

新编 机械设计师 手册

徐灏

主编

上册



机械工业出版社

第 12 篇 现代机械设计

第 1 章 现代机械设计总论

1 机械设计的发展

1.1 新形势

机械设计在近 30 年来发生了相当大的变化。设计方法更趋于科学、完善、计算精度更高,计算速度更快。主要表现在以下方面:

1) 基础理论不断深化和扩展。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;疲劳断裂从无限寿命设计发展到有限寿命设计;从常规疲劳强度设计发展到用循环弹性解的局部应力应变法估算裂纹形成寿命;用裂纹扩展原理估算裂纹扩展寿命等。

2) 机械设计现正向以局部或整个机械系统为对

象的动态设计方法扩展。

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、价值工程、造型设计、疲劳强度设计、蠕变设计、摩擦学设计、计算机辅助设计等。

4) 由于电子计算机的发展,在机械设计的各个领域,正在得到越来越广的应用。

1.2 从常规设计到现代设计

上述情况说明,机械设计从常规设计发展到现代设计。归纳起来,现代设计的特点为:1)从静态设计到动态设计;2)从单项设计指标到综合设计指标;3)从常规设计到精确设计;4)从手算设计到广泛应用计算机的设计。机械设计的方法见表 12.1-1。

表 12.1-1 机械设计的方法

设计名称	定 义	特 征 和 内 容
静强度设计	用静强度判据进行强度计算的设计	1. 确定零件中的应力分布可以用常规的,也可以用实验应力分析方法或有限元法。 2. 载荷变化和应力计算的精确程度等对强度的影响,都在许用安全系数中考虑。
疲劳强度设计	应用疲劳、断裂理论进行的设计	1. 根据 S-N 曲线进行常规疲劳设计。 2. 根据循环应力-应变曲线等作裂纹形成寿命估算。 3. 根据断裂力学作裂纹扩展寿命估算。 4. 考虑弹性或塑性应变,有高周疲劳和低周疲劳。 5. 考虑环境因素影响,有高温疲劳、热疲劳和腐蚀疲劳等
可靠性设计	考虑与设计有关的载荷,强度、尺寸、寿命等都是随机变量,有它们的统计规律,并用于设计中,以保证所设计的零件、机器等,符合给定可靠度指标的设计	1. 根据载荷和强度的分布,计算其可靠度或所需的尺寸。 2. 根据载荷和寿命的分布,计算其可靠度或安全寿命。 3. 求出可靠度与安全系数间的定量关系
优化设计	从众多的设计方案中优选其中最好的设计	以最优化方法为理论基础,电子计算机为辅助工具,根据设计所追求的性能指标,建立“目标函数”,在满足某些“约束条件下”,寻求最优设计方案的设计。最常用的优化设计求解法是逐步逼近法

(续)

设计名称	定 义	特 征 和 内 容
计算机辅助设计	利用电子计算机的高速计算能力,迅速完成多种复杂图形的能力,规模巨大的存贮能力和逻辑判断能力,与人的创造能力相结合进行设计的方法	从情报资料检索,进行大量的复杂的数学、力学和逻辑运算,进行设计的综合分析和优化设计,确定设计图样,提供组织生产管理信息等。计算机辅助设计系统有多种型式,初级的仅能按用户订货要求对已标准化的一些产品中自动检索出最佳的标准图纸,高级的可以进行人机对话,直接对图形进行实时修改等

1.3 计算机在现代设计中的地位

机械的发展大体上经历了四个阶段。首先人类在改造劳动工具的基础上,创造了作业机械来完成各种操作;接着由于测量和控制技术的发展,进一步改善了机械的控制功能;现在则由于微电子技术和微型计算机的应用,使机械具备了一定的智力功能。典型的机电仪一体化产品,包括机械、电脑、仪器三部分,相当于人的肢体、大脑和感官。所以,机械工业技术进步的过程,可以说是从延长人手到扩大感觉器官,进而开发人脑的进步过程。机电仪一体化产品将模拟人的基本要素,构成高级自动化系统,使机械产品面貌一新。其中微机的发展和广泛应用,是实现机电仪一体化的关键。

1.3.1 CAD 系统

利用计算机设备和程序进行设计的这一技术称为“计算机辅助设计”(CAD)。将设计程序与用于其它任务的数据处理系统联成一体的技术,称为“计算机辅助工程”(CAE)。将设计程序与整个企业的数据处理和数据管理联在一起时,就称为“计算机集成制造”(CIM),其系统写成CIMS。

计算机辅助设计的能力,取决于计算机设备(硬件),操作系统(操作软件)和程序系统(应用软件)。运行方式、程序语言和CAD工作站的结构,不仅受硬件的影响,而且受操作软件和应用软件的影响。

1.3.2 机电仪一体化

机电仪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,其产品具有结构简单,工作精度高,便于实现操作自动化或半自动化,调整、维修方便,产品更新换代快等特点。

以数控机床为例,早期的数控机床,只是附加一个控制柜,用穿孔纸带输入程序,使机床按预定流程和要求工作。随着计算机技术的推广应用,又将微型机或小型机装入机床本体,程序存放在存储器内,并可根据需要进行修改,从而实现控制内容的多功能化,如输入输出功能,运算处理功能,更改程序功能等,已具备了机电仪一体化的条件。近年来,迅速发展起来的综合加工中心,可将传统机械加工中的钻、铣、镗、铰、攻螺纹等工序集于一身,自动更换和装卡刀具。还可以进一步配备自动送料、换料、换位、出料、自动库存管理和运输传送等功能,从而在控制上实现了“柔性”,甚至可在不停机的情况下,更换加工品种,灵活地修改加工程序等。

机电仪一体化的另一个典型是机器人。机器人是精密机械、微电子、计算机(电脑)、传感、信息、控制、人工智能、新材料、系统工程等多种技术的组合体。世界上的机器人行业已经历了三代。第一代是可编程序式或示教式机器人,已稳定用于生产;第二代是具有视、触等感觉功能的工业机器人,已在工业生产中试用;第三代是具有部分人工智能的高级机器人,已在实验室内取得进展,它们将会逐步进入生产、流通、信息、办公、管理、游乐、家庭等一切领域。

2 新产品设计的基本程序

机械设计是根据对机械产品提出的任务,结合生产的具体情况,应用当代各种先进的技术成果,求得一个在技术上尽可能完善,经济上合算,外貌上满足美学要求,并能集中反映先进生产力的研制机械产品的方案和手段。因此,机械设计要体现时代性和创造性。当代各种先进的技术成果包括:机械强度、机械动力学、摩擦学和材料科学等方面的先进理论,与优化设计、可靠性设计和计算机辅助设计等现代设计方法。此外,还应考虑“价值工程”以探求合理

的技术经济指标,考虑机械产品外形和色调和谐美观与操作方便安全的造型设计和人机工程。

任何先进产品,只有通过设计才能变为现实。据统计,机械产品的生产成本主要是在设计阶段决定的,例如选用材料,采用标准通用零部件,进行结构优化,确定加工流程,估算成本,评价技术-经济指

标,根据市场需求确定产品投放时间等,在设计阶段已基本确定。表12-1-2为机械新产品设计的基本程序。该程序适用于大批量生产,对小批生产和一次性生产的大型产品,设计的基本程序中,方案设计评审与技术设计评审合并进行。

