

机械设计

高等工程专科学校教材

高明信 主编

华中理工大学出版社



内 容 简 介

本书是根据东北、华中地区高等专科学校教材建设协调委员会《机械设计》教材编审组审定的机械类专业《机械设计教材编写大纲》编写的。

全书主要包括：机械设计的基础理论知识、联接件设计、传动件设计、轴系零件设计、弹簧及机械设计的方法与设计实例等六个部分，各章均附有相应的复习思考题与习题。

本书可作为高等专科学校机械类专业的教材，也可供其它相近的专业使用，并可供有关专业师生和工程技术人员参考。

高等工程专科学校教材

机 械 设 计

高明信 主编

责任编辑 杨元庆

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

武汉大学出版社印刷总厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：17.25 字数：388 000

1990年11月第1版 1990年11月第1次印刷

ISBN 7-5609-0456-4/TH·44

印数：1—10 000

定价 3.38元

前 言

本书是根据东北、华中地区高等工程专科学校教材建设协调委员会《机械设计》教材编审组审定的机械类专业《机械设计教材编写大纲》的要求，并结合多年的教学实践经验而编写的。

本教材力求体现专科特色，针对专业的教学要求，抓住主要矛盾，分清主次，精选教学内容；努力贯彻理论联系实际的原则，注意应用性，加强基本知识和设计基本技能以及有关的实践环节，提高分析问题和解决实际问题的能力，以培养应用型技术人材；同时，对必要的基础理论给予充分的保证。在论述时，力求层次清楚，深入浅出，细致严谨，语言通俗易懂，讲解详略得当。努力做到提出问题有启发性，分析问题思路清晰，结论简要明确。

参加本书编写的有：沈阳冶金机械专科学校高明信（绪论、第一、十三章），郑州机械专科学校吴锦轩（第二、三章），本溪冶金专科学校高玺魁（第四章），郑州纺织工学院程宜彬（第五、七章），哈尔滨机电专科学校陈锐芬（第六章），沈阳冶金机械专科学校王淑德（第八、九章），湖南省纺织专科学校康立志（第十章），郑州机械专科学校张绍甫（第十一、十二章）。

本书由高明信主编，张绍甫任副主编；由沈阳冶金机械专科学校宗振奇和沙裕章两同志校阅。

本书于1988年8月经东北、华中地区高等专科学校《机械设计》教材审阅组审查通过。审阅组由郑州纺织工学院

刘奇良、湖南轻工专科学校余成方、沈阳冶金机械专科学校杜志忠等同志组成，由刘奇良教授担任主审。

最后，殷切希望读者对本书的缺点批评指正。

编 者

1989年7月

目 录

绪 论	(1)
§0-1 机器的组成	(1)
§0-2 机械设计的任务	(2)
§0-3 本课程的内容、性质和任务	(3)
§0-4 机械设计在四个现代化建设中的作用	(4)
第一章 机械设计的基础理论知识	(6)
§1-1 机械零件设计的一般知识	(6)
§1-2 机械零件的强度	(18)
§1-3 摩擦、磨损和润滑概述	(37)
复习思考题与习题	(52)
第二章 螺纹联接和螺旋转动	(55)
§2-1 概述	(55)
§2-2 螺纹联接的主要类型和螺纹联接件	(58)
§2-3 螺纹联接的预紧和防松	(63)
§2-4 螺栓组联接的结构设计和受力分析	(69)
§2-5 单个螺栓的强度计算	(77)
§2-6 提高螺栓联接强度的措施	(94)
§2-7 螺旋传动	(98)
复习思考题与习题	(109)
第三章 键、花键和销联接	(113)
§3-1 键联接	(113)
§3-2 花键联接	(122)
§3-3 销联接	(127)
复习思考题和习题	(129)
第四章 带传动	(130)

