

巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



策划编辑 吴义松
责任编辑 胡思佳
封面设计 刘文东

华腾新思

安徽省职教高考 加工制造类专业

复习一本通

安徽省职教高考

加工制造类专业

复习一本通

华腾新思职教高考研究中心 编

安徽省职教高考加工制造类专业复习一本通

上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

- 编者**阵容强大**，凝聚**名师智慧**
- 依据**最新考纲**，契合**最新考情**
- 精析**考试要点**，全面**覆盖考点**

赠册 参考答案及解析

免费提供
精品教学资料包
服务热线: 400-615-1233
www.huatengzy.com



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信



ISBN 978-7-313-31464-2

9 787313 314642 >

定价: 78.00元



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

安徽省

职教高考

加工制造类专业

复习一本通

华腾新思职教高考研究中心 编

赠册 参考答案及解析



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

《安徽省职教高考加工制造类专业复习一本通》是为参加安徽省职教高考加工制造类专业理论考试的考生量身定做的复习用书,共分为机械基础、机械制图、电工与电子技术及应用三大部分,每一部分又分为若干专题。编者依据最新考试大纲的要求,并结合历年考试重点、难点,梳理出了考试大纲所要求的知识点。全书知识讲解深入浅出,既全面透彻,又通俗易懂,方便考生迅速厘清头绪,准确把握考试脉络,有针对性地进行复习。

本书既可以作为考生参加安徽省职教高考的复习用书,也可以作为考生参加其他相关考试的复习用书。

图书在版编目(CIP)数据

安徽省职教高考加工制造类专业复习一本通 / 华腾
新思职教高考研究中心编. -- 上海: 上海交通大学出版社, 2024. 8. -- ISBN 978-7-313-31464-2

I. TH-44

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024VC3938 号

安徽省职教高考加工制造类专业复习一本通

ANHUI SHENG ZHIJIAO GAOKAO JIAGONG ZHIZAOLEI ZHUANYE FUXI YIBENTONG

华腾新思职教高考研究中心 编

出版发行: 上海交通大学出版社

地 址: 上海市番禺路 951 号

邮政编码: 200030

电 话: 021-64071208

印 制: 三河市龙大印装有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 880 mm×1 230 mm 1/16

印 张: 22

字 数: 548 千字

版 次: 2024 年 8 月第 1 版

印 次: 2024 年 8 月第 1 次印刷

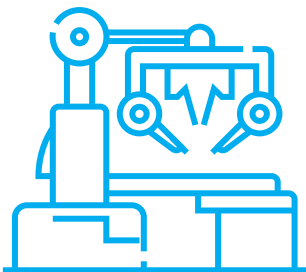
书 号: ISBN 978-7-313-31464-2

定 价: 78.00 元

版权所有 侵权必究

告读者: 如您发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 0316-3655788



为适应社会对人才的需求,同时也为扶持中等职业学校的发展、满足中职学生升学深造的愿望,教育部出台了职教高考政策。中职学生在完成本专业课程之后,可参加统一的升学考试,进入高等院校继续相关专业的学习。

通过多年的摸索与实践,安徽省职教高考已日渐成熟。从考试内容和考试形式上来看,参加安徽省职教高考的考生将面临一定的挑战。多数考生为如何在短期内熟悉考试形式、了解考试内容、把握考试重难点、弥补“短板”备受困扰,必须通过高效的学习来快速提升应试能力,在考试中脱颖而出。

为了帮助广大考生在较短的时间内高效、便捷、准确地把握考试脉络,华腾新思职教高考研究中心根据最新考试大纲要求,深入研究了近年来的考试真题,针对命题出现的最新变化,精心编写了这本《安徽省职教高考加工制造类专业复习一本通》,供广大考生备考使用。

本书在编写时精心梳理了考试大纲所要求的知识点,内容充实、结构严谨、重点突出、指导性强,是广大考生进行考试复习和储备知识的重要参考资料。

本书具有以下鲜明特色。

1. 依据最新大纲,体现命题趋势

在编写本书时,编者紧扣《安徽省普通高校对口招生专业理论和技能测试考试纲要(2024年版)》,深入、细致地研究了纲要中的考试性质、考试依据、考试形式、考试内容和要求。本书凝聚了专家学者的经验和智慧,旨在帮助考生切中考试重点,少走弯路,缩短备考时间,提高备考效率。

2. 体例科学,结构合理

在体例结构上,全书各专题分别设置了“考纲要求”“知识框架”“考核要点”“例题点拨”“专题训练”等模块。“考纲要求”整理了考试大纲对该部分知识的具体要求,使学生的复习更有针对性;“知识框架”将重点知识以框架图的形式呈现,便于学生从整体上掌握各知识点;“考核要点”根据大纲要求,全



面、系统地整理、筛选考试重点知识,使学生的复习更有效率,这部分是本书的主体内容;“例题点拨”精选了与知识点对应的例题,并给出详细的解析,可以让学生掌握命题规律;“专题训练”是根据每个专题重点知识设置的相应习题,便于学生检验对知识点的掌握程度,并针对薄弱环节进行巩固和提高。

另外,“专题训练”附赠一册参考答案及解析。其答案及解析详细、独到,由点及面,既可方便考生核对正误,又可帮助考生查漏补缺,矫正解题思路,为考生提供更优质、更完善的复习体验。

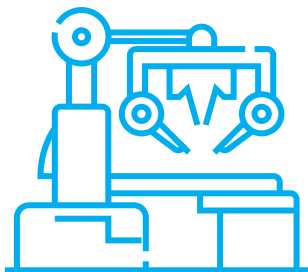
3. 知识点翔实,讲解深入浅出

本书涵盖考纲要求的所有考点,在内容结构上,全书包括机械基础、机械制图、电工与电子技术及应用三大部分,每一部分分专题进行知识梳理与讲解。全书知识讲解深入浅出,既全面透彻,又通俗易懂,方便考生迅速厘清头绪,准确把握考试脉络,有针对性地进行复习。

本书在编写过程中得到了很多教学专家的大力支持,在此谨向他们表示衷心感谢,同时对书中引用过的文献的作者一并致谢。

最后,希望考生使用本书备考能得到最佳的学习效果,预祝各位考生考试顺利!

华腾新思职教高考研究中心



第一部分

机 械 基 础

专题一	杆件的静力分析	2
一、力的概念及基本性质		2
二、力矩和力偶		5
三、约束与约束力		6
四、杆件的受力分析与受力图		8
五、平面力系的平衡方程及其应用		9
专题二	杆件的基本变形	14
一、拉伸与压缩		14
二、剪切与挤压		19
三、圆轴扭转		20
四、直梁弯曲		22
五、组合变形		24
专题三	机械工程材料	27
一、金属材料的性能		27
二、常用钢铁材料		30
三、常用有色金属材料		39
四、钢的热处理		40
专题四	机械零件	50
一、轴		50
二、轴承		55
三、键连接		62



四、螺纹连接	64
五、联轴器和离合器	70
专题五 常用机构	75
一、机械知识概述	75
二、平面连杆机构	79
三、凸轮机构	85
四、间歇运动机构	88
专题六 机械传动	94
一、带传动	95
二、链传动	100
三、齿轮传动	101
四、蜗杆传动	106
五、轮系	110
专题七 液压传动	116
一、液压传动概述	116
二、液压传动元件	119
三、典型简单液压系统的工作分析	131

第二部分

机 械 制 图

专题一 投影基础	138
一、投影法的概念与分类	138
二、三视图	139
三、点的投影	140
四、直线的投影	141
五、平面的投影	142
专题二 基本体及其截交与相贯	146
一、基本几何体的视图及表面求点方法	146
二、基本体的尺寸标注法	151
三、截交线的画法	151
四、相贯线的画法	153
专题三 组合体	158
一、组合体的组合形式	158
二、组合体视图的画图方法和步骤	160



三、组合体视图的识读方法	162
四、补视图、补缺线	164
五、组合体视图的尺寸标注	166
专题四 图样表示法	171
一、基本视图	171
二、向视图	172
三、局部视图	173
四、斜视图	173
五、剖视图	174
六、剖切面的种类	177
七、断面	177
八、局部放大图	179
九、简化画法	180
专题五 常用标准件表示法	184
一、螺纹的基础知识	184
二、螺纹的规定画法	186
三、螺纹的标注方法	187
四、螺纹连接的画法	189
专题六 零件图	194
一、零件图基础知识	194
二、零件图尺寸基准	195
三、零件上常用的工艺结构	198
四、零件图的技术要求	200
五、识读零件图的方法和步骤	211

第三部分

电工与电子技术及应用

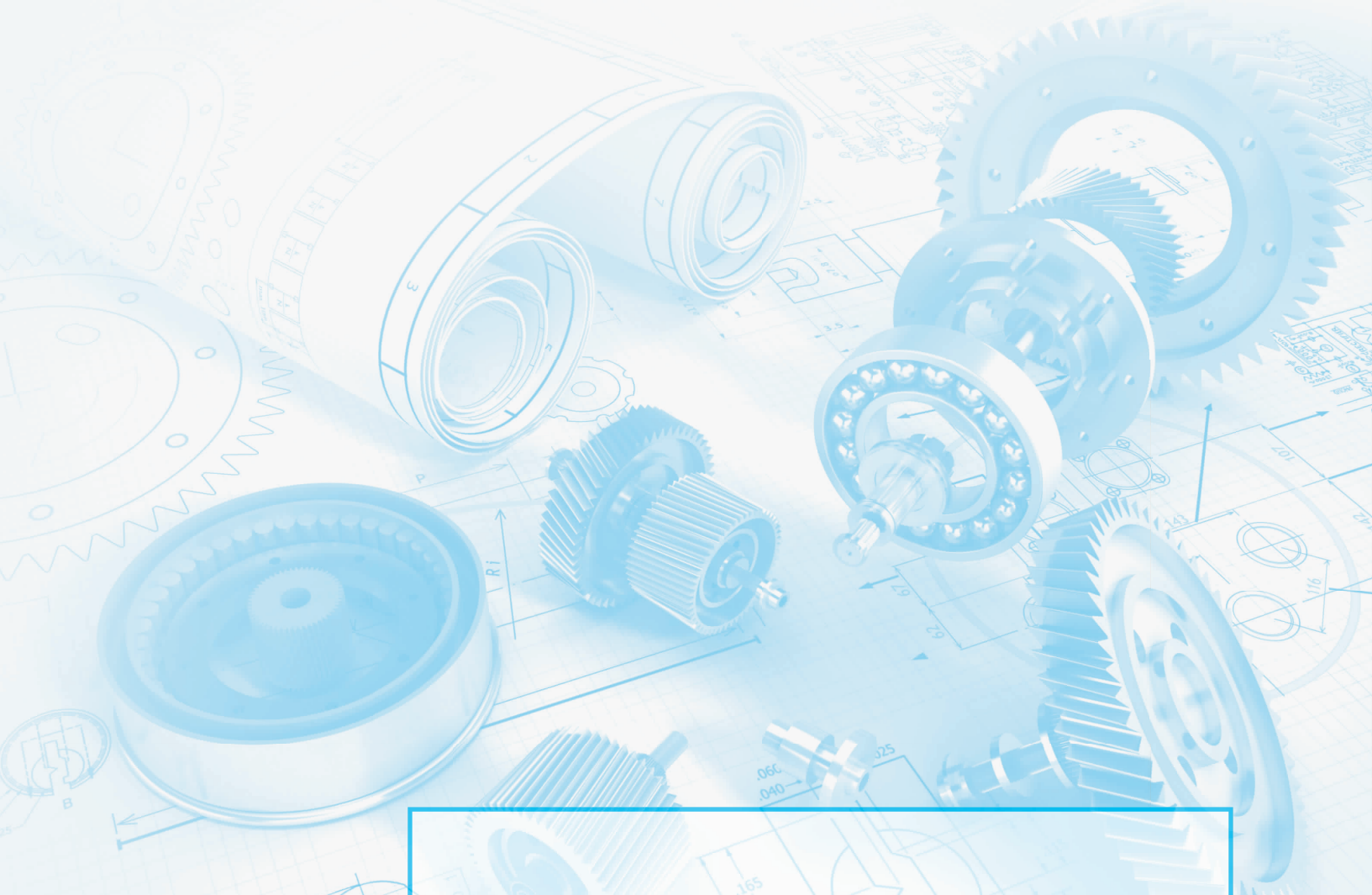
专题一 安全用电	218
一、常用电工工具	218
二、电工安全操作技术规定	223
三、安全文明生产规定	224
四、触电的原因及方式	224
五、触电急救	226
六、预防触电的措施	228



