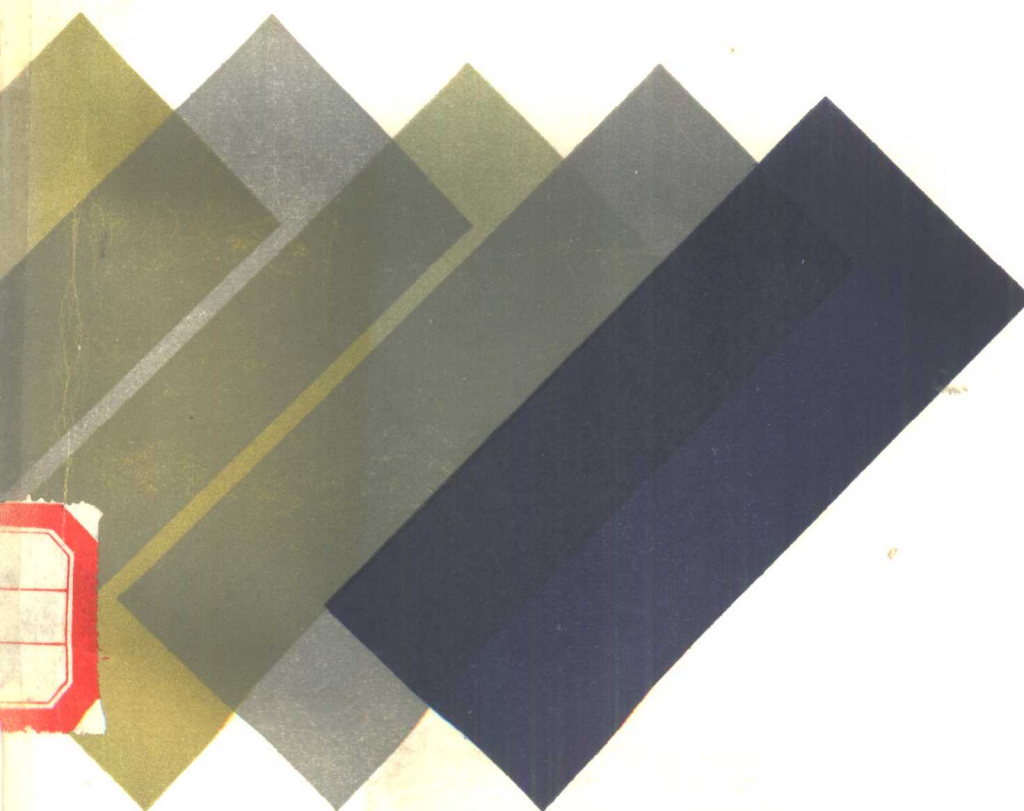


机械工程公式 及 例题集

关醒凡 编译



机 械 工 程 公 式 及 例 题 集

关醒凡 编译



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据日本1976年出版的《袖珍机械计算公式集》和1979年出版的《重要机械公式活用》两本书编译的。内容包括理论力学、材料力学、机械原理、机械零件、机械加工、水力学、热力学七部分。书中共选入公式416个，例题362道，并附有常用数学公式。

本书可作为机械类大学和中等专业学校的教学参考书，也可供技术人员和具有高中文化程度的工人在系统学习机械基础知识时参考。

机械工程公式及例题集

关醒凡 编译

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $11\frac{1}{8}$ ·字数244千字

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数 0,001—8,750·定价 2.65 元

*

统一书号: 15033·6234

目 次

1. 理论力学	1
1-1 力的合成	2
1-2 力矩	4
1-3 力的平衡	7
1-4 重心	10
1-5 速度、相对速度、加速度	12
1-6 落体运动	15
1-7 抛物线运动	17
1-8 角速度、角加速度、圆周运动	20
1-9 动量、冲量	22
1-10 动量守恒定律、碰撞	24
1-11 功、功率	26
1-12 能	28
1-13 旋转物体的功、功率、能	30
1-14 摩擦	32
1-15 滑轮和绞车	35
1-16 斜面	36
1-17 转动惯量	38
1-18 振动	40
2. 材料力学	51
2-1 应力	51
2-2 应变和泊松比	53
2-3 弹性模量 (虎克定律)	54
2-4 热应力	56
2-5 许用应力和安全系数	58
2-6 弹性能	59

