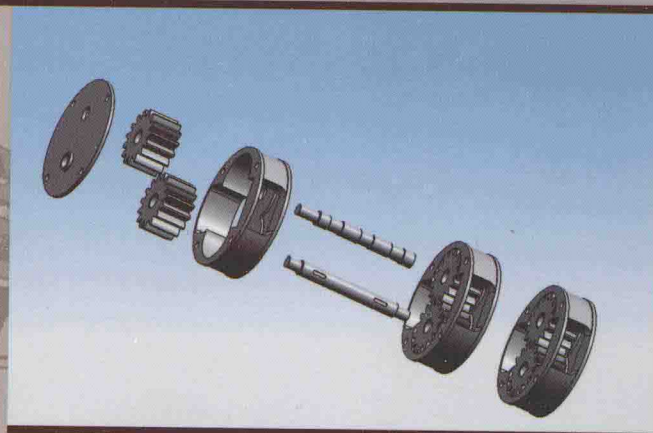


JI XIE CHAN PIN

CAN SHU HUA SHE JI JI SHU

机械产品 参数化设计技术

孙志礼 姬广振 闫玉涛 杨强 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

机械产品参数化设计技术

孙志礼 姬广振 闫玉涛 杨强 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书从实际工程应用的角度出发,系统阐述了参数化设计软件的二次开发、参数化设计方法和机械产品参数化设计技术。内容包括参数化设计二次开发常用软件、参数化设计方法、阀门的参数化设计、阀门电动装置参数化设计、油气分离器和离心通风器参数化设计、润滑油泵参数化设计、电子皮带秤参数化设计。

本书可供从事机械产品设计、制造、分析、使用及管理的工程技术人员开展研究工作时的参考,同时也可作为本科生毕业设计及硕士生、博士生研究参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械产品参数化设计技术/孙志礼等著. —北京:国防工业出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-118-09156-4

I. ①机... II. ①孙... III. ①机械设计
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 015304 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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 16½ 字数 303 千字

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 56.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717



作者简介



孙志礼 男,1957年11月出生,博士,教授,博士生导师。东北大学机械工程与自动化学院现代传动与数字化技术研究所所长。曾获沈阳市科技进步三等奖,中国机械工业科学技术一等奖,辽宁省自然科学成果(专著类)二等奖,国家及省部级教学成果奖多项。出版专著3部,主编教材3部,出版大型工具书4部,获批发明专利1项,软件著作权5项,发表学术论文200多篇。完成国家及省部级项目多项。主要从事机械可靠性工程、参数化设计与结构分析技术、摩擦学设计与实验技术、设计信息集成技术、多场耦合分析技术。



姬广振 男,1972年1月出生,硕士,研究员。中国兵器科学研究院质量与可靠性中心主任,解放军总装备部专业组成员,工信部科工局质量与可靠性专业组专家。获部级奖励6项,发表学术论文11篇。承担了解放军总装备部及科工局的重点项目、预研项目、共性技术项目多项。长期从事可靠性设计、工艺可靠性及机械设计的研究。

前 言

随着科学技术和计算机技术的快速发展, CAD 技术已成为机械、冶金、航空、航天、建筑等领域实现自动化设计的主要技术之一, 在这些领域的应用日益广泛, 设计技术已经从传统的手工绘图走向了无图板的计算机绘图, 大大提高了产品的设计效率和研发周期, 增强了市场的适应能力。CAD 技术发展经历了曲面造型、实体造型、参数化设计及变量化设计四个阶段。在 CAD 技术发展初期, 通过计算机将产品的设计要求和工程师的设计思想直接变成可用的工程图纸或者数控加工指令, 在当时是不可能办到的, 参数化设计是解决这一问题主要思想。

