

# Analysis of Blasting Vibration Signal Propagation and Spectrum in Deep Mining of Shizishan

Shuang Shen

Shizishan Mine, Yuxi Mining Co., Ltd., Yimen, Yunnan, 651100, China

## Abstract

In this paper, the horizontal ore and faults of the 3rd unit of the 17th section of the underground mining of Shizishan, China are used as monitoring objects. Vibration monitoring is carried out in the roadway according to the requirements of the distribution point, and the attenuation law of the vibration signal at this level is put forward, the vibration spectrum of the HHT blasting is obtained. Through the vibration spectrum analysis of HHT blasting, the energy distribution and frequency ratio of blasting energy before and after the transmission fault are obtained, which has certain guiding significance for the design of underground blasting in Shizishan.

## Keywords

vibration monitoring; blasting vibration; spectrum analysis; energy distribution

# 狮子山矿深部开采爆破振动信号传播及频谱分析研究

沈爽

玉溪矿业有限公司狮子山矿, 中国·云南 易门 651100

## 摘要

论文以中国狮子山地下开采17中段3四单元1146—1148水平矿岩及断层为监测对象,按照布点要求在巷道内进行振动监测,得到了在这一水平爆破振动信号衰减规律。通过HHT爆破振动频谱分析,得出爆破能量在传递断层前后的能量分布、频率占比,对今后中国狮子山地下爆破设计有一定的指导意义。

## 关键词

振动监测; 爆破振动; 频谱分析; 能量分布

## 1 引言

爆破地震波的传播是一个极为复杂的动力学过程,不是简单的简谐振动,而是有多种频率夹杂并附有周期性的振动。从波动观点来说,地震波传播主要有体波和面波两种形式,而体波又可分为纵波和横波两种形式,其传播速度由介质本身的弹性和密度等物理特性以及介质本身的结构特征所决定。当介质具有不同的物理力学性质和存在不连续的地质结构面时如节理、裂隙、断层等,就会产生反射和折射现象<sup>[1]</sup>。

论文依托中国狮子山地下深部开采,以17中段四单元1146—1148水平测线范围内的矿岩、断层为测试对象,进行布点监测,研究狮子山矿地下爆破振动波传播衰减规律及爆破产生的能量分布,预测狮子山地下深部开采爆破振动强度,

为减少爆破振动带来的危害效应、能量控制及现场爆破施工提供依据。

## 2 工程地质及爆破现状

狮子山十七中段主矿体四单元采准工艺为穿脉大巷振机出矿工艺,底柱高9m,斗间距6.0~6.5m,交错布置,丁字口扩漏。矿体围岩主要以青灰色白云岩(和白色白云岩为主,呈柱状陡倾斜矿体,矿体西边呈锯齿状与上盘围岩接触。矿体走向NE45—57°,倾角70°~86°。沿走向长约67m,厚约3~33m,平均厚度20m。

目前狮子山矿采用强制崩落法进行开采,使用地下深孔爆破,采用YQ—100钻机,钻孔直径为100mm,平均孔深为700cm,布置方式为扇形布孔。平均炸药单耗为0.43kg/t,最小抵抗线为2.5m,孔底距为3.0m,炮孔密集系数为1.2,装药方式分柱状装药和颗粒装药两种,如图1所示。起爆方

【作者简介】沈爽(1988—),男,本科,中国云南宣威人,采矿工程师,从事金属矿地下开采技术研究及应用。

式为磁电雷管引爆—导爆索传爆—导爆管雷管混合起爆。爆破网络图如图 2 所示。

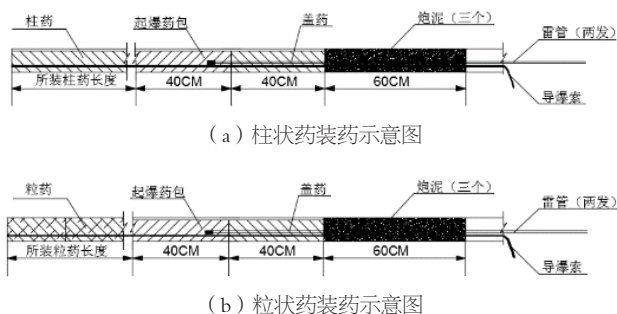


图 1 装药示意图

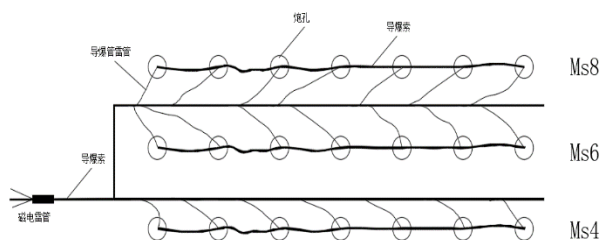


图 2 起爆网络图

### 3 监测方案

#### 3.1 测振系统

爆破振动监测系统采用 TC-4850 爆破振动记录仪及配套的速度传感器进行爆破振动监测。针对爆破地震波传播信号进行记录、处理、数据分析、结果输出，监测数据存储在记录仪中，然后通过 USB 接口与计算机连接读出其数据和波形，并将波形显示、分析和测试结果输出。现场布置如图 3 所示。



