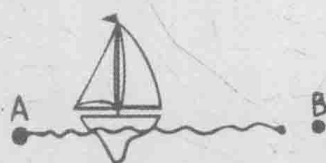


尹莉张奇编著



航海力学



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

全书分 12 章,包括静力学、材料力学、流体力学基础三大部分。静力学部分包括平面简单力系和一般力系的简化分析;空间简单力系和一般力系的简化分析;静定问题的平衡条件;重心与简单图形形心位置的确定方法等主要内容。材料力学部分包括应力、应变等基本概念;材料的基础力学性能试验;杆件轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、扭转、弯曲等截面上的内力、应力的计算,强度及相应变形的计算分析。流体力学部分包括流体静力学和流体动力学基本概念、基本方程,以及在工程中的一些应用。

本书适用于高等学校工科本科航海技术专业的课程教学,也可作为高职高专与成人高校相关专业师生的选用教材,还可供有关工程技术专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

航海力学 / 尹莉,张奇编著. —上海:上海交通大学出版社, 2015
ISBN 978-7-313-13751-7

I. ①航… II. ①尹… ②张… III. ①船舶流体力学
IV. ①U661.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 215789 号

航海力学

编 著:尹 莉 张 奇

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:苏州市越洋印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:331 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-13751-7/U

定 价:45.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:15

印 次:2015 年 9 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0512-68180638

前言

航海力学是高等工科院校航海技术相关专业重要的基础课程。通过学习本课程,使学生掌握静力学、材料力学、流体力学的基本知识,能使用这些知识解决一些实际问题,并为后续专业课程(“船舶原理”,“船舶设备与结构”,“船舶操纵”等)打下必要的理论基础。

本书是专门为航海技术相关专业本科生编写的教材。作者根据航海力学课程教学大纲的基本要求并结合多年教学经验编写而成。教材特点是:① 基本概念讲解简练,内容层层递进,注重培养学生对基础知识的掌握;② 各章节选取具有代表性的例题,概念阐释后面的例题,有助于对概念、理论知识的理解及计算方法的掌握。

本书由上海海事大学尹莉副教授担任主编,张奇老师参编。其中第1章到第6章由张奇编写,第7章到第12章由尹莉编写,全书由尹莉统稿。本教材承上海海事大学郑苏教授认真审阅,提出了许多宝贵意见,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中存在的不足之处,恳请读者批评指正。

目 录

第一篇 刚体静力学

第1章 静力学基本概念及物体受力分析

3

1.1 静力学的基本概念、基本公理

3

1.1.1 力的概念

3

1.1.2 物体的简化模型——刚体

3

1.1.3 静力学公理

4

1.2 约束及约束力

6

1.2.1 约束与约束反力

6

1.2.2 常见约束类型及其约束力

7

1.3 物体的受力分析

11

1.4 小结

13

习题1

15

第2章 平面力系

17

2.1 平面汇交力系的合成与平衡

17

2.1.1 力在坐标轴上的投影

17

2.1.2 平面汇交力系合成的解析法	19
2.1.3 平面汇交力系的平衡方程	20
2.2 平面力对点之矩·平面力偶	21
2.2.1 力对点之矩	21
2.2.2 平面力偶	23
2.2.3 平面力偶系的合成与平衡	25
2.3 平面一般力系的简化	27
2.3.1 力的平移定理	28
2.3.2 平面一般力系向作用面内一点简化	28
2.3.3 平面一般力系的简化结果分析	30
2.4 平面一般力系的平衡	31
2.5 静定与静不定问题及物体系统的平衡	36
2.5.1 静定与静不定问题的概念	36
2.5.2 物体系统的平衡	37
习题 2	39

第 3 章 空间力系

3.1 空间力的投影及力对轴的矩	47
3.1.1 力在空间坐标轴上的投影	47
3.1.2 力对轴的矩	48
3.2 空间一般力系的平衡	49
3.3 重心和形心	51
3.3.1 重心和形心的坐标公式	51
3.3.2 确定重心和形心位置的具体方法	52
习题 3	56

