

王桂林,刘芳,王韬,等. 2025. 内蒙古黑岱沟露天煤矿抛掷爆破地方性震级与炸药量的经验关系[J]. 地震研究, 48(1): 170–177, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0018.

Wang G L, Liu F, Wang T, et al. 2025. Study on the empirical relationship between the local seismic magnitude and the explosive quantity of the hurling blasting in the Heidaigou Open Pit Coal Mine, Inner Mongolia[J]. *Journal of Seismological Research*, 48(1): 170–177, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0018.

# 内蒙古黑岱沟露天煤矿抛掷爆破地方性震级与 炸药量的经验关系\*

王桂林<sup>1</sup>, 刘芳<sup>2</sup>, 王韬<sup>1</sup>, 翟浩<sup>2</sup>, 舒雷<sup>2</sup>, 贾彦杰<sup>2</sup>, 韩晓雷<sup>2</sup>, 周煊超<sup>2</sup>, 魏建民<sup>2</sup>,  
郭伟<sup>2</sup>, 苏日亚<sup>2</sup>, 赵艳红<sup>2\*</sup>, 张茜<sup>2</sup>, 尚立坚<sup>2</sup>, 贾昕晔<sup>2</sup>, 吴卫远<sup>3</sup>, 戴怡茹<sup>4</sup>

(1. 黑岱沟露天煤矿, 内蒙古鄂尔多斯 010300; 2. 内蒙古自治区地震局, 内蒙古呼和浩特 010051;  
3. 北京港震科技股份有限公司, 北京 102600; 4. 北京市地震局, 北京 100080)

**摘要:** 利用黑岱沟露天煤矿的爆破资料, 开展黑岱沟煤矿抛掷爆破地方性震级与炸药量的关系的研究。为了避免矿山地震台网地震仪在长期观测中传递函数、归一化因子、放大倍数等参数出现错误, 开展同址台站对比分析, 实时监控、修订参数。实测结果显示, 同址两台站记录到的爆破波形特征非常一致; 使用矿山地震台网资料, 采用 5 km 以内的地方性震级  $M_L$  的量规函数, 测定了 2023 年 5—8 月 4 次爆破的地方性震级  $M_L$ ; 联合使用矿山台网和内蒙古地震台网记录到的 44 次爆破的数据, 采用正交回归方法, 得到黑岱沟煤矿抛掷爆破地方性震级  $M_L$  与炸药量  $Y$  之间的经验公式为:  $M_L = 3.15 \lg Y - 6.88$ 。

**关键词:** 黑岱沟露天煤矿; 抛掷爆破; 地方性震级; 炸药量

**中图分类号:** P315.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2025)01-0170-08

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0018

## 0 引言

内蒙古黑岱沟露天煤矿位于准格尔煤田东部, 是我国自行设计、自行施工的特大型露天煤矿。它集世界一流露天采掘工艺为一体, 代表了中国露天开采行业先进生产力。黑岱沟露天煤矿结合当地的实际条件成功应用了高台阶抛掷爆破——吊斗铲联合剥离煤层上覆岩层技术, 从而提高了生产能力(任占营等, 2015)。由于采用的高台阶抛掷爆破振动当量较大, 具有烈度较大的特点, 给当地群众生产、生活带来了影响(周少辉等,

2021)。中国地震局将非天然地震速报震级由 2.5 级调整为 2.0 级。开展炸药量与地方性震级间的关系研究, 控制抛掷爆破振动当量, 可为矿山安全生产以及保证附近群众生产、生活安全提供科学参考。

爆破震级测定、当量估算、爆炸当量与震级之间的经验关系等, 一直是地震学研究的重点。刘瑞丰等(2019)根据攀枝花铁矿、宁夏煤矿和河南汝阳钼矿等矿山爆破资料, 获得了爆破的地方性震级  $M_L$  与爆破当量之间的经验关系; 靳玉贞等(2022)采用山西数字地震台网记录产出, 对矿山爆破、核爆破、工业爆破的当量进行了估算;

\* 收稿日期: 2024-02-28.

基金项目: 国能准能公司黑岱沟露天煤矿科技创新项目(ZNKJ-2020-5).

第一作者简介: 王桂林(1977-), 正高级工程师, 主要从事露天开采和爆破振动研究. E-mail: 17591224@qq.com.

✉通信作者简介: 赵艳红(1979-), 高级工程师, 主要从事地震监测和数字化地震研究.

