

马景善 康丽娟 / 著

土木工程实用力学 教学研究与实践



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

马景善 康丽娟 / 著

土木工程实用力学 教学研究与实践



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程实用力学教学研究与实践 / 马景善, 康丽娟著.
—杭州: 浙江大学出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-308-14070-6

I. ①土… II. ①马… ②康… III. ①土木工程—工程力学—教学研究—高等职业教育 IV. ①TU311-42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 270061 号

土木工程实用力学教学研究与实践

马景善 康丽娟 著

责任编辑 王元新

封面设计 续设计

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 浙江良渚印刷厂

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 13.75

字 数 258 千

版 印 次 2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-14070-6

定 价 38.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcs.tmall.com>

前 言

建设水利类高等职业教育培养的是适应社会主义市场需求的技术应用性人才,人才培养的定位是在生产第一线或施工现场将规划、设计、决策转化成物质形态的施工员、安全员、质量员、监理员、造价员等。其未来的职业规划是建造师、监理工程师、造价师等。因此,专业设置、课程体系、教学内容和教学方法应符合高等职业技术教育培养目标的要求。

土木工程实用力学课程是由传统的理论力学、材料力学、结构力学三大力学整合而成的,是高职高专建设水利类建筑工程技术、水利水电建筑工程、水利工程等大土木类专业的一门重要专业基础课。其主要作用是为后续的专业课程,如建筑结构、地基与基础施工、建筑主体施工、水工建筑物、水利水电工程施工起到先导作用,为学生完成模板工程、脚手架工程、基坑支护工程等专项施工方案编制及毕业设计打下坚实的力学计算基础,为学生考取施工员、安全员、质量员等职业岗位资格证书创造条件。

对于土木工程结构的计算,20世纪50年代我国采用苏联的设计标准即许用应力法,70年代我国采用半经验半概率的设计方法,从80年代开始我国逐步完善规范,以概率理论为基础,以可靠度指标度量结构的可靠度,采用分项系数的设计表达式进行结构设计。国内力学课程的教材和教学内容在轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、受弯构件、组合变形构件等强度计算及压杆稳定计算中还在沿用许用应力法,这与我国现行规范的以概率理论为基础的极限状态设计法截然不同,已起不到专业基础课为专业课服务的目的。

本课程教学研究与实践课程遵循改革符合教学规律的原则。按课程结构系统化、知识结构模块化、理论与实践一体化的模式,结合现行的规范、标准和职业岗位能力要求,重新整合课程内容。构建了土木工程实用力学课程理论教学、实验教学、实训教学“三位理实一体”教学体系;制定了“三力一变”四项力学核心能力——外力分析与计算、内力分析与计算、应力分析与计算、变形分析与计算的课程标准,使本课程的知识 and 能力教学目标更加明确。

理论教学,优化课程内容,略去轴向拉伸与压缩、剪切、扭转、受弯构件、组

合变形等沿用至今的苏联许用应力法计算强度、压杆稳定的内容,形成“三力一变”为核心的新型教学模块。

实验教学,对传统验证性轴向拉伸与压缩实验项目进行改革,按职业岗位能力要求进行实用性的钢筋强度、钢筋塑性指标、钢筋冷弯性能等检测能力的培养。针对个性化人才培养增设开放性应力电测、梁的变形等实验;学生也可自主设计实验项目以培养学生的创新能力。

实训教学,建立与专业培养目标相适应的“教、学、做”一体的结构内力上机实训,将传统手算与现代计算机计算相结合,培养学生结构建模、连续梁内力计算、框架结构内力计算能力。实现传统与现代、基础与前沿的优化组合。

土木工程实用力学教学研究与实践,依据专业培养目标和就业岗位确定课程学习领域,将工程吊装、模板工程、脚手架工程、钢结构安装等工作情境整编成教学案例融入课程教学中,增强了课程内容与岗位任务的关联,使学生掌握土木工程实用力学的基础理论、基本知识、基本技能,为专业课建立学习平台打下了坚实基础。

