

# 机械设计 实用手册

机械设计实用手册编委会

简装本  
**下册**



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 机械设计实用手册

(简装本)

## 下 册

机械设计实用手册编委会



机械工业出版社

本手册从机械设计的思考过程、思考方法和设计顺序入手,阐述机械设计必须掌握的基础知识,引导设计者了解并掌握整个设计的全过程及各设计阶段的任务。

在此基础上,手册提供了实际机械设计所需的详细、充分的设计内容,包括:主要机械传动、机构、结构的设计步骤、设计参数的选择、设计的计算及数据;液压及气动系统的组成、元器件结构原理、系统设计;现代数字自动化设计中必须采用的变频电动机、伺服电动机、传感器等的工作原理、技术参数和产品。

手册中编入的标准件、工程材料、外购通用零部件产品等,均重点说明了选用方法或选用实例,务求达到选用准确、合理,并加快选用过程。

为启发设计者的构思并为具体设计提供借鉴,专门选择了部分实际生产设备中应用的典型机构及减速器设计图例,并对图例作了设计分析及工艺性的详细说明。

本手册既适合刚从事机械设计的新设计人员及高校机械专业师生,也适合有丰富经验的机械设计人员使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械设计实用手册/《机械设计实用手册》编委会.—2版.—北京:机械工业出版社,2009.4

ISBN 978-7-111-26489-7

I. 机… II. 机… III. 机械设计—技术手册  
IV. TH122-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第034082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:曲彩云 责任编辑:赵晓峰 白刚 版式设计:霍永明

责任校对:陈延翔 刘志文 封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2009年4月第2版第1次印刷

210mm×297mm·99.25印张·4530千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26489-7

定价:198.00元(上、下册)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68351729

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

机械设计是在机械加工和装配工艺实践中长期积累总结出来的，是建立在多种加工工艺、材料力学性能、机构力学和运动力学原理基础上，对零件结构形状和零件组合进行综合构思的创造性工作。零件图和装配图就是设计构思结果的表达形式。

本手册的第1篇编入机械设计步骤和设计构思，阐述了从设计计划开始到设备验收为止的设计全过程中各设计阶段顺序，以及各设计阶段的构思内容，是对机械设计实践的总结，可供设计者参考。

机械设计既要满足工作机械的功能要求，又不能随意发挥，它受各种加工工艺可行性、材料力学性能极限、操作控制方便性等诸多因素的制约。在各种制约条件中，对零件结构形状的设计影响最大的是各种加工工艺，以及与加工工艺相关的刀具、热处理等因素。因此，一名合格的设计者，必须深入了解和熟悉各种加工工艺方法，必须做到对零件每一加工面的加工方法、使用的刀具、能达到的精度、装配定位、检测、热处理方法等有清楚的了解。如果不懂加工方法，对零件应如何加工一无所知，所设计的零件很可能无法加工，或者本来很容易加工的零件，由于不懂加工方法，可能造成所设计的零件加工困难，需要付出很高的成本才能加工。如果不懂零件装配的定位要求和测量，就无法正确标注零件尺寸和公差；如果不懂热处理，加工出的零件很可能变形而不能使用。为此，在本手册的第2篇编入机械加工方法、电加工方法、加工刀具、装配、测量、热处理等内容，希望为设计者提供确定零件的结构形状、尺寸精度和表面粗糙度的依据。

设计中充分利用计算机辅助设计(CAD)等现代设计工具，可缩短设计周期、提高设计质量。CAD不仅用于绘制零件图和装配图，利用三维构图方法，还可直观地进行机械总体布局的设计或外观造型设计。大批量生产的机械，利用计算机优化设计软件，可设计出省料、体积小、性能高、性价比最高的最优化产品。对此，在本手册的第1篇中也作了提示。

材料的合理选用，可降低机械产品的生产成本并减轻重量，提高机械结构的强度和刚度，延长使用期限。因此，在本手册的第2篇中编入的机械工程材料内容，不仅提供了可供选择的各种用途的金属和非金属材料，还详细地说明了其使用范围及选择原则。

第3篇中的螺纹、销等连接标准件及第4篇中的弹簧及滚动轴承，是机械设备中应用面最广的重要选配标准件。选配件不能随意选用，特别是滚动轴承，其选用的正确与否直接影响整机的性能和精度。因此，该部分详细介绍了其选用步骤和安装使用方法。

满足工作机械相同运动功能的传动方式有多种，手册第5篇中编列的各种传动及传动件设计，除轴、导轨及其基座外，都是通用的规范化设计方法。传动方式的选择，需根据具体传动路线、运动精度要求、安装位置及空间布局、传动平稳性要求等进行比较，才能确定最优传动方案。轴及导轨、基座结构尺寸的确定与许多其他因素相关，是比较复杂、需要反复计算推敲的设计过程，因此，手册中提供了尽可能详尽

的内容。属于常用传动机构范围的还有连杆机构、机械凸轮机构、机械分度机构等。但由于本书篇幅所限，未逐一编入，留待再版时再加考虑。但应指出，机械凸轮和机械分度机构的传动，在现代化机械装备中已逐渐被伺服电动机的电子凸轮及电子分度所代替，伺服电动机的电子凸轮功能和分度功能精度更高，且凸轮功能、分度功能都能十分方便地随意变换，更重要的是其结构比机械机构要简单得多，本书第9篇第3章2.1节已作了叙述。

一项成功的设计，设计者除了必须具备多方面的知识、善于运用已有的设计经验外，借鉴他人的成功设计成果并吸收其巧妙构思方法，也是提高设计成功率和进行创新设计的重要一环。为此，手册的第8篇收入了国内、国外一些已在生产实际中应用，并经使用实践检验的设备典型机构和部件，为设计者提供借鉴范例。

现代工业生产中，设备自动化给产品带来了高质量和高生产率。在工业发达国家，无论是单机还是由多机组成的生产线，几乎都已实现自动化，自动化是现代机械设计的目标。在设计中充分利用控制电动机、液压、气动等动力传动以及光电传感器，结合计算机、显示屏等集中控制技术，发挥机械和电传动控制的各自优势，进行机电一体化设计，是实现自动化的关键。因此，机械设计人员除了掌握机械方面的知识外，还应学习和掌握控制电动机、液压传动、气压传动、传感器及控制技术等方面的知识，才能在现代设计中得心应手，掌握设计的主动权。为此，手册的第6篇编入了液压、气压传动，第9篇中编入了变频电动机、伺服电动机、光电传感器等多项自动化设计中应用的装置及元件。伺服电动机是现代数控加工机床及自动化设备中常用的动力装置，而光电传感器则是自动化设备及自动化生产线中必不可少的传感元件。

特别要提及的是，大量机械设备中必须使用与电动机配套的机械减速器，由于目前国内生产分散、品种少，离系列化的目标相距甚远，无法选用。为此，手册的第9篇介绍了德国SEW传动设备(天津)公司的各类系列化机械减速器，其功率范围大，减速比的种类达几千种，且体积小、噪声低、无漏油，可满足各种机械设备的需要，在国产减速器尚不能满足要求时，建议选用其产品。

本手册由编委会成员及众多科技人员共同努力编写而成，王少怀为主要编写人，参加编写及工作的还有：陆海梅、胡玉萍、刘文刚、朱苏生、李巍、王柳京、孙业华、常美荣、张学孟、王立庆、胡向北、朱锦、各德桥、齐月静、秦志峰、许艳君、王文平、郑长松、譙谊、史青录、陈树勇、李广荣、李鹏、董伟、李连强、赵黎、王敏、孟清华、王佩楷、袁涛、王兵学、王渊峰、路纯红、赵永玲、刘昌丽、阳平华、周广芬、陈丽芹、张俊生、周冰、李瑞、李燕君、牛聪、何智娟、李明哲、周丽萍、李达、刘明明、王翠、余望、谭霖、李兴华、黄琴、谢世源、黄浩、宿圣云、宋继中、罗钰霞、刘畅、赵桂江、浩洁、郭志红、王璐、牛颖娟、韩战力、杨钊、苏善敏、颜廷飞等，第2篇第7章由郑州轻工业学院高红霞教授编写。在此，特向为本手册提供帮助的同志致以谢意。

为了便于读者携带和更方便生产场地使用，我们在原精装本的基础上出版了本次简装本，并分为上、下册，以更好地为读者服务。由于作者水平所限，不足和错漏之处，敬请读者给予批评指正。