§4-1	带传动的工作原理、类型、特点和应用	(130)
§4-2	三角胶带和带轮	(134)
§4-3	带传动的几何计算	(142)
§4-4	带传动的工作情况分析	(143)
§4-5	单根三角胶带所能传递的功率	(152)
§4-6	三角胶带传动的设计计算	(158)
§4-7	三角胶带传动的张紧装置	(166)
	复习思考题与习题	(170)
第五章 链传动		(173)
§5-1	链传动的特点和应用	(173)
§5-2	传动链及链轮的结构	(174)
§5-3	链传动的运动特性	(183)
§5-4	链传动的失效形式和功率曲线	(189)
§5-5	套筒滚子链传动的设计计算	(192)
§5-6	链传动的布置、张紧和润滑	(198)
	复习思考题与习题	(204)
第六章 齿轮传动		(206)
§6-1	概述	(206)
§6-2	齿轮传动的失效形式和计算准则	(211)
§6-3	常用齿轮材料及其热处理	(216)
§6-4	标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(224)
§6-5	齿轮传动的设计方法、主要参数选择和许用应力	(244)
§6-6	标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	(260)
§6-7	变位齿轮传动的强度计算	(270)
§6-8	直齿圆锥齿轮传动的强度计算	(271)
§6-9	齿轮的结构设计	(281)
§6-10	齿轮传动的效率和润滑	(285)
	复习思考题与习题	(288)
第七章 蜗杆传动		(292)
§7-1	蜗杆蜗轮机构	(292)
§7-2	蜗杆传动的失效形式、设计准则和材料选择	(303)

§7-3 蜗杆传动的受力分析	(307)
§7-4 蜗杆传动的强度计算	(309)
§7-5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	(315)
§7-6 普通圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	(322)
复习思考题与习题	(329)
第八章 轴	(332)
§8-1 概述	(332)
§8-2 轴的结构设计	(339)
§8-3 轴的强度计算	(348)
§8-4 轴的刚度计算	(364)
复习思考题与习题	(379)
第九章 滑动轴承	(383)
§9-1 概述	(383)
§9-2 滑动轴承的主要类型和结构	(384)
§9-3 轴承材料与轴瓦结构	(388)
§9-4 滑动轴承的润滑	(398)
§9-5 非液体摩擦滑动轴承的计算	(404)
§9-6 液体润滑滑动轴承简介	(407)
复习思考题与习题	(411)
第十章 滚动轴承	(412)
§10-1 滚动轴承的结构、类型和代号	(412)
§10-2 滚动轴承类型的选择	(425)
§10-3 滚动轴承的载荷分析、失效形式和计算准则	(430)
§10-4 滚动轴承的寿命计算	(435)
§10-5 滚动轴承的静载荷计算	(450)
§10-6 滚动轴承的极限转速	(452)
§10-7 滚动轴承的组合结构设计	(458)
§10-8 滚动轴承与滑动轴承的比较	(472)
复习思考题与习题	(472)
第十一章 联轴器和离合器	(475)
§11-1 概述	(475)

§11-2 联轴器	(476)
§11-3 离合器	(485)
复习思考题与习题	(491)
第十二章 弹簧	(492)
§12-1 弹簧的功用、类型和特点	(492)
§12-2 弹簧的材料和制造	(498)
§12-3 弹簧的特性线和变形能	(503)
§12-4 圆柱形螺旋弹簧的设计计算	(507)
复习思考题与习题	(523)
第十三章 机械设计的方法与设计实例	(526)
§13-1 机械设计的一般过程和方法	(526)
§13-2 设计实例	(531)
主要参考文献	(543)

绪 论

§ 0-1 机器的组成

机器是人类用以代替或减轻体力劳动和提高生产率的工具。使用机器进行生产的水平是衡量一个国家社会生产力水平的一个重要标志。

在日常生活和生产实践中，人们广泛地使用着各种各样的机器，例如：缝纫机、汽车、起重机、各种机床等。机器的种类繁多，其结构、性能和用途各异。但是，它们都是由一些基本单元或组合单元组成的，例如：内燃机是由曲轴、连杆、活塞、齿轮等组成的，起重机是由电动机、联轴器、减速器、卷筒、钢丝绳、制动器等组成的。组成机器的基本单元称为机械零件，简称零件，如齿轮、轴、螺钉等。为完成同一功能由零件构成的一套协同工作的组合单元称为部件，如减速器、联轴器等。比较复杂的机器是由零件组成部件，再由部件组成机器，如普通车床，它由床头箱、走刀箱、刀架、尾架、床身等部件组成，而这些部件又由齿轮、轴、键、螺钉、箱体等零件所组成。

