

神经网络在大尺度采空区损伤演化 统计与预测中应用

来兴平^{1,2)} 张立杰²⁾ 蔡美峰¹⁾

1)北京科技大学土木与环境工程学院,北京 100083 2)西安科技大学能源学院,西安 710054

摘 要 利用神经网络结构计算方法对岩石基复合材料支护大尺度采空区动力损伤演化趋势进行统计和预测,并与工程现场多种方法的综合监测数据进行了比较,其结果完全吻合。

关键词 神经网络;大尺度采空区;动力损伤与演化;统计与预测

分类号 TD 350

1 问题的提出

玲珑金矿255主运巷是整个矿山生产的咽喉工程(如图1所示)。由于其塌陷和变形比较大,

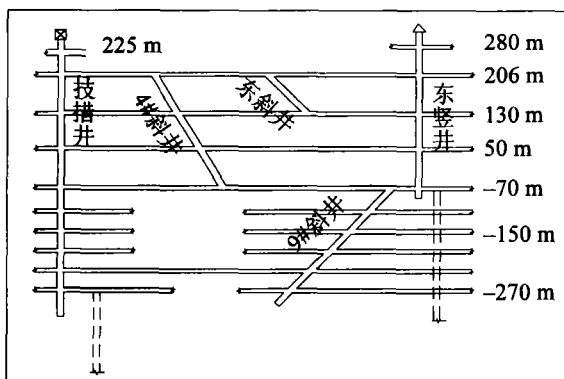


图1 玲珑金矿255主运巷与生产系统关系描述

Fig.1 Relation describing between 255 main transport roadway and production

且上部是松动区,松散体,下部是大采空区,对四周注浆和锚固,形成以坚硬花岗岩、水泥(混凝土)、刚纤维等复合材料支护体系,并将生产运输线由新巷改到旧巷,新旧巷相距10m。由于新巷的变形和塌陷破坏极其严重,对已加固旧巷的稳定产生严重影响^[1,2],若不及时处理,会带来灾难性后果。因此对新巷、旧巷的地压活动规律和稳定性状况以及双巷耦合影响进行监控,对大尺度

采空区动力损伤演化进行统计与预报,及时采取相应措施,以期保证主运巷正常运营以及玲珑金矿的可持续发展^[3,4]。

长期以来,人们对材料和构件宏观力学性能的劣化直至破坏全过程的机理、本构关系、力学模型和计算方法都很重视,并且用各种理论和方法进行了研究^[5,6]。本文针对有断层与岩石基复合材料支护的大采空区(10m×20m×25m)动力学损伤的复杂问题,利用神经网络结构计算方法,对材料变形和动力损伤演化趋势进行统计预测。

2 神经网络结构计算原理

在地下结构分析中,BP网络被直接用来实现结构系统输入参数 $x \in R^n$ 和输出参数 $y \in R$ 的非线性映射 $f: x \rightarrow y$ 。首先用传统的力学分析(有限元法)或实验方法得到的结果训练网络,调整连接权值,然后用训练出的网络来进行结构分析。事实上,这是一种用多层网络进行内插或外推的方法,其力学分析或实验方法采用传统方法,只是在内插或外推时采用神经网络,网络的逼近实际上是对离散空间点 $\{x, y\}$ 的基于基函数的最佳拟合过程。由于前向网络具有很强的输入输出映射能力,并且适应性广,算法简单,无需建立系统的数学模型,因而在结构工程中得到了广泛应用。

2.1 材料本构模型

基于神经计算原理,构造出具有若干个自由度的神经元,将计算力学中有限单元的刚度矩阵

收稿日期 2002-12-04 来兴平 男,31岁,副教授,博士后
* 国家自然科学基金(No. 50074002)和国家教委博士点基金(No.2000000802)资助项目

以神经元间的权值来描述,将结构外载荷作为神经元的外部输入,可以构造出对应于各种有限单元的神经计算单元,再将其耦合以形成求解该力学问题的神经网络.利用该神经网络系统对采空区围岩损伤进行计算.基于神经网络的材料本构模型不仅可以再现以前训练过的实验结果,还能对其他实验结果作近似预测,也可以用实验数据对网络作进一步的训练,使之更完善,基于自适应神经网络的材料模型表示参见有关文献^[7,8].

