

煤岩截割状态识别

方法研究

任芳◎著



煤炭工业出版社

煤岩截割状态识别方法研究

任 芳 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤岩截割状态识别方法研究/任芳著. --北京: 煤炭工业出版社, 2017

ISBN 978-7-5020-6093-0

I. ①煤… II. ①任… III. ①采煤机—研究 IV. ①TD421.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 223509 号

煤岩截割状态识别方法研究

著 者 任 芳
责任编辑 徐 武
责任校对 孔青青
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)
电子信箱 cciph612@126.com
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 全国新华书店



开 本 850mm×1168mm^{1/32} 印张 6^{1/2} 字数 166 千字
版 次 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷
社内编号 8973 定价 32.00 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,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书通过研制的采煤机煤岩识别物理模拟系统,完成了大量试验研究,获取了涵盖各种截割状态的丰富原始数据,在此基础上较全面系统地进行了煤岩截割状态识别方法研究。内容包括煤岩截割状态识别的基本原理、截割状态识别试验物理模拟系统研究、截割状态识别的数据特征提取技术、截割状态识别的数据融合技术、识别数据冲突状态下的多传感器管理。

本书可供机械、电气、矿山等领域从事数据特征提取、数据融合的科研人员、工程技术人员,以及高等院校相关专业的研究生和高年级本科生使用和参考。

前 言

可靠的采煤机煤岩识别系统具有自动识别截割状态的能力,在经济效益和安全作业两方面都具有突出的优点。它能提高煤层的采出率,降低煤中的矸石、灰分和硫的含量,提高采煤作业效率,减轻设备磨损,减少设备维修量和停机时间,降低空气中的岩尘含量,并可使作业人员远离危险工作面。本书提出的采用多类型传感器拾取采煤机截割力响应信号并进行多信号特征提取与数据融合的煤岩识别方法,可提高煤岩识别的可行性、准确性、可靠性、适应性。

采煤机滚筒在切割煤岩的过程中,随着截割介质的变化,滚筒的阻力矩、径向作用力,以及由截割力激励所产生的结构直线振动响应和滚筒扭转振动响应都要随之发生变化。这些变化蕴涵着截割对象的信息,监测这些参数变化,经过恰当的信号处理与多传感器数据融合,可实现切割过程截割状态的识别。因此可用多传感器分别拾取电动机的电流信号,调高油缸的压力信号,非旋转部件的振动信号,滚筒轴的扭矩信号及扭振信号等,用多信号特征来识别截割状态。该方法避免了信号的传输问题,不受采煤工艺的限制,对地质条件的要求是只

要顶底板岩石和煤层在机械性能方面有一定的差别即可，可操作性强。

全书分为六章。第一章论述了采煤机截割状态自动识别的目的和意义，对比、分析了国内外各种识别方法的工作原理和优缺点，提出了多传感器信息融合的截割状态识别。第二章阐述了基于多传感器信息融合的截割状态识别的监测原理，确定出与切割状态有关的各种响应信号并选用了相应的传感器。针对振动信号的特殊性，对摇臂截割部进行了瞬态动力学和谐响应分析，确定了振动信号的拾振点，优化了传感器的频率选型。第三章建立了采煤机煤岩识别物理模拟系统，包括介质模拟和采煤机牵引—截割机构的模拟，研制了试验控制系统，讨论并确定了试验方案。通过试验拾取了大量试验数据，为数据处理准备了信息源。第四章重点探讨了应用小波包技术进行信号特征提取的问题。小波包能量法进行特征提取，完成了从模式空间到特征空间的转换，把并不能揭示样本实质的元素过滤掉，使特征的维数大大压缩，获取了最能揭示样本属性的特征量，为数据融合提供了可靠而准确的特征级数据。第五章重点介绍了数据融合的基本理论、概念和方法；用于截割状态识别的神经网络结构与算法的设计；模糊神经网络信息识别的原理；利用融合模型进行的多传感器数据融合。第六章研究在多传感器识别煤岩信号发生冲突的情形下，采取相应的

