

# 简明大学物理

张丹海 洪小达 主编

科学出版社

1998

## 内 容 简 介

本书是依据国家教委制定的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》编写的工科大学物理教材。主要内容包括：力学、热学、电学、磁学、振动和波动、光学和近代物理基础等内容。本书选材精练，注重应用，介绍了物理学原理在工程技术中的应用。为加深读者对书中内容的理解，本书配有适当的练习题，并附习题答案。

本书可作为高等院校工科类专业的物理教材，也可供成人高等学校及高等职业学校的学生、教师使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

简明大学物理/张丹海,洪小达主编. -北京:科学出版社,1998

ISBN 7-03-005999-9

I. 简… II. ①张…②洪… III. 物理学-高等学校-教材  
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 18932 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号  
邮政编码 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1998年1月第一版 开本:850×1168 1/32

1998年1月第一次印刷 印张:13 3/4

印数:1-4 500 字数:360 000

定 价: 22.00 元

## 序

物理学是一门重要的基础学科,是整个自然科学的基础.物理学的发展推动了整个自然科学的发展,对人类的物质观、时空观、宇宙观乃至整个人类文化都产生了极其深刻的影响.与此同时,物理学又是技术发展的最主要的源泉.上述结论,不仅已经为过去几百年的历史和当今的现实无可辩驳地证明了,而且必将进一步为未来所证明.

基于对物理学地位和作用的认识,在教学中应该强调物理学的基础性,着重阐明物质的基本结构形态和基本运动规律,并有选择地介绍当代进展,以扩展视野,使课程内容更加丰富.物理教学应该在传授物理知识和研究方法,培养能力和提高素质的同时,宣扬物理学本身一贯具有的崇高理性、崇尚实践、追求真理的精神.

《简明大学物理》是为非物理专业学时较少的“大学物理”课程提供的教材.它继承了我国物理教学的成熟经验,精选内容,加强基础,力图在较少的时间内使学生对物理学的内容和方法、概念和图像、历史和现状有所了解,为尔后的学习打下比较扎实的物理基础.为此,编者进行了一些有益的尝试和探索,相信会受到读者的欢迎,也衷心期待批评和指正.

陈秉乾

1997.4 于北京大学

## 前 言

《简明大学物理》是为非物理专业提供的一本大学物理教材，其内容选取和深浅程度是依据国家教委颁布的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》编写的。

随着我国高等教育改革的不断深化，教学改革已深入到课程体系和教材内容方面，建立面向 21 世纪的物理课程体系与结构，则是这一改革的一项重要任务。在编写本书过程中，编者充分注意到改革对物理教材的要求，并着重在传统物理教材内容体系与当今发展对物理知识构架的要求、物理学知识与工程应用以及知识与能力等方面关系的把握上，作了认真的努力和尝试。

保证基础、精选内容，力求以 40 万字涵盖非物理专业大学物理课程教学基本要求的内容。试图缓解当前普遍存在的物理课程内容多、学时少的矛盾，是编写本书的又一期盼。

参加本书编写的有北京联合大学王文瑾、王江英、张丹海、余丽芳、杨宝山，首都师范大学金志刚，北京市成人电子信息大学丁竹君、洪小达，北京市化工局职工大学赵振武。

对于以上的愿望和设想，囿于编者水平，不敢奢求都能实现，目的在于探索性实践。我们恳请专家和同行不吝赐教。

本书在编写过程中，得以北京大学陈秉乾教授的热情帮助并提出了不少有益的建议，编者在此表示衷心的感谢。

编 者

1997 年 4 月 26 日

## 《简明大学物理》编写组

主 编 张丹海 洪小达

副主编 丁竹君 王文槿

王江英 余丽芳

成 员 (以姓氏笔划为序)

