

高等学校教学参考书

机械零部件的 现代设计方法

许尚贤 编著

高等教育出版社

高等学校教学参考书

机械零部件的现代设计方法

许尚贤 编著



高等教育出版社

京(112)号

内 容 提 要

本书介绍了机械零部件的现代设计方法,为工程技术人员的知识更新和大学机械设计课程内容的改革和更新服务。全书共九章,主要内容有:工程数据库的建立;现代设计计算方法(包括优化设计、有限元分析、可靠性设计和摩擦学设计等);计算机辅助设计以及专家系统;然后对轴、齿轮传动、滚动轴承、滑动轴承、V带传动、链传动、螺纹联接、弹簧、联轴器和离合器等深入介绍了现代设计方法的具体应用。书末还附有典型的计算机程序。此外,东南大学机械学研究室有配套软件可提供用户直接使用。

本书的读者对象是大学生、研究生、教师和机械工程技术人员。

本书可作为高等工业学校机械类机械设计课程的参考书,也可作为独立开设选修课程的教材,对高校师生和机械工程师都有参考价值。

高等学校教学参考书

机械零部件的现代设计方法

许尚贤 编著

*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

高等教育出版社新技术中心照排

北京市顺新印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 17.75 字数 450 000

1994 年 3 月第 1 版 1994 年 3 月第 1 次印刷

印数 0001—2 140

ISBN7-04-004312-2/TH·345

定价 10.85 元

前 言

随着科学技术的迅速发展,特别是电子计算机的广泛应用,一些新的设计理论和方法(例如优化设计、有限元分析、可靠性设计、摩擦学设计、计算机辅助设计和专家系统、设计方法学等)正在逐渐进入机械设计领域。近二三十年来,机械设计学科发生了很大的变化,可以说处在更新换代的阶段。国家教委高等教育司将原“机械零件”课程改名为“机械设计”,反映了科技革命对教育改革的促进。“机械设计”课程内容应该比原来的“机械零件”课程内容有所调整、更新、充实和提高,使大学生、研究生、教师和工程技术人员对这些新的设计方法有所了解 and 掌握,这对他们的学习和工作无疑是有帮助的。目前虽然已有一些专门介绍各种新方法的书出版,但是缺乏一本综合性的参考书,特别是没有一本能将这些新的设计方法应用到通用机械零部件设计中的参考书。这正是作者编写此书的目的,试图为大学机械设计课程内容的改革和更新以及工矿企业设计师的知识更新做些开拓性的工作。本书是机械设计课程的教学用书,对一般从事机械设计的科技工作者来说,也是一本有价值的参考书。

本书的主题是在简明扼要介绍几种现代设计方法的基础上,特别强调它们在通用机械零部件设计中的应用,使读者在初步了解这些新方法的基本思想以后,通过在机械零部件设计中的具体应用,更进一步理解和领会这些新方法的实质和应用前景。因此,本书以常用机械零部件(轴、齿轮、轴承、V带、链、螺栓、联轴器、弹簧和减速器等)为对象,侧重于讲清新设计方法的先进性和实用性,特别是从机械工程角度来阐明一些基本概念、数学模型的建立和对计算结果的分析研究。为此,在第一章绪论之后,首先介绍第二章机械设计数据库的建立。紧接着,以机械零部件设计中的简单例子,简明扼要地介绍一些现代设计理论和方法,包括第三章各种常用的设计计算新方法,第四章参数化绘图和计算机辅助设计,第五章机械设计专家系统,这些都是共性知识。以后各章,分别以常用机械零部件为对象,详细讨论这些设计方法在轴的设计、齿轮传动及其减速器设计、滚动轴承和滑动轴承设计以及V带传动、链传动、螺纹联接、弹簧、联轴器和箱体等设计中的具体应用。通过分析比较,使读者学完本书后,能对近年发展起来的现代设计方法的基本原理和具体应用有一个较全面完整的了解和掌握,能用这些更科学的设计方法代替过去常规设计方法,从而提高设计质量、缩短设计周期。

机械零部件设计计算新方法在不断改进和发展,作者希望本书的出版能为设计人员的知识更新和机械设计课程内容的改革尽绵薄之力。作者相信,随着科学技术的发展,机械设计这门课程的内容定会逐步调整和更新,更好地完成它在培养学生设计知识和设计能力方面应有的作用。

为配合本书中应用程序的学习和使用,东南大学机械学研究室可提供配套软件。

本书承全永昕教授审阅(全永昕教授曾请陈秀宁副教授协助审核了部分书稿),谨在此表示衷心感谢。温文辉、刘成良、王好臣、林柳通等同志为部分软件的编制和调试作了许多有益的工作。全书插图由许勇和苏文珍同志协助绘制,一并深表谢意。