七、电气防火	229
专题二 直流电路	233
一、电路基础知识	233
二、电阻	234
三、欧姆定律	236
四、简单电路的连接	237
五、复杂电路的分析	238
六、实验:基尔霍夫定律验证及电位的测量	243
专题三 正弦交流电路	247
一、正弦交流电基础知识	247
二、单一元件的单相正弦交流电路	249
三、多个元件的单相正弦交流电路	255
四、三相正弦交流电路	258
五、实验:日光灯电路及功率因数的提高	262
专题四 变压器与电动机	266
一、电磁相关知识	266
二、单相变压器	270
三、三相变压器	271
四、特殊变压器	271
五、实验:单相变压器的使用	273
六、三相异步电动机	274
七、单相异步电动机	279
八、直流电动机	281
专题五 常用低压电器及其控制电路	284
一、常用低压电器	284
二、三相异步电动机直接起动控制电路	290
三、三相异步电动机正、反转控制电路	291
四、串电阻降压起动电路	293
五、实验:三相异步电动机的起动和正、反转控制	294
专题六 模拟电路	298
一、二极管	298
二、三极管	300
三、单级放大电路	303
四、多级放大电路	309
五、放大电路中的负反馈	310
六、集成运算放大器	314



七、实验:二极管、三极管的识别与检测	315
八、实验:常用电子仪器的使用	317
专题七 数字电路、直流稳压电路及电力电子技术	320
一、数字电路基础知识	320
二、数制与码制	321
三、逻辑门电路	323
四、单相桥式整流电路	327
五、滤波电路	329
六、稳压电路	330
七、实验:单相桥式整流滤波电路	335
八、电力电子技术	336



第一部分

机械基础



专题一

杆件的静力分析

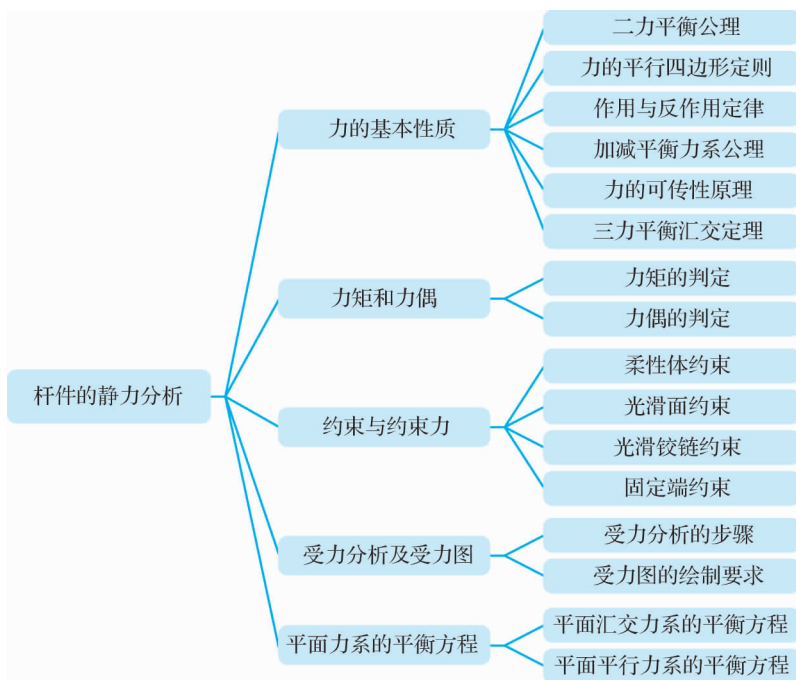


考纲要求

- (1)理解力的基本性质、力矩和力偶；
- (2)掌握杆件的受力分析,并能够绘制杆件受力图；
- (3)综合运用平面汇交力系与平面平行力系的平衡方程。



知识框架



考核要点

一、力的概念及基本性质

力是物体相互间的一种机械作用,它能使物体的运动状态或形状发生改变。物体相互间的机械作用形式多种多样,可归纳为两类:一类是物体相互间的直接接触作用,如弹力、摩擦力等;另一类是通过场的相互作用,如万有引力。力不能脱离物体而单独存在,有力必定存在两个物体,即施力体和受力体。

物体在受力后产生的效应可以分为以下两种。

- (1)外效应,也称为运动效应,可以使物体的运动状态发生改变。
- (2)内效应,也称为变形效应,可以使物体的形状发生改变。

我们所说的静力学主要研究力对物体的外效应。

力对物体的作用效应取决于三个要素：大小、方向、作用点。

(1)力的大小表示物体相互间机械作用的强弱程度。

(2)力的方向表示物体间的相互机械作用具有方向性，它包括力作用线在空间的方位和力沿其作用线的指向。

(3)力的作用点是指力在物体上的作用位置。实际上，两个物体之间相互作用时，其接触的部位总是占有一定的面积，力总是按照各种不同的方式分布于物体接触面的各点上。当接触面面积很小时，则可以将微小面积抽象为一个点，这个点称为力的作用点，该作用力称为集中力；反之，如果接触面积较大而不能忽略时，则力在整个接触面上分布作用，此时的作用力称为分布力。分布力的大小用单位面积上力的大小来度量，称为荷载集度，用 $q(\text{N}/\text{mm}^2)$ 来表示。在国际单位制中，力以牛顿(N)或千牛顿(kN)为单位。

力的三要素表明力是矢量，记作 $\boldsymbol{F}$ (见图 1-1-1)，用一条带有箭头的线段(AB)来表示：线段(AB)的长度是按一定的比例尺表示力的大小；线段的方位和箭头的指向表示力的方向；线段的起点 A 或终点 B 表示力的作用点。线段所在的直线称为力的作用线。

刚体是在任何外力作用下形状和大小都保持不变的物体。在静力学中，我们把研究对象都假想成刚体，这是科学研究中常用的抽象化方法。这样可以使问题简化，更准确地反映客观事物的本质。实际上，任何物体在力的作用下都会产生不同程度的变形。下面介绍一下静力学的基本公理。

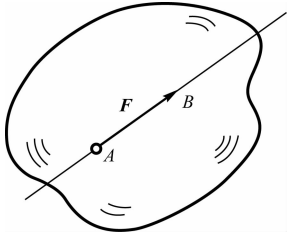


图 1-1-1 力

(1)二力平衡公理。二力作用在同一刚体上，使刚体处于平衡状态的充要条件是，这两个力的大小相等、方向相反，且作用线沿同一直线。

二力平衡是一切平衡力系的基础。一对平衡力的作用点可以是同一个点、也可以是不同的两个点。这个公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。应用该公理，可确定某些未知力的方向或作用线的方位。如图 1-1-2(a)所示，直杆 AD 和折杆 BC 相接触，在力 $\boldsymbol{F}$ 作用下处于静止，若不计自重，则 BC 构件仅在 B、C 两点处受力而平衡，故此二力等值、反向、共线，必沿 BC 连线方位，如图 1-1-2(b)所示。这种仅受二力作用而处于平衡的构件称为二力构件或二力杆。

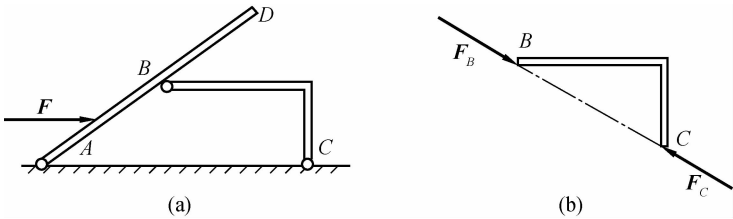


图 1-1-2 二力构件

二力平衡公理对于刚体是充分的也是必要的，而对于变形体只是必要的，而不是充分的。如图 1-1-3 所示，绳索的两端若受到一对大小相等、方向相反的拉力作用可以平衡，但若是压力就不能平衡了。

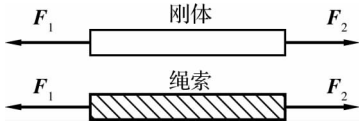


图 1-1-3 刚体与绳索

(2)力的平行四边形定则。作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力，合力的作用点也在该点，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。

该定则即力的合成与分解的运算规则，它说明力的合成与分解服从矢量加减的平行四边形法则，如图 1-1-4(a)所示， $\boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 = \boldsymbol{F}$ 。将 $\boldsymbol{F}_2$ 平移后，得到力三角形，如图 1-1-4(b)所示，这是求合力矢的三角形法则。由此也可求两力之差(力的分解)，即 $\boldsymbol{F}_1 - \boldsymbol{F}_2 = \boldsymbol{F}_1 + (-\boldsymbol{F}_2) = \boldsymbol{F}'$ ，如图 1-1-4(c)所示。

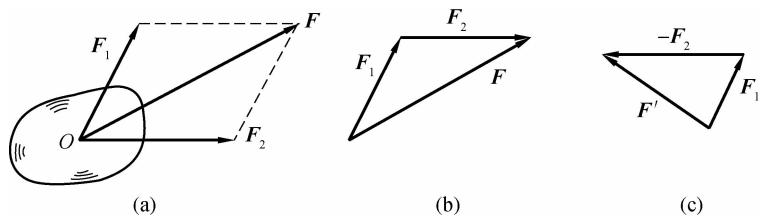


图 1-1-4 力的合成与分解

如图 1-1-5 所示,若将力 F 沿 x 、 y 轴方向分解,则得两分力 F_x 、 F_y 。 α 是力 F 与 x 轴正向间的夹角。

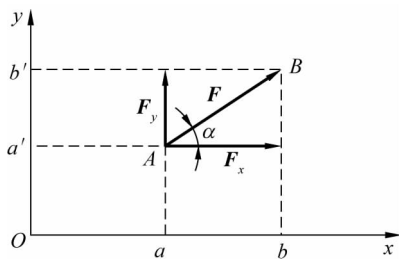


图 1-1-5 力沿直角坐标系的分解

力的分力是矢量,它的投影的符号规定如下:若此力沿坐标轴的分力的指向与坐标轴方向一致,则此力在该坐标轴上的投影为正值;反之,投影则为负值。若已知力在坐标轴上的投影 F_x 、 F_y ,则合力 F 的大小可按式求出,力 F 的指向由分力 F_x 、 F_y 的正负号判定,此为力的合成。

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

(3)作用与反作用定律。两物体间相互作用的力总是大小相等,方向相反,沿同一直线,并分别作用在这两个物体上。

这一定律是研究结构受力分析特别是绘制分离体受力图的基础。该定律中需强调的是,作用力与反作用力一定是分别作用于两个物体,且有作用力必定有反作用力;没有反作用力必定没有作用力,两者总是同时存在,又同时消失。

(4)加减平衡力系公理。在作用于刚体上的已知力系上,加上或减去任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。加减平衡力系公理主要用来简化力系。但必须注意,此公理只适应于刚体而不适用于变形体。

(5)力的可传性原理。作用于刚体上的力可沿其作用线移到同一刚体内的任一点,而不改变该力对刚体的作用。

如图 1-1-6(a)所示的刚体,在点 A 承受力 F ,若先在点 B 处加一对平衡力(F_1 、 F_2),其中 $F_1 = F_2 = F$,然后减去一对平衡力(F 、 F_1),如图 1-1-6(b)所示,可得到如图 1-1-6(c)所示的结果。即力 F 可由点 A 沿作用线移至点 B 。

