

中央广播电视大学试用教材

机械零件

董庆华 编著



机械工业出版社

中央广播电视大学试用教材

机 械 零 件

董庆华 编著

机械工业出版社

本书主要包括机械零件设计计算的基本理论、原则和方法：联接零件（键和螺纹），传动零件（齿轮、蜗轮、带、链），转动和支承零件（轴、轴承、联轴器）以及弹簧的设计计算。附录包括国际单位制（SI）摘要和公差与配合的新、旧国标对照。

本书可供电视大学和高等工科院校机械类各专业教学使用，也可供相近专业师生及从事机械设计工作的工程技术人员参考。

机 械 零 件

董庆华 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $20 \frac{1}{4}$ · 字数 499 千字

1984 年 7 月重庆新一版·1984 年 7 月重庆第一次印刷

印数 000,001—101,500 · 定价 2.55 元

*

统一书号：15033·5755

前 言

本书是为了适应中央广播电视大学机械零件课程教学的需要，并根据一九八〇年五月教育部委托在太原召开的机械零件教学大纲编审会议审订的“全国重点高等工业学校四年制机械类各专业适用”的“机械零件教学大纲”（120~130学时）编写的。

本书在编写过程中，注意了基础理论的加强和国内外先进科学技术的引进，并力求文字简明、易懂和便于自学。

本书按国务院一九七七年五月颁发的规定，采用了国际单位制(SI)和近年来颁布实行的新的国家标准（如公差与配合等），并在书末附录中编入了国际单位制的摘要和新、旧国标的部分对照，以便读者查阅。

此外，本书在编写过程中得到《机械工程手册》编辑委员会和北京地区有关兄弟院校同志们的大力协助，提供不少参考资料和宝贵意见，编者在此表示感谢。

限于编者水平，编写时间又很仓促，书中存在的缺点和错误在所难免，衷心欢迎读者批评指正。

编 著 者

一九八一年二月

于北京工业大学

目 录

绪论.....	1	5-1 圆锥齿轮传动的类型和几何计算.....	117
第一章 机械零件设计和计算基础.....	3	5-2 直齿圆锥齿轮传动的工作载荷和 计算载荷.....	120
1-1 机械零件设计概述.....	3	5-3 直齿圆锥齿轮传动的强度计算.....	121
1-2 机械零件的强度.....	10	5-4 直齿圆锥齿轮传动的设计.....	123
1-3 摩擦、磨损和润滑概述.....	22	第六章 蜗杆传动.....	127
第二章 键、花键和无键联接.....	42	6-1 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和 几何尺寸计算.....	128
2-1 键联接.....	42	6-2 蜗杆传动的滑动速度和传动效率.....	132
2-2 花键联接.....	45	6-3 蜗杆传动的失效形式和材料选择.....	133
2-3 无键联接简介.....	47	6-4 蜗杆传动的作用力分析.....	133
第三章 螺纹联接.....	50	6-5 普通圆柱蜗杆传动的强度计算 与设计.....	134
3-1 螺纹联接的基本知识.....	50	6-6 蜗杆传动的热平衡计算.....	137
3-2 螺栓组联接的结构设计和受力分 析.....	52	6-7 蜗杆和蜗轮的结构设计.....	137
3-3 单个螺栓联接的强度计算.....	56	第七章 带传动.....	140
3-4 螺纹联接的拧紧和防松.....	63	7-1 带传动的主要类型、特点和应用.....	140
3-5 提高螺栓联接强度的措施.....	65	7-2 带传动的工作情况分析和设计依 据.....	143
第四章 圆柱齿轮传动.....	70	7-3 三角胶带传动的设计.....	151
4-1 圆柱齿轮传动的基本参数和几何 计算.....	70	7-4 同步齿形带传动简介.....	158
4-2 齿轮传动的失效形式和承载能力 计算依据.....	75	第八章 链传动.....	163
4-3 齿轮传动的材料选择及其基本许 用应力.....	78	8-1 套筒滚子链的结构和规格.....	163
4-4 圆柱齿轮传动的工作载荷和计算 载荷.....	86	8-2 套筒滚子链的链轮结构和材料.....	165
4-5 圆柱齿轮传动的强度计算.....	92	8-3 链传动的运动分析和动力分析.....	168
4-6 圆柱齿轮传动的设计.....	101	8-4 套筒滚子链传动的设计计算.....	171
4-7 圆弧齿圆柱齿轮传动简介.....	109	8-5 链传动的布置.....	176
4-8 齿轮传动的润滑.....	110	第九章 轴.....	179
第五章 圆锥齿轮传动.....	117	9-1 轴的分类和应用.....	179
		9-2 轴的材料及其选择.....	

