



# 关于损伤力学的哲学思考

李银平 王元汉

(华中科技大学土木工程与力学学院, 武汉 430074)

**摘要** 对损伤力学研究中出现的一些哲学问题进行了初步探讨, 认为损伤力学中多种定义和模型的共存正体现着科学模型的多样性原则; 典型体元概念的独特性则体现着部分和整体之间相互依存的辩证关系; 两大分支理论的共存则是不同模拟方法和损伤力学结合的结果. 最后对损伤力学的未来发展趋势做了简单的预测.

**关键词** 损伤力学, 科学模型, 部分和整体, 复杂性

损伤力学 (Damage Mechanics) 是固体力学中近 20 年发展起来的一门新分支学科, 是材料与结构的变形和破坏理论的重要组成部分. 在外载荷和环境的作用下, 由于微观结构的缺陷 (如微裂纹、微孔洞、位错等) 引起的材料或结构的逐步劣化过程, 称为损伤. 损伤力学则是研究材料或构件在各种加载条件下, 物体中的损伤随变形而演化发展直至破坏的过程的学科.

在损伤力学的理论体系和研究方法中, 有着不少令人困惑的地方, 损伤力学具有相当的复杂性和模糊性, 提出了一些很有意义的哲学问题. 本文着重讨论损伤力学研究中的几个哲学问题, 最后对损伤力学的发展趋势谈一点看法.

## 1 损伤变量定义及模型建立中的哲学思考

损伤力学中的损伤指的是材料和结构内部的微缺陷引起的宏观性能劣化. 如何合理地选择表征损伤的状态变量, 从而建立相应的损伤力学模型, 是损伤力学首先要解决的问题<sup>[1,2]</sup>.

材料的损伤引起其微观结构和某些宏观物理性能的变化, 因此可以从微观和宏观两方面选择损伤的基准<sup>[1~6]</sup>. 从微观方面, 可以选用空隙的数目、长度、面积和体积; 从宏观方面, 可以选用弹性系数、屈服应力、拉伸强度、伸长率、密度、电阻、超声波速和声辐射等. 至于损伤变量的形式也是多样化的. 在不同的情况下, 可将损伤变量定义为标量、矢量或张量等.

因此看起来, 损伤变量定义是多种多样的, 故而存在多种基于不同损伤定义的损伤模型. 到底哪一种定义真正揭示了材料内部损伤发展的不可逆变化过程呢? 这一点颇令人困惑. 著名的损伤力学专家 Krajcinovic 于 1998 年发表一篇有名的文章<sup>[2]</sup>“损伤变量的选择——艺术还是科学?”, 对该问题进行了探讨.

首先多种损伤模型共存体现了科学模型的多样性. “横看成岭侧成峰”, 对于同一问题, 人们从不同的角度去考虑时, 可以产生很不相同的认识. 模型作为主体对客体的一种认识成果、不同的人、不同的学派, 在研究同一客体的同一

问题时, 由于采集到的客体的不同信息, 或采用了不同的思路、不同的方法, 或依据了不同的科学概念、假说等理论知识, 或由于加进了不同的想象和猜测, 都可能构建不同的模型. 因此, 在科学的认识活动中表现以下两方面情况: 一方面, 对于同一研究对象, 常有多个模型共存, 都有其优势和局限性<sup>[7]</sup>, 形成相互竞争或对峙的局面; 另一方面, 对同一问题的认识深化过程, 实际上也就是多种模型逐个更替的过程.

其二, 这里边包含了科学模型中相似性和简单性相统一的原则. 从相似性来说, 我们不可能也不必要要求模型与原型完全相似, 但是必须按照所要研究的问题的性质和目的, 使模型与原型具有本质上的相似性, 突出主要矛盾<sup>[7]</sup>. 从简单性来说, 就是要化繁为简、化难为易, 使复杂事物有可能通过比较简单的模型来进行研究. 如把不规则的化为规则的; 把不均匀的化为均匀的; 把有限的化为无限的; 把离散的化为连续的; 把各向异性的化为各向同性的, 等等.

因此, 损伤定义和模型的多样性, 不过是科学模型多样性原则的一个例证, 表明损伤力学正在发展前进中.

## 2 从典型体元看部分和整体的辩证关系

损伤力学中有一个很特别的概念——典型体元 (Representative Volume Element). 从宏观看, 它足够小, 可看作连续介质中的一个点, 但从细观看, 它又足够大, 应能够包含足够多的缺陷 (微裂纹、微空洞等), 在统计平均化的意义下求该处材料应力应变关系. 典型体元是一个相当重要也相当有用的概念, 但却又是一个相当模糊的概念. 它既不是宏观意义下的材料, 也不是数学意义上的一点, 它的选取有很大的随意性, 但正是基于这个模糊的概念, 推演出许多损伤力学的公式和定理.

