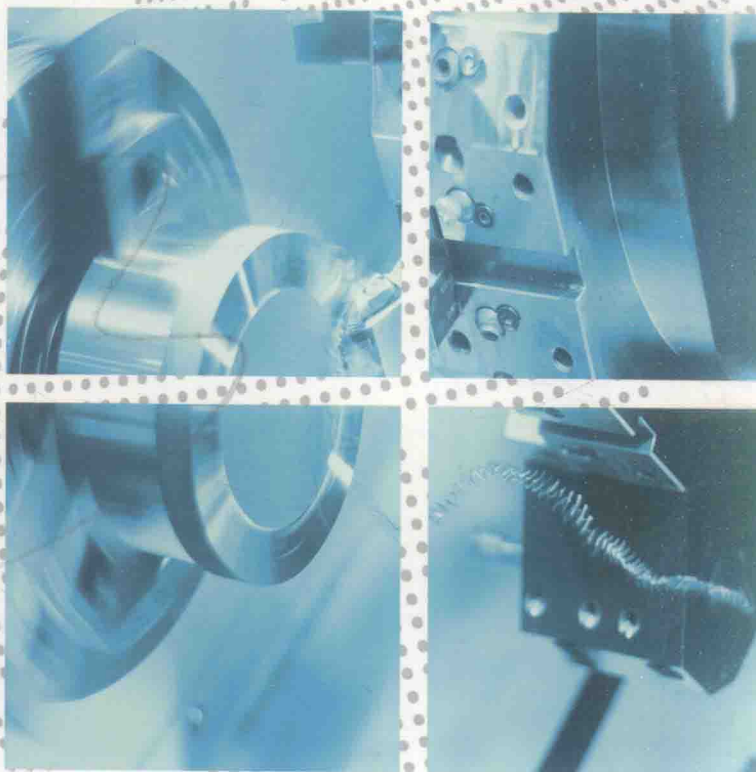


机械设计

黄秀琴 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机 械 设 计

主 编 黄秀琴

副主编 石怀荣 刘 羽

参 编 王春艳 门艳忠 吕 明 黄银江

机 械 工 业 出 版 社

本书依据教育部制定的高等学校工科机械设计课程的教学要求,以“培养应用型人才”思想为指导,结合应用型本科院校的人才培养目标及教学特点进行编写。本书主要内容包括绪论,机械设计概论,机械零件的强度,摩擦、磨损及润滑,螺纹联接和螺旋传动,键、花键、销、无键联接,带传动,链传动,齿轮传动,蜗杆传动,滑动轴承,滚动轴承,轴,联轴器和离合器。

本书可作为高等学校机械类专业机械设计课程的教材,也可作为高等职业技术学院、各类成人学院、职业培训部门相关专业的教材,还可供有关工程技术人员在工程设计计算时参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/黄秀琴主编. —北京:机械工业出版社, 2017. 8
ISBN 978-7-111-57181-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 027236 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王晓洁 责任编辑:王晓洁

责任校对:杜雨霏 封面设计:陈 沛

责任印制:张 博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19.25 印张·525 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-57181-0

定价:49.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

近年来,我国高等教育发展迅速,教学模式、教学方法不断创新。我们依据教育部制定的高等学校工科机械设计课程的教学基本要求,以“培养应用型人才”思想为指导,结合应用型本科院校的人才培养目标及教学特点,总结了编者十几年来的教学经验编成了本书。本书同时还吸收了其他应用型机械类专业的教学改革成果,在内容组织和编排上力求科学合理,便于阅读和教学。

本书的主要特点有:

1) 遵循“以应用为目的”“够用”的原则,突出内容的实用性,在内容的安排和取舍上,删去了一些以学生自学为主的章节,既缩减了篇幅,又使教材内容更具有实用性。

2) 以高等学校机械类专业应用型人才培养目标为前提,突出机械零部件的材料选择、失效形式、设计准则、结构设计及工作能力计算等最基本的内容;减少有关公式的推导过程,注重公式在设计中的灵活应用和相关参数的选择,重点培养学生对图表、公式的应用能力和对通用零部件的设计能力。

3) 在突出重点、保证主要内容的同时,依据“浅而广”的原则增加知识点,扩大知识面。

4) 全书力求概念准确,在叙述上讲究深入浅出、详略得当、主次分明、通顺流畅,体现“可教性”和“可学性”。各章精选的例题、习题,覆盖了各章的主要知识点,体现了各章的重点、难点和要点。

参加本书编写的人员有:黄秀琴(编写了第1、2、6、7、9、12章)、刘羽(编写了第3、8章)、门艳忠(编写了第13章)、石怀荣、吕明、王春艳(共同编写了第4、5、10、11、14章)、黄银江(编写了附表)。全书由黄秀琴负责统稿。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和缺点,恳请广大读者批评指正。

