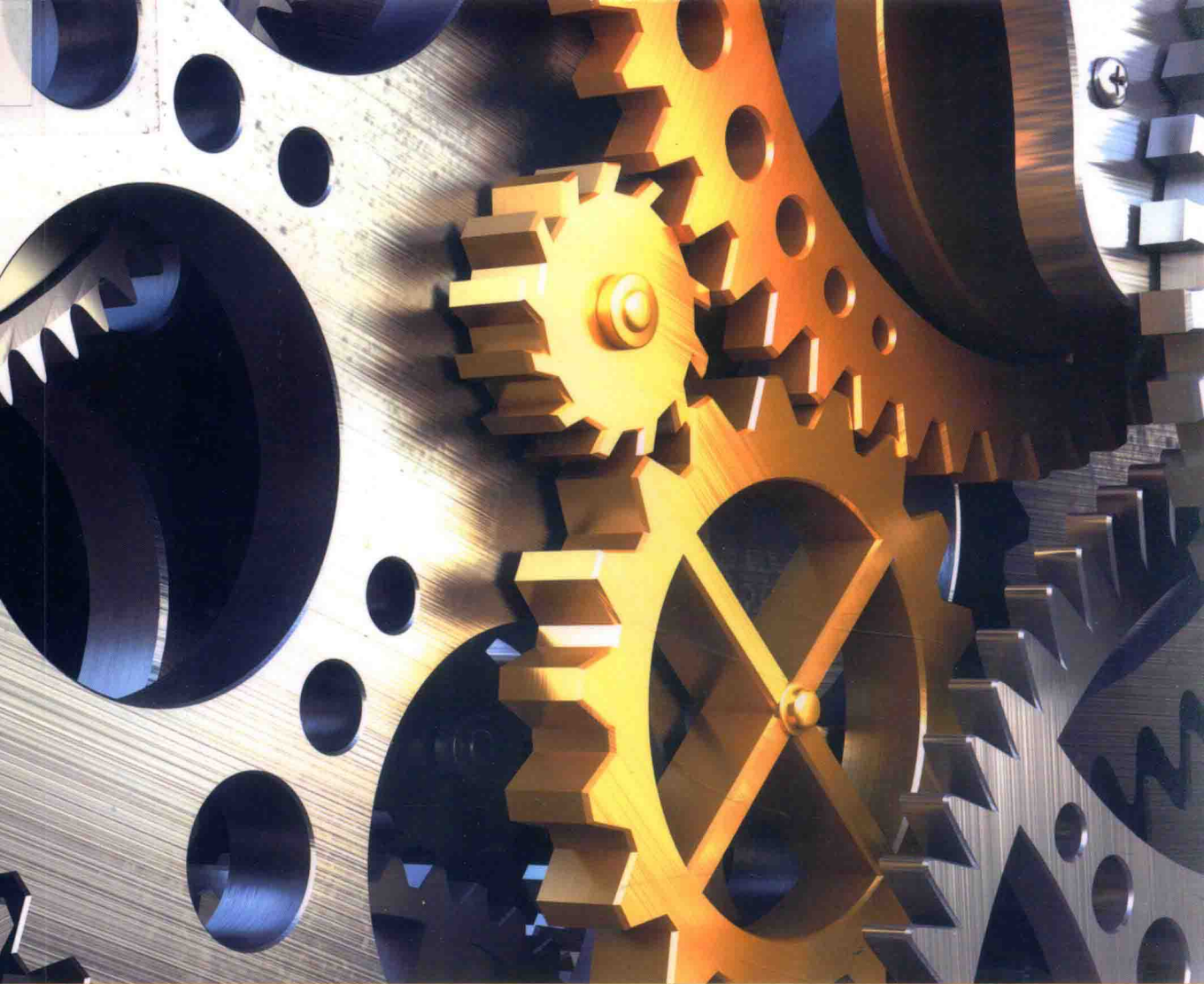




机械设计 与材料选择及分析

于惠力◎等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械设计与材料选择及分析

于惠力 魏 波 李佳阳 韩 蓉 编著



机械工业出版社

本书共分 15 章,把常用的机械设计计算方法与材料的选择分析结合起来,介绍了机械设计常用材料的性能及应用,并提供了常用机械零件的设计实例及其材料选择的详细分析,目的是为了使机械工程技术人员进行机械设计的同时,了解材料性能,更合理地选择材料,提高机械设计的质量。

本书是机械工程技术人员必备的技术资料,可为从事机械设计、机械制造的工程技术人员、大专院校的相关专业师生提供帮助,尤其对于从事机械设计、机械制造以及材料工程的技术人员具有指导意义。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计与材料选择及分析/于惠力等编著. —北京:机械工业出版社, 2019. 1

ISBN 978-7-111-61507-1

I. ①机… II. ①于… III. ①机械设计②机械制造材料—选择
IV. ①TH122②TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 268088 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:黄丽梅 责任编辑:黄丽梅

责任校对:刘 岚 封面设计:马精明

责任印制:李 昂

河北宝昌佳彩印刷有限公司印刷

2019 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21 印张·512 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-61507-1

定价:69.00 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:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

为了提高机械产品质量,使工程技术人员在进行机械零部件设计时,进一步了解机械设计常用的材料,更合理地选择材料以提高机械设计的质量和降低成本;同时也使从事工程材料工作的技术人员及时了解机械零部件设计对材料的要求,促进工程材料的进一步改进以更好地满足设计要求,我们编写了本书。