表 12-1-2 机械新产品设计的基本程序

阶段	工作程序	工作内容	
决策阶段	市场调查和预测	根据社会需要,通过对市场和用户的调查研究,预测国内外产品的发展动态和进行水平对比,寻求产品开发的方向和目标;根据市场需求或用户订货,提出新产品市场预测报告	
	技术调查	通过调查、分析、对比,写出调查报告,其内容:国内外产品水平与发展趋势;功能分析;采用新原理、新结构、新技术、新材料、新工艺的论述;经济效果初步分析;用户要求;对同类产品质量信息的分析和归纳;新产品的性能、安装布局应执行的标准或法规等设想;根据需要提出攻关课题及先行试验大纲	
	先行试验	根据先行试验大纲进行先行试验,并写出先行试验报告	
	可行性分析	进行产品设计制造的可行性分析,并写出可行性分析报告,其内容:分析确定产品的总体方案;分析产品的主要技术参数;提出攻关项目并分析其实现的可能性;技术可行性分析;产品经济寿命分析;分析提出产品设计周期和制造周期;企业生产能力的分析;产品成本预估和利润预估	
	开发决策	对可行性分析报告等文件进行评审,提出评审报告及开发项目建议书;批准开发项目建议书	
设计阶段	方案设计	总体方案设计并编制技术任务书	提出对所设计的机器的工作要求,提出多种设计方案;进行技术-经济指标论证,对多种设计方案加以比较;选择最优方案
		研究试验	根据提出的攻关项目及需要编制研究试验大纲,进行新材料、新结构、新原理试验
		绘制总图	绘制草图(总图)
		方案设计评审	对方案设计进行评审,并编写方案设计评审报告
	技术设计	研究试验	根据需要提出研究试验大纲,进行主要零部件结构试验,并编写研究试验报告
		设计计算	根据需要,进行设计计算,并编写计算书
		技术经济分析	根据需要,进行技术经济分析,并编制技术经济分析报告
		修正总体方案	修正并绘制总图,提出技术设计说明书
		主要零部件设计	绘制主要零部件草图
		提出特殊外购件和特殊材料	编制特殊外购件清单和特殊材料清单
		技术设计评审	对技术设计进行评审,编写技术设计评审报告
	施工图设计	全部零部件设计及编制设计文件	提出全部产品工作图样,包装图样及设计文件
		图样及设计文件审批	对图样进行标准化审查和工艺性审查;按规定程序对图样及设计文件进行审批

(续)

阶段	工作程序	工作内容	
试制阶段	样机试制	工艺方案设计	编制试制工艺方案
		工艺规程、工艺定额及工装设计	工艺规程设计, 编制试制工艺文件; 必要的工装设计; 编制材料及工时定额
		生产准备	原材料准备; 外购外协件准备; 工装准备; 设备准备
		样机试制	加工, 装配, 调试; 编写样机试制总结报告
		用户试用	试用, 并编写试用报告
		样机试制鉴定	进行样机试制鉴定, 编写样机试制鉴定书
		设计改进, 最终设计评审并定型	按样机试制鉴定意见, 研究并提出设计改进方案; 对设计改进方案及设计文件进行最终设计评审并编写评审报告; 产品图样及设计文件修改并定型
	小批试制	工艺方案设计及评审	编制试制工艺方案; 工艺方案评审, 并编写工艺方案评审报告; 初步确定工序质量控制点
		工艺规程、工艺定额及工装设计	工艺规程设计, 编制工艺文件; 设计工装; 编制材料定额; 编制工序质量控制点文件
		生产准备	原材料准备; 外购件准备; 工装制造; 检测工具、仪器准备; 设备准备; 设置工序质量控制点
		小批试制	验证工艺规程, 工序能力及工装; 加工, 装配和调试; 编写小批试制总结报告
		型式试验	通过产品型式试验, 编制型式试验报告
		小批试制鉴定	进行小批试制鉴定, 编写小批试制鉴定书
		试销	收集用户试销产品意见; 故障分析; 编写产品质量信息反馈报告
完善设计	按小批试制鉴定意见和反馈的质量信息, 修改产品图样及设计文件		
定型投产阶段	工艺文件定型	工艺文件改进并定型; 材料定额定型; 工时定额定型、工序质量控制点文件完善并定型	
	工艺装备定型	刀具、夹具、模具、量具、检具、辅具等的必要改进并定型	
	设备的配置与调试	主要生产设备(如机床、加热炉等)的配置与调试	
	检测仪器的配置与标定	产品主要检测仪器的配置与标定	
	外协点的设置	主要外协点的选定与设置	

3 机械产品设计的价值工程

3.1 产品质量和成本

价值工程是一种使产品达到物美价廉的设计管理技术。它以功能分析为中心, 谋求使产品具有必要功能和最低成本。为此, 必须在设计、生产准备、加工、装配等整个过程中, 研究采用各种合理化措施, 合理选材, 降低生产成本和缩短工期。

图 12-1-1 表示生产成本的构成, x 为产量, y 为

成本, 水平线 \overline{AB} 表示固定成本, 不随产量的增减而变动, 包括机器的折旧、租金、保险费、管理人员工资和办公费等; 斜线 \overline{OE} 表示随产量而变化的变动成本, 如原材料费、生产工人工资和附加费以及风、电、水费等。通过 A 点作 \overline{OE} 的平行线 \overline{AC} , 其方程式为:

$$y = a + bx$$

式中 a ——固定成本

b ——每一产品的变动成本

则 \overline{AC} 线表示固定成本与变动成本之和, 为生

产总成本线。令 \overline{OD} 线为销售总收入，其方程式为

$$y=cx$$

式中 c ——每一产品的销售收入。

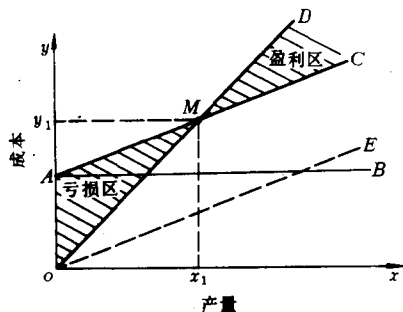


图 12-1-1 生产成本的构成

两直线 \overline{AC} 与 \overline{OD} 的交点 M 为收支平衡点，表示出售产品的数量等于生产产品的数量，或生产费用 x_1 等于销售收入 y_1 。在 M 点的右上方的阴影线区域为盈利区，左下方的阴影线区域为亏损区，企业必须设法降低成本提高质量，扭亏增盈，才能在市场上有竞争力。

3.2 产品的技术评价

技术评价的方法，多数情况下可用算法或测量法来求得。例如，小轿车的数据有：耗油量 (L/100km)，噪声 (dB)，效率 (%) 等，由于计量单位各不相同，一般是通过给分评价来做出总的判断。例如，优秀给 4 分，良好给 3 分，可以给 2 分，勉强给 1 分，不能满足要求给 0 分。评价时，可用一个能实现全部评价特征的理想的技术解决方案作为基准，用它与其它几个方案进行对比，通过判分来确定各方案达到要求的理想程度。

