



“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

(第二版)

建筑力学

郭应征 主 编
王凤波 赵 慧 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER 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

(第二版)

建筑力学

主 编	郭应征	
副主编	王凤波	赵 慧
编 写	董 硕	郑海棠
主 审	吴文龙	



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是“十二五”职业教育国家规划教材,也是“江苏省高等学校精品教材”项目的研究成果。

全书共分3篇,主要内容为物体的静力平衡,杆件的强度、刚度和稳定性,结构的内力和位移分析。书中各章均有教学要求、本章小结、概念分析与工程应用实训和习题,书末附有习题参考答案。编写中考虑到便于取舍,采用了模块式结构,可根据需要选用。

本书理论阐述简明,文字简洁。突出工程观念的培养和力学在工程中的应用,删除了一些偏深和偏难的内容。编入了许多密切联系工程实际的例题与习题,以便于教师选用和学生练习之用。通过对工程实例的简化和比较,培养学生建立力学模型和解决实际问题的能力。特别是在各章中编写了概念分析与工程应用实训题,以求通过“学做合一”的实训教学,激发学习兴趣,使学生掌握“应用力学概念,定性分析简单工程问题”的技能。

本书可作为高职高专建筑工程技术等相关专业的教材,也可作为高等院校专科、职工大学、函授学院、成人教育学院等大专层次建筑工程技术专业的教材,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/郭应征主编. —2版. —北京:中国电力出版社,2014.8

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-5123-5413-5

I. ①建… II. ①郭… III. ①建筑力学-高等职业教育-教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第316955号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年8月第一版

2014年8月第二版 2014年8月北京第三次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 30.25印张 737千字

定价 53.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书是“十二五”职业教育国家规划教材,也是“江苏省高等学校精品教材”项目的研究成果,是为高职院校的工科大学生编写的建筑力学课程的更新教材。主要特色如下:

1. 按照高职高专的教学要求,对传统的建筑力学内容进行了精选和整合。全书体系合理,理论阐述简明,概念叙述准确,文字简洁。注意将难点分解,力求易教易学,便于学生真正理解和掌握建筑力学的基本概念和方法。

2. 在每一章前编写了教学要求,使读者了解重点和难点;在每一章后编写了本章小结,便于读者消化理解和复习总结。

3. 突出工程观念的培养和力学在工程技术中的应用,删除了一些偏深和偏难的内容。编入了许多密切联系工程实际的例题与习题,以便于教师选用和学生练习之用。在编写过程中,注意通过对工程实例的简化和比较,培养学生建立力学模型和解决实际问题的能力。

4. 进行启发式教学,在正文中用楷体编入一些思考题,尝试用提问的方式进行教学,从而将对重要概念的理解引向深入,给学生留下思考的空间,增强学生自主学习的意识。

5. 在各章中精心编写了概念分析与工程应用实训题,以求通过“学做合一”的实训教学,开阔视野,激发学习兴趣,培养创新意识,使学生掌握应用建筑力学的基本概念,定性分析简单工程问题的技能,达到学以致用目的。

本书适用于建筑施工专业群及其相关专业。全书共分3篇,即物体的静力平衡,杆件的强度、刚度和稳定性,结构的内力和位移分析。编写中考虑到便于使用者取舍,采用了模块式结构,可根据需要拼装成不同学时类型的建筑力学教材。

为了保持原书的特色和风格,修订工作主要是对第一版进行全面勘误和少量修改,具体修订工作如下:第1~4章由王凤波修订,第5~15章及第19章由郭应征修订,第16~18章及第20章和第21章由赵慧修订,金肯职业技术学院董硕、郑海棠参加了部分教材的修订工作。全书由郭应征主编和统稿。南京航空航天大学吴文龙教授审阅了全书。另外,东南大学的诸关炯教授和胡增强教授等对本书的编写提出了宝贵的意见。本书的编者谨向他们表示衷心感谢!

