

机械零件学习指南 与课程设计

张绍甫 徐锦康 魏传儒 主编



机械工业出版社

机械零件学习指南与课程设计

主编 张绍甫 徐锦康 魏传儒

主审 张惠先



机械工业出版社

本书是根据1990年国家教委审订的“高等学校工程专科机械零件课程教学基本要求”编写的。全书分“机械零件学习指南”、“机械零件课程设计指导书”、“参考图例及设计题目”和“机械设计常用标准和规范”四篇。

本书突出了高等学校工程专科的特点，精选了内容，便于教学和课程设计使用，并采用了最新的国家标准。

本书主要作为《机械零件》(张绍甫、徐锦康主编)的配套教材，也可供使用其他版本《机械零件》或《机械设计》教材的高等工科院校学生参考与使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械零件学习指南与课程设计/张绍甫等主编. —北京:机械工业出版社,
1996.3
ISBN 7-111-04831-8

I. 机… II. 张… III. ①机械元件-学习参考资料②机械元件-课程设计
IV. TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第12252号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑:王世刚 版式设计:冉晓华 责任校对:肖新民
封面设计:方 芬 责任印制:王国光

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1996年3月第1版 第1次印刷

787mm×1092mm¹/16·22.5印张·549千字

0 001—7 000册

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

本书是在全国高等工程专科学校机械制造专业协会机械设计课程组组织下,根据1990年国家教委审订的“高等学校工程专科机械零件课程教学基本要求”编写的,主要作为张绍甫、徐锦康主编的普通高等工程专科教育机电类规划教材《机械零件》的配套教材,也可供使用其他版本《机械零件》或《机械设计》教材的高等工科院校学生参考与使用。

本书分“机械零件学习指南”、“机械零件课程设计指导书”、“参考图例及设计题目”和“机械设计常用标准和规范”四篇。编写中力求精选内容,尽量做到便于教学和课程设计,突出工程专科应用性特色。

“学习指南”部分主要是指导读者如何学习《机械零件》各章的内容,帮助读者解决学习过程中可能产生的疑难问题,以便能较深入地了解和掌握各章的主要内容、重点、难点、学习要求及相应的学习方法,从而取得更好的学习效果,以利于学生设计能力的培养。

后三篇是为学生平时做机械设计习题、大型作业和进行课程设计而编写的。在设计指导书中,注意了启发引导和发挥学生的主动性。除了对有关题目的设计步骤进行指导外,还加强了对结构设计的分析和比较,如学生易出错的结构设计,书中列出了正、误对比图等。本书备有“设计题目及参考图例”,供选用或参考。书中以较少的篇幅包括本课程常用的标准、数据和资料,用以满足一般课程设计题目和教学的需要。

参加本书编写的有郑州工业高等专科学校张绍甫(第十六、二十三章)、李铁成(第二十章)、南京机械高等专科学校徐锦康(第三~十一、十九章)、张一雄(第十二、十三章),扬州大学工学院魏传儒(第一、二章),湘潭机电高等专科学校周跃红(第十八章)、李田(第九章),华北航天工业学院曹白相(第十四、十五章),洛阳工业高等专科学校吉继贤和哈尔滨工业高等专科学校张春宜(第十七章),承德石油高等专科学校王冶(第二十一章),上海石油化工高等专科学校陈琴珠(第二十二章)。全书由张绍甫、徐锦康、魏传儒主编,华北航天工业学院张惠先副教授主审。

限于编者水平,书中误漏不当之处,欢迎读者批评指正。

编 者

1995年6月

目 录

第一篇 机械零件学习指南	
第一章 关于机械零件课程的说明和教材的概述	1
一、机械零件课程在专业教学计划中的地位和作用	1
二、机械零件课程的性质与任务	1
三、机械零件教材的特点	1
四、机械零件课程的教学环节与学习方法	3
五、教材的绪论	3
六、机械零件设计概述	5
第二章 机械传动	11
一、带传动	11
二、链传动	15
三、齿轮传动	18
四、蜗杆传动	27
第三章 轴系零部件	32
一、滚动轴承	32
二、滑动轴承	38
三、轴和轴毂联接	42
四、联轴器、离合器与制动器	46
第四章 螺纹联接与弹簧	48
一、螺纹联接和螺旋传动	48
二、弹簧	53
第五章 机械设计实例与计算机辅助设计	57
一、机械传动装置和机械设计实例分析	57
二、机械零件的计算机辅助设计	58
第二篇 机械零件课程设计指导书	
第六章 概述	59
一、机械零件课程设计的目的	59
二、机械零件课程设计的内容	59
三、机械零件课程设计的步骤	60

四、课程设计中应注意的问题	60
第七章 传动装置的总体设计	62
一、确定传动方案	62
二、选择电动机	66
三、计算总传动比和分配各级传动比	67
四、计算传动装置的运动和动力参数	68
第八章 传动零件的设计计算	73
一、减速器外传动零件设计计算应注意的问题	73
二、减速器内传动零件设计计算应注意的问题	73
三、选择联轴器的类型	74
第九章 减速器装配工作图的设计	75
一、装配工作图设计的准备	76
二、初步绘制装配底图	80
三、轴、轴承和键联接的校核计算	84
四、设计和绘制减速器的轴系结构	85
五、设计和绘制箱体及附件的结构	91
六、装配底图的检查	105
七、完成装配工作图	107
第十章 减速器零件工作图设计	111
一、概述	111
二、轴类零件工作图设计要点	112
三、齿轮类零件工作图设计要点	114
四、机体类零件工作图设计要点	114
第十一章 编写计算说明书和准备答辩	117
一、编写计算说明书	117
二、准备答辩	118

