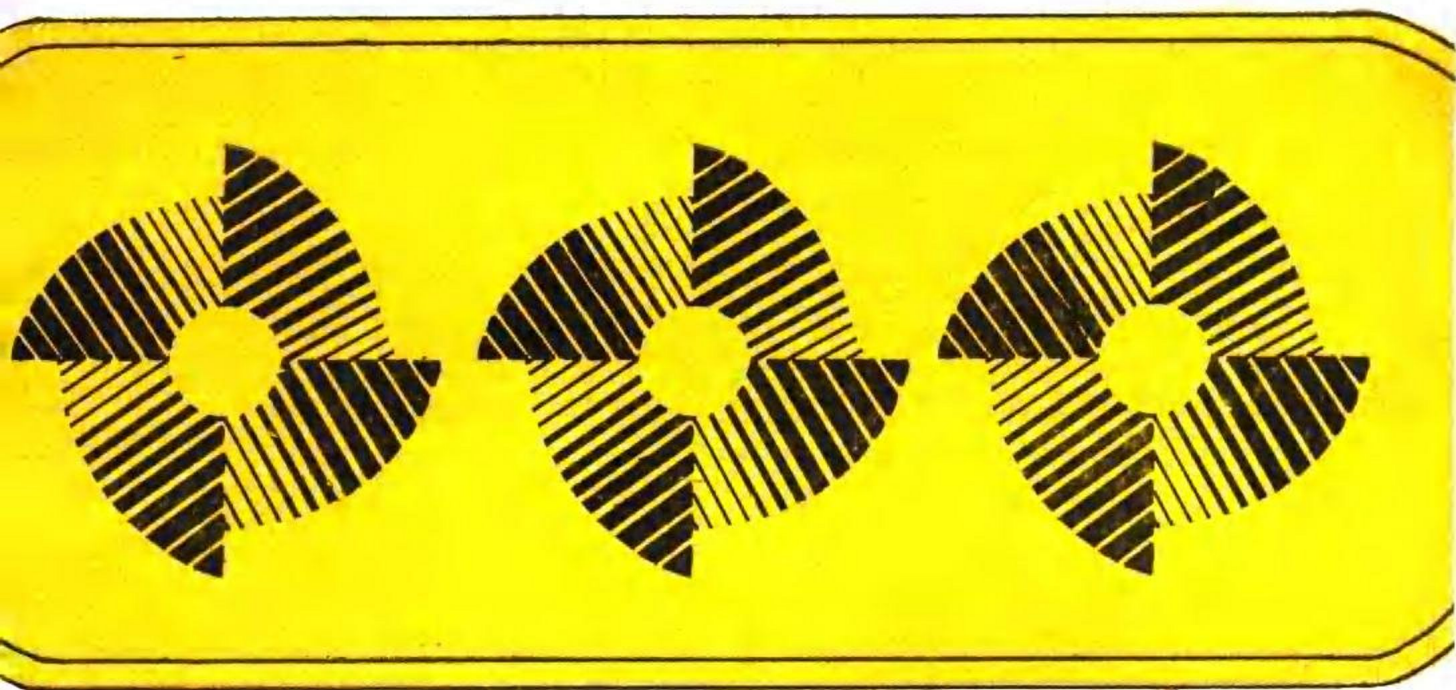


王庆祺 主编

机械设计



Machine Design

中南工业大学出版社

内 容 提 要

本书系根据国家教委批准印发的由机械设计课程教学指导委员会制订的高等工业学校机械设计课程教学基本要求参考学时(110~130)的下限编写的。

全书共20章。力图突出机械设计课程的基本知识、基本理论和基本方法；在此前提下，尽量使份量恰当、阐述简明。

本书可作为高等工业学校机械类专业机械设计课程的教材，也可供有关专业的师生和工程技术人员参考。

机 械 设 计

主编：王庆祺

责任编辑：何彩章

插图责任编辑：刘楷英

*

中南工业大学出版社出版发行

湘潭大学印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本：787×1092 1/16 印张：26.625 字数：675千字

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数：0001—1500

*

ISBN 7-81020-806-1/TH·006

定价：5.20 元

目 录

序.....	(1)
1 机械设计概论.....	(1)
1.1 概述.....	(1)
1.2 机械设计涉及的内容方面或设计因素.....	(1)
1.3 社会和生态因素.....	(2)
1.4 安全设计因素.....	(2)
1.5 人机工程方面.....	(3)
1.6 经济性.....	(6)
1.7 机械设计的一般过程与方法.....	(8)
1.8 方案的评价与选择.....	(10)
1.9 机械设计中的标准化、系列化和通用化.....	(10)
2 机械零件工作能力计算基础.....	(12)
2.1 载荷与应力.....	(12)
2.2 机械零件的失效和工作能力计算原理.....	(14)
2.3 静强度.....	(16)
2.4 疲劳强度.....	(18)
2.5 表面挤压强度和接触强度.....	(32)
2.6 刚度.....	(37)
2.7 振动.....	(41)
2.8 耐热性.....	(45)
2.9 可靠性设计.....	(48)
2.10 断裂力学方法在强度设计中的应用.....	(55)
2.11 腐蚀.....	(58)
3 机械设计中的摩擦学问题.....	(66)
3.1 润滑材料.....	(66)
3.2 滑动表面与润滑.....	(71)
3.3 干摩擦.....	(73)
3.4 边界润滑.....	(74)
3.5 流体动压润滑.....	(76)
3.6 流体静压润滑.....	(79)
3.7 弹性流体动压润滑.....	(79)
3.8 磨损类型.....	(81)
3.9 磨损的估量与磨损曲线.....	(84)
3.10 控制磨损设计.....	(86)

