

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2021.03.011

导爆索-导爆管起爆网路在多点爆区 联合起爆中的应用*

刘 博¹, 胡静云¹, 史秀志²

(1. 长沙矿山研究院, 长沙 410012; 2. 中南大学 资源与安全工程学院, 长沙 410083)

摘要: 地下矿山多个爆破区域同时爆破时, 爆破总药量大, 尤其爆破区域相距较远时, 爆破网路组网困难, 且组网后网路较为复杂。导爆索-导爆管复合起爆网路具有起爆能大、传爆速度快、传爆距离长、网路结构简单、连接可靠等优点, 可有效解决多个远距离爆区同时起爆的爆破网路组网问题。某矿山两个分段的三个爆破区域需同时起爆, 爆破矿石量 6.1 万 t, 采用导爆索-导爆管复合起爆网路, 使用 120 m 长传爆导爆索成功引爆 1278 根导爆管, 爆破药量 20.3 t。通过对爆破震动、爆炸安全距离和爆破块度等因素的分析, 认为爆破效果良好。经过实践, 导爆索-导爆管起爆网路组网能力强, 网路连接可靠, 清晰直观, 便于检查连接质量, 并降低了爆破成本, 可为类似矿山的工程爆破提供借鉴。

关键词: 导爆索-导爆管; 起爆网路; 中深孔爆破; 爆破震动; 爆破块度

中图分类号: TD235

文献标识码: A

文章编号: 1001-487X(2021)03-0062-05

Application of Detonating Cord and Detonating Nonel Tube Detonating Network in Joint Blasting of Multiple Explosive Zones

LIU Bo¹, HU Jing-yun¹, SHI Xiu-zhi²

(1. Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha 410012, China;

2. School of Resources and Safety Engineering, Central South University,
Changsha 410083, China)

Abstract: The total blasting charge was large when simultaneous blasting of multiple blasting areas in underground mines, it was difficult to set up blasting network, and the network was more complex after setting up blasting network, especially when the blasting area was far from each other. The compound detonating network of detonating cord and detonating nonel tube has the advantages of large detonating power, fast detonation transmission speed, long detonation distance, simple network structure and reliable connection, which can effectively solve the problem of blasting network formation when multiple remote blasting areas are simultaneously detonated. Three blasting areas in two sections of a mine need to be detonated at the same time, and the amount of blasting ore is 61,000 tons. The compound detonating network of detonating cord and detonating tube was adopted, and 1278 detonating tubes were successfully detonated with 120 m long transmission detonating cord, and the amount of blasting charge was 20.3 t. Through the analysis of blasting vibration, safe explosion distance and blasting fragmentation, it is considered that the blasting effect is good. Through practice, the detonating network of detonating cord-detonating nonel tube has strong networking ability, reliable network connection, clear and intuitive, easy to check the connection quality, and reduces the cost of blasting, which can provide reference for engineering blasting of similar mines.

Key words: detonating cord-detonating nonel tube; detonating network; medium-deep hole blasting; blasting vibration; blasting fragmentation

目前我国金属非金属矿山等民用爆破领域应用较多的起爆器材为导爆管雷管^[1],其中地下矿山生产爆破中,爆破网路多采用雷管过桥和导爆管分级簇联网路,这种网路适用于单个爆区的集中爆破,网路上连接雷管数量相对有限。对于矿山多区域同时爆破或一次性处理多个区域的残矿回收爆破时,受限于导爆管簇联不宜太多,面临爆破网路组网复杂且困难的难题。导爆索-导爆管起爆复合起爆网路使用导爆索传爆^[2,3],导爆索绑扎引爆导爆管,再通过导爆管将爆轰波传输至孔内起爆雷管。因导爆索相对导爆管雷管而言具有起爆能大,传爆速度快、传爆距离长等优点^[4],而且导爆索韧性强,抗拉伸、抗弯曲、抗外力侵入能力强,可以沿井巷或井筒长距离敷设,一定范围内的角度弯曲不影响传爆可靠性。在多区域跨中段起爆中具有不可替代的优点^[5]。应用导爆索-导爆管复合起爆网路在我国某地下矿山实现了双分段长距离多爆区大药量同时起爆,爆破网路简单,清晰直观,起爆可靠性较高。

