

21  
世纪 21世纪高职高专系列教材

# 机械设计基础

中国机械工业教育协会 组编



机械工业出版社  
China Machine Press

21 世纪高职高专系列教材

# 机械设计基础

中国机械工业教育协会 组编

主 编	河北工业大学	范顺成	
副主编	山东工程学院	郭宗和	
	天津理工学院	张振林	
	西安电子科技大学	温正忠	
参 编	河北工业大学	刘冰清	李春书
	合肥联合大学	王 勇	
	江苏理工大学	杨超君	
	天津大学	葛 楠	
	天津理工学院	王 燕	
主 审	辽宁工学院		
	职业技术学院	李晓东	

机械工业出版社

本书是根据教育部教高[2000]2号文件精神,由中国机械工业教育协会组织编写的。本书以应用为目的,以理论适度,讲清概念、突出应用为重点。全书除绪论外,共十六章,内容包括:机械设计概论,平面机构的自由度,平面连杆机构设计,凸轮机构设计,间歇运动机构,联接,带传动,链传动,齿轮传动,蜗轮传动,轮系,轴,滑动轴承,滚动轴承,联轴器和离合器,机械传动总论。

本书可作为高职高专院校机类专业、近机类专业的机械设计基础课程的教材。还可供有关专业师生及工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/中国机械工业教育协会组编. —北京:机械工业出版社, 2001.6

21世纪高职高专系列教材

ISBN 7-111-08373-3

I. 机... II. 中... III. 机械设计-高等学校:技术学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第20758号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:吴天培 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年7月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·18.75印张·462千字

0 001—5 000册

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

## 21 世纪高职高专系列教材编委会名单

**编委会主任** 中国机械工业教育协会 郝广发

**编委会副主任** (单位按笔画排)

山东工程学院 仪垂杰

大连理工大学 唐志宏

天津大学 周志刚

甘肃工业大学 路文江

江苏理工大学 杨继昌

成都航空职业技术学院 陈玉华

机械工业出版社 陈瑞藻 (常务)

沈阳工业大学 李荣德

河北工业大学 檀润华

武汉船舶职业技术学院 郭江平

金华职业技术学院 余党军

**编委会委员** (单位按笔画排)

广东白云职业技术学院 谢瀚华

山东省职业技术教育师资培训中心 邹培明

上海电机技术高等专科学校 徐余法

天津中德职业技术学院 李大卫

天津理工学院职业技术学院 沙洪均

日照职业技术学院 李连业

北方交通大学职业技术学院 佟立本

辽宁工学院职业技术学院 李居参

包头职业技术学院 郑刚

北京科技大学职业技术学院 马德青

北京建设职工大学 常莲

北京海淀走读大学 成运花

江苏理工大学 吴向阳

合肥联合大学 杨久志

同济大学 孙章

机械工业出版社 李超群 余茂祚 (常务)

沈阳建筑工程学院 王宝金

佳木斯大学职业技术学院 王跃国

河北工业大学 范顺成

哈尔滨理工大学工业技术学院 线恒录

洛阳大学 吴锐

洛阳工学院职业技术学院 李德顺

南昌大学 肖玉梅

厦门大学 朱立秒

湖北工学院高等职业技术学院 吴振彪

彭城职业大学 陈嘉莉

燕山大学 刘德有

# 序

1990年6月中共中央国务院召开第三次全国教育工作会议，作出了“关于深化改革，全面推进素质教育的决定”的重大决策，强调教育在综合国力的形成中处于基础地位，坚持实施科教兴国的战略。决定中明确提出要大力发展高等职业教育，培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力，适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用性专门人才。为此，教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议，进一步明确了高职高专是以培养技术应用性专门人才为根本任务；以适应社会需要为目标；以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案；以“应用”为主旨和特征来构建课程体系和教学体系；高职高专的专业设置要体现地区、行业经济和社会发展的需要，即用人的需求；教材可以“一纲多本”，形成有特色的高职高专教材系列。

“教书育人，教材先行”，教育离不开教材。为了贯彻中共中央国务院以及教育部关于高职高专人才培养目标及教材建设的总要求，中国机械工业教育协会、机械工业出版社组织全国部分有高职高专教学经验的职业技术学院、普通高等学校编写了这套《21世纪高职高专系列教材》。教材首批80余本（书目附后）已陆续出版发行。

本套教材是根据高中毕业3年制（总学时1600~1800）、兼顾2年制（总学时1100~1200）的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。基础理论课以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为重点；专业课加强了针对性和实用性，强化了实践教学。为了扩大使用面，在内容的取舍上也考虑到电大、职大、业大、函大等教育的教学、自学需要。

每类专业的教材在内容安排和体系上是有机联系、相互衔接的，但每本教材又有各自的独立性。因此各地区院校可根据自己的教学特点进行选择使用。

为了提高质量，真正编写出有显著特色的21世纪高职高专系列教材，在组织编写队伍时，采取专门办高职的院校与办高职的普通高等院校相互协作编写并交叉审稿，以便实践教学和理论教学能相互渗透。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一，在教材编辑出版方面有雄厚的实力和丰富的经验，出版了一大批适用于全国研究生、大学本科、专科、中专、职工培训等各种层次的成套系列教材，在国内享有很高的声誉。我们相信这套教材也一定能成为具有我国特色的、适合21世纪高职高专教育特点的系列教材。

