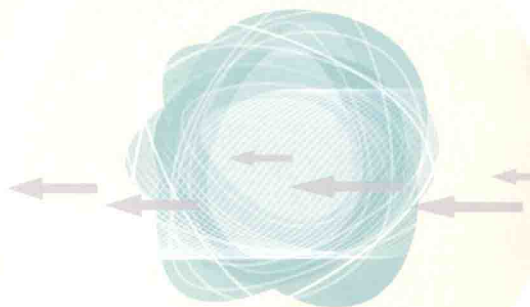


徐兰 著



基于 MAS 的 复杂质量结构产品质量设计模型研究

Research on Quality Design Model for Products with Complex Quality Structure Based on MAS



徐兰 著

基于 MAS 的 复杂质量结构产品质量设计模型研究

Research on Quality Design Model for Products with Complex Quality Structure Based on MAS

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇江

图书在版编目(CIP)数据

基于 MAS 的复杂质量结构产品质量设计模型研究 / 徐
兰著. — 镇江 : 江苏大学出版社, 2014. 11
ISBN 978-7-81130-840-2

I. ①基… II. ①徐… III. ①产品质量—模型—研究
IV. ①F273.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 262487 号

基于 MAS 的复杂质量结构产品质量设计模型研究

JIYU MAS DE FUZA ZHILIANG JIEGOU CHANPIN
ZHILIANG SHEJI MOXING YANJIU

著 者/徐 兰

责任编辑/吴昌兴 仲 蕙

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press. ujs. edu. cn

排 版/镇江新民洲印刷有限公司

印 刷/丹阳市兴华印刷厂

经 销/江苏省新华书店

开 本/890 mm×1 240 mm 1/32

印 张/5.75

字 数/192 千字

版 次/2014 年 11 月第 1 版 2014 年 11 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-81130-840-2

定 价/26.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

设计过程决定产品质量,为了生产出高质量的产品,在市场竞争中取得优势,企业对设计质量的重视程度越来越高.而随着人们对产品需求的不断提高和市场竞争的强劲推动,复杂产品的数量和复杂程度正急剧上升,这使得产品设计的难度大大增加了.

复杂产品的质量特性呈涌现性,经典的稳健设计方法已经不能满足其质量设计的需求.本书以复杂质量结构产品为对象,对其质量设计问题进行研究,构建面向复杂质量结构产品的多智能体系统(MAS)质量设计系统框架,并研究此MAS中各关键智能体功能实现的相关模型,以独特的视角对复杂产品质量设计过程中的若干关键问题展开了一系列的研究,为复杂产品质量设计提供了一种新思路.本书的主要研究内容如下:

(1) 将MAS的思想引入复杂质量设计中,以协调解决复杂产品设计中可能出现的各种问题,构建了由组织层、协调层、执行层组成的三层复杂质量结构产品MAS质量设计系统框架.该MAS质量设计系统中有五类智能体,即管理智能体、服务智能体、协调智能体、任务智能体以及随机智能体.

(2) 基于对多智能体质量设计系统中各类智能体的普遍特性和模块的描述定义以及各类智能体所要实现的功能,对 MAS 中各智能体进行具体的内部结构设计,确定各类智能体应包含的模块,并提出了面向复杂质量结构产品的多智能体质量设计系统工作流程。

(3) 针对 MAS 中管理智能体的具体模块,为实现其质量结构建立分析功能,构建了相应的模型及具体算法。基于质量结构概念,利用结构矩阵表述复杂产品众多质量元素间复杂的交互关系,并运用改进的粒子群算法实现 DSM 聚类,得到复杂产品质量结构元素的分类。基于对此产品质量结构进行的分析,可以系统掌握产品的质量要素及其相互关系,便于对设计任务的分解和分配。

(4) 建立了管理智能体质量校核功能实现模型,并进行了算法实现。在运用粒子群算法优化 BP 神经网络以确保单个 BP 神经网络具有较好泛化能力的基础上,构建了基于 FCM-启发式集成神经网络的质量预测模型,建立了众多设计参数与总体质量特性的输入输出关系,使管理智能体能顺利实现质量校核功能。