目 录

第 1 章 外力分析与计算教学研究及实践	1
1.1 荷载计算教学	1
1.1.1 荷载计算教学情境	1
1.1.2 荷载分析与计算教学内容	2
1.1.3 荷载的形式	5
1.1.4 教学应用案例	6
1.2 受力分析与画受力图教学	7
1.2.1 受力分析教学情境	7
1.2.2 受力分析与画受力图教学内容	8
1.2.3 教学应用案例	16
1.3 外力分析与计算教学	19
1.3.1 外力分析与计算教学情境	19
1.3.2 外力分析与计算教学内容	19
1.3.3 教学应用案例	25
第 2 章 内力分析与计算教学研究及实践	35
2.1 内力分析与计算教学	35
2.1.1 内力分析与计算教学情境	35
2.1.2 内力分析与计算教学内容	36
2.1.3 桁架教学应用案例	48
2.2 绘制内力图教学案例	51
2.2.1 受弯构件内力图	51
2.2.2 静定多跨梁内力图	54
2.2.3 平面刚架内力图	56
2.3 用叠加法画弯矩图教学	62
2.3.1 叠加法在外力分析与计算中的应用	63
2.3.2 叠加法作弯矩图	65
2.3.3 叠加法在应力分析与计算中的应用	65

2.3.4 叠加法在变形分析与计算中的应用	66
第3章 应力分析与计算教学研究及实践	68
3.1 截面几何性质质量计算教学	68
3.1.1 截面几何性质质量计算教学情境	68
3.1.2 教学内容	69
3.1.3 教学应用案例	73
3.2 基本变形应力分析与计算教学	76
3.2.1 应力分析与计算教学情境	76
3.2.2 应力分析与计算教学内容	77
3.2.3 受弯构件的应力	85
3.2.4 教学应用案例	89
3.3 组合变形应力分析与计算教学	97
3.3.1 组合变形应力分析与计算教学情境	97
3.3.2 组合变形应力分析与计算教学内容	98
3.3.3 教学应用案例	103
第4章 变形分析与计算教学研究及实践	106
4.1 梁的变形分析与计算教学	106
4.1.1 变形分析与计算教学情境	106
4.1.2 梁的变形分析与计算教学内容	107
4.1.3 教学应用案例	110
4.2 刚架的变形分析与计算教学	112
4.2.1 刚架的变形分析与计算教学内容	112
4.2.2 教学应用案例	119
4.3 桁架的变形分析与计算教学	124
4.3.1 桁架的变形分析与计算教学内容	124
4.3.2 教学应用案例	125
第5章 “三力一变”四项力学核心能力的课程标准	127
5.1 土木工程实用力学教学大纲	127
5.1.1 课程的性质、目的与任务	127
5.1.2 课程的内容与基本要求	127
5.1.3 对学生自学的要求	134

5.1.4 学时分配建议	134
5.1.5 课程考核要求及方式	135
5.1.6 教材及参考书	135
5.1.7 有关说明	135
5.2 土木工程实用力学课程标准	136
5.2.1 前言	136
5.2.2 课程培养目标	140
5.2.3 课程实施建议	147
5.2.4 其他说明	151
5.3 土木工程实用力学单元教学设计	152
5.3.1 模块三 结构构件的简化与几何组成分析	152
5.3.2 模块七 超静定结构内力分析与计算力法	165
5.3.3 模块七 超静定结构分析与计算位移法	175
5.3.4 模块七 超静定结构分析与计算的力矩分配法	195
参考文献	212

