

防灭火技术在老石旦煤矿的实践与应用

李晓旭^{*1},张德森¹,周连春²,古 娜²,张继彪²

(1.国家能源集团乌海能源有限责任公司,内蒙古 乌海 016000;2.西昌学院,四川 西昌 615000)

摘 要:对国家能源集团乌海能源有限责任公司老石旦煤矿16402工作面出现CO气体浓度异常的原因进行了认真分析,并采用了类比分析法进行分析决定采用注氮防灭火技术进行防灭火治理,同时对注氮防灭火技术的工作原理和现场应用进行了详细阐述,收到了良好的使用效果,保证了矿井的安全高效地生产。

关键词:防灭火技术;实践;应用

中图分类号:TD75 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-5716(2024)08-0127-04

改革开放以来,煤炭作为新中国经济发展的主要能源,使我国的经济得到了高速稳定的发展。虽然有很多更加环保如水能发电、风力发电等清洁能源在不断被提倡并应用于实践中,当然像石油等传统能源的应用也在逐渐提高^[1]。但是煤炭资源依旧是在我们国家经济飞速发展过程中非常重要的能源,其地位没有发生根本性变化。然而在煤矿的开采中有各种的灾害风险,像水、火、顶板、瓦斯、粉尘等灾害,其中火灾的影响举足轻重^[2]。在瓦斯抽放的时候会导致抽放区域的漏风量严重提高,随之而来会因为漏风量的提高使煤层的自燃问题加重。所以,一旦矿井发生煤炭自燃不仅会影响生产,如果更严重的话可能会破坏掉工作面的生产设备从而导致矿井工作面的停产,造成的经济损失可想而知也是非常大的。在最近几年,因为瓦斯抽放增加漏风量导致在工作面采空区浮煤自燃而封闭的矿井在我国大概已经有一千多个,其也造成了每个工作面的经济损失达到了数千万元。由此可见,矿井工作面的煤炭自燃是煤矿火灾的主要形式,因此本文将煤层自燃作为治理煤矿火灾的重点研究对象。随着近几年采煤技术的不断发展,我国普遍使用综采放顶煤技术作为工作面开采的采煤技术,在使煤矿工作面的开采效率得到了大幅度提高的同时,但随之也带来了许多非常棘手的问题,回采工作面采空区就存在遗留残煤增加、漏风量增加等问题^[3]。这些也成了矿井火灾发生的不可忽略的原因,这也影响了煤矿开采技术进一步的发展。矿井遗煤自燃造成的火灾是限制煤

矿安全生产的主要矿井灾害之一,例如在河北的艾家沟矿业公司曾在2013年就发生过一起严重的矿井火灾事故,火灾造成经济损失大约在1400万,更可怕的是其中有12人遇害死亡^[4]。内因火灾是煤矿火灾事故中是最主要的,其占比大约达到了90%,而外因火灾也只是占了10%左右。工作面中呈立体分布,且其中的浮煤大都在上部,这些在采空区上部中的浮煤发生自燃发火是内因火灾最主要的表现形式。主要是因为这些浮煤有自燃发火倾向且在氧气等条件都达到后便会发生氧化反应造成自燃,当浮煤自燃后产生的热量不能及时散发,那么浮煤会因积聚的热量而发生自燃^[5]。在以往的矿井火灾治理中我们常用均压防灭火法、采空区注浆法、采空区注氮法、采空区注液态CO₂法等治理技术^[6]。

2 问题的提出

2.1 矿井及工作面概况

国家能源集团公司乌海能源有限责任公司老石旦煤矿采用分列式通风,全矿有3个井筒,其中副斜井、主斜井为矿井的主要进风井筒,而回风立井是矿井的主要回风井筒,矿井井田是以立井和斜井混合开拓方式,该矿目前煤层是16#煤层,在16#煤层的北三采区布置了一个综放工作面^[8]。2022年6月中煤科工集团重庆研究院有限公司对该矿的16#煤层进行了鉴定工作,鉴定结果为16#煤层是Ⅱ类自燃煤层;最短自燃发火期是96d^[7]。2020年5月国家能源集团乌海能源有限责任公司对该矿矿井瓦斯等级进行了鉴定工作,鉴定结果显示

