

四川省建筑工程学校 胡兴福 主编  
肖盛莲 编  
吴大友

# 建筑力学与结构知识

中等专业学校建筑经济与管理专业系列教材

中国建筑工业出版社

中等专业学校建筑经济与管理专业系列教材

# 建筑力学与结构知识

胡兴福 主编  
四川省建筑工程学校 肖盛莲 编  
吴大友

山西省建筑工程学校 王世新 主审

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑力学与结构知识/胡兴福主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 12

中等专业学校建筑经济与管理专业系列教材

ISBN 7-112-04199-6

I. 建… II. 胡… III. 建筑结构-结构力学-专业学校-教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 32119 号

本书主要内容包括力的基本概念、平面力系、轴向拉(压)杆的内力、受弯构件的内力、受扭杆件的内力及组合变形的概念、钢筋混凝土结构计算的基本原则、钢筋混凝土受弯构件、钢筋混凝土受压及受拉构件、钢筋混凝土楼(屋)盖、钢筋混凝土楼梯、过梁、雨篷、多层及高层房屋结构简介、砌体结构的基本知识、钢结构基本知识、结构施工图等。

本书主要作为中等专业学校建筑经济与管理专业、物业管理专业以及房地产经济与管理专业的教材,也可供其他专业使用,或作为其他职业技术学校 and 职业培训教材。

中等专业学校建筑经济与管理专业系列教材

### 建筑力学与结构知识

胡兴福 主编

四川省建筑工程学校 肖盛莲 编

吴大友

山西省建筑工程学校 王世新 主审

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京云浩印刷有限责任公司印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15½ 字数: 373 千字

2000 年 12 月第一版 2003 年 6 月第三次印刷

印数: 4501—6000 册 定价: 20.60 元

ISBN 7-112-04199-6

G·327 (9680)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 前 言

本教材根据建设部颁布的建筑经济与管理专业、物业管理专业、房地产经济与管理专业的教育标准、培养方案、《建筑力学与结构知识》课程教学大纲以及有关最新规范、标准编写。全书共十四章,包括力的基本概念、平面力系、轴向拉(压)杆的内力、受弯构件的内力、受扭杆件的内力及组合变形的概念、钢筋混凝土结构计算的基本原则、钢筋混凝土受弯构件、钢筋混凝土受压及受拉构件、钢筋混凝土楼(屋)盖、钢筋混凝土楼梯、过梁、雨篷、多层及高层房屋结构简介、砌体结构基本知识、钢结构基本知识、结构施工图等内容。

在编写过程中,编者力求做到取材恰当,体系科学,由浅入深,循序渐进,注重科学性、系统性、逻辑性和实用性的有机统一。在理论深度和广度上,体现了“够用为度”的原则,并努力做到理论联系实际。全书突出了结构施工图的识读这一关键能力。为了达到这一目的,编写了“结构施工图”一章,作为对《建筑识图与构造》课中结构施工图的补充和扩展,重点介绍了基础和框架结构的各种表示法。为了便于读者掌握,各章编有小结、思考题和习题。

本教材由四川省建筑工程学校胡兴福、肖盛莲、吴大友同志编写。胡兴福同志任主编,并编写绪论、第六章~第十一章,肖盛莲同志编写第一章~第五章,吴大友同志编写第十二章~第十四章。山西省建筑工程学校王世新同志担任本书主审,谨此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中疏漏不妥之处难免,恳请读者批评指正。

