普通高等学校教材系列

物　理　学

主编　罗以密　严导淦

华东理工大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 简 介

本书是为高等工业院校编写的大学物理课程教材。为了适应当前教学改革的需要,以较少的篇幅涵盖了力学、电磁学、波动学、光学、热学和量子物理等基础理论的主要内容。全书共 14 章,每章配有习题(附答案)。

本书力求选材适当,重点突出,主次分明,以期达到教学两相宜的编写目的。

本书可作为工程专业大专层次和低学时本科(约 60～70 学时)的全日制院校和函授、夜大、高职、职大等成人或远程高等教育的教材,亦可供参加高等教育自学考试的读者作为自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

物理学/罗以密　严导淦主编.—上海:华东理工大学出版社,2004.2

ISBN 7-5628-1478-3

Ⅰ.物… Ⅱ.罗…,严… Ⅲ.物理学-高等学校-教材

Ⅳ.G64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 122485 号

物　理　学

主编　罗以密　严导淦

出版　华东理工大学出版社	开本　787×960　1/16
社址　上海市梅陇路 130 号	印张　19.5
邮编　200237　电话(021)64250306	字数　377 千字
网址　www.hdlgpress.com.cn	版次　2004 年 2 月第 1 版
发行　新华书店上海发行所	印次　2004 年 2 月第 1 次
印刷　上海长阳印刷厂	印数　1-5050 册

ISBN 7-5628-1478-3/G·644　　定价:26.00 元

本书编委会

主编　罗以密　严导淦
编委　丁经亚　乔晓华　吴如瑚　周学敏

前　言

大学物理课程是一门基础理论课程,有助于读者提高自身的科学素养,开拓探索和创新的思路,增长应对新技术、新工艺的才干。在工科各专业的学生知识结构中,物理学具有不可替代的奠基作用,并对工程领域内各行各业的发展具有举足轻重的导向作用。

当前,随着经济全球化的进程日益加速,我国正经历着跨越式的发展,向知识经济时代转型。这就势必推动我国高等教育的调整和改革。从目前情况来看,由于工科专业的课程门类趋多,物理课程的学时数相对紧缩。为此,从当前工程专业大专层次和低学时本科专业的物理课程教学基本要求出发,根据工程专业的特点和需求,在偏低的有限学时数内,探索教材内容和体系的改革,编写一本便于教学的大学物理教材应是当务之急。本书的出版便是在这样的背景下促成的。

本书按经典物理内容建构全书框架和精选内容,着力体现本课程内容的科学性、系统性和适用性。例如,增添了流体力学、声学、电流的基尔霍夫定律、传感器、表面张力和毛细现象等内容;精简了机械振动、气体动理论、量子物理等章节中的某些内容,有的仅作定性论述;至于一些为专业后续课程服务的接口性内容和反映当代物理学新成就及其在科学技术中应用的窗口性内容则适当提及,不作具体阐述。

本书在论述上以简胜繁,由浅入深,重在基本概念、基本理论的定性阐释,力求避免繁复的数学推导和不必要的赘文滞句,冀使读者可读易懂。其次,每章习题(附有答案)的题材和题量以能覆盖有关的主要内容为度,且难易适中,期以达到基本训练的目的。

本书适合 60～70 学时的物理课程教学使用。

本书在编写过程中参考和借鉴了许多国内外同类教材,从中吸收了丰富的养料,获益匪浅。本书的出版,得到了华东理工大学出版社的倾力支持和垂注,在此谨表深切谢意。

本书由罗以密、严导淦主编,参加编写的还有乔晓华、丁经亚、吴如瑚、周学

敏等。

本书的编写力求在教材内容和体系改革方面作些探索性的尝试,难免有许多欠妥和错漏之处,祈望读者不吝赐正。

编 者

2003 年 11 月 10 日

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

前　言

1　质点运动学

1.1　参考系和坐标系　位矢、位移和路程 …… 1
1.2　速度　加速度 …… 5
1.3　直线运动 …… 9
1.4　抛体运动 …… 13
1.5　圆周运动 …… 14
1.6　简谐运动 …… 18
习　题 …… 21

