

高等学校工程专科教材

机械零件

郑志祥 周全光 刘天一 编
徐锦康 余存惠

郑志祥 刘天一 主编

高等教育出版社



(京)112号

内 容 提 要

本书是根据国家教委1991年批准的《高等学校工程专科机械零件课程教学基本要求》编写的,已经高等学校工程专科机械原理及机械零件课程教材编审小组审查通过,同意作为高等学校工程专科教材出版。

本书突出了高等学校工程专科的特点,精选了内容,加强了应用性,采用了最新计算方法和国家标准。

全书共14章。主要内容有:总论,联接,机械传动,轴系零件等。

本书可作为普通专科学校、普通高校中的专科、职业大学、职工大学等机械类专业的教材,也可供有关专业工程技术人员参考。

DM03/69

高等学校工程专科教材

机 械 零 件

郑志祥,周全光,刘天一 编

徐锦康,余存惠

郑志祥,刘天一 主编

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

商务印书馆上海印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 396 000

1992年10月第1版 1992年10月第1次印刷

印数 00,001—7,184

ISBN 7-04-004003-4/IH·317

定价 5.55 元

序

长期以来,我国高等学校工程专科没有全国统一的各课程的教学基本要求和与之相适应的教材,大多数学校都借用普通高校本科教材。由于学制不同,培养目标、规格要求也不尽相同,长期借用不利于各校按国家教委所要求的专科培养目标组织教学。在这种情况下,我们根据国家教委1991年批准的《高等学校工程专科机械零件课程教学基本要求》编写了本书。

在编写过程中,根据国家教委关于工程专科教学和教材建设的有关原则,本书努力做到:1)体现高等工程专科教育培养技术应用型人才的知识能力结构特点,选择、处理教学内容,以应用为目的,以生产第一线正在使用和近期可能推广使用的技术所需的基础理论为主,同时也使学生对技术基础理论领域的新发展有一般的了解;2)基础理论的教学以必需、够用为度,以掌握概念、强化应用、培养技能为重点,尽量减少数理论证,加强理论应用的内容;3)加强基本技能和基本能力的培养,特别是设计基本能力的培养。编写时,本书还注意吸收各兄弟学校多年来的专科教学实践经验和有关建议。

此外,还有以下几点需要说明:

1. 本教材是按一般机械类专业(72~81学时)上限学时要求编写的。考虑到全国各类学校的不同要求,适当拓宽了一些内容,以便各校根据专业特点自行取舍。

2. 作为工程类教材,所介绍的设计计算方法及有关数据、资料,尽量符合国家标准和国内通用的方法,但由于教学需要、学时及教材篇幅所限,因此不可能完全相同。在具体专业产品设计时,应具体分析,酌情处理。

3. 本教材涉及到的标准、规范、数据、资料较多较广,作为教材,只能选取与阐明基本原理、设计方法有关的部分,详细的数据、资料必要时需另查有关手册、标准。实际工作时,应视最新标准和行业、企业的具体情况而定。

参加本书编写的有:苏州市职业大学郑志祥(第一、二、三、十一、十二章),东北水利水电专科学校周全光(第四、五、十四章),南京机械专科学校刘天一(传动总论、第八、九章),南京机械专科学校徐锦康(第六、七章),上海纺织工业专科学校余存惠(第十、十三章),并由郑志祥、刘天一担任主编。

本书承上海交通大学辛一行教授和上海机械专科学校马永林副教授主审。1991年10月又经国家教委高等学校工程专科机械原理及机械零件课程教材编审小组复审,同意将本书作为高等学校工程专科教材。编者对为本书付出辛勤劳动的上述同志,表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,漏误之处在所难免,殷切希望广大教师、读者批评指正。

编 者

1991年11月

目 录

序

第一篇 总 论

第一章 绪论	1
§ 1-1 机械设计的主要内容和一般设计程序	1
§ 1-2 本课程的内容、地位、作用和任务	3
第二章 机械零件设计概论	5
§ 2-1 设计机械零件应满足的基本要求	5
§ 2-2 机械零件设计的一般步骤	5
§ 2-3 机械零件的主要失效形式和计算准则	6
§ 2-4 机械零件的材料和结构工艺性	8
§ 2-5 机械零件设计方法的发展简介	15
第三章 机械零件的强度	19
§ 3-1 静应力时机械零件的整体强度计算	20
§ 3-2 变应力时机械零件的整体强度计算	21
§ 3-3 机械零件的表面接触疲劳强度	25

第二篇 联 接

第四章 螺纹联接和螺旋传动	28
§ 4-1 螺纹	28
§ 4-2 螺纹联接的主要类型和拧紧、防松	30
§ 4-3 螺栓联接的强度计算	35
§ 4-4 螺栓组联接的受力分析	41
§ 4-5 提高螺栓联接强度的措施	44
§ 4-6 螺旋传动	49
习题	55
第五章 轴-毂联接	57
§ 5-1 键联接	57
§ 5-2 花键联接	61
§ 5-3 销联接简介	64
§ 5-4 其它轴-毂联接简介	65
习题	69

