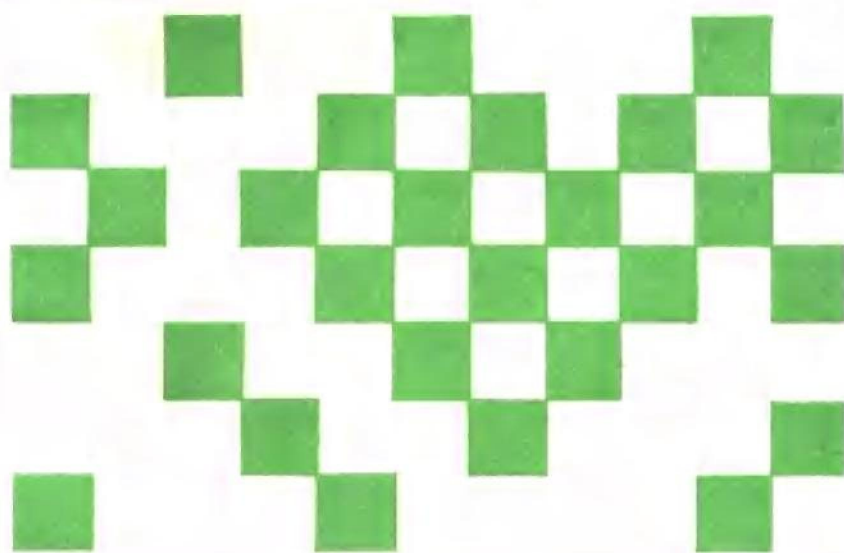


常用机构的 计算机辅助设计

郑镛之 李德锡 洪淳赫 编著



机械工业出版社

本书介绍了机械设计中广泛应用的常见机构(平面连杆机构, 凸轮机构, 齿轮机构, 凸轮—连杆机构, 齿轮—连杆组合机构)的计算机辅助设计的理论与算法, 附有详细的用 BASIC 和 FORTRAN 语言编写的相应程序, 并对应用微机的图形显示技术作了介绍。可供从事机械设计的工程技术人员参考选用。

本书也可供大专院校机械设计类师生参考。

常用机构的计算机辅助设计

郑镭之 李德锡 洪淳赫 编著

*

责任编辑: 张秀恩 版式设计: 罗文莉

封面设计: 田淑文 责任校对: 熊天荣

责任印制: 王国光

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $9 \frac{3}{8}$ · 字数 247 千字

1990 年 4 月北京第一版·1990 年 4 月北京第一次印刷

印数 0,001—2,590 · 定价: 9.50 元

*

ISBN 7-111-01302-6/TP·83

前 言

目前我国应用计算机进行设计的事业和企业单位急骤增多，尤其是微机的应用更为迅猛，这就给机构分析和综合创造了极为有利的条件。为了适应机构设计的进一步发展，提高效率，编写了《常用机构的计算机辅助设计》这本书。

本书实例较多，且附有源程序和计算机运行结果。有的是通过人机对话直接输入数据，有的用数据文件输入数据，适应性广，有一定通用性。本书提供了数目较多的子程序，利用子程序编程，可减少差错，节省编程时间。本书所列的程序都在 IBM-PC/XT 机上运行通过。对备有 IBM-PC/XT 微机的设计者来说，使用起来十分方便。

本书共七章，第一章计算机辅助设计和机构优化设计的基本概念；第二章计算机绘图；第三章连杆机构的运动学分析和受力分析；第四章连杆机构的综合；第五章凸轮从动件运动曲线的选用以及各类凸轮的设计；第六章圆柱齿轮的优化设计；第七章齿轮—四杆机构和凸轮—连杆机构的设计。

参加本书编写的有：郑镕之（第一、二、六章）、李德锡（第三、四章）、洪淳赫（第五、七章）等同志。郑镕之同志担任主编。

鉴于机构设计的理论非常广泛，计算机技术和新设计方法发展迅速，同时由于我们的水平有限和经验不足，疏漏和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