通常，将机械零件分为两大类：一类是在各种机器中经常使用的零件，称为通用零件，如螺钉、齿轮、轴、链轮、弹簧等；另一类则是在某些特定类型的机器中才能用到的零件，称为专用零件，如内燃机的曲轴，汽轮机的叶片，飞机的螺旋桨等。

机器是由零件组成的。零件在机器中按确定的位置相互联接或按给定的规律作相对运动，共同为完成机器的功能而发挥各自的作用。所以，任何机器的性能，都是建立在它的零件的性能或某些关键零件的综合性能的基础上的；各个零件是密切相关的，缺一不可，有其内在的联系。由此可知，要设计出性能好、效率高、符合要求的机器，必须正确地设计它的每一个零件。而每个零件个体的设计，又是和对机器总体的要求分不开的。

§ 0-2 机械设计的任务

机械设计的任务，就是要设法实现所设计的机器和机械零件应满足的各项要求。机器应首先满足预定功能的要求，即在预期寿命内能高效率地完成它的全部职能。在此前提下，机器还应满足经济性要求，即设计和制造成本低、重量轻、体积小、加工容易、运转费用少。此外，机器必须安全可靠，操作维修方便，造型美观，噪声低，以改善劳动条件。对不同用途的机器还有其特殊要求，如巨型机器要便于拆装和运输，食品、纺织、造纸机械不得污染产品等。

机械零件是组成机器的单元，所以设计机械零件应该首先满足从机器整体出发对该零件提出的具体要求，能够正常地工作。对零件的要求和对机器的要求基本上是一致的，二者应结合起来考虑。概括地讲，设计机械零件应满足的要求是工作可靠和成本低廉。要使工作可靠，就要求零件具有足够的工作能力，即应具有足够的强度和刚度，还应满足耐磨性和振动稳定性的要求。要使成本低廉，就要满足经济性要求，如正确地选择零件的材料、合理地确定零件的精度等级、零件应具有良好

的工艺性、尽可能地选用标准件等。

要全面地完成机械设计的任务，必须在整个设计过程中，完成一系列的艰巨工作。设计人员必须树立正确的设计思想，努力掌握先进的科学技术知识，善于运用科学的辩证思维方法，坚持理论联系实际的原则，在实践中不断总结积累设计经验，并有所发展和创新，以期设计出符合要求的高质量、高性能、高效率的机械设备。

§ 0-3 本课程的内容、性质和任务

综上所述，机械设计工作是一项创造性的劳动。但是，必须首先掌握一定的机械设计知识和设计能力。本课程就是为此目的而开设的。

本课程研究的对象是在普通条件下工作的、一般参数的通用零件，不包括在高速、高压、高温、低温等特殊条件下工作以及巨型、微型的机械零件。本课程的主要内容是从承载能力、结构、工艺和维护等方面研究通用零件的设计理论和方法，也概括地讨论设计零件时所必须了解的有关整台机器设计方面的基本知识，从而达到能正确进行机械设计的目的。其中包括如何选定零件的类型和确定零件的外形与尺寸，如何选择零件的材料、精度等级、表面质量以及绘制有技术条件的工作图等。本课程所涉及的零件有联接零件、传动零件和轴系零件等。在研究各种零件之前，还要讲述机械设计的基础理论知识。

机械设计课程是一门综合性的技术基础课。它综合运用理论力学、材料力学、机械制图、机械原理、金属工艺学、金属材料及热处理、公差配合与技术测量等先修课程的知识来解决机械设计问题。它又为学习有关专业课程奠定基础。因此，它