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 绪论 .....                  | 1  |
| 思考题 .....                 | 3  |
| 第一章 力的基本概念 .....          | 4  |
| 第一节 力的概念与分类 .....         | 4  |
| 第二节 静力学公理 .....           | 5  |
| 第三节 约束与约束反力 .....         | 7  |
| 第四节 物体的受力分析及受力图 .....     | 9  |
| 思考题 .....                 | 11 |
| 习题 .....                  | 12 |
| 第二章 平面力系 .....            | 13 |
| 第一节 力的合成与分解 .....         | 13 |
| 第二节 力矩和力偶 .....           | 16 |
| 第三节 平面力系的平衡 .....         | 19 |
| 思考题 .....                 | 24 |
| 习题 .....                  | 24 |
| 第三章 轴向拉(压)杆的内力 .....      | 26 |
| 第一节 概述 .....              | 26 |
| 第二节 轴向拉(压)杆的内力 .....      | 27 |
| 第三节 应力、应变及压杆稳定的概念 .....   | 30 |
| 思考题 .....                 | 33 |
| 习题 .....                  | 33 |
| 第四章 受弯构件的内力 .....         | 35 |
| 第一节 概述 .....              | 35 |
| 第二节 梁的内力 .....            | 35 |
| 第三节 梁的内力图 .....           | 39 |
| 第四节 梁横截面上的应力 .....        | 45 |
| 第五节 连续梁内力简介 .....         | 46 |
| 思考题 .....                 | 48 |
| 习题 .....                  | 48 |
| 第五章 受扭杆件的内力及组合变形的概念 ..... | 50 |
| 第一节 受扭构件的内力 .....         | 50 |
| 第二节 组合变形的概念 .....         | 51 |
| 思考题 .....                 | 53 |
| 习题 .....                  | 53 |
| 第六章 钢筋混凝土结构计算的基本原则 .....  | 55 |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 第一节 荷载 .....                                                        | 55  |
| 第二节 结构功能极限状态与实用设计表达式 .....                                          | 56  |
| 第三节 钢筋混凝土结构材料及其计算指标 .....                                           | 59  |
| 第四节 钢筋和混凝土共同工作 .....                                                | 60  |
| 思考题 .....                                                           | 61  |
| 习题 .....                                                            | 62  |
| 附录 .....                                                            | 63  |
| 附表 6-1 民用建筑楼面均布活荷载 .....                                            | 63  |
| 附表 6-2 工业与民用建筑屋面均布活荷载 .....                                         | 64  |
| 附表 6-3 混凝土强度标准值 .....                                               | 64  |
| 附表 6-4 混凝土强度设计值 .....                                               | 64  |
| 附表 6-5 混凝土弹性模量 .....                                                | 65  |
| 附表 6-6 钢筋的计算截面面积及公称质量 .....                                         | 65  |
| 附表 6-7 各种钢筋间距时每米板宽内的钢筋截面面积 .....                                    | 65  |
| 附表 6-8 钢筋强度标准值 .....                                                | 66  |
| 附表 6-9 钢筋强度设计值 .....                                                | 67  |
| 附表 6-10 钢筋弹性模量 .....                                                | 67  |
| 附表 6-11 纵向受拉钢筋最小锚固长度 $l_a$ .....                                    | 68  |
| 附表 6-12 接头区段内受力钢筋接头面积允许百分率 .....                                    | 68  |
| 第七章 钢筋混凝土受弯构件 .....                                                 | 69  |
| 第一节 构造要求 .....                                                      | 69  |
| 第二节 受弯构件正截面承载力计算 .....                                              | 74  |
| 第三节 受弯构件斜截面承载力计算 .....                                              | 85  |
| 第四节 变形和裂缝计算简介 .....                                                 | 90  |
| 思考题 .....                                                           | 95  |
| 习题 .....                                                            | 96  |
| 附录 .....                                                            | 98  |
| 附表 7-1 混凝土保护层最小厚度 .....                                             | 98  |
| 附表 7-2 混凝土构件中纵向受力钢筋最小配筋百分率 .....                                    | 98  |
| 附表 7-3 受弯构件的允许挠度 .....                                              | 99  |
| 附表 7-4 裂缝控制等级、混凝土拉应力控制系数 $\alpha_{ct}$ 及最大裂缝宽度允许值 $[w_{max}]$ ..... | 99  |
| 第八章 钢筋混凝土受压及受拉构件 .....                                              | 100 |
| 第一节 钢筋混凝土受压构件的构造要求 .....                                            | 100 |
| 第二节 轴心受压构件的承载力计算 .....                                              | 103 |
| 第三节 偏心受压构件的承载力计算 .....                                              | 106 |
| 第四节 受拉构件承载力计算简介 .....                                               | 112 |
| 思考题 .....                                                           | 115 |
| 习题 .....                                                            | 115 |
| 第九章 钢筋混凝土楼(屋)盖 .....                                                | 117 |
| 第一节 装配式楼(屋)盖 .....                                                  | 117 |
| 第二节 现浇楼(屋)盖 .....                                                   | 127 |
| 思考题 .....                                                           | 135 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第十章 钢筋混凝土楼梯、过梁、雨篷 .....  | 136 |
| 第一节 钢筋混凝土楼梯 .....        | 136 |
| 第二节 钢筋混凝土过梁 .....        | 140 |
| 第三节 钢筋混凝土雨篷 .....        | 141 |
| 思考题 .....                | 144 |
| 第十一章 多层及高层房屋结构简介 .....   | 145 |
| 第一节 多层与高层房屋的结构体系 .....   | 145 |
| 第二节 钢筋混凝土框架结构 .....      | 147 |
| 第三节 框架结构的抗震构造措施 .....    | 150 |
| 思考题 .....                | 156 |
| 第十二章 砌体结构基本知识 .....      | 157 |
| 第一节 砌体的种类及其材料 .....      | 157 |
| 第二节 砌体结构构件承载力计算简介 .....  | 161 |
| 第三节 砌体结构房屋的构造要求 .....    | 163 |
| 第四节 多层砌体房屋的抗震构造措施 .....  | 168 |
| 思考题 .....                | 176 |
| 第十三章 钢结构基本知识 .....       | 177 |
| 第一节 钢结构的材料 .....         | 177 |
| 第二节 钢结构的连接 .....         | 182 |
| 第三节 钢屋盖的组成与构造形式 .....    | 190 |
| 思考题 .....                | 197 |
| 第十四章 结构施工图 .....         | 198 |
| 第一节 结构施工图要点 .....        | 198 |
| 第二节 结构施工图的识读 .....       | 218 |
| 思考题 .....                | 219 |
| 附图一 某框架结构办公楼的结构施工图 ..... | 219 |
| 附图二 某钢屋架施工图 .....        | 237 |
| 参考文献 .....               | 239 |

