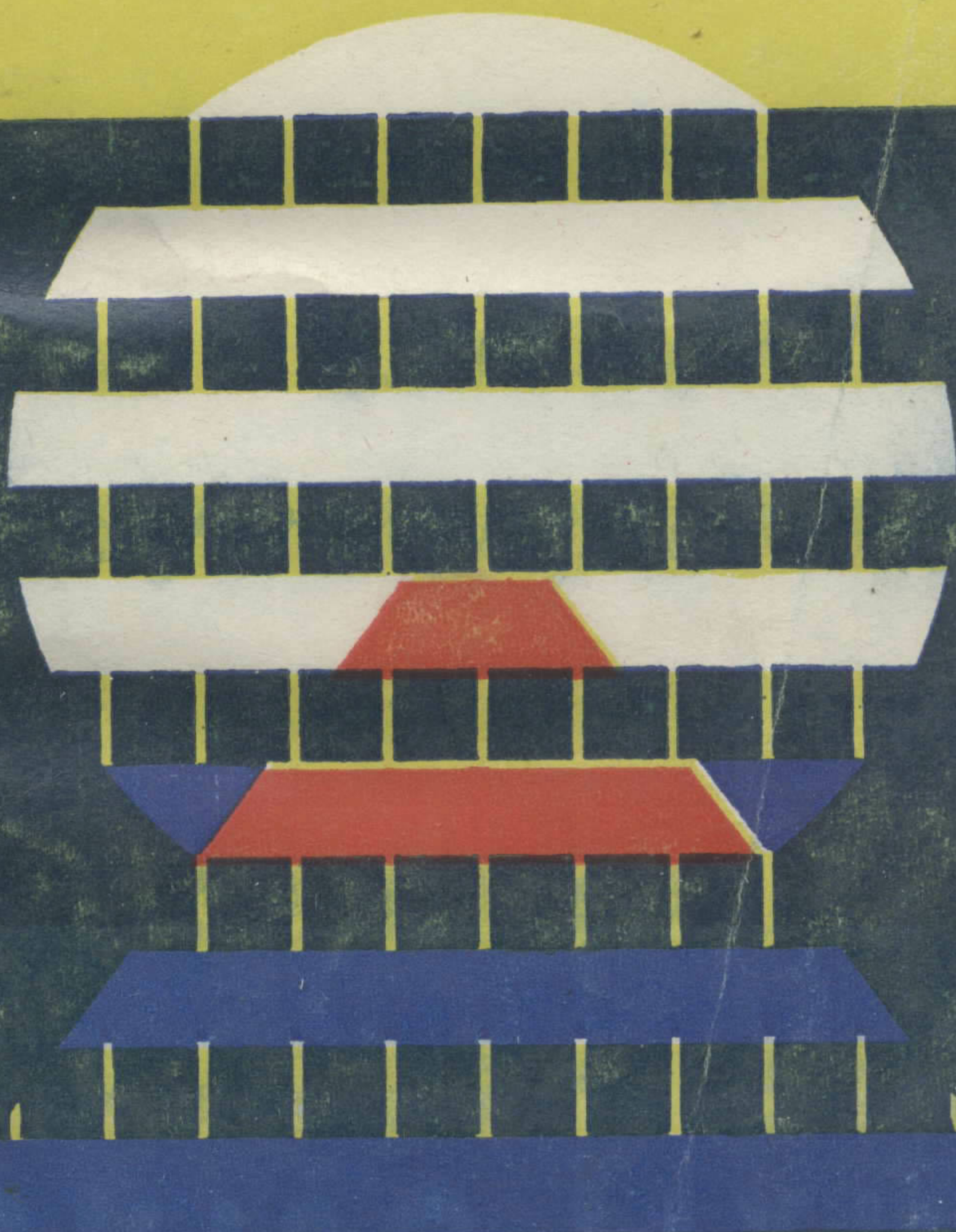


CAILIAO LIXUE

材料力学

- 许本安 李秀治
- 上海交通大学出版社



SHANGHAI JIAOTONG DAXUE CHUBAN SHE

三导丛书

材料力学

(浙大·第3版)