9-3 轴的结构设计.....	182	11-5 多油楔轴承简介.....	268
9-4 轴的计算简图和强度计算.....	185	11-6 液体静压润滑轴承简介.....	270
9-5 轴的刚度计算.....	192	11-7 气体轴承简介.....	272
9-6 轴的振动计算简介.....	196	11-8 滑动轴承的润滑.....	273
9-7 钢丝软轴简介.....	199	第十二章 联轴器与离合器.....	277
第十章 滚动轴承.....	206	12-1 概述.....	277
10-1 滚动轴承的类型、性能和代号.....	207	12-2 刚性联轴器.....	278
10-2 滚动轴承类型的选择.....	216	12-3 弹性联轴器.....	283
10-3 滚动轴承尺寸选择的理论依据和 计算方法.....	217	12-4 操纵式离合器.....	285
10-4 滚动轴承部件的组合设计.....	230	12-5 特殊功用的联轴器及离合器.....	291
10-5 滚动轴承的润滑与密封.....	236	第十三章 弹簧.....	297
10-6 特殊工作条件下滚动轴承简介.....	239	13-1 弹簧的功用和类型.....	297
第十一章 滑动轴承.....	245	13-2 弹簧的材料和制造.....	297
11-1 滑动轴承的结构形式和轴承材料.....	246	13-3 圆柱形螺旋压缩(拉伸)弹簧的 设计计算.....	302
11-2 非液体润滑滑动轴承的设计计算.....	252	附录.....	315
11-3 液体动压润滑滑动轴承的设计计 算.....	253	I. 国际单位制(SI)摘要.....	315
11-4 高速轴承中的不稳定性 and 紊流流 动.....	265	II. 公差与配合新国标(GB1800~1804-79) 与旧国标(GB159~174-59)的对照.....	318
		参考文献.....	319

绪 论

现代化的机器装备能够成倍、成百倍甚至成千倍地提高劳动生产率，并且已经成为一个国家工业发展水平的主要标志。为了加速实现我国工业、农业、国防和科学技术的现代化，我国各个生产部门正在尽可能广泛地采用现代化的机器设备，以期最大限度地提高劳动生产率。当前科学技术的发展已不断出现了新的重大突破，并促使各个生产部门出现了巨大的变革。显然，在这一波澜壮阔的伟大事业中，各个生产部门都要实现广泛机械化和生产全盘自动化。这就要求机械工业部门切实为国民经济各部门提供最新、最好的成套机械装备，从而也就为机械设计部门提出了当前应当解决的迫切任务。

机械设计的主要内容和设计顺序 机械设计任务通常是根据生产发展的需要而提出的。对于每项任务，一般都要编制设计任务书，明确规定机器的预期职能、工作参数要求、可靠性要求、造型要求、生产批量、预期成本等等，并提供设计该机器所必需的原始数据和资料（包括国内、外动态，市场预测等）。

机械设计部门所设计的机器首先要满足使用要求，即能有效地执行预期的全部职能，在这个前提下还应满足经济上、安全上、加工工艺上以及其他有关的各项要求。此外，还应在使用年限内顺利执行它的全部职能和可靠地工作，这主要靠正确选择机器的工作原理和正确设计实现工作原理的机构组合来保证。

机器的经济性是一个综合指标：在设计、制造过程中，要求成本低、生产周期短；在使用中，要求生产率高、适用范围大、能量消耗小、操作方便、维护简单，等等。为此，机械设计就要作到产品系列化、部件通用化及零件标准化；另外，还应努力引入新技术、新结构及新材料。

满足机器在安全方面的要求，可以概括为以下几点：设计时应注意安装技术，安全保护装置及报警信号系统，以防止发生人身及设备事故；尽可能降低机器的噪音及环境污染，以创造良好的劳动条件；从美学和色彩学的观点出发，赋予机器以协调的外形和悦目的色泽，都是很必要的。

此外，设计机器时还应满足其他方面的一些要求：如巨型机器的运输要求，食品、纺织及造纸机械不得污染产品的要求，等等。

检验上述各项基本要求，大致可以通过以下途径进行：（1）整机试验—在实际工况下使用一定时期后各项性能的试验，以及整机的破坏试验；（2）用户反映，该机器在市场上的竞争能力。

显然，在实现四个现代化的宏伟事业中，机械设计工作者所面临的任务是艰巨的。机械设计工作既存在着新技术，新理论（如计算数学、微观测试技术、失效物理学、断裂力学、摩擦学、可靠性分析、优化理论、相似理论、系统分析方法等）的引用问题，也存在着如何结合机器功能对设计进行经济性评价（即所谓价值分析）等经济性问题。这就要求机械设计工作者在实践过程中，不但要有所继承，不断总结积累设计经验；又要有所发展，敢于创新。

多少年来，机械设计的传统顺序大致可以概括为三个阶段，即总体设计、结构设计及零

件设计。每个阶段的主要设计内容一般为：

1. 总体设计 机器的总体设计包括：(1)选定机器的工作机构以作为实现机器预期职能的基本依据；(2)拟定机器的总体布置及传动方案，制定机构运动简图；(3)确定机器的总体结构，划分部件、确定功率、选定原动机。这些工作都需要通过不同方案进行评比，择优选用。

2. 结构设计 这个阶段中主要是根据总体设计对于机器的运动和动力，以及其他要求，设计机器中的部件和零件，绘制部件装配图。

3. 零件设计 这个阶段主要是绘制机器的总图和零件工作图，编写说明书等。

按上述传统的顺序进行设计时，可能还会出现一些新问题，从而就要对原方案及设计进行修改。此外，在顺序上有时还要交叉进行，最后还要计算机器的重量和成本。

实践表明，传统的所谓“三段”设计法已不能妥善解决设计现代化机器所出现的新事物、新问题。例如，所设计的机器能使用户满意，在市场上有竞争能力，在总体设计之前，就要进行“市场预测”；而当机器投入市场后，还要根据“市场反馈”，不断更新改型。此外，“节约能源”，“防止环境污染”等要求在机械设计中都不容忽视。显然，这些问题都应纳入系统分析中统筹解决。

机械零件和部件，通用零件和专用零件 组成机器的基本单元称为机械零件，如机器中的螺钉、齿轮、轴等。为完成同一职能，在结构上组合在一起的、一套协同工作的零件总成，称为部件，如机器中的联轴器和减速机等。