# 绪 论

## 一、本课程的任务及研究对象

建筑是供人们生产、生活和进行其他活动的房屋或场所。各类建筑都离不开梁、板、墙、柱、基础等构件,它们相互连接形成建筑的骨架。我们把建筑中,由若干构件连接而成的能承受各种“作用”的平面或空间体系称为建筑结构,在不致混淆时可简称结构。这里所说的“作用”,是指能使结构或构件产生效应(内力、变形、裂缝等)的各种原因的总称。作用可分为直接作用和间接作用。所谓直接作用,即习惯上所说的荷载,是指施加在结构上的集中力或分布力系,如结构自重、家具及人群荷载、风荷载等。间接作用是指引起结构外加变形或约束变形的原因,如地震、基础沉降、温度变化等。

建筑结构或构件必须具有足够的可靠性,即应满足安全性、适用性和耐久性等功能要求(其定义将在第六章介绍)。通俗地讲,就是承受作用后不致破坏、失稳,变形、裂缝等不超过规定的限值,并能达到规定的耐久年限。在满足可靠性的同时,还应具有经济性。可靠和经济是一对矛盾。例如,当构件材料、受力、截面形状等已经确定时,构件截面尺寸过小,则可能承载能力不够而导致结构破坏,或者因变形、裂缝过大而不能正常工作;反之,如果构件截面尺寸过大,则构件承载能力将过于富余,势必增加造价,造成不必要的浪费。实际工程中,需要通过结构设计来解决这对矛盾。建筑结构设计所要解决的根本问题,就是要在结构的可靠与经济之间选择一种合理的平衡,使所建造的结构既经济合理,又安全可靠。结构设计是一个复杂的综合过程,一般需要先对结构进行总体布置,然后对构件进行受力分析、荷载计算、内力计算、选择尺寸和材料、构造处理等等,最后绘出结构施工图。这些都是建筑力学与结构所要研究的课题。

由上述可见,建筑力学与结构内容十分丰富,涉及建筑力学和建筑结构两门学科。本书只讨论建筑力学和建筑结构的基本理论及方法。具体地讲,就是以结构和组成结构的构件为研究对象,研究结构或构件在荷载作用下的平衡规律及简单静定结构的内力计算方法,研究钢筋混凝土结构基本构件承载力的计算方法以及钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构的基本构造要求,为正确识读结构施工图奠定基础。

## 二、建筑结构的分类

按照结构所用材料不同,建筑结构可分为以下几种类型:

### (一) 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种力学性能完全不同的材料结合而成的复合材料。以钢筋混凝土为主制作的结构称为钢筋混凝土结构。

钢筋混凝土结构应用如此广泛,主要是它有以下优点:

1. 易于就地取材。钢筋混凝土的主要材料是砂、石,而这两种材料几乎到处都有,易于就地取材,并且水泥和钢材的产地在我国分布也较广,这有利于降低工程造价。
2. 耐久性好。钢筋混凝土结构中,钢筋被混凝土紧紧包裹而不致锈蚀,并且混凝土的



强度还能随龄期不断提高,因此具有很好的耐久性,几乎不用维修。

3. 抗震性能好。钢筋混凝土结构特别是现浇结构具有很好的整体性,能抵御地震作用,这对于地震区的建筑物有重要意义。

4. 可塑性好。混凝土拌和物是可塑的,可根据工程需要制成各种形状的构件,这给合理选择结构形式及构件断面提供了方便。

5. 耐火性好。在钢筋混凝土结构中,钢筋被混凝土包裹着,而混凝土的导热性很差,因此发生火灾时钢筋不致很快达到软化温度而造成结构破坏。

由于上述优点,钢筋混凝土结构不仅被广泛应用于多层与高层住宅、宾馆、写字楼以及单层与多层工业厂房等工业与民用建筑中,而且水塔、烟囱、核反应堆等特种结构也多采用钢筋混凝土结构。当然,钢筋混凝土也有一些缺点,主要是自重大、抗裂性能差、现浇结构模板用量大、工期长等等。但随着科学技术的不断发展,这些缺点是可以逐渐克服的。例如采用轻集料混凝土可以减轻结构自重,采用预应力混凝土可以提高构件的抗裂性能,采用预制构件可以减小模板用量、缩短工期。

## (二) 砌体结构

砌体是指用块体(砖、石材、砌块)和砂浆砌筑而成的材料。以砌体为主制作的结构称为砌体结构。它主要有以下优点:

1. 易于就地取材。砌体结构所需用的原材料如粘土、砂子、天然石材等几乎到处都有,因而比钢筋混凝土结构更为经济,并能节约水泥、钢材和木材。

2. 具有良好的耐火性及耐久性。

3. 具有良好的保温、隔热、隔声性能。

4. 施工简单,技术容易掌握和普及,也不需要特殊的设备。

由于上述优点,目前,砌体结构在我国房屋建筑中仍占很大比例。砌体结构的主要缺点是自重大、强度尤其抗拉强度低、整体性差。在实际工程中,砌体结构主要用于房屋结构中的竖向承重构件(如墙、柱等),而水平承重构件(如梁、板等)多为钢筋混凝土结构。这种由两种及两种以上材料作为主要承重结构的房屋,称为“混合结构”。

## (三) 钢结构

钢结构是指以钢材为主制作的结构。它具有材料强度高、自重轻、材料均匀、材料的塑性和韧性好、便于工厂生产和机械化施工、便于拆卸等优点,但易腐蚀、耐火性差、工程造价和维护费用高,一般只用于高层建筑及大跨度结构(如屋架、网架、悬索等结构)。

## (四) 木结构

木结构是指全部或大部分用木材制作的结构。这种结构易于就地取材,制作简单,但易燃、易腐蚀、变形大,并且木材使用受到国家严格限制,因此已很少采用。

## 三、本课程的主要内容及学习要求

建筑力学与结构知识,是由建筑力学与建筑结构组合而成的综合性课程,它包括力学与结构两部分内容。

力学部分包括力的基本概念、平面力系、轴向拉(压)杆的内力、受弯杆件的内力、受扭杆件的内力及组合变形的概念等内容。通过力学部分的学习,要求理解力学的基本概念、基本理论和基本方法,能进行结构的受力分析和内力计算,为结构部分的学习和应用奠定基础。

结构部分包括钢筋混凝土结构设计原则、钢筋混凝土受弯构件、钢筋混凝土受压及受拉

构件、钢筋混凝土楼(屋)盖、钢筋混凝土楼梯、过梁、雨篷、多层及高层结构简介、砌体结构基本知识、钢结构基本知识、结构施工图等内容。通过这部分内容的学习,要求理解结构计算的基本原则,领会钢筋混凝土受弯、受压及受拉构件的计算方法,能正确识读结构施工图,并能理解建筑施工中的一般结构问题。

#### 四、本课程的学习方法

本课程是建筑经济与管理、房地产经济与管理、物业管理等专业的技术基础课。要学好本课程,除应像学习其他课程那样,做到勤看、勤思、勤记、勤练、勤问之外,还应注意以下特点:

1. 本课程的内容涉及数学、识图与构造、建筑材料等先修课,同时又是学习建筑施工技术、建筑工程概预算等课程的基础。因此,学习本课程时,应与相关的知识相联系,必要时还要旧课重温,只有这样才能使新知识植根于旧知识,才能培养自己的综合分析能力和归纳能力,使新知识得到巩固和提高。

2. 它是一门实践性很强的课程,尤其是结构部分,其理论本身就来源于生产实践,它是前人大量工程实践的经验总结。因此,学习本课程时,不能满足于学好书本知识,应通过实习、参观等各种渠道向工程实践学习,真正做到理论联系实际。只有这样,书本知识才能得到升华,才不会成为无根之草。

3. 本课程内容包括力学和结构部分。力学部分研究刚体(静力学)和匀质弹性材料(材料力学),而结构部分除钢结构外都不符合匀质弹性材料的条件,因此力学公式多数不能直接应用于结构部分,但其基本原理、基本方法是相似的,同时力学是学习结构的基础。所以,必须重视力学部分的学习。

4. 正确识读结构施工图,是学习本课程的落脚点,因此应注意培养自己的识图能力。学习本课程时,最好能识读几套施工图,并应注意识读构件通用图(标准图),因为它是结构施工图的组成部分。

只要能够做到以上几点,学好本课程将不会是难事。

#### 思 考 题

1. 什么是建筑结构上的作用?什么是荷载?
2. 结构按所用材料不同可以分为哪几类?各有什么优缺点?

# 第一章 力的基本概念

在工程上,物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态,称为平衡。如静止的建筑物和沿直线匀速起吊的构件等,都是平衡的实例。

建筑力学的主要内容之一,就是研究物体在力的作用下平衡状态的规律,这里的物体,我们视之为在外力作用下,其形状和大小保持不变的刚体。它是一种忽略了微小变形但并不影响计算结果的理想化的力学模型。但应注意的是,研究物体平衡时可视其为刚体,但在计算变形物体的刚度、强度、稳定性时应视其为可变形固体。

## 第一节 力的概念与分类

### 一、力的概念

#### 1. 力的涵义

力的概念最初是从长期的生活和实践中得到的,并在反复的实践中不断加深和完善。人们把对力的认识总结为:力是物体间的相互作用,这种作用的效果使物体运动状态发生变化(运动效应),或者使物体的形状和大小发生改变(变形效应)。

