

机械设计基础

沈乐年 刘向锋 主编

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书按照机械设计的一般规律和思路共分 3 篇。第一篇介绍运动方案的选择与分析; 第二篇介绍机械零件工作能力的分析与计算; 第三篇重点介绍机械结构设计的基本问题和规律, 并有设计实例。

全书共 22 章, 包括常用传动机构, 通用支承类和联接类零部件的工作原理、特点、设计准则以及结构设计的基本内容, 通过 3 篇的有机联系为进行机械零部件设计提供了必要的基础知识。为便于学生自学、复习和总结, 附有例题、习题和必要的资料。

本书可作为高等工业学校非机械类各专业《机械设计基础》课程的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/沈乐年, 刘向锋主编. — 北京: 清华大学出版社, 1996
ISBN 7-302-02374-3

. 机... . 沈... 刘... . 机械设计-基础理论 . TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 24032 号

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学校内, 邮编 100084)

印刷者: 印刷厂

发行者: 新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787× 1092 1/16 印张: 25 字数: 590 千字

版 次: 1997 年 1 月第 1 版 1997 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02374-3/TH · 71

印 数: 00001—00000

定 价: 0.00 元

前 言

本书适用于高等工科学校非机械类各有关专业,课内学时为 80 左右,不包括后续的课程设计。

为了突出机械设计的一般规律,给学生以清晰的设计思路,而又不失本课程的结构特点,本教材分为 3 篇。第一篇着重机械运动方案的选择与分析;第二篇着重机械零件工作能力的分析与计算;第三篇重点介绍机械结构设计的一般规律,并有设计实例。

在内容的取舍上,采取突出重点、照顾知识面的原则;在内容的安排上,遵从由浅入深的认识规律;在具体的表述上,注意共性与特性的分析,从而使学生既能掌握本课程的核心内容,又具有举一反三的能力。

如何强化学生对某一学科的全局观念而又不削弱对该学科知识的运用能力,一直是教学改革的重要目标。机械设计基础是针对工科非机械类专业的机械设计基本知识,这次编写从体系上改变了该类教材的一般模式——按机械零件或机械传动的类型分类,是按照设计的思路和认识事物的过程编排的。从而解决了一般模式给学生带来的只见树木不见森林的“零碎感”,使学生一开始便能从整体出发考虑设计中的问题,即首先考虑总体运动方案的选定,其次是解决组成运动方案的各类零件的结构要素及物理要素,第三步则是通过各类零件的结构组合设计来实现总体运动方案的性能要求。作为教材的体系如果与上述教学改革的设想相一致,既有利于教师的教学设计,也有利于达到预想的目的。任何事物均有两重性,该教材的体系改革把同一类零件的整体属性分解为运动属性、结构和物理属性以及它们之间的组合和功能属性,也会使学生阅读时产生不连贯感,但这恰恰使学生更进一步体会到各种属性在设计中是分步予以考虑的,而它们之间又有着必然的内在联系。

参加本书编写的有:沈乐年(绪论,第 19, 20, 21, 22 章);李海燕(第 1, 2, 8 章);黄纯颖(第 3, 9, 10, 12 章);杨晓延(第 4, 5, 6, 7 章和第 11 章链传动部分);刘向锋(第 11 章带传动部分和第 13, 16, 18 章);于德潜(第 14, 15, 17 章)。全书由沈乐年、刘向锋主编。

本书承蒙清华大学吴宗泽教授精心审阅,并提出了许多宝贵意见,在此,谨致以衷心的感谢!

限于编者的水平和时间仓促以及在体系和编写结构上乃初次尝试,难免有不妥之处,恳请各方面专家和广大读者指正。

作者

1996. 5

目 录

绪论.....	1
0.1 机械设计的任务、要求和一般程序.....	1
0.1.1 机械设计的任务.....	1
0.1.2 机械设计的要求.....	1
0.1.3 机械设计的一般程序.....	3
0.2 机器的组成	3
0.2.1 基本术语.....	3
0.2.2 机器的组成.....	7
0.3 本课程的性质、任务、内容和学习方法.....	10
习题	10

