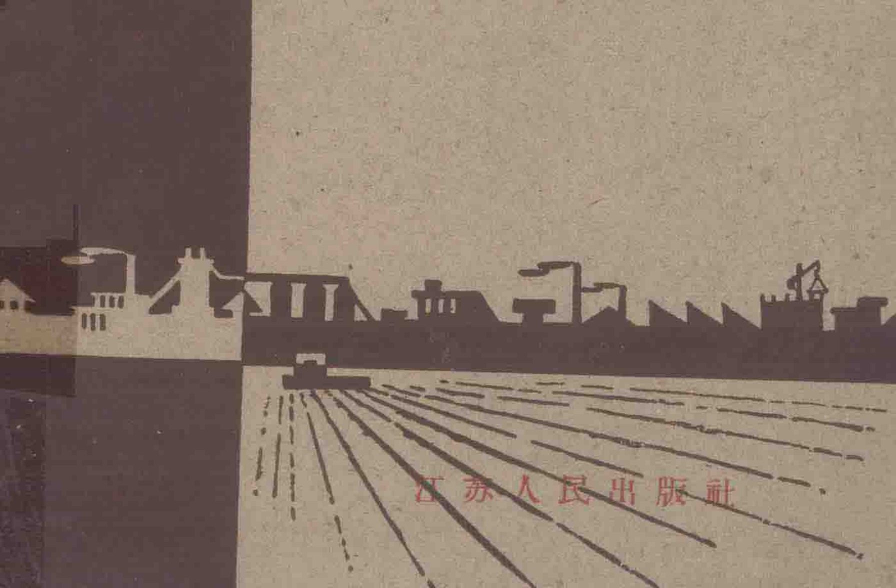
江苏省五年制中学試用課本

物理学

WULIXUE

第三册



江苏人民出版社

目录

第五編　力学(二)

第三章　弹性力学

第四章　振　动

第五章　波　动

第六編　电动力学

第五編 力学（二）

第一章 曲綫运动

一 参考系與坐標系

宇宙間的任何物体都在永恆不停的运动中，地面上那些看来静止不动的物体，始終跟着地球一起公轉和自轉；太阳，从整个銀河系来看也以每秒200公里的速度运动着，即使銀河系，对于其它星系来說，也在运动。宇宙間絕对靜止的物体是不存在的。所以要描述物体的运动，就必須选定另一个运动物体作为参考，然后研究物体相对于参考物体是如何运动的。各种物体都可以被选作为参考。例如研究車刀的运动，可以选定車床台基作为参考；研究人造行星的运动，可以选定运动着的太阳作为参考等等。这种描述物体运动时被选作参考的另一物体称为参考系。

参考系的选择沒有一定的标准，要看問題的性質和研究問題的方便。研究地面上物体的运动，选择地球作为参考系最为方便。火箭发射时，主要要研究它相对于地面如何运动，就用地球作为参考系；当宇宙火箭进入繞太阳运行的軌道时，就要

用太阳作为参考系了。

选定适宜的参考系后，还要用数量来說明物体相对于参考系的位置。我們可以在参考系上选择一个固定的坐标系，并在参考系上选定起点作为坐标原点。例如，描述吊車上被吊物体的运动时（图5—1—1），我們在作为参考系的空間支梁上选择一点为坐标原点，作三条互相垂直的坐标軸（X軸、Y軸、Z軸），构成了直角坐标系。这样，我們就能用X、Y、Z这三个坐标軸上的数量来說明被吊物体相对于支梁的位置。根据需要，我們也可以用其它坐标系，例如极坐标系，球坐标系等来研究物体的运动。

