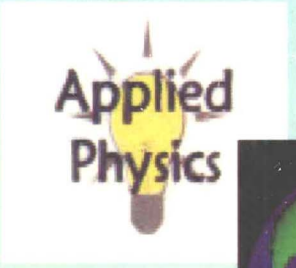
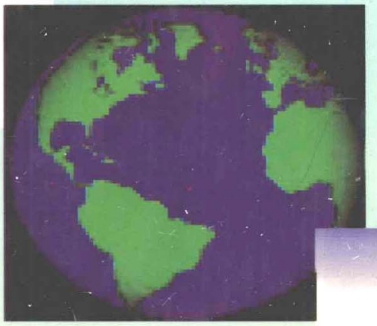
司法物理學

李辉智 著





电子科技大学出版社

司 法 物 理 学

李辉智 著

电子科技大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

司法物理学/李辉智著. —成都：电子科技大学出版社，2002.6

ISBN 7—81065—900—6

Ⅰ.司… Ⅱ.李… Ⅲ. 司法鉴定－物理学

Ⅳ. D918.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 040077 号

内 容 简 介

司法物理学是将物理科学应用于司法实践而形成的一门新兴学科。本书是作者在多年教学、科研的基础上，将物理科学理论与司法实践有机地结合起来的一种尝试。全书主要介绍了在司法实践中涉及较多的一些物理基础理论，诸如力学、电磁学、声学、几何光学、波动光学、原子物理学等方面的知识，同时，根据作者平时的积累，介绍了一些物理学基本原理应用到刑事侦查和刑事技术中的例子。

该书既有系统的理论知识，又有详尽的实例介绍，不但可作为法律、刑事侦查和刑事技术人员掌握物理基础知识的参考读物，也可作为公安、政法院校相关课程的教材或参考资料。

司 法 物 理 学

李辉智 著

出　　版：电子科技大学出版社 （成都市一环路东一段 159 号 邮政编码：610051）

责任编辑：文 利

发　　行：电子科技大学出版社

经　　销：新华书店

印　　刷：成都市青羊区火炬印刷厂

开　　本：787mm×1092mm 1/16 **印张** 17.5 **字数** 425 千字

版　　次：2002 年 6 月第一版

印　　次：2002 年 6 月第一次印刷

书　　号：ISBN 7—81065—900—6/O·35

印　　数：1—500 册

定　　价：31.00 元

前　言

近年来，社会科学和自然科学的一些相关学科的基本原理、方法相互渗透结合，出现了一大批边缘学科、交叉学科和综合性学科，司法物理学就是法学与物理学结合的产物。本书是作者在多年教学、科研的基础上，系统地总结了刑事侦查和刑事技术中常用的物理学方法，将物理学理论与司法实践有机结合的一种新的尝试。

在撰写本书的过程中，作者一直在思考本书的结构问题：一种是从司法实践的应用入手来介绍物理基础知识；另一种是先介绍物理基础知识，后介绍物理学的原理、方法在司法实践的应用。经过反复斟酌及征求同行的意见，最后，本书采用了后一种结构。这种结构便于读者在系统地掌握好物理知识的基础上，将物理学的原理、方法应用到司法实践中的更广泛领域。

本书以最通俗的文字和形象直观的插图，深入浅出地介绍了物理学的基础理论及其在司法实践中的应用。本书一共分为十三章。第一章介绍了司法物理学的概念、与其他学科的关系及其学习方法。第二章是关于力学的基础知识及其在刑事侦查和刑事技术中的一些应用。第三章介绍了物体的弹性。第四章是有关振动和波的基础知识及声纹鉴定等。第五章介绍了静电场的基础知识及其静电成像的原理。第六章介绍了恒定电流及电泳技术。第七章是关于电磁现象的基础知识。第八章介绍了波动光学的基础知识及全息照相技术。第九章是关于几何光学的知识及显微镜的光学原理。第十章介绍了光的辐射和光的量子性及电子显微镜。第十一章是有关原子、分子和光谱的基础知识及原子、分子光谱在司法实践中的应用。第十二章介绍了激光及其应用。第十三章是有关原子核和核能的知识。

