

上海交通大学学术出版基金资助

材 料 强 度 学

许金泉 著



上海交通大学出版社

THE UNIVERSITY OF CHINA PRESS

材料科学

中国科学院

中国科学院图书馆

中国科学院

材料强度学

Theory on the Strength of Materials

上海交通大学出版社

内 容 提 要

绝大多数固体力学的分支学科,只是建立在连续性假定基础上的分析理论或方法,而材料强度学则是联系现实材料与连续体模型的桥梁,它注重材料强度特性的成因,更着重于变形、失效破坏等力学行为的机理,从材料内部组织结构及其演化来考察基于连续介质模型描述的宏观材料力学行为的之所以然。本书从变形、失效破坏机理出发,详细介绍了力学特性分类、脆性破坏及其强度特性、韧性破坏及其强度特性以及疲劳及其强度特性等的机理与成因。本书的对象是力学、材料、机械、土木等学科的研究和技术人员及研究生。也可作为相关学科高年级本科生的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

材料强度学/许金泉著. —上海:上海交通大学出版社,2009

ISBN978-7-313-05704-4

I. 材... II. 许... III. 材料强度 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 030463 号

材料强度学

Theory on the Strength of Materiale

许金泉 著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市文化印刷有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:17.5 字数:330 千字

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

印数:1~2030

ISBN978-7-313-05704-4/TB 定价:49.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

要将固体力学应用于工程实际,必须掌握参数分析、评价准则以及材料特性等三个方面的知识,后两个方面属于材料强度学的内容。传统的固体力学理论只偏重于基于连续性假定的参数分析,而很少涉及强度寿命评价准则及材料强度特性的内在成因和变化机理。但是,应力或应变等力学参数本身的大小并不能说明构件的安全性,只有通过正确的评价准则以及与适当的材料特性的比较,人们才能对具体构件的强度寿命特性作出准确的评价。在高性能材料开发中,人们更需要了解内部微观结构对强度特性的影响及增强对破坏机理方面的认识来作为理论指导。虽然对于一些常规材料的力学问题,评价准则往往作为一种约定或前人的研究成果为人们所熟知,材料强度特性是给定或通过实验测定的,但对苛刻工况、新材料新结构的强度寿命评价等,一般不能按传统的评价方法来进行,而需要重新建立某种新的破坏准则或评价方法,有时甚至如何本质性地描述新材料的强度特性也是需要重新探讨的。材料强度学是固体力学的一个很有特色的分支学科,也是一门力学与材料科学、固体物理学等的交叉学科。它既不是力学分析加一些材料内部结构知识,也不是材料科学加一点力学分析,而是从材料内部组织结构及其演化并结合其统计或平均特性来考察宏观材料力学行为的之所以然。它以微观机理为依据,考虑现实材料与连续体模型的差异,最终从宏观的角度来研究材料的强度特性和破坏机理。材料强度学起着将连续体模型和现实材料联系起来的桥梁作用,其一端是以连续性假定为基础的宏观力学行为或特性(被定义在“点”上),而另一端则是连续介质概念不能适用的现实材料内部微观结构(“点”没有意义,并且某个微结构的力学行为并不代表材料的行为)。

虽然真正意义上的“材料强度学”出现已有 50 多年的历史,但目前国际上关于这方面的专著还不多,国内则更为罕见。早期的材料强度学书籍(如横堀武夫著的《材料强度学》,日本技报堂,1955),一般只是一些知识点的罗列,并且往往只是基于微观机理的一些定性说明,缺少系统性。虽然目前已有少量以“材料强度学”或“材料力学行为”命名的书籍,但往往只偏重于材料的力学分析及其力学特性的描述,或只偏重于材料微观组织结构力学行为的分析,感觉上还没有把微观机理与宏观行为较好地联系起来,没有形成独特的体系。因此,作者试图以自己的研究成果为主线,吸收国内外同行的最新研究成果,编写一本新颖而又具有较完整体系的材料强度学专著。由于撰写本书是一种新的尝试,书中不少内容还可能仅是作者个

人的观点(目的在于“抛砖引玉”),又受水平所限,因此不足与谬误之处敬请广大读者批评指正。

本书的读者对象设定为力学、机械、材料、土木等学科的研究生和教师以及相关工程技术人员,也可用作现有固体力学理论及材料学教程的辅助参考书。

最后,作者谨向国内外的多位共同研究者表示感谢,尤其是日本长冈技术科学大学的武藤睦治教授,九州大学的村上敬宜教授,京都大学的北村隆行教授等,对作者开展材料强度学方面的研究以及本书的编写,给予过重要的帮助。作者也非常感谢国家自然科学基金委、教育部博士点基金等,书中包含了许多这些基金资助的项目的研究成果。

