

工程力学



成人中专试用教材



天津市第二教育局编
吴德风 主编
高等教育出版社

成人中专试用教材

工 程 力 学

天津市第二教育局编

吴德风 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书为国家教育委员会成人教育司和高等教育出版社共同组织编写的成人中等专业学校机械类专业系列教材之一。

全书分静力学、材料力学、运动力学三篇,共二十二章,是根据国家教委成人教育司组织制定的成人中等专业学校机械类《工程力学教学大纲》编写的。本书突出成人教育特点,以工程力学基本知识、基本理论及基本技能为主要内容,贯彻少而精的原则,强调应用,叙述通俗,便于自学。每章末均有小结、思考题和习题,书后附有习题答案。

本书是成人中等专业学校机械类的统编教材,也可供岗位培训、工程技术人员自学选用。

成人中专试用教材

工 程 力 学

天津市第二教育局编

吴德凤 主编

*

高等教育出版社 出版

高等教育出版社 发行

青浦任屯印刷厂 印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 20.85 字数 458,000

1991年4月第1版 1991年6月第1次印刷

印数 0,001—17,000

ISBN 7-04-009417-4/TB·186

定价 6.45 元

出版说明

随着教育体制改革的深化,成人中专的教学质量在不断提高。为了保证成人中专的办学质量,满足各类成人中专(包括广播电视中专、干部中专、职工中专、函授中专等)对教材的要求,国家教委成人教育司委托省市成人中专协作组制定了成人中专部分专业的教学计划和教学大纲,组织编写了配套的教材,由高等教育出版社出版。

本次组织编写的专业教材是,机械专业、工业企业财务专业、商业企业财务专业、工业企业管理专业、商业企业经营管理专业等五个专业的部分教材,具体课程见下表:

机械专业	工业(商业)企业财务会计	工业企业管理	商业企业经营管理
电工技术基础	实用统计	管理数学	商品知识与商品经营
电子技术基础	工业会计*	dBASIC III 在经济管理中的应用	商业心理学
工程力学	商业会计*	工业企业经济活动分析*	商业法规常识
机械制图	经济法	工业技术基础	中国经济地理
公差配合与技术测量	审计学基础	会计原理与工业会计	市场学*
机械设计基础	会计原理*	统计原理与工业统计	商业财务与会计
工程材料及金属热加工	商业企业财务管理与分析	工业企业管理原理	商业计划与统计
物理(上、下)	工业企业管理*	工业企业生产管理学	商业企业经营管理*
	商办工业会计	工业企业经营管理学	
	财政税务		
	建设单位会计		
	工业企业财务管理与分析		

* 已出版,待修订。

教材在编写时,力求突出成人教育的特点,教材内容以实例引路,深入浅出、应用为主,并注意必要的内容更新;在深浅度上,相当于全日制中等专业同类教材的水平,适合初中毕业程度的成人学习。在编排格式上考虑到便于自学的要求,每章的前面有本章学习指导或内容提要,每章末有本章小结,并附有思考题和练习题。

本批教材的编写工作是在有关部委、省、市教育行政部门的直接组织和领导下进行的,每本教材在定稿前都按教学大纲的要求召开了编写提纲讨论会和审稿会,请各地的专家和有丰富教学经验的教师参加审定。在此我们向为本批教材作出贡献的部门、学校和有关同志表示衷心地感谢。

本批教材自 1991 年秋季起陆续供应,并对主要教材陆续配套出版学习辅导书,欢迎广大读者选用并提出宝贵意见。

高等教育出版社
职业教育成人教育编辑部

前 言

本书为国家教育委员会成人教育司和高等教育出版社共同组织编写的成人中等专业学校机械类专业系列教材之一,是根据国家教委成人教育司于1989年10月在上海市组织有十二省市代表审定的成人中等专业学校机械类《工程力学教学大纲》(草案)编写的。

这本教材的结构和内容,突出了成人教育特点,以基本知识、基本理论和基本技能为主要内容;贯彻了少而精的原则,对非基础内容,删减了其理论推导;组织内容既考虑到其自身的科学系统,而且强调了针对性和应用性,注意掌握深度和广度,突出重点,纵横衔接适当,避免重复;重视例题和习题的实际意义和基本方法的运用;每章都有小结和思考题,充分注意到培养学生的实际应用能力;另外,教材的文字通俗,叙述由浅入深,循序渐进,便于自学。