编 者

常用力学计算符号表

σ	零件在载荷作用下的工作应力	S, S_a, S_p, S_r	安全系数
τ	零件在载荷作用下的工作切应力	$[S_\sigma], [S_r]$	许用安全系数
$\sigma_{\max}$	最大应力	S_{ca}	计算安全系数
$\sigma_{\min}$	最小应力	K_N	寿命系数
σ_m	平均应力	q	材料对应力集中的敏感系数
σ_a	应力幅	$\alpha_\sigma, \alpha_\tau$	零件几何形状的理论应力集中系数
σ_b, τ_b	材料的强度极限	k_σ, k_τ	有效应力集中系数
σ_p	零件在载荷作用下的挤压应力	ε	绝对尺寸系数
σ_c	离心应力	β	表面状态系数
σ_B	零件在载荷作用下的弯曲应力	β_σ	弯曲疲劳时的表面状态系数
σ_s, τ_s	材料的屈服极限	β_τ	剪切疲劳时的表面状态系数
σ_{ca}	计算应力	σ_{ra}, τ_{ra}	材料的疲劳极限应力幅
τ_T	扭转剪切应力	σ_{rm}, τ_{rm}	材料的疲劳极限平均应力
$[\sigma]$	许用应力	$\varphi_\sigma, \varphi_\tau$	平均应力折合为应力幅的等效系数
$[\tau]$	材料的许用切应力	E	弹性模量
$[\sigma_B]$	许用弯曲应力	ρ	曲率半径
$[\sigma_p]$	许用挤压应力	ρ_Σ	综合曲率半径
$[\tau_T]$	许用扭转剪切应力	F_f	摩擦力
r	应力循环特性	F_n	法向载荷
σ_{rN}, τ_{rN}	在某一循环特性 r 和经过循环次数 N 下的疲劳极限应力	F_{ca}	计算载荷
σ_r, τ_r	在某一循环特性 r 和经过循环基数 N_0 下的疲劳极限应力	F_0	初拉力
σ_{-1}, τ_{-1}	对称循环时的疲劳极限	k_f	可靠度系数
$[\sigma_{-1}]$	对称循环下许用应力	F_{elim}	极限有效拉力
$[\sigma_{-1B}]$	对应循环状态下的许用弯曲应力	F_c	离心力
$[\sigma_{0B}]$	脉动循环状态下的许用弯曲应力	F_a	轴向力
$[\sigma_{+1B}]$	静应力状态下的许用弯曲应力	F_r	径向力
σ_{-1T}	材料在拉压对称循环下的疲劳极限	F_t	圆周力
σ_0, τ_0	脉动循环时的疲劳极限	K_{FN}, K_{HN}	考虑应力循环次数影响的齿根弯曲疲劳和齿面接触疲劳寿命系数
σ_H	两零件的表面接触应力	S_F, S_H	齿根弯曲疲劳和齿面接触强度安全系数
σ_F	齿根弯曲应力	T	转矩、扭矩（力矩）
σ_{FE}	弯曲疲劳强度极限	M	弯矩
$\sigma_{Hlim}, \sigma_{Flim}$	接触和弯曲疲劳强度极限应力	M_{ca}	计算弯矩
$[\sigma_H], [\sigma_F]$	接触和弯曲疲劳许用应力	W, W_T	抗弯和抗扭截面系数
σ_{lim}	材料的极限应力	I	惯性矩
τ_{lim}	材料的极限切应力	I_p	极惯性矩
$[S]$	设计许用安全系数	p	压强
y	弹性变量	$[p]$	许用压强
$[y]$	许用弹性变量	P	功率
R_t	工作可靠度	P_{ca}	计算功率
$[R_t]$	许用可靠度		