图 3 爆破振动现场监测

#### 3.2 测点布置要求

爆破振动测试中，现场布置测试仪器尤为重要，直接影

响爆破振动测试的效果和所测数据的使用价值。一般情况，应遵循以下原则<sup>[2]</sup>：

- ①测试的场地应选择平坦的地形。
- ②各测点应与炮孔中心在一条直线上，并随爆区距离呈近密远疏布置。
- ③选择距爆区较近的地方布置测点。
- ④调查测试地点周围的地质状况，如果受到高程差、大断层及节理裂隙发育的影响，可能会使监测数据误差较大。

固定传感器时，应先清理测点表面上的浮土，保证传感器布置地面平整，利用石膏和胶水将传感器粘贴在测点表面，并用水平计保证传感器处于水平，保证传感器获得较为精确的数据。

测点布置如图 4 所示。

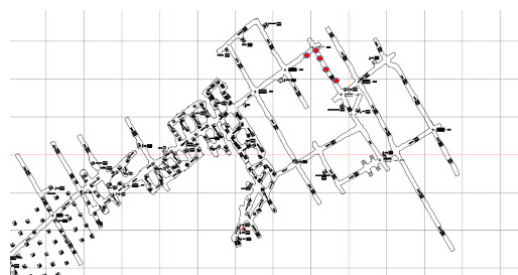


图 4 测点布置图

### 4 爆破振动监测数据整理与分析

#### 4.1 监测数据整理结果

本阶段监测主要针对以 17 中段四单元 1146—1148 水平测线范围内的矿岩、断层为测试对象由于实际监测过程中，整理结果如表 1 所示。

#### 4.2 监测数据处理分析

影响质点爆破振动衰减规律的因素很多，主要包括爆破介质临空面的夹制作用、爆孔孔径、爆源深度、装药结构、岩体条件、场地条件、与爆源相当位置关系、爆心距大小等<sup>[3]</sup>。在工程应用中，通常运用萨道夫斯基经验公式判定质点振动速度与装药量及爆心距的关系<sup>[4]</sup>：

$$v = K \left( \frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha \quad (1)$$

式中， $v$  为爆破振动质点最大速度， $\text{cm/s}$ ；

$Q$  为最大单段药量， $\text{kg}$ ；

$R$  为爆源距， $\text{m}$ ；

$K$ 、 $\alpha$  为地形、地质条件有关的系数和衰减指数。

通过采集数据整理计算得出  $K=0.2808$ 、 $\alpha=2.00$ ，将其代

入到萨氏公式中可得预测公式为：

$$v = 0.2808 \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^2 \quad (2)$$

由以上结果分析， $K$  值较小，表明质点振动速度受地质地形条件、传播介质的影响较大，这与现场实际情况相符。另外，振动速度波动较大，由此可以推断出测点受地震波中的面波影响较多<sup>[5]</sup>。在具体施工过程中应根据式(2)及时调整爆破参数，从而达到安全高效爆破的目的。

表 1 线振动测试数据表

总药量 (kg)	最大单响药量 (kg)	爆心距 (m)	速度 (cm/s)	主频 (Hz)
7490	2596.7	164	7.76	2.75
13138	2627.6	516	0.74	71.41
13138	2627.6	568	0.39	74.16
1331	785.6	141	1.28	52.19
1331	785.6	107	2.19	153.85
2867	955.67	289	0.74	81.48
2867	955.67	223	1.5	75.38
2867	955.67	128	2.61	72.07
17606	1960	154	5.32	13.12
17606	1960	213	2.08	10.99
17606	1960	307	1.94	10.99
17606	1960	380	1.64	11.29
17606	1960	418	0.67	12.95
17606	1960	463	0.71	53.33
2532	1266	292	0.41	70.80
4556	1350	292	0.42	25.02
4556	1350	145	2.45	74.46
2322	1212.5	152	1.92	68.21
2322	1212.5	172	2.27	70.19
2322	1212.5	233	1.08	88.72
8616	2872	906	0.21	6.41
8616	2872	835	0.16	64.70
8050	2872	773	0.29	64.70
5209	1100	72	6.53	251.16
8784	2944.1	238	2.48	22.58
4425	1765.1	472	0.18	39.98

## 5 频谱分析

由于爆炸是一个瞬间过程，时间短、能量释放较大，因此爆炸地震波的频带呈现较宽、频率分布复杂、能量较为集中的特点。爆破药量、爆破方法和地质地形等条件对爆破振动波形、频率成份均有不同程度的影响<sup>[6]</sup>。因此，为了进一步了解爆破振动信号在狮子山地下中传播时不同频谱衰减规律，就要选择具有代表性的段信号，基于软件进行 EMD 分解，