第二篇 材料力学

第 4 章 材料力学概述

4.1 材料力学的任务	61
4.2 变形固体及其基本假设	62
4.3 材料力学研究的对象	63
4.4 内力的概念 截面法	64

第 5 章 轴向拉伸和压缩	66
5.1 轴向拉伸与压缩横截面上的内力	66
5.2 轴向拉伸与压缩截面上的应力	68
5.2.1 应力的概念	68
5.2.2 拉(压)杆横截面上的应力	69
5.3 轴向拉伸与压缩的变形	70
5.3.1 绝对伸长和线应变	70
5.3.2 胡克定律、泊松比	71
5.4 材料在轴向拉伸与压缩时的力学性能	74
5.4.1 拉伸实验	74
5.4.2 压缩实验	77
5.5 轴向拉伸与压缩的强度计算	78
5.5.1 极限应力、许用应力和安全因数	78
5.5.2 强度条件	79
5.6 轴向拉伸与压缩的超静定问题	82
习题 5	84
第 6 章 剪切与挤压	88
6.1 剪切的实用计算	88
6.2 挤压的实用计算	89
习题 6	92
第 7 章 圆轴的扭转	95
7.1 扭转概念	95
7.2 外力偶矩计算、扭矩、扭矩图	95
7.2.1 动力传递的外力偶矩	95
7.2.2 扭矩	96
7.2.3 扭矩图	96
7.3 圆轴扭转时横截面上的应力分析	98
7.3.1 扭转实验及假设	98
7.3.2 几何关系	98
7.3.3 物理关系	99
7.3.4 静力关系	100

7.4 最大扭转切应力 $\tau_{\max}$	101
7.5 圆轴扭转的强度条件	102
7.6 圆轴扭转变形与刚度条件	103
7.6.1 相对扭转角	103
7.6.2 单位长度扭转角的计算	103
7.6.3 圆轴扭转刚度条件	104
7.7 薄壁圆轴扭转	107
习题 7	107

第 8 章 梁的弯曲

110

8.1 梁的载荷	110
8.2 梁弯曲内力、剪力和弯矩	111
8.3 剪力图和弯矩图	114
8.4 剪力 F_s 、弯矩 M 与分布荷载集度 q 间的微分关系	116
8.5 弯曲梁横截面上的应力	119
8.5.1 弯曲正应力	119
8.5.2 弯曲切应力	122
8.6 弯曲正应力强度条件	123
8.7 截面的惯性矩 I_z 及抗弯截面模量 W_z	124
8.7.1 几种常见截面的惯性矩和抗弯截面模量	124
8.7.2 惯性矩平行移轴定理	126
8.7.3 组合截面的惯性矩	127
8.8 提高梁弯曲强度的措施	130
8.8.1 降低梁内最大弯矩措施	131
8.8.2 加大抗弯截面模量	132
8.9 弯曲变形	133
8.9.1 挠曲线的近似微分方程	134
8.9.2 叠加法计算梁的位移	138
8.10 提高弯曲刚度的措施	142
习题 8	142

第 9 章 压杆稳定

148

9.1 压杆临界载荷概念	148
9.2 临界应力与临界应力总图	151
9.3 压杆稳定校核：安全系数法	153

习题 9

155

第三篇 流体力学

第 10 章 流体静力学基础

159

10.1	流体力学的基本任务	159
10.2	流体的基本特性和基本假设	159
10.3	流体的主要物理性质	160
10.3.1	密度	160
10.3.2	容重	160
10.3.3	压缩性和膨胀性	161
10.3.4	流体的黏性	162
10.4	液体的表面张力	165
习题 10		166

第 11 章 流体静力学

168

11.1	作用在流体上的力	168
11.1.1	质量力	168
11.1.2	作用在流体表面上的力	168
11.2	流体静压强及其特性	169
11.2.1	流体静压强	169
11.2.2	静止流体中压强的变化	169
11.2.3	压强单位	171
11.2.4	不同计算基准的压强度量	171
11.2.5	流体静压强分布图	172
11.3	重力作用下的流体平衡	173
11.3.1	流体平衡条件	173
11.3.2	连通器内液体的平衡	174
11.4	流体静力学基本方程的应用	176
11.4.1	测压管	176
11.4.2	U 形管测压计	176
11.5	重力和惯性力同时作用下液体的相对平衡	177
11.5.1	匀速直线运动容器中液体的相对平衡	177
11.5.2	做匀加速直线运动容器中液体的相对平衡	178
11.5.3	绕定轴以匀角速度转动的容器中液体的相对平衡	180

11.6 静止流体对平面的作用力	181
11.6.1 计算流体作用在平板上力的大小	182
11.6.2 总压力作用点的确定	182
11.7 静止流体对曲面的作用力	186
11.8 阿基米德原理	190
11.9 物体在静止液体中的沉浮	191
习题 11	195

