

# 第 4 篇 工 程 力 学

(试 用 本)

机械工程手册 编辑委员会  
电机工程手册



机械工业出版社

# 机械工程师手册

## 第4篇 工程力学

(试 用 本)

机械工程手册  
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

本篇主要为机械工程中简单构件的设计计算提供力学的基础性理论。它包括构件平衡时力的分析与计算, 构件强度和刚度计算的基本概念、基本公式, 构件的运动分析、动力分析及动应力计算, 构件的疲劳强度计算, 压杆的稳定性, 超静定问题, 厚壁圆筒, 力与变形的图解法, 重心、平面图形几何性质、转动惯量等十一章。对于较复杂的构件及结构的强度计算、运动与动力分析, 对于材料强度等可分别参阅本手册第18、19、20、21篇。

## 机械 工程 手册

### 第4篇 工程力学

(试 用 本)

上海交通大学 主编  
合肥工业大学

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092^{1/16}$  · 印张  $12^{1/2}$  · 字数 355 千字

1978年12月北京第一版·1978年12月北京第一次印刷

印数 000,001—108,000 · 定价 0.94 元

\*

统一书号: 15033 · 4506

## 编辑说明

(一) 我国自建国以来，特别是无产阶级文化大革命以来，机械工业在伟大的领袖和导师毛泽东主席的无产阶级革命路线指引下，坚持政治挂帅，以阶级斗争为纲，贯彻“独立自主、自力更生”的方针，取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学技术方面的经验，加强机械工业科学技术的基础建设，适应实现“四个现代化”的需要，我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》，使出版工作更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用，也可供教学及其他有关人员参考。《手册》在内容和表达方式上，力求做到深入浅出，简明扼要，直观易懂，归类便查，以便广大机电工人使用，有利于工人阶级技术队伍的发展和壮大。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书，着重介绍各专业的理论基础，常用计算公式，数据、资料，关键问题以及发展趋向。在编写中，力求做到立足全局，勾划概貌，反映共性，突出重点。读者在综合研究和处理技术问题时，《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成，构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分，共七十九篇；《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分，共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区的科技交流部门, 为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中, 广泛征求广大机电工人的意见, 坚持实行工人、技术人员和领导干部三结合的原则, 发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面, 广泛征求意见, 先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验, 试用本在内容和形式方面, 一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证, 提出批评和建议, 以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本书是《机械工程手册》第4篇, 由上海交通大学、合肥工业大学主编, 洛阳农机学院参加编写。许多单位, 特别是湖南大学、上海重型机器厂对编审工作给予了大力的支持和帮助, 在此一并致谢。

机械工程手册  
电机工程手册 编辑委员会编辑组

### 常用符号表

<p><i>A</i> 面积 <span style="float: right;">cm<sup>2</sup></span>            振幅 <span style="float: right;">cm</span>  <i>B</i> 宽度 <span style="float: right;">cm</span>  <i>C</i> 应力波传播速度 <span style="float: right;">cm/s</span>            形心  <i>D</i> 直径 <span style="float: right;">cm</span>  <i>E</i> 弹性模量 <span style="float: right;">kgf/cm<sup>2</sup></span>  <i>F</i> 力 <span style="float: right;">kgf</span>  <i>F<sub>θ</sub></i> 惯性力 <span style="float: right;">kgf</span>  <i>G</i> 重力 <span style="float: right;">kgf</span>            动量矩 <span style="float: right;">kgf·s·cm</span>            剪切弹性模量 <span style="float: right;">kgf/cm<sup>2</sup></span>  <i>H</i> 高度 <span style="float: right;">cm</span>  <i>I</i> 转动惯量 <span style="float: right;">kgf·cm·s<sup>2</sup></span>            惯矩 <span style="float: right;">cm<sup>4</sup></span>  <i>I<sub>p</sub></i> 极惯矩 <span style="float: right;">cm<sup>4</sup></span>  <i>I<sub>xy</sub>, I<sub>yz</sub>, I<sub>zx</sub></i> 离心转动惯量 <span style="float: right;">kgf·cm·s<sup>2</sup></span>            惯积 <span style="float: right;">cm<sup>4</sup></span>  <i>K</i> 应力强度因子 <span style="float: right;">kgf/mm<sup>3/2</sup></span>            刚度 <span style="float: right;">kgf/cm</span>  <i>K<sub>d</sub></i> 动荷系数  <i>K<sub>σ</sub></i> 弯曲(或拉压)时的有效应力集中系数  <i>K<sub>τ</sub></i> 扭转时的有效应力集中系数  <i>L</i> 长度 <span style="float: right;">cm</span>  <i>M</i> 力矩 <span style="float: right;">kgf·cm</span>            力偶矩 <span style="float: right;">kgf·cm</span>            转矩 <span style="float: right;">kgf·cm</span>            弯矩 <span style="float: right;">kgf·cm</span>            质量 <span style="float: right;">kgf·s<sup>2</sup>/cm</span>  <i>M<sub>n</sub></i> 扭矩 <span style="float: right;">kgf·cm</span>  <i>N</i> 轴力(轴向力) <span style="float: right;">kgf</span></p>	<p>支承反力 <span style="float: right;">kgf</span>  <i>N</i> 功率 <span style="float: right;">kW, PS</span>            应力循环数  <i>P</i> 力 <span style="float: right;">kgf</span>  <i>P<sub>c</sub></i> 临界力 <span style="float: right;">kgf</span>  <i>Q</i> 力 <span style="float: right;">kgf</span>            重力 <span style="float: right;">kgf</span>            切力 <span style="float: right;">kgf</span>  <i>R</i> 支承反力 <span style="float: right;">kgf</span>            合力 <span style="float: right;">kgf</span>            半径 <span style="float: right;">cm</span>  <i>S</i> 冲量 <span style="float: right;">kgf·s</span>  <i>S<sub>y</sub>, S<sub>z</sub></i> 静矩 <span style="float: right;">cm<sup>3</sup></span>  <i>T</i> 动能 <span style="float: right;">kgf·cm</span>  <i>U</i> 弹性变形能 <span style="float: right;">kgf·cm</span>  <i>V</i> 位能(势能) <span style="float: right;">kgf·cm</span>            体积 <span style="float: right;">cm<sup>3</sup></span>  <i>W</i> 重力 <span style="float: right;">kgf</span>            功 <span style="float: right;">kgf·cm</span>            抗弯截面模量 <span style="float: right;">cm<sup>3</sup></span>  <i>W<sub>n</sub></i> 抗扭截面模量 <span style="float: right;">cm<sup>3</sup></span>  <i>X</i> 分力 <span style="float: right;">kgf</span>  <i>Y</i> 分力 <span style="float: right;">kgf</span>  <i>Z</i> 分力 <span style="float: right;">kgf</span>  <i>a</i> 长度 <span style="float: right;">cm</span>            裂纹尺寸 <span style="float: right;">mm</span>            加速度 <span style="float: right;">cm/s<sup>2</sup></span>  <i>a<sub>a</sub></i> 绝对加速度 <span style="float: right;">cm/s<sup>2</sup></span>  <i>a<sub>e</sub></i> 牵连加速度 <span style="float: right;">cm/s<sup>2</sup></span>  <i>a<sub>r</sub></i> 相对加速度 <span style="float: right;">cm/s<sup>2</sup></span>  <i>a<sub>k</sub></i> 哥氏加速度 <span style="float: right;">cm/s<sup>2</sup></span></p>
--	--