数据融合技术与方法，处理多传感器获取的冲突信号，完成煤岩准确识别的任务。

本书的出版得到了国家自然科学基金（51475318）、山西省自然科学基金（2008011051）、国家青年科学基金（50405043）的资助，研究生刘正彦等研究生对本书的部分研究工作做出了贡献，在此表示感谢！

作者

2017年8月

目 次

1 概述	1
1.1 煤岩截割状态识别方法研究的背景与意义	1
1.2 国内外采煤机截割状态识别的研究现状	4
1.3 基于多传感器数据融合技术的截割状态 识别的特点	10
1.4 多传感器数据融合技术及其发展	11
1.5 本书中主要研究的内容	14
1.6 小结	16
2 基于多传感器数据融合技术的截割状态识别方法的 基本原理	17
2.1 采煤机滚筒受力分析	17
2.2 截割状态识别的基本原理	18
2.3 响应信号的确定	20
2.4 摇臂振动信号敏感点拾取位置分析	24
2.5 响应信号的拾取	60
2.6 小结	71
3 截割状态识别试验物理模拟系统研究	72
3.1 试验台及控制系统研制	72
3.2 试验测试系统研制	78
3.3 截割状态识别试验	81
3.4 小结	101

4	截割状态识别的信号处理与特征提取	102
4.1	基于经典谱分析的特征提取	102
4.2	基于小波包分解的能量分布特征提取	111
4.3	截割状态信号特征提取	122
4.4	小结	143
5	截割状态识别的数据融合技术研究	144
5.1	数据融合技术的基本理论	144
5.2	基于神经网络信息融合技术的截割状态识别	148
5.3	基于模糊神经网络的截割状态信息识别	164
5.4	数据融合处理模型的确定	170
5.5	试验数据融合	171
5.6	小结	174
6	基于 D-S 证据理论管理算法的煤岩截割状态识别	175
6.1	D-S 证据理论	175
6.2	证据理论加权融合改进算法	181
6.3	煤岩冲突信号的加权融合处理	183
6.4	加权融合数据综合分析	186
6.5	小结	190
	参考文献	191

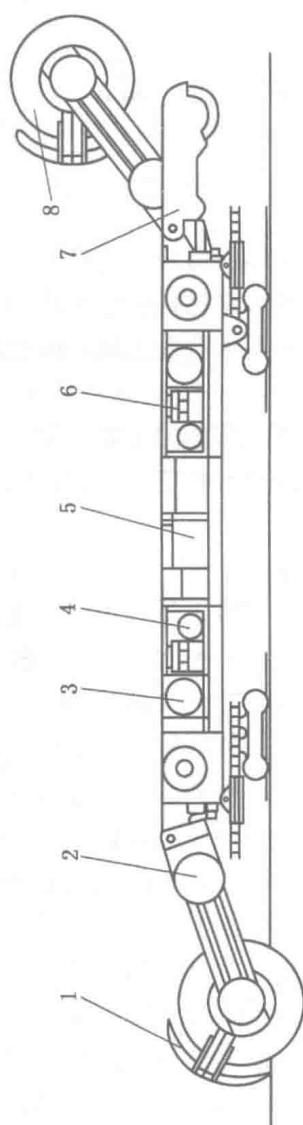
1 概 述

1.1 煤岩截割状态识别方法研究的背景与意义

煤炭是我国常规能源的主体，煤炭工业在整个国民经济中占有举足轻重的战略地位。煤炭开采机械化已经成为煤炭工业增加产量、提高劳动生产率、减少重大恶性事故和改善劳动条件的一项关键性技术。