力的作用方式有两种,两物体相互接触时,可以产生相互间的拉或压的作用;两物体不接触时,可以产生相互间的吸引力或排斥力。

#### 2. 力的三要素

实践证明:力对物体的作用效果取决于力的大小、力的方向和力的作用点,组成力的这三个元素,称为力的三要素。

力的大小是表示物体间相互作用的强弱程度。在国际制单位中,力的度量单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

$$1 \text{ 千牛顿(kN)} = 1000 \text{ 牛顿(N)}$$

力的方向包括力的方位和指向两个涵义。

力的作用点就是力对物体作用的位置。它实际上不是一个点而是一个范围。当力的作用范围小时,可近似地看成一个点,此时的力称为集中力。

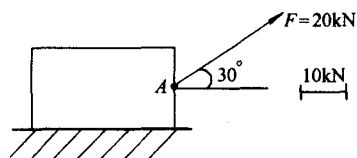


图 1-1 矢量力的图示

力是一个既有大小又有方向的量,我们称之为矢量。所以,通常用一段带箭头的线段来表示力的三要素。线段的长短表示力的大小;线段的方位表示力的方位,箭头表示力的指向;带箭头线段的起点或终点(即与物体的接触点)表示力的作用点(如图 1-1)。

若用文字表示力矢量,常用黑体字  $F$ 、 $R$ 、 $P$ 、 $N$  等,而  $F$ 、 $R$ 、 $P$ 、 $N$  只表示力的名称和该力矢量的大小。

## 二、力的分类

物体所受到的力一般可以分为两类。一类是使物体运动或使物体有运动趋势的力,称之为主动动力。例如重力、土压力、水压力等,主动力在工程上称为荷载。另一类是对物体的运动起限制作用的力,称之为约束反力。主动力和约束反力统称为外力。

约束反力我们将在本章第三节详细讲述,现将本书常用荷载进行如下分类。

按荷载作用的范围可分为:集中荷载、分布荷载(均布荷载、非均布荷载)。

### 1. 集中荷载

凡荷载作用面积相对于物体总面积是微小的,都可简化为集中荷载,也称集中力,如车轮的轮压。

### 2. 分布荷载

分布在一定面积或长度上的荷载,可简化为分布荷载。分布荷载又分为均布荷载和非均布荷载两种。分布荷载的大小用施加在单位长度(面积)上荷载的大小,即分布荷载的集度来表示。

## 第二节 静力学公理

在长期的生活和生产实践中,人们认识并总结了关于力的最基本的客观规律,并把这些客观规律叫做静力学公理。这些公理简单明了,是研究力系的简化和平衡问题的依据。

### 一、作用力与反作用力公理

两个物体之间的作用力与反作用力,总是大小相等,方向相反,沿同一直线,并分别作用在这两个物体上。

这个公理揭示了两物体间相互作用的关系。力总是成对出现的,有作用力必定有反作用力。如图 1-2 所示, $N_1$  和  $N_2$  为作用力和反作用力。

### 二、二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体平衡的充分和必要条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。