机器中的零件可分为两类。一类称为通用零件，它在各类机器中都能经常见到，如螺钉、齿轮、弹簧等。另一类称为专用零件，它只能在某些类型的机器中见到，如汽轮机中的叶片、内燃机中的活塞、曲轴等，这些专用零件属专业课程研究的范围。

机械零件课程的内容、性质和任务 机械零件课程研究的对象是指在普通条件下工作的、一般参数的通用零件，即不包括那些尺寸特大或特小、环境温度过高或过低、或在高速、高压和在其他特殊条件下工作的通用零件。这些零件或者需要引用新的设计理论(如断裂力学)和计算方法(如有限元素法)，属专题研究范围，或者属于专业课程的研究范围。

机械零件课程的内容主要是从承载能力出发，考虑结构、工艺和维护等条件，研究一般工作条件下通用零件的设计问题。其中包括如何确定零件的最适当的外形和尺寸，如何选择材料、精度等级、表面质量以及绘制有技术条件的工作图。对于工科院校机械类专业学生来说，学完本课程及进行设计习题作业和课程设计后，应能初步具有一般机械设计的能力，即具有逻辑思维、运用资料、计算和绘图的能力。通过本课程的实验、应初步掌握研究普通零件的能力，即掌握一般测试方法和数据处理方法的能力。

机械设计是许多学科知识的综合运用。在我国高等工科院校机械类各专业的教学计划中，机械零件是最后一门技术基础课程。在这门课程中将综合运用从理论力学、材料力学、机械原理、金属工艺学、金属学及热处理、公差配合和机械制图等课程所学到的知识来解决通用零件的设计问题。同时，这门课程又为专业课程的学习准备必要的条件，从而起着从基础课到专业课之间的联系环节的作用。

第一章 机械零件设计和计算基础

1-1 机械零件设计概述

一、设计机械零件的基本要求

设计机械零件的基本要求，可概括为工作可靠和成本低廉。判断机械零件工作能力的基本准则是：强度、刚度、振动稳定性和可靠性等；而实现机械零件成本低廉的经济性准则是：正确选择材料，合理规定精度等级、赋予零件具有良好的工艺性并采用新工艺、尽可能选用标准零件等等。上述这些问题将分别在以后章节中进行讨论。

显然，设计机械零件也和设计机器一样，需要通过不同方案进行评比，择优选用。

二、机械零件设计的一般步骤

设计普通机械零件的一般步骤大致可以概括为：

(1) 根据机器的总体设计方案，分析零件的工作情况（载荷分析），简化力学模型，考虑影响载荷的各项因素，确定计算载荷。

(2) 分析零件可能出现的失效形式，确定零件承载能力的计算准则。

(3) 根据材料的各项性能，经济因素及供应情况等，选择零件的材料及必要的处理方法（如热处理、表面冷作硬化处理等）。

(4) 分析零件的应力（或变形），根据承载能力的计算准则，建立或选定相应的计算公式。

(5) 选定或计算零件的主要参数和几何尺寸，必要时应对计算求得的数据进行标准化或圆整。对于一些重要参数和几何尺寸，必要时还应进行校核计算。

(6) 根据所选定或计算求得的主要参数和几何尺寸并考虑工艺要求，进行结构设计，绘制零件工作图。

三、理论设计、经验设计与模型实验设计；设计计算与校核计算

机器和机械零件设计常用的方法有：

1. 理论设计

根据现有的科学技术理论及实践知识进行设计。如果能准确分析机器及其零件的工作情况，对各项影响因素（可简化为系数）均有实验验证，理论公式符合实际，则理论设计能获得较为可靠的结果。按照设计顺序的不同，理论设计的计算过程又可分为：

(1) 设计计算 根据运动及动力要求、材料性能等，由理论公式设计计算零件的形状和尺寸。

(2) 校核计算 先根据其他方法（如经验设计）初步选定零件的外形及尺寸，然后引用理论公式进行校核。

2. 经验设计

根据已有的机器及机械零件长期使用累积经验而概括出来的经验公式和数据，或“类比法”进行设计。经验设计简单方便，对于某些类型零件如普通减速箱体、齿轮轮体等比较实用可行，这些零件如采用理论设计，不仅计算过程十分繁琐，难度较

计算出来的尺寸有时在工艺上也难以实现。但经验设计、特别是“类比法”有局限性。因此，当引用经验公式确定零件尺寸时，应对公式的来源及适用范围作出分析。

3. 模型实验设计

对于一些尺寸特大、结构复杂而重要的、但又难以进行理论设计的机械零、部件，可采用模型实验设计。通过模型实验，测定出机器中主要零、部件的工作应力的实际分布、重要零件的极限承载能力，以此来修正理论设计与经验设计不足之处。

总之，对于一般机械零件设计，可根据具体情况分别采用理论设计与经验设计，使之互为补充、相辅相成。

四、机械零件的主要失效形式和工作能力的计算准则

机械零件由于某些原因不能正常工作时，称为失效。机械零件常见的失效形式有：突然断裂和疲劳断裂、塑性变形和过大的弹性变形、以及各种形式的表面失效，例如表面磨损、疲劳点蚀、胶合、塑性变形、腐蚀等。

此外，靠摩擦力工作的零件打滑；高温下工作的零件将会发生热变形和热应力，甚至还可能发生时间变形，亦即蠕变，在此情况下，应力值虽保持不变，但变形却随时间继续增大，这些情况都会使机械零件丧失工作能力而告失效。