中国机械工业教育协会

# 前 言

本书是根据教育部教高〔2000〕2号文件精神，由中国机械工业教育协会组织全国30多所高等院校合作编写的21世纪高职高专系列教材之一。

本教材基本上是按照高中毕业三年制高职高专教学所需内容编写的，教学内容以工程设计为主线，以工程应用为目的，以理论适度，讲清概念，强化应用为重点，突出实用性、综合性。注重学生基本技能的训练和综合能力的培养。

全书以传统内容为主，主要叙述常用机构和通用零件的工作原理、运动特性、结构特点及其设计的基本理论和基本方法。在内容的编排上力求突破传统的机械原理+机械零件的内容体系，将原理和零件的内容有机融合。

本书采用新颁布的国家标准。

本书各章均有例题，并在各章末附有复习思考题，便于教学和自学。

本教材共17章。参加本书编写工作的有范顺成（第1章、第14章）、温正忠（第2章、第15章）、刘冰清（第3章、第4章）、王勇（第5章、第12章、第17章）、李春书（第6章）、杨超君（第7章）、葛楠（第8章、第9章）、张振林（第10章、第11章）、郭宗和（第13章）、王燕（第16章）。全书由范顺成主编，郭宗和、张振林、温正忠任副主编。

本书由辽宁工学院职业技术学院李晓东高级讲师担任主审，对本书提出了许多宝贵意见，在本书编写过程中，得到河北工业大学领导的大力支持，编者在此表示真诚的谢意。

限于编者水平，书中错误和不当之处在所难免，恳请广大读者批评、指正。

编 者

# 目 录

序	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 《机械设计基础》课程研究的对象和内容	1
1.3 本课程的性质和任务	3
第 2 章 机械设计概论	4
2.1 机械设计的基本要求和一般过程	4
2.1.1 机械设计的重要性	4
2.1.2 机械系统的基本组成	4
2.1.3 机械设计的基本要求	5
2.1.4 机械设计的一般过程	5
2.1.5 机械设计新发展简介	6
2.2 机械零件设计的基本准则及一般步骤	7
2.2.1 设计机械零件时的基本要求	7
2.2.2 机械零件的一般设计步骤	9
2.3 机械零件的疲劳强度	9
2.3.1 变应力及其参数	9
2.3.2 疲劳断裂及疲劳曲线	11
2.3.3 疲劳强度计算	12
2.4 机械零件的常用材料及其选择	14
2.4.1 机械零件的常用材料	14
2.4.2 材料选择原则	15
复习思考题	16
第 3 章 平面机构的自由度及机构运动简图	17
3.1 运动副及其分类	17
3.1.1 运动副	17
3.1.2 运动副的特点及分类	17
3.2 平面机构的运动简图	18
3.3 平面机构的自由度及其具有确定运动的条件	21
3.3.1 平面机构自由度计算	21
3.3.2 平面机构具有确定运动的条件	22
3.3.3 计算机构自由度时应注意的事项	22
复习思考题	24
第 4 章 常用平面连杆机构的设计	27
4.1 平面四杆机构的基本类型及其演化	27
4.1.1 平面四杆机构的基本型式	27
4.1.2 平面四杆机构的演化	29
4.2 平面四杆机构的一些基本特性	31
4.3 用作图法设计平面四杆机构	35
4.3.1 按给定行程速比系数 $K$ 设计四杆机构	35
4.3.2 按给定连杆预定位置设计四杆机构	36
4.3.3 构件的结构设计	37
复习思考题	39
第 5 章 凸轮机构设计	41
5.1 凸轮机构的应用和分类	41
5.1.1 凸轮机构的应用	41
5.1.2 凸轮机构的分类	41
5.2 凸轮机构工作原理和从动件的运动规律	43
5.2.1 凸轮机构工作原理	43
5.2.2 从动件常用的几种运动规律	43
5.3 图解法设计盘形凸轮轮廓	47
5.3.1 盘形凸轮机构设计的几个基本参数的确定	47
5.3.2 直动从动件盘形凸轮机构的凸轮设计	51
5.3.3 摆动从动件盘形凸轮机构的凸轮	