由于本书涉及的知识面广，可借鉴的资料非常有限，因此，这种探索和创新难免带有片面性和局限性。尽管如此，作者仍希望该书能起到抛砖引玉的作用。

本书得到了西南政法大学刑事侦查学院的领导及同行们的大力支持。特别是西南政法大学后勤管理处的曾得国处长，刑事侦查学院的管光承副院长，电子技术教研室的袁源主任和杨文乐老师等，在本书的撰写过程中给予了大力的帮助并提供了部分资料，在此一并谨致诚谢！

作　者

2002 年 4 月于重庆

目　　录

第一章　绪论 1

一、物理学的概念司法 1

二、物理学的研究对象和方法 1

三、物理学与物证技术学的关系 2

四、学习司法物理学的方法 3

第二章　力学 4

一、质点运动学 4

二、质点动力学基本定律 20

三、功和能 33

四、冲量和动量 44

五、刚体的转动 52

六、司法鉴定中的力矩问题 58

七、经典力学的适用范围 59

第三章　物体的弹性 61

一、应变和应力 61

二、弹性模量 63

三、弯曲和扭转 65

四、弹性势能 67

五、物质的弹性与形象痕迹和机械性损伤 68

第四章　振动和波 71

一、简谐振动 71

二、阻尼振动、受迫振动和共振 82

三、波的产生和传播 87

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

四、波的能量 93
五、惠更斯原理和波的干涉 96
六、声波 101
七、多普勒效应 106
八、声纹鉴定 110
第五章　静电场 114
一、电荷 114
二、电场 119
三、高斯定理 124
四、电势 133
五、静电场中导体和电介质与静电成像技术 138
第六章　恒定电流 148
一、电流 148
二、欧姆定律和电阻 150
三、电动势 152
四、含源电路的欧姆定律 154
五、基尔霍夫定律 156
六、电泳技术 159
第七章　电磁现象 161
一、磁感应强度 161
二、磁场对运动电荷和电流的作用 163
三、电流产生的磁场 167
四、磁介质 170
五、电磁感应 174
六、*RL* 电路的暂态过程和磁场的能量 175
七、交流电 178
八、电磁振荡与电磁波 184
九、电流对人体的伤害 188

第八章　波动光学 191
一、光的干涉 191
二、光的衍射 202
三、光的偏振 208
四、双折射现象 210
五、旋光性 212
六、全息照相 213
第九章　几何光学 215
一、球面折射 215
二、薄透镜 217
三、共轴球面系统的三对基点 222
四、放大镜 224
五、显微镜 224
六、双目望远镜 227
第十章　光的辐射和光的量子性 230
一、热辐射 230
二、非温度辐射 232
三、红外线和紫外线 234
四、光度学基本知识 235
五、光的量子性 236
六、微观粒子的波动性 238
第十一章　原子、分子和光谱 242
一、类氢原子的玻尔理论 242
二、量子力学的基本概念 244
三、类氢原子的能级 250
四、多电子原子 252
五、原子光谱 254
六、分子光谱 255

第十二章　激光及其应用 258
一、原子的结构和特性 258
二、辐射的受激放大 259
三、激光器的组成和激光的产生 260
四、激光的应用 263
第十三章　原子核及核能 264
一、原子核基本性质 264
二、核力、结合能和质量亏损 264
三、放射核素的衰变 265
四、放射性衰变规律 268
五、射线与物质的相互作用 269
六、放射剂量 271
七、中子活化分析 272

第一章　绪　论

一、物理学的概念司法

什么是司法物理学？它是指将物理学的基本原理和方法应用于司法研究，并形成了自己完整体系的基础科学。它与“司法鉴定”中提到的“司法物理” 意义不同。我们这里的“司法物理学”是一门基础科学，重点是物理学的基础理论；是指专为学法律、学刑事科学技术的法学生提供系统的物理知识的科学，为他们以后的学习和实践打好基础。而“司法鉴定”中的“司法物理”仅仅是一种方法、一种技术，其重点是如何运用物理学的基本原理及其分析方法，解决司法鉴定中的一些技术问题。

