

工程力学与物理公式

〔联邦德国〕 H. Netz 主编

石胜文 译

王莉 缪强 校

科学普及出版社

内 容 提 要

本书是联邦德国工学博士H.列茨主编的《工程基础公式》一书的前半部分，它是一本行文十分简洁的工具书，由基本公式、公式中符号的意义和应用题解三部分组成。包括质点力学、流体力学、气体力学、波动理论与声学、光学、原子物理、核反应和相对论、电学与磁学七编。本书对从事实际工作的初级、中级工程技术人员和有关的工人、科研人员是很方便实用的。

工程力学与物理公式

〔联邦德国〕H. Netz 主编

石胜文 译

王 利 廖 强 校

责任编辑：陈金凤

封面设计：王序德

科学普及出版社出版（北京海淀区白石桥路32号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

保定科技印刷厂印刷

*

开本：850×1168毫米1/32 印张：9.5 字数：210千字

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印数：1—3550册 定价：2.60元

统一书号：13051·1496 本社社号：1230

ISBN 7-110-00479-1/O-14

译 者 的 话

从本书目录中可以看出，这是一部专家教授的集体作。

主编H.Netz工学博士著作不少，比如，作为本书的姊妹篇，就有《数学公式》（《Formeln der Mathematik》）它已由译者翻译出版。

本书只是《工程基础公式》（《Formeln des technischen Grundwissens》）一书的第一部分，它是《Formeln der Technik》一书的修订本。其第二部分《机械与机构元件公式》（《Formeln der Bauelemente von Maschinen und Anlagen》）未译。

本书一大特点是把公式和题解有机地结合了起来，使理论更好地为实际应用服务，明白易懂。原书以两色印刷。打开书，左边一页为公式，用黑色，右边一页为公式中诸符号的意义及例题，用蓝色。只是由于印刷条件的限制，我们才做了现在的修改，即不是一页一页地黑蓝对照，而是以节为最小单位，全用黑色。

我选择了一些有代表性的单位，于书末增加了“物理量单位及其符号对照表”，供读者参考。

原书注用①②等标明，译者注用①②等标明。行文中图的编号增加了节号码，如在正文中说：“图111-7”就是指“§1.1.1的图7”。

目 录

第一编 质点力学

第一章 质点静力学与刚体静力学	1
§ 1.1.1 作用于一点A上的平面力系	1
§ 1.1.2 作用于单体上的平面力系	6
§ 1.1.3 作用于平面物系上的外力和内力	22
§ 1.1.4 空间力系	44
§ 1.1.5 求重心	55
§ 1.1.6 摩擦	72
第二章 运动学	91
§ 1.2.1 直线运动	91
§ 1.2.2 自由落体与铅垂抛物	96
§ 1.2.3 无阻力时的水平抛物与斜抛物	99
§ 1.2.4 圆周运动	102
§ 1.2.5 合成运动	104
§ 1.2.6 曲柄摆杆机构与曲柄滑块机构	107
第三章 动力学	110
§ 1.3.1 直线运动动力学	110
§ 1.3.2 转动动力学	113
§ 1.3.3 转动惯量	116
§ 1.3.4 曲柄连杆机构的惯性力、活塞功和活塞功率	121
§ 1.3.5 碰撞	124
§ 1.3.6 机械振动	127

第二编 流体力学

第一章 流体静力学	131
§ 2.1.1 流体静压强	131

§ 2.1.2	作用于开口容器平壁上的流体静压强	134
§ 2.1.3	开口容器(液箱)曲壁上的流体静压强·浮力与 漂浮	139
第二章	流体力学	142
§ 2.2.1	定常理想管流	142
§ 2.2.2	流体内摩擦与雷诺数	145
§ 2.2.3	定常粘性管流	148
§ 2.2.4	管路的特殊损失	151
§ 2.2.5	容器出流	155
§ 2.2.6	明渠中定常流	158
§ 2.2.7	反作用力	162

第三编 气体力学

第一章	静止气体	166
§ 3.1.1	气体压强·大气静力学	166
§ 3.1.2	状态方程、等压过程与等容过程	169
§ 3.1.3	等温过程、绝热过程与多变过程	173
第二章	气体的运动	178
§ 3.2.1	不可压流	178
§ 3.2.2	可压流	182