(5) 以贝叶斯网络来表征复杂质量结构产品内部复杂的质量相关关系。首先根据产品的质量结构图形成贝叶斯网络模型,并依据贝叶斯推理,有效利用经验数据及先验概率,得到贝叶斯网络中对根节点影响大的关键节点,即得到复杂质量系统中的关键质量要素,然后分析各质量要素对最终产品质量的影响关系程度。服务智能体的建模分析功能的实现为复杂质量结构产品设计任务的合理分配与完成奠定了基础。

(6) 为了协调 MAS 中各任务智能体间的冲突,在一般田口参数设计基础上,将信噪比转化为标准质量损失,以多元回归分析为工具,以使复杂产品系统综合质量损失最小为目标,确定各设计参数的设计水平。基于质量结构,以方差分析为工具确定各部件质量波动对最终产品稳健性的重要程度,在综合考虑产品制造成本和质量水平的条件下确定最佳参数组合方案下各参数的容差。本书所提出

的基于质量结构的交叉质量结构参数设计、容差设计方法为协调智能体的冲突解决、协调功能的实现提供了依据和算法来源。

本书相关研究成果可为复杂产品设计人员进行产品的质量设计提供一种新思路,实现在产品设计阶段最大限度地提高产品的固有质量水平的目的。

本书的研究工作得到国家自然科学基金青年科学基金项目(71403109)、江苏省教育厅高等学校哲学社会科学基金项目(2012SJB630017)的支持,在此对上述基金评审机构一并致以谢意。

目 录

第1章 绪 论 001

- 1.1 问题的提出 001
- 1.2 研究目的和意义 002
- 1.3 相关理论概述和国内外研究综述 004
- 1.4 研究内容、研究思路及方法 023
- 1.5 可行性分析 029
- 1.6 本章小结 030

第2章 面向复杂质量结构的多智能体质量设计系统总体框架构建研究 031

- 2.1 复杂质量结构产品的界定及分析 031
- 2.2 多智能体系统思想的引入 035
- 2.3 基于多智能体的复杂产品质量设计系统组成 036
- 2.4 智能体封装结构及功能设计 046
- 2.5 应用研究 050
- 2.6 本章小结 051

第 3 章 质量设计系统的智能体内部结构设计 053

- 3.1 智能体内部体系结构概述 053
- 3.2 各智能体内部结构设计 055
- 3.3 智能体行为的相互关系 062
- 3.4 面向复杂质量结构产品的多智能体质量设计系统工作流程 063
- 3.5 本章小结 065

第 4 章 基于 DSM 的管理智能体质量结构建立及分析模型 066

- 4.1 基于 DSM 的产品质量结构建立与分析研究 066
- 4.2 基于极大熵准则的权重确定模型研究 078
- 4.3 基于质量结构的产品稳健设计思路及方法 087
- 4.4 本章小结 089

第 5 章 基于神经网络集成的管理智能体质量预测模型研究 090

- 5.1 质量预测模型概述 090
- 5.2 基于粒子群优化的 BP 神经网络学习 092
- 5.3 基于优化后神经网络集成的质量预测模型 094
- 5.4 本章小结 108

第 6 章 基于贝叶斯网络的服务智能体复杂质量系统建模分析方法研究 109

- 6.1 贝叶斯网络概述 110
- 6.2 复杂质量系统的贝叶斯网络模型 111
- 6.3 贝叶斯网络在发动机质量系统建模分析中的应用 114
- 6.4 本章小结 120

第7章 基于质量结构的协调智能体功能实现模型研究 122

7.1 基于质量损失的交叉质量结构参数设计方法 122

7.2 基于质量结构的产品容差设计方法 126

7.3 应用研究 130

7.4 本章小结 148

第8章 结论与展望 150

8.1 主要结论 150

8.2 主要工作 151

8.3 研究展望及未来可能的研究方向 154

8.4 本章小结 155

参考文献 156

后 记 171

第 1 章 绪 论

1.1 问题的提出

制造业的市场竞争日趋激烈,为了在当今的市场竞争中取胜,越来越多的企业关注于产品设计效率,而好的设计方法是提高设计效率最为有效的方法.同时,随着人们对产品需求的不断提高及市场竞争的强劲推动,复杂产品的数量和复杂程度正急剧上升,这大大增加了产品设计的难度.因此,越来越多的学者致力于产品设计,尤其是复杂产品(系统)设计理论与方法的研究.

