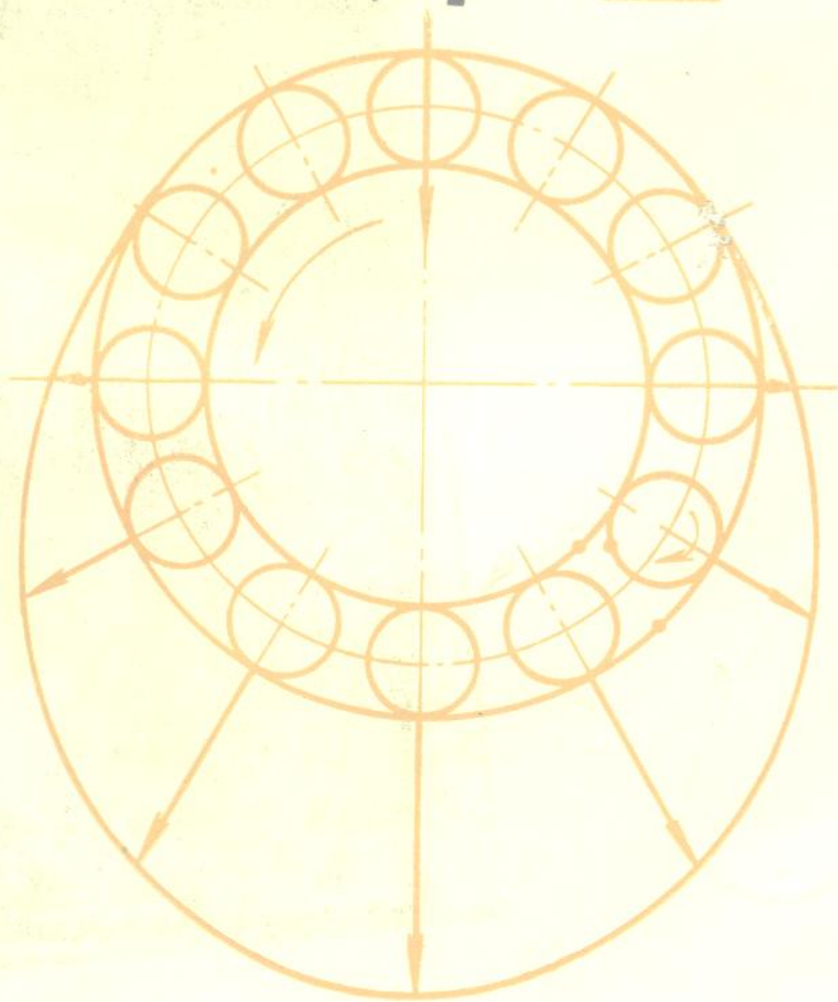


朱宝库 主编

# 机械设计

哈尔滨工业大学出版社



机械设计

哈尔滨工业大学

22  
6

# 机 械 設 計

主 编 朱 宝 库

哈尔滨工业大学出版社

(黑)新登字第4号

**机 械 设 计**

朱宝岸 主编

●  
哈尔滨工业大学出版社出版  
新华书店首都发行所发行  
黑龙江省绥化印刷厂印刷

●  
开本787×1092 1/16 印张24.125 字数551千字

1994年1月第1版 1994年1月第1次印刷

印数 1-8000

ISBN7-5603-0527-8/TH·96 定价: 13.00元

# 前 言

本书是根据1986年5月在武汉召开的国家教委“机械设计课程指导小组”扩大会议上审订通过的四年制机械类专业“机械设计教学基本要求”编写的。

在本书编写时，力求将本学科的基本理论和基本知识阐述清楚，同时重视理论联系实际，并为设计计算提供了一些必要的资料。

本书以少而精为原则，重视实用性，对“教学基本要求”中规定为零学时的内容原则上不收入；本书注意与先修课程的联系与衔接；为了适应生产实际需要，本书各章均采用新颁布的国家标准。

