



教育部高等职业教育示范专业规划教材

# 机械基础

(机械原理与零件分册)

JIXIE JICHU

曾德江 黄均平 主编



赠电子课件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

全书采用模块化方式构建课程内容体系, 课程内容由 4 个模块, 20 个单元组成。

第一模块是静力学基础, 主要介绍静力学的基本知识, 构件的受力分析、力系简化和构件的平衡计算; 第二模块是材料力学基础, 主要介绍构件在外力作用下产生变形的受力特点和变形特点, 构件的强度和刚度计算; 第三模块是常用机构和机械传动, 主要介绍常用机构工作原理、运动特点、应用及设计的基本知识, 通用零件的工作原理、结构特点、标准及其选用和设计的基本方法, 以及机械润滑与密封的基本知识; 第四模块是联接与轴系零部件, 主要介绍键联接、销联接、螺纹联接、轴、轴承、联轴器和离合器的结构、特点及其选用和设计的基本方法。

全书分为工程力学分册和机械原理与零件分册出版, 工程力学分册包括绪论、第一模块(静力学基础)、第二模块(材料力学基础)和附录; 机械原理与零件分册包括第三模块(常用机构和机械传动)、第四模块(联接与轴系零部件)和附录。

本书内容丰富, 案例取材新颖, 重点突出, 重视知识的应用和实践技能的培养, 可作为高职高专院校、成人教育学院、技师学院机械类专业的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

为方便教学, 本书配有免费电子课件等, 凡选用本书作为授课用书的学校, 均可来电索取, 咨询电话: 010-88379375; E-mail: cmpgaozhi@sina.com。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械基础. 机械原理与零件分册/曾德江, 黄均平主编. —北京: 机械工业出版社, 2010. 1

教育部高等职业教育示范专业规划教材

ISBN 978-7-111-29218-0

I. 机… II. ①曾…②黄… III. ①机械学-高等学校: 技术学校-教材②机构学-高等学校: 技术学校-教材③机械元件-高等学校: 技术学校-教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 243249 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: 于宁 责任编辑: 王宗锋 版式设计: 霍永明

封面设计: 马精明 责任校对: 樊钟英 责任印制: 洪汉军

三河市国英印务有限公司印刷

2010 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.5 印张·332 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-29218-0

定价: 23.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010)88379649

读者服务部: (010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书按照高等职业教育教学改革要求,以生产实际所需的基本知识、基本理论和基本技能为基础,打破了“工程力学”、“机械设计基础”课程的界限,以培养学生的机械系统分析、创新能力和综合知识应用能力为主线,将“工程力学”、“机械设计基础”两门课程的教学内容进行有机整合精炼、充实,并辅以创新思维法则等内容,突出了实用性和综合性。注重对学生的动手能力、工程实践能力等的训练和综合能力的培养。

1. 本书采用模块化方式构建课程内容体系,课程内容由4个模块,20个单元组成。为适应不同专业和教学需求,全书分为两册:工程力学分册和机械原理与零件分册。工程力学分册由第一模块和第二模块组成,适用于50学时左右教学选用,机械原理与零件分册由第三模块和第四模块组成,适用于60学时左右教学选用,全书适用于110学时左右的教学选用。

2. 本书的每个单元都是以某一综合案例作为导入引出工程实际问题,阐述学习目标。综合案例始终贯穿于整个教学单元,学习目标和能力目标则通过简单到复杂案例得以实现。本书所选教学案例注重实用性、典型性、覆盖性、综合性和趣味性。

3. 本书配有电子课件,课件中的综合案例配有动画素材,可方便教师授课和学生学习。

本书由广东机电职业技术学院曾德江老师和重庆工程职业技术学院黄均平老师主编,广东机电职业技术学院朱中仕老师、龙贞老师参加编写。编写分工如下:第1、2、3、7、8、10、16单元由曾德江老师编写;第4、5、6、9、13单元由朱中仕老师编写;第11、12、17、20单元由龙贞老师编写,第14、15、18、19单元由黄均平老师编写。教材配套课件部分动画由广东机电职业技术学院陈平老师制作。

广东机电职业技术学院陈力捷老师担任工程力学分册主审,广东机电职业技术学院漆军老师担任机械原理与零件分册主审,他们对书稿进行了认真细致的审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏及不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第三模块 常用机构和机械传动

|                          |    |                          |    |
|--------------------------|----|--------------------------|----|
| 第9单元 平面机构的结构分析 .....     | 2  | 四杆机构 .....               | 26 |
| 学习目标 .....               | 2  | 10.4.2 按连杆给定的预定位置来设计     |    |
| 学习重点和难点 .....            | 2  | 四杆机构 .....               | 28 |
| 案例导入 .....               | 2  | ☆综合案例分析 .....            | 28 |
| 9.1 构件和运动副 .....         | 2  | 习题10 .....               | 29 |
| 9.1.1 构件的自由度 .....       | 3  | 第11单元 凸轮机构 .....         | 31 |
| 9.1.2 运动副和约束 .....       | 3  | 学习目标 .....               | 31 |
| 9.1.3 运动副的分类 .....       | 3  | 学习重点和难点 .....            | 31 |
| 9.1.4 构件的分类 .....        | 4  | 案例导入 .....               | 31 |
| 9.2 平面机构运动简图 .....       | 4  | 11.1 凸轮机构的特点、应用和分类 ..... | 31 |
| 9.3 机构具有确定相对运动的条件 .....  | 7  | 11.1.1 凸轮机构的特点及应用 .....  | 31 |
| 9.3.1 平面机构具有确定相对运动       |    | 11.1.2 凸轮机构的分类 .....     | 32 |
| 的条件 .....                | 7  | 11.2 从动件常用的运动规律 .....    | 33 |
| 9.3.2 几种特殊情况的处理 .....    | 9  | 11.2.1 凸轮机构的运动过程及有关      |    |
| ☆综合案例分析 .....            | 11 | 名称 .....                 | 33 |
| 习题9 .....                | 12 | 11.2.2 从动件常用的运动规律 .....  | 34 |
| 第10单元 平面连杆机构 .....       | 15 | 11.3 凸轮轮廓曲线的设计 .....     | 36 |
| 学习目标 .....               | 15 | 11.3.1 图解法设计凸轮的原理 .....  | 36 |
| 学习重点和难点 .....            | 15 | 11.3.2 对心直动从动件盘形凸轮轮廓     |    |
| 案例导入 .....               | 15 | 设计 .....                 | 36 |
| 10.1 铰链四杆机构的认知 .....     | 15 | 11.4 凸轮工作轮廓的校核 .....     | 38 |
| 10.1.1 铰链四杆机构的类型 .....   | 16 | 11.4.1 凸轮机构的压力角 .....    | 38 |
| 10.1.2 铰链四杆机构类型的判别 ..... | 18 | 11.4.2 运动失真 .....        | 39 |
| 10.2 平面四杆机构的演化 .....     | 20 | 11.4.3 凸轮基圆半径的确定 .....   | 39 |
| 10.3 平面四杆机构的基本特性 .....   | 23 | 11.5 凸轮机构的结构与材料 .....    | 40 |
| 10.3.1 急回特性 .....        | 23 | 11.5.1 凸轮机构的结构 .....     | 40 |
| 10.3.2 压力角与传动角 .....     | 24 | 11.5.2 凸轮和从动件的材料         |    |
| 10.3.3 死点位置 .....        | 25 | 选择 .....                 | 41 |
| 10.4 平面四杆机构的设计 .....     | 26 | ☆综合案例分析 .....            | 41 |
| 10.4.1 按给定的行程速度变化系数设计    |    | 习题11 .....               | 42 |

