

# FFT 频谱分析在微震信号识别中的应用

江文武<sup>1</sup>, 杨作林<sup>2</sup>, 谢建敏<sup>2</sup>, 李家福<sup>3</sup>

1. 江西理工大学江西省矿业工程重点实验室, 赣州 341000
2. 江西理工大学资源与环境工程学院, 赣州 341000
3. 上海鹏旭信息科技有限公司, 上海 200000

**摘要** 为识别采场大爆破信号与岩石破裂大震级微震信号, 运用 MATLAB 的快速傅里叶变换(FFT)频谱分析, 对采场大爆破信号和大震级微震信号的功率谱和幅频特性进行分析, 并对比两者能量在频带上的分布差异。研究表明, 大震级微震信号频带分布较宽, 且在 30 ~ 50 Hz 达到了最大幅值, 采场大爆破信号频带更窄、幅值更大、且一般在 10 Hz 就能达到最大幅值。由于爆破释放的能量较大且释放的非常快, 采场大爆破信号能量大多分布在 0 ~ 30 Hz 的低频区域, 大震级微震信号的能量大多分布于 30 ~ 50 Hz 区域。利用信号特性实现对两种信号快速有效的辨识, 为后期微震监测对地压风险区域的预测预报提供了准确的数据支撑。

**关键词** 微震监测信号; FFT; 频谱分析

**中图分类号** TD326

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.02.013

## Application of FFT spectrum analysis to identify microseismic signals

JIANG Wenwu<sup>1</sup>, YANG Zuolin<sup>2</sup>, XIE Jianmin<sup>2</sup>, LI Jiafu<sup>3</sup>

1. Mining Engineering Key Laboratory of Jiangxi Province, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China
2. School of Resources and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China
3. Shanghai Pengxu Information Technology Co., Ltd., Shanghai 200000, China

**Abstract** To identify large scale stopping blasting and large magnitude micro-seismic signals, the FFT spectral analysis method is used. The analysis of the stopping blasting and macro-scale rock fracture signals is made through power spectrum and magnitude-frequency characteristics. The distribution difference of the energy on the frequency band can be revealed. It is shown that in the frequency band distribution of the large magnitude micro-seismic signal, the amplitude value takes the maximum at about 10 Hz and 30~50 Hz. The large scale stopping blasting is in a narrow frequency band. Its amplitude value is higher than the normal signal. It reaches the top amplitude at 10 Hz. From the energy distribution, the energy distribution of the blasting signal mostly in the 0-30 Hz low frequency area. It is because the blasting is always accompanied with an enormous energy, which is released very fast. The micro-seismic energy is distributed mostly in the range of 30-50 Hz. So for the two kinds of signal identifications, two kinds of signal spectrum characteristics may be used.

**Keywords** microseismic monitoring; FFT; spectrum analysis

随着矿山开采向地下深部发展, 矿山面临着越来越多的地压问题, 如岩爆、冲击地压等, 微震监测技术凭借其独特的

优点与功能成为目前最先进的矿山地压监测技术<sup>[1]</sup>。微震监测技术是用于监测岩体在变形和破坏过程中微裂隙产生、扩

收稿日期: 2014-06-10; 修回日期: 2014-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(51004007, 51064009); 江西省高等教育教改研究课题(JXJG-12-81-1)

作者简介: 江文武, 副教授, 研究方向为岩土工程稳定性及采空区地压监控技术, 电子邮箱: wenwujiang@163.com; 杨作林(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为岩土工程及采空区地压监控技术, 电子邮箱: 330292150@qq.com

引用格式: 江文武, 杨作林, 谢建敏, 等. FFT 频谱分析在微震信号识别中的应用[J]. 科技导报, 2015, 33(2): 86-90.

