

中华人民共和国机械工业部统编

机械工人技术培训教材

机械基础

(冷加工类)

科学普及出版社

中华人民共和国机械工业部统编
机械工人技术培训教材

机 械 基 础

(冷加工类)

10956/08

科学普及出版社

内 容 提 要

本书是机械工业部统编的机械工人技术培训教材,它是根据机械部颁发的《工人中级技术理论教学计划·教学大纲》编写的。本书内容包括:牛顿运动定律、匀速圆周运动、功和能、机械振动等有关物理知识和物体的受力分析及受力与变形间的规律等有关理论力学、材料力学的基础知识;平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构的运动及结构分析;键、螺栓等联结零件的选择与简单计算方法;带传动、齿轮传动、蜗杆传动及轴系零件等;液压传动的基本知识、液压元件和液压系统的安装、清洗、调试、维护等机床液压传动基础。此外,书中还附有一定数量的复习思考题。

本书是机械类冷加工各工种技术培训的基础理论教材(适用中级班),其他有关工种也可选用,还可供工程技术人员及有关教师参考。

本书由刘春生、赵必洁同志编写,经肖宗康、吴宗善、黄德生同志审查。

中华人民共和国机械工人技术培训教材

机 械 基 础

(冷加工类)

责任编辑:卿 民

科学普及出版社出版(北京淀海区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京外文印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 24.5 字数: 585千字

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

印数: 1—84,000册 定价: 4.20元

统一书号: 15051·1172 本社书号: 1167

对广大工人进行比较系统的技术培训教育，是智力开发方面的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地展开这项工作，教材是关键。有了教材才能统一培训目标，统一教学内容，才能逐步建立起比较正规的工人技术教育制度。

教材既是关键，编写教材就是一件功德无量的事。在教材行将出版之际，谨向为编写这套教材付出辛勤劳动的同志们致以敬意！

机械工业部第一副部长 **杨 铨**
一九八二年五月

前 言

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对工人特别是青壮年工人进行系统的技术理论培训，以适应四化建设的需要。现确定按初级、中级、高级三个培训阶段，逐步地建立工人培训体系，使工人培训走向制度化、正规化的轨道，以期进一步改善和提高机械工人队伍的素质。一九八一年，根据机械工人队伍的构成、文化状况及培训的重点，我们组织了四川省、江苏省、上海市机械厅(局)和第一汽车厂、太原重型机器厂、沈阳鼓风机厂、湘潭电机厂，编写了三十个通用工种的初级、中级的工人技术培训教学计划、教学大纲及其教材，作为这些工种工人技术理论培训的统一教学内容。

编写教学计划、教学大纲及其教材的依据，是原一机部颁发的《工人技术等级标准》。初级技术理论以二、三级工“应知”部分为依据，是建立在初中文化基础上的。它的任务是为在职的初级工人提供必备的基础技术知识，指导他们正确地使用设备、工装卡具、量具、按图纸和工艺要求进行正常生产。中级以四、五、六级工“应知”部分为依据，并开设相应的高中文化课，在学完了初级技术理论并具有一定实践经验的工人中进行。它的任务是加强基础理论教学，使学员在设备、工装卡具、结构原理、工艺理论、解决实际问题的能力上有所提高(高级以七、八级工“应知”部分为依据，这次未编)。编写的教材计有：车工、铣工、刨工、磨工、齿轮工、镗工、钳工、工具钳工、修理钳工、造型工、化铁工、热处理工、锻工、模锻工、木模工、内外线电工、维修电工、电机修理工、电焊工、气焊工、起重工、煤气工、工业化学分析工、热工仪表工、锅炉工、电镀工、油漆工、冲压工、天车工、铆工等工艺学教材和热加工的六门基础理论教材(数学、化学、金属材料及其加工工艺、机械制图、机械基础、电工基础)。一九八四年，我们又组织编写了值班电工、划线工、机械性能试验工、粉末冶金工艺学教材金相工基础，以及六门基础理论教材：冷加工类的机械基础、机械制图、电工基础、机械加工工艺基础、金属材料及热处理和电工类的电工基础。

在编写过程中，注意了工人培训的特点，坚持了“少而精”的原则。既要理论联系生产实际，学以致用，又要有理论的高度和深度；既要少而精，又要注意知识的科学性、系统性、完整性；既要短期速成，又要循序渐进；在教学计划中对每个工种的培养目标，各门课程的授课目的，都提出了明确的要求，贯彻了以技术培训为主的原则。文化课和技术基础课的安排，从专业需要出发，适当地考虑到今后发展和提高的要求，相近工种的基础课尽量统一。

这套教材的出版，得到了有关省、市机械厅(局)、企业、学校、研究单位和科学普及出版社的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写在职工人培训的统一教材，是建国三十年来第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材难免还存在不少缺点和错误，我们恳切地希望同志们在试行中提出批评和指正，以便进一步修改、完善。

