



中等职业教育课程改革国家规划新教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

土木工程力学基础

(多学时)

胡兴福 主编

中国建筑工业出版社

中等职业教育课程改革国家规划新教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

土木工程力学基础

(多学时)

胡兴福 主编

刘文白 主审
罗 奕

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

土木工程力学基础(多学时)/胡兴福主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010

中等职业教育课程改革国家规划新教材. 全国中等职业教育教材审定委员会审定

ISBN 978-7-112-11903-5

I. 土… II. 胡… III. 土木工程—工程力学—专业学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第044422号

本书依据教育部《中等职业学校土木工程力学基础(土木、水利施工类)教学大纲》编写。书中通过身边的事例和工程中的简单实例引入力学知识,讲述的知识紧密联系工程实践,并总结出有规律性的结论和解题方法。单元结尾设置了“工程中的应用”和“活动”部分,引导学生用所学知识去解决工程中的实际问题。本书主要内容有:力和受力图,平面力系的平衡,直杆轴向拉伸和压缩,直梁弯曲,受压构件的稳定性和工程中常见结构简介等。

* * *

责任编辑:朱首明 李 明

责任设计:赵明霞

责任校对:兰曼利 王雪竹

中等职业教育课程改革国家规划新教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

土木工程力学基础

(多学时)

胡兴福 主编

刘文白 主审
罗 奕

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:9 字数:224千字

2010年7月第一版 2010年7月第一次印刷

定价:18.00元

ISBN 978-7-112-11903-5

(19164)

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)

中等职业教育课程改革国家规划新教材

出版说明

为贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》(国发〔2005〕35号)精神,落实《教育部关于进一步深化中等职业教育教学改革的若干意见》(教职成〔2008〕8号)关于“加强中等职业教育教材建设,保证教学资源基本质量”的要求,确保新一轮中等职业教育教学改革顺利进行,全面提高教育教学质量,保证高质量教材进课堂,教育部对中等职业学校德育课、文化基础课等必修课程和部分大类专业基础课教材进行了统一规划并组织编写,从2009年秋季学期起,国家规划新教材将陆续提供给全国中等职业学校选用。

国家规划新教材是根据教育部最新发布的德育课程、文化基础课程和部分大类专业基础课程的教学大纲编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过的。新教材紧紧围绕中等职业教育的培养目标,遵循职业教育教学规律,从满足经济社会发展对高素质劳动者和技能型人才的需要出发,在课程结构、教学内容、教学方法等方面进行了新的探索与改革创新,对于提高新时期中等职业学校学生的思想道德水平、科学文化素养和职业能力,促进中等职业教育深化教学改革,提高教育教学质量将起到积极的推动作用。

希望各地、各中等职业学校积极推广和选用国家规划新教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司
2010年6月

前 言

本书是专为中等职业学校土木、水利施工等专业学生而编写的。本书依据教育部中等职业学校土木工程力学基础(土木、水利施工类)教学大纲编写,力求体现中等职业学校教学改革的特点,强调由浅入深地讲授知识,突出教材的针对性、适用性和实用性。

本书的内容编排别具特色。单元开始,我们通过身边的事例和工程中的简单实例引入要讲述的力学知识,使学生在开始学习前就对将要学习的知识有了一个感性的认识。单元中,讲述的知识尽可能地紧密联系现实生活和工程实践,及时总结有规律性的结论和解题方法,并通过例题加强学生对重要知识点的理解和掌握。单元结尾设置了“工程中的应用”部分,引导学生用学到的知识去解决工程实践中的真实问题。单元中还设置了【想一想】和【小资料】:【想一想】既是对本阶段知识点的总结概括,又可以引导学生从理论走近工程;

【小资料】中有的对知识点的有益补充,有的则是与课文有关的趣味性阅读,希望可以增强学生学习的兴趣。单元末设置了【思考】、【练习】,帮助同学们巩固学习到的知识。最后又精心设计了【活动】栏目,让同学们在亲自动手做的过程中加深对力学知识的理解。

