

CHONGJI KUANGYA QIANZHAO XINXI DE HUNDUN
YUCE JI MOSHI SHIBIE YANJIU

冲击矿压前兆信息的 混沌预测 及模式识别研究

李 洪 蒋金泉 齐 爽 著

内蒙古科学技术出版社

冲击矿压前兆信息的混沌预测 及模式识别研究

李 洪 蒋金泉 齐 爽 著



内蒙古科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

冲击矿压前兆信息的混沌预测及模式识别研究 / 李洪, 蒋金泉, 齐爽著. —赤峰: 内蒙古科学技术出版社, 2009. 6
ISBN 978 - 7 - 5380 - 1852 - 3

I. 冲… II. ①李…②蒋…③齐… III. 煤矿—冲击地压—研究 IV. TD324

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 088263 号

出版发行: 内蒙古科学技术出版社

地 址: 赤峰市红山区哈达街南一段 4 号

邮 编: 024000

电 话: (0476) 8231924

订购电话: (0476) 8224547 8231843 (传真)

出 版 人: 额敦桑布

组织策划: 香 梅

责任编辑: 刘 冲

封面设计: 永 胜

印 刷: 赤峰地质宏达印刷有限责任公司

字 数: 220 千

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 11

版 次: 2009 年 6 月第 1 版

印 次: 2009 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

内容提要

本书以冲击煤层的大量实测信息为基础,将混沌理论、小波理论、神经网络、模式识别等非线性学科的相关理论应用到冲击矿压危险性分析及预测识别领域中,提出了冲击矿压观测序列的混沌预测模型及模式识别方法。具体内容包括小波与奇异值分解在监测数据序列中的去噪技术、冲击矿压的混沌动力学特征、基于混沌理论的冲击矿压预测、冲击矿压危险性的模式。

本书不仅有深入、系统的理论研究成果,而且更注重理论研究的实际运用,并用大量篇幅详细阐述各种监测实例的冲击危险性识别,具有较强的示范性。

本书可供采矿工程、信息工程领域的科研、教学及生产单位的工程技术人员参考使用。

摘 要

本文以冲击煤层的大量实测信息为基础,将混沌理论、小波理论、神经网络、模式识别等非线性学科的相关理论应用到冲击矿压危险性分析及预测识别领域中,提出了冲击矿压观测序列的混沌预测模型及模式识别方法,主要内容如下:

(1)为了提高冲击矿压预测和识别的准确性,利用小波变换对一维时间序列良好的去噪能力和奇异值分解对矩阵数据无损的特点,提出了小波和奇异值分解相结合的去噪方法。

(2)基于大量实测信息,通过提取冲击矿压观测序列的关联维和最大 Lyapunov 指数来反演识别系统的混沌性态,深入研究了冲击运动孕育及变形破坏过程中的混沌特性及其变化规律。研究结果表明,冲击矿压观测数据序列中存在着混沌成分,从而明确了根据冲击矿压观测数据序列进行混沌预测和模式识别的可行性。

(3)基于混沌分析的成果,构建了一阶局域近似、Lyapunov 指数以及神经网络的冲击矿压观测序列的混沌预测模型,经实例分析验证,预测效果良好。

(4)在混沌分析及混沌预测的基础上,运用模式识别理论,对冲击矿压观测序列计算了包括时域、频域、小波域及混沌域在内的数学特征值,采用欧氏距离测度的相似度量准则对这些特征值进行筛选和比较,选择和提取了最能反映原始量测数据本质和能有效识别冲击矿压危险的特征值组成模式识别的特征值空间,选择类内类间距离最小作为类别可分离性的判据,以 Fisher 函数和神经网络建立模式识别的 Fisher 准则识别器和径向基函数概率神经网络识别器,从而实现了观测序列的冲击矿压危险性预测和识别。

关键词:冲击矿压;奇异值分解;混沌分析;混沌预测;神经网络;模式识别

目 录

第一章 冲击矿压预测研究的现状	1
第一节 概述	1
第二节 国内外冲击矿压的研究现状	5
第二章 监测序列的小波与奇异值分解综合去噪	11
第一节 概述	11
第二节 监测序列的小波去噪	12
第三节 监测序列的小波 - SVD 综合去噪	18
第四节 本章小结	23
第三章 冲击矿压运动过程中的混沌动力学特征	24
第一节 概述	24
第二节 混沌研究的重构相空间	24
第三节 冲击破坏过程中混沌吸引子的分维特征	33
第四节 冲击破坏过程中混沌性态的 Lyapunov 指数特征	45
第五节 本章小结	52
第四章 基于混沌理论的冲击矿压预测	53
第一节 概述	53
第二节 混沌预测的基本原理	54
第三节 冲击矿压的混沌预测	57
第四节 基于神经网络的冲击矿压混沌预测	71
第五节 本章小结	90
第五章 冲击矿压的模式识别	91
第一节 概述	91
第二节 冲击矿压模式识别原理与方法	92
第三节 冲击矿压模式识别的特征空间构造	100
第四节 冲击矿压危险模式识别	119
第五节 运用实例	129
第六节 本章小结	144
第六章 主要结论及展望	145
附 录	147
参考文献	162