4-Ⅷ 常用符号表

$a_n(a^n)$	法向加速度	cm/s <sup>2</sup>	$\delta$	伸长率或延伸率	%
$a_t(a^t)$	切向加速度	cm/s <sup>2</sup>		过盈量	mm
$b$	长度(厚度、宽度)	cm		位移量	mm
$c$	长度(厚度、宽度)	cm	$\delta_s, \delta_d$	静变形, 动变形	mm
$d$	直径	cm	$\varepsilon$	角加速度	rad/s <sup>2</sup>
$e$	偏心距	cm		线应变	
$f$	滑动摩擦系数		$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	主应变	
	频率	Hz	$\varepsilon_\sigma, \varepsilon_r$	尺寸系数	
	挠度	cm	$\eta$	效率	
$g$	重力加速度	cm/s <sup>2</sup>	$\theta$	角度	rad, °
$h$	高度	cm		单位长度扭转角	rad, °
	力臂	cm		梁的转角	rad, °
$i$	传动比		$[\theta]$	许用单位长度扭转角	rad, °
	惯性半径	cm		梁的许用转角	rad, °
$l$	长度	cm	$\lambda$	弹簧变形	cm
$\Delta l$	绝对伸长(或缩短)	cm		压杆的柔度	
$m$	质量	kgf·s <sup>2</sup> /cm	$\rho$	回转半径	cm
	力矩	kgf·cm		密度	kgf·s <sup>2</sup> /cm <sup>4</sup>
	力偶矩	kgf·cm	$\sigma$	正应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$n$	转速	r/min	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力	kgf/cm <sup>2</sup>
	安全系数		$\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}, \sigma_{IV}$	第一、第二、第三、第四强度理论的	
$n_a, n_r, n_{or}$	安全系数			相当应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$n_w$	稳定安全系数		$\sigma_a, \tau_a$	应力幅	kgf/cm <sup>2</sup>
$p$	压力(压强)	kgf/cm <sup>2</sup>	$\sigma_b$	抗拉强度	kgf/cm <sup>2</sup>
	全应力	kgf/cm <sup>2</sup>	$\sigma_c$	临界应力	kgf/cm <sup>2</sup>
	动量	kgf·s	$\sigma_l$	拉伸应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$q$	分布力	kgf/cm	$\sigma_m, \tau_m$	平均应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$r$	半径	cm	$\sigma_{max}, \tau_{max}$	最大应力	kgf/cm <sup>2</sup>
	循环特征		$\sigma_{min}, \tau_{min}$	最小应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$s$	弧长	cm	$\sigma_M$	莫尔强度理论的相当应力	kgf/cm <sup>2</sup>
	长度	cm	$\sigma_p, \tau_p$	比例极限	kgf/cm <sup>2</sup>
	弯曲中心		$\sigma_r, \tau_r$	疲劳极限(持久极限)	kgf/cm <sup>2</sup>
$t$	时间	s	$\sigma_s, \tau_s$	屈服点	kgf/cm <sup>2</sup>
	厚度	cm	$\sigma_y$	压缩应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$u$	弹性比能	kgf·cm/cm <sup>3</sup>	$\sigma_{jy}$	挤压应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$v$	速度	cm/s	$\sigma_w$	弯曲应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$v_a$	绝对速度	cm/s	$\sigma_0$	脉动循环下的疲劳极限	kgf/cm <sup>2</sup>
$v_e$	牵连速度	cm/s	$\sigma_{-1}$	对称循环下的疲劳极限	kgf/cm <sup>2</sup>
$v_r$	相对速度	cm/s	$\sigma_{0.2}$	屈服强度	kgf/cm <sup>2</sup>
$w$	重力	kgf	$[\sigma]$	许用应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$y$	挠度	cm	$\tau$	切应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$\alpha$	角度	rad, °	$[\tau]$	扭转许用切应力	kgf/cm <sup>2</sup>
$\beta$	角度	rad, °	$\phi$	角度、摩擦角、扭转角	rad, °
	增长系数			折减系数	
$\beta_1$	表面加工系数		$\omega$	角速度	rad/s
$\beta_2$	表面腐蚀系数			弯矩图面积、索多边形面积	cm <sup>2</sup>
$\beta_3$	表面强化系数		$\mu$	横向变形系数(泊松比)	
$\gamma$	角度	rad, °		压杆的长度系数	
	比重	kgf/cm <sup>3</sup>	$\psi$	断面收缩率	%
	切应变		$\psi_\sigma, \psi_r$	不对称循环敏感系数	
$\delta$	滚动摩擦系数	cm			

