

机/械/设/计/实/例/精/解/丛/书

# 轴系零部件设计 实例精解

于惠力 李广慧 尹凝霞 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



机械设计实例精解丛书

# 轴系零部件设计

## 实例精解



机械工业出版社

本书结合作者多年从事机械设计教学、科研和实际设计的丰富经验,将设计轴系零件过程中用到的基础理论知识、专业知识及设计计算方法,作了较为全面、详细和系统的介绍,尤其针对轴系零件设计实践中常遇到的各种典型设计计算和结构设计问题,进行了详细的讲解。本书的特点是突出应用性,将轴系零件基础设计理论、设计计算精解、结构设计精解、精度设计、相关制图知识有机地融为一体,以各种形式列举诸多设计实例,并以图表辅助说明。

本书可作为机械工程技术人员和相关领域技术人员的参考书,也可作为大专院校师生的学习用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

轴系零部件设计实例精解/于惠力,李广慧,尹凝霞编著. —北京:机械工业出版社,2009.6

(机械设计实例精解丛书)

ISBN 978-7-111-27263-2

I. 轴… II. ①于…②李…③尹… III. 轴承-零部件-机械设计 IV. TH133.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第081873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 章承林 版式设计:张世琴  
责任校对:李秋荣 封面设计:鞠 杨 责任印制:邓 博

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2009年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm·15.25印张·293千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27263-2

定价:36.00元

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

为了使广大工程技术人员在进行机械产品设计工作时,在较短的时间内深入掌握各种机械零部件的设计方法,提高分析问题、解决问题的能力,我们有针对性地编写了系列学习丛书——机械设计实例精解丛书,以帮助读者更方便、快捷、准确地选用有关数据、图表等最新设计资料,掌握通用零部件设计方法,本书是其中的一本。

本书共分4章:第1章轴,第2章滚动轴承,第3章滑动轴承,第4章联轴器、离合器和制动器,涵盖了理论与实际设计的全部内容。每一章的内容包括:必备的基本设计理论、概念理解、设计计算精解、设计计算实例及结构设计精解等内容。基本设计理论部分提供了相关零件的主要设计理论、公式、图表等设计所必须的基本知识,便于读者学习、查阅,避免同时翻阅大量的其他书籍方可设计和解题的障碍;设计计算精解和结构设计精解及设计实例部分,针对工程技术人员和机械专业学生设计中常遇到的典型问题,编者结合多年来在教学和设计实践中积累的经验和收集的大量资料,以设计实例对设计中典型的设计校核计算和结构设计进行详细地精解。对于在短时间内提高设计能力将会有很大的帮助。

编者对本书所有的题目都给出了较详细的分析及解答,尤其是对设计计算及结构设计进行了深入的分析,让读者明白为什么要这样设计计算,在进行相关机械设计的时候,应该着重考虑什么问题,注意什么问题,从而让读者快速掌握各种机械零部件的设计方法。

本书力求思路新颖、数据资源丰富、设计计算使用方便、实用性强,做到精选内容、联系实际、叙述简明、便于自学,全书采用了最新颁布的国家标准,适用于机械类企业、大专院校和科研院所的产品开发、制造和研究的工程技术人员使用,也适用于相关行业从事工程设计制造的工程技术人员参考,还可以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、机械设计基础和进行机械设计课程设计等相关课程的教学时使用。