作者

2009 年于上海交通大学

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 材料强度学的研究目的	1
1.2 材料强度学的基本假定	3
1.3 材料强度学的地位与作用	4
1.4 材料强度学的发展史简介	6
1.5 应力、应变的平均值意义与材料连续性、均匀性假定	8
1.6 一个简单而有意思的问题	10
1.7 本书的构成与张量标记法简介	12
1.7.1 本书的构成	12
1.7.2 张量标记法简介	12
思考题	13
参考文献	14
第 2 章 材料的微结构和基本力学特性	16
2.1 材料的基本力学性能及其分类	16
2.2 材料的微观结构和理想强度	17
2.3 材料特性的组织敏感和钝感性	21
2.4 材料的本构关系和变形特性	22
2.5 材料的失效形式与强度特性	25
2.6 金属材料的晶体结构和微观缺陷	27
2.6.1 晶体结构	27
2.6.2 结晶缺陷	29
2.6.3 滑移系	32
2.6.4 位错应力	33
2.7 材料的变形特性	35
2.7.1 弹性变形特性	35
2.7.2 塑性变形特性	41
2.7.3 黏弹性变形特性	44
2.8 材料破断的微观机理	48
2.8.1 劈开	48

2.8.2 滑移面分离	49
2.8.3 微小空洞生长与连成	50
2.9 材料的损伤及其演化对材料特性的影响	50
2.9.1 连续损伤模型	50
2.9.2 损伤演化律	52
2.9.3 损伤演化与材料特性的变化	55
2.10 材料的硬度特性	56
2.11 弹性模量与硬度之间的经验关系	61
思考题	62
参考文献	64
第3章 脆性破坏及其强度特性	66
3.1 脆断强度与破坏准则	66
3.1.1 劈开的微观准则(sohncke 法则)	67
3.1.2 滑移面分离的微观准则	67
3.1.3 脆性破坏的宏观准则	68
3.2 断裂韧性与断裂准则	73
3.3 Griffith 的脆性断裂理论与裂纹起裂、扩展	78
3.3.1 无宏观裂纹材料的脆断强度与起裂长度	78
3.3.2 断裂力学的适用范围	80
3.4 破坏的区域性与破坏特征尺寸	82
3.5 缺陷大小、形状对破坏应力的影响	84
3.5.1 椭圆孔洞的影响	84
3.5.2 球孔缺陷的影响	85
3.5.3 各类缺陷大小与破坏应力的关系曲线	86
3.5.4 小裂纹的名义断裂韧性	87
3.6 带微小孔试件的脆性断裂实验	87
3.7 缺口端部的应力集中与应力梯度	91
3.8 晶粒大小对脆断强度的影响	94
3.9 裂尖的小规模屈服与准脆性断裂	94
3.10 裂尖动应力场与动破坏	98
3.11 脆断强度、断裂韧性与硬度的经验关系	102
3.12 层间破坏准则	103
3.12.1 薄膜涂层材料在划痕试验条件下的破坏准则	103
3.12.2 层间剥离破坏准则	106

3.12.3 界面裂纹破坏准则	110
思考题	112
参考文献	113
第4章 屈服、韧性破坏及其强度特性	116
4.1 韧性材料的拉伸破坏	116
4.2 材料的屈服强度与屈服条件	118
4.2.1 屈服的机理	118
4.2.2 单晶材料的塑性变形	121
4.2.3 多晶材料的微观屈服条件	122
4.2.4 宏观屈服条件	124
4.3 屈服强度的特征尺寸	127
4.4 各向异性材料的屈服条件	132
4.5 韧性断裂的微观模型	133
4.5.1 Plateau 模型	134
4.5.2 Thomason 模型	135
4.5.3 McClintock 模型	136
4.6 塑性变形过程中微裂纹发生的条件	137
4.7 含裂纹材料的韧性破坏	138
4.7.1 裂纹稳态扩展的机理	138
4.7.2 评价稳态扩展的参数	140
4.7.3 非稳态扩展的条件	143
4.8 材料的加工硬化特性和包辛格效应	144
4.9 切口脆化	146
4.10 屈服强度、最大拉伸强度和断裂韧性与硬度的经验关系	148
思考题	149
参考文献	150
第5章 材料的增强、增韧方法及其机理	151
5.1 材料增强方法的分类	151
5.2 材料组织强化方法的机理	152
5.2.1 遇到障碍物时的位错运动	152
5.2.2 分散增强与析出增强	153
5.2.3 固溶增强	154
5.3 复合强化的机理	155
5.4 复合材料的破坏准则	156

