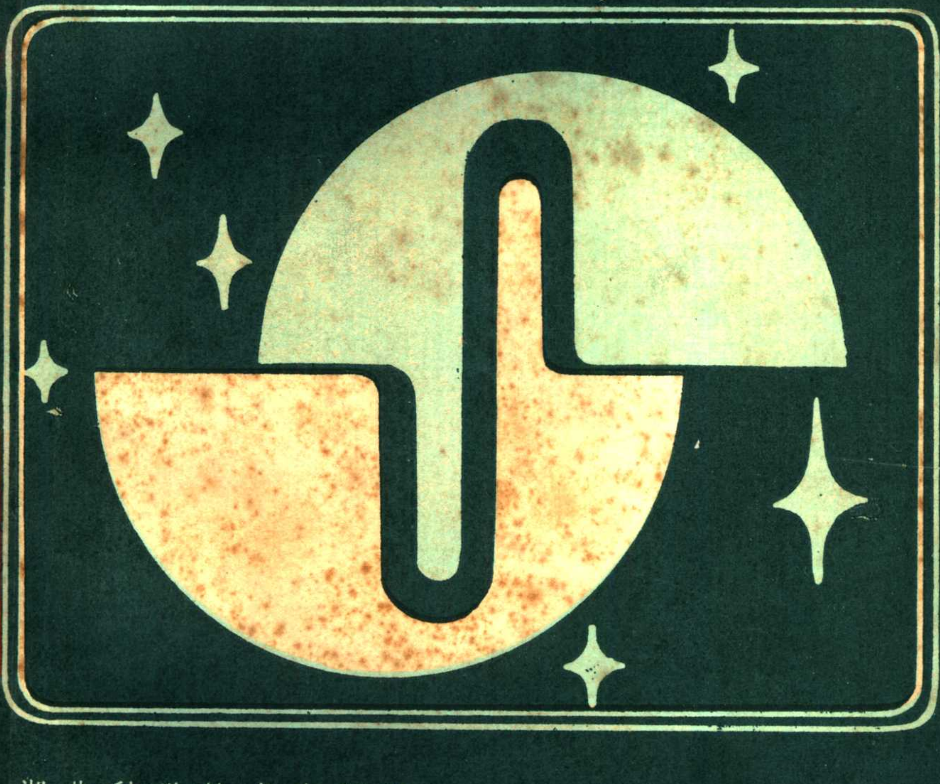
# 普通物理学解题指导

（力学、热学）

许长安
尹德武 编
孙春霞



湖 北 科 学 技 术 出 版 社

# 普通物理学解题指导

许长安　严德武　孙春霞　编

湖北科学技术出版社

**普通物理学解题指导**

许长安　严德武　孙春霞　编

湖北科学技术出版社出版发行　新华书店湖北发行所经销

武汉市新华印刷厂印刷

787×1092毫米　32开本　9.625印张　221千字

1987年8月第1版　1987年8月第1次印刷

印数1－11.0

ISBN 7—5352—0018—6/G·0003

统一书号：7304·31　　定价：2.00元

# 目　录


第一章　运动的描述

一、小结……………………………………………………（ 1 ）

二、习题解答………………………………………………（ 5 ）

三、补充思考题及习题……………………………………（ 19 ）

第二章　质点动力学

一、小结……………………………………………………（ 30 ）

二、习题解答………………………………………………（ 40 ）

三、补充思考题及习题……………………………………（ 69 ）

第三章　刚体的定轴转动

一、小结……………………………………………………（ 100 ）

二、习题解答………………………………………………（ 101 ）

三、补充思考题及习题……………………………………（ 117 ）

第四章　振动学基础

一、小结……………………………………………………（ 124 ）

二、习题解答………………………………………………（ 127 ）

三、补充思考题及习题……………………………………（ 141 ）

附：力学部分综合例题选解

第五章　气体分子运动论

一、小结……………………………………………………（ 162 ）

二、习题解答………………………………………………（ 167 ）

三、补充思考题及习题……………………………………（ 185 ）

第六章　热力学的物理基础

一、小结……………………………………………………（ 203 ）

二、习题解答………………………………………………（ 209 ）

三、补充思考题及习题……………………………（226）
附1　中央广播电视大学普通物理学期末复习要点
附2　中央广播电视大学普通物理学历届考试试卷

# 第一章　运动的描述

## 一、小　　结

运动学只研究运动物体的时空关系，不涉及物体运动的原因。而物体任何复杂的运动都可以归结为：平动＋转动，所以本章重点是研究物体的平动和转动的特性。

**1. 平动**　物体在作平动时，其上各点的运动状态都相同，因而可用质点来代替刚体。

（1）描写平动的物理量：

①$\vec{r}$：位置矢量，描写物体（质点）在空间的方位。注意其矢量性、瞬时性和相对性。

②$\Delta\vec{r}$：位移矢量，描写物体位置变化的物理量，是由初始位置引向终了位置的有向线段。具有矢量性和相对性（$\Delta\vec{r}$是相对于时间间隔$\Delta t$的，因而不具有瞬时性）。

读者还应搞清位移$\Delta\vec{r}$与路程$\Delta s$的区别，以及在什么条件下两者的量值相等。

