



城乡建设电视中专教材

# 建筑力学

(上册)

范继昭 编

中国建筑工业出版社



城乡建设电视中专教材

# 建筑力学

(上册)

范继昭 编

中国建筑工业出版社

本教材是依据中央广播电视大学电视中专“建筑施工与管理”和“乡镇建设”专业教学计划中对建筑力学的要求，以及电视中专土建类“建筑力学”教学大纲(修订稿)编写的。全书分上下册出版。

本书为上册，包括两篇。第一篇力系的合成与平衡，讲述平面力系和空间力系的分析和计算；第二篇杆件的强度、刚度和稳定性，讲述杆件承受拉、压、弯、扭的强度和变形的分析和计算、应力状态和强度理论、压杆稳定计算等。各章后均附思考题、习题以及辅导材料，有总结和解题指导。

本书除作为电视中专土建专业的教材外，还适合于土建工程人员自学和作为培训教材。

城乡建设电视中专教材  
建筑力学  
(上册)

范继昭 编

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 23½ 字数: 569 千字

1987年7月第一版 1988年7月第二次印刷

印数: 34,281—64,330 册 定价: 4.45 元

ISBN7—112—00266—4/G·40

统一书号: 15040·5241

## 前 言

随着四个现代化建设的发展,我国建筑业不断进步,新材料、新技术、新结构型式不断出现,建设部门不但要求更多的工程技术人员,而且对现有建设队伍的素质和水平也要求不断提高。面对这样的形势,发展电视教学是培养人才的有效途径。

本教材是根据中央广播电视大学电视中专土建类“建筑力学”教学大纲(修改稿)编写的,适用于土建类“建筑施工与管理”、“乡镇建设”专业的中专学生,也可以供职工中专、自学考试和一般中级工程技术人员使用和参考。

考虑到电视教学和成人教育的特点,对于教材内容的安排力求做到:由浅入深、循序渐进、重点突出、层次清楚。对于教材内容的叙述,力求做到语言通顺、讲透重点。努力把抽象的力学概念和人们的感性认识相联系,尽量避免繁杂的数学推导过程,着重于物理概念的阐述。为了帮助学生自学,除每章后附有复习思考题和习题之外,还附有学习辅导材料。在学习辅导材料中,指出本章的学习要求、重点内容、并对重点、难点作进一步的阐述,必要时还增加了解题技巧或阶段总结,以帮助学生总结规律、理清思路。考虑到学生学习水平的参差,教材中编入了少量选学内容(书中标有\*的部分)。

本教材由黑龙江省建筑工程学校段明章同志审阅。他对本书提出了许多宝贵意见。在编写过程中还得到黑龙江省建筑工程学校、山西省建筑工程学校、四川省建筑工程学校以及各兄弟学校的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

书中插图由高艳萍和曾葵同志绘制。

本教材由山西省建筑工程学校范继昭主编并编写上册,由四川省建筑工程学校王长连编写下册。由于水平有限,书中一定存在不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

一九八六年六月

# 目 录

## 绪 论

## 第一篇 力系的合成与平衡

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 力的基本知识和物体的受力分析       | 3  |
| § 1-1 力的概念               | 3  |
| § 1-2 静力学公理              | 6  |
| § 1-3 约束与约束反力            | 8  |
| § 1-4 物体的受力分析·受力图        | 11 |
| § 1-5 荷载                 | 15 |
| 学习辅导                     | 17 |
| 复习思考题                    | 18 |
| 习题                       | 18 |
| 第二章 平面汇交力系               | 21 |
| § 2-1 平面汇交力系合成的几何法       | 21 |
| § 2-2 平面汇交力系平衡的几何条件      | 23 |
| § 2-3 三力平衡汇交定理           | 24 |
| § 2-4 平面汇交力系合成的解析法       | 26 |
| § 2-5 平面汇交力系平衡的解析条件      | 29 |
| 学习辅导                     | 33 |
| 复习思考题                    | 34 |
| 习题                       | 35 |
| 第三章 力对点的矩·平面力偶系          | 37 |
| § 3-1 力对点的矩              | 37 |
| § 3-2 合力矩定理              | 38 |
| § 3-3 力偶                 | 39 |
| § 3-4 平面力偶系的合成和平衡        | 42 |
| 学习辅导                     | 43 |
| 复习思考题                    | 44 |
| 习题                       | 44 |
| 第四章 平面一般力系               | 46 |
| § 4-1 力的平移定理             | 47 |
| § 4-2 平面一般力系向任一点简化主矢量与主矩 | 48 |
| § 4-3 平面一般力系简化结果的讨论      | 49 |
| § 4-4 平面一般力系的平衡条件·平衡方程   | 51 |
| § 4-5 平面平行力系的平衡方程        | 56 |
| § 4-6 物体系统的平衡            | 58 |



|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| § 4-7 超静定问题的概念 .....      | 64        |
| § 4-8 平面静定桁架的内力计算 .....   | 64        |
| § 4-9 滑动摩擦 .....          | 69        |
| § 4-10 滚动摩擦 .....         | 74        |
| 学习辅导 .....                | 76        |
| 复习思考题 .....               | 81        |
| 习题 .....                  | 83        |
| <b>第五章 空间力系</b> .....     | <b>88</b> |
| § 5-1 力在空间直角坐标轴上的投影 ..... | 88        |
| § 5-2 空间汇交力系的合成和平衡 .....  | 89        |
| § 5-3 力对轴的矩 .....         | 91        |
| § 5-4 空间力系的平衡方程 .....     | 93        |
| § 5-5 重心 .....            | 95        |
| 学习辅导 .....                | 100       |
| 复习思考题 .....               | 101       |
| 习题 .....                  | 101       |

