

JIYU TUXIANG CHULI JISHU DE MEIKUANG YANCENG
JIANSHI JIANCE XITONG YANJIU YU YINGYONG

基于图像处理技术的 煤矿岩层监视监测系统 研究与应用

袁小平 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

江苏省应用基础研究计划项目(BJ99042)

江苏省自然科学基金项目(BK2001073)

资助

徐州市科技发展基金项目(X2005F601-2)

基于图像处理技术的煤矿 岩层监视监测系统 研究与应用

袁小平 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了基于图像处理技术的煤矿井下岩层监视监测系统的结构模型,以及煤矿井下岩层图像处理和岩层裂缝监控与超值自动报警方法,并介绍了作者自行研制的一种便携式煤矿井下岩层图像监视监测仪。同时,本书首次提出了利用小波变换对煤矿井下岩层图像进行处理,并在图像增强、图像压缩和边缘检测等方面提出了一些改进算法。

本书是以作者的研究与实践成果为基础撰写的,可供高等院校相关专业教师、研究生及高年级本科生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于图像处理技术的煤矿岩层监视监测系统研究与应用/袁小平著. —徐州:中国矿业大学出版社,2006.10

ISBN 7 - 81107 - 455 - 9

I. 基… II. 袁… III. 图像处理—应用—煤矿—
岩层移动—监测系统 IV. TD325

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 126880 号

书 名 基于图像处理技术的煤矿岩层监视监测系统研究与应用

著 者 袁小平

责任编辑 何 戈

责任校对 杜锦芝

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 5.125 字数 133 千字

版次印次 2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

定 价 16.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

锚固技术作为一种技术经济性能优越的技术手段,广泛应用于世界主要产煤国家。由于锚杆支护巷道围岩活动状况的隐蔽性,围岩的破坏失稳一般没有明显的预兆,往往具有突发性。巷道顶板一旦发生冒顶,多数情况下规模都较大,其危害性也较为严重,因此,所有采用锚杆支护的巷道都应该进行日常矿压与支护监测。本书首次提出了采用图像处理技术进行煤矿井下岩层监视监测,填补了国内空白。

本书共分7章,第1章介绍了煤矿井下采用锚杆支护的优越性及其监测的意义,分析了目前煤矿井下岩层监测技术的现状及其存在的问题,提出了采用图像处理技术进行煤矿井下岩层监视监测。第2章提出并设计了基于图像处理技术的煤矿井下岩层监视监测系统的结构模型,然后针对煤矿井下岩层图像现有的处理方法进行了分析,研究了适合煤矿井下岩层图像处理的方法,并设计了岩层图像采集、处理和病害识别软件。最后以监测顶板离层值为例,根据巷道所处的不同时期及用途,提出了基于视频监控系统的岩层裂缝超值自动报警的原则。第3章在综述传统图像增强、图像压缩编码、图像边缘检测方法的基础上,提出应用小波变换这一数学工具处理煤矿井下岩层图像,同时介绍了小波变换的基本原理。第4章分析了传统小波变换的图像增强方法,提出了综合利用基于小波变换的阈值化去噪方法和增强系数的实用算法来实现有噪图像增强的算法。第5章分析了嵌入式零树小波编码方法,对最低频子图像采取线性预测编码,从而使它的失真较小。第6章通过分析 Mallat 的多尺度边缘检测算法,使用4阶B样条函数近似 Gauss 平滑函数,对 Mallat 基于小波变换的多尺度边缘

检测算法进行了改进。

作者在博士论文、近几年的研究成果及所在课题组科研的基础上完成本书,近几年的相关课程教学对撰写本书也有一定的帮助。在这里特别感谢导师于洪珍教授在课题组学习与工作期间给予的大力支持、关怀和充分的理解。感谢大屯煤电公司孔庄煤矿、徐州矿务集团权台煤矿为研究成果提供了实践场地。本成果的实施得到徐州豪立电子有限公司的大力支持,感谢杜长乐总经理给予的资助、关心和帮助。

感谢中国矿业大学能源学院矿压研究所的柏建标博士、许家林博士在我研究初期给予的帮助。

特别感谢我的夫人赵全红女士在工作较为繁重的情况下,除了很好地完成自己的本职工作外,还承担了大量的家务和教育孩子的工作;感谢我的亲人和朋友,有了他们的关心、理解和支持,本书才得以顺利完成。