根据上述的主要失效形式，可得出机械零件工作能力的基本要求和相应的计算准则。

1. 强度

强度是指零件承受载荷后抵抗发生断裂或超过容许限度的残余变形的能力。强度是机械零件首先应满足的基本要求。显而易见，如果机器中有一个关键零件发生断裂，轻则使机器停止工作，重则发生严重的人身事故。

强度计算应满足的条件式为：

$$n = \frac{[\sigma]_0}{\sigma} \geq n_{\min}; \quad \text{或} \quad \sigma \leq \frac{[\sigma]_0}{n_{\min}} = [\sigma] \quad (1-1)$$

式中 $[\sigma]_0$ ——机械零件的静力强度或疲劳强度的基本许用应力；

$n, n_{\min}$ ——安全系数、最小安全系数；

$[\sigma]$ ——许用应力。

2. 刚度

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。零件的刚度（或称刚性）常用单位变形所需的力或力矩来表示。刚度要求对于某些弹性变形量超过一定数值后，会影响机器工作质量的零件尤为重要，例如机床主轴、导轨、丝杠等，这类零件的尺寸主要是根据刚度要求确定的。

刚度计算应满足的条件式为：

$$\nu \leq [\nu]; \quad \varphi \leq [\varphi] \quad (1-2)$$

式中 $\nu, [\nu]$ ——机械零件的变形量（伸长、挠变等）及许用变形量；

$\varphi, [\varphi]$ ——机械零件的变形角（挠角、扭角）及许用变形角。

零件的变形量及变形角的大小与材料的弹性模量 E （拉伸）或 G （剪切）的关系很大。由于各类钢材的弹性模量相差很小，因此用高强度钢代替低强度钢对提高零件刚度不会产生明显效果，远不如从结构采取措施更行之有效。

3. 耐磨性

耐磨性是指零件在载荷作用下抵抗磨损的能力。零件的磨损量超过一定限度后,尺寸及形状将改变,工作表面精度也随之下降,从而使零件丧失工作能力,不能执行预期职能。现今,在一般机械中,由于磨损而失效的零、部件大约占全部报废零、部件的80%。

4. 振动稳定性

振动的特征一般用振幅和频率两个参数表示。高速机器易于产生振动,一般振动会使零件产生额外的变应力,使零件早期疲劳断裂同时还将产生较大的噪音。当周期性载荷的作用频率接近机械系统或零件的固有频率时,就要发生严重振动,即共振。这时零件的振幅将急剧增大,能在短期内导致零件,甚至整个系统的破坏。

实践表明,有许多因素都能导致机器及零件发生严重振动。目前,由于机器的速度及功率日益增大,因此,如何确保机器及零件的振动稳定性对于机械设计也日趋重要。

5. 可靠性

现今,可靠性的理论和应用已发展成为专门学科领域,机器或机械零件的可靠性已从定性评价发展为可以量度的指标,从而成为机器或机械零件工作能力应满足的一项基本要求。

可靠性一般用“可靠度”量度,可靠度是指机器或零件在一定的工作和环境条件下,在规定使用期限内能连续工作的概率;或者说可靠度是大量的零件在规定使用寿命内,能连续工作的件数占总件数的百分数。例如在滚动轴承的生产过程中,抽查一批同型号滚动轴承进行寿命试验,一般以 10^6 转次(或折合成小时)作为轴承的额定寿命,试验时规定在额定寿命内有90%的轴承不发生点蚀失效即认为该批轴承合格,亦即允许轴承的失效概率为10%,要求轴承的可靠度 R 为90%。

可靠性计算要用到概率论和统计数据。评价可靠性可以按机器和零件的类型以及用途不同而选用各种工作指标,如工作中的失效次数、平均的使用寿命、行驶的里程数,等等。例如,某种型号汽车规定行驶 10^5 km才应进行大修,而通过观测得来的统计数字表明,平均的大修行驶里程为 9.5×10^4 km,则其可靠度 $R = 9.5 \times 10^4 / 10^5 = 0.95$ 。

由概率论知,一部机器或部件的可靠度在一般情况下可认为是组成该机器或部件的各个机械零件的可靠度 $R_1, R_2, \dots, R_n$ 的乘积,即

$$R = R_1 R_2 \dots R_n$$

显然,满足机器和零件的可靠性要求涉及的面很广,问题很多,有些问题还有待今后在实践中逐步积累各项统计数据合理解决。例如,在选择安全系数时,对于同样零件,由于零件所从属的机械不同(例如拖拉机中的齿轮传动与飞机中的齿轮传动),可靠性的要求也显著不同,从而使其安全系数也应有所差别。

对于各类型机械零件,并不是都需要进行上述各种工作能力的计算。而应根据具体情况,针对机械零件的主要失效形式,确定主要工作能力的要求来进行设计计算,必要时再按其他要求进行校核计算。例如机床主轴,首先应根据主轴加工精确度和刚度要求确定尺寸,然后再校核其强度、以及进行必要的振动计算。

五、机械零件常用材料及其选用原则

(一) 机械零件常用材料

现今,可用作机械零件的材料至少在500种以上,其中以钢及铸铁材料最为常用。近二十年来,由于塑料及复合材料的性能日益改善,这类材料的应用也日益广泛。

1. 碳钢与合金钢

碳钢及合金钢是机械制造中应用最为广泛的材料,这是因为这类材料的品种多、性能好;碳钢的生产批量大、价格低、供应充分,对于一般机械零件,应当优先选用。

(1) 普通碳素钢 这类钢一般以轧制圆钢、方钢、热轧薄钢板、厚钢板、钢丝、型钢等形式供应。普通碳素钢按照供应时的条件不同分为三类。

甲类钢:按机械性能供应的钢,钢号前用字母 A 表示;