编 者

第一版前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书是普通高等教育“十一五”规划教材(高职高专教育),也是“江苏省高等学校精品教材”项目的研究成果,是为高职院校的工科大学生编写的建筑力学课程的更新教材。主要特色如下:

1. 按照高职高专的教学要求,对传统的建筑力学内容进行了精选和整合。全书体系合理,理论阐述简明,概念叙述准确,文字简洁。注意将难点分解,力求易教易学,便于学生真正理解和掌握建筑力学的基本概念和方法。

2. 在每一章前编写了教学要求,使读者了解重点和难点;在每一章后编写了本章小结,便于读者消化理解和复习总结。

3. 突出工程观念的培养和力学在工程技术中的应用,删除了一些偏深和偏难的内容。编入了许多密切联系工程实际的例题与习题,以便于教师选用和学生练习之用。在编写过程中,注意通过对工程实例的简化和比较,培养学生建立力学模型和解决实际问题的能力。

4. 进行启发式教学,在正文中用楷体编入一些思考题,尝试用提问的方式进行教学,从而将对重要概念的理解引向深入,给学生留下思考的空间,增强学生自主学习的意识。

5. 在各章中精心编写了概念分析与工程应用实训题,以求通过“学做合一”的实训教学,开阔视野,激发学习兴趣,培养创新意识,使学生掌握应用建筑力学的基本概念,定性分析简单工程问题的技能,达到学以致用目的。

本书适用于建筑施工专业群及其相关专业。全书共分3篇,即物体的静力平衡,杆件的强度、刚度和稳定性,结构的内力和位移分析。编写中考虑到便于使用者取舍,采用了模块式结构,可根据需要拼装成不同学时类型的建筑力学教材。

本书第一~四章由王凤波编写,第五~十五章及第十九章由郭应征编写,第十六~十八章及第二十章和第二十一章由赵慧编写,全书由郭应征主编和统稿。南京航空航天大学吴文龙教授审阅了全书。另外,东南大学的诸关炯教授和胡增强教授等对本书的编写提出了宝贵的意见。本书的编者谨向他们表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,主要参考了郭应征和周志红编写的《理论力学》和《工程力学》,梁治明和邱侃编写的《材料力学》,郭应征和李兆霞主编的《应用力学基础》,同时还参考了国内外一些优秀教材,在此也向这些教材的编著者们深表感谢!

编者

于南京金肯职业技术学院

目 录

前言

第一版前言

第 1 篇 物体的静力平衡

第 1 章 基本概念与物体的受力分析	1
§ 1.1 力和刚体的概念	1
§ 1.2 静力学公理	2
§ 1.3 约束与约束力	4
§ 1.4 物体的受力分析与受力图	8
本章小结	11
概念分析与工程应用实训	11
习题	13
第 2 章 平面汇交力系 平面力偶系	16
§ 2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	16
§ 2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	18
§ 2.3 平面内力对点之矩	21
§ 2.4 平面力偶	22
§ 2.5 平面力偶系的合成与平衡	23
本章小结	24
概念分析与工程应用实训	25
习题	26
第 3 章 平面任意力系	29
§ 3.1 力的平移	29
§ 3.2 平面力系向一点简化	30
§ 3.3 平面任意力系的平衡	32
§ 3.4 物体系统的平衡	35
本章小结	38
概念分析与工程应用实训	39
习题	40
第 4 章 摩擦	45
§ 4.1 滑动摩擦	45
§ 4.2 摩擦角和自锁现象	47

§ 4.3 考虑摩擦的平衡问题·····	49
本章小结·····	53
概念分析与工程应用实训·····	53
习题·····	54
第5章 空间力系 ·····	57
§ 5.1 空间汇交力系·····	57
§ 5.2 力对点之矩矢 力对轴之矩·····	59
§ 5.3 空间力偶系·····	62
§ 5.4 空间任意力系向一点简化·····	64
§ 5.5 空间任意力系的平衡·····	65
§ 5.6 重心·····	69
本章小结·····	73
习题·····	74
第2篇 杆件的强度、刚度和稳定性	
第6章 杆件变形的基本概念 ·····	79
§ 6.1 研究变形构件的任务和方法·····	79
§ 6.2 变形固体及其基本假设·····	80
§ 6.3 杆件变形的基本形式·····	81
第7章 拉伸与压缩 ·····	83
§ 7.1 轴向拉伸与压缩的概念及实例·····	83
§ 7.2 内力 轴力与轴力图·····	84
§ 7.3 应力 拉伸或压缩杆的应力·····	88
§ 7.4 拉伸或压缩杆的变形·····	91
§ 7.5 拉伸或压缩时材料的力学性能·····	96
§ 7.6 拉伸或压缩杆的强度计算·····	102
§ 7.7 拉压超静定问题·····	106
本章小结·····	109
概念分析与工程应用实训·····	110
习题·····	112
第8章 剪切与挤压 ·····	119
§ 8.1 剪切与挤压的概念及工程实例·····	119
§ 8.2 剪切的实用计算·····	121
§ 8.3 挤压的实用计算·····	123
§ 8.4 工程应用实例·····	125
本章小结·····	128
概念分析与工程应用实训·····	128