导教·导学·导考 (下册)

苟文选 主编

我做完了书中所有的习题，却没有在上面留下一个字。因为我知道，我在上面所作的任何标记，都会给您的阅读带来不便。请您做题的时候，在旁边放一张纸，把解答写在上面。我们都借到过“五彩斑斓”的习题书，我们一定都希望借到一本崭新的书。所以，在自己方便的同时，请把方便留给别人。

转引一位同学的话

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书根据浙江大学刘鸿文主编的《材料力学》(上、下册)第3版内容,对全书的前15章和附录中平面图形的几何性质按章编写了重点内容提要、重点知识结构图、考点及常考题型范例精解、考研精典题选解、学习效果两级测试题及答案、课后习题全解6部分。第16章~第18章由于超出教学大纲范围,为节省篇幅,仅给出课后习题全解。该书旨在帮助读者掌握课程重点,学会分析方法,提高解题能力,为考研者提供帮助。

该书可供使用浙江大学刘鸿文主编的《材料力学》第3版教材的读者和青年教师参考,亦可作为使用其他教材的读者或考研者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学导教·导学·导考/苟文选主编;王安强等编. —西安:西北工业大学出版社,2002.3

ISBN 7-5612-1441-3

I. 材… II. ①苟… ②王… III. 材料力学—高等学校—教学参考资料 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 006953 号

出版发行:西北工业大学出版社

通讯地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072 电话:(029) 8493844

网 址: <http://www.nwpup.com>

印刷者:陕西友盛印务有限责任公司印装

开 本:850 mm×1 168 mm 1/32

印 张:28.5

字 数:914千字

版 次:2002年8月第1版 2002年8月第1次印刷

印 数:1~5 000册

定 价:全书定价33.00元 本册定价15.00元

前 言

为了适应当前教学改革的需要,根据广大读者的要求,应西北工业大学出版社“三导丛书”编辑的约请,组织编写本书,供学习材料力学课程的读者、有志考研复习本课程的考生及初次从事材料力学课程教学的教师参考。

浙江大学刘鸿文教授主编的《材料力学》(上、下册)第1版系浙江大学、西北工业大学等九院校合编,高等教育出版社1979年出版。20多年来历经千锤百炼不断再版使之更适合于我国国情,适合于读者解决工程实际问题能力的培养,深受广大师生之赞誉。本教材曾获1997年国家级教学成果一等奖,国家科技进步二等奖。为了读者更好地理解课程内容,扎实掌握课程的重要知识点,更便于读者自修,本书除将教材(第3版)中课后习题全解外,每章都编写了重点内容提要 and 重点知识结构图,以帮助读者掌握教材的内容重点和知识体系;编写了考点及常考题范例精解、考研精典题选解和学习效果两级测试题(基础知识测试题,考研训练模拟题)及答案,供学习该课程和报考研究生的读者检查自己的学习效果。为方便读者,书中章节次序和习题编号均同原教材保持一致。

本书由苟文选主编,各章节前五部分内容由下列同志编写,第1,2,3,7,10,11,12,15章由苟文选编写,第4章由王安强编写,第5,6章由高雅丽编写,第8,9,附录和14章由黄一红编写。各章课后习题全解,除第4,5,6章由高雅丽解答,第10,11章由苟文选解答外,其余各章均由郑斯滔解答。王安强除参加部分章节编写外,用计算机绘制了除第4,5,6章习题以外的所有插图。第5,6,7章习题插图由高雅丽绘制。本书在编写过程中得到了西北工业大学材料力学教研室各位同事的支持,西北工业大学出版社的领导和编辑给予了很多关心和帮助,同时书中考研精典题选解、例题均选自国内重点大学研究生入学试题,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,对刘鸿文教授主编教材的理解有不到之处、疏漏及