目 录

前 言

常用力学计算符号表

第1章 绪论 1

1.1 本课程研究的对象 1

1.2 本课程研究的性质、内容和任务 2

1.3 本课程的特点及学习方法 2

思考题 3

第2章 机械设计概论 4

2.1 机器应满足的基本要求 4

2.2 机器设计的主要内容及一般程序 5

2.3 机械零件设计的基本要求及一般步骤 7

2.3.1 机械零件设计的基本要求 7

2.3.2 机械零件设计的一般步骤 8

2.4 机械零件的主要失效形式及计算准则 8

2.4.1 机械零件的主要失效形式 8

2.4.2 机械零件的计算准则 9

2.5 机械零件的材料选择 10

2.5.1 机械零件的常用材料 10

2.5.2 机械零件材料的选用原则 11

2.6 机械零件的工艺性及标准化 12

2.6.1 机械零件的结构工艺性 12

2.6.2 机械零件设计中的标准化 13

2.7 机械设计方法及其发展 13

2.7.1 传统设计方法 13

2.7.2 设计方法的新发展 14

2.7.3 现代设计方法的特点 15

思考题 16

第3章 机械零件的强度 17

3.1 载荷和应力的分类 17

3.1.1 载荷的分类 17

3.1.2 应力的分类 17

3.2 静应力状态下机械零件的整体强度 18

3.2.1 静应力状态下机械零件的强度计算 18

3.2.2 许用安全系数的选择 20

3.3 变应力状态下机械零件的整体强度 20

3.3.1 材料的疲劳曲线 20

3.3.2 材料的疲劳极限应力图 21

3.3.3 影响机械零件疲劳强度的主要因素 22

3.4 机械零件的表面接触疲劳强度 25

3.5 机械零件的刚度 26

3.5.1 刚度的影响 26

3.5.2 刚度计算概述 26

3.5.3 影响刚度的因素及其改进措施 26

3.6 机械零件的可靠性 27

3.6.1 可靠性概念 27

3.6.2 提高机械零件可靠性的措施 28

思考题 28

第4章 摩擦、磨损及润滑 29

4.1 摩擦的种类及其性质 29

4.1.1 摩擦表面的形貌 29

4.1.2 摩擦的种类及其基本性质 30

4.2 磨损 34

4.2.1 典型磨损过程 34

4.2.2 磨损的分类 35

4.3 润滑剂、添加剂 36

4.3.1 润滑剂的作用 36

4.3.2 润滑剂的种类及其性能指标 37

4.3.3 添加剂 41

4.4 润滑状态 41

4.4.1 边界润滑 42

4.4.2 流体润滑 42

4.4.3 混合润滑 43

4.4.4 润滑状态的转化 43

思考题 43

第5章 螺纹联接和螺旋传动 44

5.1 螺纹联接的主要类型、材料和精度 44

5.1.1 螺纹联接的主要类型 45

5.1.2 螺纹联接件的材料和许用应力 46

5.2 螺纹联接的拧紧和防松 49

5.2.1 螺纹联接的拧紧 49

5.2.2 螺纹联接的防松 52

5.3 螺栓组联接的设计和受力分析 55

5.3.1 螺栓组联接的结构设计 55

5.3.2 螺栓组联接的受力分析 57

5.4 螺栓联接的强度计算 60

5.4.1 螺纹联接的失效形式和设计准则 60

5.4.2 普通螺栓联接的强度计算 60

5.4.3 铰制孔用螺栓联接的强度计算	64	7.4.1 设计准则和单根 V 带的额定功率	100
5.5 提高螺栓联接强度的措施	65	7.4.2 带传动的设计步骤和参数选择	103
5.5.1 改善螺纹牙间的载荷分布	65	7.5 带传动的张紧和维护	107
5.5.2 减小螺栓的应力幅	66	7.5.1 带传动的张紧和调整	107
5.5.3 避免附加弯曲应力	67	7.5.2 带传动的安装和维护	109
5.5.4 避免应力集中	68	思考题	109
5.5.5 采用合理的制造工艺	68	习题	109
5.6 螺旋传动	70	第 8 章 链传动	111
5.6.1 常用的传动螺旋副	71	8.1 概述	111
5.6.2 螺旋传动的失效、结构和材料	72	8.2 滚子链和链轮	112
5.6.3 滑动螺旋传动的设计计算	73	8.2.1 滚子链的结构	112
思考题	76	8.2.2 滚子链的基本参数和尺寸	113
习题	76	8.2.3 滚子链链轮	113
第 6 章 键、花键、销、无键联接	79	8.3 滚子链传动的运动特性及受力分析	116
6.1 键联接	79	8.3.1 传动比、链速和速度不均匀性	116
6.1.1 键联接的功能、分类、结构形式及应用	79	8.3.2 链传动的受力分析	118
6.1.2 键的选择和键联接强度计算	81	8.4 滚子链传动的设计计算	118
6.2 花键联接	83	8.4.1 链传动的失效形式	118
6.2.1 花键联接的类型、结构和特点	83	8.4.2 额定功率曲线	119
6.2.2 花键联接强度计算	84	8.4.3 链传动的设计准则和链的额定功率曲线	119
6.3 销联接	85	8.4.4 链传动的设计计算及主要参数的选择	120
6.4 无键联接	87	8.5 链传动的布置、张紧和润滑	124
6.4.1 过盈联接	87	8.5.1 链传动的布置	124
6.4.2 胀紧联接	88	8.5.2 链传动的张紧	125
6.4.3 型面联接	88	8.5.3 链传动的润滑	125
思考题	89	思考题	126
习题	89	习题	126
第 7 章 带传动	91	第 9 章 齿轮传动	128
7.1 概述	91	9.1 概述	128
7.1.1 带传动的类型	91	9.1.1 齿轮传动的优缺点	128
7.1.2 带传动的特点	93	9.1.2 齿轮传动的分类	128
7.2 V 带和带轮	93	9.1.3 齿轮传动的基本要求	128
7.2.1 V 带的构造和类型	93	9.2 齿轮的失效形式与设计准则	129
7.2.2 V 带轮的材料和结构	95	9.2.1 齿轮的失效形式	129
7.3 带传动的工作情况分析	97	9.2.2 齿轮传动的设计准则	131
7.3.1 带传动的受力分析	97	9.3 齿轮的材料、热处理及其许用应力	132
7.3.2 带的弹性滑动和打滑	97	9.3.1 齿轮的常用材料	132
7.3.3 带的极限有效拉力 F_{elim} 及其影响因素	98	9.3.2 齿轮材料的选择原则	133
7.3.4 带传动的应力分析	99	9.3.3 齿轮材料的热处理	134
7.3.5 带传动的主要失效形式	100	9.3.4 齿轮的许用应力	134
7.4 V 带传动的设计计算	100		

