

# 众维煤业老空区注氮置换瓦斯与煤自燃协同防治技术研究

李成

库车市科兴煤炭实业有限责任公司

**[摘要]**通过对12031采空区进行注氮置换瓦斯,预期把采空区内瓦斯浓度降至5%以下,确保12032工作面采掘过程中不出现瓦斯超限事故;通过优化12031采空区瓦斯抽放方案,使得提高采空区瓦斯抽放流量,缩短项目时间,减少资金投入;通过12031采空区注氮置换瓦斯项目的实施,积累采空区瓦斯治理技术经验和掌握相关置术,尤其是对近距离分层开采瓦斯治理具有重要意义。

**[关键词]**12032工作面;注氮置换瓦斯;惰化防灭火技术

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.2142

众维煤业12031采空区下方布置有12032综采工作面。由于12031采空区赋存的瓦斯对安全生产造成威胁,矿井经过科学论证后与河南理工大学合作组织实施了12031采空区注氮置换瓦斯科技项目。12031采空区注氮置换项目主要在12032下顺槽掘进期间,逐段铺设注氮管路至12032下顺槽切眼下口,按照相关设计从12032下顺槽150m处开始每隔50m向12031采空区施打两个孔径 $\phi 42\text{mm}$ 的注氮孔,共计6组;在12031上顺槽密闭前采用密闭插管方式、在12032上顺槽分段向12031采空区施工4组瓦斯抽放钻孔的方式进行采空区瓦斯抽放。经过五个半月的注氮置换瓦斯过程,共计向12031采空区注氮14.96万 $\text{m}^3$ ,置换12031采空区瓦斯11.66万 $\text{m}^3$ ;根据相关分析,初步搞清楚了采空区注氮后,氮气分布规律;12031采空区瓦斯浓度由注氮置换前的最大浓度24.8%下降至4%以下;期间对12031采空区瓦斯抽放方案进行了优化,优化后的采空区瓦斯抽放方案比原方案计划抽放时间缩短了2个月。

## 一、12031老空区注氮稀释置换瓦斯与煤自燃协同防治的创新点

1. 矿井采用向12031采空区注氮置换瓦斯的方式进行采空区瓦斯治理,开创了上分层采空区瓦斯治理新经验的试点,从而保障12032工作面的安全掘进与回采。

2. 注氮置换期间采用数据模拟分析和数据对比分析相结合的数据处理方法进行数据分析。

3. 采用密闭插管抽放和钻孔抽放相结合的方式对采空区瓦斯抽放,丰富了老采空区瓦斯抽放形式,为注氮置换瓦斯项目提供了技术支持。由以12031上顺槽密闭处的点抽放转变成以12031采空区上方的线抽放。

4. 充分利用了12032上顺槽与12031采空区的位置关系,在合理地点布置钻孔,从而在12031采空区上方形成多个负压抽放点。

5. 针对12031采空区注氮置换瓦斯项目,成立具有专业性的采空区气体成分测定小组和采空区气体成分变化分析机制。

## 二、方案的实施及其产生的效益

1. 众维煤业12031采空区下方布置有12032综采工作面。由于12031采空区赋存的瓦斯对安全生产造成威胁,矿井经过科学论证后与河南理工大学合作组织实施了12031采空区注氮置换瓦斯科技项目。