编 者



# 目 录

前言	
<b>第 1 篇 机械设计的步骤及构思</b> ..... 1	
<b>第 1 章 机械设计的内容及设计步骤</b> ..... 1	
1 机械设计的内容 ..... 1	
2 机械设计的步骤 ..... 1	
2.1 设计整体规划 ..... 1	
2.2 设计计划 ..... 1	
2.3 草图设计 ..... 2	
2.4 计划图设计 ..... 4	
2.5 零件图绘制 ..... 5	
2.6 装配图绘制 ..... 5	
2.7 零件明细表 ..... 6	
2.8 制造及生产服务 ..... 6	
2.9 检测及试运转 ..... 6	
2.10 评估、总结及鉴定 ..... 6	
<b>第 2 章 机械设计的构思</b> ..... 8	
1 设计的构思过程 ..... 8	
2 设计构思过程与约束(限制)条件 ..... 8	
3 传感-控制技术是机械设计构思的重要内容 ..... 9	
<b>第 3 章 计算机辅助设计(CAD)概要</b> ..... 10	
1 计算机辅助设计的内容 ..... 10	
2 计算机辅助设计系统的硬件和软件 ..... 10	
2.1 CAD 系统硬件 ..... 10	
2.2 CAD 系统软件 ..... 10	
<b>第 2 篇 机械设计的基础</b> ..... 12	
<b>第 1 章 机械的功能及实现功能的机构和结构</b> ..... 12	
1 机械的功能及限制(约束)条件 ..... 12	
2 实现功能的机构和结构 ..... 13	
2.1 实现动作功能的机构 ..... 13	
2.2 实现承载功能的结构 ..... 17	
2.3 实现传递力及力矩功能的结构 ..... 18	
2.4 实现定位功能的机构及结构 ..... 18	
2.5 实现零件固定、连接功能的结构 ..... 19	
2.6 实现零件间位置配合功能的结构 ..... 20	
3 机构和结构的具体化设计 ..... 20	
<b>第 2 章 零件的形状设计</b> ..... 21	
1 零件形状设计需要满足的条件 ..... 21	
2 考虑零件强度的形状设计 ..... 22	
3 零件形状设计需考虑机械加工或电加工的工艺要求 ..... 29	
3.1 机械加工和电加工可制得的形状 ..... 29	
3.2 考虑各种机械加工工艺性的形状设计 ..... 29	
4 零件形状设计需考虑结构的合理性 ..... 36	
5 零件形状设计需考虑可装配和可拆卸 ..... 43	
6 焊接件、铸造件、锻压件和冲压件的工艺性形状设计要求 ..... 49	
6.1 焊接件的工艺要求及形状设计 ..... 49	
6.2 铸件的工艺要求及形状设计 ..... 57	
6.3 考虑锻压工艺的锻件形状设计 ..... 66	
6.4 考虑冲压工艺要求的冷冲压件形状设计 ..... 70	
7 考虑热处理工艺的零件形状设计 ..... 75	
8 考虑不同性能材料的零件形状设计 ..... 76	
8.1 粉末冶金材料件的形状设计 ..... 77	
8.2 橡胶制品的形状设计 ..... 78	
9 考虑设备外观、造型及操作性的形状设计 ..... 80	
9.1 考虑设备外观、造型的形状设计 ..... 80	
9.2 色彩设计 ..... 82	
9.3 考虑操作性的形状设计 ..... 83	
<b>第 3 章 作用于机械上的力及零件的强度和刚度设计</b> ..... 91	
1 作用于机械上的力 ..... 91	
1.1 静态力 ..... 91	
1.2 动态力 ..... 92	
1.3 电动机及其他动力装置的驱动力 ..... 93	
2 零件的强度 ..... 93	
2.1 静强度和刚度设计 ..... 94	
2.2 零件材料的疲劳强度设计 ..... 100	
<b>第 4 章 尺寸、尺寸极限与配合、形状和位置公差及表面粗糙度</b> ..... 107	
1 尺寸的确定、优先数及标准尺寸 ..... 107	
1.1 尺寸的确定 ..... 107	
1.2 优先数及其选用 ..... 107	
1.3 标准尺寸 ..... 109	
2 尺寸极限与配合 ..... 110	
2.1 尺寸极限与配合的概念及术语定义 ..... 110	
2.2 标准公差等级及基本偏差 ..... 112	
2.3 孔、轴的极限偏差及孔、轴配合 ..... 113	
2.4 公差等级和配合的选择及应用 ..... 143	
2.5 未注公差的线性尺寸的一般公差 ..... 151	
2.6 小尺寸的孔、轴公差带 ..... 151	
2.7 圆锥的锥度与锥角、棱体的角度与斜度系列 ..... 158	
3 形状和位置公差 ..... 163	
3.1 形状和位置公差的定义和标注方法 ..... 163	
3.2 形状和位置公差的数值及选用 ..... 168	
4 表面粗糙度 ..... 176	
4.1 表面粗糙度的数值系列 ..... 176	
4.2 表面粗糙度数值的选用 ..... 177	
<b>第 5 章 零件加工工艺、检测及装配</b> ..... 186	
1 加工工艺 ..... 186	

1.1 机械零件通用切削加工 .....	186	5.2 表面薄膜技术 .....	301
1.2 圆柱齿轮和蜗杆副的加工 .....	216	5.3 表面涂覆技术 .....	301
1.3 锥齿轮加工 .....	222	<b>第8章 机械工程材料选用</b> .....	303
1.4 花键加工 .....	225	1 铸铁 .....	303
1.5 螺纹加工 .....	226	1.1 灰铸铁 .....	303
1.6 电加工 .....	228	1.2 球墨铸铁 .....	304
<b>2 零件检测</b> .....	232	1.3 可锻铸铁 .....	307
2.1 长度测量 .....	232	1.4 抗磨铸铁 .....	310
2.2 角度测量 .....	238	1.5 耐热铸铁 .....	312
2.3 形状和位置误差测量 .....	240	<b>2 钢材</b> .....	314
2.4 表面粗糙度的测量 .....	244	2.1 钢铁产品的牌号表示方法 .....	314
2.5 螺纹的测量 .....	244	2.2 钢材的主要性能 .....	315
2.6 圆柱齿轮的测量 .....	247	2.3 钢材的选择 .....	317
2.7 蜗杆、蜗轮的测量 .....	248	2.4 机械制造常用钢材的牌号、性能及选用 .....	318
<b>3 机械装配</b> .....	248	2.5 模具钢的牌号、性能及用途 .....	336
3.1 机械装配的内容 .....	248	2.6 特殊性能钢 .....	344
3.2 机械装配中的尺寸调整 .....	249	<b>3 钢型材</b> .....	352
3.3 装配方法举例 .....	249	3.1 型钢 .....	352
<b>第6章 机械加工刀具、零件设计相关的</b>		3.2 钢管 .....	375
<b>工艺基准</b> .....	252	3.3 钢板和钢带 .....	381
<b>1 刀具</b> .....	252	<b>4 有色金属材料</b> .....	383
1.1 刀具对零件形状设计的影响 .....	252	4.1 铜及铜合金 .....	383
1.2 车刀、刨刀及插刀 .....	253	4.2 铝及铝合金 .....	388
1.3 孔加工刀具 .....	255	<b>5 粉末冶金材料</b> .....	398
1.4 铣刀及拉刀 .....	265	5.1 粉末冶金减摩材料 .....	398
1.5 齿轮、蜗轮、花键及链轮的加工刀具 .....	269	5.2 粉末冶金摩擦材料 .....	399
1.6 螺纹刀具 .....	273	<b>6 非金属材料</b> .....	400
1.7 数控机床用的刀具系统 .....	277	6.1 橡胶 .....	400
<b>2 零件设计的工艺基准</b> .....	277	6.2 工程塑料 .....	407
<b>第7章 钢的热处理、表面处理及材料选用</b> ..	285	6.3 石棉制品 .....	415
<b>1 钢的热处理原理</b> .....	285	<b>第9章 机械制图及零件形状结构表示方法</b> ..	417
1.1 钢的平衡组织 .....	285	1 机械制图 .....	417
1.2 钢在加热时的组织转变 .....	287	1.1 剖面区域表示法 .....	417
1.3 钢在冷却时的组织转变 .....	288	1.2 图样画法 .....	418
<b>2 钢的热处理工艺方法</b> .....	289	<b>2 零件形状结构表示方法</b> .....	446
2.1 钢的普通热处理工艺 .....	289	2.1 中心孔在图样上的标示及标注 .....	446
2.2 钢的表面热处理工艺 .....	291	2.2 螺纹、螺紋副及紧固件的画法及标注 .....	447
<b>3 钢的热处理的有关技术问题</b> .....	293	2.3 矩形花键及渐开线花键的画法及标记 .....	450
3.1 钢的热处理缺陷及防止 .....	293	2.4 齿轮、齿条、蜗轮、链轮在视图上的画法	
3.2 热处理工序位置的确定 .....	294	及工作图 .....	452
3.3 热处理零件的结构工艺性 .....	294	2.5 弹簧的画法 .....	454
3.4 热处理技术条件的标注 .....	294	2.6 滚动轴承表示法 .....	456
<b>4 常用零件的选材、热处理工艺、性能</b>		2.7 动密封圈表示法 .....	460
<b>及应用</b> .....	295	2.8 焊缝符号、坡口尺寸、焊接方法代号 .....	463
4.1 齿轮类零件 .....	295	<b>第3篇 螺纹标准、连接标准件和</b>	
4.2 轴类零件 .....	296	<b>操作件</b> .....	470
4.3 蜗轮、蜗杆零件 .....	297	<b>第1章 螺纹标准</b> .....	470
4.4 弹簧零件 .....	297	1 紧固螺纹 .....	470
4.5 机床丝杠零件 .....	298	1.1 普通螺纹 .....	470
4.6 汽车、拖拉机配件 .....	299	1.2 英制螺纹 .....	474
4.7 矿山机械及其他零件 .....	299	1.3 管螺纹 .....	480
<b>5 钢的表面处理</b> .....	300	<b>2 传动螺纹</b> .....	486
5.1 表面改性技术 .....	300		