E-mail: 530001094@qq.com.

谢小碧和赵连锋（2018）利用地震波形资料，开展了朝鲜地下核试验的地震学观测方面的研究；孔韩东（2018）针对地下核试验当量的估算方法及其影响因素进行了综合分析；杨家亮等（2009）、周少辉等（2021）分别开展了爆破和天然地震的识别研究工作。

震级是地震学研究中重要的参数之一。震源、地震波通过的介质的地区性差异、接收台站和仪器、使用不同震相和不同方法进行测定等4个方面是影响近震震级的主要因素（刘瑞丰等，2007），其中，量规函数是用来补偿地震波振幅随距离、深度变化引起衰减的校正值。因此，量规函数是影响震级测定精度的重要参数之一。李赞等（2019）利用远震P波震相数据测量了中强地震的能量震级 $M_c$ ；贾炯等（2018）、张媛媛等（2022）分别开展了河北、陕西地区近震震级量规函及相关的研究工作。

本文依托内蒙古自治区地震局承担的“黑岱沟煤矿抛掷爆破振动控制技术应用与研究”项目，使用黑岱沟煤矿抛掷爆破振动监测地震台网和内蒙古地震台网记录的抛掷爆破波形资料，开展地方性震级与炸药量之间的经验关系研究，为抛掷爆破振动控制技术研究提供参考。

## 1 数据准备

黑岱沟煤矿抛掷爆破振动监测地震台网（以下简称“矿山台网”）于2023年5月建成，由8个地震台站组成，所用仪器为微型三分量短周期地震仪GL-PMS 10，带宽10 s~120 Hz。其中，7个台站（A、B、C、D、E、F、G）布设在矿山管辖范围内，1个台站（Q）作为对比观测台站，布设在内蒙古地震台网固定台站QSH（BBVS60/EDAS24IP，带宽60 s）的台址上（图1）。矿山台网地震信号采用4G VPDN无线网络实时传输。

为了保证研究数据的准确可靠，开展了两个方面的数据准备工作：一是设置同址台站对比观测，确保矿山台网地震仪参数的准确性；二是确定矿山台网量规函数，并检验其适用性，为开展地方性震级与炸药量之间的经验关系研究奠定数据基础。

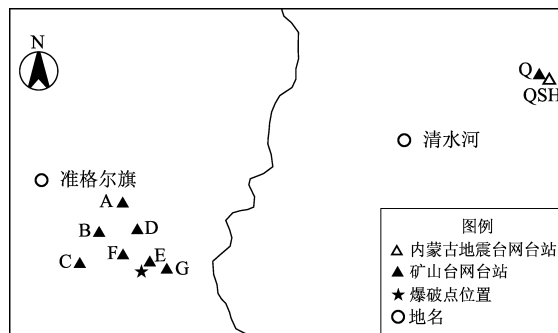


图1 矿山台网8个台站及同址台站分布示意图  
Fig. 1 Eight stations of the seismic network of the Heidaigou Open Pit Coal Mine and one co-site station of the Inner Mongolia Seismic Network

### 1.1 同址台站对比观测

地震工作者从计算机中读取的地表信号仅仅是一些无量纲的数值，只有使用数字地震仪系统的传递函数对这些无量纲的数值进行运算，才能得到地动速度和地动位移（李松阳等，2005）。没有完整、可靠的传递函数，基于地震波形资料的大震速报工作以及相关研究工作都不能正确开展（颜其中等，2003）。

在地震仪实际观测中会遇到两个方面的问题：一是地震台站布设后，其地震仪参数包括传递函数、归一化因子和放大倍数等，都有可能出现不准确的情况；二是随着监测时间的增加，地震仪参数有可能发生改变。为了解决这个问题，本文增加了同址台站对比观测，以便发现问题，及时校准，保证数据的准确、可靠。同址台站的选取方法为：①同址固定台站选取。由于近台记录地震波射线传播路径相对简单，校准更容易。因此，确定离爆破区最近（37 km）的内蒙古地震台网QSH子台作为同址对比观测的基准台站；②同址矿山台站选取。矿山台网布设的地震仪属于同一批次的地震仪，将Q台放到基准台站QSH台站的观测场址上，以点带面，对矿山台网的7个台站地仪器参数进行对比观测。

