



全国应用型本科土建类专业“十三五”规划教材

工程力学

主编 朱永甫 刘衍香

主审 李 栋 李伙穆



武汉理工大学出版社

全国应用型本科土建类专业“十三五”规划教材

工程力学

主 编 朱永甫 刘衍香
副主编 宋丽琴 汪 琴
主 审 李 栋 李伙穆

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 简 介

全书分为两部分:静力学和材料力学,其主要内容为:平面汇交力系、平面任意力系、空间力系以及轴向拉伸、剪切与挤压、弯曲内力、弯曲强度、弯曲变形、应力状态和强度理论、压杆稳定等。本书自成体系,内容精炼,重点突出,适用性强,重在基础理论的内容讲解、分析与计算。

本书可作为应用型普通本科院校土木工程专业、工程管理专业、工程造价专业、建筑环境与能源应用工程专业、给排水科学与工程等专业的基础课教材,也可作为广大自学者和相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/朱永甫,刘衍香主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2017.1
ISBN 978-7-5629-5362-3

I. ①工… II. ①朱… ②刘… III. ①工程力学-高等学校-教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 254415 号

项目负责人:高 英
责任编辑:王一维
责任校对:雷红娟
装帧设计:王一维
出版发行:武汉理工大学出版社
地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号
邮 编:430070
网 址:<http://www.wutp.com.cn>
经 销:各地新华书店
印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司
开 本:787×1092 1/16
印 张:15
字 数:384 千字
版 次:2017 年 1 月第 1 版
印 次:2017 年 1 月第 1 次印刷
印 数:1~3000 册
定 价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。
本社购书热线:027—87523148 87664138 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

前 言

根据教育部、国家发展改革委、财政部《关于引导部分地方普通本科高校向应用型转变的指导意见》(教发[2015]7号)、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,按照普通本科高校向应用型转变的人才培养目标及教育特点,结合编者多年从事教学的经验编写而成。其编写特点是:以必要和够用为准则,以强化应用为重点。书中简化了对一些理论的推导与证明,在土木工程较实用的内容中列举了较多的例题,进而讲述静力学和材料力学基本知识,把静力学和材料力学融合在一起,从而避免学习力学时的不得要领,并在各章后提供了习题,在附录中附有习题答案,供读者巩固和校核。

全书分为两部分:静力学和材料力学,其主要内容为:平面汇交力系、平面任意力系、空间力系以及轴向拉伸、剪切与挤压、弯曲内力、弯曲强度、弯曲变形、应力状态和强度理论、压杆稳定等。本书自成体系,内容精炼,重点突出,适用性强,重在基础理论的内容讲解、案例分析与计算,适用于应用型普通本科院校的土木工程类、给排水、建筑环境与能源应用工程以及相关专业的基础课教材,也可作为广大自学者和相关专业工程技术人员的参考用书。

全书由朱永甫、刘衍香任主编,宋丽琴、汪琴任副主编,江峰、黄丽芬参编。集美大学李栋讲师、闽南理工学院李伙穆教授主审,他们在审核过程中提出了很多宝贵的建设性意见,主编在统稿时均予以采纳。本书第1章、第2章、第3章、第15章、第16章、附录由闽南理工学院宋丽琴助理研究员编写,第4章、第5章、第6章、第7章由闽南理工学院刘衍香助教编写,第8章、第10章、第11章、第13章由闽南理工学院朱永甫副教授编写,第9章、第12章、第14章由闽南理工学院汪琴编写。全书图表由闽南理工学院刘衍香绘制,闽南理工学院江峰和闽南理工学院黄丽芬参与全书的校对。

