



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

普通物理学

陈德万 主编

中 国 农 业 出 版 社

04
20

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

普通物理学

陈德万 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

普通物理学/陈德万主编. —北京: 中国农业出版社,
2000.5

全国高等农业院校教材

ISBN 7-109-06023-3

I. 普… II. 陈… III. 物理学-高等学校-教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 33520 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 郭何生

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2000 年 5 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 5 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/16 印张: 24.75

字数: 569 千字

定价: 29.10 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前言

本书是根据我们在农业院校长期讲授普通物理学的经验编写的。

物理学是整个自然科学的基础，是培养学生科学素质和科学思维方法，提高学生科学研究能力的重要基础课。随着科学技术的迅速发展，各门学科又强烈地朝着相互交叉、综合的方向发展。物理学的概念、理论、研究方法、实验技术在化学、生物科学、农业科学等学科中已得到了广泛的应用。然而，多年来，许多农业院校使用的物理学教材，有的过分强调自身的系统性、完整性，有的借用工科院校编写的物理学教材，缺乏农业院校物理学教材的特点，学生很少接触到20世纪以来物理学发展的巨大成就，其物理基础和时空观还停留在19世纪，又很少了解现代物理学成就在农业科学和生物科学中的应用，因而学习积极性不高。

为了适应21世纪注重对学生科学素质和创造能力培养的需要，为了更好地发挥物理科学在农林、生物科学中的基础作用，我们通过实施教育部和农业部“高等农林教育面向21世纪物理学教学内容和课程体系改革”的研究，并在中华农业科教基金的资助下，对《普通物理学》（农林、生物类）进行了重新编写。

本书编写时，力求体现以下特点：

首先是起点较高，处理好与中学内容的衔接、避免重复。

其次，精选和组织好教学内容。我们根据普通物理学内容多，历年来许多农业院校课时少的特点，精选了农业院校学生所必须具备的基本物理基础知识，对重要的物理概念、理论进行必要的阐述，对重要的定理、公式的推导思路进行了扼要的说明，从中

培养学生分析问题、解决问题的物理思想、研究方法，提高学生的科学素质和能力。我们认为，普通物理学课不仅仅传授物理学基础知识，而且还应交给学生打开获取知识大门的钥匙。我们还紧密结合理论的应用，精选习题，尤其是结合物理学在农业科学、生物学中的应用，我们自编了部分例题和习题，以提高学生应用理论解决实际问题的能力，从而可激发学生学习物理学的积极性。

第三，适当地为物理学前沿和应用打开窗口和安装接口。除介绍物理的前沿，如全息光学、耗散结构、旋光与对称性破缺、基本粒子、非线性光学等外，还介绍了物理学与生物学的结合与应用，如生物力学、生物系统热力学、化学势与水势、大气电场对生物的影响、环境磁场对生物的影响、核磁共振简介等，这对于提高学生学习物理学的兴趣，扩大科学视野以及在各自专业范围内的思路无疑是有帮助的。

在本教材的编写过程中，我们还借鉴了国内外的许多教材，特别是赵凯华先生的《力学》、李椿先生的《热学》教材等等，在此不一一列举，谨向这些教材的作者表示衷心的感谢。

在本教材的编写中，我们得到许多同行的热情支持、帮助和鼓励，得到了西南农业大学左冰意教授、徐志朝教授、中国农业大学金仲辉教授的热情关注和指导，金仲辉教授仔细审阅了书稿，提出了许多宝贵意见。在此，我们谨致以衷心的感谢。

本教材编写工作的具体分工如下：第一、二、三章由西南农大陈德万教授编写，第四、五、六章由华南农大刁岗老师编写，第七、八、九章由西南农大孙凡老师编写，第十、十一、十二章由中国农大祁铮老师编写。

