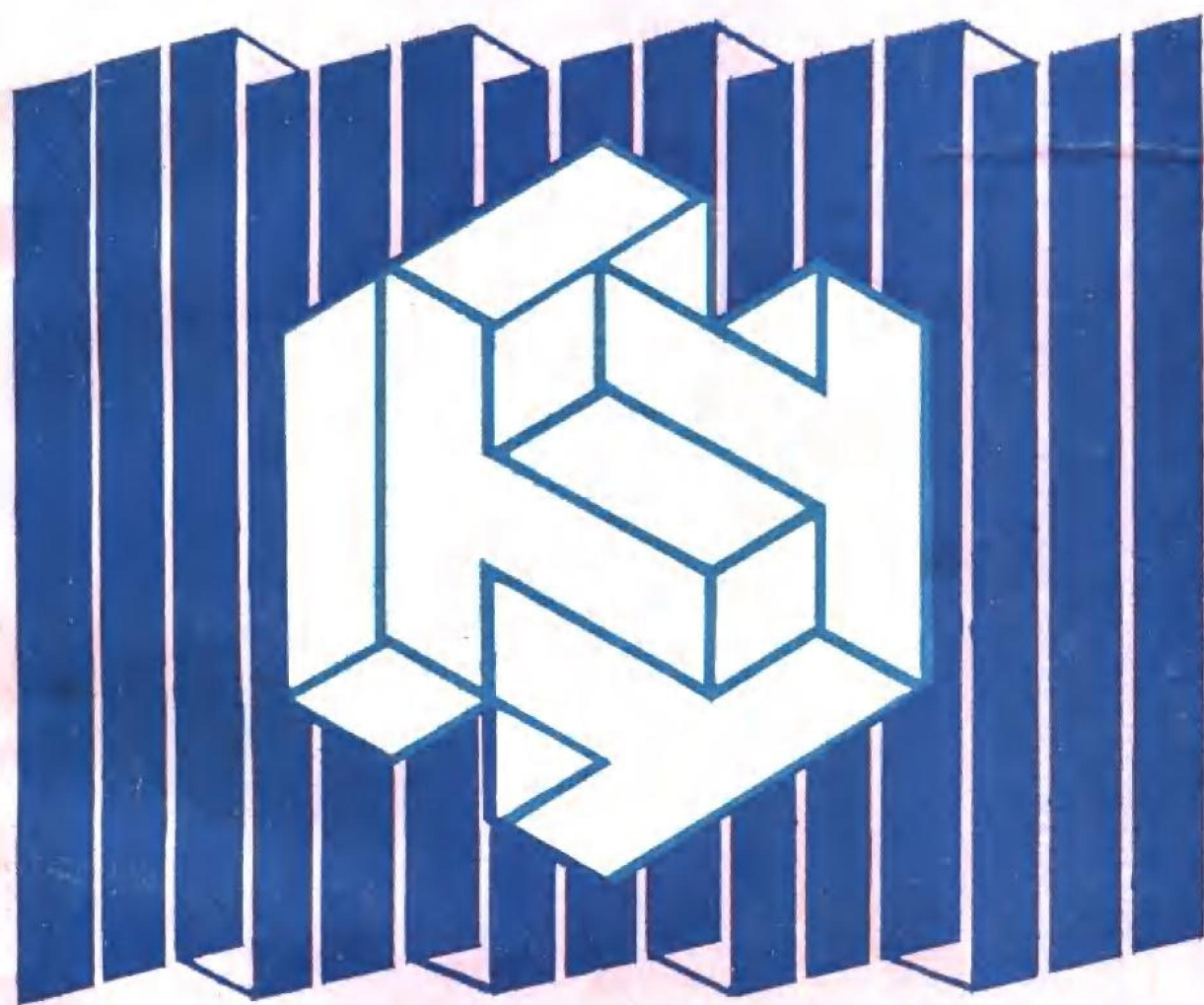


全国建筑安装企业中级技工培训教材



● 四川科学技术出版社

全国安装协会组织

余智奇 编

起重工

责任编辑: 刘阳青
封面设计: 李清拂
技术设计: 康永光

全国建筑安装企业中级技工培训教材

起重工

余智奇 编

四川科学技术出版社出版、发行

(成都盐道街3号)

郫县东郊印刷厂印刷

ISBN7-5364-1451-X/TB·12

1980年11月第一版 开本 787×1092毫米 1/16

1994年8月第三次印刷 字数 430千

印数 11801—17200册 印张 17.25 插页 4

定 价: 9.40元

前 言

为适应职工岗位培训的需要，根据国家建设部劳资局的指示，由我中心组织编写了一套全国建筑安装企业中级技术工人（4～6级）培训教材，这本《起重工》教材，是根据国家建设部劳资局颁发的《建设安装工人中级技术理论教学计划 and 教学大纲》编写的，全书由起重基础理论、起重吊装工艺两部分组成。教学时数约为150课时。

本书在编写过程中，十分重视理论联系实际，力求在内容上做到深入浅出，通俗易懂，既适合于课堂教学使用，又能满足自学的要求。初稿形成后，广泛征求了各方面的意见进行补充修改，使其尽量适合中级技工岗位培训使用。