第一章 冲击矿压预测研究的现状

第一节 概 述

多年来,煤炭在我国能源结构中一直占有 70% 以上的份额,根据全球经济可持续发展和能源利用的发展趋势以及中国能源结构特点,中国 70% 以上的能源来自煤炭的能源构成状况在相当长的时期内不会发生大的变化^[1]。但煤炭的生产过程却存在着许多危害安全的灾害性问题,冲击矿压就是煤炭生产过程中较为普遍又十分严重的矿井自然灾害之一。

从 1738 年英国南部斯塔福煤田发生世界上有记录的首次冲击矿压以来,世界上几乎所有采矿国家都有冲击矿压发生。1933 年我国抚顺胜利矿最早发生冲击矿压,1960 年全国发生冲击矿压的矿井只有 6 个,到 1990 年仅煤炭部所属煤矿发生冲击矿压的已增加到 58 个,近几年来每年已超过 100 个^[2~4]。我国煤矿大多数建于上世纪五六十年代,随着开采深度和开采规模的日益扩大,冲击矿压的危害也日趋严重,已成为矿山开采中亟待解决的重大课题。许多采矿国家都投入巨资成立专门的研究机构,对冲击矿压发生机理和冲击矿压形成过程进行了大量研究,形成了一系列的理论,如强度理论、能量理论、冲击倾向性理论、失稳破坏性理论等,并有了先进的数据采集系统来获取与冲击矿压有关的大量监测数据(如地音、电磁辐射、微震等)。对于冲击矿压的研究,主要集中在三个方面^[5~12]:一是冲击矿压发生机理的研究;二是冲击矿压危险性评价、监测与预报技术的研究;三是冲击矿压治理措施的研究。随着计算机技术及非线性学科等理论的发展,对冲击矿压的研究进入了一个新的层次,取得了许多新的研究成果。尤其是监测技术的发展与进步,为冲击矿压的预测和防治提供了更加可靠的依据。但是,冲击矿压的研究,无论是冲击机理、预测预报,还是冲击防治都还不能满足生产实际需要,仍有许多亟待解决的问题:冲击矿压的发生机理还没有彻底弄清;预测预报还缺乏更加有效的手段,预测效果也不能令人满意;冲击矿压的防治仍然以经验为主,缺乏有效的理论指导,具有一定的盲目性。

要防治破坏性冲击矿压的发生,首先要有较为准确的冲击矿压预测预报,只有预测到冲击矿压发生的区域和发生的时间,采取适当解危措施解除冲击矿压威胁,才能达到防冲治理的目的。实际上,研究冲击矿压的目的就是为了更加准确地预测冲击矿压的发生,找到解除冲击矿压危险的措施,防止或消除冲击矿压危害。要

防止冲击矿压灾害,预测预报是前提,冲击机理的研究也是为预测预报服务的,冲击机理的掌握有助于找到更有效的预测手段和预测方法,防冲治理必须以冲击矿压预测预报为基础,尤其是冲击危害区域的解危更是建立在冲击危险性预测预报基础上的。

冲击矿压的预测方法有很多^[13~26],比如钻屑法、地音监测法、电阻率探测法、煤岩体变形测量法、煤岩体应力测量法(包括相对应力测量、绝对应力测量)、岩饼法、电磁辐射监测法、综合指数法、神经网络方法等。目前在国内外都得到广泛应用的是钻屑法,它通过向煤壁打钻孔,根据钻进每米钻孔得到的钻屑量多少,来估算该处应力状态判断冲击矿压危险程度。钻屑法简单易行,在冲击矿压的预测中发挥了很大作用,但对于日益增多的顶底板冲击矿压及强度高的断层冲击矿压无能为力,并且对软弱煤层钻孔煤粉量应力变化不明显,难以分辨。钻屑法不能在时间和空间上进行连续监测观察冲击矿压危险的变化。除钻屑法以外,地音及微震系统得到了一定的应用,尤其是在波兰等国运用较成功,但这种方法要求使用者的素质较高,我国只在门头沟等极少数矿获得了成功。因预测效果不稳定,且价格昂贵,在我国始终未能得到推广运用。像电阻率测定、围岩变形、应力测量等通常作为辅助预测手段,不能作为冲击矿压预测的主要依据。国外在 20 世纪 80 年代末开始研究利用煤岩强度及破坏时发出的各种辐射作为前兆,预报煤岩体失稳破坏产生冲击矿压及煤与瓦斯突出灾害。近几年,随着煤矿电磁辐射接收仪的研制成功,电磁辐射方法监测冲击矿压获得了初步的运用。该方法性能较地音监测等方法稳定可靠,携带方便,测量一点仅需 2 分钟,可以沿工作面顺槽或在工作面内对煤体或顶底板冲击矿压进行检测,也可以在时间上进行连续监测。监测冲击矿压的危险变化可与生产同时进行,不需要任何其他施工工程量,数据自动记录并可传输至计算机处理。综合比较而言,在国内冲击矿压预测方面,电磁辐射方法是一种比较有前途的方法,比较适合我国的国情,但同样存在着环境干扰大、可靠性不够高等问题。

