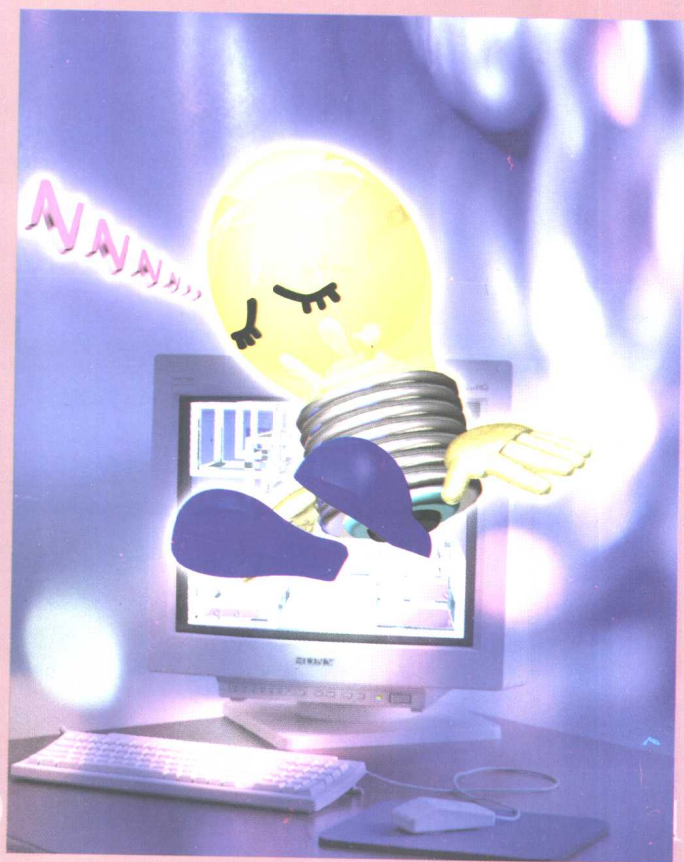


可装配性设计

DFA-Design for Assembly

现代设计方法

符延国 编著



中国纺织大学出版社

上海发展汽车工业教育基金会资助

可装配性设计

——现代设计方法

杨建国 编著

中国纺织大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

可装配性设计:现代设计方法/杨建国编著. —上海:
中国纺织大学出版社, 1999. 9

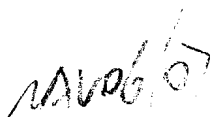
ISBN 7-81038-203-9

I. 可… II. 杨… III. 装配(机械) - 可靠性 - 设计 IV. T821

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 38344 号

责任编辑 林 萍

封面设计 陶善丰



可装配性设计——现代设计方法

杨建国 编著

中国纺织大学出版社出版

(上海市延安西路 1882 号 邮政编码: 200051)

南京展望照排印刷有限公司排版 常熟市大宏印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 7.5 字数: 202 千字

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

印数: 0 001—2 500

ISBN 7-81038-203-9/TB·02

定价: 16.00 元

内 容 简 介

可装配性设计(DFA——design for assembly)作为一种现代设计技术,在工业发达国家得到广泛应用,产生巨大经济效益。

本书从 DFA 的基本概念入手,系统地讨论了 DFA 技术的应用、发展和新成果,其中包括:可装配性分析、可装配性评价、可装配性再设计等。书中还介绍了面向并行工程的 DFA 的概念,讨论了 DFA 技术的新发展,介绍了人工神经网络技术、模糊技术及专家系统技术在 DFA 中的应用。

本书通俗易懂,内容新颖,并附有大量的参考文献目录。可供从事现代设计的工作者、工程技术人员及大专院校师生参考。

前 言

当前,世界正在进入经济繁荣期,它的重要特征就是全球化生产体系的形成和发展。在这种形势下,我国的机械制造业必须大力应用和推广先进的设计和制造技术,迅速降低产品成本,提高产品质量,增强企业的设计能力包括产品的可制造性设计和可装配性设计能力,提高产品的知识含量和竞争能力,使企业参与到全球化的生产体系中去,这是振兴我国机械制造业的极好机遇。