参数化设计是将设计要求、设计原则、设计方法和设计结果用灵活可变的参数来表示, 以便在人机交互过程中根据实际情况随时加以更改和驱动。参数化设计技术已经成为 CAD 技术中最热门的应用技术之一, 是实现机械产品设计过程复杂性、多样性和灵活性要求的设计自动化必然途径。其本质是在可变参数的作用下, 系统能够自动维护所有的不变参数。设计人员根据工程关系和几何关系确定设计要求, 同时考虑尺寸和工程参数初始值, 在每次改变设计参数时必须保证这些基本关系。设计参数一般分为可变的尺寸参数和不变的几何约束信息。参数化设计是通过改动图形的某一部分或某几部分的尺寸, 或修改已定好的零件参数, 自动完成对图形中相关部分的改动, 从而实现对图形的驱动。参数驱动的方式便于用户修改和设计。用户在设计轮廓时无需准确的定位和定形, 只需勾画出大致轮廓, 然后通过修改标注的尺寸值来达到最终的形状, 或者只需将邻近的关键部分定义为几个参数, 通过对参数的修改实现对产品的设计。参数化设计极大地改善了图形的修改手段, 提高了模型的自动生成和修改速度, 以及设计的柔性, 在概念设计、动态设计、实体造型、装配、公差分析与综合、优化设计等领域发挥着越来越大的作用和实用价值。

全书共分为 8 章。第 1 章 ~ 第 3 章系统地阐述了国内外 CAD 技术的发展, 参数化设计二次开发常用软件, 参数化设计方法。第 4 章 ~ 第 8 章分别阐述了阀门的参数化设计、阀门电动装置参数化设计、油气分离器和离心通风机参数化设计、

滑油泵参数化设计和电子皮带秤参数化设计。

本书是作者近十几年来科学研究成果的总结和浓缩,同时包含了作者指导的硕士、博士研究生所做的研究成果,在多个企业和研究单位已成功应用,并取得了极好的效果。为企业系列产品的设计开发,提高工作效率,以及可靠性仿真分析提供了一种实用的工具和有效的方法。

本书可供从事机械产品设计、制造、分析、使用及管理的工程技术人员开展研究工作时的参考,同时也可作为本科生毕业设计及硕士生、博士生研究参考用书。书中难免存在不妥或疏漏之处,敬请读者批评指正。

作者

2013年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 国内外计算机辅助设计技术的研究	1
1.1.1 国外计算机辅助设计技术的研究动态	1
1.1.2 国内 CAD 技术的发展	3
1.2 机械 CAD 技术产生的背景及发展趋势	3
1.2.1 机械 CAD 技术产生的背景	3
1.2.2 机械 CAD 技术的发展趋势	4
1.3 国内外参数化设计技术的研究现状	6
1.3.1 国外发展状况	6
1.3.2 国内发展状况	7
第 2 章 参数化设计二次开发常用的软件	9
2.1 参数化设计技术概述	9
2.1.1 参数化设计相关概念	10
2.1.2 参数化设计注意的问题	11
2.2 Pro/Engineer 软件简介	11
2.3 Unigraphics 软件简介	12
2.4 SolidWorks 软件简介	15
2.5 二次开发	17
2.5.1 Pro/E 参数化设计的二次开发技术	17
2.5.2 UG 参数化设计的二次开发	24
第 3 章 参数化设计方法	35
3.1 参数化设计技术概述	35
3.2 参数化设计软件的系统开发过程	36
3.2.1 计划阶段	36

3.2.2	开发阶段	37
3.2.3	软件测试	38
3.2.4	软件维护	38
3.3	参数化设计的方法	39
3.4	主程序的开发	40
3.4.1	开发工具的介绍	41
3.4.2	主程序开发的一般步骤	45
第4章	阀门产品的参数化设计	54
4.1	概述	54
4.1.1	阀门功用	54
4.1.2	阀门分类	54
4.1.3	阀门的基本参数	55
4.1.4	阀门行业未来的发展概况	56
4.2	闸阀的参数化设计	57
4.2.1	闸阀参数化设计的流程及主要内容	57
4.2.2	闸阀参数化设计系统的开发过程	57
4.2.3	闸阀的设计计算方法	60
4.2.4	闸阀零件参数化模型的建立	66
4.2.5	参数化程序设计的基本方法	70
4.2.6	闸阀设计软件的功能模块	75
4.3	蝶阀的参数化设计	81
4.3.1	蝶阀参数化总体设计思路	81
4.3.2	蝶阀的设计计算	82
4.3.3	蝶阀的参数化设计	86
4.4	大型焊接蝶阀的参数化设计	109
4.4.1	蝶板的结构类型设计	109
4.4.2	焊接蝶阀、蝶板结构有限元分析	112
4.4.3	焊接蝶阀的参数化设计系统及应用	114
第5章	阀门电动装置参数化设计	124
5.1	概述	124