2-7	冲击载荷	62
2-8	承受内压的薄壁筒和厚壁筒	64
2-9	平面图形的几何性质	67
2-10	梁的支反力	80
2-11	受集中载荷简支梁的切力和弯矩	91
2-12	承受分布载荷的简支梁剪切力和弯矩	93
2-13	受集中载荷悬臂梁的剪切力和弯矩	102
2-14	受分布载荷悬臂梁的剪切力和弯矩	107
2-15	弯曲应力	108
2-16	梁的变形	111
2-17	等强度梁	114
2-18	扭转	117
2-19	压曲(压杆纵弯曲——稳定性)	119
2-20	组合应力(一)	122
2-21	组合应力(二)	125
2-22	静不定问题判别公式	127
2-23	静定框架的应力	135
3.	机械原理	142
3-1	联杆装置	142
3-2	活塞和曲柄	147
3-3	高副运动(滚动接触运动)	160
3-4	往复式发动机	167
4.	机械零件	171
4-1	螺旋	171
4-2	焊接接头的强度计算	179
4-3	轴	184
4-4	离合器	189
4-5	轴承轴颈的设计	191
4-6	滚动轴承	200

4-7	标准圆柱齿轮	202
4-8	最少根切齿数	206
4-9	变位齿轮的计算	207
4-10	轮系的计算	210
4-11	圆柱齿轮的设计	211
4-12	斜齿轮	218
4-13	直齿圆锥齿轮	220
4-14	蜗轮蜗杆尺寸的计算公式	223
4-15	皮带传动	225
4-16	滚子链传动	237
4-17	制动器	240
4-18	弹簧的计算	245
4-19	压力容器	249
5.	机械加工方法	252
5-1	车床的切削条件	252
5-2	车床切削螺纹的计算方法	254
5-3	锥体加工	256
5-4	切削功率的计算方法	257
5-5	铣床的切削条件	259
5-6	分度头	261
5-7	牛头刨床和钻床的切削条件	263
5-8	磨床(砂轮和磨削条件)	265
5-9	内径及燕尾槽的测量	266
5-10	外锥及内锥的测量	268
5-11	用三针量规测量螺纹的有效直径	270
5-12	齿厚的测量(齿形游标卡尺、齿厚千分尺)	272
5-13	滚柱测量法	274
6.	水力学	277
6-1	液柱压力计	277

6-2	压强	280
6-3	作用于侧壁面上的压力	282
6-4	流量测量(堰)	286
6-5	伯努利定理、连续性方程式、文吐里管	288
6-6	皮托管、孔口	290
6-7	粘性系数、雷诺数和管路摩擦损失水头	293
6-8	管路的损失水头、开式流道中液体的平均流速	298
6-9	射流和冲击力	301
6-10	水锤	303
6-11	水轮机的输出功率	305
7.	热力学	307
7-1	温度和热量	307
7-2	热力学第一定律	313
7-3	内能、焓	315
7-4	理想气体	317
7-5	理想气体的状态变化	322
7-6	热力学第二定律	327
7-7	蒸汽	330
7-8	燃烧、空气量	333
7-9	锅炉的性能	335
7-10	内燃机的循环和效率	337
7-11	内燃机的性能	339
7-12	传热	342
7-13	空调	344

1. 理论力学

1-1 力的合成

要表示力, 需要表示力的大小, 力的作用点 (施力点) 及力的方向。具有方向的量称为向量。另外, 把表示力的方向的直线称为作用线。

力的单位是用作用在质量 1 千克物体上地球的重力 (即重量) 表示, 称为千克重量 [kgw] 或千克力 [kgf]。

目前我国规定的法定单位中质量的单位为千克 [kg], 力的单位为牛顿 [N]。本书力的单位采用 kgf, $1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$ 。

(1) 两个力的合成

在图 1-1 中, 两个力 F_1 和 F_2 的夹角为 θ , 合力 F 的大小和方向为

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta} \quad (\text{kgf}) \quad (1-1)$$

$$\text{tg}\beta = \frac{F_2\sin\theta}{F_1 + F_2\cos\theta} \quad (1-2)$$

$$\text{tg}\alpha = \frac{F_1\sin\theta}{F_2 + F_1\cos\theta} \quad (1-3)$$

(2) 多个力的合成

为求作用于一点上的多个力 ($F_1 \sim F_n$) 的合力 F , 可以用平行四边形法则和三角形法则图解法求解, 但也可按图 1-2 所示, 把各力沿 x 、 y 方向分解为正交分量 x_1 、 $x_2 \dots$, y_1 、 $y_2 \dots$,

