

示范性职业教育“十四五”重点建设教材

# 设备吊装工艺学

主 编 张 龙 范锦平

副主编 唐海霞 赵崇科

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

---

图书在版编目 ( C I P ) 数据

设备吊装工艺学 / 张龙, 范锦平主编. —成都:  
西南交通大学出版社, 2021.2  
ISBN 978-7-5643-7957-5

I. ①设… II. ①张… ②范… III. ①机电设备一起  
重机械 IV. ①V351.35

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 271192 号

---

Shebei Diaozhuang Gongyixue

设备吊装工艺学

主编 张 龙 范锦平

---

责任编辑 李华宇

封面设计 GT 工作室

---

出版发行 西南交通大学出版社  
( 四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号  
西南交通大学创新大厦 21 楼 )

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 四川煤田地质制图印刷厂

---

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 14

字数 348 千

版次 2021 年 2 月第 1 版

印次 2021 年 2 月第 1 次

定价 39.00 元

书号 ISBN 978-7-5643-7957-5

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

吊装是一种空间运输，主要利用各种起重机械完成重物的位移，它可以减轻人们的劳动强度，提高劳动生产率，在工业生产中，起重机械是现代化生产不可缺少的组成部分。设备吊装作业风险性高、实践性强，涉及的知识面广。

本书结合职业教育的特点，着重锻炼学生的实践动手能力，内容实用、够用，由浅入深，循序渐进，能使学生尽快掌握设备搬运与吊装的作业技术。全书共分十章，主要介绍了起重作业基础知识、吊装施工组织设计、常用起重索具与吊装工具、常用起重机械、起重作业技术、一般设备的搬运与吊装、核电建造设备吊装案例、复杂环境下的设备吊装、起重安全标志、吊装工程施工管理等内容。

本书由四川核工业工程学校张龙、范锦平担任主编，由四川核工业工程学校唐海霞、赵崇科担任副主编，其中第一章、第二章、第三章由张龙编写，第五章、第六章、第七章由范锦平编写，第四章、第八章由张龙、范锦平共同编写，第九章、第十章由唐海霞、赵崇科共同编写。本书在编写过程中，参考了相关图书并借鉴和引用了部分资料，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，水平有限，书中难免有错漏之处，敬请读者批评指正，编者不胜感激。

编者

2020年9月



第一章	起重作业基础知识 .....	001
第一节	钢 材 .....	002
第二节	机械传动及零件连接 .....	004
第三节	起重作业常用数学公式 .....	006
第四节	常用力学知识 .....	008
第二章	吊装施工组织设计 .....	011
第一节	施工准备 .....	012
第二节	施工组织设计 .....	012
第三节	吊装方案的主要内容 .....	019
第三章	常用起重索具与吊装工具 .....	024
第一节	索具、吊具的使用原则 .....	025
第二节	常用索具 .....	026
第三节	常用吊装工具 .....	052
第四章	常用起重机械 .....	069
第一节	起重机械的选用原则 .....	070
第二节	常用的起重机械 .....	071
第三节	流动式起重机 .....	090
第五章	起重作业技术 .....	095
第一节	设备吊点的选择 .....	096
第二节	吊装物体的绑扎 .....	099
第三节	常用吊装方法及选择 .....	103
第四节	起重工“五步”作业法 .....	106
第五节	起重工“十字”操作法 .....	107
第六节	喊号与指挥信号 .....	114
第七节	起重作业安全操作技术 .....	119
第八节	起重作业安全操作注意事项 .....	125
第六章	一般设备的搬运与吊装 .....	129
第一节	装卸运输的基本概念 .....	130
第二节	常用的装卸车方法 .....	131

