

# 井工煤矿高冒区立体防灭火工艺的研究、实践与创新

白镓冻<sup>1</sup> 陶志杰<sup>2</sup> 周丽丽<sup>3</sup>

1. 中国华能华亭煤业公司, 中国·甘肃 平凉 744407
2. 华亭煤业集团有限公司砚北煤矿, 中国·甘肃 华亭 744407
3. 华亭煤业集团赤城煤矿公司, 中国·甘肃 平凉 744600

**摘要:** 易燃煤层巷道高冒区由于煤体破碎、漏风通道裂隙发育, 具备充足的供氧蓄热条件, 极易发生自然发火现象。这些高冒区多呈不规则零星分布, 且受矿压和后期采动影响, 二次复燃风险极高, 是井工煤矿内因火灾防治的重点与难点。论文基于赤城煤矿高冒区防灭火实践经验, 创新提出“三阶分段组合措施孔”防灭火工艺。经现场灭火、防火实践验证, 该工艺成效显著, 能有效消灭高温点、切断漏风供氧裂隙、防止二次复燃, 为煤炭行业高冒区防灭火提供了全新的技术指导与实践范例, 具有重要的推广价值。

**关键词:** 高冒区; 防灭火; 三阶分段; 组合措施孔; 自然发火防治

## Research, Practice, and Innovation of Three-dimensional Fire Prevention and Extinguishing Technology in High-risk Areas of Shaft Coal Mines

Jialuo Bai<sup>1</sup> Zhijie Tao<sup>2</sup> Lili Zhou<sup>3</sup>

1. China Huaneng Huating Coal Industry Company, Pingliang, Gansu, 744407, China
2. Huating Coal Industry Group Co., Ltd. Yanbei Coal Mine, Huating, Gansu, 744407, China
3. Huating Coal Industry Group Chicheng Coal Mine Company, Pingliang, Gansu, 744600, China

**Abstract:** The high-misalignment area in the roadway of easily combustible coal seams, due to the fragmentation of coal and the development of air leakage channels, has sufficient conditions for oxygen supply and heat accumulation, and is extremely prone to spontaneous combustion. These high-risk areas are mostly irregularly and sporadically distributed, and are greatly affected by mining pressure and later mining activities, resulting in a high risk of secondary reignition, which is a key and difficult point for fire prevention and control in underground coal mines. The paper is based on the practical experience of fire prevention and extinguishing in the high risk area of Chicheng Coal Mine, and innovatively proposes the “three-stage segmented combination measure hole” fire prevention and extinguishing technology. Through on-site fire extinguishing and prevention practices, the process has shown significant effectiveness in eliminating high temperature points, cutting off air and oxygen leakage cracks, and preventing secondary reignition. It provides a new technical guidance and practical example for fire prevention and control in high risk areas of the coal industry, and has important promotional value.

**Keywords:** high-risk area; fire prevention and extinguishing; three-stage segmentation; combination measure holes; natural combustion prevention and control

## 0 前言

井工煤矿内因火灾是威胁矿井安全生产的重大隐患之一, 其中高冒区自然发火问题尤为突出。随着煤炭开采深度与强度的不断增加, 地质构造复杂区域的巷道掘进与回采过程中, 高冒区频繁出现。传统的防灭火方法在应对高冒区复杂的发火条件时, 往往存在灭火效率低、复燃率高、难以精准作用于火源等问题。因此, 研发高效、精准的高冒区防灭火技术, 对保障矿井安全生产、降低火灾事故风险具有重要意义。论文以赤城煤矿为研究对象, 介绍“三阶分段组合措施孔法”在高冒区自然发火防治中的研究与实践成果。

## 1 赤城煤矿基本情况

赤城煤矿公司 1502-1 综放工作面位于矿井一采区 6#-9# 勘探线之间, 布置在煤 5-2 层上分层。该工作面倾向上侧 260m 段为 1501 综放工作面采空区, 东南部以煤层露头为界, 工作面底部无采掘活动。东北侧为防隔水煤柱, 西北侧为井筒保护煤柱。1502-1 综放工作面回风顺槽长 849m, 运输顺槽长 736m, 平均可采走向长为 660m, 工作面平均斜长 104m, 平均倾角 38°, 煤层平均厚度 6.5m, 采高 2.6m, 顶煤平均厚度 3.9m。煤质为中灰、低硫、高挥发分、高热值不粘煤 (BN31), 煤的自然等级为 II 类, 具有自然倾向