为了加深学生对课程内容的理解，在各章末尾编写了设计计算实例与思考题。

本书由朱宝库主编。参加本书编写的有朱宝库（绪论，第二、十章），王永洁（第三、六章），陈铁鸣（第五、九章），韩永春（第四、十二章），王连明（第一、七章），荣涵锐（第八、十一章）。全书由庞志成教授主审。

本书除以“机械设计教学基本要求”为根据以外，编者尽量吸收本校机械设计教研室几十年的教学经验，以适应我校各专业的特点。在本书编写过程中教研室许多教师提出了许多宝贵意见，并提供了一些资料。编者对此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限，经验不足，书中错误与不足之处恳请批评指正。

编 者

1992年10月

# 绪 论

## 0-1 机械的组成、零件、部件

人类在生产劳动中为了节省劳力、提高效率，不断改进所使用的工具，并逐步将它们演变成机器。随着科学技术的发展与进步，生产的机械化自动化水平不断提高。当今世界，生产的机械化自动化水平及产品质量是衡量一个国家工业水平和科学技术水平的重要标志。机械工业部门承担着为国民经济各部门提供先进的技术装备和加速技术改造的任务。工程技术人员的责任则是机械装备的技术设计和制造工艺的设计。本课程是培养工程师过程的重点课程，通过本课程学习机械设计的基本知识，基本理论，培养机械设计的基本技能。

### 一、机械的组成

在国民经济各部门使用着各种各样的机械设备（如机床、汽车、起重机、挖掘机采油机等）。尽管它们的用途、构造、性能千差万别，但所有的机械都是由原动机、传动装置和工作机三大部分组成的。以一个简单机械卷扬机为例（见图0-1），它可以分解为原动机（电动机）、传动装置（齿轮减速器及联轴器）和工作机（卷筒等）三大部分。任何一部机械都可以分成这样三部分。

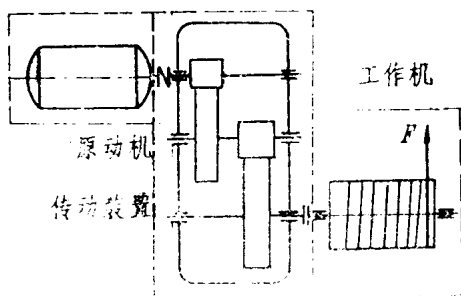


图 0-1 机械的组成

原动机（如电动机、内燃机、蒸汽机等）将电能、热能等能源转变为机械能；传动装置将原动机提供的机械能和运动传递给工作机，在传递运动过程中对运动形式或速度进行改变以适应工作机的需要；工作机按生产产品的要求完成预定的运动并对外作功。

传动装置、工作机和原动机中的部分零件是本课程的研究对象。传动装置有多种形式，例如机械传动、电力传动，液力传动等。本课程只研究机械传动，其它形式的传动在有关专业课中讲述。

### 二、零件、部件

**零件** 组成机械的最小单元是零件，如轴、齿轮、叶片、活塞、螺栓等。在各类机械中普遍使用并具有同一功能的零件叫通用零件，轴、齿轮、螺栓等都是通用零件，只在某些类型的机械中才使用的零件叫专用零件，如叶片，活塞，曲轴都属于专用零件。

**部件** 为了完成同一工作，将若干个零件组装成协同工作的组合体叫做部件，如滚动轴承，联轴器等。

本课程只讲述一般工况下通用零部件的结构设计及强度计算。专用零部件将在专业

课中讲述。

## 0-2 机械设计的主要内容和一般步骤

机械零件和部件的设计不能脱离整机的设计而独立进行，因为整机的工作条件受力情况等都对零部件设计规定了一定的要求。机械设计应按实际情况确定设计方法和步骤，一台新的机械设备从确定设计任务书到形成产品，需要进行的工作大体如下。

