



工程力学

侯运启 杨紫钰 主编

河南科学技术出版社

号 50 字 登 录 新

工 程 力 学

侯运启 杨紫钰 主编

邓金才 赵永成 肖立新 张学铭
赵祥华 丛晓霞 安国会 徐 波
李达敏 韩友刚 程 青 王焕琴
付兴国

河 南 科 学 技 术 出 版 社

学 工 器 工

编 著 侯 运 启 杨 紫 钰

第 一 版 第 一 次 印 刷

(河 南 科 学 技 术 出 版 社)

开 本 16 开 印 张 10 印 字 数 200 千 1991 年 10 月 第 一 次 印 刷

印 中 心 工 程 力 学 中 心

本 书 为 工 程 力 学 第 一 版

第 一 次 印 刷

第 一 次 印 刷

第 一 次 印 刷

第 一 次 印 刷

豫新登字 02 号

内 容 提 要

本书是按 180 学时的教学大纲编写的,可作为职业技术师范院校机械类、民用建筑等专业的工程力学教材,也可以作为机械专科学校、电大的参考教材。本书包括两部分,前十五章为理论力学部分,后十二章为材料力学部分,有“※”号的章节是选学部分,为便于学习,每章后面附有小结、思考题及习题。

工 程 力 学

侯运启 杨紫钰 主编
责任编辑 孙 彤

河南科学技术出版社出版发行	(郑州市农业路 73 号)
河北农业技术师范学院印刷厂印刷	33.75 印张 800 千字
787×1092 毫米 16 开本	1994 年 9 月第 1 次印刷
1994 年 9 月第 1 版	印数:1—3000 册

ISBN7-5349-1674-7/T·337

定价:13.00 元

《工程力学》编写人员

主 编	侯运启	杨紫钰			
副 主 编	刘长荣	冯启高	付 宇	张广珍	
编 委	郑玉才	赵永成	肖念新	张学铭	
	赵祥雄	丛晓霞	安国会	徐 波	
	李达敏	韩友刚	杜 青	王焕琴	
主 审	付兴国				

编 者

1994年5月

前 言

职业技术师范院校机械工程类专业,目前所使用的工程力学教材,大都是工科院校教材。从职业技术师范院校机械工程类专业的培养目标来看,不仅理论教学时数达不到工科教材要求,且在内容上也很难与职业技术教育的特点相适应,难以突出职业性和师范性。为了探索职业技术师范教育教材改革的途径,河南职业技术师范学院、河北农业技术师范学院、河南职业技术教育学院河南农业大学机电工程学院等院校,共同讨论确定了180学时的工程力学教学大纲,并根据大纲编写了这本试用教材。

参加编写工作的有上述院校十几位工程力学教师,侯运启、杨紫钰担任主编,负责全部编写工作,杨紫钰、刘长荣具体负责理论力学(1—15章)的编写工作,冯启高、杨紫钰具体负责(16—27章)材料力学的编写工作。具体编写章节分工如下:侯运启(绪论、第十五章、第十六章),杨紫钰(第一章、第二章、第三章),刘长荣(第七章、第八章),冯启高(第二十章、第二十三章),付宇(第十章、第十二章),张广珍(第十三章),赵永成(第十四章),肖念新(第十八章、第十九章),张学铭(第十七章),李达敏(附录),丛晓霞(第二十四章),安国会(第二十七章),赵祥雄(第十一章),郑玉才、杜青(第四章),刘长荣、郑玉才(第五章),刘长荣、赵祥雄(第六章),李达敏、王焕琴(第二十一章),徐波(第二十六章),赵永成、徐波(第二十二章),韩友刚、冯启高(第二十五章),张广珍、赵祥雄(第九章)。

本教材由河北农业技术师范学院副院长付兴国教授担任主审。

本书的绘图工作由韩友刚负责。

在编写过程中,得到了上述院校的领导和广大教师的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平所限,书中错漏和不足之处,希望广大教师和读者批评指正。

