



IDSS 和 ANN 选择护巷 煤柱宽度的研究

Research on the Selection of
Chain Pillar Width by IDSS and ANN

张玉祥



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS



IDSS 和 ANN 选择护巷 煤柱宽度的研究

Research on the Selection of
Chain Pillar Width by IDSS and ANN

张玉祥



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书以现场实测资料为背景,将智能决策支持系统(IDSS)和人工神经网络(ANN)应用于护巷煤柱宽度选择研究。主要内容包括国内外研究方法综述,成层岩体质量的评价,实例知识的预提取,巷道围岩稳定性的聚类分析,巷道围岩稳定性的模式识别模型,回采巷道护巷煤柱宽度与围岩移近量关系模型的建立,面向护巷煤柱宽度选择智能决策支持系统的设计与开发,系统的应用实例。

适合地矿、测绘、地理及信息技术专业的研究人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

IDSS 和 ANN 选择护巷煤柱宽度的研究/张玉祥. —北京:高等教育出版社,2001

ISBN 7-04-009858-X

I. I… II. 张… III. ①决策支持系统-应用-煤矿开采-巷道矿柱-设计②人工神经网络-应用-煤矿开采-巷道矿柱-设计 IV. TD822

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 10697 号

IDSS 和 ANN 选择护巷煤柱宽度的研究

张玉祥

出版发行	高等教育出版社		
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	邮政编码	100009
电 话	010-64054588	传 真	010-64014048
网 址	http://www.hep.edu.cn		
	http://www.hep.com.cn		
经 销	新华书店北京发行所		
排 版	高等教育出版社照排中心		
印 刷	高等教育出版社印刷厂		
开 本	850×1168 1/32	版 次	2001 年 7 月第 1 版
印 张	5.375	印 次	2001 年 7 月第 1 次印刷
字 数	130 000	定 价	9.20 元
插 页	1		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

作者简介



张玉祥,男,1969年7月生于黑龙江省哈尔滨市。1991年毕业于中国矿业大学采矿工程专业,获工学学士学位。同年攻读硕士学位,并提前攻读博士学位。1996年7月获工学博士学位,其论文被评为优秀博士学位论文。1998年在中国矿业大学从事博士后科研工作。1997年12月晋升为副教授。

攻读博士和博士后期间,对矿业工程中一些非线性的内在机理进行了深入研究,将神经网络、遗传算法、小波分析、协同学理论、突变理论等应用于采矿工程中,解决某些问题的优化和预测预报问题。先后在国内外刊物及国际会议上发表学术论文57篇,其中有5篇被EI和ISTP收录。此外,还参加了《矿业运筹学》、《矿业工业工程》及《采矿系统工程》等高校教材的编写。

主持的博士后基金项目、煤炭高校优秀青年基金项目以及参加的国家自然科学基金、煤炭科学基金和横向科研项目等共11项,其中4项获省部级科技进步奖。

导师简介



陆士良,男,1929年5月生于浙江省嘉善县。1954年毕业于东北工学院采矿工程专业。中国矿业大学教授,博士生导师,国家重点学科采矿工程学术带头人。是我国在采动和软岩巷道围岩控制领域进行了40多年系统的开创性研究的著名专家。对揭示巷道矿压规律与回采空间的动态多维时空关系,创造采动巷道围岩控制的理论

论体系,推进我国煤矿巷道布置和护巷技术的改革及高应力软岩巷道围岩控制作出了卓越贡献。数十年来,主持完成科技项目 50 余项,“极软岩巷道的支护机理及高阻力可缩支架的研究”获国家科技进步奖二等奖,还有 12 项获省部级科技进步奖。发表巷道围岩控制论文 130 余篇,出版著作 5 部,在采矿界被广泛引用,对推进采矿科技进步发挥了重要作用。指导了硕士和博士研究生各 19 名,为培养高层次工程技术人才作出了重要贡献,荣获了中国科学技术发展基金孙越崎科技教育基金 1996 年度“能源大奖”。

