普通高级中学新教材（试验本）同步立体训练

# 北京九所名校

# 金牌解题

## 高三物理 第三册（上）

本书主编 郝铁英 北京第十五中学物理教研组组长 高级教师

北京大学附中
清华大学附中
北京师范大学附中
北京四中
北京师范大学实验中学
中国人民大学附中

教师编写组

团结出版社 · 知识出版社

普通高级中学新教材（试验本）同步立体训练

北京九所名校金牌解题

# 高 三 物 理

（第五册·上）

主　　编　向佐初
副 主 编　鲁　月

**本书主编：**

郝铁英：北京市第十五中学物理教研组长、高级教师
范仲平：北京市第一〇一中学物理教研组长、高级教师
马凌风：北京市第十五中学物理高级教师

團結出版社
知識出版社

图书在版编目（CIP）数据

北京九所名校金牌解题.高三物理.第五册.上:试验本/向佐初主编;郝铁英、范仲平、马凌风分主编.－北京:团结出版社,知识出版社,2001.7

ISBN 7-5015-2668-0

Ⅰ.北… Ⅱ.①郝…②范…③马… Ⅲ.物理课-高中-教学参考资料 Ⅳ.G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 19772 号



本书撰稿者

郝铁英 范仲平 耿 文 马凌风 王晓天 杨 馨 韦小斌
严为军

出版:团结出版社 知识出版社(北京市东皇城根南街 84 号)
〔电话(010)8205.9220 6513.3603(发行部)6524.4792(编辑部)〕
http://www.tuanjiecbs.com E－mail:unitypub@263.net.
经销：全国新华书店 印刷：长沙鸿发印务实业有限公司

开本：787×1092 毫米 16 开 印张：8.125 字数：204 千字
版次：2001 年 7 月 第二版 印次：2002 年 7 月（长沙）第二次印刷

书号：ISBN 7-5015-2668-0/G·1310
定价：8.50 元(平)（如有印装差错，请与本社联系）

# 目　录

## 教 材 解 析



## 测 试 卷

# 教 材 解 析

## 第一章　力　物体的平衡

教材解析

**(一)重点难点分析**

力是改变物体运动状态的原因，如果物体运动状态不变，说明物体所受的合力为零.可利用平衡方程求解.如果物体运动状态改变，可以根据牛顿运动定律求解.因此，在解决只涉及力而不涉及运动过程的问题时，其解题的基本思路是：确定研究对象，分析研究对象受的外力，根据运动状态建立方程.

围绕这一思路有关的概念、方法和能力的培养是本章复习的重点.

1. 如何选择研究对象

分析一个物理问题时，必须明确研究对象是谁.尤其是解决有关连结体的问题时，灵活地选择研究对象往往是解决问题的关键.

(1)要选择已知量充分，涉及所求量的物体为研究对象.研究对象可以是一个物体，一个点或几个物体组成的物体系.

如果涉及到一个物体系的内力，应选择物体系中部分物体为研究对象(即所谓"隔离体").

例如，要求出物体 $A$ 与物体 $B$ 之间相互作用力时，必须选其中一个物体($A$ 或 $B$)为研究对象，这样另一个物体($B$ 或 $A$)对它的作用力是研究对象的外力.分析它受的外力并以它为研究对象列出的平衡方程中会包括这个力.

如果不想涉及两物体间的相互作用力，则应选两个物体构成的物体系为研究对象，这样相互作用力成为研究对象的内力，分析受力及平衡方程中不涉及这一内力.

(2)在连结体问题中，有时常选某一部分物体为研究对象，建立运动状态方程(平衡方程或牛顿运动定律方程)，然后再选择另一部分(或整个物体系)为研究对象，再建立一个方程，组成联立方程解出所求的物理量.

2. 如何分析物体受力

分析选定的研究对象受力，只分析研究对象以外的物体对它的作用力.为了不至于丢掉某一个力，应养成按照：一场力、二弹力、三摩擦力的次序依次分析.

分析场力时，是看研究对象处在哪些场(重力场、电场、磁场)依次分析这些场对它的作用力.

分析弹力时，要看研究对象之外有哪些物体与它接触.凡是与它接触的物体都应逐个分析是否有弹力.具体分析方法请参照第 3 个要点中关于弹力性质的分析.

分析摩擦力时，要看哪些物体与研究对象接触，同时还有相对运动或相对运动的趋势.具体方法也请参见第 3 个要点中关于摩擦力性质的分析.

对于题目中有"牵引力"时，只要在上述各力分析完后，再加上牵引力就行了，不必非要明确牵引力是什么性质的力.(比如飞机牵引力是空气对它的作用力，汽车牵引力是地面对后轮的静摩擦

力等等）

3. 关于场力、弹力、摩擦力的性质特点的分析

（1）场力：两物体之间通过“场”来实现相互作用，这种力称为场力. 中学阶段涉及的场力有：引力场力——万有引力、电场力和磁场力. 另外像分子力、核力也可归为场力.

场力的特点是：①物体间不必相互接触就可以产生相互作用力. ②场力的大小都有具体的决定式，除了与决定式有关的物理量外，场力大小和方向与其他因素无关. 因此场力是学生比较容易掌握的力. 有关万有引力和电、磁场力的知识将在后面几章中复习，本章中涉及的场力只有重力.

重力是由于地球的吸引而使物体受到的力.（关于重力与万有引力的关系将在第四章中讨论）重力的大小：$G=mg$，方向竖直向下.

重力的大小只与物体的质量和当地的重力加速度有关，与物体的运动状态和其他外力无关.

物体的各部分都受到地球对它的吸引力. 我们可以认为重力的作用集中在一点——各部分重力的合力作用点. 这一点叫重心.

重心的位置与物体的形状和内部质量分布有关. 质量均匀分布的物体，其重心位于它的几何中心. 物体的重心可能位于物体上某一点，也可能位于物体之外的某一点.

（2）弹力：发生弹性形变的物体，会对使它发生形变的物体产生力的作用，这种力叫弹力.

产生弹力的条件，一是两物体接触，二是发生弹性形变. 但是，由于一些物体的形变很小，往往不易观察到，所以判断两互相接触的物体间是否有弹力时，可以根据物体受的其他外力情况，利用平衡或牛顿定律等知识判定是否存在弹力.

弹力的方向：压力或支持力总垂直于接触面（如接触面是曲面，则弹力方向与接触点的切面垂直），绳子拉力方向总是沿着绳子收缩的方向（如绳子是弯曲的，则某点的张力沿该点切线方向）.