由于编写时间仓促，缺点和错误在所难免，衷心希望使用本书的同志多提宝贵建议和意见，以便再版时加以改进，并使这一教材逐步提高和进一步完善。

编 者

1998年12月

目 录

前言	1
第一章 连续体力学	1
第一节 刚体的定轴转动	1
一、刚体的运动	2
二、刚体定轴转动定理	5
三、转动中的功和能	10
四、刚体的角动量定理	12
第二节 固体的弹性	14
一、应力和应变	14
二、弹性体的拉伸和压缩	15
三、弹性体的剪切形变	16
第三节 流体力学	17
一、理想流体的定常流动	17
二、黏性流体的流动	21
第四节 液体的表面现象	25
一、液体的表面张力	25
二、毛细现象	29
习题	32
物理窗口	35
A. 生物力学	35
第二章 气体动理论	38
第一节 气体的压强和温度	39
一、理想气体的状态方程	39
二、范德瓦耳斯方程	41
三、气体动理论的研究方法	45
四、理想气体的压强	46
五、分子的平均平动动能与温度的关系	48
第二节 分子平均动能按自由度均分的统计规律	49

一、自由度	49
二、分子的平均动能按自由度均分原则	50
三、理想气体的内能	51
第三节 气体分子速率分布的统计规律	53
一、速率分布律	53
二、麦克斯韦速率分布律	54
三、麦克斯韦速率分布律的应用	55
四、麦克斯韦速率分布律的实验验证	56
第四节 气体分子能量分布的统计规律	57
一、玻尔兹曼分布律	57
二、在重力场中粒子按高度的分布	58
第五节 气体分子碰撞的统计规律	59
第六节 气体的输运规律	61
一、气体的扩散	61
二、气体的热传导	62
三、气体的内摩擦现象	63
习题	65
物理窗口	66
B. 基本粒子和夸克模型	66
第三章 热力学	70
第一节 热力学第一定律及其对理想气体的应用	70
一、热力学系统	70
二、热力学过程	71
三、热力学第一定律	72
四、内能	73
五、功	73
六、热量	75
七、热力学第一定律对理想气体的应用	77
第二节 循环过程、卡诺循环	82
一、循环过程	82
二、卡诺循环	84
第三节 热力学第二定律	86
一、热力学过程的方向性	86
二、热力学第二定律	88
三、热力学第二定律的物理本质	90
第四节 熵与熵增加原理	92
一、态函数—熵	93
二、熵增加原理	96
第五节 热力学函数及应用	98
一、焓	98

二、自由能	98
三、吉布斯自由能	99
四、热力学函数的应用	100
习题	102
物理窗口	104
C. 化学势与水势	104
D. 生物系统热力学	109
E. 耗散结构	110
第四章 静电场	114
第一节 电场强度	114
一、库仑定律	114
二、电场强度	115
三、高斯定理	120
第二节 电势	124
一、电势能	124
二、电势	126
三、电场强度与电势的关系	130
第三节 静电场对电荷的作用	131
一、静电场对点电荷的作用、电泳	131
二、静电场对电偶极子的作用、氢键	133
第四节 静电场对导体的作用	135
一、导体的静电平衡	135
二、导体的电荷分布、尖端放电	136
第五节 静电场对电介质的作用	137
一、电介质的极化	137
二、电介质中的高斯定理	140
三、电容器、细胞电容	143
四、电介质电泳、细胞电融合	144
第六节 静电场的能量	146
一、带电体系的能量	146
二、电场的能量	146
习题	148
物理窗口	151
F. 大气电场及其对生物的影响	151
第五章 稳恒电流	155
第一节 电流密度	155
一、电流密度的物理概念	155
二、电流密度的微观意义	157
三、欧姆定律的微分形式	158
第二节 电阻	159

