

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2024.01.023

数码电子雷管在露天矿爆破中延期时间优化探讨*

周文斌¹, 承财政¹, 杨帆¹, 马京京¹, 陈旭²

(1. 昌吉雪峰爆破工程有限公司, 昌吉 831700; 2. 新疆工程学院 矿业工程与地质学院, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 针对新疆某露天矿复杂岩性台阶爆破大块率高, 炸药单耗大, 爆破效果差等问题, 利用XF型数码电子雷管高精度、高安全度的优势, 采用控制变量法, 在该矿东帮四个标段445~595水平分别进行了59场不同可爆性岩体孔间、排间最优微差时间的爆破试验。通过对爆堆形状、矿岩块度及炸药单耗的统计, 确定了最优的孔间和排间延期时间。试验结果表明: 针对泥岩为主, 部分细砂岩性台阶, 孔间、排间延时/米分别取5.9 ms/m和14 ms/m时, 爆堆平整, 块度均匀; 针对砂岩为主, 部分泥岩岩性台阶, 孔间、排间延时/米分别取2.7 ms/m和14.2 ms/m时, 爆堆形状及规格合理, 大块率较低。将试验结果应用于该矿现场生产, 炸药平均单耗较往年同比降低4.03%, 大块率降低1.8%。该项研究表明: 针对复杂地质条件选取合理的孔间、排间延期时间, 可有效降低炸药单耗, 节约成本, 且爆堆平整, 块度均匀, 降本增效显著。本次试验所确定的孔间排间延期时间, 可为准东地区同等级地质条件下泥岩、砂岩混合台阶爆破延期时间选取提供重要的现场数据。

关键词: 复杂地质条件; 数码雷管; 延期时间; 微差爆破

中图分类号: TD235.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-487X(2024)01-0172-06

Discussion on Delay Time optimization of Electronic Detonator in Open-pit Blasting

ZHOU Wen-bin¹, CHENG Cai-zheng¹, YANG Fan¹, MA Jing-jing¹, CHEN Xu²

(1. Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., LTD., Changji 831700, China; 2. School of Mining Engineering and Geology, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830000, China)

Abstract: Aiming at the problems of high boulder yield, high explosive consumption and poor blasting effect in an open-pit mine with complex lithology in Xinjiang, 59 blasting tests for the optimal inter-hole and inter-row delays in rock masses with different blastabilities were carried out on four levels (between 445 m and 595 m) at the east side of the mine. The optimal delays between holes and rows were determined by the shape of blasting pile, ore rock fragmentation and powder factor. The test results show that the blasting pile is flat and the fragmentation is uniform for benches of mudstone with some fine sands when the delays between holes and rows are 5.9 ms/m and 14 ms/m, respectively. For sandstone with part of mudstone lithologic, when the delays between holes and rows are taken as 2.7 ms/m and 14.2 ms/m respectively, the blasting pile shape and fragmentation are reasonable and the boulder yield is low. The test results are applied to the field production of the mine, and the average powder factor and boulder yield are 4.03% and 1.8%, respectively, which are lower than those of previous years. The research shows that

收稿日期 (Date of reception): 2022-11-22

网络首发日期 (Published online): 2023-04-10

作者简介: 周文斌 (1992-), 男, 工程师、学士, 从事矿山爆破研究, (E-mail) xuefeng2231@126.com。

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技厅面上项目 (2018D01A42); 新疆维吾尔自治区高校科研计划重点项目 (XJEDU2021I027)。

About the author: ZHOU Wen-bin (1992-), male, engineer, bachelor's degree, mainly engaged in mining blasting research, (E-mail) xuefeng2231@126.com.

Fund Programs: Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2018D01A42); Natural Science Foundation of Colleges and Universities in Xinjiang Uygur Autonomous Region (XJEDU2021I027).

reasonable selecting of delay time between holes and rows for complex geological conditions can obtain flat blasting pile and the uniform block size, which can effectively reduce the powder factor, and save costs. The delay time determined in this test can provide important field data for selecting the delay time of mudstone and sandstone mixed bench blasting under the same geological conditions in Zhundong area.