感谢本书所有参考文献的作者,他们卓有成效的工作,使我受益匪浅。

本书初稿承于洪珍教授和张申教授审阅,并提出了许多宝贵而富有成效的意见和建议,在此表示衷心感谢。

最后感谢所有阅览本书的专家、学者,本人真诚地期待着您的批评和指正。

著者

2006年8月

目 录

1 概述	1
1.1 煤矿井下岩层控制(锚固)技术发展综述	1
1.2 本课题研究的实际意义	8
1.3 本书探讨的主要问题	9
2 基于图像处理技术的煤矿井下岩层监视	
监测系统的设计	12
2.1 系统结构与功能	12
2.2 CCD 图像传感器的设计	15
2.3 便携式岩层视频监视监测仪的研制	18
2.4 图像处理系统设计	21
2.5 噪声去除	27
2.6 边缘检测	32
2.7 图像分割	38
2.8 算法比较	41
2.9 裂缝图像参数测量与检测精度分析	43
2.10 基于视频监控系统的岩层裂缝监控与自动报警研究	46
2.11 本章结论	54
3 小波变换基本理论及其算法应用	56
3.1 小波变换在图像处理中的应用	56
3.2 连续小波变换、离散小波变换和二进小波变换	58
3.3 多分辨分析和 Mallat 算法	62
3.4 小波函数及小波基的选择	66
3.5 基于小波变换的图像分解与重构的实例	70

3.6 本章小结	71
4 基于小波变换的煤矿井下岩层图像增强处理	72
4.1 引言	72
4.2 常用的图像增强处理方法	73
4.3 基于小波变换的煤矿井下锚杆钻孔内图像的 增强处理	77
4.4 峰值信噪比	84
4.5 实验结果与分析	84
4.6 与常规图像增强方法的比较	86
4.7 本章小结	88
5 基于小波变换的煤矿井下岩层图像数据的压缩编码	89
5.1 概述	89
5.2 图像数据压缩编码综述	89
5.3 基于小波变换的图像压缩编码技术	93
5.4 图像编码性能评价指标 ^[109]	97
5.5 嵌入式零树小波编码原理及其改进	99
5.6 实验结果与分析	118
5.7 本章小结	121
6 基于小波变换的煤矿井下岩层图像边缘检测	123
6.1 概述	123
6.2 基于小波变换的边缘检测方法原理	126
6.3 煤矿井下锚杆钻孔图像边缘检测及应用分析	137
6.4 本章小结	142
7 结论与展望	144
7.1 本书的结论	144
7.2 本书的创新	146
7.3 进一步研究的设想	147
参考文献	148

1 概 述

1.1 煤矿井下岩层控制(锚固)技术发展综述

煤矿安全技术始终是煤炭行业的一个重点科技任务。“十五”期间,煤矿安全技术发展的重点是应用高新技术解决煤矿重大灾害防治中的关键技术难题,提高煤矿灾害综合防治能力^[1]。

锚固技术,国内习惯统称为锚杆支护技术,国外一般称锚固技术或锚杆加固技术。自 1871 年英国北威尔士露天页岩矿首次应用锚杆加固边坡及 1911 年德国谢列兹矿最先在井下巷道采用锚固技术以来,锚固技术至今已有 100 多年的发展历史。锚固技术是一种技术经济性能优越的技术手段,目前不仅广泛应用于世界主要产煤国家,而且也推广应用于冶金、水利水电、铁路公路、军工及建筑等工程之中,伴随着“21 世纪——地下工程的世纪”的来临,可以预见,该技术必将得到更广泛深入的研究和推广。我国在 1955 年开始使用锚杆,近年来,锚固技术尤其是煤炭锚杆支护技术才得到迅速发展^{[2]~[4]}。