第三篇 参考图例和设计题目

第十二章 参考图例	121
第十三章 设计题目	149
一、带式运输机传动装置设计	149
二、慢动卷扬机传动装置设计	150
三、混砂机传动装置设计	151

四、热处理装料机传动装置设计	151
五、推力机传动装置设计	152
六、变速传动装置设计	153

第四篇 机械设计常用标准和规范

第十四章 标准代号、常用数据和一般标准

一、标准代号	155
二、常用数据	156
三、一般标准	160

第十五章 材料

一、黑色金属材料	177
二、型钢及型材	183
三、有色金属材料	189
四、工程塑料	190

第十六章 公差配合、形位公差与表面粗糙度

一、公差与配合 (GB1800、1801、1804—79)	191
二、形状和位置公差	207
三、表面粗糙度	214

第十七章 齿轮传动和蜗杆传动公差

一、渐开线圆柱齿轮精度 (GB10095—88)	219
二、锥齿轮和准双曲面齿轮精度 (GB 11365—89)	237
三、圆柱蜗杆、蜗轮精度 (GB10089—88)	250

第十八章 常用的轮毅联接 (键联接、销联接) 和轴系零件的紧固件

一、键联接	260
二、销联接	265

三、挡圈	267
四、圆螺母与止动垫圈	271
五、轴上固定螺钉用的孔及圆柱形轴伸	273

第十九章 滚动轴承

一、常用滚动轴承	274
二、滚动轴承的配合 (GB275—84)	292
三、角接触球轴承、圆锥滚子轴承和推力球轴承的轴向游隙	295

第二十章 润滑与密封

一、润滑剂	296
二、润滑装置	299
三、密封件	303

第二十一章 联轴器和离合器

一、联轴器轴孔和键槽形式	307
二、联轴器	308
三、离合器	318

第二十二章 螺纹联接和螺纹零件结构要素

一、螺纹	319
二、螺栓、螺柱、螺钉	323
三、螺母	334
四、垫圈	336
五、螺纹零件的结构要素	338

第二十三章 电动机

一、Y系列IP44三相异步电动机 (ZBK 22007—88)	341
二、YZR、YZ系列冶金及起重用三相异步电动机 (ZBK26008—89、ZBK 26007—89)	346
三、JZT系列电磁调速异步电动机	350
四、滑轨	351

参考文献

参考文献	352
------------	-----

第一篇 机械零件学习指南

第一章 关于机械零件课程的 说明和教材[⊙]的概述

一、机械零件课程在专业教学计划中的地位和作用

机械零件课程是机械类专业的设计性主干课程，在教学计划中也是最后的一门技术基础课，它对机械类专业技术人才的培养是至关重要的。通过本课程的学习，可使学生综合应用多门先修课程（机械制图、理论力学、材料力学、金属工艺学、工程材料、机械原理、公差配合与技术测量等）所学的基础理论和技术知识，联系生产实际和机器的具体工作条件，去设计通用零、部件和简单的机械，为学生进一步学习专业课程和今后从事机械技术工作打下基础。因此，本课程具有从理论性课程过渡到结合工程实际的设计性课程，从基础课程过渡到专业课程的承前启后的桥梁作用。另一方面，由于本课程是专门论述通用机械零、部件选用和设计方面的基本知识、基本理论和基本方法的，这些又都是一般机械工程技术人员的必备的基础。因此，机械类专业的学生对本课程应给予高度的重视。

二、机械零件课程的性质与任务

机械零件是以通用机械设计为“轮廓”，并以一般通用零、部件设计为“实体”的设计性课程，而且是论述它们的基本设计理论与方法的技术基础课程。

本课程的主要任务是培养学生：

（1）掌握通用机械零、部件的设计方法，了解机械设计的一般规律，具备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）初步树立工程观点和正确的设计思想，了解国家当前的有关技术经济政策。

（4）获得实验技能的基本训练。

三、机械零件教材的特点

1. 教材论述机械零、部件时的一般顺序及目的

《机械零件》中的前两章是综合论述本课程的主要内容、性质、任务及一般机械设计的共性问题。以后各章是分述常用的通用机械零部件。最后两章是总结、应用、提高机械设计能力的内容。

分章论述通用零、部件时，其内容的一般顺序是：首先介绍零、部件的主要类型、构造、功能、材料、标准、制法、优缺点、适用场合等基本知识、为学习设计准备条件。然后论述其工作原理、受力分析、应力状态、失效形式、设计准则、设计理论和方法、参数选择原则、结构设计、润滑和维护、常用参考资料以及有关的注意事项等，以便初步掌握零、部件

⊙ 指本书的配套教材，下同。

的设计理论与方法。最后给出设计例题(包括典型的零件工作图),以便引向设计实践。每章之后附若干习题,以便运用所学的有关知识、设计理论、设计方法及参考资料,进行初步的设计锻炼,从而加深与巩固所学的知识和技能,进一步开发智力,提高设计能力。同时也为课程设计和简单机械的设计,准备了必要的条件。

2. 教材内容的繁杂性及其对策

本课程由于研究对象和性质上的特点,决定了教材内容本身的繁杂性。主要表现在“关系多、门类多、要求多、公式多、图形多、表格多”。形成上述“六多”的主要原因是:

(1) 关系多 由于本课程是建立在多门先修课程的基础之上的,因而必然和那些先修课程内容紧密联系,才能综合地运用它们来为机械设计服务。这就形成了“关系多”的特点。因此在学习过程中,要经常回顾、及时复习和深化先修课程的有关内容,清除学习道路上的障碍,提高学习效率和质量。

(2) 门类多 由于本课程所研究的通用零、部件类型多,而且各种零件本身又有很多类型,故形成了“门类多”的特点。为此,学习时绝对不应把一个个的零件孤立起来,否则就会产生零碎杂乱的感觉。应从各种零件的工作性能和适用场合等方面多作比较,从它们在机器中的职能、相互影响、装配关系等方面多作分析,找出各零件的关联;要从设计理论和方法上找出各章之间的共性和特性,认真分析其内在的联系;特别要从中总结出某些规律,这样就不会感到课程内容零碎杂乱了。