第1章 外力分析与计算教学研究及实践

1.1 荷载计算教学

1.1.1 荷载计算教学情境

选取模板支架倒塌事故现场作为荷载计算教学情境,如图 1.1 所示。

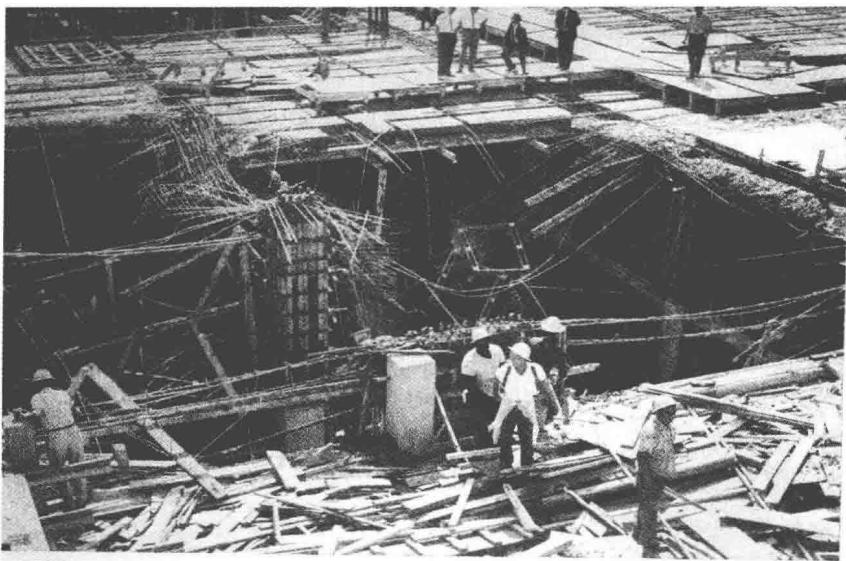


图 1.1 模板支架倒塌事故现场

模板工程是现浇混凝土工程中重要的施工措施,模板的制作要保证构件的形状尺寸及相互位置正确;要使模板具有足够的强度、刚度和稳定性,能够承受现浇混凝土的自重荷载和侧压力以及各种施工荷载;力求结构简单,装拆方便,不妨碍钢筋绑扎,保证混凝土浇筑时不漏浆;支撑系统应配置水平支撑和剪刀

撑,以保证稳定性。工程施工需要编制模板施工方案,要求施工方案必须有详细的模板支撑系统设计计算书,包括现浇板模板、主龙骨、次龙骨、模板支架强度、稳定性、刚度计算。计算时必须先进行自重荷载和施工荷载的计算并对模板支撑系统进行受力分析。本教学情境模板支架倒塌事故主要是荷载计算准确度的问题,模板支架倒塌事故,造成了人员受伤、死亡,经济赔偿大,工期延迟。教学中应引导学生认真学习、熟练掌握荷载计算的方法,为防止工程事故发生打好基础。

1.1.2 荷载分析与计算教学内容

1. 荷载的概念

荷载是工程术语,结构或构件工作时所承受的主动外力称为荷载。如结构的自重、水压力、土压力、风压力以及人群和货物的重量、吊车轮压等。

合理地确定荷载,是结构设计中非常重要的工作。如将荷载估计过大,会使所设计的结构尺寸偏大,造成浪费;如估计过小,则所设计的结构不安全。因此,在结构设计中,要慎重考虑各种荷载,根据国家颁布的《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)来确定荷载值。

2. 荷载的分类

结构或构件受到的荷载有多种形式,在对结构进行分析前,必须先确定结构上所承受的荷载。在结构设计中,荷载按不同的性质可分为以下几类。

(1) 按作用时间分类

①永久荷载。在结构使用期间,其值不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计,或其变化是单调的并能趋于定值的荷载称为永久荷载。如结构自重、土压力、预应力等。

②可变荷载。在结构使用期间,其值随时间而变化,且其变化与平均值相比不能忽略不计的荷载称为可变荷载。如楼面活荷载、屋面活荷载和积灰荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载等。

