

文章编号: 1006-7051(2022)04-0073-05

直径 186 mm CO₂ 致裂器在露天铁矿开采中的应用

杨海斌^{1,2}, 郭宝江², 李继红², 张风军², 王尹军³

(1. 中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院, 北京 100083; 2. 河北云山化工集团有限公司, 河北 邢台 054011; 3. 矿冶科技集团有限公司, 北京 100160)

摘要: 为了将 CO₂ 爆破技术推广应用到露天铁矿开采以减少爆破振动和飞石等危害, 研制了可重复使用的直径 186 mm 的大型致裂器, 并在河北省某铁矿开采中开展了试验性应用。结果表明试验达到了预期的爆破松动效果, 单根致裂器爆破方量 126 m³。连续 3 个多月的施工, 共开采了 2.5 × 10⁵ t 矿石, 使用致裂器 900 多根次, 未对 100 m 外的养殖场产生影响, 表现出有害效应小、做功能力较大、爆破效果好、成本适中等优点, 表明该型 CO₂ 致裂器适合于露天铁矿开采。

关键词: 露天铁矿; CO₂ 爆破技术; CO₂ 致裂器; 爆破振动; 飞石

中图分类号: TU74 **文献标志码:** A **doi:** 10.19931/j.EB.20210134

Application of 186 mm diameter CO₂ crackers in an open pit iron mine

YANG Hai-bin^{1,2}, GUO Bao-jiang², LI Ji-hong², ZHANG Feng-jun², WANG Yin-jun³

(1. School of Mechanics & Civil Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China; 2. Hebei Yunshan Chemical Group Co., Ltd., Xingtai 054011, Hebei, China; 3. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China)

Abstract: In order to promote the application of CO₂ blasting technology to open-pit iron mining to reduce the harm of blasting vibration and flying stones, a reusable large-scale crack breaker with a diameter of 186 mm was developed and applied in an iron mine in Hebei Province. The results show that the test has achieved the expected blasting loosening effect and the blasting volume of a single crack maker is 126 m³. For more than 3 consecutive months of construction, a total of 2.5 × 10⁵ t ore has been mined and the cracker have been used for more than 900 times, which has no impact on the farm 100 m away. The cracker shows the advantages of small harmful effect, large work capacity, good blasting effect and moderate cost, indicating that this type of CO₂ cracker is suitable for the open-pit iron mining.

Key words: open pit iron mine; CO₂ blasting technology; CO₂ cracker; blasting vibration; flying stone

CO₂ 爆破技术主要用于高瓦斯低透气性煤矿的压裂增透工程, 自上世纪 90 年代引入我国以来, 经过 20 余年发展, 已经被越来越多的业界人士所认识和接受, 并开展了大量研究工作。马海鹏等^[1]研究认为 CO₂ 相变致裂对整体性好的石灰

岩、花岗岩效果较好, 较松散的红沙岩效果较差。夏杰勤等^[2]研发了一种可用于建造干热岩型地热储层的新型 CO₂ 致裂器。丁海龙等^[3]总结了高海拔地区工程项目 CO₂ 爆破技术的应用。龚政^[4]通过实际应用证明了 CO₂ 爆破技术是一种危害小的

收稿日期: 2022-03-30

作者简介: 杨海斌(1980—), 男, 博士, 高级工程师, 从事民用爆破器材方面的研究。E-mail: hbys-yhb@163.com

通信作者: 李继红(1983—), 女, 硕士, 工程师, 从事民用爆破器材方面的研究。E-mail: 282755388@qq.com

破岩方法,可解决特殊要求下的破岩难题。梅比等^[5]研究认为 CO₂ 爆破产生的振动值仅是同样药量的炸药爆破产生的振动值的 1/20~1/15。

近年来,经过广大研究者的不断努力,CO₂ 致裂器已经由完全依靠进口,发展成为以自主研发为主,产品的规格型号不断丰富,应用范围逐步扩充。随着 CO₂ 爆破技术由地下开采扩展到露天开采,为了满足露天爆破对 CO₂ 致裂器爆炸威力的较高要求,较大型和大型 CO₂ 致裂器产品得到研发,但大型 CO₂ 致裂器的现场应用研究尚未见有关报道。

