

教育部高职高专推荐教材

Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuan Tuijian Jiaocai

专业基础系列

机械零件

第二版

郑志祥 徐锦康 张磊 主编
郑志祥 周全光 张磊 徐锦康 黄一晴 编



高等教育出版社

教育部高职高专推荐教材

机 械 零 件

(第 二 版)

郑志祥	徐锦康	张 磊	主 编
郑志祥	周全光	张 磊	编
徐锦康		黄一晴	



高等教育出版社

内容简介

本书是根据国家教委最近颁发的《高等学校工程专科机械零件课程教学基本要求（机械类专业适用）》（1996年修订版）修订的。

本书在第一版的基础上，根据最新的国家标准，更新了滚动轴承和齿轮传动部分内容；增加了窄V带传动设计；压缩了机械零件的强度等内容。

全书共13章。主要内容有：总论，联接，机械传动，轴系零件，其它零件等。

本书可作为普通高等专科学校、高等职业技术学院、职业大学、职工大学、函授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。

图书在版编目（CIP）数据

机械零件 / 郑志祥等主编. —2版. —北京：高等教育出版社，

2011.10（2012.2重印）

高等学校工程专科教材

ISBN 978-7-04-008003-2

I. ①机… II. ①郑… III. ①机械元件—高等学校—教材

IV. ①TH13

中国版本图书馆CIP数据核字（2011）第190205号

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landracom.com
印 刷	北京市昌平百善印刷厂		http://www.landracom.com.cn
开 本	787×1092 1/16	版 次	1992年10月第1版
印 张	16.75		2000年6月第2版
字 数	390 000	印 次	2012年2月第21次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	19.80元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 8003-00

第二版序

从1992年本书第一版发行以来,国家教育委员会高等教育司1996年颁发了新修订的《高等学校工程专科机械零件课程教学基本要求(机械类专业适用)》;已有不少机械零件的国家标准重新修订;同时,几年来各兄弟学校在使用本教材过程中也积累了不少经验和提出了一些宝贵意见。为此,有必要对本书进行修订。

本次修订,除了尽量结合工程专科教学特点作了一些修改外,着重更新了部分内容,特别是滚动轴承和齿轮,尽可能向最新国家标准靠拢。同时,根据我国工业发展现状,在某些内容上作了调整或增加,例如增加了窄V带传动设计等内容,强调了硬齿面齿轮的应用。有一些内容则进行了删减或压缩,例如根据新修订的教学基本要求,压缩了“机械零件的强度”和“液体润滑轴承”等内容。

还需说明的是,国家标准作为技术文件,有它自己的体系,而在教材和教学中,对某些零件(如齿轮),不可能简单或完全照搬,只能靠拢最新国家标准,对某些内容(例如齿轮承载能力计算)作一定简化或缩减,按最必要的知识、教学本身的规律组织教材。同时,相信今后国家标准和某些零件的设计内容还会经常更新。因此,作为教材和学校教学,只能教给学生最必要的知识,特别是教给学生自己学习掌握新内容的能力。有一些知识和内容,还要靠任课教师根据发展加以补充或说明。学生在将来从事实际工作时,应该有查阅有关手册、标准、专著、资料的能力。

参加本书修订工作的有:苏州市职业大学郑志祥(第一、二、十、十一章),长春水利电力高等专科学校周全光(第三、四、十三章),南京机械高等专科学校徐锦康(第五、六章),沈阳大学张磊(传动总论、第七章),上海理工大学工程技术学院黄一晴(第八、九、十二章)。由郑志祥、徐锦康、张磊主编。

本书由东南大学卢玉明教授、南京机械高等专科学校刘天一副教授审阅,他们对本书提出了许多宝贵意见,在此深表谢意。

在修订过程中,还得到了清华大学吴宗泽教授、上海交通大学辛一行教授的热情指导和关怀,在此一并致谢。

由于编者水平有限,疏漏之处尚祈广大教师和读者提出宝贵意见。

作者

1999年9月

第一版序

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要求不同,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