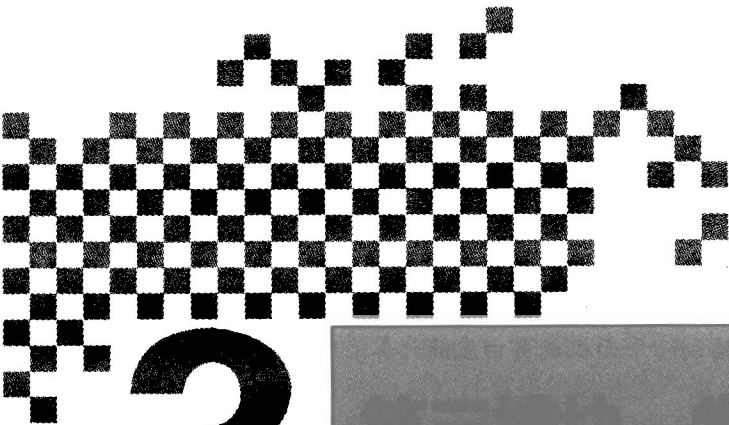
|                                 |    |                                      |    |
|---------------------------------|----|--------------------------------------|----|
| <b>第12单元 间歇机构</b> .....         | 44 | 学习重点和难点 .....                        | 63 |
| 学习目标 .....                      | 44 | 案例导入 .....                           | 63 |
| 学习重点和难点 .....                   | 44 | 14.1 带传动的类型、特点及应用 .....              | 63 |
| 案例导入 .....                      | 44 | 14.1.1 带传动的类型 .....                  | 63 |
| 12.1 棘轮机构 .....                 | 44 | 14.1.2 带传动的特点及应用 .....               | 64 |
| 12.1.1 棘轮机构的工作原理和类型 .....       | 44 | 14.2 V带与V带轮 .....                    | 65 |
| 12.1.2 棘轮机构的特点及应用 .....         | 46 | 14.2.1 V带传动的运动和几何关系 .....            | 65 |
| ☆综合案例分析 .....                   | 47 | 14.2.2 V带的构造及其截面尺寸 .....             | 68 |
| 12.2 槽轮机构 .....                 | 47 | 14.2.3 V带轮的轮槽结构及其截面<br>尺寸 .....      | 68 |
| 12.2.1 槽轮机构的工作原理和类型 .....       | 48 | 14.2.4 带轮的结构和尺寸 .....                | 68 |
| 12.2.2 槽轮机构的特点及应用 .....         | 48 | 14.3 V带轮的工艺和材料 .....                 | 70 |
| ☆综合案例分析 .....                   | 49 | 14.4 带传动工作分析 .....                   | 70 |
| 12.3 不完全齿轮机构 .....              | 49 | 14.4.1 带传动中的受力分析 .....               | 70 |
| 12.3.1 不完全齿轮机构的工作原理 .....       | 49 | 14.4.2 带传动中带的应力分析 .....              | 71 |
| 12.3.2 不完全齿轮机构的特点及应用 .....      | 50 | 14.5 V带传动的设计计算 .....                 | 72 |
| ☆综合案例分析 .....                   | 50 | 14.5.1 V带传动的失效形式及设计<br>准则 .....      | 72 |
| 习题12 .....                      | 51 | 14.5.2 V带传动的设计步骤和传动参数<br>选择 .....    | 74 |
| <b>第13单元 螺旋机构</b> .....         | 52 | ☆综合案例分析 .....                        | 76 |
| 学习目标 .....                      | 52 | 14.6 V带传动的张紧与维护 .....                | 79 |
| 学习重点和难点 .....                   | 52 | 14.6.1 V带传动的张紧与调整 .....              | 79 |
| 案例导入 .....                      | 52 | 14.6.2 V带传动的安装与维护 .....              | 80 |
| 13.1 螺纹的基本知识 .....              | 52 | 习题14 .....                           | 81 |
| 13.1.1 螺纹的形成及分类 .....           | 52 | <b>第15单元 齿轮传动</b> .....              | 83 |
| 13.1.2 螺纹的主要参数 .....            | 54 | 学习目标 .....                           | 83 |
| 13.2 螺旋机构的类型、应用及特点 .....        | 54 | 学习重点和难点 .....                        | 83 |
| 13.2.1 螺旋机构的类型及应用 .....         | 55 | 案例导入 .....                           | 83 |
| 13.2.2 螺旋机构的特点 .....            | 57 | 15.1 齿轮传动基础知识 .....                  | 83 |
| 13.3 滑动螺旋机构 .....               | 57 | 15.1.1 齿轮传动的特点、类型和基本<br>要求 .....     | 83 |
| 13.3.1 单螺旋机构 .....              | 57 | 15.1.2 渐开线的形成及其性质 .....              | 85 |
| 13.3.2 双螺旋机构 .....              | 57 | 15.1.3 渐开线齿廓啮合特性 .....               | 86 |
| 13.4 滚动螺旋机构 .....               | 58 | 15.2 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和<br>几何尺寸 ..... | 86 |
| 13.4.1 滚动螺旋机构的工作原理及<br>特点 ..... | 58 | 15.2.1 齿轮各部分名称和基本参数 .....            | 86 |
| 13.4.2 滚珠的循环方式 .....            | 59 | 15.2.2 渐开线标准齿轮 .....                 | 88 |
| 13.4.3 滚动螺旋机构的主要参数及<br>代号 ..... | 60 | 15.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合<br>传动 .....      | 89 |
| ☆综合案例分析 .....                   | 61 |                                      |    |
| 习题13 .....                      | 62 |                                      |    |
| <b>第14单元 带传动</b> .....          | 63 |                                      |    |
| 学习目标 .....                      | 63 |                                      |    |

