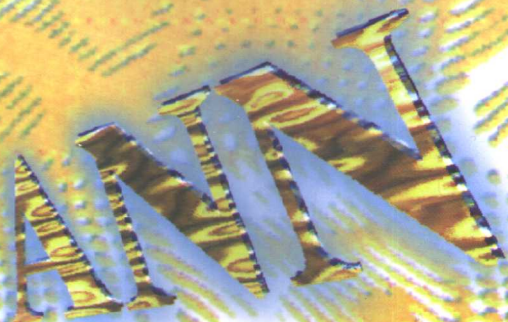


人工神经网络在 矿业工程中的应用

谭章禄 著



煤炭工业出版社

中国博士后科学基金 资助
煤炭科学基金

人工神经网络在矿业工程中的应用

谭章禄 著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

人工神经网络在矿业工程中的应用/谭章禄著. —北京:
煤炭工业出版社, 1997. 12

ISBN 7-5020-1551-5

I. 人… II. 谭… III. 人工智能-神经仿生-应用-矿业工程 IV. TD67

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 26947 号

人工神经网络在矿业工程中的应用

谭章禄 著

责任编辑: 陈养才

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

北京宏伟胶印厂 印刷

*

开本 787×1092mm¹/₃₂ 印张 6¹/₄

字数 130 千字 印数 1—1,055

1998 年 5 月第 1 版 1998 年 5 月第 1 次印刷

书号 4320 定价 18.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

今天，人工神经网络 ANN (Artificial Neural Network) 的重新兴起与应用，显示出解决矿业复杂问题的巨大潜力。本文应用现代系统科学理论与方法，引入人工神经网络，综合运用模式识别、时序分析、组合优化原理，进行人工神经网络在矿业应用的研究与实践，发展了基于 ANN 的矿业方法和智能工具。内容包括 ANN 应用原理、模型、方法、程序及应用实例。

本书共分七章。第一章综述矿业规划模型、模拟模型、经济模型方法，专家系统方法及人工神经网络方法的应用与发展，探讨了 ANN 在矿业中应用的优势与前景。第二章研究面向智能建模的矿山系统描述与特征表示方法。用矿山基本树描述其层次结构，以矿山单元为对象，抽取其环境特征 G 、技术特征 T 、管理特性 $M(\cdot)$ 以及状态特征 (X, Y) 与状态属性 U ，并探讨了它们的表达和它们之间的相互关系及蕴含的工程与经济意义。第三章建立矿业通用神经网络模型。引入 ANN，发展用于矿业的基本模型与程序，对其结构参数与学习特性进行实验性研究；应用自适应共振理论发展矿山智能聚类模型 Cluster；通过建立基于矿山基本树的知识组织层次模型与分割互连模型，形成和发展基于 ANN 的矿山工程知识表示、变换、求精、获取、存贮及继承方法与策略。以此为基础，第四、五、六章分别形成和发展了基于模式识别的矿业静态智能 ANN 方法、基于时序分析 (TSA) 的矿业动

态 ANN 方法以及基于组合优化原理的矿山工程智能优化方法；通过多个应用实例，对上述方法进行了实证研究，结果令人满意。第七章给出了应用研究结论。ANN 应用于解决矿业工程复杂问题不仅可行而且有效，所形成和发展的矿业 ANN 方法具有广阔应用前景。

本书是在作者的博士论文《矿山企业智能诊断研究》和煤炭科学基金项目《人工神经网络在煤矿工程中的应用研究》的基础上改进与完善而成的。在本书构思和理论形成过程中，作者曾经得到导师北京科技大学熊国华教授、李祥仪教授和中国矿业大学北京研究生部陶树人教授、曾宪林教授的悉心指导与热情帮助；在本书完善过程中，参考了国内外许多学者的著述和研究成果；中国矿业大学北京研究生部谢和平教授、安里千教授对本书编写出版也给予了支持，在此一并表示衷心的感谢。本书出版得到了煤炭科学基金和中国博士后科学基金资助。

ANN 在矿业工程中的应用是矿业研究在应用智能科学和高新技术方面所做的新探索，旨在抛砖引玉。ANN 的应用潜力仍有待进一步研究发掘。由于作者水平所限，书中不足甚或不妥之处在所难免，诚望读者批评指正。

谭章禄

1997. 10. 18

ABSTRACT

Nowadays, ANN (Artificial Neural Network) has risen again and developed rapidly, and its applications have shown its great potentialities to solve the complex mining problems.