# 目 录

编辑说明  
常用符号表

## 第1章 构件平衡时力的分析与计算

- 1 受力分析 .....4-1
  - 1.1 力的基本性质.....4-1
  - 1.2 构件的计算简图.....4-1
  - 1.3 载荷的确定.....4-2
  - 1.4 支承(或约束)的分类与简化.....4-5
  - 1.5 受力分析实例.....4-7
- 2 力、力矩、力偶矩的计算.....4-10
  - 2.1 力的合成与分解 .....4-10
  - 2.2 力的投影 .....4-11
  - 2.3 力矩、力偶与力偶矩 .....4-12
  - 2.4 力系的简化 .....4-14
- 3 力系的平衡条件及其计算实例.....4-14
  - 3.1 力系的平衡条件 .....4-14
  - 3.2 支座反力的计算 .....4-18
  - 3.3 构件间作用力的计算 .....4-20
  - 3.4 平衡位置和翻倒问题的计算 .....4-21
  - 3.5 考虑摩擦力的平衡问题 .....4-23

## 第2章 构件强度和刚度 计算的基本概念

- 1 强度计算的基本概念.....4-25
  - 1.1 构件正常工作时的三个基本要求 .....4-25
  - 1.2 内力与内力图 .....4-25
  - 1.3 应力及强度条件 .....4-28
  - 1.4 变形及刚度条件 .....4-29
  - 1.5 材料的机械性能(力学性能) .....4-29
  - 1.6 虎克定律 .....4-32
  - 1.7 许用应力和安全系数 .....4-32
- 2 应力状态分析.....4-33
  - 2.1 应力状态概念 .....4-33
  - 2.2 平面应力状态下的应力计算 .....4-35
  - 2.3 三向应力状态的应力圆 .....4-40
  - 2.4 广义虎克定律 .....4-40
- 3 强度理论.....4-42
  - 3.1 构件受力后的一般破坏形式 .....4-42

- 3.2 几种常用的强度理论 .....4-42
- 3.3 强度理论的适用范围 .....4-43
- 3.4 考虑材料缺陷影响的断裂强度  
准则的概念 .....4-43

## 第3章 构件强度和刚度 计算的基本公式

- 1 基本变形和组合变形的强度、  
刚度计算公式及实例.....4-44
  - 1.1 计算公式 .....4-44
  - 1.2 计算实例 .....4-57
- 2 梁的弯曲变形.....4-64
  - 2.1 求梁变形的积分法和叠加法 .....4-64
  - 2.2 求梁变形的能量法 .....4-74
- 3 梁的合理设计.....4-79
  - 3.1 梁的合理截面形状 .....4-79
  - 3.2 等强度梁 .....4-80
  - 3.3 阶梯形圆轴 .....4-82
- 4 弯曲中心.....4-82

## 第4章 构件的运动分析

- 1 机构运动简图与运动的分类.....4-84
  - 1.1 机构运动简图 .....2-84
  - 1.2 运动的分类 .....4-85
- 2 点的运动.....4-85
  - 2.1 运动方程、速度和加速度 .....4-85
  - 2.2 直线运动 .....4-86
  - 2.3 圆周运动 .....4-87
  - 2.4 简谐运动 .....4-87
  - 2.5 曲线运动 .....4-89
  - 2.6 点的合成运动 .....4-90
- 3 构件的运动.....4-92
  - 3.1 平动 .....4-92
  - 3.2 定轴转动 .....4-92
  - 3.3 平面运动 .....4-95

## 第5章 构件的动力分析 及动应力计算

- 1 加速度与力的关系.....4-99



## 4-VI 目 录

- 1.1 牛顿第二定律 .....4-99
- 1.2 质心运动定理.....4-100
- 1.3 转动定理.....4-101
- 2 用动静法对构件进行动力分析及计算 .....4-102
  - 2.1 惯性力及惯性力系的简化.....4-102
  - 2.2 动静法.....4-103
- 3 机械能与功 .....4-104
  - 3.1 功与功率的计算.....4-104
  - 3.2 动能与位能的计算.....4-106
  - 3.3 动能定理及机械能守恒定律.....4-107
- 4 动量与冲量 .....4-109
  - 4.1 动量和动量矩.....4-109
  - 4.2 冲量.....4-109
  - 4.3 动量定理和动量矩定理.....4-109
- 5 动应力计算 .....4-110
  - 5.1 考虑惯性力时构件的动应力计算.....4-111
  - 5.2 单自由度振动应力计算.....4-113
  - 5.3 构件受冲击时的应力计算.....4-114
  - 5.4 应力波的概念.....4-116

### 第6章 构件的疲劳强度计算

- 1 疲劳破坏的概念 .....4-119
  - 1.1 疲劳破坏的特点.....4-119
  - 1.2 交变应力的基本参数.....4-119
- 2 材料的疲劳极限 .....4-120
  - 2.1 疲劳极限.....4-120
  - 2.2 疲劳曲线.....4-120
  - 2.3 疲劳极限曲线(疲劳图) .....4-121
- 3 影响疲劳极限的因素 .....4-122
  - 3.1 构件外形引起应力集中的影响.....4-122
  - 3.2 构件尺寸的影响.....4-125
  - 3.3 构件表面状态的影响.....4-126
- 4 构件的疲劳强度计算 .....4-127
  - 4.1 对称循环下构件的强度校核.....4-127
  - 4.2 非对称循环下构件的强度校核.....4-127
  - 4.3 弯、扭(或拉、扭)组合交变应力下的强度校核.....4-128
- 5 不规则交变应力下的强度计算 .....4-130
  - 5.1 疲劳强度计算.....4-131
  - 5.2 疲劳寿命计算.....4-134

- 6 有缺陷构件的疲劳问题 .....4-135
- 7 提高构件疲劳强度的措施 .....4-136

### 第7章 压杆的稳定性

- 1 压杆稳定的概念 .....4-138
- 2 压杆临界载荷的计算 .....4-138
  - 2.1 在比例极限范围( $\sigma_e \leq \sigma_p$ )以内的稳定计算.....4-138
  - 2.2 超过比例极限范围( $\sigma_e > \sigma_p$ )的稳定问题.....4-140
- 3 临界载荷的试验测定 .....4-141
- 4 压杆的稳定计算 .....4-141
  - 4.1 中心压杆的稳定条件.....4-141
  - 4.2 偏心压杆的稳定条件.....4-143
- 5 纵横弯曲 .....4-144