|                                 |     |                              |     |
|---------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 15.3.1 正确啮合条件 .....             | 89  | 15.7.2 直齿锥齿轮的基本参数和几何尺寸 ..... | 110 |
| 15.3.2 标准安装 .....               | 90  | 15.7.3 直齿锥齿轮传动的受力分析 .....    | 111 |
| 15.3.3 齿轮连续传动的条件 .....          | 90  | 15.8 蜗杆传动 .....              | 112 |
| 15.4 齿轮的切削加工和变位齿轮 .....         | 91  | 15.8.1 蜗杆传动的类型和特点 .....      | 112 |
| 15.4.1 齿轮的切削加工原理 .....          | 91  | 15.8.2 蜗杆传动的基本参数和几何尺寸 .....  | 113 |
| 15.4.2 变位齿轮的概念 .....            | 93  | 15.8.3 蜗杆传动的受力分析 .....       | 115 |
| 15.4.3 渐开线齿轮的测量尺寸 .....         | 94  | 15.9 齿轮的结构 .....             | 115 |
| 15.4.4 齿轮传动的精度 .....            | 94  | 15.9.1 齿轮的结构 .....           | 115 |
| 15.5 直齿圆柱齿轮传动的强度计算 .....        | 95  | 15.9.2 蜗杆和蜗轮的结构 .....        | 117 |
| 15.5.1 齿轮传动的失效形式及计算准则 .....     | 95  | ☆综合案例分析 .....                | 118 |
| 15.5.2 齿轮材料及热处理 .....           | 97  | 习题 15 .....                  | 120 |
| 15.5.3 轮齿的受力分析和计算载荷 .....       | 99  | <b>第 16 单元 轮系</b> .....      | 123 |
| 15.5.4 直齿圆柱齿轮的强度计算 .....        | 100 | 学习目标 .....                   | 123 |
| 15.6 斜齿圆柱齿轮传动 .....             | 105 | 学习重点和难点 .....                | 123 |
| 15.6.1 斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成和啮合特点 ..... | 105 | 案例导入 .....                   | 123 |
| 15.6.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸 .....   | 106 | 16.1 轮系的类型 .....             | 123 |
| 15.6.3 斜齿圆柱齿轮的啮合传动和当量齿数 .....   | 107 | 16.2 定轴轮系的传动比 .....          | 125 |
| 15.6.4 斜齿圆柱齿轮传动的受力分析 .....      | 108 | 16.2.1 定轴轮系传动比的计算 .....      | 125 |
| 15.7 直齿锥齿轮传动 .....              | 109 | 16.2.2 首末轮转向关系的确定 .....      | 127 |
| 15.7.1 直齿锥齿轮齿廓曲面与当量齿数 .....     | 109 | 16.3 周转轮系的传动比 .....          | 129 |
|                                 |     | 16.4 混合轮系的传动比 .....          | 132 |
|                                 |     | 16.5 轮系的功用 .....             | 132 |
|                                 |     | ☆ 综合案例分析 .....               | 134 |
|                                 |     | 习题 16 .....                  | 135 |

## 第四模块 联接与轴系零部件

|                           |     |                         |     |
|---------------------------|-----|-------------------------|-----|
| <b>第 17 单元 联接</b> .....   | 138 | 17.4.2 联接螺纹的类型和应用 ..... | 145 |
| 学习目标 .....                | 138 | 17.5 螺纹联接的预紧与防松 .....   | 148 |
| 学习重点和难点 .....             | 138 | 17.5.1 螺纹联接的预紧 .....    | 148 |
| 案例导入 .....                | 138 | 17.5.2 螺纹联接的防松 .....    | 148 |
| 17.1 键联接 .....            | 138 | ☆综合案例分析 .....           | 149 |
| 17.1.1 键联接的类型和应用 .....    | 139 | 习题 17 .....             | 149 |
| 17.1.2 平键联接的尺寸选择和验算 ..... | 141 | <b>第 18 单元 轴</b> .....  | 151 |
| 17.2 花键联接 .....           | 143 | 学习目标 .....              | 151 |
| 17.3 销联接 .....            | 144 | 学习重点和难点 .....           | 151 |
| 17.4 螺纹联接的类型和应用 .....     | 145 | 案例导入 .....              | 151 |
| 17.4.1 联接用螺纹 .....        | 145 | 18.1 概述 .....           | 151 |

