

# 机械设计基础 例题与习题集

〔日〕 榎場重男 著  
結城明泰



TH122

54

# 机械设计基础例题与习题集

〔日〕 榎場重男 著  
結城明泰

张 瀛 仑 译  
葛 怡 燕 校



机械工业出版社

原书是日本为配合工科学生学习机械类专业基础课并为在职技术人员复习编写的。它汇集了工程力学、机械传动、机械振动、材料力学、水力学、流体力学、热力学等课程的有关基本概念、例题和习题(习题有A、B两部分,为便于读者学习,习题B还附有略解)。本书只节译了其中的五篇,水力学、流体力学、热力学的有关内容没有进行翻译。本书编排的特点是由浅入深,趣味性强,很适合工科各类读者用于自学和复习。本书可供大专院校、中专、电大、各类职工专业学校的师生及有关初、中级技术人员学习或参考。

## 基础 应用 机械工学演習

榎場重男 共著  
結城明泰

槓書店, 1963年1版發行

## 机械工学基础例题与习题集

榎場重男 著  
結城明泰

张瀛仑 译

葛怡燕 校

责任编辑: 陈国威 李俊带 版式设计: 乔玲  
封面设计: 王伦 责任校对: 李广孚

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本  $850 \times 1168 \frac{1}{32}$  · 印张  $15 \frac{1}{8}$  · 字数 402千字  
1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷  
印数 0,001—55,450 · 定价: 8.60元

ISBN 7-111-00030-7/TH·6

## 原 序

战后的日本经济发展迅速,工业生产逐年增长,这是技术革新的成果。由于各工业部门技术的发展,亟待造就大批的专业人才。目前,大多数技术人员是从学校培养出来的,只有少部分是企业自己培养的。企业界期望工科学校能培养出富有创造才能的技术人员,即培养工作能力强的人才。鉴此,近来工科教育的倾向是更加重视基础专业课的教育(相对范围较窄的专业课而言)。机械工程中的基础专业课包括的范围很广,尤其是机械基础课,包括工程力学、机械传动、机械振动、材料力学等,希望学生在校要深刻理解这些课程的内容。

为加深学生理解这些课程,历来学校都注重作题,也采用在发行的各课程习题集。本书仅是把上述各基础课汇集成一册,其中习题也是按多数学校的教学顺序排列的。在不同的章节,每个问题均按难易程度就全课程所贯穿的要求进行了说明。尽管本书包容了上述的全部基础课,但不存在内容重复、术语不统一、问题讲不透的现象。可以说本书具有趣味性,学员乐意解题。应广大读者的要求,借这次发行下卷的机会,将其上卷合为一册,以给读者带来方便。

本书主要适用于下列范围:

1. 工科大学高年级学生的参考书;
2. 工业专科学校和大学进修学生的参考书;
3. 工科学校学生机械课的入门习题书;
4. 企业中级技术人员培训班的教材、参考书。

另外,全书在每一章都根据其内容把解题所必须的知识分述为基本概念、要点、注意事项三部分。(1)基本概念:叙述了解各种力学问题所必须的定理、公式及其简单说明。(2)要点;

给出了解题的要领、必须牢记的内容、以及作为一个机械技术人员应该掌握的知识。(3)注意事项：指出了容易出错的地方，特别是本书习题未编入的同条件题的其它解法。

全书都是按例题、习题A、习题B的顺序排列的。书的每一章都选择了具有代表性的例题，并示出了解法。习题A是工科大学学生读了基本概念后自己会解的习题。习题B是应用题，内容比习题A深。解过A部分习题后的读者再来解习题B，或者是工科大专以上程度的学生直接解习题B，都是适宜的。为了适应各方面读者的需要，书末还附有B部分习题的略解。

限于篇幅，本书基本概念项，不可能解释得过分详细，必要时请读者参阅教科书或其它适当的专业书。再者，本书计算使用了计算机，如果读者用10英寸计算尺，亦可在误差范围内。

本书编写过程参阅了大量的日本及外国著作和专业书，对这些书的作者，我们表示衷心的感谢。另外，编写过程本应考虑完善，但由于作者学疏才浅，如问题讲得不透或有谬误之处，还望专家纠正。最后对群馬大学町田周郎氏教授的大力支持和为本书出版的楨书店的大力协助，表示深切的感谢。