习题	129
第9章 扭转	132
§ 9.1 扭转的概念及工程实例	132
§ 9.2 外力偶矩 扭矩与扭矩图	133
§ 9.3 薄壁圆筒的扭转	136
§ 9.4 扭转圆轴的应力 强度计算	138
§ 9.5 扭转圆轴的变形 刚度计算	142
§ 9.6 矩形截面轴扭转的概念	145
本章小结	148
概念分析与工程应用实训	149
习题	150
第10章 弯曲内力	154
§ 10.1 对称弯曲的概念及工程实例	154
§ 10.2 梁的计算简图	155
§ 10.3 剪力与弯矩	159
§ 10.4 剪力图与弯矩图	163
§ 10.5 分布荷载集度、剪力及弯矩之间的微分关系	167
§ 10.6 用微分关系作剪力图与弯矩图	169
§ 10.7 用叠加法作弯矩图	172
本章小结	176
概念分析与工程应用实训	177
习题	178
第11章 弯曲应力	185
§ 11.1 纯弯曲时梁横截面上的正应力	185
§ 11.2 惯性矩 平行轴定理	189
§ 11.3 弯曲正应力的强度计算	191
§ 11.4 梁横截面上的切应力	194
§ 11.5 弯曲切应力的强度计算	195
§ 11.6 提高梁弯曲强度的措施	197
本章小结	199
概念分析与工程应用实训	200
习题	201
第12章 弯曲变形	206
§ 12.1 梁的挠度和转角	206
§ 12.2 用积分法求梁的变形	207
§ 12.3 用叠加法求梁的变形	208
§ 12.4 梁的刚度计算及提高弯曲刚度的措施	212

§ 12.5 简单超静定梁·····	215
本章小结·····	217
概念分析与工程应用实训·····	218
习题·····	218
第 13 章 应力状态 主应力迹线 ·····	221
§ 13.1 应力状态的概念及工程实例·····	221
§ 13.2 平面应力状态分析·····	224
§ 13.3 梁的主应力迹线·····	231
本章小结·····	233
概念分析与工程应用实训·····	234
习题·····	234
第 14 章 组合变形的强度计算 ·····	236
§ 14.1 组合变形的概念及工程实例·····	236
§ 14.2 两互垂平面内的弯曲·····	237
§ 14.3 拉伸或压缩与弯曲的组合·····	239
§ 14.4 偏心压缩 截面核心·····	244
本章小结·····	247
概念分析与工程应用实训·····	248
习题·····	249
第 15 章 压杆稳定 ·····	252
§ 15.1 压杆稳定的概念及工程实例·····	252
§ 15.2 细长压杆的临界力·····	253
§ 15.3 非细长压杆的临界应力·····	258
§ 15.4 压杆的稳定计算·····	261
§ 15.5 提高压杆稳定性的措施·····	267
本章小结·····	268
概念分析与工程应用实训·····	269
习题·····	270

第 3 篇 结构的内力和位移分析

第 16 章 平面体系的几何组成分析 ·····	272
§ 16.1 结构的计算简图·····	273
§ 16.2 几何组成分析的目的·····	279
§ 16.3 刚片 自由度 约束·····	279
§ 16.4 几何不变体系的组成规则·····	282
§ 16.5 几何组成分析应用实例·····	285
§ 16.6 静定结构与超静定结构·····	286

