

过程设备 机械基础

國防工業出版社



feior34e er
feiorwfegeeer34piowerqwrqe
feiorwfegeefewfgeeqq
feiorwee
feiorwfeqw
feiorwfeqwegwtrhttrht54eqrqrqwer3sef
feiorwfeqwewerewerewewq
ewrfeiorwfeqwew
feiorwfegeeer34fr34t
feiorwfegee

21世纪高等院校规划教材

过程设备机械基础

巨勇智 靳士兰 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

过程设备机械基础 / 巨勇智, 靳士兰主编. — 北京:
国防工业出版社, 2005. 4

ISBN 7 - 118 - 03829 - 6

I. 过... II. ①巨...②靳... III. 化工过程 - 机械
设备 - 高等学校 - 教材 IV. TQ051

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 019243 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 20 1/4 465 千字

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 30.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

为了适应面向 21 世纪的教育,培养厚基础、宽口径的应用型高科技人才,需要学生较全面地掌握相关专业的知识。本书是为化工工艺类及相关专业编写的《过程设备机械基础》课程教材。

针对目前学生学习负担过重不利于全面发展的问題,结合现代科学发展快、知识不断更新的特点,我们根据各院校多年的教学经验,本着少而精、理论联系实际的原则,全面组织内容,系统地编写了本教材。

本书讲解了工程力学基础、化工容器、化工设备的结构设计、强度设计等方面的基本理论和工程设计方法,结合我国压力容器现行设计规范和标准,编入了相关内容,体现了目前国内该领域的最新知识。

本书由齐齐哈尔大学、大庆石油学院联合编写,共 10 章,各章编写具体分工为:第 1 章至第 7 章由姜德成编写;第 8 章由顾晓华编写;第 13 章、第 15 章由巨勇智编写;第 9 章由钟明编写;第 10 章至第 12 章由靳士兰编写;附录由高相斌编写。

本书由巨勇智、靳士兰主编,姜德成、钟明副主编。

本书由高相斌担任主审。

本书在编写过程中得到各参编院校有关领导的关心和支持,在此表示衷心感谢。由于编者水平有限、经验不足,书中难免出现错误,敬请批评指正。

编 者

2005 年 1 月

目 录

第 1 章 静力学基础	1
1.1 静力学基本概念	1
1.1.1 静力学的公理	1
1.1.2 约束与约束反力	3
1.2 受力分析和受力图	5
习题	6
第 2 章 平面汇交力系	8
2.1 平面汇交力系的合成	8
2.1.1 几何法	8
2.1.2 解析法	9
2.2 平面汇交力系的平衡条件	10
2.2.1 平面汇交力系平衡的几何条件	10
2.2.2 平面汇交力系平衡的解析条件	11
习题	12
第 3 章 平面一般力系	14
3.1 力矩与力偶	14
3.1.1 力矩	14
3.1.2 力偶	14
3.2 力的平移定理	16
3.3 平面一般力系的简化与平衡	16
3.4 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	18
习题	21
第 4 章 直杆的轴向拉伸与压缩	23
4.1 直杆轴向拉伸及压缩的内力和应力	23
4.1.1 直杆横截面上的内力	23
4.1.2 直杆横截面上的应力	24
4.1.3 直杆斜截面上的应力	25
4.2 直杆拉伸和压缩时的变形	25

4.3 材料的机械性能	28
4.3.1 低碳钢拉伸及压缩时的机械性能	28
4.3.2 脆性材料的机械性能	30
4.4 杆件在拉伸及压缩时的强度计算	30
4.4.1 材料的许用应力	30
4.4.2 强度计算	31
习题	34
第5章 剪切及扭转	37
5.1 剪切	37
5.1.1 剪切变形	37
5.1.2 剪应力及剪切强度计算	37
5.1.3 纯剪切	38
5.1.4 剪切虎克定律	39
5.1.5 挤压及其强度计算	39
5.2 圆轴扭转时的外力偶矩与扭矩	42
5.2.1 扭转的概念	42
5.2.2 外力偶矩的计算	42
5.2.3 扭矩的计算	43
5.3 圆轴扭转时的应力	43
5.3.1 变形几何关系	44
5.3.2 物理关系	44
5.3.3 静力学关系	45
5.4 圆轴扭转时的强度和刚度计算	46
5.4.1 强度计算	46
5.4.2 圆轴的变形及刚度计算	47
习题	50
第6章 弯曲	52
6.1 平面弯曲及梁的类型	52
6.2 梁弯曲时的内力——剪力和弯矩	54
6.3 剪力图和弯矩图	55
6.4 纯弯曲时梁横截面上的正应力及其强度条件	59
6.4.1 变形分析	60
6.4.2 弯曲正应力分布规律	61
6.4.3 弯曲正应力计算公式	62
6.4.4 截面的 I_z 与 W_z	63
6.4.5 弯曲正应力的强度条件	65
6.5 提高梁的弯曲强度的措施	66