5.5 剪滞理论	159
5.6 预应力强化	161
5.7 表面改性	161
5.8 材料的增韧方法及其机理	162
5.8.1 改善塑性变形特性	163
5.8.2 提高断裂韧性	163
5.8.3 提高裂纹扩展阻抗增加率	165
思考题	166
参考文献	166
第6章 蠕变及其强度特性	168
6.1 蠕变与高温变形	168
6.2 蠕变的机理	173
6.2.1 扩散	173
6.2.2 位错运动	174
6.2.3 晶界滑移	176
6.2.4 晶粒的塑性变形	176
6.3 黏弹性和黏弹塑性	177
6.3.1 黏弹性变形区间	177
6.3.2 黏弹塑性变形区间	178
6.4 蠕变断裂	179
6.5 基于损伤力学的蠕变断裂评价方法	180
6.6 黏弹性体中的裂尖应力应变场	183
6.6.1 线性黏弹性体中的裂纹裂尖场	183
6.6.2 非线性黏弹性体的 Norton 本构关系	187
6.6.3 Norton 材料中的裂尖场	188
6.6.4 裂纹的蠕变扩展	189
思考题	190
参考文献	190
第7章 疲劳及其强度寿命特性	193
7.1 疲劳现象及其研究方法	193
7.2 疲劳的分类	195
7.3 疲劳问题的工程评价方法	196
7.3.1 循环应力和循环应变	196
7.3.2 S-N 曲线和疲劳极限	197

7.3.3 ϵ - N 曲线	199
7.3.4 Miner 累加法则	200
7.4 疲劳裂纹的萌生机理	201
7.5 多晶体的循环应力应变曲线	202
7.6 疲劳裂纹的扩展	203
7.6.1 疲劳裂纹扩展机理	204
7.6.2 混合模态下的疲劳裂纹扩展路径	205
7.6.3 疲劳裂纹扩展规律	206
7.6.4 疲劳(剩余)寿命的计算	208
7.7 腐蚀开裂与腐蚀疲劳	209
7.8 面压疲劳——次表面疲劳	212
7.8.1 Hertz 应力	212
7.8.2 基于 Hertz 应力的面压疲劳评价方法	215
7.8.3 面压疲劳裂纹扩展	219
7.9 微动疲劳	220
7.10 界面疲劳	226
7.11 延性材料的疲劳	232
7.12 具有时间依存型本构关系的材料的疲劳	234
7.12.1 光滑试件的疲劳行为	235
7.12.2 疲劳裂纹扩展规律	236
7.12.3 混合型疲劳的寿命评价	237
7.13 疲劳极限与静态材料特性之间的关系	238
思考题	238
参考文献	239
第 8 章 疲劳损伤演化机理及各种疲劳规律间的关系	242
8.1 缺陷大小对疲劳强度的影响	242
8.2 疲劳破坏的特征长度	244
8.2.1 引入特征长度的可行性	244
8.2.2 特征长度的确定方法	246
8.2.3 含缺陷材料疲劳强度的统一评价方法	247
8.3 裂纹扩展过程及规律的考察	247
8.4 带微小缺陷材料的疲劳极限	252
8.5 剩余强度和剩余寿命	253
8.5.1 剩余强度与损伤的关系	253

8.5.2 单一循环载荷下损伤与寿命的关系	255
8.5.3 剩余寿命评价方法	257
8.6 疲劳损伤演化的机理和规律	257
8.6.1 循环载荷作用下的热扰动	258
8.6.2 具有理论依据的损伤演化律	260
8.6.3 特定温度、恒定循环应力幅下的演化律	260
8.6.4 考虑循环应力幅影响的损伤演化律	264
8.7 损伤累加规律	264
8.8 多轴疲劳	265
8.8.1 多轴疲劳失效准则	266
8.8.2 多轴疲劳寿命评估	267
思考题	268
参考文献	269