### 第8章 超静定问题

- 1 简单超静定问题 .....4-146
  - 1.1 解超静定问题的方法.....4-146
  - 1.2 装配应力与温度应力.....4-150
- 2 连续梁及三弯矩方程 .....4-150
  - 2.1 连续梁.....4-150
  - 2.2 等截面梁的三弯矩方程.....4-151
  - 2.3 变截面梁的三弯矩方程.....4-154
  - 2.4 简单超静定结构的计算.....4-155
- 3 简单超静定刚架和圆环的计算 .....4-158
  - 3.1 简单超静定刚架的计算公式.....4-158
  - 3.2 圆环的计算公式.....4-162

### 第9章 厚壁圆筒

- 1 厚壁圆筒及厚壁球的应力与位移公式 .....4-165
- 2 组合圆筒与过盈配合的计算 .....4-167
- 3 厚壁圆筒的强度计算 .....4-168
  - 3.1 受内压作用厚壁圆筒的强度条件.....4-168
  - 3.2 计算实例.....4-169

### 第10章 力与变形的图解法

- 1 求合力 .....4-170
- 2 求支承反力 .....4-171

3 求平面桁架各杆件的内力 .....4-172	1.4 用实测法确定重心位置.....4-180
3.1 静定平面桁架的组成.....4-172	2 平面图形几何性质 .....4-181
3.2 桁架计算的基本假设.....4-173	2.1 静矩、惯矩、惯积、极惯矩.....4-181
3.3 静定平面桁架的克-马图解法 .....4-173	2.2 惯矩和惯积的平行移轴公式与 转轴公式.....4-182
4 作梁的内力图 .....4-173	2.3 惯矩的近似计算法和图解法.....4-183
5 求梁的变形 .....4-174	2.4 常用截面几何性质的计算公式.....4-183
5.1 图解分析法(虚梁法).....4-174	3 转动惯量 .....4-189
5.2 作梁的近似弹性曲线.....4-175	3.1 转动惯量的计算.....4-189
<b>第11章 重心、平面图形 几何性质、转动惯量</b>	
1 重心 .....4-178	3.2 简单形状构件的转动惯量.....4-189
1.1 重心位置的确定.....4-178	3.3 转动惯量的平行移轴公式.....4-190
1.2 简单形状均质构件的重心.....4-178	3.4 构件对相交于一点的各轴的 转动惯量.....4-191
1.3 组合体的重心.....4-179	3.5 转动惯量的实验测定.....4-191
	参考文献.....4-193

“工程力学”的任务主要是为机械工程中简单构件的设计计算提供力学的基础性理论。它包括构件平衡时力的分析与计算, 构件强度和刚度计算的基本概念, 构件强度和刚度计算的基本公式, 构件的运动分析, 构件的动力分析及动应力计算, 构件的疲劳强度计算, 压杆的稳定性, 超静定问题, 厚

壁圆筒, 力与变形的图解法及重心、平面图形几何性质、转动惯量等十一章。

对于较复杂的构件及结构的强度计算、运动与动力分析, 对于材料强度等可分别参阅第 18、19、20、21 篇。

## 第 1 章 构件平衡时力的分析与计算

### 1 受力分析

#### 1.1 力的基本性质

力是物体间相互的机械作用。这种作用使物体的运动状态发生改变或使物体变形。

a. **力的三要素** 力对物体的作用效果决定于力的大小、方向和力的作用点这三个要素。因此, 力是矢量, 可用带箭头的线段表示, 线段的起点或终点表示力的作用点, 线段的长短表示力的大小, 箭头的指向表示力的方向。

b. **作用力与反作用力** 物体间相互作用的力总是成对出现的, 有作用力, 则必有反作用力, 二者等值、反向、共线, 且分别作用在两个物体上。

c. **力系、合力与力的平行四边形法则** 作用在同一物体上的几个力称为力系。若能用一个力与一力系等效, 则此力称为该力系的合力。作用在物体上同一点的两个力可合成为一个合力, 合力的大小和方向可用此两力为边所构成的平行四边形的对角线表示。

有些力系可以合成为一个力, 同样, 一个力在一定的条件下可以分解成两个或两个以上的力。力的合成与分解见表 4.1-4 和表 4.1-5。

d. **二力平衡** 物体在二力作用下保持平衡时, 此二力必等值、反向、共线。

物体受互不平行的三个力作用而平衡时, 可用平行四边形法则将任两力合成为一个力, 而这个力必与第三力相平衡。因此, 该三力的作用线必在同

一平面内, 且汇交于一点。

#### 1.2 构件的计算简图<sup>⊖</sup>

对构件进行受力分析时, 可根据实际问题对精度的要求, 或针对所要研究的力学问题, 抓住主要因素, 忽略次要因素, 把构件(包括载荷和支承情况等)用一个简化的图形表示出来, 然后进行力的计算。这种简化的图形叫做构件的计算简图。它既要反映构件的实际工作情况, 又要尽量使计算简便。

画计算简图时, 可作如下一些简化:

(1) 有些空间结构或构件(包括载荷与支承)如有对称面, 则可将载荷与支承都简化到对称面内而作为平面问题处理。

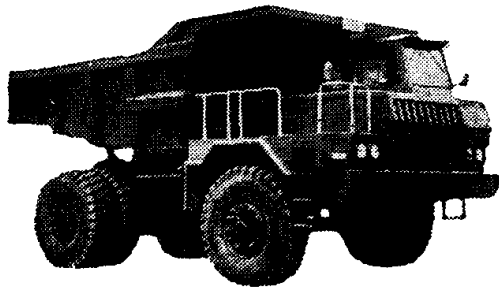
(2) 在处理构件强度、刚度和稳定性等问题中, 若构件长度比横向尺寸大很多(一般大 5~10 倍)时, 可简化为杆。有些构件, 虽然外形不象杆(如齿轮的齿等), 但在近似计算时也简化为杆; 有些杆件, 若截面尺寸变化不大, 在计算应力或变形时均简化为等截面杆。