### 一、确定设计任务书

根据生产或市场的需求，由用户和设计部门制定设计任务书，对设备的性能，结构形式，主要技术参数等做出明确规定，任务书是设计调试验收等的主要依据。

### 二、方案论证与初步设计

设计者根据设计任务书的规定拟定几种不同的实施方案并进行可行性论证，优缺点比较，从中选出最好方案并进行初步设计。初步设计时应应对设备中主要部分进行运动学、动力学分析计算确定主要参数，并且对主要零件进行工作能力计算。有时还要作出经济性分析。

### 三、结构设计

根据初步设计确定的参数，绘制机器的装配图，部件图和零件图。

### 四、编写说明书

设计说明书是重要的技术文件、是生产、检验、安装、调试、运行、维护的依据。

### 五、技术审定和产品的鉴定

设计资料应由专家和有关部门审定认可后试制；样机运行后再进行技术审定，鉴定通过后投入小批量生产或根据市场需求大量生产。

机械设计的过程就是实践——理论——实践的过程。设计者既要继承前人的经验，又要不断创新，在设计实践中增长才干，推动机械工业的发展。

## 0-3 机械设计课程的任务、特点和学习方法

### 一、机械设计课程的任务与特点

机械设计是一门技术基础课。课程的任务是：

1. 学习和掌握机械设计的基本理论与设计方法；
2. 培养设计计算能力与结构设计能力；
3. 掌握设计的基本知识，学会运用各种标准，规范和技术资料。

通过对本课程的学习和实践不仅为专业课学习打下基础，并具备设计简单机械的能力。

### 二、机械设计课程的主要特点和学习方法

1. 本课程是一门实践性很强的课程。在学习中一定要抓住设计这一关键，不宜只重理论而轻视设计，特别是结构设计尤为重要。零件设计和整机设计是不可分割的，所以必须从整机设计出发来考虑零件的设计。

2. 掌握机械零件的设计规律。本课程是以零件为对象研究各类通用零件设计计算

问题的。不同类别零件的工作原理，材料，载荷、应力等方面有很大差别，因而设计准则，计算公式也会完全不同，从表面上看似乎支离破碎无章可循。但实际上和其它事物一样，机械零件设计有它自己的规律，这个规律表现在设计机械零件时要考虑的问题是相同的，因此，设计程序也是相同的。一般情况下设计程序及要考虑的问题是：

- 1) 研究要设计的零件的工作原理、类型、优缺点及其所适用的场合；
- 2) 分析零件承受的载荷、应力和它们的特性；
- 3) 选择合适的材料及热处理方式；确定材料的机械性能（多数情况下是许用应力）；
- 4) 研究零件的破坏（失效）形式；
- 5) 确定计算准则建立力学模型和计算公式，并进行计算。有的是强度计算而有的是刚度计算、耐磨性计算，稳定性计算或寿命计算，或者依次进行几项计算，最后确定零件的主要尺寸及参数；
- 6) 最后进行零件的结构设计并绘制零件工作图。在结构设计中要考虑加工及装配工艺及维护事项。

3. 逐步学习并掌握初选参数，再进行校核的设计方法。零件所处的工作条件是多种多样的，有的很复杂，有时零件的尺寸对初始条件互相影响，这时需要凭经验或类比先初定尺寸，然后再进行校核。还有的零件尺寸受几种条件共同制约，这时应选出一个主要影响因素确定计算准则，据此确定尺寸后再进行其它条件的校合，使零件尺寸满足所有的条件。本课程将多次运用这种方法。另外零件的尺寸参数并不一定都是计算得来的，如由结构设计确定尺寸，然后进行各项必要的校核计算是常用的方法。

4. 本课程是以设计为主线的课程，它与许多先修课关系密切，必须综合运用先修课的知识解决设计问题。这些先修课包括机械制图，力学，金属工艺学，金属学与热处理，机械原理，公差与技术测量等。对这些课程必须学懂会用。