1987年8月于沈阳

目 录

第一章 计算机辅助设计的基本概念	1
一、计算机辅助设计	1
二、计算机辅助设计的发展过程	2
三、计算机辅助设计的过程	3
四、计算机辅助设计系统的硬件和软件	4
五、机构优化设计的一般概念	6
六、无约束问题的优化方法	13
七、约束问题的内罚函数法	26
八、机构的优化设计	28
第二章 计算机绘图	39
一、概述	39
二、显示器和绘图机	40
三、IBM微机BASIC主要绘图语句	43
四、AutoCAD的基本概念	56
五、AutoCAD的屏幕作图命令	62
六、图形的移动、缩小和放大以及复制	65
七、AutoCAD的块	68
八、AutoCAD的命令文件	71
九、应用绘图机绘制屏幕上的图形	84
第三章 平面机构的运动分析和受力分析	87
一、运动分析的目的和方法	87
二、基本杆组的划分方法	88
三、RRR杆组的运动分析	92
四、RRP杆组的运动分析	94
五、RPR杆组的运动分析	96
六、有源RRR杆组的运动分析	98
七、单杆的运动分析	100
八、基本杆组子程序及其应用	101
九、应用杆组子程序方法分析机构的运动	107

十、Ⅱ级机构的运动分析	111
十一、平面机构受力分析的任务与方法	124
十二、Ⅱ级杆组的受力分析	125
十三、Ⅲ级杆组的受力分析	128
十四、杆组力分析子程序的使用方法	129
第四章 平面连杆机构设计	140
一、连杆机构设计问题的类型	140
二、连杆机构的综合方法	142
三、圆点及圆心点	147
四、准点法综合固有的几个问题	154
五、应用举例	158
六、其它型式四杆机构的综合	170
附录 复数及其代数运算	174
第五章 凸轮机构	177
一、凸轮曲线的选用和设计	177
二、直动从动件盘形凸轮	206
三、摆动从动件盘形凸轮	220
第六章 齿轮机构	235
一、概述	235
二、渐开线函数	236
三、直齿和斜齿圆柱齿轮各部分的尺寸	238
四、圆柱齿轮的重合度和滑动系数	241
五、变位系数的选择	244
六、直齿圆锥齿轮	259
七、蜗轮蜗杆传动几何尺寸的计算	264
第七章 组合机构	268
一、齿轮—四连杆机构	268
二、凸轮—连杆机构	282
参考文献	294

第一章 计算机辅助设计的基本概念

一、计算机辅助设计

计算机辅助设计是在人的参与下，应用计算机及其外围设备去开发、分析或修改工程设计的任何形式的设计活动或称过程。这种活动包括资料检索、计算、确定各种参数和结构形状、屏幕显示、输出数据和绘制各类图形和性能曲线等。计算机辅助设计简称CAD (Computer Aided Design)，是近年来发展起来的一门新技术。目前计算机已在商业、管理、工业以及在开发工作中处于重要地位。

与计算机辅助设计密切相关的是计算机辅助制造CAM (Computer Aided Manufacturing)，它是用计算机对生产设备进行管理、控制和操作的过程。通常CAD的输出结果常常作为CAM的输入信息。CAD偏重设计过程而CAM偏重于产品的生产过程。计算机辅助制造的应用，对提高产品的质量、降低生产成本、缩短生产周期以及改善制造人员的工作条件起到了积极的作用。

机构设计是机械设计中的重要阶段，过去鉴于机构分析过程较为复杂，机构设计又很难获得满意的结果，因而机构设计常凭经验或用试凑的方法来完成。由于这种原因，形成人们对机构设计重视不够的现象，因而设计出来的机器造价高、性能低、竞争力差。机构设计采用计算机辅助设计，并采用某些新的设计方法，就能较快地设计出性能好的、符合各类要求的新机构。应用计算机辅助设计进行机械设计称为计算机辅助机械设计。简称CAMD。

计算机辅助设计的优点：

(1) 提高设计者的设计效率。计算机辅助设计系统可以帮

助设计者观察产品中的每个零件和零件间的组装情况以及其它有关信息；可以减少分析、综合以及整理设计文件所需的时间。这不仅能减少设计费用而且还可缩短完成工程所需的时间。

(2) 提高设计质量。一个 CAD 系统具有较高的工程分析和对大量设计方案进行研究选优的能力。设计误差同样由于系统具有较高的准确度而降低，从而获得较高的设计质量。