(2) 按作用性质分类

①静荷载。缓慢地加到结构或构件上不引起结构的振动,因而可以忽略惯性力影响的荷载称为静荷载,其大小、位置或方向不随时间发生变化或者变化相对极小,静荷载作用下不产生明显的加速度。构件自重及一般的活荷载均属静荷载。

②动荷载。大小、位置或方向随时间迅速改变的荷载称为动荷载,动荷载

作用下会产生明显的加速度。地震力、冲击力、惯性力等都为动荷载。

(3) 按分布情况分类

①集中荷载。若荷载的作用范围远小于构件的尺寸时,为了计算简便起见,可认为荷载集中作用于一点,称为集中荷载。如车轮的轮压、屋架或梁的端部传给柱子的压力、人站在建筑物上的压力等都可以作为集中荷载来处理。

②分布荷载。连续作用在结构或构件的较大面积或长度上的荷载称为分布荷载。结构的自重、风、雪等荷载都是分布荷载。当以刚体为研究对象时,作用在结构上的分布荷载可用其合力(集中荷载)代替;但以变形体为研究对象时,作用在结构上的分布荷载不能用其合力代替。分布荷载又分为均布荷载和非均布荷载两种。

(4) 偶然荷载

在结构使用期间不一定出现,一旦出现,其值很大且持续时间很短暂的荷载称为偶然荷载。如爆炸力、撞击力等。

荷载的确定常常是比较复杂的。荷载规范总结了施工、设计经验和科学研究成果,供施工、设计时应用。尽管如此,设计者还需深入现场,对结构实际情况进行调查,才能对荷载作出合理的确定。

3. 荷载的计算公式

荷载的计算是很复杂的,有很多制约因素,我们以梁和板为例简单地说明按分布情况分类的荷载之间的关系。

集中荷载的计算:当荷载的作用范围远小于构件的尺寸时,可认为荷载集中作用于一点,此时集中荷载就等于构件的自重。

结构的自重的计算:当结构有多个构件组成时,结构的重力计算公式:

$$G = \sum_{i=1}^n \gamma_i V_i$$

式中: G ——结构的总自重荷载(kN);

γ_i ——第 i 个基本构件的材料自重(kN/m³);

V_i ——第 i 个基本构件的体积(m³)。

如图 1.2 所示,次梁 EF 作用在主梁 AB 、 CD 上,次梁 EF 对主梁 AB 、 CD 的作用就是集中荷载,分别等于次梁 EF 自重的一半。

对于分布荷载,在此只介绍均布荷载的计算。均布荷载又分为线均布荷载和面均布荷载。

线均布荷载的计算:在对梁进行简化时,将梁简化为轴线,梁的自重就简化为作用在梁的轴线上的线均布荷载 q 。如图 1.2 中次梁 EF ,计算公式:

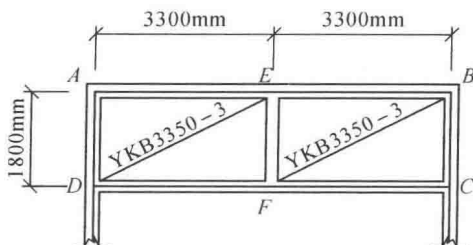


图 1.2 梁板结构平面图

$$q = \frac{G_l}{l}$$

式中: q ——线均布荷载(kN/m);

G_l ——梁的自重荷载(kN);

l ——梁的长度(m)。

面均布荷载的计算:在对板进行简化时,由于板厚较小,所以将板简化为平面,板的自重就简化为作用在板面上的面均布荷载 q' 。如图 1.2 中板 AEFD、EBCF,计算公式:

$$q' = \frac{G_b}{A}$$

式中: q' ——面均布荷载(kN/m²);

G_b ——板的自重荷载(kN);

