

基于神经网络的 优化设计及应用

JIYU SHENJING WANGLUO DE YOUHUA
SHEJI JI YINGYONG

孙虎儿 著

本书特色：

- ✿ 汇集近年来优化设计发展的最新前沿知识；
- ✿ 把传统的实物正交实验发展为立体正交数学实验；
- ✿ 成功地解决了机械产品复杂非线性系统的建模问题；
- ✿ 理论结合实际讲述了2个综合优化设计的实例及笔者经验总结。



国防工业出版社

National Defense Industry Press

基于神经网络的 优化设计及应用

孙虎儿 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

基于神经网络的优化设计及应用 / 孙虎儿著. —北京:
国防工业出版社, 2009. 5

ISBN 978 - 7 - 118 - 06282 - 3

I. 基... II. 孙... III. 人工神经网络—应用—机械设计
IV. TH122 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 047282 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 3 $\frac{3}{4}$ 字数 170 千字

2009 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 22.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

机械优化设计是相对于传统设计而言的。传统设计是根据检验和判断来制定设计方案,然后系统地进行分析和校核。这种模式下,新产品的开发往往要经历很长时间,通过研制、实践和改进,产品才能成熟。随着科技不断进步,市场格局日益改变,客户对产品质量的要求越来越高,产品的更新换代也不断加快,传统设计已经越来越跟不上时代步伐了。

随着时代进步,市场竞争日益激烈,企业开发产品的周期也大大缩短了,使得设计质量不断提高、设计成本不断降低,从而客观上推动了优化设计的快速发展。现在优化设计技术已经深入到了各个领域。优化技术与各学科融合也推动了优化技术的快速发展。

本书所提出的基于神经网络的立体正交优化设计方法是在多学科知识融合的基础上进行了创新。将试验技术与优化技术、神经网络与建模技术、小波分析理论与方差分析有机地结合起来,从而形成了新的优化方法。本书提出了一种基于立体正交数学试验的立体正交广义优化设计方法。运用神经网络技术成功地解决了机械产品复杂非线性系统的建模问题。把传统的实物正交试验发展为立体正交数学试验。通过神经网络建立起系统模型,通过实物试验或相似模型试验或通过生产总结获得实测的工程数据建立神经网络模型样本库。应用训练后的神经网络进行数学试验。将试验结果进行方差分析,确定最优元素组合。通过试验验证结论。

本书参考了国内外相关论著,在此谨向这些作者致以深深的谢意。感谢许步勤教授和寇子明教授的指导,感谢吕志权同学的热心帮助。本书的出版得到了国防工业出版社编辑王京涛老师和其他同志的大力帮助,在此表示深深的谢意。本书中涉及的研究工作得到了中北大学校基金的资助,同时也得到了山西省科技攻关项目(项目编号:2006031068-2)的资助,特在此致谢。

由于时间仓促,水平有限,本书难免存在疏漏或不妥之处,欢迎读者随时提出批评指正。

著者
2009年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 优化设计发展概况.....	1
1.1.1 现代优化设计方法学	1
1.1.2 现代优化设计的现状及发展趋势	5
1.1.3 稳健设计概述	8
1.2 信号处理的主要方法	10
1.3 正交设计方法	12
1.4 基于神经网络的立体正交优化设计概述	15

第一篇 基础理论篇

第 2 章 基于小波变换的信号处理	18
2.1 小波变换的源起与发展概述	18
2.2 小波分析基础	20
2.2.1 傅里叶变换和短时傅里叶变换.....	20
2.2.2 小波和小波变换.....	23
2.3 小波分析的工程解释	24
2.4 基于小波分析的信号处理	25
第 3 章 神经网络结构的确定	28
3.1 神经网络综论	28
3.1.1 神经网络的研究概况.....	28

3.1.2	神经网络研究的内容和特点	30
3.2	神经网络的基本原理	32
3.2.1	大脑的信息处理原则	32
3.2.2	人工神经网络的信息处理	35
3.3	人工神经网络的建模	37
3.3.1	人工神经元模型	37
3.3.2	人工神经元模型的数学模型	42
3.4	前馈型神经网络	43
3.4.1	常用神经网络的分类	43
3.4.2	BP 算法	44
3.4.3	BP 神经网络的训练	45
第 4 章	正交设计法	47
4.1	正交设计法的基本内容	47
4.1.1	正交表的应用	47
4.1.2	非数量指标的分析	49
4.2	正交设计法的基本内容	50
4.3	有交互作用的正交设计法	50
4.3.1	交互作用	50
4.3.2	相同水平数的有交互作用的试验	52
4.4	方差分析法	53
4.4.1	方差分析的意义	53
4.4.2	单因素试验的方差分析	54