Key words: complex geological conditions; digital detonator; delay time; millisecond blasting

高精度数码电子雷管的出现促进了工程爆破项目日趋精细化、智能化,已广泛应用于隧道掘进、地铁修建、建筑物拆除、地基修筑、巷道掘进、露天矿岩松动等领域^[1,2]。在露天矿山爆破作业中,岩体爆破质量决定了后续采剥作业的效率,尤其是爆破后矿岩块度超标,不仅增加了二次破碎的作业量和成本,同时也会影响采掘设备和运输设备能力的发挥,严重时会影响到矿山的年生产能力。台阶爆破效果跟施工环境有很大的关系^[3],如爆破区域岩石物理力学性质、工程地质和水文地质条件、爆破器材性能、施工工艺及爆破参数等^[4],其中爆破参数作为人为可控因素,科研工作者们做了大量现场试验与优化工作。万佳针对露天矿不良地质条件的特点^[5],采取了逐孔起爆,分层开挖的技术措施,有效改善了爆破效果。张阳光针对金铜矿山复杂地质条件^[6],设计五组现场试验,最终确定孔延期 19 ms,排延期 50 ms 时,爆堆岩块尺寸最为合理。兰小平结合石灰岩矿开采过程中岩块粒径分布曲线^[7],合理优化起爆参数,得出孔米延期 3~4 ms,排米延期 9 ms 时,爆堆平整,块度均匀,大块率低。程三建针对裂隙岩体台阶^[8],提出了分段装药结构的电子雷管延时起爆网络,得出排间延时时间取 65 ms 时,大块率快速下降,爆破效果明显提升。

然而,由于爆破施工环境的复杂性,通过工程实践和经验方法得到的延期时间存在很大的差异性,对于不同地质条件下爆破参数选取的指导意义有限^[9]。因此,利用数码电子雷管的延时精度高、安全性高、可靠性强、管控性好的显著优势,针对不同爆破施工环境下,探索有利于应力波叠加的孔排间微差时间,通过选择合理的孔排间微差时间来实现降低爆后的块度、优化炸药单耗是目前矿山爆破行业面临的亟待解决的问题之一^[10]。

1 数码电子雷管的优势

XF 型系列数码电子雷管是雪峰新疆雪峰科技(集团)股份有限公司自主研发的具有高安全性、高精度的智能型雷管产品,自 2009 年 10 月开始研发,至今已发展到第三代,如图 1 所示。经过不断的改进与更新,在现场使用方面,电子雷管管体故障率不

断下降,可靠性不断提高,操作更加简便。先后在新疆巴州、塔城、克州等地区封闭应用,陆续在全疆其他地区开放使用。事实证明,数码电子雷管作为一种安全可靠、高精度、智能型、环保型性能优良的起爆器材,可满足复杂爆破工程的微差减震要求,是实现大型爆破作业网络优化设计和微差干扰减震的理想产品。

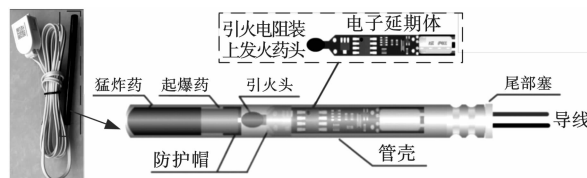


图 1 XF 型系列数码电子雷管结构图

Fig. 1 Structural diagram of XF series digital electronic detonator

(1) 良好的使用安全性

电子雷管具有抗射频、抗杂散电流能力较强,准爆率高等优点。电子雷管爆破网路连接完成后,可以通过控制器对爆破网路进行检测,如果有故障电子雷管,可以精确检测出来,并可以找到故障电子雷管的具体孔位,在爆破前进行处理,避免了传统起爆网络检查难度大的问题,最大限度减少盲炮和使用中的危险因素,爆破作业安全条件得到了提升^[11]。