二、物理学的研究对象和方法

物理学是一门自然科学，是研究自然界中物质运动的普遍性和基本规律的科学。人类赖以生存的自然界是由各种各样运动着的物质构成的。什么是物质呢？凡作用于我们的感觉器官，而感到其客观存在的一切东西都是物质。例如看得见的土地、树林、房屋、空气、水、光线等，以及看不见的声音、无线电波、X 射线等，这些都是物质。各种物质的具体形态尽管千差万别，但它们的共同特点则是不依赖人的意识而客观存在，并且能为人们所认识、所感受到。比如讲话时发出的声音，尽管不能看到它的形态，但声音能引起人们的听觉而被感受到，因此声音也是一种物质。

物质和运动是密不可分的。整个自然界，小到沙粒、灰尘，大到地球、太阳，从生物细胞到整个人体，始终处于不断地产生、消灭、运动、变化之中。冰融成水，水化成汽，这是大家熟知的物质变化运动。科学的全部成就告诉我们：不运动的物质或者没有物质的运动都是不存在的。物质的运动形式是多种多样的，其中有一部分运动变化则是属于物理过程。

（一）物理学的研究对象

物理学是研究物质最基本的结构、属性、相互作用和最普遍的运动形式及规律的科学。具体来讲，包括宇宙天体、地面上的物体（固体、液体、气体、等离子体等）、分子、原子、原子核、基本粒子和引力场、电磁场等不同形式和层次的物质的结构，包括引力、电磁、强和弱等自然界四种基本的相互作用，包括机械、声、热、电、磁、光等一系列互相关联和互相转化的运动形式的规律。按现象和过程来区分，物理学可以分为力学、声学、热学、电磁学、光学、原子过程和原子核过程的理论等部分。由于各种物质运动形态都是相互联系、不可分割的，因此物理学的各个部分之间的界线是不很明确的。由于这些运动规律是物质运动

中最基本、最普遍的，所以它又存在于一切复杂的、高级的运动之中。例如万有引力定律、能量转换和守恒定律等物理规律，存在于自然界的一切过程中，不论它们是简单的或复杂的变化，有生命的或无生命的过程，都要遵循这两个定律。正因为物理学所研究的物理现象具有极大的普遍性，这就使得物理学的基本知识成为研究任何科学技术所不可缺少的基础，所以，它不仅成为研究其他自然科学，而且成为研究社会科学所必需的基础。

（二）物理学的研究方法

生产实践和科学实验是物理学发展的基础和动力。人们的物质生产活动、工程技术活动提出了物理学研究的需求，也提供了物理学研究的工具和资料。科学实验则是物理学研究，尤其是近代物理学研究的直接源泉。从落体定律的建立到三百多种基本粒子的发现，都是科学实验的成果。物理学的许多基本定律，如能量守恒和转化定律、万有引力定律、电磁感应定律，都是在观察、实验的基础上总结出来的。

数学是物理学研究的重要工具，是物理理论的表述形式。物理学是一门定量的科学，它的定律往往都需要用精确的数学方程来描述，例如经典力学中的牛顿方程，电磁学中的麦克斯韦方程，量子力学中的薛定谔方程等等，都采用了严格的微分方程式来描述物理运动的规律。精密的实验测量和严格的数学分析相结合，是近代物理学研究的重要特点。

物理是一门讲道理的学科，不过在讲道理的方式上，与其他理论不同。在物理理论中，首先要提出某种假说——例如“光是粒子”这样的假说，然后运用这个假说和那些它们的正确性已被确认的物理理论，推导出某种能由实验验证的结果。这个结果，如果和实验一致，就认为最初提出的假说是正确的。也就是说，在物理学中，实验的结果，或自然界中发生的事实，是提出的假说正确与否的检验者，有着这样的检验者，是以物理为代表的自然科学的特点，也正因为如此，自然科学的理论，是不会以无休止的争论告终的。只要同实验和自然界发生的事实相符合，最初创立的假说，乍看起来无论怎样离奇，也被认为是正确的，物理理论的这种特点，在学习物理的过程中，要逐渐理解。

总之，物理学的研究方法一般是在观察和实验的基础上，运用理论思维对大量的实验数据及结果进行分析、抽象和概括，提出假说，建立模型，运用数学工具进行演算，得出结论，再进一步在实践中验证，从而逐步形成定律理论体系。物理学的研究方法又都是在一定的理论思维指导下进行的。因此，善于辩证地思考对物理学研究具有重要的作用。

