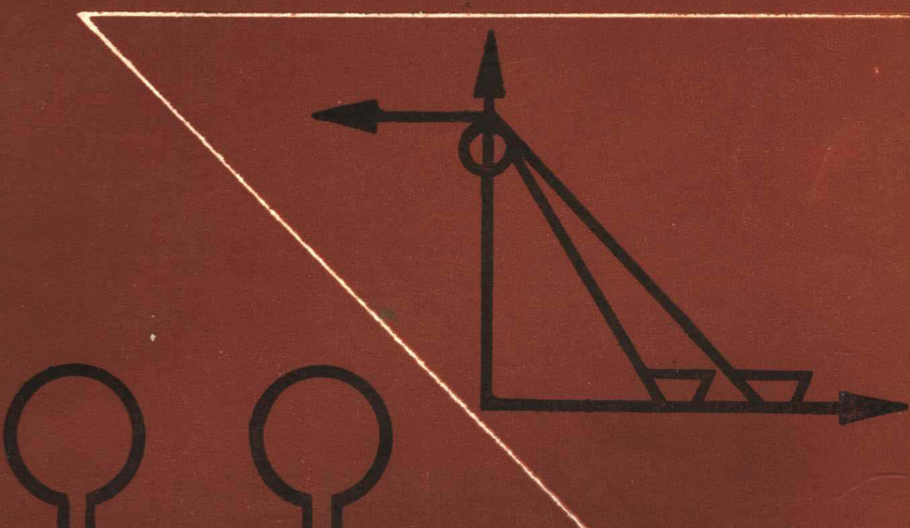
（上）

电职大学生学习辅导

普通物理学解题指导



天津科学技术出版社

电职大学生学习辅导

普通物理学解题指导

（上）

何冠山　朱献松
梁纯山　肖兴国　编

天津科学技术出版社

责任编辑：长　工

电职大学生学习辅导
普通物理学解题指导
（上）
何冠山　朱献松
梁纯山　肖兴国　编
*
天津科学技术出版社出版
天津市赤峰道130号
天津新华印刷二厂印刷
新华书店天津发行所发行
*
开本850×1168毫米　1/32　印张16.75　字数430 000
1987年12月第1版
1987年12月第1次印刷
印数：1—4 730
书号：13212·133　　定价：4.40元

ISBN 7-5308-0140-6/O·11

前　　言

目前在学的电大、职大、业大、函大学生，是一代青年中的佼佼者。他们都是由于不言而喻的原因而辍学多年后，为了适应新时期技术进步的需要，克服重重的困难，利用业余时间而执笔求学的。根据他们学习时间少、不能及时得到教师直接辅导的特点，为他们提供一些帮助，排除学习中遇到的困难，讲求科学的学习方法，以提高学习效果，实为当务之急。

本书为《普通物理学解题指导》（上），内容包括《普通物理学》中的力学和热学两篇共九章。按照教学大纲的要求和课本的基本内容，各章均分基本要求、内容提要、例题解析、习题解疑四个部分阐述。在“例题解析”中对例题逐题进行了分析、详解和小结，以帮助读者分析、理解题意，明确演题目的，掌握正确的思路和解题方法；通过“小结”归纳出的解题规律，可提高读者灵活运用所学知识、触类旁通解决实际问题的能力。

渴望学好《普通物理学》的读者，使用本书将获益非浅。

书中若有误处，敬请批评指正。

编　者

1987.2.

目　录

第一篇 力　学

第一章 质点运动

一、基本要求

本章的基本要求是学会如何描述物体的运动。

（一）确切理解位置、速度、加速度的瞬时性、矢量性及运动的相对性、独立性. 学会从已知的运动方程求导得到速度和加速度，从已知的速度和加速度积分得到运动方程的方法.

（二）熟练掌握匀变速直线运动的基本公式，并能用运动的叠加原理处理曲线运动的问题.

（三）掌握圆周运动的角量描述和匀变速圆周运动的基本公式.

（四）理解相对速度之间的关系，并能运用这一关系解决一些简单的相对运动的问题.

