

经全国中小学教材审定委员会  
2004年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

# 物理

选修 2-2

人民教育出版社 课程教材研究所 编著  
物理课程教材研究开发中心



 人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书

# 物理

选修 2-2

人民教育出版社 课程教材研究所  
物理课程教材研究开发中心 编著



 人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书

物 理

选修2-2

人民教育出版社 课程教材研究所  
物理课程教材研究开发中心 编著

\*

人民教育出版社 出版发行

网址: <http://www.pep.com.cn>

××××印刷厂印装 全国新华书店经销

\*

开本: 890毫米×1240毫米 1/16 印张: 5.5 字数: 120 000

2007年4月第2版 年 月第 次印刷

ISBN 978-7-107-18449-9 定价: 6.60元  
G·11538 (课)

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究  
如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版科联系调换。  
(联系地址:北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编:100081)

总 主 编：张大昌

副 总 编：彭前程

主 编：宣桂鑫

执 笔 人 员：曹 磊 付荣兴 潘邦楨 莫天敬 宣桂鑫

绘 图：刘 菊

责 任 编 辑：付荣兴

版 式 设 计：刘 昀

审 读：王存志

# 目录

致同学们

## 第1章 物体的平衡 / 1

- 第1节 共点力平衡条件的应用 / 2
- 第2节 平动和转动 / 6
- 第3节 力矩和力偶 / 8
- 第4节 力矩的平衡条件 / 11
- 第5节 刚体平衡的条件 / 13
- 第6节 物体平衡的稳定性 / 17



## 第2章 材料与结构 / 21

- 第1节 物体的形变 / 22
- 第2节 弹性形变与范性形变 / 26
- 第3节 常见承重结构 / 27



## 第3章 机械与传动装置 / 30

- 第1节 常见的传动装置 / 31
- 第2节 能自锁的传动装置 / 35
- 第3节 液压传动 / 38
- 第4节 常用机构 / 42
- 第5节 机械 / 44





## 第4章 热机 / 47

第1节 热机原理 热机效率 / 48

第2节 活塞式内燃机 / 51

第3节 蒸汽轮机 燃气轮机 / 56

第4节 喷气发动机 / 58



## 第5章 制冷机 / 64

第1节 制冷机的原理 / 65

第2节 电冰箱 / 67

第3节 空调器 / 71

## 课题研究 / 76

## 致同学们

欢迎大家进入《物理》选修2系列的学习。这一系列的选修模块，侧重从技术应用的角度展示物理学，强调物理学与技术的结合，着重体现物理学的应用性、实践性。

包括物理学在内的自然科学以认识自然、探索未知为目的；而技术则是以对自然界的认识为根据，利用得到的认识来为人类服务。

尽管如此，人们还是习惯于把科学和技术联在一起，统称“科技”。这说明二者之间有着密切的联系。历史已经表明，没有科学发现，就没有技术进步；没有技术进步，科学也不能发展。真可谓“你中有我，我中有你”。

17世纪末叶出现的巴本锅和蒸汽泵，主要是一种技术发明。18世纪技术工人瓦特给蒸汽机增添了冷凝器、活塞阀、飞轮、离心节速器等，使蒸汽机真正成为—种广泛应用于纺织、轮船和火车的动力机，更是一种技术的进步。但那时的热机效率只有5%~8%，如何提高热机效率成为技术进步向科学发展提出的问题。它促使卡诺定理的提出和热力学第一、二定律的建立，推动了物理学的发展，并使热机效率得以大幅度提高。这就是近代史上第一次产业革命所反映出的科学与技术的联系。

19世纪70年代，在电磁理论的基础上，具有实用价值的电动机和发电机先后问世，继而又实现了电力的远距离传输。不久，马可尼和波波夫发明了无线电通信技术。这一切开创了第二次产业革命，使人类进入了电气化时代。

20世纪以来，以原子核能、电子计算机和空间技术的发展为标志，开始了第三次产业革命，即现代技术革命。特别是20世纪70年代以来，微电子技术的发展以及材料、激光、遥感、人工智能、多媒体信息技术等的长足进步，极大地拓展了人类利用、控制和保护自然的能力。

科学技术作为生产力的要素，它的发展和进步是同社会生产力的整体水平密切相关的。这也是不同国家和地区在科学技术发展上不平衡的重要原因。正是由于这种不平衡性，导致了科学技术中心在世界范围内的转移。所谓科学技术中心，是指这样的国家和地区，其开创性的科学技术成果超过全世界总量的四分之一。归纳起来，近五百年来科学技术中心转移的顺序和时间大致是：

- (1)意大利 1540~1640
- (2)英国 1660~1730

(3)法 国 1770~1830

(4)德 国 1870~1920

(5)美 国 1920~

历史上东方文明尤其是中国古代文明曾遥遥领先于西方,在近代科学技术兴起之前,中国的科学发现与技术发明也曾为世界范围产生巨大影响。有人曾经预言:中国再度觉醒之时,世界将会震颤。还有人说,中国近年的发展变化,正预示这一时刻的到来。不管这些说法的本意何在,无可否认的事实是,我国科学技术的发展不仅表明我们继承了中华传统文化的精华,而且在21世纪的初期,我们已经向着先进国家的行列迈出了坚实的步伐。中国科学技术的昔日风采再度展现在世人面前的日子正向我们走来……

“我是昆仑的云,

我是黄河的浪,

……

我是涅槃的凤凰再飞翔。

我是屈原的梦,

我是李白的唱,

……

我是涅槃的凤凰再飞翔。”

讴歌中华民族伟大复兴的诗句,正在我们耳边回响、回响……

其实,诗在心中。不是吗?



# 第 1 章

## 物体的平衡



我国目前跨度最大的斜拉桥——南京长江二桥

一个物体可以处于不同的运动状态，其中力学的平衡状态比较常见，而且具有实际意义。例如桥梁、起重机、建筑物等，都需要保持平衡状态。平衡问题在建筑工程中占有极为重要的地位，因为对所有建筑物来说，我们研究的都是它处于平衡状态下的受力情况。那么，什么是物体的平衡状态？物体在什么条件下才能处于平衡状态？

学过本章的内容后，你将会了解物体的平衡条件，了解它们在实际中的应用。

## 第 1 节 共点力平衡条件的应用

在共同必修模块 1 中,我们已经知道:在共点力作用下物体的平衡条件是合力等于零。即

$$F_{\text{合}}=0$$

共点力作用下物体的平衡条件在生活和生产中有广泛的应用。下面分析两个例子。

**起吊物的平衡** 在建筑工地上经常可以看到起重机吊起重物的情形(图 1.1-1),仔细观察你会发现,连接重物的钢丝绳与水平面的夹角都比较大,接近  $90^\circ$ 。这是为什么?

下面我们对物体的受力情况做一分析。

如图 1.1-2 所示,物体受到三个力:重力  $G$ , 钢丝绳的拉力  $F_1$  和  $F_2$ 。拉力  $F_1$  和  $F_2$  与水平线的夹角均为  $\alpha$ 。这三个力的作用线相交于  $O$  点,因此,它们是共点力。

物体静止或匀速上升时处于平衡状态,这三个力满足共点力的平衡条件,即

$$F_{\text{合}}=0$$

选取坐标轴(图 1.1-3),分别在  $x$  方向和  $y$  方向列平衡方程

$$F_{\text{合}x}=F_1 \cos \alpha - F_2 \cos \alpha = 0 \quad (1)$$

$$F_{\text{合}y}=F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \alpha - G = 0 \quad (2)$$

其中  $G$  是已知量,  $F_1$ 、 $F_2$  是未知量。

由 (1) 式可得

$$F_1 = F_2$$

代入 (2) 式,得

$$F_1 = F_2 = \frac{G}{2 \sin \alpha}$$

由此可知,物体所受的重力一定时,钢丝绳与水平线的夹角越大,钢丝绳对重物的拉力越小。当  $\alpha$  接近  $90^\circ$  时,钢丝绳的拉力接近  $\frac{G}{2}$ ;

反之,钢丝绳与水平线的夹角越小,钢丝绳的拉力越大。当  $\alpha$  为  $30^\circ$  时,钢丝绳的拉力等于  $G$ ,当  $\alpha$  小于  $30^\circ$  时,钢丝绳的拉力大于  $G$ 。由牛顿第三定律可知,钢丝绳受重物的拉力也将随  $\alpha$  角的减小而增大。

因此在吊装现场,工人们都会注意使钢丝绳与水平面的夹角足够大,以防止钢丝绳被拉断。

图 1.1-1 起重机起吊重物



图 1.1-2

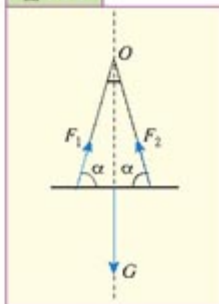
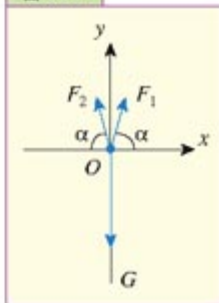
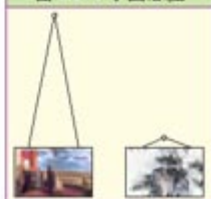


图 1.1-3



在家里悬挂字画时，有的挂绳很长，有的挂绳很短。试比较这两种挂法的优劣。

图 1.1-4 字画悬挂



大家做

1. 将长绳一端系在水泥柱或木杆上，绳子中央系一个秤砣，拉住绳的另一端，逐渐用力并尽可能拉平绳子（图 1.1-5），你手上有什么感觉？

2. 上面实验中，你会觉得自己的力气很小，拉不平绳子，可是在下面这种情形中，你又觉得你的力气很大。如图 1.1-6 所示，让大人紧紧拉住绳子的一端，你只要在绳子中点附近，横向施力，你会觉得不费吹灰之力就能把大人拉动。

做做以上的实验，并解释为什么。

图 1.1-5



图 1.1-6



**斜面的自锁** 放在斜面上的物体，有可能沿斜面下滑，也可能保持静止。物体在斜面上保持静止时，它受到重力  $G$ 、斜面的支持力  $F_N$  和斜面对它的摩擦力  $F$ （图 1.1-7）。

当斜面倾角  $\alpha$  较小时，物体能保持静止，这时，物体受到的摩擦力是静摩擦力，根据共点力平衡条件有

$$mg \sin \alpha = F$$

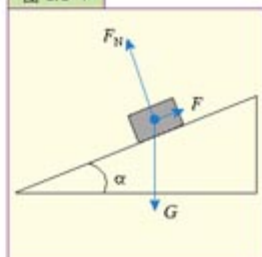
我们知道，静摩擦力  $F$  的大小在 0 与最大静摩擦力  $F_{\max}$  之间变化。实验表明：最大静摩擦力的大小  $F_{\max}$  又跟压力  $F_N$  成正比，即

$$F_{\max} = \mu_0 F_N$$

式中  $\mu_0$  是比例常数，叫做静摩擦因数，它的数值与相互接触的两个物体的材料有关。两种材料间的静摩擦因数一般比动摩擦因数稍大一些。

当斜面倾角  $\alpha$  增大时，静摩擦力  $F$  也随之增大，只要  $F < F_{\max}$ ，

图 1.1-7



物体仍能保持静止；当倾角  $\alpha$  逐渐增大到  $\theta$ ，物体刚要开始运动时，静摩擦力最大。根据共点力平衡条件有

$$mg \sin \theta = F_{\max}$$

而

$$F_{\max} = \mu_0 F_N = \mu_0 mg \cos \theta$$

代入上式后求得

$$\mu_0 = \tan \theta$$

即

$$\theta = \arctan \mu_0 \quad (1)$$

$\theta$  叫做摩擦角 (**angle of friction**)。例如，钢与钢间的静摩擦因数  $\mu_0$  为 0.1，可以算出其摩擦角  $\theta$  为  $5^\circ 43'$ 。

(1) 式表明，摩擦角  $\theta$  与物体的质量  $m$  无关，只与两种材料之间的最大静摩擦因数有关。也就是说，当倾角小于摩擦角  $\theta$  时，在斜面上无论放多重的物体，它都不会滑动。这叫做斜面自锁 (**self-lock**) 现象。

在日常生活中，斜面自锁现象有很多。楔子是倾角很小 (小于摩擦角) 的斜面，常常用来固定物体 (图 1.1-8)。

螺丝钉 (图 1.1-9) 也利用了斜面自锁原理。钉上的螺纹相当于旋转的斜面 (图 1.1-10)，沿着旋转的斜面转过一圈，就升高同样的高度  $h$ ，也就是螺纹间的距离，称为螺距。螺纹升角  $\alpha$  相当于斜面倾角。由于螺纹升角  $\alpha$  小于摩擦角  $\theta$ ，所以，当用它来紧固机件时，螺母尽管受到很大的压力，仍然不会移动。

图 1.1-8 固定门的楔子

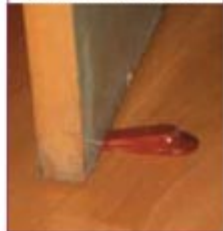


图 1.1-9 螺丝钉和螺母



图 1.1-10 螺丝的螺距示意图



## 大家做

### 快速比较材料间的静摩擦因数

将橡皮放在物理课本上，慢慢地抬高课本一端，当橡皮开始滑动时，记下课本与水平面的夹角，即摩擦角。再用塑料尺重复上述步骤，比较两次摩擦角。夹角大的，这种材料跟物理课本封面的纸之间的静摩擦因数就比较大。

拆开各种机器，总可以看到许多螺丝钉。没有这种起紧固作用的螺丝钉，任何一种机器，都不能成为一个运转自如的有机整体。难怪美国《纽约时报周刊》在1999年4月18日的“最佳选”特刊中，将螺丝钉列为过去一千年最重要的发明之一。

也许你常听说螺丝钉用于治疗骨折的事情，但是螺丝钉救命的事例你可能了解的不多了。2004年3月，一位五旬妇人颈项内的环椎和枢椎脱位，随时都会丧命，四川大学华西医院成功实施世界顶级手术，将一颗用金属钛制成的螺丝钉打进“环”与“枢”之间，将两块骨头“串”起（图1.1-1），挽救了妇人的生命。这种手术难度极高，差之毫厘，患者就有生命危险。

螺丝钉虽小，但是作用却是巨大的，谁小看了它，就会尝到恶果。一家汽车修理部在修理客户的汽车时，忘记了安装发动机曲轴上的两颗螺丝钉。交付使用两天后，汽车发动机熄火并冒出烟来。结果，不仅要在5日内将车修好送还，还赔偿了客户4000元。

“神舟”一号在发射前的最后一次全面检测中，突然发现飞船环境控制系统中的一个设备不能正常启动。在随后的10天时间里，技术人员昼夜奋战，列举了150个故障疑点，并逐一排查。结果发现，问题出在一根电源导线上，一颗螺丝钉的毛刺将导线划坏，导致断电。可见，就连螺丝钉的加工工艺都显得十分重要。

高档的产品对螺丝钉的安装位置、使用数目都很讲究，常常成为辨别真伪的标准之一。有经验的人购买照相机镜头时，都会仔细察看一下镜身上的螺丝，如果螺丝钉有明显的刮痕，很可能这个镜头曾被拆解过。

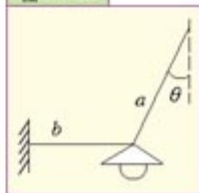
图 1.1-11 钛制成的螺丝钉打进“环”“枢”之间



### 问题与练习

1. 如图1.1-12所示，用一根绳子 $a$ 将一盏重 $10\text{ N}$ 的电灯挂起来，再用另一根水平的绳子 $b$ 把它拉向一旁固定起来。绳子 $a$ 与竖直方向的夹角 $\theta = 30^\circ$ ，绳子 $a$ 和 $b$ 对电灯的拉力分别是多大？
2. 木和木之间的静摩擦系数为 $0.4$ ，它们之间的摩擦角为多大？
3. 请你提出一种估测两种材料间的静摩擦系数的实验方案。
4. 在各种家具、电器中找出不同的螺丝钉，比较它们结构的异同点。

图 1.1-12



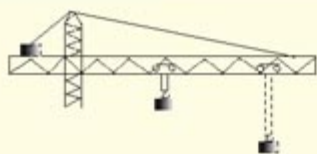
## 第 2 节 平动和转动

### 思考与讨论

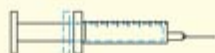
物体的运动可谓多姿多彩、千变万化。分析生活中各种各样的运动(图 1.2-1), 看看各类运动有什么特点。如果按物体运动时每一点的运动状态是否相同来划分, 物体的运动有哪几种形式?

**平动** 在图 1.2-1 甲、乙、丙所示的一类运动中, 尽管物体整体的运动情况发生了变化, 但是在某一瞬时物体上各点的运动状态(位移、速度、加速度)却是一样的。物理学中将这类运动叫做平动(translation)。

图 1.2-1 物体的运动



甲 被吊起的物体的运动



乙 注射器中活塞的运动



丙 沿直线前进的雪橇的运动



丁 风扇的运动



戊 钻头的运动

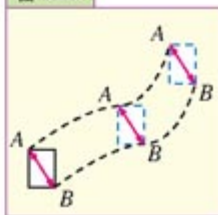


己 跳水运动

平动是比较简单的, 同时也是非常常见的一种运动形式, 了解了这一基本运动形式的特点, 分析比较复杂的运动就有了基础。由于做平动的物体上各点的运动状态都相同, 所以研究做平动物体的运动规律时, 通常将其简化为质点来处理。

物体做平动时, 它的运动轨迹不一定是直线。判断物体是否做平动的方法是: 在物体上任意画一条直线  $AB$  (图 1.2-2), 如果物体做平动, 那么在它运动的过程中, 直线  $AB$  始终保持跟原来的位置平行。

图 1.2-2



**转动** 在图 1.2-1 丁、戊、己所示的一类运动中，物体上的各点在某一瞬时的运动状态并不相同，但它们都在绕同一转动轴做圆周运动。物理学中将这类运动叫做转动 (rotation)。

转动也是非常基本和常见的运动。描述转动常用转速、角速度、角加速度等物理量。

初中学过的各种杠杆也属于有固定转动轴的物体，它们都能绕转动轴发生转动。一个有固定转动轴的物体，在力的作用下，如果保持静止或匀速转动，我们称这个物体处于转动平衡状态。

实际上，许多物体往往既做平动，又做转动。例如钻头钻孔的运动 (图 1.2-1 戊)，以及做翻腾动作的跳水运动员的运动 (图 1.2-1 己) 等，都属于这种情况。

总结以上分析，我们可以得出这样的结论：物体的运动有平动和转动两种基本形式，复杂的运动是由这两种基本运动组成的。

**转动惯性** 大家对陀螺 (图 1.2-3) 可能都不陌生。陀螺转动起来以后，如果摩擦不大，它就可以旋转很长时间才停下来。这表明物体在绕着自己的对称轴转动时具有保持转速和转动轴的方向不变的性质。物理学中将这种性质叫做转动惯性。

转动惯性在技术中有许多应用。例如在火箭、导弹等飞行器上，常有一个高速旋转的陀螺，由于转动惯性，陀螺可以保证转动轴在空间的指向不变。这一性质常用来导航，利用这种原理制成的导航仪叫做惯性导航仪。在某些方面惯性导航仪比磁性罗盘更优越，它不受周围铁器和磁场的影响，指示方向更准确。

轮船在海洋中航行，常因风浪而颠簸。为了减轻轮船的摇摆，人们在船舱底部装上很重的高速转动的飞轮。由于惯性，飞轮转动轴的方向不易改变，可以有力地抵抗风浪的影响，使轮船比较平稳地前进。

物体的转动惯性也常常应用在玩具中。例如，靠惯性运动的玩具小汽车里就有一个转动惯性很大的飞轮，先用力使车轮与地面摩擦，由车轮的转动带动飞轮，飞轮的高速旋转就带动小汽车向前跑去。

图 1.2-3 陀螺



## 问题与练习

1. 如图 1.2-4 所示，游乐园内高空观览车的吊箱的运动属于平动还是转动？
2. 有人说“平动就是匀加速直线运动”，对吗？
3. 下面的几种运动，哪些是平动，哪些是转动？哪些同时做平动和转动？
  - ① 工作中的钟表的秒针；
  - ② 钢球沿斜槽滚下时，钢球的运动；

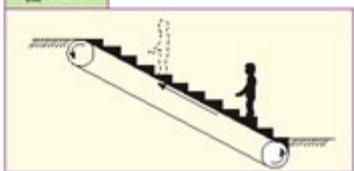
图 1.2-4 观览车吊箱的运动





- ③ 站在自动扶梯上的人的运动 (图 1.2-5)；
  - ④ 前进中的汽车车轮的运动。
4. 在家庭的日用品中，各举出三个平动和转动的实例。

图 1.2-5



## 第 3 节 力矩和力偶

### 思考与讨论

开门的时候，如果用力的方向指向门轴，尽管用的力很大，也是无济于事。为什么？

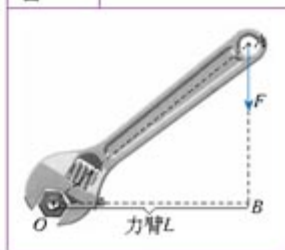
**力矩** 我们知道要使物体转动当然要用力，但是有时光有力还是不够的。力对物体转动的影响，不仅跟力的大小有关，而且跟力和转动轴之间的距离有关。在离转动轴不远的地方推门，用比较大的力才能把门推开，在离转动轴较远的地方推门，用比较小的力就能把门推开。用手直接拧螺帽，不易把它拧紧，用扳手来拧，就容易多了。可见，力越大，力和转动轴之间的距离越大，力矩对转动的影响就越大。

初中时我们已经学过，力和转动轴之间的距离，即从转动轴到力的作用线的距离，叫做**力臂**。例如，用扳子拧紧螺母时(图 1.3-2)，加在 A 点的力为  $F$ ，从转动轴  $O$  到力  $F$  的作用线的距离为  $OB$ ， $OB$  就是  $F$  的力臂。这样我们就可以说，改变物体转动状态的两个要素是力和力臂。在物理学中，把力和力臂的乘积叫做**力矩 (moment of force)**。如果用  $M$  表示力矩，则有

$$M = F \times L$$

力对物体转动的影响取决于力矩的大小，力矩越大，力对物体的转动作用越大。力为零，力矩也为零，显然不会使原来静止的物体发生转动。力不为零，如果力臂为零，力矩同样为零，这个力也不会使原来静止的物体发生转动，你能举出几个实例吗？

图 1.3-1



### 大家谈

一个力的作用点到转动轴的距离一定，什么情况下这个力的力臂最大？什么情况下这个力的力臂为零？



力矩的单位是由力和力臂的单位决定的。在国际单位制中，力矩的单位是牛米，符号是  $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

力矩可以使原来静止的物体向不同的方向转动。例如，顺时针转动螺母时，螺母向前，逆时针转动螺母时，螺母向后。可见，讨论力矩时，只说明力矩的大小是不够的，还必须说明力矩是顺时针的还是逆时针的。

在图 1.3-2 中，力  $F_1$  的力矩  $M_1$  具有使杠杆向逆时针方向转动的趋势，力  $F_2$  的力矩  $M_2$  则具有使杠杆向顺时针方向转动的趋势。如果这两个力矩的大小相等，杠杆将保持平衡，这就是我们在初中学过的杠杆平衡条件。

**力偶** 在工程实践中，常常可以见到物体受大小相等、方向相反但不共线的两个平行力作用而转动的情况。例如汽车驾驶员双手转动方向盘（图 1.3-3），钳工用攻丝扳手攻螺纹（图 1.3-4），日常生活中用两个手指拧动水龙头，旋转钥匙开门等，都属于这种情况。

力学上把这种大小相等、方向相反、不共线的两个平行力组成的系统，叫做力偶（**couple**）。力偶两个力的作用线间的距离  $d$  叫力偶臂。

由实践可知，组成为力偶的力越大，或力偶臂越大，则力偶使物体发生转动的效应越强；反之，就越弱。这说明力偶的转动效应不仅与两个力的大小有关，两还与与力偶臂的大小有关。因此，我们用力偶中的一个力  $F$  与力偶臂  $d$  的乘积  $F \times d$  来度量力偶对物体的转动效应，称为力偶矩（**moment of couple**），用符号  $M$  表示，即

$$M = F \times d$$

力偶对物体的作用效应与力对物体的作用效应是不同的。原来静止的物体在一个力的作用下可以发生平动，也可以既平动又绕某一轴转动；但一个力偶却只能使原来静止的物体产生转动，而不产生平动。

功的单位是焦，也等于牛米。力矩的单位虽然是牛米，但是不能称为焦！

图 1.3-2

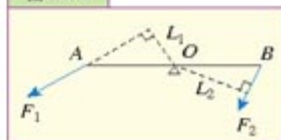
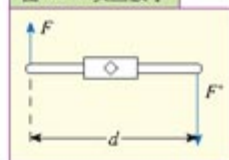


图 1.3-3 操作方向盘



图 1.3-4 攻丝扳手



## 大家做

### 正确使用螺丝刀

我们知道，许多设备都用螺丝紧固，安装时，需要将螺丝旋紧；拆卸时，需要将螺丝放松，用于旋紧或放松螺丝的手用工具，叫做螺丝刀，俗称改锥。

常用的螺丝刀有“一”字和“十”字之分，其刀口尺寸大小不同，以适应不同大小的螺丝（图 1.3-5）。

也许你会说：“谁不会用螺丝刀呀？”不过看完下面关于螺丝刀的使用要求，你也许会改

变看法。

(1) 使用前,应先擦净螺丝刀柄和端口的油污,以免工作时滑脱。

(2) 要根据螺丝的槽口形状和大小选择相应的螺丝刀。螺丝刀口应与螺丝的槽口形状、大小相适应。刀口太厚

则不能嵌入槽口,太薄又容易断裂,这都会损坏螺丝刀和螺丝的槽口。

磁性螺丝刀还可以吸住螺钉,在安装时非常方便,因此有些螺丝刀具有磁性。

(3) 工作时,用手握持螺丝刀,手心抓住柄端,使螺丝刀与丝槽口垂直吻合。开始旋松或最后旋紧时,应用力压紧螺丝刀,同时用力转动螺丝刀。当螺丝旋松后,便可以用手心轻压住螺丝刀柄,以拇指、中指和食指快速转动刀柄。使用较长的螺丝刀时,可用右手压紧和扭转螺丝刀手柄,左手握住螺丝刀柄中部,使其不致滑脱,以确保操作安全。

(4) 使用螺丝刀时,不允许将工件拿在手上用螺丝刀拆装螺丝,以免螺丝刀从槽口滑出伤手。

(5) 不能将螺丝刀当撬棒或凿子使用,不要用锤子敲击螺丝刀柄。

(6) 使用完毕,应将螺丝刀擦拭干净,放回工具箱内。

请根据上面的要求,回家或在课堂上练习正确使用螺丝刀。

图 13-5 不同规格的螺丝刀



甲 “一”字螺丝刀

乙 “十”字螺丝刀



## “神五”浑身都是发动机

“神舟五号”载人飞船在太空中如何实现变轨?一旦出现翻滚,又如何控制它的姿态呢?