冲击矿压是矿井最为严重的自然灾害之一,我国目前正是冲击矿压最为严重的国家,我国在未来冲击矿压形势将更加严峻,这对冲击矿压的预测提出了更高的要求,但目前冲击矿压预测技术的研究还很不充分,预测的准确性并不高,预测手段和预测方法不能满足现场实际要求,原因有两点:一是预测方法本身存在缺陷,目前还难以找到一种能够普遍适用的预测方法,在目前现有的预测手段基础上,关键的是找到适合本区域冲击矿压特征的预测方法;二是冲击矿压监测信息的利用不充分,冲击危险性识别方法不完善。以电磁辐射预测冲击矿压为例,监测指标有:电磁辐射的最大幅值、平均幅值和脉冲数。通常采用临界指标法(也叫阈值法)作为冲击矿压危险性的识别方法,即当三个指标中有一个或两个超过设定的某一临界值(阈值)时,即作冲击危险性预报,预测可靠性仍然不足。其原因除了现场环

境干扰外,识别冲击矿压危险性的方法不合理也是重要原因之一。实际上,对于复杂的冲击矿压监测信息,用单一指标(或特征,比如序列最大值)进行冲击矿压危险性识别本身就存在很多不足。冲击矿压监测指标,尤其是连续的具有时间坐标性质的监测指标,是冲击矿压在形成、发展、发生过程中的必然结果,它有其自身的规律,它是冲击矿压孕育过程中各种信息的综合反映,是冲击矿压复杂体系中各要素相互作用的结果。虽然监测指标幅值等的大小是重要的识别信息,但如仅用单一指标(或特征)来识别冲击危险是不充分的。另外,冲击矿压的发生都是动态的,都有一个形成过程,有其自身的形成规律,监测序列反映了这样的规律性,目前的冲击矿压预测和冲击矿压危险性识别都没能很好地利用监测序列提供的丰富信息,简单的单一指标(或特征)方法更是如此。

如何利用当前及历史的监测数据进行冲击矿压的预测,一直是冲击矿压预测研究的主要课题。目前的研究主要包括两个方面:①拟合预测^[15,17,40,42],利用历史监测数据拟合预测数据的未来发展趋势,从而了解冲击矿压的危险性,达到预测的目的,这是冲击矿压预测研究的一个重要领域。传统的预测方法主要是经典的数理统计方法,运用随机过程理论,模拟系统的运动规律,从而达到拟合预测的目的,常见的有统计模型,时间序列分析等。根据其他学者及本课题的研究,对于复杂的具有混沌特性的冲击矿压监测序列来说,基于数理统计理论的拟合预测效果并不理想。除传统的数理统计预测理论外,一些现代预测理论也开始运用在冲击矿压的拟合预测中,比如灰色理论、神经网络理论等。灰色理论在冲击矿压预测中有它的局限性,不适合数据量大的冲击矿压监测数据序列的拟合预测,神经网络方法的结构参数确定比较困难,并且对于冲击矿压监测序列而言,神经网络输入节点的确定并不容易。②识别预测^[23,27,41],即冲击矿压危险性的识别。冲击矿压危险性识别包括多个方面,就冲击矿压监测数据序列而言,冲击矿压危险性的识别主要是指根据历史监测样本数据提供的信息,运用某种方法确定出冲击矿压危险的判别准则,从而识别出蕴含在其他待识别监测样本数据中的冲击危险信息。临界指标法是最基本和应用最广泛的一种识别方法,也是目前最有实用价值的一种方法,它利用历史监测样本,运用概率统计等方法确定出发生冲击矿压危险的临界指标值(阈值),然后通过临界指标值对新的监测样本数据进行识别预测,当监测序列中的数值超过临界值时即发出冲击矿压危险预报,从而达到冲击矿压的预测目的。这种识别方法正如前面分析那样存在着许多不足而有待完善。

根据以上分析,本书研究的出发点如下:

(1)如前所述,目前根据监测时序来预测冲击矿压危险的发生和评价冲击矿压危险程度的方法比较简单,主要根据冲击矿压监测序列在时间轴上的波形变化规律来进行判断和识别,通常的做法是根据历史监测数据运用统计或对比的方法设定一个临界预警值,当新的监测数据超过临界值就作预警预报。换句话说,冲击矿