(3) 改善了信息传递的效率。CAD 系统提供了优良的工程绘图程序和较好的设计文件，因而绘图准确清晰。

(4) 为加工建立基本数据。在建立产品设计文件（包括零件尺寸和形状、零件材料等）的过程中，加工产品各零件所需的许多基本数据也同时被建立起来。

二、计算机辅助设计的发展过程

这里介绍计算机辅助机械设计的发展过程。机械设计的发展和计算机的发展是 CAD 发展的两个方面。关于这两方面的发展，许多有关著作中都作了详细的描述，这里不再赘述。需要特别指出的是 CAD 系统的基础是计算机绘图 ICG (Interactive Computer Graphics)，ICG 系统是软件和硬件的结合体。硬件包括中央处理机 CPU (Center Processing Unit)、图形显示终端以及由打印机、绘图仪等组成的外围设备；软件包括完成绘图等过程所需的计算程序。ICG 系统仅仅是 CAD 的一部分，而大部分工作必须由设计者来完成；ICG 只不过是设计者用来解决设计问题的工具和扩大设计者的功能而已。

20 世纪 50 年代，Freudenstem 和 Sandor 利用计算机对连杆机构进行综合，与此同时复数综合方程亦在 IBM650 上进行模式批处理得到了解决。这些工作为 70 年代形成的 KINSYN 和 LINCAGES 标准打下了技术基础。KINSYN 和 LINCAGES 是机构运动分析的软件，KINSYN 的功能更强一些，它能显示图形并能在其上进行修改。60 年代已有更多的研究人员应用计算机的功能替代了机械原理的图解法和解析法。到了 60 年代末已经

有人应用计算机模式批处理来解准点法和优化法的综合问题。基于数字计算机的功能形成了机构动力学和连杆机构平衡的算法，70年代初出现了应用计算机的热潮，又发展了适用于平面机构运动学和动力学分析的 DRAM 和 ADAMS 等程序。在这个基础上，逐渐地从严格的批处理过渡到对话式的计算。这对设计者来说是很有意义和很有用的一步。进入 80 年代后，在绘图、有限元和模拟等方面进入计算机辅助设计的同时，机构分析、综合和动力学的集成化工作也在开始进行。

总观计算机辅助设计的发展，在 80 年代后期机构设计者将会给出一套处理机构优化分析和机构设计的软件，并会在以下各方面增加活动：（1）利用立体建模显示 2-D 和 3-D 机构；（2）将机构分析和综合软件统一到计算机辅助设计和制造方面；（3）包括间隙、杆的变形、摩擦和阻尼等复杂问题的分析和模拟；（4）为缺乏经验的设计者开发计算机辅助设计形式的综合方法，其中包括专家系统和人工智能方法；（5）快速发展台式计算机和微型计算机的机构设计软件。

随着微型和小型计算机的广泛应用，机构分析、设计和动力学软件将能在许多不同的计算机系统上应用。综合和分析的算法会相当容易地转化到不同的计算机中。虽然图形的显示和绘制在不同的计算机会有些不同，但随着高级图形语言逐渐采用，会得到很好的解决。