(3) 要求多 由于设计一个零件时,可能除了需要满足强度、刚度、耐久性、工艺性、体积、重量、经济、安全、方便、美观等一系列一般要求外,有时还要满足绝缘、抗磁、耐酸、防锈等特殊要求,这就形成了“要求多”的特点。因此,学习时必须善于全面分析、权衡轻重,区别对待。即对具体的零、部件应用具体问题具体分析的方法来处理问题。

(4) 公式多 本课程是设计性课程,其设计又包括多方面的内容,通常主要是工作能力设计和结构设计。工作能力设计一般需进行计算(如强度、刚度、寿命、热平衡等的计算),这就形成了“公式多”的特点。另外,教材中的公式,有解析性的、经验性的、半经验性的、定义性的等,其中有些是从先修课程中引用的,有些则是新遇到的,还有的是只要求会用而不要求懂得其理论根据和推导方法的(如零件曲面接触应力计算公式是引自弹性力学)。因此,学习时要搞清公式的性质、使用的条件、符号意义及代入单位、计算结果的单位等,然后才能正确应用它们。尽管公式很多,但大多数公式只要求能正确使用而不必硬记,仅需记住一些定义性的公式(如蜗杆直径系数 $q = d_1/m$ 等)。

(5) 图形多 由于本课程很多内容只有用图形才能表达清楚,必然形成“图形多”的特点。因此,学习时应把所有的插图一一看懂,并分清哪些是分析图,哪些是结构图,哪些是示意图,哪些是定性的,哪些是定量的,哪些图(曲线图)相当于表格等等。这样虽然图形很多,也就不难对付了。特别是对于结构图和零件工作图要多加分析,以提高其结构设计能力。

(6) 表格多 设计性的教材为了阐明问题和作简单的设计训练,就必需配备一些最基本的资料(其余的可查阅手册、图册、标准、规范等),所以形成了“表格多”的特点。对于表格要搞清其适用场合及如何查用,并应注意表格下方的“表注”,以免造成查用上的错误。

综上“六多”的特点,只要认真采取相应的对策,就能变成“为我所用”。重要的是找

出各零件间的共性和特性,明确相应的设计规律,才能使之灵活地分析问题和解决设计问题。

四、机械零件课程的教学环节与学习方法

本课程的教学环节除了讲课外,还有习题课、讨论课、实验课、现场教学、答疑、设计作业及课程设计等。虽然学习教材内容是一个重要方面,但它远非本课程的全部。所以学习本课程时必须明确,书本知识固属重要,但在工程实际中,很少是单靠运用书本知识就能正确解决问题的,而还需要掌握一定的经验资料和具备较强的工程判断能力。因为实际的机械设计问题几乎都不会只有一个答案的,新理论、新技术、新材料、新工艺及新的市场信息等,都将影响设计结果。所以一定要善于全面分析,综合协调,灵活处理,并富有想象力、探索精神和创新的勇气,从而对各式各样的设计问题作出机敏的工程判断。而这些能力是要靠一系列课程的各个教学环节和工厂实习来综合培养的。本课程应该负担培养的部分,是通过全部教学环节来实现的,因此不能只注重讲课而忽视其它教学环节。否则就会缺乏实践能力和设计素养,达不到本课程的学习要求。

机械零件课程的学习方法,不仅与过去学习理论基础课时有根本的差别,而且与学习其它技术基础课也大不相同。问题在于本课程所起的作用是“从理论课程过渡到结合工程实际的设计性课程,从基础课程过渡到专业课程”,因此必须认清这个“过渡”对学习方法提出的特殊要求,使学习方法有一个明显的“转折”。这一“转折”的关键在于是否真正搞清了该课程的性质。机械零件课程是一门实践性很强的设计性课程,除了努力学好各个教学环节的内容外,还要积极主动地联系实际,多观察和分析各种机械设备,多做练习和设计,以便掌握各种基本方法,切实提高自已的设计能力和实践能力。学习时要注意把精力用于钻研零件的结构、选材、制法、标准、规范、使用场合、工作情况、受力及应力状态、失效形式及其原因、设计准则、参数选择、设计方法与步骤,以及可能出现的问题和相应的对策上,而对公式的推导、经验数据的取得、某些曲线的来历等,只须作一般的了解,不必反复钻研,以免偏离重点。

最后,还要特别指明两点:一是必须明确,设计决非仅是计算,计算只是为结构设计提供一个基础。机械设计时,零、部件和机器的最后尺寸和形状,通常都是由结构设计取定的,计算所得的数字,最后往往会被结构设计所修改。结构设计在设计工作量中一般占较大的比重,因而必须给予足够的重视。二是必须认清,教材中给出的例题或一个零件的设计结果,仅为表明如何运用基础知识和经验资料去解决一个实际问题的范例,而不是唯一正确的答案或一切设计方法的终结;论述某个零件的设计方法和步骤,也决非仅仅为了使学生学会那个零件的设计,而是为了培养学生掌握这些“武器”,从而具备对于各种有关零件的设计能力。所以全力追索不断增殖的设计能力,才是学习本课程的中心目的。

五、教材的绪论

(一) 基本要求

(1) 了解本课程的研究对象、内容、地位、作用和任务; (2) 了解机械设计的基本原则和一般程序; (3) 了解机械设计的新发展。

(二) 主要内容的分析和讨论

1. 主要内容和特点

绪论的主要内容是:机器的作用,机器的组成部分及基本要素(机械零件);零件的概

括分类；零件（局部）与机器（总体）的关系；本课程的内容、性质与任务；机械设计的基本原则、一般程序和主要内容；机械设计的新发展。

绪论一章的特点是：它既是本课程的序幕，又是本课程的总纲。因此它的内容要贯穿课程的始末，并涉及本课程的前后。所以学好本章对于了解本课程及作好学习本课程的思想准备等，是至关重要的。

2. 本章重点

一是机器的组成（主体及基本组成要素）、机械零件的分类、机械零件和机器的关系、机械设计的一般过程和主要内容；二是本课程的内容、性质与任务。

3. 几个问题的说明与补充

（1）学习绪论是要对课程有一个全面的初步认识，搞清“为什么学？”、“学什么？”和“如何学？”这三大问题，并树立起学好本课程的决心和信心。

（2）机器的组成 绪论中概括地介绍了一部简单机器的组成情况。但要明确，不管是机器的基本组成部分，还是其余部分，都含有由机械零、部件构成的机械系统。即使在现今高科技时代高水平的机电一体化的机器，其任何部分，包括控制系统在内，也都离不开机械。

