高中奥林匹克

基 础 物 理 竞 赛 示 例

（第二版）

曹吉生　编著

复 旦 大 学 出 版 社

内　容　提　要

本书对高中物理教学中的重点、难点问题分 15 章作了解题示例，分章编选了自测题并在后面部分给出了 13 套上海市高一、高二基础物理竞赛试题。

本书可作为高中各年级学生参加各省市基础物理竞赛和奥林匹克全国物理竞赛预赛的赛前培训资料，也可作为重点大学提前招生考试的复习资料，并对高考复习也有帮助。

前　　言

如果说《奥林匹克题典》和《通向金牌之路》丛书是培训运动员攀登世界最高峰——珠穆朗玛峰的话，那么，这本《高中奥林匹克基础物理竞赛示例》则是一本登泰山、游黄山和庐山的旅行指南。千里之行始于足下，要夺取奥赛金牌，必须从基础物理竞赛培训开始。从20世纪90年代初至今，由上海市教育委员会教学研究室、上海市教育学会物理教学专业委员会、上海市浦东新区教育科学研究所、上海市教育学院物理系联合举办了高一、高二两个年级7届基础物理竞赛，每次都有上万名高中学生踊跃参赛，产生了广泛而深远的影响。

基础物理竞赛80%为高考考纲范围内的，20%为竞赛要求。有些内容虽然超出高中物理试用教材的范围，但属自然延伸和扩展。这对于在基础物理竞赛中脱颖而出的优秀生参加全国奥林匹克物理竞赛却是必不可少的，而对于报考各类理科重点大学的学生也一定大有裨益。

本书从高考资料和竞赛资料中精选例题，希望对开拓解题思路、建立物理模型、分析物理问题、运用数学工具、寻找最佳解法等方面作出一些示例。每章的自测题用以巩固学到的知识，熟练解题方法。本书最后在后面部分给出了13套历届竞赛试题，让读者检验自己学习成果，我们预祝本书的每一位读者在今后的竞赛和高考中获得成功的喜悦！

本书作者是复旦大学附属中学物理高级教师，有30年高中物理教学经验，多年来带教理科班，指导物理竞赛已取得上海市6次

物理竞赛团体第一名，是第四届全国力学竞赛上海市领队兼教练，第十三届和第十六届全国奥林匹克物理竞赛上海市领队，培养了一批在思维能力、动手能力、创造能力方面具有高素质的特优学生。本书是作者在竞赛培训中的一些经验积累，奉献给读者，以起抛砖引玉、推陈出新的作用。

本书编写过程中，得到复旦大学出版社、复旦附中物理教研组、上海市杨浦区教育学院中学物理教研室和浦东新区教育科学研究所的帮助和鼓励，在此一并致谢！

编　者

2001年3月

目　　录

第一章　静　力　学

一、解题思路指导

［例 1］　如图 1－1，一块冰悬挂在支架上，天平平衡。问：（1）当放长绳子，让冰块逐渐浸入水中时，天平是否平衡？（2）当冰块在杯中全部融为水时，天平还平衡吗？（3）如果冰块不是悬在支架上而是拿在手里，当逐渐浸入水中时，天平平衡吗？

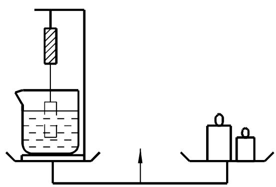


图 1－1

［分析］　冰块进入水中，冰受到水的浮力，绳子张力 T 变小，绳对支架向下的拉力变小，但是任何一个力都有反作用力，浮力的反作用力向下作用在水里，使杯底压力增大。左边天平盘受到杯和支架的总压力不变，天平平衡。同理，冰融化了，杯中水的重量增大，支架上绳的拉力没有了，但总压力不变。如果冰拿在手里逐渐放入水中情况就不同了，随着浮力增加，浮力的反作用力也变大，压在杯底，天平平衡破坏，向左边倾斜。

［注意］　可用整体法处理。左边杯水、冰绳和支架是一个系统，绳和冰，冰对水，水与杯之间的作用力反作用力都是系统内力。系统受外力大小不变，内力变化，天平始终保持平衡，而冰绳拿在手里，手上的力不是系统内力，故平衡被破坏。

［例 2］　如图 1－2 所示，放在斜面上的物体与斜面间的摩擦系数为 $\mu(\mu<\mathrm{tg}\theta)$，要使物体静止在斜面上，所加水平力 F 的大小为多少？