第 12 章 流体动力学

199

12.1 描述流体运动的两种方法	199
12.1.1 拉格朗日法	199
12.1.2 欧拉法	200
12.2 流体运动的基本概念	201
12.2.1 定常流动和非定常流动	201
12.2.2 迹线和流线	202
12.2.3 流线微分方程	203
12.2.4 流管、流束和总流	203
12.2.5 流量和平均流速	204
12.2.6 均匀流和非均匀流	205
12.2.7 渐变流与急变流	205
12.3 定常流连续性方程	207
12.4 理想流体的动力学基础	209
12.5 实际定常流的能量方程	209
12.5.1 实际定常流微小流束的能量方程	209
12.5.2 实际定常流的能量方程	210
12.6 能量方程的意义	211
12.7 伯努利方程的应用	215
12.7.1 毕托管测流速	215
12.7.2 文丘里流量计	216
12.7.3 螺旋桨的推力	217
12.7.4 空泡现象	217
12.8 定常流的动量方程	218
习题 12	220

附录 型钢规格表

223

参考文献

228

第一篇

HANG HAI LI XUE

HANG HAI LI XUE

刚体静力学

在工程中,把物体相对于地面静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。如桥梁,码头,沿直线匀速行进的汽车。根据牛顿第一定律,物体如不受到力的作用则必然保持平衡。但客观世界中任何物体都不可避免地受到力的作用,通常一个物体总是受到多个力的作用,作用于物体上的一群力称为力系。物体上作用的力系只要满足一定的条件,即可使物体保持平衡,静力学就是研究受力物体平衡的一般规律的科学。

刚体静力学理论是从生产实践中总结出来的,是对工程结构构件进行受力分析和计算的基础,在工程技术中有着广泛的应用。静力学主要研究以下3个问题:

(1) 物体的受力分析。分析物体受几个力作用,以及每个力的作用点、大小和方向。

(2) 力系的等效替换与简化。若作用于物体上的某一力系可以用另一个力系来代替,而不改变它对物体的作用效应(运动效应),那么这两个力系是互为等效的。如果一个力与一个力系等效,那么这个力称为该力系的合力,原力系的各力称为合力的分力。将一个复杂的力系用一个简单的等效力系代替的过程称为力系的简化。这样,一个复杂力系是否为平衡力系,就可根据其等效的简单力系是否为平衡力系来判断。

(3) 力系的平衡条件及其应用。研究物体在各种力系作用下的平衡条件,根据这些条件可求出处于平衡状态物体上的某些未知作用力。

第1章 静力学基本概念及物体受力分析

1.1 静力学的基本概念、基本公理

1.1.1 力的概念

力是物体间相互的机械作用,这种作用对物体有两方面的作用效果:一方面使物体的机械运动状态发生变化;另一方面使物体的形状发生变化。力使物体的运动状态发生变化的效应,称为力的运动效应(外效应),而平衡状态是其特殊情形。力使物体形状发生变化的效应称为变形效应(内效应)。静力学只研究力的运动效应,力的变形效应将在材料力学中讨论。

实践表明,力对物体的作用效应取决于3个要素:即力的大小、力的方向和力的作用点。因此,力是矢量,可用有向线段表示力的大小,箭头指向表明其作用方向。在图中力的名称用斜体表示(黑体字表示矢量,如 $\boldsymbol{F}$)。本书采用国际单位制,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

一般而言,力作用在具有一定尺寸的面积上,当不考虑力的作用面大小时,可以认为力是作用在一点上,即为集中力。需要考虑力的作用面大小时,力的作用形式是分布力(面分布力或线分布力)。

实际上,两个物体接触处多数情况下不是一个点,而是具有一定尺寸的面积。因此无论是施力体还是受力体,其接触处所受的力都是作用在接触面积上的分布力。例如,桥面上静止的汽车通过轮胎作用在水平桥面上的力,当轮胎与桥面接触面积较小时,即可视为集中力 $\boldsymbol{F}_1$ 、 $\boldsymbol{F}_2$,如图1-1所示。由于路面以及桥梁自身具有重量,在平面问题中,这部分力当作单位长度所受力(线分布力)加载在桥梁上。线分布力的大小用符号 q 表示。 q 称为荷载集度,单位为N/m。