4	机械制造用材料	(87)
4.1	概述	(87)
4.2	常用材料的特性和用途	(90)
4.3	改进材料性能的措施和节约材料的途径	(92)
5	工艺性	(94)
5.1	概述	(94)
5.2	工艺性涉及的几个基本方面	(95)
5.3	提高工艺性的途径	(96)
6	螺纹联接	(99)
6.1	螺纹与螺纹联接	(99)
6.2	螺纹联接的预紧和防松	(103)
6.3	螺纹联接工作的基本问题	(105)
6.4	螺栓组联接的受力分析	(112)
6.5	螺纹联接的强度计算	(117)
6.6	提高螺纹联接强度的措施	(120)
7	轴毂联接和销联接	(126)
7.1	键联接	(126)
7.2	花键联接	(131)
7.3	成形联接	(134)
7.4	过盈联接	(135)
7.5	弹性环联接	(141)
7.6	销联接	(143)
8	机械传动综述	(146)
8.1	概述	(146)
8.2	传动分类	(146)
8.3	机械传动主要性能	(147)
8.4	机械传动的主要组成形式	(150)
9	摩擦轮传动	(153)
9.1	概述	(153)
9.2	摩擦轮材料和传动结构	(154)
9.3	摩擦轮传动的工作情况分析	(155)
9.4	摩擦轮传动的计算	(158)
9.5	可调传动比的摩擦轮传动	(162)
10	带传动	(165)
10.1	概述	(165)
10.2	普通V带及其带轮	(167)
10.3	带传动的理论基础	(169)
10.4	普通V带传动的设计	(181)
10.5	带传动的功率损失和效率	(186)

10.6	带传动的张紧装置和防护	(186)
10.7	其它带传动简介	(189)
11	链传动	(192)
11.1	概述	(192)
11.2	传动链和链轮	(192)
11.3	链传动的运动分析和受力分析	(197)
11.4	滚子链传动的设计	(210)
11.5	链传动的功率损失和效率	(208)
11.6	链传动的布置、张紧、润滑和防护	(210)
12	齿轮传动	(216)
12.1	概述	(216)
12.2	齿轮传动的运转情况	(218)
12.3	齿轮传动的失效型式和设计准则	(221)
12.4	齿轮材料与热处理	(225)
12.5	圆柱齿轮传动受力分析	(229)
12.6	齿轮传动的计算载荷	(230)
12.7	圆柱齿轮齿面接触疲劳强度计算	(235)
12.8	圆柱齿轮齿根弯曲疲劳强度计算	(240)
12.9	齿轮传动的许用应力	(245)
12.10	齿轮传动轮齿短时过载强度校核	(250)
12.11	圆锥齿轮传动	(250)
12.12	变位齿轮传动强度计算说明	(254)
12.13	行星齿轮传动(含多流传动)强度计算说明	(255)
12.14	关于齿轮传动的胶合	(256)
12.15	齿轮传动的效率与润滑	(257)
12.16	齿轮结构设计	(259)
12.17	圆弧齿轮传动简述	(260)
13	蜗杆传动	(264)
13.1	概述	(264)
13.2	普通圆柱蜗杆传动的几何关系	(267)
13.3	蜗杆传动的运转情况	(270)
13.4	蜗杆传动的失效、材料选择和结构	(272)
13.5	蜗杆传动受力分析和计算载荷	(273)
13.6	蜗轮齿面的接触疲劳强度计算	(275)
13.7	蜗轮轮齿的弯曲疲劳强度计算	(276)
13.8	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	(278)
13.9	其它蜗杆传动简介	(280)
14	螺旋-螺母传动	(285)
14.1	概述	(285)

14.2	结构和材料	(286)
14.3	螺旋机构的运动学计算、受力和效率	(288)
14.4	螺旋-螺母传动的设计计算	(290)
14.5	静压螺旋-螺母传动简介	(294)
15	轴	(296)
15.1	概述	(296)
15.2	轴的结构设计	(299)
15.3	轴的承载情况与计算准则	(304)
15.4	轴的强度计算	(306)
15.5	轴的刚度计算	(313)
15.6	轴的振动计算	(317)
16	滑动轴承	(320)
16.1	滑动轴承的结构	(320)
16.2	轴承材料和轴瓦结构	(323)
16.3	非液体润滑向心轴承的计算	(327)
16.4	液体动压向心轴承的计算	(328)
16.5	普通推力轴承的计算	(339)
16.6	滑动轴承的润滑	(340)
16.7	油膜振荡	(342)
16.8	其它滑动轴承简介	(343)
17	滚动轴承	(346)
17.1	概述	(346)
17.2	各类滚动轴承的性能和代号	(350)
17.3	滚动轴承类型选择	(351)
17.4	滚动轴承的载荷分析	(352)
17.5	滚动轴承的失效和计算准则	(356)
17.6	滚动轴承的寿命计算	(357)
17.7	寿命计算的几点补充	(362)
17.8	滚动轴承的静载荷计算	(364)
17.9	极限转速	(366)
17.10	滚动轴承的组合设计	(366)
17.11	结语	(373)
18	联轴器和离合器	(377)
18.1	概述	(377)
18.2	联轴器	(378)
18.3	操纵式离合器	(386)
18.4	自动离合器	(390)
19	弹簧	(393)
19.1	概述	(393)