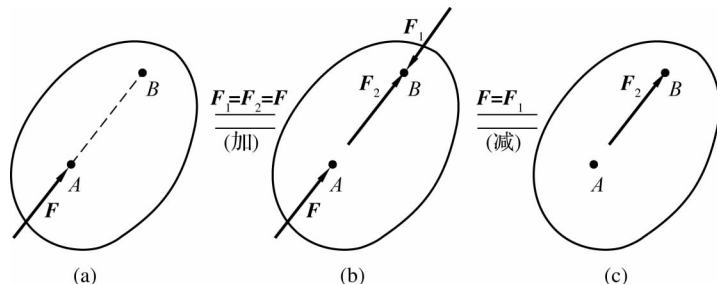


图 1-1-6 力的可传性

(6)三力平衡汇交定理。刚体受三力作用而平衡,若其中两力作用线汇交于一点,则另一力的作用线必



汇交于同一点,且三力的作用线共面(在特殊情况——平行力系下,力在无穷远处汇交),如图 1-1-7 所示。

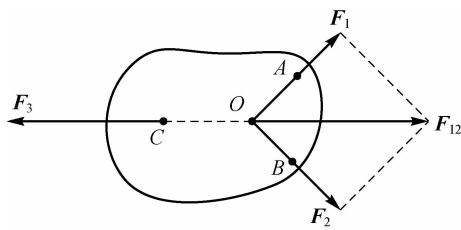


图 1-1-7 三力汇交力系

二、力矩和力偶

力对物体的外效应除平动效应外还有转动效应。平动效应可由力矢来度量,而转动效应则取决于力矩。在日常生产、生活中,常会看到物体同时受到大小相等、方向相反、作用线平行的两个力的作用。如汽车司机转动方向盘时加在方向盘上的两个力(见图 1-1-8);拧水龙头时加在开关上的两个力等情况。这样的两个力显然不是前面所讲的一对平衡力,它们作用在物体上将使物体产生转动效应。

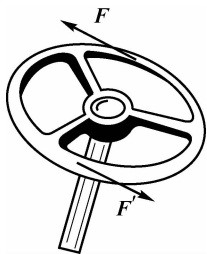


图 1-1-8 转动方向盘

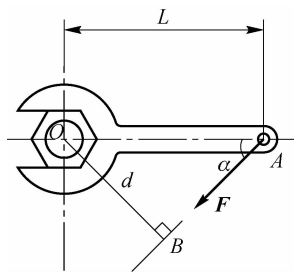


图 1-1-9 扳手拧紧螺丝

1. 力矩

以扳手拧紧螺丝为例来分析力对物体的转动效应。如图 1-1-9 所示,作用于扳手一端的力 F 使扳手绕 O 点转动。

O 点称为力矩中心,简称矩心。扳手绕矩心的转动效应不仅与力 F 的大小有关,还与矩心 O 到力的作用线的距离 d 有关。从矩心 O 到力 F 作用线的距离 d 称为力臂。由力的作用线和矩心 O 所决定的平面称为力矩作用面。在力学中用 F 的大小与 d 的乘积来度量力使物体绕矩心的转动效应,称为力 F 对 O 点之矩,以符号 $M_O(F)$ 表示。即

$$M_O(F) = \pm Fd$$

乘积 Fd 的大小只表示物体绕矩心转动的强弱,而力的方向不同,物体绕矩心的转向也不同。因此,要完整地将力对物体的转动效应表示出来,还需考虑物体的转向。在平面问题中,将力矩规定为代数量:力使物体绕矩心逆时针转动时,力矩取正值;反之为负。力矩的单位是力的单位和长度单位的乘积,常用单位为牛·米($N \cdot m$)、牛·毫米($N \cdot mm$)等。

力矩的性质如下:

- (1) 力矩的大小和转向与矩心的位置有关,同一力对不同的矩心的力矩不同;
- (2) 力的大小等于零或力的作用线过矩心时,力矩为零;
- (3) 力的作用点沿其作用线移动时,力对点之矩不变;
- (4) 互相平衡的两个力对同一点之矩的代数和为零。

2. 力偶

在力学中把大小相等、方向相反、作用线平行的两个力所组成的力系称为力偶,记为 (F, F') ,如图 1-1-10(a)所示。力偶中两力作用线间的距离 d 称为力偶臂,力偶所在的平面称为力偶作用面,力偶中的一个力



的大小与力偶臂的乘积称为力偶矩,用符号 M 表示。在平面问题中

$$M = \pm Fd$$

式中,正负号表示力偶的转向。通常规定:使物体产生逆时针转动效应的力偶矩为正,反之为负。

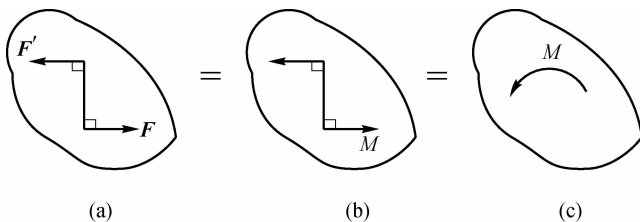


图 1-1-10 力偶

力偶矩的单位同力矩的单位,常用单位有牛顿·米($\text{N} \cdot \text{m}$)、牛顿·毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$)等。在画图表示力偶时常采用图 1-1-10 中(b)、(c)的符号来表示。

1) 力偶的性质

(1)组成力偶的两个力向任意轴的投影的代数和为零,因此力偶无合力,力偶作用在物体上不产生移动效应,只产生转动效应,力偶不能与一个力等效。

(2)力偶的两个力对其作用面内的任意一点的力矩的代数和恒等于其力偶矩,而与矩心的位置无关,因此,力偶的转动效应只取决于力偶矩的大小和转向。

(3)力偶只能与力偶等效,当两个力偶的力偶矩大小相等、转向相同、力偶作用面共面或平行时,两力偶互为等效力偶。

(4)在不改变力偶矩的大小和转向时,可同时改变力和力偶臂的大小,而不会改变其对物体的转动效应。

(5)力偶可在其作用面内任意搬移、旋转,也可以从一个平面平行移到另一平面,而不会改变其对刚体的作用效果。

由力偶的性质可知,力偶对物体的作用效果取决于力偶矩的大小、转向、力偶作用面,称为力偶三要素。

2) 力的平移定理

作用在物体上的力 F 可以平行移动到物体任一点 O ,但同时必须附加一个力偶,才能与原来的作用等效。其附加力偶的力偶矩等于原力 F 对平移点 O 的力矩。这就是力的平移定理,如图 1-1-11 所示。

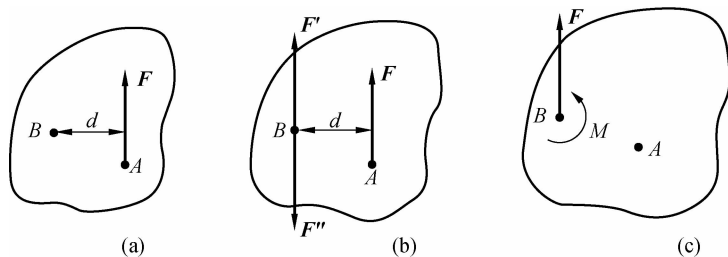


图 1-1-11 力的平移

三、约束与约束力

机械和工程结构中的每个构件,总与周围其他构件相互联系又相互制约,使它的运动受到限制。对于某一物体的运动起限制作用的周围其他物体称为约束。约束作用于被约束物体上的力称为约束力。约束力的方向总是与该约束所限制的运动方向相反。

约束的基本类型包括柔性体约束、光滑面约束、光滑铰链约束和固定端约束等。

1) 柔性体约束

由柔软的绳索、链条或皮带等构成的约束,称为柔性体约束。绳索只能受拉力,因此,它们的约束力作用于接触点,方向沿绳索背离物体,用符号 F_T 表示,如图 1-1-12(a)所示。图 1-1-12(b)所示为带传动,柔性



体约束力作用于切点,方向沿柔性体(带)中线背离带轮。

2) 光滑面约束

当物体与约束的接触面之间摩擦很小可以忽略不计时,则认为接触面是光滑的,这种光滑的平面或曲面对物体的约束,称为光滑面约束。光滑面约束力作用于接触点,方向沿接触面上接触点处的公法线方向,且指向被约束物体,如图 1-1-13 所示。

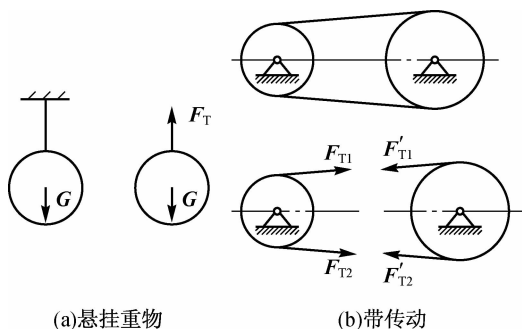


图 1-1-12 柔性体约束

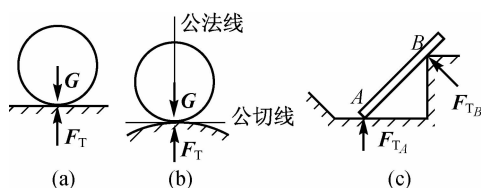


图 1-1-13 光滑面约束

3) 光滑铰链约束

用圆柱销连接的两个构件称为铰链。由铰链构成的约束(忽略其变形和摩擦)称为光滑铰链约束。光滑铰链约束反力的作用线通过圆柱销轴心作用于圆柱销孔的接触点上,方向沿铰链和圆柱销孔接触点的公法线方向(类似光滑面约束)。

常用的光滑铰链包括固定铰链支座和活动铰链支座。

(1) 固定铰链支座。固定铰链支座限制构件沿垂直于圆柱销轴线(相当于径向)的平面内任意方向移动,不限制转动。固定铰链支座约束力的方向根据构件受力情况而定,可分解为两个互相垂直的力,如图 1-1-14 所示。

(2) 活动铰链支座。活动铰链支座限制构件脱离支承面,但允许构件沿支承面滑动。活动铰链支座约束反力的方向垂直于支承面,指向构件,如图 1-1-15 所示。

4) 固定端约束

固定端约束限制构件沿任意方向的移动和转动。固定端约束力的作用点为约束和构件的交界处,方向根据构件受力情况而定,在空间中可分解为互相垂直的三个力和三个力偶矩,在平面上可分解为两个互相垂直的力和一个力偶矩,如图 1-1-16 所示。

图 1-1-16(a)为房屋建筑中的挑梁,它的一端嵌固在墙壁内,墙壁对挑梁的约束,既限制它沿任意方向移动,又限制它的转动;图 1-1-16(b)为装上车床刀架上的车刀,当旋紧螺钉后,刀杆被牢固地固定在刀架上,使车刀相对于刀架不能做任意方向的移动和转动;图 1-1-16(c)为固定端约束的受力分析。