2023年5月10日、6月20日、6月27日、8月2日矿山台网记录到4次爆破，分析同址观测台站Q台和QSH台的记录结果：对比4次抛掷爆破地震波可以看出，两个台的波形记录特征较为一致，Pg初动均向上，符合爆破地震波初动向上的基本特征。两个台的Pg波到时差绝对值为0.00~

0.04 s, 均值为 0.025 s; Sg 波到时差绝对值为 0.01~0.03 s, 均值为 0.02 s, 测定的地震震中距和  $M_L$  均一致(表 1)。图 2 给出了 2023 年 6 月 20 日同址两台记录的矿山抛掷爆破波形。

通过同址台站对比观测分析认为, 目前尚未监测到矿山台网地震仪参数改变的现象。矿山台网地震仪参数的准确性得到了实时监控, 保证了研究数据的准确性。

1.2 矿山台网量规函数的确定

根据《测震台网运行管理细则》<sup>①</sup>, 近震震级的计算公式为:

$$M_L = \lg A\mu + R(\Delta)$$

(1)

式中:  $A\mu$  为水平分向记录的最大地动位移的算术平均值, 单位:  $\mu\text{m}$ ;  $R(\Delta)$  为短周期地震仪测定  $M_L$  的量规函数。

表 1 同址两台站 Q 台和 QSH 台记录的 4 次爆破地震的参数及对比  
Tab. 1 Parameters of 4 blasting earthquakes recorded by Q station and QSH station on the same site

序号	爆破日期	炸药量/t	台站名称	震相	到时 时:分:秒	Pg 绝对值 ( $T_Q - T_{QSH}$ )/s	Sg 绝对值 ( $T_Q - T_{QSH}$ )/s	到时残差/ s	震中距/ km	$M_L$
1	2023-05-10	1800	Q	Pg	15:26:58.72	0.04	0.03	-0.14	37.85	3.0
				Sg	15:27:03.46			0.21		
			QSH	Pg	15:26:58.68			-0.18		
				Sg	15:27:03.43			0.18		
2	2023-06-20	1300	Q	Pg	15:51:12.57	0.02	0.03	-0.01	37.17	2.6
				Sg	15:51:16.89			-0.02		
			QSH	Pg	15:51:12.59			0.01		
				Sg	15:51:16.92			0.01		
3	2023-06-27	1534	Q	Pg	15:09:14.11	0.00	0.01	0.04	38.73	2.7
				Sg	15:09:18.70			0.12		
			QSH	Pg	15:09:14.11			0.04		
				Sg	15:09:18.69			0.11		
4	2023-08-02	1767	Q	Pg	16:24:30.12	0.04	0.01	-0.05	39.51	3.0
				Sg	16:24:34.81			0.01		
			QSH	Pg	16:24:30.13			-0.04		
				Sg	16:24:34.85			0.16		

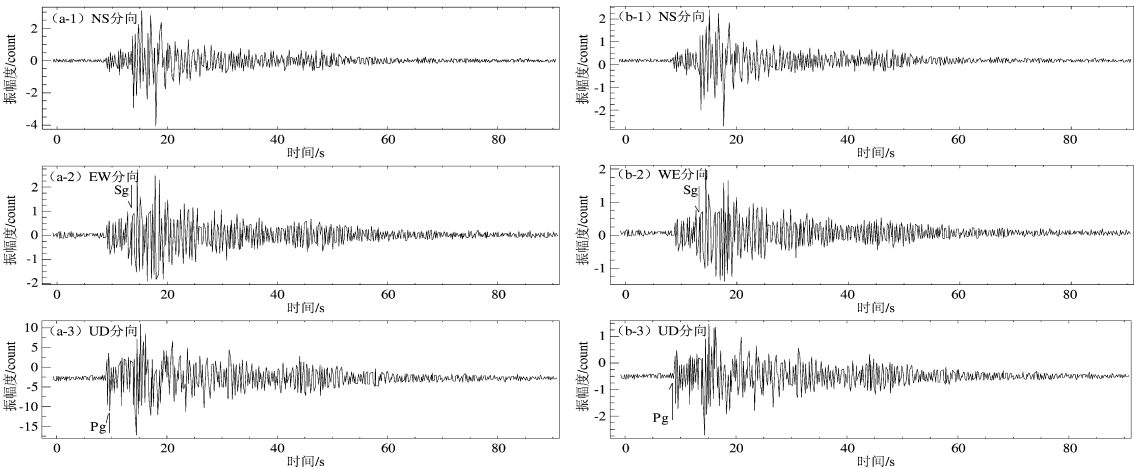


图 2 同址两台站 Q 台(a)和 QSH 台(b)记录到的 2023 年 6 月 20 日抛掷爆破地震波形  
Fig. 2 The seismic waveforms of the hurling blasting recorded by the two co-located stations Q station and QSH station on Jun 20, 2023

① 中国地震局监测预报司. 2015. 测震台网运行管理细则 (中震测函〔2015〕115 号).