参加本书审稿的有包其国、赵兴仁、汪信祥、钱骥良、刘绍友、侯启纯、王尔均等同志，由包其国同志担任主审。

本书在编审全过程中，得到了四川省建筑工程总公司、四川省工业设备安装公司、南京建工学院、化工部淮南化

校、机械工业部德阳安装技校、济南工业设备安装公司、上海市工业设备安装公司、杭州市工业设备安装公司、大庆市建一公司等单位的大力支持。

对参加本书编审的同志和支持编审工作的单位，谨致以衷心的感谢。

在使用本教材的过程中，希单位和个人提出宝贵意见，以便修改补充，不断完善。

中国建筑业联合会安装协会人才培训中心

1989年 3月

目 录

第一篇 起重力学基础

第一章 静力学

第一节 静力学基础.....	2
第二节 平面汇交力系.....	7
第三节 力矩与力偶.....	16
第四节 平面任意力系.....	21
第五节 重心、摩擦力与惯性力.....	27

第二章 材料力学

第一节 材料力学基础.....	33
第二节 拉伸与压缩.....	35
第三节 剪切与挤压.....	44
第四节 直梁弯曲.....	48
第五节 组合变形.....	63
第六节 压杆稳定.....	65

第二篇 设备起重工艺

第三章 设备安装常用起重机械

第一节 起重机械的分类及基本参数.....	70
第二节 桅杆式起重机.....	74
第三节 机械式起重机.....	114

第四章 起重工具

第一节 起重索具、吊具.....	124
------------------	-----

第二节 常用机具.....	138
---------------	-----

第五章 设备运输和装卸法

第一节 设备运输法.....	151
第二节 设备装卸法.....	155

第六章 起重吊装工艺

第一节 吊装工艺的选择.....	157
第二节 设备吊装工艺.....	158

第七章 其它起重知识

第一节 起重施工方案的确定和组成.....	229
第二节 常用起重信号.....	230
第三节 起重施工技术规范简介.....	233
第四节 脚手架搭拆.....	236
第五节 识图制图的初步知识.....	239

附录

第一篇 起重力学基础

起重力学属工程力学的范畴。各种机械都是由许多不同构件组成的，当机械工作时，这些构件将受到力的作用。这种作用，或改变构件的运动状态，或使构件的尺寸和形状发生变化。当作用力过大时，构件将产生过份的变形，甚至破坏。如何分析计算构件的受力情况，运动情况，以及为其选择适当的材料，确定合理的截面形状尺寸，以保证构件安全可靠地工作，这就是工程力学所要研究的主要问题。

起重力学基础由两部分组成：一是理论力学中的静力学；二是材料力学。

静力学的主要任务，是研究物体在力的作用下处于平衡的规律，建立各种力系的平衡条件。在静力学部分还着重讨论物体受力分析和计算的基本方法等。

材料力学的主要任务，是研究工程构件在外力（通常称为载荷）作用下发生变形和破坏的规律。为了保证机械或工程结构的正常工作，构件应该有足够的承担载荷的能力，依载荷形式的不同，构件承担载荷的能力被分别称为刚度、强度或稳定性，等等。材料力学的任务是为构件选择适宜的材料，确定合理的形状和尺寸，为保证构件既安全又经济的要求，提供基本理论和基本计算方法。

设备起重技术中就包含了力学中最普遍最基本的规律。学习起重力学可以帮助我们正确分析起重机具、被吊装设备的受力状况，正确使用、维护、革新机具等等。有许多设备安装工程的实际问题，可以直接应用起重力学的基本理论去解决；有些比较复杂的设备起重工程问题，则需应用起重力学和起重专业技术知识共同来解决。起重力学在设备起重工艺中运用相当广泛，所以起重力学基础是我们学习起重工艺技术的基础。力学的产生和发展与生产实践密不可分，生产的需要促进了力学的发展，力学理论又反过来促进生产。将学到的力学知识应用到生产实践中，这是在职工人学好起重力学的一个好方法。

第一章 静力学

静力学主要研究物体受力的分析方法和物体在力系作用下处于平衡的条件。

所谓力系，是指作用于同一物体上的一群力。

静力学中的平衡，是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动。平衡是机械运动的一种特殊情况，即运动状态不发生变化的机械运动。物体受力分析方法和力系平衡条件在工程中运用极广，如静载荷下的工程结构（桥梁、起重机、屋架等）、常见的机械构件（如轴、螺栓、齿轮等），以及低速运行机械等，它们在工作时大多处于平衡状态，或者可以近似看作平衡状态。为了合理设计或选择这些构件的形状、尺寸，必须首先运用静力学知识，对其进行受力分析，再根据平衡条件求出未知力。

第一节 静力学基础

一、静力学基本概念

在静力学中，常用到力和刚体这两个基本概念。

1. 力的概念

力是物体对物体的作用，力的作用效果是使物体改变运动状态或者使物体产生变形。所以力不能脱离物体凭空产生或存在，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。

力对物体的作用效果决定于力的大小、方向和作用点，通常我们把这三个因素称为力的三要素。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。

为了测定力的大小，首先必须确定力的单位。力的单位是牛顿，其单位符号为N；有时也用千牛顿作单位，符号是KN。牛顿与工程单位制中公斤力或吨力的换算关系是

$$1(\text{kgf}) = 9.807(\text{N}) \approx 10\text{N}; 1(\text{tf}) \approx 10\text{KN}$$

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）来表示（图1-1），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，沿力的方向所画的直线，称为力的作用线。

