

成人高等教育机械类专业适用

机械零件

张英会 主编

机械工业出版社

成人高等教育机械类专业适用

机 械 零 件

张英会 主编

张英会 杨淑贞 易秉钺
万本茂 夏琦 金科 编写

机 械 工 业 出 版 社

本书是根据教育部审定的职工高等工业专科学校机械类专业《机械零件教学大纲(草案)》编写的。全书分为四篇,共十四章和两个实例,第一篇机械零件设计的理论基础,第二篇联接,第三篇机械传动,第四篇轴、轴承及联轴器,实例1螺旋举重器设计分析和实例2减速器轴系设计分析。内容注重理论联系实际,各章均附有例题、思考题、习题及自学指导等,便于成人自学。

本书可作为在职成人自学和职工高等工业专科学校机械类专业机械零件课程教材。也适宜于作普通高等学校近机械类专业机械零件课程教材以及供各有关专业师生和工程技术人员参考。

机 械 零 件

张英会 主编

张英会 杨淑贞 易秉铎 编写
万本茂 夏 琦 金 科

*

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许可证出字第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 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 23 · 字数 563 千字

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数 0,001—6,620 · 定价 4.75 元

*

统一书号: 15033 · 6704

前 言

本书是根据教育部一九八三年十一月职工高等工业专科学校教学大纲审订会通过的机械类专业《机械零件教学大纲(草案)》编写的,拟作为在职成人高等教育自学和职工高等工业专科学校机械类专业机械零件课程教学用书。同时也可作为普通高等学校近机械类专业机械零件课程的教材,以及其他各有关专业机械零件课程教学参考书。考虑到在职成人和自学高等教育课程学生的特点,在编写本书时,注意了以下几方面的问题。

1. 在理论联系实际的基础上,突出本课程所必需的基本理论、基本知识和基本技能,以期达到学以致用用的要求。

2. 在论述方面力求深入浅出、简明易懂;在内容安排方面,除循序渐进外,加强了例题的份量和与所学内容的配合,并每章附有自学指导和小结、思考题和习题等。

3. 突出设计思想和设计方法的训练,为此本书附有以设计分析为主要内容的两个实例,以期提高学生在机械零件设计方面的分析和解决问题的能力。

为了加强学生对本课程内容的理解和便于解题,多数篇章附有必要的标准、规格和数据资料,但并不能满足各个零件进行设计的需要,所以在学习本课程时必需配备相应的有关手册。

考虑到学习的连贯性和系统性,与此同时出版社出版有与此书配套的机械原理教材,如在学习机械原理时选用此教材,将会对本课程的学习带来方便。

为了配合学生自学和微机在机械零件设计计算方面的开展,另编有本书习题解和主要机械零件的设计计算程序,如在学习时需要,可以与我们联系。

参加本书编写的同志有:北京钢铁学院张英会(第1、2、10~14章)、易秉钺(第6、7章)、夏琦(绪论、第1、5章),北京化工学院杨淑贞(第8、9章),北京农业工程大学万本茂(第3、4章),包头钢铁公司职工大学金科(第5章)等;北京钢铁学院傅德明和王小群同志各提供了一个实例,夏琦同志还参与了本书有关章节材料和工艺内容的编写和审阅。

在编写本书过程中,得到了中国矿业学院北京研究生部杜鸿年教授的指导和协助,编者谨致以谢意。

编写这样类型的教材是一种新的尝试,编者缺少经验,时间又较仓促,书中缺点和错误在所难免,望读者批评指正。

编者

1986年3月

目 录

绪论	1	0-2 机械设计的内容及顺序	2
0-1 概述	1	0-3 机械设计的新发展	5

第一篇 机械零件设计的理论基础

第1章 机械零件设计概述

1-1 机械零件的设计方法和过程分析	7
1-2 机械零件所受的载荷	9
1-3 机械零件的应力	10
1-4 机械零件的失效和对其工作能力 的基本要求	13
1-5 机械零件的常用材料及选用原则	15
1-6 机械零件的结构设计	19

第2章 机械零件的疲劳和磨损

2-1 机械零件的疲劳失效	22
---------------------	----

2-2 变应力的类型	23
2-3 疲劳强度极限	25
2-4 影响零件疲劳强度的因素	29
2-5 稳定性变应力作用下的机械零件 疲劳强度计算	31
2-6 不稳定性变应力作用下的机械零 件疲劳强度计算	34
2-7 摩擦和润滑的机理	36
2-8 磨损的过程和类型	41
2-9 润滑剂和添加剂	43
2-10 附录	47

第二篇 联 接

第3章 螺 纹 联 接

3-1 螺纹的类型、特点和应用	53
3-2 螺纹联接的主要型式	55
3-3 螺栓组联接的受力分析	56
3-4 螺栓联接的强度计算	60
3-5 螺纹联接的材料及许用应力	66
3-6 螺纹联接的防松原理和常用防松方法	68
3-7 提高螺栓联接强度的措施	70
3-8 附录	77