乙类钢:按化学成分供应的钢,钢号前用字母 B 表示;

特类钢:按机械性能及化学成分供应的钢,钢号前用字母 C 表示。

普通碳素钢(主要指甲类钢)的淬透性差,通常当零件直径大于 20mm 或零件厚度大于 14mm 时无法淬透。因此,用这类钢材作为零件材料,在机械加工后,一般不再进行热处理。对于轻载、而且基本上受的是静应力的不太重要的机械零件,可以选用这类钢材。

在这类钢材中,其中以 A3、A4、A5 最为常用

(2) 优质碳素钢 这类钢分为两组:第一组为普通含锰钢,第二组为较高含锰钢。钢号中的两位数字表示平均含碳量的万分之几。字母“Mn”表示较高含锰量。

优质碳素钢在机加工后可再进行热处理,但其淬透性不佳,淬火变形较大,一般还要进行回火处理。含锰较高的优质碳素钢的淬透性和耐磨性略优于普通含锰的优质碳素钢。当零件受力较大,以及承受变应力或受冲击载荷时,可以选用优质碳素钢。

上述含碳量较低的各种碳素钢都有良好的可焊接性。

(3) 合金钢 在优质碳素钢中加入合金元素如镍、铬、钨、钼、锰、钒、铝、硅、钛等能显著改善钢的各项性能,例如可提高钢的淬透性、耐磨性、硬度、冲击韧性、高温强度等。合金钢各项性能的改善与热处理关系很大。对于受力较大、工作情况复杂、热处理要求较高的重要零件,当选用优质碳素钢不能满足要求时,可以选用合金结构钢。

2. 铸钢

对于承受重载的大型机械零件常用铸钢制造。铸钢和普通碳素钢相比,铸钢组织不如后者的轧制件和锻压件致密,因此铸钢的强度值比普通碳素钢略低些。铸钢和铸铁相比,铸钢的熔点高、收缩率大,易形成气孔,因此铸钢比一般灰铸铁难于铸造。

铸钢的品种很多,其中合金铸钢的性能较好,适合特殊用途。

3. 铸铁

(1) 灰铸铁 灰铸铁具有成本低、铸造性好,易于制造形状复杂的零件等优点,因此,它目前仍是制造某些零件的主要材料。

灰铸铁性脆,断裂时变形很小,因此它不适于作为承受冲击载荷零件的材料。灰铸铁的强度极限低于钢、弹性模量 E 值比钢低,但 E 值的变化范围很大。因此,当要求铸铁零件与同一用途的钢制零件具有相同应力及刚度时,铸铁零件尺寸远比钢制零件大,重量也高。但灰铸铁的减震性能比钢好,因此常用来做机器的机座或机架。

(2) 球墨铸铁 球墨铸铁中的石墨在铸铁中成球状均匀分布,它的强度可比灰铸铁高一倍。此外,球墨铸铁的延伸率、耐磨性、弹性模量都比灰铸铁好,其减震性则不如灰铸铁。球墨铸铁各项机械性能的高低,取决于球化工艺的技术水平。

现今,球墨铸铁的应用已很普遍,例如,受较大冲击载荷的齿轮、曲轴等都可用球墨铸铁取代钢材制造。

4. 有色金属

铝合金具有重量轻、机械性能较好等优点，可以做为某些类型的承载零件。

黄铜、青铜以及各种有色金属合金可作为耐磨材料、减摩材料、耐腐蚀材料、装饰材料等。

5. 塑料

塑料的优点有：重量轻、耐磨、耐腐蚀、易于加工成形等。如在塑料中加入各种填充剂可以获得较高的机械强度。

塑料在各个生产部门中已日益获得广泛的应用。

6. 复合材料

一般说来，用金属、合金、塑料、陶瓷等材料作为基材，用纤维强度很高的玻璃、石墨（碳）、硼或塑料等非金属材料作为纤维，可把纤维与基材复合成各种纤维增强复合材料，并可获得纵向强度为横向强度若干倍的各种高强度复合材料。这种复合材料，通常称为纤维增强塑料，可用来制造薄壁压力容器、汽车外壳等类器件。

此外，在普通碳素钢板表面贴复塑料，可以获得强度高而又耐腐蚀的塑料复合钢板。把金属箔与塑料层交替叠置，可以获得绝热性好的导电复合材料。目前，这些复合材料都处于研究试制试用阶段，成本高，供应少。但随着时间的推移，科学技术的迅速发展，复合材料必将不断改善而获得广泛应用。

上述机械制造中常用材料的性能及应用举例列于表 1-1。

(二) 材料的选用原则

列于表 1-1

机械零件的工作可靠性和经济性与材料的选用关系很大。在选用一般机械零件材料时，所选材料应满足零件的使用要求和符合经济原则。

机械零件的使用要求可以概括为：（1）零件的工作情况和载荷作用情况，以及相应的失效形式所提出的要求；（2）对零件的尺寸和重量所提出的要求；（3）零件在机器或部件中的重要程度。显然，如满足上述各项使用要求，应从材料各项性能的综合指标来考虑选取。例如，对于受力很大的零件，如果单从承载能力出发，必然要选用高强度钢制造为宜，但结合零件的经济性及材料的合理使用观点来考虑，高强度钢就未必是最合理的材料。一般说来，使用合金钢，必须对钢材进行要求较高的热处理或表面处理，否则就不能充分发挥这种钢材的潜在优越性能。这就表明，使用高强度合金钢材必须有充分的技术理由及必要的经济性考虑。因此，对于一般机械零件，当重量和尺寸没有严格限制时，应选用大批量生产、价格低廉的普通碳素钢、优质碳素钢及灰铸铁等材料。

