

“八五”国家重点科技攻关
项目(85—202—02—01)
课 题 研 究 报 告

秘 密

以煤体结构为主的 煤与瓦斯突出预测综合配套技术

焦 作 工 学 院
平 顶 山 矿 务 局

一九九五年十二月

以煤体结构为主的煤与瓦斯突出预测

综合配套技术(202-02-01-1)

完 成 单 位：焦作工学院 平顶山矿务局

参加课题人员：

焦 作 工 学 院：彭立世 曹运兴 吕绍林 刘明举 汤友谊

袁崇孚 江长青 余发山 秦祥基 莫亚林

邓继恩 张子戌 梁伟光 何 俊 郭中强

曹慕家 谢宝瑞 赵 铁 李 娜 王希斌

郭三明 杨霖霄

平 顶 山 矿 务 局：胡 菊 王世超 崔恒信 刘洪绪 赵新政

张占元 殷秋朝 马君信 王新义 吕有厂

钱 峰 张家红 李敬东 冯新华 郭相斌

总 目 次

- 一、研究工作报告
- 二、以煤体结构为主的瓦斯突出预测综合指标
- 三、用脉冲超声波法预测瓦斯突出煤体结构
- 四、数字便携式煤强度测定仪
- 五、钻孔煤强度仪研制报告
- 六、煤体结构破坏规律及预测方法研究
- 七、煤体结构力学特征及煤体结构类型的定量划分
- 八、科学技术成果鉴定证书
 - 1. 平顶山矿区煤体结构破坏规律及预测方法的研究
 - 2. 煤体结构力学特征及煤体结构类型的定量划分
- 九、实际应用情况及经济效益分析报告

以煤体结构为主的煤与瓦斯突出预测综合配套技术

研究报告

1. 立题的基本思路

煤与瓦斯突出预测(后简称预测)是瓦斯突出综合治理的重要组成部分,是制定煤与瓦斯突出防治措施的基础。

预测的关键是预测参数和指标的研究,目前国内外从事煤与瓦斯突出预测研究者绝大多数皆以综合假说为基础,承认突出是地压、瓦斯和煤体的机械物理性质综合作用的结果,并围绕煤的性质作了大量的工作,考查了不同煤层和煤分层的瓦斯参数特征、化学特征和机械物理性质、煤的瓦斯容量、煤的微观结构、揉皱系数、煤的瓦斯涌出特征、煤的瓦斯解吸规律、钻孔排放量等。

通过对软煤分层的系统考查,认为软煤分层不仅强度低,而且具有比表面积大、微孔隙多、吸附和游离瓦斯多、瓦斯含量大、瓦斯解吸速度快等特点。

国内外的大量研究成果都一致肯定煤与瓦斯突出与地质构造有关,绝大多数突出发生在地质构造破坏带。虽然对地质构造破坏带存在不同解释,而更多的研究者趋向于用破坏了煤的强度造成的有利于瓦斯放散的软煤分层来解释。

焦作工学院瓦斯地质研究所通过近 20 年来在江西、湖南、四川、河南、广东、贵州六个省中 15 个矿区 65 个矿井的观测与研究,认为在具有良好瓦斯赋存的条件下软煤分层加厚是形成瓦斯突出的主要原因。因而认为研究软煤分层的特征及其分布规律是实现瓦斯突出预测的关键环节。

以煤体结构为主的煤与瓦斯突出预测综合配套技术也就是围绕煤体结构的研究来进行配套。从煤体结构观测方法规律性研究到预测方法和预测仪表的研究,形成一个统一的体系。

2. 成果的基本内容

本课题包括三个组成部分,每部分又包含有若干子课题:

2.1 煤体结构类型定量划分、破坏规律及预测方法

2.1.1 煤体结构力学特征及煤体结构类型的定量划分

煤体结构的破坏是发生煤与瓦斯突出的主要条件。不同类型的煤体对瓦斯突出的影响不同。故对煤体结构类型的定量划分是煤体破坏规律性研究的基础,可提供煤体结构探测仪

表的理论依据和设计基础。

通过研究提出按宏观地质特征、力学参数、突出参数和超声波波速四项指标进行煤体结构类型的定量划分,划分成Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类即原生、碎裂、碎粒和糜棱煤四类,在应用中可简化成原生结构煤和破坏煤体两大类。

