

关于智能岩石力学发展的几个问题的讨论*

冯夏庭 王泳嘉

(东北大学资源与土木工程学院 沈阳 110006)

1 引言

岩石力学是一门既富理论内涵而又具有很强工程实践性的发展中学科。它沿用材料力学、弹塑性理论等传统科学为基础的确定性求解方法,并未使结果达到恰如人意的效果^[1]。许多岩石力学过程的数学描述或者是不存在的、弱的,或者是不完全的。更糟的是,没有任何可以广泛接受的概念模型。因此许多问题是数据有限的:不仅是输入给模型大基本参数(例如,原岩应力、材料性能/几何等)没有很好的定义,而且很少测量是有效的,难以对过程的演化提供一些反馈信息或者能校正模型大预测^[2]。有限的数据与对岩石(体)的力学机理的难以理解,成为了岩石力学模拟的“瓶颈”问题^[3]。在这方面,人工智能的问世,给岩石力学提供了很好的方法,是对经典力学一次带根本性的变革。在这种背景下,作者从1986年开始研究,于1993年提出了岩石力学智能化的研究思路^[4]。在此基础上,提出了“一个新的方向——智能岩石力学”^[5]。文[6]就智能岩石力学的研究内容进行了较系统的讨论,并指出了实现突破的关键是思维方式的变革。本文就智能岩石力学发展中的一些问题展开讨论。

2 智能岩石力学与以弹粘塑性力学为主的岩石力学的联系与区别

智能岩石力学是在人工智能、神经网络、模糊数学、非线性力学、系统工程地质学等与岩石力学融合的基础上发展起来的一个新的学科分支。因此,它不仅继承了传统岩石力学学科的各种先进成果,而且是对传统岩石力学的一个发展。二者之间既有广泛的联系,又有较深刻的区别(表1)。

3 关于智能岩石力学的研究

智能岩石力学的研究,概括起来可以包括3个方面:基本理论研究,基础技术、算法和工具的研究以及与岩石工程相结合的研究(图1)。在基本理论研究方面,主要探讨面向岩石

1998年4月26日收到来稿。

* 国家自然科学基金(59604001)和教育部博士点基金(96014513)资助项目。

作者冯夏庭简介:男,34岁,博士,1986年毕业于东北大学采矿系采矿工程专业,现任教授,主要从事岩石力学智能化方面的工作。

表 1 智能岩石力学与传统岩石力学的比较

Table 1 Comparison of intelligent rock mechanics with traditional rock mechanics

比较项目	传统岩石力学	智能岩石力学
学科建立的基础	弹粘塑性力学为主	人工智能、神经网络、模糊数学、非线性力学、系统工程地质学与岩石力学的融合
知识的表达方式	数学、力学模型	规则、语义网络、框架、神经网络、数学和力学模型等的嵌入式综合表达。它可以对多样的数据、信息和知识(定性的、定量的;确定性的,不确定性的;显式的,隐式的;线性的,非线性的)进行多方位的描述与充分的表达
对力学过程和特征的认识	借用弹粘塑模型,简化与假设	自学习。对实验和现场实测获得的数据进行自学习,确定岩体的本构关系和各种参数之间的非线性关系。这种自学习过程是可以自适应的,可以根据地质、环境和工程条件的变化,而不必做出任何假设。新的实例和数据的积累可以改善模型的精度
问题的求解方法	基于力学和数学模型的计算,以确定性求解方法为主	确定性推理、不确定性推理、数值计算与理论分析的综合集成。求解策略是多方位的,多路径的,一种方法难以求解的转化为另一种方法去求解,以进一步提高结论的确定性
模拟不同载荷(开挖过程、爆破、采矿等)和环境的自适应性	较差	较强
有限数据的推广能力	较差	较强(从容易获得的数据入手,研究从中提取含有本质的信息,从有限的数据进行推广的新方法,以解决数据是有限的问题)
综合考虑地质、工程和环境因素的能力	较差	较强