## 第二篇 杆件的强度、刚度和稳定性

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>第六章 轴向拉伸与压缩</b> .....     | <b>106</b> |
| § 6-1 轴向拉伸与压缩的概念 .....       | 106        |
| § 6-2 轴向拉(压)杆的内力 .....       | 106        |
| § 6-3 轴向拉(压)杆横截面上的应力 .....   | 109        |
| § 6-4 轴向拉(压)杆的强度计算 .....     | 111        |
| § 6-5 拉(压)杆的变形·虎克定律 .....    | 115        |
| § 6-6 材料在轴向拉伸和压缩时的力学性质 ..... | 118        |
| § *6-7 应力集中的概念 .....         | 123        |
| 学习辅导 .....                   | 124        |
| 复习思考题 .....                  | 126        |
| 习题 .....                     | 127        |
| <b>第七章 剪切</b> .....          | <b>130</b> |
| § 7-1 剪切的概念 .....            | 130        |
| § 7-2 剪切和挤压的实用计算 .....       | 131        |
| § 7-3 焊接实用计算 .....           | 135        |
| § 7-4 剪应变·剪切虎克定律 .....       | 138        |
| 学习辅导 .....                   | 139        |
| 复习思考题 .....                  | 140        |
| 习题 .....                     | 141        |
| <b>第八章 扭转</b> .....          | <b>143</b> |
| § 8-1 概述 .....               | 143        |
| § 8-2 扭转的内力——扭矩 .....        | 144        |
| § 8-3 圆轴扭转的应力 .....          | 146        |
| § 8-4 圆轴扭转的强度条件 .....        | 151        |
| § 8-5 圆轴扭转的变形·刚度条件 .....     | 153        |

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| § *8-6 矩形截面杆扭转简介                                    | 154 |
| 学习辅导                                                | 156 |
| 复习思考题                                               | 158 |
| 习题                                                  | 158 |
| 第九章 平面图形的几何性质                                       | 160 |
| § 9-1 静矩和形心                                         | 160 |
| § 9-2 惯性矩·极惯性矩·惯性积                                  | 162 |
| § 9-3 组合图形的惯性矩                                      | 164 |
| § 9-4 主惯性轴·主惯性矩                                     | 166 |
| 学习辅导                                                | 167 |
| 复习思考题                                               | 169 |
| 习题                                                  | 169 |
| 第十章 弯曲内力                                            | 172 |
| § 10-1 平面弯曲的概念                                      | 172 |
| § 10-2 梁的内力——剪力和弯矩                                  | 175 |
| § 10-3 梁的内力图——剪力图和弯矩图                               | 182 |
| § 10-4 分布荷载集度 $q(x)$ 、剪力 $Q(x)$ 、弯矩 $M(x)$ 三者间的微分关系 | 195 |
| § 10-5 用叠加法绘制梁的剪力图和弯矩图                              | 198 |
| 学习辅导                                                | 200 |
| 复习思考题                                               | 202 |
| 习题                                                  | 204 |
| 第十一章 弯曲应力                                           | 207 |
| § 11-1 纯弯曲时梁横截面上的正应力                                | 207 |
| § 11-2 梁的正应力强度计算                                    | 210 |
| § 11-3 梁横截面上的剪应力                                    | 218 |
| § 11-4 关于梁内应力的讨论                                    | 226 |
| § 11-5 提高梁弯曲强度的措施                                   | 230 |
| 学习辅导                                                | 234 |
| 复习思考题                                               | 236 |
| 习题                                                  | 237 |
| 第十二章 弯曲变形                                           | 241 |
| § 12-1 梁的挠度和转角                                      | 241 |
| § 12-2 梁的挠曲线近似微分方程                                  | 242 |
| § 12-3 用积分法求梁的挠度和转角                                 | 243 |
| § 12-4 用叠加法计算梁的挠度和转角                                | 250 |
| § 12-5 梁的刚度校核和提高弯曲刚度的措施                             | 252 |
| 学习辅导                                                | 255 |
| 复习思考题                                               | 258 |
| 习题                                                  | 259 |
| 第十三章 应力状态和强度理论                                      | 261 |
| § 13-1 研究应力状态和强度理论的意义                               | 261 |
| § 13-2 应力状态的概念                                      | 262 |
| § 13-3 平面应力状态的分析                                    | 265 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| § 13-4 梁的主应力·主应力迹线·····       | 275        |
| § 13-5 广义虎克定律·····            | 277        |
| § 13-6 强度理论·····              | 278        |
| 学习辅导·····                     | 283        |
| 复习思考题·····                    | 286        |
| 习题·····                       | 287        |
| <b>第十四章 组合变形构件的强度计算</b> ····· | <b>289</b> |
| § 14-1 组合变形的概念·····           | 289        |
| § 14-2 斜弯曲·····               | 289        |
| § 14-3 偏心压缩(拉伸)·····          | 296        |
| § 14-4 截面核心·····              | 302        |
| 学习辅导·····                     | 303        |
| 复习思考题·····                    | 304        |
| 习题·····                       | 304        |
| <b>第十五章 压杆稳定</b> ·····        | <b>307</b> |
| § 15-1 压杆稳定的概念·····           | 307        |
| § 15-2 细长压杆的临界力·····          | 308        |
| § 15-3 临界应力·欧拉公式的适用范围·····    | 311        |
| § 15-4 压杆的稳定计算·折减系数·····      | 314        |
| § 15-5 提高压杆稳定性的措施·····        | 320        |
| 学习辅导·····                     | 321        |
| 复习思考题·····                    | 323        |
| 习题·····                       | 324        |
| <b>*第十六章 动荷应力</b> ·····       | <b>325</b> |
| § 16-1 等加速运动构件的应力计算·····      | 325        |
| § 16-2 构件受冲击时的应力计算·····       | 328        |
| § 16-3 交变应力·金属疲劳破坏的概念·····    | 333        |
| 学习辅导·····                     | 334        |
| 复习思考题·····                    | 335        |
| 习题·····                       | 335        |
| <b>第十七章 材料的力学试验</b> ·····     | <b>337</b> |
| § 17-1 拉伸试验·····              | 337        |
| § 17-2 压缩试验·····              | 340        |
| § 17-3 扭转试验·····              | 343        |
| § 17-4 弯曲正应力试验·····           | 346        |
| § 17-5 弯曲变形试验·····            | 350        |
| 附录一 主要字符表·····                | 353        |
| 附录二 主要常用量的公制单位与国际制单位换算表·····  | 354        |
| 附录三 型钢表·····                  | 355        |