二、内容提要

（一）宇宙间一切物体都处在永恒不停的运动中. 因此，要研究一个物体的运动状态，必须选择另一个也在运动的物体作为参考，这个作为参考的物体称为参照系. 为了从数量上确定物体相对于参照系的位置，应在参照系上建立适当的坐标系. 同一物体在不同的参照系里运动状态是不同的，这一事实称为运动描述的相对性.

（二）在运动学中，质点的运动状态是用位置矢量和速度来描述的，而物体运动速度的变化则用加速度来描述.

1．位置矢量　质点在直角坐标系中的位置可由质点所在点P的三个坐标x、y、z来确定，或者用从原点O到点P的有向线段$\overrightarrow{OP}$（$=\vec{r}$）来表示，如图1-1．矢量$\vec{r}$叫做位置矢量，也叫矢径．相应地，坐标x、y、z也就是矢量$\vec{r}$沿坐标轴的三个分量．即

$$\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}+z\vec{k}$$

当质点运动时，其位置随时间变化，表示这一变化过程的函数式

$$x=x(t),\quad y=y(t),\quad z=z(t)$$

或

$$\vec{r}=\vec{r}(t)$$

称为运动方程．

2．位移　设质点沿某一曲线运动，在时刻t，质点位于A点，在时刻$t+\Delta t$，质点到达B点，如图1-2所示，在时间Δt内，质点位置的变化可用A到B的有向线段$\overrightarrow{AB}$来表示，称为质点的位移．若A、B两点的位置矢量分别为$\vec{r}_A$和$\vec{r}_B$，则

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

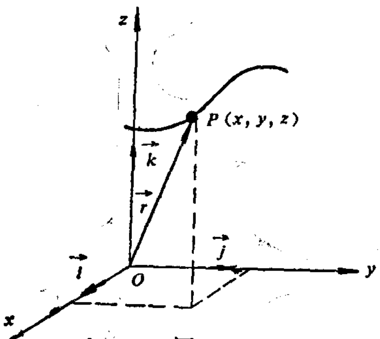


图 1-1

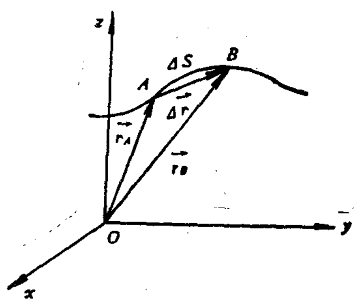


图 1-2

必须注意，位移$\Delta\vec{r}$表示物体位置的改变，并非质点所经历的实际路程Δs，位移是矢量，它的量值$|\Delta\vec{r}|$即线段AB的长度，而路程是标量，即曲线$\overset{\frown}{AB}$的长度，在曲线运动中，$\Delta s\neq|\Delta\vec{r}|$，仅当$\Delta s$趋近于零时，才有$\Delta s=|\Delta\vec{r}|$．即使在直线

运动中，位移和路程也是截然不同的两个概念。

3. 速度 质点的位移 $\Delta\vec{r}$ 和所经历的时间Δt之比，称为这段时间内的平均速度，用$\overline{\vec{v}}$表示平均速度，则

$$\overline{\vec{v}}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

当Δt趋近于零时，平均速度的极限叫做物体在时刻t的瞬时速度，简称速度，用$\vec{v}$表示速度，则

$$\vec{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\frac{d\vec{r}}{dt}$$

速度是矢量，具有大小和方向，质点的速度的方向，沿着轨道上质点所在点的切线，并指向质点前进的方向．质点的速度的大小为

$$|\vec{v}|=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

式中$\frac{\Delta s}{\Delta t}$称为时间$\Delta t$内的平均速率，$\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}$称为时刻$t$的瞬时速率．用$v$表示瞬时速率，则

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

$$|\vec{v}|=v$$

4. 加速度 设质点在时刻t的速度为$\vec{v}_1$，在时刻$t+\Delta t$的速度为$\vec{v}_2$，速度矢量的改变量$\Delta\vec{v}=\vec{v}_2-\vec{v}_1$与时间$\Delta t$之比，称为质点在这段时间内的平均加速度．用$\overline{\vec{a}}$表示平均加速度，则

$$\overline{\vec{a}}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

当Δt趋近于零时，平均加速度的极限叫做质点在时刻t的瞬时加速度，用$\vec{a}$表示瞬时加速度，则

$$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{d\vec{v}}{dt}=\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

加速度是矢量．质点做直线运动时，$\vec{a}$和$\vec{v}$同向或反向；质点做曲线运动时，$\vec{a}$的方向总是指向曲线凹的一边．在直线运动中加速度的大小为

$$a = |\vec{a}| = \left|\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}\right|$$

必须注意，在曲线运动中，$a \neq \frac{d^2r}{dt^2}$.