本书的版式编排也别具特色。书中采用了双栏编排,主栏中是教材的正文部分,讲述了按照大纲要求学生必须要掌握的知识,为了配合文字讲述,我们把一部分插图放在侧栏,力求做到让同学们一边读文字,一边看插图,避免了图文结合的不紧密。书中插图采用双色描绘,把物体、作用力和约束方式用色彩区分开来,方便学生在学习过程的对相关知识归纳和总结。所有这些设计与安排,都是想让学生感到力学就在我们身边,帮助他们树立学好力学的信心与决心。

本书由胡兴福教授担任主编,周学军高级讲师担任副主编,刘文白、罗奕主审。具体编写分工如下:四川建筑职业技术学院胡兴福教授编写单元1、单元2;广州市土地房产管理学

校吕宋樱子高级讲师编写单元3；攀枝花建筑工程学校陈晓林高级讲师编写单元4；上海市建筑工程学校周学军高级讲师编写单元5、单元6；抚顺市建筑工业学校万静副教授编写单元7。

限于作者水平，书中难免存在不足之处，欢迎广大读者批评指正。

编者
2010年2月

目 录

■ 单元 1	绪言	1
■ 单元 2	力和受力图	3
2.1	力的基础知识	3
2.2	静力学公理	5
2.3	约束与约束反力	7
2.4	受力图的绘制	10
思考		12
练习		12
■ 单元 3	平面力系的平衡	13
3.1	力在直角坐标轴上的投影	13
3.2	平面汇交力系的平衡	16
3.3	力矩	19
* 3.4	力偶	21
3.5	平面一般力系的平衡	24
3.6	工程中的应用	36
思考		37
练习		38
活动		41
■ 单元 4	直杆轴向拉伸和压缩	43
4.1	杆件变形的基本形式	43
4.2	直杆轴向拉、压横截面上的内力	46
4.3	直杆轴向拉、压的正应力	51
4.4	直杆轴向拉、压的强度计算	54
* 4.5	直杆轴向拉、压的变形	58
4.6	工程中的应用	63
思考		67
练习		67
活动		68

单元 5 直梁弯曲	69
5.1 梁的形式	69
5.2 梁的内力	71
5.3 梁的内力图	79
5.4 梁的正应力及其强度条件	85
5.5 梁的变形	91
5.6 工程中的应用	94
思考	100
练习	101
活动	103
单元 6 受压构件的稳定性	104
6.1 受压构件平衡状态的稳定性	104
6.2 影响受压构件稳定性的因素	106
6.3 工程中的应用	110
思考	114
活动	114
单元 7 工程中常见结构简介	115
7.1 平面结构的几何组成分析	115
7.2 工程中常见静定结构简介	120
7.3 工程中常见超静定结构简介	130
思考	134
练习	134
活动	135
主要参考文献	136

单元1 绪言

在初中物理课中,我们已经学习了一些力学的基本知识,本课程中,我们将学习力学知识在建筑中的应用。

建筑的发展经历了一个漫长的历程。最初,人们模仿自然界中的天然结构,建造了房屋和桥梁等简单结构,用来躲避野兽和自然灾害的侵扰。随着时间的推移,人们积累了越来越多的经验,在漫长的历史长河中,创造出许许多多辉煌的古代建筑,如埃及的金字塔(图1-1),中国的万里长城、赵州桥、故宫(图1-2)等等。这些结构中隐含有力学的知识,但这个时期力学还没有形成一门学科。随着工业的发展,人们开始设计各种大规模的工程结构,这些结构设计复杂,需要精确的分析和计算。这时候,工程结构的分析理论和分析方法开始逐步独立出来,19世纪中叶,土木工程力学开始成为一门独立的学科。时至今日,土木工程力学已经成为土木工程中不可或缺的一门重要工具,指导着土木工程中从设计到施工全过程的工作。

土木工程力学的分析对象是结构。在土木工程中,结构就是指由梁、板、柱、墙等构件组成的骨架体系。

房屋为什么可以承受荷载而屹立不倒呢?