设计 .....	52	问题 .....	81
<b>5.4 解析法设计盘形凸轮轮廓 .....</b>	<b>53</b>	7.5.1 螺纹联接的布置 .....	81
5.4.1 直动滚子从动件盘形凸轮机构 .....	53	7.5.2 螺纹联接的防松 .....	83
5.4.2 摆动滚子从动件盘形凸轮机构 .....	54	7.5.3 螺纹联接的安装与拆卸 .....	84
5.4.3 实际轮廓曲线方程 .....	54	7.5.4 螺纹联接的检查和维修 .....	84
5.4.4 刀具中心轨迹 .....	55	<b>7.6 螺旋传动 .....</b>	<b>84</b>
<b>5.5 凸轮机构的结构设计 .....</b>	<b>55</b>	7.6.1 螺旋传动的类型和特点 .....	84
5.5.1 凸轮和从动件的常用材料及技术要求 .....	55	7.6.2 螺旋传动的设计计算 .....	85
5.5.2 结构设计 .....	56	<b>7.7 轴毂联接(键、销、成型、过盈联接) .....</b>	<b>87</b>
5.5.3 凸轮工作图 .....	58	7.7.1 键联结 .....	87
<b>复习思考题 .....</b>	<b>59</b>	7.7.2 销联接 .....	92
<b>第6章 间歇运动机构简介 .....</b>	<b>61</b>	7.7.3 成型联接 .....	93
<b>6.1 棘轮机构 .....</b>	<b>61</b>	7.7.4 过盈联接 .....	93
6.1.1 棘轮机构的工作原理和类型 .....	61	<b>复习思考题 .....</b>	<b>93</b>
6.1.2 棘轮机构的特点和应用 .....	63	<b>第8章 带传动 .....</b>	<b>95</b>
<b>6.2 槽轮机构 .....</b>	<b>63</b>	<b>8.1 概述 .....</b>	<b>95</b>
6.2.1 槽轮机构的工作原理和类型 .....	63	8.1.1 带传动的类型 .....	95
6.2.2 槽轮机构的运动系数 .....	64	8.1.2 带传动的形式 .....	95
6.2.3 外啮合槽轮机构的几何尺寸计算 .....	65	8.1.3 带传动的优缺点和应用范围 .....	96
<b>6.3 不完全齿轮机构 .....</b>	<b>66</b>	<b>8.2 带传动的理论基础 .....</b>	<b>96</b>
<b>复习思考题 .....</b>	<b>67</b>	8.2.1 带传动的受力分析 .....	96
<b>第7章 联接 .....</b>	<b>68</b>	8.2.2 带传动的应力分析 .....	97
<b>7.1 螺纹 .....</b>	<b>68</b>	8.2.3 带的弹性滑动与打滑 .....	98
7.1.1 螺纹的形成和种类 .....	68	<b>8.3 V带及V带轮 .....</b>	<b>99</b>
7.1.2 螺纹的主要参数 .....	69	8.3.1 V带 .....	99
<b>7.2 螺纹副受力分析、效率和自锁 .....</b>	<b>70</b>	8.3.2 V带轮 .....	101
7.2.1 矩形螺纹 .....	70	<b>8.4 V带传动的设计计算 .....</b>	<b>102</b>
7.2.2 非矩形螺纹 .....	72	8.4.1 带传动的设计准则和单根V带的许用功率 .....	102
<b>7.3 螺纹联接与螺纹联接件 .....</b>	<b>73</b>	8.4.2 V带传动的设计步骤 .....	103
7.3.1 螺纹联接的基本类型 .....	73	<b>8.5 带传动的张紧装置 .....</b>	<b>107</b>
7.3.2 螺纹联接件 .....	74	<b>8.6 带传动的使用与维护 .....</b>	<b>108</b>
<b>7.4 螺纹联接的强度计算 .....</b>	<b>75</b>	<b>复习思考题 .....</b>	<b>110</b>
7.4.1 普通螺栓联接 .....	75	<b>第9章 链传动 .....</b>	<b>111</b>
7.4.2 铰制孔用螺栓联接 .....	78	<b>9.1 链传动的特点和应用 .....</b>	<b>111</b>
7.4.3 螺栓联接的许用应力 .....	79	9.1.1 链传动的特点 .....	111
<b>7.5 螺纹联接的结构设计及应注意的</b>		9.1.2 链传动的应用 .....	111
		<b>9.2 链和链轮 .....</b>	<b>111</b>