本书把常用的机械零部件的设计计算方法及材料的合理选择结合起来,并提供了常用机械零件的设计实例及其材料选择的详细分析,目的是使机械工程技术人员在进行机械设计的同时了解材料性能,更合理地选择材料,提高机械设计的质量。

机械设计主要指零部件设计,由于零部件种类多、设计方法繁琐,所涉及的材料种类也很繁杂,将众多的机械零件及其材料选择分析概括成浅显易懂的表述,使读者在最短时间既掌握机械零部件设计,又掌握其常用材料及其选择,是我们编写本书的目标。本书的编写有如下特点:

1. 编写内容方面突出了实用性

本书的编写注重实用,选用了机械生产实践中常用的各类典型零件,即连接零件、传动零件(螺旋、带、齿轮、蜗轮、链)、轴零件、轴系零部件(滚动轴承、滑动轴承、联轴器、离合器、制动器)和弹簧零件,将各类零件的设计方法进行了归纳总结,突出了设计实例及材料的选择及分析,尽量做到内容简单明了、表述清晰、实用性强。

2. 采用高度概括、精练的编写方式

各种机械零部件设计涉及的基本理论和公式多而繁,本书采用高度概括、精练内容的编写方式,将各种零件的设计理论和方法进行了简化处理,有的简化成以设计流程框图的形式来表达。在第2章机械设计常用材料简介的编写中也采用了同样的编写方法,缩减了篇幅,且清晰易懂。

3. 采用现行国家标准、规范及法定计量单位

本书共分15章,内容包括绪论、机械设计常用材料简介以及13种机械零部件的设计方法、设计实例及材料选择分析。本书图文并茂,实用性极强。

本书可为工程技术人员、大专院校的相关专业师生提供必要的参考,尤其对于从事机械设计、机械制造和材料工程的技术人员具有指导意义。本书也可作为高等工业学校机械类、近机类和非机类专业学习“机械设计”和“机械设计基础”课程的教学参考。

本书由于惠力、魏波、李佳阳和韩蓉编写,全书由于惠力统稿。

本书在编写过程中得到了各界同仁和朋友的大力支持、鼓励和帮助,也参考了一些同行所编写的教材、文献等,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,编写时间仓促,不妥之处在所难免,殷切希望广大读者对书中的错误和欠妥之处提出批评指正。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 绪论

1.1 引言	1
1.2 机械设计的一般方法及机械零件的设计准则	1
1.2.1 机械设计的一般方法	1
1.2.2 机械零件的设计准则	2
1.3 常用机械零部件选材的一般原则	5
1.3.1 材料的使用性能	5
1.3.2 材料的工艺性能	5
1.3.3 材料的经济性能	8
1.4 改善材料切削加工的途径	8
1.4.1 通过热处理改变材料的组织和力学性能	8
1.4.2 选用合适的刀具、切削参数和工艺	9
1.5 材料选择与应用是机械设计行业的基础	9

第 2 章 机械设计常用材料简介

2.1 黑色金属	10
2.1.1 铸铁	10
2.1.2 碳素钢	20
2.1.3 合金钢	26
2.1.4 特殊用途钢	27
2.2 有色金属	35
2.2.1 铜和铜合金	36
2.2.2 铝和铝合金	41
2.2.3 镁和镁合金	52
2.2.4 钛和钛合金	56
2.3 非金属材料	59
2.3.1 塑料	59
2.3.2 橡胶	60

第 3 章 常用连接零件设计及材料选择

分析	66
3.1 螺纹连接的基本类型	66
3.2 螺纹连接的拧紧与防松	67
3.2.1 拧紧目的及预紧力 F'	67

3.2.2 拧紧力矩 T_i 的计算	68
3.2.3 螺纹连接的防松	69
3.3 螺栓组连接的受力分析	71
3.3.1 螺栓组连接受轴向载荷 F_Q	71
3.3.2 螺栓组连接受横向载荷 F_R	72
3.3.3 螺栓组连接受扭矩 T 作用	72
3.3.4 螺栓组连接受翻倒力矩 M 作用	73
3.3.5 螺栓组连接的受力分析	73
3.4 螺栓连接的强度计算	74
3.4.1 受拉螺栓	74
3.4.2 受剪螺栓	77
3.5 提高螺栓连接强度的措施	78
3.5.1 改善螺纹牙间载荷分布不均状况	78
3.5.2 减小应力幅	79
3.5.3 减小应力集中	80
3.5.4 减小附加应力	80
3.5.5 采用合理的制造工艺	80
3.6 螺纹连接件及材料选择分析	81
3.6.1 常用标准螺纹连接件简介	81
3.6.2 螺纹紧固件的常用材料分析	82
3.6.3 常用螺纹紧固件的材料及热处理要求	83

第 4 章 螺旋传动设计及材料选择

分析	85
4.1 螺旋传动的用途和分类	85
4.2 滑动螺旋传动的设计计算	86
4.2.1 滑动螺旋的结构	86
4.2.2 滑动螺旋的材料	87
4.2.3 滑动螺旋的设计方法	87
4.3 滑动螺旋传动设计实例及材料选择分析	90
4.3.1 设计实例	90
4.3.2 设计实例详解及选材分析	90