2. 12031采空区注氮置换瓦斯项目的实施使得12031采空区瓦斯浓度由注氮置换前的24.8%下降至4%以下,注氮置换瓦斯效果显著。

3. 12031采空区注氮置换瓦斯项目实施后,12032工作面掘进和回采期间未发生瓦斯异常现象和瓦斯超限事故。

4. 氮气注入采空区后,通过对氮气成分和分布区段进行模拟分析,摸清了氮气注入采空区后的压力分布变化,进一步搞清楚了氮气在采空区的分布区段。

5. 12031采空区注氮期间优化了12031采空区瓦斯抽放方案,使得采空区瓦斯抽放流量提高了三到五倍,大大提高了采空区瓦斯治理抽放效果。

6. 12031采空区注氮期间优化后的采空区瓦斯抽放方案比原方案计划抽放时间缩短了2个月,从而为12032工作面的顺利形成提供了安全保障。

7. 由于注氮期间对12031采空区瓦斯抽放方案进行了优化,缩短了抽放时间,进而为矿井节约电费10多万元,节约人工成本6万元。

8. 众维煤业实施的12031采空区注氮置换瓦斯项目开创了采空区瓦斯治理新经验,在近距离分层开采瓦斯治理方面积累了宝贵经验,可以对相关技术进行推广和应用。

## 三、注氮稀释置换瓦斯与煤自燃协同防治技术

在12032下分层回采期间,可能存在以下安全问题:1)因层间距较小,层间贯通,上部12031老空区受气体压差的扰动,易造成老空区残存瓦斯气体涌向下部工作面,下部工作面瓦斯涌出量增大,甚至上隅角、回风瓦斯出现超限的可能,威胁下部通风安全;2)受制于重复采动,上下采空区贯通,造成采空区遗煤叠置与层间漏风,自燃风险性加剧。所以在12032工作面回采之前,需要对12031老空区封存的瓦斯与遗煤进行预处理。

### (一)老空区瓦斯封存状态

1. 通过密闭墙对采空区内的气体组分进行了监测,掌握了12031老空区密闭状态下的气体赋存状态,见图1.1。

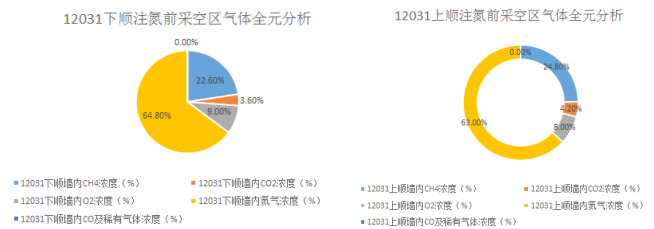


图1.1 12031老空区气体统计

从图1.1可知,在12031老空区密闭内瓦斯浓度在22.6~24.8%,老空区内氧气8~9%;可见12031老空区内封存的瓦斯浓度较高,一旦12032回采,因层间的贯通,易造成老空区内封存的瓦斯涌向12032工作面,造成瓦斯超限事故,若因管理不善,还可能引发瓦斯燃烧或爆炸事故的发生,严重影响安全生产。

2. 通过相关煤自燃的研究成果可知一般氧气浓度低于5%以下时煤自燃难以发生,而12031采空区氧气浓度在8~9%,在此浓度下12031老空区遗煤具备自燃的发生条件。同时考虑到工作面的回采周期,所以需对老空区遗煤的二次氧化的发生采取措施。

3. 基于12031老空区的状态,经反复论证,确定对12031老空区采取注氮的方式对12031老空区进行处理,通过注氮一方面稀释瓦斯、降低采空区氧气浓度,进而惰化采空区;另一方面,注氮稀释瓦斯后,通过对老空区密闭抽放,置换瓦斯,进而降低采空区瓦斯赋存量与浓度,通过反复注氮与抽放,实现老空区内瓦斯的置换。通过老空区注氮,可对后期12032下分层回采期间的瓦斯涌出及12031老空区遗煤二次氧化起到协同防治效果,基于上述考虑,初步形成了老空区注氮稀释置换瓦斯与煤自燃协同防治的技术理念。

### (二)密闭老空区注氮稀释理论

从气体运动理论来看,采空区注氮过程中一方面注入氮气提高了流场两端的压力差,增加了流场的流动能量,加快了瓦斯在采空区内的渗流速度,促使大量瓦斯在抽采过程中被携带排出。另一方面,随着采空区内 $\text{CH}_4$ 的不断排出和注入气体的不