2　质点动力学的基本定律

2.1　牛顿定律 …… 23
2.2　力学中常见的几种力 …… 27
2.3　牛顿定律的应用示例 …… 33
习　题 …… 38

3　机械能守恒定律　动量守恒定律

3.1　功　动能定理 …… 41
3.2　保守力　系统的势能 …… 46
3.3　系统的功能定理　机械能守恒定律　能量守恒定律 …… 49
3.4　冲量和动量　质点的动量定理 …… 52
3.5　系统的动量定理　动量守恒定律 …… 55

3.6 碰撞 …… 58
习 题 …… 61

4 刚体的定轴转动

4.1 刚体的基本运动 …… 64
4.2 刚体的转动动能 转动惯量 …… 68
4.3 力矩 转动定律 …… 70
4.4 角动量定理 角动量守恒定律 …… 72
4.5 力矩的功 刚体定轴转动的动能定理 …… 75
习 题 …… 78

5 流体力学简介

5.1 流体的压强 …… 80
5.2 理想流体 连续性方程 …… 83
5.3 理想流体稳定流动的伯努利方程 …… 85
5.4 实际流体稳定流动的伯努利方程 …… 87
习 题 …… 88

6 静电场

6.1 真空中的库仑定律 …… 90
6.2 电场 电场强度 …… 91
6.3 电通量 高斯定理 …… 96
6.4 电势 …… 102
6.5 静电场中的导体和电介质 …… 107
6.6 电容器 静电场的能量 …… 110
习 题 …… 114
选读材料 静电的应用及防治 …… 117

7 稳恒电流

7.1 电流强度 电流密度 …… 120
7.2 欧姆定律 …… 121

7.3　电流的功　焦耳定律 …… 123
7.4　电动势　一段含源电路的欧姆定律 …… 124
7.5　基尔霍夫定律 …… 127
习　题 …… 130

8　稳恒磁场
8.1　磁场　磁感强度 …… 132
8.2　磁通量　高斯定理 …… 134
8.3　毕奥-萨伐尔定律及其应用 …… 136
8.4　安培环路定理 …… 140
8.5　磁场对运动电荷的作用 …… 142
8.6　磁场对电流的作用 …… 146
8.7　物质的磁性 …… 150
习　题 …… 152

9　电磁感应　电磁场的基本概念
9.1　电磁感应的基本定律 …… 155
9.2　动生电动势和感生电动势 …… 158
9.3　自感和互感 …… 163
9.4　磁场的能量 …… 166
9.5　位移电流　麦克斯韦电磁场理论的基本概念 …… 167
习　题 …… 170
选读材料　传感器 …… 173

10　波动
10.1　弹簧振子　机械波 …… 178
10.2　描述机械波的一些物理量　波的几何表示 …… 182
10.3　平面简谐波的波动表达式　波的能量 …… 184
10.4　惠更斯原理　波的衍射、反射和折射 …… 189
10.5　波的干涉 …… 191
10.6　声波　超声波 …… 196
10.7　电磁振荡　电磁波 …… 200
习　题 …… 206

11 波动光学

11.1 光的相干性 杨氏双缝实验 …… 209
11.2 光程 薄膜干涉 …… 213
11.3 单缝衍射 …… 219
11.4 衍射光栅 …… 223
11.5 自然光和偏振光 马吕斯定律 …… 226
11.6 反射光和折射光的偏振 光的双折射现象 …… 229
习 题 …… 232

12 热力学基础

12.1 热力学系统及其平衡态 准静态过程 …… 234
12.2 气体的物态方程 …… 237
12.3 热力学第一定律 …… 241
12.4 热力学第一定律对理想气体热力学过程的应用 …… 246
12.5 循环过程 …… 252
12.6 热力学第二定律 …… 256
12.7 卡诺循环 …… 258
习 题 …… 260

