

## 煤矿防灭火技术研究新进展

邱文菁 白 刚 田富超

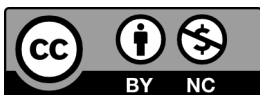
辽宁工程技术大学安全科学与工程学院, 葫芦岛

**摘 要** | 文章综述了煤矿防灭火技术, 重点分析了矿井火灾的分类、成因、危害以及防治技术。煤矿火灾根据起火原因主要分为内因火灾和外因火灾两大类, 其中内因火灾占比较高, 通常由煤层自燃引起, 也称自燃火灾。文章详细探讨了煤自燃的机理、条件及影响因素, 并介绍了煤自燃倾向性的测试方法。此外, 综合地整理了目前常用的防灭火技术, 包括充填堵漏、均压、注浆、惰性气体、阻化剂、高分子材料、三相泡沫等, 并讨论了这些技术的灭火机理、优缺点及适用条件。最后, 强调了我国煤矿安全工作的严峻性和重要性, 并指出了未来技术发展的方向。

**关键词** | 矿井火灾; 防灭火技术; 外因火灾; 煤的自燃发火; 研究进展

Copyright © 2024 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



### 1 概述

矿井火灾指发生在地面或井下, 能够威胁到矿工生命安全, 还可能造成巨大经济损失和环境破坏, 煤矿开采过程中可能遇到的严重安全事故之一。矿井火灾可以根据引火源的差异被分类为内因火灾和外因火灾。内因是由于煤层自身会吸收一定的氧气, 当温度逐渐升高时出现的自燃现象。而外因主要由外部

通讯作者: 邱文菁, 辽宁工程技术大学安全科学与工程学院研究生。

文章引用: 邱文菁, 白刚, 田富超. 煤矿防灭火技术研究新进展 [J]. 环境与资源, 2024, 6 (3): 11-24.  
<https://doi.org/10.35534/er.0603002>

火源引起,有设备因素和人为因素两种,如明火、电火花、机械设备故障或人为疏忽造成的火灾。研究表明,煤矿上由于内因引发的火灾占比超过90%,且往往发生于采空区,但仍需注意外部因素带来的影响。矿井火灾、煤尘爆炸和沼气爆炸之间存在着相互关联的复杂关系,它们常常相互作用,成为导致煤矿重大事故的关键因素之一。

煤矿火灾造成的危害主要体现在,产生大量对人体有害的气体,对工作人员造成严重伤害;产生高温引发爆炸,对环境造成负面影响,且造成财产损失;此外,火灾的发生也对煤矿造成的严重破坏,所以矿井火灾防治意义重大。我国煤层的储存条件及地质构造条件复杂多样,灾害事故频发,矿井火灾防控形势严峻。近年来,得益于中国对煤矿安全的高度关注以及在防灭火技术与设备能力方面的显著进步,中国煤矿的安全事故率和死亡人数都实现了显著降低。但与一些产煤大国相比,仍然相差很大,故我国煤炭生产安全工作任重道远。

为了有效预防和控制矿井火灾,提升煤矿的防火灭火能力,国内外的研究人员持续投入于开发更高效、更环保的阻化剂以及创新的煤矿火灾防治技术。目前,实际应用中的防灭火技术包括但不限于充填堵漏、均压通风、注浆灭火、惰性气体灭火、化学阻化剂、高分子材料以及三相泡沫等多种技术手段。这些技术方法各有优缺点,在不同情况下的应用也有所不同,基于此,本文系统的整理目前常用的防灭火技术,讨论其灭火机理及其存在的相关问题和适用条件。

## 2 煤自燃机理

煤自燃是由于具有自燃倾向性的破碎煤体长期与空气中的氧气接触,由于氧化反应产生的热量积累,最终导致煤炭自发燃烧而引起火灾,其不仅会导致大量能源资源浪费,造成人员伤亡和仪器设备损坏,并且燃烧过程中释放的有害气体还会对环境造成污染。

