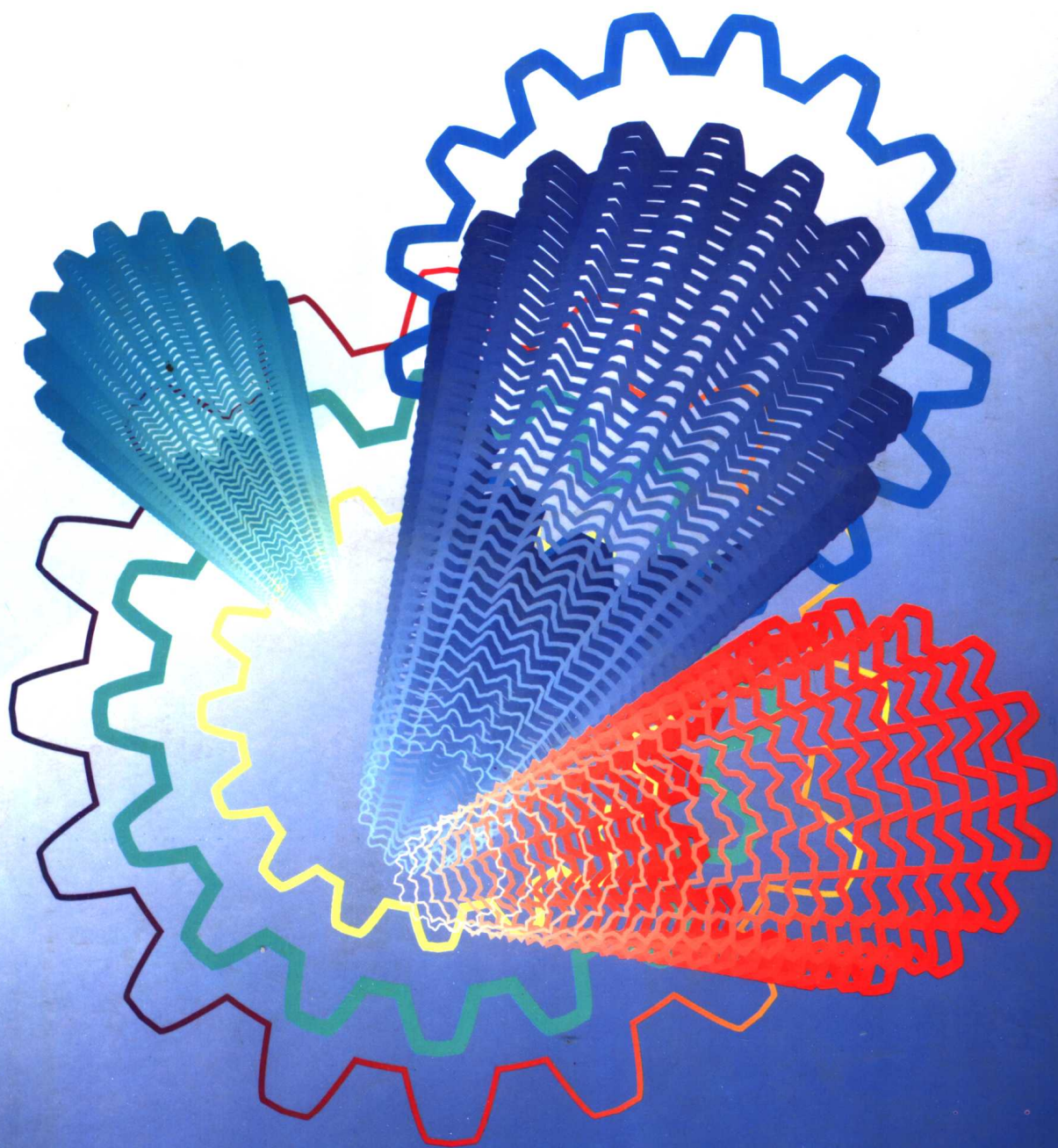


GZ

普通高等专科学校教育机电类规划教材

机械设计

徐锦康 周国民 刘极峰 主编



普通高等专科学校教育机电类规划教材

机 械 设 计

主编	徐锦康	周国民	刘极峰
	曹晓明	孟玲茹	金晓怡
参编	蔡静之	徐泳龙	黄卫平
主审	程光蕴	徐辅仁	



机械工业出版社

前 言

本书是全国高等工程专科机械工程类专业教学指导委员会“九五”规划教材。本书是在基本满足国家教育委员会1991年颁布的“高等学校工程专科机械原理课程教学基本要求”和“高等学校工程专科机械零件课程教学基本要求”规定内容的条件下,吸取近几年高等工程专科机械工程类专业教学改革和机械原理、机械零件课程教学改革的经验,将机械原理、机械零件两门课程教材有机地结合在一起编写而成的,可作为高等工程专科机械工程类专业机械设计课程的教材,也可供有关专业师生及工程技术人员参考。本书主要特点有:

1. 本书从高等工程专科教育培养生产或工程第一线应用性技术人才的总目标出发,坚持“以应用为目的”、“以必需够用为度”和“少而精”、“浅而广”的原则,精选内容,精心编排。对基本理论及有关公式,突出应用,简化乃至略去繁琐的论证与推导;对教材中机构分析与设计部分,突出运动分析与运动设计,降低对动力分析与设计的要求;对机械零、部件部分,突出失效形式、设计准则、材料选择、结构设计及工作能力计算等方面内容,降低对强度设计理论的要求。全书强调“能分析”、“能设计”,力求在应用性和工程化方面有所突破。