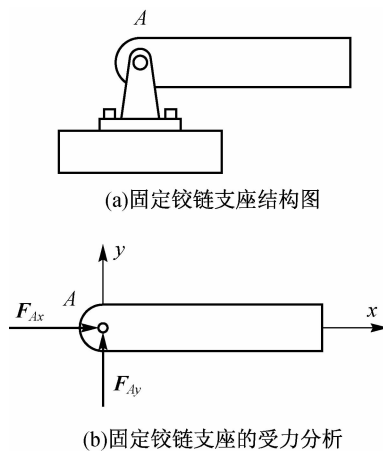


图 1-1-14 固定铰链支座

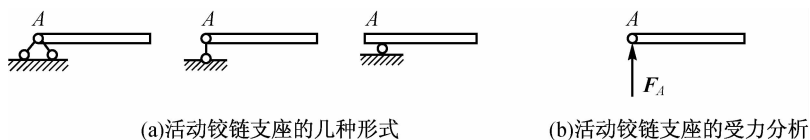


图 1-1-15 活动铰链支座

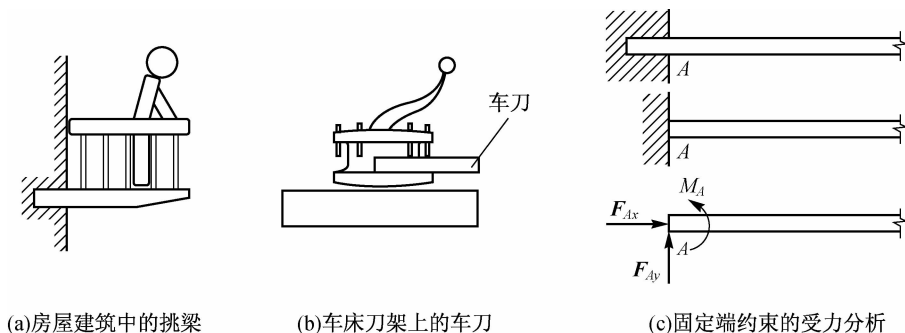


图 1-1-16 固定端约束

四、杆件的受力分析与受力图

实际物体所受的力既有主动力又有约束力,主动力往往都是已知的,约束力却是未知的。工程实际中常需对某一结构或构件进行力学计算,根据已知的主动力求出未知的约束力,这就要求首先确定物体受到哪些力的作用,即对物体进行受力分析,画出其受力图。

在进行受力分析时,首先应明确哪些物体是需要研究的,这些需研究的构件或结构被称为研究对象。再将研究对象从结构系统中分离出来,单独画出该物体的简图,这一被单独分离出的研究对象称为分离体。分离体上已解除全部约束,它与周围物体的联系通过周围物体对隔离体的约束力的作用来代替。将分离体上所受的全部主动力和约束力无一遗漏地画在分离体上,得到的图形称为物体的受力图。恰当地选取研究对象,正确地画出构件的受力图是解决力学问题的关键。

画受力图的具体步骤如下:

- (1)明确研究对象,画出分离体;
- (2)在分离体上画出全部主动力;
- (3)在分离体上画出全部约束力。

试画出图 1-1-17 所示的结构整体及其各构件的受力图(结构自重不计)。

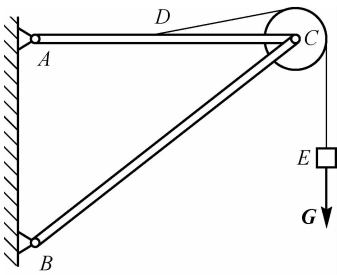


图 1-1-17 起重机

1) 受力分析

(1)设轮 C 带销钉,此时,杆 AC、BC 互不接触,都与销钉(即轮 C)接触,杆 AC、BC 对销钉的作用力都作用在轮 C 上。

(2)设杆 AC 带销钉,此时,轮 C、杆 BC 互不接触,都与销钉(即杆 AC)接触,轮 C、杆 BC 对销钉的作用



力都作用在杆 AC 上。

(3) 设杆 BC 带销钉(一般不考虑此种情况)。

(4) 设销钉独立。

2) 结构整体和各构件的受力

结构整体和各构件的受力情况,如图 1-1-18 所示。

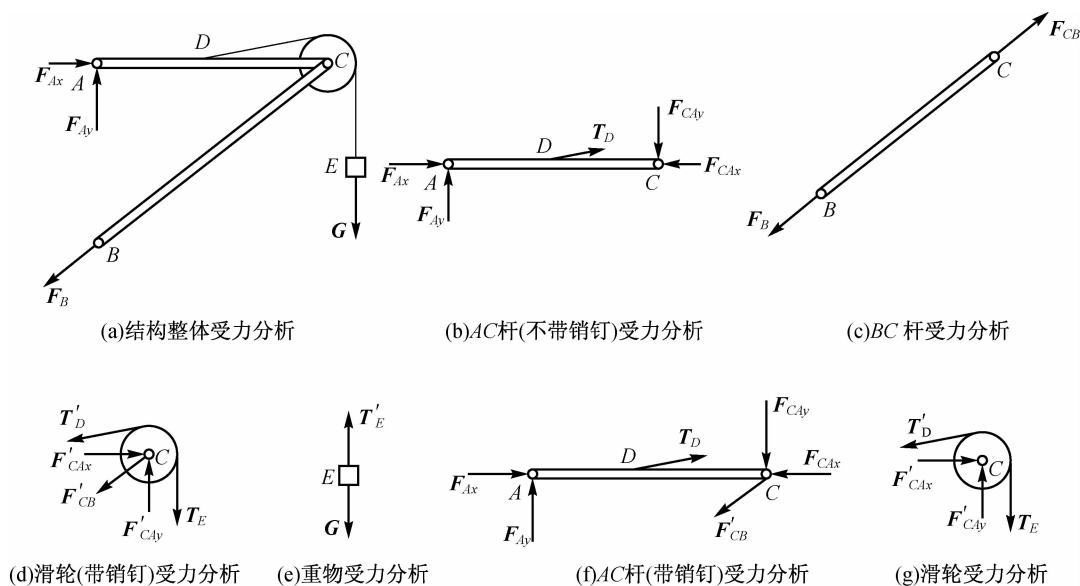


图 1-1-18 结构整体和各构件的受力图

在画受力图时要注意以下几点:

- (1) 为便于受力分析,首先应在整体中找出二力杆(二力杆受力方向有时不可假定),然后从已知力作用的构件入手,逐个画出分离体的受力图;
- (2) 不要漏画,一般要先画主动力,再画约束反力;
- (3) 不要错画力的方向,约束反力的方向应根据约束类型来画;
- (4) 不要多画,只画研究物体所受的力,不画其对其他物体的反作用力;
- (5) 只画外力,不画内力。

五、平面力系的平衡方程及其应用

一个物体或构件上有多个力作用,则这些力组成一个力系。若这些力作用在同一平面内,则称为平面力系。平面力系又可分为平面汇交力系、平面平行力系和平面任意力系。

(1) 平面汇交力系:力系中各力的作用线在同平面内且相交于同一点。其中,共点力是汇交力系的一种特殊情况。

(2) 平面平行力系:力系中各力的作用线在同平面内且互相平行。

(3) 平面任意力系:力系中各力的作用线共面,但既不完全平行,也不完全相交。平面任意力系也可称为平面一般力系。

下面重点介绍平面汇交力系和平面平行力系。

1. 平面汇交力系的平衡方程

平面汇交力系平衡的条件:当平面汇交力系平衡时,力系中所有的力在 x 、 y 两坐标轴上投影的代数和分别为零,即

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0$$

如图 1-1-19(a)所示,重物 $P=20 \text{ kN}$,用钢丝绳挂在支架的滑轮 B 上,钢丝绳的另一端缠绕在绞车 D



上。杆 AB 与 BC 铰接,并以铰链 AC 与墙连接。如两杆和滑轮的自重不计,并忽略摩擦和滑轮的大小,试求平衡时杆 AB 和 BC 所受的力。

具体分析和计算过程如下。

(1)由于 AB 、 BC 两杆都是二力杆,假设杆 AB 受拉力、杆 BC 受压力,如图 1-1-19(b)所示。为了求出这两个未知力,可通过求两杆对滑轮的约束力来解决。因此选取滑轮 B 为研究对象。

(2)画受力图。滑轮受到钢丝绳的拉力 F_1 和 F_2 (已知 $F_1 = F_2 = P$),杆 AB 和 BC 对滑轮的约束力为 F_{BA} 和 F_{BC} 。由于滑轮的大小可忽略不计,故这些力可看作是汇交力系,如图 1-1-19(c)所示。

(3)列平衡方程。选取坐标轴如图 1-1-19(c)所示。为使每个未知力只在一个轴上有投影,在另一轴上的投影为零,坐标轴应尽量取在与未知力作用线相垂直的方向。这样在一个平衡方程中只有一个未知数,不必解联立方程,即

$$\sum F_x = 0, -F_{BA} + F_1 \cos 60^\circ - F_2 \cos 30^\circ = 0 \quad (\text{a})$$

$$\sum F_y = 0, F_{BC} - F_1 \cos 30^\circ - F_2 \cos 60^\circ = 0 \quad (\text{b})$$

(4)求解方程。

由公式(a)得

$$F_{BA} = -0.366P = -7.321 \text{ kN}$$

由公式(b)得

$$F_{BC} = 1.366P = 27.32 \text{ kN}$$

所求结果, F_{BC} 为正值,表示该力的假设方向与实际方向相同,即杆 BC 受压。 F_{BA} 为负值,表示该力的假设方向与实际方向相反,即杆 AB 也受压力。

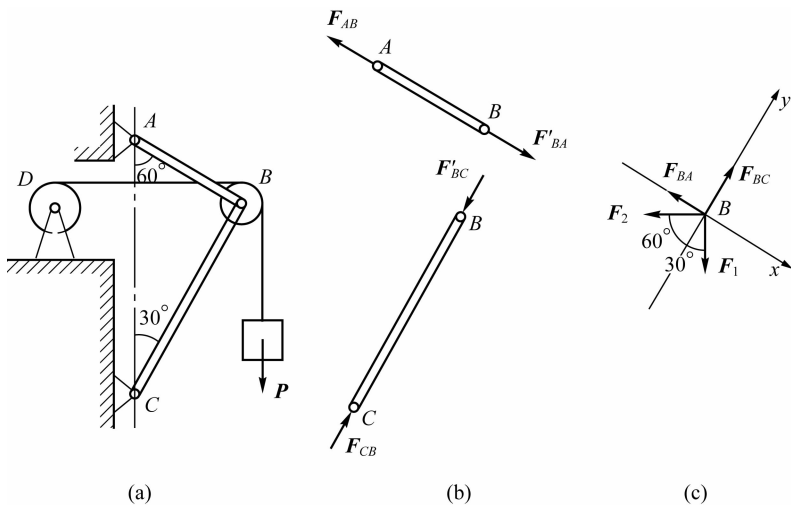


图 1-1-19 结构整体和各构件的受力图

2. 平面平行力系的平衡方程

力系与 y 轴平行,则两独立方程为:

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_o = 0$$

平面平行力系的平衡方程也可以表示为两力矩形式:

$$\sum M_A = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

悬臂梁如图 1-1-20(a)所示,梁上作用有均布荷载 q ,在 B 端作用有集中力 $F = ql$ 和力偶为 $M = ql^2$,梁



长度为 $2l$, 已知 q 和 ql (力的单位为 N, 长度单位为 m)。求固定端的约束反力。

具体分析和计算过程如下。

(1) 取 AB 梁为研究对象, 画受力图 [图 1-1-20(b)], 均布荷载 q 可简化为作用于梁中点的一个集中力 $F_Q = 2ql$ 。

(2) 列平衡方程。

$$\sum F_x = 0, F_{Ax} = 0$$

$$\sum M_A(F) = 0, M - M_A + F(2l) - F_Q l = 0$$

故

$$M_A = M + 2Fl - F_Q l = ql^2 + 2ql^2 - 2ql^2 = ql^2$$

$$\sum F_y = 0, F_{Ay} + F - F_Q = 0$$

故

$$F_{Ay} = F_Q - F = 2ql - ql = ql$$

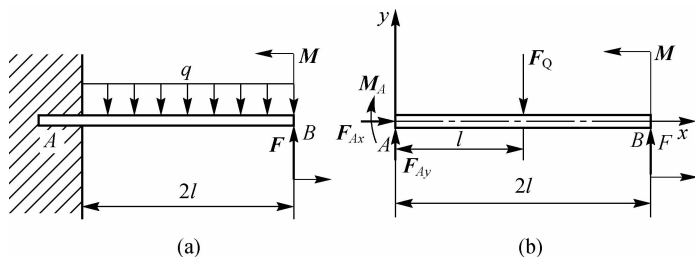


图 1-1-20 梁的受力分析

例题点拨

【例题 1】(填空题) 在外力的作用下形状和大小都不发生变化的物体称为_____。

【答案】刚体

【例题 2】(填空题) 一般规定, 力 F 使物体绕矩心 O 点逆时针转动时, 力矩为_____, 反之, 为_____。

【答案】正值 负值

【例题 3】(单项选择题) 一个力矩的矩心位置发生改变, 一定会使()。

- A. 力矩的大小改变, 正负不变
- B. 力矩的大小和正负都可能改变
- C. 力矩的大小不变, 正负改变
- D. 力矩的大小和正负都不改变

【答案】B

【解析】力矩是力和力臂的乘积, 即 $M = F \times d$, 其中 d 是从矩心到力 F 作用线的垂直距离, F 为矢量。当矩心位置发生改变时, 力臂 d 的大小和方向都可能发生变化。如果力臂的大小改变, 那么力矩的大小也会改变。同时, 由于力矩是矢量, 其方向由力和力臂的相对方向决定, 因此力臂方向的改变, 可能使物体的转动方向发生改变, 即导致力矩的正负号发生变化。

