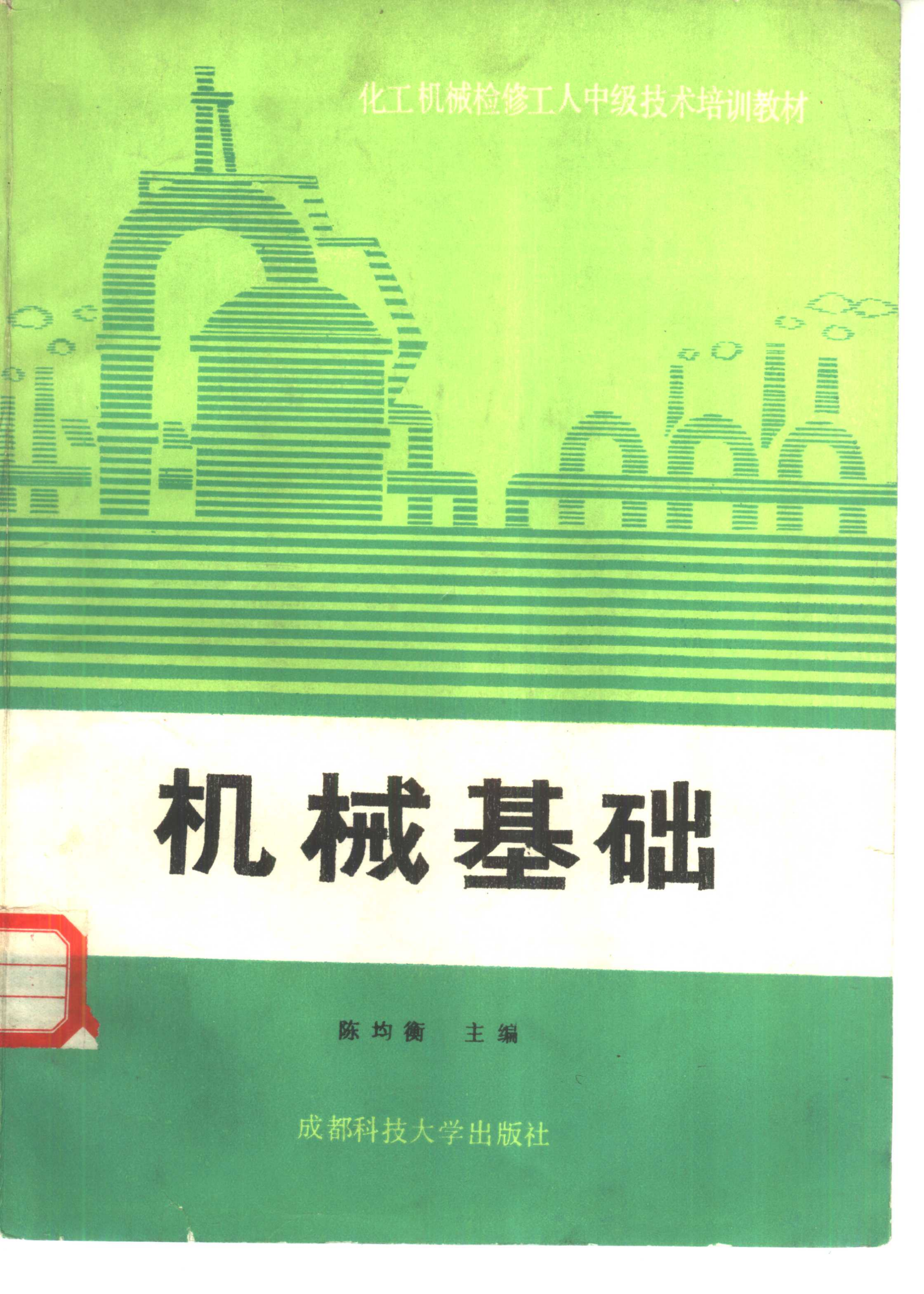


化工机械检修工人中级技术培训教材



机械基础

陈均衡 主编

成都科技大学出版社

化工检修工人中级技术培训教材

机 械 基 础

陈均衡 主编

成都科技大学出版社

1988·成都·

内 容 简 介

本书是根据一九八七年化工部审定的化工机械检修工中级技术理论培训《机械基础》教学大纲编写的。全书除绪论外，共分四篇二十章。前十三章讲述工程力学方面的基本知识，后七章介绍常用机构、通用零件的工作原理、结构特点和简单的设计计算等。本书的编排是从读者的认识规律和循序渐进的原则出发的，各章节内容系统完整，条理层次清楚，概念表述确切，便于组织教学，且适合读者自学。