根据成人中等专业学校机械类《工程力学教学大纲》(草案)的规定,本课程的学时总数为160学时。其中,静力学32学时;材料力学88学时;运动力学40学时。

1990年5月在天津市召开了本书初稿的审稿会,由天津大学杨海元教授担任主审,参加审稿的还有四川省机械工业学校张家祥高级讲师和天津市一轻局职工中等专业学校曹深泽讲师。他们对初稿的整体结构和各章内容作了认真的讨论,提出了许多很好的修改意见,对本书的定稿起了十分重要的作用,谨此致谢。

天津市第二教育局和天津市工农教育教学研究室具体负责本书编写的组织工作。本书的绪论和第二篇材料力学由吴德风编写;第一篇静力学和第三篇运动力学由李庄编写;吴德风担任主编。参加编写工作的还有陆沅理、段锋和李平。

由于编者水平所限,书中难免存在缺点和不妥之处,恳切希望广大教师和读者批评指正。

编 者
1990年7月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

引言	3
第一章 静力学的基本知识	4
§ 1-1 静力学的基本概念	4
§ 1-2 静力学公理	5
§ 1-3 约束和约束反力	7
§ 1-4 物体的受力分析和受力图	9
小结	11
思考题	12
习题	12
第二章 平面汇交力系	15
§ 2-1 平面汇交力系合成的几何法	15
§ 2-2 平面汇交力系平衡的几何条件	16
§ 2-3 平面汇交力系合成的解析法	17
§ 2-4 平面汇交力系平衡的解析条件与平衡方 程	19
小结	22
思考题	23
习题	23
第三章 力矩和平面力偶系	25
§ 3-1 力矩	25
§ 3-2 力偶与力偶矩	26
§ 3-3 平面力偶系的合成与平衡	28
§ 3-4 力的平移定理	29
小结	30
思考题	31
习题	31
第四章 平面任意力系	33
§ 4-1 平面任意力系的简化	33
§ 4-2 平面任意力系的平衡方程及应用	35
§ 4-3 平面平行力系的合成和平衡	38
§ 4-4 物体系统的平衡	39
小结	41
思考题	41
习题	42
第五章 空间力系与重心	45
§ 5-1 力在空间直角坐标轴上的投影	45
§ 5-2 力对轴的矩	47
§ 5-3 空间任意力系的平衡方程	48
§ 5-4 空间任意力系的平面解法	51

§ 5-5 空间平行力系的中心和转体的重心	52
小结	55
思考题	56
习题	56
第六章 摩擦	59
§ 6-1 滑动摩擦	59
§ 6-2 摩擦角与自锁	61
§ 6-3 考虑摩擦时的平衡问题	62
§ 6-4 滚动摩擦简介	63
小结	64
思考题	65
习题	65

第二篇 材 料 力 学

引言	67
第七章 拉伸和压缩	69
§ 7-1 轴向拉伸和压缩的概念	69
§ 7-2 内力、截面法、轴力	69
§ 7-3 直杆轴向拉伸或压缩时横截面上的应力	72
§ 7-4 轴向拉伸或压缩时的变形	74
§ 7-5 材料在拉伸和压缩时的机械性质	76
§ 7-6 许用应力和安全系数	81
§ 7-7 轴向拉伸或压缩时的强度计算	82
§ 7-8* 拉伸、压缩静不定问题简介	85
§ 7-9 应力集中的概念	87
小结	87
思考题	89
习题	90
第八章 剪切和挤压	94
§ 8-1 剪切和挤压的概念	94
§ 8-2 剪切和挤压的实用计算	94
§ 8-3 剪应变、剪切虎克定律	100
小结	101
思考题	102
习题	103
第九章 扭转	105
§ 9-1 圆轴扭转的概念	105
§ 9-2 外力偶矩、扭矩和扭矩图	105
§ 9-3 圆轴扭转时的应力和变形	109
§ 9-4 圆轴扭转时的强度计算和刚度计算	113
小结	116

