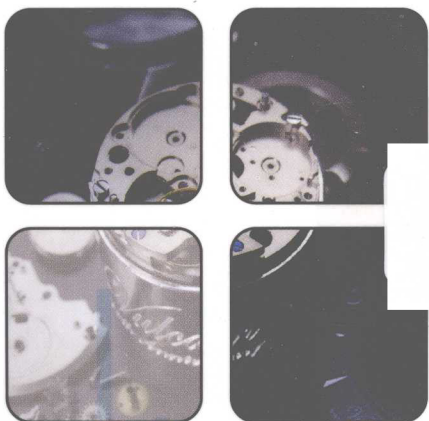




全国高等院校测控技术与仪器专业**创新型**人才培养规划教材

# 精密机械设计

赠送电子课件



主 编 田 明 冯进良  
主 审 白素平  
李校夫



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国高等院校测控技术与仪器专业创新型人才培养规划教材

# 精密机械设计

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 田 明 | 冯进良 | 白素平 |
| 副主编 | 付 芸 | 罗 宽 | 闫钰峰 |
| 参 编 | 林 跃 | 张 晖 | 马国金 |
|     | 刘旭波 | 颜昌祥 |     |
| 主 审 | 李校夫 |     |     |



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书主要围绕仪器设备中的精密机械运动系统的组成、功能、原理、特点、结构、精度和设计计算方法展开叙述,重点是研究精密机械的基本理论、设计方法和设计手段,在传统相关教材基础上,增加了精密仪器中的锁紧及微动装置、凸轮调焦机构、可变光阑及快门等新的知识点,以适应现代精密仪器发展的需要。

本书共 12 章,分为五篇,内容为传动、运动支承、连接、仪器常用组合件和弹性元件。全书重点内容突出,主线鲜明,结构严谨。对于未编入的有关内容,可结合课程设计和毕业设计,引导学生通过查阅参考书、设计手册拓宽知识面,以培养和提高学生运用文献资料解决工程实际问题的独立工作能力。

本书可作为测控技术与仪器专业、光电专业的本科生教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

精密机械设计/田明,冯进良,白素平主编. —北京:北京大学出版社,2010.3

(全国高等院校测控技术与仪器专业创新型人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-16947-6

I. 精… II. ①田…②冯…③白… III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 025128 号

书 名:精密机械设计

著作责任者:田 明 冯进良 白素平 主编

责任编辑:童君鑫

标准书号:ISBN 978-7-301-16947-6/TH·0189

出版者:北京大学出版社

地 址:北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址:<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱:[pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印刷者:三河市北燕印装有限公司

发 行 者:北京大学出版社

经 销 者:新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.25 印张 彩插 2 524 千字

2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

定 价:38.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024

电子邮箱:[fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

精密机械设计是仪器科学与技术及光电相关专业重要的一门专业基础课程,随着仪器科学与技术的不断发展,精密机械广泛应用于国民经济和国防工业等诸多领域,如各种科学仪器、自动化仪器仪表、精密加工机床、医疗仪器、宇航技术中动力传递和精密传动等。为了反映现代仪器设备的技术发展特点,适应仪器科学与技术及相关专业的教学要求,编者编写了本书。

本书在编写过程中,考虑到相关专业前续课程,根据编者多年的教学经验,主要围绕仪器设备中的精密机械运动系统的组成、功能、原理、特点、结构、精度和设计计算方法展开叙述,在传统相关教材基础上,增加了精密仪器中的锁紧及微动装置、凸轮调焦机构、可变光阑及快门等新的知识点,以适应现代精密仪器发展的需要。

本书共 12 章,分为五篇,内容为传动、运动支承、连接、仪器常用组合件和弹性元件。全书重点内容突出,主线鲜明,结构严谨。对于未编入的有关内容,可结合课程设计和毕业设计,引导学生通过查阅参考书、设计手册拓宽知识面,以培养和提高学生运用文献资料解决工程实际问题的独立工作能力。

参加本书编写的有长春理工大学田明(绪论、第 2 章)、冯进良(第 4、10 章)、白素平(第 5 章)、付芸(第 1 章)、罗宽(第 8 章)、闫钰峰(第 9 章)、张晖(第 11 章)、吉林大学林跃(第 12 章),吉林铁道职业技术学院马国金(第 7 章),南昌大学刘旭波(第 3 章),长春光学精密机械研究所颜昌祥(第 6 章)。

本书编写过程中参阅了裘祖荣主编的《精密机械设计基础》,赵跃进、何献忠编著的《精密机械设计基础》,庞振基、黄其圣主编的《精密机械设计》等有关书籍、学术论文及网络资料,在此,向其著作者表示衷心的感谢!

长春理工大学李校夫担任本书主审,提出了许多宝贵建议,在此,编者表示衷心的感谢!

本书编写过程中,得到长春理工大学车英、徐熙平和教材科耿丽华等的大力支持;王爽、张桂圆、董时、王洁、逯晓丹、胡洋、齐田田、吕金玲、李柏萱和杨莹也为本书做了大量的辅助工作,在此,编者一并表示衷心的感谢!

