

D.Gross
W.Ehlers

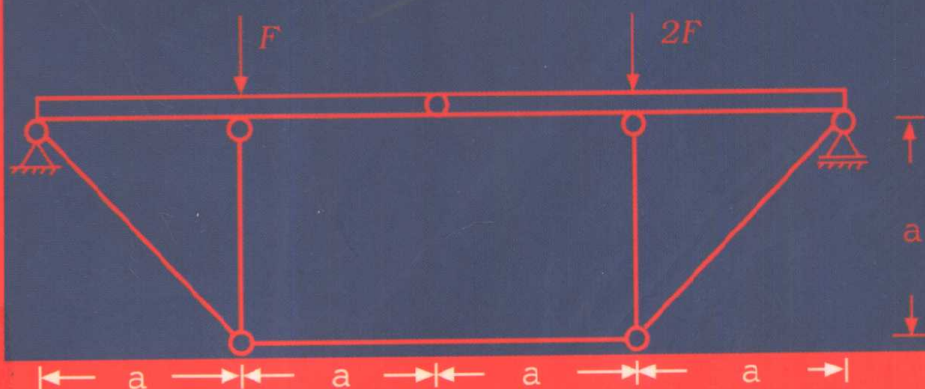
W.Schnell
P.Wriggers

合著

工程力学公式与习题

第1册 静力学

任文敏 曹致玉 译



TUP
清华大学出版社



Springer



工程力学公式与习题

第一册 静力学

D. Gross W. Schnell 合著
W. Ehlers P. Wriggers
任文敏 曹致玉 译



TUP
清华大学出版社



Springer

(京)新登字 158 号

中文书名: 工程力学公式与习题 第 1 册 静力学

原著书名: *Formeln und Aufgaben zur Technischen Mechanik 1 Statik*

本书英文版于 1998 年出版, 版权为施普林格出版公司所有.

本书中文简体版由施普林格出版公司授权, 清华大学出版社独家出版. 未经出版者书面允许, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容.

版权所有, 翻印必究.

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签, 无标签者不得销售.

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2001-1566 号

书 名: 工程力学公式与习题 第 1 册 静力学

作 者: D. Gross 等著 任文敏 曹致玉 译

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦, 邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 孙 礼

印 刷 者: 北京四季青印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 印张: 7.25 字数: 193 千字

版 次: 2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05168-2/C·275

印 数: 0001~6000

定 价: 17.00 元

序

迅速发展的中国需要工程师. 在中国迈向高度工业化国家的过程中, 工程师面临新的技术挑战. 静力学、材料力学和动力学组成的工程力学, 是许多工程科学的基石. 力学使工程师们能够通过计算, 预计在力的作用下结构与部件的性能及其运动. 为此, 未来的工程师们需要坚实的基础知识、分析能力和创造性. 这样的素养只能通过练习和实践来培养. 因此, 学生们通常需要在独立地解决问题之前, 尝试着去求解一些算例. 我们期望他们取得成功.

感谢中国的同行们翻译了这三本书, 也感谢清华大学出版社和施普林格出版社, 感谢他们为本书在中国的出版所付出的努力.

德国, 达姆斯塔特, 2002 年春

D. Gross

W. Ehlers

P. Wrigges

第 5 版前言

这本习题集是为学生学习和准备考试而编写的。

《工程力学公式与习题》由 3 册组成,其内容适用于大学 and 高等专科学校工程力学 3 个学期的基础课教学,第 1 册静力学部分适用于第一学期的教学.对本书中的每道习题,我们把重点放在寻找解题方法和基本方程的建立上,并把方程解出来.尽管图解法在教学法上仍有价值,我们还是尽可能地不用它.相对于第 4 版,本版内容有了进一步压缩,因为这些内容在计算机时代已无实际意义.

根据经验,工程力学常常给初学者带来很大困难.学习本课程时,初学者应该通过例题,学会把一个工程问题构建成一个数学模型,用数学方法分析它,并用工程科学的眼光评价其结果.为了达此目标,学习的方法只能通过独立地完成习题去掌握.我们恳切地告诫某些人,不要以为只要浏览习题的解答就可理解工程力学,那只是一种幻想.学习者只有独立地求解习题,实在做不出来的时候再去看一下书中的解题思路,这本习题集才有它的意义.