不妥之处在所难免,希望广大读者给予指正,使该书以臻完善。

编 者

壬午年春节于西北工业大学

目 录

下 册

第 10 章 能量法	531
10.1 重点内容提要	531
10.2 重点知识结构图	536
10.3 考点及常考题型范例精解	538
10.4 考研精典题选解	546
10.5 学习效果两级测试题及答案	552
10.6 课后习题全解	556
第 11 章 静不定结构	589
11.1 重点内容提要	589
11.2 重点知识结构图	595
11.3 考点及常考题型范例精解	596
11.4 考研精典题选解	607
11.5 学习效果两级测试题及答案	612
11.6 课后习题全解	616
第 12 章 动载荷	656
12.1 重点内容提要	656
12.2 重点知识结构图	658
12.3 考点及常考题型范例精解	659
12.4 考研精典题选解	666
12.5 学习效果两级测试题及答案	677
12.6 课后习题全解	681
第 13 章 交变应力	704

13.1	重点内容提要	704
13.2	重点知识结构图	708
13.3	考点及常考题型范例精解	709
13.4	考研精典题选解	718
13.5	学习效果两级测试题及答案	720
13.6	课后习题全解	724
第 14 章	压杆稳定	746
14.1	重点内容提要	746
14.2	重点知识结构图	751
14.3	考点及常考题型范例精解	752
14.4	考研精典题选解	759
14.5	学习效果两级测试题及答案	766
14.6	课后习题全解	770
第 15 章	平面曲杆	795
15.1	重点内容提要	795
15.2	重点知识结构图	797
15.3	考点及常考题型范例精解	797
15.4	课后习题全解	801
第 16 章	厚壁圆筒和旋转圆盘	818
	课后习题全解	818
第 17 章	矩阵位移法	823
	课后习题全解	823
第 18 章	杆件的塑性变形	871
	课后习题全解	871
附录 II		881
II.1	西北工业大学 1999 年硕士研究生入学考试材料力学试题	881
II.2	西北工业大学 2000 年硕士研究生入学考试材料力学试题	883
II.3	西北工业大学 2001 年硕士研究生入学考试材料力学试题	886

II.4 西北工业大学 2002 年硕士研究生入学考试材料力学试题	888
II.5 试题答案	890
参考文献	893

第 10 章 能 量 法

10.1 重点内容提要

1. 杆件的变形能

在线性弹性范围内,杆件若在长度 l 内其广义内力 P 为常量, δ 为与 P 对应的广义位移,根据功能原理有

$$U = W = \frac{1}{2} P \delta \quad (10-1)$$

当广义力沿杆件轴线为变量时,变形能的表达式分别为

$$(1) \text{ 轴向拉伸与压缩} \quad U = \int_l \frac{N^2(x) dx}{2EA(x)} \quad (10-2)$$

$$(2) \text{ 圆轴扭转} \quad U = \int_l \frac{T^2(x) dx}{2GI_p} \quad (\text{非圆轴时为 } I_n) \quad (10-3)$$

$$(3) \text{ 弯曲} \quad U = \int_l \frac{M^2(x) dx}{2EI} \quad (M, I \text{ 为对同一坐标轴}) \quad (10-4)$$

$$(4) \text{ 剪切} \quad U = \int_l k \frac{Q^2(x) dx}{2GA} \quad (10-5)$$

式(10-5)中, $k = \int_A \frac{(S_x^*)^2}{b^3} dA$, 矩形截面 $k = \frac{5}{6}$; 实心圆截面 $k = \frac{10}{9}$; 薄壁圆截面 $k = 2$ 。对于一般的细长梁,剪切应变能与弯曲应变能相比,一般很小,因此剪切应变能可以忽略不计。