(2) 良好的公共安全性

电子雷管具有密码管控系统,以形成雷管生产、流通、使用的闭环管理,极大地增强了民爆物品的管控水平。同时,电子雷管使用常规手段不能起爆,具有传统雷管所没有的社会安全性和公共安全性^[12]。XF 型系列电子雷管具有电子雷管信息流向跟踪管控系统,在民爆系统的基础上,通过密码管控,设备管控以及管控指令等手段,增加了对雷管的使用环节的管控,实现了对雷管的完整闭环管理,将现今事后追溯的管理模式改变为事前控制的管理模式,是对民爆系统实现管理功能的补充和完善。

(3) 使用便捷性

电子雷管无段别之分,通过电子芯片控制延期时间,与普通电雷管和导爆管雷管相比减少了出入库的工作量。对于无库房的临爆项目减少了雷管的

浪费。电子雷管网络连接,仅需要敷设爆破母线,将电子雷管连接到爆破母线即可,操作简单,省时省力。

(4) 可实现精准延时

电子雷管的延期时间小于 100 ms,偏差小于 1 ms;延期时间小于 101 ~ 500 ms,偏差小于 2 ms。在一定范围内可任意设置延期时间,完全可满足各种爆破作业的需求。可以有效的降低项目施工综合成本,达成良好的经济效益

2 工程试验

2.1 工程概述

项目施工场地为新疆准东地区某露天煤矿,根据工程地质勘察资料显示,该矿区剥离物以泥岩、粉砂岩及泥质粉砂岩为主,夹少量的砂岩及薄煤层,大

部分为单轴抗压强度在 6 ~ 15 MPa 的中硬岩类。岩层裂隙不甚发育,透水性和富水性较弱,水文地质条件简单。在施工过程中,为提高后续采剥环节作业效率,台阶需要提前进行爆破作业,爆破效果如图 2 所示。根据以往的爆破效果分析,爆破后块度不均匀,存在一定的大块,难以满足业主方对大块率控制要求,且延期时间方案沿用导爆管雷管时期的方案,成本控制压力大,也未发挥出数码电子雷管延期时间精度高、可调节的优势。因此有针对性地开展不同爆破施工环境条件,如地形地貌、岩石物理力学性质、爆破区域工程地质和水文地质条件等变化时,电子雷管起爆参数的优化试验,控制炸药单耗,优化矿岩块度,改善爆破质量,是实现矿山精细化生产与管理、达到降本增效的重要途径和技术手段。

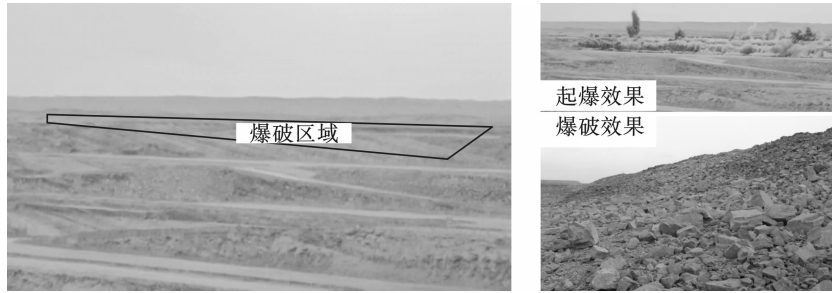


图 2 某露天矿台阶爆破效果图

Fig. 2 Effect of bench blasting in the open pit

2.2 微差时间的选取原则

合理的微差时间是爆破效果的有效保障。微差时间选取合理,不仅有利于形成新的自由面,也可增加应力波叠加,增强岩块之间的碰撞,同时还能最大限度地降低同一时间起爆药量,降低爆破地震波效应。延期时间也不宜过长,否则鞭炮孔爆落的岩石回落后,会破坏地表敷设起爆网络。因此,合理的微差时间选择十分重要。

(1) 孔间最佳延期时间选取。根据尝试矿冶研究院研究成果,孔间微差时间 t_1 选取的半经验公式为

$$t_1 = k \sqrt[3]{Q} + (10.2r_e D / C_r r_r - 1.78) \sqrt[3]{Q} + S/V \quad (1)$$