当然,这本习题集不能代替教科书.如果你对一个公式或者一种方法的建立不熟悉,那么你必须去掌握教科书中的有关内容,或者去找各种参考书.本书目录后有一些参考文献供你选择.

本书前 3 版由 BI 科学出版社出版,从第 4 版起由施普林格出版社负责出版.与新参与的作者一起,此版对习题集进行了全面的修改,并扩展了第 6 章(柔索静力学)和第 9 章(惯性矩).最后一章从第 2 册中抽出,空出的位置让给更复杂的问题.

我们感谢施普林格出版社与我们很好的合作和对书籍很好的编排与装帧,还出版了我们编写的工程力学教科书.我们也希望感兴趣的读者能友好地接受这一新版.

Darmstadt und Stuttgart, 1998 年 1 月
D. Gross W. Schnell W. Ehlers P. Wriggers

中译版序

“工程力学”作为工程学科的一门基础课程,在培养工程师的过程中,起着重要的作用.它为后续的工程类课程铺设了路基.学生们的学习“工程力学”的过程中,通过练习和解题,掌握工程力学的基本概念和分析方法.这些概念与方法在工科的后继课程中,既是基础性的知识,也是解决各类工程结构与构件的受力、变形与运动的基本方法.《工程力学的公式与习题》是“工程力学”课程的一个要素,一个重要的组成部分.

德国达姆斯塔特工业大学的工程力学基础教学可追溯到1820年,可谓历史悠久.这一套工程力学的例题与习题集在该校已使用多年,在德国的其他工业大学也多采用,目前已出第5版,它汇集了德国同行及学生们在工程力学课程中教与学的经验.与同类书籍相比,本书有以下鲜明的特点:一是少而精,抓住基本概念与基本演算,由浅入深地加以阐述演示,不追求面面俱到,不追求题型的各种变化.抓住了主要概念与主要分析方法,将题型的多样演化让学生去发挥.不求学生在题型上“见多识广”,集中于学生基本功的训练.二是作者们将静力学、材料力学与动力学综合在一起,有分工,又有呼应地将工程力学三部分内容一体化.将相关的内容统一设计,逐步展开.三位作者对这三部分内容都有长年的教学经验.基于以上理由,这是一套有特色的书,我很高兴地将它推荐给国内读者.于是我邀请清华大学工程力学系任文敏教授、姚振汉教授、陆明万教授,分别翻译了工程力学第1,2,3册.他们长期从事工程力学的教学与研究工作,并在20世纪80年代分别获得联邦德国(或瑞士)的工程博士学位.由他们翻译这一套书,可谓教、学与研究结合,中文与德文沟通,真是难得.我在此对他们在

教学与研究工作十分繁忙的情况下,利用业余时间及假期,使这一套书得以译就,表示深深的感谢.

希望这一套书对从事工程力学教与学的师生们能有所帮助.

余寿文

2002 年 1 月于清华园

译 者 的 话

本书由德国达姆斯塔特工业大学、斯图加特大学四位教授联合编写,是与工程力学教材配套的公式与题解集.书中所列习题都是从工程实际和日常生活中精选出来的,对我国工程力学的教与学都有重要的参考价值.我们希望中译本能对我国工程力学的教改起一些作用.

本书的文字非常精炼,解释习题求解过程的文字不多,且无多余的话,想必作者是要留给读者去思考.为了让我国读者便于理解全书内容,翻译时,按我们的理解,在不损害作者原意的前提下加了一些必要的说明.这些说明有的融于译文中,有的则以译注的形式给出.限于译者水平,我们对原文的理解和译文肯定会有不少缺点和失当,甚至错误,恳望读者不吝指正.

我们要感谢余寿文教授为译者推荐了此书,并为本书作序.另外我们对清华大学出版社编辑同志们的辛勤劳动表示谢意.