In terms of the theory and method of modern system sciences, this book, by introducing the ANN and comprehensively using the Pattern Recognition, Time Series Analysis and Combination Optimization Theory, studies the theory and methods of ANN application in the mineral industry, and develops the ANN-based intelligent models and tools. Several case studies are also illustrated.

The book is composed of seven chapters. In chapter one, the concepts of this thesis subject are generalized. The application and development of modeling methods such as programming models simulation models and economic models, ES method and ANN technology used in the mineral industry is reviewed. The ANN's advantages and prospects applied in mineral industry is discussed. Chapter two researches the description and expression method of the mine system intelligent modeling oriented. By defining mine element and mine frame tree, mine system structure is described as mine frame tree; mine element is taken as the researching object, on which the environment feature (G), the technology feature (T), the management characteristic (M), status feature (X, Y) and status attribute (U) are centered, and their expression method and relationship

among them are discussed. In chapter three, the ANN-based general intelligent models for coal mine industry are developed. The models structural parameters and learning properties are experimented. An intelligent classification model (Cluster) based on ART (Adaptive Resonance Theory) is put forward. By means of the structural organization models and cutting-joining models of the knowledge based on mine frame tree, the ANN-based approaches of knowledge processing such as presentation, transformation, acquisition, and storage are also advanced and developed. Chapter four, five and six form and develop the coal mine static intelligent ANN methods based on pattern recognition, TSA-based mine dynamic ANN method and the mine system optimized ANN method based on the combination optimization theory diversly. Many case studies are applied to test the above models and methods, and these methods have all reached the satisfactory results. Chapter seven summarized the conclusions of the whole thesis. It is not only feasible but also effective to solve the complex mining engineering problem with ANN. The mine ANN methods formed and developed have great application prospects. The potential advantages is waiting for further study.

Key Words: Mining Engineering, Artificial Neural Network, Pattern Recognition, Time Series Analysis, Intelligent Model, Combination Optimization



中国博士
煤炭

人工

作者简介

谭章禄，男，1962年生于江西赣县。1995年毕业于北京科技大学，获博士学位。1995～1997年为中国矿业大学北京研究生部博士后。现任中国矿业大学北京研究生部经济管理系副教授、硕士生导师。主要从事矿业系统工程、技术经济和人工智能应用等领域的教学和科研工作。负责和参加完成国家级、部级和横向科研项目12项，公开发表学术论文20余篇。

内 容 提 要

本书对人工神经网络在矿业工程中的应用进行了系统研究。作者针对矿业工程问题的复杂性,引入人工神经网络,综合运用模式识别、时序分析和组合优化原理,发展基于人工神经网络的矿业研究方法。内容包括矿业人工神经网络应用原理、模型、方法和程序及实例。

本书可供矿业系统工程与技术经济研究工作者、矿山工程技术人员和管理人员及相关专业硕士、博士研究生学习使用。

目 录

1 绪论	1
1.1 人工神经网络概述	1
1.1.1 神经元模型	2
1.1.2 人工神经网络的构成与特点	5
1.1.3 人工神经网络研究与发展概况	7
1.2 矿业研究方法的发展概况及其应用中存在的问题	10
1.2.1 数学模型方法	11
1.2.2 专家系统及其在矿业工程中的应用与发展简述	21
1.3 人工神经网络在矿业工程中的应用潜力	26
1.3.1 矿业问题求解的难度与复杂度	26
1.3.2 ANN 应用的特点	27
1.3.3 ANN 应用的有效性与优势	27
1.4 本书的目的与内容	28
1.4.1 目的	28
1.4.2 意义	29
1.4.3 内容安排	30
2 基于人工神经网络的矿业建模方法研究	32
2.1 矿山系统分析与树形结构描述	32
2.1.1 矿山单元	32
2.1.2 矿山基本树	33
2.2 集中矿山单元的特征抽取与知识表达	36
2.2.1 矿山单元的环境特征及其表达	36
2.2.2 矿山单元的技术特征	38
2.2.3 矿山单元的管理特性	39