导师简介



王玉淦 男 1933 年生于黑龙江省齐齐哈尔市。1956 年毕业于北京矿业学院采矿工程系,其后在该校任教。现为中国矿业大学教授,博士生导师,曾任采矿系统工程研究室主任。主要致力于矿井设计理论,矿井开拓与巷道布置,采矿系统工程方向的研究。出版有《缓倾斜煤层采区设计优化》、《近水平煤层矿井设计方案优化》、《矿区最优规划理论和方法》、《采矿系统优化与模拟》、《采矿系统工程》,以及《国外矿井开拓与巷道布置》、《采煤学》、《中国煤矿开拓系统图集》、《中国煤炭开发战略研究》等著作 10 余本。发表论文 80 余篇。主持或参加完成的重大科研课题 20 余项,其中的矿区最优规划理论与方法获 1991 年国家科技进步三等奖;中国煤炭开发战略研究获 1994 年煤炭部科技进步一等奖;煤炭工业可持续发展几个重要领域的研究获 1999 年煤炭部科技进步二等奖。于 1985 年获江苏省优秀教育者称号。1992 年获江苏省高校先进科技工作者并得到国务院颁发的政府特殊津贴。

摘 要

本书以丰富翔实的现场实测资料为背景,创造性地将当代高科技技术——智能决策支持系统(IDSS)和人工神经网络(ANN)应用于护巷煤柱宽度选择的研究。提出了煤矿巷道成层岩体质量评价的方法,建立了巷道围岩稳定性聚类分析模型,提出了一种模糊 $\text{Pi} - \text{Sigma}$ 神经网络,建立了巷道围岩稳定性模式识别模型,运用“信息扩散”思想和 ANN 建立了围岩移近量预报模型,对 45 条巷道进行了回判检验,取得了满意效果。提出了“六库一体化”的 IDSS 设计理论,提出了用 ANN 建造采矿知识库及推理机的构想,开发了护巷煤柱宽度选择的 IDSS,建立了知识库、模型库、方法库、文本库、数据库和图形库。将开发的系统进行实际应用,取得了满意的结果。

关键词:智能决策支持系统、人工神经网络、护巷煤柱宽度、聚类分析、模式识别、围岩移近量预报

ABSTRACT: Based on a wealth of data on the spot, this paper creatively applies IDSS and ANN, which are high-grade science and technology nowadays, to research on the selection of chain pillar width. The evaluation method of stratified rock mass quality in coal mine is put forward, and the clustering analysis model for stability of rock around roadway is set up. A kind of Fuzzy $\text{Pi} - \text{Sigma}$ ANN is presented and the pattern recognition model for stability of rock around roadway is established. The forecasting model for deformation amount of rock around roadway is promoted by the thought of information spreading and ANN. By means of the model, 45 roadways in China have been passed back inspection and good results of it

are obtained. A new designed theory for IDSS of six-base integration is advanced, and the thought of constructing knowledge base and inference engine by ANN is suggested. An IDSS for selection of chain pillar width is developed and the knowledge base, model base, text base, data base and graphics base is posed. At last, the developed system has been put into site use and the fruits are proved to be both active and useful.

Keywords: IDSS, ANN, chain pillar width, clustering analysis, pattern recognition, forecast for deformation amount of rock around roadway

Research on the Selection of Chain Pillar Width by IDSS and ANN

RESUME: Based on a wealth of data on the spot, this paper creatively applies IDSS and ANN, which are high-grade science and technology nowadays, to research on the selection of chain pillar width.

The chain pillar width is an important parameter for development and roadway layout in coal mine. It will directly affect the safe production and economic benefits.

On the basis of summarizing the researching situation about selection of chain pillar width, according to the complexity of geological condition in mine and the versatility in the course of mining, that is defined the selection of chain pillar width is a typical semi-structured decision problem.

In order to solve the problem, two method could be adopted, one is to make new model by means of ANN, the other is to develop IDSS by collecting all kinds of model existed at home and abroad.

The evaluation method of stratified rock mass quality in coal mine is put for ward, and the clustering analysis model for stability of rock around roadway is set up.

A kind of Fuzzy Pi - Sigma ANN is presented and the pattern recognition model for stability of rock around roadway is established.