19.2	弹簧材料与制造.....	(394)
19.3	弹簧的工作原理.....	(396)
19.4	圆柱形螺旋弹簧的设计计算.....	(398)
19.5	其它类型弹簧简介.....	(405)
20	机架零件.....	(408)
20.1	概述.....	(408)
20.2	设计概要.....	(410)
20.3	机架零件截面形状的选用.....	(412)
20.4	壁厚、间壁和筋.....	(414)

1 机械设计概论

1.1 概述

工程设计的实质是利用科学规律和自然资源来造福人类,提出能满足人类需求的某种可行解决方案,并通过一定的活动实现所需的创作。工程设计的含义极其广泛,涉及国民经济的各个领域。机械工程设计则是工程设计的一个重要方面,它包括了国民经济各生产部门所有的机械设计。机械设计研究的是各类机器和机械设备的构思、设计、研制以及改革等。可见,无论是研制一台新机器还是改革一种老产品,都需进行机械设计。

机器是一种做功、完成某种确定功能的装置。机械设备则是现代生产部门成套机械装置的全部或其中某一工作部分的统称,如某轧钢厂的机械设备。

机器是由零件、部件组成的。零件是组成机器的设计单元和制造单元。概括起来,机械零件有通用零件和专用零件。前者可通用于各种机器,如齿轮、轴等;后者则专用于某特定类型的机器,如泵的叶轮、压力机的曲轴等。部件是按共同用途结合起来的零件组合,或称装配单元,如轴承、减速器等。

本书将讨论机械设计的一般原则和方法,以及构成机器的通用零、部件的设计原理和方法。

每一台机器或每一样机械产品都有所要求的技术和经济指标。一台好的机器应该是有助于促进社会生产力的发展,技术性能指标高,经济效果好,造型外观好。但鉴于上述要求的不可能完全统一、目标的改变,以及各种设计因素协调平衡的不相一致,机械设计的解决方法与过程(包括方案的构思,结构的设计,零部件的制造方法等)绝不可能是唯一的。这种特有的复杂性和多样性充分体现了机械设计是一种技术科学与创造力相结合的活动。

1.2 机械设计涉及的内容方面或设计因素

机械设计涉及的内容方面很多,需要考虑的设计因素也很多。可以概括为:(1)社会和生态方面。(2)技术性能方面。技术性能指标高,这是机械设计需满足的首要要求。产品的技术性能要求,在设计任务书中有明确的规定,通常有必须要求和愿望要求。前者决定了产品能满足功能的基本要求;后者则起到进一步提高技术价值的作用。技术性能方面除了要求产品能完成对它所提出的工作职能(功能)外,还要求它耐用可靠,易于维护,操作安全舒适等。(3)经济方面。造型美观、结构简单、轻便、一机多用等也都是应该注意的设计原则。可见,机械设计的因素是众多的,而且它们之间又常常是互相矛盾互相牵制的。设计时要善于针对性地抓住主要矛盾方面,适当平衡其它方面,

一般是可以获得**成功**的设计的。

机器及其零部件最重要的设计原则，在于使它能以最低的制造费用和运行费用完成自身的功能并可靠地工作。当然机器可靠的工作是建立在构成它的零部件能可靠工作的基础上的。为此，应着重对机械零部件作工作能力的计算。至于经济性的考虑在设计方案确定后主要应在其材料选择和结构工艺性等方面表现出来。重量和体积也是评价经济性的重要指标之一。机器或传动机构的效率是反映运行时的重要经济性指标。

1.3 社会和生态因素

人类社会发展的一个重要要素是变革。工程师们不仅要理解今日社会的需求，而且要了解社会发生变革的方向和速度，了解技术对于变革的作用。就机械设计而言，就是要充分了解机械产品及其相关的生产系统对社会发生变革的作用。无疑，我们应该为现代化建设提供越来越多的先进技术装备，使它们能够在发展生产力、提高人民生活水平的进程中起到促进变革的作用。设计的产品要顺应社会发展和科技进步的潮流，要适应各个时期生产力的发展水平和人民的生活水平。

资源综合利用与生态平衡，目前已普遍受到关注，对工程设计的影响也越来越大。就机械设计而言，在生态方面的考虑或许是比较简单的。通常限于：（1）利用原材料时要考虑它的可获量、加工过程的耗能量，以及加工中和再生利用时可能产生的污染情况（对大气、水、土等）。（2）减小非再生能源（如矿物燃料）的消耗率，包括转换这种能源时的消耗以及热污染，有时，减小噪声污染也在考虑之列。（3）设计时要考虑便于分解，以利材料的再用。对于材料再利用，应顾及其前后机械性能的一致。（4）决定加工方法时要考虑能耗、污染以及材料的利用率。（5）产品包装是资源保护、减小污染的一个重要领域。包装材料的再生利用和扩大利用再生材料进行包装，是当今颇为人们注目的问题。