第四编 波动理论与声学

第一章	概述·行波	186
第二章	波的传播速度	189
第三章	波的合成和分解	192
第四章	波的反射与折射、多普勒效应	195
第五章	声波	199
第六章	声辐射器	202
第七章	建筑声学与时空声学	205

第五编 光学

第一章	辐射定律·光度学	208
-----	----------	-----

第二章	光的反射·平面镜与球面镜	211
第三章	光的折 射	214
第四章	光学透 镜	218
第五章	光学仪 器	221
第五章	光学仪器(续)	224
第六章	色散与消光	227
第七章	光的干涉	230
第八章	光的衍射	234
第九章	光的偏振与双折射	237

第六编 原子物理·核反应与相对论

第一章	气体分子运动论	241
第二章	自由离子与电子	244
第三章	光谱与X射线谱	247
第四章	光量子	250
第五章	物质波	253
第六章	放射性	256
第七章	电离辐射	259
第八章	原子核·核反应	262
第九章	中子·核反应堆	266
第十章	相 对 论	

第七编 电 学 与 磁 学

第一章	直 流 电	273
第二章	交流电(单相)	277
第三章	电 场	281
第四章	磁 场	285
第五章	变化的电 磁 场	288
第六章	电 化 学	291

附录	物理量单位及其符号对照表	294
----	--------------	-----

参考文献		296
------	--	-----

第一编 质 点 力 学

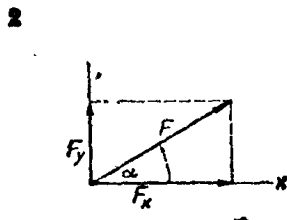
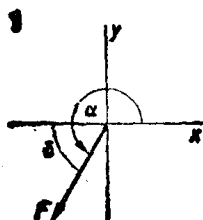
第一章 质点静力学与刚体静力学

(编者: Paul Börner 工程师 退休教授 建筑师 埃森)

§ 1.1.1 作用于一点A上的平面力系

a) 力的表示法

1. 图示法: 用一端带箭头的线段表示。它可以在作用线上任意移动(滑移向量)。线段的长度与力的大小(标量)对应(例如 $1\text{ cm} = 3\text{ kN}$), 方向则由箭头所指。
2. 解析表示法: 对直角坐标系 (x, y) , 若已知力的大小 F (例如 100 N) 和它与坐标轴的夹角(例如 230°) (图111-1); 或者知道它的投影 $F_x = F \cos \alpha$ 和 $F_y = F \sin \alpha$ (图111-2), 即可得到 $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ 。这两种方法都可以。
因平面直角坐标系有四个象限, 故
或 α 为 $0^\circ \sim 360^\circ$, 而投影的正负号包含在三角函数



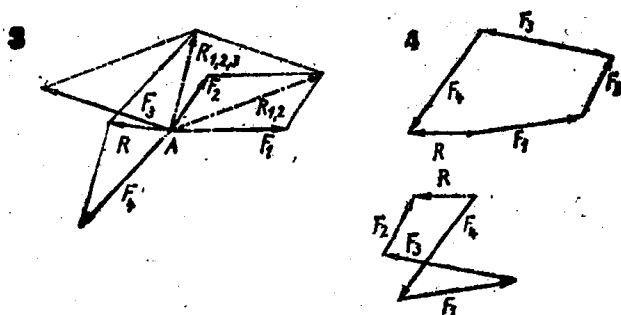
值本身中，

或只取锐角 δ （如图111-1），但于函数值前添加相应的正负号。

b) 合力

合力由若干力合成后得到。过点 A ，它的大小和方向可用以下两种方法之一求得

- 图解法：通过（有时一次，有时须重复使用若干次）平行四边形法则（图111-3）或力的多边形法则（图111-4）求得。后者对应向量和 $R = F_1 + F_2 + \dots$ （几何和），其相加顺序可以任意选定。平行四边形法则中，各力（包括对应平面图形）总是集中于一共同参考点 A ，而力多边形法则就不同了。



- 解析法（图111-5）

$$\text{大小} \quad R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$\text{其中,} \quad R_x = \Sigma F_x = \Sigma F \cos \alpha$$