5.2	电动装置参数化模型的建立	124
5.2.1	概述	124
5.2.2	通用机械零件参数化模型的建立方法	125
5.2.3	标准机械零件参数化模型的建立	133
5.2.4	非标准机械零件参数化模型的建立	134
5.2.5	装配体远程参数控制的实现	135
5.3	电动装置设计软件的功能模块	136
5.3.1	电动装置设计软件主界面功能	136
5.3.2	参数计算功能模块	138
5.3.3	导入参数功能模块	141
5.3.4	驱动模型功能模块	143
5.3.5	工程图生成模块	143
第6章	油气分离器和离心通风机参数化设计	149
6.1	概述	149
6.1.1	离心式油气分离器	149
6.1.2	离心式通风机	150
6.1.3	参数化设计系统的整体方案	151
6.2	油气分离器和离心式通风机设计计算	154
6.2.1	油气分离器和离心式通风机转子的理论设计	154
6.2.2	消耗功率计算	163
6.3	参数化设计系统	167
6.3.1	计算模块	167
6.3.2	参数化设计模块	169
第7章	滑油泵参数化设计	177
7.1	概述	177
7.2	滑油泵工作原理、主要参数及流量影响因素分析	178
7.2.1	滑油泵工作原理	178
7.2.2	滑油泵主要性能参数	180
7.2.3	滑油泵主要结构参数	183
7.2.4	滑油泵流量影响因素	186

7.3	滑油泵优化设计	189
7.3.1	优化设计模型	189
7.3.2	优化设计步骤	190
7.3.3	外齿轮系优化数学模型	191
7.3.4	转子泵内、外转子的优化数学模型	199
7.3.5	优化设计方法	201
7.4	滑油泵参数化建模	205
7.4.1	滑油泵 UG 二次开发系统流程	205
7.4.2	齿轮泵主要部件的参数化建模	205
7.4.3	转子泵主要部件的参数化建模	208
7.5	滑油泵参数化设计系统	210
7.5.1	设计参数优化系统	210
7.5.2	参数化设计系统	217
第 8 章	电子皮带秤参数化设计	221
8.1	概述	221
8.1.1	研究现状及意义	221
8.1.2	系统实施方案	222
8.2	电子皮带秤设计计算	231
8.2.1	主要参数确定	231
8.2.2	输送机输送能力	232
8.2.3	胶带的许用张力	232
8.2.4	滚筒参数	232
8.2.5	滚筒的最大静受力与最大扭矩	234
8.3	拖辊与拖辊组参数	234
8.3.1	拖辊的主要尺寸	234
8.3.2	拖辊间距	235
8.4	选用计算	235
8.4.1	已知条件	235
8.4.2	输送机系统的确定	235
8.4.3	确定带速、带宽及滚筒与拖辊	236
8.4.4	阻力与阻力计算	236

8.4.5	张力与牵引力的计算	237
8.4.6	电动机功率与制动力	238
8.4.7	传动滚筒主轴的设计	238
8.4.8	秤架设计	238
8.4.9	称重框架的力学特性	239
8.5	电子皮带秤参数化设计.....	240
8.5.1	基本参数	240
8.5.2	电子皮带秤功能模块	241
参考文献	248

第1章 绪 论

1.1 国内外计算机辅助设计技术的研究

1.1.1 国外计算机辅助设计技术的研究动态

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)技术起步于20世纪50年代后期。60年代随着计算机软硬件技术的发展,在计算机屏幕上绘图变为可行,CAD技术开始迅速发展。CAD技术以二维绘图为主要目标的算法一直持续到70年代末期。从那时起CAD开始实用化,以后的CAD技术作为一个分支而相对独立、平稳地发展。在CAD技术50多年的发展历史中,共经历了四次重大的技术革命。

1. 第一次 CAD 技术革命——曲面造型系统

20世纪70年代,正值飞机和汽车工业的蓬勃发展时期。此时,飞机及汽车制造中遇到了大量的自由曲面问题。由于三视图表达的不完整性,经常发生设计完成后制造出来的样品与设计者所想象的有很大差异甚至完全不同的情况。此时,法国人提出了贝塞尔算法,使人们用计算机处理曲线与曲面问题变得可行。同时,也使得法国达索飞机制造公司的开发者们,在二维绘图系统计算机辅助设计/计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)的基础上,开发出以表面模型为特点的自由曲面建模方法,推出了三维曲面造型系统。它的出现,标志着CAD技术从单纯模仿工程图纸的三视图模式中解放出来,首次实现以计算机完整描述产品零件的主要信息,同时也使得CAM技术的开发有了现实的基础。曲面造型系统为人类带来了第一次CAD技术革命,改变了以往只能借助油泥模型来近似表达曲面的落后的工作方式。此时,CAD软件价格极其昂贵,因此被称为“贵族化”的曲面造型系统。

