

全国技工学校

中级工人统考复习指南

工程力学



湖北教育出版社

全国技工学校、中级工人统考复习指南

工程力学

黎 兵 刘泽民编

湖北教育出版社出版、发行

咸宁地区印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 6 印张 136,500字

1989年4月第1版 1989年4月第1次印刷

印数: 1—4,000

统一书号: 7306·494 定价: 1.15元

前 言

受湖北省劳动人事厅委托,宜昌市劳动人事局组织编写了《全国技工学校、中级工人统考复习指南》一套书。全书分《机械基础》、《工程力学》、《金属材料与热处理》、《电工与电子基础》四册。《工程力学》以技校机械类通用教材为依据,主要供机械类技工学校毕业生复习时使用,也可供任课教师参考,在职工人自学《工程力学》时亦可使用。

本书按教材篇章顺序编写,前两篇每章撰写基本内容、例题和习题,后一篇《机械零件》则按统考复习大纲的细目撰写。原教材上的所有习题都没有选为本资料的习题,只有少数习题选作了例题。本书旨在使技校毕业生重点掌握《工程力学》的基本理论,了解常用机械零件的受力分析,能根据标准正确选择常用零件,培养学生分析问题、解决问题的能力。为适应四化建设事业发展的需要,少数例题和习题与两个《大纲》的要求对比,稍有加深。

本资料经宜昌市机电技工学校王浚勇老师和宜昌职业大学王德浚老师校阅,谨此致谢。

由于水平所限,加之编写时间仓促,谬误之处在所难免,尚希读者批评指正。

编 者

一九八五年二月

目 录

第一篇 理论力学	1
第一章 静力学基本概念.....	1
第二章 平面汇交力系.....	11
第三章 力矩和力偶.....	22
第四章 平面任意力系.....	33
第五章 力沿空间直角坐标轴的分解.....	48
第六章 摩擦.....	54
第七章 刚体绕定轴转动.....	64
第二篇 材料力学	71
第八章 拉伸和压缩.....	74
第九章 剪切和挤压.....	93
第十章 圆轴扭转.....	104
第十一章 弯曲.....	116
第十二章 组合变形.....	135
第十三章 压杆稳定与应力集中.....	142
第三篇 机械零件	144
第十四章 螺纹.....	144
第十五章 键和销.....	155
第十六章 齿轮.....	165
第十七章 轴.....	176
第十八章 轴承.....	181

第一篇 理论力学

第一章 静力学基本概念

一、基本内容

(一) 力

1. 力是物体对物体的作用。任一物体所受的力都是指另一物体对该物体的作用，没有脱离物体独立存在的力，也没有不受力作用的物体。力对物体作用的效果是使物体的运动状态发生改变或使物体产生形变。

在力的作用下不产生形变的物体叫做“刚体”。实际上，在力的作用下不产生形变的物体是不存在的，但由于很多情况下物体受力后的形变对所研究的主要问题影响很小，为了使问题简化，就不考虑物体在力的作用下所产生的形变，理论力学的研究对象就是“刚体”，“刚体”是抽象化了的力学模型。

2. 力的三要素：力的大小、方向和作用点称为力的三要素。力对物体的作用效果决定于这三个因素。

3. 力的图示法：同时具有大小和方向的量称为矢量。力是矢量，可用一带箭头的线段来表示，线段的长度表示力的大小，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，这种表示力的方法称为力的图示法。表示力的有向线段所在的直线叫做力的作用线。

(二) 力系

作用在同一物体上的所有力的全体称为力系。

1. 对物体的作用效果完全相同的力系称为等效力系。

2. 和一个力系的作用效果完全相同的一个力称为该力系的合力。力系中的每一个力都称为合力的分力。

3. 由分力求合力的过程叫做力的合成。由合力求分力的过程叫做力的分解。

4. 合力等于零的力系称为平衡力系，因为在平衡力系作用下的物体处于平衡状态。静止或作匀速直线运动，保持原有运动状态不变，称为平衡状态。

（三）静力学基本公理

静力学的基本公理及其推论，揭示了力的基本性质，是整个静力学的理论基础。静力学是以物体的受力分析和刚体的平衡条件为其主要研究任务的。

公理1 二力平衡公理：作用在刚体上的两个力，若使刚体处于平衡状态，其充要条件是两力大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。（它说明了两个力同时作用于同一物体时，其效果相互抵消的条件）。