第4章 轴 毂 联 接

4-1 轴毂联接的类型	84
-------------------	----

4-2 键联接	85
4-3 花键联接	89
4-4 过盈联接	92
4-5 附录	97

第5章 铆 接、焊 接 和 粘 接

5-1 铆接的种类和应用	101
5-2 铆接的强度计算	102
5-3 焊接的应用和接头型式	105
5-4 焊接的强度计算	106
5-5 粘接	112

第三篇 机 械 传 动

第6章 带 传 动

6-1 概述	118
--------------	-----

6-2 带传动工作情况的分析	119
6-3 三角胶带和带轮	123
6-4 三角胶带传动的设计计算	126

6-5	三角胶带传动的张紧装置和防护	130
*6-6	其他带传动简介	131
6-7	附录	132

第7章 链 传 动

7-1	概述	141
7-2	套筒滚子链和链轮	142
7-3	链传动工作情况分析	145
7-4	链传动的设计计算	149
7-5	链传动的布置、张紧和润滑	153

第8章 齿 轮 传 动

8-1	概述	159
8-2	轮齿失效形式和计算准则	160
8-3	齿轮常用材料及许用应力	162
8-4	直齿圆柱齿轮传动的计算	167
8-5	斜齿圆柱齿轮传动的计算	185
8-6	直齿圆锥齿轮传动的计算	193

第四篇 轴、轴承及联轴器

第10章 轴

10-1	概述	239
10-2	轴的材料	240
10-3	轴的结构设计	241
10-4	轴的强度计算	244
10-5	轴的刚度校核计算	247
10-6	轴的振动概述	248
10-7	附录	249

第11章 滑 动 轴 承

11-1	概述	261
11-2	滑动轴承的结构	262
11-3	轴瓦和轴承衬的结构及材料	265
11-4	滑动轴承的润滑	267
11-5	非液体润滑滑动轴承的计算	269
11-6	液体动压润滑滑动轴承的工作原理及计算	270
11-7	液体静压润滑滑动轴承和气体润滑轴承简介	275
11-8	附录	276

第12章 滚 动 轴 承

12-1	滚动轴承的类型和特性	281
12-2	滚动轴承的受力、失效分析及计	

8-7	曲齿圆锥齿轮传动	200
8-8	齿轮的结构、齿轮传动的润滑	202
8-9	圆弧齿轮传动简介	207
8-10	附录	209

第9章 蜗 杆 传 动

9-1	概述	217
9-2	阿基米德蜗杆传动的主要参数和几何计算	219
9-3	蜗杆传动的失效形式、设计准则和材料选择	223
9-4	蜗杆传动的受力分析	224
9-5	蜗杆传动的强度计算	226
9-6	蜗杆传动的润滑、效率及热平衡计算	229
9-7	蜗杆的刚度计算	232
9-8	蜗杆和蜗轮的结构	232

算准则	285
-----	-----

12-3	滚动轴承的疲劳强度计算	287
12-4	滚动轴承的静强度计算	292
12-5	滚动轴承的极限转速	293
12-6	滚动轴承的组合设计	294
12-7	滚动轴承的润滑与密封	297

第13章 联轴器和离合器

13-1	概述	303
13-2	固定式刚性联轴器	304
13-3	补偿式刚性联轴器	306
13-4	弹性联轴器	309
13-5	操纵式离合器	311
13-6	自动式离合器	314

第14章 弹 簧

14-1	弹簧的作用和类型	320
14-2	普通压缩和拉伸螺旋弹簧的基本理论	324
14-3	普通压缩和拉伸螺旋弹簧的设计	330
14-4	弹簧的材料和许用应力	335
实例1	螺旋举重器设计分析	342
实例2	减速器轴系设计分析	349
参考文献		351

绪 论

0-1 概 述

机械是人类提高生产率的主要劳动工具，是刚体组成的功能系统。从功能来看，一个机械系统大致均由原动机、传动机构和工作机构三部分所组成。图 0-1 所示为广泛应用的卷扬机，它的作用系统是由电动机 1 通过联轴器 2 驱动减速器 3，减速器又通过联轴器 4 带动卷筒 5，卷筒的转动使钢丝绳 6 完成升降重物的动作。可以看出，这样一个机械系统，它主要是由电动机（原动机）1、齿轮减速器（传动机构）2 和卷筒（工作机构）3 所组成。

机械都是由部件和零件所组成，机械零件是组成机械的基本单元，如螺钉、齿轮和轴等。为完成某些功能而由零件构成的一个协同组合单元称为部件，如联轴器、减速器等。

随着生产的发展，机械的类型日益增多。因此，作为组成机械基本单元的机械零件更是式样繁多。根据它们的应用情况可以分为通用零件和专用零件两类。通用零件系指各类机械中经常使用而具有同一功能和性能的零件，如螺钉、齿轮等。专用零件系指仅适用于一定类型的机械上的零件，根据该机械的要求，它们的功能各异，如内燃机的曲轴、起重机的吊钩、纺织机的纺锭等。