三、物理学与物证技术学的关系

物证技术学是以物证和物证技术为研究对象，以查明案件事实、公正实施法律、提供科学证据为目的，研究应用科学技术解决案件中有关物证的专门性问题的一门学科。

物证技术学原来是属于刑事技术学科体系的组成部分。到 20 世纪 80 年代中期，在法律院系的教学中把物证技术从侦查学中独立出来。目前其学科名称还未完全统一，有的法律院系称“司法鉴定学”，公安院校称“刑事物证技术学”，但其学科体系、研究的对象基本一致。

物证技术学是自然科学与法学交叉的边缘学科，而物理学是自然科学的基础，因此，物

理学与物证技术学之间必然存在密切的联系。物理学所提供的理论、方法和技术为物证技术学开辟了新的途径，促进了物证技术学的发展，诸如力学、光学、热学、电学以及显微镜技术、照相技术等等已是众所周知的物理学知识在物证技术学上应用的范例。又如，在司法鉴定过程中涉及到的一些微量（0.1 克~10 毫克）物质和超微量（0.1 毫克~0.001 毫克）物质，往往要采用尖端的物理检测技术，如扫描电子显微镜分析、电子探针分析、光谱分析、中子活化分析等方法确定其种类、成分和含量。近年来，电子显微镜、激光技术和电子计算机在物证技术上的广泛应用，已使物证技术学得到极大的发展。同时，物证技术研究中所需要的物理基础知识和技术被运用得越来越多，也扩大了物理学的应用范围。日新月异发展的物理技术及其研究成果，正在进一步促进物证技术学的发展，从而使侦破案件的技术水平不断提高。

因此，作为现代的法学生或法律工作者，要想学好自己的专业或提高自己的业务水平，具备和掌握必需的物理学基础知识，实在是非常必要的。

四、学习司法物理学的方法

无论学习什么，基本原则只有一条，这就是“理解和运用知识”。这一点与学习法律知识的原则也是一致的。但是，物理学研究问题、分析问题和解决问题的方法与法学是不同的。学习司法物理学，首先要弄清楚物理学与法学之间的差别，这也是我们文科学生学习物理的难点，也是学好物理的关键。

学习物理，首先要理解物理基本知识。随着对物理基本知识理解的加深，你就会了解，物理基础知识就像一条长的链子一样，是互相联系的，链条的每个环节和相邻的环节之间，是由简单、易懂的理论联系着的，这样的环节，一两百个集合在一起，构成长长的链条，只要提起它的一端，下面的环节就会依次动起来，使运动达到另一端。

其次，要掌握运用物理基础知识的方法，提高解决实际问题的能力。这就要求多练习、勤思考，没有别的捷径。

最后，在系统地学习物理学的基本理论、理解和掌握物理学的基本原理的基础上，能将这些基本原理和方法运用到司法实践中去，解决一些相关的技术问题，那么我们学习司法物理学的目的也就达到了。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第二章　力　　学

物质的运动形式多种多样，其中最简单而又最基本的一种运动是物体位置的移动，即一个物体相对于另一个物体，或一个物体的某些部分相对于其他部分的位置的变化，这种运动称为机械运动，也叫做宏观运动。如车辆前进、机器的运转、天体的运行、枪弹的射击运动、弹性物体的形变、水和空气的流动，甚至人的行走等，在这些现象中，尽管它们的作用各不相同，但有着共同的特点，即都是物体在空间中的位置随时间在变动。力学就是研究机械运动规律及其应用的学科。在日常生活和生产实践中，无时无刻不看到这种运动，在各种复杂运动（如化学运动、生命现象）中也包含有这种运动。因此，它是一种最基本、最普遍的运动形式。力学是研究物理学其他部分的基础。

力学的内容可分为运动学、动力学和静力学三个部分。运动学研究物体位置变化与时间的关系，但是不考虑引起变化的原因；动力学研究产生各种机械运动的原因；而静力学研究物体在力与力矩作用下平衡的条件。