这个公理说明了作用在物体上两个力的平衡条件。如图 1-3 所示, $F_A$  和  $F_B$  为一对平衡力。

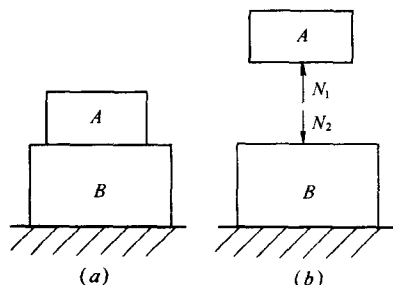


图 1-2 作用力与反作用力

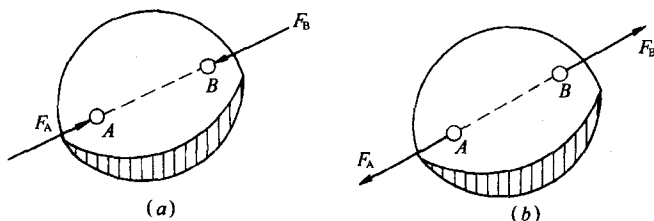


图 1-3 平衡力

若一根直杆只在两点受力作用而平衡,则作用在此两点的二力的作用线必在这两点的连线上,此直杆称为二力杆(图 1-4)。对于只在两点受力而平衡的一般构件,称为二力构件

(图 1-5)。

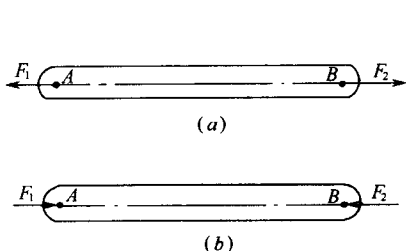


图 1-4 二力杆

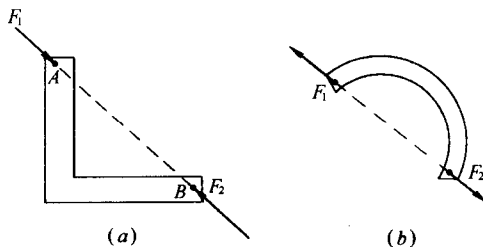


图 1-5 二力构件

### 三、加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系中,加上或去掉任何一个平衡力系,不改变原力系对刚体的作用效果。

由于平衡力系不会改变物体的运动状态,即平衡力系对物体的运动效应为零,所以在物体的原力系上加上或去掉一个平衡力系,是不会改变物体的运动效果的。

### 四、力的平行四边形法则

作用于物体同一点的两个力,可以合成一个合力。合力也作用于该点,合力的大小和方向由这两个力的邻边所构成的平行四边形的对角线来表示(如图 1-6)。

### 五、推论

#### 1. 力的可传性原理

作用在刚体上的力可沿其作用线移动到刚体内任意一点而不改变原力系对刚体的作用效应。

如图 1-7 所示, $F'$ 与 $F''$ 为一对平衡力,且与 $F$ 等大小,共线。根据加减平衡力系公理,作用在 $B$ 点的 $F'$ 对刚体的效应等于原力 $F$ 对刚体的效应。

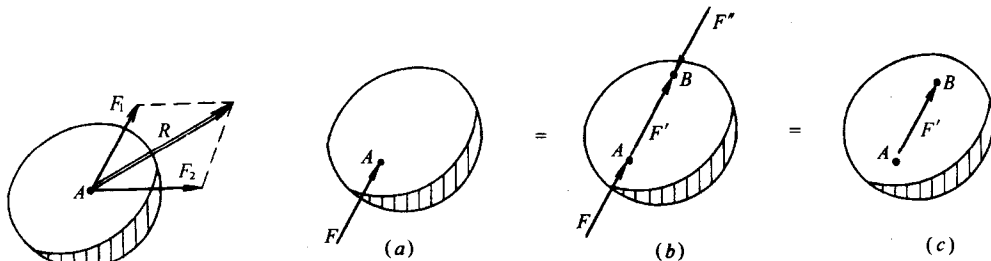


图 1-6 力的合成

图 1-7 力的滑移

须注意的是,力的可传性原理只适用于刚体,而不适用于变形固体。

#### 2. 三力平衡汇交定理

若刚体受共面不平行的三个力作用而平衡,这三个力的作用线必汇交于一点。

三力平衡汇交定理常常用来确定物体在共面不平行的三个力作用下平衡时,其中未知力的作用线的位置。

### 第三节 约束与约束反力

#### 一、约束与约束反力的概念

在空间可以自由运动的物体称为自由体;在空间的运动受到限制的物体称为非自由体。限制非自由体运动的装置,称为约束。约束对物体的运动起阻碍作用,这种阻碍物体运动的作用,称为约束反力,简称反力。约束反力的方向总是与物体运动方向或运动趋势的方向相反。

#### 二、建筑工程中几种常见的约束类型及其约束反力

##### 1. 柔体约束

柔软的绳索、链条或皮带用来阻碍物体运动时,称其为柔体约束。由于柔体只能受拉,不能受压,所以柔体只能限制物体沿柔体的中心线离开柔体的运动。因此,柔体约束的反力是通过接触点,沿柔体的中心线方向的拉力,通常用  $T$  表示,见图 1-8。

##### 2. 光滑接触表面约束

若两物体接触面的摩擦力非常小,可以忽略不计时,此接触面即为光滑接触表面约束。光滑表面只能限制物体垂直压向光滑表面的运动。故光滑接触表面的约束反力是过接触点,沿着接触面公法线方向的压力,通常用  $N$  表示,见图 1-9。

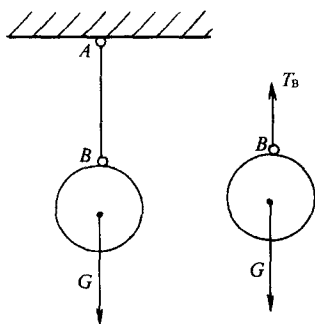


图 1-8 体约束及其反力

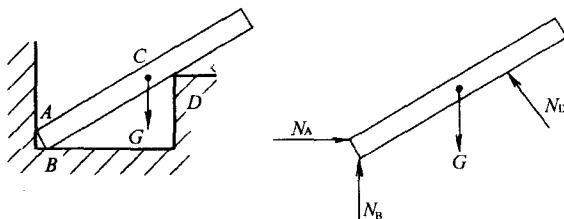


图 1-9 光滑表面约束及其反力

##### 3. 圆柱铰链约束

理想的圆柱铰链约束由圆形销钉插入两个物体的圆孔中构成,并认为销钉和圆孔都是光滑的。这种约束不能限制物体绕销钉转动,只能限制物体在垂直于销钉轴线的平面内任意方向的移动。其约束反力通过销钉中心作用在垂直于销钉轴线的平面内,方向待定。这种约束反力有大小和方向两个未知量,可用  $R$  表示;也可用两个相互垂直的分力  $X$  和  $Y$  来表示,见图 1-10。