<b>9.3 链传动的运动分析和受力分析</b> .....	115	10.6.2 侧隙 .....	139
9.3.1 链传动的运动分析 .....	115	10.6.3 齿轮精度等级和侧隙的标注 .....	139
9.3.2 链传动的受力分析 .....	116	<b>10.7 渐开线齿轮传动强度设计计算基础</b> .....	140
<b>9.4 链传动的设计计算</b> .....	117	10.7.1 齿轮传动的失效形式及计算准则 .....	140
9.4.1 链传动的失效形式 .....	117	10.7.2 齿轮的常用材料和热处理 .....	141
9.4.2 额定功率曲线 .....	118	<b>10.8 直齿圆柱齿轮传动的强度计算与设计</b> .....	143
9.4.3 主要参数的选择 .....	118	10.8.1 直齿圆柱齿轮传动的载荷计算 .....	143
9.4.4 低速链传动的静强度计算 .....	120	10.8.2 齿面接触疲劳强度计算 .....	145
<b>9.5 链传动的布置、张紧及润滑</b> .....	120	10.8.3 齿根弯曲疲劳强度计算 .....	147
9.5.1 链传动的布置 .....	120	10.8.4 齿轮的许用应力和主要参数的选择 .....	149
9.5.2 链传动的张紧 .....	120	<b>10.9 斜齿圆柱齿轮传动</b> .....	153
9.5.3 链传动的润滑 .....	122	10.9.1 斜齿圆柱齿轮传动形成原理及啮合特点 .....	153
<b>复习思考题</b> .....	123	10.9.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数 .....	155
<b>第10章 齿轮传动</b> .....	124	10.9.3 斜齿圆柱齿轮的几何尺寸计算 .....	156
<b>10.1 齿轮传动概述</b> .....	124	10.9.4 斜齿圆柱齿轮啮合传动 .....	157
10.1.1 齿轮传动的类型、特点和应用 .....	124	10.9.5 斜齿圆柱齿轮的当量齿轮与当量齿数 .....	157
10.1.2 对齿轮传动的基本要求 .....	126	10.9.6 斜齿轮的公法线长度和固定弦齿厚 .....	158
<b>10.2 渐开线齿廓啮合的几个重要性质</b> .....	126	<b>10.10 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算与设计</b> .....	161
10.2.1 渐开线的形成及其特性 .....	126	10.10.1 轮齿受力分析 .....	161
10.2.2 渐开线齿廓啮合的几个重要性质 .....	127	10.10.2 齿面接触疲劳强度计算 .....	162
<b>10.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸</b> .....	129	10.10.3 齿根弯曲疲劳强度计算 .....	163
10.3.1 齿轮各部分的名称及代号 .....	129	10.10.4 渐开线圆柱齿轮零件图上应标注的尺寸数据 .....	167
10.3.2 基本参数 .....	130	<b>10.11 锥齿轮传动设计</b> .....	169
10.3.3 标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸 .....	131	10.11.1 锥齿轮传动及其几何尺寸计算 .....	169
10.3.4 公法线长度 $W_k$ 与固定弦齿厚 .....	131	10.11.2 直齿锥齿轮传动的强度计算与设计 .....	171
<b>10.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动</b> .....	133	10.11.3 锥齿轮零件图上应标注的尺寸数据 .....	175
10.4.1 正确啮合条件 .....	133	<b>10.12 齿轮的结构设计</b> .....	177
10.4.2 连续传动的条件 .....	134	<b>10.13 齿轮传动的润滑</b> .....	180
10.4.3 标准中心距 .....	135	10.13.1 齿轮传动的润滑方式 .....	180
<b>10.5 渐开线直齿圆柱齿轮的加工方法</b> .....	136	10.13.2 润滑剂的选择 .....	180
10.5.1 轮齿的加工方法 .....	136		
10.5.2 根切现象与最少齿数 .....	138		
<b>10.6 齿轮传动的精度</b> .....	138		
10.6.1 精度等级 .....	138		

复习思考题	181	13.4.1 轴上零件的定位和固定	214
第 11 章 蜗杆传动	183	13.4.2 轴上零件的装拆和调整	216
11.1 蜗杆传动的特点和类型	183	13.4.3 提高轴疲劳强度的结构措施	216
11.2 蜗杆传动的主要参数及几何尺寸	184	13.4.4 制造工艺要求	217
11.2.1 蜗杆传动的主要参数	184	13.4.5 轴上零件的结构和位置安排	218
11.2.2 蜗杆传动的几何尺寸	186	13.5 轴的强度校核计算	218
11.3 蜗杆传动强度设计计算基础	188	13.5.1 按弯扭合成进行强度计算	218
11.3.1 蜗杆传动失效形式及计算准则	188	13.5.2 按疲劳强度安全系数校核	219
11.3.2 蜗杆和蜗轮材料的选择	188	13.5.3 轴的强度计算实例	224
11.3.3 蜗杆传动精度等级的选择	188	13.6 轴的刚度校核	227
11.4 蜗杆传动的强度计算与设计	189	13.6.1 轴的弯曲刚度校核	227
11.4.1 蜗杆传动的受力分析	189	13.6.2 轴的扭转刚度校核	228
11.4.2 蜗轮齿面接触疲劳强度计算	190	复习思考题	228
11.4.3 蜗轮齿根弯曲疲劳强度计算	191	第 14 章 滑动轴承	230
11.5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	191	14.1 滑动轴承的摩擦状态及应用特点	230
11.5.1 蜗杆传动的效率	191	14.2 滑动轴承的结构及材料	231
11.5.2 蜗杆传动的润滑	192	14.2.1 滑动轴承的结构	231
11.5.3 蜗杆传动的热平衡计算	193	14.2.2 滑动轴承的失效形式及材料	233
11.6 蜗杆、蜗轮的结构	194	14.3 滑动轴承的润滑	236
11.7 蜗杆、蜗轮零件图上应标注的尺寸数据	197	14.3.1 润滑剂及其选择	236
复习思考题	199	14.3.2 润滑方法和润滑装置	237
第 12 章 轮系	201	14.4 非液体摩擦滑动轴承的设计	239
12.1 轮系及其分类	201	14.4.1 非液体摩擦滑动轴承的条件性计算	239
12.2 定轴轮系传动比的计算	201	14.4.2 非液体摩擦滑动轴承的设计步骤	240
12.3 周转轮系传动比的计算	203	14.5 液体摩擦滑动轴承简介	241
12.4 混合轮系及其传动比的计算	205	复习思考题	244
12.5 轮系的功用	206	第 15 章 滚动轴承	246
复习思考题	208	15.1 滚动轴承的特点、结构及应用	246
第 13 章 轴	210	15.1.1 滚动轴承概述	246
13.1 轴的分类和设计要求	210	15.1.2 滚动轴承的结构	246
13.1.1 轴的分类	210	15.2 滚动轴承的主要类型、代号及选用	246
13.1.2 轴的设计要求	210	15.2.1 滚动轴承的主要类型和特点	246
13.2 轴的材料	211	15.2.2 滚动轴承的代号	249
13.3 轴的基本直径的估算	213	15.2.3 滚动轴承的类型选择	250
13.4 轴的结构设计	214		