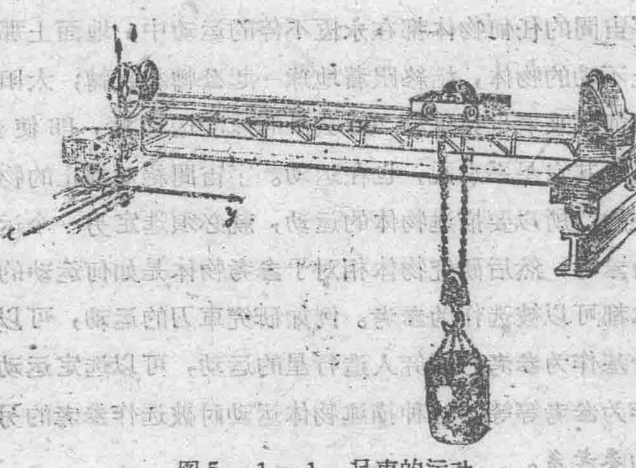


图5—1—1　吊車的运动

二　質点　位移矢量

任何物体都有一定的质量和体积，为了便于研究問題，根据我們所研究的問題的性质，在很多情况下，可以忽略物体的

体积大小，把物体当做只有一定质量的几何点，我們称这个点为质点。例如，火箭飞行时，它的体积比它所涉及的空間体积小得多，完全可以忽略不計，可以把它当作质点。

当质点运动时，它的位置不断变更。我們用位移这个物理量来表示质点位置的变更。位置的变更包括两个方面：变更了多少距离和在哪一个方向上变更。它是有大小又有方向的物理量。我們用一个有向綫段(矢)表示它：設质点在曲綫上运动时，在某一时刻t的位置是P点(图5—1—2)，經一段时間$\triangle t$后，到达另一位置Q点，从P点到Q点的这段有方向的綫段，称为质点在这一段时間內的位移。


图5—1—2
质点的位移矢量

位移既是一条直綫，所以在曲綫运动中，位移不能和质点的軌道相符合。只有当所选取的时間$\triangle t$为无限小时，位移$\overrightarrow{\triangle S}$也是无限小值，这时位移和軌道才可以看作符合。

在直綫运动中，位移和軌道是一致的，都是直綫。

我們已經知道了，力不仅有大小，而且有方向。这种既有大小又有方向的物理量我們把它叫做向量或矢量。除了力以外，现在又多了一个位移矢量，以后我們还会遇到許多矢量。正如力可以合成与分解一样，位移和其他所有的矢量也都可以合成和分解。

例如，物体在$\triangle t$的时間內，产生了$\overrightarrow{\triangle S}$的位移。我們也可把它看作在$\triangle t$的时間內同时产生了$\overrightarrow{\triangle S_x}$和$\overrightarrow{\triangle S_y}$两个位移；說得更清楚一些，在X方向上，位置改变了$\triangle S_x$，在Y方向上，位

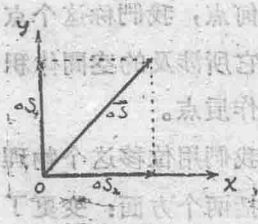


图5—1—3
合位移与分位移

置改变了ΔS_y（图5—1—3）。$\overrightarrow{\Delta S}$叫做合位移，$\overrightarrow{\Delta S_x}$、$\overrightarrow{\Delta S_y}$叫做分位移。

同样，我們还知道，一个矢量不仅可以把它分解为互相垂直的二个分量，还可以根据实际需要按任意的平行四边形来分解。

三 速度 加速度

过去我們学过了直綫运动中的速度和加速度，现在来研究曲綫运动中的速度加速度。

在曲綫运动中，为要决定速度矢量，我們仍然观察一极短的时間Δt，在这时間里，質点将通过曲綫軌道的一小弧段$\overset{\frown}{\Delta S}$（图5—1—4），如将$\Delta t$无限地减小，則弧$\overset{\frown}{\Delta S}$也无限地减小。我們在上一节研究过，在这种情况下，位移和軌道相符合，即弧$\overset{\frown}{\Delta S}$与弦$\Delta S$相結合，在无限小的范围內，曲綫与直綫（切綫）一致，所以在已知点P，曲綫运动的瞬时速度的数值就可以规定为$v=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\left(\dfrac{\Delta S}{\Delta t}\right)=\dfrac{dS}{dt}$。而把切綫方向作为P点速度方向。这个式子表示，質点在时刻t或位置P的速度，在大小和方向上等于包括該时刻在內的一段无限小时間內，每单位时間的位移。

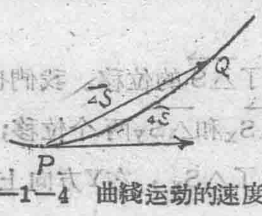


图5—1—4 曲綫运动的速度

用矢量来表示时，就可以把它写作

$$\vec{v} = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle \vec{S}}{\triangle t} = \frac{d\vec{S}}{dt}$$