丁竹君 王文槿 王江英

张丹海 余丽芳 杨宝山

金志刚 洪小达 赵振武

# 目 录

<b>第一章 质点运动学</b> .....	1
1-1 参考系和坐标系 质点 .....	1
1-2 位置矢量 位移 .....	2
1-3 速度 加速度 .....	6
1-4 直线运动 .....	11
1-5 圆周运动 .....	14
1-6 抛体运动 .....	21
本章要点 .....	23
习题 .....	24
<b>第二章 质点动力学</b> .....	27
2-1 牛顿运动定律 .....	27
2-2 力学中常见的三种力 .....	32
2-3 牛顿运动定律的应用 .....	33
2-4 动量定理 .....	39
2-5 动量守恒定律 .....	42
2-6 功 动能 动能定理 .....	47
2-7 保守力的功 势能 .....	55
2-8 功能原理 机械能守恒定律 .....	58
本章要点 .....	62
习题 .....	64
<b>第三章 刚体力学基础</b> .....	68
3-1 刚体的基本运动形式 .....	68
3-2 转动定理 .....	70
3-3 角动量 角动量守恒定律 .....	80
本章要点 .....	84
习题 .....	85
<b>第四章 气体动理论及热力学</b> .....	88

4-1	平衡态 理想气体状态方程 .....	88
4-2	理想气体的压强和温度公式 .....	91
4-3	能量按自由度均分定理 理想气体的内能 .....	96
4-4	麦克斯韦气体分子速率分布律 .....	101
4-5	分子的平均碰撞次数和平均自由程 .....	108
4-6	热力学第一定律 .....	111
4-7	热力学第一定律对理想气体的应用 .....	114
4-8	循环过程 卡诺循环 .....	122
4-9	热力学第二定律 .....	129
4-10	熵 熵增加原理 .....	134
	本章要点 .....	136
	习题 .....	141
<b>第五章</b>	<b>静电场</b> .....	<b>146</b>
5-1	电荷和电场 .....	146
5-2	电通量 高斯定理 .....	155
5-3	静电场力的功 电势 .....	162
5-4	静电场中的导体和电介质 .....	171
5-5	电容 电容器 静电场的能量 .....	178
5-6	一些静电现象和静电技术的应用 .....	184
	本章要点 .....	186
	习题 .....	187
<b>第六章</b>	<b>稳恒磁场</b> .....	<b>192</b>
6-1	基本磁现象 .....	192
6-2	磁场 磁感应强度 .....	194
6-3	磁感应线 磁场中的高斯定理 .....	196
6-4	毕奥-萨伐尔定律 .....	199
6-5	安培环路定理 .....	204
6-6	磁场对运动电荷的作用 .....	208
6-7	磁场对电流的作用 .....	213
6-8	磁场对平面载流线圈的作用 .....	219
6-9	磁介质中的磁场 .....	222
	本章要点 .....	227
	习题 .....	229

<b>第七章 电磁感应 电磁场</b> .....	238
7-1 电磁感应现象 楞次定律.....	238
7-2 电动势 法拉第电磁感应定律.....	240
7-3 动生电动势 感生电动势.....	245
7-4 自感和互感.....	248
7-5 磁场的能量.....	252
7-6 位移电流 麦克斯韦方程组.....	255
本章要点.....	259
习题.....	260
<b>第八章 机械振动与机械波</b> .....	264
8-1 简谐振动的基本概念和规律.....	264
8-2 简谐振动的合成.....	274
8-3 机械波的产生及其特征量.....	280
8-4 平面简谐波.....	284
8-5 波的传播.....	294
8-6 波的干涉 驻波.....	298
8-7 多普勒效应.....	304
本章要点.....	307
习题.....	309
<b>第九章 波动光学</b> .....	313
9-1 光的干涉.....	313
9-2 光的衍射.....	328
9-3 光的偏振.....	340
本章要点.....	348
习题.....	351
<b>第十章 狭义相对论</b> .....	355
10-1 伽利略变换式 绝对时空观.....	355
10-2 爱因斯坦假设 洛伦兹变换.....	359
10-3 相对论时空观.....	364
10-4 相对论动力学基础.....	368
本章要点.....	370
习题.....	371