第 5 章 带传动设计概述及材料选择

分析	98
----	----

5.1 带传动概述	98	第7章 蜗杆传动	144
5.2 带传动的工作原理	98	7.1 概述	144
5.3 带传动的受力分析	99	7.1.1 蜗杆传动的特点	144
5.4 带传动的应力分析	100	7.1.2 蜗杆传动的类型	144
5.5 带传动的弹性滑动及打滑	101	7.2 蜗杆传动的主要参数和几何计算	145
5.6 带传动的失效形式及设计准则	101	7.2.1 主要参数	145
5.7 V带传动设计实例	103	7.2.2 几何计算	148
5.8 V带带轮结构设计及工作图	109	7.3 蜗杆传动的失效形式及设计准则	150
5.8.1 V带轮的结构设计	109	7.3.1 蜗杆传动的失效形式	150
5.8.2 V带轮零件工作图	110	7.3.2 蜗杆传动的设计准则	150
5.9 带传动材料选择与分析	111	7.4 蜗杆传动的受力分析	150
5.9.1 V带轮材料选择与分析	111	7.5 蜗杆传动的强度计算	151
5.9.2 V带的结构及选材分析	112	7.5.1 蜗轮齿面接触疲劳强度	151
5.9.3 平带材料的选择及分析	113	7.5.2 蜗轮齿根弯曲疲劳强度计算	152
5.9.4 同步带材料的选择及分析	114	7.5.3 蜗杆轴的刚度计算	154
第6章 齿轮传动设计概述及材料选择 分析	115	7.5.4 蜗杆传动的热平衡计算	154
6.1 齿轮传动类型和特点	115	7.5.5 闭式蜗杆传动设计流程框图	155
6.1.1 齿轮传动的分类	115	7.6 蜗杆传动设计实例及选材分析	156
6.1.2 齿轮传动的主要特点	116	7.7 蜗杆蜗轮的结构设计及零件工作图	159
6.2 齿轮传动的失效形式及设计准则	116	7.7.1 蜗杆的结构分析	159
6.2.1 齿轮传动的失效形式	116	7.7.2 蜗轮的结构设计	161
6.2.2 齿轮传动的设计准则	117	7.7.3 蜗杆和蜗轮零件工作图绘制	163
6.3 齿轮传动的受力分析	117	7.8 蜗杆传动的材料选择及分析	166
6.3.1 直齿圆柱齿轮传动的受力分析	117	7.8.1 蜗杆的材料选择及分析	166
6.3.2 斜齿圆柱齿轮传动的受力分析	118	7.8.2 蜗轮的材料选择及分析	167
6.3.3 直齿锥齿轮传动的受力分析	118	第8章 链传动	169
6.4 圆柱齿轮传动的强度计算	119	8.1 链传动概述	169
6.4.1 圆柱齿轮传动强度概述	119	8.1.1 链传动的特点及应用	169
6.4.2 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	120	8.1.2 链传动的分类	169
6.4.3 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	126	8.1.3 滚子链的基本参数和表示方法	170
6.4.4 圆柱齿轮传动的强度汇总	128	8.2 链传动的运动特性	171
6.5 直齿圆柱齿轮传动设计实例及选材 分析	130	8.2.1 链传动运动的不均匀性	171
6.6 圆柱齿轮传动的结构设计	134	8.2.2 链传动的动载荷	174
6.6.1 圆柱齿轮结构设计方法概述	134	8.3 套筒滚子链传动设计	175
6.6.2 小圆柱齿轮结构设计	135	8.3.1 链传动的失效形式	175
6.6.3 大圆柱齿轮结构设计	135	8.3.2 设计准则	176
6.7 齿轮零件工作图绘制详解	136	8.3.3 套筒滚子链传动设计流程框图	176
6.8 齿轮材料的选择及分析	140	8.4 套筒滚子链设计实例	177
6.8.1 常用齿轮材料及分析	140	8.4.1 套筒滚子链设计计算实例	177
6.8.2 齿轮材料的选择原则及实例	141	8.4.2 套筒滚子链零件工作图示例	181
6.8.3 齿轮设计实例及材料选择分析	142	8.5 链传动结构及选材分析	182
		8.5.1 套筒滚子链条的结构	182
		8.5.2 链条的材料及分析	182