参加本书编写工作的有:于惠力(第1章1.3节、第2章2.1节、第3章3.1节、第4章4.2.2~4.2.3小节),李广慧(第3章3.2节、第4章4.1节、

4.2.1 小节), 尹凝霞 (第 1 章 1.1 节、1.2 节、1.4 节、第 2 章 2.2 节)。

由于编者水平有限, 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

|                    |     |
|--------------------|-----|
| <b>第 1 章 轴</b>     | 1   |
| 1.1 基本设计理论         | 1   |
| 1.1.1 轴的类型、材料及选择原则 | 1   |
| 1.1.2 轴的失效及设计原则    | 5   |
| 1.1.3 轴的结构设计       | 7   |
| 1.1.4 轴的强度计算       | 13  |
| 1.1.5 轴的刚度校核       | 23  |
| 1.1.6 轴的振动稳定性和临界转速 | 24  |
| 1.2 设计实例与精解        | 25  |
| 1.2.1 概念理解         | 25  |
| 1.2.2 轴结构设计正误分析    | 33  |
| 1.2.3 轴设计受力分析及校核计算 | 42  |
| 1.3 轴设计实例          | 53  |
| 1.4 轴零件图           | 61  |
| 1.4.1 轴零件图绘制       | 61  |
| 1.4.2 读轴零件图        | 71  |
| <b>第 2 章 滚动轴承</b>  | 74  |
| 2.1 基本设计理论         | 74  |
| 2.1.1 滚动轴承主要类型及其代号 | 74  |
| 2.1.2 滚动轴承载荷分析     | 82  |
| 2.1.3 滚动轴承寿命计算     | 83  |
| 2.1.4 滚动轴承静强度计算    | 89  |
| 2.1.5 滚动轴承极限转速计算   | 90  |
| 2.1.6 滚动轴承组合结构设计   | 91  |
| 2.1.7 滚动轴承的画法与标注   | 95  |
| 2.1.8 滚动轴承的装拆      | 100 |
| 2.1.9 滚动轴承端盖       | 103 |
| 2.2 滚动轴承设计计算实例及精解  | 105 |
| 2.2.1 概念理解         | 105 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 2.2.2 设计计算精解 .....           | 119        |
| 2.2.3 滚动轴承结构设计精解 .....       | 129        |
| 2.2.4 滚动轴承综合结构设计精解 .....     | 138        |
| <b>第3章 滑动轴承</b> .....        | <b>145</b> |
| 3.1 基本设计理论 .....             | 145        |
| 3.1.1 滑动轴承的分类、特点及应用 .....    | 145        |
| 3.1.2 滑动轴承的失效形式及常用材料 .....   | 146        |
| 3.1.3 滑动轴承的类型选择 .....        | 147        |
| 3.1.4 非液体润滑滑动轴承设计计算 .....    | 148        |
| 3.1.5 滑动轴承的润滑 .....          | 149        |
| 3.1.6 液体动压径向滑动轴承的设计计算 .....  | 152        |
| 3.1.7 液体动压推力滑动轴承的设计计算 .....  | 160        |
| 3.1.8 滑动轴承的结构 .....          | 165        |
| 3.2 滑动轴承设计计算实例及精解 .....      | 166        |
| 3.2.1 概念理解 .....             | 166        |
| 3.2.2 设计计算精解 .....           | 180        |
| 3.2.3 设计实例 .....             | 187        |
| <b>第4章 联轴器、离合器和制动器</b> ..... | <b>196</b> |
| 4.1 基本设计理论 .....             | 196        |
| 4.1.1 概述 .....               | 196        |
| 4.1.2 联轴器的选择和计算 .....        | 205        |
| 4.1.3 离合器的选择和计算 .....        | 207        |
| 4.1.4 制动器的选择和计算 .....        | 209        |
| 4.2 设计实例及精解 .....            | 212        |
| 4.2.1 概念理解 .....             | 212        |
| 4.2.2 设计计算题精解 .....          | 220        |
| 4.2.3 结构设计题精解 .....          | 229        |
| <b>参考文献</b> .....            | <b>235</b> |

# 第 1 章 轴

## 1.1 基本设计理论

轴是组成机器的重要零件之一。一切作回转运动的传动零件，如齿轮、带轮、叶轮及各种轮类零件等，都要装在轴上，才能实现回转运动，传递运动和动力。

### 1.1.1 轴的类型、材料及选择原则

#### 1. 轴的类型

轴类零件的分类方法有很多种，其中常用的分类方法有：

##### (1) 按照轴的承载性质分类

- 1) 传动轴。工作时主要传递转矩，或承受很小弯矩的轴，如图 1-1 所示。
- 2) 转轴。工作时即传递转矩又承受弯矩的轴，如图 1-2 所示。

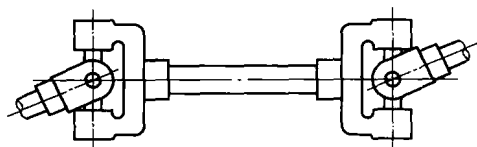


图 1-1 传动轴

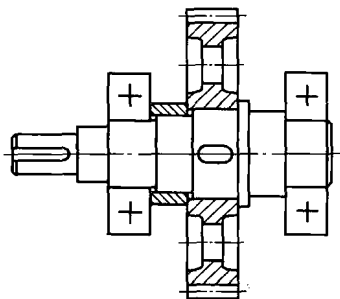


图 1-2 转轴

3) 心轴。工作时仅承受弯矩而不传递转矩的轴。心轴分为固定心轴和转动心轴。不随回转零件一起转动的轴称为固定心轴，如图 1-3 所示；随回转零件一起转动的轴称为转动心轴，如图 1-4 所示。固定心轴承受静应力，转动心轴承受变应力。

##### (2) 按轴线形状分类

- 1) 曲轴。各轴段轴线不在同一直线上，如图 1-5 所示。
- 2) 直轴。各轴段轴线为同一直线。直轴按外形不同又可分为：
  - ① 光轴。形状简单，应力集中少，易加工，如图 1-6 所示。
  - ② 阶梯轴。各轴段直径不同，轴上零件容易定位，便于装拆，且轴各截

