

王晓东 周鹏翔 编



机 械 设 计 基 础 丛 书

轴 系
部 件
设 计

机 械 工 业 出 版 社

机械设计基础丛书

轴系部件设计

王晓东 周鹏翔 编



机械工业出版社

轴系部件是机器的重要组成部分。本书系统地介绍了轴、轴承、联轴器、离合器、制动器、键和销联接的结构特点、设计理论、计算校核、密封润滑及选用方法等知识。全书采用计算公式与计算图相结合的计算方法，图例并茂，简明扼要，是从事机械设计和生产的科技人员的参考资料，也是大专院校师生的教学参考书。

机械设计基础丛书

轴系部件设计

王晓东 周鹏翔 编

*

责任编辑：王汀江

责任印制：郭 炜

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $10 \frac{7}{8}$ · 字数 239 千字

1989 年 9 月北京第一版·1989 年 9 月北京第一次印刷

印数 0,001—3,930 · 定价：7.90 元

*

ISBN 7-111-00733-6/TH · 122

前 言

为了实现我国社会主义四个现代化建设的宏伟目标，各个生产部门都迫切需要以最新的机器来装备自己，以求不断提高产品质量，提高生产效率和经济效益。为此，进行技术革新和更新设备已成为企业当前的重要课题。《机械设计基础丛书》是为适应这一新的形势需要，根据“发展国民经济必须依靠科学技术，科学技术必须为国民经济服务”的方针，从当前实际需要出发组织编写的。

本丛书共分九册

- 一、平面连杆机构设计
- 二、凸轮机构设计
- 三、斜面机构和螺旋机构设计
- 四、挠性传动设计
- 五、齿轮传动设计
- 六、轴系部件设计
- 七、常用机械设计
- 八、机器测绘技术
- 九、润滑与密封

本丛书是以结构设计为重点，介绍了设计计算的必要基础知识，并提供了许多机构设计实例，为设计工作引路。关于设计计算，除用一般数学运算外，还使用算图法（即诺谟图）。算图法具有运算上简便迅速，数据可靠的优点。

本书收集了国内外有关资料并结合生产实际情况，系统

地介绍了轴、轴承、联轴器、离合器、制动器、键和销联接的结构特点、设计理论、密封润滑及选用方法等知识。图例并茂，简明扼要。

本丛书是在机械设计学习班试用的基础上重新整理编写的，在编写过程中得到许多同志的支持和帮助，特别是东北工学院徐灏教授给予了很大支持。参加审阅的同志有：郑福庭、方昆凡、郭胜楠、蔡绍琇、陈修鸿等同志，编者在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限，难免存在一些缺点和错误，希望读者批评、指正。

编者

1986年11月

《机械设计基础丛书》

主编：张季高、毕传湖、曹金汤

编者：王汉文、马先贵、郑福庭、王晓东、毕传湖、
张英斌、高泽远、张秀艳、张和远、周鹏翔、
阎以诗、曹金汤、鄂中凯、蔡春源

目 录

第一章 绪论	7
第一节 轴系部件设计概述	1
一、强度	2
二、刚度	3
三、耐磨性	4
四、振动稳定性	4
第二节 零件的静强度和疲劳强度	5
一、名义载荷与计算载荷, 名义应力与计算应力	5
二、强度计算条件及应力类型	5
三、变应力	6
四、极限应力	11
第三节 作用在轴系部件上的载荷	12
一、功率、转速和转矩	12
二、传动零件对轴的作用力	18
三、载荷作用点的位置	24
四、轴承支座反力的计算	26
第四节 轴系部件中常用材料及钢的热处理	29
一、常用材料	29
二、钢的热处理	29
第五节 标准化、通用化和系列化	31
第二章 轴的设计	34
第一节 轴的分类和应用	34
第二节 轴的设计步骤及强度计算基本公式	36

一、轴的失效形式及设计要求	36
二、轴的设计步骤	37
三、轴的强度计算基本公式	38
第三节 轴的材料	43
一、毛坯	43
二、材料	46
第四节 初步估算轴径	47
一、按扭转强度计算	47
二、图表法	49
三、类比法	52
第五节 轴的结构设计	53
一、轴上零件装拆及轴的加工	54
二、轴上零件的固定	57
三、提高轴疲劳强度的结构措施	58
第六节 按弯扭合成强度计算轴径	68
一、按弯扭合成强度计算	68
二、按弯扭合成强度计算轴径的图表法	80
第七节 按安全系数法精确校核轴的直径	85
一、按疲劳强度条件进行精确校核	85
二、按静强度条件进行校核	87
第八节 轴的刚度计算	95
一、轴的扭转刚度计算	96
二、轴的弯曲刚度计算	100
第九节 轴的零件工作图	103
一、视图选择	103
二、尺寸标注	103
三、表面粗糙度的确定	110
四、技术要求	110
五、轴的零件工作图举例	110