本书尽量采用国际单位制，每章末附有小结、思考题和习题。

本书可作为全国化机检修工人进行中级技术理论培训的教材；也可作为化工技工学校化机专业机械基础课的教材；还可供有关初、中级科技人员参考。

机 械 基 础

陈均衡 主编

成都科技大学出版社出版、发行

四川省新华书店经销

成都银河印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：19.5

1988年5月第1版 1988年5月第一次印刷

印数：1—13000 字数：450千字

ISBN7—5616—0124—7/TH·4(课)

定价：5.10元

前 言

对广大工人进行比较系统的技术理论培训，是一项战略任务。开展这项工作，教材是个关键。为了统一培训目标及教学内容，逐步建立起比较正规的工人技术教育制度，我们在全国化工技术培训教材编委会的领导下，根据化工部颁发的《化工检修工人中级技术等级标准》和《化工机械检修工人中级技术理论培训教学大纲》，组织编写了化工机械检修九个工种〔检修（综合）钳工、机泵检修钳工、橡胶设备检修钳工、管工、铆工、电焊工、气焊工、起重工、无损探伤工〕用的五门技术基础课教材：《工程制图》、《机械基础》、《金属工艺基础》、《化工生产过程及机器设备》、《橡胶制品机械》和七门专业课教材：《化工检修钳工工艺学》、《化工管工工艺学》、《化工铆工工艺学》、《化工焊工工艺学》、《化工起重工工艺学》、《化工无损探伤工艺学》、《橡胶设备检修钳工工艺学》。

这套教材主要用于化工机械中级检修工人培训，也适用于技工学校、职业学校的相关专业，还可作为中专、大专院校有关专业实践性教学的参考书。考虑到在职培训的特点，同时也为了便于教学，这套教材在内容上贯彻“少而精”的原则，力求做到结构合理、份量恰当、联系实际、学用结合、由浅入深、循序渐进，在将基本概念、基本理论、基本技能阐述清楚的前提下，注意到知识的科学性、系统性和适合读者自学的需要。各门教材之间既注意相关的联系衔接，又使有一定的独立性和灵活性，使用单位既可利用整套教材对工人进行系统培训，又可选用其中的一种或几种进行短期的、专门的单项技术训练。

在编写过程中，吸取了不少职工教育工作者的意见。很多省市化工厅（局）、企业、学校和研究单位提供了大力支持和许多方便。书稿完成后，又在全国范围内组织了在工厂、学校、研究设计单位的许多同志进行审阅。对于参与编写工作和审稿工作的同志，我们致以诚挚的谢意。

编写化工机械检修工人技术理论培训的统一教材，建国以来还是第一次，由于时间仓促和编写经验不足，书中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望使用单位和广大读者批评指正，以便进一步修改完善。

化工部技术培训教材编委会

西南、西北地区组

1987年8月

编 者 的 话

本书力求贯彻“打好基础、精选内容、利于教学、便于自学”的原则，努力做到结构合理、份量恰当、层次清楚、系统完整、由浅入深、循序渐进、表述准确、文笔流畅，同时也注意了适合读者的需要。为便于学习，每章末附有小结、思考题和习题。

本书带星号的部分为选学内容，使用时可酌情取舍。为照顾化机检修九个不同工种的需要，本书选材内容丰富、知识复盖面较宽，所选例题和习题形式多样，数量也较大，使用本书时可作适当的精简调整。

本书附录仅摘录了少量与正文密切相关的数据资料。其它一般资料可查阅有关设计手册及标准、规范等。

本书由泸州化工学校陈钧衡同志担任主编，四川省机械设计研究院周嗣琨同志担任主审。绪论及第一章至第十三章由陈钧衡同志编写，第十四章至第十六章由泸州化工学校李寿高同志编写，第十七章至第二十章由泸州化工学校周应胜同志编写，书中第三篇各章插图由周应胜描绘，其余由陈谦绘图。

本书定稿前，由化工部全国化工技术培训教材编委会西南西北地区组，在昆明召开了审稿会。参加审稿会的有南京化工学校杜吉雷（参审组长）、南宁化工学校唐建雄、大连化学工业公司赵恩保、陕西兴平化工技校罗世烈、云南南坝化工厂何裔税等同志。与会同志认真审阅，逐章逐节提出问题、讨论问题。对本书的修改定稿起了很大的作用。对于他们的支持和帮助，谨在此一并表示衷心的感谢。

