

碳分子筛制氮设备和膜分离制氮设备的应用分析

刘立群

(天津振洪空分设备有限公司, 天津 301801)

[摘要] 通过对煤矿用碳分子筛制氮设备和膜分离制氮设备原理及工艺分析, 市场应用调查, 对膜分离空气制氮设备与碳分子筛分离空气制氮设备进行较深层次认识和应用比较, 为煤矿行业选定注氮防火设备提供一些参考。

[关键词] 碳分子筛分离空气制氮; 膜分离空气制氮; 注氮防火

[中图分类号] TD752.2 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1006-6225 (2010) 06-0075-02

Application of Two Kinds Nitrogen Making Equipments of Carbon Molecule Sieve and Membrane Separation

当前煤炭行业选用往井下采空区注入氮气的方法, 经过实践证明是较好的防火技术之一。

煤矿井下用氮气防火的实质是向采空区氧化带内或火区内注入一定量的氮气, 使其氧含量降到7%以下, 达到防火和抑制瓦斯爆炸的目的。与矿井其他防火方法相比, 氮气防火技术优于传统注浆防火技术: 注氮工艺快捷、迅速。氮气可迅速渗透充满到采空区氧化带内或火区的各角落。而注浆工艺, 由于浆体在采空区氧化带内或火区的流动受底板不平, 顶板冒落堆集不均等因素影响, 会形成“流动沟”, 因而不能均匀、全面地覆盖在“煤体”表面, 不能真正起到“隔绝”空气, 防止煤炭氧化自燃的作用。故此, 氮气防火技术有其更好的防火效果。

选用注氮设备做为煤矿井下用于防火的目的而言, 有两种直接分离空气能产出氮气的注氮设备: 一种是膜分离空气的制氮设备, 另一种是碳分子筛分离空气的制氮设备。

1 膜分离空气制氮设备原理及工艺

膜分离空气制氮设备是采用有机高分子材料加工的中空纤维膜, 对经过相应处理过的压缩空气进行溶解和扩散分离而获得产品氮气的装置。其压缩后的混合气体在膜的高压侧表面, 以不同的溶解度溶于膜内, 在膜两侧压力差的推动下, 混合气体的分子以不同的速率向低压侧扩散, 渗透速度较快的氧气, 透过膜组件后在膜透侧被富集, 而渗透速度相对较慢的氮气和非氧气体等则在滞留侧被富集, 从而达到氧、氮分离的目的。分离空气的膜组件是

根据产氮气量的大小和产品氮气的压力而选定的。

膜分离空气制氮设备工艺是: 空气压缩机→压缩空气缓冲罐→3~4级空气过滤器→压缩空气换热器→膜分离组件→产品氮气缓冲罐→产品氮气。

高分子中空纤维膜是选用有机材料经过专门工艺制成的。受环境温度影响易老化, 使用寿命一般在3~5a。目前国内尚没有能分离压缩空气产出95%~99%浓度氮气的有机高分子膜组件, 必须从国外进口, 价格相对较高(比碳分子筛要高出20%~30%)。高分子膜制氮工艺要求原料压缩空气压力一般为1.0~1.2MPa, 渗透通过膜组件的压缩空气工艺温度要求在25~30℃才能正常氧氮分离, 对此需要配加压缩空气换热器, 增加了煤矿井下用制氮设备的不安全因素。特别是通过膜组件分离出来的氧气浓度最高只能达99%, 用于降低采空区的氧浓度, 使其达到7%以下需要很长的注氮时间(7%氧浓度和氮气97%~99%含氧量比很小)特别是分离膜本身最怕油和粉尘, 而煤矿井下粉尘相当高, 合理配置的除油、除尘过滤器比正常使用要减少很多时间, 不及时更换将严重影响高分子膜的寿命。再有, 中空纤维膜组件不能吸收处理掉采空区内的部份CO和CO₂, 即使通过注氮降氧, 采空区氧浓度达标了, CO、CO₂浓度过高, 仍不能进入正常工作(实际应用中反映出的问题)。

2 碳分子筛分离空气制氮原理及工艺

碳分子筛制氮是以空气为原料, 以碳分子筛为吸附剂, 运用变压吸附原理, 利用充满微孔的碳分子筛对空气进行选择性吸附, 而达到氧氮分离的目的。

[收稿日期] 2010-08-17

[作者简介] 刘立群 (1950-), 男, 北京人, 高级工程师, 从事空分设备研制, 现任天津振洪空分设备有限公司总工。

的。碳分子筛在加压时氧被优先吸附，氮从非吸附相得到。这样在气相中可收到氮的富集成分。因此，利用碳分子筛对氧和氮在某一时间内吸附量差别的这一特性，由 PLC 自动控制器按特定时间程序工作，使两组吸附塔进行加压吸附，减压解吸循环工作，完成氧氮分离，从而获得成品氮气。