2. 杆件变形能的普遍表达式

组合变形时,杆件横截面上同时作用几种内力分量,整个杆件的变形能为

$$= \int_l \frac{N^2(x) dx}{2EA} + \int_l \frac{T^2(x) dx}{2GI_p} + \int_l \frac{M_y^2(x) dx}{2EI_y} + \int_l \frac{M_z^2(x) dx}{2EI_z} + \int_l \frac{kQ_x^2(x) dx}{2GA} + \int_l \frac{kQ_z^2(x) dx}{2GA} \quad (10-6)$$

3. 根据功能原理求位移

根据功能原理 $W = \frac{1}{2} P\delta = U$ 。在求出杆件的变形能后,可根据功能原理求出力的作用点沿力的作用线方向的位移。但要强调指出,直接应用功能原理求位移,杆件上作用的外力一定是惟一的,而且仅可求出该力方向的相应位移。

4. 克拉贝依隆(Clapeyron) 原理

线弹性体的应变能等于每一个外力与其相应位移乘积的一半的总和,即

$$U = W = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{2} P_i \delta_i \right) = \frac{1}{2} P_1 \delta_1 + \frac{1}{2} P_2 \delta_2 + \cdots + \frac{1}{2} P_i \delta_i + \cdots + \frac{1}{2} P_n \delta_n \quad (10-7)$$

上述广义位移是终值位移。注意广义力和广义位移的定义,广义力可以是集中力或集中力偶,甚至是虚设的附加力,而广义位移是广义力对应的位移,是广义力作用点与广义力方向一致的位移;如果广义力是集中力,广义位移是与力方向一致的线位移;如果广义力是集中力偶,广义位移是力偶方向的转角。

应该注意,表面上看组合变形应变能表达式是各个内力应变能的叠加;克拉贝依隆公式是各个外力的外力功叠加。实际上,变形能和外力功是外力或者位移的二次齐次函数,因此应变能是不能叠加的。组合变形应变能的叠加形式是由于横截面内力仅在自身产生的变形上做工,其应变能与其他内力引起的变形无关。

克拉贝依隆公式中的广义位移是结构变形的终值。应变能的数值与结构加载的次序无关,仅与载荷终值有关。

5. 卡氏(Castigliano) 定理

这里所述的卡氏定理,实际上是指卡氏第二定理(Second Castigliano's Theorem)。对于线弹性结构,若将结构的变形能 U 表达为载荷 $P_1, P_2, \dots$,

$P_1, \dots$ 的函数, 则变形能对任一载荷 P_i 的偏导数, 等于 P_i 作用点沿 P_i 作用方向的位移 δ_i , 即

$$\delta_i = \frac{\partial U}{\partial P_i} \quad (10-8)$$

式中 P_i, δ_i 均为广义力和广义位移。

需要强调:

(1) 卡氏定理仅可以求力的作用点沿力的作用方向的位移。如果欲求位移的点无外力作用, 或虽有外力作用但非所求位移所对应的力, 可在该点附加一个和所求位移相对应的力(附加力法), 该附加力同样要参与支反力, 内力方程中去。

(2) 公式在应用中, 为减少计算工作量, 一般不是先积分求应变能, 然后求导计算结构位移。通常计算时先求导数后积分。积分与求导次序的颠倒, 在数学上要求满足两个条件: 积分函数与求导无关; 积分函数求导后在积分区域连续。对于卡氏定理, 微分和积分是对不同变量(对力微分, 对 x 积分)进行, 上述两个条件是完全满足的。因此, 经常使用的卡氏定理表达式为

$$\begin{aligned} \delta_i = & \int_l \frac{N(x)}{EA} \frac{\partial N(x)}{\partial P_i} dx + \int_l \frac{T(x)}{GI_p} \frac{\partial T(x)}{\partial P_i} dx + \\ & \int_l \frac{M_1(x)}{EI_1} \frac{\partial M_1(x)}{\partial P_i} dx + \int_l \frac{M_2(x)}{EI_2} \frac{\partial M_2(x)}{\partial P_i} dx \end{aligned} \quad (10-9)$$

(3) 为了进一步简便计算, 在写出各段内力方程后, 即对相应载荷求偏导数(有附加力时, 仅对附加力求偏导数), 求完偏导数后, 即可令附加力为零, 然后代入式(10-9)积分。