第三篇 机 械 传 动

传动总论	71
------------	----

第六章 带传动

§ 6-1 概述	74
§ 6-2 V 带和带轮	76
§ 6-3 带传动的工作情况分析	79
§ 6-4 V 带传动的设计计算	84
§ 6-5 带传动的张紧和维护	91
§ 6-6 其它带传动简介	95
习题	96

第七章 链传动

§ 7-1 概述	98
§ 7-2 滚子链和链轮	99
§ 7-3 链传动的运动特性	102
§ 7-4 滚子链传动的设计计算	104
§ 7-5 链传动的布置、张紧和润滑	110
习题	113

第八章 齿轮传动

§ 8-1 概述	114
§ 8-2 齿轮传动的失效形式和计算准则	115
§ 8-3 常用齿轮材料及其热处理	118
§ 8-4 直齿圆柱齿轮传动的载荷计算	120
§ 8-5 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	125
§ 8-6 设计参数的选择及许用应力	128
§ 8-7 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	135
§ 8-8 标准直齿圆锥齿轮传动的强度计算	141
§ 8-9 变位齿轮传动强度计算概述	145
§ 8-10 齿轮的结构	146
§ 8-11 齿轮传动的润滑	149
习题	149

第九章 蜗杆传动

§ 9-1 概述	151
§ 9-2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	153
§ 9-3 蜗杆传动的失效形式、计算准则及材料选择	157
§ 9-4 普通圆柱蜗杆传动的强度计算	158
§ 9-5 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计	

算	161
§ 9-6 蜗杆和蜗轮的结构	163
习题	167

第四篇 轴系零件

第十章 轴	168
§ 10-1 概述	168
§ 10-2 轴的结构设计	170
§ 10-3 轴的强度计算	176
§ 10-4 轴的刚度计算概念	186
§ 10-5 轴的振动和振动稳定性概念	186
习题	188
附表	190
第十一章 滑动轴承	194
§ 11-1 概述	194
§ 11-2 摩擦和润滑	194
§ 11-3 滑动轴承的类型和典型结构	200
§ 11-4 轴承材料和轴瓦结构	204
§ 11-5 非液体摩擦滑动轴承计算	209
§ 11-6 液体动压轴承的基本知识	210
习题	214
第十二章 滚动轴承	215

§ 12-1 概述	215
§ 12-2 滚动轴承的类型和代号	216
§ 12-3 滚动轴承的工作情况分析	221
§ 12-4 滚动轴承的寿命计算	223
§ 12-5 滚动轴承的静强度计算	230
§ 12-6 滚动轴承的极限转速	232
§ 12-7 滚动轴承的组合设计	235
习题	242

第十三章 联轴器和离合器

§ 13-1 概述	244
§ 13-2 联轴器	245
§ 13-3 离合器	250
习题	255

第五篇 其它零件

第十四章 弹簧

§ 14-1 概述	256
§ 14-2 弹簧的材料和制造	256
§ 14-3 圆柱形螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计 计算	266
习题	268
参考书刊	269

第一篇 总 论

第一章 绪 论

机器是一种能实现预期机械运动并可用来完成有用功或转换机械能的设备。在研究运动时,机器的运动单元体称为构件;由若干构件组成,以实现某种机械运动要求的组合体称为机构。在制造过程中,机器中不可分拆的基本单元体称为零件;由若干协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合体称为部件。

机械是机器和机构的总称。机械是现代社会进行生产的主要要素之一,任何现代产业和工程领域都需要应用机械,因此,机械制造业是现代工业化国家的基础工业,是我国社会主义现代化的重要领域之一。

机械工程是以有关的自然科学和技术科学为理论基础,结合在生产实践中积累的技术经验,研究和解决在开发、设计、制造、安装,以及应用和修理各种机械中出现的理论和实际问题的一门领域广阔的应用学科。机械设计是机械工程的一个基础学科。

§ 1-1 机械设计的主要内容和一般设计程序

机械设计是从使用要求出发,对机械的工作原理、结构、运动形式、力和能量的传递方式,以至各个零件的材料和形状尺寸,以及使用维护等问题进行构思、分析和决策的工作过程,这种过程的结果一般要表达成设计图纸、说明书以及各种技术文件。

机械设计是机械生产的第一步,也是影响机械产品制造过程及产品性能的一个重要环节。

在进行机械设计时,要在一系列限定条件下为达到预期使用要求而设计出最理想的结果。设计时,要考虑诸多方面的要求,例如:良好的使用性能、低的制造成本、限定的尺寸和重量等要求。这些要求,在不同的具体机械和具体使用条件下是不尽相同的。妥善合理地处理好这些关系,是一个设计师努力追求的目标。

机械设计的方法大致有以下几种:

1. 继承设计 根据使用经验和技术发展,对原来已成熟的机械产品进行局部的设计更新,以提高性能或降低制造成本和运行费用。这类设计在有大量的传统机械产品的行业中,是最普遍的,例如在普通车床的生产制造中,其型号规格不断更新换代。