公理2 加减平衡力系公理：在已知力系加上或减去任意一个平衡力系，并不改变原来力系对物体的作用效果。

推论：作用在刚体上的力，其作用点可沿着它的作用线在刚体上任意移动，而不改变该力对刚体的作用效果。力的这种性质叫做力的可传性。

公理3 力的平行四边形公理：作用在物体上同一点的两个力的合力，也作用在该点上，其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来确定。

推论：同一平面内三个互不平行的力若组成一平衡力系，则此三力必汇交于一点。此推论又称为三力平衡的必要条件。

加减平衡力系公理和平行四边形公理是力系等效代换和力系简化的重要理论基础。

公理4 作用与反作用公理：一物体对另一物体有一作用力时，另一物体必有一大小相等、方向相反、作用线重合的力（反作用力）作用在该物体上。（这个公理说明了两物体相互作用之间的关系，是分析物体受力、画示力图的重要依据之一）

（四）约束类型与约束反力方向的确定

1. 约束和约束反力：对某一物体（研究对象）的运动起限制（阻碍）作用的另一物体叫做对该物体的约束；约束作用在该物体上的力称为约束反作用力，简称约束反力。

2. 约束反力的方向总是与约束本身所能限制（阻碍）的运动方向（或运动趋势）相反。

3. 物体（研究对象）所受的力可分为两类，一类主动力：使物体产生运动或运动趋势的力；另一类是阻碍物体运动（或运动趋势）的力——约束反力。作用在物体上的主动力的方向和大小通常是已知的；约束反力的方向，大小通常是未知的。

4. 几种约束类型及其约束反力方向的确定方法

I. 柔性约束：由柔索（绳、带、链等）构成的约束，其约束反力的方向沿着柔索而背离物体。（只能承受拉力。）

II. 光滑面约束：完全光滑表面构成的约束，其约束反力的方向是垂直于支承面指向受约束的物体。

III. 圆柱形活动铰链约束：用销钉将物体与可动支座相连构成的约束，如图1—1（a）所示，其约束反力的方向垂直于支承面，通过铰链中心指向受约束物体，如图1—1（b）所示。活动铰链支座的简图如图1—1C所示。

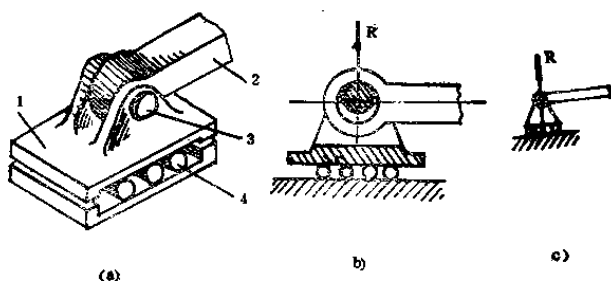


图 1—1

Ⅳ. 圆柱形固定铰链约束：用销钉与固定支座相连构成的约束，如图 1—2 (a) 所示，其约束反力的作用线必通过销钉中心，沿接触面公法线而指向受约束物体。随着物体所受主动力的不同，物体与销钉接触点的位置也随之改变，因此约束反力 R 的方向需要根据物体的平衡条件来定，在画支座反力时，通常用两个方向相互垂直的分力 R_x 和 R_y 来代替，如图 1—2 (b) 所示。固定铰链支座的简图如图 1—2 (c)。

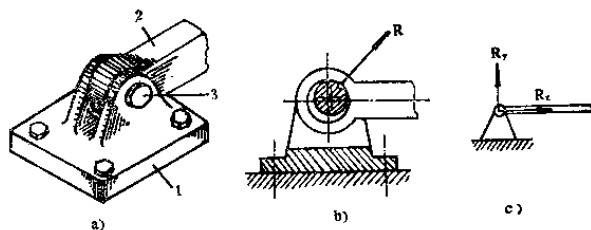


图 1—2

后三种约束统称为刚性约束，这类约束既能承受拉力，又

能承受压力。

(五) 示力图

1. 单独画出所研究的物体及其所受到的全部力的图形称为示力图。

本身不受主动力作用的双铰链刚体，其约束反力的作用线沿着两端铰链中心的连线，这种杆件称为二力杆。二力杆只有受拉或受压两种状态。画示力图时要善于利用二力杆约束反力的作用线，已知这个条件来画在三力作用下处于平衡状态的构件的示力图。