2.1.2 煤体结构破坏规律及预测方法

煤体结构破坏规律包括破坏程度和破坏煤体的分布范围两方面,煤体破坏程度决定突出危险程度;煤体破坏范围控制瓦斯突出分布范围。通过研究提出了煤体破坏是地质构造作用的产物,它的分布是受地质构造条件所控制的,因而可以通过地质构造的预测实现煤体结构的预测,进而根据煤体结构破坏程度和范围对瓦斯突出危险性作出判断。

为了寻找煤体结构破坏规律,在平顶山八矿、十二矿随采掘工程进行了近万米煤巷观测,并配合进行了400多组 Δp 、 f 值测试,获得如下主要认识:

①三组煤煤体结构破坏特点有显著的差异。丁₅₋₆煤层以原生结构煤为主,即使在断层影响带也无显著破坏;戊₉₋₁₀煤层煤体结构破坏严重,存在一个普遍发育的构造煤层位;己₁₅₋₁₆煤层为局部破坏煤层;

②瓦斯突出危险程度与煤体结构破坏程度和规模密切相关。丁组煤为非突出煤层,戊组煤在一定程度上说是普遍突出煤层;己组煤为局部突出煤层;

③煤体结构破坏及其构造煤分布受地质构造控制,因而可以通过地质构造的预测实现构造煤分布预测,进而预测瓦斯突出危险带的分布;

④掘进巷道前方构造预测的地质标志是:

- a. 地层倾角或产状突然变化;
- b. 劈理带的出现;
- c. 构造煤破坏程度逐渐升高、类型升高、厚度增加。

回采工作面构造煤的预测应以巷道揭露的煤体结构分布和顺煤断层的发育规律结合进行,构造煤展布方向应依地质构造走向进行延伸。

以上两项已由煤科总院于1993年6月16日进行了阶段验收和评议。随后在平顶山矿区和华蓥山李子垭矿进行推广应用。经推广应用取得了显著的安全效益和经济效益。

2.2 以煤体结构为主的煤与瓦斯突出预测综合指标

煤与瓦斯突出是综合因素作用的结果,研究和提出瓦斯突出预测的综合指标是瓦斯突出预测研究中的重要课题。本课题在各单项指标系统考查的基础上,提出用构造煤厚度和瓦斯涌出初速度两项进行综合形成瓦斯突出预测综合指标。

预测指标经过四年对十三个工作面的连续测试,获得近3000组配套数据,扣除由于有措施影响的测试数据,用来作为确定综合指标的基础数据有110组数据,按三种不同情况提出预测指标。

这些指标都经过实践检验,经验算可以作到非突出预测准确率达100%,突出预测准确率达60%以上。其验算值还需继续考查和试验。

2.3 工作面突出危险性预测的煤体结构探测仪

围绕煤体结构的煤壁观测与钻孔探测,我们研制和应用了三种不同原理和使用范围的仪表,获得主要成果为:

2.3.1 用脉冲超声波法预测瓦斯突出煤体结构

不同煤体结构类型超声波传播速度差别,可以通过探测煤体声速来进行煤体结构类型划分,进而预测瓦斯突出的危险性。

对平顶山、焦作、萍乡、淮南等矿区的煤分别进行了测定,在实验室煤样测定 320 组数据。井下煤壁 74 组数据,井下钻孔中 25 组数据,获得如下结论:

①同一矿区,同一煤层不同煤体类型的超声波速度存在很大差异;②不同煤层不同矿区的相同煤体结构类型的煤样超声波波速值相差不大,且随破坏类型升高波速值降低;③ I、II 类煤和 III、IV 类煤具有不同的波谱特征。上述说明,利用超声波波速作为煤体类型的定量划分指标,更具有广泛性。

在研究发射和接收换能器组合规律上,研制改进了孔测探头,并在平顶山、焦作、鹤壁、安阳等矿区进行了井下煤壁和井下钻孔的测定,获得了较好的测定结果。通过现场试验,认为利用超声波在钻孔中准确区分原生结构煤和构造煤是可行的,可以实现利用脉冲超声波仪预测掘进工作面前方瓦斯突出煤体。