2. 变型设计 为适应新的需要,对已有的机械作出部分改进或增减而发展成为不同于原

有传统产品的新类型产品。这一类设计,在近代科学技术高速发展的条件下,正愈来愈多地出现。例如金属切削机床中数控机床的发展。

3. 新型设计 应用新的科学技术发明,开发设计过去所没有的机械。例如机器人的出现。机械设计的内容和程序一般如下:

(一) 审查设计前提,明确设计任务阶段

这是设计工作的重要的准备阶段。一项新产品设计前,设计者必须对设计任务及其前提条件认真分析,仔细审查,正确理解。对设计任务提得不明确,不完整,或者设计者对设计任务及其前提理解不正确或不全面,都会导致设计缺陷、错误甚至失败。

当然,有一些设计任务在刚开始提出时可能只是一些模糊的、不全面的要求,必须经过反复的调查研究,对其用途和特点、工作条件、功能指标、加工制造条件、经济性要求等用明确的条文确定下来。在此基础上,最后应该形成设计任务书,作为设计的指导性文件。

(二) 方案设计阶段

1. 选定工作原理和基本结构型式

根据设计任务书所要求的预期功能要求,确定总体方案,即选定机械的工作原理及其相应的结构型式。为实现同一功能要求,往往有多种方案可供选用。例如要设计切削一般精度平面的机床,可以采用刀具旋转切削的铣床,也可采用刀具相对于工件往复移动切削的刨床,而铣床又可以是立铣或卧铣,刨床又可以是牛头刨床或龙门刨床。

对于重要的设计,通常可提出几种方案进行技术经济综合评估,然后作出决策,选定一个方案。

这一步工作,显然随着该设计的类型(新型设计还是变型设计、继承设计)不同而导致工作量、工作内容也大不相同。

2. 进行运动设计和动力设计

结构方案确定后,即可根据执行机构所要求的运动和动力指标选定原动机的类型及其参数。然后对传动机构进行运动设计,以确定各运动构件的运动参数。在此基础上,根据执行机构的工作阻力、工作速度等有关参数,计算确定各主要零、部件所受载荷。

3. 绘制总体草图

在这一设计步骤中,要进行一系列的草图设计。首先对主要零件进行工作能力计算,确定其主要尺寸、形状,并进行结构设计,绘制零件草图。通过草图设计,使机械各部分结构相互补充和完善,同时也会发现各部分形状、尺寸、装配关系等方面的矛盾,从而进行协调、调整,反复修改,最后即可按比例绘制总体草图。

4. 初步审查

根据设计任务书,对总体草图进行初步审查。审查通过后,即可进行技术设计。总体草图不符合要求或部分不符合要求,则需进行修改,甚至重新考虑工作原理和基本结构方案,但多数情况下是进行部分修改和使方案进一步完善。

(三) 技术设计阶段

根据初步审查意见修改后,即可绘制总装配图、部件装配图和全部零件图。这一过程也是

相互交错、进一步协调关系的过程。总装配图和部件装配图的绘制设计过程,将促使各部分结构之间的联系、制约关系更具体、更详尽地反映出来,同时,也使各个零件的装配关系、设计尺寸、运动和动力分析得到更正确的修正,从而对一些重要零件可以进行精确的工作能力计算,并确定其材质、热处理、技术条件等。

技术设计完成后,应进行第二次审查。

(四) 绘制零件工作图和装配图、编制技术文件

根据对技术设计审查的意见,进行修改完善后,最后即可形成正式的零件图、部件装配图和总装配图。在绘制零件工作图的同时,还应进行工艺审核和标准化审核。

最后,要编制各种技术文件:计算说明书、用户使用说明书、标准件明细表、易损件(或备用件)清单等。

以上介绍的机械设计内容和程序在实际工作中并不是一成不变的,而是随着具体任务的不同而有所不同。例如,对于简单机械或是很成熟的继承设计甚至变型设计,有时方案设计和技术设计并不截然分开,而是从一开始就进行技术设计,经审查批准后,即可进行零件工作图设计。此时,在技术设计完成后可只进行一次全面审查。此外,设计的程序,也不一定按上述的顺序进行,实际上往往是相互交错、互相平行地进行的,例如计算和绘图、装配图和零件图的绘制过程,也都是互为补充、相互配合的。

§ 1-2 本课程的内容、地位、作用和任务

机械的基本组成要素是零件,所以,零件的设计和制造是机械的设计和制造的基础。

习惯上,将各种机械中经常用到的零件称为通用零件,例如螺栓、齿轮、轴等;而将在特定类型机械中才用到的零件称为专用零件,例如飞机螺旋桨、内燃机曲轴、涡轮机叶片等。当然,通用零件和专用零件的划分也不是绝对的。

机械零件课程是讲授一般工作条件和常用参数范围内的通用零件设计的课程。

本课程的内容包括:

1. 总论——本课程的一些共性知识:机械零件设计的一般步骤和计算准则、机械零件的强度。
2. 联接零件——螺纹联接、轴-毂联接。
3. 机械传动零件——带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动。
4. 轴系零件——轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器和离合器。
5. 其它零件——弹簧。