李善邦(1981)结合我国常用的 62 型短周期地震仪和基式(SK)中长周期地震仪的仪器特性,确定了我国的量规函数  $R(\Delta)$ 。经过多年的研究,我国大部分学者把震中距 5 km 范围内量规函数确定为一个常数(李学政, 赵奕英, 2007), 但这不符合矿山台网观测实际情况。

黑岱沟矿山台网的 7 个子台震中距范围是 1.199 ~ 6.128 km, 均值为 3.661 km。在《地震震级的规定》(GB 17740—2017)中给出的地方性震级  $M_L$  的量规函数的震中距只到 5 km, 5 km 以内的量规函数是一个常数, 不能满足矿山爆破震级测定的实际需求。本文使用李学政和赵奕英(2007)得出的矿山台网地震震级起算函数  $R(\Delta)_5$ (表 2)进行矿山台网近震震级的测定。表 3 给出了 4 次爆破使用两种量规函数  $R(\Delta)_{\text{全国}}$  和

$R(\Delta)_5$  震级计算结果。

从表 3 可看到, 使用全国量规函数测定的震级  $M_{L\text{全国}}$  与使用  $R(\Delta)_5$  得到的震级  $M_{L(R(\Delta)_5)}$  的差值均值为 0.12, 使用内蒙古台网测定震级  $M_{L\text{内蒙古台网}}$  与矿山台网测定震级  $M_{L(R(\Delta)_5)}$  差值绝对值的均值为 0.13, 可见,  $R(\Delta)_5$  基本适合于矿山台网地方震级的测定。矿山台网测定的震级略高于内蒙古台网测定的震级, 这可能是因为矿山台网更接近爆破区, 能够拾取更多的爆破能量。

表 2 矿山台网量规函数表(李学政, 赵奕英, 2007)  
Tab. 2 Table of calibration functions for the Seismic Network of the Heidaigou Open Pit Coal Mine (Li and Zhao, 2007)

震中距/km	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
$R(\Delta)_5$	0.48	0.78	1.03	1.21	1.36	1.47	1.57	1.66	1.73	1.80

表 3 使用  $R(\Delta)_{\text{全国}}$  和  $R(\Delta)_5$  两种量规函数得到的 4 次爆破的震级计算结果  
Tab. 3 The magnitudes of the four blasts calculated by using  $R(\Delta)_{\text{nationwide}}$  and  $R(\Delta)_5$

发震时间		$M_{L(R(\Delta))\text{全国}}$	$M_{L(R(\Delta)_5)}$	$M_{L\text{全国}} - M_{L(R(\Delta)_5)}$	$M_{L\text{内蒙古台网}}$	$M_{L\text{内蒙古台网}} - M_{L(R(\Delta)_5)}$
年-月-日	时:分:秒					绝对值
2023-05-10	15:26:52.2	3.30	3.15	0.15	3.20	0.05
2023-06-20	15:51:06.3	3.40	3.25	0.15	3.10	0.15
2023-06-27	15:09:07.6	3.20	3.12	0.08	3.00	0.12
2023-08-02	16:24:23.5	3.40	3.29	0.11	3.10	0.19

2 正交回归方法

理论上, 使用正交回归方法研究各种震级标度之间的关系, 应当更接近实际震级的测定值。本文使用正交回归方法拟合地方性震级与炸药量之间的经验关系。

正交回归方法需要找到“使得各测量点到拟合直线垂直距离的平方和达到最小”的一条直线(姜慧等, 2006; 孙彦清, 2002)。正交回归方法的优势在于克服了单方向拟合、稳定性差的弊端, 最终获得较好的拟合结果。

以 OR 表示正交回归方法, 则有:

$$Y = A_3X + B_3 \tag{5}$$

正交回归方法通常采用 Hesse 表示, 把两个变量都放在等号的右边, 表示右边的两个变量都在变化:

$$P = n_xX + n_yY \tag{6}$$

式中:  $P = B_3/q$ ;  $n_x = -A_3/q$ ;  $n_y = 1/q$ ;  $q = (1 + A_3^2)^{1/2}$ ;  $-n_x/n_y = A_3$ 。

