

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.02.006

## 大倾角煤层无人工作面深孔爆破落煤参数设计\*

韩亮<sup>1</sup>, 曲效成<sup>2</sup>, 刘聚友<sup>3</sup>, 彭瑞<sup>1</sup>

(1. 华北科技学院安全工程学院, 北京 101601; 2. 北京安科兴业科技股份有限公司, 北京 102200;

3. 陕西麟北煤业开发有限责任公司, 宝鸡 721505)

**摘要:** 为解决大倾角煤层的安全高效开采难题, 提出大倾角煤层无人工作面开采工艺, 并引入深孔爆破技术实现工作面落煤。根据现场情况开展了深孔爆破落煤试验, 以装药量平衡原理为基础, 对爆破参数进行了设计。爆破效果表明: 爆堆分布集中, 大部分煤体抛掷距离不超过 1 m; 爆破块度较均匀, 基本分布在 100 ~ 300 mm, 验证了爆破参数的合理性。设计成果可为后续生产积累重要的实践经验, 也可供其他项目参考借鉴。

**关键词:** 大倾角煤层; 深孔爆破; 落煤; 爆破参数; 爆破效果

中图分类号: TD235.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-487X(2020)02-0030-05

## Parameter Design of Coal Falling by Deep Hole Blasting in Unmanned Working Face in Steep Seam

HAN Liang<sup>1</sup>, QU Xiao-cheng<sup>2</sup>, LIU Ju-you<sup>3</sup>, PENG Rui<sup>1</sup>

(1. Safety Engineering College, North China Institute of Science and Technology,

Beijing 101601, China; 2. Beijing Anke industrial Polytron Technologies Inc, Beijing 102200, China;

3. Shanxi LinBei Coal Industry Development Co., Ltd., Baoji 721505, China)

**Abstract:** In order to realize safe and efficient mining of steep seam, the mining technology of unmanned working face in steep seam is put forward, and the deep hole blasting technology is introduced to realize the coal caving of working face. Based on the principle of charge balance, the blasting parameters are designed. The blasting results show that the blasted coal piles present a concentrated distribution. And the throwing distance of most coal body is no more than 1 m. In addition, the blasting fragmentation is relatively uniform, basically distributing within 100 ~ 300 mm, which verifies the rationality of the blasting parameters. The design of this project can provide important practical experience for follow-up productions, or be used for reference by other projects.

**Key words:** steep seam; deep hole blasting; coal caving; blasting parameter; blasting effect

大倾角煤层开采一直是采矿领域的难题, 新矿集团福城煤矿部分煤层目前正面临开采倾角大, 顶板破碎滑落的问题, 个别工作面甚至出现严重冒顶致使工

作面停产, 设备难以撤出的情况, 给企业造成极大损失。由于大倾角煤层占比较大, 因此如何安全回收这部分资源将是矿井的一项重要工作, 在此背景下, 矿方联合科研单位, 提出了大倾角煤层无人工作面开采工艺。该工艺是在工作面上、下区段平巷端头实体煤帮布置钻孔, 平行于工作面打眼爆破, 现场人员不进入工作面, 面内不设支护, 煤体爆落后, 经引煤装置扒落至下区段平巷, 完成资源的开采。上述环节中, 深

收稿日期: 2020-02-16

作者简介: 韩亮(1985-), 男, 山西太原人, 博士, 毕业于中国矿业大学(北京), 主要研究方向为岩石破碎与工程爆破、地下工程中煤岩体动力灾害监测与防治, (E-mail) hanliang\_1985@sina.com。

基金项目: 中央高校基本科研业务费资助(3142017092); 国家自然科学基金(51804119)

孔爆破落煤是整个工艺的关键,爆破效果的好坏将直接影响该工艺的生产效率。

深孔爆破技术源于露天开采,此后在交通、水利和煤矿等领域得到广泛应用。井工开采中,深孔爆破多用于煤层卸压<sup>[1-3]</sup>、瓦斯抽放<sup>[4-6]</sup>、切顶预裂爆破等领域<sup>[7-11]</sup>,在煤体爆破方面应用较少,现有文献关于其爆破参数的设计也鲜有介绍。基于大倾角无人工作面深孔爆破落煤试验,提出爆破参数的设计思路,并通过爆破效果加以验证,设计成果将为后续生产积累重要的实践经验,也可供其他项目参考借鉴。

