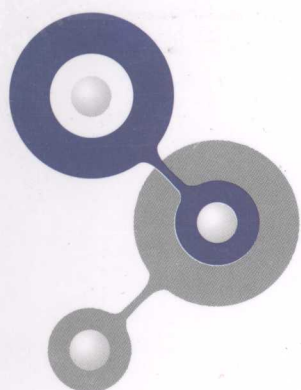




高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材



机械设计基础

主编 岳大鑫 王 忠
主审 秦宝荣



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材

机械设计基础

主 编 岳大鑫 王 忠

主 审 秦宝荣

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

针对 21 世纪“宽基础、广适应、重应用”的人才培养要求,编者从“教学以训练思维、传授方法、培养能力为主”的教学理念出发,在集多年从事机械设计基础教学、教改和指导大学生机器人大赛、机械设计大赛等经验的基础上编写了本书。

全书共分为 17 章,其中,第 1~7 章介绍机构构形理论与机构速度分析、常用机构及机械动力学方面的基本知识,第 8~17 章介绍机械零件设计概论、联接、机械传动、轴系零部件及弹簧。

本书可作为高校本科“机械设计基础”课程教材和高专、自考等相关专业的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

★ 本书配有电子教案,需要者可从出版社网站上下载或与出版社联系,免费提供。

主 编 岳大鑫 王 忠

主 审 秦宝荣

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/岳大鑫,王忠主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.3

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-1963-7

I. 机… II. ①岳… ②王… III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 204868 号

策 划 马乐惠

责任编辑 张 梁 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 23

字 数 541 千字

印 数 1~4000 册

定 价 33.00 元

ISBN 978-7-5606-1963-7/TH·0086

XDUP 2255001-1

西安电子科技大学出版社

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

8005

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦力	王建中	巨永锋	孙强	陈在平	李正明
吴斌	杨马英	张九根	周玉国	党宏社	高嵩
秦付军	席爱民	穆向阳			

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉	李荣正	余健明
段晨东	郝润科	谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋	刘晓婷	朱建公	朱若燕	何法江	李鹏飞
麦云飞	汪传生	张功学	张永康	胡小平	赵玉刚
柴国钟	原思聪	黄惟公	赫东锋	谭继文	

项目策划：马乐惠

策划：毛红兵 马武装 马晓娟

前 言

“机械设计基础”是高等学校工科有关专业一门重要的技术基础课。它不仅可以帮助学生完成从理论学习到面向工程设计这样一个过渡,同时也可以培养学生具有初步的机械设计能力,为今后学习有关的专业机械设备奠定基础。

本书是根据高等工科院校近机类、非机类专业“机械设计基础”课程教学基本要求,为适应 21 世纪人才培养的需要,在结合编者多年从事机械设计基础教学、教改和指导大学生机器人大赛、机械设计大赛等经验的基础上编写而成的。编者试图从满足教学基本要求、贯彻“训练思维、传授方法、培养能力”的教学理念和少而精的原则出发,力求做到精选内容、适当拓宽知识面、反映学科最新成就,但难度适中、篇幅不大,以期保持简明、实用的特色。全书从“大众教育”的实际出发,将机械原理与机械设计的内容有机整合,突出机械设计主线,不过多追求理论完整,淡化公式推导,着重设计构思和设计技能的基本训练。本书在内容阐述和例题讲解等方面力求通俗易懂、遵循认知规律,并有意识地介绍了一些面向工程的分析、处理问题的原则和方法。为了适应不同专业、不同学时要求,本书采用可拆可减的结构,有的可整节删除,有的甚至可以整章删除。全书均采用国际单位制和最新颁布的国家标准。另外,从培养学生的设计能力和有利于学生复习的角度出发,本书还编入了较多的习题。

本书可作为普通高等院校本科近机类、非机类专业“机械设计基础”课程教材和高专、成教、网络教育、自考等相关专业的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

参加本书编写的有岳大鑫(绪论,第 7、12 章)、王忠(第 1、3、4、6 章)、杨玉民(第 13、16 章)、赵登峰(第 14、15 章)、陈晓勇(第 9 章)、曹剑(第 5 章)、金玉萍(第 2 章)、杜鹏祥(第 8 章)、李玉萍(第 11 章)、应琴(第 17 章)、王春燕(第 10 章),并由岳大鑫和王忠任主编。