## VIII 目 录

2.1 梯形螺纹 .....	486	1 滚动轴承的类型、特性及功能 .....	629
2.2 锯齿形螺纹 .....	495	2 滚动轴承选用顺序及内容 .....	635
<b>第2章 螺纹连接、销连接及其标准件</b> .....	<b>504</b>	2.1 选择轴承类型及配置方案 .....	636
1 螺纹连接 .....	504	2.2 确定轴承的配置方案及轴向限位结构 .....	636
1.1 螺纹连接的方式及防松方法 .....	504	2.3 根据额定动载荷选择轴承的尺寸 .....	640
1.2 螺纹连接的预紧及预紧螺栓组的受力和强度计算 .....	506	2.4 根据额定静载荷选择或校核轴承尺寸 .....	646
1.3 零件图及装配图设计时, 螺栓、螺钉与螺孔的工艺参数 .....	513	2.5 检查轴承的极限转速 .....	647
2 螺纹连接标准件 .....	515	3 滚动轴承游隙的选择 .....	648
2.1 螺栓及螺母 .....	515	4 滚动轴承公差等级的选择 .....	649
2.2 螺钉 .....	534	5 滚动轴承公差与配合的选择 .....	651
2.3 螺母 .....	545	5.1 滚动轴承的配合特点 .....	651
2.4 垫圈及挡圈 .....	560	5.2 轴承与轴和轴承座孔配合的常用公差带 .....	652
3 销连接 .....	578	5.3 轴承配合选择的基本原则 .....	652
3.1 销的功能及选用 .....	578	5.4 用空心轴、铸铁和轻金属轴承座时轴承配合的选择 .....	654
3.2 销标准件 .....	579	5.5 机床主轴轴承配合的选择 .....	654
<b>第3章 操作件</b> .....	<b>588</b>	6 滚动轴承配合件表面的形位公差及表面粗糙度 .....	654
1 操作件的选用 .....	588	7 滚动轴承的预紧及轴向固定 .....	656
2 操作件的类型及规格 .....	588	7.1 滚动轴承的预紧 .....	656
2.1 手柄 .....	588	7.2 滚动轴承的轴向定位和紧固 .....	657
2.2 手轮及把手 .....	593	8 滚动轴承的润滑及密封 .....	658
<b>第4篇 弹簧及滚动轴承</b> .....	<b>599</b>	8.1 滚动轴承的润滑 .....	658
<b>第1章 弹簧</b> .....	<b>599</b>	8.2 滚动轴承的密封 .....	663
1 弹簧的功能及类型 .....	599	9 滚动轴承的尺寸规格及性能参数 .....	665
2 圆柱螺旋弹簧 .....	599	9.1 深沟球轴承 .....	665
2.1 圆柱螺旋弹簧的种类及特性 .....	599	9.2 调心球轴承 .....	683
2.2 圆柱螺旋弹簧的标准尺寸参数及端部结构 .....	599	9.3 角接触球轴承 .....	691
2.3 标准圆柱螺旋压缩弹簧的图样及尺寸参数 .....	601	9.4 圆柱滚子轴承 .....	702
2.4 圆柱螺旋拉伸弹簧 .....	610	9.5 调心滚子轴承 .....	712
2.5 圆柱螺旋扭转弹簧 .....	614	9.6 圆锥滚子轴承 .....	723
3 碟形弹簧 .....	616	9.7 滚针轴承 .....	732
3.1 碟簧的类型及结构尺寸参数 .....	616	9.8 推力球轴承 .....	740
3.2 碟簧的特点 .....	617	9.9 推力滚子轴承 .....	744
3.3 碟簧的载荷-变形特性 .....	617	10 滚动轴承零件及附件 .....	747
3.4 单片碟簧的载荷、应力、刚度和变形能的计算 .....	618	10.1 滚动轴承零件 .....	747
3.5 组合碟簧 .....	619	10.2 滚动轴承附件 .....	749
3.6 碟簧的强度和许用应力 .....	620	<b>第5篇 传动及传动件设计</b> .....	<b>753</b>
3.7 碟簧的材料及技术要求 .....	621	<b>第1章 轴的设计及轴的连接</b> .....	<b>753</b>
3.8 常用、非常用标准碟簧及选用 .....	622	1 轴的设计 .....	753
3.9 碟簧的设计 .....	625	1.1 轴的功能及设计步骤 .....	753
4 开槽碟形弹簧 .....	625	1.2 轴的直径估算 .....	754
4.1 开槽碟形弹簧的结构尺寸及特性 .....	625	1.3 轴的受力分析 .....	754
4.2 开槽碟形弹簧的结构尺寸选择 .....	625	1.4 轴的刚度校核 .....	759
4.3 开槽碟形弹簧的计算式 .....	626	1.5 轴的结构设计 .....	761
5 片弹簧 .....	627	1.6 轴与轴上零件孔的配合、公差及轴的工作图 .....	768
5.1 片弹簧的结构、特点及应用 .....	627	1.7 轴的材料、热处理及性能 .....	770
5.2 直片弹簧的变形及应力 .....	627	2 轴与轴上零件的键联结 .....	772
5.3 弯片弹簧的变形和应力计算 .....	627	2.1 键联结的类型、特点和应用 .....	772
5.4 片弹簧的常用材料及许用应力 .....	628	2.2 键的选择 .....	773
<b>第2章 滚动轴承选用</b> .....	<b>629</b>	2.3 键联结的强度计算 .....	773



