

高等学校教材

工程塑性力学

第2版

余同希 薛 璞 编著



高等教育出版社

43
02

高等学校教材

-68

工程塑性力学

Gongcheng Suxing Lixue

第2版

余同希 薛 璞 编著



高等教育出版社 · 北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEI JING

TB/25-43
¥768.02

内容简介

本书是在余同希教授编著的《塑性力学》一书的基础上修订而成的。第1版于1989年出版,本书第2版更名为《工程塑性力学》。本书保持了第1版的特点,由浅入深,突出基本概念和基本理论,并将塑性力学理论与工程应用紧密结合,在清晰阐述基本概念和基本理论的基础上力求适应实际应用的需要,按照塑性理论的特点和重要应用领域较详细地介绍解决工程问题一些常用的方法。

本书共分12章,主要内容有:金属材料的塑性性质;结构塑性性态的基本特征;应力和应变;屈服条件;塑性本构关系;简单的弹塑性问题;理想刚塑性平面应变问题;极限分析原理;梁和刚架的极限分析;板的极限分析;塑性动力学简介;塑性变形原理在能量吸收设计中的应用。

本书可作为工程力学、金属加工、材料、机械、水利、土建、航空、航天、船舶等工科专业的高年级大学生和研究生的塑性力学课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程塑性力学/余同希,薛璞编著. —2版. —北京:高等教育出版社,2010.1

ISBN 978-7-04-028320-4

I. ①工… II. ①余… ②薛… III. ①工程力学:弹性力学—高等学校—教材 IV. ①TB125

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第243412号

第2版前言

本书的初版是余同希教授编著的《塑性力学》一书,由高等教育出版社于1989年出版。塑性力学是一门概念密集型课程。为了帮助读者学好塑性力学,本书初版结合余同希教授20世纪80年代在北京大学讲授塑性力学课程时的体会,力求把一系列重要的基本概念讲清楚、讲准确、讲透彻。在由浅入深,突出基本概念和基本理论的讲述外,还较详细地介绍解决工程问题的一些基本方法,使读者容易掌握和应用,因而受到教师、学生和工程技术人员的普遍欢迎,但因出版年代较早,书已售罄,不能满足广大读者的需求。

本书是在余同希教授编著的《塑性力学》一书的基础上修订而成的,第2版更名为《工程塑性力学》。本书继承了第1版的特点,同时结合作者在英国曼彻斯特理工大学(后于2004年与曼彻斯特大学合并)、香港科技大学、西北工业大学等高校从事研究生课程教学的经验以及多年科研体会,在清晰阐述基本概念和基本理论的基础上,力求适应学科自身的发展及工程应用的需要。同时,在内容上涵盖了塑性力学的主要工程应用(如在金属压力加工、结构的极限分析、土力学、能量吸收设计等)以及解决工程问题一些常用的方法(如滑移线法、上下限法等),以适应不同工科专业的需要。另外,该书的变化还反映在:(1)考虑到近20年来塑性力学在理论、计算和工程应用上的新发展,对一些过时的内容和方法作了删节;(2)新增加了两章内容,即概述塑性动力学的第11章和介绍塑性力学在能量吸收设计中的应用的第12章;(3)增加了部分习题,以便学生练习。

本书第1版由清华大学黄克智教授和湖南大学熊祝华教授审阅,本修订版由北京航空航天大学杨嘉陵教授审阅。诸位专家对本书提出了许多宝贵意见,作者在此表示衷心的感谢。

余同希 薛 璞

2009年7月

第1版前言

本书是国家教委工程力学专业教材委员会审定的塑性力学教材,也可以作为机械制造、金属加工、土建结构、水利、航空、船舶等专业的研究生课程的教学用书。

根据我自己在北京大学讲授塑性力学课程的体会,塑性力学是一门概念密集的学科。为了帮助学生学好这门课,首先必须把一系列重要的基本概念讲清楚、讲准确、讲透彻。在编写本书时,吸取了国内外多种塑性力学教材的优点,希望尽量做到概念清晰、叙述简练、深入浅出。

塑性力学既有很强的理论性,又有越来越广泛的工程应用。本书在取材上,除对基本理论作了比较严格、系统的叙述外,还介绍了在解决工程问题中常用的一些方法。在有些章节(例如第十章)中,尝试较多地吸收了一些新近的内容。选入了较多习题以便学生练习。