2. 画示力图的步骤

I. 确定研究对象，将其从周围物体中分离出来，画出它的简单轮廓图形。

II. 画出作用在研究对象上的主动力，然后再找出与其接触的周围物体，解除约束，代之以力。

III. 分析约束类型，画出所有约束反力。

二、例题

例 1. 设图 1—3 所示的物体上 A 点作用一已知力 P ，如果在 B 点加一个力，能否使物体平衡？为什么？

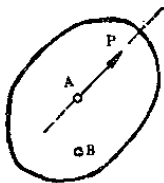


图 1—3

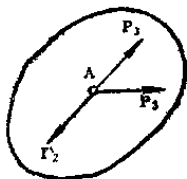


图 1—4

答：不论在B点所加力的大小和方向如何，都不能使物体平衡。因为B点不在力P的作用线上，根据二力平衡公理，在B点所加的力都不可能在与A点的力P组成平衡力系。

例2. 物体受三个力 P_1 、 P_2 、 P_3 的作用，如图1—4所示。其中力 P_1 与 P_2 共线，问这三个力能否平衡？为什么？

答：这三个力不能相互平衡，即它们的合力不能为零。如果它们的合力为零的话，根据二力平衡公理，三力中就应该有两个力的合力与第三个力的大小相等、方向相反、且作用在同一直线上；现已有两力共线，据力的平行四边形公理， P_1 、 P_2 、 P_3 中任何两个力的合力都不可能与第三个力反向共线。所以这三个力的合力不能为零，即不能组成一平衡力系。

例3. 指出图1—5中的二力杆，并画出各构件的示力图。（杆件的自重都忽略不计，接触面光滑）

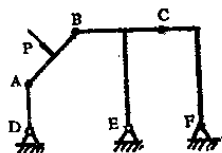


图1—5

分析说明

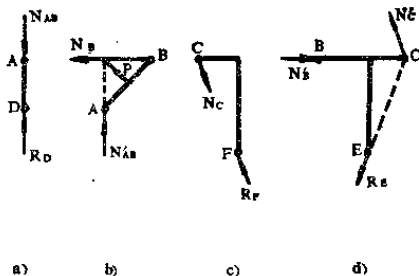


图1—6

据题意，杆件自重忽略不计。故AD杆和CF杆是二力杆。其示力图如图1—6(a)(b)。

AB杆和T形杆BCE都是三力作用下的平衡物体，所以根据主动力的方向、三力平衡必汇交于一点这个条件与作用力和反作用公理，不难找出与其相接触的杆对它们的力及支座E的约束反力。AB杆和BCE杆的示力图分别如图1—6(c)(d)。 N_{AB}' 与 N_{AB} 、 N_C' 与 N_C 、 N_B' 与 N_B 互为作用力和反作用力。

例4. 对于图1—7在求铰链A和C的反力时，能否将作用在CB杆上的力P沿其作用线移至AB杆上？为什么？

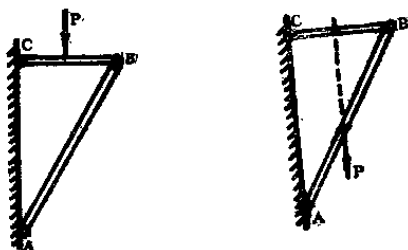


图1—7

答：铰链A是对AB杆的约束，铰链C是对CB杆的约束。在求铰链A和C的反力时必须分别取AB杆和CB杆为研究对象。力P作用在CB杆上，CB杆在三力：力P、 R_C 及AB杆的支撑力 S_{AB} 的作用下处于平衡状态，其示力图如图1—8(a)；而AB杆为二力杆，其示力图如图1—8(b)所示。图1—9对杆件受力的分析是错误的，力的可传性原理，只适用于研究对象的系统内部。分别取BC杆与AB杆为研究对象。将CB杆上的力P沿其作用线移到系统外的AB杆上则完