因编者水平有限,书中不足之处敬请指正。

编 者

2016年11月

目 录

第一篇 静力学

1 静力学基础	(1)
1.1 静力学基本概念	(1)
1.1.1 力的概念	(1)
1.1.2 刚体的概念	(2)
1.2 静力学公理	(2)
1.3 约束和约束力	(4)
1.3.1 约束	(4)
1.3.2 约束类型	(5)
1.4 典型约束	(8)
1.5 受力分析与受力图	(9)
习题	(11)
2 平面汇交力系	(13)
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	(13)
2.1.1 平面汇交力系合成的几何法	(13)
2.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件	(14)
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	(15)
2.2.1 力在直角坐标轴上的投影	(15)
2.2.2 合力投影定理	(16)
2.2.3 平面汇交力系合成的解析法	(16)
习题	(19)
3 力矩与平面力偶系	(21)
3.1 力矩	(21)
3.1.1 平面力对点之矩概念	(21)
3.1.2 合力矩定理	(22)
3.2 平面力偶系	(23)
3.2.1 力偶的概念	(23)
3.2.2 力偶矩	(23)
3.2.3 同平面内力偶的等效定理	(24)
3.2.4 平面力偶系的合成与平衡	(24)
习题	(26)
4 平面任意力系	(29)
4.1 平面任意力系向一点的简化	(29)

4.1.1	力的平移定理	(29)
4.1.2	平面任意力系向一点的简化	(30)
4.1.3	平面任意力系简化的最后结果	(31)
4.2	平面任意力系的平衡方程	(33)
4.2.1	平面任意力系平衡方程的基本形式	(33)
4.2.2	二力矩形式和三力矩形式	(33)
4.2.3	平面平行力系的平衡条件	(34)
4.3	物体系统的平衡	(37)
4.4	平面桁架的内力计算	(42)
4.4.1	节点法	(42)
4.4.2	截面法	(44)
	习题	(45)
5	摩擦	(50)
5.1	摩擦的概念	(50)
5.1.1	摩擦现象	(50)
5.1.2	静滑动摩擦	(50)
5.1.3	摩擦角与自锁现象	(52)
5.1.4	动滑动摩擦	(52)
5.2	考虑摩擦的平衡问题	(53)
	习题	(54)
6	空间力系	(56)
6.1	空间汇交力系	(56)
6.1.1	力在直角坐标轴上的投影	(56)
6.1.2	空间汇交力系的合成	(57)
6.1.3	空间汇交力系的平衡	(58)
6.2	力对点之矩和力对轴之矩	(59)
6.2.1	力对点之矩	(59)
6.2.2	力对轴之矩	(59)
6.3	空间力偶	(60)
6.3.1	空间力偶的基本概念	(60)
6.3.2	空间力偶系的合成	(61)
6.3.3	空间力偶系的平衡条件	(61)
6.4	空间任意力系的平衡	(61)
6.4.1	空间任意力系的简化	(61)
6.4.2	空间任意力系的平衡方程	(62)
6.5	平行力系的中心与物体的重心	(64)
6.5.1	平行力系的中心	(64)
6.5.2	物体重心	(64)

6.5.3 物体重心的计算方法	(66)
习题	(68)
第二篇 材料力学	
7 材料力学的基本概念	(70)
7.1 材料力学的基本任务	(70)
7.2 材料力学的基本知识	(71)
7.2.1 关于材料的基本假定	(71)
7.2.2 弹性杆件的外力和内力	(71)
7.2.3 截面法	(72)
7.2.4 应力	(73)
7.2.5 线弹性材料的应力-应变关系	(74)
7.3 构件的基本分类	(75)
7.3.1 构件的分类	(75)
7.3.2 杆件变形的基本形式	(75)
8 轴向拉伸与压缩	(78)
8.1 轴向拉伸与压缩时横截面的内力与应力	(78)
8.1.1 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力	(78)
8.1.2 轴力图	(79)
8.1.3 轴向拉伸与压缩时横截面上的应力	(81)
8.2 轴向拉伸与压缩时斜截面上的应力	(81)
8.3 轴向拉伸与压缩时横截面的强度计算	(83)
8.3.1 许用应力	(83)
8.3.2 强度条件	(83)
8.4 轴向拉伸与压缩时材料的力学性质	(86)
8.4.1 拉伸试验与应力-应变曲线	(86)
8.4.2 低碳钢拉伸时的力学性能	(87)
8.4.3 灰铸铁拉伸时的力学性能	(87)
8.4.4 其他材料拉伸时的力学性能	(88)
8.4.5 材料压缩时的力学性能	(88)
8.5 轴向拉伸与压缩时横截面的变形	(89)
8.5.1 轴向拉伸与压缩时的变形	(89)
8.5.2 泊松比	(90)
8.5.3 轴向拉伸与压缩时的变形计算	(90)
习题	(92)
9 剪切与挤压	(95)
9.1 剪切与挤压的基本概念	(95)
9.2 剪切的实用计算	(96)
9.2.1 剪切应力	(96)