碳分子筛制氮设备工艺是：空气压缩机→压缩空气缓冲罐→专用除油器→冷干机（井下设备配置水冷冷却器+气液分离器）→3~4级空气过滤器→洁净空气缓冲罐→制氮主机→产品氮气缓冲罐→产品氮气。制氮主机吸附内装填的碳分子筛是制氮设备的核心。德产碳分子筛（BF型筛）是用煤基材料制成的；日本产大多是用椰壳材料制成的；而中国产大多是用酚荃树脂材料制成的。无论是用何种材料制成的碳分子筛其孔型都是树状的窄缝型结构，有大孔、中孔、微孔和超微孔。压缩空气中速率较快的氧气是通过大孔、中孔进入微孔和超微孔而被吸附，解吸时再被释放出来。而氮气的分子稍大于氧气分子且不活泼，则被富集不断产出。碳分子筛是疏水型的，有极性的，短时间内微量水对其无影响（最简单检验碳分子筛的质量方法，是把

碳分子筛放进装满水的玻璃杯中，看其在水中的拉线状况）。碳分子筛的另一特点是可以吸附空气中的 CO 和 CO₂（因为其本身是活性碳经过晶化工艺加工而成），这一点经过煤矿在使用过程中对采空区的气体测定得到证明（冀中能源煤矿用碳分子筛制氮设备降氧的同时，降下了矿井内的 CO 浓度）。碳分子筛最主要的弱点是惧怕油污染，一旦被油污染（油中毒），碳分子筛的吸附量将大大降低，严重影响产氮能力，即使用再生的方法也很难恢复其吸附量，所以压缩空气预处理部份必须配装高质量专用除油器。总之，碳分子筛对压缩空气质量要求是：油含量要 <0.003mg/m³；尘颗粒含量要 <0.001μ（三级空气过滤器能达要求）；水含量压力露点在 0~10°；洁净的压缩空气也不需要预热。

碳分子筛的基本特性为：真密度 1.9~2.0g/cm³；颗粒密度 0.9~1.1g/cm³；装填密度 0.63~0.68g/cm³；孔隙率 0.35~0.41；孔隙容积 0.5~0.6cm³/g；比表面积 450~550m²/g；平均孔径 0.4~0.7mm。

煤矿用碳分子筛制氮设备工艺配置设计和结构设计是非常严格的。制氮主机吸附塔实际上是一种

表 1 碳分子制氮设备与膜分离制氮设备性能

基本性能		PSA 吸附法	膜分离空气法
原理	分离介质	碳分子筛（怕油污染；疏水型）	中空纤维膜（怕尘和油污染；有机材料制成）
	分离原理	加压吸附，减压解吸	有压渗透（不同渗透率）
能耗	耗能部件	空压机（出口压力 0.75~0.85MPa）	空压机（出口压力 1.0~1.2MPa）
	耗电 / (kW·h·m ⁻³)	平均 0.4~0.6	平均 0.4~0.6
	成本 / (元·m ⁻³)	0.1~0.3（碳分子筛价格低）	0.2~0.4（膜组件进口价格高）
设备性能	氮压力 /MPa	(0.1~0.8)	(0.1~1.0)
	氮产量 / (m ³ ·h ⁻¹)	<5000	10~5000
	氮纯度 /%	95~99.99（可调）（调高纯度氮降氧快）	95~99（纯度最高 99%，降氧慢）
	露点 /°C	-40	-40
	启动时间 /min	10~20	5~20
	维修帮障点	切换阀门动作频繁，但维修工作量和故障率较小	运动部件少，维修和保养工作时较小
	分离介质寿命 /a	8~12	3~5（中空纤维膜易老化）
	工艺流程	一般	简单（但压缩空气需加热）
	设备状态	固定、移动式、室外均可	固定、移动式、室外均可
	厂房面积	较小	较小
设备参数	厂房高度 /m	4~8（井下移动式一样）	4（井下移动式一样）
	外型	体积较小	体积较小
	冷却水	空冷型不用（水冷空压机用）	不用（水冷空压机用）
	增容	增容困难	增容一般
	自动化程度	电脑控制反馈氮气纯度稳定	电脑控制反馈氮气纯度稳定
	随意开/停车	容易	容易
	基本投资	少	较少
	操作工人	可实现无人操作	可实现无人操作
	特殊要求	环境空气无污染	对空气洁净度要求较高
	一次性设备投资	少	较多
设备维修费	少	少	

(下转 98 页)