<b>第十一章 量子物理基础</b> .....	374
11-1 黑体辐射 普朗克量子假设 .....	374
11-2 光的量子性 .....	377
11-3 德布罗意波 .....	385
11-4 氢原子的玻尔理论 .....	387
11-5 不确定关系 .....	392
11-6 波函数 .....	394
11-7 薛定谔方程 .....	396
11-8 原子中核外电子的状态 .....	400
本章要点 .....	404
习题 .....	405
<b>附录一 物理中常用的数学</b> .....	408
<b>附录二 国际单位制(SI)的基本单位</b> .....	416
<b>附录三 常用物理常量</b> .....	417
<b>习题答案</b> .....	418

# 第一章 质点运动学

在物质的各种运动形式中,最简单最基本的运动是物体位置的变化,这就是机械运动. 一个物体相对于另一个物体,或者一个物体的一部分相对于该物体的其他部分的位置变化,都是机械运动. 力学所研究的就是机械运动的客观规律及其应用. 作为力学组成部分的运动学只研究物体位置随时间的变化,而不考虑这种变化发生的原因.

## 1-1 参考系和坐标系 质点

### 一、参考系和坐标系

自然界中一切物体都在运动,大到地球、太阳等天体,小到分子、原子和各种基本粒子都处在永恒的运动中,所以物体的运动是普遍的、绝对的. 运动和物质是不可分割的,这就是物体运动的绝对性. 但是对运动的描述却具有相对性. 当我们观察和描述物体的运动时,必须选择另一个或几个相互保持静止的物体作为参考,被选作参考的物体就称为参考系.

在运动学中,参考系的选择具有任意性,这取决于所研究的问题的性质和方便,如研究地面上物体的运动就常以地球为参考系. 对于同一物体的运动,参考系的选择不同导致对其运动的描述也不相同,如在匀速行驶的车上物体的落体运动,在地面上看却是抛物线运动.

为了定量地描绘物体相对于参考系的运动,还需要在参考系中建立坐标系. 我们通常使用的是直角坐标系,也可以使用极坐标系、球面坐标系或柱面坐标系等. 坐标系是参考系的一种数学抽象,所以我们每提到坐标系时指的也是与它固联在一起的参考

系。

## 二、质点

物体的运动有两种基本类型：平动和转动。物体平动时，其上各点的运动情况完全相同，所以常任取一点来代表，因而可以把物体看成是没有大小和形状的一个几何点。在物体作复杂运动时，如地球既自转又公转，其上各点的运动彼此不同，但考虑到日地距离是地球直径的一万多倍，在研究地球公转时就不须考虑其大小和形状，从而也可以把地球看成一个几何点。此外，在研究动力学问题时还需考虑到物体的质量，因而把这种具有一定质量而又忽略其大小和形状的物体称为质点。一个物体能否看成质点，应根据问题决定，如研究地球自转时就不能再将地球看成质点。为使问题简化而把实际物体进行抽象处理的方法，是物理学中一种常用的方法。如后面要用到的刚体、理想气体、点电荷等都是对实际物体的某种抽象化处理，这种被抽象了的关于物体的模型称为理想模型。运用建立理想模型的方法可以突出事物的本质因素，忽略其次要因素，从而使所研究的问题简化，以便于从理论上去研究它，所以在物理学中引入理想模型是很有意义的。

### 1-2 位置矢量 位移

#### 一、位置矢量和运动方程

在直角坐标系中我们习惯于用三个数(即  $x, y, z$ )表示点的位置，称这三个数为该点的坐标。在物理学中还可以用位置矢量来表示点的位置，任意一点  $P$  的位置矢量是指由坐标原点引向  $P$  点的有向线段，记作  $r$ ，显然  $r = OP$ ，而且下式成立：

$$r = xi + yj + zk \quad (1-1)$$

式中  $i, j, k$  分别为  $x, y, z$  轴上的单位矢量。

$r$  的大小为

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-2)$$

$\mathbf{r}$  的方向余弦为  $\cos\alpha = \frac{x}{r}$ ,  $\cos\beta = \frac{y}{r}$ ,  $\cos\gamma = \frac{z}{r}$ .