断进入,造成氮气、CH<sub>4</sub>两种气体浓度梯度不断增大,提高了两种气体相对扩散运动的速度,起到促排瓦斯作用。而从气体吸附理论来看,氮气的吸附性比CH<sub>4</sub>弱,可通过注氮量的增加,致使氮气分压提升,促使煤体中的CH<sub>4</sub>解吸,有利于瓦斯的置换。从质量守恒理论来看,密闭老空区内注氮稀释瓦斯及氧气的实质就是注入气体改变了气氛环境,在反复注氮、稀释、抽放后,密闭内瓦斯及氧气的物质量为转移,进而实现了稀释与置换。从瓦斯涌出与自燃灾害防治来讲,注氮稀释置换,降低了瓦斯储量以及氧气、瓦斯的浓度,在一定程度上弱化了老空区涌出强度及氧气浓度氛围,可实现瓦斯涌出与煤自燃的协同防治。

### (三) 密闭老空区注氮防火物理模型

图3.1所示为U型工作面密闭注氮稀释与防火物理模型。其中,在距离工作面一定距离处设置密闭墙,在进、回风密闭墙留有注气孔及观察孔。注气过程中,通过注气孔向采空区注入大量的N<sub>2</sub>,对采空区进行惰化,稀释采空区的CH<sub>4</sub>、O<sub>2</sub>,使其质量分数下降,抑制煤的低温氧化进程。且可通过观察孔老空区气体组分变化与防火效果。



图3.1 注氮稀释与防火物理模型

### (四) 注氮下老空区气体环境

密闭老空区内气体环境主要受4个方面的影响:①注入惰性气体后,增加密闭空间总的气体质量,降低CH<sub>4</sub>、O<sub>2</sub>等组分的质量分数;②因密闭墙的气密性质量、老空区内外的气压差及围岩裂隙等,导致密闭空间漏风,致使气氛环境改变;③密闭老空区内因煤自燃氧化,则煤体持续氧化,消耗O<sub>2</sub>;同时,煤体氧化生成的碳氧化合物和碳氢化合物,致使O<sub>2</sub>质量分数降低;④同时,因围岩、邻近层、煤柱、煤壁等地点的瓦斯涌出,致使O<sub>2</sub>质量分数降低。所以,老空区内的气体环境对CH<sub>4</sub>、O<sub>2</sub>质量分数的有效控制具有重要作用。

### (五) 老空区内氧气质量分数动态数学模型

对老空区内相关气氛环境做以下部分假设:密闭老空区系统中,在无风或微风的状态下,密闭采空区内瓦斯涌出设为均匀涌出;在进、回风侧构筑临时密闭前后,工作面系统通风压力的变化对密闭空间内瓦斯涌出状态的影响可忽略;忽略惰性气体、瓦斯、氧气与遗煤之间的竞争吸附效应对氧气的驱替量。忽略密闭火区内各组分因温度变化引起各自密度的变化。以密闭老空区内O<sub>2</sub>体积分数为目标函数,根据质量守恒原则,建立密闭老空区持续注入惰性气体条件下氧气质量守恒方程。

### 四、物理模型

将12031老空区内部环境作以下基本假设:①将老空区视为规则的长方体,忽略采场矿压及采空区煤炭自燃等因素的影响。②将老空区看作是由上覆岩层冒落的矸石和遗煤构成的多孔介质,由于其分布的随机性,可将采空区内的多孔介质近似视为各向同性,建立模型时,为简化计算忽略采空区冒落带以上的岩层。③老空区气体运移是在多种气体混合并且在冒落稳定的空间结构内进行的,将采空区内的混合气体视为不可压缩气体,遵循质量守恒、动量守恒、能量守恒和组分运输方程。

根据12031上分层老空区的物理尺寸,建立模型的工作面走向长度为300m、倾向长为150m、冒落带高度根据经验公式结合模拟来确定,经计算取为高16m。密闭内瓦斯、氧气、氮气的初始浓度分别为:28.9mol/m<sup>3</sup>、10.09mol/m<sup>3</sup>、4.0mol/m<sup>3</sup>。采空区注氮出口压力为:0.2MPa。进风巷顶板插管注氮间距60m、回风巷顶

板插管抽放间距60m。

### 五、采空区空隙率与渗透率设置

在覆岩应力的作用下,采空区随着时间推移逐渐被压实。因此,采空区冒落煤岩的碎胀系数分布满足:

$$K_p(x,y) = K_p' + (K_p^0 - K_p') \cdot e^{-\alpha_x d_x (1 - e^{-\alpha_y d_y})} \quad (4-9)$$

