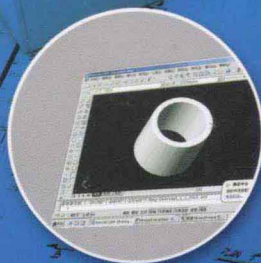


AutoCAD VBA 参数化绘图程序开发与 实战编码

● 王若慧 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



AutoCAD VBA

参数化绘图程序开发与 实战编码

● 王若慧 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

参数化绘图软件的开发及应用是 CAD 系统参数化设计的一个非常重要的技术环节及研究应用领域, 本书主要介绍了基于 VBA 的 AutoCAD 参数化绘图程序的二次开发关键技术剖析及实例编程, 特别适用于系列化、标准化的参数化绘图程序的设计。

本书共分 4 章, 第 1 章参数化绘图程序开发的技术范畴及应用领域; 第 2 章基于 VBA 的 AutoCAD 参数化绘图程序的二次开发技术及应用实例分析; 第 3 章基于 VBA 的 AutoCAD 与 Windows API 的一体化数据通信技术; 第 4 章技术的进一步拓展——参数化绘图程序中数据结构的设计理念。

本书对进行 AutoCAD ActiveX 面向对象的自动化技术编程人员, 从事机械、电子、建筑等领域 CAD 系统应用开发的设计人员和软件工程师, 以及对计算机辅助设计感兴趣的相关技术人员均具有很高的参考价值。

图书在版编目 (C I P) 数据

AutoCAD VBA参数化绘图程序开发与实战编码 / 王若慧著. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 7
ISBN 978-7-5170-1061-6

I. ①A… II. ①王… III. ①AutoCAD软件 IV. ①TP391. 72

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第159065号

书 名	AutoCAD VBA 参数化绘图程序开发与实战编码
作 者	王若慧 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9.5印张 225千字
版 次	2013年7月第1版 2013年7月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	20.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

CAD技术的发展与应用水平已成为衡量科学技术现代化和工业现代化的重要标志之一，参数化设计以及建库工具的研究对进一步提高设计和绘图效率以及柔性化设计具有十分重要的意义，能否实现参数化设计也成为评价CAD系统优劣的重要技术指标。

参数化绘图软件的开发及应用是CAD系统开发参数化设计的一个非常重要的技术环节及研究应用领域，本书主要介绍了基于VBA的AutoCAD参数化绘图程序的二次开发关键技术剖析及实例编程，特别适用于系列化、标准化的参数化绘图程序的设计。

本书分为4章。

第1章主要介绍了参数化绘图程序开发的技术范畴及应用领域，并以实例加以分析，是参数化绘图系统开发的重要技术基石和思想指导。

第2章主要介绍了基于VBA的AutoCAD参数化绘图程序的二次开发技术及应用实例分析，特别是提炼出作者在实战研究课题中的关键技术的设计技巧和设计经验，对技术思想的提升很有帮助，对AutoCAD VBA ActiveX Automation技术进行了很好的探析，是本书的重要技术部分。

第3章主要介绍了基于VBA的AutoCAD与Windows API的一体化数据通信技术，本部分是作者多年在数据库管理技术的开发及应用中积累的关键技术的集成，将其很好地应用到AutoCAD VBA中的灵活而完整的设计思路和技术实践，对CAD系统二次开发的数据接口技术ADO编程具有很好的技术指导意义。

第4章主要介绍了技术的进一步拓展——参数化绘图程序中数据结构的设计理念，为进一步进行更为复杂的参数化设计提出了AutoCAD二次开发的拓展技术，重点展示了作者在AutoCAD C#二次开发实现树形结构设计的实战研究成果。本部分对设计有很好的启发价值，这也是作者现在进一步深入研究的课题。

作者在编写过程中力求做到以下几点。

(1) 逻辑性。本书不是教材，主要以技术内容和设计思路为线索，从设计

思想、技术路线、编程技巧和方法三方面进行参数化绘图程序开发的探析，思路清晰、层次分明、逻辑性强，对设计思路的开发有很好的启迪作用。

(2) 实用性。本书力争通过精选专家的典型实例和作者的实战研究成果来深入探讨技术实现的策略，并用主要编程代码进行分析，搭建了很好的 CAD 系统开发实战平台，具有很好的指导意义和实用性。

(3) 系统性。本书以 CAD 二次开发为主线，系统而全面地介绍了实现参数化绘图的程序设计流程，不仅可用于 AutoCAD VBA 开发，也可以应用于其他语言的开发。

(4) 拓展性。本书还探析了 AutoCAD C#二次开发实现复杂图库树形结构的设计，对 CAD 设计开发有更深入的启迪作用，这也是作者进一步研究的课题。

(5) 可读性。本书深入浅出，理论联系实际，实例编码说明富有启发性。同时技术介绍系统全面，有一定的创新性，对 CAD 开发人员来说容易深入其精髓，有一定的参考价值和吸引力。

本书虽然为作者多年从事 CAD 教学和科研工作的心血和结晶，但由于在 CAD 理论和实践方面水平有限，特别在 CAD 技术前沿方面还有待进一步提升，书中的疏漏和错误在所难免，恳请各位专家和广大读者给予谅解和支持，并给出批评指正。