2. 根据机器整机设计的基本原则和基本程序,尽最大可能将原高等工程专科机械原理、机械零件两门课程教材有机地结合为一体,减少重复、精简内容、缩减教学时数。本书按参考教学时数120学时编写,符合目前全国大多数高工专机械工程类专业对机械设计课程教学时数的要求。

3. 考虑到21世纪我国高等工程专科教育及机械设计现代化的发展前景,本书突出了机构分析与设计的解析方法,并较多地介绍了机械设计的新方法。

4. 作为专科教材,力求概念把握准确,叙述深入浅出、层次分明、详略得当、文句通畅,体现了较好的“可教性”和“可读性”。

5. 本书尽量引用了较新的标准、规范和资料,采用了我国国家标准及规定的名词术语和符号。

参加本书编写的有:上海化工高等专科学校曹晓明(第十四、十七、十八章),沈阳大学孟玲茹(第六、十六章),常州工业技术学院金晓怡(第二、四、十九章),兰州工业高等专科学校蔡静之(第八、十章),南京机械高等专科学校徐泳龙(第三、十二章)、徐锦康(第一、十三、二十章),上海理工大学周国民(第五、十一章),江汉大学黄卫平(第九、十五章),河南机电高等专科学校刘极峰(第七章)。全书由徐锦康、周国民、刘极峰主编,曹晓明也参加了部分书稿的统稿工作。

本书承东南大学程光蕴教授和全国高等工程专科机械工程类专业教学指导委员会副主任、上海理工大学徐辅仁教授精心审阅,提出了很多宝贵的意见和建议。全书的编审工作自

始至终得到全国高等工程专科机械工程类专业协会和专业教学指导委员会众多专家、教授的关心与支持。编者谨此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平和时间仓促,书中缺点和错误在所难免,恳请广大教师、读者批评指正。

编 者

1997年7月

目 录

前 言	
第一章 绪论	1
第一节 机械设计研究的对象及其基本概念	1
第二节 机械设计的基本要求	2
第三节 机械设计的方法和一般步骤	4
第四节 本课程的内容、地位、作用 and 任务	6
第五节 现代设计方法简介	7
第二章 平面机构的结构分析	10
第一节 机构结构分析的内容和目的	10
第二节 运动副、运动链和机构	10
第三节 平面机构的运动简图	13
第四节 平面机构的自由度	15
第五节 平面机构的组成原理和结构分析	19
习题	23
第三章 平面机构的运动分析和动态静力分析	27
第一节 概述	27
第二节 用相对运动图解法求机构的速度和加速度	28
第三节 用图解法作机构的动态静力分析	34
第四节 用解析法求机构的位置、速度和加速度	37
第五节 用解析法作机构的动态静力分析	46
习题	53
第四章 机械中的摩擦和机械效率	58
第一节 概述	58
第二节 运动副中的摩擦	58
第三节 机械的效率和自锁	66
习题	70
第五章 平面连杆机构	73
第一节 概述	73
第二节 平面四杆机构的基本型式及其演化	73
第三节 平面四杆机构存在曲柄的条件和几个基本概念	76
第四节 平面四杆机构设计	79
习题	87
第六章 凸轮机构	90
第一节 概述	90
第二节 从动件的运动规律	93
第三节 用图解法设计凸轮轮廓曲线	100
第四节 用解析法设计凸轮轮廓曲线	104
第五节 凸轮机构基本尺寸的确定	105
习题	110
第七章 齿轮机构	112
第一节 概述	112
第二节 平面齿轮机构啮合的基本原理	114
第三节 渐开线及其特性	115
第四节 渐开线齿廓的啮合及其特性	118
第五节 渐开线标准直齿圆柱齿轮	119
第六节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	124
第七节 渐开线直齿轮传动的重合度	128
第八节 渐开线齿廓的切削加工	131
第九节 渐开线齿廓的根切现象与不发生根切的最少齿数	133
第十节 变位齿轮	134
第十一节 变位齿轮传动	136
第十二节 平行轴斜齿圆柱齿轮机构	140
第十三节 直齿圆锥齿轮机构	146
第十四节 非圆齿轮机构简介	149
习题	150
第八章 齿轮传动	152
第一节 齿轮传动的失效形式和设计准则	152
第二节 齿轮常用材料和许用应力	154
第三节 齿轮传动的精度	158
第四节 齿轮传动的计算载荷和载荷	