13 气体动理论简介

13.1 气体动理论的基本观点 …… 263
13.2 气体分子热运动及其统计规律性 …… 265
13.3 理想气体的压强公式和温度公式 …… 270
13.4 理想气体的内能 …… 275
13.5 热力学第二定律的统计意义 …… 275
习 题 …… 277
选读材料 表面张力 毛细现象 …… 277

14 量子物理简介

14.1 热辐射和普朗克的量子假说 …… 283
14.2 光电效应和爱因斯坦方程 …… 285

14 3　氢原子光谱　玻尔氢原子理论…… 289
14 4　微观粒子运动的一些基本特征…… 293
14 5　核磁共振…… 296
习　题…… 299
选读材料　分子光谱…… 299

1 质点运动学

自然界是由物质组成的。一切物质都在不停地运动着。物质的运动形式是多种多样的,所有这些物质的运动形式都有其自己的运动规律,而又互有联系。物理学是研究物质运动中最基本、最普遍的运动形式及它们之间相互转化的一门学科。这些最普遍的运动形式包括机械运动,分子热运动,电磁运动,原子和原子核内部的运动等。

机械运动是指物体之间或物体各部分之间发生相对位置的变化。例如弹簧的伸缩、机器的运转、星体的运动等等。力学就是研究机械运动规律的一门科学。

在力学中,为了便于研究,需要引入质点这一概念。所谓质点,就是不考虑物体的形状和大小,而将物体看成具有一定质量的一个点,这样就可用质点的运动代替物体的运动。实际上物体既有一定的大小,又有一定的形状,但如果物体各点的运动状态近乎相同,我们就可用质点运动代替物体的运动。例如,当我们研究地球绕太阳公转时,因地球到太阳的距离为地球半径的二万多倍,所以尽管地球的平均半径有 6 370 km,而且还有自转,我们还是可以把它看成质点。因此,质点是对物体的一种抽象,它是为了便于研究问题而引进的一个理想化模型。

如何描述质点的机械运动就是本章所要讨论的内容。重点介绍位矢、位移、速度、加速度等描述质点运动和运动变化的物理量,以及质点的匀变速直线运动、抛体运动、圆周运动和简谐运动等几种常见的运动规律。

1.1 参考系和坐标系 位矢、位移和路程

1.1.1 参考系

自然界中任何物体都在永恒不停地运动着,绝对静止的物体是没有的。人

需要全本请访问 www.ertongbook.com

们平时所说的“动”和“静”都只有相对意义。例如:放在地面上的桌子相对于地面是静止的,但它随着地球相对于太阳却是运动的。再从整个银河系来看,太阳也是以 200 km · s^{-1} 的速度运动着。所以,在观察一个物体的位置以及它的位置变化时,总要选取其他物体作为参考。所选取的物体叫做参考系。不同的参考系对同一物体运动情况的描述是不同的。因此,在讲述物体运动情况时,必须明确指出,这一运动是相对于哪一个参考系来说的。参考系的选择是任意的,今后如不作特别说明,通常选地球为参考系。

1.1.2 坐标系

为了定量描述物体作机械运动时的位置,在参考系选定后,并在参考系上任选一点 O 作为参考点,建立一个坐标系。最常用的是直角坐标系。一般以参考点 O 作为直角坐标系的原点,并作互相垂直的 Ox 轴、Oy 轴和 Oz 轴。这样,在直角坐标系中,质点 P 的位置就可用 x、y、z 三个坐标来表示[图 1-1(b)]。如果物体在一个平面上运动,就可在这平面上作直角坐标系 Oxy,那么只要用两个坐标 x、y,就可以表示它的位置。如果物体作直线运动,可沿该直线作 Ox 轴,这样只要用一个坐标 x 就可表示它的位置。