专题训练

一、填空题

- 物体的一部分固嵌于另一物体所构成的约束, 称为_____约束。
- 作用于刚体上的力, 可以平移到刚体上任意一点, 但必须附加一个_____才能与原来的力等效。



二、单项选择题

1. 作用在同一刚体上的两个力 F_1 和 F_2 , 若 $F_1 = -F_2$, 则表明这两个力()。
A. 必处于平衡
B. 大小相等, 方向相同, 但不一定平衡
C. 大小相等, 方向相反, 但不一定平衡
D. 必不平衡
2. 大小相等的四个力, 作用在同一平面上且力的作用线交于一点 C , 如图 1-1-21 所示。试比较四个力对平面上点 O 的力矩, 对 O 点之矩最大的是()。

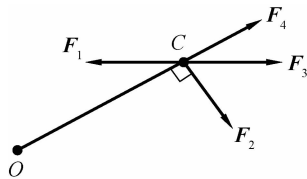
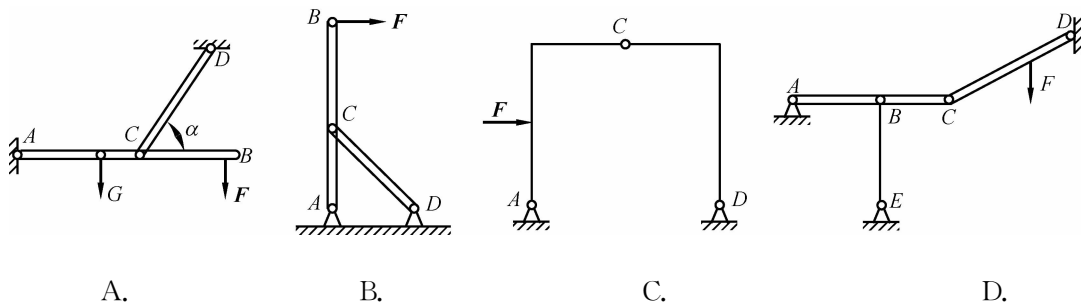


图 1-1-21

- A. F_1 B. F_2 C. F_3 D. F_4
3. 下列关于作用力与反作用力的说法中, 正确的是()。
A. 作用力与反作用力同时存在
B. 作用力与反作用力是一对平衡力
C. 作用力与反作用力作用在同一物体上
D. 作用力消失后, 反作用力依然存在
 4. 力偶对物体产生的运动效应是()。
A. 只能使物体移动
B. 只能使物体转动
C. 既能使物体转动, 又能使物体移动
D. 只能静止
 5. 下列所示的各结构图中, CD 杆不属于二力杆的是()。



三、多项选择题

1. 下列关于力偶的说法中, 正确的有()。
A. 力偶可与一个力等效
B. 力偶的转动效应只取决于力偶矩的大小和转向
C. 当两个力偶的力偶矩大小相等、转向相同时, 两力偶互为等效力偶
D. 力偶可在其作用面内任意搬移、旋转, 而不会改变其对刚体的作用效果
2. 下列工程应用中, 属于固定端约束的有()。
A. 传动带对带轮的约束
B. 气缸壁对活塞的约束
C. 车床刀架上的刀具受到的约束
D. 卡盘上的工件受到的约束

四、作图题

1. 画出图 1-1-22 中各 AB 杆的受力图。

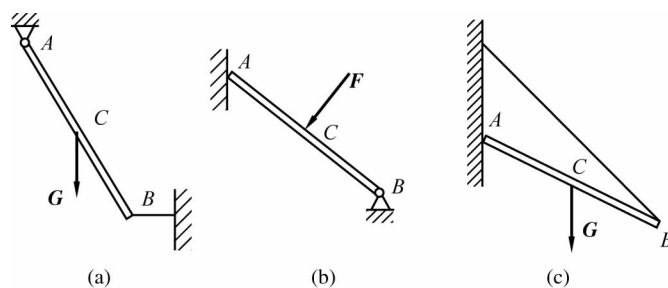


图 1-1-22

2. 画出图 1-1-23 所示机构中各构件的受力图(杆件 1、2 自重不计)。

五、简述与计算题

1. 什么是约束力? 确定约束力方向的原则是什么?

2. 杆 AC、BC 在 C 处铰接, 另一端均与墙面铰接, 如图 1-1-24 所示, F_1 和 F_2 作用在销钉 C 上, $F_1 = 400 \text{ N}$, $F_2 = 500 \text{ N}$, 不计杆重, 试求两杆所受的力。

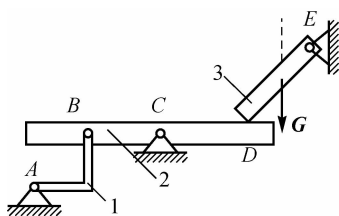


图 1-1-23

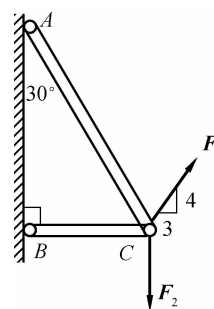


图 1-1-24



专题二

杆件的基本变形

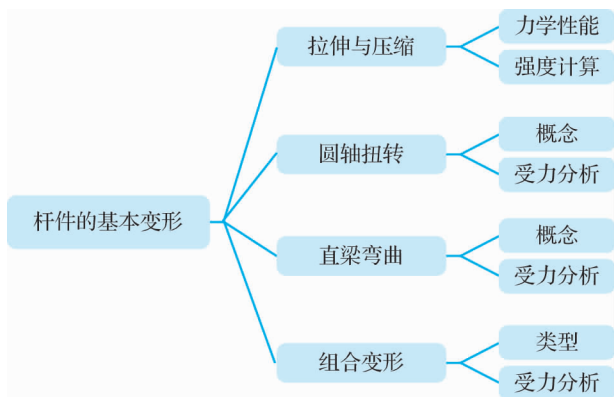


考纲要求

- (1) 结合拉伸与压缩的力学性能,会进行直杆轴向拉伸和压缩时的强度计算;
- (2) 理解剪切与挤压,了解圆周扭转、直梁弯曲以及组合变形。



知识框架



考核要点

一、拉伸与压缩

1. 拉伸与压缩的受力分析

在工程力学中,把长度方向的尺寸远大于横截面尺寸的一类构件称为杆件,杆件中各横截面形心的连线称为轴线,轴线为直线的杆称为直杆;其中,各横截面尺寸和形状相同的直杆,称为等直杆;轴线为曲线的杆件称为曲杆。杆件是结构系统中最基本的构件,它在工程实际中大量存在,很多其他形式的构件,也可以简化为一根杆件或杆件的组合结构来处理。例如,桥梁,机器连杆,建筑物中的横梁、立柱等,都可以简化为杆件来进行受力分析。

当杆在两端受到大小相等、方向相反、合力作用线与轴线重合的一对作用力时,杆就产生轴向拉伸或压缩变形,即变形特点为杆件沿轴线方向伸长或缩短。图 1-2-1 所示的结构,在 B 点受到力作用后, AB 杆产生轴向拉伸变形,而 BC 杆则产生轴向压缩变形。

(1) 内力。杆件所受其他物体的作用力都称为外力,包括主动力和约束力。在外力作用下,杆件产生变形,杆件材料内部产生阻止变形的抗力,这种抗力称为内力。外力越大,杆件的变形越大,所产生的内力也越大。外力去除后,杆件恢复原状,内力也随之消失。可见,内力是由于外力的作用而引起的,内力随外力增大而增大。拉伸和压缩时的内力称为轴力。

求解轴力的普遍方法是截面法,即“假想截开、任意留取、平衡求力”。

为了显示杆件轴向拉压时的内力,以截面 $m-m$ 将一杆件切为左、右两段,如图 1-2-2(a) 所示。在分离的截面上,有使杆件产生轴向变形的内力分量,即轴力 F_N 。

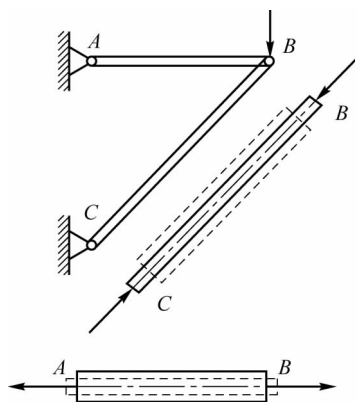


图 1-2-1 拉杆结构

以杆件左段为研究对象,列平衡方程 $F_N - F = 0$, 即得轴力 $F_N = F$ 。轴力 F_N 的作用线与杆件的轴线重合, 方向如图 1-2-2(b) 所示。若以杆件右段为研究对象, 轴力 F_N 的方向如图 1-2-2(c) 所示。

由于截面 $m-m$ 左右两侧的轴力互为作用力和反作用力, 因而它们大小相等、方向相反。

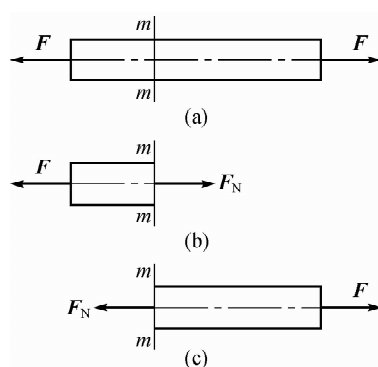


图 1-2-2 轴力分析

(2) 应力。同样的轴力, 作用在材料相同、横截面不同的杆件上, 会产生不同的效果。杆件在外力作用下, 单位面积上的轴力称为应力。轴向拉伸和压缩时, 应力垂直于横截面, 称为正应力, 记作 σ 。轴向拉伸和压缩时, 横截面上的正应力是均匀分布的, 其计算公式为

$$\sigma = \frac{F_N}{A}$$

式中: σ 为横截面上的正应力, MPa; F_N 为横截面上的轴力, N; A 为横截面积, mm^2 。

正应力的正负号规定: 拉伸应力为正, 压缩应力为负。

2. 拉伸与压缩的力学性能

在外力作用下, 构件内部产生的应力称为工作应力。工作应力越大, 构件破坏的可能性越大。但构件是否破坏, 还与构件材料的力学性能有关。材料在外力作用下所表现出来的各种性能称为材料的力学性能, 由试验测定。

在室温下, 以缓慢平稳的加载方式进行的拉伸试验是确定材料力学性能的基本试验。试验在万能试验机上进行。为了便于比较不同材料的试验结果, 金属常温拉伸试验的试件应按国家规定的试验标准进行加工。国家标准试件如图 1-2-3 所示。 L_0 称为原始标距, 它与标准试件直径 d 存在两种规格关系, 即 $L_0 = 10d$ 和 $L_0 = 5d$ 。