<b>15.3 滚动轴承的设计计算</b> .....	251	17.1.1 机械传动型式 .....	272
15.3.1 滚动轴承的失效形式 .....	251	17.1.2 机械传动类型的选择 .....	273
15.3.2 滚动轴承的设计计算 .....	251	<b>17.2 机械传动方案设计</b> .....	274
15.3.3 向心推力轴承的载荷计算 .....	254	17.2.1 传动方案设计的依据 .....	274
15.3.4 滚动轴承的静强度计算 .....	256	17.2.2 传动方案设计的一般原则 .....	274
<b>15.4 滚动轴承的组合设计</b> .....	259	17.2.3 机械传动方案设计的步骤和 方法 .....	274
15.4.1 滚动轴承的支承配置形式和轴承 预紧 .....	259	17.2.4 传动方案的评价 .....	278
15.4.2 滚动轴承的配合 .....	261	<b>17.3 机械传动的运动和动力参数的     计算</b> .....	279
15.4.3 滚动轴承的润滑和密封 .....	261	17.3.1 传动系统的效率 .....	279
<b>复习思考题</b> .....	262	17.3.2 传动系统的功率 .....	280
<b>第16章 联轴器和离合器</b> .....	263	17.3.3 传动系统的转矩 .....	281
<b>16.1 概述</b> .....	263	17.3.4 动力机选用 .....	281
<b>16.2 联轴器</b> .....	263	17.3.5 串联连接的传动比的分配以及 速度的分析 .....	282
<b>16.3 离合器</b> .....	268	<b>17.4 机械传动方案设计举例</b> .....	282
<b>复习思考题</b> .....	271	<b>复习思考题</b> .....	285
<b>第17章 机械传动总论</b> .....	272	<b>参考文献</b> .....	287
<b>17.1 机械传动型式及其选择</b> .....	272		

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 引言

人类在长期的生产实践中创造和发展了机械。早在古代，人类就将杠杆、楔和滚子等工具和简单机械用于建筑和运输。16 世纪的第一次工业革命和 19 世纪欧洲的产业革命形成了机械工业并使之得到迅猛发展。

在我国，机械的创造、发展和使用有着悠久的历史。三千年前就出现了简单的纺织机。两千年前已把绳轮、凸轮等用于生产作业器具。汉代以后的指南车及记里鼓车中利用了齿轮和轮系传动。东汉张衡将杆机构巧妙地使用在人类第一台地震仪——侯风地动仪上。元朝有利用曲柄、滑块和飞轮的纺织机。可是，由于我国长期的封建制度以及近代历史上长年战乱和帝国主义的侵入，使我国的机械工业和其他科学领域一样，长期得不到应有的发展而处于落后状态。

1949 年新中国诞生后，我国的工农业生产、科学技术取得了前所未有的巨大发展，机械工业和机械科学水平相应有了很大提高。目前，我国不但能自行设计制造大型、精密、成套高新技术设备，而且在机械工程领域中，有很多学科以接近和赶上先进工业国家水平，有的处于领先地位。但我们也应该看到，我国机械产品的设计水平与国际先进水平相比还有相当大的差距。机械产品的性能还很落后，质量还较差。为了从根本上改变我国机械工业的落后局面，就必须大量培养高素质技术应用性专门人才。本课程将直接担负机械设计专门人才的培养任务。

随着科学技术的进步和生产的发展，市场竞争日益激烈，机械产品更新换代的周期将日趋缩短，企业为了生存和发展，就必须不断地提高生产率，开发具有市场竞争力的新产品，这样就对从事机械工程的技术人员提出了更高的要求。因此，对高等工科院校机械类的学生，学习《机械设计基础》等机械学科的课程是十分必要的。

## 1.2 《机械设计基础》课程研究的对象和内容

机械是机器和机构的总称。

在日常生活和生产过程中，广泛使用了各种机器。经常见到的如电动机、内燃机、起重机和洗衣机等都是机器。尽管机器的种类繁多，其构造、形式、功能各不相同，但它们的作用是实现能量的转换，或完成有用的机械功，其目的是代替或减轻人们的劳动和改善生活条件，以提高人们的生活质量。

为便于研究机器的工作原理，分析运动特性和设计新机器，通常又将机器视为是由若干机构组成的。

如图 1-1 所示的单缸内燃机，它由汽缸体（机架）1、曲轴（曲柄）2、连杆 3、活塞（滑块）4、进气阀 5、排气阀 6、推杆 7、凸轮轴（凸轮）8 及齿轮 9、10 组成。当燃气推动活塞 4 作往复移动时，通过连杆 3 使曲轴 2 作连续转动，从而将燃气的压力能转换为曲轴的机械