(4) 卡氏定理中某一内力对指定载荷的偏导, 同单位载荷法中单位力引起的内力一致, 如对弯矩有 $\frac{\partial M(x)}{\partial P_i} = \bar{M}(x)$ 。

(5) 某一结构上作用若干个相同外载(P) 或不同外载中含有同一种力($M = Pl$)。当要求其中一点的位移时, 须给该点的载荷加一下标以便求导, 否则所求位移则是若干个不同点不同类型位移的总和。

6. 莫尔积分法(单位载荷法)

单位载荷法的基本方程可以根据虚功原理导出, 所以该方法有时被称为

虚功法,也被称为虚载荷法或马克斯威尔-莫尔(Maxwell-Mohr)法。称为虚功法是因为需要用虚载荷(即单位载荷);称为M-M法是因为J. G. Maxwell和O. Mohr 分别于1864年和1874年各自独立的提出了该方法。

在单位力作用下某截面上的轴力、剪力、弯矩、扭矩分别为 $\bar{N}(x)$ 、 $\bar{Q}(x)$ 、 $\bar{M}(x)$ 、 $\bar{T}(x)$,该截面在原有外力作用下的位移分别为 $d(\Delta l)$ 、 $d\lambda$ 、 $d\theta$ 、 $d\varphi$,从虚功原理出发,得单位载荷法的基本方程为

$$1 \times \Delta = \int \bar{M}(x) d(\Delta l) + \int \bar{Q}(x) d\lambda + \int \bar{M}(x) d\theta + \int \bar{T}(x) d\varphi \quad (10-10)$$

该方程是极为普遍的,不受任何材料或结构是否线性的限制。换句话说,不需要为了应用上述方程一定要求叠加原理能够成立。然而当结构材料服从胡克定律时,在上式中代入胡克定律,则得到材料为线弹性,且叠加原理成立时,用来求结构任一点处位移的单位载荷法,其广义位移的表达式为

$$\Delta = \int_l \frac{N(x)\bar{N}(x)}{EA} dx + \int_l \frac{M(x)\bar{M}(x)}{EI} dx + \int_l \frac{T(x)\bar{T}(x)}{GI_p} dx + \int_l \frac{kQ(x)\bar{Q}(x)}{GA} dx \quad (10-11)$$

由于式中 $\bar{N}(x)$ 、 $\bar{M}(x)$ 、 $\bar{T}(x)$ 、 $\bar{Q}(x)$ 均为由单位载荷引起的内力,故又称为单位载荷法或单位力法。

应当注意,单位载荷法中, $N(x)$ 、 $M(x)$ 、 $T(x)$ 、 $Q(x)$ 是实际载荷作用下的横截面内力,而卡氏定理中 $N(x)$ 、 $M(x)$ 、 $T(x)$ 、 $Q(x)$ 则有可能是实际外力与附加力共同作用下的内力。

单位载荷的施加,要由所求点及位移形式来确定,而截面的相对位移(转角)则要在对应截面施加一对单位力(力偶),具体在例题中详述。

计算内力分量时,不同积分号的坐标原点可不相同,同一积分号由载荷及单位力引起内力分量的坐标原点必须一致。

7. 图形互乘法

图形互乘法是莫尔积分在线弹性直杆结构上的应用,是计算莫尔积分的图形解析法,因此不是一种独立的方法。其求解公式为

$$\Delta_i = \sum_k \frac{\omega_N \bar{N}_C}{EA} + \sum_k \frac{\omega_T \bar{T}_C}{GI_p} + \sum_k \frac{\omega_M \bar{M}_C}{EI_y} + \sum_k \frac{\omega_{M_z} \bar{M}_C}{EI_z} \quad (10-12)$$

