

波导器声发射信号传播衰减理论及规律

邹银辉, 董国伟, 李建功, 吕贵春

(煤炭科学研究总院 重庆研究院, 重庆 400037)

摘要: 根据波动动力学的相关理论, 建立了一维波导器的弹性力学模型, 得出了声发射波源信号与波导器接受端信号之间的关系. 在此理论模型的基础上, 设计了数值模拟及实验室方案, 采用标准激励源法, 考察了不同尺寸波导器中声发射响应情况, 在此基础上统计分析得出了波导器尺寸、波导器与煤岩块接触程度及波导器弯曲程度对声发射信号的事件数、事件的影响. 数值模拟结果与实验室结果相吻合, 同时验证了理论模型的合理性.

关键词: 波导器; 声发射; 弹性; 力学模型; 幅值

中图分类号: TD713.2; O422 **文献标识码:** A

Acoustic emission (AE) propagation attenuation theory and rule in wave guide

ZOU Yin-hui, DONG Guo-wei, LI Jian-gong, LÜ Gui-chun

(Chongqing Branch, China Coal Research Institute, Chongqing 400037, China)

Abstract: Based on correlative theory of wave dynamics, one dimension wave guide theory mechanical model was set up and the relations of displacement and speed and acceleration between AE signal source and AE signal receiving terminal were presented. Based on the theoretic model, numerical simulation and lab program were designed. When wave guide was knocked by use of the excited standard signal and wave guide dimensions are changed, the effects of wave guide size, wave guide and mine rock contact degree and wave guide bending degree on AE signal event rate and event were obtained. Numerical simulation and lab study results validate rationality of theory model.

Key words: wave guide; acoustic emission (AE); elasticity; mechanical model; amplitude

通过近 20 a 的研究, 声发射预警技术在煤岩动力灾害预报方面取得了大量的成果, 某些领域已取得了成功应用, 但声发射传播规律的理论研究总体上相对滞后. 前人研究重点是预警工艺和仪器设备, 实验室研究方面主要进行了煤岩单轴受载条件下声发射特征等基础研究, 没有系统研究声发射波在各类波导器中传播特性等. 波导器的设计与安装等主要凭经验进行, 这直接影响了传感器的安装工艺及效果, 影响了声发射信号数据反演分析的可靠性, 造成声发射技术预测煤岩动力灾害失灵现象时有发生, 所以煤岩动力灾害声发射预警技术还未能完全形成实用的技术体系, 延迟了声发射预测技术的完全实用化. 本文基于波动动力学的相关理论, 建立了一维波导器的弹性理论模型, 得出了声发射信号位移、速度及加速度随传播距离的变化情况^[1-6], 并基于此力学模型, 进行了实验室及数值模拟研究.

1 一维弹性波导器声发射传播理论基础

根据现场声发射系统中波导器安装情况及其声发射信号波长情况, 采取相关假设, 将其简化为一维波导器力学模型, 如图 1 所示. 图中, A_1 , E_1 , ρ_1 , c_{01} ; A_2 , E_2 , ρ_2 , c_{02} 分别为交界面两边材料的截面积、

收稿日期: 2007-07-30 责任编辑: 毕永华

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (50534080/E041503); 国家重点基础研究发展计划 (973) 基金资助项目 (2005CB221505); 河南省煤矿瓦斯与火灾防治重点实验室资助项目 (HKLGF200508)

作者简介: 邹银辉 (1971—), 男, 四川岳池人, 高级工程师. Tel: 023-65239350, E-mail: mkyzyh@163.com

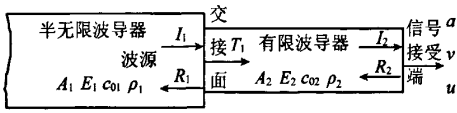


图 1 一维弹性波导管力学模型

Fig 1 One dimension elastic wave guide mechanical model

式中， u, v, a 分别为声发射波导管接受端信号位移、速度及加速度； u_1, v_1, a_1 分别为波导管波源端声发射信号位移、速度及加速度； λ_{T1} 为两波导管。

式 (1) 即为有限波导管自由端第 1 次接受到的应力波位移、速度及加速度。通过一维弹性波导管力学模型，得出了声发射信号接受端与波源信号位移、速度及加速度的关系。

弹性模量、密度及其应力波速度； I, R, T 分别为入射波、反射波及透射波。其声发射源与波导管接受端声发射信号关系为

$$u = 2\lambda_{T1}u_1, v = \partial u/\partial t = 2\lambda_{T1}v_1, a = \partial^2 u/\partial t^2 = 2\lambda_{T1}a_1, \quad (1)$$

2 波导管声发射传播规律的数值模拟

2.1 数值模型及力学参数

利用大型动力学有限元软件 ANSYS/LS - DYNA 模拟加速度正弦波源所产生的声发射信号在波导管中的传播规律。加速度正弦波源如图 2 所示，模型如图 3 所示^[6]。波导管一端固定在离岩块左边界 25 cm 处，另一端自由。采用线弹性模型，所取材料参数：煤岩块的弹性模量 E 、泊松比、密度分别为 10 GPa, 0.25, 2 500 kg/m³，波导管对应的参数分别为 200 GPa, 0.20, 7 800 kg/m³。为了说明声发射信号在波导管中传播受波导管的直径和长度的影响，模拟采用以下 2 种方案。

方案 1：当波导管的长度 $L=0.3$ m 时，改变波导管直径 D (5, 10, 20, 40 mm) 的情况下，记录波导管上各点的加速度幅值。方案 2：当波导管的直径 $D=5$ mm 时，改变波导管长度 L (0.5, 1.0, 3.0, 5.0 m) 的情况下，记录波导管上各点的加速度幅值。

2.2 方案 1 结果分析

当波导管长度 L 保持 0.3 m 不变时，改变波导管的直径 (5, 10, 20, 40 mm) 的情况下，取如图 3 所示的沿波导管轴向上的 A, B, C, D 和波导管的自由端 E 五个点处的加速度时程曲线。上述 5 点处的加速度幅值绝对值的最大值变化如图 4 所示。由图 4 可以看出，在波导管的长度保持不变的情况下，波导管的直径越小，波导管上固定端 A 点加速度幅值绝对值的最大值越大，应力波从煤岩块界面 C 点开始，随着波导管的直径变化，加速度幅值绝对值的最大值变化幅度很小，相对趋于平稳。数值模拟分析结果认为，波导管直径在 5 ~ 40 mm 变化时，对声发射信号传播影响不大。

2.3 方案 2 结果分析

当波导管的直径 D 保持 5 mm 不变时，改变波导管长度 L (0.5, 1.0, 3.0, 5.0 m) 的情况下，取如图 3 所示波导管各点处的加速度时程曲线。上述各点处的

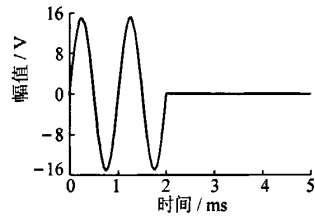


图 2 正弦波源

Fig. 2 Sine-wave source

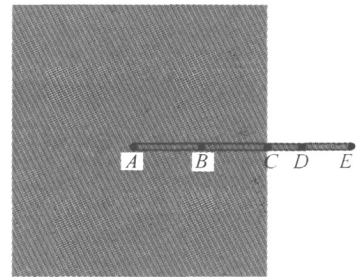


图 3 数值模拟模型

Fig. 3 Numerical simulation model

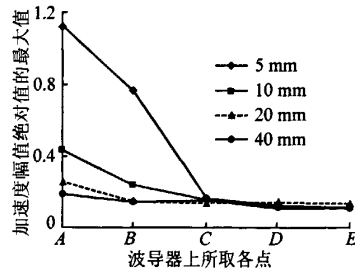


图 4 不同直径选取点的加速度幅值绝对值的最大值

Fig. 4 Different diameter wave guide acceleration maximal absolute valve of choice point

加速度幅值绝对值的最大值变化如图 5 所示。

由图 5 可以看出，在波导管直径保持不变的情况下，波导管长度越小，固定端 A 点的速度幅值绝对值的最大值越大；无论波导管的长度多大，从固定端 A 到自由端，相应的加速度幅值绝对值的最大值快速减小，这可用一维波导管力学模型解释，由于煤岩块与波导管界面的透反射系数造成了波源声发射信号达到接受端时发生了衰减；波导管长度大于 1 m 后，相应的加速度幅值绝对值的最大值变化较平缓；长度大于 1 m 的波导管加速度幅值绝对值的最大值整体上呈指数衰减；因此，设计波导管时应尽量使波导管长度大于 1 m 以上，以保证接收数据的相对稳定。

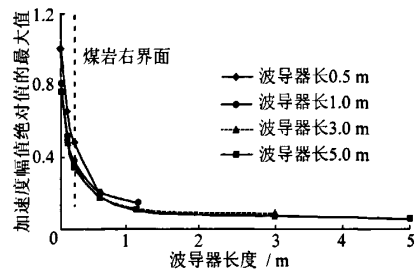


图 5 不同长度各点的加速度幅值绝对值的最大值
Fig. 5 Different length wave guide acceleration maximal absolute value of choice point

3 波导管声发射传播规律的实验室研究

根据对声发射传播规律的认识，设计了在实验室条件下，利用 DEWE3010 虚拟仪器系统，采用标准激振源法激发煤岩块，考察不同尺寸的波导管对声发射传播规律的影响。

3.1 试验方案及参数

方案如图 6 所示。实验室方案及模型参数与数值模型相同。

3.2 试验结果及分析

声发射信号事件分为微事件、小事件、中事件及大事件，分别用 I，II，III 及 IV 表示，每个事件又分为 2 级，即 I1，I2，II1，II2，III1，III2，IV1，IV2。

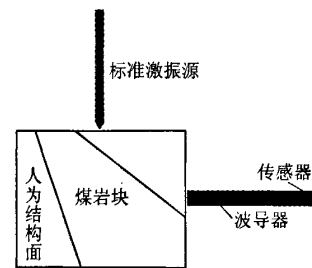


图 6 波导管中声发射传播规律方案
Fig. 6 Wave guide propagation rule research sketch map

3.2.1 事件数随波导管长度的变化

图 7 中，波导管与煤岩块接触良好时，波导管长度从 0.1 到 1.0 m 变化时事件数变化不大，从 1.0 到 5.0 m 变化时事件数略有增加。由于波导管长度的增加，造成声发射波形被拉长，统计出声发射信号的事件数从 0.1 到 1.0 m 时变化不大，且从 1.0 m 之后呈现略微增加的规律，这与上面的数值模拟一致。

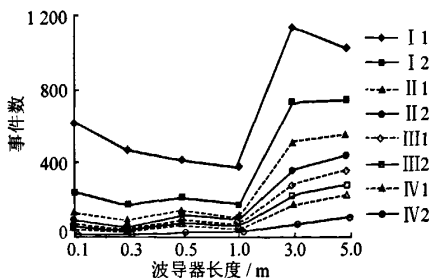


图 7 声发射事件数随波导管长度的变化
Fig. 7 AE signal event rate of different length wave guide

3.2.2 事件数随波导管直径的变化

由图 8 可知，声发射事件数随波导管直径的增大，除微事件以外，其余都基本变化不大。结合图 4 可以看出，不同直径下波导管自由端，即 E 点的加速度幅值绝对值的最大值变化不大，结合声发射信号加速度幅值与统计事件数的关系可知数值模拟与实验室研究结果一致。

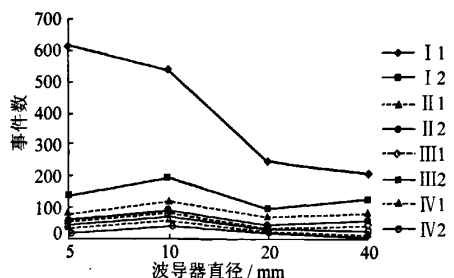


图 8 声发射事件数随波导管直径的变化
Fig. 8 AE signal event rate of different diameter wave guide

3.2.3 波导管与煤岩块接触程度对声发射事件的影响

由图9可以看出,波导管与煤岩块的接触程度对微事件影响较大,对小、中、大事件影响较小,同时由于大事件数较小,实际应用小、中事件统计信号。

3.2.4 波导管弯曲程度对声发射事件的影响

由图10可以看出,波导管弯曲程度对微事件影响较大,对小、中、大事件影响较小,同时由于大事件数较小,实际应用小、中事件统计信号。

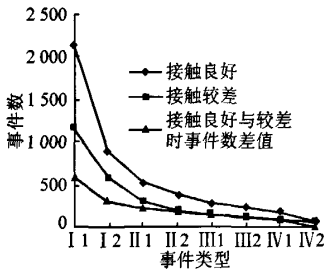


图9 波导管与煤岩块接触程度对声发射事件的影响

Fig.9 Effect of wave guide and mine rock contact degree on AE signal event

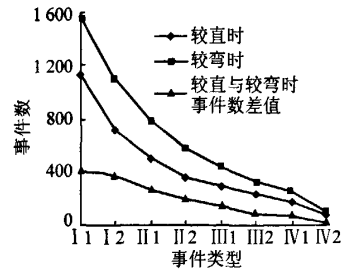


图10 波导管弯曲接触程度对声发射事件的影响

Fig.10 Effect of wave guide bending degree on AE signal event

4 结 论

(1) 基于波动动力学的相关理论建立了一维波导管的弹性理论模型,并给出了相关假设。

(2) 通过波源与波导管接受端声发射信号的位移、速度及加速度的关系,对声发射系统中波导管声发射信号的传播规律进行了初步探讨。

(3) 由数值模拟和实验室研究可知:波导管直径在5~40 mm时波导管接受端的加速度幅值及事件数相差不大,对声发射传播影响不大。

(4) 由数值模拟和实验室研究可知:设计波导管时应尽量使波导管长度大于1 m,实际应用中应长于煤岩破碎区范围,以保证数据接收的相对稳定。

(5) 波导管与煤岩块的接触程度及波导管弯曲程度对微事件影响较大,对小、中、大事件影响较小,同时由于大事件数较小,实际应用小、中事件统计信号。

参考文献:

- [1] 邹银辉. AE声发射监测煤与瓦斯突出技术 [R]. 重庆:煤炭科学研究总院重庆研究院, 2003.
Zou Yin-hui. The technique of acoustic emission forecasting coal and gas burst [R]. Chongqing: Chongqing Branch of China Coal Research Institute, 2003.
- [2] 袁振明, 马羽宽. 声发射技术及其应用 [M]. 北京:机械工业出版社, 1985.
Yuan Zhen-ming, Ma Yu-kuan. The technique and application of acoustic emission [M]. Beijing: Machine Industry Publishing Company, 1985.
- [3] 腾山邦久. 声发射(AE)技术的应用 [M]. 冯夏庭, 译. 北京:冶金工业出版社, 1996. 52~54.
- [4] 杨桂通. 弹性动力学 [M]. 北京:中国铁道出版社, 1995.
Yang Gui-tong. Elastodynamics [M]. Beijing: China Railway Publishing Company, 1995.
- [5] 阿肯巴赫. 弹性固体中波的传播 [M]. 冯夏庭, 译. 上海:同济大学出版社, 1992.
- [6] 蒋仕良. 波导管对声发射信号的影响 [J]. 无损检测, 2006, 26(1): 51~52.
Jiang Shi-liang. The effect of wave guide on acoustic emission signal [J]. Nondestructive Examination, 2006, 26(1): 51~52.

波导管声发射信号传播衰减理论及规律

作者: [邹银辉](#), [董国伟](#), [李建功](#), [吕贵春](#), [ZOU Yin-hui](#), [DONG Guo-wei](#), [LI Jian-gong](#),
[LU Gui-chun](#)
作者单位: [煤炭科学研究总院, 重庆研究院, 重庆, 400037](#)
刊名: [煤炭学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF CHINA COAL SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2008, 33(6)
引用次数: 1次

参考文献(6条)

1. [邹银辉](#) [AE声发射监测煤与瓦斯突出技术](#) 2003
2. [袁振明](#), [马羽宽](#) [声发射技术及其应用](#) 1985
3. [腾山邦久](#), [冯夏庭](#) [声发射\(AE\)技术的应用](#) 1996
4. [杨桂通](#) [弹性动力学](#) 1995
5. [阿肯巴赫](#), [冯夏庭](#) [弹性固体中波的传播](#) 1992
6. [蒋仕良](#) [波导管对声发射信号的影响](#)[期刊论文]-[无损检测](#) 2006(01)

相似文献(3条)

1. 期刊论文 [邹银辉](#), [董国伟](#), [张庆华](#), [吕贵春](#) [波导管中声发射信号传播规律研究](#) -[矿业安全与环保](#)2007, 34(6)
声发射信号在波导管中的传播规律是声发射预测煤岩动力灾害技术的一个重要因素,根据声发射传播的相关理论,采用标准激震源法,考察了不同尺寸波导管中声发射响应情况,采用DEWE3010虚拟仪器系统分析了声发射信号时域波谱及频域谱变化规律等,在此基础上统计分析了波导管尺寸、波导管与煤岩块接触程度,以及波导管弯曲程度对声发射信号的事件数、事件及振幅变化率的影响,试验结果可为声发射预测煤岩动力灾害提供技术指导.
2. 期刊论文 [李建功](#), [邹银辉](#), [刘红](#), [董国伟](#), [LI Jian-gong](#), [ZOU Yin-hui](#), [LIU Hong](#), [DONG Guo-wei](#) [AE声发射在波导管中传播规律的数值模拟](#) -[地下空间与工程学报](#)2008, 4(6)
利用大型动力学有限元软件ANSYS/LS-DYNA对AE声发射在波导管中的传播进行了数值模拟,采用了两种不同的模拟方案,得出了声发射应力波在波导管中传播时受波导管的直径以及长度的影响显现出衰减规律.分析结果表明,波导管直径在5mm~40mm范围内对声发射传播影响不大,直径在20mm左右时加速度幅值较佳.设计波导管时应尽量使波导管长度大于1m以上,以保证接收数据的相对稳定.所得结论对现场试验和进行相关的实验室实验中波导管传感器直径、长度的选择以及安装都具有一定的指导意义.
3. 期刊论文 [邹银辉](#), [董国伟](#), [张庆华](#), [程国强](#), [吕贵春](#), [杨慧明](#), [ZOU Yin-hui](#), [DONG Guo-wei](#), [ZHANG Qing-hua](#), [CHENG Guo-qiang](#), [L\(U\) Gui-chun](#), [YANG Hui-ming](#) [声发射系统中的一维黏弹性波导管理论模型](#) -[煤炭学报](#)2007, 32(8)
根据波动动力学的相关理论,建立了一维波导管的黏弹性力学模型,给出了模型的基本假设,运用黏弹性理论推导了模型中声发射简谐应力波在界面的应力及位移的透反射系数公式,得出了声发射简谐应力波在波导管中的位移、速度及加速度随传播距离变化的公式,通过公式可知波导管接收端声发射信号位移、速度及加速度与波源声发射信号相关参数的关系,从而初步得知波导管中声发射信号的传播规律.

引证文献(1条)

1. [ZOU Yin-hui](#) [The study of acoustic emission \(AE\) forecasting coal and rock disaster technique](#)[期刊论文]-[煤炭学报\(英文版\)](#) 2009(2)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_mtxb200806011.aspx

下载时间: 2010年5月31日