2.3	矿山单元的状态属性与指标	40
2.4	矿业问题求解准则	43
2.4.1	价值型	44
2.4.2	功能型	44
2.4.3	费用型	44
2.4.4	经验系数型	44
3	矿业工程通用神经网络基本模型研究	47
3.1	BP 神经网络模型基本原理与拓扑结构	48
3.1.1	BP 算法的基本原理	49
3.1.2	BP 算法与程序实现框图	54
3.2	BP 模型结构参数与学习特性实验性研究	56
3.2.1	BP 模型结构参数的确定	56
3.2.2	学习参数的选择	58
3.3	基于 BP 的矿山工程基本模型型式	60
3.3.1	矿山系统知识的划分与性质	61
3.3.2	知识组织层次模型	62
3.3.3	知识的分割互连模型	63
3.3.4	基本模型	64
3.4	基于 ANN 的矿业知识处理方法	66
3.4.1	知识的表示	66
3.4.2	知识的获取	69
3.4.3	知识库的维护	72
4	矿业工程中的静态神经网络方法研究与应用	75
4.1	矿山工程基准指标的获取方法	76
4.1.1	基准指标获取模型	77
4.1.2	模型应用方法	77
4.2	应用实例	78
4.2.1	采面作业模型的构造	79
4.2.2	学习样本的采集	80

4.2.3	模型训练	80
4.3	基于 ANN 的矿业工程因素分析方法	83
4.3.1	BP 网络权空间的性质与权指数的计算	84
4.3.2	基于 ANN 的智能寻因方法	85
4.3.3	实例研究一——回采效率影响因素分析	86
4.3.4	实例研究二——回采贫化损失影响因素分析	88
4.4	多目标决策与技术方案优选方法	90
5	基于 TSA 的矿业工程动态神经网络方法研究	95
5.1	时序分析与动态方法原理	96
5.2	基于 TSA 的神经网络模型——TSA-ANN 模型	99
5.3	动态神经网络方法在大型煤矿中的应用	102
5.3.1	煤矿概况	102
5.3.2	煤矿原煤成本预测	105
5.3.3	原煤成本控制	110
5.3.4	吨煤材料费控制	119
5.4	TSA-ANN 模型在某铜矿生产系统诊断中的应用	126
5.4.1	矿山概况	126
5.4.2	样本收集与模型训练	129
5.4.3	矿山生产系统的稳定性与稳定状态求解	132
5.4.4	模型结果分析与诊断结论	134
6	基于 ANN 的矿业组合优化方法研究与应用	142
6.1	引言	142
6.2	组合优化原理与矿业优化通用模型	143
6.2.1	矿业组合优化原理	143
6.2.2	矿业优化通用模型	144
6.2.3	求解算法与程序	149
6.3	应用实例一——采面爆破优化设计	150
6.4	应用实例二——矿山产品技术方案的诊断与优化	158
6.4.1	应用背景简介	159

6.4.2 评价函数的构造	161
6.4.3 模型构造与训练	162
6.4.4 模型求解与结果分析	163
6.5 应用实例三——露天台阶爆破炸药单耗的合理性 诊断与优化	167
6.5.1 爆破工程背景简介	167
6.5.2 因果链与评价函数	168
6.5.3 模型与求解	169
7 人工神经网络在矿业工程中应用展望	174
参考文献	178

1 绪 论

矿业工程这一有关矿产资源开发、加工过程中所实施所有的技术与管理综合集成的专门领域，与其它工程领域一样涉及到数学、物理、力学等基本问题，存在资源稀缺性条件下，工程技术的有效性和经济合理性问题。而资源开采条件的不确定变化和社会经济环境状态的改变，所带来的矿业工程问题与其它一般工程领域相比更加复杂。

为解决人类生活中可能遇到的问题，公元前的亚里士多德时代人们就开始从事思维机器的研究。1946 年第一台电子计算机的诞生，标志着人们在这方面研究的实质性进展。50 年代这种延长人脑功能的机器开始用于求解矿业工程问题。1956 年人工智能 (Artificial Intelligence) 的出现，使得人们又向思维机器的研究方向迈进了一步。70 年代末以来，AI 的技术分支专家系统 (Expert system) 在矿业中得到应用。现在人工神经网络 (Artificial Neural Network) 又为模拟人类智能和解决复杂性问题提供了新的技术手段。那么，ANN 能否成功地应用于矿业工程，在解决其愈益复杂的问题方面有所作为呢？

1.1 人工神经网络概述

人工神经网络 ANN 以生理神经网络 BNN (Biological Neural Network) 为模仿对象，是由大量的、同时也是很简单的处理单元 (神经元) 广泛地互相连接而形成的复杂网络

系统。它模拟大脑的某些智能机理，具有人脑功能的许多基本特征。

1.1.1 神经元模型

ANN 的基本处理单元是神经元，是生物神经元的形式化描述。人脑由大约 10^{11} 个神经元组成，构成复杂的巨系统^[1]。

生物神经元由细胞体、轴突、树突、突触组成，结构如图 1-1 所示。轴突相当于神经元的输出电缆，其端部的许多神经末梢为信号输出端子，传出神经冲动。树突相当于细胞的输入端，接受来自四面八方传入的神经冲动。突触是神经