第二篇 创新篇

第 5 章	立体正交表	57
5.1	建立立体正交表	57
5.1.1	立体正交表的原理	57
5.1.2	立体正交表的构造	58

5.2	立体正交表的基本性质	60
5.3	立体正交试验的误差分析	61
5.3.1	正交试验的误差分析方法	61
5.3.2	方差分析	62
5.3.3	立体正交试验方差分析	63
第6章	立体正交优化设计	65
6.1	立体正交优化设计概述	65
6.2	立体正交优化设计的建模基础	67
6.3	立体正交优化设计的特点	68
6.4	立体正交设计的步骤及实现	69
6.4.1	建立系统神经网络模型	69
6.4.2	结果分析与验证试验	74

第三篇 实践篇

第7章	液压振动筛参数优化设计与试验	75
7.1	振动筛基本原理	75
7.1.1	惯性振动筛筛分机理	75
7.2	试验台设计	79
7.2.1	根据相似原理建模	79
7.2.2	建立试验台	80
7.3	模拟试验	81
7.3.1	试验目的及设备	81
7.3.2	数据处理	82
7.4	液压振动筛参数的立体正交优化设计	91
7.4.1	建立模拟试验的立体正交表	91
7.4.2	基于神经网络的数学试验	94

第 8 章 液压激振压路机的液压振动系统优化	98
8.1 液压激振压路机基本原理	98
8.2 液压振动轮的模型试验	100
8.2.1 安排立体正交试验	100
8.2.2 结果方差分析	104
参考文献	107

第1章 绪论

1.1 优化设计发展概况

机械产品日益复杂,市场竞争日趋激烈,用户和社会的要求越来越苛刻,人们越来越渴望获得高性能的产品。为了达到目的,已从单纯靠生产过程和产品检验(被动的和防御的)保证性能发展到了产品的性能设计(主动的),从根本上确立产品的优良品质。所以,产品优化设计理论已成为各发达工业国家关注的热点。

1.1.1 现代优化设计方法学

现代所谓现代优化设计,并不是专指某一类被人们统称为现代优化设计技术的技术。现代优化设计首先是指一系列符合时代发展需要的设计观念。当然在这些观念推动下,会不断产生出许多新的方法和技术,而这些方法和技术本身也是在不断变化和发展着的,但任何一组方法和技术的集合,都不能确切反映现代优化设计这个词的全部内涵。所以不赞成在现代优化设计后面加“技术”两个字。设计也不限于产品,可以是设计一个产品,可以是设计一个过程,也可以是设计一个机构(组织),它们的基本原理是相通的。

现代优化设计之不同于传统的设计,是由于市场、竞争和技术进步形势的变化,它比过去任何时候都更加依赖于新知识的获取,而不是依赖经验。计算机辅助设计(CAD)的发展也许使人认为,现代优化设计的特征是越来越多地利用计算机。实际上,现在任何一个技术领域,都是越来越多地利用计算机或与计算机技术相结合。研究一个领域的发展,是要研究其现在和过去差异的特殊

性,而不能满足于把共同的趋势来代替各个领域特点的研究。如果一味地到计算机中去寻求解决现代优化设计中问题的方法,结果就会形成一种误导。搞数学的人热衷于计算,希望一切都由计算解决。设计并不排斥计算,在现代优化设计过程中,计算所占的比重越来越大。但是设计并不是计算,不可能由算法上的进展来解决所有问题。至少在可预见的将来,计算机还不能完全代替人的思维。另一点要说的是,任何设计总是从需求出发,而不是从几何(或图形,更确切说应当称为结构)出发。图是设计的结果,而不是出发点。现有 CAD 软件的根本弱点是以图为设计的主体,从一开始就画图。图表现零件和组件的形状,包括三维的和动态的图像。这种图形和图像是进行工程分析和视觉感受测试的基础,前者可以通过计算获得零件和部件多方面的性能(有人称之为 CAE,更确切地说应当是计算机辅助分析),后者则由布置、色彩、光线和动感追求合用及视觉上的美。图还有助于处理零件后续的制造、装配、使用和维护,所以在制造厂中得到广泛的应用。但是它们不能说明为什么要做成这样的形状而不是那样的形状,用这种材料而不是那种材料,采取这些工艺手段而不采取那些工艺手段。CAE 是一个单向的过程,它们不能由对零件和部件,特别是整机的需求产生图形和其它不可缺少的特征参数,因此不能与设计起点需求直接连接。