① 设计过程决定产品质量,重视设计质量非常重要.

把满足客户需求的产品以最优的质量、最低的成本,快速及时地投放到市场,获得主动权是企业赢得竞争的关键.有统计数据显示:产品设计成本虽然仅占总成本的 10%~15%,但却决定了总成本的 70%~80%.同时,产品或过程的质量问题有 80% 是由设计原因引起的^[1].生产是按照图纸和工艺要求来实现的,因此生产过程不能解决工艺参数设计或图纸设计不合理的先天设计问题,而质量检验是在产品生产完成后进行的事后符合性检验,其目的是为了挑出不合格品,只是一个把关,并不能达到提高产品质量的目的.设计过程决定了产品的固有成本、固有质量、可靠性和性能等,因此,在产品设计中就要提出质量要求,确定产品质量水平,从而选定主要参数,规定主要参数的合理容差,把质量设计作为产品研发的主要内容之一.产品一经研制出来,产品的固有基因也就确定了,正如田

口玄一博士所说的:产品质量的好坏,首先在于设计,其次才是制造和检验.产品的质量是设计出来的,在设计过程中解决产品质量问题可以得到事半功倍的效果.

② 智能化设计能够提高复杂产品的设计效率,因此,进行智能化稳健设计已是必然趋势.

复杂产品的设计是一个多学科交叉、多专业协作的知识密集的复杂过程,从设计方案的确定到建立分析模型、设定主要参数等环节,都必须有效结合创造性设计和设计经验.同时,现代的复杂产品(系统)越来越复杂,而且设计精度要求高、设计周期短,因此使复杂产品的设计实现智能化是发展的必然趋势.虽然国内外已有很多学者对机械产品、电子产品等的智能设计^[2]进行了研究,但仅仅是基于工程性质的结构设计等,尚未有基于产品质量的智能稳健设计系统的成熟研究.

③ 复杂产品的质量特性呈涌现性,经典的稳健设计方法已经不能满足其质量设计的需求.

以田口玄一博士提出的三次设计(或称田口方法,Taguchi Method)为基础而创立的稳健设计是保证质量、降低成本的有效质量设计方法.但是,经典的三次设计是基于简单质量结构假设的零部件设计,不能解决具有多层的、交叉的,甚至更为复杂的质量结构的产品系统质量设计问题;而随着科学技术水平的不断进步,产品的技术含量越来越高,集成度越来越强,现在的产品一般都是具有复杂质量结构的产品系统,经典的三次设计或是一般的稳健设计方法均已不能满足要求.

1.2 研究目的和意义

基于上述考虑,本书以复杂质量结构产品为对象,对复杂质量结构产品的质量设计问题进行研究,构建面向复杂质量结构产品的

MAS 质量设计系统框架,并研究此 MAS 中各关键智能体功能实现的相关重要模型,以独特的视角对复杂产品质量设计过程中的若干关键问题展开一系列的研究工作.本书相关研究成果可为复杂产品设计人员进行产品的质量设计提供一种新思路,实现在产品设计阶段最大限度地提高产品的固有质量水平的目的.

本书的研究意义主要体现在以下几个方面.

① 构建复杂质量结构产品的 MAS 质量设计系统框架,为后续研究提供理论指导和分析平台.

复杂产品的质量结构复杂,各质量特性对参数的要求往往存在冲突,各组成部件间不一定是正向影响的关系,往往会有冲突、反直观的关系,而 MAS 由多个智能体组成,可以协调系统内一组智能体的行为,使系统内所有智能体共同完成一个任务或是复杂任务的求解.因此,本书将 MAS 思想引入复杂产品质量设计中,以构建复杂质量结构产品的 MAS 质量设计系统框架,为后续研究提供理论指导和分析平台.

② 研究基于设计结构矩阵的质量结构的构建方法,为分析产品质量结构提供方法和工具.

