

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.03.011

破碎矿体水平深孔落矿爆破试验研究

程平¹, 郭进平¹, 孙锋刚^{1,2}

(1. 西安建筑科技大学 资源工程学院, 西安 710055; 2. 西安科技大学 能源学院, 西安 710054)

摘要: 破碎矿体开采中常遇到爆破装药困难、不易堵塞、顶板塌落、生产效率低等问题,而水平深孔爆破可以解决此类问题,但因孔径大、装药量大、爆破振动危害大,水平深孔爆破应用较少。针对水平深孔落矿的应用难题,提出不耦合装药结构和逐孔毫秒延时起爆技术,有效的降低了爆破震动危害,降低了炸药单耗,取得了良好的爆破效果。通过现场试验,验证了水平深孔落矿在破碎矿体开采中的适用性,水平深孔落矿炸药单耗 0.28 kg/m^3 ,采矿效率 144.99 t/d ,采切比 3.10 m/kt ,采矿成本 $40\sim 50\text{ 元/t}$ 。

关键词: 破碎矿体; 水平深孔; 不耦合; 逐孔起爆; 炸药单耗

中图分类号: TD853 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)03-0068-06

Experimental Study of Horizontal Deep-Hole Blasting in Fractured Orebody

CHENG Ping¹, GUO Jin-ping¹, SUN Feng-gang^{1,2}

(1. School of Resource Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. School of Energy Resources, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: There are some problems encountered fractured orebody in underground mining, such as the difficulty of upward hole charging, difficulty in blasthole stemming, roof fall and low production efficiency, and horizontal deep hole blasting method can solved these problems. But the application of horizontal deep hole blasting is less, because of large hole diameter leading to large charge and great damage of blasting vibration. In order to solve the application problems of horizontal deep hole blasting, the uncoupled charge structure and hole-by-hole millisecond time delay blasting initiation technology were proposed, which effectively reduced the damage of blasting vibration and powder factor, and achieved good blasting effect. The applicability of horizontal deep hole blasting in the mining of fractured orebody was verified by field test. The results showed that the powder factor was 0.28 kg/m^3 , the mining efficiency was 144.99 t/d , the extraction-to-cut ratio was 3.10 m/kt and the mining cost was $40\sim 50\text{ yuan/t}$.

Key words: fractured orebody; horizontal deep-hole; uncoupled; hole-by-hole blasting; powder factor

在国民经济发展中,我国金属矿床开采遇到越来越多赋存条件复杂的难采资源,其中松软破碎矿床开采难度大,资源回收率低,亟待研究经济适用的

开采技术^[1]。目前,对破碎矿体开采落矿主要采用浅孔落矿、自然崩落、垂直扇形中深孔落矿和水平深孔落矿^[2-11],其中,水平深孔落矿对凿岩设备性能要求高,还没有被广泛应用,但是水平深孔落矿可以实现脉外凿岩施工,人员在脉外凿岩硐室内作业,具有安全高效的特点。近年来已有很多学者进行了井下开采爆破技术的研究,许大鹏等通过优化爆破参数,使得爆破效果得到改善^[12-14];任少峰等研究了不耦合装药对爆破落矿的影响,不耦合装药有效

收稿日期:2020-04-07

作者简介:程平(1974-),男,陕西西安人,讲师、硕士,主要从事采矿工程和岩土爆破研究,(E-mail)763124070@qq.com。

通讯作者:孙锋刚(1984-),男,陕西渭南人,工程师、硕士,主要从事采矿工程和岩土爆破教学与科研工作,(E-mail)304869085@qq.com。

降低了炸药单耗和爆破震动危害^[15,16];杨仁树等微差爆破技术机理,微差爆破可以改善爆破效果,降低爆破震动危害^[17]。

随着先进的水平深孔凿岩设备的制造和爆破技术的进步,水平深孔落矿技术愈发成熟,为水平深孔落矿技术的应用提供了条件。针对陕西某铜矿矿体破碎厚大,矿体内采准工程施工难度大,凿岩作业存在安全风险,提出了不耦合装药和逐孔微差起爆的水平深孔落矿方案,通过现场试验,取得了较好爆破效果。将水平深孔落矿技术应用到破碎矿体开采中,对解决破碎矿体开采技术难题具有很好的参考意义。

