

教育部面向廿一世纪教学改革
重点资助项目

基础力学

田清钧 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

基础力学/田清钧编著. —北京:国防工业出版社,
2001.10

ISBN 7-118-02667-0

I. 基... II. 田... III. 力学—基本知识 IV. 03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 065782 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×960 1/16 印张 22½ 425 千字

2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

力学是大学物理的首门课程,也是学生反映难学的一门课程。难学的原因恐怕与如下的情势有关:从中学物理到大学物理,处理的对象从常量到变量,应用的数学工具也由标量到矢量,由初等数学方法到高等数学手段;普通物理中所要碰到的新观念、新方法几乎是蜂拥而至,应接不暇,当然这对于好思考的学生同样感到激励和富有趣味。情况也许正如《伯克利物理学教程》第一卷的作者所说的,“一个学生如果清楚地理解了力学中阐述的基本物理内容,即使他还不能在复杂情况下运用自如,他也已经克服了学习物理学的大部分的真正困难了。”

从牛顿到爱因斯坦,力学的发展已有三百多年的历史了,它的丰富内容必须反映到教材中来;随着科学技术的进步,大学物理的教学内容和方法需要更新;中学的教学改革和教材内容的更新也对高师教育提出了更高的要求。在这本教材编写中,我们根据高师学生的实际情况,有的放矢地进行了改革。在选材方面,虽然仍以传统内容为主线,但力图用近代物理的观点来审视它们,并在适当地方开些小窗口,渗透一些近代物理的信息,使知识的层次更靠近现代物理学的发展水平。在讲述方法上,既进行必要的数学论证,更着重揭示概念和规律的物理涵义。行文中开列了援引的文献或参考书,旨在激励学生的求知欲,培养获取知识及开拓知识领域的能力。希望通过本课程的学习,不仅为后继课程打下必要的知识基础,也能使学生应用物理方法去分析和解决实际问题的能力有所增长,使他们既能适应中学物理教学的要求,又能跟上物理学本身的发展。

编写中,我们依据 1996 年原国家教委高教司印发的《普通物理课程建设意见》进行了内容选取,本教材除绪论外共有十一章。

第一章讨论质点运动学,基于机械运动的可加性,引入矢量(线性空间的元素)来描述质点运动。矢量可以按不同方式进行分解,这对应着描述质点运动时可以对坐标系和参考系进行不同的选取。

第二章牛顿定律,是与中学物理最为相近的内容。除了介绍牛顿定律在经典力学中的基础地位外,我们也采用了所谓的马赫途径来引入物体质量的可操作性定义,从而使定律的表述从逻辑上自洽,并为动量守恒定律的引出和在狭义相对论中推证质速关系留下伏笔。场的概念(引力场)也在本章引入。

接下来三、四和五章分别以牛顿定律为基础推证出动量、动能和角动量三个基本定理。与柯尼希定理相对应在第五章中给出相应的角动量公式,以便突出质心

系(动量中心系)在处理质点组动力学问题中的特殊地位。在第五章末尾,集中阐明三个守恒定律分别与物理定律对时间和空间变换的不变性的对应关系。

在第六、七和八章应用以上基本定律和定理分别处理刚体、弹性体和流体的运动问题。固体弹性一章末尾给出了较为实际的圆形密绕弹簧劲度系数的公式。

第九章除介绍简谐振动外,还介绍了更为实际的自激振动。

第十章介绍了简谐波,并为后继课程的需要略述了有关色散的内容。

第十一章讲述了相对论的基本内容。为突出爱因斯坦假设的物理内涵,没有采用先行严格推导洛伦兹变换再行解说的传统方式,而是从光速不变性出发,论述同时的相对性、时间膨胀和洛伦兹收缩后再给出洛伦兹变换并加以总结。最后一节对广义相对论的基本物理思想作了介绍。