9.4 圆柱齿轮传动的载荷计算	139	10.5 圆柱蜗杆传动的效率、润滑和热平衡 计算	180
9.4.1 计算载荷和载荷系数	139	10.5.1 蜗杆传动的效率和自锁	180
9.4.2 载荷系数说明	140	10.5.2 蜗杆传动的润滑	182
9.5 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	144	10.5.3 蜗杆传动的热平衡计算	182
9.5.1 标准直齿圆柱齿轮传动的受力 分析	144	10.6 蜗杆、蜗轮的结构	183
9.5.2 齿面接触疲劳强度计算	145	10.6.1 蜗杆的结构	183
9.5.3 齿根弯曲疲劳强度计算	146	10.6.2 蜗轮的结构	183
9.5.4 齿轮传动主要参数和传动精度的 选择	148	思考题	186
9.6 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	151	习题	187
9.6.1 标准斜齿圆柱齿轮传动的受力 分析	151	第11章 滑动轴承	188
9.6.2 齿面接触疲劳强度计算	152	11.1 概述	188
9.6.3 齿根弯曲疲劳强度计算	153	11.2 径向滑动轴承的主要类型	188
9.7 标准直齿锥齿轮传动的强度计算	156	11.2.1 整体式轴承	188
9.7.1 标准直齿锥齿轮传动的受力 分析	156	11.2.2 剖分式轴承	189
9.7.2 齿面接触疲劳强度计算	157	11.3 滑动轴承的材料和轴瓦结构	189
9.7.3 齿根弯曲疲劳强度计算	158	11.3.1 轴承材料的要求	189
9.8 齿轮的结构设计	160	11.3.2 常用轴承材料	190
9.9 齿轮传动的润滑	162	11.3.3 轴瓦结构	195
思考题	163	11.4 滑动轴承的润滑	197
习题	164	11.5 不完全油膜滑动轴承的条件性计算	200
第10章 蜗杆传动	166	11.5.1 不完全油膜滑动轴承的失效形式 和计算准则	200
10.1 概述	166	11.5.2 径向滑动轴承的设计计算	201
10.1.1 蜗杆传动的特点	166	11.6 液体动压润滑的基本方程	202
10.1.2 蜗杆传动的类型和应用	166	11.6.1 雷诺润滑方程式	202
10.2 圆柱蜗杆传动的基本参数和几何尺寸 计算	169	11.6.2 油楔承载机理	204
10.2.1 蜗轮与蜗杆的正确啮合条件	169	11.7 液体动压润滑径向滑动轴承的设计 计算	204
10.2.2 普通圆柱蜗杆传动的基本参数	169	11.7.1 几何关系	204
10.2.3 普通圆柱蜗杆传动的几何尺寸 计算	173	11.7.2 动压润滑状态的建立	205
10.3 蜗杆传动的失效形式、设计准则和 材料选择	174	思考题	212
10.3.1 蜗杆传动的失效形式和设计 准则	174	习题	213
10.3.2 蜗杆传动的材料选择	175	第12章 滚动轴承	214
10.4 圆柱蜗杆传动的受力和强度 计算	176	12.1 概述	214
10.4.1 圆柱蜗杆传动的受力分析	176	12.1.1 滚动轴承的工作特点	214
10.4.2 圆柱蜗杆传动的强度计算	177	12.1.2 滚动轴承的构造和常用材料	214
		12.2 滚动轴承的类型和选择	215
		12.2.1 滚动轴承的主要类型、性能与 特点	215
		12.2.2 滚动轴承的三个重要结构特性	218
		12.2.3 滚动轴承的类型选择	219
		12.3 滚动轴承的代号	220

12.4 滚动轴承的工作情况分析	222	13.3 轴的计算	260
12.4.1 受力分析	222	13.3.1 轴的强度计算	260
12.4.2 失效形式和计算准则	223	13.3.2 轴的安全系数校核计算	262
12.5 滚动轴承的寿命计算	224	13.3.3 轴的静强度校核计算	263
12.5.1 滚动轴承的基本额定寿命	224	13.3.4 轴的刚度计算	264
12.5.2 滚动轴承的基本额定动载荷	225	13.3.5 轴的振动稳定性计算概念	265
12.5.3 滚动轴承的当量动载荷	225	13.4 轴的设计实例	265
12.5.4 寿命计算公式	226	思考题	272
12.5.5 角接触球轴承和圆锥滚子轴承的 径向载荷和轴向载荷计算	228	习题	272
12.5.6 同一点成对安装同型号圆锥 滚子轴承的计算特点	229	第14章 联轴器和离合器	274
12.5.7 不同可靠度的轴承寿命计算	230	14.1 概述	274
12.6 滚动轴承的静强度计算	232	14.2 联轴器	274
12.7 滚动轴承的极限转速校核计算	234	14.2.1 联轴器的作用和要求	274
12.8 滚动轴承的组合结构设计	234	14.2.2 常用联轴器的结构、特点及 应用	275
12.8.1 滚动轴承的定位和紧固	235	14.2.3 联轴器的选择	283
12.8.2 滚动轴承的组合结构	236	14.2.4 联轴器的使用与维护	285
12.8.3 轴承游隙和轴承组合位置的 调整	238	14.3 离合器	285
12.8.4 滚动轴承的预紧	239	14.3.1 离合器的作用和要求	285
12.8.5 滚动轴承支座的刚性和同轴度	240	14.3.2 常用离合器的结构和特点	285
12.8.6 滚动轴承的配合和装拆	240	14.3.3 离合器的选择	290
12.9 滚动轴承的润滑和密封	243	14.3.4 离合器的使用与维护	291
12.9.1 滚动轴承的润滑	243	思考题	291
12.9.2 滚动轴承的密封	245	习题	292
思考题	246	附表	293
习题	247	附表1 抗弯、抗扭截面系数计算公式	293
第13章 轴	249	附表2 高频感应淬火的强化系数 β_q	294
13.1 概述	249	附表3 化学热处理的强化系数 β_q	294
13.1.1 轴的分类	249	附表4 表面硬化加工的强化系数 β_q	294
13.1.2 轴的材料	251	附表5 零件与轴过盈配合处的 $\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma}$ 值	294
13.1.3 轴的毛坯	252	附表6 轴上环槽处的理论应力集中系数	295
13.1.4 轴的组成	252	附表7 轴肩圆角处的理论应力集中系数	295
13.1.5 轴设计过程中的主要问题	252	附表8 轴上横孔处的理论应力集中 系数	296
13.2 轴的结构设计	253	附表9 轴上键槽处的有效应力集中系数 k_σ 、 k_τ	297
13.2.1 拟订轴上零件的装配方案	253	附表10 外花键的有效应力集中系数 k_σ 、 k_τ	297
13.2.2 零件的轴向和周向定位	253	附表11 螺纹尺寸系数 ε	297
13.2.3 轴最小直径的估算	255	附表12 螺纹的有效应力集中系数 k_σ	297
13.2.4 各轴段直径和长度的确定	256	参考文献	298
13.2.5 结构工艺性要求	257		
13.2.6 提高轴的强度、刚度和减轻重量 的措施	258		