力学与工程问题的专家系统模型、神经网络模型、非线性科学方法、非线性系统力学方法、系统工程地质方法、开挖动态力学方法、岩体本构模型识别的自适应方法、有限数据的推广方法、定性到定量的综合集成方法等。基础技术方面是由理论研究的成果,构造出可用的算法、开发出相应的集成智能软件与工具,如神经网络材料模型有限元软件、智能位移反分析工具、集成的智能化的数值分析工具等。工程应用是要探讨如何将理论研究成果和开发的工具与具体的岩石工程问题结合的问题,例如如何进行边坡与采场稳定性分析、岩爆预测等。

4 全球范围内的协作是发展智能岩石力学的有效途径之一

4.1 利用 Internet-神经网络进行示例转换模拟

在岩石力学模拟过程中,模型使用和产生的信息量和需要的信息量之间通常存在不兼容性。从模拟的开始,支持模拟和由模型产生的信息量呈稳定的增长(图 2 中的用位或字节表示的对数 y 轴)。描述岩体特征所需要的信息量是大的,描述岩体对开挖的反应的各个方面所需要的信息量则更大,但是需要的设计信息是小的,如回答问题“洞室呈南北或东西向布置”的答案是“是”或者“不是”一位。如图 2 所示, Ceiling 3 是模拟岩体和工程所需要的信息水平, Ceiling 2 是可获得的信息水平;我们不可能获得描述一个岩体的所有地质材料和力学性质的各种详细的信息。解决这一矛盾的方法就是,首先进行 Ceiling 1 所示的示例变换(Paradigm Shift)^[7]。