由于作者水平和经验所限,书中难免有不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

许尚贤

于东南大学机械系

1992年12月

目 录

第一章 绪论	1
§1-1 概述	1
§1-2 现代机械设计理论和方法	2
第二章 工程数据库基础	6
§2-1 数据表格的程序化	6
§2-2 列表函数的插值	16
§2-3 线图的程序化	23
§2-4 曲线拟合和数表的公式化	28
§2-5 数表的文件化	34
§2-6 数据结构与数据库	36
第三章 设计计算新方法	52
§3-1 机械零部件的程序设计	52
§3-2 迭代法	52
§3-3 有限差分法 (FDM)	54
§3-4 有限元法 (FEM)	61
§3-5 优化设计	71
§3-6 可靠性设计	77
§3-7 摩擦学设计	90
第四章 参数化绘图和计算机辅助设计	96
§4-1 Auto CAD 绘图软件包	98
§4-2 参数化绘图	101
§4-3 Auto CAD 与 FORTRAN 高级语言程序以及 dBASE 数据库的接口	102
第五章 机械设计专家系统	106
§5-1 知识库	108
§5-2 推理机	110
§5-3 用户接口	111
第六章 轴的设计	114
§6-1 用有限差分法进行轴的静力分析	114
§6-2 用有限元法进行轴的静力分析	116
§6-3 用有限元法计算轴的动力特性	118
§6-4 轴的强度可靠性设计	126
§6-5 轴的计算机辅助设计	132

第七章 齿轮传动及其减速器设计	139
§7-1 齿轮传动常规设计方法的程序化	139
§7-2 轮齿弯曲强度的有限元计算	142
§7-3 齿轮传动的优化设计	147
§7-4 齿轮减速器的优化设计	150
§7-5 齿轮传动的计算机辅助设计	153
第八章 轴承设计	158
§8-1 滚动轴承的可靠性设计	158
§8-2 滚动轴承的计算机辅助设计	162
§8-3 动压滑动轴承设计的有限差分法	164
§8-4 静压滑动轴承设计的有限元法	169
§8-5 滑动轴承的优化设计	175
§8-6 滑动轴承的计算机辅助设计	178
第九章 其他常用零部件设计	181
§9-1 V带传动和链传动的程序设计	181
§9-2 螺纹联接的程序设计	187
§9-3 弹簧的可靠性优化设计和CAD	192
§9-4 联轴器和离合器的可靠性优化设计	198
§9-5 箱体应力和温度场的计算	202
附录一 一元列表函数插值法子程序	207
附录二 二元列表函数插值法子程序	208
附录三 多项式最小二乘法拟合子程序	209
附录四 矩阵基本知识	210
附录五 正态分布表	216
附录六 轴的静特性计算的有限元程序	219
附录七 轴的动特性计算的有限元程序	222
附录八 二维平面问题(直齿圆柱齿轮、滑动轴承等)的有限元程序	229
附录九 动压滑动轴承的有限差分计算机程序	238
附录十 静压滑动轴承的有限差分分析计算及优化设计程序	245
附录十一 V带传动设计的计算机程序	261
附录十二 受轴向变载荷螺栓强度计算的计算机程序	268
附录十三 圆柱形螺旋弹簧设计的计算机程序	271
参考文献	275

第一章 绪 论

§1-1 概 述

机械设计是生产机械产品的第一道工序,设计质量的高低,直接影响机械产品的技术水平和经济效益,因此,设计的过程是设计—评价—再设计的反复过程。传统的设计方法主要是人工的资料检索、手工计算和绘图,往往凭借设计师的经验和知识以及大量的手册资料图表,需要较多的人力和较长的设计周期。有时为了节省人力和缩短设计周期,对于一些复杂的分析计算,不得不采用精度较低的近似简化计算、图解法或者类比法,显然会影响设计质量。

生产实践的需要和市场的剧烈竞争,要求机械制造业在进行单品种、大批量生产的同时,大力发展多品种、小批量生产,力求设计周期短而质量高、性能可靠,才能适应日新月异的技术革命和国内外市场迅速变化的需要。

另一方面,60年代以来,由于计算机的发展和广泛应用,出现了许多现代设计理论和方法,例如优化设计、有限元法、可靠性设计、摩擦学设计、计算机辅助设计以及数据库技术、自动绘图和专家系统等。

生产技术的需要和先进设计手段的出现,必然促进设计领域的改革和发展,对于机械设计来说几乎是更新换代,传统的常规设计方法受到很大冲击,用科学的设计方法代替经验的、类比的设计方法已势在必行。缩短设计周期、提高设计质量、发展设计理论、改进设计技术及方法已成为当前机械设计的必然趋势。设计方法更为科学、完善,计算精度更高,计算速度更快。主要反映在以下几个方面:

1. 基础理论得到进一步深化和扩展,已经从宏观方面向微观方面发展。例如,摩擦学研究摩擦表面间的物理和化学性质,进一步探索薄层摩擦副的机理和计算问题;断裂力学研究微观裂纹的扩展规律,对“复活”报废零件,防范事故发生,改善结构起着积极作用;弹性流体动力润滑研究重载接触副的最小油膜厚度、摩擦力、摩擦温度等问题,以提高齿轮传动、滚动轴承等的寿命和可靠性。

2. 零部件的机械设计已经从静态设计向动态设计发展,从个别零部件设计向系统设计发展,例如,研究机械系统的动力学问题对发展高速机械具有很重要的意义。

3. 为使产品设计更科学、更完善、更有市场竞争能力,新的设计方法不断出现,如优化设计、可靠性设计、摩擦学设计、系统设计等。

4. 由于电子计算机具有运算速度快、计算精度高、有记忆和逻辑判断功能以及图形显示等特点,使零部件的方案选择、分析计算、优化设计直至自动绘图的计算机辅助设计(CAD)成为机械设计的必然趋势,为自动设计以及CAD/CAM直至CIMS*奠定了扎实的基础。

5. 传统的机械产品正面临新的转折。机—电一体化是当今高技术的发展方向之一。机—

* 计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System)的缩写。

电一体化实质上是机械与电子、强电与弱电、软件与硬件、控制与信息等多种技术的有机结合,其产品具有技术先进,结构简单,工作精度高,易于实现自动化或半自动化操作,调整维修方便,产品更新换代快等特点。

6. 机械设计的实验研究技术,在微观、动态的精密测量,在自动控制和监测,数据采集和处理等方面都已取得很大的进步,正在形成计算机辅助测试(CAT)和计算机辅助工程(CAE)等新兴学科。

现代设计理论和方法正在迅速进入机械设计领域,必然要逐渐反映到机械设计这门设计性课程中来。高等学校《机械设计课程教学基本要求》规定,“对机械设计的新发展有所了解”是本课程的五项主要任务之一。本书介绍机械零部件的现代设计方法正是为了让大学生了解当前科技发展的动向,为将来投身于技术革命的新浪潮打好基础;同时也为工矿企业设计技术人员知识更新提供条件。

§ 1-2 现代机械设计理论和方法

机械是机器和机构的总称,它由若干通用和专用的零部件所组成。在各种机器中普遍使用的零件称为通用零件,是机械设计课程的主要研究对象。包括:

1. 联接零件: 如螺纹联接、键、花键联接等。
2. 传动零件: 如带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动和螺旋传动等。
3. 轴系零件: 如轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器和离合器等。
4. 其他通用零部件: 如弹簧、箱体和减速器等。

为了便于读者掌握和应用机械零部件设计的新方法,本书结合这些通用零部件的设计,介绍比较成熟的现代设计理论和方法。

现代设计理论和方法到底包括哪些内容,认识不完全一致,但是下列一些内容应该是基本的。

1. 工程数据库技术: 机械设计中,要查取大量的手册数据资料,例如零部件的标准和规范,材料的机械性能,许用应力和各种修正系数。必须将它们以数据文件和库的方式存入计算机中,要求能快速、准确地自动检索、增删和修改,因此,数据库技术随之产生和发展。70年代微型计算机日益普及,几乎渗透到各个领域,关系数据库 dBASE 系统的产生、发展和用于微型计算机中,使数据库技术发展到了实用阶段。dBASE 系统本身还在不断发展和完善,目前常用 dBASE III。dBASE IV 是最新版本,在增强其系统功能和以菜单驱动方式操作数据方面又有改进。

2. 程序设计与迭代技术: 传统的设计方法是按照一定的计算步骤进行手工计算。有些计算难以导出精确解析式,只得进行条件性简化近似计算。由于设计参数之间相互影响,往往采用试算法,更由于机械设计本身就是一个设计—评价—再设计的反复过程,人工设计要耗费大量时间和精力。程序设计就是将既定的设计步骤和计算公式,用计算机能接受的算法语言写成源程序,利用计算机具有高速、不怕重复计算的特点,让计算机去运算,获得计算结果。试算法在计算机程序中就是迭代技术,只要数学模型正确,计算精度合理,一般均能收敛到满足工程精度要求的数值解。程序设计语言也在不断发展,具有快速数值计算能力的 BASIC 和 FORTRAN

语言;具有逻辑推理能力的 Prolog 和 LISP 语言以及具有图形处理功能的 C 语言等等。

3. 有限元分析:有限差分法、有限元法和边界元法同属于离散性的数值计算方法,用来计算机械零件的应力和变形极为有效。有限差分法能导出一个差分迭代格式,程序编制简单,占用计算机内存少,运算速度快,但是它难以逼近曲线边界。60 年代开始,由于计算机的发展和运用,采用有限元法进行复杂结构的静态和动力分析成为可能。我国引进 SAP、ASKA、ADINA 等大型有限元结构分析程序后,使一些复杂结构的应力计算问题得到了解决。有限元法比有限差分法精确,不仅适用于固体力学,而且已经深入到流体力学、热力学等连续介质或场问题,成为机械设计中广泛采用的一种数值分析工具。

