

机械 公式活用手册

MECHANICAL FORMULA HANDBOOK

〔日〕安达胜之 坂本欣也 菅野一仁 著
住野和男 野口和晴
杨晓辉 白彦华 徐方超 译



科学出版社

机械公式活用手册

〔日〕 安达胜之 坂本欣也 菅野一仁 著
住野和男 野口和晴
杨晓辉 白彦华 徐方超 译

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本书覆盖机械设计所需要的各种公式,内容分成10个方面、118个问题,从理论力学、振动力学和材料力学等机械设计的基本公式,到螺纹、齿轮、轴承、弹簧,以及铆焊接头等零件设计公式,机械加工和测量公式,最后是流体力学和流体机械,热力学和热力机械。本书重点是灵活使用公式,所以没有列出公式的变形、变换式以及说明等,选用的公式具有代表性,每个公式均用例题讲解其典型应用。

本书应用性强,实用价值高,是从事机械工程领域的各类人员及学生必备的手册。

图书在版编目(CIP)数据

机械公式活用手册/(日)安达胜之等著;杨晓辉等译. —北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-030946-4

I. 机… II. ①安… ②杨… III. 机械设计-公式-手册
IV. TH12-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 078337 号

责任编辑:杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:王 珍

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年6月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2011年6月第一次印刷 印张:9 1/4

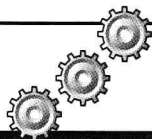
印数:1—5 000 字数:275 000

定 价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

译者序

Preface



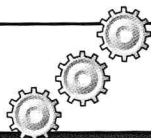
机械设计涵盖的知识面非常广泛,设计新产品时需要进行各种计算,包括运动分析、受力分析、零件形状和尺寸的确定等等。如何灵活运用各种公式是设计人员需要解决的难题。

本书几乎覆盖了机械设计所需要的各种公式,从理论力学、振动力学和材料力学等机械设计的基本公式,到螺纹、齿轮、轴承、弹簧,以及铆焊接头等零件设计公式,机械加工和测量公式,最后是流体力学和流体机械,热力学和热力机械,涉及到十个方面。书中的理论叙述很少,列出的公式均有实用价值,主要是通过例题来学习公式的运用。所以本手册不仅对从事机械工程领域的各类人员有实际作用,对工科院校相关专业学生学习机械知识也有所帮助。

本书第1、2、3、5、6章由徐方超翻译,7、8、9、10章由白彦华翻译,第4章由刘旭翻译,全书由杨晓辉修订。由于译者水平有限,译文中难免存在不足和纰漏,敬请广大读者批评指正。

致读者

Introduction



在工程领域,设计一个新产品的过程实际上就是将迄今为止已有的机械要素进行重新组合的过程,在这个过程中,不仅仅是简单的要素组合,还有人员的合理配置和交流。一个新技术要在不同的领域和专业间进行各种交流,其中技术人员需要积累与产品有关的广泛知识和经验,对于复杂的装配还必须进行不同的领域和专业间的协作。现将生产新产品所要掌握的基本问题整理成书,供机械行业的技术人员参考使用。

本书有以下特点:

(1) 将精心挑选的机械设计内容分成 10 个方面、118 个问题,每个问题用两页篇幅进行阐述。

(2) 在知识点中概述了正确使用公式的注意事项和典型应用。

(3) 本书的精华是对公式的灵活使用,所以没有列出公式的变形、变换式以及说明等。

(4) 选用最有代表性的公式,并尽量使用图表便于记忆。

(5) 例题基本上是讲解公式的典型应用实例。

(6) 知识扩展是与题目相关的知识介绍。

(7) 附录是使用公式时需要查找的数据。

本书不仅对从事机械工程领域的各类人员有实际作用,也对工科院校相关专业学生学习机械知识有所帮助。本书涉及机械设计多领域的知识,如能成为诸位的有力助手而被广泛使用,将深感欣慰。