第一篇 机械传动运动方案的设计

第1章 平面连杆机构	12
1.1 铰链四杆机构的基本型式与特性.....	12
1.1.1 曲柄摇杆机构	12
1.1.2 双曲柄机构	16
1.1.3 双摇杆机构	17
1.2 铰链四杆机构中存在曲柄的条件.....	18
1.3 铰链四杆机构的演化型式.....	20
1.3.1 曲柄滑块机构	20
1.3.2 导杆机构	20
1.3.3 摇块机构与定块机构	21
1.3.4 偏心轮机构	22
1.4 平面四杆机构的运动设计.....	24
1.4.1 按给定行程速比系数设计	25
1.4.2 按给定连杆位置设计	25
1.4.3 按给定点的轨迹设计	27
习题	31
第2章 凸轮机构	33
2.1 凸轮机构的应用与基本类型.....	33
2.2 常用的从动件运动规律.....	36
2.3 图解法设计凸轮轮廓.....	40
2.4 凸轮机构运动设计的几个问题.....	43

习题	46
第 3 章 齿轮传动机构	48
3.1 齿轮机构的特点和主要类型	48
3.2 渐开线齿廓及其啮合特性	49
3.2.1 渐开线的形成及其特性	49
3.2.2 渐开线齿廓的啮合特性	50
3.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸	51
3.3.1 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数	51
3.3.2 渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	53
3.4 一对渐开线齿轮的啮合	54
3.4.1 正确安装条件	55
3.4.2 正确啮合条件	55
3.4.3 连续传动条件	55
3.5 渐开线直齿圆柱齿轮的轮齿加工与根切现象	56
3.5.1 轮齿加工原理与方法	56
3.5.2 根切现象和最小齿数	59
3.6 渐开线变位齿轮	61
3.6.1 变位齿轮的范成法加工	61
3.6.2 变位齿轮传动的类型和应用	61
3.7 渐开线斜齿圆柱齿轮传动	64
3.7.1 渐开线斜齿圆柱齿轮的形成及传动特点	64
3.7.2 斜齿圆柱齿轮的参数和几何尺寸计算	65
3.7.3 一对斜齿圆柱齿轮的传动条件	67
3.7.4 斜齿轮的当量齿轮与当量齿数	68
3.8 渐开线直齿锥齿轮传动	69
3.8.1 概述	69
3.8.2 直齿锥齿轮的背锥与当量齿数	70
3.8.3 直齿锥齿轮的参数和几何尺寸	71
3.8.4 直齿锥齿轮的传动条件	73
习题	73
第 4 章 螺旋与蜗杆传动机构	75
4.1 螺旋传动机构	75
4.1.1 螺旋的形成、主要参数及应用	75
4.1.2 螺旋副的运动、受力、自锁和效率	78
4.1.3 螺旋副的应用	80
4.2 蜗杆传动机构	84
4.2.1 蜗杆传动的主要类型、特点和应用	84
4.2.2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数、啮合条件和几何尺寸	86

4.2.3	蜗杆传动中的转向、滑动速度、效率和自锁	90
习题	91
第5章	带与链传动机构	93
5.1	带传动机构.....	93
5.1.1	带传动的主要类型、特点及其应用.....	93
5.1.2	带传动的工作原理	95
5.1.3	带传动的结构、主要参数及几何尺寸.....	96
5.2	链传动机构.....	99
5.2.1	链传动的主要类型、特点及其应用.....	99
5.2.2	滚子链传动的结构、主要参数及几何尺寸	100
5.2.3	链传动的工作原理.....	102
习题	104
第6章	间歇运动机构.....	105
6.1	棘轮机构	105
6.1.1	棘轮机构的组成及工作原理.....	105
6.1.2	棘轮机构的分类.....	105
6.1.3	棘轮机构的调节与应用.....	106
6.1.4	棘轮机构的基本参数及几何尺寸计算.....	108
6.2	槽轮机构	109
6.2.1	槽轮机构的组成及工作原理.....	109
6.2.2	槽轮机构的特点及应用.....	110
6.2.3	槽轮机构的基本参数及几何尺寸计算.....	111
习题	112
第7章	轮系.....	113
7.1	定轴轮系及其传动比	113
7.2	周转轮系及其传动比	114
7.2.1	周转轮系的组成及基本类型.....	114
7.2.2	周转轮系的传动比.....	114
7.3	混合轮系及其传动比	116
习题	117
第8章	平面机构的运动简图与自由度.....	120
8.1	平面机构的运动简图	120
8.1.1	构件的表示方法.....	120
8.1.2	机构运动简图的绘制.....	121
8.2	平面机构的自由度	123
8.2.1	平面机构的自由度计算.....	123
8.2.2	机构具有确定运动的条件.....	124
8.2.3	计算平面机构自由度的注意事项.....	125

