

The background of the cover features a large, light blue gear with a white circle in the center. A pencil is positioned diagonally across the gear. In the bottom left corner, there are smaller, more detailed gears in shades of blue and gold.

# 机械基础

涂 嘉 主编

航空工业出版社

# 机械基础

涂 嘉 主编

航空工业出版社

## 内 容 提 要

本书是为适应科学知识迅猛膨胀和职业教育发展要求而编写的改革教材。本书注重教学效率,突出实用性和培养解决问题的能力。本书对常见的极限与配合、工程力学、金属工艺学、零件设计四门课程进行了精选和浓缩。全书共16章,其主要内容有极限与配合、工程力学、工程材料、热处理、平面机构、常见零件及传动机构、铸造、锻压、焊接、切削等。

本书可作为高职、高专学校机械类、近机械类专业和其他需要本课程专业的技术基础课程教材,也可作为其他层次教育、培训、自学的教材和参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械基础/涂嘉主编. —北京:航空工业出版社,  
2006.6

ISBN 7-80183-817-3

I. 机... II. 涂... III. 机械学 IV. TH11

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第104247号

## 机械基础 Jixie Jichu

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2006年6月第1版

2006年6月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 21

字数: 563千字

印数: 1—3000

定价: 29.80元

# 前 言

由于经济的发展和人类的进步促使科学知识迅猛膨胀, 各行各业对教育工作者提出了更新的要求, 教学要内容精练、技术实用、方法有效。传统的教学方式和教材已不能满足求学者需要和社会发展的要求。

面对科学知识量增多, 而教学时数相对减少这一职业教育中的突出矛盾, 同时为培养创新人才这一突出主题, 我们编写了《机械基础》这本教材。

本书注重教学效率和知识的启发性、引导性, 突出实用性和培养学生解决实际问题的能力。教师根据多年的教学经验, 结合 21 世纪学生的认知能力及就业领域的要求, 对原极限与配合、工程力学、金属工艺学、零件设计四门课程进行了精选、浓缩和整合, 并融入新的知识。

参加本书编写的有: 华东交通大学高等职业技术学院涂嘉副教授(绪论、第 1 章部分、第 2、第 13、第 14、第 15、第 16 章以及第 4 章部分), 许玢副教授(第 6、第 9 章以及第 11 章部分)、杨春辉讲师(第 5 章部分、第 7、第 8、第 12 章以及第 11 章部分)、韦芳副教授(第 1 章部分以及第 3 章)、朱爱华副教授(第 10 章)、李津高级讲师(第 5 章部分)、浙江师范大学交通学院金升副教授(第 4 章部分)。全书由涂嘉副教授主编、统稿, 并由华东交通大学刘平安教授担任主审。

由于编书过程时间紧, 本书错误和欠妥之处在所难免, 热忱希望广大同行及读者批评指正。

编 者  
2006. 6

# 目 录

|          |       |
|----------|-------|
| 绪论 ..... | ( 1 ) |
|----------|-------|

## 工程力学篇

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 第 1 章 构件外力及其平衡计算 ..... | ( 5 )  |
| 1.1 力的基本概念与性质 .....    | ( 5 )  |
| 1.2 构件的受力图 .....       | ( 9 )  |
| 1.3 力的投影 .....         | ( 14 ) |
| 1.4 平面力系的平衡计算 .....    | ( 15 ) |
| 1.5 考虑摩擦时的平衡问题 .....   | ( 19 ) |
| 思考题与练习题 .....          | ( 21 ) |
| 第 2 章 内力和强度计算 .....    | ( 26 ) |
| 2.1 内力与截面法 .....       | ( 26 ) |
| 2.2 杆件的内力图 .....       | ( 29 ) |
| 2.3 杆件的应力及强度计算 .....   | ( 32 ) |
| 思考题与练习题 .....          | ( 38 ) |

## 极限与配合篇

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 第 3 章 极限与配合基础 .....    | ( 45 ) |
| 3.1 极限与配合的基本概念 .....   | ( 45 ) |
| 3.2 极限与配合国家标准及应用 ..... | ( 50 ) |
| 3.3 形位公差与表面粗糙度简介 ..... | ( 61 ) |
| 思考题与练习题 .....          | ( 71 ) |