### 2.1 煤自燃过程

对煤自燃问题的研究可以追溯到17世纪,随着工业革命的兴起和煤矿开采的增加,人们开始注意到煤在开采、储存和运输过程中有时会发生自燃现象,

于是开始对煤自燃的机理展开研究，但早期的研究主要是经验性的，侧重于观察自燃现象和总结一些基本的规律。随着科学知识的发展，特别是化学和物理学的进步，国内外学者在煤自燃机理的研究上取得了显著进展，提出了多种学说来解释煤的自燃现象。这些学说主要包括黄铁矿催化学说、细菌作用学说、自由基链反应学说、煤氧复合作用学说及基团作用学说等。其中煤氧复合作用学说因其较为全面地解释了煤自燃的化学和物理过程而受到较广泛的认可。

煤氧复合作用学说指出，煤自燃主要是由煤与氧气的化学反应引起的。当煤与空气接触时，其有机物质与氧气发生缓慢的氧化反应，这个过程会释放出物理吸附热。随后，煤体进一步发生化学吸附和氧化反应，同时释放出化学吸附热和化学反应热。如果热量不能有效散发，就会在煤体内部积累，导致温度逐渐升高，进而引起煤的自燃现象。因此，煤的氧化放热不仅是自发产生热量的根源，也是导致煤体自燃的关键因素。

煤的自燃是其氧化反应的直接后果，通常分为三个主要阶段，即潜伏阶段（氧化阶段）、自热阶段和自燃阶段三个主要部分。在这个阶段性特征中，潜伏阶段的煤氧化过程是相对隐蔽的，这个阶段持续的时间会根据煤变质程度和外部环境条件的不同而有所变化。经过潜伏阶段后来到自热阶段，该阶段煤的氧化作用加剧，煤温急剧增加，热量迅速聚积，当温度达到一定水平，氧化反应速度加快，热量积累速度也随之增加，煤体开始明显自热。到了燃烧期，当煤体内部温度继续升高达到煤的着火点时，煤的氧化反应变得非常剧烈，煤体表面会出现明显的火焰和烟雾，并释放出大量的热量和有毒气体，有时还会出现明火，阴燃等状况。

## 2.2 煤自燃条件及影响因素

煤体的自燃必须具备以下4个条件：

- （1）煤炭具有自燃倾向性；
- （2）有连续的供氧条件；
- （3）热量易于积聚；

（4）煤炭自燃发火需要上述3个条件同时存在，并且这一持续时间要超过煤炭的最短自燃发火期。

众多的前期研究已经表明,影响煤自燃的因素是多种多样的,这些因素包括煤的变质程度、煤的成分以及煤中的水分含量、煤的瓦斯含量、煤的含硫量、煤的矿物质含量、孔隙率和脆性、煤层厚度和倾角、煤的埋藏深度、地质构造和开拓开采条件、漏风供氧条件和蓄热条件等。

## 2.3 煤自燃倾向性测试方法

### 2.3.1 氧吸附法

采用耗氧量来表征煤自燃倾向性的大小,分为静态氧吸附法和动态氧吸附法。

### 2.3.2 交叉点温度法(CPT)

当煤样中心的温度首次超过环境温度并与环境温度曲线相交时,记录下这一时刻的温度值,这个温度就是所谓的“交叉点温度”。CPT通过间接表示煤自燃的临界温度来表示煤的自燃倾向性,但该方法受试验环境影响太大,故只能部分的表示煤的自燃倾向性。

### 2.3.3 蓝热法

蓝热法通过建立数学模型来确定放热反应的动力参数,这种方法通过测量煤在特定条件下的放热速率来确定其自燃特性,蓝热法的优点在于它可以模拟煤在没有外部热源的情况下,由于自身内部氧化放热而导致温度升高的过程。这种方法为煤自燃的预测和预防提供了一个定量化的评估手段。但此测试方法受样品尺寸的影响显著,因此需要通过多次测试来获取结果,这就使得整个过程耗时较长。

### 2.3.4 绝热氧化法

绝热氧化法是一种用于评估煤自燃倾向的实验室测试方法,它通过绝热装置和措施将煤样中产生的微小热量保留下来,并且尽量消除环境对煤氧化升温的影响,此时煤样仅仅因为自身产生并积聚的热量而使其温度上升,从而实现在绝热条件下测量煤样在氧化过程中的温度变化来确定其自燃特性。这种方法的优点在于它与工程实际较为接近,可用于预测煤在储存、运输和使用过程中的自燃风险,以及开发和评估预防自燃的措施,能够提供准确的结果。然而,绝热氧化法在测试条件上要求严格,容易受到煤样含水量或通入气量的影响,