由于撰写水平和时间有限,书中难免有不妥之处,衷心希望同行和读者批评指正。

编 者  
2010 年 1 月



# 目 录

|                                |    |                                   |    |
|--------------------------------|----|-----------------------------------|----|
| 绪论 .....                       | 1  | 1.5.3 同步带轮 .....                  | 30 |
| 0.1 课程内容和主要特点 .....            | 1  | 1.5.4 同步带传动的设计与<br>计算 .....       | 31 |
| 0.1.1 课程内容 .....               | 1  | 1.6 其他带传动简介 .....                 | 39 |
| 0.1.2 课程主要特点 .....             | 1  | 1.6.1 齿孔带传动 .....                 | 39 |
| 0.2 课程基本任务 .....               | 2  | 1.6.2 拖动式带传动 .....                | 40 |
| 第一篇 传动 .....                   | 3  | 习题 .....                          | 41 |
| 第 1 章 摩擦轮传动与带传动 .....          | 4  | 第 2 章 齿轮传动 .....                  | 43 |
| 1.1 摩擦轮传动 .....                | 5  | 2.1 概述 .....                      | 44 |
| 1.2 摩擦轮传动设计 .....              | 6  | 2.1.1 齿轮传动的优缺点 .....              | 45 |
| 1.2.1 摩擦轮传动的工作原理和<br>传动比 ..... | 6  | 2.1.2 齿轮传动的分类 .....               | 45 |
| 1.2.2 摩擦轮传动的类型 .....           | 8  | 2.1.3 齿轮传动的基本要求 .....             | 46 |
| 1.2.3 摩擦轮材料 .....              | 9  | 2.2 渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数和<br>几何尺寸 ..... | 47 |
| 1.2.4 摩擦轮传动设计 .....            | 10 | 2.2.1 齿轮各部分名称和基本<br>参数 .....      | 47 |
| 1.3 摩擦无级变速器 .....              | 12 | 2.2.2 标准直齿圆柱齿轮的<br>几何尺寸 .....     | 49 |
| 1.4 带传动 .....                  | 13 | 2.2.3 齿轮齿条传动 .....                | 50 |
| 1.4.1 带传动的工作原理和<br>传动比 .....   | 13 | 2.3 渐开线直齿圆柱齿轮传动 .....             | 50 |
| 1.4.2 带传动的特点 .....             | 14 | 2.3.1 啮合过程 .....                  | 50 |
| 1.4.3 带的张紧 .....               | 17 | 2.3.2 正确啮合条件 .....                | 51 |
| 1.4.4 V 带和 V 带轮的结构 .....       | 18 | 2.4 斜齿圆柱齿轮传动 .....                | 52 |
| 1.4.5 带传动的几何尺寸 .....           | 21 | 2.4.1 斜齿圆柱齿轮齿廓曲面<br>形成及主要特点 ..... | 52 |
| 1.4.6 带传动的受力分析 .....           | 22 | 2.4.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数及<br>啮合条件 .....  | 52 |
| 1.4.7 弹性滑动和打滑 .....            | 23 | 2.4.3 斜齿圆柱齿轮几何尺寸的<br>计算 .....     | 53 |
| 1.4.8 带传动的应力分析 .....           | 24 | 2.5 齿轮传动的失效形式及材料 .....            | 55 |
| 1.4.9 普通 V 带传动的设计与<br>计算 ..... | 25 | 2.5.1 齿轮传动的失效形式 .....             | 55 |
| 1.5 同步带传动 .....                | 28 | 2.5.2 齿轮材料 .....                  | 57 |
| 1.5.1 同步带传动的特点和<br>应用 .....    | 28 | 2.5.3 齿轮材料的选择原则 .....             | 59 |
| 1.5.2 同步带 .....                | 29 | 2.6 圆柱齿轮传动的强度计算 .....             | 62 |