9.2.2 剪切强度条件	(97)
9.3 挤压的实用计算	(97)
9.3.1 挤压应力	(97)
9.3.2 挤压强度条件	(98)
习题	(100)
10 扭转	(101)
10.1 扭转的基本概念	(101)
10.2 扭矩与扭矩图	(102)
10.2.1 外力偶矩	(102)
10.2.2 扭矩与扭矩图	(102)
10.3 剪应力互等定理与剪切胡克定理	(104)
10.3.1 薄壁圆筒扭转时的剪应力	(104)
10.3.2 剪应力互等定理	(105)
10.3.3 剪应变与剪切胡克定理	(106)
10.4 圆轴扭转时横截面上的应力	(106)
10.4.1 扭转剪应力公式	(106)
10.4.2 最大扭转剪应力	(108)
10.4.3 极惯性矩与抗扭截面系数	(108)
10.5 圆轴扭转时的强度计算	(109)
10.6 圆轴扭转时的变形与刚度计算	(110)
10.6.1 圆轴扭转变形	(110)
10.6.2 圆轴扭转的刚度条件	(110)
习题	(112)
11 弯曲内力	(113)
11.1 平面弯曲与梁的基本形式	(113)
11.1.1 平面弯曲	(113)
11.1.2 梁的基本形式	(114)
11.2 剪力图和弯矩图	(115)
11.2.1 剪力和弯矩	(115)
11.2.2 剪力图和弯矩图	(117)
11.3 剪力、弯矩与荷载集度	(119)
11.3.1 剪力、弯矩与荷载集度间的微分关系	(119)
11.3.2 利用微分关系绘制剪力和弯矩图	(120)
习题	(124)
12 弯曲强度	(126)
12.1 平面弯曲时梁横截面上的正应力	(126)
12.1.1 梁弯曲的基本概念	(126)

12.1.2 纯弯曲时梁横截面上的正应力	(127)
12.2 横向弯曲时梁横截面上的正应力及强度计算	(131)
12.3 横向弯曲时梁横截面上的剪应力及强度计算	(133)
12.3.1 横向弯曲时梁横截面上的剪应力	(133)
12.3.2 剪应力强度计算	(137)
12.4 提高梁弯曲强度的措施	(139)
习题	(141)
13 弯曲变形	(145)
13.1 弯曲变形的基本概念	(145)
13.1.1 挠曲线	(145)
13.1.2 挠度和转角	(146)
13.1.3 挠度与转角间的关系	(146)
13.2 梁弯曲变形的基本方程	(146)
13.2.1 梁的挠曲线近似微分方程	(146)
13.2.2 梁弯曲变形计算的积分法	(147)
13.3 梁弯曲变形计算的叠加法	(150)
13.3.1 多个荷载共同作用	(150)
13.3.2 间断性荷载作用	(153)
13.3.3 逐段刚化的叠加法	(154)
13.4 梁的刚度条件与合理刚度设计	(156)
13.4.1 梁的刚度条件	(156)
13.4.2 梁的合理刚度设计	(157)
习题	(158)
14 应力状态与强度理论	(160)
14.1 应力状态的基本概念	(160)
14.1.1 应力状态	(160)
14.1.2 应力状态分析的基本方法	(161)
14.2 平面应力状态分析的解析法	(162)
14.2.1 斜截面上的应力分析	(162)
14.2.2 极值应力及所在平面的方位	(163)
14.2.3 主应力与最大剪应力之间的关系	(165)
14.3 平面应力状态分析的图解法	(166)
14.3.1 应力圆方程	(166)
14.3.2 应力圆的画法	(166)
14.4 三向应力状态及应力圆	(168)
14.5 复杂应力状态下的应力-应变关系、应变能密度	(170)
14.5.1 广义胡克定律	(170)