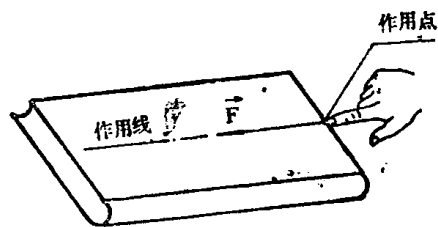


图 1-1

2. 刚体

在任何力的作用下保持大小和形状不变的物体称为刚体。在静力学中，常把受力物体视

为刚体，这是一个理想化的力学模型。实际上，物体在力的作用下，其大小和形状均会产生不同程度的变化。不过，工程上的构件承受力的作用时，发生的变形一般都很微小，甚至只有专用仪器才能测量出来，在本书所涉及的力学问题中，忽略这种小变形并不会对所研究的结果产生显著的影响，但却能使研究的问题得到简化。

二、静力学公理

所谓公理，就是从实践中总结出来的客观规律。静力学的全部理论，就是建立在这些公理的基础上的。

1. 静力学公理

公理 1：力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力也作用于该点上。合力的大小和方向，由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。

如图 1—2 (a) 所示， $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 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 OABC，则从 O 点作出的对角线 OB，就是 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 的合力 $\vec{R}$ 。

实际应用上，在求合力 $\vec{R}$ 时，不一定要作出整个平行四边形 OABC。因为平行四边形的对边平行且相等，所以只要作出对角线一侧的一个三角形 ($\triangle OAB$ 或 $\triangle OCB$) 就可以了。如图 1—2 (b) 所示，只要将力矢 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 首尾相接，成一折线 OAB，再用直线 OB 将其封闭成一个三角形，那么矢量 $\vec{OB}$ 就代表合力 $\vec{R}$ 。显然，在作折线时，两力的先后次序可以任选。这一力的合成方法称为力的三角形法则。由上可知，它是由平行四边形公理演变出来的，应用上更为简便。

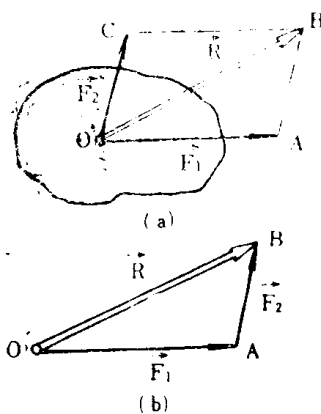


图 1—2

力的平行四边形公理是力的合成和分解的依据，也是较复杂力系简化的基础。

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必要与充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反、且作用在同一直线上（简称二力等值、反向、共线）。如图 1—3 (a) 所示的刚体，当 $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ （负号说明 $\vec{F}_2$ 的方向与 $\vec{F}_1$ 相反），则刚体平衡。

在两个力作用下处于平衡的刚体称为二力体，若刚体是一个杆件，也可称为二力杆件。图 1—3 (b) 中的杆 CD，若不计自重，就是一个二力杆件，这时 $\vec{F}_C$ 和 $\vec{F}_D$ 的作用线必然在二力作用点的连线上，且等值、反向。

必须注意，二力平衡条件只对刚体平衡来说才是必要、充分条件。但对于非刚体，二力平衡条件是不充分的。例如起重绳索，当其两端受等值、反向、共线的拉力作用时可以平衡，

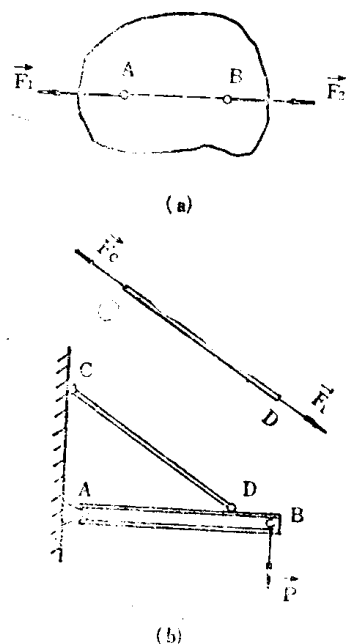


图 1—3

而受等值、反向、共线的两个压力作用时就不能平衡了。

公理 3：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，但分别作用在这两个物体上。

这里应注意公理 2 和公理 3 的区别，公理 2 叙述了作用在同一物体上两力的平衡条件；公理 3 是描述两物体间的相互作用关系，作用力与反作用力是分别作用在两个不同的物体上的，不可混淆。因此，对于同一物体，不能认为作用力与反作用力相互平衡，组成平衡力系。例如拖排的滚杠放在枕木道上（见图 1—4·a），滚杠对枕木面有一作用力 $\vec{N}$ ，枕木对滚杠有一反作用力 $\vec{N}'$ ，前者作用于枕木面，而后者作用于滚杠上（图 1—4·b），不能认为是二力平衡。如再分析滚杠的受力情况，可知滚杠受到重力 $\vec{G}$ 和枕木面给滚杠的反作用力 $\vec{N}'$ 作用，在此受力状态下，这两个力使滚杠形成二力平衡（图 1—4·c）。