2. 第二次 CAD 技术革命——实体造型技术

有了表面模型,CAM的问题基本可以解决。但由于表面模型技术只能表达形体的表面信息,难以准确表达零件的其他特性,如质量、重心、惯性力矩等,对计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)十分不利,最大问题在于分析的前

处理特别困难。基于对 CAD/CAE 一体化技术的探索,SDRC 公司于 1979 年发布了世界上第一个完全基于实体造型技术的大型 CAD/CAE 软件——I - DEAS。由于实体造型技术能够精确表达零件的全部属性,在理论上有助于统一 CAD、CAE、CAM 的模型表达,给设计带来极大方便。它代表着未来 CAD 技术的发展方向。实体造型技术的普及应用标志着 CAD 发展史上的第二次技术革命,但实体造型技术会带来数据计算量的极度膨胀。在当时的硬件条件下,实体造型的计算和显示速度很慢,在实际应用中做设计显得比较勉强,从而使得实体造型技术未能在整个行业全面推广。许多赞成实体造型技术的公司并没有下大力量去开发它,而是转去攻克相对容易实现的表面模型技术。不过在以后的 10 年里,随着硬件性能的提高,实体造型技术又逐渐为众多 CAD 系统所采用。

3. 第三次 CAD 技术革命——参数化设计技术

正当实体造型技术逐渐普及之时,CAD 技术的研究又有了重大进展,即参数化实体造型方法。该方法具有基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改等特点。20 世纪 80 年代中期,PTC 公司推出最早的参数化软件 Pro/Engineer (Pro/E)。进入 90 年代,参数化技术变得比较成熟起来,充分体现出其在许多通用件、零部件设计上的简单易行的优势。因而参数化技术的应用主导了 CAD 发展史上的第三次技术革命。

4. 第四次 CAD 技术革命——变量化技术

参数化技术的成功应用,使它在 20 世纪 90 年代前后几乎成为 CAD 业界的标准。但参数化技术还有一些不足之处。首先,“全尺寸约束”这一硬性规定干扰和制约着设计者创造力与想象力的发挥。于是一种以参数化技术为蓝本,比参数化技术更为先进的实体造型技术即变量化技术应运而生。变量化造型技术保留了参数化技术基于特征、全数据相关、尺寸驱动设计修改的优点,但在约束定义方面做了根本性改变。其指导思想是:设计者可以采用先形状后尺寸的设计方式,允许采用不完全尺寸约束,因为系统分担了很多繁杂的工作,因而只给出必要的设计条件,在这种情况下仍能保证设计的正确性及其效率。它的成功应用,为 CAD 技术的发展提供了更大的空间和机遇。率先使用变量化技术的软件是 SDRC 公司推出的 I - DEAS Master Series 软件。变量化技术驱动了 CAD 发展的第四次技术革命。

从 CAD 技术的发展历程可以看出,CAD 技术一直处于不断的发展和探索之中。没有哪一种技术是“常青树”,正是这种此消彼长的互动和交替,造就了今天 CAD 技术的兴旺与繁荣,促进了现代工业的高速发展。