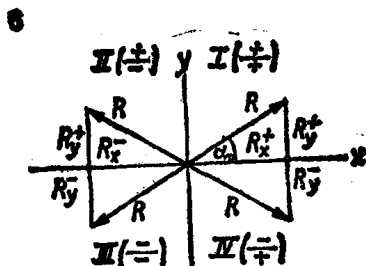
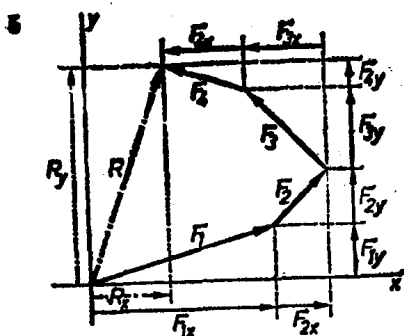
$$R_y = \Sigma F_y = \Sigma F \sin \alpha$$

$$\text{方向可由} \quad \tan \alpha_0 = \frac{R_y}{R_x} \quad \text{得知}$$

图111-6中， R_x 是+ - - +

R_y 是+ + - -

因此， R 是在 | 1 | 2 | 3 | 4 象限，



3. 只有两力的特殊情况

有相同的作用线时，见图111-7或图111-8，
相交成角 β 时：

图解法： 平行四边形法（图111-9）

或 力三角形法（图111-10）

解析法： 按前述公式

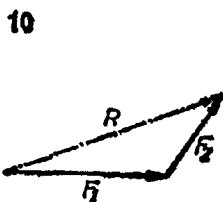
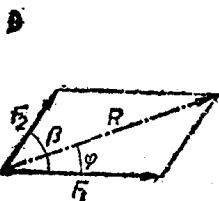
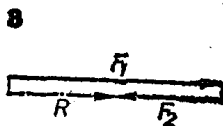
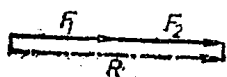
$$\text{或 } R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\beta}$$

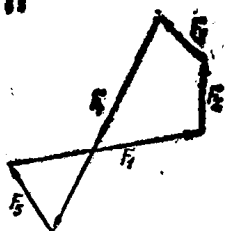
$$\sin\varphi = \frac{F_2\sin\beta}{R}$$

◎ 平衡系

1. 图解法： 须力多边形封闭，且所有箭头对应于同一
旋转方向（图111-11）。

2. 解析法： $\Sigma F_x = 0$ 和 $\Sigma F_y = 0$





公式中符号的意义

$F, F_1, F_2 \dots R$ 力的大小
[N]

$\mathbf{R}, \mathbf{F}$ 力的向量表示。本编
仅在本节、下节和第
4节中出现。为免与
仅指大小的 F, R 混
淆所设

F_x F 力在 x 轴上的投影 [N]

F_y 力 F 在 y 轴上的投影
[N]

α F 与 x 轴正向间夹角

α_0, φ R 与 x 轴正向间夹角

β F_1 与 F_2 间夹角

δ R 与 x 轴间锐角

例题

1. 求与 x 轴正向成 300° 角、大小 $F = 100\text{N}$ 的力在 x 轴和 y 轴方向的分力 (图111-a)。

【解】

$$F_x = F \cos \alpha = 100\text{N} \times \cos 300^\circ = 100\text{N} \times 0.5 = 50\text{N}$$

$$F_y = F \sin \alpha = 100\text{N} \times \sin 300^\circ = 100\text{N} \times (-0.866) \\ = -86.6\text{N}$$

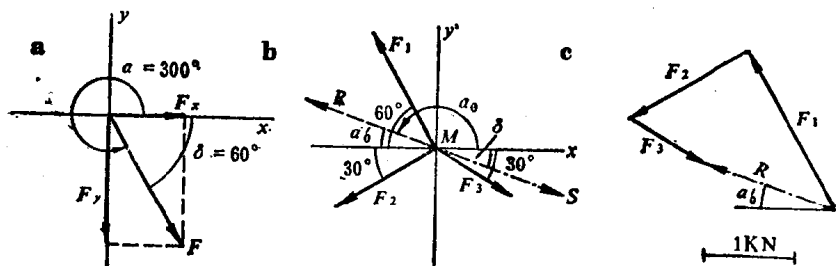
或 $\delta = 360^\circ - 300^\circ = 60^\circ$, 力在第4象限:

$$F_x = 100\text{N} \times \cos 60^\circ = 50\text{N}, \text{ 向右, 即正向}$$

$$F_y = -100\text{N} \times \sin 60^\circ = -86.6\text{N} \text{ 向下, 即负向}$$

2. 在桅杆顶的三个方向上, 有三条绳索分别是四股、三股和二股。每股的拉力为 0.5kN , 因之, 力 $F_1 = 2\text{kN}$, $F_2 = 1.5\text{kN}$, $F_3 = 1\text{kN}$ (图111-b)

求为使桅杆平衡、应加的张紧力 S 及其与 x 轴间夹角 δ 。



【解】

因 S 是合力 R 的反力，故可先确定 R 。

a) 图解法：如图111-c的力多边形

$$R = 1.5 \text{ kN}$$

$$\alpha'_0 = 19^\circ = \delta$$

$$\alpha_0 = 161^\circ, \quad \delta = 19^\circ$$

b) 解析法：见图111-d

$$\begin{aligned} R_x &= \sum F_x = F_1 \cos 120^\circ + F_2 \cos 210^\circ + F_3 \cos 330^\circ \\ &= -2 \text{ kN} \times \cos 60^\circ - 1.5 \text{ kN} \times \cos 30^\circ + 1 \text{ kN} \times \cos 30^\circ \\ &= -2 \text{ kN} \times 0.5 - 1.5 \text{ kN} \times 0.866 + 1 \text{ kN} \times 0.866 \\ &= -1.433 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_y &= \sum F_y = F_1 \sin 120^\circ + F_2 \sin 210^\circ + F_3 \sin 330^\circ \\ &= 2 \text{ kN} \times \sin 60^\circ - 1.5 \text{ kN} \times \sin 30^\circ - 1 \text{ kN} \times \sin 30^\circ \\ &= 2 \text{ kN} \times 0.866 - 1.5 \text{ kN} \times 0.5 - 1 \text{ kN} \times 0.5 \\ &= 0.482 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{1.433^2 + 0.482^2} \text{ kN} = 1.51 \text{ kN}$$

$$\tan \alpha'_0 = \frac{R_y}{R_x} = \frac{0.482}{-1.433} = -0.336$$

第2象限

$$\text{也即 } \alpha_0 = 180^\circ - 18.6^\circ = 161.4^\circ$$

若用锐角计算(图111-b)，则据图，于其前加正负号，因此， $\alpha'_0 = 18.6^\circ$ ，在第2象限，而 $\delta = 18.6^\circ$ ，在第4象限。

3. 如图111-e, 轮 R 的重量 $G = 500\text{N}$, 求绳的拉力 S_1 和 支座对轮的反作用力 (有时简称为它的支反力 N) 当

a) $Q = 200\text{N}$; b) $Q = 700\text{N}$ 时

【解】

见图111-f、在轮 R 上, 作用有 4 个力:

G (竖直向下), S_1 , $Q = S_2$ (沿绳向) 和 N (垂直于下支承面)

图解法: 从 G 与 Q 起始作力多边形

a) 图111-g b) 图111-h

解析法: 将力沿坐标轴方向分解

$$\Sigma F_x = Q + 0.5N - 0.707S_1 = 0$$

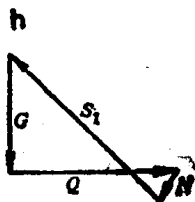
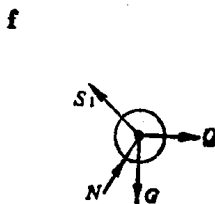
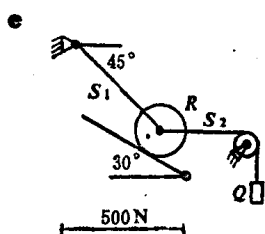
$$\Sigma F_y = 0.707S_1 + 0.866N - G = 0$$