机械零件课程对于机械类专业是一门设计性的主干技术基础课程,它综合应用理论力学、材料力学、机械制图、机械原理、金属工艺学、公差技术测量等先修课程的知识,解决零件的设计问题。通过本课程各环节的教学,将使學生初步受到有关机械零件设计的基础理论、设计方法和设计技能的系统训练,也为学生进一步学习有关专业课和今后从事机械技术工作打下基

础。因此,本课程在机械类专业教学计划中具有承前启后的重要作用。

本课程的主要任务是培养学生:

1. 掌握通用零件的设计方法,了解机械设计的一般规律,具有设计机械传动装置和简单机械的能力。
2. 具有运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力。
3. 初步树立正确的设计思想。
4. 获得实验技能的基本训练。

对于学生来说,本课程是从理论性、系统性很强的基础课和技术基础课向实践性较强的专业课过渡的一个重要转折点。因此,学生学习本课程时必须注意在学习方法上要有一个转变和适应过程。

一般讲,学习本课程时应注意以下特点:

1. 课程的多科综合性 本课程讲授的各种零件设计,无论从分析研究到设计计算,直至完成零件工作图,要用到多门基础课和技术基础课的内容,因此,只有融汇贯通综合应用各先修课内容,才能学好本课程。

2. 应用到的理论基础的多样性 例如大多数零件的计算准则是强度准则,主要应用材料力学的有关知识,但有些零件的计算准则是接触强度准则,因此要用到弹性力学的赫兹应力公式。又如带传动和某些螺纹联接,其设计准则首先是摩擦条件准则。因此,学生如果用习惯的基础课系统性来看待本课程,就会产生“没有系统性”、“没有统一的研究规律”的错觉。实际上,如果学生能结合机械零件设计的一般步骤来理解本课程内容的系统性,就能在学习过程中逐步适应本课程的学习规律。

3. 计算步骤和计算结果不像基础课那样具有唯一性 机械零件设计计算题的答案往往可以各不相同,而计算步骤也并不完全统一,初学设计者对此往往不易适应。又如很多零件设计,在计算过程中要用到一些尚待确定的参数,这就必须先估取,最后再作修正。此外,参数选择在设计过程中是很重要的,但参数选择的推荐范围一般都很大,这对初学设计者也是个难题。所有这些和设计有关的训练,都要求学生通过本课程学习逐步得到培养和训练。

4. 在零件设计中,计算是很重要的,但不是唯一的,学生必须逐步培养把理论计算和结构设计、工艺考虑等结合起来解决设计问题的能力。

第二章 机械零件设计概论

§ 2-1 设计机械零件应满足的基本要求

设计机械零件时,应在实用可靠的前提下,最大限度地谋求经济合理。具体的要求决定于被设计零件在机械中所处的地位、作用以及工作条件。一般来讲,大致有以下几个方面要求。

1. 零件的预定功能要求

这是设计零件的最基本要求,零件如不能达到预定功能,则该设计从根本上来讲就是失败的。

每一个零件,在不同的机器或在一台机器的不同部分中工作,这就决定了对该零件的具体功能要求。不同的功能要求,就有不同的设计要求。例如在某些机器中所用的蜗杆传动要求具有自锁功能,则它在参数选择,以及相应的效率、材料选择等一系列设计问题上,就与不要求自锁的蜗杆传动设计很不相同。

2. 预定寿命内不发生失效的要求

零件如果发生失效,就会导致零件丧失预定功能,影响机器正常工作,甚至引起事故。

防止零件失效,保证其有一定工作能力,这是机械零件设计的主要内容,因此,这也是本课程在各章中介绍具体零件设计时的主要内容。

3. 结构工艺性要求

零件的结构工艺性,可能会影响到零件的功能、寿命和可靠性,同时,对零件的经济性也有很大影响。结构工艺性,一般反映在零件的毛坯要求和加工过程中,也反映在装配过程中。例如滑动轴承的巴氏合金轴承衬,如果其与轴瓦瓦背的结合方式在设计时没有考虑,则可能在轴承工作时因轴承衬“脱壳”而引起失效。

对结构工艺性的评定,有时是正确与错误的问题,有时则是合理与不太合理的问题,其缺陷一般在加工或装配过程中,也可能在使用过程中暴露出来,但其原因很多是由于设计不合理造成的。设计时的结构工艺性要求,一般主要不是靠理论计算实现,而是由设计人员运用工艺知识,在结构设计、制订技术条件等过程中进行设计考虑,并反映到零件工作图和技术文件中。

