

机械工业部统编

力学

机械类技工学校教改教材

机械工业出版社

机械类技工学校教改教材

力 学

机械工业部 统编



机械工业出版社

本书是为了满足机械类技工学校教学改革的需要而编写的教材。

本书的主要内容包括机械运动和功的基本概念以及静力学基本知识和杆件的基本变形等方面。书中以定性分析为主,密切联系生产实际,按照理论与实践相统一的原则,从学生易于理解的生产实例中提出问题,引出概念和规律,并指出应用这些概念和规律解决问题的途径。

本书采用启发式的教学方法,引导学生得出规律或结论。规律和结论采用填空的形式,在教师指导下,由学生完成。

为了便于学生思考与复习,各章中均附有小结和复习题。

图书在版编目(CIP)数据

力学/机械工业部统编. —北京:机械工业出版社,1990
(2000.3重印)

机械类技工学校教改教材

ISBN 7-111-02228-9

I. 力… II. 机… III. 力学-技工学校-教材 IV. 03

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 03398 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:李铭杰 版式设计:冉晓华 责任校对:李汝庚

封面设计:姚毅 责任印制:何全君

北京第二外国语学院印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 5 月第 1 版第 11 次印刷

787mm×1092mm¹/₃₂·5.875 印张·121 千字

65901—67900 册

定价:8.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

目 录

修改重排说明

前言

绪言	1
第一章 机械运动和功的基本概念	3
第一节 匀速直线运动	3
第二节 匀变速直线运动	7
第三节 自由落体运动	10
第四节 物体的定轴转动	12
第五节 功的概念	15
第六节 功率的概念	17
第七节 旋转速度、转矩和功率之间的关系	19
本章小结	20
复习题	21
第二章 静力学基础知识	23
第一节 力的合成与分解	25
第二节 约束和约束反力	30
第三节 物体的受力和受力图	37
第四节 画受力图练习	40
本章小结	45
复习题	46
第三章 力矩和力偶	52
第一节 力矩	52
第二节 力偶	57
第三节 力的平移	62
本章小结	64
复习题	65

第四章 平面力系	68
第一节 力在直角坐标轴上的投影	68
第二节 平面力系	71
本章小结	80
复习题	82
第五章 空间力系简介	85
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影	86
第二节 轴的受力分析	91
本章小节	94
复习题	95
第六章 摩擦	99
第一节 摩擦	99
第二节 自锁	103
本章小结	105
复习题	106
第七章 杆件的基本变形	109
第一节 内力和应力	111
第二节 拉伸与压缩	113
第三节 剪切与挤压	122
第四节 圆轴扭转	130
第五节 直梁弯曲	141
第六节 组合变形简介	156
第七节 影响构件强度的其它因素	159
本章小结	163
复习题	164

绪 言

在生产劳动中，我们会遇到各种类型的机械设备，例如，机械加工车间里的车床、铣床、钻床和磨床等。这类机械设备是用来加工零件的。当机器工作时，每个零件和机构都要受到力的作用；静止的设备也承受一定的重力或其它外力的作用。切削加工的过程也是力的作用过程。

任何零、构件只能承受一定大小的力，如果受力过大，超过了零、构件的承载能力，它就要发生过量变形甚至破坏。例如，在齿轮的轮齿上，受力过大时，轮齿就会被折断，所以要求零件在工作时具有抵抗断裂的能力。又如轴上受到的作用力过大时，可能使轴产生过大的变形，影响零件的正常工作，这也是不允许的，所以还要求零件在工作时具有抵抗变形的能力。

由此可知，选择各种零件的结构形状、尺寸和材料，都必须考虑到各零件在机器和机构中的作用、它的运动特点和受力情况以及加工工艺等问题。

现代化的机械设备需要有一定技术知识的人去操作，才能有效地、大幅度地提高劳动生产率。随着我国四化建设事业的飞速发展，各种机械设备已广泛地应用于各行各业。因此，现代化生产中对劳动者提出了越来越高的要求，仅掌握本工种的专业知识是不够的。

《力学》课程是技工学校的技术基础课，它与其它课程有着密切的联系。通过学习，可以初步掌握力学的基本概念、基

基础理论和简单运算方法，熟悉材料变形的的主要形式和强度的基本概念，对常用机械零件能够进行受力分析，能正确运用力学知识学好相关课程，并能应用力学知识分析生产中经常遇到的力学问题。