## 绪 论

我们的祖先，早在一千多年以前，就会合理利用石材、木材来建造复杂的建筑物。西安大雁塔建于唐代，塔身全部采用砖石材料，一千多年来，历经多次大地震依然完好无损；山西应县佛光寺的木塔，建于公元1056年，塔身为八角形、共九层，总高66米多。九百多年来，经过几十次大地震，木塔安然无恙；河北赵县安济桥是在隋代由桥梁工匠李春建造，通称赵州桥，至今已有一千多年的历史，桥的净跨37.37m，为单孔空腹式石拱桥，拱的半径27m。据考证，这是当时世界上跨度最大的一座空腹式石拱桥。随着生产力的不断发展，新材料、新结构不断出现。今天，建造十几层乃至几十层的高层建筑已并非难事。随着我国国民经济的进一步发展，辽阔的乡、镇也建起了高楼大厦。就在这些建筑物中，每一根梁、柱都必须运用建筑力学进行分析设计。

建筑物从开始建造的时候起，就承受各种力的作用。例如，楼板在施工中除承受自身的重量外，还常常承受人和施工机具的重量；墙承受楼板传来的压力和风的压力；基础则承受墙身传来的压力等等。在工程中习惯将这些主动作用在房屋上的力叫做荷载。在建筑物中承受荷载并传递荷载而起骨架作用的部分叫结构。组成结构的单个物体叫构件。例如，梁、板、柱、墙、基础等都是常见的构件。房屋建筑的结构或构件，都有能承受多大的力的问题。建筑力学就是研究结构和构件的承载能力的科学。承载能力就是承受荷载的能力。它主要包括结构和构件的强度、刚度和稳定性。

什么是强度呢？强度是指结构抵抗破坏的能力。结构能安全承受荷载而不破坏，就认为满足强度的要求。

什么叫做刚度呢？刚度是指结构或构件抵抗变形的能力。任何结构和构件，在外力作用下都会产生变形。在一定荷载作用下，刚度愈小的构件，变形就愈大。工程上根据不同用途，对各种结构和构件的变形给予一定的限制。如果结构或构件的变形被限制在允许的范围内，就认为满足刚度的要求。

什么叫稳定性呢？工程上把构件保持原有平衡状态的能力称为稳定性。例如，受压的细长直杆，在压力不大时，可以保持原有的直线平衡状态；当压力增大到一定数值时，便会突然变弯而丧失工作能力。这种现象就称为压杆失去稳定，简称失稳。构件失稳会产生严重的后果，如果房屋的承重柱过细、过高，一旦失稳就会导致整个建筑物倒塌。因此，必须保证结构和构件有足够的稳定性。

为了满足强度、刚度和稳定性的要求，一般来说，都要选择较好的材料和较粗大的构件。但任意选用最好的材料和过大的截面，势必造成优材劣用、大材小用，导致巨大的浪费。于是建筑中的安全和经济就形成了矛盾的两个方面。建筑力学的任务，就是在保证构件满足强度、刚度和稳定性要求的前提下，以最经济的代价选择适宜的材料，确定合理的形状和尺寸，提供必要的理论基础和计算方法。