本章小结	287
概念分析与工程应用实训	288
习题	289
第 17 章 静定结构的内力计算	292
§ 17.1 多跨静定梁	292
§ 17.2 静定平面刚架	297
§ 17.3 三铰拱	306
§ 17.4 静定平面桁架	312
§ 17.5 静定平面组合结构	320
本章小结	322
概念分析与工程应用实训	323
习题	323
第 18 章 静定结构的位移计算	329
§ 18.1 位移计算的目​​的及工程实例	329
§ 18.2 变形体的虚功原理	331
§ 18.3 单位荷载法的位移计算公式	332
§ 18.4 荷载作用下结构的位移计算	335
§ 18.5 图乘法及其应用	339
§ 18.6 支座移动时结构的位移计算	346
§ 18.7 互等定理及其应用	347
本章小结	350
概念分析与工程应用实训	352
习题	352
第 19 章 力法	356
§ 19.1 超静定结构的概念及工程实例	356
§ 19.2 力法的基本思想和力法典型方程	360
§ 19.3 用力法解超静定结构	363
§ 19.4 对称性的利用	371
§ 19.5 支座移动时超静定结构的计算	377
§ 19.6 超静定结构的位移计算	379
§ 19.7 超静定结构的特性	380
本章小结	381
概念分析与工程应用实训	382
习题	383
第 20 章 位移法	388
§ 20.1 位移法的基本概念	388
§ 20.2 位移法的典型方程	391

§ 20.3 用位移法解超静定结构	402
§ 20.4 对称性的利用	407
§ 20.5 无侧移结构的力矩分配法	411
本章小结	419
概念分析与工程应用实训	420
习题	421
第 21 章 影响线与内力包络图	425
§ 21.1 影响线的基本概念	425
§ 21.2 用静力法作简支梁的影响线	426
§ 21.3 用机动法作简支梁的影响线	430
§ 21.4 影响线的应用	432
§ 21.5 简支梁的内力包络图及绝对最大弯矩	438
本章小结	439
概念分析与工程应用实训	439
习题	441
附录 A 习题答案	442
附录 B 型钢表	453
参考文献	471

第1篇 物体的静力平衡

本篇的研究对象是刚体,研究的主要内容是刚体及其刚体系统在力系作用下的静平衡问题。

所谓平衡就是指物体相对于惯性参考系静止或做匀速直线运动的状态。平衡可看作为物体运动的一种特殊形式。力系是指作用于物体上的一组力。若一个力系作用于物体上并使其保持平衡,则此力系称为平衡力系。

本篇主要研究以下三个问题。

1. 物体的受力分析

分析某个物体共受几个力作用,以及每个力的作用线位置、大小和方向。物体的受力分析是求解静力平衡问题的基础。

2. 力系的简化

如果将作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替,则称这两个力系互为等效力系。用一个简单力系等效代换一个复杂力系,称为力系的简化。

3. 力系的平衡条件及其应用

首先研究物体平衡时,作用在物体上的各种力系所需满足的条件。然后应用力系的平衡条件,解决工程实际问题。力系的平衡条件是进行静力计算的基础。

物体的静力平衡与分析在工程实际中有着广泛的应用,是研究其他工程技术问题的基础,具有十分重要的意义。

第1章 基本概念与物体的受力分析

教学要求

1. 介绍力、刚体等几个基本概念及静力学五个公理;
2. 熟悉常见约束的性质;
3. 熟练掌握物体的受力分析,能正确画出物体的受力图。

本章首先介绍力、刚体等几个基本概念,然后讨论作为平衡分析基础的五个公理,最后介绍约束、约束类型和物体的受力分析。这些内容是研究静力平衡的基础。

§1.1 力和刚体的概念

1. 力

力是物体之间的机械作用,这种相互作用使物体的运动状态和形状发生变化。力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应,而力使物体形状发生改变(即产生变形)的效应

称为力的内效应。本篇主要研究力的外效应，而力的内效应留待后两篇中研究。在本篇中，如果不特别指明，则力对物体的效应都是指外效应。

实践证明，力对物体的效应（包括内、外效应）取决于三个要素：大小、方向和作用点。在国际单位制中，力的单位是牛（N）或千牛（kN）。

在力学中要区别两类：标量和矢量。在确定某种量时，只需一个数就能确定的量称为标量，例如长度、时间、质量都是标量。在确定某种量时，不但要考虑它的大小，而且要考虑它的方向，这类量称为矢量。矢量有两方面的含义：第一，它具有大小和方向，可以用一个“矢”来表示；第二，要按特定的运算规则进行运算，其中最基本的就是矢量的加法规则——平行四边形法则。