本书共有七章。包括机械运动和功的基本概念，静力学基本知识和杆件的基本变形等三大部分。

前两大部分教材中，为了使问题便于解决，我们在研究过程中暂时忽略这些变形，而把物体看成是刚体。所谓刚体，就是指在任何力的作用下，物体内任何两点间的距离永不改变，也就是不会发生变形的物体。

本书内容涉及广泛，各章生产实例较多，对许多常用的零、构件进行了定性受力分析和简单计算。因此在学习《力学》基础知识的过程中，应注意以下几点：

1. 坚持理论联系实际，尽可能借助日常生活和生产过程中的实例，加深对学习内容的认识和理解。
2. 要把学习的重点放在对基本知识的认识和应用上，举一反三培养自己分析和解决实际问题的能力。
3. 要逐章地学习、巩固、掌握所学的知识，认真仔细做习题，以保证取得良好的学习效果。

第一章 机械运动和功的基本概念

车辆的行驶，机器的运转，都属于机械运动。机械运动是指一个物体相对于其它物体的位置的改变，或者物体各部分之间发生相对位置的变化。力学中研究的运动都是机械运动。

第一节 匀速直线运动

一、运动和静止的相对性

当装满货物的汽车在公路上行驶，重物被起重机吊起时，货物和重物相对于地球各自都在不同方向上运动，而货物相对于汽车、重物相对于吊钩却处于静止状态。可见，物体的运动和静止是相对的。然而就整个宇宙而言，一切物质都在永不停息地运动着，因此运动又是绝对的。通常所说的静止，是指相对于地球的静止。

二、物体运动的基本形式

图 1-1 所示为靠模法车削异形工件时的情况。图中 A 点是装在刀架上车刀的刀尖， A_0 点是靠模杆的端点。车削时直线 AA_0 总是平行移动，这样用刀尖 (A 点) 就能加工出与靠模板曲线相同形状的工件。又如从桌内拉出抽屉的运动，木箱从卡车上沿一斜面下滑的运动，其共同点是物体上任何两点连成的直线，在物体运动过程中始终是平行的，这样的运动称为平动。

砂轮、机器上的飞轮、齿轮和车床上工件的运动，都是

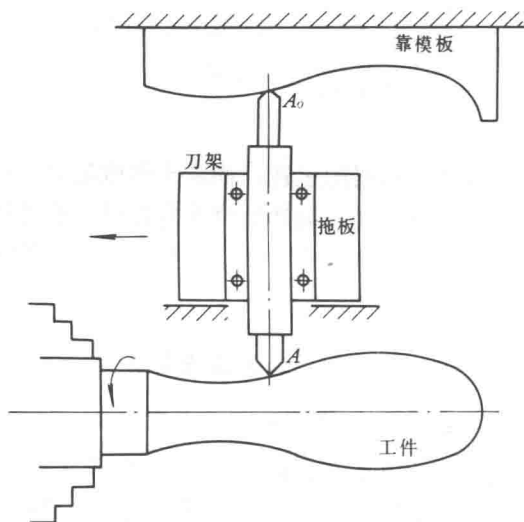


图 1-1 靠模法车削异形工件

绕着通过其中心的固定轴旋转，这样的运动称为转动。

物体的机械运动一般比较复杂，但最基本的运动可分为平动和转动两种。在许多情况下，物体同时既做平动又做转动，如螺栓拧入螺母的运动、钻头钻入工件的运动、汽车行驶时车轮的运动等。

三、匀速直线运动

汽车从原点出发，沿着直线在任何 1s 内，汽车通过的路程都是 2m，在任何 2s 内，汽车通过的路程都是 4m，如图 1-2 所示。汽车的这种运动叫做匀速直线运动。