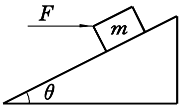


图 1－2

［分析］ 题中 $\mu < \mathrm{tg}\theta$，说明 $F = 0$ 时物体将从斜面上加速下滑，所以加上的水平力 F 至少要抵住物体不让下滑，但 F 太大，有可能推动物体使之沿斜面向上运动，因此 F 必然是在某一范围之内，即 $F_1 \leqslant F \leqslant F_2$。

［解］ $F_1\cos\theta = mg\sin\theta - \mu(mg\cos\theta + F_1\sin\theta)$

$$F_1 = \frac{\sin\theta - \mu\cos\theta}{\cos\theta + \mu\sin\theta}mg$$

$$F_2\cos\theta = mg\sin\theta + \mu(mg\cos\theta + F_2\sin\theta)$$

$$F_2 = \frac{\sin\theta + \mu\cos\theta}{\cos\theta - \mu\sin\theta}mg$$

$$\frac{\sin\theta - \mu\cos\theta}{\cos\theta + \mu\sin\theta}mg \leqslant F \leqslant \frac{\sin\theta + \mu\cos\theta}{\cos\theta - \mu\sin\theta}mg$$

［注意］ 要推动物体沿斜面向上运动的最小力 $F_{\min}$ 不是此题中的 F_2。$F_{\min} = mg\sin(\theta + \alpha)$，$F_{\min}$ 方向与斜面成 α 角斜向上。$\mathrm{tg}\alpha = \mu$，α 也叫摩擦角，有兴趣者可自行证明。

［例3］ 如图1–3a 所示，均匀光滑直棒一端用铰链装在水平地面上，另一端搁在立方体上，棒与地面夹角 α 为30°，现将立方体缓慢向左推，则棒对立方体的压力将（　　）

(A) 逐渐增大　　(B) 逐渐减小

(C) 先增大后减小　　(D) 先减小后增大

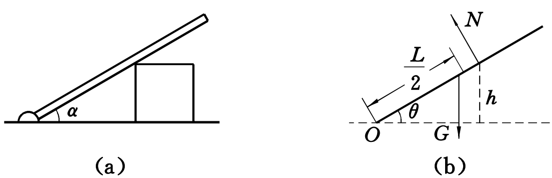


图 1－3

［分析］ 设棒长为 L，立方体高为 h，棒与地面夹角为 θ，如图 1－3b 所示。对 O 点力矩平衡：

$$G \cdot \frac{L}{2}\cos\theta = N \cdot \frac{h}{\sin\theta}$$

$$N=\frac{GL}{2h}\sin\theta\cos\theta=\frac{GL}{4h}\sin 2\theta$$

当 $\theta=45°$ 时，$N_m=\frac{GL}{4h}$。

［解］ 由分析可知，θ 从 30°→45°，N 逐渐增大；45°→90°，N 逐渐减小。应选(C)。

［例 4］ 如图 1－4a，AB 棒与 BC 棒用光滑的铰链铰在 B 点，A、C 也用光滑的铰链铰于墙上。BC 棒水平，AB 棒成 45°，两棒等长等重，每根棒重 $G=10$ 牛。求两棒在 B 点的相互作用力。

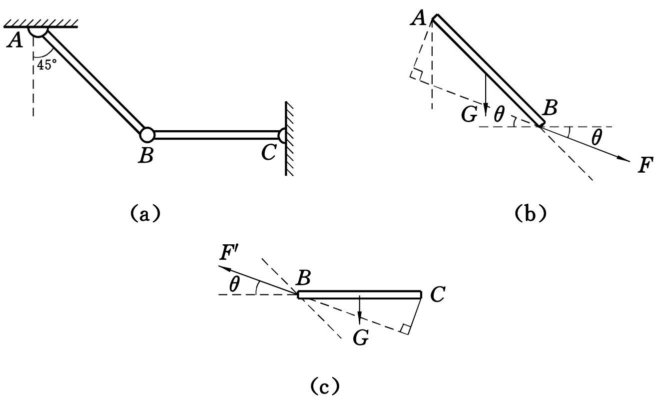


图 1－4

［分析］ 两棒在 B 点的力为一对作用力反作用力，大小相等 ($F=F'$)，方向相反，它们只能分别处在 2、4 象限的 45°夹角内。如图 1－4b、图 1－4c 所示。