力对物体的效应不仅决定于它的大小，而且还决定于它的方向和作用点，所以是矢量。

2. 刚体

一般情况下，工程结构中的构件在力的作用下产生的变形是很微小的，在很多工程问题中，这种微小的变形对于研究物体的平衡问题影响极小，可以略去不计。忽略了物体微小的变形后便可把物体看成刚体。刚体是指在力的作用下保持其形状和大小不变的物体，或者说，在力的作用下其内任意两点之间的距离保持不变的物体。刚体是对物体加以抽象后得到的一种理想模型。在研究平衡问题时，将物体看成刚体能大大简化问题的研究。然而也应当注意，当研究另一类性质的问题时，例如研究物体内力的分布规律时，即使变形很小，也不能把物体视为刚体，而必须作为变形体来处理。所以，一个物体能否看作刚体，不仅取决于物体变形的大小，而且与要解决问题的要求有关。

§1.2 静力学公理

在静力分析方面，经过长期的经验积累与总结，以及实践的检验，表明是符合客观实际的普遍规律，称为静力学公理。静力学公理是研究静力平衡问题的基础和依据。

公理一 二力平衡原理

受两力作用的刚体，其平衡的必要和充分条件是：此两力的大小相等，方向相反，并且作用在同一直线上，简称为此两力等值、反向、共线。

这是最简单的平衡力系。例如不计重量的拉杆AB，其两端分别受到两个力 F_A 和 F_B 的作用[图1.1(a)]，由经验知道，要使拉杆平衡，这两个力必须而且只需大小相等、方向相反、且作用在同一直线上。再如钢丝绳提升重物[图1.1(b)]，重物受到钢丝绳拉力 F_T 和重力 G 的作用，这两个力方向相反，作用在同一直线上。实践证明，要使重物匀速上升、匀速下降或静止（即处于平衡状态），必须且只需使 $F_T = -G$ 。

二力平衡原理只适用于刚体。它是论证刚体平衡条件的基础。

在两个力作用下且处于平衡的刚体称为二力体。如果物体是某种杆件或构件，则称为二力杆或二力构件。

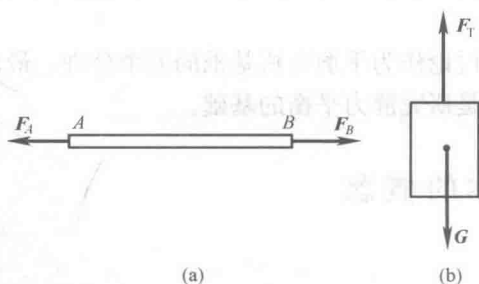


图 1.1

公理二 加减平衡力系原理

在作用于刚体上的任意一个力系上, 加上或减去任意一个平衡力系, 并不改变原力系对刚体的效应。

此公理只是对刚体而言的, 是研究力系等效代换的基础。它不适用于变形体, 因为加减平衡力系会影响到物体的变形。

应用本公理可以得出如下重要推论。

推论1 力的可传性

作用在刚体上的一个力, 可沿其作用线任意移动作用点而不改变此力对刚体的效应。

必须指出, 力的可传性只适用于刚体而不适用于变形体。

根据力的可传性, 对于作用于刚体上的力来说, 力的三要素为大小、方向和作用线, 这样, 力矢就可以沿其作用线滑动。因此, 作用于刚体上的力是滑动矢量。

公理三 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, 其大小和方向由以两分力为邻边所构成的平行四边形的对角线表示, 如图 1.2 所示。