2.2 介质损伤演化统计与预测

从现场的工程地质调查(如图2所示)发现,采空区围岩是脆性介质,其变形是由于不规则开采造成.1991年11月在开掘新主运巷时,在10支1脉处遇到一空区,发现原顶柱已被采空,对下部

空区进行毛石充填,充满后,西部空区采用木垛支护,上部空区采用混凝土支护,巷道底板采用钢筋混凝土梁跨过毛石充填区.10支1脉和10支2脉原先预留的保安矿柱均被民采破坏,在主运巷下面,在原玲珑金矿采后的充填区周围均有村民的采矿、出矿点.表1描述的是岩体性态,结合工程实际和有关资料,利用监测钻孔周围岩石类别、单轴抗压强度、泊松比、弹性模量、节理裂隙系数等参数对钻孔应力信息进行学习与挖掘,结合现场实测值进行验证,分析其损伤演化趋势,在误差范围内,预测结果与之完全吻合.各监测钻孔应力实测与预测损伤演化趋势对比如图3所示.神经网络信息挖掘过程误差曲面等值线如图4所示.

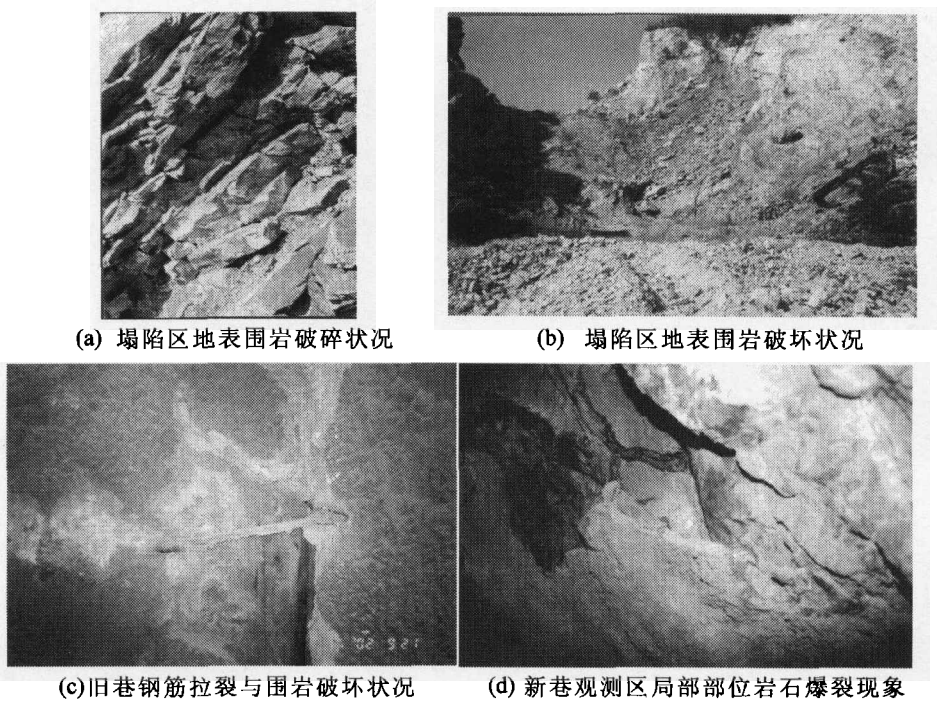


图2 采空区围岩及环境破坏状况

Fig.2 Rock-mass and environmental damage in the mined-out area

表1 岩体力学参数

Table 1 Mechanical parameters of rock-mass

岩体名称	岩石名称	抗压强度/MPa	弹性模量/GPa	泊松比	岩石 RQD/%	节理裂隙系数	C 值(湿)	v 值(湿)
花岗岩	花岗岩	96.3	55.3	0.26	83	0.82	22.4	41.1
破碎花岗岩	花岗岩	62.5	20.3	0.29	65	0.62	5.8	30.2
片麻岩	片麻岩	112.0	58.9	0.25	85	0.83	24.3	43.6
破碎片麻岩	片麻岩	72.2	24.8	0.28	67	0.59	6.2	32.4