## 工程材料篇

|                      |        |
|----------------------|--------|
| 第 4 章 工程材料及热处理 ..... | ( 75 ) |
| 4.1 金属材料的基本知识 .....  | ( 75 ) |
| 4.2 铁碳合金 .....       | ( 82 ) |
| 4.3 钢的热处理 .....      | ( 86 ) |
| 4.4 碳钢与合金钢 .....     | ( 94 ) |

|                |       |
|----------------|-------|
| 4.5 铸铁 .....   | (107) |
| 4.6 非铁合金 ..... | (111) |
| 思考题与练习题 .....  | (115) |

## 机械设计篇

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| 第5章 平面机构基本知识 .....                  | (119) |
| 5.1 运动副作用与分类 .....                  | (119) |
| 5.2 平面机构的运动简图 .....                 | (120) |
| 5.3 平面机构的自由度 .....                  | (122) |
| 5.4 平面四杆机构及其应用 .....                | (126) |
| 5.5 平面四杆机构的基本特性 .....               | (130) |
| 5.6 用图解法设计平面连杆机构 .....              | (133) |
| 5.7 机构创新方法 .....                    | (135) |
| 思考题与练习题 .....                       | (138) |
| 第6章 凸轮机构和间歇运动机构 .....               | (141) |
| 6.1 凸轮机构 .....                      | (141) |
| 6.2 凸轮机构设计 .....                    | (145) |
| 6.3 棘轮机构和槽轮机构 .....                 | (149) |
| 思考题与练习题 .....                       | (151) |
| 第7章 齿轮传动 .....                      | (152) |
| 7.1 概述 .....                        | (152) |
| 7.2 渐开线齿廓 .....                     | (154) |
| 7.3 渐开线直齿圆柱齿轮的各部分名称、主要参数及尺寸计算 ..... | (156) |
| 7.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动 .....          | (159) |
| 7.5 标准直齿圆柱齿轮的设计计算 .....             | (161) |
| 7.6 渐开线齿轮的加工原理和根切现象 .....           | (166) |
| 7.7 斜齿圆柱齿轮和直齿圆锥齿轮 .....             | (168) |
| 7.8 蜗杆传动 .....                      | (174) |
| 思考题与练习题 .....                       | (180) |
| 第8章 带传动与链传动 .....                   | (182) |
| 8.1 带传动 .....                       | (182) |
| 8.2 链传动 .....                       | (196) |
| 思考题与练习题 .....                       | (199) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 第9章 零件的连接 .....        | (200) |
| 9.1 螺纹连接 .....         | (200) |
| 9.2 键连接 .....          | (208) |
| 9.3 销连接 .....          | (213) |
| 9.4 联轴器、离合器 .....      | (214) |
| 思考题与练习题 .....          | (219) |
| 第10章 轴 .....           | (221) |
| 10.1 轴的类型及材料 .....     | (221) |
| 10.2 轴的结构及其设计要求 .....  | (223) |
| 10.3 轴的强度校核计算 .....    | (231) |
| 思考题与练习题 .....          | (235) |
| 第11章 轴 承 .....         | (237) |
| 11.1 滑动轴承 .....        | (237) |
| 11.2 滚动轴承 .....        | (241) |
| 11.3 滚动轴承的组合结构设计 ..... | (247) |
| 11.4 滚动轴承的装拆和润滑 .....  | (251) |
| 思考题与练习题 .....          | (253) |
| 第12章 各种零件常见失效形式 .....  | (255) |
| 12.1 磨损 .....          | (255) |
| 12.2 非疲劳因素断裂 .....     | (256) |
| 12.3 疲劳破坏 .....        | (256) |
| 12.4 其他破坏 .....        | (257) |
| 思考题与练习题 .....          | (258) |