弹力的大小：弹簧的弹力，有具体决定式 $F=kx$（胡克定律）.

其他物体间的弹力太小，往往要通过分析物体受力，根据运动状态建立适当的方程来求出. 有关弹力，还应知道两个常识：

①弹力是“被动力”，它的大小是随着其他力和物体运动状态的变化而变化的.

②不计摩擦时，一根轻绳（质量不计）无论作什么运动，绳上各点的张力大小相等.

同样，一个滑轮若质量、摩擦不计时，滑轮两边受力总相等，如图 1－1 中，总有：$T_2=T_3=T$，$T_1=2T$. 这用牛顿第二定律很容易证明. 了解这两个常识对分析平衡问题很重要.

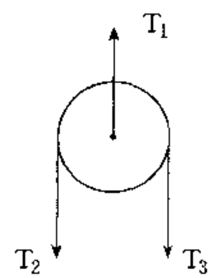

图　1－1

（3）摩擦力：分为滑动摩擦力和静摩擦力两种.

两个接触且发生相对滑动的物体接触面上产生的阻碍两物相对运动的力叫滑动摩擦力.

两个相互接触且有相对运动趋势的两物体接触面上产生的阻碍相对运动趋势（使两物保持相对静止）的力叫做静摩擦力.

产生摩擦力的条件：首先是两物体要接触且有弹力；其次两物体间有相对运动或相对运动的趋势. 这两个条件缺少任何一个都不能产生摩擦力. 当然，如果两个物体间接触面光滑，两物间摩擦力可以忽略不计.（也有人把摩擦系数 $\mu\neq0$ 作为第三个条件，当然也可以. 但是两物接触面间光滑到摩擦力为零的物体是很难找到的，只不过是理想中的一个条件，实际上如果摩擦力远远小于其他外力时，摩擦力可以忽略不计.）

判断摩擦力的方向有三种方法：

①摩擦力方向与物体间相对运动方向(或相对运动趋势方向)相反.用这种方法时,应注意正确选择相对运动的参照物.即:当甲、乙两物有相对运动时,判定甲受的摩擦力方向时,应选乙为参照物,甲受的摩擦力方向与甲相对乙的运动方向相反.

如果是静摩擦力,可以假定两物接触面光滑时,看甲相对乙是否能滑动.如不滑动,就说明没有相对趋势,也就不存在静摩擦力.如有相对滑动,说明甲相对乙有此方向运动的趋势.甲受的静摩擦力方向与此方向相反.

②在物体受的其他外力的方向已知时,可以根据物体的运动状态,利用平衡或牛顿定律的知识判定该物体是否受摩擦力影响及判定摩擦力方向.

③两物体间的摩擦力总是成对出现的作用及反作用力.可以先选择受力较清楚的物体为研究对象,确定其受的摩擦力方向,再利用牛顿第三定律判断另一个物体受的摩擦力方向.

摩擦力方向总是与相对与之产生摩擦力的物体的运动方向相反,但并不意味着摩擦力总是与相对其他物体的运动方向相反.无论是滑动摩擦力还是静摩擦力,都可能与物体(相对地)的运动方向相同(作为使物体加速的"动力"),也可能与物体运动方向相反(作为"阻力").

摩擦力的大小:

①滑动摩擦力大小有决定式:$f=\mu N$.其中$\mu$为动摩擦因数,$N$为接触面间的弹力(即所谓"正压力").当物体所受的外力或运动状态变化时,弹力$N$的大小可能发生变化,因而滑动摩擦力大小也随之发生变化.所以说,摩擦力也是"被动力".

②静摩擦力的大小:静摩擦力也是"被动力".求静摩擦力的大小要通过分析物体受力.根据其运动状态利用平衡或牛顿运动定律来求出.

最大静摩擦力$f_m$是物体受到其他外力作用,两物间将要发生相对滑动而未滑动的临界状态时的摩擦力.当物体尚未达到这一临界状态时,物体受的实际的静摩擦力$f<f_m$.

最大静摩擦力大小与接触面间的弹力$N$成正比($f_m=\mu_0 N$).当$N$增大时,$f_m$增大.但是绝不意味物体实际受的静摩擦力$f$也随$N$的增大而增大.一般静摩擦力$f\neq\mu N$,在未达到最大静摩擦力时与接触面的弹力无关.

4. 力的合成和分解

力的合成和分解是为了研究力的作用效果时对物体受力进行等效处理的方法.

(1)力的合成

如果一个力作用在物体上的效果和几个力共同作用的效果相同,这一个力叫那几个力的合力.求几个力的合力叫力的合成.力是矢量,求合力应遵循求矢量和的法则,即平行四边形法则或三角形法则.

①平行四边形法则:两个力$F_1$与$F_2$的合力,就是以$F_1$与$F_2$两个矢量为邻边做平行四边形,其两力所夹的对角线矢量为两力的合力.如图1-2,设两力大小为$F_1$与$F_2$,夹角为$\theta$,合力大小为$F$,与$F_1$夹角为$\varphi$,则$F=\sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cos\theta}$,$\mathrm{tg}\varphi=\dfrac{F_2\sin\theta}{F_1+F_2\cos\theta}$.

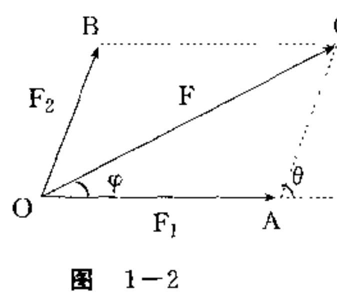

图 1-2

②三角形法则:是平行四边形法则的简化,即在图1-2中,由于$AC$边与$OB$边大小相等方向相同,所以只做出$\Delta OAC$就可以得到$OC$边(合力大小和方向).具体作法是:将$F_1$与$F_2$两矢量首尾相连,其合力大小和方向为从首端$O$指向最终末端$C$的矢量,如图1-3.

③两个力 $F_1$ 与 $F_2$ 的合力 $F$ 的大小的范围为 $|F_1-F_2|\leqslant F\leqslant F_1+F_2$，即当两力的方向相同时，合力最大；两力方向相反时合力最小；当两力不在一直线上时，合力大小在两者之间.

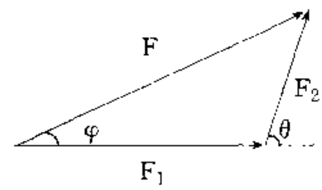

图 1—3

(2)力的分解：

力的分解是力的合成的逆运算，仍适于平行四边形法则或三角形法则.