本书的初稿曾由黄克智先生和熊祝华先生审阅,对本书的修改提出了许多宝贵意见,作者在此表示衷心的感谢。

余同希

1987年8月

主要符号表

A	截面积
A_0	初始截面积
b	宽度
$d\varepsilon_{ij}$	应变增量张量
E	弹性模量(杨氏模量)
E_p	线性强化模量
e_1, e_2, e_3	应变偏张量的主值
e_{ij}	应变偏张量
F	载荷
F_e	弹性极限载荷
F_Y	塑性极限载荷
$f(\sigma_{ij})$	屈服函数
G	剪切弹性模量
G_s	折算剪切模量
h	厚度
I_1, I_2, I_3	应变张量的不变量
I'_1, I'_2, I'_3	应变偏张量的不变量
J_1, J_2, J_3	应力张量的不变量
J'_1, J'_2, J'_3	应力偏张量的不变量
K	体积弹性模量
k	剪切屈服应力
l	长度
l_0	初始长度
M	弯矩
M_0	弹性极限弯矩
M_p	塑性极限弯矩
m	量纲为一的弯矩
N	轴力
n	量纲为一的轴力
P	塑性比功率
P_e	外功率

P_i	内功率
Q	剪力
p	压力
q	分布载荷
R	半径
r, θ, z	柱坐标
S_D	间断面
S_T	应力边界面
S_u	位移边界面
s	弧长
s_1, s_2, s_3	应力偏张量的主值
s_{ij}	应力偏张量
T	扭矩; 温度
T_e	弹性极限扭矩
T_p	塑性极限扭矩
t	量纲为一的扭矩; 时间; 厚度
u_i	位移
v_i	速度
W	功
W_i	内功
W^e	单位体积内的弹性变形能
W_v^e	单位体积内的体积改变能
W_ϕ^e	单位体积内的形状改变能
W^p	塑性功
ω	板的中面挠度
x_i	直角坐标
x, y, z	直角坐标
α	单位长度的扭转角
α, β	滑移线场曲线坐标
Γ	弹塑性交界面
γ	工程剪应变
$\bar{\gamma}$	等效剪应变(剪应变强度)
γ_s	等斜面上的剪应变
Δ	位移
δ	位移

ε	工程应变
$\bar{\varepsilon}$	对数应变(自然应变)
ε	等效应变(应变强度)
ε^e	弹性应变
ε^p	塑性应变
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	主应变
ε_8	等斜面上的正应变
ε_{ij}	应变张量
$\dot{\varepsilon}_{ij}$	应变率张量
ε_m	平均正应变
η	截面形状系数;极限载荷因子
η^*	运动许可载荷因子
η^0	静力许可载荷因子
θ	转角;平面应变问题中最大剪应力方向与 x 轴的夹角
θ_0	主应力空间中 π 平面上的辐角
κ	曲率
κ_e	弹性极限曲率
λ	流动法则中的非负因子
μ_s	Lode 应变参数
μ_σ	Lode 应力参数
ν	泊松比
ρ	密度;曲率半径
σ	名义应力;平面应变问题中的平均正应力
$\bar{\sigma}$	真应力
$\overline{\sigma}$	等效应力(应力强度)
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力
$\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$	主应力在 π 平面上的投影
σ_8	等斜面上的正应力
$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力
σ_{ij}	应力张量
σ_m	平均正应力
σ_Y	屈服应力
τ	剪应力
$\bar{\tau}$	等效剪应力(剪应力强度)
τ_8	等斜面上的剪应力

τ_Y		剪切屈服应力
Φ_e		扭转问题中的弹性应力函数
Φ_p		扭转问题中的塑性应力函数
ϕ		量纲为一的曲率
$\phi(\sigma_{ij})$		后继屈服函数(加载函数)
ω		旋转圆盘的角速度
ω_e		弹性极限转速
ω_p		塑性极限转速
	上标	
F		回弹后的最终状态
0		初始状态
*		运动许可
o		静力许可;残余状态
	下标	
e		弹性极限状态
n		法向
Y		塑性极限状态
t		切向
α		沿 α 族滑移线方向
β		沿 β 族滑移线方向