式中:K<sub>p</sub>(x,y)为采空区冒落煤岩的碎胀系数分布;K<sub>p</sub><sup>0</sup>为采空区冒落煤岩的初始碎胀系数;K<sub>p</sub>'为采空区冒落煤岩被压实后的碎胀系数;α<sub>x</sub>为冒落煤岩碎胀系数距离工作面衰的减率,m<sup>-1</sup>;α<sub>y</sub>为冒落煤岩碎胀系数距离固壁的衰减率,m<sup>-1</sup>;d<sub>x</sub>为距离工作面的距离,m;d<sub>y</sub>为距离固壁的距离,m;ξ为“0”型圈模型分布形态的调整系数。

采空区冒落煤岩空隙率与碎胀系数的关系为:

$$n = 1 - \frac{1}{K_p(x,y)} \quad (4-10)$$

采空区冒落煤岩渗透率与空隙率的表达式为:

$$k = \frac{D_p^2 n^3}{150(1-n)^2} \quad (4-11)$$

式中:D<sub>p</sub>为采空区冒落煤岩的平均颗粒直径,m。

### 五、惰化防火技术分析

1.在A阶段,15天后老空区内55.17%的区域氧气浓度处于5%以下,进风密闭注氮对停采线进风密闭附近区域的氧气进行了有效稀释,但在回风密闭处一定范围内氧气浓度未得到有效稀释。

2.在B阶段,通过闭墙实施边注边抽,发现在此阶段氧气被稀释区域在回风密闭区域体现更加明显;但整体稀释区域并无明显增大。注入氮气因抽放,大部分流入抽放系统。

3.在C阶段,通过对比,发现C阶段氧气浓度低于5%的区域由B阶段的55%增加至80%,停采线以里沿进风密闭走向300m,几乎得到稀释与惰化;沿回风走向以里90m范围内得到惰化;老空区倾向中部沿走向200m范围得到了稀释与惰化。可见利用下分层进风巷顶板走向插管注氮对采空区的氧气的稀释作用显著。

4.在D阶段,通过对比,发现D阶段氧气浓度低于5%的区域由C阶段的80%增加至95%,且相对高浓度氧气富集区域范围进一步缩小。从老空区氧气浓度的分布来看,在下分层回风顺槽顶板走向插管抽放21天后,停采线以里沿走向300m,几乎得到稀释与惰化。

可见,利用下分层回风巷顶板走向插管抽放,不但有助于老空区的惰化与置换,而且有利于前期注入氮气的进一步流动,进而惰化整个采空区。

综合A、B、C、D阶段,老空区内的氮气、瓦斯、氧气浓度的演化特征,可以得出实施阶段注氮与抽放联合稀释与置换技术,可以实现对老空区瓦斯稀释置换及对氧气的稀释惰化,进而对老空区瓦斯的涌出及煤自燃起到协同防治作用。

### 结束语

结合研究12031工作面瓦斯地质情况,理论分析了密闭老空区注氮稀释置换瓦斯及惰化原理,综合不同阶段的模拟结果,发现通过先注氮后抽放方式,不但有助于老空区的惰化与置换,而且有利于前期注入氮气的进一步流动,进而惰化整个采空区。通过注-抽结合的方式,实施阶段注氮与抽放技术,可以实现对老空区瓦斯的稀释与置换,同时可以降低采空区氧气浓度,这对高瓦斯自燃大倾角分层开采下老空区瓦斯涌出及自燃协同防治提供了技术思路。

### 参考文献:

[1]赵阳升,梁卫国,冯子军,等.原位改性流体化采矿科学、技术与工程[J].煤炭学报,2021,46(1):25-35.  
[2]侯国权,叶尔江·多力达西,郭利杰,等.基于采矿环境再造的缓倾斜极薄矿体残留矿柱回采技术及应用[J].黄金,2021,42(10):35-37,42.  
[3]丁忠军,孙永福,高伟,等.深海采矿潜在环境影响因素及监测技术体系研究[J].海洋开发与管理,2021,38(7):73-83.