# 目 录

## 绪 论

0-1	机械的组成、零件、部件	I
	一、机械的组成	I
	二、零件、部件	I
0-2	机械设计的主要内容和一般步骤	I
0-3	机械设计课程的任务、特点和学习方法	I
	一、机械设计课程的任务与特点	I
	二、机械设计课程的主要特点和学习方法	I

## 第一章 机械零件设计基础

1-1	载荷和应力	1
	一、载荷	1
	二、应力	1
1-2	机械零件的主要失效形式和设计计算准则	7
	一、机械零件的主要失效形式	7
	二、机械零件的工作能力和设计计算准则	8
1-3	机械零件应满足的基本要求	10
1-4	机械零件的设计方法和设计的一般步骤	10
	一、机械零件的设计方法	10
	二、机械零件设计的一般步骤	11
1-5	机械零件材料的选用原则	11
	一、载荷及应力的大小和性质	11
	二、零件的工作情况	11
	三、零件的尺寸和质量	12
	四、零件结构的复杂程度及材料的加工可能性	12
	五、材料的经济性	12
	六、材料的供应情况	12
1-6	机械零件的结构工艺性	12
	一、零件的结构应与生产条件、批量大小及尺寸大小相适应	12
	二、零件造型应简单化	13
	三、零件的结构应适合进行热处理	13
	四、零件的结构应保证加工的可能性、方便性和精确性	13
	五、零件的结构应保证装拆的可能性和方便性	13



1-7 机械零件设计中的标准化	19
思考题	19

## 第二章 摩擦、磨损、润滑

2-1 润滑剂、添加剂简介	20
一、润滑油的粘度	20
二、润滑油的粘温特性和粘压特性	22
三、润滑油的其它特性	23
四、润滑脂及其主要性能	25
五、固体润滑剂	26
六、添加剂	26
2-2 摩擦与润滑的类型	26
一、干摩擦	27
二、流体摩擦	27
三、边界摩擦	29
2-3 磨损的主要类型	30
一、粘着磨损	30
二、疲劳磨损	30
三、磨粒磨损	30
思考题	31

## 第三章 螺纹联接及螺旋传动

3-1 螺纹	32
一、螺纹的主要参数	32
二、螺纹副的受力关系、效率和自锁	33
三、螺纹的种类及其应用	34
3-2 螺纹联接的基本类型及标准联接件	35
一、螺纹联接的基本类型	35
二、标准螺纹联接件	37
三、联接零件常用材料和机械性能等级	38
3-3 螺纹联接的预紧	40
3-4 螺纹联接的防松	42
一、摩擦防松	42
二、机械防松	43
三、永久性防松	44
3-5 单个螺栓联接的强度计算	44
一、松螺栓联接	44

二、紧螺栓联接	45
三、螺栓联接的许用应力	51
<b>3-6 螺栓组受力分析</b>	<b>52</b>
一、受轴向载荷 $Q$ 的螺栓组联接	52
二、受横向载荷 $R$ 的螺栓组联接	52
三、受旋转力矩 $T$ 的螺栓组联接	54
四、受倾覆力矩 $M$ 的螺栓组联接	55
<b>3-7 提高螺栓联接强度的措施</b>	<b>63</b>
一、改善螺纹牙上载荷分配	63
二、避免附加弯曲应力	64
三、提高疲劳强度的措施	65
<b>3-8 螺旋传动</b>	<b>67</b>
一、螺旋传动的类型和应用	67
二、滑动螺旋的失效形式和材料	68
三、滑动螺旋的设计计算	68
四、滚动螺旋传动简介	72
五、静压螺旋传动简介	73
习题和思考题	74