1.4 安全设计因素

现代机器都要求有高的生产率和高的材料利用率，这就必然增加了机器执行构件上的作用载荷和完成工艺过程的工作速度，同时也促进了机械化和自动化的生产水平。因此安全设计在机械设计中的地位也就愈来愈高，成为机械设计的一个主要的组成方面。应该认识到，工程师对设计机器的安全性是直接负有责任的。为此，设计一开始就要贯彻国家有关的安全技术法规和各行业有关的安全条例。设计中凡可能的话，都应把安全设计作为设计整体的一个必要组成部分，如设计有“故障自动保险装置”和排除误操作的种种“联锁装置”，或设置“多余构件”或“安全销”等一些间接保安装置，使所设计的机器本身就不存在任何危险的可能，这样操作规程就可简化，事故发生也就减少。如果不能做到机器本身具有安全性能的话，也应在完成主体设计之后，再附加上一些安全设施。

此外，要用平衡的观点和方法来对待安全设计，不要只看主件、大件而忽视小处。在设备上适当采用指示性的安全措施，在最显眼的地方设置报警信号和指示器，以告诫

操作者。完整的报警信息应相应地包括在设备的操作指令和规程中。现代化的设备已发展到有一套故障诊断和状态监控的自动系统装置,实现不停机地维修而确保长期安全运行。设计中充分考虑维修的方便性也有助于设备的安全运行。反之,不考虑安全设计的机械产品其本身就潜伏有不安全的因素。因设计存在缺陷而导致人身和设备事故的例子还是不少的,如机器或零部件本身工作能力的不足,材料和毛坯工艺上存在的毛病以及发生有误操作的可能性等。

当然对于工作场所和环境的防护也要加以注意。操纵室宜采用防火材料制造,门窗透明安全,能防御噪声、振动、尘、毒和热幅射等外界有害作用的侵入,配备空调或采暖降温设施,以达到安全生产的目的。

1.5 人机工程方面

人机工程研究的是人与机器和环境之间关系的学科。研究目的是保证所设计出的一切机器、器械、工具等为操作者提供安全、舒适、高效的环境条件。即设计时要顾及操作者生理和心理的负担。例如操作范围、视野、操作强度等都需在人们的生理限度之内,顺应人体各部的平均尺寸。控制器、显示器的布设要合乎人们的心理因素。

设备设计时常常要参考人体各部分的尺寸(表1·1),或与身高的比例关系(表1·1),有些情况下还对人的体重提出要求。如在设计工业用和交通运输用的各种车辆时,对车身尺寸和型式的选择、车身内部空间和操纵机构的布设等,必须参考人体各部尺寸。又如机器中的控制台、仪表板和操纵件的安装高度等设计时也需照顾人体的尺寸。人体尺寸系指人体所占有的三维空间,包括人体高度、宽度、胸廓前后以及肢体的大小等。一般由直接测量的数据统计分析得到,设计时可取用分布的均值以适应绝大多数人的使用和操作。

操作者要在最佳条件下操纵机器,为此需对控制器和显示器提出工效要求。如控制台、仪表板布设得当,能提高视读效果和工作效率。仪表板上仪表的布设应适应人们的视野。水平方向的视野以中心角 10° 以内为最佳视区,辨别最清晰;中心角 20° 内在短时间内即可辨清;中心角 30° 以内需集中注意力才能辨清;垂直方向的最佳视线约在水平线下 10° 左右处;良好视区的范围为水平线以上 10° 至以下 30° 。据此,重要的仪表应该在最佳视区内,一般仪表可设在 30° 范围内。

仪表板上仪表的排列顺序应与操作顺序一致。彼此联系较多的和有逻辑关连的相互靠近一些。仪表较多时可按其功能分区分块排列;区、块间可采用不同的背景图案和界线。重要仪表可有特殊的色泽和图案。仪表板上的仪表应尽可能排列在较小的视野内。并应适应人们的习惯:由左至右,由上而下,水平优于垂直,顺时针向地排列。

仪表板的视距最好是700mm左右,其高度与眼相平,板面与视线最好成直角。

仪表的显示方式有刻度盘式和数字计数式。显示标记或刻度的排列也应顺从人们的习惯。显示大小和标记数量的多少一般与观察距离成正比,原则上以辨读清晰为准。显示标记的移动方向最好与其控制器的移动方向相一致,以免发生误操作。

表1.1 我国人体各部尺寸分布的均值和标准差(mm)

编 号	部 位	男		女	
		均 值	标准差	值均	标准差
1	身 高	1688.25	81.83	1586.17	51.29
2	眼 高	1585.32	61.61	1480.25	76.02
3	肩 高	1420.98	54.35	1320.26	60.96
4	座 高	896.53	36.12	848.52	31.58
5	坐 姿 眼 高	794.00	—	743.00	—
6	肘至座平面	245.53	41.81	238.36	25.63
7	上肢前伸长	837.78	36.81	784.50	37.98
8	拳前伸长	730.87	47.07	688.84	36.79
9	大 臂 长	269.21	16.36	260.74	19.79
10	小 臂 长	247.08	13.22	225.93	17.03
11	手 长	192.33	9.46	179.00	9.52
12	肩 宽	426.32	20.35	391.71	21.67
13	臀 宽	333.75	22.62	394.71	23.99
14	下肢前伸长	1015.91	58.91	976.79	50.84
15	大 腿 长	422.48	28.44	409.21	35.39
16	小 腿 长	401.34	21.57	368.60	22.21
17	足 高	70.69	5.46	65.78	6.94
18	膝 髋 间 距	550.78	27.49	527.77	31.28
19	大 腿 平 长	422.92	23.31	431.76	30.34
20	膝上到足底	515.08	24.67	479.89	23.61
21	膝弯到足底	405.79	19.49	382.77	20.83