采煤机是综合机械化采煤工作面的主要设备之一，采煤机的自动化是整个工作面自动化的中心环节。采煤机的基本结构如图 1-1 所示。

采煤机的自动化主要包括两部分：牵引速度和滚筒切割高度的自动控制。目前国内外绝大多数采煤机牵引速度都实现了手动和自动控制，但采煤机滚筒高度的控制，除国外极少数的采煤机采用存储切割模式进行高度控制外，大部分是靠人工操作，即操作工人靠视力观察及截割噪声来判断采煤机滚筒是在割煤还是割岩，以便调节滚筒的垂直位置。然而由于采煤机在工作过程中产生大量煤尘，使工作面能见度很低，而且机器本身噪声很大，操作工人实际上难以准确及时判断采煤机的截割状态。如果是在薄煤层工作面，工人行走不便，使操作人员难以及时调节滚筒的高度。因此采煤机在工作过程中经常会截割到底板岩石。采煤机连续截割岩石会加剧滚筒截齿磨损及其他零部件的损坏；对于高瓦斯矿极易引起瓦斯爆炸，形成恶性事故；截割的岩石混入原煤中造成原煤质量下降。另外，滚筒位置调节不当还可能造成顶底煤剩留过厚，降低采出率。解决这一问题的途径是实现采煤机滚筒的自动调高。实现采煤机滚筒自动调高不仅是实现采煤工作面



1—挡煤板；2—截割电机；3—牵引电机；4—油泵电机；5—主控制箱；
6—电磁阀柜；7—破碎机；8—截割滚筒

图1-1 采煤机的基本结构

生产过程自动化的重要环节，而且对延长机器寿命、提高设备可靠性、保障工人安全、提高煤炭质量都具有重要意义，对采煤机械的智能化控制及煤炭工业的可持续发展有很大的促进作用。

采煤机滚筒自动调高系统的功能是按照顶板和底板的变化或按照预先设定的规律自动调节滚筒的工作高度，避免采煤机截割顶底板岩石并保持工作面顶底板的平整性。

根据采煤机调高系统所要求的功能，调高系统首先要能正确地识别采煤机的截割状态，然后根据识别的结果能准确及时地调整采煤机的滚筒高度。所以采煤机滚筒自动调高系统主要由识别系统和控制系统两部分共同构成。采煤机调高系统工作过程如图 1-2 所示。

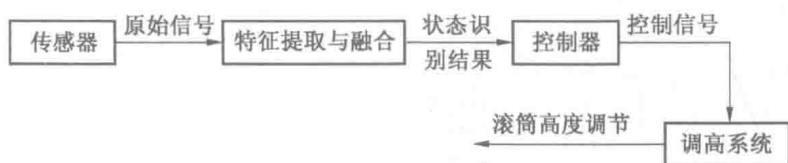


图 1-2 采煤机调高系统框图

由此采煤机截割状态的在线识别技术，即采用什么方法自动识别采煤机在工作过程中截齿是否切入顶底板岩石，或者顶底煤厚度剩留多少成为急需解决的问题。

采煤机截割状态的在线识别技术，能使采煤机具有自动追踪煤岩界面的能力，不仅有助于实现煤矿井下采煤自动化，提高生产效益，还能减少那些在洗煤过程中必须除去的岩石和其他矿物含量。它既可用于人工操作的采煤机，也可用于计算机控制的采煤机。可靠的识别系统在经济效益和安全作业两方面都具有突出的优点：提高煤炭的采出率；降低煤中的矸石、灰分和硫的含量；提高采煤作业效率；减轻设备磨损；减少设备维修量和停机时间；降低空气中的岩尘含量。作为实现采煤自动化的关键设备之一，美国及其他国家均把该系统作为重点开发项目。

1.2 国内外采煤机截割状态识别的研究现状

从 20 世纪 60 年代起,世界各主要产煤国如英国、美国、德国及苏联等国家都对采煤机自动调高系统做了大量研究工作,先后对 20 余种基本形式截割状态识别方法进行了研究。表 1-1 列出了近年来世界各国对截割状态识别的主要方法^[1,2]。

表 1-1 截割状态识别的主要方法

探 测 方 法		研究国家	研究组织
煤 厚 测 量 法	自然伽玛射线 SEI 801	英国	British Coal Saltord Electrical
	AME 1008	美国	American Mining Electronics
	MIDAS	英国	Anderson Strathclyde
	Pathfinder	英国	Mining Supplies Pitcraft-Summit
	DIAM	英国	British Jeffrey Diamond
	Proprietary	美国	Consolidation Coal
	自然伽玛射线	中国	中国矿业大学
界 面 探 测 法	激光粉尘照相	德国	Ruhrkhl, Battelle at. al
	截齿应力分析	英国	British Coal
		中国	中国矿业大学 太原理工大学 重庆大学
	振动技术	美国 德国 日本 中国	Bureau of mining MARCO Mitsui, Coaling Mining Research Center 太原理工大学
	红外技术	美国	Bureau of mines
	光学技术	美国	Bureau of mines
	电子自旋共振	美国	Bureau of mines
	X 射线荧光分析	美国	Bureau of mines