（3）机械设计的基本原则 本节是为了能从其中引出对零件的基本要求而设的。对机器的要求在很大程度上是要靠零件满足设计要求来保证的。

机械设计除应满足在预定期限内实现预定的功能，并保证安全性、可靠性和经济性之外，还应使零件标准化、部件通用化和产品系列化（简称“三化”），它既是我国现行的重要的技术经济政策，又是评定设计质量的重要指标，因此要给予足够的重视。随着科学技术的发展，标准也愈来愈多，例如渐开线圆柱齿轮常用的标准有：渐开线圆柱齿轮的基本齿廓（GB1356—88）、渐开线圆柱齿轮模数（GB1357—87）、齿轮几何要素代号（GB2821—81）、齿轮基本术语（GB3374—82）、渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法（GB3480—83）、通用机械渐开线圆柱齿轮承载能力简化计算方法（GB10063—88）、渐开线圆柱齿轮图样上应注明的尺寸数据（GB6443—86）、渐开线圆柱齿轮精度（GB10095—88）等等，设计渐开线圆柱齿轮时必须使用上述标准。由此可知，设计过程也是贯彻标准的过程，所以要熟悉现有的各种设计标准。

还须指出：通常可以把各种标准分成两大类。一类是要严格遵守的，例如螺纹尺寸标准、齿轮模数标准等；另一类在使用中是可以灵活处理的，例如直径标准，长度标准等。

（4）关于零件的可靠性 机械的可靠性取决于其组成零件的可靠性。零件的可靠性可以从不同的失效模型研究，得到不同的可靠度规律。必须明确，随着工作时间的延长，零件的可靠度 R 总是降低的，即可靠度总是时间的函数。因此，说到可靠度就必须同时指明工作寿命。所以两个零件的可靠度只有在同一寿命下才是可比的。

（5）机械设计的一般程序（图1-1） 机械的设计程序已成为一门新的专业课程——设计方法学的重点内容之一。教材中对机械设计程序仅作一简略的介绍，其目的除了使学生对

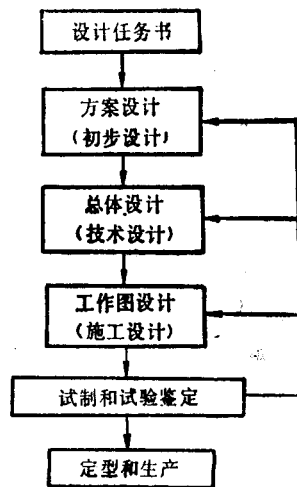


图1-1 机械设计的一般程序

机械设计过程有一个总体概念外, 还在于着重说明零、部件设计在整部机械设计中所占的地位及其重要性。机械零件课程主要服务于机械设计程序中的总体设计(技术设计)和工作图设计(施工设计)阶段。

(6) 机械设计的新发展 由于科学技术的迅猛发展, 机械设计也有了巨大的发展, 它涉及的内容甚多, 教材中仅简要的介绍了几种现代设计方法。但要明确, 每一种现代设计方法, 其本身就是一个独立的学科, 不可能全面深究其详。其中的计算机辅助设计, 目前已经发展到了相当方便的程度, 也是本程在实际应用中的一个重要方面。为此, 首先应学会使用计算机对设计工作中的计算部分进行电算, 进而能自己编制程序, 上机运算, 使计算机辅助设计能力得以提高。

(三) 复习思考题和补充习题

(1) 机器在经济建设中能起到什么重要作用?

(2) 为什么说机械零件是组成机器的基本要素? 根据什么原则把机械零件划分为通用零件和专用零件? 什么叫做一般尺寸和参数的通用零件?

(3) 试选定一台简单的机器(如台钻、搅拌机、牛头刨床等), 分析它由哪个部分接受外界输入的能源? 怎样传递机器的动力和运动? 经过了哪些机构? 各个机构又由哪些零件组成? 哪个部分用来具体完成机器的生产职能?

(4) 将上述选定并分析的机器, 进一步分清其中哪些是联接部分? 哪些是传动部分? 哪些是轴系部分? 各用到哪些零件? 另外还用哪些其他零件?

(5) 本课程的性质与任务是什么? 与前面学过的几门技术基础课程相比, 本课程有什么特点? 应采取怎样的学习方法?

(6) 设计机器时应满足哪些基本原则? 试选定一台机器, 分析设计时应满足的基本原则。

(7) 现代机械设计发展的主要动向是什么? 目前新的设计方法主要有哪些?

(8) 一批滚动轴承, 抽查40个, 当循环次数为 10^6 次时, 发现7个已发生点蚀失效, 试问可靠度为多少?

六、机械零件设计概述

(一) 基本要求

(1) 熟悉和掌握的内容: 1) 建立机械零件的工作能力和计算准则的概念; 2) 熟悉并掌握机械零件的整体强度和表面强度、静强度和疲劳强度、单向应力和复杂应力状态下的强度表达式。

(2) 一般了解的内容: 1) 机械零件的设计方法和一般步骤; 2) 机械零件的失效形式; 3) 机械零件常用材料及选用原则; 4) 机械零件的结构工艺性; 5) 摩擦、磨损和润滑的基本知识。

(二) 主要内容的分析和讨论

1. 主要内容及特点

机械零件设计概论一章共八节, 其内容大体上可分为四个部分(很多教材上对此部分内容分为三章或四章来阐述): 1) 机械零件的失效形式、设计准则、设计方法和设计的一般步骤; 2) 机械零件的各种强度计算; 3) 机械零件的常用材料与结构工艺性(结构设计); 4) 摩擦、磨损及润滑。