压危险性的识别和危险程度的评价主要是通过监测值超过临界值的多少来评判。虽然说临界值判别法在冲击矿压预测方面获得了很多成功,但这种方法仍有不少缺陷,是不完善的,它没有充分利用监测数据序列提供的大量信息。冲击矿压在形成、变形破坏过程中会有很多外因表现,这些外因表现都以某种规律和特征体现在监测数据序列中,这种特征体现是形式多样的、复杂的、深层次的,比如可能体现在时域,也可能体现在频域,还可能体现在其他一些非线性特征上,所以,如果仅以阈值作为判别标准必然出现偏差,造成冲击矿压的预测精度不高。在生产实际中,经常出现超过临界值没发生冲击矿压,没有达到临界值却发生了冲击矿压这样的情况。因此,找到一种能综合利用冲击矿压监测数据序列各个方面特征与信息的预测模型和预测方法是非常必要的。为此,本文提出了冲击矿压危险性识别的模式识别方法,充分利用监测数据序列提供的信息和数学特征,从而提高冲击危险预测识别的准确性。

(2) 冲击矿压发生的载体是煤岩体,煤岩体是一种非常复杂的介质,其复杂性、模糊性和不确定性,使得传统的力学方法难以很好的应用,因此造成计算及预测的结果准确性比较低。非线性是岩石或岩体力学行为的本质特征,冲击矿压系统是高度非线性复杂大系统,并处于动态不可逆演化之中。因此,冲击矿压的预测研究,应当探索借助当代的非线性科学,充分研究冲击矿压的非线性特征,从而寻找到冲击矿压预测的新方法。

根据诸多学者的研究成果表明:冲击矿压监测数据序列具有混沌特性,是一个具有复杂非线性行为特征的混沌系统,监测序列只是系统在复杂的内在动力因素作用下的一个特解^[20]。所以,要对这种数据序列进行未来行为的预测,首先必须要了解该序列的混沌特性,分析它在不同混沌特征量下的运动性态,找到它的预测规律,从而确定好的预测方法,构造合适的预测模型。

(3) 冲击矿压监测数据序列的拟合预测帮助我们了解掌握数据序列的未来发展变化,借助相应的冲击矿压识别准则,从而预知冲击矿压在未来可能的变化趋势。基于数理统计理论的传统拟合预测模型把冲击矿压监测序列变化的复杂性认为是由于外在随机因素引起的,利用随机过程理论来构造预测模型。然而冲击矿压监测序列并非只是由于外在随机因素影响,更重要的是由系统内在动力特性所决定。要更准确地预测冲击矿压监测序列的未来行为,仅依赖数理统计模型是不够的。所以,根据冲击矿压监测数据序列的混沌动力学特征分析成果,运用混沌预测理论,对冲击矿压监测数据序列进行拟合预测,了解冲击矿压未来可能的发展变化,为冲击矿压危险性识别预测提供更多的信息。

(4) 冲击矿压监测现场环境复杂恶劣,监测数据不可避免地会被噪声所污染。严重的噪声污染有时会淹没冲击矿压监测数据的内在本质特征,对于非线性数据而言,其非线性特征也可能被严重破坏甚至被完全破坏,使得一个原本具有混沌

行为特征的数据序列变成了随机序列,如果运用这些被污染的数据所做出的分析及预测自然也会较大地偏离实际。对于监测数据序列,傅立叶变换及小波变换去噪方法应用广泛,但这些方法在去噪的同时对数据本身有一定的破坏,尤其是混沌数据序列,频谱分布范围大,噪声的频谱和有用数据的频谱通常交织在一起,难以区分,这样去噪处理造成的破坏更大一些,因而在进行混沌分析时,数据序列的相空间重构矩阵就是由这些遭到一定程度破坏的数据组成,自然会对分析结果造成影响。矩阵的奇异值分解变换(SVD)能消除数据间的相关性,具有一定的去噪功能,由于SVD只是一种数据旋转变换,对矩阵数据本身是没有损坏的,所以,为了达到更好的预测效果和冲击危险性识别的准确性,本文在冲击矿压监测数据序列的混沌特性分析过程中,把小波变换和SVD技术结果起来应用,达到对数据的无损去噪。

第二节 国内外冲击矿压的研究现状

对冲击矿压进行比较系统的研究始于南非,南非于1915年就建立了南非矿山冲击委员会,对煤和金属矿的冲击矿压进行研究^[2,3,7]。我国对冲击矿压的研究是从20世纪60年代开始的,原煤炭部于1987年颁布实施了我国第一部《冲击地压煤层安全开采暂行规定》。通过广大科技工作者和研究人员的共同努力,我国对冲击矿压机理、预测和防治措施研究有了较大的进展,其中煤体注水与深孔松动爆破方法相结合的综合防治措施,以及冲击矿压的非线性有限元数值模拟、煤岩体地应力场的测试和有限元计算分析、声发射技术、电磁辐射技术、微震监测系统等在预测冲击矿压的研究与应用方面已达到国际先进水平^[23~27]。