①进行力的分解时，应根据力产生的效果确定两分力的方向.

②两分力的大小与两分力和已知力方向的夹角有关. 一个力的两个分力可能都远远大于该力，也可能都等于或小于该力，但是不可能同时小于该力的一半.

③求几个力的合力时，可以采用正交分解法求合力，即先把几个力都在直角坐标轴 $x-y$ 上分解，然后求出各力在 $x$ 轴与 $y$ 轴上的分力的矢量和 $\Sigma F_x$ 及 $\Sigma F_y$，最后求出这几个力的合力 $\Sigma F=\sqrt{(\Sigma F_x)^2+(\Sigma F_y)^2}$. 合力与 $x$ 轴的夹角为 $\varphi$，则：$\mathrm{tg}\varphi=\Sigma F_y/\Sigma F_x$.

5. 解决物体平衡问题的两种方法：

(1)正交分解法：

正交分解法是解决“只涉及力，不涉及运动过程”类型的习题时最常见的方法，其解题的步骤是：

①选研究对象，分析研究对象受的外力.

②根据受力情况和运动状态建立直角坐标 $x-y$.（选择坐标轴的方向的原则是：尽量使较多的力在轴上，使不在轴上的力越少，运算起来越简单.）

③找出不在轴上的力与轴间夹角与已知角的关系.

④根据运动状态，建立方程：$\begin{matrix}\Sigma F_x=0\\ \Sigma F_y=0\end{matrix}$.（如果不是平衡问题，在第三章说明）

(2)矢量图解法：

矢量图解法适于物体受三个共点力的平衡问题，其原理是：物体受几个共点力而平衡时，其中任何一个力必为其他几个力的合力的平衡力. 其解题步骤为：

①选研究对象，分析受力.（受三个力平衡可用此方法）

②作三力平衡的矢量图. 以已知力的平衡力为对角线，以两未知力的方向为邻边作平行四边形，找到两分力的矢量线段.

③利用三角函数或相似三角形对应边成比例等几何知识解出两未知力大小.

**(二)典型例题分析**

**例 1** 质量均匀分布的绳子重量为 $G$，两端挂在等高的 $A$、$B$ 两个钉子上，绳 $A$、$B$ 两点的切线方向与水平方向夹角为 $\theta$，如图 1—4 所示. 求绳子中点的张力为多大？

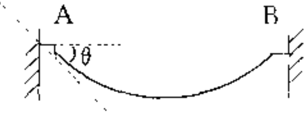

图 1—4

解析：本题的关键是如何选择研究对象. 如果选整根绳子为研究对象，分析受力时涉及不到中点的张力. 而选中点，又涉及不到已知量. 所以，应选半根绳子为研究对象，如图 1—5 所示. 半根绳子受重力 $\frac{1}{2}G$，钉子的拉力 $T$ 和另一半绳子对它的拉力 $T_中$. 由正交分解法得

$$\begin{cases} T_{中}=T\cos\theta & ① \\ \frac{1}{2}G=T\sin\theta & ② \end{cases}$$ 由①②解得 $T_{中}=\frac{1}{2}G\mathrm{ctg}\theta$.

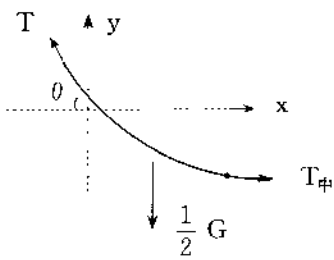


图 1－5

**例 2** 图 1－6 装置中，各滑轮质量和摩擦都不计，板 $AB$ 和下面物体总重量为 $G$，1、2、3 三条绳子沿竖直线，求拉力 $F$ 为多大可保持整个系统静止.

解析：以 $AB$ 板和重物为研究的物体系. 向下受重力 $G$，向上的三条绳子的拉力分别为：第 1 根为 $F$，第 2 根拉力为 $2F$(以最下面滑轮为研究对象可得出)，第 3 根为 $4F$(以中间滑轮为研究对象可得出). 故：$F+2F+4F=G$

得：$F=\frac{1}{7}G$.

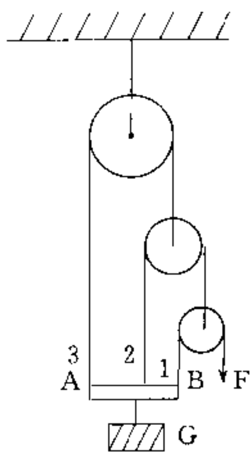


图 1－6

**例 3** 把两根劲度系数分别为 $K_1$ 及 $K_2$ 的弹簧首尾连接起来组成一个新的弹簧，求新弹簧的劲度系数 $K$ 与 $K_1$、$K_2$ 的关系.

解析：设两根簧连结后，用 $F$ 的力拉弹簧时，总的伸长量为 $x$，每根原来的弹簧伸长量各为 $x_1$ 和 $x_2$. 则：$x=x_1+x_2$ ①

又因为弹簧上各点的弹力大小都相同，即 $F=F_1=F_2$ ②

根据胡克定律：$x_1=\frac{F_1}{K_1}$，$x_2=\frac{F_2}{K_2}$，$x=\frac{F}{K}$，把这三式代入①式，为：$\frac{F}{K}=\frac{F_1}{K_1}+\frac{F_2}{K_2}$ ③

由②、③式消去 $F$、$F_1$ 和 $F_2$，得：$\frac{1}{K}=\frac{1}{K_1}+\frac{1}{K_2}$.

**例 4** 图 1－7 所示的 $Q$ 为一水平传送带，保持以速率 $v_1$ 向右匀速运动，挡板 $P$ 垂直传送带竖直放置保持静止不动. 紧靠挡板有一个质量为 $m$ 的物体，它与传送带间的动摩擦因数为 $\mu$，与挡板 $P$ 间摩擦力可忽略不计，现给物体作用一个水平推力 $F$，使它可以贴着挡板垂直 $v_1$、以速率 $v_2$ 从挡板一端滑向另一端. 求水平推力 $F$ 的大小及挡板弹力大小.