3 地方性震级与炸药量之间的经验关系

爆炸是能量在瞬间释放的一种现象, 爆破地震是土中的爆炸作用过程中十分重要的动力学现象之一(林大超, 白春华, 2007)。根据工业爆破的经验, 爆破产生的地震波消耗的能量仅占爆破总能量的 2% ~ 6% (刘凯等, 2019)。爆破能量较小时, 矿山台网可记录到清晰的 P 波、S 波, 内蒙古地震台网记录的 S 波不清晰(刘瑞丰等, 2019)。

本文选取 2023 年 5—8 月矿山台网记录到的 4 次抛掷爆破数据和 2019 年至 2023 年 4 月内蒙古地震台网记录到的 40 次抛掷爆破数据, 共计 44 次爆破数据进行地方性震级与炸药量间关系的拟合。其中包括  $M_L2.5 \sim 2.9$  地震 18 次,  $M_L3.0 \sim 3.3$  地震 26 次, 最大震级为 2023 年 6 月 20 日 15 时 51 分  $M_L3.3$ 。由于矿山数据涉密, 此处不展示 44 次抛掷

爆破的具体数据。记录台站和爆破点的分布如图 3 所示。采用矿山台网 8 个台站的波形资料进行定位,震级为 8 个台站测定震级的平均值。采用内蒙古地震台网  $\Delta \leq 200$  km 的 16 个台站的波形资料进行定位,其中包括内蒙古地震台网的 QSH、HLG、CSQ、HHC、LCH、BHS、BTO、JIN、WLH 台站;山西地震台网的 PIG、BOD、YUY、YMG 台站;陕西地震台网的 YULG、SHZ、ZCH 台站,震级为 16 个台站测定震级的平均值。炸药量  $Y$  为黑岱沟煤矿向内蒙古地震台网的报备数据(表 4)。

在煤矿的生产区域,由于煤层的厚度及走向不同、在不同的地点进行爆破,同样的炸药量爆破测定的震级有一定的差别,从而使得同一震级所对应的炸药量差别也较大。这些震级集中在 2.5 ~ 3.4,因此我们对同一震级对应的不同炸药量取平均,再利用 8 个点的平均炸药量与震级之间关系,基于正交回归方法,拟合得到炸药量  $Y$  与震级  $M_L$  之间的经验关系为:  $M_L = 3.15 \lg Y - 6.88$  (图 4)。其代表了震级与平均炸药量之间的经验关系,相关系数为 0.92,置信区间为  $M_L 2.5 \sim 3.4$ 。

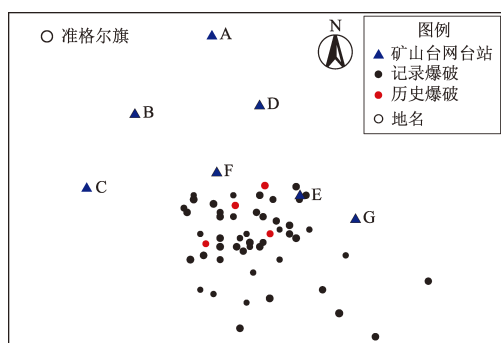


图 3 矿山台网和内蒙古地震台网记录到的 44 次爆破分布示意图

Fig. 3 Distribution of 44 blasts recorded by the Seismic Network of the Heidaigou Open Pit Coal Mine and the Inner Mongolia Seismic Network

表 4 矿山台网和内蒙古地震台网定位的爆破事件  
Tab. 4 Blasting events located by the Inner Mongolia Seismic Network and the Seismic Network of the Heidaigou Open Pit Coal Mine

台网名称	抛掷爆破 次数	震级范围 ( $M_L$ )	定位所用台站 个数
矿山台网	4	3.15 ~ 3.29	8
内蒙古地震台网	40	2.50 ~ 3.40	16