A ——板的面积(m²)。

由于板搭在梁上,当计算板作用在梁上的力的时候就将板的自重分别作用在两端的梁上,此时板作用在梁上的荷载就用线均布荷载来计算。如图 1.2 中板 AEFD,板的自重分别作用在梁 AB 和梁 CD 上,计算公式:

$$q = \frac{G_b}{2l} = \frac{q'b}{2}$$

式中: q ——板搭到梁上的线均布荷载(kN/m);

G_b ——板的自重荷载(kN);

l ——梁的长度(m);

b ——板的长度(m)。

1.1.3 荷载的形式

1. 集中荷载

集中荷载是作用在一点上的力,如图 1.3 所示是梯子的简图,当人上梯子时人的自重荷载可看成集中荷载 F 。

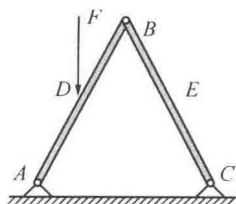


图 1.3 集中荷载

2. 线荷载

对梁计算时,需要把梁自重荷载转换成线均布荷载,如图 1.4 所示;新浇混凝土对模板侧面的压力计算时,需要把侧面的压力荷载转换成三角形非线均布荷载,如图 1.5 所示;对挡土墙计算时,需要把侧面的压力荷载转换成梯形非线均布荷载,如图 1.6 所示。

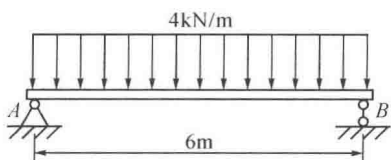


图 1.4 矩形线均布荷载

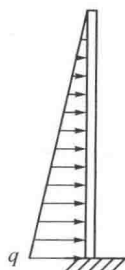


图 1.5 三角形线均布荷载

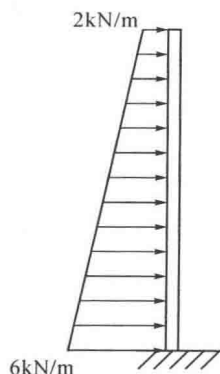


图 1.6 梯形线均布荷载

3. 面荷载

面荷载是指荷载作用在结构构件的面积上。分布面荷载分为均布面荷载和非均布面荷载两种。均布面荷载的表示方法如图 1.7(a) 所示。用 q 表示均布面荷载的大小,单位用 N/m^2 或 kN/m^2 。在单向板计算时,需要把均布面荷载转换成均布线荷载,即把一个方向的尺寸聚集到一条线上。若把 b 方向的尺寸聚集到 L 方向上就转换成了均布线荷载,如图 1.7(b) 所示。