思考题	117
习题	118
第十章 平面图形的几何性质	120
§ 10-1 形心和静矩	120
§ 10-2 惯性矩和惯性半径	122
§ 10-3 组合图形的惯性矩	124
小结	126
思考题	126
习题	126
第十一章 弯曲	128
§ 11-1 平面弯曲的概念	128
§ 11-2 梁的计算简图	128
§ 11-3 梁弯曲时的内力——剪力和弯矩	130
§ 11-4 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	132
§ 11-5 弯矩、剪力与分布载荷集度间的关系	136
§ 11-6 梁弯曲时横截面上的正应力	140
§ 11-7 梁弯曲时正应力强度计算	146
§ 11-8 梁弯曲时剪应力强度计算简介	152
§ 11-9 提高弯曲强度的一些措施	154
§ 11-10 关于梁的变形	157
§ 11-11 用叠加法计算梁的变形	163
§ 11-12 提高弯曲刚度的一些措施	166
§ 11-13 静不定梁的概念	168
小结	170
思考题	171
习题	172
第十二章 组合变形	178
§ 12-1 组合变形的概念	178
§ 12-2 弯曲与拉伸(压缩)组合变形的强度计算	178
§ 12-3 应力状态分析	180
§ 12-4* 强度理论简介	186
§ 12-5 圆轴弯曲与扭转组合变形的强度计算	188
小结	191
思考题	193
习题	194
大型作业	196
第十三章 疲劳强度	201
§ 13-1 交变应力和疲劳破坏	201
§ 13-2 交变应力的循环特征	202
§ 13-3 材料的持久极限	204
§ 13-4 影响构件持久极限的主要因素	205
§ 13-5 转轴疲劳强度校核	206
§ 13-6 提高构件疲劳强度的措施	208
小结	208
思考题	209
习题	209
第十四章 压杆稳定	211
§ 14-1 压杆稳定的概念	211

§ 14-2 细长压杆的临界压力	212
§ 14-3 临界应力、欧拉公式的适用范围及经验公式	213
§ 14-4 压杆稳定校核	219
§ 14-5 提高压杆稳定性的措施	223
小结	223
思考题	224
习题	225

第三篇 运动力学

引言	227
第十五章 点的运动	228
§ 15-1 确定动点位置的方法、点的运动方程	228
§ 15-2 用自然法来表示点的速度和加速度	230
§ 15-3 用直角坐标法来表示点的速度和加速度	234
小结	235
思考题	236
习题	236
第十六章 刚体的基本运动	238
§ 16-1 刚体的平动	238
§ 16-2 刚体的定轴转动	238
§ 16-3 定轴转动的刚体上各点的速度和加速度	241
§ 16-4 定轴轮系的传动比计算	244
小结	244
思考题	245
习题	245
第十七章 点的合成运动	247
§ 17-1 点的合成运动的概念	247
§ 17-2 绝对速度、相对速度和牵连速度	248
§ 17-3 速度合成定理	249
小结	251
思考题	251
习题	251
第十八章 刚体的平面运动	253
§ 18-1 刚体平面运动的分析	253
§ 18-2 平面运动分解为平动与转动	253
§ 18-3 平面图形上各点的速度	254
小结	260
思考题	260
习题	261
第十九章 质点的动力学基本方程	262
§ 19-1 动力学基本定律	262
§ 19-2 质点的动力学基本方程	263
§ 19-3 质点动力学的两类问题及解法	264
小结	267
思考题	268

习题	268	§ 21-4 功率与机械效率	284
第二十章 刚体定轴转动的动力学基本方程	270	小结	285
§ 20-1 刚体定轴转动的动力学基本方程	270	思考题	286
§ 20-2 转动惯量	271	习题	286
§ 20-3 转动惯量的平行轴定理	273	第二十二章 动静法	288
§ 20-4 刚体定轴转动的动力学基本方程的应用	274	§ 22-1 惯性力	288
小结	275	§ 22-2 达朗伯原理	289
思考题	276	§ 22-3 动静法及其应用	290
习题	276	§ 22-4 构件的动应力计算	293
第二十一章 动能定理	278	小结	294
§ 21-1 功	278	思考题	295
§ 21-2 动能	280	习题	295
§ 21-3 动能定理	281	附录 型钢表	297
		习题答案	309