近年来,现代数学理论中的分叉、非线性动力学、小波分析等非线性分析理论在地震、边坡、气象等许多学科领域得到广泛应用,取得了很多重要的研究成果^[28~50]。模式识别理论在图像、指纹、汉字识别及国防、遥测、地震等诸多领域得到成功运用^[51~74]。这些理论和研究方法在矿井开采领域的运用受到越来越多的重视,但用于研究和分析煤岩体发生冲击矿压这一动力现象仍不多见,用于冲击矿压的预测研究更是少见。

一、冲击矿压的混沌特征研究现状

煤岩体的断裂破坏可视为其内部微观裂纹扩展、分叉和失稳扩展的动态演化过程,裂纹分叉与失稳是紧密相关的,裂纹经过无限多次的分叉便导致整个系统的失稳,这种失稳可以比拟为一类非线性微分方程的倍周期分叉而出现的混沌运动现象。井下煤岩体冲击矿压的形成、发展和发生的变化过程也包含一个内部微观裂纹扩展、分叉和失稳扩展的动态演化过程,受到各种非线性因素影响。所以,利

用混沌动力学理论来研究煤岩体发生的冲击矿压应当成为今后主要的攻关方向,也必将为预测预报探索新的途径,有助于冲击矿压的机理认识上升到一个质的飞跃。

目前,国内对冲击矿压的非线性混沌特征进行研究的文献并不多见,宋维源、潘一山^[17]等运用非线性动力学理论,通过动力反演建立了冲击矿压监测时序的预测预报模型,模型的阶数由监测时序的分维数决定;李玉、黄梅等^[18,19]对冲击矿压的微震在时空上的变化进行了分形特征的研究;窦名林、邹正喜等^[27]根据冲击矿压工作面电磁辐射数据的分维变化规律对冲击矿压进行了预测预报研究;谭云亮等^[43]研究了岩层运动的非线性动力学特征并提出了预测模型的框架。

从上可知,混沌动力学理论在冲击矿压方面的研究还刚刚起步,从事研究的人员并不多,研究的范围也有限,大多集中在冲击矿压监测序列数据的分形特征方面,而且与工程的实际应用尚有较大距离。可以看出,目前冲击矿压的混沌动力学特征研究缺乏系统性、实用性,研究的深度不够,研究的范围不广。从根本上来看,煤岩体的冲击动力学行为的混沌性特征是控制冲击发展方向的主要力量,是决定系统突变和协同等特性最本质的因素,而对冲击矿压系统演化发展的准确预测是工程实践的主要目标之一。因此,岩体冲击破坏演化发展过程中的混沌特征规律和混沌预测方法是目前急待研究的领域。混沌动力学在大气、地球物理和岩石力学等的某些领域的研究成果显示了其广阔的应用前景,可望为冲击矿压的研究提供新的思路和方法。因此,开展冲击矿压演化发展过程中的混沌特征研究是十分必要的。

二、冲击矿压预测及混沌预测研究现状

预测预报是冲击矿压研究的一个主要领域,具有冲击矿压灾害的各国都投入大量财力对此进行了长期的研究,许多的学者、研究人员对此也作出了不懈的努力,发展了众多的冲击矿压预测预报方法。

20 世纪 50 年代提出的钻屑法,目前仍然是世界各国广泛采用的冲击矿压危险预测方法,仍然是主要的冲击矿压危险预测方法,具有广泛的应用基础。

地音监测是 20 世纪 70 年代末 80 年代初迅速发展起来的一种实时的、可以连续进行的煤岩体声发射(地音)监测技术,地音监测最早在我国主要用于边坡、地震监测等方面,在 80 年代中期,我国从波兰引进一套地音 SAK 系统后开始用于煤矿冲击矿压的预测监测。在此之后,我国先后成功地实现了对波兰地音系统的国产化改造,研制成功了 MAE、DJ-1 等多种地音监测系统,并在枣庄陶庄煤矿、北京门头沟煤矿、新汶华丰矿等全国许多煤矿得到了运用。地音监测系统接收的是煤岩体破裂时发出的声波信息,煤矿井下监测环境恶劣,噪声干扰十分严重,所以要求使用者有较高的素质,只在门头沟矿得到了比较成功的运用。由于效果差,性能不