面接近等强度, 如图 1-7 所示。

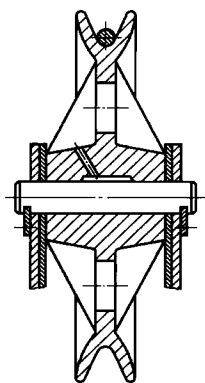


图 1-3 固定心轴

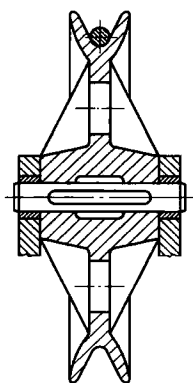


图 1-4 转动心轴

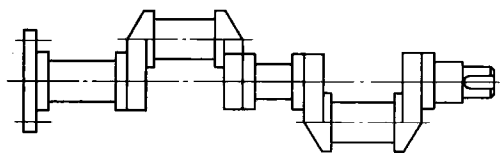


图 1-5 曲轴

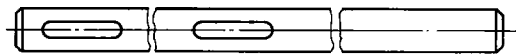


图 1-6 直轴

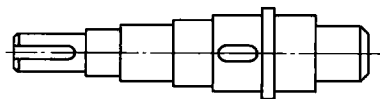


图 1-7 阶梯轴

3) 钢丝软轴。由多组钢丝分层卷绕而成, 具有良好的挠性, 可将回转运动灵活传到不开敞的空间位置, 如图 1-8 所示。

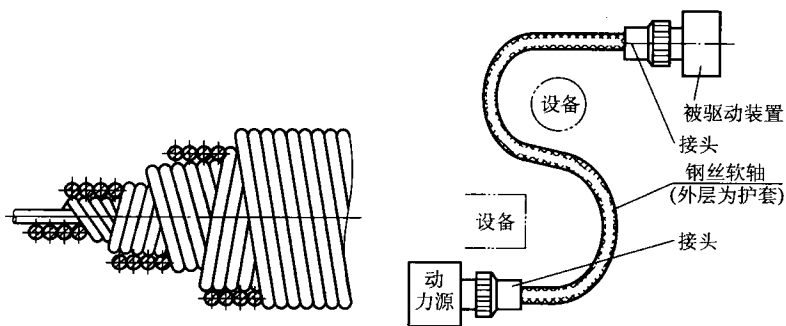


图 1-8 钢丝软轴

## 2. 轴的材料及选择原则

轴常用的材料见表 1-1，主要是碳素钢和合金钢。选择依据是轴的工作条件、轴的强度、刚度及耐磨性要求。轴的材料应具有较高的抗疲劳强度、较低的应力集中敏感性、良好的加工性能和经济性等特点。各种材料及性能如下：

表 1-1 轴的常用材料及性能

(单位: MPa)

