

# Analysis and Prevention Technology of Mine Fire

Xuejun Li

National Energy Group Ningxia Coal Industry Co., Ltd. Jinfeng Coal Mine, Wuzhong, Ningxia, 751504, China

## Abstract

With the progress of technology, the production efficiency of mines has been greatly improved, making a huge contribution to the country's economic development. Mine fire is an important disaster that restricts the safety production of coal mines. Through continuous development and exploration, fire prevention and extinguishing technologies such as isolation, inerting, equalizing pressure, and plugging have been summarized. When a fire occurs in a goaf, it is often difficult to quickly and effectively extinguish it using a single extinguishing technology, and multiple measures need to be taken simultaneously to comprehensively prevent and extinguish the fire. With the continuous improvement of fire prevention and extinguishing systems, more and more advanced fire prevention and extinguishing technologies are being applied to mines. The ability to prevent and control spontaneous combustion in coal seams is also constantly enhancing, and new technological features have been formed, which not only protect coal seams but also control fires in mines.

## Keywords

fire prevention and extinguishing technology; fire analysis; goaf

## 矿井火灾分析及防治技术

李学军

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司金凤煤矿, 中国·宁夏 吴忠 751504

## 摘要

随着科技的进步, 矿井的生产效率得到了极大的提升, 为国家的经济发展做出了巨大的贡献。矿井火灾是制约煤矿安全生产的重要灾害, 在不断发展与探索中总结出隔绝、惰化、均压、堵漏等防灭火技术。采空区发生火灾, 往往采用一种灭火技术不能快速有效灭火, 需要同时采取多种措施进行综合防灭火。随着防灭火系统不断完善, 越来越多先进的防灭火技术应用于矿井, 对煤层自燃现象的防控及控制能力也在不断增强, 并形成了新的技术特色, 既保护了煤层又能控制矿井内因火灾。

## 关键词

防灭火技术; 火灾分析; 采空区

## 1 引言

煤炭生产在国民经济发展中占有重要地位。中国能源储量“富煤、贫油、少气”的特点决定了煤炭的主体能源地位; 煤炭在一次能源消费中占比保持在 57% 以上, 在一次能源生产中占比一直高于 70%; 随着煤炭工业的迅猛发展, 中国煤矿生产规模不断扩大, 火灾隐患并没有得到根本抑制, 特别是一些易自燃煤层及采用放顶煤工艺开采的煤层, 自然发火隐患较大, 风险较高, 是火灾事故发生的高风险点, 且一旦发生火灾事故, 可能造成很大范围内作业人员的伤亡。因此, 矿井火灾防治必须从源头上预防和杜绝。

## 2 中国和其他国家矿井火灾概况

在美国、印度、俄罗斯、澳大利亚等主要产煤国家煤

层火灾普遍存在。美国的 16 个州中, 260 处地下煤田在燃烧; 印度贾里煤田地下 90m 的焦煤每年燃烧 3700 万吨以上; 澳大利亚斯科温城北的汉捷维利山煤层已燃烧 2000 多年。在中国有 130 余个大中型矿区均受自然发火威胁, 总体呈现北多南少的趋势; 具有煤层自然发火倾向的矿井占 54%, 最短自然发火期小于 3 个月的矿井占 50% 以上。

## 3 矿井火灾危害

矿井煤炭燃烧威胁着矿工生命安全, 引发煤矿重特大事故。自 2000 年以来, 煤炭自燃造成重特大事故 30 起, 死亡人数 680 人, 平均每起事故造成 22.67 人死亡; 从 2001 年国有百万吨发火率 0.725, 目前已下降至 0.05 以下, 自燃发火灾害得到了明显遏制。但仍存在一些突出的问题: 如一些老矿区小矿井依然面临严重火灾威胁; 煤层机械化开采强度大、CO 局部超限; 或近距离煤层群开采采空区大面积连通自燃防控难题。

【作者简介】李学军 (1987-), 男, 中国宁夏吴忠人, 本科, 工程师, 从事井工煤矿矿井通风研究。

## 4 矿井火灾分析

### 4.1 内因分析

自燃假说：关于煤的自燃假说主要有黄铁矿作用、细菌作用、酚基作用、自由基作用和煤氧复合作用假说，目前普遍认为煤氧复合作用占主要原因。

发生化学作用：第一，煤层具有自燃倾向性，这是煤发生自燃最本质的条件；第二，煤呈破碎自然堆积状态，粒度越细，比表面积越大，能充分地同氧气接触。此外，有连续的通风供氧条件，并且环境适于热量聚集，在一定的聚热期内即达到自燃现象。

### 4.2 外因分析

外部原因也可以叫做人为原因，也是造成煤矿火灾的主要原因，具体的外部原因火灾主要是电器火花、机械摩擦、违规动火等致使煤炭燃烧；或由于矿井瓦斯积聚导致瓦斯燃烧甚至爆炸。随着科学技术的进步，中国的矿井开采技术不断进步，生产设备的自动化和机械的数量也在不断增加，采煤工作面机械电气设备运转产生热量也不容易忽视。