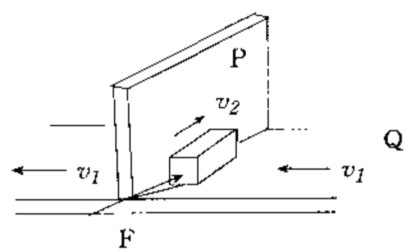


图 1－7

解析：选物体为研究对象，它在竖直方向上受重力 $mg$ 和支持力 $N_1$，$N_1=mg$. 在水平方向上受三个力：$F$、挡板的弹力 $N_2$ 及传送带对它的滑动摩擦力 $f$，其中 $f=\mu N_1=\mu mg$①，摩擦力 $f$ 的方向与物体相对于传送带的速度方向相反. 由于物体相对传送带有两个方向的分速度，一个是 $v_y=v_2$ 垂直传送带运动方向，以传送带为参照物；另一分速度 $v_x$ 相对于传送带以 $v_1$ 向右，其大小 $v_x=v_1$，故物体相对传送带的运动方向为 $v_x$ 与 $v_y$ 的合速度的方向. $v$ 与 $v_x$ 夹角为 $\theta$ 如图 1－8 所示. 而 $f$ 的方向与物体相对于传送带的合速度方向相反.

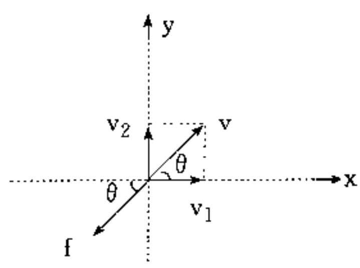


图 1－8

所以物体在水平面受的三个力如图 1－9 所示，用正交分解法由 $\Sigma F_y=0$，可得 $F=f\cdot\sin\theta$ 其

中 $\sin\theta=\frac{v_y}{v}=\frac{v_2}{\sqrt{{v_1}^2+{v_2}^2}}$，$f=\mu mg$

故 $F=\mu mgv_2/\sqrt{{v_1}^2+{v_2}^2}$.

同样：由 $\Sigma F_y=0$，可得 $N_2=f\cos\theta=\mu mgv_1/\sqrt{{v_1}^2+{v_2}^2}$.

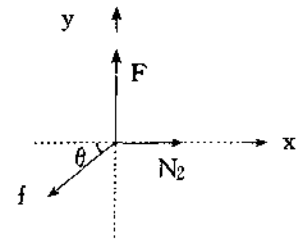

图 1－9

解完本题，同学应对摩擦力的大小和方向有更进一步的认识，同时也对摩擦力和弹力的“被动性”有更深的了解. 显然如果本题物体沿挡板的速率 $v_2$ 越大，摩擦力与 $x$ 轴夹角 $\theta$ 也越大，这样保持匀速运动时推力 $F$ 也要增大而挡板的弹力 $N_2$ 随 $v_2$ 增大而减小.

**例 5** 在“共点力合成”实验中，把橡皮筋一端 $P$ 固定，另一端被两个弹簧秤拉至 $O$ 点，如图 1－10 所示. 现在要这端始终位于 $O$ 点，并在保持 $F_2$ 读数不变的同时沿顺时针转过一定角度，相应地使另一弹簧秤的拉力大小 $F_1$ 及图中 $\theta$ 角作以下哪些变化是可能的 （ ）

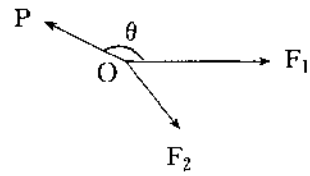

图 1－10

A. 增大 $F_1$ 的同时增大 $\theta$ 角. B. 增大 $F_1$ 的同时保持 $\theta$ 角不变.

C. 增大 $F_1$ 的同时减小 $\theta$ 角. D. 减小 $F_1$ 的同时减小 $\theta$ 角.

解析：利用平行四边形法则做出矢量图，如 1－11 所示. “保持 $O$ 点不动”即保持 $F_1$ 与 $F_2$ 的合力 $F$（矢量$\overrightarrow{OC}$）大小和方向不变. 根据三角形法则，合力 $F$ 是由 $F_1$、$F_2$ 首尾连接后，从首端 $O$ 指向末端 $C$ 的矢量. 现将 $F_2$ 大小不变地顺时针转动，就相当于 $AC$ 边以 $C$ 为轴、以 $AC$ 长为半径顺时转动，其 $A$ 点所画的圆弧上任何一点都可能是矢量 $F_1$ 的末端. 由图 1－11 可看出，当选 $A_1$、$A_2$、$A_3$ 等不同点时，作出的 $F_1$ 的矢量$\overrightarrow{OA_1}$、$\overrightarrow{OA_2}$、$\overrightarrow{OA_3}$ 的大小均大于 $OA$（不可能小于 $F_1$），而 $\theta$ 则可以小于 $\theta$，等于 $\theta$ 或大于 $\theta$. 此答案应为 $A$、$B$、$C$.

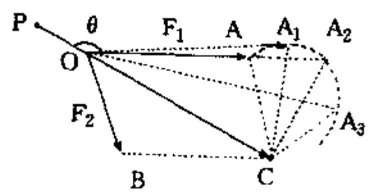

图 1－11

本题也可以直接以 $O$ 为圆心，以$\overrightarrow{OB}$为半径顺时作圆弧，其圆弧上任一点到 $C$ 点的矢量均为 $F_1$ 的可能值，也可得出同样结论. 只不过 $\theta$ 角的变化不如图 1－11 更直观.

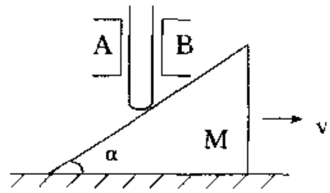

图 1－12

**例 6** 图 1－12 所示的斜面体质量为 $M$，倾角为 $\alpha$，放在水平地面上，与地面的动摩擦因数为 $\mu$，一表面光滑的重杆与周围物体摩擦都不计，在 $A$、$B$ 的约束下可上下自由移动. 当重杆质量 $m$ 为多少时，可使斜面体匀速向右滑动？

解析：当斜面体匀速向右运动时，重杆在 $A$、$B$ 的约束下一定也匀速下落（设斜面体每秒向右位移为 $x$，则重杆每秒向下位移 $x\mathrm{tg}\alpha$ 也是常量），因此重杆也作匀速直线运动也处于平衡状态.