|                    |     |                        |     |
|--------------------|-----|------------------------|-----|
| 18.1.1 轴的分类        | 151 | 19.3 滚动轴承的计算和尺寸选择      | 178 |
| 18.1.2 轴的材料选择      | 153 | 19.3.1 失效形式和计算准则       | 179 |
| 18.2 轴的结构设计        | 154 | 19.3.2 动载荷计算(寿命计算)     | 180 |
| 18.2.1 轴的结构组成      | 154 | 19.3.3 静载荷计算           | 183 |
| 18.2.2 轴上零件的定位     | 155 | 19.4 滚动轴承的组合结构         | 183 |
| 18.2.3 轴上零件的固定     | 155 | 19.4.1 滚动轴承组合的轴向固定     | 184 |
| 18.2.4 轴的结构工艺性     | 156 | 19.4.2 滚动轴承组合的调整       | 185 |
| 18.2.5 轴的疲劳强度      | 157 | 19.4.3 滚动轴承的配合         | 186 |
| 18.2.6 轴的直径和长度     | 158 | 19.4.4 支承部位的刚度和同轴度     | 186 |
| 18.3 轴的设计计算        | 159 | 19.4.5 滚动轴承的装拆         | 187 |
| 18.3.1 轴的强度计算      | 159 | 19.4.6 滚动轴承的润滑         | 187 |
| 18.3.2 轴的刚度计算      | 160 | 19.5 轴承的密封与维护          | 187 |
| ☆综合案例分析            | 161 | ☆综合案例分析                | 188 |
| 习题 18              | 165 | 习题 19                  | 189 |
| <b>第 19 单元 轴承</b>  | 167 | <b>第 20 单元 联轴器与离合器</b> | 190 |
| 学习目标               | 167 | 学习目标                   | 190 |
| 学习重点和难点            | 167 | 学习重点和难点                | 190 |
| 案例导入               | 167 | 案例导入                   | 190 |
| 19.1 滑动轴承          | 168 | 20.1 联轴器               | 191 |
| 19.1.1 滑动轴承的类型和结构  | 168 | 20.1.1 联轴器的类型及特点       | 191 |
| 19.1.2 轴瓦的结构       | 170 | 20.1.2 联轴器的选择          | 195 |
| 19.1.3 轴瓦的材料       | 171 | 20.2 离合器               | 196 |
| 19.1.4 滑动轴承的润滑     | 172 | ☆综合案例分析                | 198 |
| 19.2 滚动轴承的类型、代号和选用 | 173 | 习题 20                  | 199 |
| 19.2.1 滚动轴承的类型和性能  | 173 | <b>附录</b>              | 201 |
| 19.2.2 滚动轴承的代号及其组成 | 175 | <b>参考文献</b>            | 208 |



# 3

## 第三部分 常用机构和机械传动

- 第9单元 平面机构的结构分析
- 第10单元 平面连杆机构
- 第11单元 凸轮机构
- 第12单元 间歇机构
- 第13单元 螺旋机构
- 第14单元 带传动
- 第15单元 齿轮传动
- 第16单元 轮系

## 第9单元 平面机构的结构分析

### 【学习目标】

掌握构件、运动副的概念，能识别并掌握代表常用构件及运动副的简图符号，能根据实际机构画出其机构运动简图。

掌握自由度与约束的概念及平面机构自由度的计算，掌握平面机构具有确定相对运动的条件，在计算平面机构自由度时，能正确判断并处理复合铰链、局部自由度、虚约束。

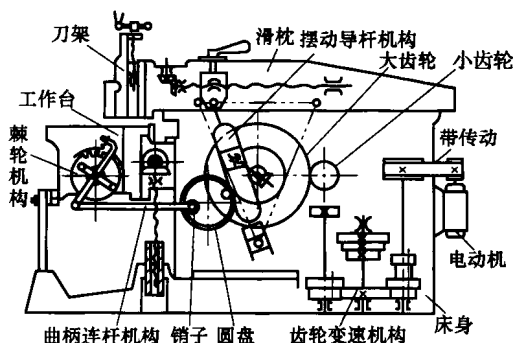
### 【学习重点和难点】

重点：平面机构的运动副及其分类、平面机构运动简图的绘制、自由度与约束的概念、平面机构的自由度计算、平面机构具有确定相对运动的条件。

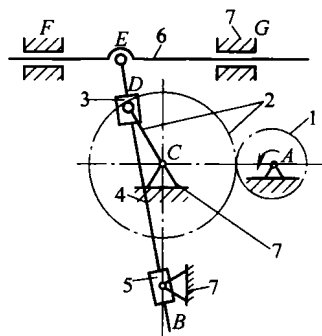
难点：平面机构运动简图的绘制、平面机构自由度的计算。

### 【案例导入】

牛头刨床是刨削类机床中应用较广的一种机床，图 9-1a 为牛头刨床传动示意图，图 9-1b 为其刨刀驱动机构运动示意图。牛头刨床的主运动为电动机→带传动→齿轮变速机构→摆动导杆机构→滑枕往复运动→刨刀切削运动；牛头刨床的进给运动为电动机→带传动→齿轮变速机构→棘轮机构→工作台横向进给运动。



a) 牛头刨床传动示意图



b) 牛头刨床刨刀驱动机构运动示意图

图 9-1 牛头刨床

1—小齿轮 2—大齿轮（曲柄） 3—滑枕 4—导杆 5—摇块 6—滑枕 7—机架

为了对机械进行运动特性分析、并能进行机械设计，本单元将以牛头刨床为载体，学习正确分析平面机构的结构、绘制平面机构运动简图及判断平面机构的运动确定性，并将通过大量的实际工程案例进行相关能力的训练。

### 9.1 构件和运动副

机械一般由若干常用机构组成，而机构则是由两个以上且具有确定相对运动的构件组成

的。若组成机构的所有构件在同一平面或平行平面中运动，则称该机构为平面机构。目前工程中上常见的机构大多属于平面机构，本单元只讨论平面机构。

### 9.1.1 构件的自由度

在图 9-2 中，构件  $AB$  代表一个在平面内自由运动的构件，它具有随任意点  $A$  沿  $x$  方向和  $y$  方向移动以及绕  $A$  点转动等三个独立运动的可能性。构件作独立运动的可能性，称为**构件的自由度**。可见，一个在平面内自由运动的构件有三个自由度，它可由图中表示构件位置的三个独立运动的位置参数  $x$ 、 $y$ 、 $\varphi$  来表示。

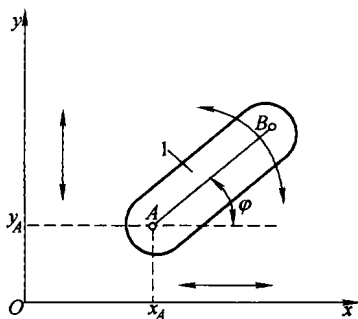


图 9-2 构件的自由度

### 9.1.2 运动副和约束

如图 9-1b 所示的牛头刨床刨刀驱动机构中，小齿轮 1 与大齿轮 2、大齿轮 2 与滑块 3、滑块 3 与导杆 4、摇块 5 与机架 7、滑枕 6 与机架 7 之间各构件均采用一定方式联接起来，并且都具有确定的相对运动。这种由两构件直接接触并能产生一定相对运动的联接，称为**运动副**。运动副限制了两构件间某些独立运动的可能性，这种限制构件独立运动的作用称为**约束**。