结 论

工程力学是一门研究物体机械运动和构件承载能力的科学。这里所说的机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化,而构件的承载能力则是指机械零件和结构部件在工作时安全可靠地承担外载荷的能力。

例如,实际工程中常见的起重机,在设计时,要确定各构件的受力情况,就必须对它们在静力平衡状态下进行受力分析,研究作用力应满足的条件;当构件处于运动状态时,即起重机吊运重物过程中的启动、刹车、回转、运行等,就需要对构件进行运动分析和动力分析,这些问题都是研究物体机械运动所涉及的内容。另外,要保证起重机能安全吊运重物,各构件必须安全可靠地工作,也就是说构件不能发生断裂或有过大的变形,因此,在讨论已知构件受力的情况下,还要合理选用材料并设计构件的尺寸,这些问题是属于研究构件承载能力方面的内容。

针对工程力学内容的科学系统,本书将分设静力学、材料力学和运动力学各篇章进行详细论述。

在成人中等专业学校的工科机械类专业中,工程力学是一门技术基础课程,是基础科学与工程技术的综合。掌握工程力学的知识,是为了学习后继课程,具备设计构件的初步能力;而且还有助于从事机械设备的维护修理、机械加工等方面的实际工作。

在研究工程力学时,实验具有重要意义。它不仅是验证理论正确性的主要手段,还可为理论分析提供所需要的资料,作为简化计算的依据。

在研究工程力学的过程中,对于复杂的实际问题,要抓住问题的本质,忽略次要因素,使讨论的问题简单化,通常将研究对象抽象化为力学模型来进行讨论。例如,研究物体平衡时,其变形极其微小,就可以忽略这一次要因素,用抽象的刚体(在力作用下不变形的物体)这一模型来取代实际物体;而在研究物体的力与变形规律时,变形是主要因素,就需要用变形固体模型来取代实际物体。又如,讨论构件的计算问题时,要将实际问题抽象为计算简图来进行分析。因此,对于不同问题,采用不同的力学模型,是研究工程力学问题的重要方法。

学习工程力学,要认真理解基本概念和已被实践证明是正确的基本定律,并且要学会运用能解决工程力学问题的定理和计算公式。在学习中,要认真研究和演算一定数量的思考题和习题,并重视将所学的知识与实践相联系,以巩固和不断加深对知识的理解,培养分析问题和解决问题的能力。

第一篇 静 力 学

引 言

静力学是研究物体机械运动的特殊情况,即物体的平衡问题,主要研究作用在刚体上的力系的简化方法和刚体在力系作用下的平衡条件。

静力学理论是从生产实践中发展起来的,是对机械零件和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。

第一章 静力学的基本知识

§1-1 静力学的基本概念

一、力的概念

力的概念是人类在劳动中产生的。例如,人挑担、推车、举锤等都要用力。力的作用不仅存在于人与物体之间,而且广泛地存在于物体之间。例如,空中自由下落的物体,机车牵引列车,锻锤打击锻件等,都是力的作用。大量事实说明:力是物体间的相互作用,这种作用使物体的运动状态发生变化或使物体产生变形。力使物体机械运动状态发生变化的效应称为力的外效应;物体受力而产生变形的效应称为力的内效应。静力学只研究力所产生的外效应,其内效应将在第二篇材料力学中研究。

力是物体间的相互作用,力不能脱离物体而存在。某一物体受到力的作用,一定有另一物体对它施加这种作用。因此,在分析物体受力时,必须分清哪个是受力物体,哪个是施力物体。至于力的作用方式,可以是物体间的直接作用,例如机车牵引列车;也可以是“场”与物体的作用,例如地球对物体的引力。

力对物体的作用效果是由力的大小、方向和作用点这三个因素所决定的,称为力的三要素。

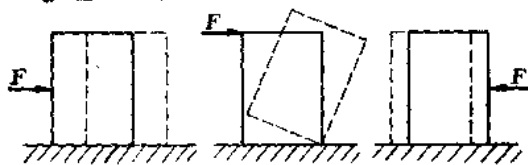


图 1-1

这三个要素中,任何一个改变时,都会改变力对物体的作用效果。例如图 1-1,用手推一重物,若力的大小不同或施力的作用点不同,或施力的方向不同,都会产生不同的效果。

力是具有大小和方向的量,所以力是矢量。

力的三要素可用带箭头的有向线段(矢线)表示。线段的长度(按一定比例尺画)表示力的大小,箭头的指向表示力的方向,线段的起点或终点表示力的作用点,通过力的作用点,沿力的方向所画直线,称为力的作用线。本篇用黑体字表示矢量,例如 $\mathbf{F}$; 而用普通字体的同一字母 F 则代表力矢的大小。