## 金属工艺篇

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 第13章 铸 造 .....         | (261) |
| 13.1 金属铸造性能 .....      | (262) |
| 13.2 砂型铸造 .....        | (264) |
| 13.3 铸造工艺规程 .....      | (270) |
| 13.4 铸件结构的工艺性 .....    | (271) |
| 13.5 特种铸造简介 .....      | (274) |
| 思考题与练习题 .....          | (276) |
| 第14章 锻压加工 .....        | (278) |
| 14.1 锻压加工金属的成形机理 ..... | (278) |

|               |                         |              |
|---------------|-------------------------|--------------|
| 14.2          | 金属的锻压性及加热 .....         | (281)        |
| 14.3          | 自由锻 .....               | (282)        |
| 14.4          | 模 锻 .....               | (285)        |
| 14.5          | 板料冲压 .....              | (288)        |
| 14.6          | 其他压力加工方法及新技术新工艺简介 ..... | (291)        |
|               | 思考题与练习题 .....           | (294)        |
| <b>第 15 章</b> | <b>焊 接 .....</b>        | <b>(295)</b> |
| 15.1          | 手工电弧焊 .....             | (295)        |
| 15.2          | 电弧焊质量分析 .....           | (299)        |
| 15.3          | 其他常用焊接方法及焊接新工艺简介 .....  | (302)        |
| 15.4          | 常用金属材料的焊接 .....         | (307)        |
| 15.5          | 焊接结构工艺设计 .....          | (310)        |
|               | 思考题与练习题 .....           | (312)        |
| <b>第 16 章</b> | <b>切削加工 .....</b>       | <b>(314)</b> |
| 16.1          | 金属切削加工的基础知识 .....       | (314)        |
| 16.2          | 金属切削过程及其物理现象 .....      | (318)        |
| 16.3          | 切削刀具和切削用量选择 .....       | (321)        |
| 16.4          | 车、钻、镗、铣、刨、磨削加工简介 .....  | (322)        |
| 16.5          | 切削加工零件结构工艺性 .....       | (324)        |
|               | 思考题与练习题 .....           | (326)        |
|               | <b>参考文献 .....</b>       | <b>(327)</b> |



# 绪 论

机械是各种机器的简称。在生产和生活中使用着各式各样的机械,如汽车、摩托车、电风扇等。机械是人类在长期生产和生活实践中创造出来的重要劳动工具。我国古代劳动人民在机械方面有许多杰出的发明和创造,如指南车、记里鼓、地动仪等。机械的种类繁多,其结构、性能和用途各异,人们用机械减轻劳动强度、改善劳动条件、提高劳动生产率 and 产品质量,机械帮助人们创造更多的社会财富。随着科学技术的飞速进步和生产的不断发展,机械科学和技术必将会达到更高的水平,机械的应用必将越来越多。因此要求各类专业的工程技术人员,都要具备一定的机械方面的基本知识,才能更好地参与社会竞争,更好地为社会主义建设服务。

制造机器和机械零件,首先要知道对它们的功能要求,进而设计好的机器和机械零件。设计过程中包括进行相应的计算,提出尺寸形状要求和选择材料,经过试制和全面鉴定后,投入生产进行制造。其制造过程通常是先用铸造、锻压或焊接等工艺方法,制成毛坯,再进行切削加工,得到所需的零件,其间根据需要进行相应的热处理以改善零件的某些性能,最后将制成的各种零件装配和试验,即成为成品。维护、修理机器和零件时也要对它们的工作特点、结构、材料等有充分了解才能正确判断并“对症下药”,解决有关问题。

本课程主要是围绕上述有关内容介绍相应知识。

## 一、课程研究对象和内容

本课程是综合性课程,它主要围绕机械为完成运动的传递、能量的转换等功能而具有的共同属性,研究机械常用机构和有关通用零件的设计、制造。包括以下主要内容:

### 1. 工程力学

机械都处在力的环境中工作,工程力学主要介绍力的概念,性质,定理及用于解决实际问题的分析、计算方法。

### 2. 极限与配合

主要介绍机械零件尺寸精度、形状精度、位置精度和零件表面粗糙度的相关概念、有关规定和选择原则。

### 3. 机械工程材料

主要介绍机械零件常用工程材料的性能、牌号和选用。

### 4. 常见机构和零件

主要介绍常见机构和零件的种类、结构和应用,介绍常见机构和零件失效形式及强度计算方法。

### 5. 常用制造机械零件工艺

简要介绍常用制造机械零件的工艺原理、方法、特点和运用。

## 二、本课程的性质、目的

《机械基础》是阐述与机械有关的基本知识和基本理论的一门综合性课程，是一门技术基础课。它既是基础课程又是技术课程，在培养有关专业，如机械、化工、土建等技术人才掌握机械的基本知识方面，起着一定的作用，也为上述人员进一步学好专业知识和将来工作打下一个基础，学好该门课程也可解决生产中的一些技术问题。因而，《机械基础》是有关专业必不可少的课程。

通过本课程的学习，使学生、学员及工程技术人员为进一步学习和将来工作奠定一个基础，能使其拓宽学科知识，提高就业能力，使其具有一定正常使用设备和维护设备的能力，具有不断提高技术水平能力，具有不断地改进工艺和创新设计等方面的能力。

## 三、本课程的任务和要求

1. 建立力和应力的概念，掌握力的基本规律；掌握物体的受力分析与平衡条件；掌握应力的分析方法和计算方法。

2. 了解极限与配合方面有关基本概念；了解尺寸公差、形位公差、公差带；了解尺寸配合、表面粗糙度、极限与配合的国家标准等基本理论的应用。

3. 掌握材料的强度、塑性、硬度、韧性等概念；掌握钢的普通热处理工艺过程和目的；掌握常用工程材料（碳钢、合金钢、铸铁）的分类、牌号、性能和用途；会对应常见零件选择材料，完成常用零件的材料选用。

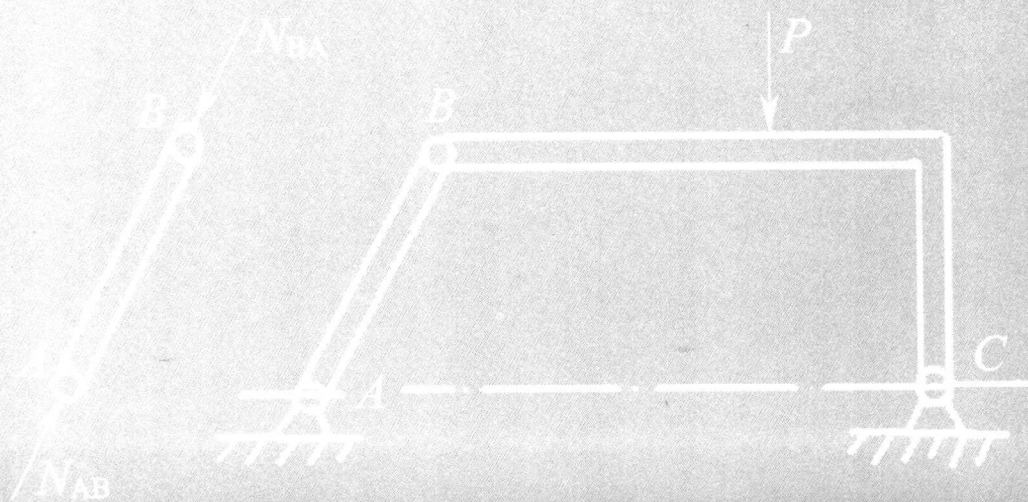
4. 掌握机械传动中常用机构和主要通用零部件的类型、工作原理、特点、应用及简单计算，并具有运用和分析简单传动装置的能力。

5. 了解常用金属加工工艺方法及种类、工作原理、特点和应用；了解金属加工工艺基本技术要求。

## 四、本课程学习方法的建议

《机械基础》课程具有综合性和实践性较强的特点，学习本门课时，应以数学、物理、机械制图等课程知识为背景，学习时重要的是如何将诸多知识综合运用，提高分析问题、解决问题的能力。学习时不仅要注意理论性内容的学习，还要勤于观察各种日常生活和生产中的机械、零件，结合课程内容多思考，主动地理论联系实际，增加感性知识，以助于本课程的学习。在学习过程中，还要多做练习和进行简单设计，通过解题来提高运用基本理论去分析和解决问题的能力，加深对所学内容的理解和应用。