机械工业部工人技术培训教材编审领导小组

一九八五年三月

目 录

第一篇 工程力学

第一章 物理知识——力学基础	1
第一节 变速运动	1
第二节 牛顿运动定律	6
第三节 匀速圆周运动·万有引力定律	13
第四节 功和能	18
第五节 机械振动和机械波	25
〔附录一〕 力的独立作用定律——牛顿第二定律的推广	9
〔附录二〕 关于单位制	11
〔附录三〕 宇宙速度	17
第二章 理论力学基础	32
第一节 静力学基本概念	32
第二节 平面汇交力系	40
第三节 力矩·力偶	47
第四节 平面任意力系	53
第五节 空间力系	58
第六节 摩擦	65
第三章 材料力学基础	70
第一节 概述·拉伸与压缩	70
第二节 剪切与挤压	80
第三节 圆轴扭转	86
第四节 弯曲	92

第二篇 机构与机械零件

第四章 平面机构	108
第一节 平面连杆机构	108
第二节 凸轮机构	119
第三节 间歇运动机构	128
〔附录一〕 机械传动基本知识	117
第五章 联接零件	135
第一节 键联接	135
第二节 螺纹联接与螺旋传动	142
第三节 弹簧	156
第六章 传动零件	162
第一节 带传动	162
第二节 齿轮传动	177
第三节 蜗杆传动	204

〔附录一〕 三角胶带传动的简单计算	168
〔附录二〕 链传动	175
〔附录三〕 摩擦轮传动	210
〔附录四〕 直齿圆柱齿轮的模数简易确定法	215
〔附录五〕 JB179-81渐开线圆柱齿轮精度制简介	216
第七章 轴系零件	221
第一节 轴	221
第二节 滑动轴承	232
第三节 滚动轴承	243
第四节 联轴器与离合器	252
〔附录一〕 滚动轴承的组合使用	249

第三篇 机床液压传动基础

第八章 液压传动基础知识	261
第一节 液压传动的工作原理和组成	261
第二节 液压传动的优缺点	263
第三节 静止液体的性质	263
第四节 流动液体的性质	266
第五节 液体流动中的压力损失	269
第六节 液压传动的功率	271
第七节 液压传动中的一些物理现象	272
第八节 液压用油的选择和使用	273
第九节 液压传动常用基础标准	276
第九章 机床液压元件	283
第一节 液压泵和液压马达	283
第二节 液压缸	300
第三节 液压控制阀	316
第四节 辅助元件	333
第十章 机床液压系统的使用·维护保养·故障排除	341
第一节 一般维护方法	341
第二节 液压系统和主要元件的故障排除	343
第十一章 液压基本回路	349
第一节 换向回路	349
第二节 压力控制回路	351
第三节 顺序动作回路	355
第四节 速度控制回路	357
第五节 同步回路	360
第十二章 典型机床液压系统工作原理	362
第一节 分析液压传动系统图的方法及步骤	362
第二节 磨床液压传动系统	365
附录 I 常用单位与法定计量单位换算表	370
附录 II 本书各章的习题	370

第一篇 工 程 力 学

第一章 物理知识——力学基础

第一节 变 速 运 动

一、参考体和参考坐标系

在日常生活和生产活动中，一种习以为常的物理现象总是在和我们朝夕相伴，这就是“运动”。每天清晨，当你起床之后，各种各样运动着的物体就开始呈现在你的眼前：初升的太阳正在东方地平线上冉冉升起；街上的行人或匆忙奔走或怡然散步；各种车辆川流不息地奔跑着；车间里的机器在飞快地旋转……当你进一步思考就又会知道，即使看起来是静止不动的厂房、宿舍、矿山、树木等物体，也都随着地球在转动。这就是说，自然界中一切物体都是处于永不停顿的运动状态之中，绝对静止不动的物体是不存在的。这就是运动的绝对性。但是，若要孤立地研究某一个物体在空间的运动规律是很困难的，必须选择另一个物体作为参考，才能确定该物体的运动。作为参考的物体就称为“参考体”（或参照物）。即“用来确定物体运动状态的参考物体称为“参考体”。从经验中可知，由于选择的参考体不同，对于同一个物体的运动状态的描述也不相同。这就是描述运动的相对性。例如，对于正在运行中的天车上的起重吊钩来说，站在地面上观察时，吊钩是运动的，而对于天车上的司机来说，吊钩却是静止的。为了便于研究物体的运动，把固连于参照物上的坐标系称为“参考坐标系”（简称参考系）。一般情况下，经常把地球表面（或与地球固连的物体）做为确定其他物体运动的参考体，用固连于地球上的参考系来研究物体的运动规律。如果不作特别说明，则所研究的运动都是指相对地球而言的运动。