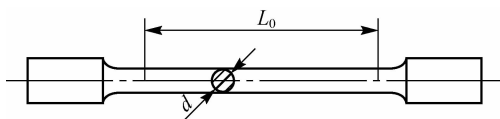


图 1-2-3 国家标准试件



将伸长量 ΔL 除以原始标距 L_0 得到单位长度的变形,即应变,记作 ϵ 。

工程中常用的材料种类很多,例如,低碳钢是常用的塑性材料,铸铁是常用的脆性材料。下面以低碳钢为例来介绍材料在轴向拉压时的力学性能。

1) 低碳钢拉伸时的力学性能

图 1-2-4 所示为低碳钢拉伸时的 ϵ - σ 曲线,由图可见,整个拉伸过程大致可分为四个阶段。

(1) 弹性阶段。

图 1-2-4 中 Oa 段成直线,表明该段应力和应变成正比:

$$\sigma = E\epsilon$$

上式反映了应力与应变之间的关系,称为胡克定律, E 为比例常数,称为材料的拉伸弹性模量,单位为 MPa。

直线部分的最高点 a 所对应的应力值为 R_p 。直线 Oa 的倾斜角为 α ,其正切值为低碳钢的弹性模量,即 $E = \tan \alpha$ 。低碳钢的 $R_p \approx 200$ MPa,弹性模量 $E \approx 210$ GPa。

当应力值超过 R_p 后,低碳钢 ϵ - σ 曲线已不是直线,胡克定律不再适用。此时,若将外力卸去,试件的变形也随之完全消失,这种变形即为弹性变形, R_e 称为弹性极限。

R_p 和 R_e 的概念不同,但实际上 a 点和 b 点非常接近,通常对两者不做严格区分,统称为弹性极限。在工程应用中,一般应使构件在弹性范围内工作。

(2) 屈服阶段。

当应力超过弹性极限后,低碳钢 ϵ - σ 曲线上出现一段近似水平的小锯齿形波动段,见图 1-2-4 中 bc 段,在此阶段内,应力几乎不变,而应变却急剧增加,低碳钢失去继续抵抗外力的能力。这种现象称为屈服或流动。 bc 段所对应的过程称为屈服阶段,屈服阶段的最低应力值 R_{eL} 称为低碳钢的下屈服强度,最高应力值 R_{eH} 称为低碳钢的上屈服强度。低碳钢的屈服强度为 220~240 MPa。如果试件表面光滑,可以看到试件表面有与轴线大约成 45° 的条纹,称为滑移线。在屈服阶段材料将产生较大的塑性变形,在机械零件的正常工作状态下是不允许出现这种现象的,因此,屈服强度是衡量材料强度的一个重要指标。

(3) 强化阶段。

经过屈服阶段后,低碳钢又恢复了抵抗变形的能力,图 1-2-4 中 cd 段表现为应力又随着应变的增加而增加,这种现象称为低碳钢的强化,即 cd 段为低碳钢的强化阶段。强化阶段最高点 d 所对应的应力值用 R_m 表示,称为低碳钢的抗拉强度,它规定了材料所能承受的最大应力,是衡量材料强度的另一个重要指标。低碳钢的抗拉强度为 370~460 MPa。

(4) 局部变形阶段。

应力达到抗拉强度后,在试件较薄弱的截面处发生急剧的局部收缩,出现试件的缩颈现象,如图 1-2-5 所示。



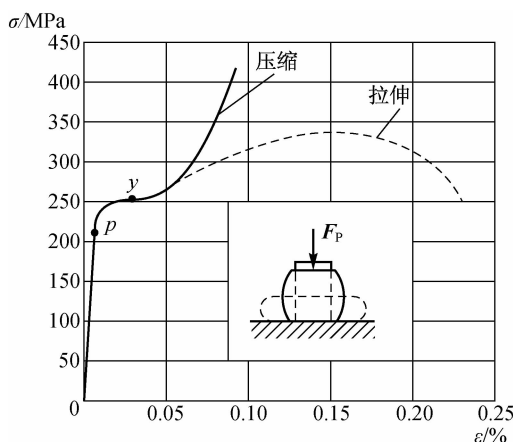
图 1-2-5 试件的缩颈现象

综上所述,低碳钢的全部拉伸过程经历了弹性阶段、屈服阶段、强化阶段和局部变形阶段四个阶段,并存在三个特征点。三个特征点相应的应力分别为弹性强度、屈服强度和抗拉强度。试件拉断后,弹性变形消失,会残留较大的塑性变形(或称为残余变形)。

2) 低碳钢压缩时的力学性能

金属材料的压缩试件常做成短圆柱体,其长度为直径的 1.5~3 倍,以免试件在压缩过程中丧失稳定。

图 1-2-6 所示为低碳钢压缩时的 ϵ - σ 曲线,屈服阶段中两线重合(拉伸、压缩),进入强化阶段后越压越扁,压缩曲线上升。低碳钢压缩时的弹性阶段与拉伸时相同,比例极限也相同;屈服阶段中,低碳钢压缩时的屈服强度与拉伸时相同,即 $R_{eL} = R_{eL}^+$;屈服阶段后,试件越压越扁无颈缩现象,测不出抗拉强度 R_m 。因此,对低碳钢一般不进行压缩试验,其压缩时的力学性能可直接引用拉伸试验的结果。

图 1-2-6 低碳钢压缩时的 ϵ - σ 曲线

3. 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生永久变形而不被破坏的能力。衡量塑性的指标主要有断后伸长率和断面收缩率。

(1)断后伸长率。试样通过拉伸试验断裂时,总的伸长量和原始长度比值的百分率(即相对伸长)称为断后伸长率,用符号 δ 表示,即

$$\delta = (l_1 - l_0) / l_0 \times 100\%$$

式中: l_1 为试样拉断时的标距长度, mm; l_0 为试样原始的标距长度, mm。

(2)断面收缩率。试样通过拉伸试验断裂时,断面缩小的截面积和原始截面积比值的百分率称为断面收缩率,用符号 ψ 表示,即

$$\psi = (S_0 - S_1) / S_0 \times 100\%$$

式中: S_0 为试样原始横截面积, mm^2 ; S_1 为试样断口处横截面积, mm^2 。

断面收缩率与试样尺寸无关,能比较可靠地代表材料的塑性。材料的 δ 或 ψ 越大,其塑性越好。通常把断后伸长率大于 5% 的材料称为塑性材料,如低碳钢;小于 5% 的材料称为脆性材料,如灰铸铁。

4. 杆轴向拉伸与压缩的强度计算

1) 许用应力与安全系数

材料丧失正常工作能力时的应力称为极限应力。塑性材料的极限应力是其下屈服强度 R_{el} ,脆性材料的极限应力是其抗拉强度 R_m 。

为确保安全,构件材料应有适当的强度储备,特别是一旦破坏会造成停产、人身或设备事故等严重后果的重要构件。因此,构件的工作应力必须小于其材料的极限应力(工作应力的最大允许值称为构件材料的许用应力,用 $[\sigma]$ 表示)。

塑性材料下屈服强度与安全系数的关系为

$$[\sigma] = \frac{R_{\text{el}}}{n_{\text{el}}}$$

脆性材料抗拉强度与安全系数的关系为

$$[\sigma] = \frac{R_m}{n_m}$$

式中: n_{el} 、 n_m 为大于 1 的数,称为安全系数。各种材料在不同工作条件下的安全系数可查表获得。一般在机械工程中,塑性材料的安全系数为 1.2~2.5,脆性材料的安全系数为 2~3.5。

2) 拉伸与压缩时的强度条件

工程实际中,把构件上应力最大值所在截面称为危险截面,而把应力最大值所在的点称为危险点。为了保证构件具有足够的强度,必须使危险点的应力值不超过材料的许用应力。即轴向拉伸(压缩)时的强度



条件为

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{N\max}}{A} \leq [\sigma]$$

工程应用中,根据强度条件,可以进行三种类型的强度计算。

(1)校核强度。在已知构件尺寸、许用应力和所受外力的情况下,根据强度条件公式验算构件是否满足强度条件的要求,从而判断构件能否安全工作。

(2)选择或设计横截面尺寸。在已知构件的许用应力和所受外力的情况下,根据强度条件决定构件的横截面尺寸,即

$$A \geq \frac{F_{N\max}}{[\sigma]}$$

(3)确定许可荷载。在已知构件的横截面尺寸和许用应力的情况下,求得轴力的最大许可值,并由此确定许可荷载。对于等直拉(压)杆,内力的最大许可值为

$$[F_N] = [\sigma]A$$

5. 应力集中

1) 应力集中的概念

由前面的研究可知,杆件发生轴向拉(压)变形时,横截面上的正应力是均匀分布的,发生破坏时,在危险截面上应力同时达到极限值,因此产生断裂。但在实际工程中,人们会发现在杆件的截面形状发生突变的位置,破坏往往不是同时发生的,而是从某点开始的,这说明,应力在该截面上不是均匀分布的。例如,在杆的某个位置上有一开孔时,通过试验分析发现,在孔附近的应力值急剧变大且不均匀,而远离孔处的应力值又迅速下降并趋于均匀,如图 1-2-7 所示。这种由于杆件的截面形状突然变化而引起局部应力急剧增大的现象称为应力集中。

2) 应力集中对构件强度的影响

当构件的形状发生突变时,在突变位置会出现应力集中现象。由于工程实际的需要,不可避免地要在构件上留有孔、切口等,使截面形状在某一部位发生变化,因此,必须考虑应力集中对构件强度的影响。但应力集中对构件强度的影响会随材料性质的不同而有所区别。

对于塑性材料,随着外力的增加,应力最大值点的应力最先达到屈服极限 σ_s ,之后应力不再继续增大,而应变增加,其他点的应力继续增大到屈服极限 σ_s ,以保持内外力的平衡,如图 1-2-8 所示。构件的屈服区域逐渐扩展,直至截面上各点的应力值都达到屈服极限时,构件才丧失工作能力。因此,对于塑性材料,应力集中现象并不能显著降低它的抵抗荷载的能力,在强度设计中可以不考虑应力集中的影响。

对脆性材料而言,由于没有屈服阶段,当出现应力集中现象时,一旦应力集中处的最大值达到材料的强度极限,构件就会突然断裂。这大大降低了构件的承载能力,因此在强度设计中必须考虑应力集中对其的影响。

对常用的铸铁构件来讲,由于内部组织很不均匀,内部到处都有应力集中,相比之下,由于构件外形突变引起的应力集中就为微不足道的因素,因此在静荷载作用下的铸铁构件的计算可以不考虑其影响。

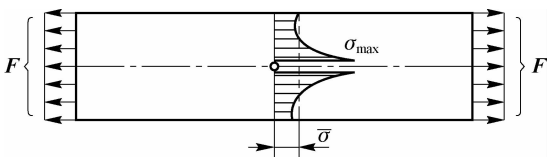


图 1-2-7 应力集中示意图一

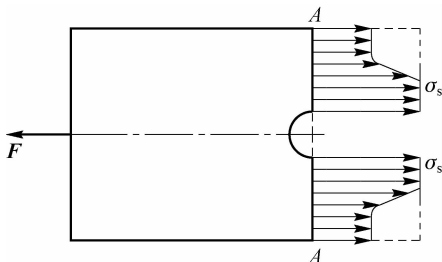


图 1-2-8 应力集中示意图二



二、剪切与挤压

1. 剪切

图 1-2-9 所示为一剪床剪切钢板的示意图,钢板在上、下刀刃的作用下,在相距 δ 区域内发生变形,当外力足够大时,钢板被切断。

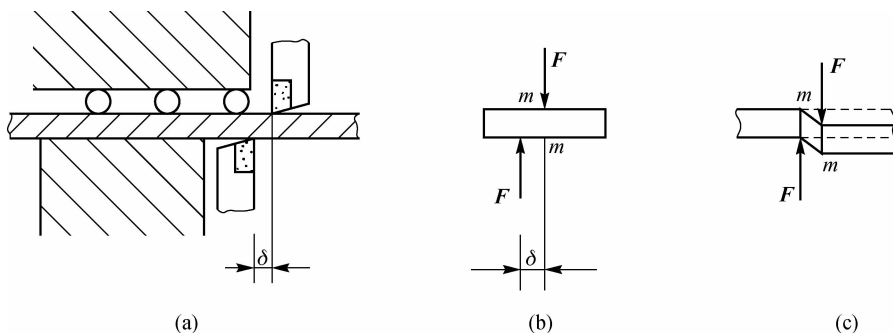


图 1-2-9 剪床剪切钢板的受力分析

图 1-2-10(a)为一铆钉连接简图。当被连接件上受到外力 F 的作用后,力由两块钢板传到铆钉与钢板的接触面上,铆钉上受到大小相等,方向相反的两组分布力的合力 F 的作用[见图 1-2-10(b)],使铆钉上下两部分沿中间截面 $m-m$ 发生相对错动的变形,如图 1-2-10(c)所示。