1.1.3 位矢

质点的位置也可用矢量来描述。如图 1-1(a)所示,在参考系上任意取定一点 O 作为参考点,从 O 点指向质点在某一时刻所处的位置 P 作一矢量 r,称为质点在该时刻的位置矢量,简称位矢。其大小 $|r|$ 表示 P 点距离参考点 O 的远近,即 $|r| = \overline{OP}$;其方向自 O 指向 P,标志 P 点相对于参考点 O 的方位。如图 1-1(b)所示,以参考点 O 为原点,作直角坐标系 $Oxyz$,各轴的正方向分别用相应的单位矢量 i、j、k 标志,显然,P 点的位置坐标 x、y、z 就是该点位矢 r 分别在 Ox、Oy、Oz 轴上的分量,而 xi、yj、zk 是位矢 r 的三个分矢量。于是,位矢 r 在直角坐标系中的正交分解式为

$$r = xi + yj + zk \tag{1-1}$$

根据位矢 r 的分量 x、y、z,可以求位矢 r 的大小和方向。其大小为正的标量,即

$$r = |r| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \tag{1-2}$$

其方向可用位矢 r 分别与 Ox、Oy、Oz 轴所成的夹角(称为方向角)α、β、γ 表示(见图 1-1(b)),其余弦称为 r 的方向余弦,即

$$\cos\alpha = x/r,\ \cos\beta = y/r,\ \cos\gamma = z/r \tag{1-3}$$

可见,若已知质点的位置坐标、即位矢的分量 x、y、z,则该位矢便可由式(1-1)表出,并可借式(1-2)、(1-3)具体算出 r、α、β、γ,这就确定了位矢的大小和方向。反之亦然。这就是说,用位置坐标(x, y, z)或用位矢 r 来描述质点的位置是等效的。

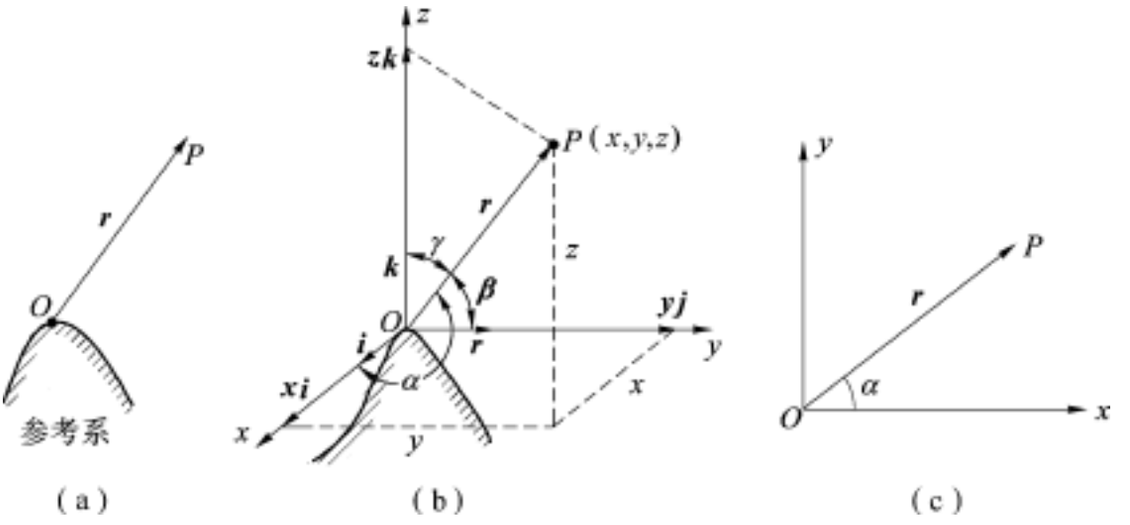


图 1-1

今后,我们只限于讨论质点的平面运动和直线运动。当质点在平面内运动时[图 1-1(c)],则其位矢 r 为

$$r = xi + yj \tag{1-4}$$

r 的大小为

$$r = |r| = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{1-5}$$

r 的方向可用它与 Ox 轴的夹角 α 表示,即

$$\alpha = \arctan\frac{y}{x} \tag{1-6}$$

1.1.4 运动函数 轨道方程

当质点在平面内运动时,其位矢 r 及其在坐标系 Oxy 中相应的坐标 x、y 皆为时间 t 的函数。表示这种函数关系的数学式称为运动函数,即

$$r = r(t)$$

与之等效的分量式为

$$x = x(t),\ y = y(t) \tag{1-7}$$

从上两式中消去参数 t,可得质点平面运动的轨道方程,即

$$y = f(x) \tag{1-8}$$

而(1-7)则是轨道的参数方程。轨道方程描述了质点所经历的路径形状。质点沿直线轨道运动时,称为直线运动;沿曲线轨道运动时,称为曲线运动。例如,小车在一平面上运动,它在直角坐标系 Oxy 中的运动函数为