## 第四章 带传动

<b>4-1 概述</b>	<b>77</b>
一、传动带的工作原理和特点	77
二、传动带的类型	78
<b>4-2 V带的结构、型号和基本尺寸</b>	<b>82</b>
一、V带的结构	82
二、普通V带的型号和基本尺寸	83
<b>4-3 带传动的理论基础</b>	<b>84</b>
一、带传动的几何计算	84
二、带传动的受力分析	85
三、传动带的应力分析	87
四、带传动的弹性滑动和打滑现象	89
五、带传动的失效形式和设计准则	90
<b>4-4 普通V带传动的的设计计算</b>	<b>93</b>
<b>4-5 V带轮</b>	<b>98</b>
<b>4-6 带的张紧</b>	<b>102</b>
一、定期张紧装置	102
二、带张紧轮的装置	103

三、自动张紧装置.....	103
4-7 同步带传动.....	106
习题和思考题.....	114

## 第五章 链传动

5-1 链传动的工作原理.....	116
5-2 传动链的结构和规格.....	117
5-3 链传动的运动特性.....	119
一、链传动的运动不均匀性.....	119
二、链传动的动载荷.....	121
5-4 链传动的受力分析.....	122
5-5 滚子链传动的设计计算.....	123
一、滚子链传动的主要失效形式.....	123
二、链的极限功率曲线和额定功率曲线.....	124
三、链传动主要参数的选择.....	126
四、低速链传动的静强度计算.....	130
5-6 链轮.....	132
5-7 链传动的布置、润滑和护罩.....	135
习题和思考题.....	136

## 第六章 齿轮传动

6-1 概述.....	138
6-2 齿轮传动的失效形式和设计准则.....	138
一、齿轮传动的主要失效形式.....	138
二、齿轮传动的的设计准则.....	144
6-3 齿轮材料及其热处理.....	144
6-4 齿轮传动的计算载荷.....	148
一、工作情况系数 $K_A$ .....	149
二、动载系数 $K_v$ .....	149
三、齿向载荷分布系数 $K_H$ .....	150
四、齿间载荷分配系数 $K_H$ .....	153
6-5 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算.....	154
一、轮齿受力分析.....	154
二、齿面接触疲劳强度计算.....	154
三、齿根弯曲疲劳强度计算.....	159
6-6 齿轮传动主要参数选择和许用应力.....	162

一、齿轮传动主要参数选择	162
二、齿轮传动的许用应力	164
<b>6-7 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算</b>	<b>171</b>
一、轮齿受力分析	171
二、齿面接触疲劳强度计算	171
三、齿根弯曲疲劳强度计算	174
四、螺旋角 $\beta$ 的选择	175
<b>6-8 变位齿轮传动强度计算的特点</b>	<b>178</b>
<b>6-9 标准圆锥齿轮传动的强度计算</b>	<b>179</b>
一、直齿圆锥齿轮传动强度计算的特点	179
二、几何参数的计算	179
三、轮齿受力分析	181
四、齿面接触疲劳强度计算	182
五、齿根弯曲疲劳强度计算	183
六、主要参数选择	183
七、曲齿圆锥齿轮传动简介	183
<b>6-10 圆弧齿圆柱齿轮传动的基本原理</b>	<b>187</b>
<b>6-11 齿轮的结构设计</b>	<b>193</b>
<b>6-12 齿轮传动的润滑</b>	<b>196</b>
习题与思考题	198

## 第七章 蜗杆传动

<b>7-1 概述</b>	<b>200</b>
一、蜗杆传动的特点和应用	200
二、蜗杆传动的类型	201
<b>7-2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算</b>	<b>202</b>
一、普通圆柱蜗杆传动的主要参数及其选择	203
二、蜗杆传动的几何尺寸计算	206
<b>7-3 蜗杆传动的失效形式、设计计算准则和材料选择</b>	<b>208</b>
一、蜗杆传动的失效形式和设计计算准则	208
二、蜗杆和蜗轮的常用材料	208
<b>7-4 普通圆柱蜗杆传动的承载能力计算</b>	<b>208</b>
一、蜗杆传动的受力和计算载荷	208
二、蜗杆传动的强度计算	210
三、蜗杆轴的强度与刚度计算	213
<b>7-5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算</b>	<b>213</b>
一、蜗杆传动的效率	213