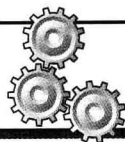
最后,感谢为编写本书而使用到的各种文献和参考资料的作者,同时对本书出版给予支持的 OHM 社的各位表示感谢。

2008 年 6 月

编者

目 录

Contents



第 1 章 理论力学

1.1 力的合成	2
1.2 力 矩	4
1.3 力的平衡	6
1.4 几何中心与重心	8
1.5 桁架问题	10
1.6 力和运动	12
1.7 动量守恒定律和碰撞	14
1.8 动量与冲量	16
1.9 功、功率与能量	18
1.10 滑动摩擦	20
1.11 圆周运动	22
1.12 向心力与离心力	24
1.13 转动惯量	26
1.14 转矩与转动	28
1.15 回转运动的功、功率和能量	30
1.16 滚动摩擦	32
1.17 曲柄连杆机构	34
1.18 轮轴与滑轮	36

第 2 章 振动力学

2.1 简谐振动	40
2.2 单 摆	42
2.3 弹簧振子	44
2.4 扭 摆	46
2.5 振动的衰减和共振	48

第3章 材料力学

3.1 正应力与剪应力	52
3.2 应变和泊松比	54
3.3 弹性模量和弹性能	56
3.4 应力集中	58
3.5 热应力	60
3.6 许用应力和安全系数	62
3.7 受内部压力的薄壁圆筒	64
3.8 冲击载荷	66
3.9 梁的支点反力	68
3.10 梁的剪切力和弯曲力矩	70
3.11 受集中载荷作用的悬臂梁	72
3.12 受均布载荷作用的悬臂梁	74
3.13 受集中载荷作用的两端支撑梁	76
3.14 受均布载荷作用的两端支撑梁	78
3.15 受多个载荷作用的梁	80
3.16 截面惯性矩和截面系数	82
3.17 弯曲应力	84
3.18 梁的挠度	86
3.19 等强度梁	88
3.20 压 曲	90
3.21 扭 转	92
3.22 组合(复合)应力(1)	94
3.23 组合(复合)应力(2)	96
3.24 组合(复合)应力(3)	98

第4章 零件设计

4.1 铆 接	102
4.2 铆接效率	104
4.3 焊接接头	106
4.4 螺纹的旋合长度及其接触面应力	108
4.5 螺栓的直径	110

4.6	螺旋弹簧	112	
4.7	平板弹簧	114	
4.8	叠板弹簧	116	
4.9	压力容器	118	目
4.10	受弯矩作用轴的直径	120	录
4.11	受扭矩作用轴的直径	122	
4.12	受扭转和弯曲同时作用的轴径	124	
4.13	传动轴的直径	126	
4.14	轴端为径向轴承的轴颈设计	128	
4.15	中间受径向力时轴颈的设计	130	
4.16	摩擦生热时轴承的尺寸	132	
4.17	止推轴颈的设计	134	
4.18	滚动轴承的寿命	136	
4.19	摩擦离合器	138	
4.20	棘 轮	140	
4.21	单块式制动器	142	
4.22	带式制动器	144	
4.23	带传动的速比、长度及包角	146	
4.24	皮带的张紧力	148	
4.25	滚子链的链节数与传递动力	150	
4.26	齿轮的模数与径节	152	
4.27	标准直齿轮的尺寸	154	
4.28	刘易斯公式	156	
4.29	齿面接触强度与圆周力	158	
4.30	斜齿轮的当量齿数与强度	160	
4.31	圆锥齿轮的尺寸与当量齿数	162	
4.32	齿轮系的速比	164	
4.33	行星齿轮装置	166	
4.34	差动齿轮装置	168	