(3) 作用在构件上的载荷, 一般都分布在构件上一定的范围内, 这种载荷叫做分布力。根据分布的均匀程度, 可简化为均匀分布力、三角形分布力等(见表 4.1-1)。如力在构件上的分布范围很小, 则可简化为作用在一点上的力, 这种力叫做集中力。在计算外力时, 也可将分布力当作集中力(分布力的合力)处理。

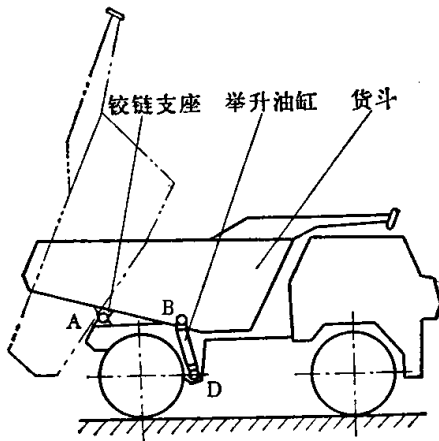
<sup>⊖</sup> 有关约束的进一步数学表达详见第 19 篇。

(4) 构件与构件间相互联结或接触的部位是传递力的地方。因此, 必须根据构件间联结或接触处的支承约束情况分析支承约束对构件作用的力。关于支承的简化见本章 1.4。

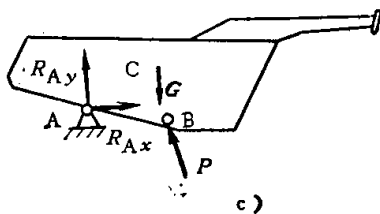
**例4.1-1** 国产32吨矿用自卸汽车的货斗是用两只举升油缸和两个铰链支座与汽车的车身相联结(图4.1-1)。在计算举升油缸的举升力和铰链支座处的支承反力时, 因货斗的结构和受力情况对称, 故可简化为平面问题, 画成如图4.1-1c所示的计算简图。



a)



b)



c)

图4.1-1 32吨矿用自卸汽车

图中各力为:

$G$ ——货斗连同矿石的总重, 作用在重心  $C$  上。

$P$ ——举升油缸活塞杆作用给货斗的举升力。它的作用线通过铰链中心  $B$  并沿着活塞杆的中心线。

$R_{Ax}, R_{Ay}$ ——铰链支座  $A$  作用给货斗的水平支反力和垂直支反力。

**例4.1-2** 图4.1-2 a 是轧钢机轧辊的示意图。画轧辊  $AB$  的计算简图时, 轧辊可简化成直杆  $AB$ 。它的长度等于两端轴承中心线间的距离  $l$  (图4.1-2 b)。

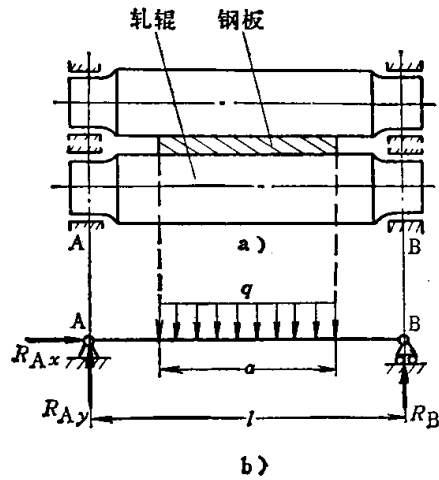


图4.1-2 轧钢机轧辊

作用于轧辊上的载荷可认为沿钢板的宽度  $a$  均匀分布, 用  $q$  表示。

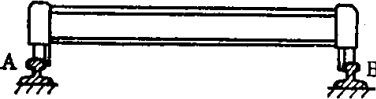
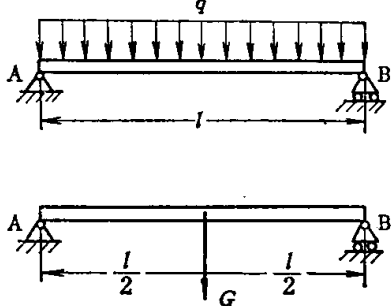
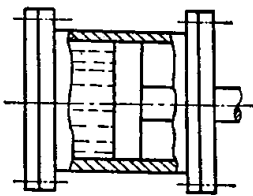
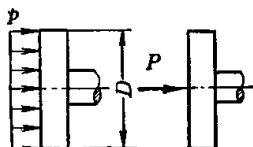
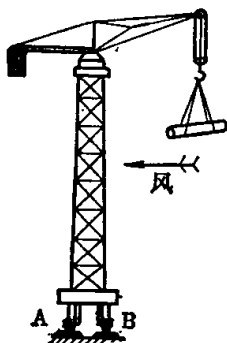
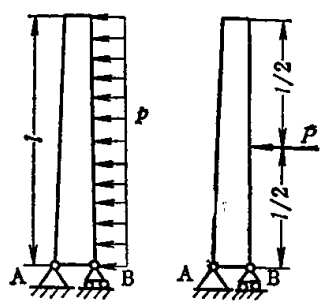
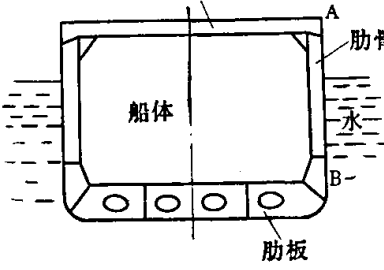
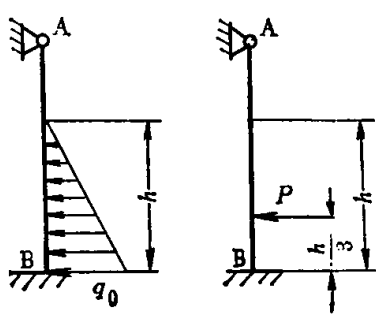
轧辊本身的重量若与轧辊所受的载荷相比很小, 则可忽略不计。