③$\vec{v}$：速度矢量，$\vec{v}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\dfrac{d\vec{r}}{dt}$，描写物体运动的快慢和方向的物理量，具有矢量性、瞬时性和相对性。

（平均速度$\overline{\vec{v}}=\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$，其量值等于在单位时间内物体位移的大小，但是这一量值与$\Delta t$选取的大小有关。

平均速率$\overline{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$，其量值等于在单位时间内物体所通过

的路程的大小，其量值与$\Delta t$选取的大小有关。）

④$\vec{a}$：加速度矢量，$\vec{a}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{d\vec{v}}{dt}=\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$，描写速度变化的物理量（注意"变化"二字），它不直接描述物体的运动，而是描写运动的变化，具有矢量性、瞬时性和相对性。

一定要深刻理解加速度$\vec{a}$的概念，这是掌握本章的关键。下面分几种情况讨论：

(a)$\vec{v}$的大小、方向均不变时：$\vec{a}=0$

(b)$\vec{v}$的大小不变，方向改变时：$a_\tau=0$，$a=a_n=\frac{v^2}{R}$。

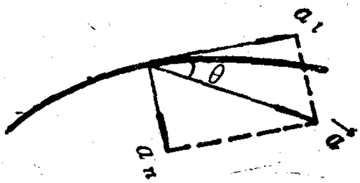


图1

(c)$\vec{v}$的大小改变，方向不变时：$a_n=0$，$a=a_\tau=\frac{dv}{dt}$。

(d)$\vec{v}$的大小、方向均改变时：$\vec{a}=\vec{a}_n+\vec{a}_\tau$，$a=\sqrt{a_n^2+a_\tau^2}$，$\theta=tg^{-1}\frac{a_n}{a_\tau}$。

(e)$\vec{a}$与$\Delta\vec{v}$同方向。

(f)正确回答：$a>0$时物体是否一定作加速运动？$a<0$时物体是否一定作减速运动？

（2）$\vec{r}$、$\vec{v}$二量是描述状态的物理量，其中$\vec{r}$是描述位置状态的，$\vec{v}$是描述运动状态的；$\Delta\vec{r}$是描述位置状态变化的，$\vec{a}$是描述运动状态变化的。

（许多初学者往往认为$\vec{v}$和$\vec{a}$都描述运动状态，这是错误的。）

(3) $\vec{r}$，$\vec{v}$，$\vec{a}$的相对性：

$\vec{r}_{A对C}=\vec{r}_{A对B}+\vec{r}_{B对C}$；

$\vec{v}_{A对C}=\vec{v}_{A对B}+\vec{v}_{对C}$；

$\vec{a}_{A对C}=\vec{a}_{A对B}+\vec{a}_{对C}$。

(4)已知运动方程$\vec{r}=\vec{r}(t)$，用微分法求$\vec{v}$、$\vec{a}$及$\Delta\vec{r}$，并判断物体作何种运动；已知$\vec{a}$及初始条件，用积分法求$\vec{v}$及运动方程。