1.1.1 锚杆支护理论

锚杆是锚固在岩体内维护围岩稳定的杆状结构物。对地下工程的围岩以锚杆作为支护系统的主要构件,以形成锚杆支护系统^[5],如图 1.1 所示。

锚杆支护的作用机理是正确应用和设计锚杆支护的基础,也是锚杆支护研究中一个十分活跃的领域。目前支护理论尚不成

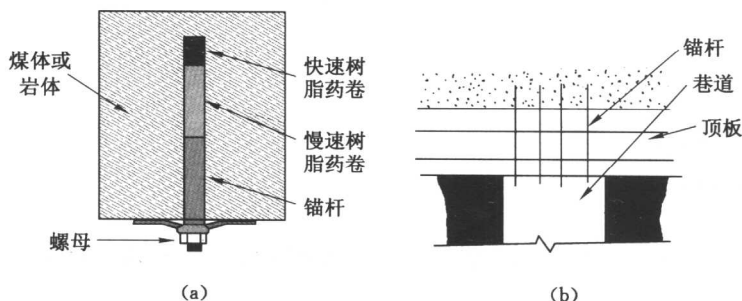


图 1.1 锚杆及锚杆支护工作示意图

(a) 锚杆; (b) 锚杆支护工作示意

熟^[5], 这里简单介绍常用的锚杆悬吊理论。

煤矿地下工程开挖以后, 围岩中将出现应力集中区, 在此范围内, 原有的岩体不连续面可能进一步发展, 并可能产生新的不连续面, 从而出现岩石松动与破裂, 并在自重作用下产生冒落。锚杆支护的作用就是将这些破碎岩石悬吊在稳定的岩层上, 如图 1.1(b) 所示。

对于煤矿中经常遇到的层状岩体, 当巷道开挖后, 直接顶因为弯曲、变形与基本顶分离, 如果锚杆及时将直接顶挤压并悬吊在基本顶上, 就能减少和限制直接顶下沉和离层, 达到支护目的^[6]。图 1.2 所示为锚杆支护巷道的状况。

1.1.2 锚杆支护的技术、经济优越性

在巷道支护中, 锚杆支护与传统的棚式支护相比, 具有显著的技术、经济优越性, 其主要表现是:

(1) 锚杆支护可以充分利用围岩的自承能力将载荷体变为承载体。

(2) 一般棚式支护属于“被动”支护, 而通常使用的锚杆支护

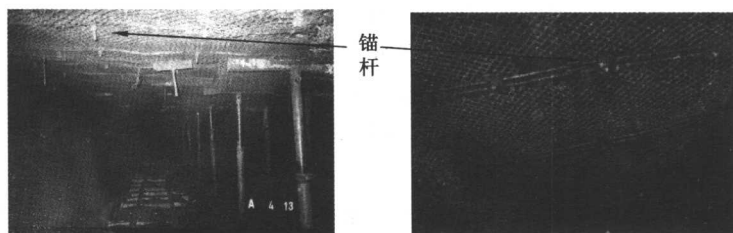


图 1.2 锚杆支护巷道正常情况下的状况

属于“主动”支护,在锚杆安装以后,锚杆即对围岩提供轴向或横向的支护阻力,且随围岩变形支护阻力不断增加。

(3) 与棚式支护相比,锚杆支护更有利于改善巷道的维护状况,保持巷道围岩的长期稳定,在相同生产地质条件下,锚杆支护的巷道围岩变形量通常要比棚式支护减少一半以上。

(4) 锚杆支护还可以节约大量钢材,减少支护材料的运输和装卸支架工作量,减轻工人的劳动强度和改善作业环境。

(5) 由于锚杆支护巷道围岩稳定性好,巷道服务期间基本不需要维修,因而能够保持巷道和开切眼的畅通,为回采工作面快速推进和高产高效低成本生产创造有利条件。

(6) 锚杆支护巷道施工简单,机械化程度高,可大幅度降低巷道支护成本,提高掘进速度和生产效率^{[6]~[9]}。

1.1.3 目前锚杆支护监测系统的现状与不足

我国十分重视锚杆支护监测,取得了很多成果,其中两种监测仪器得到大力推广。一是顶板离层指示仪,测定锚杆锚固范围内及锚固范围外的离层情况,对顶板出现冒落危险及时报警,以杜绝顶板事故;二是非破坏性测定锚杆锚固力^[10]。

1.1.3.1 测力锚杆

测力锚杆是测量锚杆全长锚固工作状态下受力的大小及分布状况的专用锚杆。在煤巷中安装测力锚杆,其目的有三:

(1) 分析锚杆和围岩的相互作用关系,研究全长锚固机理。

(2) 实测锚杆受力,确定支护强度,分析围岩的强化程度,为锚杆支护设计提供依据。

(3) 根据锚杆受力变化,判断锚杆是否屈服,对顶板稳定性做出预测,当锚杆受力突然增大或大范围屈服时,提示人们及时采取措施,避免顶板冒落事故发生^[6]。

锚杆受力监测是锚杆支护技术的重要组成部分,测力锚杆的结构主要由杆体、保护接头、静态电阻应变仪、多通道转换开关、安装接头、联接导线等几部分组成。利用电阻应变片及电阻应变仪,即可测试锚杆在受力过程中的应变值变化情况。工作应变片和温度补偿应变片分别贴在锚杆和温度补偿件上,并按半桥工作方式接入电桥。首先通过对其中某些点的应变进行测量,再经过数据处理和解析运算,最后确定出被测部位的应力^[6]。

测力锚杆的缺点主要表现在:

(1) 对于锚杆这种细长杆件,需用大标距应变片,才能反映宏观应变。但是大标距应变片的宽度较宽,因此要求埋设应变片的槽也宽,槽宽增加会降低锚杆的强度,因此要求应变片的尺寸不宜过大。

(2) 电阻应变片的粘贴质量,关系到应变片的应变效应,决定着测量的成败,因此粘贴应变片的工艺较为复杂。

(3) 测力锚杆在使用前需要用拉力机进行标定,即测出锚杆所受拉力与产生的应变值之间的对应关系。

(4) 安装后,需要立即用静态电阻应变仪对测力锚杆观测记录一次;在工作面掘进开始后,每掘进一个循环就需要观测一次,至少观测1~3次;以后每掘进10 m观测一次,直到数据稳定。

1.1.3.2 顶板离层指示仪

顶板离层指示仪是监测顶板锚固范围内及锚固范围外离层值变化大小的一种监测装置。安装离层指示仪的目的是:

(1) 对顶板离层情况提供连续的直观显示,及早发现顶板失稳的征兆,以避免冒顶事故发生。

(2) 监测数据可作为修改、完善锚杆支护初始设计数据的依据之一^[5]。

顶板离层指示仪实际上是两点巷道围岩位移计。在顶板钻孔中布置两个测点,一个在围岩深部稳定处,一个在锚杆端部围岩中。离层值就是围岩中两测点之间以及锚杆端部围岩与巷道顶板表面间的相对位移值。顶板离层指示仪可直观地显示出相对位移值(离层量)的大小^[6]。

澳大利亚、英国、美国、苏联等国对巷道顶板监测普遍比较重视,美国已研制了多种顶板离层指示仪,并已在生产中广泛应用,英国、澳大利亚也大量采用 Tell—Tale 型离层指示仪,国内对顶板离层指示仪的研究、使用也给予了足够的重视^{[11]~[17]}。

分析国内外的顶板离层监测仪器,可以归纳为两类:一类是结构较为简单的纯机械式顶板离层指示仪,如中国矿业大学研制的 ZLZ—1 型顶板离层指示仪;另一类是借助电气元件以声光两种方式报警的顶板离层报警仪^{[5][6]}。现简述如下:

(1) 机械式顶板离层指示仪。国内外机械式顶板离层指示仪的种类很多,尽管其结构各不相同,但基本原理一致。ZLZ—1 型顶板离层指示仪通常由 3 部分组成:① 孔内固定器;② 位移传递装置;③ 孔口测读装置。钻孔直径一般为 18 mm,也可以用 33 mm、43 mm。

由孔内固定装置布置两个测量基点,一个固定在深部稳定岩层上,另一个固定在与锚杆端部深度相同的围岩上。通过测量两个基点与顶板表面相对位移的变化,即可获得顶板总离层值,以及相对于深基点的锚固范围之外的离层值与相对于浅基点锚固范围

内的离层值。顶板总离层值与锚固范围内离层值可以直接读出,锚固范围外离层值则为二者之差^[6]。

(2) 本安型声光报警式顶板离层指示仪。LBY—1 型顶板离层指示仪是由煤炭科学研究总院北京开采所研制的一种本安型测量煤矿井下巷道顶板离层量与离层量达到一定(危险)值时予以声、光报警的仪器,适用钻孔直径为 18 mm、41 mm。