感谢为本书的出版做出贡献的每一位朋友。

作者

2013 年 5 月

2013 年山西省科技厅基金项目子项目

项目编号：2013091002-0108

目 录

前言

第 1 章 参数化绘图程序开发的技术范畴及应用领域	1
1.1 CAD 技术的开发——参数化设计	1
1.2 参数化设计技术思路及方法	4
1.3 参数化绘图设计技术探析	7
第 2 章 基于 VBA 的 AutoCAD 参数化绘图程序的二次开发技术及应用实例分析	18
2.1 AutoCAD 软件的二次开发技术探析	18
2.2 AutoCAD 二次开发工具的选择	26
2.3 VBA 开发 AutoCAD 实现参数化绘图的程序设计关键技术探析及编程思路	35
2.4 AutoCAD VBA 参数化绘图的界面交互式程序设计技术	50
第 3 章 基于 VBA 的 AutoCAD 与 Windows API 的一体化数据通信技术	61
3.1 AutoCAD VBA 参数化绘图程序的数据库管理技术的设计及应用	61
3.2 AutoCAD VBA 数据库连接技术 ADO 的设计及编码实现	62
3.3 灵活使用 ADO 直接创建 Windows API 应用程序与 AutoCAD 的数据交互技术	87
第 4 章 技术的进一步拓展——参数化绘图程序中数据结构的设计理念	106
4.1 标准件参数化绘图程序中树形结构的设计	106
4.2 AutoCAD C#二次开发实现树形结构设计	113
4.3 基于 XML 和关系型数据库的树形结构的研究	118
4.4 参数化绘图程序中的图形结构的设计技术	132
参考文献	140
后记	143

第 1 章 参数化绘图程序开发的技术范畴及应用领域

1.1 CAD 技术的开发——参数化设计

1.1.1 CAD 技术探析

CAD 是 Computer Aided Design (计算机辅助设计) 的缩写, 将人类的聪明才智和创造能力与计算机高速而精确的计算能力、大容量的储存和数据处理功能结合起来, 帮助设计人员完成繁杂的设计任务, 提高工作效率和质量。一个好的计算机辅助设计系统既能充分发挥人的创造性, 又能充分利用计算机的高速分析计算能力, 即要找到人和计算机的最佳结合点。

计算机辅助设计作为一门学科始于 20 世纪 60 年代初, 当时 CAD 技术的发展很缓慢, 进入 90 年代, 计算机技术突飞猛进, 特别是微机和工作站的发展和普及, 再加上功能强大的外围设备, 如大型图形显示器、绘图仪、激光打印机的问世, 极大地推动了 CAD 技术的发展, CAD 技术已进入实用化阶段, 广泛服务于机械、电子、宇航、建筑、纺织等产品的总体设计、造型设计、结构设计、工艺过程设计等环节。

在工程设计中, 计算机辅助设计一般包括两种内容: 带有创造性的设计(方案的构思、工作原理的拟定等)需要发挥人的创造性思维能力, 创造出以前不存在的设计方案; 非创造性的工作, 是一些繁琐重复性的计算分析和信息检索, 完全可以借助计算机来完成, 如绘图、设计计算等。计算机辅助设计包括的内容很多, 如: 概念设计、优化设计、有限元分析、计算机仿真、计算机辅助绘图、计算机辅助设计过程管理等。

随着现代工业文明的发展, 传统的手工制图已经不能满足现代企业的要求。越来越多的企业对工业产品的外形和内部结构的要求越来越高, 产品更新的速度越来越快, 计算机辅助设计技术的引进显著地提高了制图的速度和质量, 缩短了新产品设计开发的时间。CAD 技术几乎推动了一切领域的设计革命, CAD 技术的发展与应用水平已成为衡量科学技术现代化和工业现代化的重要标志之一。

1.1.2 CAD 系统的基本构成

一个 CAD 系统由硬件和软件两部分组成, 要想充分发挥 CAD 的作用, 必须要有高性能的硬件和功能强大的软件。

1. CAD 硬件的组成

先进的 CAD 系统的硬件由计算机及其外围设备和网络组成。那种单机 CAD 的工作方式在大中型企业中将被淘汰, 因为它远远不能满足现代企业设计的要求。先进的 CAD 系统都是以网络的形式出现的, 特别是在并行工程环境中进行产品的并行设计, 目前应用

较多的是 CAD 工作站。外围设备包括鼠标、键盘、扫描仪等输入设备和显示器、打印机、绘图仪、拷贝机等输出设备。网络系统包括中继器（增加网线长度）、网桥（同种网相连）、路由器（选择加工路线）、网关（不同协议相连）、Modem 方式连接到网络上，以实现资源共享。