令 P_1, P_2, \dots, P_n 表示 1, 2, ..., n 个性能的分值，用 P_{\max} 表示理想产品全部性能的最高分值， n 为参与评价的项目数，则“技术价值” x 为

$$x = \frac{(P_1 + P_2 + \dots + P_n)/n}{P_{\max}} = \frac{\bar{P}}{P_{\max}} \quad (12 \cdot 1-1)$$

式中 \bar{P} 是 P_1, P_2, \dots, P_n 的算术平均值， $P_{\max} = 4$ 。例如，要评价的第一个性能是 3 分，第二个性能是 4 分，第三个性能是 2 分，第四个性能是 1 分，第五个性能是 3 分，则有

$$\bar{P} = \frac{3 + 4 + 2 + 1 + 3}{5} = 2.6$$

得技术价值 x 为：

$$x = \frac{\bar{P}}{P_{\max}} = \frac{2.6}{4} = 0.65$$

一般讲来，技术价值超过 0.8 就算是最好的了，0.7 左右是好的，0.6 以下则是不合要求的。

对于各种性能的重要性不相同的情况下，可求加权平均值 x_g 来代替算术平均值 x ：

$$x_g = \frac{g_1 P_1 + g_2 P_2 + \dots + g_n P_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) P_{\max}} \quad (12 \cdot 1-2)$$

式中 g_1, g_2, \dots, g_n ——与技术性能 1, 2, ..., n 相应的加权系数

3.3 产品的经济评价

进行经济评价时，必须对产品的制造费用加以分析。表 12-1-3 列出了产品的费用和成本。表中的标准价格 P (计算价格) 是企业力求达到的数值。由用户支付的实际价格可用售价 P_E 表示。根据市场的供求量而定的价格称为市场价格 P_M 。

表 12-1-3 费用和成本

费用名称	符 号
毛材料费用	W
+ 材料管理费用	G_1
+ 外购件费用	Z
+ 外购件管理费用	G_2
材料费用 (包括加工费用)	M
零件的加工工资	L_1
+ 零件管理费用	G_3
+ 装配工资费用	L_2
+ 装配管理费用	G_4

(续)

费用名称	符 号
加工费用	F
+零件加工中刀具、模具等费用	C
制造费用 ($M+F+C$)	H
+研制费用	E
+行政管理费用	G_5
工厂产品成本 ($H+E+G_5$)	S_F
+销售管理费用	G_6
成本 (S_F+G_6)	S
+盈利	Δk
+纳税	S_i
标准价格 ($S+\Delta k+S_i$) [*]	P

* 在定产品的标准价格时应考虑代理商行的手续费

成本 S 可按下式计算

$$S = H + (E + G_5 + G_6) \quad (12 \cdot 1 \cdot 3)$$

标准价格 P 可按下式计算

$$P = S + \Delta k + S_i = \beta H \quad (12 \cdot 1 \cdot 4)$$

制造费用 H 为

$$H = M + F + C \quad (12 \cdot 1 \cdot 5)$$

计算新开发产品的制造费用应与改进产品有所区别,虽可根据手头的草图来算出材料费用 M ,但在设计阶段却没有什么依据来算出加工费用 F 。如果有一种产品的设计图与新产品的草图相似,而前者的材料费用所占总费用的百分数 M' 又是已知的,就可用下式来估算制造费用

$$H = \frac{M}{M'} 100\% \quad (12 \cdot 1 \cdot 6)$$

与技术价值 x 类似,在经济评价中采用一个相似的经济价值 y 。

例如,对市场所作的调查研究,得到了等价产品的市场价格 P_M ,今以 $P_{M, \min}$ 表示市场最低价格,由式 (12·1-4) 可求得许用制造费用 $[H]$ 为

$$[H] = \frac{P_{M, \min}}{\beta} \quad (12 \cdot 1 \cdot 7)$$

式中 β ——标准价格与制造费用的比值

为了保证产品经济而又具有足够的使用寿命,建议使理想制造费用 H_i 是许用制造费用 $[H]$ 的 0.7 倍,由此得经济价值 y 为

$$y = \frac{H_i}{H} = \frac{0.7[H]}{H} \quad (12 \cdot 1 \cdot 8)$$

如果经济价值达到 $y=0.7$, 有 $H=[H]$, 这是较好的结果,但人们仍力求达到更高的经济价值。

3·4 产品的研制

图 12·1-2 是技术-经济评价确定设计方案示意图。横坐标是技术价值 x , 纵坐标是经济价值 y 。某一设计方案的“成熟程度”, 由 x 和 y 坐标点 S 来表示, 由于 x 和 y 的最大值都是 1.0, 故 $x=1.0$ 和 $y=1.0$ 的交点 S_i 表示理想的设计方案, 经验证明, 只有技术上优良, 同时制造费用又较低的设计方案才是用户欢迎的, 即代表设计方案的 S 点, 应在 $\overline{OS_i}$ 线附近, 而且越近越好, 对角线 $\overline{OS_i}$ 称为产品研制线, 在对每一设计方案作技术-经济的评价中, 随着设计方案的完善, 代表某一设计方案的点 S 将向着 $\overline{OS_i}$ 方向与 S_i 点接近。

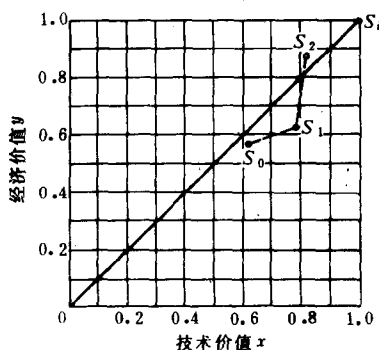


图 12·1-2 技术-经济价值评价设计方案

在改进设计中, 对现有产品的结构和工艺情况是已知的, 即其制造费用 H_0 已知, $y=H_i/H_0$ 也已

知, x_0 可用式 (12·1-1) 所述的方法求得。由此得到了 S_0 点, 作为评价设计方案优劣的参考点。第一次的设计方案给出后, 可以求得相应的坐标值 x_1 和 y_1 , 由此画得 S_1 点, 从图 12·1-2 中看出, S_1 虽然比 S_0 稍接近 S_i 点, 但它偏离研制线 OS_i 较远, 所以 S_1 不是令人满意的方案。进一步的工作是技术评价和经济评价分别进行分析, 弄清薄弱环节所在, 并尽可能消除这些薄弱环节。然后作第二次技术-经济评价, 得到 S_2 点。 S_2 点靠近研制线, 而且与 S_i 点很接近, 于是确定点 S_2 点为设计点。

3·5 价值工程举例

今以洗衣机为例说明价值工程的应用, 其步骤如下:

(1) 确定价值分析对象

首先根据已生产的洗衣机计算出成本中的各项费用, 绘出成本构成图 (图 12·1-3)。图中工时费用为 98.1 元, 占总成本 249.5 元的 39.3%; 外购件费用为 77.3 元, 占总成本的 31%; 原材料费用为 68.5 元, 占总成本的 27.5%; 其它费用为 5.6 元, 占总成本的 2.2%。”