稳定,加之价格昂贵,在我国始终未能得到进一步的推广运用。目前,地音监测在煤矿冲击矿压的预测监测中已经不多见。

许多学者认为:冲击矿压是由于应力超过煤岩体强度而产生破裂,而破裂损伤的力学性质由于广义应变局部化,呈现应变软化而发生物理或材料失稳破坏而产生的。从而导致了利用煤岩体破坏前后各种辐射信息作为冲击矿压预测手段的出现。国外在 20 世纪 80 年代末开始研究利用煤岩体破裂时发出的各种辐射信息作为前兆,来预报煤岩体失稳破坏产生的冲击矿压、煤与瓦斯突出灾害。我国在 20 世纪 90 年代初期也开始进行了这项研究,目前得到成功应用的是电磁辐射,红外辐射尚处于试验室研究阶段。前苏联 20 世纪 90 年代初研制成功了电磁辐射脉冲接收仪,利用接收煤岩体破坏发出的电磁辐射脉冲预测岩体的失稳破坏,1998 年我国引进前苏联第三次改型产品在平顶山八矿、北京房山矿及铁法大兴矿进行了监测运用并获得了成功。国产电磁辐射接收仪由中国矿业大学于 1999 年研制成功,目前已在华丰、三河尖等煤矿得到成功应用。由于它性能稳定,携带方便,既可以作局部的点监测,也可以作连续时间监测。监测与生产可同时进行,不需额外施工工程量,数据自动记录存储,通过接口数据可方便地传入计算机,属于智能型监测仪器。电磁辐射监测是目前冲击矿压现场监测最有发展潜力的监测手段,是今后一段时期冲击矿压预测的发展方向。窦名林、聂百胜、何学秋、王恩元等对用电磁辐射预测煤矿冲击矿压作了许多的研究,对电磁辐射监测指标(最大幅值、平均幅值及脉冲数)运用临界指标法及指标变化偏差法等预测煤矿冲击矿压进行了深入研究,并在华丰、三河尖等煤矿取得了成功的运用。

钻屑法及电磁辐射监测法是目前冲击矿压预测的主要方法,还有一些其他方法,比如电阻率探测法、煤岩体变形测量法、煤岩体应力测量法、岩饼法、振动(波速)法、地层层析成像法等,这些方法大多是作为一种辅助预测方法,还不能作为冲击矿压现场的常规监测方法。

无论采用何种监测方法预测冲击矿压,监测数据都是预测预报的最主要依据,但同样的监测数据采用不同的预测理论、不同的判别准则得到的预测结果可能完全不同。所以,如何利用好各种监测手段提供的监测数据,采用什么样的判别准则,运用哪种预测理论来构造预测模型,一直是广大学者不断探索的课题。目前常见的冲击矿压的预测理论有:①数理统计理论^[75],比如统计模型、时间序列分析等,主要用于监测数据序列的拟合预测。②神经网络理论^[38,76],不仅用于监测数据序列的拟合预测,也用于监测数据序列危险性识别预测,更多的是用于区域性的冲击矿压危险性预测。谭云亮运用神经网络预测模型对冲击矿压 AE(Acoustic Emission 声发射)时间序列进行了拟合预测,在构造模型时用小波母函数作为神经网络的传递函数来减少神经网络陷入局部极小的可能。③灰色理论^[77],随着灰色理论的推广运用,灰色模型在冲击矿压监测数据的预测运用发展较快,刘建军、王锦山

等运用灰色模型 GM(2,1) 对冲击矿压的震级进行了预测。④突变理论^[39~40], 突变理论是法国数学家 R. Thom 于 1972 年创立的, 它是以拓扑学、奇点理论为主要数学工具研究不连续现象的一个数学分支, 近些年在研究冲击矿压破坏失稳等方面发展很快, 取得了很多成果, 为冲击矿压的预测开辟了新的方法。傅鹤林、桑玉发运用突变理论对两石镇石膏矿地下采场冲击矿压发生的危险性进行了预测, 获得成功。

这些理论虽然在冲击矿压的预测预报领域都得到了一定的运用, 但都存在着一些不足: 数理统计模型把冲击矿压监测序列假定为随机序列, 运用随机过程理论进行预测不完全符合实际情况; 神经网络模型存在网络结构参数确定的随意性, 网络容易陷入局部极小值点; 灰色模型适合于指数增长型监测数据预测, 对于数据量较大的冲击矿压监测数据序列的预测并不太适合; 突变模型适合于结构的稳定性分析与预测, 但构造的突变模型中有较多的物理力学参数, 这些参数值的获取困难, 且准确性难以保证。

冲击矿压是一个典型的复杂耗散系统, 通过监测获取的序列数据常常是杂乱的, 很难理出头绪, 对预测和识别都有很多的困难。混沌预测理论把通过监测获取的数据序列作为冲击矿压系统在某一方面的特解, 它是冲击矿压在形成、发展和发生过程中在某一方面的外在表现, 虽然杂乱, 看似随机, 但仍然是有章可循的, 在一定尺度内是可预测的。虽然混沌预测理论的产生只有 30 年的时间, 但在电力、水文、气象、边坡及经济等领域都获得了广泛的应用。在冲击矿压预测方面目前尚未见有文献报道。