减轻结构或构件的自重具有重要的经济意义。降低构件自重的关键在于提高构件的承

载能力。用一张硬纸片，一端固定，另一端放一个具有一定重量的砝码（0-1），将会看到，硬纸片承受不了砝码的重力；但是若把纸片摺成□形，它就可以承受砝码的重力了；如果再把纸片摺成为W形，它不仅承受砝码的重力，而且变形较小。显然，构件的承载能力还和构件的截面形状有关。广泛应用的V形折板，就是根据这个道理制作的。V形折板轻巧省料，又有相当的承载能力。

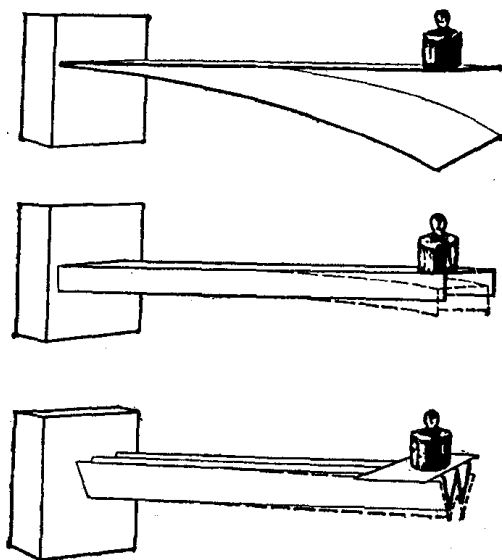


图 0-1

建筑力学的基本理论和知识在建筑结构和构件的承载能力计算中是不可缺少的基础。是从事建筑设计和施工的工程技术人员必不可少的基础理论知识。

学习建筑力学要注意理解它的基本原理，掌握它的分析方法，切忌死记硬背；还要多做练习，不做一定数量的习题是很难掌握建筑力学的概念、原理和分析方法的。但是，不弄清概念，不理解原理，盲目做题或死搬硬套，也不是好的学习方法。望读者在掌握基本内容之后，再做练习，这样一定会收到良好的效果。

# 第一篇 力系的合成与平衡

本篇将要讨论力系的合成与平衡。它是结构受力分析的基础。

同时作用在房屋建筑的结构或构件上的力往往不只一个，而是若干个，在建筑力学中把同时作用在某结构或某构件上的一群力叫做力系。作用在建筑结构或构件上的力是很复杂的，力学分析中，在不改变力系对结构或构件作用效果的前提下，用一个简单的力系来代替复杂的力系，就叫做力系的合成，又叫力系的简化。

什么叫平衡？物体在力系作用下相对于地球静止或作匀速直线运动叫平衡。例如，房屋、水坝、桥梁相对于地球是静止的；匀速起吊的构件、匀速下降的电梯，它们都相对于地球作匀速直线运动。以上的静止状态和匀速直线运动状态都是平衡状态。它们有一个共性——运动状态没有变化，也就是加速度为零。在建筑力学中把这种运动状态没有变化的特殊情况称为平衡状态。当然，物体在力系的作用下会产生各种不同形式的运动，只有在力系满足一定条件时，物体才会平衡。建筑物在正常情况下都处于平衡状态。因此，建筑力学首先要研究力系的平衡问题。

## 第一章 力的基本知识和物体的受力分析

### §1-1 力的概念

#### 一、力的概念

力的概念最初是从生活和生产实践中得到的，并在反复的实践中不断加深和完善。当人们推、拉或举起重物时，就会感觉到用了“力”。在建筑工地上，看见吊车起吊构件时，同样“感觉”到吊车用力的把重物吊起，而且绑扎构件的钢丝绳也受到重物作用的力。人用力推小车，可以使小车由静到动，还可以使小车速度加快或转弯，但同时又感觉到车给人一种力；人用力弯铁丝，可以把铁丝弯成各种形状，也感觉到铁丝有力作用在手上。人们把长期积累的对这种力的认识总结为：力是物体间的一种相互作用，这种相互作用的效果将使物体的运动状态发生变化，或者使物体产生变形。

力使物体运动状态发生变化的效应称为力的运动效应或外效应，而力使物体产生变形的效应称为变形效应或内效应。力的运动效应是指物体受力后运动速度的大小或方向发生变化；力的变形效应是指物体受力后形状或大小发生变化。建筑工程中的构件，变形是微小的，往往用肉眼都看不出来。所以，在研究力系的简化与平衡问题时，不考虑力的变形

效应，只研究力的运动效应，而在研究构件的强度、刚度和稳定性问题时，才考虑力的变形效应。

力的作用方式是多种多样的。两物体相互接触时，可以产生相互间的推、拉、挤压等作用力；两物体不接触时，也有可能产生相互间的吸引力或排斥力。例如：地球对树上的苹果就有吸引力，这个吸引力作用于苹果的重心，是人们熟知的重力；而苹果对地球的吸引力则作用于地球的中心。总之，力是物体间的一种相互作用；有力的作用，就必定至少存在两个物体与这个力有关。力不可能脱离物体而单独存在。