第三节	设备过坑（沟）的搬运 .....	134
第四节	装卸运输的基本要求及注意事项 .....	136
第五节	设备、构件常用的吊装方法 .....	138
第六节	一般设备、构件吊装的作业程序 .....	139
第七节	中小型物件的吊装 .....	140
第八节	设备厂房内运输 .....	143
第七章	核电建造设备吊装案例 .....	150
第一节	EM1 环形吊车的吊装 .....	151
第二节	应急柴油发电机组的吊装 .....	155
第三节	CPR1000 核电项目 APG001/002RF 热交换器吊装 .....	161
第四节	TEU003BA004BA 运输方案 .....	168
第五节	EM7 大罐安装与吊装 .....	172
第八章	复杂环境下的设备吊装 .....	180
第一节	窄小空间与设备拥挤的起吊运输 .....	181
第二节	低空间设备的吊装 .....	186
第三节	大坡度及地形特殊场所的起重运输 .....	188
第四节	道路路面、基础不正常情况下的起重运输 .....	190
第九章	起重安全标志 .....	191
第一节	起重安全标志 .....	192
第二节	起重安全标志的制作 .....	196
第十章	吊装工程施工管理 .....	198
第一节	班组管理与成本核算 .....	199
第二节	起重安全 .....	201
附录	经验反馈 .....	207
参考文献	.....	216



# 第一章

## 起重作业基础知识

- 第一节 钢 材
- 第二节 机械传动及零件连接
- 第三节 起重作业常用数学公式
- 第四节 常用力学知识

## 第一节 钢材

钢材是现代化建设和人们日常生活中使用最普遍的材料。在起重作业中，人们使用的起重机具和起重作业对象——设备和构件大多是钢材制造的。要真正做好起重作业这种带有危险性的工作，要求起重作业者了解钢材的基本知识。

### 一、常用钢材类型

#### 1. 钢号表示方法简述

钢的牌号简称钢号，是对每一种具体钢产品所取的名称，是人们了解钢的一种共同语言。根据国家标准 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》规定，我国的钢号采用汉语拼音字母、化学元素符号和阿拉伯数字相结合的原则表示钢铁的牌号，即：

- (1) 钢号中化学元素采用国际化学符号表示，如 Si、Mn、Cr 等。
- (2) 产品名称、用途、冶炼和浇注方法等，一般采用汉语拼音的缩写字母表示。
- (3) 钢中主要化学元素的质量分数（含量）（%）采用阿拉伯数字表示。

#### 2. 钢材分类及表示方法说明

(1) 碳素结构钢——碳素结构钢由 Q+数字+质量等级符号+脱氧方法符号组成。它的钢号冠以“Q”，代表钢材的屈服点，后面的数字表示屈服点数值，单位为 MPa。例如 Q235 表示屈服点为 235 MPa 的碳素结构钢。必要时钢号后面可标出表示质量等级和脱氧方法的符号。质量等级符号分别为 A、B、C、D。脱氧方法符号：F 表示沸腾钢；b 表示半镇定钢；Z 表示镇定钢；TZ 表示特殊镇定钢，镇定钢可不标符号，即 Z 和 TZ 都可不标。例如 Q235-AF 表示 A 级沸腾钢。专门用途的碳素钢，例如桥梁钢、船用钢等，基本上采用碳素结构钢的表示方法，但在钢号最后附加表示用途的字母。碳素结构钢的牌号有 Q195、Q215、Q235、Q255、Q275。

(2) 优质碳素结构钢——优质碳素结构钢牌号开头的两位数字表示钢中碳的质量分数  $w(c)$ （含量），以平均碳含量的万分之几表示，例如钢中平均碳的质量分数  $w(c)$  为 0.45% 的钢，牌号为“45”，它不是顺序号，所以不能读成 45 号钢。对锰含量较高的优质碳素结构钢，应将锰元素标出，例如 50Mn。沸腾钢、半镇定钢及专门用途的优质碳素结构钢应在牌号最后特别标出，例如钢中平均的质量分数为 0.1% 的半镇定钢，其牌号为 10b。

(3) 合金结构钢——合金结构钢牌号开头的两位数字表示钢的含碳量，以量的万分之几表示，如 40Cr 钢的  $w(c)$  为 0.4%。钢中主要合金元素，除个别微合金元素外，一般以百分之几表示。当平均合金的质量分数小于 1.5% 时，牌号中一般只标出元素符号，而不标明含量，但在特殊情况下易致混淆者，在元素符号后也可标以数字“1”，例如钢号“12CrMoV”和“12Cr1MoV”，前者铬的质量分数  $w(Cr)$  为 0.4%~0.6%，后者为 0.9%~1.2%，其余成分全部相同。当合金元素平均质量分数  $\geq 1.5\%$ 、 $\geq 2.5\%$ 、 $\geq 3.5\%$ 、…时，在元素符号后面应标明含量，可相应表示为 2、3、…。例如 18Cr2Ni4WA。钢中的钒 V、钛 Ti、铝 Al、硼 B、稀土