有限元法需要处理大量的输入输出数据,既费时又容易出错,因此,有限元法的前后处理,包括网格自动形成、节点优化和自动显示成为重要的研究课题。非线性问题和瞬时动态分析的时空有限元解法以及可靠性有限元分析还有很多工作要做。有限元法要把求解域内所有节点和单元的信息输入,输入工作量很大,要求计算机有较大的存贮量,这对三维空间问题更为突出。为了克服有限元法的上述缺点,60 年代中期,特别是 1978 年以来,边界元法取得了很大进展。

这三种数值计算方法各有优缺点和应用场合,例如优化设计中,为了加快收敛速度,常规分析计算宜用有限差分法,因为有限元法和优化设计结合使用的困难在于计算时间太长而不大现实,目前有些工程问题难于找到边界元法的基本解,正在发展有限元法和边界元法的联合使用。

4. 可靠性设计:可靠性理论在 60 年代初期开始向机械工程渗透。传统的设计是把设计变量(载荷、材料性能和零件尺寸等)当作常量,但是实际上它们都是随机变量,所以不能简单地说某个零件是“安全的”或者“不安全的”,应该说“安全的概率有多大”,即“可靠度多少”,或者“寿命超过若干时限的概率有多大”。同理对“失效”来说,也应有“失效概率”这个概念。基于这个思想发展起来的可靠性设计对提高机械产品的可靠性意义很大。一般认为机械零件工作应力的分布曲线近似于正态分布或者威布尔分布,应用可靠性理论和数理统计原理,可以计算零件在随机载荷作用下保证给定可靠度时的疲劳寿命或者给定寿命下的可靠度和失效概率等可靠性指标。

可靠性设计的实际应用,主要困难是原始试验数据的采集。因为借助统计方法来决定零件的可靠度,需要进行大量试验和数据采集与处理,因此随机载荷谱和材料性能谱的研究以及分布函数的拟合至关重要,直接影响可靠性设计本身的置信度。

可靠性和优化设计结合起来,形成可靠性优化设计。

5. 摩擦学设计:机械零部件的失效,除了整体强度不够以外,很多情况是由于表面强度不足,工作一定时间以后零件表面摩擦磨损过度而失效。因此,将摩擦学中关于摩擦、磨损和润滑理论应用到机械设计中来,不仅具有学术意义,而且会产生巨大的经济效益。摩擦学正在从机理研究、实验室阶段进入实际设计领域和工业应用中去。在齿轮、滚动轴承设计中,考虑接触部位弹性变形和润滑剂动压效应的弹性流体动压润滑理论就是典型的摩擦学设计,它正在从机理研究进入工业应用。大型发电机组和高速精密机床中的动压和动静压轴承以及从家用电器、人工关节直至宇航技术中处于边界润滑工况的各种设计,都有大量摩擦学设计问题。

6. 优化设计:过去常规的设计是基于安全概念的“合格设计”,各种设计参数(材料的机械

性能、几何尺寸等)能保证零件安全不坏。例如强度计算中,满足工作应力小于或等于许用应力,就认为合格,但这不一定是最优的。近年来,由于优化理论的发展和电子计算机的广泛应用,在机械设计中,采用优化设计方法,可以综合考虑多方面的复杂因素,在各种约束条件的限制下,寻求满足预定目标的最优化方案和最佳参数。这样,在缩短设计周期的同时,大大提高设计质量,有效地确保所要求的技术经济指标。

在优化方法中,单目标的各种有约束和无约束优化方法比较成熟,机械设计中常遇到的整型和离散设计变量的优化问题也已基本解决,目前在研究多目标优化以及寻找全域最优解的问题。

通用优化设计程序库的建立以及一些专用零部件优化程序包的研制成功,以直接调用或商品形式提供设计部门应用。我国“六五”科技攻关项目“常用优化方法程序库”和“常用机械零部件优化设计程序库”的研制成功,给设计者带来很大方便,用户只要将实际设计问题建立数学模型后就可直接调用,设计师进行优化设计的主要工作是建立数学模型和分析优化结果。

优化设计要在工业部门真正推广,关键在于正确建立符合工业生产要求的目标函数以及尽可能获得符合实际工况的原始数据,否则,数学上的优化结果未必是工业实践中的最优参数和方案。

7. 计算机辅助设计:机械产品的更新换代首先是设计,设计要更新换代首先要采用计算机辅助设计(CAD)。机械设计工作中约有 50~60% 的工作量是制图,此外,还有大量查寻表格、曲线和设计计算等工作。采用计算机辅助设计能提高生产率和工作效率,使设计师腾出时间去从事更有意义的创造性工作,提高设计质量,缩短设计周期,实现多品种、小批量生产,以适应国际国内市场的激烈竞争。从 1963 年以来,特别从 70 年代超级微机、小型机的出现,CAD 得到了迅速的发展。

计算机辅助设计是设计中应用计算机进行设计信息处理的总称,它应包括分析计算和自动绘图两部分功能,甚至扩展到具有逻辑能力的智能 CAD。所谓机械产品的 CAD,首先要确定机械结构的最佳参数和几何尺寸,这就要进行机构运动学分析、有限元计算和优化设计、可靠性设计等,然后由计算机自动绘制零件图和装配图这样一个反复修改和完善的过程。