|                                 |     |                              |     |
|---------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 2.6.1 圆柱齿轮传递的载荷<br>计算 .....     | 62  | 3.2 滑动螺旋传动 .....             | 117 |
| 2.6.2 计算载荷 .....                | 64  | 3.2.1 滑动螺旋传动的特点 .....        | 117 |
| 2.6.3 齿面接触疲劳强度计算 ..             | 66  | 3.2.2 滑动螺旋传动的应用<br>形式 .....  | 117 |
| 2.6.4 齿根弯曲疲劳强度计算 ..             | 69  | 3.2.3 滑动螺旋传动的计算 .....        | 119 |
| 2.7 直齿锥齿轮传动 .....               | 73  | 3.2.4 滑动螺旋传动的设计<br>原则 .....  | 126 |
| 2.7.1 锥齿轮传动的特点及正确<br>啮合条件 ..... | 73  | 3.2.5 消除螺旋传动空回的<br>方法 .....  | 135 |
| 2.7.2 几何尺寸计算 .....              | 75  | 3.3 滚珠螺旋传动 .....             | 136 |
| 2.7.3 受力分析 .....                | 77  | 3.4 静压螺旋传动简介 .....           | 141 |
| 2.8 蜗杆传动 .....                  | 78  | 习题 .....                     | 142 |
| 2.8.1 概述 .....                  | 78  | <b>第4章 轴和常见精密轴系</b> .....    | 145 |
| 2.8.2 圆柱蜗杆传动的基本<br>参数 .....     | 81  | 4.1 概述 .....                 | 146 |
| 2.8.3 圆柱蜗杆传动的几何<br>尺寸 .....     | 84  | 4.2 轴 .....                  | 147 |
| 2.8.4 蜗杆传动的失效形式和<br>材料选择 .....  | 84  | 4.2.1 轴的材料及选择 .....          | 147 |
| 2.8.5 蜗杆传动的受力分析 .....           | 85  | 4.2.2 轴的结构设计 .....           | 148 |
| 2.9 谐波齿轮传动 .....                | 87  | 4.2.3 轴的强度计算 .....           | 152 |
| 2.9.1 概述 .....                  | 87  | 4.2.4 轴的刚度计算 .....           | 156 |
| 2.9.2 谐波齿轮传动主要参数及其<br>材料 .....  | 89  | 4.3 常见精密轴系 .....             | 157 |
| 2.9.3 强度验算 .....                | 91  | 习题 .....                     | 167 |
| 2.9.4 谐波齿轮传动设计过程 ..             | 92  | <b>第二篇 运动支承</b> .....        | 168 |
| 2.10 轮系 .....                   | 93  | <b>第5章 支承</b> .....          | 169 |
| 2.10.1 概述 .....                 | 93  | 5.1 概述 .....                 | 170 |
| 2.10.2 轮系传动比的计算 .....           | 96  | 5.2 滑动摩擦支承 .....             | 171 |
| 2.11 齿轮传动的空回 .....              | 99  | 5.2.1 圆柱面支承 .....            | 171 |
| 2.11.1 齿轮空回、空回产生原因及<br>计算 ..... | 99  | 5.2.2 其他类型滑动摩擦支承 ..          | 175 |
| 2.11.2 消除和减小齿轮传动空回<br>方法 .....  | 100 | 5.3 滚动摩擦支承 .....             | 177 |
| 2.12 齿轮传动链的设计 .....             | 102 | 5.3.1 标准滚动支承 .....           | 177 |
| 2.12.1 齿轮传动链的设计<br>步骤 .....     | 102 | 5.3.2 其他类型的滚动摩擦<br>支承 .....  | 204 |
| 2.12.2 齿轮传动链的设计<br>内容 .....     | 102 | 5.4 弹性摩擦支承 .....             | 207 |
| 习题 .....                        | 110 | 5.5 流体摩擦支承及其他类型的<br>支承 ..... | 208 |
| <b>第3章 螺旋传动</b> .....           | 115 | 习题 .....                     | 212 |
| 3.1 概述 .....                    | 116 | <b>第6章 运动导轨</b> .....        | 214 |
|                                 |     | 6.1 概述 .....                 | 215 |

|                             |     |                                  |     |
|-----------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 6.1.1 导轨的分类 .....           | 215 | 8.2 圆形光学零件的固紧 .....              | 265 |
| 6.1.2 导轨的基本要求 .....         | 216 | 8.3 非圆形光学零件的固紧 .....             | 269 |
| 6.2 滑动摩擦导轨 .....            | 216 | 习题 .....                         | 270 |
| 6.2.1 滑动导轨的类型及结构特点 .....    | 216 | <b>第四篇 仪器常用组合件</b> .....         | 272 |
| 6.2.2 滑动导轨间隙的调整 .....       | 221 | <b>第9章 仪器常用装置</b> .....          | 273 |
| 6.2.3 导轨精度及影响导轨精度的因素 .....  | 222 | 9.1 概述 .....                     | 274 |
| 6.2.4 驱动力和作用点对导轨工作的影响 ..... | 224 | 9.2 微动装置 .....                   | 275 |
| 6.2.5 提高导轨耐磨性的措施 .....      | 225 | 9.2.1 设计时应满足的基本要求 .....          | 275 |
| 6.2.6 导轨主要尺寸的确定 .....       | 226 | 9.2.2 常用微动装置 .....               | 275 |
| 6.3 滚动摩擦导轨 .....            | 227 | 9.3 锁紧装置 .....                   | 278 |
| 6.4 其他类型的导轨简介 .....         | 236 | 习题 .....                         | 281 |
| 6.4.1 弹性摩擦导轨 .....          | 236 | <b>第10章 可变光阑</b> .....           | 283 |
| 6.4.2 静压导轨 .....            | 237 | 10.1 光阑的作用和设计要求 .....            | 284 |
| 习题 .....                    | 240 | 10.2 虹彩光阑 .....                  | 288 |
| <b>第三篇 连接</b> .....         | 242 | 10.2.1 计算法 .....                 | 289 |
| <b>第7章 机械零件的连接</b> .....    | 243 | 10.2.2 图解法 .....                 | 295 |
| 7.1 连接的分类与要求 .....          | 244 | 习题 .....                         | 297 |
| 7.1.1 连接的分类 .....           | 244 | <b>第11章 快门机构</b> .....           | 298 |
| 7.1.2 连接的要求 .....           | 245 | 11.1 快门的主要特性、类型及对快门机构的基本要求 ..... | 299 |
| 7.2 可拆连接 .....              | 245 | 11.2 中心式快门 .....                 | 305 |
| 7.2.1 螺钉和螺纹连接 .....         | 245 | 11.3 百叶窗式快门 .....                | 309 |
| 7.2.2 销钉连接 .....            | 250 | 习题 .....                         | 313 |
| 7.2.3 键连接 .....             | 251 | <b>第五篇 弹性元件</b> .....            | 314 |
| 7.3 不可拆连接 .....             | 255 | <b>第12章 弹性元件</b> .....           | 315 |
| 7.3.1 焊接 .....              | 255 | 12.1 概述 .....                    | 316 |
| 7.3.2 铆接 .....              | 256 | 12.1.1 基本概念和功用 .....             | 316 |
| 7.3.3 压合 .....              | 257 | 12.1.2 常用弹性元件的分类和特点 .....        | 317 |
| 7.3.4 铸合 .....              | 258 | 12.1.3 常用弹性元件材料及其特点 .....        | 318 |
| 7.3.5 胶接 .....              | 259 | 12.1.4 弹性元件的许用应力 .....           | 322 |
| 习题 .....                    | 263 | 12.2 弹性元件的基本特性 .....             | 322 |
| <b>第8章 光学零件的连接</b> .....    | 264 |                                  |     |
| 8.1 连接的特点和应满足的要求 .....      | 265 |                                  |     |