在教学计划中起着承前启后的重要作用。同时，它也是一门直接用于生产的实用性课程。

本课程的主要任务是：培养学生掌握通用零件的工作原理、特点、设计理论、选用与计算方法；使学生学会运用有关手册、标准、规范等设计资料；使学生具有设计一般机械传动装置和简单机械的能力，以及分析机械零件失效原因和提出改进措施的能力；培养学生树立正确的设计思想和分析问题、解决问题的能力。

§ 0-4 机械设计在四个现代化建设中的作用

远古在古代，人类就创造和利用了原始的简单机械和机械零件。我国古代人民在机械方面有许多杰出的发明和创造。远在公元前26世纪就出现了利用杠杆原理的踏碓；西汉时期发明应用差动原理的起重辘轳；东汉时的指南车和晋朝的记里鼓车都应用了轮系传动；东汉张衡所创造的候风地动仪是人类历史上第一台地震仪；汉代的車子采用了铁制和铜制的轴颈和轴承等等。但是，由于漫长的残酷的封建统治、近百年来的帝国主义的侵略、长期处于半封建半殖民地社会等原因，阻碍了我国国民经济的发展，致使机械工业和机械设计科学处于极端落后的状态。

建国后，我国工农业生产和科学技术都有了很大的发展。机械工业也取得了巨大的成就，形成了完整的体系。现在不仅能够设计和制造包括大型、精密和尖端产品在内的各种机械设备，而且已建立了门类齐全的机械设计和科研部门。

实现我国工业、农业、国防和科学技术的现代化，是我们肩负的伟大历史使命。为了加速社会主义现代化建设的步伐，

必须加快机械科学的研究，设计和制造出各种先进的成套的设备，装备各个工业部门，并实现生产过程的机械化和自动化。同时，还应当对现有机械设备进行全面的技术改造，充分挖掘设备潜力，以提高产品质量和生产率。由此可见，机械设计在发展国民经济和实现社会主义现代化建设中起着极其重要的作用。大力振兴机械工业，为整个国民经济的技术改造提供先进的技术装备，也正是机械设计部门应负的艰巨任务。

第一章 机械设计的基础理论知识

§ 1-1 机械零件设计的一般知识

一、机械零件的主要失效形式和计算准则

机械零件由于某些原因不能正常工作时，称为失效。零件在一定的工作条件下，抵抗失效的能力，称为工作能力；对载荷而言，称为承载能力。

机械零件的设计，最主要的是使所设计的零件在预定寿命期间不发生失效，也就是要保证必要的工作能力或承载能力。

为了防止产生各种可能的失效，从失效机理出发，建立计算该零件工作能力所应依据的基本原则，称为计算准则。

机械零件常见的失效形式及其相应的计算准则如下所述。

1. 强度

强度是指零件承受载荷后抵抗整体断裂、塑性变形和某种形式的表面失效（如疲劳点蚀）的能力。如果零件的强度不够，就不能正常工作，甚至可能发生严重事故。因此，一切零件都应有足够的强度。强度计算应满足的条件式为

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{1.1m}}{[S]} = [\sigma] \quad \text{或} \quad S = \frac{\sigma_{1.1m}}{\sigma} \geq [S] \quad (1-1)$$

式中， σ ——零件的工作应力；

$\sigma_{1.1m}$ ——材料的极限应力，对静应力为屈服极限（塑性材料）或强度极限（脆性材料），对变应力为疲劳极限；

$[S]$ ——许用安全系数；

$[\sigma]$ ——许用应力；

S ——计算安全系数。

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，常用单位变形所需的力或转矩来表示。刚度不足的零件，会因受载而产生过大的弹性变形，从而影响其工作性能，如齿轮轴的弯曲挠度过大会破坏齿轮传动的正确啮合等。所以，对于有刚度要求的零件，需要进行刚度计算。刚度计算应满足的条件式为