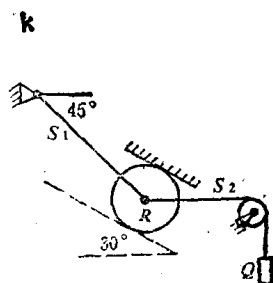
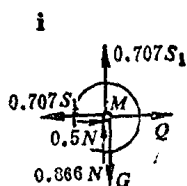
得 $N = \frac{G - Q}{1.366}$ 和

$$S_1 = \frac{Q + 0.5N}{0.707}, \quad \text{所以}$$

a) $N = 220\text{N}$; $S_1 = 438\text{N}$

b) $N = -146.5\text{N}$ (因之, 图111-e应改为图111-k),
 $S_1 = 887\text{N}$





§1.1.2 作用于单体上的平面力系

a) 合力

1. 大小和方向: 如前节b

2. 位置

图解法: 作索多边形 (图112-1) 已知 F_1, F_2, F_3 , 作力多边形图112-2, 任取极点O, 从它作射线1、2、3、4 在图112-1上引它们的平行线(1', 2', 3', 4')^①, 则R过1'、4'交点。

力多边形的每一个三角形, 对应于索多边形中的一点 (例如, F_1 , 1, 2围成的三角形对应于 F_1 , 1', 2'的交点)^②

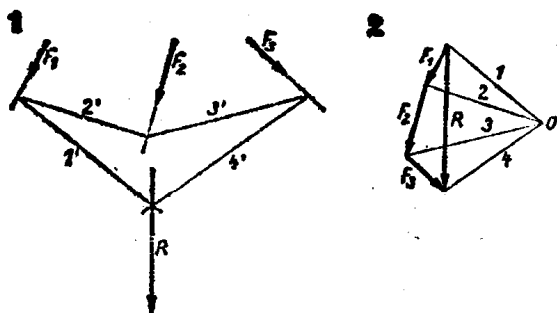
解析法: 对任一参考点, 合力R的转矩等于各分力F的转矩 ($M = F \cdot a$) 的代数和 (图112-3), 因此

$$a_0 = \frac{\sum M}{R} \quad (\text{对任选参考点} B)$$

$$\text{或} \quad a_0 = \frac{\sum F_y x - \sum F_x y}{R} \quad \text{对各象限 (图112-4)}$$

① 实际上, 是在 F_1 的作用线上任取一点, 引 $1' \parallel 1$, $2' \parallel 2$, 于 $2'$ 与 F_2 交点引 $3' \parallel 3$ ……, 最后得 $4'$ 与 $1'$ 交点。

② 力多边形的每一个三角形指力多边形中的一边与过极点的二射线所围成的三角形。



R 在以 B 为圆心, a_0 为半径所作圆的切线上, 转向取决于 ΣM (例如, 当 ΣM 为负时, 为顺时针方向)



3. 特殊情况: 两平行力

同向力: 如图112-5a

$$R = F_1 + F_2, \quad b = \frac{aF_2}{R}$$

反向力: 如图112-5b

$$R = F_2 - F_1, \quad b = \frac{aF_2}{R}$$

无穷多平行力 (分布载荷)

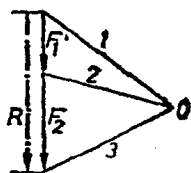
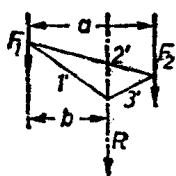
均布载荷: 如图112-6a

$$R = ql, \quad a_0 = l/2$$

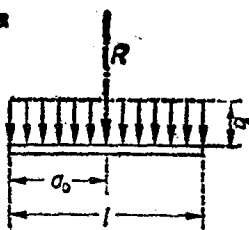
三角形分布载荷: 如图112-6b

$$R = \frac{q_0 l}{2}, \quad a_0 = \frac{l}{3}$$

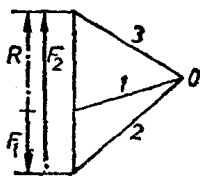
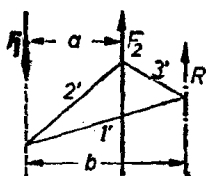
5a



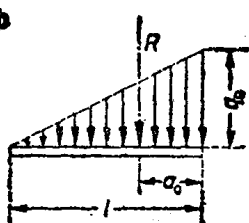
6a



5b



6b



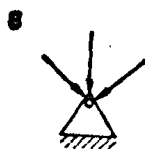
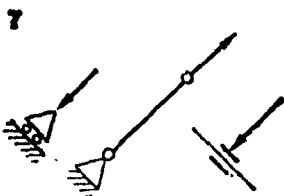
b) 平衡条件