作为正文内容的补充,每章末尾配有思考题和习题,第二、三、九章末还附有阅读材料。

打*号的部分略去不讲不会影响教材的连贯性。

在本书成型的过程中,得到了项目组多位老师的帮助,其中特别是王庆绥老师在习题的编制中做了许多工作,项目组负责人叶维祎教授对本教材的编写给予了特别的指导和帮助,作者应对他的表示谢意。此外,对于我校教务处的张克昌、宗成明二位同志的多方支持和教育部师范司“面向廿一世纪教学改革计划”的重点资助(项目号 JS167B)也一并表示感谢。

尽管作者尽其所能,因水平所限,书中难免尚有疏漏或谬误之处,企望读者的建议和指正。

作者谨致

目 录

绪论	(1)
一、什么是力学	(1)
二、参考系与坐标系	(2)
三、时间、空间的计量和数量级	(3)
小结	(4)
第一章 质点运动学	(6)
§ 1.1 描述质点运动的概念	(6)
§ 1.2 直线运动	(8)
一、直线运动	(8)
二、直线运动学方程的求解	(9)
§ 1.3 平面运动	(11)
一、运动的叠加原理	(11)
二、平面直角坐标系	(11)
三、平面极坐标	(12)
§ 1.4 自然坐标	(14)
§ 1.5 相对运动问题	(16)
一、相对运动关系	(16)
二、伽利略变换	(17)
小结	(18)
思考题	(19)
习题	(21)
第二章 牛顿运动定律	(25)
§ 2.1 牛顿运动定律	(25)
一、牛顿第一运动定律	(25)
二、牛顿第二运动定律	(26)
三、牛顿第三运动定律	(28)
§ 2.2 力学单位制与量纲	(29)
一、基本量与导出量	(29)
二、国际单位制(SI)	(29)

三、量纲·····	(30)
§ 2.3 力学中常见的几种力·····	(31)
一、弹性力·····	(31)
二、摩擦力·····	(32)
三、万有引力与重力·····	(34)
§ 2.4 牛顿定律应用举例·····	(37)
§ 2.5 伽利略相对性原理与非惯性系·····	(42)
一、伽利略相对性原理·····	(42)
二、牛顿定律对伽利略变换的不变性·····	(44)
三、非惯性参考系·····	(44)
§ 2.6 牛顿运动定律的适用范围·····	(51)
小结·····	(53)
思考题·····	(54)
习题·····	(56)
阅读材料 牛顿和万有引力定律的发展·····	(59)
第三章 动量定理和动量守恒定律 ·····	(62)
§ 3.1 质点和质点组动量定理·····	(62)
一、质点的动量定理·····	(62)
二、质点组的动量定理和质心运动定理·····	(63)
三、动量守恒和动量守恒定律·····	(67)
§ 3.2 变质量问题·····	(69)
小结·····	(71)
思考题·····	(72)
习题·····	(73)
阅读材料 潮汐·····	(76)
第四章 动能定理和机械能守恒定律 ·····	(80)
§ 4.1 功的概念·····	(80)
§ 4.2 保守力与势能·····	(84)
一、保守力做功与路径无关,还等于势能的减少·····	(84)
二、保守力沿闭合路径一周做功为零·····	(86)
三、势能曲线·····	(87)
四、保守系具有时间反演不变性·····	(89)
§ 4.3 动能定理·····	(90)
一、质点的动能定理·····	(90)
二、质点组的动能公式——柯尼希定理·····	(91)