(5)对抛物运动，能熟练运用$\vec{v}$、$\vec{a}$的正交分解法求解；对圆周运动，熟练运用自然坐标法求解。

(6)由x—t图和v—t图判断物体作何种运动。

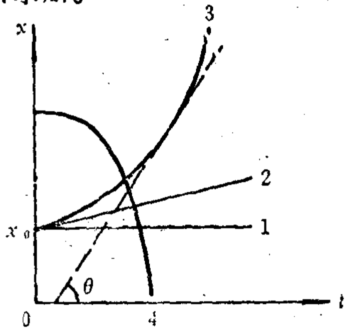



图2

在x—t图中（曲线为抛物线）：

“1”表示物体静止；

“2”表示物体作匀速直线运动；

“3”表示物体作匀加速直线运动；

“4”表示物体作匀减速直线运动；

切线的斜率tgθ表示加速运动的瞬时速度v的大小。

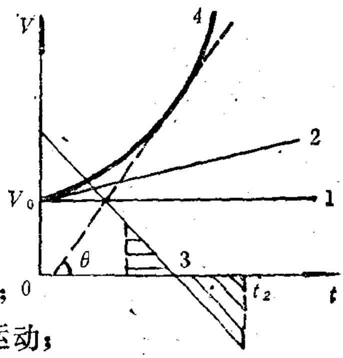



图3

在v—t图中：

“1”表示物体作匀速直线运动；

“2”表示物体作匀加速直线运动；

“3”表示物体作匀减速直线运动；

"4"表示物体作变加速运动；

切线斜率$tg\theta$表示瞬时加速度$a$的大小。

$t_1$、$t_2$间图线所包围的面积表示物体在$t_1$—$t_2$时间内位移的大小，在t轴上方位移为正，t轴下方位移为负，其代数和表示位移的大小，而面积的绝对值之和表示路程的大小。

要注意将物体运动的图象和运动的实际形象区别开来。

## 2.平动与转动的公式小结

| 平　　动 | 定 轴 转 动 |
|---|---|
| $\vec{r}$ | $\theta$ |
| $\Delta\vec{r}$ | $\Delta\theta$ |
| $\vec{v}=\frac{d\vec{r}}{dt}=\vec{\omega}\times\vec{r}$ | $\omega=\frac{d\theta}{dt}=\frac{v}{R}$ |
| $\vec{a}=\frac{d\vec{v}}{dt}=\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$<br>$a_n=\frac{v^2}{R}=\omega^2R$<br>$a_\tau=\frac{dv}{dt}=\beta R$ | $\vec{\beta}=\frac{d\vec{\omega}}{dt}=\frac{d^2\vec{\theta}}{dt^2}$<br>$\beta=\frac{a_\tau}{R}$ |
| $x=x_0+vt$（一维）<br>$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$（一维） | $\theta=\theta_0+\omega t$<br>$\theta=\theta_0+\omega_0t+\frac{1}{2}\beta t^2$ |
| $\vec{v}=\vec{v}_0+\vec{a}t$<br>$v^2-v_0^2=2a(x-x_0)$（一维）<br>$\bar{v}=\frac{v_0+v}{2}$　〔注〕 | $\vec{\omega}=\vec{\omega}_0+\vec{\beta}t$<br>$\omega^2-\omega_0^2=2\beta(\theta-\theta_0)$<br>$\bar{\omega}=\frac{\omega_0+\omega}{2}$　〔注〕 |