只有了解产品的质量结构,才能明确、直观地把握该产品各个质量要素之间以及各质量要素与产品零部件之间的关系,在此基础上可以更为方便地将产品的最终质量要求进行分解和分配.本书在提出质量结构概念的基础上,研究基于设计结构矩阵的质量结构的构建方法,为分析产品结构提供方法和工具.

③ 建立基于集成神经网络的质量校核模型,为产品设计者提供参考依据.

由于大的复杂产品系统的设计参数众多,与产品总体质量特性间往往存在复杂的非线性、强耦合关系,因此,建立起它们之间的有机联系以及构建质量预测模型是使质量校核过程顺利、有效完成的必要工作.本书通过研究神经网络的优化和集成算法,在解决单个

神经网络泛化能力低的问题的基础上,建立基于集成神经网络的质量校核模型,为产品设计者提供参考依据。

④ 以贝叶斯网络模型表征复杂质量结构产品内部复杂的质量相关关系,为复杂质量系统分析提供建模工具。

复杂质量结构产品系统中质量要素多且相互关系复杂,本书在对复杂质量结构产品进行界定的基础上,以贝叶斯网络表征复杂质量结构产品的质量相关关系,依据贝叶斯推理,充分利用各类经验信息,对复杂质量系统进行建模分析。这为复杂质量结构产品质量设计奠定了基础,亦为复杂质量系统提供了建模思路。

⑤ 探索基于质量结构的质量设计系统协调模型,为产品设计过程的冲突问题提供解决方案。

复杂质量结构产品设计过程中,由于交叉、多层的质量结构的存在,各个质量特性对设计参数的要求往往会出现冲突,因而本书探索了基于质量结构的质量设计系统协调模型,从而为产品设计过程中的冲突问题提供解决方案。

1.3 相关理论概述和国内外研究综述

1.3.1 质量设计

产品质量是企业在向社会提供优质产品的过程中形成的。制造过程是按照已有的设计图纸及工艺要求进行生产,虽然可以在生产过程控制产品的变异,但是无法解决先天的工艺参数设计或图纸设计不合理的问题,产品的固有质量决定于设计阶段。因此,只有从源头做起,在设计阶段融入质量考虑,才能以事半功倍的效果提高产品质量。所谓质量设计,就是在产品设计阶段融入产品质量方面的特性需求,寻求实现产品质量特性的途径。陈立周、温海珊、任婷婷认为产品质量设计就是在考虑各种因素(制造、使用等)的影响下,

合理进行参数设计(确定设计参数的名义值)和容差设计(设计参数允许的偏差)以使产品目标特性指标对目标值的变异保持在容许的范围之内^[3]. 因此,在进行产品质量设计过程中,从设计角度可将影响产品质量特性的因素分为可控因素和不可控因素两类^[4]. 其中,可控因素即设计变量,是在设计、制造过程中可以控制的;不可控因素即噪声因素,是在设计及制造过程中难以控制的,但却会影响产品质量特性. 图 1.1 为产品质量设计模型.

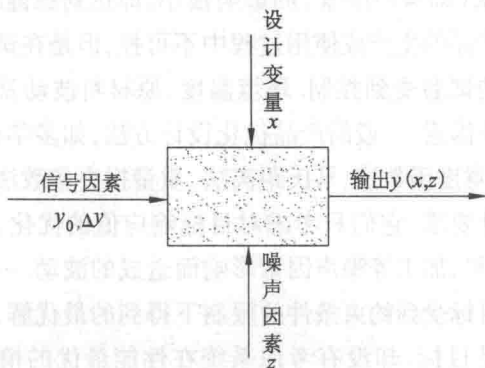


图 1.1 产品质量设计模型

如图 1.1 所示,产品质量设计模型的基本要素有设计变量(可控因素) x 、噪声因素 z 、信号因素 y_0 和输出质量特性 y . 其中信号因素指的是产品质量特性的设计目标值 y_0 或包括其所允许的容差 $[\Delta y^-, \Delta y^+]$. 设计变量 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是可控因素的集合,每个设计变量在设计时确定的名义值在制造过程中由于各种因素影响都会产生波动,因此需要进一步以最大允许容差 Δx_i 来限定设计变量 x_i 的波动范围. 而输出质量特性 y 作为质量设计过程的输出,同时受到可控因素 x 及噪声因素 z 的影响,因此 y 为 x 和 z 的随机函数,即有

