

液态二氧化碳爆破技术在白芨沟煤矿的实践与应用

张军颖¹, 刘 波¹, 冯 宁¹, 安永贵²

¹ 国家能源集团宁夏煤业公司汝箕沟无烟煤分公司, 宁夏 石嘴山

² 山西朔州鑫桥科技有限公司, 山西 朔州

收稿日期: 2024年2月28日; 录用日期: 2024年4月18日; 发布日期: 2024年7月29日

摘 要

本论文通过对国家能源集团白芨沟煤矿煤层透气性情况进行了认真分析; 并详细阐述了液态二氧化碳爆破增加煤层透气性技术的工作原理, 施工方法, 施工注意事项, 为矿井增加煤层透气性提高瓦斯抽采效率提供了新的思路和新的技术工艺, 有力地促进了矿井的安全高效地生产。

关键词

液态二氧化碳爆破, 增透技术, 实践与应用

Practice and Application of Liquid Carbon Dioxide Blasting Technology in Baijigou Coal Mine

Junying Zhang¹, Bo Liu¹, Ning Feng¹, Yonggui An²

¹ Rujigou Anthracite Branch of Ningxia Coal Industry Company of National Energy Group, Shizuishan Ningxia

² Shanxi Shuozhou Xinqiao Technology Co., Ltd., Shuozhou Shanxi

Received: Feb. 28th, 2024; accepted: Apr. 28th, 2024; published: Jul. 29th, 2024

Abstract

This paper carefully analyzes the permeability of coal seams in the Baijigou coal mine of the National Energy Group; And the working principle, construction method, and construction precautions of the liquid carbon dioxide blasting technology for increasing coal seam permeability were elaborated in detail, providing new ideas and technological processes for increasing coal seam permeability and improving gas extraction efficiency in mines, effectively promoting safe and effi-

cient production in mines.

Keywords

Liquid Carbon Dioxide Explosion, Enhanced Transparency Technology, Practice and Application

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新中国成立以来,煤炭为我国的经济发展提供了无限动力,始终在中国能源占有主导地位。近年来,水力发电、风力发电、核能发电等能源不断的发展,其地位也在显著的提高,但是煤炭能源在我国的经济发展中的地位依然十分重要[1]。然而在煤矿开采的过程中会伴随着多种灾害事故的发生,其中瓦斯事故无疑是最严重的,瓦斯为一种无色无味的气体,其密度约为空气的 0.5 倍,易于聚集在空间的上部和工作面的拐角处[2]。虽然瓦斯是无毒的,但是当矿内空气中的瓦斯浓度超过 40%时能够使人缺氧窒息[3]。一旦瓦斯与空气混合浓度达到一定程度,遇火即可引发爆炸,其所产生的破坏力是不可估量的。长期以来瓦斯事故在煤矿事故中占比较大,2001~2020 年我国共发生煤矿瓦斯事故 2486 起,死亡 14,430 人,占煤矿事故总死亡人数的 26%,平均每年发生事故 124.3 起,造成 721.5 人死亡,平均每起事故造成约 6 人死亡,近几年来瓦斯事故发生起数及死亡人数虽显著减少,但仍时有发生,依然不容忽视[4]。值得注意的是,瓦斯爆炸并非单一的事件,它通常会引发连锁反应,如煤尘爆炸和井下火灾等,从而加重矿井的破坏和危害[5]。在瓦斯爆炸发生的瞬间,井下温度可高达 1850℃~2650℃,这对人员和井下设备造成极大的威胁,爆炸还会导致空气压力的瞬间剧增,平均可达爆炸前的 10 倍,若发生连续爆炸,则空气压力会持续攀升,加剧矿井的破坏[6]。同时,瓦斯爆炸还会释放大量的剧毒一氧化碳,由于井下空间有限,氧气供应有限,化学反应并不完全,因此一氧化碳会产生大量积累,成为导致人员伤亡的主要原因。最后,瓦斯爆炸还会产生强大的冲击波,导致井下巷道大量冒顶塌落,设备损毁,给国家造成巨大的物质财富损失[7]。但是在瓦斯抽采治理的实践中由于煤层的透气性比较差的缘故,常常会出现即使打的瓦斯抽采钻孔很多,抽采初期瓦斯抽采较好,没过几天瓦斯抽采浓度就急剧下降的现象,瓦斯抽采效果太差。如何增加煤层的透气性,从而提高瓦斯抽采效率,成为困扰煤矿安全生产的技术难题,针对这种情况本论文重点阐述了液态二氧化碳爆破技术来增加煤层透气性的工作原理、方法和步骤,从而提高矿井瓦斯抽采效率,收到了较好的效果。