# 目 录

第一篇 基础力学	1
第一章 力和矢量	1
第二章 力矩和平行力	10
第三章 力的平衡	19
第四章 重心	32
第五章 直线运动	41
第六章 运动定律	51
第七章 曲线运动	59
第八章 碰撞	70
第九章 摩擦	78
第十章 功、能和功率	87
第十一章 简单机械的力学	98
第十二章 回转体的运动	111
第二篇 图解力学	123
第一章 力的合成与分解	123
第二章 图心(重心)、力矩和惯性矩	130
第三章 桁架	136
第三篇 机械运动学	144
第一章 摩擦传动装置	144
第二章 齿轮传动装置	155
第三章 挠性传动装置	174
第四章 连杆机构	187
第五章 凸轮装置	205
第六章 制动装置	216
第七章 运动机械的平衡	224
第四篇 振动	237

## VI

第一章	简谐振动和摆 .....	237
第二章	弹簧的振动 .....	247
第三章	梁的振动和轮轴的振摆回转 .....	256
第四章	扭转振动 .....	263
第五篇	材料力学 .....	272
第一章	应力和应变 .....	272
第二章	梁的弯曲和挠度 .....	292
第三章	杆和压曲 .....	321
第四章	轴的扭转 .....	331
第五章	组合应力 .....	342
第六章	圆筒 .....	356
第七章	板及其接头 .....	373
题解(习题B的简单解题)	.....	389
第一篇	基础力学 .....	389
第二篇	图解力学 .....	416
第三篇	机械运动学 .....	420
第四篇	振动 .....	444
第五篇	材料力学 .....	452

# 第一篇 基础力学

## 第一章 力和矢量

### 基本概念

#### (1) 标量和矢量

标量：仅以大小确定的量（如长度、时间、速率、温度、功等）。

矢量：除了大小还具有方向的量（如力、位移、速度、加速度等）。

#### (2) 矢量的运算

##### (a) 矢量相加 (图1-1)

从第一矢量的头画第二矢量，连接原点与第二矢量的头即为合成矢量，写为下式：

$$\mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{c} \quad (1-1-1)$$

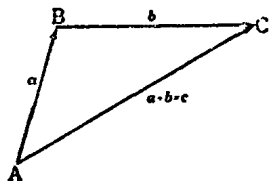


图 1-1

##### (b) 矢量相减 (图1-2)

若第一矢量减去第二矢量，则可将第二矢量反方向相加。

$$\mathbf{b} = \mathbf{c} - \mathbf{a} \quad (1-1-2)$$

##### (c) 矢量的运算法则

结合律

$$(\mathbf{a} + \mathbf{b}) + \mathbf{c} = \mathbf{a} + (\mathbf{b} + \mathbf{c}) \quad (1-1-3)$$

交换律

$$\mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{b} + \mathbf{a} \quad (1-1-4)$$



## (3) 矢量合成作图法 (图1-3)

若要将多个矢量合成, 则可从原点将所有矢量依次连续相加, 原点和最终点的连线即是矢量的总和, 称为合成矢量。多个力作用于一点时, 用作图法求出的合成矢量叫做合力 (该多边形称为矢量多边形。对力而言, 则称为示力图 $\ominus$ )。

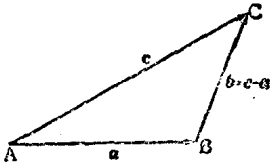


图 1-2

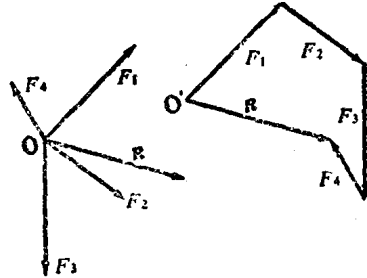


图 1-3

## (4) 两力的合成 (数学计算法) (图1-4)

合力

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \theta} \quad (1-1-5)$$

式中  $R$  ——合力; $F_1$ 、 $F_2$  ——两共点力; $\theta$  —— $F_1$ 、 $F_2$  之间的夹角。

合力的方向

$$\tan \alpha = \frac{F_1 \sin \theta}{F_2 + F_1 \cos \theta} \quad (1-1-6)$$

$$\tan \beta = \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta} \quad (1-1-7)$$

式中  $\alpha$  —— $F_2$  与合力; $R$  之间的夹角; $\beta$  —— $F_1$  与合力  $R$  之间的夹角。

两力互为直角时,

$\ominus$  亦称为力多边形。——译者注

$$\theta = 90^\circ \quad R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$\tan \beta = \frac{F_2}{F_1} \quad (1-1-8)$$

(5) 多个力的合成 (数学算法) (图1-5)