并且试验过程较长。

### 3 自燃发火预测预报

煤炭自燃发火的早期征兆包括温度升高、特定气体浓度变化、湿度增加、氧气消耗、出现煤焦油味、出现烟雾或明火、人体感到不适或出现某些病理现象，这是一个需要长时间酝酿的过程，如果能在自燃火灾的早期阶段通过监测系统识别出这些征兆，并据此进行预测和预报，及时采取预防措施，就有可能在很大程度上防止自燃火灾带来的严重后果。

#### 3.1 预测预报指标

由于不同矿井煤质、煤层地质条件和采掘工艺不同，所表现的规律也不尽相同，所以采取的防灭火措施应该根据实际情况确定，不应该硬套其他矿的预测指标，更不能把一氧化碳（CO）作为单一指标来预测。我们应该放弃过去仅仅依赖一氧化碳（CO）及其衍生指标的做法。在继续使用CO作为指标的同时，也应该探索将乙烯等烯烃类气体和乙炔等炔烃类气体作为综合判断指标的可能性。

#### 3.2 预测预报手段

煤自燃发火的预测预报可通过多种方法进行，包括气体分析、温度监测、红外热成像、光电法、电离法、烟雾法和气味检测法等，这些方法能够综合评估煤的氧化状态和自热趋势，以便及时发出预警并采取措施。在我国，气体分析法和测温法是最常用的技术手段，尤其是气体分析法因其较高的准确性而被广泛应用。

##### 3.2.1 气体分析法

气体分析法是一种预测预报煤自燃发火趋势的方法，它通过检测煤在自燃过程中释放的特定气体的浓度、比值和发生速率等特征参数来进行分析。通常把这些能够表征自燃发火进程的气体或其之间的比值称为自燃发火标志气体。常用的标志气体有CO、CO<sub>2</sub>、C<sub>1</sub>–C<sub>4</sub>烷烃、C<sub>2</sub>–C<sub>3</sub>烯烃及C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>及链烷比、烯烷比等。

### 3.2.2 测温法

测温法作为监测煤自然发火的一种传统而直接的手段，主要分为两种预报方法：一是基于特定温度阈值的直接报警系统，当测点温度达到或超过某一特定值时，即发出火灾预报或警报，它简单直观但无法捕捉到发火前的变化和预测发火后的趋势；二是通过分析温度变化特性如升温速率来进行趋势预测，采用测点温度变化进行预测预报时，不仅可以依据先前的温度变化特征进行预测，预报出未来的趋势，而且能够直观地测量到测点的温度，这种方法可以提供更全面的火灾发展信息。用于温度监测的常见传感器包括光纤、热电偶、测温电阻、半导体元件、集成温度传感器、热敏元件、红外线、激光和雷达波等，其中热电偶和测温电阻因其成本效益高、操作简单而被广泛使用。测温法的主要缺点在于需要大量探头，导致安装和管理工作量巨大且复杂。红外热成像和雷达探测技术，由于受到穿透距离和地质构造等因素的影响，面临一些实际应用的限制。尽管如此，便携式激光测温仪仍因其优势正在逐渐普及。

### 3.2.3 气体分析法

气味分析法的原理是有味气体到达嗅觉细胞感受器，刺激嗅觉细胞导致接受膜电位变化，然后通过神经网络传导、记忆、学习、比较，最后做出识别结果。其优点是能够较早识别氧化初期气味变化，识别火源物质及其混合物比例，能够判断外因火灾、内因火灾，并推断出火源地点。但其也存在诸多不足，一是传感器制造工艺复杂，造价较高，寿命短；二是受外部因素影响多，如采煤机开、停，放煤、落煤等；三是使用气味检测法必须详细了解监测地点气味本底情况、掌握本底值变化规律；四是其应用和管理较复杂。

## 4 矿井防灭火技术

目前，我国在煤矿煤层开采期间，主要运用了以下防灭火技术：充填堵漏、均压防灭火技术、注浆防灭火技术、惰性气体、阻化剂、高分子材料、三相泡沫、燃油惰气灭火技术与高倍数泡沫灭火技术以及综合防灭火技术。