|        |                        |     |        |                    |     |
|--------|------------------------|-----|--------|--------------------|-----|
| 12.2.1 | 弹性元件的基本特性概述 .....      | 322 | 12.4.4 | 游丝的设计 .....        | 336 |
| 12.2.2 | 影响弹性元件特性的因素 .....      | 323 | 12.5   | 片簧 .....           | 337 |
| 12.3   | 螺旋弹簧 .....             | 325 | 12.5.1 | 片簧的类型和功用 .....     | 338 |
| 12.3.1 | 螺旋弹簧的功能和特点 ...         | 325 | 12.5.2 | 直片簧的结构和种类 ...      | 338 |
| 12.3.2 | 螺旋弹簧的制造工艺 ...          | 326 | 12.6   | 热双金属弹簧 .....       | 339 |
| 12.3.3 | 圆柱螺旋弹簧的结构特点和基本几何参数 ... | 326 | 12.6.1 | 热双金属弹簧的结构和应用 ..... | 339 |
| 12.3.4 | 圆柱螺旋弹簧的特性和应力 .....     | 328 | 12.6.2 | 热双金属弹簧的材料和制造 ..... | 340 |
| 12.3.5 | 圆柱螺旋弹簧的设计与计算 .....     | 332 | 12.6.3 | 热双金属弹簧的计算 ...      | 341 |
| 12.4   | 游丝 .....               | 334 | 12.7   | 其他弹性元件简介 .....     | 341 |
| 12.4.1 | 游丝的种类、要求和材料 .....      | 334 | 12.7.1 | 弹簧管 .....          | 341 |
| 12.4.2 | 游丝的结构 .....            | 335 | 12.7.2 | 波纹管 .....          | 344 |
| 12.4.3 | 游丝的特性 .....            | 335 | 12.7.3 | 膜片、膜盒 .....        | 344 |
|        |                        |     | 12.7.4 | 各种异型弹性元件 .....     | 346 |
|        |                        |     | 习题     | .....              | 346 |
|        |                        |     | 参考文献   | .....              | 348 |

# 绪 论

精密机械在生产和科学技术的发展过程中起着重要的作用，它是仪器设计的基础和必不可少的组成部分，被越来越广泛地应用在工业、农业、国防和科学技术现代化建设的各个领域，是实现对各种信息进行采集、传输、转换、处理、存储、显示和控制的基本部分。在当今信息时代，精密机械不仅促进了光电技术、传感技术、微电子技术、通信技术和计算机应用技术的发展，而且也通过和这些技术的结合，加速了精密机械自身的发展，并形成了一些新的研究领域和技术，如微机械系统、微光电系统。

随着光学、电子学、自动控制、计算机等现代科学技术的进步和发展，人类综合应用各方面知识和技术，不断创造出光、机、电、计算机一体化的新型的精密机械及其产品。这些机械产品扩大了精密机械的应用范围，也为精密机械学科的发展开辟了更加广阔的途径。不论新型仪器的性能和功能多么先进和强大，都不可能完全脱离机械系统和结构而独立存在，常规的精密机械设计方法仍是实现现代精密仪器的机械系统的重要手段，不同的只是运用了新的工具和方法来实现常规设计，因此，在现代仪器设计中，精密机械仍占有不可替代的地位。

对于现代精密仪器总体设计人才来说，在掌握好光学、电子和计算机等先进技术的同时，一定要掌握好精密机械的基本原理和方法，才能设计出先进的、多功能的和智能化的光、机、电、计算机一体化的新型仪器和设备，以满足国家的经济建设和国防建设的需要。