式中: k 为能量系数,取 1 ~ 2; Q 为单孔药量, k_g ; r_e 、 r_r 为起爆炸药和岩体的密度, g/cm^3 ; D 、 C_r 分别为炸药爆速及岩石的纵波波速, m/s ; S 、 V 分别为爆后岩块平均移动距离和移速。通常,为使两个炮孔之间作用达到最大,取得良好破碎效果,对岩性较脆且硬度较高的岩石,孔间延期取小值,反之取大值。

(2) 排间最佳延期时间选取。排与排之间的延

期时间长短决定了爆堆的形状和松散度,当排间延期时间过小,后排孔与前排孔相互过度挤压松散度差;排间延期时间过长,前排孔爆破后的岩石被抛出并停止移动,后排孔再将爆破的岩石抛到静止的爆堆上,爆堆被挤实,松散度变差。合理松散度的排间延期时间 t_2 与排距大小,岩石软硬有关系,通常由以下半经验公式确定

$$t_2 = [-b + \sqrt{b + 2(v_1^2 - v_2^2)H_0/g}] / (v_1 + v_2) \quad (2)$$

式中: b 为排距, m ; H_0 为岩块与台阶坡底面高度, m ; v_1 、 v_2 分别为堵塞段和中部岩块飞行速度, m/s 。

(3) 经验取值。全球最大民爆企业 ORICA 公司经过大量现场实验,得出合理的孔间延时时间取 3 ~ 8 ms/m,排间延时时间取 8 ~ 15 ms/m。设置延期时间要考虑其形成的爆破等时线对爆破瞬间自由面生成的形态和孔排距的影响。在布孔时就要通过延期时间的设置绘制出爆破等时线,反推计算孔排距。排距过大和孔距过小时,由于波叠加原理使孔间裂隙容易过早贯通,冲击波和爆生气体便会过早

逸出,反射波能量减弱,不利于径向裂隙的扩展和最终岩石的破碎。那么排距过小和孔距过大同样对岩石的爆破不利,这样不用担心孔间裂隙穿透,但由于过小的抵抗线,反射波能量较强,爆生气体从自由面端大量逸出,而孔间岩石的破碎达不到理想效果。

2.3 试验方案设计

为了获取数码电子雷管逐孔起爆网路的最佳延时时间,改善爆破效果,结合该露天煤矿地质情况、地质构造、开采工程位置等条件,通过调整孔间、排间的延时时间,组织开展该矿东帮四个标段 445 ~ 595 水平 59 次试验。采用控制变量法,即在保持爆

破孔网参数不变的情况下,调整孔间延时时间和排间延时时间,每次实验只改变其中一个变量,以得到最优的取值。爆区台阶剖面及装药结构如图 3 所示,选取其中典型试验过程记录如下:

2022 年 8 月 31 日,在矿山东帮 490-475 南侧切路区域进行深孔爆破作业,爆破方量 10 4332 m³,总药量 23.27 t,总孔数 409 个,设计单耗 0.223 kg/m³,其他爆破参数如表 1 所示。主装药为混装铵油炸药,本次网路延时时间为孔间微差 34 ms,排间微差 71 ms。爆破网路图如图 4 所示。