上式中 ω_N 、 ω_T 、 ω_{N_1} 和 ω_{N_2} 分别为相应内力分量的内力图面积, 而 N_C 、 $\bar{T}_C$ 、 $\bar{M}_C$ 、 $\bar{M}_C$ 分别为内力图形心处对应的单位力产生的内力数值。

图形互乘法仅仅适用于直杆或者分段为直杆的结构, 例如直梁、桁架和刚架等。

应用图乘法时应注意: ① 由于叠加原理成立, 故可将内力图分解为若干个简单载荷作用下的内力图, 以便图形面积和形心可以简便地确定; ② 内力 (包括单位力引起的内力) 的不连续点 (如 $M(x)$ 、 $\bar{M}(x)$) 都是图乘时的分段点, 它们包括斜率的改变处、内力图正负号改变点、结构的变刚度面等, 因此要分段应用图形互乘法; ③ 图形互乘法是可逆的, 即 $\omega \bar{M}_C \Leftrightarrow \bar{\omega} M_C$, 也就是说, 当 $M(x)$ 图为直线或折线时, 而 $\bar{M}(x)$ 图较为复杂时, 可用单位载荷内力图的面积乘以其形心所对应的真实载荷内力图的数值; ④ 各种真实载荷的内力图或单位载荷的内力图之一为直线时, 均可图乘, 但要注意的是同一平面内同类内力相乘, 如 T 与 $\bar{T}$ 、 M_1 与 $\bar{M}_1$ 、 M_2 与 $\bar{M}_2$ 等; ⑤ 面积 ω 与其形心对应的单位力图的内力数值均为代数数值, 因此要注意二者的正负问题。

8. 功的互等定理和位移互等定理

功的互等定理和位移互等定理仅适用于线弹性结构。

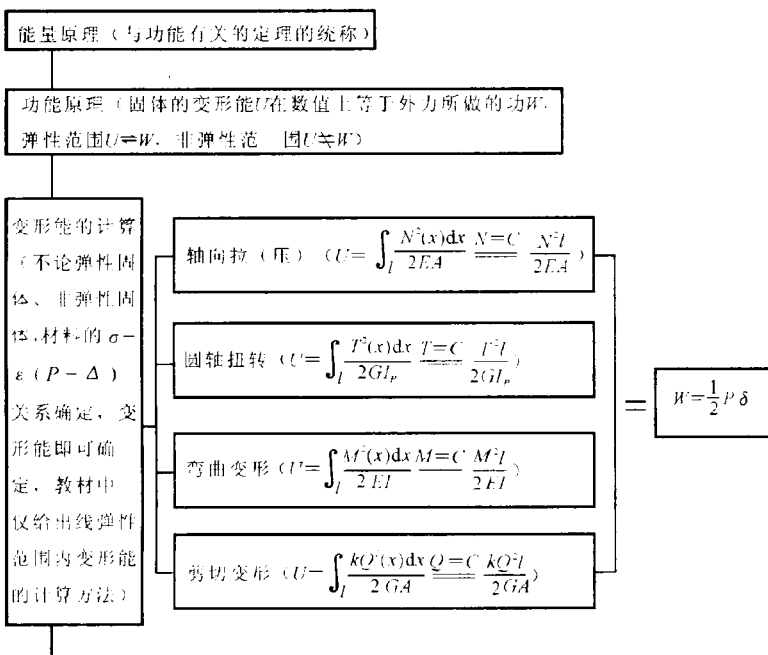
第一组力 P_1 在第二组力引起的位移 δ_{12} (P_1 力作用点, 由 P_2 力引起的位移) 上所做的功, 等于第二组力 P_2 在第一组力引起的位移 δ_{21} (P_2 力作用点, 由 P_1 力引起的位移) 上所做的功, 即功的互等定理。

$$P_1 \delta_{12} = P_2 \delta_{21} \quad (10-13)$$

当 $P_1 = P_2$ 时, 则 $\delta_{12} = \delta_{21}$, 即为位移互等定理。

应当指出: ① 从变形能概念, 当材料满足线弹性、小变形条件下, 即可推出定理, 未涉及变形的特征, 故对刚架、桁架、曲杆、板、壳等定理均适用; ② 定理中的力和位移都应理解为广义的; ③ 位移是指在结构不可能发生刚性位移的情况下, 只是由变形引起的位移。