### 4.3 煤的自燃过程及特性

煤的自燃过程是一个复杂的物理化学作用。从微观上来讲，氧分子通过物理或化学作用吸附煤表面，进而发生化学反应，煤的官能团和自由基发生变化；从宏观上来讲，耗氧量会明显增加，释放热量，导致氧化发热地点空气温度明显升高，产生有毒有害气体增加，聚集。

由图1得，褐煤随温度的变化耗氧量明显比其他高变质煤种高，最高变质程度无烟煤则最低；由图2得，在同等条件下，褐煤的温升变化速率明显高于高变质的无烟煤。图3、4中，随温度的升高，低变质的褐煤释放有毒有害气体的量明显比无烟煤高。 $C_2H_4$ 的出现褐煤中表现得尤为活跃，无烟煤含量较低。在实际生产中，CO的出现温度通常

低于烯烃，烯烃的出现温度低于炔烃，炔烃出现的温度最高。在出现CO之前是蓄热阶段；在CO出现温度与 $C_2H_4$ 出现温度之间是氧化自热阶段， $C_2H_4$ 出现的温度到 $C_2H_2$ 出现的温度之间是深度氧化。从煤的变质程度来讲低变质程度褐煤随温度的升高，无论是耗氧量、产生有毒有害气体量及挥发分量及加热时升温反应速率来看明显比高变质程度无烟煤高很多，在防火方面更应该关注低变质程度褐煤的自然火灾隐患。

## 5 煤矿防灭火技术

### 5.1 隔绝防灭火技术

隔绝防灭火技术主要有注水、泥浆、粉煤灰、凝胶、泡沫（高倍泡沫和阻化泡沫）喷洒阻化剂。此技术主要使用隔绝材料将采空区浮煤与空气隔开，从而切断供氧条件，阻止遗煤持续氧化，达到防火目的。操作时需使用胶体制备机将添加材料（黄土、粉煤灰、凝胶）制备成胶体状态，在地面使用管道泵增压，通过敷设好的管道将胶体输送至防火区域内。在防火区域内预先在不同位置间隔敷设释放口，使胶体流动最终覆盖采空区所有浮煤；在使用高倍泡沫或者三相泡沫时除原有制浆注浆设备外在主管旁路设计氮气注入孔，使用混合器和发泡器将气相液相固相物质混合，再输入采空区内。当惰性氮气在释放口输出时会发泡并不断堆积到上部空间，气泡产生时会把黄泥或粉煤灰颗粒带到落煤顶部，当气泡破裂时将添加物质覆盖在落煤上，达到隔绝目的，同时释放的氮气也会降低采空区的氧气浓度，对煤的氧化自燃起到抑制作用；喷洒阻化剂则是通过人工的方法将配置好卤盐类溶液喷洒至落煤表面，隔绝煤与氧气接触，达到抑制氧化作用。以上防火措施特别适合采空区落煤较多，堆积较高大空间的煤自燃火灾，如果操作采取较好，可以从根本上消除采空区落煤与氧气的接触，从而达到防火作用。

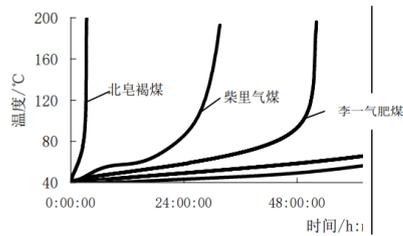
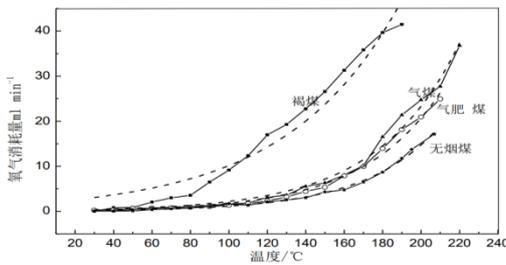


图1 典型煤种氧气消耗量与氧化温度之间关系 图2 典型绝热氧化升温曲线

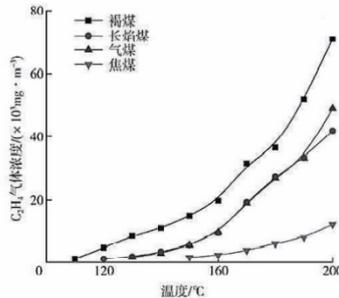
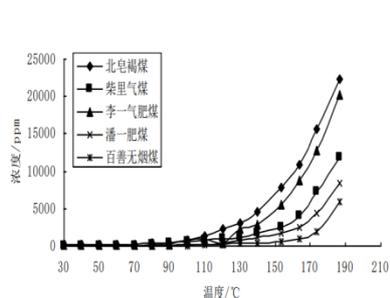