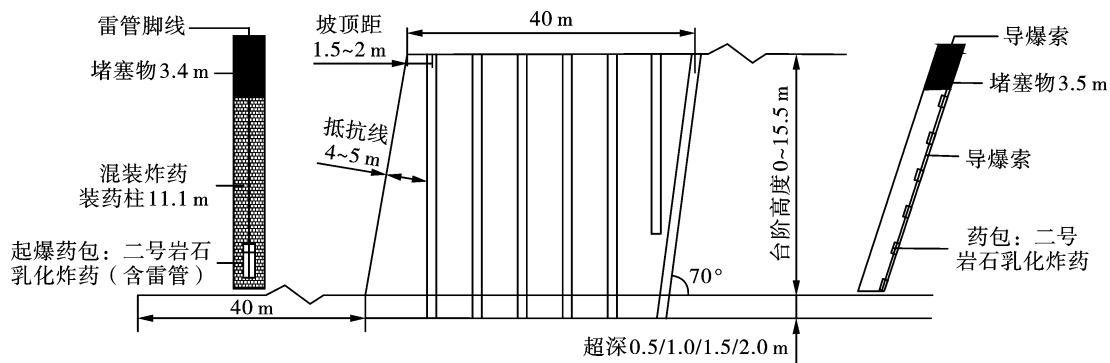


图 3 爆区台阶剖面及装药结构图

Fig. 3 Section of bench and charging structure in blasting area

表 1 台阶爆破参数

Table 1 Bench blasting parameters

孔径/mm	孔深/m	孔距/m	排距/m	台阶高度/m	超深/m	坡顶距/m	装药高度/m	堵塞长度/m	理论单耗/(kg·m ⁻³)
138	16.7	9	5	15	1.7	2	12.6	4.1	0.223

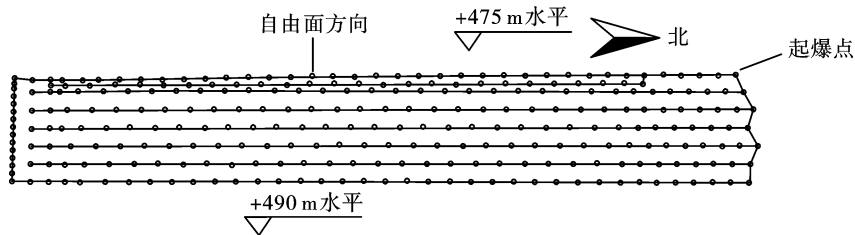


图 4 爆区网路敷设图

Fig. 4 Network layout in explosion area

观察爆破后现场,边坡稳定,正常塌落,爆堆伸出大约 18 m,飞石距离约 40 m,自由面存在大块较少,其他区域爆破效果良好,预裂孔爆破正常,爆破现场如图 5 所示。

3 合理微差时间的确定

经现场爆破实验,东帮 580-565 南侧扩帮、东帮 520-505 南侧切路和东帮 430-415 南侧扩帮三块爆破

区域的爆破炸药平均单耗较 2021 年同比降低 4.03%。与此同时,根据该矿山规定矿石大块评定标准,通过爆后爆堆实际勘察及铲装挖掘,其爆堆表面破碎,松散性好,爆堆后方无散落浮石,爆裂线平直,未见严重拉裂现象,块度均匀,爆堆内部大块较少,相比往年爆破大块率降低 1.8%。通过前期大量不同微差延时方案的爆破实验,最终确定在该露天矿不同岩性条件下最优的孔间、排间微差延时时间,见表 2。

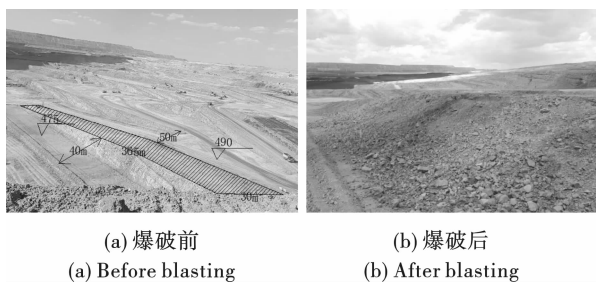


图 5 爆破效果图
Fig. 5 Blasting effect

表 2 准东地区泥岩、砂岩爆破延时特性表
Table 2 Delay characteristics of mudstone and sandstone blasting in Zhudong Area

岩性特性	孔间延时/m (ms · m ⁻¹)	孔间 延时/ms	排间延时/m (ms · m ⁻¹)	排间 延时/ms
泥岩为主, 部分细砂岩	5.9	47	14.0	77
泥岩、细砂 岩混合	5.9	47	13.2	79
砂岩为主, 部分泥岩	2.7	24	14.2	71