控制器的操作力应按操作者的中限或下限能力设计。表1·3为部分控制器的许用最大作用力。按钮直径 $\phi > 12\text{mm}$ ；搬钮长 $> 12\text{mm}$ ，转换角 45° ；杠杆直径 $\phi 44\text{mm}$ 为好，握长 $> 110\text{mm}$ ；手轮直径 $\phi > 300\text{mm}$ ；脚踏板宽 $> 100\text{mm}$ ，长 $> 260\text{mm}$ ；以脚后跟为支点的运动弧界限见图1·1。图中基准位置以上的最大运动弧长 $oa \approx 114\text{mm}$ （男性）； 102mm （女性）。基准位置以上正常运动弧长 $ob \approx 76\text{mm}$ （男性）； 76mm （女性）。基准位置以下正常运动弧长 $oc \approx 114\text{mm}$ （男性）； 102mm （女性）。基准位置以下最大运动弧长 $od \approx 152\text{mm}$ （男性）； 140mm （女性）。

考虑到操作者的生理限度和心理因素，在人机工程的设计中应尽量预先采取自动化措施，减小显示部分；减小外界噪声的干扰。

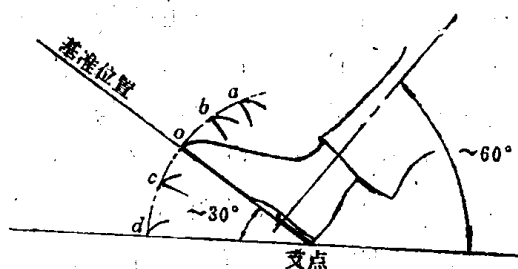


图 1·1 设计脚踏控制器的运动弧界限

表1.2 设备高度与人体身高之比

编 号	定 义	设备高度与人高之比
1	与人同高的设备	1/1
2	设备与眼睛同高	11/12
3	设备与人体重心同高	5/9
4	设备与坐高相同	6/11
5	眼睛能望见设备的高度(上限)	10/11
6	能挡住视线的设备高度	33/34
7	站着能用手放进和取出物件的台面高度(上限)	7/6
8	站着手向上伸所能达到的高度	4/3
9	站姿使用方便的台面高度(上限)	6/7
10	站姿使用方便的台面高度(下限)	3/8
11	站姿最适宜的工作点高度	6/11
12	站姿用工作台高度	10/19
13	便于用最大力牵拉的高度	3/5
14	坐姿控制台高度	7/17
15	台面下的空间高度(下限)	1/3
16	操纵用座椅的高度	3/13
17	休息用座椅的高度	1/6
18	座椅到操纵台面的高度	3/17

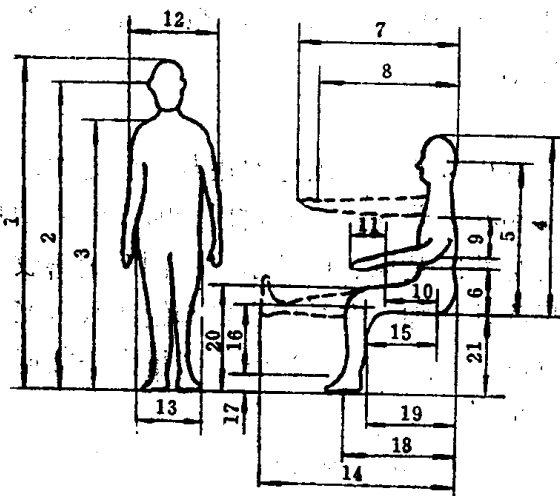


表1.1插图

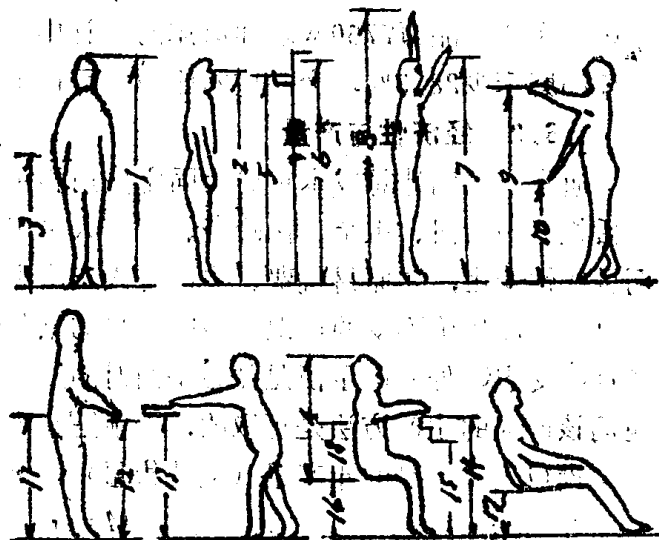


表1.2插图

部分动力工具的笨重、低效、危险,是人机关系不良的设计表现。而那些外表精细、优质高效的工具都表现出重量轻、振动小、操作方便、能适应操作者躯体的自然移动尤其是手和臂的移动。人机关系最集中表现的设计当推性能优良的轿车,人机关系最为成功的设计要数宇宙飞船,它是完完全全根据宇航员来建造的。

表1.3 控制器的许用最大作用力

控制器形式	许用最大作用力 N
按钮	5~30
旋钮	5~40
扳钮 (转换开关)	5~20
杠杆 (手柄)	140
手轮	150
脚踏板 以脚后跟为支点	90
腿脚并用	900

1.6 经济性

现把机械设计中有关经济性的问题分述于下:

1.6.1 经济性与功能

进行一项工程设计首先着眼的是社会效益和成本。同样,设计者在设计机器(零部件)时,总首先设法使它能满足功能要求,接着力求经济地达到。实际上要想得到好的经济效益和使用价值,应在降低产品成本的同时千方百计地改善其功能。这样不但做到了成本的降低,而且还从研究中得到了实现功能(或性能)的多种可行方法。这就是“价值工程”或“价值分析”的实质。此处价值的定义是功能(或性能)与成本之比。“价值分析”的作用可以在产品找出“剩余功能”和“无为成本”,把这些不必要的东西统统去掉,就可做到既能实现必要的功能(或性能),又可降低产品成本的目的。如上海机床厂在新产品M7750双端面磨床的设计中应用价值分析后,零件数量比同类产品M7775磨床少28.5%,产品成本比原定目标下降13.8%。

1.6.2 经济性与产量

通常产品制造总成本可分为固定费用和可变费用两部分。固定费用与产量无关,它包括机器的折旧、租金、保险费、管理人员工资和办公费等;可变费用则随产量的增长而呈线性变化,如原材料费、生产工人工资和附加费以及风、电、水等。同时销售收入在单件产品售价不变的情况下也随产量的增长呈线性增加。在总成本C和销售收入M两条直线交点 Q_0 处的产量便是盈亏平衡时的产量(图1.2)。如果预计的产量大于 Q_0 时,说明该产品的生产方法是可取的,否则是不可取的。

设Q表示产品的年产量(或销售量), r 为单件产品的售价,则销售年收入

$$M = r \quad (1.1)$$

设 a 为产品的固定费用, b 为单件产品的可变费用, bQ 为产品的可变费用,则年总成本

$$C = a + bQ \quad (1.2)$$

如果该产品的生产方法不止一种，就可计算每种方法的盈亏平衡产量。例如一整体

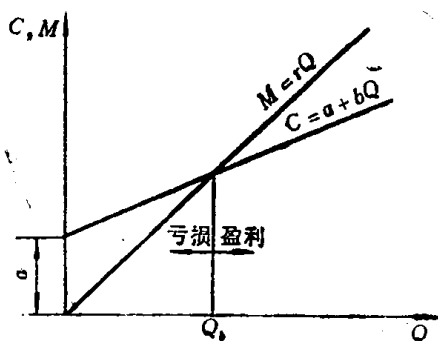


图1.2 盈亏平衡图

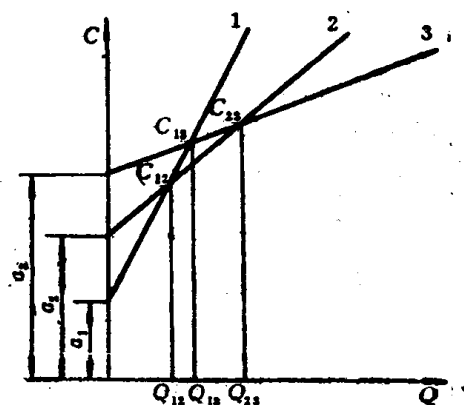


图1.3 利用盈亏平衡图选择
不同的生产方法

式轴瓦可用 (1) 普通车床、(2) 六角车床、(3) 自动车床三种方法进行生产(图1.3)。为了寻求最经济的生产方法可应用下列公式：

$$C_{12} = a_1 + b_1 Q_{12} \quad C_{12} = a_2 + b_2 Q_{12}; \quad (1.3)$$

$$C_{23} = a_2 + b_2 Q_{23} \quad C_{23} = a_3 + b_3 Q_{23}; \quad (1.4)$$

$$C_{13} = a_1 + b_1 Q_{13} \quad C_{13} = a_3 + b_3 Q_{13} \quad (1.5)$$

分别解得： $Q_{12} = (a_2 - a_1) / (b_1 - b_2) \quad (1.6)$

$$Q_{23} = (a_3 - a_2) / (b_2 - b_3) \quad (1.7)$$

$$Q_{13} = (a_3 - a_1) / (b_1 - b_3) \quad (1.8)$$

可见平衡点的产量可以用两种生产方法的固定费用之差除以单件产品可变费用之差来得到。如果年产量不足 Q_{12} 时应选用 (1) 法生产。当年产量超过 Q_{12} ，但不足 Q_{23} 时应选用 (2) 法。年产量超过 Q_{23} 时则应选用 (3) 法生产。

1.6.3 降低成本的一些做法

除了运用上述的价值分析法和合理选择生产方法之外，降低机器和零、部件的成本尚可从节约设计费用、材料费用、加工费用、运行费用、经销费用等方面考虑。

1. 降低设计费用：充分利用现有的设计，包括采用现有的或通用的计算机设计程序。采用标准化、系列化、通用化的设计，如广泛采用标准件和外购件。采用市场上易于买到的标准规格的各种型材，棒材，板材，管材等。结构简单、零件数目少、品种少、重量轻。零件截面形状简单、对称。

2. 降低材料费用：节约材料用量避免不必要的消耗，如采用合理的构形和合理的毛坯生产方法。采用廉价材料和代用材料、节省稀有贵重材料，根据局部品质原理在不同部位上采用不同的材料或不同的热处理方法。