二、直线运动与曲线运动

物体运动时，如果该物体的大小对所研究的运动状况没有影响，或影响很小，则常把物体简化成一个点来考虑，而将其大小忽略。这样，物体的运动就变成了点的运动，运动点在空间所描画出的连续曲线，称为该点的运动轨迹。按照轨迹的形状不同，点的运动可分为“直线运动”和“曲线运动”。前者的运动轨迹是一条直线，后者的运动轨迹为一曲线，本节着重讨论点的直线运动（包括直线运动规律的确定、速度和加速度等）。同时，描述点的运动总是和时间的概念相联系的，所以必须了解与时间的概念密切相关的“瞬时”和“时间间隔”的含义。所谓瞬时是指点在运动中的某一特定时刻，即某一刹那。如时间 $t = 1$ 秒时，就表示时间从初瞬时经过1秒之后所处的那一瞬间。而时间间隔则是表示两个不同瞬时之间的一段时间。如 $t = 0$ 和 $t = 5$ 秒之间的时间间隔为5秒，瞬时与动点的位置

相对应, 时间间隔与动点所经过的一段距离相对应。

三、运动方程式

点在运动轨迹上的位置随时间而变化的关系称为“点的运动规律”。这种运动规律用数学方程式来表示, 就称为“点的运动方程式”。

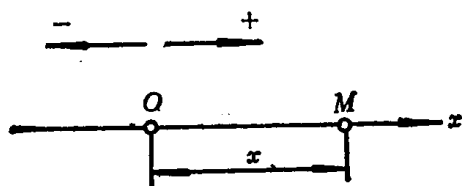


图 1-1 点的直线运动

点作直线运动时, 可以将此直线设为 x 轴, 在轴上任选一点 O 为坐标原点, 即参考点 (图 1-1)。并规定: O 点以右的坐标为正, O 点以左的坐标为负。动点的位置可以用坐标 x 决定, 坐标 x 只随时间 t 而变化, 即坐标 x 是时间 t 的单值连续函数, 该动点运动的一般方程式可写为

$$x = f(t) \quad (1-1)$$

当点的运动方程式确定之后, 它的运动规律也就确定了, 这就是说, 知道了点的运动方程式后, 点在任意瞬时的运动状态也就确定了。

例题1 已知某点作直线运动时的运动方程式为 $x = 4t - 12$ 。式中 x 的单位为厘米, t 的单位为秒。试求当 $t = 0, 1, 2, 3, 4$ 秒时该点的坐标位置。

解 求该点在各瞬时的坐标位置, 只需将 $t = 0, 1, 2, 3, 4$ 秒分别代入运动方程式即可。

$$x_0 = 4 \times 0 - 12 = -12 \text{ (厘米)} \text{ (即此瞬时动点在坐标原点左方12厘米处)}$$

同理

$$x_1 = 4 \times 1 - 12 = -8 \text{ (厘米)}$$

$$x_2 = 4 \times 2 - 12 = -4 \text{ (厘米)}$$

$$x_3 = 4 \times 3 - 12 = 0 \text{ (厘米)}$$

$$x_4 = 4 \times 4 - 12 = 4 \text{ (厘米)}$$

四、点作直线运动时的速度

(一) 匀速运动的速度

车床的溜板、铣床工作台的进给、天车的吊钩等构件在工作时, 虽然都是作直线运动, 但它们运动的快慢各不相同。“速度”就是表示物体运动快慢程度的物理量。运动快的物体速度大, 运动慢的物体速度小,

如果一个动点在任何相等的时间间隔里所通过的路程都相等, 则该动点的运动称为“匀速运动”。用 s 表示动点在时间间隔 t 内所经过的路程, 用 v 表示动点的运动速度, 则

$$v = \frac{s}{t} \quad (1-2)$$

在运动过程中, 作匀速运动的动点, 其速度 v 是一个常量, 因此公式 (1-2) 也可以写成 $s = vt$ 的形式。速度的单位由路程 s 和时间 t 的单位决定, 常用的速度单位为米/秒或公里/小时。

(二) 平均速度

如果动点在任何相等的时间间隔里所通过的路程不相等, 则该动点的运动就不是匀速

的, 这种运动称为“变速运动”。动点作变速运动时的速度可以用“平均速度”来表示。在变速运动中, 动点通过的某段路程 s 与所用的时间间隔 t 的比值称为动点在这段时间间隔内 (或这段路程中) 运动的平均速度。平均速度用 $v_{\text{均}}$ 表示, 则:

$$v_{\text{均}} = \frac{s}{t} \quad (1-3)$$

由于在变速运动中, 不同的时间间隔内 (或不同的路程内), 动点的平均速度的大小是不相等的, 所以, 求平均速度时, 一定要指明是哪段路程中的平均速度, 或者是哪段时间间隔内的平均速度。