本书承秦宝荣教授细心审阅,并提出了许多宝贵的意见,编者对此深表感谢。

编者在本书的编写过程中参考了一些国内的相关文献(列于书末),在此谨向有关作者致谢。

编者殷切希望广大读者在使用过程中对本书的错误和欠妥之处给予批评指正。对本书的意见请寄:四川省绵阳市西南科技大学制造学院(邮编:621010)。

编 者

2007 年 9 月

目 录

绪论	1	2.3.3 摇块机构和定块机构	33
0.1 名词术语	1	2.3.4 双滑块机构	34
0.2 机械设计的基本要求及一般程序	3	2.3.5 偏心轮机构	35
0.2.1 机械设计的基本要求	3	2.4 平面四杆机构的设计	36
0.2.2 机械设计的一般程序	4	2.4.1 按照给定的行程速比系数 K	
0.3 “机械设计基础”课程的内容、性质		设计四杆机构	36
和任务	5	2.4.2 按照给定的连杆位置设计	
0.3.1 课程内容	5	四杆机构	38
0.3.2 课程性质与先修知识	5	2.4.3 按照给定连架杆的对应位置设计	
0.3.3 课程任务	5	四杆机构	38
0.4 课程特点与学习方法	6	2.4.4 按照给定点的运动轨迹设计	
第1章 机构构形理论与		四杆机构	40
机构速度分析	7	习题	41
1.1 运动副及其分类	7	第3章 凸轮机构	44
1.2 平面机构运动简图	9	3.1 概述	44
1.3 平面机构的自由度	11	3.1.1 凸轮机构的应用	44
1.3.1 平面机构自由度计算公式	12	3.1.2 凸轮机构的分类	45
1.3.2 构件组合具有确定运动的条件	12	3.1.3 凸轮机构的特点	45
1.3.3 计算机构自由度的注意事项	13	3.2 从动件的常用运动规律	46
1.4 速度瞬心及其在速度分析上的应用	15	3.2.1 等速运动规律	47
1.4.1 速度瞬心及其求法	15	3.2.2 等加速等减速运动规律	48
1.4.2 瞬心法在速度分析上的应用	17	3.2.3 简谐运动规律	49
1.5 用相对运动图解法求机构速度	18	3.3 凸轮轮廓设计的图解法	50
1.5.1 同一构件两点之间的速度分析	19	3.3.1 反转法的原理	50
1.5.2 两构件以移动副相联的		3.3.2 直动从动件盘形凸轮轮廓	
重合点间的速度分析	20	曲线设计	50
习题	22	3.3.3 摆动从动件盘形凸轮轮廓	
第2章 平面连杆机构	25	曲线设计	52
2.1 铰链四杆机构的基本形式和		3.4 凸轮轮廓设计的解析法	52
工作特性	25	3.5 凸轮机构设计应注意的问题	54
2.1.1 铰链四杆机构的基本形式	25	3.5.1 滚子半径的选择	54
2.1.2 铰链四杆机构的工作特性	27	3.5.2 压力角的校核	54
2.2 铰链四杆机构存在曲柄的条件	31	3.5.3 基圆半径的确定	55
2.3 平面四杆机构的演化	32	习题	55
2.3.1 曲柄滑块机构	32	第4章 齿轮机构	58
2.3.2 导杆机构	33	4.1 概述	58

4.2 齿廓实现定角速比传动的条件	58
4.3 渐开线及渐开线齿廓	59
4.3.1 渐开线的形成及性质	59
4.3.2 渐开线齿廓的定角速比	60
4.3.3 渐开线齿廓的压力角	61
4.3.4 啮合线、啮合角、齿廓间的压力作用线	61
4.3.5 渐开线齿轮的可分性	61
4.4 渐开线齿轮各部分的名称和尺寸计算	61
4.4.1 齿轮参数	61
4.4.2 几何尺寸计算	63
4.5 渐开线标准齿轮的啮合	64
4.5.1 正确啮合条件	65
4.5.2 标准中心距	65
4.5.3 重合度条件	66
4.6 渐开线齿轮的切齿原理	66
4.6.1 齿轮轮齿的加工方法	66
4.6.2 轮齿的根切现象和最小齿数	68
4.6.3 变位齿轮传动简介	68
4.7 斜齿圆柱齿轮传动	69
4.7.1 斜齿圆柱齿轮的形成及啮合特性	69
4.7.2 斜齿圆柱齿轮的几何参数和尺寸计算	70
4.7.3 斜齿圆柱齿轮的当量齿数	71
4.7.4 斜齿轮传动的重合度	72
4.8 圆锥齿轮传动	73
4.8.1 圆锥齿轮概述	73
4.8.2 背锥和当量齿数	73
4.8.3 直齿圆锥齿轮几何尺寸计算	74
习题	75
第5章 轮系	78
5.1 概述	78
5.1.1 轮系的分类	78
5.1.2 轮系的传动比及其表达	78
5.2 定轴轮系传动比的计算	80
5.3 周转轮系的组成及其传动比	81
5.3.1 周转轮系的组成	81
5.3.2 周转轮系传动比的计算	82
5.4 复合轮系及其传动比	85
5.5 轮系的应用	86
5.6 几种特殊的行星传动简介	89