## 0.1 课程内容和主要特点

### 0.1.1 课程内容

本课程主要研究精密机械的基本理论、设计方法和设计手段，包括以下几方面的内容。

(1) 精密机械零件常规设计：它是进行主机系统设计的基础，主要分析常用精密机械零件(包括弹簧、摩擦传动、带传动、齿轮传动、螺旋传动、轴、联轴器、连接、轴承和导轨)的设计计算方法。

(2) 精密机械常见组合件：主要论述精密机械常见组合件(包括精密仪器中的锁紧及微动装置、可变光阑及快门)的原理、设计方法，以及其在工程设计中的应用。

### 0.1.2 课程主要特点

本课程是专业教学计划中的主干课程之一，是一门专业基础课。因而它不仅要求学生预先学完机械制图、理论力学、材料力学、工程材料、互换性与测量技术、机械原理等先

修课程,而且要求学生结合本课程的学习,能够综合运用所学的基础理论和技术知识,联系生产实际和机器的具体工作条件,去设计合用的零(部)件及简单的机械,以便为顺利地过渡到专业课程的学习及为进行专业产品与设备的设计打下初步的基础。因此,本课程具有从理论性课程过渡到结合工程实际的设计性课程,从基础课程过渡到专业课程的承前启后的桥梁作用。另外,由于本课程所讨论的内容都是通用机械零(部)件设计和选用方面的基础知识、基础理论和基本方法,所以也是一般机械工程技术人员必备的基础。

由于本课程是建立在前述很多门先修课程的基础之上的,因而必须和那些先修课程内容时时挂钩、紧密联系,才能综合地运用它们来为机械设计服务。本教材研究对象和性质的特点,决定了教材内容本身的繁杂性,主要表现在“关系多、门类多、要求多、公式多、图形多、表格多”等方面。应认真采取适当对策,以有利于找出各零件间的某些共性,明确相应的设计规律。

## 0.2 课程基本任务

本课程是一门培养精密仪器总体设计专业的学生具有常用精密仪器基本设计能力的专业基础课,其主要任务如下。

(1) 初步掌握常用机构的组成原理、机构特性和设计分析计算方法,具有对一般机构进行分析和方案设计的能力。

(2) 掌握常用精密机械零(部)件的工作原理、特点、计算依据和设计方法,能根据工作要求设计常用的精密机械零(部)件。

(3) 了解常用精密机械零(部)件的精度分析方法以及减少或消除误差的方法和手段,能设计出满足精度要求的精密仪器。

(4) 具有运用各种标准、规范和手册等技术资料的能力,能正确地选取零件的材料和技术条件,并使所做的设计符合通用的技术标准和技术要求。

(5) 结合后续的精密机械课程设计,学习和掌握精密机械设计的基本方法,能运用这些方法进行一般精密机械零(部)件的设计。

建议教师在讲授时,以培养学生分析和解决问题的能力为主,把教师讲授和学生自学相结合,着重讲重点、难点、方法、思路和发展,使学生通过本课程的学习,初步具有应用新的技术和方法来解决一般精密机械设计问题的能力。

# 第一篇

## 传 动

# 第 1 章

## 摩擦轮传动与带传动



### 本章教学要点

| 教学要求                                            | 知识要点                         |
|-------------------------------------------------|------------------------------|
| 了解摩擦轮传动的原理、类型；<br>了解摩擦无级变速器的工作原理及特点             | 带传动的工作原理、类型                  |
| 了解带传动的类型、工作原理及应用；<br>熟悉 V 带与 V 带轮的结构            | 带传动的类型、工作原理；<br>V 带与 V 带轮轮槽角 |
| 掌握带传动的受力分析；<br>熟悉弹性滑动和打滑的基本理论                   | 带的受力分析；<br>弹性滑动、打滑           |
| 掌握带传动的失效形式、设计准则；<br>了解 V 带传动的设计与计算方法和参数选择<br>准则 | 带传动的失效形式；<br>V 带传动的设计        |
| 掌握同步带传动的特点和应用，带轮的结构；<br>了解同步带传动的设计与计算           | 同步带传动的特点；<br>同步带传动的设计与计算     |

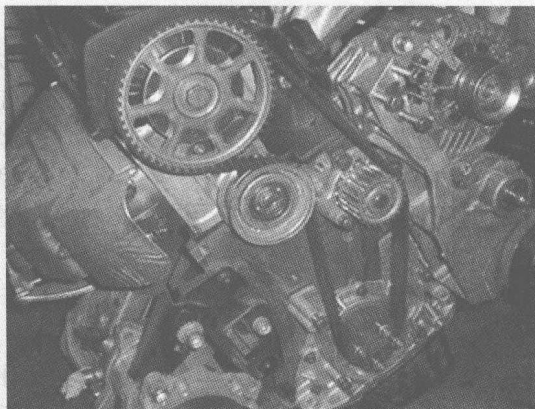




## 导入案例

带传动是机械传动学科的一个重要分支,主要用于传递运动和动力。它是机械传动中重要的传动形式,也是机电设备的核心连接部件,其种类异常繁多,用途极为广泛。随着工业技术水平的不断提高,带传动在一定范围内代替了齿轮传动和链传动。大到几千千瓦的巨型电机,小到不足一个千瓦的微型电机,甚至包括家电、计算机、机器人等精密机械在内都离不开传动带。它的最大特点是可以自由变速,远近传动,结构简单,更换方便。所以,从原始机械到现代自动设备都有传动带的身影,产品历经多次演变,技术日臻成熟。