8.5.3 链轮的结构及选材分析	183	11.2.1 径向滑动轴承的设计计算	223
第9章 轴	188	11.2.2 推力轴承	225
9.1 轴的用途及类型	188	11.3 流体动压润滑径向滑动轴承的设计	
9.2 轴的结构设计	189	计算	226
9.2.1 零件在轴上的轴向固定	190	11.3.1 设计计算	226
9.2.2 零件在轴上的周向固定	191	11.3.2 参数选择	229
9.2.3 轴的结构工艺性	192	11.4 滑动轴承的结构设计	232
9.2.4 提高轴的疲劳强度	193	11.4.1 径向滑动轴承的结构	232
9.3 轴的强度计算方法	193	11.4.2 推力滑动轴承的结构	234
9.3.1 按许用切应力计算	193	11.4.3 轴瓦	234
9.3.2 按许用弯曲应力（当量弯矩法）		11.4.4 滑动轴承的润滑装置	237
计算	194	11.5 滑动轴承的材料选择及分析	239
9.3.3 安全系数法校核轴的疲劳强度 ..	195	11.5.1 滑动轴承的失效形式	239
9.3.4 转轴设计步骤流程图	197	11.5.2 对滑动轴承材料的要求	240
9.4 轴的材料选择及分析	198	11.5.3 滑动轴承常用材料及分析	241
9.4.1 轴的材料选择原则	198	第12章 联轴器设计概述及材料选择	
9.4.2 轴的常用材料及其力学性能	198	分析	243
9.4.3 轴的材料选择实例及分析	199	12.1 常用联轴器简介	243
第10章 滚动轴承设计概述及材料		12.1.1 联轴器的分类	243
选择分析	202	12.1.2 联轴器的应用	243
10.1 滚动轴承的类型及选择	202	12.2 常用联轴器的选择计算与材料	
10.1.1 滚动轴承的类型	202	分析	244
10.1.2 滚动轴承的类型选择原则	203	12.2.1 联轴器的类型选择原则	244
10.2 滚动轴承的代号	204	12.2.2 联轴器的计算方法简介	245
10.3 滚动轴承的失效形式及设计准则	206	12.3 典型联轴器计算实例及材料分析	247
10.3.1 滚动轴承的失效形式	206	12.3.1 弹性套柱销联轴器	247
10.3.2 滚动轴承的设计准则	207	12.3.2 弹性柱销联轴器	251
10.4 滚动轴承的寿命计算	208	12.3.3 鼓形齿式联轴器	254
10.5 滚动轴承的组合设计	212	12.3.4 滚子链联轴器	259
10.5.1 滚动轴承在轴上的固定方式	212	12.3.5 梅花形弹性联轴器	264
10.5.2 滚动轴承的配合	214	第13章 离合器	267
10.5.3 滚动轴承的润滑与密封	214	13.1 离合器简介	267
10.6 滚动轴承的材料选择及分析	216	13.1.1 离合器的分类及应用	267
10.6.1 滚动轴承材料应满足的要求	216	13.1.2 离合器的选择	268
10.6.2 滚动轴承常用材料及分析	217	13.2 常用离合器的计算方法	268
第11章 滑动轴承	221	13.2.1 一般性的选择计算	268
11.1 滑动轴承的分类及应用	221	13.2.2 摩擦式离合器温升计算	269
11.1.1 滑动轴承的分类	221	13.2.3 摩擦离合器磨损验算	270
11.1.2 滑动轴承的特点	222	13.3 典型离合器计算实例及材料	
11.1.3 滑动轴承的应用	222	分析	270
11.2 不完全流体润滑滑动轴承的设计		13.3.1 油式多盘摩擦离合器	270
计算	223	13.3.2 牙嵌式离合器	275

第 14 章 制动器	279	15.3.1 圆柱螺旋弹簧的参数及许用 应力	301
14.1 制动器的分类特点及应用	279	15.3.2 基本计算公式	306
14.2 制动器的选择计算及设计实例	280	15.3.3 自振频率	307
14.2.1 制动器类型选择参考原则	280	15.3.4 弹簧的特性和变形	307
14.2.2 制动器的设计与计算方法	281	15.3.5 弹簧的端部结构型式、参数及 计算公式	308
14.2.3 制动器的设计计算实例	283	15.3.6 弹簧的强度和稳定性校核	310
14.3 摩擦制动器的材料选择及分析	285	15.4 典型压缩螺旋弹簧设计实例及弹簧 工作图	311
14.3.1 带式摩擦制动器的分类	285	15.4.1 典型压缩螺旋弹簧设计实例	311
14.3.2 带式摩擦制动器的结构和工作 情况分析	286	15.4.2 弹簧工作图和设计计算数据	315
14.3.3 制动带的材料组成及分析	287	15.5 其他类型弹簧设计简介	315
14.3.4 常用制动器摩擦材料简介	291	15.5.1 碟形弹簧	315
第 15 章 弹簧设计概述及材料选择 分析	293	15.5.2 空气弹簧	318
15.1 弹簧概述	293	15.5.3 片弹簧	318
15.1.1 弹簧的功能	293	15.6 常用弹簧材料选择及分析	319
15.1.2 弹簧的类型、特点及应用	293	15.6.1 对弹簧材料的性能要求	319
15.2 常用弹簧材料及性能	295	15.6.2 常用弹簧材料及分析	321
15.2.1 常用弹簧材料	295	15.6.3 弹簧材料的选择	324
15.2.2 常用弹簧的分类及性能	296	参考文献	326
15.3 圆柱压缩螺旋弹簧的设计计算	301		

第1章 绪 论

1.1 引言

机械零件是组成机器的基本单元,部件是若干零件的合体,机械零部件的设计是机器设计的核心内容,机械设计在很大程度上是指机械零部件设计。目前存在这样一种错误观点:认为从事机械设计的人员对材料知识的了解不必很深;而“材料学”是专门研究材料的人去研究,与机械设计没有关系或关系不大。因此在机械行业中存在“重设计、轻材料”的倾向,导致因设计选材不当而产品性能达不到要求、价格偏高等后果。

在进行机械零部件设计时,如何正确合理地选择材料,提高机械零部件设计质量,提高工艺性和经济性,是摆在机械设计工程技术人员面前的重要问题。

本书的内容是将常用机械零部件设计方法与材料的选择分析问题结合起来,帮助设计人员进行机械零部件设计时,正确分析并选择合适的材料,以提高设计质量。本书首先概括介绍了机械设计的常用材料的性能及其应用,然后用较大的篇幅阐述了连接、传动、轴系等常用机械零部件的设计方法及设计实例,在设计实例中重点介绍了零件的结构设计,并针对每一种零部件的设计实例,从设计的角度分析了如何选择材料的问题。

本书编写的初衷是使读者既学会机械常用零部件的设计计算方法,又学会如何进行材料的分析和选择,将机械零部件的设计与材料选择及分析密切结合起来,达到真正提高机械设计人员高质量设计机械零部件能力的目的。