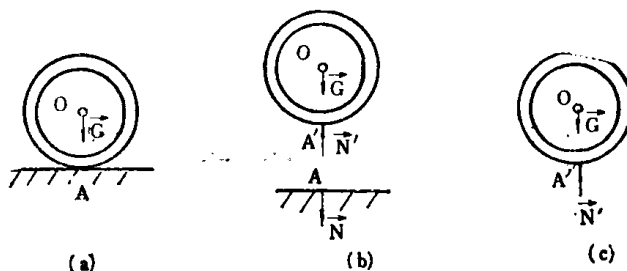


图 1—4

公理 4：加减平衡力系公理

在作用着已知力系的刚体上，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。

2. 两个推论

根据上述静力学公理，可以得出以下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（见图 1—5）。

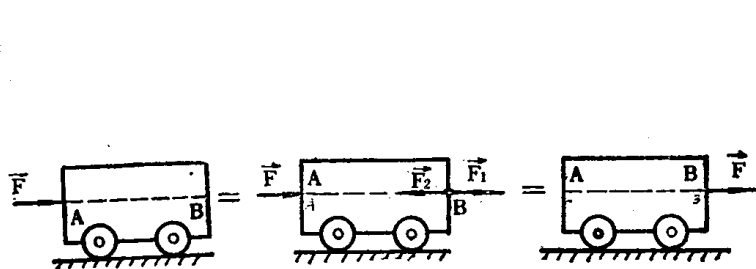


图 1—5

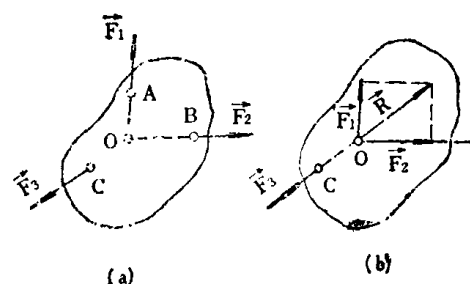


图 1—6

推论 2：三力平衡汇交原理

刚体受不平行的三个力作用而又保持平衡时，这三个力的作用线必在同一平面内，且汇交于一点。

由此推论可知，刚体受不平行的三力作用而平衡时，只要已知其中两个力的大小和方向，则第三个力的方向和大小就可按三力平衡汇交原理来确定（见图 1—6）。

三、约束与约束反力

起重机械的各个构件之间是相互关联的，它们相互产生力的作用。为了明确每一构件的受力状态，则必须对其作受力分析。

如果物体受到其它物体的限制，而使此物体在某些方向的运动成为不可能，则其运动受到限制的物体称为非自由体。如起重桅杆、起重机臂杆等，都是非自由体。那些限制非自由体运动的周围物体称为约束，如被吊设备受到钢丝绳的限制，不能下落，钢丝绳就是被吊装设备的约束。

当物体受到约束时，物体与约束之间相互作用着力。约束给物体的力限制物体的某些运动。约束给被约束物体的力，称为约束反力。

除约束反力以外，物体所受的其它力（如重力、拉力、压力等），称为主动力。物体所受的主动力的大小和方向一般是已知或可测定的。在静力学问题中，主动力和约束反力组成平衡力系，因此可利用平衡条件来求约束反力。

以下介绍工程中常见的几种约束和确定约束反力的方法。

1. 柔性约束

由柔性的绳索、链条、皮带等形成的约束称为柔性约束。柔性约束只能承受拉力，不能承受压力和弯曲，其约束反力作用于联接点上，方向沿着绳索而背离物体。如在桥式起重机吊钩上的钢丝绳上吊起一减速机箱盖（见图 1—7），箱盖的重力 $\vec{G}$ 是主动力，根据柔性约束反力的特点，可以确定

钢丝绳给吊钩A的力一定是拉力（图中的 $\vec{T}_1$ 、 $\vec{T}_2$ 和 $\vec{T}$ ）；钢丝绳给箱盖的力也是拉力（ $\vec{T}_1'$ 、 $\vec{T}_2'$ ）。

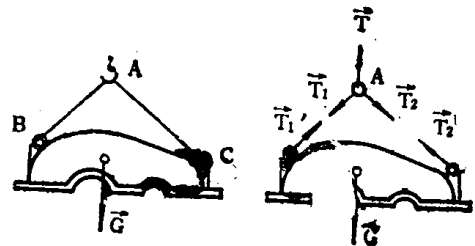


图 1—7

2. 光滑面约束

两个互相接触的物体，如果接触面上的摩擦力很小可以略去不计时，这种光滑接触面所构成的约束，称为光滑面约束。

光滑面约束反力通过接触点，其方向总是沿接触表面的公法线而指向受力物体，使物体受一法向压力作用。这种约束反力也称为法向反力。图 1—8（a）所示为一停在光滑地面上的小车，地面对小车A、B两轮的约束反力 N_A 、 N_B ，都沿着接触表面（轮缘与地面）的公法线方向指向车轮。图 1—8（b）所示为另一类光滑面约束，物体与约束在A、B、C三处均为点与面的接触，其约束反力沿接触处的公法线而指向被约束物体。图 1—8（c）所示为齿轮啮合时，以齿廓曲面相接触的光滑面约束方式。

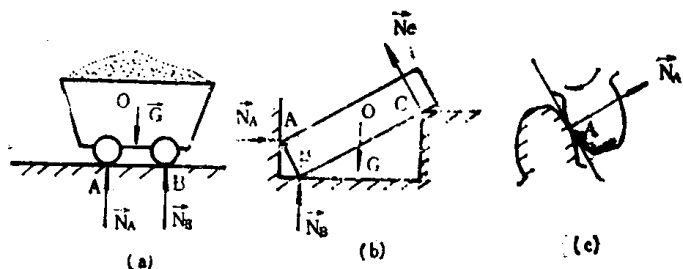


图 1—8

3. 铰链约束

由铰链构成的约束，称为铰链约束。这种约束是采用圆柱销C插入构件A和B的圆孔内

而构成(图1—9·a、b),其接触面是光滑的。这种约束限制构件A、B间的相对移动,而仅能绕圆柱销C自由转动。铰链约束简图如图1—9(c)所示。铰链的应用很广,其结构形式也不同,如门窗合叶铰链,曲柄与连杆、活塞的联接,大型铁塔扳吊工艺中,塔架脚与基础相联接的特殊铰链等,这些都是铰链约束的实例。图1—10为起重臂杆与底座的铰链约束形式,下面介绍两种常见的铰链支座约束。