一、质点运动学

运动学是用数学的方法，定量地描述和研究物体空间位置随时间变化的规律，而不涉及变化的原因的学科。实际的物体结构复杂，大小各异，任何物体都有一定的大小、形状、质量和内部结构，即使是很小的分子、原子等也不例外。在研究物体的运动时，如果物体的大小和形状在所研究的问题中可以忽略，我们就把它抽象为一个质量与相同的点，称为质点，即以具有一定质量的点来代表物体。在物理学中，为了便于抓住本质解决问题，常常在科学分析的基础上，突出事物中与问题有关的主要矛盾和矛盾的主要方面，而将一些影响不大的次要因素加以忽略，从而建立理想模型。这种研究方法在物理学中经常运用。物理学中的理想模型除了质点外，还有刚体、理想流体、理想气体、点电荷等等。这里只研究如何描述可用质点代表的物体的运动。

（一）描述运动的物理量

运动涉及位置的变化，因此，在研究运动物体时，我们自然要关心下面这些问题：运动物体在哪里？它走得多快？它在往哪里去？它是在变快还是变慢下去？它走得平稳吗？有没有改变方向？

运动学是科学地描述运动的学科，其中的关键概念是位置、速率、速度和加速度。为了确定物体的位置，描述物体的运动，必须了解下面几个基本概念。

1．参照系和坐标系

力学中的运动，是指物体位置的变化。一个物体的位置及其变化，总是相对于其他物

体而言的，否则就没有意义。这就是机械运动的相对性。为了描述一个物体的位置和运动状态，选来作为标准的、另一个不变形的物体或几个彼此之间相对静止的物体系叫做参照系。我们平时所说物体的运动，都是相对于某个参照系而言的。同一物体的运动，由于选取的参照系不同，对它的描述一般是不同的。参照系怎样选择要看问题的性质和研究的方便而定。例如，一艘宇宙飞船在刚发射时，主要研究它相对于地面如何运动，所以这时就把地球作为参照系来描述飞船的运动。但是当飞船进入绕太阳运行的轨道时，我们就应当把太阳选作参照系。如果再用地球作为参照系描述，飞船运动的轨迹就非常复杂。无论参照系怎样选取，必须事先明确规定（在一般不指明参照系的情况下都是以地球作为参照系），并且在同一问题里始终相对于同一参照系来讨论。

坐标系是为了定量地描写物体在空间的位置，在参照系上按某种规定的方法，选取有次序的一组或几组数，叫做坐标系。研究物体直线运动，常用一维坐标系；研究物体平面运动，常用平面直角坐标系、极坐标系；研究物体空间运动，常用空间直角坐标系、球坐标系、柱坐标系等。

参照系是一个或几个物体的物体系，而坐标系是参照系上的一个数学抽象。有的也把参照系叫做坐标系。

在理论物理学中，为了定量地描写物体的位置和运动而选定的独立变数，叫做广义坐标，它们的组合叫做广义坐标系。

总之，运动是物体固有的属性。然而，其属性只有通过与其他物体的关系才能表现。因此，物体的运动只有通过参照系或坐标系才能加以描述，这也体现了运动的绝对性和相对性的统一。

在司法鉴定中，也常常要用到坐标系。为了便于检验，常需要准确地描述某一痕迹的形态及其痕迹特征点的位置。实际上，就是确定某种痕迹各点之间的相对位置。如果痕迹上各点之间的相对位置确定了，整个痕迹形态也就确定了。而利用坐标系来确定各点之间的相对位置，是最简单的方法。例如：