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 金属材料的塑性性质	(1)
1.1 绪论	(1)
1.2 金属材料的塑性性质	(2)
1.2.1 简单拉伸试验	(2)
1.2.2 静水压力试验	(5)
1.3 塑性变形的物理基础	(5)
1.4 轴向拉伸时的塑性失稳	(10)
1.5 材料塑性行为的理想化	(12)
1.5.1 关于材料塑性行为的基本假设	(12)
1.5.2 应力 - 应变曲线的理想化模型	(15)
1.5.3 强化模型	(18)
习题	(19)
第 2 章 结构塑性性态的基本特征	(21)
2.1 理想弹塑性材料的三杆桁架	(21)
2.2 线性强化弹塑性材料的三杆桁架	(25)
2.3 几何大变形对桁架承载能力的影响	(26)
2.4 加载路径对桁架内的应力和应变的影响	(28)
2.5 载荷平面内的屈服曲线和极限曲线	(31)
2.5.1 屈服曲线	(31)
2.5.2 极限曲线	(32)
2.5.3 后继屈服曲线	(33)
习题	(35)
第 3 章 应力和应变分析	(37)
3.1 应力分析	(37)
3.1.1 应力张量及其分解	(37)
3.1.2 主应力和应力不变量	(39)
3.1.3 等斜面上的应力	(40)
3.1.4 等效应力	(41)

3.1.5	三向 Mohr 圆和 Lode 应力参数	(42)
3.1.6	应力空间和主应力空间	(44)
3.2	应变分析	(45)
3.2.1	位移与应变的关系	(45)
3.2.2	应变张量的分解和应变张量的不变量	(46)
3.2.3	等效应变和 Lode 应变参数	(47)
3.2.4	应变率张量和应变增量张量	(48)
	参考文献	(49)
	习题	(49)

第 4 章 屈服条件

4.1	初始屈服条件	(51)
4.2	两种常用的屈服条件	(54)
4.2.1	Tresca 屈服条件	(54)
4.2.2	Mises 屈服条件	(57)
4.2.3	两种屈服条件的比较	(57)
4.2.4	Mises 屈服条件的物理解释	(59)
4.3	屈服条件的实验验证	(60)
4.4	后继屈服条件	(63)
	参考文献	(66)
	习题	(66)

第 5 章 塑性本构关系

5.1	弹性本构关系	(68)
5.2	Drucker 公设	(70)
5.3	加载、卸载准则	(75)
5.3.1	理想塑性材料的加载、卸载准则	(75)
5.3.2	强化材料的加载、卸载准则	(76)
5.4	增量理论(流动理论)	(76)
5.4.1	概述	(76)
5.4.2	理想塑性材料与 Mises 条件相关联的流动法则	(77)
5.4.3	理想塑性材料与 Tresca 条件相关联的流动法则	(80)
5.4.4	强化材料的增量本构关系	(82)
5.5	全量理论(形变理论)	(84)
5.5.1	Ильющин 理论	(84)

5.5.2	简单加载和单一曲线假定	(85)
5.5.3	简单加载定理	(87)
5.5.4	塑性本构关系的总结与比较	(88)
5.6	岩土力学中的 Coulomb 屈服条件和流动法则	(90)
	参考文献	(92)
	习题	(92)
第 6 章	简单的弹塑性问题	(93)
6.1	弹塑性边值问题的提法	(93)
6.1.1	弹塑性全量理论边值问题	(93)
6.1.2	弹塑性增量理论的边值问题	(94)
6.2	薄壁圆筒的拉扭联合变形	(96)
6.2.1	按增量理论求解	(97)
6.2.2	按全量理论求解	(98)
6.2.3	算例和比较	(98)
6.3	梁的弹塑性弯曲(工程理论)	(100)
6.3.1	梁的弹塑性纯弯曲	(100)
6.3.2	梁在横向载荷作用下的弹塑性弯曲	(105)
6.3.3	弯矩与轴力同时作用的情形	(107)
6.4	平面应变条件下板的塑性弯曲(精确理论)	(110)
6.4.1	应力分布	(110)
6.4.2	弯曲时的变形	(112)
6.4.3	板内各层的移动	(113)
6.5	柱体的弹塑性自由扭转	(115)
6.5.1	研究范围和基本方程	(115)
6.5.2	弹性扭转和薄膜比拟	(116)
6.5.3	全塑性扭转和沙堆比拟	(117)
6.5.4	弹塑性扭转和薄膜—玻璃盖比拟	(119)
6.5.5	卸载、回弹和残余应力	(121)
6.5.6	弹塑性强化材料圆柱体的扭转	(122)
6.6	受内压的厚壁圆筒	(123)
6.6.1	研究对象和基本方程	(123)
6.6.2	弹性解	(124)
6.6.3	弹塑性解	(125)
6.6.4	卸载和残余应力	(129)