6.5.1 选择合适的截面形状	66
6.5.2 采用变截面梁	68
6.5.3 合理布置载荷和支座	69
6.5.4 合理地使用材料	70
6.6 梁的变形	71
6.6.1 梁的挠度和截面转角	71
6.6.2 挠曲线近似微分方程式	71
6.6.3 梁的刚度计算	72
习题	73
第7章 复杂应力状态及强度理论	78
7.1 应力状态概念	78
7.1.1 单向应力状态	78
7.1.2 二向(平面)应力状态	79
7.1.3 三向应力状态	79
7.2 复杂应力状态	79
7.2.1 二向应力状态	79
7.2.2 三向应力状态	81
7.3 广义虎克定律	82
7.4 强度理论	83
7.4.1 最大拉应力理论(第一强度理论)	83
7.4.2 最大伸长线应变理论(第二强度理论)	83
7.4.3 最大剪应力理论(第三强度理论)	84
7.4.4 最大变形能理论(第四强度理论)	84
7.5 杆件组合变形时的强度计算	86
7.5.1 拉伸(压缩)与弯曲变形的组合	86
7.5.2 扭转与弯曲的组合	88
习题	92
第8章 压杆的稳定	94
8.1 压杆稳定的概念	94
8.2 临界压力的确定——欧拉公式	94
8.2.1 临界压力——欧拉公式	94
8.2.2 临界应力——欧拉公式的适用范围	95
8.2.3 柔度 $\lambda < \lambda_p$ 的压杆临界应力的计算	96
8.3 压杆稳定的实用计算	96
8.4 提高压杆稳定性的措施	99
8.4.1 加强约束的牢固性	99
8.4.2 尽量减小压杆长度	99

8.4.3 选择合理的截面形状	99
8.4.4 合理选用材料	100
习题	100
第9章 过程设备常用材料	101
9.1 过程设备常用金属材料的基本性能	101
9.1.1 机械性能	101
9.1.2 耐腐蚀性能	102
9.1.3 加工工艺性能	102
9.1.4 材料的经济性和来源情况	102
9.1.5 选择过程设备材料的一般原则	102
9.2 常用金属材料的分类及用途	103
9.2.1 碳钢的分类、牌号及用途	103
9.2.2 合金钢的分类、牌号及用途	104
9.2.3 钢材的品种及规格	106
9.2.4 铸铁的分类、牌号及用途	106
9.2.5 有色金属及其合金	107
9.3 过程设备的腐蚀及防腐措施	108
9.3.1 腐蚀的定义与分类	108
9.3.2 金属腐蚀破坏的形式	111
9.3.3 化工设备的防腐措施	112
习题	121
第10章 内压薄壁容器设计	123
10.1 概述	123
10.1.1 容器的总体结构	123
10.1.2 压力容器的分类	124
10.1.3 容器设计的基本要求	126
10.2 内压薄壁容器设计的理论基础	126
10.2.1 薄壁壳体的无力矩理论	126
10.2.2 压力容器的边缘问题	140
10.3 内压薄壁筒体与球壳的设计	143
10.3.1 失效准则与强度理论	143
10.3.2 圆筒体和球壳的设计计算	143
10.3.3 设计参数的确定	145
10.4 内压容器的封头设计与选择	150
10.4.1 凸形封头	150
10.4.2 锥形封头	157
10.4.3 平封头(平盖)	163