机械零件课程属于技术基础课，以通用零件为主要研究对象。它的主要内容和任务是从承载能力出发，研究零件的强度计算和结构设计的问题。通过学习和课程设计等实践环节，应掌握有关机械工程方面的基本理论知识，进行机械设计的基本能力，即逻辑思维能力、运

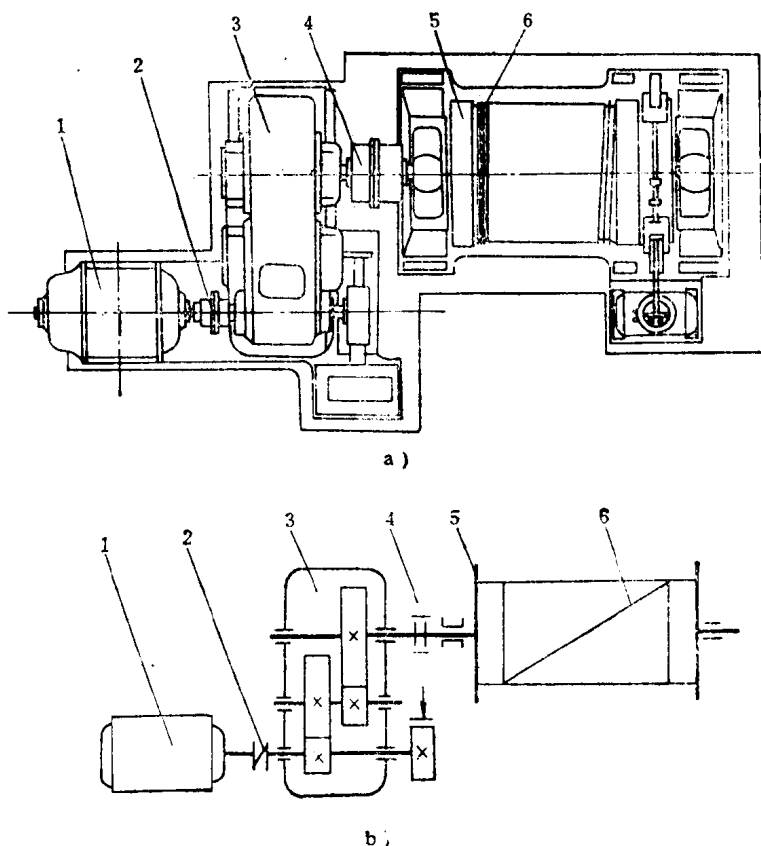


图0-1 卷扬机

a) 结构图 b) 机构示意图

1—电动机 2、4—联轴器 3—减速器 5—卷筒 6—钢丝绳

用规范的能力、计算和绘图能力的培养。

机械零件是一门理论联系实际的课程,它是综合运用基础理论来解决机械工程的实际技术问题。在学习机械工程技术的过程中,它起着承前启后的作用。因此,在学习本课程之前,应具有高等数学、理论力学、材料力学、机械制图、机械原理、金属工艺学、金属学及热处理、公差配合等有关知识。

本课程所涉及的理论范围和实际知识均较广泛,所研究零件的类型多、特点多,而且进行分析与设计的方法亦较多,所遇到的问题比较复杂,所以与基础课程的性质及学习方法有很大差别。在学习过程中要着重建立系统的概念,了解计算的出发点,各系数的物理概念以及分析问题的方法等。此外,影响零件功能的因素很复杂,有时不能单纯由理论计算解决,很多系数、数据是由实验得出来的,有时还要用到经验或半经验的公式,因此,对公式、系数,应了解它们的条件性和应用范围。同时,应重视结构设计在确定零件形状和尺寸方面的重要作用。要多做练习,加深对所学习内容的理解,掌握各种基本方法,注意培养分析问题和解决问题的能力,并提高学习兴趣。

0-2 机械设计的内容及顺序

机械零件是组成机械的基本单元,因而,零件的设计也是机械设计的组成部分。为了明确零件设计与机械设计之间的关系、加强对机械零件设计的理解,需首先对机械设计的方法和顺序做简要的介绍。

一、机械设计的顺序

一部新的机械由着手设计到正常使用,要经过研究、设计、制造和运行考核等一系列过程。机械设计过程并没有一个通用的固定顺序,而是需要根据具体情况来进行设计。这里以比较典型的顺序为例,说明如下:

1) 设计任务的研究和制订 根据使用要求和环境条件,确定机械功能的范围和指标,明确设计需要解决的课题和项目,研究实现的可能性,最后制定出任务要求明细表。

2) 方案设计 寻找达到预期作用和其他特性的手段,根据机械的功能要求确定功能结构。因而在方案设计阶段要确定技术理论原理、工艺过程、操作程序、各功能载体(单元)、基本结构布局等。在此基础上,采用不同的组合,可得到多个设计方案,经过评审、验证、综合、改进,确定出最佳设计方案。