在匀速运动和变速运动中, 动点的速度不但有大小, 而且有方向 (速度的方向就是动点运动的方向)。这种既有大小又有方向的量, 称为“矢量”。而仅有大小没有方向的量, 则称为“标量”。如, 速度、加速度、力等都是矢量, 而长度、面积、时间及温度等都是标量。矢量可以用一定长度的带箭头的有方向线段来表示。箭头的方向代表矢量的方向, 箭头的长度, 代表矢量的大小。若用字母表示矢量的话, 则可用在字母上面加一横线 (如 $\overline{a}$, $\overline{b}$, $\overline{AB}$ 等) 或是用黑体字母 (如 $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$, $\mathbf{AB}$ 等) 的方法。

(三) 瞬时速度

在变速运动中, 平均速度只是表明动点在某段路程中 (或某段时间间隔内) 运动的平均快慢程度, 并不能准确地表示动点在某一瞬时或动点经过某一位置时的速度大小, 在变速运动中, 动点在某一瞬时 (或通过轨迹上某一位置时) 的速度, 称为动点在该瞬时 (或该位置) 的“瞬时速度”。

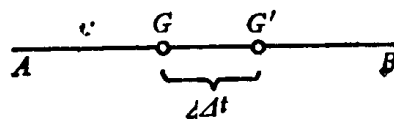


图 1-2 瞬时速度的概念

瞬时速度的概念可以这样来理解: 在图1-2中, AB 为动点的运动轨迹, 动点在从 A 运动到 B 的过程中, 将依次经过轨迹上的 G 、 G' 两个位置, 而经过 G 、 G' 两个位置时所用的时间为 Δt 秒, 则动点在 GG' 段路程内 (或时间间隔 Δt 内) 的平均速度为 $\frac{GG'}{\Delta t}$ 。这个平均速度值只能说明动点在 GG' 段路程内运动的平均快慢程度, 它不代表动点经过位置 G 时的瞬时速度。为了精确地反映动点在位置 G 的瞬时速度, 就应该使时间间隔 Δt 逐渐缩短, 使 G' 点逐渐向 G 点靠近, 这样, 比值 $\frac{GG'}{\Delta t}$ 的大小就逐渐接近于 G 点的瞬时速度。当时间间隔 Δt 趋近于零时 (趋近于零是个数学概念, 是使 Δt 无限地向零逼近, 但不等于零), G' 点也就趋近于 G 点, 这时平均速度 $\frac{GG'}{\Delta t}$ 将趋近于一个极限值, 这个极限值就代表了 G 点的瞬时速度。即 G 点的真实速度。在变速运动中, 动点的速度是变化的, 即动点在每个瞬时的速度大小都不相等。汽车上的速度表, 就是直接指示出汽车在行驶过程中瞬时速度大小的仪表。而转速表则是测量机器瞬时转速的仪表。

五、点的加速度

动点在变速运动中速度是变化的。为了说明速度变化的快慢程度, 引入“加速度”的概念。加速度是表示动点速度变化快慢程度的一个物理量。不同的物体在运动中的加速度大小是不相同的。例如, 火车开动时和飞机起飞时的运动, 虽然两者的速度都是变化的,

但它们变化的快慢程度却不一样，火车的速度变化程度比飞机的速度变化程度小，即火车在开动时的加速度小于飞机起飞时的加速度。

速度的变化量跟发生这种变化所用的时间之比，称为动点在这段时间内的平均加速度。若以 $a_{\text{均}}$ 表示动点的平均加速度，则

$$a_{\text{均}} = \frac{v_1 - v_0}{\Delta t} \quad (1-4)$$

式中 v_0 ——动点在时间间隔 Δt 内的初速度；

v_1 ——动点在时间间隔 Δt 内的末速度；

Δt ——时间间隔。

平均加速度只说明动点在某段时间间隔内速度变化快慢的平均程度。为了说明动点在某瞬时（或某位置）速度变化的快慢程度，必须用“瞬时加速度”的概念。当使时间间隔 Δt 趋近于零时平均加速度的极限值就表示了动点在初瞬时的瞬时加速度大小。平均加速度和瞬时加速度的单位均为厘米/秒²或米/秒²。

在变速运动中，如果任何相等的时间间隔内，速度大小的变化量都相等且方向不变，这种运动称为匀变速直线运动。由于匀变速直线运动中的加速度是一个常数，因此它是最简单的一种变速运动。对于匀变速直线运动来说，其瞬时加速度就等于平均加速度，所以瞬时加速度大小就可以用平均加速度的公式求出。如果已知一动点的加速度大小为 a ，从初速度 v_0 经任一时间 t 后的末速度 v_1 为

$$v_1 = v_0 + at \quad (1-5)$$

在 t 时间间隔内所走过的路程 s 为

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (1-6)$$

把(1-5)、(1-6)两式合并并消去 t ，又可得

$$v_1^2 = v_0^2 + 2as \quad (1-7)$$

上面的(1-5)、(1-6)、(1-7)三式表达了在匀变速直线运动中路程、速度、加速度、时间之间的相互关系。在应用这些公式时要注意两点：一是 s 的正负值；必须由原点的位置决定，通常在匀变速直线运动中 s 均为正值；二是速度和加速度的正负决定了它们的方向。但在不考虑坐标轴的方向时，只需注意：当 $v_1 > v_0$ 时，公式中的加速度为正值（即动点作匀加速运动）；当 $v_1 < v_0$ 时，公式中的加速度为负值（即动点作匀减速运动）。而正值的加速度表示加速度的方向与速度的方向一致，负值的加速度表示加速度的方向与速度的方向相反。