### 9.1.3 运动副的分类

在平面运动副中，两构件之间的直接接触有三种情况：点接触、线接触和面接触。平面运动副按两构件接触的几何特征分为低副和高副。

#### 1. 低副

两构件通过面接触构成的运动副称为**低副**，如图 9-3 所示。按两构件间的相对运动形式，低副又分为**转动副**（图 9-3a、b）和**移动副**（图 9-3c、d），每个低副有两个约束。

（1）**转动副** 是两构件只能作相对转动的运动副。图 9-3a、b 所示轴承与轴颈的联接、铰链联接等，都组成转动副。转动副的符号表示如图 9-4a 所示，小圆中心表示转动轴线位置。

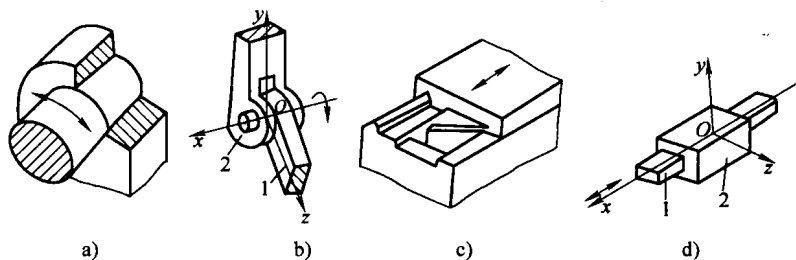


图 9-3 平面低副

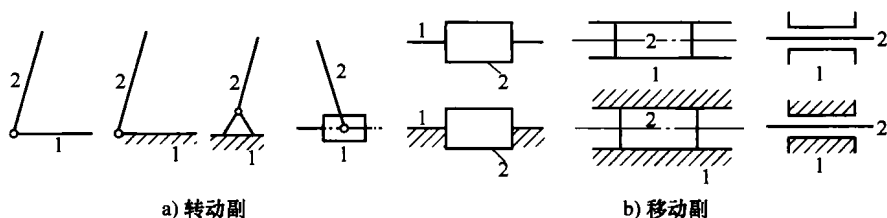


图 9-4 低副符号表示

(2) **移动副** 是两构件作相对移动的运动副,如图 9-3c、d 所示。移动副的符号如图 9-4b 所示,直线表示移动导路或其中心线的位置。

## 2. 高副

两构件间呈点、线接触的运动副称为**高副**,如图 9-5 所示的车轮与钢轨、凸轮与从动件、轮齿啮合等,分别组成高副。

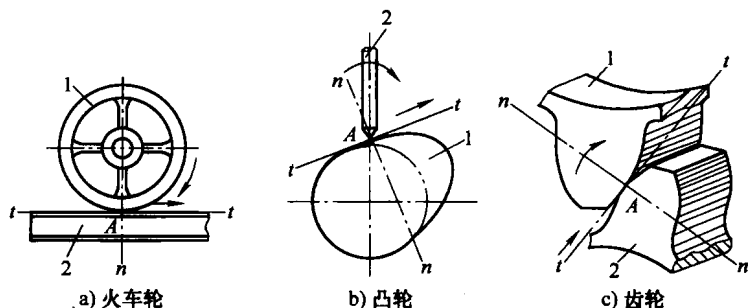


图 9-5 平面高副

高副用两构件在直接接触处的轮廓表示,每个高副有一个约束。对于凸轮、滚子,习惯上画出全部的轮廓;对于齿轮,常用点画线画出其节圆。当组成运动副的构件之一固定时,在该构件上应画斜线,表示为固定件。

### ☆想一想 练一练

请判断图 9-1b 所示牛头刨床刨刀驱动机构中,小齿轮 1 与大齿轮 2、大齿轮 2 与滑块 3、滑块 3 与导杆 4、摇块 5 与机架 7、滑枕 6 与机架 7,是采用何种运动副联接起来的?

## 9.1.4 构件的分类

机构中的构件可分为三类,构件的表示法如图 9-6 所示。

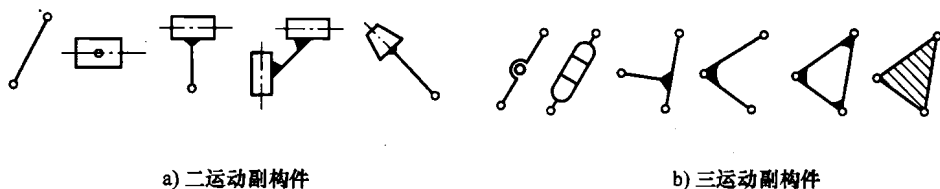


图 9-6 运动简图中构件的表示法

(1) **固定件** (机架) 是用来支承活动构件的构件。研究机构中活动构件的运动时,常以固定件作为参考坐标系。

(2) **原动件** 是运动规律已知的活动构件,它的运动是由外界输入的,故又称为**输入构件**。

(3) **从动件** 是机构中随着原动件的运动而运动的其余活动构件。其中输出机构为预期运动的从动件称为**输出构件**或**执行件**,其他从动件则起传递运动的作用。

## 9.2 平面机构运动简图

在研究机构的运动时,实际构件的外形和结构往往很复杂,但在分析或设计新的机构运动时,为了突出与运动有关的因素,应撇开实际机构中与运动无关的因素(如构件的形状

组成构件的零件数目和运动副的具体结构等), 用简单的线条和符号表示构件和运动副, 并按一定的比例定出各运动副的相对位置, 这种表示机构各构件间真实运动关系的图称为平面机构运动简图。