CAD 的基础工作是程序库、数据库和图形库的建立。为了实现计算机绘图,首先要解决零部件的几何建模,使几何图形信息能转换成数学模型存入数据库中,供设计师在整个设计和制造过程的任何时候调用和修改,用它生成有限元模型用于应力分析,用它作为计算机绘图的输入来产生工程图以及用它来产生加工零件的数控带。目前,典型的绘图软件包有 CADAM 和 Auto CAD 两种绘图软件包以及国际化的二维和三维图形系统 GKS/PHIGS。几何建模常采用线框模型、表面模型或边界模型表示法,将复杂的机械图形看作由一些简单的图形拼合而成,每个图形可由若干条边界组成,其中曲线边界用多边形处理。由于计算机难以存贮虚线信息等原因,80 年代开始,大力研究三维实体模型表示法,很有发展前途。

绘图软件包要求有良好的用户接口,目前至少要有和 FORTRAN 语言与 dBASE 系统的软接口。CAD 的发展趋势之一是转向 IBM-PC/XT, AT 这类微机或者 IBM-PC/RT, Apollo 及 SUN 这类超级微机和 CAD 工作站(work station)。中小型 CAD 系统有 PDP-11 系列机和 VAX 系列机,还有 IBM 系列的大型 CAD 系统。CAD 软件常用全屏幕菜单方式或交互式(人机对话方式)来操作。

为了提高经济效益, CAD 必须和 CAM 结合起来, 实行一体化制造系统(IMS)。我国 863 工程中的计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) 就是为实现这个宏伟目标而制订的长远规划。

8. 专家系统: CAD 的另一个发展方向是智能 CAD, 即所谓机械设计专家系统 (Expert Systems)。机械设计不仅仅是参数优化, 首先要方案选择。这就不仅要求计算机能数值计算和图形显示, 而且要能逻辑推理, 具有人工智能。专家系统实质上就是模拟专家解决问题的计算机程序, 其中存贮使它能在专家的水平上工作的知识和能力, 这种系统具有大量专门知识的知识库, 并具有推理机构。这样, 根据已有知识和输入的事实数据就能进行推理, 模仿专家决策, 提出建议说明。专家系统采用 Prolog 语言或 LISP 语言, 它们都是人工智能语言, 是结构简单、功能强的交互式面向问题的语言, 特别适合于符号数据处理, 因而在人工智能和专家系统中得到广泛应用。研制专家系统的核心是知识库, 即知识的获得、知识的表达和知识的利用问题。目前还仅仅是开始, 很多问题有待研究和解决。

9. 设计方法学: 前面述及的可靠性设计、摩擦学设计、有限元分析、优化设计、计算机辅助设计和专家系统中还只是具体的现代设计理论和方法。为了适应市场竞争的需要, 要求对设计的进程和方法进行系统的研究。机械设计方法学就是近十多年来发展起来的研究设计规律, 建立科学设计方法的一门新兴的学科; 它不是研究某种具体的设计方法, 而是研究设计的策略、程序以及设计中的思维方法和工作方法以指导设计工作。设计方法学的思想是辩证的, 贯穿在整个设计过程中。

此外, 从系統工程的观点, 将机械作为一个系統来进行分析、模拟(仿真)和自动控制, 也是机械设计的一个重要趋势。

第二章 工程数据库基础

在机械设计过程中,经常需要查阅一些手册和文献资料,以获得有关的计算公式和大量数据,例如零部件的标准和规范,材料的机械性能,许用应力和各种计算系数等经验数据或实验曲线与图表。在传统的设计方法中,主要靠设计人员手工查取,十分繁琐和费时。鉴于计算机具有大量存贮与迅速检索的功能,可以快速、精确而无遗漏地处理各种大小数据文件,在现代设计方法中,通常将设计所需要的计算公式、计算方法和过程以及大量数据、表格或线图以程序、文件和数据库等方式预先存入计算机的外存或内存中,以便设计时由计算机按照设计的需要自动检索,辅助设计师完成大量繁琐的事务性工作,使设计师有更多的时间和精力从事创造性设计。本章着重介绍机械零部件设计过程中一些常用数据表格和线图在计算机中的存取方法。一般来说,有三种处理方式:(1)将数据表格和线图转化为程序存入内存;(2)将数据表格和线图转化为文件存入外存;(3)将数据表格和线图转化为数据结构(数据相互关联的形式)存入数据库。

§ 2-1 数据表格的程序化

机械设计手册中的数据可以分成两类。一类是彼此间没有函数关系的离散量,例如表2-1所示的齿轮标准模数系列。另一类则是彼此间存在函数关系,只是由于函数关系复杂,直接计算费时,不如用表格形式查取方便;或者由于工程问题复杂,难以从理论上得到其函数解析表达式,只好通过实验方式得到它们离散数据间的关系,再以表格形式列出*。前者例如三角函数表和对数表等,现在采用计算机内部函数,直接运算已不成问题;后者例如表2-2所示的V带包角系数和表2-19所示的尺寸公差表等,对于这类数据表格,必须按一定方式存入计算机中,由计算机自动查取。