合力的分力

$$\left. \begin{aligned} R_x &= \Sigma F_i \cos \theta_i \\ R_y &= \Sigma F_i \sin \theta_i \end{aligned} \right\} \quad (1-1-9)$$

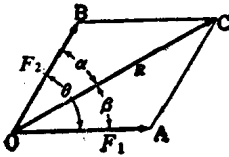


图 1-4

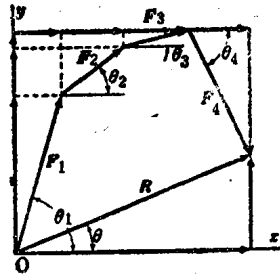


图 1-5

式中  $R$  ——合力;  
 $R_x$  ——合力  $R$  在  $x$  轴向的分力;  
 $R_y$  ——合力  $R$  在  $y$  轴向的分力;  
 $F_i$  ——各力;  
 $\theta_i$  ——各力与  $x$  轴的夹角。

合力

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (1-1-10)$$

合力的方向

$$\tan \theta = \frac{\Sigma F_i \sin \theta_i}{\Sigma F_i \cos \theta_i} = \frac{R_y}{R_x} \quad (1-1-11)$$

(6) 多个力的合成 (作图法)

参阅第二篇图解力学。

(7) 力的单位

作用在质量  $1 \text{ kg}$  物体上的重力<sup>⊖</sup>的大小称为  $1 \text{ kg}$  (重),  $\text{kg}$  为力的重力单位。工程上采用以长度 ( $\text{m}$ )、力 ( $\text{kg}\ominus$ )、时间 ( $\text{s}$ ) 为基本单位的工程单位制。而长度用厘米 ( $\text{cm}$ )、质量用克 ( $\text{g}$ )、时间用秒 ( $\text{s}$ ) 的单位制称为绝对单位制。绝对单位制中力的单位是达因 ( $\text{dyn}$ )。

### 要 点

(1) 力是矢量, 所以它具有大小和方向, 并且力作用时还必须表示力的作用点<sup>⊖</sup> (力的三要素)。

(2) 力的作用点移至力作用线上的任意处, 效果不变。

(3) 可用矢量相加、矢量相减的方法作力的合成、分解。

(4) 非共点力系不能用示力图求合力的作用线。

(5)  $F_1$ 、 $F_2$  两力合力  $R$  的大小具有下列关系:

$$F_1 - \text{⊖} F_2 < R < F_1 + F_2。$$

(6) 题中未直接给出条件时, 将一个力分解成两个或两个以上的分力有多种分解法, 但实际中一般均按给定的条件分解成两个分力。

### 注 意 事 项

(1) 力的定义参阅第六章运动定律。

(2) 除特殊情况外, 求合力时必须明确表示力作用线的方向 (包括指向)。表示方向如果不用图示是有困难的, 这时可将力的符号书写为黑体字, 以表示矢量。

### 例 题

(1) 试利用作图法证明矢量相加的结合律

⊖ 即物体所受地球的引力。——译者注

⊖ 此处的力是指重力。严密地讲, 力的单位应是千克力 ( $\text{kgf}$ ), 或国际单位制中的牛顿 ( $\text{N}$ )。原书中力的单位均用  $\text{kg}$ , 译文未作处理。——译者注

⊖ 即着力点。——译者注

⊖ 原文误为  $\sim$  号。——译者注

$$(a+b)+c=a+(b+c)。$$

解：按图 1-6 所示取三矢量  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ，三矢量先后相加均等于  $a+b+c$ 。

(2)  $a$ 、 $b$  两矢量作用于一点，试求相互夹角为  $\theta$ 、 $180^\circ - \theta$  时的合成矢量。

解：设两矢量的值分别为  $a$ 、 $b$ ，合成矢量的大小为  $R$ ，夹角为  $\theta$  时

$$R = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\cos\theta}$$

设  $a$ 、 $b$  之间的夹角为  $\alpha$ ，则

$$\tan \alpha = \frac{a \sin \theta}{b + a \cos \theta} \quad \text{或} \quad \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{a \sin \theta}{b + a \cos \theta} \right)$$

当夹角等于  $180^\circ - \theta$  时，

$$R = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\cos(180^\circ - \theta)} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

设  $a$ 、 $b$  之间的夹角为  $\alpha$ ，则

$$\tan \alpha = \frac{a \sin \theta}{b - a \cos \theta} \quad \text{或} \quad \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{a \sin \theta}{b - a \cos \theta} \right)$$