可装配性设计(DFA——design for assembly)作为一种先进的设计技术,在工业化国家已经产生了巨大的经济效益。

本书从可装配性设计的基本概念入手,系统地讨论了可装配性设计的应用、发展和新成果。第1章介绍了可装配性设计和面向并行工程的DFA的概念;第2章讨论了自顶向下的设计方式及产品装配模型;第3章介绍了可装配性分析方法;第4章讨论了DFA零件形状特征的自动识别;第5章、第6章、第7章分别讨论了面向手工装配的DFA、面向高速自动化装配的DFA和面向机器人装配的DFA;第8章则讨论了基于规则的DFA;第9章、第10章、第11章介绍了人工神经网络技术、模糊技术及专家系统在可装配性设计中的应用;第12章讨论了装配方法选择;第13章介绍了笔者研制的DFA系统。

本书的部分内容来自国外关于DFA的文献,部分内容则反映了笔者近年来主持国家自然科学基金项目(59385024)、国家863计划项目(863-511-04-0144)的研究成果。与现有公开发表的有关DFA的论文和专著相比,本书的特色与贡献在于:

(1) 在分析、抽象和归纳产品制造和装配特征基础上,研究和讨论了面向并行工程的产品装配信息模型,为实现CAD/DFA/CAAPP系统的信息共享和集成进行了理论探索。

(2) 研究和讨论了基于模糊理论的单因素可装配性评价和基于人工神经网络的多因素可装配性评价,与目前国际上流行的、基于普通集合和普通分类技术,并建立在有限实验基础上的装配模型相比,不但评价结果更接近工程实际、更为客观,而且实现了多项装配特征到装配评价的非线性映射。

(3) 研究和讨论了基于实例和模糊匹配的可装配性再设计,在专家系统和无监督学习的网络支持下,通过定义设计问题,确定设计约束及描述设计实例,使设计问题到实例的映射更接近产品设计的实际。

(4) 研究和讨论了分治式零件对称度自动识别算法,部分解决了产品设计信息的自动获取问题,为 DFA 系统与 CAD 系统的集成创造了条件。

(5) 研究和讨论了面向并行工程的 DFA 系统的开发问题,该系统面向手工装配和自动装配,可在产品的方案设计、详细设计及改进设计等不同阶段,为产品设计工程师提供技术支持,允许不同的用户根据设计特点、制造习惯和制造资源等的变化,配制数据库和知识库以满足实际需要。

由于可装配性设计是一门新兴的学科,正在发展之中,本书涉及的有些内容是探索性的,还不很成熟,特别是由于时间匆促,本人水平有限,书中错误与不妥之处,敬请读者谅解和指正。

本书涉及的产品装配的相关费用数据来自不同时期的相关文献,特此说明。

目 录

第 1 章 面向装配的设计	1
1.1 DFA 的基本概念	1
1.2 面向并行工程的 DFA	6
1.3 DFA 的发展及研究现状	9
1.4 DFA 的新概念与新方法	14
第 2 章 装配信息描述与产品装配模型	18
2.1 装配信息描述的意义	18
2.2 自顶向下的设计	19
2.3 DFA 对产品数据模型的要求	20
2.4 面向并行工程的产品装配模型	25
2.5 面向装配的产品 CAD 系统	30
第 3 章 可装配性分析	34
3.1 产品可装配性分析及其意义	34
3.2 影响产品可装配性的因素	38
3.3 影响搬运操作的因素分析	39
3.4 影响插入操作的因素分析	45
第 4 章 DFA 中的零件特征自动识别	58
4.1 零件特征自动识别的意义	58
4.2 形体建模方法	59
4.3 零件厚度与长度的自动识别	61
4.4 零件对称度的自动识别	62