本文介绍了自主研发的直径 186 mm、长 3.4 m、充装 30~35 kg 液态 CO₂ 的大型致裂器(以下简称 186 型致裂器)在河北某露天铁矿的试验性应用情况,解决了传统炸药爆破对位于该矿 100 m 外养殖场的影响问题,探索出一条满足该铁矿开采需求的新方法,也为类似工程的安全有效开采提供了有益借鉴。

1 工程概况

该铁矿是冀东矿脉的一部分,矿区铁矿石形成于前震旦系变粒岩中,属鞍山式沉积变质铁矿床。矿体南北长 10 km,东西宽 2 km,以 S6 勘探线为界划分为南北 2 个开采区,南区长 6 km,北区长 4 km,南区采取硐采方式开采,北区为露天开采。矿石资源总储量为 23.48 亿 t,其中氧化铁矿 3.23 亿 t,磁铁矿 20.25 亿 t,为我国三大铁矿区之一,居亚洲第二。

试爆区周围环境如图 1 所示,东边距离一养殖场 100 m,距离河道 440 m,距离某村庄 543 m;南边距离另一村庄 576 m;西边距离国道 1.1 km,距离某公司 1.2 km,西南方向距离某公司 1.5 km,西北方向距离某公司职工住宅小区 1.7 km,北边 2.3 km 内全是矿脉开采区。



图 1 爆区周围环境

Fig. 1 Surrounding environment of explosion area

2 方案设计

2.1 难点分析

重点保护对象为东侧 100 m 处的养殖场。如果采用传统的炸药爆破方式进行开采,产生的振动、扬尘、噪声、飞石、冲击波等危害效应,会对养殖场内的家禽造成严重影响。如果采用破碎锤或静态破碎剂等方式进行开采,则效率低、成本高、耗时长。

为了做到既不对养殖场造成影响,又为矿山企业创造良好经济效益,并将爆破有害效应控制在最低限度之内,经过综合考虑,最终选择采用可重复使用的 186 型 CO₂ 致裂器进行爆破开采,充分发挥其爆破有害效应小、做功能力较大、多次重复使用成本较低等优点。由于是首次较大规模试用,因此结合 186 型 CO₂ 致裂器的产品参数和现场情况,设计适宜于该矿山特点的钻爆参数和工艺方法是本工程的首要问题。

2.2 整体方案

为了做到既严格控制有害效应,又保证经济效益,采用了松动爆破方案,即先用 186 型 CO₂ 致裂器将矿石从母体中爆炸胀裂剥离出来,再用破碎锤对分离出来的大块进行二次破碎。为了控制飞石方向,将爆区临空面确定在与养殖场所在方位相反的方向。

2.3 爆破参数设计

针对本工程的地形和环境条件,设计合理的孔距、排距和台阶高度,确定一次起爆炮孔数量。通过现场多次试爆,在分析试爆的松动效果、振动、噪声、飞石等数据基础上,根据矿层的不同硬度,孔排距分别采用 3 m×3 m 和 3.3 m×3.3 m。爆破参数如表 1 所示,布孔形式为梅花形。单次爆破 10 个炮孔,每孔装 1 根 CO₂ 致裂器。根据地形条件按 2 排孔布设,每排 5 个炮孔(见图 2)。采用数码激发管毫秒延时起爆网路,同排炮孔同时起爆,排间延时 100 ms。

表 1 台阶爆破参数设计值

Table 1 Design value of bench blasting parameters

H/m	d/mm	L/m	a/m	b/m	W/m	h/m
6	216	6.5	3 或 3.3	3 或 3.3	3.5	0.5

注:H 为台阶高度;d 为孔径;L 为孔深;a 为孔距;b 为排距;W 为最小抵抗线;h 为超深。

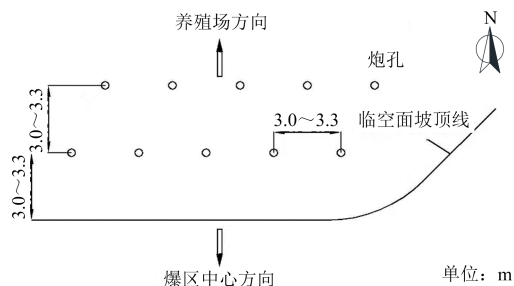


图 2 炮孔布置

Fig. 2 Layout of blast holes

3 施工工艺

现场施工工艺总体上可分为 4 个步骤,即:组装运送→吊装入孔→连线起爆→回收维护。

3.1 组装运送

在组装致裂器时,先将装配式塑膜激发管装入储液管中,再在泄能头端装入密封垫、爆破片,然后拧紧充装头和泄能头,最后使用专用充装机将液态 CO₂ 充入致裂器内。致裂器结构如图 3 所示。将充装好液态 CO₂ 的致裂器,采用吊装运输一体货车运送到矿区,如图 4 所示。