4. 经济性要求

零件的经济性,主要决定于零件的材料及加工成本。但应注意的是,不应孤立地追求某一个零件的经济性,而应从整台机器的经济性出发来确定对每一个零件的恰当要求。

§ 2-2 机械零件设计的一般步骤

机械零件的设计方法可以从不同角度进行分类。可以把多年来习惯用的设计方法称为常

用设计方法,而把近几十年发展起来的设计方法称为现代设计方法。常用设计方法又可分为理论设计、经验设计和模型实验设计。大多数成熟的和重要的机械零件都已建立起一套系统的、以一定理论为基础的设计计算方法和设计步骤。经验设计大致用在两种情况:一种情况是理论上还不够成熟,或虽有理论,但不必用繁复、高级的理论设计,例如机架、箱体的设计;也有些情况下是对一些次要零件,凭经验或类比设计就可以了。例如机床上很多不太受力的螺钉。对于一些很重要或结构很复杂的零件,往往经过理论设计后还要进行模型实验,以补充或验证理论设计结论。

本课程主要介绍常用的理论设计方法,同时也介绍一些经验设计。

机械零件的设计应保证满足前述的设计要求。作为设计的结果,一般应获得该零件的工作图和计算说明书。

设计机械零件时,一般包括以下步骤:

1. 根据零件的功能要求,选定零件的类型。有时可能几种类型都适用,则可以同时设计几个方案,最后通过比较,择优确定。
2. 分析零件的工作情况,确定作用在零件上的载荷。
3. 根据工作情况分析,判定零件的失效形式,从而确定其计算准则。
4. 进行主要参数选择,根据计算准则求出零件的主要尺寸,选择材料,考虑热处理及结构工艺性要求。
5. 进行结构设计。
6. 绘制零件工作图,制订技术要求。编写计算说明书和有关技术文件。

这些设计步骤,对于不同的零件和工作条件,可以有所不同。此外,在设计过程中有些步骤又是相互交错、反复进行的。

本课程在介绍各种零件设计时,其内容的系统性基本上就是从上述设计步骤出发而反映出来的。

§ 2-3 机械零件的主要失效形式和计算准则

机械零件丧失预定功能或其预定功能指标降低到许用值以下的现象,称为机械零件的失效。由于强度不够引起的破坏是最常见的零件失效形式,但破坏不是零件失效的唯一形式。某些情况下出现的小量局部损伤(例如齿轮表面出现少量点蚀)也不一定引起零件的失效。零件不发生失效时的极限工作指标称为工作能力。不同计算准则其工作能力指标的类型不同,例如发热计算时通常用温升来表示其工作能力指标。在强度、刚度、稳定性计算时,通常用应力、变形或力作为指标,相应于这些计算准则时的零件工作能力称为承载能力。

对于理论研究比较成熟的失效形式,从失效机理出发已建立起相应的计算准则,用于设计计算机械零件。

机械零件最常见的失效形式及其相应的计算准则大致有如下几种。

1. 强度

强度不够引起的破坏, 是目前大多数零件的主要失效形式。由于强度准则在本课程中具有特别重要的地位, 为此将机械零件的强度作为本课程的基础理论, 单列一章专门介绍。

2. 刚度

零件在载荷作用下, 其弹性变形量超过许用值, 就会导致刚度不够而失效。

刚度计算准则通常用各种变形量计算公式来表达。在机械零件设计计算时, 刚度计算可以是控制指定点的线位移, 也可以是角度位移, 例如扭转刚度计算时可以控制其扭转角。这些计算公式已分别在材料力学课程中介绍过, 本教材不再重复。

刚度准则也是一种重要的机械零件计算准则。某些零件设计时主要依据刚度准则。例如磨床主轴, 由于受力很小, 如果按强度准则, 轴的直径只要很细就够了, 但为了保证主轴精度, 从刚度准则出发确定轴的直径就成为主要依据。

3. 耐磨性

零件运动副之间相对运动表面材料的逐渐丧失或转移, 称为磨损。磨损现象是相对运动零件普遍存在的一种自然现象。除了机器“跑合”过程是利用磨损作用作有益工作外, 通常磨损总是有害的。磨损造成零件削弱, 精度降低, 寿命减短, 可靠性降低。因此防止零件磨损是现代机器设计的一个重要问题。

磨损按机理不同, 大致分为磨料磨损、粘着磨损、疲劳点蚀磨损、氧化磨损等。

耐磨性问题虽然是一个极为重要的问题, 但迄今还没有成熟的、公认的耐磨性计算方法。有一些机械零件, 由于磨损是其主要失效形式, 目前沿用的计算准则是用控制接触表面间压强的办法来进行条件性计算。

4. 耐热性

机器运转时, 机械零件相对运动接触表面之间的摩擦会产生热量。当然, 有时还有一些其它热源。

发热会给机器带来一系列危害, 例如:

- (1) 当温度达到一定程度时, 零件材料的性能会改变, 从而导致承载能力降低;
- (2) 使润滑油膜的润滑能力降低甚至丧失;
- (3) 有一些配合零件之间必须保证一定间隙, 发热膨胀会造成一些配合间隙的丧失甚至“咬死”;
- (4) 改变摩擦表面性质, 例如摩擦制动器中摩擦系数的降低, 就会造成事故。