2.3.2 钻孔煤强度仪

本仪表适应于钻孔探测煤体强度,采用探针深度和外力加压力两项参数,通过运算获得煤强度值。已完成科研样机和实验室标定。仪表由探头、液压泵、拉杆和位移、压力显示装置四部分组成。探头内部结构为大活塞和两个锥体,探针向煤壁最大行程 25mm,直径 22.5mm,油仓使用压力 16MPa,位移显示直读深度毫米值,位移精度 1%mm。通过实验室标定,该仪表在软岩和煤中测定值与压力机试验值误差 10%左右。说明该仪表原理可行,已完成科研样机研制。

2.3.3 数字便携式煤强度测定仪

该仪表是在焦作矿业学院与天津建筑仪器厂协作研制完成的专利产品“MQ-1 型煤强度测定仪”的基础上,继续由双方共同开发研制的。

该仪器按本质安全型进行设计,选用了高精度传感器,测定贯入推力 P 和贯入深度 h,经单片机运算处理,并自动从仪器窗口上显示煤强度值,测定方便、数据精确。

该仪器已完成样机研制,并进行了实验室标定。

3. 关键技术

3.1 煤体结构类型的定量划分

煤的破坏类型划分于 1958 年由苏联科学院地质研究所提出,是按地质标志为主形成的,我国对此作过一些研究,这些概念应用到瓦斯地质分析和瓦斯突出预测中,并列入“防治煤与瓦斯突出细则”,在应用中由于缺乏定量划分依据,往往出现因人而异,形成了分析和判断的不一致。本次研究通过多种参数的对比测试形成的类型的定量划分,更具有科学性。有利于不同矿区、不同煤层的对比分析,也为采用煤体结构作为预测指标提供了可靠的技术基础。

3.2 煤体结构规律性预测

煤体结构预测是通过掌握煤体结构的分布规律,应用规律开展预测。对规律掌握的深度,直接影响到预测的可靠程度。而规律的掌握主要依赖于观测资料的积累,只有大量积累

资料才可能总结出规律。规律预测在瓦斯突出预测中是不可缺少的方法。不仅在缺乏仪表的情况下需要,即使今后能研制出新的仪表,也仍需要规律分析相配合。

本课题通过近万米巷道的观测和资料的分析整理,提出了三种规律性预测方法,即伴生形迹法、几何形态法和构造背景预测法。这点有普遍的指导意义。

3.3 钻孔煤体结构的探测

作煤体结构参数预测与瓦斯突出,必须实现规律性预测与手段预测相结合。预测手段研究第一步是研究接触式仪表,通过钻孔煤壁的测试获得参数,依据这些参数作出煤体破坏类型的判断,进而预测瓦斯突出危险性。我们研制了三种不同原理和结构的测量和预测仪。

钻孔煤强度仪依据所测部位探针的深度和外加压力两个参数作出煤体结构类型的判断;超声波仪根据超声波在不同煤体中传播的速度不同来确定煤体结构类型,虽然二者方法不同,都属物探测并在矿井条件下的应用和发展。适用于掘进工作面前方的地质条件探测,难点在于孔内参数获得,以及测试参数的合理解释。

钻孔煤强度仪两个参数中难点在探测深度,设计探针最大行程 25mm。在煤中探深度采用位移传感器,由位移变成电信号,再通过液晶显示。反映压力采用液压泵加压,最大压力 15MPa,二项参数计算后形成煤强度。超声波探测已在很多部门获得了广泛的应用,用到测试煤体结构类型是首次,由于不同煤体结构类型声波速度相差较小,获取信号难度较大,通过对发射方式、测试距离、偶合剂的选择、波型的识别和利用,弹头频率等进行了一系列探索,得到了解决,并获得了实验室、井下煤壁和井下钻孔的测试数据。证明原理和方法可行。