1.1 本课程研究的对象

机械工业的生产水平是一个国家现代化建设水平的重要标志。人类在生产实践过程中,创造出各种各样的机械设备,如汽车、拖拉机、机床、机器人和计算机等。人们利用这些机械设备,不仅可以减轻体力劳动,而且可以提高生产效率。机械设备水平和自动化程度成为反映当今社会生产力发展水平的重要标志。现代化建设对机械设备的自动化、智能化要求越来越高,越来越迫切,这就对机械设计工作者提出了更新、更高的要求。

通常,机械是机器和机构的总称。

机器种类很多,一般机器具有三个特征:①实物的组合;②各组合部分之间具有确定的相对运动;③可以完成机械功或转换机械能与电能。只具有①、②特征的构件组合,通常称为机构。机构由构件组成,并且具有一定的相对运动关系。因此,构件是机构运动分析的基本单元。

一般机器可分为两大类:动力机和工作机。提供或转换机械能的机器称为动力机,如内燃机、燃气轮机、电动机等;利用机械能实现工作功能的机器称为工作机,如机床、起重机、轧钢机、洗衣机等。

机器是代替人们体力和部分脑力劳动的工具。机器既能承担人力所不能或不便进行的工作,又能较人工生产改进产品质量,特别是能够大大提高劳动生产率和改善劳动条件。一台现代化的机器中,常包含着机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、信号、控制、监测等系统的部分或全部,但是机器的主体仍然是它的机械系统。无论分解哪一台机器,它的机械系统都是由一些机构组成的,每个机构又由许多零件组成。所以,零件是组成机器的最小制造单元。

本课程的研究对象是在普通工作条件下一般参数的通用零部件的基本设计理论和方法(重型、微型零件,以及在高速、高压、高温、低温条件下工作的通用零件除外),以及有关技术资料的应用等。各种机器中普遍使用的零件称为通用零件,如轴、轴承、齿轮、链轮、带轮等;另一类则是在特定类型的机器中才能用到的零件,称为专用零件,如涡轮机的叶片、飞机的螺旋桨、往复式活塞内燃机的曲轴等。另外,还常把由一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合体称为部件,如减速器、离合器等。

本课程中“设计”的含义是机械装置的实体设计,涉及零件应力、强度的分析计算,材料的选择、结构设计,加工工艺性、标准化以及经济性、环境保护等。

机械设计是机械产品设计的第二步,也是决定机械产品性能、质量、成本的最主要、最重要的环节。据统计,机械产品生产成本的 70% 是由设计阶段决定的。这是因为机械产品的设计包含零件材料的选择,标准件、通用件的选用,零部件及整机的结构设计、优化设计,工艺流程及成本核算等均在产品设计阶段基本确定。因此,本课程对机械类专业的学生尤为重要。

1.2 本课程研究的性质、内容和任务

1. 本课程的性质

机械设计是以一般通用零部件的设计计算为核心的一门设计性、综合性和实践性都很强的设计性专业基础课。这门课将综合运用理论力学、材料力学、机械制图、机械原理、金属工艺学、工程材料及热处理、公差及测量技术基础等多门课程的知识来解决一般通用机械零部件的设计问题,同时也为专业课的学习打下基础。它把基础课和专业课有机地结合起来,是一门承上启下的主干类核心课程。

2. 本课程讨论的具体内容

1) 总论部分——机器及零件设计的基本原则、设计计算理论、材料的选择、结构要求,以及摩擦、磨损、润滑等方面的基本知识。

2) 联接部分——螺纹联接,键、花键及无键联接,销联接等。

3) 传动部分——带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动等。

4) 轴系部分——滑动轴承、滚动轴承、轴以及联轴器与离合器等。

3. 本课程的主要任务

本课程的主要任务是通过理论教学和实践训练,培养学生以下能力:

1) 具有正确的设计思想,提高创新思维和创新设计能力。

2) 掌握通用机械零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律,进而具有综合运用所学的知识,研究、改进或开发新的基础件及设计简单的机械的能力。

3) 具有运用标准、规范、手册、图册的能力和查阅有关技术资料的能力。

4) 掌握典型机械零件的实验方法,进行实验技能的基本训练。

5) 了解国家当前的有关技术经济政策,并对机械设计的新发展有所了解。

在本课程的学习过程中,要综合运用先修课程中所学的有关知识与技能,结合各个教学实践环节进行机械工程技术人员的基本训练,逐步提高自己的理论水平、构思能力、工程洞察力和判断力,特别是不断地吸收、融会分析问题及解决问题的能力,为顺利过渡到专业课程的学习及进行专业产品和设备的设计打下宽广而坚实的基础。