在讨论变速运动的情况时，还有一点要予以特别注意，就是要正确理解速度和加速度的概念。速度反映了运动变化的快慢程度，而加速度是反映速度变化的快慢程度，它并不反映实际速度的大小。不能认为速度大的物体其加速度一定也大。速度和加速度是两个不同的概念，不要混为一谈。

六、速度图线

表示速度与时间之间关系的图线，叫速度图线（或速度曲线）。

利用速度图线可以简单明了地表示物体运动的变化规律并迅速求出运动物体在任意瞬时的速度和任一时间间隔内所经过的路程等数值。

速度图线的作图方法是以横坐标代表时间 t ,纵坐标代表速度 v 的数值大小。图1-3(a)、(b)、(c)分别为匀速直线运动、匀加速直线运动和匀减速直线运动的速度图线,图上阴影面积大小就等于在 t_1 时间间隔内动点所通过的路程。

例题2 一辆汽车从A站出发作变速直线运动。运动中依次经过B站、C站、D站后到达终点E站。已知 $AB=1000$ 米, $BC=1200$ 米, $CD=1400$ 米, $DE=2000$ 米。汽车驶过两站之间的距离所用的时间分别为80秒、60秒、50秒、120秒。求汽车行驶在相邻两站之间及从A站到E站全程内的平均速度?

解 根据平均速度的公式(1-3)可知

$$v_{\text{均}} = \frac{s}{t}$$

所以 $v_{\text{均}AB} = \frac{s_{AB}}{t_1} = \frac{1000}{80} = 12.5 \text{ (米/秒)}$

$$v_{\text{均}BC} = \frac{s_{BC}}{t_2} = \frac{1200}{60} = 20 \text{ (米/秒)}$$

$$v_{\text{均}CD} = \frac{s_{CD}}{t_3} = \frac{1400}{50} = 28 \text{ (米/秒)}$$

$$v_{\text{均}DE} = \frac{s_{DE}}{t_4} = \frac{2000}{120} = 16.7 \text{ (米/秒)}$$

$$v_{\text{均}AE} = \frac{s_{AE}}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} = \frac{1000 + 1200 + 1400 + 2000}{80 + 60 + 50 + 120} = \frac{5600}{310} \approx 18 \text{ (米/秒)}$$

例题3 初速度为3米/秒的物体以2厘米/秒²的加速度作匀加速直线运动。求在从初始观察后的第10秒末的速度及在这10秒内物体通过的路程。

解 根据匀变速运动的速度公式(1-5),由已知的初速度 $v_0=3$ 米/秒,加速度 $a=2$ 厘米/秒² $=0.02$ 米/秒²和 $t=10$ 秒,可以求出10秒末的速度 v_{10} 为

$$v_t = v_0 + at = 3 + 0.02 \times 10 = 3.2 \text{ (米/秒)}$$

再根据公式(1-6)即可求出10秒内通过的路程。

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = 3 \times 10 + \frac{1}{2} \times 0.02 \times 10^2 = 31 \text{ (米)}$$

例题4 火车以72公里/小时的速度匀速直线行驶,进站前50秒钟开始制动,到站台后停止。求火车在制动时的加速度和在这段时间内所通过的路程(设火车制动过程为匀变速直线运动)。

解 已知火车的初速度 $v_0=72$ 公里/小时 $=20$ 米/秒,制动时间 $t=50$ 秒,末速度 $v_t=0$,求制动过程中的加速度,可应用公式(1-5)

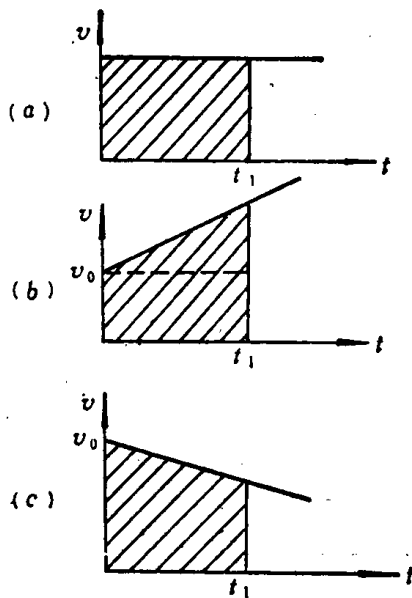


图 1-3 速度图线

$$v_t = v_0 + at$$

所以

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - 20}{50} = -0.4 (\text{米/秒}^2)$$

再由式(1-6)求出制动过程中的路程

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = 20 \times 50 + \frac{1}{2} (-0.4) \times 50^2 = 500 (\text{米})$$