第 5 章 机械加工法

5.1	根切现象的极限齿数	172
5.2	切削速度与转速	174

5.3	型砂的透气性	176
5.4	金属液对铸型的压力	178
5.5	坯料尺寸	180
5.6	拉伸加工	182
5.7	冲裁	184

第6章 测量技术

6.1	螺纹公称直径的三针测量法	188
6.2	公法线长度的测量	190
6.3	液压压力计	192
6.4	流量测量(孔板、文丘里管、皮托管)	194

第7章 流体力学

7.1	水压机原理	198
7.2	容器壁的压力	200
7.3	连续方程与雷诺数	202
7.4	伯努利定理与托里拆利定理	204
7.5	管内流动损失	206
7.6	射流对物体的作用力	208

第8章 流体机械

8.1	水轮机的特性	212
8.2	佩尔顿冲动水轮机	214
8.3	法兰西斯式水轮机	216
8.4	泵的功率和效率	218
8.5	离心泵	220
8.6	液压缸	222

第9章 热力学

9.1	热量、功与内能	226
9.2	P - V 曲线与焓	228
9.3	理想气体状态方程	230
9.4	理想气体状态变化	232

9.5 多方变化	234
----------------	-----

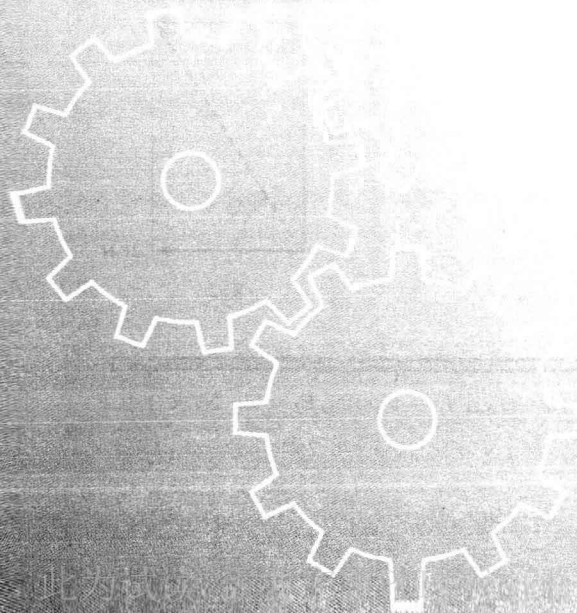
第10章 热力机

10.1 热力学第二定律	238
10.2 蒸汽循环	240
10.3 蒸汽流的基本方程	242
10.4 传热与热交换器	244
10.5 燃烧	246
10.6 锅炉性能	248
10.7 汽轮机性能	250
10.8 内燃机压缩比与循环	252
10.9 内燃机的输出功率与效率	254

附录

附录1 单位表	258
附录2 直齿轮齿形系数 y 的值	259
附录3 齿轮材料抗拉强度	260
附录4 未经表面硬化处理的齿轮的许用弯曲应力及作用接触应力	260
附录5 材料弹性系数 Z_E	262
附录6 使用系数 K_A	262
附录7 齿面接触应力系数	263
附录8 切削加工条件(车床)	264
附录9 少切削加工的切削速度与进给量	264
附录10 高速钢钻头标准切削条件	265
附录11 各种金属密度熔点	265
附录12 慕德线图	266
附录13 管路形状与损失系数	267
附录14 饱和表(温度基准)	268
附录15 饱和表(压力基准)	270
附录16 压力水和加热蒸汽表	272
附录17 水蒸气 $h-s$ 线图	278

第 1 章 理论力学



1.1 力的合成

Composition of forces



知识要点

当一个物体受到几个力共同作用时,我们可以求出这样一个力,这个力的作用效果与原来几个力共同作用的效果相同,那么就把这个力叫做那几个力的合力。求两个或两个以上力的合力的过程叫做力的合成。在原物体上施加合力的反作用力之后,各力达到平衡,原物体将保持静止。

1 当两个力的夹角为直角时 ($\alpha=90^\circ$)