2. 矿井及工作面概况

2.1. 矿井概况

白芨沟煤矿位于宁夏回族自治区石嘴山市境内,汝箕沟矿区北部,距首府银川市约 110 km。白芨沟煤矿隶属国家能源集团宁夏煤业有限责任公司汝箕沟无烟煤分公司,2007 年矿井核定生产能力达到 160 万 t。白芨沟煤矿井田开拓方式为伪倾斜皮带斜井、单水平、主要运输石门、环形大巷、上下山开拓。矿井自 2006 年开始进行安全系统改造以来,先后结束了南二、南四生产活动,封闭了南二、南四,2010 年 4 月份矿井形成了“一井一面”的生产格局。白芨沟煤矿通风方式是以人行井、主井、副井、辅助运输平硐为进风井,中央回风井回风的中央边界式通风系统。主要通风机型号为 FBCDZ-8-No29,风机额定

风量为 5520~16,800 m³/min。目前, 矿井总进风量为 7438 m³/min, 总回风量为 7555 m³/min, 有效风量率为 92.33%, 矿井负压为 870 Pa, 等积孔为 5.33 m², 为通风容易矿井。2019 年矿井鉴定绝对瓦斯涌出量为 32.65 m³/min, 相对瓦斯涌出量为 9.24 m³/t, 采面最大绝对瓦斯涌出量 3.18 m³/min, 掘进面最大绝对瓦斯涌出 0.69 m³/min, 矿井瓦斯等级鉴定为高瓦斯矿井。

2.2. 工作面概况

010206 工作面位于 0102¹02 工作面西南角, 属南翼采区。东部为 010202 区段, 目前, 正在掘进 0102⁵02 运顺及回顺; 西部为实体煤层; 南部与航空学院采空区和 6121 工作面采空区相邻; 工作面北部为 1421 工作面采空区。010206 工作面走向长度 400 m, 倾向宽 160 m, 煤层厚度 13 m~19.5 m, 平均厚度 18 m, 分 6 个分层开采。沿区段走向煤层倾角 6~7°, 该工作面采用综采放顶煤采煤工艺, 走向长壁式采煤法, 全部垮落法控制顶板。

3. 分析问题

1) 瓦斯资源量计算

根据开采设计规划, 010206 区段走向长 400 m, 倾斜宽 160 m, 实测 010206 区段二₃煤层平均瓦斯含量为 10.62 m³/t 左右, 因此, 在不考虑邻近区域瓦斯补给时, 010206 区段瓦斯资源量为:

$$W = A \times X$$

$$A = L \times S \times H \times r$$

式中:

A——010206 区段煤炭储量;

W——010206 区段瓦斯储量;

X——010206 区段平均瓦斯含量值(取 010206 区段瓦斯含量平均值 10.62 m³/t);

L——010206 工作面走向长度(取值 400 m);

S——010206 工作面倾斜长度(取值 160 m);

H——010206 工作面煤层厚度(取煤层平均厚度 18 m);

R——煤体容重(取 1.57 t/m³)。

代入上述基础参数得:

$$A = 400 \times 160 \times 1.57 \times 18 = 180 \text{ 万 t};$$

$$W = 180 \times 10.62 = 1911.6 \text{ 万 m}^3。$$

010206 工作面二₃煤层煤炭储量为 180 万 t, 瓦斯储量为 1911.6 万 m³。

根据白茆沟井提供的二₃煤层的钻孔瓦斯流量衰减系数和煤层透气性系数资料, 二₃煤层的钻孔瓦斯流量衰减系数为 0.00741~0.0004 d⁻¹, 透气性系数为 8.892 m²/MPa²·d。综合上述数据, 白茆沟井二₃煤层瓦斯抽采难易程度属于可以抽采。根据我国当前的施工和抽采技术状况, 可以采取适当加大钻孔密度, 或者在有条件的地点采取瓦斯驱离技术或延长抽采时间的方式, 完全可以提高和确保抽采效果。虽然白茆沟煤二₃煤层瓦斯抽采难易程度属于可以抽采, 但是为了进一步提高瓦斯抽采效率, 有必要采取增透措施以期达到更好的瓦斯抽采效果。