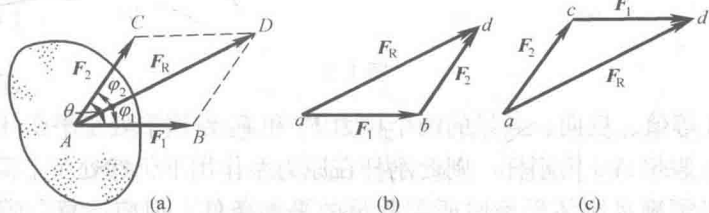


图 1.2

力的平行四边形法则指出, 两个力相加 (合成) 要用平行四边形法则求矢量和。合力可用下列矢量等式来表示 [图 1.2 (a)]

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1.1)$$

为了求出合力 $\mathbf{F}_R$ 的大小和方向, 可以用几何作图法, 或利用三角公式计算。用几何作图法时, 可选取适当的力比例尺作平行四边形, 然后直接从图上量取对角线的长度, 它按比例表示合力 $\mathbf{F}_R$ 的大小, 对角线与分力间的夹角表示合力的方向, 可用量角器量出。利用三角公式计算时, 若已知 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 和它们的夹角 θ , 则由余弦定理可得

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos\theta} \quad (1.2)$$

为了求合力 $\mathbf{F}_R$ 与分力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 之间的夹角, 可由正弦定理求得

$$\sin\varphi_1 = \frac{F_2\sin\theta}{F_R}, \quad \sin\varphi_2 = \frac{F_1\sin\theta}{F_R} \quad (1.3)$$

由图 1.2 (b), 也可以用力三角形法则求合力 $\mathbf{F}_R$, 从任意点 a 作力矢 $\mathbf{F}_1$, 再以力矢 $\mathbf{F}_1$ 的末端 b 作为力矢 $\mathbf{F}_2$ 的始端画出力矢 $\mathbf{F}_2$ (即两分力首尾相连), 那么矢量 $\overrightarrow{ad}$ 就代表合力矢 $\mathbf{F}_R$ 。分力矢和合力矢所构成的三角形 abd 称为力三角形。如果先画 $\mathbf{F}_2$, 后画 $\mathbf{F}_1$ [图 1.2 (c)], 也能得到相同的合力矢 $\mathbf{F}_R$ 。可见力满足矢量的加法法则, 即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_1 \quad (1.4)$$

根据以上三个公理, 可以得出如下推论:

推论2 三力平衡汇交定理

当刚体受三个力作用而处于平衡时，若其中两个力的作用线相交于一点，则此三力必共面和共点。

公理四 作用和反作用定律

这个定律就是牛顿第三定律。两个物体间相互作用的一对力，总是大小相等，方向相反，作用线相同，且分别作用于这两个物体上。

必须把作用和反作用定律与二力平衡原理严格地区别开来。作用和反作用定律表明两个物体相互作用的力学性质，而二力平衡原理则说明一个刚体在两个力作用下处于平衡时两力应满足的条件。

二力平衡公理和作用与反作用公理的区别是什么？

公理五 刚化原理

变形体在力系作用下处于平衡状态时，如假想将变形后的物体换成刚体（刚化），则此刚化后的物体在原力系作用下处于平衡。



图 1.3

例如绳 AB 在等值、反向、共线的两个拉力 F_1 和 F_2 作用下处于平衡 [图 1.3 (a)]，则按刚化原理可知，假想 AB 为刚杆，则此刚杆在原力系作用下仍然处于平衡。这就是说，变形体平衡时力系必须满足刚体平衡时所需满足的平衡条件。但应注意，满足了刚体平衡条件，对变形体来说并不一定平衡。如图 1.3 (b) 所示，刚体 AB 在等值、反向、共线的两个压力 F_1 和 F_2 作用下处于平衡，但若把刚杆 AB 看成为柔软的绳索，则就不可能处于平衡了。由此得出结论，刚体平衡的必要与充分条件对变形体的平衡来说，仅是必要条件而不是充分条件。

刚化原理建立了刚体静力学和变形体静力学之间的联系。它对于研究变形体静力学具有重要的意义。

§1.3 约束与约束力

限制物体运动的条件称为约束。在静力学中所遇到的约束，往往都是由研究对象周围与其直接接触的物体所构成的。例如桌面就是桌面上物体的约束，机床床身导轨就是工作台的约束等等。