10.4.4 封头的选择	165
10.5 容器的压力试验	168
习题	169
第 11 章 外压容器设计	171
11.1 概述	171
11.1.1 外压容器的稳定性	171
11.1.2 临界压力的概念	171
11.2 外压圆筒的理论设计计算	172
11.2.1 长圆筒受均布侧向外压弹性失稳时的临界压力	172
11.2.2 短圆筒受均布侧向外压作用弹性失稳时的临界压力	173
11.2.3 临界长度	173
11.3 外压圆筒的工程设计	174
11.3.1 图算法	174
11.3.2 设计参数的确定	178
11.3.3 外压圆筒厚度表	178
11.4 加强圈设计	179
11.4.1 加强圈的作用与结构	179
11.4.2 加强圈间距	180
11.4.3 加强圈尺寸	180
11.5 外压封头设计	182
11.5.1 外压半球形封头	182
11.5.2 椭圆形封头	183
11.5.3 碟形封头	183
习题	184
第 12 章 压力容器的总体设计问题	186
12.1 压力容器的总体结构分析	186
12.2 法兰	187
12.2.1 密封原理及法兰密封结构	187
12.2.2 强制密封设计	190
12.3 开孔补强	198
12.3.1 允许不另行补强的最大开孔直径	199
12.3.2 最大开孔限制	199
12.3.3 局部补强结构	199
12.3.4 等面积补强设计准则	200
12.4 支座	202
12.4.1 立式设备支座	202
12.4.2 卧式容器支座	207

12.5 焊接结构设计	209
12.5.1 焊接接头的基本形式	209
12.5.2 焊接坡口形式设计	210
12.5.3 压力容器焊接接头的分类	211
12.5.4 压力容器焊接结构设计的基本原则	211
12.5.5 容器焊接接头的坡口设计的基本原则	212
习题	213
第 13 章 管壳式换热器	214
13.1 管壳式换热器的基本型式	214
13.1.1 概述	214
13.1.2 管壳式换热器的结构类型	214
13.2 管壳式换热器的结构设计	217
13.2.1 换热管	217
13.2.2 管板	217
13.2.3 换热管在管板上的排列	218
13.2.4 换热管与管板间的联接	219
13.2.5 管板与壳体的联接	220
13.2.6 管箱与管程分程	221
13.2.7 挡板与导流筒	222
13.2.8 折流板、支撑板、旁路挡板	222
13.2.9 膨胀节	223
13.3 管壳式换热器设计与选择	224
13.3.1 固定管板式换热器的工艺计算及基本参数的确定	224
13.3.2 换热器的型号	225
习题	226
第 14 章 塔式容器	228
14.1 概述	228
14.2 塔式容器的结构设计	228
14.2.1 板式塔结构	228
14.2.2 填料塔结构	236
14.3 塔的强度计算	242
14.3.1 塔的受载分析	242
14.3.2 塔的应力校核	246
习题	250
第 15 章 搅拌反应器	252
15.1 反应器壳体及传热元件的设计	253

15.1.1 壳体设计	253
15.1.2 传热元件设计	254
15.2 搅拌器设计	257
15.2.1 搅拌器的基本型式	257
15.2.2 搅拌器的选择	259
15.2.3 搅拌挡板	260
15.3 传动装置和搅拌轴及轴封	261
15.3.1 传动装置	261
15.3.2 搅拌轴	262
15.3.3 轴封	263
习题	266
附录 1 型钢尺寸规格表	267
附录 2 简单截面图形的几何性质表	281
附录 3 钢板许用应力	283
附录 4 钢管许用应力	285
附录 5 钢板常用的规格及钢材的 E 和 α	287
附录 6 椭圆形封头 (JB/T 4737—95)	288
附录 7 甲型平焊容器法兰	290
附录 8 乙型平焊容器法兰	292
附录 9 压力容器法兰用非金属垫片 (JB4704—92)	294
附录 10 管法兰	295
附录 11 耳式支座	300
附录 12 鞍式支座 (JB/T4712—92)	301
附录 13 视镜 (HGJ 501—86)	302
附录 14 常压人孔 (JB577—79)	303
附录 15 平盖手孔 (JB589—79)	306
附录 16 补强圈 (21506—92)	308
附录 17 玻璃管液面计 (PN1.6) (HG5—227—80)	310
参考文献	313

第1章 静力学基础

1.1 静力学基本概念

静力学是研究物体平衡的科学。所谓平衡,是指物体相对地球保持静止或作匀速直线运动。物体处于平衡状态时,作用在物体上的若干力的作用效果相互抵消,而不会引起物体运动状态的改变。

静力学研究物体平衡问题时,将物体抽象为刚体。所谓刚体,是指在力作用下不发生变形的物体。事实上任何物体在力作用下或多或少要产生一些变形,但是许多物体在受力后产生的变形是极微小的,略去这种微小的变形,不会对静力学所研究问题的结果产生显著影响,同时能大大减少问题的复杂程度。