鉴于编者水平有限和编写时间短促，书中可能存在不少缺点和大要之处，热诚希望各使用单位、广大教师和读者批评指正。

编 者

1987年9月

目 录

绪论	(1)
第一篇 静力学	(2)
引言	
第一章 静力学的基本概念、公理和物体的受力分析	(2)
第一节 静力学的基本概念	(2)
第二节 静力学公理	(4)
第三节 约束和约束反力	(7)
第四节 研究对象和受力图	(11)
第二章 平面汇交力系	(18)
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	(18)
第二节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	(21)
第三章 力矩和力偶	(30)
第一节 力矩的概念和计算	(30)
第二节 力偶和力偶矩	(32)
第三节 平面力偶系的合成与平衡	(34)
第四章 平面任意力系	(39)
第一节 力线平移定理	(39)
第二节 平面任意力系向一点简化	(40)
第三节 平面任意力系的简化结果	(42)
第四节 平面任意力系的平衡条件	(43)
第五节 平面平行力系的平衡方程	(47)
第六节 均布载荷和固定端约束	(47)
第七节 静定和静不定问题的概念	(50)
第八节 物体系统的平衡	(50)
第五章 摩擦	(61)
第一节 滑动摩擦	(61)
第二节 摩擦角和自锁现象	(63)
第三节 考虑摩擦时物体的平衡问题	(64)
第四节 滚动摩擦的概念	(67)
第六章 空间力系和重心	(72)
第一节 力在空间坐标轴上的投影	(72)
第二节 力沿空间直角坐标轴的分解	(73)

第三节 力对轴之矩.....	(74)
第四节 将空间任意力系的平衡问题转化为平面问题的解法	(76)
第五节 重心.....	(77)
第二篇 材料力学	(85)
引言	
第七章 拉伸与压缩	(89)
第一节 轴向拉伸和压缩的概念及实例.....	(89)
第二节 轴向拉伸和压缩时的内力	(90)
第三节 轴向拉伸和压缩时横截面上的应力.....	(93)
第四节 轴向拉伸和压缩时的变形.....	(96)
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性质.....	(99)
第六节 许用应力和安全系数.....	(102)
第七节 轴向拉伸(压缩)时的强度计算.....	(103)
*第八节 拉压超静定问题的一般解法	(105)
第九节 应力集中的概念.....	(108)
第十节 蠕滑及松弛现象	(108)
第八章 剪切	(113)
第一节 剪切的 <u>概念</u> 和实例.....	(113)
第二节 剪切和挤压的实用计算	(114)
第三节 剪切变形和剪切虎克定律	(118)
第九章 扭转	(122)
第一节 扭转的概念和实例.....	(122)
第二节 扭转时的内力	(122)
第三节 圆轴扭转时的应力和变形.....	(125)
第四节 圆轴扭转时的强度条件和刚度条件.....	(129)
第十章 弯曲	(135)
第一节 弯曲的概念和实例.....	(135)
第二节 梁的类型和支座反力.....	(136)
第三节 梁弯曲时的内力—剪力和弯矩.....	(136)
第四节 剪力图和弯矩图.....	(139)
第五节 梁弯曲时横截面上的正应力.....	(147)
第六节 轴惯性矩的计算.....	(149)
第七节 梁的正应力强度条件	(152)
*第八节 提高梁弯曲强度的措施.....	(155)
第九节 梁的变形	(158)
第十一章 应力状态及强度理论简介	(171)
第一节 应力状态的概念	(171)
第二节 材料的破坏形式.....	(171)
第三节 强度理论的概念.....	(172)

第四节	四个强度理论	(173)
第十二章	组合变形	(177)
第一节	组合变形的概念和实例	(177)
第二节	弯曲与拉伸(或压缩)的组合	(177)
第三节	弯曲与扭转的组合	(180)
第十三章	压杆稳定问题及其他	(185)
第一节	压杆稳定的概念	(185)
第二节	计算临界载荷的欧拉公式	(185)
第三节	压杆的稳定计算	(189)
*第四节	提高压杆稳定性的措施	(190)
第五节	动荷应力和交变应力的概念	(191)
第三篇	机械传动	(196)
	引言	
第十四章	摩擦轮传动	(199)
第一节	摩擦轮传动的种类及应用	(199)
第二节	摩擦轮传动的滑动及特点	(200)
第十五章	带传动和链传动	(202)
第一节	带传动的类型、结构和特点	(202)
*第二节	带传动的工作情况分析	(207)
第三节	三角胶带传动的选择计算	(209)
第四节	链传动的类型、特点和应用	(214)
第十六章	齿轮传动和蜗杆传动	(218)
第一节	齿轮传动的特点和分类	(218)
第二节	齿廓啮合基本定律	(220)
第三节	渐开线齿廓的啮合特性	(221)
第四节	齿轮各部分的名称、标准直齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸	(222)
第五节	齿轮的材料与加工	(226)
第六节	齿轮传动的失效形式	(228)
第七节	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(230)
第八节	蜗杆传动	(234)
第九节	齿轮、蜗杆和蜗轮的构造	(237)
第十七章	轮系和减速器	(240)
第一节	轮系的功用和分类	(240)
第二节	定轴轮系传动比的计算	(241)
*第三节	周转轮系及其传动比	(243)
第四节	常用减速器简介	(245)
第十八章	联接	(251)
第一节	螺纹	(251)
第二节	螺纹联接	(254)