三、计算机辅助设计的过程

计算机辅助设计的过程是把设计人员的经验、智慧和创造力同计算机的高速运算能力、快速显示和准确绘图功能有效地相结合，在尽可能短的时间内获得最好的设计方案的全部活动。

CAD 过程不是一次完成，而要经过多次反复，这种特征称为相互交替过程，每次所获得的信息是不完整的，而且必须按照设计要求进行分析和评估，直到满意为止。

CAD 过程包括下面几个步骤：

(1) 明确设计问题的要求和内容。它包括问题的特征、功用、项目、质量、操作、价格和销售量等。

(2) 综合、分析和优化。综合和分析二者之间关系密切,在设计过程中相互频繁交换,分析、改进和重新设计要反复进行,直到设计符合约束条件且达到最优为止。

(3) 评估。评估通常需要制造试验样机去检验样机的运转特性、可靠性以及其它准则。

(4) 设计说明书。设计说明书是设计过程的最后一步,说明书的内容包括材料说明、工程计算、基本数据、图纸以及其它有关内容。

四、计算机辅助设计系统的硬件和软件

1. CAD系统的硬件

CAD系统通常分为交互式CAD和非交互式CAD两种。为了更充分地发挥计算机的功能,通常都采用交互式CAD。交互式CAD系统的硬件配置如图1-1所示。

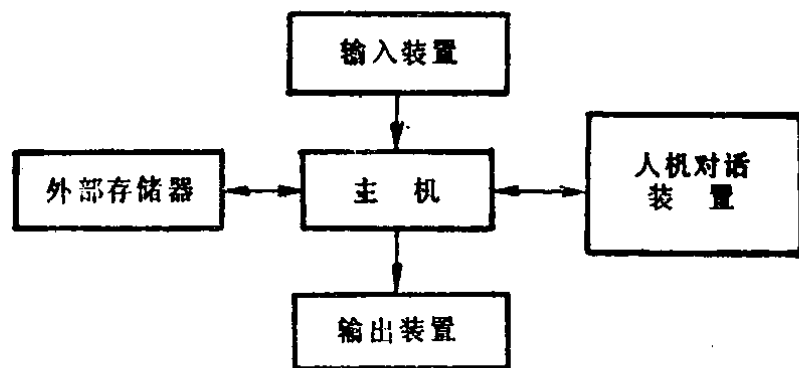


图1-1 CAD系统硬件配置图

(1) 主机
计算机系统的中心,它把存储、控制和运算综合在一个集成电路的芯片上(如图1-2所示),这种芯片叫做中央处理单元

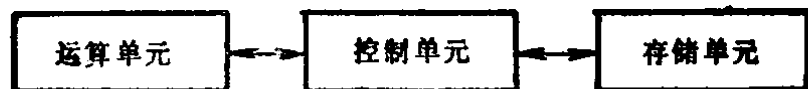


图1-2 中央微理单元

(Center Processing Unit) 简称CPU。这个芯片中的存储单元与控制单元之间通过相互作用来控制 and 指挥整个系统,并进行运算、逻辑分析和单元数据流的进出。数据可从内部存储器或从外部输入。计算结果可以暂时保存在内部存储器中,也可以送到

外围设备的磁盘、磁带、显示器或通过打印机打出来。

(2) 输入装置 它是将外部数据、各种字符信息及源程序送入计算机的存储单元中，常用的输入装置有光电式纸带输入机、卡片输入机、键盘磁盘输入机和字符显示器等。在微机上采用的都是键盘磁盘输入器和字符显示器。

(3) 输出装置 它是输出计算机运算的中间结果和最终结果的设备。常用的输出设备有显示器、行式打印机、纸带快速穿孔输出机、卡片穿孔机和自动绘图机等。

(4) 外部存储器 它是用来存放大量暂时不用而等待调用的计算机程序或数据。常用的外部存储器有磁鼓、磁带和磁盘或硬盘。微机上所采用的外部存储器为磁盘和硬盘。

(5) 人机对话装置 人机对话装置有显示器 CRT、键盘、光笔 (Lightpen)、操纵杆和指轮 (Joystick and Thumb Wheels) 以及图形输入板 (Graphic Table)。人机对话的交互作用是这样来实现的：例如由于某种原因需要改变输入数据或修改屏幕上图形的某一部分，通常在显示器上显示请求用户回答处理意见或请求用户发出动作的“提示”信号，用户通常用键盘键入字符或命令来实现，也可用其它装置（例如操纵杆和指轮、光笔或图形输入板上的触笔）来实现。这些交互设备，都能发送输入信号。

2. CAD 系统的软件

CAD 系统的软件虽然不同的设计系统有不同的要求，但对机构的 CAD 交互式系统而言有下列三方面内容：

(1) 程序语言。设计机构的通用源程序是设计人员根据设计要求而编制的源程序，根据程序的大小，可适当选用 BASIC 语言和 FORTRAN 语言，对于较大的源程序，用得最多的是 FORTRAN 语言。

(2) 标准子程序。在机构设计中，虽然由于设计内容和要求不同，所编制的源程序千差万别，但都有许多相同的部分，例如机构是由原动杆和一个或多个基本杆组所组成。如果把机构的