产品设计是制造业的灵魂。为改善中国制造业的境遇和推动制造技术的发展,在研究发展“先进制造技术”的战略时,不应把关于发展“现代优化设计技术”,包括它的理论和方法的研究放在架空的位置,也不应泛泛地讨论一些无所不包的算法。我国制造业的最大弱点就是缺乏开发有市场竞争力的新产品的能力。上述能力中最重要的成分是设计知识。为此,现代优化设计显得更为重要。在这种环境下,产生了许多新的设计方法。例如:绿色设计、并行设计和工程稳健设计等。绿色设计体现了人类社会的可持续发展战略,综合考虑了环境的影响和资源的消耗,其目标是使得产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个生命周期

中,对环境负面影响最小,资源利用率最高,并使企业经济效益和社会效益协调优化。同时面向寿命周期的设计与多机分布式协同设计的交叉,发展为并行设计。

稳健设计(Robust Design)是保证高质量产品的一种有效工程方法。目前有关工程稳健设计的方法大体上可分为两类:一类是以经验或半经验设计为基础的方法,称为传统的稳健设计方法;另一类是以工程模型为基础的方法,而且与优化技术结合发展成为工程稳健优化设计方法。前一类在一些技术文献中是指 Taguchi 稳健设计法和响应面法;后一类是指容差多面体法、灵敏度法、变差传递法和随机模型法。工程稳健优化设计就是通过调整设计变量及控制其容差使可控因素和不可控因素与设计值发生变差时仍能保证产品质量的一种工程方法。换言之,若所作的设计在各种因素的干扰下产品质量也是稳定的,或者用廉价的零部件能组装出质量上乘、性能稳定与可靠的产品,则认为该产品的设计是稳定的。

上述设计方法都属于现代优化设计,具有现代优化设计的共同特点。

1. 现代优化设计是由需求驱动的

所谓需求,首先是对所设计对象的性能的需求。通常说产品的性能,实际上是指产品的功能和质量两个方面。功能是竞争力的首要要素。用户购买某个产品,首先是购买它的功能,也就是实现所需要的某种行为的能力。质量则是指产品能实现其功能的程度和在使用期内功能的保持性。虽然上述诸要素的任何一个或几个都能在提高竞争力方面大显身手,但是对于一个企业来说,起根本性和持久性作用的是产品的性能。我们的目标是生产别人所不能生产的产品。因此,讲创新是设计的灵魂,首先是指功能上的创新。

在制造业中,质量这个概念有各种不同的用法,实际上并没有一个技术上严格的定义。我们把它定义为“实现功能的程度和持久性的度量”,使它在设计中便于参数化和赋值。从设计的观点

看,质量是从属于功能的,没有功能也就谈不上什么质量。

2. 现代优化设计是以创新为灵魂的设计

它的目标是要生产出别人所不能生产的产品。创新表现在具有现有产品所不具备的功能和质量上。设计的成败应当由产品在市场上竞争的成败来评价。虽然不能反过来说,竞争的成败就是设计的好坏,但是从列举的竞争力诸要素看,绝大多数要素都是由设计阶段的行为决定的。

3. 现代优化设计是基于知识的设计

由于功能和质量上创新的需要,设计知识是一个动态的集合,知识获取是一个不断进行的工作。对于一个企业来说,设计知识获取能力是一种综合实力,既包括经营管理,也包括技术水平;既包括资本实力,也包括人才实力;既包括先进的技术装备,也包括长期研究开发的经验。它们的总和,可以看成是一种资源。发达国家的企业多以所谓研究开发(R&D)中心的组织形式来建设和发展这种资源。我国由于各方面原因,企业内部研究开发力量未能得到充分发展,不少企业到目前为止还没有研究开发力量。短时期内,要形成这种力量,无论是资金投入、人才集聚、设备建设还是经验积累都很困难。特别要看到,产品竞争的后面,实际上存在着这种更深层次的知识获取资源建设和发展的竞争。而中国的企业如果没有一种新的思路,仍旧沿着人家走过的老路追赶,很难在竞争中取胜。