“神舟五号”载人飞船不仅在它的下部装有发动机,而且在每个舱段的“身上”还安装着发动机,有切向装的,也有侧向装的,这究竟是为了什么?切向装的发动机主要用来控制载人飞船的姿态。一旦飞船滚动,就启动两个反向的姿态控制发动机,形成一个“力偶”,控制翻滚。飞船如果出现偏航或者俯仰,航天员或者地面指挥中心就可以启动装在载人飞船侧面的偏航发动机,进行复航。

(节选自 2003 年 10 月 17 日 《文汇报》)

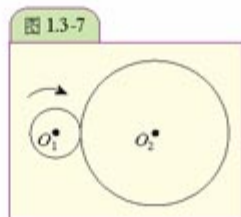
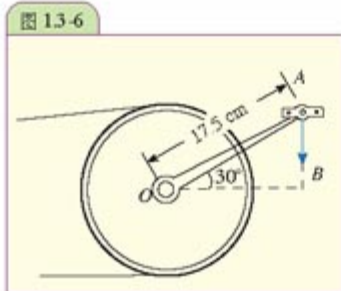
### 问题与练习

1. 如图 13-6 所示, 15 N 的力加在自行车脚踏板上, 方向向下, 轴  $O$  到脚踏板受力点  $A$  的距离是 17.5 cm。这个力对转轴  $O$  的力矩是多大?

2. 图 13-7 是摩擦传动的示意图。主动轮半径为 0.04 m, 从动轮的半径为 0.12 m, 它们接触位置相互摩擦力的大小是 50 N, 求这一对摩擦力对两轮的转轴的力矩。

3. 圆形手表后盖(图1.3-8)的边缘上都对称地设置了6个小方槽,这是为了打开它而设置的。

修表店的师傅有一种专门开启手表后盖的工具。到修表店看一看师傅是怎样将它打开的。说说打开的原理。



## 第 4 节 力矩的平衡条件

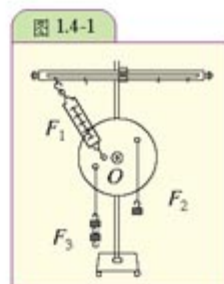
**力矩的平衡条件** 在初中学过的杠杆平衡条件,只牵涉到两个力矩。如果一个有固定转动轴的物体受到几个力矩的作用而处于平衡状态,需要满足什么条件呢?

下面让我们用实验来寻找这个条件。



### 研究力矩的平衡条件

图1.4-1所示的圆盘可以绕通过中心 $O$ 并垂直于盘面的轴转动。装好圆盘,使盘面沿竖直方向,在圆盘上任意选三个位置,各装上一个螺栓,其中两个螺栓上分别悬挂不同数量的钩码,第三个螺栓上用丝线挂一个测力计,测力计的另一端固定在横杆的适当位置。圆盘在三个力 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 的作用下达到平衡。画出三个力的作用线,用三角板量出各个力的力臂 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 。



设计一个表格,把力和力臂的数据填入表内,计算各个力对转动轴 $O$ 的力矩 $M$ ,注意力矩使物体旋转的方向。

改变螺栓的位置和钩码的数量,再做几次实验。你得到了什么结果?

实验表明,使圆盘向顺时针方向转动的力矩 $M_1$ 、 $M_2$ 之和等于使圆盘向逆时针方向转动的力矩 $M_3$ ,即

$$M_1 + M_2 = M_3$$

在圆盘上增加几个力矩, 再做这个实验。可以发现, 如果有多个力矩作用在有固定转动轴的物体上, 当所有使物体向顺时针方向转动的力矩之和等于所有使物体向逆时针方向转动的力矩之和时, 物体将保持平衡。

如果把使物体向逆时针方向转动的力矩定为正力矩, 使物体向顺时针方向转动的力矩定为负力矩, 则上述结果可以表述为: 有固定转动轴的物体的平衡条件是力矩的代数和等于零。即

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots = 0$$

或者

$$M_{\text{合}} = 0$$

作用在物体上几个力的合力矩为零的情形叫做力矩的平衡。

**例** 钢索斜拉桥如图 1.4-2 所示, 均匀水平桥板  $AO$  重为  $G$ , 三根平行钢索与桥面成  $30^\circ$  角, 间距  $AB = BC = CD = DO$ , 若每根钢索受力大小相等, 则每根钢索承受多大的拉力?

**分析:** 桥板可以看做有固定转动轴的物体, 以  $O$  点为转轴。它受到三根钢索的拉力的力矩和桥板重力的力矩的作用。桥板在这些力矩的作用下保持平衡。

**解:** 画出桥板受力的示意图 (图 1.4-3)

由题意有

$$AB = BC = CD = DO = L$$

作出三根钢索拉力  $F$  的力臂  $OH$ 、 $ON$  和  $OE$

$$OH = 0.5OD = 0.5L$$

$$ON = 0.5OC = L$$

$$OM = 0.5OB = 1.5L$$

桥板重力  $G$  的力臂为

$$OC = 2L$$

力矩平衡方程为

$$F \times OH + F \times ON + F \times OM - G \times OC = 0$$

代入各力臂值得

$$F \times 3L - G \times 2L = 0$$

$$F = \frac{2}{3}G$$

图 1.4-2

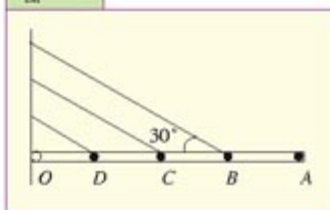
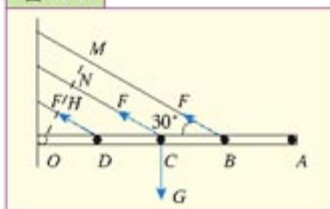


图 1.4-3



### 斜拉桥

在电视、书刊上, 我们经常可以看到造型非常漂亮的斜拉桥 (章首图)。

斜拉桥由主梁、拉紧主梁的斜拉钢索以及支承钢索的索塔等部分组成 (图 1.4-4)。桥梁除了有桥墩支承外, 还被钢索拉着, 这种钢索预先就给桥梁一定的拉力, 车辆通过时, 桥梁的受力就大大减小。因此, 调

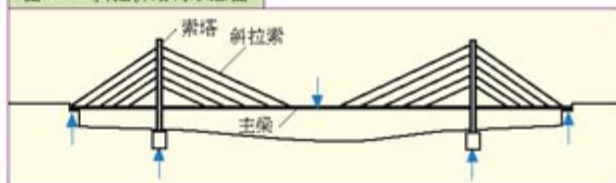
整钢索中的预拉力,可使桥梁受力均匀合理。

斜拉桥在构造上有单塔或双塔、单面索或双面索等形式,索的放射形状也不尽相同。

南京长江二桥是我国目前跨度最大的斜拉桥,于200年3月26日建成。该桥位于原长江大桥下游11km处,全长21.19km,由南、北汉大桥和南岸、八卦洲及北岸引桥组成。其中,南汉大桥为钢箱梁斜拉桥,桥长2938m,主跨度为628m,该跨度目前居同类桥型国内第一,世界第三。

目前世界上已建成的同类桥梁中,最长的是日本的多多罗桥,建于199年,主跨度长890m;正在设计的香港昂船洲大桥,主跨度长1018m。

图 1.4-4 斜拉桥结构示意图



### 问题与练习

1. 如图 1.4-5 所示,起重机悬臂  $AB$  长  $8\text{ m}$ ,受到的重力是  $5000\text{ N}$ ,重心在悬臂中点  $C$ 。 $A$  端以铰链固定,相当于转轴, $B$  端用钢索  $BD$  拉住。在  $B$  端用钢丝绳吊一重物,重物受到的重力是  $15000\text{ N}$ 。当悬臂处于平衡状态时,钢索  $BD$  对悬臂的拉力为多少?

2. 如图 1.4-6 所示,一个厚度均匀的混凝土防雨台被两根钢索斜拉着。已知防雨台质量  $2\text{ t}$ ,  $AB=2OB$ ,若两根钢索拉力相同,钢索所受拉力为多少?

图 1.4-5

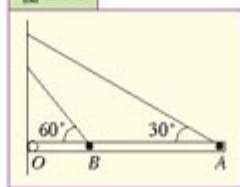
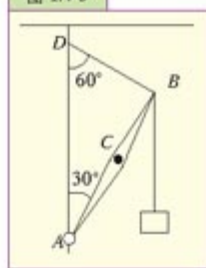


图 1.4-6



## 第 5 节 刚体平衡的条件

我们在前几节分析研究物体在共点力作用下的平衡以及物体的转动平衡时,都没有考虑物体的变形。严格地说,任何物体在力的作用下,都会产生变形。但是,在正常情况下,工程实际中许多物体的变形都非常微小,例如建筑物中的梁,它中央的最大下垂一般只有梁长的

$\frac{1}{250} \sim \frac{1}{600}$ 。这样微小的变形,对于讨论物体的平衡问题影响很小,可以忽略不计。因而在

讨论物体的平衡问题时,可将物体看成是不变形的。

在任何外力作用下,大小和形状不变的物体,称为刚体 (rigid body)。在本章中,我们把所讨论的物体都看做刚体。这样可以大

与质点一样,刚体也是一种理想模型。

大简化计算，其计算结果一般都能满足要求。

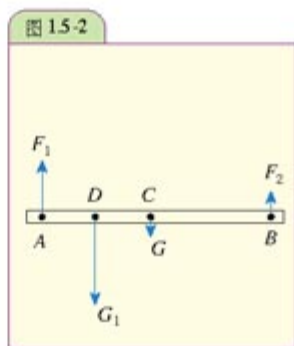
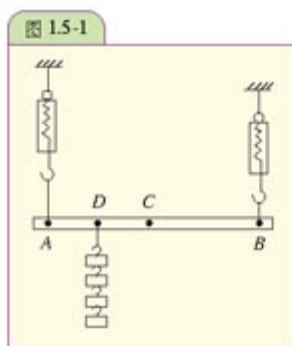
刚体的平衡条件是什么？

下面用实验模拟二人用扁担抬重物的情况，看看扁担平衡需要什么条件。

## 演 示

选用不容易变形的直杆代表扁担。用弹簧测力计测出它自身的重量  $G$ ，再设法测出杆的重心  $C$ 。

用细线拴住杆的  $A$ 、 $B$  两点，把它挂在两个弹簧测力计下面，并在  $D$  处挂 4 个钩码（其总重量  $G_1$ ），如图 1.5-1 所示。调节测力计的高低，使杆在水平方向上平衡。



分别读出两个测力计的读数  $F_1$  和  $F_2$ 。用刻度尺分别测出  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  间的距离。分析此时杆的受力情况。

画出直杆的受力分析示意图（图 1.5-2）

从实验数据可以看出， $F_1 + F_2 = G + G_1$

或  $F_1 + F_2 - G - G_1 = 0$

以  $A$  为转动轴，计算各力对  $A$  轴的力矩的代数和，得到

$$F_2 \times AB - G \times AC - G_1 \times AD = 0$$

若以  $B$  为转动轴，计算各力对  $B$  轴的力矩的代数和，可得到

$$G \times BC + G_1 \times BD - F_1 \times AB = 0$$

上述结果可表述为：刚体平衡的条件是合力为零、合力矩为零。即

$$\Sigma F = 0 \quad \text{和} \quad \Sigma M = 0。$$

○ 例题 1 为了称量汽车的重量，把汽车的前轮压在地秤上（图 1.5-3 甲），测得的结果为  $6.7 \times 10^3 \text{ N}$ ，汽车前后轮之间的距离是  $2.7 \text{ m}$ ，汽车的重心距离后轮  $1.5 \text{ m}$ ，求汽车的重量和后轮对地面的压力。

分析：汽车可以看做刚体，处于平衡状态。受到重力  $G$ 、地秤对前轮支持力  $F_1$  和地面对

转轴改变时，  
同一个力的力矩  
会发生变化。

后轮支持力 $F_2$ 的作用,如图1.5-3乙。根据刚体平衡条件,这三个力的合力为零;若将后轮与地面的接触位置作为转动轴,则汽车受到两个力矩的作用:一个是重力 $G$ 的力矩,另一个是地秤对前轮支持力 $F_1$ 的力矩, $F_1$ 的大小等于汽车前轮压地秤的力,即题中所给的测量结果 $6.7 \times 10^3 \text{ N}$ ,这两个力矩的合力矩也为零。

解:汽车处于平衡状态,选汽车后轮与地面接触的位置为转动轴,合力矩为

$$G \times l - F_1 \times L = 0$$

由此可得

$$G = \frac{F_1 \times L}{l} = \frac{6.7 \times 10^3 \times 2.7}{1.5} \text{ N} = 1.2 \times 10^4 \text{ N}$$

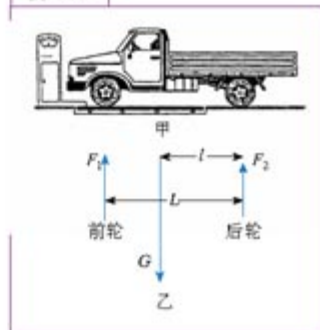
即汽车的重量为 $1.2 \times 10^4 \text{ N}$ 。

再由合力为零,得

$$F_2 = G - F_1 = (1.2 \times 10^4 - 6.7 \times 10^3) \text{ N} = 5.3 \times 10^3 \text{ N}$$

据牛顿第三定律,后轮对地面的压力大小为 $5.3 \times 10^3 \text{ N}$ 。

图 1.5-3



## 大家谈

如果不知道汽车重心的位置,如何才能既方便又快捷地称量汽车的重量?

例2 塔式起重机如图1.5-4所示。机架重 $P = 700 \text{ kN}$ ,重力作用线通过塔架中心。最大起重量 $G = 200 \text{ kN}$ ,最大悬臂长为 $12 \text{ m}$ ,轨道 $AB$ 的间距为 $4 \text{ m}$ 。平衡块重 $W$ ,到机身中心线距离为 $6 \text{ m}$ ,试问:

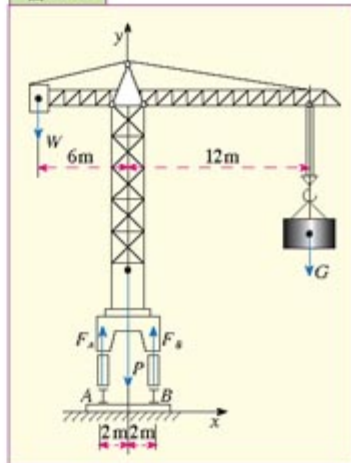
(1) 为保证起重机在满载和空载时都不致翻倒,平衡块的重量 $W$ 应为多少?

(2) 若平衡块重 $W = 180 \text{ kN}$ ,当满载时轨道 $A$ 、 $B$ 给起重机轮子的作用力各为多少?

分析:要使起重机不翻倒,应使作用在起重机上的所有力的力矩满足平衡条件。取起重机为研究对象,起重机所受的力有:被吊物体所受的重力 $G$ ,机架所受的重力 $P$ ,平衡块所受的重力 $W$ ,以及轨道 $A$ 、 $B$ 给起重机轮子的作用力 $F_A$ 和 $F_B$ 。

解:(1) 满载时,为了保证起重机不致绕 $B$ 点翻倒,这些力的力矩必须满足平衡方程 $\sum M_B = 0$ ,即所有外力对 $B$ 点的力矩之和为零。在临界情况下, $F_A = 0$ ,这时求出的 $W$ 值是允许的最小值。由 $\sum M_B = 0$ 得

图 1.5-4



$$W_{\min} \times (6 + 2) + P \times 2 - G \times (12 - 2) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{即 } W_{\min} &= \frac{10G - 2P}{8} \\ &= \frac{10 \times 200 - 2 \times 700}{8} \text{ kN} \\ &= 75 \text{ kN} \end{aligned}$$

空载时  $G = 0$ ，为了保证起重机不致绕  $A$  点翻倒，所受各力的力矩必须满足平衡方程  $\Sigma M_A = 0$ ，即所有外力对  $A$  点的力矩之和为零。在临界情况下， $F_B = 0$ ，这时求出的  $W$  值是所允许的最大值。由  $\Sigma M_A = 0$ ，得

$$W_{\max} \times (6 - 2) - P \times 2 = 0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{即 } W_{\max} &= \frac{2P}{4} \\ &= \frac{2 \times 700}{4} \text{ kN} \\ &= 350 \text{ kN} \end{aligned}$$

要使起重机不翻倒，平衡块的重量应在这两者之间，

即  $75 \text{ kN} < W < 350 \text{ kN}$

(2) 取  $W = 180 \text{ kN}$ ，满载时轮子轨道  $A$ 、 $B$  给起重机的作用力为  $F_A$  和  $F_B$ 。此时，起重机在力  $G$ 、 $P$ 、 $W$  以及  $F_A$  和  $F_B$  的作用下平衡。根据刚体平衡条件

$$\begin{aligned} \Sigma F &= 0 \\ -W - P - G + F_A + F_B &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

取  $A$  点为转动轴，有

$$\begin{aligned} \Sigma M_A &= 0 \\ W \times (6 - 2) - P \times 2 - G \times (12 + 2) + F_B \times 4 &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{由 (4) 式可得 } F_B = \frac{14G + 2P - 4W}{4} = 870 \text{ N}$$

代入 (3) 式得  $F_A = 210 \text{ N}$ 。

## 大家做

### 打出重心来

找一根木棍，把它的两端支撑起来，使其水平，用一根短棒从棍的下方向上打击（图 1.5-5）。如果恰好击中木棍的重心，木棍就保持水平状态向上运动；如果没有击中重心，木棍就一边向上运动，一边转动。用这种方法可以找到重心的位置。你能解释这种现象吗？

图 1.5-5





## 问题与练习

1. 汽车在水平桥上从一端驶向另一端的过程中(图 1.5-6), 桥两端的桥墩受到的压力怎样变化?

2. 甲、乙二人用直棒抬一个重物, 要求甲所承担的压力是乙的两倍, 重物应挂在棒上什么地方?

如果要求二人承担的压力相等, 重物应挂在棒上什么地方? (棒的重量不计)

3. 手边只有一个面积不大但称量够大的台秤, 现想用这个台秤称一根较长且不均匀的圆木的重量, 你有什么好办法吗?

图 1.5-6



## 第 6 节 物体平衡的稳定性

**平衡的种类** 你看过走钢丝的杂技表演吗?

你玩过不倒翁吗? 钢丝上的杂技演员、儿童玩的不倒翁都是在重力和支持力的作用下处于平衡状态, 但是钢丝上的演员稍有不慎就会摔下来, 不倒翁扳倒后会自动立起来。可见, 平衡也是有区别的。那么平衡有哪些种类呢?

图 1.6-2 不倒翁



如果照图 1.6-3 甲那样, 把木条一端的小孔套在水平轴  $O$  上, 把木条从平衡位置稍微移开一点, 重心  $C$  的位置升高, 重力对轴  $O$  的力矩就会使它回到原来的平衡位置, 这种平衡叫做稳定平衡 (stable equilibrium)。

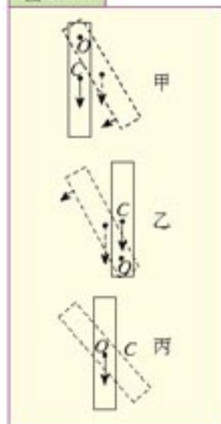
如果照图 1.5-3 乙那样, 使木条的重心恰好在水平轴的正上方, 木条处于平衡状态。把木条从平衡位置稍微移开一点, 重心  $C$  的位置降低, 重力对轴  $O$  的力矩就会使它继续远离平衡位置, 这种平衡叫做不稳定平衡 (unstable equilibrium)。

如果照图 1.6-3 丙那样, 把木条重心  $C$  处的小孔套在轴  $O$  上, 这时无论你把木条放在什么位置, 它都能保持平衡。这是因为无论木条处在什么位置, 重心  $C$  的位置都没有改变, 重力对轴  $O$  的力矩始终为

图 1.6-1 走钢丝



图 1.6-3



零的缘故。这种平衡叫做随遇平衡 (indifferent equilibrium)。

可见,物体在重力和支持力作用下的平衡可以分为稳定平衡、不稳定平衡和随遇平衡。当物体稍微偏离平衡位置时,如果重心升高,物体的平衡就是稳定平衡;如果重心降低,就是不稳定平衡;如果重心的高度不变,就是随遇平衡。

不倒翁的底部是较重的泥块或铁块,上部是空的,竖立的时候它的重心位置最低,无论怎样扳动它,它的重心都要升高,所以总会自动立起来。

体操运动员在平衡木上(图 1.6-4)常能通过自身的调整处于不稳定平衡,她们正是凭借这种高超技艺,赢得了观众的阵阵掌声。

机器上高速旋转的部件,如电动机的转子、汽轮机的叶轮,都必须调整为随遇平衡,不然运转起来就会产生振动,使机器损坏。

图 1.6-4 平衡木



## 大家做

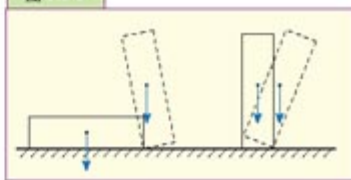
### 体育运动中的平衡

在体育运动中,如体操、技巧、花样滑冰、跳水等运动项目中,运动员的动作哪些属于稳定平衡?哪些属于不稳定平衡?