89 一、导体的电阻	159
99 二、电阻的微观理论	161
101 三、生物组织的电阻	162
103 第三节 电动势	164
101 一、电动势的物理概念	164
101 二、化学电池	166
101 三、接触电动势	167
101 四、温差电动势	168
111 五、能斯特电动势	169
111 第四节 基尔霍夫定理	171
111 习题	174
113 第六章 稳恒磁场	177
113 第一节 磁场的物理概念	177
113 一、磁力	177
113 二、磁场的物理概念	178
113 三、毕奥—萨伐尔定律	179
113 四、磁矩	182
113 五、生物磁场	184
113 第二节 磁场的基本性质	184
113 一、安培环路定理	184
113 二、磁场的高斯定理	187
113 三、磁单极之谜	187
113 第三节 磁场对运动电荷的作用	189
113 一、安培力与磁偶极子	189
113 二、洛仑兹力与质谱仪	191
113 三、霍耳效应与磁场测量	192
113 第四节 磁场对弱磁性物质的作用	194
113 一、弱磁质及其分类	194
113 二、弱磁质的磁化机理	195
113 三、弱磁质中的安培环路定理	197
113 第五节 磁场对铁磁性物质的作用	199
113 一、铁磁质的基本特征	199
113 二、铁磁质的磁化机理	200
113 三、磁记录	201
113 四、生物和土壤的磁性	201
113 习题	203
113 物理窗口	205
113 I. 环境磁场及其对生物的影响	205
113 J. 超导电性	210
113 第七章 电磁感应	215

第一节 电磁感应的的基本规律	216
一、电磁感应现象	216
二、法拉第电磁感应定律	217
第二节 动生电动势	219
第三节 感生电动势	220
一、感生电动势、涡旋电场	220
二、自感应和互感应	221
第四节 磁场的能量	226
第五节 麦克斯韦方程	228
一、位移电流	228
二、麦克斯韦方程	229
三、电磁波	231
习题	232
第八章 振动与波	235
第一节 线性振动	235
一、简谐振动	236
二、阻尼振动	241
三、受迫振动、共振	242
第二节 振动的合成	244
一、一维振动的合成	244
二、二维振动的合成	245
第三节 平面简谐波的表达式	247
一、一维简谐波的描述	247
二、描述波动的基本物理量	251
三、平面简谐波的表达式	252
第四节 波的能量	256
一、媒质元的能量	256
二、能流密度	257
三、波的吸收	258
第五节 波的干涉	259
一、波的叠加原理	259
二、波的干涉	260
三、驻波	261
四、半波损失	264
第六节 声波、超声波及其在生物学中的应用	264
习题	266
物理窗口	268
K. 非线性现象与混沌	268
L. 多普勒效应	271
第九章 光的波动性	274

第一节 光的干涉	274
一、光波的相干叠加	274
二、分波阵面的干涉实验	277
三、薄膜干涉	280
第二节 光的衍射	286
一、惠更斯—菲涅耳原理	286
二、夫琅和费单缝衍射和圆孔衍射	287
三、衍射光栅	292
四、X射线在晶体上的衍射	295
第三节 光的偏振	296
一、光的偏振态	296
二、布儒斯特定律	299
三、光的双折射现象	301
四、偏振光的产生及检验	306
五、旋光现象	307
习题	309
物理窗口	311
M. 全息照相与光学信息处理	311
N. 旋光与对称性破缺	319
第十章 光的吸收、散射和色散	324
第一节 光的吸收	324
一、一般吸收	325
二、选择吸收和吸收光谱	325
第二节 光的散射	327
一、光的散射现象及其分类	327
二、瑞利散射定律	327
三、散射光的偏振态	328
四、拉曼散射	329
第三节 光的色散	330
一、正常色散	330
二、反常色散	331
三、分光光度计简介	332
习题	333
第十一章 量子物理概论	334
第一节 从经典物理学到量子力学	335
一、经典力学的时空观	335
二、光的波粒二象性	335
三、实物粒子的波粒二象性与物质波	337
四、物质波的统计解释	338
五、不确定原理	339