1 开采技术条件

该矿处于徐家坝—铜厂—七里沟岩浆岩带东段,区内断裂构造十分发育,矿床成矿条件复杂,矿体形态变化大,深部矿岩片理化特别发育,共圈定矿体 13 条, I-2 矿体为主矿体,其余矿体较小。矿体和围岩均为片理化细碧岩,矿体赋存于片理化细碧岩内的含铜黄铁矿化、磁黄铁矿化细碧岩。矿石具鳞片-粒状变粒结构、它形粒状结构,脉状、条带状构造,局部具有硅化。矿体和围岩主要为片理化特别发育的细碧岩,矿体和围岩不稳固,该矿床开采技术条件极为复杂,开采难度大。

I-2 号铜矿体特征:(1) I-2 号铜矿体倾角为 52°~63°。(2) I-2 号铜矿体厚度一般为 10~27 m,平均厚度为 16 m 左右。(3) 矿岩破碎,矿岩不稳固、极不稳固,地应力显现频繁,发生冒顶、垮塌的可能性大。(4) 矿体沿走向连续性好,走向长度约 100~150 m。

I-2 号铜矿体 850 m 标高以上已经开采结束,现在完成开拓工程的为 800 m 中段。根据崩落法自上而下的开采顺序,设计试采矿块为 800 m 中段 32~33 线。

2 水平深孔爆破参数设计

落矿采用下盘脉外凿岩硐室钻凿水平深孔爆破落矿。凿岩硐室在行人通风天井左右两侧交错布置,垂直间隔 6.25 m,单侧垂直间隔为 12.5 m。凿岩硐室采用 YQ100 潜孔凿岩机钻凿水平中深孔。每层凿岩硐室钻凿 2 排水平深孔。每次起爆 2 排炮孔。落矿后,采用扒渣机从人字型装矿平巷出矿,装入矿车运出采场。每次出矿只出一部分,保证上部落矿有足够的自由补偿空间,且矿块内的松散矿岩维护周边矿岩体的稳定性。如此循环,直至矿块内的矿石全部爆落,最后进行大放矿。

2.1 炮孔参数

凿岩硐室内的扇形水平深孔。孔径 100 mm,最

小抵抗线(排距) $W = (35 \sim 40) d = 3.5 \sim 4.0$ m(取 3.5 m),孔底距 $Ld = (1.1 \sim 1.5) W = 3.9 \sim 6.0$ m(取 5.0 m),炮孔堵塞长度一般在 $(0.4 \sim 0.8) Wd = (0.4 \sim 0.8) * (3.9 \sim 6.0) = 1.56 \sim 4.8$ 范围内(取值原则:提高炸药利用率,控制孔口距,调节孔口部分的炸药分布)。孔深 5.6~33.9 m。第一排炮孔排面角 1°。第二排炮孔排面角 4°。(炮孔参数详见表 1)(炮孔布置详见图 1、图 2、图 3)

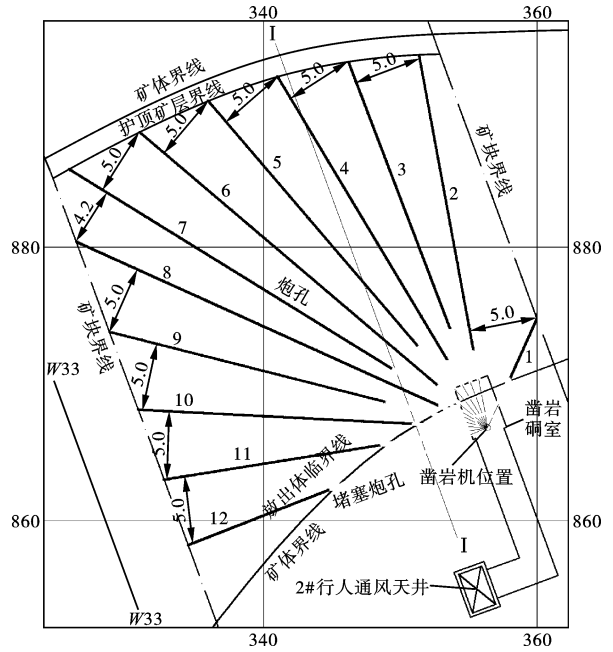


图 1 812.5 m 水平工程布置(单位:m)