通过以上例题分析,应掌握在利用公式解变速运动的问题时,首先要根据题意判断物体是否作匀变速运动,初速度是否为零(即是由静止出发,还是具有一定的初速度)。其次,要根据题意分析已知哪些量,要求哪些量。对于初速度不为零的匀变速运动,若已知五个量中的三个(从静止出发的匀加速直线运动是已知四个量中的两个),就可以选择适当的公式来求其余的两个。在解题时还要注意公式中各物理量的单位必须对应一致。

在自然现象中,还有一种叫作自由落体的运动。它也是一种匀加速直线运动。在自由落体运动中,物体只受重力作用,在忽略空气阻力的情况下,任何物体在空气中的落下运动都可以看作是自由落体运动。自由落体运动的加速度是一个常量,称为“重力加速度”。常以字母 g 表示,其值近似取为 9.8米/秒^2 或 980厘米/秒^2 。自由落体运动是初速度为零的匀加速运动,它的运动公式可以由前面的匀加速运动公式推出,只要将公式里的 a 改成 g 且 $v_0 = 0$ 即可。当用 h 表示物体在时间间隔 t 内竖直落下的高度, v_t 表示 t 秒末的速度,则自由落体运动的公式可以写成:

$$v_t = gt \quad (1-8)$$

$$h = \frac{1}{2} gt^2 \quad (1-9)$$

$$v_t^2 = 2gh \quad (1-10)$$

第二节 牛顿运动定律

在上一节中,我们讨论了物体作匀变速直线运动的规律,叙述了速度和加速度等概念。实际上,物体的运动总是与受力有密切关系的,例如,开动机车时可以使它的运动加快或减慢,操纵机床的运转状态都是控制物体的运动。为了控制物体的运动状态,就必须研究引起物体运动状态改变的原因,也就是引起加速度的原因。物体的运动和产生这个运动的原因之间存在着一定的规律,这个规律就是牛顿运动定律。它是英国著名的物理学家牛顿在总结前人经验和自己所作的大量实验的基础上,在1687年发表的。牛顿运动定律包括三个主要内容,因此也称作牛顿三大运动定律。它的发表为动力学的发展奠定了强有力的理论基础。

一、牛顿第一定律——惯性定律

从日常生活和生产中的经验可知,静止的列车开始运动是由于受到了机车牵引力的作用,地面上滚动的球,慢慢地停止了滚动,这是因为受到地面等的阻力作用,也就是说物体运动状态的改变是由于受到了其它物体给予的作用而引起的。

某物体如果不受其它物体的作用,则它的运动状态又将怎样呢?牛顿第一定律就回答

了这个问题。

“如果物体不受其它物体的作用，则此物体将永远保持静止状态或匀速直线运动状态。”

这个定律说明，一切物体都有保持自己的原有状态(静止或匀速直线运动)的性质，这种性质称为惯性，即：物体保持静止或匀速直线运动状态的性质，称为物体的惯性。因此，牛顿第一定律又称为惯性定律。

物体具有惯性的这一事实，在日常生活和生产中是司空见惯的。例如，当运动中的公共汽车突然刹车时，车内站立的乘客，就会向前倾斜，甚至于会跌倒。当钳工手锤的锤头与手把之间出现松动时，可以磕一磕手把的尾端，使锤头与手把头部紧固，这都是惯性作用的实例。

如果物体处于静止状态或匀速直线运动状态时，则物体不受外力或外力对物体的运动状态不起改变作用，这时物体的加速度为零。

这个定律也说明了，物体运动状态的改变原因，是由于该物体受到其它物体作用的结果，即受到了其它物体的作用力的结果。因此，可以认为，作用力是使物体产生加速度的原因。

二、牛顿第二定律——力与加速度的关系定律

“物体受到外力作用时，必然产生加速度，加速度的方向与外力的方向相同，加速度的大小与力的大小成正比，与物体的质量成反比。”这就是牛顿第二定律的内容。

设质量为 m 的物体，在外力 P 的作用下获得的加速度为 a ，则

$$a = \frac{P}{m} \quad \text{或} \quad P = ma \quad (1-11)$$

这就是牛顿第二定律的公式。它表明物体所受到的作用力等于物体的质量与其加速度的乘积。从公式中可以看出，在相同的外力 P 作用下，物体的质量越大，它所获得的加速度越小。若物体的质量一定，则欲获得较大的加速度，必须对物体施加较大的外力。