1.2 机械设计的一般方法及机械零件的设计准则

本书讨论常用机械零部件的设计与材料选择分析问题,因此首先介绍一下常用机械零件的一般设计方法及设计准则。

1.2.1 机械设计的一般方法

1. 机械设计的几个阶段

(1) 计划阶段 进行市场调研,了解市场需求,论证可行性。如果可行,做出产品开发计划,完成可行性研究报告以及设计任务书。

(2) 原理方案设计阶段 进行功能分析,寻求可行原理,确定原理方案,如有多种方案,进行优化选择,从而评价决策,完成最佳原理方案图。

(3) 技术设计阶段 首先进行结构方案设计,包括参数设计(初定材料、参数、尺寸、精度等)。然后进行结构设计(粗布局以及构形等),可能有多种可行结构方案,进行优化及评价决策,得出初步结构设计草图。第三步进行总体设计,确定总体布局、构形设计、决

定尺寸, 进行人机工程设计和外观造型设计, 可能有多种总体设计可行方案, 进行优化及评价决策, 确定总装配图。

(4) 施工设计阶段 包括产品部件设计、产品零件设计及编制各种技术文件。完成部件装配图、拆成零件工作图及完成各种技术文档。

(5) 试制试验阶段 先进行样机制造并评价考核工艺性, 进行进一步改进, 再进行小批量生产, 然后试销, 如果销路好就进行批量投产。投产后再进行调查, 根据使用情况再按第(3)、第(4)、第(5)步进行, 但对具体的机器而言, 其设计程序可能各不相同。

2. 设计机械零件时应满足的基本要求

设计机械零件时应满足的基本要求主要有三点:

(1) 要有一定的工作能力 这是设计机械零件时应满足的首要条件。所谓“工作能力”, 是指机械零件要有一定的强度、刚度、耐磨性、可靠性等。

(2) 经济性好 即机械零件的成本要低。想要达到成本低的目的, 就应当从机械零件的选材、合理地定精度等级、采用标准件等方面综合考虑。

(3) 具有良好的结构工艺性 即机械零件在既定的生产条件下, 能够方便而经济地加工出来, 且便于装配, 同时还要考虑加工的可能性及难易程度等。

3. 机械零部件设计的一般步骤

(1) 选择零件的材料 在满足工艺要求的条件下, 优先考虑国产材料, 尽量选用市场广泛供应、货源充足的材料, 并考虑价格、质量等因素综合评价选择。

(2) 建立零件的受力模型 对零件进行受力分析, 确定零件的计算载荷, 如求计算功率 $P_c = KP$, 式中, P 为名义载荷 (公称载荷、额定载荷); K 为载荷系数。

(3) 选择零件的类型与结构 可参考各种图册和手册, 或根据实际经验确定。

(4) 理论计算 包括两部分内容:

1) 设计计算。由作用到零件上的力求零件的几何尺寸, 即根据零件的主要失效形式确定零件的设计依据和公式, 求零件的主要参数、尺寸。例如根据齿面接触疲劳强度求出齿轮的主要参数——分度圆直径即为设计计算。

2) 校核计算。已知零件的几何尺寸求零件的工作能力。例如根据齿面接触疲劳强度求出齿轮的主要参数——分度圆直径后, 为了保证齿轮的另一种工作能力, 即轮齿不被折断, 还要再代入弯曲强度的公式进行核算, 此计算称为校核计算。

(5) 零件的结构设计 设计出零件的全部结构型式及具体几何尺寸。

(6) 绘制零件的工作图并编写计算说明书 即绘制出符合生产要求的零件工作图, 包括材料、热处理、形状、尺寸、尺寸公差、几何公差、技术要求等全部内容。

上述设计步骤并非一成不变, 有时需要交替进行。

1.2.2 机械零件的设计准则

1. 机械零件的常见失效形式

所谓失效, 是指机械零件因为某种原因不能正常工作。

机械零件可能的失效形式及常见的失效形式如下:

可能的失效形式 {

- 强度失效 { 整体强度
- { 表面强度
- 刚度失效
- 磨损失效
- 振动、噪声失效
- 精度失效
- 可靠性

常见的主要失效形式为 {

- 断裂
- 塑变
- 磨损
- 表面失效 { 疲劳点蚀
- { 胶合
- 其他失效 (例如打滑)

2. 机械零件的设计准则

以防止产生各种可能失效为目的而拟定的零件工作能力计算依据的基本原则称为设计准则。常用的设计准则为:

$$(1) \text{ 强度准则 } \begin{cases} \sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S_{\sigma}} \\ \tau \leq [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S_{\tau}} \end{cases}$$

$$\sigma_{\lim}(\tau_{\lim}) = \begin{cases} R_m(\tau_b), & \text{为脆性材料时} \\ R_{eL}(\tau_s), & \text{为塑性材料时时} \\ \sigma_r(\tau_r), & \text{疲劳极限} \end{cases} \quad (1-1)$$

式中 σ ——拉(压)应力;
 τ ——切应力;

$[\sigma]$ 、 $[\tau]$ ——许用拉(压)应力、许用切应力;

S_{σ} 、 S_{τ} ——拉(压)、剪切的计算安全系数;

$R_m(\tau_b)$ 、 $R_{eL}(\tau_s)$ ——静强度时材料的断裂极限和屈服极限;

$\sigma_{\lim}$ 、 $\tau_{\lim}$ ——拉(压)、剪切的极限应力;

$\sigma_r(\tau_r)$ ——变载荷时材料的拉(压)及剪切疲劳极限。

(2) 刚度准则 零件在载荷作用下抵抗变形的能力称零件的刚度。零件的刚度计算可按材料力学所介绍的方法进行,即求变形量小于许用变形量,变形量可以是挠度、偏转角或扭转角,即

$$\begin{cases} y \leq [y] \\ \theta \leq [\theta] \\ \varphi \leq [\varphi] \end{cases} \quad (1-2)$$