基本杆组编成通用的标准子程序，以备使用时调用，就可节省大量的编程时间。

(3) 图形软件。图形软件是在屏幕上和绘图机上绘制图形的程序，有以下主要内容：

1) 标准绘图单元程序。这是一些绘制图形基本单元的程序（例如绘制一条直线、划圆或绘制其它图形单元）。这些程序不是通用的，随着计算机类型的不同而不同。在 IBM-PC/XT 机中，DOS 系统盘中配有 BASIC 图形语言。此外还可配置绘图的 Auto CAD 软件包。

2) 图形源程序。是用户编写的绘图程序语言，内容包括调用图形单元程序、数据传送、运算和图形存取等。

3) 标准图形程序。对于一些常用的图形可编成程序，以供使用时调用。

五、机构优化设计的一般概念

优化是求最优值的过程。最优值 (Optimum) 的概念是相对的，它随着科学技术的发展和设计条件的改善而变化，当然最优的标准也会有所不同。优化方法应用到工程设计中，就是优化设计或称最优设计。所谓优化设计就是工程设计者从众多的可行设计方案中，选取较完善的或最合适的最优设计方案。所谓最优设计方案，并不是所有的性能指标都是最优的，这些指标之间往往是相互矛盾的。因此通常在设计中，总是取一个或几个我们认为重要的指标，作为我们所追求的目标，而其它性能只要符合要求就可以了。也就是说在满足一定约束条件下，使我们所追求的目标达到最优值。例如，最经济、重量最轻、寿命最长……等都可以作为所追求的目标。

在机构设计中，其最优值通常是指机构的运动学和动力学性能，而这些性能又取决于机构的运动学和动力学参数。例如要设计图 1-3 所示的港口起重机，设计所追求的目标可以是 A 点落差 Δy 为最小；也可以是 A 点水平移动的速度变化 Δv 为最小；

或是驱动力矩的变化量 ΔM 为最小。但机构的这些性能 Δy 、 Δv 、 ΔM 都与机构运动学和动力学参数值有关。这些参数值通常为杆长、质量、转动惯量和质心位置。因此机构最优化设计可描述为确定机构的参数，在满足某些基本约束条件下，使所追求的机构的性能指标为最优。在优化设计的术语中，把我们所追求的目标称为目标函数，要优选的机构参数称为设计变量，设计所要满足的基本约

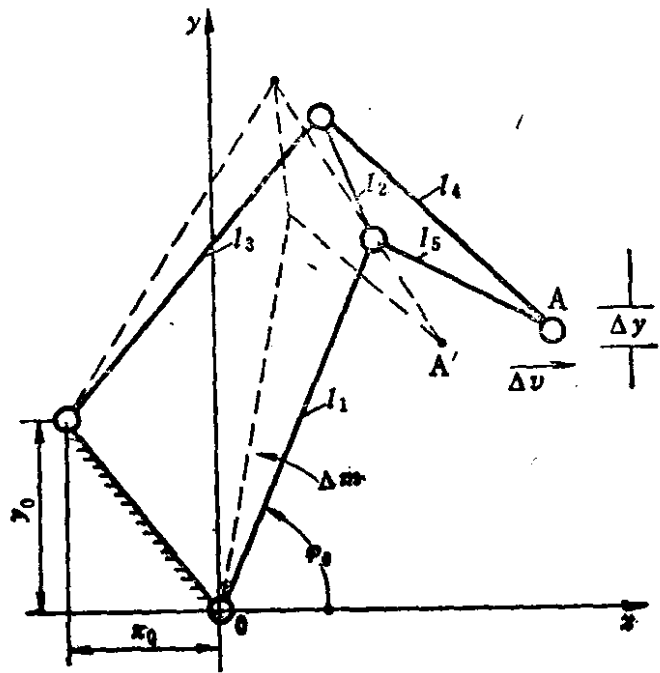


图1-3 港口起重机机构

束条件，称为约束函数或约束条件。因此优化设计可描述为确定设计变量，在满足约束条件下使目标函数为最优。

1. 数学模型

在求解实际问题时，必须把实际问题用适当的数学形式来表达，这样就能使问题数量化，便于讨论和求解。最优化设计的数学模型就是用数学语言来全面描述最优化设计问题。为了对优化设计问题理解得更加全面和透澈，先讨论几个至关重要的基本概念。