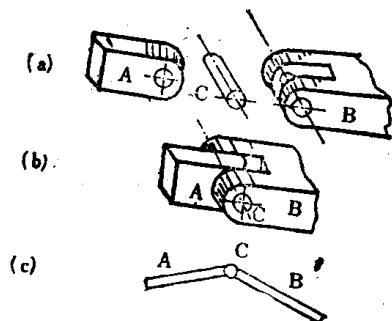


图 1—9

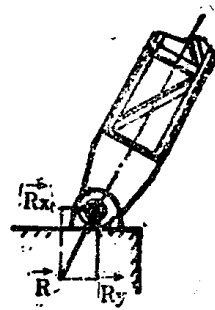


图 1—10

(1) 固定铰链支座 用圆柱销联接的两构件中,有一个是固定件,称为支座,其外形如图1—11(a)所示。圆柱销3固连于支座1上,构件2可绕圆柱销中心旋转,图1—11(b)为固定铰链支座简图。

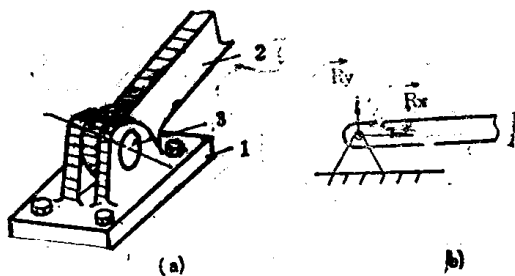


图 1—11

1—底座; 2—转臂; 3—转轴

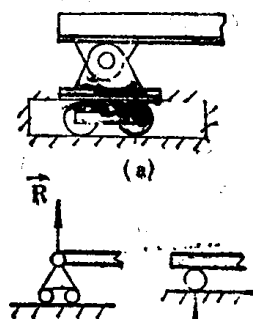


图 1—12

(2) 活动铰链支座 工程中常将桥梁、屋架等结构用铰链联接在有几个圆柱形滚子的活动支座上,以便支座左右相对移动,即允许两支座间距离稍有变化裕度,这种约束称为活动铰链支座。其结构示意图见图1—12(a),图1—12(b)、(c)是活动铰链支座的简图。

活动铰支的约束反力方向垂直于支承面,且通过铰链中心。

以上讨论了约束的几种基本类型、约束反力的位置及方向的确定方法,掌握它们的特征有利于分析物体受力情况。

四、物体的受力和受力图

研究物体的平衡或运动时,首先必须分析物体受到哪些力的作用,并确定每个力的作用位置和力的作用方向,这个分析过程称为物体的受力分析。为了清楚表示物体的受力情况,需把被研究的物体(称为研究对象)从周围的物体中分离出来,以便单独画出它的简图,并画出作用在研究对象上的全部外力(包括主动力和约束反力),这种画有分离体及其所受各力的图称为受力图。

画物体的受力图是解决静力学平衡问题的第一步，也是学好静力学的关键。正确无误地画出受力图，才能使以后的计算、分析得到正确结果。

对物体进行受力分析和画受力图时，应注意以下三点：

(1) 首先确定研究对象，并分析哪些物体(约束)对它有力的作用。

(2) 画出作用在研究对象上的全部力，包括主动力和约束反力。在画约束反力时，应取消约束，而用约束反力来代替它的作用。

(3) 研究对象对约束的作用力或对其它物体施加的力，在受力图中则不应画出。

例1 匀质杆AB，重量 $\vec{G}$ ，支于光滑的地面及墙角间，并用水平绳DE系住，如图1—13(a)所示，试画出杆AB的受力图。

解 以杆AB为研究对象，作用在杆上的力有重力 $\vec{G}$ （作用于杆的重心O点）、地面约束反力 $\vec{N}_A$ （过A点垂直于地面）、墙角反作用力 $\vec{N}_C$ （过C点与杆垂直）及绳的拉力 $\vec{T}$ （沿绳轴线朝向离开杆的方向）。AB杆的受力图如图1—13(b)所示。

例2 有一悬臂式起重机（见图1—14·a）的横梁AB，A、D端为光滑铰链联接，B端是用钢丝绳来固定的柔性约束，AB横梁自重为 $\vec{Q}$ ，行车与被吊设备重量为 $\vec{P}$ ，试作横梁AB的受力图。

解 取AB梁为研究对象，作用于AB上的主动力有横梁自重 $\vec{Q}$ （作用于梁重心O点）及行车与载荷重量 $\vec{P}$ （作用于梁E点）；作用于AB上的约束反力在A、D点，解除其约束后，A端的约束反力为 $\vec{X}_A$ 和 $\vec{Y}_A$ （为固定铰支座的简图）；D端为柔性约束，其约束反力方向沿绳索，作用于D点，则AB梁的受力图见图1—14(b)。