因此, 有一些发热严重的零件, 要进行热平衡计算, 有的还要进行热应力、热变形计算。有一些零件还需进行瞬时局部温度的计算或温度场的计算。

5. 振动稳定性

机器中存在着许多激振源, 例如轴上零件的偏心载荷等。当丧失振动稳定性时, 零件中的振动应力很高, 振幅急剧增加, 从而导致零件甚至整个系统损坏。

可以运用振动力学, 对零件和系统进行振动稳定性的验算。通过改变零件或系统的刚度或阻尼等办法可以改善振动稳定性, 用隔振、消振等技术也可以改善机器的抗振性能。

§ 2-4 机械零件的材料和结构工艺性

材料和结构工艺性问题, 分别有专门课程介绍。在本课程中, 着重从如何保证机械零件设计要求角度出发, 讨论合理选择材料和考虑结构工艺性的原则, 具体资料在后面各章零件中介绍。

一、机械零件的常用材料及其选择原则

(一) 机械零件的常用材料

机械零件所用的材料是多种多样的, 但目前一般以黑色金属特别是钢材和铸铁的应用最为广泛。

1. 铸铁

灰铸铁由于铸造性能好、价格低和有较高的抗压强度, 因此广泛用于制造结构形状复杂的零件, 尤其是壳类、箱形零件和机座。例如, 一台机床中铸铁件的重量一般约占总重量的 80%。此外, 灰铸铁的减摩性和减振性能比钢好, 这也是有些零件采用灰铸铁的原因。灰铸铁的抗拉强度低, 弹性模量也比钢低, 同时, 性脆, 故不适宜用于受冲击、变应力的零件。

球墨铸铁的强度、伸长率、弹性模量都较灰铸铁高, 耐腐蚀能力和耐磨性也比较强, 对于有缺口形状的零件, 球墨铸铁的弯曲疲劳强度有时可超过钢制零件, 其减振性能也比钢制件好。球墨铸铁还可以进行调质和表面热处理。因此, 球墨铸铁已日益广泛地被用于制造重要零件, 如曲轴、齿轮等。

蠕墨铸铁有着比球墨铸铁更好的金相组织, 它和球墨铸铁的机械性能相近, 但具有更高的耐磨性和较好的表面加工质量, 正逐渐在机械工业中被应用。

球墨铸铁和蠕墨铸铁的成本比灰铸铁高, 而且其工艺要求也很严格。

此外, 还有可锻铸铁以及多种特殊铸铁。

2. 碳素钢和合金钢

碳素钢和合金钢是机械零件应用最广泛的材料。碳素钢生产量大, 价格便宜, 应用更广泛。随着工业和技术的发展, 各种合金钢的应用正在日益增加。

为了充分发挥钢特别是优质碳素钢和合金钢的机械性能、工艺性能和使用性能, 在选用钢制零件时必须与其热处理方式和工艺同时考虑。

碳素钢又分为普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。受力不大, 基本上受静应力而且不太重要的零件, 一般采用较便宜的普通碳素结构钢。受变应力或冲击载荷的重要零件, 一般要采用优质碳素结构钢。

受力较大, 或对零件有各种特殊要求时(例如为了提高淬透性、耐磨性、耐腐蚀性、耐高温性能、防锈性能, 以及提高强度、硬度、冲击韧性等), 可以选用含有各种合金元素的合金钢。合金成分对钢的影响见表 2-1。

3. 铸钢

表 2-1 合金成分对钢的影响

成 分	影 响
碳 (C)	能提高强度和硬度,但降低韧性、切削性、锻造性、焊接性
锰 (Mn)	能提高厚重零件淬透性、耐磨性,但易回火脆裂
铬 (Cr)	能提高硬度、耐磨性、韧性和淬透性
镍 (Ni)	能提高淬透性,常与铬一起作为钢的合金成分,以获得高强度渗碳钢、调质钢和工具钢。能提高耐蚀性,常用于不锈钢、耐酸钢
钼 (Mo)	是抗回火脆性的有效成分,能提高淬透性
钨 (W)	能提高钢的硬度和韧性
硅 (Si)	能增大电阻,故电机硅钢片含硅量较大。硅在各种钢中都存在,导致钢冷变形能力的降低,因此在深拔钢板中只允许含 0.2%
钒 (V)	有脱氧和形成碳化物的能力,故能提高淬透性和耐热性
钴 (Co)	能大大提高高速钢的切削性
铝 (Al)	能提高氮化钢的表面硬度,还能提高钢的抗起皮能力和抗时效能力

铸钢的强度接近碳素结构钢,其伸长率、韧性和弹性模量也都比铸铁高,因此,适宜用于制造受重载的大型零件。铸钢件的金相组织呈粗的放射状,不如轧制和锻造钢件细密,因此,通常要通过退火加以细化。铸钢(有 2~3% 的收缩率,容易形成缩孔,容易热裂)比铸铁难于铸造,成本也比灰铸铁贵。各种合金铸钢可以更好地提高铸钢的性能,用于各种特殊要求的零件,但价格更贵。