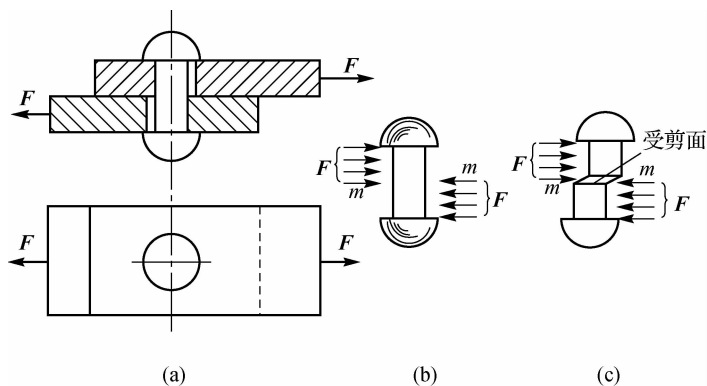


图 1-2-10 铆钉连接的受力分析

由上述两例可见剪切的受力特点:作用在杆件两侧面上且与轴线垂直的外力的合力大小相等,方向相反,作用线相距很近,其变形为使杆件两部分沿中间截面 $m-m$ 在作用力的方向上发生相对错动。杆件的这种变形称为剪切,杆件发生相对错动的中间截面 $m-m$ 称为剪切面。

根据截面法,可求出剪切面的内力——剪力,剪力大小与外力相等且与该受力横截面相切。剪力的单位是 N 或 kN,常用 F_Q 表示。切应力 τ 表示沿剪切面上应力的分布程度,即单位面积上所收到的剪力。由于剪切面附件变形复杂,切应力在剪切面上的分布规律难以确定,所以工程中一般近似认为:剪切面上的应力是均匀分布的,其方向与剪力相同,即

$$\tau = \frac{F_Q}{A}$$

式中:切应力的单位是 Pa 或 MPa。

为了保证构件安全可靠地工作,要求剪切时的强度条件为

$$\tau_{\max} = \frac{F_Q}{A} \leq [\tau]$$

式中: $[\tau]$ 称为许用剪切应力。



2. 挤压

两个构件在受剪切的同时,在其接触面上,因互相压紧会产生局部受压,称为挤压。图 1-2-11 所示的铆钉连接中,作用在钢板上的拉力 F 通过钢板与铆钉的接触面传递给铆钉,接触面上就产生了挤压。两个构件的接触面称为挤压面,作用于挤压面的压力称为挤压力,挤压面上的压应力称挤压应力,用 σ_{bs} 表示。当挤压力过大时,孔壁边缘将受压起皱[见图 1-2-11(a)],铆钉局部被压扁,使圆孔变成椭圆,连接松动[见图 1-2-11(b)],这就是挤压破坏。因此,连接件除需计算剪应力外,还要计算挤压应力。为了保证构件的正常工作,要求挤压应力不超过某一许用值,即

$$\sigma_{bs} = \frac{F}{S_{bs}} \leq [\sigma_{bs}]$$

式中: F 为挤压面上挤压力, N; S_{bs} 为挤压面面积, mm^2 ; $[\sigma_{bs}]$ 为材料的许用挤压应力, N/mm^2 , 其值可从有关设计规范中查得。

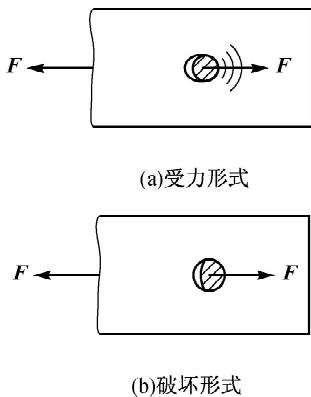


图 1-2-11 挤压变形

三、圆轴扭转

1. 扭转的概念

在日常生活及工程实际中有很多承受扭转的杆件,如汽车转向轴。当汽车转向时,驾驶员通过方向盘把力偶作用在转向轴的上端,在转向轴的下端则受到来自转向器的阻力偶作用。当钳工攻螺纹时,加在手柄上的两个等值反向的力组成力偶作用于锥杆的上端,工件的反力偶作用在锥杆的下端。又如轴承传动系统的传动轴工作时,电动机通过皮带轮把力偶作用在传动轴的一端,在另一端传动轴则受到齿轮的阻力偶作用。上述杆件的受力情况可以简化为图 1-2-12 所示的情形。

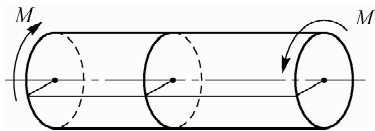


图 1-2-12 圆轴扭转简图

杆件的受力特点:杆件两端受到一对大小相等、转向相反、作用面与轴线垂直的力偶作用。其变形特点:杆的各截面都绕轴线发生相对转动。这种变形称为扭转变形。以扭转变形为主的杆件称为轴。

2. 圆轴扭转外力偶矩与扭矩

圆轴扭转外力偶矩的计算式为

$$M = 9550 \frac{P}{n}$$

式中: P 为圆轴传递的功率, kW; n 为圆轴的转速, r/min ; M 为作用在圆轴上的外力偶矩, $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

圆轴扭转时的内力用截面法来确定。如图 1-2-13(a) 所示的受扭圆轴,假想沿截面 $m-m$ 处将轴切成两段,原来的轴是处于平衡状态的,则其任意一段也应处于平衡状态。任取一段为研究对象,根据力偶只能与力偶平衡,在截面 $m-m$ 上必然存在内力构成一个力偶才能与外力偶 M 平衡。这个内力偶矩称为扭矩,用 M_T 表示,它的大小由平衡条件确定。若取左段为研究对象,则有 $M_T - M = 0$, 即

$$M_T = M$$

若取截面右段为研究对象,则求得的扭矩数值相等而转向相反(作用与反作用),如图 1-2-13(b) 所示。为了使从左、右两段求得同一截面上的扭矩正负号相同,通常对扭矩的正负号做如下规定:按右手螺旋定则,若以四指表示扭矩的转向,则大拇指指向离开截面时的扭矩为正,大拇指指向截面时的扭矩为负。

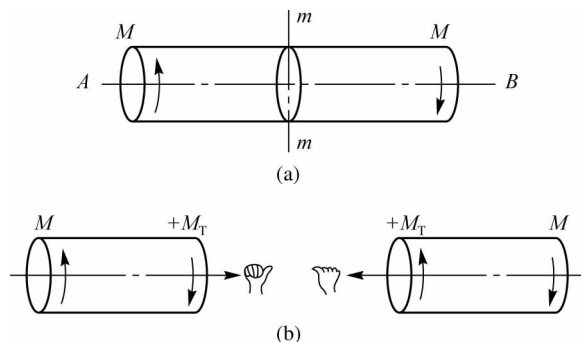


图 1-2-13 圆轴扭转

3. 圆轴扭转的变形特点

为了观察圆轴的扭转变形,在圆轴表面上画出许多间距很小的纵向线和垂直于轴线的圆周线,如图 1-2-14(a)所示。

在两端外力偶矩作用下,使轴产生扭转变形,如图 1-2-14(b)所示。可以观察到下列现象:

- (1) 所有圆周线的形状、大小及相互距离均无变化,只是它们绕轴线旋转了不同的角度;
- (2) 所有纵向线都倾斜了同一个角度 γ ,使原来的矩形格子变成平行四边形。

根据上述现象,可得出关于圆轴扭转的基本假设:在扭转变形中,圆轴的截面就像刚性平面一样,绕轴线旋转了一个角度。这一假设称为平面假设,由此假设可知,圆轴扭转变形时,轴的截面仍保持为平面,其形状和大小均不变,半径也保持为直线,且长度不变。

因此,在横截面上没有正应力,只有垂直于半径的切应力。

4. 圆轴扭转时的切应力分布

圆轴扭转时,横截面上切应力的分布规律如图 1-2-15 所示,横截面上某点的切应力与该点至圆心的距离成正比,圆心处的切应力为零,圆周上的切应力最大,切应力的方向与该点的半径垂直,切应力沿横截面半径呈线性分布。

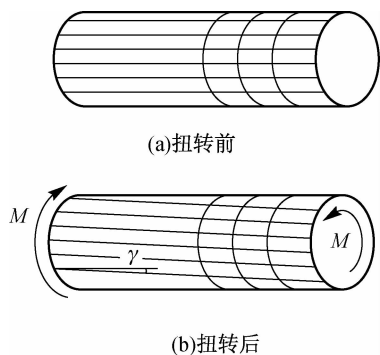


图 1-2-14 圆轴扭转变形

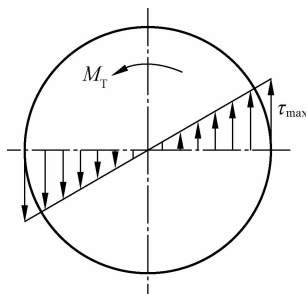


图 1-2-15 横截面上切应力的分布规律

5. 圆轴扭转时的强度条件

当圆轴的横截面尺寸及扭矩确定后,就可以得出切应力的计算公式。等截面圆轴扭转时,扭矩最大值所在的横截面就是危险横截面。由于圆轴扭转时横截面上的切应力沿半径呈线性分布,故危险横截面最外边缘处各点均为危险点,从而可以得出圆轴扭转时的强度条件为

$$\tau_{\max} = \frac{M_{T\max}}{W_t} \leq [\tau]$$

式中: $\tau_{\max}$ 为危险截面处最外边缘处的最大切应力, MPa; $M_{T\max}$ 为危险截面上的扭矩, $\text{N} \cdot \text{m}$; W_t 为抗扭截面系数, 单位为 mm^3 ; $[\tau]$ 为圆轴材料的许用切应力, MPa。



四、直梁弯曲

工程实际中,存在大量的弯曲问题,如火车轮轴、桥梁、桥式吊车梁等的受力弯曲。如图 1-2-16(a)所示,当直杆受到垂直于轴线的外力作用时,其轴线将由直线变成曲线,这样的变形称为弯曲变形,以弯曲变形为主的杆件称为梁。梁的受力特点是在轴线平面内受到力偶矩或垂直于轴线方向的外力作用。

若作用在梁上的外力都位于纵向对称面内,且力的作用线垂直于梁的轴线,则变形后的曲线为平面曲线,且仍位于纵向对称面内,这种弯曲称为平面弯曲。平面弯曲是最常见且最简单的弯曲变形。

1. 梁的简化

由于梁上的载荷和支承情况一般比较复杂,为便于分析和计算,在保证足够精度的前提下,需要对梁进行力学简化。为了绘图的方便,首先对梁本身进行简化,通常用梁的轴线来代替实际的梁,如图 1-2-16(b)所示。