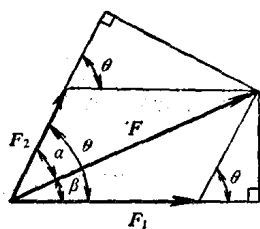


图 1-1 两个力的合成

而后把两分力之和进行合成，即

$$x_1 = F_1 \cos \theta_1, \quad x_2 = F_2 \cos \theta_2,$$

$$x_3 = F_3 \cos \theta_3,$$

$$x_4 = F_4 \cos \theta_4, \quad x_5 = F_5 \cos \theta_5$$

$$y_1 = F_1 \sin \theta_1, \quad y_2 = F_2 \sin \theta_2,$$

$$y_3 = F_3 \sin \theta_3,$$

$$y_4 = F_4 \sin \theta_4, \quad y_5 = F_5 \sin \theta_5$$

$$x \text{ 方向分力之和 } F_x = x_1 + x_2 + x_3$$

$$+ x_4 + x_5$$

$$y \text{ 方向分力之和 } F_y = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5$$

合力 F 的大小和方向为

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad [\text{kgf}] \quad (1-4)$$

$$\tan \theta = \frac{F_y}{F_x} \quad (1-5)$$

〔例题 1〕 在图 1-1 中， $F_1 = 80 \text{ kgf}$ ， $F_2 = 60 \text{ kgf}$ ， $\theta = 60^\circ$ 时，求合力 F 及方向。

〔解〕 由式 (1-1)，得合力

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta} \\ &= \sqrt{80^2 + 60^2 + 2 \times 80 \times 60 \cos 60^\circ} \\ &= 121.7 \quad [\text{kgf}] \end{aligned}$$

由式 (1-2)，合力的方向

$$\begin{aligned} \tan \beta &= \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta} = \frac{60 \times \sin 60^\circ}{80 + 60 \cos 60^\circ} \\ &= 0.473 \\ \beta &= \tan^{-1} 0.473 = 25^\circ 19' \end{aligned}$$

即合力与 F_1 成 $25^\circ 19'$ 的夹角。

〔例题 2〕 在图 1-2 中， $F_1 = 20 \text{ kgf}$ ， $F_2 = 30 \text{ kgf}$ ， $F_3 =$

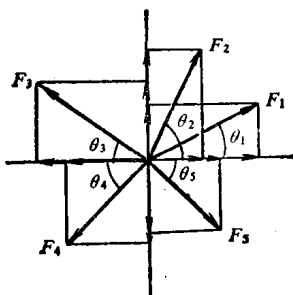


图 1-2 多个力的合成

15 kgf, $F_1=10$ kgf, $F_5=10$ kgf. $\theta_1=30^\circ$, $\theta_2=60^\circ$, $\theta_3=30^\circ$, $\theta_4=45^\circ$, $\theta_5=45^\circ$ 时, 求合力的大小和方向.

[解]

$$x_1 = F_1 \cos 30^\circ = 2 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 17.32 \quad [\text{kgf}]$$

$$x_2 = F_2 \cos 60^\circ = 30 \times \frac{1}{2} = 15 \quad [\text{kgf}]$$

$$x_3 = F_3 \cos 30^\circ = -15 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = -12.99 \quad [\text{kgf}]$$

$$x_4 = F_4 \cos 45^\circ = -10 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = -7.07 \quad [\text{kgf}]$$

$$x_5 = F_5 \cos 45^\circ = 10 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 7.07 \quad [\text{kgf}]$$

$$y_1 = F_1 \sin 30^\circ = 20 \times \frac{1}{2} = 10 \quad [\text{kgf}]$$

$$y_2 = F_2 \sin 60^\circ = 30 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 25.98 \quad [\text{kgf}]$$

$$y_3 = F_3 \sin 30^\circ = 15 \times \frac{1}{2} = 7.5 \quad [\text{kgf}]$$

$$y_4 = F_4 \sin 45^\circ = -10 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = -7.07 \quad [\text{kgf}]$$

$$y_5 = -F_5 \sin 45^\circ = -10 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = -7.07 \quad [\text{kgf}]$$

$$x \text{ 方向分力之和 } F_x = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 17.32 + 15 - 12.99 - 7.07 + 7.07 = 19.33 \quad [\text{kgf}]$$

$$y \text{ 方向分力之和 } F_y = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 = 10 + 25.98 + 7.5 - 7.07 - 7.07 = 29.34 \quad [\text{kgf}]$$