三、质点组的动能定理和机械能定理	(92)
§ 4.4 机械能守恒及能量守恒定律	(95)
§ 4.5 两体碰撞	(97)
一、球的对心碰撞	(97)
二、碰撞的应用	(100)
小结	(104)
思考题	(105)
习题	(106)
第五章 角动量定理和角动量守恒定律	(113)
§ 5.1 矢量的矩	(113)
一、矢量对点的矩	(113)
二、矢量对轴的矩	(114)
§ 5.2 角动量定理和角动量守恒定律	(115)
一、质点的角动量定理	(115)
二、质点组的角动量定理	(117)
* 三、角动量公式和质心系角动量定理	(119)
四、角动量守恒定律	(120)
*§ 5.3 对称性与守恒定律	(121)
一、势能对时间平移变换的不变性导致机械能守恒定律	(122)
二、势能对空间平移变换的不变性导致动量守恒定律	(122)
三、势能对空间旋转变换的不变性导致角动量守恒定律	(123)
小结	(123)
思考题	(124)
习题	(126)
第六章 刚体力学	(128)
§ 6.1 刚体运动学	(128)
一、刚体的平动	(129)
二、刚体的转动和定轴转动	(129)
三、刚体的平面运动	(132)
§ 6.2 刚体上力系的化简	(134)
一、作用于刚体上的力是可滑移矢量	(135)
二、力的等效平移	(135)
三、力系的化简	(136)
§ 6.3 刚体定轴转动的动力学方程	(139)
一、定轴转动中刚体的角动量	(139)

二、刚体定轴转动的角动量定理	(139)
三、刚体对轴的转动惯量的性质和求法	(140)
四、刚体定轴转动中的动量定理	(143)
五、定轴转动中的动能定理	(145)
§ 6.4 刚体平面运动的动力学方程	(148)
一、刚体平面运动的基本动力学方程	(148)
二、刚体平面运动中的角动量和动能	(150)
* 三、对瞬时转动轴的转动定理	(153)
§ 6.5 刚体平衡方程	(156)
§ 6.6 滚动摩擦	(159)
§ 6.7 回转仪	(160)
小结	(162)
思考题	(164)
习题	(167)
第七章 固体的弹性	(173)
§ 7.1 弹性体的应力和应变	(174)
一、应力和应变的分类	(174)
二、胡克定律和弹性势能密度	(176)
§ 7.2 梁的弯曲和柱的扭转	(179)
一、直梁的承重弯曲	(179)
二、圆柱体的扭转	(180)
小结	(182)
思考题	(183)
习题	(183)
第八章 流体力学	(185)
§ 8.1 流体静力学	(185)
一、静流体中的压强	(185)
二、重力场中静流体内的压强分布	(186)
§ 8.2 流体的流动	(190)
一、迹线、流线、流管和定常流动	(190)
二、流量和不可压缩流体的连续性原理	(191)
§ 8.3 理想流体的伯努利方程	(192)
§ 8.4 流体定常流动的反作用力	(196)
§ 8.5 粘滞流体的流动	(198)
一、粘滞定律	(198)

二、泊肃叶公式	(199)
三、不可压缩流体定常流动的功能关系	(201)
四、层流、湍流和雷诺数	(202)
§ 8.6 物体在粘滞流体中运动时所受的力	(204)
一、曳引力	(204)
二、流体的升力	(206)
小结	(208)
思考题	(209)
习题	(213)
第九章 机械振动	(215)
§ 9.1 简谐振动	(215)
一、简谐振动的运动学特征	(216)
二、简谐振动的动力学判据(定义)	(217)
三、简谐振动的能量特征	(221)
§ 9.2 振动的合成与分解	(223)
一、同频率简谐振动的合成	(223)
二、不同频率简谐振动的合成	(224)
三、振动的分解	(227)
§ 9.3 阻尼振动和受迫振动	(228)
一、阻尼振动	(228)
二、受迫振动	(230)
* § 9.4 自激振动和参数振动	(234)
一、自激振动	(234)
二、参数振动	(238)
小结	(239)
思考题	(241)
习题	(242)
阅读材料 机械振动与混沌	(245)
第十章 机械波	(255)
§ 10.1 波的一般概念	(255)
一、弹性波和非弹性波	(255)
二、行波的描述	(257)
三、惠更斯原理	(259)
§ 10.2 平面简谐波	(260)
一、平面简谐波的波函数	(260)