2.4 键联结的尺寸系列、公差配合和表面粗糙度 .....	774	<b>第4章 链传动及传动件设计</b> .....	962
<b>3 轴与轴上零件的花键联结</b> .....	784	1 滚子链传动 .....	962
3.1 花键联结的特点及应用 .....	784	1.1 传动用短节距精密滚子链的基本参数和尺寸 .....	962
3.2 花键的挤压强度校核 .....	784	1.2 滚子链传动的设计计算 .....	962
3.3 圆柱直齿矩形花键联结 .....	784	1.3 滚子链链轮 .....	969
3.4 圆柱直齿渐开线花键联结 .....	786	<b>2 齿形链传动</b> .....	973
<b>4 轴与轴上零件的过盈连接</b> .....	795	2.1 齿形链的基本尺寸和参数 .....	973
4.1 过盈连接的方法、特点和应用 .....	795	2.2 齿形链传动设计计算 .....	974
4.2 过盈连接的设计与计算 .....	796	2.3 齿形链链轮 .....	975
4.3 过盈连接的结构设计 .....	804	<b>3 链传动的布置、张紧及润滑</b> .....	976
<b>5 轴与轴间的联轴器、离合器及轴的制动装置</b> .....	809	3.1 链传动的布置 .....	976
5.1 联轴器 .....	809	3.2 链条的张紧与安装 .....	977
5.2 离合器 .....	833	3.3 链条、链轮的润滑 .....	978
5.3 制动器 .....	857	<b>第5章 渐开线圆柱齿轮传动设计</b> .....	979
<b>第2章 螺旋传动及设计</b> .....	865	1 渐开线圆柱齿轮传动的类型和特点 .....	979
1 螺旋传动的类型、特点及应用 .....	865	2 渐开线圆柱齿轮的啮合原理 .....	980
2 滚动螺旋传动 .....	865	2.1 渐开线及其特性 .....	980
2.1 滚动螺旋传动的工作原理及特点 .....	865	2.2 渐开线齿轮啮合的特点 .....	980
2.2 滚珠丝杠螺母副的结构形式 .....	866	2.3 斜齿圆柱齿轮传动的特点 .....	982
2.3 滚珠丝杠螺母副的参数系列 .....	867	<b>3 渐开线圆柱齿轮的基本齿廓和模数系列</b> .....	983
2.4 滚珠丝杠螺母副精度 .....	868	3.1 标准基本齿条齿廓 .....	983
2.5 滚珠丝杠副的尺寸系列及性能参数 .....	868	3.2 渐开线圆柱齿轮模数 .....	983
2.6 滚珠丝杠副的选择计算 .....	877	<b>4 渐开线圆柱齿轮传动的几何参数计算</b> .....	984
2.7 滚珠丝杠的支承及轴端安装形式和尺寸 .....	880	4.1 标准圆柱齿轮传动的几何参数计算 .....	984
2.8 滚珠螺母安装连接尺寸 .....	884	4.2 变位齿轮传动的几何参数计算 .....	984
2.9 防止逆转的方法 .....	887	<b>5 渐开线圆柱齿轮传动几何参数的选择</b> .....	989
2.10 滚珠丝杠副结构设计要点 .....	887	<b>6 渐开线圆柱齿轮的受力计算及主要尺寸的确定</b> .....	990
2.11 滚珠丝杠副的润滑及防护 .....	888	6.1 齿轮受力计算 .....	990
<b>第3章 带传动及传动件设计选用</b> .....	890	6.2 齿轮传动主要尺寸参数的确定 .....	990
1 带传动的类型、传动形式及适用条件 .....	890	<b>7 齿轮传动的齿轮强度校核</b> .....	995
1.1 带传动的类型、特点及应用 .....	890	<b>8 变位齿轮传动和变位系数的选择</b> .....	995
1.2 带传动的传动形式及传动特性 .....	892	8.1 变位齿轮原理 .....	995
1.3 各种传动带的适用条件 .....	893	8.2 变位齿轮传动的类型和特点 .....	995
1.4 带传动的效率、小带轮的极限转速及带的选型 .....	893	8.3 变位系数选择的一般原则 .....	997
<b>2 V带传动</b> .....	894	8.4 外啮合齿轮变位系数选择的限制条件 .....	998
2.1 V带和V带轮的尺寸制 .....	894	8.5 外啮合齿轮变位系数的选择方法 .....	999
2.2 普通V带和窄V带的尺寸规格 .....	894	8.6 内啮合齿轮变位系数的选择 .....	1001
2.3 V带传动的设计计算 .....	895	<b>9 渐开线圆柱齿轮齿厚的测量计算</b> .....	1001
2.4 窄V带(有效宽度制)传动的设计计算 .....	903	9.1 用公法线长度测量齿厚的计算式及查表法 .....	1001
2.5 联组V带传动的设计计算 .....	906	9.2 用量柱(球)跨距测量齿厚 .....	1009
2.6 V带轮的结构形状设计 .....	907	9.3 分度圆弦齿厚的测量 .....	1010
<b>3 平带传动</b> .....	913	9.4 固定弦齿厚的测量 .....	1014
3.1 普通平带传动 .....	913	<b>10 渐开线圆柱齿轮的精度</b> .....	1016
3.2 尼龙片复合平带传动 .....	916	10.1 齿轮偏差的定义及代号 .....	1016
3.3 高速带传动 .....	917	10.2 齿轮的精度等级及其选择 .....	1018
3.4 平带带轮 .....	918	10.3 齿轮的检验项目 .....	1020
<b>4 同步带传动</b> .....	919	10.4 对齿轮坯的精度要求及齿面粗糙度 .....	1034
4.1 梯形齿同步带 .....	920	10.5 齿轮轴间中心距和轴线的平行度要求 .....	1035
4.2 弧齿同步带 .....	927	10.6 齿轮轮齿的接触斑点 .....	1036
4.3 同步带带轮 .....	930	10.7 齿轮副的侧隙 .....	1036
4.4 同步带传动的设计计算 .....	938	10.8 齿轮精度等级在图样上的标注 .....	1044

11 齿条精度 .....	1045	2.4 热平衡计算 .....	1101
11.1 齿条、齿条副及侧隙的定义和代号 .....	1045	2.5 蜗杆传动参数的设计程序 .....	1101
11.2 齿条精度等级 .....	1046	2.6 圆柱蜗杆传动的精度 .....	1101
11.3 齿条与齿条副的公差与检验 .....	1048	3 平面包络环面蜗杆传动 .....	1112
11.4 齿条侧隙 .....	1048	3.1 平面包络环面蜗杆齿面形成原理及特点 .....	1112
11.5 图样标注 .....	1048	3.2 环面蜗杆传动的参数及选择 .....	1113
12 齿轮材料 .....	1049	3.3 平面包络环面蜗杆传动承载能力计算 .....	1114
13 圆柱齿轮的结构设计及工作图 .....	1051	3.4 平面包络环面蜗杆传动的几何尺寸计算 .....	1120
13.1 结构设计 .....	1051	3.5 计算示例 .....	1122
13.2 齿轮零件工作图 .....	1053	3.6 平面包络环面蜗杆传动的精度 .....	1122
<b>第 6 章 锥齿轮传动设计</b> .....	<b>1056</b>	3.7 平面包络环面蜗杆传动的蜗杆、蜗轮 工作图 .....	1124
1 锥齿轮传动的特点、类型及结构参数 .....	1056	4 蜗杆、蜗轮的材料及结构 .....	1126
1.1 特点 .....	1056	4.1 蜗杆、蜗轮材料的选用 .....	1126
1.2 锥齿轮传动的类型及锥齿轮类型 .....	1056	4.2 蜗杆、蜗轮的结构 .....	1126
1.3 锥齿轮的节锥面、分锥面及齿面的形成 .....	1058	<b>第 8 章 导轨、箱体及机座构件设计</b> .....	<b>1128</b>
1.4 锥齿轮的当量圆柱齿轮及参数名称与齿制 .....	1059	1 导轨 .....	1128
2 锥齿轮主要参数的选择 .....	1060	1.1 滑动导轨 .....	1128
2.1 锥齿轮的齿形制 .....	1060	1.2 塑料涂覆滑动导轨 .....	1143
2.2 锥齿轮的大端分度圆直径 .....	1061	1.3 滚动导轨 .....	1146
2.3 齿数、模数、齿宽和螺旋角 .....	1062	1.4 回转滚动导轨 .....	1172
2.4 曲线齿螺旋方向的选择 .....	1064	2 箱体及机座件的结构设计 .....	1173
3 直齿锥齿轮传动的几何参数计算 .....	1064	2.1 箱体的形状结构设计 .....	1173
3.1 特点、齿形及模数 .....	1064	2.2 机座(床身)及基础构件的设计 .....	1179
3.2 直齿锥齿轮的变位 .....	1064	2.3 焊接大基础件 .....	1186
3.3 直齿锥齿轮主要参数初算 .....	1065	<b>第 6 篇 液压传动与气压传动</b> .....	<b>1188</b>
3.4 直齿锥齿轮几何参数计算 .....	1065	<b>第 1 章 液压传动</b> .....	<b>1188</b>
3.5 直齿锥齿轮的当量齿轮和重合度 .....	1065	1 液压传动的原理、组成及优缺点 .....	1188
4 格利森制弧齿锥齿轮几何设计 .....	1067	2 液压系统的工作介质 .....	1188
4.1 弧齿锥齿轮的变位 .....	1067	2.1 对液压系统工作介质的要求 .....	1188
4.2 刀盘的名义直径 .....	1068	2.2 液压油的种类 .....	1188
4.3 弧齿锥齿轮的主要参数初算 .....	1068	2.3 L-HL、L-HM 等系列液压油的技术性能 .....	1189
4.4 弧齿锥齿轮几何参数计算 .....	1068	2.4 难燃液压油 .....	1191
4.5 弧齿锥齿轮的当量齿轮和重合度 .....	1070	2.5 液压油的选择 .....	1191
5 锥齿轮的精度 .....	1071	3 液压泵及液压马达 .....	1191
5.1 锥齿轮精度标准 .....	1071	3.1 类型及工作原理 .....	1191
5.2 锥齿轮精度与公差选择示例 .....	1080	3.2 液压泵及液压马达的选用 .....	1193
5.3 齿轮的表面粗糙度 .....	1081	3.3 液压泵及液压马达产品 .....	1195
6 锥齿轮的安装、结构及受力分析 .....	1081	4 液压缸 .....	1204
6.1 安装形式 .....	1081	4.1 液压缸的类型 .....	1204
6.2 锥齿轮和轴承受力分析 .....	1082	4.2 液压缸的标准系列参数 .....	1205
7 锥齿轮工作图的标注及工作图示例 .....	1083	4.3 液压缸的工作性能参数计算 .....	1205
7.1 工作图上标注的内容 .....	1083	4.4 液压缸的结构形状设计 .....	1208
7.2 锥齿轮工作图示例 .....	1084	4.5 液压缸产品 .....	1223
<b>第 7 章 蜗杆传动设计</b> .....	<b>1087</b>	5 液压控制阀 .....	1224
1 蜗杆传动的特点及分类 .....	1087	5.1 液压控制阀的分类 .....	1224
1.1 蜗杆传动的特点 .....	1087	5.2 普通液压控制阀的类型、工作原理及特点 .....	1224
1.2 蜗杆传动的类型 .....	1087	5.3 电液比例控制阀 .....	1238
1.3 蜗杆传动的传动比及传动效率 .....	1089	6 液压辅件 .....	1241
2 普通圆柱蜗杆传动 .....	1090	6.1 过滤器 .....	1241
2.1 普通圆柱蜗杆传动的分类 .....	1090	6.2 蓄能器 .....	1243
2.2 普通圆柱蜗杆传动的基本参数及其选择 .....	1091	6.3 油箱 .....	1244
2.3 承载能力计算及模数 $m$ 和蜗杆直径 系数 $q$ 的确定 .....	1098	6.4 液压油的冷却器及加热器 .....	1246