5.6.1 渐开线少齿差行星传动	89
5.6.2 摆线针轮行星传动	90
5.6.3 谐波齿轮传动	91
习题	92
第6章 间歇运动机构与组合机构	97
6.1 棘轮机构	97
6.1.1 棘轮机构的工作原理及应用	97
6.1.2 棘爪的工作条件	99
6.1.3 棘轮机构的使用特点	100
6.2 槽轮机构	100
6.2.1 槽轮机构的工作原理	100
6.2.2 槽轮机构的主要参数	101
6.3 不完全齿轮机构	102
6.4 组合机构	103
6.4.1 串联式组合机构	103
6.4.2 并联式组合机构	104
6.4.3 复合式组合机构	105
6.4.4 叠加式组合机构	105
习题	106
第7章 机械动力学基础	107
7.1 机械中的摩擦和机械效率	107
7.1.1 运动副中的摩擦	107
7.1.2 柔韧体的摩擦	114
7.1.3 机械效率和自锁	115
7.2 机械速度波动的调节	119
7.2.1 速度波动的分类及调节方法	119
7.2.2 飞轮设计的近似方法	120
7.3 回转件的平衡	124
7.3.1 回转件的平衡计算	125
7.3.2 回转件的平衡试验	128
习题	130
第8章 机械零件设计概论	136
8.1 概述	136
8.1.1 零件设计的基本要求	136
8.1.2 机械零件的失效形式	136
8.1.3 机械零件的设计准则	137
8.1.4 机械零件设计的一般步骤	138
8.2 零件的体积强度	138
8.2.1 应力的分类与描述	139
8.2.2 静应力下零件的许用应力	140
8.2.3 变应力下零件的许用应力	140
8.3 机械零件的接触强度	144

8.4 零件的耐磨性	146	第 10 章 齿轮传动	192
8.5 零件的常用材料与热处理	147	10.1 齿轮的失效形式	192
8.5.1 机械零件的常用材料	147	10.2 齿轮材料及其热处理	194
8.5.2 钢的常用热处理工艺及其应用	148	10.3 齿轮传动的精度	195
8.5.3 机械零件材料的选用原则	149	10.4 直齿圆柱齿轮的作用力和	
8.6 互换性简介	150	计算载荷	197
8.6.1 公差与配合	150	10.4.1 轮齿上的作用力	197
8.6.2 表面粗糙度	152	10.4.2 计算载荷	197
8.6.3 优先数系	153	10.5 直齿圆柱齿轮的强度计算	198
8.7 零件的工艺性与机械设计的		10.5.1 齿面接触疲劳强度计算	198
有关原则	154	10.5.2 齿根弯曲疲劳强度计算	200
8.7.1 机械零件结构工艺性的		10.5.3 设计齿轮传动的几点说明	202
基本原则	154	10.6 斜齿圆柱齿轮传动	204
8.7.2 机械设计的若干原则	154	10.6.1 斜齿圆柱齿轮轮齿上的	
习题	155	作用力	204
第 9 章 联接	158	10.6.2 斜齿圆柱齿轮的强度计算	205
9.1 概述	158	10.7 直齿圆锥齿轮传动	208
9.2 螺纹的形成与参数	158	10.7.1 直齿圆锥齿轮轮齿上的	
9.2.1 螺纹的形成	159	作用力	208
9.2.2 螺纹的参数	159	10.7.2 直齿圆锥齿轮的强度计算	209
9.3 螺旋副受力分析	160	10.8 齿轮的构造	210
9.4 机械制造常用螺纹	161	10.9 齿轮传动的润滑和效率	212
9.5 螺纹联接的类型及其联接件	164	10.10 圆弧齿轮传动简介	214
9.5.1 螺纹联接的基本类型	164	10.10.1 啮合原理概述	214
9.5.2 螺纹紧固件	165	10.10.2 单圆弧齿轮的优缺点	215
9.6 螺纹联接的预紧与防松	167	10.10.3 双圆弧齿轮传动	216
9.6.1 螺纹联接的预紧	167	习题	216
9.6.2 螺纹联接的防松	167	第 11 章 蜗杆传动	219
9.7 螺栓联接的强度计算	168	11.1 概述	219
9.7.1 松螺栓联接的强度计算	169	11.2 蜗杆传动的主要参数和	
9.7.2 紧螺栓联接的强度计算	170	几何尺寸计算	220
9.8 螺栓的材料及其联接的许用应力	174	11.2.1 圆柱蜗杆传动的主要参数	220
9.9 提高螺纹联接强度的措施	175	11.2.2 圆柱蜗杆传动的几何	
9.10 螺旋传动	178	尺寸计算	223
9.10.1 螺旋传动的类型和应用	178	11.3 蜗杆传动的失效形式、	
9.10.2 滑动螺旋传动的设计	179	材料和结构	224
9.10.3 滚动螺旋传动简介	182	11.3.1 蜗杆传动的失效形式和材料	224
9.10.4 静压螺旋传动简介	182	11.3.2 蜗杆和蜗轮的结构	225
9.11 键、销联接	183	11.4 蜗杆传动的受力分析	226
9.11.1 键联接的类型及其应用	183	11.5 蜗杆传动的强度计算	227
9.11.2 花键联接	186	11.6 蜗杆传动的效率、润滑和	
9.11.3 销联接	187	热平衡计算	228
习题	188	11.6.1 蜗杆传动的效率	228