Fig. 1 812.5 m level project layout(unit:m)

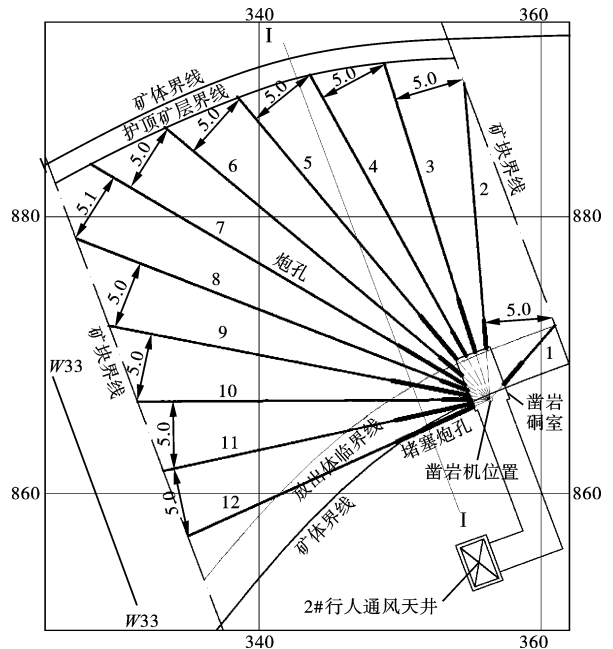


图 2 816.6 m 水平工程布置(单位:m)

Fig. 2 816.6 m level project layout(unit:m)

表1 炮孔参数表

Table 1 Table of blastholes parameters

凿岩位置	孔号	孔径/ mm	倾角 $\alpha/^\circ$	方位角/ $^\circ$	孔深/m	装药直径/ mm	装药 量/kg	堵塞 长度/m	PVC管 长度/m
812.5 m 水平	1	100	1	24	6.9	75	17.32	2.0	5.0
	2	100	1	359	24.1	75	78.12	2.0	22.2
	3	100	1	359	25.0	75	74.23	4.0	21.1
	4	100	1	359	26.3	75	85.90	2.0	24.4
	5	100	1	359	27.7	75	83.78	4.0	23.8
	6	100	1	359	30.8	75	101.80	2.0	28.9
	7	100	1	359	33.9	75	98.62	6.0	28.0
	8	100	1	359	31.2	75	103.22	2.0	29.3
	9	100	1	359	27.0	75	74.23	6.0	21.1
	10	100	1	359	24.2	75	71.41	4.0	20.3
	11	100	1	359	22.7	75	57.27	6.5	16.3
	12	100	1	359	22.2	75	39.60	11.0	11.3
816.6 m 水平	1	100	4	41	5.6	75	12.75	2.0	3.7
	2	100	4	356	19.2	75	60.94	2.0	17.3
	3	100	4	356	22.0	75	63.42	4.0	18.0
	4	100	4	356	23.2	75	74.76	2.0	21.3
	5	100	4	356	24.6	75	72.63	4.0	20.7
	6	100	4	356	27.8	75	91.05	2.0	25.9
	7	100	4	356	31.1	75	90.34	5.5	25.7
	8	100	4	356	29.9	75	98.56	2.0	28.0
	9	100	4	356	26.1	75	72.28	5.6	20.5
	10	100	4	356	23.7	75	76.53	2.0	21.8
	11	100	4	356	22.5	75	59.52	5.6	16.9
	12	100	4	356	22.4	75	57.75	6.0	16.4
合计					579.8		1716.03	94.3	487.9

说明:不耦合系数为1.3,爆落矿岩体积4884.9 m³,炸药单耗0.35 kg/m³,炸药密度参考2号铵油炸药取值(装药密度0.8 g/cm³)。所有参数根据实际施工情况进行调整。