梁、板、柱、墙这些基本构件通过一定的方式相互连接在一起构成了房屋的骨架——结构,在外荷载的作用下,结构为房屋提供了抵抗外荷载作用的抗力。外荷载使结构构件中产生应力、应变和位移,当保持在构件的所能承受的强度和变形范围内时,结构处于平衡状态,此时的房屋屹立不倒。当超出这个范围时,房屋就会发生破坏。

土木工程力学就是分析结构受力和传力的规律,以及如何进行结构优化的科学。人们通过合理的假设,把真实建筑简化成便于计算的力学模型(图1-3),分析在载荷作用下结构的效应,进而进行结构的承载能力计算。

本课程中我们将学习土木工程力学的基本知识。通过学习,初步具备对土木工程简单结构和基本构件进行受力分析的能力;能运用平衡方程解决基本构件的平衡问题;能绘制直杆轴向拉伸、压缩内力图和直梁弯曲内力图;具备利用正应力强度条件进行直杆拉伸、压缩及直梁弯曲强度校核的基本计算能力;了解受压构件的稳定性问题及土木工程简单结构的内力特点。最终实现能对土木工程简单结构、基本构件进行简化绘制相应计算简图,用

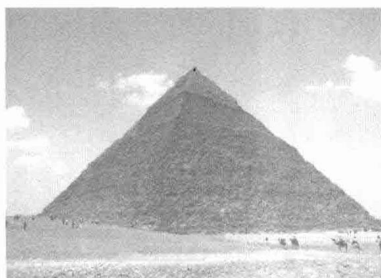
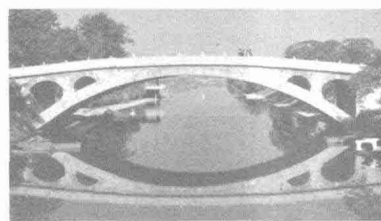


图 1-1 金字塔



图 1-2 故宫



(a)



(b)

图 1-3 赵州桥力学模型简化
(a) 赵州桥; (b) 力学模型

力学知识分析、解决工程和生活中简单力学问题的目标。

土木工程力学是一门古老的学科，同时又是一门迅速发展的学科。新型工程材料和新型工程结构的不断涌现，向土木工程力学提出了更高的要求。

对于土木工程专业学生来说，土木工程力学是一门非常重要的基础课程，是工具课，在后续的专业课中会用到大量的力学知识。同时，土木工程力学又是一门很抽象的课程，要学好它就要付出更多的努力。在这里给广大同学提几点建议：

1. 勤于思考。生活中无处不存在着力学的身影，试着在身边找出印证课本上知识的例子，我相信只要用心你就一定不会失望。

2. 理论联系工程实际。力学模型中把真实的建筑简化成抽象的力学模型，对照真实的建筑，你能想明白这样简化的道理吗？课本的理论多来源于实践，并广泛应用于工程实践中，注意观察生活，观察工程实际，做到理论联系工程实际并不像你想象的那么难。

3. 培养综合分析的能力，善于抓住重点。整体结构是由很多构件组合而成的，但制约着结构承载能力的往往是单一的构件；我们要培养综合分析的能力，善于从整体中找出起控制作用的重点构件，这样做可以让你事半功倍。

4. 定性分析很重要。现代建筑越来越复杂，想要通过手算进行整体结构受力、传力的定量分析基本是不可能的，更多的是依靠计算机来计算。然而计算机也不是万能的，定性的分析判断可以为我们的实际工作提供很大帮助。

通过用心学习，相信大家一定能够学好土木工程力学，也一定会喜欢这门课程。

单元 2 力和受力图

什么是力呢？力在我们的日常生活中无处不在。

人推小车，小车由静到动，人感到肌肉紧张，这是因为人对小车施加了一个推力，使小车的**运动状态发生了变化**（图 2-1）。

用手拉弹簧，弹簧发生伸长变形，人感到肌肉紧张，这是因为人对弹簧施加了一个拉力，使弹簧**发生了变形**（图 2-1）。

力的作用不仅存在于人与物体之间，也存在于物体与物体之间。例如，桥梁在车辆经过时，会因车辆的作用力而发生振动和弯曲变形；水库蓄水后，大坝会因水的推力而产生向下游滑动或倾覆的趋势。2009 年 6 月 27 日，上海一在建 13 层住宅楼整体倒塌，也是因为力的作用。