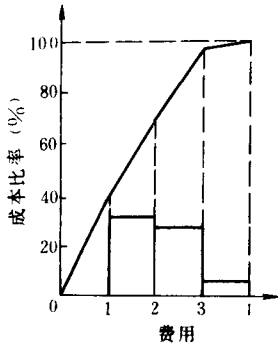


图 12·1-3 洗衣机成本构成图
0-1 工时费用; 1-2 外购件费用;
2-3 原材料费用; 3-4 其它费用

再将洗衣机所有零件按成本大小顺序排队, 并按成本划分为 A、B、C 三组, 7.00 元以上的为 A 组,

共有 10 个零件; 0.60~7.00 元的为 B 组, 共有 30 个零件; 小于 0.60 元的为 C 组, 共有 61 个零件。10 个 A 组零件的成本占总成本的 74.6%; 30 个 B 组零件的成本占总成本的 18.5%; 61 个 C 组零件的成本占总成本的 6.9%。将 A、B、C 组的成本逐个累加画出的成本比率曲线如图 12·1-4。称为 ABC 分析曲线。

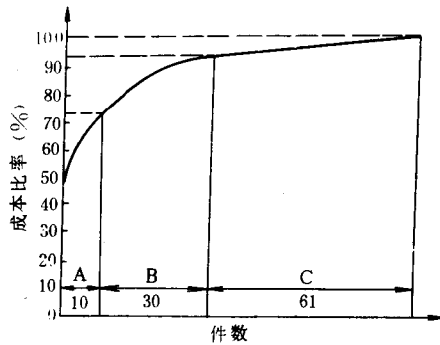


图 12·1-4 ABC 分析法曲线图

从 ABC 分析曲线可见, 排在最前面的少数零件占了产品成本的绝大部分, 所以价值分析的重点应加在 A、B 两组, 特别是 A 组零件上。

(2) 零件的价值分析方法

今介绍强制打分法对 A 组 10 个零件进行对比分析。方法是把各个零件按功能重要程度一对一的进行对比, 功能重要的得一分, 不重要的得零分, 各零件自身不能相比, 打 X, 分别写在表 12·1-4 的格子里, 将零件得分数除以各零件总分数, 得该零件的功能评价系数:

$$\text{功能评价系数} = \frac{\text{零件得分数}}{\text{各零件总分数}}$$

零件评分最高的最重要。

表 12·1-4 主要零件强制打分法表

零件名称	电机	外罩	盖圈	内筒	定时器	三角带轮	风扇轮	电容器	轴壳	上盖	得分	功能评价系数 (%)	目前成本 (元)	成本系数 (%)	价值系数
电机	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	20.0	44.13	23.7	0.84
外罩	0	X	1	1	0	1	1	1	1	1	7	15.5	32.50	17.5	0.89
盖圈	0	0	X	0	0	1	1	1	1	1	5	11.1	32.45	17.4	0.63
内筒	0	0	1	X	0	1	1	1	1	1	6	13.3	25.05	13.4	0.79
定时器	0	1	1	1	X	1	1	1	1	1	8	17.8	13.90	7.5	2.38
三角带轮	0	0	0	0	0	X	1	0	0	1	2	4.44	8.74	4.7	0.94

(续)

零件名称	电机	外罩	盖圈	内筒	定时器	三角带轮	风扇轮	电容器	轴壳	上盖	得分	功能评价系数 (%)	目前成本 (元)	成本系数 (%)	价值系数
风扇轮	0	0	0	0	0	0	×	0	0	1	1	2.22	7.88	4.23	0.52
电容器	0	0	0	0	0	1	1	×	1	1	4	8.89	7.00	3.76	2.36
轴壳	0	0	0	0	0	1	1	0	×	1	3	6.67	7.20	3.87	1.72
上盖	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	0	0	7.30	3.92	0
合计											45	100.0	186.15	100.0	—

(3) 功能分析

功能分析工作是由设计、工艺、制造、销售和用户代表共同讨论完成的，首先要对洗衣机的每个零件下功能定义，下功能定义的目的是为下一步方案比较提供依据，下定义的方法是用简明的语言描述各零件的功能。然后按功能的体系将洗衣机分为四个功能区：控制装置；动力和传动装置；容器装置；外观和保护装置。分功能区的目的在于进一步明确洗衣机各部分的基本功能及实现这些功能的手段，并可看出那些功能是重复多余的，那些功能是不足的。

在此基础上开展功能评价，选出成本较高的 20

个零件，组织设计员、工艺员、生产工人和管理员等，根据各零件的基本功能、辅助功能、外观功能给各零件打分。根据得分计算各零件的功能系数、成本系数和价值系数。

$$\text{功能系数} = \frac{\text{零件得分}}{\text{总分数 (20件)}} \times 100 (\%)$$

$$\text{成本系数} = \frac{\text{该零件目前的成本}}{\text{总成本 (20件)}} \times 100 (\%)$$

$$\text{价值系数} = \frac{\text{功能系数}}{\text{成本系数}}$$

表 12·1-5 为洗衣机成本较高的 20 个零件的功能评价表。

表 12·1-5 洗衣机功能评价表

序号	零件名称	基本功能	辅助功能	造型要求	得分	功能系数 (%)	零件成本 (元)	成本系数 (%)	价值系数
1	电机	提供动力			90	18.0	44.13	20.71	0.879
2	外罩	支撑衣筒	防锈	要求美观	66	13.2	32.5	15.076	0.876
3	盖圈	连接筒盖	防锈, 内溢水	要求美观	47	9.4	32.45	15.053	0.624
4	内筒	盛装水衣	表面平滑		50	10	25.05	11.62	0.861
5	定时器	控制时间			26	5.2	13.9	6.448	0.806
6	三角带轮	降低转速	传递转矩		18	3.6	8.74	4.054	0.888
7	风扇轮	冷却电机	助传转矩		16	3.2	7.88	3.655	0.876
8	上盖	防外溢水	防锈	要求美观	15	3.0	7.30	3.386	0.886
9	电容器	起动电机			14	2.8	7.0	3.247	0.862
10	轴壳	固装传动件			15.5	3.1	7.20	3.34	0.928
11	安装座	支撑筒体件			13	2.6	5.96	2.765	0.94
12	散热板	散发热量	减震	要求美观	11.5	2.3	5.24	2.431	0.946
13	电机座	支撑电机			6	1.2	2.68	1.243	0.965
14	轴	传递转矩			34	6.8	2.57	1.192	5.705
15	轴承	减少摩擦	轴的支承		5	1	2.4	1.113	0.898
16	包装箱		保护整体		5	1	2.4	1.113	0.898
17	蛇形管	排放污水		要求美观	5	1	2.3	1.076	0.937
18	滚轮轴	支撑滚轮			3.5	0.7	1.62	0.751	0.932
19	塑料袋		防止划伤	要求美观	2	0.4	1.5	0.696	0.575
20	叶轮	形成涡流			58.5	11.7	2.75	1.276	9.169
合计					500	100	215.57	100	

图 12·1-5 为洗衣机 20 个零件价值系数分布图，图中画出了价值系数等于 1 的倾斜线，价值系数接近 1 的，表明功能与成本相当，价值系数小于 1 的表明成本过高，应作价值分析对象；价值系数大于 1 的，表明成本分配偏低。由图 12·1-5 选择偏离价值系数等于 1 的线最远的点 17，盖圈作为分析对象。