系数.....	160	第四节	滚子链传动的设计计算.....	258	
第五节	标准直齿圆柱齿轮传动的强度 计算.....	163	第五节	链传动的布置、张紧和润滑.....	263
第六节	平行轴标准斜齿圆柱齿轮传动的 强度计算.....	171	习题.....	267	
第七节	标准直齿圆锥齿轮传动的强度 计算.....	176	第十三章 间歇运动机构、组合 机构	268	
第八节	齿轮的结构.....	182	第一节	棘轮机构.....	268
第九节	齿轮传动的润滑.....	185	第二节	槽轮机构.....	271
第十节	圆弧齿轮传动简介.....	187	第三节	不完全齿轮机构和凸轮式间歇 运动机构.....	273
习题.....	188	第四节	组合机构.....	275	
第九章 蜗杆传动	190	习题.....	281	第十四章 螺纹联接和螺旋传动	283
第一节	概述.....	190	第一节	螺纹.....	283
第二节	蜗杆蜗轮机构.....	193	第二节	螺纹联接的主要类型、特点和 应用.....	285
第三节	蜗杆传动的失效形式、设计准则 和材料选择.....	199	第三节	螺纹联接的预紧和防松.....	287
第四节	蜗杆传动的强度计算.....	200	第四节	螺栓组联接的结构设计和受力 分析.....	290
第五节	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡 计算.....	204	第五节	螺栓联接的强度计算.....	294
第六节	蜗杆和蜗轮的结构.....	206	第六节	提高螺栓联接强度的措施.....	301
习题.....	211	第七节	螺旋传动.....	303	
第十章 轮系	212	习题.....	310	第十五章 轴和轴毂联接	312
第一节	轮系及其分类.....	212	第一节	概述.....	312
第二节	定轴轮系的传动比与应用.....	213	第二节	轴的材料及其选择.....	313
第三节	周转轮系和复合轮系传动比 计算.....	216	第三节	轴的结构设计.....	314
第四节	周转轮系和复合轮系的应用.....	220	第四节	轴的强度计算.....	321
第五节	行星轮系各轮齿数的选择.....	221	第五节	轴的刚度计算和轴的振动 简介.....	329
第六节	其他类型行星传动简介.....	222	第六节	轴毂联接.....	330
习题.....	225	习题.....	336	第十六章 滚动轴承	338
第十一章 带传动	227	第一节	概述.....	338	
第一节	概述.....	227	第二节	滚动轴承的类型、特点和 代号.....	339
第二节	V带和带轮.....	228	第三节	滚动轴承的类型选择.....	344
第三节	带传动的受力情况分析.....	234	第四节	滚动轴承的受力分析、失效形式 和计算准则.....	346
第四节	V带传动的设计计算.....	237	第五节	滚动轴承的寿命计算.....	347
第五节	带传动的张紧和维护.....	246	第六节	滚动轴承的静强度计算.....	353
第六节	其他带传动简介.....	248	第七节	滚动轴承的组合结构设计.....	354
习题.....	249	第八节	滚动轴承的润滑和密封.....	360	
第十二章 链传动	250				
第一节	概述.....	250			
第二节	滚子链和链轮.....	251			
第三节	链传动的运动特性.....	256			

习题	362	度和速度不均匀系数	405
第十七章 滑动轴承	364	第三节 机械运转的等效动力学模型和	
第一节 概述	364	机械的真实运动	406
第二节 滑动轴承的典型结构	364	第四节 机械运转速度波动的调节和飞	
第三节 轴瓦的结构和材料	367	轮的设计	410
第四节 不完全油膜滑动轴承的设计		第五节 机械平衡的目的和分类	414
计算	373	第六节 刚性回转件的平衡	415
第五节 滑动轴承的润滑	375	* 第七节 挠性回转件动平衡和平面机构	
第六节 液体动压径向滑动轴承的基本		平衡简介	419
知识	378	习题	421
* 第七节 液体静压滑动轴承和气体轴承		第二十章 机械传动系统运动设计	423
简介	381	第一节 概述	423
习题	382	第二节 常用机构比较和机构的变异与	
第十八章 其他常用零、部件	383	组合应用	424
第一节 联轴器	383	第三节 机构的选型	426
第二节 离合器	389	第四节 机器执行机构间运动的协调	
* 第三节 制动器	394	设计	429
* 第四节 弹簧	396	第五节 机械传动系统运动方案的	
习题	403	拟定	433
第十九章 机械的调速和平衡	404	第六节 机械传动系统运动设计实例	434
第一节 机械的运动和功能关系	404	习题	438
第二节 机械运转的速度波动、平均角速		参考文献	439

第一章 绪 论

第一节 机械设计研究的对象及其基本概念

机械是机器和机构的总称。机械设计研究的对象就是机器和机构。

在现代社会中，人们对机器并不陌生。所谓机器，是指根据某种使用要求而设计的一种执行机械运动的装置，可用来变换或传递能量、物料和信息。如电动机或发电机用来变换能量，各种加工机械用来变换物料的状态，录音机用来变换信息，起重运输机械用来传递物料等。

机构也是一种执行机械运动的装置，如我们在理论力学等课程中已接触过的连杆机构、齿轮机构等。此外常用的机构还有凸轮机构、螺旋机构、带传动机构、链传动机构及各种间歇运动机构等。

机器的种类极多，其构造、性能及用途也各异，但就其组成来说，它们都是由各种机构组合而成的。例如图 1-1 所示的内燃机，就包含着由曲轴 1、连杆 3、气缸 5 和活塞 4 组成的连杆机构；由齿轮 12、13 组成的齿轮机构；以及由凸轮 10、11 和阀杆 9 组成的凸轮机构等。其中连杆机构将活塞的往复移动转换为曲轴的回转运动；齿轮机构与凸轮机构的协调动作则确保内燃机的进、排气阀按工作要求有规则地启闭。由此可知，机构正是机器中执行机械运动的装置，或者说机器中执行机械运动的装置就是机构。因此，从运动的观点来看，机构与机器并无差别。但从研究的角度来看，尽管机器的种类极多，但机构的种类却有限。将机构从机器中单列出来，对机构，着重研究它们的结构组成、运动与动力性能及尺度设计等问题；对机器，则着重研究它们变换或传递能量、物料和信息等方面的问题，这便是机构与机器的根本区别。