如图 1.1.1 所示为一个 CAD 硬件系统的基本构成。

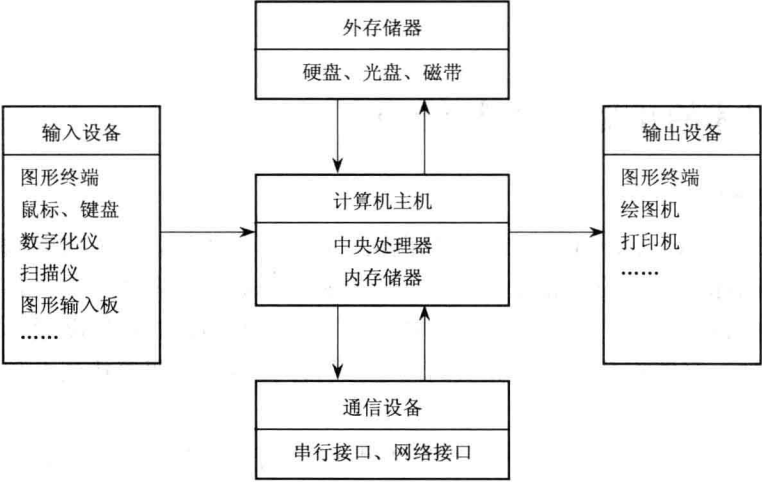


图 1.1.1 CAD 硬件系统基本构成

2. CAD 软件的组成

为了充分发挥计算机硬件的作用，CAD 系统还必须配备各种功能齐全的软件。CAD 系统的软件构成如图 1.1.2 所示。

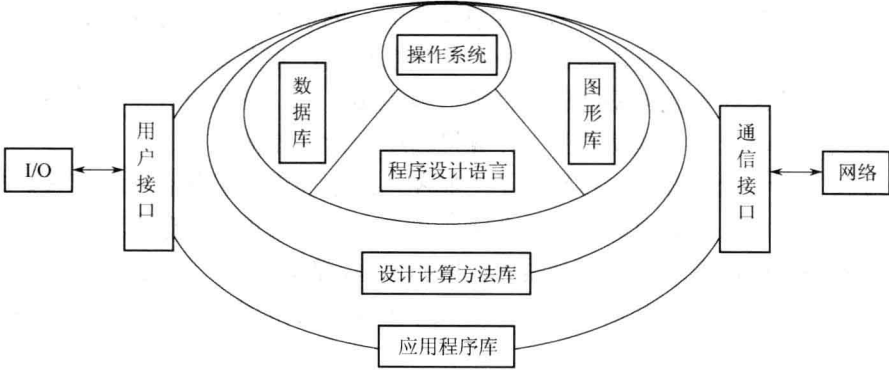


图 1.1.2 CAD 系统的软件构成

软件分为两大类：支撑软件和应用软件。支撑软件包括操作系统（实现对硬件的控制和资源的管理），程序设计语言（Fortran、VB、C++、LISP、二次开发语言和汇编语言）及其编译系统，数据库管理系统（对数据的输入、输出、分类、存储、检索进行管理）和图形支撑软件（AutoCAD）。另一类是应用软件，它是根据本领域工程特点，利用支撑软件系统开发，解决本工程领域特定问题。应用软件的性能对 CAD 的效率有极大影响，所以应特别重视它的开发和应用。

应用软件系统包括：第一，设计计算方法库，如常用数学方法库、统计数学方法库、常规设计计算方法库、优化设计方法库、可靠性设计软件、动态设计软件等；第二，专业程序库，如介质流程计算库、常用构件设计软件包等；第三，专业图库，如设备视图库、行业标准符号库。

1.1.3 CAD 软件的二次开发

1. CAD 软件二次开发技术应用前景

CAD 软件工程是一个复杂、高智能、高专业的投入过程，使用好的开发工具进行软件设计与开发已经成了人们的共识。很多大中型甚至小型企业都在努力引进这一新技术，以提高企业自身的技术素质，增强产品在国内外市场上的竞争能力。另外，CAD 教学也得到了各高校的普遍重视，从而全面推广普及 CAD 技术，提高了我国 CAD 技术的整体水平。

国内许多企业已成功地将 CAD 技术应用于二维工程图的绘制，二维 CAD 软件日益成为工程师进行设计的一种必备工具。在制造业、工程设计、电气和电子电路、仿真模拟和动画制作、轻工、纺织、家电、服装、医疗乃至体育方面都能觅得其踪影。随着 CAD 应用技术在我国的普及与不断深入，CAD 应用技术已越来越成为促进科研成果的开发和转化、实现设计自动化、推动企业技术进步、增强企业技术创新能力和竞争能力、加速国民经济发展的一项关键技术。

随着掌握微机 CAD 系统应用与开发设计的技术队伍不断扩大，企业也能很方便地通过各种渠道获得来自外部的包括版本升级、二次开发、应用培训等的技术支持。CAD 技术的推广已经由“甩图板”阶段跨入到深化应用阶段，一些条件较好的企业，已从原来单机使用 CAD 软件转化为计算机网络应用，可以用三维设计软件进行结构三维图的实体造型，在方案的初期配合三维造型完成各种图像、动画，进行方案的预演及汇报，并在设计过程中利用建好的模型进行有限元分析和优化设计，达到提高产品设计质量、缩短设计周期的目的。

CAD 技术是一种综合性技术，CAD 技术的发展，除了机械设计的理论和算法外，还带动了许多新的设计方法和理论的发展，如计算机图形学、专家系统、优化设计、有限元分析、控制理论等。这些理论和方法的应用，又进一步提高了 CAD 技术，促进了机械产品的设计和制造。探索 CAD 软件二次开发中的方法与技术，无疑是有现实意义的。