* 收稿日期:2023-03-03

第一作者简介:李晓旭(1986-),男(汉族),内蒙古赤峰人,工程师,现从事煤矿安全生产管理工作。

该矿的矿井瓦斯相对涌出量 $1.48\text{m}^3/\text{t}$, 矿井瓦斯绝对涌出量为 $5.14\text{m}^3/\text{min}$, 是一座低瓦斯矿井^[9]。16402 工作面位于 16# 煤运输大巷左翼, 031604、16402 工作面西北侧。其南面为 10405 工作面, 西面为未开采区, 16402 工作面上方无任何耕地、建筑物等设施, 由于 16402 工作面是综合机械化放顶煤工作面, 倾斜长 180m, 走向长度 2417m, 煤层厚度 7.5~8.8m, 平均厚度 8.5m, 可采储量 $497\times 10^4\text{t}$, 全部垮落法管理顶板。该工作面批准于 2021 年 7 月中上旬开始回采, 预计回采结束时间 2026 年 11 月。

2.2 问题的提出与分析

(1)问题的提出。从老石旦煤矿 16402 工作面回采工作开始以来, 在工作面采空区中出现了大量 CO 气体, 经检测得到工作面的上隅角 CO 气体浓度大约在 18ppm 左右。经过对工作面中各项数据进行研究分析之后发现矿井自燃发火的主要原因是 16402 工作面采空区的浮煤发生了低温氧化。

(2)工作面采空区浮煤发生低温氧化的原因。

①所采的煤层容易自燃, 最短发火期为在 96d 左右, 采空区浮煤长期氧化, 产生 CO 气体。

②工作面的采空区中残留浮煤 20% 左右且位置较高, 洒阻化剂还是黄泥灌浆都无法包裹这些浮煤, 这些浮煤长期氧化, 容易自燃发火。

③工作面离地表的垂高仅 380m 左右, 在工作面放顶煤开采时, 易形成地表裂隙, 会造成采空区漏风, 采空区中浮煤更容易自燃发火

3 结合现场实测数据和理论分析确定火灾防治技术

引起老石旦煤矿工作面 CO 升高的原因不止一两种, 一般情况下可以分为外因火灾和内因火灾两种。常见的火灾治理技术有注浆防灭火技术、均压防灭火技术、添加阻化剂防灭火技术等。用束管法监测得 2021 年 8 月 1~12 日的各种气体浓度如表 1 所示, 其大致走向如图 1 所示。根据现场的环境和所测得的数据, 再考虑到施工的成本及操作工序总结得出主要的技术方法为注氮防灭火法。

4 注氮防灭火技术工作实践应用

4.1 注氮防灭火技术的工作原理

注氮防灭火主要是通过对向 16402 工作面采空区输送氮气, 从而使采空区中的浮煤与氧气接触面减少, 即消除煤炭自燃三要素中的氧气这一要素, 防止工作面因为煤自燃而造成火灾。当 O_2 浓度低于 10%~12% 时达不到物质燃烧的条件, 在 O_2 浓度小于 2% 时, 即使温干馏性的燃烧也会因缺氧而无法燃烧。使用惰性气

表1 16402工作面上隅角气体情况一览表

观测日期	观测地点	CO(ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
2021-08-01(10点)	上隅角	15	1.7	17
2021-08-02(15:20分)	上隅角	18	1.32	15
2021-08-03(10:20分)	上隅角	14	1.2	16
2021-08-04(10:20分)	上隅角	16	1.3	15.8
2021-08-05(10:30分)	上隅角	12	1.04	17
2021-08-06(15:30分)	上隅角	19	1.42	15.7
2021-08-07(9:20分)	上隅角	28	1.8	14.3
2021-08-08(9:30分)	上隅角	19	1.52	14.8
2021-08-09(9:30分)	上隅角	14	1.24	16
2021-08-10(9:30分)	上隅角	17	1.29	15.4
2021-08-11(9:30分)	上隅角	14	1.53	16.3
2021-08-12(10:30分)	上隅角	25	1.47	15.9