因为在曲綫上，各点的切綫有不同的方向，所以速度的方向总是不断变化的。而在一般曲綫运动中，速度的大小和方向都要改变，即速度矢量是变化的。

設质点在P点的速度是$\vec{v}$，在Q点的速度是$\vec{v}'$，两个速度的矢量差$\triangle\vec{v}=\vec{v}'-\vec{v}$。那么加速度的定义是：

$$\vec{a} = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle \vec{v}}{\triangle t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

也就是說，质点在时刻t或位置P的加速度，在大小和方向上等于包括該时刻的一段无限小时間內，每单位时間的速度增量，所以加速度也是矢量。

四 匀速圓周运动

直綫运动中，速度的方向是不变的，只是大小改变；在曲綫运动里，速度的方向随时刻改变了，至于速度的大小，可以是不变的，也可以是改变的，最簡单的曲綫运动就是匀速圓周运动。匀速轉动着的輪子，它的各部分都做匀速圓周运动。

如果用v表示某一时刻（或在P点）的速度（图5－1－5），用$\vec{v}'$表示經过$\triangle t$时間后（或在Q点）的速度；按照加速度的定义，匀速圓周运动的加速度：

$$\vec{a} = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{\vec{v}' - \vec{v}}{\triangle t}$$

按图5—1—5我們很容易求出加速度的大小。图中的半径OP＝OP＝R，　　△OPQ即为等腰三角形。因为速度的大小相等，即v＝v′所以图中$\bar{v}$，$\vec{v}'$和△$\vec{v}$組成的三角形也是等

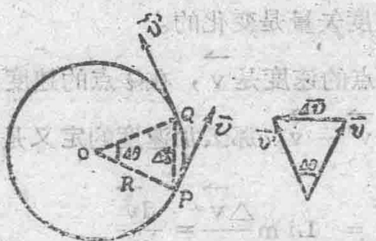


图5－1－5　圓周运动的加速度

腰三角形。又因为OP⊥$\vec{v}$，OQ⊥$\vec{v}'$，所以$\vec{v}'$和$\vec{v}$組成的夹角和OP、OQ組成的夹角相等，用△θ来表示。

因而上述两个等腰三角形相似。由此得：

$$\frac{\triangle v}{v} = \frac{\triangle S}{R} \qquad \frac{\triangle v}{\triangle t} = \frac{v\triangle S}{R\triangle t}$$

当△t趋近于0时，Q点趋近于P点，弦长△S趋近于弧长$\triangle\overset{\frown}{S}$所以：

$$a = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle v}{\triangle t} = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{v\triangle S}{R\triangle t} = \frac{v^2}{R}$$

由于速度的大小v是不变的，所以加速度的大小也是不变的。从图中还可以知道加速度的方向。当Q点趋近于P点时，$\vec{v}'$的方向趋近于$\vec{v}$的方向，所以任一点P的加速度的方向总是

垂直于該点的速度方向。这个方向沿半径指向圓心的加速度，称为向心加速度。

五 切向加速度和法向加速度

在平面曲綫运动中，可以按矢量的分解方法把加速度 $\vec{a}$ 分成两个分加速度：沿法綫方向加速度（用 $\vec{a_n}$ 表示），和沿切綫方向的切向速度（用 $\vec{a_t}$ 表示）。法向加速度与切向加速度互相垂直（图 5—1—6）。

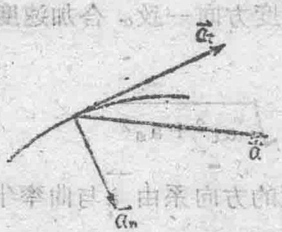


图5—1—6 切向加速度和法向加速度

法向加速度与匀速圓周运动中的向心加速度类似，只改变速度的方向；切向加速度和直綫运动中的加速度类似，只改变速度的大小。質点作曲綫运动时，在一般情况下，同时有法向加速度和切向加速度，卽速度的大小和方向都同时改变。

现在分别研究切向加速度和法向加速度的大小和方向：

把質点运动的曲綫軌道分成許多足够小的曲綫弧段，就可以用許多圓弧来代替它們。和曲綫上某一小弧相应的圓，叫做它的曲率圓。如图 5—1—7a 中的圓 $C_1C_2C_3$ 就是曲綫上 $A_1A_2A_3$ 点的曲率圓。既然把平面曲綫軌道独立的分段当作圓弧的分段来考虑，就能用圓周运动的方法来討論一般的曲綫运动。只要把圓半径 R 改成曲綫上某一点的曲率圓的半径。所以我們能