式中 y 、 θ 、 φ ——挠度、偏转角、扭转角;

$[y]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\varphi]$ ——许用挠度、许用偏转角、许用扭转角。

在机械零件计算中,轴零件的刚度计算较为常用,一般常按挠度条件判断刚度条件,而偏转角或扭转角一般不进行计算,因为轴按挠度条件经过结构设计后,一般直径较大,刚度足够,其偏转角或扭转角的安全度更大,无须进行计算。

(3) 耐磨性准则 耐磨性是指做相对运动的零件其工作表面抵抗磨损的能力。

磨损导致机械零件表面形状被破坏,强度削弱,精度下降,产生振动、噪声,造成工作失效,工程中有 80% 的机械零件是由磨损而造成失效的。因影响磨损的因素很多,而且比较复杂,到目前为止,磨损还没有合适的计算方法,通常采用条件性计算。滑动速度较低、载荷大时,可用限制工作表面的压强的方法进行计算,即

$$p \leq [p] \quad (1-3)$$

滑动速度较高时,还要限制摩擦功耗,以避免工作温度过高而使润滑失效,导致零件表面胶合失效。因发热量取决于摩擦功耗,而摩擦功耗又与 $\mu \times p \times v$ 的值成正比,其中 μ 为摩擦因数, p 为压强, v 为相对滑动速度。因为 μ 可看作常数,因此摩擦功耗仅与 $p \times v$ 有关,故工程中常用限制 $p v$ 值进行耐磨性计算,即

$$p v \leq [p v] \quad (1-4)$$

高速时还要限制零件的滑动速度 v , 避免由于速度过高而加速磨损和胶合而降低零件的工作寿命,即

$$v \leq [v] \quad (1-5)$$

式中, $[p]$ 、 $[p v]$ 和 $[v]$ 为许用压强、许用 $p v$ 值和许用速度。

(4) 振动和噪声准则 高速机械或对噪声有特别要求,而振动是噪声产生的原因,为了环境保护,应尽量降低噪声对环境的污染。因此,为了减小振动,要求机械振动频率 f_p 远离机械的固有频率,特别是一阶固有频率 f , 即

$$f_p < 0.85 f \quad (1-6)$$

如不满足,可采取的措施有改变机械或零件的刚度,或者采取有效的减振措施。

(5) 热平衡准则 机械零件的温升过高会引起润滑油黏度下降,从而使润滑失效,零件之间会加大磨损。如果零件表面的温度升高到金属材料的熔点,则金属表面会产生瞬时焊接现象,即产生胶合,导致机械零件的失效。胶合失效难以准确计算,而且计算复杂,为了防止胶合失效,通常用限制温升的简化方法进行计算,即

$$\Delta t \leq [\Delta t] \quad (1-7)$$

式中 Δt ——温升;

$[\Delta t]$ ——许用温升。

当不满足上述条件时,可采取以下措施:进一步改善润滑条件;设置冷却装置。

(6) 可靠性准则

按传统强度设计方法设计零件,由于材料的强度、外载荷以及加工尺寸等条件存在着离散性,有可能出现达不到预定工作时间而失效的情况。希望将出现这种失效情况的概率控制在一定范围之内,因此就对零件提出了可靠性的要求。

可靠性的设计指标用可靠度 R 来衡量,所谓“可靠度”,就是指机器或零件在一定工作环境下,在规定的使用期限内连续正常工作的概率。

N 个相同零件在同样条件下同时工作,在规定的时间内有 N_f 个零件发生失效,剩下 N_r 个零件仍能继续工作,则可靠度为

$$R = \frac{N_t}{N} = \frac{N - N_f}{N} = 1 - \frac{N_f}{N} \quad (1-8)$$

失效概率为

$$Q = \frac{N_f}{N} = 1 - R \quad (1-9)$$

可靠性与失效概率的关系为

$$R + Q = 1 \quad (1-10)$$

如果一台机器是由 n 个机械零件组成的串联系统，每个机械零件的可靠度分别为 R_1 、 R_2 、 $\dots$ 、 R_n ，则整个机器的可靠度为

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdots R_n \quad (1-11)$$

从以上分析可见，要想提高整个机器（串联方式）的可靠度，首先应该提高组成机器的每个零件的可靠度，即采用高可靠度的零件。其次，尽量使组成机器的零件做成等可靠度，因为整个机器的可靠度要低于组成机器的可靠度最差的零件的可靠度。对可靠性要求较高的系统与机械必须进行可靠性设计，而机械零件可靠性水平的高低，直接影响到机械系统的可靠性，另外高可靠性的系统一般要有一些备用系统，并经常维护、保养。

1.3 常用机械零部件选材的一般原则

在具体设计机械零件时，如果只重视零件的计算过程，忽视在材料选择方面进行认真分析，只是用类比法或简单查表草率地选择了材料，没有认真分析材料对机械零件的性能、使用寿命等因素的影响，会导致一些零部件设计选材不当或选材不尽合理，造成机械零部件达不到规定的性能指标，或达不到预期的寿命，甚至造成废品。因此，材料选择不当不仅严重降低了机械产品的设计质量，还会造成很大的经济损失，所以在进行机械零件设计时，分析材料性能以及正确选择材料必须引起足够的重视。