约束能够限制物体沿某些方向的位移，因而当物体沿着约束所限制方向有运动趋势时，约束就与物体之间互相存在着作用力。约束对被约束物体的作用力称为约束力。约束力以外的其他力统称为主动力。主动力往往是给定的或可测定的，例如地球引力、电磁力、气体的压力等等。而约束力往往是未知的，需要应用静力学的力系平衡条件求得。

工程中大量平衡问题是作用于物体上的主动力与约束力的平衡，因此研究约束及其约束力的特征对于解决静力平衡问题具有十分重要的意义。下面介绍工程中常见的几种基本约束类型，并对其约束力进行分析。

1. 柔索

工程中的钢丝绳、皮带、链条都可以简化为柔索。其特点是不计自重，不可伸长，只能承受拉力。柔索限制物体上与柔索连接的一点沿着柔索方向离开柔索，而不限制这一点沿其他方向的运动（图 1.4）。因此，柔索给被约束物体的约束力 F_T ，作用在接触点上，方位一定沿着柔索，其指向则背离物体。

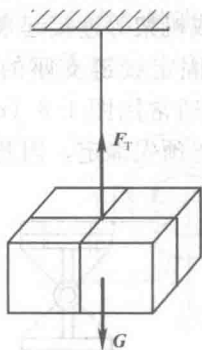


图 1.4

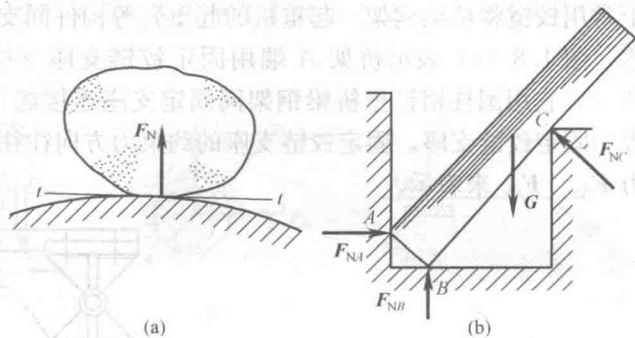


图 1.5

2. 光滑接触面

当两物体接触面之间的摩擦力很小，可以略去不计时，则认为接触面是“光滑”的。如物体搁置在光滑支撑面上 [图 1.5 (a)]，支撑面只能限制物体沿过接触点沿接触面公法线方向向下的位移，而不能限制该点离开支撑面或沿其他方向的运动。因此，光滑接触面对被约束物体的约束力，作用在接触点上，作用线过接触点沿接触面公法线方向，并指向被约束的物体，即物体受到压力作用。如图 1.5 (b) 中直杆搁置在凹槽中，A、B、C 三点受到约束。假定接触面是光滑的，则其约束力分别为 F_{NA} 、 F_{NB} 、 F_{NC} ，而方向垂直于相应的接触面。

3. 光滑圆柱铰链

光滑圆柱铰链约束是由两个带有圆孔的构件通过圆柱销钉连接而构成的。它在工程中有多种具体形式。

(1) 中间铰链。

在机器中常用圆柱销钉将两个带销钉孔的构件连接在一起 [图 1.6 (a)、(b)]，并且假定销钉和孔是光滑的，构成中间铰链。这样被约束的两个构件只能绕销钉的轴线作相对转动。

图 1.7 是垂直于销钉轴线的结构对称面图。由图可见，如果摩擦较小，可以略去，销钉

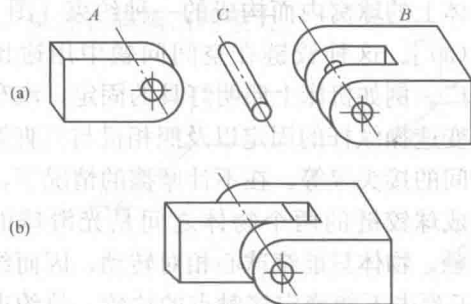


图 1.6

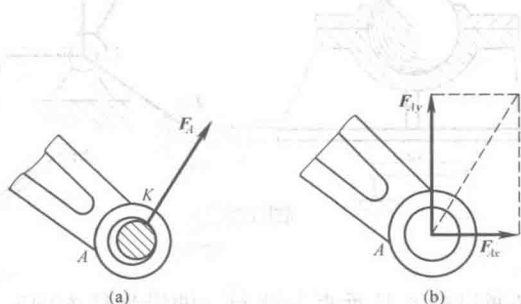


图 1.7

与构件实际上是以两个光滑圆柱面相接触的。按照光滑接触约束力的特点,销钉给构件的约束力 F_A 应沿圆柱在接触点的公法线方向 [图 1.7 (a)],即在通过点 K 的半径方向而过圆心。但因接触点 K 不能预先确定,所以约束力 F_A 的方向也不能预先确定。因此,在受力分析中通常将中间铰链的约束力用两个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示 [图 1.7 (b)]。