第一篇 总 论

第一章 绪论	1	§ 2-2 机械零件的主要失效形式 和计算准则	4
§ 1-1 本课程的内容、地位、作用 和任务	1	§ 2-3 机械零件的材料和结构工 艺性	6
§ 1-2 机械零件设计的一般步骤	2	§ 2-4 机械零件设计方法的发展 简介	9
第二章 机械零件设计概论	4	§ 2-5 机械零件的强度计算	11
§ 2-1 设计机械零件应满足的基本 要求	4		

第二篇 联 接

第三章 螺纹联接和螺旋传动	15	习题	43
§ 3-1 螺纹	16	第四章 轴 - 毂联接	46
§ 3-2 螺纹联接的主要类型和 预紧、防松	17	§ 4-1 键联接	46
§ 3-3 螺栓联接的强度计算	22	§ 4-2 花键联接	50
§ 3-4 螺栓组联接的设计	29	§ 4-3 销联接简介	52
§ 3-5 提高螺栓联接强度的措施	33	§ 4-4 圆柱面过盈联接	53
§ 3-6 螺旋传动	37	习题	56

第三篇 机 械 传 动

传动总论	59	§ 6-4 滚子链传动的设计计算	95
第五章 带传动	63	§ 6-5 链传动的布置、张紧和 润滑	100
§ 5-1 概述	63	习题	102
§ 5-2 V 带和 V 带带轮	64	第七章 齿轮传动	104
§ 5-3 带传动的工作情况分析	69	§ 7-1 概述	104
§ 5-4 V 带传动的设计计算	73	§ 7-2 齿轮传动的失效形式和计 算准则	104
§ 5-5 带传动的张紧和维护	82	§ 7-3 常用齿轮材料及其热处理	107
§ 5-6 其它带传动简介	87	§ 7-4 直齿圆柱齿轮传动的载荷 计算	109
习题	88	§ 7-5 标准直齿圆柱齿轮传动的 强度计算	113
第六章 链传动	89		
§ 6-1 概述	89		
§ 6-2 滚子链和链轮	90		
§ 6-3 链传动的运动特性	93		

§ 7-6 直齿圆柱齿轮传动的设计 步骤	117	参数及几何计算	148
§ 7-7 齿轮结构设计	127	§ 8-3 蜗杆传动的工作情况分析	153
§ 7-8 标准斜齿圆柱齿轮传动的 强度计算	132	§ 8-4 蜗杆传动的失效形式、计算 准则及材料选择	154
§ 7-9 标准直齿圆锥齿轮传动的 强度计算	138	§ 8-5 普通圆柱蜗杆传动的承载 能力计算	155
§ 7-10 齿轮传动的润滑	143	§ 8-6 蜗杆传动的效率、润滑及热 平衡计算	157
习题	143	§ 8-7 普通圆柱蜗杆和蜗轮的结 构设计	159
第八章 蜗杆传动	146	习题	162
§ 8-1 概述	146		
§ 8-2 普通圆柱蜗杆传动的主要			

第四篇 轴 系 零 件

第九章 轴	165	习题	205
§ 9-1 概述	165	第十一章 滚动轴承	207
§ 9-2 轴的结构设计	167	§ 11-1 概述	207
§ 9-3 轴的强度计算	173	§ 11-2 滚动轴承的类型和代号	208
§ 9-4 轴的刚度计算概念	182	§ 11-3 滚动轴承的工作情况 分析	214
§ 9-5 轴的振动和振动稳定性 概念	183	§ 11-4 滚动轴承的寿命计算	216
习题	184	§ 11-5 滚动轴承的静强度计算	224
第十章 滑动轴承	186	§ 11-6 滚动轴承的极限转速	225
§ 10-1 概述	186	§ 11-7 滚动轴承的组合设计	228
§ 10-2 摩擦和润滑	186	习题	236
§ 10-3 滑动轴承的类型和典型 结构	191	第十二章 联轴器和离合器	238
§ 10-4 轴承材料和轴瓦结构	195	§ 12-1 概述	238
§ 10-5 混合摩擦滑动轴承计算	200	§ 12-2 联轴器	239
§ 10-6 液体动压轴承的基本 知识	201	§ 12-3 离合器	244
		习题	249