The forecasting model for deformation amount of rock around roadway is promoted by the thought of information spreading and ANN. By means of the model, 45 roadways in China have been passed back inspection and good results of it are obtained.

A new designed theory for IDSS of six-base integration is advanced, and the thought of constructing knowledge base and inference engine by ANN is suggested. An IDSS for selection of chain pillar width is developed

目 录

1. 引言	1
2. 国内外研究方法综述与本文研究内容	4
2.1 国内外选择护巷煤柱宽度研究方法的综述	4
2.1.1 理论计算选择法的综述	4
2.1.2 经验估算选择法的综述	19
2.1.3 实测分析选择法的综述	21
2.2 研究内容及其依据论证	24
2.2.1 问题的提出及解决途径	24
2.2.2 研究内容的确定	25
2.2.3 煤矿巷道成层岩体围岩稳定性评价论证	28
2.2.4 围岩移近量预报模型的研究论证	29
2.3 研究工作的技术路线和拟采取的方法手段	31
2.4 小结	32
3. 成层岩体质量的评价	33
3.1 巷道围岩稳定性“围岩范围”的确定	33
3.1.1 国内外目前所采用的围岩范围	34
3.1.2 利用现场实测资料确定围岩范围	34
3.1.3 利用 FLAC 数值模拟确定围岩范围	38
3.2 成层岩体顶板、底板、两帮岩体质量的评价	43

3.2.1	问题的提出	43
3.2.2	成层岩体质量的 FLAC 分析	44
3.2.3	成层顶板岩体质量的评价	47
3.2.4	成层底板岩体质量的评价	51
3.2.5	成层两帮岩体质量的评价	55
3.3	小结	55
4.	实例知识的预提取	56
4.1	实例知识的预提取	56
4.2	小结	74
5.	巷道围岩稳定性的聚类分析	75
5.1	原始数据规格化处理及各特性指标权重的确定	75
5.1.1	原始数据的规格化处理	75
5.1.2	用 BP 神经网络方法确定各特性指标的 权重	77
5.1.3	聚类指标的加权处理	83
5.2	巷道围岩稳定性的聚类分析	84
5.2.1	巷道围岩稳定性的模糊等价矩阵动态聚类 分析	84
5.2.2	巷道围岩稳定性的模糊 ISODATA 聚类 分析	87
5.2.3	巷道围岩稳定性的 ART 神经网络聚类 分析	89
5.3	小结	93
6.	巷道围岩稳定性的模式识别模型	94
6.1	巷道围岩稳定性的模糊模式识别模型	94
6.1.1	巷道围岩稳定性的模糊综合评判模式识别 模型	95
6.1.2	巷道围岩稳定性的模糊多相统计模式识别 模型	98

6.2 巷道围岩稳定性的神经网络模式识别模型	105
6.2.1 巷道围岩稳定性的 BP 神经网络模式 识别模型	105
6.2.2 巷道围岩稳定性的 ART 神经网络模式 识别模型	108
6.3 巷道围岩稳定性的模糊 Pi - Sigma 神经网络模式 识别模型	110
6.4 小结	115
7. 回采巷道护巷煤柱宽度与围岩移近量关系模型的 建立	116
7.1 煤体 - 煤体巷道围岩移近规律及其预报模型的 建立	116
7.1.1 煤体 - 煤体巷道围岩移近量的构成及信息 扩散的思想	116
7.1.2 煤体 - 煤体巷道围岩移近量预报模型的 建立	118
7.1.3 所建预报模型的回判检验	122
7.2 煤体 - 煤柱巷道围岩移近规律及预报模型的 建立	124
7.2.1 煤体 - 煤柱巷道围岩移近量与护巷煤柱宽度 关系曲线类型的确立	124
7.2.2 煤体 - 煤柱巷道围岩移近量预报模型的 建立	127
7.2.3 所建模型的回判检验	132
7.3 小结	133
8. 面向护巷煤柱宽度选择智能决策支持系统的设计与 开发	134
8.1 研究背景	134
8.2 面向护巷煤柱宽度选择智能决策支持系统的逻辑	