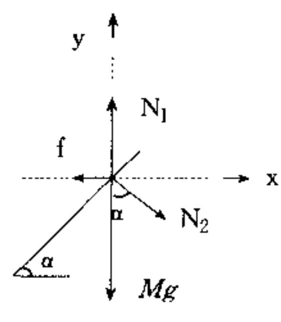

图 1－13

选斜面体为研究对象，共受 4 个力：重力 $Mg$，地面的支持力 $N_1$，杆对它的压力 $N_2$ 及地面对它摩擦力 $f=\mu N_1$. 建立直角坐标 $x-y$，如图 1—13，其中不在轴上的力只有 $N_2$，它与 $y$ 轴夹角为 $\alpha$.

由 $\Sigma F_x=0$，得 $N_2\sin\alpha=\mu N_1$①由 $\Sigma F_y=0$，得 $N_1=N_2\cos\alpha+Mg$②. 由方程①②可解出：$N_2=\mu Mg/(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)$. ③

再选重杆为研究对象，如图 1－14. 由于约束体 $A$、$B$ 对重杆的弹力只有水平方向上的力. 重杆在竖直方向上只受重力 $mg$ 和斜面对它支持力 $N'_2$ 的竖直分力 $N'_2\cos\alpha$，由 $\Sigma F_y=0$，$N'_2\cos\alpha=mg$. 由牛顿第三定律，$N'_2=N_2$，即 $N_2=mg/\cos\alpha$④. 比较③、④两式. 可得：$m=\mu M\cos\alpha/(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)$.

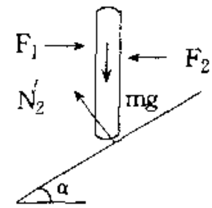

图 1－14

请体会本题的解题思路和步骤，即灵活地选择研究对象（先选已知量较充分的斜面体为研究对象，再选涉及所求量的物体为研究对象）正确地分析各研究对象受力，根据分析出物体的运动状态——平衡，利用正交分解法分别求出 $N_2$ 及 $m$.

另外，重杆受的力虽然不是共点力，但它只做平动（且匀速运动），因此也可以用平衡方程 $\Sigma Fy=0$ 来解决问题.

# 第二章　直线运动

## 教材解析

### （一）重点难点分析

1. 抓主要因素，忽略次要因素是研究物理问题的基本方法之一．实际物体可否看做质点，视具体情况而定．当物体的形状和大小对实际运动中要研究的主要问题没有影响时，可以忽略形状和大小，物体可以看做质点．

2. 选择不同的参照物，物体运动情况可能不同．研究物体的运动时，首先要选好参照物．

3. 处理一条直线上的矢量加减运算，最容易忽略的就是方向问题．运算前，必须明确正方向．

4. 关于平均速度和平均速率（在曲线运动中，一般不用平均速度的概念）．

(1)瞬时速率总等于瞬时速度大小．因为 $v_{瞬}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$，当 $\Delta t\to 0$ 时，路程等于位移大小．但不能说，平均速率总等于平均速度大小．因为在曲线运动中，路程不等于位移大小．

(2)在匀变速直线运动中，遇到计算时，可巧用平均速度公式 $\bar{v}=\dfrac{v_0+v_t}{2}$，这将会使运算简化．

5. 对运动学问题，要善于根据题意建立运动图景，画出草图，使运动过程直观．

(1)刹车问题中，建立运动图景时，注意车不能刹车倒回去．

例如，某人骑自行车以 4m/s 的速度匀速前进，某时刻在他前面 7m 处以 10m/s 的速度同向行驶的汽车开始关闭发动机，以 $2\text{m/s}^2$ 的加速度减速前进，此人需多长时间才能追上汽车．

题中汽车匀减速运动的时间 $t=\dfrac{v_0}{a}=5\text{s}$，此时汽车距人初始位置的位移 $s=s_0+(v_0t-\dfrac{1}{2}at^2)=32\text{m}$．时间 $t$ 内人骑车前进距离 $s'=vt=20\text{m}<s$，这说明骑车的人在汽车停下来以后才能追上汽车，故追上所需时间 $t'=\dfrac{s}{v}=8\text{s}$

此类问题常犯错误是直接建立位移相等的方程：$v_{人}t=s_0+v_0t-\dfrac{1}{2}at^2$

解得　$t_1=7\text{s}$　　　$t_2=-1\text{s}$（舍去）　所求时间之所以小于 8s，是因为解法中的汽车刹车倒回去了一段，这显然不符合实际．

(2)追及问题中，追者与被追者速度相等时，经常是二者距离有最大值或最小值的临界条件．

(3)相遇问题中，同向运动的两物体追及即相遇．相向运动的相遇，是二者的位移绝对值之和等于开始时两物体间的距离．

6. 解决末速度为零的匀减速直线运动的问题，可以采用逆推法．

7. 善于利用初速为零的匀加速直线运动的比例关系．

当 $v_0=0$ 时，由 $s=\dfrac{1}{2}at^2$ 得 $s\propto t^2$　$t\propto\sqrt{s}$

由 $v_t=at$ 得 $v_t\propto t$

由 $v_t^2=2as$ 得 $v_t\propto\sqrt{s}$，$s\propto v^2$

例如，在求连续相等 $t$ 时间的位移之比时，如图 2－1 所示．从 $s_2$ 开始初速就不为 0，我们可以先求出前 $t$ 秒、前 $2t$ 秒、前 $3t$ 秒的位移之比．

由 $s \propto t^2$ 得 $s_{Ⅰ} : s_{Ⅱ} : s_{Ⅲ} = 1:4:9$

则 $s_1 : s_2 : s_3 = s_{Ⅰ} : (s_{Ⅱ} - s_{Ⅰ}) : (s_{Ⅲ} - s_{Ⅱ}) = 1:3:5$

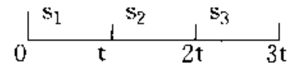


图 2—1

8. 解决竖直上抛运动问题，要善于利用其对称规律.

例如，从同一高度同时以 $v_0$ 抛出两小球，甲竖直下抛，乙竖直上抛，不计空气阻力，落地时间差是多少.

由于乙竖直上抛后，从落回原处时起，以后的运动与甲完全相同，所求时间差即为乙从竖直上抛到落回原处的时间，$\Delta t = \frac{2v_0}{g}$.

9. 善于利用 $v-t$ 图象解决直线运动问题. 例如追及情况中，两个速度图线的交点是量变到质变的转折点. 这类问题将在后面的典型例题中详细说明.

10. 对于较复杂的物理过程，解决此类问题，善于用归纳法和演绎法.

