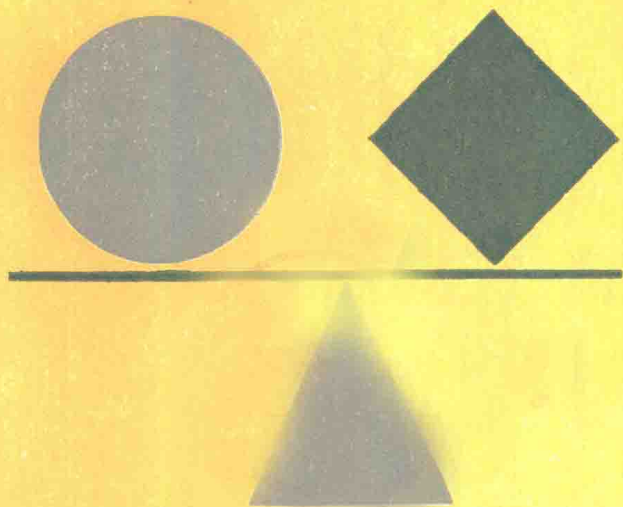


处理力学问题的基本方法

中学物理自学与研究丛书

邓日恒·江铁民 编著



辽宁教育出版社

中学物理自学与研究丛书

处理力学问题的基本方法

邓日恒 江铁民 编著

辽宁教育出版社

一九八六年·沈阳

处理力学问题的基本方法

邓日恒 江铁民 编著

辽宁教育出版社出版 辽宁省新华书店发行
(沈阳市南京街6段1里2号) 朝阳新华印刷厂印刷

字数:137,000 开本: 787×1092¹/₃₂ 印张: 6¹/₄

印数: 1—10,750

1986年7月第1版

1986年7月第1次印刷

责任编辑: 王越男

责任校对: 王淑芬

封面设计: 安迪

插图: 潘智倩

统一书号: 7371·228

定价: 0.76 元

序 言

力学在中学物理学中占有十分重要的地位，学好力学对于掌握中学物理学，具有非常重要的作用。

初学力学的同学，总觉得似乎力学的基本概念和基本规律容易掌握，但处理具体问题难。这是一种偏见。

当然，由于力学题目繁多、变化多样，处理时是有一定的困难，这就使得某些同学错误地认为，要想处理好力学问题，只有多做题，从而自觉或不自觉地陷入了“题海”。结果是虽然花费了大量的时间，做了大量的题目，但再遇到新的力学题目还是不会处理。

事实上，在深刻理解和熟练掌握了力学的基本概念和基本规律的基础上，如果再掌握了处理力学问题的基本方法，一般说来，任何力学题目，不管是见到过的还是未见到过的，都能够处理，这样就能使同学们从“题海”中解放出来，用更多的时间去加强基本概念和基本规律的研究，进一步提高处理具体问题的能力。

“教育要面向现代化，面向世界，面向未来”。这是我们进行教育的指导方针，也是我们教育发展的方向。要使我国从目前的落后地位赶上世界先进水平，关键就看我们能不能培养出大批适应未来社会需要的、富于创新精神的、勇于开拓的人才来。

这就要求我们每位同学，在中学阶段里，在扎扎实实学好各种基础知识的同时，应努力培养自己的各种能力。掌握

知识固然十分重要，但学会正确的，科学的方法和思维方法，可以说是更重要的。

本书想比较详细地阐述处理力学问题的基本思路和方法。在谈处理力学问题的基本方法以前，首先简略地叙述一下力学中的基本概念和基本规律的特点、适用条件以及各规律间的联系和区别，这是为了更好地掌握处理力学问题的基本方法所绝对需要的。

鉴于编者水平有限，对书中错误和不当之处诚恳地希望广大读者给予批评指正。

编者

目 录

序言

一、力学的基本概念	1
(一) 位置	1
(二) 速度	2
(三) 位移	7
(四) 时间与时刻	8
(五) 惯性	8
(六) 力和加速度	8
(七) 冲量和动量	9
(八) 功和能	10
(九) 功率	14
二、力学各基本规律和公式间的联系	15
(一) 力学各基本规律和公式间的联系	15
(二) 动力学三个定律的联系和共性	16
(三) 力学各基本规律的特点和适用条件	20
三、分析物理过程，画好物理过程草图	25
(一) 怎样才能画好物理过程草图	25
(二) 怎样确定物理过程转折点	30
四、认识各种名称的力，正确分析物体的受力情况	33
(一) 常见的力	33
(二) 按照不同特点和用途命名的几种力	48
(三) 受力分析的方法和步骤	56