在本单元中，我们将通过学习解决以下问题：

- > 如何用物理学的语言来定义力的概念？
- > 静力学公理有哪些？
- > 什么是约束与约束反力？
- > 怎样进行物体的受力分析并绘制受力图？

2.1 力的基础知识



学习目标

理解力的概念和力的两种作用效应，了解力的三要素，了解力的分类。

2.1.1 力的概念

力是物体之间的机械作用，这种作用将使物体的运动状态发生改变，或使物体发生变形。

由定义中可以看出，力有两种作用效应：使物体的运动状态发生改变的效应称为力的外效应或运动效应；使物体发生变形的效应称为力的内效应或变形效应。

力是物体与物体之间的相互作用，因此力不能脱离物体而单独存在。某一物体受到力的作用时，一定有另一物体对它施加这种作用。前者称为受力物体，后者称为施力物体。在分析物体受力情况时，要分清哪个是受力物体，哪个是施力

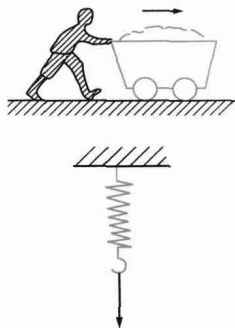


图 2-1 力

【小资料】

2009 年 6 月 27 日，上海一在建 13 层住宅楼整体倒塌（图 2-2），倾倒过程不到半分钟。据调查，该事故是由于楼房两侧压力差造成的。事发楼房附近有两次堆土施工：第一次堆土施工发生在事故半年前，堆土距离楼房约 20m，第二次堆土施工发生在事故一周前，土方紧贴建筑物堆积在楼房北侧。土方在短时间内快速堆积，产生了 3000t 左右的侧向力。加之楼房前方由于开挖基坑出现凌空面，侧向力导致预应力高强混凝土桩基础破坏，引起楼房整体倒塌。



图 2-2 上海楼房倒塌事故

想一想：

力的两种作用效应是什么？

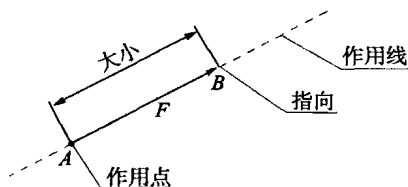


图 2-3 力矢量的图示

想一想:

重力是主动力吗?

土木工程中常见的外力有哪些?

你居住的房间中哪些是集中荷载,

哪些是分布荷载?

物体。

在土木工程力学中,力的作用方式一般有两种情况:一种是两物体相互接触时,它们之间相互产生拉力或压力;另一种是物体与地球之间产生的吸引力,也就是重力。

2.1.2 力的三要素

实践证明,力对物体的作用效应取决于力的三个因素:大小、方向和作用点。

力的大小、方向和作用点通常称为力的三要素。

由此可见,力是一个既有大小又有方向的物理量,由我们学过的数学知识可知,这种物理量称为矢量。

用图示的方法表示力时,须用一段带箭头的线段来表示,线段的长度表示力的大小;线段与某定直线的夹角表示方位,箭头表示力的指向;线段的起点或终点表示力的作用点(图 2-3)。

用字母符号表示力矢量时,通常用黑体字母(如 $\mathbf{F}$ 等),手写时可用加一横线的字母(如 $\vec{F}$ 等),而普通字母(如 F 等)只表示力的大小。

描述一个力时,要说明力的三要素,三要素任何一要素发生改变都会改变力对物体的效应。

力的单位为牛(N)或千牛(kN)。

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

2.1.3 力的分类

物体所受到的力可以分为两类:一类是使物体运动或使物体有运动趋势的力,称为主动力;一类是对物体的运动起限制作用的力,称为约束反力。**主动力和约束反力统称外力。**