轧辊两端的轴承可简化成铰链支座  $A$  和活动铰链支座  $B$  (参见本章 1.4.2)。 $R_{Ax}, R_{Ay}$  是铰链支座  $A$  作用给轧辊的力;  $R_B$  是活动铰链支座  $B$  作用给轧辊的力。

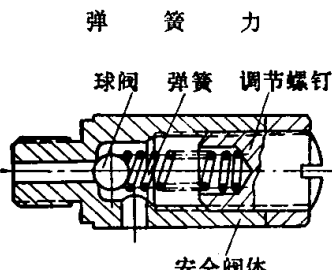
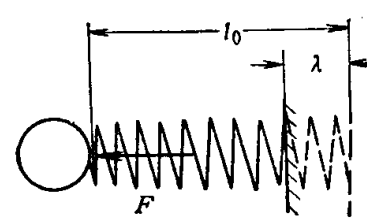
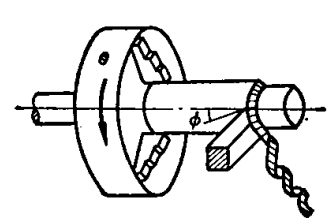
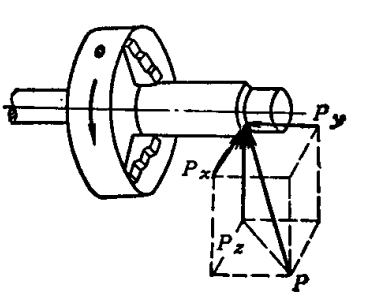
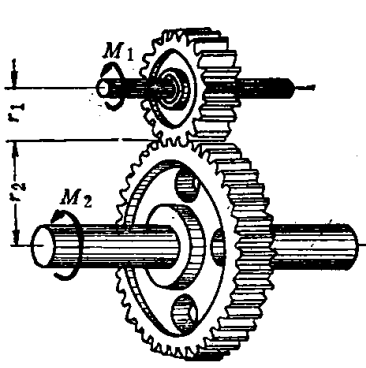
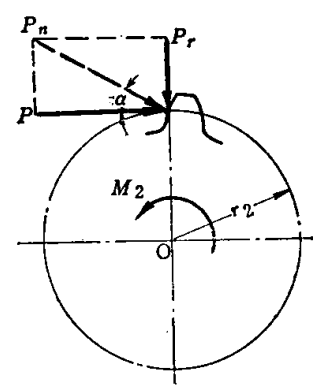
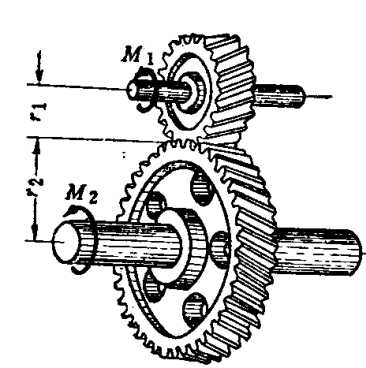
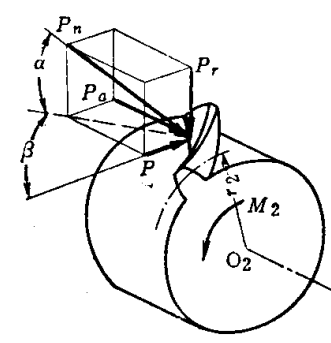
### 1.3 载荷的确定

在进行受力分析时, 必须分析构件受哪些载荷作用, 并确定其大小、方向和作用的位置。而很多载荷, 要精确地确定是较困难的, 需结合构件的实际情况进行分析。常见载荷的确定及其计算公式见表 4.1-1。

表4.1-1 几种常见载荷的确定

载荷名称	实 例	载 荷 图 示	计 算 公 式
自重	<p>梁 的 重 力</p> 		<p>均匀分布力：  <math>q = \frac{\gamma V}{l}</math> kgf/cm</p> <p>式中 <math>\gamma</math> —— 材料的比重 kgf/cm<sup>3</sup>                      (可查第1篇)  <math>V</math> —— 梁的体积 cm<sup>3</sup></p> <p>集中力：  <math>G = ql</math> kgf</p>
流	<p>油 压 力</p> 		<p>均匀分布力：  <math>p</math> —— 单位面积上的压力 kgf/cm<sup>2</sup> (可由压力表测得)</p> <p>集中力：  <math>P = pA</math> kgf</p> <p>式中 <math>A</math> —— 油压面积 cm<sup>2</sup></p>
体压	<p>风 力</p> 		<p>均匀分布力：  <math>p</math> —— 风压 kgf/m<sup>2</sup> (可测得)</p> <p>集中力：  <math>P = pA</math> kgf</p> <p>式中 <math>A</math> —— 与风力垂直的受风面积 m<sup>2</sup></p>
力	<p>静 水 压 力</p> 		<p>三角形分布力：  <math>q_0 = \gamma hb</math> kgf/m</p> <p>式中 <math>\gamma</math> —— 水的比重 kgf/m<sup>3</sup>  <math>h</math> —— 受压面高度 m  <math>b</math> —— 受压面宽度 m</p> <p>集中力：  <math>P = \frac{1}{2} \gamma h^2 b</math> kgf</p>

(续)