**稳度** 平放的砖和竖放的砖都处于稳定平衡状态,稍微离开平衡位置,重心都升高,但是它们的稳定程度不同。竖放的砖容易翻倒,而平放的砖不容易翻倒。我们把物体的稳定程度叫做稳度。

从图 1.6-5 可以看出,平放的砖重心低、面积大,只有使它偏转很大的角度,它的重力作用线才会超出支持面,使砖向外翻倒。竖放的砖重心高、底面积小,只要偏转不大的角度,重力作用线就会超出支持面,使砖翻倒。可见,物体的重心越低,底面积越大,稳度越大。

图 1.6-5



在体育运动中,有时必须在一定的方向上保证最大的稳定性(如摔跤中的站立),往往采用马步或弓箭步(图 1.6-6)。有时则相反,必须获得迅速破坏平衡的稳定性(如起跑)。为此,身体应采取适当的姿势,使重力作用线相应地超出支承面边界,并改变身体重心的高度(图 1.6-7)。

图 1.6-6 武术中的仆步



图 1.6-7 起跑



同样,建筑物的重力作用线不能超出支承面边界,否则就有倾倒的危险。但是世界上有一个建筑恰恰是以它的危险和倾斜而著名的,

这就是意大利的比萨斜塔(图1.6-8)。这座始建于1174年的比萨斜塔,在1990年因面临倒塌的危险而被迫关闭。2001年,比萨斜塔经过11年的修复,终于被“扶正”了。参与该项工作的工程师说,斜塔在未来300年内不会倒塌。

增大物体的稳度有重要的实际意义。为了增大物体的稳度,既可以增大底面的面积,也可以降低重心的高度,还可以同时增大底面面积和降低重心的高度。实验用的天平安置在一个底面面积较大而又较重的底座上,实验用的铁架台有一个面积较大的铸铁座,照相机安放在支撑面相当大的三脚架上,高压输电线的铁塔有一个很大的支撑面,拖拉机车轮之间的距离较大,而F1赛车(图1.6-9)不仅车轮之间的距离很大,而且重心很低。这些都是为了增大物体的稳度。

图1.6-9 F1赛车



图1.6-8 比萨斜塔



面积较大而又较重的底座上,实验用的铁架台有一个面积较大的铸铁座,照相机安放在支撑面相当大的三脚架上,高压输电线的铁塔有一个很大的支撑面,拖拉机车轮之间的距离较大,而F1赛车(图1.6-9)不仅车轮之间的距离很大,而且重心很低。这些都是为了增大物体的稳度。

## 大家做

### 自制不倒翁

设法用鸡蛋壳、废旧乒乓球、橡皮泥、石膏粉等物品制作一个不倒翁,再加以美化,制作完成后,在教室里搞一个小展览。



### 开平碉楼斜过比萨斜塔

在广东省开平市蚬冈镇,有一座于苍桑岁月中屹立不倒的斜碉楼(图1.6-10)。据了解,该楼的倾斜角度达15°,楼的中心线的最高处偏离2m多,倾斜程度超过了大名鼎鼎的比萨斜塔。让人惊讶的是,这座向东南倾斜的碉楼,人走得越近越觉得倾斜,走到碉楼边更觉得好像它快要倒塌下来一般。尽管斜碉楼建成已有百年,并历经了台风、地震,却依然安然无恙。

令人叫绝的是,目前该楼仍以每年2cm的速度继续向东南方向倾斜,尽管从来没有进行过一次修缮,但它始终顽强地倾斜着身子在村子的北门巍然屹立。

图1.6-10 开平碉楼



## 问题与练习

1. 如图 1.6-11 所示, 试说明跳棋子以不同方式放置在桌面上时, 各属于哪类平衡。

2. 公共汽车的制造标准是, 倾斜  $30^\circ$  也不至于翻倒, 若车轮间距离为  $2\text{ m}$ , 则车身重心高出地面应不超过多少米?

3. 观察并分析下列物体是采用什么方法使其具有较大稳度的?

- ① 落地式电扇
- ② 台灯
- ③ 汽车起重机

图 1.6-11 跳棋子



## 第 2 章

# 材料与结构



上海体育场

在上一章，我们利用力及力矩平衡的条件来解决物体平衡的问题时，把研究的物体都看成刚体。但是，实际物体在力的作用下，都会发生大小和形状的改变，即发生形变。当讨论物体受到力的作用后会不会破坏时，形变大小就是一个主要因素。在工程设计中，必须考虑材料的形变问题。因此，我们必须研究物体在外力作用下的形变特点，以便把学到的力学知识用于实际工作。

# 第 1 节 物体的形变

物体在力的作用下,会发生大小和形状的改变,即发生形变 (**deformation**)。作用在物体上的力的方式不同,物体发生形变的方式也不同。

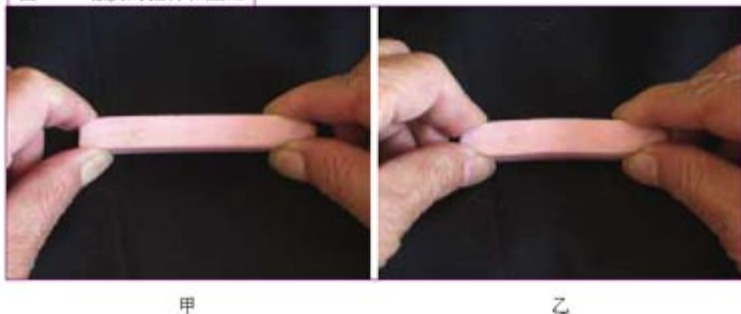
**拉伸和压缩形变** 在物体的各种形变中,最常见的是拉伸和压缩形变。

## 大家做

### 条形橡皮的拉伸和压缩

用双手拉和压条形橡皮(图 2.1-1),看看条形橡皮的形状有什么变化?

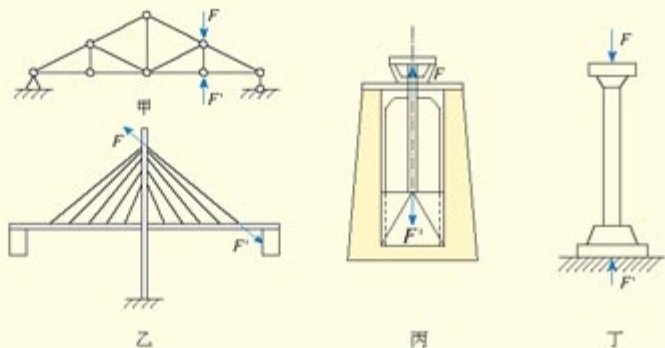
图 2.1-1 橡皮的拉伸和压缩



从观察到的现象可以知道,沿橡皮轴线作用一对大小相等、方向相反的外力,橡皮将发生伸长或缩短变形,这种变形称为拉伸形变 (**stretch deformation**) 或压缩形变 (**compression deformation**)。

工程中有很多物体受轴向力作用而产生拉伸或压缩形变。例如房架中的杆件(图 2.1-2 甲)、斜拉桥中的拉索(图 2.1-2 乙)、螺旋起重装置上的螺杆(图 2.1-2 丙)、建筑物中的支柱(图 2.1-2 丁)等,都发生拉伸或压缩形变。

图 2.1-2



**剪切形变、扭转变形和弯曲形变** 物体的形变除了拉伸和压缩，还有剪切、扭转和弯曲。

我们常常使用剪刀、裁纸刀(图 2.1-3)来剪断物体；建筑工地上，工人们常使用切割机来切断钢筋。这些都是剪切形变的典型例子。那么，物体受到什么样的力才会被剪断呢？

图 2.1-3 裁纸刀



图 2.1-4

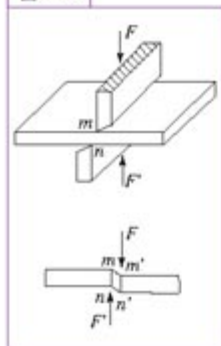
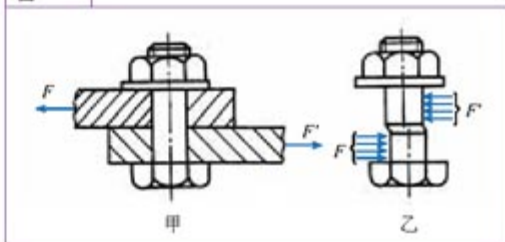


图 2.1-4 所示是在剪床上剪切钢板的示意图。剪床的上、下两个刀刃以大小相等、方向相反、作用线间距很小的两个力  $F$ 、 $F'$  作用在钢板上，迫使钢板在两个力之间的横断面  $mn$  处发生相对错动，直至最后被剪断。

这种构件承受垂直于轴线的一对大小相等、方向相反、作用线平行且距离很近的力的作用时，两个力之间的横截面沿外力方向发生相对错动的变形称为剪切形变 (shear deformation)。产生相对错动的截面称为剪切面。剪切面总是与外力作用线平行，且位于方向相反的两外力作用线之间。

如图 2.1-5 甲所示，连接两块钢板的螺栓，其所受外力垂直于螺栓轴线，螺栓上半部分与下半部分受到方向相反的两个力，当两个力足够大时，螺栓将发生上、下相对错动的变形(图 2.1-5 乙)。同理，大桥上连接两块钢板的铆钉也属于承受剪切的构件。

图 2.1-5



## 大家做

### 条形橡皮的扭转

双手用力使条形橡皮扭转(图 2.1-6)，左右手的手指所施的力有什么特点？

图 2.1-6 橡皮被扭转



从上面的实验知道，右手的手指对橡皮施加一个力偶，力偶中两个力所在的平面跟橡皮的轴线垂直；同时左手的手指对橡皮也施加一个力偶，这个力偶的方向跟前一个力偶相反。橡皮由于受到这两个力偶的作用，它的任意两个截面都将绕轴线发生相对转动。

当物体在两端受到一对大小相等、方向相反、作用面都垂直于物体的轴线的力偶作用时，物体的各横截面绕轴线发生相对转动，这种形变称为扭转变形 (torsion deformation)。

在生活和生产实际中,物体发生扭转变形的情况是很多的,例如用螺丝刀转动螺丝钉时螺丝刀和螺丝钉的形变、转动方向盘时方向盘轴的形变、螺旋桨转动时它的轴的形变、汽车传动轴的形变等。

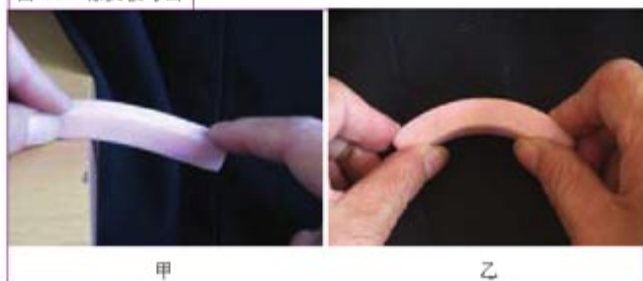
## 大家做

### 条形橡皮的弯曲

1. 左手将条形橡皮一端按在桌子边,右手在橡皮另一端向下按(图2.1-7甲),两手所施的力有什么特点?

2. 双手用力使条形橡皮弯曲(图2.1-7乙),两手所施的力有什么特点?

图2.1-7 橡皮被弯曲



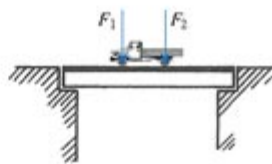
从实验中可以看到,当橡皮受到垂直于橡皮轴线的力的作用时,橡皮的轴线由直线变成曲线,这种变形叫弯曲形变 (**bending deformation**)。

在生活和生产实际中,弯曲形变的事例很多。例如,体操运动员做单杠表演时,单杠的横杠发生弯曲;汽车通过桥梁时,桥梁发生弯曲;房屋建筑中的楼面梁、阳台挑梁受到楼面重量和梁自重的作用,也发生弯曲(图2.1-8)。

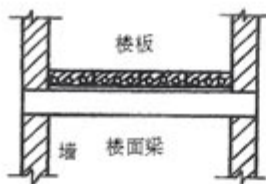
图2.1-8



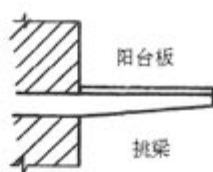
甲 运动员做单杠表演



乙 汽车过桥梁



丙



丁



## 纸桥设计比赛

要求：设法用“90克”或更厚的A4纸做一个跨度为15 cm的桥，不能用胶水连接。在桥的中央放置砝码，加放砝码质量越大的桥名次越高。

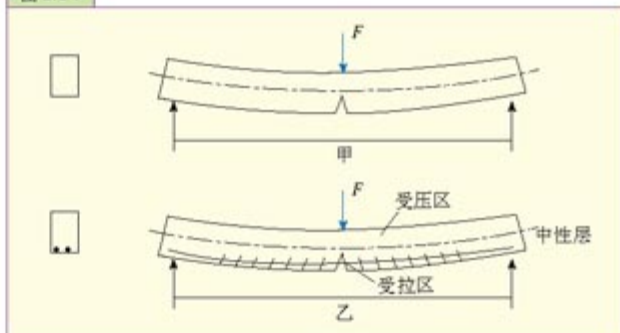


## 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种受力性能完全不同的材料所组成的。混凝土的抗压能力较强而抗拉能力很弱，钢材的抗拉和抗压能力都很强，这两种材料如何结合在一起共同工作呢？

钢筋混凝土梁与纯混凝土梁的比较如图2.1-9所示，在外力作用下，梁在中性层以上部分承受压力，中性层以下部分承受拉力。当采用纯混凝土梁时，由于混凝土抗拉强度很低，在外力不大时，混凝土梁的受拉区就已经开裂（图2.1-9甲），这种裂缝一旦出现将迅速向上扩展，使梁很快断裂；而此时，梁的受压区混凝土的抗压强度还远远未能被充分利用。梁的破坏与否完全决定于混凝土的抗拉强度，若将

图 2.1-9

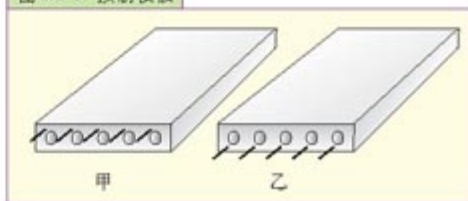


纯混凝土梁用于工程中，梁的截面积势必很大，造成浪费，既不经济又不合理。并且，这种梁受破坏很突然，没有预兆，这是一种脆性破坏，为了克服这一严重缺点，人们在混凝土梁的受拉区配置抗拉强度很高的钢筋，以承担拉力（图2.1-9乙），从而使钢筋混凝土梁的承载能力比纯混凝土梁的承载能力大大提高。这样，钢筋和混凝土两种材料的强度特性均得到了较充分的利用。此外，在受压混凝土构件中配置抗压强度较高的钢筋，也可协助混凝土承受压力，提高混凝土柱的承载能力。

## 问题与练习

1. 请你说一说在日常生活和生产实际中，还有哪些形变的例子，并说出是哪种形变。
2. 办公用品店有一种在纸上打孔的器械。观察它的结构，说说它为什么能打出孔来。
3. 地面有两块钢筋混凝土预制楼板（图2.1-10）。盖房子时，应按甲的方式还是按乙的方式吊装。为什么？

图 2.1-10 预制楼板



## 第 2 节 弹性形变与范性形变

**弹性形变** 物体在外力的作用下会发生形变,当外力撤销后有些物体可以恢复到原来的形状。物体这种能消除由外力引起的形变的性能,称为弹性 (**elasticity**),外力去除后,形变完全消失的现象叫**弹性形变 (elastic deformation)**。

在日常生活和工程实际中,弹性形变的情形很多。在弹性限度内,橡皮筋的形变是最明显的弹性形变的例子。上课时我们坐在凳子上,凳子也要发生弹性形变,只不过形变很小,用肉眼觉察不到罢了。必修 1 中学过的弹力,就是由材料的弹性形变引起的。

**范性形变** 有些情况下当外力去除后,物体不能恢复原来的形状。外力去除后,物体遗留下的形变称为**范性形变 (plastic deformation)** 或**塑性形变**。材料的这种能产生范性形变的性能称为**范性 (plasticity)** 或**塑性**。

在日常生活和工程实际中,范性形变的情形也很多。例如,橡皮泥在拉伸(或压缩)时,外力去除后不能恢复原来的形状。工厂中的锻压金属工件(图 2.2-1 甲),陶瓷坯体的成型(图 2.2-1 乙)等等,都是利用了材料的范性。

**塑性成型** 材料在弹性范围内的形变较小,而塑性形变时,形变十分显著,常常会使工件不能正常工作。所以,工程中一般都把物体的形变限制在弹性范围内,要求材料有较高的强度。但是,在材料加工时,又要求材料有一定的塑性。

除金属材料外,还有很多材料具有塑性形变的性质。某些在常温下难以发生塑性形变的脆性材料,在高温下则表现出良好的塑性。与非金属材料相比,金属材料的塑性形变能力都比较强,因而更广泛地用于塑性成型。

图 2.2-1



甲 水压机正在锻压工件



乙 陶瓷坯体成型

图 2.2-2 热轧带钢生产线



塑性成型主要方法有锻造、板料冲压、轧制(图 2.2-2)、挤压、拉拔等。

塑性成型是金属加工的一种重要工艺方法,它不仅生产效率高、原材料消耗少,而且可以有效地改善金属材料的力学性质和组织。因而,塑性成型作为制造业的一个重要分支,广泛地用于工业制造中。据统计,全世界 75% 的钢材经过塑性成型;在汽车行业,生产锻件和冲压件的数量占零件总数的 60% 以上;在冶金、航空、船舶和军工等行业,塑性成型也都占有相当比重。

## 问题与练习

1. 请你举出几个生活中应用弹性形变的例子。
2. 到附近工厂参观，了解塑性成形中锻造、板料冲压、挤压、拉拔等生产过程。

## 第 3 节 常见承重结构

**梁** 梁是建筑中结构最基本、应用最广泛的构件之一。梁的制作简单，在中小跨度建筑中得到了大量的应用。梁按材料分类有石梁、木梁、钢梁、钢筋混凝土梁等。

在古代大量的石建筑中，石梁(石板)得到了大量的应用，其跨度最大8~9m。石材尽管抗压强度很高，但是抗拉强度却很低，所以石梁一般都比较厚，跨度也不能太大。

木梁在我国古代的庙宇、宫殿中应用极为普遍，直至近代仍有较多应用。北京故宫太和殿，中间的木梁跨度约11m。虽然木材自重小，抗拉、抗压强度都比较高，但木材防腐、防蛀、防火性能差，且资源有限，因此现代建筑中使用较少。

图 2.3-1



甲 石梁桥



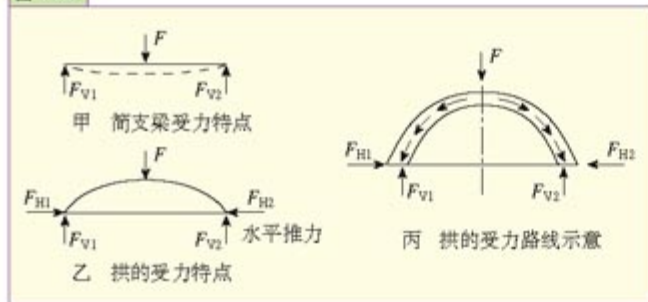
乙 故宫太和殿

钢梁的材料强度高、施工方便、适用范围广。尽管钢材密度较大，但由于材料强度高，所以相同要求下，钢梁的自重比混凝土梁小得多。但钢材防腐性能较差，造价和维修费用较高。

钢筋混凝土梁是目前应用最为广泛的梁，具有构造简单、施工方便、造价低廉等优点，缺点是自重大。

**拱** 在房屋建筑和桥梁工程中，拱是广泛应用的一种结构。从图 2.3-2 可以看出，梁在外力  $F$  的作用下，要向下弯曲；而拱在同样外力作用下，拱脚支座能够产生水平推力  $F_H$ ，从而提高了拱的抗压能力。

图 2.3-2



由于拱结构受力性能较好，能够较充分地利用材料强度，因此可以用混凝土、钢筋混凝土、木和钢等多种材料制作。

在拱结构方面，我国劳动人民有很多优秀的创造，河北省赵县的赵州桥就是一座石拱桥，它的跨度达 37 m(图 2.3-3)。

拱结构不仅受力性能较好，

而且样式多，尤其适用于较大跨度的建筑，如展览馆、体育馆、商场等公共建筑(图 2.3-4)。拱结构的形式有利于丰富建筑的形象，因此也是建筑师比较欢迎的一种结构型式。

图 2.3-3 建于隋炀帝大业年间(605~616年)的赵州桥，至今已有 1300 年的历史，是世界上仍然在用的最古老的石拱桥。

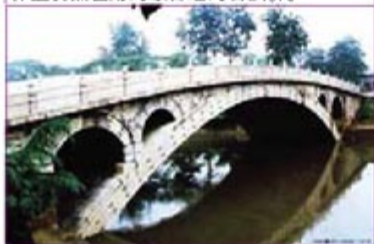
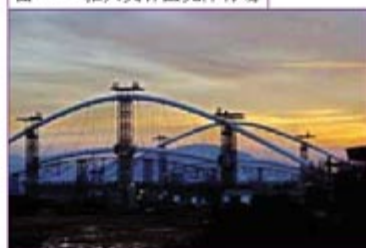


图 2.3-4 雅典奥林匹克体育场



### 桁架

桁架是由若干杆件在杆的两端用铰链联结而成的几何形状不变的结构(图 2.3-5)，具有与梁完全不同的受力性能。与梁相比，桁架的用料较省，是大跨度建筑常用的一种结构。

桁架多用钢材、木材或钢筋混凝土制作，其受力合理、计算简单、施工方便、适应性强，对支座没有横向推力，因而在

图 2.3-5 各种形式的桁架

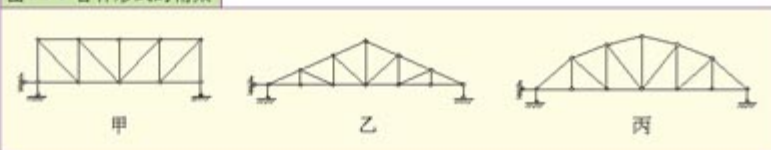
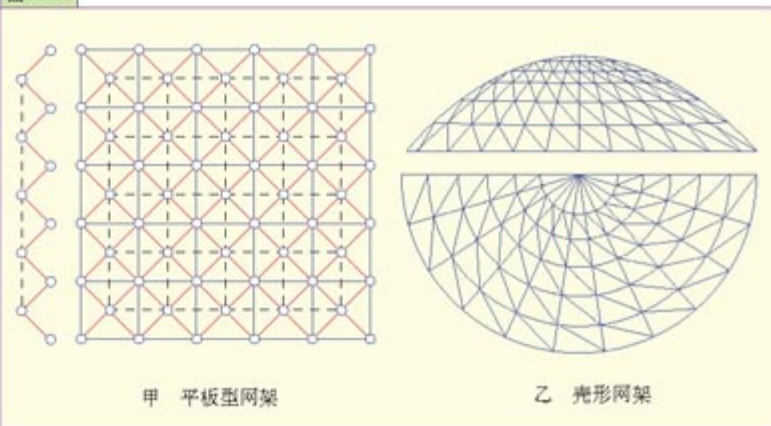


图 2.3-6



结构工程中得到了广泛的应用。在房屋建筑中，桁架常用来作为屋盖承重结构，这时常称为屋架。

**网架** 网架是一种新型结构。它是由许多杆件按照一定规律组成的网状结构。网架结构按外形可分为平板型网架和壳形网架(图 2.3-6)。它可以是单层的,也可以是双层的。平板网架都是双层的,壳形网架则有单层、双层、单曲、双曲等各种形状。

网架结构的杆件多采用钢管或角钢制作,结点多为空心球结点或钢板焊接结点。现在,钢筋混凝土参与到网架结构中,形成了混凝土组合网架结构,在工程中也得到了应用。

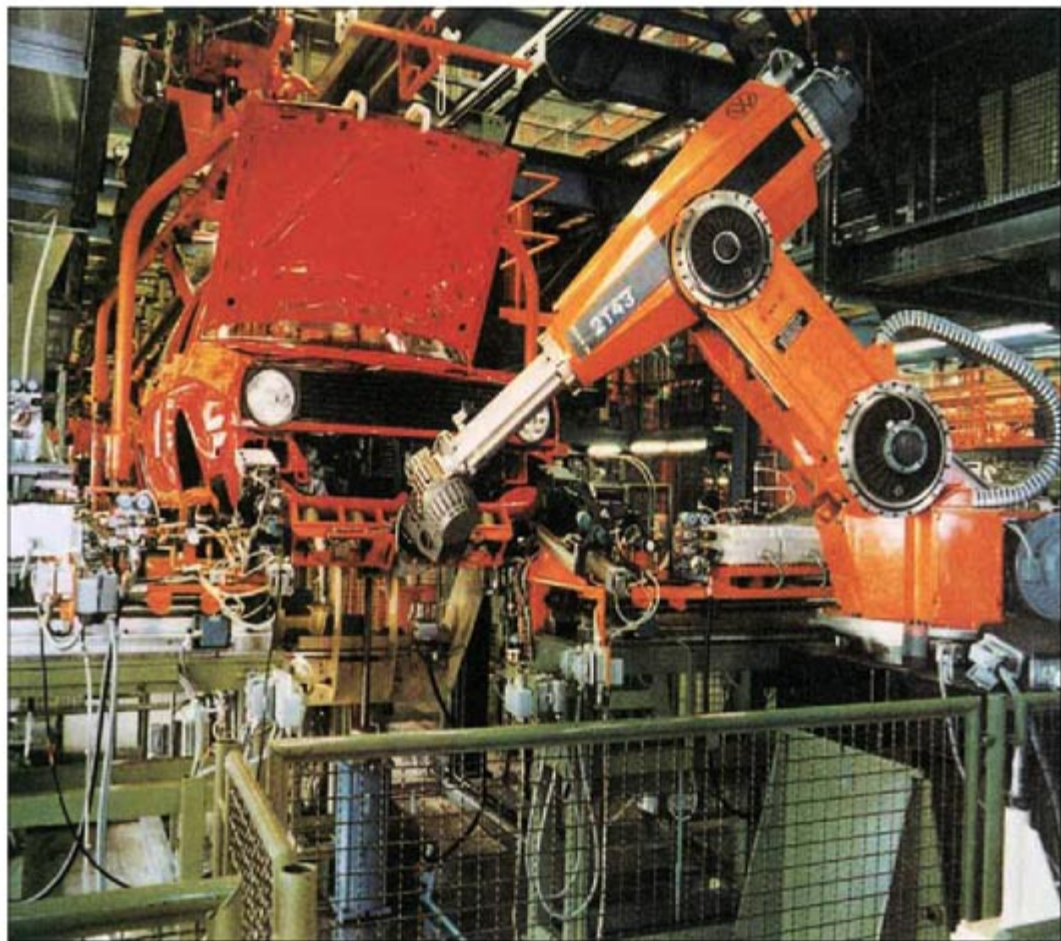
网架结构的整体性强、受力性能好、材料省、自重轻、制作精度高、施工简便。它多用于跨度大,建筑造型独特的大型展览馆、体育馆、仓库、大型厂房及各类艺术性建筑等。