4. 转动荷载

转动荷载是指力和力偶作用在结构构件使其产生转动的荷载。力作用产生的力矩转动荷载如图 1.8 所示;力偶作用产生的力偶矩转动荷载如图 1.9 所示。

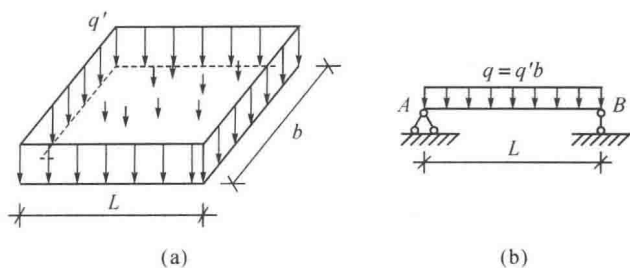


图 1.7 均布面荷载转换成均布线荷载

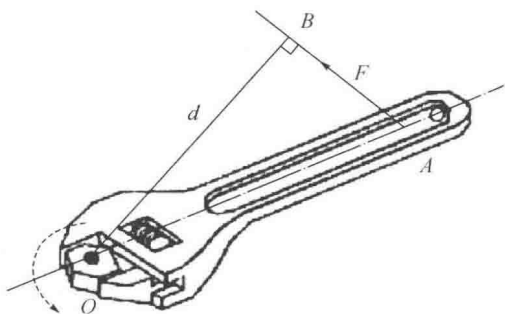


图 1.8 力矩转动荷载

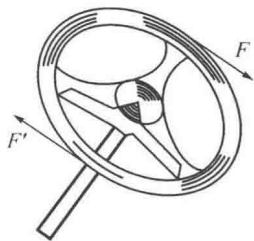


图 1.9 力偶矩转动荷载

1.1.4 教学应用案例

应用案例 1-1 由梁板结构平面图(见图 1.2)已知钢筋混凝土主梁 AB, 截面尺寸 $b \times h = 250\text{mm} \times 500\text{mm}$, 长 $l = 6.6\text{m}$, 试计算主梁体积荷载与均布线荷载。

解 由钢筋混凝土材料查《建筑结构荷载规范》取 $\gamma = 25\text{kN/m}^3$

体积荷载: $G_l = \gamma A l = 25 \times 0.25 \times 0.5 \times 6.6 = 20.63(\text{kN})$

均布线荷载: $q = \frac{G_l}{l} = \frac{20.63}{6.6} = 3.13(\text{kN/m})$

应用案例 1-2 由梁板结构平面图(见图 1.2)已知板的面均布荷载为 2.5kN/m^2 , 一块板的面积为 $b \times L = 1800\text{mm} \times 3300\text{mm}$, EF 梁长 $b = 1.8\text{m}$, 试计算作用在 EF 梁上的均布线荷载。

解 由图 1.2 分析, EF 梁上的均布线荷载是由板的面均布荷载传递而来的, EF 梁实际承担荷载是板 ADEF 与 BCEF 各板的一半, 依据均布面荷载转换成均布线荷载计算公式进行计算。

$$q = q' \times L = 2.5 \times 3.3 = 8.25(\text{kN/m})$$

EF 梁上均布线荷载表示形式如图 1.10 所示。

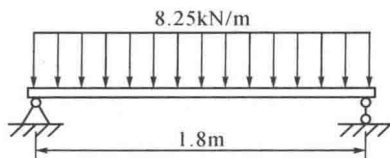


图 1.10 均布线示例

应用案例 1-3 钢筋混凝土楼板构造如图 1.11 所示, 已知楼板尺寸 $a \times b = 6\text{m} \times 6\text{m}$, 试计算板的均布线面荷载。

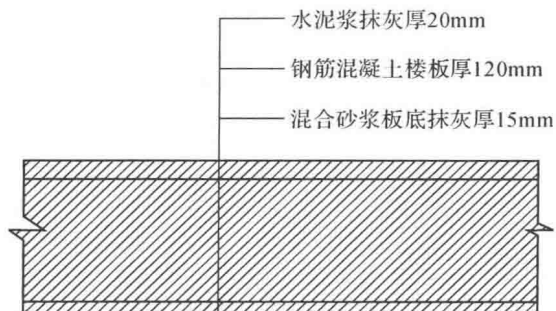


图 1.11 钢筋混凝土楼板构造

此案例在教学中让学生了解钢筋混凝土楼板构造知识, 学会用《建筑结构荷载规范》查取钢筋混凝土材料自重、水泥砂浆材料自重、混合砂浆材料自重, 掌握楼板均布线面荷载的计算方法。

荷载的计算还有很多, 这里只简单介绍荷载分类中的按分布情况分类的荷载计算, 其他荷载的计算在以后的学习中还会做详细的讲解。

1.2 受力分析与画受力图教学

1.2.1 受力分析教学情境

选取扣件式钢管脚手架现场作为受力分析与画受力图教学情境, 如图 1.12 所示。



图 1.12 扣件式钢管脚手架

扣件式钢管脚手架装拆方便,搭设灵活,能适应建筑物平面及高度的变化;承载力大,搭设高度高,坚固耐用,周转次数多;加工简单,一次投资费用低,比较经济,故在建筑工程施工中使用最为广泛。