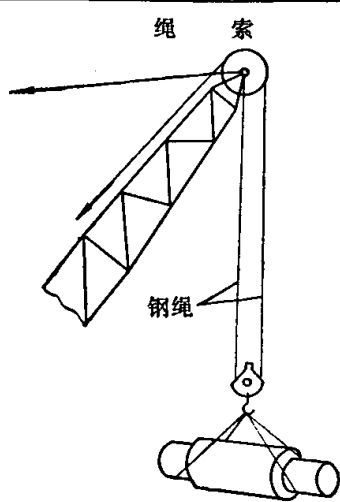
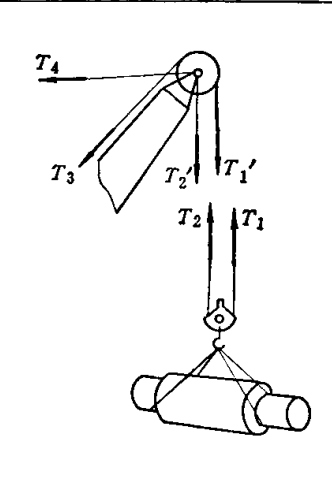
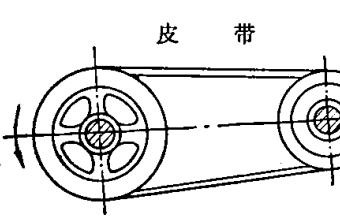
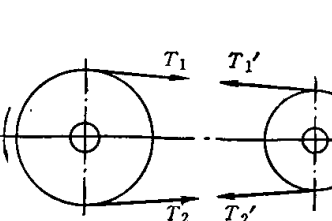
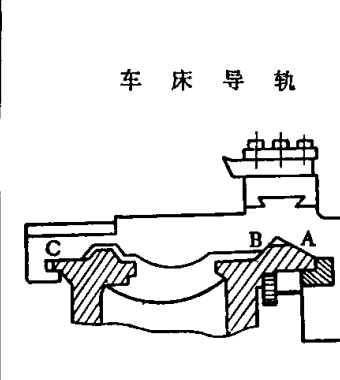
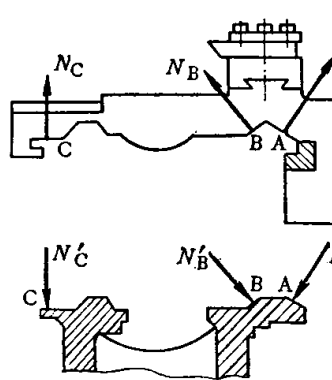
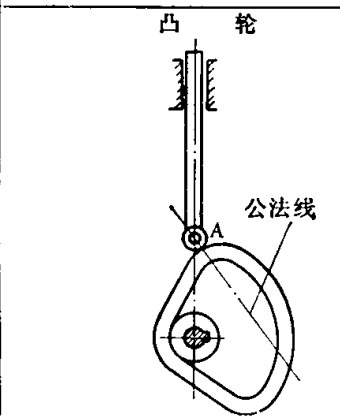
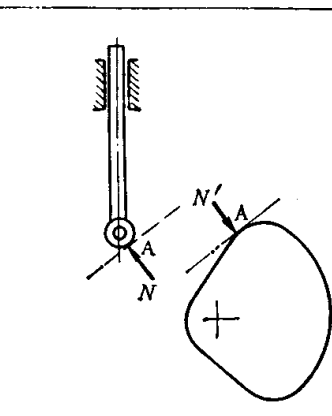
载荷名称	实例	载荷图示	计算公式
弹性力	<p>弹簧力</p>  <p>球阀 弹簧 调节螺钉</p> <p>安全阀体</p>		$F = K\lambda \text{ kgf}$ <p>式中 <math>K</math>——弹簧的刚度 <math>\text{kgf/cm}</math>  <math>\lambda</math>——弹簧的压缩量或伸长量 <math>\text{cm}</math></p>
切削力	<p>切削力</p> 		<p>当 <math>\phi = 75^\circ</math> 时  <math>P_z : P_y : P_x = 1 : 0.35 \sim 0.5 : 0.4 \sim 0.55</math>          切削力 <math>P</math> 的切向分力 <math>P_z</math> 可估算：          切削钢件时，<math>P_z \approx 200ts \text{ kgf}</math>          切削铸件时，<math>P_z \approx 100ts \text{ kgf}</math>          式中 <math>t</math>——吃刀深度 <math>\text{mm}</math>  <math>s</math>——走刀量 <math>\text{mm/r}</math>          (详见第46篇)</p>
齿轮啮合力	<p>圆柱正齿轮啮合力</p> 		$P = \frac{M_1}{r_1} = \frac{M_2}{r_2} \text{ kgf}$ $P_r = P \tan \alpha \text{ kgf}$ <p>式中 <math>P</math>——啮合力 <math>P_n</math> 的圆周分力 <math>\text{kgf}</math>  <math>P_r</math>——啮合力 <math>P_n</math> 的径向分力 <math>\text{kgf}</math>  <math>M_1, M_2</math>——分别作用在齿轮轴上的转矩 <math>\text{kgf}\cdot\text{m}</math>  <math>\alpha</math>——压力角 <math>^\circ</math></p>
齿轮啮合力	<p>圆柱斜齿轮啮合力</p> 		$P = \frac{M_1}{r_1} = \frac{M_2}{r_2} \text{ kgf}$ $P_a = P \tan \beta \text{ kgf}$ $P_r = \frac{P}{\cos \beta} \tan \alpha \text{ kgf}$ <p>式中 <math>P</math>——啮合力 <math>P_n</math> 的圆周分力 <math>\text{kgf}</math>  <math>P_a</math>——啮合力 <math>P_n</math> 的轴向分力 <math>\text{kgf}</math>  <math>P_r</math>——啮合力 <math>P_n</math> 的径向分力 <math>\text{kgf}</math>  <math>M_1, M_2</math>——分别作用在齿轮轴上的转矩 <math>\text{kgf}\cdot\text{m}</math>  <math>\alpha</math>——压力角 <math>^\circ</math>  <math>\beta</math>——齿斜角 <math>^\circ</math></p>

1.4 支承（或约束）的分类与简化

1.4.1 支承（或约束）的分类

支承（或约束）对构件作用的力须根据支承情况加以确定。各种典型支承及其对构件作用的力（支承反力）见表4-1-2。

表4-1-2 典型支承（或约束）的分类

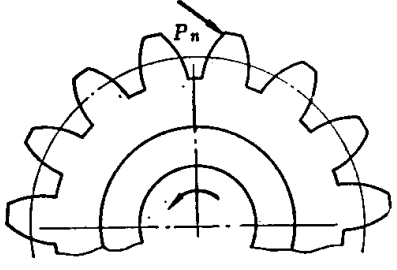
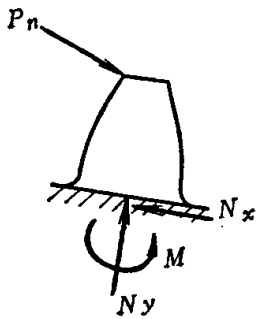