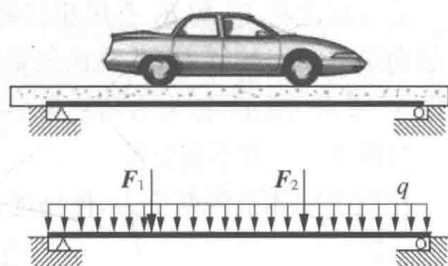


图1-1 集中力与分布力

1.1.2 物体的简化模型——刚体

所谓刚体,是指在力的作用下不变形的物体,即在力的作用下其内部任意两点的距离保

持不变的物体。事实上,在受力状态下不变形的物体是不存在的。当物体的变形很小,在所研究的问题中变形忽略不计,并不会对问题的性质带来本质的影响时,就可将该物体近似看作刚体。刚体是在一定条件下研究物体受力和运动规律时的科学抽象,这种抽象不仅使问题大大简化,也能得出足够精确的结果,它是一种理想化的力学模型。因此,静力学又称为刚体静力学。同样,在静力学部分中,如果没有特别的说明,我们所说的物体均指刚体。

1.1.3 静力学公理

静力学公理是人类在长期的实践和经验中对力学现象进行概括和总结得出的结论,静力学公理概括了力的一些基本性质,是建立静力学全部理论的基础。

公理1 力的平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点,合力的大小和方向,由以这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线确定。如图1-2(a)所示,设力 F_1 和 F_2 作用于物体的A点,以 F_R 表示其合力,则有

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

即合力矢 F_R 是两个分力矢 F_1 和 F_2 的矢量和。

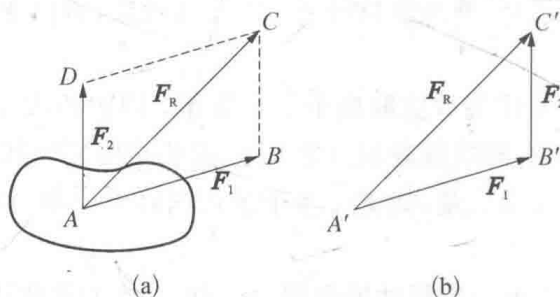


图1-2 力的平行四边形法则和三角形法则

亦可依次将 F_1 和 F_2 首尾相接画出,得到一个折线 $A'B'C'$,最后从第一个力的起点 A' 开始向第二个力的终点 C' 画出矢量线,形成折线的封闭边 $A'C'$,即为此二力的合力矢 F_R ,如图1-2(b)所示,称为力的三角形法则。

公理2 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力,使刚体处于平衡状态的充分与必要条件是:此两力大小相等、方向相反、作用线沿同一直线。这是一个最简单的平衡力系(不受力除外)。

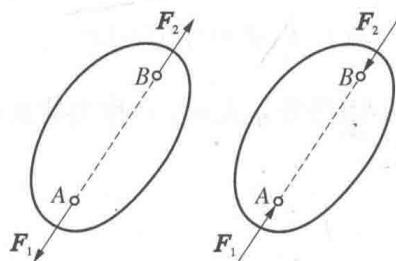


图1-3 二力平衡公理

这个原理揭示了作用于物体上最简单的力系在平衡时所必须满足的条件,它是静力学中最基本的平衡条件。对于刚体来说,这个条件既是必要的又是充分的,如图1-3所示。但对于非刚体,这个条件是必要的但是不充分的。例如,软绳受两个等值、反向、共线的拉力作用可以平衡,而受两个等值、反向、共线的压力作用就不能

平衡。

工程上将只受两个力作用而处于平衡状态的物体统称为二力构件(或二力杆)。该构件的受力特点是:两个力大小相等、方向相反,作用线是沿两个力作用点的连线,如图1-4所示。

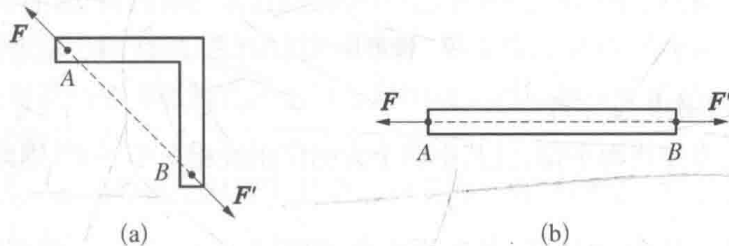


图1-4 二力构件

公理3 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。这是因为平衡力系对刚体作用的总效应等于零,它不会改变刚体的平衡或运动的状态。这一公理是研究力系等效替换与简化的重要依据。根据上述公理可以导出如下两个重要推论:

推论1 力的可传性原理

作用在刚体上某点的力,可以沿着该力的作用线移动到此刚体上任意一点,而不改变力对刚体的作用效果,如图1-5所示。用相同的力在A点推车与在B点拉车对车的作用效果是相同的。

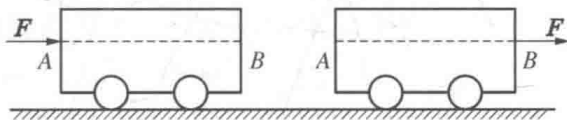


图1-5 力的可传性应用

证明:如图1-6所示,设力 F 作用于刚体上A点。在刚体力 F 作用线上任选一点B,在B点加一对平衡力 F_1 和 F_2 ,并使 $F_1 = -F_2 = F$ 。因为 (F_1, F_2) 是平衡力系,由公理3知,力系 (F, F_1, F_2) 与图a的力 F 等效。如图1-6(b)中 F 与 F_1 二力等值,反向,共线,构成一平衡力系,减去该平衡力系,得到图1-6(c),由公理3知,图c中的 F_2 与力系 (F, F_1, F_2) 等效。从而得到1-6(a)与图1-6(c)是等效的。这相当于将力 F 沿其作用线从A点移至B点,而不改变原力对刚体的效应。

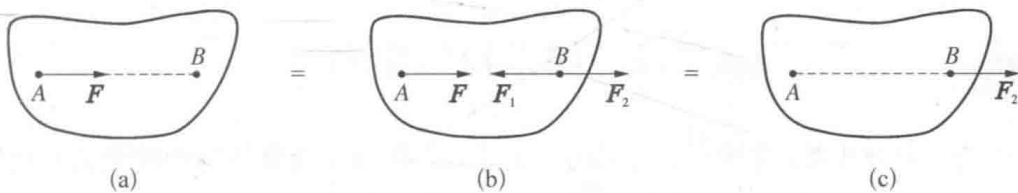


图1-6 力的可传性原理

公理3及推论1只适用于刚体而不适用于变形体。例如,在图1-7(a)中弹簧受平衡力 F_1 与 F_2 作用,产生拉伸变形。如果将此二力沿作用线移动到图1-7(b)所示的位置,弹簧产生压缩变形。如果减去平衡力系 (F_1, F_2) ,则弹簧的变形将消失。

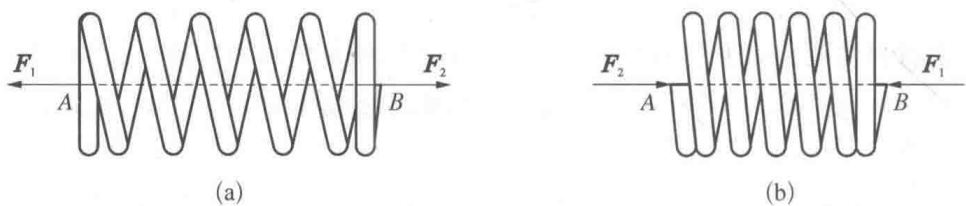


图 1-7 变形体受两力作用

推论 2 三力平衡汇交定理

若刚体受 3 个力作用而平衡,且其中两个力的作用线相交于一点,则此 3 个力必共面且汇交于同一点。

证明: 刚体受三力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用而平衡,如图 1-8(a)所示。根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 沿力线移到汇交点 O ,并合成为一个力 F_{R12} ,如图 1-8(b)所示。根据二力平衡条件, F_3 与 F_{R12} 必等值、反向、共线,所以 F_3 必通过 O 点,且与 F_1 、 F_2 共面,定理即已证明。

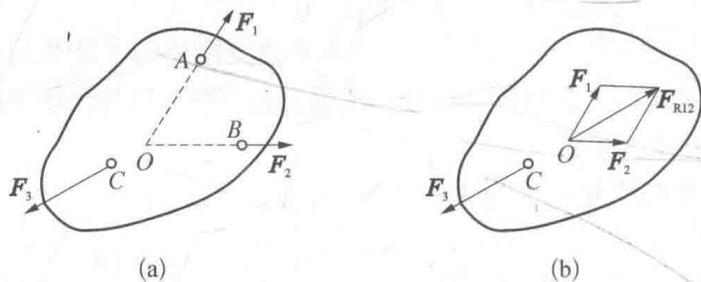


图 1-8 三力平衡汇交定理

公理 4 作用与反作用定律

两物体间相互作用的力,总是大小相等、作用线相同而指向相反,分别作用在这两个物体上。若用 F 表示作用力,则用 F' 表示反作用力。

这个定律概括了自然界中物体间相互作用力的关系,表明一切力总是成对出现的,有作用力就必有反作用力,它们彼此互为依存条件,同时存在,又同时消失。不论对刚体还是变形体,不论对静止的物体还是运动的物体,作用与反作用定律都是适用的。