4. 现代优化设计是对产品全生命周期的设计

在生产过程和使用过程中,包括报废以后的处理都要与人和环境协调。因此设计时不仅要获取生产这种产品的知识,还要获取所设计的产品使用过程中性能变化的知识、与有关的人的相互作用的知识、与环境相互作用的知识以及报废以后处理的知识。不能满足这些要求,就不是一个符合时代需要的设计,因而也就很难期望在竞争中取胜。全生命周期的设计使得设计的对象成为一个时变系统,从而使设计的知识获取变得非常复杂。

5. 数字仿真和虚拟现实

数字仿真和虚拟现实在知识获取方面具有巨大的潜力,但绝不是万能的。如果真正要把数字仿真和虚拟现实当作设计知识获取的一个全面有力的工具,而不是仅仅作为某些狭窄目标知识获取的工具,那就必须面对如下事实:随着对产品性能要求不断提高和对自然规律认识不断深化,我们总是处在没有数学模型和有数学模型、旧数学模型和新数学模型的不断交替的过程之中。所有新发现的现象或新构想从一开始就没有数学模型或没有准确的数学模型。在讨论建立一个无所不包的模型,包括讨论建立在数学模型基础上的各种优化研究时,要持慎重态度;另一方面也为我们提供了现代优化设计研究无限的领域,因为产品设计总是要求提供的设计知识越来越接近真知,给出的预测越来越精确。

1.1.2 现代优化设计的现状及发展趋势

从历史上看,英国工业革命推进了资本主义的发展,后来,经济衰退的教训之一是没有认识到设计工作是国民经济的命根所在。到了20世纪60年代初,英国政府明确提出要改善产品设计,并以政策和财政来支持推广设计新技术。联邦德国工程师协会(VDI)曾于1963年召开了一次“关键在于设计”的会议。1983年出版了一本“设计作为科学”的文集。经过20多年的努力,全体工程师协会成员共同合作,制定了一系列有关设计的指导性文件,如技术产品的方案性设计、技术系统和产品方法学、产品设计人机工程学、工业产品模块化设计、精密机械工业造型设计以及其它设计规范、设计目录和设计守则等。

第二次世界大战末期,美国为了加强对设计的指导,成立了“工业设计委员会”。1972年改为“设计委员会”。1985年,美国国家科学基金会召开了“设计理论和设计方法研究的目标和优化项目”讨论会,制定相应的政策以提高产品的竞争力。美国机械工程师学会每年召开一次“设计自动化会议”,每次会议都有创新的内容。

对日本设计领域冲击最大的是美国关于自动设计和 CAD 的发展,他们将机械设计过程看作是一个完整的系统,将设计看作是技术、经济、美学和人机学的一体化整体,并激励推广和采用新技术,从而大大提高了机械产品在国际市场的竞争力。

近年来在国际上召开了一系列与设计有关的国际会议。如 1980 年,在英国朴次茅斯召开的“设计研究会议”;1981 年在意大利罗马召开的“国际工程设计会议”;1982 年,在英国伦敦召开的“设计政策会议”等。发展到最近,每年开会一次。这些会议的议题是探讨设计新理论和新方法。

从具体内容来看,在工业发达国家,优化设计于 20 世纪 60 年代开始研究并应用于产品设计,目前已广泛应用。如机械产品及系统的方案优化设计,机械动态性能的优化设计,热力系统优化设计等,在 CAD 方面,到 80 年代工业发达国家已约有 75% 的中小企业采用,大企业几乎毫无例外地采用,设计效率比人工设计提高了 3 到 20 倍。到 21 世纪,估计制造和设计之间的联系手段——图纸将失去作用。

人工智能和专家系统将逐步应用于 CAD 中。计算机集成生产系统(CIMS),从概念设计、计算分析、图形处理、数控(NC)技术到柔性加工设备,成为一个集成的整体。以超级计算机为基础的工作站得到迅猛发展。动态分析及计算机仿真技术用于设计。图形与非图形数据统一的工程数据库管理系统的实用化将逐渐得到解决。工程图样的自动输入将进一步得到发展和应用。工艺特征实体造型将进一步完善。设计软件将实现接口标准化、图形标准化、制造标准化和系统管理标准化。新一代 CAD 集成软件将出现。