(四) 两种受力图的画法	60
(五) 选取受力对象的一般原则和技巧	68
五、状态分析的基本内容	81
(一) 平衡态和非平衡态	81
(二) 位置和速度	88
六、列方程应注意的一些问题	95
(一) 建立直角坐标系的原则和技巧	95
(二) 列方程应注意的几个基本问题	102
(三) 隐含方程的寻求方法	120
(四) 运用动力学规律处理问题的技巧	124
七、解物理题常用的几种方法	133
(一) 分析法	133
(二) 综合法	137
(三) 比例法	140
八、解力学计算题的一般步骤	143
(一) 解力学计算题的一般步骤	143
(二) 力学单位制	147
(三) 对答案进行讨论的必要性	150
(四) 估计答案正确性常用的几种方法	157
九、处理运动学问题的基本方法	164
(一) 确定研究对象、认真分析研究对象的运动过程	164
(二) 认真抓好同一运动过程中的两个分析	168
(三) 注意运用运动的特点	171
(四) 掌握运动的合成与分解方法, 掌握运动的独立性原理	172
(五) 根据运动的相对性, 做好坐标系的变换	181
十、基本方法的推广	185

一、力学的基本概念

基本概念、基本规律和基本研究方法，是物理基础知识的主要内容。

如果不理解概念和规律的物理意义，不知道它们的适用范围或条件，就无法研究处理问题的基本方法。

因此，在研究处理力学问题的基本方法以前，对力学的基本概念，做较为全面的了解，是很有必要的。

力学的基本概念，一般说来有：位置和速度、位移、力和加速度、惯性、冲量和动量、功和能以及功率等等。

(一) 位置

为描述运动，需在参照系上建立坐标系。

物体沿直线运动，可建立一维坐标(数轴)，如图 1—1 所示。物体在平面内运动，可建立平面直角坐标系，如图 1—2 所示。这样物体在 A 点时，可用 $x = -2$ ， $y = 2$ 来描述；在 B 点时， $x = 4$ ， $y = 4$ 。可见坐标是描述物体在空间位置的量。

物体在空间运动，需建

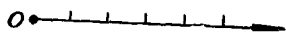


图 1—1

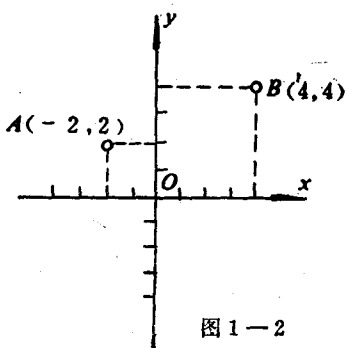


图 1—2

立空间直角坐标系。此外，描述位置的坐标系还有极坐标、自然坐标等等。

位置是描述物体运动状态的量，是势能的重要参量。如重力势能的数学表达式 mgh ，其中 h 就是与位置有关的量。

(二) 速度

速度是描述物体运动快慢和方向的物理量。在匀速直线运动中，运动物体的位移跟通过此位移所需时间的比值，定义为速度。即

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

式中 Δs 为位移， Δt 为时间。

关于速度概念，要注意以下几点：

- ①速度是描述物体运动快慢和方向的物理量，是矢量。
- ②速度是比值，是位移与相对应的时间的比值。这是速度概念的本质内容。

③速度具有相对性，大小和方向与参照系的选择有关。

在匀速直线运动中，速度在数值上等于单位时间内通过的位移。但不能说，单位时间内通过的位移叫做速度。因为只有匀速直线运动这种特殊的运动中，速度的值才等于单位时间内通过的位移。在变速运动中，速度在数值上并不等于单位时间内通过的位移。

在力学中，速度的种类很多，如平均速度、即时速度、线速度、角速度、波速等等。它们既相似，又有区别。对它们的共性与个性，一定要认识清楚，否则会影响对它们的理解和运用。

它们的共性是：都是位移与时间的比值，是位移的变化率。

由于不同速度，是针对不同特点的运动提出来的，所以各自的具体内容和特点，也就各不相同。

1. 平均速度

为粗略地描述做变速直线运动物体的平均快慢程度和方向，引入了平均速度的概念。

在变速直线运动中，运动物体的位移和所用时间的比值，定义为这段时间内的（或这个区间内的）平均速度。即

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

由于平均速度概念在内容上丰富了一些，因此，在理解和运用方面，就要注意它自身的某些特点：

①平均速度只能是“某个区间”或“某段时间”内的平均速度。一般说来，区间不同，平均速度的值是不相同的。

②计算平均速度时，要严格按照定义式处理。如果物体在全过程中，运动比较复杂，欲求平均速度，只能先求出全过程的位移 s_1, s_2, \dots, s_n ，同时求出相应的时间 t_1, t_2, \dots, t_n ，然后根据平均速度的定义式

$$\bar{v} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

求平均速度。

③在特殊情况下，即在匀变速直线运动中，可以用比较简单的方法，即

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$$

求平均速度。式中 v_0 为初速度， v_t 为末速度。

在使用公式 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$ 求平均速度时，要特别注意的

是，必须限定在匀变速直线运动中，否则，上述公式就不适用。

例1 某人骑自行车，从甲地到乙地，车速是 $v_1 = 6$ 米/秒，当他从乙地返回甲地时，车速是 $v_2 = 8$ 米/秒，求该人在往返甲乙两地时的平均速度是多大？