本章把各种零件设计的共性问题集中到一起, 略去零件的具体内容, 而突出阐述零件设计的基本理论和方法, 使读者对零件设计有一个全面的概括的理解。零件设计的共性问题在

以后各章的学习过程中还要具体化,因而还会不断的加深理解。

2. 重点和难点

重点: 机械零件的设计准则和强度计算。

难点: 机械零件的疲劳强度计算。

3. 几个问题的说明与补充

(1) 机械零件的失效形式和设计准则 本节介绍的仅为零件失效形式的主要类型,是从完成零件功能的观点来定义失效的,并不涉及社会经济分析问题。事实上,随着科学技术的进步,有时有些机械零、部件甚至整部机器虽然没有出现教材中所列举的任何一种失效形式,但由于它们已不能适应技术发展的需要,而必须予以淘汰或报废。从广义上讲,这也是一种失效形式。

根据对零件失效分析的结果,以防止各种可能的失效为目的,制定的计算该零件工作能力应依据的基本原则,称为设计准则。因此,可以认为机械零件的设计准则是从理论设计方面,为防止失效而采取的措施。

强度、刚度、寿命及振动稳定性各准则,与先修的力学课程密切相关,比较容易理解。对于强度,要明确它既与零件的断裂有关,又与零件不允许的残余变形有关,这和以后选择零件材料的极限应力有密切联系。对于刚度,要明确它涉及到的是零件的弹性变形,不能把它和残余变形相混淆。对于寿命,要注意主要制约寿命的因素是疲劳、腐蚀和磨损。工艺性和经济性准则,与零件的结构设计和材料选择等密切相关。

(2) 机械零件的设计方法和设计的一般步骤 本节是从设计方法的类别来讨论设计方法的,而不是各种设计方法的具体细节内容。不同零件的设计方法有不同的表现形式,这在以后各种零件设计的有关章节中再行讨论。

必须指出:机械零件常规的(传统的)设计方法有理论设计、经验设计和实验设计等,一般应有机地结合进行。现代的设计方法有优化设计、有限元法分析、可靠性设计和计算机辅助设计等。读者不要误解,以为有了现代设计方法,常规的设计方法就是过时了或不需要了。要知道,现代设计方法是在新的设计思想和有了现代设计技术物质手段的条件下,由常规设计方法发展而来的,所以现代设计方法本身是离不开常规设计方法的。现代设计方法用以弥补常规设计方法的不足,但并不能完全取代常规设计方法。因此,读者要摆正两类设计方法间的关系,并立足于学好常规的设计方法。

再者,同学们一般重视常规设计中的理论设计方法,而忽视经验设计方法。所谓经验,总是随着社会的不断发展而不断积累得来的,但它并不总是陈旧的、过时的东西。相反,它恰恰是在理论还不成熟时,用来解决各种问题的一种可靠的方法。所以经验设计是行之有效的设计方法,不容忽视。

模型实验设计是在理论设计知识还不完备,原有的经验又不足以解决设计问题时,人们获取新经验和发展新理论的一种设计方法。

关于机械设计的一般步骤,本节只勾划出一个轮廓。在实际运用时,由于掌握的已知条件的多寡不同,它会有很大的灵活性。例如,有时可先作结构设计,然后根据设计准则进行必要的验算。有时还可能要反复地进行若干步骤的工作。

(3) 机械零件所受的载荷和应力 强度准则是零件设计最根本的准则。要进行强度计算,必须首先弄清楚零件上作用的载荷和应力。

设计时,常把载荷分为工作载荷、名义载荷(又称额定载荷)和计算载荷。工作载荷是指机器正常工作时所受的实际载荷,它一般是由机器的工作阻力计算而得。名义载荷是按照原动机的额定功率,用力学公式计算求出的载荷。设计机器时,为了保证机器的预定功能,必须使所选原动机的额定功率等于或大于机器所需的实际功率,而原动机的额定功率一般又是离散的系列值(如Y系列的三相交流异步电动机的额定功率有1.5, 2.2, 3, 4, 5.5, 7, kW……),所以机器上使用的原动机功率一般较大,故零件上的名义载荷比实际载荷大。例如,设计一台 x t的起重机,若按 x t计算起重机原动机所需的功率为6.2kW,于是就得选择7.5kW的电动机作为该起重机的原动机。在此条件下,按工作阻力计算吊钩的工作载荷当然等于 x t,但按原动机功率来计算,得到的名义载荷为 $x \frac{7.5}{6.2} = 1.2x$ t。名义

载荷是机器在稳定工作条件下作用在零件上的载荷,它未反映机器工作时零件所受到的动载荷和载荷分布不均匀等情况的影响,因此常用载荷系数 K 来综合考虑这些因素的影响,把载荷系数与名义载荷的乘积称为计算载荷。显然,载荷系数一般大于或等于1。

机械零件的应力可分为静应力和变应力两类,静应力是大小和方向不随时间变化或变化缓慢的应力;变应力是大小和方向随时间变化的应力。变应力又可分为稳定循环变应力、不稳定循环变应力和随机应力。对于稳定循环变应力,当应力循环特性 $r = 0$ 时,称为脉动循环变应力;当 $r = -1$ 时,称为对称循环变应力;当 r 为其它值(除1、0、-1外)时,均称为非对称循环变应力。绝大多数机械零件都是在变应力状态下工作的,关键是弄清其应力状况,才可以应用相应的公式进行强度计算。

(4) 静应力下机械零件的静强度计算 在静应力下工作的机械零件,其主要失效形式是断裂或塑性变形。因此,在机械零件设计中,最基本的计算是静强度计算。对于不太重要的零件,为了简化,也只作静强度计算。但在计算中要考虑变应力的影响,而采用较大的安全系数或较低的许用应力。

这部分内容与材料力学课程中有关内容重复,因此所占篇幅很小,但这些内容很重要。建议读者很好地复习《材料力学》教材中有关强度理论的内容。本课程要求读者熟练地掌握平面应力状态下强度理论的概念和公式,并在有关的强度计算中正确地使用。