编 者

1994年6月

目 录

绪论	(1)
静力学	(3)
第一章 静力学基础	(3)
第一节 静力学基本概念和公理	(3)
第二节 约束和约束反力	(5)
第三节 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 汇交力系与力偶系	(15)
第一节 力在轴上的投影与合力投影定理	(15)
第二节 汇交力系的合成及平衡条件	(16)
第三节 力矩	(19)
第四节 力偶及其性质	(23)
第五节 力偶系的合成与平衡	(25)
第六节 力线平移定理	(27)
小结	(28)
思考题	(29)
习题	(30)
第三章 力系的简化和平衡方程	(34)
第一节 空间力系的简化	(34)
第二节 空间一般力系的平衡方程与解题步骤	(37)
第三节 平面一般力系	(40)
第四节 物体系的平衡·静定和静不定问题	(45)
第五节 空间平行力系	(50)
第六节 平行力系中心·重心	(51)
小结	(57)
思考题	(58)
习题	(58)
第四章 摩擦	(63)
第一节 滑动摩擦	(63)
第二节 摩擦角与自锁	(64)
第三节 考虑摩擦时物体的平衡问题	(65)
第四节 滚动摩阻	(67)

小结	(69)
思考题	(70)
习题	(70)
运动学	(74)
第五章 点的运动	(74)
第一节 点的运动方程	(74)
第二节 点的速度和加速度	(76)
小结	(85)
思考题	(85)
习题	(86)
第六章 刚体的基本运动	(89)
第一节 刚体的平动	(89)
第二节 刚体的定轴转动	(90)
第三节 定轴轮系的传动比	(95)
第四节 角速度和角加速度矢量·以矢积表示点的速度和加速度	(97)
小结	(99)
思考题	(99)
习题	(100)
第七章 点的合成运动	(102)
第一节 绝对运动、相对运动和牵连运动	(102)
第二节 速度合成定理	(104)
第三节 牵连运动为平动时的加速度合成定理	(107)
第四节 牵连运动为转动时的加速度合成定理·科氏加速度	(110)
小结	(115)
思考题	(116)
习题	(117)
第八章 刚体的平面运动	(123)
第一节 平面运动分解为平动和转动	(123)
第二节 用基点法、速度投影定理求平面图形上各点的速度	(125)
第三节 用瞬心法求平面图形上各点的速度	(127)
第四节 用基点法求平面图形上各点的加速度	(131)
第五节 刚体绕平行轴转动的合成	(137)
小结	(141)
思考题	(141)
习题	(143)
动力学	(149)
第九章 质点运动的微分方程	(150)
第一节 动力学的基本定律	(150)

第二节	质点运动和微分方程	(151)
第三节	质点动力学的两类基本问题	(152)
小结		(156)
思考题		(156)
习题		(157)
第十章	动量定理	(161)
第一节	动力学普遍定理的概述	(161)
第二节	动量和力的冲量	(162)
第三节	动量定理	(163)
第四节	质心运动定理	(168)
小结		(172)
思考题		(173)
习题		(174)
第十一章	动量矩定理	(177)
第一节	动量矩	(177)
第二节	动量矩定理	(179)
第三节	刚体转动微分方程	(183)
第四节	刚体对轴的转动惯量	(185)
第五节	刚体平面运动的微分方程	(189)
小结		(191)
思考题		(192)
习题		(194)
第十二章	动能定理	(200)
第一节	力的功	(200)
第二节	动能	(204)
第三节	动能定理	(206)
第四节	功率·功率方程	(211)
第五节	势力场和势能·机械能守恒定律	(212)
第六节	普遍定理的综合应用	(214)
小结		(217)
思考题		(218)
习题		(218)
第十三章	达朗伯原理	(224)
第一节	惯性力·达朗伯原理	(224)
第二节	惯性力系的简化	(227)
第三节	动静法应用举例	(229)
第四节	转动刚体的轴承动反力·静平衡和动平衡的概念	(232)
小结		(233)