译者谨识

2001. 2. 10. 于清华园

参考文献与符号

参考文献

教 科 书

- 1 Brommund E, Sachs G. Technische Mechanik, 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin 1991
- 2 Bruhns Q T, Lehmann Th. Elemente der Mechanik I, Band 1: Einführung, Statik. Vieweg, Braunschweig 1993
- 3 Gross D, Hauger W, Schnell W. Technische Mechanik, Band 1: Statik, 5. Auflage. Springer-Verlag, Berlin 1995
- 4 Gummert P, Reckling K A. Mechanik, 3. Auflage. Vieweg, Braunschweig 1994
- 5 Hagedorn P. Technische Mechanik, Band 1: Statik, 2. Auflage. Harri Deutsch, Thun 1993
- 6 Hahn H G. Technische Mechanik fester Körper, 2. Auflage. Hanser 1992
- 7 Magnus K, Müller H H. Grundlagen der Technischen Mechanik, 6. Auflage. Teubner, Stuttgart 1990
- 8 Meriam J L. Statics, 2nd Edition. Wiley, Chichester 1975

习 题 集

- 9 Bruhns O T. Aufgabensammlung Technische Mechanik I, Band 1: Statik für Bauingenieure und Maschinenbauer. Vieweg, Braunschweig 1996
- 10 Dankert H, Dankert J. Technische Mechanik, Computerunterstützt, 2. Auflage. Teubner, Stuttgart 1995
- 11 Hagedorn P. Aufgabensammlung Technische Mechanik, 2. Auflage. Teubner, Stuttgart 1992

- 12 Hauger W, Lippmann H, Mannl V. Aufgaben zu Technische Mechanik 1-3. Springer-Verlag, Berlin 1991
- 13 Lugner P, Desoyer K, Novak A. Technische Mechanik. Aufgaben und Lösungen, 4. Auflage. Springer-Verlag, Wien 1992

符号

在习题解答中采用下列符号：

$\uparrow$ ：表示在箭头方向所有力的总和等于零。

$\hat{A}$ ：表示对于参考点 A 的所有力矩的总和等于零。

$\leadsto$ ：表示由此导出。

目 录

参考文献与符号	XI
1 平衡	1
2 重心	26
3 支座反力	40
4 桁架	58
5 梁、刚架和曲杆	91
6 柔索	148
7 静力学中功的概念	157
8 自锁和摩擦	179
9 平面图形惯性矩	204

1 平衡

1.1 平面汇交力系

一个汇交力系可用其合力 $\mathbf{R} = \sum \mathbf{F}_i$ 代替,并决定其是否平衡,如果有

$$\sum \mathbf{F}_i = 0$$

或其分量

$$\sum F_{ix} = 0, \quad \sum F_{iy} = 0,$$

则该力系平衡.

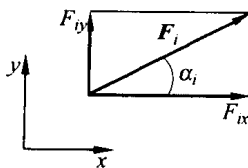
其中:

$$\mathbf{F}_i = F_{ix}\mathbf{e}_x + F_{iy}\mathbf{e}_y,$$

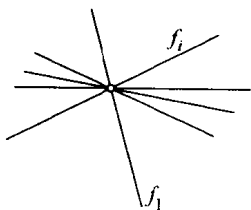
$$F_{ix} = F_i \cos \alpha_i,$$

$$F_{iy} = F_i \sin \alpha_i,$$

$$|\mathbf{F}_i| = F_i = \sqrt{F_{ix}^2 + F_{iy}^2}.$$



在图解法中平衡条件要求力多边形封闭.