三、模式识别在冲击矿压预测中的研究现状

冲击矿压预测依赖于各种监测和实验数据, 如何从复杂、繁多的各种数据信息中识别出冲击矿压危险一直是研究的重点。识别是一个广义的词, 现实生活中, 识别是极普通的、随时都在发生的一件事。认出一个人, 看见一棵树, 都包含着识别。冲击矿压预测也是一样, 根据监测及实验数据发现冲击矿压危险是识别, 根据监测序列的拟合数据预测冲击矿压也是一种识别。比如某区域的钻屑量超过正常指标, 就可以识别出该区域具有冲击矿压危险, 这个正常指标就是根据历史监测数据标定出的临界值。又如通过神经网络预测出某区域电磁辐射数据序列在未来某时间超过正常值, 也可以预测该处存在冲击矿压危险, 运用的也是临界指标法。所以说, 冲击矿压的预测最终都要归结到识别问题上去。只是有些识别是显式的、明确的, 而有些识别是隐蔽的、不被注意的。

要识别冲击矿压危险就需要有识别的准则, 目前运用较多的有临界指标法(也叫单一指标法、阈值法等)^[23,25]、综合指数法^[14,16]、指标变化偏差法^[23,25]等。临界指标法在冲击矿压的危险性识别中运用非常广泛, 很多冲击矿压的预测最终都要

归结到临界指标法。尤其是现场实时监测大多是运用该法进行预测。这方面的文献也比较多,比如:聂百胜、何学秋等作了电磁辐射预测煤矿冲击矿压的研究;褚庆典研究了用钻屑法对权台矿进行冲击矿压的预测;邹正喜、窦名林等研究了用分维数预测冲击矿压。这些预测运用的都是临界指标法。

综合指数法在冲击矿压的预测中也有很多运用,综合指数可以由不同类型的参数得到,比如:地质因素的综合指数,物理力学参数的综合指数,监测数据的综合指数以及由各种数据综合在一起的综合指数。潘一山、李国臻等用综合指数法对回采巷道冲击矿压危险指标进行了确定,吴继忠、Bernard DRZEZLA 等研究了冲击矿压危险性评定的地质因素综合指数。

前面已经分析过,用临界指标法识别冲击矿压危险性不能充分利用监测数据,尤其是序列数据所提供的丰富信息;综合指数法在生成综合指数时,大多采取给不同指标赋予不同权值的方式,而权值大小的准确确定有时也是很困难的。综合指数法最大的困难就在于难以找到合适的综合指数构造办法,生成合适的冲击矿压危险性评判的判别函数。况且对于冲击矿压监测数据序列,大量的冲击矿压危险信息包含在序列中(单一指标无疑会遗漏许多重要信息),而这些赋藏于数据序列中,有助于冲击矿压危险性识别的信息(称为特征)必须经过特定的方法,用特定的验证手段才能提取出来,并且提取出来的特征要用合适的判别函数才能完成冲击矿压危险性的识别预测。显然,综合指数法是难以胜任的,而这正是模式识别所擅长的。

模式识别诞生于 20 世纪 20 年代,随着 40 年代计算机的出现,50 年代人工智能的兴起,模式识别在 60 年代迅速发展成一门学科,它所研究的理论和方法在很多科学和技术领域中受到广泛的重视,推动了人工智能系统的发展。几十年来,模式识别研究取得了大量成果,在很多方面得到了成功的应用。

目标识别在军事侦察、城市规划、交通监控、图像检索及工业自动化等各个领域得到了广泛应用^[51~60]。如空间地表形状的识别;飞行器导航的自动跟踪;在工业自动化的自动检测中的标记识别、缺陷检测、压痕检测、交通监控中的车辆检测^[57~60];邮政自动信函分拣。所以目标识别具有很大的实用价值和重要意义。

从模式识别技术诞生以来,在这几十年中,模式识别技术得到了很大的发展,人们研究的对象也越来越复杂。各种理论、方法及系统不断地出现和完善。目前,模式识别方法主要有三种^[51~52]:①统计模式识别方法;②结构模式识别方法;③人工智能模式识别方法。

统计模式识别技术是一种相对成熟的理论^[4,53~54],已有很多基于此的商用识别系统问世。它是用信息统计和估计理论的结果,去获得从表达空间到解释空间的映射。在这个领域中,模式分类问题可以被系统阐述成统计判决问题,即将模式识别问题表示成多维空间中函数的估计问题,并且把这个超平面分成多个类别或

区域,其中,判决依据使用合适的判决函数来完成。

结构模式识别方法的过程恰似由字构成词、由词构成句的过程,是将一个复杂模式分化为若干个较为简单子模式的组合,而子模式又分为若干基元,通过对基元的识别来识别子模式,最终识别该复杂模式,例如汉字、指纹、语音的识别往往采用这种方法,并已取得较好效果。

