



中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 机械设计基础

【机械维修类专业适用】

● 栾学钢 主编



化学工业出版社  
教材出版中心

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 栾学钢主编. —北京: 化学工业出版社, 2001.11

中等职业教育国家规划教材 全国中等职业教育教材审定委员会审定(机械维修类专业适用)

ISBN 7-5025-3334-6

I. 机… II. 栾… III. 机械设计-专业学校-教材  
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 058333 号

---

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

**机械设计基础**

(机械维修类专业适用)

主 编 栾学钢

责任主审 张 策

审 稿 李秀珍 郭玉申

责任编辑: 高 钰

责任校对: 凌亚男

封面设计: 蒋艳君

\*

化学工业出版社 出版发行  
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 14 3/4 字数 358 千字

2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月北京第 1 次印刷

印数: 1—6000

ISBN 7-5025-3334-6/G · 887

定价: 15.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成[2001] 1 号）的精神，教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年五月

# 前 言

本教材是根据教育部2000年8月颁布的中等职业学校《机械设计基础教学大纲》(机械类80~110学时通用)的规定,同时参照机械维修类职业技能鉴定规范和中级技术工人等级考核标准而编写的,适合中等职业教育各类学校机械维修类专业(3、4年制)使用。

本教材大体上可分为“概述-联接-传动-支承-其他”五个部分。机械概述部分主要介绍机械的组成、机械的运动形式、机械零件的工作能力、机械零件的结构和机械零件的几何精度等机械的共性问题,旨在使学生树立整体的机械概念。因为机械零件的几何精度内容较多,故单独成章;随后各章介绍联接、传动、支承等的工作原理、类型和结构、特点及应用、主要参数和几何尺寸、受力分析与强度校核、公差与配合、使用及维护等内容;最后讨论机械的润滑与密封,调速与平衡等问题。

本教材在编写过程中,根据中等职业教育的培养目标,结合机械维修类专业特点,本着“够用为度、实用为本、应用为主”的原则,削枝强干,在尊重科学性和教学规律性的前提下,特别注意对有关教学内容进行适当综合,其意义不仅是为了提高教学效率,更为重要的是有利于培养中初级专门人才的现场实际工作能力。例如,从机械零件几何精度的角度出发,引入极限与配合的基本知识,并在相关章节中具体应用,促进知识向能力的转化;又如,将螺旋副的受力分析、自锁及效率,分别结合螺纹联接的拧紧与防松、螺旋传动等内容加以介绍,缩短了基本知识与应用能力之间的距离;再如,在齿轮传动中,从轮齿切制的运动关系入手讨论轮齿的切制原理,从轮齿切制的位置关系引入变位及变位齿轮,从轮齿切制的尺寸关系分析标准齿轮和变位齿轮的特点,随后介绍切齿干涉现象与最少齿数,使学生的认识逐步深化;还如,将轴、轴毂联接、联轴器和离合器等内容综合为“轴及其联接”,使相关内容的联系更为密切;特别是加强了安装、调整、使用、维护方面的实践技能培养,并在各章的“思考与实践”中安排一定的实践题目,还引导学生利用互联网获得相关信息。

虽然在编写过程中努力吸取机械维修类专业教学改革及职业技能鉴定方面的有益经验和成功做法,注意考虑理论教学与实践教学的结合,在教学安排上留有足够的弹性,但是限于作者的理论水平和实践能力,教材中肯定还存在需要完善和提高之处,诚恳地希望本教材的使用者批评指正。

参加本教材编写工作的有:莫解华(第二章、第十二章、第十三章)、梁正(第三章、第四章、第五章、第六章、第十一章、第十五章、第十六章)、栾学钢(第一章、第七章、第八章、第九章、第十章、第十四章及机械史阅读材料——机械履痕),并由栾学钢担任主编。

本书经全国中等职业教育教材审定委员会审定,由天津大学机械学院张策教授担任责任主审,李秀珍、郭玉申副教授审稿。本书由谭放鸣主审。审稿者为提高书稿质量提出了许多宝贵意见,特此致谢。

作者

2001年8月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>第一章 机械概述</b> .....      | 1  |
| 第一节 机械的组成及基本要求 .....       | 1  |
| 第二节 本课程的内容、性质、任务和要求 .....  | 4  |
| 第三节 机械的运动形式 .....          | 4  |
| 第四节 机械零件的工作能力 .....        | 7  |
| 第五节 机械零件的结构 .....          | 9  |
| 思考与实践 .....                | 10 |
| <b>第二章 机械零件的几何精度</b> ..... | 11 |
| 第一节 互换性与标准化 .....          | 11 |
| 第二节 尺寸精度 .....             | 12 |
| 第三节 配合精度 .....             | 18 |
| 第四节 形状和位置精度 .....          | 25 |
| 第五节 尺寸精度与形位精度的关系 .....     | 31 |
| 第六节 形位精度的选用 .....          | 33 |
| 第七节 表面精度 .....             | 36 |
| 思考与实践 .....                | 39 |
| 机械履痕——互换性与标准化 .....        | 42 |
| <b>第三章 螺纹联接及螺旋传动</b> ..... | 43 |
| 第一节 螺纹的主要参数及分类 .....       | 43 |
| 第二节 螺纹联接的基本类型与螺纹联接件 .....  | 44 |
| 第三节 螺纹联接的拧紧与防松 .....       | 47 |
| 第四节 螺栓组联接的受力与结构分析 .....    | 50 |
| 第五节 螺栓联接的强度计算 .....        | 51 |
| 第六节 螺旋传动 .....             | 53 |
| 思考与实践 .....                | 55 |
| <b>第四章 平面连杆机构</b> .....    | 57 |
| 第一节 铰链四杆机构的基本形式及应用 .....   | 57 |
| 第二节 铰链四杆机构的演化形式 .....      | 59 |
| 第三节 铰链四杆机构的基本特性 .....      | 62 |
| 第四节 平面连杆机构的结构与维护 .....     | 64 |
| 思考与实践 .....                | 67 |
| 机械履痕——连杆机构 .....           | 67 |
| <b>第五章 凸轮机构</b> .....      | 68 |
| 第一节 凸轮机构的特点、分类及应用 .....    | 68 |
| 第二节 凸轮机构从动件的运动规律 .....     | 69 |

