



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

11G101平法识图 与钢筋算量

11G101 PINGFA SHITU
YU GANGJIN SUANLIANG

主 编 赵治超
主 审 周慧玲 梁 波

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

11G101平法识图与钢筋算量

赵治超 程沙沙

主 编 赵治超
参 编 刘 颖 程 莉 黄海波 程沙沙
杨 勇 秦荷成 董远林
主 审 周慧玲 梁 波

北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书为“十二五”职业教育国家规划教材，共包括三部分：建筑力学基础知识（第一章），主要讲解力、力偶、内力、变形的基本概念，构件内力以及内力图的求解；钢筋混凝土结构设计基础（第二章），主要讲解建筑结构的两种极限状态，钢筋和混凝土两种材料的材料强度，建筑结构的荷载，受弯构件、受压构件、受扭构件、预应力混凝土构件的基础知识，多高层建筑结构体系；平法识图与钢筋算量（第三至第九章），此部分是本书的重点，详细讲解钢筋混凝土结构施工图平法标注方式及其钢筋计算方法，包含了柱、剪力墙、梁、板、基础、板式楼梯等构件。此外，书后还附有钢筋计算截面面积与理论质量表。

本书可作为高职高专院校工程造价、建筑工程管理和房地产等土建相关专业的教学用书，还可供从事土建工作的相关工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

11G101平法识图与钢筋算量/赵治超主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 8

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-5640-9615-1

I. ①1… II. ①赵… III. ①钢筋混凝土结构—建筑构图—识别—高等职业教育—教材
②钢筋混凝土结构—结构计算—高等职业教育—教材 IV. ①TU375

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第192409号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 14

插 页 / 16

字 数 / 377千字

版 次 / 2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

定 价 / 42.00元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

PREFACE

2010年以来,新版国家建筑结构设计规范陆续颁布实施,紧随设计规范的更新,2011年,国家建筑标准设计研究院颁布实施了新版G101平法图集,本书就是在国家新规范、新图集颁布实施的背景下编写的,反映了新规范图集的要求。

钢筋算量课程是一门实践性很强的课程,只有把力学结构的知识融汇到钢筋算量的全过程,采取工作过程化教学模式,让学生感受到工作的氛围,体验到项目完成的喜悦和自豪感,这样才能激发学生的学习兴趣。

自2003年以来,平法标注方式在混凝土结构施工图中得到广泛应用,现在混凝土结构施工图基本都是采用平法标注方式。平法识图与钢筋算量是一直困扰在校师生的一大难题,表现在:对于教师而言,平法相对来说还是一个新鲜事物,市场上没有合适的教材可以使用,因此普遍感觉课堂教学难于组织;对于学生而言,钢筋藏在混凝土里面,看不见也摸不着,是比较抽象的,再加上没有合适的教材,学生在学习时只能看国家标准图集,但是对于初学者来讲,看图集算钢筋是相当困难的,需要相当扎实的专业知识,而学生还不具备这项专业技能,这是学生反映钢筋算量课程比较难学的根本原因。

2011年7月21日,中华人民共和国住房和城乡建设部建质(2011)110号文发布,通知明确规定在2011年9月1日废止03系列平法图集,其由11系列平法图集替代。

新平法的背景：2008年汶川地震、2010年玉树地震，痛定思痛，根据对震害的分析，为了在混凝土结构设计中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全、实用、经济、保证质量，国家先后修订了三大结构设计规范——《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）、《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）和《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3—2010）。由于新规范中补充了结构方案、抗震设计，修改了保护层等有关规定，故11G101系列平法图集根据新规范进行了大量调整，并取代了03G101系列平法图集。

新规范的主要影响：①钢筋材料发生变化；②基本构造发生变化（保护层、钢筋锚固、钢筋端部弯钩和机械锚固、钢筋连接）；③构件节点发生变化；④新平法的变化（图集构成变化、各构件制图规则和构造详图变化）。

为了在教学中执行新规范、新平法，为在校师生提供一本实用的教材，方便教师组织课堂，利于学生学习理解，本书采用案例教学法，结合一套完整的结构施工图，对每一种构件——柱、剪力墙、梁、板、基础和楼梯进行系统讲解，总结出钢筋的计算公式，针对每种构件给出计算案例，通过理论知识和案例讲解，使学生切实掌握钢筋计算方法。

本书编写成员大多是从从事多年教学工作的专业教师和建筑业企业的高级工程师，全书凝聚了每位编写者的教学和工程经验，希望本书对学生学习平法识图与钢筋算量带来一定的帮助。本书虽经作者反复校对，但仍难免出现纰漏，敬请读者批评指正，以便再版时修正。

编者

目 录

CONTENTS

第一章 建筑力学基础知识	1
第一节 建筑力学的基本概念	1
第二节 平面力系平衡条件的应用	9
第三节 内力与内力图	11
第二章 钢筋混凝土结构设计基础	19
第一节 荷载和材料强度	19
第二节 混凝土结构设计方法	23
第三节 钢筋混凝土受弯构件	27
第四节 钢筋混凝土受压构件	39
第五节 钢筋混凝土受扭构件	42
第六节 钢筋混凝土梁板结构	43
第七节 预应力混凝土构件基本知识	48
第八节 多高层建筑结构	50
第三章 平法施工图通用规则介绍	62
第一节 混凝土结构的环境类别	62
第二节 钢筋的混凝土保护层厚度	63
第三节 受拉钢筋的锚固长度	64
第四节 钢筋的连接	65
第五节 建筑上部结构和下部结构的分界	68
第四章 柱平法施工图与钢筋算量	69
第一节 柱平法施工图制图规则	69
第二节 柱标准构造详图	73