能。齿轮、凸轮和推杆的作用是按一定的运动规律按时启闭阀门，完成吸气和排气。这种内燃机可视为由三种机构组成：(1) 由活塞 4、连杆 3、曲轴 2 和机架 1 构成的曲柄滑块机构，它将活塞的往复移动转变为曲柄的连续转动；(2) 由齿轮 9、10、和机架 1 构成的齿轮机构，其作用是改变转速的大小和转动的方向；(3) 由凸轮轴 8、推杆 7 和机架 1 构成的凸轮机构，它将凸轮的连续转动转变为推杆的往复移动。

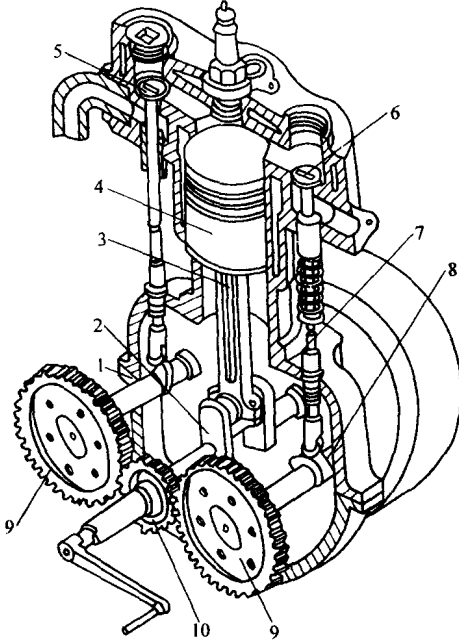


图 1-1 单缸内燃机

1—机架 2—曲轴(曲柄) 3—连杆 4—活塞  
(滑块) 5—进气阀 6—排气阀 7—推杆  
8—凸轮轴(凸轮) 9、10—齿轮

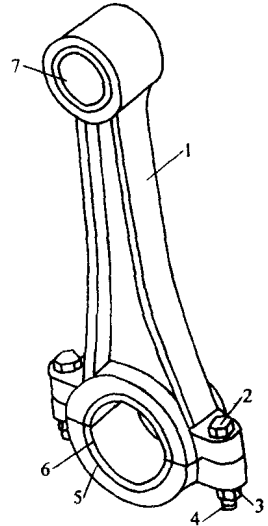


图 1-2 内燃机连杆

1—连杆体 2—螺栓 3—螺  
母 4—开口销 5—连杆盖  
6—轴瓦 7—轴套

由此可见，所谓机构乃是若干具有确定相对运动的构件的组合，它在机器中起着改变运动规律或形式，改变速度大小的作用。组成机构的构件可以是一个零件，也可以是由几个零件构成的刚性整体。如图 1-1 中的内燃机连杆，就是由如图 1-2 所示的连杆体 1、连杆盖 5、螺栓 2、螺母 3、开口销 4、轴瓦 6 和轴套 7 等多个零件构成的一个构件。又如图 1-1 中的齿轮—凸轮轴，则是由图 1-3 所示的凸轮轴 1、齿轮 2、键 3、轴端挡圈 4 和螺钉 5 等零件构成的构件。

很显然，构件是运动基本单元，而零件是制造基本单元。

机器中普遍使用的机构称为常用机构、如平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等。

机械中普遍使用的零件称为通用零件，如螺栓、齿轮、轴等；只在某类型机械中使用的零件称为专用零件，如汽轮机中的叶片，内燃机中的曲轴等。

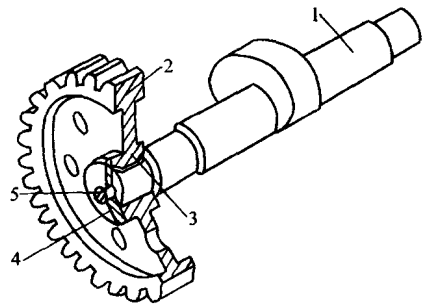


图 1-3 齿轮—凸轮轴

1—凸轮轴 2—齿轮 3—键  
4—轴端挡圈 5—螺钉

本课程作为机械设计的基础，主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理，运动特性，结构特点，材料选择，设计计算的基本理论和方法，以及使用和维护，标准和规范，从而为研究开发机器打下基础。

### 1.3 本课程的性质和任务

“机械设计基础”课程是一门培养学生具有一定机械设计能力的基础课。在现代化生产中，几乎没有一个领域不使用机械。因此，不仅机械制造部门，而且动力、采矿、石油、化工、轻纺、食品工业等各部门的工程技术人员也应具有一定的，有时甚至是较深入的机械及机械设计基础知识。本课程正是为适应这一需要而设置的。