## 1 试验工作面概况

选择采区西侧 W I -1 工作面作为试验工作面,设计走向长 461.5 m,倾斜长约 30 m,如图 1 所示。主采 9 号煤层,煤层倾角为 30°,节理裂隙不发育,分上、下分层,中部为砂岩夹矸,厚 0.15 ~ 0.6 m,上分层厚度平均 1.2 m,煤层有益厚度 3.50 m,总体厚度 4.25 m。根据工作面揭露的钻孔可知,直接顶为一层 2.85 m 厚的灰岩,基本顶为 9.75 m 厚的泥岩。

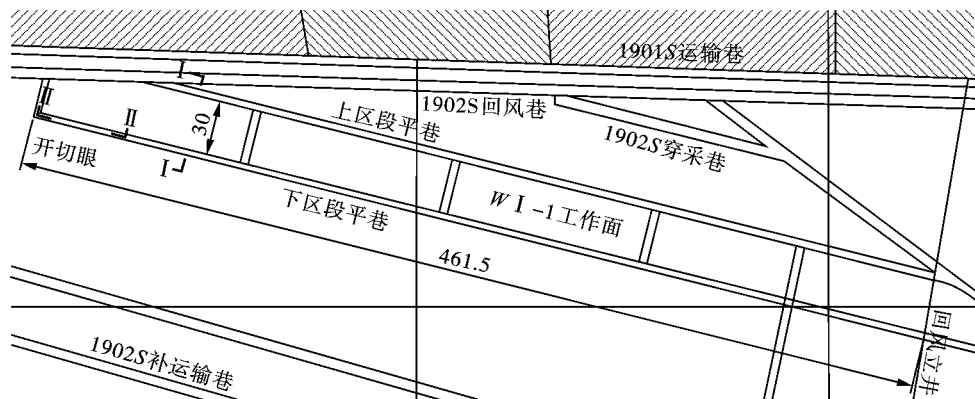


图 1 W I -1 试验首采工作面巷道布置图(单位:m)

Fig. 1 Roadway layout of the first mining face W I -1 (unit:m)

## 2 爆破参数设计

### 2.1 钻机及火工品

#### (1) 钻机

钻机型号决定了炮孔直径及钻孔效率,传统的深孔爆破一般采用大直径炮孔( $\phi 75$  mm 以上),但考虑到现场设备、火工品情况及爆破块度要求,炮孔直径不宜过大,本次设计中选用钻机型号为 ZQJL-80 \(\backslash 2.0S\) 气动架柱式钻机,配套的炮孔直径为  $\phi 42 \sim 50$  mm。

#### (2) 炸药

炸药直径应与炮孔直径相匹配,还应考虑装药工艺的可行性及便捷性,受现场火工品条件的制约,炸药选择二级煤矿许用水胶炸药 T-320,炸药参数如表 1 所示。

表 1 现场炸药参数表

Table 1 Field explosive parameters

生产厂家	药卷直径/ mm	炸药密度/ ( $t \cdot m^{-3}$ )	药卷长度/ cm	药卷质量/ kg
安徽雷鸣 科化	$\phi 27$	0.95 ~ 1.25	40	0.32

#### (3) 起爆及传爆器材

为消除管道效应,设计使用矿用导爆索沿装药全长敷设,若现场不具备使用导爆索的条件,亦可采用同段位 5 段以下 8# 电雷管进行搭接传爆。

### 2.2 爆破参数计算

#### (1) 炮孔直径 $d$

炮孔直径与最小抵抗线和孔间距密切相关,也与爆破效果和钻孔效率等有关。随着钻孔直径的增大,大块率也会相应增大。综合考量后,选择钻头直径  $d$  为 42 mm。

#### (2) 装药密度 $\Delta$

装药量与其所占炮孔体积的比值称为装药密度。装药密度愈小,炸药的威力也愈小,爆破中应设法保证最大的装药密度。受现场火工品条件的制约,T-320 水胶炸药药卷长度为 400 mm,单卷质量 0.32 kg,确定的炮孔直径为  $\phi 42$  mm,计算得到炮孔装药密度  $\Delta$  为  $578 \text{ kg/m}^3$ 。

#### (3) 装药系数 $\tau$

装药系数是指装药长度与炮孔长度之比,根据经验,深孔爆破装药系数一般取 0.7 ~ 0.85,设计中装药系数  $\tau$  取 0.8。

#### (4) 炮孔密集系数 $m$

炮孔密集系数是指孔距  $a$  与最小抵抗线  $W$  的比值。根据经验,深孔爆破密集系数一般取 0.8 ~ 1.4,设计中密集系数  $m$  取 1.2。