11.6.2	蜗杆传动的润滑	229	13.1.2	轴的设计	268
11.6.3	蜗杆传动的热平衡计算	229	13.2	轴的材料	269
习题		231	13.3	轴的结构设计	270
第 12 章 带传动和链传动		233	13.3.1	轴的毛坯	270
12.1	带传动概述	233	13.3.2	轴的结构设计要求	271
12.1.1	带传动的工作原理和类型	233	13.4	轴的强度计算	276
12.1.2	带传动的特点	234	13.4.1	按扭转强度计算	276
12.1.3	带传动的尺寸计算	234	13.4.2	按弯扭合成强度计算	276
12.1.4	带传动的张紧	235	13.5	轴的刚度计算	280
12.2	带传动的受力分析	235	13.6	轴的临界转速的概念	281
12.3	带的应力分析	237	习题		282
12.4	弹性滑动和传动比	240	第 14 章 滚动轴承		283
12.5	普通 V 带传动的计算	241	14.1	概述	283
12.5.1	V 带的规格	241	14.1.1	滚动轴承的主要类型、结构 和特点	283
12.5.2	单根普通 V 带的许用功率	242	14.1.2	滚动轴承的代号	285
12.5.3	普通 V 带的型号和 根数的确定	244	14.1.3	滚动轴承类型的选择	287
12.5.4	主要参数的选择	246	14.2	滚动轴承的选择计算	288
12.6	V 带带轮的材料和结构	248	14.2.1	滚动轴承的载荷分析、失效形式和 设计准则	288
12.7	同步带传动简介	249	14.2.2	基本额定寿命和基本额定 动载荷	289
12.8	链传动概述	250	14.2.3	当量动载荷	289
12.9	链条和链轮	251	14.2.4	基本额定寿命计算	291
12.9.1	链条	251	14.2.5	角接触轴承的载荷计算	292
12.9.2	链轮	253	14.2.6	滚动轴承的其他计算	294
12.10	链传动的运动和受力分析	254	14.3	滚动轴承的润滑和密封	296
12.10.1	链传动的运动分析	254	14.3.1	滚动轴承的润滑	296
12.10.2	链传动的动载荷	255	14.3.2	滚动轴承的密封	296
12.10.3	链传动的受力分析	256	14.4	滚动轴承的组合设计	297
12.11	链传动的主要参数及选择	257	14.4.1	轴系的轴向固定	297
12.11.1	链轮齿数	257	14.4.2	轴承间隙及轴系轴向 位置的调整	299
12.11.2	链的节距	258	14.4.3	滚动轴承的配合	301
12.11.3	中心距和链长	258	14.4.4	滚动轴承的装拆	301
12.12	滚子链传动的计算	259	习题		301
12.12.1	链传动的失效形式	259	第 15 章 滑动轴承		303
12.12.2	功率曲线图	259	15.1	摩擦状态分析	303
12.12.3	链传动的计算	260	15.2	滑动轴承的结构	304
12.13	链传动的润滑和布置	262	15.2.1	向心滑动轴承的结构	304
12.13.1	链传动的润滑	262	15.2.2	推力滑动轴承的结构	305
12.13.2	链传动的布置与张紧	263	15.3	轴瓦和轴承衬材料	306
习题		264	15.4	非液体摩擦滑动轴承的设计计算	308
第 13 章 轴		267			
13.1	概述	267			
13.1.1	轴的分类	267			

15.4.1 径向滑动轴承的计算	308	16.7.1 多圆盘摩擦离合器	329
15.4.2 推力滑动轴承的计算	308	16.7.2 圆锥面摩擦离合器	332
15.5 润滑剂和润滑装置	309	16.8 自动离合器	333
15.5.1 润滑剂	309	16.8.1 安全离合器	333
15.5.2 常用润滑装置	311	16.8.2 离心离合器	334
15.6 液体摩擦滑动轴承介绍	312	16.8.3 定向离合器	335
15.6.1 流体动压向心滑动轴承	312	16.9 制动器	336
15.6.2 流体静压滑动轴承	314	16.9.1 带式制动器	336
习题	315	16.9.2 块式制动器	337
第 16 章 联轴器、离合器与制动器	316	16.9.3 盘式制动器	337
16.1 概述	316	习题	337
16.1.1 选择联轴器应考虑的问题	316	第 17 章 弹簧	339
16.1.2 联轴器的类型	317	17.1 概述	339
16.1.3 离合器的类型	317	17.1.1 弹簧的功用	339
16.1.4 联轴器选用步骤	318	17.1.2 弹簧分类	339
16.2 固定式联轴器	319	17.2 圆柱螺旋拉、压弹簧的应力与变形	340
16.2.1 凸缘联轴器	319	17.2.1 圆柱螺旋弹簧的应力计算	340
16.2.2 套筒联轴器	319	17.2.2 圆柱螺旋弹簧的变形计算	342
16.2.3 夹壳联轴器	320	17.3 弹簧的材料、许用应力和制造	343
16.3 刚性可移式联轴器	320	17.3.1 弹簧的材料	343
16.3.1 牙嵌联轴器	320	17.3.2 弹簧的许用应力	344
16.3.2 齿式联轴器	321	17.3.3 弹簧的制造	344
16.3.3 滑块联轴器	322	17.4 圆柱螺旋拉、压弹簧的设计	345
16.3.4 万向联轴器	322	17.4.1 圆柱螺旋弹簧的参数及几何尺寸	345
16.3.5 滚子链联轴器	323	17.4.2 圆柱螺旋弹簧的特性曲线和刚度	348
16.4 非金属弹性元件联轴器	324	17.4.3 设计计算步骤	349
16.4.1 弹性套柱销联轴器	324	17.5 其他弹簧简介	352
16.4.2 弹性柱销联轴器	325	17.5.1 圆柱螺旋扭转弹簧	352
16.4.3 弹性柱销齿式联轴器	325	17.5.2 碟形弹簧	353
16.4.4 梅花形弹性联轴器	326	17.5.3 环形弹簧	354
16.4.5 轮胎式联轴器	326	习题	354
16.5 金属弹性元件联轴器	326	参考文献	356
16.5.1 蛇形弹簧联轴器	327		
16.5.2 径向簧片联轴器	328		
16.6 牙嵌离合器	328		
16.7 摩擦离合器	329		