(4) 方案改进

对于成本过高的盖圈进行分析。原来盖圈的材料采用不锈钢 1Cr18Ni9Ti，每公斤 17.1 元，单台材料价格达 26.85 元。经过分析，盖圈的功能是连接内外筒、防腐和封严。在洗衣机中只能起辅助作用，可见成本过高。曾先后提出几个改进方案，如用 2Cr13，每公斤 4.5 元和用 0Cr17，每公斤 6.0 元等不锈钢作过试验，发现用 2Cr13 做的盖圈受潮后表面生锈斑，而 0Cr17 材料符合要求，现改用 0Cr17 后，单台成本降低 17.43 元，洗衣机盖圈材料选择见表 12·1-6。其它降低洗衣机成本的措施见表 12·1-7。

在加工工艺上也进行了改进，原来冲压内筒效率低，质量差。随着批量增加，建立了内筒专用线。改造后的自动烤漆线，外壳流水线，总装生产线都进行了调整，使单台工时由原来的 39h

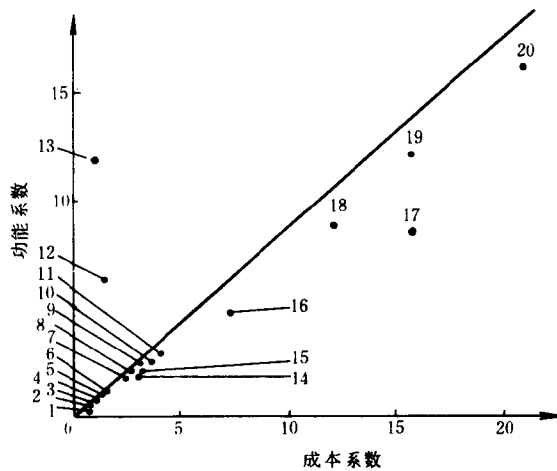


图 12·1-5 洗衣机主要零件价值系数分布图

- 1—塑料袋 2—滚轮轴 3—包装箱 4—蛇形管
- 5—轴承 6—电机座 7—散热板 8—安装座
- 9—轴壳 10—风扇轮 11—三角带轮 12—轴
- 13—叶轮 14—电容器 15—上盖 16—定时器
- 17—盖圈 18—内筒 19—外罩 20—电机

降到 27h（冰花漆）和 25h（烤漆），工时定额下降 40%。价值分析前后洗衣机成本对照见表 12·1-8。

表 12·1-6 洗衣机盖圈材料的方案选择

序号	材料	成本(元)	用户反映	方案确定
1	塑料	3.20	担心老化	淘汰
2	搪瓷	4.60	容易碰伤锈蚀	本厂不具备工艺条件
3	钢板镀铬	9.70	良好	工艺复杂，淘汰
4	不锈钢 2Cr13	6.60	日久有锈斑	淘汰
5	不锈钢 1Cr18Ni9Ti	26.80	良好	费用高，淘汰
6	不锈钢 0Cr17	9.02	良好	选用

表 12·1-7 降低洗衣机成本的具体措施

序号	零件名称	原用材料	原成本(元)	改进措施	改进后成本(元)	降低成本(元)	备注
1	电机		42.60		37.52 (平均)	5.08	
2	防水板	低碳钢板	1.34	取消防水板	0	1.34	
3	盖圈	1Cr18Ni9Ti	32.45	采用 0Cr17 代替	15.02	17.43	
4	放水管	塑料	2.30	采用胶管	3.00	-0.7	
5	花螺母	低碳钢板	1.04	由车间包干	0.50	0.54	

(续)

序号	零件名称	原用材料	原成本(元)	改进措施	改进后成本(元)	降低成本(元)	备注
6	滚轮轴	45 钢	1.62	车间冷墩	0.40	1.22	
7	安装座	08F 钢	5.96	改用 Q235A 钢	3.52	2.44	
8	电机座	08F 钢	2.68	改用 Q235A 钢	3.29	0.39	
9	支架	08F 钢	1.11	改用 Q235A 钢	1.06	0.05	
10	框架	08F 钢	0.86	改用 Q235A 钢	0.84	0.02	
11	挡片	08F 钢	0.664	改用 Q235A 钢	0.661	0.003	
12	塑料件	塑料	2.42	改为自己压铸	1.20	1.22	5 个件
13	铝轮	铸铝	16.62	改用余料压铸	3.00	13.62	2 个件
14	轴	45 钢	2.57	改用 2Cr13	2.50	0.07	
15	盖圈余料	1Cr18Ni9Ti	—	综合利用	—	4.00	
合计						46.72	

表 12-1-8 价值分析前后洗衣机成本对照表

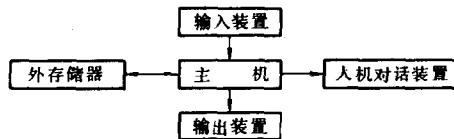
项目 品种	原材料+外购件费用 (元)		工时费用 (元)		三包费 (元)	工装费 (元)	单台成本 (元)	
	原来	改进后	原来	改进后			原来	改进后
烤漆	145.80	122.00	98.10	37.5	1.10	2.90	247.90	163.50
冰花漆	151.00	127.00	98.10	40.5	1.10	2.90	253.10	171.50

功能见表 12-1-9。

4 计算机辅助设计 (CAD)

4.1 CAD 系统的组成

数字计算机由高集成度的电子器件组成, 这些器件实体称为硬件。计算机的工作由程序或指令控制, 这些程序和指令称为软件。



4.1.1 CAD 硬件

典型的 CAD 硬件的组成如图 12-1-6 所示, 其

图 12-1-6 典型的 CAD 硬件的组成

表 12-1-9 CAD 系统硬件及其功能

组成	功 能	备 注	
主机	中央处理器 (CPU)	CPU 中的控制器从内存中取出指令, 并按照指令指挥和控制整个计算机工作; CPU 中的算术-逻辑运算器对数据进行各种算术和逻辑运算, 运算的数据从内存中提取, 运算的结果又存回内存	主机是计算机的最主要部分, 包括中央处理器 (CPU) 和内存
	内存	内存是主机内部的存储器, 有一定的容量。内存中包含控制计算机运行的指令 (程序) 和要处理的数据都贮存在内存中, CPU 可在执行指令中随时按地址提取和存贮内存中的信息	关闭计算机后, 内存中的信息就会失掉
外存贮器	外存贮器是经过通道与 CPU 连接, 用来存放大量暂时不用而等待调用的程序或数据。它可以永久性地贮存信息, 并可实现较大的容量	最常用的是磁带、软磁盘和硬磁盘	

(续)