RE 等合金元素，均属于微合金元素，虽然含量很低，但仍应在钢号中标出。例如 20MnVB 钢中，钒的质量分数  $w(V)$  为 0.07% ~ 0.12%，硼的质量分数  $w(B)$  为 0.001% ~ 0.005%。高级优质钢应在钢号最后加“A”，以区别于一般优质钢。专门用途的合金结构钢，牌号冠以（或后缀）代表该钢种用途的符号。例如铆螺钉专用的 30CrMnSi 钢，牌号表示为 ML30CrMnSi。

（4）低合金高强度钢——低合金高强度钢钢号的表示方法：由代表屈服点的汉语拼音字母（Q）、屈服点数值、质量等级符号（A、B、C、D、E）三部分按顺序排列。例如 Q390A，其中：Q 表示钢材的屈服点的“屈”字汉语拼音的首位字母；390 表示屈服点数值，单位 MPa；A、B、C、D、E 分别表示为质量等级符号。低合金高强度钢的牌号有 Q295、Q345、Q390、Q420、Q460。

## 二、构件力学性能

### 1. 构件的承载能力

材料力学从根本上讲重点要解决的是构件在不同状态下的承载能力，满足由各种各样材料组成的构件在载荷作用下能正常工作，即每一个构件均应有足够的承受载荷的能力，简称为承载能力。承载能力的形式、大小主要由以下三方面来衡量：

（1）足够的刚度——在生产实际中有时构件受到载荷后虽不致断裂，但是如果构件的变形超过一定的限度，也会影响机构或结构的正常使用，有时甚至造成零、部件的损坏。所谓刚度就是指构件抵抗弹性变形的能力。如果构件的变形被限制在允许的范围之内，则认为其满足了材料的刚度要求。

（2）足够的强度——强度是指金属材料能在静载荷的作用下，抵抗永久变形和断裂的能力。如构件能够承受载荷而不破坏，则认为其满足了强度要求。

（3）足够的稳定性——稳定性是指构件保持原有平衡形式的功能。

综上所述，为了保证构件安全、可靠地工作，构件必须具有足够的承载能力，即具有足够的刚度、强度和稳定性，这是保证构件安全的三个基本要求。

### 2. 杆件变形的基本形式

所谓杆件是指纵向的尺寸远远大于横向的尺寸的构件。如果杆件的轴线是直线，且各截面都相等，这种杆件称为等截面直杆，简称为等直杆，是材料力学研究的基本对象。

在实践中杆件会受到各种各样形式的拉力或压缩力、剪切、扭矩、弯矩的作用，从而引起杆件的变形形式也是各式各样的。杆件的基本变形形式主要有以下四种：

（1）拉伸和压缩——拉伸或压缩是指杆件受轴线的拉力或压力作用，杆件沿轴线产生伸长或缩短的变形。

（2）剪切——剪切是指杆件受大小相等、指向相反且相距很近的两个垂直于杆件轴线方向的外力作用，杆件在二力间的各横截面产生相对错动的变形。

（3）扭转——杆件受到一对大小相等、转向相反、作用面与杆件轴线垂直的力偶作用，两力偶作用面之间各横截面将绕轴线产生相对转动，这种现象称为扭转。

（4）弯曲——杆件受垂直于轴线的横向力作用，杆件轴线由直线弯曲成曲线，这种变形

称为弯曲。

工程实际中杆件的受力和变形往往是复杂的、相互并存的，比较复杂的构件变形形式一般是由上述四种基本变形的组合。

## 第二节 机械传动及零件连接

### 一、常用机械的连接

#### 1. 螺纹连接

利用螺栓、螺母等零件，把需要相对固定在一起的零件连接在一起，称为螺纹连接。

##### 1) 螺纹连接的种类

(1) 螺栓连接。它的特点是被连接件上都不用切制螺纹，只需制成光孔。螺栓连接主要用于被连接件都不太厚并能在连接两边进行装配的场合。

(2) 螺栓连接分普通螺栓连接、铰制孔用螺栓连接和高强螺栓连接三种。普通螺栓连接：被连接的通孔与螺栓杆间有一定间隙，这种情况螺栓受到拉伸作用，普通螺栓连接加工精度较低，结构简单，装拆方便，应用广泛。铰制孔螺栓连接：螺栓的光杆和通孔间采用基孔制过渡配合，这种连接的螺杆工作时受到剪切和挤压作用，主要承受横向载荷，它用于载荷大、冲击严重和要求良好对中的场合，但加工精度高，装配难度大。高强螺栓的栓体和螺母均用高强度钢材制造，被连接件的螺孔直径一般比螺杆直径大 2 mm，安装时，要用力矩扳手对螺栓施以很大的预紧力从而在被连接面间产生很大的摩擦力来传递载荷，可承受拉压和剪切载荷，装配工艺简单。