3. 降低加工费用：改善零件的加工工艺性，如选用合理的加工方法、减少机加工面积，加工表面的形状和位置要合理以节省装卡时间、节省刀夹具、节省测量费用、减少废

品。增加同一规格形状的零件数。合理选择精度、公差配合和其它技术条件。图1·4是各种机加工方法大致的相对成本曲线。

4. 降低运行费用：运行费用低的表现是设计出的机器的生产率高、效率高、能源消耗低、维修保养费用低等。

5. 降低经销费用：产品要对路、适应市场需要。产品具有一机多用的优点。备件便于装卸。大型机器和零件要合理地分解、组装，有利于降低包装运输费。采用“标准部件”或“通用部件”调整产品型号。

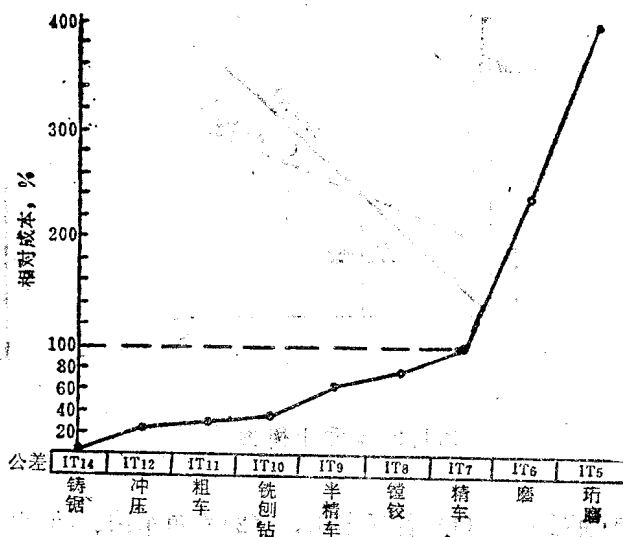


图1.4 机加工的相对成本(材料为钢)

1.7 机械设计的一般过程与方法

一项设计或一件机械产品的成长过程是按照熟知的生物学的成长曲线进行的（图1.5）。该曲线分为三个阶段；Ⅰ——产品的开发成长期；Ⅱ——产品在竞争中改进调整的成熟期；Ⅲ——产品退让替代的衰亡期。

机械设计从本质上看主要有两类设计。一是属于改进性的设计，这类设计占多数。例如在现有的机器中加入一新零件、采用某种新材料、引进某种新工艺；致使它能更有效地运行。或者在类同的设计基础上，作出某些变型或改进而形成，这是因为极大多数的工业产品都是适用于某一体系的、或某一生产水平的。一旦适用体系或生产水平发生变化、产品设计遂相应改变。当然在解决这类设计问题时，也还需要综合许多设计要求和实际的约束；修改后也还需要形成一些新的特征。但从经济因素考虑应该尽可能地多保留原有的设计。此外，从图1.5知，在着手对某项产品作进一步改进前，应弄清它正处在成长曲线的哪个阶段，这是因为一个设计愈完善，改进的余地也就愈小，而所付出的代价却愈大。

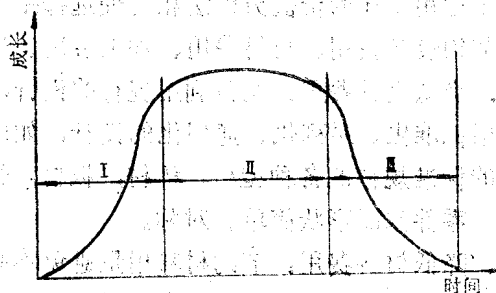


图1.5 产品的成长曲线

机械设计的另一类是搞发明创造，设计出一种全新的产品。这时为了解决技术问题要承担失败的风险，或者要耗费大量的资金才能成功，为此、需要有一套科学的工作方法和设计程序，开展“设计方法学”的研究。

新产品从提出任务到投放市场的全过程一般要经历四个阶段：（1）调查决策；

(2) 研究设计；(3) 样机试制；(4) 投产销售等。调查决策阶段应完成调查研究工作和拟订开发计划书。调查研究工作包括：与产品有关的背景材料，如相关的基础理论及其应用情况、有关的专利及技术情报、有关的物资条件及生产条件、市场信息及用户意见等。开发计划书包括的内容有：调查结果的分析、产品设计方案构思和建议、主要的技术要求、成本的预算、设计规划和组织等。

研究设计阶段要解决产品的功能问题和产品的结构设计（包括零部件的设计），亦即完成样机的设计。在解决功能问题时常常需要建立物理的、数学的模型，进行试验研究、整理数据，从而对所拟设计方案和工作原理进行论证。绘出总布局图与外形图等。完成结构设计后，就可得到产品的总装配图、部件装配图、零件工作图，以及各种系统图和计算说明书。接着进入样机试制阶段。

在功能设计时常常要从不同角度，通过不同途径列出多种可行的方案。根据初步的技术经济分析进行方案的优选。必要时可同时组织几种方案样机的试制和试验。样机试制完成之后，必须进行全面的技術经济评价，以决定所设计的方案是否可用或需进行