LBY—1 型离层指示仪主要由测绳张紧装置、圆刻度盘与传动装置、报警装置和机壳四部分组成。其工作原理是将钻孔内的基点与顶板表面相对位移的直线运动,用测绳通过仪器的导向结构转换成圆周运动,由主导轮与刻度盘直径的变化将直线位移量放大转换到圆形刻度盘上,便于观察与读取位移数值。另外,通过位置可调的磁铁与磁开关的作用,当顶板变形达到预定的危险值时,磁开关接通电路,仪器便发出声、光报警^[6]。

1.1.3.3 柔性岩层窥视仪

中国矿业大学能源学院 211 工程项目所购置的 Australia SCT Operations Pty Ltd 生产的柔性岩层窥视仪(Flexible Strata Scope,简称 FSS),主要用来在井下对锚杆钻孔、岩孔进行检测与观察。该仪器内部有两个隔离的光导纤维束,其中一个成像光导纤维束由数千个光导纤维组成,所有这些光导纤维被仔细地排列并融合在一起以保证每个光导纤维在纤维束的两端处于同样的相对位置;另外一个光导纤维束为照射光导纤维束,该光导纤维束把由位于窥视仪手柄处的光源发出的光传至物镜,物镜把光射到被观测的物体上。通过固定的物镜,物体成像到光导纤维束的端部,图像在光导纤维束中传至窥视仪的另一端,在此有一可调目镜把图像放大,以便观测,同时利用所配置的照相机获得图片^[19]。

该柔性钻孔窥视仪有较强的柔性,可以承受一定程度的弯曲,但是剧烈的冲击及锐弯会使内部光导纤维受损,从而影响成像。同时,该窥视仪的输出信号不能与计算机直接相连,其照片不利于

计算机处理。

综上所述,上述锚杆监测仪器的主要缺陷在于:

(1) 由于受到井下环境恶劣的影响,所用仪器安装困难,测量结果的可靠性差。

(2) 无论何种监测仪器都需要专门人员经常在井下来回巡视,记录测量数据,因此监视监测不直观,不能做到实时在线监测,矿领导和技术人员只能亲临井下或者依靠其他人员上报的数据做出判断。

(3) 所有信息的管理(由于仅仅是间接测量获得的数据)无法直接利用计算机进行,更不能实现网络化的监测系统,不能实现数据共享。

1.1.4 锚杆支护监测内容^{[5][6]}

监测内容的选择必须充分考虑到:

(1) 巷道围岩的运动状况以及从监测数据直接判断围岩是否稳定;

(2) 锚杆的工作状态,判断锚杆支护参数是否合理;

(3) 便于观测,易于现场测取。

选取巷道锚杆支护监测信息反馈指标应遵循以下原则:

(1) 指标应简明和易于测取;

(2) 全面反映巷道的稳定状况;

(3) 反映锚杆本身的性能。

根据以上原则,选用巷道锚杆支护顶板离层值、两帮相对移近量、锚杆受力三个方面的指标作为监测信息反馈指标。

顶板离层值包括锚固区内顶板离层值和锚固区外顶板离层值两个指标。根据巷道所处的不同时期以及用途,可将顶板离层值分为设计值、临界值、危险值三种。

修改设计应根据掘进影响期的反馈信息来进行,以便能尽早

采取有效的技术措施和尽快修改设计,而不能等到受采动影响以后。设计的掘进影响期的顶板离层安全值称为设计值,实际观测的数值超过此值就需修改设计,调整支护参数。在巷道整个服务期间,顶板离层的安全允许值称为临界值,超过此值就需采取加强支护措施,以保证围岩的稳定和安全生产。在巷道整个服务期间,如果顶板岩层不稳定,提供冒顶危险信号的顶板离层值称为危险值,达到此值必须坚决采取防止冒顶的有效措施。

1.2 本课题研究的实际意义

煤巷锚杆支护是一项隐蔽性很强的工程,设计是否合理,施工质量是否合乎要求,巷道围岩是否稳定,人们难于直接察觉,必须通过现场监测和对监测信息的分析来判断。长期以来,由于监测手段不够完善,对监测取得的信息缺乏科学分析,不能很好地预测锚杆支护巷道顶板事故,因而没有及时采取加强支护措施,使顶板事故难于避免,这就是一些矿井煤巷锚杆支护几起几落、我国煤巷锚杆支护发展迟缓的重要原因之一。