## 二、力的三要素

实践证明：力对物体的作用效果取决于力的三要素。

### 1. 力的大小

力是有大小的。力的大小表明物体间相互作用的强烈程度。力作用在物体上的效果与力的大小有关。

在国际单位制中，力的度量单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。

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

### 2. 力的方向

力是一个既有大小又有方向的量，称为矢量。在不改变力的大小而改变力的方向时，会产生完全不同的效果。开门的时候，用力的方向总是和门扇相垂直，因为这样最省力，当力的方向和门扇重合时，门是开不了的（图1-1）。

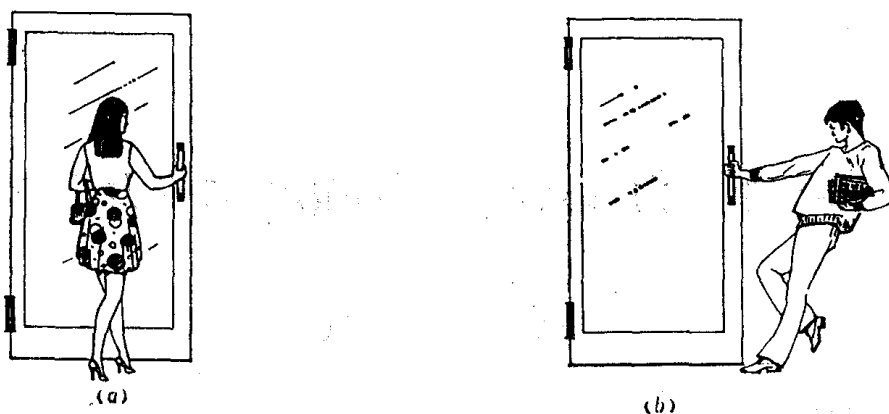


图 1-1

### 3. 力的作用点

力对物体的作用效果还与力的作用点有关。用撬棍撬动重物时，力的作用点至支点的距离不同，效果大不一样。人们常常用加长撬棍长度的办法来达到省力的目的。

力的作用点表示两物体间相互作用的位置，它实际上不是一个点而是一个范围。当作用范围很小时，可以近似地看成力作用在一个点上。

力对物体的作用效果，取决于力的大小、方向和作用点。这三个因素中的任一因素改变时，都会对物体产生不同的效果。于是，把力的大小、方向和作用点叫做“力的三要素”。

## 三、力的图示法

由力的三要素可知，力是矢量。所以，常常用一段带箭头的线段来表示力的三要素。

线段的长度（按预先选定的比例）表示力的大小；线段与某一定直线间的夹角，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表示力的作用点。如图1-2所示的力 $P$ ，选定的基本长度表示100kN，按比例量出力 $P$ 的大小是200kN，力的方向与水平线间的夹角为 $30^\circ$ ，指向右上方，作用在物体的A点。

用文字表示力矢量时，常用黑体字 $F$ 、 $P$ 、 $T$ ，或用 $\vec{F}$ 、 $\vec{P}$ 、 $\vec{T}$ ，而 $F$ 、 $P$ 、 $T$ 只表示力矢量的大小。

#### 四、力的平行四边形法则

重量为 $G$ 的小球，用一根绳悬挂，使小球处于平衡状态。用两根绳悬挂，即使两根绳的角度各有不同，也可以使小球处于平衡。也就是说两者的效果相同。后者两根绳以两个力 $F_1$ 、 $F_2$ 对小球的作用，相当于前者一个力 $R$ 对小球的作用（图1-3）。我们将力 $R$ 称为力 $F_1$ 、 $F_2$ 的合力，力 $F_1$ 、 $F_2$ 是力 $R$ 的两个分力。

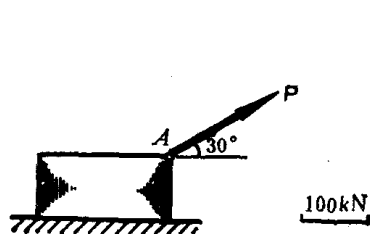


图 1-2

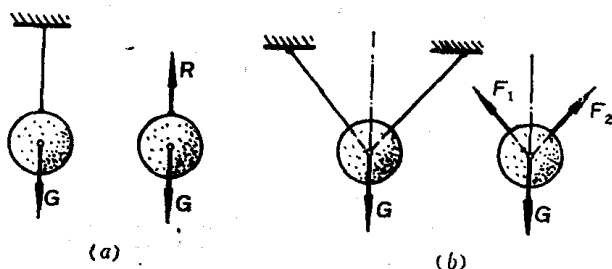


图 1-3

交于一点的两个力的合力由力的平行四边形法则来确定：作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个合力，合力也作用于该点，合力的大小和方位由这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示，指向与这两个力相应（图1-4）。

根据这一法则作出的平行四边形叫力的平行四边形。

现在用力的平行四边形求图1-4中 $F_1$ 、 $F_2$ 的合力。以图示长度 $a$ 表示10kN，按比例量出 $F_1 = 24\text{kN}$ ， $F_2 = 21\text{kN}$ 。过 $F_1$ 的末端B点作 $F_2$ 的平行线，过 $F_2$ 的末端C点作 $F_1$ 的平行线，两线交于D点，平行四边形的对角线AD就是力 $F_1$ 和 $F_2$ 的合力 $R$ 。从图中量出 $AD = 3.9a$ ，所以，合力 $R = 39\text{kN}$ 。