第二节 波函数和薛定谔方程	340
一、波函数的物理意义及其性质	341
二、薛定谔方程	341
三、定态薛定谔方程	342
第三节 一维无限深势阱	343
一、一维无限深势阱	343
二、求解定态薛定谔方程	343
第四节 氢原子的能级结构	346
一、氢原子的定态薛定谔方程	346
二、讨论	347
三、电子自旋	349
四、量子力学大意总结	350
第五节 分子的能级结构和分子光谱	351
一、分子中电子的运动状态和电子能级	351
二、双原子分子的振动和振动光谱	351
三、双原子分子的转动与转动光谱	352
四、光谱分析法简介	354
五、荧光和磷光	355
习题	356
物理窗口	357
O. 核磁共振技术简介	357
第十二章 激光原理	362
第一节 激光的基本原理	363
一、原子的吸收、自发辐射和受激辐射	363
二、粒子数反转	364
三、工作物质的能级结构	364
四、光学谐振腔	365
五、产生激光的必要条件	366
第二节 激光器简介	367
一、红宝石激光器	367
二、氦氖激光器	368
三、二氧化碳激光器	369
四、可调谐染料激光器	370
第三节 激光的生物学效应	371
一、激光对生物的刺激效应	371
二、激光的抑制效应	372
三、激光的致死效应	372
四、激光的诱变效应	372
习题	373
物理窗口	373

第一章 连续体力学



本章要求

1. 掌握描述刚体定轴转动的角位移、角速度和角加速度等概念，以及它们和有关线量的关系；
2. 掌握力矩、转动惯量等概念和定轴转动定理，并能应用定轴转动定理求解有关问题；
3. 会计算力矩的功、刚体的转动动能、在定轴转动的问题中能正确地应用机械能守恒定律；
4. 能正确理解和计算质点和刚体对定轴的角动量，并能正确理解和应用定轴转动的角动量守恒定律；
5. 了解应力、应变、体弹性模量、杨氏模量、切变模量等概念；
6. 正确理解理想流体、流线、流管、定常流动、体积流量和质量流量等概念，能正确理解和应用连续性原理及伯努力方程；
7. 了解流体的黏性、层流和湍流等概念及泊肃叶定律和斯托克斯公式；
8. 掌握液体的表面张力、表面能、弯曲液面下的附加压强差、润湿与不润湿等概念及产生的原因，会计算弯曲液面下的附加压强差及毛细管内液面高度。

物质存在的三种状态：**固体 (solid)、液体 (liquid) 和气体 (gas)** 统称为连续体或连续介质 (continous medium)。连续体力学不考虑物质的离散性质，而把物质当作是均匀分布在一定空间区域里的，从宏观上研究连续体的运动规律及力学性质。

第一节 刚体的定轴转动

刚体 (rigid body) 就是在外力作用下，其形状和大小都不发生变化的物体。其特点是：在运动过程中，刚体的所有质点（又称为质元）之间的相对距离始终保持不变。因此，刚体内各个部分之间的作用力即内力，对刚体的整体运动不起作用。刚体是一种理想

模型,任何物体在外力作用下,其形状和大小都要发生变化。但在所研究的问题中,物体的形变不显著或并不重要,我们就可把物体视为刚体。刚体的一般运动可视为平动(translation)和转动(rotation)的叠加。因此,研究刚体的定轴转动(fixed-axis rotation),则为进一步研究物体的一般运动奠定了基础。

一、刚体的运动

刚体最简单的运动形式是平动和转动。在运动过程中,如果刚体内的任意一条直线始终都保持其方向不变,则这种运动称为刚体的平动,如图 1~1 所示。例如电梯的运动,气缸中活塞的运动等都是平动。由定义不难看出,刚体作平动时,刚体上各质元的运动是完全相同的。即在任意一段时间内,各质元的位移相同,在任意一时刻,各质元的速度和加速度相同。因此,刚体内任意一个质元的运动都可以代表整个刚体的运动,我们可以把刚体当作一个质点来处理,用质点力学来研究它的运动规律。

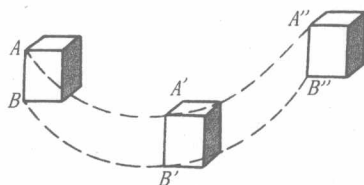


图 1~1 刚体的平动

应该指出:首先刚体作平动时,并不意味着刚体上各质元的轨道为直线。其次刚体作平动时,必须是刚体内的任意一条直线都始终保持其方向不变,而绝不是刚体内的一条特殊的直线保持其方向不变。例如,刚体作定轴转动时,在刚体内作一条垂直于圆周所包围平面的直线,在运动过程中其方向始终保持不变,显然刚体的这种运动不是平动。