第三节	柱钢筋算量计算方法	82
第四节	柱钢筋工程量计算实例	85
第五章	剪力墙平法施工图与钢筋算量	92
第一节	剪力墙平法施工图制图规则	92
第二节	剪力墙标准构造详图	100
第三节	剪力墙钢筋算量计算方法	113
第四节	剪力墙钢筋工程量计算实例	116
第六章	梁平法施工图与钢筋算量	123
第一节	梁平法施工图制图规则	123
第二节	梁标准构造详图	128
第三节	梁钢筋计算方法与算例	135
第七章	板平法施工图与钢筋算量	144
第一节	板构件平法识图	144
第二节	板构件钢筋构造	153
第三节	板构件钢筋计算	159
第八章	基础平法施工图与钢筋算量	171
第一节	独立基础平法识图与计算	171
第二节	筏形基础平法识图与计算	176
第九章	楼梯平法施工图与钢筋算量	184
第一节	楼梯平法施工图制图规则	184
第二节	楼梯标准构造详图	192
第三节	楼梯钢筋工程量计算实例	200
附表	钢筋计算截面面积与理论质量表	215
参考文献		216

第一章 建筑力学基础知识

◎学习目标

1. 了解力、力的平衡、计算简图、静定与超静定、内力与内力图等概念。
2. 熟悉静力学基本公理和杆件变形的基本形式。
3. 掌握常见约束的约束反力和平面一般力系平衡条件的应用。

◎学习重点

1. 常见约束的约束反力。
2. 平面一般力系平衡条件的应用。
3. 轴心受力构件、受弯构件内力与内力图的求解。

第一节 建筑力学的基本概念

一、力的概念

力是物体之间的相互作用，这种作用引起物体运动状态的变化(外效应)，或者使物体发生变形、产生内力(内效应)。建筑力学主要研究力的内效应。

在自然界中，物体之间相互作用的形式是多种多样的，如人推小车、手拉弹簧、地球对每个物体的引力作用(重力作用)、桥梁结构受到车辆的作用而产生振动和弯曲变形等。总结起来，力的作用形式分为两类：一类是物体间直接接触的相互作用；另一类是通过场面产生的物体间相互作用(非接触类)。

力的三要素包括大小、方向和作用点。

(1)力的大小反映物体间相互作用的强弱，在国际单位制中用牛顿(N)作为力的基本单位，除了N以外，还常使用kN($1\text{ kN}=10^3\text{ N}$)作为力的单位，即1 kg物体，重力大概相当于9.8 N。

(2)力的方向就是力的指向，如水平向右、竖直向下等。

(3)力的作用点是力的作用位置，如两个物体相互接触且产生力的作用，那么接触点就是力的作用点。有些力的作用点面积非常小，称为集中力，如人站在楼板上，人体荷载就是集中力。有些作用点面积比较大，称为分布力，例如建筑材料自重。

力是矢量，通常用一段带有箭头的线段来描述它。线段的长度表示力的大小，线段所在直线和箭头表示力的方向，线段的始端(有时用末端)表示力的作用点。力的三要素有一

个发生变化，就意味着力发生了变化。如图 1-1 中表示一个力 F 。

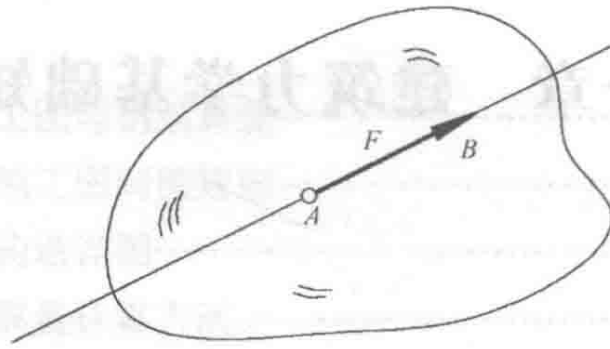


图 1-1 力的图示

二、静力学基本公理

为了便于研究，首先明确静力学中的几个基本定义。

质点：指不计物体的大小，只考虑其质量的点。质点是为研究物体运动规律而做的一种简化。

刚体：指在外力作用下可以忽略变形的物体。在实际工程中绝对的刚体是不存在的，但是有些变形相对较小的物体可以简化为刚体。例如，在研究物体的机械运动时，可以忽略物体的变形。

平衡：指物体相对于惯性参考系(如地面)保持静止或匀速直线运动状态。

力系：指同时作用在一个物体上的一群力。

等效力系：两个力系对同一个物体分别作用后，其效果相同时，这两个力系互称为等效力系。如果一个力与一个力系等效，则这个力称为该力系的合力，该力系中的其他力称为这个合力的分力。