# 工程力学篇





# 第 1 章 构件外力及其平衡计算

## 1.1 力的基本概念与性质

力的基本概念与性质是力学的基础。

### 1.1.1 基本概念

#### (1) 力

力是指物体之间的相互机械作用，力作用的结果将使物体的运动状态发生变化，或使物体的形状发生变化。在实际中，物体间的作用方式是多种多样、千变万化的。但是可以归纳成两种类型：一种是两个物体直接接触，如摩擦力、水流对坝体的压力等；另一种是通过场间接作用，如万有引力场中的万有引力（重力）及电磁场中的电磁力等。

既然力是物体间的相互作用，那么力必然是成对出现的。例如人用力推小车（图 1-1）。人给小车一个作用力，那么小车必然给人一个反作用力。

实践表明，力对物体的作用效果取决于三个要素：

- ① 力的大小；
- ② 力的方向；
- ③ 力的作用点。

即力的三要素。力的三要素可用一个定位矢量

来表示，所谓定位矢量是指矢量的始端或末端固定于空间内某一点的矢量，可用矢量的长短和方向表示力的大小和方向，用矢量的始端或末端表示力的作用点，即力是一个定位矢量。如图 1-2 所示。通过力的作用点，并沿着力的方位的直线称为力的作用线。

在国际单位制 [SI] 中，力的单位是牛 (N) 或千牛 (kN)。在工程单位制中力的单位是公斤力 (kgf) 或吨力 (tf)。两种单位制之间的换算关系为 1 千牛 (kN) = 1000 牛 (N)，1 吨力 (tf) = 1000 公斤力 (kgf)。

#### (2) 刚体

刚体是指在力的作用下不变形的物体。它是从实际中抽象出来的理想化的力学模型。实际上任何物体在力的作用下都或大或小地发生变形，但是当这些微小的变形对所研究的问题属于次要因素时，就可忽略不计，则将该物体视为刚体。

#### (3) 平衡

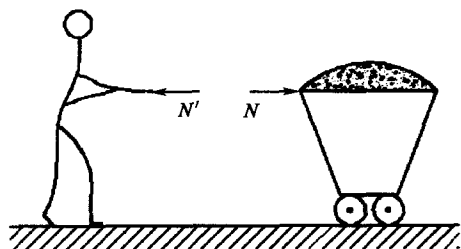


图 1-1 人推车

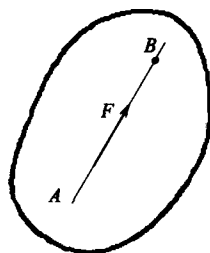


图 1-2 力是定位矢量

平衡状态是指物体相对于惯性参考系处于静止或匀速直线运动状态。当物体受多个外力作用,物体处于平衡状态,则这多个力为平衡力。

#### (4) 力系

作用在物体上的一群力称为力系。如果物体在一力系作用下保持平衡状态,则称该力系为平衡力系。作用于刚体上的一个力系用另外一个力系代替,如果两个力系对物体的作用效果相同,那么称这两个力系为等效力系。

#### (5) 合力和分力

如果一个力系和一个力等效,那么就称这个力为该力系的合力,而称力系中的每个力为这个力的分力。

#### (6) 力对点之矩

在生产实践中,用扳手拧紧螺母时,如图 1-3 所示,拧紧的程度不仅与力  $F$  的大小有关,而且与螺母中心  $O$  到力  $F$  作用线的垂直距离  $d$  有关。此外如果力  $F$  的作用方向与图 1-3 所示的方向相反时,则扳手将使螺母松开。

因此我们以乘积  $F \cdot d$ ,并加以适当的正负号作为力  $F$  使物体绕  $O$  点转动效应的度量,称其为力  $F$  对  $O$  点之矩,简称力矩。以符号  $M_o$  表示,即

$$M_o = \pm Fd \quad (1-1)$$

式中  $O$  点称为力矩中心,简称矩心。 $O$  点到力  $F$  作用线的垂直距离  $d$  称为力臂。通常规定力使物体绕矩心作逆时针方向转动时力矩为正;反之为负。