［解］ 以 A 为轴

$$G\cdot\frac{L}{2}\sin 45°=FL\sin(45°-\theta) \quad ①$$

以 C 为轴

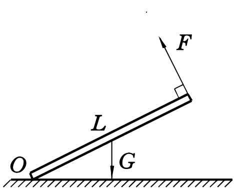
$$G\cdot\frac{L}{2}=F'L\sin\theta \quad ②$$

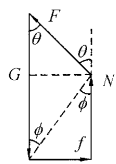
两式联立得 $\cos\theta = 2\sin\theta$

$$\mathrm{tg}\theta = \frac{1}{2}\text{，所以 }\sin\theta = \frac{1}{\sqrt{5}}$$

代入②式得 $F = \dfrac{G}{2}\dfrac{1}{\sin\theta} = 5\sqrt{5}$ **牛**

［例5］ 如图1－5a **所示，一根重为** G、**长为** L **的均匀木棒，一端着地，另一端用外力** F **垂直于棒拉，要使棒平衡，则棒与地面的摩擦系数** μ **至少为多大？**





（a） （b） （c）

图 1－5

［分析］ 设棒与水平地面夹角为 θ，**由一般物体平衡条件** $\sum F_x = 0$、$\sum F_y = 0$、$\sum M = 0$ **可得三个方程解出** μ **的关系式，也可由图** 1－5b **矢量多边形得出方程。或者如图** 1－5c **作出** f **和** N **的合力** P，**棒上三个力** G、F、P **共面，平衡时应交于一点。三种方法可以任选一种，但** $\sum F = 0$、$\sum M = 0$ **是最基本的方法。**

［解］ $F\sin\theta = f$ ①

$F\cos\theta + N = G$ ②

$FL = G \cdot \dfrac{L}{2}\cos\theta$ ③

由以上三式得到

$$f=\frac{\sin\theta\cos\theta}{2-\cos^2\theta}N=\frac{\sin\theta\cos\theta}{2\sin^2\theta+\cos^2\theta}N$$

即 $\frac{f}{N}=\frac{1}{2\mathrm{tg}\theta+\frac{1}{\mathrm{tg}\theta}}$。由基本不等式 $\frac{a+b}{2}\geqslant\sqrt{ab}$ 可知，

当 $2\mathrm{tg}\theta=\frac{1}{\mathrm{tg}\theta}$ 时，$\frac{f}{N}$ 有最大值 $\frac{1}{2\sqrt{2}}$。

因为 $f\to f_m$ 最大静摩擦力，所以 $\mu=\frac{f_m}{N}\geqslant\frac{f}{N}=\frac{1}{2\sqrt{2}}$，$\mu\geqslant\frac{1}{2\sqrt{2}}$ 为所求。

［注意］ $\mu=f_m/N=\mathrm{tg}\phi$，$\phi$ 为摩擦角，当 f 没有达到最大静摩擦力时，$\mathrm{tg}\alpha=f/N$，$\alpha\leqslant\phi$。

［例 6］ 如图 1－6a，两把相同的均匀梯子 AC 和 BC，由 C 端的滑动销连起来，组成人字形梯子，下端 A 和 B 相距 6 米，C 端离水平地面 4 米，总重 200 牛，一人重 600 牛由 B 端上爬，若梯子与地面的摩擦系数 $\mu=0.6$，问人爬到何处梯子就要滑动？

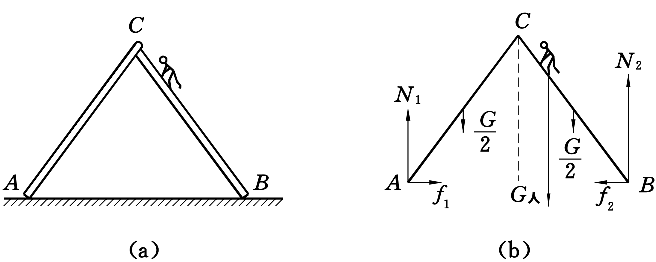


图 1－6

［分析］ 以 C 为轴，对 AC 和 BC 分别用 $\sum M=0$ 列式，可知 $N_2>N_1$，如图 1－6b 所示，所以 A 和 B 两点受地面的最大静摩擦力 $f_{Bm}>f_{Am}$，但整体 $\sum F_x=0$，$f_1=f_2$，所以当压力 N 变大时，f_1 先达到 f_{Am}，A 端先滑动。