组成	功 能	备 注	
输入装置	字符输入	操作者常使用键盘键入字符或精确的数据符号。字符键盘上还设有一些附加键,经过定义可用来执行特定的功能。有的计算机还配有功能键盘,经过配置时定义,当按下某个按键时,就会激活已存贮在机内的某个功能程序,执行某项工作	通用字符键盘是最基本的输入装置
	图形输入	图形数字化仪是将各种几何图形转换成精确的坐标位置并直接送入计算机。其外形很象一块绘图板,探头在矩形板上的位置,即定位点的坐标值	是一大型的精确的图形输入装置,有电磁感应式、磁致伸缩式、超声式等
		图形输入板的外形和功能与图形数字化仪完全一样,但板的尺寸较小,送入图形的精度较差	常用作图形功能(菜单*)的调用手段或作小型图形和草图的输入
		鼠标器是在两个金属轮子上安一塑料小匣,上面装有操作按钮,两个轮子各连接一个轴编码器,是一种简易的图形输入装置,但它不能跟踪纸上的数据	主要用于控制屏幕上的光标位置
	光笔的笔端有一光敏探测器,可用于在屏幕上指示图形的图素和位置;对显示出的图形元素或字符串作删除;能指点调用某个子程序进行某项运算或增补图形	实现上述光笔功能需要有软件的配合,预先编排相应的子程序并存放在计算机内	
输出装置	字符输出	行式打印机是最常用的字符输出设备,当打印完一行字符后,打印纸便移动到下一个打印位置,继续打印;而电传打字机只用来输出部分中间运算结果,以供操作者了解运算情况	电传打字机工作速度慢,故在计算机中不作主要的输出设备使用
	图形输出(硬拷贝)	笔绘图机是CAD中应用最广的图形输出设备,结构上它分为滚筒式和平板式两种,滚筒式结构紧凑,但精度和绘图质量不如平板式,一般都可以换笔以选择多种颜色和不同的粗细线型进行绘图,有的还具有较高智能,如自动优化绘图次序,减少空程笔移动距离,进行比例缩放笔点阵式图形输出装置有:击打式打印机,静电式绘图机,喷墨式绘图机,激光打印机等。击打式打印机价格便宜,但打印的图形质量不高;喷墨式绘图机可以生成彩色图形;静电式绘图机的价格是笔绘图机的数倍,但它的绘图速度也是笔绘图机的数倍,当点阵密度达15.7/mm(400/in)时,图面质量接近于笔绘图机,它较多的应用于高档的CAD系统中,激光打印机是近几年发展较快的输出设备	输出设备一般可分为两大类,即硬拷贝设备和软拷贝设备,前者是将输出的信息转变成永久性的物理记录,如打印出的报表和图形等;后者只是产生暂时的影像,如显示器屏幕上的图形和字符
		图形输出(软拷贝)	显示器能把计算机的输出信息直接在屏幕上以字符,曲线、图形及图象的方式显示出来,它具有直观性好,可修改,可清除等优点,但无法保存,需应用打印机和绘图机的硬拷贝来保存结果
会话装置	设计者与计算机会话的媒介装置是字符或图形显示器,图形显示器的主要器件是阴极射线管	目前还出现了声音输入装置,用对话输入指令,便可输出信息	

* 菜单是贴在台板上事先画好的几排方形格子,每个格子代表某个程序,用探头的十字划线对准所选择的菜单项(一个格子),然后按某个按钮,便完成了指点菜单,即执行了那个程序的命令。由于操作形象如点菜,故该方形格子单称“菜单”。

4.1.2 CAD 软件

CAD 软件可分为系统软件和应用软件两大类。系统软件是由计算机生产者或开发者提供的与硬件有关的最基层软件,主要包括各种语言编译器和操作系统。操作系统或操作软件是指为控制和管理计算机的硬件和软件资源、合理组织计算机工作流程以及方便用户使用计算机而配置的程序的集合。

操作软件必须提供多道程序运行和分时操作的

可能性;还必须使用户能够在工作中使用较高级的程序语言,以实现对话式输入和输出,以及实现几何数据的输入和输出。

应用软件指为解决各种 CAD 应用任务而编写的程序。它又可分为支撑软件和专用应用软件。支撑软件指围绕 CAD 中的共性工作开发的通用性应用软件包,它已成为商品软件。专用应用软件是根据用户具体应用要求而单独开发的应用软件。

CAD 系统软件和应用软件及其功能见表 12·1-10。

表 12·1-10 CAD 系统软件和应用软件及其功能

组 成		功 能	备 注
系 统 软 件	语 言 编 译 软 件	CAD 技术中广泛应用的是面向过程或面向问题的高级语言程序叫源程序,源程序要经过编译器编译后产生可执行的二进制机器语言码,可以在计算机中执行。常用的高级语言有 BASIC, FORTRAN, PASCAL, C, LISP 和 PROLOG 等	程序编写者可根据具体情况选用某种高级语言,例如 FORTRAN 语言计算功能强,适于科学计算等
	操 作 软 件	操作软件是指为控制和管理计算机的硬件和软件资源,合理组织计算机工作流程以及方便用户使用计算机而配置的程序的集合	操作软件必须提供多道程序运行或分时操作的可能性,它必须使用户能用高级程序语言,以实现对话式和几何数据的输入和输出
应 用 软 件	CAD 支 撑 软 件	图形软件,有二维图形软件主要提供绘制机械制图图样的功能;三维图形软件则还具有生成透视图、轴测图、阴影浓淡外形图等的功能。在 CAD 工作中,还要求能方便地在屏幕上构成设计对象形状和尺寸,并反复作优化修改,即有构形的功能 分析软件,常用的有:有限元计算软件,机构运动分析和综合计算软件,优化计算软件,动力系统分析计算软件等 数据库管理软件和数据交换接口软件,CAD 过程中需引用大量设计标准和规范数据;设计对象的几何形状,材料热处理以及工艺参数等数据需在设计过程中逐步确定,并根据分析结果作优化修改,因此,CAD 系统中需要有数据库管理软件,以便对 CAD 数据库进行组织和管理	支撑软件有图形软件,分析软件,数据库管理软件,数据交换接口软件等
	专 用 应 用 软 件	专用应用软件是直接解决实际问题的软件,例如把常用的典型的机构或零件的设计过程标准化,然后建立通用设计程序,设计者可以方便地调用,按照需要输入参数来计算应力,确定几何尺寸、重量,以及设计工艺过程等	它可以是一个用户专用,也可以为许多用户通用

4.1.3 CAD 系统配置

CAD 系统常以其硬件组成特征分类。按主机功能等级,CAD 系统可分为大中型机系统、小型机系统和微型机系统。

通常,把用户可以进行 CAD 工作的独立硬件环境称作工作站,根据主机和工作站之间的配置情况,CAD 系统可分为独立配置系统、集中式系统和分布式系统。典型的 CAD 配置见表 12·1-11。

表 12·1-11 CAD 系统配置的分类

类别	系统配置说明	备注
集中式系统	主机常为大、中型机，以一个集中的主机同时支持若干个工作站(多达几十个工作站)。这种系统具有较强的功能，除直接用于 CAD/CAM 之外，还可支持管理、办公室自动化工作	适合于大型计算站
独立配置系统	独立地用一个主机支持一个工作站。主机可以是小型机或微机	微机 CAD 系统大多采用这种方式
分布式系统	系统中包括多个 CPU，每个 CPU 分别支持一个或几个工作站，CPU 通常是小型机，也可以通过联网逐步将系统扩大和升级	工程工作站单个使用已可完成绝大部分 CAD 工作，如有必要还可通过联网求助于大型机

4·2 计算机辅助绘图

在 CAD 系统中，计算机图形系统是重要的组成部分。设计者借助图形系统的实体造型、曲面造型等功能，通过窗口、剪裁、几何变换、消除隐藏线(面)等方法及图形交互技术，在屏幕上设计出所构思的二维和三维图形。该图形信息作为分析计算和加工制造的重要原始资料。如对形体进行各种物性(重心、惯性矩等)分析；在有限元分析系统中，对