4. 液态二氧化碳爆破技术增加煤层透气性的实践及应用

4.1. 液态二氧化碳爆破技术增加煤层透气性的工作原理

二氧化碳爆破始于二十世纪五十年代, 八十年代在美国开始发展, 主要是想避免因炸药爆破产生火

焰引起的爆炸事故而专门为高瓦斯矿井的采煤工作面研发的。2015 年，随着科技的发展，国内二氧化碳爆破器材厂商逐步涌现(主要部件仍然依靠进口，国产故障率略高)，但当前其成熟度不足，仍处在不断成长和发展阶段。液态二氧化碳爆破技术增加煤层透气性的工作原理是二氧化碳气体在一定的高压下可转变为液态，通过高压泵将液态的二氧化碳压缩至圆柱体容器(爆破筒)内，装入安全膜、破裂片、导热棒和密封圈，拧紧合金帽即完成了爆破前的准备工作。将爆破筒和起爆器及电源线携至爆破现场，把爆破筒插入钻孔中固定好，连接起爆器电源。当微电流通过高导热棒时，产生高温击穿安全膜，瞬间将液态二氧化碳气化，急剧膨胀产生高压冲击波致泄压阀自动打开，利用液态二氧化碳吸热气化时体积急剧膨胀产生高压致使岩体开裂。气化过程中会产生 240 兆帕到 720 兆帕的压力，相变时间很短，只有 20 毫秒，气化后气体膨胀 600 倍，产生的高压气体使岩体煤体产生大量裂隙，使瓦斯通过裂隙进入预抽孔，从而达到增加煤层透气性目的。

4.2. 液态二氧化碳爆破技术增加煤层透气性的实践

4.2.1. 二氧化碳致裂增透试验地点

白茆沟煤矿 010206 工作面区域，在南翼边界进风上山 16#与 15#钻场之间，增设一个二氧化碳致裂增透钻场。二氧化碳致裂增透钻孔图平面图和剖面图分别如图 1 和图 2 所示。