$$x = 6\cos\frac{\pi}{3}t,\quad y = 6\sin\frac{\pi}{3}t$$

上两式中的 t 以 s(秒)计,x、y 以 m(米)计,则在上两式中消去时间 t,便得小车的轨道方程为

$$x^2 + y^2 = 36$$

即小车在该平面上沿着以原点 O 为圆心、半径为 6 m 的圆周轨道运动。

1.1.5 位移

如图 1-2 所示,在给定的参考系中,当质点按运动规律 $r = r(t)$ 沿一条轨道运动时,在时刻 t 到达位置 P,其位矢为 r_P,此后在 $t+\Delta t$ 时刻,运动到位置 Q,其位矢为 r_Q。从位置 P 指向位置 Q 作一矢量 $\overline{PQ}$,按矢量加(减)的三角形法则,它就是这段时间 Δt 内末位置 Q 与始位置 P 的位矢之差,即位矢的增量,记作 Δr,则有

$$\Delta r = r_Q - r_P \tag{1-9}$$

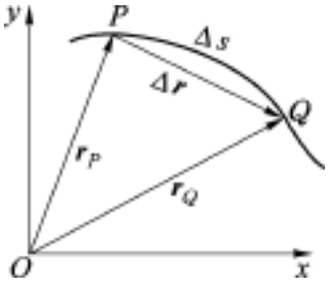


图 1-2 位移

Δr 描述了质点从时刻 t 起所取一段时间 Δt 内的位置变化,叫做质点从该时刻起经历的一段时间 Δt 内的位移,位移 Δr 是矢量,其大小表示质点位置的变动程度,其方向反映质点位置的变动方向。

位移描述了质点在某段时间内始、末位置变化的总效果,它并不一定能反映质点在这两个位置之间所通过实际路径的行程。我们把质点沿轨道运动所经历的实际路程的长度,称为路程。路程是一个正的标量。如图 1-2 所示,质点沿曲线运动时,与位移 Δr 对应的路程是弧长 Δs。而位移的大小 $|\Delta r|$ 是对应于这段弧的弦长。显然,$|\Delta r| \neq \Delta s$。

在国际单位制中,位移的大小与路程的单位都用 m(米)、km(千米)或 cm(厘米)等表示;时间的单位是 s(秒),有时也用 min(分)、h(小时)、d(天)或 a(年)做单位。