力是静力学中一个重要的基本概念。人们经过长期的生产实践与理论概括,逐步地建立起力的概念,力是物体间相互的机械作用。作用的结果使物体运动状态发生改变,或使物体的形状发生改变。值得注意的是:产生力的根本原因是物体间的相互机械作用,所以力不能离开物体而存在。一个物体受到了力的作用,就必然有其它物体对其施加力。应当指出,物体受力所产生的效应有两种,即物体的运动状态改变和物体的形状改变,前者称为力的外效应,后者称为力的内效应,力对物体产生的这两种效应是同时发生的。静力学主要研究力的外效应。

实践表明,力对物体的作用效应取决于下列三个要素:①力的大小;②力的方向;③力的作用点。改变力的任一要素,也就改变了力对物体的作用效应。力既然是一个有大小和方向的量,因此力是矢量。它可以用带箭头的线段来表示,如图1-1所示。书写时可用黑斜体字母 F 、 P 等表示。度量力大小的单位,在国际单位制中用牛顿(N)。

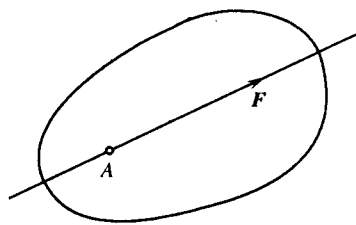


图1-1 力的表示

如果一个物体上作用几个力,则将这一群力称为力系。如果物体在某力系作用下处于平衡状态,则称该力系为平衡力系。作用在物体上的某个力系可以用另一个力系来代替而不改变物体的运动状态,则称这两个力系等效。若一个力与另一个力系等效,则称这个力为该力系的合力,该力系中的各力称为该合力的分力。求合力的过程称为力的合成。将一个力分成几个分力的过程称为力的分解。

1.1.1 静力学的公理

静力学的公理,是人们经过长期的观察与实践,从大量的事实中概括和总结出来的客观规律,这些公理说明了力的基本性质,它是静力学的理论基础。

1.1.1.1 公理1 二力平衡公理

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

这个公理总结了作用于刚体上最简单力系的平衡条件。只有两个力作用下处于平衡的构件,称为二力构件或二力杆。其受力特点是两个力的作用线必定是沿作用点的连线,如图1-3所示。

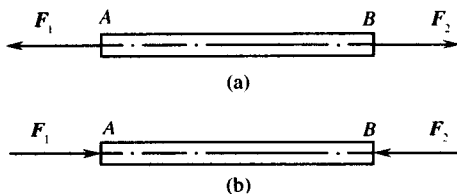


图1-2 二力平衡

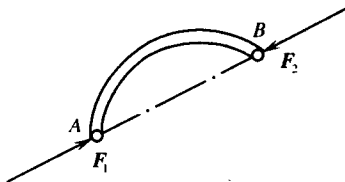


图1-3 二力构件

1.1.1.2 公理2 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系上,加上或者减去一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。显然,这个公理是力系简化的依据,因为平衡力系对刚体的平衡或运动状态没有影响。

推论 力的可传性原理

作用在刚体上的力,可以沿其作用线移到刚体内任意一点,而不改变该力对刚体的作用效应。

证明 设力 F 作用于刚体上的 A 点,如图1-4(a)所示。在其作用线任意一点 B ,沿 AB 线加上等值而反向的一对力 F_1 和 F_2 ,并使 $F = F_1 = F_2$,由公理2知,这并不改变原来的 F 对刚体的效应,即力 F 与力系 F, F_1, F_2 等效,如图1-4(b)所示,但 F 与 F_1 也是一对平衡力系,可以消去。最后只剩下一个作用于 B 点的力 F_2 , F_2 与 F 具有相同的作用线,并且大小和方向均相同,只是作用点不同,如图1-4(c)所示。这样就证明了本推论。