(5) 稳定变应力下机械零件的疲劳强度计算 这是本章的重点内容,也是难点。在变应力作用下经过较长时间工作的零件,其主要失效形式是疲劳破坏。实践证明,疲劳破坏不仅与变应力的循环次数 N 有关,而且与应力变化程度(即应力循环特性 r)有关。要进行疲劳强度计算,就必须知道在不同 r 、 N 变应力作用下材料的极限应力 $\sigma_{r,N}$,但无法从手册中直接查到,因为手册中所给出的每一种材料的极限应力都是对应于某一特定应力循环次数和循环特性的,例如45钢 $\sigma_{-1} = 300$ MPa,这里的 σ_{-1} 就是 $\sigma_{r=-1, N_0=10^7}$ 的简写。因此,在零件疲劳强度计算时,必须将由手册中查到的 σ_{-1} 值按一定的关系换算成该零件具体 r 、 N 时的极限应力值。讨论疲劳曲线和疲劳极限应力图就是解决这种换算关系的。

(1) 疲劳曲线($\sigma_{r,N}$ 与 N 的关系)及其方程 教材图2-3横坐标上有一 N_0 值,称为循环基数。对应于 N_0 的 $\sigma_{r,N}$ 叫材料的疲劳极限,用 σ_r 表示(对称循环时用 σ_{-1} 表示)。显然, N_0 是个转折点,当 $N \leq N_0$ 时,极限应力 $\sigma_{r,N}$ 随 N 的减小而增大,从0到 N_0 的范围称为有限寿命区;当 $N > N_0$, $\sigma_{r,N}$ 不再降低,始终等于疲劳极限 σ_r ,所以当工作应力 σ 低于 σ_r 时,理论上可以认为材料永久不会疲劳破坏,故称为无限寿命区。

在材料力学中,对一般低碳钢取 $N_0 = 10^7$,但在机械零件计算中, N_0 是随着材料和应力类型不同而不同的,具体数值见有关章节。

有限寿命区($N \leq N_0$)的疲劳方程为 $\sigma_{r,N} \cdot N = C$ 。该式是专门讨论疲劳强度文献中形式最简单、参数最少、又能满足工程计算要求,并且使用最为方便的公式,因此在设计中应用最广泛。由疲劳方程可导出,工作应力循环次数 N 时材料的极限应力的计算公式为

$$\sigma_{r,N} = \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \sigma_r = K_N \sigma_r$$

由公式可知,当 $N < N_0$ 时, $K_N > 1$,即有限寿命时的极限应力 $\sigma_{r,N}$ 是疲劳极限 σ_r 的 K_N 倍,所以当零件的工作期限较短时,按有限寿命设计可减小零件的尺寸和重量;当 $N \geq N_0$ 时, $K_N = 1$ (不管应力循环次数 N 是多少),按无限寿命计算。

2) 疲劳极限应力图($\sigma_{r,N}$ 与 r 的关系) 对于同一种材料,在不同的循环特性下有不同的疲劳极限。教材图2-5中 ABC 曲线,是用光滑的(无应力集中源的)、标准尺寸的试件通过试验得到的极限应力曲线。为便于计算,用 $\widehat{AB}$ 近似地替 AB ;对于塑性材料承受静应力时,其极限应力为屈服极限 σ_s ,故可用 $\overline{MF}$ 来表示其极限应力线(注意 $\overline{MF}$ 上任一点所代表的极限应力均为 $\sigma_{max} = \sigma_s + \sigma_m = \sigma_s$);再将 $\widehat{AB}$ 延长,与 $\overline{EF}$ 交于 M 。经过这样的简化,就得到了 ABM 和 MF 两条分别对应于变应力及静应力情况下的极限应力线。这就是教材图2-5所示的材料的简化极限应力线图。

首先要明确的是:在一个已知的工作应力点(σ_m, σ_s)条件下,由于零件应力变化规律的不同,可以求出对应于此工作应力点的无数个极限应力,即极限应力曲线上任何一个点所代表的极限应力都有可能作为该工作应力的极限应力。我们讨论的仅是 $r = C$ 情况下的极限应力计算方法,对于其它情况下极限应力的求法不予研究。

其次,零件在任一种应力变化规律下,都有可能出现静应力破坏或疲劳破坏的情况。到底易发生哪种破坏,取决于应力变化曲线首先和极限应力曲线的哪一段相交。如首先和 AM 部分相交,说明零件将会首先发生疲劳破坏;如和 MF 部分相交,则首先发生静应力破坏。由此导出不同的强度校核公式。

3) 零件的疲劳极限 由疲劳曲线、极限应力线图和相应公式算出的极限应力是试件(无应力集中源)材料的极限应力,但零件的应力集中程度、剖面尺寸及表面质量均与试件有一定的差异,且这些因素对疲劳极限影响较大,所以还必须将上述因素的影响计入,计算出零件的疲劳极限。通常是用应力集中系数 k_σ 、绝对尺寸系数 ϵ_σ 和表面质量系数 β_σ (各系数的数值见教材第九章附录)等计入零件的许用应力或安全系数中。

4) 等效系数(敏感系数) ψ_σ ($\psi_\sigma = \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_s}$) ψ_σ 的含义就相当于某种材料能把所承受的

弯曲平均应力折合成等效的弯曲应力幅的一种特性,亦即弯曲应力的平均应力部分被它乘了之后,就具有弯曲应力的应力幅同等的损伤作用了。这个等效转化可用图1-2来说明。由图可见,图a中的单向不对称循环变应力,可以分解为图b所示的对称循环变应力和图c所示的平均应力。图c的平均应力又可等效转化为图d所示的对称循环变应力,最后便可将图b与图d合成图e中的对称循环变应力了。因此,这个应力的转化过程也可以叫做不对称循环变应力的等效对称化。等效转化就是把 $\sigma_m \neq 0$ 、 $\sigma_s \neq 0$ 的工作应力,转化成在强度上具有等效影响的对称循环变应力。注意,上述分析是以应力循环特性不变的工作情况为前提的。