第五篇 其 它 零 件

第十三章 弹簧	251	计算	253
§ 13-1 概述	251	习题	257
§ 13-2 圆柱螺旋压缩弹簧的设计			

参 考 书 目

第一篇 总 论

第一章 绪 论

机械是现代社会进行生产的主要要素之一,机械制造工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。

机械设计是从使用要求等出发,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,是决定产品性能及影响产品制造过程的首要环节。

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。

§ 1-1 本课程的内容、地位、作用 and 任务

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。
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,将使学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,了解机械零件设计的一般规律,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较大,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。

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。

§ 1-2 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,以验证或修正理论设计结论。

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。

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。

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。具体的要求决定于所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. 预定功能的要求

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,保证它在预定的寿命内具有预定的工作能力,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。例如滑动轴承的轴承合金轴承衬,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去。

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。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。所谓强度不够,通常是指零件在载荷作用下发生破坏或出现不允许的残余变形。判定强度条件的计算准则是应力,强度计算表达式有应力表达式和安全系数表达式。

本课程中常用的强度条件表达式为应力表达式:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (2-1a)$$

$$\tau \leq [\tau] \quad (2-1b)$$

式中 σ, τ ——零件在载荷作用下引起的工作应力;

$[\sigma], [\tau]$ ——零件的许用应力。

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,大致分为磨粒磨损、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方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。

§ 2-3 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,它和球墨铸铁的力学性能相近,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(非合金钢)、低合金钢和合金钢

碳素钢(非合金钢)、低合金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,各种低合金钢和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、低合金钢和合金钢的力学性能和工艺性能,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低合金钢和合金钢。

3. 铸钢

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,有色金属都是以其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,因此在选择时应慎重考虑。

表 2-1 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 MPa	抗拉强度 σ_B MPa	强密比 σ_B/ρ MPa/(kg/m ³)	最高工作温度 $t_{max}/^{\circ}\text{C}$
金 属	碳 钢	7 800	210 000	(45 钢调质) 637	0.08	
	铸 钢	7 800	210 000	(ZG340-640 调质) 686	0.088	
	合 金 钢	7 900	210 000	(38CrMoAl 淬火) 981	0.124	
	灰 铸 铁	7 000	150 000	(HT350) 350	0.05	
	球墨铸铁	7 300	150 000	(QT800-2) 785	0.108	
	铝 合 金	2 700	71 000	(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	1 050		50	60~80
		聚碳酸酯	1 200	2 200	62	135
	热 固 性	带填充剂				
		酚醛树脂	1 300	3 200	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 2-1),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、尺寸和形状稳定性差、容易老化,有的则价格贵。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、联轴器中的弹性元件等。

除了上述各种材料外,机械零件还采用了粉末冶金材料、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低合金钢或合金钢。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有一定的强度,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,这样材料的力学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,由于铸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。

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,必要时可增添加强肋;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。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,以便于装配。

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,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。