另一方面，从制造与装配的角度来看，机器是由机械零件（简称零件）和部件组成的。如图 1-1 所示的内燃机，便是由曲轴、飞轮、阀杆、凸轮、齿轮、螺母及螺杆等零件和连杆等部件组成的。这里，零件指机器中独立的制造单元，它是组成机器的基本元素。部件则是指由一组协同工作的零

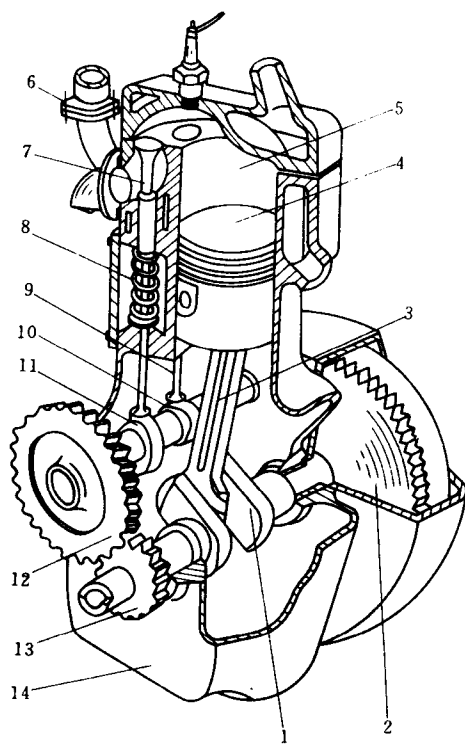


图 1-1 单缸四冲程内燃机

- 1—曲轴 2—飞轮 3—连杆 4—活塞
5—气缸（体） 6—螺母、螺栓 7—气
阀 8—弹簧 9—阀杆 10、11—凸轮
12、13—齿轮 14—机座

件所组成的独立制造或独立装配的组合体。如图 1-2 所示的连杆，便是由连杆体、连杆头、轴瓦及螺母、螺栓等刚性联接而成的部件。此外又如减速器、离合器等，均为部件。

机械零件又可分为两大类：一类是在各种机器中都可能用到的零件，叫做通用零件，如螺母、螺栓、齿轮、凸轮、链轮等；另一类则是在特定类型机器中才能用到的零件，叫做专用零件，如上述曲轴、船舶的螺旋桨等。

机构和机器中独立运动的单元称为构件。如图 1-1 中的活塞、连杆、曲轴部件（包括曲轴、齿轮 13 和飞轮 2）、凸轮轴（包括凸轮、齿轮）及阀杆等，均为独立运动的构件。可见构件可以是单独的零件，也可以是由几个零件刚性联接而成的部件。从运动的观点来看，机构和机器又都是由构件组合而成的。

综上所述，机械设计是一门以机构和机器为对象，研究常用机构、通用零件与部件以及一般机器的分析与设计的理论和方法的课程。

第二节 机械设计的基本要求

一、设计机器应满足的基本要求

1. 功能性要求

人们是为了生产和生活上的需要才设计和制造各式各样机器的，因此，机器必须具有预定的使用功能。这主要靠正确选择机器的工作原理，正确设计或选用原动机、传动机构和执行机构，以及合理配置辅助系统来保证。

2. 可靠性要求

机器在预定工作期限内必须具有一定的可靠性。机器的可靠性可用可靠度 R 来衡量。机器的可靠度 R ，是指机器在规定的工作期限内和规定的工作条件下，无故障地完成规定功能的概率。而机器在规定期限和条件下不能完成规定功能的概率则称为不可靠度，或称破坏概率，用 F 表示。显然，可靠度与破坏概率间应满足

$$R = 1 - F \quad (1-1)$$

提高机器可靠度的关键是提高其组成零、部件的可靠度。此外从机器设计的角度，确定适当的可靠性水平，力求结构简单，减少零件数目，尽可能选用标准件及等可靠度零件，合理设计机器中的组件和部件，以及选取较大安全系数等，对提高机器可靠度也是十分有效的。

3. 经济性要求

机器的经济性体现在设计、制造和使用的全过程中，包括设计制造经济性和使用经济。设计制造经济性表现为机器的成本低；使用经济性表现为高生产率、高效率、较低的能源与材料消耗，以及低的管理和维护费用等。设计机器时应最大限度地考虑其经济性。

提高设计制造经济性的主要途径有：①尽量采用先进的现代设计理论和方法，力求参数最优化，以及应用 CAD 技术，加快设计进度，降低设计成本；②合理地组织设计和制造过程；③最大限度地采用标准化、系列化及通用化的零、部件；④合理地选用材料，努力改善零件的结构工艺性，尽可能采用新材料、新结构、新工艺和新技术，使其用料少、质量轻、加工

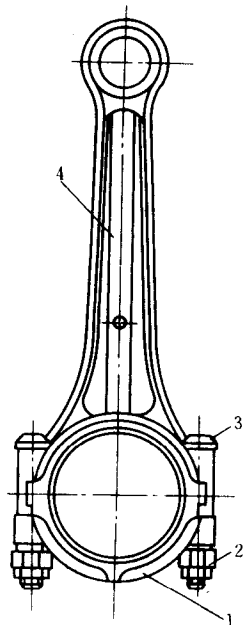


图 1-2 连杆

1—连杆头 2—螺母
3—螺栓 4—连杆体

费用少；⑤尽力注意机器的造型设计，扩大销售量。

提高机器使用经济性的主要途径有：①提高机械化、自动化水平；②选用高效率的传动系统和支承装置；③注意采用适当的防护、润滑和密封装置等。以提高生产率，降低能源消耗和延长机器使用寿命等。