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \quad (\text{N}) \quad ①$$

$$\tan \phi = \frac{F_2}{F_1} \quad ②$$

F : F_1 和 F_2 的合力。

2 当两个力的夹角为 α 时

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \alpha} \quad (\text{N}) \quad ③$$

$$\tan \phi = \frac{F_2 \sin \alpha}{F_1 + F_2 \cos \alpha} \quad ④$$

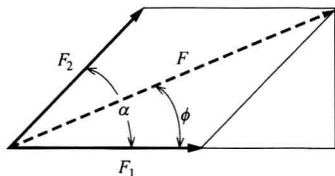


图 1

例题 1

如图 2 所示,当大小分别为 30 N 和 40 N 的两个力的夹角为直角时,求合力的大小和方向(角 ϕ 的大小)。

解 由①式得:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \quad (\text{N})$$

$$\tan \phi = \frac{40}{30} = 1.33$$

$$\therefore \phi = 53.1^\circ$$

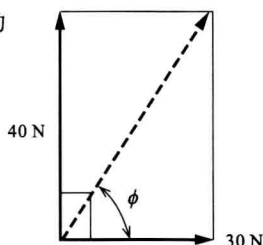


图 2

例题 2

如图 3 所示,两个力 F_1 和 F_2 的夹角 $\alpha=60^\circ$,且 $F_1=1000 \text{ N}$, $F_2=450 \text{ N}$,求合力 F 和角 ϕ 的大小。

解 由③式得:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \alpha}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{1000^2 + 450^2 + 2 \times 1000 \times 450 \times \cos 60^\circ} \\
 &= 1290 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

由④式得:

$$\begin{aligned}
 \tan \phi &= \frac{F_2 \sin \alpha}{F_1 + F_2 \cos \alpha} \\
 &= \frac{450 \times \sin 60^\circ}{1000 + 450 \times \cos 60^\circ} \\
 &= 0.318
 \end{aligned}$$

$$\therefore \phi = 17.6^\circ$$

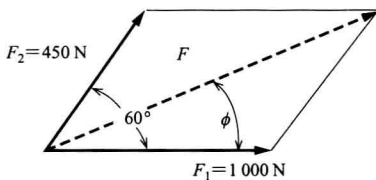


图 3

◎ 知识扩展 ◎

当两个力的夹角为直角时,把 $\cos 90^\circ = 0$, $\sin 90^\circ = 1$ 的值代入③、④式,可推导出①、②式。

求合力的反过程,即把一个力分解成两个以上力的过程,称为力的分解。这几个力就叫做原来那个力的分力,各分力方向可根据实际情况确定,但是,通常情况下会把力沿着相互垂直的两个方向进行分解(如图4所示),并称为正交分解,正交分解后的两个分力称为直角分力(F_x 、 F_y)。

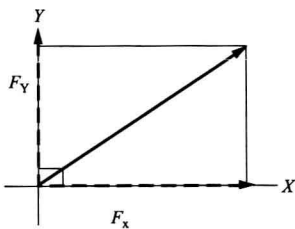


图 4

1.2 力 矩

Moment



►► 知识点

力对物体产生转动作用的物理量,称为力矩。力矩的大小等于回转中心到力作用线的垂直距离与力的乘积。如果力矩达到平衡,静止的物体不会发生转动。

1 力矩的大小

$$M = Fl \sin \theta \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad ①$$

当 $\theta = 90^\circ$ 时

$$M = Fl \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad ②$$

力矩的方向如图 1 所示,逆时针方向的力矩为正,用“+”表示(可省略);顺时针方向的力矩为负,用“-”表示。

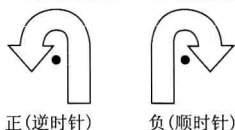


图 1

2 力偶矩的大小

$$M = Fd \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad ③$$

如图 3 所示,大小相等、方向相反、不在同一作用线上的一对平行力称为力偶;两力作用线间的距离称为力偶臂(d);平行力中的一个力(F)与力偶臂(d)的乘积称作力偶矩;力偶矩方向的确定方法与上述力矩的确定方法相同。