#### (5) 炸药单耗 $q$

炸药单耗就是每爆破  $1 \text{ m}^3$  矿岩所需要耗费的

炸药量。9号煤普氏系数  $f$  约为 2,根据现场爆破漏斗试验,计算单耗  $q$  为  $0.25 \text{ kg/m}^3$ ,考虑到煤层爆破自由面较少,受顶底板夹制作用较大,因此,需适当增加单耗取值,为保证首次爆破效果,设计单耗  $q$  取  $0.5 \text{ kg/m}^3$ ,后期可根据爆破块度及爆堆分布情况对单耗进行调整。现场自由面情况如图 2 所示。

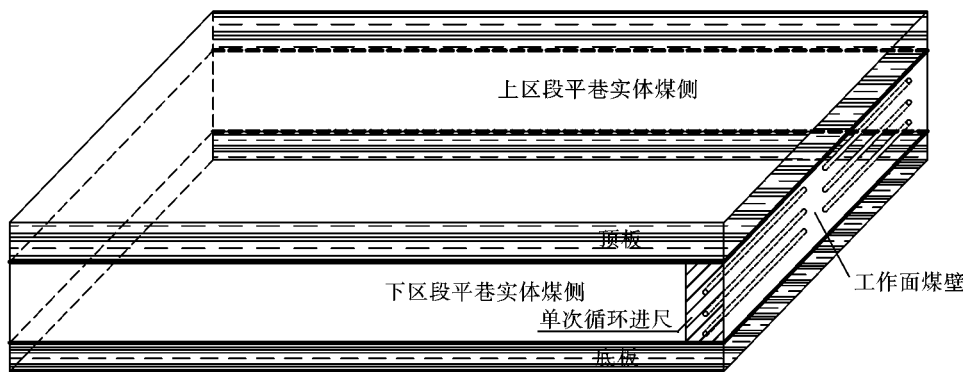


图 2 现场深孔爆破自由面情况示意图

Fig. 2 Schematic diagram of free surface of deep hole blasting on site

#### (6) 抵抗线 $W$ 及孔距 $a$

抵抗线和孔距是影响爆破效果和爆破安全最重要的参数,根据装药量平衡原理,对巴隆公式进行相应变换可知

$$\frac{\pi}{4} d^2 l \tau \Delta = q H a W = q H m W^2$$

式中,  $l = H$ , 均为炮孔深度,其余参数同前。上式简化为

$$\frac{\pi}{4} d^2 \tau \Delta = q m W^2$$

代入前述参数,可得  $W \approx 1 \text{ m}$ ,  $a \approx 1.2 \text{ m}$ 。

根据计算情况,归纳爆破参数如表 2 所示。

表 2 爆破参数计算表

Table 2 Calculation table of blasting parameters

孔径 $d$ mm	装药密度 $\Delta$ / ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	装药 系数 $\tau$	密集 系数 $m$	单耗/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	抵抗线 $W/\text{m}$	孔距 $a/\text{m}$
42	578	0.8	1.2	0.5	1	1.2

#### (7) 填塞长度

从爆破效果等考虑,填塞长度最少应等于最小抵抗线,考虑到煤层爆破的安全性,堵塞长度的设计不应小于 2 m。

### 2.3 炮孔布置方案

工作面斜长约 30 m,煤厚 4 ~ 4.5 m,根据计算得到的爆破参数,同时考虑爆后松散煤体不至于充满巷道导致放煤或通风不畅,试验初期,沿煤层走向爆破进尺暂定 1 m。从钻孔准确性及装药难易程度上考虑,炮孔布置拟设计两套方案:第一种方案从上区段及下区段平巷分别向各自实体煤侧打对穿炮孔,炮孔长度不大于 15 m,上下区段平巷同时起爆;第二种方案从下区段平巷向上部实体煤侧打单向炮孔,炮孔长度不大于 30 m,下区段平巷单独起爆。试验初期,选择第一种方案,后续根据实际钻孔及装

药情况,采用第二种方案。两种方案爆破设计如表 3 所示。

图 3 为上下区段平巷沿煤层倾向炮孔布置图,即图 1 中 I-I 剖面。上下区段平巷各布置 3 个炮孔,根据表 2 计算的孔网参数可知孔距为 1.2 m。为避免爆破对顶板的破坏,同时考虑到底板的夹制作用,按照最上方炮孔与顶板距离不小于 1.2 m,最下方炮孔与底板距离不大于 1 m 进行设计。已知煤层倾角为  $30^\circ$ ,通过余弦定理可确定炮孔在煤壁纵向的位置。