### 4.1 充填堵漏防灭火技术

煤矿矿井采空区通常存在着不同程度的漏风，为遗煤的自燃提供了环境条



件,因此,“充填堵漏”成为矿井防灭火的主要方法之一。充填堵漏,即采取各种方法减少甚至是杜绝煤体和采空区的漏风,使煤体由于缺少氧气而难以发生自燃。矿井防灭火技术中,充填堵漏技术的应用十分广泛,这包括注浆堵漏、喷涂堵漏和均压堵漏三种主要方法,尤其是注浆堵漏方法使用最为频繁。充填材料主要分为有机和无机两类,有机材料涵盖了黄土、粉煤灰、复合黏土喷涂材料、石灰和石膏,而无机材料则包括了无机固化膨胀材料,以及发泡水泥等。随着学者们的不懈努力,许多新型充填堵漏材料也逐渐被研发并投入使用,结合目前的技术研究成果来看,应用无机固化粉煤灰与轻质膨胀快速密封堵漏,可以增强堵漏材料自身性能,以此获得良好的堵漏效果。

## 4.2 均压防灭火技术

所谓均压通风防灭火技术,就是将有关的设施设备,如风窗、风机、连接管道、调压空间等各种通风调控工具合理搭配,集中起来,利用通风的方式,改变泄露空间的压力分布,调节漏风通道两端的压差,从而降低漏风风险,达到阻止煤炭自燃、消除火源的效果。

在均压通风防灭火技术中,应用了多种方式,包括调节风门、并联封路、调压风机和连通管道等。这项技术通过不同的方法实现,如边眼畅通均压法、预埋管路导风均压防火技术、在综采工作面回风巷设置调节风门和均压阀、将全负压通风系统改为正压通风技术,以及风窗-风机联合均压技术。

### 4.2.1 边眼畅通均压法

边眼畅通均压法在煤矿通风防灭火技术中,指的是绕系统巷道进行煤炭的运输活动,即在完成了综采工作面的回采工作后,要将设置在综采工作面的边眼全部彻底拆除。通过拆除边眼,运输巷和运输口之间的气压得以降低,从而实现了对采空区漏风情况的有效控制,形成隔绝的功能,避免采空区出现漏风的问题,实现灭火目标。

### 4.2.2 预埋管路导风均压防火技术

预埋管路导风均压防火技术指的是把消防管道在合适的位置事先预埋好,在运料巷间、进风巷、停采间、回风巷和运输巷等位置,结合实际情况使用一

条敞口预埋管路或多条敞口预埋管路,另外,还可以在防火密闭墙上砌筑端墙,这种方法提高了砌筑作业的水平 and 效果,增强了防火密闭墙的密闭性能。预埋管路导风均压防火技术是一种主动方法,具有一定的主动性,利用该方法,采空区出现的大部分漏风都会随着预埋管路而逐渐流走,是防灭火方法中的一种具备显著应用优势的防火方式,使综采工作面的安全性得到了提升。

#### 4.2.3 综采工作面回风巷设置调节风门均压阀

综采工作面回风巷设置调节风门均压阀其原理是将调节风门设置在综采工作面的回风巷位置,使用调节风门,在工作面停止回采后,控制通风,只向工作面提供量非常小的风,降低动态工作面风量,通过有效控制工作面两端的气压差,可以减少采空区的漏风风险。使用该方法时,需要确保回风流内的甲烷浓度不超过报警值,对综采工作面当中的甲烷浓度加强严格的监管和控制,保证甲烷的浓度不超限,而不是一味地降低风量,要在安全的前提下实现综采工作面的防灭火技术应用目标。

#### 4.2.4 全负压通风改为正压通风技术

将全负压通风改为正压通风技术,该方式是在拆除了综采面进风巷设备之后,要立即采取封闭处理的方法,及时做好工作面的封闭工作,并对该位置做好监控工作。为了实现正压通风,通风机需要被放置在特定的位置,这个位置通常是在进风巷道且紧邻回风巷的地方,这样的布局使得通风机能够有效地发挥其功能,确保矿井内部的空气流动处于正压状态,从而优化通风效果,风筒可以经过回风巷道,并在综采工作面中发挥出一定的功能,以对采空区的漏风情况进行管控,降低采空气的漏风风险。全负压通风改为正压通风技术,可以有效地提高对综采工作面的安全风险防范水平,增强生产现场的安全防范效果。