第1章 绪 论

1.1 材料强度学的研究目的

材料强度学是固体力学的一个很有特色的分支学科,也是一门力学与材料科学、固体物理学等的交叉学科。它是一门研究材料变形、微观组织结构演化、失效破坏等力学行为的机理及相应材料特性的本质性描述方法的学问^[1];通过对变形及失效破坏机理的研究,建立具有普遍意义的破坏准则,并寻找出材料强度特性与微观组织结构之间的内在关系。相比较而言,一般的固体力学分支学科都是在连续介质假定的基础上展开的,往往只着重于应力或应变等评价参数的分析方法及其理论基础,而把材料特性以及失效或评价准则作为已知或可由实验得到的经验公式来处理,其理论体系并不涉及材料破坏机理或强度特性的成因等问题。材料强度学则更侧重于材料强度特性的成因,着重于变形、失效破坏等力学行为的机理,从材料内部组织结构及其演化来考察宏观材料力学行为的之所以然。因此,材料强度学涉及了固体物理学、金属组织学和材料学及连续介质力学等多个学科的内容。但必须指出,材料强度学并不是材料学,它并不以研究材料的微观组织结构为目的,而是以微观组织结构在外力作用下的响应为途径来研究宏观或现实材料的强度行为。因此,材料强度学的一端是以连续介质为基础的宏观力学行为或特性,而另一端则是连续介质概念不能适用的现实材料内部微观结构。简单地说,材料强度学就是要找出这两端之间的客观内在关系。由于受多尺度力学发展水平的限制,应该说目前这种联系或说明还只是定性的和经验性的,但这种基于微观机理所得到的关于材料力学行为的认识却是本质性和一般性的,因此,人们把材料强度学归类为具有工学特征的科学^[1]。

构件在什么样的条件下发生破坏或者不能满足原设计的使用要求,是工程实际中首先必须回答的问题,也是人们进行各种固体力学分析的目的。我们将构件发生破坏或者不能满足原设计要求的情况,称为构件的失效。在具体的工程结构中,构件的形式可以是千变万化的,其失效形式也可以有多种。如果对各种构件分别进行具体的分析研究,来寻求其失效条件或准则,显然是做不胜做,难以具有共性的。因此我们要寻求的是,具有共性亦即可以普遍适用的判别失效或安全程度的方法。构件的失效可以分为因构件的整体性能不足和构件内局部材料的性能不

足引起的两种。除受力状态外,前者(如失稳)不仅受材料特性本身的影响,而且还与构件的几何形状及约束条件等有关,其强度行为常称为构件的几何强度特性,后者则只与材料本身有关,其强度行为称为材料强度特性。材料强度学研究的主要对象是后者,即认为:构件失效是其材料的受力或变形状态,达到材料本身的固有能力的(对应于一个临界状态)所造成的,这一临界状态时的应力或应变就对应于材料的强度特性。材料的强度特性决定于它的失效机理及相关的内部微观组织结构,在不同的工况下可以有不同的表现形式,但在同一种失效机理下则体现为一种固有的特性(即不同表达形式的强度值之间必然有某种内在的联系)。顺便指出,由于材料的受力或变形状态是利用连续介质力学的方法来描述的,因此,材料的变形及强度特性是用建立在连续介质假定上的宏观参数,而不是用材料微观结构层次上的量来表示的。

人们常常把现实材料作为连续体处理,但连续性假定实际上只是对现实材料的一种理想化处理。赋予材料的连续体模型以固有的变形、强度特性以便进行力学分析,并不能说明现实材料内真的处处都具有这种特性。由于材料的变形、强度特性决定于内部微观组织结构及其失效机理,所以材料究竟具备不具备以宏观参数描述的固有变形及强度特性,理论上并没有严格的保证。实际上即使是同一种材料,由于材料内各部位所包含的内部缺陷和组织结构不尽相同,利用不同试件所测得的强度特性也是有差异的。这种差异绝不只是简单的实验误差,而是由更为本质性的强度统计特性引起的(参见第2章)。所谓强度的统计特性,是指同一材料不同部位的强度在一定范围内呈概率分布的特性。一般来说,材料越致密,强度的分散范围就越小。材料实际上固有的只是具有统计特征的强度特性,而不是某一确定的临界值。但通过规定合适的安全侧强度值,在工程应用中可以忽略这种统计特征,将失效这个一定范围内的概率性事件,作为一种确定性事件来处理(当然也仍然可采用概率力学的方法来处理失效问题)。这样确定的材料强度特性值,被赋予作为分析对象的均匀连续体模型后,在宏观分析中就可以不必考虑材料的内部结构了。但在高性能材料的开发、复杂工况下的材料强度行为等方面,则仍需从破坏机理和微观结构(即从现实材料而不仅仅是其连续体模型)所决定的失效破坏准则出发来进行研究,否则最多是提供一种评价(由于破坏机理及破坏准则的变化,还有可能是一种错误的评价),而不能提供改善材料特性方面的建议。值得指出,应力或应变本身的大小并不能决定构件是否会发生破坏,随着材料性能的改善以及高性能材料的普及应用,工程结构的承载能力实际上一一直在不断提高中。