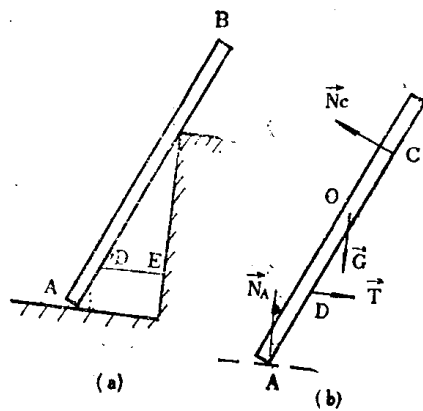


图 1—13

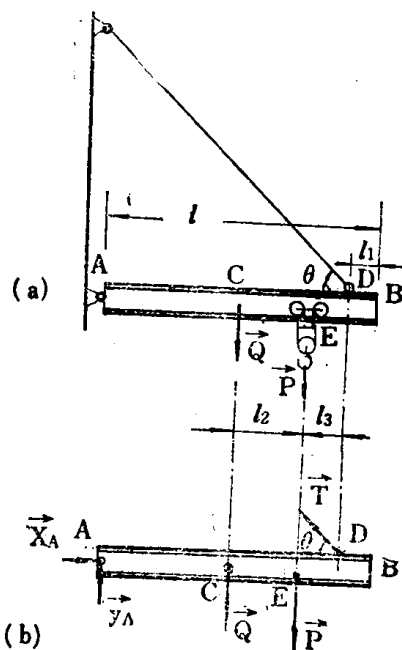


图 1—14

第二节 平面汇交力系

各个力的作用线都在同一平面内，而且都相交于一点的力系，称为平面汇交力系。

平面汇交力系是各种力系中较简单的一种，在设备安装工程中，经常遇到平面汇交力系的情况。如图1—15所示的起重机，在吊起重物时，作用于吊钩上D点的力以及作用于联接点B的力，就是平面汇交力系的例子。本章将分别用几何法和解析法研究平面汇交力系的合

成和平衡问题。

一、平面汇交力系合成与平衡的几何法

1. 平面汇交力系合成的几何法

设有一刚体上作用有平面汇交力系 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 、 $\vec{F}_3$ 和 $\vec{F}_4$ (图 1—16·a)，试将这一力系合成。为此可连续应用力三角形法则，即先求出力 $\vec{F}_1$ 与 $\vec{F}_2$ 的合力 $\vec{R}'$ ，再将 $\vec{R}'$ 与 $\vec{F}_3$ 合成为 $\vec{R}''$ ，最后将 $\vec{R}''$ 与 $\vec{F}_4$ 合成为 $\vec{R}$ ，如图 1—16·(b) 所示。显然， $\vec{R}$ 表示原力系的合力大小和方向，合力 $\vec{R}$ 的作用线过原力系的汇交点 O ，其大小可直接按比例从图上量取。

由图 1—16(c) 可以看出，求合力 $\vec{R}$ 时，表示力 $\vec{R}'$ 和 $\vec{R}''$ 的线段可以不必画出，只要将各已知力采取首尾相接的方式，连成折线 $oabcd$ ，然后连接折线首尾两点 od ，就可得到合力 $\vec{R}$ ，其大小、方向和作用点与连续运用力的三角形法则求出的相同。

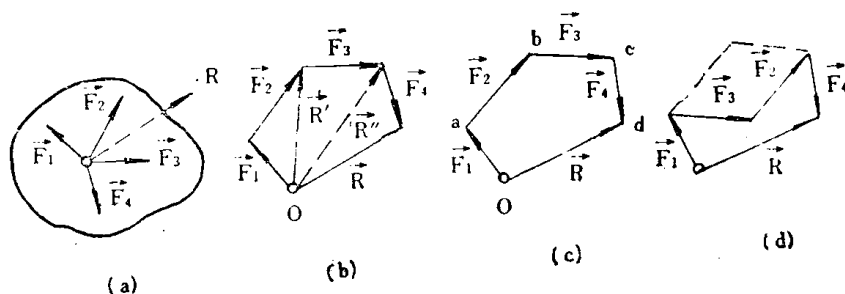


图 1—16

封闭的折线 $oabcd$ 称为力多边形，线段 od 称为力多边形的封闭边，用力多边形求合力 $\vec{R}$ 的作图规则称为力多边形法则。

作力多边形时，改变各分力作图的先后次序，将得到不同形状的力多边形，见图 1—16(d)，但是所求得合力 $\vec{R}$ 是不变的。由此可知，合力 $\vec{R}$ 与各力作图次序无关，但必须注意力多边形的矢序规则：即各分力矢量要首尾相接，它们的指向顺着力多边形周边的同一方向；而合力矢量应从第一个分力矢量的起点画到最后一个分力矢量的终点，即合力沿相反的方向连接力多边形的缺口。

由此可得结论如下：平面汇交力系的合力等于各力的矢量和（几何和），合力的作用线通过各力的汇交点。

上述结论，也可用矢量式表示为：

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \cdots = \sum \vec{F} \quad (1-1)$$

若力系中各力沿同一直线作用，则此力系称为共线力系。这种力系是平面汇交力系的一种特殊情形，它的力多边形各边都在同一直线上。取某一指向为正，相反指向的力为负，则合力的大小等于各力的代数和的绝对值。图 1—18 示出用几何法求共线力系 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 、 $\vec{F}_3$ 的合力 $\vec{R}$ 的力多边形。

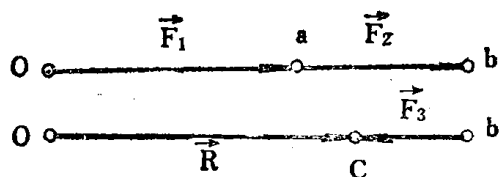


图 1—17

2. 平面汇交力系平衡的几何条件

由于平面汇交力系可以合成为一个合力，即平面汇交力系可用其合力来代替，显然，平面汇交力系平衡的必要与充分条件是：该力系的合力等于零。若用矢量式表示，则有：

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = \sum \vec{F} = 0 \quad (1-2)$$