1.1.2 国内 CAD 技术的发展

我国 CAD 技术的研究和开发工作起步相对较晚,自 20 世纪 80 年代开始,CAD 技术应用工作才逐步得到开展。国家逐步认识到开展 CAD 应用工程的必要性,并在全国各个行业大力推广 CAD 技术,同时展开 CAD 技术的开发和研制工作。毋庸置疑,当前我国在 CAD 技术方面与欧美主要国家的差距还很大,大多数的核心 CAD 技术仍掌握在西方国家手中。主要原因是:CAD 技术是在 60 年代首先出现在西方工业发达国家,从出现起就备受重视,相继投入巨资进行基础理论研究和软件开发,而我国在 70 年代中期才开始 CAD 技术的研究,由于资金投入不足及软件商业化程度低,导致 CAD 基础理论相对落后。在参数化技术方面我国仍处在不断完善二维图形参数化技术阶段,而欧美已出现较为成熟的三维参数化 CAD 软件系统如 Pro/Engineer、CATIA 等。这些高档的 CAD 软件利用其强大的技术优势基本占领了国际市场,并占领了一部分国内市场。国内有自主知识产权的 CAD 软件如 GH - InteCAD、电子图板 CAXA、开目 CAD 等软件技术含量相对较低,它们主要面向国内市场,提供操作简便的二维工程图设计平台,在设计参数化及软件的可靠性方面都需进一步提高。值得注意的是,经过多年的投入和推广,我国 CAD 技术已经广泛应用在机械、电子、航空、建筑等行业,应用 CAD 技术起到了提高企业的设计效率、优化设计方案、减轻技术人员的劳动强度、缩短设计周期、加强设计的标准化的作用。近年来,我国 CAD 技术的研究也有了长足的进步,在三维实体造型技术方面达到了世界先进水平。现在由于计算机功能不断增强,很多设计已经转移到计算机上完成,而在计算机平台上开发 CAD/CAM 软件是一个全新的领域,我国与国外起点差不多,只要认清自己的优势,如我们更了解国内市场,提供技术支持方便,软件价格便宜等,并跟踪国际先进 CAD 技术,遵循各种国际规范,立足国内,就可开发出有自己特色、符合中国人习惯的 CAD 软件产品。

1.2 机械 CAD 技术产生的背景及发展趋势

1.2.1 机械 CAD 技术产生的背景

计算机辅助设计技术的发展,从根本上改变了机械设计自动化的研究方向,大大提高了机械设计的质量和效率,缩短了产品更新换代的周期,在机械设计领域正在引起深刻的变革。

1. 现代机械工业所处的环境

现代机械工业面临着极其严酷的外部环境的挑战,这些严酷的挑战可归结为科学技术高速发展、传统资源渐见枯竭、买方市场日益强化。

2. 现代机械工业的基本任务

机械工业必须把加快产品的更新和开发放在第一位,以便在充分利用现代科学技术最新成就的基础上,按照高效、优质、低成本的要求,迅速开发出满足买方需求的各种省料节能的新产品。因此,现代机械工业的基本任务可以归纳如下:

- (1) 大力开发新产品;
- (2) 保证产品质量;
- (3) 不断提高劳动生产率;
- (4) 有效降低生产成本。

这四个基本任务中大力开发新产品是关键和核心。

3. 现代机械工业的基本特点

- (1) 多品种、小批量生产占主导地位;
- (2) 生产技术和制造系统的柔性化。

所谓柔性,即指针对上述特点所必须具有的一种灵活应变的能力或快速响应的能力。生产技术和现代制造系统适应产品变化及产量变化所具有的一种效率。这种效率高,即说明制造柔性好。

4. 现代机械工业生产中存在的主要问题

由于多品种生产的现代机械工业生产中占有优势,因此多品种生产的现状可以看作机械工业生产现状的一面镜子。多品种生产存在的问题实际上反映了整个机械工业存在的问题,这些问题概述如下:

- (1) 开发新产品的生产技术准备体制不合理;
- (2) 生产技术和生产组织管理十分落后;
- (3) 规模大而效益差的全能型企业模式;
- (4) 整个机械工业的结构体制不利于发展零部件专业化和工艺专业化。

综上所述,企业要赢得市场,技术创新是至关重要的,而技术创新主要体现在产品设计的创新。减少在设计工作中的简单重复劳动,帮助设计者把头脑中产生的设计形象迅速准确地计算机中反映出来,使其将注意力集中于富有创造性的设计活动中,从而提高设计的效率和质量,技术的应用是关键。

1.2.2 机械 CAD 技术的发展趋势

随着 CAD 技术的不断研究、开发与广泛应用,对 CAD 技术提出越来越高的要

求,因此 CAD 从本身技术的发展来看,其发展趋势是参数化、三维化、智能化、网络化、集成化和标准化。

1. 参数化

一直以来设计参数化是 CAD 系统所追求的目标,它能极大地提高机械设计效率和质量。通过尺寸驱动,既能为用户提供设计对象的直观、准确的反馈,又能随时对设计对象加以修改。在先进的 CAD 软件中,设计过程中所涉及的所有参数都可以当作变量,可以建立相互间的约束和关系式,增加程序逻辑。这些变量间的关系可以跨越 CAD 软件的不同模块,从而实现设计数据的全相关。参数化是实现机械设计自动化的前提和基础。