对应于不同时刻, 质点总有一定的位置矢量  $\mathbf{r}$  与之对应,  $\mathbf{r}$  是  $t$  的函数, 记作

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$$

这就是质点的运动方程.

由直角坐标系中, 点的坐标与  $\mathbf{r}$  的对应关系可以得到

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}$$

或者  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ ,  $z = z(t)$  (1-3)

这就是质点运动方程的标量形式.

位置矢量有三条基本特性: (1) 矢量性,  $\mathbf{r}$  是矢量, 不仅有大小, 而且有方向; (2) 瞬时性, 位置矢量总是与时刻相对应, 不同时刻质点的位置矢量不同; (3) 相对性, 坐标系的选择不同导致位置矢量也不同, 这表明质点的位置矢量  $\mathbf{r}$  与坐标系的选择有关 (如图 1-1 所示).

运动质点在空间所经过的路径称为轨道.

轨道是位置矢量的矢端在空间移动的轨迹, 在质点的运动方程中消去时刻  $t$  就可以得到质点的轨道方程. 运动方程是轨道的参数方程.

例如质点的运动方程为

$$\mathbf{r} = R \cos \omega t \mathbf{i} + R \sin \omega t \mathbf{j}$$

其标量形式为

$$x = R \cos \omega t, \quad y = R \sin \omega t, \quad z = 0$$

消去  $t$  后得到轨道方程

$$x^2 + y^2 = R^2, \quad z = 0$$

这是圆心在坐标原点, 半径为  $R$ , 位于  $z = 0$  平面内的圆.

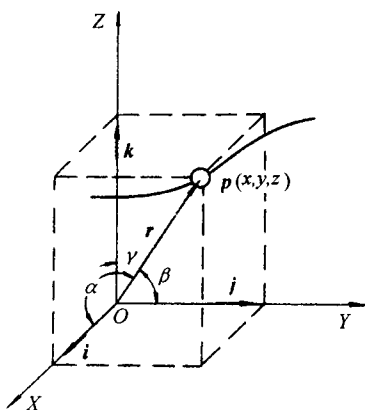


图 1-1 位置矢量

## 二、位移

如图 1-2 所示,  $A$ 、 $B$  分别为  $t$  与  $t + \Delta t$  时刻质点的位置,  $\widehat{AB}$  是质点运动轨迹的一部分,  $r_A$ 、 $r_B$  分别为  $A$ 、 $B$  二点的位置矢量. 这样, 质点在  $\Delta t$  内的位移定义为  $\Delta r = r_B - r_A$ .  $\Delta r$  是由  $A$  点(起点)指向  $B$  点(终点)的有向线段,  $\Delta r$  是位置矢量  $r_A$  的增量,  $\Delta r$  不仅表示  $B$  点相对于  $A$  点的方位, 而且还表示  $AB$  间的距离. 位移具有下列两个特征: (1) 矢量性. 位移是矢量, 既有大小, 又有方向, 它与质点所经过的路程不同. 路程  $\Delta s$  是指质点所经路径的长度, 只有大小, 没有方向, 路程是标量. 位移与路程是两个截然不同的概念. 某人绕 400m 跑道跑一圈, 其位移  $\Delta r$  为 0, 而路程  $\Delta s$  为 400m. 显然,  $\Delta s \neq |\Delta r|$ , 仅当  $|\Delta r| \rightarrow 0$  时, 表示  $|\Delta r|$  的弦与表示  $\Delta s$  的弧趋于一致, 二者的大小才相等, 即  $|dr| = ds$ , 而且  $dr$  的方向趋近于  $A$  点的切线方向. 位移的合成遵从平行四边形法则或三角形法则. 在图 1-3 中, 质点由  $A$  出发经过  $B$  而后又到达  $C$ , 位移则是由  $A$  指向  $C$  的有向线段, 显然  $\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC}$ . (2) 相对性. 人在  $t_0$  时刻站在车厢中  $A$  点(相当于该时刻地面上  $P$  点), 而在时刻  $t$