3.4 以煤体结构为主的煤与瓦斯突出预测综合指标

煤与瓦斯突出是多因素综合作用的结果,瓦斯突出预测由单一指标向综合指标过度是发展的必然趋势,也是提高瓦斯突出预测准确率所面临要解决的一个课题。

瓦斯突出预测综合指标的提出要以瓦斯突出机理作为基础。采用破坏煤厚度和瓦斯涌出初速度的结合,既考虑到机理也考虑到实际应用。根据 100 多组数据提出的预测指标,有较好的实用价值,已取得了实际应用效果。

提出预测指标的困难还在于突出试验,即开展突出预测指标的实践检验,由于确保安全的在现场较难实现。

6 煤与瓦斯突出预测综合指标

在前面我们已对煤体结构和钻孔瓦斯涌出初速度作为煤与瓦斯突出预测指标进行了单项分析。从测试结果可以说明它们都是较好的预测指标。由于煤与瓦斯突出预测的复杂性，所以在使用单项指标预测时皆有一定的局限性。如煤体结构指标只能反映其原始状态，当采取措施后或在始突深度以上，瓦斯小的情况下，便无法用煤体结构破坏来作判断。采用瓦斯涌出初速度指标时，由于操作上或机具方面的问题，也有可能偏小，在工作面应力集中或压力裂隙发育的部位，往往由于裂隙带瓦斯流的存在而测试结果偏大。所以在瓦斯突出预测中采用单一指标进行判断时往往存在一定的困难，研究煤与瓦斯突出预测综合指标是瓦斯突出预测研究的重要内容。

综合指标提出的根据是瓦斯突出综合假设，我们认为在工作面瓦斯突出预测中，较为理想的是能包含地压、瓦斯和煤体破坏三项参数。虽然深度指标与地应力（静压力）和瓦斯压力密切相关，但在始突线以下，在同一开采水平中差异性较小，很难作为一个直接使用的预测指标。所以我们选择和采用构造煤厚度与钻孔瓦斯涌出初速度两项进行综合。这两项参数可以随掘进同时进行测定，根据两项参数进行综合分析作出突出危险性判断。

根据实测获取和整理了两项指标配套的三组数据。一组是己组煤的（图 6-1），第二组是戊组煤的（图 6-2），第三组是利用焦作工学院瓦斯地质研究所新研制的智能瓦斯涌出初速度仪测试的（图 6-3）。