思考题	(234)
习题	(235)
第十四章 虚位移原理	(239)
第一节 约束和广义坐标	(239)
第二节 虚位移和虚功	(242)
第三节 理想约束	(243)
第四节 虚位移原理	(245)
第五节 动力学普遍方程	(249)
小结	(252)
思考题	(253)
习题	(253)
* 第十五章 机械振动基础	(257)
第一节 概述	(257)
第二节 单自由度系统的自由振动	(258)
第三节 计算固有频率的能量法	(265)
第四节 衰减振动	(267)
第五节 单自由度的受迫振动	(272)
第六节 减振与隔振	(277)
第七节 转轴的临界转速	(278)
小结	(279)
思考题	(280)
习题	(281)
第十六章 材料力学的基本概念	(284)
第一节 材料力学的基本假设	(284)
第二节 杆件的基本变形	(285)
第三节 外力·内力·截面法	(285)
第四节 应力的概念	(287)
第十七章 轴向拉伸与压缩	(288)
第一节 概述	(288)
第二节 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力及应力	(288)
第三节 拉(压)杆的变形	(291)
第四节 拉伸和压缩时材料的机械性质	(293)
第五节 许用应力及安全系数	(298)
第六节 拉(压)杆的强度计算	(300)
第七节 拉伸和压缩的超静定问题	(302)
小结	(306)
思考题	(306)
习题	(307)

第十八章	剪切	(311)
第一节	概述	(311)
第二节	剪切和挤压的实用计算	(312)
第三节	纯剪切·剪应力互等定理·剪切虎克定律	(316)
第四节	剪切变形能	(318)
小结		(318)
思考题		(319)
习题		(319)
第十九章	扭转的强度与刚度计算	(321)
第一节	概述	(321)
第二节	扭转时的内力	(322)
第三节	圆轴扭转时的应力与变形	(324)
第四节	圆轴扭转时的强度和刚度计算	(328)
第五节	密圈螺旋弹簧应力及变形的计算	(332)
第六节	非圆截面等直杆的纯扭转	(336)
小结		(338)
思考题		(339)
习题		(339)
第二十章	弯曲的强度计算	(343)
第一节	概述	(343)
第二节	静定梁的基本形式	(344)
第三节	平面弯曲时梁横截面上的内力	(345)
第四节	剪力图和弯矩图	(347)
第五节	剪力、弯矩和分布载荷间的关系	(351)
第六节	用迭加法作剪力图和弯矩图	(354)
第七节	刚架的弯矩图、轴力图	(356)
第八节	弯曲的正应力	(357)
第九节	弯曲正应力的强度条件及其应用	(361)
第十节	弯曲时的剪应力	(364)
第十一节	提高弯曲强度的措施	(369)
小结		(374)
思考题		(375)
习题		(375)
第二十一章	梁的变形	(378)
第一节	工程中的弯曲变形问题	(378)
第二节	挠曲线近似微分方程式	(379)
第三节	积分法计算梁的变形	(380)
第四节	用迭加法计算梁的变形	(383)

第五节 弯曲刚度计算·····	(385)
第六节 提高弯曲刚度的措施·····	(389)
小结·····	(391)
思考题·····	(392)
习题·····	(392)
第二十二章 应力状态理论和强度理论 ·····	(394)
第一节 应力状态理论·····	(394)
第二节 二向应力状态下斜截面上的应力·····	(396)
第三节 二向应力状态下的应力圆·····	(401)
第四节 三向应力概述·····	(406)
第五节 广义的虎克定律·····	(408)
第六节 强度理论的概念·····	(412)
第七节 工程中常用的四种强度理论·····	(412)
第八节 强度理论的讨论·····	(414)
小结·····	(417)
思考题·····	(418)
习题·····	(418)
第二十三章 组合变形的强度计算 ·····	(422)
第一节 工程中的组合变形问题·····	(422)
第二节 弯曲与拉伸(或压缩)的组合·····	(423)
第三节 斜弯曲·····	(424)
第四节 扭转与弯曲的组合·····	(427)
小结·····	(429)
思考题·····	(430)
习题·····	(430)
* 第二十四章 用能量法计算结构位移 ·····	(433)
第一节 概述·····	(433)
第二节 变形能的计算公式及其特征·····	(433)
第三节 卡氏定理·····	(437)
第四节 单位载荷法·····	(439)
第五节 图形互乘法·····	(444)
第六节 互等定理·····	(449)
小结·····	(451)
思考题·····	(452)
习题·····	(452)
第二十五章 压杆的稳定计算 ·····	(455)
第一节 工程中压杆的稳定性问题·····	(455)
第二节 细长压杆的临界力·····	(456)