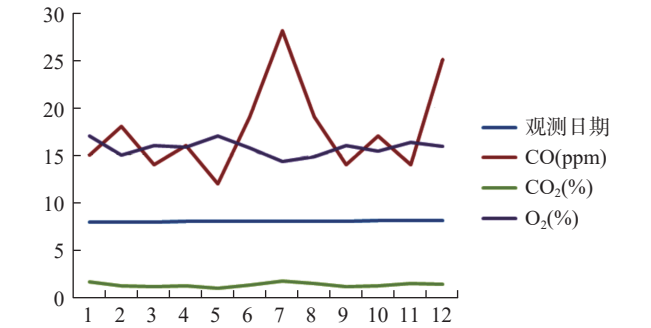


图1 上隅角各种气体浓度含量

体使采空区浮煤不能发生氧化自燃的过程称之为惰化, 经过惰化后的采空区因浮煤不能自燃预防火灾发生也可使正在燃烧的火区因缺少氧气而熄灭, 从而达到矿井火灾防治效果。氮气防灭火技术应用管道将氮气注入到工作面的防火区, 使工作面采空区氧气的浓度达不到燃烧所需的浓度, 从而防止工作面采空区中的浮煤发生氧化自燃, 或让已经在燃烧的火区因缺氧而熄灭的火灾治理技术^[6]。

4.2 注氮防灭火技术具体应用分析

(1)储量。16402 工作面推进长度为 2417m, 工作面长度为 180m, 巷道高度 4.2m, 回采面积 3828528m^3 , 煤厚 8.8m, 容重 $1.55\text{t}/\text{m}^3$ 设计储量 $593.422\times 10^4\text{t}$ 。

(2)服务年限:

工作面服务期限=可采推进长度÷日设计推进长度) $=2417\div 1.6\approx 1510.6(\text{d})$

(3)采空区体积:

$$V_{\text{采}}=2417\times 8.8\times 180=3828528(\text{m}^3) \quad (1)$$

(4)每小时的注氮量。根据作业规程分两个班组注氮, 每个班组每天注氮 8h, 由此得出每个小时的注氮

量为:

$$Q_N = V_{\text{采}} \times 80\% \div \text{服务天数} \div t = 3828528 \times 80\% \div 593.5 \div 8 = 645.07(\text{m}^3/\text{h})$$

(2)

式中: Q_N ——工作面实际每小时所需注氮量, m^3/h ;
80%——注氮系数;
 t ——每天的注氮时间, 在这里 t 取 8h。

施工过程中分为两个班组, 一个班负责设备维护, 一个班负责注氮, 注氮时主要考虑到现场环境和成本等问题, 所以折合为每天注氮 8h, 所以每个班组每天的注氮量为 5160.6m^3 , 每个小时的注氮量为 $645.07\text{m}^3/\text{h}$ 。

(5) 注氮系统设计。老石旦煤矿采用地面固定式制氮设备, 将制氮设备放置于地面, 运用深埋铺设管道将所制的氮气输送到工作面采空区中。

(6) 注氮参数的选择以及计算。惰化指标:

①惰化的 O_2 含量必须小于浮煤自燃的临界含量, 且 O_2 含量必须小于 7%;

②惰化灭火的 O_2 必须小于等于 3%。

根据所采煤层的现场情况, 采空区防火惰化指标取 7%, 灭火惰化指标取 3%。

设计注氮量计算, 计算公式如下:

$$Q_{N1} = 60Q_0(C_1 - C_2) \div (C_N + C_2 - 1)$$

(3)