平衡力系：如果物体在某力系作用下处于平衡状态，则该力系称为平衡力系。

静力学公理是人们经过长期观察和分析得到的最基本的力学规律，这些规律为研究静力学的主要问题提供了必要的基础。

公理 1 二力平衡条件

作用在一个刚体上的两个力使刚体处于平衡的充分和必要条件是：这两个力大小相等，方向相反，且作用线在同一直线上，如图 1-2 所示。

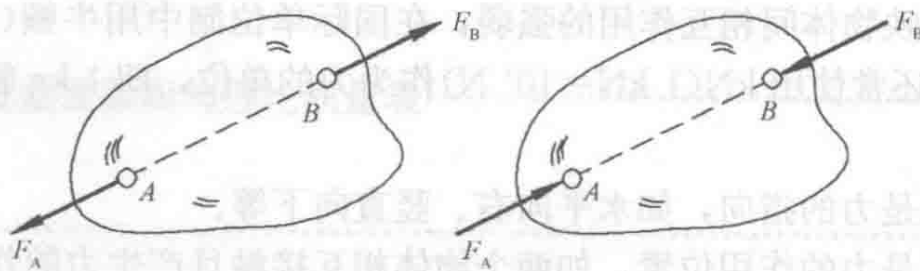


图 1-2 二力平衡条件

这个公理表明了作用于刚体上最简单力系平衡时所必须满足的条件。

公理 2 加减平衡力系原理

在作用于一个刚体上的已知力系上，加上或减去一个平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效应。

这个公理是研究力系等效替换的重要依据。根据上述公理可以导出以下推论。

推论 1 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力，可沿其作用线移动到刚体内任意一点，而不改变它对刚体的作用效应。

在刚体上的点 A 作用 F ，如图 1-3(a) 所示，根据加减平衡力系原理，可在力的作用线上任取一点 B，加上一对相互平衡的力 F_1 和 F_2 ，使 $F = F_1 = F_2$ ，如图 1-3(b) 所示，由公理 2 可知，刚体的运动状态是不会改变的，即力系 (F, F_1, F_2) 与力 (F) 等效。再由公理 1 可知， F_2 与 F 亦为平衡力系，可以去掉，所以力系 (F, F_1, F_2) 与力 (F_1) 等效，如图 1-3(c) 所示。原来的力沿其作用线由 A 点移到了 B 点，通常称为力的可传性。

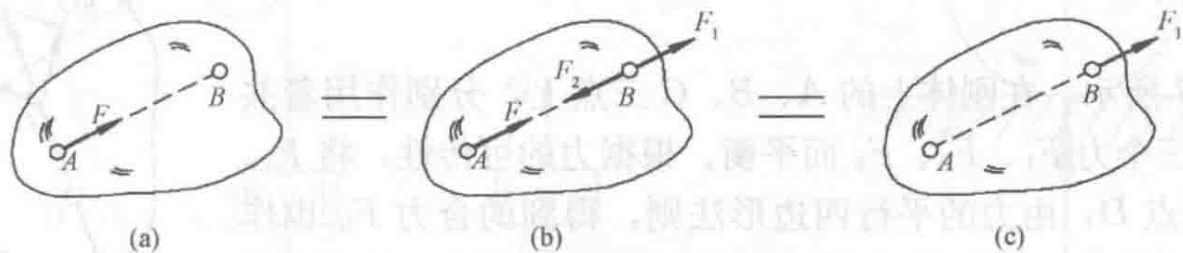


图 1-3 力的可传性

由推论 1 可知，力对刚体的作用取决于力的大小、方向和作用线，至于在作用线上的哪一点则是无关紧要的。同样必须指出，力的可传性原理只适用于刚体而不适用于变形体。

公理 3 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的大小和方向由以这两个力为边构成的平行四边形的对角线表示，其作用点也在此二力的交点，如图 1-4 所示。其矢量表达式为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

亦可另作一个力的三角形，具体方法是从 O 点开始，先画出矢量 F_1 ，然后再由 F_1 的终点画另一矢量 F_2 ，最后将 O 点与 F_2 的终点连线得合力，如图 1-5(a) 所示。同理，改变 F_1 与 F_2 的顺序，结果不变，如图 1-5(b) 所示。这种作图方法称为力的三角形法则。

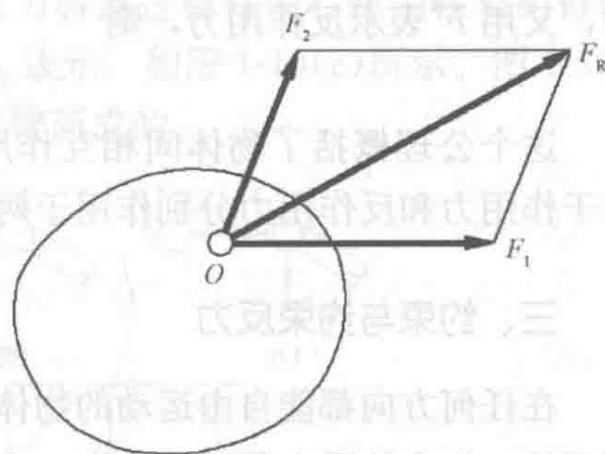


图 1-4 力的平行四边形法则

利用力的平行四边形法则，可以把两个共点力合成为一个力，也可以把一个已知力分解成与其共点的两个力。但是，会得到无数组解。要得到唯一解，必须给以限制条件，如已知两分力的方向求其大小，或已知一个分力的大小和方向求另一个分力等。在实际计算中，常把一个任意力 F 沿直角坐标轴分解为互相垂直的两个分力 F_x 与 F_y ，如图 1-6 所示。

