设计思想贯穿于产品的整个使用寿命之中。在制定产品设计规范时需要考虑很多因素，图 1-4 列出了由英国工程设计研究院提出的在制定产品设计规范中需要全面考虑的因素^[8]。在工程设计过程中，产品设计规范是顾客和设计者/生产者之间交流时采用的规范方法。

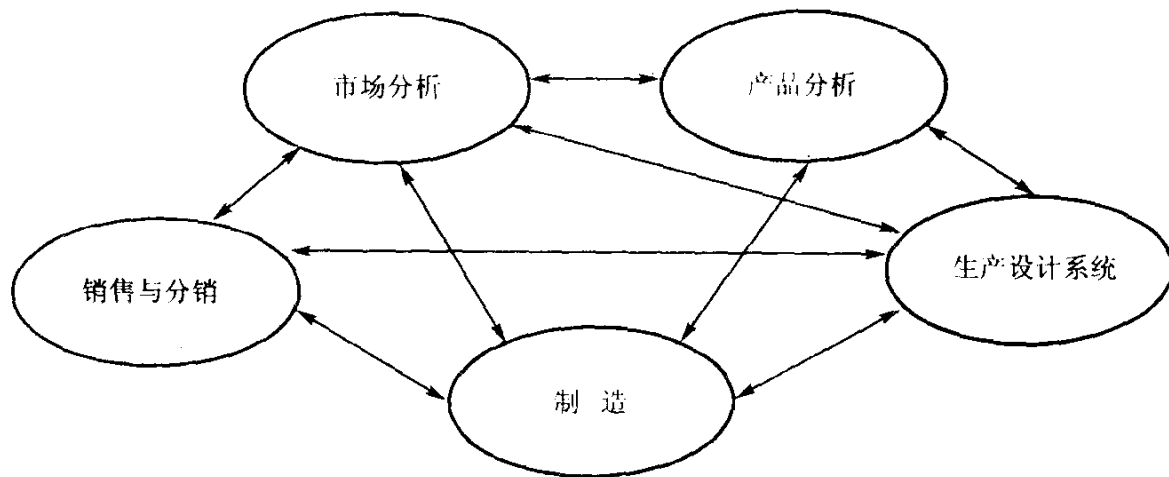


图 1-3 协作工程模型

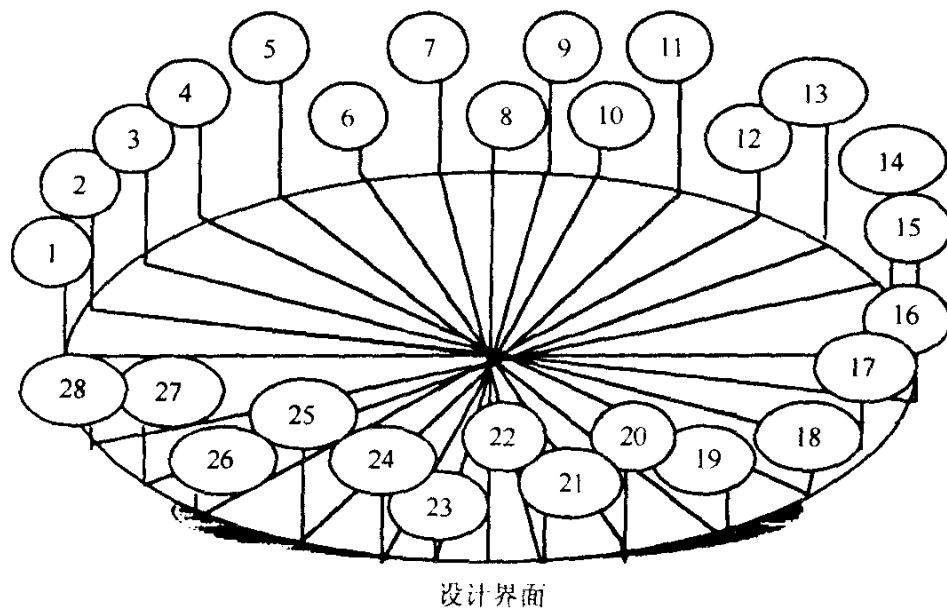


图 1-4 产品设计规范中需要考虑的因素

- 1—材料 2—产品的寿命期 3—政策 4—公司制度 5—安全 6—测试
 7—环境 8—专利 9—储存寿命 10—质量可靠性 11—竞争 12—保养
 13—包装 14—重量 15—市场约束 16—生产设备 17—货运 18—号型
 19—工艺 20—顾客 21—时间尺度 22—产品成本 23—性能
 24—服务期限 25—人机工学 26—标准规格 27—美观 28—数量