［解］ 根据分析可知 A 端先达到最大静摩擦力，以 C 为轴，AC 力矩平衡，可列式

$$N_1 \cdot 3 = \mu N_1 \cdot 4 + \frac{G}{2} \cdot 1.5$$

得 $N_1 = 250$ 牛，根据人字梯整体的 $\sum F_y = 0$ 可知，$G_{人} + G = N_1 + N_2$，得 $N_2 = 550$ 牛。

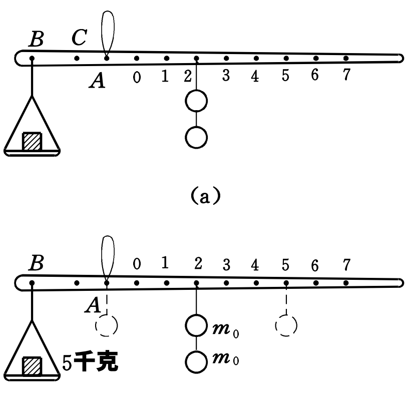
设人站在离 B 点 x 的地方，梯子开始滑动，以 C 为轴，由 BC 力矩平衡

$$N_2 \cdot 3 = f_2 \cdot 4 + \frac{G}{2} \cdot 1.5 + G_{人}(5 - x)\frac{3}{5}$$

因为 $\sum F_x = 0$，$f_2 = f_1 = 0.6N_1 = 150$ 牛，代入上式即得 $x = 2.5$ 米。

即人站在梯子中点时开始滑动。

［例 7］ 如图 1－7a 所示是一个零点在提纽右侧的杆秤。由于使用了一个质量是标准秤砣质量 2 倍的大秤砣，结果称物品时，使实际为 5 千克的物品读数成 2 千克，问读数为 3 千克时，实际为多少千克？若使用一个质量是标准秤砣质量一半的小秤砣，实际 2 千克读数为 5 千克，那么读数为 7 千克时实际为多少千克？



(a)

(b)

图 1－7

［分析］ 虽然在市场上电子秤已基本代替了我国古老的杆秤，但是简单的一杆秤却包含着不少平衡的学问，如大小提纽，大小秤砣，水银秤等。设标准秤砣质量为 m_0、秤的总质量为 m'（重心在 C 点）、被称物品质量为 M，以 A 为轴可列出下面几个平衡方程：

$$m'g\,\overline{AC} = m_0 g\,\overline{A0} \qquad ①$$

$$5g\,\overline{AB} = m_0 g\,\overline{A5} - m'g\,\overline{AC} \qquad ②$$

$$5g\,\overline{AB} = 2m_0 g\,\overline{A2} - m'g\,\overline{AC} \qquad ③$$

$$Mg\,\overline{AB} = 2m_0 g\,\overline{A3} - m'g\,\overline{AC} \qquad ④$$

由①②得 $\qquad 5\,\overline{AB} = m_0 g\,\overline{05}$

由③④得 $\qquad (M-5)\,\overline{AB} = 2m_0 g\,\overline{01}$

因为杆秤是刻度均匀的（请自行证明），$\overline{05} = 5 \cdot \overline{01}$，所以解得 $M = 7$（千克）。但是，对双倍大秤砣和一半小秤砣有更简单的方法解。

［解］ 因为 $2m_0$ 秤砣放在 2 千克刻度处可称 5 千克物品，那么把 $2m_0$ 分开，一个放在 5 千克刻度处，一个放到提纽 A 处（如图 1－7b 所示），相当于用一个标准秤砣称物，秤平衡，所以可知，此秤 $\overline{A2} = \overline{25}$，即 $\overline{A0} = \overline{01}$。当 $2m_0$ 放在 3 千克刻度处平衡，那么一个 m_0 移到 A 处，另一个对称位置应移到 7 千克刻度处才平衡，所称物品此时应为 7 千克。同理可知，把 $\frac{m_0}{2}$ 小秤砣放在 5 千克刻度处称得物品 2 千克，则 $\frac{m_0}{2}$ 放在 7 千克刻度处称得物品应是 3 千克。

［注意］ 此秤零刻度在提纽右侧，用 $2m_0$ 大秤砣的 2 倍读数做买卖，买者便宜，用 $\frac{m_0}{2}$ 小秤砣的一半读数，买者吃亏。而如果零刻度在提纽左侧，即在秤盘和提纽之间的杆称时，情况正好相反，用 $2m_0$ 大秤砣的 2 倍读数计算，买者吃亏，用 $\frac{m_0}{2}$ 小秤砣的一半读数，买者便宜。