没有按一定比例表示出各运动副间准确的相对位置, 只能表示机构组合方式的图称为平面机构示意图。机构运动简图符号见表 9-1。

表 9-1 机构运动简图符号 (摘自 GB 4460—1984)

| 名 称      |               | 代 表 符 号      |  | 名 称       | 代 表 符 号 |
|----------|---------------|--------------|--|-----------|---------|
| 杆的固定联接   |               |              |  | 链传动       |         |
| 零件与轴的固定  |               |              |  |           |         |
| 轴承       | 向心轴承          |              |  | 外啮合圆柱齿轮机构 |         |
|          | 普通轴承          |              |  | 内啮合圆柱齿轮机构 |         |
|          | 滚动轴承          |              |  | 齿轮齿条传动    |         |
|          | 推力轴承          |              |  | 锥齿轮机构     |         |
|          | 单向推力 双向推力     |              |  | 蜗杆蜗轮传动    |         |
|          | 推力滚动轴承        |              |  | 棘轮机构      |         |
|          | 向心推力轴承        |              |  | 槽轮机构      |         |
|          | 单向向心推力 双向向心推力 |              |  |           |         |
|          | 向心推力滚动轴承      |              |  |           |         |
| 联轴器      |               |              |  |           |         |
|          |               |              |  |           |         |
|          |               | 可移式联轴器 弹性联轴器 |  |           |         |
| 离合器      |               |              |  |           |         |
|          |               |              |  |           |         |
|          |               | 啮合式 摩擦式      |  |           |         |
| 制动器      |               |              |  |           |         |
| 在支架上的电动机 |               |              |  |           |         |
|          |               |              |  |           |         |
| 带传动      |               |              |  |           |         |
|          |               |              |  |           |         |
|          |               |              |  |           |         |
|          |               | X X          |  |           |         |

绘制平面机构运动简图的一般步骤为:

1) 分析机构运动的传递情况, 找出机架、原动件和从动件。

2) 从原动件开始, 按照运动的传递顺序, 分析各构件间的运动形式, 从而确定联接构件和运动副的数目和类型。

3) 测量各运动副间的相对位置。

4) 选择适当的视图平面和原动件位置, 以便清楚地表达各构件间的运动关系。对于平面机构, 通常选择与构件运动平行的平面作为投影面。

5) 选择适当的比例尺  $\mu_L$ , 按照各运动副间的距离和相对位置, 用简单的线条和运动副符号画出平面机构运动简图。

$$\mu_L = \frac{\text{构件的实际长度}}{\text{构件的图示长度}}$$

**案例 9-1** 绘出图 9-7a 所示抽水唧筒的平面机构运动简图。

**分析:** 1) 分析机构的运动, 判断构件的类型和数目。

图 9-7 所示的抽水唧筒由手柄 1、杆件 2、活塞 (图中未画) 及活塞杆 3 和抽水筒 4 等构件组成, 其中抽水筒 4 是固定件, 手柄 1 是原动件, 其余构件是从动件。当手柄 1 往复摆动时, 活塞杆 3 在抽水筒中作往复运动将水抽出。

2) 分析各构件间运动副的类型和数目。

手柄 1 绕固定件 4 上 A 点转动, 两者在 A 点形成转动副。手柄 1 与杆件 2 在 B 点以及杆件 2 与活塞杆 3 在 C 点也形成转动副, 活塞杆 3 与抽水筒 4 之间则形成移动副。

3) 选择视图平面。

为了能清楚地表达各构件之间的相对运动关系, 通常选择平行于构件运动的平面作为视图平面。

4) 选取适当比例尺, 量取运动副间的距离。

比例尺应根据实际机构和图幅大小适当选取。

5) 用规定的构件和运动副符号绘制机构运动简图, 如图 9-7b 所示。

先画出固定件 4 和手柄 1 的转动副中心 A 及活塞杆 3 的移动导路直线 x 轴, 然后按比例画出手柄 1 和杆件 2 的转动副中心 B 及杆件 2 和活塞杆 3 的转动副中心 C, 最后用构件和运动副符号把各点连接起来, 并标注构件号及表示原动件运动方向的箭头。

☆想一想 练一练

请画出汽车发动机罩壳 (图 9-8a)、手摇打气筒 (图 9-8b)、折叠式靠椅 (图 9-8c) 的机构示意图。

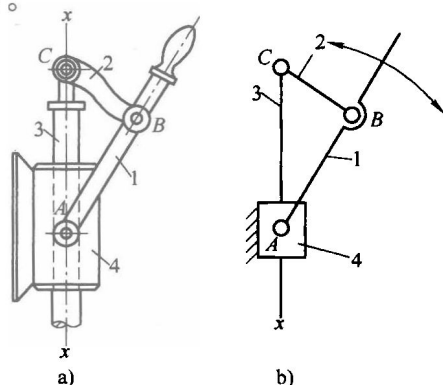
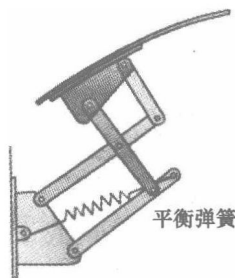
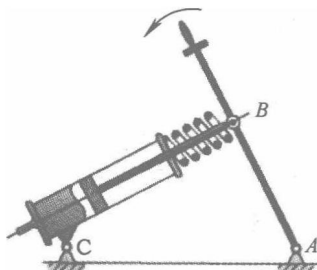


图 9-7 抽水唧筒及其机构运动简图

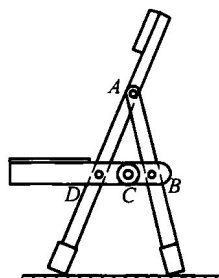
1—手柄 2—杆件 3—活塞杆 4—抽水筒



a) 汽车发动机罩壳



b) 手摇打气筒



c) 折叠式靠椅

图 9-8 工程应用案例

## 9.3 机构具有确定相对运动的条件

机构是由具有确定相对运动的构件组合而成。任意拼凑起来的构件不一定能运动，即使能够运动，也不一定具有确定的相对运动。那么构件应如何组合才能运动？在什么条件下才具有确定的相对运动？这对分析现有机构或创新机构很重要。为了使所设计的机构能够具有运动的确定性，必须研究机构的自由度和机构具有运动确定性的条件。

### 9.3.1 平面机构具有确定相对运动的条件

**机构自由度**是指机构相对于机架所具有独立运动的可能性。当构件与构件用运动副联接后，它们之间的某些独立运动便受到限制，自由度将随之减少。

#### 1. 平面机构自由度的计算

设一个平面机构由  $N$  个构件组成，其中必有一个构件为机架，则活动构件数为  $n = N - 1$ 。这些活动构件在未用运动副联接前，其自由度总数为  $3n$ ；当用  $P_L$  个低副和  $P_H$  个高副使构件联接成机构后，则会引入  $(2P_L + P_H)$  个约束，即减少了  $(2P_L + P_H)$  个自由度。若用  $F$  表示机构的自由度，则平面机构自由度的计算公式为