于是，可得如下结论：平面汇交力系平衡的必要与充分的几何条件，是力系中各力构成的力多边形是自行封闭。图 1—18 所示为某物体在 O 点受平面汇交力系 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 、 $\vec{F}_3$ 和 $\vec{F}_4$ 作用，若已知物体是平衡的，则由此四个力形成的力多边形必自行封闭。

求解平面汇交力系的平衡问题时可用图解法，即按比例先画出封闭的力多边形，然后，用尺和量角器在图上量得所求得的未知量；或者用三角公式计算出所要求的未知量，这种解题方法称为几何法。

例 3 桥式起重机吊钩吊起一减速箱盖(图 1—19(a))，箱盖重 $G = 260 \text{ (N)}$ ，已知钢丝绳与铅垂线的夹角 $\alpha = 60^\circ$ ， $\beta = 30^\circ$ ，试求钢丝绳 AB 和 AC 的拉力。

解：取减速箱盖为研究对象，作受力图，图 1—19(b)。它受到重力 $\vec{G}$ 和两根钢丝绳的拉力 $\vec{T}_B$ 、 $\vec{T}_C$

作用而处于平衡，根据三力平衡汇交原理，这三个力必汇交于一点，即汇交于吊钩中心 A，而构成一平面汇交力系。

根据平面汇交力系平衡的几何条件，这三个力组成的力三角形自行封闭，从而可由已知条件 G 、 α 、 β 、求出未知力 T_B 、 T_C 。

作该力三角形的步骤如下：选取适当的比例尺。先作铅直矢量 $\vec{ab}$ ，使其大小等于 260 牛 (N)，则矢量 $\vec{ab}$ 是 G 的力矢，再从 a 点和 b 点分别作平行于 $\vec{T}_C$ 、 $\vec{T}_B$ 的两条直线 $\vec{ac}$ 和 $\vec{bc}$ ，它们相交于 C 点，于是得到力三角形 abc ，其线段 $\vec{ac}$ 和 $\vec{bc}$ 的长度分别表示 T_C 和 T_B 的大小，且 $\vec{T}_C$ 、 $\vec{T}_B$ 的指向应符合各力矢首尾相接的规则，由已知力矢 $\vec{G}$ 的方向确定出 $\vec{T}_C$ 和 $\vec{T}_B$ 的指向。图 1—19(c) 即为封闭的力三角形，再按所选比例可量出

$$T_B = bc = 130 \text{ (N)}$$

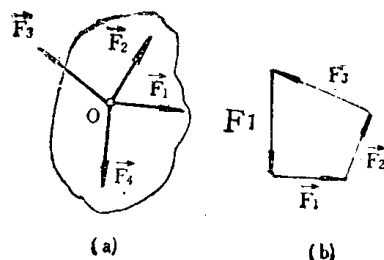


图 1—18

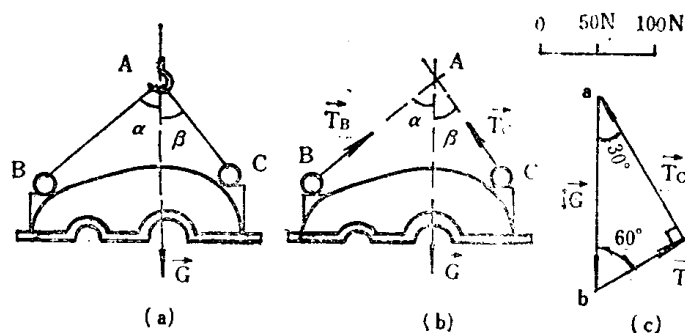


图 1—19

$$\vec{T}_C = ca = 225 \text{ (N)}$$

另外, 这两个未知力的大小也可用三角公式计算出来,

$$T_B = G \cos 60^\circ = 130 \text{ (N)}$$

$$T_C = G \cos 30^\circ = 225.16 \text{ (N)}$$

例4 杆AB和杆BC用铰链联接为三角形, 在B端上悬挂一重 $\vec{Q} = 1200 \text{ (N)}$ 的物体 (图1—20·a) 已知 $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 105^\circ$, 若不计杆的自重, 试求杆AB和BC所受的力。

解 1° 为了求出杆AB和BC所受的力, 可取销子B为研究对象。它受到汇交的三个力作用: 已知吊重 $\vec{Q}$ 及杆AB和BC的约束反力 $\vec{P}_1$ 、 $\vec{P}_2$ (图1—20·b)。因杆AB和BC都是两端铰接而不计自重的刚杆, 所以它们的约束反力必沿着杆件的轴线 (称为二力杆件)。

2° 画出封闭的力三角形abc, 如图1—20(c)所示, 其中未知力 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 的指向由 $\vec{Q}$ 的指向决定, 三力矢应首尾相接。

3° 求解这个任意三角形abc。由正弦定理得:

$$\frac{P}{\sin 105^\circ} = \frac{P_2}{\sin 30^\circ} = \frac{Q}{\sin 45^\circ}$$

其中 $\sin 105^\circ = \sin 75^\circ = 0.966$

$$\text{于是有 } P_1 = \frac{\sin 75^\circ}{\sin 45^\circ} \times Q = \frac{0.966}{0.707} \times 1200 = 1639.60 \text{ (N)}$$

$$P_2 = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} \times Q = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 1200 = 848.40 \text{ (N)}$$

最后, 根据作用与反作用公理, 杆AB和BC所受力如图1—20(d)、(e)所示, 即杆AB受压力 $\vec{P}_1'$ 为 1639.60 (N), 杆BC受拉力 $\vec{P}_2'$ 为 848.40 (N)。