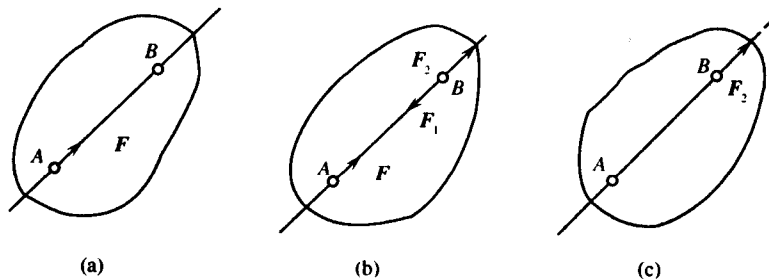


图1-4 力的可传性

1.1.1.3 公理3 平行四边形公理

作用在刚体上同一点的两个力,可以合成为作用于该点的一个合力,它的大小和方向由这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示,如图1-5所示。这个公理总结了最简单力系的简化规律。根据此公理所作的平行四边形,称为力的平行四边形。如果以 R 表示两个力 F_1 和 F_2 的合力,这个定理可表示为

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

即作用在物体上同一点的两个力的合力等于这两个分力的矢量和。如果作用在物体上的两个力共线,由力的平行四边形公理可知,合力等于这两个力的代数和。

推论 三力平衡汇交定理

刚体在 3 个力作用下平衡,若其中任意 2 个力的作用线相交于一点,则第 3 个力的作用线也必然交于同一点。

证明 设在刚体的 A_1 、 A_2 、 A_3 3 点分别作用有力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 、 $\mathbf{F}_3$, $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的作用线交于 A 点,如图 1-6 所示。根据力的可传性原理,将 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 分别移到 A 点,然后用平行四边形公理求合力 $\mathbf{R}$ 。用 $\mathbf{R}$ 代替 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的作用,显然刚体在 $\mathbf{R}$ 和 $\mathbf{F}_3$ 作用下平衡。按二力平衡公理, $\mathbf{R}$ 和 $\mathbf{F}_3$ 大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。由此可见, $\mathbf{F}_3$ 的作用线必与 $\mathbf{R}$ 的作用线重合,而且通过 A 点,定理得证。

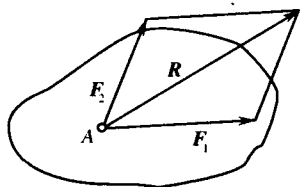


图 1-5 力平行四边形

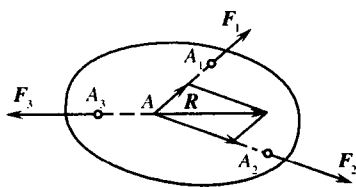


图 1-6 汇交力系

1.1.1.4 公理 4 作用力与反作用力公理

两个物体间的作用力与反作用力大小相等,方向相反,作用线重合,分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理表明,一切力总是成对出现的,有作用力就必有反作用力,它们总是同时产生、同时消失。必须注意,虽然作用力与反作用力大小相等、方向相反,且作用在同一直线上,但决不能认为这两个力互相平衡,因为这两个力并不作用在同一物体上。这与二力平衡公理中所指的 1 对力是完全不同的。

1.1.2 约束与约束反力

在力学上,根据物体的运动是否受到限制,将物体分为自由体和非自由体。在空间可以自由运动而位移不受任何限制的物体,称为自由体,例如空中飞行的炮弹、飞机等。位移受到某些限制的物体为非自由体,例如电线吊着的电灯、放在桌面上的书等。

对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束。例如吊电灯的电线、支承书的桌面都是约束。约束作用在物体上的力称为约束反力,简称反力。

物体除受约束反力外,通常还受重力、气体压力、机械动力等作用,这些力能主动改变物体的运动状态,故称为主动力。约束反力限制物体的位移,是由主动力引起的,所以称为被动力。约束反力还具有下述特征:

- (1) 约束反力的作用点在约束与被约束物体的接触点处。
- (2) 约束反力的方向与被约束物体位移的方向相反。

下面讨论几种典型约束的约束反力。

1.1.2.1 柔性约束

由绳索、皮带、链条等柔性物体所构成的约束统称为柔性约束。这类物体的特点是柔软易变形,不能抵抗压力,只能承受拉力。它只能限制物体沿柔性物体伸长方向的位移。约束反力的作用点在柔性物体与被约束物体的连接点上,力的作用线沿柔性物体,指向背离物体。约束反力通常用字母 T 或 S 等表示,如图 1-7(a)所示。