二、波的能量	(262)
三、平面行波的分解	(265)
§ 10.3 波动方程和波速	(265)
一、波动方程	(265)
* 二、色散与群速	(269)
§ 10.4 波的叠加原理 干涉	(272)
一、波的叠加原理	(272)
二、波的干涉	(273)
§ 10.5 驻波	(274)
一、驻波的特征	(274)
二、驻波的实现	(276)
§ 10.6 声波	(279)
一、声源与驻波	(280)
二、描述声波的有关物理量	(281)
三、与听觉有关的量	(284)
§ 10.7 多普勒效应	(287)
一、静止波源	(288)
二、运动波源	(288)
三、马赫锥和击波	(289)
小结	(291)
思考题	(294)
习题	(296)
第十一章 相对论初步	(299)
§ 11.1 空间和时间的相对性	(299)
一、电磁规律与绝对时空观的冲突	(299)
二、爱因斯坦的假设	(301)
三、“同时”概念的定义	(301)
四、长度的相对性:洛伦兹收缩——静长最长	(302)
五、时间间隔的相对性:时间膨胀——原时间间隔最短	(303)
* 六、光的多普勒效应	(306)
§ 11.2 洛伦兹变换	(309)
一、洛伦兹变换	(309)
二、间隔的相对性与绝对性	(311)
三、速度变换	(312)
§ 11.3 狭义相对论的动力学	(313)

一、质量与速度的关系	(314)
二、质量与能量的关系	(316)
* 三、动量和能量的变换	(319)
* 四、力和功率的变换	(320)
* § 11.4 广义相对论介绍	(322)
一、狭义相对性原理尚未完全满足	(322)
二、广义相对论的基本原理	(323)
三、弯曲的时空	(327)
四、实验验证与预言	(328)
小结	(329)
思考题	(331)
习题	(333)
附录 矢量运算	(336)
习题答案	(341)

绪 论

一、什么是力学

这里,力学是对经典力学的简称。所谓“经典”是指其适用范围限于宏观物体在不涉及强引力场情况下的低速(速度远小于光速)运动。20 世纪物理学的发展,特别是狭义和广义相对论地诞生以及量子力学的创立,界定了力学的适用范围。本书主要涉及经典力学的内容,也稍微谈及相对论。

自然界中有各种各样、千变万化的运动形式,物理学是探索物质世界的基本结构及其普遍运动规律的科学。这些运动形式中有一类是我们在生产生活中经常遇到的,即物体位置的变动,例如,各种交通工具的移动、不同机械的运转、大气和河流的流动和天体的运行等等。这种随着时间的推移,发生位置改变的运动形式称作**机械运动**。机械运动是各种运动形式中最简单的一种。力学,就是物理学中研究机械运动规律的一个分支学科。

力学的产生并发展成为一门独立的学科开始于 16 到 17 世纪。资本主义生产的发达,航海、纺织、机械制造以及战争的需要,促进了天文学和力学的迅速发展。对物理现象的观察和进行实验的科学方法也逐步建立起来。从数学工具上讲,早在公元前 3 世纪就诞生在古希腊的欧几里德《几何原本》等著作,大大推动了逻辑推理和证明方法的发展。伽利略从自由落体运动规律中归纳出加速度的概念时,就用到了抛物线的性质。到 17 世纪后期,(包括笛卡儿、惠更斯等人的努力)力学的实验基础已经建立起来。在这个基础上,经过分析、总结和概括,1687 年,牛顿发表了《自然哲学之数学原理及其宇宙体系》(以后简称《原理》)一书,其中,提出了力学的基本概念和定律,并从行星运动规律(开普勒定律)和椭圆轨道的几何性质,引导出万有引力定律。至此,经典力学已经基本建立起来。以后随着生产水平的进一步提高,结合着天文学、机械制造和水利的发展,又开辟了流体力学、刚体力学和弹性力学等一系列新的力学分支。到 18 世纪,力学已在广泛的领域内影响着人类对自然界的认识水平并取得了很大的成就,理论上同时也形成了比较完整的体系。