力的平行四边形法则是交于一点的两力合成的依据。同时，应用力的平行四边形法则还可以把力分解。例如，把一个已知的力分解为已知方向的两个分力。在图1-5中，以图

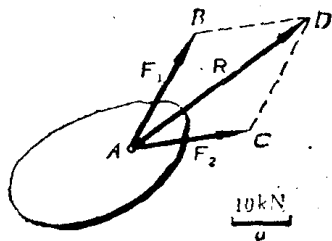


图 1-4

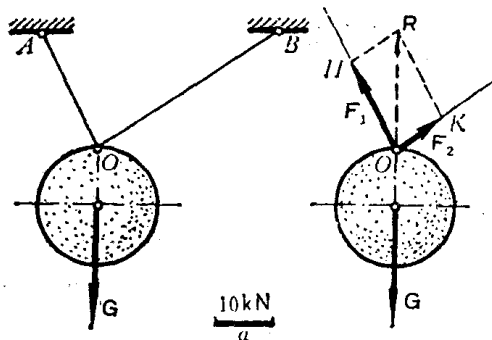


图 1-5

示长度 $a$ 表示 $10\text{kN}$ ,  $R = G = 20\text{kN}$ 。欲将合力 $R$ 沿两绳索的方向 $OA$ 、 $OB$ 分解为两个分力, 根据力的平行四边形法则, 过合力 $R$ 的末端分别作 $OA$ 和 $OB$ 的平行线, 并以 $R = 2a$ 为对角线, 得平行四边形 $OKRH$ , 如图1-5。在图上量得 $OK = 0.9a$ ;  $OH = 1.7a$ 。于是得到合力 $R$ 的两分力分别是 $F_1$ 、 $F_2$ , 它们的大小分别是:  $F_1 = 9\text{kN}$ ;  $F_2 = 17\text{kN}$ 。

将一个已知的力分解为两个分力时, 如果已知其中一个分力的大小和方向, 也可以用力的平行四边形求得另一分力的大小和方向。但当两分力的方向和大小均为未知时, 解答将不是唯一的, 因为, 根据一条已知的对角线, 可以作出许多个平行四边形。

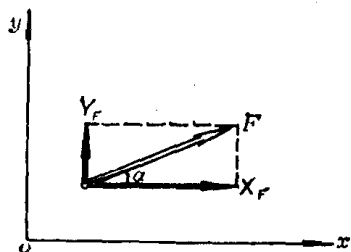


图 1-6

工程实际中, 常将一个力 $F$ 沿直角坐标轴 $x$ 、 $y$ 分解, 得到两个相互垂直的分力 $X_F$ 和 $Y_F$ 。此时, 力的平行四边形中两分力间的夹角为 $90^\circ$  (图1-6)。这样, 可以应用简单的三角函数关系, 计算每个分力的大小。

$$\begin{cases} X_F = F \cdot \cos \alpha \\ Y_F = F \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (1-1)$$

式中 $\alpha$ 为力 $F$ 与 $x$ 轴之间的夹角。

## §1-2 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静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。这些公理简单明瞭, 是研究力系的简化与平衡问题的基础。

### 一、二力平衡公理

作用在同一物体上的两个力, 使物体处于平衡状态的必要和充分条件是: 这两个力的大小相等、方向相反、作用在同一直线上。

图1-7所示为某物体同时受到等值、反向、共线的两个力 $F_A$ 和 $F_B$ 作用, 显然物体是平衡的。图1-8表示杂技演出的一个惊险镜头, 从力学角度看, 这只是一个简单的二力平衡问题。

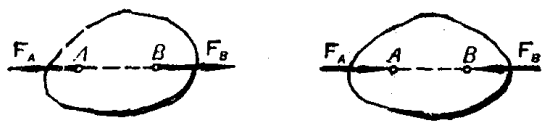


图 1-7

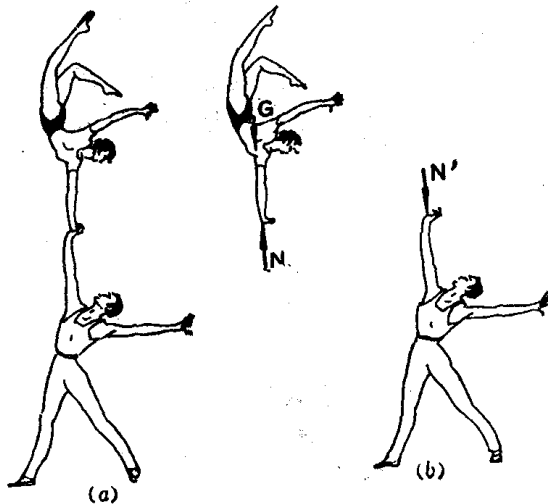


图 1-8



二力平衡公理说明了一个物体在两个力作用下平衡时应满足的条件。

## 二、加减平衡力系公理

在作用于某物体的力系中，加上或去掉任何一个平衡力系，不改变原力系对物体的作用效果。也就是说，相差一个平衡力系的两个力系，对物体的作用效果相同，可以互换。

这个公理是容易理解的。因为平衡力系不会改变物体的运动状态。也就是说，平衡力系对物体的运动效果为零。所以，在物体上加上或去掉一个平衡力系，是不会改变物体的运动状态的。