(1) 设计变量 确定一个设计方案，就是确定方案的基本参数。例如上面所举的港口起重机，如要求 Δy 和 Δv 为最小，就必须最优地选定机构的参数 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 和 x_0 及 y_0 ，因为 A 点的位置和速度取决于这些参数，这些参数选取得合适与否至关重要。由于设计问题的不同，这些参数中有些是可以给定的，有些必须要优选的。因为有的参数的变化对我们所追求的目标影响不大，而且把它取作固定值会使问题大大简化。还有，根据设计者的经验，认为把某参数取为某一固定特殊值，会给设计带

来良好的效果。我们把设计问题中要加以优选的、在设计优化过程中要变化的参数叫做设计变量。因此用不变的参数和要优选的设计变量，能完整地描述一个设计。

我们经常将设计变量看做一矢量，叫做设计矢量，用 \mathbf{X} 表示，而把各设计变量看做是它的分量，例如港口起重机的设计变量假定为 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 、 x_0 、 y_0 及 φ_0 (φ_0 为原动构件的起始角)。则港口起重机的设计矢量 \mathbf{X} 为

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \\ l_5 \\ x_0 \\ y_0 \\ \varphi_0 \end{bmatrix} \quad (1-1)$$

设计矢量中各分量的顺序原则上是任意的，但从优化效果着想，最好把重要的设计变量放在前面。为了方便，设计矢量的分量常用 x_1 、 x_2 、 \dots 、 x_n 表示，则设计矢量可写成

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \quad (1-2)$$

(2) 目标函数 目标函数又称评价函数，是用来评价一设计方案优劣的函数。目标函数是设计变量的标量函数。对机构来说，就是机构的某种性能的表达式。在机械设计中，目标函数可以是传递函数、轨迹函数、驱动力和阻力、铰链的反力以及构件的应力、变形等。

目标函数一般表示为

$$f(\mathbf{X}) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1-3)$$

在优化过程中，就是要寻找一组最优设计变量，使目标函数达到最优，即

$$f(X) \longrightarrow \text{opt} \quad (1-4)$$

从数学观点来看，就是使目标函数的值达到最大或最小。由于函数的极小值发生在 $-f(X)$ 的最大值处，为了不失一般性，假定目标函数的最优化就是目标函数的最小化，即

$$f(X) \longrightarrow \min$$

目标函数的选择，在整个优化设计过程中极为重要。但在某些情况下，由于设计可能是一庞大而复杂系统的一部分，很难搞清楚优化那种性质，会对系统的最后用途是最为合适的。因而需要有二个或更多的性能作为目标函数，这就是一个多目标函数的优化问题。遇到这样的情况，可用下面三个方法之一来处理：

(1) 组成综合目标函数；(2) 选一个认为最重要的性能作为目标函数，其它性能作为约束条件来处理；(3) 权衡研究法。综合目标函数表达式为

$$F(X) = \sum_{j=1}^q w_j f_j(X) \longrightarrow \min \quad (1-5)$$

式中 f_j ——第 j 个分目标函数， $j = 1, 2, \dots, q$ ；

w_j ——是第 j 个目标函数的加权因数，它反映目标函数的

重要性和数量级的差别，通常 $\sum_{j=1}^q w_j = 1$ 。

对于机构设计的再现轨迹或函数再现的目标函数，可采用误差法。最大误差法为

$$F(X) = \max |f(X) - f'(X)| \longrightarrow \min \quad (1-6)$$

高斯平方误差法为

$$F(X) = \sum_{j=1}^n w_j [f(X) - f'(X)]^2 \longrightarrow \min \quad (1-7)$$

式中 $f(X)$ ——机构再现的实际值；

$f'(X)$ ——给定值。

(3) 约束函数 一个设计方案可以是可行的,也可以是不可行的。一个设计方案如果能满足全部要求,那么这个设计就叫做可行设计或者叫做可接受的设计,否则这个设计叫做不可行的或不可接受的设计。

为了产生一个可接受的设计,必须满足设计限制或一些附加条件。这些限制和附加条件称为约束条件。例如设计一曲柄摇杆机构,必须所有杆的杆长均为正,而且必须保证存在曲柄,那么杆长的限制和曲柄存在的条件就是约束条件。从数学表达式上看,约束条件有不等式约束条件和等式约束条件,即

$$\begin{cases} g_j(X) \geq 0 \text{ 或} \\ g_j(X) \leq 0 \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (1-8)$$

$$h_j(X) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, p < n \quad (1-9)$$