10.2 重点知识结构图



变形能的普遍表达式

$$U=W=\frac{1}{2}P_1\delta_1+\frac{1}{2}P_2\delta_2+\cdots+\frac{1}{2}P_n\delta_n+\cdots=\sum_{i=1}^n\frac{1}{2}P_i\delta_i$$

(Clapeyron 原理, ①线弹性体, 小变形, ②变形能不能叠加)

组合变形时

$$U=\int_l\frac{N^2(x)dx}{2EA}+\int_l\frac{M_x^2(x)dx}{2EI_x}+\int_l\frac{M_y^2(x)dx}{2EI_y}+\int_l\frac{T(x)dx}{2GI_t}+k\int_l\frac{Q(x)dx}{2GA}$$

$P_1\delta_{12}=P_2\delta_{21}$ 功的互等定理

$\delta_{11}=\delta_{21}$ 位移互等定理

莫尔积分法

(单位载荷法)

$$\Delta=\int\bar{N}(x)d(\Delta l)+\int\bar{M}(x)d\theta+\int\bar{Q}(x)d\lambda+\int\bar{T}(x)d\varphi$$

(莫尔积分法的外形不涉及材料的 $P-\Delta$ 关系)

$$\Delta=\int\frac{N(x)\bar{N}(x)dx}{2EA}+\int\frac{M_x(x)\bar{M}_x(x)dx}{2EI_x}+\int\frac{M_y(x)\bar{M}_y(x)dx}{2EI_y}+\int\frac{T(x)\bar{T}(x)dx}{2GI_t}$$

(①材料在线弹性范围; ②卡氏定理中 $\frac{\partial M(x)}{\partial P}=\bar{M}(x)$, 余项类推,

③卡氏定理中仅求力的作用点沿力方向的位移。在没有作用与位移相应的力时, 采用附加方法, 其综合起来同单位方法一致)

$$\Delta=\frac{\omega_N\bar{N}}{EA}+\frac{\omega_{M_x}\bar{M}_x}{EI}+\frac{\omega_{M_y}\bar{M}_y}{EI}+\frac{\omega_T\bar{T}}{GI_t}$$

(直杆, 单位力作用下 N, M, T 图必为直线或折线)

10.3 考点及常考题型范例精解

能量法及在静定结构中的应用是多学时课程的必考点,且往往为一份试卷的难点。能量法一般求直杆、曲杆、刚架某截面的位移或某两截面间的相对位移等。因为能量法中已介绍了多种解题方法,根据具体结构和读者的擅长可选用某一方法。一般而言,单位载荷(莫尔积分)法对各种情况都适用,但对直杆及刚架的情况,采用图形解析法——图形互乘法更为方便。当限定用某一方法解题时,往往要特别注意,例如限定用卡氏定理,就要注意大多会有几个相同的载荷。求相对位移(转角)时,注意施加一对对应的单位力等。

能量法的另一考点是在动载荷中的应用,往往冲击中冲击点的静位移 Δ_s 以及冲击中静不定问题都可用能量法求解。

例 10.3.1 等截面刚架 ABC 受载如图 10.1(a) 所示。已知刚架横截面积为 A, 惯性矩 I。试求力作用点 A 的垂直位移及支座 BC 的相对位移。