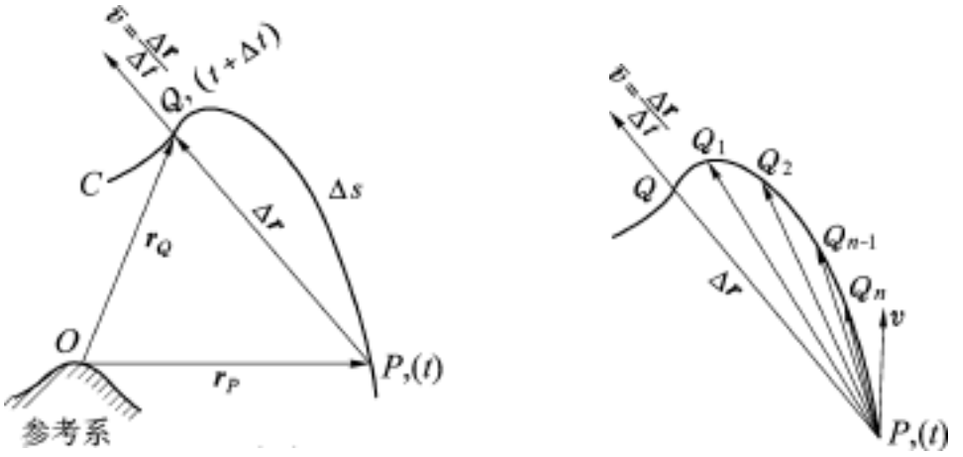
1.2 速度 加速度

1.2.1 速度 速率

设质点按运动规律 $r = r(t)$ 沿曲线轨道 C 运动[图 1-3(a)],在时刻 t 经时间 Δt,质点的位移为 $\Delta r = r(t+\Delta t) - r(t)$。我们把位移 Δr 与所需时间 Δt 之比 $\Delta r/\Delta t$,称为质点在时间 t 到 $t+\Delta t$ 内的平均速度,以 $\bar{v}$ 表示,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \tag{1-10}$$

因位移 Δr 是矢量,除以标量 Δt(恒大于零的正值)后,所得的平均速度显然也是矢量。其方向与位移 Δr 的方向相同,其大小等于 $|\Delta r|/\Delta t$。



(a) 平均速度 (b) 瞬时速度

图 1-3

平均速度只是粗略地反映了在某段时间内质点位置变动的快慢和方向。为了要细致地描述质点在某一时刻(或相应的某一位置)的运动情况,应使所取的时间 Δt 尽量缩短并趋向于零;与此同时,Δr 的大小(即图 1-3(a)中的弦 PQ 的长度)也逐渐缩短而趋近于零,从图 1-3(b)可见,这时,质点的位置从 Q 点经 Q_1、Q_2、…就越来越接近 P 点;位移 Δr 的方向以及平均速度 $\Delta r/\Delta t$ 的方向也相应地从 $\overline{PQ}$ 改变到 $\overline{PQ_1}$, $\overline{PQ_2}$, …的方向,并逐渐趋向于 P 点的切线方向。于是,质点在某一时刻 t(或相应的位置 P)的运动情况,便可用 $\Delta t \to 0$ 时平均速度 $\Delta r/\Delta t$ 所取的极限(包括大小和方向的极限)来描述,即

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} \tag{1-11}$$

这一极限就是位矢 r(矢量)对时间 t(标量)的导数,称为矢量导数,它就是质点运动时,在某时刻(或某位置)的瞬时速度(以后简称速度)。

由于矢量导数仍是一个矢量,故速度是矢量。其方向沿着轨道上质点所在点的切线,指向质点运动前进的一方;其大小为

$$|v| = \left|\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right| = \frac{|\mathrm{d}r|}{\mathrm{d}t} \tag{1-12}$$

速度 v 的大小和方向分别表示质点在某时刻的运动快慢和方向。若 v 是恒矢量,其大小和方向皆不随时间 t 而改变;或者说,质点运动时保持方向不变和快慢均匀,则质点作匀速直线运动。

需要指出,质点在任一时刻的位矢和速度,表述了质点在该时刻位于何处,朝着什么方向以多大的快慢离开该处。所以,位矢 r 和速度 v 是全面描述质点运动状态的两个物理量,缺一不可。

另外,为了描述质点运动的快慢,我们还引入速率这一物理量。速率是标量。在图 1-3(a)中,质点在 Δt 时间内所通过的路程为曲线段 PQ 的弧长 Δs,则 Δs 与 Δt 的比值叫做在时间 Δt 内质点的平均速率,记作 $\bar{v}$,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

显然,平均速率 $\bar{v}$ 和平均速度的大小 $|\Delta r/\Delta t|$ 并不相等。然而,在 $\Delta t \to 0$ 的极限情形下,图 1-3(b)中的 Q 点趋向于 P 点,相应的位移 Δr 将成为位移元 $\mathrm{d}r$(位移的微分),$\mathrm{d}r$ 的极限方向将沿轨道在 P 点的切线方向;与此同时,路程 Δs 将趋近于轨道曲线上的一段线元 $\mathrm{d}s$(即近似于一微小的直线段)。不难想象,当 $\Delta t \to 0$ 时,位移的大小将等于相应的路程,即 $|\mathrm{d}r| = \mathrm{d}s$。因此,我们定义瞬时速率 v 是 $\Delta t \to 0$ 时平均速率 $\bar{v}$ 的极限,即