图 2.3-7 网架结构车站



# 第 3 章

## 机械与传动装置



汽车生产线

机械的使用十分普遍。上天的飞船，入地的钻井机，大至航空母舰，小到微型机器人，到处都有机械。至于汽车、洗衣机、钟表这些机械，则天天在为我们服务。我们使用的各种物品，也几乎都是使用机械加工而成的。这一章我们就来学习机械的有关知识。

## 第 1 节 常见的传动装置

传动装置对我们并不陌生。在我们的生活中，常见的传动装置有自行车中的链传动，施工机械中的带传动和齿轮传动（图 3.1-1），自卸载货汽车的液压传动等。

图 3.1-1 各种传动装置



### 大家谈

谈谈你所见到的传动装置，这些装置各有什么作用？各有什么优缺点？

**齿轮传动** 齿轮传动是指主动轮与从动轮的轮齿直接啮合的传动装置。

### 思考与讨论

#### 转速与齿数的关系

数一数齿轮传动模型（图 3.1-2）的主动轮和从动轮的齿数，摇动摇柄，观察主动轮是如何通过轮齿的啮合传递动力的。

当从动轮旋转一周时，看看主动轮转过几周。这与齿轮齿数有什么关系？

图 3.1-2 齿轮传动模型

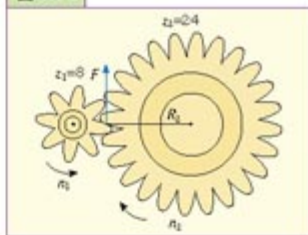


如图 3.1-3 所示，当主动轮转动时，轮上的齿给从动轮的齿一个力  $F$ ，这个力对从动轮的轴产生力矩  $F \times R_2$ ，使从动轮转动。

可见，齿轮传动是靠均匀分布于轮上的齿的逐对接触来传递动力的。

那么，齿轮的转速跟齿数有什么关系呢？

图 3.1.3



设主动轮齿数为 $z_1$ ，其转动周期为 $T_1$ ；从动轮齿数为 $z_2$ ，其转动周期为 $T_2$ 。在相同的时间内，两轮转过的齿数应该相等，故有

$$\frac{z_2}{T_2} = \frac{z_1}{T_1}$$

即

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

另外，如果 $n_1$ 表示主动轮的转速， $n_2$ 表示从动轮的转速，那么

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

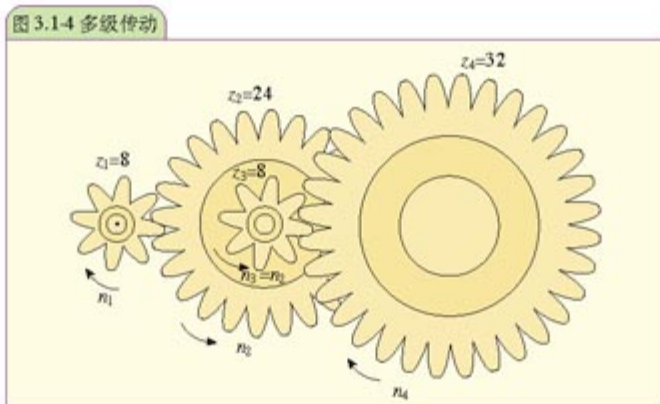
于是得到

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

也就是说，主动轮与从动轮的转速与两轮的齿数成反比。我们把 $\frac{n_1}{n_2}$ 叫做传动装置的传动比或转速比，用符号 $i_{12}$ 表示。在图3.1-3中， $z_1=8$ 、 $z_2=24$ ，所以传动比是 $i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{24}{8} = 3$ ，即主动轮每转3周，从动轮转1周。

为了提高传动比，可以采用多级传动。图3.1-4中， $z_1=8$ 、 $z_2=24$ 、 $z_3=8$ 、 $z_4=32$ ，所以第一级传动比为

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{24}{8} = 3$$



第二级传动比为

$$i_{34} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{32}{8} = 4$$



由于  $z_2$  和  $z_3$  共轴，转速相同，有

$$n_2 = n_3$$

所以多级传动比为

$$i_{14} = \frac{n_1}{n_4} = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{n_3}{n_4} = 3 \times 4 = 12。$$

## 大家谈

### 钟表的齿轮传动比

在钟表中，秒针轮与分针轮的传动比、分针轮与时针轮的传动比各应多大？可以通过什么方法实现？

不同的齿轮传动类型可以实现不同的运动转变。

图 3.1-5



(1) 齿轮齿条传动（图 3.1-5 甲）可以实现平动和转动的转变。例如，电脑上的光盘驱动器，其光盘托架的进出，就是运用齿轮齿条传动实现的。

(2) 锥齿轮传动用于相交轴间的传动（图 3.1-5 乙）。例如，手摇钻可以将垂直平面的转动变为水平面的转动，便于操作。

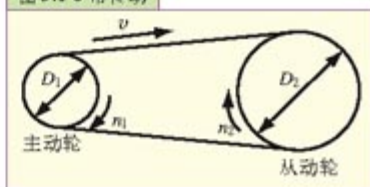
(3) 交错轴斜齿轮传动用于两轴线既不平行也不相交的情况（图 3.1-5 丙）。

在所有机械传动中，齿轮传动应用最广，其特点是：传动平稳、传动比精确、效率高、寿命长，传递功率可以到十几万千瓦，速度最高可达 300 r/s，齿轮直径可以从几毫米到二十多米，但制造工艺复杂，噪声较大。

**带传动** 带传动由主动轮、从动轮和传动带组成（图 3.1-6）。

设主动轮的直径为  $D_1$ ，其转速为  $n_1$ ；从动轮的直径为  $D_2$ ，其转速为  $n_2$ 。假设带与轮之间没有相对滑动，两轮边缘的线速度与传动带的速度  $v$  相等，则有

图 3.1-6 带传动



$$\pi n_1 D_1 = \pi n_2 D_2$$

可得

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

可见，带传动的传动比跟两轮的直径成反比。

带传动的特点是：结构简单、传动平稳和噪声较低，由于过载时发生打滑，所以有保护作用，但是传动比不准确。带传动适用于两轴距离较远、传动比要求不高的场合。

### 大家谈

观察自行车，数一数链轮的齿数，看看链传动的传动比与哪些因素有关。

观察变速自行车的多级链轮，看看这种自行车是怎样实现多级变速的。

为什么自行车不采用齿轮传动和带传动，而采用链传动？比较齿轮传动、带传动和链传动的优缺点。

### 大家做

#### 组装电子闹钟

器材：电子闹钟套件

要求：

1. 阅读组装说明书，了解各个部件的作用以及组装要求；
2. 重点观察电子闹钟的齿轮，分析这些齿轮是如何组合满足传动比的要求的；
3. 按要求组装并调整电子闹钟。

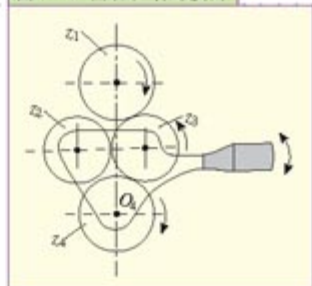
图 3.1-7 电子闹钟



### 问题与练习

1. 有一种十挡变速的自行车，变速系统由两个大齿盘组成的齿盘组和 5 个齿轮组成的飞轮组所构成。两个大齿盘的齿数各为 50 和 32，而飞轮上不同齿轮的齿数分别为 14、17、20、24 与 28。分别求出十个挡位的传动比。
2. 图 3.1-8 是齿轮传动的换向装置。 $z_1$  是主动轮，当手柄在如图所示的位置时， $z_4$  跟  $z_1$  的转向相同。扳动手柄，使

图 3.1-8 齿轮传动的换向



架子绕  $O_4$  沿顺时针方向摆动, 从而  $z_2$  与  $z_1$  接触, 而  $z_3$  与  $z_4$  分离。分析这时  $z_4$  的转动方向。

3. 观察办公用的修正带 (图 3.1-9), 说一说它里面有哪些传动装置, 各起到什么作用。

4. 教室中的投影仪、生物实验室的显微镜上都有齿轮齿条传动装置, 观察后说说它们的作用。

图 3.1-9 修正带



## 第 2 节 能自锁的传动装置

**螺旋传动** 螺旋传动是利用螺杆和螺母组成的系统来实现传动要求的。它主要将转动变为平动, 同时传递动力。

当螺杆转动时, 螺母会在螺杆上平动。这种传动常用于机床的进给机构 (图 3.2-1)。活扳手也是将螺杆的转动变为卡块的平动的。

当螺母固定时, 转动螺杆, 螺杆会在螺母上平动。这种形式常用于螺旋千斤顶 (图 3.2-3)。当转动手柄一圈时, 重物升高一个螺距  $h$ 。

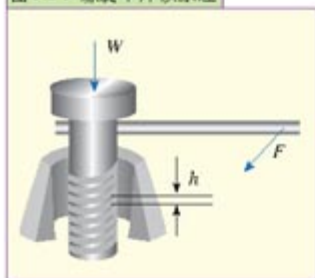
图 3.2-1 机床的进给机构



图 3.2-2 活扳手



图 3.2-3 螺旋千斤顶原理



由第 1 章第 1 节可知, 螺旋的自锁条件是螺纹升角  $\alpha < \theta$ , 如果螺杆与螺母的静摩擦因数  $\mu_0 = 0.1$ , 则  $\theta$  为  $5^\circ 43'$ 。为保证螺旋千斤顶自锁, 一般取螺纹升角  $\alpha = 4^\circ \sim 4^\circ 43'$ 。

螺旋的结构简单, 制造方便, 易于自锁, 但摩擦

力大, 传动效率低、磨损快。

**蜗杆传动** 蜗杆传动装置 (图 3.2-4) 由蜗轮和蜗杆组成, 用于传递空间交错的两轴之间的运动和动力, 通常两轴间的交错角为  $90^\circ$ 。

图 3.2-4 蜗杆和蜗轮



前面学过,交错轴斜齿轮传动也能做到两轴空间垂直交叉,但是,齿轮传动的传动比不大。蜗杆传动装置中,蜗杆转动一周,蜗轮才转过一个齿,只要蜗轮齿数很多,传动比可以很大。

与齿轮传动相比,蜗杆传动的主要优点是:

- (1) 结构紧凑,传动比大。传动比一般为8~80,最高可达1000;
- (2) 由于蜗杆齿连续不断地与蜗轮齿啮合,所以传动平稳、噪声小;
- (3) 在一定条件下,可以自锁,有安全保护作用。

蜗杆传动的主要缺点是摩擦大,传动效率低。

**变速器** 在实际的机器中,都装有变速器,以提供多种转速来适应不同的要求。例如,汽车的变速器(图3.2-5)有前进挡、倒挡和空挡。前进挡中又有低速挡、中速挡和高速挡。

图3.2-5 轿车手动5挡变速箱



图3.2-6 铣床主轴箱传动示意图

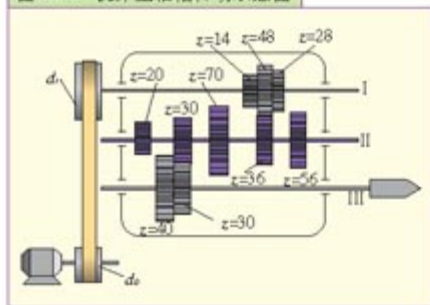


图3.2-6为

某种铣床主轴箱传动示意图。箱外有一个带传动装置使I轴转动。箱内II轴装有5个固定齿轮, I轴装有一个三联滑移齿轮, III轴装有一个双联滑移齿轮。用拨叉分别移动这两组滑移齿轮,在III轴上可以得到6种转速。

从图中看出, I轴和II轴之间可以得到的传动

比分别为  $\frac{70}{14} = 5$ 、 $\frac{36}{48} = 0.75$  和  $\frac{56}{28} = 2$ ; II轴和III

轴之间可以得到的传动比分别为  $\frac{30}{30} = 1$  和  $\frac{40}{20} = 2$ 。因此, I轴和III轴之间可以得到6种传动比分别为5、0.75、2和10、1.5、4。

## 大家谈

观察如图3.2-所示的铣床主轴箱传动示意图,说说铣床主轴箱在III轴上怎样得到6种转速?汽车变速器的倒挡是和空挡怎样实现的?



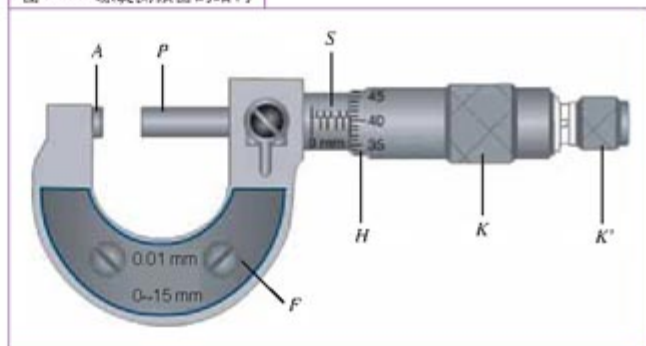
## 把微小平动转化为大范围转动 ——螺旋测微器的原理

一根头发,只有百分之几毫米粗,能直接测出它的直径吗?普通的毫米刻度尺难以胜任,用螺旋测微

器则轻而易举。

螺旋测微器又叫千分尺，它的测量精度很高，能测出百分之一毫米的长度。图3.2-7是它的结构图，图中A是圆柱形钢质小砧，固定在半圆形的框架F上，端面很平；P是测微螺杆，端面也很平，被测物体放在A、P之间。刻度尺S是套在测微螺杆P外面的一根套管，并跟框架F固定在一起。大旋钮K、小旋钮K'（又称微调旋钮），可动刻度套筒H及测微螺杆P连在一起，通过精密螺纹装配在刻度尺S上。旋转K或K'时，H和P一起旋转，同时前进或后退。粗调时用K，细调时用K'。

图 3.2-7 螺旋测微器的结构



和P一起旋转，同时前进或后退。粗调时用K，细调时用K'。

螺旋测微器是利用螺旋传动来工作的：测微螺杆P在刻度尺S上旋转一周时，螺杆沿轴线方向移动的距离等于一个螺距，为0.5 mm。可动刻度套筒H表面上刻有将圆周50等分的刻线，每转过1分度（ $\frac{1}{50}$ 周），螺杆平移0.01 mm。因此，螺杆沿轴线方向移动很小的长度，装在螺杆上的刻度套筒就沿圆周转动较大的角度，从而精确地读出数据来。螺旋测微器利用了螺旋传动，把微小的平动转化为大范围的转动。

学校实验室有这种仪器，请同学们借来看一下，并且向老师学习它的用法。

## 问题与练习

1. 观察台钳（图3.2-8），找出台钳上的传动装置并说明它的工作原理。
2. 图3.2-9是起瓶塞器，可以拔出葡萄酒瓶的木塞。说说它的工作原理。

图 3.2-8 台钳



图 3.2-9 起瓶塞器



图 3.2-10 汽车用的螺旋千斤顶



3. 观察汽车用的螺旋千斤顶（图3.2-10），说说怎样用它将车顶起。
4. 找一些电动玩具，看看其中采用了哪些传动装置。说一说它们的作用。

## 第 3 节 液压传动

在传动装置中,除了机械传动外,还有液压传动、气压传动和电气传动。

近年来,液压传动技术有很大的发展,是现代自动化机械装备中必不可少的一项关键技术之一。液压传动的应用领域非常广泛,航天器、掘进机、潜艇、液压机、船闸等,它们的运动控制都离不开液压技术。

**液压传动原理** 让我们先观察和比较两个现象。

图 3.3-1



### 演 示

1. 将四周扎有针孔的软塑料瓶装满水,拧紧瓶盖,用手挤压塑料瓶,可以看到水从针孔向外喷射(图3.3-1)。
2. 拧下瓶盖,再用手挤压软塑料瓶,观察水从针孔流出的情况。

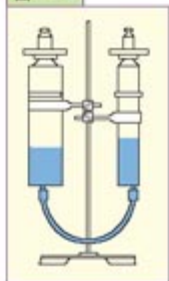
实验现象告诉我们,只有密闭的液体才能把它受到的压强向各个方向传递。密闭的液体在向各个方向传递压强时,也传递了压力。那么,压力的传递遵循什么规律呢?



### 研究压力与活塞横截面积的关系

1. 将两个直径不同的注射器分别固定在铁架台上,用胶管将两个注射器相连(图3.3-2)。
2. 在注射器里注入适量的水,使活塞与水密切接触。
3. 在大活塞上放砝码,看到大注射器向下移动,用手按小注射器的活塞,使活塞向下移动一段距离,观察大注射器的活塞向上移动的情况。
4. 在小注射器的活塞上放砝码,并调整其质量,直至两个活塞平衡,分别读出两个注射器活塞上砝码的质量  $m_1'$  和  $m_2'$ 。
5. 利用刻度尺和注射器上的容积刻度,求出注射器活塞的横截面积  $S_1$  和  $S_2$ 。
6. 增大大活塞上的砝码质量,重复步骤4。
7. 把实验数据记录在下面的表格里,并分析整理数据,得出结论。

图 3.3-2



	次数	1	2
大活塞	活塞质量 $m_1'$ /g		
	砝码质量 $m_1''$ /g		
	总质量 $m_1$ /g		
	横截面积 $S_1$ /mm <sup>2</sup>		
小活塞	活塞质量 $m_2'$ /g		
	砝码质量 $m_2''$ /g		
	总质量 $m_2$ /g		
	横截面积 $S_2$ /mm <sup>2</sup>		
	总质量比 $m_1:m_2$		
	截面积比 $S_1:S_2$		

(大活塞和小活塞的质量  $m_1'$  和  $m_2'$  由实验室教师提供。)

结论: 注射器活塞和砝码的总质量与截面积的关系是 \_\_\_\_\_

实验表明: 密闭的液体在平衡时, 注射器的活塞和砝码的总质量跟截面积成正比, 即

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{S_1}{S_2}$$

由于大、小活塞对液体的压力  $F_1$  和  $F_2$  分别等于  $m_1g$  和  $m_2g$ , 所以上面的比例式也可以写成

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}$$

液体是很难被压缩的。你能证明活塞移动的距离跟截面积成反比吗?

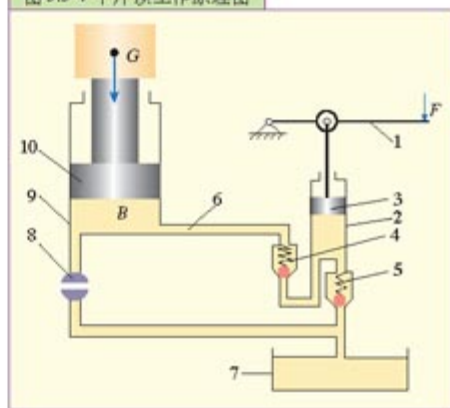
这表明, 在液压传动中, 加在小活塞上的小压力可以在大活塞上得到大的压力。例如, 大活塞截面积是小活塞截面积的 10 倍, 大活塞上得到的压力也等于小活塞上的压力的 10 倍。

液压千斤顶 (图 3.3-3) 就是根据上面的原理制成的常用起重装置, 图 3.3-4 是它的结构示意图。它的主要的部件是大液缸 9 和小液缸 2, 液缸内分别装有大活塞 10 和小活塞 3。提起手柄 1, 小活塞 3 上移, 储油池 7 的油进入小液缸。按下手柄 1, 小活塞 3 下移, 小液缸的油通过输油通道 6 进入大液缸, 推动大活塞 10 向上运动, 举起重物  $G$  (在小液缸和储油池之间, 小液缸和大液缸之间都安装了单向阀 4 和 5, 保证油沿单一方向运动)。如此反

图 3.3-3 液压千斤顶



图 3.3-4 千斤顶工作原理图



复地提、压杠杆1，便使重物不断升高，达到起重的目的。

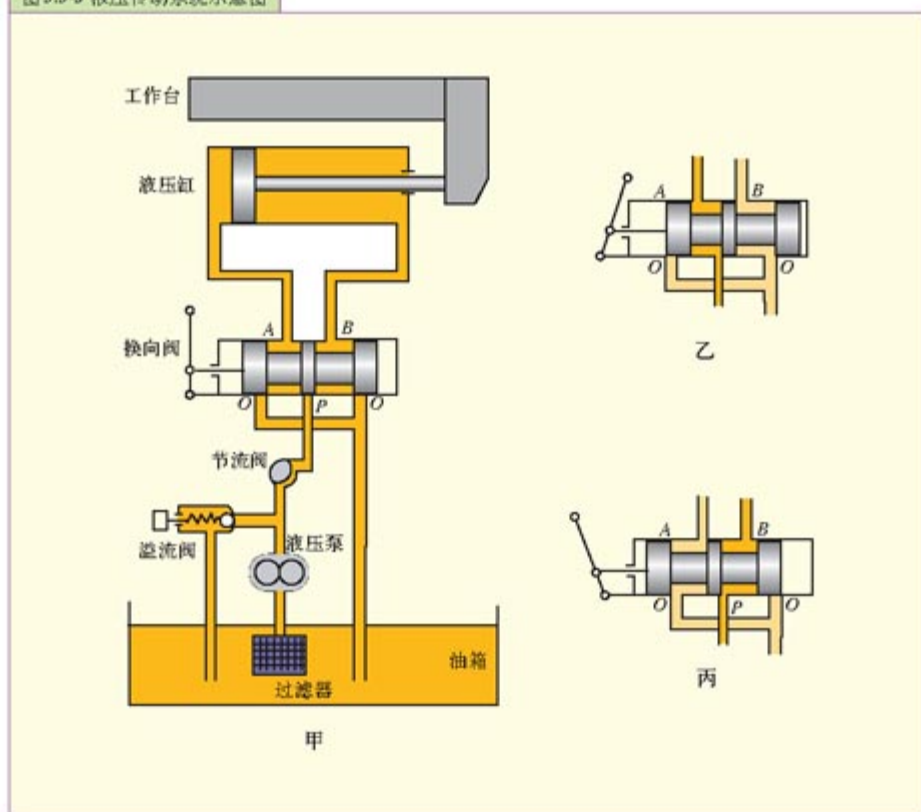
千斤顶工作时，截止阀8关闭。要将大活塞（重物）放下时，打开截止阀8，大缸中的油液经此阀流回储油池，大活塞下降。

适当地选择大小活塞的面积比和杠杆的力臂比，就可以用很小的力 $F$ 升起很重的负载 $G$ ，因此它有“千斤顶”的美称。

液压千斤顶结构紧凑、体积小、重量轻、携带方便，广泛地用于流动性的起重作业。

**液压传动系统** 图3.3-5甲是机床工作台上一种驱动液压传动系统的示意图。

图3.3-5 液压传动系统示意图



液压缸中装有活塞，把油压入液压缸时，油对活塞产生压力，推动活塞带动工作台运动。进入液压缸的油是液压泵提供的。当电动机带动液压泵工作时，油箱的油经过滤器进入油管中，经液压泵加压，再经节流阀、换向阀流入液压缸。