从某些个别物理现象或特殊物理过程出发可以推论出具有普遍意义 的一般性结论，这种从个别到一般，从特殊到普遍的逻辑推理方式叫归纳法. 与归纳法的思维程序相反，从某个具有普遍意义的一般原理出发，也可以推论出某一个别的物理现象或特殊的物理过程，这种从一般到个别，从普遍到特殊的推理方式叫演绎法.

当我们解决物理问题时，根据物理概念或规律分析题目描述的物理现象，使用的是演绎法；根据题目描述的物理现象推导出某些一般性的结论，使用的是归纳法，归纳法和演绎法的交互应用，是我们解决问题常见的思维方式. 下面我们通过两道直线运动的题目说明一下：

例如，一列火车由等长的车厢构成，车厢之间间隙不计，一人站在站台上与第一节车厢的最前端相齐，当列车由静止开始做匀加速直线运动时开始计时，测得第一节车厢通过的时间为 2$s$，则他测得从第 5 节（第 4 节尾）至第 16 节（第 16 节尾）车厢通过的时间为多少 $s$？

题中每节车厢等长，计算的是初速为零的匀加速直线运动每段等长位移上的时间问题. 简便的办法是先用归纳法找出任意一节车厢通过的时间，这样可用演绎法求出任意的几节车厢通过的时间.

设 $n$ 节车厢通过的时间为 $t_n$，每节车厢长为 $s$，列车运动的加速度为 $a$，则第 1 节车厢通过的时间 $t_1$ 应满足 $s = \frac{1}{2}at^2$，即 $t_1 = \sqrt{\frac{2s}{a}}$，第二节车厢通过的时间 $t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 2s}{a}} - t_1 = (\sqrt{2} - 1)\sqrt{\frac{2s}{a}}$，由此可知第 $n$ 节车厢通过的时间为

$$t_n = (\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) \cdot \sqrt{\frac{2s}{a}} = (\sqrt{n} - \sqrt{n-1})t_1$$

故第 5 节至第 16 节车厢通过时间 $t = t_5 + t_6 + \cdots\cdots + t_{16}$

所以 $t = (\sqrt{16} - \sqrt{4})t_1 = 4(\text{s})$

下面再举一个演绎法与归纳法结合使用的例子.

一弹性小球自 4.9m 高处自由落下，当它与水平面每碰撞一次后，速度减小到碰前的 7/9，试计算小球从开始下落到停止运动所用时间？

题中每碰撞一次后小球做竖直上抛运动，可分为上升和回落两个阶段，不计空气阻力，这两段所用时间和路程均相等.

小球原来距桌面高度为 4.9m；用 $h_0$ 表示，下落至桌面时的速度 $v_0$ 应为：

$$v_0 = \sqrt{2gh_0} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 4.9} = 9.8(\text{m/s})$$

下落时间为 $t_0 = \sqrt{2h_0/g} = \sqrt{2 \times 4.9/9.8} = 1(\text{s})$

首先用演绎法：小球第一次与桌面相碰，那么第一次碰撞桌面后小球的速率 $v_1=v_0\times 7/9$(m/s)第一次碰撞桌面后上升、回落需要用时间 $2t_1=2v_1/g=(2\times v_0/g)\times\frac{7}{9}=2\times 7/9$(s)

再用归纳法，小球第二次和桌面相碰，那么第二次碰撞桌面后小球的速率 $v_2=v_1\times 7/9=(v_0\times 7/9)\times 7/9=v_0\times(7/9)^2$(m/s). 第二次碰撞后上升、回落需要用时间 $2t_2=2v_2/g=2\times(7/9)^2$(s). 依此类推可得：小球第 $n$ 次和桌面碰撞后上升、回落需用时间 $2t_n=2\times(7/9)^n$(s)

所以小球从开始到下落，$n$ 次碰撞直到静止所用总时间为：

$$T=t_0+2t_1+2t_2+\cdots+2t_n$$

$$=1+2\times\frac{7}{9}+2\times(\frac{7}{9})^2+\cdots+2\times(\frac{7}{9})^n$$

$=1+2\times[\frac{7}{9}+(\frac{7}{9})^2+\cdots+(\frac{7}{9})^n]$. 括号内的等比数列 $a_1=\frac{7}{9}$　公比 $q=\frac{7}{9}$，

无穷递减等比数列的和为 $\frac{a_1}{1-q}=\frac{7}{2}$，故所求时间 $T=1+2\times\frac{7}{2}=8$s.

**(二)典型例题分析**

**例 1**　下列情况中的物体，可以看做质点的是：

A. 研究绕地球飞行时的航天飞机　　B. 研究汽车后轮上一点运动情况的车轮

C. 研究从北京开往上海的一列火车　　D. 研究在水平推力下沿水平地面运动的木箱

解析：A 中航天飞机做的是曲线运动. 很多学生以为曲线运动就不是平动，其实只要物体各部分运动情况一样，就是做平动. A 中航天飞机做的是平动，可以视为质点；B 中汽车后轮上一点的运动情况，由于车轮上各点运动情况不一样，各点都绕轴做转动，不可以视为质点；C 中研究由北京到上海的一列火车，平动可以视为质点；D 中木箱平动可以视为质点；故选 A、C、D.

**例 2**　一个加速直线运动的物体，加速度逐渐减小到零，该物体的运动情况可能是：

A. 速度不断减小，当 $a=0$ 时运动停止；

B. 速度不断减小到 0，然后向反方向做加速运动，最后做匀速运动；

C. 速度不断减小，当 $a=0$ 时速度减到最小，而后物体做匀速运动；

D. 速度不断增大，当 $a=0$ 时速度达到最大，而后做匀速运动.

解析：注意我们不能把速度的变化等同于加速度的变化. 加速直线运动的物体，加速度逐渐减小，但仍然与初速度方向相同，因此仍然是加速运动，只是速度比原来增大的慢一点. 最后，$a=0$ 时，物体速度增到最大值，物体做匀速直线运动，故选 D.

**例 3**　气球以 15m/s 的速度匀速上升，当它离开地面 200m 时，悬挂物体的绳子突然断开，使物体脱离气球，问物体经多长时间落回地面，落地速度是多么？($g$ 取 10m/s$^2$)

解析：设竖直向上为正

$$h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2=15t-10t^2/2=-200(\text{m})$$

解得 $t=8$(s)　　$v_t=v_0-gt=15-10\times 8=-65(\text{m/s})$

注意，描写机械运动的三个物理量 $s$、$v$、$a$ 都是矢量，不仅有大小，还有方向. 在直线运动中，设某方向为正，$s$、$v$、$a$ 三个量与之同向为正，与之反向为负. 本题中，以物体脱离气球处为原点，以竖直向上为正，物体落地点在原点的下方，则物体运动全过程的位移是负值，$h$ 应取 $-200$m，运用速度公式求出的末速度为负值，说明速度方向竖直向下，这里的正负号描写的是矢量的方向.