(3) 双头螺柱连接：双头螺柱连接常用于被连接件之一较厚或为了使结构紧凑必须采用不通孔的场合。双头螺柱螺纹较短的一端旋入被连接件，它不适宜常拆卸。而无螺纹孔的被连接件、螺母及垫圈均可多次拆卸。

(4) 螺钉连接：螺钉连接不用螺母，它适用于一个被连接件较厚而不常拆装的场合。

(5) 紧定螺钉连接：紧定螺钉连接是用紧定螺钉旋入被连接件之一的螺纹孔中，它是用末端顶紧另一个被连接件，使两零件位置固定，并可传递不太大的力或力矩。

##### 2) 螺纹连接的防松装置

受静载荷作用而又是采用标准螺纹连接的螺纹连接，由于自锁而不会松动。而在变载荷、振动和受连续冲击载荷或温度较高的情况下，螺纹连接会松动。连接发生松动的危害很大，轻者使工作不正常，重者会引起严重事故。因此，用于变载荷的螺纹连接必须采取防松措施。

螺纹连接的防松装置的类型很多，按防松原理可分为靠摩擦力防松、机械方法防松和永久止动三类。

(1) 靠摩擦力防松：靠摩擦力防松的原理是使相互旋合的内外螺纹中存在压力，靠螺纹间的摩擦力和支撑面与螺母间的摩擦力来防松，常用双螺母防松、弹簧垫圈防松。

(2) 机械方法防松：机械方法防松最可靠，常应用于高速动载的螺纹连接，如运输车辆、

工程机械等都常采用。常用形式有槽形螺母与开口销防松、止动垫圈防松。

(3) 永久止动：当螺纹连接不需要再拆卸的情况下，可应用永久止动，如铁塔地脚螺栓防松。永久止动常用冲点法、黏结法或焊接法。

## 2. 销连接

### 1) 销的类型

销主要用于零件之间的连接与定位。常用的销有圆锥销、圆柱销和开口销。

### 2) 销连接的作用

圆柱销和圆锥销的作用：一是定位作用；二是连接并传递转矩；三是安全保护。

## 二、常用机械传动的种类

### 1. 带传动

#### 1) 带传动的工作原理

带传动是一种应用很广的机械传动，它一般多用于减速传动。带传动由主动带轮、从动带轮和传动带组成。其工作原理是：传动带紧套在两带轮上，使带与带轮接触面之间产生压力。当主动带轮回转时，带与带轮接触面便产生摩擦力，摩擦力使传动带运动，而传动带又靠它与从动带轮之间的摩擦力，使从动带轮运动。

#### 2) 带传动的类型

按传动带的横截面形状，带传动分为平带传动、V带传动、圆带传动和同步齿形带传动。

### 2. 链传动

#### 1) 链传动的组成

链传动是具有挠性件（链条）的啮合传动，链传动主要是由主动链轮、从动链轮和链条所组成，工作时依靠链条和链轮的啮合而传递动力。

#### 2) 链传动的应用范围

链传动既可用于减速传动，也可用于增速传动。它最适合用于两轴相距较远，又不适合用带传动的场合。

### 3. 齿轮传动

齿轮传动的特点：

优点：齿轮传动比较准确，传动的功率范围大；适用范围比较广；结构紧凑，工作可靠，使用寿命长。缺点：制造和安装要求高，需要专门的机床和专用刀具加工制造，成本较高，不适合中心距较大的传动。