4. 劳动保护要求

设计机器时应应对劳动保护要求给予极大的重视，一般可从以下两方面着手：

(1) 注意操作者的操作安全，减轻操作时的劳动强度 具体措施有：对外露的运动件加设防护罩；设置保险、报警装置以消除和避免不正确操作等引起的危害；操纵应简便省力，简单而重复的劳动要利用机械本身中的机构来完成。

(2) 改善操作者及机器的环境 具体措施有：降低机器工作时的振动与噪声；防止有毒、有害介质渗漏；治理废水、废气和废液；美化机器的外形及外部色彩。总之，所设计的机器应符合劳动保护法规的要求。

5. 其他特殊要求

对不同的机器，还有一些为该机器所特有的要求。例如：对食品机械有保持清洁、不能污染产品的要求；对机床有长期保持精度的要求；对飞机有质量小、飞行阻力小等要求。设计机器时，不仅要满足前述共同的基本要求，还应满足其特殊要求。

二、设计机械零件的基本要求

机器是由零件组成的。因此，设计的机器是否满足前述基本要求，零件的质量是关键，为此还应对机械零件提出以下基本要求。

1. 强度、刚度及寿命要求

强度是衡量零件抵抗破坏的能力。零件强度不足，将导致过大的塑性变形甚至断裂破坏，使机器停止工作甚至发生严重事故。采用高强度材料，增大零件截面尺寸及合理设计截面形状，采用热处理及化学处理方法，提高运动零件的制造精度，以及合理配置机器中各零件的相互位置等，均有利于提高零件的强度。

刚度是衡量零件抵抗弹性变形的能力。零件刚度不足，将导致过大弹性变形，引起载荷集中，影响机器工作性能，甚至造成事故。例如机床主轴、导轨等，若刚度不足变形过大，将严重影响所加工零件的精度。零件的刚度分整体变形刚度和表面接触刚度两种。增大零件截面尺寸或增大截面惯性矩，缩短支承跨距或采用多支点结构等措施，有利于提高零件的整体刚度。增大贴合面及采用精细加工等措施，将有利于提高零件的接触刚度。一般地说，满足刚度要求的零件，也满足其强度要求。

寿命是指零件正常工作的期限。材料的疲劳、腐蚀以及相对运动零件接触表面的磨损，是影响零件寿命的主要因素，此外还有高温下的蠕变等。提高零件抗疲劳破坏能力的主要措施有减小应力集中、保证零件有足够大小的尺寸及提高零件表面质量等。提高零件耐腐蚀性能的主要措施有选用耐腐蚀材料和采取各种防腐蚀的表面保护措施。至于磨损及提高耐磨性问题，可参阅有关专著。

2. 结构工艺性要求

零件应具有良好的结构工艺性。这就是说，在一定的生产条件下，零件应能方便而经济地生产出来，并便于装配成机器。为此，应从零件的毛坯制造、机械加工及装配等几个生产环节综合考虑，对零件的结构设计予以足够重视。

3. 可靠性要求

零件可靠度的定义和机器可靠度的定义是相同的,而机器的可靠度主要是由其组成零件的可靠度来保证的。提高零件的可靠性,应从工作条件(载荷、环境温度等)和零件性能两个方面综合考虑,使其随机变化尽可能小。同时,加强使用中的维护与监测,也可提高零件的可靠性。

4. 经济性要求

零件的经济性,主要决定于零件的材料和加工成本。因此,提高零件的经济性主要从零件的材料选择和结构工艺性设计两个方面加以考虑。如采用廉价材料以代替贵重材料,采用轻型结构和少余量、无余量毛坯,简化零件结构和改善零件结构工艺性,以及尽可能采用标准化的零、部件等。

5. 质量小的要求

尽可能减小质量对绝大多数机械零件都是必要的。减小质量首先可节约材料,另一方面对运动零件可减小其惯性,从而改善机器的动力性能。对运输机械,减小零件质量就可减小机械本身的质量,从而可增加运载量。要达到零件质量小的目的,应从多方面采取设计措施。

第三节 机械设计的方法和一般步骤

一、机械设计的方法

机械设计包括机器、机构及机械零、部件设计三大内容,但三部分设计内容并不截然分开。机械设计的方法可分传统设计方法和现代设计方法,其中传统机械设计方法有以下三种。

1. 理论设计

根据长期研究与实践总结出来的传统设计理论和实验数据所进行的设计,称为理论设计。理论设计的计算过程又分设计计算和校核计算。前者是指按照已知的运动要求、载荷情况及零件的材料特性等,运用一定的理论公式设计零件尺寸和形状的计算过程,如转轴的强度、刚度计算等;后者是指先根据类比法、实验法等其他方法初步定出零件的尺寸和形状,再用理论公式进行精确校核的计算过程,如转轴的精确校核等。理论设计可得到比较精确而可靠的结果,重要的零部件大都应选择这种方法。

2. 经验设计

根据经验公式或设计者本人的经验用类比法所进行的设计,称为经验设计。对一些次要零件如不太受力的螺钉等;或者对于一些理论上不够成熟或虽有理论但没有必要用繁复、高级的理论设计的零、部件,如机架、箱体等;通常采用经验设计方法。