解 此题决不可用公式 $\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2}$ 处理，而只能由平均速度的定义公式求得。

设甲乙两地的距离为 s ，从甲地到乙地所需的时间为 t_1 ，返回甲地所需的时间为 t_2 。

根据平均速度的定义公式有

$$\bar{v} = \frac{2s}{\frac{s}{v_1} + \frac{s}{v_2}} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2}$$

代入数据解得 $\bar{v} = 6.85$ (米/秒)。

例2 一个物体由静止开始，前3秒内做匀加速直线运动，加速度为 $a_1 = 2$ 米/秒²；从第3秒末开始做匀速直线运动，运行时间是4秒；后3秒内做匀减速直线运动，加速度的大小为 $a_2 = 2$ 米/秒²，求各段和全过程中的平均速度。

解 (1) 求各段的平均速度，可以用 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$ 处理。

第一段的初速度 $v_0 = 0$ ，末速度 $v_t = a_1 t_1 = 2 \times 3 = 6$ (米/秒)，故

$$\bar{v}_1 = \frac{v_0 + v_t}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ (米/秒)}$$

• 4 •

第二段是匀速直线运动，故 $\overline{v_2} = 6$ 米/秒；

第三段的初速度是 $v_0' = 6$ 米/秒，末速度为 $v_t' = 0$ ，故

$$\overline{v_3} = \frac{v_0' + v_t'}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ (米/秒)}$$

(2) 在求全过程的平均速度时，绝不可用

$$\overline{v} = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}$$

处理。因此，只能用平均速度的定义公式处理。

第一段的位移是 $s_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 = 9$ (米)

第二段的位移是 $s_2 = \overline{v_2} t_2 = 24$ (米)

第三段的位移是 $s_3 = v_0' t_3 - \frac{1}{2} a_2 t_3^2 = 9$ (米)

故全过程的平均速度是

$$\overline{v} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{9 + 24 + 9}{3 + 4 + 3} = 4.2 \text{ (米/秒)}$$

2. 即时速度

为精确描述运动物体在每个时刻的快慢程度和方向，引入了即时速度概念。

即时速度是在平均速度的基础上，将平均速度取极限定义的。即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

即时速度的特点是：

① 无论 Δt 取多么小， $\Delta s/\Delta t$ 的比值，仍然是平均速度，而不是 t 时刻的即时速度。只有当 Δt 趋近于零时， Δs 也趋近

于零，但 $\Delta s/\Delta t$ 的比值却不是零，而是趋向一个定值，这个定值就是运动质点在这一时刻或这一位置时的即时速度。

②即时速度的大小是 $v = ds/dt$ ，是位移的变化率。不能把它说成是单位时间内通过的位移。

③尽管平均速度和即时速度，是本质上不同的两个概念，但在一定条件下，它们又是一致的。如在匀速直线运动中，二者是一致的。

3. 线速度

为描述物体做圆周运动快慢程度，引入了线速度的概念，线速度的大小是用物体通过的弧长 s 跟通过这段弧长所用的时间 t 的比值定义的。即

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

此式只定义线速度的大小，方向是物体所在位置的切线方向。

线速度大小的计算公式是

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

式中 $2\pi R$ 是物体运行一周的弧长， T 是运行一周所需的时间，称为周期。

4. 角速度

做圆周运动物体转过的角度与所用时间的比值，称为角速度，即

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

式中 φ 是物体转过的角度， t 是转过 φ 角所用的时间。

角速度的计算公式是

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

式中 2π 是物体运动一周所转过的角度，单位是弧度， T 为周期。

线速度与角速度的关系是

$$v = R\omega$$

线速度也可用 $2\pi Rn$ 表示，式中 n 为每秒钟转数，即转速，单位是1/秒， R 为圆的半径。角速度也可用 $2\pi n$ 表示。

5. 波速

在波动问题中，波速是用波传播的位移和所用时间的比值定义的。即

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{或} \quad v = \lambda f$$

式中 λ 为波长， T 为周期， f 为频率。

初学圆周运动的同学，觉得这部分知识很乱，对线速度 v 、角速度 ω 、周期 T 、频率 f 、转速 n 这几个量间的关系和联系搞不清楚，不易掌握。事实上，如果抓住速度是位移和时间的比值这个本质，就能收到尽管“量多”，但“不乱”的效果。