将换向阀向右、向左推动，可以改变工作台的运动方向（图3.3-5乙、丙）。改变节流阀的开启程度可以改变流入液压缸的油量，从而调节活塞和工作台运动的速度。

与机械传动相比，液压传动能在较大范围内实现无级调速。系统体积小、传动平稳、动作灵敏、易于控制和调节。但油液容易泄漏，传动系统的传动比不精确而且传动效率较低。

汽车刹车系统（图3.3-6）、挖掘机以及升降台（图3.3-7）等设备大都采用液压传动。



图 3.3-6 汽车刹车系统

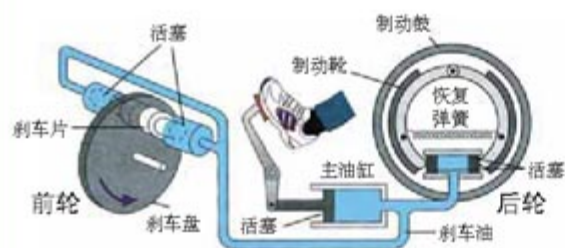


图 3.3-7 升降台



## 大家做

### 参观自升式塔吊的爬升作业

在建筑工地上，随着建筑物的升高，塔式起重机（图 3.3-8 的个子也在长高，原来，这种塔式起重机有自动爬升的本领，它的塔身由一节节的标准节组装而成，起重机依靠上部的爬升装置和液压爬升系统，能够逐节升高，起升高度可达一百多米，真正是“芝麻开花节节高”。

如果你感兴趣的话，可以观看塔式起重机的爬升作业，但是要事先跟建筑工地的负责人了解作业时间，因为爬升作业不是天天都进行的，观看时应离作业区远一些。

图 3.3-8 自升式塔式起重机



## 问题与练习

1. 观看并说明挖掘机（图 3.3-9）的液压传动装置是怎样完成各种挖土动作的。
2. 观察汽车起重机（图 3.3-10），看看哪些部件运用了液压传动。

图 3.3-9 挖掘机



图 3.3-10 汽车起重机



## 第 4 节 常用机构

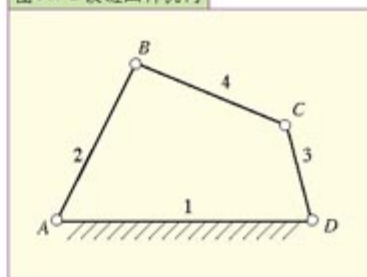
各种机械都是由一系列的机构组成的，下面是几种常用的机构。

**铰链四杆机构** 铰链四杆机构（图 3.4-1）由四个杆件通过铰链连接而成，四个杆件的名称如下。机架——固定不动的杆 1；连架杆——与机架直接相连的杆 2 和杆 3；连杆——不与机架直接相连的杆 4。

如果某个连架杆能够做整周转动，这个连架杆称为曲柄；不能做整周转动的连架杆称为摇杆。

对于铰链四杆机构，机架和连杆总是存在的，而连架杆可能是曲柄，也可能是摇杆，因此，铰链四杆机构可分为曲柄摇杆机构、双曲柄机构和双摇杆机构三种基本形式。

图 3.4-1 铰链四杆机构



### 1. 曲柄摇杆机构

铰链四杆机构的两个连架杆中，如果一个为曲柄，一个为摇杆，则这种机构称为曲柄摇杆机构。



### 曲柄摇杆机构的工作

摇动曲柄摇杆机构模型（图 3.4-2）的摇把，观察曲柄转动一周时，摇杆摇摆的幅度。

图 3.4-2 曲柄摇杆机构模型



图 3.4-3 缝纫机踏板机构



缝纫机（图 3.4-3）踏板机构是利用踏板的上下摆动通过连杆带动曲柄转动的。

### 2. 双曲柄机构

铰链四杆机构的两个连架杆都是曲柄时，称为双曲柄机构（图 3.4.4）。

图 3.4.5 是应用于机车主动轮联动机构中的双曲柄机构，它把主动轮的运动通过连杆传给其余各轮，使各轮得到与主动轮相同的运动。

图 3.4-4 平行双曲柄机构

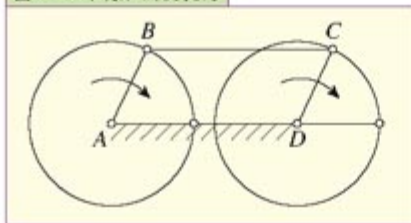
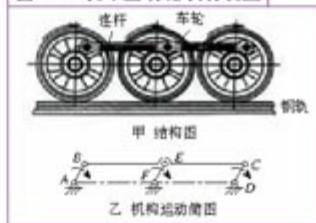


图 3.4-5 机车主动轮联动装置



### 3. 双摇杆机构

铰链四杆机构的两个连架杆都是摇杆时,称为双摇杆机构。许多自动卸货车的翻斗机构采用的就是双摇杆机构。

此外,还有曲柄滑块机构(图3.4-6)。它可以将滑块的平动转变为飞轮的转动,也可以将飞轮的转动转变为滑块的平动。机械中曲柄滑块机构的应用范围很广,例如,在内燃机(图3.4-7)中,将活塞的平动转变为飞轮的转动;在冲床中,将飞轮的转动转变为冲模的平动等等。

图 3.4-6 曲柄滑块机构



图 3.4-7 内燃机模型



**凸轮机构** 在自动化机械中,要使机构按预定规律完成某一工作循环,通常采用凸轮机构。

图3.4-8是内燃机配气机构的凸轮机构模型。它由凸轮、从动件(气门)和固定机架三个构件组成。

凸轮是一个具有曲线轮廓的构件,一般为主动件,做匀速转动。与凸轮轮廓接触,并传递动力和实现预定的运动规律的构件,一般做往复直线运动,称为从动件。内燃机配气机构的凸轮机构可以使气门在内燃机一个循环中开启气门一次(图3.4-9)。

图 3.4-8 凸轮机构模型

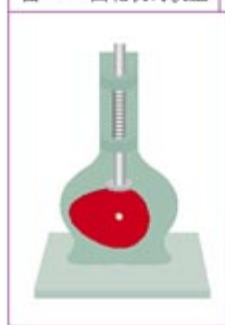
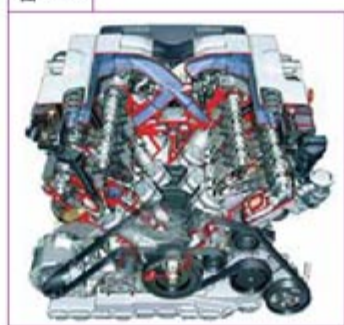


图 3.4-9



## 分析一个生活中的常用机构

常用的机构不仅应用在生产上，在生活中也有大量的应用。例如在社区内都装有健身设备，图3.4-10就是一个曲柄摇杆机构。请在你的周围找到一个常用机构的应用实例，并对其工作做出分析。

图 3.4-10



## 问题与练习

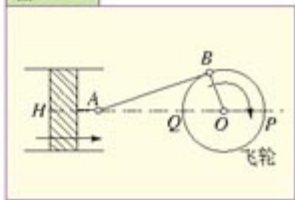
1. 打开工具箱（图3.4-11），存放工具和零件的盒子可以提升，方便选取，试分析它运用了什么机构？

2. 在图3.4-12所示的内燃机传动装置中，活塞 $H$ 左右往复运动，通过连杆 $AB$ 使飞轮转动。当曲柄 $OB$ 的端点 $B$ 运动到 $P$ 和 $Q$ 时（曲柄的这两个位置叫做死点），连杆 $AB$ 作用在 $OB$ 上的力 $F$ 不能使飞轮转动，为什么？

图 3.4-11 工具箱



图 3.4-12



## 第 5 节 机 械

一般地说，机械是机器和机构的总称。

在上一节，我们学习了常用机构，那么，机器由什么组成呢？

**机器的组成** 机器通常由以下四部分组成。

(1) 原动机（动力机）：它的任务是提供动力，即把其他形式的能转变为机械能。例如汽车、拖拉机上的汽油机或柴油机，机床上的电动机等。

(2) 工作机：它的任务是完成某一特定工作。例如汽车的车轮，轮船、飞机的螺旋桨（图3.5-1）等。

3.5-1 直升飞机的螺旋桨



(3) 联系机构：它的任务是连接原动机与工作机，在传递机械能的同时改变运动的快慢和形式等。例如汽车的变速箱以及各种传动装置和机构。

(4) 控制机构：它的任务是控制和协调各部件的运动。例如汽车的方向盘、加速踏板（油门踏板）、离合器踏板、制动踏板等。新型的自动化机器多采用电子控制或智能控制，例如无人驾驶汽车把雷达、声纳、摄像机与油门、制动、方向盘集成在一起，使汽车在行驶中始终走在道路的中心线上。

**机械使用与人类社会发展** 在人类社会的进化中，远古人类能制造和使用简单的工具，使自己与其他动物区别开来，增强了人类在自然界中的自主性，同时也改变了社会中的生产关系。

金属工具的使用促进了生产力的发展，同时也促使农业和畜牧业的分离、手工业和农业的分离，出现了以交换为目的的商品生产。

18世纪，蒸汽机首先在英国得到广泛应用，带动了机器的生产，发生了以机器生产为特征的工业革命。蒸汽机使生产力得到空前规模的发展，同时以大规模的工厂生产代替个体作坊的手工生产，人类社会进入了资本主义时代。

19世纪以来，随着以机器生产为标志的工业革命浪潮先后在欧洲大陆、北美乃至全世界扩展，“机械化”成了工业化的代名词。内燃机的发明，为火车、轮船提供更强大的动力，汽车、飞机的出现，进一步改变了人们的生活方式，人类的“足”得到了更大的延伸，世界各地之间的经济、技术和文化等方面的隔绝状况被打破了；发电机和电动机的广泛应用，不仅使“机械化”插上了“电气化”的翅膀，还为机器的自动化和数字化做了准备。

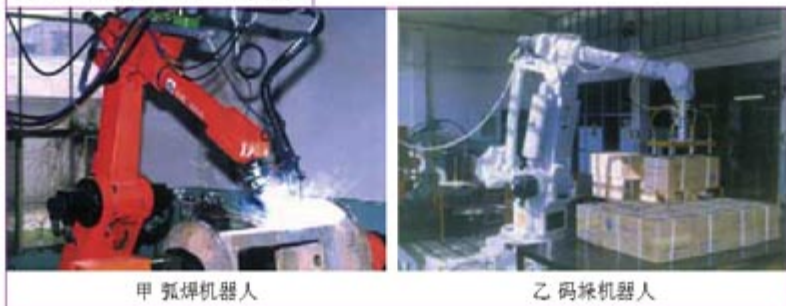
20世纪以来，随着电子技术的发展，特别是以大规模集成电路为标志的信息技术产品出现，人类社会进入了信息时代，机械也武装到了“头脑”。现代机械不仅能处理物质和能量，还能处理信息。飞机起飞后就进入电脑自动飞行阶段；导弹能自动找寻目标；数控机床（图3.5-2）能按输入的图纸精密加工出合格的零件。

机器人技术是20世纪人类最伟大的发明之一。工业机器人（图3.5-3）已成为制造业中的核心装备，世界上有约75万台工业机器人活跃在各条战线上。

图3.5-2 数控机床



图3.5-3 正在作业中的工业机器人



甲 弧焊机器人

乙 码垛机器人

随着人类对自然界的探索范围的拓展,机械进入了新的领域,到达了太空、深海等等。各种用途的机器人,如太空机器人、水下机器人、微型机器人、医用机器人(图3.5-4)等纷纷面世,而且正以飞快的速度向实用化迈进。

图3.5-4 各种用途的机器人



甲 用于火星探测的智能机器人



乙 正在海底探测搜索的水下机器人



丙 小型机器人能够进入各种管道进行检查



丁 医用机器人正在对病人进行检查

### 大家做

收集资料,了解机器人在生产、生活中的应用。

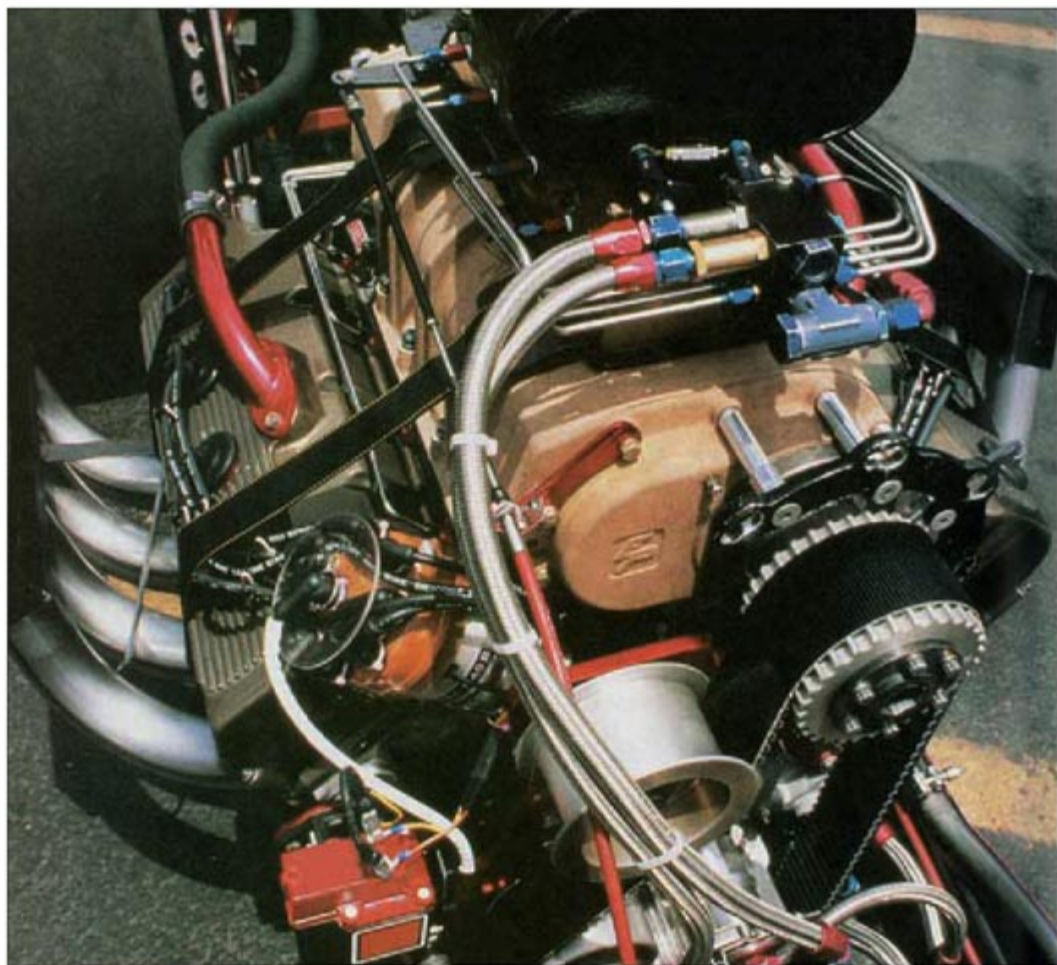
参考网站:中国科普博览(<http://www.kepu.com>),机器人专题。

### 问题与练习

1. 能做各种动作的发条玩具或电动玩具可以看做机器。拆开一个旧的玩具,分析它的组成。
2. 分析某一机器(如某一型号的洗衣机、自行车)的组成,提出一条改进建议。

# 第 4 章

## 热 机



汽车发动机

今天，形形色色的热机已经与现代生活和生产密不可分。从车辆中的内燃机、火电站的汽轮机，到飞机、火箭中的喷气发动机，热机时时刻刻在为我们提供着动力。

热机的发明和发展是科学与技术相结合的早期范例，热机的广泛应用既是人类物质文明和社会进步的重要标志，同时也给人类社会带来了能源、环境等新的问题。

# 第 1 节 热机原理 热机效率

关于热机，我们并不陌生。在初中，我们就学过最常见的热机——内燃机。

热机是热力发动机的简称。能够持续不断地把燃料燃烧时所释放的能量转变成机械能的装置，都叫做热机。热机是现代交通和发电站的基本动力源，是目前使用最广泛的动力机械。

**热机原理 热机效率** 人们研究热机是从蒸汽机开始的。18世纪，英国科学家瓦特（James Watt, 1736—1819）在前人工作的基础上制成了实用的蒸汽机。

图 4.1-1 是早期蒸汽机的示意图。烧煤产生的热使锅炉中的水变为高温高压的蒸汽，高温高压的蒸汽通过阀门的变换，交替地由上下阀门进入汽缸，推动活塞上下运动。

热机的种类很多，有蒸汽机、内燃机、汽轮机等。尽管热机的种类很多，但是它们的物理学原理是相同的，基本结构都是由发热器、工作部分和冷凝器三个部分构成的。许多热机都把周围的大气直接作为冷凝器。它们的工作过程都是：工作物质（蒸汽或燃气，简称工质）从发热器得到热量  $Q_1$ ；在工作部分，工质通过做功  $W$  而把一部分热量转变成机械能；剩余的热量  $Q_2$  随工质（废气）排掉（图 4.1-2）。

功与热量间的关系为

$$W = Q_1 - Q_2$$

热机的热效率定义为

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (1)$$

法国工程师卡诺在理论上证明了，理想热机的热效率为

$$\eta_{理} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (2)$$

公式(2)中的  $T_1$  为发热器的绝对温度， $T_2$  为冷凝器的绝对温度。

由此可见，提高理想热机热效率的方法是提高发热器的温度和降低冷凝器的温度。从公式(2)还可以知道，只有  $T_2 = 0 \text{ K}$  时，理想热机热效率才是 100%，但由于绝对零度不可能达到，所以热机的热效率不可能达到 100%。

运用公式(2)，我们可以估算内燃机的热效率。如果汽油燃烧时的温度为  $2000^\circ\text{C}$ ，那么

图 4.1-1 早期的蒸汽机示意图

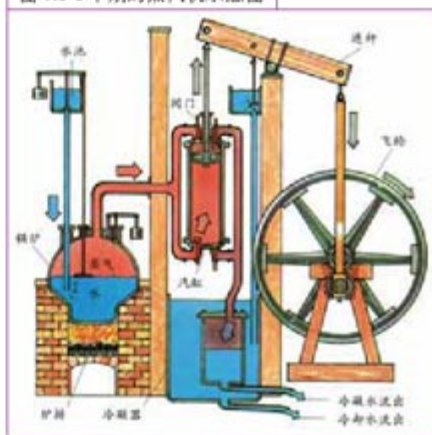
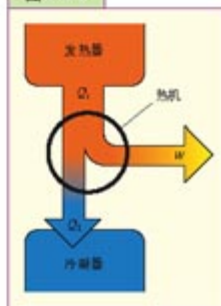


图 4.1-2





$T_1 = 2273\text{ K}$ ；如果废气的温度为  $800\text{ }^\circ\text{C}$ ，那么  $T_2 = 1073\text{ K}$ 。这种情况下理想汽油机的热效率为  $53\%$ 。

不过，实际内燃机的效率只有  $20\% \sim 45\%$ 。原因很多，例如，汽油燃烧不完全、汽油机的传动机件（如凸轮和气门）动作不够协调、机件间存在摩擦等。解决这些问题可以改善热机的工作情况，使它的效率提高。但是，无论怎样改进，热机的效率只能接近上述理想值，而不可能达到理想值。

通常可采取以下几方面措施来提高整机效率：改进燃烧方式，增大供氧量，使燃料充分燃烧，提高工质的温度，改进传动装置，使用优质润滑油等。

在各种热机中，蒸汽机的效率最低，大约在  $10\% \sim 15\%$ ，燃料产生的大部分热量都由废气排出机外。目前，蒸汽机已被淘汰。不过，蒸汽机是人类首次大规模使用的动力机，它的出现导致了第一次工业革命，人类社会从此进入了大规模利用热机的时代。

**热机 能源 环境** 热机的发展极大地解放了生产力。热机的广泛使用是社会工业化程度的标志，但也导致了世界能源结构的巨大变化。

2002年我国主要能源消费结构如图4.1-3所示<sup>①</sup>，其中煤炭占  $66.1\%$ ，比例偏大，是环境污染的主要根源；我国石油剩余可采储量仅占世界剩余可采储量的  $1.8\%$ ，石油供应面临重大挑战；我国能源平均利用效率为  $32\%$ ，比发达国家低近  $10$  个百分点，主要产品单位能耗比世界平均水平高  $30\%$ 。我国能源的开发和利用任重道远。

热机工作时所燃烧的煤、汽油、柴油都是化石能源。目前世界能源消耗中  $85\%$  以上是不可再生的化石能源，地下经过亿万年形成的化石能源正被过度开采。

燃料燃烧时产生的大量废气排入大气会造成污染。近代工业革命从蒸汽机开始，而后火电厂星罗棋布，燃煤量迅猛增长。煤中含有杂质硫，在燃烧时排放出酸性气体二氧化硫。此外，热机中燃料燃烧产生的高温能促使空气中的氧气和氮气化合产生酸性的氮氧化物。这些酸性物质在空气中溶入水滴，形成酸雨降落到地面。酸雨会危害生物，侵蚀地表和建筑物。

目前，空气污染物中约  $71\%$  来自交通。一氧化碳是汽车尾气中的主要污染物。在城市交通的高峰期，空气中过高浓度的一氧化碳对人体危害很大。大量废气会像毯子一样加剧温室效应，使全球气温逐年升高，从而导致气候异常和海平面上升。

广泛使用热机还使能源出现短缺。在开发和利用能源的同时，保护好我们赖以生存的地球环境与生态，已经成为一个全球性的重大课题。



<sup>①</sup>数据引自《2003 中国统计年鉴》。由于其他能源（如核能、风能等）所占比例很小，图中无法列出。

## 减少汽车尾气污染

我国汽车数量越来越多，汽车尾气污染日益严重。目前已从 20 世纪 80 ~ 90 年代的煤烟型大气污染转向煤烟—汽车尾气混合型大气污染。

汽车尾气排放污染物的原因主要有两个方面，一是燃油在发动机中燃烧不完全，二是燃油含有不良成分。

现在，汽车大都安装尾气净化器，实施尾气净化，将氮氧化物气体转化为中性的、无污染的氮气，排向大气。

在我国，造成汽车尾气污染日益严重的原因有：汽车拥有量快速增长；汽车质量不高，造成高排放；燃油质量不高，造成高油耗、高排放；交通不畅造成高排放。

减少汽车尾气污染可以采取如下对策：制定严格的排放标准和环境法；优先发展公共交通事业；大力发展“绿色”汽车；完善检查维护制度，加速淘汰高排放车辆；采用高新技术，加强交通管理；建设大运量的快速轨道交通系统。

关于发展“绿色”汽车，以下一些措施是可行的。

### 1. 用乙醇和燃气代替汽油

应用甲醇、乙醇、液化石油气等燃料代替汽油，会明显降低氮氧化物的排放。甲醇、乙醇的分子中含有氧，比不含氧的汽油易于完全燃烧，从而减少氮氧化物的排放。我国已经在东北三省及河南等地在全社会范围内推行乙醇汽油（在普通汽油中加入 10% 的乙醇）的使用。一些城市的公共汽车正用液化石油气（LPG）、压缩天然气（CNG）等代用燃料来代替汽油。

### 2. 电动汽车

被认为是“未来汽车”的电动汽车分为三种：纯电动汽车、燃料电池电动汽车和混合动力电动汽车。纯电动汽车是指以车载电源蓄电池为动力，用电机驱动车轮的汽车。以氢能技术为基础的燃料电池汽车，以氢为燃料，通过化学反应产生电流并排出水，能量转化效率高，约为内燃机的 2~3 倍，不污染环境，缺点是造价太高。混合动力电动汽车是将现有内燃机与一定容量的储能器件（主要是高性能电池或超级电容器）通过先进控制系统而结合起来。最常见的工作方式是在城里用电机驱动，在城外用内燃机驱动，这样可以大幅度降低油耗，减少污染物排放。

图 4.1-4 某些汽车尾气的污染非常严重



## 问题与练习

1. 画出热机的几个基本组成部分及相应的能量关系，由此说明热机效率公式的意义。
2. 每天记录电视报告的大气污染指数，做出记录。分析影响本地大气污染的主要因素，例如天气阴晴、风力大小、气温高低、日照强弱，以及车辆上路情况（例如休息日路上车辆较少）等等。
3. 就本地汽车尾气排放污染情况做调查，写出调查报告。有可能的话，向当地行政部门提出一两条切实可行的减少汽车尾气排放污染的建议。

## 第 2 节 活塞式内燃机

**从外燃到内燃** 热机技术的发展一直围绕着如何提高热机效率而展开。其中一个重要的方面就是寻找燃烧值更高的燃料以及更充分地利用燃烧放出的热量。较高效率的活塞内燃机的出现就是热机发展的重要标志。从蒸汽机到活塞内燃机，不仅在燃料上实现了从煤到油的转变，而且在燃烧方式上实现了从外燃到内燃的转变。

常见的汽油机就是一种内燃机。如图 4.2-1，汽油机汽缸内的汽油经火花塞点火后，迅速燃烧，推动活塞做功。这里汽缸既是发热器又是工作部分，燃料直接在汽缸中燃烧，产生燃气。工质（燃气）的内能通过做功转换成活塞的动能，全部能量转换过程在汽缸内完成，故而称为内燃。这种燃烧方式热量损失小，做功效率高。

内燃机不需锅炉等附属设备，它的发热器和工作部分都是汽缸，冷凝器就是大气。广义的内燃机包括活塞内燃机、燃气轮机、喷气发动机。但通常所说的内燃机只是指活塞内燃机，它是当今最广泛使用的中小型动力机。

**活塞内燃机** 在所有活塞内燃机中，往复式活塞内燃机最普遍。顾名思义，往复式活塞内燃机中的活塞在汽缸中做往返运动。按使用的燃料来分，活塞式内燃机通常可分为汽油机和柴油机两种。下面以汽油机为例说明活塞式内燃机的工作原理。

汽油和空气的混合气体进入汽缸后，经过压缩，然后火花点燃气体做功。因此这类内燃机又叫做点燃式内燃机。

活塞在汽缸中从最上端移动到最下端，或从最下端移动到最上端，称为一个冲程（或行程），多数活塞内燃机由吸气、压缩、做功、排气四个冲程的不断循环来保证连续工作的（图 4.2-2）。

图 4.2-1 汽油机汽缸内的火花塞点燃燃料和空气的混合物，将活塞推下。

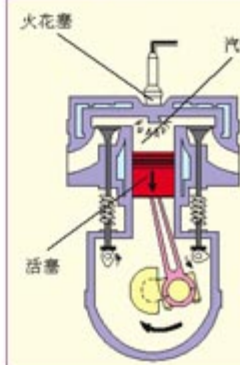
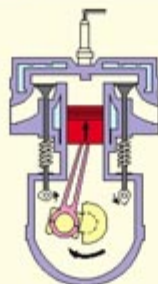


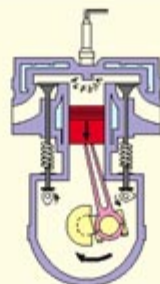
图 4.2-2 汽油机四冲程原理



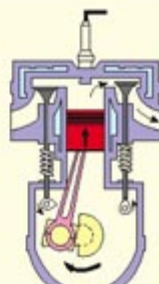
甲 吸气，活塞落下，将燃料和空气吸入汽缸。



乙 压缩，活塞将燃料和空气的混合物压缩。



丙 做功：火花点燃燃料和空气，将活塞推下。



丁 排气，活塞升起，将废气排出。

## 演 示

观察汽油机模型的结构和工作过程,并用多媒体教学软件演示汽油机的工作过程。

## 大家做

阅读图 4.2-3 完成下表,说明每个冲程的名称、工作内容、气门开闭情况、活塞运动方向以及曲轴转过的角度。

	冲程名称	工作内容	气门开闭情况	活塞运动方向	曲轴转过角度
1					
2					
3					
4					

哪个冲程燃气在做功?其他三个冲程中,活塞靠什么运动?一个循环中曲轴转动几周?