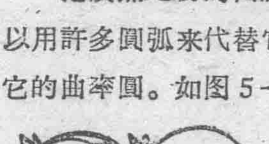


图5—1—7(a) 曲綫上各点的曲率半徑

用类似于上一节証明向心加速度的大小的方法同样地証明：

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

其中ρ和v是在曲綫上某一点的曲率圆的半径和速度。和圆半径不同的是：ρ在曲綫上是逐点改变的。

如果用$\triangle v$表示速度大小的变化，则切向加速度的大小

$$a_t = \lim_{\triangle t \to 0} \left(\frac{\triangle v}{\triangle t} \right) = \frac{dv}{dt}$$

它的方向和質点在某点所具有的速度方向一致。合加速度在数值上等于

$$\sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

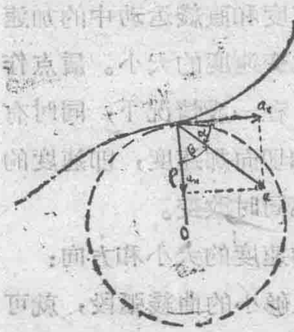


图5－1－7(b)加速度的合成

合加速度的方向系由 $\vec{a}$ 与曲率半径所夹的角β决定(图 5－1－7 b)：

$$\tan\beta = \frac{a_t}{a_n}$$

或由 $\vec{a}$ 与切綫所夾的角度α决定：

$$\tan\alpha = \frac{a_n}{a_t}$$

如果法向加速度$a_n = 0$，即曲率半径ρ无限大，合加速度$a = a_t$，则質点做直綫运动；如果切向加速度$a_t = 0$，速度的大小不随时間而变，则$a = a_n$，即是匀速圆周运动。

六 曲綫运动中的作用力

加速度定律是机械运动的普遍规律。对于任何运动，无論是直綫运动或是曲綫运动关系式 $\vec{f}=m\vec{a}$都是正确的。一个质点在力的作用下，必定产生一个大小为$a=\dfrac{f}{m}$的加速度，而且力的方向和加速度的方向永远相同。

因为一般曲綫运动的加速度 $\vec{a}$可以分解成切向加速度$\vec{a_t}$和法向加速度$\vec{a_n}$，那么一个物体作曲綫运动时作用在这个物体上的力$\vec{f}$，相应的也可分成切向力$\vec{f_t}$和法向力$\vec{f_n}$，且分別在曲綫某一点的切綫方向和法綫方向。根据运动定律可以得到：

$$f_t=ma_t \qquad \text{和} \qquad f_n=ma_n$$

因为 $a_t=\dfrac{dv}{dt}$ 和 $a_n=\dfrac{v^2}{\rho}$

故 $f_t=m\dfrac{dv}{dt}$ 和 $f_n=m\dfrac{v^2}{\rho}$

在匀速曲綫运动中，速度的大小不变，故切向力为0，只有法向力，这力沿軌道的法綫方向作用，迫使物体不断改变运动方向，但不改变物体速度的大小。如果曲綫的軌道是圓，即在匀速圓周运动中，法向力（又称向心力）：

$f=m\dfrac{v^2}{R}$ 式中R是圓的半径

用角速度来表示时 $f=m\omega^2R$

从上二式得出：如果质点运动的綫速度不变，向心力和半

径成反比；如果质点运动的角速度不变，向心力和半径成正比。

根据作用力反作用力定律，作匀速圆周运动的物体必然对外有一个与向心力方向相反，量值相等的反作用力，这个力称为离心力。

向心力与离心力分别作用在两个不同的物体上。

【例】 在铁路弯曲处，求路面的倾斜。

【解】 設弯曲軌道的曲率半径为ρ，火車速度为v，质量为m，作用在火車上的力仅只有两个，重力及軌道面面对火車的压力。如果火車在直綫上运动，这两个力相互平衡。当火車繞弯曲軌道前进时，路基必須和水平面成一个傾斜角α，这样就会得到一个合力（图5—1—8），以产生法向加速度，这个合力也就是向心力。