### 4. 蜗杆传动

蜗杆传动是特殊的齿轮传动，由蜗杆和蜗轮组成，主要用于传递空间交错轴的运动和动力，两轴间的交错角一般为 $90^\circ$ ，通常以蜗杆为主动件。

蜗杆传动具有以下特点：

(1) 传动比大，结构紧凑。

- (2) 传动平稳，噪声小。
- (3) 具有自锁性能。
- (4) 传动效率低。
- (5) 适用功率范围小。
- (6) 要用贵重材料制造蜗轮。

### 5. 液压传动

液压传动除工作介质油液外，主要由四部分组成，它们是：

动力装置——液压泵；

执行装置——液压缸或液压马达；

控制装置——各种控制阀；

辅助装置——油箱、油管、压力表、过滤器等。

### 6. 主要机械部件

主要机械部件有轴、轴承和联轴器。其中轴承按摩擦性质分为滑动轴承和滚动轴承。联轴器分为刚性联轴器和挠性联轴器。

## 第三节 起重作业常用数学公式

### 一、常用计算公式

#### 1. 常见面积计算公式

正方形：

$$s = a^2 \quad (a \text{ 为正方形边长})$$

长方形（矩形）：

$$s = ab \quad (a、b \text{ 分别为长方形的长和宽})$$

平行四边形：

$$s = ah \quad (a \text{ 为平行四边形的底，} h \text{ 为底边上的高})$$

梯形：

$$s = (a+b) \times h \div 2 \quad (a \text{ 为梯形上底，} b \text{ 为梯形下底，} h \text{ 为梯形高})$$

三角形：

$$s = bh / 2 \quad (b \text{ 为三角形的底，} h \text{ 为底边上的高})$$

圆：

$$s = 2\pi r^2 = \frac{1}{2} \pi d^2 \quad (r \text{ 为圆的半径，} d \text{ 为圆的直径})$$

#### 2. 常见体积计算公式

立方体:

$$v = abc$$

圆柱体:

$$v = \pi r^2 h$$

球台:

$$v = \frac{1}{6} \pi h [3(r_1^2 + r_2^2) + h^2]$$

空心圆柱:

$$v = \frac{1}{4} \pi h (d^2 - d_1^2)$$

圆台:

$$v = \frac{1}{3} \pi h (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2)$$

正圆锥体:

$$v = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

### 3. 质量计算公式

$$m = vp$$

### 4. 重量计算公式

$$G = mg$$

## 二、常见的单位及换算

长度:

$$1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 10^2 \text{ cm} = 10^3 \text{ mm} = 10^6 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ km}$$

面积:

$$1 \text{ m}^2 = 100 \text{ dm}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$$

体积:

$$1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ dm}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^9 \text{ mm}^3$$

质量:

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 10^{-3} \text{ t}$$

压强:

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10 \text{ bar}$$

## 三、常用几何知识

### 1. 勾股定理

在直角三角形中，存在以下关系：

$$c^2 = a^2 + b^2$$

### 2. 正弦定理

任意三角形中：

$$a / \sin A = b / \sin B = c / \sin C$$

### 3. 余弦定理

在任意三角形中：

$$\cos A = (b^2 + c^2 - a^2) / 2cb$$

$$\cos B = (a^2 + c^2 - b^2) / 2ac$$

$$\cos C = (a^2 + b^2 - c^2) / 2ab$$

### 4. 任意三角形的面积公式

$$S = bc \sin A / 2 = ca \sin B / 2 = ab \sin C / 2$$

## 第四节 常用力学知识

### 一、质量、重量和重心

#### 1. 质量

质量就是物体中含有物质的多少。质量是物体的固有属性，它不随其形状、位置和状态的变化而变化。

#### 2. 重量

物体受到地球的吸引力，我们称之为重力，其方向垂直向下（指向地心）。通常将重力的大小称为该物体的重量。重量不是物体的固有属性，它随其形状、位置和状态的变化而变化。

#### 3. 重心和重心计算

物体的重心就是物体上各个部分重力的合力作用点。不论物体怎样放置，物体重心的位置是固定不变的。

在起重作业中，了解和掌握设备的重心是很重要的。重心的位置不仅关系到设备的平衡，而且关系到物体的稳定性。要使起重机械和物体处于平衡位置，必须使其重心处在适当位置。在起重作业中只有保持物体的稳定性，使物体在起吊、运输过程中不倾斜、不运动、不翻转，才能保证安全作业。如吊点未通过物体重心，起吊中或起吊后将发生翻转，发生翻转是很危险的，会酿成事故。质量均匀、形状规则的吊件的重心与它的几何中心重合。例如：