在运动过程中,如果刚体上各质元都绕同一直线作圆周运动,则这种运动称为刚体的转动,而该直线称为刚体的转轴。例如骑自行车时车轮的运动,开窗时窗的运动等都是转动。如果转轴是固定不动的,则这种转动称为定轴转动,如图 1~2 所示。只有刚体作平动时,才能说刚体的速度、加速度为多少。否则,在刚体的一般运动过程中,笼统地说刚体的速度、加速度是毫无意义的。本节研究刚体的定轴转动。

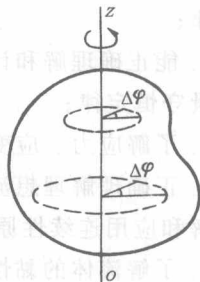


图 1~2 刚体的定轴转动

刚体作定轴转动时有如下特点:

首先,刚体上各个质元都在作圆周运动,但各个质元到转轴的距离和速度却不一定相同。

其次,各个质元作圆周运动的平面与转轴垂直,圆心在其轴线上。

最后,从各个质元所在位置到转轴 OZ 的垂直连线,在相同的时间内转过的角度都相同。

根据刚体定轴转动的特点,我们不能象研究质点运动那样,用量如坐标、速度、加速度等物理量来描写质点的运动,而是用量如角坐标、角位移(angular displacement)、角速度(angular velocity)和角加速度(angular acceleration)等物理量来描写刚体的定轴转动。

为了描述刚体在转动过程中的位置,通常取任意一垂直于定轴的平面作为转动平面,

如图 1~3 所示。O 点为该转动平面与转轴的交点，平面上各质元都绕 O 点作圆周运动。如果在任一时刻能确定，在转动平面上任一点的位置，则整个刚体在该时刻的位置就确定了。下面介绍描写刚体定轴转动的物理量。

在转动平面上取一参考方向，在时刻 t ，由 O 点向 p 点的位置所作的有向线段称为矢径，用 r 表示，它与参考方向的夹角 φ 就表示 p 点在时刻 t 的位置。 φ 确定后， p 点的位置就确定了，从而整个刚体的位置也就确定了。角 φ 称为角坐标，它是描述定轴转动中，刚体的位置的物理量，其单位为弧度 (rad)。

因此刚体作定轴转动时，其角坐标 φ 随时间变化的函数关系式称为刚体作定轴转动的运动方程，即

$$\varphi = \varphi(t) \quad (1-1)$$

在时刻 t 时， p 点的角坐标为 φ ，在时刻 $t + \Delta t$ 时， p 点的角坐标为 $\varphi + \Delta\varphi$ ，则末时刻角坐标与初始时刻角坐标之差，即 $\Delta\varphi$ 称为刚体在 $t - t + \Delta t$ 内的角位移，它是描述刚体位置变化的物理量。

刚体的角位移与所需时间之比值称为刚体在该时间间隔内的平均角速度，用 $\bar{\omega}$ 表示。即

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (1-2)$$

一般说来，在转动过程中，在相同时间 Δt 内，角位移 $\Delta\varphi$ 不相等，这就是变速转动。为了精确地描写刚体的转动快慢情况，引入了瞬时角速度这个概念。在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，平均角速度的极限值称为刚体在时刻 t 的瞬时角速度，简称角速度。即

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1-3)$$

角速度是矢量，作角速度矢量时，规定在转轴上画一有向线段，使其长度按一定比例代表角速度的大小，它的方向与刚体转动方向成右手定则关系。即使右手四指弯曲的方向与刚体的转动方向一致，而与四指垂直的拇指所指的方向就表示角速度的方向。在图 1~3 所示的转动情况下，角速度的方向沿转轴竖直向上。在定轴转动中，由于刚体只有两个转动方向，故可用正负号来表示角速度的方向。将一坐标轴如 Z 轴标在转轴上，且一般规定向上为 Z 轴正方向。若刚体以逆时针方向转动，角速度方向与 Z 轴正方向相同，则 ω 为正，反之为负。角速度是描述刚体的位置变化快慢和方向的物理量，其单位为弧度/秒 ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)，一般写为 1/秒 (s^{-1})。