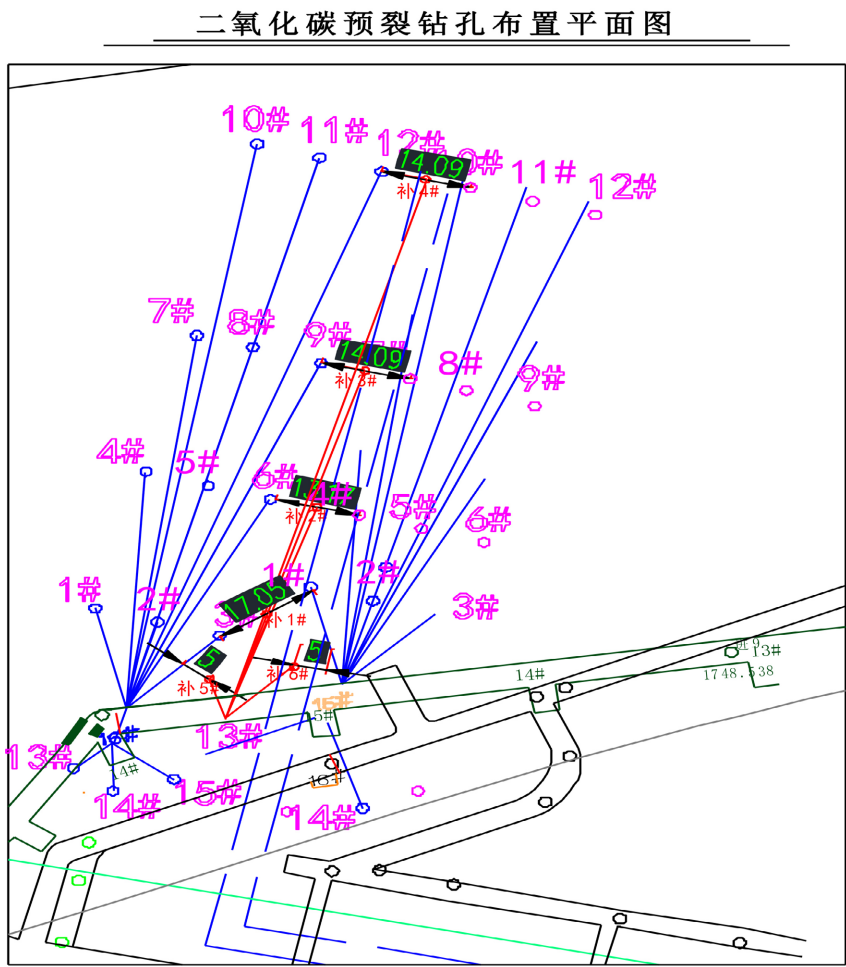


Figure 1. Layout plan of carbon dioxide pre split drilling
图 1. 二氧化碳预裂钻孔布置平面图

二氧化碳预裂补3#钻孔剖面图

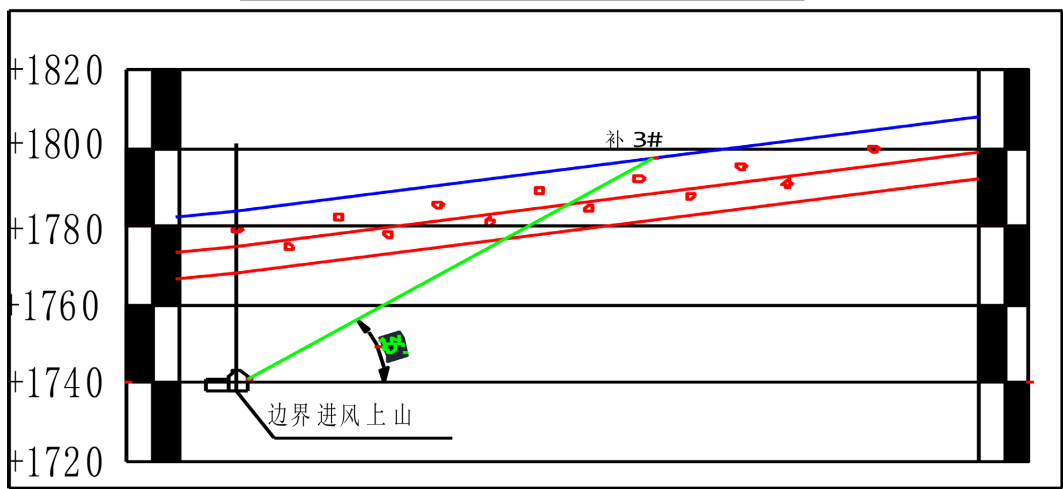


Figure 2. Profile of carbon dioxide pre splitting repair 3 # drilling hole
图 2. 二氧化碳预裂补 3#钻孔剖面图

4.2.2. 二氧化碳致裂增透钻孔设计参数

二氧化碳致裂增透钻孔设计参数如表 1 所示。

Table 1. Design parameters for carbon dioxide induced fracturing and enhanced permeability boreholes
表 1. 二氧化碳致裂增透钻孔设计参数表

位置	孔号	方位角(°)	设计倾角(°)	钻孔长度(m)	煤孔长度(m)	岩孔长度(m)
南翼边界进风上山 16#-15 钻场中间补 1#钻场	补 1#	310	69	61	32	29
	补 2#	311	50	75	25	50
	补 3#	310	37	94	35	59
	补 4#	309	28	131	68	63
	补 5#	285	76	47	20	27
	补 6#	333	70	52	20	32

4.2.3. 设计二氧化碳致裂增透钻孔煤孔段布置致裂管结构

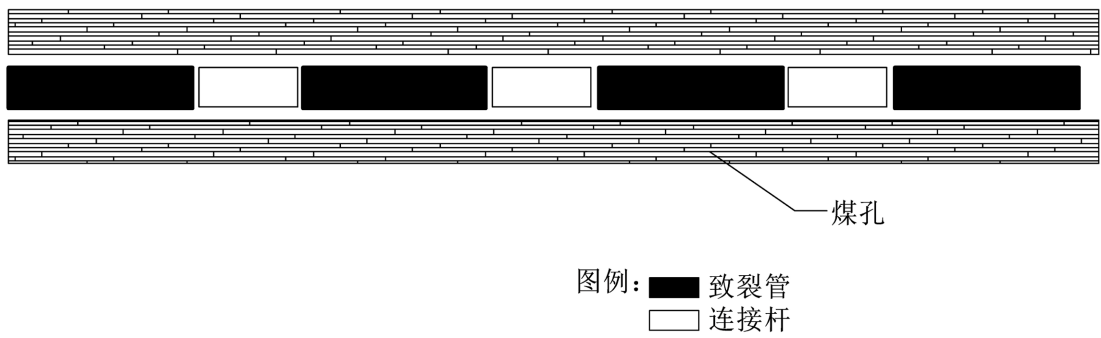


Figure 3. Schematic diagram of the structure of the crack inducing tube in the arrangement of coal hole sections for carbon dioxide induced cracking and enhanced permeability drilling
图 3. 二氧化碳致裂增透钻孔煤孔段布置致裂管结构示意图

需要特别指出的是煤孔段致裂管与连接杆(1:1), 岩孔内全用连接杆。采用的二氧化碳致裂器的型号: WJZL—150/53; 长度 1500 mm, 单个致裂器装液体二氧化碳重量 0.8 Kg, 如图 3 所示。

二氧化碳致裂器释放口出口压力 260 Mpa。2021 年 3 月 20 日致裂补 3 孔、补 4 孔、补 5 孔, 2021 年 3 月 21 日致裂补 6 孔。

4.2.4. 二氧化碳致裂物质准备

设备物质准备: 致裂器、提拉杆、制冷式自动充装机、气动拆装机、气泵、储液罐、发热装置、充能片、工具箱(含启爆器、万用表、启爆线)及配件和液态二氧化碳。

4.2.5. 二氧化碳致裂工艺流程

- 1) 施工前必须由施工单位技术员向施工人员认真贯彻学习《二氧化碳致裂爆破施工安全技术措施》和《二氧化碳致裂爆破施工技术方案》等, 并签字备查。
- 2) 由施工人员根据要求进行打钻施工。
- 3) 打好钻孔后由经过专门培训过的技术人员按照要求将液态二氧化碳爆破器装入钻孔。
- 4) 爆破前必须由安检部门安排安检员进行设置警戒, 非工作人员严禁进入爆破施工作业地点。
- 5) 爆破完成后必须及时回收液态二氧化碳爆破器。
- 6) 回收出来的液态二氧化碳爆破器重新拆装充液。
- 7) 致裂完成以后必须及时清理杂物, 并且不能影响下次爆破施工。

5. 效果分析

采用液态二氧化碳爆破器增加煤层透气性以后, 增透 16#钻场 10#钻孔的日瓦斯抽采量呈现出明显的上升趋势。日瓦斯抽采量从 1000 m³/d 上升到 2400 m³/d, 瓦斯抽采效率得到了明显的提高, 促进了白茆沟煤矿 010206 工作面的安全生产。

6. 结论

基于国家能源集团白茆沟煤矿技术的得出如下结论:

- 1) 液态二氧化碳爆破作为增加煤层透气性的一种技术手段是切实可行的;
- 2) 液态二氧化碳爆破作为增加煤层透气性的一种技术手段能够有效地提高煤层的瓦斯抽采效率, 对煤矿安全生产具有重要意义;
- 3) 液态二氧化碳爆破作为增加煤层透气性的一种技术手段具有重要的推广应用价值。

参考文献

- [1] 赵华. 煤矿瓦斯防治技术的现状与问题[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(6): 109-110.
- [2] 陈煜朋. 我国煤矿瓦斯防治标准体系研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2021
- [3] 刘琦. 基于事故地图的瓦斯爆炸事故致因分析[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2022
- [4] 马银凤. 浅谈瓦斯爆炸的主要参数[J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2013(6): 270-272
- [5] 翟亚栋. 矿井采区瓦斯预测及防治技术研究[J]. 能源与节能, 2022(7): 127-129
- [6] 陈雁. 综采工作面瓦斯综合治理技术应用[J]. 山西化工, 2023, 43(1): 132-133+142
- [7] 倪进锁. 轻型放顶煤工艺技术的应用[J]. 矿业安全与环保, 2003(S1): 194-201