形体自动划分网格，进行应力、应变力学分析等。实体造型是计算机绘图中的一门核心技术。

通常应用的几何模型有线、面、体三种。线模型采用线元素绘制形体的棱线；面模型采用线模型定义，由线与线之间所包围的面，再由面与面间的拓扑关系来描述形体。体模型是由一定形状和体积的基本元素通过逻辑运算(并 U、交 ∩、差 - 等运算)的关系组合而成的。

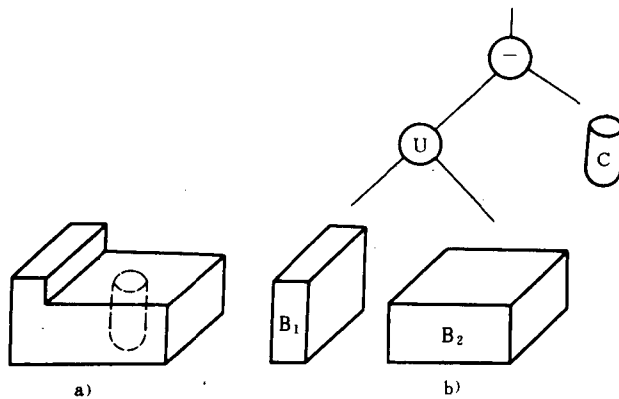


图 12·1-7 各种体素构型结构

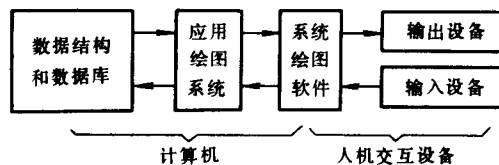


图 12·1-8 计算机图形系统基本组成

图 12·1-7a 所表示的零件由长方体素 B_1 和 B_2 及圆柱体素 C 组成, 其体素构型结构如图 12·1-7b 所示。

计算机图形系统基本组成如图 12·1-8 所示。该系统的硬件部分包括计算机和人机交互设备(信息输入、输出设备)。软件部分包括图形支撑系统、应用绘图系统和数据库。图形支撑系统由专门软件公司提供, 具有绘图、分析、仿真等多种功能。应用绘图系统一般由用户建立。数据库用来存储、管理和处理各种图形信息。

4·2·1 图形支撑系统

三维图形软件包括线框造型、曲面造型和实体造型等形体造型基本功能。线框造型仅给出构成图形框架的直线端点坐标, 简单易行, 被 CAD 广泛应用。曲面造型应用各种类型的闭合曲面来表示三维物体, 在航空和汽车工业的 CAD 中应用最广。实体造型广泛应用于机械 CAD/CAM 中, 它可以给出物体的形状、颜色和浓淡阴影。图形软件除具有造型功能外, 还配合使用窗口、缩放、平移、旋转等视见操作, 完成图形的输入、拾取、定位、增删等交互操作。较流行的三维图形软件如 CADAM、DDM、APLICON、INTERGRAPH 等图形系统。

除三维图形软件外, 微机(PC)上还广泛应用二维图形软件 AutoCAD。应用 AutoCAD, 用户可以在屏幕上交互设计各种图形。交互型的图形输入一般由键盘或图形输入板完成。今以图 12·1-9 所示的封闭几何图形为例, 说明 AutoCAD 交互绘图的方法:

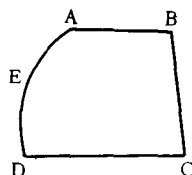


图 12·1-9 封闭几何图形

1) 将光笔点至菜单上画连续直线的命令 LINE; 2) 将光笔点至作图区某一适当位置, 即确定图形的 A 点, 此时屏幕的相应位置显示一游标; 3) 依次将光笔在作图区点至 B、C 和 D, 屏幕上显示出 ABCD 折线; 4) 光笔点至菜单上三点生成圆弧的命令 ARC; 5) 分别将光笔在作图区点至 A、E 和 D, 完成 \widehat{AED} 弧段, 屏幕上显示出封闭的几何图形。

4·2·2 参数化绘图

参数化绘图适用于结构形式基本固定而结构尺

寸参数变化的图形输入。图 12·1·-10 为参数化绘图, 其基本参数为 a_1 、 a_2 、 b_1 和 b_2 , 当参数数值变化时, 就得到 a 和 b 的图形。

程序参数化方法是将图形信息记录在程序中。它用一组变量记录图形的几何参数(如点的坐标), 用赋值语句记录几何参数和结构参数(如图形的长、宽等)之间的联系, 然后再用一系列调用语句来描述图形的拓扑关系。为了实现参数化绘图, 需要建立一个计算机图形软件系统。应用这个系统可以简化图形设计应用程序的编制, 并能方便地应用计算机程序实现图形的输入和输出。

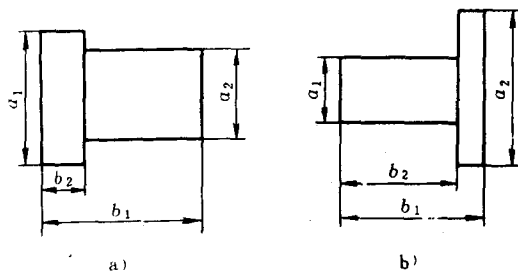


图 12·1-10 参数化绘图

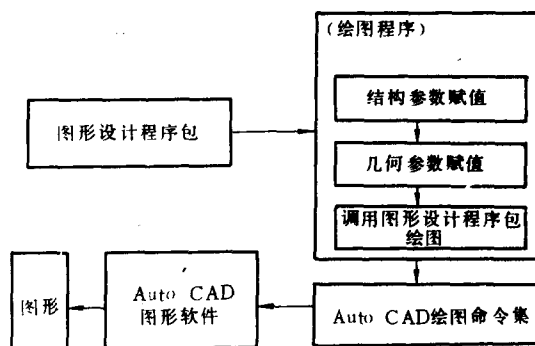


图 12·1-11 以 AutoCAD 图形软件为支撑软件的原理图

图 12·1-11 表示以 AutoCAD 图形软件作为支撑软件的原理图, 由此而建立的图形设计程序包, 用 FORTRAN 作为主语言, 依照 AutoCAD 的绘图命令格式, 设计了一系列的绘图子过程(如绘直线、绘剖面线、标注尺寸及公差、写汉字等)。运行绘图程序, 则生成一组可供 AutoCAD 执行绘图功能的命

令集,在 AutoCAD 的环境下执行该命令集,就能在屏幕上显示图形。

4.2.3 图素拼合绘图

图素拼合绘图是将图形看作由若干基本图形元素构成。例如轴一般由圆柱段、圆锥段、螺纹段、花键段等组成,轴上有倒角、圆角、键槽、横孔、退刀槽、中心孔等结构。针对某一类型的图形,事先编写出组成该图形的基本元素的参数化绘图程序,并制成基本图素菜单。绘图时,通过点菜单将所需要的图素调出,拼合成各种结构形式的图形。图素拼合绘图适应性较大,如果将一些标准件和通用件如螺钉、螺母、销钉、齿轮、轴承、法兰盘等编成参数化图素,可以十分方便的绘制装配图。