1 工程背景

某铅锌矿采用分段空场阶段出矿法采矿,保留间柱支撑空区顶板,形成了标高850~980 m不等的高大连续矿柱,总资源量超过75万t,且Pb+Zn品位超过10%,属于残留富矿体。因此矿山对矿房空区进行集中充填,形成了大体积充填体,之后矿山着手开始回采矿柱。矿山首先计划回采19线矿柱,赋存标高850~930 m,其东侧为3-4矿房充填体,体积约27.5万m³,充填标高850~960 m,并充填接顶。矿柱西侧为3-5矿房空区,体积约8.1万m³,标高850~930 m。待采矿柱位置示意如图1所示。

19线矿柱沿走向宽15 m,垂直走向沿上下盘长50 m,高度从850~930 m,倾角75°,属于急倾斜中厚矿体。矿柱内在各中段或分段有2.7 m×2.7 m的穿脉巷,沿矿体下盘有脉外运输巷。

2 矿柱回采方案

2.1 回采爆破方案

根据矿山生产计划,首先回采890 m以上矿体,890 m以下矿体暂保留作为主运输巷的护顶。890~930 m中段设有917 m分段,由于917 m分段~

930 m中段的穿脉巷内设置了充填挡墙,脉内外通道堵塞。从890 m中段施工人行天井至930 m中段,进而拓展未封堵的穿脉巷,采用双分段一次性起爆的方式爆破。

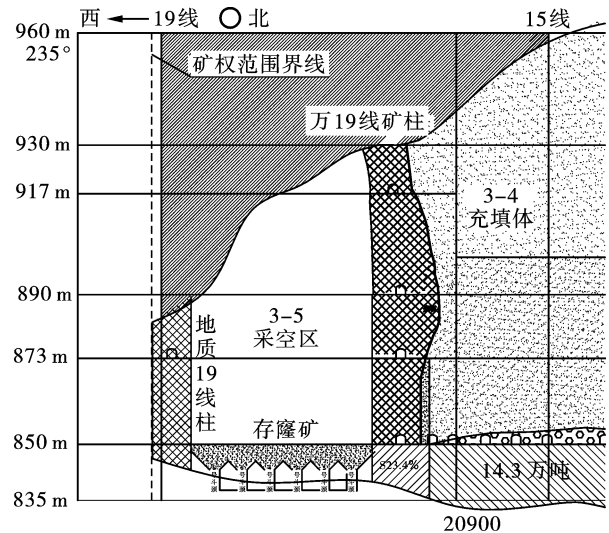


图1 19线矿柱位置示意图

Fig. 1 Pillar position in line 19

首先在890 m中段和917 m分段扩刷并支护穿脉巷,然后施工凿岩巷,890 m中段施工2条凿岩巷,917 m分段施工一条凿岩巷,规格尺寸为2.7 m×2.7 m,凿岩巷角度大致与矿体走向平行,且基本垂直于穿脉巷。在凿岩巷内用YGZ-90钻机打上向扇形中深孔^[6,7],逐排后退式施工,排面相互平行。孔内装乳化炸药,采用导爆管雷管孔底反向起爆,外部爆破网路为导爆索-导爆管复合起爆网路。通过敷设长距离传爆导爆索将上下3个凿岩起爆区内的起爆网路串联,形成双分段一次起爆,以3-5空区为自由面,逐排侧向崩矿。爆破方案示意如图2所示。

2.2 爆破参数设计及装药

矿山矿岩坚固系数 f 值为8~12,采用YGZ-90钻机施工上向扇形炮孔,孔径 $d=60$ mm。根据矿山利文斯顿爆破漏斗试验并由巴隆公式计算^[8],排距 a 为1.4 m,最小抵抗线为 w 为1.2 m,最大孔底距为2.0 m,孔口距为0.2~0.5 m。堵塞长度不小于抵抗线的0.8倍,即最小堵塞长度为1 m。