热机的功率是一个非常重要的参数,汽油机的功率主要决定于汽缸的数目、容积和燃料气体的压缩比。压缩比是指压缩过程始、末汽缸体积的比值。压缩比越大,汽缸中气体温度升得越高,燃料燃烧后所能达到的温度也就越高。汽油机在压缩结束时汽缸中温度大约升到 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,接着火花塞发出电火花,可燃混合气体迅速燃烧,温度可达 $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。高温、高压的燃气推动活塞向下运动,对外做功。其他三个过程不但不做功,反而要消耗一部分机械能,所以内燃机还需要飞轮,利用飞轮储蓄能量,完成其他三个过程的动作。

单汽缸发动机做功很不均匀,一般只用在小型摩托车、摩托艇、手扶拖拉机上。在汽车等大型车辆、机器上,经常采用4个、6个或更多汽缸的内燃机(图4.2-3)。多缸内燃机通过连杆把各个汽缸的活塞连在一根曲轴上,并使各汽缸的做功过程错开,这样就可以不用过重的飞轮,提高了效率。汽缸越多,发动机的运转越均匀。四汽缸的内燃机,在飞轮转动的每半周里,都有一个汽缸在做功,其他三个汽缸分别在做吸气、压缩和排气工作。

图 4.2-3 四缸发动机



**例** 图4.2-4所示为四缸四冲程活塞内燃机,其飞轮转速为300 r/min。如果做功冲程中燃气对活塞的平均压强为50 Pa,活塞可移动距离为0.3 m,活塞的面积为120 cm<sup>2</sup>,求这个内燃机的功率。

**解:**四缸四冲程内燃机的飞轮每转一周,有两个做功冲程。设燃气对活塞平均作用力为 $F$ 、压强为 $p$ 、活塞移动距离为 $d$ ,转速为 $n$ ,在飞轮转动一周中,燃气对活塞所做的功为

$$W = 2F \times S = 2p \times d \times S$$

代入数值后,得

$$W = 2 \times 50 \text{ N/cm}^2 \times 120 \text{ cm}^2 \times 0.3 \text{ m} = 3\,600 \text{ J}$$

内燃机的功率为

$$P = \frac{W}{t} = W \times n = 3\,600 \text{ J/r} \times \frac{300 \text{ r}}{60 \text{ s}} = 18\,000 \text{ W} = 18 \text{ kW}。$$

汽油机的优点是启动迅速、转速高、振动不剧烈、发动机的重量与输出功率之比小;它的主要缺点是燃料比较贵,功率比较小。

图4.2-5为柴油机实物图。柴油机工作时,活塞将缸内的空气压缩成高温、高压状态后,喷油嘴将柴油喷入缸内,柴油遇高温空气自燃。这类内燃机也叫做自燃式内燃机。

柴油机也是四个冲程完成一个循环。与汽油机不同,柴油机的吸气冲程中吸入的是空气。压缩冲程的压缩比高达12~18,可使缸内空气的温度高达600℃左右,超过了柴油的着火点。在做功冲程中,柴油通过高压油泵由喷油嘴喷入汽缸,与高温空气相遇燃烧。由于柴油的喷入是逐渐的,所以燃烧也是逐渐进行的,不像汽油机里的燃烧是骤然爆发的。

柴油机的功率范围广,可产生由几千瓦到几千兆瓦的功率。普通柴油比汽油便宜,并且不像汽油那样容易引起火灾,储存也比较方便。柴油机的缺点是比汽油机笨重,转速较慢,振动也比较剧烈。

柴油机常用做长时间、大负荷工作的动力机,例如柴油机车。柴油机车有液压传动和电动两种驱动方式。前者通过液压机构将柴油机的动力传到车轮上,后者(图4.2-6)由柴油机带动发电机,再由电动机牵引机车。目前液压型柴油机车正被电动型柴油

图4.2-4 四缸发动机工作原理

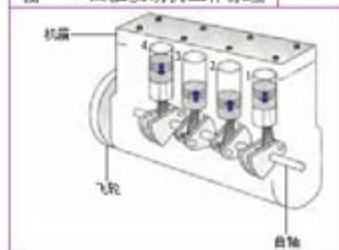
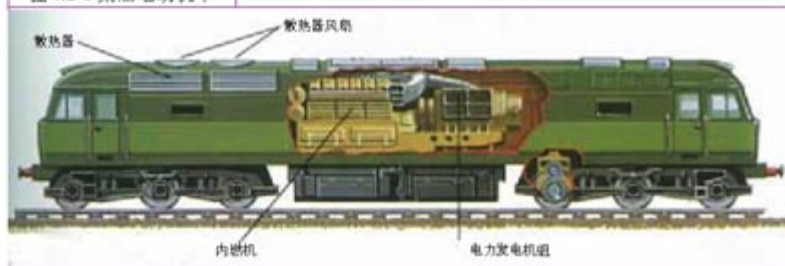


图4.2-5 柴油机



图4.2-6 柴油电动机车



机车所取代。大型客车、大型载重汽车、拖拉机、舰艇、坦克等都用柴油机做动力机。

**活塞内燃机的主要技术指标** 活塞内燃机的主要技术指标包括发动机的排气量、最高输出功率、最大扭矩（见表4-1）。

### 1. 排量

排量又称排气量，它等于各汽缸工作容积的总和。汽缸工作容积指活塞从上止点到下止点所扫过的容积，又称为单缸排量，它取决于汽缸直径和活塞上下运动的距离。

发动机排量用升(L)来表示，例如1.6 L，2.0 L等。发动机排量是十分重要的技术指标，它比缸径和缸数更能代表发动机的功率大小，发动机的许多指标都同排气量密切相关。

### 2. 最高输出功率

最高输出功率一般用千瓦(kW)或马力<sup>①</sup>来表示。发动机的输出功率同转速关系很大，随着转速的增加，发动机的功率也相应提高，但是到了一定的转速后，功率反而随转速增加而下降。在使用说明中，最高输出功率与相应的转速(r/min)同时表示，如100 kW/(5 000 r·min<sup>-1</sup>)，即在转速为5 000 r/min时可以得到最高输出功率100 kW。

### 3. 最大扭矩

最大扭矩是指发动机从曲轴端输出的力矩，它也与转速有关。最大扭矩一般出现在发动机的中等转速的范围，随着转速的提高，扭矩反而会下降。最大扭矩的表示方法也是扭矩与相应的转速一起表示，即N·m/(r·min<sup>-1</sup>)。

在选择汽车发动机时要根据以上三项技术指标全面权衡，尽量做到经济、合理选配发动机。例如，热带地区常年都要开空调，在选择汽车发动机功率时就要考虑不能太小；如果汽车主要用于城市道路，应该选择较低转速就能达到最大扭矩的发动机。

汽车发动机还有一个经济指标，即百公里油耗。百公里油耗是指汽车运行100 km所消耗燃油的多少，这个指标与车速有关，所以给出这个指标时都要说明是在什么速度时测出的。

**燃油标号** 为了保证发动机正常运转保护发动机，必须正确选用发动机燃油标号（表4-2）。

汽油标号是指汽油辛烷值的大小，辛烷值是汽油抗爆震性能的标志。标号越高，汽油的抗爆震性越强。爆震是指还没有点火，气缸中的油气就提前自燃，点火时，开始自燃的油气便产生强烈爆炸。爆震会使燃料燃烧失控，损伤发动机。汽车发动机的压缩比越大，其效率也越高，但也越易发生爆震，所以压缩比大的发动机应该选用高标号

表 4-1 某汽车发动机技术指标

发动机	
型式	直列4缸电喷
排量	1.3型 1 300 mL 1.6型 1 600 mL
最大功率	
1.3型	51 kW/(5 500 r·min <sup>-1</sup> )
1.6型	68 kW/(5 500 r·min <sup>-1</sup> )
最大扭矩	
1.3型	102 N·m/(3 000 r·min <sup>-1</sup> )
1.6型	130 N·m/(4 000 r·min <sup>-1</sup> )

表 4-2 某牌号汽车发动机  
油耗、油标

60 km/h等速	
1.3型	4.4L/100 km
1.6型	手动(自动)
	4.95(5.3)L/100 km
排放标准 欧洲II	
燃油标号	1.3型 90号无铅
	1.6型 93号无铅

<sup>①</sup>“马力”为废除单位，1马力=0.735千瓦。

的汽油。以往在汽油中加入含铅抗爆剂以提高汽油抗爆性，但铅会污染环境，对人类造成危害。自2000年起，我国已在全国范围内禁止使用含铅汽油。

柴油标号的含义与汽油标号不同。柴油的标号表示的是柴油的凝固点，0号表示这种柴油在0℃时凝固，而35号表示这种柴油的凝固点是-35℃。使用柴油发动机，要根据使用地的环境温度来选择适当标号的柴油。



## 汽油机的燃油供给系统和点火系统

为了保证发动机的正常运行，汽油机有两个主要支持系统：燃油供给系统和点火系统。

燃油供给系统根据发动机不同工作状态的要求，将汽油按照一定比例与空气混合，成为可燃混合气供给汽缸，并在燃烧做功后，将废气排入大气中。

燃油供给有两种方式：化油器方式和电子喷油方式。

化油器是使油汽混合的装置，近年来已逐步淘汰。

电子喷油装置将安装在发动机进气系统及发动机上的传感器所感知的信息，提供给计算机控制系统，算出发动机在各种工作状况下所需的供油量，然后将有一定压力的燃油通过喷油器喷入进气管，与吸入的空气混合后，进入发动机汽缸。

电子喷射控制系统使汽油燃烧得更充分、彻底，不但可以提高发动机的输出功率，节省燃油，而且减少了有害气体的排放量。电子喷射控制系统与传统的化油器相比，可以使汽车发动机功率提高5%~10%，油耗降低5%~13%，废气中有害气体排放量减少20%左右。此外，发动机故障率，尤其是供油系统和点火系统的故障率大大降低，发动机的启动性能和加速性能也都得到改善。

汽油机的点火方式也有两种：一是感应圈高压电火花点火；二是电子点火装置。电子点火装置可以根据传感器送来的发动机各种参数进行运算、判断，然后进行点火时刻的调节，这样可以节约燃料，减少空气污染。现在感应圈点火已经逐渐地被电子点火所替代。

电子喷油和电子点火解决了发动机所需的最佳混合气及准时点火问题，从而使发动机一直处于最佳工作条件下。电子喷油和电子点火因其性能优越而日益普及。

### 问题与练习

1. 汽油机和柴油机的工作过程有什么不同？两种内燃机各有什么优缺点？它们应用的场合为什么不一样？
2. 参观拖拉机、摩托车或汽车修理站，观察和用简图记录活塞内燃机、冷却系统、供油系统、供气和排气系统的实物结构。
3. 以下情况对汽车发动机的技术指标有什么要求？
  - A. 汽车全年需要空调，并要有较好的加速性能。
  - B. 汽车行驶的路面起伏、坡度较大，例如常在山路行驶。
  - C. 汽车在平坦的城市道路行驶，很少使用空调。

4. 某八缸四冲程内燃机每个活塞的面积是  $450 \text{ cm}^2$ ，行程是  $0.4 \text{ m}$ ，第三冲程中气体的平均压强是大气压的 5 倍，飞轮的转速是  $600 \text{ r/min}$ ，求内燃机的功率。假设燃料的燃烧值是  $4.18 \times 10^7 \text{ J/kg}$ ，内燃机在  $1 \text{ h}$  内燃烧燃料  $96 \text{ kg}$ ，求它的效率。

## 第 3 节 蒸汽轮机 燃气轮机

**从活塞机到轮机** 在本章第 1 节我们已经知道，工质在工作部分所做的功并不能全部传到发动机的曲轴上，成为有用功输出。其中有相当大的一部分要消耗在传动装置上，这部分损失叫机械损失。因而，要提高热机的机械效率就必须尽可能减少在传动过程中损失的无用功，从而提高有用功的比例。蒸汽机和活塞内燃机的工作部分都是汽缸和活塞，要把动力转到曲轴上，就必须把活塞的往复直线运动转换成曲轴的转动。为了保存一定的动能，提高转动的均匀性，机轴上都装有飞轮。这就不可避免地降低了机械效率。

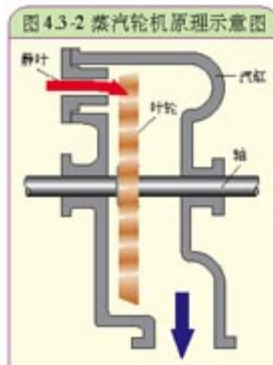
能不能使工质直接驱动主轴，而省去曲轴连杆传动装置呢？继活塞内燃机后，轮机这种新型的热机便问世了。所谓轮机指热机主轴上装着一系列叶轮，叶轮在蒸汽或燃气推动下旋转，不需要连杆、曲轴做往复运动，更不需要笨重的飞轮。

轮机也分为外燃和内燃两种。和蒸汽机一样，蒸汽轮机需要锅炉产生水蒸气，所以它属于外燃机。而燃气轮机的燃料直接在工作部分燃烧，不需要分离的发热器，所以它属于内燃机。

**蒸汽轮机** 蒸汽轮机简称汽轮机，是一种利用高压、高温蒸汽的内能做功的动力机。

蒸汽轮机的基本工作单元称为“级”，大型蒸汽轮机由若干级串联组成，称为多级蒸汽轮机（图 4.3-1）。蒸汽轮机的级由固定在外壳上的导流叶片（静叶）和与固定在机轴上的叶轮（动叶）组成。

图 4.3-1 蒸汽轮机叶轮和轴



如图 4.3-2 所示，高速蒸汽流通过静叶后射在动叶上，两者之间产生相互作用。叶片的形状是弯曲的，当蒸汽顺着叶片流过时，叶片使汽流的流向和流速改变。叶片受到汽流的作用力而使叶轮旋转。蒸汽离开叶片后，还含有很大的动能，通常采用多级导流叶片和叶轮，使蒸汽依次推动各级叶轮后排出机外。一台巨型蒸汽轮机的输出功率可达几千兆瓦。

蒸汽轮机有许多优点：转速大，转动平稳、重量轻、占地少。



但是蒸汽轮机也有缺点，它的速度不能做较大的改变。蒸汽轮机一般用做巨型舰船和大型发电机的动力机（图 4.3-3）。

蒸汽轮机的制造对技术要求很高。制造叶轮的材料要能耐高温，一般采用含有铬、钼、钒或铪的合金钢。一级叶轮上有几百片叶片，它们弯曲的形状要求很严格，需要精密加工。为了减少蒸汽对叶片的腐蚀，叶片表面要做得十分光滑并镀铬。机轴的锻造要求更高，一般是用铬钒钨合金钢。

图 4.3-3 热电站中的蒸汽轮机



## 大家做

### 简易微型汽轮发电机的制作

简易微型汽轮发电机由微型发电机和自制汽轮机两部分组成（图 4.3-4）。

发电机选用廉价的旋转永磁体的微型抽水泵（鱼缸中常用）改制而成，因为它没有电刷，所以防水、耐用、拆装方便。普通低功耗的玩具电动机也可代用，但需采取防水保护措施。

汽轮机的翼片是用四片相同的薄铜片装配而成，可用热笔直接将翼片粘于转子的转轴上，待密封胶冷却后再用尖嘴钳对翼片做校正，这样汽轮机就做成了。汽轮机翼片大小参考尺寸为  $15\text{ mm} \times 25\text{ mm}$

汽轮机翼片完成后，将转轴插入发电机中，用手拨弄汽轮发电机就能输出数十毫瓦的电能。在发电机输出端再接上几个发光二极管，再用手拨弄汽轮发电机翼片，看看用手能否点亮发光二极管。然后，就可用自制简易汽轮机进行研究了。

图 4.3-4 简易汽轮发电机



图 4.3-4



找一个家用高压锅，在锅内放入三分之一左右的清水，将高压锅盖上的限压阀取下，并把锅盖盖上。将自制汽轮发电机组置于高压锅盖上方合适的位置（图 4.3-5）然后，加热高压锅内的水，同时在发电机输出端接上发光二极管。喷出蒸汽后，你将体会到汽轮发电机成功发电的喜悦。

**燃气轮机** 燃气轮机是 20 世纪后半叶发展起来的新型内燃式热机，目前已在许多领域广泛使用。燃气轮机的基本原理与蒸汽轮机相似，但工质不是蒸汽，而是燃料燃烧产生的燃气。

燃气轮机由压气机、燃烧室和涡轮组成。图 4.3-6 是燃气轮机及其工作过程示意图。空气被压气机（压缩机）送入燃烧室，在燃烧室内由喷嘴喷入的燃料与压缩空气混合、燃烧，成为

高温、高压燃气。燃气膨胀,推动各级涡轮做功,它的压力和温度逐渐降低,最后排向大气。

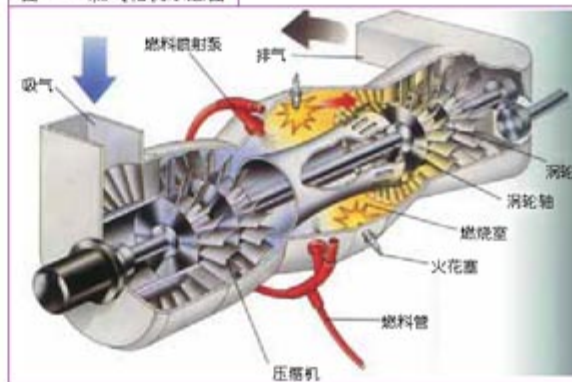
燃气轮机和活塞内燃机工作时,都有进气、加压、燃烧和排气这四个阶段。所不同的是,在活塞式发动机中这四个阶段是分时依次进行的,但在燃气轮机中则是连续进行的,气体依次流经燃气轮机的各个部分,就对应着活塞式内燃机的四个工作冲程。

燃气轮机的功率可以大到几百兆瓦。由于工质是连续流动的,它的振动很小。燃气轮机排气温度为 $400\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。排气流量大,蕴含着大量适合综合利用的优质热源,可为室内供暖等,其综合效率可达60%。

燃气轮机的优点是重量轻、体积小、振动小、不用冷却水、摩擦部件少、启动快、自动化程度高,适用于缺水、缺电的地区。此外,燃料适应性强,对环境污染小,也是燃气轮机的优点。

由于燃气轮机有许多优点,因而它广泛地应用于直升机、机车、海轮、中小型发电厂等。

图 4.3-6 燃气轮机示意图



### 问题与练习

1. 燃气轮机与活塞内燃机比较有哪些优缺点?为什么蒸汽机和内燃机需要飞轮而蒸汽轮机和燃气轮机不需要飞轮?
2. 某发电厂装有3台5000 kW 汽轮发电机,如果昼夜不停地发电,全年的总发电量为多少?如果标准煤的消耗率为 $0.49\text{ kg/kW}\cdot\text{h}$ ,平均每天要消耗多少标准煤?