力的单位,采用国际单位制(SI)的单位牛顿,符号为牛(N),或采用千牛(kN)。在工程中,力还常采用工程单位制的单位公斤力(kgf)。它们间换算关系为 $1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N}$ 。

二、刚体的概念

在静力学中,研究力所产生的外效应时,将受力的物体假想为一刚体。所谓刚体,是指在力的作用下不发生变形的物体,也就是刚体受力作用时,其内部任意两点间的距离永远保持不变。刚体是一个抽象化的概念。实际结构或机器上的构件并非真正的刚体,受力作用后会发生变形,但此变形通常甚微。若忽略变形,建立一个理想模型——刚体,则可使问题的分析大

为简化。但须注意,在研究力所产生的内效应时,物体便不得视为刚体。此时物体为一可变形的物体。此类问题将在材料力学中讨论。

由若干个刚体组成的系统,称为物体系统,简称物系。

三、平衡的概念

作用在刚体上的一群力称为力系。物体受一力系作用,而相对于地球静止或作匀速直线运动,则称该物体处于平衡状态,这时作用于物体上的力系称为平衡力系。实际上,物体的平衡总是暂时的、相对的,绝对的平衡是不存在的。一个物体相对于地球是静止的,但同时又随地球而运动。工程中所遇到的平衡问题一般是指相对于地球而言。

§ 1-2 静力学公理

静力学公理是人类在长期的生活和生产实践中将所积累的经验,加以抽象、归纳、总结而建立的。它概括了力的一些基本性质,是建立静力学全部理论的基础。

公理一(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和必要条件是:两个力的大小相等、方向相反,且作用同一直线上。

公理一揭示了作用于物体上最简单的力系平衡时所必需满足的条件。图 1-2 表示了满足公理一的情况,用矢量表示,即:

$$\mathbf{P}_1 = -\mathbf{P}_2$$

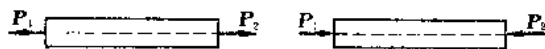


图 1-2

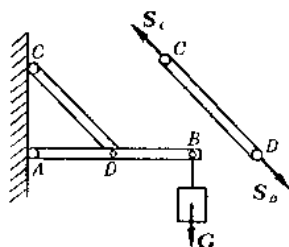


图 1-3

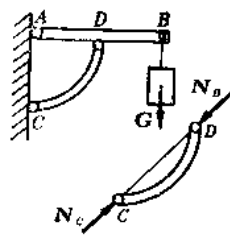


图 1-4

工程上,将只受两个力作用而平衡的构件,称为二力杆或二力构件。二力构件平衡时,二力必沿作用点的连线,且两作用力的大小相等,方向相反。如图 1-3 中的杆 CD,若杆自重不计,即是一个二力杆;又如图 1-4 中的构件 CD,也是一个二力构件。

公理二(加减平衡力系公理) 在作用于刚体的任意力系上添加或取去任何平衡力系,并不改变原力系对于刚体的效应。

它是力系简化的重要理论依据,在以后推导许多定理时要用到它。

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,其合力仍作用于该点上,合力的大小和方向,是用以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

