

智能微尺度力学的研究*

舒思齐 魏悦广

(中国科学院力学研究所 100080)

摘要:对于宏观材料的力学性能的研究通常基于传统的连续介质力学;然而,当研究对象小到微/纳米尺度时,材料缺陷等因素对微观材料力学性能影响程度将不同于宏观材料。此时,材料将表现出明显的尺度效应等力学性能。用传统连续介质理论将不能解释此现象。因此,许多学者基于正问题思想对微观材料的力学性能进行研究:Fleck-Hutchinson 提出了机遇传统弹塑性理论的塑性应变梯度理论;Nix-Gao 提出了基于位错理论的塑性应变梯度理论;Gerberich 等提出了基于比表面能的微尺度材料尺度效应理论^[3]。Kelchner 等提出用分子动力学模拟方法获得微/纳米材料的力学性能^[4]。这些理论都在一定程度上解释了微观材料力学性能的尺度效应。然而,这些理论仅限于理论研究阶段,且存在一定局限性。

本研究主要针对微尺度力学的研究存在的主要问题,提出了智能微尺度力学研究的新思想和内容。它综合研究了微尺度力学的相关内容,提高了微尺度力学解决复杂问题的准确度;并介绍了用于开发智能微尺度力学的工作平台。本文从下列几个方面介绍了智能微尺度力学研究的内容。

(1) 基于神经网络方法构建了反映微纳米材料力学性能模型。

在纳米压痕试验中,材料的硬度和材料参数及几何参量可表示如下:

$$H = f_1(E, \sigma_Y, \nu, n, L, h, \theta) \quad (6)$$

由量纲分析可得:

$$H = \sigma_Y \Pi\left(\frac{E}{\sigma_Y}, \frac{L}{h}, \nu, n, \theta\right)$$

研究表明,泊松比大小对材料硬度影响较小,常取 0.3;对于 Berkovich 压头, $\theta = 70.3^\circ$ 。则由上述力学模型分析,可建立锥形压头纳米压痕试验的硬度和材料参数间神经网络模型。神经网络的输入值为 $\frac{E}{\sigma_Y}, \frac{L}{h}, n$;神经网络的输出值为材料的硬度值 H 。

(2) 基于遗传算法对球形压痕问题进行反问题研究,获得研究材料的材料参数。

当压痕深度大于十几个微米时,可认为尺度效应对材料的力学性能影响可以忽略。则由量纲分析可得球形压痕的纳米压痕试验关系式:

并利用经验公式可得载荷-位移函数关系式:

$$P = Eh^2 \Pi_r\left(\frac{\sigma_Y}{E}, \nu, n, \frac{R}{h}\right)$$
$$P = \pi(2Rh - h^2) \frac{60}{2+n} \left(\frac{40}{9\pi}\right)^n E \left(\frac{\sigma_Y}{E}\right)^{(1-n)} \left(\frac{8}{9\pi} \left(1 + \frac{n}{2}\right)^{(-1/n)} \frac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R}\right)^n$$

通过运用遗传算法与压痕试验,可得所研究材料的材料参数。

(3) 智能微尺度力学开发平台介绍。本文基于 Visual Basic 语言综合运用神经网络、遗传算法、专家系统、模糊逻辑开发了一套用于智能微尺度力学计算的工作平台。该智能系统可对压痕问题,薄膜脱胶、微梁弯曲、炭纳米管等微尺度力学进行智能计算,并留有接口,以备后来学者对此智能系统进行扩充。该微尺度智能系统有良好的人机交互界面,以便普通工程技术人员对此进行操作。该智能系统界面如下。

* 通讯作者:舒思齐 (Email: shusiqi@lnm.imech.ac.cn)



图 1 智能系统的主界面

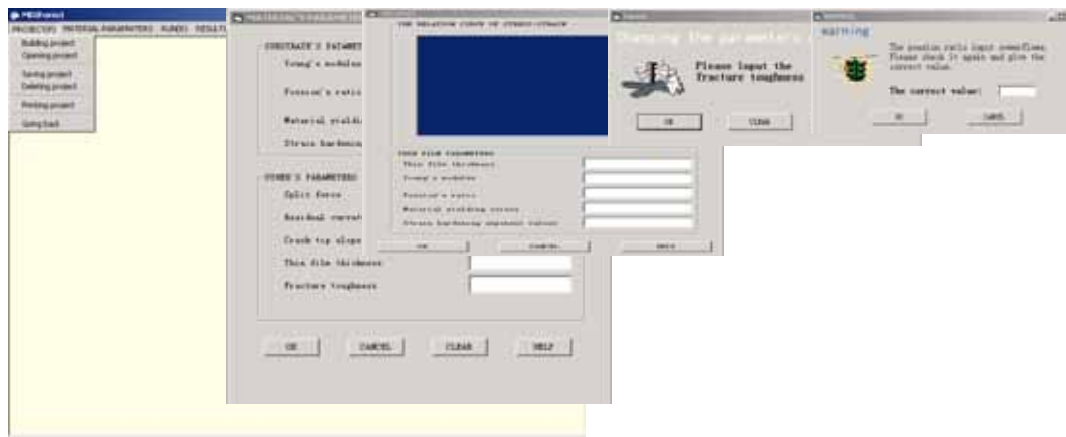


图 2 智能系统控制部分界面

该智能系统有效的架起了沟通理论科学家与工程技术人员之间的桥梁。

关键词：智能微尺度力学，尺度效应，微尺度力学，神经网络，遗传算法，专家系统，模糊逻辑