统计模式识别方法和结构模式识别方法是模式分类中的经典性与基础性技术,具有悠久的历史,发展较为成熟^[52]。其中,当待识别对象特征可以用一个或一组数值来表征时,用统计识别方法进行识别效果较好,如遥感图片、印刷体英文、地震波、血压、体温^[61~63]等。当待识别对象较复杂且类别很多时,导致统计数据剧增,难以得到表征该模式类的矢量集,或由于维数过高使计算成为不现实,如指纹、汉字、脸谱^[64~68]等。因此解决该类对象的识别问题,一般通过寻找它们内在的结构特征来进行识别,即采用结构模式识别方法。

人工智能模式识别方法是一种与统计模式、结构模式识别相并列又相结合的模式识别方法。人工智能模式识别方法主要是应用基于逻辑推理和人工神经网络这两方面的研究成果,它是对待识对象运用统计识别/结构识别/人工智能技术,获得对象的知识性表示后,运用人工智能技术对知识的获取、表达、组织、推理方法,确定该对象所归属的模式类。人工智能模式识别方法是推动模式识别的强大动力^[52]。

模式识别技术在采矿领域还没有得到广泛应用,卢宗华等运用模式识别方法对巷道围岩进行了分类^[69~70];魏一鸣等运用前馈型神经网络对岩体的质量进行了模式识别^[71];崔若飞等根据反射波在断层处的各特征参数的不同变化,并结合主分量分析方法运用地震综合多参数模式识别方法对淮南潘三矿东三、东四采区7条测线对应的13-1煤中的断层进行了识别^[72];林韵梅运用神经网络对巷道的支护决策进行了模式识别^[73];刁心宏等对顶板破坏时的特征进行了提取,对房柱式空场采矿法的顶板破坏进行了模式识别^[74]。

由以上分析可知,模式识别技术在巷道围岩分类、岩体质量辨别、断层类型识别、空场采矿法的顶板破坏类型识别等方面有所运用,并取得了一些经验,但在冲击矿压危险性识别领域却尚未见报道。

第二章 监测序列的小波与奇异值分解综合去噪

第一节 概 述

由于监测现场复杂恶劣的环境,加之监测手段本身可能存在的一些问题,监测数据不可避免地会被噪声所污染。严重的噪声污染有时会完全淹没冲击矿压监测数据的内在本质特征,对于非线性数据序列而言,其非线性特征可能会被严重破坏甚至被完全破坏,使得一个原本具有混沌行为特征的监测序列变成了随机序列,运用这些被污染的数据所做出的分析及预测不可避免地会偏离实际。所以,在对监测数据进行分析处理前,进行去噪处理是非常重要而且是必须的。

监测数据去噪的方法有很多,运用较多的是以傅立叶变换为基础的频谱分析方法,近年来小波分析取得了日益广泛的运用,小波去噪也因去噪效果好而逐渐成为重要的去噪工具。但无论是傅立叶变换还是小波去噪,采用的都是去除数据中噪声频谱成分的方式,不可避免地都会对数据造成一定程度的损坏。比如,高斯白噪声通常表现为高频信号,在去噪处理时就通常采用阈值方法去除掉高频成分来去除高斯白噪声。但是噪声的频谱和有用数据的频谱没有严格的界限,通常情况下他们是部分交叉的,特别是在煤矿冲击矿压工作面采集的监测序列数据,具有非线性的混沌行为特征(见第三章的分析),其频谱通常分布在整个频率空间,无论傅立叶变换还是小波变换都很难把噪声频谱严格地分离出来,也就是说,这两种去噪方法不可避免地都会把信号中的一些有用成分也去除了,结果自然会造成数据分析的失真^[75~80]。

奇异值分解(SVD)是一种矩阵分解和变换技术,通过一系列的线性变换,把矩阵旋转到一个新的坐标,对于含有噪声的矩阵数据,通过奇异值分解方法处理后,可以达到去噪的目的,同时又能保持原数据的基本特征不变^[81~82]。在本书中,大量地运用了时间序列的相空间重构矩阵来进行混沌分析、混沌预测及模式识别的计算,这些矩阵数据的含噪水平对于分析和预测的结果有重要的影响。重构矩阵通过SVD方法的处理后,既去除了一定程度的噪声,又保持了原始数据的基本特性,对我们的分析、预测和识别结果不会产生严重的不良后果。但SVD方法只对二维及以上的矩阵具有去噪能力,对一维数据序列不起作用^[81~82]。

在本文的研究中,需要对两种类型的数据进行分析处理:①一维向量。主要是指监测数据序列,比如监测序列的相空间重构参数 m 和 τ 的计算、混沌预测计算以