第 5 章	面向手工装配的 DFA	68
5.1	面向手工装配的产品设计特点	68
5.2	Boothroyd 的 DFA 方法	68
5.3	Hitachi 的 DFA 方法	79
5.4	Lucas 的 DFA 方法	84
第 6 章	面向高速自动化装配的 DFA	93
6.1	面向高速自动化装配的产品设计特点	93
6.2	自动输送费用的估算	95
6.3	自动插入费用的估算	105
6.4	设计分析实例	108
6.5	自动化装配费用估算	113
第 7 章	面向机器人装配的 DFA	118
7.1	面向机器人装配的产品设计特点	118
7.2	面向机器人装配的难度分类系统	119
7.3	设计实例	120
7.4	面向机器人装配的设计原则	122
第 8 章	基于规则的 DFA	125
8.1	DFA 的两种基本类型	125
8.2	基于规则的 DFA 概念	128
8.3	产品结构设计规则	130
8.4	联接紧固设计规则	141
8.5	稳定性设计规则	146
8.6	零件插入设计规则	146
8.7	装配表面设计规则	147
8.8	装配公差设计规则	148
8.9	产品变型设计规则	148

第 9 章	DFA 中的神经网络技术	157
9.1	神经网络发展回顾	157
9.2	神经网络的基本原理	159
9.3	可装配性设计中的神经网络技术	166
第 10 章	DFA 中的模糊技术	178
10.1	模糊数学的发展	178
10.2	模糊数学的基本原理	179
10.3	可装配性设计中的模糊技术	183
第 11 章	DFA 中的专家系统技术	188
11.1	专家系统概述	188
11.2	专家系统的基本原理	189
11.3	专家系统在可装配性再设计中的应用	195
第 12 章	装配方法选择	200
12.1	三种基本的装配方法	200
12.2	装配方法选择	203
12.3	装配方法选择实例	205
第 13 章	可制造可装配性设计系统——IDFA	207
13.1	系统概述	207
13.2	系统功能	207
13.3	系统的 IPO 图	209
13.4	IDFA 系统介绍	210

第 1 章 面向装配的设计

1.1 DFA 的基本概念

1.1.1 概述

信息时代的制造业处于动态、突变与非平稳环境,全球范围的市场竞争,使越来越多的企业正面临着产品上市时间、质量、成本与服务的挑战。采用先进设计和制造技术,是迎接挑战的有效途径。在工业自动化的发展进程中,产品装配自动化是最薄弱的环节之一。Wynne, Hsu 等人指出,在制造业中,大约有 1/3 左右的人力在从事有关产品装配的活动。法国对 355 家公司的调查结果显示,装配自动化的主要障碍是:通常的产品设计不是面向装配的(not assembly-oriented)^[1]。由此带来的后果是:

- (1) 产品装配难度大;
- (2) 产品装配周期长;
- (3) 产品装配质量不易保证;
- (4) 产品装配价格高(用于装配的人力、物力、时间的开销)。

R H Sturges 等人指出,产品装配已成为制约生产的瓶颈之一,为此,通常采用的增加工人、增加装配机械、增加装配检测装置等对策,则使产品装配成为许多工厂的最大开支^[2]。

激烈的市场竞争推动着社会前进,同时也给企业造成了严酷的生存与发展环境,如何适应变化的世界市场需求,通过高质量、低成本,快速开发新产品,在竞争中取得优势,已成为所有企业的目标。市场竞争的基本原则是用户选择,一个企业不管起点、基础如何,都要经受同一尺度的考验,“优胜劣汰、适者生存”,这一进化论的基本规律,同样适用于市场竞争,企业要在竞争中取胜,必须依靠新的科

学技术。面向装配的设计——DFA(design for assembly),就是企业增强产品竞争能力,赢得胜利的关键技术之一。

1.1.2 DFA 与现代设计方法

设计一词来源于希腊语“construere”,意思是拼合造物。所谓设计,从广义上说,是指通过分析、创造与综合来构思具有某种特定功能的系统的活动。设计需要凭借创造性的力量,通过技术上有意识的导向,产生出满足人们需要的产品的构思、概念和方案。