如图 1-5 所示, F_1 、 F_2 为作用于 O 点的两个力,以这两个力为邻边作出平行四边形

$OACB$, 则对角线 OC 即为 F_1 与 F_2 的合力 R 。合力矢等于原两力的矢量和, 可用矢量式表示, 即,

$$\underline{R = F_1 + F_2}$$

合力的大小, 可由余弦定理求出, 即,

$$\underline{R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha}}$$

其中 α 为 F_1 与 F_2 的夹角。

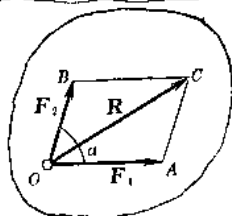


图 1-5

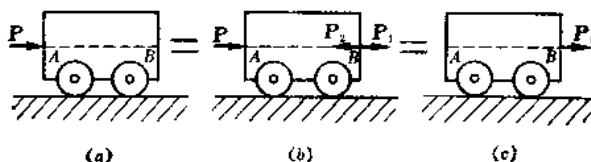


图 1-6

公理四(作用与反作用公理) 两个物体间的作用力与反作用力总是成对出现, 且大小相等、方向相反, 沿着同一直线, 但分别作用在两个物体上。

△ 必须注意公理一和公理四的区别。作用力与反作用力是分别作用在两个物体上, 因此作用力与反作用力不能看成是一平衡力系而互相抵消。

根据上述静力学公理, 可以导出两个关于力的性质的重要推论。

推论 1(力的可传性原理) 作用于刚体上某点的力, 可以沿其作用线移到刚体上任意一点, 而不会改变该力对刚体的作用效果。

证明 如图 1-6(a), 设有力 P 作用于小车上的 A 点, 如图 1-6(b), 在力 P 的作用线上任取一点 B , 并在 B 点加一平衡力系 P_1 与 P_2 , 使 $P_1 = -P_2 = P$ 。根据公理二可知, 力系 P 、 P_1 、 P_2 对刚体的作用, 与力 P 单独作用的效果相同。由于 P_2 和 P 等值、反向、共线。根据公理二, 又可以将它们从刚体上取消。于是如图 1-6(c), 刚体上就只剩下力 P_1 , P_1 的大小、方向和 P 相同, 就相当于力 P 沿着作用线移到了 B 点。经验表明, 用力 P 在 A 点推小车, 与作用力 P_1 在 B 点拉小车, 两者的作用效果是相同的。但应注意, 这个推论只适用于刚体, 而不适用于变形体。

推论 2(三力平衡汇交定理) 刚体受不平行的三个力作用而平衡时, 这三个力的作用线, 必在同一平面内且汇交于一点。

证明: 如图 1-7(a), 设有三个互不平行的力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用在刚体的同一平面内 A 、 B 、

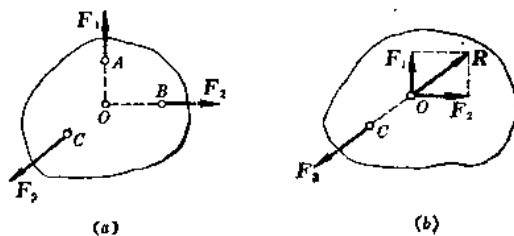


图 1-7

O 三点上,且此三力互相平衡。根据力的可传性,可将 F_1 、 F_2 分别沿其作用线移到它们的交点 O 上,再根据力的平行四边形法则,如图 1-7(b)得 F_1 与 F_2 的合力 R 。根据二力平衡公理, R 与 F_3 必在同一直线上,所以 F_3 必通过 O 点,于是 F_1 、 F_2 、 F_3 汇交于 O 点。

由此可见,刚体受不平行的三力作用而平衡时,三力必汇交于一点。但是注意,三个力汇交于一点,并不一定平衡。

在工程上常遇到只受三个不平行的力作用而平衡的构件,称三力构件。若三个力中已知两个力的交点及第三个力的作用点,即可判断定出第三个力作用线的方位。

§ 1-3 约束与约束反力

如果物体在空间沿任何方向的运动都不受限制,这种物体称为自由体,例如:飞行的飞机、火箭等。在日常生活和工程中,物体通常总是以各种形式与周围的物体互相联系并制约,则这种运动受到限制的物体称为非自由体,而限制物体运动的周围物体称为约束,例如受轴承的限制的轴,受床身导轨限制的车床尾架等,均为非自由体,而轴承和床身导轨则为约束。

因为约束限制物体的运动,使其沿某些方向的运动被阻挡,从而使物体的运动状态得到改变。所以约束的作用实际上就是一种力的作用。因此,物体受的力一般可分为两类:凡能主动引起物体运动状态改变或使物体运动状态有改变趋势的力,称为主动力,例如:物体受的重力,拉力,推力等。凡来自约束而对物体的运动起限制作用的力称为约束反力,如地脚螺栓、轴承、绳索和撑架等对物体约束的力。一般情况下主动力的方向和大小是已知的,而约束反力的方向和大小则是未知的,而往往又是所要求的。约束反力取决于主动力作用情况和约束的形式。约束反力的方向,总是和该约束所能阻止的运动方向相反。