3) 总体设计 根据机械功能要求确定结构设计的出发点,进行机构和总体的布置;确定制造方法和选用材料的种类;对组件、部件和零件进行初步设计。在总体设计中要进行运动学和动力学的分析、工作能力的计算,以及必要的模型试验和测试,并对总体结构设计进行技术经济评价,最后绘出总体设计图。

4) 施工图设计 根据确定的总体设计,充分考虑零件的工作能力要求,特别是从结构工艺性出发,将机械零件的形状和全部尺寸、机械的装配和安装尺寸完全确定下来,并绘出各种工作图纸、编制各种技术文件和说明书。

5) 鉴定和评价 设计结果是否能满足使用要求;机械的预定功能是否能全部实现;可靠性和经济性的指标如何;与同类产品相比有何改进;制造的可能性和难易程度等。这些基本设计原则均需经过鉴定,给予科学的评价。必要时,需进行模型或原型机的试验、各种破

坏性和非破坏性测试。

6) 投产产品设计 经过鉴定并进行必要的改进之后,先做出小批量生产的产品定型设计。这种产品制成后,除进行抽样试验外,还应在实际使用条件下试用。通过几次小批量生产,并在进一步考察和验证的基础上,改进原设计后,即可进行适于机械化和自动化成批生产的定型产品设计。

设计过程的各个阶段是互相联系的,并且某一阶段发现问题或不当之处,有时需返回到前面有关阶段去修改。因此,设计过程是一个不断反复、不断完善、逐渐接近最优结果的过程。

由此可见,整个设计过程,包括进行情报资料的收集和掌握、必要的调查研究、分析与综合、计算与实验、绘制图纸、经济分析和考虑制造的可能性等等,需要进行一系列艰巨的工作,才能将预定的设想付诸实现。因此,设计人员必须有坚实的基础理论知识、不断掌握先进的科学技术知识和科学的逻辑方法;具有较高的政治思想觉悟和辩证唯物主义观点,能正确理解和执行各项技术经济方针政策,根据具体条件发现、分析和解决矛盾;坚持理论联系实际,对待设计认真负责、一丝不苟,富于创造精神,除此之外,还应向有关领域的科技工作者和从事生产实践的工作者学习,以提高自己的设计水平。

二、机械设计的评定

在机械的设计过程中,应对其功能性、可靠性、经济性、使用和维修性,以及标准化采用情况等进行评定,这些评定内容就是机械产品应满足的要求,也是设计者在设计过程中应始终遵循的原则。

1. 功能性评定

机械是为了满足生产要求而设计和制造的,因此,机械产品必须具有各自不同的功能。与机械功能有关的技术性能大致有机械性能、几何与运动性能、声学性能、光学性能、电气和磁性性能、材料和化学性能等几个主要方面。对每个机械产品功能参数的要求和评定,要视具体情况而定,如对汽车,有功率、速度、载重量、最高速度、大修行驶里程等;对起重机,有吨位、提升速度、适应的载荷变动情况(工作制)、过载性能、维修周期等。机械产品必须完成规定的功能,并保持功能参数在限定的范围内。

2. 可靠性评定

可靠性是机械产品在一定的工作和环境条件下、在规定的使用期限内、保持规定功能的特性。可靠性是保证机械正常运转的关键,因此应对设计和产品进行可靠性评定。

评定可靠性可以选用各种功能指标,例如可靠度、平均使用寿命、工作中的失效次数、行驶的里程等。选择何种功能指标,主要决定于机械产品的类型。在进行可靠性评定时,应考虑的内容有:1) 根据产品的类型确定适当的可靠性水平;2) 组成机械或部件的零件越多,可靠性越低。因此,要尽量减少机械或部件系统的组成单元,并最好由等可靠度单元组成;3) 机械的可靠性与工作寿命是分不开的,为此,应采取各种措施,提高机械零件的耐磨性和疲劳强度;4) 加强对零件的检验和测量,减少由于材料和工艺缺陷造成的早期失效和偶然失效;5) 将机械分为合理的组件和部件,以便于独立更换修理,同时要合理安排各个零件、部件和组件的检修期。

3. 经济性评定

机械产品的设计是实现机械经济效益的关键环节,因此,进行经济性评定,是评价设计

质量的重要内容之一。为了结合功能对设计进行经济性评价，已形成了专门方法——价值分析（VA, Value Analysis）。提高机械经济价值在设计时应主要考虑以下几方面：1）采用先进的设计理论和方法，运用电子计算机等先进工具，提高设计质量和效率，节约设计劳动量和费用；2）合理地选用材料，降低材料费用；3）合理地选择零件的结构和加工工艺，降低制造成本和材料消耗；4）采用各种措施使设计轻量化，从而减小重量指标；5）尽量提高机械效率，降低能量消耗；6）将机械设计成便于拆装的组合体，外形和尺寸要与运输工具相适应，从而降低包装和运输费用。