| 材料<br>牌号         | 热处理      | 毛坯<br>直径<br>/mm                                                        | 硬度<br>HBW                           | 抗拉<br>强度<br>$\sigma_b \geq$ | 屈服<br>强度<br>$\sigma_s \geq$ | 弯曲<br>疲劳<br>极限<br>$\sigma_{-1} \geq$ | 扭转<br>疲劳<br>极限<br>$\tau_{-1} \geq$ | 许用弯曲应力          |              |                 | 备 注                |
|------------------|----------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------------|
|                  |          |                                                                        |                                     |                             |                             |                                      |                                    | $[\sigma_{+1}]$ | $[\sigma_0]$ | $[\sigma_{-1}]$ |                    |
| Q235<br>Q235F    | —        | —                                                                      | —                                   | 440                         | 240                         | 180                                  | 105                                | 125             | 70           | 40              | 用于不重要或载荷不大的轴       |
| 35               | 正火       | 25                                                                     | $\leq 87$                           | 540                         | 320                         | 230                                  | 130                                | 165             | 75           | 45              | 用于有一定强度要求和加工塑性要求的轴 |
|                  | 正火<br>回火 | $\leq 100$                                                             | 149 ~ 187                           | 520                         | 270                         | 210                                  | 120                                | 165             | 75           | 45              |                    |
|                  |          | $> 100 \sim 300$                                                       |                                     | 500                         | 260                         | 205                                  | 115                                |                 |              |                 |                    |
|                  |          | $> 300 \sim 500$                                                       |                                     | 480                         | 240                         | 190                                  | 110                                |                 |              |                 |                    |
| $> 500 \sim 750$ |          | 460                                                                    |                                     | 230                         | 185                         | 105                                  |                                    |                 |              |                 |                    |
|                  | 回火       | $> 750 \sim 1000$                                                      | 137 ~ 187                           | 440                         | 220                         | 175                                  | 100                                |                 |              |                 |                    |
|                  | 调质       | $\leq 100$<br>$> 100 \sim 300$                                         | 156 ~ 207                           | 560<br>540                  | 300<br>280                  | 230<br>220                           | 130<br>125                         | 175             | 85           | 50              |                    |
| 45               | 正火       | 25                                                                     | $\leq 241$                          | 610                         | 360                         | 260                                  | 150                                | 195             | 95           | 55              | 应用最广泛              |
|                  | 正火<br>回火 | $\leq 100$                                                             | 170 ~ 217<br>162 ~ 217<br>156 ~ 217 | 600                         | 300                         | 240                                  | 140                                | 195             | 95           | 55              |                    |
|                  |          | $> 100 \sim 300$                                                       |                                     | 580                         | 290                         | 235                                  | 135                                |                 |              |                 |                    |
|                  |          | $> 300 \sim 500$                                                       |                                     | 560                         | 280                         | 225                                  | 130                                |                 |              |                 |                    |
| $> 500 \sim 750$ |          | 540                                                                    |                                     | 270                         | 215                         | 125                                  |                                    |                 |              |                 |                    |
|                  | 调质       | $\leq 200$                                                             | 217 ~ 255                           | 650                         | 360                         | 270                                  | 155                                | 215             | 100          | 60              |                    |
| 40Cr             | 调质       | 25                                                                     |                                     | 1000                        | 800                         | 485                                  | 280                                | 245             | 120          | 70              | 用于载荷较大，而无很大冲击的重要轴  |
|                  |          | $\leq 100$<br>$> 100 \sim 300$<br>$> 300 \sim 500$<br>$> 500 \sim 800$ | 241 ~ 286<br>229 ~ 269<br>217 ~ 255 | 750                         | 550                         | 350                                  | 200                                | 245             | 120          | 70              |                    |
|                  |          |                                                                        |                                     | 700                         | 500                         | 320                                  | 185                                |                 |              |                 |                    |
|                  |          |                                                                        |                                     | 650                         | 450                         | 295                                  | 170                                |                 |              |                 |                    |
| 600              | 350      |                                                                        |                                     | 255                         | 145                         |                                      |                                    |                 |              |                 |                    |
| 40MnB            | 调质       | 25                                                                     |                                     | 1000                        | 800                         | 485                                  | 280                                | 245             | 120          | 70              | 性能同 40Cr，用于重要的轴    |
|                  |          | $\leq 200$                                                             | 241 ~ 286                           | 750                         | 500                         | 335                                  | 195                                | 245             | 120          | 70              |                    |

(续)

| 材料<br>牌号 | 热处理            | 毛坯<br>直径<br>/mm | 硬度<br>HBW        | 抗拉<br>强度<br>$\sigma_b \geq$ | 屈服<br>强度<br>$\sigma_s \geq$ | 弯曲<br>疲劳<br>极限<br>$\sigma_{-1} \geq$ | 扭转<br>疲劳<br>极限<br>$\tau_{-1} \geq$ | 许用弯曲应力          |              |                 | 备 注                     |
|----------|----------------|-----------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|-------------------------|
|          |                |                 |                  |                             |                             |                                      |                                    | $[\sigma_{+1}]$ | $[\sigma_0]$ | $[\sigma_{-1}]$ |                         |
| 40CrNi   | 调质             | 25              |                  | 1000                        | 800                         | 485                                  | 280                                | 285             | 130          | 75              | 用于很重要的轴                 |
| 35CrMo   | 调质             | 25              |                  | 1000                        | 850                         | 500                                  | 285                                | 245             | 120          | 70              | 性能接近<br>40CrNi, 用于重载荷的轴 |
|          |                | $\leq 100$      | 207 ~ 269        | 750                         | 550                         | 350                                  | 200                                | 245             | 120          | 70              |                         |
|          |                | > 100 ~ 300     |                  | 700                         | 500                         | 320                                  | 185                                |                 |              |                 |                         |
|          |                | > 300 ~ 500     |                  | 650                         | 450                         | 295                                  | 170                                |                 |              |                 |                         |
|          |                | > 500 ~ 800     |                  | 600                         | 400                         | 270                                  | 155                                |                 |              |                 |                         |
| 20Cr     | 渗碳<br>淬火<br>回火 | 15<br>$\leq 60$ | 表面 56 ~<br>62HRC | 850<br>650                  | 550<br>400                  | 375<br>280                           | 215<br>160                         | 215             | 100          | 60              | 用于要求强度、韧性均较高的轴（如齿轮轴、蜗杆） |
| 20CrMnTi | 渗碳<br>淬火<br>回火 | 15              | 表面 56 ~<br>62HRC | 1100                        | 850                         | 525                                  | 300                                | 365             | 165          | 100             |                         |
| 2Cr13    | 调质             | $\leq 100$      | 197 ~ 248        | 660                         | 450                         | 295                                  | 170                                | 275             | 130          | 75              |                         |
| QT400-15 | —              | —               | 156 ~ 197        | 400                         | 300                         | 145                                  | 125                                | 100             |              |                 | 用于结构、形状复杂的轴             |
| QT450-10 | —              | —               | 170 ~ 207        | 450                         | 330                         | 160                                  | 140                                | 110             |              |                 |                         |