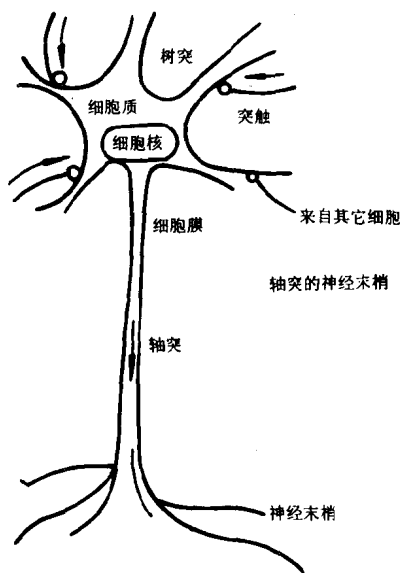


图 1-1 神经元结构

元之间通过轴突和树突互联的接口，每个神经元有 $10^3 \sim 10^4$ 个突触，存在兴奋型和抑制型突触。在细胞体的细胞膜内外之间有电位差 ($20 \sim 100\text{mV}$)。突触的信息传递特性是可变的，随着神经冲动传递方式的变化，其传递作用可增强或减弱，故神经元之间的联结是柔性的，结构具有可塑性。

神经元作为控制和信息处理的基本单元，具有以下重要功能

与特性^{[2][3]}。

1) 兴奋与抑制

神经元具有两种常规工作状态，即兴奋与抑制。神经元对于突触传入的神经冲动进行整合，整合结果使细胞膜电位升高，当电位超过动作电位阈值（约 40mV）时，细胞进入兴奋状态，产生神经冲动，由轴突输出。当电位下降至低于动作电位阈值时，神经元进入抑制状态，无神经冲动输出。此即神经元的“0—1”律。

2) 时空整合功能

神经元对于同一突触在不同时间传入的神经冲动，具有时间整合功能；对于同一时间通过不同突触传入的神经冲动具有空间整合功能。时间整合与空间整合相互结合，使得神经元具有时空整合的输入信息处理功能。

3) 脉冲与电位转换

沿神经纤维传递的电脉冲通过突触界面的脉冲/电位信号转换功能，使细胞膜电位的变化呈现为连续的电位信号。突触接口处的这种“数/模”转换，是通过神经介质以量子化学方式实现的电脉冲神经化学物质膜电位变换过程。

4) 突触延时和不不应期

突触对神经冲动的传递具有时延和不不应期。不应期是紧接的两次冲动之间所需要的时间间隔，在此期间对激励不响应，不能传递神经冲动。

5) 学习、遗忘和疲劳

神经元结构的可塑性可使突触的传递作用增强、减弱和饱和，因而细胞具有相应的学习、遗忘和疲劳效应。

ANN 正是由大量类似生物神经元的处理单元广泛互连而成的网络。但 ANN 中的神经元不是生物神经元的真实描

写,而只是它的某种抽象、简化与模拟。神经元作为 ANN 的基本处理单元,一般抽象为一多输入/单输出的非线性器件,其结构模型如图 1-2 所示^{[4][5]}。神经元 i 可描述为:

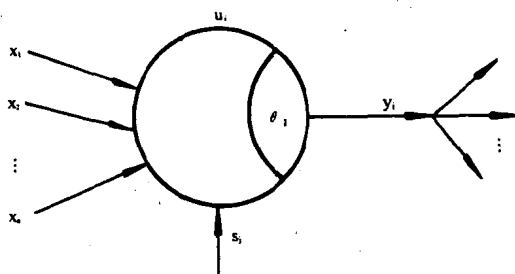


图 1-2 神经元结构模型

$$z_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j + s_i - \theta_i$$

$$u_i = f(z_i)$$

$$y_i = g(u_i) = h(z_i), h = g \cdot f$$

其中, u_i 为神经元的内部状态, θ_i 为阈值, x_j 为输入信号, w_{ij} 表示从 j 到 i 神经元的连接权值, s_i 表示外部输入信号。当神

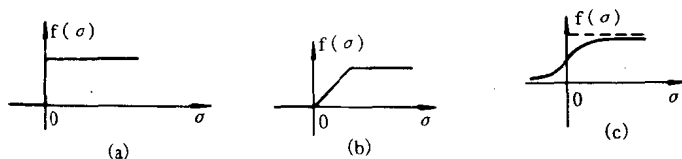


图 1-3 神经元的输入/输出特性