一般地,要建立材料的失效准则,即发生失效的临界状态的判别式(这里不包括几何强度不足引起的失效),必须注意以下两个一般性要求:一是对同一种材料,不论构件的几何形状及受力状态如何,对应于同一种失效的条件应该是同一的;二

是对不同的材料,如果是同一类材料(如脆性材料、韧性材料等),则其失效条件必须是同形的(即只是其中的一些材料常数发生变化)。未经这种一般性验证的失效条件,一般只是个案(case by case)研究,而不是科学的具有通用性的失效评价准则。这种一般性要求,导致材料强度学必须从失效的本质因素(即微观机理或宏观普遍真理如能量平衡等)入手,来研究材料的失效条件与形成强度特性的机制,反过来也说明了仅从实验结果来建立破坏准则的经验方法并不一定能给出具有普遍性的失效准则。建立了具有一般性的失效准则后,材料的强度特性实际上只需用一个或少数几个简单受力状态下的应力或应变的临界值来表示,而无须对每一种复杂受力状态都给出一个临界值。

另一方面,材料的破坏或失效,总是在力(可以是外力,也可以是内力)的作用下发生的,归根结底是力作用的结果,而且它并不是孤立地发生的,而是与破坏或失效发生前的作用力及其响应甚至包括其履历相关的。因此,从因果律的角度看,研究材料破坏或失效的条件,应该是从破坏或失效发生前的受力及变形状态出发,而不能以破坏发生后的状态作为判断的依据。但为了分析材料破坏的机理,我们常常需要对材料断片进行微观组织结构的观测。此时实际上已包含了一个假定,即破坏或失效会引起宏观参数的显著变化或突变,但材料的微观结构(破面除外)则不存在突变。这样我们就可以通过对断面组织结构的观测,来得到材料发生破坏时的微观组织结构形式。这一假定是我们从微观结构方面进行材料强度特性分析的依据。

必须指出,虽然对于传统的常见材料,常见工况下的破坏准则和强度特性都是现成的,但对于不断涌现的新材料或新环境下的材料破坏评价,一般其破坏机理与传统材料有所不同,往往无法应用已有的破坏准则,而要求力学工作者去建立新的失效准则或对现有准则作必要的扩展。不仅如此,如何本质性地描述新材料的力学行为,如强度特性、变形特性等,也常需要新的方法。即使是对于传统的常见材料,由于使用条件的极端化、苛刻化等原因,其破坏机理也远没有完全搞清楚。这就要求我们必须对失效机理及材料强度特性等的成因有系统的知识,才能正确处理工程实际中涌现出的各种形式的破坏或失效问题。

1.2 材料强度学的基本假定

材料强度学一方面必须用连续介质力学的方法去获取评价参数,另一方面必须从真实材料的内部组织结构变化出发去考察其失效或破坏条件,它实际上起着将理想模型化了的连续体与真实材料联系起来的桥梁作用。在获取评价参数时,不可避免地要用到连续介质力学的基本假定^[2,3],但这些假定只是在获取评价参数

时才使用。由于在材料强度学中更重要的是把真实的材料行为与宏观评价参数的临界状态联系起来,所以还必须引入一些特殊的基本假定才能建立起这种联系。

(1) 表征假定:虽然建立在连续性和均匀性等假定之上的应力应变等参数,并不代表材料内部具体微观结构上的真实受力或变形状态,但它们可以用来表示其具有平均或统计意义的受力或变形状态。

(2) 行为假定:材料的力学行为是通过具有平均或统计意义的受力或变形状态表现出来的,某个特定微结构的力学行为并不代表材料的力学特性。

(3) 失效及破坏状态假定:构件的失效或破坏,是其材料的受力或变形状态,达到材料本身固有的某个临界状态时发生的结果。这种临界状态是由材料内部典型微结构的失效或破坏机理决定的。典型微结构是指具有代表性和统计特征的微结构,而不是某一特定的微结构。因此,对应于失效临界状态的宏观参数的极限值,必然是具有统计特征的。