经济性必须与其他要求联系起来考虑，例如重量轻固然成本低，但对于在冲击载荷下工作的轧锻类机械，其机座须有足够大的质量，以吸收冲击动能。又如齿轮传动和轴承等应尽量减小摩擦，提高效率，以节约能量消耗；而带传动、制动器等却又需用摩擦系数较大的材料，以保持足够的摩擦力。再如形状十分复杂的零件需要采用铸件，但是由于铸造壁厚的要求，减轻重量就受到一定限制。

4. 使用和维修性的评定

设计的机械产品必须注意人机关系，人是劳动的主体，是机械的操作和控制者，机械是劳动的工具。因此，在设计时，首先必须明确进行操作和控制的能力及方式。要根据实际需要，权衡操作和控制的方式方法。

保护人身安全和健康，是社会主义社会优先考虑的问题，从劳动保护出发，即使安全防护装置不是机械功能所必须的，同时，纵然会增加成本，但也要设置。总之，设计机械时，应充分考虑人的因素，要适应人的生理机能，使操纵方便、省力，以创造良好的劳动条件。

为了提高机械产品的使用寿命和可靠性，设计的机械必须便于管理、维护和修理。为此要减少组成机械的单元、零件的种类、增加通用零件和互换零件的数量，尽量采用标准化零件；合理地布置零件与零件，部件与部件的相互位置，以便于检修和更换等。

综上所述，对设计的机械进行使用和维修性的评定也是十分必要的。

5. 标准化采用情况评定

在设计中采用标准化零件和部件，在试验和检验中采用标准化方法，对设计参数采用系列化数值，将会提高设计质量和经济效益。因此，从标准化的采用情况对设计进行评定也是很重要的一个方面。

标准化的优越性主要表现在下列几个方面：1）可以大幅度降低劳动量、材料消耗和总成本，并易于保证质量；2）可以改进质量，提高其可靠性；3）可以节省设计时间和劳动量；4）便于维修等。

与标准化密切有关的是通用化。通用化是最大限度地减少和合并产品的型式、尺寸和材料品种等，使零件和部件尽量在不同规格的同类产品甚至不同类产品上通用。通用化是广义的标准化，对标准化项目和非标准化项目都可以实行通用化。

将尺寸和结构拟订出一定数量的原始模型，然后根据需求，按一定规律优化组合成产品系列，称为系列化。系列化也是标准化的重要内容。在系列化中要使零件有最大限度的通用化。工程上系列化数值是采用几何级数做为优先数列的基础。

标准分为国家标准（GB）和部颁标准。设计时，应尽可能遵守标准规定，只有当标准与设计要求之间有矛盾并有充分理由时，才可以不采用标准。我国已参加国际标准化组织，设计时，国际标准（ISO）也可作为借鉴。

0-3 机械设计的新发展

由于科学技术的发展,特别是电子计算机的应用和计算数学的完善,近年来,机械设计有了许多新的发展,表现为: 1) 加强了动力学分析,力求准确地确定外部和内部动载荷; 2) 材料强度中的断裂力学方法,结构强度中的有限单元法,摩擦磨损和润滑理论等,已应用于某些机械零件的计算中; 3) 运用模型或原型机和零件的测试,力求设计数据符合实际; 4) 采用最优化设计、可靠性设计和价值分析等,以提高机械的可靠性和降低成本; 5) 运用计算机辅助设计,包括自动设计和自动制图。

第一篇 机械零件设计的理论基础

机械零件的种类繁多，它们的用途、功能各不相同，工作条件各异，但在设计时，却有一些共同的基本要求、基本原则都是必须满足和遵循的。它们包括机械零件的设计方法、设计的一般过程和步骤，对零件工作能力的基本要求和失效分析，以及对工作能力的计算准则等，这些内容也就是机械零件设计的基本理论基础。

第1章 机械零件设计概述

内 容 提 要

本章以机械零件的设计方法为主，在阐明设计过程和步骤的基础上，分别对其中主要环节如机械零件的载荷和应力、工作能力的基本要求、常用材料以及选择原则、结构设计等进行简明扼要的分析论述。以期对机械零件的设计方法和过程有一个较为完整的初步概念。

1-1 机械零件的设计方法和过程分析

一、机械零件的设计方法

设计是根据一定的需要或目的，分析和综合已有的理论和实践成果，通过科学的逻辑思维方法，将构思变成有意义而可行的图样和计划，并最终制造出满足功能的产品。机械零件的设计也符合这一含义，在设计中，经常采用的方法有理论设计、经验设计、或是它们的综合。

在设计过程中运用的一些参数和系数大致分为三类：一类是尺寸结构参数，如螺钉直径，齿轮模数，齿宽系数，滚动轴承型号等都是与零件结构尺寸有关的参数和系数，它们表征着零件的承载能力；一类是载荷参数，如零件所受的作用力、扭矩、弯矩，传递的功率，载荷系数，以及拉伸、弯曲、剪切和接触等应力均是零件所受到的外载荷有关的参数，它们表征着对零件提出的要求；一类是材料参数，如材料的抗拉、抗压、抗扭、屈服等强度极限，弹性模量、耐热性、耐磨性、硬度、尺寸系数等均是材料性能有关的参数，它们与尺寸参数合理的配合，构成了零件的承载能力。设计过程是这些参数的分析与综合，设计方案应是这些参数的优化结果。