不管它是等式约束还是不等式约束,大于零的约束还是小于零的约束,其形式是可以相互改变的。

在工程设计中有两类同样有效的约束:边界约束和性能约束。

1) 边界约束又称区域约束,即约束设计变量的变化范围。例如机构的杆长 l_i ($i = 1, 2, \dots, K$) 应满足 $l_{i_{\min}} \leq l_i \leq l_{i_{\max}}$, 则它的不等式约束条件为

$$\left. \begin{aligned} g_1(X) &= l_i - l_{i_{\max}} \leq 0 \\ g_2(X) &= l_{i_{\min}} - l_i \leq 0 \end{aligned} \right\} \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (1-10)$$

2) 性能约束是考虑某种性能或由设计要求而推导出来的约束条件,例如杆 l_1 为曲柄的条件就是性能约束。其约束条件为

$$\left. \begin{aligned} g_1(X) &= l_1 + l_2 - l_3 - l_4 \leq 0 \\ g_2(X) &= l_1 + l_3 - l_2 - l_4 \leq 0 \\ g_3(X) &= l_1 + l_4 - l_2 - l_3 \leq 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

(4) 数学模型形式 $\min f(X)$

$$\text{s.t. } g_j(X) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$h_j(X) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, p < n$$

式中 m ——不等式约束条件的个数;
 p ——等式约束条件的个数。

2. 设计空间和目标函数的等值线 (或面)

(1) 设计空间 设计变量是设计矢量的分量, 线性代数将矢量概念深化, 统称 n 维矢量, 即有 n 个分量的矢量 ($n = 1, 2, 3, \dots, n$)。由于优化设计中的矢量称为设计矢量, 所以此矢量所在的空间就称为设计空间。

设计矢量代表一个设计方案, 设计空间中的一点表示某一设计矢量, 所以设计空间中的每一点都代表一个设计方案。

约束函数限制了设计变量的选取范围, 约束函数是设计空间中的一条曲线(或曲面或超曲面)。约束函数值为零的曲面称为约束面。不等式约束的约束面, 将设计空间分为二部分, 其中一部分的点约束函数为负, 而另一部分则为正。

图 1-4 所示的 2 维设计空间有 6 个约束线, 这 6 个约束线把设计空间分成可行区域和非可行区域

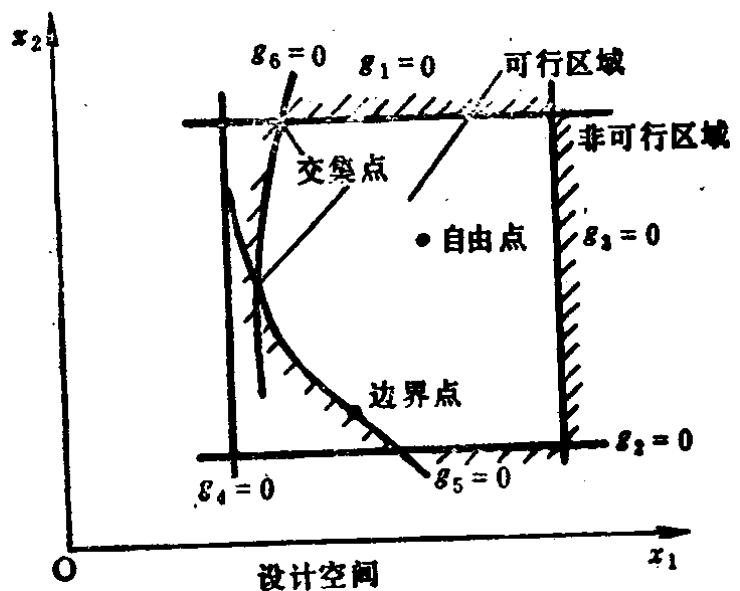


图1-4 设计空间

二个区域。 $g_1(X) = 0 \sim g_n(X) = 0$ ($g_4(X) = 0$ 除外) 等曲线所包围成的区域称为可行区域, 在这区域内的一切点均满足约束条件 $g_j(X) \leq 0$ 。另一部分为非可行区域。