根据上面三个预测参数散点图可以看出：

（1）破坏煤体厚度与瓦斯涌出初速度有较密切的关系。原生结构煤或构造煤厚度小

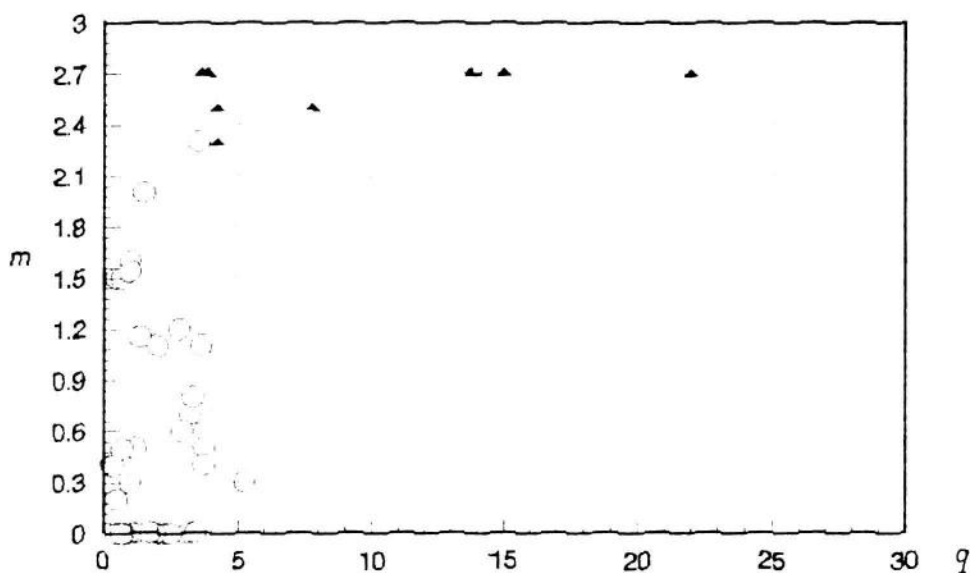


图 6-1 己组煤层突出预测参数散点图

1、▲为突出点；2、○为非突出点；3、 m —破坏煤体厚度；4、 q —瓦斯涌出初速度

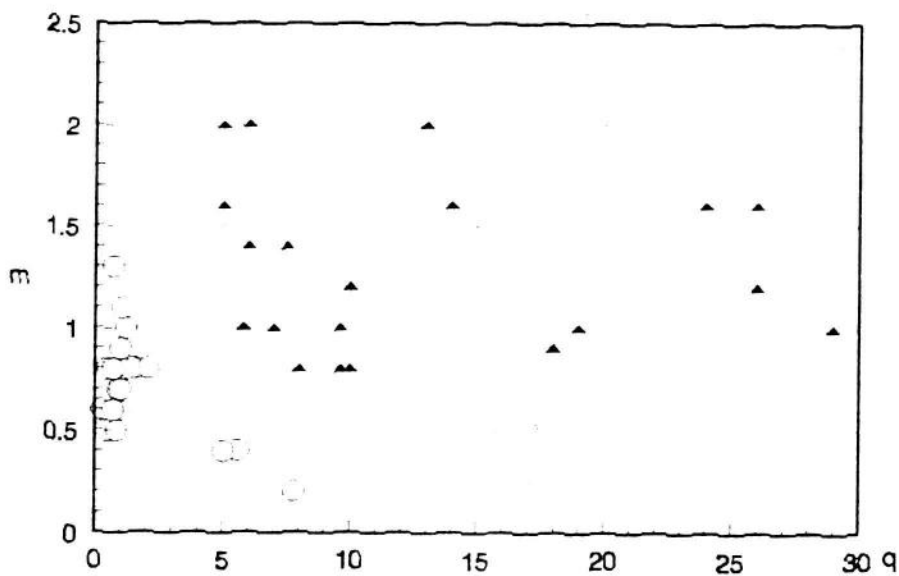


图 6-2 戊₉₋₁₀ 煤层突出预测参数散点图

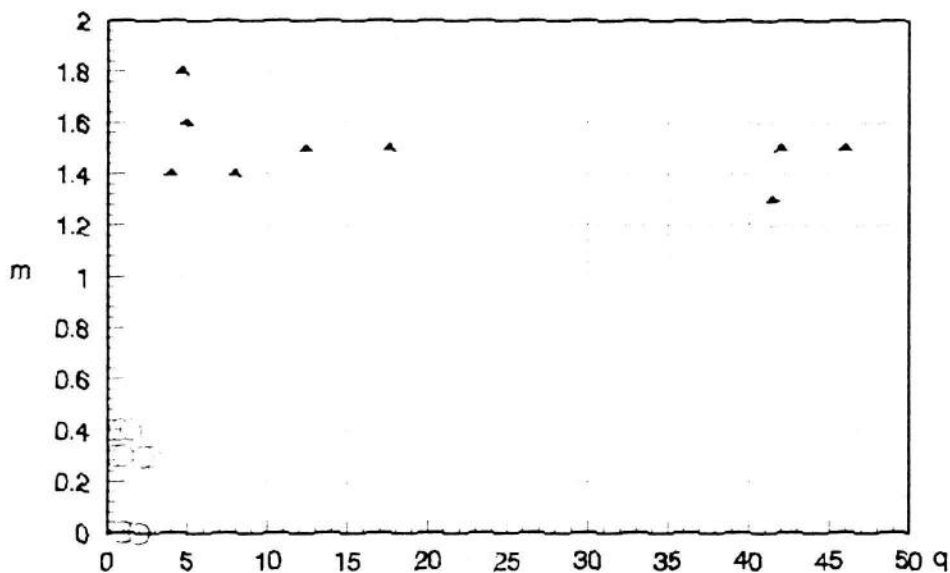


图 6-3 八矿突出预测参数散点图

(q 值为智能涌出初速度仪测试)