表 1-1 (续)

探 测 方 法		研究国家	研 究 组 织
界 面 探 测 法	图像信息处理	美国 中国	Bureau of mines 中国矿业大学
	地震测试法	美国	Bureau of mines
	透度计	美国	Bureau of mines
	敏感钻头	美国	Bureau of mines
	超声波技术	美国	Bureau of mines
	高压水射流	美国	Bureau of mines
	激发电流	美国	Metec
	视频摄像	英国 西班牙 法国 加拿大 美国 中国	Rees Hongh Ltd. AIFTEMIN CERCHARC Ecok Polytechnique Noranda Research Center Video Miners 复旦大学
	人工 γ 背散射	英国	British Coal, Salford Electrical
	雷达技术	美国	Bureau of mines
	电磁场辐射	美国	Stoalar
	调高油缸压力法	中国	山西矿业学院
	声波频谱分析法	中国	中国矿业大学 (北京) 山东工商学院 华北科技学院

1.2.1 国外截割状态识别的研究现状

英国是最先开展此方面研究工作的, 1966 年研究了 γ 背散射法^[3]。此法将人工放射源和放射性探测器放在顶煤下方, 人工放射源放出的 γ 射线同顶煤发生作用后被反射回空气中并被探测

器探测到。这种反射 γ 射线的强度与顶煤厚有关，据此研制了采用铯-137 同位素留顶煤厚度探测器（707 型、706 型）并在 Barnburgh 煤矿进行了试验。此方法的缺点是散射 γ 射线穿透能力有限，所能测得的顶煤厚度不大于 250 mm；难以保证与顶煤良好接触；煤中夹杂物影响探测精度。

1987 年，由苏联斯科钦斯基矿业学院矿山机械自动化设备科学生产联合公司提出了监视潜伏煤岩界限的方法，采用的是 γ 背散射法^[4]。方法包括：从 γ -射线源 1 照射被监视的介质 M 和用射线检测器 2 记录返回散射的 γ -射线。在靠近射线源 1 的感受区 Z1 的射线强度随射线检测器 2 至被监视介质 M 的距离 A 增加而下降，而远离射线源的感受区 Z2 的射线强度却随距离 A 的增加而增加，把两个区 Z1、Z2 同时接收到射线强度相加，得到总强度，并且在射线检测器 2 至被监视介质 M 的距离 A 发生变化，此总强度仍保持不变。

1980 年，英国、美国进行了天然 γ 射线法研究。由于在顶底板岩石中通常含有钾、钍、铀三大系放射性元素，顶岩岩性不同，这些放射性元素的含量也不同，因此放射出的 γ 射线能量和强度都不同。由于煤层对射线有衰减作用，通过射线能量可判断煤层厚度。英国索福德电气公司采用基于煤岩自然伽玛射线辐射特性的 NGR（natural gamma radiation）传感器法研制出 801 型煤厚探测器^[1]，美国采矿电子仪器公司研制了基于煤岩自然伽玛射线辐射特性的 NGRI 008 型探测器^[1]，煤厚测量范围均为 0~127 cm，适合大多数顶底板须留煤的开采场合，机器掘进速度可高达 19.8 m/min，离顶煤安装距离在 20~40 cm 之间。此方法的优点是无放射源而便于管理、探测范围增大、传感器为非接触式不易损坏；缺点是不能适用于顶板不含放射性元素或放射性元素含量较低的工作面，以及煤层中夹矸太多的情况。