〔注〕此关系式仅对匀变速运动才能成立。

## 二、习题解答

**1—1**　平面内有一点A，其坐标为(-4，3)m，试用单位矢量的符号写出其位置矢量$\vec{r}_A$的表达式，并求出$\vec{r}_A$的大小及$\vec{r}_A$与x轴的夹角。

**解**：$\vec{r}_A = -4\vec{i} + 3\vec{j}$

$$r_A = \sqrt{(-4)^2+3^2} = 5\ (m)$$

$$\theta = tg^{-1}(-\frac{3}{4}) \approx 143.03°$$

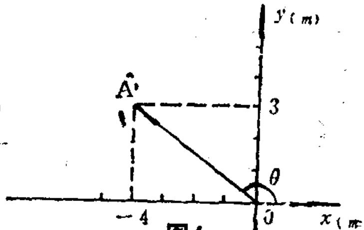


图4

**1—2**　一人从0点出发，走到于0点东3米，南5米的A点，又从A点走到A点西1米，北6米的B点，试写出A点和B点的位置矢量。

**解**：$\vec{r} = 3\vec{i} - 5\vec{j}$

$$\vec{r} = 2\vec{i} + 1\vec{j}$$

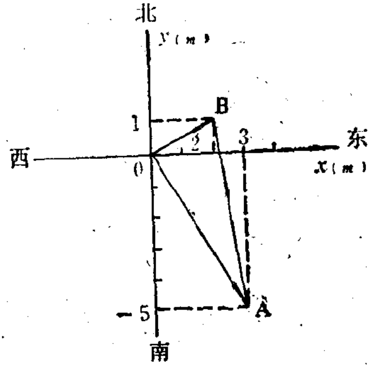


图5

**1—3**　(1)　一人自原点出发，25秒内向东走了30米，又在10秒内向南走了10米，再15秒内向西北走了18米，试求合位移的大小和方向。

(2)　求每一分位移中的平均速度；对合位移求平均速度，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如何区别？在什么情况下两者的量值相等？

解：(1)由图中几何关系知：$CD = BC - BD = 18 - BD$

$= 18 - 10/\sin 45°$

$\approx 3.86(m)$

$OE = OD - ED$

$= 20 - 3.86\cos 15°$

$= 17.27(m)$

$CE = 3.86\sin 45°$

$= 2.73(m)$

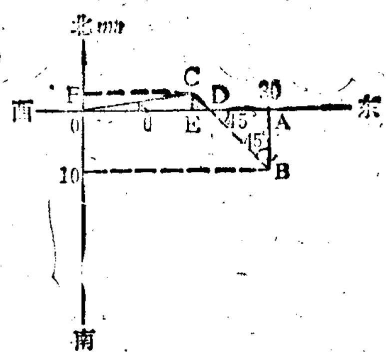



图6

$\therefore$ 合位移 $OC = \sqrt{17.27^2 + 2.73^2}$

$= 17.48(m)$

$$\theta = \cos^{-1}\frac{17.27}{17.48} \approx 8.89°$$

(2) $\overline{\vec{v}_1} = \dfrac{30}{25} = 1.2(m/s)$ （向东）

$\overline{\vec{v}_2} = \dfrac{10}{10} = 1(m/s)$ （向南）

$\overline{\vec{v}_3} = \dfrac{18}{15} = 1.2(m/s)$ （向西北）

$\overline{\vec{v}_合} = \dfrac{17.48}{25+10+15} \approx 0.35\ (m/s)$

（东偏北8.89°）

$\overline{v_全} = \dfrac{30+10+18}{25+10+15} = 1.16(m/s)$

(3)位移：由始点引向终点的矢径，矢量。反映在Δt时间内物体位置的变化。

路程：物体由始点到终点所经历的轨迹的长度，标量。

在直线直进运动的情况下，位移与路程的大小相等。

$$\left.\begin{array}{ll}\text{平均速度：}\ \vec{\bar{v}}=\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} & \text{是矢量}\\[2ex] \text{平均速率：}\ \bar{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t} & \text{是标量}\end{array}\right\}\text{在直线直进运动时，二者量值相等}$$