3 力矩的合成

$$M = \sum M_i \quad ④$$

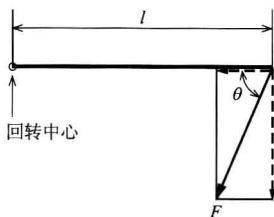


图 2

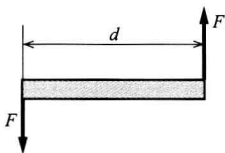


图 3 力偶

例题 1

如图 4 所示,求以 O 点为回转中心的力矩。解题时注意力矩的方向(“+”、“-”符号)。

◀解▶ 由①式计算力矩的大小,由图 4 可确定力矩为顺时针方向,即用负号(-)表示。

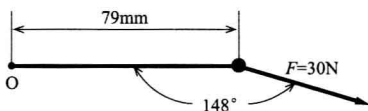


图 4

$$\begin{aligned}
 M &= -30 \text{ N} \times 79 \text{ mm} \times \sin 148^\circ \\
 &= -1260 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 &= -1.26 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

故力矩为 $-1.26 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$ 。

例题 2

求图 5 中各力偶矩。

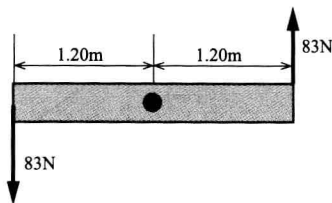
◀解▶ 由③式计算力偶矩的大小,并注意力偶矩的方向。

(1)在左图中力偶矩方向为逆时针,故符号为+,因此

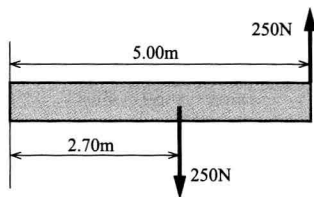
$$\begin{aligned}
 M &= 83 \text{ N} \times (1.20 + 1.20) \text{ m} \\
 &= 199.2 \text{ N} \cdot \text{m} \\
 &\approx 199 \text{ N} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

(2)在右图中力偶矩方向为顺时针,故符号为一,因此

$$\begin{aligned}
 M &= 250 \text{ N} \times (5.00 - 2.70) \text{ m} \\
 &= 575 \text{ N} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$



(a)



(b)

图 5

知识扩展

对于力偶,回转中心常位于力偶臂的中点,如汽车的方向盘(参照例题 2 图 5(a))。实际上,将力偶作用点的直线上的任意一点作为回转中心(内分点、外分点均可),力偶矩都不会发生改变。因此在例题 2(2)中,并非一定要明示回转中心,图 3 也是如此。

在例题 2(2)中,逆时针方向力矩 $250 \times 5.00 \text{ N} \cdot \text{m}$ 大于顺时针方向力矩 $250 \times 2.70 \text{ N} \cdot \text{m}$, 因此,合力矩为逆时针方向力矩,逆时针方向力矩的符号“+”可省略不写。

1.3 力的平衡

Equilibrium of force



知识点

当物体同时受到几个力的共同作用时,仍然保持静止状态,则称这几个力相互平衡。但是,力平衡的时候,力矩不一定平衡;当力平衡而力矩不平衡的时候,物体会发生转动。

1 力的平衡方程式

$$F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_i + \dots = 0 \quad (1)$$

F_i : 各力为矢量。

2 作图法分析力的平衡

如果作用在一点上的三个力达到平衡,那么这三个力必然能构成一个闭合的三角形。

即:在同一平面内,当三个共点力的合力为零时,其中任一个力与其它两个力夹角正弦的比值相等(拉密定理)。

$$\frac{F_1}{\sin \alpha} = \frac{F_2}{\sin \beta} = \frac{F_3}{\sin \gamma} \quad (2)$$

3 坐标法分析力的平衡

力 $F_1, F_2, F_3 \dots$ 在 X, Y 轴上的分力分别为 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3) \dots$, 则

(1) 共点力的平衡条件

$$\left. \begin{aligned} X_1 + X_2 + X_3 + \dots &= 0 \\ Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(2) 作用点不同的力的平衡条件

$$\left. \begin{aligned} X_1 + X_2 + X_3 + \dots &= 0 \\ Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots &= 0 \\ M_1 + M_2 + M_3 + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