数表的存入形式应考虑到检索的迅速、方便和精确,又要尽量节省计算机的内存容量。对于一些简单的数据表格,通常是将数据按一定规则排列,存入数组,编入计算机程序中直接读取。根据原始数据表格的形式不同,它们可能是一维数组、二维数组甚至三维数组。分别介绍如下。

1. 一维数表:一维数表是最简单的一种数据表格,只有一组数据。

例2-1 齿轮标准模数第一系列表。如表2-1所示,其数据在程序化时从小到大排列,

表2-1 标准模数第一系列(mm)

1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50
---	------	-----	---	-----	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

注1. 本表摘自 GB 1357—87。

2. 本表适用于渐开线圆柱齿轮。对斜齿轮及人字齿轮,取法向模数为标准模数;对于锥齿轮,取大端模数为标准模数。

* 这种用数据表格给出的函数叫做列表函数。

用一维数组 $ZM(I)$ 来表示, ZM 为数组名, 数组的下标变量 I 就是相应模数的代码即 $ZM(1)$ 、 $ZM(2)$ 、...、 $ZM(18)$ 分别表示表 2-1 中的 1, 1.25, ..., 50。由于数据较少, 且都是常数, 因此可用赋值语句或 DATA 语句编写在应用程序中给数组赋值, 形式如下:

```
DIMENSION ZM(18)
```

```
ZM(1)=1.0
```

```
ZM(2)=1.25
```

```
...
```

```
ZM(18)=50.0
```

或者

```
DIMENSION ZM(18)
```

```
DATA ZM/1.0, 1.25, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0,
```

```
& 12.0, 16.0, 20.0, 25.0, 32.0, 40.0, 50.0/
```

在程序中, 只要给定有关模数的代码 I , 即可由 $ZM(I)$ 直接查取其值, 参与运算。假设齿轮强度计算后所得模数值 $ZMC = 3.8\text{mm}$, 查标准应选取 4mm , 此时计算机自动检 的流程图如图 2-1 所示。为了保证查取的正确性, 应先检查计算值 ZMC 是否在程序工作范围内, 不

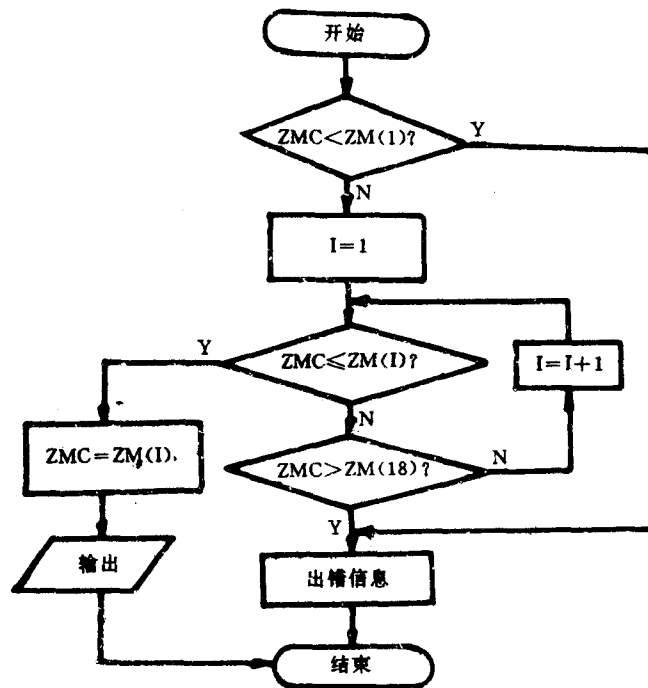


图 2-1 选取齿轮标准模数的流程图

在的话, 给出出错信息。流程图是编制、理解和调整计算机程序的框图, 形象化地描述计算的步骤、数据的流向以及作业过程, 一目了然。

* 根据FORTRAN中I-N隐含规则, 齿轮模数为实型量, 故M前面冠以Z来标识。

实际上, 齿轮标准模数系列 (GB 1357—87) 中还有第二系列 18 个值, 不过应该优先采用第一系列。同理, 第二系列可以用另一个一维数组 ZM2 (I) 来表示, 或者将原来的一维数组 ZM (I) 扩大维数到 DIMENSION ZM (36) 来存贮所有两个系列的数据。

例 2-2 V 带传动的包角系数。

如表 2-2 所示, 列出不同包角 α 时的包角系数 K_α 值。这个数表与表 2-1 不同。表 2-1 只是记载着彼此之间没有函数关系的各个常数, 而表 2-2 则是用数据表格给出的函数, 这种列表函数有两组数据, 一组是自变量——包角 α , 另一组是函数值——包角系数 K_α , 按元素的对应关系排列在表中, 供设计时查取。