4 结论

微差爆破孔间排间延时对于爆破效果,尤其是矿岩的块度分布有着重要的影响。合理的微差时间,不仅能增强炮孔应力波叠加效益,也为自由面的产生提供合理的时间和空间。通过现场控制变量试验,确定了泥岩为主、泥砂混合、砂岩为主三种不同岩性台阶爆破最优孔间排间延时时间,现场应用后,爆破炸药单耗降低 4.03%,且爆堆平整,块度均匀,有利于后续采剥作业,降本增效显著。本次试验研究所选的延期时间取值范围在经验公式验算的基础上,主要参考了澳瑞凯公司提出经验值,在澳瑞凯经验取值范围外选定延期时间能否取得良好的实验效果,有待后期与爆破同行们共同探索

参考文献 (References)

- [1] 胡 平. 复杂地质条件下地铁隧道下穿建筑物减振爆破技术[J]. 工程爆破, 2022, 28(3): 122-128.
- [1] HU Ping. Blasting vibration reduction technology for subway tunnels beneath buildings in complex geological conditions[J]. Engineering Blasting, 2022, 28(3): 122-128. (in Chinese)
- [2] 贾永胜, 刘昌邦, 伍 岳, 等. 房屋建筑物纵向逐跨坍塌爆破拆除关键技术探讨[J]. 爆破, 2022, 39(4): 10-16.
- [2] JIA Yong-sheng, LIU Cang-bang, WU Yue, et al. Discussion on key technology of demolishing buildings by longitudinal span-by-span collapse blasting [J]. Blasting, 2022, 39(4): 10-16. (in Chinese)
- [3] 常建平, 张鹏飞, 段 军, 等. 高台阶孔内微差爆破参数的确定与爆破效果分析[J]. 金属矿山, 2020(12): 81-87.
- [3] CHANG Jian-ping, ZHANG Peng-fei, DUAN Jun, et al. Determination of millisecond blasting parameters and analysis of blasting effect in high-step hole [J]. Metal Mine, 2020(12): 81-87. (in Chinese)
- [4] 陈亚军, 白晓杰, 李永武, 等. 复杂岩体不对称 V 型斜线起爆网路爆破效果分析[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(5): 135-140.
- [4] CHEN Ya-jun, BAI Xiao-jie, LI Yong-wu, et al. Analysis of blasting effect of asymmetric V-shaped oblique initiation network in complex rock mass [J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(5): 135-140. (in Chinese)
- [5] 万 佳. 不良地质条件下控制爆破技术在某露天矿山开采中的应用[J]. 世界有色金属, 2022(13): 37-39.
- [5] WAN Jia. Application of controlled blasting technology in mining of an open pit mine under adverse geological conditions [J]. World Nonferrous Metals, 2022(13): 37-39. (in Chinese)
- [6] 张阳光, 李 强, 林 飞, 等. 基于灰色关联分析法的爆破效果影响因素敏感性分析[J]. 煤矿爆破, 2020, 38(4): 12-15, 30.
- [6] ZHANG Yang-guang, LI Qiang, LIN Fei, et al. Sensitivity analysis on influencing factors of blasting effect based on grey correlation analysis method [J]. Coal Mine Blasting, 2020, 38(4): 12-15, 30. (in Chinese)
- [7] 兰小平. 数码电子雷管逐孔起爆网路延时时间应用探讨[J]. 工程爆破, 2019, 25(2): 57-66.
- [7] LAN Xiao-ping. Discussion on application of delay time in hole-by-hole initiation network of digital electronic detonators [J]. Engineering Blasting, 2019, 25(2): 57-66. (in Chinese)
- [8] 程三建, 陶 明, 罗福友, 等. 复杂地质条件下露天爆破技术方案优化研究[J]. 采矿技术, 2018, 18(3): 84-86.
- [8] CHENG San-jian, TAO Ming, LUO Fu-you, et al. Optimization of open pit blasting technology under complex geological conditions [J]. Mining Technology, 2018, 18(3): 84-86. (in Chinese)
- [9] 魏 东, 陈 明, 卢文波, 等. 岩体性能变化条件下台阶爆破根底的产生机制研究 [J]. 岩土力学, 2022, 43(S1): 490-500.
- [9] WEI Dong, CHEN Ming, LU Wen-bo, et al. Study on the