3. 模型实验设计

把初步设计的零、部件或机器制成小模型或小尺寸样机,经过实验手段对其各方面的特性进行检验,再根据实验结果对原设计进行逐步的修改,从而获得尽可能完善的设计结果。这样的设计过程称为模型实验设计。一些尺寸巨大结构复杂而又十分重要的零、部件,如新型重型设备及飞机的机身、新型舰船的船体等,需采用这种设计方法。

二、机器设计的一般步骤

这里简要给出机器设计的一般步骤,其中有些设计步骤及其所包括的主要设计内容,将在第二十章进一步展开。

1. 拟订设计任务书

这是设计工作顺利开展的必要的前提和准备。设计任务书大体上应包括：机器的功能；技术经济指标（应与国内外对比）；主要参考资料或样机；制造技术关键；特殊材料；必要的试验项目；完成设计任务的预期期限；以及鉴定方式和地点等。只有在充分调查研究和分析的基础上，才能拟订出合适可行的设计任务书。

2. 方案设计

方案设计的成败，直接关系到整个设计的成败，其主要工作有以下几点。

(1) 拟定执行机构方案

1) 拟定机器的工作原理。设计一台机器，首先要根据生产任务拟定机器的工作原理，再进行工艺动作分析，定出其运动方案（形式），从而确定所需执行构件的数目和运动。

2) 拟定原动机方案。包括选择原动机类型及其运动参数。一般机器中大多用电动机。

3) 机构的选型。包括传动机构和执行机构的选型，但主要是执行机构的选型。

4) 正确设计执行机构间运动的协调、配合关系。

(2) 拟定传动系统方案 传动系统是指机器中从原动机输出轴到各执行构件间实现运动和功率传递的系统。拟定传动系统方案时主要考虑的问题有：合理设计传动路线；合理安排传动机构顺序；合理安排功率传递顺序；合理分配传动比及注意提高机械效率等。

(3) 传动系统运动尺寸设计 主要目的是确定各执行机构运动尺寸和传动系统中齿轮、链轮的齿数及链轮、带轮的直径等，并绘制各执行机构运动简图和整个传动系统运动简图。

(4) 传动系统运动、动力分析 其中动力学计算将为以后零件的工作能力计算提供数据。根据动力学计算的结果，可粗略计算原动机所需功率，从而选定原动机型号和规格。

(5) 考虑总体布局并画出传动简图 总体布局时还应考虑一些其他装置和必要的附属设备的配置。如操纵、信号等装置和润滑、降温、吸尘、排屑等设备的配置，传动简图中均应表示出来。

3. 技术设计

技术设计的目标是给出正式的机器总装配图、部件装配图和零件工作图，主要工作有以下几方面。

1) 零、部件工作能力设计和结构设计。

2) 部件装配草图和总装配草图的设计 草图应对所有零件进行结构化设计，协调各零件的结构和尺寸，应全面考虑零、部件的结构工艺性。

3) 主要零件校核设计 有些零件（如转轴等）须在草图设计后才能确定其基本结构和尺寸，确定其受力。因此，对其中重要的或受力复杂的零件，应进行有关的校核计算。

4) 零件工作图设计。

5) 完成部件装配图和总装配图设计。

4. 编制技术文件

要编制的技术文件有：机器设计计算说明书，使用说明书，标准件明细表及易损件（或备用件）清单等。

实际设计工作中，上述设计步骤往往是相互交叉或相互平行的，且有时并不是一成不变的。例如计算和绘图、装配图和零件图绘制，就常常是相互交叉、互为补充的。一些机器的继承性设计或变型设计，则常直接从技术设计开始，整个设计步骤大为简化。机器设计过程

中还少不了各种审核环节,如方案设计与技术设计的审核,工艺审核和标准化审核等。

此外,从产品设计开发的全过程来看,完成上述设计工作后,接着是样机试制,这一过程中随时都会因工艺原因修改原设计。甚至在产品推向市场一段时间后,还会根据用户反馈意见修改设计或进行改型设计。但这些设计工作毕竟是属于另一层次的设计工作,机器设计的主要内容与步骤则仍然是以上介绍的四大部分。当然,作为一个合格的设计工作者,完全应该将自己的设计视野延伸到制造和使用的全过程,这样才能不断改进设计和提高机器质量。

三、机械零件设计的一般步骤

机械零件是组成机器的基本要素。因此,机械零件设计是机器设计中极其重要且工作量很大的设计环节,其一般步骤为以下几方面。

- 1) 根据零件功能要求,选定零件的类型。通常应经过多方案比较后择优确定。
- 2) 分析零件的工作情况,计算作用在零件上的载荷。
- 3) 根据零件的工作条件及对零件的特殊要求,选择零件材料及热处理方法。
- 4) 根据工作情况分析制定零件的失效形式,从而确定其设计准则。
- 5) 选择零件主要参数并根据设计准则计算零件的主要尺寸。
- 6) 根据工艺性及标准化等原则进行零件的结构设计。这是零件设计中极为重要的设计内容,而且往往设计工作量较大。
- 7) 结构设计完成后,必要时进行校核计算,若不合适应修改结构设计。
- 8) 绘制零件工作图,编写计算说明书及有关技术文件。

第四节 本课程的内容、地位、作用和任务

一、本课程的内容

概括地说,本课程的内容包括以下几方面:

- (1) 常用机构的组成原理、运动分析、动力分析和设计计算。
- (2) 通用零件的强度、刚度、寿命、结构及设计计算,包括零件的材料选择、工作情况分析、失效分析、设计准则的确定及润滑、密封方法与装置的选择和设计等。
- (3) 简单机械运动方案设计的初步知识。
- (4) 整机机构设计的基本要求、方法和一般步骤。

二、本课程的地位、作用和任务

机械设计是一门机械类各专业必修的设计性课程,是介于基础课和专业课之间的一门主干技术基础课。机械设计课程的课程教学,应在学生学习了高等数学、机械制图、理论力学、材料力学、机械工程材料、机械加工工艺基础和热加工工艺学等课程后进行,它又为以后学习有关专业课程以及掌握新的机械科学技术成就打下必要的理论基础。因此,这是一门在教学中起承上启下作用的课程。

当前机械产品和设备发展的动向是高性能、多功能、高质量,讲求造型艺术化及大型配套化,并正在竭力推进高新技术化、系统集成化及智能化等。每个机械设计人员正面临着光荣而艰巨的任务。机械设计课程的任务是通过课堂教学、习题、课程设计和实验等教学环节,使学生掌握机械设计的基本理论、基本知识和基本技能,具备分析和设计常用机构、通用零件和机器的基本能力,以及初步具有确定机械运动方案的能力。通过本课程的教学,将增强

学生对机械技术工作的适应性和提高其开发创新能力，为培养机械类高级应用型工程技术人才打下重要的基础。

第五节 现代设计方法简介

现代设计方法是科学方法论应用于设计领域所形成的设计方法，是动态地、科学地、计算机化地实现设计过程和执行设计任务的设计方法。现代设计方法种类极多，内容十分丰富，这里仅简略介绍几种国内近一二十年来在机械设计中应用较为成熟、影响较大的方法。

一、优化设计方法

优化设计是将最优化的数学理论（主要是数学规划理论）应用于设计领域而形成的一种设计方法。该方法先将设计问题的物理模型转化为数学模型，再选用适当的优化方法并借助计算机求解该数学模型，从而求得最佳设计方案。近些年来，优化设计还和可靠性设计、模糊设计等其他一些设计方法结合起来，形成了可靠性优化设计、模糊优化设计等一些新的优化设计方法。

二、机械可靠性设计

机械可靠性设计是将概率论、数理统计、失效物理和机械学相结合而形成的一种设计方法。其主要特点是将传统设计方法中视为单值而实际上具有多值性的设计变量（如载荷、应力、强度、寿命等）看成服从某种分布规律的随机变量，用概率统计方法设计出符合机械产品可靠性指标要求的零部件和整机的主要参数及结构尺寸。机械可靠性设计的主要内容有：①从规定的目标可靠度出发，设计零部件和整机的有关参数及结构尺寸，这是可靠性设计最基本的内容；②可靠性预测，即根据零部件和机器（或系统）目前的状况及失效数据，预测其实际可能达到的可靠度，预报它们在规定的条件下和在规定的时间内完成规定功能的概率；③可靠性分配，即根据确定的机器（或系统）的可靠度，分配其组成零、部件或子系统的可靠度。这对复杂产品和大型系统来说尤为重要。

三、机械动态设计方法

机械动态设计是根据机械产品的动载工况，以及对该产品提出的动态性能要求与设计准则，按动力学方法进行分析计算、优化与试验、并反复进行的一种设计方法。该方法的基本思路是：把机械产品（系统或设备）看成是一个内部情况不明的黑箱，通过外部观察，根据其功能对黑箱与周围不同的信息联系进行分析，求出机械产品的动态特性参数，然后进一步寻求它们的机理和结构。该方法的关键一是建立对象（黑箱）的动态数学模型，二是求解数学模型。建立的数学模型可以是复域中的传递函数、频域中的频率特性以及时域中的微分特性等。求解数学模型的方法有有限元分析方法、模型试验方法、模态分析法和传递函数法等。

机械动态设计是现代机械设计区别于传统机械设计的重要特征之一。该设计方法可使机械产品的动态性能在设计时就得到预测和优化。

四、模块化设计方法

模块化设计是在对一定应用范围内的不同功能或相同功能不同性能、不同规格的机械产品进行功能分析的基础上，划分并设计出一系列功能模块，然后通过模块的选择和组合构成不同产品的一种设计方法。该法的主要目标是以尽可能少的模块种类和数量组成尽可能多的种类和规格的产品。与传统设计相比，模块化设计具有产品设计与制造时间短、利于产品更

新换代和新产品开发、方便维修、利于提高产品质量和降低成本等优点。从而增强了产品的市场竞争能力和企业对市场的应变能力。

五、价值分析

价值分析 (Value Analysis, 简称 VA) 又叫价值工程 (Value Engineering, 简称 VE), 它是以产品功能分析为核心, 以开发创造性为基础, 以科学分析为工具, 寻求功能与成本的最佳比例以获得最优价值 (价值优化) 的一种设计方法或管理科学。这里, 所谓价值是指产品某一功能与实现这一功能所需成本之间的比例, 即

$$V = F/C$$

式中, V 为产品的价值 (实用价值); F 为产品具有的功能; C 为取得该功能所耗费的成本。

价值分析中, “分析” 只是手段, “获得最优价值” 即价值优化才是设计中始终应贯彻的指导思想和应争取的目标。

六、有限元分析方法

有限元分析方法是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代设计计算方法。它的基本思想是: 把连续的介质 (如零件、结构等) 看作由在有限个节点处联接起来的有限个小块 (称为元素) 所组成, 然后对每个元素, 通过取定的插值函数, 将其内部每一点的位移 (或应力) 用元素节点的位移 (或应力) 来表示。再根据介质整体的协调关系, 建立包括所有节点的这些未知量的联立方程组, 最后用计算机求解该联立方程组, 以获得所需要的解答。当元素足够 “小” 时, 可以得到十分精确的解答。