|            |                        |            |
|------------|------------------------|------------|
| 第三节        | 对心直动从动件盘形凸轮的轮廓绘制 ..... | 72         |
| 第四节        | 凸轮机构的常用材料及结构 .....     | 74         |
|            | 思考与实践 .....            | 75         |
| <b>第六章</b> | <b>棘轮机构与槽轮机构 .....</b> | <b>76</b>  |
| 第一节        | 棘轮机构 .....             | 76         |
| 第二节        | 槽轮机构 .....             | 78         |
|            | 思考与实践 .....            | 80         |
| <b>第七章</b> | <b>带传动 .....</b>       | <b>81</b>  |
| 第一节        | 带传动的类型、特点及应用 .....     | 81         |
| 第二节        | 普通 V 带和 V 带轮 .....     | 83         |
| 第三节        | 带传动的工作能力分析 .....       | 85         |
| 第四节        | 普通 V 带传动的选用 .....      | 87         |
| 第五节        | 带传动的安装与维护 .....        | 91         |
|            | 思考与实践 .....            | 94         |
| <b>第八章</b> | <b>链传动 .....</b>       | <b>95</b>  |
| 第一节        | 链传动的特点、类型与结构 .....     | 95         |
| 第二节        | 链传动的运动特性和主要参数 .....    | 97         |
| 第三节        | 链传动的计算 .....           | 99         |
| 第四节        | 链传动的安装与维护 .....        | 100        |
|            | 思考与实践 .....            | 103        |
|            | 机械履痕——链传动 .....        | 104        |
| <b>第九章</b> | <b>齿轮传动 .....</b>      | <b>105</b> |
| 第一节        | 齿轮传动的特点和类型 .....       | 105        |
| 第二节        | 渐开线直齿圆柱齿轮 .....        | 106        |
| 第三节        | 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动 ..... | 110        |
| 第四节        | 渐开线轮齿的切制原理与切齿干涉 .....  | 113        |
| 第五节        | 渐开线圆柱齿轮的结构与精度 .....    | 116        |
| 第六节        | 齿轮传动的失效形式和齿轮材料 .....   | 123        |
| 第七节        | 直齿圆柱齿轮传动的强度计算 .....    | 126        |
| 第八节        | 斜齿圆柱齿轮传动 .....         | 130        |
| 第九节        | 直齿锥齿轮传动 .....          | 134        |
| 第十节        | 齿轮传动的维护 .....          | 136        |
|            | 思考与实践 .....            | 138        |
| <b>第十章</b> | <b>蜗杆传动 .....</b>      | <b>141</b> |
| 第一节        | 蜗杆传动的类型、特点和选用 .....    | 141        |
| 第二节        | 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸 .....   | 142        |
| 第三节        | 蜗杆传动的失效形式和受力分析 .....   | 145        |
| 第四节        | 蜗杆与蜗轮的材料和结构 .....      | 147        |
| 第五节        | 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡 .....   | 148        |
|            | 思考与实践 .....            | 149        |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 机械履痕——齿轮传动 .....              | 150        |
| <b>第十一章 齿轮系 .....</b>         | <b>151</b> |
| 第一节 定轴轮系及其传动比 .....           | 151        |
| 第二节 行星齿轮系及其传动比 .....          | 153        |
| 第三节 组合齿轮系及轮系的应用 .....         | 155        |
| 第四节 行星齿轮传动及谐波齿轮传动 .....       | 156        |
| 思考与实践 .....                   | 159        |
| 机械履痕——齿轮系 .....               | 160        |
| <b>第十二章 轴及其联接 .....</b>       | <b>161</b> |
| 第一节 轴的类型和应用 .....             | 161        |
| 第二节 轴的材料和结构 .....             | 162        |
| 第三节 轴毂联接 .....                | 166        |
| 第四节 联轴器与离合器 .....             | 169        |
| 第五节 轴的强度计算 .....              | 175        |
| 思考与实践 .....                   | 181        |
| <b>第十三章 轴承 .....</b>          | <b>183</b> |
| 第一节 轴承的分类及应用 .....            | 183        |
| 第二节 滑动轴承的类型、材料和轴瓦结构 .....     | 183        |
| 第三节 不完全液体润滑滑动轴承的计算 .....      | 186        |
| 第四节 滚动轴承的类型及选择 .....          | 188        |
| 第五节 滚动轴承寿命计算及静载荷能力计算 .....    | 192        |
| 第六节 滚动轴承的公差与配合 .....          | 196        |
| 第七节 轴系的组合结构分析 .....           | 198        |
| 思考与实践 .....                   | 202        |
| 机械履痕——轴承 .....                | 204        |
| <b>第十四章 机械的润滑与密封 .....</b>    | <b>205</b> |
| 第一节 摩擦、磨损与润滑 .....            | 205        |
| 第二节 润滑剂的类型与选用 .....           | 207        |
| 第三节 常见的润滑方法、装置及选用 .....       | 209        |
| 第四节 润滑系统及其使用维护 .....          | 211        |
| 第五节 常见密封装置 .....              | 211        |
| 思考与实践 .....                   | 213        |
| 机械履痕——润滑与密封 .....             | 214        |
| <b>第十五章 机械的调速与平衡 .....</b>    | <b>215</b> |
| 第一节 机械的速度波动与调节 .....          | 215        |
| 第二节 刚性转子的振动与平衡 .....          | 216        |
| 思考与实践 .....                   | 218        |
| <b>第十六章 弹簧 .....</b>          | <b>219</b> |
| 第一节 弹簧的功用、类型、材料与制造 .....      | 219        |
| 第二节 圆柱形螺旋弹簧的结构、特性、参数与尺寸 ..... | 220        |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第三节 圆柱形螺旋弹簧的计算 ..... | 222 |
| 思考与实践 .....          | 223 |
| 主要参考书目 .....         | 224 |