4.3 机械设计工程数据库

用 CAD 系统进行产品设计过程中,需对大量信息进行科学处理,因此对数据的管理是 CAD 极其重要的内容,因此,需要建立数据库系统。数据库系统是实现在有组织的动态的存贮大量关联数据方便用户使用的计算机软硬件资源组成的系统。它由计算机系统、数据库、数据库管理系统以及用户及其应用程序组成:

计算机系统指用于数据库管理的计算机硬件和操作系统、主语言等基本软件;数据库是存贮器上存放的相互有关的数据集合;数据库管理系统是处理所有数据库存取和各种管理控制的一个专用软件,用户应用程序对数据库的操作是通过数据库管理系统进行的;用户的业务处理是通过专门的应用程序来实现的。

在大型设计部门,往往要求设置很多 CAD 工作站,它们共享一个公共数据库。这时,所有工作站的计算机相连,这些计算机既可以各自独立,又可以分别与一个大型计算机(主机)相连。各个 CAD 工作站之间的连接或者连网,可以直接用一个大型计算机来实现。

4.4 设计过程中计算机的应用

计算机辅助设计就是要在各个设计阶段或整个产品设计过程中应用软件技术,提出在计算机系统中实现某项产品设计的方法和手段。设计的成品是程序(软件),它装入计算机系统就构成了该项产品的设计系统,应用这个系统可以大大提高设计质量

和设计速度。

目前已有很多单项程序用于处理某一类性质的设计任务。例如在结构分析中,用 SAP、ADINA、ASKA 等结构分析通用程序来处理 CAD 中的有限元分析等。此外,还有成本预算程序,制订零件表程序,文字处理程序等。目前虽有一些 CAD 软件在应用,但一般只是以个别装机程序的形式,解决 CAD 的局部任务。将来的开发将导致这些程序相连成为程序系统。应用这些程序系统,使设计过程得到连续不断的全面的计算机辅助。还可以借助一个控制程序,提供程序化了的设计方法和专家系统,使其便于应用。在处理任务的过程中,这一控制程序能对设计师逐步引导,使他们可以如图 12.1-12 所示通过 CAD 指令语言调用各个程序模块。

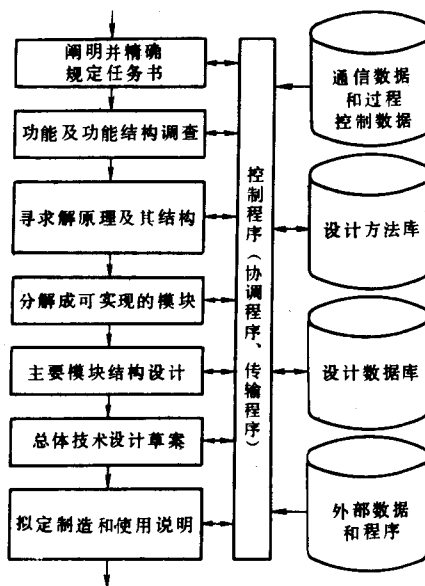


图 12.1-12 借助一个控制程序实现计算机辅助设计的一般情况

图 12.1-13 阐明用 CAD 支持设计过程的一般情况。可以看到设计人员与 CAD 系统之间和 CAD 系统中的信息流或数据流的一般情况。应指出,根据给定任务的新颖程度和涉及范围,所追求的优化目标和可供应用的程序情况,总有或多或少的设计作用常规方法来完成,另一些则用 CAD 系统来完成。

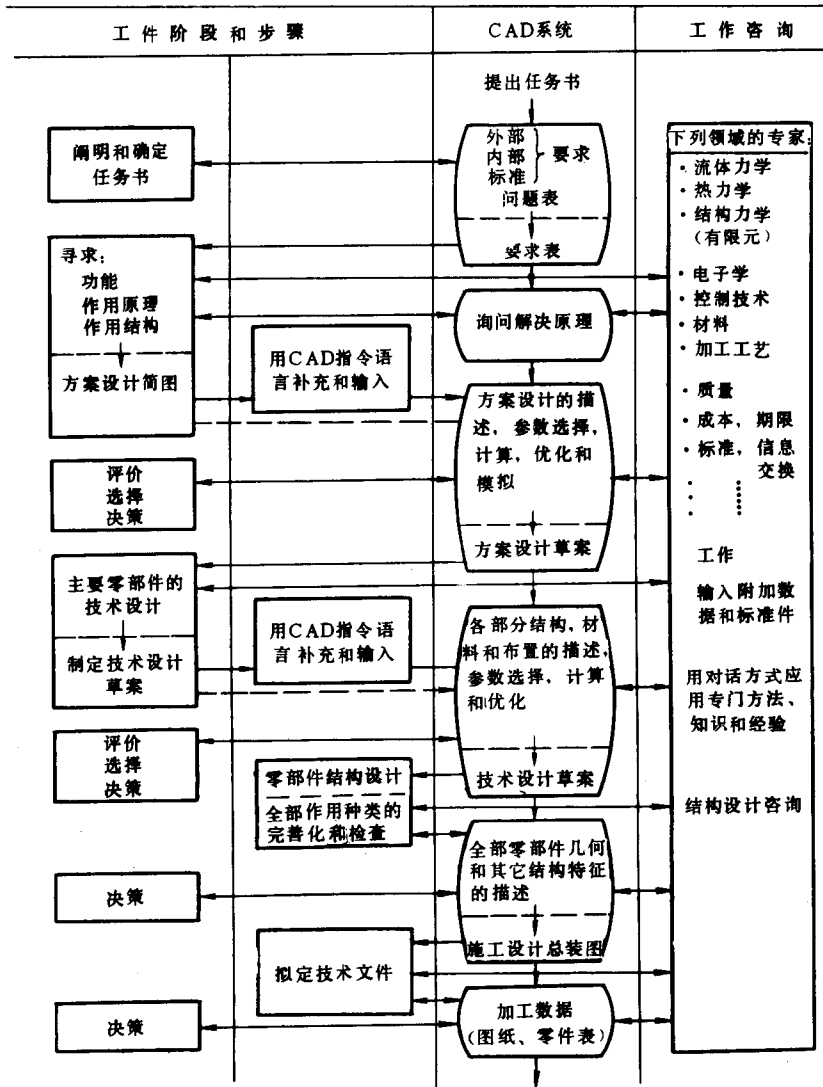


图 12-1-13 计算机辅助设计中的数据流动和计算
从中择优。

5 设计方法学

用传统的设计方法, 设计质量和风格在很大程度上受到设计人员的局限, 限制了设计质量的提高。如何将人的思维活动上升为一门科学, 使设计能遵循一定的逻辑方式进行, 作出更好的设计, 由此, 逐步形成一门学科——设计方法学。

设计作为创造性的在给定条件下谋求最优解的活动, 一般地应该遵循如下的过程规律性:

(1) 从抽象到具体——避免事先有“先入为主”的解题方案, 力求创新构思的出现。

(2) 从发散到收敛——力求多一些的解题方案,

(3) 继承与创新——工程设计一般不要求全盘创新, 往往是继承与创新相结合。

(4) 综合与分析——工程设计是综合与分析交互进行的过程, 在这过程中, 从定性到定量, 弃劣和择优。

(5) 评价与决策——引导工程设计沿着正确方向前进。

5.1 机械设计流程

产品设计的一般流程应该是反映上述规律, 图 12-1-14 为一般流程示意图。