在带传动中,当带绕过轮时,约束反力沿轮缘的切线方向,如图 1-7(b)所示。

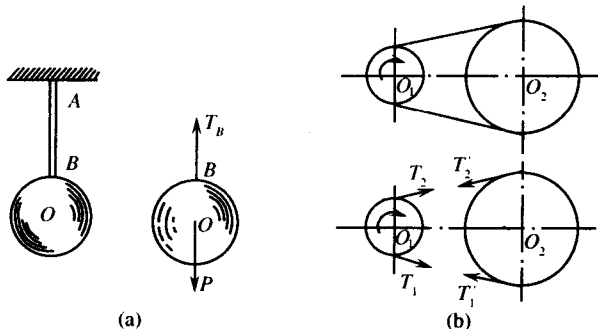


图 1-7 柔性约束

1.1.2.2 理想光滑面约束

这种约束只能限制物体沿光滑面(平面或曲面)的公法线且指向支承面的运动,不限制物体沿着光滑面或离开光滑面的运动。因此,光滑面的约束反力通过接触点,方向沿光滑面的公法线并指向被约束的物体,如图 1-8 所示。

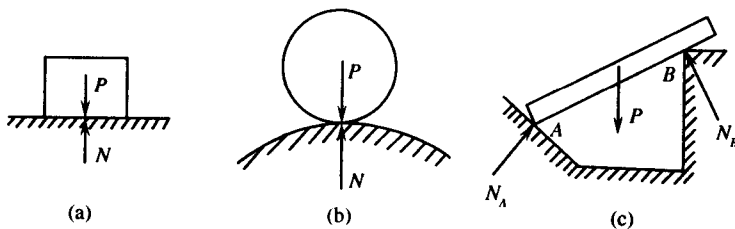


图 1-8 光滑面约束

1.1.2.3 光滑圆柱铰链约束

两个物体各钻上同样大小的圆孔,并用圆柱形销钉连接起来,如图 1-9(a)所示。这种约束称为光滑圆柱铰链约束,简称铰链约束,简图如图 1-9(b)所示。铰链约束只能限制两物体的相对移动,不限制两物体绕销钉轴的转动。销钉与圆孔的接触视为两个光滑

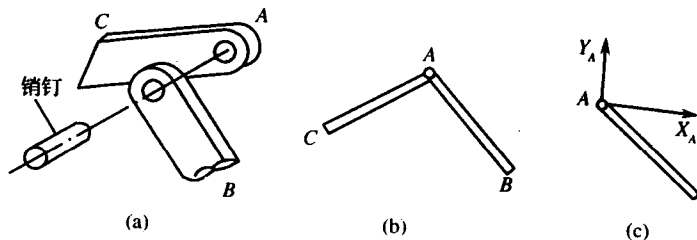


图 1-9 光滑圆柱形约束

圆柱面接触。因此,约束反力的作用线沿圆柱面上接触点处的公法线方向,并且必然通过销钉的中心。随着构件的受力不同,销钉与构件圆孔的接触点位置也不同,因此约束反力的方向就不能预先确定。为了计算方便,通常用两个正交分力 X_A 和 Y_A 表示,其指向可任意假定,如图 1-9(c)所示。

图 1-10 为屋架、桥梁架的简图。其中 C 、 D 、 E 点为铰链约束, A 、 B 处是框架的支座。支座的约束通常有以下 2 种型式。

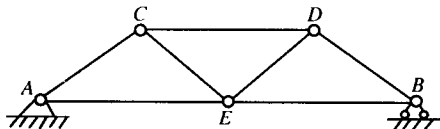


图 1-10 桁架

1.1.2.4 固定铰链支座约束

如果将铰链约束的两构件之一固定在基础上,这种约束叫做固定铰链支座约束,简称固定铰支,如图 1-11(a)所示。简图和约束反力用如图 1-11(b)表示。

可动铰链支座约束

这种约束是在铰链支座下面装上几个滚轴构成的,也称作滚轴支座约束,如图 1-12(a)所示。这种支座不能阻碍支座沿支承面的位移,只能限制支座沿支承面的法向位移,因此,可动铰链支座的约束反力应垂直于支承面,并且通过铰链中心。简图及约束反力表示如图 1-12(b)所示。