力矩的单位在国际单位制中为牛·米 ( $\text{N} \cdot \text{m}$ ) 或千牛·米 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )。在工程单位制中,力矩的单位习惯上用公斤·米 ( $\text{kg} \cdot \text{m}$ )。

**例 1-1** 汽车操纵系统的踏板如图 1-4 所示。已知工作阻力  $R = 1700\text{N}$ ,驾驶员脚的蹬力  $F = 193.7\text{N}$ ,尺寸  $a = 380\text{mm}$ ,  $b = 50\text{mm}$ ,试求工作阻力  $R$  和蹬力  $F$  对  $O$  点之矩。

**解** 根据式 (1-1) 可求得工作阻力  $R$  及蹬力  $F$  对  $O$  点的力矩分别为

$$M_o(R) = Rb\sin\alpha = 1700 \times 0.05\sin 60^\circ = 73.6 (\text{N} \cdot \text{m})$$

$$M_o(F) = -Fa = -193.7 \times 0.38 = -73.6 (\text{N} \cdot \text{m})$$

合力矩定理:平面汇交力系的合力对平面内任一点之矩,等于各分力对同一点之矩的代数和

$$M_o = M_{o1}(F_1) + M_{o2}(F_2) + \dots + M_{on}(F_n)$$

$$M_o = \sum M_{oi}(F_i) \quad (1-2)$$

例 1-1 中合力矩  $M_o = M_o(R) + M_o(F) = 73.6 + (-73.6) = 0$

#### (7) 力偶与力偶矩

##### ① 力偶与力偶矩基本概念

生产实践中,常会遇到物体上同时受到两个大小相等、方向相反、作用线不重合的平行力的作用。例如汽车驾驶员用双手转动方向盘时作用在方向盘上的两个力,如图 1-5 所示。

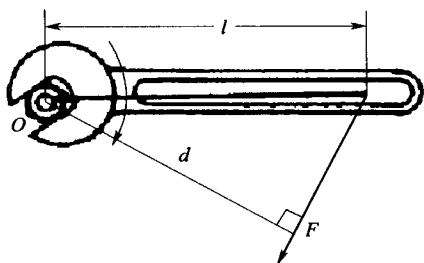


图 1-3 扳手扳螺母

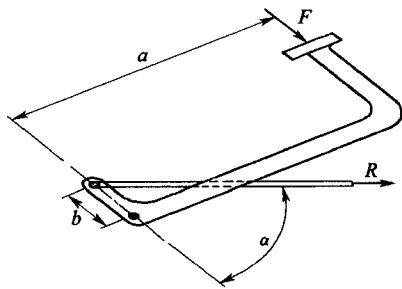


图 1-4

在这样两个力的作用下,物体产生转动,我们把大小相等、方向相反、作用线不重合的两个平行力称为力偶,以符号  $F'F$  表示。力偶的两力所在的平面称为力偶作用面,两力之间的垂直距离  $d$  称为力偶臂。

物体受力偶作用时产生的转动效果,不仅与力偶中力  $F$  的大小成正比而且与力偶臂  $d$  的大小成正比,力  $F$  及  $d$  愈大,转动效果就愈显著。因此,与力矩类似,我们以力  $F$  与力偶臂  $d$  的乘积  $F \cdot d$ ,并加以适当的正负号作为力偶对物体的转动效应的度量,并称它为力偶矩,以符号  $M$  表示,即

$$M = \pm F \cdot d \quad (1-3)$$

式(1-3)中的正负号表示力偶的旋转方向。通常规定:使物体作逆时针方向转动的力偶矩为正,反之为负。力偶矩的单位与力矩的单位相同。

## ② 力偶的等效性

设有一力偶,其力偶矩为  $M = Fd$ ,如图1-6所示。在力偶的作用面内任取一点  $O$  为矩心,显然力偶使物体绕  $O$  点转动的效应可用力偶中两个力  $F$ 、 $F'$  分别对  $O$  点之矩的代数和来度量。因而有

$$M_o(F) + M_o(F') = F \cdot (x + d) - F' \cdot x = F \cdot x + F \cdot d - F' \cdot x = M$$