注：1. 剪切屈服极限  $\tau_s \approx (0.55 \sim 0.62) \sigma_s$ ,  $\sigma_0 \approx 1.4 \sigma_{-1}$ ,  $\tau_0 \approx 1.5 \tau_{-1}$ 。  
2. 等效系数  $\psi$ ：碳素钢,  $\psi_\sigma = 0.1 \sim 0.2$ ,  $\psi_\tau = 0.05 \sim 0.1$ ；合金钢,  $\psi_\sigma = 0.2 \sim 0.3$ ,  $\psi_\tau = 0.1 \sim 0.15$ 。

1) 碳素钢比合金钢价廉，对应力集中的敏感性较小，同时也可以热处理或化学处理的办法改善其综合性能，提高其耐磨性和抗疲劳强度，加工工艺性好，所以应用较为广泛。

常用的优质碳素钢有 30、35、40、45，对于不重要或受力较小的轴也可采用 Q235、Q255、Q275 等普通碳素钢。

2) 合金钢具有比碳素钢更好的力学性能和淬火性能，但是对应力集中比较敏感，而且价格较贵，多用于对强度和耐磨性有特殊要求、传递大功率的轴。

常用的合金结构钢有 20Cr、35Cr、20CrMnTi、35SiMn 等。

由于在一般工作温度下,各种钢的弹性模量相差不多,选择合金钢,采取热处理的方法只能提高轴的疲劳强度和耐磨性,并不能提高轴的刚度。所以以合金钢代替碳素钢,提高轴的刚度是不可取的方法。此时可以选择强度较低的钢材,采取适当增大轴的截面面积的办法来提高轴的刚度。

3) 由于球墨铸铁和高强度铸铁具有良好的工艺性、吸振性,对应力集中不敏感,便于铸成结构形状复杂的曲轴、凸轮轴等,所以被广泛应用于形状复杂的轴。

4) 轴的毛坯多用轧制的圆钢或锻钢。锻钢内部组织均匀,强度较好,因此,重要的、大尺寸的轴,常用锻造毛坯。

5) 轴的各种热处理(如高频淬火、渗碳、氮化、氰化等)以及表面强化处理(喷丸、滚压)对提高轴的疲劳强度有显著效果。

### 1.1.2 轴的失效及设计原则

#### 1. 轴的失效形式

轴在使用过程中丧失规定功能的现象称为失效。轴的工作能力主要取决于它的强度和刚度。轴的主要失效形式受以下因素影响:轴所受应力的性质和大小,轴材料的力学性能,轴的结构形状及加工方法和轴的工作环境等。

(1) 疲劳强度不足引起的疲劳断裂 常在轴中发生的疲劳断裂是在交变应力反复作用下发生的,疲劳的最终断裂是瞬时的,因此危害性较大。轴的材料类别、组织、载荷类型、零件的尺寸、形状及表面状态等对轴的疲劳强度都有直接的影响。这种失效形式约占轴失效的 50%。其破坏特点:

1) 破坏时的应力值低于轴材料的抗拉强度极限  $\sigma_b$ , 甚至低于材料的屈服极限  $\sigma_s$ 。

2) 一般表现为突然的脆断,而无明显的塑性变形。

3) 断口表面如图 1-9 所示,分为光滑区和晶面粗糙区。光滑区有疲劳源和以疲劳源为中心向外扩展的疲劳弧形线,这表明疲劳破坏向外扩展趋势;晶面粗糙区表示裂纹加速扩展,最终脆性断裂的特征。