## 第 4 节 喷气发动机

**喷气发动机的问世** 航空和航天事业直接导致了喷气发动机的发明和发展。在第二次世界大战结束以前,所有飞机都采用活塞式发动机来驱动螺旋桨转动。用这种发动机,飞机的速度不能超过 $760\text{ km/h}$ ,如果超过这一速度,螺旋桨转动时所受阻力大大增加,效率锐减。另外由于高空空气稀薄,活塞内燃机的燃料燃烧率降低,螺旋桨产生的牵引力也随之减小。所以,为了提高飞行器的速度和高度,必须发明一种自重小、功率大,在稀薄空气中,甚至在真空中仍能产生很大推力的新型发动机。于是喷气发动机便应运而生。喷气发动机不需要活塞,燃料燃烧产生的燃气直接向后喷出,发动机利用喷出气体的反冲做功,推动飞行器前进。

用吹管把气球吹大，捏紧管口，然后松开，观察气球运动的方向，这里的气球能否称为最简单的喷气发动机？为什么？

喷气发动机也是一种内燃式热机，燃料在燃烧室中燃烧，燃气向后喷射，从而向前推动物体做功。喷气发动机有空气喷气发动机和火箭喷气发动机两种。前者必需利用外界空气，后者自身携带氧化剂，工作时不需要空气。

**空气喷气发动机** 目前，应用最广泛的空气喷气发动机有涡轮喷气发动机和涡轮风扇喷气发动机两种。它们都通过压气机来压缩空气，从而适应高空空气稀薄的工作状况。

涡轮喷气发动机的主要部分有进气道、压气机、燃烧室、涡轮机和喷管（图4.4-1）。最初由启动机带动压气机来压缩空气，使空气提高到大气压的数倍。压缩空气与喷入的燃料混合后燃烧。高温、高压燃气推动涡轮机叶片使涡轮机转动，最后以很高的速度从喷管喷出。喷出气体的反冲作用使发动机获得向前的动力。涡轮机带动压气机，使发动机持续工作。

涡轮喷气发动机结构比较简单，但噪声大。

涡轮风扇喷气发动机的构造与涡轮喷气发动机的构造差不多，不同的是，在轴的前方多了一个由轴带动的大型前置风扇，其直径大约为发动机机身的两倍。吸入的空气一部分送入内涵道核心机（相当于一个纯涡轮喷气发动机），另一部分从外部管道（外涵道）向后吹（图4.2-2），可以提高发动机的效率。

涡轮风扇喷气发动机比涡轮喷气发动机的油耗与噪音都低、效率高。现在，多数的民航客机和歼击机都安装涡轮风扇喷气发动机（图4.4-3）。

与活塞内燃机相比，空气喷气发动机的优点

图 4.4-1 涡轮喷气发动机原理图

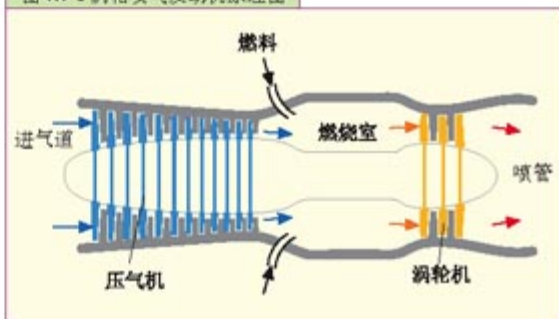


图 4.4-2 涡轮风扇喷气发动机原理图

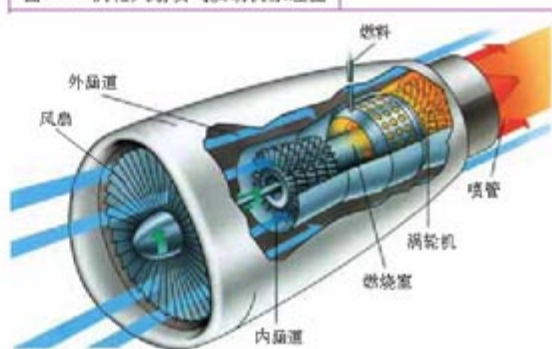


图 4.4-3 大型客机上使用的涡轮风扇发动机



是重量轻、体积小、功率大，而且构造简单，可使用较经济的航空煤油做燃料。

**火箭喷气发动机** 火箭喷气发动机自带燃料和氧化剂，不需要外界的空气，既可以在大气层内工作，也能在大气层外的宇宙空间工作，还可以在水下工作。

火箭喷气发动机的主要部分是燃烧室和喷口（图 4.4-4）。燃料和氧化剂混合后在燃烧室中燃烧，燃气以极高速度由发动机底部的喷口向后喷出，从而产生极大的反冲推力。

按使用的燃料不同，火箭发动机可分为固体燃料和液体燃料火箭发动机。固体燃料火箭发动机的缺点是工作时间短，约为几十秒到一两分钟。飞机起飞和运载火箭升空时常常用它做辅助发动机。现代液体燃料火箭发动机工作时把燃料和氧化剂喷入燃烧室，使它们混合，最初用电火花点燃，温度高达 3 700 ℃ 以上。一次点燃之后，继续进入燃烧室的混合物可自行燃烧，不再需要火花点燃，燃气以很高的速度喷出。液体燃料火箭发动机的工作时间可以延续至几十分钟，它的应用比固体燃料火箭发动机更为广泛。

火箭为什么能飞得那么快呢？火箭在喷出燃气过程中不断加速，同时自身的质量不断减少。理论证明，火箭的初、末质量比越大，燃气的喷射速度越大，它最终可达到的速度也越大。火箭燃气的喷射速度约为 2 km/s 左右，当燃料的重量是火箭净重的 1.72 倍时，火箭的最终速度等于气体的喷射速度，如果要使火箭的最终速度达到气体喷射速度的 2 倍、3 倍……那么就要相应地增加燃料。可是增加燃料，火箭的重量也就随之增加。

怎样才能增加燃料又不过多地增加火箭的

图 4.4-4 火箭发动机示意图

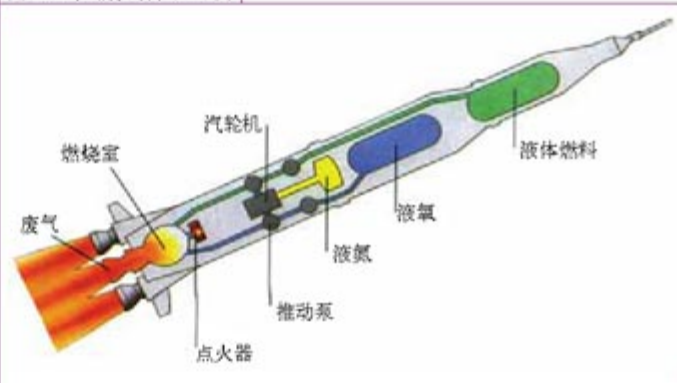
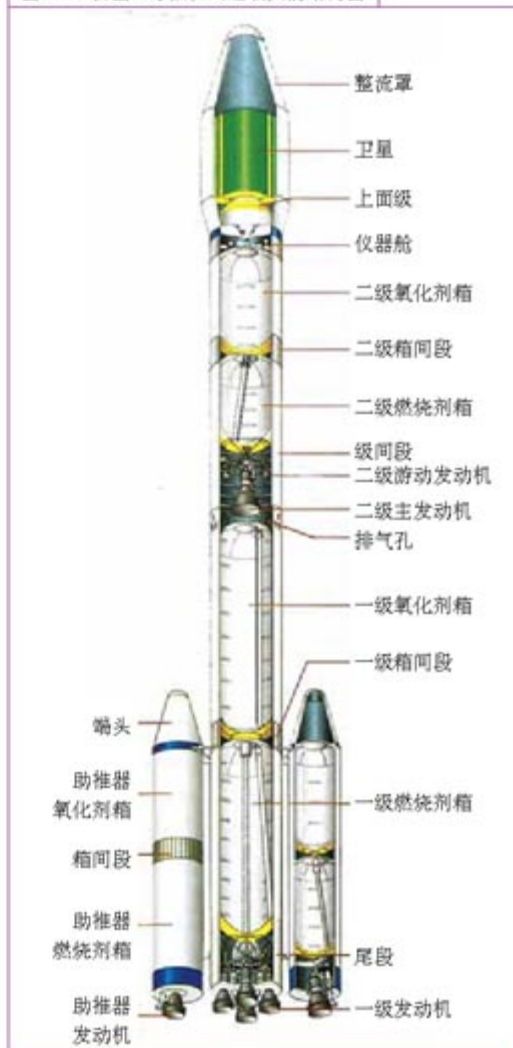


图 4.4-5 长征二号捆绑式运载火箭结构图



重量呢？多级火箭技术可以解决这个问题。每一级火箭都有燃料箱，烧完一级就扔掉一级，这样火箭就越飞越轻，速度越来越快。再加上离地球越来越远，空气阻力也随之减小，火箭便可以有超过其他任何交通工具的速度。

图4.4-5为多级运载火箭的结构图。火箭只有顶部的一小部分用来放置携带物（如卫星等），携带物越重，所需要的燃料就越多。为了加大推力，有些大型火箭的下部还附加可抛弃的助推火箭，在火箭发射时可以给它以额外的推动力。

火箭使用寿命很短，在大约十分钟的时间里，火箭把携带物运送到太空后，它的使命就结束了，每一枚火箭只能使用一次。

新中国成立后，我国政府非常重视航空、航天技术的发展。在广大科技工作者的努力下，我国航空、航天技术得到了飞速发展，火箭及卫星技术已达到世界先进水平。

图4.4-6 长征二号E火箭发射澳星



## 大家做

### 模型火箭的制作

参考图4.4-7用纸或塑料薄片制作火箭壳体的各部件（头锥、筒段、尾段导向管、尾翼等），并用快干胶把它们黏合起来。模型火箭发动机实际就是大小适当的焰火筒，为防止发动机半途松动，模型火箭发动机应与外壳尾段紧密结合，并用快干胶黏合。

在火箭发动机的底部插入点火头并用棉纸团将点火头固定（点火头是电热发火器，工作电压为4~6V），将点火头的引线通过连接线与5m外的控制器相联（控制器是6V电源加控制开关），把模型火箭安放在发射架上。远离发射架5m以外，确信无任何不安全因素后，进入倒计时：5—4—3—2—1，按下点火按钮，火箭将拔地而起。模型火箭上升高度可达100多米。

图4.4-7



### 航天飞机

1981年，一种新型的航天工具——航天飞机发射升空。航天飞机与传统火箭的主要区别是它可以重复使用。航天飞机的三个主要组成部分是：轨道飞行器、燃料箱和两个推动火箭。宇航员和货物在轨道飞行器内，轨道飞行器是航天员们的工作间，任务结束时它可重返大气层并像滑翔机一样返回地面。

三部分中的两部分可重复使用。橘红色的大燃料箱供应主发动机所需的燃料，其中三分之一为液态氧，三分之二为液态氢。它是航天飞机上唯一不能被重复利用的部分。

点火时，整个系统被两个固体燃料的助推火箭和轨道飞行器中的液体燃料火箭推动升空，大约在离地后两分钟，爆炸螺栓自动将两个燃料用尽的助推火箭丢弃，它们脱离航天飞机溅落后，用船打捞起来可重新使用。六分钟后主燃料箱也被丢弃。

图 4.4-8 航天飞机



## STS

### 火箭之乡和中国长征系列运载火箭

中国是火箭的故乡。北宋时造出了世界上第一个以火药为动力的飞行兵器——火箭。这种火箭由箭身和药筒组成。药筒用竹、厚纸制成，内充火药，前端封死，后端引出导火绳。点燃后，火药燃烧产生的气体向后喷出，把火箭推向前进。这种最早的火箭在工作原理上与现代火箭没有什么不同。当时在中国民间广为流行的能高飞的“火流星”，实际就是世界上第一种观赏性火箭。在中国科技馆的“中国古代传统技术”展厅里，就有中国古代火箭的复原模型，它们充分展现了古代中国人民的杰出智慧和卓越才能。

自 1956 年开始，我国开始了现代火箭的研制工作。1964 年 6 月 29 日，中国自行研制的中程火箭试飞成功之后，即着手研制多级火箭，向空间技术进军。经过 5 年的艰苦努力，1970 年 4 月，利用长征 1 号三级火箭发射东方红 1 号卫星成功。中国航天技术迈出了重要的一步。目前，中国长征系列运载火箭已有 7 个型号。至 1993 年底，长征 3 号运载火箭成功发射了 6 颗实用通信卫星，标志中国运载火箭跨入世界先进行列。1990 年，一种新型大推力的长征 2 号捆绑火箭首飞成功。它是采用捆绑技术的两级火箭，4 个液体助推火箭捆绑在第一级上。这枚火箭成功地为澳大利亚发射了两颗通信卫星，这标志着中国运载火箭技术登上了新的高峰。1994 年 2 月，更大运载能力的长征三号甲火箭首飞成功，把实践 4 号科学探测卫星和夸父 1 号模拟星送上了地球同步转移轨道。

2003 年 10 月，长征 2 号 F 运载火箭把我国第一位航天员送上环绕地球的轨道，使我国成为世界上第三个独立完成载人航天飞行的国家。

现在，长征系列火箭已经走向世界。

## 问题与练习

1. 为什么飞机上要用空气喷气发动机? 比较涡轮喷气发动机和涡轮风扇喷气发动机的性能。
2. 涡轮风扇喷气发动机的外涵道的作用是什么?
3. 火箭喷气发动机跟空气喷气发动机有什么区别? 液体燃料火箭发动机与固体燃料火箭发动机的性能有什么不同?
4. 阅读下面长征2号火箭的主要技术性能表。学过本课后你能看懂多少?

长征二号E火箭的主要技术性能

<b>整体参数</b>		推进剂质量	186.28 t
级数	2	质量	91.414 t
全长	49.686 m	结构质量	4.955 t
最大直径 (含助推器)	11.45 m	推进剂质量	84.759 t
起飞质量	462.46 t	推进剂	四氧化二氮/偏二甲肼
起飞推力	5 923.2 kN	真空推力	738.4 kN (主机)
推重比	1.31		47.07 kN (4台游机)
运载能力	9.2 t	工作时间	301.18 s (主机)
			414.68 s (游机)
<b>助推器</b>			
长度	15.326 m	<b>近地点级</b>	
直径	2.25 m	长度	3.62 m
起飞质量	4 × 40.754 t	直径	1.70 m
结构质量	4 × 3.0 t	质量	6.084 t
推进剂质量	4 × 37.754 t	推进剂质量	5.40 t
推进剂	四氧化二氮/偏二甲肼	推进剂	固体
地面推力	4 × 740.4 kN	工作时间	70 s
工作时间	127.26 s		
		<b>整流罩</b>	
<b>一子级</b>		长度	10.5 m
级长	28.465 m	直径	4.2 m
推进剂	四氧化二氮/偏二甲肼	质量	1.9 t
地面推力	2 961.6 kN		
工作时间	160.43 s	<b>二子级</b>	
起飞质量	198.825 t	级长	14.223 m
结构质量	12.55 t		

# 第5章

## 制冷机



装有空调的楼房

炎热的夏天喝一杯冰镇的汽水，顿觉凉爽；闷热的夜晚打开空调，坐在沙发上读报，令人心旷神怡。这些很早以前人们不敢想像的事，现在已经变得很平常了。因为人们有了冰箱，有了空调。

你知道冰箱、空调是怎样制冷的吗？制冷机可以制热吗？这一章我们就来学习这方面的知识。



## 第 1 节 制冷机的原理

一杯热水，经过一段时间就会变成凉水，最终温度与室温相同。这个现象说明，热总是自发地从高温物体传到低温物体，高温物体温度下降，低温物体温度升高，最终，两个物体温度相等。

从来没有发生过这样的现象：热自发地从低温物体传到高温物体，使得低温物体的温度进一步下降，高温物体的温度进一步上升。

不过在炎热的夏天，尽管气温很高，但电冰箱内的温度却能降得很低。这是为什么？

电冰箱能使内部的温度降低，是因为电冰箱用了一种工作物质（工质）作为热的“搬运工”，把冰箱里的热不断地“搬运”到冰箱的外面。这种物质是什么？它为什么有这种本领？

**蒸发致冷** 每当游泳之后上岸，微风吹来，总觉得格外凉爽。这是因为皮肤表面的水蒸发时带走了人体的热量。医学上曾用乙醚做局部麻醉：把乙醚擦在准备开刀的皮肤上，乙醚蒸发，吸走皮肤上的热，使皮肤冷却到失去知觉。诸如此类，都是液体蒸发致冷的例子。

### 演 示

### 蒸发致冷

在一小块塑料板上滴一两滴水，将小烧杯放在塑料板的水上，向杯内到入一些乙醚，用打气筒快速向杯内乙醚吹气，使乙醚迅速蒸发。观察烧杯下面水的变化。

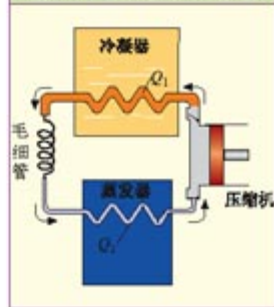
实验中会看到烧杯下的水结成了薄薄的一层冰。这是因为液态的乙醚蒸发后变成了蒸气，吸走热量，使水变成了冰。

电冰箱的制冷<sup>①</sup>原理与上面的实验相近，不过蒸发后的气体不排放到空气中，而是继续循环使用。以前电冰箱中充当热“搬运工”的物质通常是氟里昂 12，用符号 R12 表示，现在则用 R134a。它们都是既容易汽化又容易液化的物质。

**制冷机循环制冷的过程** 通过物质在物态变化过程中的蒸发吸热来实现制冷，这是目前获得低温常用的方法。这样的制冷过程是在制冷机中实现的。

电冰箱是最常见的制冷机。图 5.1-1 为电冰箱工作原理示意图。从图中可以看出，制冷机主要由压缩机、冷凝器、毛细管、蒸发器四个部件组成。冰箱的冷冻室和冷藏室统称冷库，所以除了蒸发器和部分毛细管装在冷库内部外，其他部件都装在冷库之外。

图 5.1-1 电冰箱的工作原理



<sup>①</sup>工业上，获得低温的过程称为“制冷”。由于“冷”并非一种物质，所以物理学中这个过程称为“致冷”。本书在讨论获得低温的机理时用“致冷”，而在讨论获得低温的机械时，按照工业上的习惯，用“制冷”。

制冷机的工作物质叫做制冷剂，常用的制冷剂有氨、二氧化碳、乙烯、氟利昂、R134a等。不同的制冷剂可以达到不同的温度，如使用氨的制冷机，温度可达 $-20^{\circ}\text{C}$ ，使用二氧化碳的制冷机，温度可达 $-79^{\circ}\text{C}$ ，使用乙烯的制冷机，温度可达 $-160^{\circ}\text{C}$ 。如果要获得更低的温度，则要采取其他技术。

压缩机通过消耗电能做功 $W$ ，将气态制冷剂压缩，温度升高。这种温度较高、压强较大的制冷剂蒸汽进入冷库外面的冷凝器放出热量 $Q_1$ 后，凝结为液态物质。然后，液态制冷剂流经毛细管时，由于毛细管的阻流作用，制冷剂进入蒸发器时压强就比较低了。蒸发器内由于压缩机的抽吸作用，压强很低，液态制冷剂迅速蒸发，吸收热量 $Q_2$ ，使低温热库的温度降低。这时制冷剂本身全部蒸发变为气体，这些气体再被吸入压缩机，进入下一个工作循环。这样，只要压缩机工作，制冷剂就会循环流动，制冷机的冷库里就可保持相当低的温度。

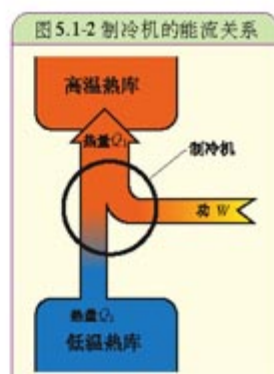
**能量交换与转换关系** 从能量守恒和转化的观点来审视制冷机，它的工作过程正好与热机相反。即在一次循环中，工作物质从低温热库吸收热量 $Q_2$ ，向高温热库放出热量 $Q_1$ ，而外界必须对工作物质做功 $W$ （压缩机做功）。其能量交换与转换的关系如图5.1-2所示，它们满足如下的关系： $Q_1 = Q_2 + W$

在工程上常用制冷系数 $\varepsilon$ 来表示制冷机的性能，即

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{W}$$

它表示外界每做1J的功可以从低温热源带走多少焦耳的热量，在输入功 $W$ 一定的条件下，工作物质带走的热量 $Q_2$ 越多， $\varepsilon$ 就越大，制冷的效果就越好。

制冷机的作用是把热量从低温的空间转移到高温空间，就好像水泵可以把水从低处送往高处。所以，制冷机也称做“热泵”。但水泵的吸水量与排水量是相等的，而制冷机在高温空间放出的热量等于吸取的热量再加上制冷机所做的功。



## 半导体制冷技术

半导体电冰箱采用半导体制冷（又称温差电制冷），它可使热量从低温物体转移到高温物体。这种电冰箱利用珀耳帖效应，即用N型和P型两种半导体材料制成电偶，当电流流过半导体材料时，除产生焦耳热外，在不同的接头处出现吸热或放热的不同现象（图5.1-3）。如果使电流反向流动，原来吸热的接头变为放热，原来放热的接头变为吸热。吸收的热量和放出的热量与电流成正比。目前，用半导体制冷，温差可达 $150^{\circ}\text{C}$ 。

图 5.1-4 一组电堆

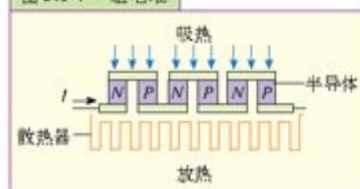
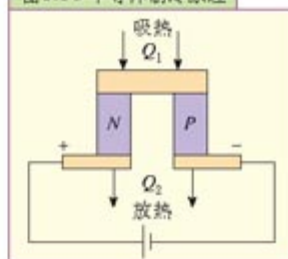


图 5.1-3 半导体制冷原理



为了满足冰箱的使用要求，可以如图5.1-4所示，把若干制冷单元串联起来，组成一组热电偶（或称为一组电堆）。

半导体冰箱有许多优点,如体积小;无机械转动部件,无噪声,无磨损,运行可靠,维修方便,使用寿命长;冷却速度和制冷温度可以通过调节电流的方法达到,比较方便灵活;不需要使用制冷剂,无泄漏,无污染;制冷、制热可逆性强,转换方便。总之,半导体冰箱是一种理想的环保型装置。不足之处是,制造成本高,容量在100L以上时效率较低,且必须使用直流电源,故只限于在汽车、实验室等特定场合使用。

图 5.1-5 半导体冰箱



## STS

### 氟利昂与环境

氟利昂是英语“freon”的中文译名,它是几种化合物的混合物。其中 $\text{CCl}_2\text{F}_2$ (二氟二氯甲烷)可以用做制冷剂,常用R12表示,R是制冷剂的意思。R12在0.1 MPa时沸点为 $-29.8^\circ\text{C}$ ,当压强在1.0~1.2 MPa时,它的冷凝温度为 $45\sim 50^\circ\text{C}$ 。

距地面15~50 km的高空有一层叫做臭氧( $\text{O}_3$ )的物质,它对阳光中的紫外线的吸收能力很强,而过强的紫外线对生命有害。因此,臭氧层的存在是地球上的生物得以生存和进化的重要条件。

氟利昂对臭氧有破坏作用。由于电冰箱最终会损坏,其中氟利昂将散逸到大气中,破坏臭氧层,辐射到地球上的紫外线就会加强,人类健康和地球的生态环境就会受到影响。

为了保护人类生存的环境,1987年开始世界许多国家签署了限量生产和使用氟利昂这类物质的《蒙特利尔议定书》。我国在1991年签署了《蒙特利尔议定书》,并于2002年停止生产氟利昂。

现在市场上出售的冰箱都是“无氟冰箱”,其中氟利昂的替代物是R134a(分子式 $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ ,化学名称四氟乙烷,标准沸点 $-26.5^\circ\text{C}$ ,凝固点 $-101^\circ\text{C}$ ),此外还有其他替代物,如R413a。

### 问题与练习

1. 什么叫做制冷?循环制冷的原理是什么?
2. 简述制冷机的结构和工作过程。
3. 察看自己家用的电冰箱所用制冷剂的类型,看是不是环保型的。

## 第 2 节 电冰箱

家用电冰箱是一种小型冷冻、冷藏设备。通常说“冷冻”,指把食物放到 $0^\circ\text{C}$ 以下的空间,而“冷藏”,指把食物放到较冷的空间,但温度仍在 $0^\circ\text{C}$ 以上。

家用冷藏箱就是常见的单门电冰箱，用来冷藏食品；家用冷藏冷冻箱就是双门电冰箱，一部分用来冷藏食品，一部分用来冷冻食品；冷冻箱也称冷冻柜，专门用来冷冻食品。

电冰箱除了能制作清凉饮料和冰块外，更主要的是能冷藏和冷冻食品。它能保持食品原有的鲜度，即营养、水分、颜色和味道不变，并可在一定的期限内防止食品变质腐烂。

电冰箱还可用于医院药房、化验室、科研机关等需要冷藏物品的单位。

**电冰箱的基本功能** 对于以冷藏和冷冻食品为主要功能的电冰箱来说，它们具有以下三方面的功能。

### 1. 制冷功能

利用人工制冷技术在电冰箱的箱体内存设一个冷藏、冷冻食品所需要的低温环境。

### 2. 控温功能

使电冰箱内的温度能按照冷藏、冷冻食品的需求进行自动调控。

### 3. 保温功能

尽可能减少箱体内外热交换，以维持箱内的低温环境。

**电冰箱的基本构造** 电冰箱主要由以下三个系统构成。

### 1. 制冷系统

制冷系统的功能是在箱体内存设低温环境，其结构和工作过程与上面讲的制冷机相同。主要部件有：压缩机、冷凝器、毛细管和蒸发器等几个部分。制冷系统是连通在一起的密封系统，里面充注制冷剂。为确保运行正常，在制冷系统中还设置干燥过滤器等辅件（图 5.2-2）。

压缩机是使制冷剂产生物态变化的动力，大都采用全封闭式。通常把压缩机和电动机封闭在同一个外壳内，以防止制冷剂的泄漏并能减小噪音。压缩机都配备自动安全装置，可以保证长期使用不出故障。

冷凝器的作用是将制冷剂带来的热量放出，将气体还原为液体，一般采用自然对流风冷形式。图 5.2-3 中所示为钢丝式冷凝器，它在盘管两侧焊接很多钢丝，成形后，表面再涂铜、喷漆。这种冷凝器成本低而且散热面积大、通风条件好。为了加强热交换，冷凝器外表面喷了很薄的黑漆，架空安装在箱体的背后。

现在不少电冰箱将冷凝器盘管放在薄钢板箱体外壳的里层，箱壁就成了散热板，这样可以更美观。

毛细管的主要功能是节流降压。它是由一根内径约 0.5~1.0 mm，长度为 2~3 m 的细长紫铜管制成。由于毛细管的通

图 5.2-1 冰箱



图 5.2-2 电冰箱的制冷系统

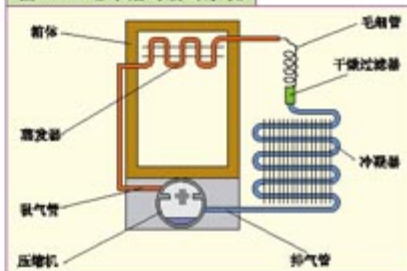


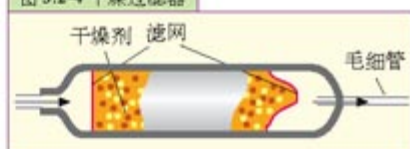
图 5.2-3 电冰箱的后壁



道较狭窄,因而流经它的液态制冷剂会受到较大的阻力,压强不断下降,从而保证供给蒸发器的制冷剂处在低压状态。

干燥过滤器(图 5.2-4)的主要功能,一是利用存放在它内部的干燥剂去吸附制冷系统可能存在的水分,二是利用放置在它内部的过滤网防止制冷系统中可能存在的脏物对制冷系统造成影响,以确保制冷系统能正常运行。

图 5.2-4 干燥过滤器



## 大家谈

鹏鹏家购置了一台新冰箱放在厨房里,某日天气炎热,为了降低厨房的温度,鹏鹏的妈妈把厨房的门窗全部关闭,随后将冰箱门打开,她这样做可行吗?