$$y = y(x, z).$$

1.3.2 稳健设计

1.3.2.1 稳健设计原理及其研究现状

稳健设计(Robust Parameter Design,简称 RPD)是 20 世纪 70 年代由田口玄一提出的一种质量设计方法,自提出以来,已被广泛运用到产品及过程设计中,使得设计结果在环境噪声因素的影响下能保持稳健.稳健设计所确定的可控因素的水平组合使该产品(过程)受不可控因素(即噪声因素)的影响很小,即达到稳健的效果.噪声因素虽然在产品的生产或使用过程中不可控,但是在试验过程中会根据所设定的试验受到控制.环境温度、原材料波动就是生产过程中典型的噪声因素.一般的产品优化设计方法,如多学科设计优化、公理设计、满意度函数法、马氏距离法、质量损失函数法等都达不到稳健性的设计要求.它们只考虑对目标响应值的优化,而忽略了由于环境、原材料、加工等噪声因素影响而造成的波动.一般的优化设计是在设计目标受到约束条件的限制下得到的最优解,仅仅强调系统尽可能满足目标,却没有考虑系统在性能最优的情况下是否稳定,其所得到的最优性能有可能处于很不稳定的状态,内外部条件稍有变化,系统性能就会下降很多,甚至有可能完全失效.而稳健设计则以整个系统的质量为目标,使系统在满足原有目标函数的前提下,尽可能使系统由于可控因素或不可控因素的变异造成系统的变异最小化,这样的解能保证系统在受到内外部环境因素干扰的情况下仍能保持较好的性能,即稳健性^[5].图 1.2 反映了稳健设计与一般优化设计的不同.

如图 1.2 所示,纵坐标 f 是目标响应值,这里要求响应值越小越好;横坐标 x 为设计参数,当确定设计参数 x_0 以后,由于噪声因素的影响, x_0 会在允许的容差范围内有小的波动.若不考虑稳健性,一般的优化设计以 $\min f$ 为目标函数得到的最优设计为 $x = x_1$,但是从图中可以看到,当其在容差 Δx 内波动时,目标函数的波动达到 Δf_1 .而

当 $x = x_2$ 时, 同样当设计参数 x 在容差内波动时, 目标函数的最大波动仅为 Δf_2 , 小于 Δf_1 , 亦即解 x_2 的稳健性要强于 x_1 . 即虽然当 $x = x_1$ 时目标函数值较小, 达到了最优, 但是这时对设计参数值的敏感性较强, 其小的变动都将引起响应大的变异, 因此这不是最优的设计结果. 稳健性设计便是考虑设计参数在噪声因素影响下产生波动的情况时, 能最大限度保持目标响应性能的设计方法. 稳健设计的一般流程如图 1.3 所示.