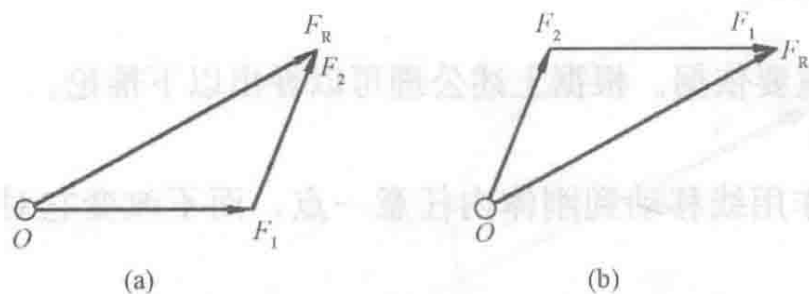


图 1-5 力的三角形法则

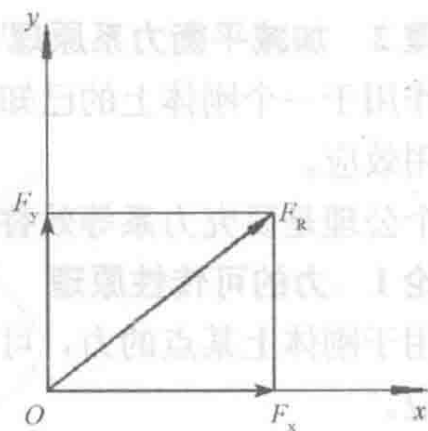


图 1-6 力的分解

推论 2 三力平衡汇交定理

作用于刚体上三个相互平衡力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三力必在同一平面内，且第三个力的作用线通过汇交点。

如图 1-7 所示，在刚体上的 A、B、C 三点上，分别作用着共面不平行的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 而平衡。根据力的可传性，将 F_1 、 F_2 移到汇交点 D，由力的平行四边形法则，得到的合力 F_R 也作用在 D 点，并且 F_3 与力 F_R 平衡。由两力平衡公理知， F_3 和 F_R 必共线，并通过 D 点。所以力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面，且通过力 F_1 和 F_2 的交点 D。

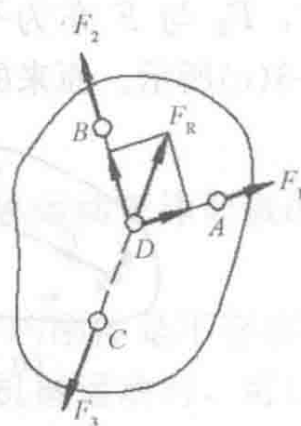


图 1-7 三力平衡汇交

公理 4 作用与反作用定律

若甲物体对乙物体有一个作用力，则乙物体同时对甲物体必有一个反作用力，并且这一对力总是大小相等、方向相反，沿同一直线，分别作用在两个物体上。若用 F 表示作用力，又用 F' 表示反作用力，则

$$F = -F' \quad (1-2)$$

这个公理概括了物体间相互作用的关系，表明了作用力和反作用力总是同时存在的。由于作用力和反作用力分别作用于两个物体上，因此，不能错误地认为它们是平衡力系。

三、约束与约束反力

在任何方向都能自由运动的物体称为自由体，如空气中的气球、飞机等。但另一类物体则不然，如在轨道上行驶的火车、在轴承上转动的轮子等。由于某些条件的限制，某些方向的运动不能发生的物体称为非自由体，这些限制物体运动的条件就称为约束。由约束而引起的对物体的作用力称为约束反力或约束力，简称反力。约束力的方向总是与物体的运动(或运动趋势)的方向相反，其作用点就是约束与被约束物体的接触点。

非自由体所受的力分为主动力和约束反力。凡是能引起物体运动(或运动趋势)的力称为主动力，如重力、风压力等。作用在工程结构上的主动力常称为荷载。而约束反力是在主动力的影响下产生的。一般情况下，主动力是已知的，约束反力是未知的。对受约束的非自由体进行受力分析时，主要的工作多是分析约束反力。下面介绍工程中常见的几种约束类型的约束反力的特征。

1. 柔性体约束

由柔软而不计自重的绳索、链条等构成的约束通称为柔性体约束。由于柔软的物体本身只能承受拉力，所以它给物体的约束力也只可能是拉力，通过接触点，沿着柔性体的中心线背向物体，用符号 F_T 表示，如图 1-8 所示。

2. 光滑接触面约束

物体间光滑接触(摩擦力很小，略去不计)时，不能限制物体沿约束表面切线的位移，只能阻碍物体沿接触表面法线并向约束内部的位移。因此，光滑支撑面对物体的约束力作用在接触点处，方向沿接触表面的公法线，并指向被约束的物体。这种约束是法向约束力，通常用 F_N 表示，如图 1-9 所示。