(3) 如图 1-7 所示，试用数学法计算四个共点力的合力。

解：

$F_i(\text{kg})$	$F_i \cos \theta_i(\text{kg})$	$F_i \sin \theta_i(\text{kg})$
20	$20 \times \cos 60^\circ = 10$	$20 \times \sin 60^\circ = 17.32$
30	$-30 \times \cos 45^\circ = -21.21$	$30 \times \sin 45^\circ = 21.21$
15	-15	0
10	$10 \times \cos 60^\circ = 5$	$-10 \times \sin 60^\circ = -8.66$
	$\Sigma F_i \cos \theta_i = -21.21$	$\Sigma F_i \sin \theta_i = 29.87$

合力

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{(\Sigma F_i \cos \theta_i)^2 + (\Sigma F_i \sin \theta_i)^2} \\ &= \sqrt{(-21.21)^2 + 29.87^2} \\ &= 36.6 \text{ kg} \end{aligned}$$

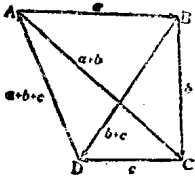


图 1-6

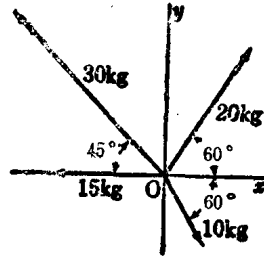


图 1-7

合力的方向

$$\tan \theta = \frac{29.87}{-21.21} = -1.408$$

$$\theta = 125^{\circ} 23'$$

即合力与  $x$  轴的夹角  $125^{\circ} 23'$

(4) 在与水平面倾斜  $30^{\circ}$  的斜面上放一  $50\text{kg}$  重的物体, 问该物体对斜面的压力和沿斜面的下滑力有多大?

解: 设物体的重量为  $W(\text{kg})$ , 其对斜面的压力

$$R = W \cos \alpha = 50 \times \cos 30^{\circ} = 50 \times 0.866 = 43.3 \text{ kg}$$