在指纹的分析鉴定中，我们所采用的指纹分析规（如图 2-1 所示），就是利用极坐标系来对指纹细节特征所在部位进行定位的。其具体方法是：用极坐标系的相位和模两个参数

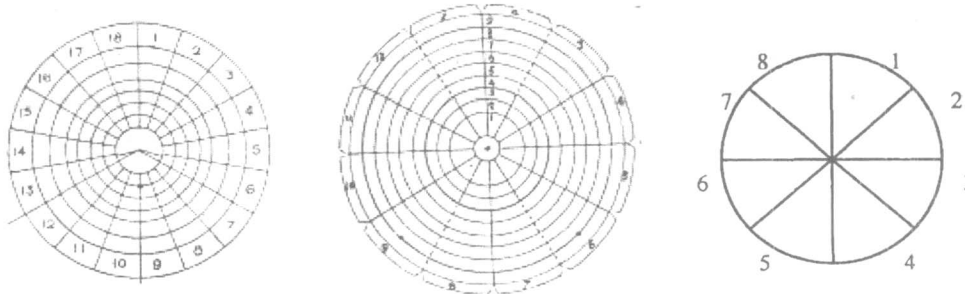


图 2-1 指纹分析规示意图

表示细节特征的所在部位。相位表示特征所在部位的方位角，模是用不同距离同心圆所形成的格来表示，每个格的高度为 0.5 毫米（0 格高度为 1 毫米）。这样就可以很方便地确定

出指纹细节特征所在部位。然后在确定其位置的基础上对细节特征进行编码，最后应用于指纹的计算机自动识别系统。

在足迹鉴定中，其中采用了一种平面直角坐标系的检验方法，来对足迹的形象特征进行分别检验和比较检验。其具体操作过程是：预备好以毫米为单位的直角坐标透明板两块，制作现场赤足印和样本赤足印的原大照片。将平面直角坐标板置于足印照片上，使原点与后跟中心点重合，Y 轴与足迹中心线相重合。拍摄盖有坐标板的比对照片，记录各个观察点的坐标。因赤足印轮廓图形的任意一点都可以用 X、Y 的值来确定其位置，所以赤足印形态特征即可定量地表示出来。通过相同观测点的 X、Y 值的比较，即可作出综合评断。观察点一般可取各趾球的最大长度的两端点，最大宽度的两端点，足掌前沿、内沿、外沿和后沿的最大隆凸点和最凹陷点，脚弓的隆凸点与凹陷点、最小宽度的两端点，足跟最大长度和宽度的两端点（如图 2-2 所示）。

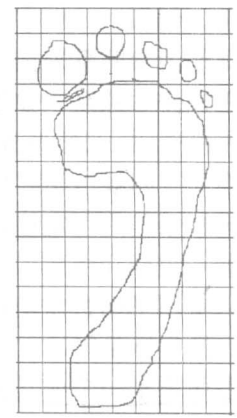


图 2-2　平面直角坐标检验法示意图

类似这种例子很多，凡是需要确定痕迹上各点之间的相对位置或痕迹上各特征点的相对位置 1，我们都可以应用坐标系来解决问题。

2．位置矢量和位移

要描述一个质点的运动，首先要确定质点在空间的位置。为此，我们选定一个参照系，由参照系上的一固定点向质点作一连线，并以箭头表示连线是由参照系引向质点的。我们称由参照系上一固定点指向质点的矢量为位置矢量，也叫矢径。一般以参照系上这一固定点作为坐标原点，那么位置矢量就是从坐标原点引向质点的有向线段。如图 2-3 所示，就是表示在空间坐标上确定某一质点 P 的位置矢量 $\boldsymbol{r}$。它是描写质点在空间中位置的物理量，是描写质点状态的一个参量。

位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 是一个矢量，它具有矢量性；选取不同的参照系，以及在同一参照系上建立不同的坐标原点，它的数值和方向是不同的，它的描述具有相对性；在质点运动过程中，位置矢量是随时间改变的，在各个时刻它的大小和方向一般是不同的，它具有瞬时性。在国际单位制中，位置矢量的单位是米。

用矢量表示质点的位置比较简便，在作具体计算时，把矢量放进各种坐标系里进行运算

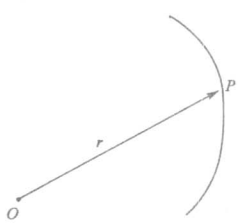


图 2-3　位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 的示意

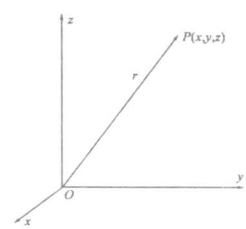


图 2-4　直角坐标系

更方便。在空间建立一直角坐标系，坐标的原点，就是参照系上的一固定点，如图 2-4 所示。

位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 在直角坐标轴上的投影为：

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \tag{2-1}$$

其中 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$、$\boldsymbol{k}$ 分别为位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 在 x、y、z 轴上的单位矢量。