其实, 典型体元的概念与应用正体现了部分和整体相互依存的关系: 一方面, 整体由部分组成, 整体不能脱离其部分而存在; 另一方面, 部分作为整体内部所包含的因素或过程, 一般来说, 总是处于与其它部分的相互联系或相互作用之间. 因此, 从人们对客体的认识来说, 只有认识了部分, 才能更好地认识整体, 也只有认识了整体, 才能更好地认识部分. 这是理所当然的认识论原则. 在长期的科研实践中, 科学工作者积累了不少部分与整体关系的经验. 微元法就是科学研究 (特别是物理和力学) 中常用的一种方法.

典型体元法来源于微元法, 但却和其有很大的不同, 既相似又相区别. 他们都是物体内的一小部分, 可看作一点来对待, 但典型体元却不是无限小的一部分, 它应当足够大,

大到包括足够多的微缺陷,能在平均的意义下将局部的不均匀、不连续进行平均化后,将材料看作均匀连续体来研究.典型体元和微元一样是整体中的一部分,其周围的基体是其环境,要受到环境的作用.当对典型体元进行分析时,周围基体的状态便是其边界条件.当然典型体元也反作用于基体.弄清楚了典型体元的性态,进而可知整体响应,部分和整体是相互依存的.这其中也有科学模型的简单化原则,因为材料内微缺陷成千上万,谁也不可能逐个去研究.故而选择合适的典型体元,研究其内部多个微缺陷的综合效果,进而理解宏观材料的力学行为的方法不失为一种好办法.

### 3 损伤力学两大分支,孰优孰劣?

损伤力学有两个主要分支<sup>[1]</sup>.一是连续介质损伤力学,它利用连续介质热力学和连续介质力学的唯象学方法,研究损伤的力学过程.它着重考察损伤对材料宏观力学性能的影响以及材料和结构的损伤演化过程和规律,而不细察其损伤演化的细观物理与力学过程.二是细观损伤力学,它通过对典型损伤基元,如微裂纹、微孔洞、剪切带等以及各种基元的组合,根据损伤基元的变形与演化过程,通过某种力学平均化的方法,求得材料变形和损伤过程与细观损伤参量之间的关系.

这两大分支的研究目的一致,但研究方法却大不同.两大分支各自采用不同数学模型方法研究着同一问题.

连续介质损伤力学采用功能模拟方法,采用黑箱或灰箱的方法,对于难以弄清的结构,不去分析系统内部的结构,只求使模型与原型总体行为和功能相似即可,并且有时还通过简化功能的方法,使模型只模拟原型的部分功能.连续介质损伤力学基本上是在经典连续介质力学的控制方程中加入描述损伤变化的参数,从而建立固体损伤本构方程.在这过程中,基本上不考察微结构的形状、大小等及其演化,只求其预计的宏观力学行为符合实验与实际,也即功能相似.

细观损伤力学则采用结构模拟方法,它考察微缺陷的形状、大小、方位等及其萌生与扩展,将缺陷理解为材料的弹性夹杂.在细观层次,采用典型体元来分析微结构对宏观性

能的影响.但这是很复杂的,其一,微缺陷的形状、尺寸及方位等是随机分布的;其二,微缺陷系统中各微缺陷是相互作用的.这对损伤力学实验提出了要求,因为只有通过实验才有可能真正了解细观-微观机理.

近年来发展起来的基于细观的唯象损伤理论,则是介于上述两者之间的一种损伤力学理论.该理论对于较为清楚的内部微结构采用结构模拟,而对不很清楚的甚至完全不了解的结构采用唯象的功能模拟方法.该理论吸引了不少学者的注意,可以预见该理论将极大地推动损伤力学的发展.

### 4 结语和展望

损伤力学,这一固体力学的新分支学科,由于其问题的复杂性和探索性,出现了多种定义和模型,还出现了一些独特的概念和方法,其两大分支采用迥然不同的思想来分析研究损伤的演化.这些使得一些人产生困惑和怀疑,但若站在科学技术哲学的高度来审视它,则将豁然开朗.

可以预见,在损伤力学的发展中,还将出现更多的新模型和新概念,有些旧的东西则可能被逐渐淘汰.随着损伤力学和实际工程的不断结合,两大分支将继续获得发展并不断接受实验的检验,但基于细观的唯象损伤理论将逐步获得主导地位,极大的推进损伤力学的进展.

### 参 考 文 献

- 1 余寿文,冯西桥.损伤力学.北京:清华大学出版社,1997
- 2 Krajcinovic D. Selection of damage parameter-art or science? *Mechanics of Materials*, 1998, 28(1/4): 165~179
- 3 李银平,王元汉.基于有效损伤体积定义的微缺陷损伤定义.华中科技大学学报, 2001, 29(5): 98~99, 102
- 4 揭敏等.非晶态高聚物裂尖银纹损伤场.应用力学学报, 1998, 15(3): 7~12
- 5 谢和平,鞠杨.分数维空间中的损伤力学研究初探.力学学报, 1999, 31(3): 300~310
- 6 谢和平等.经典损伤定义中的“弹性模量法”的探讨.力学与实践, 1997, 19(2): 1~5
- 7 王仁.力学模型及其局限性.力学与实践, 2001, 23(2): 70~72