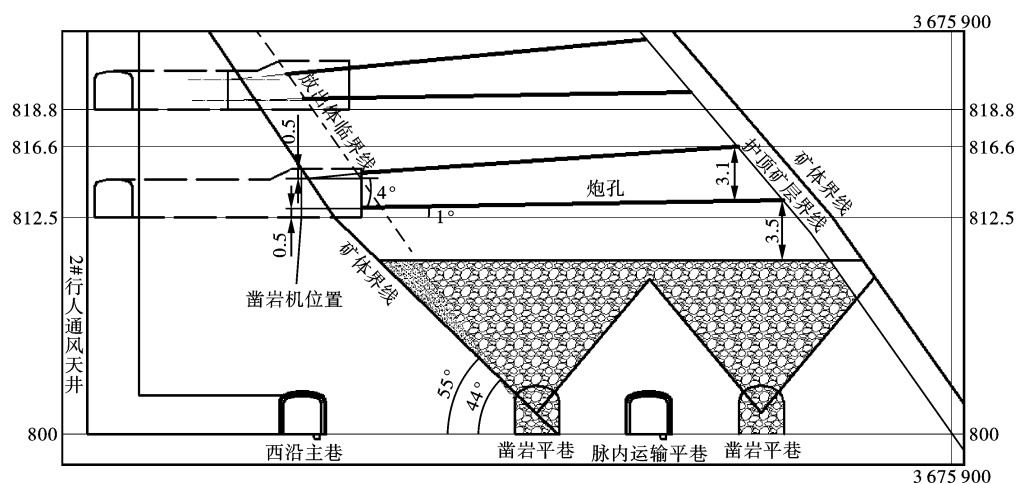


图3 I-I剖面(单位:m)

Fig. 3 I-I profile(unit:m)

2.2 装药结构

由于极破碎岩体受爆破振动扰动影响大,因此不能采用全耦合连续装药结构。拉底施工时,设计

的间隔装药结构,由于现场设备技术所限,无法实施。此次爆破装药结构设计采用不耦合装药结构。装药采用直径75 mm的PVC管(1.5 m长的PVC管

连接而成)不耦合装药结构(见图 4)。装药器装药,提高效率。采用炮泥或者岩粉堵孔(为了提高堵孔效率,建议开发堵孔效果好,堵孔效率高的材料与装

置。),堵塞料长度最少 2 m。孔内使用导爆索传爆。双发导爆管雷管起爆导爆索(雷管和导爆索用胶带联结)。

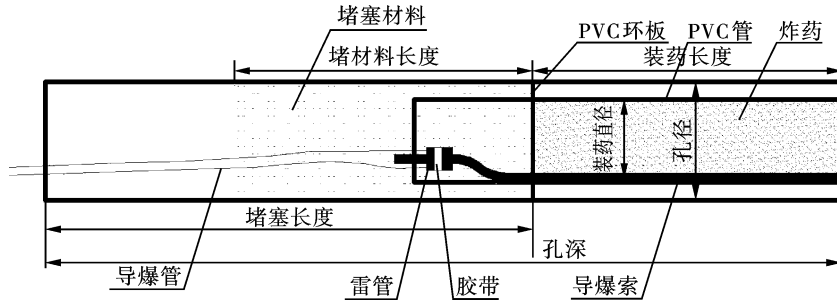


图 4 装药结构示意图

Fig. 4 Charge structure indication

2.3 起爆网路

采用逐孔微差起爆。采用毫秒微差导爆管雷管连接网路,导爆管起爆器起爆。

起爆顺序:向自由面逐排起爆,排内炮孔采用由

中间向两边的 V 字形逐孔起爆,抛掷方向为下方临空空间。

排间微差 110 ms,孔间微差 25 ms。(爆破网路连接及耗材详见图 5。)