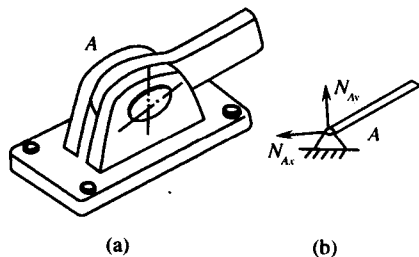


图 1-11 固定铰链约束

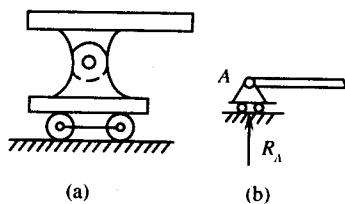


图 1-12

1.2 受力和受力图

研究构件的平衡问题时,首先要明确研究对象,然后分析研究对象上受哪些力的作用,这就是构件的受力分析。对研究对象进行受力分析时,就要把研究对象从与它联系的周围物体中分离出来,这种解除约束的自由体称为分离体。在分离体上标出全部的力,这就是构件的受力图。绘构件的受力图按以下几个步骤进行:

- (1) 选定研究对象,将研究对象作为分离体单独画出。
- (2) 在分离体上标出主动力(一般为已知)。
- (3) 将分离体原来的约束用相应的约束反力代替。

例 1-1 如图 1-13(a)所示吊架,悬挂一重量为 Q 的物体,试分别画出重物和 AB 杆的受力图(AB 杆自重不计)。

解 (1) 作用在重物上的有主动力(质量) Q 和绳索的约束反力 T , T 沿绳索且背离物体, 该物体只受2个力 Q 和 T 作用, 此二力必共线, 受力图如图1-13(b)所示。

(2) AB 杆的 B 、 C 点均为柔性约束, 约束反力分别记作 T' 和 S , 其中 T' 与 T 互为反作用力关系。杆的 A 端为固定铰链支座, 约束反力的大小和方向均未知, 但可以用 N_{Ax} 、 N_{Ay} 2个未知力表示, 受力图如图1-13(c)所示。

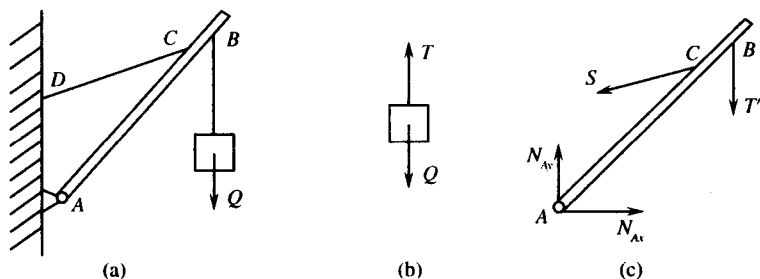


图1-13 吊架受力分析

例1-2 有一起重机构如图1-14(a)所示, 梁 AB 自重为 W , 拉杆 BC 自重不计, 试分别画出拉杆 BC 、梁 AB 及整体的受力图。

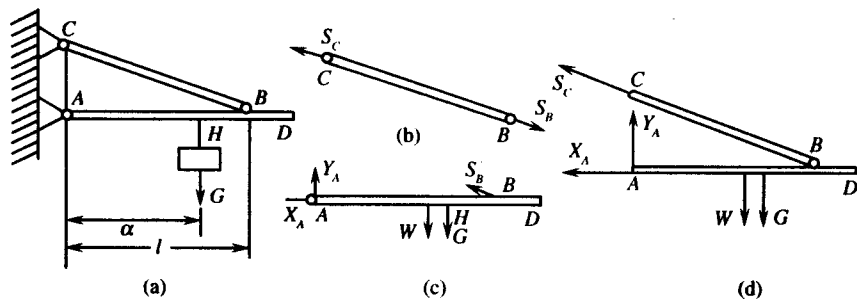


图1-14 起重机受力分析

解 (1) 拉杆 BC 该杆无主动力(自重不计)作用, 两端为铰链约束, 杆仅在其2端的2个约束反力作用下处于平衡, 故 BC 杆为二力杆。 S_B 和 S_C 的大小相等, 方向相反, 作用线沿 B 点、 C 点的连线, 由经验判断 BC 杆受拉, 受力图如图1-14(b)所示。

(2) 梁 AB 梁上作用有主动力 G 和 W ; B 点有约束反力 S'_B , 此力与 S_B 互为作用与反作用力; A 点为固定铰链支座, 约束反力的大小和方向未知, 用 X_A 、 Y_A 表示, 受力图如图1-14(c)所示。

(3) 机构整体 机构上的外力有 G 、 W ; 约束反力只有 C 点的 S_C 和 A 点的 X_A 与 Y_A 。 B 处的 S_B 和 S'_B 是整体机构的互为作用与反作用的内力, 不画出, 机构整体受力图如图1-14(d)所示。

习 题

1-1 画出图1-15所示物体的受力图。