1. 理论设计

理论设计是以理论和实践为根据所进行的设计。机械零件理论设计的基础是理论力学、材料力学、机械原理、金属学及热处理、金属工艺学及机械制图等课程的知识，所以，理论设计一般具有较完善而系统的理论根据，如表达各相互作用关系的数学模型，可靠的数据等。

它又分为设计计算和校核计算。

设计计算主要是以确定零件主要结构尺寸参数为目的的计算。它是在已知载荷参数和选定材料参数的基础上进行的。即根据零件的工作条件、所受载荷，选择适当的材料之后，按工作能力准则公式计算出主要尺寸参数，然后再根据工艺要求，确定出零件的结构。

校核计算是根据部件的结构关系，参照已有实物、图纸、经验数据、规范或近似的计算式，初步确定零件的主要结构参数，选择好必要的材料参数，然后再用理论公式计算其载荷参数，从而确定出零件的工作能力。

理论设计是有据可依的设计方法，因而是比较科学的方法，所以，进行设计时，都应尽可能地采用理论设计。

2. 经验设计

经验设计是根据已有的设计，或使用实践总结出来的经验数据，或关系式做为设计的基础。虽然这种设计方法缺乏理论性的分析，但由于它是从实践中总结出来的经验关系式，本身具有一定的科学统计性，因此同样具有实用价值。经验设计用于外形和结构参数复杂，载荷参数不够明确，其工作情况尚不能用理论分析的零件设计中。例如某些机架的设计，减速器箱体的设计，齿轮和皮带轮结构的设计等。经验设计往往用于理论薄弱的场合，也是机械设计人员的研究方向，因而是理论设计的先导。

二、机械零件设计过程分析

机械零件的结构、功用、使用条件虽然各不相同，但它们设计的过程如图 1-1 所示，大体上是一致的：首先分析工作情况，主要是所受载荷的性质和数值，然后分析零件的应力状态，并计算应力数值，再根据应力种类和性质分析零件可能出现的失效，由主要失效形式可知所应选择的材料及保证工作能力的计算依据，列出工作能力计算公式，计算零件的主要参数和尺寸，最后进行结构设计。但零件在工作中受到很多实际因素的影响，这些影响因素常用各种系数分别考虑。

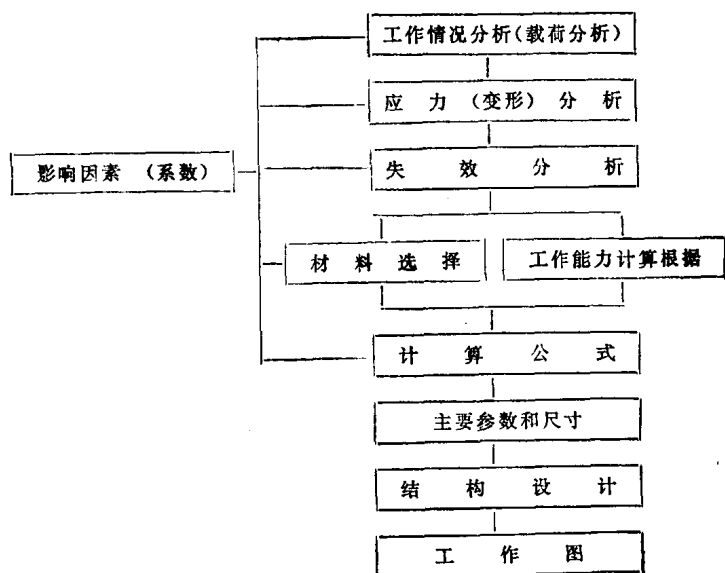


图1-1 机械零件设计的分析过程

以下各节就其中一些环节分别做扼要介绍。

1-2 机械零件所受的载荷

机械零件所受的载荷包括力 F 、扭矩 T 、弯矩 M 和功率 P 等,是设计零件进行强度计算的依据,因此,在机械零件设计中,首先要对载荷进行全面的分析。

一、载荷的类型

根据载荷随时间变化的情况,可分为静载荷和变载荷两大类。不随时间变化、变化幅度小或变化极缓慢的载荷称为静载荷,如零件本身的自重,匀速转动时的离心力。随时间变化的载荷称为变载荷,如转动零件受到的作用力。载荷随时间循环变化时,称循环变载荷:每个工作循环内的载荷不变时,称为稳定循环变载荷,如转动零件所受到的周期工作力(图1-2);每个工作循环内的载荷变化时,称为不稳定循环变载荷,如在每个工作循环中,速度发生变化,或载荷不稳定时零件的受力(图1-3)。大多数机械或零件都是在变载荷作用下工作的。