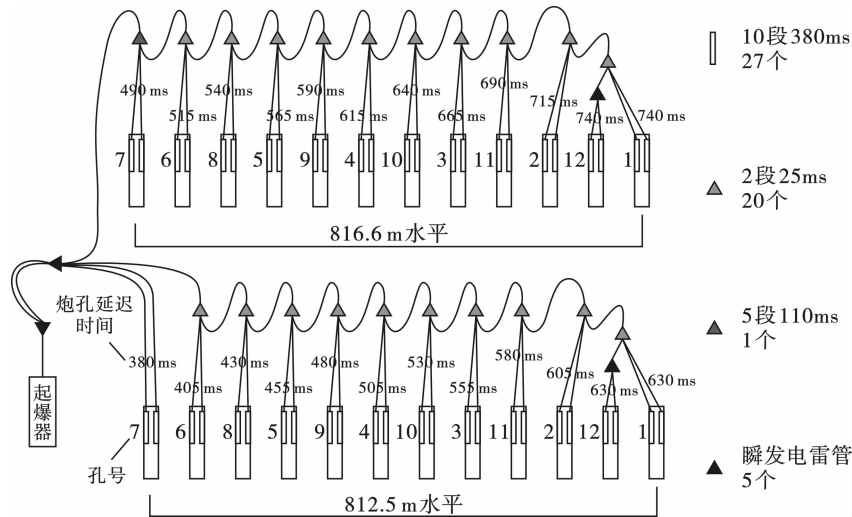


图 5 爆破网路

Fig. 5 Blasting network

孔外雷管要进行覆盖,防止雷管切断网路。

孔外网路一定要注意搭接、相交等情况,影响炮孔起爆顺序。

在矿体顶板留有 1.5 m 厚的矿层,作为保护层防止顶板围岩冒落造成贫化损失过高。

2.4 放矿管理

水平深孔爆破后,进行安全通风。待通风 30 min 以上,安全员检查无危险情况后,进行小规模放矿。

出矿方案:每次水平深孔爆破后只出一部分矿石,保证上部落矿有足够的自由补偿空间,且矿块内的松散矿岩维护周边矿岩体的稳定性。

本次设计爆破补偿空间(K_1)取 20% (挤压爆破)。

根据施工队和业主提供的施工数据,松散系数为(K_2)1.7,由于采用挤压爆破,松散系数(K_3)取 1.2。

此次爆落矿岩体积(V) 5356.25 m^3 。

放出矿岩量(V_f) $= V \times K_1 = 1071.25 \text{ m}^3$

矿车数 $= V_f \times (K_2 / K_3) / (V_c \times K_4) = 2386$ 车

V_c 为矿车容积,取 0.75 m^3 。

K_4 为矿车满载系数,取 0.85。

下盘凿岩平巷承担出矿量 90%,为 2148 车。

靠近上盘凿岩平巷承担出矿量 10%,为 238 车。

每条凿岩平巷根据出矿口数量平均分配出矿量:下盘凿岩平巷6个出矿口,每个出矿口出矿358车;靠近上盘凿岩平巷3个出矿口,每个出矿口出矿79车。

具体施工时,放矿量计算参考以上计算过程。参数根据现场情况进行调整。如有靠近上盘凿岩平巷出矿口放出废石,该出矿口将禁止出矿。见表2。

表2 放矿量计算表

Table 2 Table of drawing volume calculation

名称 单位	爆破矿岩 体积/m ³	补偿 空间/%	松散 系数 K ₂	松散 系数 K ₃	放出 矿岩量/m ³	矿车 容积/m ³	矿车满载 系数	矿车 数/车	下盘出矿 量/车	上盘出矿 量/车
数值	5356.25	20	1.7	1.2	1071.25	0.75	0.85	2386	2148	238

出矿一定要编制详细的出矿方案,主要包括出矿的位置和每个位置的出矿量。严格进行放矿管理。放矿管理对生产施工影响非常大,多出矿会造成底部结构破坏和顶板冒落;少出矿会造成过挤压,爆破效果不好,矿石无法爆落等现象。

放矿完成后,重复第2.1~2.4节内容,直至到达850 m水平,再进行大放矿。

3 现场试验

将以上设计的水平深孔爆破落矿方案用于试采矿块落矿中,共进行7次水平深孔爆破落矿试验。试验后,经统计,炸药单耗为0.28 kg/m³,采矿效率144.99 t/d,采切比3.10 m/kt,采矿成本40~50元/t,试验前后相关数据对比见表3。