由BQF-100装药器填装粉状乳化炸药,炸药密度850~1050 kg/m³,由于炮孔内装药后存有空隙,装药密度低于炸药密度,考虑本次爆破在890 m矿柱平台以上爆破,本次爆破可视为露天台阶加强松动爆破,取炸药单耗 $q=1\sim 1.2$ kg/m³,设计装药密度为800 kg/m³,计算炮孔延米装药量为2.2 kg。所有炮孔孔口1~1.5 m不装药,相邻排孔垂直距离<

收稿日期:2021-04-09

作者简介:刘博(1989-),男,河南泌阳人,硕士、工程师,主要从事采矿爆破与地压问题方面研究,(E-mail)csu_dliubo@163.com。

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0600702)

1.4 m 时,一侧炮孔不装药,整体采用 W 型装药结构,炮孔未装药部分用炮泥填塞。

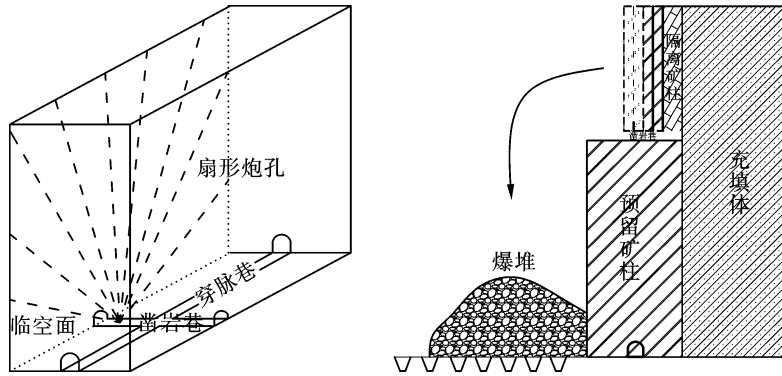


图2 爆破方案示意图

Fig. 2 Schematic diagram of blasting scheme

2.3 导爆索-导爆管复合起爆网路

导爆索-导爆管复合起爆网路主要由高能起爆器、爆破导线、起爆雷管、传爆导爆索和导爆管-雷管等组成。起爆器击发后引爆雷管,继而引爆传爆导爆索,导爆索引爆连接每个扇面的集束导爆管,而后将爆轰波传至每个炮孔内的雷管,通过孔内不同段位雷管的延期时间控制起爆顺序。

与导爆管分级簇联相比,复合起爆网路大大减少了过桥雷管的使用,增大了连接处的起爆能;单根导爆索在一定敷设距离内可设置足够多起爆点,从而起爆足够多束导爆管。由于导爆索传爆速度远大于导爆管的传爆速度,因此在导爆索被引爆后,几乎

同时将连接的集束导爆管引爆,降低了不同区域导爆管引爆的时间差,从而使起爆网路更加可靠。同时导爆索-导爆管起爆网路连接完成后,网路清晰直观,便于检查连接质量。

根据陈际经等人的研究^[9-11],导爆索与导爆管连接采用正向引爆方式,且导爆管与导爆索连接夹角在 70°~80°之间为宜。经过试验,在连接处三面绑扎大于 15 cm 的胶带,可有效防止导爆管拒爆和爆轰波提前冲击传爆方向前端导爆管,加强了网路的可靠性。导爆索-导爆管起爆网路连接要点示意图如图 3 所示。

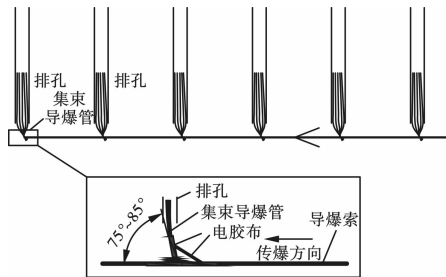


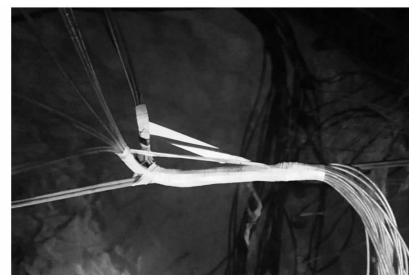
图3 导爆索-导爆管起爆网络连接要点

Fig. 3 The connection points of detonating cord and detonating nonel tube detonating network