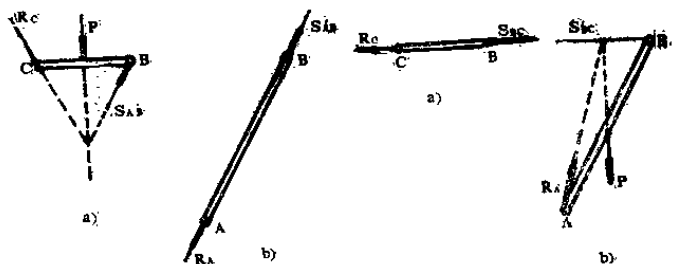


图 1—8

图 1—9

全改变了两杆的实际受力状态。BC杆变成了二力杆，AB杆则变成了在三力作用的杆件。力P移动前后约束反力 R_A 和 R_C 的大小和方向显然是不同的，这样就得出错误的结果。

三、习题

1. 拔河时甲、乙双方间的作用力和反作用力大小相等，方向相反，且作用线在同一条直线上，根据二力平衡公理甲、乙双方间的这一对力能否平衡？为什么？拔河的胜负是怎样形成的？

2. 什么叫二力杆？指出图中哪些构件是二力杆？（假定所有接触均为光滑的，凡未画出重力的物体，都不考虑重

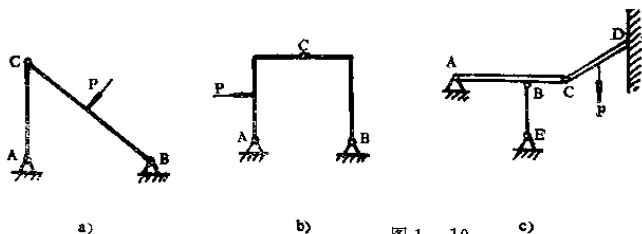
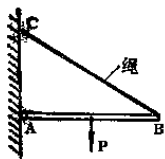


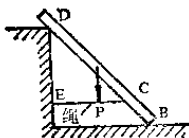
图 1—10

量。)并画出所有杆件的示力图。

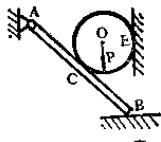
3. 试画出图中各物体的示力图(固定支承面除外)。假设所有接触面都是光滑的,其中未画上重力的物体均不考虑其重量。



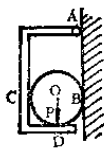
a)



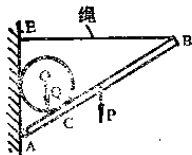
b)



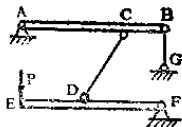
c)



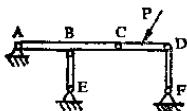
d)



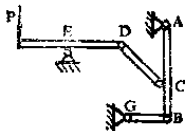
e)



f)



g)



h)

图 1—11

4. 试画出井架和撑杆（不计自重）的示力图。见图 1—12。

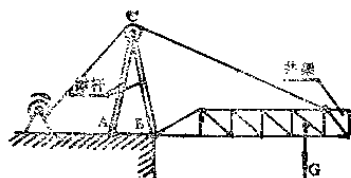
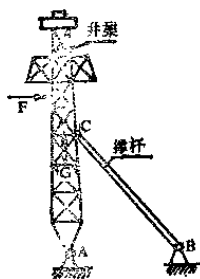


图 1—12



13

第二章 平面汇交力系

一、基本内容

1. 作用在同一物体上的所有力的作用线都在同一平面内且汇交于一点的力系称为平面汇交力系。求平面汇交力系的合力的过程称为平面汇交力系的合成。用一个合力代替力系可将力系化简。若力系的合力为零，则称为平衡力系。求平面汇交力系合力的方法有两种：几何法和解析法。

2. 平面汇交力系合成的几何法以平行四边形法则为依据，将力系中各力的大小与方向用矢量表示，并首尾相接，由第一个力矢的起点（即力系的汇交点）与最末一个力矢的终点用有向线段连接起来，这个力矢就表示力系的合力。这个方法称为力的多边形法则。若力系各力组成的力多边形封闭，则力系的合力为零，力系是平衡力系。因此，平面汇交力系平衡的几何条件是力的多边形封闭。

3. 平面汇交力系合成的解析法是以合力投影定理为依据的，即合力在坐标轴上的投影，等于各分力在该坐标轴上投影的代数和，先求出力系中所有各力在两个坐标轴上的投影，然后求两坐标轴上各力投影的代数和 R_x 、 R_y ，最后求合力 R 。