**例 4**　已知 $\alpha=53°$，$\beta=37°$，$h=24$m，$v$ 的大小为 10m/s，方向水平向右，问船从 $A$ 到 $B$ 的过程，

它的平均速率为多少.

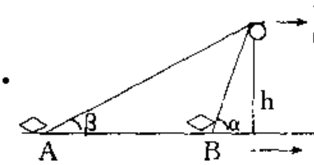

图 2—2

解析：根据平均速率$=\dfrac{路程}{时间}$，题中路程即$|AB|=h\cdot \mathrm{ctg}\beta-h\cdot \mathrm{ctg}\alpha$

时间即绳子末端$C$移动的时间，$t=\dfrac{h/\sin\beta-h/\sin\alpha}{v}$

因此 $\bar{v}=\dfrac{|AB|}{t}$ $\qquad \bar{v}=\dfrac{24(4/3-3/4)}{24(5/3-5/4)}\times 10=14\mathrm{m/s}$

**例 5** 物块以一定初速度从一光滑斜面底端$a$点上滑，最高可滑至$b$点，$c$是$ab$中点，如图2—3所示，已知物块由$a$至$c$需时间为$t_0$，问从$c$经$b$再回到$c$需时间是多少.

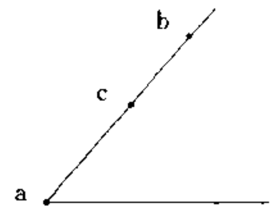

图 2—3

解析：此题采用逆推法，可将滑块的运动视为由$b$点开始下滑的匀加速运动，已知通过第二段相等位移的时间为$t_0$，则求出经过第一段相等位移$bc$所需时间$t_{bc}$，那么$2t_{bc}$就是所求时间.

再利用初速为0的匀加速直线运动、在通过连续相等位移所用时间之比的公式

$t_{bc}:t_0=1:(\sqrt{2}-1)$，因此，$t_{bc}=\dfrac{1}{\sqrt{2}-1}t_0=(\sqrt{2}+1)t_0$，那么该题所求时间为

$2t_{bc}=2(\sqrt{2}+1)t_0$. 若该题采用匀变速运动中的有关公式求解，就麻烦多了.

**例 6** 在平直公路上一辆汽车以15m/s的速度做匀速直线运动，从某一时刻开始刹车，在阻力作用下，汽车以$2\mathrm{m/s^2}$加速度做匀减速直线运动，问刹车后第10s末汽车距离刹车点多远？

解析：题意明确说明汽车做匀减速直线运动直至停止. 实际情况是刹车停下来不会自动返回，刹车后经$t$秒停下，$t\leqslant 10\mathrm{s}$或$t\geqslant 10\mathrm{s}$可以据计算决定，有了$t$值与10s对比后才能用位移公式求s. 直接用位移公式$s=v_0t-\dfrac{1}{2}at^2$代入10s不一定正确；若刹车时间$t\geqslant 10\mathrm{s}$就正确；若$t<10\mathrm{s}$就错误.

**解法一** $v_tv_0-at\Rightarrow t=7.5\mathrm{s}$ $\quad 7.5\mathrm{s}<10\mathrm{s}$那么题目中10s的后2.5s车是停着的，因此刹车距离$s=v_0t-\dfrac{1}{2}at^2=15\times 7.5-\dfrac{1}{2}\times 2\times 7.5^2=56.25\mathrm{m}$

**解法二** 由$v_t=v_0-at\Rightarrow t=7.5\mathrm{s}$ $\quad vt=0$ $\qquad v_0=15\mathrm{m/s}$由$s=\dfrac{v_0+v_t}{2}\cdot t=56.25\mathrm{m}$

**解法三** 作$v-t$图像，可得刹车时间$t$为7.5s，刹车距离$s$可用图2—4中三角形的面积求.

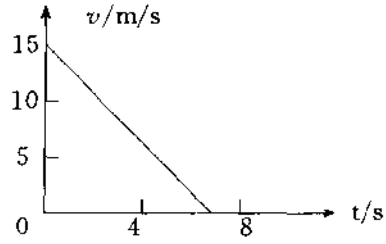

图 2—4

说明：有同学说，用$v_t^2=v_0^2+2as$求$s$，$0=15^2-2\times 2s\Rightarrow s=56.25\mathrm{m}$好像很简单，这种思维有片面性，例如题目中给出的时间$t<7.5s$时，就不能用这一公式，它跟用$s=v_0t-\dfrac{1}{2}at^2$代入10s求出$s=50\mathrm{m}$的错解一样，都是对匀速直线运动的基本公式理解不透彻的表现.

公式 $v_t=v_0+at$，$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 的应用，务必只有在 $t$ 内 $a$ 不变，在 $v_0$ 到 $v_t$ 的过程中 $a$ 不变，在 $s$ 内 $a$ 不变才能用. 同理辅助公式 $v_t^2=v_0^2+2as$ 也一样. 结合本例就能深刻理解公式的适用条件. 本例 $t=10s$ 内 $a$ 变了，前 7.5s 内 $a=2m/s^2$，后 2.5s 内 $a=0$，所以代入 $t=10s$ 结果是错的. 那么用 $vt^2=v_0^2+2as$ 为什么得出了正确结果呢？在 $v_0=15m/s$ 到 $v_t=0$ 过程中 $a=2m/s^2$ 没有变化，并且在 $t=10s$ 内 $v_t$ 已等于 0，才得出了正确解. 如果题目改为 $t=5s$，用 $0=v_t^2+2as$ 求出的 $s$ 就错了.

综合以上分析，解此类问题步骤是：先用速度公式求刹车停下的时间 $t$，跟题目给出的时间 $t_0$ 比较，若 $t\leqslant t_0$，用平均速度公式 $s=\frac{v_0}{2}\cdot t$ 求 $s$；若 $t\geqslant t_0$，则用 $s=v_0t_0-\frac{1}{2}at_0^2$ 求 $s$. 或用题目给出的 $t_0$ 代入速度公式 $v_t=v_0-at_0$ 求出 $v_t$，其中若 $v_t\geqslant 0$ 用 $s=(v_0+v_t)/2\cdot t$；若 $v_t<0$ 则用 $v_0^2=2as$ 求 $s$.