(2) 固定铰链支座。

工程上常用铰链将桥梁钢架、起重机的起重臂等构件同支座或机架等连接起来,构成固定铰链支座。图 1.8 (a) 表示桥架 A 端用固定铰链支座支撑。固定铰链支座的构造如图 1.8 (b) 所示。它用圆柱销钉把桥梁钢架同固定支座连接起来。通常用图 1.8 (c) 所示的简化图来表示固定铰链支座。固定铰链支座的约束力方向往往不能预先确定,因此可以用两个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 来表示。

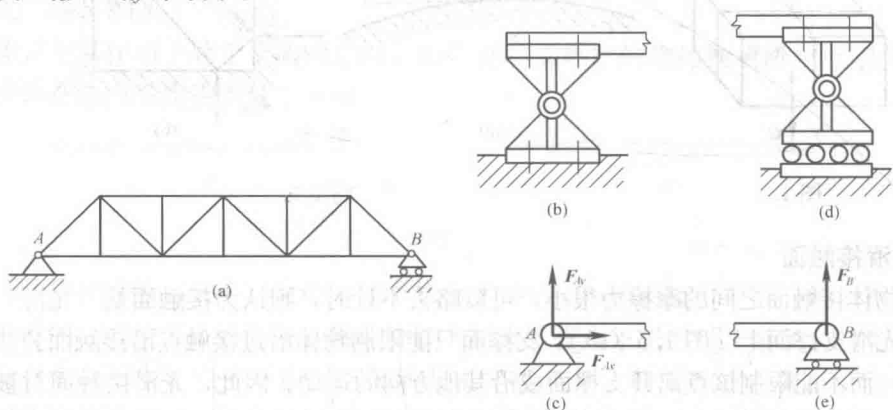


图 1.8

(3) 滚动铰链支座 (辊轴支座)。

如果在支座和支撑面之间有辊轴,就称为滚动铰链支座或辊轴支座,图 1.8 (a) 桥架的 B 端为滚动铰链支座。其构造如图 1.8 (d) 所示。图 1.8 (e) 是滚动铰链支座的简化图。因为有了辊轴,且支撑面可以看作是光滑的,支座对结构沿支撑面的运动没有限制,因此,滚动铰链支座的约束力垂直于支撑面。当桥梁因热胀冷缩而长度稍有变化时,滚动铰链支座相应地能沿支撑面移动,从而避免桥梁产生温度应力。

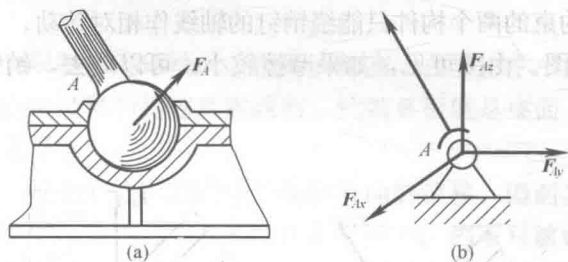


图 1.9

4. 光滑球铰链

球铰链是固连于物体的球嵌入另一物体上的球窝内而构成的一种约束 [图 1.9 (a)]。这种铰链在空间问题中用途比较广。例如机床上照明灯具的固定,汽车上变速操纵杆的固定以及照相机与三脚架之间的接头等等。在不计摩擦的情况下,构成球铰链的两个物体之间是光滑球面接触,物体只能绕球心相对转动,因而约束力

必通过球心且垂直于球面 (即沿半径方向)。由于预先不能确定接触点的位置,故约束力在空间的方位未能确定。图 1.9 (b) 是球铰链简图的表示方法。