在很多情况下，零件在不同部位上对材料有不同的要求。例如，对于齿轮的材料要求是：齿面要硬、齿心要韧、轮体无特殊要求。在此情况下，可以采用所谓“局部增强”办法加以解决。例如采用优质碳素结构钢（45# 钢）进行调质处理，改善轮齿通体韧性及切削性能。切齿后对齿面进行表面淬火，提高齿面硬度。对于轮体（包括轮辐、轮毂等），可采用与齿圈相同的材料（整体式结构，小型齿轮），也可采用较差的材料（例如灰铸铁，大型齿轮，组装式结构）制造，从而满足了零件的性能要求。

选择材料的经济性原则可以概括为：尽可能降低由材料本身价格、加工费用以及其他有关费用构成的零件总成本。为此，在选择材料时，不仅要考虑材料价格、供应情况、代用材料，还要简化零件的结构，赋予零件外形具有良好的工艺性等等。

六、机械零件的工艺性

在一定的生产规模和生产条件下，制造机械零件所用的劳动量最小、加工费用最

表1-1 常用钢及铸铁材料的性能及应用举例

牌 号		抗拉强度限 σ_B (MPa)	弯曲强度限 σ_{Bs} (MPa)	压缩强度限 σ_c (MPa)	屈服极限 σ_s (MPa)	硬 度 HB	弹性模量 E (GPa)	应 用 举 例
灰 铸 铁	HT20-40	200	400	750	—	170~220	80~100	机壳、机架，一般机械零件
	HT25-47	250	470	1000	—	175~240	100~130	一般机械零件
	HT30-54	300	540	1100	—	180~250	130	重载零件与薄壁零件
球 墨 铸 铁	QT40-10	400	—	—	300	55~197	175	一般机械零件
	QT45-5	450	—	—	330	170~207	175	齿轮
	QT50-1.5	500	—	—	380	187~255	175	曲轴
		拉伸强度限 σ_B (MPa)	屈服极限 σ_s (MPa)	延伸率 δ (%)	硬 度			
					HB (正火、 回火)	HB (调质)	HRC (表面淬火)	
铸 钢	ZG35	500	280	16	≥ 143	—	40~45	机架，一般机械零件
	ZG45	580	320	12	≥ 153	—	40~45	重载零件如齿轮
	ZG42SiMn	600	380	12	163~217	—	45~53	重载耐磨零件如齿轮
	ZG55	650	350	10	169~229	—	45~55	重型机械重要零件如齿轮
普 通 与 优 质 碳 素 钢	A3	410~430	230	26	126~169	—	—	金属结构件，一般紧固件
	08F	320	180	35	< 131	—	—	垫片等冲压件
	20	400	220	24	103~156	—	—	锻压件、中载零件、 小螺栓、渗碳件
	35	520	270	18	149~187	—	35~45	中载零件如轴、螺栓
	45	600	300	16	170~217	—	40~50	重载耐磨零件如齿轮
	55	660	330	12	187~229	—	45~55	轮缘、不重要的小板簧
合 金 结 构 钢	35SiMn	800	520	15	—	229~286	45~55	中、小零件如齿轮、 轴、重要紧固件
	40Cr	750	550	15	—	241~286	48~55	中载重要零件如齿轮、轴
	42SiMn	800	520	15	—	217~269	45~55	大型重载零件如大齿轮齿圈
	40MnB	750	550	12	—	241~286	—	40Cr的代用钢材
	20CrMnTi	1100	850	10	—	—	56~62 (渗碳)	重要渗碳零件如齿轮
	38CrMoAlA	1000	850	14	—	—	HV>850 (氮化)	重载氮化零件如齿轮、 主轴
弹 簧 钢	65	1000	800	9	硬度 HB(热轧) < 255			小尺寸的各种普通弹簧
	65Mn	1000	800	8	< 269			大尺寸的各种普通弹簧
	60Si2Mn	1300	1200	5	< 302			各种重要弹簧

注：表中钢号后字母F代表沸腾钢。

零件结构又满足使用要求，则这样的零件称为具有良好的工艺性。机械零件的工艺性是在进行零件结构设计时赋予的。因此，零件的结构设计在整个机械设计工作中十分重要，工作量也很大。

机械零件的设计，应从多方面考虑及改善零件的工艺性。在一般情况下，机械零件的结构应与生产条件和生产规模相适应。例如，在批量生产及有大型设备的条件下，应选取锻钢件，而对于同一零件在单件和小量生产以及只有一般设备的条件下，就应采用铸件或焊接件。此外，零件的结构应力求简单适用，加工精度和表面光洁度的规定要合理，这都有助于改善零件的工艺性。

设计铸件时还应注意，铸件的最小壁厚应满足液态金属的流动性要求。例如，对于砂型铸造，一般取灰铸铁件壁厚 $\delta_i \geq 6 \text{ mm}$ ，球墨铸铁件壁厚还可以小一些，铸钢件壁厚 $\delta_s \geq 8 \text{ mm}$ ；对于金属型铸造，则上述铸件壁厚应分别为 $\delta_i \geq 4 \text{ mm}$ ， $\delta_s \geq 5 \text{ mm}$ 。铸件各部分的壁厚应均匀，但也不宜过厚，以免产生缩孔及缺陷。此外，铸件不同壁厚的联接处，应采用均匀过渡，各个面的交接处应采用圆角结构。垂直分型面的表面应有适当的铸造斜度，以便于造型及起模（图 1-1）；要注意避免使造型困难的死角，所设计的铸件结构还应考虑便于清砂、运输等方面要求。