1.3.1 材料的使用性能

材料的使用性能是设计机械零件选择材料的最主要的依据。材料的使用性能是指零件在使用时所应具备的材料性能，包括力学性能、物理性能和化学性能。对大多数零件而言，力学性能是主要的必备指标，表征力学性能的参数主要有强度极限 R_m 、弹性极限 σ_e 、屈服强度 R_{eL} 、断后伸长率 A 、断面收缩率 Z 、冲击韧性 a_K 及硬度等。这些参数中强度是力学性能的主要性能指标，只有在强度满足要求的情况下，才能保证零件正常工作，且经久耐用。在设计计算机械零件的危险截面尺寸或校核安全程度时所用的许用应力，都要根据材料强度数据推出。

在设计机械零件和选材时，应根据零件的工作条件以及失效形式，找出对材料力学性能的要求，这是材料选择的基本出发点。

1.3.2 材料的工艺性能

材料的工艺性能主要是指铸造、压力加工、切削加工、热处理和焊接等性能。材料的工艺性能的好坏直接影响到机械零件的质量、生产效率及成本。所以，材料的工艺性能也是选

材的重要依据之一。

1. 铸造性能

铸造是指将固态金属熔化为液态倒入特定形状的铸型，待其凝固成形的加工方式。通常是将金属熔炼成符合一定要求的液体并浇进铸型里，经冷却凝固、清理处理后得到有预定形状、尺寸和性能的铸件的工艺过程。铸造毛坯因近乎成形，而达到免机械加工或少量加工的目的，降低了成本，并在一定程度上减少了制作时间。铸造是现代装备制造业的基础工艺之一。

铸造主要有普通砂型铸造和特种铸造两大类：

(1) 普通砂型铸造 利用砂作为铸模材料，又称砂铸、翻砂，包括湿砂型、干砂型和化学硬化砂型三类，但并非所有砂均可用于铸造。铸造的好处是成本较低，因为铸模所使用的砂可重复使用；缺点是铸模制作耗时，铸模本身不能被重复使用，需破坏后才能取得成品。

(2) 特种铸造 按造型材料可分为以天然矿产砂石为主要造型材料的特种铸造（如熔模铸造、泥型铸造、壳型铸造、负压铸造、实型铸造、陶瓷型铸造等）和以金属为主要铸型材料的特种铸造（如金属型铸造、压力铸造、连续铸造、低压铸造、离心铸造等）两类。

特种铸造的优点是：

- 1) 可以生产形状复杂的零件，尤其是复杂内腔的毛坯。
- 2) 适应性广，工业常用的金属材料均可铸造，几克到几百吨。
- 3) 原材料来源广，价格低廉，如废钢、废件、切屑等。
- 4) 铸件的形状尺寸与零件非常接近，减少了切削量，属于无切削加工。
- 5) 应用广泛，农业机械中 40%~70%、机床中 70%~80% 的重量都是铸件。

特种铸造的缺点：

- 1) 力学性能不如锻件，如组织粗大、缺陷多等。
- 2) 砂型铸造中，单件、小批量生产，工人劳动强度大。
- 3) 铸件质量不稳定，工序多，影响因素复杂，易产生许多缺陷。

2. 压力加工性能

压力加工是指利用金属在外力作用下所产生的塑性变形，来获得具有一定形状、尺寸和力学性能的原材料、毛坯或零件的生产方法，又称金属塑性加工。

(1) 压力加工的分类

1) 轧制：金属坯料在两个回转轧辊的缝隙中受压变形以获得各种产品加工方法。靠摩擦力，坯料连续通过轧辊间隙而受压变形。主要产品有型材、圆钢、方钢、角钢、铁轨等。

2) 锻造：在锻压设备及工（模）具的作用下，使坯料或铸锭产生塑性变形，以获得一定几何尺寸、形状和质量的锻件的加工方法。

3) 挤压：金属坯料在挤压模内受压被挤出模孔而变形的加工方法。

4) 拉拔：将金属坯料被拉过拉拔模的模孔而变形的加工方法。

5) 冲压：金属板料在冲模之间受压产生分离或成形。

6) 旋压：在坯料随模具旋转或旋压工具绕坯料旋转中，旋压工具与坯料相对进给，从而使坯料受压并产生连续、逐点的变形。

(2) 压力加工的特点

压力加工的优点是：

- 1) 结构致密，组织改善，性能提高，强度、硬度、韧性都很高。
- 2) 少、无切削加工，材料利用率高。由于提高了金属的力学性能，在受同样力的工作条件下，可以缩小零件的截面尺寸，减轻重量，延长使用寿命。
- 3) 可以获得合理的流线分布（金属塑变是固体体积转移过程）。
- 4) 生产效率高。多数压力加工方法，特别是轧制、挤压，金属连续变形，且变形速度很高，所以生产率高。

压力加工的缺点是：

- 1) 一般工艺表面质量差（氧化）。
- 2) 不能成形形状复杂件（相对）。
- 3) 设备庞大、价格昂贵。
- 4) 劳动条件差（强度大、噪声大）。

3. 切削加工性能

切削加工性能是指切削加工金属材料的难易程度。一般工件切削后的表面粗糙度、刀具的磨损及动力消耗等是评定金属材料切削加工性能好坏的标志，也是合理选择材料的重要依据之一。

(1) 衡量切削加工性能的指标

1) 刀具寿命或者一定寿命下的切削速度。在相同的条件下，刀具寿命越长则材料切削加工性能越好。或在刀具寿命相同的条件下，切削速度越高，材料的切削加工性能越好；反之越差。

2) 切削力或者切削温度。在相同的切削条件下，凡切削力大或切削温度高的金属材料，加工性能差；反之加工性能好。

3) 加工零件的表面质量。金属材料的加工表面质量（包括表面粗糙度、冷作硬化程度及残余应力等）好则其加工性能好，反之较差。如：低碳钢加工性能不如中碳钢，纯铝不如铝合金。