第三章 键、花键、销联接及过盈联接	111
第一节 键联接	111
一、键联接的类型、特点和应用	111
二、键的选择和键联接的强度计算	115
三、平键联接的强度计算举例	122
四、平键联接强度的图表计算法	123
第二节 花键联接	126
一、花键联接的类型、特点和应用	126
二、花键联接的强度计算	129
第三节 销联接	131
一、销的类型、特点和应用	131
二、销联接的选择和计算	132
第四节 过盈联接	134
一、圆柱面过盈联接	134
二、圆锥面过盈联接	135
第四章 轴承	136
第一节 滑动轴承	137
一、摩擦及润滑机理	137
二、磨损	142
三、滑动轴承的类型及结构形式	145
四、轴瓦	148
五、非液体摩擦滑动轴承的设计	159
六、滑动轴承的润滑、使用与维护	165
七、动压、静压轴承简介	178
第二节 滚动轴承	183
一、概述	183
二、滚动轴承的代号	185
三、滚动轴承类型的选择	197
四、滚动轴承尺寸的选择	199

五、滚动轴承的组合设计	218
六、滚动轴承的公差与配合	226
七、滚动轴承的润滑	232
八、滚动轴承的密封	238
九、滚动轴承的拆装	241
第三节 滑动轴承与滚动轴承的比较	242
第五章 联轴器、离合器、制动器	244
第一节 联轴器	244
一、刚性固定式联轴器	246
二、刚性可移式联轴器	250
三、弹性联轴器	261
四、安全联轴器	271
五、联轴器的选择	273
第二节 离合器	276
一、牙嵌离合器	276
二、摩擦离合器	283
三、电磁操纵摩擦离合器和气(液)压操纵摩擦离合器	291
四、安全离合器	292
五、超越离合器	294
第三节 制动器	295
一、外抱块式制动器	296
二、内张蹄式制动器	297
三、带式制动器	299
第六章 轴系部件设计实例	301
第一节 概述	301
一、轴系部件设计的一般过程	301
二、设计中应注意的几个问题	302
三、本章的主要内容	304
第二节 轴系部件校核计算实例	304

一、计算中间轴传递的功率 P 、转速 n 、转矩 T	305
二、计算作用于齿轮上的力	306
三、画出轴的空间受力简图	308
四、求轴承支点反力	309
五、轴的强度校核	310
六、滚动轴承校核计算	314
七、键联接强度校核	316
第三节 轴系部件设计实例	317
一、按扭转强度条件初算轴径	318
二、选择联轴器	318
三、选择轴承及轴承座	319
四、确定卷筒的结构和主要尺寸	319
五、初步设计轴的结构	320
六、选择键的类型	32 ⁴
七、按许用弯曲应力校核轴的强度	325
八、滚动轴承的寿命计算	327
九、键联接的强度计算	328
十、联轴器的校核计算	329
第四节 轴系部件装配图	330
一、选择视图	331
二、选择图幅和比例, 布置图面	331
三、绘制各视图	332
四、标注尺寸和配合符号	333
五、编序号, 填写明细表、技术条件和标题栏	334
主要参考书	339

第一章 绪 论

机械中的传动零件，如齿轮、皮带轮、链轮及滑轮等都必须装配在轴上，而轴又被支承在轴承上，两个轴之间需要用联轴器把它们联结起来，这样传动零件才能实现旋转运动。并传递运动和动力。这里所说的由轴，轴承，联轴器，离合器以及轴上的旋转零件组合而成的有机整体，就是轴系部件。轴系部件是机器的骨干，许多机器的传动部分有两个或多个轴系部件。因此掌握轴系部件各部分的工作原理、特点和基本设计计算方法，对于分析机器的结构以及正确设计机器都有重要意义。

本书主要内容有：（1）滚动轴承、滑动轴承，联轴器、离合器、制动器；键、花键、销联接；轴系部件的工作原理、特点应用、选用及设计理论与计算方法。（2）轴系部件的设计：方案的选择、初步设计、结构设计、零部件工作能力校核及最终完成设计。本篇内容涉及的知识面较广，因此，必须理论联系实际，灵活运用有关知识去解决实际问题。