##### 4. 链杆约束

链杆约束是两端用铰链与两个物体分别相连且中间不受其他力作用的刚性直杆。链杆只能阻碍物体沿链杆轴线方向的运动。故链杆约束反力沿链杆中心线,通过链杆与物体的接触点,指向待定,常用  $R$  表示,见图 1-11。

##### 5. 固定铰支座

构件与基础或静止的结构物用光滑的圆柱形铰链连接,就构成固定铰支座。

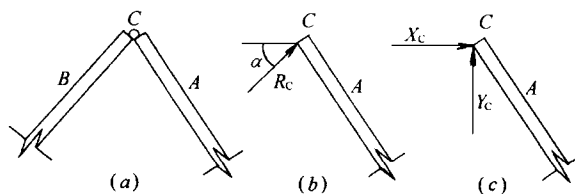


图 1-10 圆柱铰链约束及其反力

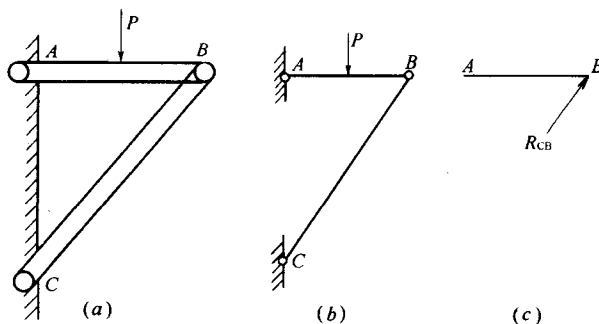


图 1-11 链杆约束及其反力

固定铰支座的约束性能与圆柱铰链约束相同,所以它的支座约束反力通过销钉中心,在垂直于销钉轴线的平面内,方向未定。用合力  $R$  表示,也可用两正交分力  $X$  和  $Y$  表示,见图 1-12。

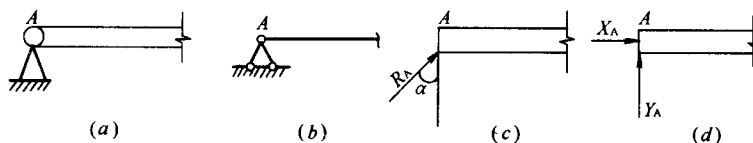


图 1-12 固定铰支座及其反力

## 6. 可动铰支座

在固定铰支座下面加几个辊轴支承于平面上,但支座的连接,使它们不能离开支承面,就构成可动铰支座。

可动铰支座的约束性能与链杆约束相同,其支座反力通过销钉中心,垂直于支承面,指向待定,常用  $R$  表示,见图 1-13。

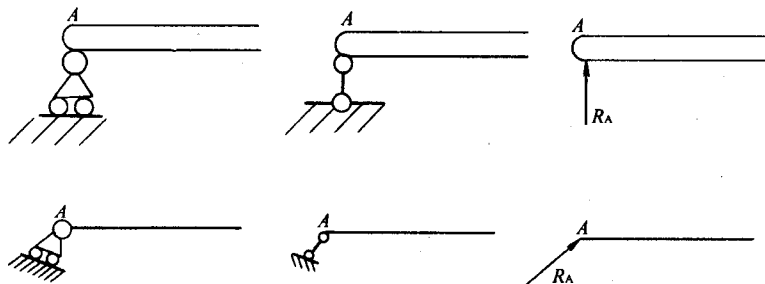


图 1-13 可动铰支座及其反力

## 7. 固定端支座

当构件与基础或静止的结构物完全连成了一体,构件既不能转动,也不能移动,这种约束装置称为固定端支座。其约束反力有水平反力  $X$ 、垂直反力  $Y$  和限制转动的约束反力偶  $M$ ,见图 1-14。

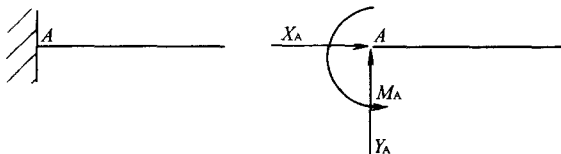


图 1-14 固定端支座及反力

## 第四节 物体的受力分析及受力图

### 一、物体受力分析及受力图的概念

在工程实际中,通常是几个物体或几个构件相互联系,形成一个系统。因此对物体进行计算研究前,首先要明确研究对象,然后弄清楚研究对象与周围的哪些物体有联系?它受到哪些力的作用?这些力的施力物体是什么?研究对象受到的各力哪些是已知的?哪些是未知的?这些观察判断称为对物体的受力分析。

受力图是对物体进行受力分析的结果,它是对物体或构件进行力学计算的依据,应反复练习,熟练掌握。

作物体受力图时,将研究对象从周围物体中分离出来,并用一简单几何图形表示,再用相应的符号把研究对象受到的主动力和被动力,不多不少,准确地画在简单图形上。这种简明地表示物体受力情况的图形,称为受力图。