2. CAD 软件二次开发的现代技术

CAD 软件的开发也由早期的 DOS, UNIX 下的冗长繁琐的程序设计变成了成熟软件现有基础上进行的高起点的二次开发。国际和国内知名的 CAD 软件如 Pro/E、UG 等，都是商品化的通用平台，基本上覆盖了整个制造行业，但专业针对性差，因而不能满足各种各样具体产品的设计需要。在现代的 CAD 设计中，常选择某种已有的实体建模软件作为图形支撑，某种数据库系统作为底层数据环境，利用用户界面工具，使用一种宿主语言，开发独立的 CAD 系统。随着 CAD 技术及其应用水平的不断完善和提升，必将对我国经济发展产生积极的影响。

例如，当我们绘制机械图时，大量机械、电子等系列产品中，同一基本结构形式的零部件的标准化、系列化图形的绘制，形状相似而细节上又有所差别的零件或是机构简图中

的基本图元，比如一些螺母螺栓、齿轮凸轮机构、回转副、槽轮棘轮机构等，若我们逐一绘制，显然费时费力，事倍功半。系统自带的图块及复制、粘贴、插入等编辑功能又有着难以避免的局限性。因此，有必要对 CAD 进行二次开发，建立常用基本图元库、标准件图库等，实现参数化绘图，以简化绘图过程，减少重复性工作，真正充分发挥 CAD 快速、准确的优势。在工程设计中，传统的 CAD 技术缺乏智能性和创新性，已经无法满足实际发展的需要，所以将专家系统和人工智能应用于 CAD 系统是非常必要的。

CAD 软件开发的目的是将设计出的软件系统作为设计工具。CAD 技术在机械工业中的一个重要应用就是参数化设计，能否实现参数化设计也成为评价 CAD 系统优劣的重要技术指标。早期的 CAD 二次开发，过程化的参数化设计是采用较多的一种方法。当今 CAD 技术的主要潮流是参数化造型与变量化造型，而 CAD 的二次开发技术也正是基于这两大理论之上。

目前，在 CAD 系统的开放式结构中，面向对象的软件设计方法成为主导，该方法更能高效率反映客观事物的内在特性和内在联系，符合工程设计方法学，面向对象技术是 API 的主要形式。目前已有大量的面向对象的编程工具，利用这些工具开发的应用程序，可以通过对象的属性和操作来访问及控制系统，即系统的功能、数据和界面以对象的形式暴露给用户。

目前在二维 CAD 软件方面，主要包括基于 AutoCAD 平台和自主平台两类应用软件。成熟的现代 CAD 软件一般都有供用户进行二次开发的接口，如 AutoCAD 是美国 Autodesk 公司开发的计算机辅助设计与绘图相结合的综合软件，在 AutoCAD 2014 版中，Autodesk 首次包括了 Microsoft 的 VisualBasic for Applications (VBA)，它们给用户提供一个系列工具，可以完成用户界面定制、宏程序执行、编写外部程序等来扩充系统功能。将 AutoCAD 和 Visual Basic 的功能结合在一起，可以创建非常好的应用程序，从而在使用 AutoCAD 执行当前任务时，可以在很短的时间内创建出正常情况下需要好几个小时才能完成的图形。

参数化设计更符合和贴近现代 CAD 中概念设计以及并行设计的思想，工程设计人员在设计开始阶段可快速草拟产品的零件图，通过对产品形状及大小的约束最后精确成图。同时，参数化设计还能够使设计人员在设计的同时实现参数化建立标准件的数据库，极大地方便后续工作。同一系列产品的第二次设计可直接通过修改第一次设计来实现，设计参数可以来自其他系统。设计参数不但可以驱动设计结果，而且影响产品的整个开发周期。参数化设计又是变量设计的前提，借助变量化设计思想可实现动态设计、机构设计的运动仿真模拟等。因此，参数化设计以及建库工具的研究对进一步提高设计和绘图效率以及柔性化设计具有十分重要的意义。

1.2 参数化设计技术思路及方法

1.2.1 参数化设计理念

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，或修改已定义好的零件参数，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。参数化 (parametric) 设计也叫尺寸驱动 (dimension driven)，是 CAD 技术在实际应用中提出的课题，它不仅可使

CAD 系统具有交互式绘图功能,还具有自动绘图的功能。参数驱动的方式便于用户修改和设计。用户在设计轮尺寸廓时无需准确地定位和定形,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,或者只需将零件的关键部分定义为某个参数,通过对参数的修改实现对产品的设计和优化。

参数化的含义有两种:设计参数化和图形参数化。设计参数化对应于产品的设计过程,其特点是:控制产品的参数在整个设计过程中其数目、数值和类型都不断发生变化,在设计中的某一时刻还有可能发生参数转换,即控制参数由一组变为另一组。图形参数化对应于最终产品或某些常用零组件,此时控制参数只有数值变化,不存在参数类型和整组控制参数的转换。

1.2.2 参数化设计理论方法

近十几年来,因为参数化设计是 CAD 技术应用领域内的一个重要的、且待进一步研究的课题。利用参数化设计手段开发的专用产品设计系统,可使设计人员从大量繁重而琐碎的绘图工作中解脱出来,可以大大提高设计速度,并减少信息的存储量,由于上述应用背景,国内外从事 CAD 研究的专家学者对其投入极大的精力和热情,从方法上做了大量的研究和尝试,取得了重大成果。目前参数化设计方法主要有以下几种。