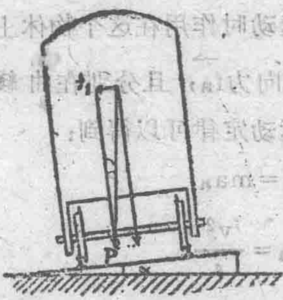


图5—1—8 鉄路轉弯处外軌的墊高

现在来求鉄路路基对水平面的傾斜角α。

因为 $f_1=\dfrac{mv^2}{\rho}$ 而 $f_1=P\tan\alpha$

即 $\dfrac{mv^2}{\rho}=mg\tan\alpha$

所以 $\tan\alpha=\dfrac{v^2}{\rho g}$

速度越大，曲率半径越小，斜傾角α越大。

七 離心机械

应用物体在作圓周运动的向心力和离心力，可以做成各种各样的机械装置。这种装置总称为离心机械。下面将分别来研究几种簡单的离心机械的原理。

(一)离心节速器：这种机械是用来保持蒸汽发动机轉速一定的装置。它的构造如图 5—1—9 所示。

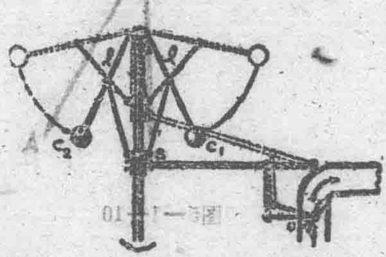


图5—1—9 节速器

在和机器一同轉动的垂直軸 AB 的上端，用鉸鏈連結两根长为 1 的棒，在这两棒的下端各有一个重球 C_1和 C_2。当 AB軸旋轉时，两球向外偏离，这时通过杆 1 和另外两根細棒来带动联軸 S上升，再通过橫杆与蒸汽机中蒸汽进口的閥門C 連結。当蒸汽机的轉速超过正常轉速时，两球偏离越远，因而联軸器 S上升越高，閥門C 便开小一些，使进入气缸的蒸汽减少，这时轉速減慢。反过来，当蒸汽机的轉速比正常轉速小时，小球偏离变小，联軸器也就下降，閥門C 便开大一些，因而进入气缸的蒸汽量增加，故使轉速增快。

設节速器的迴轉角速度为 ω，我們来决定棒 AC_1 与 AC_2 之間的分离角。当棒AC_1在傾斜位置时，球 C_1 的重力 (P = mg) 豎直向下，把P会解成两个分力，$\vec{N}$沿棒的方向，$\vec{f_1}$沿水平方向；分力$\vec{N}$与棒的反作用平衡，分力 f_1 表现为向心力，使

球繞軸AB作圓周运动（图 5—1—10），因而

$f_1 = m\omega^2R$ 又有 $f_1 = P\tan\alpha = mg\tan\alpha$ 其中 2 是mg与N的夹角。

而 $R = l\sin\alpha$

由此可得 $\tan\alpha = \dfrac{f_1}{mg} = \dfrac{\omega^2R}{g} = \dfrac{l\omega^2\sin\alpha}{g}$

或 $\sin\alpha\left(\dfrac{1}{\cos\alpha} - \dfrac{l\omega^2}{g}\right) = 0$

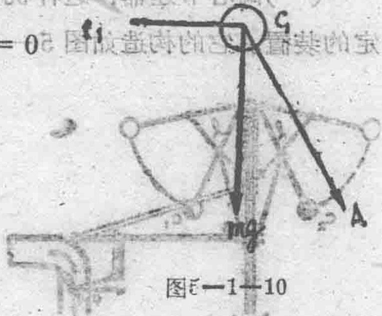


图5—1—10

由此式可得二解：

第一解为：

$$\cos = \frac{g}{l\omega^2}$$

第二解为：

$\sin\alpha = 0$，或 $\alpha = 0°$。因离心节速器的构造不允許 $\alpha = 0°$，所以第一个解决定所求的 α 值。因此当角速度 ω 增大时，角 α 也增大。

离心节速器也应用在蒸汽輪机、水力发动机上。

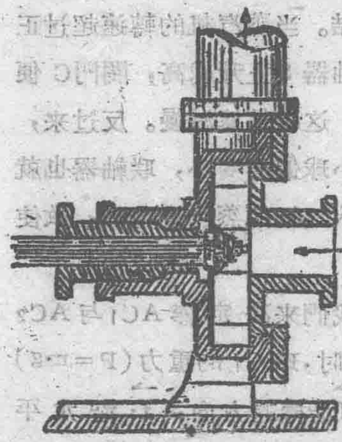


图5—1—11（a）

（二）离心水泵：离心水泵的构造如图 5—1—11 所示。在壳套内有一个固定在轉动軸上带叶片的輪为C，当C作高速旋轉时，内部的水也跟着叶片一起轉