（三）直线运动的描述

1．在直线运动中，位移、速度、加速度各矢量都在同一直线上，所以可把有关各量当作标量来处理．这样，直线运动的运动方程可写成

$$x = x(t)$$

直线运动的速度和加速度分别为

$$v = \frac{dx}{dt}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

v和a的正或负，表示它们的指向是沿x轴正方向或沿x轴负方向．

2．已知运动方程，用微分法可求速度和加速度；已知速度和加速度，用积分法可求运动方程．

3．匀变速直线运动的基本公式：

$$v = v_0 + at$$

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

（四）平面曲线运动的描述

1．一个运动可以看成是几个各自独立进行的运动叠加而成．这个结论称为运动的叠加原理，又称运动的独立性原理．根据这一原理，平面曲线运动可以分解成两个正交的、独立进行的运动．

2．平面曲线运动的速度和加速度沿直角坐标轴的分解：

$$\vec{v}=v_x\vec{i}+v_y\vec{j}$$

$$v_x=\frac{dx}{dt},\qquad v_y=\frac{dy}{dt}$$

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$$

$$\alpha=\operatorname{arctg}\frac{v_y}{v_x}$$

其中α为$\vec{v}$与x轴的夹角.

$$\vec{a}=a_x\vec{i}+a_y\vec{j}$$

$$a_x=\frac{dv_x}{dt}=\frac{d^2x}{dt^2},\qquad a_y=\frac{dv_y}{dt}=\frac{d^2y}{dt^2}$$

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}$$

$$\beta=\operatorname{arctg}\frac{a_y}{a_x}$$

其中β为$\vec{a}$与x轴的夹角.

3．平面曲线运动的加速度沿自然坐标轴的分解：

$$\vec{a}=\vec{a}_n+\vec{a}_\tau$$

$$a_n=\frac{v^2}{\rho},\qquad a_\tau=\frac{dv}{dt}$$

$$a=\sqrt{a_n^2+a_\tau^2}$$

$$\theta=\operatorname{arctg}\frac{a_\tau}{a_n}$$

其中，$\vec{a}_n$和$\vec{a}_\tau$分别为法向加速度和切向加速度，ρ为曲率半径，θ为$\vec{a}$与法线的夹角.

（五）质点的圆周运动也常用角位移$\Delta\theta$、角速度ω、角加速度β等角量来描述.这些角量的定义与对应的线量完全相似.角速度和角加速度的表达式分别为

$$\omega=\frac{d\theta}{dt}$$

$$\beta=\frac{d\omega}{dt}=\frac{d^2\theta}{dt^2}$$

一般规定，沿反时针方向转动的角速度取正值，沿顺时针方向转动的角速度取负值.

1．匀速圆周运动的运动方程　设质点以角速度ω做匀速圆周运动.若$t=0$时，角位置为θ_0，则在时刻t质点的角位置为

$$\theta=\theta_0+\omega t$$

2．匀变速圆周运动的运动方程　设质点以角加速度β做匀变速圆周运动.若$t=0$时，角位置和角速度分别为θ_0和ω_0，则在时刻t质点的角速度ω和角位置θ分别为

$$\omega=\omega_0+\beta t$$

$$\theta=\theta_0+\omega_0 t+\frac{1}{2}\beta t^2$$

且有

$$\omega^2=\omega_0^2+2\beta(\theta-\theta_0)$$

3．线量和角量的关系：

$$v=r\omega$$

$$a_n=\frac{v^2}{r}=r\omega^2$$

$$a_\tau=\frac{dv}{dt}=r\beta$$

其中r为圆周的半径.