这个定律说明了作用于物体上的外力与物体运动状态的改变(即加速度)之间的数量关系，所以牛顿第二定律也称为力与加速度关系定律。

不同的物体具有不同的质量，质量越大的，物体的惯性越大，反之亦然。物体的质量即表示其惯性的大小，也就是说物体的质量是物体惯性大小的度量。

物体的质量可以根据其重量的大小求出，若物体的重量用 G 表示，则

$$m = \frac{G}{g} \quad \text{或} \quad G = mg \quad (1-12)$$

式中 m ——物体的质量；

G ——物体的重量(地球对物体的吸引力)；

g ——重力加速度。

质量和重量是两个不同的物理概念。质量是物体惯性大小的度量(质量是个标量)，而重量即重力，是指地球对物体的吸引力(重量是个矢量，其方向指向地心)。物体的重量与重力加速度有关，地球上各地的重力加速度不同，因此物体的重量是因地而异的，而物体

的质量是不变的。

力、加速度和质量的单位，因单位制不同而有所区别。在工程单位制中，力的单位为“公斤力”（或吨力，1吨力=1000公斤力。当统一用工程单位制时，可简写为“公斤”），加速度的单位是米/秒²，而质量单位为“工程质量单位”。其换算关系为1工程质量单位=1公斤力·秒²/米。在国际单位制中，质量的单位为“千克”，加速度的单位为“米/秒²”，而力的单位为“牛顿”。即1牛顿=1千克×1米/秒²=1千克·米/秒²。目前工厂中经常使用的是工程单位制，按照国家规定应采用法定计量单位①。

三、牛顿第三定律——作用与反作用定律

“两个物体间的作用力与反作用力总是大小相等、方向相反并沿同一直线分别作用在两个物体上。”这个定律说明，如果甲物体对乙物体的作用力为 $\overline{P}_{12}$ ，则与此同时，乙物体必然对甲物体产生一个反作用力 $\overline{P}_{21}$ ，这两个力的大小相等，方向相反，作用线相同，写成公式为：

$$\overline{P}_{12} = -\overline{P}_{21} \quad (1-13)$$

这里需要注意的是，由于作用力与反作用力是分别作用在两个不同的物体上，因此，它们的作用不能互相抵消。同时，这个定律是说明两个物体相互作用时而产生的力应具有的关系，它并不涉及物体的运动状态。因此这个定律不仅适用于静止的物体，也适用于运动着的物体。

四、牛顿运动定律的应用

牛顿运动定律揭示了物体运动与其受力之间的内在关系，它是解决工程实际动力学问题的基础。一般来说，它可以解决工程中的两类基本问题：一是已知物体的运动，求作用在物体上的力；二是已知作用在物体上的力，求该物体的运动规律。

例题5 某一物体的质量为5工程质量单位，在外力的作用下获得0.2米/秒²的加速度，试求外力大小？

解 已知物体的质量 m 和加速度 a ，则可利用公式(1-11)求作用在该物体上的外力

$$P = ma = 5 \times 0.2 = 1 \text{ (公斤力)}$$

例题6 有一个以1米/秒的速度作匀速直线运动的物体，在受到一个0.2公斤力的作用力后，经过5秒钟后，通过10米的路程，求该物体的质量的大小？

解 根据题意已知物体的初速度 $v_0 = 1$ 米/秒，路程 $s = 10$ 米，作用力(外力) $P = 0.2$ 公斤力，时间 $t = 5$ 秒，则可根据公式(1-11)可知，欲求质量 m ，须先求出加速度 a ，

由公式 $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ 得

$$a = \frac{2(s - v_0 t)}{t^2} = \frac{2(10 - 1 \times 5)}{5^2} = 0.4 \text{ (米/秒}^2\text{)}$$

所以 $m = \frac{P}{a} = \frac{0.2}{0.4} = 0.5 \text{ (工程质量单位)}$

例题7 一个物体的重量为62公斤力，其质量为多少工程质量单位？

解 根据公式(1-12)可知

$$m = \frac{G}{g} = \frac{62}{9.8} = 6.3 \text{ (工程质量单位)}$$

例题8 重量为50吨力的机车,在1200公斤力的牵引力作用下,由静止起动,求在1分钟内行驶了多少路程?

解 已知牵引力 $P = 1200$ 公斤力,机车重量50吨力 $= 50000$ 公斤力,则其质量为:

$$m = \frac{G}{g} = \frac{50000}{9.8} = 5102 \text{ (工程质量单位)}$$

因此,机车所获得的加速度为:

$$a = \frac{P}{m} = \frac{1200}{5102} = 0.24 \text{ (米/秒}^2\text{)}$$

又知机车初速度 $v_0 = 0$, $t = 1$ 分钟 $= 60$ 秒,因此,所走过的路程为:

$$s = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \times 0.24 \times 60^2 = 432 \text{ (米)}$$

最后还应谈一谈牛顿三大定律的适用范围。自从十七世纪以后,以牛顿定律为基础的经典力学不断发展,在科学研究和生产技术中得到了广泛的应用,并取得了巨大的成就。应用经典力学来解决实际问题时,所得到的结果与实际情况是相符合的,这就证明了牛顿定律的正确性和实用性。但是由于经典力学是在研究宏观物体低速运动的基础上总结出来的规律,所以它只适用于解决物体处于低速运动时(即物体的运动速度远远小于光速)的情况,同时还只适用于宏观物体。至于接近光速的运动和微观物体(如粒子),则经典力学不再适用,而分别须要用到相对论力学和量子力学的理论了。