4) 切屑控制或断屑的难易程度。主要在自动机床或自动生产线上做加工性能指标，凡切屑易控制或断屑容易的材料，则其加工性能好，反之则差。

(2) 影响加工性能的因素

1) 金属材料物理性能的影响

硬度：材料抵抗局部塑性变形的能力，常用的有洛氏硬度、布氏硬度和维氏硬度三种。

强度：材料抵抗外力破坏的能力。一般材料的硬度和强度越高，加工性能越差。如高强度钢比一般的钢材难加工。

塑性：材料发生变形后不能恢复原状，产生金属流动的能力。一般材料的塑性越大越难加工。

韧性：材料发生变形后恢复原状的能力。材料韧性越高加工性越差。如合金结构钢的强度高，韧性高，故较难加工。

导热性：材料传递热量的能力，用导热系数表示。导热系数越大，加工性能越好。如不锈钢导热系数为普通钢的 $1/4 \sim 1/3$ ，而铜铝的导热系数为普通钢的 $2 \sim 8$ 倍。

2) 金属材料化学成分的影响。低碳钢（碳的质量分数少于 0.15%）与高碳钢（碳的质

量分数大于 0.5%) 加工性能都不好。其他如锰、硅、铬、钼、铅、硫、氧、氮等对加工性能影响较大。

3) 金属的热处理状态和金相组织的影响见表 1-1。

表 1-1 金属的热处理状态和金相组织对加工性能的影响

金相组织	布氏硬度 (HBW)	塑性变形 (%)	特 性
铁素体	60~80	30~50	很软,加工出现冷焊
渗碳体	700~800	极小	硬度高,塑性及强度很低
珠光体	160~260	15~20	硬度和强度适中
索氏体	250~320	10~20	细珠光体组织,塑性低硬度高
托氏体	400~500	5~10	
奥氏体	170~220	40~50	韧性塑性很高
马氏体	520~670	2.8	高强度硬度,韧性塑性极低

4. 可焊性

衡量材料焊接性能的优劣是以焊缝区强度不低于基体金属和不产生裂纹为标志。

5. 热处理工艺性能

热处理工艺性能是指钢材在热处理过程中所表现的行为,如过热倾向、淬透性、回火脆性、氧化脱碳倾向以及变形开裂倾向等,这些可用来衡量热处理工艺性能的优劣。

总之,良好的加工工艺性可以大大减少加工过程的动力、材料消耗,缩短加工周期及降低废品率等。优良的加工工艺性能是降低产品成本的重要途径。

1.3.3 材料的经济性能

每台机器产品成本的高低是劳动生产率的重要标志。产品的成本主要包括原料成本、加工费用、成品率以及生产管理费用等。材料的选择也要着眼于经济效益,根据国家资源,结合国内生产实际加以考虑。此外,还应考虑零件的寿命及维修费,若选用新材料还要考虑研究试验费。

作为一名机械设计人员,在选材时必须了解我国工业发展趋势,按国家标准,结合我国资源和生产条件,从实际出发全面考虑各方面因素。

1.4 改善材料切削加工的途径

1.4.1 通过热处理改变材料的组织和力学性能

热处理是将金属材料通过一定时间的加热保温冷却,以改变其内部组织结构的一种工艺。常用热处理的方法及作用主要有:

1. 退火

在临界温度以上保温一定时间,缓冷到 500℃ 以下得到平衡状态组织。目的是软化材料、改善组织、便于切削加工。

2. 淬火

在临界温度以上保温一定时间,再快冷如油冷、水冷、风冷等得到非平衡状态组织。目的是提高材料的硬度和强度,满足使用要求。

3. 回火

在临界温度以下保温一定时间的工艺。所有零件淬火后都需回火，有淬火后回火和冷加工后去应力回火两种。目的是稳定组织、消除应力。

1.4.2 选用合适的刀具、切削参数和工艺

1. 选用不同的刀具及加工参数

为改善切削加工性能，加工机械零件时，应根据被加工零件材料性质的不同，参考机械制造手册，选用不同的刀具及加工参数。

2. 采取不同的工艺

为改善切削加工性能，加工机械零件时，应根据被加工零件材料性质及零件使用要求，采取不同的加工工艺。如钛合金导热系数小，已加工表面经常出现硬而脆的外皮，化学性质活泼，高温下易与氧氮等元素化合生成脆硬物质。因此，刀具宜采用硬度高、导热性好的合金刀具，加工参数宜采用切削速度不高但切削深度与进给量适当加大的参数。

3. 选取适当的切削液

应根据被加工零件的材料选取不同的切削液，以改善切削加工性能。

总之，影响材料切削加工的因素很多，仅从个别因素分析切削加工性能是不全面的，应综合考虑各种因素。

1.5 材料选择与应用是机械设计行业的基础

材料是机械设计和零件生产的基本元素，保证材料的供应和恰当的选材，是机械设计行业持续发展的基础。因此，面对当前的局面，必须加强机械设计中的材料选择工作力度。一方面保证选择适合的、实用的材料，另一方面，为了节约资源、保护环境，还要在选材的过程中充分考虑材料的经济性和环保性。通过良好地完成机械设计材料的选择工作，从而推动机械设计行业的稳步发展。

现代化的工业进程对机械设计行业提出了新的要求，机械设计中的材料选择和应用是整个机械设计行业的基础。新的形势下在对材料进行选择和应用时，需要考虑得更加全面，不仅要保证选择的材料能够满足设计要求，而且还要注意环保和节能。