位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 的大小，可由关系式

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

来决定。位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 在空间的方向，可由

$$\cos\alpha = \frac{x}{|\vec{r}|}, \quad \cos\beta = \frac{y}{|\vec{r}|}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{|\vec{r}|}$$

或

$$x = r\cos\alpha \quad , \quad y = r\cos\beta \quad , \quad z = r\cos\gamma \tag{2-3}$$

来确定，其中 α、β、γ 分别为位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 与 x、y、z 轴的夹角。

运动方程是表示运动过程的函数式。质点的机械运动是质点的空间位置随时间变化的过程，这时，质点的位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 或坐标是时间 t 的函数，叫做质点的运动方程。可表示为：

$$\vec{r} = \vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k} \tag{2-4}$$

或

$$x = x(t) \qquad y = y(t) \qquad z = z(t) \tag{2-5}$$

位移是从初始位置引向终止位置的一个有向线段。它是描写在一定时间内质点位置变动的大小和方向的物理量。位移是矢量，具有矢量性。它和路程不同，路程是在一定时间内物体（质点）所经路径的总长度，是标量。只有在直线直进运动时，在一定时间内的路程和位移的大小才是相等的。选取不同的参照系，位移的大小和方向一般是不同的，它的描述具有相对性。在国际单位制中，位移的单位是米。

位移是位置矢量的增量。如图 2-5 所示，设质点沿任意曲线 L 在运动。质点在 t 时刻处于 A 点，其位置矢量为 $\boldsymbol{r}_A$，经过 Δt 时间，质点到达 B 点，位置矢量为 $\boldsymbol{r}_B$。在此过程中，质点的位移可用从 A 点到 B 点的有向线段 AB 来表示，或写为 $\Delta\boldsymbol{r}$：

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$$

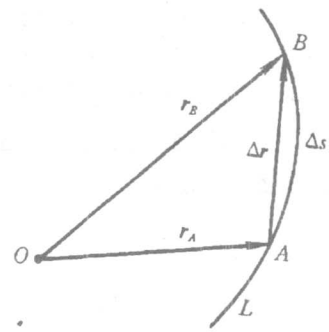


图 2-5　位移示意图

图 2-5 中位置矢量的始端即质点之所在，随着时间的推移，位置矢量始端划出的曲线即质点运动的轨迹，曲线 L 即质点运动的轨迹。在运动方程中，消去时间变量，反映出各

坐标量间的关系即运动轨迹方程。如果质点在空间运动的轨迹是一条直线，这种运动叫直线运动；轨迹是曲线的叫曲线运动。

3．平均速度和瞬时速度

研究质点运动时，不仅需指出其坐标、位移，还需指出其运动的快慢。速度就是描写质点位置变动的快慢和方向的物理量，是描写质点状态的一个参量。速度是矢量，它具有矢量性；质点在运动中各个时刻的速度一般是不同的，它具有瞬时性；选取不同的参照系，描写质点运动的快慢和方向一般是不同的，它具有相对性。在国际单位制中，速度的单位是米／秒，常用的单位还有厘米／秒、公里／小时等。

一般情况下，质点运动的快慢和方向在各个时刻或各个位置是不同的。为了大致地描述质点运动的快慢和方向，我们先引进平均速度的概念。

如图 2-5 所示，若质点在 Δt 时间内的位移为 $\Delta \boldsymbol{r}$，则质点在 Δt 时间内的平均速度定义为：

$$\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1}$$

平均速度也是矢量，它的大小和方向随着所取时间间隔不同而不同。平均速度只反映在某段时间内或某段位移中，质点位置的平均变化，只有当质点以恒定速度运动时，平均速度才是质点在某时刻的真正速度。

速率是描写质点运动快慢的物理量，是标量。质点所行径的路程 Δs 跟通过该路程所用的时间 Δt 的比值，叫做在 Δt 时间内质点的平均速率，$\bar{v} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$。平均速率与平均速度不同，例如，在 Δt 时间内，质点环行了一个闭合路径，质点的位移等于零，而路程不等于零，因此，平均速度等于零，而平均速率不等于零。然而，在质点做直线直进运动时，平均速率与平均速度的大小相等。