第一节 轴系部件设计概述

轴系部件是由多个零件组合而成的。这些零件有各种不同失效形式。在一定工作条件下，要使机器处于正常的工作状态，零件必须具有抵抗失效的工作能力。

概括起来讲，轴系部件中各零件的工作能力用强度、刚度、耐磨性、振动稳定性等表示。

一、强度

零件的强度分为体积强度和表面强度。

1. 体积强度（简称强度）

体积强度是指应力在零件的较大体积内产生。它包括静强度和疲劳强度两种。如零件的强度不够，就会产生断裂和过大的塑性变形。在轴系部件中，对键和销的剪切强度计算、固定心轴的弯曲强度计算、滚动轴承的塑性变形计算等都属于静强度计算。而对轴的弯扭合成强度和安全系数计算都是属于疲劳强度计算。为了保证这些零件具有足够的强度，必须使其具有合理的结构尺寸、并按强度条件进行校核计算。

2. 表面强度

零件的表面强度分为表面挤压强度和表面接触强度两种。

（1）挤压强度：

在外载荷作用下，零件接触表面间将产生挤压应力。若挤压应力过大，塑性材料将产生塑性变形，脆性材料将产生表面破碎。在轴系部件中，键和花键的接触表面应进行挤压强度计算。

挤压强度条件是：零件所产生的挤压应力 σ_p 小于或等于许用挤压应力 $[\sigma]_p$ ，即

$$\sigma_p \leq [\sigma]_p$$

（2）接触强度

相互接触的零件在受载之前是点接触或线接触，但受载变形之后，实际上已变为小面积接触，且在表面产生很大的局部应力，这种应力称为接触应力。例如滚动轴承的滚动体和内外圈滚道表面相互接触，在接触处产生接触应力 σ_H 。这时零件的强度称为接触强度。滚动轴承的接触应力是随时变化

的，如图 1-1 所示。因此它属于接触疲劳强度计算问题。

零件的接触强度不够时，就会出现表面损坏，以致不能正常工作。

零件的接触强度条件是：

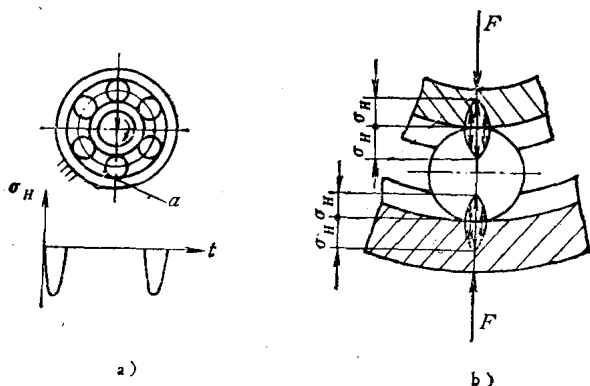


图1-1 滚动轴承的接触应力

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H$$

式中 σ_H ——零件产生的接触应力；

$[\sigma]_H$ ——零件的许用接触应力。

二、刚度

刚度是指在一定工作条件下，零件抵抗弹性变形的能力。当零件刚度不够时，就会影响机器的正常工作。在轴系部件中齿轮轴变形过大，将影响轮齿的正确啮合；机床主轴的变形过大将影响工件的加工精度等。关于轴的刚度问题将在后面作专节介绍。刚度条件是

$$y \leq [y]$$

式中 y ——零件在外力作用下的弹性变形量；

$[y]$ ——机器工作性能所允许的许用变形量。

提高零件刚度的有效措施是改进零件的结构形式、减小支点间距离和增大断面尺寸等。由于各种钢的弹性模量（ E 和 G ）相差不多，因此用合金钢代替碳素钢不能提高轴的刚度。

三、耐磨性

零件磨损后会改变结构形状和尺寸，使机器的精度降低，效率下降及零件强度减弱，以致零件报废。据估计，世界上各种报废的机械零件中，由磨损引起的约占80%。所以在机械设计中，总是力求提高零件的耐磨性，减少磨损。

影响磨损方面的因素很多，如零件的材质、表面粗糙度、润滑情况等等，其中润滑情况对磨损影响较大。采取合理的润滑措施，保持良好的润滑状态，可减轻甚至避免磨损。

关于磨损方面尚无简单的理论计算方法可循，一般，多采用条件性计算。一是验算压强 p （单位接触面积上所承受的压力）不超过许用值，以防止因压力过大致使工作表面油膜破坏而产生过快磨损，即

$$p \leq [p]$$

式中 $[p]$ ——许用压强。

二是防止滑动速度 v 比较大的摩擦表面温升过高，使油膜破坏，加剧磨损。为此，要限制单位接触面上产生的摩擦功率。如果摩擦系数 f 为常数，则可验算摩擦功率 pv 值不超过许用值，即

$$pv \leq [pv]$$

式中 $[pv]$ ——摩擦功率 pv 的许用值。

轴系部件中滑动轴承、键和花键的磨损就是按照上面的条件进行计算的。

四、振动稳定性

在高速机械中，当机器零件的自振频率与周期性载荷的变动频率相同或接近时，就会发生共振。共振时振幅急剧增加。这种现象一般称为失去稳定性。共振能在短期内导致零件断裂，甚至造成重大事故。在本书第二章第二节中将介绍轴的振动稳定性问题。