［例 8］ 如图 1 - 8a 所示，两个完全相同质量为 m 的光滑小球 A、B 放在有竖直挡板的斜面上，斜面的倾角为 α，平衡时斜面对 B 球的弹力大小和挡板对 B 球的弹力大小各是多少？

［分析］ 此类题目运用隔离法进行受力分析和运用正交分解法 $\sum F_x = 0$、$\sum F_y = 0$ 建立两个方程就可解出。

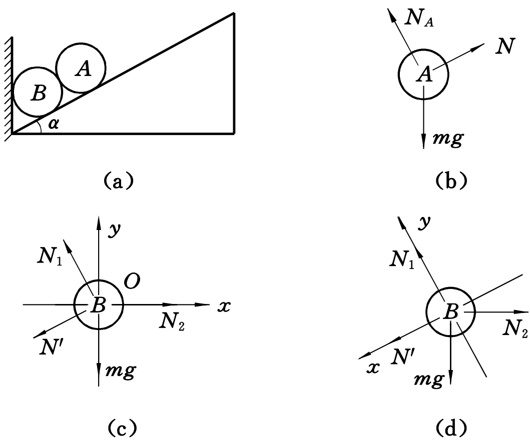


图 1 - 8

［解］ 由图 1 - 8b 可知，A 球受三个力平衡，其中 B 对 A 的弹力 $N = mg\sin\alpha$，B 球受四个力，重力 mg、A 对 B 的弹力 N'、斜面对 B 球的弹力 N_1 和挡板对 B 球的弹力 N_2，如图 1 - 8c 和图 1 - 8d所示。

因为 N 和 N' 为作用力反作用力，所以 $N' = N = mg\sin\alpha$ 。

由图 1 - 8c 建立 x、y 坐标正交分解，可得方程：

$$\begin{cases} N_2 = N_1\sin\alpha + mg\sin\alpha\cos\alpha \\ N_1\cos\alpha = mg + mg\sin^2\alpha \end{cases}$$

由图1-8d 建立 x、y 坐标正交分解，可得方程：

$$\begin{cases} 2mg\sin\alpha = N_2\cos\alpha \\ N_1 = mg\cos\alpha + N_2\sin\alpha \end{cases}$$

从以上两组方程组中都可解出

$$N_1 = mg(1 + \sin^2\alpha)/\cos\alpha$$

$$N_2 = 2mg\text{tg}\alpha$$

［**注意**］　**物理上正交分解的** x、y **坐标比数学灵活，方向可任意选取，结果都相同，一般选取方法是让较多的力处在坐标上。**

［**例9**］　**如图** 1－9a **所示，一根细长的硬棒上有** n **个小球，每个小球之间相距** a，**小球质量从** m、$2m$、$3m$ **逐渐增大到** nm，**棒重不计，求整个体系的重心位置。**

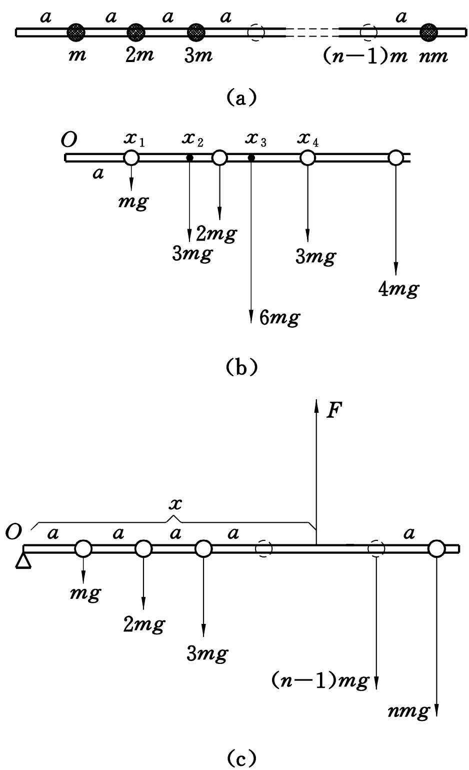


图 1－9

［分析］　因为棒重不计，那么整个体系的重心就是这些重量不同的小球的重心位置。如果仅仅只有几个小球，重心是很容易确定的。如图 1－9b，$n=1, x_1=a; n=2, x_2=a+\frac{2}{3}a=\frac{5}{3}a; n=3, x_3=2a+\frac{1}{3}a=\frac{7}{3}a; n=4, x_4=x_3+\frac{2}{5}\cdot\frac{5}{3}a=\frac{9}{3}a=3a$，但是此题是不确定的 n 个小球，必须找出重心位置随 n 增大的规律。由 $x_1 \to x_4$ 可以看出，每增加一个小球，重心位置右移一个 $\frac{2}{3}a$，第 n 个球加上去后，重心 $x_n=\frac{2n+1}{3}a$，不过此结论成立必须用数学归纳法来严格证明，下面介绍一种更简明的方法。