瞬时速率跟瞬时速度的大小相等。汽车上装的速度表，就是指示瞬时速度的大小的，即指示瞬时速率的。

一般情况下，在一小段时间里，运动的快慢程度往往不是恒定的，而是不断地变化着的。因此，只是时间间隔内位置的平均变化率，不能精确地描述各个瞬时的质点运动的快慢和方向。

为了精确地描写质点在某一时刻（或某一点）附近的快慢程度和方向，必须用瞬时速度来代替平均速度。瞬时即是某一时刻。某瞬时运动的快慢和方向与一段时间的平均速度是有联系的。我们知道，平均速度与时间间隔有关，时间间隔越短，在这段时间内运动的变化就越不明显，平均速度就越接近真实速度。若取在时刻 t 附近的时间间隔 Δt 为无限短，当 Δt 趋于 0 时，平均速度的极限就表示质点在时刻 t 的真实速度，即时刻 t 的瞬时速度，简称速度。其数学表示式为：

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t} \tag{2-6}$$

上式表明，质点运动的瞬时速度等于质点的位置矢量对时间的微商。我们通常所说的速度，是指它的瞬时速度。

矢量式（2-6）反映了位置矢量和速度这两个矢量之间的关系，把它放进直角坐标系中，

2.3.4 相对性、瞬时性、矢量性.

可得：

$$\vec{v}=\frac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\vec{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\vec{j}+\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\vec{k} \tag{2-7}$$

或

$$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} \qquad v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} \qquad v_z=\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t} \tag{2-8}$$

其中 v_x、v_y、v_z 表示速度在 x、y、z 轴上的分量。

4．平均加速度和瞬时加速度

在自然界中，物体运动的速度随时间改变的情况很多，例如物体在重力作用下的运动，其速度是随时间改变的。可以说，物体运动速度绝对不变的情况是没有的。因此，要进一步研究质点的运动，必须说明速度改变的规律。速度的变化一般包括速度大小的变化和速度方向的变化两部分。加速度就是用来描述质点速度变化的大小和方向改变的物理量。

如图 2-6，设质点沿任意曲线 L 在运动。质点在 t 时刻处于 A 点，其速度为 $\boldsymbol{v}_A$，经过 Δt 时间，质点到达 B 点，位置矢量为 $\boldsymbol{v}_B$。在此过程中，质点的速度增量为：

$$\Delta\vec{v}=\vec{v}_B-\vec{v}_A$$

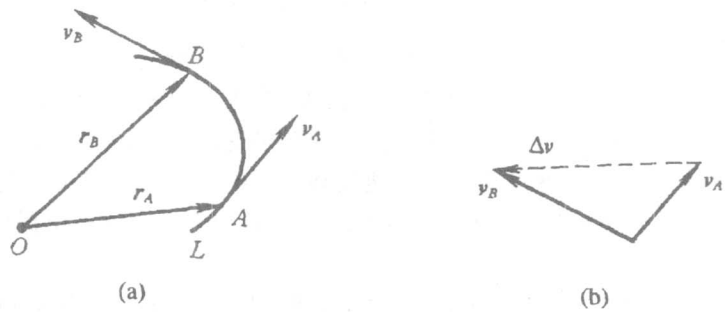


图 2-6　速度的改变

在 Δt 时间内，平均加速度为：

$$\bar{\vec{a}}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{\vec{v}_B-\vec{v}_A}{\Delta t}$$

可见，平均加速度的方向与 $\Delta\vec{v}$ 的方向相同。

如果我们要计算质点在 A 点的加速度，当 Δt 越小，上面的平均加速度就越接近 A 点的真实加速度，即 Δt 取得越小，用平均加速度来描述 t 时刻的加速度就越精确。当 Δt 趋于 0 时，上式的极限值就是描述质点在 t 时刻速度变化的大小和方向改变的量，叫做瞬时加速度，简称为 t 时刻的加速度，其数学表示式为：

师

$$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\vec{r}}{\mathrm{d}t^2} \tag{2-9}$$

即加速度等于速度对时间的微商，或等于位置矢量对时间的二阶微商。加速度的方向与 Δt 趋于零时，$\Delta\vec{v}$ 的极限方向一致。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com