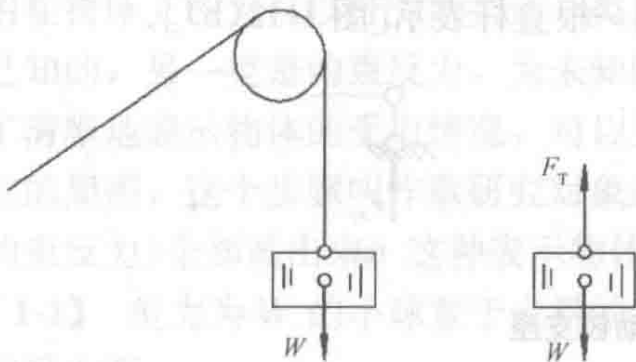


图 1-8 柔性体约束

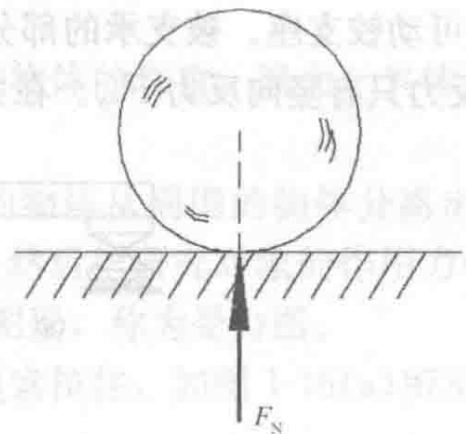


图 1-9 光滑接触面约束

3. 圆柱铰链约束

圆柱铰链约束简称铰链约束，其构造是在具有圆孔的两个物体上用圆柱销钉连接起来，物体只能绕圆柱销钉转动，如图 1-10(a)所示，其力学简图用图 1-10(b)表示。在不同的受力情况下，圆柱销钉与物体有不同的接触面，约束反力将通过销钉中心作用在与销钉轴线垂直的平面内，通常用互相垂直的两个分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示，如图 1-10(c)所示。图 1-10(d)所示的拱形桥就是由两个拱形构件通过圆柱铰链 C 连接而成的。

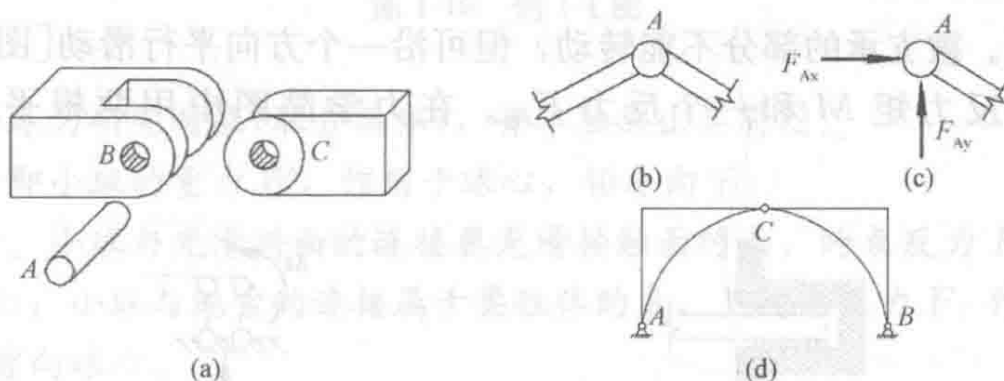


图 1-10 圆柱铰链约束

4. 链杆约束

两端用铰链与物体连接且不计自重的刚性直杆称为链杆，如图 1-11(a)所示，其力学简图如图 1-11(b)所示。这种约束只能限制物体沿链杆轴线方向的移动，而不能限制物体在其他方向的运动。所以链杆约束的约束反力沿着链杆轴线，但指向不能预先确定，如图 1-11(c)所示。

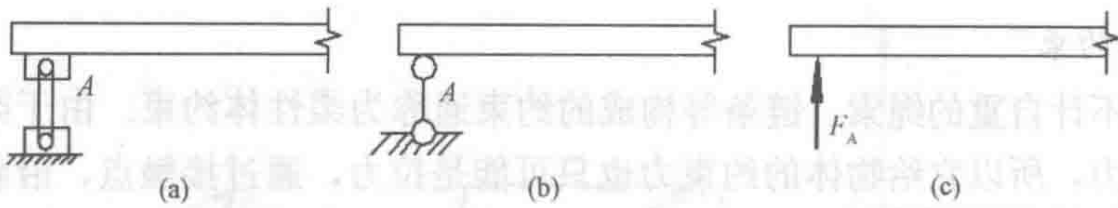


图 1-11 链杆约束

5. 支座与支座反力

一切工程结构都是与地面相连的，而这种连接往往是通过支座来实现的。所谓支座，就是建筑物下面支撑结构的约束，其反力不仅与荷载有关，而且与支座的约束性能有关。工程中常见的支座有以下几种：

(1) 可动铰支座。被支承的部分可以转动和水平移动，不能竖向移动[图 1-12(a)]，能提供的反力只有竖向反力 F_{Ay} 。在力学简图中用一根直杆表示[图 1-12(b)]。



图 1-12 可动铰支座

(2) 固定铰支座。被支承的部分可以转动，不能移动[图 1-13(a)]，能提供两个反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 。在力学简图中用两根相交的直杆表示[图 1-13(b)]。



图 1-13 固定铰支座

(3) 定向支座。被支承的部分不能转动，但可沿一个方向平行滑动[图 1-14(a)]，能提供的反力有一个反力矩 M 和一个反力 F_{Ay} 。在力学简图中用两根平行直杆表示[图 1-14(b)]。



图 1-14 定向支座

(4) 固定端支座。被支承的部分完全被固定[图 1-15(a)]，能提供三个约束反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 M 。在力学简图中可以图 1-15(b)表示。