**1—4** 下列问题是否可能，举例说明。

（1） 一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。

**答**：(1)可能。如匀速率的曲线运动，这时$\vec{v}$的大小不变，方向却在不断地变化。

(2)不可能。∵ $\vec{v}$恒定，则大小、方向均恒定。

(3)可能。如竖直上抛，物体到达最高点时，$\vec{v}_t=0$，$\vec{a}=\vec{g}$

(4)可能。如以竖直向下为x轴的正方向，在竖直上抛的上升阶段即如此。

**1—5** 一质点沿ox轴运动，其运动方程为：$x=3-5t+6t^2$，式中x以米计，t以秒计。试求：

(1)质点的初始位置和初速度；

(2)质点任一时刻的速度和加速度；

(3)质点作什么运动？

(4)作出x—t图和v—t图。

**解**：(1)$x=3-5t+6t^2$，$t=0$时

$$x_0=3(m)$$

(2) $v=\frac{dx}{dt}=(-5+12t)(m/s)$　$t=0$ 时

$$v_0=-5(m/s)\qquad a=\frac{dv}{dt}=12(m/s^2)$$

(3)质点作初始位置为3m、初速为-5(m/s)、加速度为$12(m/s^2)$的匀变速直线运动。

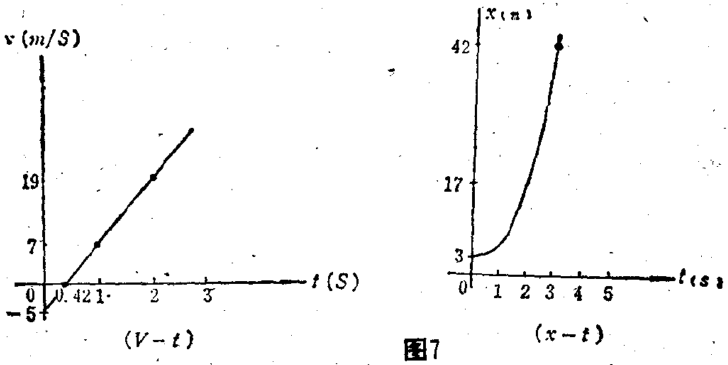



图7

| t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x | 3 | 4 | 17 | 42 | 79 | 128 | (m) |
| v | -5 | 7 | 19 | 31 | 43 | 55 | (m/s) |

**1—6** 如果质点的运动方程为：$x=5+2t-4t^2$（方程中坐标的单位用米，时间的单位用秒），求质点各个时刻的速度和加速度。

**解**：$x=5+2t-4t^2$

$$v=\frac{dx}{dt}=(2-8t)(m/s)$$

$$a=\frac{dv}{dt}=-8(m/s^2)$$

**1—7** 一质点沿ox轴作直线运动，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）第二秒内的位移及平均速度；

（2）1秒末及2秒末的瞬时速度；

（3）第二秒内的平均加速度及0.5秒末、1秒末的瞬时加速度。

**解**：$x=4.5t^2-2t^3$

$$v=\frac{dx}{dt}=9t-6t^2$$

$$a=\frac{dv}{dt}=9-12t$$

$$(1)\Delta x=(4.5\times2^2-2\times2^3)-(4.5\times1^2-2\times1^3)$$
$$=2-2.5$$
$$=-0.5(m)$$

$$\overline{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{-0.5}{1}=-0.5(m/s)$$

$$(2)\ v_1=9-6=3(m/s)$$
$$v_2=18-24=-6(m/s)$$

$$(3)\ a_{第二秒内}=\frac{v_2-v_1}{2-1}=\frac{(9\times2-6\times2^2)-(9\times1-6\times1^2)}{1}$$
$$=-9(m/s^2)$$