力系位图



力系作用面即力多边形平面

1.2 空间汇交力系

平衡条件要求合力 $\mathbf{R} = \sum \mathbf{F}_i$ 为零, 即 $\sum \mathbf{F}_i = \mathbf{0}$ 或其分量

$$\left[\sum F_{ix} = 0, \sum F_{iy} = 0, \sum F_{iz} = 0 \right].$$

其中

$$\mathbf{F}_i = F_{ix}\mathbf{e}_x + F_{iy}\mathbf{e}_y + F_{iz}\mathbf{e}_z,$$

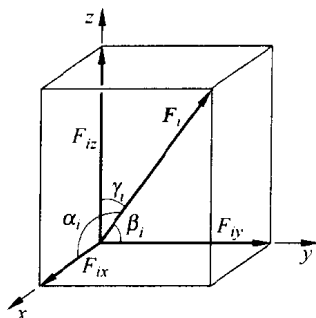
$$F_{ix} = F_i \cos \alpha_i,$$

$$F_{iy} = F_i \cos \beta_i,$$

$$F_{iz} = F_i \cos \gamma_i,$$

$$\cos^2 \alpha_i + \cos^2 \beta_i + \cos^2 \gamma_i = 1,$$

$$|\mathbf{F}_i| = F_i = \sqrt{F_{ix}^2 + F_{iy}^2 + F_{iz}^2}.$$



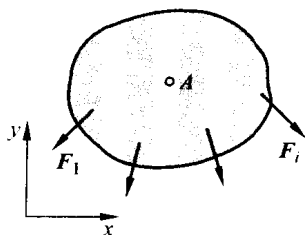
1.3 平面一般力系

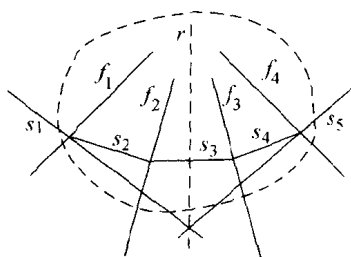
平面一般力系可用一个合力 $\mathbf{R} = \sum \mathbf{F}_i$ 和一个相对于任意选定的参考点(矩心) A 的合力矩 $M_R^{(A)}$ 代替. 平衡时要求

$$\left[\sum F_{ix} = 0, \sum F_{iy} = 0, \sum M_i^{(A)} = 0 \right].$$

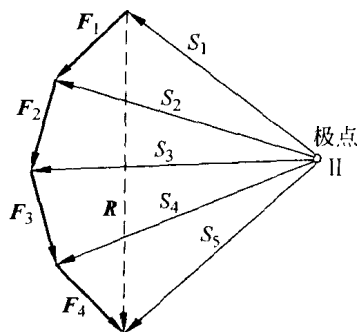
上式中两个力的平衡条件, 可用相对于另外两个任选参考点(例如 B 和 C) 的力矩平衡条件代替, 但要求 A, B 和 C 三点不在同一条直线上.

借助于索多边形和力多边形的概念, 可用图解法得到合力.





位图中的索多边形



力多边形

- 索多边形中的索线 s_i 和力多边形中的极射线 S_i 平行.
- 合力 R 的作用线, 在索多边形上经过其最外侧的两条索线 s_1 和 s_5 的交点, 合力的大小和方向由力多边形确定.
- 平衡时索多边形和力多边形必然封闭.

1.4 空间一般力系

空间一般力系的平衡条件是, 合力 $R = \sum F_i$ 和力系对任一矩心 A 的合力矩 $M_R^{(A)} = \sum r_i \times F_i$ 都等于零:

$$\boxed{\sum F_i = 0}, \quad \boxed{\sum M_i^{(A)} = 0},$$

或它们的分量

$$\boxed{\begin{aligned} \sum F_{ix} &= 0, & \sum F_{iy} &= 0, & \sum F_{iz} &= 0, \\ \sum M_{ix}^{(A)} &= 0, & \sum M_{iy}^{(A)} &= 0, & \sum M_{iz}^{(A)} &= 0. \end{aligned}}$$

其中

$$M_{ix}^{(A)} = y_i F_{iz} - z_i F_{iy},$$

$$M_{iy}^{(A)} = z_i F_{ix} - x_i F_{iz},$$

$$M_{iz}^{(A)} = x_i F_{iy} - y_i F_{ix}.$$

式中的 x_i, y_i 和 z_i 是从矩心 A 向力 F_i 作用线上任一点 (例如力的

作用点)所引出的位置矢量 r_i 的分量.

注: 和平面力系一样, 力的平衡条件可以用力对适当选择的轴的力矩平衡条件代替.