于 $0.5 \sim 1.0\text{m}$ 时, q 值皆在 $4\text{L}/\text{min}$ 以下; 构造煤厚度已组 2m 以上、戊组煤 1m 以上时, q 值皆在 $4\text{L}/\text{min}$ 以上。

(2) 突出与非突出分布区域明显, 二者的分界线呈现双曲线的形式, 可以用

$$(x-a)(y-b)=c \text{ 或 } (m-a)(q-b)=c \text{ 表达。}$$

式中 m —构造煤厚度, m ;

q —钻孔瓦斯涌出初速度, L/min 。

(3) 突出与非突出区域之间过渡范围比较宽, 说明还未能完全确定临界值, 还有等继续进行考查。

“八五”国家重点科技攻关
项目(85-202-02-01)
子专题分项课题研究报告

用脉冲超声波法预测瓦斯突出煤体结构

焦作工学院瓦斯地质研究所
一九九五年十二月

目 录

目录	1
前言	2
1 国内外研究现状	4
2 超声波探测瓦斯突出煤体的研究基础	4
2.1 理论基础	5
2.2 实验室煤样及现场煤壁测试的研究基础	6
2.3 孔测的研究基础	8
3 观测系统及组成	11
3.1 超声波主机选型和改进	12
3.2 对测、平测探头设计加工	12
3.3 孔测探头设计	13
3.4 观测系统	14
4 试验结果及分析	15
4.1 实验室煤样测定	15
4.2 现场煤壁测定	18
4.3 现场钻孔测定	21
5 预测瓦斯突出煤体结构软件系统	23
5.1 主要技术性能	23
5.2 数据录入	26
5.3 煤体结构纵向剖面图	27
5.4 煤体结构水平剖面图	28
5.5 数据文件管理	29
5.6 工具函数分析	30
5.7 使用说明书	32
6 课题研究结论	34
参考文献	35

前 言

煤与瓦斯突出是煤矿井下一种复杂的动力现象,是瓦斯突出矿井生产过程中的重要灾害。瓦斯突出预测和防治研究是煤与瓦斯突出矿井亟待解决的重大技术课题,也是煤炭战线长期存在的重大课题。

在瓦斯突出预测和防治研究中,首要的是瓦斯突出预测研究,而瓦斯突出预测又要着重研究预测理论、新方法和新的技术手段。我们承担的国家“八五”重点科技攻关项目“以煤体结构为主的煤与瓦斯突出预测综合配套技术及仪表的研究”,围绕煤体结构的研究提出瓦斯突出预测指标和临界值,提出以煤体结构为主的瓦斯突出预测综合指标和配套技术,使瓦斯地质研究在“六五”攻关项目“湘、赣、豫煤与瓦斯突出带地质构造特征”(瓦斯地质区划论)和“七五”科技攻关项目“以地质观点为主的煤与瓦斯突出预测、预报方法研究”成果的基础上再上一个新的台阶,进入生产应用阶段。

“用脉冲超声波法预测瓦斯突出煤体结构”是我们承担的 1990 年煤炭部纵向科研课题后又纳入“八五”国家科技攻关项目“以煤体结构为主的煤与瓦斯突出预测综合配套技术及仪表的研究(编号 85-202-02-01)”的重要专题之一。专题主要研究的内容和目标是:研究出适应工作面预测的煤体结构超声波探测方法及仪表。该专题已实现的目标内容:

1) 通过室内对不同矿区、不同煤层的不同煤体结构类型的煤样进行超声波传播速度的对比测试,并研究了不同煤体结构类型的波速和波谱特征,确定了煤体结构类型与超声波参数之间的对应关系,为利用超声波特征进行煤体结构类型的划分提供了基础。

2) 选择及改进超声仪主机,研制适用井下环境条件的、性能稳定可靠的超声波换能器(探头),建立利用超声波进行煤体结构类型探测的观测方法和观测系统。

3) 在实验室测试的基础上,在现场开展煤壁及钻孔测试,并对煤壁及钻孔测试的理论和现场测试工艺进行研究。

4) 利用计算机技术对探测结果进行图文处理,编制钻孔探测时工作面前方煤体结构类型分布图及瓦斯突出煤体(构造软煤)的等厚线图,为以煤体结构为主的瓦斯突出预测综合技术提供科学基地。

专题的最终目标及技术经济指标

专题的最终目标是形成脉冲超声波预测瓦斯突出煤体的观测方法和观测系统。不仅在煤壁上而且在钻孔内利用超声波参数将煤体结构类型区分开来,并依此应用了以煤体结构为主的瓦斯突出预测中。达到方法简便、观测系统先进、可靠性高。主要技术经济指标是钻孔法探测距离达 10m 以上,超声波速分辨率 $\Delta V = 50\text{m/s}$,通过多孔能反映全断面的煤体结构变化情况。

课题组经过 5 年的努力工作,实施了大量实验室和现场测试工作量,获得各种类型超声波速数据共 419 组,其中实验室煤样 320 组,井下煤壁测试数据 74 组,井下钻孔测试数据 25 组。完成了项目计划任务书和有关合同中规定的各项研究内容,达到了预期的目标。

课题由焦作工学院瓦斯地质研究所彭立世教授全面负责,课题主要工作人员如下:

吕绍林	副教授	室主任
刘明举	副教授	副处长

莫亚林	副教授	
汤友谊	工程师	
秦祥基	高级工程师	
曹运兴	副教授	室主任
杨陆武	工程师	
郭 纯	工程师	
陈国胜	工程师	

研究报告编写：吕绍林、刘明举、莫亚林

项目试验过程中，得到了平顶山矿务局瓦斯所、八矿、十二矿、焦作矿务局朱村矿、安阳矿务局龙山矿、鹤壁矿务局六矿、鹤壁市煤炭局、萍乡矿务局青山矿等有关单位领导和工程技术人员的大力协助，在此表示衷心地感谢。

1 国内外研究现状

超声及其应用是近代声学发展最迅速的新兴分支。1880年Cure兄弟就已发现压电效应；1883年英国的哥尔顿发明了超声波哨笛标志着超声波发生器问世；1917年Lgngeven研究成功超声压电换能器，利用超声波在介质中传播时的物理化学作用以及对生物生态的影响推广了它在各种工业技术中的应用。如无损探伤和测量、轻工业和轻化工业加工、医药医疗器械地质勘探、水声定向定位及海洋开发等。

超声波技术是目前世界范围内金属无损探伤领域中应用较广泛的物理探测方法和手段，特别是近几年随着电子技术和计算机技术的迅速发展，超声波也被应用于非金属材料探测中，如混凝土结构无损探测、地质勘探中的岩石破碎探测等。在国际上，澳大利亚G.YU等人研究了围压和水饱和度对煤体中超声波传播速度的影响，认为地应力对煤体弹性波速度的影响很大，试图通过测试煤体的弹性波速来预测其物理性质和岩石性质。通过一系列的研究得出了煤岩中超声速度随应力增加而增加的结论，煤体弹性波速的大小和衰减性能可以表征煤体应力变化和煤体结构的完整性。C.K.McKENZIE等人利用穿层钻孔中超声波传播速度和衰减参数评价岩体的状态，并研制开发了利用超声波速和衰减为指标的诊断系统。美国的Hon-YIMKO等人在实验室内研究了两种不同煤样的弹性特征，以期利用其预测井下巷道的应力分布和巷道围岩变形圈特征。前苏联科学院地质所在其1958年进行的煤体结构类型的划分时，把顺煤层层理及垂直煤层层理的弹性波速列入了相应的表栏内。在国内，广州市建筑科学研究所的陈如桂高级工程师开展了应用超声波技术测定混凝土参考抗压强度和检测桩基质量。并利用视声速在混凝土中进行探伤。中国矿大的孙永联从岩石试件在单轴压应力作用下的声波衰减现象出发，运用损耗介质的本构方程及粒子应力场理论，结合对含有裂隙岩石的有效刚度系数的能量分析，建立了其间关系的二次多项式，认为声波衰减系数除与单轴应力有关外，还与岩石的孔隙率、裂隙谱、弹性模量和波松比有关。

纵观国内外目前超声波技术研究及在非金属材料探测中的应用，在实验室进行样品测定研究的居多；在煤岩测定方面，测定岩石中超声波传播特性的研究较多，而对于煤体特别是构造破坏煤体的研究较少，有些研究测定粉碎成型后煤样的超声波特征。以上研究几乎没有是在矿井中进行现场测定研究的例子。

我们的研究除在室内进行了大量的原始煤样超声波测试外，根据室内测定所得到的基本结论和基本工作方法，建立利用超声波预测瓦斯突出煤体的观测系统，在煤矿井下实施了煤壁和钻孔测试，并利用计算机技术对测试结果进行处理。该超声波预测瓦斯突出煤体观测系统具有国内领先水平。能够定量地预测工作面前方未揭露部分煤体结构的分布，为以煤体结构为主的瓦斯突出预测综合技术提供可靠的依据。

2 超声波探测瓦斯突出煤体的研究基础

瓦斯地质研究成果表明地质条件对煤与瓦斯突出分区分带具有明显的控制作用。主要表现为地质构造通过对煤体结构的控制来控制瓦斯突出分带，煤体结构破坏是发生煤与瓦斯突出的必要条件。国内外开采突出煤层的实践表明，瓦斯突出只发生在煤层中的某些地带，突出危险带的面积还不到突出煤层总面积的10%。成千上万的突出事例调查中，发

现突出危险层、区皆含有构造严重破坏的软分层。国内外不少研究者都采用煤体结构破坏程度作为预测煤与瓦斯突出一个指标。煤是瓦斯的载体，也是发生煤与瓦斯突出时破碎和抛出的主要对象。国内外的科研工作者对煤的宏观和微观的破坏结构、孔隙性、吸附性、渗透性、瓦斯放散速度强度等性质进行了广泛的研究，认为瓦斯突出煤体，即含大量瓦斯的构造破坏煤，强度小，瓦斯放散速度大，在应力平衡破坏后具有快速放散瓦斯的能力，容易形成具有携带破坏煤能力的高能瓦斯流，有利于瓦斯突出的准备、发动、发生和发展，构造破坏煤的存在是煤与瓦斯突出的物质基础。

煤体结构是一种地质现象，它是煤层在构造应力作用下形变的产物。根据从事瓦斯地质研究的实践，按照煤体的破坏程度把煤体结构划分为原生结构煤、破裂煤、碎粒煤和糜棱煤4种，后3种称为构造破坏煤。通过我们多年对构造煤的研究认为煤体结构类型的不同首先表现为煤的机械物理性质和瓦斯参数的差异。机械物理性质的不同表现为弹性波速特征的不同。这就是下面叙述的超声波探测瓦斯突出煤体结构的理论的基础。

2.1 理论基础

煤与瓦斯突出是一个含气、多孔物质的力学破坏过程，构造煤是这一力学过程的物质体现。构造煤是煤的原生结构受到构造应力作用所表现出的煤体结构。煤体结构的破坏程度主要取决于煤体的物理力学性质的各向异性，也可以说煤的力学性质从本质上决定了煤体的破坏程度。

超声波是一种弹性波，弹性波在介质中的传播速度取决于介质的惯性，对于煤体来说主要取决于煤体的密度和弹性模量。根据牛顿运动和线性弹性理论，在各向同性的介质中，给一微小体积施以应力时，其体积的变化遵守波动方程：

$$\rho \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) V^2 \theta \quad (2-1)$$

式中 $\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$ ，为微小体积的变化系数；

u, v, w —分别为 x, y, z 方向上的位移分量；

$V^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ ，为拉氏算子；

ρ —介质密度；

σ —波松比；

E —弹性模量，MPa；

λ, μ —拉梅常数， $\lambda = \frac{\sigma E}{(1-\sigma)(1-2\sigma)}$ ， $\mu = \frac{E}{2(1-\sigma)}$ 。

由式 (2-1) 可得纵波在介质中的传播速度为：

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}} \quad (2-2)$$

若给一微小体积施以切变力时，其整体旋转角度也服从波动议程：

$$\rho \frac{\partial^2 \Omega}{\partial t^2} = \mu V^2 \Omega \quad (2-3)$$

因而，横波在介质中的传播速度为：