展所发出的应力波来进行监测岩体稳定性的技术<sup>[2,3]</sup>。中国学者对于信号的识别和拾取先后开展了研究,陆菜平等<sup>[4]</sup>采用时-频分析技术分析两种典型微震信号的功率谱和幅频特性,从谱特性进行微震信号的辨识。曹安业等<sup>[5]</sup>通过研究认为高应力区冲击矿压信号波形具有振幅大、衰减快、尾波较发育、频带分布较窄等重要特征。曹华锋<sup>[6]</sup>总结了矿山作业环境中各种震源,提出了对各种震源经验和理论辨识方法。在现场监测的基础上,对地下矿山爆破、机械作业设备、人员作业、岩体破裂等产生的震源信号进行了波形分析、辨识,给出了各种震源波形的基本特点。唐礼忠等<sup>[7]</sup>对井下爆破波形与地震波形的信号进行了快速傅里叶变换,求得了各自的频谱特征。微震监测信号是大量无序信号与有效微震信号混合,特别是采场单段大爆破信号,常常与大震级微震信号的波形非常相似,常规信号的识别方法就是通过监测设备对干扰信号进行初步的过滤处理,然后由专门的微震数据处理人员对照各种类型的信号波形加以人工识别。根据实际经验来看,在人工处理微震信号时,采场单段大爆破的信号波形常与大震级微震信号波形很相似,单从波形上很难正确分辨出这两种信号,错误识别会对地压活动的预测预报造成较大干扰。如不能很好识别这种信号,会对后续数据处理与地压活动的预测预报造成比较大影响,因此辨别出真正微震信号对地压活动预测预报的准确性起着至关重要的作用。本文以某矿微震监测系统为背景,研究两种信号的幅谱特性并找出两者的差别,建立一套适用于这两种信号识别和分析

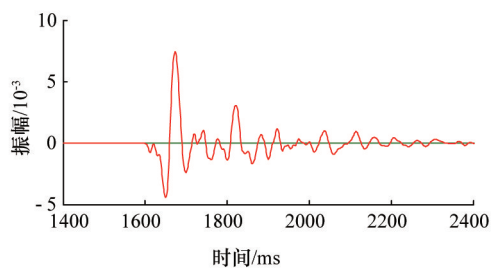
的方法。

## 1 两种信号的波形特点

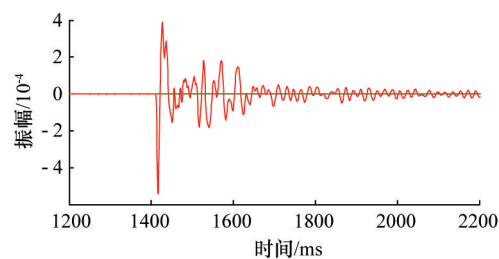
矿山井下生产产生的震源非常多,包括微裂隙扩展发育产生的正常微震信号、爆破信号、机械震动信号、凿岩信号和电干扰信号等。大震级微震信号波形与采场大爆破信号波形很相似。

微震信号一般包括P波和S波,这两种波形因为波速不同到达的时间也不同。岩体在破坏过程中主要受到剪切破坏和拉伸破坏,两种破坏形式产生的波型不一,受拉伸破坏的岩体只产生P波,而剪切破坏的岩体将同时产生P波和S波。剪切破坏产生的波形在传感器中不一定都能接收到。由于S波不能穿透空气和水,当碰到空区等不连续接触面时,S波衰减很快,所以有些传感器接收到这个信号只能辨别出P波<sup>[8]</sup>。图1(a)是仅能辨别纵波的微震事件波形图。

爆破产生的波形中一般只有压缩波,容易与岩体破裂的微震事件的P波波形相互混淆。单段大爆破产生的信号通过传感器只接收到一种压缩波,但并不认为只有压缩波的震源都是爆破震源。爆破波形通过地质状况较好的岩体一般仍只有压缩波,图1(b)是只能辨别S波的波形图。当传感器接收到这种波形后,很容易与仅能辨别出P波微震波形相互混淆,并不能简单从波形上分辨出两者的差别,这导致将大爆破事件判断为微震事件,对后续的数据处理与地压活动的预测预报造成较大的影响。



(a) 大震级微震事件波形



(b) 采场大爆破事件波形

图1 两种信号波形对比

Fig. 1 Comparison of two kinds of signal waveforms

## 2 FFT 频谱分析原理

微震信号的识别和分析:1) 通过大量收集和整理不同的波形信号特征,总结一套经验识别较容易识别的信号;2) 小波包分析对信号进行分解与重构,提取出相应的信号特征;3) 基于HHT的模态分解STA/LAT的信号自动去噪法;4) 采用快速傅里叶变换(FFT)频谱分析技术把信号从时域转换到频域上,从而找出不同微震信号的频谱特征<sup>[9-11]</sup>。