二、蜗杆传动的润滑	214
三、蜗杆传动的热平衡计算	215
<b>7-6 蜗杆和蜗轮的结构</b>	<b>216</b>
<b>7-7 其它类型的蜗杆传动简介</b>	<b>221</b>
一、圆弧圆柱蜗杆传动	221
二、环面蜗杆传动	222
三、锥蜗杆传动	222
<b>习题题和思考题</b>	<b>222</b>

## 第八章 轴和轴毂联接

<b>8-1 概述</b>	<b>225</b>
一、轴的分类	225
二、轴的设计	226
<b>8-2 轴的材料</b>	<b>226</b>
<b>8-3 轴径的初步估算</b>	<b>228</b>
一、类比法	228
二、经验公式计算	228
三、按扭转强度计算	228
<b>8-4 轴的结构设计</b>	<b>229</b>
一、制造安装要求	229
二、固定要求	230
三、提高轴的强度的措施	231
四、轴的结构设计示例	232
<b>8-5 轴的强度校核计算</b>	<b>234</b>
一、轴的计算简图	234
二、按弯扭合成强度计算	234
三、轴的安全系数校核计算	235
<b>8-6 轴的刚度计算</b>	<b>237</b>
一、弯曲变形计算	238
二、扭转变形计算	239
<b>8-7 轴的振动计算简介</b>	<b>239</b>
<b>8-8 轴毂联接</b>	<b>240</b>
一、键联接	240
二、花键联接	243
三、弹性环联接	244
四、过盈配合联接	245

附表和附图	252
习题和思考题	258

## 第九章 滚动轴承

<b>9-1 滚动轴承的类型、代号和选择</b>	259
一、滚动轴承的构造	259
二、滚动轴承的类型	260
三、滚动轴承的代号	263
四、滚动轴承类型的选择	265
<b>9-2 滚动轴承的失效形式和计算准则</b>	267
<b>9-3 按额定动负荷计算滚动轴承</b>	268
一、滚动轴承的寿命和额定动负荷	268
二、滚动轴承当量动负荷的计算	271
三、角接触轴承的内部轴向力	274
<b>9-4 按额定静负荷计算滚动轴承</b>	276
<b>9-5 滚动轴承的极限转速</b>	277
<b>9-6 滚动轴承部件设计</b>	277
一、轴承部件的固定和调整	278
二、滚动轴承配合的选择	283
三、轴承部件的支承刚度和轴承的预紧	284
四、滚动轴承的润滑和密封	286
习题和思考题	291

## 第十章 滑动轴承

<b>10-1 概述</b>	293
一、滑动轴承的分类	293
二、滑动轴承的特点和应用	294
<b>10-2 滑动轴承的结构形式</b>	294
一、径向滑动轴承	294
二、推力滑动轴承	295
<b>10-3 轴瓦的材料和结构</b>	296
一、对轴瓦材料的要求	296
二、常用的轴瓦材料及其性能	297
三、轴瓦结构	299
<b>10-4 非液体摩擦轴承的计算</b>	302
一、非液体摩擦径向滑动轴承的计算	302

二、非液体摩擦推力滑动轴承的计算	303
三、非液体摩擦径向滑动轴承的配合	304
<b>10-5 流体动压形成原理及基本方程</b>	<b>305</b>
一、流体动压形成原理	305
二、流体动压基本方程	309
<b>10-6 液体动压径向滑动轴承的计算</b>	<b>310</b>
一、径向滑动轴承的工作过程	310
二、径向滑动轴承的几何参数及其基本方程的形式	311
三、径向滑动轴承的承载量系数和最小油膜厚度计算	313
四、滑动轴承的热平衡计算	316
五、滑动轴承主要参数的选择	321
<b>10-7 多油楔轴承</b>	<b>325</b>
一、油膜刚度和多油楔轴承	325
二、多油楔向心轴承的结构原理	326
三、多油楔推力轴承	327
<b>10-8 润滑剂与润滑装置</b>	<b>329</b>
一、滑动轴承用润滑剂的选择	329
二、润滑方式及润滑装置	330
<b>习题和思考题</b>	<b>332</b>