图3 典型煤种温升过程中气体产物变化规律图

图4 典型煤种温升过程中气体产物变化规律

## 5.2 惰化防灭火技术

煤矿井下常用惰化防灭火技术主要采取注惰性气体手段,如液态氮和二氧化碳。液态惰气气化后输送至采空区和需惰化空间内,可将氧气浓度降到3%~5%或更低,氮气密度与空气密度接近可均匀充满整个封闭空间。二氧化碳气体比空气重,大部分在采空区底板附近,对采空区底部空间防灭火有很好的抑制作用。因液态惰气气化后需要吸热,注入采空区后本来较低的温度还具有一定的降温灭火作用。煤矿火灾是一种封闭的火灾,为了保证煤矿的安全,国内的科研人员对此做了很多的探索。在巷道发生火灾时,应在现场设置一个临时密闭空间,向密闭区域注入氮气,在含氧量小于10%的情况下进行灭火,当含氧量下降到1%~2%时,可以快速灭火。如果是在更深的地方,需要向火场中注入的氮气量为3倍或更多。我国煤矿采空区在防灭火过程中注入氮气量为200~400立方米/小时,封闭火区氮气量为600~800立方米/小时。

## 5.3 均压防灭火技术

均压防灭火技术通过通风的方法降低采空区漏风通道两侧的压差,减少漏风量,防止和抑制采空区遗煤自燃的防灭火技术。其实质则是利用风窗、风机、调压气室和连通管道等调压设施,改变漏风区域的压力分布,降低漏风压差,减少漏风,从而抑制遗煤自燃、惰化火区或熄灭火源的目的。在实际应用中,两侧的压差难以准确地测定和控制,通过设施手段不能有效地控制风流,使得漏风通道两侧的压差不平衡,防灭火区域气流不稳定,有持续的氧气补给,从而导致失败。

## 5.4 阻燃物质防灭火技术

所谓阻燃物质防灭火技术,指的是人工将阻燃剂释放在采空区内,达到抑制采空区火灾迅速扩散、减少和控制火源。阻燃剂发生化学反应时可释放出能够抑制燃烧的气体,可迅速减弱火势,熄灭火源,同时在分解反应发生时吸收周围高温能量,可抑制和减弱火势进一步扩大。产生的物质可在可燃物质表面形成一层与氧隔绝的有效涂层,达到抑制燃烧的作用。

## 5.5 堵漏风防灭火技术

在采煤工作面回采结束后,应及时封闭与采空区相连的巷道,并在顺槽巷附近设置隔离带,或采取隔离煤柱裂缝注浆堵漏等作业。由于矿井火灾的特殊性和复杂性,单靠一种方法无法达到预期的防灭火效果,因此可以采取综合性的防灭火技术,即将各种防灭火技术结合起来,进行综合运用,

从而达到更好的防灭火效果。

## 5.6 煤矿通风系统设置及水处理技术运用

矿井通风设备及水处理技术是矿井火灾与灭火技术中的重要环节,保证矿井的最大通风能力是保证矿井防火的重要保证。矿井的火灾和爆炸是由大量的气体聚集引起的,大量的火源和气体的爆炸都需要在一定程度上积累,而风能可以有效地驱散气体,从而防止产生危害,因此,在矿井中要有足够的通风。当风速较低时,应设置适当的通风装置,以增强风力。井下回灌技术是目前矿井水处理技术中的一项技术,对于工作面顺槽漏风通道的封堵,遗煤的隔绝有很明显的效果,并在矿井的火灾中发挥着重要的作用。综上所述,采取通风、水处理技术等措施,可以进一步强化瓦斯治理,以保证矿井防火的有效性。

## 6 结语

煤矿火灾是当前煤炭企业面临的非常重要的课题。随着防灭火系统不断完善,越来越多先进的防灭火技术应用于矿井,对煤层自燃现象的防控及控制能力也在不断增强,并形成了新的技术特色,既保护了煤层又能控制矿井内火灾。但是,目前煤矿防灭火中仍然存在一些问题:一是矿井防灭火系统大多数建设在地面,随着采区的延伸,管路阻力大,效率低;二是预防事故和控制火源中存在风险因素难以及时发现;三是防灭火工程施工质量差、成本高、效率低;四是防灭火压力较小煤矿防灭火措施采取不到位,未严格执行“预防为主”原则,安全生产隐患没有得到及时有效地治理。这些现象都制约了矿井防灭火工作的开展,因此,必须采取科学有效的措施加以防治避免造成灾害事故和经济损失。同时,希望煤炭企业在实际工作中不断加强自身技术来解决实际问题。

## 参考文献

- [1] 李理. 矿山井下防灭火措施探讨[J]. 中国金属通报, 2022(2): 117-119.
- [2] 张云杰. 关于对强化矿井防灭火工作措施的思考[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(2): 197-198.
- [3] 白大伟. 矿井防灭火技术措施研究[J]. 矿业装备, 2020(5): 86-87.
- [4] 王旭东. 矿井防灭火技术措施研究[J]. 能源与节能, 2020(4): 136-137+176.
- [5] 仝维欣. 煤矿井下防灭火措施综述[J]. 内蒙古煤炭经济, 2020(2): 145.
- [6] 曹逸科. 关于加强资源整合矿井防灭火工作措施的研究[J]. 矿业装备, 2019(6): 72-73.