**例 7** 甲乙两车同时从同一地点出发，甲以 16m/s 的初速度、$2m/s^2$ 的加速度做匀减速直线运动；乙以 4m/s 的初速度、$1m/s^2$ 的加速度和甲同向做匀加速直线运动，求两车再次相遇前两车相距的最大距离和再次相遇时两车运动的时间.

解析：第一种方法，两车同时同向出发，开始由于甲车速度大于乙速度，将使两车距离拉开. 由于甲车做匀减速运动，乙车做加速运动，总有一时刻两车速度相同，此时两车相距最远. 随着甲车进一步减速，乙车进一步加速，乙车速度大于甲车速度，使两车距离变小. 当乙车追上甲车时，两车运动位移相同.

当两车速度相同时，两车相距最远，此时两车运动时间为 $t_1$，速度为 $v_1$，则：

$v_1=v_甲-a_甲 t_1$　　$v_1=v_乙+a_乙 t_1$　　则 $t_1=\frac{v_甲-v_乙}{a_甲+a_乙}=\frac{16-4}{2+1}=4(s)$

此时两车相距 $\Delta s=s_1-s_2=(v_甲 t_1-\frac{1}{2}a_甲 t_1^2)-(v_乙 t_1+\frac{1}{2}a_乙 t_1^2)$

$$=(16\times4-\frac{1}{2}\times2\times4^2)-(4\times4+\frac{1}{2}\times1\times4^2)=24m.$$

当乙车追上甲车时，两车位移均为 $s$，运动时间为 $t$，则　$v_甲 t-\frac{1}{2}a_甲 t^2=v_乙 t+\frac{1}{2}a_乙 t^2$

解得：$t_1=0$；$t_2=8s$. $t_1=0$ 不合题意，舍去.

**解法二** 甲车运动位移为 $s_甲$，则 $s_甲=v_甲 t-\frac{1}{2}a_甲 t^2$，乙车位移为 $s_乙$，则 $s_乙=v_乙 t+\frac{1}{2}a_乙 t^2$.

某时刻两车相距 $\Delta s$，则 $\Delta s=s_甲-s_乙=(v_甲-v_乙)t-\frac{1}{2}(a_甲+a_乙)t^2=12t-3/2t^2$.

当 $t=-\frac{12}{2\times(-3/2)}=4s$ 时两车相距最远，此时 $\Delta s=12\times4-3/2\times4^2=24m$.

当相遇时，$\Delta s=12t-3/2t^2=0$，解得 $t_1=0$(舍去)；$t_2=8s$.

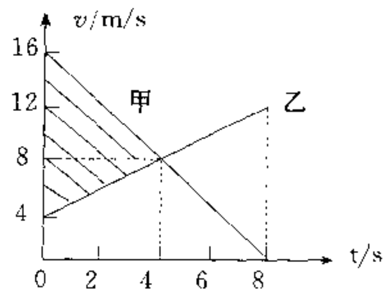

**图** 2—5

**解法三** 如图 2—5，做 $v-t$ 图象，4s 时，甲乙与 $t$ 轴围成的面积差最大，故 4s 时二者相距最远，相距距离即阴影面积，$s=\frac{1}{2}\times(16-4)\times4=24m$.

当 $t=8s$ 时，甲乙与 $t$ 轴所围面积相同，即 8s 时二者相遇.

通过以上分析，可以明显感到图象法解题的简捷.

# 第三章　牛顿运动定律

教材解析

**（一）重点难点分析**

1. 牛顿第二定律解题的基本方法和解题步骤

（1）基本方法：隔离法.

（2）解题步骤：①确定研究对象. ②受力分析：按场力（重力、电场力、磁场力）、弹力、摩擦力的顺序分析受力；对于接触力是否存在暂时不能确定时，可采用下列方法之一予以确定.

$a$. 看它的反作用力是否存在（转移研究对象）. $b$. 根据运动状态判定.

$c$. 假定此力不存在时，由受力物体的运动状态是否受到影响而判定.

③建立坐标系　常以加速度的方向或反方向为某一坐标轴的方向.

④正交分解法　把矢量的运算变成代数的运算，将各个力进行正交分解.

⑤列方程　$\Sigma F_x = ma_x$　$\Sigma F_y = ma_y$

⑥解方程　必要时讨论运算结果的物理意义.

2. 力、加速度、速度的关系

牛顿第二定律的精髓是力产生加速度，当物体受力情况发生变化时，其加速度跟着发生变化，而速度是一个靠加速度在时间上积累的物理量，在某一瞬间不能发生突变.

速度和力与加速度没有直接关系：合外力为零时，加速度为零，但速度不一定为零，速度可能很大；速度为零时，加速度也不一定为零；加速度与速度变化的快慢有关，加速度的方向与速度的变化的方向一致，而加速度不一定与速度方向一致.

3. 应用牛顿第二定律求解两类问题

第一类是已知物体的受力情况来确定物体的运动状态. 一般是应用牛顿第二定律先求出物体的加速度，再根据运动学公式求出物体在任意时刻的位置和速度.

第二类是已知物体的运动情况，求物体的受力情况. 一般是先由运动学公式求出物体的加速度、再应用牛顿第二定律求出物体所受的合力.

无论哪类问题都要紧紧抓住加速度这个联系动力学和运动学的“桥梁”、紧紧抓住受力分析这个解决问题的关键环节.

4. 圆周运动：（1）圆周运动的运动学问题

描述圆周运动的运动学物理量有线速度、角速度、向心加速度，它们之间的关系是用半径 $r$ 联系在一起的，如 $v=r\omega$、$a=r\omega^2=\frac{v^2}{r}$.

在分析传动装置的各物理量时，要抓住不等量和相等量的关系. 同轴的各点角速度相等，而线速度（$v=r\omega$）与半径 $r$ 成正比，通过皮带传动（在不考虑皮带打滑的情况下）或是齿轮传动时，皮带上或是皮带连接的两轮边缘的各点及齿轮上的各点线速度大小相等，而角速度（$\omega=\frac{v}{r}$）与半径 $r$ 成反比.

（2）圆周运动的动力学问题：①向心力：向心力就是做匀速圆周运动的物体所受外力的合力，它的作用是产生向心加速度，只改变线速度的方向，不改变线速度的大小. 因此，向心力对圆周运动的物体不做功. 它的大小可以表示为