美国矿业局对雷达探测方法进行了研究。当一束电磁波透过顶煤向上发射时，由于煤和顶板材料不同，在截割状态上电磁波

会被反射。反射波与发射波相比,反射波的速度、波形相位和从发射波到反射波被接收的时间间隔等参数除与发射波频率、煤和顶板材料等可测知的因素有关外,还与电磁波在顶煤中穿越路程即顶煤厚度有关。通过对接收到的反射波进行信号处理可确定顶煤厚度。美国矿业局在对各种传统的雷达传感器用作截割状态识别的可能性进行了研究之后,开发了一种既具时域特性又具频域特性的连续合成多普勒雷达传感器^[5],用以克服只具有时域特性的传感器所不能克服的煤与天线所引起的散射问题,增加距离分辨能力。此方法的优点是无须预先求取煤岩物理特性,适用范围更广;缺点是探测范围太小,当顶煤厚度增加时,信号衰减严重。

从 20 世纪 80 年代起,英美开始研究基于截割力响应的识别系统^[6]。基于截割力分析法,其应用特点正好与 NGR 法有互补性。由于煤层和岩石的力学特性不同,使采煤机滚筒截齿在割煤、割岩时所表现出的力学特征不同,依此进行截割状态的识别。该方法不受采煤工艺的限制,对地质条件的要求是只要顶底板岩石和煤层在机械性能方面有一定差别即可。因此,应采用多路信号即多参数(如截齿应力信号、摇臂振动信号、电机电流信号及调高油缸压力信号等)对采煤机的截割状态进行识别。美国矿业局研究的振动截割状态识别方法有机械振动、槽波地震及声学 3 种基本类型。机械振动 CIR 由几个尽可能靠近截割头的安装于机身上的加速度计构成;槽波地震 CIR 由尽可能靠近采煤作业处的安装于煤层、顶板或底板上的加速度计或小型地震仪构成;声学 CIR 由悬挂于采煤机械附近的麦克风或声压传感器构成。美国麻省理工学院的采矿系统改造中心于 1985 年研制了一台截齿振动监测样机系统,截齿振动从一根被弹簧压在截齿底座上的测杆传递到旋转截割滚筒轴上,测杆上缚有磁致伸缩材料,由此将振动转换成变化的磁场,而后再转换成正比于截齿振动的电信号。测杆与截割滚筒轴之间由一个旋转电位器相连,截齿振动随

岩层性质而变化。但自 1985 年后该项研究工作一直处于停顿状态。

另外,德国 Marco 公司开发了一套 SKA 振动判别样机系统^[7],通过分析煤和岩石的振动频率探测截割状态。安装在采煤机摇臂上的声传感器测得的振动数据被输送到由电池供电的机载计算机内,经处理后产生反馈信号,通过红外遥测或电缆被送回控制装置。计算机每隔 0.1 s 对输入的振动数据进行一次快速傅里叶变换。

无源红外探测技术是近年来重点研究的截割状态识别技术。用高灵敏度的红外测温仪定向测量截齿附近煤岩体的温度,由于煤岩物理特性不同,切割时产生的温度不同,据此来判断滚筒是否切割到截割状态。无源红外探测技术的显著优点是能以各种坚硬顶板为工作对象;能使所采煤层全部采至顶板;反应是瞬时的,能够在开始接触顶板的瞬时采取正确的措施;能穿透尘埃和水雾,其衰减率较小。红外线技术被认为是一种极有前途的探测方法。美国矿业局开发了一种无源红外截割状态探测系统^[7],采用红外温度记录法检测截割状态。这种红外系统由红外热感摄像仪和图像处理器等组成,可提供热温分布图谱,可测最小温差为 0.1℃,用户可在 -20~2000℃ 范围自行选择检测温度范围。它适用于各种坚硬顶板条件,反应极快且在截齿开始接触顶板的瞬时给出指示。由美国匹茨堡研究中心研究的煤层界面红外线探测装置^[8],运用热成像红外摄像机探测开采煤层和临近岩层的温度变化。当装置的视频探测装置发现煤层或岩层的温度出现变化后,即发出报警信号。目前这些技术仍处于研究阶段,尚无成熟产品问世。

由美国 JOY 公司等所生产的采煤机采用记忆切割法,主要原理是:应用角位移传感器、倾角传感器等将采煤机沿工作面第一刀切割的相应数据拾取并传输到控制系统,以此作为采煤机调高系统的控制依据进行以后的切割。