表3 试验前后相关数据对比

Table 3 Comparison of relevant data before and after field tests

	炸药单耗/ (kg·m ⁻³)	采矿效率/ (t·d ⁻¹)	采切比/ (m/kt)	采矿成本/ (元·t ⁻¹)
试验前	0.39	108.96	8.32	55~65
试验后	0.28	144.99	3.10	40~50

试验前,该矿采用上向垂直扇形中深孔落矿。试验前后经济效益对比,水平深孔爆破落矿方案明显优于上向垂直扇形中深孔落矿,而且前者凿岩作业不进入脉内,安全性更强。水平深孔爆破落矿缺点是爆破技术要求高,一次起爆药量大,起爆网络连接复杂。

4 结论

针对破碎矿体开采难题,本文提出了脉外凿岩的水平深孔爆破落矿方案,通过现场试验验证了方案的合理性,取得了良好的经济效益,得到以下结论:

(1)水平深孔爆破落矿方案炮孔直径大,装药量大,采用不耦合装药,使得炸药分布均匀,爆破效果好。

(2)对于破碎矿体开采,降低爆破危害是非常重要的,逐孔微差起爆技术降低了一次起爆药量,降低了爆破震动强度,对破碎矿体开采至关重要。

(3)目前大多采用的垂直上向扇形中深孔爆破落矿在破碎矿体开采中暴露出越来越多的问题,文中研究表明,水平深孔爆破落矿技术已经成熟,在实践中证明可行,对于类似工程提供了很好的参考价值。

参考文献 (References)

- [1] 古德生,周科平. 现代金属矿业的发展主题[J]. 金属矿山,2012(7):1-8.
- [1] GU De-sheng, ZHOU Ke-ping. Development theme of the modern metal mining[J]. Metal Mine, 2012(7):1-8. (in Chinese)
- [2] 宋德林,任凤玉,刘德祥,等. 西石门铁矿北区高应力破碎矿体崩落法开采技术[J]. 金属矿山,2019(3):41-47.
- [2] SONG De-lin, REN Feng-yu, LIU De-xiang, et al. Caving mining technology for high stress fractured orebody in the northern mining area of Xishimen Iron Mine[J]. Metal Mine, 2019(3):41-47. (in Chinese)
- [3] 王 东. 自然崩落法在厚大破碎矿体中的应用[J]. 世界有色金属,2018(11):50-51.
- [3] WANG Dong. Application of natural caving in thick and large broken ore bodies[J]. World Nonferrous Metals, 2018(11):50-51. (in Chinese)
- [4] 李金位. 缓倾斜破碎中厚矿体无底柱分段崩落法采切工艺优化研究[J]. 化工矿物与加工,2018,47(8):56-58.
- [4] LI Jin-wei. Optimization study on mining process of sub-level caving method for gently inclined broken medium