推论 力的可传性原理。

作用于物体上的力可沿其作用线移动到物体上任一点，不改变力对物体的运动效果。力的这种性质称为力的可传性。

以推小车和拉小车为例。如图1-9所示，推车的力 $F$ 作用于 $A$ 点，在力 $F$ 的作用线上任取一点 $B$ ，分别在 $A$ 、 $B$ 两点上加两个沿 $AB$ 线而指向相反的力 $F_2$ 和 $F_1$ ，且使 $F_2 = F_1 = F$ 。于是，由 $F$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 这三个力组成的力系与一个力 $F$ 等效。但是，力 $F_2$ 和 $F$ 也是一个平衡力系，可以去掉，这样，只剩下力 $F_1$ 与力 $F$ 等效。于是，作用在 $A$ 点的力 $F$ 就沿其作用线移到了 $B$ 点。这个力的可传性，是对物体的运动效果而言的。可见用同样的力推车或拉车的效果相同。

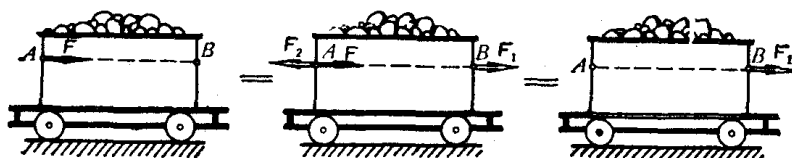


图 1-9

## 三、作用与反作用公理

两物体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，并分别作用于两个物体上。

这个公理揭示了两物体间相互作用力的关系。力总是成对出现的，有作用力必定有反作用力。知道物体 $A$ 对物体 $B$ 作用力的大小和方向时，根据这个公理，就可以知道物体 $B$ 对物体 $A$ 的反作用力了。例如，将物体 $A$ 放置在物体 $B$ 上时（图1-10）， $N$ 是物体 $A$ 对物体 $B$ 的作用力，作用在物体 $B$ 上， $N_1$ 是物体 $B$ 对物体 $A$ 的反作用力，作用在物体 $A$ 上； $N$ 和 $N_1$ 是作用力与反作用力的关系。当然，它们大小相等： $N = N_1$ ，方向相反： $N$ 指向下方， $N_1$ 指向上方，沿同一作用线 $KL$ 。

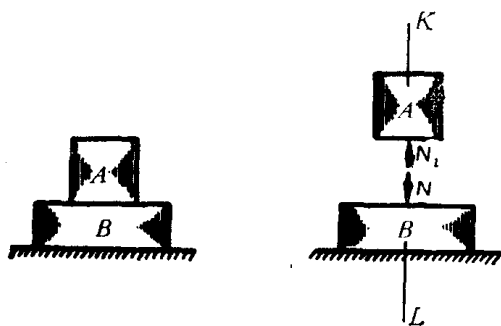


图 1-10

再来看图1-8所示的情形。上面的演员在自重 $G$ 和支承力 $N$ 的作用下平衡，是二力平衡问题。而力 $N'$ 是上面的演员作用于下面的演员手上的力， $N'$ 与 $N$ 是作用力与反作用力关系，它们大小相等、方向相反、作用线相同，是分别作用在上、下两个演员的手上，即

分别作用在两个物体上。要特别注意，不能把作用力与反作用力关系和二力平衡问题混淆起来。

## §1-3 约束与约束反力

### 一、约束和约束反力的概念

断了线的风筝，可以在空间自由运动，不受任何限制。这种在空间可以自由运动的物体称为自由体。建筑工程中所研究的物体，例如：屋架、大梁、柱、基础等，它们在空间的运动，都受到一定的限制，这些运动受到限制的物体，称为非自由体。限制所研究物体运动的那些物体称为研究物体的约束体。简称约束。例如，墙是大梁的约束，基础是墙的约束，地基是基础的约束。

约束是阻碍物体运动的物体，这种阻碍作用就是力的作用，阻碍物体运动的力称为约束反力。简称反力。当某物体在约束所能阻止的方向有运动或有运动趋势时，约束体就有约束反力作用在该物体上。约束反力的方向恒与约束所能阻止的运动方向相反。

在受力物体上，那些使研究物体运动或有运动趋势的力叫主动力。例如，重力、水压力、风压力等。在工程中通常称主动力为荷载。在一般情况下，物体总是同时受到主动力和约束反力的作用。显然，约束反力是由主动力引起并随主动力的改变而改变。约束反力是被动力。通常，主动力是已知的，而约束反力是未知的。

### 二、几种常见的约束及其反力

在工程结构中，物体与周围物体的连接方式是多种多样的，或者说物体的约束类型是多种多样的，而不同类型的约束作用于物体上的约束反力也不同，下面介绍几种常见的约束体及其约束反力。

#### 1. 柔体约束

用柔软的绳索、链条或皮带等物体去阻碍物体运动时叫柔体约束。由于柔体只能受拉，不能受压，所以它们只能限制物体沿柔体的中心线且远离柔体的运动。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（图1-11）。常用 $T$ 表示。