和爆炸危险性。这样的地质与煤层条件,使得该区域在开采过程中,高冒区自然发火风险显著增加。

## 2 巷道现状与发火事件

1502-1 回风顺槽走向长 849m,采用圆弧拱断面设计,净宽 4.4m,净高 3.75m,净断面积 15.57m<sup>2</sup>,支护方式为锚、网、索配合钢筋托梁联合支护。该巷道主要承担回风、行人、运送物料等功能,是 1502-1 综放工作面重要的辅助巷道。在掘进至 424m 处时,受复杂地质构造影响,煤层机理紊乱,煤体呈松软末状,顶板稳定性极差,形成了高达 11.5m 的锥形冒落空洞。面对这一情况,施工团队采取了架设钢支架、补强支护、迈步式缓慢掘进等应急措施,顺利通过该区域后,对巷道进行全断面喷浆封堵,并将该高冒区编号为 3M,纳入防火观测点进行日常监测<sup>[1]</sup>。

2022 年 11 月上旬,1502-1 工作面切眼导洞贯通,形成全风压通风系统。11 月 24 日早班,悬挂在 1502-1 回风顺槽高冒区编号 3M 处的 CO 传感器超限报警,报警值达 28ppm。经瓦检员人工监测发现,高冒区巷道顶板 CO 浓度高达 127ppm,进一步人工取样检测显示,高冒区空洞内 CO 浓度为 656ppm,CH<sub>4</sub> 浓度为 0.92%,O<sub>2</sub> 浓度为 16.3%,C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 浓度为 2ppm,且有烟雾伴随着刺鼻煤焦油味从巷道顶板裂隙不断溢出,自然发火迹象明显,防火形势极为严峻。

## 3 高冒区自然发火机理分析

该高冒区的形成与地质构造变化、煤层赋存条件以及煤质特性密切相关。空洞内煤体松软破碎,裂隙发育,为空气流通提供了良好的通道,使得漏风连续,供氧条件极为充分。在持续供氧的情况下,破碎煤体与氧气发生氧化反应,产生热量,由于热量无法及时散发,导致蓄热氧化剧烈进行。同时,高冒区内部分气体成分复杂,多种可燃与助燃气体相互作用,进一步加剧了火灾发生的可能性。这种复杂的条件使得该高冒区防治难度大、风险高,常规的防火手段难以有效应对<sup>[2]</sup>。

基于上述情况,为在保持现有巷道状态不变的情况下进行灭火,采取了一系列针对性措施。第一,在回风流侧设置全面警戒,防止火灾蔓延危及人员安全;在进风侧,由专业救护大队配合进行灭火作业,确保灭火工作的专业性与安全性。第二,深入分析高冒区自然发火机理可知,灭火的关键在于三个方面:一是固结破碎煤体,堵塞漏风通道,切断氧气供应;二是注水浸润煤体,消除高温点,降低煤体温度;三是饱和注氮,惰化置换空洞内氧气,破坏燃烧条件。最后,根据高冒区形成的断裂下沉带、离层带、破碎带的“三带”特性,创新性地提出“三阶分段组合措施法”立体防灭火工艺。该工艺以终孔位置为导向,向封闭的高冒区施工高度不同的钻孔,分别为高位孔(针对断裂下沉带)、中位孔(针对离层带)、低位孔(针对破碎带),并根据不同钻孔的用途,沿钻孔插入特制花管,用于注水(阻化剂溶液)、注氮(液

氮)、注高分子材料,同时将插管与钻孔间的空隙封堵严实,实现安全、精准、高效灭火的目标。

## 4 “三阶分段组合措施孔法”的创新实践

### 4.1 高位孔——淋水降温

高位钻孔的设计旨在实现对高冒区高温煤体的全方位降温。其终孔必须精准伸入巷道高冒区顶部实体煤(岩)中,具体插入深度以巷道冒落高度为依据,一般插入高冒区断裂下沉带顶部实体 800~1200mm 为宜。这样的设计能够确保静压淋水(或阻化剂溶液)从高冒区最高点以锥形均匀向四周扩散,如同给高温煤体穿上一层“降温衣”,对其进行全方位包裹、浸润。通过这种方式,可有效降低煤体温度,消除高温点,达到降温消焰的目的,从根源上遏制火灾的发展<sup>[3]</sup>。

在实际施工过程中,需严格控制钻孔角度与深度,确保钻孔位置符合设计要求。同时,选择合适的淋水设备与管路,保证淋水压力与流量稳定,以实现均匀、持续的降温效果。此外,对淋水(或阻化剂溶液)的浓度、酸碱度等参数进行严格把控,确保其对煤体的降温与阻化效果最佳。