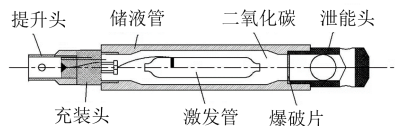


图 3 重复使用型 CO₂ 致裂器结构

Fig. 3 Structure of reusable CO₂ cracker



图 4 将致裂器运送到矿区

Fig. 4 Transporting the cracker to the mining area

3.2 吊装入孔

在爆破作业现场,使用专用电阻表测量每根 CO₂ 致裂器的电阻值,检测电路完好且阻值在正常范围之内之后,再通过提升头将 CO₂ 致裂器吊送入炮孔内,如图 5 所示。



图 5 将致裂器装入炮孔内

Fig. 5 Installing the cracker into the blast hole

炮孔填塞前,再次用电阻表依次测量致裂器导线的电阻值(见图 6a),确定所有致裂器的电阻值均在正常范围之内之后,将岩屑填充在炮孔内 CO₂ 致裂器的周围及其顶部空间(严禁使用石块填塞)。填充时,用直径 8 mm 的钢筋捣实致裂器和孔壁间的岩屑(见图 6b),填塞物全部覆盖住管体后,改用炮棍逐层将岩屑捣实,直至填满炮孔为止。每个炮孔内的填塞长度约 2.5 m。



a) 测量致裂管导线电阻
Measure the resistance
of the cracker tube wire

b) 填塞炮孔
Tamping blast hole

图 6 现场测量致裂管导线电阻和填塞炮孔

Fig. 6 Field measurement of conductor resistance
of cracker tube and filling of blast hole

3.3 连线起爆

将 2 排炮孔内 CO₂ 致裂器的导线引出, 逐孔串联连接(见图 7a)。在安全措施到位之后, 下达起爆命令。用起爆器引燃激发管, 实施爆破, 爆破瞬间如图 7b 所示。



a) 连线过程
Connection process

b) 爆破瞬间
Blasting moment

图 7 连线起爆过程

Fig. 7 Wiring and initiation process

3.4 回收维护

结合勾机铲挖和清运过程(见图 8), 逐个将露出爆堆的致裂管回收, 并将回收的致裂管运送到操作间。在操作间内将致裂管水平放置在充装架上, 拆卸泄能头和充装头, 将致裂管内部及螺纹连接处的沙土残渣等清理干净, 并仔细检查, 进行维护保养, 以备下次使用。



a) 勾机操作现场
Hook-up operation site

b) 铲挖过程
Shovel excavation process

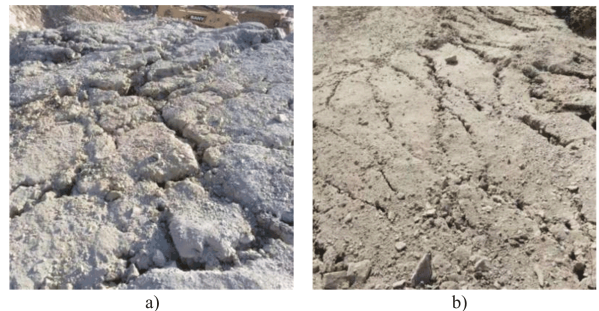
图 8 勾机铲挖过程

Fig. 8 Hook machine and shovel excavation process

4 结果与讨论

4.1 破碎效果

起爆后, 没有明显的飞石, 振动很小, 达到了预期的松动效果(见图 9a 和图 9b), 临空面之前的爆堆较为集中(见图 9c), 整个场地的平整性较好。按照以勾机可勾动且能够装车为合格标准, 爆后矿块合格率达 80% 以上, 符合设计要求。



a) b)



c)

图 9 爆破松动效果

Fig. 9 Blasting loosening effect

4.2 爆破方量

试验期间, 一次引爆 10 个炮孔后, 现场实测的松动矿体范围为长 20 m、宽 9 m、深 7 m, 总方量合计 1 260 m³, 折合单根 186 型 CO₂ 致裂器的爆破方量为 126 m³。