4. 有色金属

在机械零件设计时,有些条件下必须采用铝、铜等有色金属材料。通常,有色金属都是以合金而极少用纯有色金属制造零件。通用零件中最常用的有色金属材料有铝合金、铜合金和轴承合金。除了铝合金具有较高的机械强度因而可以制造承载零件外,其它有色金属合金往往是用于需要有高的耐磨性、减摩性、耐腐蚀性等场合。有色金属价格贵,加工工艺要求较高,因此在选用时应慎重考虑。

(1) 铝合金

铝合金的突出优点是比重小,从表 2-2 所列的性能值可看出,铸铝的强密比高于一般的优质碳素结构钢,而硬铝的强密比则较之高强度合金钢还高。因此,铝合金特别适用制作要求重量轻而又具有相当强度的零件,例如运输机械的机体和高速往复运动的零件。

铝合金零件的毛坯可以是铸造铝合金,也可以是棒料的锻铝,或以型材供应的硬铝。

(2) 铜合金

铜合金的主要特点是减摩性和耐腐蚀性能好。

机械零件所用的铜合金一般为黄铜或青铜。青铜用得较多,但较贵,青铜又分锡青铜和无锡青铜。各种铜合金分别以铸件、板材、型材、管子、带材和线材等形式供货。

(3) 轴承合金

它是专用于滑动轴承轴瓦的材料,详见第十一章。

表 2-2 一些常用材料的使用性能近似值

材 料		密度 ρ (kg/m ³)	弹性模量 E (N/mm ²)	抗拉强度 σ_B (N/mm ²)	强 密 比 σ_B/ρ	最高工作温度 $t_{\max}$ (°C)
金 属	碳 钢	7800	210000	(45 钢调质) 637	0.08	
	铸 钢	7800	210000	(ZG340-640 调质) 686	0.088	
	合 金 钢	7900	210000	(38CrMoAl 淬火) 981	0.124	
	灰 铸 铁	7000	150000	(HT350) 350	0.05	
	球墨铸铁	7300	150000	(QT800-2) 785	0.108	
	铝 合 金	2700	71000	(铸铝) 250 (硬铝) 460	0.093 0.170	
塑 料	热 塑 性	聚 乙 烯	940	450	30	70
		聚苯乙烯	1050		50	60~80
		聚碳酸酯	1200	2200	62	135
	热 固 性	带填充剂 酚醛树脂	1300	3200	55	100

5. 非金属材料

机械零件所用非金属材料中,较普遍的有工程塑料和橡胶。

工程塑料的突出优点是密度小(见表 2-2),并且具有良好的减摩性、耐磨性、绝缘性和减振性。缺点是不少工程材料强度低、硬度低、不耐高温、尺寸稳定性和形状稳定性差、容易老化,有的则价贵。由于化工工业和技术的迅猛发展和进步,工程塑料的应用前景日益广阔。从选用特点看,热塑性塑料可以重复加工,但使用温度较低,不宜用于承载零件;热固性塑料具有不可逆性,但强度高,可用以制造承载零件,主要用于轻载、薄壳型零件。

橡胶制品摩擦系数大,弹性和减振性能好,但强度低,在机械零件中主要用于制造传动带、减振元件、联轴器弹性元件等。

除了上述各种材料外,机械零件还采用了烧结材料、复合材料以及其它材料。

(二) 材料选用的基本原则

合理选用材料,对于零件的使用性能、工作能力以及制造成本都有很大影响。材料的选用是在零件设计过程中与其它设计步骤(例如工作能力计算、加工工艺等)结合进行的,因此各种零件材料的具体选择将在以后各章中介绍。这里介绍在选用材料时考虑的一般原则。

总的来讲,机械零件材料选择的根本出发点应是保证满足设计要求,因此通常应考虑:

1. 零件的工作能力要求

对于大多数以强度为计算准则的零件,首先要考虑载荷性质、应力类型和工作应力大小。对于承受静应力而且应力不大的零件,可以采用一般的普通碳素结构钢;对于承受较大变应力,冲击载荷的零件,则要考虑选用优质碳素结构钢甚至合金钢。对于承受表面应力的零件,往往要考虑采用能够进行表面热处理的合金钢。脆性材料一般只宜承受静载荷,用于受压工作条件。

有一些以减摩性能要求为主的零件,例如滑动轴承轴瓦,往往要应用有色金属合金。对于承受冲击载荷或有较大变载荷的滑动轴承既要保证减摩性又要保证疲劳强度,则要应用多层

金属轴瓦材料。

有些零件,只要求局部保证一定的性能,例如蜗轮只要求齿面具有减摩性,为了节约有色金属同时保证一定的强度,因此用青铜做齿圈,用铸铁做轮芯部分。

2. 工艺要求

工艺要求主要是考虑零件及其毛坯制造的可能性和难易程度,如铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能等。