力学不仅作为物理学的一个有机组成部分而占有极重要的地位,并且在现代科学技术和工程方面发展出许多独立的子学科,诸如材料力学、塑性力学、断裂力学以及爆炸力学等不胜枚举。人们甚至把经典力学结合到生物学上创立了生物力

学和运动生物力学,用以提高人类的生命质量和体育运动的成绩。

20 世纪物理学的新发展,虽然给经典力学带来了冲击,但是并非完全否定它,而是确定了经典力学的适用范围。在所谓弱引力、低速宏观运动范围内,量子力学、狭义相对论以及广义相对论都将回到经典力学的结果。

通常把力学分为运动学、动力学和静力学。**运动学**研究如何描述一定的物理对象的机械运动,但不涉及引起运动和改变运动的原因;**动力学**则研究物理对象运动状态与相互作用的联系,回答该对象发生特定状态或改变运动状态的原因,以图对未来的运动作出预言,或对感兴趣的过去进行追溯;**静力学**则研究物体在相互作用下维持平衡状态的问题,可以看作动力学中的一个特例。

二、参考系与坐标系

任何物理过程都和时间、空间相联系,机械运动尤其如此。力学讨论的就是物理对象空间位置随时间推移而变化的过程。经典力学以所谓绝对时空观为基础。这种时空观在牛顿的《原理》一书中集中地表述过,所以有时又被冠以“牛顿的”绝对时空观。牛顿认为“宇宙系统中心是不动的。”“绝对空间是这样的,按照其本身的性质与无论什么样的其它事物无关,永远保持静止……”。又认为“绝对的时间是这样的,按其本身性质与别的事物无关,平静地流逝着”。因此,在经典力学中描述运动时,可以分别独立地选择与运动无关的空间和时间的概念为描述机械运动的基础。

另一方面,众所周知,物体的机械运动状态具有相对性。说物体是运动还是静止乃是相对某个所谓静止物体而言。如果你坐在波音 747 客机上,以 260m/s 的速度在一万多米的高空中飞行时,你周围行李,桌椅和设施都是静止的。确切地描述物体的位置和运动,要求我们选择某个不变形的物体作为参照对象,此物常称作**参照物**。

为了描述物体相对参照物的确切位置,还需要建立把原点设置在参照物上的某种坐标系。粗略地讲,坐标系不过是一组各自独立的实数,用以标定出物体相对原点的位置。例如在直角坐标系中,确定某点的位置需要三个独立的实数。参照物与坐标系一起构成**参考系**。因为参照物本身相对其它物体可能也在运动,特别是可能转动,所以,原点选定后,坐标轴的取向仍然可以不同:比如,可以令坐标轴固着在参照物上,或令坐标轴始终朝向另一特定的物体。这时,即使是选用同一种坐标系,也应该视为不同的参考系。一般说来,在研究运动学问题时,只要描述方便,参考系可以随便选择。但是,在考虑动力学问题时,我们却必须慎重地区分参考系的不同种类(见第二章),因为,经典力学的基础定律——牛顿运动定律,只对某类特定的参考系(惯性系)成立。

我们在研究运动的一般性问题时,常选用地球为参考系,因为实验室常固定于

地球上,故又称作**实验室参考系**。但在研究人造卫星运动时,又常采用以地心为坐标原点,并自地心向恒星引出坐标轴,这样构成的参考系称为地心—恒星参考系,简称**地心系**,它不同于实验室参考系。而当研究行星运动时,又常以日心为原点,并自日心向恒星引出坐标轴,这便构成了日主—恒星参考系,简称**日心系**。