# 第一章 机械概述

“机械”是一个内涵广泛的概念，大到飞机和轮船，小到工具和仪表，都属于机械的范畴。在人们的生活和工农业生产中，时时处处都离不开机械。机械的发展和应用程度是人类文明进步的重要物质标志。

本章学习机械的组成及基本要求，简要介绍机械运动的主要形式、机械零件的工作能力以及机械零件的结构工艺性等机械的共性问题，从而了解本课程的内容、性质、任务和要求，为本课程的学习奠定基础。机械零件的几何精度，也属于机械的共性问题，因为涉及的内容较多，故放在第二章中阐述。

## 第一节 机械的组成及基本要求

### 一、机器的概念

机器是人们根据使用要求而设计的一种执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料与信息，以代替或减轻人们的劳动。

图 1-1 所示的某型号电动助力自行车就是一台简单的机器。骑行时，先靠人力作用于脚踏蹬和大链轮曲柄 16，经链条 14，传至小链轮(飞轮)11，使后轮驱动。如果需要助力，将控制器 17 上的电源锁旋开，蓄电池 21 提供的电源与各控制线路接通，电子显示盘上的绿色电量指示灯亮(红灯亮时表明电量耗尽，应予充电)；右手向后缓慢转动调速把手 6，外转子为驱动轮轮毂的直流电动机 12 启动，使车速稳定提高，并有时速显示。右手松开调速把手，把手自动回位并切断电源，则恢复到人力驱动状态。骑行时若需紧急刹车，两手握紧刹车闸把 7，

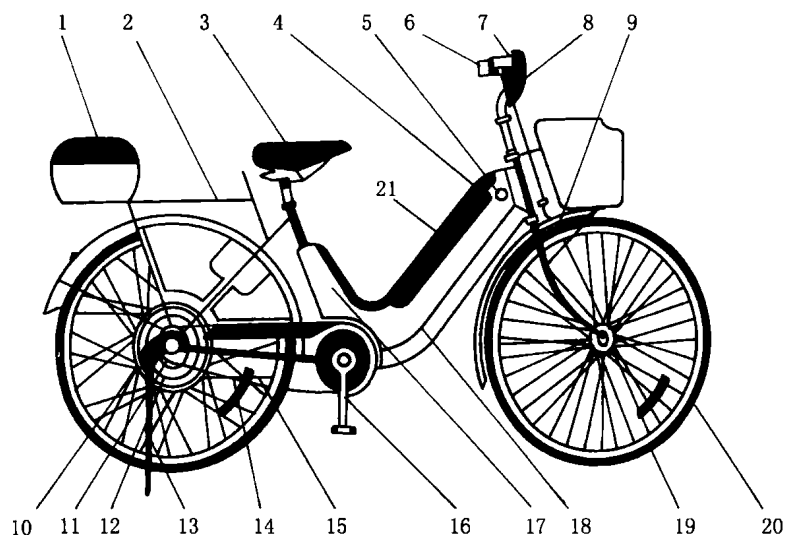


图 1-1 电动助力自行车

- 1—工具箱；2—衣架；3—鞍座；4—充电插孔(左侧)；5—电源锁；6—调速把手；7—刹车闸把；  
8—电子显示器；9—前闸；10—后闸(左侧)；11—小链轮(飞轮)；12—直流电动机(轮毂)；13—支架；  
14—链条；15—辐条；16—大链轮曲柄；17—控制器(盖板内)；18—护板；19—轮辋；20—轮胎；21—蓄电池