通过以上例题, 得知几何法解题的主要步骤如下:

(1) 选取适当物体作为研究对象, 它应与已知力和待求的未知力有关, 画出其受力图;

(2) 作力多边形或力三角形, 作图时应选适当的比例尺, 并从已知力开始, 根据矢序规则和封闭特点作图, 就可确定未知力的指向;

(3) 在图上量出或用三角公式计算出所求的未知量。

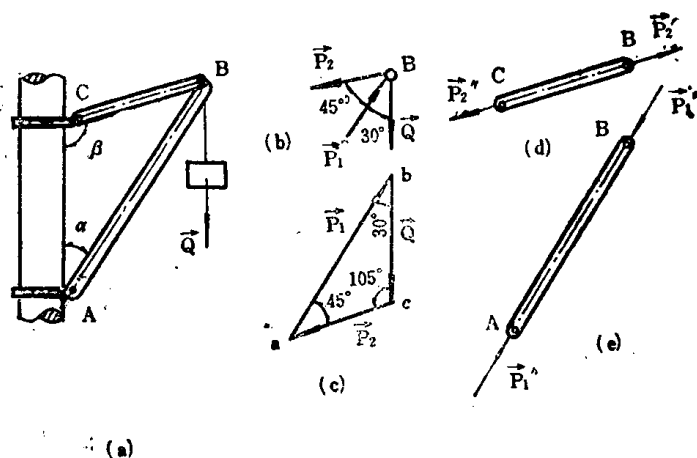


图 1—20

二、力的分解

已知合力求分力的方法, 称为力的分解。力的分解是与力的合成相反的问题。前已述及, 两个力或者若干个力可以合成为一个合力, 反之, 一个力也可分解为两个力或若干个力。工程上常是把一个力分解为方向已知的二分力, 它的分解方法, 是利用力的平行四边形

公理（公理1）。如图1—21（a）所示，设已知力 $\vec{F}$ 作用于物体的A点，要将其沿直线I和II分解为两个分力，这只要从力 $\vec{F}$ 的终点B分别作平行直线I和II的两条直线，使它们与直线II和I分别交于C和D，则ADBC为一平行四边形，力 $\vec{F}$ 为其对角线，AD、AC即为所求的分力 $\vec{F}_1$ 及 $\vec{F}_2$ （图1—21·b），且二分力的作用点与合力作用点相同。

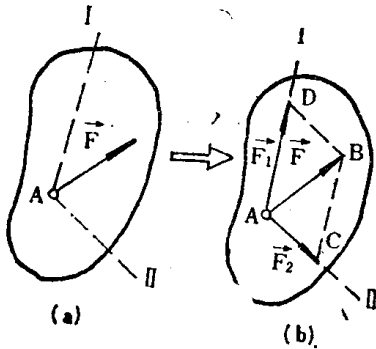


图 1—21

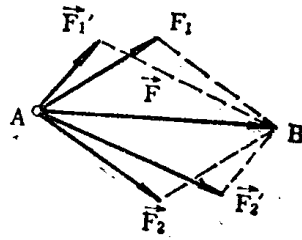


图 1—22

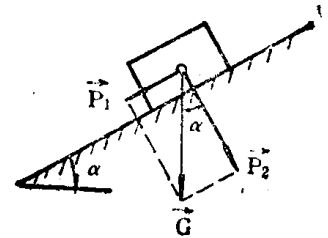


图 1—23

将一已知力向不同方向分解时，有无穷多组不同的结果（图1—22），因为以这个已知力为对角线作出的平行四边形，可以有无穷个。那么，要使一个力的分解仅有一对确定的结果，一般是首先知道两分力的方向，或者首先知道一个分力的大小和方向。

例5 物体重 $\vec{G}$ ，放置在与水平面成 α 角的斜面上，试将重力 $\vec{G}$ 分解为沿斜面方向及垂直于斜面方向的二分力。

解 根据力的分解方法，以重力 $\vec{G}$ 为对角线，再以平行于斜面及垂直于斜面的方向为两邻边，作出力平行四边形，如图1—23所示，显然此平行四边形为一矩形，由三角公式可求得分力 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 的大小。

$$P_1 = G \sin \alpha$$

$$P_2 = G \cos \alpha$$

即重力 $\vec{G}$ 沿斜面方向的分力（下滑力）为 $P_1 = G \sin \alpha$ ，与斜面垂直的分力（又称正压力）为 $P_2 = G \cos \alpha$ ，其指向如图1—23所示。

三、平面汇交力系合成与平衡的解析法

平面汇交力系合成与平衡的几何法虽然比较简易，但要求作图很准确，否则将会引起较大误差。工程中应用得较多的还是解析法，这种方法是以后在坐标轴上的投影作为基础来进行计算的。

1. 力在坐标轴上的投影

设在直角坐标OXY平面内，有一已知力 $\vec{F}$ ，如图1—24，此力与x轴所夹的锐角为 α 。从力 $\vec{F}$ 的两端A和B分别向x、Y轴作垂线，得线段ab和a'b'，其中ab称为力 $\vec{F}$ 在X轴上的投影，以 $\vec{F}_x$ 表示；a'b'称为力 $\vec{F}$ 在Y轴上的投影，以 $\vec{F}_y$ 表示。

力在坐标轴上的投影是代数量，它有正负的区别，如投影的指向与坐标轴的正向一致时，投影值为正；反之为负。图1—24所示的情况为