FFT是离散傅里叶变换(DFT)的快速算法,可以将信号从时域变换到频率域,使变换后信号更有特征,能更简单地

分辨出来。微震信号是一个模拟信号,将其进行傅里叶变换便可得到所需的振幅谱和功率谱。微震信号是以时间 $t$ 为变量的函数 $f(t)$ ,通过FFT变换为以频率 $f$ 为变量的函数 $R(f)$ ,即将原来的函数分解为一系列振幅不同的频率变化的正弦函数,得出频域内幅值随频率变化的函数 $R(f)$ 。但进行分析时应注意选取合适的运算点数和合适的窗口函数,以减少高频分量造成的频谱混叠<sup>[12]</sup>。

$$R(f) = \int_0^T f(t)e^{-2\pi i f t} dt \quad (1)$$

式中, $T$ 为频率范围, $t$ 为 $f(t)$ 在时域内延续的时间, $e^{-2\pi i f t}$ 为一

个正弦波。

对于这种持续时间有限的功率信号,一般用功率谱密度来描述,信号功率谱密度反映的是功率谱随频率变化,对于研究信号的功率谱分布有着重要意义<sup>[10]</sup>。 $f(t)$ 的平均功率为

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt$$

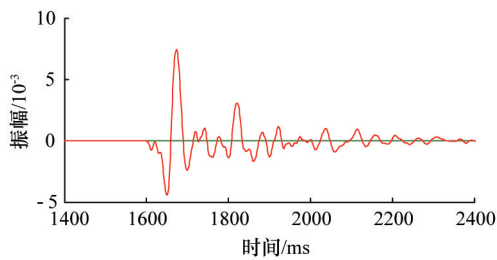
当  $T \rightarrow \infty$  时,  $P$  趋势近于一极限,则在单位时间内的功率谱密度  $P(f)$  为

$$P(f) = R(f)^2 / T \quad (2)$$

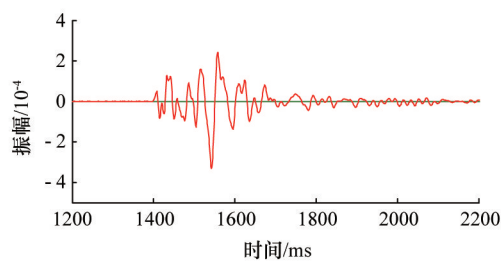
### 3 两种不同信号波形的频谱分析

#### 3.1 大震级微震信号频谱分析

微震事件积累的弹性能瞬间释放,信号波形振幅较大,图2为-0.4及-0.5级微震事件的传感器接收到的波形图。图2(a)中,微震信号波形的震源为只受拉伸破坏的震源,只能辨别出P波,产生了一个振幅很大的波形,并很快衰减。而图2(b)是典型微震信号波形图,P波和S波都接收到,可以很好地辨别。



(a) -0.4级事件波形



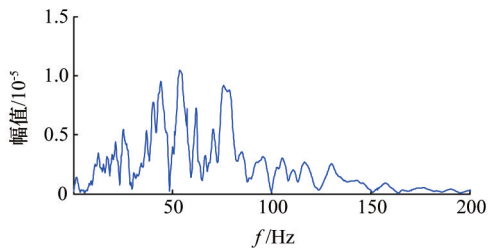
(b) -0.5级事件波形

图2 -0.4及-0.5级事件波形

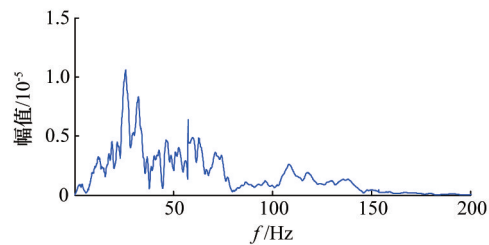
Fig. 2 -0.4 and -0.5 magnitude event waveform

通过FFT方法对几个大震级微震信号的波形图进行处理。从图3看出,几个事件的频带分布较宽(0~120 Hz),且在30~50 Hz达到了最大幅值,最大幅值的量级一般为-6级,说

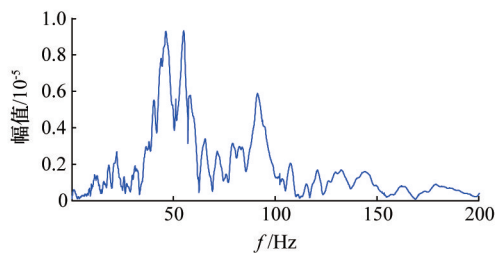
明微震波形的能级较低,且能量主要分布范围为30~50 Hz之间。从功率谱密度-频率的关系曲线可以看出,功率谱密度曲线的变化规律与幅频曲线的变化规律是一致的。



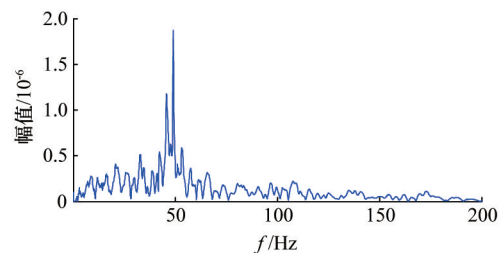
(a) -0.5级微震事件



(b) -0.4级微震事件



(c) -0.6级微震事件



(d) -0.7级微震事件

图3 大震级微震事件频谱分析

Fig. 3 Spectrum analysis of large magnitude microseismic event

### 3.2 单段大爆破信号频谱分析

图4(a)是发生在2013年7月2日的一个爆破压缩波波形,图4(b)是发生在2013年11月3日的一个爆破压缩波波形,这种波形与只能辨别出P波波形的微震信号非常相似,振幅较大,尾波不甚发育,衰减较快。这2个事件经过处理后为正常微震事件,从简单的波形图上看,与微震事件波形十分相似,且震级都在0级以上,释放出的能量较大,对后期矿区的地压风险预测预报造成了较大的影响。

利用FFT分析法对这种波形进行分析。从图5中可以看出,频带分布较窄,范围在0~40 Hz,且幅频值较大,一般在10 Hz达到最大幅值,且只出现在一次峰值(明显有别于微震信号的频谱特征)。最大幅值量级一般为-4级,这种信号释放的能量明显比大震级微震事件高,且能量大多分布于0~30 Hz的低频区域。这也说明爆破信号的能量主要分布在5~15 Hz上,而微震大震级事件的能量分布主要是在30~60 Hz,两者能量分布的频率范围也有较大的差异。

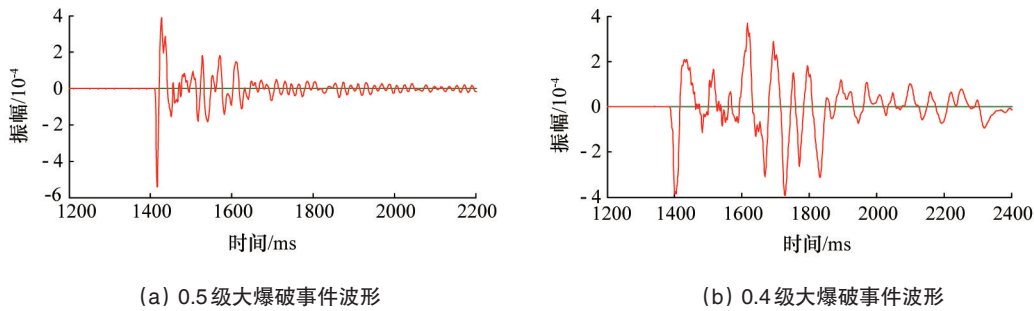


图4 两个大爆破事件波形

Fig. 4 Two large scale blasting event waveforms

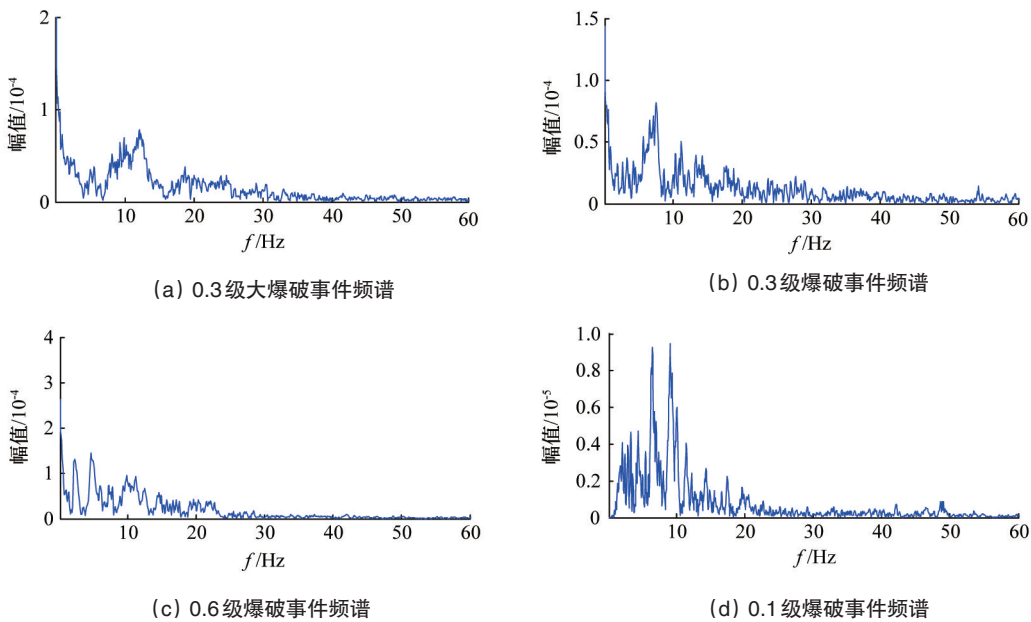


图5 采场大爆破波形频谱

Fig. 5 Spectrum analysis of large blasting waveform

### 3.3 两种信号识别方法

微震监测每天处理的数据量很大,且很繁琐费时,这就要求每个数据分析人员必须要有非常丰富的经验,对生产计划、作业区域还要有比较清楚的了解,能很快辨识出微震信号,但针对这两种信号,单一从波形上很难分辨,本文总结了一套分辨这两种信号的方法,能够快速并且有效地辨识两种信号。

1) 结合生产计划表和矿方提供的相关信息,对事件发生的空间和时间进行分析,如矿方一般会选定专门的时间进行大爆破,且空间位置也可以确认,对比事件的相关信息就可以判断这个信号是否为大爆破信号。

2) 一般微震大事件发生前,都会伴随着大量较小震级的微震事件,岩体在处于极限平衡或接近极限平衡之前,也伴随着大量的微小岩石破裂,虽然没有进入岩体破坏的极限状

态,但大量的微震事件聚集表明,岩体已经处于一种不稳定状态。如果大事件发生前此区域并没有出现事件聚集的现象,该信号很有可能就是大爆破的波形信号。反之,则对此区域应特别重视。

3) 前两步都不能判断出这一信号是否为正常微震信号,则通过频谱分析的手段对信号进行分析,通过两种不同信号的功率谱和幅频特征来判别这两种信号。

#### 4 结论

1) 通过分析采场大爆破信号与岩石破裂大震级微震信号的功率谱和幅频特性,总结出了一套识别两种信号的方法,从而可以快速有效辨识两种信号,为后期微震监测对地压风险区域的预测预报提供了准确的数据支撑。

2) 对微震监测系统监测到的微震大事件波形和单段大爆破波形进行频谱分析,爆破信号相对于微震信号具有频带更窄、幅值更大、且一般在 10 Hz 左右就达到最大幅值等特点,而微震信号频带一般在 0~120 Hz 都有分布,且一般在 30~50 Hz 达到最大幅值。从能量分布来看,由于爆破释放的能量较大且释放的非常快,爆破信号能量大多分布在 0~30 Hz 的低频区域,而大震级微震信号的能量大多分布于 30~50 Hz 内。