6.5 管路及管接头 .....	1247	3.6 橡胶防尘密封圈的密封 .....	1403
7 液压传动系统基本回路 .....	1249	3.7 油封密封 .....	1406
8 液压传动系统设计 .....	1263	3.8 真空动密封 .....	1411
8.1 液压传动系统的类型及调速性能 .....	1263	4 迷宫式液体非接触密封 .....	1418
8.2 液压传动系统的常规设计 .....	1265	<b>第8篇 机械设计图例</b> .....	1419
<b>第2章 气压传动</b> .....	1273	<b>第1章 生产设备中使用的各类机构</b>	
1 气动技术简介、气动系统的组成及基本参数 .....	1273	设计图例 .....	1419
1.1 气动技术简介 .....	1273	1 卧式镗床万能主轴头的回转传动机构 .....	1419
1.2 气动系统的组成及分类 .....	1273	1.1 万能主轴头的设计及加工要点说明 .....	1419
1.3 气动元件的基本参数 .....	1274	1.2 主轴部件的设计及加工要点说明 .....	1420
2 气源系统及附件 .....	1275	1.3 其他部件的设计及加工要点说明 .....	1420
2.1 气源系统 .....	1275	2 立轴式圆工作台平面磨床砂轮的行星运动机构 .....	1420
2.2 气动系统附件 .....	1292	2.1 机构的设计及加工要点说明 .....	1420
3 气动控制阀 .....	1297	2.2 公转滚筒及其他部件的设计及加工要点说明 .....	1421
3.1 压力控制阀 .....	1297	3 中型生产型滚齿机的滚齿传动机构 .....	1422
3.2 方向控制阀 .....	1301	3.1 机构的设计及加工要点说明 .....	1422
3.3 流量控制阀 .....	1313	3.2 其他部件的设计及加工要点说明 .....	1423
4 气动执行元件 .....	1314	4 加工中心的主轴传动系统 .....	1423
4.1 气缸 .....	1315	4.1 系统的设计及加工要点说明 .....	1423
4.2 气马达 .....	1324	4.2 其他部件的设计及加工要点说明 .....	1425
5 气动回路及气动系统设计 .....	1327	5 电火花加工机床的工作台进给机构 .....	1425
5.1 气动回路 .....	1327	5.1 机构的设计及加工要点说明 .....	1425
5.2 气动系统设计 .....	1331	5.2 加工注意点 .....	1427
<b>第7篇 润滑与密封设计</b> .....	1337	6 加工中心的主轴部件 .....	1427
<b>第1章 润滑方法与润滑设计</b> .....	1337	6.1 主轴部件的设计及加工要点说明 .....	1427
1 润滑方式及机械运动件的润滑设计 .....	1337	6.2 主轴的设计及加工要点说明 .....	1427
1.1 润滑方式 .....	1337	7 外圆磨床主轴箱 .....	1428
1.2 机械运动件的润滑设计 .....	1337	7.1 主轴箱的设计及加工要点说明 .....	1428
2 润滑剂 .....	1340	7.2 其他零件的设计及加工要点说明 .....	1428
2.1 润滑剂的选用原则 .....	1340	8 高精度回转工作台的回转机构 .....	1429
2.2 常用润滑脂 .....	1340	8.1 工作台回转机构的设计及加工要点说明 .....	1429
2.3 常用润滑油 .....	1345	8.2 其他零件的设计及加工要点说明 .....	1430
3 润滑装置 .....	1350	9 加工中心的工作台分度机构 .....	1431
3.1 人工加油润滑装置及附件 .....	1350	9.1 分度机构的设计及加工要点说明 .....	1431
3.2 集中润滑设备 .....	1353	9.2 其他部件的设计及加工要点说明 .....	1432
<b>第2章 密封及密封设计</b> .....	1367	10 装配用的机械手转动机构 .....	1432
1 垫片密封 .....	1367	10.1 转动机构的设计及加工要点说明 .....	1432
1.1 常用密封垫片的种类、材料及适用范围 .....	1367	10.2 其他零件的设计及加工要点说明 .....	1434
1.2 常用垫片尺寸及使用参数 .....	1367	11 龙门式加工中心的工作台导轨 .....	1434
2 胶粘密封 .....	1372	11.1 工作台导轨的设计及加工要点说明 .....	1434
2.1 液态密封胶密封 .....	1372	11.2 其他部件的设计及加工要点说明 .....	1435
2.2 厌氧胶密封 .....	1372	12 高精度进给工作台导轨机构 .....	1435
2.3 磁流体密封 .....	1375	12.1 导轨机构的设计及加工要点说明 .....	1435
3 成形橡胶圈密封 .....	1375	12.2 其他零件的设计及加工要点说明 .....	1436
3.1 O形橡胶密封圈密封(GB/T 3452.1、GB/T 3452.3—2005) .....	1377	<b>第2章 减速器设计图例</b> .....	1438
3.2 高低唇Y形橡胶密封圈及蕾形夹织物橡胶密封圈的密封 .....	1394	1 圆柱齿轮减速器的特点及图例 .....	1438
3.3 V形夹织物橡胶密封圈的密封 .....	1398	1.1 通用渐开线圆柱齿轮减速器设计的适用条件 .....	1438
3.4 L形橡胶密封圈的密封 .....	1401	1.2 减速器的承载能力及技术经济性 .....	1438
3.5 J形橡胶密封圈的密封 .....	1402	1.3 减速器的设计参数选择 .....	1438

## XII 目 录

1.4 减速器齿轮的几何参数 .....	1439	防护等级 .....	1467
1.5 减速器的轴及轴伸尺寸 .....	1439	3.1 电动机允许的起动频率 .....	1467
1.6 箱体结构及材料 .....	1439	3.2 电动机的外壳防护等级 .....	1467
1.7 减速器的润滑、密封及轴的平行度调整 .....	1439	4 电动机的结构特点及安装形式 .....	1467
2 锥齿轮减速器的特点及图例 .....	1439	5 三相异步电动机 .....	1469
2.1 锥齿轮减速器的传动比 .....	1439	5.1 一般用途的单速三相异步电动机 .....	1469
2.2 锥齿轮的几何计算及承载能力 .....	1444	5.2 制动及多速三相异步电动机 .....	1487
2.3 锥齿轮减速器的结构设计 .....	1444	5.3 起重及冶金用三相异步电动机 .....	1491
2.4 锥齿轮减速器的轴伸及连接 .....	1444	5.4 YB 系列隔爆型三相异步电动机 .....	1495
2.5 图例 .....	1444	5.5 小功率单速异步电动机 .....	1497
3 蜗杆减速器的特点及图例 .....	1444	6 Z4 系列直流电动机 .....	1501
3.1 普通蜗杆、平面包络环面蜗杆传动及 传动件的设计 .....	1444	<b>第 3 章 变频电动机、伺服电动机</b> .....	1506
3.2 蜗杆减速器的传动比及蜗杆位置配置 .....	1444	1 变频电动机及变频减速电动机的 用途及组成 .....	1506
3.3 圆弧圆柱蜗杆的设计原理 .....	1444	1.1 变频电动机 .....	1506
3.4 图例 .....	1449	1.2 变频减速电动机 .....	1507
<b>第 9 篇 减速器、电动机及传感器</b> .....	1454	2 伺服电动机与伺服减速电动机 .....	1507
<b>第 1 章 减速器与减速电动机</b> .....	1454	2.1 伺服电动机 .....	1507
1 减速器及减速电动机的选用 .....	1454	2.2 伺服减速电动机的组成及主要技术参数 .....	1516
1.1 减速器的功能 .....	1454	<b>第 4 章 工业自动化常用传感器</b> .....	1518
1.2 减速电动机的选型参数及选型顺序 .....	1454	1 接近传感器(接近开关) .....	1518
2 德国 SEW 传动设备(天津)有限公司 的减速电动机产品 .....	1458	1.1 电磁感应式接近传感器 .....	1518
2.1 R 系列短轴距圆柱齿轮减速电动机 .....	1458	1.2 静电电容式接近传感器 .....	1528
2.2 F 系列平行轴圆柱齿轮减速电动机 .....	1459	2 光纤型光电传感器 .....	1534
2.3 K 系列圆柱齿轮-锥齿轮减速电动机 .....	1460	2.1 光纤传感器的检测原理及结构、特点 .....	1534
2.4 S 系列圆柱齿轮-蜗杆减速电动机 .....	1461	2.2 光纤传感器产品 .....	1536
2.5 W 系列螺旋齿平面齿轮减速电动机 .....	1461	3 旋转式编码器 .....	1556
<b>第 2 章 常用交、直流电动机</b> .....	1463	4 区域传感器(幕屏式安全防护光栅) .....	1559
1 常用交、直流电动机的特点及选用 .....	1463	<b>附录</b> .....	1563
2 电动机的额定功率及工作制 .....	1466	附录 A 关于金属材料性能名称及代号新、 旧标准的说明 .....	1563
2.1 电动机的额定功率 .....	1466	附录 B 我国钢号所采用的缩写字母 及其含义 .....	1563
2.2 电动机的工作制 .....	1466	<b>参考文献</b> .....	1564
3 电动机允许的起动频率及外壳			