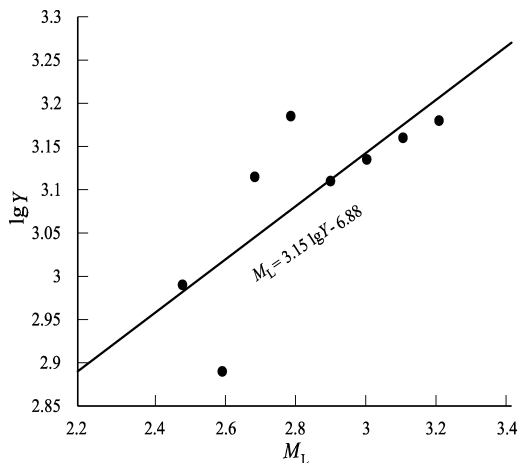


图 4  $M_L$  与  $\lg Y$  的正交回归直线

Fig. 4 Orthogonal regression of the local magnitude  $M_L$  and  $\lg Y$

图 5 给出了  $\lg Y_{\text{经验}}$  与  $\lg Y_{\text{实际}}$  差值数量分布情况,从图中可看到,差值分布范围为  $-0.12 \sim 0.12$ ,均值为 0.002 5。其中,以  $\lg Y_{\text{经验}}$  与  $\lg Y_{\text{实际}}$  的差值为  $-0.01$  的爆破事件数量最多,差值分布整体形态大致呈正态分布。

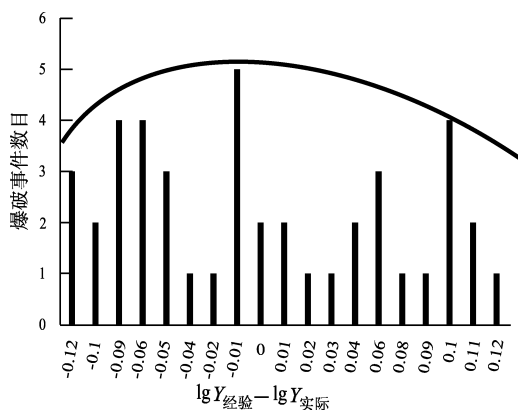


图 5  $\lg Y_{\text{经验}}$  与  $\lg Y_{\text{实际}}$  差值数量分布

Fig. 5 Quantitative distribution of the difference between  $\lg Y_{\text{empirical}}$  and  $\lg Y_{\text{real}}$

## 4 结论

本文基于正交回归方法,以矿山台网和内蒙古地震台网的观测数据联合构建的方式,开展黑岱沟煤矿抛掷爆破地方性震级与炸药量间的关系研究,得到如下结论:

(1) 两个对比观测台站矿山台网 Q 台和内蒙古地震台网 QSH 台的波形记录特征较为一致,两

者  $P_g$  到时差在  $0.00 \sim 0.04$  s, 均值为  $0.025$  s;  $S_g$  到时差在  $0.01 \sim 0.03$  s, 均值为  $0.02$  s。两台测定的震中距和  $M_L$  均一致。实测结果未监测到矿山台网地震仪参数改变的现象。

(2) 联合使用矿山台网和内蒙古地震台网记录到的 44 次爆破的数据, 基于正交回归方法, 拟合得到黑岱沟煤矿抛掷爆破地方性震级  $M_L$  与炸药量  $Y$  之间的经验公式为:  $M_L = 3.15 \lg Y - 6.88$ 。

由于矿山台网建成时间较短, 爆破间隔较长, 矿山台网所记录的爆破样本量有限, 还无法修定矿山台网的量规函数。随着监测时间的增加, 样本量的积累, 今后将继续开展矿山台网地方性震级量规函数的研究, 进一步使地方性震级  $M_L$  与炸药量  $Y$  之间的经验公式更加完善。

中国地震局地球物理研究所刘瑞丰研究员为本文研究提供了计算程序, 蒋长胜研究员给予了热忱的支持和帮助, 在此一并表示衷心感谢!