表 2-2 包角系数 K_α

包角 α	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°
K_α	0.58	0.64	0.69	0.74	0.78	0.82	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2

程序化时, 可用一维数组 BK (I) 来标识包角系数 K_α , 而用另一个一维数组 AF (I) 来标识包角 α 值, 如 AF (1)=70.0, AF (2)=80.0, ..., AF (16)=220.0, 则用循环语句和条件语句编写的下列子程序即可检取表 2-2 中的数据。

程序中的哑元说明如下: ALPHA —— 包角; AK —— 包角系数。

```

SUBROUTINE BKA (ALPHA, AK)
  DIMENSION AF (16), BK (16)
  DATA AF /70.0, 80.0, 90.0, 100.0, 110.0, 120.0, 130.0, 140.0, 150.0, 160.0, 170.0,
& 180.0, 190.0, 200.0, 210.0, 220.0/
  DATA BK /0.58, 0.64, 0.69, 0.74, 0.78, 0.82, 0.86, 0.89, 0.92, 0.95, 0.98,
& 1.0, 1.05, 1.1, 1.15, 1.2/
  IF (ALPHA.LT.AF (1)) GO TO 20
  IF (ALPHA.GT.AF (16)) GO TO 20
  DO 10 I=1, 16
  IF (ALPHA.NE.AF (I)) GO TO 10
  AK=BK (I)
  GO TO 30
10 CONTINUE
20 WRITE (*, 100)
100 FORMAT (31H VALUE ALPHA IS BEYOND THE RANGE)
30 RETURN
END

```

上列程序中, 由于数据较多, 一般不用赋值语句, 而用 DATA 语句来赋值, 程序的流程图如图 2-2 所示。

解题程序中, 当已计算得到包角 α 值 (例如 120°), 要查取相应的包角系数 K_α 时, 可在程序中写上调用语句

CALL BKA (ALPHA, AK)

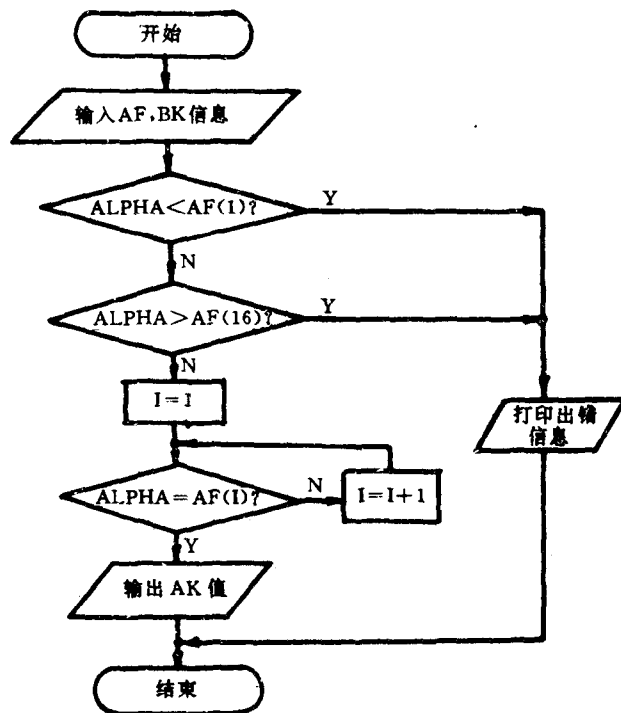


图 2-2 选取包角系数的流程图

读入 $\text{ALPHA} = 120.0^\circ$ ，即可获得所需的包角系数 AK 值。当 ALPHA 值超过表 2-2 所列的范围时，程序将打印出相应信息。

由于编成子程序的形式，因此可供各个解题程序调用，显然比较例 2-1 把数据直接编在解题程序中合理，通用。

例 2-3 轴常用材料的机械性能。

在进行轴的强度计算时，要查取材料的机械性能数据：抗拉强度 σ_b ，屈服强度 σ_s 和 τ_s 以及疲劳极限 σ_{-1} 和 τ_{-1} 值。表 2-3 列出了六种常用材料的机械性能。由于材料的毛坯直径不

表 2-3 轴常用材料的机械性能

参数名称	材料牌号	毛坯直径 (mm)	种类 (i)	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	τ_s (MPa)	σ_{-1} (MPa)	τ_{-1} (MPa)
标识符 (变量名)			I	SGMB (I)	SGMS (I)	TAUS (I)	SGMM (I)	TAUM (I)
数 据	A5	任意	1	520	280	150	220	130
	45	任意	2	560	280	150	250	150
		120	3	800	550	300	350	210
		80	4	900	650	390	380	230
	40Cr	任意	5	730	500	280	320	200
		200	6	800	650	390	360	210
		120	7	900	750	450	410	240
	40CrNi	任意	8	820	650	390	360	210
		200	9	920	750	450	420	250
	20	60	10	400	240	120	170	100
	20Cr	120	11	650	400	240	300	160

