



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专基础课规划教材
机械工业出版社精品教材

第2版

工程力学

GONGCHENG LIXUE

刘思俊 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专基础课规划教材
机械工业出版社精品教材

工 程 力 学

第 2 版

主 编	刘思俊			
副主编	范荣昌	李 振	王骏东	
参 编	卜新民	郭红星	李荣昌	樊爱珍
	张根劳	任建国	贾玉梅	张 驰
	蒋静琪			
主 审	屈均利			



机 械 工 业 出 版 社

本书普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是在机械工业出版社高职高专机电类“十五”规划教材《工程力学》的基础上修订完成的。

本书的内容分为两部分。第一部分为工程力学的基本知识、基本理论和基本研究方法，主要介绍如何建立工程构件的力学模型，构件的受力分析和平衡计算，构件的变形分析和强度、刚度计算，以及构件的运动分析和动力学计算。第二部分为阅读与理解内容，编排在各章之后，主要介绍与本章内容相关的力学基本理论的延伸、扩展和应用实例，旨在拓宽学生的基本知识面，培养学生的创新意识和创新能力，也为青年教师组织教学提供了必要的参考。

本书可作为高职高专院校、成人高校机电类、近机类各专业教材，也可作为初、中级工程技术人员的参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

工程力学/刘思俊主编. —2版. —北京：机械工业出版社，
(2011.6重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专基础课规划教材

机械工业出版社精品教材

ISBN 978-7-111-09049-6

I. 工… II. 刘… III. 工程力学-高等学校：技术学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 041359 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：李大国 宋学敏 版式设计：冉晓华

责任校对：李秋荣 责任印制：乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011 年 6 月第 2 版第 16 次印刷

184mm×260mm·17.75 印张·438 千字

128001—132000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-09049-6

定价：29.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是在机械工业出版社高职高专机电类“十五”规划教材《工程力学》的基础上修订完成的。原教材以其“结构体系合理，章节内容整合恰当，分节合适，连贯性好，便于教师组织课堂教学；文字简练，说理透彻，举例典型，循序渐进，符合认知规律，便于学生预习阅读和自学；教材内容简练，删减取舍恰当，图表数据清晰，符号标准规范；编辑校对和印刷质量上乘，定价合适”的鲜明特色，已出版印刷14次，全国有50余所高职高专院校先后选用，得到了普遍认同。

本次教材修订保持了原教材在素质教育和应用能力培养方面的特色和好的做法。本着以“理论推导从简，突出工程应用，注重提高教学质量”的原则，着重从以下几个方面对教材内容进行了修订和重新整合。

(1) 教材修订突出了“二杆结构”的典型力学简图的应用，以“二杆结构”作为力学基本概念和基本理论的载体。从课程初始阶段就以二杆结构简图为中心，使学生熟练其受力分析和平衡计算，为杆件的变形分析和强度计算、运动分析和动力学计算打下良好的基础，既精练了教材内容，又缩减了教材篇幅。

(2) 对于圆轴扭转切应力和弯曲应力公式在实验观察和平面假设的基础上，通过变形的可能性直接给出应力公式。将研究几何、静力学关系的推证放在了章后的阅读与理解中，为教师组织教学提供了选择的余地。

(3) 弯曲内力分析对于高职高专生来说，是一个难点。修订内容降低了内力方程的教学要求，教材内容侧重于内力图简便画法的总结和应用举例。

(4) 教材修订降低了运动力学的教学要求，教材内容侧重于构件基本运动的分析和计算，对合成运动和平面运动只作了简介。为使教材能够反映出不同高职高专院校对各章节内容的不同教学要求，作者对每章后的思考题、习题都作了进一步的精细修订。

本次修订为教材配套编写了一本《工程力学练习册》，并配有教学光盘（免费赠送给使用本书授课的教师）。

本书由刘思俊担任主编，由西安科技大学屈均利教授主审。

由于编者水平有限，难免错误和不妥之处，恳请读者提出批评指正。

编者

第1版前言

本书是为了适应我国高职高专教育大力发展的需要,为了完善高职高专教材的配套建设,参照教育部关于高职高专教育基础课程教学基本要求和高职高专专业人才培养目标及规格的主要精神组织编写的,可作为高职高专院校、成人高校机电类、近机类各专业教材。

本书广泛吸取了各高职院校近年来力学课程教学改革的成功经验和好的做法,围绕高职高专培养技术应用性人才的目标,本着以必需够用为度、理论推导从简、突出工程实用的原则,尽力使文字叙述简明,内容精练,例题、习题选择与工程实际密切。本书在贯彻素质教育和应用性能力培养方面,具有以下的特点:

(1) 全书贯穿了建立工程构件力学模型这条主线。突出了力学建模在课程内容中的主导地位,对于力学建模的重要性及实际应用意义进行了必要的叙述,各章都以工程实例及力学模型开篇,弥补了现行教材在力学建模能力培养方面的不足。

(2) 部分章后增加了阅读理解内容。主要介绍了与本章内容相关的力学基本理论的延伸、扩展和应用实例以及相关的新知识。其目的旨在拓宽学生的基本知识面,培养创新意识和创新能力,也为青年教师组织教学提供了必要的参考。

参加本书编写的有陕西工业职业技术学院、杨凌职业技术学院、包头职业技术学院、陕西国防工业职业技术学院、西安航空工程职业技术学院、陕西能源工业职业技术学院、江苏省电大职业技术学院、陕西农业机械化学校、陕西省纺织职工大学等院校具有丰富教学经验的教师。具体分工为:卜新民(第一章、第二章),范荣昌(第三章、第十六章),郭红星(第四章),刘思俊(第五章、第八章、各章阅读与理解),李荣昌(第六章),樊爱珍(第七章),张根劳(第九章),李振(第十章、第十二章),任建国(第十一章),贾玉梅(第十三章),王骏东(第十四章、第十五章),张驰(第十七章),蒋静琪(第十八章)。

本书由刘思俊担任主编,范荣昌、李振、王骏东担任副主编,第1版由孙文超主审。

由于编者水平有限,难免出现错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

第2版前言	
第1版前言	
绪论	1
第一章 构件静力学基础	3
第一节 力的基本概念和公理	3
第二节 常见约束及其力学模型	5
第三节 构件的受力图	8
阅读与理解	10
小结	12
思考题	13
习题	14
第二章 力的投影和平面力偶	16
第一节 力的投影和力的分解	16
第二节 平面汇交力系的合成与平衡	17
第三节 力矩和力偶	20
第四节 平面力偶系的合成与平衡	24
阅读与理解	25
小结	28
思考题	29
习题	30
第三章 平面任意力系	33
第一节 平面任意力系的简化	33
第二节 平面任意力系的平衡方程及其应用	35
第三节 固定端约束和均布载荷	37
第四节 物体系统的平衡问题	39
第五节 考虑摩擦时构件的平衡问题	42
阅读与理解	46
小结	50
思考题	51
习题	53
第四章 空间力系和重心	57
第一节 力的投影和力对轴之矩	57
第二节 空间力系的平衡方程	60
第三节 轮轴类构件平衡问题的平面解法	62
第四节 物体的重心和平面图形的形心	64
小结	68
思考题	68
习题	68
第五章 轴向拉伸与压缩	71
第一节 材料力学的基本概念	71
第二节 轴向拉(压)的工程实例与力学模型	72
第三节 轴力和轴力图	73
第四节 拉(压)杆横截面的应力和强度计算	76
第五节 拉(压)杆的变形	79
第六节 材料的力学性能	81
第七节 许用应力与强度准则	85
第八节 应力集中的概念	86
第九节 拉(压)静不定问题的解法	87
阅读与理解	88
小结	90
思考题	91
习题	92
第六章 剪切和挤压	96
第一节 剪切和挤压的工程实例	96
第二节 剪切和挤压的实用计算	96
第三节 剪切胡克定律	100
阅读与理解	101
小结	101
思考题	102
习题	102
第七章 圆轴扭转	105
第一节 圆轴扭转的工程实例与力学模型	105

第二节 扭矩 扭矩图	105	思考题	176
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力和 强度计算	108	习题	177
第四节 圆轴扭转时的变形和刚度计算 ..	110		
阅读与理解	112	第十一章 压杆稳定	179
小结	116	第一节 压杆稳定的工程实例与力学 模型	179
思考题	116	第二节 压杆稳定的概念	179
习题	117	第三节 压杆的临界应力	180
第八章 梁的弯曲	119	第四节 压杆的稳定性计算	184
第一节 平面弯曲的工程实例与力学 模型	119	第五节 提高压杆稳定性的措施	186
第二节 弯曲的内力——剪力和弯矩	121	阅读与理解	187
第三节 剪力图和弯矩图	123	小结	189
第四节 弯矩、剪力和载荷集度间的微分 关系	127	思考题	189
第五节 梁弯曲时的正应力和强度计算 ..	128	习题	189
第六节 组合截面的惯性矩	131	第十二章 交变应力与疲劳破坏	191
第七节 提高梁抗弯强度的措施	135	第一节 交变应力的工程实例及其循环 特征	191
第八节 弯曲切应力简介	137	第二节 疲劳破坏与持久极限	192
第九节 梁的变形和刚度计算	139	第三节 构件的持久极限与疲劳强度 计算	193
第十节 简单静不定梁的解法	144	小结	195
阅读与理解	146	思考题	195
小结	150	第十三章 构件运动学基础	197
思考题	151	第一节 运动构件上一点的运动	197
习题	152	第二节 构件的平面基本运动	203
第九章 应力状态和强度理论	157	阅读与理解	209
第一节 应力状态的概念	157	小结	211
第二节 二向应力状态分析	159	思考题	212
第三节 三向应力状态的最大切应力和 广义胡克定律	161	习题	213
第四节 强度理论	162	第十四章 合成运动和平面运动简 介	215
阅读与理解	165	第一节 点的合成运动概念	215
小结	166	第二节 速度合成定理	216
习题	166	第三节 构件平面运动的特点与力学 模型	218
第十章 组合变形	168	第四节 平面图形上点的速度合成法	219
第一节 拉(压)与弯曲组合变形	168	阅读与理解	223
第二节 弯曲与扭转组合变形	170	小结	225
阅读与理解	173	思考题	225
小结	175		

习题	226	第二节 质点的动能定理	246
第十五章 构件动力学基础	230	第三节 构件的动能定理	249
第一节 质点动力学基本方程	230	第四节 功率方程与机械效率	252
第二节 质点动力学的两类问题	231	阅读与理解	253
第三节 构件定轴转动的动力学基本 方程	233	小结	259
第四节 构件定轴转动基本方程的应用 ...	237	思考题	260
阅读与理解	239	习题	260
小结	240	附录	264
思考题	240	附录 A 常用截面的几何性质	264
习题	241	附录 B 梁在简单载荷作用下的变形	265
第十六章 动静法和动能定理	244	附录 C 型钢表	266
第一节 质点的动静法	244	附录 D 习题答案	270
		参考文献	276



绪 论

一、工程力学是人们“经久耐用、造价低廉”的要求和愿望的产物

在人类社会的发展进程中，一种最基本的要求和愿望支配着人类的社会活动和生产活动，这就是要求使用的生产工具、制造的工程机械、建造的工程结构，既要经久耐用又要造价低廉。经久耐用，是指使用的时间长久，且在使用过程中不会轻易损坏；造价低廉，是指所用的材料易于得到，用量最少，工程易于建造，生产成本低。

无论是人类社会早期使用的简单工具和搭建的简陋窝棚，还是人类社会今天发射的航天飞船和建造的摩天大厦等等，都是以满足人们的这种要求和愿望而建造的。

“经久耐用、造价低廉”的要求和愿望发展了力学的基本概念和基本理论。力学的基本理论又指导人们对此种要求和愿望实现了最大限度的满足，这种由愿望到实现永无休止的循环，发展完善了力学的理论体系和研究方法。可以说，工程力学是人们“经久耐用、造价低廉”的要求和愿望的产物。

二、工程力学是研究工程简单构件受力、运动、变形和破坏规律的科学

力学基本理论体系的发展和完善，最终分支为专门研究物体机械运动一般规律的科学——理论力学和专门研究工程常见构件变形、破坏一般规律的科学——材料力学，为工程技术人员提供了重要的技术基础。

工程力学仅是以理论力学和材料力学基本概念和基本理论为基本内容的学科。它的研究对象不是某一台完整的机器或建筑物，而是简单的工程构件。所谓构件，是指组成工程机械和工程结构的零部件。

怎样才能保证工程构件经久耐用呢？人们知道，构件的破坏许多情况下都是由力引起的。所以，工程力学是从研究构件的受力分析开始，研究构件的运动规律以及构件的变形和破坏规律，为工程构件的设计和制造提供了可靠的理论依据和实用的计算方法。也就是说，工程力学既研究工程构件机械运动的一般规律，又研究构件的强度、刚度和稳定性等内容。

由于工程力学所涉及的工程实际问题往往比较复杂，因此工程力学在建立基本概念和基本理论时，常需抓住一些带有本质性的主要因素，忽略掉其次要因素，从而抽象出理想化的力学模型。工程力学最基本的力学模型是质点、刚体和弹性变形体。

三、学习工程力学的目的和作用

工程力学的基本理论和基本方法广泛应用于各类工程技术中，机械、建筑、冶金、煤炭、石油、化工以及航空、航天等领域都要应用到工程力学的知识，它是工程技术的重要基础课。

工程力学研究工程构件最普遍、最基本的受力、变形、破坏以及运动规律，为工科专业的后续课程，如机械原理、机械零件等技术基础课和一些专业课的学习，打下必要的基础。

工程力学实践——抽象化——推理——结论的研究方法，有利于培养观察问题的能力和辩证唯物主义的观点，有利于培养创新思维和创新精神，提高分析问题和解决问题的能力。

四、本书的主要内容

本书试图以突出工程构件来简化力学的系统理论，以突出工程应用性来改进力学课程教学。其大体内容有：第一章至第四章主要研究构件的静力平衡规律，着重讨论了构件的静力分析和平衡方程的应用，其中对于如何建立工程构件的力学模型、如何简化约束模型、如何简化载荷作了必要的论述。第五章至第十一章主要研究工程杆件的变形和破坏规律，着重讨论了杆件的强度、刚度及稳定性的计算。第十二章讨论了交变应力和疲劳强度。第十三章至第十六章主要研究工程构件的运动规律及运动与作用力的关系，着重讨论构件上一点的运动和构件的定轴转动等。为丰富教材内涵、拓宽知识面，在一些章节后增加了阅读与理解内容。



第一章

构件静力学基础

本章将主要介绍静力学的一些基本概念和基本公理，以及如何建立工程实际构件的力学模型。其中，对于约束及其约束模型的深刻理解和正确应用是进行构件受力分析的关键，画构件的受力图是解决构件静力学问题的重要基础，也是本章的重点。

第一节 力的基本概念和公理

一、力的概念

(1) 定义 用手推门时，手指与门之间有了相互作用，这种作用使门产生了运动；用汽锤锻打工件，汽锤和工件间有了相互作用，工件的形状和尺寸发生了改变。人们在长期的生产实践活动中，经过不断观察和总结，形成了力的定义：**力是物体间相互的机械作用。**

这种作用使物体的运动状态和形状尺寸发生改变。力使物体运动状态的改变称为力的**外效应**；力使物体形状尺寸的改变称为力的**内效应**。

(2) 刚体 用脚踢皮球，脚和球体之间进行了相互作用，球体的运动状态和形状尺寸同时发生了改变，力对球体的这两种效应并不是单独发生的，而是同时发生的。当研究物体的运动规律（包括平衡）时，可以忽略不计形状尺寸改变对运动状态改变的影响，把物体抽象为不变形的理想化模型——刚体。这是为物体抽象化的一个最基本的力学模型。

(3) 力的三要素及表示法 力对物体的效应取决于力的三要素，即力的大小、方向和作用点。

力是一个既有大小又有方向的量，称为**力矢量**。用一个有向线段表示，线段的长度按一定的比例尺，表示力的大小；线段箭头的指向表示力的方向；线段的始端 A （图 1-1）或末端 B 表示力的作用点。力的单位为牛〔顿〕（N）。把物体间的一个机械作用表示成有方向和大小

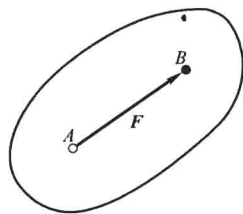


图 1-1

大小的线段，是力学研究中对物体间机械作用的简化结果。

(4) 力系与等效力系 若干个力组成的系统称为力系。若一个力系与另一个力系对物体的作用效应相同，这两个力系互为**等效力系**。

若一个力与一个力系等效，则称这个力为该力系的**合力**，而该力系中的各力称为这个力的**分力**。把各分力等效代换成合力的过程称为**力系的合成**，把合力等效代换成分力的过程称为**力的分解**。

(5) 平衡与平衡力系 平衡是指物体相对于地球的静止或匀速直线运动。一力系使物体处于平衡状态，则该力系称为**平衡力系**。

二、二力平衡公理与二力构件

(1) 二力平衡公理 作用于构件上的两个力，使构件保持平衡的必要和充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，作用在一条直线上。简述为等值、反向、共线。

如图 1-2a 所示，粉笔盒放置在桌面上，受到地球引力场的机械作用（重力） G 和桌面

的机械作用（支持力） F_N 而处于平衡状态，这两个力必等值、反向、共线。图 1-2b 所示的电灯吊在天花板上，无论初始时电灯偏向什么位置，最后平衡时必满足二力平衡条件， G 和 F_T 等值、反向、共线。

(2) 二力构件 在二个力作用下处于平衡的构件一般称为二力构件。工程实际中，一些构件的自重和它所承受的载荷比较起来很小，可以忽略不计。本书中的构件没有特别说明或没有表示出自重的，一律按不计自重处理。

如图 1-3a 所示托架中，杆 AB 不计自重，在 A 端和 B 端分别受到机械作用 F_A 、 F_B 而处于平衡状态，此两力必过这两力作用点 A 、 B 的连线（图 1-3b）。再如图 1-3c 所示的三铰拱结构中，不计拱片自重时，在力 F 作用下，右边拱 BC 受 F_B 、 F_C 作用处于平衡，这两个力必过两力作用点 B 、 C 的连线（图 1-3d）。

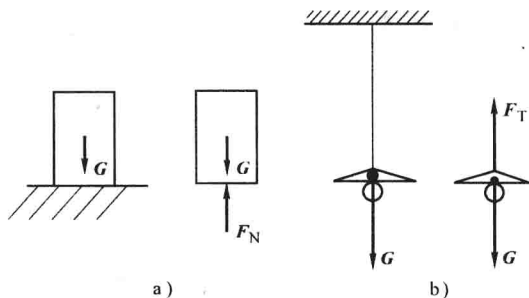


图 1-2

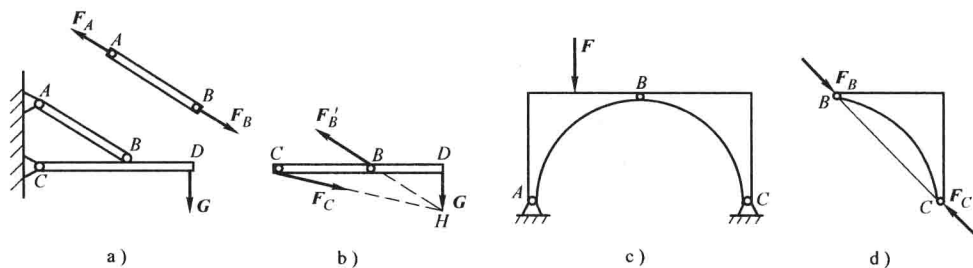


图 1-3

三、加减平衡力系公理与力的可传性原理

(1) 加减平衡力系公理 在一个已知力系上加上或减去一个平衡力系，不改变原力系对构件的外效应。

(2) 力的可传性原理 作用于构件上某点的力，沿其作用线移动，不改变原力对构件的外效应。

图 1-4 所示的小车，在 A 点作用力 F 和在 B 点作用力 F 对小车的的作用效果相同。

由此原理可知：力对物体的外效应，取决于力的大小、方向、作用线。必须指出，加减平衡力系公理和力的可传性原理只适用于刚性构件。

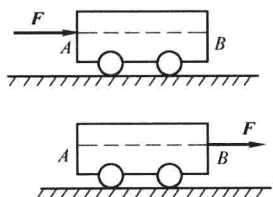


图 1-4

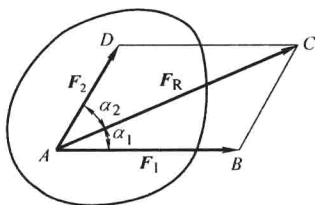


图 1-5

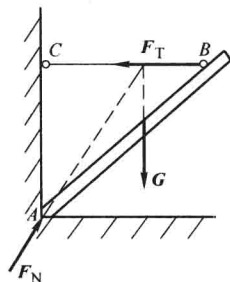


图 1-6

四、平行四边形公理和三力构件

(1) 力的平行四边形公理 作用于构件上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力作用于该点。合力的大小和方向是该两力为邻边构成的平行四边形的对角线。如图 1-5 所示， F_R 是 F_1 、 F_2 的合力。力的平行四边形公理符合矢量加法法则，即

$$F_R = F_1 + F_2$$

(2) 三力平衡汇交原理 构件在三个互不平行的力作用下处于平衡，这三个力的作用线必共面且汇交于一点。

(3) 三力构件 作用着三个力并处于平衡的构件称为三力构件。三力构件三个力的作用线交于一点。若已知两个力的作用线，由此可以确定另一个未知力的作用线。

如图 1-3b 中所示的杆件 CD ，在 C 、 B 、 D 三点分别受力作用处于平衡， C 点的力 F_C 必过 B 、 D 两点作用力的交点 H 。再如图 1-6 所示的杆件 AB ， A 端靠在墙角， B 端受绳 BC 的拉力，用 F_T 表示，受重力场的作用，用 G 表示， A 端受到的墙角的作用力 F_N 必过 G 和 F_T 的交点。读者可分析图 1-3c 中左边拱 AB 的受力。

五、作用与反作用公理

两物体间的作用力与反作用力，总是大小相等，方向相反，作用线相同，分别作用在两个物体上。简述为等值、反向、共线。

该公理说明了力总是成对出现的。应用公理时注意区别它与二力平衡的两个力是不同的，作用力与反作用力分别作用在两个物体上，二力平衡的两个力作用在一个物体上。

图 1-3a、b 中， AB 杆 B 端受到的力 F_B 与 CD 杆 B 点受到的力 F_B' 就是一对作用力与反作用力。

第二节 常见约束及其力学模型

一、约束和约束力

机械设备和工程结构中的构件，都是既相互联系又相互制约的。甲构件对乙构件有作用，就受到乙构件的反作用，这种反作用对甲构件的运动起到了限制作用。例如，火车轮对铁轨进行了作用，就受到铁轨对火车轮的反作用，这种反作用限制了车轮只能沿其轨道运动。门与合页相互联系，合页对门的运动起到了限制作用。这种限制物体运动的周围物体称为约束。

物体受的力可以分为主动力和约束力，能够促使物体产生运动或运动趋势的力称为主动力。这类力有重力和一些作用载荷。主动力通常都是已知的。当物体沿某一个方向的运动受到约束限制时，约束对物体就有一个反作用力，这个限制物体运动或运动趋势的反作用力称为约束力。约束力的方向与它所限制物体的运动或运动趋势的方向相反，其大小和方向一般是随主动力的大小和作用线的不同而改变，是一个未知力。