1. 基于几何约束的数学方式

数学方法又分为初等方法(primary approach)和代数方法(algebraic approach)。初等方法利用预先设定的算法,求解一些特定的几何约束。这种方法简单、易于实现,但仅适用于只有水平和垂直方向约束的场合;代数法则将几何约束转换成代数方程,将几何约束转变为一列以特征点为变元的非线性方程组,对于给定的约束,通过数值方法解非线性方程组,一次解出所有特征点的坐标值,确定几何细节。采用该方法必须输入充分且一致的尺寸约束,才能求解约束方程组,该方程组求解较困难,由于非线性方程组求解过程本身的不足,求解稳定性的问题并没有得到根本解决,现在有不少研究正在寻求提高求解稳定性的途径。

2. 基于几何推理的人工智能法

人工智能的发展,促进了参数化设计方法的发展,产生了几何推理法。人工智能方法是利用专家系统,对图形中的几何关系和约束进行理解,运用几何原理推导出新的约束。这种方法又有两个方面:一是建立在专家系统的基础上,采用谓词表示几何约束,通过推理机制导出几何细节。这种方法可检验几何约束模型的合理性并能处理局部修改,但系统庞大,对递归约束无法处理;二是扩展现有的数据结构,使其包含拓扑信息,并通过程序实现从几何约束到几何细节的推理。但由于在推理过程中要查询匹配规则,所以用这种方法建立的系统过于庞大,而且速度较慢,交互性不好。

3. 基于特征的实体造型方法

特征实体不但具有明确的工艺特征结构,而且能始终记忆自己的功能属性和与其他相关实体的适应关系。修改某一特征实体,会自动引起整个设计模型的相关变化,其中包括实体本身的物理量(如质心和惯性矩等数据)的变化,特征造型方法是三维实体造型技术的发展,是作为捕捉设计者意图的方式提出的,以取代用直线、圆弧、圆等几何元素构图

的方式，目前正在探讨之中。

4. 基于辅助线法

从本质上讲，这种方法属于几何约束的变量几何法，不同之处是用辅助线来表达约束。这种方法的图形轮廓线都建立在辅助线的基础上，辅助线的求解条件在作图的过程中已明确规定，由辅助线来管理图形的几何约束和结构约束，并直接定义图形的约束集，这样就可以在图中搜索和检查求解条件，使约束的表达得以简化，减小了约束方程的求解规模。当图形比较简单和有规则时，这种方法的求解速度较快，但当图形比较复杂时，作辅助线会增加作图的操作，影响作图速度，而且要保证用辅助线定义图形约束集的完整性比较困难。

5. 基于关系的建模方法

以关系型数据结构构造参数化模型是德国西门子公司首先提出来的，在系统内，关系可建立在所在系统能识别的对象之间，也可在任意大的模型中，关系模型的建立能方便地进行修改以适应不同用户的特殊要求，从而大大提高设计速度。

6. 知识驱动的智能设计

知识驱动的基本思想是将人工智能（包括知识库、知识规则、逻辑推理等）与 CAX 集成系统有机地结合为一体，是要寻求记录不同类型知识的方法，这些知识用来策划、设计和完成一种产品、项目或工程，但知识库必须储存大量专家的经验、知识及已知的事实和采用这些知识的规则，并且知识库中的知识数据能够被推理机制所采纳，可以通过相应的软件来添加、修改和维护，因此这种基于知识的智能化设计仍然在研究和发展中。

1.2.3 参数驱动机制

参数化设计有一种驱动机制叫参数驱动机制，参数驱动是一种新的参数化方法，其基本特征是直接对数据库进行操作，用户可以利用绘图系统全部的交互功能修改图形及其属性，进而控制参数化的过程，因此它具有很好的交互性，与其他参数化方法相比较，参数驱动方法具有简单、方便、易开发和使用的特点，能够在现有的绘图系统基础上进行二次开发，而且适用面广，对三维问题也同样适用。

参数驱动机制图形编程是建立在参数驱动机制、约束联动和驱动树基础上的。它是基于对图形数据的操作，可以对图形的几何数据进行参数化修改，但是，在修改的同时，还要满足图形的约束条件，需要用约束间关联性的驱动手段来约束联动，约束联动是通过约束间的关系实现的驱动方法。因此绘制一张图的过程，就是在建立一个参数模型。绘图系统将图形映射到图形数据库中，设置出图形实体的数据结构，参数驱动时将这些结构中填写出不同内容，以生成所需要的图形。

对于一个图形，可能的约束十分复杂，而且数量很大，而实际由用户控制的，即能够独立变化的参数一般只有几个，称之为参数或主约束；其他约束可由图形结构特征确定或与主约束有确定关系，称它们为次约束。对主约束是不能简化的，对次约束的简化有图形特征联动和相关参数联动两种方式。

所谓图形特征联动就是保证在图形拓扑关系不变的情况下，对次约束的驱动，亦即保证连续、相切、垂直、平行等关系不变。反映到参数驱动过程就是要根据各种几何相关性

准则去判别与被动点有上述拓扑关系的实体及其几何数据，在保证原关系不变的前提下，求出新的几何数据，称这些几何数据为从动点。这样，从动点得到了驱动点的驱动，驱动机制则扩大了其作用范围。