### 二、物体的受力图

在作物体的受力图时,将物体从周围联系中分离出来,先画主动力,再画约束力;先画简单的约束反力,再作较复杂的约束反力;先画简单的受力图,再画复杂的受力图。下面以实例说明受力图的画法。

**【例 1-1】** 如图 1-15(a) 示球体,用绳挂于光滑墙面,试画出球体的受力图。

**【解】** (1) 取球体为脱离体,画出脱离体简图;

(2) 先画主动力——重力  $G$ , 作用于球体重心;

(3) 在解除约束的位置上根据约束性质相应地画出约束反力  $N$  和  $T$ , 即得球体受力图(图 1-15b)。

**【例 1-2】** 绘出图 1-16(a) 所示支架中  $AB$  杆的受力图,柔绳  $BC$  及杆的自重不计。

**【解】** (1) 取杆  $AB$  为脱离体,画出其简图;

(2) 先画主动力  $P$ , 作用于接触点  $B$ ;

(3) 解除绳对  $AB$  的约束,画出相应的约束反力  $T_{CB}$  为拉力,过  $B$  点,沿着柔绳的中心线;解除铰  $A$  对  $AB$  的约束,由于  $AB$  为二力杆,固定铰支座  $A$  的约束反力可用合力  $R_A$  表示,且沿着  $AB$  杆的轴线方向,即得  $AB$  杆的受力图(见图 1-16b)。



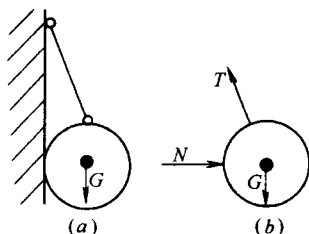


图 1-15 例 1-1 附图

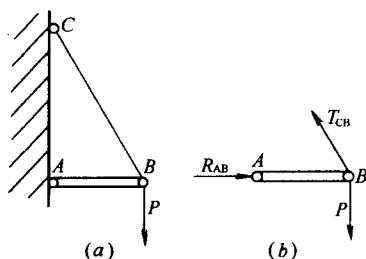


图 1-16 例 1-2 附图

【例 1-3】 图 1-17(a)所示为静定梁,  $C$  铰为圆柱铰链约束, 梁受力  $P$  作用, 各杆自重不计。试画出  $AC$ 、 $CB$  及整体受力图。

【解】 先取  $BC$  为脱离体, 画出受力图如图 1-17(b)。再取  $AC$  为脱离体, 作受力图 1-17(c)。最后取整体为脱离体, 受力图如图 1-17(d)。

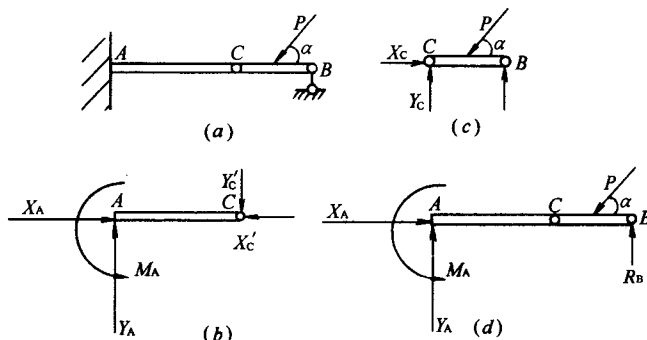


图 1-17 例 1-3 附图

【例 1-4】 图 1-18(a)示三铰刚架, 受已知力  $P$  作用。试画  $AC$ 、 $BC$  和整体受力图。

【解】 先取  $BC$  为脱离体, 作出受力图如图 1-18(b)。再取  $AC$  为脱离体, 作出受力图如图 1-18(c)。最后取整体研究, 其受力图如图 1-18(d)。

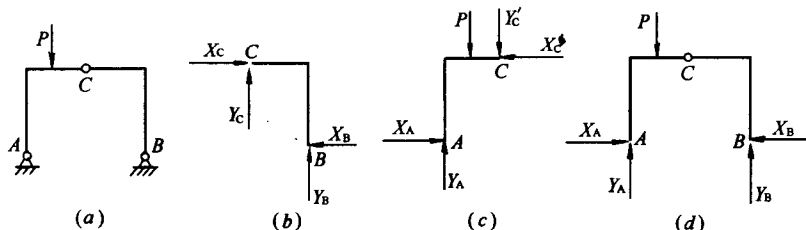


图 1-18 例 1-4 附图

请读者思考, 图 1-18 中的  $CB$ 、 $AC$  及整体受力图可否画成图 1-19(a)、(b)、(c)? 为什么?

通过以上各例的分析, 现将画受力图的步骤归纳如下:

1. 明确研究对象, 画脱离体简图。
2. 原样画出每一个主动力。
3. 先画简单约束反力, 再画复杂的约束反力。注意约束反力与约束性质及名称的——