锻造和冲压件的毛坯形状应力求简单，不应有很深的凹槽，以便于制造。

对于机械加工件要考虑加工的可能性，并尽可能减少加工难度，如图 1-2 所示结构，如将 a 图所示的设计改为 b 图形式，则钻孔加工可行，但仍不方便；如改为 c 图结构形式，就保证了钻头有合理的支承定位面，改善了零件的工艺性。

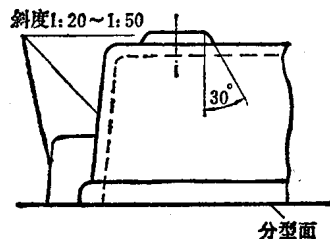


图 1-1 铸造斜度

此外，零件的结构还要考虑到装、拆要求，保证零件能正确安装，还要便于拆卸，一典型例子如图 1-3 所示。

七、标准化、通用化和系列化

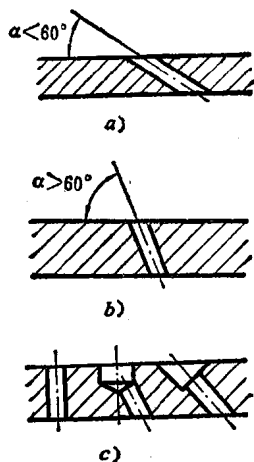


图 1-2 便于钻孔的结构
a) 不正确 b) 允许 c) 正确

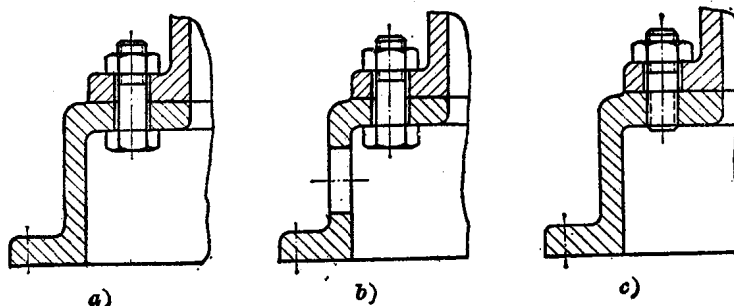


图 1-3 便于安装的结构
a) 不正确 b) 正确 c) 正确

标准化是组织现代化大生产的重要手段，也是实行科学管理的重要基础之一。标准化的基本特征是统一、简化。

零件标准化、部件通用化和产品系列化，不仅有利于机器及零件的设计、制造，并可收到显著的经济效果，有利于开展专业协作、统一规划，并可迅速提高大型、精密、现代化的成套机械设备的生产水平。显然，“三化”对国民经济的各部门、特别是对机械工业的发展有着重要意义。

我国现行标准分为国家标准（GB）、部标准（专业标准）和企业标准三级。此外，我国还参加了国际标准化组织（ISO）。设计时，应充分了解各项有关标准，并应尽可能遵守标准。

八、机械设计方法的新发展

由于新的边缘学科的涌现与发展，大容量电子计算机的广泛应用，计算数学和计算

的日新月异,以及某些类型机械不断向高速、高压、大功率、和全盘自动化等方面发展,而机械的工作条件又日益严峻、苛刻,因而机械设计方法也在不断改进和发展。

机械结构强度分析中引入断裂力学方法,应力计算中采用有限元法,依靠能量方法来处理力学模型,以及测试技术及模型实验的日趋完善,这些都使机械设计工作者能对结构形式及支承条件都很复杂、载荷又高的机械结构进行有效的理论分析及设计计算。

在机械设计领域中采用最优化设计、可靠性设计和价值分析能有效地提高机械的可靠性和降低成本。计算机辅助设计现已广泛被研究及采用。

本世纪六十年代中期,综合摩擦、磨损、润滑、表面物理化学、表面接触力学、流变学等方面而发展起来的一门新学科——摩擦学,已在提高机器使用性能及延长使用寿命等方面显示出威力。现今,具有特殊添加剂的润滑油或固体润滑材料,不仅能难以置信地、成倍提高各种机械的使用寿命,并且还成功地解决了宇航机械的使用寿命要求。由于扫描电子显微镜、铁谱仪等现代化仪器的出现,摩擦、磨损机理研究已从宏观世界深入到微观世界。现在表面粗糙度和表面热效应的理论研究的新进展,为机械设计开拓了崭新领域。