此人已走到车厢中  $B$  点,同时车厢已从地面上  $P$  点运动到  $Q$  点,那么,在  $t_0$  到  $t$  这段时间内,人相对于车厢的位移为  $\vec{AB}$ ,或  $\Delta r_{\text{人车}}$  表示. 车厢相对于地面的位移为  $\vec{PQ}$  或  $\Delta r_{\text{车地}}$  表示,人相对地面的位移为  $\vec{PB}$  或  $\Delta r_{\text{人地}}$  表示,由图 1-4 可知

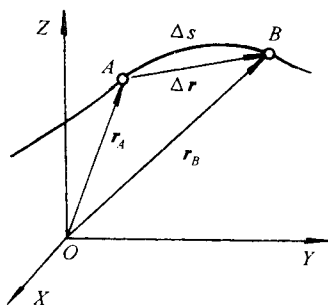


图 1-2 位移

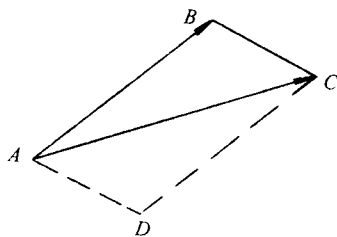


图 1-3 位移矢量的合成

$$\Delta r_{\text{人地}} = \Delta r_{\text{人车}} + \Delta r_{\text{车地}} \quad (1-4)$$

显然,同时发生的两个位移的合成遵从平行四边形法则.

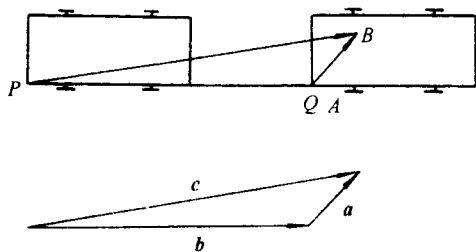


图 1-4 同一段时间内的相对位移

在图 1-2 中,  $A$ 、 $B$  两点分别为  $t$  和  $t + \Delta t$  两时刻质点的位置,  $A$ 、 $B$  两点的位置矢量分别为

$$r_A = x_A i + y_A j + z_A k$$

$$r_B = x_B i + y_B j + z_B k$$

由此,质点由  $A$  运动到  $B$  的位移矢量  $\Delta \mathbf{r}$  为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = (x_B - x_A)\mathbf{i} + (y_B - y_A)\mathbf{j} + (z_B - z_A)\mathbf{k} \quad (1-5)$$

位移的大小为

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \quad (1-6)$$

其方向可由方向余弦表示

$$\cos \alpha = \frac{x_B - x_A}{|\Delta \mathbf{r}|}, \cos \beta = \frac{y_B - y_A}{|\Delta \mathbf{r}|}, \cos \gamma = \frac{z_B - z_A}{|\Delta \mathbf{r}|} \quad (1-7)$$

### 1-3 速度 加速度

物理学要研究物体多种运动形式,而描述这些运动形式的各种物理量一般都处在变化之中,因此就需要研究各种物理量对于时间的变化率.本节由最基本的变化率开始.

#### 一、平均速度矢量

研究物体的运动,不仅要研究其运动的快慢程度,而且要研究其运动的方向,这就要用到位置矢量和位移的概念.如图 1-2 所示,在时刻  $t$  到  $(t + \Delta t)$  内,质点的位移为  $\Delta \mathbf{r}$ ,所用时间间隔为  $\Delta t$ ,那么,我们称  $\Delta \mathbf{r}$  与  $\Delta t$  的比值为质点在这段时间内的平均速度矢量,简称为平均速度,即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-8)$$

表明平均速度等于位移矢量对时间的平均变化率.

由于  $\Delta \mathbf{r}$  与所取时刻  $t$  与时间间隔  $\Delta t$  有关,所以  $\bar{\mathbf{v}}$  与  $t$  和  $\Delta t$  的选取有关.平均速度  $\bar{\mathbf{v}}$  并不能精确反映  $t \rightarrow t + \Delta t$  内质点运动的情况,它只是粗略地反映出在这一时间段内质点运动的平均快慢及总的方向.平均速度的方向与位移  $\Delta \mathbf{r}$  的方向相同,平均速度的大小等于在  $\Delta t$  内每单位时间内平均位移的大小.