本课程的主要任务是：

(1) 掌握机构的结构、运动特性和机械动力学的基础知识，为学生将来从事机械产品的设计、开发提供必要的理论基础。

(2) 掌握通用零件的工作原理、特点、维护和设计计算的基本知识，初步具有从事简单机械装置设计以及设备使用、维护管理和故障分析的能力。

(3) 具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料及编写设计说明书的能力。

## 第 2 章 机械设计概论

### 2.1 机械设计的基本要求和一般过程

#### 2.1.1 机械设计的重要性

20 世纪后期所形成的全球经济一体化格局，预示着 21 世纪在世界范围内的经济和技术的竞争将会更加激烈。对于包括机器制造在内的制造业来说，这种竞争就具体体现在产品上。即要求产品上市快 ( $T$ )、质量高 ( $Q$ )、成本低 ( $C$ )、服务好 ( $S$ )，从而才能占领市场。而这些要求在很大程度上就取决于产品的设计质量和效率。对于机械设计来说，就是要适应市场的需求，以最短的设计周期，拿出功能强、经济性好、便于使用与维护的产品创新设计方案来。因此，机械设计在机器制造业中起着极其重要的作用，往往机械产品的技术经济性能和竞争力其关键就在于设计。据统计分析，虽然机械产品成本中的约 80% 是制造费用，然而只占产品成本 5% 的设计活动往往决定了占到 70%~80% 的产品成本。由此即可体会到作为一个机械工程技术人员在从事设计工作时肩负的重任，从而激发我们去努力掌握机械设计的基本原理、方法和技能，并进而在今后的工作中注意工程实践经验的积累和机械科学与技术的最新进展，为我国的机械产品占领国际市场作出具有创造性的业绩来。

#### 2.1.2 机械系统的基本组成

科学技术发展的一个重要趋势就是各个学科领域之间的相互渗透和融合。如今在机械工程领域，自动控制、电子技术和计算机等的应用日益广泛和深入。因此从某种意义上来说机械系统应该是机电一体化系统。一个现代机械系统一般由四个部分构成，见图 2-1。

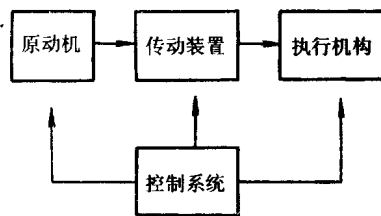


图 2-1 机械系统的基本组成

其中，原动机用于为机械系统提供动力输入（多数情况下是旋转运动和转矩），常用的有电动机、内燃机等；传动装置用于对原动机的运动形式、运动及动力参数（如速度、转矩或推力）进行变换，以适应执行机构的作业需要；执行机构是用来完成机械系统的预定作业任务的部分，例如金属切削机床中使刀具或工件转动并相对运动以完成加工作业的部分、搅拌机的搅拌装置、挖掘机的挖斗机构、工业机器人的夹持部分（手部）等；控制部分则用于对上述几部分进行监测、操纵和控制，以保证整个系统按照预定的作业要求实现正常而高效的运转，提高系统的精确性、可靠性、安全性及其作业过程的柔性化、自动化、智能化。机械系统中的传动装置在多数场合是采用机械传动形式，有时也采用液压或电力传动形式。因此在本课程中将主要学习各种常用机械传动机构的原理和设计。至于机械系统中执行机构的设计，虽然它属于各个专业设计课程的研究内容；但只要掌握好本课程也是可以从事相应的设计工作的，况且这些基本内容也是学习有关专业设计课程的重要基础。

### 2.1.3 机械设计的基本要求

设计机械系统的基本要求是：

1. 功能性要求 所谓功能就是指该机械系统是用来完成什么作业任务的。例如，金属切削机床应能实现对工件型面在一定精度下的加工要求，搅拌机应能使被搅拌物（如液体、颗粒状或粉状的固体物质）混合均匀，挖掘机要能够完成土方的挖取和转移，生产线上的机器人要在各工位间实现对工件或半成品的抓取、移动、放置及安装作业，等等。设计人员应能巧妙而有创造性地确定机械系统的传动和执行机构，并采用适当的原动机和控制措施，以使系统能够高效地完成预定的作业。因此，功能要求是机械设计中确定机械系统原理方案的基本出发点。

2. 经济性要求 所谓经济性，简而言之就是在满足功能要求的前提下尽量降低成本。显然经济性是产品具有市场竞争力的主要因素之一。现代设计方法学认为，产品的经济性体现在设计、制造、使用、维护以至报废回收的全生命周期中。因此，对于机械产品设计，虽然满足其经济性要求的主要措施是致力于如何降低制造成本（包括材料费用，加工、检测及装配的成本，以及尽量采用标准件、通用件等）；但同时也应注意缩短设计周期、降低设计成本、减少能源消耗，并使机器易于操作使用和维护。

3. 安全性要求 一般说来，机械设备的安全性有三个含义：一是指设备本身不致因过载、失电以及其它偶然因素而损坏；二是指切实保障操作者的人身安全，应设置完善可靠的安全防护及保安装置、报警装置等；三是指不会对环境造成破坏，例如防止毒气、废液及有害介质的泄漏和排放等。显然这三方面都是设计者应予重视的基本要求；特别是第二点关系到人身安全，更是不可掉以轻心的，应符合有关的劳动保护法规。随着环境问题的日益突出，针对第三点近年来又提出了“绿色设计”、“绿色制造”、“绿色产品”的概念。

4. 可靠性要求 随着机械系统日趋复杂化、大型化、自动化及集成化，要求机械系统在预定的环境条件下和寿命期限内，具有保持正常工作状态的性能，这就是机器的可靠性。可靠性用可靠度来度量。机械系统的可靠度  $R$ ，被定义为：在规定的使用期限（寿命）内和预定的环境条件下，系统能够正常工作的概率（可能性）。 $R$  的变化范围是  $0\sim 1$ ，也常用百分数表示。一般对于重要或大型机械系统都要进行可靠性分析和设计，以使可靠度在要求的范围之内。与可靠度相对的是失效概率  $F$ ，即机器在规定条件下不能正常工作的概率（可能性），也常用百分数表示。显然二者之间存在着  $R=1-F$  的关系。