此处, M 表示力矩。

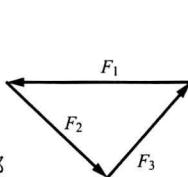


图 1

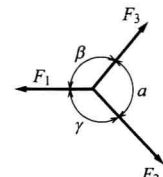


图 2

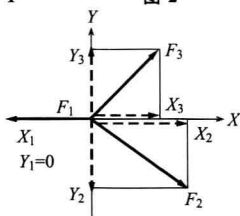


图 3

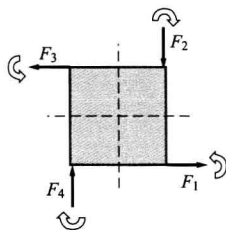


图 4

例题 1

如图 5 所示,重 200 N 的物体吊在两条绳索下方保持静止,求绳索的张力 T_1, T_2 。

◀解▶ 绳索的张力 T_1, T_2 和物体重力 W 三力保持平衡。

由③式得:

$$T_{1x} + T_{2x} + W_x = 0 \cdots (1)$$

$$T_{1y} + T_{2y} + W_y = 0 \cdots (2)$$

把 $T_{1x} = T_1 \cos 45^\circ = 0.707 T_1$, $T_{1y} = T_1 \sin 45^\circ = 0.707 T_1$,
 $T_{2x} = -T_2 \cos 60^\circ = -0.5 T_2$, $T_{2y} = T_2 \sin 60^\circ = 0.866 T_2$,
 $W_x = 0$, $W_y = -200$ 代入(1)、(2)式得:

$$0.707 T_1 - 0.5 T_2 = 0 \cdots (3)$$

$$0.707 T_1 + 0.866 T_2 - 200 = 0 \cdots (4)$$

式(4)一式(3)得:

$$1.366 T_2 = 200$$

$$\therefore T_2 = 146 \text{ N}, T_1 = 103 \text{ N}$$

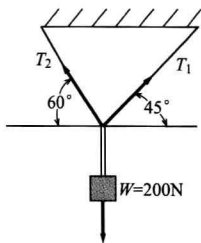


图 5

例题 2

如图 6 所示,某杆件可绕 A 端转动,自由端 B 受 250 N 载荷的作用,在绳索的拉拽下此杆保持水平状态,求绳索的张力和杆件对墙壁的垂直压力。

◀解▶ 作用于杆件上的力有三个:250 N 载荷,A 端的垂直反力和绳索的张力,这三个力保持平衡,则以 A 点为回转中心的力矩也保持平衡。

首先,由力矩公式得:

$$M_1 = 250 \times (200 + 50), M_2 = -T \sin 30^\circ \times 200$$

代入④得:

$$M = 250 \times 250 - T \sin 30^\circ \times 200 = 0$$

$$\therefore T = 625 \text{ N}$$

杆件对墙壁的垂直压力为: $T \cos 30^\circ = 625 \times \cos 30^\circ = 541 \text{ (N)}$

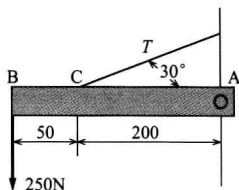


图 6

◎ 知识扩展 ◎

在考虑不在同一个作用点上的力的平衡时,力矩的平衡是一个必要条件。

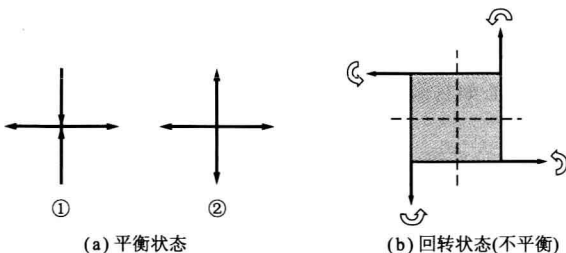


图 7