绪 论

机械工程是一个历史悠久且发展较为成熟的学科。未来机械工程发展的总趋势是交叉化、综合化、数字化、智能化、微型化、精密化、高效率、清洁化、柔性化和集成化等。显然,机械学科的前沿研究和发展会涉及到许多学科的内容,然而所有发展都离不开“机械设计基础”。“机械设计基础”是研究机械的组成原理、动力学基础以及常用机构和通用零件设计计算的一般理论,是机械工程的基石之一。对于工程技术人员来讲,其一生或多或少都会接触到机械设备。因此,学习和掌握一定的“机械设计基础”知识是极为必要的。

本部分将对“机械设计基础”课程以及学习这门课程应注意的问题作一大致介绍。

0.1 名词术语

机器是各组成部分具有确定相对运动的、可代替人做有用的机械功或实现能量转换的人为实物组合。图0-1所示的单缸四冲程内燃机就是一种机器,其作用是将燃气的热能不断地转换为回转机械能。

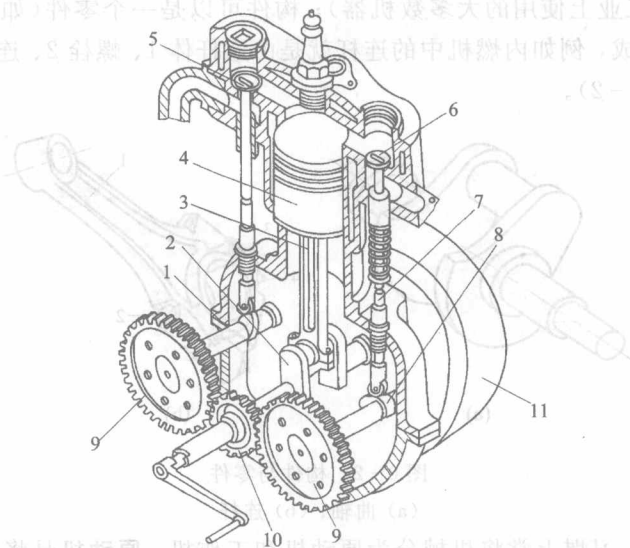


图0-1 单缸四冲程内燃机

该内燃机的工作原理如下:

活塞4上下往复移动,曲轴2及与其固定连接的齿轮10、飞轮11连续转动,与大齿轮9相连的凸轮8推动挺杆7有规律地上下运动。齿轮10和齿轮9的齿数比为1:2,以保证

曲轴 2 每转两周时进气阀 5 和排气阀 6 各启闭一次。四个冲程依次为：进气(曲轴 2 及与之固连的飞轮 11 靠惯性转动，并通过曲轴 2 和连杆 3 带动活塞 4 向下运动，此时排气阀 6 关闭，进气阀 5 打开，以输入新鲜的油雾和空气)，压缩(进、排气阀关闭，在飞轮的惯性转动作用下，活塞 4 向上运动缩小空间，使油、气混合物压缩升温)，膨胀(进、排气阀关闭，燃气燃烧膨胀推动活塞 4 向下运动，并通过连杆 3 带动曲轴 2 及相应的齿轮、飞轮、凸轮转动)，排气(进气阀 5 关闭，排气阀 6 打开，活塞在飞轮带动下向上运动缩小空间以排除废气)。

零件是机器中的基本制造单元。在图 0-1 所示的内燃机中，齿轮、凸轮、曲轴、连杆、螺钉等都是零件。零件可分为通用零件和专用零件。**通用零件**是各类机器中广泛使用的零件(如齿轮、螺栓、轴等)，**专用零件**是仅出现在某些类机器中的零件(如内燃机曲轴、活塞、连杆、汽轮机叶片等)。一套协同工作以完成共同任务的零件组合常称为**部件**。部件亦可分为通用部件与专用部件，如减速器、滚动轴承和联轴器等属于通用部件，而汽车转向器则属于专用部件。在现代工业中，零件也常用来泛指零件和部件。

构件是机器的运动单元体(包括运动速度为零的单元体)，亦称为“杆”。在图 0-1 所示的内燃机中，活塞 4、连杆 3、曲轴 2、凸轮 8、挺杆 7、汽缸体 1 等都是构件。