有限元分析方法适用性极广, 它不仅可用来计算一般零件 (二维或三维) 以及杆系结构、板、壳等问题的静应力或热应力, 还可计算它们的弹塑性、蠕变、大挠度变形等非线性问题, 以及振动、稳定性等问题。

七、机械系统设计

机械系统设计是应用系统的观点进行机械产品设计的一种设计方法。与传统设计相比, 传统设计只注重机械内部系统设计, 且以改善零部件的特性为重点, 对各零部件之间、内部与外部系统之间的相互作用和影响考虑较少。机械系统设计则遵循系统的观点, 研究内、外系统和各子系统之间的相互关系, 通过各子系统的协调工作, 取长补短来实现整个系统最佳的总功能。

机械系统设计的一般过程包括计划、外部系统设计 (简称外部设计)、内部系统设计 (简称内部设计) 和制造销售四个阶段。

八、人机学设计

人机学设计是从人机工程学的角度考虑机械设计、处理机械和人的关系, 以便使设计满足人的需要。该方法从系统论的观点来研究人、机器和环境所组成的系统, 研究组成三要素及其相互关系。其研究的重点则是人, 从人的生理和心理特征考虑, 使系统中的三要素相互协调, 以便促进人的身心健康, 提高人的工作效能。

九、计算机辅助设计

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 简称 CAD) 是利用计算机运算快速准确、存储量大、逻辑判断功能强等特点进行设计信息处理, 并通过人机交互作用完成设计工作的一种设计方法。一个完备的 CAD 系统, 由科学计算、图形系统和数据库三方面组成。与传统设计方法相比, CAD 具有以下优点。

- 1) 显著提高设计效率, 缩短设计周期。有利于加快产品更新换代, 增强市场竞争能力。
- 2) 能同时给出很多种设计方案并进行分析比较, 以获得最佳设计方案。
- 3) 能充分应用其他各种先进的现代设计方法。

4) 把设计人员从繁琐的重复性工作中解脱出来, 以便从事更富创造性的工作。同时由于CAD系统的日益完备和高度自动化, 使那些缺乏设计经验及新从事设计工作的人员, 也能顺利完成设计工作。

5) 可与计算机辅助制造(CAM)结合形成CAD/CAM系统, 还可进一步与计算机辅助检测(CAT)、计算机管理自动化结合形成计算机集成制造系统(CIMS), 综合进行市场预测、产品设计、生产计划、制造和销售等一系列工作, 实现人力、物力和时间等各种资源的有效利用, 使企业总效益最高。

第二章 平面机构的结构分析

第一节 机构结构分析的内容和目的

机构结构分析的内容和目的主要包括以下几个方面。

- 1) 研究机构运动的可能性及其具有确定运动的条件,这是设计新机构时首先要解决的问题。
- 2) 根据结构特点进行机构的结构分类,以便在对机构作运动分析、受力分析及设计运动简图时,可以按类进行。
- 3) 研究机构的组成原理,建立系统的结构分析方法,有助于机构的结构分类,也为合理设计机构和创造新机构开辟途径。
- 4) 掌握机构运动简图的绘制方法。这是机构分析的基础,也是学习机械设计的基础。

第二节 运动副、运动链和机构

一、平面运动副

1. 运动副的概念

机构是由许多构件组合而成的,为了传递运动,各构件之间必须以一定的方式联接起来,并且能有一定的相对运动,这种两构件之间的活动联接称为运动副。例如,绪论中的单缸四冲程内燃机,其连杆与曲轴之间的联接、活塞与气缸之间的联接、齿轮与齿轮之间的联接,都构成运动副。

2. 运动副的分类

按组成运动副两构件间的相对运动是平面运动还是空间运动,可将运动副分为平面运动副和空间运动副两大类。

按组成运动副两构件间的接触特性,通常把运动副分为低副和高副两大类。其中面接触的运动副称为低副,点接触或线接触的运动副称为高副。

低副按其成副两构件间相对运动的特点又可分为转动副和移动副。若两构件只能作相对转动,则称为转动副,如图 1-1 所示连杆与曲轴之间构成转动副;若两构件只能作相对移动,则称为移动副,如图 1-1 所示活塞与气缸之间构成移动副。

高副常见的有齿轮副和凸轮副,如图 1-1 所示齿轮与齿轮之间、凸轮与气阀之间均为高副联接。

螺杆与螺母组成的运动副称为螺旋副(图 2-1),这是工程上应用较多的一种空间运动副。螺旋副为面接触,螺杆相对螺母可绕 x 轴转动,同时沿 x 轴移动,但转动与移动之间存在着一一定的函数关系。所以,组成螺旋副两构件间只有一个独立的相对运动。

两构件间的相对运动是由运动副决定的。因此,表示运动副时,应能准确地反映构件间