工业发达国家对设计方法学的研究日益重视和深入。原联邦德国在 20 世纪 60 年代就开始研究,逐渐形成了自己的体系,其研究特点是强调设计的系统化和逻辑分析,要求按步骤有规律地进行设计。近年来还注意将设计方法学密切联系生产,如价值工程、模块化设计等以及加强设计方法学与 CAD 的结合。日本发展设

计方法学的特点是将本国实际和消化引进国外技术紧密结合,强调引进技术的国产化。

美国技术界较多地强调创造性设计。1985年9月,美国国家科学基金会提出“设计理论和设计方法学研究的目标和优先项目”报告作为几个重要学会的特殊联合文件,由ASME出版。该报告指出美国产品的质量及竞争力落后于其它先进国家的原因在于:①缺少一个能指导设计过程的统一原则和方法体系;②缺乏有创新思想并能把它们迅速转化为有竞争力产品的专门人才。认为设计方法学是设计师能够运用设计理论于工程设计的有关设计程序、工具和技术的集合。在报告中还拟定了设计理论与方法学的五个重要研究领域:①设计的定量方法和系统方法;②方案设计(概念设计)和创新;③智能系统和以知识为基础的系统;④信息、综合和管理;⑤设计的人类学接口问题。这项报告对美国设计理论和方法学研究与实践是一个促进。

我国机械设计的发展经历了一个曲折的过程。1958年以前,所谓设计,主要是对苏联的图纸进行仿制。长期以来我国采用传统的“三段设计法”,即方案设计(初步设计)、技术设计和施工图设计。其中起决定作用的方案设计通常是根据提出的设计任务的技术要求,找样本、专利、图纸和研究报告等资料,然后靠设计者的经验进行,其本质是经验性的,以模仿为主,局限性很大。到了20世纪60年代初,开始加强了新产品的开发设计与试验研究工作,从而使设计从仿制和经验设计逐步走向试验研究和计算分析阶段。典型的例子是:30kt模锻水压机和12.5kt卧式挤压机的设计和试制成功,将模型试验、电测和建成后实测等技术引入大型设备的技术中。1965年在全国召开了机械产品设计革命化工作会议,会议上将设计工作提到“生产技术中的第一道工序”的高度,并总结了:“试验、研究、设计、制造、安装、使用和维护”的“七事一贯制”的方法。到了70年代初,开始建立了机械产品的研究及测试基地。到80年代初再次召开机械产品设计工作会议,开始介绍一些国际上的先进技术与方法。同时计算机被引入设计领域,对设计

工作的发展起了很大的推动作用。

21 世纪是“设计的世纪”(Design Century),这是著名华裔物理学家杨振宁博士和德国哲学家沃尔冈·韦尔施不约而同对人们的提醒。世界各国都十分清楚“为竞争的优势而设计”(Designing for Competitive Advantage)这一口号的重要意义。在全球商品竞争愈来愈激烈的情况下,制造商越来越意识到设计在决定产品质量中起到的重要作用。产品的质量是“设计出来的,管理出来的,制造出来的”,而首先应该是设计出来的。经验表明,设计阶段投入的实际费用约占总成本的 5%,但是它却决定了产品的质量和总成本的 70% 左右。因此,在产品的设计和开发过程中,在保证产品优质的前提下,降低产品的成本就成为一个非常重要的问题。稳健设计是保证产品低成本高质量的有效设计方法。

1.1.3 稳健设计概述

稳健设计(Robust Design)是保证高质量产品的一种有效工程方法。传统的稳健设计以 20 世纪 70 年代日本学者田口玄一博士(G. Taguchi)创立的三次设计为代表,通过产品的参数设计和容差设计两个阶段来提高质量的稳健性。随着计算机技术、优化和 CAD 技术的发展,传统的稳健设计中注入了许多新内容,出现了一些新的研究成果。

质量对于不同的产品和用户有着不同的含义,这里是指用户对产品的使用性能(质量指标)达到目标值的水平。实际上,各种因素的影响使得所生产的产品质量不稳定,因而又对各项性能指标规定出所容许的偏差,即用容差来控制产品的质量,只要实际的性能指标值在设定的容差范围内,就认为该产品的质量是合格的,而且愈接近目标值,质量就愈好。

从设计角度看,可将影响产品质量的因素分为可控因素和不可控因素。可控因素是指在设计中可以控制的参数,即设计参数,如几何尺寸和间隙等;不可控因素是指在设计中不易控制的参数,又称噪声参数,如材质、制造精度和工作环境等,一般这类因素具