作用时间很短的载荷称为动载荷,如冲击载荷,起动、制动惯性载荷等。动载荷属于变载荷一类,它可以是循环作用的,如多次冲击载荷。但很多机械,如汽车、飞机、农业机械等,载荷不呈固定规律性。由于工作阻力、动载荷、剧烈振动等的偶然性,使载荷随时间呈随机性变化(图1-4),这类载荷称为随机变载荷。

图1-2至图1-4的载荷与时间坐标图称为载荷谱,可以通过动力学计算或实验测定等方法取得,在很多情况下,只能由实测得出。为了计算方便,常将载荷谱简化为简单的阶梯形状,图1-5所示为旋转起重机的丰圆周内的载荷谱。设计时,如果有载荷谱资料,可提高所设计机械的可靠性。

二、工作载荷和计算载荷

载荷又分工作载荷、额定载荷和计算载荷。工作载荷是机械正常工作时所受的载荷。当缺乏工作载荷的载荷谱,或甚至难于确定工作载荷时,常用原动机的额定功率计算,这样求出的载荷为额定载荷。若原动机的额定功率为 P (kW),额定转速为 n (r/min),则传动零件上的额定扭矩为

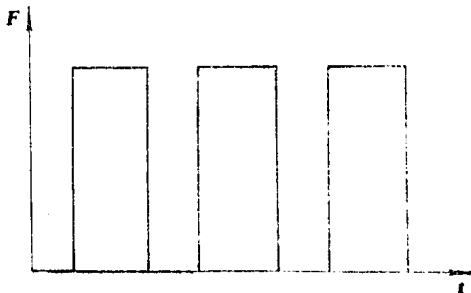


图1-2 稳定循环变载荷

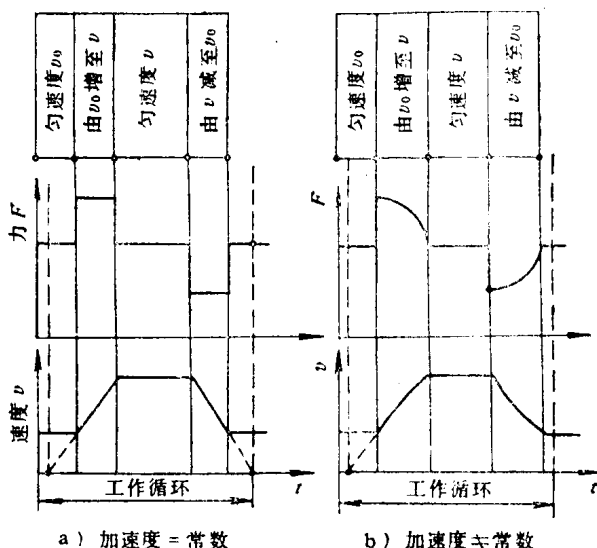


图1-3 不稳定循环变载荷

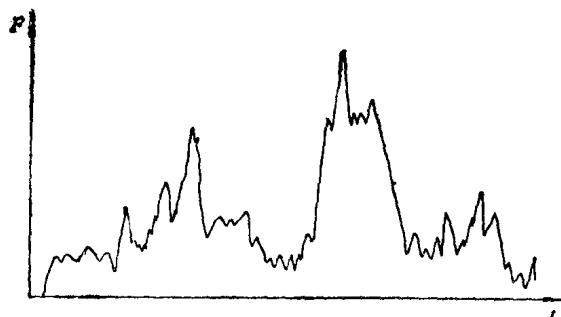


图1-4 随机变载荷

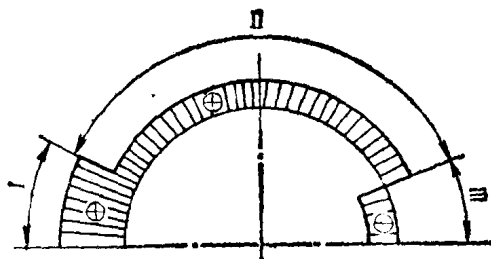


图1-5 旋转起重机的载荷谱

I—起动 II—匀速运动 III—制动

$$T = 9550 \frac{P}{n} \eta i \quad \text{N} \cdot \text{m} \quad (1-1)$$

式中 η 和 i 分别是由原动机到所计算的零件之间的运动链的效率和传动比, 传动比 $i = n_1/n_2$, n_1 为主动件的转速, n_2 为从动件的转速, 对于减速传动, $i > 1$, 增速传动 $i < 1$ 。

为了可靠, 计算中应计及工作中起动、制动时的过载, 载荷随时间作用的不均匀性, 载荷在零件上分布的不均匀性, 以及其他影响零件受力的种种因素。这些因素的综合作用, 常用工作情况系数 K_A 概略估计。考虑了工作情况影响的载荷称为计算载荷, 即

$$T_c = K_A T \quad \text{N} \cdot \text{m} \quad (1-2)$$

式中 T_c 和 T 为计算扭矩和工作扭矩, 工作情况系数 K_A 值随原动机和机械的种类而异, 其值可见于各零件的计算。

三、载荷的简化和力学模型

实际作用在机械零件上的力都是在一定范围内分布的, 例如图 1-6 a 所示的滑轮轴, 用滑动轴承支承。当提升重物、钢丝绳受力时, 轴发生弯曲变形 (图 1-6 b)。轮毂和轴承的刚性较大, 它们的变形如忽略不计, 则轴在轮毂和轴承部分的载荷将呈曲线状分布 (图 1-6 c), 而这种曲线状分布的载荷, 将使轴的应力和变形计算复杂化, 若将载荷简化为直线分布 (图 1-6 d), 计算就较简单, 再进一步简化为集中力 F_1 和 F_2 , 轴简化为一直线, 即得最简单的力学模型, 成为一个简单梁的计算问题。