1.3 本课程的特点及学习方法

本课程有着既不同于一般公共基础课程,又区别于后续专业课程的显著特点。了解和掌握本课程的特点,在学习过程中着重于基本概念的理解和设计方法、步骤的掌握,强调对设计能力的训练,注意创新思维能力的培养和开发,不断总结和提高是学好本课程的重要条件。现结合本课程的特点,将学习中应该注意的几个问题进行介绍,供学习者参考。

1) 本课程的内容涉及多门先修课程和同修课程,如机械制图(设计的图形表达)、理论力学(解决受力分析和动力计算)、材料力学(解决强度计算问题)、互换性与测量技术(解决精度设计问题)、机械原理(解决机械的方案设计)、工程材料及金属工艺学(材料的性能、热处理、选用)等。可见,本课程是一门知识面宽、综合性强的课程,学习中要随时复习和巩固有关先修课程,学好同修课程,并注意训练和提高自己综合应用各门课程知识的能力。

2) 本课程以培养学生对机械零部件及简单机构的设计能力为根本目标,是一门实践性很强的课程。学习中一定要抓住“设计”这一环节,在学好设计基本知识、基本理论的同时,重视设

设计的实际训练,尤其是要重视本课程的课程设计环节。通过实际的设计训练,培养和提高机械设计的能力,尤其是要重视提高机械零部件结构设计的能力和熟练查阅、使用设计手册及各种技术资料的技能,真正实现“能设计”的学习目标。

3) 影响机械零部件工作能力的因素有很多且错综复杂,因而本课程中许多机械零部件的设计原理和设计公式是带有条件的,不少机械零部件的设计公式中涉及多个参数与系数,使设计表现出某种不确定性,设计结果也往往不是唯一的。学习时:①注意原理与公式的适用条件,弄清实际情况是否与适用条件相同;②准确把握设计公式中各参数间的关系和系数的意义与取值;③正确对待设计结果,尤其是要正确对待理论计算的结果。通常,理论计算结果要服从结构设计和加工工艺的要求。此外,不少零部件的尺寸并不是由理论计算一次确定的,而是先由结构设计或凭经验初定尺寸,再经过校核、修改(若校核不满足)后确定的;有些零部件设计公式中的参数或系数,在开始设计时是不能确定的,同样需要经过“先初选,再校核,最后确定”的设计过程。这种设计方法是机械零部件设计中常用的方法,学习中要逐步地适应和很好地掌握。

4) 本课程的主要内容是通用零部件的设计问题,涉及的零部件较多,学习时既要注意区分不同零部件在功效、应用、载荷、应力、材料、失效形式、设计准则、计算公式、结构等方面的差别,又要把握不同机械零部件的设计所遵循的一些共同规律。一般来说,在机械零部件的参数设计中,分析问题的大致思路及设计步骤如下:



5) 本课程介绍的机械设计方法主要是理论设计方法。但工程实际中的许多现象目前还难以用理论解释清楚,有些问题还难以进行精确的定量计算,有些数据还不能完全由理论分析及计算获得。所以,实际设计工作中往往要借助类比、实验等经验性的设计手段,或者使用经验公式和由实验提供的设计数据,更需要借助设计人员长期积累的设计经验。这就要求设计人员既要认真学习和掌握机械理论设计的方法,也要重视对经验设计方法的了解和学习,切不可轻视经验设计。经验设计虽无详细的理论分析,但有实践基础和依据,仍有一定的实用价值。

6) 机械零部件是机器的基本组成部分。在不同的机器中,同样的零部件在受力情况、设计要求及设计特点等许多方面会有所不同。所以,机械零部件的设计总是和具体机械或机电产品的开发设计联系在一起的。要真正学好本课程,真正掌握机械零部件设计,必须注意培养和建立整机设计的观念,从产品开发设计的高度来对待机械零部件的设计问题。要结合产品的制造与装配工艺、市场前景及产品的经济性来考虑机械零部件的设计问题。此外,在市场竞争日趋激烈的今天,产品的开发设计离不开改进、改革与创新,因此应努力增强创新意识,培养创新设计能力,以积极创新的精神对待本课程的学习,对待机械零部件设计问题。此外,还要增强市场意识和工程意识,从市场与工程的角度来考虑机械零部件设计问题。

思考题

- 1-1 本课程的研究对象是什么?
- 1-2 机器由哪些基本部分构成?各部分的作用是什么?
- 1-3 什么是专用零件,什么是通用零件?试举例说明。
- 1-4 学习本课程时应注意哪些问题?
- 1-5 本课程的性质是什么?

由绪论可知,机械是机器和机构的总称,零件是组成机器的基本单元,因此机械设计包括机器和机构设计两大部分内容。本课程只讨论机器的设计,即在本课程中,机械设计与机器设计同义,并重点介绍机械零部件设计。

机械设计是指设计开发新的机器设备或改进现有的机器设备,是一项具有创造性要求的工作。要学好本课程,掌握机械设计的基本知识、基本理论和基本方法,首先必须对机器的基本要求、设计程序和内容、设计方法等有一定的了解。

2.1 机器应满足的基本要求

机器的种类虽然很多,但设计时的主要要求往往是共同的。根据对现有机器的分析,现代机器的设计一般应满足以下几个方面的要求。

1. 预定功能要求

机器必须具有预定的使用功能,以达到预期的使用目的。这主要靠正确地选择机器的工作原理,正确地设计或选用原动机、传动机构和执行机构,以及合理地配置辅助系统来保证。

2. 经济性要求

机器的经济性体现在机器的设计、制造和使用的全过程中,包括设计制造经济性和使用经济性。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、较低的能源与原材料消耗,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,应用 CAD 技术,加快设计进度,降低设计成本;②合理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合理选用材料,改善零件的结构工艺性,尽可能地采用新材料、新结构、新工艺和新技术,使其用料少、质量小、加工费用低、易于装配;⑤尽力改善机器的造型设计,扩大销量。