- thick orebody [J]. *Industrial Minerals & Processing*, 2018, 47(8):56-58. (in Chinese)
- [5] 曾凡珍,吕明伟,张树标,等. 静态留矿法在漂塘矿区的应用研究[J]. *矿业工程*, 2017, 15(1):16-17.
- [5] ZENG Fan-zhen, LV Ming-wei, ZHANG Shu-biao, et al. Study on application of static shrinkage method to Piaotao Mining Area[J]. *Mining Engineering*, 2017, 15(1):16-17. (in Chinese)
- [6] 程德富. 三山岛金矿破碎矿体开采采场结构参数优选[J]. *黄金*, 2017, 38(7):30-32.
- [6] CHENG De-fu. Optimization of stope structure parameters of fractured orebody mining in Sanshandao Gold Mine [J]. *Gold*, 2017, 38(7):30-32. (in Chinese)
- [7] 王运森,郑贵平,金长宇,等. 缓倾斜破碎矿体回采方案优化与动态调控研究[J]. *金属矿山*, 2016(2):1-6.
- [7] WANG Yun-sen, ZHENG Gui-ping, JIN Chang-yu, et al. Research on mining sequence optimization and dynamical control of gently inclined broken orebody [J]. *Metal Mine*, 2016(2):1-6. (in Chinese)
- [8] 傅林. 分层崩落采矿法回采急倾斜破碎中厚富锰矿体[J]. *中国锰业*, 2016, 34(3):39-43.
- [8] FU Lin. Experiment and application of downward slicing and crumbling mining method for steeply inclined broken medium-sized rich manganese ore body[J]. *China's Manganese Industry*, 2016, 34(3):39-43. (in Chinese)
- [9] 李永辉,张华军,张新华,等. 黄山铜镍矿连续自然崩落法试验研究[J]. *矿业研究与开发*, 2016, 36(10):16-20.
- [9] LI Yong-hui, ZHANG Hua-jun, ZHANG Xin-hua, et al. Experimental research on continuous natural caving method in Huangshan Cu-Ni Mine [J]. *Mining Research and Development*, 2016, 36(10):16-20. (in Chinese)
- [10] 袁绍国,石斌. 水平超深孔松动爆破在地下煤矿综采面的应用[J]. *爆破*, 2013, 30(3):62-64.
- [10] YUAN Shao-guo, SHI Bin. Application of loosening blasting with super deep horizontal hole in fully mechanized face of underground coal mine [J]. *Blasting*, 2013, 30(3):62-64. (in Chinese)
- [11] 王红心. 进路充填采矿法采场破碎炮孔护孔爆破试验研究[J]. *有色金属(矿山部分)*, 2019, 71(4):23-26,31.
- [11] WANG Hong-xin. Experimental study on blast with protected cracking and blocked holes in stope using drift cut-and-fill mining method [J]. *Nonferrous Metals (Mining Section)*, 2019, 71(4):23-26,31. (in Chinese)
- [12] 许大鹏,赵健,邱星博. 浅议矿山中深孔特殊形式爆破技术实践[J]. *有色矿冶*, 2019, 35(4):14-16.
- [12] XU Da-peng, ZHAO Jian, QIU Xing-bo. Brief Discussion on the Special forms of Medium-deep Hole Blasting in Mine [J]. *Non-ferrous Mining and Metallurgy*, 2019, 35(4):14-16. (in Chinese)
- [13] 高英勇,任海龙,李光,等. 眼前山铁矿中深孔爆破结构参数研究[J]. *矿业研究与开发*, 2018, 38(10):6-10.
- [13] GAO Ying-yong, REN Hai-long, LI Guang, et al. Study on structural parameters of middle-deep hole blasting in Yanshan Iron Mine [J]. *Mining Research and Development*, 2018, 38(10):6-10. (in Chinese)
- [14] 贺贵旺,明建,王通潮,等. 磷铁矿床中深孔爆破设计方案优化研究[J]. *有色金属(矿山部分)*, 2018, 70(4):46-48.
- [14] HE Gui-wang, MING Jian, WANG Tong-chao, et al. Optimization study of medium-length hole blasting design in an Iron-Phosphate Mine [J]. *Nonferrous Metals (Mining Section)*, 2018, 70(4):46-48. (in Chinese)
- [15] 任少峰,周俊,王彬,等. 聚苯乙烯泡沫不耦合装药爆破试验研究[J]. *爆破*, 2018, 35(2):67-71.
- [15] REN Shao-feng, ZHOU Jun, WANG Bin, et al. Experimental study of polystyrene foam with uncoupling charge blasting [J]. *Blasting*, 2018, 35(2):67-71. (in Chinese)
- [16] 王夏南. 余吾矿深孔爆破径向不耦合系数研究[J]. *煤炭技术*, 2018, 37(6):98-101.
- [16] WANG Xia-nan. Study of radial uncoupling coefficients of deep hole blasting in Yuwu Coal Mine [J]. *Coal Technology*, 2018, 37(6):98-101. (in Chinese)
- [17] 杨仁树,丁晨曦,杨国梁,等. 微差爆破的爆生裂纹扩展特性试验研究[J]. *震动与冲击*, 2017, 36(24):97-102.
- [17] YANG Ren-shu, DING Chen-xi, YANG Guo-liang, et al. Tests for blasting induced crack propagation characteristics of short-delay blasting [J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2017, 36(24):97-102. (in Chinese)