二、常见约束的力学模型

工程实际中，构件间相互联接的形式是多种多样的，把一构件与其他构件的联接形式，按其限制构件运动的特性抽象为理想化的力学模型，称为约束模型。

常见约束的约束模型为柔体、光滑面、光滑铰链和固定端。值得注意的是，工程实际中

的约束与约束模型有些比较相近,有些差异很大。必须善于观察,正确认识约束模型及其应用意义。

下面主要讨论柔体、光滑面、光滑铰链这三类约束模型的约束特性及其约束力的方向、指向和表示符号。对于固定端约束将在第三、第四章介绍。

1. 柔体约束

由绳索、链、带等柔性物形成的约束都可以简化为柔体约束模型。这类约束只承受拉力,不承受压力。约束力沿柔体的中线,背离受力物体,用符号 F_T 表示。

图 1-7a 所示起重机吊起重物时,重物通过钢绳悬吊在挂钩上。钢绳 AC、BC 对重物的约束力沿钢绳的中线,背离物体(图 1-7b)。

必须指出的是,若柔体包络了轮子一部分,如图 1-8a 所示的链传动或带传动等,通常把包络在轮上的柔体看成是轮子的一部分,从柔体与轮的切点处解除柔体。约束力作用于切点,沿柔体中线,背离轮子。图 1-8b 所示为传动轮带的约束力的画法。

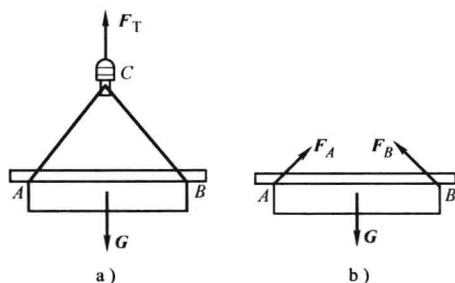


图 1-7

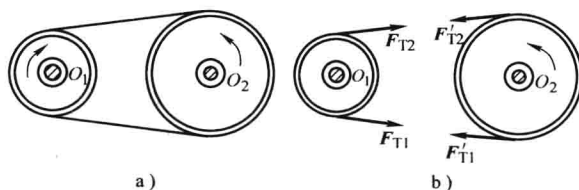


图 1-8

2. 光滑面约束

物体相互作用的接触面,并不是完全光滑的,为研究问题方便,暂忽略不计接触面间的摩擦,并不计接触面间的变形,把物体的接触面看成是完全光滑的刚性接触面,简称为光滑面约束。

光滑面约束只限制了物体沿接触面公法线方向的运动,所以其约束力沿接触面的公法线,指向受力物体,用符号 F_N 表示。

如图 1-9a 所示,重为 G 的圆柱形工件放在 V 形槽内,在 A、B 两点与槽面机械作用,

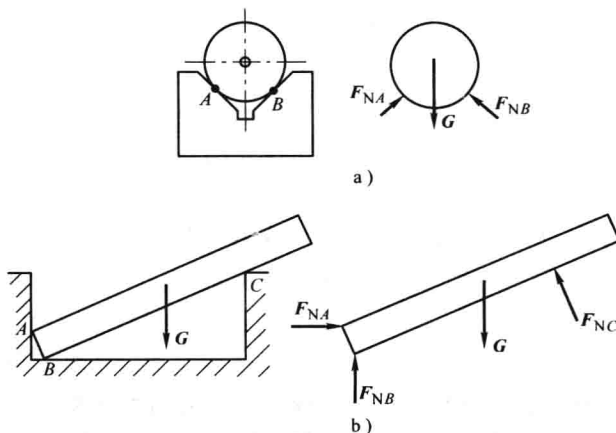


图 1-9

其约束力沿接触面公法线指向工件。

如图 1-9b 所示, 重为 G 的工件 AB 放入凹槽内, 在 A 、 B 、 C 点处分别与槽机械作用, 其约束力沿接触面公法线指向工件。

3. 铰链约束

如图 1-10a 所示, 用圆柱销钉联接的两构件称为**铰链**。对于具有这种特性的联接方式, 忽略不计其变形和摩擦, 就得到理想化的约束模型——刚性光滑铰链。铰链约束通常用图 1-10b 所示的平面简图表示。

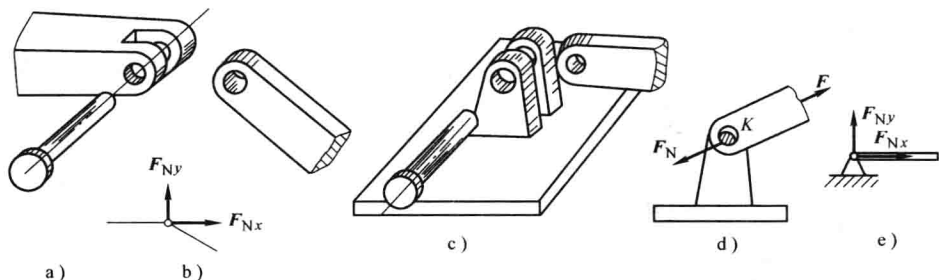


图 1-10

(1) 中间铰 铰链约束通常也称为**中间铰链**, 只限制了构件销孔端的相对移动, 不限制构件绕该端的相对转动。

(2) 固定铰支座 把圆柱销联接的两构件中的一个固定起来, 称为**固定铰支座**, 如图 1-10c 所示, 它约束限制了构件销孔端的随意移动, 不限制构件绕圆柱销的转动。