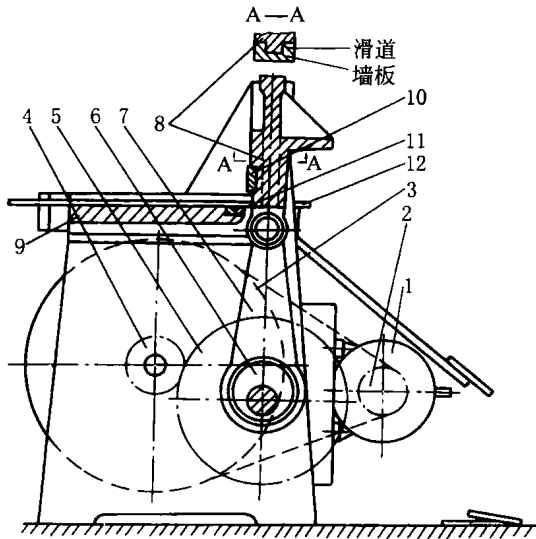


图 1-2 剪板机

1—电动机；2、3—带轮；4、5—齿轮；6—偏心轮；7—连杆；8—活动刀架；9—固定刀架；10—活动刀片；11—固定刀片；12—板材

控制线路与电源切断，车轮随即停转。上坡、逆风时还可以脚踏助力。这种助力车操作简单，骑行舒适，不污染空气，具有电力驱动、人力驱动及电力和人力共同驱动三种骑行功能。

图 1-2 所示的剪板机，是铆焊车间常用的一种备料机器，利用刀片切断各种金属板材。交流电动机 1 输出的运动和动力经带传动 2、3 等和齿轮传动 4、5，传递给偏心轮 6，在操作者的控制下，偏心轮 6 通过连杆 7 将旋转运动变换为活动刀架 8 的往复运动，从而与固定刀架 9 配合，使刀片 10 和 11 执行切断板材 12 的任务。

由这两个例子可以看出，机器不仅实现了运动形式的变换，还完成了能量的转换或做有用的机械功。

## 二、机器的组成

在电动助力自行车中，蓄电池 21 和直流电动机 12 是机器动力的来源，称为动力部分；车轮(轮胎 20、轮辋 19、辐条 15 等)用于行走，能够完成机器预期的功能，称为执行部分；控制器 17、调速把手 6、刹车闸把 7、前闸 9、后闸 10 等能够使机器实现或终止预期的功能，称为控制部分。此外还有一些辅助装置。

在剪板机中，电动机 1 是动力部分；活动刀架 8 及刀片 10 和固定刀架 9 及刀片 11 完成剪板动作，是执行部分；带传动 2、3 等，齿轮传动 4、5 以及偏心轮 6 和连杆 7 等介于动力部分和执行部分之间，起传递运动和动力的作用，称为传动部分；剪板机上还设有离合器等操纵装置，作为控制部分。

通过对电动助力自行车和剪板机的大致分析，可以认为：机器主要由动力部分、传动部分、执行部分、控制部分所组成。各部分之间的基本关系如图 1-3 所示。

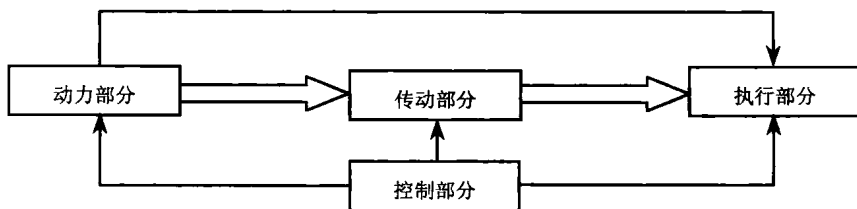


图 1-3 机器各部分之间的基本关系

机器的执行部分，应按生产工艺所要求的运动规律和方式作确定的运动。由于原动机的输出运动不一定刚好为执行部分的输入运动，如剪板机中电动机输出运动为转动，而刀架要求输入运动为往复移动，因此有必要讨论改变运动规律或转换运动形式的中间装置的结构和特性，这样便产生了“机构”的概念。

机构是用来传递运动和力的构件系统。复杂的机器由多种机构组成，如剪板机是由齿轮

传动机构、带传动机构及偏心轮机构等所组成，而简单的机器可能只含有一种机构。不难看出，从机械运动的角度去分析，机器是机构或机构的组合。

人们习惯上将机械作为机器与机构的总称。

组成机械的最基本制造单元称为零件。在各类机械中普遍使用的零件称为通用零件，如自行车和剪板机上都有螺栓、轴、弹簧等；只在某些机械中使用的零件称为专用零件，如自行车上的车把、车架，剪板机中的偏心轮、连杆、刀片等。在机械中，由若干零件装配在一起所组成的具有独立功能的部分，如轴承、联轴器、离合器、减速器等，称为部件。为了简便起见，在不致引起误解时一般不再细分，用“零件”一词泛指零件和部件。

组成机械的最基本运动单元称为构件。构件可以是单一的零件，如剪板机中的连杆；更多的是由若干个零件刚性联接而成，如自行车的车轮。

由上述分析可见，机构和零件是构成机械和实现机械预定功能的基础，是使用和维护机械的对象，也是本课程要学习的主要内容。

### 三、机械的类型

机械的种类繁多，按照不同的目的，产生了不同的分类方法。

按照机械主要用途的不同，可分为动力机械(如发电机、电动机、内燃机等)、加工机械(如粉碎机、压力机、包装机等)、运输机械(如汽车、机车、飞机、输送机)和信息机械(如复印机、打印机、传真机、摄像机等)。