目前,除已大量用于汽车及传统产业之外,带传动还进一步扩大到 OA 机器(办公设备)、机器人等各种精密机械传动的应用中。由于胶带内侧带有弹性体的齿牙,能实现无滑动的同步传动,而且具有比链条轻、噪声小的特点,现今欧洲 80% 以上的轿车、美国 40% 的轿车都已装用了这种齿型带。我国 2000 年生产汽车 200 万辆,齿型带需要 700 万条以上。最近出现的圆齿带较之方齿带更进一步增大了传动力和肃静性,作为新一代的环保带,其使用范围更趋广泛。现在,其已开始成为对同步传动、噪声要求极为严格的家用和工业用缝纫机、打字机、复印机的使用对象。



## 1.1 摩擦轮传动

摩擦轮传动是利用两轮直接接触所产生的摩擦力来传递运动和动力的一种机械运动。摩擦轮传动有以下主要特点。

### 1. 优点

- (1) 传动零件的结构简单,使用维修方便,适用于两轴中心距较近的传动。
- (2) 传动平稳,工作时噪声很小。
- (3) 过载时,传动件之间产生相对滑动,可防止其他零件因过载而损坏。
- (4) 可以实现传动比的连续改变(无级调速)。

### 2. 缺点

- (1) 轮面间存在相对滑动,因而不能保证严格的传动比。
- (2) 不适合于传递大的转矩。因为在这种情况下,压紧力必须加得很大,这不仅使结构外廓尺寸加大,而且工作面的磨损也十分严重。
- (3) 传动效率低,为 0.85~0.90。

摩擦轮传动一般应用于摩擦压力机、摩擦离合器、制动器、机械无级变速器及仪器的传动机构等场合。摩擦轮传动不能用于传动比要求准确的场合，传递功率不宜过大(一般不超过 20kW)。

## 1.2 摩擦轮传动设计

### 1.2.1 摩擦轮传动的工作原理和传动比

#### 1. 摩擦轮传动工作原理

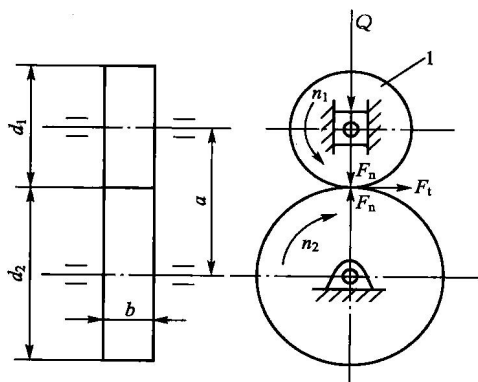


图 1.1 平行轴摩擦轮的传动

图 1.1 所示为最简单的两轴平行的摩擦轮传动，由两个相互压紧的圆柱形摩擦轮组成。在正常传动时，主动轮依靠摩擦力的作用带动从动轮转动，并保证两轮面的接触处有足够大的摩擦力，使主动轮产生的摩擦力矩足以克服从动轮上的阻力矩。如果摩擦力矩小于阻力矩，两轮面接触处在传动中会出现相对滑移现象，这种现象称为“打滑”。

设  $f$  为轮面材料的摩擦系数， $F_n$  为两摩擦轮压紧时在接触面间产生的法向压紧力，则两轮接触面间的摩擦力  $f \cdot F_n$  应大于或等于带动从动轮回转所需的工作圆周力  $F_t$ ，即

$$f \cdot F_n \geq F_t \quad (1-1)$$

为了克服“打滑”，必须适当增大两轮面接触处的摩擦力。增大摩擦力的途径，一是增大正压力，二是增大摩擦因数。

增大正压力可以在摩擦轮上安装弹簧或其他施力装置，但这样会增加作用在轴与轴承上的载荷，导致传动件的尺寸增大，使机构笨重。因此，正压力只能适当增加。

增大摩擦因数的方法，通常是将其其中一个摩擦轮用钢或铸铁材料制造，在另一个摩擦轮的工作表面，粘上一层石棉、皮革、橡胶布、塑料或纤维材料等。轮面较软的摩擦轮宜作主动轮，这样可以避免传动中产生打滑，致使从动轮的轮面遭受局部磨损而影响传动质量。不同配对材料摩擦轮副的平均摩擦因数  $f$  见表 1-1。