提高机器使用经济性的主要途径有:①提高机器的机械化、自动化水平,以提高机器的生产率和生产产品的质量;②选用高效率的传动系统和支承装置,从而降低能源消耗和生产成本;③注意采用适当的防护、润滑和密封装置,以延长机器的使用寿命,并避免环境污染。

3. 劳动保护要求和环境保护要求

设计机器时应满足劳动保护要求和环境保护要求,一般可从以下两个方面着手。

(1) 保护操作者的人身安全,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;设置完善的能消除和避免不正确操作等引起危害的安全保险装置和报警信号装置;减少操作动作单元,缩短动作距离;操纵应简便、省力,简单而重复的劳动要利用机械本身的机构来完成,做到“设计以人为本”。

(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;进行废水、废气和废液的治理;美化机器的外形及外部色彩。

总之,应使所设计的机器符合国家劳动保护法规的要求和环境保护的要求。

4. 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。机器可靠性的常用可靠度来表示。机器的可靠度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。机器在规定的工作期限和条件下丧失规定功能,不能正常工作称为失效。

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,从机器设计的角度考虑,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可靠零件,合理设计机器的组件和部件,必要时选取较大的安全系数,采用备用系统等,对提高机器可靠度也是十分有效的。

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与不能污染产品的要求;对机床有长期保持精度的要求;对飞机有质量小与飞行阻力小等要求。设计此类机器时,不仅要满足前述共同的基本要求,还应满足其特殊要求。

此外,要指出的是,随着社会的不断进步和经济的高速增长,在许多国家和地区,机器的广泛使用使自然资源被大量地消耗和浪费,自然环境也遭到严重的破坏。这一切使人类自身的生存和发展受到了严重的威胁,人们对此已有了较为深刻的认识,并提出了可持续发展的观念和战略,即人类的进步必须建立在经济增长与环境保护相协调的基础之上。因此,设计机器时除了满足以上基本要求和某些特殊要求外,还应该考虑满足可持续发展战略的要求,采取必要的措施,尽量减少机器对环境和资源的不良影响。具体措施包括:①使用清洁的能源,如太阳能、水力、风力及现有燃料的清洁燃烧;②采用清洁的材料,即采用低污染、无毒、易分解、可回收的材料;③采用清洁的制造过程,不消耗对环境产生污染的资源,无“废气、废水、废物”排放;④使用清洁的产品,即在使用机器过程中不污染环境,机器报废后易回收。

2.2 机器设计的主要内容及一般程序

机器的质量基本上是由设计质量所决定的,而制造过程主要就是实现设计时所规定的质量。机器设计是一项复杂的工作,必须按照科学的程序来进行。机器设计的一般程序及主要内容可概括如下。

1. 计划阶段

这是机器设计整个过程中的准备阶段。在计划阶段要进行所设计机器的需求分析和市场预测,在此基础上确定所设计机器的具体功能和性能参数,并根据现有的技术、资料及研究成果,分析其实现的可能性,明确设计中的关键问题,拟订设计任务书。设计任务书大体上应包括:机器的功能、技术经济指标及环保要求估计(应与国内外的指标及要求进行对比)、主要参考资料和样机、关键制造技术、特殊材料、必要的试验项目、完成设计任务的预期期限、其他特殊要求等。只有在充分调查研究和仔细分析的基础上,才能形成合适、可行的设计任务书。

2. 方案设计阶段

方案设计的成败,直接关系到整个机器设计的成败。按照设计任务书的要求,方案设计阶段的主要工作有以下几个部分。

(1) 拟订执行机构方案

1) 选择机器的工作原理。设计一台机器,首先要根据预期的机器功能选择机器的工作原理,

再进行工艺动作分析,定出其运动形式,从而拟订所需执行构件的数目和运动。根据不同的工作原理,所设计出的机器就会根本不同。同一种工作原理,也可能有多种不同的结构方案。在多方方案的情况下,应对其中可行的不同方案从技术、经济及环境保护等方面进行综合评价,从中选定一个综合性能最佳的方案。

2) 拟订原动机方案。该项工作包括选择原动机类型及其运动参数。一般机器中大多选用电动机。

3) 机构的选型。该项工作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) 拟订传动系统方案 拟订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,以及链轮、带轮的直径等,并绘制各执行机构的运动简图和整个传动系统的运动简图。

(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,从而选定原动机的型号和规格。

(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,以及润滑、降温、吸尘、排屑等设备的配置,并应在传动简图中明确表示出来。

3. 技术设计阶段

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

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。草图设计过程中应对所有零件进行结构设计,协调各个零件的结构和尺寸,应全面考虑零部件的结构工艺性。

3) 主要零件校核计算。有些零件(如转轴等)必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. 编制技术文件阶段

需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。

以上介绍的机器的设计程序并不是一成不变的。在实际设计工作中,上述设计步骤往往是相互交叉或相互平行的。例如,计算和绘图、装配图和零件图的绘制,就常常是相互交叉、互为补充的。一些机器的继承性设计或改型设计,则常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,这一阶段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。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,这样才能不断地改进设计和提高机器质量,更好地满足生产及生活的需要。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仍然是以上介绍的四大部分。