由式(1-4), 合力为

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{19.33^2 + 29.34^2} \\ = 35.14 \text{ [kgf]}$$

由式(1-5) 合力的方向

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{F_y}{F_x} = \frac{29.34}{19.33} = 1.5178 \\ \theta = \operatorname{tg}^{-1} 1.5178 = 56^\circ 37' 16''$$

1-2 力 矩

(1) 力矩(图1-3)

转动作用的大小, 与力 F 和离 O 点的距离 l 成正比。该

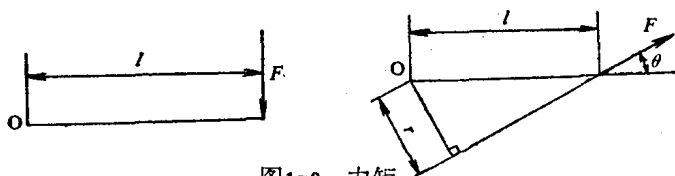


图1-3 力矩

力和距离之乘积称为力矩。如果用 M 表示绕 O 点(作用于 O 点)之力矩, 则

$$M = Fl \text{ [kgf} \cdot \text{cm]} \quad (1-6)$$

$$M = Fl \sin \theta \quad (r = l \sin \theta) \quad (1-7)$$

(2) 力偶矩(图1-4)

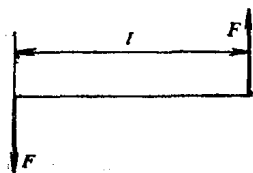


图1-4 力偶矩

大小相等方向相反的两平行力称为力偶。物体在力偶的作用下产生转动。力偶矩的大小用力偶臂长度的乘积表示。现用 M 表示力偶矩, 则

$$M = Fl \text{ [kgf} \cdot \text{cm]} \quad (1-8)$$

(3) 平行力的合成

1) 相同方向两平行力的合成 (图1-5a)

设相同方向的两平行力为 F_1 、 F_2 ，作用点为 A 、 B ，则合力 F 为

$$F = F_1 + F_2$$

合力作用点 O 的位置为

$$OA = \frac{F_2}{F_1 + F_2} AB, \quad OB = \frac{F_1}{F_1 + F_2} AB \quad (1-9)$$

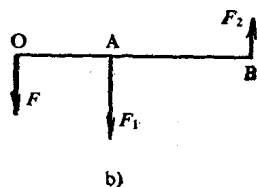
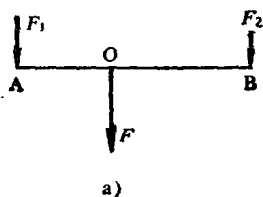


图1-5 平行力的合成

2) 相反方向两平行力的合成 (图1-5b)

设方向相反的两平行力为 F_1 、 F_2 ($F_1 > F_2$)，合力 F 通过 AB 延长线上的 O 点，则两相反方向力的合力 F 为

$$F = F_1 - F_2$$

合力作用点的位置为

$$OA = \frac{F_2}{F_1 - F_2} AB, \quad OB = \frac{F_1}{F_1 - F_2} AB \quad (1-10)$$

【例题 1】求图1-6中绕 O 点的力矩。

【解】由图1-6a和式(1-7)

$$M = F l \sin \theta = 50 \times 400 \sin 30^\circ = 10000 \text{ [kgf} \cdot \text{mm]}$$

由图 1-6b 和式 (1-6)

$$M = F l = 30 \times (300 + 400 \cos 30^\circ) = 19380 \text{ [kgf} \cdot \text{mm]}$$