#### 4.2.5 风窗-风机联合均压技术

利用风窗和风机的联合作用进行均压防火,要结合风量的具体情况,经过计算,对局部通风机进行选择和使用,确保局部通风机的型号符合综采工作面的安全生产需求。这种方法在具体的实践中,适用于采空区后部漏风较为严重的情况。作为一种均压措施,风窗与风机联合应用进行对采空区的均压处理,配备正反向风门,将正反向风门设置在回风巷内,搭配使用调节风窗,可以实



现均压防火的目的,取得理想的安全防范效果。

### 4.3 注浆防灭火技术

注浆防灭火技术主要原理是通过浆体材料包裹煤体,使其与氧气隔绝,达到防止煤体氧化的效果,进而防止煤炭自燃,此外,用这种方法还能加强煤层的整体结构,使其更加稳定。注浆浆料的主要成分包括水、水泥和某些化学添加剂等,注浆材料须具有不可燃烧性,且易于融入生产溶浆内,具有高强度气密性,材料成本、运输成本不宜过高,这些材料混合后,迅速凝固并形成坚固体系,起到阻隔火焰的作用,防止煤炭被进一步的氧化。灌浆防灭火技术分成三种:工作面撒浆、钻孔灌浆和埋管灌浆。在预防性注浆工作中采用采前预注法、随采预注法、采后预注法,灭火过程中则采用地面钻孔注浆、消火道注浆及井下区域性集中注浆等方法。

### 4.4 惰性气体防灭火技术

惰性气体防灭火技术是指将惰性气体送入自燃区,排出原有体积内的空气,降低氧含量,使注入惰性气体后的氧浓度降低到7%以下,以达到抑制煤自燃或扑灭已生成火灾的效果。惰性气体防灭火技术通常以氮气作为主要使用的气体,辅以二氧化碳,并已成功应用于处理外因火灾或自燃火灾引发的封闭区。此外,液氮和液态二氧化碳的直注式与可控温式灌注技术也得到了发展,并被纳入该技术的应用之中。惰性气体防灭火技术于20世纪50年代就开始应用,具有工艺简单,操作方便的特点,有较好的稀释抑爆作用,但由于矿井复杂的地质条件或不明高位火源点,使其应用受限,灭火周期长,不能有效消除高温点,若密闭性差,还易发生泄露,易造成人员窒息、伤亡。

### 4.5 阻化剂防灭火技术

阻化剂防灭火技术是一种重要的矿井防灭火方法。这种技术基于阻化原理,利用具有阻化性能的药剂,在煤炭表面形成一层保护膜,阻止氧气与煤的接触,从而降低煤炭与氧的亲合力,以达到防灭火的目的。阻化剂防灭火技术

具体涉及两种方法：一种是汽雾阻化防灭火技术，另一种则是喷洒阻化剂技术。在喷洒阻化剂技术中，阻化剂的水溶液被均匀喷洒至煤体表面，目的是在煤体上形成一层保护膜，以防止煤体发生氧化和自燃。而汽雾阻化则是将阻化剂水溶液通过雾化器转化为汽雾，这些微小的雾粒可以随风飘移到采空区内，达到防灭火的效果。阻化剂防灭火技术的优点主要体现在：一是有效阻止煤炭与氧气的接触，降低煤炭自燃的风险；二是操作简便，成本相对较低；三是适用范围广，既可以用于煤体表面的防灭火，也可以用于采空区的防灭火。然而，阻化剂防灭火技术也存在一定的局限性，比如阻化剂的效果可能会受到环境温度、湿度等条件的影响，且长期使用可能会对煤炭的质量产生一定的影响。因此，在应用该技术时，需要结合实际情况进行选择和调整。总的来说，阻化剂防灭火技术是一种有效的矿井防灭火手段，其在煤炭安全生产中发挥着重要的作用。随着科技的不断进步和矿井安全要求的提高，该技术将继续得到改进和优化，为矿井的安全生产提供更加可靠的保障。

## 4.6 高分子材料防灭火技术

高分子材料的防火技术主要通过物理或化学方法来提高材料的阻燃性能。这些技术包括添加无机防火剂如氢氧化铝和氧化镁，这些物质在高温下分解产生水蒸气和惰性气体，形成保护层，减缓材料燃烧。其技术内容有表面涂层技术，如膨胀型涂料，可形成保护膜以隔绝氧气和热量；结构设计优化，比如增加隔热层或防火隔离带，也是提升防火性能的有效手段。此外，有机-无机杂化、纳米协同、原位增强、可控碳化以及生物基阻燃剂的开发，同时还包括表面处理技术如等离子体/紫外处理和溶胶-凝胶法，为防火技术带来了新的进展。尽管这些技术提高了防火性能，但同时也带来了成本、环境影响和性能平衡等挑战。