主动力在工程上称为荷载。如果荷载作用面积相对于物体总面积是微小的,就可近似的看成一个点,这样的荷载称为集中荷载。分布在一定面积或长度上的荷载称为分布荷载。

2.2 静力学公理

学习目标

理解二力平衡公理、作用与反作用公理，能对两个公理进行比较，会对基本构件进行受力分析；了解平行四边形法则、加减平衡力系公理。

静力学公理是人类在长期生产和生活实践中，经过反复的观察和实验总结出来的关于力的普遍规律。

2.2.1 二力平衡公理

在一般的工程问题中，平衡是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动的状态。例如，建筑工程中的房屋、水利工程中的大坝、道路桥梁工程中的桥梁，土木工程施工中物体被起重机匀速直线起吊等，都是平衡的例子。

二力平衡公理：作用在同一物体上的两个力，使物体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。

二力平衡公理说明了作用在物体上两个力的平衡条件。在一个物体上只受两个力而保持平衡时，这两个力一定要满足二力平衡公理。若一根杆件在两点受力作用而处于平衡状态，则此二力的作用方向必在这两点的连线上。雨伞挂在桌边（图 2-4），雨伞摆动到其重心和挂点在同一铅垂线上时，雨伞才能平衡。因为这时雨伞的向下重力和桌面的向上支承力在同一直线上。

2.2.2 作用力与反作用力公理

篇首我们举了两个例子，人推小车和手拉弹簧，人施加给小车和弹簧的力分别称为人对小车和弹簧的作用力；人在施加这两个力的同时，也会有小车推人和弹簧拉人的感觉，说明小车和弹簧也施加给人一个作用力，即反作用力。

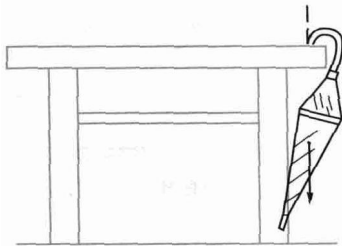


图 2-4 二力平衡

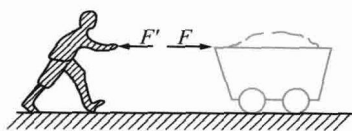


图 2-5 作用力与反作用力

想一想:

作用力与反作用力是一对平衡力吗?

【刚体】

在任何力的作用下, 体积和形状都不发生改变的物体叫做刚体。

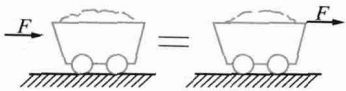


图 2-6 力的可传性

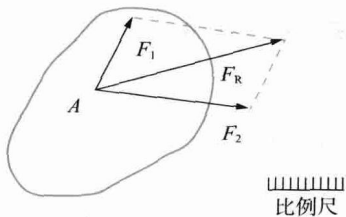


图 2-7 力的平行四边形法则

作用力与反作用力公理: 两个物体之间的作用力和反作用力, 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 (图 2-5)。

作用力与反作用力公理概括了两个物体之间相互作用力之间的关系, 在分析物体受力时有重要的作用。必须注意, 作用力与反作用力的性质应相同。

2.2.3 加减平衡力系公理

通常情况下, 一个物体总是同时受到若干个力的作用。同时作用于一个物体上的若干力称为力系。若物体在力系作用下保持平衡状态, 则称该力系为平衡力系。作用于物体上的力系使物体处于平衡状态所应满足的条件称为力系的平衡条件。

加减平衡力系公理: 作用于刚体的任意力系中, 加上或减去任意平衡力系, 并不改变原力系的作用效应。

加减平衡力系公理只适合于刚体。对于变形体, 力移动时物体将发生不同的变形, 因而作用效应不同。例如, 在静止不动的弹簧上, 两端同时施加等值反向的平衡力, 但弹簧将被压缩或被拉长。