机构是实现某种特定运动的构件组合。在图 0-1 所示的内燃机中，活塞 4、连杆 3、曲轴 2 和汽缸体 1 组成曲柄滑块机构；凸轮 8、挺杆 7 和汽缸体 1 组成凸轮机构；齿轮 9、10 和汽缸体 1 组成齿轮机构。各种机械中普遍使用的机构称为**常用机构**，如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构及间歇运动机构等。从研究运动和受力情况来看，机器与机构并无区别。因此，习惯上用“机械”一词作为机器和机构的总称。

需要指出的是：一台机器可以只有一种机构(如鼓风机、电动机等)，也可由多个机构组成(如内燃机和工业上使用的大多数机器)；构件可以是一个零件(如内燃机中的曲轴)，也可由多个零件构成，例如内燃机中的连杆就是由连杆体 1、螺栓 2、连杆盖 3 及螺母 4 等零件组成的(见图 0-2)。

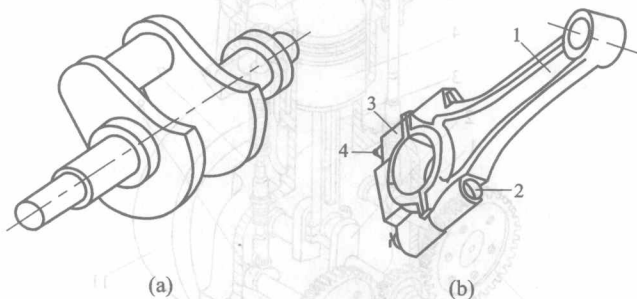


图 0-2 构件与零件

(a) 曲轴；(b) 连杆

根据用途不同，习惯上常将机械分为原动机和工作机。**原动机**是将其他形式的能量转换为机械能的机械，如内燃机、电动机分别将热能和电能变换为机械能。**工作机**是利用机械能去变换或传递能量、物料、信息的机械，例如发电机可变换机械能为电能，起重机、运输机可传递物料，金属切削机床、轧钢机、织布机等可变换物料外形，录音机可变换和传递信息等。

现代机器一般由动力、传动、控制与反馈、执行四个基本部分组成。其中,动力部分提供能量(以电动机和内燃机使用最广);传动和执行部分(由各种机构组成)转换、传递能量或利用能量做有用的机械功以实现物料、信息的变换;控制反馈部分(包括各种控制机构、电气装置、计算机和液压、气压系统等)实现人机交流。

设计是指为满足一定要求而进行研究、分析、构思、计算、绘图、实验、决策的创造过程。机械设计是指规划和设计预期功能的新机械或改进原有机器的性能。

0.2 机械设计的基本要求及一般程序

0.2.1 机械设计的基本要求

现实中的机械多种多样,因而相应的设计要求可能有所不同,但共同的基本要求可用八个字来概括,即适用、可靠、经济、美观。

适用指的是应满足预期的功能要求,技术性能良好。例如,轿车要求有良好的乘坐、驾驶舒适性以及良好的加速性能等;机床要求有较高的生产率和精度以及适当的加工范围等。机器是需要人操纵控制的,机器使用一段时间总会出现材料老化、零件磨损等问题。因此,机器的适用还应包括良好的操作性和维护性。

可靠指的是要有良好的性能稳定性和可靠的安全防护装置。前者是指在预期的使用期限内,实现预定功能的概率要高;后者是指在误操作或偶然事件作用下要能避免出现损坏机器或人身伤害等事故。

经济指的是机器的研制费用、使用费用应尽可能低,生产效率尽可能高,使用寿命尽可能长,也就是要求有尽可能好的综合经济效益($Q_{\text{综}}$)。如图 0-3 所示,机器使用中的经济效益受到两方面的影响:其一是购买费($Q_{\text{初}}$)与使用费($Q_{\text{用}}$)之和,它是支出(负值);其二是机器发挥作用后创造的经济效益($Q_{\text{效}}$)(正值)。在使用过程中,随着某些零部件的逐渐老化和磨损,需要停机修理和养护,故使用费是逐渐增大的,效益曲线最终要下降。因此,综合经济效益曲线必与横轴两次相交。所谓综合经济效益好,就是指曲线下的阴影面积大。

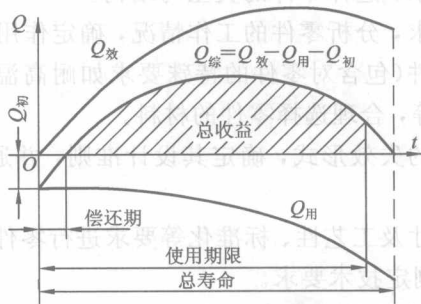


图 0-3 综合经济效益图

美观指的是机器造型优美、色调宜人。由于不同的使用者对此往往有不同的评价,因此设计时必须明确产品的使用对象(尤其是生活用品)。对工业设备来讲,色调宜人的含义

应是:使人的中枢神经既不是太紧张,也不是太松弛,从而使人发挥最高的效能。

上述八字要求说起来容易,做起来困难,它涉及到多个学科的知识与设计工作的方方面面。因此,要成为一个优秀的设计人员,必须在学好本课程的基础上学习更多的有关知识。

0.2.2 机械设计的一般程序

机械设计没有一成不变的程序,随着设计性质和设计对象的不同,设计程序有简有繁,其中以产品开发的程序最为繁多。这里介绍的是一般设计程序。

1. 提出和制定产品设计任务书

首先应根据用户的需要与要求,确定所要设计机器的功能和有关指标,研究分析其实现的可能性,然后确定设计课题,制定产品设计任务书。在设计任务书中应注明设计承担者、预定设计周期。更重要的是要注明产品的用途、主要技术指标、主要经济指标(生产率、能耗、重量、目标成本等)和使用条件等——这些内容实际上是设计者设计思想的体现,它直接回答了“市场需要什么产品”和“市场需要什么样的产品”这样两个问题,它在很大程度上决定了产品最终的成败。

2. 总体方案设计

根据设计任务书进行调查研究,了解国内外有关的技术经济信息,分析有关产品,参阅有关技术资料,并充分了解用户意见、制造厂的技术设备及工艺能力等。在此基础上确定实现预定功能的机器工作原理,拟定出总体设计方案;进行运动和动力分析,从工作原理上论证设计任务的可行性,必要时对某些技术、经济指标作适当修改,然后绘制机构简图,同时可进行液压、电器控制系统的方案设计。

3. 技术设计

在总体方案设计的基础上,确定机器各部分的结构和尺寸,绘制总装配图、部件装配图和零件图。为此,必须对所有零件(标准件除外)进行结构设计,并对主要零件的工作能力进行计算,即进行机械零件设计。

机械零件设计是本课程研究的主要内容之一,其设计步骤如下:

- (1) 根据零件的使用要求,选择零件的类型与结构。
- (2) 根据机器的工作要求,分析零件的工作情况,确定作用在零件上的载荷。
- (3) 根据零件的工作条件(包含对零件的特殊要求如耐高温、耐腐蚀等),考虑材料的性能、供应情况、经济因素等,合理选择零件的材料。
- (4) 根据零件可能出现的失效形式,确定其设计准则,并通过计算,确定零件的主要尺寸。
- (5) 根据零件的主要尺寸及工艺性、标准化等要求进行零件的结构设计。
- (6) 绘制零件工作图,制定技术要求。

应注意,以上这些内容可在绘制总装配图、部件装配图及零件图的过程中交叉、反复进行。同时进行润滑设计,然后编写设计说明书、有关的技术文件及标准件、外购件的明细表。

4. 样机的试制和鉴定

设计的机器是否能满足预定功能要求,则需要进行样机的试制和鉴定。样机制成后,

可通过生产运行,进行性能测试。然后便可组织鉴定,进行全面的技术经济评价,主要包括动力特性审查、标准化审查、工艺审查、成本预测等。同时,可对设计进行适当修改,以继续完善设计方案,必要时进行小批量生产。

5. 产品的正式投产

在样机的试制与鉴定通过的基础上,才可使产品正式投产。将机器的全套设计图纸(总装图、部装图、零件图、电气原理图、液压传动系统图、安装地基图、备件图等)和全套技术文件(设计任务书、设计计算说明书、试验鉴定报告、零件明细表、产品质量标准、产品检验规范、包装运输技术条件等)提交产品定型鉴定会评审,在评审通过后,才能由有关职能部门下达任务,进行批量生产。

0.3 “机械设计基础”课程的内容、性质和任务

0.3.1 课程内容

“机械设计基础”课程实际上是“机械原理”和“机械零件”课程的融合,着重研究机械中的常用机构和在“一般参数、一般工况”^①下的通用零部件的工作原理、结构、特点以及基本设计理论和计算方法。具体内容如下:

(1) 机械原理部分(第1~7章)——研究平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇运动机构、机械构形理论以及有关机械动力学的一些基本知识(如机械中的摩擦、机械速度波动的调节、回转件的平衡等)。

(2) 机械零件部分(第8~17章)——研究机械设计基础知识、常用联接(如螺纹联接、键联接)、机械传动(螺旋传动,带、链传动,齿轮传动和蜗杆传动)、轴系零部件(轴、轴承、联轴器)和弹簧等,并扼要介绍国家标准和有关规范、某些标准零部件的选用原则与方法以及通用零部件的一般使用维护知识。

0.3.2 课程性质与先修知识

除机械制造部门外,多数工程领域的工程技术人员也会经常接触到各种类型的机械,他们应当具备一定的机械基础知识。因此,“机械设计基础”课程是高校工科有关专业一门重要的技术基础课,它在相关专业的教学计划中占有重要的地位,是培养机械和机械管理工程师的必修课。

本课程的科学性、综合性、实践性都比较强,要综合运用到许多理论和实际知识。学习者应具备高等数学、工程力学、机械制图、材料及成型技术基础、金属材料及热处理、互换性与技术测量等课程的有关知识。此外,考虑到现代机械设备中大多包含复杂的运动系统和控制系统,因此学生还应当对液压传动、气压传动、电子技术和计算机等有关知识有所了解。

0.3.3 课程任务

本课程的主要任务如下:

^① 一般参数、一般工况是指零件的尺寸、重量既不是太大,也不是太小,其工作环境也不是高温、低温或者粉尘特别厉害的情况,在这些情况下,考虑的问题有所不同。

(1) 使学生掌握机构的结构、运动特性和机械动力学的基本知识,初步具有分析和设计常用机构的能力,并对机械运动方案的确定有所了解。

(2) 使学生掌握通用机械零件的工作原理、特点、维护和设计计算的基本知识,并初步具有设计机械传动装置和简单机械的能力。

(3) 使学生具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。

(4) 使学生获得本学科实验技能的初步训练。

总之,通过本课程的学习,应使学生完成从纯理论学习(解决“是、非”问题)到面向工程(解决“优、劣”问题)这样一个过渡,不仅使学生具有一定的机械设计能力和分析设备故障的能力,为今后学习有关专业机械设备课程奠定基础,更重要的是培养学生具有创新意识、创造性思维和创造能力。

0.4 课程特点与学习方法

作为一门综合性和实践性较强的技术基础课,“机械设计基础”课程具有如下特点:

(1) 多科综合性。本课程涉及的常用机构、通用零件,从分析研究到设计计算,直至完成工作图,要用到多门基础课和技术基础课的知识(如机械制图、工程材料、机械制造基础、理论力学和材料力学等)。因此,学习中要注意温习相关先修课的知识。

(2) 各章内容联系不紧,显得“零乱不系统”。因本课涉及机构和零件较多,要用到较多的理论基础,所以学习者如用习惯的基础课系统性来看待本课,就会产生“不系统”、“没有统一研究规律”的错觉。实际上,本课程的全部内容可归结为两个问题,即“机构怎样才能实现人们需要的、理想的运动”和“零件怎样才能正常工作”。学习中注意把握这两个思路,就能在学习中逐步适应本课程的学习规律。

(3) 设计步骤和结果不唯一。与基础课问题结论的唯一性不同,对于机械设计问题,从机构选型到选择材料、确定参数,往往都可在一定范围内变化,设计计算步骤也因具体情况而变,设计结果往往不是唯一的(这也正是机械设计的乐趣所在)。

(4) 机械设计中,计算虽重要,但仅是一种手段。学习者必须逐步培养把理论计算和结构设计、工艺设计等结合起来解决问题的能力。一般情况下,计算结果仅是必要条件,最终结果要视具体结构和工艺而定。

根据编者多年的教学经验,要学好本课程,应注意如下几点:

(1) 遇到学过的但又忘了的有关课程的知识一定要重温相关教材,重新予以掌握。

(2) 注意学习方法。学习中要特别注意教材及教师授课中解决问题的途径和用到的方法,并联想这些途径和方法的用途,这样才能真正使能力得以提高,做到举一反三。

(3) 勤思、多练、多交流。应结合各章例题及生活中遇到的问题进行学习,认真完成各章习题,尽可能多地与他人交流。

总而言之,要学好本课程必须足够勤奋。

第1章 机构构形理论与机构速度分析

机构是具有确定相对运动的构件组合。然而,构件组合不一定都存在相对运动;即使存在相对运动,也不一定就具有确定的相对运动。那么,构件组合在什么条件下才具有确定的相对运动呢?弄清楚这个问题对分析现有机构或创新机构是很重要的。

实际机械的外形和结构往往很复杂,为便于分析、研究和交流,工程实践中常用机构运动简图来表达复杂的实际机械。工程技术人员应当熟悉机构运动简图的绘制方法。

由于在研究机械工作特性和运动情况时,常常需要了解各构件之间的运动关系或某些点的速度变化规律,因而有必要对机构进行速度分析。

上述内容将在以下各节中加以讨论。

所有构件都在相互平行的平面内运动的机构称为平面机构,否则称为空间机构。本章仅讨论平面机构,因为在生活和生产中,平面机构应用最多。

1.1 运动副及其分类

本节介绍两个非常重要的概念:自由度和运动副。

1. 自由度

如图1-1所示,构件S沿平面 xoy 作平面复杂运动。构件S的运动可分解为跟随其上A点沿 x 轴、 y 轴方向的直线移动和绕A点的转动这三个独立的运动,也就是说,描述构件S的运动需要三个独立的参数。这种相对于参考坐标系,构件所具有的独立运动数称为构件的自由度,或者说,自由度就是描述构件运动的独立参数。不难看出,一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

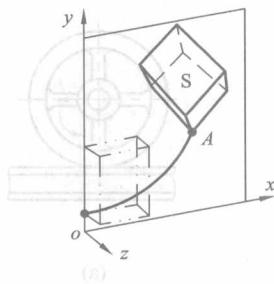


图1-1 平面运动构件的自由度

2. 运动副

因机构由若干具有相对运动的构件组成,所以每个构件都以一定的方式与其他构件相互联接,这种联接不是固定联接,而是允许有一定相对运动的联接。这种两个构件直接接触并允许有一定相对运动的联接称为运动副。例如,轴与轴承的联接、活塞与汽缸的联接、传动齿轮的两个轮齿间的联接等都构成运动副。两构件组成运动副后,其独立的相对运动受到限制,自由度便随之减少。

根据两构件是点接触、线接触还是面接触,平面机构中的运动副可分为平面低副和平面高副两类。