(2) 静强度不足而产生塑性变形或脆性断裂 静强度不足容易引起轴的延性断裂或脆性断裂。

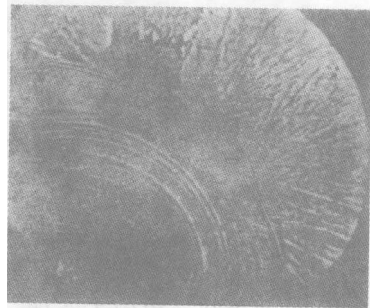


图 1-9 轴的疲劳断裂

1) 延性断裂。延性断裂是指零件在受到外载荷作用时,某一截面上的应力超过了材料的屈服强度,产生很大的塑性变

形后发生的断裂。

2) 脆性断裂。脆性断裂发生时,承受的工作应力通常远低于材料的屈服强度,所以又称为低应力脆断。脆性断裂经常发生在结构中的棱角、台阶、沟槽及拐角等结构突变处,特别是在低温或冲击载荷作用的情况下。脆性断裂发生前并没有明显的征兆,因此,往往会带来灾难性的后果。

例如,如果轴用合金钢制造,当轴工作过程中受到冲击、振动、瞬时过载、最大工作应力超过材料的屈服极限时,轴将发生塑性变形;若轴用球墨铸铁制造,则最大工作应力超过材料的强度极限时,轴将发生脆性断裂。

(3) 刚度不足而产生过大的弯曲变形和扭转变形 刚度是指在一定的工作条件下,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,齿轮轴变形过久将影响轮齿的正确啮合,机床主轴变形过大将影响工件的加工精度等。提高轴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。

(4) 高转速下工作的轴,振动振幅过大,稳定性差 在高速运转的机械中,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。

(5) 磨损降低精度和效率 零件磨损后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。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。

## 2. 轴的失效原因

(1) 轴的设计不合理 轴的结构形状、尺寸设计不合理最容易引起失效。如键槽、截面变化较剧烈的尖角处或尖锐缺口处容易产生应力集中,出现裂纹。另外,对零件在工作中的受力情况判断有误,设计时安全系数过小或对环境的变化情况估计不足造成零件实际承载能力降低等均属设计不合理。又如,坚持以强度条件为主,辅之以韧性要求的传统设计方法,不能有效地解决脆性断裂,尤其是低应力脆断的失效问题。

(2) 选材不合理 选材不合理即选用的材料性能不能满足工作条件要求,或者所选材料名义性能指标不能反映材料对实际失效形式的抗力。另外,所用材料的化学成分、组织不合理,质量差也会造成轴的失效。

(3) 工艺不合理 轴在加工和成形过程中,因采用的工艺方法、工艺参数不合理,操作不正确等会造成失效。如热成形过程中温度过高所产生的过热、

过烧、氧化、脱碳；热处理过程中工艺参数不合理造成的变形和裂纹、组织缺陷及由于淬火应力不均匀导致零件的棱角、台阶等处产生拉应力；化学热处理后渗层和淬硬层过深，使零件的脆断抗力降低；铸件中的气孔、夹渣及成分偏析；机械加工中表面粗糙度值过大，存在较深的刀痕或磨削裂纹等均是导致零件早期失效的原因。

可见，即使选材正确，但热处理工艺不当，使零件在工作过程中组织发生变化，引起零件的形状、尺寸发生改变，也会导致塑性变形失效。

(4) 安装及使用不正确 机器在安装过程中，配合过紧、过松、对中不准、固定不牢或重心不稳、密封性差以及装配拧紧时用力过大或过小等，均易导致零件过早失效。在超速、过载、润滑条件不良的情况下工作，工作环境中有腐蚀性物质及维修、保养不及时或不善等均会造成轴过早失效。

### 3. 轴的设计原则

为了保证轴在规定寿命下正常地工作，必须针对上述失效形式进行正确设计。一般应遵循的设计原则是：

1) 选材合理。根据轴的工作条件、生产批量和经济性原则，选取适合的材料、毛坯形式及热处理方法。

2) 轴的受力合理，有利于提高轴的强度和刚度。

3) 满足工艺要求。轴的加工、热处理、装拆、检验、维修等应有良好的工艺性；轴应便于加工。

4) 定位要求。轴上零件应定位准确，固定可靠。

5) 疲劳强度要求。尽可能减小应力集中，有利于提高轴的疲劳强度。对受力大的细长轴（如蜗杆轴）和对刚度要求高的轴（如车床轴），还要进行刚度计算。对在高速下工作的轴，因有共振危险，应进行振动稳定性计算。

6) 轴的材料选择应注意节省材料，减轻重量。

7) 尺寸要求。轴的各部分直径和长度的尺寸要合理。

## 1.1.3 轴的结构设计

### 1. 轴的结构形式

(1) 轴结构的组成 轴的结构组成如图 1-10a 所示，轴主要由轴颈、轴头、轴身、轴肩组成。

1) 轴颈。轴上被支撑部分，即安装轴承的部分。

2) 轴头。安装轮毂的部分。

3) 轴身。连接轴颈和轴头的部分。

4) 轴肩（或轴环）。为了轴向固定零件所加工的阶梯。

(2) 轴结构设计注意事项 由于轴没有固定的标准结构，所以进行轴的结

构设计时, 要注意以下几个具体问题:

1) 轴上的零件均应有正确的工作位置, 设计时应保证轴和轴上的零件有准确可靠的轴向和周向定位, 如图 1-10b 所示。

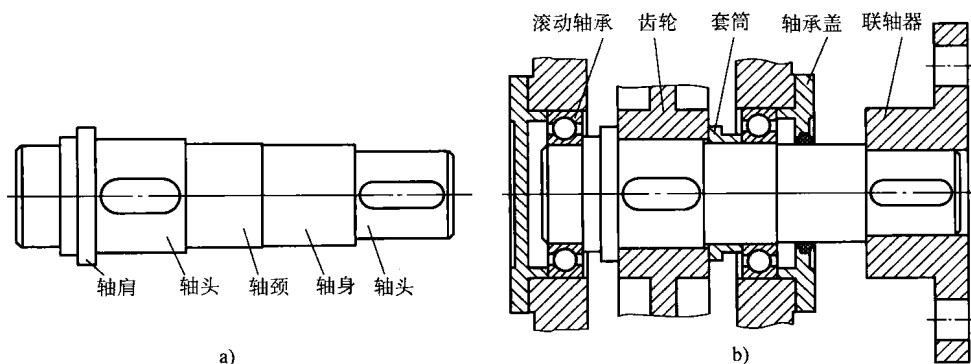


图 1-10 轴的结构组成

① 轴向定位方式 (轴向尺寸确定)。轴上零件的轴向定位方法很多, 其特点各异, 常用的结构有: 轴肩 (轴环)、轴套、锁紧挡圈、圆螺母、轴端挡圈、轴端挡板、圆锥轴头等, 如图 1-11 所示, 这些固定方法各有优缺点。

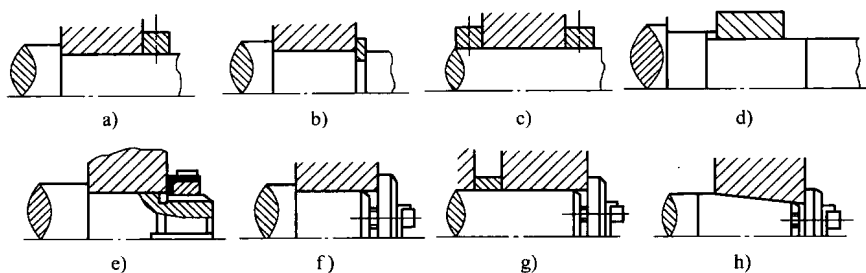


图 1-11 轴向定位

- a) 轴肩-锁紧挡圈 b) 轴肩-弹性挡圈 c) 双锁紧挡圈  
d) 轴肩-轴套 e) 轴肩-圆螺母 f) 轴肩-轴端挡圈  
g) 轴套-轴端挡圈 h) 圆锥轴头-轴端挡圈

a. 轴肩和轴环 (轴中间高两边低, 轴向尺寸小的叫轴环)。轴肩固定可靠、结构简单, 可以承受较大的轴向力; 轴环固定可靠, 但使轴的毛坯尺寸加大, 如图 1-12 所示:  $h = r(C) + (0.5 \sim 2)$  mm;  $r < C$ ; 与标准件配合的轴段  $d$ 、 $h$ 、 $r$  可参考标准件确定 (查阅相应手册)。

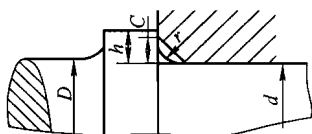


图 1-12 轴肩与轴环定位

非定位轴肩是为了加工和装配方便而设置, 一般取为  $1 \sim 2$  mm。

b. 轴套。轴套是借助于位置已经确定的零件来定位的，它的两个端面为定位面，因此应有较高的平行度和垂直度，使用轴套可简化轴的结构、减小轴的应力集中。轴套设计应注意如下几点：

a) 轴套的径向尺寸参照定位轴肩确定。

b) 为使轴上零件定位可靠，应使轴段长度比零件毂短  $2 \sim 3\text{mm}$ 。

c) 由于轴套与轴配合较松，两者难以同心，故不宜用在高速轴上，以免产生不平衡力，并且轴套不宜过长。

c. 圆螺母。圆螺母能传递较大轴向力，常用于轴端的定位，同时要有防松措施。

d. 轴端挡圈。轴端挡圈一般与轴肩结合，可使轴端零件获得轴向定位与双向固定，挡圈用螺钉紧固在轴端，并压紧被固定零件的端面，如图 1-11g 所示。此种方法简单可靠、装拆方便、能承受振动和冲击载荷，为使挡圈在轴端更好地压紧被固定零件的端面，同前面采用轴套、螺母定位一样，应使轴的配合部分比轴上零件配合部分短  $2 \sim 3\text{mm}$ 。