$$a_{(0.5)}=9-12\times0.5=3(m/s^2)$$
$$a_{(1)}=9-12\times1=-3(m/s^2)$$

**1—8** 一质点运动的v—t图如图8所示，试说明质点的运动情况，并写出AB、BC、CD各段的加速度多大？

**解**：在0～1秒内，物体作匀速直线运动。$v=10m/s$，$a=0$

在1～3秒内物体作匀加速直线运动。初速为10m/s，$a=10m/s^2$。

在3～5秒内，物体作匀减速直线运动。初速为30m/s，a＝

$-15m/s^2$，且$v_5=0$。

**1—9** 一升降机以加速度1.22 $m \cdot s^{-2}$上升，当上升速度为2.44 $m \cdot s^{-1}$时，有一螺帽自升降机的天花板上松落，天花板与升降机的底面相距2.74m，计算：

（1）螺帽从天花板落到底面所需的时间；

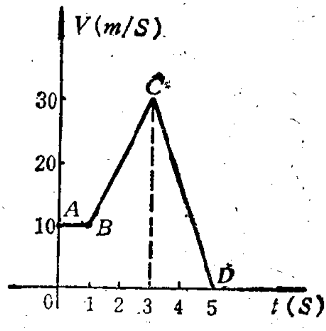


图8

（2）螺帽相对于升降机外固定柱子的下降距离。

**解**：以地面为参照系，设螺帽从天花板落到底面所需时间为t，这时升降机底板位移为$h_1$，螺帽位移为$h_2$，则$h_1-h_2=2.74(m)$

$$(1)\ 2.44t+\frac{1}{2}\times 1.22t^2-(2.24t-\frac{1}{2}\times 9.8t^2)=2.74。$$

由此式求得：$t\approx 0.71(s)$

（2）相对柱子上升：

$$2.44\times 0.71-\frac{1}{2}\times 9.8\times(0.71)^2=-0.74(m)$$

即相对固定柱子下降0.7~~4m~~。

**另解**：

（1）以地板为参照系，且以竖直向下为正向，螺帽刚下降时：

$$\vec{v}_{螺对板}=0,\quad \vec{a}_{螺对板}=\vec{a}_{螺对地}+\vec{a}_{地对板}$$

$$a_{螺对板}=g+a$$

设落到地板需时为t，则

$$2.74=\frac{1}{2}(g+a)t^2=\frac{1}{2}(9.8+1.22)t^2\quad 得t\approx 0.71(s)$$

为了方便起见，第二问求解仍以地面为参照系，解法同

前。

**1—10** 一人乘摩托车跳越一个大矿坑，初速度为$65 m \cdot s^{-1}$方向与水平成22.5°，从西边起跳，准确地落在坑的东边。已知东边比西边低70m，忽略空气阻力，且取$g=10 m \cdot s^{-2}$，问：

（1）矿坑有多宽？飞越的时间多长？

（2）在东边落地时的速度多大？速度与水平面的夹角多大？

**解：**

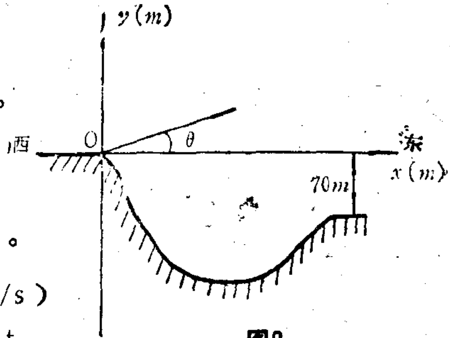



图9

（1）$v_{x0} = v_0 \cos\theta$

$= 65\cos 22.5°$

$\approx 60 (m/s)$

$v_{y0} = v \sin\theta$

$= 65\sin 22.5°$

$\approx 24.88 (m/s)$

设飞过坑所用的时间为t，

则$24.88t - \frac{1}{2}gt^2 = -70$

得$t \approx 7 (s)$

∴坑宽$x \approx 60 \times 7 \approx 420 (m)$

（2）过坑瞬时：

$v_x = 60 m/s$

$v_y = 24.88 - 10 \times 7 = -45.12 (m/s)$

$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{60^2 + (-45.12)^2} \approx 75 (m/s)$

$\theta' = tg^{-1}\frac{45.12}{60} \approx 37°$ （$=36.89°$）

**1—11** 炮弹以400米/秒与水平方向成30°仰角的初速度发射。设距炮位水平距离为500米处有一竖直目标，试求炮弹击

中的高度、击中时炮弹速度的大小及与水平面的夹角（空气阻力忽略不计）。

**解：** $v_{x0}=400\cos30°=346.4$（m/s）

$v_{y0}=400\sin30°=200$（m/s）

击中目标所用时间：

$t=500/346.4\approx1.44$（s）

$$\therefore h=200\times1.44-\frac{1}{2}\times10\times1.44^2$$

$$\approx278\text{（m）}$$

击中时：

$$v_y=200-10\times1.44$$

$$\approx185.6\text{（m/s）}$$

$$\therefore v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{346.4^2+185.6^2}\approx393\text{(m/s)}$$

$$\theta=tg^{-1}\frac{185.6}{346.4}\approx28.2°$$

**1—12** 一人站在山坡上（山坡与水平面成α角），抛出一个初速度为$v_0$的小石子，$v_0$与水平面成θ仰角。

（1）如空气阻力可忽略不计，试证小石子落在斜坡上的距离s为：

$$S=\frac{2v_0^2\sin(\theta+\alpha)\cos\theta}{g\cos^2\alpha}$$

（2）由此证明，对于给定的$V_0$和α值，S在$\theta=\frac{\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}$时有最大值

$$S_{max}=\frac{v_0^2(1+\sin\alpha)}{g\cos^2\alpha}$$

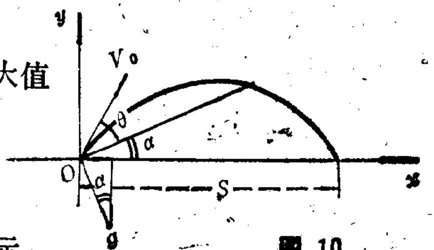


图 10

**解：** 选坐标系xoy如图10所示。