# 第5篇 传动及传动件设计

## 第1章 轴的设计及轴的连接

### 1 轴的设计

#### 1.1 轴的功能及设计步骤

##### 1.1.1 轴的功能

在机械设备中，轴指的是作为传动件支承和旋转中心的转轴，不旋转的轴在机械中只是起固定作用的支承构件，不是本章所涉及的转轴。

轴及其支承的结构尺寸配置、刚度和强度，直接影响轴上固定的传动件的旋转精度、工作性能和使用寿命，是各种传动系统的极重要基础件，轴的合理设计是传动设计首先要重视的工作。

在传动系统中，绝大多数的旋转轴都是两支承结构布局，在机械设备中，也有长轴中间加第三或第四支承的三支承或四支承结构，但由于支承孔和轴加工时，都不可避免地会产生同轴度误差，其中的第三、第四支承常常只能以浮动结构安装，只作为减少轴挠度(弯曲变形)的辅助支承，实质上仍为两支承，因此，本章的轴设计，均以两支承轴为依据，不考虑三点支承或四点支承的复杂静不定结构。

由于轴的尺寸及形状结构、支承的跨距等与传动件的轴向尺寸、受力大小和方向直接相关，与轴承的承载能力、转速、尺寸也直接相关，因此轴的设计过程必须与传动件的设计和轴承的选用交叉进行。

轴在弯曲力矩、扭转力矩作用下会产生弯曲变形和扭转变形，轴的变形直接影响传动件的传动精度和工作功能，因此轴的变形(包括弯曲变形和扭转变形)必须限制在允许的范围内。也就是说，轴在远未达到断裂破坏之前，其变形超过一定限度也是不允许的。衡量轴变形大小的指标称为刚度，变形小，轴的刚度大，因此轴的设计以刚度为准则，称为轴的刚度设计。以刚度设计的轴，距离断裂破坏的强度极限相差甚远，不必进行材料的强度校核。但对于长时间经受重复循环变化载荷的轴，其材料的疲劳极限比强度极限小得多，在使用一定期限后完全可能产生疲劳断裂破坏，特别是轴上开有键槽、阶梯轴的台肩处因应力集中，很容易产生应变集中开裂，尤其是重载、高速轴，疲劳破坏可能引发重大事故，对这些危险轴，应进行疲劳强度校核，使轴在使用寿命内不产生破坏。

##### 1.1.2 轴的设计步骤

轴的设计一般可按下列程序进行：

(1) 估算轴的平均直径 根据设计轴所传递的功率或转矩，估算轴的平均直径(将轴当作等直径轴)。一般首先设计与动力装置直接连接的轴，此轴称为第一轴，其传递的功率或转矩即为减速器或电动机输出的功率或转矩。

(2) 设计轴上各传动件的形状尺寸 以估算的轴径作为传动件的初定孔径，按轴上不同传动件的设计方法设计各传动件的形状尺寸(各传动件设计见本篇以下各章)。由于轴所受传动件的力及支承反力的力矩使轴中部弯曲变形最大，轴在中部的直径一般需加大以减小变形。另外，为了传动件及轴承的安装方便和定位，最终轴必须改造为阶梯轴，相应的传动件初定孔径一般都要扩大，因此传动件设计时，需留有扩孔的足够余量。

(3) 在轴上画出传动件及支承的轴向配置图 以估算的等直径轴为基准，按传动件的传动位置用简图画出主要的外形尺寸，按估算的轴径预估轴承的位置及宽度，并初定两支承的跨距及各传动件与轴承中点的相对轴向尺寸距离。

(4) 进行轴的受力分析，确定轴两端的支承反力并选择轴承 按轴上传动件的受力情况(力大小及方向)，分析计算轴两端的支承反力。根据支承反力，按滚动轴承的选用步骤(参照第4篇第2章)选择轴承型号及尺寸，确定轴上安装轴承位置的轴径。

(5) 将等径轴改造成阶梯轴 根据轴受弯曲载荷时，轴的中部变形量(挠度)最大的规律，适当加大轴中部的直径，结合轴上各传动件的安装、定位需要以及初定的轴承安装轴径，将轴改造成阶梯轴，根据所选轴承的具体尺寸适当调整轴承的轴向位置。

对于在支承外悬伸并装有受力传动件的悬伸轴，在改造成阶梯轴之前，必须先计算传动件中点位置的变形量，因为悬伸部分的轴刚度最小，其弯曲变形量很容易超过变形允许值。如计算后确认其变形超过允许值，必须加大悬伸直径尺寸，此时悬伸端必须选用内径更大的大型号轴承，在此基础上改造成安装、定位方便的阶梯轴。

对于悬伸轴端安装切削刀具(如机床主轴)或其他受载大的执行件的主轴，由于旋转精度和刚度要求特别高，其设计是以高刚度和结构形状要求为主要目的。轴的尺寸超出一般传动轴的要求，其上的传动件孔径也随之增大，轴承的内外径尺寸也比一般传动轴大，而且要根据设计的轴径选配轴承。为了减轻大直径主轴的自重，主轴常制成悬伸端直径最大、尾部直径最小的空心阶梯轴，这样既可加强外伸端的刚度又便于安装、定位。

(6) 校核轴上各受力点的挠度及轴的扭转角 对轴上各受力点进行力的分析，计算各受力点所受的弯曲力矩并制出弯矩图，计算弯曲变形量(挠度)及轴所受扭转力矩和扭转角。如果轴的挠度或转角超过允许值，则需加大轴径或采取热处理或中空轴加大直径等加强刚度的措施，重新配置阶梯轴的各段直径。



(7) **校核轴的疲劳强度** 当轴在传动运转中受到重复变化循环载荷时,可按第2篇第8章中材料疲劳极限的计算方法,根据寿命要求算出轴的疲劳极限是否超出材料许用的疲劳极限。如超过许用疲劳极限,可采用改善轴应力集中部位的设计或采用表面热处理的方法或换用疲劳极限高的材料。

由以上轴的设计程序可以看出:轴最终形状尺寸的确立过程必须与传动件设计及轴承选用交叉进行,即轴直径估算之后,才能进行传动件设计,而传动件设计之后,才能配置轴上传动件间的尺寸及支承跨距,有了支承跨距和传动件相对尺寸才能进行轴的受力分析,只有确定支承反力之后才能选用轴承,才能最终确定轴的形状和尺寸。

除了传动件的设计、轴承选用和疲劳强度校核已在其他篇章中阐述外,与轴设计有关的要点如下:

- 1) 根据轴所传递的功率或转动力矩估算轴的直径。
- 2) 根据作用于轴上的力计算两端支承反力。
- 3) 根据作用于轴上的弯力矩和扭动力矩校核轴上受力点的挠度和扭转角(轴的弯曲刚度和扭转刚度校核)。