在上述试验基础上, 该矿区从 2021 年 9 月开始, 连续 3 个多月采用可重复使用的 186 型 CO₂ 致裂器进行爆破开采, 共计开采了 2.5 × 10⁵ t 矿石, 10 根致裂器反复使用 900 多次, 未影响附近养殖场的正常养殖活动, 圆满完成了炸药爆破无法开采的矿体采剥任务。

4.3 经济效益分析

以上述单次爆破方量 1 260 m³ 的成本消耗, 进行经济效益分析, 并与炸药爆破成本进行对比。

1)CO₂爆破成本核算。采用186型CO₂致裂器爆破,炮孔参数为孔径216 mm、孔距3.0 m、排距3.0 m、台阶高度6 m、孔深6.5 m、炮孔数量10个。

各项成本费用分别为:打孔费3 575元,CO₂材料费450~525元,激放管2 800元,爆破片与密封垫13元,人工费900元,二次破碎费1 600元,回收费200元,维护费200元,车辆费500元/次,重复使用型致裂管折旧费60元。费用合计10 298~10 373元,折算为单方爆破成本为8.17~8.23元。

2)炸药爆破成本核算。本矿区炸药爆破开采的炮孔参数为孔径90 mm、孔距3.5 m、排距3.0 m、台阶高度20 m、孔深20.5 m。一次爆破的炮孔数量6个,炸药单耗0.4 kg/m³,共需炸药0.51 t。

各项成本费用分别为:打孔费3 690元,炸药费5 100元,雷管费180元,人工费200元,车辆费500元/次。费用合计9 670元,折算为单方爆破成本为7.67元。

3)CO₂爆破和炸药爆破成本比较。尽管本次试验核算的CO₂爆破成本8.17~8.23元/m³大于炸药爆破成本7.67元/m³,但是随着CO₂致裂器重复使用的次数增加,爆破规模增大,还可使成本持续下降,成本差距还会逐步缩小。尤其是在无法使用炸药爆破的开挖工程中,更能显示出其实用价值,可为企业创造可观的经济效益。

5 结语

采用可重复使用的186型CO₂致裂器,在河北某铁矿的爆破试验及后续3个多月露天开采应用的结果表明,松动爆破和破碎效果良好,未对养殖场的正常养殖活动造成影响,为矿山企业创造

了可观的经济效益。所采用的钻爆参数和施工方法、工艺流程、安全操作等,为制订大型CO₂致裂器在类似铁矿露天开采应用的技术标准、管理标准和安全操作规程等,提供了工程依据和参照。

参考文献(References):

- [1] 马海鹏,喻壹雄. CO₂的致裂技术[J]. 采矿技术, 2020,20(6):106-107, 115.
MA H P, YU Y X. Fracturing technology of carbon dioxide [J]. Mining Technology, 2020,20 (6): 106-107, 115.
- [2] 夏杰勤,窦斌,徐超,等. 干热岩热储建造的CO₂爆破致裂器优化设计[J]. 钻探工程,2021,48(1):75-80.
XIA J Q, DOU B, XU C, et al. Optimization design of carbon dioxide blasting fracturing device for dry hot rock heat storage [J]. Drilling Engineering, 2021,48 (1): 75-80.
- [3] 丁海龙,刘典忠,娄旭峰,等. 高海拔地区工程项目应用CO₂致裂技术浅析[J]. 四川水利,2020,41(5):14-17.
DING H L, LIU D Z, LOU X F, et al. Analysis on application of carbon dioxide fracturing technology in high altitude engineering projects [J]. Sichuan Water Conservancy, 2020,41 (5): 14-17.
- [4] 龚政. CO₂膨胀破岩技术在拆除工程中的应用[J]. 广东水利水电,2020(9):89-92.
GONG Z. Application of swelling rock breaking technology in demolition engineering [J]. Guangdong Water Conservancy and Hydropower, 2020 (9): 89-92.
- [5] 梅比,高星,方莹,等. 二氧化碳膨胀爆破新型致裂管与安全技术研究[J]. 爆破,2021,38(2):153-159.
MEI B, GAO X, FANG Y, et al. Research on new type of pipe and safety technology of carbon dioxide expansion blasting [J]. Blasting, 2021, 38 (2): 153-159.