同,其机械性能也各有差异,因此可将这六种材料分成 11 种规格,以序号 i 来排列。此表看起来复杂些,实质上还是一维数表的形式,只不过是相当于五个一维数表的组合而已。为此,只要给每一种机械性能确定一个标识符(变量名),表中数据就可以用五个一维数组 SGMB(I)、SGMS(I)、TAUS(I)、SGMM(I)和 TAUM(I)($I=1 \sim 11$)来表示。通常,在选择标识符时,应使它与惯用的符号尽量一致,力求简洁,便于记忆,避免重复。如上述数组名中 SGM 表示希腊字母 σ (sigma), B 表示脚注 b, M 表示“-”(minus)。还应注意标识符隐含的 I-N 类型规则。

规定了标识符以后,可编写下面一段程序,将表 2-3 中的数据输入计算机内存:

```

      DIMENSION SGMB(11), SGMS(11), TAUS(11), SGMM(11), TAUM(11)
      READ(*,100)SGMB,SGMS,TAUS,SGMM,TAUM
100  FORMAT(11F7.1)
      WRITE(*,200)(SGMB(I),SGMS(I),TAUS(I),SGMM(I),
& TAUM(I),I=1,11)
200  FORMAT(/(1H,20X,5F8.1))

```

在计算机运算过程中,欲取出所需数据,只要根据材料品种给定 I 值即可。例如,要查取材料为 45 号钢、直径为 120mm 时的抗拉强度 σ_b 值时,只要令 $I=3$,则

SGMB = 800.0 (MPa), SGMS = 550 (MPa), TAUS = 300.0 (MPa),

SGMM = 350.0 (MPa), TAUM = 210.0 (MPa)

例 2-4 根据轴径查取平键尺寸。

按轴径 d 查取平键剖面尺寸 $b \times h$ (见图 2-3) 的数表如表 2-4 所示,它列出了几种轴径范围内平键剖面的尺寸 b 和 h 值。这个数表与表 2-2 也有区别。首先是自变量轴径 d 有一定

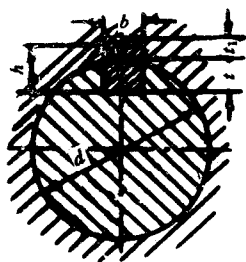


图 2-3 平键联接的剖面尺寸

的范围,因此,在查找对应于某一轴径的 b 和 h 值时,先要判定轴径 d 在哪个尺寸范围内,然后才能检取相应的 b 和 h 值;其次,检取的函数值有 b 和 h 两项。实质上,表 2-4 是 $d-b$ 和 $d-h$ 两个一维数表的组合。

程序化时,我们可用两个一维数组 B(I)和 H(I)来分别标识 b 和 h ;用数组 DL(I)来标识数表中轴径的界限值,如 DL(1)=6.0, DL(2)=8.0, ..., DL(10)=50.0,另外再用条件语句作轴径的判定。所编子程序如下。程序中的形参为: D —— 轴径; BB —— 检取获得的键宽; HH —— 检取获得的键高。

表 2-4 平键联接的剖面尺寸

轴径 d (mm)	键宽 b (mm)	键高 h (mm)
$> 6 \sim 8$	2	2
$> 8 \sim 10$	3	3
$> 10 \sim 12$	4	4
$> 12 \sim 17$	5	5
$> 17 \sim 22$	6	6
$> 22 \sim 30$	8	7
$> 30 \sim 38$	10	8
$> 38 \sim 44$	12	8
$> 44 \sim 50$	14	9

注: 摘自 GB1095—79。

SUBROUTINE FKEY (D, BB, HH)

DIMENSION DL (10), B (9), H (9)

DATA DL/6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 17.0, 22.0, 30.0, 38.0, 44.0, 50.0/

DATA B/2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0/

DATA H/2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 8.0, 9.0/

IF (D. LT. DL (1)) GO TO 12

IF (D. GT. DL (10)) GO TO 12

I=1

IF (D. EQ. DL (I)) GO TO 11

9 IF (D. LE. DL (I+1)) GO TO 11

I=I+1

GO TO 9

11 BB=B (I)

HH=H (I)

GO TO 13

12 WRITE (*, 100)

100 FORMAT (27H VALUE D IS BEYOND THE RANGE)

13 RETURN

END

输入轴径 $d=24\text{mm}$ 后, 输出结果为: $b=8.0\text{mm}$ $h=7.0\text{mm}$

程序的流程图如图 2-4 所示。

2. 二维数表: 上述平键数表的程序也可用一个二维数组 BH (I, J) 来代替两个一维数组 B (I) 和 H (I), 如表 2-5 所示。第一个下标变量 I 标识不同的直径范围, 即表 2-4 中行的序号, 第二个下标变量 J 标识表 2-4 中列的序号。BH (I, 1) 相当于表 2-4 中的轴径范围; BH (I, 2) 相当于 B (I); BH (I, 3) 相当于 H (I)。由此可见, 表 2-4 实际上也就是一个二维数表, 二维数