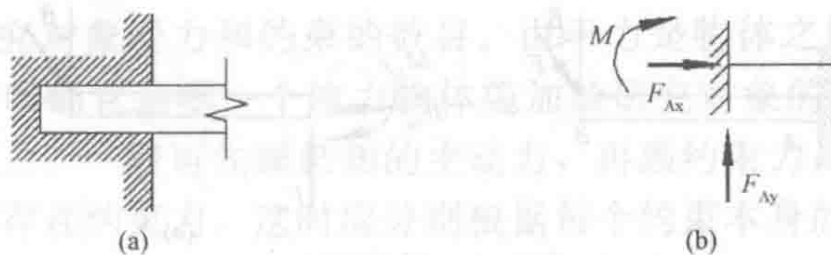


图 1-15 固定端支座

四、物体的受力分析与受力图

在工程实际中，为了求出未知的约束力，需要根据已知力，应用平衡条件求解。为此，首先要确定构件受到了几个力，以及每个力的作用位置和作用方向，这种分析过程称为物体的受力分析。

作用在物体上的力可以分为两类：一类是主动力，如物体的自重、风力、气体压力等，一般是已知的；另一类是约束反力，为未知的被动力。

为了清晰地表示物体的受力情况，可以把需要研究的物体从周围的物体分离出来，单独画出它的简图，这个步骤叫作取研究对象或取分离体，然后把研究对象的作用力(包括主动力和约束反力)全部画出来。这种表示物体受力的简明图形，称为受力图。

【例 1-1】 重力为 W 的小球置于光滑的斜面上，用绳索拉住，如图 1-16(a)所示，试画出小球的受力图。

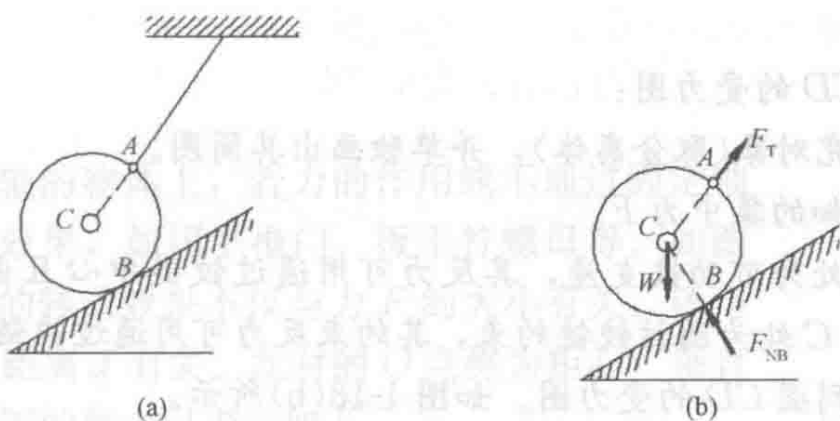


图 1-16 例 1-1 图

解：(1)取小球为研究对象(取分离体)，并单独画出其简图。

(2)画主动力即小球的重力 W ，作用于球心，铅垂向下。

(3)画约束力。小球与光滑斜面的连接属光滑接触面约束，约束反力 F_{NB} 通过切点 B 沿着公法线指向球心；小球与绳索的连接属于柔性体约束，其约束反力 F_T 作用于接触点，沿着绳索的中心线背向球心。

小球的受力图如图 1-16(b)所示。

【例 1-2】 水平梁 AB 在自由端 B 受已知集中力 F 作用， A 端为固定端支座，如图 1-17(a)所示。梁的自重不计，试画出梁 AB 的受力图。

解：(1)取梁 AB 为研究对象(取分离体)，并单独画出其简图。

(2)画主动力即已知的集中力 F ，作用于 B 点，沿原来方向。

(3)画约束力。梁 AB 与 A 端的连接属固定端约束，可以用未知的水平和垂直的两个分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 以及反力偶 M_A 表示。

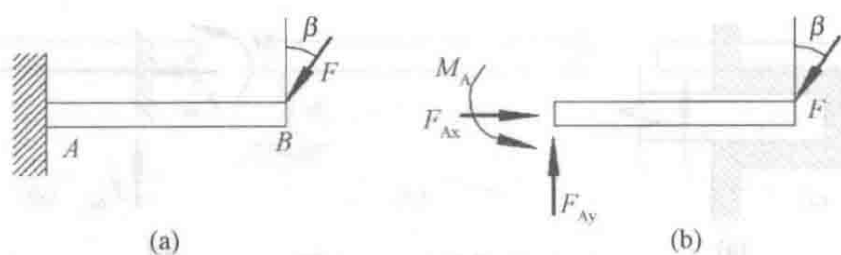


图 1-17 例 1-2 图

梁 AB 的受力图如图 1-17(b) 所示。

【例 1-3】 图 1-18(a) 所示为两跨静定梁，A 处为固定铰支座，B 和 D 处为可动铰支座，C 处为圆柱铰链约束，受已知力 F 作用。不计梁的自重，试画出梁 CD、AC 及整梁 AD 的受力图。