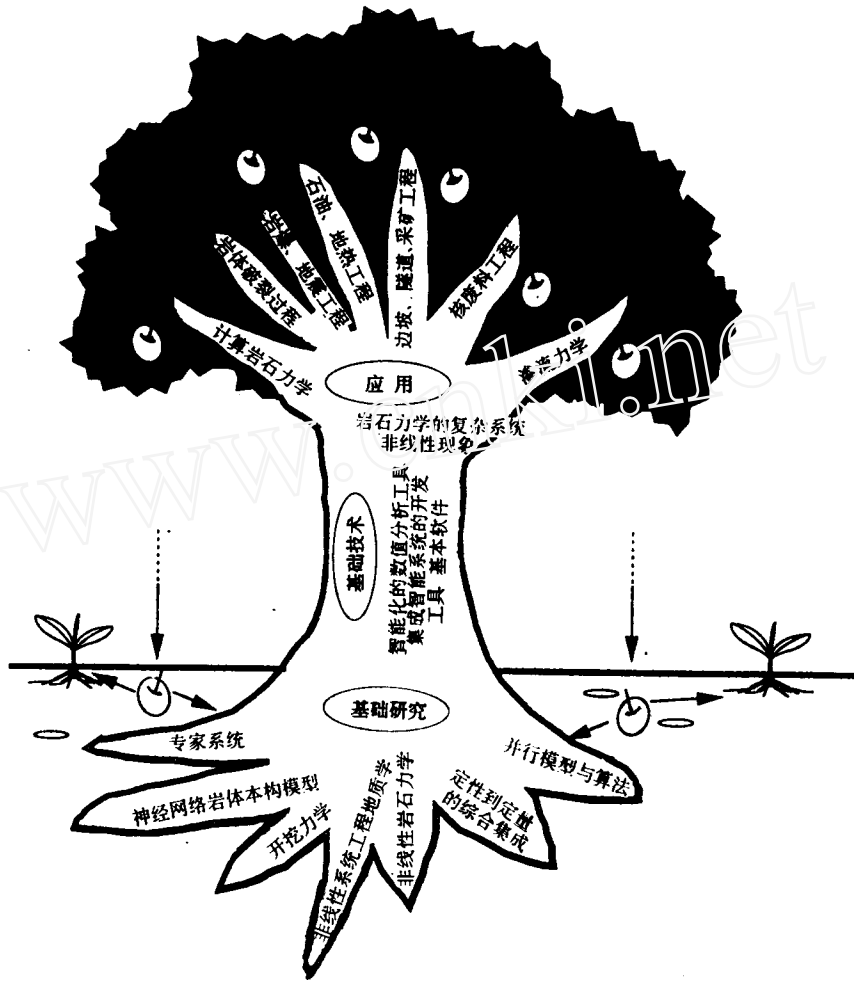


图 1 智能岩石力学的研究

Fig. 1 Study strategies on intelligent rock mechanics

在几何与机制的一对一映射的数值模拟方面，有一个可替换的方法，那就是在 Ceiling 1，最可能使用神经网络模拟，连接现场实验，获得不同岩体-工程系统效应的感知。实践上，这种神经网络模拟可以通过单机上的示例类比实现，也可以通过使用 Internet 的神经网络示例模拟来实现(图 3 所示的下半部分)。前者是目前岩石力学神经网络研究中广泛采用的一种方法，而后者则是有待于进一步开发的方法。实际上，Internet 已经是神经网络的形式存在的，即给互联的节点集中的任何一个节点一个输入就可以产生相应的输出^[8]。这两种类比方法的结果可以在网上发表，供网上共享和再利用。

4.2 在 Internet 上进行智能岩石力学协作研究

利用 Internet 强大的信息传输和存储功能，全球范围内众多领域的专家可以对智能岩石力学进行广泛的协作研究。这种协作(Collaboration)是“没有墙的中心”，在这个中心中，各国的研究者能进行他们的研究而不需考虑地理位置——合作者之间相互影响，存取仪器，共

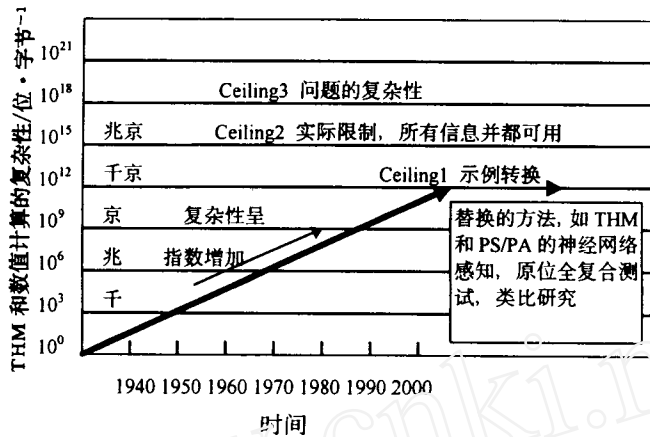


图 2 数据模拟中的示例转换随复杂性增长示意图^[7]

Fig. 2 The likelihood of a paradigm shift in numerical modeling as the complexity increases^[7]

享数据和计算资源，在数字图书馆中存取信息。在协作中嵌入在电视会议中的出席/开会概念被扩展，允许非正式的、深入的协作，存取仪器工具、数据、实验室书籍以及计算机显示共享。使进入这个大厅的协作成员紧密地相互影响，这样元实验室所创造的能力远远超过任何单个实验室的能力。

在 Internet 上进行有效的协作研究，需要建立协作实验室和网上工程数据库。前者是一个开放的元实验室(Meta-laboratory)，跨越多个地理区域，协作者经由电子工具相互影响“工作在一起”，协作实验室设计使所涉及各领域或各地区的科学家紧密地联系在一起，使他们之间相互协作，加速基础知识的发展和传播，使成果从发现到应用之间的时间距离最小。例如，他们可以同时对某个岩石力学概念进行广泛的讨论，对某个复杂的岩石工程问题进行会诊，而没有时间、空间上的限制。