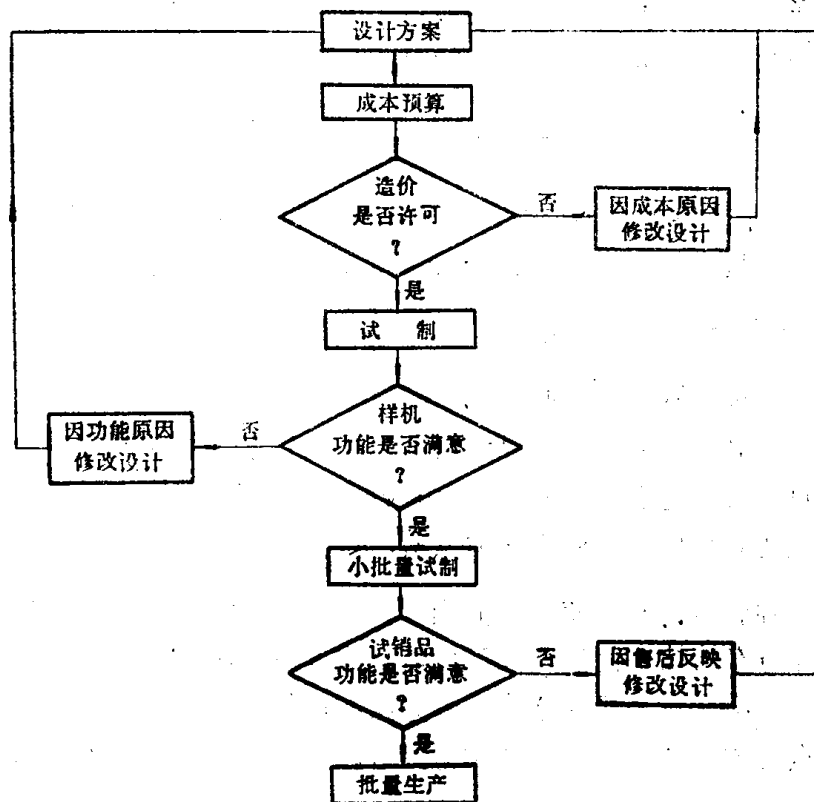


图1.6 一般迭代设计的程序框图

修改。如果有必要的话，尚应改进模型后重新试验，重新设计，建造第二样机，直至得到满意结果。从而完成生产设计，产品进入批量试制及尔后的正式投产。

为了加快设计中反复迭代的过程，各种新的设计方法正在迅速推广，如电子计算机辅助设计、计算机绘图、最优化设计等等。

图1.6是设计过程中常见的迭代设计的程序框图。

至此，我们把机械设计一般方法的特点可归结为：它是一种优选和迭代的方法，是一种普遍适用的方法。这与一般的科学研究方法十分相似。在科学研究中对现象的观察可以导致问题的提出；在机械设计中同样地依靠观察可以导致接受某种需求或任务。在

科学研究中我们对所提问题将列出一切可能解决的方法；而在设计中则根据所接受的任务制订出一切可行的解决方案。在科学研究中依靠实验来鉴别这些解决方法，剔除其中可能的错误方法，或者需要修正或重做；在设计中同样地要进行试验，有时也会证明某一方案是不实用的，或需要予以修改乃至重新设计。

1.8 方案的评价与选择

如上节所述，在产品设计时能够满足功能要求的方案会有好多种。有时经过筛选后还会在比较窄的可行范围内留下几个方案。在方案的选择上，尤其在竞争激烈时，要作出恰如其分的准确评价是十分不容易的。因为在评价技术性能时有些项目，如重量、体积、功率、效率、生产能力等等，可用数量衡量；但是些项目，如外观、操作性能、维修性能等则不能。再说能用数量表示的也会因使用单位的不同，而不能简单相加。所以最好是采用评分的办法来解决。即把那些重要的特性依次列出，然后依好坏不同给予相应的分数。例如：4——很好；3——好；2——一般；1——较差；0——差。这样就可以用某一方案所得的累加总分数作为它技术价值的对比尺度。技术价值用 x 表示，它定义为：

$$x = \frac{\sum P}{\sum P_i} \leq 1 \quad (1.9)$$

式中： $\sum P$ ——评价某方案的总得分数； $\sum P_i$ ——理想的总分数，即满分数。

$x = 1$ 表示技术价值最高。一般是0.7~0.8，0.6以下则不合要求。

相应地用 y 表示经济价值，定义为： $y = \frac{C_i}{C} \leq 1$ (1.10)

式中： C ——某方案的实际生产成本； C_i ——理想成本。

$y = 1$ 表示经济价值最高。为保证产品经济而又不致过多地影响到性能指标，建议理想成本是允许成本的70%。通常 $y < 0.7$ 时可由较高的 x 值来补偿。

现设 x 和 y 的几何平均值为使用价值系数，以 S 表示，即 $S = \sqrt{xy}$ (1.11)

并以 x 、 y 为坐标绘制图1.7的“使用价值图”，利用它可进行设计方案的评选。图中任一点都代表某种设计方案的技术价值与经济价值。 OS 直线上各点是技术价值和经济价值相等的设计方案。图中 S 点是最理想的设计方案，因为此时 $S = 1$ 。所以，愈靠近 OS 线、且愈接近 S 点的方案愈好。例如图中方案 S_1 比 S_2 好， S_3 比 S_4 好。遇到两个评价相近的方案，其中之一（如 S_2 ）技术价值较高，而另一（如 S_4 ）则经济价值较高，这时宜取用技术价值较高的设计方案。

1.9 机械设计中的标准化、系列化和通用化

标准化是组织现代生产的重要手段，是产品质量管理的组成部分。推行标准化又是国家的一项重要技术经济政策。机械设计中涉及的标准有国家标准（GB）、部标准（专业标准）、企业标准三个级别。为使产品打入国际市场，国际标准（ISO）不能不有所考虑和遵守。