6.6.5	几何变形对承载能力的影响	(130)
6.6.6	强化材料长厚壁圆筒的分析	(131)
6.7	旋转圆盘	(133)
6.7.1	弹性解	(133)
6.7.2	弹塑性解	(135)
参考文献		(136)
习题		(136)

第7章 理想刚塑性平面应变问题 (140)

7.1	基本概念	(140)
7.2	平面应变问题的基本方程	(140)
7.3	滑移线及其几何性质	(143)
7.3.1	应力方程和滑移线	(143)
7.3.2	速度方程	(146)
7.3.3	Hencky 第一定理	(147)
7.3.4	Hencky 第二定理	(148)
7.3.5	间断值定理	(149)
7.3.6	小结	(150)
7.4	边界条件	(151)
7.4.1	应力边界 S_r	(151)
7.4.2	刚塑性交界线 Γ	(152)
7.4.3	两个塑性区的交界线 L	(153)
7.5	用滑移线场理论求解的范例	(153)
7.5.1	单边受压的楔	(153)
7.5.2	冲头压入半平面	(155)
7.5.3	圆孔内作用有均布压力 p 的极限载荷	(157)
7.5.4	切口试件的拉伸	(158)
7.6	定常塑性流动问题	(161)
7.6.1	板条抽拉问题的滑移线场	(161)
7.6.2	应力分布与抽拉力	(162)
7.6.3	速度分布	(163)
7.6.4	刚性区的校核	(163)
参考文献		(164)
习题		(164)

第 8 章 极限分析原理	(167)
8.1 极限状态和极限分析	(167)
8.2 虚功率原理	(169)
8.3 极限分析原理	(170)
8.3.1 机动场和静力场	(170)
8.3.2 极限分析定理(界限定理)	(171)
8.3.3 界限定理的推论	(172)
8.3.4 小结	(174)
8.4 界限定理的应用	(174)
参考文献	(182)
习题	(182)
第 9 章 梁和刚架的极限分析	(185)
9.1 包含塑性铰的破损机构	(185)
9.2 梁和刚架极限分析中的界限定理	(186)
9.3 机动法和静力法	(187)
9.3.1 机动法	(187)
9.3.2 静力法	(188)
9.3.3 应用机动法和静力法的例子	(189)
9.4 极限曲线及其应用	(192)
参考文献	(194)
习题	(194)
第 10 章 板的极限分析	(196)
10.1 板的基本方程	(196)
10.1.1 薄板弯曲问题的基本假设	(196)
10.1.2 广义应力和广义应变	(197)
10.1.3 广义屈服条件	(198)
10.2 圆板轴对称弯曲的极限分析	(199)
10.3 简支圆板的极限载荷	(201)
10.4 固支圆板的极限载荷	(204)
10.5 非圆板的机动解	(207)
10.6 圆板大变形后的承载能力	(212)
10.6.1 概述	(212)

10.6.2	Calladine 方法	(215)
10.6.3	广义屈服线方法	(217)
10.7	圆板的冲压	(218)
	参考文献	(221)
	习题	(222)
第 11 章	塑性动力学简介	(224)
11.1	绪论	(224)
11.2	弹塑性应力波的传播	(226)
11.2.1	一维波动方程	(226)
11.2.2	弹性应力波的传播	(227)
11.2.3	弹性波的反射与透射	(229)
11.2.4	弹塑性应力波及冲击波的形成	(231)
11.3	高应变率下材料的动态特性	(233)
11.3.1	应变率	(233)
11.3.2	应变率敏感性	(234)
11.3.3	Hopkinson 杆测试技术	(236)

12.4	各类能量吸收元件的简单比较	(266)
12.5	加载速度对结构能量吸收性能的影响	(267)
12.5.1	加载速度对变形模式的影响——端部受冲击的 圆环直列系统	(267)
12.5.2	结构类型对冲击速度的敏感性	(269)
12.5.3	第Ⅱ类结构的静态和动态行为	(270)
	参考文献	(274)
	习题	(276)
索引		(277)