结构、功能及设计	136
8.3 小结	145
9. 系统的应用实例	147
9.1 采区上(下)山护巷煤柱宽度的选择	147
9.2 回采巷道护巷煤柱宽度的选择	149
9.3 围岩移近量影响因素分析	150
10. 结论	152
参考文献	156

1 引 言

护巷煤柱宽度是矿井开拓和巷道布置中的重要参数,它直接影响到矿井的安全生产和经济效益。因而,根据不同的矿山地质条件和开采条件,选择护巷煤柱宽度,具有重要的理论意义和实际应用价值。本书运用智能决策支持系统(Intelligent Decision Support System,英文缩写为 IDSS)和人工神经网络(Artificial Neural Network,英文缩写为 ANN)研究护巷煤柱宽度的选择。

由于矿山地质条件的复杂性,采矿生产过程和工艺的多变性,护巷煤柱宽度的选择问题是一个典型的半结构化决策问题。所谓半结构化决策问题是相对于结构化决策问题而言的,即由于问题的不确定性和不规范性,不可能得到最优解,只能得到较优解或可行解的决策问题。国内外学者对护巷煤柱宽度的选择问题作了许多研究,并提出了各自的理论及模型,主要有理论计算、经验估算及实测分析三种,由于它们各有其适应的条件和适用范围,给护巷煤柱宽度的设计和生产实际中的选取带来很大困难。作者在研究护巷煤柱宽度时引入 IDSS,探讨 IDSS 对解决煤矿开采半结构化问题的有效性,开发用于煤柱宽度的选择的 IDSS,建立相应的知识库、模型库、方法库、数据库、文本库和图形库。将现有的各种有关

护巷煤柱宽度选择的理论及模型纳入一个集成系统中,使它们互相补充,以避免单一方法决策的局限。“决策支持系统”(Decision Support System,英文缩写为DSS)是由美国麻省理工学院 Michael, S.S. Morton 于 20 世纪 70 年代首次提出的,它综合了计算机科学、决策分析等新技术,是利用数据和模型共同解决半结构化决策问题的一种人机交互式系统。自 20 世纪 80 年代末,随着人工智能(Artificial Intelligence,英文缩写为 AI)的发展,促使 DSS 与 AI 相结合,出现了 IDSS,并成为我国 863 计划的研究内容和国家自然科学基金重大项目之一。

实测分析是选择煤柱宽度比较实用的方法,这种方法能够反映不同煤柱宽度时的巷道维护效果和影响煤柱的有关因素。作者在已有研究成果的基础上,对实测分析法进行发展,建立新的护巷煤柱宽度选择的模型和知识。以留设护巷煤柱的作用作为本文建立新模型的基本出发点,选取表征巷道维护状况的围岩移近量(或移近速度)作为衡量煤柱合理性的指标,研究围岩移近量(或移近速度)与煤柱宽度、围岩岩体质量、开采深度、服务时间、支护阻力、断面尺寸等各影响因素之间的复杂非线性映射关系,将煤柱选择问题演化为不同煤柱宽度在多种不同影响因素的交互作用下,围岩移近量的预报问题。巷道围岩移近量预报是一个典型的复杂非线性系统问题,它受制于围岩岩体质量、开采深度、煤柱宽度、采动影响程度、支护阻力、服务时间等众多影响因素。对于这样一个复杂的非线性系统时空演变问题,传统的数学方法是有局限性的。1987 年首届国际神经网络学术会议在美国加利福尼亚州召开,标志着 ANN 的兴起。由于 ANN 具有很强的特征提取能力,非线性变换能力,并行计算能力,以及自适应性、自学习功能,在复杂的非线性系统中具有较高的建模能力和良好的拟合能力,很快成为交叉学科新兴的研究热点。作者运用 ANN 这一当代高科技技术来研究巷道围岩移近量的预报问题。影响巷道围岩移近量的主要因素有不可控的矿山地质因素及可控的采矿生产技术因素,本文进

行的分类是依据矿山地质因素(顶板岩体质量、两帮岩体质量、底板岩体质量、开采深度)进行的;在围岩稳定性分类的基础上,运用“信息扩散”的思想及 ANN,研究不同类别下,巷道围岩移近量与煤柱宽度、净断面大小、支护强度这些采矿生产技术因素的非线性映射关系。