2.3 机械零件设计的基本要求及一般步骤

2.3.1 机械零件设计的基本要求

机器是由机械零件组成的,因此设计的机器是否满足前述基本要求,零件的设计情况将起着决定性的作用。为此,对机械零件提出以下基本要求。

1. 强度、刚度及寿命要求

强度是指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,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,合理配置机器中各个零件的相互位置等,均有利于提高零件的强度。

刚度是指零件抵抗弹性变形的能力。零件刚度不足,将导致过大的弹性变形,引起载荷集中,影响机器工作性能,甚至造成事故。例如,机床的主轴、导轨等,若刚度不足,会使变形过大,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惯性矩,缩短支承跨距或采用多支点结构等措施,都将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。一般而言,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。影响零件寿命的主要因素有:材料的疲劳、腐蚀、相对运动零件接触表面的磨损及高温下零件的蠕变等。提高零件疲劳强度的主要措施有:减小应力集中,保证零件有足够大小的尺寸,提高零件表面质量等。提高零件耐蚀性的主要措施有:选用耐蚀材料和采取各种防腐蚀的表面保护措施。

2. 结构工艺性要求

零件应具有良好的结构工艺性,即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。零件的结构工艺性应从零件的毛坯制造、机械加工过程及装配等几个生产环节加以综合考虑。因此,在进行零件的结构设计时,除了满足零件功能上的要求和强度、刚度及寿命要求外,还应该重视对零件的加工、测量、安装、维修、运输等方面的要求,使零件的结构能较好地满足以上各方面的要求。

3. 可靠性要求

零件可靠性的定义和机器可靠性的定义是相同的。机器的可靠性主要是由其组成零件的可靠性来保证的。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两个方面加以考虑。例如用廉价材料代替贵重材料,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,以及尽可能地采用标准件等。

5. 质量小的要求

尽可能地减小质量对绝大多数机械零件都是必要的。减小质量一方面可节约材料,另一方面对于运动零件可减小其惯性力,从而改善机器的动力性能。对于运输机械,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。要达到零件质量减小的目的,应从多方面采取设计措施。

2.3.2 机械零件设计的一般步骤

由于机械零件种类的不同,其具体的设计步骤也不一样,但一般可按下列步骤进行。

(1) 类型选择 根据零件功能要求、使用条件及载荷性质等选定零件的类型。为此,必须对各种常用机械零件的类型、特点及适用范围有明确的了解。通常,应经过多方案比较择优确定。

(2) 受力分析 分析零件的工况,计算作用在零件上的载荷。

(3) 选择材料 根据零件的工作条件及对零件的特殊要求,选择合适的材料及热处理方法。

(4) 确定计算准则 根据工况,分析零件的失效形式,从而确定其设计计算准则。

(5) 理论设计计算 根据设计计算准则,计算并确定零件的主要尺寸和主要参数。

(6) 结构设计 根据工艺性要求及标准化等原则,进行零件的结构设计,确定其结构尺寸。这是零件设计中极为重要的设计内容,而且往往是工作量较大的工作。

(7) 精确校核 对于重要的零件,结构设计完成后,必要时还应进行精确校核计算,若不合适,应修改结构设计。

(8) 绘制零件图 理论设计和结构设计的结果最终由零件图表达。零件图上不仅要标注详细的零件尺寸,还要标注配合尺寸的尺寸公差、必要的几何公差、表面粗糙度及技术要求等。

(9) 编写计算说明书及有关技术文件 将设计计算的过程整理成计算说明书等,作为技术文件备查。

2.4 机械零件的主要失效形式及计算准则

2.4.1 机械零件的主要失效形式

机械零件在规定的时间内和规定的条件下不能完成规定的功能,称为失效。机械零件的主要失效形式有以下几种。

1. 整体断裂

在载荷的作用下,零件因危险截面上的应力大于材料的极限应力而引起的断裂称为整体断裂,如螺栓的断裂、齿轮轮齿的折断、轴的折断等。整体断裂分为静强度断裂和疲劳断裂两种。静强度断裂产生在静应力状态下,疲劳断裂则是由于交变应力的作用而引起的。由于机械零件的疲劳断裂往往是在没有明显的预兆下突然发生,因而引起的后果也更为严重。据统计,机械零件的整体断裂中大部分为疲劳断裂。

2. 过大的弹性变形或塑性变形

机械零件受载时会产生弹性变形。当弹性变形量超过许可范围时,零件或机器便不能正常工作。弹性变形量过大会破坏零件间相互位置及配合关系,有时还会引起附加动载荷及振动。

对于塑性材料制成的零件,当载荷过大使零件内应力超过材料的屈服强度时,零件将产生塑性变形。塑性变形会使零件的尺寸和形状发生永久性改变,使零件不能正常工作。

3. 零件的表面破坏

表面破坏是发生在机械零件工作表面上的一种失效形式。零件的工作表面一旦出现某种表面失效,将破坏表面精度,改变表面尺寸和形状,使运动性能降低,摩擦增大、能耗增加,严重时会导致零件完全不能工作。零件的表面破坏主要有磨损、点蚀和腐蚀。

1) 磨损是两个接触表面相对运动的过程中,因摩擦而引起零件表面材料丧失或转移的现象。

2) 在交变接触应力作用下发生在零件表面的局部疲劳破坏的现象,称为点蚀。发生点蚀时,