### 4.2 中位孔——注氮惰化

中位钻孔的主要作用是通过注氮惰化高冒区空间。其终孔位置位于离层带,高出破碎带(假顶) 800~1500mm,端头采取特殊的防堵措施,四周施工倒鱼鳞式花眼,花管长度控制在 300~500mm,下端安设球阀,可灵活控制开闭。利用氮气密度小于空气且具有上行特性的原理,通过中位孔向封闭区的冒落区饱和注氮气(液氮),能够将密闭区内的氧气全部置换出来,使高冒区内始终处于饱和惰化的正压状态。这种正压状态可有效隔绝外界氧气进入,延缓煤体氧化速度,破坏自然发火的氧气条件,从而达到防火灭火的目的。

在注氮过程中,需要实时监测高冒区内的气体浓度变化,根据监测数据调整注氮流量与压力,确保注氮效果。同时,定期对注氮管路进行检查维护,防止管路堵塞、泄漏等问题影响注氮工作的正常进行。此外,还应注意氮气的储存与运输安全,确保注氮作业的安全性。

### 4.3 低位孔——加固堵漏

低位钻孔主要用于对破碎煤体进行加固和对漏风裂隙进行封堵。其终孔位置伸出巷道假顶(破碎带) 200~500mm,布设 8 分管。通过该管路压注加固充填的高分子材料,可对破碎煤体进行固结,增强煤体的整体性与稳定性;对漏风裂隙进行充填,切断漏风通道;对破碎顶板(人工假顶)进行加固,使其与周围巷道形成一个整体结构。这样一来,能够有效切断供氧通道,将冒落空间与外界彻底隔绝,从根本上消除自然发火的可能性。

在选择高分子材料时,需考虑其固化速度、粘结强度、耐久性等性能指标,确保材料能够适应高冒区复杂的环境条件。在压注过程中,严格控制压注压力与流量,避免因压力

过大导致巷道顶板破坏或材料泄漏，同时确保材料能够充分填充裂隙与空隙。此外，对加固堵漏效果进行定期检查评估，及时发现并处理可能存在的问题，见图 1。

### 4.4 防复燃措施

为防止高冒区二次复燃，采取了一系列综合防复燃措施。

#### 4.4.1 定点监测

将该高冒区作为自然发火重灾区进行严格管控。除日常检测外，在封闭区预留气体检测孔和热敏电阻测温孔各 1 个。通过人工气温检测和束管取样分析，实时获取高冒区内的气体成分、温度等关键数据，确保日常监测数据准确可靠。一旦发现数据异常，及时采取相应措施进行处理。

#### 4.4.2 间歇阻化

保留原注水孔(通过球阀控制)，当监测到温度异常时，立即开启球阀，静压注阻化剂溶液。通过这种方式，对蓄热点煤体进行降温处理，延缓煤体氧化速度，降低二次复燃的风险。

#### 4.4.3 目标注氮

保留原注氮孔(同样通过球阀控制)，若发现氧含量升高，打开注氮球阀，进行微量饱和注氮。维持高冒区内的惰化状态，防止氧气浓度上升引发自然发火。

#### 4.4.4 辅助喷涂

根据工作面采动及矿压影响情况，对巷道顶板及冒落区前后 20m 巷道进行全断面喷涂。选用具有良好密封性与阻燃性的喷涂材料，有效防止漏风，进一步增强防火效果。

### 4.5 防治效果

依据“三阶分段组合施孔法”工艺要求，迅速组织施工钻孔并设计专用插管。按照“高位孔淋水(阻化剂)降温，中位孔注氮惰化，低位孔加固堵漏”的工序进行操作，当班即取得显著成效。高温点被成功消除，空洞内氧气被有效置换，漏风裂隙得到加固充填。烟气、乙烯、一氧化碳等火灾标志性气体消失，氧含量降至 2%，温度恢复至 24℃，达到正常水平。这一实践结果充分证明了“三阶分段组合措施孔法”在高冒区自然发火防治中的高效性与可靠性，见图 2。