例如,结构复杂的箱体零件,宜用铸造毛坯。对于重要的轴类、盘类零件,由于经过锻造加工后材料金相组织得到改善,因此要尽量采用锻造毛坯。

有时候,由于加工设备的限制,不得不牺牲一点某方面的性能,例如大直径的齿轮,如果锻造设备不允许加工,则只能选用铸钢毛坯,这样材料的机械性能就要比锻钢低一些。

切削加工工艺性能要求往往对材料的选择有很大影响。例如高精度齿轮,为了提高磨齿质量,则以选用含有某些元素的合金钢并进行适当的热处理为宜。

3. 经济性要求

材料的经济性首先表现在材料本身的相对价格,当没有特殊要求时,一般应尽可能采用价廉而又容易获得的材料。

材料的经济性不应孤立地仅从材料本身价格考虑,还应结合加工费用、材料利用率等综合考虑,例如有些箱体零件,虽然铸件本身成本较低,但当单件生产时,由于木模成本及生产准备周期等因素,综合起来可能不如焊接件经济。

4. 材料供应情况

选用零件材料时,应考虑材料供应的可能性。同时,同一台机器一般应尽可能减少材料的品种,以利于生产准备工作。一般而言,选择材料时应尽可能少用有色金属、稀有金属,尽可能用碳钢和铸铁。

二、机械零件的结构工艺性

机械零件的结构工艺性是指所设计的零、部件在保证产品使用性能的前提下,能用生产率高、劳动量小、生产成本低的方法制造出来。

零件的结构工艺性,反映在毛坯制备过程、热处理过程、切削加工过程和装配过程中。

进行铸造零件的形状设计时要注意: 1) 应使造型方便,砂箱和型芯尽量少,具有必要的起模斜度等; 2) 壁厚变化及布置应避免出现缩孔,避免局部金属堆积; 3) 应考虑零件在机床上切削加工时有必要的基准面,注意浇注过程中不应造成激冷致硬的被切削加工面。

进行锻造零件的形状设计时应注意: 能使金属流动并充满锻模的壁腔,具有必要的起模斜度等。

热处理对零件结构的要求是: 1) 避免锐边或尖角,采用的过渡圆角应尽可能大; 2) 尽量使零件截面均匀; 3) 提高零件结构的刚性,必要时可增加加强肋; 4) 零件几何形状力求简单、对称; 5) 形状特别复杂或者不同部位有不同性能要求时,可改成组合结构。

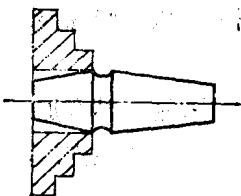
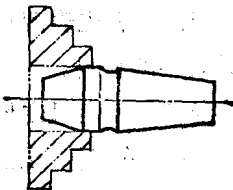
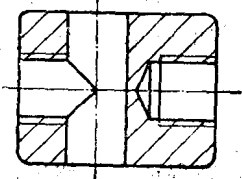
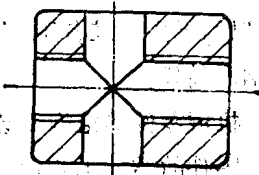
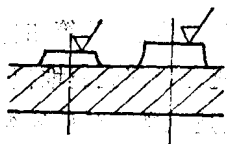
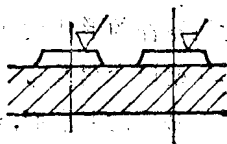
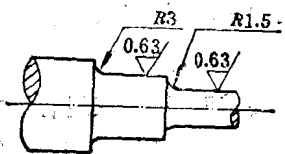
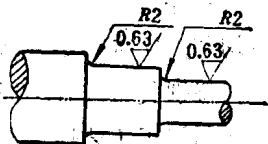
零件的切削加工工艺性和装配工艺性对零件结构设计影响很大。一般讲,零件的切削加工工艺性主要应考虑: 1) 提高切削效率; 2) 便于切削加工; 3) 减少切削加工量。表 2-3 为这些

考虑的示例。零件的装配工艺性主要应考虑：1) 尽量避免或减少装配时的切削加工和手工修配；2) 使装配和拆卸方便；3) 应有正确的装配基面；4) 尽可能组成独立部件或装配单元，以便于平行装配。表 2-4 为这些考虑的示例。

三、机械零件设计中的标准化

有不少通用零件，例如螺纹联接件、滚动轴承等，由于应用面广量大，因此已高度标准化而成为标准件，在机械设计过程中，一般对标准件只需根据手册或标准件目录选定型号尺寸，一般不必自行加工制造而可向专业商店或工厂订购。此外，还有很多零件，使用面极为广泛，但在具体设计时，则随着工作条件不同而在材料、尺寸、结构等方面各不相同，则可对其某些基本参数规定标准的系列化数列，例如齿轮的模数、轴的直径等。

表 2-3 零件结构的切削加工工艺性示例

加工工艺性要求		不 合 理 结 构	合 理 结 构
提 高 切 削 效 率	工件装夹方便	 夹紧面积小，不易夹稳、对准	 夹紧面积大，夹紧牢固，容易找准
	减少工件装夹次数	 有盲孔，需两次装夹加工	 一次装夹，且能改善同轴度
	减少刀具的调整次数	 二次走刀	 一次走刀
	采用标准刀具，减少刀具种类	 圆角半径 R 不同，刀具种类多	 统一圆角半径 R