14.5.2	各向同性材料各弹性常数之间的关系	(171)
14.5.3	应变能密度	(171)
14.6	强度理论	(173)
14.6.1	最大拉应力理论(第一强度理论)	(173)
14.6.2	最大拉应变理论(第二强度理论)	(173)
14.6.3	最大剪应力理论(第三强度理论)	(174)
14.6.4	畸变能密度理论(第四强度理论)	(175)
	习题	(176)
15	组合变形	(179)
15.1	弯曲与拉伸(压缩)组合变形	(179)
15.2	弯曲与扭转组合变形	(182)
	习题	(184)
16	压杆稳定	(187)
16.1	压杆稳定性	(187)
16.1.1	压杆稳定性基本概念	(187)
16.1.2	压杆稳定与失稳	(188)
16.1.3	压杆的临界力	(188)
16.2	细长杆压杆临界力的计算	(188)
16.2.1	两端铰支细长杆的临界力	(188)
16.2.2	不同杆端约束细长杆的临界力	(189)
16.3	欧拉公式的应用范围	(190)
16.3.1	临界压力	(190)
16.3.2	欧拉公式的应用范围	(190)
16.3.3	经验公式及临界压力总图	(191)
16.4	压杆稳定性计算	(193)
16.5	提高压杆稳定性的措施	(195)
	习题	(196)
附录 I	平面图形的基本性质	(198)
I-1	静矩和形心	(198)
I-2	惯性矩 惯性积 惯性半径	(199)
I-3	平行移轴公式	(200)
I-4	转轴公式	(201)
I-5	主惯性轴、主惯性矩、主形心轴、主形心惯性矩	(202)
附录 II	常用型钢规格表	(204)
附录 III	主要符号表	(222)
	习题答案	(223)
	参考文献	(229)

第一篇 静力学

1 静力学基础

【教学要求与学习目标】

1. 掌握力的基本概念以及关于力的矢量表示方法。
2. 理解静力学的基本公理。
3. 掌握力平衡的基本概念;掌握二力平衡与三力平衡的条件;能够正确判断二力杆或二力杆件。
4. 正确理解各种常见约束,并能够根据约束性质确定约束力。
5. 熟练掌握受力分析的基本方法,学会取隔离体;熟练掌握受力图的画法。

【知识要点】

1. 静力学基本概念

刚体、力、平衡、约束和约束力。

2. 静力学公理

二力平衡公理、加减平衡力系公理、力的平行四边形法则、作用与反作用公理。

3. 典型约束类型和约束反力的确定

光滑接触面约束、柔索约束、光滑铰链约束、滚动支座、链杆约束、固定端约束。

4. 物体受力分析

画受力图的步骤、正确选取隔离体。

1.1 静力学基本概念

1.1.1 力的概念

力指的是物体之间相互的机械作用。这种作用效果既能使物体运动状态发生变化,又能使物体形状发生改变。

力使物体运动状态发生变化的效果,称为力的外效应,或者称为力的运动效应;力使物体发生形状改变的效果,称为力的内效应,或者称为力的变形效应。

力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点,即力的三要素。

(1) 力的大小反映了物体间相互作用的强弱程度。国际通用的力的计量单位是“牛

顿”(简称“牛”), 英文字母 N 和 kN, 即牛和千牛。

(2) 力的方向指的是静止质点在该力作用下开始运动的方向。沿该方向绘制出的直线称为力的作用线, 力的方向包含力的作用线在空间的方位和指向。

(3) 力的作用点指的是物体相互作用的抽象化。实际上物体间的相互接触处总会占有一定面积, 力总是作用在物体的一定面积上。如果这个面积很小, 则可将其抽象为一个点, 这时作用力称为集中力; 如果接触面积比较大, 力在整个接触面上分布作用, 这时的作用力称为分布力, 通常用单位长度的力来表示沿长度方向上分布力的强弱程度, 称为荷载集度, 用符号 q 表示, 单位为 N/m , 如图 1-1 所示。