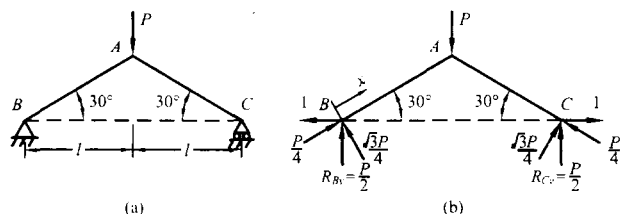


图 10.1

解 依对称性知 $R_{By} = R_{Cy} = \frac{F}{2}$, 并将其分解为与刚架 BA 轴线垂直与沿轴线的分量 $\frac{\sqrt{3}}{4}P$ 和 $\frac{P}{4}$ 。对此直杆刚架, 图乘法非常方便, 但考虑到求力的作用点沿力的方向位移, 选用卡氏定理求之。由于结构及受力的对称性, 仅列出 BA 段的内力方程, 如表 10-1 所示。

代入方程并积分, 得 A 点的垂直位移, 即

$$\Delta_A = \frac{2}{EI} \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}l} M(x) \frac{\partial M}{\partial P} dx + \frac{2}{EA} \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}l} N(x) \frac{\partial N}{\partial P} dx =$$

$$\frac{2}{EI} \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}l} \frac{3}{16} Px^2 dx + \frac{2}{EA} \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}l} \frac{P}{16} dx = \frac{\sqrt{3}Pl^3}{9EI} + \frac{\sqrt{3}Pl}{12EA} (\downarrow)$$

在B、C点加水平单位力1(用卡氏定理时,在C点加附加力 P_x ,B为固定铰,故C点的水平位移即为BC间的相对位移),单位力引起的内力方程如表10-1所示。

表 10-1

内力方程	偏导数	单位力引起的内力方程
$M(x) = \frac{\sqrt{3}}{4} Px$	$\frac{\partial M}{\partial P} = \frac{\sqrt{3}}{4} x$	$\bar{M}(x) = 1 \times \cos 60^\circ = \frac{x}{2}$
$N(x) = -\frac{P}{4}$	$\frac{\partial N}{\partial P} = -\frac{1}{4}$	$\bar{N}(x) = 1 \times \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$

用莫尔积分法,则

$$\Delta_{Bx} = \frac{2}{EI} \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}l} M(x) \bar{M}(x) dx + \frac{2}{EA} \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}l} N(x) \bar{N}(x) dx =$$

$$\frac{2}{EI} \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}l} \frac{\sqrt{3}}{4} Px \times \frac{x}{2} dx + \frac{2}{EA} \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}l} \left(-\frac{P}{4}\right) \times \frac{\sqrt{3}}{2} dx = \frac{2Pl^3}{9EI} - \frac{Pl}{2EA}$$

例 10.3.2 求图 10.2(a) 所示悬臂梁 A 点的挠度及 B 截面的转角,已知 EI 为常数。

解 (1) 求 A 点挠度 由于 A 点无集中力作用,故用卡氏定理时需在此加附加力 P_x 。用单位力法时,在 A 点施加垂直向下单位力,以求得 A 点的垂直位移。悬臂梁为直梁,选用图形互乘法。为了方便弯矩图面积及形心的确定,利用叠加法画出外载的弯矩图 M ,并作单位力引起的弯矩图 $\bar{M}$ 如图 10-2(b) 所示。两图相乘得 A 点挠度为

$$y_B = \frac{1}{EI} \left[l \times ql^2 \left(-\frac{3}{2}l\right) + \frac{1}{3} \times 2l(-2ql^2) \times \frac{3}{4}(-2l) \right] = \frac{ql^4}{2EI} (\downarrow)$$

(2) 求 B 截面转角 先将 AB 段外载向 B 点简化,并分别作出各载荷单独作用下的弯矩图。此步可不进行,直接应用图 10.2(b) 中 M 图,但均布载荷弯矩图在 BC 段的面积计算(①二次曲线面积相减;②左侧取矩形与抛物线叠加)很易出错。采用 ① 其形心不好确定,好在 $\bar{M}$ 为常数(图 10.2(c)),不论形心在何处 $\bar{M}_c \equiv 1$ 。而采用 ②,抛物线部分由于其顶点不在 B 截面处,尽管算法似乎无误,但结果必错。将图 10.2(c) 中 M 与 $\bar{M}$ 相乘,得 B 截面转角为