推论: 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的任意点, 而不改变原力对刚体的作用效应。

根据这一原理, 力对刚体的作用效应与力的作用点在作用线的位置无关。现实生活中的一些现象都可以用力的可传性原理进行解释, 例如用绳拉车和用同样大小的力在同一直线沿同一方向推车, 对车产生的运动效应相同, 如图 2-6 所示。

2.2.4 力的平行四边形法则

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, 合力也作用于该点, 合力的大小和方向为以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线 (图 2-7)。

由图 2-8 可见, 在求合力 F_R 时, 实际上不必作出整个平行四边形, 只要先从 A 点作矢量 AB 等于力矢量 F_1 , 再从 F_1 的终点 B 作矢量 BC 等于力矢量 F_2 (即两力首尾相接), 连接 AC , 则矢量 AC 就代表合力 F_R 。分力和合力所构成的三角形 ABC 称为力的三角形。这种求合力的方法称为力的三角形法则。

推论: 三力平衡汇交定理

一刚体受共面不平行的三个力作用而平衡时, 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方向。

2.3 约束与约束反力



学习目标

了解约束与约束反力的概念; 能对工程中常用基本构件的约束进行简化, 能分析常见约束的约束性质及约束反力方向; * 通过约束的简化分析, 体会力学模型的作用, 获得探索问题的科学方法。

2.3.1 约束与约束反力的概念

土木工程中, 任何构件都受到与它相互联系的其他构件的限制, 而不能自由运动, 例如房屋中的梁受到两端墙体或柱子的限制而保持稳定, 桥面板受到桥墩的限制而保持稳定, 等等。

约束: 一个物体的运动受到周围物体的限制时, 这些周围物体就称为该物体的约束。

约束反力: 约束对物体运动的限制作用是通过约束对物体的作用力实现的, 通常将约束对物体的作用力称为约束反力, 简称反力。约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反。

物体受到的力一般可以分为两类, 一类是只与受力物体和施力物体有关, 而其他力无关的力, 称为主动力, 如重力、水压

想一想:

两个共点力可以合成为一个力, 反之, 一个已知力也可以分解为两个力。在工程实际问题中, 常常把一个力沿直角坐标方向进行分解。

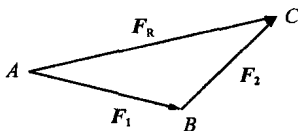


图 2-8 三角形法则

想一想:

约束反力属于主动力还是被动力?

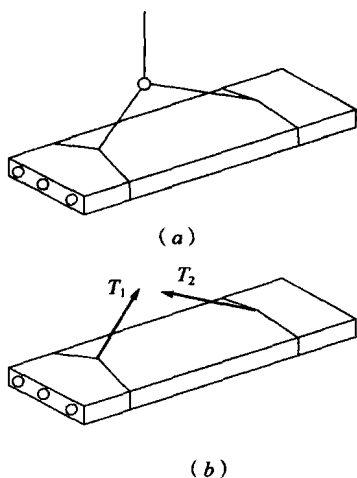


图 2-9 柔体约束及其约束反力

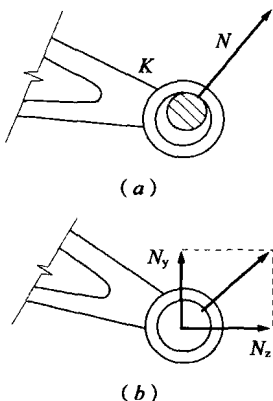


图 2-11 圆柱铰链约束及其约束反力

力等。另一类是不仅与受力物体和施力物体有关，而且与主动力有关，只有依靠一定的条件才能计算的力，称为被动力。

2.3.2 工程中常见约束的类型及其约束反力

(1) 柔体约束

由柔软的绳子、链条或胶带所构成的约束称为柔体约束。柔体约束只能承受拉力，所以柔体约束的约束反力必然沿柔体的中心线而背离物体，通常用 F_T 表示。

图 2-9(a) 为柔体约束实例，图 2-9(b) 为其约束反力。

(2) 光滑接触面约束

当两个物体直接接触，而接触面处的摩擦力可以忽略不计，两物体彼此的约束称为光滑接触面约束。光滑接触面对物体的约束反力必然通过接触点，沿该点的公法线方向指向被约束物体，通常用 F_N 表示，如图 2-10 所示。