传爆导爆索从 917 m 分段凿岩巷开始敷设,沿人行天井下顺到 890 m 中段,与 890 m 中段的传爆导爆索汇总并联。传爆导爆索敷设到穿脉巷与沿脉巷岔口,采用雷管起爆,爆破导线沿 1#竖井敷设至井口安全起爆点。仅需要 120 m 长导爆索,即可连接 3 个凿岩爆破区 27 排共计 639 个炮孔的 1278 根导爆管,并完成爆破组网。起爆网路连接如图 4 所示。

2.4 爆破安全指标

爆区上方地表有矿山办公建筑和工业沉淀池等设施,其中矿山办公建筑距离爆区 420 m,爆区投影



正上方为工业沉淀池,距离 200 m。爆区井下附近有沿脉巷、穿脉巷及充填挡墙设施,其中 2#竖井距离爆区 275 m。根据《爆破安全规程》(GB6722—2014),爆破地震效应的安全距离由下式给出^[12]

$$R_{安} = \left(\frac{K}{V_{允}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} Q^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

式中: $R_{安}$ 为爆破振动安全距离, m; K 为与爆破场地有关的系数; $V_{允}$ 为质点安全震动速度, cm/s; α 为与场地条件有关的系数; Q 为微差爆破最大段炸药量, kg。

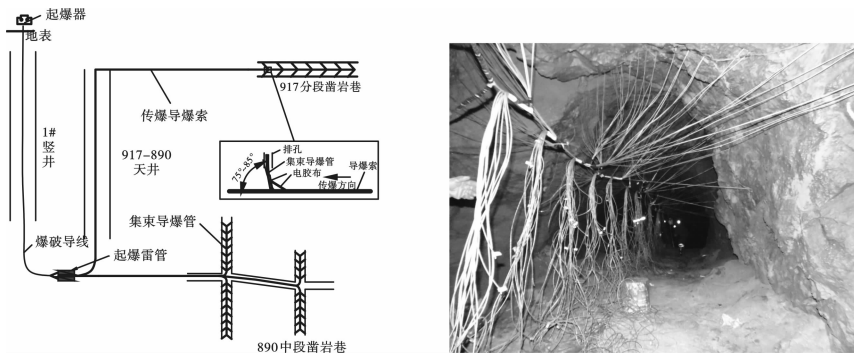


图 4 导爆索-导爆管起爆网络

Fig. 4 The detonating cord and detonating nonel tube detonating network

根据矿山经验, K 取 150, α 取 1.5, Q 按最大段药量 1910 kg 计算。计算得地表办公建筑的安全距离为 220 m, 工业建筑安全距离为 152 m, 矿山井巷安全距离为 51 m, 2# 竖井的安全距离为 88 m, 结果见表 1。

表 1 爆破安全距离校核

Table 1 Check blasting safety distance

设施	安全允许振速 $v / (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$ $f = 10 \sim 50 \text{ Hz}$	K	α	距离 R / m	最小安全距离	安全校核
地表办公建筑	2.0	150	1.5	420	220	安全
地表工业沉淀池	3.5	150	1.5	200	152	安全
矿山巷道	18.0	150	1.5		51	60 m 半径
2# 竖井	8.0	150	1.5	275	88	安全

为确保安全, 在爆区中心在地表投影为圆心, 规划半径 100 m 的安全区域, 作为地表警戒区域; 井下以爆心为圆心, 以矿山井巷安全距离为半径并乘以 1.2 的安全系数, 即爆心周围 60 m 半径作为警戒