## 4.7 三相泡沫防灭火技术

三相泡沫防灭火技术是一种综合利用液体、气体和固体元素的灭火手段，其原理在于通过泡沫隔绝氧气并降低火场温度，迅速扑灭火焰。这种技术具有

显著的灭火效果，因其环境友好性和易于清理的特点而备受推崇。技术特点包括创新的泡沫成分、高效的生成装置和智能化的控制系统，这些创新旨在提高灭火效率并减少对环境的影响。尽管三相泡沫技术在专业设备和操作人员方面需要较高成本，且在特殊情况下可能需要额外考虑，但其在多种火灾场景下的有效性和环保性使其成为一种值得推广的灭火技术。

#### 4.8 燃油惰气灭火技术与高倍数泡沫灭火技术

燃油惰气灭火技术是一种在煤矿井下防治火灾和抑制瓦斯爆炸的有效方法，通过燃烧燃油（通常为煤油或航空煤油）和空气，在特制的燃烧室内产生以氮气、二氧化碳和水蒸气为主的混合气体，即湿式混合惰气，利用惰性气体取代空气中的氧气，降低氧气浓度以抑制火焰燃烧的灭火技术。燃油惰气灭火技术的关键优势在于其快速产生大量惰性气体的能力，这些气体可以迅速被输送到火灾区域，实现快速灭火和阻爆功能，从而达到灭火的效果。高倍数泡沫灭火技术是一种利用高浓度泡沫液形成覆盖层，隔绝火源与空气以阻止燃烧的灭火技术。其原理是通过泡沫液喷洒到火源附近形成泡沫覆盖层，隔绝火源与空气，阻止燃烧反应，有效灭火。燃油惰气灭火技术和高倍数泡沫灭火技术都在惰气成分、泡沫液配方、灭火装置等方面进行不断改进和创新，提高灭火效率和减少对环境的影响。燃油惰气灭火技术无残留物，不会对环境造成污染，且对设备损坏小；高倍数泡沫灭火技术灭火速度快，效果持久，能够有效隔离火源与空气，避免火势蔓延。缺点方面，燃油惰气灭火技术需要确保惰性气体密封性，成本较高；高倍数泡沫灭火技术在泡沫液耗费、处理废水等方面会带来一定环境问题。

#### 4.9 综合防灭火技术

综合防灭火技术是一种集成多种灭火手段和策略的先进系统，旨在通过智能化管理和实时监控，实现对火灾的快速反应和有效控制。它融合了物理、化学和机械灭火原理，包括早期火灾探测、自动报警、智能灭火系统、消防机器人、特种灭火剂及应急疏散等。该技术的核心优势在于其智能化的集成系统，

能够利用传感器和监控设备实时监测环境，自动触发报警并部署灭火资源。智能算法和数据分析确保灭火剂投放和设备运作的精确性，同时减少人员在危险环境中的暴露，提高灭火效率。综合防灭火技术还注重环境影响最小化，采用环保灭火剂和设备，适用于高层建筑、地铁隧道、石油化工和森林火灾等多种复杂场景，随着技术发展，不断满足更高安全需求。

## 5 总结

近年来，我国煤矿的防灭火技术与手段已有了较大的发展和提高，但我国煤炭生产安全工作仍然面临重大挑战。为了应对这一挑战，需要继续完善和提高防治技术水平，持续加大科研投入，推动技术创新，加强基础研究并提升防灭火技术水平，同时开发创新技术手段，对于矿山安全保障系统的研究与应用至关重要。特别是引入非线性科学的理论和方法，这可能有助于改变自燃火灾的不利局面。此外，增加矿井灭火资金的投入和采取严格的管理措施，对于促进矿井防灭火技术和管理水平的提升至新的台阶也是极其重要的。通过这些措施，可以更有效地预测、预警和应对矿井火灾，保障矿山安全生产。