（六）相对速度之间的关系

设两参照系K与K'，且K'相对于K的速度为$\vec{v}_{K'对K}$.若物体A相对于K的速度为$\vec{v}_{A对K}$，相对于K'的速度为$\vec{v}_{A对K'}$，则

$$\vec{v}_{A对K}=\vec{v}_{A对K'}+\vec{v}_{K'对K}$$

三、例题解析

【例1】　从原点到P点的矢径$\vec{r}_P=-2\vec{i}+6\vec{j}$，而$P$点到$Q$点的位移$\Delta\vec{r}=4\vec{i}-2\vec{j}$.求原点到$Q$点的位置矢径，并作图表示.

分析：题目给出的已知条件是已知P点的矢径$\vec{r}_P$和P点至Q

点的位移$\Delta\vec{r}$，根据位移的定义有

$$\Delta\vec{r}=\vec{r}_Q-\vec{r}_P$$

显然，由上式可解出$\vec{r}_Q$.

具体解法不是唯一的，既可用平行四边形法，也可以运用矢量三角形法.

解：以矢径$\vec{r}_P$的原点为原点建立直角坐标系xOy，并标出P点所在的位置（如图1-3所示）.

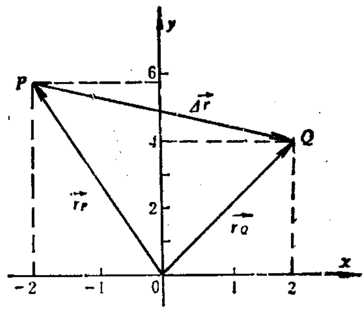


图1-3

由 $\Delta\vec{r}=\vec{r}_Q-\vec{r}_P$ 得

$$\vec{r}_Q=\vec{r}_P+\Delta\vec{r}=(-2\vec{i}+6\vec{j})+(4\vec{i}-2\vec{j})$$

$$=2\vec{i}+4\vec{j}$$

$\vec{r}_P$、$\vec{r}_Q$和$\Delta\vec{r}$所构成的矢量三角形如图1-3所示.

小结：质点的位置矢量（矢径）和位移是两个不同的概念，通过对本题的计算和作图，应严格弄清二者间的联系和区别.

【例2】 一人自原点出发，25s内向东走了30m，接着在10s内向南走了10m，随后又在15s内向西北走了18m.

(1) 试求合位移的大小和方向；

(2) 求每一分位移和合位移的平均速度，并对全路程求平均速率；

(3) 位移和路程有何区别？在什么情况下两者的量值相等？平均速度和平均速率有何区别？在什么情况下两者的量值相等？

分析：取人为研究对象. 按题目的要求建立直角坐标系xOy（如图1-4所示），此人的运动轨迹是：从原点O出发向东走到A点，接着折向B点，随后又折向C点.

依照题目的要求，我们应根据位移、路程、速度和加速度的概念分别进行计算.

解：(1) 人运动的始点为O，终点为C，故他走完全程的合

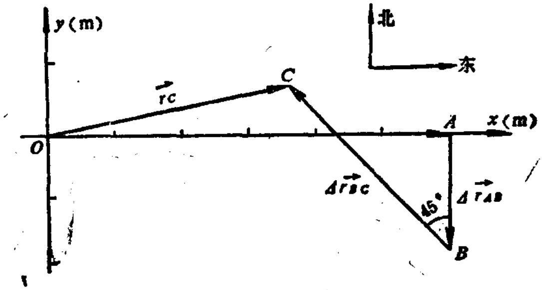


图1-4

位移为

$$\Delta\vec{r}_{OC}=\Delta\vec{r}_{OA}+\Delta\vec{r}_{AB}+\Delta\vec{r}_{BC}$$

由图1-4可明显看出：$\Delta\vec{r}_{OC}=\vec{r}_C$，$\Delta\vec{r}_{OA}=\vec{r}_A$，于是由上式可求出$\vec{r}_C$，即

$$\begin{aligned}\vec{r}_C&=\vec{r}_A+\Delta\vec{r}_{AB}+\Delta\vec{r}_{BC}\\&=OA\vec{i}-AB\vec{j}+(-BC\sin\theta\vec{i}+BC\cos\theta\vec{j})\\&=(OA-BC\sin\theta)\vec{i}+(BC\cos\theta-AB)\vec{j}\\&=(30-18\times\sin 45°)\vec{i}+(18\times\cos 45°-10)\vec{j}\\&=17.27\vec{i}+2.73\vec{j}\end{aligned}$$