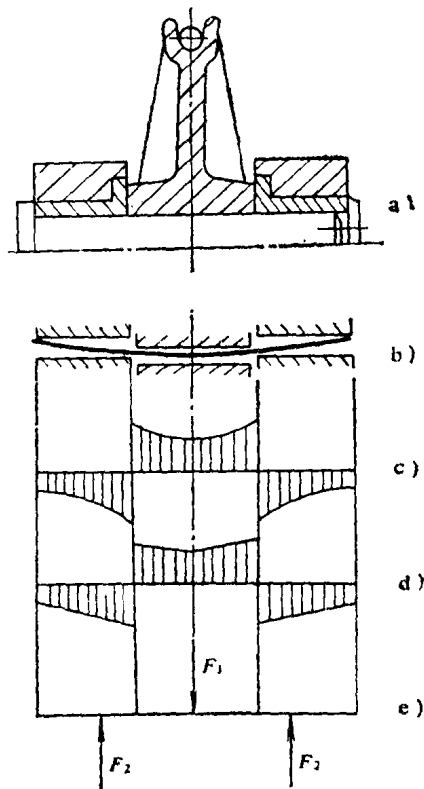


图1-6 滑轮轴的力学模型

1-3 机械零件的应力

一、应力的类型

机械零件在外载荷作用下所引起的内部应力按随时间变化的情况, 可分为静应力和变应力。变载荷必然产生变应力, 受静载荷作用的零件也可以产生变应力, 如图 1-6 的滑轮轴, 当

滑轮转动轴不转动时,轴的弯曲应力接近为静应力,但当轴与滑轮固定联接(如用键联接),轴和滑轮同时转动时,轴中的弯曲应力则为变应力。因此,应力与载荷的性质并不全是对应的。机械零件中的应力多为变应力。

按应力在零件上的分布情况,又可分为体积应力和表面应力,前者包括拉伸、压缩、剪切、扭转和弯曲等应力,后者包括挤压和表面接触应力。

按应力与载荷的相互关系,又分为与载荷成线性关系的应力,如拉伸、压缩、剪切、扭转、挤压等应力,与载荷成非线性关系的应力,如表面接触应力。

二、体积应力

$$\text{拉伸应力} \quad \sigma = \frac{F}{A} \quad (1-3a)$$

$$\text{压缩应力} \quad \sigma_c = \frac{F}{A} \quad (1-3b)$$

$$\text{剪切应力} \quad \tau = \frac{F}{A} \quad (1-3c)$$

$$\text{扭转应力} \quad \tau_t = \frac{T}{W_t} \quad (1-3d)$$

$$\text{弯曲应力} \quad \sigma_b = \frac{M}{W} \quad (1-3e)$$

式中, F 为作用力; T 为扭矩; M 为弯矩; A 为受力面积; W_t 为抗扭截面模量; W 为抗弯截面模量。

在进行零件计算时,一般将拉伸应力 σ 、压缩应力 σ_c 和剪切应力 τ , 看做沿受力截面近似均匀分布; 将扭转应力 τ_t 和弯曲应力 σ_b , 看做沿受力截面非均匀分布, 其表层最大。因此, 在同样大的应力作用下, 零件的拉伸强度低于弯曲强度、剪切强度低于扭转强度。

在设计受扭转和弯曲应力作用的零件时, 要充分发挥材料的作用, 如采用空心圆柱形、工字梁和槽梁等结构, 与同样截面的实心圆柱形和矩形结构比较, 其抗弯和抗扭截面模量 W 和 W_t 将增大, 从而降低弯曲和扭转应力。

三、表面应力

1. 挤压应力

挤压应力在零件表面上的分布是比较复杂的, 工程上常采用条件性计算, 假定其是均匀分布的, 即

$$\sigma_p = \frac{F}{A} \quad (1-4)$$

2. 表面接触应力

有些零件如齿轮传动的轮齿表面、滚动轴承的滚动体与滚道的表面等, 理论上它们是点接触或线接触, 受载荷后, 在接触表面产生的应力, 称为表面接触应力, 其值按弹性力学赫兹 (Hertz) 公式计算。

图 1-7 所示为两球形体的接触, 其最大应力值为

$$\sigma_H = 0.58 \sqrt{\frac{F}{\left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)^2 \left(\frac{R_2 \pm R_1}{R_1 R_2}\right)^2}} \quad (1-5)$$