综上所述，煤矿防灭火技术的研究与应用，对于提升煤矿安全生产水平、减少事故发生、保护矿工生命安全和国家财产具有极其重要的意义。未来应继续加强相关技术的研究与开发，不断提高煤矿防灭火技术的整体水平，以应对日益复杂的矿井火灾防治需求。

## 参考文献

- [1] 纵瑞利, 吴威威, 刘方远. 我国煤矿生产事故统计及安全生产措施[J]. 煤炭技术, 2020, 39(1): 205–207.
- [2] 黄明. 高瓦斯易自燃综放面回撤期瓦斯治理和防灭火技术探讨[J]. 能源与节能, 2021(2): 155–156.
- [3] 邓军, 徐精彩, 陈晓坤. 煤自燃机理及预测理论研究进展[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2003(4): 455–459.

- [4] 牛会永, 张辛亥. 煤炭自燃机理及防治技术分类研究[J]. 工业安全与环保, 2007(10): 45-48.
- [5] 余明高, 王亮, 李海涛, 等. 我国煤矿防灭火材料的研究现状及发展趋势[J]. 矿业安全与环保, 2022, 49(4): 22-36.
- [6] 卢国菊, 赵永芳, 赵国飞. 对煤自燃发火预测预报指标体系的研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2020(15): 126-127.
- [7] 杨峰峰, 王海晖, 龚恒敏, 等. 煤自燃倾向性测试及监测技术研究进展[J]. 煤, 2023, 32(2): 29-32, 53.
- [8] 王兰云, 蒋曙光, 梁运涛, 等. 基于静态耗氧实验的煤低温氧化反应动力学分析[J]. 矿业安全与环保, 2009, 36(1): 1-3.
- [9] 李金帅, 王德明, 仲晓星, 等. 基于交叉点温度法的煤自燃临界温度测试方法[J]. 煤炭工程, 2011(10): 107-109.
- [10] 陆伟, 王德明, 周福宝, 等. 绝热氧化法研究煤的自燃特性[J]. 中国矿业大学学报, 2005(2): 84-88.
- [11] 郭旭东, 范智海, 司俊鸿, 等. 综放采空区矸石堵漏充填防灭火技术[J]. 陕西煤炭, 2016, 35(2): 82-86.
- [12] 奚弦. 工业固废基复合浆泡材料的研制及堵漏防灭火特性研究[D]. 中国矿业大学, 2022.
- [13] 赵凯. 煤矿综采工作面均压通风防灭火技术分析[J]. 内蒙古石油化工, 2023, 49(12): 75-78.
- [14] 尹智伟. 关于通风防灭火技术在煤矿中的实践探析[J]. 山西化工, 2023, 43(11): 179-181.
- [15] 张海飞, 孙国祯, 金钟悦, 等. 地面预注浆技术在煤矿防灭火中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(3): 168-170.
- [16] 刘丹. 煤矿采空区灌浆装备研发与应用[J]. 陕西煤炭, 2024, 43(2): 118-121.
- [17] 任俊峰. 地面钻孔灌浆技术在矿井防灭火中的应用研究[J]. 山西化工, 2024, 44(3): 186-187, 191.

## Summary of Coal Mine Fire Prevention and Extinguishing Technology

Qiu Wenjing   Bai Gang   Tian Fuchao

*Liaoning Project Technology University, School of Safety Science and Engineering,  
Huludao*

**Abstract:** This paper summarizes the fire prevention and extinguishing technology in coal mine, mainly analyzes the classification, cause, harm and prevention technology of mine fire. Coal mine fire is mainly divided into two categories according to the cause of fire, internal fire and external fire, of which internal fire accounts for a relatively high proportion, usually caused by spontaneous combustion of coal seam, also known as spontaneous combustion fire. This paper discusses the mechanism, condition and influencing factors of coal spontaneous combustion in detail, and introduces the test method of coal spontaneous combustion tendency. Further, the paper systematically sorted out the common fire prevention technology, including filling and plugging, pressure equalization, grouting, inert gas, retarder, polymer material, three-phase foam, etc., and discussed the fire fighting mechanism, advantages and disadvantages and applicable conditions of these technologies. Finally, the paper emphasizes the seriousness and importance of China's coal mine safety work, and points out the direction of future technology development.

**Key words:** Mine fire; Fire prevention technology; Exogenous fire; Spontaneous combustion of coal; Research progress