式中: Q_{N1} ——设计每小时所需注氮量, m^3/h ;
 Q_0 ——采空区氧化带中的漏风量, $5\sim 20\text{m}^3/\text{min}$;
 C_1 ——采空区氧化带的原始氧浓度, 10%~15%;
 C_2 ——采空区注氮防火惰化指标, 7%;
 C_N ——注入采空区中氮气的浓度, 97%。
 $Q_{N1} = 60Q_0(C_1 - C_2)/(C_N + C_2 - 1) = 60 \times 5 \times (10.2\% - 7\%)/(97\% + 7\% - 1) = 240(\text{m}^3/\text{h})$

由此可知, 设计选取的注氮量 Q_{N1} 大于 16402 工作面实际所需的注氮量 Q_N , 因此设计的注氮量能够满足实际的注氮要求, 设计合理。

(7) 制氮设备选择。常见制氮设备深冷式、变压吸附式和膜分离式三种。三种方法各有优缺点, 其中深冷式的出氮时间相对比较长, 而膜分离式设备价格高, 后期维护运行成本高, 因此选择变压吸附式作为制氮设备。

根据计算分析, 制氮设备每小时所生产的氮量应不小于 650m^3 , 综合考虑矿井的环境因素以及矿井防火要求, 老石旦煤矿安装有两套 ZH-1000/98 碳分子筛制氮装置。技术参数: 产气量 $1000\text{Nm}^3/\text{h}$, 氮气纯度不小于 97%, 氮气压力 $0.6\sim 0.8\text{MPa}$ 。

(8) 输氮管路。根据《煤矿用氮气防灭火技术规

范》, 最大输氮流量和压力应不超过输氮管路直径^[7]。供氮压力按如下所示进行计算:

$$P_1 = \left[0.0056 \left(\frac{Q_{\text{max}}}{1000} \right)^2 \sum \left(\frac{D_0}{D_i} \right)^5 \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_0} \right) L_i + P_2^2 \right]^{1/2} =$$

(5)

$0.52\text{MPa} < 0.6\text{MPa}$

式中: P_1 ——管路末端的绝对压力, MPa ;

Q_{max} ——最大输氮流量, m^3/h ;

D_0 ——基准管径, 150mm;

D_i ——实际输氮管径, mm;

L_i ——相同直径管路的长度, km;

λ_0 ——基准管径的阻力损失系数, 0.026;

P_2 ——管路首端的压力, MPa ;

λ_i ——实际输氮管径的阻力损失系数, 对于不同的钢管直径, 对应的阻力系数见表 2。

表 2 不同管径阻力系数值

管径 D_i (mm)	50	60	70	80	100	150
阻力系数 λ	0.034	0.033	0.032	0.031	0.029	0.026

根据上述计算得 $P_1 = 0.52\text{MPa} < 0.6\text{MPa}$, 大巷采用 $\varnothing 108\text{mm}$ 钢管, 顺槽采用 $\varnothing 89\text{mm}$ 的钢丝骨架聚乙烯管能够满足最大输氮流量和压力的要求。

5 注氮防灭火效果分析

在老石旦煤矿 16402 工作面上隅角出现 CO 以后, 对矿井工作面中引起采空区浮煤自燃的各种因素进行研究, 同时也对几种常用的火灾治理技术进行对比分析。从而决定用注氮法作为 16402 工作面的防灭火技术, 同时也取得了非常理想的成果。经过计算分析每个班组的注氮量为 5160.8m^3 , 每个小时的注氮量为 $645.075\text{m}^3/\text{h}$, 所设计注氮量 $650\text{m}^3/\text{h}$, 能够满足 16402 工作面实际注氮所需, 并据此选择了合理的注氮机型号以及注氮管路。有效控制住了工作面采空区中的 CO 向上隅角和回风顺槽涌出, 降低了采空区工作面 CO 气体的浓度, 工作面上隅角的 CO 气体浓度从大约在 18ppm 左右降到 2ppm 左右, 有效防止了采空区浮煤的自燃, 降低了矿井火灾发生的概率, 从而保证了老石旦煤矿 16402 工作面能够安全高效地生产。

参考文献:

[1] 胡建勋. 煤矿井下巷道防灭火新技术的研究与实践[J]. 2016 (4): 43-44.

(下转第 132 页)