2. 梁的分类

作用在梁上的载荷通常可以简化为简支梁、悬臂梁和外伸梁三种类型。

(1)简支梁。可以简化成一端为固定铰链支座,另一端为活动铰链支座的梁称为简支梁,如图 1-2-17 所示。

(2)悬臂梁。可以简化成一端为固定端,另一端为自由端,固定端可阻止梁移动和转动的梁称为悬臂梁,如图 1-2-18 所示。悬臂梁有一对约束力和一对力偶。

(3)外伸梁。可以简化成一端与简支梁具有一样的形式,但另一端向支座外伸出,并在外伸端有载荷作用,这种梁称为外伸梁,如图 1-2-19 所示。

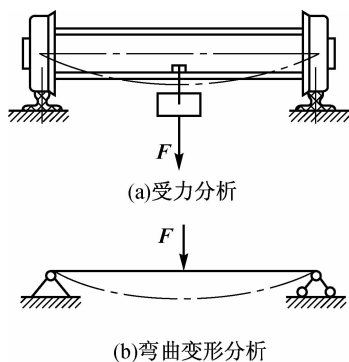


图 1-2-16 火车轮轴



图 1-2-17 简支梁

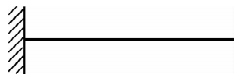


图 1-2-18 悬臂梁

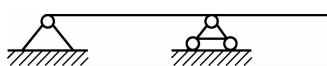


图 1-2-19 外伸梁

3. 梁的应力分布

梁在外力(荷载和支座反力)作用下发生弯曲变形,横截面上将产生相互作用的内力。横截面上的内力一般为两个分量:剪力与弯矩。

剪力是指作用线位于所切截面的内力;弯矩是指矢量位于所切截面的内力偶矩。

图 1-2-20(a)所示的简支梁,其两端的支座反力 F_A 、 F_B 可由梁的静力平衡方程求得。用假想截面将梁分为两部分,并以左段为研究对象,如图 1-2-20(b)所示。由于梁整体处于平衡状态,因而其各个部分也应处于平衡状态。据此,截面 I—I 上将产生内力,这些内力将与外力 P_1 、 F_A 在梁的左段构成平衡力系。

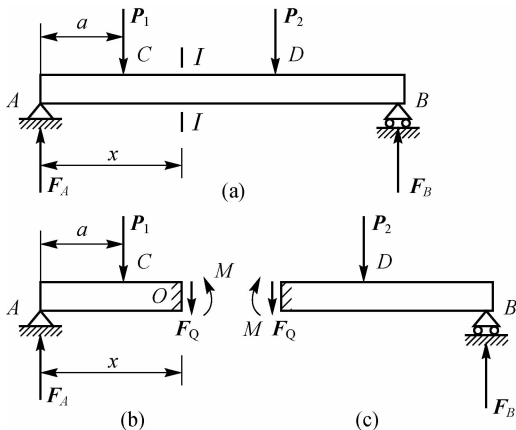


图 1-2-20 简支梁



列平衡方程 $F_A - P_1 - F_Q = 0$, 即

$$F_Q = F_A - P_1$$

这一与截面相切的内力 F_Q 称为截面 $I-I$ 上的剪力, 它是与截面相切的分布内力系的合力。

根据平衡条件, 若把左段上的所有外力和内力对截面 $I-I$ 的形心 O 取矩, 其力矩总和应为零, 即 $\sum M_O(F) = 0$, 则 $M + P_1(x-a) - F_A x = 0$, 即

$$M = F_A x - P_1(x-a)$$

这一内力偶矩 M 称为截面 $I-I$ 上的弯矩。它是与截面垂直的分布内力系的合力偶矩。剪力和弯矩均为梁截面上的内力, 它们可以通过梁的局部平衡来确定。

为了研究梁弯曲时截面上的正应力分布规律, 取一矩形截面等直梁, 在表面画一些平行于梁轴线的纵线和垂直于梁轴线的横线。在梁的两端施加一对位于梁纵向对称面内的力偶, 梁则发生弯曲。梁任意截面上的内力只有弯矩而无剪力, 这种弯曲称为纯弯曲, 这种梁称为纯弯曲梁。

如图 1-2-21 所示, 梁发生弯曲变形后, 可以观察到以下现象:

- (1) 横向线仍是直线且仍与梁的轴线正交, 只是相互倾斜了一个角度;
- (2) 纵向线(包括轴线)都变成了弧线;
- (3) 梁截面的宽度发生了微小变形, 在压缩区变宽一些, 在拉伸区变窄一些。

根据上述现象, 可对梁的变形提出以下假设。

- (1) 平面假设。梁弯曲变形时, 其截面仍保持为平面, 且绕某轴转过了一个微小的角度。

(2) 单向受力假设。设梁由无数纵向纤维组成, 则这些纤维处于单向受拉或单向受压状态。如图 1-2-22 所示, 梁下部的纵向纤维受拉伸长, 上部的纵向纤维受压缩短, 其间必有一层纤维既不伸长, 也不缩短, 这层纤维称为中性层。中性层和截面的交线称为中性轴, 即图 1-2-22 中的 z 轴。梁的横截面绕 z 轴转动一个微小角度。

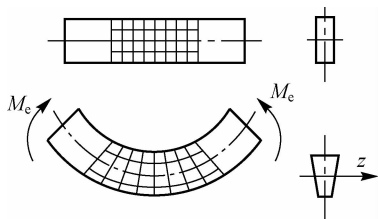


图 1-2-21 梁的弯曲变形

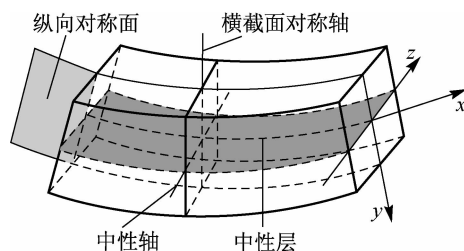


图 1-2-22 梁的弯曲变形分析

矩形截面梁在纯弯曲时的正应力的分布有以下特点。

- (1) 中性轴上的线应变为零, 所以其正应力也为零。
- (2) 到中性轴距离相等的各点, 其线应变相等; 根据胡克定律, 它们的正应力也相等。
- (3) 在图 1-2-23 所示的受力情况下, 中性轴上部各点正应力为负值, 中性轴下部各点正应力为正值。
- (4) 正应力沿 y 轴线性分布。最大正应力(绝对值)在离中性轴最远的上、下边缘处。

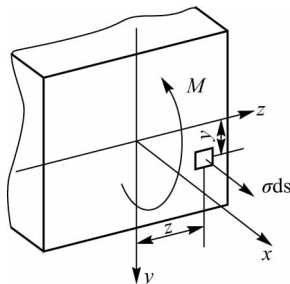


图 1-2-23 梁变形的物理关系



4. 梁的弯曲应力

在进行梁的强度计算时,首先应确定梁的危险截面和危险点。一般情况下,对于等截面直梁,其危险点在弯矩最大的截面的上下边缘处,即最大正应力所在处。

危险点的最大工作应力应不大于材料在单向受力时的许用应力,强度条件为

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_z} \leq [\sigma]$$

式中: M 为横截面上的弯矩, $\text{N} \cdot \text{m}$; W_z 为抗弯截面系数, m^3 或 mm^3 ,它只与截面的形状和大小有关。

对于矩形截面, $W_z = \frac{bh^2}{6}$, b 、 h 为矩形截面的宽与高,单位为 mm 。对于圆形截面, $W_z = 0.1D^3$, D 为轴的外径,单位为 mm 。对于空心圆形截面, $W_z = 0.1D^3[1 - (\frac{d}{D})^4]$, d 、 D 分别为空心轴的内、外径,单位为 mm 。对于型钢横截面, W_z 值可由型钢参数表查得。

考虑到材料的力学性能和截面的几何性质,判定危险点的位置是建立强度条件的关键所在。

5. 提高弯曲强度的主要措施

1) 减小最大弯矩

梁的最大弯矩 $M_{\max}$ 不仅取决于载荷的大小,还取决于载荷在梁上的分布,所以合理安排加载方式和支座的布置,可明显减小梁的最大弯矩。

2) 选用合理的截面形状

为提高抗弯能力,工程上常将梁的横截面设计成材料远离中性层的形状。如图 1-2-24 所示,在横截面积相等的情况下,自左至右,各横截面的抗弯能力逐渐下降。工字形横截面和空心横截面的承载能力强。

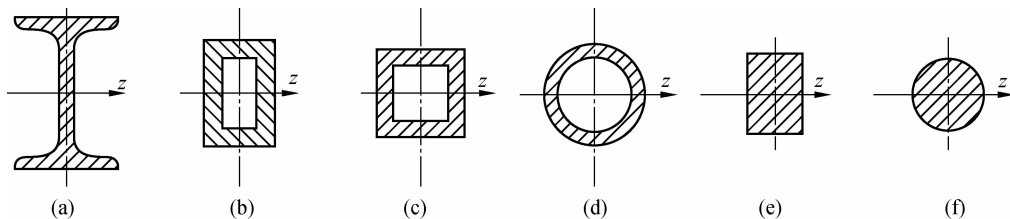


图 1-2-24 横截面形状

3) 提高材料的力学性能

构件选用何种材料,应综合考虑安全、经济等因素。近年来,低合金钢生产发展迅速,如 16Mn 钢、15MnTi 钢等。这些低合金钢的生产工艺和成本与普通钢相近,但强度高、韧性好。南京长江大桥广泛地采用了 16Mn 钢,与低碳钢相比节约了 15% 的钢材。铸铁抗拉强度较低,但价格低廉。铸铁经球化处理成为球墨铸铁后,提高了抗拉强度和塑性。不少工厂用球墨铸铁代替钢材制造曲轴和齿轮,取得了较好的经济效益。

4) 制成变截面梁

工程中为了减轻自重和节省材料,常常根据弯矩沿梁轴线的变化情况将梁制成变截面梁,使所有横截面上的最大正应力都接近许用应力,即“等强度梁”。例如,摇臂钻床的横臂、飞机的机翼、汽车的弹簧钢板、阶梯轴等。

五、组合变形

前面介绍了杆件的拉伸、压缩、剪切、挤压、扭转和弯曲等基本变形。工程中,构件往往因受力比较复杂而同时产生几种基本变形。这类由两种或两种以上的基本变形组合的变形,称为组合变形。几种常见的组合变形如图 1-2-25 所示。



专题训练

一、填空题

1. 用截面法求杆件内力的步骤依次是_____、_____、_____。
2. 反映应力和应变成正比关系的定律称为_____,其公式是_____。
3. 剪力大小与外力_____且与该受力横截面_____。
4. 圆轴扭转时横截面上产生的内力偶矩称为_____。

二、单项选择题

1. 缩颈现象发生在()。
A. 弹性阶段 B. 屈服阶段 C. 强化阶段 D. 局部变形阶段
2. 安全系数的值()。
A. 等于 1 B. 大于 1 C. 小于 1 D. 不能确定
3. 构件的许用应力 $[\sigma]$ 是保证构件安全工作的()。
A. 最高工作应力 B. 最低工作应力 C. 平均工作应力 D. 以上都不对
4. 挤压变形为构件的()变形。
A. 轴向压缩 B. 局部互压 C. 全表面 D. 以上都不对
5. 两根圆轴,一根直径 $d_1=4\text{ cm}$,受轴向拉力 $F_{N1}=2\text{ kN}$;另一根直径 $d_2=8\text{ cm}$,受到轴向拉力 $F_{N2}=4\text{ kN}$,则两轴横截面上的正应力 σ_1 和 σ_2 的关系是()。
A. $\sigma_1:\sigma_2=2:1$ B. $\sigma_1:\sigma_2=1:2$
C. $\sigma_1:\sigma_2=1:4$ D. $\sigma_1:\sigma_2=1:1$

三、多项选择题

1. 工程中,受到剪切力和挤压力的作用而发生变形的有()。
A. 连接轴与齿轮的键 B. 汽车的传动轴
C. 机床主轴 D. 连接两块钢板的螺栓
2. 工程实际中,梁的基本形式有()。
A. 简支梁 B. 悬臂梁 C. 外伸梁 D. 组合梁

四、简述与计算题

1. 什么是零件的强度条件? 利用该条件能进行哪些计算?
2. 如图 1-2-26 所示,直杆受力 $F_1=60\text{ kN}$, $F_2=24\text{ kN}$,其横截面积分别为 $A_1=300\text{ mm}^2$, $A_2=160\text{ mm}^2$ 。试求横截面上的最大正应力。

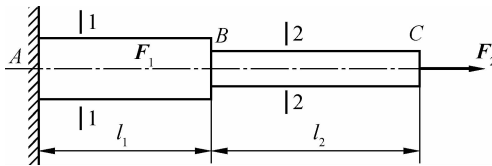


图 1-2-26