图 1-1 集中力与分布力
(a) 集中力; (b) 分布力

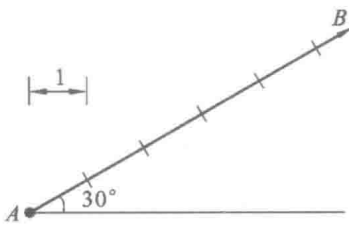


图 1-2 矢量力的表示

力的三要素表明力是矢量, 可用一带有箭头的有向线段来表示, 如图 1-2 所示。线段长度 AB 按一定比例表示力的大小, 线段的方位和箭头的指向表示力的方向, 线段的起点 A 或终点 B 表示力的作用点。与线段重合的直线表示力的作用线。本书中, 矢量用黑体字表示, 如力 F_P , 而力的大小用普通字体表示, 如 F_P 。

力系是指作用在物体上的若干力。工程上常见力系, 按照作用线所在的位置, 可分为平面力系和空间力系; 又可以按其作用线的相互关系, 分为共线力系、平行力系、汇交力系和任意力系。

平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或匀速直线运动, 它是机械运动的特殊形式。平衡是相对的, 在工程实际中通常把固连于地球的参考系作为惯性参考系, 来研究物体相对于地球的平衡问题, 其分析计算结果具有足够的精度。

1.1.2 刚体的概念

所谓刚体, 是指在力的作用下, 其内部任意两点间的距离始终保持不变的物体, 即受力而不变形的物体。刚体是对实际物体经过科学抽象的处理而得到的一种理想模型, 这种抽象化使问题得以简化。能否将一个具体物体视为刚体, 主要取决于所研究问题的性质, 同一物体在静力学中视为刚体, 而在材料力学研究力和变形之间的关系时, 则必须视为变形体。

1.2 静力学公理

静力学公理是人们在长期生活和生产实践中的经验总结, 是无须证明就能正确反映自然界事物基本规律的定律。

公理一 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体处于平衡状态的充分必要条件是:这两个力大小相等、方向相反,且作用在同一直线上。如图 1-3 所示, $F_1 = -F_2$ 。

此公理揭示了作用于物体最为简单的力系平衡时所需要满足的条件。对于刚体,此条件是充分必要的;对于变形体,此条件只是必要而非充分的。

只受两个力的作用而处于平衡状态的构件称为二力构件,当构件为杆件时称为二力杆。根据公理一,二力构件上的两个力必沿这两个力作用点的连线,且等值、反向。

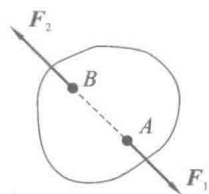


图 1-3 二力平衡公理示意图

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体的已知力系上,加上或减去任意平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。

推论一 力的可传性原理

作用在刚体上的力,可沿其作用线移动至刚体上的任一点,而不改变该力对刚体的作用效果。

如图 1-4(a) 所示,设有力 F 作用在刚体上的点 A 。根据加减平衡力系公理,可在力作用线上任取一点 B ,并加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 ,即 $F = F_2 = -F_1$,如图 1-4(b) 所示。由于力 F 和 F_1 是一个平衡力系,根据公理一可除去,这样只剩下一个力 F_2 ,如图 1-4(c) 所示,即原来的力 F 沿作用线移到 B 点。

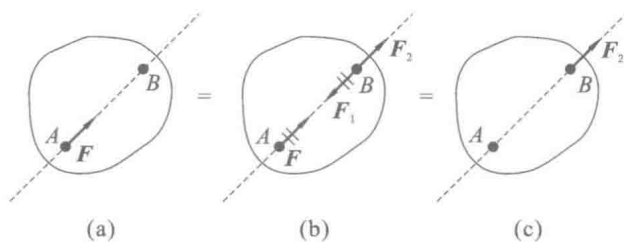


图 1-4 力的可传性原理图

根据力的可传性原理,力对刚体的作用效果与力的作用点在其作用线上的位置无关。因此,对刚体,力的三要素之一的作用点可代之以作用线。在这种情况下,力矢量可沿其作用线任意滑动,这种矢量称为滑动矢量。

公理三 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个力。合力的作用点仍然在该点,合力的大小和方向,由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。

此公理本质上说明力的合成符合矢量运算法则,如图 1-5 所示,合力矢量等于这两个力的矢量和,即:

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

推论二 三力平衡汇交定理

刚体在三个力作用下处于平衡,若其中两个力作用线汇交于一点,则此三力必在同一平

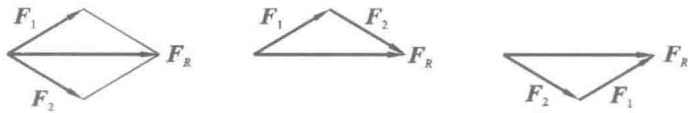


图 1-5 力的平行四边形法则

面内,且第三个力作用线必定通过汇交点。

如图 1-6 所示,在刚体的 A、B、C 三点分布作用着三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 。根据力的可传性原理,将力 F_1 、 F_2 移到汇交点 C,根据力的平行四边形法则得到合力 F_{12} ,则力 F_3 与合力 F_{12} 应平衡。由二力平衡公理, F_3 与 F_{12} 共线,因此 F_3 必与 F_1 、 F_2 共面,且通过 F_1 、 F_2 的汇交点。

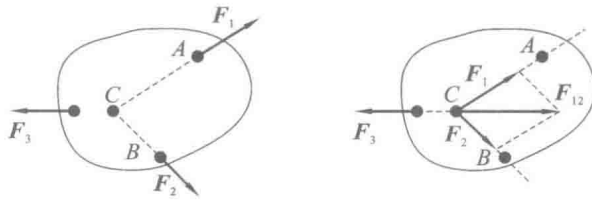


图 1-6 三力平衡汇交定理推导示意图

公理四 作用力与反作用力公理

两物体间的作用力与反作用力必定等值、反向、共线,且分别作用在这两个物体上。

此公理指出,力总是成对出现,有作用力必有反作用力。作用力与反作用力一般用同一字母表示,如用 F 表示作用力,则用 F' 表示反作用力,即 $F = -F'$ 。

注意:

作用力和反作用力虽然大小相等、方向相反,沿同一条作用线,但它们作用在不同的物体上,不是平衡力。

1.3 约束和约束力

1.3.1 约束

在空间上可以任意运动的物体称为自由体,如空中飞行的飞机、火箭等。工程结构中,构件都不是孤立存在的,而是通过一定的方式连接在一起,其沿某方向的运动或位移一般都受到与之相连物体的阻碍、限制,这样的物体称为非自由体。例如,火车受到钢轨的限制,只能沿轨道行驶;转轴受到轴承的限制,只能绕轴线转动等。

对物体某方向的位移所加的限制条件称为约束。

约束是以物体相互接触的方式构成的,例如绳子是电灯的约束,合页是门窗的约束,支座是桥梁的约束。

约束对于物体的作用实际上就是力,这种力称为约束力。除约束力外,作用于物体上的力还有重力、水压力、土压力、风力、电磁力等,这些力一般是给定的,它不取决于物体上其他的力,称为主动力。

一般约束力是未知的,约束力的大小和方向不能预先确定,只能由约束的性质和主动力作用情况来确定。因此求解约束力就成为力学分析的重要任务之一。图 1-7 为约束力根据力的平衡条件确定的示意图。



图 1-7 约束力确定示意图

确定约束力方向准则:约束力的方向总是与该约束所能阻止的位移方向相反。

应用这个准则,可以确定约束力的方向或作用线的位置,而约束力的大小,在静力学问题中,可根据约束力和物体受到的其他主动力组成的平衡力系,用平衡条件求出。

1.3.2 约束类型

下面介绍工程中常见的几种约束示例、简化记号及对应约束力的表示方法。

(1) 柔性约束

柔性约束由绳索、胶带、链条、皮带等柔性物体所构成。这类约束的特点是只能限制物体沿绳索或胶带伸长方向的位移,因而只能承受拉力,不能承受压力。柔性约束的约束力作用在与物体的连接点上,方向沿着柔性体的轴线,背离物体,通常用符号 F_T 或 F 表示。如图 1-8(a) 所示,绳索悬挂一重物,则绳索对重物的约束力是沿绳索的拉力 F_{T1} 和 F_{T2} ,如图 1-8(b) 所示。