3 两者关系分析

由以上描述可以对微震事件的发生和推进度之间关系分析总结如下:

(1) 微震事件的发生和回采推进速度有着密切关系。

(2) 能量较大的微震事件一般是在推进度变化较大时发生的。

(3) 推进度保持小幅度变化时, 煤岩体内积聚的能量逐渐增大, 达到一定程度后, 能量突然释放从而发生大能量事件。之后煤岩体内能量再逐渐积聚、释放, 如此反复, 这种现象与工作面回采过程中, 原岩应力“被破坏—积聚—平衡—再被破坏”的矿压规律相吻合。

(4) 工作面停产一段时间后, 重新开始生产时, 一般会发生能量较大的微震事件, 这是由于停产, 工作面前方长时间的能量积聚并达到了平衡状态, 一旦采动破坏了这种状态, 将会引起能量向自由面的突然释放。

4 结论与建议

微震事件与推采存在着密切的关系, 能量较大的微震事件一般是在推进度变化较大的时候发生, 推进度保持小幅度变化时, 煤岩体内积聚的能量是逐渐增大的, 能量处于稳定释放状态, 当推进速度达到一定程度后, 这种稳定状态将被破坏, 此时由于能量突然释放从而导致大能量事件的发生, 为

此, 提出以下几点建议:

(1) 注意观测推进度与现场矿压显现情况, 分析矿压观测数据。

(2) 推进度保持在一个合理的速度后, 不要大幅度变化。

(3) 长时间停产后重新开始生产时, 如果遇到工作面矿压显现强烈、达到末采或是上部采区应力叠加等特殊情况时, 需采用煤层松动爆破等卸压手段将工作面前方集中应力进行释放。

[参考文献]

- [1] 潘一山. 冲击地压发生和破坏过程研究 [D]. 北京: 清华大学, 1999.
- [2] 曹安业, 窦林名, 秦玉红. 微震监测冲击矿压技术成果及其展望 [J]. 煤矿开采, 2007, 12 (1): 20-25.
- [3] 韩荣军, 任 勇, 王元杰. 冲击矿压的微震预测预报技术及工程应用 [J]. 煤矿开采, 2009, 14 (4): 81-84.
- [4] 齐庆新, 史元伟. 冲击矿压粘滑失稳机制的研究 [J]. 煤炭学报, 1997, 22 (2): 44-51.
- [5] 邓志刚, 任 勇, 王传朋. 微震地音数据综合分析法初探 [J]. 煤矿开采, 2010, 15 (1): 8-12.
- [6] 潘立友, 张立俊, 刘先贵. 冲击地压预测与防治实用技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [7] 齐庆新, 窦林名. 冲击地压理论与技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [8] 钱鸣高, 刘听成. 矿山压力及其控制 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
- [9] 宋振骥. 实用矿山压力控制 [M]. 泰安: 山东矿业学院矿压研究所, 1992.

[责任编辑: 于海湧]

(上接 76 页)

填料塔的固定床。设计时应根据高径比必须控制好气速, 且密实装填碳分子筛, 减少死空间, 防止漏筛、喷筛现象的发生。只要吸附塔工艺设计装填合理, 吸附压力控制在 0.75~0.8MPa (碳分子筛最佳吸附压力), 制氮主机外工艺配置到位 (具备进气、回氮、反吹气调节), 严格操作规程, 产品氮气就可以在 95%~99.99% 纯度范围内调定, 使用寿命可达 8~10a 以上。煤矿用碳分子筛制氮设备的产品气调定: 是在定压的状况下 (0.75~0.8MPa), 用压缩空气的流量去调节氮气的浓度, 也就是说在采空区降氧时调定较小流量高纯度的氮气 (调定在 98%~99.95% 纯度), 可迅速降低采空区的氧气; 灭火时调定较大流量、较低纯度氮气 (调定在 95%~98% 纯度), 可迅速灭火。

综上所述, 碳分子制氮设备与膜分离制氮设备性能如表 1。

3 结束语

通过对矿用膜分离空气制氮设备和碳分子筛分离空气制氮设备的应用调研、分析比较, 可得出以下结论:

碳分子筛分离空气制氮设备更适用于煤矿防灭火, 防止煤的自燃, 消除瓦斯爆炸的危险。但最主要的是碳分子筛分离空气制氮设备设计、工艺配置, 特别是制氮主机吸附塔的工艺结构设计控制合理, 就能研制出理想的, 适合煤矿安全用的空气分离制氮设备。

[参考文献]

- [1] MT/T-774-1998 煤矿用移动式膜分离制氮装置 (煤炭行业标准) (S). 北京: 煤炭工业出版社, 1997.

[责任编辑: 王兴库]