为了描述刚体在转动过程中角速度的变化，我们引入了角加速度这个物理量。在转动过程中，刚体的角速度的变化 $\Delta\omega$ 与其所需时间 Δt 之比值定义为刚体在该时间间隔内的平均角加速度。用 β 表示。即

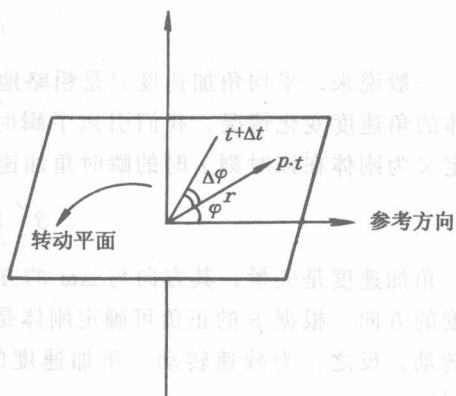


图 1~3 转动平面

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (1-4)$$

一般说来, 平均角加速度只是粗略地描写了刚体的角速度变化情况。为了精确地描写刚体的角速度变化情况, 我们引入了瞬时角加速度。在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均角加速度的极限值定义为刚体在该时刻 t 时的瞬时角加速度, 简称角加速度。即

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-5)$$

角加速度是矢量, 其方向与 $\Delta\omega$ 的方向相同。在定轴转动中, 我们用正负号表示角加速度的方向。根据 β 的正负可确定刚体是加速转动或减速转动。当 $\omega \cdot \beta > 0$ 时, 刚体作加速转动, 反之, 为减速转动。角加速度的单位为弧度/秒⁻² ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$), 一般写成 $1/\text{秒}^2$ (s^{-2})。

刚体在定轴转动过程中, 若 ω 保持不变, 则称为匀速转动, 否则称为变速转动。若 β 保持不变, 则称为匀变速转动, 否则称为非匀变速转动。

刚体作定轴转动时, 刚体内各点都作圆周运动。为此, 我们在转动平面上任取一点如 p 点, 求出 p 点的速度、加速度与刚体作定轴转动时的角速度、角加速度之间的关系。

设在 dt 时间内 p 点经过的路程为 ds , 而刚体的角位移为 $d\varphi$, 如图 1~4 所示。由弧长与所对应的圆心角之间的关系可得

$$ds = r d\varphi \quad (1-6)$$

由此可得 p 点的速度与刚体的角速度之间的关系为

$$v = \frac{ds}{dt} = r \frac{d\varphi}{dt} = r\omega \quad (1-7)$$

写成矢量式

$$\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r} \quad (1-8)$$

即 \mathbf{v} 与 $\boldsymbol{\omega}$ 和 \mathbf{r} 成右手定则关系, 其中 \mathbf{r} 为 p 点的矢径。

将 (1-7) 式两边对时间 t 求导, 即得 p 点的切向加速度 a_r 与刚体的角加速度 β 的关系。

$$a_r = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} (r\omega) = r \frac{d\omega}{dt} = r\beta \quad (1-9)$$

由质点作圆周运动的向心加速度 (亦即法向加速度) 公式可得 p 点的法向加速度 a_n 为

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad (1-10)$$

由上面讨论可知, 刚体作定轴转动时, 刚体内各点的位移、速度、切向加速度和法向加速度是不相同的, 而各点的角位移、角速度和角加速度则是相同的。因此角量是描述整个刚体作定轴转动时运动状态的物理量。

例 1.1 设一半径为 R 的飞轮以角加速度 β 作匀变速转动, 在 $t=0$ 时, 飞轮的角速度为 ω_0 , 角坐标为 φ_0 。求在时刻 t 时

1) 飞轮的角速度和角坐标;

2) 在飞轮边缘上一点的速度、切向加速度和法向加速度。

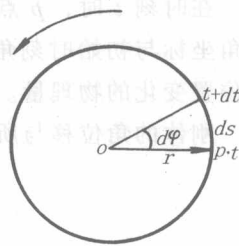


图 1-4 求线量与角量的关系