第三节	键、销联接.....	(258)
第十九章	轴系零件.....	(264)
第一节	轴.....	(264)
第二节	滑动轴承.....	(269)
第三节	滚动轴承.....	(274)
第四节	轴联器与离合器.....	(278)
第二十章	常用机构.....	(283)
第一节	平面连杆机.....	(283)
第二节	凸轮机构.....	(289)
第三节	螺旋机构.....	(291)
第四节	间歇运动机构.....	(293)

绪 论

机械基础是现代工程技术的重要理论基础之一。在化工机械检修工中级技术理论培训的教学计划中，它是一门理论性和实践性强的技术基础课。它的主要任务是阐述化工机器与设备的机械设计和机械传动方面的基础知识，目的是使读者了解和掌握化工机械检修工所必需的力学基础理论和研究方法，通过学习让读者初步学会运用这些理论和方法，去分析和解决简单的工程实际问题，为学习后继课程和进一步学习有关的科学技术知识打下必要的基础。

本书包括下面三部分内容。

第一部分静力学。静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学，主要研究力系的简化和力系的平衡条件两类问题。

在日常生活和工程技术中，存在着大量的静力学问题。静力学的定律、定理与结论，广泛地运用于各种工程技术之中。化工机械及其零部件的设计、制造、安装和维修都要用到静力学的知识，它是解决许多工程实际问题的重要基础。所以，化工机械检修工必须具备一定的静力学的知识，才能担负化工检修工的各种工作。通过静力学的学习，还将为学习材料力学、机械传动、化工过程及设备后等后继课和专业课等打下必要的基础。

第二部分材料力学。材料力学是为设计构件提供有关强度、刚度和稳定性计算的基本理论和方法的科学。对于化工机器及设备的零部件来说，就是在保证强度、刚度和稳定性的前提下，为构件选择合适的材料、确定合理的形状和尺寸，以达到既安全又经济的目的。通过材料力学的学习，还将使读者获得有关的工程概念，初步学会使用手册、标准、规范等资料并培养运算、绘图、查阅图表等分析问题和解决问题的能力。

第三部分机械传动。机械传动研究机械中常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法以及标准选用等问题，为化工生产中常用的机械传动设计提供基础知识，为使从事化工机械检修的技术工人，在了解机械的传动原理、设备的正确使用与维护等方面获得必要的基本知识。

机械基础，是一门实践性很强的课程。学习机械基础，应根据理论联系实际的原则，在认真理解基本概念、理论、定律和公式的意义及适用范围的基础上，通过必要数量的例题和习题的练习，比较熟练地掌握基本工程运算的技能；同时应重视对工程实际知识的学习，以不断提高分析问题和解决问题的能力。

总之，学好机械基础，无论对于学习专业课程，还是在今后工作中正确使用各种化工机器和设备以及对化工机器及设备进行技术改造，都可提供必要的理论知识。

第一篇 静 力 学

引 言

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。它主要解决两类问题：一是将作用在物体上的力系进行简化，即用一个简单的力系，等效地替换一个复杂的力系，这类问题称为“力系的简化（或称力系的合成）问题”；二是建立物体在各种力系作用下的平衡条件，这类问题称为“力系的平衡问题”。

静力学是机械基础的基础部分，在工程实际中有着广泛的应用。它所研究的两类问题（力系的简化和平衡），无论对于研究物体的运动和变形都有十分重要的意义。因为研究物体的运动和变形时都要分析力系对物体的总的效果，都要知道作用在物体上的各种力（包括未知力）的大小和方向。例如塔式吊车，它是由塔架、起重臂、平衡块、吊钩和钢丝绳等组成的。为了保证吊车能正常地进行工作，设计时必须首先分析各构件的受力情况，并根据平衡条件计算出这些力的大小，然后才能按照材料的性能确定所需的几何尺寸。此外，各种工程结构（如桥梁、房屋、水闸等）和机器的设计，也都需要静力学的知识。

第一章 静力学的基本概念、公理和 物体的受力分析

本章将讨论静力学中的一些基本概念、静力学公理、工程上常见的典型约束和约束反力以及物体的受力分析。由于静力学公理是静力学理论的基础，物体的受力分析是力学中的重要基本技能，所以无论从理论或实践方面来说，都应该认真学习、深刻领会、牢固掌握并灵活运用本章的内容。

第一节 静力学的基本概念

在静力学中，经常用到力、刚体和平衡这几个基本概念，下面分别加以阐述。

一、力的概念

关于力的概念是人们在生活和生产实践中，通过长期的观察和分析而逐步形成的。当人

们举起锤子或推动小车时,由于手臂肌肉的紧张和收缩而感受到了力的作用。这种作用不仅存在于人与物体之间,而且广泛地存在于物体与物体之间,例如机车牵引车辆启动(由静止进入运动)时、加速前进时或者制动时,机车与车辆之间、车辆与车辆之间都有力的作用。大量事实说明,力是物体之间的相互作用,离开了物体,力就不可能存在。力虽然看不见,但它的作用效应完全可以直接观察,或用仪器测量出来。实际上,人们正是从力的作用效应来认识力本身的,正如恩格斯所深刻指出的:“力以它的表现来量度”。