$$y \leq [y], \quad \varphi \leq [\varphi] \quad (1-2)$$

式中， y ——机械零件的变形量（伸长量或挠度）；

$[y]$ ——许用变形量；

φ ——机械零件的变形角（挠角或扭转角）；

$[\varphi]$ ——许用变形角。

3. 耐磨性

两个互相接触的零件，作相对运动时表面会互相摩擦，因而使表面材料不断损失，这种现象称为磨损。耐磨性是指作相对运动的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，尺寸和形状将改变，工作表面精度也随之下降，不能再保持规定的功能，从而导致零件的失效。例如，齿轮的齿面因磨损使齿形改变，导致齿轮转速不均匀，产生振动与噪声，严重时因齿根厚度变薄而使轮齿折断。机器报废的主要原因之一就是由于零件的过度磨损。所以，提高零件的耐磨性是延长机器寿命的一项重要措施。关于耐磨性问题，迄今尚无成熟的、统一的计算方法。目前沿用的计算准则，是用限制接触表面间压强的方法进行计算。

4. 振动稳定性

高速机械容易产生振动。振动会使零件产生额外的变应力，易使零件早期疲劳破坏。振动还会使机器产生噪声。

当周期性外力的作用频率等于或接近零件的自振频率时，就发生共振。共振将使振幅急剧增大，这种现象称为失去振动稳定性。共振能在短期内使零件甚至整个机械系统破坏，这种情况必须避免。因此，对于高速机械应进行振动分析与计算，以确保零件和机器的振动稳定性。

此外，零件还有一些其它的失效形式，如滑动轴承发热烧毁、带传动打滑、零件锈蚀等。

一种零件可能存在几种失效形式，对应于各种失效形式也就有各自不同的工作能力。但在设计时，并不是都要进行各种工作能力的计算，而应根据具体情况，针对零件的主要失效形式，确定主要的工作能力的计算；必要时，再按其它要求进行校核计算。例如，设计机床主轴时，一般先按刚度确定尺寸；然后再校核其强度；必要时，可进行振动计算。

二、机械零件的结构工艺性

机械零件应有良好的结构工艺性，即应使所设计的零件，在保证使用要求的前提下，能用生产率高、劳动量小、成本低的方法制造出来。

零件的结构工艺性，反映在毛坯制造、热处理、切削加工和装配等过程中。

设计铸件时要注意到：应使造型方便，砂箱和型芯尽量少；铸件受材料流动性限制，应避免壁厚过薄；截面变化应和缓过渡，不应有锐角，避免局部材料集聚，产生缩孔；应考虑结构斜度，便于起拔模型；铸件应有明显的分型面，尽量减少加工面等等。

对于锻件,在自由锻造时,使用简单通用的工具进行操作,因此,应避免形状复杂的结构,应尽量采用简单的、平直的形状。模锻虽较自由锻造对零件结构形状的限制较少些,但毛坯的形状也应力求简单,以使金属易于流动充满模腔,且应有一定模锻斜度和圆角,便于将锻件从模腔中取出。

机械零件的加工工艺性和装配工艺性,是提高加工与装配质量和生产率的重要因素,应引起足够的重视。一般讲,零件的切削加工工艺性应考虑:提高切削效率,便于切削加工和减少切削加工量。表1-1所示为零件加工工艺性示例。零件的装配工艺性应考虑:尽量避免装配时的切削加工,使装配和拆卸方便和有正确的装配基面等。表1-2所示为零件装配工艺性示例。

三、机械设计中的标准化

1. 标准化

将同类零件的尺寸、结构形式、材料性能等限定在合理的数量范围内,称为标准化。按规定标准生产的零件,称为标准零件;不按规定标准生产的零件,称为非标准零件。

现已标准化的通用零件有螺纹联接件、键、销、传动带、传动链、联轴器、滚动轴承等。

标准化是随着机械工业的发展而产生和不断完善的。标准化又为机械工业的大发展创造了极其有利的条件。标准化的重要意义如下:

(1) 标准零件有利于采用先进工艺进行大批量生产或组织专业化生产,可以节约材料,降低成本,提高产品质量。

(2) 标准零件具有互换性,可以外购和储备,便于机器的维修。

(3) 采用标准件将大大减少设计和制造工作量,可以缩