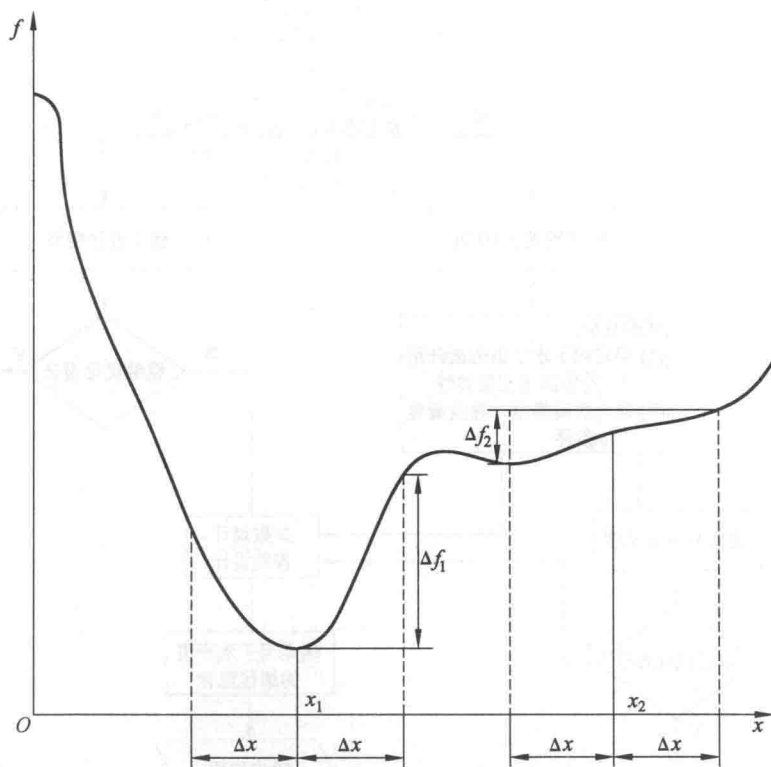


图 1.2 稳健性设计解与一般优化设计解示意图

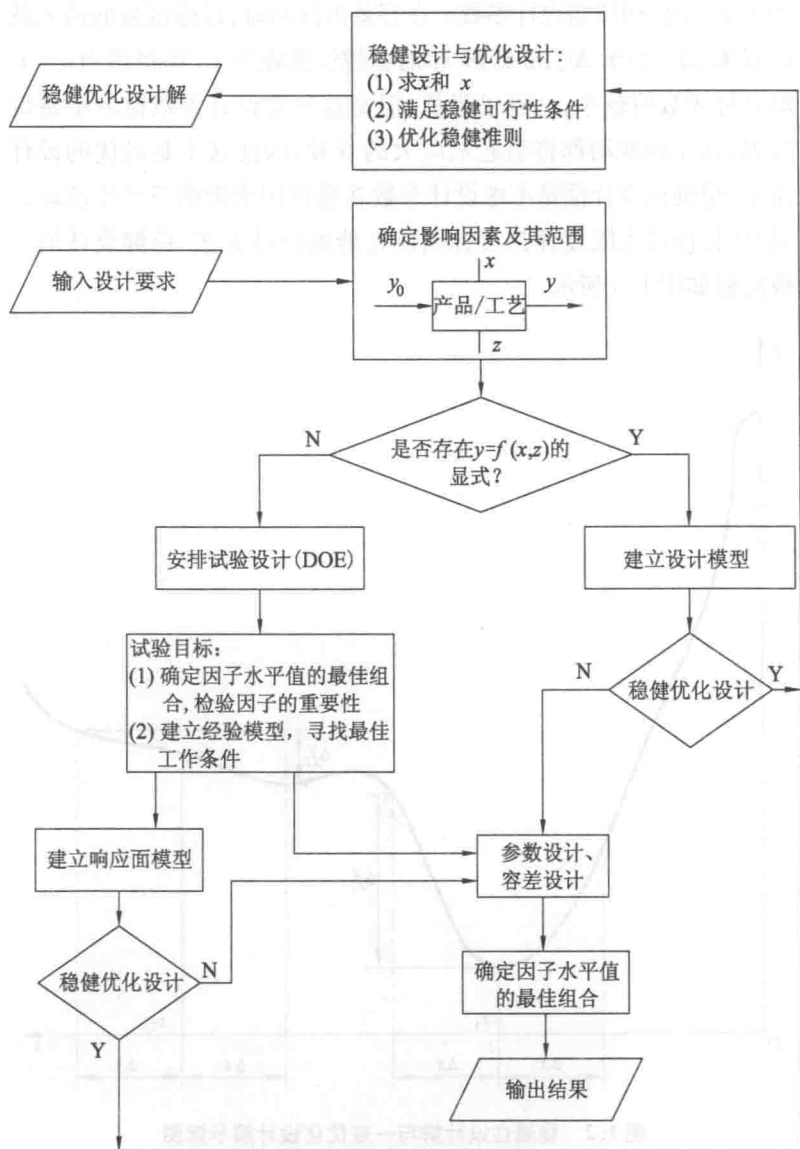


图 1.3 稳健设计的一般流程