图 1-10d 所示的柱销与销孔在构件主动力作用下, 是两个圆柱光滑面在 K 点的点接触, 其约束力必沿接触面 K 点的公法线过铰链的中心。由于主动力的作用方向不同, 构件销钉的接触点 K 就不同, 所以约束力的方向不能确定。

综上所述, **中间铰和固定铰支座约束的约束力过铰链的中心, 方向不确定**。通常用二个正交的分力 F_{Nx} 、 F_{Ny} 来表示 (图 1-10b、e)。

必须指出的是, 当中间铰或固定铰约束的是二力构件时, 其约束力满足二力平衡条件, 沿两约束力作用点的连线, 方向是确定的。

如图 1-11a 所示结构, AB 杆中点作用力 F , 杆件 AB 、 BC 不计自重。杆 BC 在 B 端受到中间铰约束, 约束力的方向不确定。在 C 端受到固定铰支座约束, 约束力的方向不确定, 但 BC 杆受此两力作用处于平衡, 是二力构件, 该二力必过 B 、 C 两点的连线 (图 1-11b)。

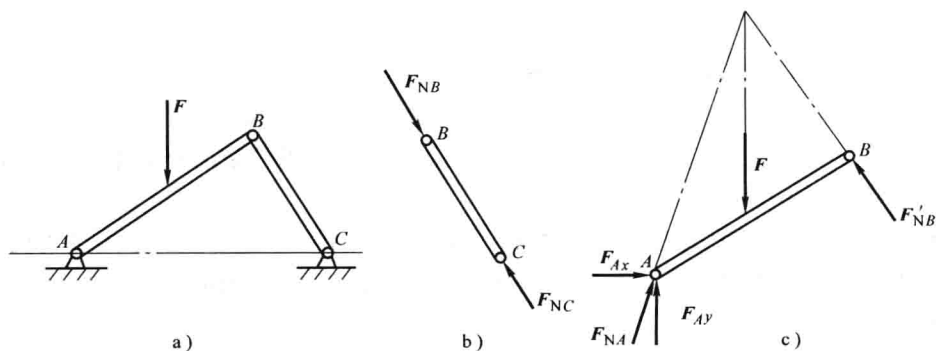


图 1-11

杆 AB 在 A 、 B 两点受力并受主动力 F 作用, 处于平衡, 是三力构件。力 F 的方向已确定, 杆 AB 在 B 点受到 BC 杆 B 端的反作用力 F'_{NB} , 方向也确定。 A 端固定铰支座的约束力必过 F 和 F'_{NB} 的交点 (图 1-11c)。为了便于分析计算, 当中间铰或固定铰支座约束的是三力构件时, 无论其约束力是否确定, 都用正交分力表示。

(3) 活动铰支座 如图 1-12a 所示, 在固定铰支座的下边安装上滚珠称为活动铰支座。活动铰支座只限制构件沿支承面法线方向的运动, 所以活动铰支座约束力的作用线过铰链中心, 垂直于支承面, 一般按指向构件画出, 用符号 F_N 表示。图 1-11b 为活动铰支座的几种力学简图及约束力画法。

图 1-13a 所示杆件 AB 在主动力 F 作用下, 其 A 、 B 两端铰支座的约束力如图 1-13b 所示。

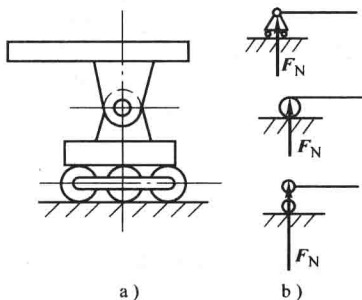


图 1-12

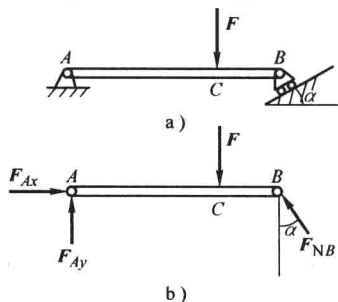


图 1-13

第三节 构件的受力图

一、构件的平面力学简图

对工程构件进行受力分析, 必须学会简化工程结构或构件。这种把真实的工程结构或构件简化成能进行分析计算的平面图形, 称为构件的平面力学简图。本书中的构件结构图多数属于平面力学简图。作力学简图首先要在结构或构件上选择合适的简化平面, 画出其轮廓线 (若为杆件, 可用其轴线代替), 然后按约束特性把约束简化为约束模型, 再简化结构上的作用载荷, 即得到结构或构件的平面力学简图。