3 结论

(1) 对于岩石基组成的混凝土材料支护作用下的采空区围岩的环境损伤,利用神经网络结构

计算方法,对其演化趋势进行预测,结合现场多种方法的综合监测,其结果完全吻合.

(2)在神经网络结构计算中,网络的拓扑结构参数很重要,直接影响计算速度和结果可靠性.

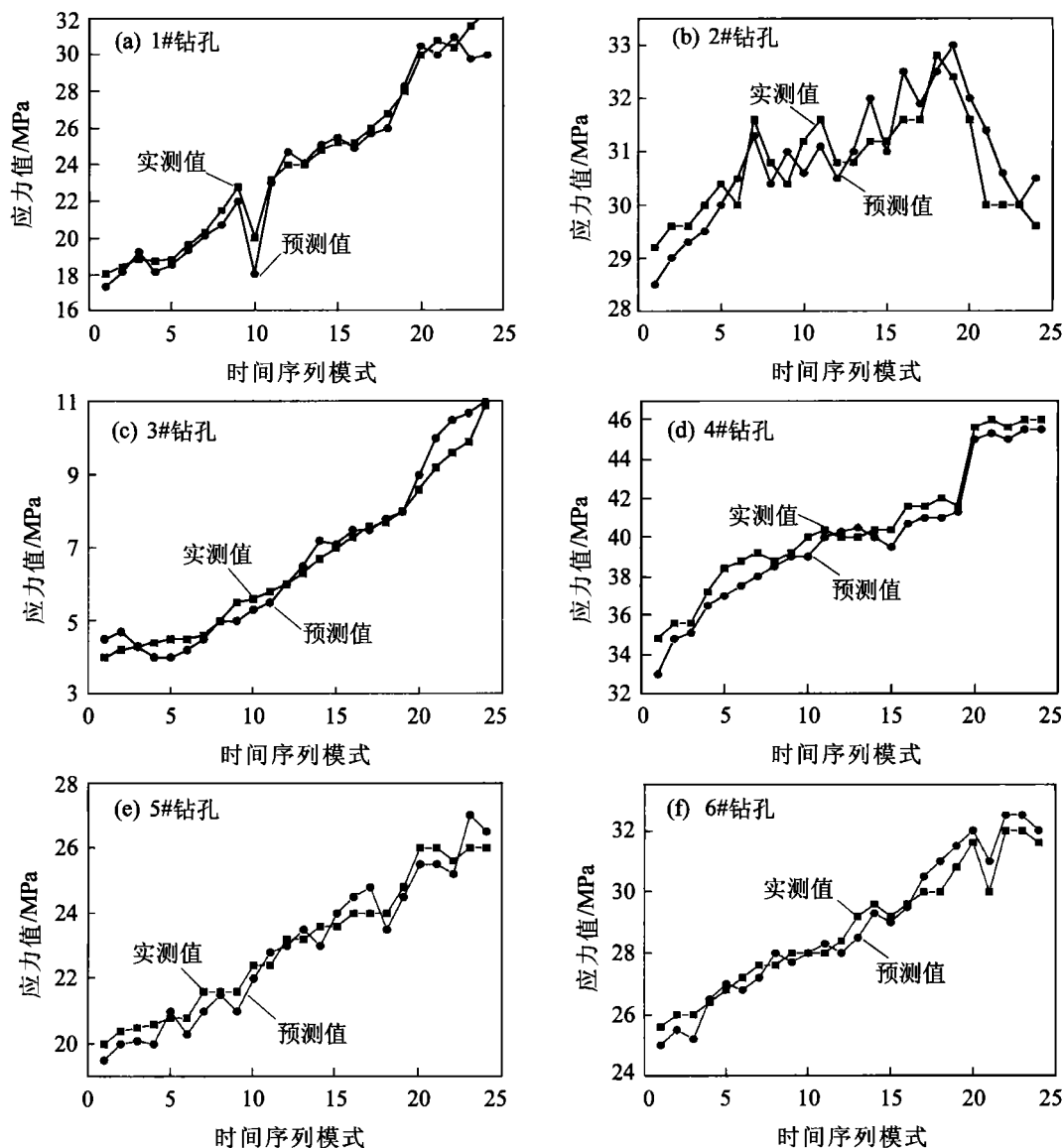


图3 各监测钻孔应力实测与预测损伤演化趋势对比

Fig.3 Comparison of the predicting values with in-situ monitoring values

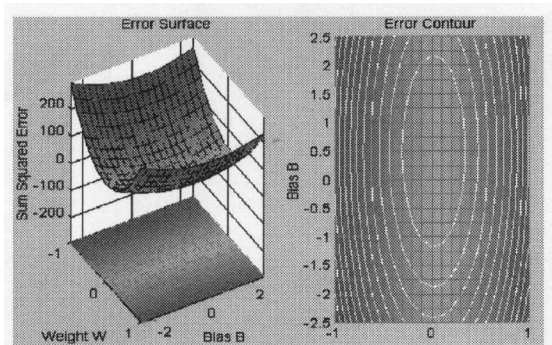


图4 神经网络信息挖掘过程误差曲面等值线

Fig.4 Error contour in the process of signal mining by neural network

(3)神经网络作为一种先验性数学统计方法,对坚硬围岩的小变形、动力损伤演化统计与预测,必须借助包括结构力学等其他方法耦合完成,才能提高其可靠度和指导工程实践。

参考文献

- 1 Cai Meifeng, Lai Xingping. Monitoring and analysis of nonlinear dynamic damage of transport roadway supported by composite hard rock materials in Linglong gold Mine [J]. J Univ Sci Technol Beijing, 2003, 10(2): 105
- 2 蔡美峰, 来兴平. 复合坚硬岩石巷道塌陷段监控的研究与应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(3): 39194
- 3 Lai Xingping, Cai Meifeng. Research on application of artificial neural network expert system in diagnosis of damage of pre-stressed concrete piles and bolt [J]. J Coal Sci Eng, 1999, 5(2): 460
- 4 Lai Xingping, Cai Meifeng. Application of integrated intelligent methodology to predict stability and supporting decision in underground drift [J]. J Coal Sci Eng, 2000, 6(1): 405