在 Internet 上进行智能岩石力学协作研究，可以有 4 种协作模型：

(1) 伙伴-伙伴协作。同等研究者之间进行的协作。

(2) 教师-学生协作。这种协作发生在高级岩石力学科学家和他们的较低一些的伙伴之间，例如学生和博士后。教师可以使用准备好的材料进行演示，教授学生数据获取或分析技术，或传播智能岩石力学原理。当学生演示新概念的优点时老师在旁边观察。数据获取、分析、视觉化、模拟和其他用于实验的特殊计划协同使用、协同作用。

(3) 多学科交叉协作。人工智能、神经网络、遗传算法、模糊数学、非线性科学、系统科学、固体力学和岩石工程领域的研究者之间进行广泛的协作。这种协作研究有很少的共同词汇，必须经常翻译他们的结果进入彼此的术语。经常变换老师与学生的角色来试图形成他们有前途的发现。对研究者直接存取原始数据是很少用得上的，但重要的且非常有用的是存取汇总和分析、存取记录的电子图书、存取很容易讨论不熟悉的概念并改正误解的能力。

(4) 生产者-消费者协作。一个研究者或研究小组，为另一个研究者或小组提供输入。例如，人工智能研究者提供新的人工智能方法，具有丰富工程经验的专家们为专家系统开发者提供自己的经验知识。

在学科和研究者动机之间经常有较大的空白，一个理论岩石力学科学家可能对一个新的力学现象感兴趣，而一个工程协作者正在设法降低这种努力的成本。在日常生活或会议上很

少有机会进行职业联系。这种类型关系的研究者最强调能获得一个样本，然后传递结果回到其他团体上。如果这些更密切的通信能够得到实施的话，新的见解和策略就会出现得更多。基础力学研究和工程应用之间的实验室举行系列会议、工程讨论会、晚餐讨论会来促进通信协作。给研究者提供有效的电子讨论工具，这样的协作会变得更具有互补性。

协作实验室的电子协作超越传统的文件共享和电子邮件，超越了目前的电视会议机制，达到了新的水平，协作者彼此密切协作工作。协作实验室被建立在一组集成的跨平台工具上，包括电子图书、电视会议、电子揭示板、共享屏幕、信息存取工具、仪器控制工具等，为科研小组交流创造一个电子会议场所(图 3 所示的最上部分)。