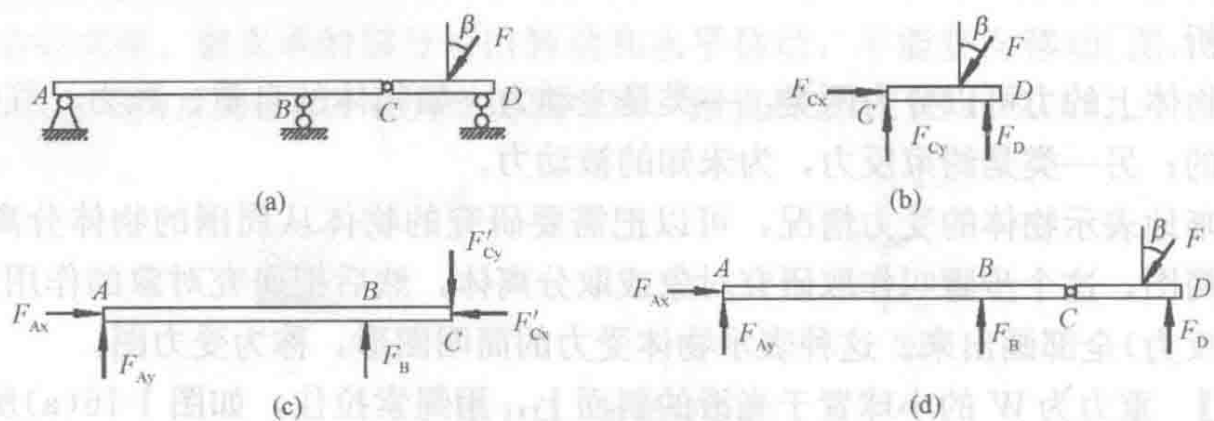


图 1-18 例 1-3 图

解：首先画出梁 CD 的受力图：

(1) 取梁 CD 为研究对象(取分离体)，并单独画出其简图。

(2) 画主动力即已知的集中力 F 。

(3) 画约束力。 D 处为可动铰支座，其反力可用通过铰链中心且垂直于支撑面的力 F_D 表示，指向假设向上； C 处为圆柱铰链约束，其约束反力可用通过铰链中心并互相垂直的分力 F_{Cx} 和 F_{Cy} 表示，得到梁 CD 的受力图。如图 1-18(b) 所示。

其次画出梁 AB 的受力图：

(1) 取梁 AB 为研究对象(取分离体)，并单独画出其简图。

(2) 无主动力，因此可以直接进行下一步。

(3) 画约束力。先在 C 处按作用力与反作用力关系画出相互垂直的分力 F'_{Cx} 和 F'_{Cy} ；再在 A 点和 B 点按固定铰支座和可动铰支座画出其支座反力，得到梁 AB 的受力图，如图 1-18(c) 所示。

最后画出梁 AD 的受力图：

(1) 取整梁 AD 为研究对象(取分离体)。

(2) 画主动力即已知的集中力 F 。

(3) 画约束力。在 A 、 B 、 D 点按固定铰支座和可动铰支座画出其支座反力，此时 C 点的约束反力作为物体系的内力可不画出，得到整梁 AD 的受力图，如图 1-18(d) 所示。

正确画出物体的受力图是分析、解决力学问题的基础。画受力图时必须注意以下几点：

第一，必须明确研究对象。根据求解需要，可以取单个物体为研究对象，也可以取由几个物体组成的系统为研究对象。不同的研究对象受力图是不同的。

第二, 正确确定研究对象受力和约束的数目。由于力是物体之间相互的机械作用, 因此, 对每一个力都应明确它是哪一个施力物体施加给研究对象的, 绝不能凭空产生。同时, 也不可漏掉一个力。一般可先画已知的主动力, 再画约束力; 凡是研究对象与外界接触的地方, 都一定存在约束力, 这时应分别根据每个约束本身的特性来确定其约束力的方向。

第三, 当分析两物体相互的作用时, 应遵循作用反力与作用力的关系。作用力的方向一经设定, 则反作用力的方向应与之相反。当画某个系统的受力图时, 由于内力成对出现, 组成平衡力系, 因此不必画出, 只需画出全部外力。

第二节 平面力系平衡条件的应用

在静力学中主要研究力系的合成与分解以及平衡条件。为了便于研究问题, 可以按照力系中各力作用线的分布情况进行分类, 凡是作用线均在同一平面内的力系称为平面力系, 凡是作用线不在同一平面内的力系称为空间力系。在这两个力系中, 作用线交于一点的称为汇交力系, 作用线相互平行的称为平行力系, 仅作用一群力偶的称为力偶系, 作用线任意分布的力系称为一般力系。

一、力矩与力偶

1. 力矩的概念

一个力作用在固有轴的物体上, 若力的作用线不通过固定轴时, 物体就会产生转动效果, 如用手推门、扳手拧螺母等。如图 1-19 所示, 扳手拧螺母的转动效果不仅与力 F 的大小有关, 还与点 O 到力作用线的垂直距离 d 有关。此时的 O 点称为矩心, 垂直距离 d 称为力臂, 而力矩的概念可表示如下:

力矩是一个代数量, 它的绝对值等于力的大小与力臂的乘积, 单位常用 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$, 它的正负规定如下: 力矩使物体绕矩心逆时针转动时为正, 反之为负。用表达式表示为

$$M_O(F) = \pm F \times d \quad (1-3)$$

由力矩的定义, 可以得到以下推论:

- (1) 力对已知点的矩不因力在作用线上移动而改变(因为 d 不变);
- (2) 力的作用线如果通过力矩中心, 则力对该点的力矩等于零(因为 $d=0$);
- (3) 两个作用在同一直线上, 大小相等、方向相反的力, 对于任一点的力矩代数数和为 0。

【例 1-4】 分别计算图 1-20(a) 所示的 F_1 、 F_2 对 O 点的力矩。

解: $M_O(F_1) = F_1 d_1 = 10 \times 1 \times \sin 30^\circ = 5 (\text{kN} \cdot \text{m})$

$M_O(F_2) = -F_2 d_2 = -30 \times 1.5 = -45 (\text{kN} \cdot \text{m})$

在上题计算 F_1 对 O 点的力矩时, 也可以把 F_1 分解为沿直角坐标的两个分力 F_{1x} 和 F_{1y} , 如图 1-20(b) 所示, 并求其对 O 点力矩的代数数和, 得

$$F_{1x} \times d + F_{1y} \times d = 10 \times \cos 30^\circ \times 0 + 10 \times \sin 30^\circ \times 1 = 5 (\text{kN} \cdot \text{m})$$

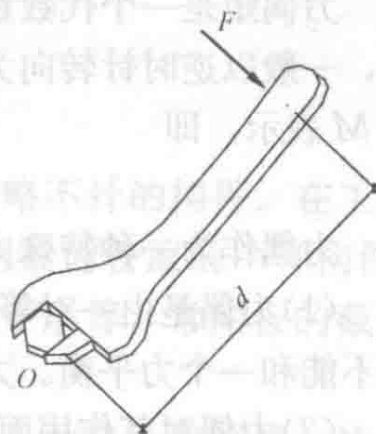


图 1-19 力矩

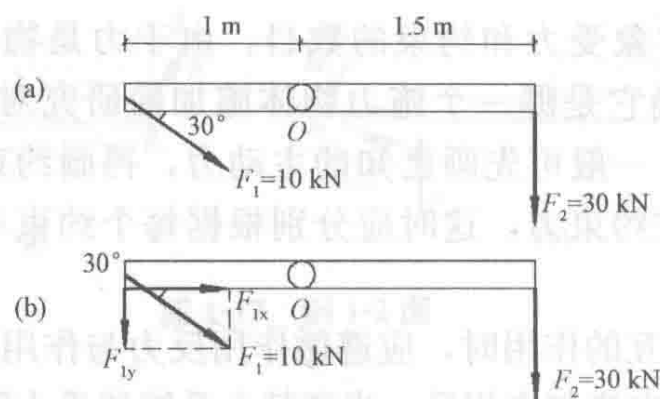


图 1-20 例 1-4 图

可见，合力对平面内某一点的力矩等于各分力对同一点力矩的代数和。这就是在力学中被广泛应用的合力矩定理。

2. 力偶的概念

实践中，常常见到汽车司机用双手转动方向盘(图 1-21)、木工钻孔、开关自来水龙头、拧钢笔帽等。这些作用在物体上的力是成对的等值、反向且不共线的平行力。等值反向平行力的矢量和显然等于 0，但是由于它们不共线而不能相互平衡，它们能使物体改变转动状态。这种由两个大小相等、方向相反且不共线的平行力组成的力系，称为力偶，用符号 (F, F') 来表示。力偶的两力之间的垂直距离 d 称为力偶臂，力偶所在的平面称为力偶的作用面。

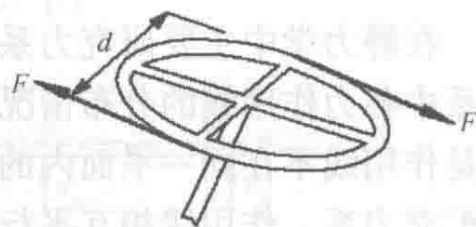


图 1-21 力偶的概念

力偶矩是一个代数量，其绝对值等于力的大小与力偶臂的乘积，正负号表示力偶的转向，一般以逆时针转向为正，反之则为负。力偶矩的单位和力矩相同，也是 $N \cdot m$ 。力偶矩用 M 表示，即

$$M = \pm F \times d \quad (1-4)$$

力偶作为一种特殊力系，具有如下主要性质：

(1) 力偶是由一对等值反向的平行力组成，因此力偶没有合力，既不能用一个力代替，也不能和一个力平衡。力偶只能与力偶平衡。

(2) 力偶对其作用面任一点的矩都等于力偶矩，而与矩心的位置无关。

(3) 在保持力偶矩大小和转向不变的条件下，可以相应调整力偶中力的大小和力偶臂的长短，而不改变它对物体的作用，并且将力偶在其作用面内任意移转，也不会改变它对物体的作用效果。

二、平面力系平衡条件的应用

1. 力的平移定理

设物体的 A 点作用一个力 F [图 1-22(a)]，在物体上任取一点 O，在 O 点加上两个等值、反向、共线并与 F 平行且相等的力 F' 和 F'' [图 1-22(b)]，由加减平衡力系公理知，这样不会改变原力 F 对物体的作用效应。显然力 F 和 F'' 组成一个力偶，其力偶矩为

$$m = F \times d = M_O(F) \quad (1-5)$$

于是得到力的平移定理：作用于物体上的力 F ，可以平行移动到同一物体上的任意一点