(一) 力的定义 力是物体之间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化,或者使物体发生变形。前者称为力的运动效应或外效应,后者称为力的变形效应或内效应。

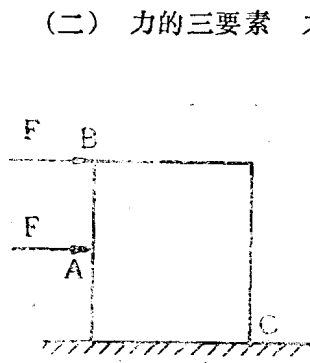


图1-1

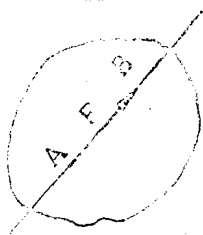


图1-2

(二) 力的三要素 力对物体作用的效应,决定于力的大小、方向(包括方位和指向)和作用点,这三个因素称为力的三要素。在这三个要素中,如果改变其中任何一个要素,也就改变了力对物体的作用效应。例如沿水平地面推一个木箱(图1-1),当推力 F 较小时,木箱不动,当推力 F 增大到某一数值时,木箱开始滑动。如果推力 F 的指向改变了,变为拉力,则木箱将沿相反方向滑动。如果推力 F 不作用在 A 点而移至 B 点,则木箱的运动趋势可能不是滑动而是绕 C 点转动而倾复。所以要确定一个力,必须说明它的大小、方向和作用点,缺一不可。

力是矢量 力是一个既有大小又有方向的量,而且力的相加服从矢量加法规则,因此力是矢量(或称向量)。

力的矢量表示 矢量可用一具有方向的线段来表示,如图1-2所示。用线段的长度按一定的比例尺表示力的大小,用线段的方位和箭头指向表示力的方向,用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的直线称为力的作用线。本书中用黑体字母如 $\mathbf{F}$ 来标记矢量并以同一字母的非黑体字 F 代表力的大小,手写时则在字母上方加一横线如 $\overline{F}$ 或 $\overline{AB}$ 来表示矢量。

力的单位 力的国际制单位是牛顿,或千牛顿,其代号为 N 或 KN ; 力的工程制单位是公斤力,或吨力,其代号为 kgf 或 tf 。两者的换算关系是

$$1 \text{ 公斤力} \approx 9.8 \text{ 牛顿}$$

(三) 等效力系

1. 力系 作用在物体上的若干个力总称为力系,以 $(F_1, F_2, F_3, \dots, F_n)$ 表示(图1-3, a)。

2. 等效力系 如果作用于物体上的一个力系可用另一个力系来代替,而不改变原力系对物体作用的外效应,则这两个力系称为等效力系或互等力系,以 $(F_1, F_2, \dots, F_n) \sim (F_1', F_2', \dots, F_n')$ 表示(图1-3, b)。

需要强调的是,这种等效力系只是不改变对于物体作用的外效应,至于内效应显然将随力的作用位置等等的改变而有所不同。

3. 合力 如果一个力与一个力系等效,则该力称为此力系的合力,而力系中的各力则

称为这个合力的分力 (图 1—3, c)

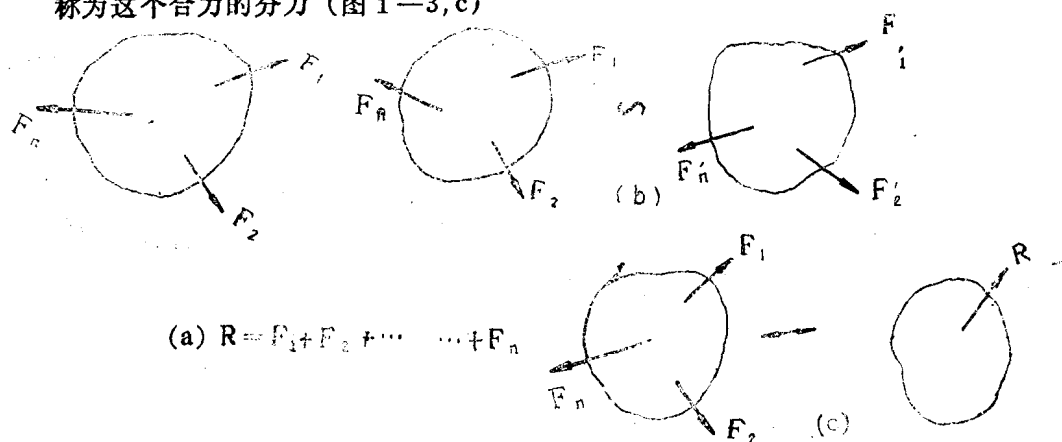


图1—3

二、刚体的概念

任何物体在力的作用下, 都会产生程度不同的变形。但是, 工程实际中的机械零件和结构构件在正常工作情况下的变形, 一般都是非常微小的。这样微小的变形, 对研究物体的平衡问题不起主要作用, 可以忽略不计。例如一根梁, 当其受力而弯曲时, 由于变形微小, 支点之间距离(跨度)的变化量也很小, 故在求支承反力时仍可按跨度不变的情况(即视为刚体)来考虑。