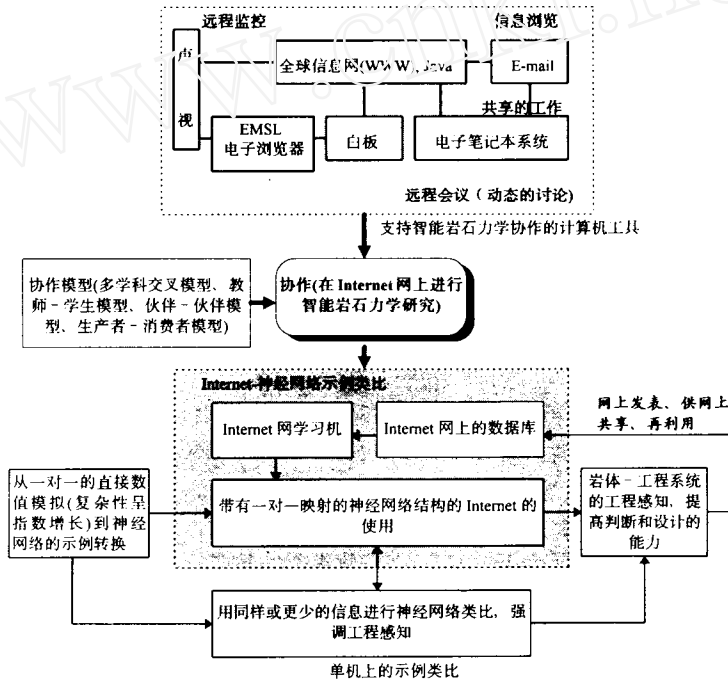


图 3 Internet 网上的智能岩石力学协作模型

Fig. 3 Collaboration of intelligent rock mechanics on the Internet

电子邮件通过时间序列支持对话协作，电视会议支持实时讨论，另外还有图形、白板等，协作实验室概念把研究者使用的科学资源融为协作用途，包括仪器、高性能计算机、数据分析、视觉化、模型应用、实验室数据和科学文献档案数据。实时工作和异步协作是可能的。把所有的研究资源变成对所有研究者都有用的资源这种努力促进了把一个远程协作者从部分时间制的咨询伙伴变为全日制合作者。

电子浏览器和协作者实时地共享计算机显示屏、窗口、屏幕区域。将来你能远程控制共享应用和做注释。

网上漫游：合成 WWW 浏览器给出基于 Web 的讲座或讨论。当一个研究者进入新的 URL，所有的连接的浏览器自动地执行。

协作实验室能共享传统纸张实验室记录本的动态 Web 版本。每个词本页提供一个数据

文件、图象、或基于 Java 的文件中的数据图形汇总。记事本的信息可以来源于 EMSL 的联机设备的自动更改。每个研究者能很容易地添加文本、图象、文件注释来完成记事本。

5 结 语

智能岩石力学不是仅仅进行面向岩石力学与工程问题的专家系统(包括逻辑专家系统与基于神经网络的专家系统)研究,而是包含着更深、更丰富的研究内容,全新的思维方法,将各种行之有效的分析方法进行有机的结合,实现从定性到定量的综合集成,整个分析过程强调的是非线性、自适应和智能化。利用 Internet-神经网络进行示例类比,为解决岩石力学模拟过程中模型使用和产生的信息量和需要的信息量之间存在的兼容性提供了一种有效的方法。智能岩石力学涉及人工智能、神经网络、遗传算法、模糊数学、非线性科学、系统科学、固体力学和岩石工程等诸多领域。在 Internet 上进行智能岩石力学的广泛协作研究可以打破这些领域科学家的地理位置和时间的限制。他们在网上可以实时地获取资源、传播信息和知识,对智能岩石力学发展中的问题和任何进行岩石工程问题会诊等展开及时而广泛的讨论。这样不仅可以加速研究成果的转化,提高研究者的效率,而且可以促进新理论和新方法的产生,丰富和发展智能岩石力学理论。

参 考 文 献

- 1 孙 钧. 序言. 见:冯夏庭,林韵梅著. 岩石力学与工程专家系统. 沈阳:辽宁科技出版社,1993
- 2 Detournay E J, Pearson R P, Thiercelin M. Modeling rock mechanical processes in petroleum exploration and production. ISRM News Journal, 1993, 17~20
- 3 王泳嘉,宋文洲. 关于岩石力学有限元程序发展的若干思考. 岩石力学与工程学报,1998,17(增):940~947
- 4 冯夏庭. 岩石力学智能化的研究思路. 岩石力学与工程学报,1994,13(3):205~208
- 5 Feng Xia-Ting, Katsuyama K, Wang Yong-Jia, et al. A new direction-intelligent rock mechanics and rock engineering. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1997, 34(1):135~141
- 6 冯夏庭,王泳嘉. 智能岩石力学及其内容. 工程地质学报,1997,5(1):21~27
- 7 Stephansson O, Hudson J A, Tsang C F. Decovales II Porject; task 4-sate-of-science statement on coupled T-H-M issues related to performance assessment. Draft 1, Decovalex Project, Stockholm, Swenden; 1996
- 8 Hudson J A, Hudson J L. Rock mechanics and the Internet. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 1997, 34(3/4):137~137

SEVERAL POINTS IN DEVELOPING INTELLIGENT ROCK MECHANICS

Feng Xiating Wang Yongjia

(College of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110006)