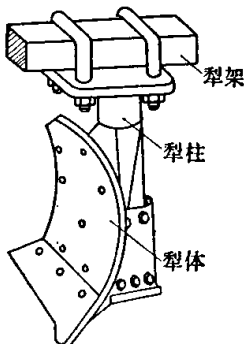
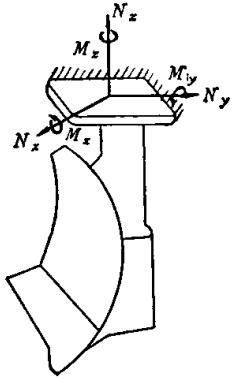
分类	实 例	支 承 反 力 的 表 示	说 明
柔 性 支 承			<p>1. 支承反力 <math>T</math> 沿柔性体作用，且拉住被支承的构件</p> <p>2. 由作用力与反作用力关系，知</p> $T_1 = T_1'$ $T_2 = T_2'$
			
光 滑 接 触 支 承			<p>1. 支承反力 <math>N</math> 沿构件接触面的公法线作用，且指向被支承的构件</p> <p>2. 由作用力与反作用力的关系，知</p> $N_A = N_A'$ $N_B = N_B'$ $N_C = N_C'$ $N = N'$
			

(续)

分类	实 例	支 承 反 力 的 表 示	说 明
光滑铰链	<p style="text-align: center;">圆 柱 铰 链</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 支承反力 <math>R</math> 通过铰链中心，方向由受力情况而定。通常用两个垂直分力 <math>R_x</math>、<math>R_y</math> 表示</li> <li>2. 圆柱销、径向轴承等常可简化为铰链支承</li> <li>3. 由作用力与反作用力的关系，知             <math display="block">R_x = R'_x</math> <math display="block">R_y = R'_y</math> <math display="block">R_{Bx} = R'_{Bx}</math> <math display="block">R_{By} = R'_{By}</math> </li> <li>4. 圆柱铰链支承可用如下简图表示：</li> </ol>
球铰链	<p style="text-align: center;">球 铰 链</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 支承反力 <math>R</math> 通过铰链球心，方向由受力情况而定。通常用三个垂直分力 <math>R_x</math>、<math>R_y</math>、<math>R_z</math> 表示</li> <li>2. 球铰链支承可用如下简图表示：</li> </ol>
滚动铰链	<p style="text-align: center;">活动铰链支座 (辊轴支座)</p>	<p style="text-align: center;">龙门架</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 支座反力 <math>R</math> 垂直于支承面，且通过支座销轴的轴心</li> <li>2. 活动铰链支座可用如下简图表示：</li> </ol>



(续)

分类	实 例	支 承 反 力 的 表 示	说 明
固 定 端 (或 插 入 端) 支 座	齿 轮 根 部 		1. 构件受平面力系作用时, 支承反力为力 $N_x$ 、 $N_y$ 和力偶 $M$ , 方向都由受力情况而定 2. 如构件受空间力系作用, 则支承反力为: $N_x$ 、 $N_y$ 、 $N_z$ $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ 3. 固定端支座可用如下简图表示: 
	犁 架 		

1.4.2 支承 (或约束) 的简化

工程上, 支承的形式很多。但在分析受力时, 通常总是尽量把它们简化为表 4.1-2 中列出的各种类型, 并按所属类型表示其支承反力。

支承简化是一项较复杂的工作。除表 4.1-2 中所列的支承形式外, 往往还要根据某些假定或经验来确定。例如:

(1) 对两端用轴承支承的轴 (如图 4.1-3 所示的减速器输入轴), 可把轴简化为一端是固定铰链支座, 另一端是活动铰链支座的简支梁, 如图 4.1-3b 所示。关于轴的支承简化详见第 28 篇。

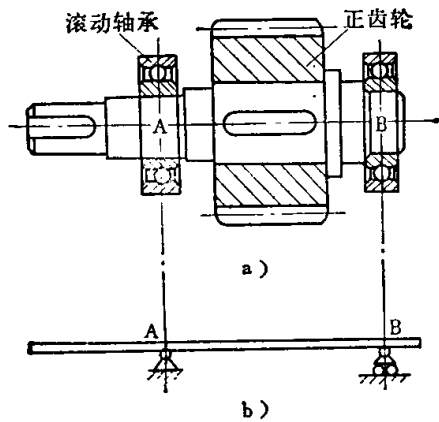


图4.1-3 减速器输入轴

(2) 验算轮齿的弯曲强度时, 可把它简化为一端是固定端支座, 另一端是自由端的悬臂梁, 如图 4.1-4 b 所示。力的作用点 O 在力  $P_n$  的作用线与轮齿对称线的交点上 (图 4.1-4 a)。

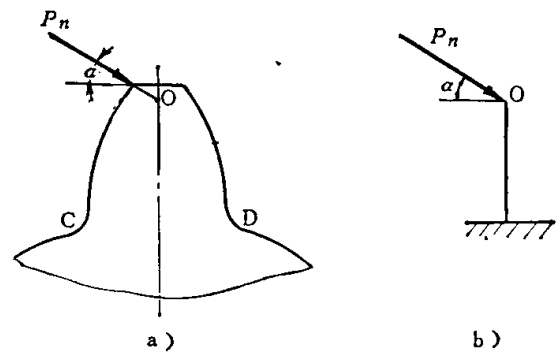


图4.1-4 轮齿简化成悬臂梁

(3) 桁架中每一杆件的两端, 实际上都是用铆、焊、螺钉等和相邻杆件相连接, 但对桁架杆件作受力分析时, 一般都假定杆的两端为光滑圆柱铰链连接。实践证明, 根据这种简化所得到的计算结果, 一般能满足工程上的需要。

1.5 受力分析实例

对构件作受力分析时, 必须按具体问题作具体分析。表 4.1-3 给出了一些构件的受力分析实例。