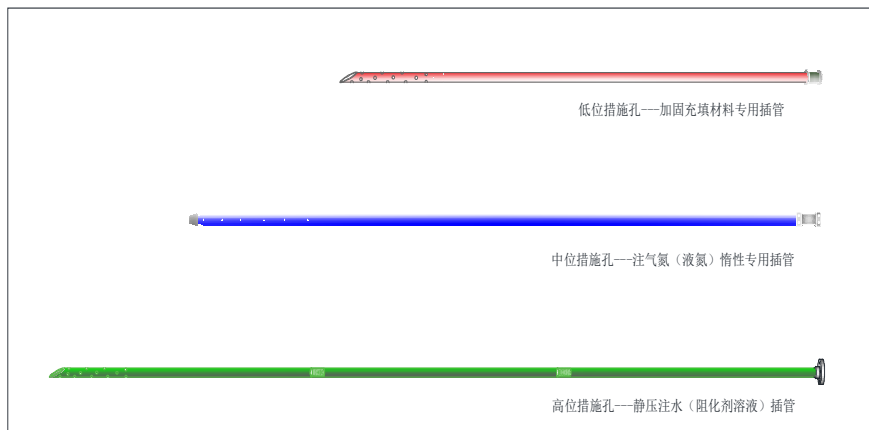


图 1 三阶分段组合措施孔专用插管设计图

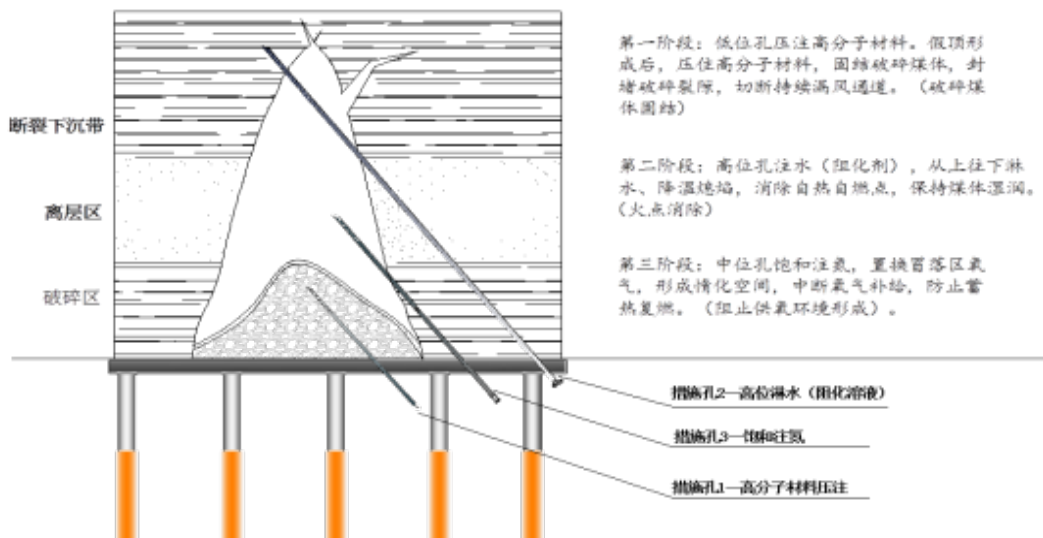


图 2 “三阶分段组合措施孔法”在 1502-1 回风顺槽高冒区灭火、防风示意图

## 5 结论

“三阶分段措施孔法”是一种集监测预警、降温惰化、充填加固于一体的矿井高冒区组合钻孔插管防灭火工艺。当巷道高冒区出现自燃征兆时,该工艺通过施工不同高度的钻孔并安设功能各异的套管,采取“高位孔淋水降温,中位孔注氮惰化,低位孔加固堵漏”的三阶分段组合施工方式,能够精确、快速地消灭蓄热高温点,切断漏风供氧裂隙,固结破碎煤体,饱和惰化冒落空间。其插管的特殊结构和复用功能,从根本上解决了二次复燃的难题。该工艺在赤城煤矿公司 1501 首采综放工作面进行摸索研究,在 1502-1 综放工作面得到实践论证,在 1502-2 综放工作面实现普及推广。通过现场实践检验,其简单的工序流程、高效的施工方法、立体的灭火手段以及显著的防灭火效果得到充分验证。配合气体、温度实时监测手段,能够快速、高效地实现高冒区火灾的防治。“三阶分段组合措施孔法”以其“准—快—全—稳”

的防灭火优势,对传统巷道高冒区的防灭火理论、方法、工艺、装备进行了革新,为煤炭行业解决高冒区防灭火问题提供了全新的技术指导与实践范例,具有广泛的借鉴与推广价值。在未来的矿井防灭火工作中,有望进一步优化该工艺,提高其适用性与经济性,为保障煤炭行业安全生产发挥更大作用。

### 参考文献:

- [1] 国家矿山安全监察局.煤矿安全规程[M].北京:应急管理出版社,2022.
- [2] 国家矿山安全监察局.煤矿防灭火细则[M].北京:应急管理出版社,2021.
- [3] 国家矿山安全监察局.煤矿防灭火细则解读[M].北京:应急管理出版社,2021.

作者简介:白镓涿(1987-),男,中国甘肃灵台人,本科,高级工程师,从事井工煤矿“一通三防”管理研究。