## 参考文献:

- 贾炯, 赵英萍, 王宁, 等. 2018. 分区量规函数在河北地震台网近震震级测定的适用性[J]. 地震地磁观测与研究, 39(3): 10-15.
- Jia J, Zhao Y P, Wang N, et al. 2018. Analysis of partition gauge function for local magnitude in Hebei Seismic Network[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 39(3): 10-15. (in Chinese)
- 姜慧, 唐丽华, 梁海华. 2006. 回归分析方法在地震科学应用中的问题与探讨[J]. 华南地震, 26(3): 1-7.
- Jiang H, Tang L H, Liang H H. 2006. Exploration on the applied issues of regressive analysis method in the seismic sciences[J]. South China Journal of Seismology, 26(3): 1-7. (in Chinese)
- 靳玉贞, 张瑞芳, 何佳. 2022. 山西地震台网记录的爆破特征及当量估算[J]. 山西地震, (4): 6-8.
- Jin Y Z, Zhang R F, He J. 2022. Blasting characteristics and equivalent estimation recorded by Shanxi Seismic Network[J]. Earthquake Research in Shanxi, (4): 6-8. (in Chinese)
- 孔韩东. 2018. 爆破当量研究综述[J]. 国际地震动态, (2): 9-25.
- Kong H D. 2018. Review of explosive yield estimation[J]. Recent Developments in World Seismology, (2): 9-25. (in Chinese)
- 李善邦. 1981. 中国地震[M]. 北京: 地震出版社.
- Li S B. 1981. Earthquakes in China[M]. Beijing: Seismological Press.
- 李松阳, 王志诚, 孟国杰. 2005. 数字化地震仪系统的标定[J]. 地震地磁观测与研究, 26(6): 91-95.
- Li S Y, Wang Z C, Meng G J. 2005. Discussion on the calibration of digital seismograph[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 26(6): 91-95. (in Chinese)
- 李学政, 赵奕英. 2007. 近场地震震级起算函数研究与应用[C]//陕西省地球物理学会. 陕西地球物理文集(七): 中国西部地球物理研究与实践陕西省地球物理学会成立 20 周年专集. 西安: 西安地图出版社: 51-57.
- Li X Z, Zhao Y Y. 2007. Research and application of magnitude starting function for near-field earthquakes[C]//The Geophysical Society of Shaanxi Province. Proceedings of the Geophysical Society of Shaanxi Province(Series 7)——Geophysical research and practice in western China: the 20th anniversary of the founding of the Geophysical Society of Shaanxi Province. Xi'an: Xi'an Map Press: 51-57. (in Chinese)
- 李赞, 刘瑞丰, 孔韩东, 等. 2019. 中强地震能量震级测定[J]. 地震学报, 41(3): 289-301.
- Li Z, Liu R F, Kong H D, et al. 2019. Energy magnitude determination of moderate-strong earthquakes[J]. Acta Seismologica Sinica, 41(3): 289-301. (in Chinese)
- 林大超, 白春华. 2007. 爆炸地震效应[M]. 北京: 地震出版社.
- Lin D C, Bai C H. 2007. Seismic effect of explosion[M]. Beijing: Seismological Press. (in Chinese)
- 刘凯, 杨帆, 韩飞, 等. 2019. 爆破振动监测在洞室爆破开挖中的应用[J]. 东北水利水电, 37(9): 41-47.
- Liu K, Yang F, Han F, et al. 2019. Application of blasting vibration monitoring in cavern blasting excavation[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 37(9): 41-47.
- 刘瑞丰, 陈运泰, 任泉, 等. 2007. 中国地震台网震级的对比[J]. 地震学报, 29(5): 467-47.
- Liu R F, Chen Y T, Ren X, et al. 2007. Comparison between different earthquake magnitudes determined by China Seismograph Network[J]. Acta Seismologica Sinica, 29(5): 467-47. (in Chinese)
- 刘瑞丰, 李赞, 张玲, 等. 2019. 爆炸当量估算的初步研究[J]. 地震地磁观测与研究, 40(4): 1-7.
- Liu R F, Li Z, Zhang L, et al. 2019. Preliminary study on estimation of explosion equivalent[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 40(4): 1-7. (in Chinese)
- 任占营, 杨仁树, 狐为民. 2015. 黑岱沟露天矿爆破数字化综合处理系统[J]. 露天采矿技术, (12): 55-58.
- Ren Z Y, Yang R S, Hu W M. 2015. Blasting digital integrated process system in Heidaigou Open Pit Mine[J]. Surface Mining Technology, (12): 55-58. (in Chinese)
- 孙彦清. 2002. 最小二乘线性拟合应注意的两个问题[J]. 汉中师范学院学报: 自然科学版, 20(1): 58-61.
- Sun Y Q. 2002. Two problems on least squares fit[J]. Journal of Hanzhong Teachers College(Natural Science), 20(1): 58-61. (in Chinese)
- 谢小碧, 赵连锋. 2018. 朝鲜地下核试验的地震学观测[J]. 地震学报, 61(3): 889-904.
- Xie X B, Zhao L F. 2018. The seismic characterization of North Korea underground nuclear tests[J]. Chinese Journal of Geophysics, 61(3): 889-904. (in Chinese)
- 颜其中, 何家斌, 高杰. 2003. 数字地震仪系统传递函数的一种计算方法[J]. 地震学报, 25(6): 667-671.