按照机械功能实质的不同，可分为工艺类机械和非工艺类机械。

工艺类机械是指对物料进行工艺性加工的机械，其主要特征是具有专用的工作头(如车床的车刀)并进行独特的加工动作。加工机床、食品机械、纺织机械、印刷机械等都属于工艺类机械。这类机械的结构和形式主要取决于所采取的工艺方法。

非工艺类机械不对任何物料进行工艺性加工，而只是实现某些特殊的动作性功能。动力机械、起重运输机械、精密机械、医疗机械、通用机械等都属于非工艺类机械。

### 四、对机械的基本要求

#### 1. 实现预定的功能

机械的工作原理应当正确，机构组合需合理，以保证运动性能的要求；机械所需的功率和各机构及零件上的载荷应当计算准确，以保证动力性能的要求；机械中的零件一般都应具有足够的强度、刚度和寿命，不致因断裂、变形、磨损等原因导致机械丧失工作能力或降低机械的工作质量，具有在预定使用期限内工作的可靠性。

#### 2. 经济性好

机械的经济性贯穿在设计、制造和使用三个方面。推广产品的系列化、部件通用化和零件标准化；合理选材，减少制造工时，完善加工和装配结构工艺；正确使用和保养，采取润滑与密封措施，提高机械效率、降低动力和燃料消耗等，都有利于提高经济性。

#### 3. 操作安全、减少污染

机械的运动部分应尽可能位于封闭的结构中；外露运动构件和灼热介质必须加装防护罩；尽量采用安全、连锁及信号报警装置；操作手柄位置相对集中，数量适当，方便省力，程序简化；尽可能降低机械的噪声，有效地排除废气、废料及粉尘，同时采取环境保护的措施，保持工作环境安静、空气清新。机械的造型应当美观，色泽应当协调，赏心悦目，符合人机关系。

此外，不同用途的机械都有其特殊的要求。例如：金属切削机床要求长期保持精度，食

品加工机械要求不污染产品，运输机械要求减轻自重等。

## 第二节 本课程的内容、性质、任务和要求

机械设计基础课程是中等职业学校机械维修类专业的一门主干技术基础课程。

机械设计基础课程的主要任务是：培养学生掌握通用机械零件和机械传动的基本知识、基本理论和基本技能，初步具有分析、运用和维护机械传动装置的能力，为今后解决生产实际问题及继续学习打下基础。

通过本课程的学习，应达到下列基本要求：

① 熟悉通用机械零件和机械传动的工作原理、结构、参数、精度、特点及选用的基本方法；

② 具有与本课程有关的解题、运算、绘图、执行国家标准、使用技术资料的技能；

③ 能运用计算机获取、处理和表达与本课程有关的技术信息；

④ 初步具有测绘、拆装、调整、运用和维护一般机械装置的技能；

⑤ 初步具有分析和处理一般机械运转中问题的能力；

⑥ 了解与本课程相关的技术政策和法规，具有严谨的工作作风和创新精神。

本课程的基本知识和基本技能联系密切，在学习过程中不仅要重视课堂教学，而且更要重视实践教学。要结合教学内容广泛开展生产和社会调查，收集技术资料 and 机械零件市场销售情况，了解并及时采用新材料、新工艺、新技术、新标准、新零件，培养实际工作能力和竞争意识、敬业精神。

## 第三节 机械的运动形式

### 一、平面运动副

机构中的各构件是以一定方式彼此相联接的。两个构件之间的可动联接称为运动副。在常用机构中，大多数构件均平行于同一平面，是平面机构。这里仅介绍平面运动副。

#### 1. 低副

两个构件通过面接触而组成的运动副称为低副。按组成低副的两个构件之间允许的相对运动形式不同，低副可分为转动副和移动副。

在图 1-4 所示的转动副中，构件 1 和构件 2 只能绕铰链轴线在同一平面内作相对转动，而在图 1-5 所示的移动副中，构件 1 和构件 2 只能沿某一轴线作相对直线移动。