e. 轴承端盖。轴承端盖对轴承外圈轴向定位，从而使轴有确定的轴向工作位置。

f. 弹性挡圈。弹性挡圈结构简单紧凑，但在沟槽处会产生应力集中，削弱了轴的强度；只能承受很小的轴向力，常用于滚动轴承的定位。

g. 锁紧挡圈、紧定螺钉或销。其结构简单，但承载能力低，可同时兼作周向定位（仪器、仪表中较常用）。

h. 圆锥面、挡圈和螺母。圆锥形轴端能使轴上零件与轴保持较高的同心度，且连接可靠，装拆较方便，可兼作周向固定，能承受冲击载荷，适于轴端零件定位。

② 周向定位。为了可靠地传递运动和动力，轴上零件的周向固定就用轴毂连接。连接的形式很多，常用的有普通平键、花键、弹性环、销、过盈配合等，如图 1-13 所示。

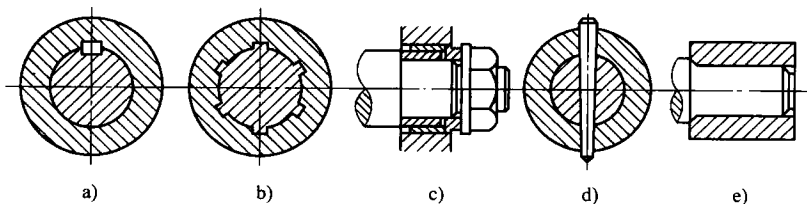


图 1-13 轴上零件的周向固定方法

a) 键连接 b) 花键连接 c) 弹性环连接  
d) 销连接 e) 过盈配合

- a. 普通平键。普通平键结构简单、拆装方便、对中性好、应用广泛。
- b. 花键。花键承载大、定位精度高，适于动连接。
- c. 紧定螺钉、销。紧定螺钉、销能同时实现轴向定位，适用于传力不大的地方。
- d. 过盈配合。

2) 各轴段的直径和长度的确定。轴肩、轴头和轴颈的直径应该将计算尺寸值圆整，特别是装滚动轴承、联轴器、油封等标准件配合的轴径必须符合标准件内径系列选取，如图 1-14 所示。

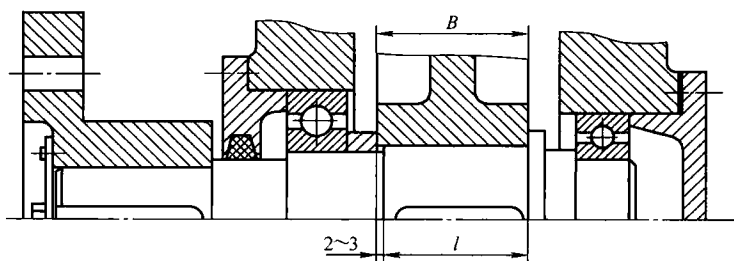


图 1-14 轴的结构图

① 各轴段直径。轴的各段配合直径  $d$  应符合标准尺寸 (GB/T 2822—2005)，而与滚动轴承、联轴器、油封等标准件配合的轴径应符合标准件的内径系列。

- a. 按转矩估算所需的轴段直径  $d_{\min}$ 。
- b. 按轴上零件安装、定位要求确定各段轴径。

注意：同一轴径轴段上不能安装三个以上的零件。

② 各轴段长度。

- a. 与各轴段上相配合零件宽度相对应，一般轴向长度小于轮毂长度 2 ~ 3mm。
- b. 考虑转动零件与静止零件之间必须有一定的间隙。

3) 轴的结构工艺性。在进行轴的结构设计时，还要考虑使轴的形状和尺寸尽量便于加工和装配，在满足使用要求的前提下，轴的结构应尽可能简单。

① 轴肩圆角  $r$ 。轴上过渡圆角半径应尽可能相同，避免应力集中，设计时查标准 (手册)。

② 轴端倒角，去毛刺，便于装配，设计时查标准 (手册)。

③ 砂轮越程槽。如图 1-15 所示，对于需要磨削的轴段应该留有砂轮越程槽，设计时查标准 (手

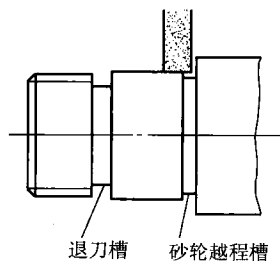


图 1-15 退刀槽和  
砂轮越程槽