### 1.2 轴的直径估算

当轴的长度、两端支承距离未定,因而轴的弯矩、支承反力无法确定时,可先按扭转刚度或扭转强度估算轴的直径。

按数值的大小比较:当轴的传动功率  $P(\text{kW}) < n(\text{r/min})$  时,可按扭转刚度估算轴的直径;当轴的传动功率  $P(\text{kW}) > n(\text{r/min})$  时,可按扭转强度估算轴的直径。钢轴的轴径计算式及计算系数见表 5.1-1 ~ 表 5.1-3。

表 5.1-1 按扭转强度及扭转刚度估算轴径的公式

轴的类型	按扭转强度计算[当数值上 $P(\text{kW}) > n(\text{r/min})$ 时]	按扭转刚度计算[当数值上 $P(\text{kW}) < n(\text{r/min})$ 时]
实心轴	$d = 17.2 \sqrt[3]{\frac{T}{\tau_p}} = A \sqrt[3]{\frac{P}{n}}$	$d = 0.3 \sqrt[4]{\frac{T}{\phi_p}} = B \sqrt[4]{\frac{P}{n}}$
空心轴	$d = 17.2 \sqrt[3]{\frac{T}{\tau_p}} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{1-a^4}} = A \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{1-a^4}}$	$d = 0.3 \sqrt[4]{\frac{T}{\phi_p}} \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{1-a^4}} = B \sqrt[4]{\frac{P}{n}} \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{1-a^4}}$
说明	<p><math>d</math>——轴端直径(mm)</p> <p><math>T</math>——轴所传递的转矩(N·m)</p> <p><math>T = 9550 \frac{P}{n}</math></p> <p><math>P</math>——轴所传递的功率(kW)</p> <p><math>n</math>——轴的工作转速(r/min)</p> <p><math>\tau_p</math>——许用扭转切应力(MPa),按表 5.1-2 选取</p> <p><math>\phi_p</math>——许用扭转角(°/m),按表 5.1-3 选取</p>	<p><math>A</math>——系数,按表 5.1-2 选取</p> <p><math>B</math>——系数,按表 5.1-3 选取</p> <p><math>a</math>——空心轴的内径 <math>d_1</math> 与外径 <math>d</math> 之比</p> <p><math>a = \frac{d_1}{d}</math></p>

注:当截面上有键槽时,应将求得的轴径增大,其增大值见表 5.1-4。

表 5.1-2 几种常用轴材料的  $\tau_p$  及  $A$  值

轴的材料	Q235-A、20	Q275、35 (1Cr18Ni9Ti)	45	40Cr、35SiMn、42SiMn 40MnB、38SiMnMo、3Cr13
$\tau_p/\text{MPa}$	15 ~ 25	20 ~ 35	25 ~ 45	35 ~ 55
$A$	149 ~ 126	135 ~ 112	126 ~ 103	112 ~ 97

注:1. 表中所给出的  $\tau_p$  值是考虑了弯曲影响而降低了的许用扭转切应力。

2. 在下列情况下  $\tau_p$  取较大值、 $A$  取较小值:弯矩较小或只受扭转作用、载荷较平稳、无轴向载荷或只有较小的轴向载荷、减速器的低速轴、轴单向旋转。反之,  $\tau_p$  取较小值、 $A$  取较大值。
3. 在计算减速器中间轴的危险截面处(安装小齿轮处)的直径时,若轴的材料为 45 钢,可取  $A = 130 \sim 165$ 。其中二级减速器的中间轴及三级减速器的高速中间轴取  $A = 155 \sim 165$ , 三级减速器的低速中间轴取  $A = 130$ 。

表 5.1-3 切变模量  $G = 79.4\text{GPa}$  时的  $B$  值

$\phi_p/(\text{°/m})$	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5
$B$	129	109	91.5	82.7	77	72.8

注:1. 表中  $\phi_p$  值为每米轴长允许的扭转角。

2. 许用扭转角的选用,应按实际情况而定。推荐供参考的范围如下:对于要求精密、稳定的传动,可取  $\phi_p = 0.25^\circ \sim 0.5^\circ/\text{m}$ ;对于一般传动,可取  $\phi_p = 0.5^\circ \sim 1^\circ/\text{m}$ ;对于要求不高的传动,可取  $\phi_p$  大于  $1^\circ/\text{m}$ , 起重机传动轴,  $\phi_p = 15' \sim 20'/\text{m}$ ; 重型机床走刀轴,  $\phi_p = 5'/\text{m}$ 。

表 5.1-4 有键槽时轴的增大值

轴的直径/mm	< 30	30 ~ 100	> 100
有一个键槽时的增大值(%)	7	5	3
有两个相隔 $180^\circ$ 键槽时的增大值(%)	15	10	7

### 1.3 轴的受力分析

轴的受力分析,就是确定轴上零件在传动时作用在轴上的力,以及因之而产生的支承反力、弯矩和转矩。

如图 5.1-1 所示,传动件(如齿轮)作用在轴上的合力  $F$

可分解为两个互相垂直的力，即周向力  $F_x$  (切向力) 和径向力  $F_y$ 。 $F'_x$  与  $F''_x$  是附加的大小相等、方向相反的力，仅用来便于分析，加上后不影响原来的受力情况。 $F_x$  与  $F''_x$  形成一对力偶，使轴上产生转矩，而  $F'_x$  (与  $F_x$  大小相等，方向相同) 及  $F_y$  使轴弯曲。

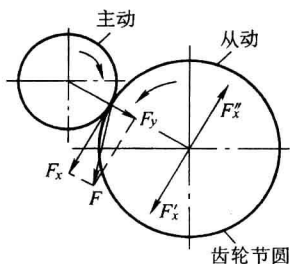


图 5.1-1 传动件作用在轴上的力

轴在互相垂直的力  $F_x$ 、 $F_y$  作用下，在轴的支承上就产生互相垂直的反力  $R_x$ 、 $R_y$ 。计算时，求出  $R_x$ 、 $R_y$  后，即可分别求得作用在互相垂直的平面内的弯矩 ( $M_x$ 、 $M_y$ )，再应用矢量合成原理，便可求出合成弯矩  $M$  (N·m)：

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

作用在轴上的转矩  $M_n$  可用下式计算 (N·m)：

$$M_n = 9\,550 \frac{P}{n} \quad (5.1-1)$$

式中  $P$ ——该轴传动的额定功率 (kW)；

$n$ ——该轴的计算转速 (r/min)。

### 1.3.1 传动件作用在轴上的力及其引起的支承反力的计算

(1) 直齿圆柱齿轮传动 直齿圆柱齿轮传动时，有两个互相垂直的分力  $F_x$ 、 $F_y$  作用在轮齿上， $F_x$ 、 $F_y$  及轴上支承反力的计算公式见表 5.1-5。

表 5.1-5 直齿圆柱齿轮传动作用在轴上的力和支承反力

	齿轮在两支承之间	齿轮在悬臂轴上
简图		
作用力	$F_x = \frac{2M_n}{d} \text{ (kN)}$ $F_y = F_x \tan(\alpha + \rho) \text{ (kN)}$ <p>式中 <math>M_n</math>——作用在轴上的转矩 (N·m)  <math>d</math>——齿轮节圆直径 (mm)  <math>\alpha</math>——压力角，通常为 <math>20^\circ</math>  <math>\rho</math>——摩擦角，普通工作情况的齿轮取摩擦因数 <math>f \approx 0.1</math>，即 <math>\rho \approx 5^\circ 43'</math></p> <p>因此  则  合力</p> $\tan(\alpha + \rho) = \tan 25^\circ 43' = 0.482$ $F_y \approx 0.5 F_x$ $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \approx 1.1 F_x$	
支承反力	$R_{Ax} = \frac{bF_x}{a+b} \quad R_{Bx} = \frac{aF_x}{a+b}$ $R_{Ay} = \frac{bF_y}{a+b} \quad R_{By} = \frac{aF_y}{a+b}$	$R_{Ax} = \frac{bF_x}{a} \quad R_{Bx} = \frac{(a+b)F_x}{a}$ $R_{Ay} = \frac{bF_y}{a} \quad R_{By} = \frac{(a+b)F_y}{a}$

注：从动轴的支承反力也可用以上公式求得，但须将长度  $a$  和  $b$  相应地换成  $a'$  和  $b'$ 。

(2) 斜齿圆柱齿轮传动 斜齿圆柱齿轮传动时，有三个互相垂直的分力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  作用在轮齿上，这三个分力及支承反力的计算公式见表 5.1-6。

(3) 锥齿轮传动 直齿、弧齿锥齿轮传动中，齿面将产生三个互相垂直的分力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 。弧齿锥齿轮有两种工作情况：第一种是轴向力  $F_z$  为正值 (即背离节锥顶点)，第二种是轴向力  $F_z$  为负值 (即指向节锥顶点)。直齿锥齿轮的轴向力  $F_z$  恒为正值，属第一种情况。图 5.1-2 为弧齿锥齿轮作用力的示意图。