区, 警戒区内巷道设施做必要的支护措施, 重要设施加固防护, 人员、车辆和材料等转移到警戒区外。爆破安全距离及警戒范围如图 5 所示。

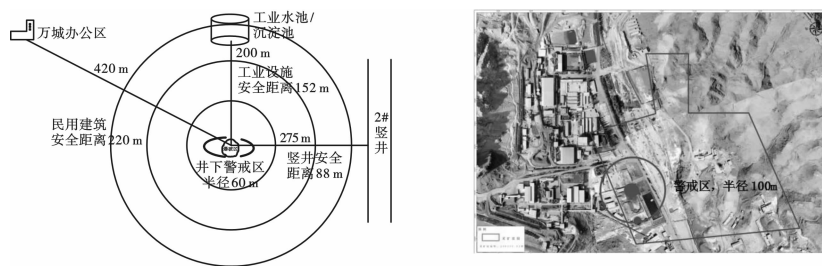


图 5 爆破最小安全距离及警戒区

Fig. 5 Minimum distance of blasting safe and blast warning area

3 爆破效果讨论

爆破总计 3 个爆区 27 排计 639 个炮孔, 爆破量 61 000 t, 消耗炸药 20.3 t, 雷管 1280 发, 单耗 $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

爆破后经过 2 个多月出矿完毕, 经过勘察, 爆区东侧 3-4 矿房充填体揭露面依然自立, 未出现垮落, 爆区上方 930 m 中段的巷道底板未垮落。爆区上方办公建筑、工业沉淀池等设施未发现破坏痕迹, 中段穿脉巷内没有明显爆炸冲击痕迹, 爆破效果良

好。根据南非 C. Cunningham 总结的预测岩石破碎块度的工程 KUZ—RAM 模型, 以 Kuznetsov 公式为基础, 认为爆破后爆破岩块块度服从 R-R 分布^[13]

$$\bar{X} = A \left(\frac{V_0}{Q_0} \right)^{0.8} Q_0^{\frac{1}{6}} \quad (2)$$

式中: \bar{X} 为平均破碎块度 (筛下累计率为 50% 的岩块尺寸), cm; A 为岩石系数, 中硬岩石 $A = 7$, 裂隙发育岩石 $A = 10$, 裂隙不明显岩石, $A = 13$; V_0 为每孔破碎岩石体积, m^3 ; Q_0 为每孔装药量, kg。

计算得 $\bar{X} = 12.8 \text{ cm}$ 。即爆破块度筛分累计

50%的矿岩粒径约为12.8 cm。经过现场查看爆堆,矿石粒径集中在5~15 cm之间,与预测模型结果一致。

根据上述工程实践,导爆索-导爆管复合起爆网络取得了良好的工程应用,其爆破网络简单易检,起爆可靠,传爆速度快,起爆距离长,降低了网络连接和检查时间,减少了过桥雷管的使用量,一定程度降低了爆破成本。

4 结论

(1)导爆索-导爆管复合起爆网路具有起爆能力大,传爆速度快,传爆距离长,起爆网路可靠等特点,在矿山跨区域多爆区爆破时具有很好的适用性。

(2)用导爆索-导爆管复合起爆网路在某矿山双分段一次起爆时,实现了大药量、远距离、跨区域多爆区爆破,且爆破界线平整、爆破块度合理,爆破效果良好。

(3)导爆索-导爆管复合起爆网路在地下矿山爆破作业中避免了导爆管多级簇联网路结构复杂,现场凌乱、不易检查的缺点,减少了过桥雷管使用量,降低了爆破成本。

参考文献 (References)