习题.....	128
第 9 章 机械传动总论.....	132
9.1 机械传动的运动计算和动力计算.....	132
9.1.1 运动计算.....	132
9.1.2 动力计算.....	132
9.2 机械传动机构的功能及其应用选择.....	135
9.2.1 各种传动机构的性能比较.....	135
9.2.2 机械传动机构的功能.....	135
9.3 机械传动方案设计.....	141
习题.....	144

第二篇 机械零部件的工作能力设计

第 10 章 机械零部件的设计概述.....	148
10.1 机械零部件的工作能力.....	148
10.1.1 机械零件的强度.....	148
10.1.2 机械零件的耐磨性.....	154
10.2 机械零部件的失效.....	154
10.3 机械零部件的设计.....	156
习题.....	160
第 11 章 带与链传动设计.....	161
11.1 带传动设计.....	161
11.1.1 带传动的工作情况.....	161
11.1.2 带传动的失效形式与设计准则.....	164
11.1.3 带的张紧装置.....	168
11.1.4 V 带传动的设计.....	170
11.2 链传动设计.....	175
11.2.1 链传动的失效形式与设计准则.....	175
11.2.2 链传动的布置和张紧装置.....	178
11.2.3 链传动的设计计算.....	179
习题.....	182
第 12 章 齿轮传动设计.....	184
12.1 齿轮的失效形式和设计准则.....	184
12.1.1 齿轮的工作情况.....	184
12.1.2 轮齿的失效形式.....	185
12.1.3 设计准则.....	188
12.2 齿轮材料.....	188
12.2.1 选材原则.....	188
12.2.2 常用材料及选择.....	188

12.3	齿轮轮齿受力.....	188
12.3.1	渐开线直齿圆柱齿轮受力.....	188
12.3.2	渐开线斜齿圆柱齿轮受力.....	189
12.3.3	渐开线直齿锥齿轮受力.....	190
12.3.4	计算载荷.....	192
12.4	齿轮轮齿的强度计算.....	194
12.4.1	渐开线直齿圆柱齿轮强度计算.....	194
12.4.2	渐开线斜齿圆柱齿轮强度计算.....	202
12.4.3	渐开线直齿锥齿轮强度计算.....	203
12.5	齿轮传动设计.....	205
12.5.1	齿轮传动参数的选择.....	205
12.5.2	齿轮传动设计步骤.....	206
	习题.....	211
第13章	螺旋与蜗杆传动设计	214
13.1	螺旋传动设计.....	214
13.1.1	螺旋传动的失效形式与设计准则.....	214
13.1.2	螺杆和螺母的常用材料.....	214
13.1.3	螺旋传动的设计计算.....	215
13.2	蜗杆传动设计.....	218
13.2.1	蜗杆传动的失效形式与设计准则.....	218
13.2.2	蜗杆传动的受力.....	218
13.2.3	蜗杆、传动的常用材料及承载能力计算	219
13.2.4	蜗杆传动的热平衡计算.....	221
13.2.5	蜗杆传动的参数选择.....	223
	习题.....	225
第14章	轴	227
14.1	轴的分类、失效形式和设计准则	227
14.1.1	轴的分类.....	227
14.1.2	轴的失效形式和设计准则.....	228
14.2	轴的材料.....	230
14.3	轴的强度与刚度设计.....	230
14.3.1	轴径的初步估算.....	231
14.3.2	弯扭合成当量弯矩法——轴的强度校核计算.....	231
14.3.3	轴的刚度校核计算.....	234
14.4	轴的振动与平衡简介.....	237
14.4.1	转子不平衡质量引起的振动.....	237
14.4.2	转子的静平衡与动平衡简述.....	238
	习题.....	239

第 15 章	滑动轴承	242
15.1	滑动轴承的主要类型、结构及性能	242
15.1.1	滑动轴承的主要类型与结构	242
15.1.2	滑动轴承的工作性能及特点	247
15.2	滑动轴承的摩擦状态、失效形式与设计准则	247
15.2.1	滑动轴承的摩擦状态	247
15.2.2	滑动轴承的失效与设计准则	248
15.3	非液体摩擦滑动轴承的计算	248
15.3.1	向心滑动轴承的计算	248
15.3.2	推力滑动轴承的计算	249
15.4	滑动轴承材料	250
15.4.1	金属材料	250
15.4.2	粉末冶金(含油轴承)材料	252
15.4.3	非金属材料	253
15.5	液体摩擦轴承简介	253
15.5.1	动压承载油膜形成的条件	253
15.5.2	液体动压向心轴承和推力轴承	253
	习题	256
第 16 章	滚动轴承	258
16.1	滚动轴承的类型、代号及选用原则	258
16.1.1	滚动轴承的组成	258
16.1.2	滚动轴承的主要类型及特点	259
16.1.3	滚动轴承的代号	261
16.1.4	滚动轴承的类型选择	262
16.2	滚动轴承的失效形式与设计准则	264
16.2.1	工作情况分析	264
16.2.2	失效分析与设计准则	265
16.3	滚动轴承的寿命计算	265
16.3.1	基本额定寿命和基本额定动载荷	265
16.3.2	滚动轴承的寿命计算	266
16.3.3	当量动载荷	267
16.3.4	角接触轴承的载荷计算	269
16.4	滚动轴承的静载荷计算	272
16.5	滑动轴承与滚动轴承的性能对比	273
	习题	274
第 17 章	螺纹联接与轴毂联接	276
17.1	螺纹联接的类型及设计准则	276
17.1.1	螺纹联接的类型	276