对有一定自由度的刚体的平衡问题，必须首先确定支反力或平衡位置。

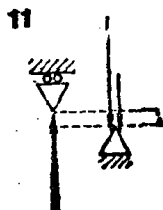
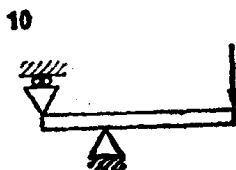
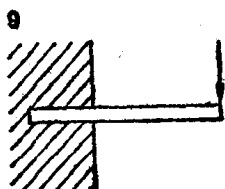
支反力：

只能承受一个方向作用力的活动 支座 (图112-7)

能承受任意方向作用力的固定支座 (图112-8)



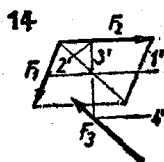
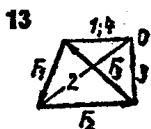
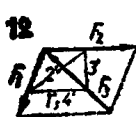
一端夹持的悬臂梁 (图112-9) 可用有一固定支座和一活动支座的梁 (图112-10) 来代替，此时可化



作一任意力和一力偶例如图112-11 (参看§1.1.4b)

1. 平衡条件的图解

一般情况：对任意多个力，力多边形与索多边形都应封闭，例如：图112-12中同平面三力显然是平衡的：因为力多边形(图112-13)与索多边形(图112-12)都封闭(1'和4'重合)。图112-14中三力则不平衡：因虽有力多边形封闭(图112-13)，但索多边形(图112-14)不封闭(1'和4'不重合)



特殊情况：

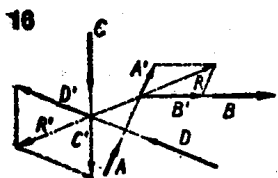
- 二力：力与反作用力 (15)。←
- 三力：交于一点且力多边形封闭

图112-12中， F_1, F_2, F_3 交于一点A，且力多边形图112-13封闭，故平衡。

图112-14中之三力， F_1, F_2, F_3 不交于一点，故不平衡。

- 四力：任意两组两力的合力彼此相消

如图112-16，A与B的合力R同C与D的合力R'方向相反，大小相等，作用在同一直线上，故平衡。



可用下述方法确定支反力：索多边形法(常用)

平行力：通过任意索多边形的一边与过支座力作用线交点求得(见例1)

不平行力：说明仿上。通过固定支座的索多边形的一边(见例3)以及两活动支座反力作用线交点(见例4)。

载荷较多时，索多边形法总能适用。

力多边形法

当以一固定支座与一活动支座支承、且合外力不平行于活动支座反力时可用（见例3）。

库尔曼法

对三活动支承情况时适用（力作用线不平行且不交于同一点）（见例4）。

2. 平衡条件的解析表达式

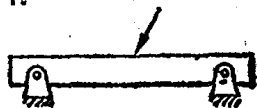
$$\Sigma F_x = 0, \quad \Sigma F_y = 0 \quad \text{和}$$

$$\Sigma M = 0 \quad (\text{对任意参考点})$$

上面两个方程中的每一个，都可用另外的力矩方程来代替。不过，当用三力矩方程时，不能使三个参考点位于同一直线上。

要用平衡条件的解析表达式时，首先可将力分解为X轴与Y轴方向的分力，其方向可任意假定。当得值为负时，即实际方向与假定的相反。

3. 例如，将一力 F 在给定作用线上分解为三个分力的问题，与平衡问题是一致的，可由 F 在这些作用线上的反力来确定（见例5）。
4. 只靠平衡条件不能解决的问题或结构，称为“静不定的”。例如两固定支座梁（图112-17），此时，即使没有外力，也会有支反力。 17
5. 在一些特殊情况下的应用
 - 在两支座梁中部有一作用力，或动滑轮（图112-18）



$$A = \frac{F}{2}, \quad B = \frac{F}{2}$$

图解法： 索多边形法

由于绳索的摩擦损失，在利用动滑轮提升 B 时，实际上需要更大的力