(4) 典型微结构临界状态假定:对应于一种失效机理,典型微结构的临界状态是材料所固有的,不会因为构件的形状和受力状态的改变而改变。这种典型微结构的临界状态,可以通过断面显微观察等手段来确定。失效机理不同,则临界状态也不同。

(5) 缺陷分布假定:对于具有某一固有强度特性的材料,各种类型的微结构在材料内部不同部位出现的概率是一样的。反之,如果这种概率是不一样的,则强度特性也将具有位置依存特性(如梯度材料等)。

(6) 包容性假定:具有随机分布特征的内部微观缺陷对失效及破坏临界状态(具有组织敏感性)的影响,可以被包含于材料强度特性的统计特征中。必须指出,即使是同一种材料,在不同部位其内部微观组织结构也不可能是完全相同的。包容性假定使得我们可以不必考虑材料内这种微观结构差别对组织敏感量和评价方法的影响。

以上假定和处理方法已被大量的实验结果和工程事例证实是合理的。相对于连续介质力学的基本假定把分析模型和真实材料的变形特性联系起来,这些假定起到了将分析模型与现实材料的强度特性联系起来的作用。另一方面,这些假定实际上也限定了材料的力学特性概念及破坏准则等,只有在一定的尺度范围内才有意义,不能细化到具体的微观结构。

1.3 材料强度学的地位和作用

材料破坏或失效条件的一般形式可以表达为:

$$f(\text{评价参数}) \geq R(\text{材料强度特性}) \quad (1.1)$$

上式的左边是选定的评价参数的函数,实际上是对受力或变形状态的描述;而右边则是对破坏发生时的临界状态即材料承载能力的描述。固体力学的绝大多数分支通常只涉及如何分析评价参数的问题,也就是说只涉及理想化了的连续体模型,而不涉及材料本身因何而破坏的问题。对于传统的简单问题,由于式(1.1)的具体形式是已知的,材料的强度特性也是事先准备好了的,即连续体模型与现实材料之间的联系已经建立,故只要完成参数分析就可以满足应用需要。由于参数分析只是针对连续体模型进行的,因此人们可以从几个最基本假定(如连续性、均匀性假定)出发,在严密的连续介质力学理论框架下进行。但式(1.1)本身则往往是一种假设或观点,其依据只是经验性的或宏观的直观认识,虽可以由一些关于材料微观结构和破坏机理的认识作基础,但却不能从连续介质力学理论推导得到(或者说,失效条件或评价准则是超出连续介质理论范畴的),而必须引入关于材料破坏或失效的观点或假定(但须经过实验验证)。这些观点或假定不可避免地会包含人为的因素,需要在与工程实际的结合中不断地发展与完善。材料的强度学不仅要确立式(1.1)中评价函数 f 的具体形式,也必须确定相关材料特性的表征(即等式右边的具体形式及含义)。相对于参数分析部分的理论严密性(有人干脆将力学的参数分析部分称为应用数学,也有人只承认其是数学的应用),建立式(1.1)的工作,更需要丰富的力学经验和观点,需要对破坏机理的理解,因而也更体现了固体力学作为工程科学的精华所在。

材料强度学在固体力学中的地位和作用,可用图 1.1 来表示。图 1.1 中的三个环节,是相互关联相互影响的。最具代表性的参数分析是应力、应变分析,具体的分析方法可以是解析的,也可以是数值,甚至可以是实验测量的,但它们都是有严密的理论基础的(必要时会引入一些假定以简化分析过程,但这不影响其理论基础的严密性)。然而参数分析本身并不是目的,它的作用是为评价提供必要的评价参数值。极端地讲,如果能凭经验估测得到相关参数值,则不进行严密的参数分析也未尚不能满足工程应用的需要,实际上经验丰富的工程师也往往只凭经验就可估测出评价参数值的。当然,尽量将参数分析做得精确(尤其是对于新的参数分析方法)也是必要的和有意义的,因为毕竟用来评价的参数是要靠参数分析得到的(经验本身实际上也来自具体的参数分析过程及其积累)。但要建立正确的具有普遍性的评价方法,仅有评价参数是不够的,必须有对破坏或失效机理的足够认识,必须从参数分析时的理想连续体模型回到现实的材料。对于传统材料的强度问题,由于评价参数和评价准则大都是现成的(某些极端工况除外),剩下的只是如何进行参数分析的问题,因此随着通用商用有限元程序的普及,固体力学工作者的用武之地并不大。但对于新材料或新的力学问题,要确定具体的评价参数和评价准