失效物理学的出现和进展为机器及零件设计进一步符合实际情况,创造了有利条件。

系统分析方法不仅为机械设计提供了方法论,而且也现代化机械设计课题的分析与综合奠定了理论基础。

1-2 机械零件的强度

一、载荷和应力的分类

作用在机械零件上的载荷和应力,按其随时间变化的特性可分为两大类:静载荷和静应力;变载荷和变应力。

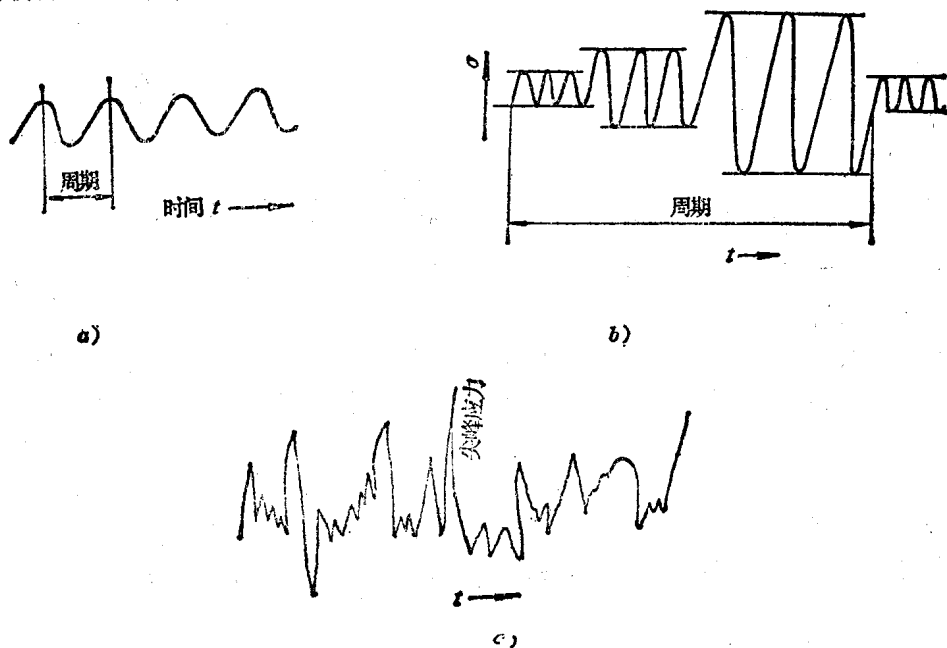


图 1-4 变应力的类型

a) 稳定循环变应力 b) 不稳定循环变应力 c) 随机变应力

不随时间而变化的载荷和应力称为静载荷和静应力，纯粹的静载荷和静应力在机器中很少见到。不断地随时间变化的载荷和应力称为变载荷和变应力。绝大多数的机械零件都是处于变应力状态下工作的。变应力可分为：稳定循环变应力(图 1-4 a)，不稳定循环变应力(图 1-4 b)，及随机变应力(图 1-4 c)。瞬时作用的过载或冲击产生的应力称为尖峰应力(图 1-4 c)。

图 1-5 为变应力谱(应力随时间变化图)，图中符号意义如下：

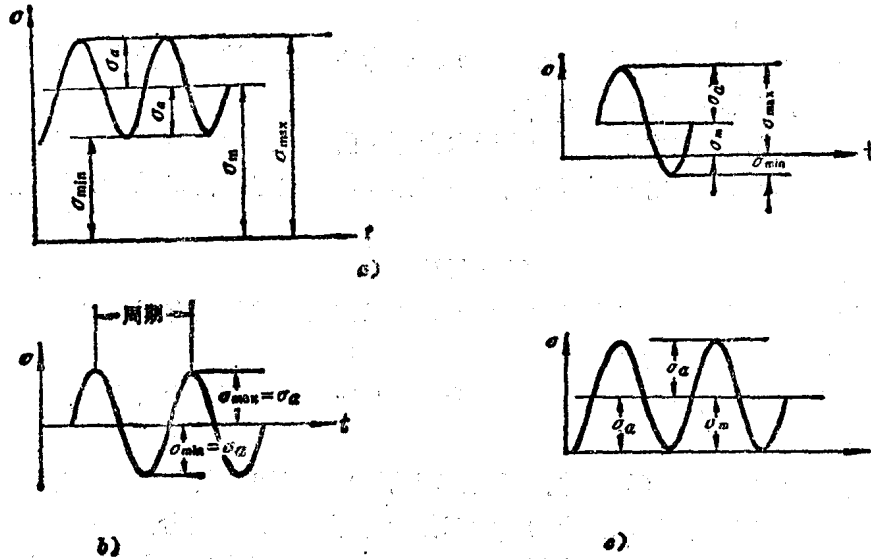


图 1-5 稳定变应力谱

a) 非对称循环变应力 b) 对称循环变应力 c) 脉动循环变应力

$\sigma_{\max}$ ——最大应力

$\sigma_{\min}$ ——最小应力

σ_m ——平均应力

σ_a ——应力幅

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\max} &= \sigma_m + \sigma_a \\ \sigma_{\min} &= \sigma_m - \sigma_a \end{aligned} \right\}$$

(1-4)

$$\left. \begin{aligned} \sigma_m &= \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \\ \sigma_a &= \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \end{aligned} \right\}$$

(1-5)

$$r \text{——应力循环特征系数, } r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_m - \sigma_a}{\sigma_m + \sigma_a}$$

(1-6)

由式(1-6)可见，当应力循环特征系数 $r = +1$ 时，表明 $\sigma_{\max} = \sigma_{\min}$ ，这类应力就是静应力。当 $r = -1$ 时，表明 $\sigma_{\max}$ 与 $\sigma_{\min}$ 的数值相同、但方向相反，这类应力称为对称循环变应力。当 $r = 0$ 时，表明 $\sigma_a = |\sigma_m|$ ，这类应力称为脉动循环变应力。当 r 为任意值(即 $r \neq 1, 0, -1$)，这类应力统称为非对称循环变应力(图 1-5 a)。

变应力的循环特征系数 r 、应力幅 σ_a 和应力循环次数 N 对零件的疲劳强度都有一定的影响。

由于机械零件所受的应力极少是静止不变的，一般在设计时，对于应力变化次数较少(例如次数少于 10^5 次)的变应力，可以近似按静应力对零件进行强度计算或校核。