设计是以知识为基础的。这种知识是由创造力、智慧、意识、知觉和感受构成的。设计的特点在于:

(1) 设计的结果往往取决于人的知识、经验和思考方法;

(2) 设计的解空间通常很大,且结果往往不是唯一的;

(3) 设计知识可分为静态的、精确的、确定性的知识和动态的、模糊的、不确定性的知识等。

设计在工程技术领域占有极为重要的地位,产品设计是制造业的“灵魂”。统计资料表明,产品成本的一半以上是由设计阶段决定的,产品设计原则上确定了产品的性能、质量(全面满足用户要求)、交货期(含新产品开发时间)、可制造性、可维修性(含产品升级)及人、机器和环境的关系等。

产品设计是一种基于知识的设计,设计能否成功,取决于其中现代设计知识的含量,知识含量越高,设计的产品竞争力越强。

产品设计是一种面向用户的设计,在争取用户满意的竞争中,产品设计要求覆盖产品的全寿命周期。所谓全寿命周期设计是指在设计时,考虑产品每一个阶段中用户的要求,不能片面强调某一个环节而忽视其他环节。全寿命周期设计带来了一个普遍的规律,即既要从产品的性能要求出发,又要考虑易于制造、易于装配、易于维护等问题。

当前,产品设计的对象正在不断进入以往从来未进入的领域,从宏观世界到微观世界、纳米尺度和分子模拟,对产品各个方面要求的递增速度从来没有像现在这么快。因此,现代产品设计

技术需要多层次、多方面的支持。现代产品设计技术是不同领域知识的动态集合,认为查手册就可以设计的时代已经一去不复返了。

DFA 是一种重要的设计概念和方法。DFA 已成为现代设计方法的一个新的分支。DFA 的产生和发展,体现了现代设计的特点。近年来,随着生产发展和科学技术的进步,一些 DFA 的新概念、新方法、新理论正在不断出现,虚拟装配技术已进入 DFA,DFA 从易于装配拓广到易于维护和服务,人工神经网络技术、模糊理论在 DFA 中的运用标志着 DFA 理论与实践正在以前所未有的速度向前发展。

1.1.3 DFA 技术的主要内容

DFA 技术包括以下主要内容:

- (1) 可装配性设计信息描述;
- (2) 产品的可装配性分析;
- (3) 产品的可装配性评价;
- (4) 产品的可装配性再设计。

1.1.3.1 可装配性设计信息的描述

在可装配性设计系统中,需要表示大量的信息,这些信息包括:

- (1) 装配过程信息;
- (2) 装配部件信息;
- (3) 装配约束信息(包括功能约束,几何约束,工、夹、量及辅具约束等)。

可以采用多种方式描述装配设计信息:

- (1) 基于图形的表示方式

可以采用结点表示产品装配系统中的各种实体,采用联接弧表示实体与实体的装配关系。其优点是直观、容易理解,缺点是装配信息描述不完整,当结点存在多类型、多层次的相互关系时,基于图形的表示困难(图 1-1)。

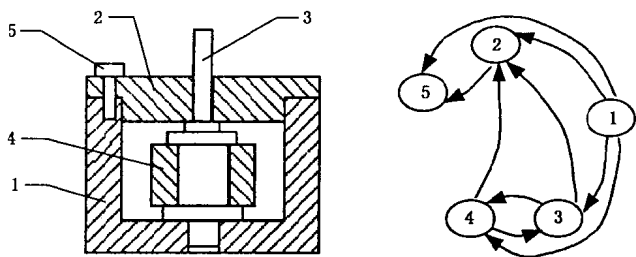


图 1-1 基于图形的表示方式

(2) 基于关系数据库的表示方法

可以采用关系数据库存储可装配性设计信息,虽然关系数据库本身并不提供实体及其关系的表达方式,但通过适当地设置和组织关系数据库的字段,可以实现以上任务。基于关系数据库的装配设计信息描述可以方便地实现装配系统实体及其关系等信息的组织和维护,但表达实体及其关系的语义困难。