本文的主要研究内容有:第二章,国内外现有选择护巷煤柱宽度方法评述。阐述作者研究内容的依据论证及拟采取的技术路线和方法手段。第三章,煤矿巷道成层岩体质量评价。第四章,巷道实测资料汇集并进行预处理。第五章,确定各特性指标的权重,进行加权处理,对实体煤中巷道进行聚类分析,确定各类的类心,这为模式识别模型的建立打下基础。第六章,在聚类分析的基础上建立巷道围岩稳定性判定的模式识别模型,这为建立预报模型打下基础。第七章,建立巷道围岩移近量预报模型,并进行回判检验。第八章,对煤矿开采 IDSS 的设计理论进行研究,用 BNF 范式描述模型库及方法库等的设计,对应用 ANN 构建采矿知识库及推理机制做一探索,开发用于煤柱宽度选择的 IDSS,建立相应的知识库、模型库、方法库、数据库、文本库和图形库。第九章,结合作者参加的科研项目,论述本系统的应用。

本文对 ANN 用于解决煤矿开采中模式聚类、模式识别、智能预报、权重评价等问题做一探索,探讨 IDSS 和 ANN 用于解决煤矿开采半结构化问题的有效性。

国内外研究方法综述与本文研究内容

2.1 国内外选择护巷煤柱宽度研究方法的综述

迄今为止,国内外许多学者对护巷煤柱宽度的选择问题作了研究,并提出了各自的理论及模型。在目前国内外的研究中,选择护巷煤柱宽度的方法,主要有理论计算、经验估算和考虑巷道维护状况的实测分析选择法。^[1]

2.1.1 理论计算选择法的综述

在理论计算选择法中,代表性的有:

(1) 英国 Whittaker(1979)提出的按煤柱允许应力计算模型^[2]

这种方法的实质是由理论计算得出煤柱的平均应力 $\bar{\sigma}$,及由实验得出的煤柱极限强度 R ,从煤柱应力与煤柱强度的平衡关系,得出煤柱的极限宽度。

Whittaker 认为:煤柱的平均应力反映了煤柱的受力状况。当作用于煤柱上的平均应力达到煤柱强度极限值时,煤柱就处于极限平衡状态,此时求得的煤柱宽度即为煤柱保持稳定的最小煤柱

宽度。极限平衡关系可表示为:

$$\sigma = R \quad (2.1)$$

式中: $\bar{\sigma}$ ——煤柱的平均应力, MPa;

R ——煤柱的强度, MPa。

1967年英国 Sallamon 和 Munio 搜集了 97 个稳定煤柱和 27 个失稳煤柱实际资料, 经过分析研究, 得出了煤柱强度与其形状和尺寸的关系式:

$$R = \frac{R_c \cdot B^{0.46}}{m^{0.66}} \quad (2.2)$$

式中: R ——宽度 B 、高度 m 的煤柱强度, MPa;

R_c ——立方体煤柱的单轴抗压强度, MPa;

B ——煤柱宽度, m;

m ——煤柱高度, m。

Whittaker 认为煤柱的应力是由煤柱上覆岩层重量及煤柱两侧采空区转移到煤柱上的部分悬垂岩层重量所引起的。因此煤柱的平均应力可按下式计算:

$$\bar{\sigma} = Q/S \quad (2.3)$$

式中: Q ——作用在煤柱上的总载荷(图 2.1), kN;

S ——煤柱的支承面积, m^2 。在条形煤柱中取长度为 B 的一段, 则 $S = B^2$

Q 的计算分两种情况:

1) 当采深 H 与工作面长 L 间满足关系: $H > \frac{L}{2} \cdot \cot \delta$ 时(δ 为垮落角), 有:

$$\begin{aligned} Q &= [(B + L) \cdot \gamma \cdot H - \frac{1}{4} L^2 \cdot \cot \delta \cdot \gamma] \cdot B \\ &= B \cdot \gamma [(B + L) \cdot H - \frac{1}{4} L^2 \cdot \cot \delta] \end{aligned}$$

平均应力为: