

双源震动波一体化 CT 应力场探测系统

(KJ470 矿山地震波监测系统)

中矿冲击矿压防治工程研究中心
徐州弘毅科技发展有限公司

一、产品和技术介绍

为克服传统钻孔应力类系统监测范围小、安装劳动强度高和系统损耗大的缺点，徐州弘毅及中国矿大冲击矿压团队合作研发了用于采掘区域危险程度分析的新一代应力场监测系统。已在临矿集团、济矿集团、大屯煤电公司、彬长集团、淄矿集团、龙煤集团等下属矿井进行了成功应用。

该系统是一种用于冲击地压矿井的**应力场监测系统**，采用主、被动双源震动波一体化反演技术进行应力场探测。通过在工作面两巷高密度布置传感器（每巷 15 个震动传感器、1 个电信号传感器），重点监测工作面前方 400-500 米范围，也可调整布置方式，扩大监测范围。系统采用双触发机制的独特设计方法，可以进行主、被动监测模式的切换，能够分别监测主、被动震源的震动信号，实现双源震动波信号的采集和分析，即：可控震源（主动）和自然震源（被动）。从监测区域上看，重点关注的是冲击地压传统上较容易发生的危险区域；从监测内容上看，该系统主要监测的是煤岩体中的静载和应力场。

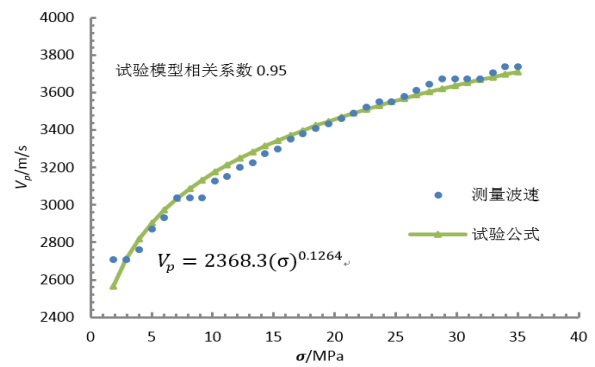
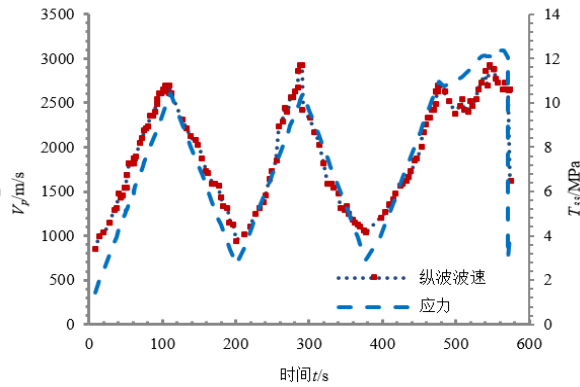
该系统是在线式实时监测设备。利用主、被动震动波 CT 反演技术，既能采用自然矿震进行日常的应力场反演分析，也能根据现场防冲需要，随时采用人工激发震源（撞击或放炮），进行主动监测模式的应力场反演分析。进而，根据应力场反演结果，做到实时、连续性的跟踪分析，确定冲击危险区域及风险等级，帮助现场采取针对性的卸压解危措施，并对卸压解危的效果进行检验。另外，也可以进行主动、被动反演效果的相互验证。

该产品不是传统的微震监测系统，也不是应力在线监测系统。在实际应用中，既可单独使用，也可结合矿方微震系统或应力在线系统使用，相互检验，从提高矿井的综合监测预警能力。

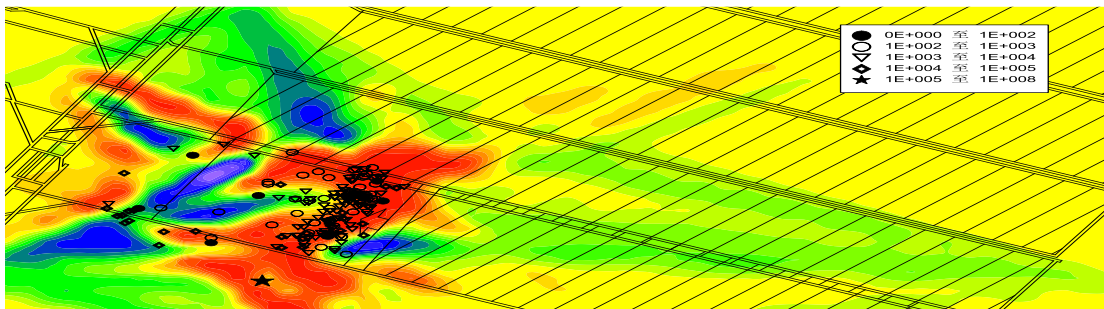


二、理论依据及实验

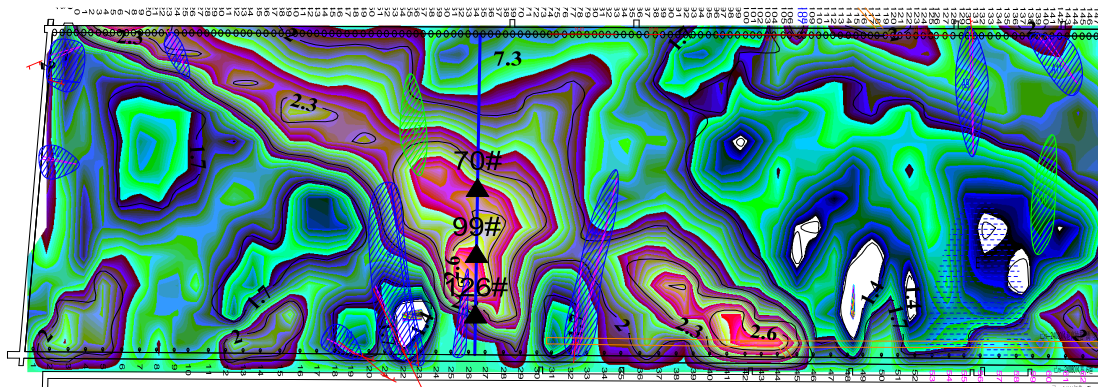
中国矿业大学冲击矿压团队通过实验室研究及现场实验充分验证了震动波波速与应力之间存在耦合（幂函数）关系，即随煤岩体内应力集中程度的增高，震动波波速也相应增加。反之，应力降低后波速也降低。基于应力条件恶化是冲击地压发生的主因，确定震动波波速是用于反映应力集中情况进而实现冲击危险预警的关键参量，可用于构建预警指标，准确预警冲击危险范围和级别。



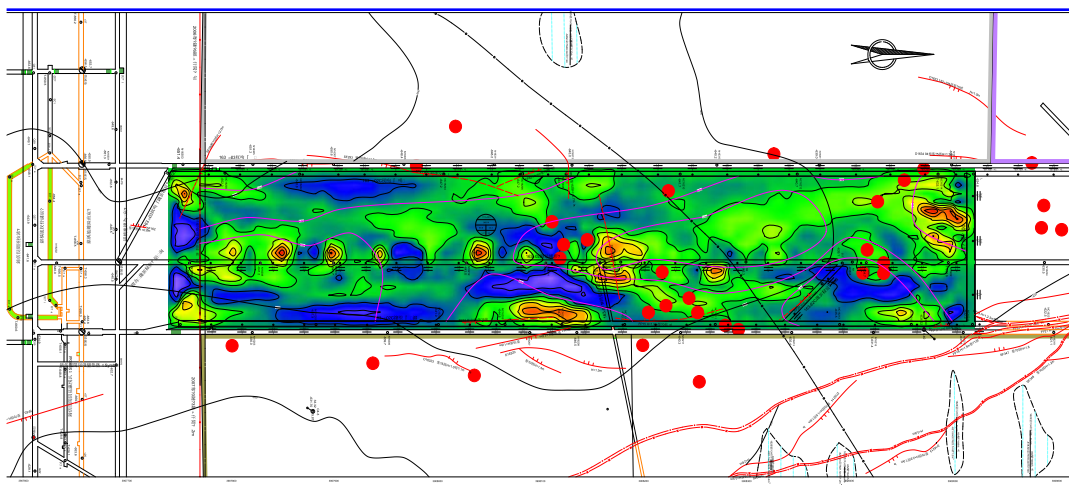
实验测试结果表明应力大小与纵波波速大小相关性很强



山东某煤矿 25110 工作面下一时段工作面推进过程中产生的矿震绝大部分都落入了利用上一时段信号基于震动波反演技术确定的高波速区内



甘肃某矿已 15#-24080 采面推进到红色高波速区后发生瓦斯超限，采面在 126#支架至 70#支架之间煤壁片帮明显，尤其是 99#支架至 71#支架之间尤为明显



究矿集团某矿 163 下 02C 工作面回采过程中的强矿震位置与震动波反演技术确定的高波速范围吻合，其中一部分落入了波速梯度变化较大的区域

三、产品工作原理

监测系统的组成如图 1，虚线内设备为井下使用。

通过拾震传感器将接收到的震动信号转换成电信号，电信号经过放大、滤波、AD 变换转换成数字信号，拾震传感器将数据进行编码，发送到监测分站。监测分站接收多路拾震传感器的数据，将数据打包形成文件，在打包文件中加入时间同步，一方面监测分站存储数据文件，另一方面监测分站将文件按照网络协议进行编码，加入分站网址后传送到地面用光端机，地面用光端机转换光信号为以太网信号传送到地面数据存储记录仪（工控机）接收、存储震动信号数据；分析计算机经过计算分析，绘制区块内应力分布。

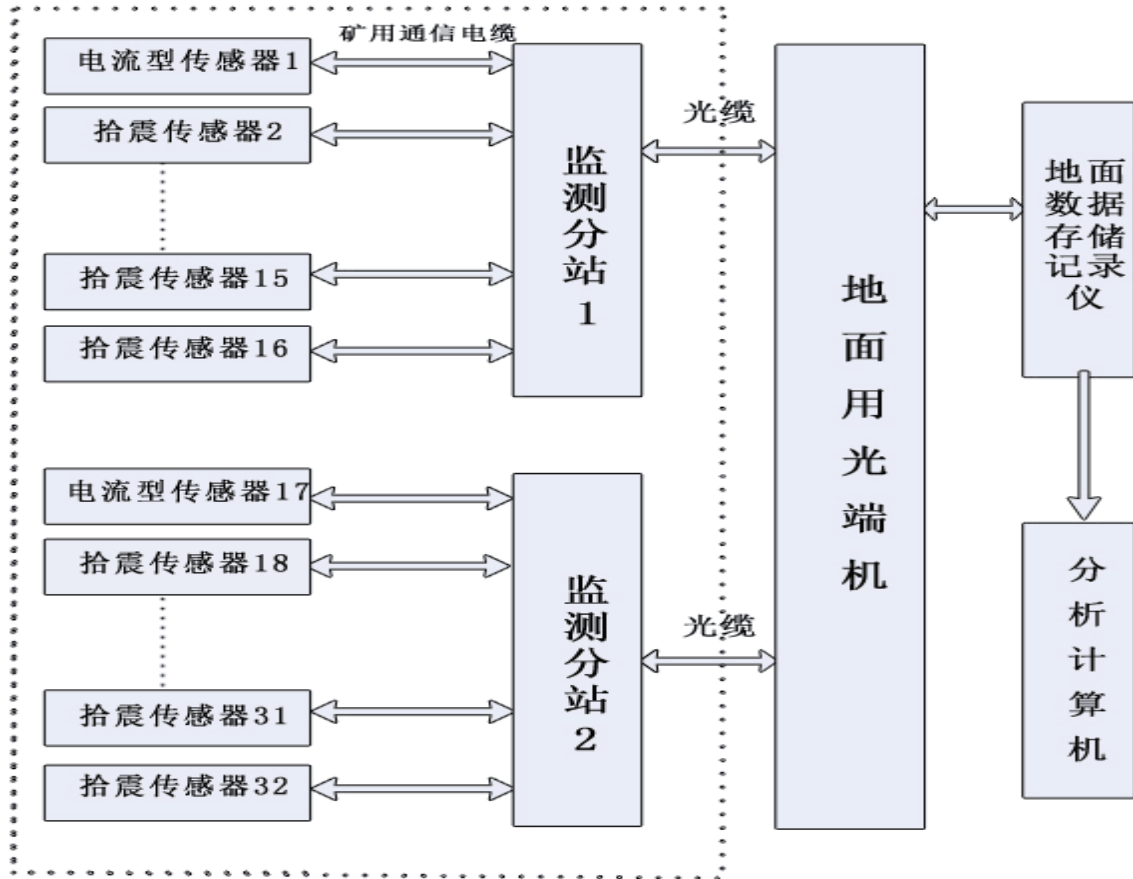
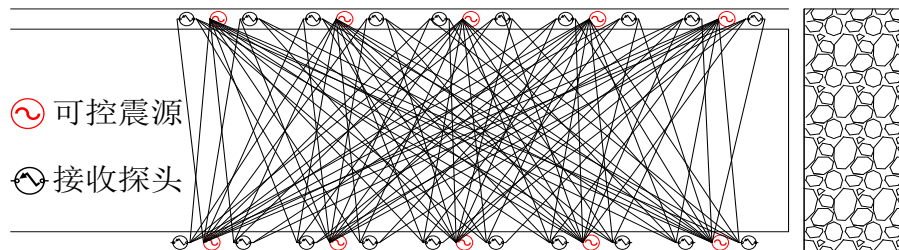


图1 KJ470 监测系统组成框图

1、主动波反演（放炮）

在地震波监测系统处于主动源触发状态时，此时系统与可控震源具有连接关系。位于两顺槽的可控震源一旦激发，将立即通知系统进行信号记录。两巷完成一次可控震源的循环后可形成对采掘工作面的高密度射线覆盖。每条射线的到时可由软件自动或人工分析。利用大量到时数据，基于震动波可控CT反演技术可划分网格模型和执行SIRT波速反演，其结果可用于预警指标计算，并快速完成工作面冲击危险预警。

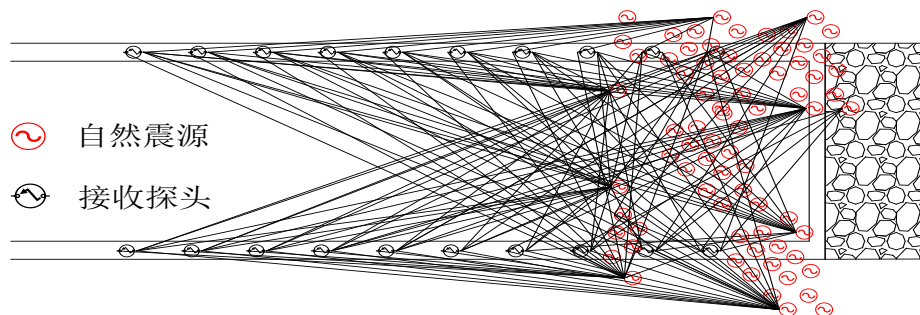


可控震源与拾震传感器形成的对工作面区域的射线覆盖

2、被动波反演（矿震）

在地震波监测系统处于被动源触发状态时，将实时扫描由拾震传感器感知的环境信号，若其中包

含矿震信号，则记录后进行自动或人工 P 波到时的标记分析和定位计算。定位后的足量自然震源与选用的接收探头间可形成大量射线覆盖。利用每条射线上的到时信号，基于震动波被动 CT 反演技术可划分网格模型和执行 SIRT 波速反演，其结果可用于预警指标计算，并最终完成一段周期内的工作面冲击危险预警。



自然震源即矿震与拾震传感器形成的对工作面区域的射线覆盖

四、功能特点介绍

1、系统具备主、被动双源震动波一体化反演预警技术功能。通过不同触发机制的切换，系统可以分别监测主动、被动震源的震动信号，基于主被动震动波反演技术和预警指标体系，大范围、高效率反演采掘范围的波速分布，获取采掘工作面周围区域的波速和应力分布特征，高分辨率确定采掘工作区域内的应力场，划分冲击危险区域。