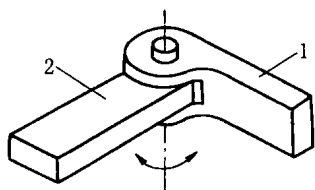


图 1-4 转动副

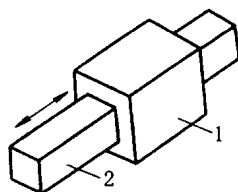


图 1-5 移动副

由于低副是面与面的动态接触，在承受载荷时压强较低，容易润滑，不易磨损。

#### 2. 高副

两个构件通过点或线接触而组成的运动副称为高副。齿轮副和凸轮副都是典型高副。

在图 1-6 所示的齿轮副和图 1-7 所示的凸轮副中，构件 2 可以相对构件 1 绕接触点 A 转

动，又可以沿接触点  $A$  的公切线  $t-t$  方向移动，而只有在接触点  $A$  的公法线  $n-n$  方向的运动受到限制。

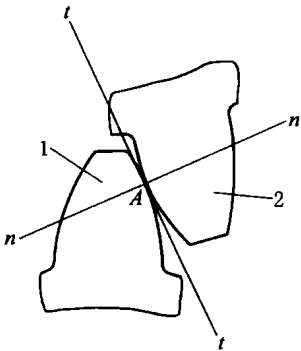


图 1-6 齿轮副

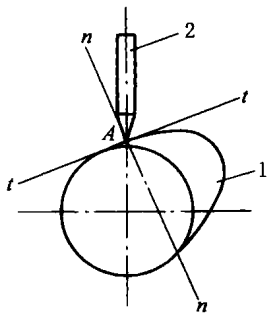


图 1-7 凸轮副

由于高副是以点或线相接触，承载面积小，接触部分压强高，故容易磨损，不如低副润滑容易。

二、平面机构运动简图的识读

实际机械的构造是比较复杂的，为了在工作中了解机械的组成和工作原理，便于使用和维护机械，有必要学习识读平面机构的运动简图。

尽管机械中构件的外形各式各样，但是与机构相对运动有关的，只是运动副的数目、类型、相对位置及构件的数目和某些尺寸，而构件的截面尺寸和形式、组成构件的零件的数目、运动副的具体结构等，并不影响机构的运动形式，因此在讨论机械的运动时，用线条表示构件，用简单的符号表示运动副的类型，按一定比例确定运动副相对位置及与运动有关的尺寸，这种表示机构中各构件运动关系的图形称为机构运动简图。长度比例尺  $\mu_l = \text{构件实际长度(m)} / \text{图示长度(mm)}$ 。如果只是为了表明机构的结构及运动情况，而不严格按照比例绘制的简图称为机构示意图，在机械维修中应用更为普遍。

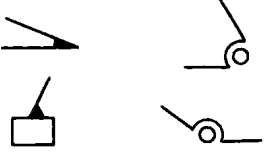
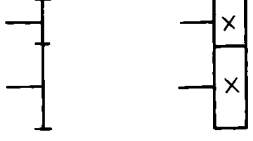
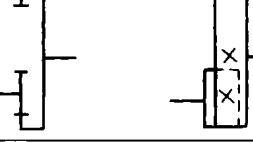
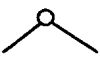
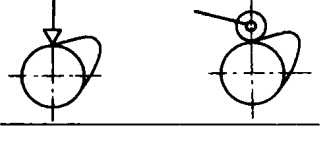
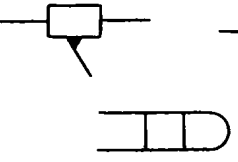
机构中的固定构件称为机架，其主要功能是支承运动构件。由外界给定运动规律的构件称为主动件，一般主动件与机架相连。除主动件外的全部活动构件都称为从动件。

构件和运动副的名称及简图符号见表 1-1。

表 1-1 构件及运动副名称及简图符号

| 名 称    |        | 简 图 符 号 | 名 称    |            | 简 图 符 号 |
|--------|--------|---------|--------|------------|---------|
| 构<br>件 | 轴，杆    |         | 机<br>架 | 基本符号       |         |
|        | 三副元素构件 |         |        | 机架是转动副的一部分 |         |
|        |        |         |        |            |         |
|        |        |         |        | 机架是移动副的一部分 |         |

续表

| 名 称      |         | 简 图 符 号                                                                           | 名 称      |        | 简 图 符 号                                                                            |
|----------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 构<br>件   | 构件的永久联接 |  | 平面<br>高副 | 齿轮副外啮合 |  |
|          |         |  |          | 内啮合    |  |
| 平面<br>低副 | 转动副     |  | 平面<br>低副 | 凸轮副    |  |
|          | 移动副     |  |          |        |                                                                                    |

注：其他简图符号可查阅 GB 4460。

【例 1-1】 试识读图 1-2 中剪板机的机构示意图(图 1-8)。

**解** 将图 1-8 与图 1-2 对照分析，可以看出：电动机 1 是机器的动力部分，小带轮 2 与电动机直接相连，通过胶带将运动和动力传递给大带轮 3，与大带轮 3 同轴的小齿轮 4 与大齿轮 5 相啮合，曲柄(偏心轮)与大齿轮 5 固连，通过作平面运动的连杆，驱动执行部分——活动刀架(相当于滑块)往复移动，从而完成剪板动作。

### 三、机械的运动形式

机械是执行机械运动的装置，运动的变换和传递是机械的主要特征。了解动力部分和执行部分的运动形式，对于掌握机械传动部分的运动变换形式是很有必要的。

#### 1. 机械动力部分的运动形式

机械动力部分的运动形式主要包括由电动机、油压马达、内燃机等输出的连续转动，由直线电动机、汽缸、液压缸等输出的往复移动，由摆动汽缸或油缸输出的往复摆动，由步进电机输出的间歇运动等。

#### 2. 机械执行部分的运动形式

机械的执行部分直接实现机械的功能，其主要运动形式有以下数种。

- ① 单向转动。如剪板机中的偏心轮的运动。
- ② 往复摆动。如颚式破碎机动颚板的运动。
- ③ 单向移动。如带传动或链传动中带或链的运动。
- ④ 往复移动。如剪板机中活动刀架的运动。