顺便指出,对于承受近似的规律性不稳定变应力的零件,如专用机床主轴和高炉上料机构的零件等,则应根据疲劳损伤累积假说进行计算。对此有兴趣的读者,可阅读有关的教材和文献。

以上讨论的是单向稳定变应力时机械零件的疲劳强度计算,它是疲劳强度计算的基础,一定要学好此部分的内容。

(6) 机械零件的接触强度 接触强度计算与所有其他条件下的强度计算一样,也包括接触应力的计算、极限应力与许用应力的确定、强度条件的校核三部分。接触应力的分析必须借助于弹性力学的方法,读者还不具备此方面的知识,

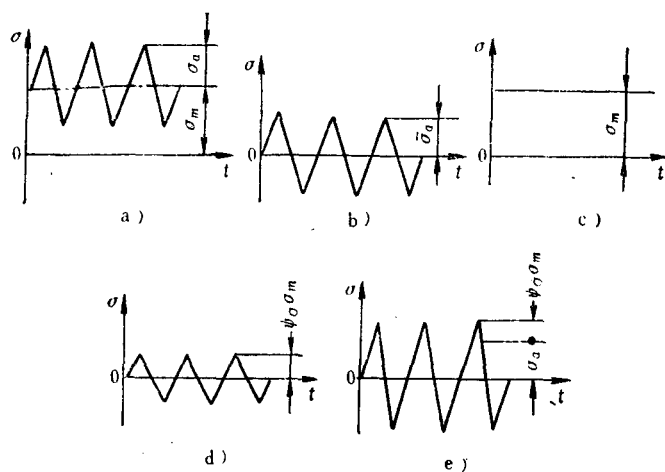


图1-2 不对称循环变应力的等效转化(对称化)

因此对接触应力公式不必深究,只要会使用就可以了。极限应力和许用应力的确定,是先根据试验数据来确定接触疲劳极限,然后再根据使用经验确定安全系数,从而计算出许用应力。应当特别指出,用试验方法来接触疲劳极限时,由于试验条件的不同(纯滚动及滚动带滑动两种情况),同样材料在这两种条件下,得到的接触疲劳极限值差别较大。

(7) 机械零件常用材料及选用原则 零件常用材料有碳素结构钢、合金结构钢、铸铁、铝合金、铜合金和塑料、橡胶等非金属材料,其中钢和铸铁应用最多,以后各章中还将对各种零件的常用材料作具体的介绍。选用材料的前提是对材料性能的全面了解。选用材料的原则是零件的使用要求、零件和材料的工艺性、经济性。选用材料的基本方法是参照已有的成功的使用经验。

(8) 机械零件的结构设计 良好的结构工艺性是指零件便于加工、便于装配、费用低等,其基本原则为

- 1) 毛坯选择合理,一般取决于生产批量、生产条件和材料性质。
- 2) 零件结构力求简单,尽量减少加工面、加工量和装夹次数,并便于装拆和维修。
- 3) 在满足使用要求的前提下,尽量降低精度要求,尽量采用标准件等。

(9) 摩擦、磨损及润滑概述 为了使读者对摩擦学有一个概括的了解,因而本节包含的内容比较多。明确摩擦是引起能量消耗的主要原因,磨损是造成零件失效和材料损耗的主要原因,而润滑是减小摩擦和磨损的最有效的手段。随着科学技术的发展,材料和能源的节约日益重要,因此形成了一门新兴的科学——摩擦学,它是研究相对运动中相互作用着的表面的科学和技术。

扼要的了解干摩擦、边界摩擦、混合摩擦、液体摩擦的机理与物理特征以及影响因素。在图2-12中,区分摩擦状态用到膜厚比 λ , $\lambda = h_{min}/R_{z2}$ (h_{min} 为两粗糙面间的最小公称油膜厚度,单位为 μm ; R_{z2} 为两粗糙面的综合粗糙度,单位为 μm)。这是一个主要用于定性,且可粗略用来定量的公式,既可供设计时确定摩擦状态的参考,又可用以评定表面粗糙度与

油膜分担载荷的情况。如当 $A < 1$ 时为边界摩擦, 载荷完全由粗糙度承担; 当 $1 \leq A \leq 5$ 时为混合摩擦, 随着 A 值的增大, 油膜承担载荷的比例也在增加; 当 $A > 5$ 为液体摩擦, 载荷完全由油膜承担。所以, 设计时摩擦副应以维持边界摩擦和混合摩擦为最低要求。流体摩擦是理想的摩擦状态, 由于摩擦面间有足够大的油膜厚度, 油分子大都不受金属表面的吸附作用的支配而自由移动, 摩擦表现为油的粘性, 摩擦系数和摩擦阻力小, 零件的使用寿命长, 但要形成液体摩擦必须具备一定的条件 (详见教材第八章)。