## 第十一章 联轴器和离合器

<b>11-1 概述</b>	<b>333</b>
<b>11-2 联轴器</b>	<b>333</b>
一、固定式刚性联轴器	334
二、可移式刚性联轴器	335
三、弹性联轴器	337
<b>11-3 离合器</b>	<b>338</b>
一、操纵式离合器	338
二、自动离合器	342
<b>习题和思考题</b>	<b>343</b>

## 第十二章 弹 簧

<b>12-1 概述</b>	<b>345</b>
<b>12-2 弹簧的材料、许用应力及制造</b>	<b>345</b>
一、弹簧的材料	345
二、许用应力	348
三、弹簧的制造	350

<b>12-3 圆柱形压缩(拉伸)螺旋弹簧的设计计算</b> .....	352
一、几何尺寸和参数 .....	352
二、特性线 .....	352
三、弹簧的受力和应力 .....	355
四、弹簧的变形和刚度 .....	357
五、弹簧的稳定性 .....	358
六、受静载荷圆柱形螺旋弹簧的设计 .....	360
<b>12-4 受交变载荷的弹簧设计</b> .....	362
一、强度验算 .....	362
二、振动验算 .....	363
<b>12-5 圆柱形组合压缩螺旋弹簧</b> .....	364
习题和思考题 .....	366



# 第一章 机械零件设计基础

## 1-1 载荷和应力

### 一、载荷

1. 静载荷与变载荷 作用在机械零件上的载荷，按它的大小和方向是否随时间变化分为静载荷与变载荷两类。不随时间变化或变化缓慢的载荷称为静载荷，如物体重力，随时间作周期性变化或非周期性变化的载荷称为变载荷，前者如内燃机等往复式动力机械的曲轴所受的载荷，后者如支承车身重量的悬挂弹簧所受的载荷。

2. 名义载荷与计算载荷 根据原动机或工作机的额定功率计算出的作用于机械零件上的载荷称为名义载荷。它是机器在平稳工作条件下作用在机械零件上的载荷，它没有反映载荷的不均匀性及其他影响零件受载的因素。在设计计算时，常用载荷系数 $K$ 来考虑这些因素的综合影响，载荷系数 $K$ 与名义载荷 $F$ 的乘积即为计算载荷 $F_{ca}$ 。即

$$F_{ca} = KF \quad \text{N} \quad 1-1$$

### 二、应力

#### 1. 静应力与变应力

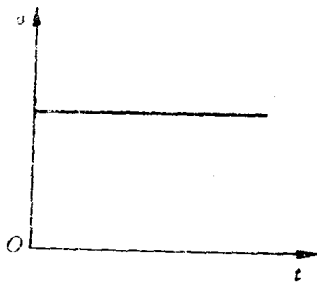


图 1-1 静应力谱

大小和方向不随时间变化或变化缓慢的应力称为静应力（图1-1）。零件在静应力作用下可能产生断裂或塑性变形。

而大小和方向随时间变化的应力称为变应力（图1-2）。变应力可以由变载荷产生，也可以由静载荷产生，例如在静载荷作用下，转轴中的应力。零件在变应力作用下可能产生疲劳破坏。

表征变应力的基本参数有五个：最大应力 $\sigma_{max}$ 、最小应力 $\sigma_{min}$ 、平均应力 $\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$ 、应力幅 $\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$ 和循环特征 $r = \sigma_{min}/\sigma_{max}$ （其值为 $-1 \leq r \leq 1$ ）。但独立参数只有两个。

对于任何一种应力循环都可以看成一个不变的平均应力 $\sigma_m$ 和一个变化的应力幅 $\sigma_a$ 叠加而成。