2. 三维化

传统的 CAD 主要以二维绘图软件为主。从设计的观点来看,人们头脑中所构思的设计对象是三维物体,用二维图形表示三维物体有很多局限性。而采用三维建模,则更能直观而全面地反映设计意图。在三维的基础上可以进行装配、干涉检查、有限元分析、运动分析等高级的计算机辅助设计工作。利用三维模型可以方便地生成传统加工过程所用的工程图。大型波音 777 客机的设计、制造、装配、实验已经全面使用了三维 CAD 技术,实现了百分之百的数字化和无纸化设计,研制周期缩短到 4 年左右。随着计算机硬件技术的发展,二维绘图将很快被三维造型所代替。

3. 智能化

CAD 技术作为一种设计工具,其核心目标在于能够帮助工程技术人员设计出更好、更具市场竞争力的产品。我们希望 CAD 系统在控制产品的设计过程、应用工程设计知识、实现优化设计和智能设计等的同时,也需具有丰富的图形处理功能,实现产品的“结构描述”与“图形描述”之间的转换。因此,在以几何模型为主的现代通用 CAD 技术的基础上,发展面向设计过程的智能 CAD 技术是一种必然的趋势。将人工智能引入 CAD 系统,使其具有专家的经验 and 知识,具有学习、推理、联想和判断的能力,以及智能化的视觉、听觉、语言的处理能力,从而达到设计自动化的目的。

4. 网络化

从工作站和高性能计算机问世以后,大多数用户采用工作站和计算机系统来代替集中式 CAD 系统,形成网络化的系统。对于产品设计而言,通过网络化的手段可以帮助设计师及其企业改造传统的设计流程,创造一种顺应人性而又充满魅力的设计环境,以便于设计师能在其中形象化地表现及高效率地研究、发展和交流

设计思想,更多的设计人员可以在同一平台下,通过网络针对一项设计任务进行实时的双向交互通信与合作。在基于网络协同完成设计任务的同时,与制造、商务等的全面融合更带来了技术和应用两个领域革命性的进步。随着 Web 技术的不断发展,支持 Web 协同设计方案的 CAD 软件已经出现并趋于成熟。借助于互联网的跨地域、跨时空的沟通特性和近乎无限的接入能力,CAD 软件的团队协作能力可以直接利用互联网进行。

5. 集成化

CAD 稳健地向简化和自动化方向发展,这使该技术可以适合机械设计以外的众多应用。另外,对于某一个应用 CAD 技术的单位来讲,随着 CAD 技术及相关技术的日臻成熟,需要从整体角度来考虑这项技术的发展。从制造业的信息化角度来看,CAD 的广义概念包括 CAD/CAE/CAM/CAPP/PDM/ERP 技术的集合,利用基于网络的 CAD/CAE/CAM/CAPP/PDM 集成技术,实现真正的全数字化设计与制造。

6. 标准化

随着 CAD 系统的集成和网络化,制定各种产品设计、评测和数据交换标准势在必行。国际标准化组织已经颁布了产品数据转换标准 STEP。建立符合 STEP 标准的全局产品数据模型是企业未来发展的需要。同时,国家还将建立图文并茂、参数化的标准件库,替代现行的各种形式的标准化手册。

1.3 国内外参数化设计技术的研究现状

1.3.1 国外发展状况

自 PTC 公司于 1985 年推出参数化 CAD 系统 Pro/Engineer 以来,参数化设计技术才真正受到工程技术界和学术界的重视,各大计算机软件公司相继推出自己的参数化 CAD 系统或在原有系统上增加参数化功能,展开激烈的竞争。目前,我国 CAD 市场上有国外开发的大型全参数化 CAD 系统和国内的二维参数化 CAD 系统两大类参数化 CAD 系统。国外开发的具备参数化功能的 CAD 系统有:

(1) Pro/Engineer:是美国参数技术公司的机械设计自动化软件产品。它是第一个具有参数化功能的 CAD 系统。它通过记录设计历史来捕捉设计意图,设计历史的操作顺序可以修改,同时引入全局设计参数来实现整体的设计修改。Pro/Engineer 具有在系统中进行动态修改的能力,是一个以功能为主的参数化实体造型