- 5 谢强, 姜崇喜, 凌建明. 岩石细观力学实验与分析 [M]. 西南交通大学出版社, 1997
- 6 夏蒙芬, 韩闻生, 柯孚久, 等. 统计细观损伤力学和损伤演化诱致突变(1)[J]. 力学进展, 1995, 1(25): 1
- 7 Cai Meifeng, Lai Xingping. Evaluation on stability of stope structure based on the nonlinear dynamics of coupling artificial neural network [J]. J Univ Sci Technol Beijing, 2002, 9(1): 11
- 8 石平五, 来兴平, 伍永平. 复合岩体支护巷道破坏规律的试验系统研制与应用 [J]. 北京科技大学学报, 2002, 24(6): 231

Application of Neural Network to the Statistics and Prediction of Dynamical Damage and Evolvement in the Large Scale Mine-out Area Supported by Rock-Based Composite Materials

LAI Xingping^{1,2)}, ZHANG Lijie²⁾, CAI Meifeng²⁾

2) Civil and Environmental Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2) Energy School, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China

ABSTRACT The neural network structural computation method was applied to the trend statistics and prediction of stress evolvement in the large scale mine-out area supported by rock-based composite materials. The predicting values were compared with the in-situ monitoring ones. The results show they are very agreeable.

KEY WORDS neural network; large scale mined-out area; dynamical damage and evolvement; statistics and prediction