二、解除约束取分离体

在力学简图中把构件与它周围的构件分开, 单独画出这个构件的简图称为解除约束取分离体。

三、受力图

在分离出来的构件简图上, 按已知条件画上主动力 (已知力); 按不同约束模型的约束反力方向、指向及表示符号画出全部约束力 (未知力), 即得到构件的受力图。

综上所述, 画受力图的步骤是: ①确定研究对象。②解除约束取分离体。③在分离体上画出全部的主动力和约束力。

例 1-1 图 1-14a 所示重为 G 的球体 A , 用绳子 BC 系在墙壁上, 画球体 A 的受力图。

解 确定球体 A 为研究对象取分离体 (图 1-14b), 在球体分离体的简图上画出主动力和约束力。

球体在 A 点受主动力 G 作用; 在 B 点受柔体约束, 约束力沿柔体中线背离球体, 用 F_T

表示；在 D 点受光滑面约束，约束力沿接触面 D 点的公法线，指向球体，用 F_N 表示。

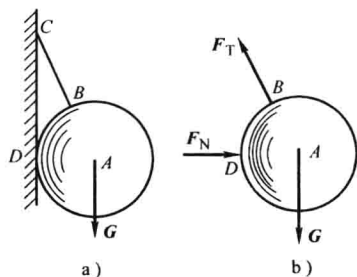


图 1-14

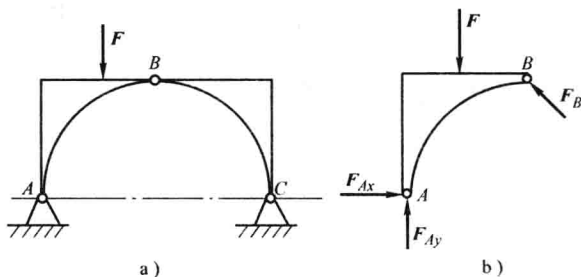


图 1-15

例 1-2 图 1-15a 所示的三铰拱桥，由左、右两半拱片铰接而成，画左半拱片 AB 的受力图。

解 确定左拱片 AB 为研究对象取分离体（图 1-15b），在分离体上画出主动力 F 和约束力。

左半拱片 B 端受右半拱 BC 的作用，由于 BC 受两力作用处于平衡，所以 BC 对左半拱 B 点的作用力 F_B 沿 B 、 C 两点的连线。左半拱 A 端受固定铰支座约束，可用正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示（图 1-15b）。若铰链约束的是三力构件时，一般不用三力平衡汇交表示铰链约束力。

例 1-3 图 1-16a 所示为活塞连杆机构结构简图，试画活塞 B 的受力图。

解 以活塞 B 为研究对象取分离体（图 1-16b）。在分离体上画出主动力 F ；缸筒壁对活塞 B 的约束视为光滑面，约束力 F_N 沿法线指向活塞 B 。连杆 AB 在 A 、 B 两点受铰链约束处于平衡，是二力构件，两力过 A 、 B 两点的连线。因此连杆 AB 对活塞 B 的约束力 F_B 沿 A 、 B 的连线指向 B 销。

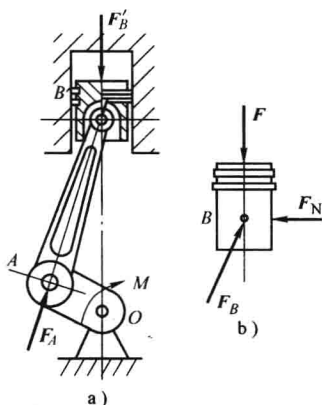


图 1-16

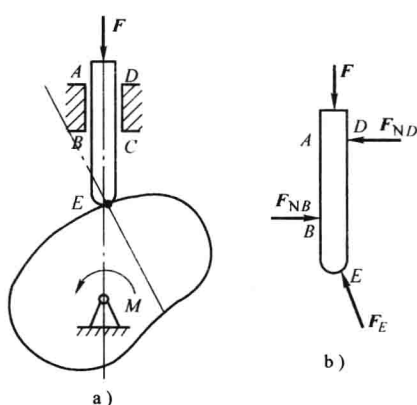


图 1-17

例 1-4 图 1-17a 所示为凸轮机构结构简图，试画导杆 AB 的受力图。

解 以导杆 AB 为研究对象取分离体（图 1-17b）。导杆自重不计，凸轮对导杆的作用力 F_E 沿接触面公法线指向导杆； F_E 和主动力 F 使导杆倾斜，与滑道 B 、 D 点相接触产生了机械作用，故有光滑面约束力 F_{NB} 、 F_{ND} ，沿 B 、 D 两点处的公法线指向导杆。