〔附录一〕

力的独立作用定律——牛顿第二定律的推广

物体受外力后,将在外力的方向上产生相应大小的加速度,使该物体的运动状态发生改变。这时,外力与加速度的关系可以应用牛顿第二定律来解决。但是当物体所受到的外力不只是一个,而是若干个时,将如何处理呢?这时,可以根据力的独立作用原理来解决。即:物体受几个力同时作用时所产生的加速度,等于每个力单独作用在这个物体上各自产生的加速度的矢量和(矢量和是矢量相加的一种方法,即矢量合成法,详见第二章平面汇交力系的合成一节)。

这个定律说明,如果在某瞬时,质量为 m 的物体受到若干个力 $\overline{P}_1, \overline{P}_2, \dots, \overline{P}_n$ 的作用,使物体产生的加速度为 $\overline{a}$ 。若每个力单独作用在此物体上所产生的加速度,分别为 $\overline{a}_1, \overline{a}_2, \dots, \overline{a}_n$ (因为 $\overline{P}_1 = m\overline{a}_1, \overline{P}_2 = m\overline{a}_2, \dots, \overline{P}_n = m\overline{a}_n$), 则根据力的独立作用原理,此物体在同时受到若干力作用时所产生的加速度为:

$$\overline{a} = \overline{a}_1 + \overline{a}_2 + \dots + \overline{a}_n$$

上式两边同时乘以物体的质量 m ,得

$$m\overline{a} = m\overline{a}_1 + m\overline{a}_2 + \dots + m\overline{a}_n$$

$$m\overline{a} = \overline{P}_1 + \overline{P}_2 + \dots + \overline{P}_n$$

将 $\overline{P}_1, \overline{P}_2, \dots, \overline{P}_n$ 诸力相加用合力 $\overline{R}$ 来作等效代替,即

$$\overline{R} = \overline{P}_1 + \overline{P}_2 + \dots + \overline{P}_n, \text{ 于是}$$

$$\overline{R} = m a$$

即：物体受若干力作用所产生的加速度等于诸力的合力单独作用时所产生的加速度。公式 $\overline{R} = m \overline{a}$ 称为“动力学的基本方程式”。

力的独立作用原理，实质上是第二定律的推广。实际上，对于牛顿第二定律的公式中力 $\overline{P}$ 既可以是一个力，也可以是若干个力的合力，应该根据题目所给定的条件来确定。因为我们主要是研究物体的直线运动，这时外力基本上是处于同一直线上，因而所产生的加速度也是沿着该直线方向。在解决这样的问题时，要注意外力和加速度的正负号。通常以直线的某一方向作为正向，凡是与该方向相同的外力和加速度都是正值，反之都为负值。现举例说明之。

例题9 运货用升降机连同货物共重 $G = 2.5$ 吨力，见图1-4(a)，提升货物过程分为三个阶段，即以 $a = 2$ 米/秒² 的加速度做匀加速的起动后，又以一定的速度匀速上升，最后以 $a = -2$ 米/秒² 的加速度进行制动。求在此三阶段中升降机的钢丝绳所受的拉力各为多少？

解 根据运动特点可知，物体的运动轨迹为垂直线，以升降机（连同货物）为研究对象，升降机上所受到的力有两个：一个是升降机连同货物的总重量 $\overline{G}$ ，方向垂直向下，一个是它受到的钢丝绳的拉力 $\overline{T}$ ，方向垂直向上。升降机的运动状态分为三个阶段：起动过程中的匀加速上升（ a 的方向与运动方向相同，垂直向上）；匀速上升（ $a = 0$ ，没有速度变化）；制动过程中的匀减速上升（ a 的方向与运动方向相反，垂直向下），见图1-4b、c、d。根据牛顿第二定律的基本方程 $P = ma$ （式中 P 为 G 和 T 的合力），分别计算钢丝绳的拉力。（选垂直向上为正方向）

在起动阶段，见图1-4(b)

$$\begin{aligned} T - G &= ma \\ T &= G + ma \\ &= G + \frac{G}{g}a \\ &= G \left(1 + \frac{a}{g} \right) \\ &= 2.5 \left(1 + \frac{2}{9.8} \right) \\ &= 3 \text{ (吨力)} \end{aligned}$$

在匀速上升阶段，见图1-4(c)

$$\begin{aligned} T - G &= ma = 0 \\ T &= G = 2.5 \text{ (吨力)} \end{aligned}$$

在制动阶段，见图1-4(d)

$$\begin{aligned} T - G &= ma \\ T &= G \left(1 + \frac{a}{g} \right) \\ &= 2.5 \left[1 + \frac{(-2)}{9.8} \right] \\ &= 2 \text{ (吨力)} \end{aligned}$$