### 2. 电气控制系统

电气控制系统用来控制电冰箱的工作,使其按照人们的要求安全运行。控制系统主要由压缩机的启动、运行与保护电路以及温控、除霜和照明等其他电路组成(图 5.2-5)。

过载热保护继电器用于保护压缩机的电动机。当机器发生故障而使电动机负荷过大时,或电动机长期工作而温度过高时,过载保护继电器便会断开触点,切断电源,电动机停止运转。

启动继电器的作用是在电冰箱接通电源的瞬间(此时启动电流很大),闭合启动点,推动压缩机电机启动、运行。

过载热保护继电器和启动继电器一般都安装在压缩机铁壳外的一个塑料胶木盒内。

温度控制器(简称温控器)的作用是:利用温控器内的温度传感器检测箱内温度,并控制压缩机的开、关,以达到控制电冰箱内温度的目的。温控器一般装在冰箱的冷藏室内壁,温控器上设置从“弱冷”至“强冷”的不同温度挡位,用户可以根据需要将温控器的拨钮置于相应的温度挡位。

电冰箱的冷藏室内壁靠门处装有照明灯的按钮开关(图 5.2-6)。打开冰箱门时,按钮柱体弹出,开关接通,照明灯亮;当关闭冰箱门时,按钮柱体被门壁挤进,开关断开,照明灯灭。

图 5.2-5 某冰箱的电气控制系统

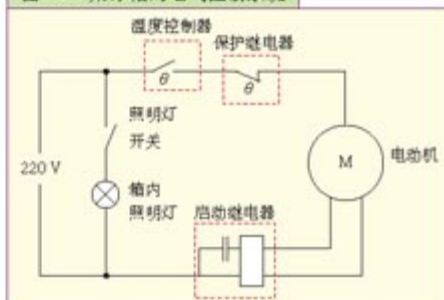


图 5.2-6 照明灯的按钮开关



### 3. 箱体保温系统

保温系统能有效地防止电冰箱箱体内外热交换,以维持箱内的低温环境。电冰箱箱体保温系统的基本构造如图 5.2-7 所示。

通常在电冰箱的箱壁填充聚氨酯作为隔热材料。此外,在门的内壁四周装有磁性门封条,以确保箱门能与箱体的门框处于十分良好的密封状态。

图 5.2-7 冰箱的磁性门封条



## 电冰箱铭牌和星级

家用电冰箱上都有铭牌(表 5-1)和星级标志,它们代表什么意义呢?

### 1. 产品型号

根据家用电冰箱国家标准 GB8059(±3) 的规定,电机压缩式家用电冰箱的产品型号由五部分组成,型号意义表示如下:

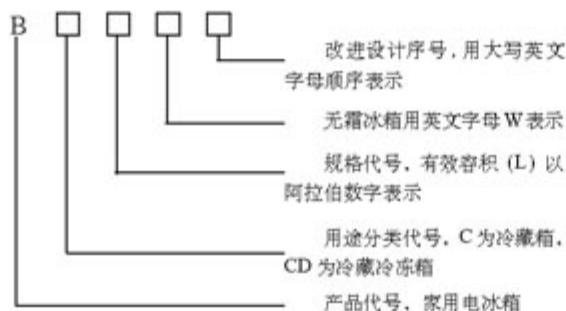


表 5-1 某电冰箱的铭牌

型号	BCD-196 (无霜)
额定电压	220 V
额定频率	50 HZ
输入总功率	105 W
耗电量	0.69 kW·h / 24 h
总有效容积	196 L
气候类型	ST
防触电保护类型	I
制冷剂及充入量	R134a / 92 g
冷冻能力	4.0 kg / 24h
重量	24 kg

例: BC-12 表示该电冰箱是有效容积为 125 L 的家用冷藏电冰箱; BCD-220W 表示该电冰箱是有效容积为 220 L 的家用冷藏冷冻电冰箱,经过第一次改进设计。

### 2. 耗电量

电冰箱的耗电量分为额定耗电量和实际耗电量。电冰箱铭牌上的耗电量为额定耗电量,是在环境温度 25℃、电冰箱处于稳定运行状态,运行 24 h 所消耗的电能。由于使用环境和使用方法的不同,同一台电冰箱的实际耗电量往往也不同。

### 3. 气候类型

热带型(T)适用于温度范围 18~43℃ 的环境;亚热带型(ST)适用于温度范围 18~38℃ 的环境、温带型(N)适用于温度范围 16~32℃ 的环境、亚温带型(SN)适用于温度范围 10~32℃ 的环境。我国多数地区可以使用亚热带型(ST)和温带型(N)。

#### 4. 星级

表示电冰箱冷冻室的温度等级

- \* (一星级): 冷冻室温度低于 $-6^{\circ}\text{C}$ , 食物可贮藏十天;
- \*\* (二星级): 冷冻室温度低于 $-12^{\circ}\text{C}$ , 食物可贮藏一个月;
- \*\*\* (三星级): 冷冻室温度低于 $-18^{\circ}\text{C}$ , 食物可贮藏三个月;
- \*\*\*\* (四星级): 后三星表示冷冻室温度低于 $-18^{\circ}\text{C}$ , 前一星表示有速冻室, 可以冻结鲜食物。

#### 问题与练习

1. 家用电冰箱的制冷系统由哪些基本组成部分?
2. 查看一台电冰箱的铭牌和说明书, 了解这台电冰箱的性能。
3. 用钟表测量一台电冰箱的压缩机工作时间和停机时间, 根据这台冰箱的输入总功率, 估算这台冰箱一天消耗多少电能。
4. 怎样使用电冰箱可以节电? 请你提出切实可行的措施。

## 第 3 节 空调器

**空气调节** 在炎热的夏季, 创设凉爽洁净的空气环境能让人感到心旷神怡。同样, 在严寒的冬日, 人们盼望有一个温暖清新的生活空间。然而, 自然环境一般无法满足人们对空气质量的这种要求, 所以有时要用人为的方式去创建一个满足要求的空气环境, 这就需要空调器。

空调器可以对空气的温度、湿度、洁净度、流速这样四个参数进行调节。

夏天气温在 $25\sim 27^{\circ}\text{C}$ , 冬天在 $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ ; 夏天相对湿度在 $50\sim 70\%$ , 冬天在 $40\sim 50\%$ , 这时人的感觉比较舒适。室内要不断加入新鲜空气, 进入室内的空气要先行过滤。工作区的空气流速以 $0.1\sim 0.2\text{m/s}$ 为最佳。

空调器的主要目标是帮助人们实现上述要求。

根据构造不同, 空调器有窗式和分体式两种类型。

窗式空调器可以安装在窗口上, 其外形如图 5.3-1 所示。它的结构紧凑、体积小、重量轻、安装方便, 适用于卧室、办公室等场所。

分体式空调器分为室内机组(图 5.3-2 甲)和室外机组(图 5.3-2 乙)两部分, 它外形美观、体积小、噪声低、使用灵活。室内机组又分嵌入式、壁挂式和柜式三种。

图 5.3-2 分体式空调器



图 5.3-1 窗式空调器



根据使用功能不同，空调器可分为单冷型空调器和冷暖两用空调器。

**单冷型空调器的结构** 单冷型空调器由以下三部分构成。

### 1. 制冷系统

单冷型空调器的制冷系统跟电冰箱的制冷系统几乎一样，即由压缩机、冷凝器、毛细管和蒸发器组成。

窗式空调器将冷凝器置于窗外，将蒸发器置于室内（图 5.3-3）。像电冰箱一样，压缩机工作时，制冷剂从室内吸热，向室外放热，达到降低室内温度的目的。

分体式空调器把压缩机、冷凝器置于室外，把毛细管和蒸发器置于室内（图 5.3-4）。这样，可以使室内的噪音大大降低。

空调器不仅可以制冷，还可以除湿。当空调器制冷时，室内热交换器处于吸热状态。正常情况下交换器管壁温度约为  $7^{\circ}\text{C}$ 。这个温度低于室内空气水分的露点，于是流经室内热交换器的空气在冷却的同时，其中所含的水蒸气有一部分冷凝成水珠，并沿管壁流入空调器排水系统排出室外。这样，室内空气的相对湿度有所下降，这就实现了除湿的目的。

### 2. 通风系统

通风系统由风机、风扇以及配套的风道等部件构成。

通风系统的功能是：为室内外热交换器设置良好的热交换条件；协同制冷系统共同完成室内空气温度和湿度的有效调控。

空调器的空气循环与净化功能是通过其风路来实现的。人们可以通过改变风机的转速来改变室内的空气循环速度；可以通过操纵出风口导向板的方向来调节冷热风的流向；还可以控制空调器进风门和排风门的开启程度来改善室内空气的洁净度；同样可以通过在室内进风道中设置过滤网来滤去空气中的尘埃。

通常，流经室内热交换器的风量越大，空调器对室内空气温度和湿度的调控能力就越强，反之则越弱。如果只要通风，不要制冷，可将“运行方式”的选择开关选定为“送风”，此时，制冷系统不工作，只是通风系统工作。

### 3. 电气控制系统

该系统的主要功能是，当室内温度高于设定温度时使空调器制冷，而在温度低于设定温度时停机。此外，控制系统还会对故障进行自动检测与自动保护。空调器的温度传感器通常采用气体热膨胀敏感元件。

图 5.3-3 窗式空调器的结构

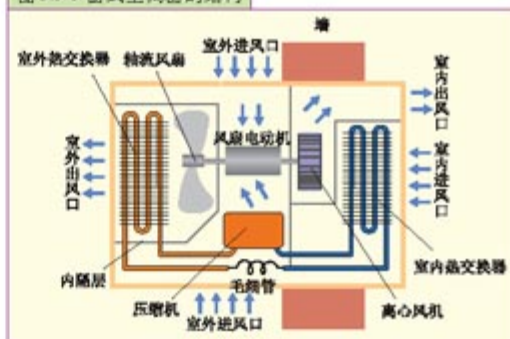
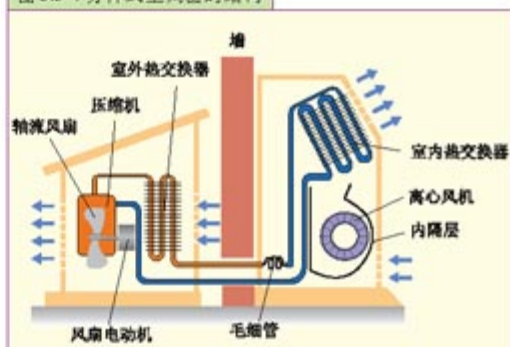


图 5.3-4 分体式空调器的结构





有的商店把分体空调器的室外机放到街道上,当你路过它的风扇口时,会感到阵阵热风扑面而来,这是为什么?由此可以得到什么启发?

**冷暖空调器** 有的空调器不仅能制冷,还能制热。

在空调器中加装电热丝或电热管,空调器就能制热,这种空调器叫做电热型空调器,现在已经不多见了。那么,空调器不加装电热丝能够制热吗?

空调器在室内制冷的过程中,其制冷剂被压缩后进入室外的冷凝器,向外放热。这一过程中室外空气被加热。从这一点看来,空调器也可视为一种制热装置。通俗地说,空调器在制冷方式下,是“室内制冷”,“室外制热”。

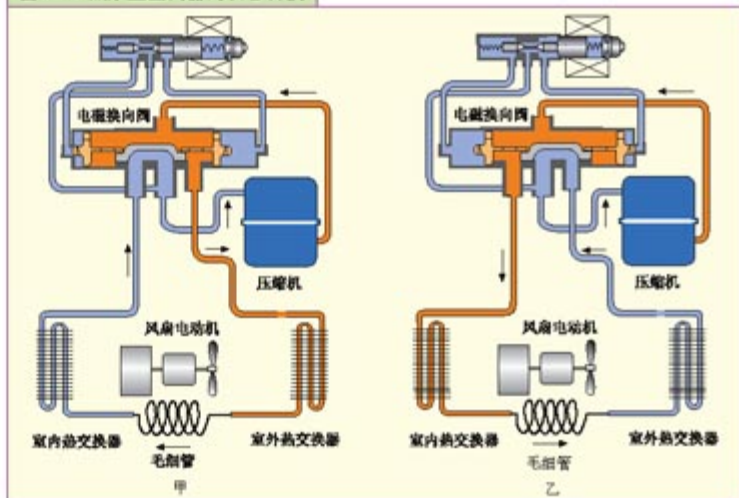
设想一下,我们保持制冷系统中各部件的位置不变,使制冷剂逆向循环,即让压缩后压强较大、温度较高的制冷剂流经室内热交换器,使它在室内完成冷凝、放热,然后再经毛细管节流降压,在室外完成蒸发、吸热。如此不断循环可达到“室内制热”的目的,这种空调器叫做热泵型空调器。所以,热泵型空调器的基本原理是制热时使制冷系统中的制冷剂倒流,把制冷运行改为制热运行。电磁换向阀(又称四通换向阀)就充当了空调器中改变制冷剂的流向的角色。

热泵型空调器制冷制热系统主要由如图5.3-5所示的压缩机、室内和室外热交换器、毛细管及电磁换向阀等部件构成。

室内和室外热交换器的作用会随空调器工作状态的改变而发生转换。当它处于制冷工作状态时,室内热交换器扮演蒸发器的角色,而室外热交换器则充当冷凝器的角色,当空调

器处于制热工作状态时,在电磁换向阀的作用下,室内热交换器换成冷凝器,室外热交换器则换成蒸发器。

图 5.3-5 热泵型空调器的状态转换



传统空调器对房间温度的调节是这样的：当需要调温时，马上启动压缩机使之制冷或制热；当房间温度达到设定的温度后，压缩机随即停止工作。随后，当房间温度又上升（或降落）到一定值时，再重新启动压缩机进行调温。这种调温方式存在着较明显的开停机温差，会形成房间温度的波动，使人有不舒适感。此外，压缩机的频繁启动也会因启动电流过大而造成电网的瞬间负载突变，使之产生波动，进而造成对其他家用电器的影响。另外传统空调开机后运转速度稳定，不能根据实际室温情况加速和减速运转，造成能量的损失和浪费。

为克服传统空调器的上述缺陷，人们研制了效率更高、温控更精确的变频空调器。变频空调器通过位于进风口的传感器感知室内温度，再通过变频技术自动调节压缩机运转速度和运行状态，避免能量浪费。

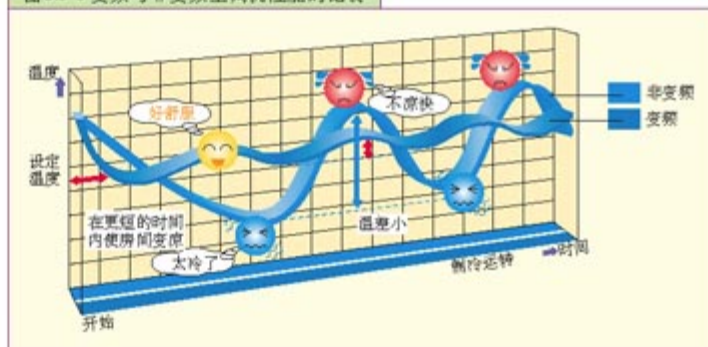
变频空调器是通过变频压缩机和一个微电脑控制的变频器来实现的。变频压缩机具有很高的效率和很低的噪声，频率变化范围15~150 Hz压缩机的电动机转速的变化范围在1 800~7 500 r/min变频器的作用是把50 Hz的交流电源，改变频率后，提供给压缩机，使压缩机的转速相应的变化。

变频空调器除压缩机和变频器外，其他部件与普通空调器大致相同。

变频空调器的最大优点是可以根据室内所需冷（热）的不同，控制变频压缩机连续、动态、适时地改变转速，从而输出室内所需的冷（热）量，以快捷的速度调节室内空气，以最少的能量维持舒适的空调环境。具体说有如下优点：降温速度快、能以转速调整制冷（热）的能力，制冷（热）能力调节范围大、节能、启动电流小、适用电压范围广等。

如图5.2-所示的是变频与非变频空调器性能的比较。

图 5.3-6 变频与非变频空调机性能的比较



## 大家做

试采用温度计、传感器和计算机来测量居室内空调器运行过程中居室温度随时间的变化。

## 问题与练习

1. 热泵型空调器的制热原理是什么？
2. 空调器是如何实现制冷、制热的转换的？
3. 根据下列空调器的参数，你能获取有关该空调器的制冷与制热、能耗、环保方面的什么信息？

表 5-2 某空调器的参数

机型	KFR-2608 GW/BP
额定电压	AC 220 V
适用电压范围	AC 160~260 V
额定频率	50 Hz
额定输入功率 制冷/制热	0.90 (0.40~1.53) kW / 1.25 (0.40~1.91) kW
能力(额定)制冷/制热	2.6 (0.9~3.0) kW / 3.6 (0.9~4.6) kW
风量(高) 制冷/制热	380 m <sup>3</sup> /h / 420 m <sup>3</sup> /h
制冷剂/用量	R22 / 0.7kg
净重(室内机/室外机)	7.5 kg / 35.0 kg
最大遥控距离/角度范围	8 m / 80°
联机配管最大长度	7.5 m

自行车是一种由人力脚踏驱动的工具，又称单车。它噪音小、无污染、重量轻、结构简单、造价低廉、使用和维修方便，既能作为代步和运载货物的工具，又能用于体育锻炼，因而为人们所广泛使用。

1817年，德国的德赖斯发明了木制、带车把的两轮车，靠双脚蹬地行驶，这是自行车的雏形。1839年，苏格兰的麦克米伦制成第一辆由曲柄连杆机构驱动后轮的铁制自行车，用脚踏踏板行驶。在此后的数十年间，工程师们对自行车进行了不断的改进，逐渐形成了现在的模样。随着科技的进步，自行车还在向着轻便、新型、牢固的方向发展。

早期的自行车



现代的自行车



自行车主要由车体部分、传动部分、行动部分和安全装置组成，根据需要可增加一些附件。四个主要部分又可分解为车架、前叉、车把、前轴、中轴、后轴、曲柄链轮、脚踏、飞轮、车轮、鞍座、车闸等部件。装有变速机构的自行车还装备变速控制器、前拨链器和后拨链器等。

你知道吗，自行车上包含了很多物理学和工程技术方面的知识呢！例如，通过必修物理课的学习我们已经了解到，骑车转弯时身体侧倾的原因。这一模块中的平衡、结构、传动、材料等知识，在自行车上也都有所体现。可以说，自行车就是一个设计精巧的实用机械。

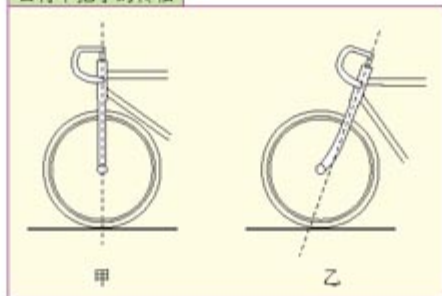
你可以从以下课题中选择你所感兴趣的进行研究。

1 物理知识在自行车的设计中起着重要作用。例如，自行车把手的轴线并不通过前轮的接地点（图甲），而是有一段距离（图乙）；绝大多数自行车轮不是圆盘而是用辐条连接的钢环……

请观察你的自行车，了解它的各部分机构。为什么自行车要这样设计？物理知识在其中是怎样起作用的呢？如果你对现在的设计不满意，能不能提出改进的方案？

# 课题研究

自行车把手的转轴



2. 查找资料，了解自行车的发展史，并写一篇调查报告。报告可以包含以下内容：

- 自行车的每一次发展在技术上都有哪些改进；
- 科技领域的新发明对自行车有哪些影响；
- 自行车与人们生活方式的变迁有哪些联系。

赶快进行研究并和同学分享你的成果吧。也许，在下次骑车郊游的路上，你又有了新的创意。

# 后 记

根据《基础教育课程改革纲要(试行)》的精神,我们按照《普通高中物理课程标准(实验)》的要求编写了共同必修及其他三个系列的全套教科书,本册经全国中小学教材审定委员会2004年初审通过,供普通高中试用。

这套教科书在编写中,得到了诸多教育界前辈和各学科专家学者的热情帮助和大力支持。在本套教科书同课程改革实验区的师生见面时,我们特别感谢担任教科书总顾问的丁石孙、许嘉璐、叶至善、顾明远、吕型伟、王梓坤、梁衡、金冲及、白春礼、陶西平同志,感谢担任教科书编写指导委员会主任委员的柳斌同志和编写指导委员会委员的江蓝生、李吉林、杨焕明、顾泠沅、袁行霁等同志。

这套书的编写者以教育部物理课标组的核心成员为基础,由高校教师、中学教师和出版社的编辑人员三结合组成。共同必修部分和三个选修系列的编写小组分别起草,然后全体编写人员反复讨论、相互修改,因此,本书是编写组集体创作的成果。

在本书的编写过程中,由奚天敬、刘彬生、汪维澄、廖洋组成的实验研究小组做过了全书所有的实验,检验和改进了书稿中的实验部分;由黄恕伯、李友安、叶柯、毛宗致组成的习题研究小组筛选和设计了全书的“问题与练习”。

张同恂、董振邦、窦国兴、扈剑华在编写的不同阶段审阅了书稿,提出了重要修改意见。

我们还要感谢使用本套教材的实验区的师生们。希望你们在使用本套教材的过程中,能够及时把意见和建议反馈给我们,对此,我们深表谢意。让我们携起手来,共同完成教材建设工作。

我们的联系方式如下:

电 话:010-58758389

E-mail:jcfk@pep.com.cn

网 址:<http://www.pep.com.cn>

人民教育出版社 课程教材研究所  
物理课程教材研究开发中心  
2004年12月

## 谨向为本书提供照片的人士和机构致谢

第1章章首图,南京长江第二大桥管理局/第3章章首图,图3.5-4乙、丙、丁,《机器与人》浙江教育出版社1997年11月第1版/图3.5-3,北京机械工业自动化研究所/图3.3-6,图4.3-1,《GCSE Physics》John Murray(Publishers)Ltd/图3.5-4甲,《国民科普大课堂》中国民航出版社1997年2月第1版/图3.4-9,《汽车之友》2004年第21期/第4章章首图,《Physics》Merrill Publishing Company/图4.1-1,《能量》长春出版社1998年1月第1版/图4.4-2,《The Oxford Children's Encyclopedia of Science & Technology》Oxford University press/图4.4-5,图4.4-6,《中国神舟》科学出版社2003年10月第1版/图1.1-8,图1.1-9,图1.3-5,图1.3-8,图2.1-1,图2.1-3,图2.1-6,图2.1-7,图3.1-7,图3.2-1,图3.2-8,图5.2-6,图5.2-7,潘邦楨/图1.3-3,图3.3-1,张颖/图4.2-6,图4.3-3,图4.3-6,曹磊/图4.3-4,图4.3-5,图4.4-7,奚天敬。