物体沿着直线，在任何相等的时间内通过的_____都相等的运动，称之为匀速直线运动。

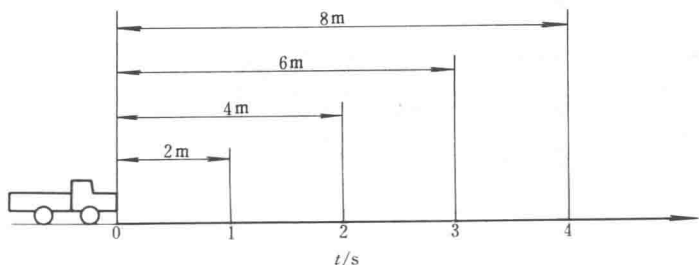


图 1-2 汽车做匀速直线运动

物体做匀速直线运动，其路程 s 等于速度 v 与所经过时间 t 的乘积。即：

$$s = \underline{\hspace{2cm}} \quad (1-1)$$

s 的单位为米，用 m 表示。 v 的单位为 m/s ，读作米每秒。 t 的单位为秒，用 s 表示。

由式 (1-1) 可导出

$$v = \underline{\hspace{2cm}} \quad t = \underline{\hspace{2cm}}$$

例 1-1 一汽车以 $v=10m/s$ 的速度匀速前进 $3min$ ，求汽车行驶的路程。

解 $t' = (3 \times 60) s = 180s$

由式 (1-1) 得： $s = vt = 10m/s \times 180s = 1800m = 1.8km$

匀速直线运动的路程和速度除用公式表示外，还可以用路程图像和速度图像表示。

做一直角坐标系，纵轴表示路程，每一格表示长度为 $2m$ ，横轴表示时间。把各个相应时刻的位置用点在坐标平面上表示出来，并把这些点连成线，就得到图 1-3 所示的路程图像。

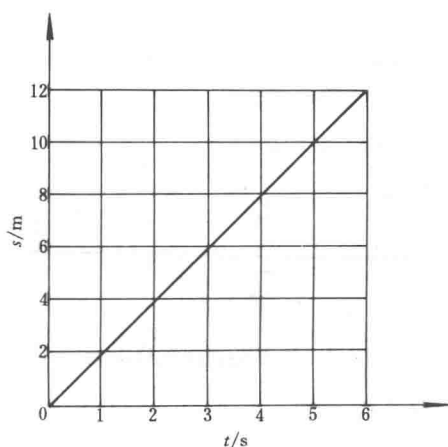


图 1-3 路程图像

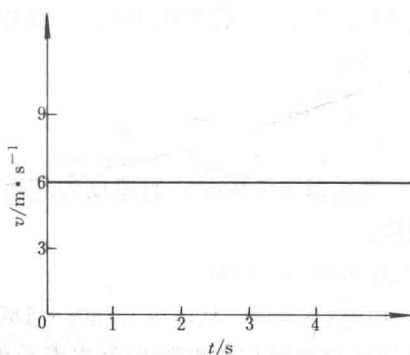


图 1-4 速度图像

同理，用纵轴表示速度，横轴表示时间，就得到图 1-4 所示的速度图像。由图 1-4 可看出，匀速运动的速度曲线是一条直线，而且和时间轴平行，这就更加充分说明匀速直线运动中，任何时刻的速度都是相等的。

第二节 匀变速直线运动

一、平均速度的概念

若汽车在平直路面上做匀速直线运动，但其在启动时速度是逐渐增大的，刹车时却是逐渐减小的。图 1-5 所示为汽车由静止开始运动，第 1s 内的速度为 1m/s，前 2s 内的速度为：

$$\frac{(1 + 2)m}{2s} = 1.5m/s$$

后 3s 内的速度为：

$$\frac{(2 + 0.5 + 1.5)m}{3s} = 1.33m/s$$

可见，汽车的速度是在改变的。把汽车通过的路程与通过该段路程所用时间的比值叫做汽车在该段时间内（或该段路程中）的平均速度。平均速度用 $\bar{v}$ 表示，单位为 m/s，即：

$$\bar{v} = \frac{\text{路程}}{\text{时间}} \quad (1-2)$$

根据图 1-5 中的数据，请读者计算出 1s 末到 3s 末的平均速度：

$$\bar{v} = \frac{\text{路程}}{\text{时间}}$$

2s 末到 4s 末的平均速度：

$$\bar{v} = \frac{\text{路程}}{\text{时间}}$$

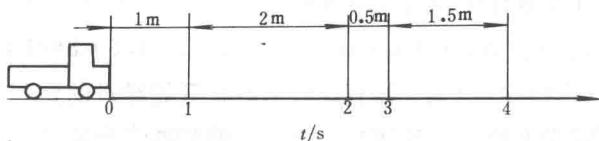


图 1-5 汽车做变速运动

二、匀变速直线运动的概念

图 1-6 所示为汽车运动时 t 、 v 、 s 之间的关系。汽车开始运动时的速度叫初速度，用 v_0 表示。由图可知，汽车的初速度 $v_0=0$ 。图中 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 分别表示汽车在各个时刻（或各位置）的速度，这种速度叫即时速度，用 v_t 表示。由图中数据可知，在任何 1s 的时间内，速度增加量都等于 1m/s。我们将速度的改变与发生这种改变所用的时间的比值叫做加速度，用 a 表示，单位为 (m/s^2) ，读作米每二次方秒。