我国现行标准,分为国家标准(GB)、专业标准和行业标准(如机械行业标准 JB)。国际上则有国际标准化组织(ISO)的标准。

§ 2-4 机械零件设计方法的发展简介

机械零件设计方法是在多门学科基础上发展起来的。因此,随着基础学科的发展,不断推动机械零件设计方法的进步、发展和更新。

50年代以来,特别是近三四十年以来,推动和正在推动机械零件设计方法发展的新兴学科主要有以下几方面。

一、摩擦学

摩擦学是研究相对运动的相互作用表面间的摩擦、润滑和磨损,以及三者间相互关系的一门边缘学科。

虽然自有机器就有摩擦和磨损问题,但是独立形成一门具有广泛深刻内容的学科,还是20世纪60年代以后的事。随着机器向高速、重载、大功率方向发展,机器相对运动表面间的摩擦、磨损等问题愈来愈成为设计中的关键问题。据统计,一般机器中80%的零件是因为磨损而报废的。世界上 $1/3 \sim 1/2$ 的能源消耗于摩擦过程中。为了研究摩擦和磨损,这就促使摩擦学要对一系列基本问题进行研究。例如摩擦、磨损的机理,金属表面形貌及其对摩擦、磨损的影响,润滑膜特别是边界膜的物理、化学性质,流体润滑理论的深入研究,润滑剂及其添加剂的作用等。此外,很多机械零件既在很高的接触应力又在流体润滑的条件下工作,因此出现了由弹性力学和粘滞

性流体动力学相结合的弹性流体动力润滑(EHL)理论。

摩擦学的发展,有一些已被成熟地应用到机械零件设计中。例如本世纪 50 年代以前,虽然动压轴承已应用了几十年,但除了大型推力滑动轴承外,一般滑动轴承的设计计算方法还很不完善。随着对流体润滑理论研究的深入,特别是对雷诺方程求解的日益完善,对于一般工作条件下的动压轴承,已经把对雷诺方程求解结果制成可供设计应用的曲线、图表,使得液体润滑动压轴承的计算更成熟了。因此,摩擦学科的发展也推动了本课程内容的更新。

二、可靠性

虽然“可靠性”这个概念长期以来一直被人们沿用,但是在机械零件设计中,还没有被广泛地定量应用。

一个典型的例子是:计算杆件抗拉强度时,如果工作应力 $\sigma = 180 \text{ MPa}$,材料的屈服极限为 $\sigma_S = 360 \text{ MPa}$,则工作安全系数 $S = \sigma_S / \sigma = 2$,这是长期以来习惯用的方法。实际上,这个概念是不完备的。因为机械零件所受工作载荷大多不是恒定不变的,而一批同一种材料的屈服极限也不可能全部相同,而是成某种分布规律的,因此安全系数应该是含有概率成分的。

把抽象的可靠性概念,用数学形式的概率来描述,这就是可靠性技术的出发点。可靠性学科开始于第二次世界大战时的雷达工业,到 50 年代逐渐形成一门学科,并逐渐发展到其它部门,达到应用的程度。

研究可靠性时,用可靠度作为衡量可靠性的定量指标。产品在规定的使用条件下,在规定的时间内,无故障地完成预定功能的概率称为可靠度。

目前,机械零件应用可靠性设计比较成熟的大都属于概率强度计算方面,例如齿轮疲劳强度计算和滚动轴承寿命计算。

三、优化设计

“优化”这个概念在设计中应用已久,但是,用严密的数学方法,定量地计算达到最优化,这是在计算机普遍应用以后才可能达到的。

在机械设计中,往往要满足一系列要求,诸如承载能力要求、重量要求、体积要求、经济性要求等,此外在设计中还有一系列限制条件。在传统设计时,往往是针对上述一个方面的要求进行设计计算,然后对其它方面进行验算或设计考虑,但是缺乏严密的、科学的方法。优化设计则提供了一个科学地、综合地解决这些要求和限制的方法。

机械优化设计就是在满足各种约束条件下,使机械的结构参数或性能参数获得最优解。

研究优化设计的数学方法称为优化方法,或称数学规划法。机械零件的优化设计问题几乎都是多变量函数的有约束的非线性规划问题。

在对具体机械零件进行优化设计时,最关键的是要正确确定设计变量,合理选定目标函数,无遗漏地判定约束条件,然后引用合适的数学规划法求解。

四、计算机辅助设计(CAD)

计算机辅助设计是从 50 年代开始形成的一门新技术。80 年代以来,高性能、低价格的微型计算机大量普及,特别是功能强的图形输入输出设备问世,使 CAD 技术迅速发展并普及。

CAD 的主要工作是结合设计工作的需要,建立工程数据库,其中包括产品设计数据库、多功能交互式图形库、应用程序库等。工程技术人员在工程数据库的支持下,运用计算机进行产品设计与开发工作。