设计机械系统时，除了上述四项基本要求外，不同的专业领域和环境条件下还会有一些不同的特殊要求。例如对金属切削机床（特别是精密加工机床）有较高的精度要求；家用设备（如自行车、洗衣机、缝纫机等）要求操作简单、造型美观宜人；经常在不同地点作业的大型设备（如地质钻探机及一些军用设备）应便于装拆和搬运；在高温或低温以及腐蚀、放射性环境条件下工作的机械要采取必要的防护措施；等等。

### 2.1.4 机械设计的一般过程

1. 明确任务阶段 如果是自行进行产品开发，则这一阶段的工作包括对现有同类或相近产品的生产、性能、价格、用户及销售等情况开展市场调研分析，以便确定待开发产品的市场定位及其研制周期、功能目标、使用条件、技术性能、开发成本及利润等，并尽量使有关技术指标量化，从而制定出较为详尽的开发研制计划来。若是承接上级或客户的设计任务，则需要搞清楚产品的功能和具体的技术指标、使用条件、设计周期和成本等，制定出明确的设



计任务书, 该任务书也兼有着设计任务完成后交接验收的依据作用。当然在一开始就要求将有关的技术和经济性的设计指标及开发期限等定量化, 往往是十分困难的; 但通过认真细致的分析, 结合以往的开发经验, 总可以给出一个大致的估计或限制范围。例如对于设计要求就常常采用必达要求、最低要求和希望达到的要求来表述。

2. 方案设计阶段 方案设计亦称作原理设计、概念设计。这一阶段的工作任务是确定实现预定功能的原理解, 亦即构思出大体的机构方案。例如要设计一台用于修剪草坪的剪草机, 它的功能就是将草坪修剪平整, 并将剪下的草屑回收; 同时要能够在较大区域内行走(移动)。那么它的主要功能就可以抽象为“切断”和“移动”, 辅助功能是“草屑回收”。方案设计就是要确定如何来实现“草的切断”、“草屑回收”和“整机移动”的功能。具体到切断功能, 是采用砍伐还是交错剪切或其它方式; 若选择了采用交错剪切方式, 进而就需确定采用什么结构形式的机构来执行, 因为交错剪切可以采用双向往复的错切运动, 也可以采用单向连续移动的循环刀片来实现; 若决定采用往复错切运动, 则可用的机构型式又有哪些, 哪一些或哪种机构更为适合此剪草作业的需要及其工作环境等。同样地, 剪草机整机的行走功能也要作类似比较, 比如是采用人力还是机动方式, 是采用履带式、滚轮式、轮胎式或其它形式, 等等。方案设计是整个机械设计过程中最为关键因而也是难度较大的环节, 但同时也是最能够发挥设计者创造性能力的阶段。这一阶段常需作多次的比较、决策和反复, 以尽量减少在后续的设计、制造过程中出现重大失误而返工。再者, 为了获得创新设计方案, 不仅要有扎实的基础知识和能力以及较为丰富的工程实践经验, 而且具有创新意识和发散思维能力也是极其重要的。为了充分利用计算机以实现设计作业(特别是方案设计)的自动化、智能化, 专家系统技术(ES)作为人工智能原理(AI)在工程设计中的应用, 已经获得了广泛的重视和开发研究。

3. 技术设计阶段 技术设计或称作详细设计。本阶段的工作任务是将前面选定的设计方案通过必要的分析计算和结构设计, 用图面(装配图、零件工作图等)及技术文件的形式来加以具体表示。包括运动设计、动力分析、整体布局, 零件结构、材料、尺寸、精度和其它参数的确定以及必要的强度和刚度计算等。这些也是本课程要求掌握的主要内容; 同时还要用到工程力学、制造工艺、工程材料、公差配合等有关知识。机械设计发展到今天, 这一阶段的工作已基本上都可以应用计算机来完成, 这就是所谓计算机辅助设计(CAD)。

4. 施工设计阶段(工艺设计) 本阶段是将设计与制造(或试制)连接起来的重要环节, 即规划零件的制造工艺流程, 确定有关工艺参数(如切削用量等)及刀具、检测手段, 夹具、模具(有时也包括刀具、量具)的设计等。这些正是机械制造工艺学等课程的学习内容; 但也在更大程度上依赖于实践经验。为此, 计算机辅助工艺设计(CAPP)至今未能像机械CAD那样获得突破性进展和广泛应用。

### 2.1.5 机械设计新发展简介

机械设计的历史可以追溯到人类开始制造和使用工具时期; 在经历了直觉设计、经验设计、半经验半理论设计的漫长演进历程后, 到20世纪70年代随着计算机科学与技术的迅猛发展, 利用计算机来完成技术设计的有关分析、计算和绘图作业的计算机辅助设计逐渐得到开发应用。而本课程的学习正是开发和应用机械CAD软件所必需的重要知识基础之一; 此外, 有限元分析和机械优化设计则是机械CAD的两大支撑技术。与机械CAD发展的同时, 人们又不满足于仅仅利用计算机来代替人工的分析、计算和绘图, 而试图在机械设计的全过程