避免共振的有效措施是去掉引起共振的根源。例如改变机械系统的自振频率，装设消振器等。

并不是每种零件都要进行各种工作能力计算，而是应该根据实际情况按一种主要工作能力进行设计计算，必要时按其他要求进行验算。例如在设计机床主轴时，一般先根据刚度确定其尺寸，然后验算强度，必要时再进行振动稳定性计算。

必须注意，在一般的机械中，只有部分主要零件是通过计算来确定尺寸的，而大部份零件是根据结构和工艺性要求进行设计的。

第二节 零件的静强度和疲劳强度

一、名义载荷与计算载荷，名义应力与计算应力

在理想平稳工作条件下作用在零件上的载荷，称为名义载荷。然而在机器运转时，零件还可能受到各种附加载荷的影响，通常用名义载荷乘以载荷系数 K 的方法来考虑这些影响，这个乘积称为计算载荷。因名义载荷或计算载荷所产生的应力分别称为名义应力或计算应力。

二、强度计算条件及应力类型

1. 强度计算条件

在进行零件的强度计算时，一般是用比较零件危险截面处的计算应力是否小于或等于其许用应力来表达零件的强度

条件，即

$$\sigma \leq [\sigma], \text{ 而 } [\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{n}$$

$$\tau \leq [\tau], \text{ 而 } [\tau] = \frac{\tau_{lim}}{n}$$

或

$$n = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma} \geq [n]$$

$$n = \frac{\tau_{lim}}{\tau} \geq [n]$$

式中 σ, τ ——危险截面处的计算正应力和计算剪应力；

$[\sigma], [\tau]$ ——许用正应力和许用剪应力；

σ_{lim}, τ_{lim} ——极限正应力和极限剪应力；

n ——安全系数；

$[n]$ ——许用安全系数。

为了简便，下述以正应力 σ 为例，若研究切应力 τ 时，将 σ 换为 τ 即可。

2. 应力的类型

在强度计算中，轴系部件各零件的应力分为两大类：静应力和变应力。不随时间变化或变化缓慢的应力称为静应力。随时间变化的应力称为变应力。

三、变应力

轴系部件中，许多重要零件往往是处于变应力状态下工作的，它们的计算与静强度计算有着本质的不同。因此，对于零件在变应力工作状态下的研究有着更重要的意义。

1. 变应力实例

在变应力状态下，零件上任一点的应力是在最大应力和

最小应力之间循环变化的。以矿车的车轮轴为例。如图1-2 a所示，车轴所承受的载荷为 P ，分别作用于两轴颈上，使车轴受纯弯曲作用。

图1-2 b 为 B-B 横截面上最外缘处任一点 A 的应力情况，它随着车轴的旋转而变化， A 点的正应力为

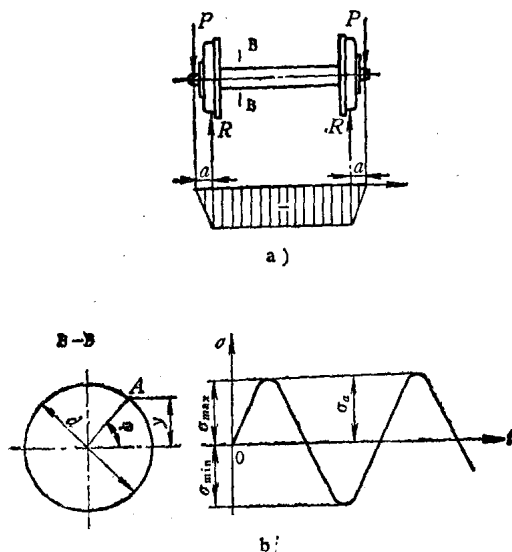


图1-2 车轴受力及应力变化

$$\sigma = \frac{MY}{J} = \frac{PaY}{J}$$

式中 M ——B-B 截面承受的弯矩，

J ——B-B 截面的惯性矩， $J = \frac{\pi}{64} d^4$ (d 为轴径)，

Y —— A 点到中性轴的距离。