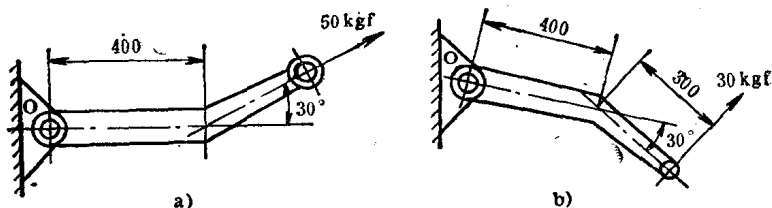


图 1-6

〔例题 2〕 在图 1-7 中, F_2 为多少千克力 方能保持平衡。

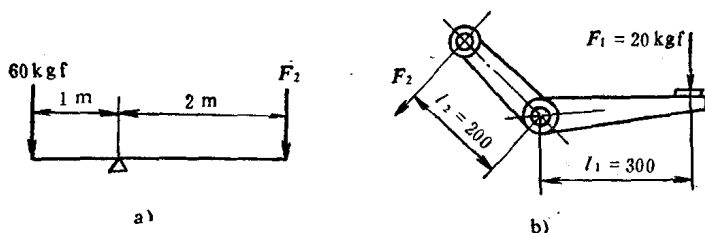


图 1-7

〔解〕 图 a, $F_1 l_1 = F_2 l_2$

$$60 \times 1 = F_2 \times 2, F_2 = 30 \text{ [kgf]}$$

图 b, $F_1 l_1 = F_2 l_2$

$$20 \times 300 = F_2 \times 200, F_2 = 30 \text{ kgf}$$

〔例题 3〕 在图 1-8 中, 求支反力 R_A 、 R_B 。

〔解〕 $R_A l = w l_2$

$$R_A = \frac{w l_2}{l} = \frac{60 \times 70}{100} \\ = 42 \text{ [kgf]}$$

$$R_B = 60 - 42 = 18 \text{ [kgf]}$$

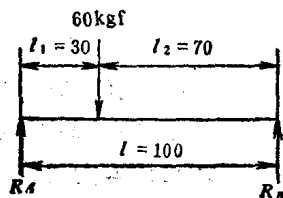


图 1-8

〔例题 4〕 有 A、B 两人，用长 2m 的杆抬 50kgf 的重物，A 承受 20kgf，B 承受 30kgf，求重物的位置。

〔解〕 由式(1-9)

$$OB = \frac{F_1}{F_1 + F_2} AB = \frac{20}{20 + 30} \times 200 = 80 \quad [\text{cm}]$$

重物位置离 B 点 80cm。

1-3 力的平衡

(1) 作用于一点的力的平衡 (图1-9)

多个力作用在物体上时，从总体衡量，有力作用与没有力作用时处于相同的状态，则此时就叫做力处于平衡。在图 1-9b 中，把各力沿 x 、 y 方向分解成正交分量 F_{x1} 、 F_{x2} 、 F_{x3} 、 F_{x4} 、 F_{x5} 、 F_{y1} 、 F_{y2} 、 F_{y3} 、 F_{y4} 、 F_{y5} ，这两个方向分力之和的合力为零时，称为力处于平衡状态。

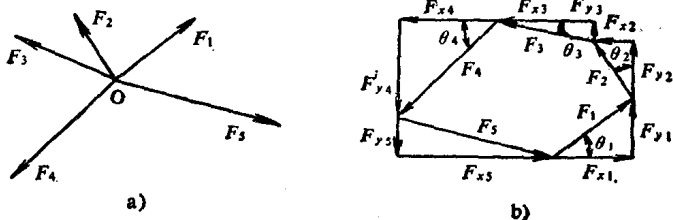


图1-9 作用于一点力的平衡

分力

$$F_{x1} = F_1 \cos \theta_1, \quad F_{y1} = F_1 \sin \theta_1$$

$$F_{x2} = F_2 \cos \theta_2, \quad F_{y2} = F_2 \sin \theta_2$$

$$F_{x3} = F_3 \cos \theta_3, \quad F_{y3} = F_3 \sin \theta_3$$

$$F_{x4} = F_4 \cos \theta_4, \quad F_{y4} = F_4 \sin \theta_4$$

$$F_{x5} = F_5 \cos \theta_5, \quad F_{y5} = F_5 \sin \theta_5$$

平衡条件

$$F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} + F_{x4} + F_{x5} = 0$$

$$F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} + F_{y4} + F_{y5} = 0$$

(2) 三力的平衡

在图 1-10 中, 当力 F_1 、 F_2 、 F_3 处于平衡时, 设 F_2 和 F_3 的夹角为 θ_1 , F_3 和 F_1 的夹角为 θ_2 , F_1 和 F_2 的夹角为 θ_3 , 则

$$\frac{F_1}{\sin \theta_1} = \frac{F_2}{\sin \theta_2} = \frac{F_3}{\sin \theta_3} \quad (\text{拉美定理}) \quad (1-11)$$