1.2 约束及约束力

物体的受力分两类:主动力和约束力。主动力是能够引起物体运动或使其有运动趋势的力,如重力、风力、土压力和水压力等。主动力往往是给定的或已知的。在一般情况下,由于有主动力的作用,才引起约束力。

1.2.1 约束与约束反力

物体按照运动所受限制条件的不同可以分为两类:自由体与非自由体。自由体是指在

空间任意方向有位移的物体,即运动不受任何限制。如空中飞行的炮弹、飞机、人造卫星等。非自由体是指在某些方向的位移受到一定限制而不能随意运动的物体,例如在钢轨上行驶的列车,置于地板上的课桌。对非自由体的位移起限制作用的周围物体称为约束,如铁轨是列车的约束,地板是课桌的约束。

由于有约束存在,使得物体在某方向的位移受到阻碍限制,因此约束与被约束物体之间有相互作用力,该作用力称为约束力。约束力的作用点在约束与被约束物体的接触处。约束力的方向,总是与该约束所能阻止的运动方向相反。约束力的大小是未知的,可以根据下一章的平衡方程计算得到。

静力学求解的主要任务就是对研究对象进行受力分析,再根据力系的平衡条件,利用已知主动力确定约束力。

然而约束力与约束形式有很大的关系。下面介绍几种工程中常见的简单约束及其约束力。

1.2.2 常见约束类型及其约束力

1) 柔索约束

由绳索、链条、皮带等所构成的约束统称为柔索约束,由于柔索本身只承受拉力,所以它给物体的约束力也只能是拉力。因此,柔索对物体的约束力作用在接触点上,方向沿柔索且背离物体,限制物体沿柔索伸长方向运动。如图 1-9(c)所示,以灯为研究对象,因为灯沿绳索向下的位移受到限制,所以灯受到绳索的约束力 F_T 的方向与位移限制的方向相反,即沿绳索向上。

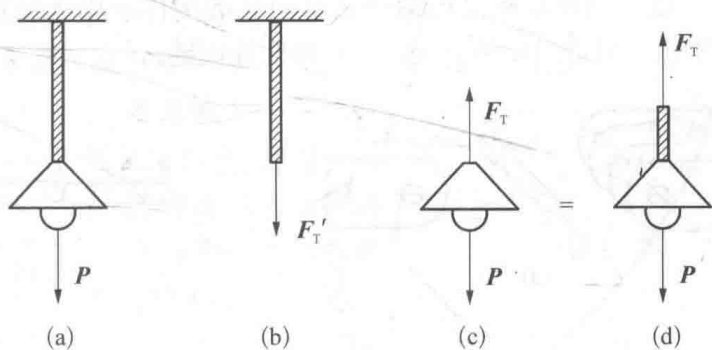


图 1-9 柔索约束

由于绳索只受拉力,如图 1-9(d)所示,将柔索截开并与灯作为一个整体考虑,绳索部分也只受拉力,此时研究对象受力仍与图 1-9(c)等效。

如图 1-10 所示,分析皮带轮所受的约束力,可将与轮接触的部分柔索和轮子一起作为研究对象。此时作用于柔索的拉力沿绳索方向背离物体,即为轮所受皮带的约束力。

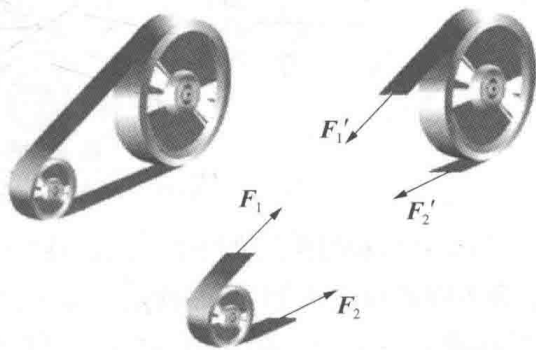


图 1-10 柔索的受力