图 4 为下区段平巷沿煤层走向炮孔布置图,即图 1 中 II-II 剖面。根据表 2 计算的孔网参数可知抵抗线为 1 m,由此可确定炮孔与工作面煤壁的距离。上区段平巷类比即可。

表3 两种方案装药量计算参考值  
Table 3 Reference value for charge calculation of two schemes

所选方案	方案1		方案2
	上区段平巷	下区段平巷	下区段平巷
炮孔位置			
每米装药量/(kg·m <sup>-1</sup> )	0.8	0.8	0.8
孔深/m	15	15	30
装药系数	0.8	0.8	0.8
装药长度/m	12	12	24
填塞长度/m	2	2	2
单孔药量/kg	9.6	9.6	19.2
排数/排	1	1	1
炮孔总数/个	3	3	3
总药量/kg	28.8	28.8	57.6
进尺/m	1	1	1
爆破体积/m <sup>3</sup>	67.5	67.5	135
核算单耗/(kg·m <sup>-3</sup> )	0.43	0.43	0.43

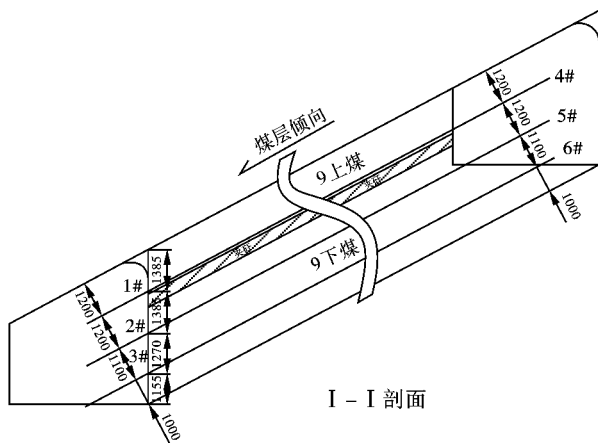


图3 上下区段平巷沿煤层倾向炮孔布置图(单位:mm)

Fig. 3 Layout of blast holes along the coal seam in the upper and lower sections(unit:mm)

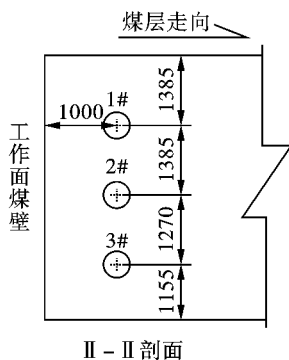


图4 下区段平巷沿煤层走向炮孔布置图(单位:mm)

Fig. 4 Layout of blast holes along the direction of coal seam in the lower section of drift(unit:mm)

### 3 爆破效果分析

从爆破落煤情况来看,整体爆破效果比较理想,爆堆分布集中,大部分煤体抛掷距离不超过1 m,适宜耙斗扒煤;爆破块度较均匀,基本分布在100~300 mm,扒煤顺畅。爆破落煤后,工作面不会出现爆落煤体将工作面下部端头堵塞造成通风不畅的问题,后续爆破循环可改为两排或三排同时起爆。

从现场施工情况来看,一个循环的钻孔可在6 h内完成,按照试验速度,每天可推进1~2个循环,预计工作面月产量能够达到1万t左右,满足矿方预期,为进一步提高钻孔工效,后续可采用第二种炮孔布置方案。

### 4 结论

(1)为解决大倾角煤层的安全高效开采,提出大倾角煤层无人工作面开采工艺,并引入深孔爆破技术实现工作面落煤。

(2)开展了大倾角无人工作面深孔爆破落煤试验,根据装药量平衡原理,计算出满足现场实际条件的爆破参数,据此提出炮孔布置及装药方案。

(3)爆破效果表明,爆堆分布集中,爆破块度适宜,验证了深孔爆破参数的合理性,设计成果可为后续生产积累重要的实践经验,也可供其他项目参考借鉴。

### 参考文献 (References)

[1] 李有春. 深孔爆破卸压防治冲击地压技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(S1): 3-5.

[1] LI You-chun. Stress-relaxed control technology of rockburst by deep-hole blasting[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(S1): 3-5. (in Chinese)

[2] 代长春, 桂兵, 吴学新. 深孔爆破卸压技术在冲击地压防治中的应用[J]. 煤炭技术, 2009, 28(6): 154-155.