(3) 面向对象的表示方法

面向对象技术将设计对象的数据与操作结合起来,用数据描述对象的状态,用操作实现状态的改变。面向对象技术可以灵活自然地模拟现实的装配工况,减少可装配性设计的语义断层,使实体的表达具有继承性和封装性。对象(实体)的层次分为若干类及相关属性,如物理属性、几何属性、特征属性等等,装配方法由对象(实体)的类型确定。

1.1.3.2 产品的可装配性分析

产品的可装配性分析的基本任务是:

- (1) 确定产品可装配性类别及其分析方法;
- (2) 分析影响产品的可装配性的各种因素;
- (3) 考察各种因素之间的相互作用和相互关系。

可以从多方面考察产品的可装配性,既可以从零件结构、材料和零件的联接关系等方面进行考察,也可以从装配方法和装配工艺等方面进行考察。

产品的可装配性分析可以采用:

(1) 基于实验的方法:即通过设计可装配性实验,对产品的可装配性进行实验分析和综合,如通过实验,考察机器人装配情况下,零件结构形状对机器人抓取及搬运的影响;

(2) 基于统计的方法:即对工程实际中,大量的产品装配实例和活动进行系统的统计、分析和综合,如统计手工装配条件下,通常零件铆接的时间花费等;

(3) 基于建模的方法:即建立产品的可装配性分析模型,对产品的可装配性进行理论分析和推导,如建立不同装配条件下零件装配阻力的数学模型,推导装配力经验公式,并对经验公式进行工程验证。

基于三维的装配关系的描述和分析,使系统能够确定和导出零部件之间的空间位置关系。在分析零部件之间的几何位置关系时,广泛应用了齐次变换法(homogenous transforms),用变换来表示装配位置的不确定性(uncertainty),如式(1-1)。

$$T_{obj} = T_{nom}(I + \Delta T) \quad (1-1)$$

其中: T_{obj} —部件的实际位置;

T_{nom} —部件的理论位置;

I —单位矩阵;

ΔT —位置微分矩阵,表示微小扰动。

考察一个给定的装配过程中,装配位置不确定性的传播。一个装配过程可以分解为一系列运动,例如移动、匹配和找正。在存在不确定性的情况下,一个成功的装配是指以大于给定阈值的概率,把物体放入目标位置,这种可能性称为成功概率(successprob(A_i))。假设每个活动失败的概率是相互独立的,则可用式(1-2)来计算产品的可装配性。

$$\text{assemblability} = \prod \text{successprob}(A_i) \quad (1-2)$$

1.1.3.3 产品的可装配性评价

可装配性评价是产品可装配性设计的中心环节。通过可装配性评价,可以判别可装配性设计的优劣。可装配性评价按内容分

类,有定性和定量的方法;按评价形式分类,有单一指标评价和综合指标评价;按评价方法分类,有 Boothroyd 方法、Lucas 方法和 Hitachi 方法等。

评价指标可以采用多种度量形式,如:相对装配费用、相对装配难度和相对装配时间等。

1.1.3.4 可装配性再设计

可装配性再设计是产品可装配性设计的关键问题。只有通过产品的可装配性再设计,才能改善产品的可装配性。DFA 系统提供的可装配性再设计一般采用两种形式:

(1) 再设计建议:即系统根据可装配性分析和评价,给出再设计建议,以改进产品的可装配性;

(2) 再设计工具:在系统支持下,实现产品装配设计的改进、补充和完善,如改变设计参数、改变装配条件、改变装配结构等。

可装配性再设计建议建立在知识推理的基础上,一般需要在用户回答系统提问的基础上,根据产品的装配工况、装配工艺,由系统给出可行的可装配性再设计方案。例如,对于减少装配位置的不确定性,可以有两种再设计方案,即:

(1) 减少不确定性在装配过程中的传播;