(三) 复习思考题和补充习题

- (1) 机械零件常用的设计方法有哪些? 各在什么条件下采用?
- (2) 设计计算和校核计算的区别是什么? 各在什么条件下采用?
- (3) 机械零件设计的一般步骤有哪些? 其中哪个步骤对零件的最后尺寸起决定性的作用? 为什么?
- (4) 机械零件有哪些主要失效形式? 常用的设计准则有哪些? 它们是针对什么失效形式而建立的?
- (5) 解释下列名词: 静载荷、变载荷、工作载荷、名义载荷、计算载荷; 静应力、变应力、对称循环变应力、脉动循环变应力、不对称循环变应力。
- (6) 机械零件设计时, 常用的关于计算应力 σ_{ca} 的三种强度理论各适用于哪类材料的零件?
- (7) 零件设计确定许用应力时, 极限应力要根据零件的工作情况及零件材料而定, 试区分金属材料的几种极限应力: $\sigma_B(\tau_B)$ 、 $\sigma_s(\tau_s)$ 、 $\sigma_{-1}(\tau_{-1})$ 、 $\sigma_0(\tau_0)$ 和 $\sigma_r(\tau_r)$, 它们各适用于什么工作情况?
- (8) 何谓疲劳曲线? 绘制疲劳曲线的根据是什么? 如何区分有限寿命区和无限寿命区? 何谓有限寿命设计? 如何计算有限寿命下零件材料的疲劳极限?
- (9) 何谓极限应力图? 工程上常用的是材料的简化极限应力图, 它是如何绘制的? 利用极限应力线图如何判别试件的主要失效形式? 影响零件疲劳强度 (极限应力) 的因素有哪些?
- (10) 受稳定变应力作用的零件, 其强度计算通常为何采用安全系数法进行计算?
- (11) 什么叫复合应力? 在复合变应力作用下, 如何进行疲劳强度计算?
- (12) 何谓接触应力、疲劳点蚀和接触疲劳极限?
- (13) 选择零件材料时要了解材料的哪些主要性能? 合理选择零件材料需考虑哪些具体条件?
- (14) 什么叫“局部品质原则”? 试举出一种按照“局部品质原则”选用材料的实例。
- (15) 机械设计为什么要考虑结构工艺性问题? 主要应从哪些方面来考虑结构工艺性?
- (16) 机械中的四种摩擦状态各有何特点?
- (17) 试简述磨损的三个阶段。常见的磨损有哪几种形式?

(18) 试述润滑剂的作用, 机械用润滑剂有哪些? 润滑油的主要性能指标有哪些?

(19) 动力粘度、运动粘度和恩氏粘度各用什么单位? 并写出这三种粘度单位的换算关系。

(20) 润滑脂的主要性能指标有哪些?

(21) 图1-3所示的转轴, 受有径向载荷 $F_r = 6000\text{N}$, 轴向载荷 $F_a = 2000\text{N}$, 轴的直径 $d = 45\text{mm}$, 支点距离 $L = 300\text{mm}$ 。试求轴的危险剖面上循环变应力的最大应力 $\sigma_{\max}$ 、最小应力 $\sigma_{\min}$ 、平均应力 σ_m 、应力幅 σ_a 和循环特性 r , 并画出变应力图。

(22) 有一合金钢零件, 已知其强度极限 $\sigma_B = 900\text{MPa}$, 屈服极限 $\sigma_s = 800\text{MPa}$, 对称循环疲劳极限 $\sigma_{-1} = 440\text{MPa}$, 等效系数 $\psi_\sigma = 0.1$, 危险剖面处的有效应力集中系数 $k_\sigma = 1.32$, 绝对尺寸系数 $\epsilon_\sigma = 0.85$, 表面状态系数 $\beta = 1$, 零件危险剖面上的最大工作应力 $\sigma_{\max} = 280\text{MPa}$, 最小工作应力 $\sigma_{\min} = -80\text{MPa}$ 。试绘制材料的极限应力图, 求无限寿命的疲劳极限, 计算此零件的安全系数。

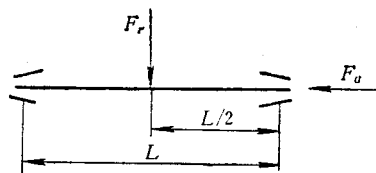


图1-3 题21图

第二章 机械传动

通常,工作机的转速(或速度)不等于原动机的转速(或速度),运动形式也不相同。为此,必须在原动机和工作机之间,用传动装置来协调其运动,传动装置简称为传动。传动分为机械传动、流体传动和电传动三类。机械零件课程主要研究的是带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动等机械传动。

一、带传动

(一) 基本要求

(1) 熟练掌握的内容 1) 带传动的受力分析、应力分析、弹性滑动和打滑等基本理论; 2) 带传动的失效形式、设计准则以及影响传动能力的主要因素; 3) 普通V带传动的设计计算。

(2) 一般了解的内容 1) 带传动的主要类型、工作原理、特点和应用; 2) V带的构造和标准; 3) 带轮的材料和结构; 4) 带传动的维护和张紧等。

(二) 主要内容的分析和讨论

1. 主要内容框图

带传动是以柔韧体(带)为中间的摩擦传动。带必须具有初拉力才能在工作时产生摩擦力和松、紧边的拉力差(有效拉力)。由于带是柔韧体,工作时带两边的拉力不同而引起弹性变形的不同,必然在带轮上产生弹性滑动。此外,与啮合传动相比,摩擦传动还有一种特别的失效形式——打滑。传动带多为标准件,由专门工厂生产。设计者主要是根据工作条件确定V带的型号、长度、根数、带轮结构等。“带传动”一章所研究的主要内容及各部分间的层次关系,如图2-1所示。

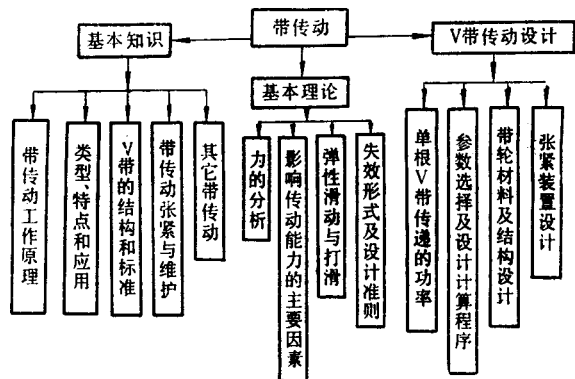


图2-1 “带传动”主要内容框图

2. 重点与难点

重点: 1) 带传动的工作情况分析(力和应力分析、弹性滑动和打滑); 2) 普通V带的设计计算。

难点: 带的弹性滑动与打滑。

3. 几个问题的说明和补充

1) 对带传动的工作原理,着重从本质上了解带传动是一种摩擦传动。明确带与带轮间的正压力是靠把带张紧而产生的,当摩擦面间有足够的正压力时,才能靠摩擦传递动力。在分析V带传动的工作原理时,应该联系槽面摩擦理论。由于V带是两侧面工作,所以与平带相比,在同样的张紧力下,带与带轮间能产生较大的正压力和摩擦力,故能传递较大的圆周力。