第三节 欧拉公式的适用范围·临界应力的经验公式·····	(459)
第四节 压杆的稳定计算·····	(461)
第五节 提高压杆稳定性的措施·····	(464)
小结·····	(465)
思考题·····	(465)
习题·····	(465)
第二十六章 动载荷 ·····	(468)
第一节 概述·····	(468)
第二节 构件作变速运动时应力与变形的计算·····	(468)
第三节 冲击时的应力计算·····	(470)
第四节 构件作振动时的应力计算·····	(476)
小结·····	(478)
思考题·····	(479)
习题·····	(479)
第二十七章 交变应力 ·····	(482)
第一节 交变应力及疲劳破坏·····	(482)
第二节 材料的持久极限及其测定·····	(485)
第三节 影响持久极限 σ_{-1} 的因素·····	(486)
第四节 对称循环下构件的疲劳强度校核·····	(491)
第五节 非对称循环的疲劳强度校核·····	(492)
第六节 扭弯联合下的疲劳强度·····	(496)
第七节 提高抵抗疲劳能力的的措施·····	(498)
小结·····	(500)
思考题·····	(501)
习题·····	(501)
附录 I 平面图形的几何性质 ·····	(504)
第一节 形心和面矩·····	(504)
第二节 惯矩·惯积·惯性半径·····	(506)
第三节 平行轴定理·组合图形的惯矩与惯积·····	(508)
第四节 转轴公式·主惯矩·····	(512)
习题·····	(514)
附录 II 型钢表 ·····	(517)

绪 论

工程力学内容很多,本书的内容只包括理论力学和材料力学两部分,这两部分内容是工程力学最基本的理论基础。理论力学以研究机械运动的一般规律为任务,材料力学的理论则是建立在理论力学的基础上,它的主要任务是研究构件在外力作用下的变形、受力和破坏的规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度、稳定性分析的基本理论和方法。这两部分内容统属于古典力学范畴,只适用于物体运动速度远小于光速的情况下。但在广泛的工程问题中,由于物体的运动速度远小于光速,因此这两部分内容仍然是解决机械运动和工程问题的有力工具,在日常生活和生产实际中具有非常广泛和重要的实际意义。

工程力学的发展与生产、科学实验紧密地联系着,现代工程技术的发展又反过来丰富和完善了工程力学的内容,从这方面的来说:工程力学仍然是一门年轻的、富有生命力的和具有远大前途的科学。现代生产的日益发展和科学技术日新月异的进步,对工程力学提出了更多的要求,很多科学技术都涉及工程力学的概念,因此工程力学是现代工程技术人员必须掌握的一门重要的专业理论基础课,每一个工程技术人员都必须认真地学习它。

此外,工程力学的分析和研究方法在科学研究中具有一定的典型性,通过工程力学的学习,有助于培养学生的辩证唯物主义世界观,以及分析问题和解决问题的能力,使学生在整个学习过程中,逐步形成正确的逻辑思维,增强学生对待问题具有抽象、简化和正确地进行理论分析的能力。

理论力学又分为静力学、运动学和动力学三部分:静力学是研究物体平衡时作用力之间的关系;运动学是从几何观点研究点和刚体的运动规律,不考虑作用在点和刚体上的力;动力学是研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系。

材料力学的内容主要包括:材料力学的基本概念,静载荷下构件的强度、刚度和稳定性的计算,应力状态理论和强度理论,能量法计算结构位移,动载荷分析,交变应力下的强度计算等。关于强度、刚度和稳定性的概念是这样的:强度是指构件在载荷作用下抵抗破坏的能力;刚度是指构件在载荷作用下抵抗变形的能力;稳定性是指构件在载荷作用下保持其原有平衡形态的能力。

我们在学习本书时,首先要抓住对研究对象起决定性作用的因素,忽略次要的因素,作出假设,把复杂的研究对象抽象成便于研究的简单模型。本课程提到的质点、刚体等都是把真实物体加以抽象化的结果。正确的抽象不是离开客观实际,而是更深刻反映了实际。所以我们在学习工程力学时,应该很好地掌握抽象化方法的技巧。材料力学中许多理论分析结果是在某些假设条件下得到的。是否可靠,有待实验的验证,所以实验分析和理论研究同样是工程力学解决问题的手段。

数学与工程力学有着密切的关系,在学习工程力学的过程中,数学是不可缺少的工具,数学推演是主要特征。通过数学推演和推理,得出定理和结论,以揭示各个物理量之间

的联系和变化规律。但在学习中不能仅满足对数学推导的一般理解,更要理解各个推导结果的深刻含义,只有这样才能正确地运用理论去分析、解决各种生产和科研中提出的实际问题。