淮南谢桥煤矿在风化的极软岩内使用锚杆支护,锚杆密度为4根/ m^2 ,由于围岩的可锚性差,围岩一直持续强烈变形,巷道掘出1个月后,顶板下沉和巷帮位移超过围岩的极限变形量,顶板出现开裂离层,巷帮鼓出,随后大量锚杆和托盘严重变形和破坏脱落,锚体与岩体离层,锚杆失效^[10],如图1.3所示。

巷道顶板一旦发生冒顶,多数情况下规模较大,其危害性较为严重;巷道两帮的失稳造成煤帮大面积滑落,也易于诱使顶板冒落。因此,所有采用锚杆支护的煤巷都应该进行日常巷道矿压与支护监测。监测的目的:一是井下作业人员随时观测巷道围岩活动情况,一旦发现异常,可及时采取措施,保证安全生产;二是通过监测获得围岩稳定状况的信息,为科学支护提供依据^{[6]~[7]}。

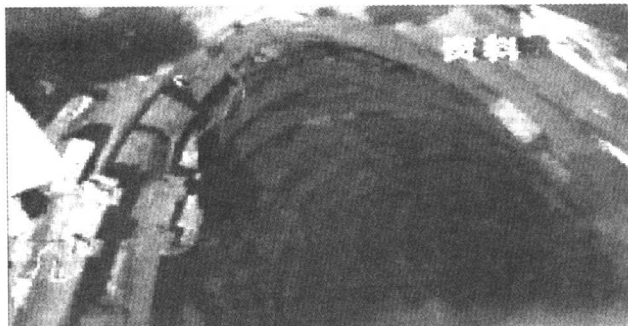


图 1.3 谢桥煤矿顶板离层造成锚杆支护失效巷道破坏状况

煤巷锚杆支护初始设计提出后,井下工程按此设计进行施工,在施工中立即进行矿压观测与支护监测。如果施工中通过众多的信息反馈发现巷道围岩稳定性不够好,则需根据反馈信息及时修改设计,调整支护参数。还未施工的巷道则按修改后的设计进行施工,因此修改设计必须尽早进行^[6]。

为了保证煤巷锚杆支护巷道的围岩稳定和顶板安全,迅速发展我国的煤巷锚杆支护,完善现行监测手段,本书提出利用图像处理技术进行监视监测煤矿井下岩层顶板的离层情况,判断巷道围岩是否稳定以及是否需要采取加强支护措施,以保证施工和生产的安全,从而填补国内利用图像处理技术进行煤矿井下岩层监视监测的空白。

1.3 本书探讨的主要问题

经研究分析,与巷道两帮围岩稳定有关的监控指标主要有:巷道表面收敛、围岩深部位移、锚杆受力;与巷道顶板稳定有关的监控内容有:顶板下沉量,锚固区内、外的离层值,围岩深部位移,锚

杆受力及其分布状况^[6]。

为此,本书根据需要主要研究如何利用图像处理技术实现对煤矿井下岩层的监视监测,其主要工作是:

(1) 本书主要研究如何利用图像处理技术实现对顶板离层的监视,实现裂缝参数超值的自动报警,填补国内利用图像处理技术对煤矿井下岩层进行监控的空白。

(2) 本书在基于图像处理技术的煤矿井下岩层监视监测系统的结构模型的基础上,研究适合于煤矿井下岩层图像的处理方法,并设计一套煤矿井下岩层图像处理软件。

(3) 研究基于小波变换的煤矿井下岩层图像增强方法,使经过增强处理后的图像更易于识别裂缝、裂纹等特征。

(4) 研究基于小波变换的煤矿井下岩层图像数据压缩编码方法,解决煤矿井下岩层图像数据的传送与存储问题。考虑到煤矿井下岩层图像的数据量较大,如果能够利用煤矿现有的电话线实现岩层图像的远距离传送,就必须进行图像数据的压缩。

(5) 研究基于小波变换的煤矿井下岩层图像边缘检测方法,便于今后进行裂纹裂缝参数的计算。

研究工作流程如图 1.4 所示。