17.1.2	螺纹联接的失效分析及设计准则	280
17.1.3	螺纹联接的强度计算	281
17.1.4	螺纹联接件的材料与许用应力	284
17.1.5	提高螺纹联接强度的措施	286
17.2	轴毂联接的主要类型及设计准则	290
17.2.1	轴毂联接的主要类型	290
17.2.2	键联接的失效分析及强度计算	294
17.2.3	键联接的材料与许用应力	295
	习题	296
第18章	联轴器与离合器	299
18.1	联轴器	299
18.1.1	联轴器的性能要求	299
18.1.2	联轴器的类型与选择	300
18.2	离合器	308
18.2.1	离合器的性能要求	308
18.2.2	离合器的类型和选择	308
	习题	311
第三篇 机械零部件的结构设计		
第19章	机械零部件结构设计的基本知识	314
19.1	概述	314
19.2	制造工艺性	315
19.2.1	毛坯的成形方法	315
19.2.2	零件的成形方法	316
19.2.3	工艺流程	316
19.3	装配工艺性	320
	习题	324
第20章	螺纹联接件的组合设计	325
20.1	联接件的布局	325
20.2	结构、空间的合理性	326
20.2.1	结构关系	326
20.2.2	扳手空间	327
20.2.3	孔边距离	328
20.2.4	伸出长度	328
20.2.5	螺栓间距	328
20.3	防松和装配要求	328
20.3.1	螺纹联接的防松	328
20.3.2	螺纹联接的装配要求	331

习题.....	332
第 21 章 轴系结构设计	334
21.1 轴的结构设计.....	334
21.1.1 轴的强度和刚度与受力状态的关系.....	334
21.1.2 轴上零件的周向与轴向定位和固定.....	335
21.1.3 轴结构的工艺要求.....	338
21.2 轮体的结构设计.....	340
21.3 轴系的结构设计.....	346
21.3.1 支承的结构形式.....	346
21.3.2 角接触球轴承和圆锥滚子轴承的排列方式.....	349
21.3.3 滚动轴承支承的轴系定位和固定.....	351
21.3.4 滚动轴承支承结构的调整.....	351
21.3.5 滚动轴承轴系结构的实例分析.....	354
21.3.6 滚动轴承的配合与装拆.....	355
21.4 润滑与密封.....	357
21.4.1 润滑与润滑剂.....	357
21.4.2 密封.....	360
习题.....	365
第 22 章 机械零部件组合结构设计实例	368
22.1 推举器设计.....	368
22.1.1 原始数据.....	368
22.1.2 方案选择.....	368
22.1.3 初步计算.....	369
22.1.4 结构设计.....	369
22.1.5 结构分析.....	370
22.2 车床活顶尖设计.....	371
22.2.1 原始数据.....	371
22.2.2 方案选择.....	371
22.2.3 初步计算.....	372
22.2.4 结构设计.....	372
22.2.5 结构分析.....	372
22.3 带传动张紧装置设计.....	374
22.3.1 原始数据.....	374
22.3.2 方案选择.....	374
22.3.3 初步计算.....	375
22.3.4 结构设计.....	375
习题.....	376
附录.....	379
参考文献.....	387

绪 论

机械存在于人类活动的各个领域。虽然,机械科学是一门古老的学科,但至今仍然是创造人类文明的重要组成部分,它的发展程度标志着一个国家的整体科技水平,也是当今科技高速发展的基础。

0.1 机械设计的任务、要求和一般程序

0.1.1 机械设计的任务

机械设计是一门应用技术科学,是用图纸或其它手段表达机械产品的形状、尺寸、性能参数,以满足功能、制造、使用、维修、销售等要求的一种实践活动。

随着科学技术的进步,机械制造的面貌在不断发生变化,新工艺和新材料的出现对机械制造业的发展起着巨大的推动作用,因此,机械设计的任务是,运用最新科技成果设计新产品和改造老产品,以满足市场需求和推动社会进步。

作为机械设计人员,应具备如下能力:

(1) 基本技能: 如计算、绘图、结构设计、实验以及使用基本工具(计算机、基本测量仪器等)的能力;

(2) 创造力: 善于寻求解决问题的新途径、新方法,善于领会社会的需求,具有勤奋学习、把握最新技术动态和对技术精益求精的品质;

(3) 决策力: 对不同设计方案,能通过调查研究进行独立分析和决策,选取最佳设计方案;

(4) 合作能力: 现代社会的各种工程实践多是集体行为,谦虚与合作态度是发挥个人和他人智慧,进行创造性实践的必备条件。

0.1.2 机械设计的要求

机械设计是机械产品开发和技术改造的关键性环节,直接关系到社会和经济效益,在设计中应考虑:

1. 满足功能要求、性能好

实现预定的功能是设计的根本目标,性能好则是设计中追求的主要目标。功能是指某一特定的运行要求,性能是指运行质量。

2. 工作可靠、安全程度高

可靠和安全是性能好的重要标志之一,这里单独提出,表明它的突出意义。在预定的使用期限内,必须保持正常工作。为了防止突发情况,应有安全保障措施。

3. 制造、安装工艺选择好

制造和安装是实现功能、保证设计预定性能的关键步骤,采用适用的工艺方法是确保

制造和安装质量的前提,为此,设计者必须具有丰富的制造、安装工艺知识。

4. 操作简便、维护工作少

一切为了用户是商品生产的宗旨,操作简便、省力、安全,维护容易且省时是设计者追求的重要目标。

5. 造型美观、轮廓尺寸小

造型美观会给工作和生活带来快感,对于提高人的工作效率和质量均有积极影响。体积小不但会省材料,还会减小占有空间,对运输、起重和工作场所也有裨益。

6. 价格低廉、经济效益高

降低成本是价廉的基础,在市场竞争中具有重要意义。优良的性能价格比是占有市场

图 0-1 机械设计的一般程序

的条件,是取得高的社会和经济效益的保证。

0.1.3 机械设计的一般程序

机械设计与其它设计一样,是一项创造性工作,设计者除了需要掌握先进的科技知识和丰富的实践经验外,必须深入实际进行调查研究,以便提出创造性地设计方案和新型结构。一般的设计程序见图 0-1。

0.2 机器的组成

0.2.1 基本术语

1. 机构

具有确定相对运动的一种实体组合。

(1) 平面机构: 各构件在同一平面或相互平行的平面内运动的机构。

(2) 空间机构: 不满足平面机构条件的机构。

2. 机器

具有确定相对运动、可进行能量转换或做机械功的一种实体组合,如汽车、起重机、机床等。

3. 机械

机器与机构的总称。

4. 零件

组成机械的各个制造单元,如螺钉、螺母、轴等。

5. 构件

组成机械的各个运动单元,如汽车的车轮、车床的主轴等组合件。

6. 运动副

两个零件或构件间既相接触又有相对运动的一种联接形式,如车轮与钢轨、一对轮齿以及轴与轴承之间的联接。

7. 平面机构的运动副

(1) 低副: 两构件间呈面接触的运动副,可分为回转副和移动副(图 0-2)。

图 0-2 低副

(a) 回转副 (b) 移动副

(2) 高副：两构件间呈点、线接触的运动副(图 0-3)。

图 0-3 高副

(a) 车轮与钢轨 (b) 轮齿啮合

表 0-1 列出平面机构运动副的类型、特点及表示符号。

表 0-1 平面机构运动副的类型、特点及表示符号

运动副类型	实例	相对运动关系	表示符号*	自由度(性质)	约束(性质)	表面应力
低副	回转副	绕 z 轴相对转动		1 (回转)	2 (两个移动)	小
	移动副	沿 x 轴相对移动		1 (移动)	2 一个移动 一个转动	

续表

运动副类型	实例	相对运动关系	表示符号*	自由度(性质)	约束(性质)	表面应力
高副		沿公切线 t-t 相对移动, 同时绕接触点 K 相对转动		2 移动 转动	1 (移动)	大

* 小圆圈表示回转副, 构件上画斜线者为固定件。

表 0-2 列出常见构件和机构的表示符号。

表 0-2 常见构件和机构的表示符号(示意图)

名称	表示符号(简图或示意图)
低副构件	
平面连杆机构	
凸轮机构	