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (9-1)$$

**案例 9-2** 计算图 9-7 所示的抽水唧筒机构的自由度。

**分析：**该机构除机架外，活动构件数  $n = 3$ ，三个转动副  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和一个移动副，共 4 个低副  $P_L = 4$ ，高副数  $P_H = 0$ ，则该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

该机构的自由度为 1。

#### 2. 平面机构具有确定相对运动的条件

图 9-9a 所示的四杆机构中， $n = 3$  (1、2、3)、 $P_L = 4$  ( $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ )、 $P_H = 0$ 、原动件  $W = 1$ ，括号中数字代表构件号，字母代表运动副，由式 (9-1) 得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1 = W > 0$$

本机构具有确定的相对运动。

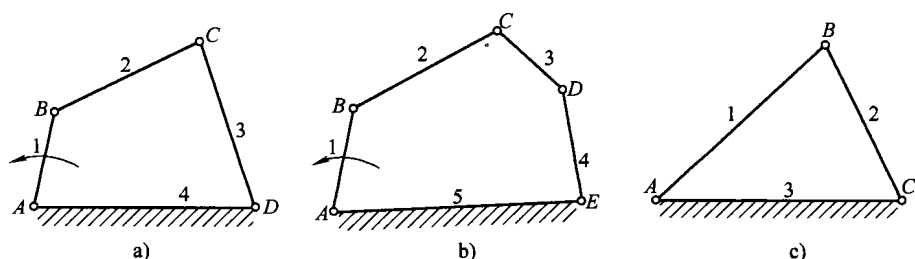


图 9-9 平面连杆机构

图 9-9b 所示五杆机构中  $n = 4$  (1、2、3、4)、 $P_L = 5$  ( $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ )、 $P_H = 0$ 、若  $W = 1$ ，由式 (9-1) 得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2 \neq W$$

本机构相对运动不确定。

若  $W=2$  (1、4)，则满足  $F=2=W>0$ ，这时该机构具有确定的相对运动。

图 9-9c 所示三杆机构中， $n=2$ (1、2)、 $P_L=3$ (A、B、C)、 $P_H=0$ ，由式 (9-1)

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 2-2\times 3-0=0=W$$

说明本构件系统内部没有相对运动的可能。

由上述分析可知，平面机构具有确定相对运动的条件是：机构自由度  $F$  等于原动件数  $W$ ，由于机构必有接受外界运动的原动件，即  $W>0$ ，故平面机构具有确定相对运动的条件可以用下式表示

$$F=3n-2P_L-P_H=W>0 \quad (9-2)$$

**案例 9-3** 图 9-10a 所示为简易冲床，动力由齿轮 1 输入，带动同轴的凸轮 2，推动杆 3，从而使推杆 4（冲头）上下移动以达到冲压的目的。1) 画出简易冲床的运动简图；2) 通过自由度计算判断该机构是否有确定相对运动；3) 如果不满足有确定相对运动的条件，请提出修改意见并画出运动简图。

**分析：**1) 简易冲床的运动简图如图 9-10b 所示。

2) 计算简易冲床自由度，通过分析知该机构  $n=3$ 、 $P_L=4$ 、 $P_H=1$ ，由式 (9-1) 得

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 4-1\times 1=0$$

机构自由度  $F=0$ ，所以简易冲床不能运动，设计不合理。

3) 根据平面机构的自由度计算公式 (9-1)，通常通过增加活动杆件、减少运动副或低副变高副等途径，可以获得具有确定相对运动的机构，按上述思路修改后的机构运动简图如图 9-10c、d 所示。

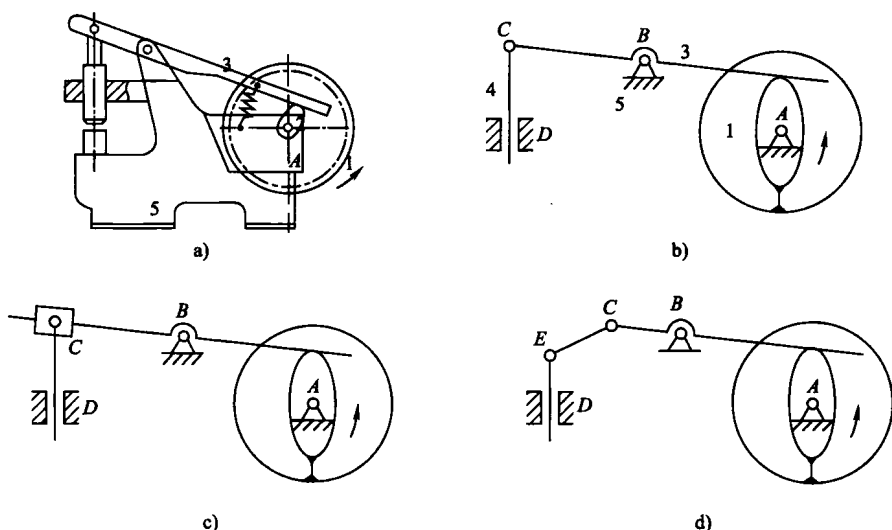


图 9-10 简易冲床及其机构运动简图

### ☆想一想 练一练

根据平面机构自由度计算公式 (9-1)，通常通过增加活动杆件、减少运动副或低副变高副等途径，可以获得具有确定相对运动的机构，图 9-10a 所示的简易冲床，除了图 9-10c、d 所示的两种方案外，你是否还有其他的修改方案？

### 9.3.2 几种特殊情况的处理

在计算平面机构自由度的时候,有几种特殊情况须经处理后,才能用式(9-1)进行计算。

(1) **复合铰链** 两个以上构件在同一处用同轴的转动副相联接组成的运动副称为复合铰链。

图9-11a所示为三个构件在同一处构成复合铰链的立体结构图,图9-11b所示为复合铰链示意图,这三个构件共组成两个共轴线转动副。当由 $m$ 个构件组成复合铰链时,则联接处就有 $(m-1)$ 个转动副。在计算机构自由度时,应注意这种情况,以免漏算运动副的数目。