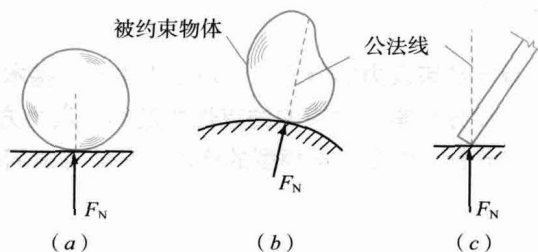


图 2-10 光滑接触面约束及其约束反力

(3) 圆柱铰链约束

圆柱铰链约束是由圆柱形销钉插入两个物体的圆孔而构成，且认为销钉与圆孔的表面是完全光滑的。这种约束只能限制物体在垂直于销钉轴线平面内的移动，而不能限制物体绕销钉轴线的转动。销钉给物体的约束反力 F_N 沿接触点 K 的公法线方向指向受力物体，即沿接触点的半径方向通过销钉中心。但由于接触点的位置与主动力有关，一般不能预先确定，约束反力的方向也不能预先确定。因此通常用通过销钉中心互相垂直的两个分力来表示，如图 2-11 所示。

(4) 链杆约束

两端以铰链与不同的两个物体分别相连且自重不计的直杆称

为链杆。图 2-12 中 AB 、 BC 杆都属于链杆约束。这种约束只能限制物体沿链杆中心线趋向或离开链杆的运动。其约束反力沿链杆中心线，指向不确定。链杆在一般情况下都是二力杆，只能受拉或者受压。

(5) 固定铰支座

如果光滑圆柱铰链与底座连接，固定在地面或支架上，即用销钉将物体与支承面或固定支架连接起来，称为固定铰支座，简称铰支座（图 2-13a），计算简图如图 2-13(b) 所示。固定铰支座的约束反力与圆柱铰链约束相同，可表示为图 2-13(c)。

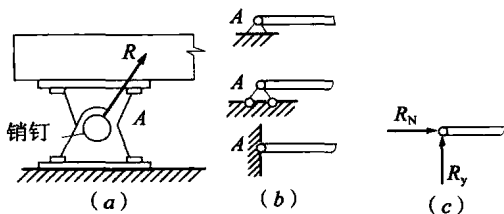


图 2-13 固定铰支座及其约束反力

(6) 可动铰支座

在固定铰支座的座体与支承面之间有辊轴就成为可动铰支座，其计算简图可用图 2-14(a)、(b) 表示。这种约束的反力必垂直于支承面（图 2-14c）。

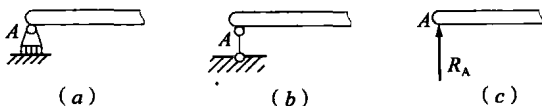


图 2-14 可动铰支座及其约束反力

(7) 固定端支座

固定支座既限制被约束体沿任何方向移动，又限制其转动。它除了产生水平和竖直方向的约束反力外，还有一个阻止转动的约束反力偶，如图 2-15(c) 所示。

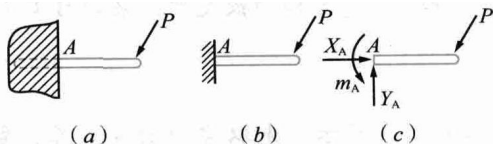


图 2-15 固定端支座及其约束反力

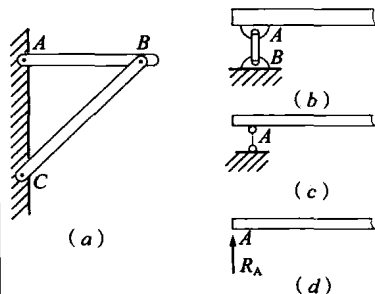


图 2-12 链杆约束及其约束反力