描述运动尚须建立时间轴。时间坐标的原点,即计时的起点。如何选择计时起点,完全可凭讨论问题的方便而定,它不必就是物体相对参照系开始运动的时刻。所谓“时刻”,乃指时间轴上的一点,并无大小。时刻的值可正可负,分别代表位于该时刻计时起点之后或之前。从某一时刻到另一时刻的经历的时间,称作时间间隔。传统上,人们用“时间”一词有时指时刻,有时指时间间隔。在不致引起混乱的情况下,今后我们也将沿用这一习惯。

三、时间、空间的计量和数量级

物理学是一门定量程度很高的学科,它推理性强、逻辑严密,实验测量和理论计算都达到了很高的精度,例如时间的计量就可达 12~13 位有效数字。因而,时间和空间的计量标准也应具有极高的精确度。作为计量标准,还应具有:通用性,这要求应该选择自然界共有的钟和尺作为基准;稳定性,这要求作为基准物的尺和钟应尽量少地受到时间、温度等易于变化的参量的影响;复现性,这要求长度和时间的标准易于复制或产生。随着科学技术的发展,物理学中的时间标准和空间标准都经过多次的改进。

关于时间的计量。时间用于描述物质运动的持续性,即过程。时间的计量就是一个计数过程。因此,凡是已知运动规律的物理过程均可入选作为时间的计量标准。人们一向以地球绕自身轴线的转动(自转)作为时间的基准,并定义,平均太阳秒为平均太阳日的 $1/86400$ 。而所说的一个太阳日,是指太阳两次连续经过某处子午面的时间间隔。但由于地球公转的轨道为椭圆,公转速率有变化,所以一年之中的太阳日有长有短。平均太阳日就是全年太阳日的平均值。但多种原因导致地球自转不是一个理想的钟。现在公认的时间计量标准是 1967 年第 13 届国际计量大会决定的铯原子钟,此基准规定 1s 的长度等于零磁场下铯(Cs)133 原子基态两个超精细能级之间跃迁所相对应的辐射周期的 9192631770 倍。这个跃迁测量的准确度达到 $10^{-12} \sim 10^{-13}$ 。关于时间标准的改进仍在发展。

关于长度的计量。空间反映物质运动的广延性。空间中两点的距离为长度。而长度的计量都是通过与某一长度基准进行比较而实现的。长度的计量也就是对物质运动广延性的计量。长度基准的精度提高比时间基准的精度提高要困难。人们曾经以通过巴黎的子午线从北极到赤道的长度之千万分之一为一米,后来又制作出金属的实物基准来。现在,依据多次被实验证实了的狭义相对论的基本假设:在任何惯性系中,真空中的光速都相同,第 17 届国际计量大会于 1983 年 10 月通

过了现行的长度基准:米是光在真空中 $1/299792458s$ 的时间间隔内运行路程的长度。

数量级的概念。由于物理学涉及的时间范围(时标)和空间范围(尺度)都很大,所以,不论是理论家还是实验家在进行精确计算或测量之前,都需要事先粗略地对已选的物理模型或数学模型中涉及的各参量的大小及其作用作出估计,以判断决定现象的主要机制。这主要取决于对物理现象的理解以及长期积累经验而生的直觉,其中对有关物理量进行数量级上的估计常常起着重要作用。

在一般人心目中,一千万总是个不小的数字,十亿也是个大数字,但两者相比,前者不过是后者的百分之一。所以相对于后者,一千万应该算是个小数字。为了计数和比较数字时的方便,人们常用一种“科学记数法”。在这种记数法中,用小于10的有效数字乘以10的幂次来表示一个物理量的数值大小。所谓有效数字,是指最多仅包括一位估读值、并去除最左边第一个非零数字之前的零以后剩下的数字。例如,123和0.123都有三位有效数字,按科学计数法,仍保留三位有效数字就应分别记为 1.23×10^2 和 1.23×10^{-1} ,并且因为前者比后者在幂次上多3,而称比后者高三个数量级。更粗略地讲,有时甚至不太计较幂前面的数字,而只把10的幂次进行比较。例如人的身长大体在1m的数量级上,通常把在人体身长尺度上下几个数量级范围内的客体,叫做宏观系统,而把 $10^{-10}m$ 以下数量级的客体叫作属于微观系统。物理学从尺度上讲,涉及小到 $10^{-15}m$ 核子范围,而大到 $10^{23}m$ 以上的宇观系统,相差38个数量级;从时间上讲,涉及短到 $10^{-25}s$ (Z^0 粒子的寿命)的微观粒子以及长到约为 $10^{18}s$ (宇宙的年龄)的数量级,跨度达43个数量级。