物体沿斜面的下滑力

$$P = W \sin \alpha = 50 \times \sin 30^{\circ}$$

$$= 50 \times 0.5 = 25 \text{ kg}$$

(5) 图 1-8 示出了内燃机的原理。假设加到活塞上的力是  $500\text{kg}$ , 其连杆  $AB$  和汽缸壁所受的力有多大? 试再求出

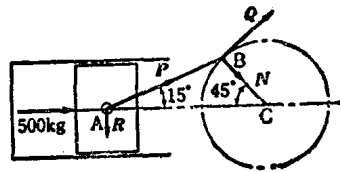


图 1-8

出连杆所受力对曲柄  $BC$  的压力以及与它相垂直的分力。

解: 设连杆受力为  $P$ , 汽缸壁受力为  $R$ 。

因为  $P$ 、 $R$  是  $500\text{kg}$  力的分力, 故

$$P = \frac{500}{\cos 15^{\circ}} = 517 \text{ kg}$$

$$R = 500 \times \tan 15^\circ = 134 \text{ kg}$$

另外，在B点上将P力分解为对曲柄的压力N和与它相垂直的力Q，由此

$$N = 517 \times \cos 60^\circ = 258 \text{ kg}$$

$$Q = 517 \times \sin 60^\circ = 448 \text{ kg}$$

## 习 题 A

### 1. 矢量

(1) 求图 1-9 中的合成矢量。

答：大小为 17.7，与矢量 20 的夹角  $43^\circ 2'$

(2) 如图 1-10 所示，试合成夹角为  $120^\circ$  的两矢量。

答：大小为 52，与矢量 60 的夹角  $30^\circ$

(3) 试求出相交于一点，大小分别为 10、20，夹角为  $60^\circ$  的两矢量的和。

答：矢量和 26.5，与 20 夹角  $19^\circ 6'$

### 2. 力的合成

(1) 互成直角的两力的大小分别为 30kg 和 40kg，试求合力。

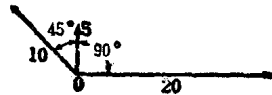


图 1-9

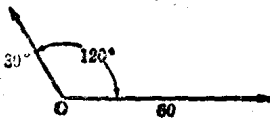


图 1-10

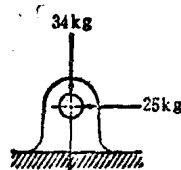


图 1-11

答：50kg，和40kg力作用线的夹角为 $36^{\circ}52'$

(2) 如图1-11所示，相互成直角的25kg和34kg力作用于铰链座的同一点，试求铰链座的反力

答：42.2kg，和25kg力作用线的夹角为 $53^{\circ}40'$

(3) 两个相等的共点力都等于合力时，或者说这三个力相等时，问两作用力间的夹角应多大？

答： $120^{\circ}$

(4) 试求图1-12示出的四个共点力的合力。

答：14.3kg，和x轴间的夹角为 $-88^{\circ}46'$

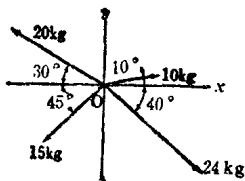


图 1-12

### 3. 力的分解

(1) 试说明在什么场合需将一个力分解成一组两力。

(2) 在与水平夹角成 $60^{\circ}$ 的斜面上放一100kg重的物体，问物体沿斜面的下滑力和对斜面的压力各是多大？

答：86.6kg，50kg

(3) 试将一100kg力分解成与其夹角分别为 $30^{\circ}$ 和 $20^{\circ}$ 的两个力。

答：44.6kg，65.3kg

### 习 题 B

(1) 试说明在矢量五角形  $ABCDE$  中，矢量  $AB$ 、 $BC$ 、 $CD$  的合成矢量等于  $AE$ 、 $ED$  的合成矢量。

(2) 试求图1-13所示力的合力。

答：13kg，合力与10kg力的夹角 $213^{\circ}36'$

(3) 如图1-14所示，四力分别作用在一正方形的四个顶角，求合力。

答：15.9kg，合力的方向水平下旋 $59^{\circ}35'$

(4) 试求图1-15所示作用于诸坐标点的力的合力。

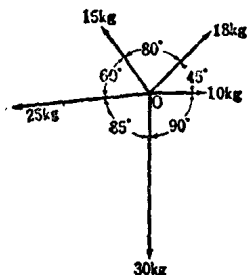


图 1-13

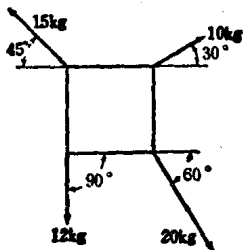


图 1-14

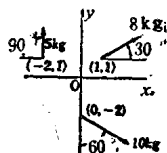


图 1-15

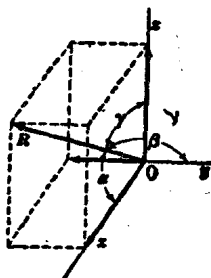


图 1-16

答: 16.1kg, 合力与  $x$  轴夹角  $14^\circ 23'$

(5) 如图1-16所示, 沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三垂直轴的三力的大小分别为  $6\text{ kg}$ 、 $-4\text{ kg}$  和  $12\text{ kg}$ , 试求其合力。

答:  $14\text{ kg}$ , 方向是  $\alpha = 64^\circ 36'$ ,  $\beta = 163^\circ 23'$ ,  $\gamma = 31^\circ 1'$

(6) 在一光滑的斜面上放一物体, 如用一水平力来支撑它不下滑, 问斜面的倾角多大时该力才大于物体的重量?

答: 大于  $45^\circ$

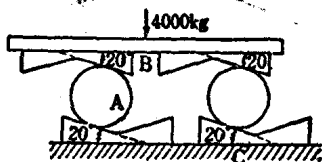


图 1-17

(7) 在图1-17所示的装置中, 滚轮A上放有台子B, 台子用水平力支撑。若在台子中心加一 $4000\text{ kg}$ 重的载荷, 试求台子水



平方向的受力大小。

答：1456kg

## 第二章 力矩和平行力

### 基本概念

(1) 力矩 (图1-18)

力和力臂 (转轴到力作用线的垂直距离) 的乘积叫做力矩。它产生沿转轴的旋转运动。力矩用矢量的指向来表示旋转方向 (逆时针方向为正)。

$$M = FL \quad (1-2-1)$$

式中  $M$ ——力矩 ( $\text{kg} \cdot \text{m}$ );

$F$ ——力 ( $\text{kg}$ );

$L$ ——力臂 ( $\text{m}$ )。

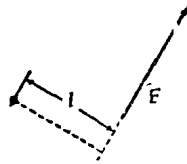


图 1-18

(2) 多力矩

作用在同一平面内有同一转轴的多个力的力矩的代数和等于其合力的力矩。

$$M = \Sigma M_i \quad (1-2-2)$$

式中  $M$ ——合力的力矩;

$M_i$ ——诸力矩。

物体在多个平行力作用下的平衡条件:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma F_i - \Sigma R_i &= 0 \\ \Sigma M_i &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-2-3)$$

式中  $F_i$ ——正向力;

$R_i$ ——反向力;