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(\sum P_x)^2 + (\sum P_y)^2}$$

合力 R 的方位用合力 R 与 x 轴的夹角 α 确定。

$$\text{即: } \operatorname{tg} \alpha = \left| \frac{R_y}{R_x} \right| = \left| \frac{\sum P_y}{\sum P_x} \right|$$

合力 R 的指向由 R_x 、 R_y 的正、负决定。

4. 如果合力 $R = 0$ ，则平面汇交力系为平衡力系，也就是平面汇交力系平衡的充要条件是合力 $R = 0$ 。

$R = 0$ ，即 $\Sigma P_x = 0$ ， $\Sigma P_y = 0$ ，此二式称为平面汇交力系的平衡方程。

5. 平面汇交力系平衡的几何条件或解析条件都建立了已知力和未知力间的关系式，通过这组关系式可以求出平面汇交力系中的未知力。平面汇交力系的平衡方程只有两个，只能求解未知量不超过两个的平衡问题。

二、例题

例1. 用几何法和解析法求图2—1 (a) 所示平面汇交力系的合力。设 $P_1 = 100$ 公斤力 (Kgf)， $P_2 = 200$ Kgf， $P_3 = 200$ Kgf， $P_4 = 100$ Kgf。

解：(1) 用几何法求 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 的合力

首先选定力的比例尺，取1 Cm表示100Kgf，按 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 的顺序，首尾相接画出力多边形ABCDE，从A点向E点画封闭边AE，即得合力 R ，如图2—1 (b) 所示。从图2—1

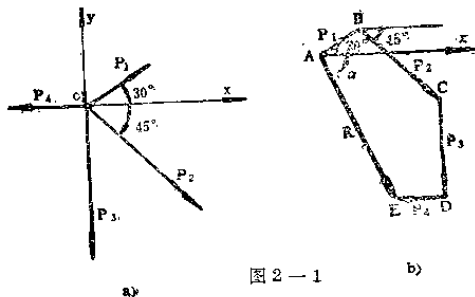


图 2—1

(b) 上量得 $AE \doteq 3.18 \text{ Cm}$, $\alpha \doteq 66^\circ$ 。所以合力 R 的大小为 318 公斤力, 合力 R 与 x 轴的夹角为 66° , 指向如图。

(2) 用解析法求 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 的合力

取坐标轴 x 、 y 如图 2-1 (a) 所示。分别求出各已知力在两个坐标轴上投影的代数和

$$\begin{aligned}\Sigma P_x &= P_{1x} + P_{2x} + P_{3x} + P_{4x} \\ &= P_1 \cos 30^\circ + P_2 \cos 45^\circ + 0 - P_4 \\ &= 100 \times \frac{\sqrt{3}}{2} + 200 \times \frac{\sqrt{2}}{2} - 100 \\ &\doteq 128.02 \text{ (Kgf)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P_y &= P_{1y} + P_{2y} + P_{3y} + P_{4y} \\ &= P_1 \sin 30^\circ - P_2 \sin 45^\circ - P_3 + 0 \\ &= 100 \times \frac{1}{2} - 200 \times \frac{\sqrt{2}}{2} - 200 \\ &\doteq -291.42 \text{ (Kgf)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{合力 } R &= \sqrt{(\Sigma P_x)^2 + (\Sigma P_y)^2} \doteq \sqrt{128^2 + (-291)^2} \\ &\doteq 318 \text{ (Kgf)}\end{aligned}$$

$$R \text{ 的方向: } \operatorname{tg} \alpha = \left| \frac{\Sigma P_y}{\Sigma P_x} \right| = \left| \frac{-291}{128} \right| \doteq 2.2734$$

查表得 $\alpha \doteq 66^\circ 15'$

因为 ΣP_x 为正, ΣP_y 为负, 所以合力在第四象限, 其作用线通过汇交点 O , 且 O 为合力 R 的起端。

答: 如图 2-1 (a) 所示的平面汇交力系的合力约为 318 公斤力, 其方向如图示。

例 2. 如图 2-2 (a) 所示, 已知钢管重为 G , 吊索 AB 、 AC 与竖直线间的夹角各为 α 。不计吊钩和吊索的重量, 试求吊索 AB 和 AC 的拉力。