题 1.1 重量为 G 的小球, 用一根绳子挂在墙上, 绳子通过球心固定. 求绳子的拉力. 已知 $a=60\text{cm}$, $r=20\text{cm}$.

a) **解析法**: 假想截断绳子, 将小球从墙上隔离出来, 以便确定作用在小球上的全部外力. 在隔离体上用 S 表示绳子拉力, 用 N 表示墙给小球的正压力. 于是得到图示隔离体受力图. 引入辅助角 α 后, 平衡条件可表示为:

$$\rightarrow: N - S \cos \alpha = 0,$$

$$\uparrow: S \sin \alpha - G = 0.$$

由此解出

$$S = \frac{G}{\sin \alpha},$$

$$N = S \cos \alpha = G \cot \alpha.$$

从几何关系可导出:

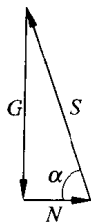
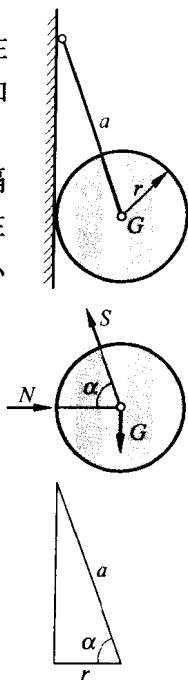
$$\cos \alpha = \frac{r}{a} = \frac{20}{60} = \frac{1}{3} \text{ 和 } \sin \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{3}\right)^2} = \frac{1}{3} \sqrt{8}.$$

最后得出

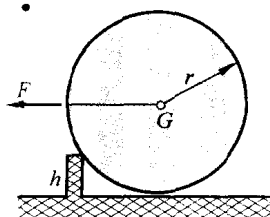
$$S = \frac{3}{\sqrt{8}} G \approx \underline{\underline{1.06G}}.$$

b) **图解法**: 根据已知力 G 的大小和方向, 以及 S 和 N 两个力的方向, 可以先画出一个封闭的力三角形, 然后根据三角关系可导出

$$\underline{\underline{S = \frac{G}{\sin \alpha}}}, \quad N = G \cot \alpha.$$



题 1.2 一个光滑的压路辊,重量为 G ,半径为 r ,遇到一个高为 h 的障碍. 为使辊轮越过障碍,作用在轮心的牵引力至少要多大?



a) 解析法: 隔离体的受力图上画出了所有作用在辊轮上的力,相应的平衡条件如下:

$$\rightarrow: N_2 \sin \alpha - F = 0,$$

$$\uparrow: N_1 + N_2 \cos \alpha - G = 0,$$

α 角从已知的几何关系可以导出:

$$\cos \alpha = \frac{r-h}{r}.$$

但两个平衡方程中含有 3 个未知量:

N_1 , N_2 和 F .

当辊轮越过障碍时,与地面脱离接触,正压力 N_1 随之消失,于是

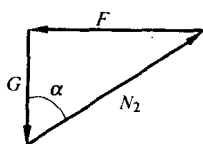
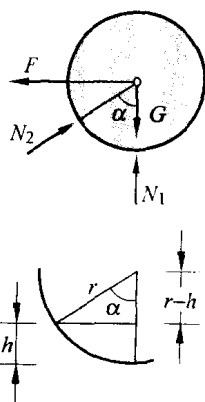
$$N_1 = 0 \leadsto N_2 = \frac{G}{\cos \alpha}.$$

由此得到

$$\underline{F = N_2 \sin \alpha = G \tan \alpha}.$$

b) 图解法: 基于 $N_1 = 0$, 根据已知的 G 和方向已知的 N_2 和 F , 可以画出力三角形, 再根据三角关系可以导出:

$$N_2 = \frac{G}{\cos \alpha}, \quad \underline{F = G \tan \alpha}.$$



题 1.3 一个大圆辊,重量为 $4G$,半径为 $2r$,搁在两个重量为 G 、半径为 r 的小圆辊上. 两个小圆辊用长度为 $3r$ 的绳子相互连结,所有的接触面都是光滑的. 求所有的反力.

解: 在隔离体的受力图上,我们画出