［解］　设重心距左端 O 点为 x，如图 1－9c 所示。在重心上加一力 F 使棒平衡：由 $\sum F=0$ 得

$$\begin{aligned}F&=mg+2mg+3mg+\cdots+nmg\\&=mg(1+2+3+\cdots+n)\\&=mg\frac{n(n+1)}{2}\end{aligned}$$

由 $\sum M=0$，

$$\begin{aligned}F\cdot x&=mg\cdot a+2mg\cdot 2a+3mg\cdot 3a+\cdots\\&\quad+nmg\cdot na\\&=mga(1^2+2^2+3^2+\cdots+n^2)\\&=\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}mga\end{aligned}$$

所以

$$x=\frac{(2n+1)}{3}a$$

［例 10］　如图 1－10a 所示，半径分别为 r 和 R 的两个圆柱置于同一水平粗糙平面上，在大圆柱上绕一细绳，设所有接触处的摩擦系数均为 μ，在水平拉力 F 作用下，大圆柱能翻过小圆柱的条件是什么？

［分析］　大圆柱要翻过小圆柱，也就是要求小圆柱不动，大圆柱动，那么，地面对小圆柱的最大静摩擦力 f_{m2} 应大于小圆柱对大

圆柱的最大静摩擦力 f_{m1}，如图 1－10b。当大圆柱要翻起时，地面支持力为零，大圆柱受四个力 G_1、F、f_1、N_1 分别以 O 和 O_1 为轴，

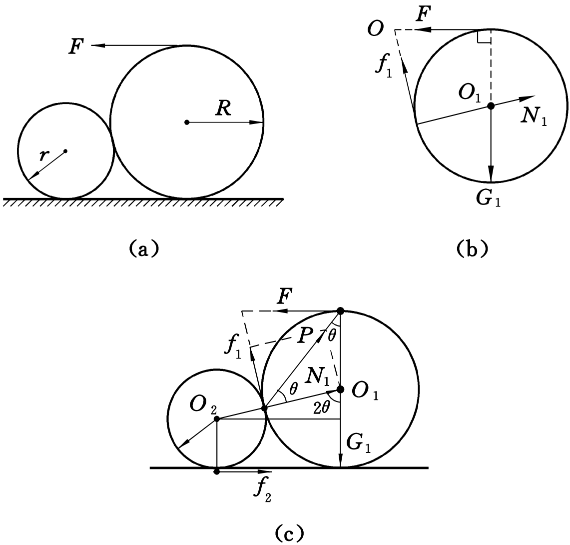


图 1－10

由力矩平衡可知：$f_1 = F$，$N_1 = G_1$，对两圆柱进行整体法受力分析，$\sum F_y = 0$，地面对小圆柱的支持力 $N_2 = G_1 + G_2$，因为 $f_{m1} = \mu N_1$；$f_{m2} = \mu N_2$，所以 $f_{m2} > f_{m1}$ 成立，大圆柱翻动时，小圆柱可以不动。

［解］ 大圆柱受力平衡时，f_1 与 N_1 的合力 P 和 G_1、F 三力共面，延长相交于一点，如图 1－10c 所示。根据图中几何关系有 $\cos 2\theta = \dfrac{R-r}{R+r}$，由三角万能公式 $\cos 2\theta = \dfrac{1-\mathrm{tg}^2\theta}{1+\mathrm{tg}^2\theta}$，可得

$$\mathrm{tg}^2\theta = \frac{r}{R}\text{，}\mathrm{tg}\theta = \sqrt{\frac{r}{R}}$$

因为 $\mu = \dfrac{f_{m1}}{N_1} \geqslant \dfrac{f_1}{N_1}$，又 $\dfrac{f_1}{N_1} = \mathrm{tg}\theta = \sqrt{\dfrac{r}{R}}$，所以 $\mu \geqslant \sqrt{\dfrac{r}{R}}$ 是