(2) 扩大装配的目标区域。

一个减少传播不确定性的方法是增加约束,如各种导向装置,通过约束减少不确定性,同样地,可以用增大目标区域的方法,减少不确定性,如增加配合部件的倒角等等。

1.2 面向并行工程的 DFA

并行工程(concurrent engineering)作为一种新的面向 21 世纪的产品开发和生产管理模式,正在引起越来越多专家学者和企业家的注意。

1.2.1 并行工程的概念及其意义

当前,并行工程正在逐步成为工业自动化领域研究与实践的

热点。美国 R I Winner 在 R - 338 研究报告中给出了并行工程的定义,即:并行工程是指集成地、并行地设计产品及其相关的各种过程(包括制造过程和支持过程)的系统化方法。这种方法要求产品设计人员在设计的开始就考虑产品整个生命周期中从概念形成到产品报废处理的所有因素,包括质量、成本、进度计划及用户要求。它的基本思想是在产品设计初始阶段,尽可能地考虑产品生命周期中众多因素,包括产品的可制造性、可装配性、产品成本、产品质量、产品的可维护性、产品的可靠性和可测试性等等。图 1-2 给出了串行的产品开发模式,图 1-3 给出了并行的产品开发模式。



图 1-2 串行的产品开发模式

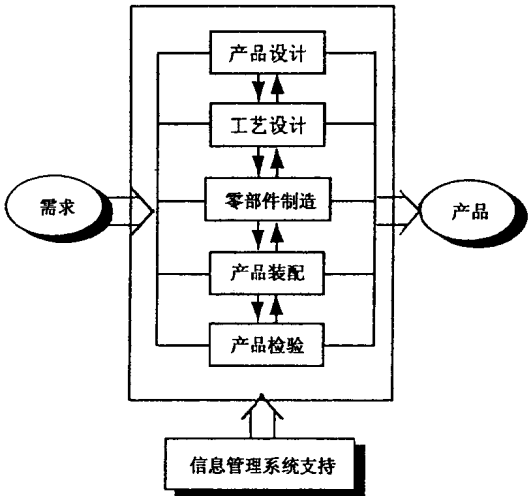


图 1-3 并行的产品开发模式

长期以来,企业的组织管理模式大多采用层次化结构,实行逐级管理、逐级实施的方式,产品开发过程一般是从需求到概念化设计,再到详细设计、工艺设计、制造过程设计,整个设计过程结束后,再转入零件加工、零部件装配,包括对加工装配的组织、过程的管理,最后进入产品的销售和维护。所有这些过程依次从一个环节顺序转向下一个环节,信息也从一个部门顺序转向下一个部门,从而形成了串行的生产管理模式,它依赖大循环方式改进已发现或已存在的缺陷,通过评审来协调各部门的分歧。串行的工作方式要求按产品的开发过程划分,各个环节片面追求局部效益,导致对整体的分离意识。十几年来的技术发展与实践证明,改变产品的开发过程,用新的组织管理方式替代原有的方式,将会获得比改进局部单元技术大得多的效益。并行工程就是这样一种全新的适用于现代计算机技术与通讯技术的生产组织管理模式,它不是一种单元技术而是多项技术的综合运用。

1.2.2 传统 DFA 的缺陷

DFA 作为一种新的设计技术,在其发展中,暴露出许多缺陷与不足:

(1) 目前的 DFA 是一种被动式的设计(passive design),具有很强的顺序性,它要求产品设计有了完整的数据之后,才进行可装配性评价和分析;

(2) 目前的 DFA 是一种静态的设计(static design),它基于单个零件的可装配性分析,不考虑或很少考虑及模拟实际的、动态的、现场的装配工艺、装配条件及装配环境,因而可装配性评价结果容易偏离实际;

(3) 目前的 DFA 与 CAD、CAAPP (computer aided assembly process planning) 分离,没有充分利用设计上游提供的有用信息,故需要用户回答大量有关装配的问题,包括用户手工填写表格,进行装配特征描述;

(4) 目前的 DFA 侧重于可装配性分析和评价,通常将可装配