表 1-1 不同配对材料摩擦轮副的平均摩擦因数  $f$

| 配对材料  | 平均摩擦因数 $f$ | 配对材料    | 平均摩擦因数 $f$ |
|-------|------------|---------|------------|
| 铸铁与铸铁 | 0.12       | 铸铁与塑料   | 0.15       |
| 铸铁与皮革 | 0.25       | 铸铁与纤维制品 | 0.25       |
| 铸铁与木材 | 0.40       | 铸铁与特殊橡胶 | 0.6        |
| 铸铁与橡胶 | 0.35       | —       | —          |

#### 2. 传动比

如图 1.1 所示，传动时，如果两摩擦轮在接触处没有相对滑移，则两轮在该处的线速

度相等, 即  $v_1 = v_2$ , 其传动比就是主动轮转速与从动轮转速的比值

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (1-2)$$

式中,  $D_1$ ——主动轮直径, mm;

$D_2$ ——从动轮直径, mm。

摩擦轮传动在实际正常工作中, 由于摩擦力的作用, 使得摩擦轮在接触点两侧的弹性变形量不一样大, 即主动轮上的表层金属在通过接触区的过程中由压缩逐渐变为伸长, 而从动轮上对应的表层金属则由伸长逐渐变为压缩, 所以两轮接触面间就产生了相对滑动, 这种由于材料弹性变形而产生的滑动, 称为弹性滑动, 如图 1.2 所示。

由于弹性滑动的影响, 摩擦轮传动的实际传动比为

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1(1-\epsilon)} \quad (1-3)$$

式中,  $\epsilon$ ——摩擦轮传动的弹性滑动率(即速度损失率),  $\epsilon = \frac{v_1 - v_2}{v_1} \times 100\%$ 。

摩擦轮传动的设计主要是根据所需传递的圆周力计算压紧力的。用金属作为摩擦材料时应限制工作面的接触应力; 用非金属时则应限制单位接触线上的压力。

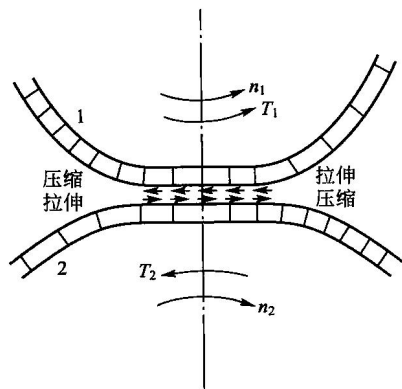


图 1.2 弹性滑动



### 阅读材料1-1

#### 摩擦轮传动设计中的打滑率计算

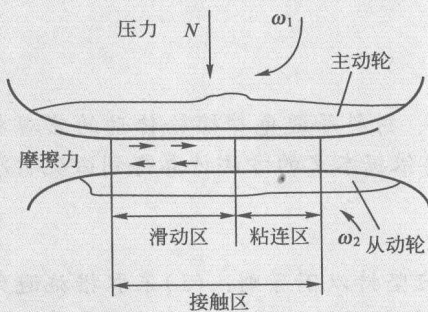


图 1.3 打滑机理

##### 1. 摩擦轮传动的宏观和微观打滑机理

当两圆柱滚轮在法向压力的作用下, 由于弹性变形而形成微小的矩形接触平面。如图 1.3 所示: 在接触平面的左侧主动轮受摩擦力挤压的作用, 从动轮受到摩擦力拉伸的作用, 主动轮和从动轮在接触平面左侧产生切向应变的大小和方向不同而产生应变差, 造成表面切向速度不同, 从而产生微观滑移形成滑移区。在接触平面的右侧, 主动轮和从动轮表面切向速度相同, 形成粘连区。

由定性和定量分析可以得到结论:

(1) 对不同的接触条件粘连区和滑移区的位置不是固定的, 它们将随力矩、材料等多种因素的改变而改变; 但对于两滚轮的稳态滚动过程, 它们的位置是固定的。滑移区和粘连区的大小分配将决定微观滑移的大小。

(2) 宏观打滑是接触区内不存在粘连区的情况, 它是一种过载效应, 即载荷大于摩擦轮正压力与摩擦系数的乘积时便出现了宏观打滑。宏观打滑不大时, 传动虽然能运转但效率低, 并且不可靠。严重打滑时会导致工作表面的局部擦伤或胶合, 故设计中应采

取一定的安全系数予以防止。

(3) 微观打滑是两摩擦轮在接触区受切向力的作用而发生的切向应变不同引起的,它是不可避免的,是滚动摩擦副的普遍现象。对稳态滚动来说,微观打滑系数 $\xi$ 是一常数,并可以根据粘连区中相应公式计算出来。

## 2. 打滑率的计算

### 1) 宏观打滑的避免

对摩擦轮传动精度的基本要求是避免宏观打滑,获得稳定的传动比。根据以上分析可采取以下措施:(1)摩擦轮装置要有较好的防护措施,防止灰尘、铁屑等进入接触区,保持摩擦轮表面尽可能的干净和平滑。(2)选择耐磨性好、弹性模量大的材料作摩擦轮,以保证传动精度的长期稳定性。(3)提高摩擦轮压紧机构的稳定性和支撑系统的刚性。(4)摩擦轮之间的接触压力要满足它与摩擦系数的乘积大于摩擦副的载荷,摩擦轮表面要有较小的粗糙度和表面波度,保证摩擦轮之间无宏观打滑现象。