- Yan Q Z, He J B, Gao J. 2003. A method for calculating the transfer function of digital seismograph system [J]. *Acta Geologica Sinica*, 25 (6): 667–671. (in Chinese)
- 杨家亮, 胡斌, 王晓山, 等. 2009. 大当量爆破地震波记录分析[J]. *大地测量与地球动力学*, 29(1): 15–20.
- Yang J L, Hu B, Wang X S, *et al.* 2009. Analysis on explosive seismic wave with large yield[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 29 (1): 15–20. (in Chinese)
- 张媛媛, 邱玉荣, 赵韬, 等. 2022. 陕西地区近震震级与介质衰减、场地响应的关系[J]. *地震地磁观测与研究*, 43(6): 15–22.
- Zhang Y Y, Qiu Y R, Zhao T, *et al.* 2022. The relationship between local earthquake magnitude, medium attenuation and site response in Shaanxi [J]. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 43(6): 15–22. (in Chinese)
- 周少辉, 蒋海昆, 曲均浩, 等. 2021. 爆破、塌陷识别研究进展综述[J]. *中国地震*, 37(2): 508–522.
- Zhou S H, Jiang H K, Qu J H, *et al.* 2021. A review on research progress in recognition of blasting and collapse[J]. *Earthquake Research In China*, 37(2): 508–522. (in Chinese)
- GB—17740—2017, 地震震级的规定[S].
- GB—17740—2017, General ruler for earthquake magnitude [S]. (in Chinese)

## Study on the Empirical Relationship between the Local Seismic Magnitude and the Explosive Quantity of the Hurling Blasting in the Heidaigou Open Pit Coal Mine, Inner Mongolia

WANG Guilin<sup>1</sup>, LIU Fang<sup>2</sup>, WANG Tao<sup>1</sup>, ZHAI Hao<sup>2</sup>, SHU Lei<sup>2</sup>, JIA Yanjie<sup>2</sup>, HAN Xiaolei<sup>2</sup>,  
ZHOU Xuanchao<sup>2</sup>, WEI Jianmin<sup>2</sup>, GUO Wei<sup>2</sup>, SU Riya<sup>2</sup>, ZHAO Yanhong<sup>2</sup>,  
ZHANG Qian<sup>2</sup>, SHANG Lijian<sup>2</sup>, JIA Xinye<sup>2</sup>, WU Weiyuan<sup>2</sup>, DAI Yiru<sup>2</sup>

(1. Heidaigou Open Pit Coal Mine, Ordos 010300, Inner Mongolia, China)

(2. Inner Mongolia Earthquake Agency, Hohhot 010051, Inner Mongolia, China)

(3. Beijing Gangzhen Technology Co., Ltd, Beijing 102600, China)

(4. Beijing Earthquake Agency, Beijing 100080, China)

### Abstract

Based on the project “Application and Research of Hurling Blasting Vibration Control Technology in the Heidaigou Coal Mine”, we use the blasting data of the Hedaigou Coal mine to study the relationship between the local seismic magnitude ( $M_L$ ) and the explosive quantity of the hurling blasting in the Hedaigou Open Pit Coal Mine. In order to address the errors in transfer function, normalization factor, magnification, and other parameters of the seismographs of the Seismic Network of the Hedaigou Coal Mine during long-term observation, we carry out a same-site monitoring of the blasting to do real-time revise of the parameters of the seismographs of the Seismic Network of the Hedaigou Coal Mine. We find that the blasting waveforms recorded by the two seismographs from two different seismic networks at the same site are consistent. Using the near-field data of the Seismic Network of the Hedaigou Coal Mine and the gauge function of the local magnitude ( $M_L$ ) within 5 km, we calculate the local magnitudes ( $M_L$ ) of four blasts from May to August in 2023. On the basis of the data of 44 blasts recorded by the Seismic Network of the Hedaigou Coal Mine and the Inner Mongolia Seismic Network, and using the orthogonal regression method (OR), we obtain the empirical relation between the local seismic magnitude  $M_L$  and the explosive quantity  $Q$  of the hurling blasting in the Heidaigou Coal Mine:  $M_L = 3.15 \lg Q - 6.88$ .

**Keywords:** the Heidaigou Open Pit Coal Mine; hurling blasting; local magnitude; explosive quantity