脚手架是建筑施工工程中的重要施工措施,如何提高脚手架的安全度,确保脚手架的施工安全,需要编制脚手架施工方案,要求施工方案必须有详细的脚手架计算书,其包括脚手架大小横杆、立杆强度、稳定性、刚度计算。对脚手架大小横杆、立杆计算时必须先进行受力分析与画受力图。通过本教学情境意在引导学生了解脚手架,培养学生工程意识,为结构计算和脚手架的工程施工打好基础。

1.2.2 受力分析与画受力图教学内容

1. 约束与约束反力

工程上所遇到的物体位移通常受到其他物体的限制,这种物体称为非自由体。因为受到其他物体的限制,使其在某些方向不能运动。这种阻碍物体运动的限制条件称为约束。教学中可举教学楼的例子让学生理解约束,如现浇的楼板受到梁的约束,梁受到柱子的约束,柱子受到基础的约束,基础受到地基的约束。

工程上为了便于受力分析常把约束分成不同类型,工程实际中常见的几种约束类型及其约束反力的特性如下。

(1) 柔性约束

由柔软的绳索、链条或皮带等构成的约束都属于柔性约束。理想化条件:绝对柔软、无重量、无粗细、不可伸长或缩短。由于柔性约束本身只能承受拉力,所以它对物体的约束力也只可能是拉力。如图 1.13(a)所示,用绳索悬挂一

物体,绳索的约束反力作用于接触点,方向沿绳索的中心线而背离物体,为拉力,如图 1.13(b)所示。柔性约束力一般用 F 表示。

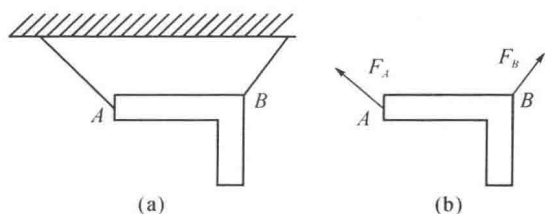


图 1.13 柔性约束示例

(2) 光滑接触面约束

当物体的接触面非常光滑,其摩擦力可以忽略时,就构成了光滑接触面约束。这时,不论支撑面的形状如何,光滑支撑面只能限制物体沿着接触表面公法线朝接触面方向的运动,而不能限制物体沿其他方向的运动。光滑接触面约束对物体的约束反力作用于接触点,方向为沿接触面的公法线且指向受力物体。这种约束反力也称为法向反力,一般用 F_N 表示。如图 1.14 所示。

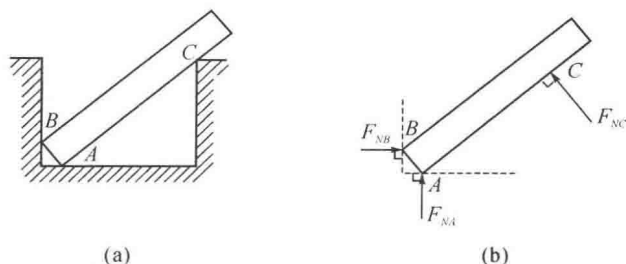


图 1.14 光滑接触面约束示例

物体与光滑接触面的接触形式一般有以下三种类型:

- ①面与面接触。约束力方向垂直于公切面指向受力物体。
- ②点与面接触。约束力方向垂直于面在该点处的切线指向受力物体。如图 1.14 中的 F_{NA} 、 F_{NB} 。

- ③点与线接触 约束力方向垂直于线指向受力物体。如图 1.14 中的 F_{NC} 。

(3) 铰链连接

工程上常用销钉来连接构件或零件,这类约束只限制相对移动不限制转动,且忽略销钉与构件间的摩擦。若两个构件用销钉连接起来,这种约束称为铰链连接,简称铰连接,而连接件习惯上被简称为铰。如图 1.15(a)所示。铰链连接可简化为如图 1.15(b)所示。