#### 2. 光滑接触面

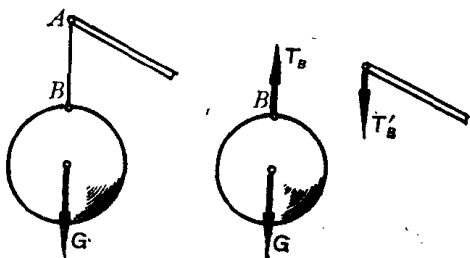


图 1-11

当被约束物体与其它物体接触，若接触面处的摩擦力很小而忽略不计时，就是光滑接触面。被约束物体可以沿接触面的公切面运动，但不能沿过接触点的公法线且压入约束物体方向运动。因此，光滑接触面的约束反力是作用于接触点、沿接触面的公法线方向并指向被约束物体，通常以 $N$ 表示（图1-12）。

#### 3. 圆柱铰链

圆柱铰链简称铰链。门、窗用的合页就是圆柱铰链的实例。理想的圆柱铰链由圆柱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很光滑的（图1-13 a）。这种约束不能限制物体绕销钉转动，能限制物体在垂直于销钉轴线平面内任意方向的移动。当物体有运动趋势时，销钉与圆孔将在某处接触，约束反力通过销钉与圆孔的接触点，这个

接触点的位置随物体上受到的主动力的不同而改变。因此，约束反力的方向是未知的（图1-13b）。所以，铰链连接的约束反力作用在接触点上，垂直于销钉的平面内，通过销钉的中心，方向不定，如图1-13b中所示的 $R_c$ 。

圆柱铰链的简图如图1-13c所示。铰链连接的反应力 $R_c$ 是一个不知大小和方向的量，可用两个相互垂直的未知反力来表示（图1-13d）。

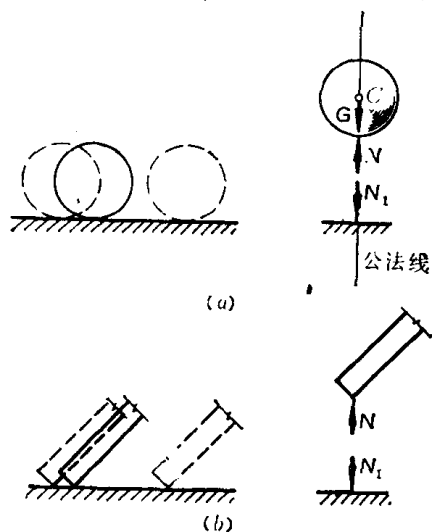


图 1-12

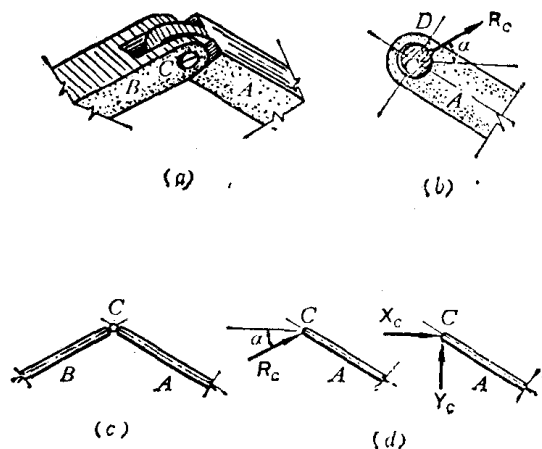


图 1-13

#### 4. 链杆

链杆约束是两端用铰链与两个物体分别连接且中间不受其它力的直杆。例如，图1-14所示的支架，横木AB在A端用铰链与墙壁连接，在B端由直杆BC支承，直杆BC的自重不计，BC杆就是横木的链杆约束。

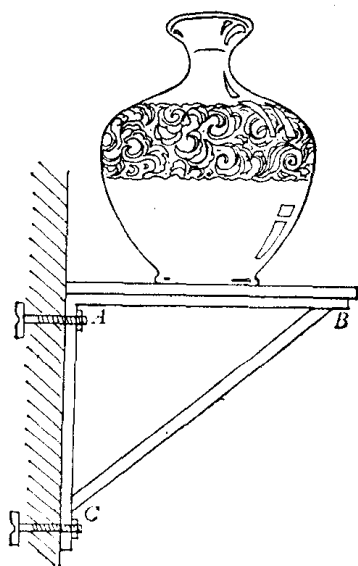


图 1-14

链杆只能阻止物体沿链杆轴线方向的运动，链杆可以受拉，也可以受压，所以，链杆对物体的约束反力沿链杆的轴线，既可以是拉力，也可以是压力。链杆约束的简图和约束反力分别表示于图1-15a、b。

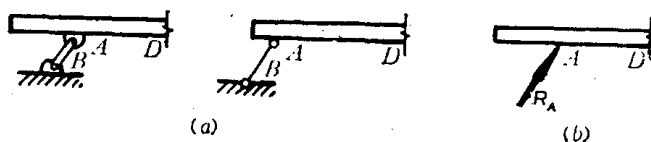


图 1-15

### 三、支座和支座反力

将结构物或构件连接在墙、柱、基础等支承物上的装置叫支座。支座就是约束体。下