我国历代劳动人民有很多发明创造,为人类社会的进步做出过杰出的贡献。在我国古代工程力学就有过辉煌的发展,如都江堰、长城、赵州桥的修建,表明我国很早以前,在工程力学的水平是居于世界前列的。只是在近百年来,由于帝国主义的侵略,才使我国的科学事业,包括工程力学在内的发展,受到了严重的阻碍。中华人民共和国建国四十多年来,社会主义建设事业取得了突飞猛进的发展,在铁路、桥梁、水利、建筑、机械等新技术的应用,特别是人造地球卫星的发射和回收中的力学课题的解决,表明了我国工程力学的水平跃进了世界选进行列。现代机械向着高速、高效、精密的方向发展,许多高新技术工程,对工程力学提出许多迫切要求解决的问题,所以工程力学在现代高新科学技术领域内,是占有重要地位的,每一个工程技术人员必须认清这一点而勤奋学习。

静 力 学

静力学是研究物体在力的作用下的平衡条件的科学。它的任务可归纳为以下三项：

一是物体的受力分析。即分析某个物体共受几个力，以及每个力的作用线位置、大小和方向。

二是力系的简化。作用在物体上的力往往是复杂的。通常把作用在物体上的一群力，称为力系。若一个力系可以用另一个力系代替而不改变物体的原有状态，则称这两个力系等效。力系的简化就是将作用在物体上的力系代换为另一个与它等效且较为简单的力系。

三是研究力系的平衡条件。即研究物体平衡时，作用在物体上的力系所应满足的条件。

第一章 静力学基础

静力学的基本概念是从长期的生产实践和科学实验中总结概括出来的，是研究力系的简化和平衡的基础。本章将研究静力学的基本概念和静力学公理，以及约束和约束反力。

第一节 静力学基本概念和公理

一、静力学基本概念

(一)力的概念

力是物体之间的相互机械作用。这种作用能使物体的运动状态发生改变，称为力的外效应；也可使物体发生变形，称为力的内效应。在理论力学里主要研究力的外效应，而内效应是材料力学研究的内容。

力的作用效果决定于三个要素，即力的大小、力的方向和力的作用点。因此力是一个矢量，用 $\vec{F}$ 表示。

在国际单位制中，力的单位是牛顿(N)，有时也以千牛(kN)作为单位。在工程单位制中是公斤力(kgf，但现已禁止使用)。其关系为：

$$1\text{kN}=1000\text{N}, \quad 1\text{kgf}=9.8\text{N}$$

(二)刚体

在力的作用下,形状和大小都不改变的物体,其内部任意两点间的距离均保持不变,这样的物体称之为刚体。它是一个抽象化的力学理想模型。由于实际物体在力的作用下,都会产生程度不同的变形,因此绝对的刚体是不存在的。但一个物体在力的作用下变形很小,不影响研究问题的实质,就可将其看成刚体。

二、静力学公理

静力学公理概括了力的一些基本性质,是经过实践的反复检验,证明是符合客观实际普遍规律的。是静力学全部理论的基础。

(一)力的平行四边形法则

作用在刚体上的同一点的两个力可合成为一个力。合力也作用在该点;合力的大小和方向,由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定,如图 1-1。或者说 合力矢等于原两力的矢量和,即

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

式中“+”号为矢量相加,即按平行四边形规则相加。它为力系简化的重要基础。

(二)二力平衡公理

作用在刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,作用在同一条直线上,如图 1-2 所示。

必须指出,对于刚体这个条件是既必要又充分的;但对于非刚体,这个条件是不充分的。例如:软绳受两个等值反向的拉力作用可以平衡,而受两个等值反向压力作用就不能平衡。

工程上把只受两个力作用而处于平衡状态的构件称为二力构件(或二力杆)。则这两个力必须满足二力平衡条件。

(三)加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。这个公理也只适用于刚体;这是力系简化的重要依据。

推论 1 力的可传性

作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用。此推论可由二力平衡公理和加减平衡力系公理导出,读者可自己证明。