自从牛顿的《原理》一书发表以来,至今已有三百余年的历史。长期以来,人们一直认为,只要知道物体的初始位置和速度,根据牛顿定律给出的微分方程,就可以原则上对于以后任何时刻该物体的机械运动状态作出预言。只是到了20世纪初,在法国数学家庞加莱(H. Poincaré)试图解决万有引力下的三体问题时,才意识到情况并非总是如此。在决定性动力系统中,因为非线性项在方程中的出现,导致系统对初值具有“天生的”敏感性,因而呈现一种貌似随机现象的行为——混沌。人们对于决定性系统固有的这种内禀随机性的研究正在深入进行。经典力学,这门古老的学科仍在发展。

小 结

1. 机械运动:随着时间的推移,物体发生位置变化的运动。

2. 力学:物理学中研究机械运动规律的一个分支。包括运动学和动力学。前者研究如何对物理对象的机械运动进行描述,后者研究物理对象运动状态与相互作用的关系。

3. 参考系:参照物以及附于其上的适当坐标系构成的总体。运动学中可以任意选取,动力学中要注意区分不同的参考系。

4. 数量级:指科学记数法中 10 的幂指数值。所谓科学记数法,是指用小于 10、大于 1 的有效数字乘以 10 的幂次来表示量值大小的方法。

第一章 质点运动学

本章内容包括:质点 位置矢径 速度 加速度 机械运动的独立性和可叠加性 求找运动学方程 运动的分解(平面极坐标、自然坐标和相对运动)

§ 1.1 描述质点运动的概念

质点 如果在运动过程中,物体上各点的运动情况都相同(或严格地讲,各点走出的空间轨迹都相互平行),那么,只要描述其上任意一点的运动就足以代表整个物体的运动情况,因此可以提出一个代表物体的物理模型:质点,它是具有质量的几何点。这种不计大小的几何点,使得我们可以用坐标来精确地标定物体的空间位置。

位置矢径 为了定量地描述质点 P 相对某个参考系的机械运动,可以从参考系的坐标原点 O 作出指向 P 点的有向线段,记为 r ,并称之为 P 点相对于该参考系的位置矢径。一般地讲,原点位置随时刻而变化,所以 r 是时间 t 的函数;表达式 $r = r(t)$ 称作运动学方程。该方程包容了质点机械运动的全部信息。因而求找运动学方程就成为描述质点运动要解决的最终目标。

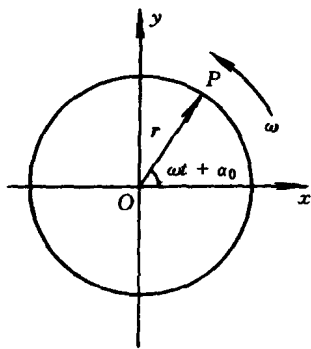


图 1.1 运动学方程

具体的运动学方程通常在选定的坐标系下表示出来。例如,在 xOy 平面内(图 1.1)绕参照系原点 O 作匀速圆周运动(角速度为 ω)的质点 P 的运动学方程可表示为

$$\mathbf{r} = x\hat{i} + y\hat{j} = [r\cos(\omega t + \alpha_0), r\sin(\omega t + \alpha_0)]$$

或者写成坐标分量式为

$$\begin{cases} x = r\cos(\omega t + \alpha_0) \\ y = r\sin(\omega t + \alpha_0) \end{cases}$$