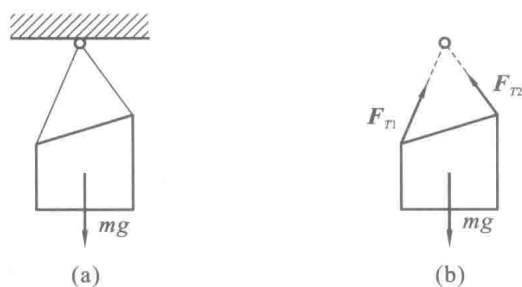


图 1-8 柔性约束

(a) 柔性约束;(b) 柔性约束的约束力特点

(2) 光滑接触面约束

两物体相互接触,如果接触面非常光滑,摩擦力可以忽略不计,则这种约束称为光滑接触面约束。这种约束的接触面不论是平面还是曲面,都不能限制物体沿接触面切线方向的运动,只能限制物体沿接触面的公法线且指向接触面的运动。因此,光滑接触面约束力只能是压力,通过接触点,方向沿该点的公法线,指向被约束物体。这种约束力也称为法向约束力,通常用 F_N 表示。如图 1-9 所示支承物体的固定平面和曲面都可视为光滑接触面,它们的约

束力分别为 F_{NA} 和 F_{NB} 。



图 1-9 光滑接触面约束

(a) 平面光滑约束的约束力特点；(b) 曲面光滑约束的约束力特点

(3) 光滑铰链约束

此类约束在工程中最为常见,主要包括向心轴承、圆柱形铰链和固定铰链支座等。

① 向心轴承

向心轴承的结构如图 1-10(a)、图 1-10(b) 所示,图 1-10(c) 为结构简图。轴可在孔内任意转动,也可沿孔的中心线移动,但轴承阻碍轴沿径向向外的位移。当轴和轴承在某点 A 光滑接触时,轴承对轴的约束力 F_A 作用在接触点 A 且沿公法线指向轴心,如图 1-10(a) 所示。

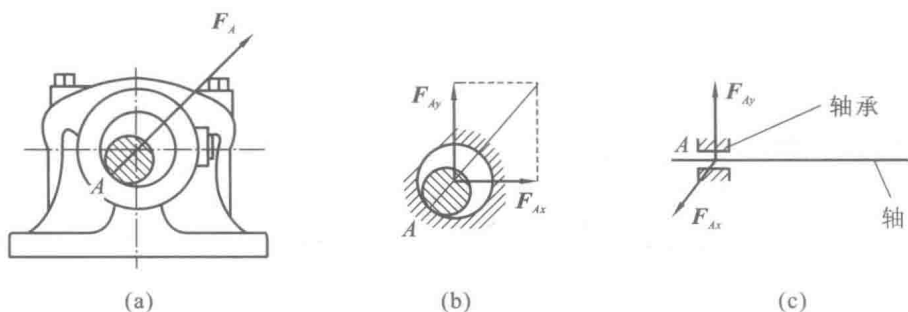


图 1-10 光滑铰链支座

(a) 向心轴承的合力；(b) 向心轴承的合力分解；(c) 结构简图

实际上,由于接触点位置与作用在轴上的主动力有关,故很难预先确定。所以,当主动力尚未确定时,约束力方向也无法确定。然而,无论约束力朝向何方,它的作用线必垂直于轴线并通过轴心。通常采用通过轴心的两个大小未知的正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 来表示,如图 1-10(b)、图 1-10(c) 所示, F_{Ax} 、 F_{Ay} 的指向暂可任意假定。

② 圆柱形铰链和固定铰链支座

圆柱形铰链简称铰链,它用一圆柱形销钉将两个或更多构件连接在一起。即若干物体钻有直径相同的孔,并用销钉连接起来,若不计摩擦,就构成了光滑圆柱形铰链约束。如图 1-11(a) 所示的曲柄连杆机构中,曲柄 OA 和连杆 AB 在 A 处的连接、连杆 AB 和滑块 B 在 B 处的连接均为铰链连接,图 1-11(b) 是铰链的结构图。

若相互接触的两圆柱面是光滑的,则销钉只能限制被约束构件在垂直于销钉轴线的平面内的径向运动,不能限制被约束构件绕圆孔中心 A 的转动,因此,约束力 F_A 的方向沿圆柱面在接触点 a 的公法线,并通过铰链中心 A ,如图 1-11(c) 所示。但接触点 a 的位置与被约束