- [1] 张仲一,郭子如,李洪伟.低威力导爆管雷管在工程爆破中的优势探析[J].煤矿爆破,2020,38(2):12-14.
- [1] ZHANG Zhong-yi, GUO Zi-ru, LI Hong-wei. Analysis of the advantage of low-power detonator with shock-conducting tube in Engineering Blasting[J]. Coal Mine Blasting, 2020,38(2):12-14. (in Chinese)
- [2] 李培龙.导爆索—非电雷管接力网路的连接技术[J].铁道建筑技术,2008(S2):275-277.
- [2] LI Pei-long. The connection technology of detonating cord-connection technology for non-electric detonator relay networks[J]. Railway Construction Technology, 2008(S2): 275-277. (in Chinese)
- [3] 施兰义,胡成.导爆索—导爆管混合网络在边坡预裂中的应用[J].铜业工程,2009(1):27-28,23.
- [3] SHI Lan-yi, HU Cheng. Application of mixed pattern of detonating cable and tube into slope presplitting[J]. Copper Engineering, 2009(1):27-28,23. (in Chinese)
- [4] 林谋金,郑炳旭,李战军,等.防护下的导爆索在高温火区爆破中的应用[J].爆破,2016,33(4):123-126.
- [4] LIN Mou-jin, ZHENG Bing-xu, LI Zhan-jun, et al. Application of protected detonating cord in fire area blasting [J]. Blasting, 2016,33(4):123-126. (in Chinese)
- [5] 刘艳章,王其飞,冯毓松,等.导爆管导爆索耦合起爆网路在矿山台阶爆破中的应用[J].化工矿物与加工, 2014,43(10):37-40.
- [5] LIU Yan-zhang, WANG Qi-fei, FENG Yu-song, et al. Application of coupling initiation network of nonel and detonating cord in mine bench blasting[J]. Industrial Minerals & Processing, 2014,43(10):37-40. (in Chinese)
- [6] 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.
- [6] 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)
- [7] 权富成.梅岭铜锌矿扇形中深孔爆破参数的优化研究[J].世界有色金属,2020(8):295-296.
- [7] QUAN Fu-cheng. Meiling copper-zinc ore fan-shaped deep hole demolition parameter optimized research [J]. World Nonferrous Metals, 2020(8):295-296. (in Chinese)
- [8] 刘益超,郭进平,李角群,等.基于Floyd算法的扇形中深孔爆破布孔优化设计[J].爆破,2021,38(1):64-69,152.
- [8] LIU Yi-chao, GUO Jin-ping, LI Jiao-qun, et al. Optimal design of hole arrangement for fan-shaped medium-length-hole blasting based on floyd algorithm [J]. Blasting, 2021,38(1):64-69,152. (in Chinese)
- [9] 陈际经.导爆索串联导爆管起爆的可靠性研究[J].矿业研究与开发,1997(S1):106-108.
- [9] CHEN Ji-jing. Reliability study of detonating cord series detonating tube initiation [J]. Mining Research and Development, 1997(S1):106-108. (in Chinese)
- [10] 张敢生,何晓光.导爆索与导爆管传爆结点可靠性的检测分析与评价[J].爆破,2004(4):94-95,102.
- [10] ZHANG Gan-sheng, HE Xiao-guang. Reliability measurement analyses and evaluation of the detonating-transmission points between detonating-cord and nonel tube [J]. Blasting, 2004(4):94-95,102. (in Chinese)
- [11] 王卫华,姜海涛,林翔,等.导爆索-导爆管起爆系统拒爆分析[J].爆破,2014,31(4):134-139.
- [11] WANG Wei-hua, JIANG Hai-tao, LIN Xiang, et al. Analysis of misfiring in initiation system of detonating-cord and nonel tube [J]. Blasting, 2014,31(4):134-139. (in Chinese)
- [12] GB6722—2014 爆破安全规程[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [12] GB6722—2014 Safety regulations for blasting [S]. Beijing: China Standardization Press, 2014. (in Chinese)
- [13] 戚承志,王明洋,钱七虎,等.爆炸作用下岩石破裂块度分布特点及其物理机理[J].岩土力学,2009,30(S1):1-4.
- [13] QI Cheng-zhi, WANG Ming-yang, QIAN Qi-hu, et al. Features and physical mechanism of fragmentation distribution of rock under explosion [J]. Rock and Soil Mechanics, 2009,30(S1):1-4. (in Chinese)