[2] DAI Chang-chun, GUI Bing, WU Xue-xin. Application of deep-hole pressure technology in combat rockburst[J]. Coal Technology, 2009, 28(6): 154-155. (in Chinese)

[3] 单坤航, 李树钟, 梁汉轩. 深孔爆破卸压防止井下冲击地压研究[J]. 现代矿业, 2011, 27(3): 12-15.

[3] SHAN Kun-hang, LI Shu-zhong, LIANG Han-xuan. Study on deep hole blasting destressing prevent underground impact pressure[J]. Modern Mining, 2011, 27(3): 12-15. (in Chinese)

[4] 马小涛, 李智勇, 屠洪盛, 等. 高瓦斯低透气性煤层深孔爆破增透技术[J]. 煤矿开采, 2010, 15(1): 92-93, 37.

- [4] MA Xiao-tao, LI Zhi-yong, TU Hong-sheng, et al. Technology of deep-hole blasting for magnifying permeability in coal seam with high methane-content and low permeability [J]. Coal Mining Technology, 2010, 15(1): 92-93, 37. (in Chinese)
- [5] 王汉军, 付跃升, 蓝成仁. 定向致裂爆破法在煤矿瓦斯抽放中的应用研究[J]. 安全与环境学报, 2001(4): 50-52.
- [5] WANG Han-jun, FU Yue-sheng, LAN Cheng-ren. Application of directional split blasting on gas taking out in coal mine [J]. Journal of Safety and Environment, 2001(4): 50-52. (in Chinese)
- [6] 王佰顺, 戴广龙, 童云飞, 等. 深孔松动爆破提高瓦斯抽放率的应用研究[J]. 煤矿安全, 2002(11): 5-7.
- [6] WANG Bai-shun, DAI Guang-long, TONG Yun-fei, et al. Applied study on deep hole standing shot to improve methane drainage efficiency [J]. Safety In Coal Mines, 2002(11): 5-7. (in Chinese)
- [7] 张书军, 徐学锋. 深孔爆破切顶卸压控制沿空掘巷围岩变形技术研究[J]. 煤炭工程, 2018, 50(3): 57-59, 62.
- [7] ZHANG Shu-jun, XU Xue-feng. Surrounding rock deformation control technology for gob-side entry driving using deep borehole blasting roof cutting [J]. Coal Engineering, 2018, 50(3): 57-59, 62. (in Chinese)
- [8] 宫世文, 张荪茗, 孙震, 等. 深孔预裂爆破强制放顶技术的应用[J]. 煤矿安全, 2007(1): 21-22.
- [8] GONG Shi-wen, ZHANG Sun-ming, SUN Zhen, et al. Application of forced caving technology in deep hole presplitting blasting [J]. Safety In Coal Mines, 2007(1): 21-22. (in Chinese)
- [9] 高梓, 李春睿. 官地煤矿厚煤层综放面深孔爆破处理顶板技术及应用[J]. 煤矿开采, 2019, 24(1): 116-119.
- [9] GAO Zi, LI Chun-rui. Deep hole blasting roof treatment and its application of fully mechanized face with extra thick coal seam of guandi coal mine [J]. Coal Mining Technology, 2019, 24(1): 116-119. (in Chinese)
- [10] 张军辉, 刘洪林, 管伟明. 急倾斜坚硬顶板工作面超深孔预裂爆破技术研究[J]. 煤炭工程, 2018, 50(5): 60-63.
- [10] ZHANG Jun-hui, LIU Hong-lin, GUAN Wei-min. Research on super-deep hole pre-splitting blasting technology in steep working face with hard roof [J]. Coal Engineering, 2018, 50(5): 60-63. (in Chinese)
- [11] 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.
- [11] 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)

英文编辑: 何松

## 《爆破》论文网络首发及著作权使用声明

《爆破》为使录用论文首发权及时获得确认,自2019年12月起与中国知网合作启动“网络首发”在线优先数字出版项目,即《中国学术期刊(网络版)》(简称CAJ-N),统一连续出版物号ISSN 2096-418、CN 11-6037/Z。

作者稿件经审稿录用后,将会以“录用定稿”模式第一时间上传至中国知网“网络首发”平台发布。每篇网络首发论文均可下载一份“中国知网学术期刊网络首发论文出版证书”,其效力等同于纸质出版论文。

为避免出现一稿多投的现象,凡已投《爆破》的稿件,在未确认录用或退稿前,请勿再投他刊!

《爆破》为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、《中文科技期刊数据库》、“万方数据——数字化期刊群”、维普网和超星学术期刊“域出版”平台收录期刊。本刊已许可上述机构以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议,请在投稿时说明,本刊将按作者说明处理。