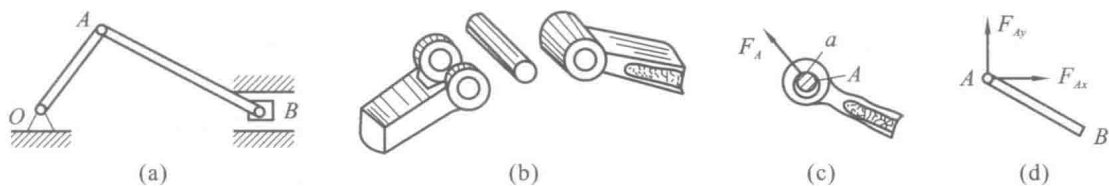


图 1-11 圆柱形铰链

(a) 曲柄连杆结构; (b) 铰链结构图; (c) 铰链约束的合力; (d) 铰链约束的合力分解

构件所受主动力和运动情况有关,因此约束力 F_A 也不能预先确定,通常用通过铰链中心 A 的两个互相垂直的分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 来表示,如图 1-11(d) 所示, F_{Ax} 、 F_{Ay} 的指向暂可任意假定。

若铰链连接中,有一个构件与地面或平台连接,便构成固定铰链支座,简称固定铰支,如图 1-12(a) 所示。这种支座的约束性质与圆柱形铰链相同,其简图及约束力表示方法如图 1-12(b)、图 1-12(c) 所示。

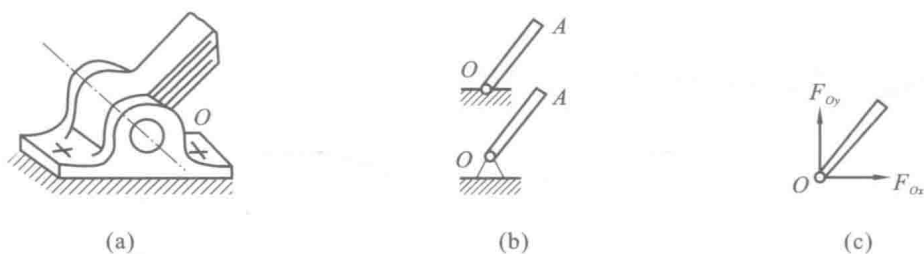


图 1-12 固定铰链支座

(a) 固定铰链支座; (b) 固定铰链支座示意图; (c) 固定铰链支座的合力分解

(4) 滚动支座

此类支座是由固定铰链支座与光滑支承面之间装有的几个辊轴所构成的,称为滚动支座或辊轴支座,其结构及简图如图 1-13(a)、图 1-13(b) 所示。它可以沿支承面移动,其约束性质与光滑面约束相同,约束力必垂直于支承面,且通过铰链中心。通常用 F_N 表示其法向约束力,如图 1-13(c) 所示。

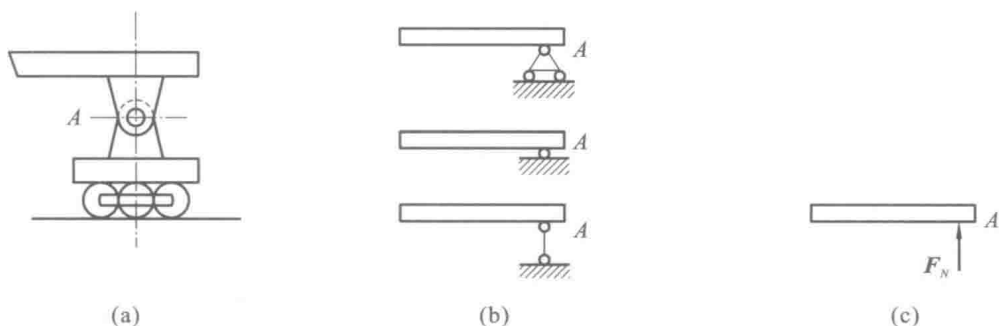


图 1-13 滚动支座

(a) 滚动支座结构示意图; (b) 滚动支座简图; (c) 滚动支座的合力

(5) 链杆支座

两端用光滑铰链与其他构件连接且不考虑本身重量的杆称为链杆,如图 1-14(a) 所示。