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1-3)$$

加速度不仅有大小，而且还有方向。若 a 为正值，表示加速度的方向与速度方向相同；若 a 为负值，表示加速度的方向与速度方向相反。

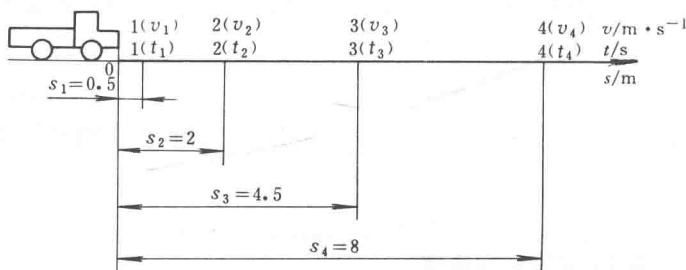


图 1-6 汽车做匀变速直线运动

从图 1-6 数据中还可以得出： $v_1 : v_2 : v_3 : v_4 = 1 : 2 : 3 : 4$ ， $t_1 : t_2 : t_3 : t_4 = 1 : 2 : 3 : 4$ ， $s_1 : s_2 : s_3 : s_4 = 0.5 : 2 : 4.5 : 8 = 1 : 4 : 9 : 16 = t_1^2 : t_2^2 : t_3^2 : t_4^2$ 。具有这种从静止开始经过的路程与所需时间的平方成正比规律的运动，叫做初速度为零的匀加速直线运动，其运动公式见表 1-1。

表 1-1 初速度为零的匀加速直线运动公式

速度 $v_t =$	at	$2s/t$	$\sqrt{2as}$	
时间 $t =$	v_t/a	$2s/v_t$		$\sqrt{2s/a}$
加速度 $a =$	v_t/t		$v_t^2/2s$	$2s/t^2$
路程 $s =$		$v_t t/2$	$v_t^2/2a$	$at^2/2$

如果研究汽车从第 1s 末到第 4s 末的运动规律, 由图 1-6 可知, 汽车的初速度 $v_0 = v_1 = 1\text{m/s}$ 。在这段时间内汽车做初速度不为零的匀加速直线运动, 运动公式为:

$$v_t = v_0 + at \quad (1-4)$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad (1-5)$$

例 1-2 一个从静止开始做匀加速直线运动的物体, 在 5s 末的速度为 5m/s, 那么物体运动的加速度是多大? 在 5s 内通过的路程是多少? 它在 5s 内的平均速度又是多少?

解 由公式 (1-3) 得:

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{5\text{m/s} - 0}{5\text{s}} = 1\text{m/s}^2$$

由表 1-1 得: $s = \frac{v_t t}{2} = \frac{5\text{m/s} \times 5\text{s}}{2} = 12.5\text{m}$

由公式 (1-2) 得: $\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{12.5\text{m}}{5\text{s}} = 2.5\text{m/s}$

在很多情况下, 物体的运动速度不是逐渐增大, 而是逐渐减小的 (如汽车、火车的刹车过程, 竖直上抛物体的运动等), 可称作减速运动。若其运动路线是直线, 单位时间内速度减少一致, 可称为匀减速直线运动, 其减速度可用 a' 表示,

a' 为负值。匀减速直线运动的一套公式,可以借用匀加速直线运动的公式 (1-4) 和公式 (1-5), 只要将式中的加速度 a 用减速度 a' 代替就可以了。因此, 匀减速直线运动可以视为加速度值为负值的匀加速直线运动。

例 1-3 一辆汽车以初速度 $v_0=10\text{m/s}$ 行驶, 突然制动刹车, 滑行一段路程停止。求汽车从刹车到停止所用的时间和滑行的距离 (设汽车在制动过程中作匀减速运动, 其减速度 $a'=-5\text{m/s}^2$)。

解 由公式 (1-4) 得: $t = \frac{v_t - v_0}{a'} = \frac{0 - 10\text{m/s}}{-5\text{m/s}^2} = 2\text{s}$

由公式 (1-5) 得: $s = v_0 t + \frac{1}{2} a' t^2 =$
 $10\text{m/s} \times 2\text{s} + \frac{1}{2} \times (-5\text{m/s}^2) \times (2\text{s})^2 = 10\text{m}$

第三节 自由落体运动

打桩机将重锤举到某一高度, 使重锤由静止自由落下, 将桩打入基础, 在重锤下落的过程中, 由于锤受到的空气阻力远小于锤的重力, 若忽略空气阻力和摩擦, 则锤的下落运动叫做自由落体运动。