所谓刚体是指在受力情况下保持其几何形状和尺寸不变的物体, 亦即受力后任意两点之间的距离保持不变的物体。显然, 这只是一个抽象化了的模型, 实际上并不存在这样的物体。这种抽象简化的方法, 虽然在研究许多问题时是必要的, 而且也是许可的, 但还是有条件的。以后我们将会看到, 在研究物体内部各点之间相互的作用力时, 即使变形很小, 也必须考虑物体的变形情况, 即把物体视为变形体而不能再看作刚体。

三、平衡的概念

所谓物体的平衡, 一般是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。

若物体处于平衡状态, 那么作用于物体上的力系必须满足一定的条件, 这些条件称为力系的平衡条件; 作用于物体上使物体保持平衡的力系则称为平衡力系。静力学研究物体的平衡问题, 实际上就是研究作用于物体上的力系的平衡条件, 并利用这些条件解决具体问题。

第二节 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, 经过反复的观察和实验总结出来的客观规律, 它正确地反映和概括了作用于物体上的力的一些基本性质。静力学的全部理论, 即关于力系的简化和平衡条件的理论, 都是以这些公理为依据而得出的。

公理1 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力, 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, 且作用于同一直线上(简称等值、反向、共线)(图 1—4)。

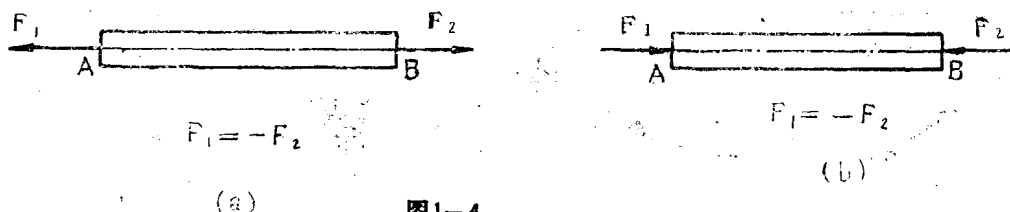


图1-4

这个公理揭示了作用于物体上的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；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，而受两个等值反向的压力作用就不能平衡。

二力体 只受两个力作用而处于平衡的物体称为二力体，如图1-5所示。机械及建筑结构中的二力体常常统称为“二力构件”，它们的受力特点是：两个力的方向必在二力作用点的连线上。

应用二力体的概念，可以很方便地判定结构中某些直杆与曲杆的受力方向。如图1-6所示三铰拱中的BCD部分，当车辆不在该部分上且不计自重时，它只可能通过B、C两点受力，是为二力构件，故B、C两点的作用力必沿BC连线的方向。

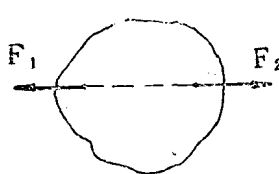


图1-5

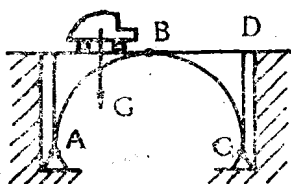


图1-6

公理2 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系中，加上或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的效应。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。这个公理常被用来简化某一已知力系。

应用这个公理可以导出作用于刚体上的力的如下一个重要性质。

力的可传性原理 作用于刚体上的力，可沿其作用线任意移动而不改变它对刚体的作用效应。例如，图1-7中在车后A点加一水平力F推车，与在车前B点加一水平力F拉车，对于车的运动而言，其效果是一样的。

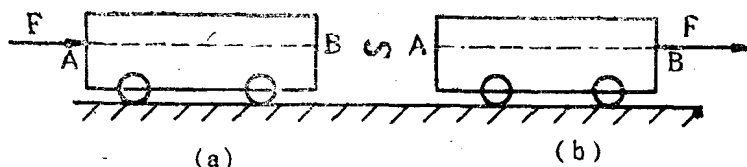


图1-7

这个原理可以利用上述公理推证如下（图1-8）：

(1) 设力 F 作用于刚体上的A点(图1—8, a);

(2) 在力的作用线上任取一点B, 并在B点加一平衡力系(F_1, F_2), 使 $-F_1 = F_2 = F$ (图1—8, b)。由加减平衡力系公理知, 这并不影响原力 F 对刚体的作用效应, 即力系(F, F_1, F_2) $\approx F$;

(3) 再从该力系中去掉平衡力系(F, F_1), 则剩下的力 F_2 (图1—8, c) 与原力 F 等效。这样就把原来作用在A点的力 F 沿其作用线移到了B点。

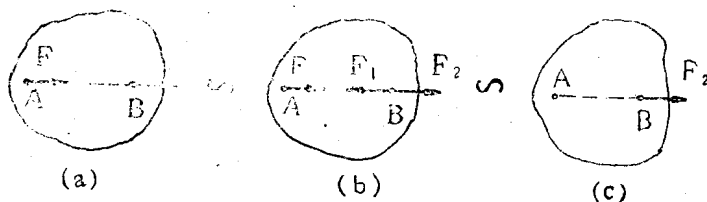


图1—8

根据力的可传性, 力在刚体上的作用点已为它的作用线所代替, 所以作用于刚体上的力的三要素又可表示为: 力的大小、方向和作用线。这样, 力矢就成为滑动矢量。

应当指出, 加减平衡力系公理以及力的可传性原理, 只适用于刚体, 即只有在研究刚体的平衡或运动时才是正确的。对于需要考虑变形的物体, 加减任何平衡力系, 或将力沿其作用线作任何移动, 都将改变物体的变形或物体内部的受力情况。例如, 图1—9, a所示的杆AB, 在平衡力系(F_1, F_2)的作用下会有拉伸变形; 如去掉该平衡力系, 则杆就没有变形; 如根据力的可传性, 将这两个力沿作用线分别移到杆的另一端, 如图1—9, b所示, 则该杆就要产生压缩变形。

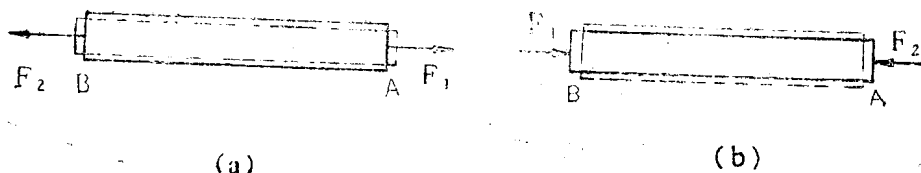


图1—9

公理3 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力, 其合力显然也作用在该点上, 至于合力的大小和方向则由以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来确定(图1—10, a)。

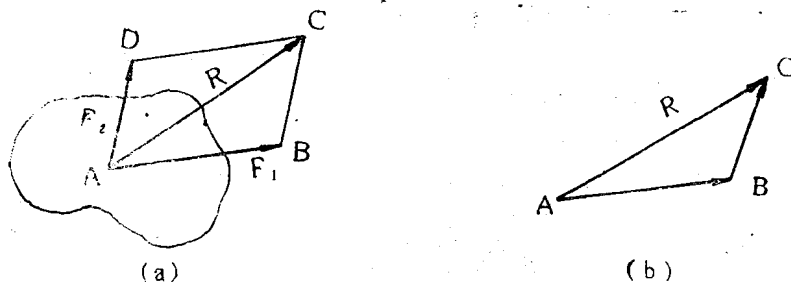


图1—10

图 1—10, a 中, 力 R 为力 F_1 、 F_2 的合力; 力 F_1 、 F_2 为力 R 的分力。合力矢和分力矢间的关系可用如下的矢量等式表示:

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

应该指出, 式 (1—1) 是矢量等式, 它与代数等式 $R = F_1 + F_2$ 的意义完全不同, 不能混淆。当分力 F_1 、 F_2 已知时, 合力 R 的大小和方向可根据力的平行四边形应用三角公式算出, 或通过几何作图直接量得。根据公理 3 求合力的几何方法称为力的平行四边形法则。应用平行四边形法则求得的作用在物体上同一点的两个力的合力, 不仅在运动效果上, 而且在变形效果上, 都与原来的两个力等效。

从图 1—10, a 容易看出, 在求合力矢 R 时, 实际上只要作出力的平行四边形的一半, 即一个三角形就可以了。为了使图形清晰起见, 常把这个三角形画在力所作用的物体之外。如图 1—10, b, 从 A 点作一个与力 F_1 大小相等、方向相同的矢量 $\overline{AB}$, 过 B 点作一个与力 F_2 大小相等、方向相同的矢量 $\overline{BC}$, 则 $\overline{AC}$ 即代表力 F_1 、 F_2 的合力 R 。这样画成的三角形 ABC 称为力三角形; 而这种求合力的几何方法称为力三角形法则。作力三角形时, 必须遵循: ①分力力矢首尾相接, 但次序可变; ②合力力矢与最后分力箭头相联。还应注意, 力三角形只表明力的大小和方向, 它不表示力的作用点或作用线。