(3) 平行力系的平衡

图 1-11 中, 由于受载荷 W_1 、 W_2 ... 作用而产生的反作用

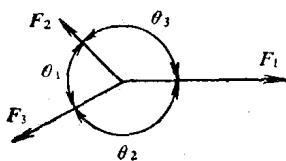


图 1-10 三力的平衡

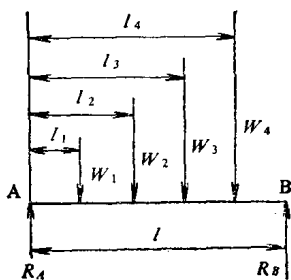


图 1-11 平行力系的平衡

力称为支反力。现设支点 A、B 的反作用力为 R_A 、 R_B , 则

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = R_A + R_B$$

绕 A 点的力矩之和为 0

$$R_A \times 0 - W_1 l_1 - W_2 l_2 - W_3 l_3 - W_4 l_4 + R_B l = 0$$

$$R_B = \frac{W_1 l_1 + W_2 l_2 + W_3 l_3 + W_4 l_4}{l} \quad [\text{kgf}]$$

支反力 R_A

$$R_A = (W_1 + W_2 + W_3 + W_4) - R_B \quad [\text{kgf}]$$

〔例题 1〕 在图1-12中, 三力平衡时力 F_1 、 F_2 应为多少千克力?

$$[解] \quad F_{x1} = F_1 \cos 30^\circ = F_1 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 F_1$$

$$F_{x2} = -F_2 \cos 60^\circ = -F_2 \times \frac{1}{2} = -0.5 F_2$$

$$F_{x3} = 0$$

$$F_{y1} = F_1 \sin 30^\circ = F_1 \times \frac{1}{2} = 0.5 F_1$$

$$F_{y2} = F_2 \sin 60^\circ = F_2 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 F_2$$

$$F_{y3} = -2000$$

$$\text{由 } F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} = 0$$

$$0.866 F_1 - 0.5 F_2 + 0 = 0$$

图 1-12

$$\text{由 } F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} = 0$$

$$0.5 F_1 + 0.866 F_2 - 2000 = 0$$

由以上两式

$$F_1 = 1000 \text{ kgf} \quad F_2 = 1732 \text{ kgf}$$

如用拉美定理

$$\frac{F_1}{\sin \theta_1} = \frac{F_2}{\sin \theta_2} = \frac{F_3}{\sin \theta_3} = \frac{2000}{\sin 90^\circ} = 2000$$

$$F_1 = \sin \theta_1 \times 2000 = \sin 150^\circ \times 2000 = 1000 \text{ [kgf]}$$

$$F_2 = \sin \theta_2 \times 2000 = \sin 120^\circ \times 2000 = 1732 \text{ [kgf]}$$

〔例题 2〕 在图1-11中, $l_1 = 100 \text{ mm}$, $l_2 = 200 \text{ mm}$, $l_3 = 3000 \text{ mm}$, $l_4 = 400 \text{ mm}$, $l_5 = 500 \text{ mm}$, $W_1 = 20 \text{ kgf}$, $W_2 = 40 \text{ kgf}$, $W_3 = 60 \text{ kgf}$, $W_4 = 80 \text{ kgf}$, 求支反力 R_A 、 R_B 。

〔解〕 绕A点的力距之和为0

$$-20 \times 100 - 40 \times 200 - 60 \times 300$$

$$-80 \times 400 + R_B \times 500 = 0$$

$$R_B = \frac{2000 + 8000 + 18000 + 32000}{500} = 120 \text{ [kgf]}$$

$$R_A = (20 + 40 + 60 + 80) - 120 = 80 \text{ [kgf]}$$

1-4 重 心

(1) 重心 (图1-13)

物体由无数的小质点组成，每一微小质点都受重力作用，重力是相互平行的向下的力，这些相互平行力的合力的作用点称为重心。现设各质点重量为 $w_1, w_2, w_3, \dots$ ，总重量为 W ，各质点的坐标为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots$ ，则重心的坐标 $(\bar{x}, \bar{y})$ 为

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3} \\ &= \frac{\sum w_i x_i}{W} \text{ [cm]} \end{aligned} \quad (1-12)$$

$$\bar{y} = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2 + w_3 y_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$$

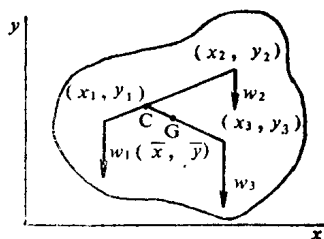


图 1-13 重心