### 2) 微观打滑率的计算

由弹性力学知识可推出相同材料滚子的打滑率计算公式:

$$\xi = \mu \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1 \times R_2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{4N}{\pi B} \right)^{\frac{1}{2}} \times \left[ \frac{2(1-\nu^2)}{E} \right]^{\frac{1}{2}} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{Q}{\mu N} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

式中, $\xi$ ——打滑率;

$\mu$ ——摩擦系数;

$Q$ ——接触表面合成切向力;

$N$ ——法向压力;

$R_1$ 、 $R_2$ ——主动轮与从动轮的半径;

$B$ ——接触区宽度;

$E$ ——材料的弹性模量;

$\nu$ ——材料的泊松比。

### 3) 摩擦轮传动打滑率的计算

在进行摩擦轮传动精度设计时,首先设计结构、材料等避免摩擦轮传动的宏观打滑,然后根据相应的计算方法计算出几何打滑率,再依据本文的方法计算得到微观打滑率的大小,两者相加可得到传动的打滑率值。

## 3. 摩擦轮传动的精度设计

根据以上对打滑现象的分析和计算,在设计中应坚持以下原则:(1)采取措施避免宏观打滑。(2)对已知机构、材料、压力等参数的摩擦轮传动装置进行打滑率计算,若不满足精度要求,则改变某一参数重新设计直到精度满足要求。(3)根据计算打滑率对打滑率进行补偿修正,以提高传动精度。

资料来源:王建利,李真.摩擦轮传动设计中的打滑率计算.机械设计与研究.1998(4)

## 1.2.2 摩擦轮传动的类型

按两轮轴线相对位置摩擦轮传动可分为两轴平行和两轴相交两类。

### 1. 两轴平行的摩擦轮传动

两轴平行的摩擦轮传动有外接圆柱式摩擦轮传动[图 1.4(a)]和内接圆柱式摩擦轮传动[图 1.4(b)]两种。前者两轴转动方向相反,后者两轴转动方向相同。

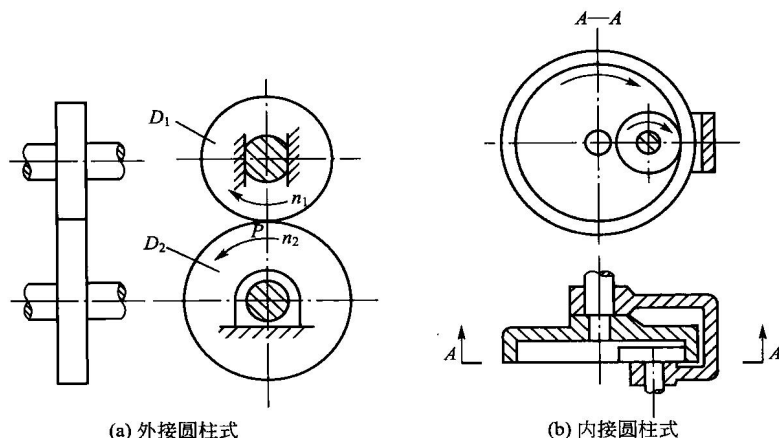


图 1.4 两轴平行的摩擦轮传动

### 2. 两轴相交的摩擦轮传动

两轴相交的摩擦轮传动,其摩擦轮多为圆锥形,并有外接圆锥式[图 1.5(a)]和内接圆锥式[图 1.5(b)]两种。此外,还有圆柱圆盘式结构。圆锥形摩擦轮安装时,应使两轮的锥顶重合,以保证两轮锥面上各接触点处的线速度相等。

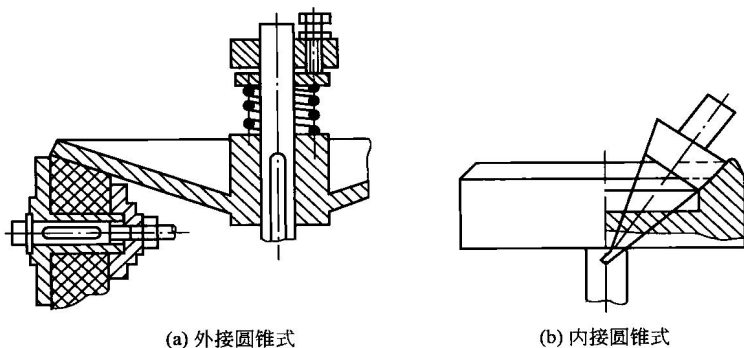


图 1.5 两轴相交的摩擦轮传动

#### 1.2.3 摩擦轮材料

根据摩擦轮传动的工作特点,制造摩擦轮的材料应该满足以下要求。

- (1) 具有较高的耐磨性和表面接触强度。
- (2) 具有较高的摩擦系数。
- (3) 具有较大的弹性模量以减少接触面积,从而减少附加的摩擦损失。
- (4) 在干摩擦条件下,吸湿性要小。

目前尚无满足上述各项要求的材料,因此,在选择时要根据具体情况,保证对传动所