$\vec{r}_C$的模及与x轴正向间的夹角分别为

$$r_C=\sqrt{17.27^2+2.73^2}=17.48(\mathrm{m})$$

$$\alpha=\mathrm{tg}^{-1}\frac{2.73}{17.27}=9°$$

即合位移的大小为17·48m，方向东偏北9°。

（2）第一个分位移$\Delta\vec{r}_{OA}$内的平均速度大小为

$$\overline{v_1}=\frac{\Delta r_{OA}}{\Delta t_1}$$

$$=\frac{30}{25}=1.2(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

方向指向正东。

第二个分位移内平均速度方向为正南，大小为

$$\overline{v_2}=\frac{\Delta r_{AB}}{\Delta t_2}=\frac{10}{10}=1.0(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

第三个分位移内平均速度指向西北，大小为

$$\overline{v_3}=\frac{\Delta r_{BC}}{\Delta t_3}=\frac{18}{15}=1.2(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

合位移对应的平均速度方向为东偏北9°，大小为

$$\overline{v}=\frac{r_C}{\Delta t_1+\Delta t_2+\Delta t_3}=\frac{17.48}{25+10+15}=0.35(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

根据平均速率的定义，走完全路程的平均速率应等于人走的总路程除以总时间，即

$$v=\frac{OA+AB+BC}{\Delta t_1+\Delta t_2+\Delta t_3}=\frac{30+10+18}{25+10+15}=1.16(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

（3）位移是矢量，是从始点指向终点的有向线段，以$\Delta\vec{r}$表示；路程是标量，是指质点运动经过路径的长度，以Δs表示.当质点向着某一方向且仅向此方向运动时，位移和路程的量值相等.本题人走的是折线，因此总位移和总路程的大小是不等的.

平均速度是指位移$\Delta\vec{r}$与质点发生该位移所用时间Δt之比，即

$$\overline{\vec{v}}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

平均速度不但有大小，还有方向，是矢量.而平均速率是标量，是指路程Δs与质点走完这段路程所用时间Δt之比，即

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

只有当$\Delta s=|\Delta\vec{r}|$时，平均速度才与平均速率的量值相等.

小结：通过本题，进一步明确了位移、路程、平均速度和平均速率等重要概念，同时看到平均速度与时间间隔Δt的选取有关.

【例3】 下列问题是否可能？举例说明.

(1) 一个物体具有恒定的速率，但仍有变化的速度；

(2) 一物体具有恒定的速度，但仍有变化的速率；

(3) 一物体具有加速度而其速度为零；

(4) 一物体具有沿x轴正方向的加速度而有沿x轴负方向的速度.

分析：显而易见，本题是为了弄清速度、速率和加速度概念而设计的，回答问题要紧扣定义，不能乱猜.

解：(1) 这种情况是存在的.如质点在做匀速率圆周运动过程中，速率（速度的大小）保持不变，但速度的方向却时刻不停地发生变化.速度是矢量，包括大小和方向两个方面，只要其中任一方面发生变化都叫速度发生变化.所以做匀速率圆周运动的物体速度是变化的.

(2) 这种情况是不可能的.由(1) 的解答可知，速度恒定意味着速度的大小和方向都不能发生变化.

(3) 这种情况是可能的.根据加速度的定义可知，加速度是速度对时间的变化率，与速度本身的量值无关.所以物体有加速度时速度可能为零.如：做简谐振动的小球，当它相对于平衡位置的位移达到最大值时，加速度最大而速度却为零.

(4) 加速度方向与速度方向相反这种情况是可能的.加速度的方向与速度的增量方向相同，但与速度的方向可能相同，也可能相反.如火车进站时，从刹车到停止的过程中，火车的加速度方向与速度方向就恰好相反.