下面,介绍工程上常见的几种约束类型及确定约束反力的方法。

一、柔性约束

由柔软的绳索、链条、皮带等所形成的约束称为柔性约束。柔性约束本身只能承受拉力,不能承受压力。其约束反力作用于联接点,方向沿着绳索而背离物体。通常用字母 T 或 S 表示这类约束反力。例如图 1-8(a) 中,联接铁环 A 的钢丝绳,吊起一减速箱盖,其中箱盖的重力 G 是主动力,根据柔性约束反力的特点,可以确定钢丝绳给铁环 A 的力一定是拉力,如图 1-8(b) 中的 T_1 、 T_2 和 T 。钢丝绳作用给箱盖的力 T'_1 和 T'_2 也是拉力。

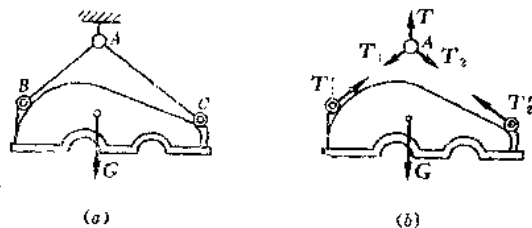


图 1-8

图 1-9(a) 所示带传动中, 柔性体的约束反力如图 1-9(b) 所示沿轮缘的切线方向。胶带拉紧时两边都产生拉力, S_1 和 S'_1 等值, 反向而共线; S_2 和 S'_2 也等值, 反向而共线。对于光滑的绳索, 各处的拉力都相等。

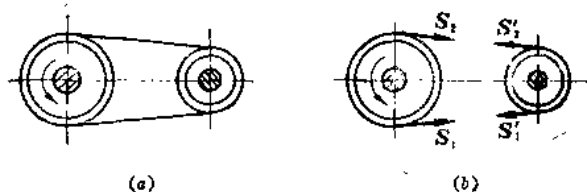


图 1-9

二、理想光滑面约束

两个互相接触的物体, 如接触面很光滑, 可略去摩擦不计, 这类约束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法线方向的运动。因此光滑面的约束反力的方向沿接触面的法线而指向物体。通常用字母 N 表示法向反力。如图 1-10(b) 所示曲面对于钢球的反力, 又如图 1-11(b) 所示直杆 A 、 B 、 C 三处的约束反力。

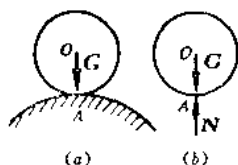


图 1-10

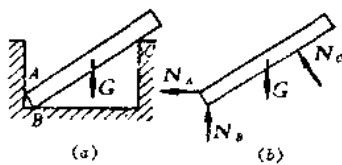


图 1-11

三、圆柱铰链约束

圆柱铰链简称圆柱铰, 普通称为销钉。由圆柱铰所构成的约束, 称为圆柱铰链约束, 如图 1-12(a) 所示。圆柱铰是由两个端部带圆孔的构件, 用一销钉联接而成。图 1-12(b) 所示是圆柱铰的简化示意图。这类约束只能限制物体的任意径向移动, 不能限制物体绕圆柱销轴线的转动和平行于圆柱销轴线的移动。由于圆柱销与圆柱孔是光滑曲面接, 则约束反力应是沿接触线上的一点到圆柱销中心的连线上, 垂直于轴线, 如图 1-12(c) 所示。因为接触线的位置不能预先确定, 因而约束反力的方向也不能预先确定。通常把它分解为 x 方向和 y 方向的两个互相垂直的约束反力, 用 X_A 和 Y_A 表示如图 1-12(d) 所示。

圆柱铰链约束在工程上的应用很广, 常见的有以下几种:

1. 固定铰链支座

如图 1-13(a) 所示, 是一种常用的圆柱铰链联接, 它由一个固定底座和一个构件用销钉联接而成, 简称铰支座。这种支座的简图如图 1-13(b) 所示。铰支座约束的反力在垂直于圆柱销轴线的平面内, 通过圆柱销的中心, 方向不定, 通常用相互垂直的两个分力表示, 如图 1-13(c) 所示。