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} \tag{1-13}$$

由于瞬时速度的大小为

$$|v| = \frac{|\mathrm{d}r|}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = v \tag{1-14}$$

所以,瞬时速率就是瞬时速度的大小。

1.2.2 加速度

一般来说,速度 v 的大小和方向都可能随时间 t 在变化[见例题 1-1],故可表示为矢量函数,即

$$v = v(t) \tag{1-15}$$

这表示质点作变速运动。例如,当质点作曲线运动时,曲线轨道上各点的切线方向不同,也就是质点的速度方向在不断改变。因此,不管其速度大小有否改变,曲线运动总是一种变速运动。

如图 1-4(a)所示,设质点沿一曲线轨道,按速度 $v = v(t)$ 作变速运动。在时刻 t,质点位于 P 点,速度是 $v_P = v(t)$,经过时间 Δt,在时刻 $t + \Delta t$,质点位于 Q 点,速度变为 $v_Q = v(t + \Delta t)$。而末速 v_Q 与初速 v_P 的矢量差[图 1-4(b)]

$$\Delta v = v_Q - v_P = v(t + \Delta t) - v(t) \tag{1-16}$$

就是这段时间 Δt 内的速度增量,它表示时间 Δt 内质点运动速度(包括其大小和方向)的改变。

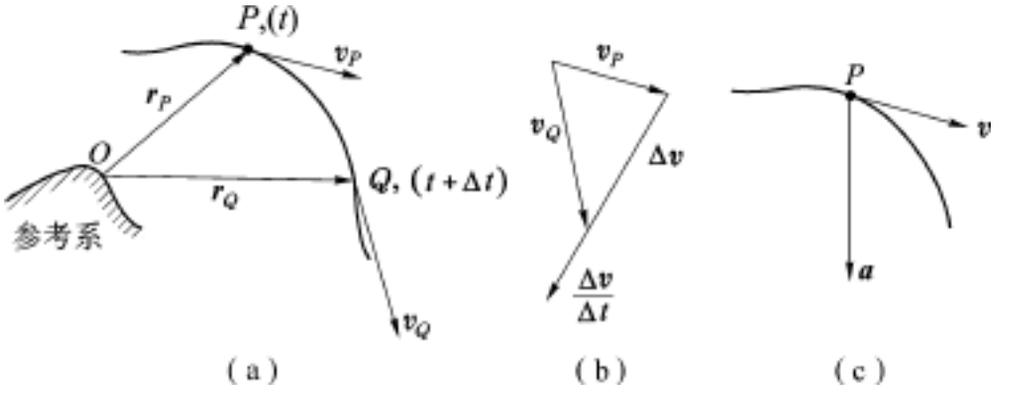


图 1-4 曲线运动的加速度

我们把速度增量 Δv 与所需时间 Δt 之比,称为质点从时刻 t 起,所取一段时间 Δt 内的平均加速度,记作 $\bar{a}$,即

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \tag{1-17}$$

由于 Δv 是一个矢量,Δt 是一个正的标量,则平均加速度 $\bar{a}$ 亦为一矢量,其方向与 Δv 相同[见图 1-4(b)],大小为 $|\bar{a}| = |\Delta v| / \Delta t$。

平均加速度一般因时刻 t 及所取时间 Δt 不同而异,所以,需要指明是在哪一时刻所取的哪一段时间内的平均加速度。

为了精细地描述质点的速度变化情况,必须给出质点在每一时刻(或位置)的瞬时加速度。为此,我们令 Δt 逐渐缩短而趋于零,取平均加速度 $\Delta v / \Delta t$ 的极限,这一极限就称为质点在某时刻 t(或相应位置)的瞬时加速度,简称加速度,用 a 表示,即

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \tag{1-18}$$

需要全本请访问 www.ertongbook.com