小结：确切理解速度和加速度的概念是很重要的.速度是矢量，包括大小和方向两个因素；加速度也是矢量，包括速度大小的变化和速度方向的变化两个因素，与速度大小无关.平时所说的

$a>0$ 是加速运动，$a<0$ 是减速运动，这是以速度方向为正方向的条件下得到的结论．

【例4】 一质点沿Ox轴做直线运动，t时刻的坐标为$x=4.5t^2-2t^3$．式中x以米计，t以秒计，试求：

（1）第 2 秒内的位移及平均速度；

（2） 1 秒末及 2 秒末的瞬时速度；

（3）第 2 秒内的平均加速度及0.5秒末、 1 秒末的瞬时加速度．

分析：由题目的叙述知质点沿x轴做直线运动，故题中给出的质点坐标也就是位置矢量．从位置矢量出发确定位移、速度是比较简便的．

解：质点在t时刻的位置矢量为

$$x=4.5t^2-2t^3$$

（1）第 2 秒内的位移Δx_{I}等于 2 秒内的位移x_2与 1 秒内的位移x_1之差，即

$$\begin{aligned}\Delta x_{\mathrm{I}}&=x_2-x_1=(4.5\times2^2-2\times2^3)-(4.5\times1^2-2\times1^3)\\&=-0.5(\mathrm{m})\end{aligned}$$

负号表示Δx_{I}的方向沿$-x$方向．

第 2 秒内所指的是从第 1 秒末至第 2 秒末的时间间隔，$\Delta t_{\mathrm{I}}=1\mathrm{s}$．根据平均速度的定义，第 2 秒内的平均速度为

$$\overline{v}_{\mathrm{I}}=\frac{\Delta x_{\mathrm{I}}}{\Delta t_{\mathrm{I}}}=\frac{-0.5}{1}=-0.5(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

负号表示平均速度的方向与$-x$的方向一致．

（2）根据瞬时速度的定义，质点在t时刻的速度为

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=9t-6t^2$$

从开始运动到 1 秒末，质点所经过的时间为$t_1=1\mathrm{s}$，故 1 秒末的瞬时速度为

$$v_1=9\times1-6\times1^2=3(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

根据同样的分析，质点在 2 秒末的瞬时速度为

$$v_2 = 9 \times 2 - 6 \times 2^2 = -6 (\mathrm{m \cdot s^{-1}})$$

负号表示v_2沿$-x$方向.

(3) 第2秒内的平均加速度为

$$\overline{a}_{\mathrm{I}} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t_{\mathrm{I}}} = \frac{-6-3}{1} = -9\ (\mathrm{m \cdot s^{-2}})$$

负号表示$\overline{a}_{\mathrm{I}}$沿$-x$方向.

根据瞬时加速度的定义，得

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 9 - 12t$$

所以0.5秒末的加速度为

$$a_{0.5} = 9 - 12 \times 0.5 = 3 (\mathrm{m \cdot s^{-2}})$$

1秒末的加速度为

$$a_{\mathrm{I}} = 9 - 12 \times 1 = -3 (\mathrm{m \cdot s^{-2}})$$

负号表示1秒末的加速度方向与x轴的正方向相反.

小结：(1) 分清时刻与时间的概念是解本题的关键.0.5秒末、1秒末都是指时刻，第2秒内、2秒内是指时间间隔.时间具有连续性和单向性，所以我们可以用坐标轴表示时间，在时间轴上与点对应的是时刻，两点之间对应的是时间间隔，通常把时间间隔简称为“时间”.

(2) 本题仍然坚持先找出位置矢量,然后再按定义计算位移、速度和加速度等物理量的方法.用这种解题程序对处理有关的运动学问题较为简便.

【例5】 质点的运动方程为$x = -10t + 30t^2$和$y = 15t - 20t^2$，式中x、y的单位为m，t的单位为s.试求：

(1) 初速度的大小和方向;

(2) 加速度的大小和方向.

分析：依据题目给出的条件可知,质点是在$x-y$平面上运动，故应先确定位置矢量$\vec{r}$，然后按定义求解.

解：$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$