(三) 位 移

位移是描述物体在空间位置变动的大小和方向的物理量，由一条由始点到终点，方向指向终点的有向线段来表示。

位移的特点是：

- ①具有方向性，是矢量，计算时遵循平行四边形法则。
- ②大小和方向均有相对性，与所选参照系有关。

位移和路程是两个不同的概念，路程是在一定时间里，物体运动所经历的路径的长度，是标量。只有在直线直进的运动中，位移和路程在量值上才是相等的。

(四) 时间与时刻

时间与时刻，虽然不属于力学中的基本概念，但对这两个概念，如果搞不清楚，就无法处理运动学问题。

时间是指某相邻两个时刻间的时间间隔。如“第3秒内”，指的是从第3秒初到第3秒末，这两个时刻间的时间间隔，时间是1秒。又如，“前3秒内”指的是由计时开始到第3秒末这段时间间隔，时间是3秒，等等。

时刻是指某个瞬时，如第2秒初、第5秒末等等。

(五) 惯性

惯性是物体保持原来的匀速直线运动状态和静止状态的性质。

一切物体都有惯性，惯性是物体的固有性质。惯性的大小用质量 m 量度，与运动状态无关。质量一定的物体，不管它运动的速度多大（远小于光速的情况下），其惯性大小都是一样的。

有的同学认为，同一个物体，当它运动的速度大时惯性大，速度小时惯性小，静止时惯性最小。这是不对的。同一个物体运动的速度大，不是惯性大，而是运动量大，产生的机械效果大。

(六) 力和加速度

力是物体间的相互作用，是使物体运动状态改变的原

因。力有两种效应：一是静力效应，是使物体发生形变的原因；二是动力效应，是使物体产生加速度的原因。一个力作用在某个物体上，可能只产生一种效应，也可能二者兼而有之。

加速度是描述物体速度变化快慢和方向的物理量。在匀变速直线运动中，速度的变化和所用时间的比值，叫做匀变速直线运动的加速度。

在匀变速直线运动中，加速度在数值上等于单位时间内速度的变化量。但是，单位时间内速度的变化量却不叫加速度。加速度是速度的变化率。

中学里只研究匀变速直线运动。

在匀速圆周运动中，用向心加速度来描述速度方向的变化，用下述公式表示

$$a_{\text{向}} = \frac{v^2}{R} \quad \text{或} \quad a_{\text{向}} = R\omega^2$$

加速度和速度是根本不同的概念，不可混为一谈。

加速度大，速度不一定大；加速度小，速度不一定小；加速度等于零，速度不一定等于零；速度等于零，加速度不一定等于零，等等。这些情况一定要认识清楚。

如竖直上抛运动，物体到达最高点时，速度等于零，加速度却等于 g ；匀速飞行的飞机，速度很大，但加速度却等于零，等等。

(七) 冲量和动量

冲量是力对物体的时间积累作用，是物体动量发生改变的原因。大小等于力与作用时间的乘积，方向与作用力的方向一致。是矢量。

动量是描述物体运动量大小的，是描述物体机械运动状态的物理量。是矢量。大小等于物体的质量和速度的乘积，方向与速度方向一致。

(八) 功和能

功是物理学中的一个重要概念。正确理解这一概念，对研究机械运动、机械运动与非机械运动相互转化等问题，都具有十分重要的意义。

功是力对物体的空间积累作用，是一个过程量，是能量转化的手段和量度能量之间的转化，是以某种力做功来完成的。而且做功的量值恰好等于能量转化的量值。

功的计算公式是：

$$W = F \cdot s \cos \theta$$

这就是说，力对物体所做的功，等于力的大小、位移的大小、力和位移的夹角的余弦三者的乘积。如图1—3所示。

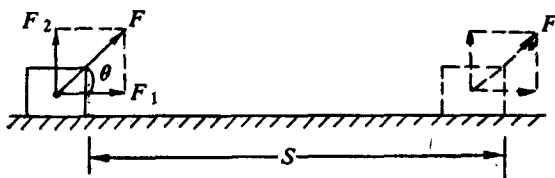


图 1—3

这是计算功的一般公式，它包括了做功的各种情况：

①当 $\theta = 0$ 时，即力的方向跟运动方向一致时， $\cos \theta = 1$ ，则 $W = Fs$ 。这是最简单的情况， $W > 0$ ，说明力对物体做了正功。

②当 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时， $0 < \cos \theta < 1$ ，仍得 $W > 0$ ，说明力