小球自高 45m 处自由下落, 如图 1-7 所示。从图中可知 $v_1 : v_2 : v_3 = 10 : 20 : 30 = 1 : 2 : 3 = t_1 : t_2 : t_3, h_1 : h_2 : h_3 = 5 : (5+15) : (5+15+25) = 1 : 4 : 9 = t_1^2 : t_2^2 : t_3^2$ 。可见, 自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动。

由大量实验可知, 同一地点的一切物体自由下落运动中的加速度都相同。这个加速度叫重力加速度, 它是由地球的引力而产生的。用 g 表示。 g 的大小由实验测定, 精确的实验表明, 在地球上不同地点, 重力加速度的数值略有差异。例

如在南北两极 g 为 9.8322m/s^2 ，在赤道上 g 为 9.7805m/s^2 。国际上规定标准重力加速度 g 的数值为 9.80665m/s^2 ，通常取 $g=9.8\text{m/s}^2$ ，在许多工程计算中可取 $g=10\text{m/s}^2$

既然自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动，那么，它将遵守初速度为零的匀加速直线运动的规律。将表 1-1 中的 s 和 a 分别用 h 和 g 代替，即得到自由落体运动公式，见表 1-2。

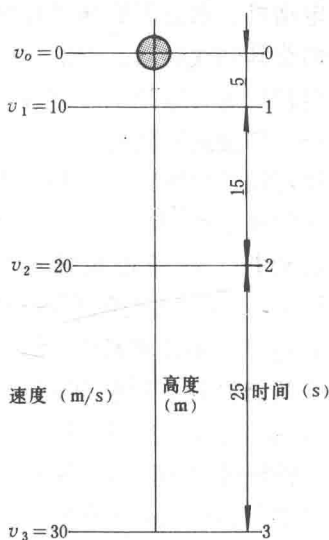


图 1-7 小球自由下落

例 1-4 打桩机将重锤举高到离桩 19.6m 处，然后让重锤自由落下，问重锤经过多长时间与桩相碰？相碰时的速度是多少？

解 由表 1-2 得：

$$t = \sqrt{2h/g} = \sqrt{2 \times 19.6\text{m} / 9.8\text{m/s}^2} = 2\text{s}$$

$$v_t = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8\text{m/s}^2 \times 19.6\text{m}} = 19.6\text{m/s}$$

表 1-2 自由落体运动公式

$v_t =$	gt	$2h/t$	$\sqrt{2gh}$
$t =$	v_t/g	$2h/v_t$	$\sqrt{2h/g}$
$h =$	$gt^2/2$	$v_t t/2$	$v_t^2/2g$

第四节 物体的定轴转动

电动机、水泵等的转子和绝大部分的轴、齿轮等，在工作时均绕其轴线转动。若轴线位置始终保持不变时，就称物体作定轴转动，这是工程中最常见的运动形式之一。

一、匀速定轴转动

作定轴转动的物体，若其转动速度始终不变时，我们称物体做匀速定轴转动。

电动机上的带轮在转动时，其半径 OA 经过时间间隔 t 到达半径 OB 。 OA 和 OB 间的夹角 ϕ 就是带轮在时间间隔 t 内所转过的角度（见图 1-8）。

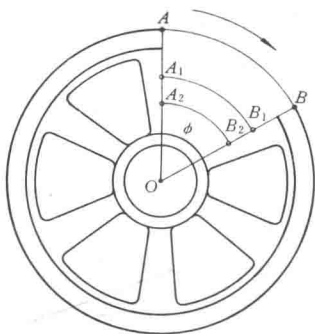


图 1-8 带轮的转动

带轮转过的角度 ϕ 与转过这个角度所用时间 t 的比值叫做角速度，用 ω 表示，单位为 rad/s 或 $1/\text{s}$ ，读作弧度每秒，即：

$$\omega = \frac{\phi}{t}$$

带轮每转一周，转过的角度为 $2\pi\text{rad}$ 。如果带轮每分钟转过的圈数为 n ，则：

$$\omega = \underline{\hspace{2cm}} \quad (1-6)$$

式中的 n 叫旋转速度，单位为 r/min ，读作转每分。

当带轮以大小不变的角速度 ω 转动时，点 A 、 A_1 、 $A_2 \cdots$ 做匀速圆周运动，角速度均为 ω 。

匀速转动的带轮，其上 A 、 A_1 、 $A_2 \cdots$ 各点的角速度相同，