进一步探究出一条快速并有效的识别微震信号的方法,特别是复杂信号的识别方法,仍需要大量的数据积累与分析研究。

#### 参考文献 (References)

- [1] 刘建坡. 深井矿山地压活动与微震时空演化关系研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2011.  
Liu Jianpo. Studies on relationship between microseism time-space evolution and ground pressure activities in deep mine[D]. Shenyang: Northeastern University, 2011.
- [2] 徐奴文. 高陡岩质边坡微震监测与稳定性分析研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.  
Xu Nuwen. Study on microseismic monitoring and stability analysis of high steep rock slope[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011.
- [3] 赵毅鑫, 姜耀东, 王涛, 等. “两硬”条件下冲击地压微震信号特征及前兆识别[J]. 煤炭学报, 2012, 37(12): 1960-1966.  
Zhao Yixin, Jiang Yaodong, Wang Tao, et al. Features of microseismic events and precursors of rock burst in underground coal mining with hard roof[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(12): 1960-1966.

- [4] 陆菜平, 窦林名, 吴兴荣, 等. 岩体微震监测的频谱分析与信号识别[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(7): 772-775.  
Lu Caiping, Dou Linming, Wu Xingrong, et al. Frequency spectrum analysis on microseismic monitoring and signal differentiation of rock material[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(7): 772-775.
- [5] 曹安业, 窦林名, 秦玉红, 等. 高应力区微震监测信号特征分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(2): 146-149.  
Cao Anye, Dou Linmin, Qin Yuhong. Characteristic of microseismic monitoring signal in high stressed zone[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(2): 146-149.
- [6] 曹华锋, 林峰. 微震监测信号辨识方法研究[J]. 采矿技术, 2011, 11(2): 55-58.  
Cao Huafeng, Lin Feng. Study on microseismic monitoring signal identification method[J]. Mining Technology, 2011, 11(2): 55-58.
- [7] 唐礼忠, 陈资南, 张君, 等. 矿山微震信号小波分析与研究[J]. 科技导报, 2013, 31(31): 29-33.  
Tang Lizhong, Chen Zinan, Zhang Jun, et al. Research and analysis on wavelet of mine microseismic signals[J]. Science & Technology Review, 2013, 31(31): 29-33.
- [8] 袁瑞甫, 李化敏, 李怀珍. 煤柱型冲击地压微震信号分布特征及前兆信息判别[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(1): 80-85.  
Yuan Ruifu, Li Huamin, Li Huaizhen. Distribution of microseismic signal and discrimination of portentous information of pillar type rockburst[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(1): 80-85.
- [9] 大崎顺彦. 地震动的谱分析入门[M]. 吕敏申, 谢礼立, 译. 北京: 地震出版社, 1980.  
Ozaki Nobuhiko. Introduction to spectral analysis of ground motion[M]. Lü Minshen, Xie Lili, trans. Beijing: Seismological Press, 1980.
- [10] 李志华, 窦林名, 陆菜平. 断层冲击相似模拟微震信号频谱分析[J]. 山东科技大学学报, 2010, 29(4): 51-56.  
Li Zhihua, Dou Linming, Lu Caiping. Frequency spectrum analysis on micro-seismic signal of similar simulation test of fault rock burst[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology, 2010, 29(4): 51-56.
- [11] Gibowicz S J, Kijko A. 矿山地震学引论[M]. 修济刚, 译. 北京: 地震出版社, 1998.  
Gibowicz S J, Kijko A. Introduction to mining seismology[M]. Xiu Jigang, trans. Beijing: Seismological Press, 1998.
- [12] 胡丽莹, 肖蓬. 快速傅里叶变换在频谱分析中的应用[J]. 福建师范大学学报, 2011, 27(4): 27-30.  
Hu Liying, Xiao Peng. Application of fast fourier transform in frequency and spectrum analysis[J]. Journal of Fujian Normal University, 2011, 27(4): 27-30.

(责任编辑 赵业玲)



#### 《科技导报》“科技工作大家谈”栏目征稿

“科技工作大家谈”栏目专门刊登科技工作者近期提出的与科学技术相关的工作意见、建议和看法。该栏目内容着眼于科技研究、发展、应用、政策等领域的实际问题,要求有明确、具体的内容,方法上尽量具有可操作性。文字应简洁明了,全文不超过2200字。欢迎国内外科技工作者及各级科协、学会投稿。栏目责任编辑:王芷,电子邮箱:wangzhi@cast.org.cn;在线投稿:www.kjdb.org。