所谓相关参数联动就是建立次约束与主约束在数值上和逻辑上的关系，常引入驱动树，以建立主动点、从动点等之间的约束关系的树形表示，便于直观地判断图形的驱动与约束情况。在参数驱动过程中，相关参数的联动方法使某些不能用拓扑关系判别的从动点与驱动点建立了联系。参数驱动可以被看做是沿驱动树操作数据库内容，不同的驱动树，决定了参数驱动不同的操作。

由于驱动树是根据参数模型的图形特征和相关参数构成的，所以绘制参数模型时，有意识地利用图形特征，并根据实际需要标注相关参数，就能在参数驱动时，把握对数据库的操作，以控制图形的变化。绘图者不仅可以定义图形结构，还能控制参数化过程，就像用计算机语言编程一样，定义数据、控制程序流程。它关心的是图形，也就是图形数据库的内容，边理解，边操作，利用参数驱动机制对图形数据进行操作，由约束联动和驱动树控制驱动机制的运行，是着重去理解图形本身，因此运行起来简洁、明了，实现起来也较方便。

1.3 参数化绘图设计技术探析

1.3.1 参数化绘图设计思想

传统的 CAD 系统只能记录图形元素本身的几何信息、图层和颜色类型等非几何信息，可生成的图形只是图形元素的简单堆叠，并不记录图形元素之间的拓扑和约束关系，因此不存在几何图形的组织结构，不能实现几何图形随着尺寸的修改而更新。传统的人机交互式绘图一般需要用精确的尺寸值定义几何元素，输入的每一条线都必须有确定的位置，图形一旦建立，即使结构相似但想改变图形大小尺寸，只能对图形进行编辑。

在工程设计中，一方面，进行新产品设计时不可避免地需要多次反复修改，需要进行多方面的综合协调和优化；另一方面，许多的专业图纸设计中，很多图形结构具有一定的相似性，往往只是尺寸的大小不同，其图形随尺寸参数的变化而相应变化。因此，希望有一种比交互式绘图更方便、更高效、更适合结构相似图形绘制的方法，这就是参数化绘图要解决的问题。

如绘制装配图样是一项复杂且麻烦的工作，在装配图中要绘制大量的螺栓、螺母、轴承等线条较多的标准件，很多零件是相同的，仅是大小尺寸的区别，用手工绘制，时间长且绘图质量差，但若使用 AutoCAD 通用绘图软件辅助绘图，因它不具备专业绘图特点，缺乏例如表面粗糙度、标准件等常用代号和零件的绘图专用命令，如果将这些图形参数化，使用者只需用参数约束图形，改变参数的值，图形系统就会自动完成图形的修改工作。要想高效率地使用 AutoCAD，以满足自己特殊需要，必须对其进行二次开发。

所谓参数化绘图是指用一组参数来定义几何图形的尺寸数值，并构造尺寸关系，然后提供给设计师进行几何造型的一种方法。参数化的关键是几何约束关系的提取、表达、求解及参数化模型的构造，其主要思想是要用几何约束、数学方程与关系来说明产品模型的

形状特征，从而设计出一批在形状或功能上具有相似性的方案。

在图形参数化中，与以往参数化方法不同，它不把图形转化成其他表达形式，如方程、符号等；也不问绘图过程，把图形看作是一个模型，一个参数化的依据，作为与绘图者“交流”信息的媒介，绘图者通过图形把自己的意图“告诉”参数化程序，参数化程序返回绘图者所需要的图形。这种建立图形模型，定义图形结构，控制程序流程的手段称作图形编程。

1.3.2 参数化绘图实例探析

1.3.2.1 参照实例：轴承参数化设计^①（见图 1.3.1）

1. 实战技术分析

近年来，国内外在轴承的研究和生产技术方面都很大的发展，由于轴承应用广泛、类型繁多，有关于轴承的材料、设计、计算理论、制造检验比较复杂，给设计人员带来了沉重的负担，且在设计过程中很容易出错，轴承的设计要求也大大提高，基于知识工程的参数化设计方法，通过为产品建立一个产品知识库，不仅能完成参数化设计的尺寸驱动和特征驱动，而且能实时地检验设计，提出设计建议，进行人机对话，是一种智能化 CAD，不仅解决了繁琐的设计工作和复杂的计算过程，而且使设计精度大大提高。对轴承进行参数化设计是在 AutoCAD 二次开发的基础上建立起来的。