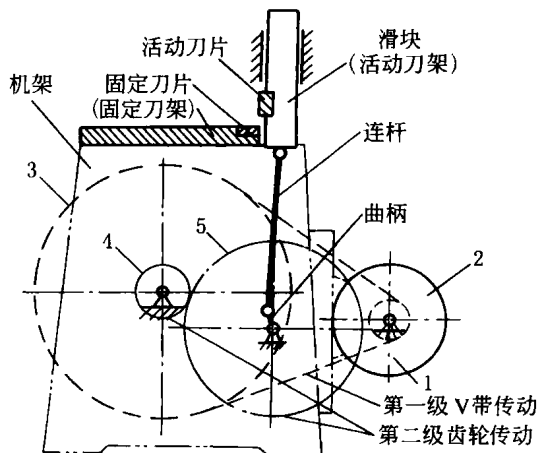


图 1-8 剪板机机构示意图

⑤ 间歇运动。如槽轮机构中槽轮的运动。

此外，执行部分还可实现机械所要求的特定运动轨迹，如搅拌机中搅拌桨的轨迹、插秧机的运动轨迹等。

## 第四节 机械零件的工作能力

### 一、机械零件的主要失效形式

机械零件丧失工作能力或未达到预定的功能称为失效。机械零件的失效形式主要有以下四种。

#### 1. 整体断裂

机械零件在拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等外载荷的作用下，危险剖面上的应力超过零件的强度极限时，将产生整体断裂；或者零件在交变应力的作用下，危险剖面上发生疲劳断裂。前者如螺栓的断裂，后者如齿轮轮齿的疲劳折断。

#### 2. 过量变形

当作用于机械零件上的应力超过材料的屈服极限时，零件将产生残余变形，如影响齿轮啮合性能的轮齿塑性变形。当零件的弹性变形量过大时，也会使机械的正常运行受到影响，如机床主轴的过量弹性变形会导致加工精度下降。

#### 3. 表面破坏

机械零件的表面破坏主要包括腐蚀、磨损和接触疲劳，这是一种随工作时间的延续而逐渐发生的失效形式，大多数零件因表面破坏而失效。如搅拌轴的腐蚀，滑动轴承的磨损，齿轮啮合齿面产生的接触疲劳破坏等。

#### 4. 破坏工作条件

机械零件是在一定的条件下工作的，如果破坏了必备的工作条件，将发生不同类型的失效。如带传动在过载时将出现“打滑”，高速轴因发生共振而引起断裂等。

### 二、机械零件的常用材料

根据调查，机械零件对材料性能的要求，主要体现在耐蚀性、耐磨性和耐疲劳性；其次是常温强度和焊接性。这个顺序恰好与机械零件的主要失效形式相吻合。

#### 1. 常用材料

(1) 铸铁。灰铸铁的铸造性能好，抗压强度高，减振耐磨，价格低廉，因而广泛用于制造结构形状复杂的壳体、箱体和机座类零件。但是，灰铸铁硬而脆，不适合制造受冲击和变应力的零件。球墨铸铁可以用于制造重要而形状复杂的零件，如曲轴、凸轮轴等。

(2) 碳素钢和合金钢。碳素钢分碳素结构钢和优质碳素结构钢。受力不大、基本上受静应力、零件不太重要时，一般采用价格便宜的碳素结构钢；受力较大，受变应力或冲击载荷的零件，多采用优质碳素结构钢。受力较大，又在耐磨、耐腐蚀、耐高温等方面有特殊要求时，应当选用合金钢。

(3) 铸钢。适于制造受重载的大型零件，但成本较灰铸铁高。

(4) 有色金属。铝合金适合制作要求质量轻且有相当强度的零件，铜合金适合制作有减摩性或耐腐蚀性要求的零件，铸造轴承合金专门用于制作滑动轴承。

(5) 非金属材料。工程塑料和橡胶应用最为普遍。

#### 2. 选材原则

选材原则要从使用、工艺和经济三方面考虑。

(1) 使用方面。应考虑零件的工作和受载情况，对零件的尺寸和重量的限制，零件在机械中的重要程度等。

(2) 工艺方面。应考虑零件的加工工艺性。例如，当零件的形状比较复杂、尺寸较大时，宜采用铸造或焊接工艺；当零件的形状比较简单、尺寸适中、比较重要时，宜采用锻造工艺；零件的生产批量小时，宜采用焊接或自由锻工艺；零件的生产批量大时，宜采用铸造或模锻工艺。

(3) 经济方面。应考虑零件的相对价格。例如，对于加工批量很大而每个零件的重量很小的标准件，加工费用所占比例大，应侧重考虑零件的加工性能；当强度为主要指标时，如果零件的重量和尺寸受到限制，就要选用价格虽然较贵但强度高的材料，反之可以选用强度较低的材料而加大零件的尺寸。零件各个部位的要求有所区别时，可以采用不同的材料，或采用不同的热处理方法，使各局部的要求均得以满足，而整体的成本得到控制。例如，蜗轮的齿圈需要耐磨但价格较贵的青铜，而芯部只需要一般强度的材料，因此可在铸铁轮芯上套上青铜齿圈；滑动轴承只是在与轴颈接触的表面要求有良好的减摩性和耐磨性，故只需在轴瓦上用减摩材料轴承合金制成减摩层，从而降低成本。

### 三、机械零件的强度

机械零件在工作中发生的整体断裂、过量变形以及表面破坏都与强度有关。因此，对于整体断裂，应力不应超过材料的抗拉强度；对于过量变形，应力不应超过材料的屈服点；对于表面破坏，应力不应超过零件的疲劳极限。