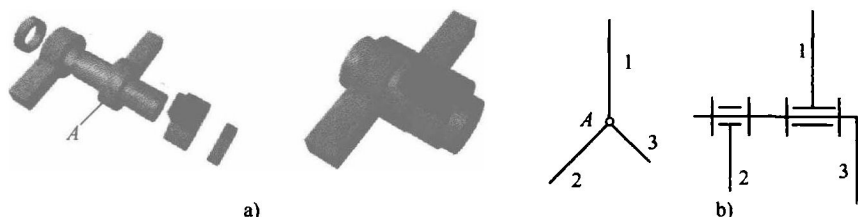


图9-11 复合铰链

**案例9-4** 试计算图9-12所示直线机构的自由度,并判断该机构是否具有确定的相对运动。

**分析:** 机构具有7个活动构件,即 $n=7$ (2、3、4、5、6、7、8),直线机构在A、B、D、E四处形成由3个构件组成的复合铰链,在C、F处形成转动副,这样机构共有10个转动副,即 $P_L=10$ 、 $P_H=0$ ,由公式(9-1)得机构的自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 7-2 \times 10-0=1$$

构件2是原动件,原动件数目等于机构的自由度数,即 $F=W>0$ ,所以该机构具有确定的相对运动。

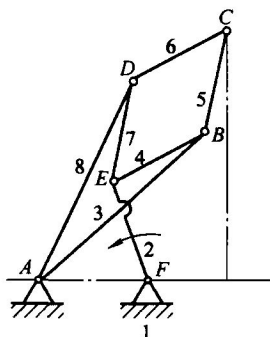


图9-12 直线机构

(2) **局部自由度** 不影响整个机构运动的局部的独立运动,称为局部自由度。在计算机构自由度时,应将局部自由度除去。

如图9-13a所示凸轮机构,为了减少高副接触处的磨损,在从动件上安装一个滚子3,使其与凸轮轮廓线形成滚动接触。显然,滚子绕其自身轴线C的转动完全不会影响凸轮与从动件2间的相对运动,因此,滚子绕其自身轴线的转动属于局部自由度。在计算机构的自由度时,可将滚子与从动件看成一个构件,如图9-13b所示,这样即除去了局部自由度。这时,该机构 $n=2$ 、 $P_L=2$ 、 $P_H=1$ ,则其自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 2-2 \times 2-1=1$$

即此凸轮机构中只有一个自由度。

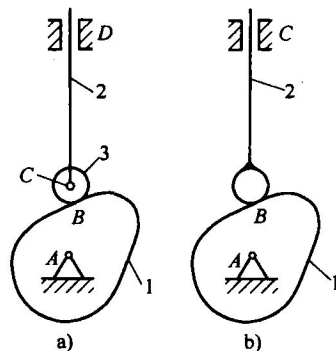


图9-13 局部自由度

局部自由度虽不影响机构的运动关系,但可以减少高副接

触处的摩擦和磨损。因此,在机械中常见具有局部自由度的结构,如滚动轴承、滚轮等。

(3) **虚约束** 机构中与别的约束起重复约束作用的约束,称为**虚约束**。在计算机构自由度时,应当除去不计。平面机构中的虚约束常出现在下列场合:

1) 两构件间形成多个具有相同作用的运动副,分为三种情况:

① 两构件在同一轴线上形成多个转动副,只有一个转动副起独立约束作用,其余都是虚约束。如图 9-14a 所示,轮轴 1 与机架 2 在 A、B 两处,组成两个转动副,从运动关系看,只有一个转动副起约束作用,计算自由度时应按一个转动副计算。

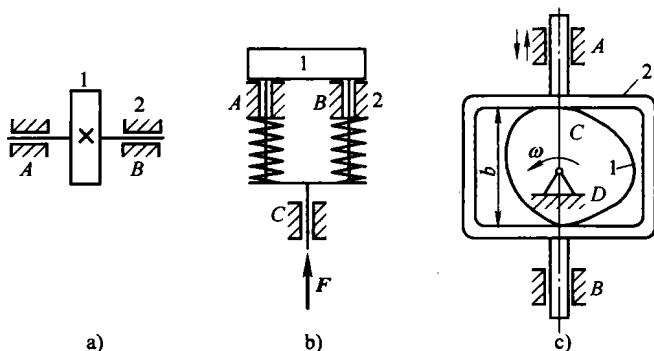


图 9-14 多个运动副的虚约束

② 两构件形成多个导路平行或重合的移动副,只有一个移动副起作用,其余都是虚约束。如图 9-14b 所示,压板机构在 A、B、C 三处的移动副,有两个为虚约束。计算机构自由度时只能算一个移动副,其余的为虚约束。

③ 两构件在多处接触形成高副。如图 9-14c 所示,同样在计算机构自由度时,应只考虑一处高副,其余为虚约束。

2) 被联接件上点的轨迹与机构上联接点的轨迹重合时,这种联接将出现虚约束。如图 9-15a 所示,火车驱动轮联动机构为平行四边形机构,火车驱动轮联动机构运动简图如图 9-15b 所示,联接构件 2 上 E 点的轨迹就与机构连杆 BC 上 E 点的轨迹重合。在计算机构自由度时,应按图 9-15c 处理,将构件 2 及其引入的两个转动副视为虚约束除去不计。

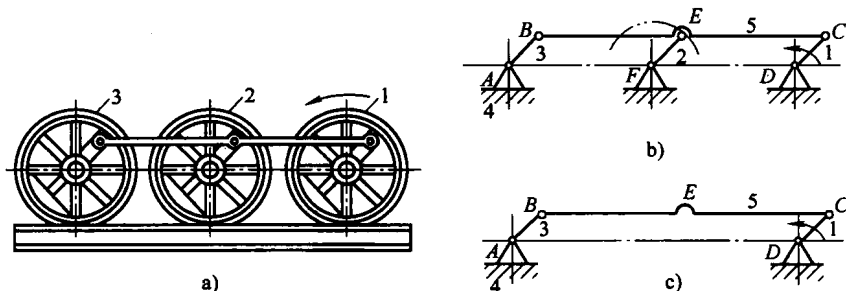


图 9-15 平行四边形机构中的虚约束

3) 机构中对传递运动不起独立作用的对称部分也是虚约束。如图 9-16b 所示的行星轮系,为使整个轮系受力均匀,安装三个相同且对称分布的行星轮。从运动关系看,只需一个行星轮 2 就能满足运动要求,如图 9-16a 所示,其余行星轮及其所引入的高副均为虚约束,