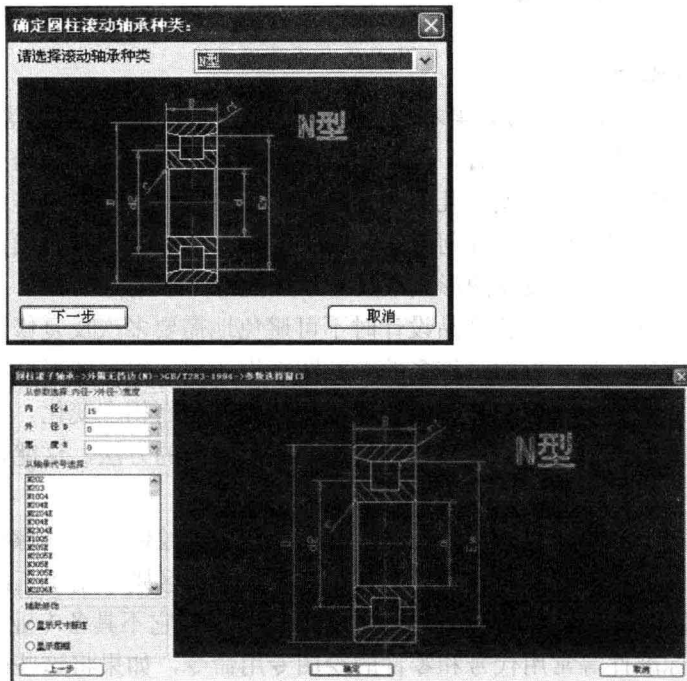


图 1.3.1 轴承参数化设计的交互界面

（引自：刘力伟. 基于 DCL 语言的交互式圆柱滚子轴承的参数化设计[D]. 西安：西北工业大学，2009.）

① 沈博. 基于 AutoCAD 的标准件的参数化设计[D]. 淮南：安徽理工大学，2007.

2. 轴承图库的模块化设计

该图库主要采用模块化思想来设计系统，该系统主要由 9 个子模块组成，每个模块分别代表不同类型的轴承，每个子模块可以单独存在，而每个子模块下又有 2 个子模块，分别是数据模块和绘图模块。以深沟球轴承为例，列出了该系统的设计思路。通过图库的模块化设计建立数据库后，就可以驱动绘图程序绘制图形（见图 1.3.2）。

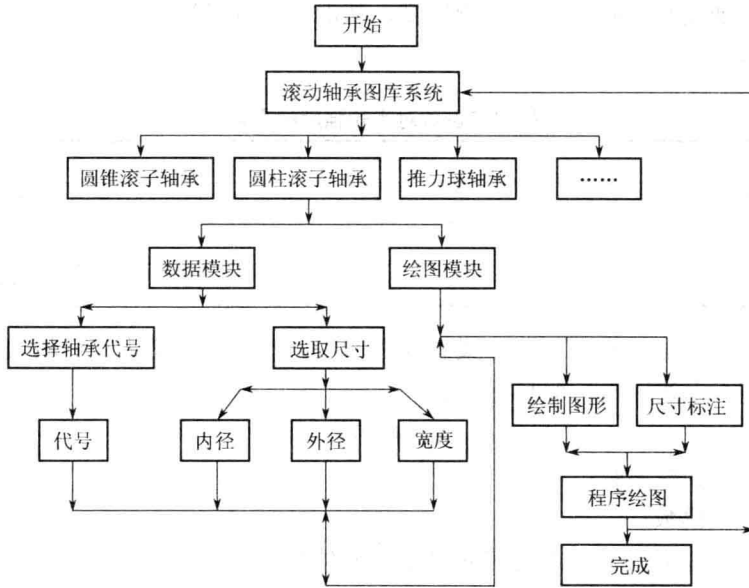


图 1.3.2 轴承参数化设计的系统模块化

（引自：沈博. 基于 AutoCAD 的标准件的参数化设计[D]. 淮南：安徽理工大学，2007.）

1.3.2.2 实例研究：行星齿轮传动的参数优化设计

在研制开发工程车辆变速箱 CAD 系统的进程中，需要对 2K-H 行星齿轮机构中给定传动比、载荷和边界条件的齿轮及齿数进行优化设计。目前传统的数学优化设计方法采用连续型优化方法，然后进行圆整或采用搜索型优化方法，有时不能得到全局最优条件，而且也无法判定是否为全局最优条件。

针对以上问题，本例提出了采用网格枚举法优化，进行给定传动比的行星齿轮传动的参数优化设计，大大提高了设计效率，更适合了工程实际需要，并将其进行参数化出图。

1. 行星轮系优化设计的数学模型

(1) 简述。

优化设计的一般数学模型如下：

在已定设计变量 $X=X_1, X_2, \dots, X_n$ 的条件下，求目标函数 $F(X)=F(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 最小，受约束于 $g_u(X)$ ($u=1, 2, \dots, m$)。

(2) 目标函数的确定。

1) 目标函数反映了设计者意图，直接关系到最终优化结果。在设计齿轮传动时，有时所选择的多个目标都较重要时，可将各个目标函数加权线性综合为一个综合目标函数 U ，然后按此综合目标函数进行优化

$$U=r(C_i U_i)$$

式中 U ——综合目标函数；

U_i ——各个单项目标函数；

C_i ——权系数。反映各个组成单项目标函数的相对重要程度。

2) 主要设计变量 m 与 z_s 的分析。根据对齿轮强度公式的分析，可以得出模数与齿数对齿轮疲劳弯曲强度和接触强度的影响程度，从而为目标函数的确立奠定基础，所得结果如表 1.3.1 所示。

表 1.3.1 模数与齿数对齿轮强度的影响

z_s	m	特 点
22	3.5	齿轮强度更高
25	3	齿根强度提高
30	2.5	两强度相当

但很多情况下不能使模数下降，或者使弯曲应力接近许用应力，而模数小是加工性好的一个标准。鉴于上述因素，取目标函数

$$F(X) = C_1 V_1 + C_2 m$$

式中 C_1 、 C_2 ——加权系数；

m ——模数；

V_1 ——太阳轮和 C 个行星轮分度圆柱体积之和。

$$V_1 = \frac{\Pi}{4} b m^2 z_s^2 [1 + C (\frac{i-2}{2})^2] \cos 220^\circ / \cos^2 asp$$