- formation mechanism of bench blasting foundation under the condition of rock mass performance change[J]. Rock and Soil Mechanics, 2022, 43(S1):490-500. (in Chinese)
- [10] 刘翔宇, 吴昊骏, 吴晓东, 等. 考虑电子雷管延期误差的隧道爆破叠加振动研究[J]. 爆破, 2021, 38(4): 143-148.
- [10] LIU Xiang-yu, WU Hao-jun, WU Xiao-dong, et al. Research on superposed vibration of tunnel blasting considering delay error of electronic detonator[J]. Blasting, 2021, 38(4):143-148. (in Chinese)
- [11] 章文义, 王刚, 赵小虎. XQZXB-1 型数码电子雷管性能优化及应用[J]. 火工品, 2021(3):48-51.
- [11] ZHANG Wen-yi, WANG Gang, ZHAO Xiao-hu. Performance optimization and application of XQZXB-1 digital electronic detonator[J]. Initiators and Pyrotechnics, 2021(3):48-51. (in Chinese)
- [12] 郭鹏杰. 数码电子雷管在峨口铁矿爆破中的应用[J]. 爆破, 2021, 38(4):129-132.
- [12] GUO Peng-jie. Application of digital electronic detonator in Ekou iron mine blasting[J]. Blasting, 2021, 38(4): 129-132. (in Chinese)

英文编辑:陈东方

《爆破》杂志征订启事

《爆破》(刊号 ISSN1001-487X, CN42-1164/TJ)创刊于1984年(季刊),大16开。《爆破》由武汉理工大学主办、中华人民共和国教育部主管,是国内外公开发行的爆破行业权威学术期刊。

办刊宗旨:聚焦爆破领域高新技术前沿动态,构筑交流学术思想、传递科技信息平台,推动中国爆破事业的蓬勃发展

主要栏目:名家论坛、理论与技术探索、矿岩爆破、拆除爆破、特种爆破、爆破器材、安全与管理

读者对象:国内外相关专业科研院所科技工作者、大中专院校师生、企业技术人员及管理人员。本刊还特别注重为青年学者、博士生、硕士生的科研提供服务。

《爆破》论文大多结合我国重大建设工程和爆破界关注的课题,理论研究和工程应用合理搭配。这些内容为各地、各系统爆破工作者提高理论水平,获取新技术构建了学习交流的平台,直接服务于生产实践。读者和作者遍布全国各省市,覆盖水利、电力、冶金、煤炭、有色金属、建材、铁路、公路、建筑、地质、石油化工、军工等多个行业,杂志辐射面广、具有较高的学术水平和社会影响力。

《爆破》杂志连续五届进入“中文核心期刊要目总览”,同时还是中国科技论文统计源刊(中国科技核心期刊)、中国科学引文数据库(CSCD)源刊、中国学术期刊<光盘版>源刊、《中国期刊网》源刊、万方数据库源刊、中文科技期刊数据库源刊、《中国核心期刊(遴选)数据库》源刊。在中国知网、“万方数据-数字化期刊群”、维普、超星全文上网。杂志荣获《CJA-CD规范》执行优秀奖,连续获得五届湖北省优秀期刊奖。

2022年版中国科技期刊引证报告显示2021年《爆破》扩展影响因子2.246,位居兵器科学与技术第一位。

编辑部现已建成集作者投稿+编辑网络办公+专家评审+主编终审等功能的专业网站。

欢迎投稿、订阅!

杂志可在全国各地邮局订阅,国内邮发代号38-425,每册定价RMB¥20(国内),全年RMB¥80(国内)。

也可直接联系编辑部购买,每册定价(含邮费)RMB¥25(国内),全年(含邮费)RMB¥100(国内)。

编辑部联系方式和银行账户:

联系方式:

地址:武汉理工大学南湖校区《爆破》杂志编辑部

电话:(027)87654177

E-mail:chinablasting@sina.com.cn

Website:www.chinablasting.com

bopo.cbpt.cnki.net

开户行及账号:

户名:武汉理工大学

开户行:工行洪山支行

账号:3202006709000475962

转账时请备注“爆破杂志订购款”及订阅的年、期、份数。