机械零件的强度分为体积强度和表面强度。

#### 1. 体积强度

在载荷的作用下，如果应力是在零件较大的体积内产生，称这种状态下的零件强度为体积强度，简称为强度。

在静应力的作用下，零件的主要失效形式是塑性变形或断裂，因此零件的强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau] \quad (1-1)$$

$$\text{对塑性材料} \quad [\sigma] = \sigma_s / S \quad \text{或} \quad [\tau] = \tau_s / S \quad (1-2)$$

$$\text{对脆性材料} \quad [\sigma] = \sigma_b / S \quad \text{或} \quad [\tau] = \tau_b / S \quad (1-3)$$

在变应力的作用下，零件的主要失效形式是疲劳断裂，因此零件的强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma_r] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau_r] \quad (1-4)$$

上述公式中， $\sigma$ 和 $\tau$ 为零件的最大工作应力， $[\sigma]$ 和 $[\tau]$ 为许用应力， $[\sigma_r]$ 和 $[\tau_r]$ 为零件在循环特性 $r$ 下的许用应力， $\sigma_s$ 和 $\tau_s$ 为材料的屈服点， $\sigma_b$ 和 $\tau_b$ 为材料的抗拉强度， $S$ 为安全系数。

#### 2. 表面强度

在载荷的作用下，如果应力是在零件较浅的表层内产生，称这种状态下的零件强度为表面强度。

(1) 表面接触强度。对于初始点接触或线接触的高副零件表面，在载荷的作用下，将产生弹性变形，接触面积表层将出现很大的局部应力——接触应力。两个零件上的接触应力具有同时产生、大小相等、方向相反、对称分布及稍离接触区中线即迅速降低等特点。接触应力的最大值用 $\sigma_H$ 表示。例如，齿轮传动中，在接触应力的作用下，轮齿表面可能产生疲劳点蚀失效。因此，零件的接触强度条件为

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] = \frac{\sigma_{H \lim}}{S_H} \quad (1-5)$$

式中， $\sigma_H$ 为零件的最大接触应力， $[\sigma_H]$ 为零件的许用接触应力， $\sigma_{H \lim}$ 为零件材料的接触疲劳



极限,  $S_H$  为接触强度安全系数。

(2) 表面挤压强度。对于以面接触而无相对运动的零件, 在载荷的作用下, 接触表面将产生挤压应力。例如, 在键联接中, 平键的侧面就受到挤压应力的作用。在挤压应力的作用下, 塑性材料的零件可能产生表面塑性变形, 脆性材料的零件可能出现表面压溃。因此, 零件的挤压强度条件为

$$\sigma_p \leq [\sigma_p] \quad (1-6)$$

式中,  $\sigma_p$  为零件的最大挤压应力,  $[\sigma_p]$  为许用挤压应力。

(3) 表面磨损强度。对于以面接触而作相对运动的零件, 在载荷的作用下, 接触表面因有摩擦而产生磨损。若磨损量超过许用值, 零件便失效。因此, 零件的磨损强度条件为

$$p \leq [p] \quad pv \leq [pv] \quad v \leq [v] \quad (1-7)$$

式中,  $p$  为零件接触面的压强,  $[p]$  为许用压强,  $p v$  为压强速度值,  $[p v]$  为许用压强速度值,  $v$  为零件相对运动速度,  $[v]$  为许用速度。

## 第五节 机械零件的结构

机械零件的合理结构, 应该使零件在毛坯制备过程、热处理过程、切削加工过程及装配过程中, 都符合工艺性要求, 即在保证零件功能的前提下, 高效率、低成本地生产出来。机械零件的结构涉及许多方面的知识, 这里仅介绍若干要点, 在以后的相关章节里还要作具体机械零件的结构分析。

### 一、铸、锻、焊件的结构工艺性

#### 1. 铸件的结构工艺性

铸件的外形应使分型方便; 分型面力求简单且数量少; 铸件表面要避免内凹; 表面上的凸台尽量集中统一; 避免较大又较薄的水平面; 铸件壁厚尽量均匀或逐渐过渡; 注意铸件合理的传力和支承等。

#### 2. 锻件的结构工艺性

自由锻件应避免出现锥形或楔形, 避免使用肋板; 模锻件的形状应简单、对称, 适于脱模, 分模面应为平面等。

#### 3. 焊件的结构工艺性

焊件要正确选择焊缝位置, 不要让焊接热影响区相距太近; 避免使焊缝承受剪力或集中载荷, 更不能在应力最大部位布置焊缝; 让焊缝避开加工表面; 减小焊缝的热变形; 尽可能采用板料弯曲件以减少焊缝; 合理利用型材, 简化焊接工艺等。

### 二、切削加工件的结构工艺性

切削加工件要注意减小毛坯尺寸, 减小加工面面积; 不同精度的加工面要区别开来; 将形状复杂的零件改为组合件便于分别加工; 避免不必要的精度要求; 注意留有刀具的运行空间和工件的夹持结构; 复杂的加工表面最好为外表面; 避免在斜面上钻孔; 尽量减少加工同一零件所用刀具的数目; 最好有一次加工多个零件的可能性; 避免加工中的过大变形以及冲击和振动等。

### 三、装配与维护的结构工艺性

易损零件要容易拆卸和更换; 避免同时装配两个结合面; 要留有拆卸零件的必要空间; 尽量采用对称结构以简化装配工艺; 合理划分部件, 便于平行作业装配; 尽量减少现场装配量等。