因此,对于刚体来说,力的作用点不再是力的三要素之一,是用作用线代替。作用在刚体上的力矢可沿作用线移动,这种矢量称为滑移矢。

推论 2 三力平衡汇交定理

若一刚体上受三个力作用且处于平衡状态,其中两个力的作用线相交于一点,则此三力必在同一平面内,且它们的作用线必汇交于一点。

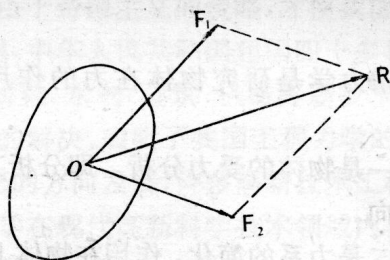


图 1-1

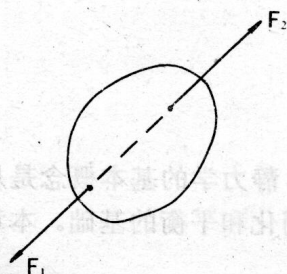


图 1-2

证明 如图 1-3 所示,在刚体的 A_1 、 A_2 、 A_3 三点上,分别作用三个相互平衡的力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 和 $\vec{F}_3$ 。根据力的可传性,将力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 移到交汇点 O ,然后根据力的平行四边形规,得合力 $\vec{R}$,则力 $\vec{F}_3$ 必与 $\vec{R}$ 平衡。由于两力平衡必须共线,所以力 $\vec{F}_3$ 必与 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 共面,且通过其交汇点 O 。

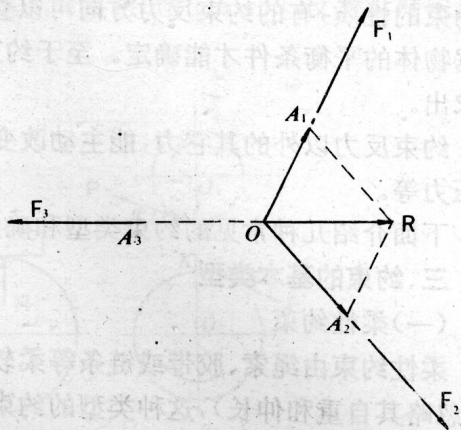


图 1-3

(四)作用反作用公理

两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等,方向相反,作用在同一条直线上。

在应用这个公理时,必须注意:作用力与反作用力同时存在,同时消失;分别作用在两个物体上。

第二节 约束和约束反力

在力学中通常把物体分为两类:一类是自由体,它们的位移不受任何限制,例如鸟在天空中自由飞翔,鱼在水中自由游动;另一类称为非自由体,它们的位移受到了预先给定条件的限制,例如放在桌面上的书的位移受到桌面的限制,吊在电线上的灯泡的位移受到电线的限制,在工程结构中每一构件都根据工作的要求以一定的方式和周围其它构件相联系着,如图 1-4 所示,曲柄冲压机冲头受到滑道的限制只能沿铅垂方向平动,飞轮受到轴承的限制只能绕轴转动,由以上分析引出约束和约束反力的概念。

一、约束

对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束,或者说对某一构件的运动起限制作用的其它构件,就称为这一构件的约束,前面提到的桌面、电线、滑道、轴承等就分别是书、灯泡、冲头、飞轮的约束。

二、约束反力

约束既然限制某一构件的运动,也就是说约束能够起到改变物体运动状态的作用,所以约束就必须承受物体对它的作用力,与此同时,它也给被约束物体以反作用力,这种力称为约束反力(或简称反力)。

约束反力是由于阻碍物体运动而引起的,所以属于被动力、未知力。静力分析的重要任务之一

就是确定未知约束反力,例如轴承给转轴的力,轨道给机车车轮的力等。约束反力的作用

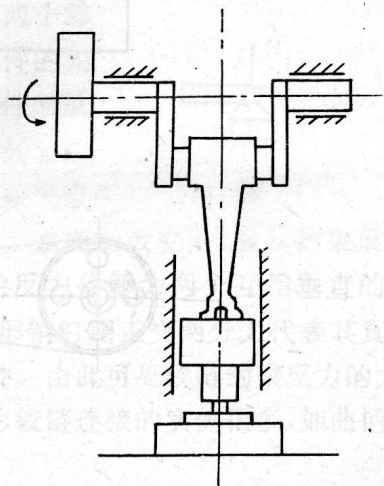


图 1-4