(2) 目标函数的等值线 当目标函数依次等于不同的常数 C_1, C_2, \dots 时, 则在设计空间内可获得一系列曲线, 这些曲线称为目标函数的等值线, 且任意一条曲线上的点, 其目标函数的值是相同的。等值线如图 1-5 所示。

3. 优化设计算法过程的概述

优化设计的算法是迭代计算方法，其数值迭代过程如下（参考图 1-5）：

(1) 从某一选定的初始设计点（设为 $X^{(0)}$ ）出发；

(2) 按照某个优化算法所定的原则而确定的优化方向 S （图中箭头所示的方向）进行搜索；

(3) 确定最优步长获得这个方向目标函数的极小点；

(4) 判别所得的点是否满足精度要求，如满足精度要求，则所获得

的点即为最优点，停止计算；否则以所获得的点为初始点转(2)重新计算。如此反复进行，直至求得最优点为止。

在设计空间中，目标函数的极小点位于其附近等值线簇的中心（证明从略）。

4. 迭代点序列的收敛条件和终止准则

所谓迭代点就是按优化方向 S 搜索所获得的该方向的极小点。

设 $X^{(K)}$ ($K = 0, 1, 2, \dots$) 为迭代过程所产生的设计点的序列，则点列的收敛为 $\lim_{K \rightarrow \infty} X^{(K)} = X^*$ 。 X^* 表示最优点即极小

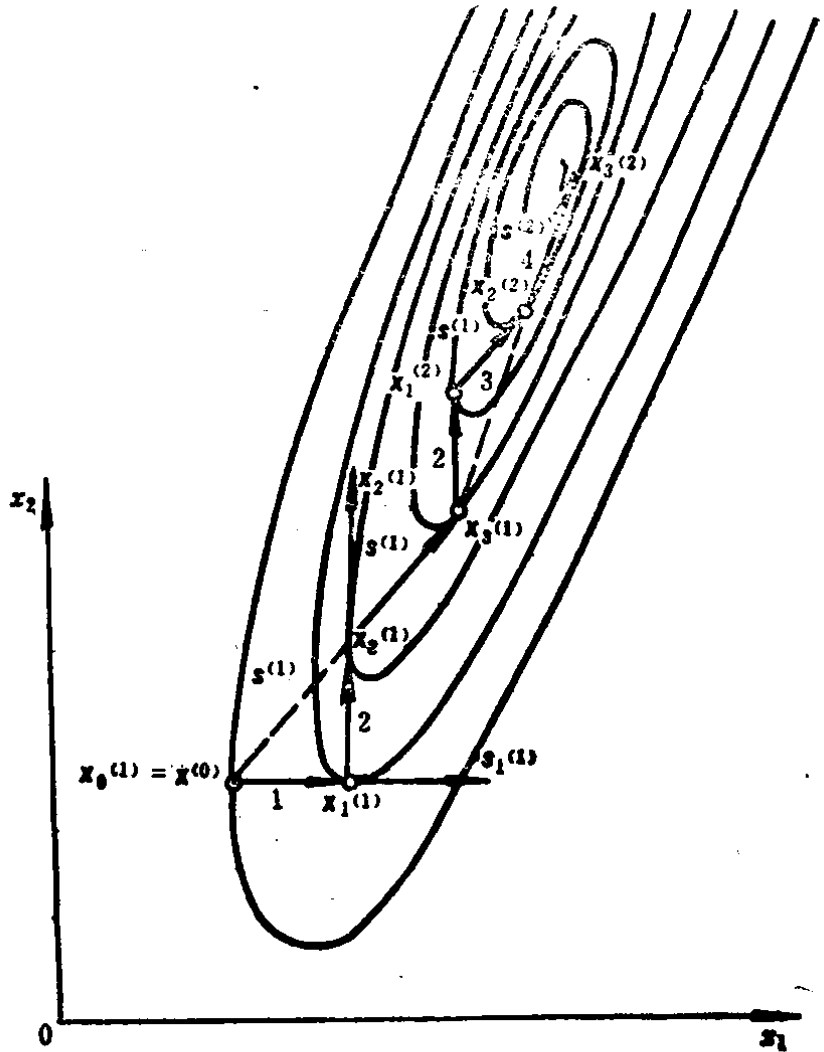


图1-5 Powell法