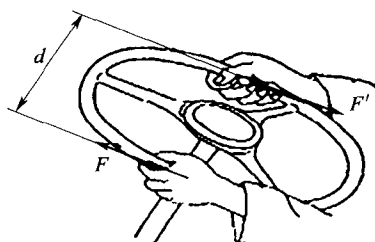


图1-5 双手转动方向盘

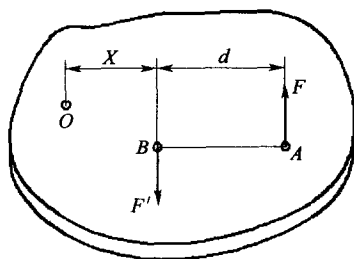


图1-6 平面任一力偶

这说明力偶对物体的转动效应完全决定于力偶矩的大小与转向,而与矩心的位置无关。因此,如果两个力偶的力偶矩大小相等且转向相同,则这两个力偶对物体就有相同的转动效应,这两个力偶为等效力偶。由此还可得出下列两个推论:

- 力偶可以在其作用面内任意转移,而不会改变该力偶对物体的作用效果;
- 在保持力偶矩的大小和转向不变的条件下,可以任意改变力偶的两力和力偶臂的大小,而不会改变力偶对物体的作用效果。

同理,由更多个力偶组成的平面力偶系合成的结果为一合力偶,其力偶矩等于各分力偶矩的代数和。用数学式表示为

$$M = \sum M_i \quad (1-4)$$

当  $M = \sum M_i = 0$  时,平面力偶系平衡。

## 1.1.2 力的基本性质及公理

力的基本性质及公理是研究力的合成和平衡,以及两个物体间相互作用等最基本的力学规律。

### (1) 力平衡公理

作用在刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。此公理只适用于刚体而不适用于变形体。在工程实际中,我们把在两个力作用下处于平衡的构件称为二力构件,如果构件的几何形状是杆,则称为二力杆。如图 1-7 中的  $AB$  杆(忽略其自重)即为二力杆。

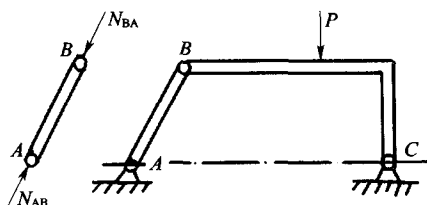


图 1-7 二力杆

### (2) 加减平衡力系公理

在任一力系中,加上或减去任何一个平衡力系,并不改变原力系对物体的作用效果。此公理只适用于刚体中。由此公理可得出如下推论。

#### 推论 1 力的可传性原理

作用在刚体上某点的力,可沿它的作用线移动到刚体内的任意一点,并不改变它对刚体的作用效果。

证明:设力作用于刚体的  $A$  点,如图 1-8 (a) 所示。在  $AB$  的作用线上任取一点  $B$ ,根据加减平衡力系公理,在  $B$  点加上一对平衡力  $F'$ 、 $F''$ ,使得  $F = F'' = F'$ ,则对刚体的作用效果不变,如图 1-8 (b) 所示。显然力  $F$  和  $F''$  也构成一对平衡力,再根据加减平衡力系公理减去一对平衡力  $F$ 、 $F''$ ,同样不改变对刚体的作用效果,如图 1-8 (c) 所示。这样就相当于力  $F$  的作用点沿其作用线移动到任意一点  $B$  了。

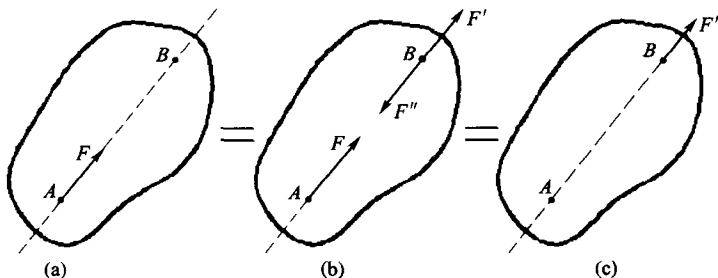


图 1-8 力在作用线上移动

此外还应注意,力的可传性原理只适用于力在一个刚体上传递,而不能把作用在某个刚体上的力传递到另外的刚体上去。

从上述分析可以看出,作用于刚体上力的三要素变成:

- ① 力的大小;
- ② 力的方向;
- ③ 力的作用点。

因此,我们称作用于刚体上的力矢量为滑移矢量。

### (3) 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点,合力的大小和方向则由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定,如图 1-9 (a) 所示。

因为力是矢量,所以也应符合矢量加法,即合力矢等于两分力矢的矢量和,即

$$R = F_1 + F_2$$



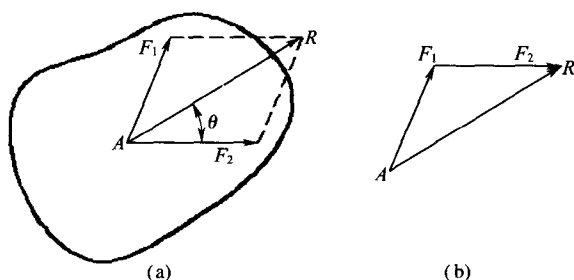


图 1-9 力的平行四边形

也可将两个分力矢量首尾相接, 然后从第一个矢量的始端到第二个矢量的末端连一矢量即为合力矢量, 如图 1-9 (b) 所示。这种求合力的方法称为力的三角形法则。由此公理和二力平衡公理可得如下推论。

### 推论 2 三力平衡汇交定理

若刚体在三个力的作用下处于平衡, 且其中二力相交于一点时, 则第三个力的作用线必通过此交点, 且三力在同一平面内。同理, 当一个刚体在三个力作用下平衡时, 必汇交于一点。

证明: 如图 1-10 所示, 刚体在三个力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  作用下处于平衡状态, 且  $F_1$ 、 $F_2$  的作用线相交于  $A$  点。根据力的可传性原理, 把  $F_1$ 、 $F_2$  的作用点移动到  $A$  点, 用力的平行四边形法则, 将  $F_1$ 、 $F_2$  合成为一个合力  $F_{12}$ , 则刚体在  $F_{12}$  作用下与原力系等效。根据二力平衡公理可知, 刚体在  $F_3$ 、 $F_{12}$  作用下平衡, 则  $F_3$ 、 $F_{12}$  必定大小相等、方向相反且作用在同一直线上。

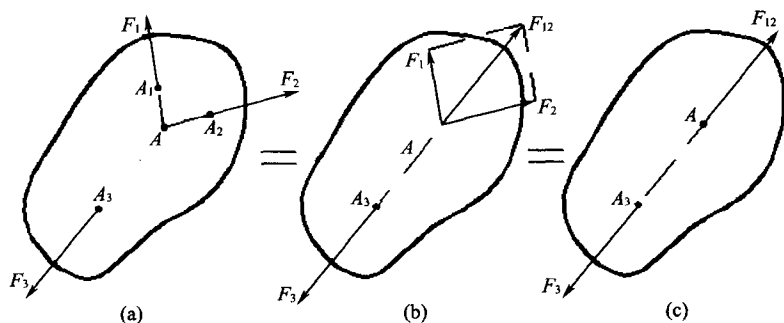


图 1-10 三力沿长线相交

### (4) 作用与反作用定律

两个物体间的相互作用力即作用力和反作用力总是同时存在, 两个力的大小相等、方向相反, 沿着同一直线, 分别作用在两个相互作用的物体上, 如图 1-1 所示。

## 1.2 构件的受力图

### 1.2.1 约束及约束反作用力

一般来说, 物体往往受到某种限制就不能自由运动。例如绳索悬挂的重物不能下落; 电机的转子受轴承的限制, 只能绕轴线转动; 火车受轨道的限制只能沿轨道运行, 这种运动受到一定限制的物体称为非自由体。相反, 运动不受任何限制的物体称为自由体, 如炮弹和火箭等。