力的平行四边形法则总结了最简单的力系简化的规律, 它是较复杂力系合成的主要依据。

力的分解是力的合成的逆运算, 因此也是按平行四边形法则来进行的。在工程实际中, 通常遇到的是在平面内把一个力分解为方向已知的两个分力, 特别是分解为方向互相垂直的两个分力。

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、指向相反, 且沿同一直线。

这个公理概括了自然界的物体相互作用的关系, 表明作用力和反作用力总是成对出现的。

必须强调指出, 大小相等、指向相反、沿同一直线的作用力与反作用力, 它们分别作用在两个不同的物体上, 因此, 决不可认为这两个力互相平衡。这与二力平衡公理中所说的两个力有本质的区别。后者是作用在同一物体上的, 且只有当这一物体处于平衡时, 它们才等值、反向、共线。至于作用力和反作用力, 它们的等值、反向、共线是无条件的, 即使对于运动状态处于改变中的两个物体之间也是这样。

第三节 约束和约束反力

一、约束的概念

(一) 自由体与非自由体 在空间能向一切方向自由运动的物体, 称为自由体。如空中的飞鸟、航行中的飞机和飞行的炮弹与火箭等。当物体受到了其他物体的限制, 因而不能沿某些方向运动时, 这样的物体称为非自由体。如悬挂在绳索上的重球, 支承于墙上的梁, 安装在轴承中的电机转子, 沿钢轨行驶的机车等都是非自由体。

(二) 约束 在各种机器及工程结构中, 每一构件都根据工作要求以一定方式与周围的

其它构件相联系着，因而它们的运动都被与它们相联系的其它构件所限制。这种由周围物体构成的对于非自由体运动的限制条件，称为该非自由体的约束。例如绳索就是对于重球的约束，钢轨就是对于机车的约束，…等等。

广义地说，一切物体都与周围的物体有联系，而物体的运动又总是会受到周围物体的限制，所以，我们把物体间相互联系的方式总称为约束。

如前所述，限制物体自由运动的条件称为约束。而这个条件，常常就是由被约束物体周围的其它物体构成的，所以，构成约束的物体也常称为约束。

(三) 约束反力 约束既然限制了物体的运动，它就必然承受物体对它的作用力，与此同时，它也给予该物体以反作用力。例如绳索既然阻止重球下落，它就受到重球对它的向下的作用力，同时它也给重球以向上的反作用力。这种约束作用在被约束物体上的力称为约束反力，简称反力。图1—11b中的力 T 就是绳索对重球的约束反力。

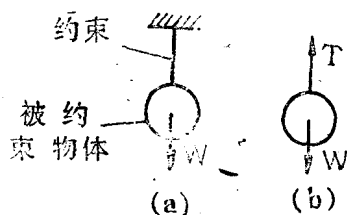


图 1-11

在一般情况下，约束反力是由使物体运动或使它有运动趋势的所谓主动力引起的，所以约束反力也称为“被动力”，它随主动力的改变而改变。

在静力学中，主动力往往是给定的，而约束反力是未知的。因此，对约束反力的分析，就成为对物体进行受力分析的重点。

应该指出，将力分为主动力和约束反力，只是对物体进行受力分析时的一种分类方法，它们作用在同一物体上，不是作用与反作用的关系。图1—11b中， T （约束反力）和 W （主动力）虽等值、反向、共线，但反力 T 并不是主动力 W 的反作用力，因为约束反力 T 是约束给非自由体的力，而主动力 W 却是另一物体（指地球）给非自由体的力。这两个力是不同的物体作用在同一物体上的。

(四) 约束反力的方向 因为约束反力起着限制非自由体运动的作用，所以它的作用点应在约束与被约束物体相互接触之处，它的方向应与约束所能限制的运动方向相反。这是确定约束反力方向的准则。至于约束反力的大小，将由平衡条件求出。

二、工程中常见的几种约束类型及其约束反力的特性

(一) 柔体约束（柔索） 工程上常用的绳索（包括钢丝绳）、胶带和链条等所形成的约束，称为柔体约束。这类约束的物理性质决定了它们只能承受拉伸而不能抵抗压缩和弯曲。当物体受到柔体约束时，柔索只能限制物体沿柔索伸长方向的运动，因此柔索的约束反力方向总是沿着柔索而指向约束（即只能是拉力）。图1—11a表示用绳索悬挂一重物，绳索只能阻止物体向下（即沿绳索伸长的方向）的运动，因此它所产生的约束反力 T 竖直向上，如图1—11b所示。

当柔性的胶带或链条绕过轮子时，胶带或链条的约束反力就沿轮缘的切线方向，如图1—12所示。

(二) 光滑面约束 当两物体接触面上的摩擦力很小时，接触面可以认为是“光滑”的。物体与光滑支承面接触时，不论接触面形状如何，都不能限制物体沿接触面切线方向运动，而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，光滑面的约束反力，通过接触点，方向沿接触面的公法线并指向被约束物体（即只能是压力），如图1—13所示。这种