所谓平均速率是指质点在  $\Delta t$  内所经过的路程  $\Delta s$  与所用时间  $\Delta t$  的比值,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-9)$$

平均速率是质点在单位时间内通过的平均路程,它是标量.

## 二、瞬时速度矢量

平均速度不能精确说明质点的运动情况,为了精确说明质点在时刻  $t$  的运动情况,应该把  $\Delta t$  取得尽可能小, $\Delta t$  越小,比值  $\frac{\Delta r}{\Delta t}$  就越能精确地表示  $t$  时刻的运动情况. 为此应用极限的概念,在  $\Delta t \rightarrow 0$  时  $\frac{\Delta r}{\Delta t}$  的极限就是质点在  $t$  时刻的运动的精确描写,我们称之为瞬时速度矢量,简称速度. 即

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1-10)$$

该式表明瞬时速度就是位置矢量对时间的一阶导数. 瞬时速度是矢量,其方向为  $\Delta t \rightarrow 0$  时位移  $\Delta r$  的极限方向,参看图 1-5 中位移  $\Delta r = \overline{AB}$  沿着割线  $\overline{AB}$  的方向. 当  $\Delta t$  逐渐减小而趋于零时,  $B$  点趋于  $A$  点,相应的割线  $\overline{AB}$  趋于  $A$  点的切线,其方向为质点前进的方向. 在  $\Delta t \rightarrow 0$  的极限情况下,质点平均速率的极限就是质点的瞬时速率,即

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta r|}{\Delta t} = |\bar{v}| \quad (1-11)$$

上式还表明,在  $\Delta t \rightarrow 0$  时,弦  $\overline{AB}$  无限接近弧  $\widehat{AB}$ , 即  $|\Delta r| \rightarrow \Delta s$ , 因此,瞬时速率就是瞬时速度的大小. 瞬时速率是标量,瞬时速度是矢量,在国际单位制中速度与速率的单位均为  $m \cdot s^{-1}$ . 由于

$$r = xi + yj + zk$$

所以 
$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt}(xi + yj + zk)$$



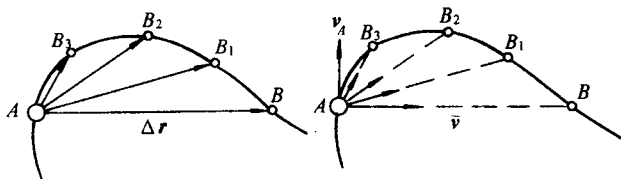


图 1-5 质点在轨道上 A 点处的速度的方向

$$\begin{aligned}
 &= \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j + \frac{dz}{dt}k \\
 &= v_x i + v_y j + v_z k
 \end{aligned} \tag{1-12}$$

其中  $v_x, v_y, v_z$  分别为  $v$  在  $x, y, z$  方向上投影的大小, 显然

$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt} \tag{1-13}$$

速度的大小

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \tag{1-14}$$

其方向可由方向余弦表示

$$\cos\alpha = \frac{v_x}{v}, \quad \cos\beta = \frac{v_y}{v}, \quad \cos\gamma = \frac{v_z}{v} \tag{1-15}$$

### 三、瞬时加速度矢量

质点运动时, 瞬时速度的大小和方向都会不断变化, 加速度就是描述这种变化的快慢和方向的物理量。

仿照平均速度概念的研究方法, 在图 1-6 中,  $v_A$  表示质点在  $t$  时所在 A 点的速度,  $v_B$  表示质点在  $t + \Delta t$  时所在 B 点的速度, 参看速度的矢量三角形, 可知速度在  $\Delta t$  内的增量即末时刻速度与初时刻速度之差为

$$\Delta v = v_B - v_A \tag{1-16}$$