弧齿锥齿轮传动作用在轴上的力和支承反力的求法见

表 5.1-7。当螺旋角  $\beta = 0^\circ$  时，即得到直齿锥齿轮传动时作用在轴上的力和支承反力的公式。

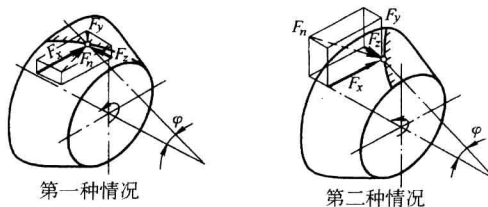


图 5.1-2 弧齿锥齿轮传动的作用力示意图

表 5.1-6 斜齿圆柱齿轮传动作用在轴上的力和支承反力

	齿轮在两支承之间	齿轮在悬臂轴上
简图		
作用力	$F_x = \frac{2M_n}{d} \text{ (kN)}$ $F_y \approx \frac{0.5F_x}{\cos\beta} \text{ (kN)}$ $F_z \approx F_x \tan\beta$ <p>式中 <math>M_n</math>——作用在轴上的转矩(N·m)  <math>d</math>——齿轮节圆直径(mm)  <math>\beta</math>——节圆柱螺旋角(°)</p>	
支承反力	$R_{Ax} = \frac{bF_x}{a+b}$ $R_{Ay} = \frac{bF_y}{a+b} \pm \frac{dF_z}{2(a+b)}$ $R_{Bx} = \frac{aF_x}{a+b}$ $R_{By} = \frac{aF_y}{a+b} \pm \frac{dF_z}{2(a+b)}$ $R_{Az} = -F_z$ <p>主动轮齿为右旋时, <math>F_z</math> 向左, <math>R_{Ay}</math> 公式中用“+”号, <math>R_{By}</math> 公式中用“-”号</p>	$R_{Ax} = \frac{bF_x}{a}$ $R_{Ay} = \frac{bF_y}{a} \pm \frac{dF_z}{2a}$ $R_{Bx} = \frac{(a+b)F_x}{a}$ $R_{By} = \frac{(a+b)F_y}{a} \pm \frac{dF_z}{2a}$ $R_{Az} = -F_z$ <p>主动轮齿为右旋时, <math>F_z</math> 向左, <math>R_{Ay}</math> 公式中用“+”号, <math>R_{By}</math> 公式中也用“+”号</p>

注: 从动轴的支承反力也可用以上公式求得, 但须将长度  $a$  和  $b$  相应地换成  $a'$  和  $b'$ 。

表 5.1-7 弧齿锥齿轮传动作用在轴上的力及支承反力

	大齿轮在两支承之间		大齿轮在悬臂轴上		
简图					
作用力	主动轮齿螺旋方向及主动轮旋转方向				
	主动轮齿螺旋方向 (从节锥顶点看)	右 (由小端到大端, 齿向为顺时针)	左 (由小端到大端, 齿向为逆时针)	右 (由小端到大端, 齿向为顺时针)	左 (由小端到大端, 齿向为逆时针)
	主动轮旋转方向 (从节锥顶点看)	逆时针	顺时针	顺时针	逆时针

(续)

主动轮齿螺旋方向及主动轮旋转方向				
作用力	轴向力 $F_z, F'_z$	主动轮	$F_z = \frac{F_x}{\cos\beta} (\tan\alpha\sin\varphi - \sin\beta\cos\varphi) \text{ (N)}$	$F_z = \frac{F_x}{\cos\beta} (\tan\alpha\sin\varphi + \sin\beta\cos\varphi) \text{ (kN)}$
		从动轮	$F'_z = F_y \text{ (kN)}$	
	径向力 $F_y, F'_y$	主动轮	$F_y = \frac{F_x}{\cos\beta} (\tan\alpha\cos\varphi + \sin\beta\sin\varphi) \text{ (N)}$	$F_y = \frac{F_x}{\cos\beta} (\tan\alpha\cos\varphi - \sin\beta\sin\varphi) \text{ (kN)}$
		从动轮	$F'_y = F_z \text{ (kN)}$	
周向力 $F_x$	$F_x = \frac{2M_n}{D_m} \text{ (kN)}$			
支承反力(N)	支承 A、B	$R_{Ax} = \frac{bF'_x}{a}$ $R_{Ay} = \frac{bF'_y}{a} \pm \frac{D_m F'_z}{2a}$ $R_{Az} = -F_z$ $R_{Bx} = \frac{(a+b)F_y}{a}$ $R_{By} = \frac{(a+b)F_y}{a} \pm \frac{D_m F_z}{2a}$	支承 A、B	$R_{Ax} = \frac{bF_x}{a}$ $R_{Ay} = \frac{bF_y}{a} \pm \frac{D_m F_z}{2a}$ $R_{Az} = -F_z$ $R_{Bx} = \frac{(a+b)F_y}{a}$ $R_{By} = \frac{(a+b)F_y}{a} \pm \frac{D_m F_z}{2a}$
	支承 A'、B'	$R'_{Ax} = \frac{b'F'_x}{a'+b'}$ $R'_{Ay} = \frac{b'F'_y}{a'+b'} \pm \frac{D'_m F'_z}{2(a'+b')}$ $R'_{Az} = -F'_z$ $R'_{Bx} = \frac{a'F'_x}{a'+b'}$ $R'_{By} = \frac{a'F'_y}{a'+b'} \pm \frac{D'_m F'_z}{2(a'+b')}$	支承 A'、B'	$R'_{Ax} = \frac{b'F'_x}{a'}$ $R'_{Ay} = \frac{b'F'_y}{a'} \pm \frac{D'_m F'_z}{2a'}$ $R'_{Az} = -F'_z$ $R'_{Bx} = \frac{(a'+b')F'_x}{a'}$ $R'_{By} = \frac{(a'+b')F'_y}{a'} \pm \frac{D'_m F'_z}{2a'}$

- 注：1.  $D_m, D'_m$ ——主动轮及从动轮的齿宽中点节圆直径 (mm)。  
 2. 公式中第二项的“±”号，第一种情况( $P_z$  为正值)取“+”号，第二种情况( $F_z$  为负值)取“-”号。  
 3. 在两轴成  $90^\circ$  的正交传动中， $F_y, F'_z$  公式可化为

$$F_y = F_x \frac{\sin\varphi}{\cos\beta} (\tan\alpha \mp \sin\beta)$$

$$F'_z = F_x \frac{\sin\varphi}{\cos\beta} (\tan\alpha \pm i\sin\beta)$$

式中  $i$ ——速比， $i = \frac{\text{从动轮齿数}}{\text{主动轮齿数}} = \frac{z_2}{z_1}$ ；

$\varphi$ ——主动轮节锥角；  
 $\alpha$ ——压力角(通常  $\alpha = 20^\circ, \tan 20^\circ = 0.36$ )；  
 $\beta$ ——螺旋角。

(4) 蜗杆传动 蜗杆蜗轮啮合时，在蜗杆的齿面上产生互相垂直的作用力  $F_x, F_y, F_z$ ，在蜗轮的齿面上则产生互相垂直的作用力  $F'_x, F'_y, F'_z$ 。作用力分布情况见图 5.1-3。  $F_x$  与  $F'_x, F_y$  与  $F'_y, F_z$  与  $F'_z$  方向相反，大小相等。

蜗杆传动中，按下列公式计算作用力，或利用图 5.1-4 的曲线求得  $F'_y, F'_z$ 。

在蜗杆上的周向力：

$$F_x = \frac{2M_n}{d} \text{ (kN)}, \text{ 或 } F_x = 2 \times 9\,550 \frac{P}{nd} \text{ (kN)}$$

在蜗轮上的周向力：

$$F'_y = \frac{2M'_n}{D} \text{ (kN)}, \text{ 或 } F'_y = \frac{F_x}{\tan\left(\lambda + \frac{\rho}{\cos\alpha_{oa}}\right)} \text{ (kN)}$$

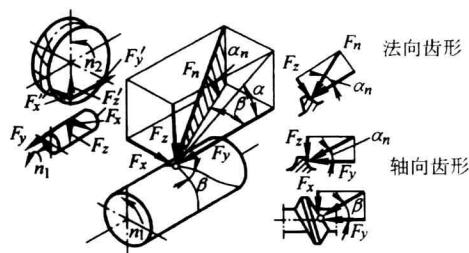


图 5.1-3 蜗杆传动的作用力

$\alpha_n$ ——蜗杆的法向齿形角

$\alpha$ ——蜗杆的轴向压力角，一般  $\alpha = 20^\circ$

在蜗轮上的径向力：

$$F'_z = F'_y \tan\alpha_{oa}$$