式中 b ——太阳轮齿宽；

C ——行星轮个数；

z_s ——太阳轮齿数；

asp ——太阳轮和行星轮啮合角。

(3) 设计变量的选取。

对目标函数影响较大的基本参数都可取为设计变量，在给定速比、边界条件和载荷条件下，一般行星齿轮传动的设计参数为： m 、 z_s 、 asp 及变位系数 X ，在 2K-H (NGW 型) 行星齿轮传动中的齿数、变位系数都有三个，分别为太阳轮、行星轮、齿圈的齿数 z_s 、 z_p 、 z_r 及变位系数 X_s 、 X_p 、 X_r 。由于速比为给定量，齿圈齿数 z_r 和行星轮齿数 z_p 为导出量，所以最终确定变量为：①模数 m ；②太阳轮齿数 z_s ；③变位系数 X_s ；④啮合角 asp 。

(4) 约束条件的建立。

根据设计要求，对齿轮参数的选择要订出一些必须满足的要求和限制，即约束条件。

2. 2K-H 行星齿轮传动优化方法的选取

(1) 简述。

用连续变量的数学优化方法设计行星齿轮传动存在很大的不足，而采用搜索型的离散变量优化方法也很难确认全局最优点。采用全局普查的网格法去求行星齿轮参数的最优解，采用此方法，可靠性好，可以保证全局最优解，但存在解决运行效率的问题。因此本文重

点讨论如何采取合理的方法和措施，缩短运行时间，减少普查区域。如果最优整型点位于第一层之外，所得结果仅是第一层中相对最优的整型点。此外，用内点罚函数法来凑整求最优解，当约束函数严格非凸时，第一层中可能没有可行的整型解，这种情况下，离散变量的优化设计问题，就不能按连续设计变量进行类比设计，必须用其他方法。

(2) 优化设计的技术路线与策略。

1) 采用分层次优化策略。设计变量 z_s 、 m 、 x_s 、 asp 中， z_s 、 m 为离散型变量，而 x_s 、 asp 连续型变量，将 z_s 、 m 采用网格法在外层进行普查，而将 x_s 、 asp 放在内层根据强度要求单独进行调整和取值。不需要专门的数学优化程序，只需要对设计变量 m 、 z_s 按预定的普查范围，设置两层循环语句进行选点计算，就可以将所有的网点循环一遍。

2) 网格法运行中提高效率的措施。目标函数 $F(X)$ 进行比较求极小值时，是将每一方案的 $F(X)$ 值与前一方案的 $F(X)$ 值比较，取较小值为 $F \min(X)$ ，依次类推，最后得出各种组合方案中最优的设计参数 X 。不一定要将所有网点都计算。设当前可行较优方案模数 $m=m(I)$ ， $z_s=z_s(J)$ ，太阳轮体积为 $V(K)$ 目标函数为 $F(K)$ ，下一个普查方案的太阳轮体积为 $V(K+1)$ ，如果有： $V(K) < V(K+1)$ ，那么必然有： $F(K) < F(K+1)$ 。所以，可以不必计算目标函数而直接返回。例如：当方案通过约束检验时（为可行方案），就可以直接返回第一层循环（改变模数 m ），而不必继续齿数 z_s 的循环。行星齿轮传动的优化设计流程图如图 1.3.3 所示。

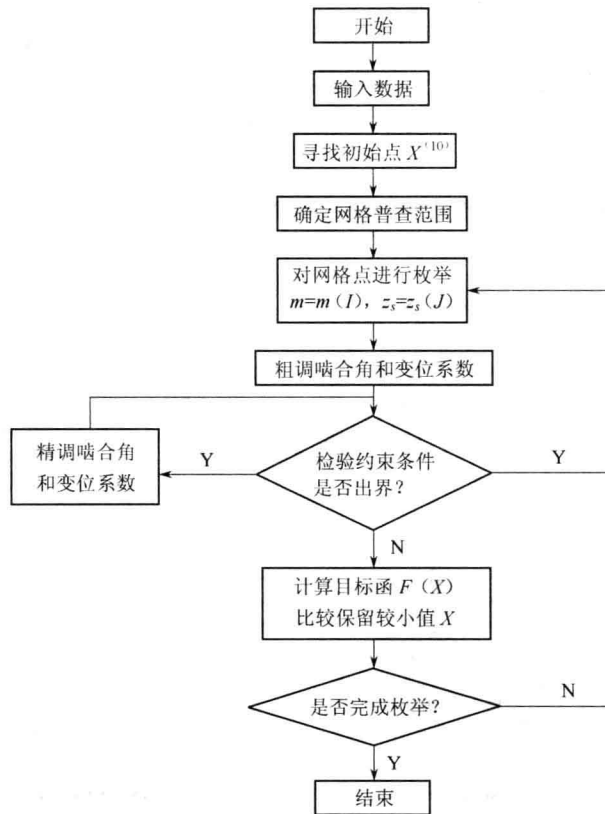


图 1.3.3 行星齿轮传动参数化优化设计流程