得到各个 IMF 分量的频谱，如图 5 所示。

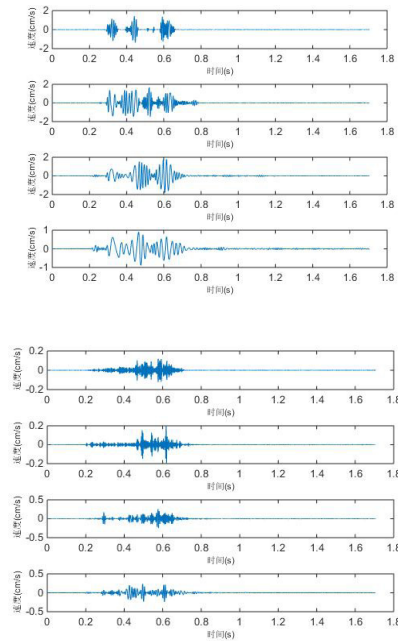


图 5 信号的 IMF 分量频谱图

再通过计算机，将上述分解出的 IMF 分量进行 Hilbert 变换，得到其能量分布图，如图 6 所示。

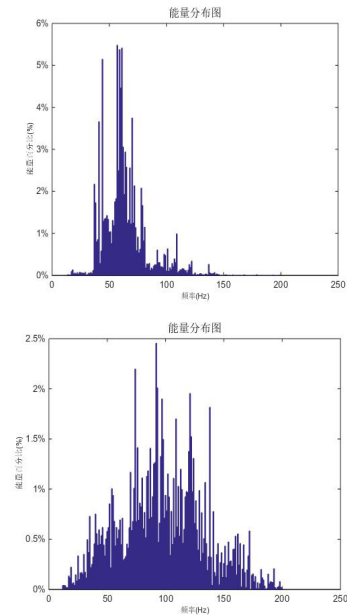


图 6 能量分布图

如图 5 所示，信号从大到下以波动时间为横轴，振动速度为纵轴分解，开始的波长较短，表面开始分解的频率最高；随着波长变长，最后一个 IMF 分量趋于直线，表明频率在降低。

由图 6 可看出，左图能量主要集中在 40~80Hz 左右中、高频段，右图能量主要集中在 20~150Hz 左右低、中、高频

三个频段,低频部分的能量占比增加,表明低频作用更加明显,能量比分布于频段范围更广。

可见穿过断层后地震波总能量幅值降低,但是低频部分的能量占比增加,表明低频作用更加明显,能量占比在频域上分布区域更广,初步分析得到以下结果:

①由于断层在岩体中分布的不均匀,夹杂着部分强度带有粘性、低强度的物质所导致,表现出在能量、振动幅值降低<sup>[7]</sup>。

②瞬时能量集中时间段变长且更为分散,且主震相持续时间有些许变长,对于狮子山地下开采的起爆方式,很容易在这一段时间内造成振动叠加,使震动效应加剧,破坏效应更严重。

③能量传递离散性,表明可进一步调整爆破孔排间的延时,使能量更为集中,有利于矿石的崩落。

## 6 结语

通过对狮子山 17 中段四单元 1146—1148 水平测线范围内的矿岩、断层的爆破振动监测,并对监测数据进行萨道夫斯基回归,基于 HHT 的爆破振动频谱分析,可得出以下结论:

①通过对振动监测数据的回归分析,得到了在狮子山深部开采特定岩性下的爆破振动传播衰减规律,可根据衰减规律核算一次单段最大的药量,保证爆破振动不会对巷道围岩及井下设施造成影响。

②通过振动监测发现,狮子山地下矿存在较为集中的断层影响,会导致爆破释放的能量不能充分被利用,在今后的爆破施工中,应尽量避免断层面。

③振动测试分析的频谱以高频成分为主,随着时间的推移,频率逐渐降低,其主振频带主要分布在 20~140Hz 范围内,低频部分不集中,说明现阶段的爆破施工对井下基础设施影响不大。

④可适当的调整孔内外延时,使爆破释放的冲击波和高温高压气体更为集中,提高爆破能量的利用率<sup>[8]</sup>。

## 参考文献

- [1] 张如. 新建隧道近距离上跨既有隧道段爆破振动控制技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.
- [2] 翟渊博. 隧道爆破震动对民房的危害及安全评价[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008.
- [3] 凌同华, 李夕兵. 地下工程爆破振动信号能量分布特征的小波包分析[J]. 爆炸与冲击, 2004, 24(1): 63-68.
- [4] 曹峰, 凌同华, 刘家澍, 等. 分岔隧道浅埋连拱段的爆破振动效应分析[J]. 公路交通科技, 2018, 35(2): 86-94.
- [5] 易长平, 卢文波, 张建华, 等. 爆破振动对任意形状地下洞室的影响研究[J]. 岩土力学, 2007(11): 2451-2455.
- [6] 杨凯, 吕淑然, 董华兴. 地下采矿爆破振动对地面环境影响的监测与分析[J]. 金属矿山, 2013, 42(10): 144-147.
- [7] 卢文波, 张乐, 周俊汝, 等. 爆破振动频率衰减机制和衰减规律的理论分析[J]. 爆破, 2013, 30(2): 1-6+11.
- [8] 史秀志, 杨月平, 程爱宝. 地下结构顶板爆破振动的动态应力比评价研究[J]. 矿业研究与开发, 2005(2): 76-77+82.