2、系统能够监测工作面前方不少于 400 米区域。在监测区域两巷内布置传感器，每巷不少于 15 个震动传感器，传感器间距不大于 30 米；同时，结合实际采掘需要，也可通过调整分站及传感器布置方式，在保证监测精度的情况下，监测范围可达到 800~1000 米，局部范围内具有高度的灵活性。

3、系统标准配置两台分站，每台分站能够接入 15 个震动传感器和 1 个电信号传感器；根据现场防冲监测需要，若矿方需要增加分站和更多传感器时，本系统支持扩展到多分站，具有高度扩展性。

4、系统能够主动、被动两种触发机制互相切换，能够高保真及多通道采集放炮、机械撞击信号和采掘扰动产生的震动信号；

5、系统无需向巷道底板打钻安装传感器，可直接利用巷道两帮的锚杆安装拾震传感器，省工、省时、便捷。

6、系统分站实现模数转换后可直接接入井下光纤环网，实现了井下长距离传输下信号的高保真技术要求。

7、具备在线式实时监测的特点；

8、可实时显示地震波波形；


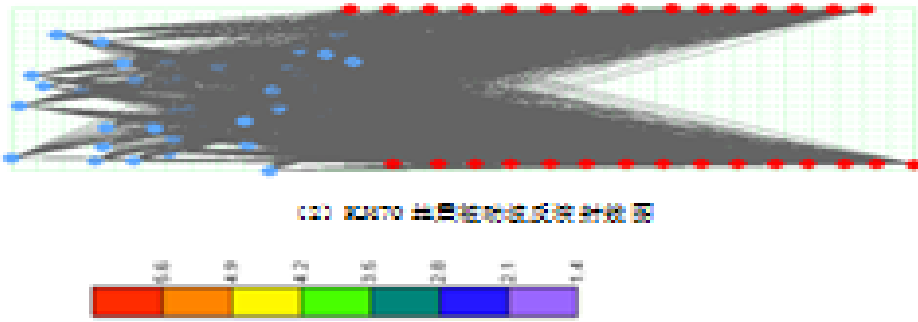

9、该系统可通过云图大范围、高精度显示波速分布梯度变化区域；

10、该系统采用公司研发的主动、被动震动波反演技术可大范围、高分辨率、高效率获取采掘工作面周围区域的应力分布特征。区别于离散局部式的点监测。

11、根据矿方冲击地压防治需要，既可以通过当天数据每天进行应力场反演，实现随采掘进展的日常连续监测；也可以根据现场实际需要，调整为每 3 天或 5 天进行应力场反演探测。相较于基于微震监测系统的 CT 反演（通常需要 15 天或者一个月的数据），更具实时性，更灵活。

12、系统基于震动波速构建的冲击危险预警指标，可准确预警反演区域内的冲击危险级别和分布范围，便于进一步指导防冲管理。

13、系统具有监防互馈的特点，既能根据应力场反演的结果指导防治，又能通过连续反演持续性检验防治效果。

矿 250202 ^上 工作面 KJ470 地震被动波监测反演日报表。					
反演震动次数	76 次	反演时间	2019 年 01 月 15 日 (00:00—24:00)		
 <p>(1) 250202^上工作面反演震害分布图</p>					
 <p>(2) KJ470 地震波监测反演计算图</p>					
 <p>(3) KJ470 地震波监测反演结果图</p>					
<p>技术分析及 处理意见</p>	<p>2019 年 01 月 15 日 (00:00 至 24:00) 250202^上工作面反演震害 2.0m，根据 KJ470 地震波监测反演结果分析，区域应力形成二个明显的应力高值区，分别是，工作面顺槽顺槽顺槽 120m 左右高应力区，经过 250202^上运输顺槽应力集中以及超前工作面 20m 应力集中其他区域应力集中。</p> <p>建议采取相应措施，微震监测系统的数据分析，对应应力集中区进行排查，确认是否已有应力集中，严格控制危险工种的作业人数，在确保安全的前提下对危险区域采取措施（大量控制顶板，支护等）。</p>				
编制		审核		签字	
副编		主管审核		日期	