- (1) 粗细均匀的棒重心在其全长的 1/2 处。
- (2) 薄圆板和圆环的重心在圆心处。
- (3) 正多边形薄板的重心在它的内切圆或外接圆的圆心处。
- (4) 正方形、长方形、平行四边形薄板的重心在它们的对角线交点处。
- (5) 球的重心在它的球心处。
- (6) 三角形薄板的重心在其各边三条中线的交点上。

对形状复杂、材质均匀分布的物体，可以把它分解为若干个简单几何体，确定各个部分重量及其重心位置坐标，然后用下式计算整个物体的重心坐标值：

$$X_c = \sum G_i X_i / G$$

$$Y_c = \sum G_i Y_i / G$$

式中  $X_c$ ——整个物体重心在坐标系中的横坐标；  
 $Y_c$ ——整个物体重心在坐标系中的纵坐标；  
 $G$ ——整个物体的总重量；  
 $G_i$ ——某单元物体的重量；  
 $X_i$ ——某单元物体在坐标系中的横坐标；  
 $Y_i$ ——某单元物体在坐标系中的纵坐标。

## 二、力的基本概念

力的物理定义：力是一个物体对另一个物体的作用。

力的三要素：力的大小、方向、作用点。三要素中任何一个要素的改变都将会改变力对物体的作用效果。

## 三、杠杆原理与应用

支点：杠杆绕着转动的点。

动力：使杠杆转动的力。

阻力：阻碍杠杆转动的力。

动力臂：从支点到动力作用线的垂直距离。

阻力臂：从支点到阻力作用线的垂直距离。

$$\text{动力} \times \text{动力臂} = \text{阻力} \times \text{阻力臂}$$

这个平衡条件也就是阿基米德发现的杠杆原理（见图 1-1）。

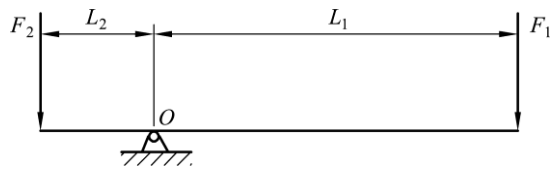


图 1-1 杠杆原理

(1) 动力臂大于阻力臂——平衡时动力小于阻力，用较小的动力就可以克服较大的阻力，这是省力杠杆。

(2) 动力臂小于阻力臂——平衡时动力大于阻力，需用较大的动力来克服阻力，一般用于动作缓慢的机构，这是费力杠杆。

(3) 动力臂等于阻力臂——平衡时阻力等于动力，这样的杠杆既不费力也不省力。



杠杆原理运用实例如图 1-2 所示。

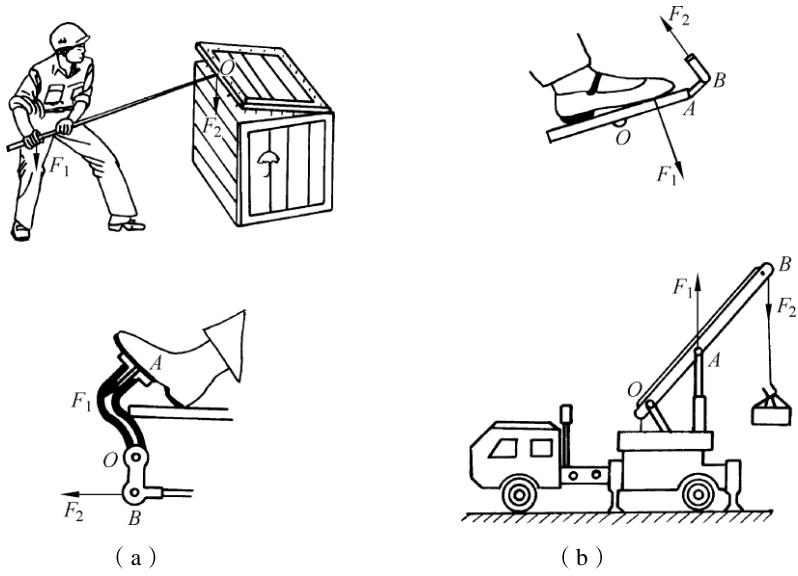


图 1-2 杠杆原理运用实例