

## \* 市场开拓(氮氮应用) \*

## PSA 制氮装置应用于煤矿防灭火系统

王景堂 李 曦

(北京市景威气体分离设备公司, 北京西北北簏子胡同七号, 100032)

**摘要** 简述了煤炭系统矿井防灭火的必要性, 介绍了国内外应用于矿井防灭火的制氮设备发展情况, 同时介绍了 景威公司为甘肃省靖远矿务局魏家地矿提供的 PSA-500型制氮装置的技术指标与特点。

**主题词:** 氮气 煤矿防灭火 变压吸附(PSA) 制氮装置 设备特点

### 一、矿井防灭火的必要性

矿井火灾是煤矿生产中的重大灾害之一, 严重威胁着煤矿的安全和矿工的生命。矿井火灾根据引火热源不同, 分为外源火灾和内源火灾两类。据国外有关资料统计, 矿井火灾有80%以上为自然火灾。在生产过程中残留在采空区的煤炭, 接触和吸收了大气中的氧后, 自身氧化不断加速, 当其氧化速度加快到氧化生成的热量不能及时散发而集聚使温度达到燃点时, 就导致了自然。根据煤的炭化程度的物化性能, 煤的自然倾向不尽相同, 我国近50%的煤矿有自然发火的危险性, 每年发火达二三百次。尤其是从70年代后期, 我国煤矿机械化程度越来越高, 综采工作面大量增加, 工作面的单产急剧增加, 矿井产量集中在少数工作面, 而工作面的采煤设备资产又高达百万元至数千万元, 这种采区若遇火灾, 特别是特厚煤层和近距离煤层的开采, 往往会出现煤自燃火灾, 造成极大的损失。目前我国这类煤矿的产量已达全国重点煤矿产量的30%以上, 因此防灭火就成为煤矿安全生产的重大课题。

### 二、煤矿氮气防灭火

煤矿的防灭火有许多方法和措施, 其中

氮气防灭火是一项行之有效的技术。氮气之所以能防灭火, 是由于煤炭自然是剧烈的氧化现象, 必须有足够氧气维持燃烧。实验证明, 在其氧气浓度低于3%的空气环境里, 煤炭燃烧就不能维持。如果向采空区注入氮气, 就改变了采空区的供氧条件, 随着氮气含量的增加, 会使氧气浓度相应降低, 能够延缓煤炭氧化自燃过程, 可抑制采空区自然发火; 对于已经自燃的采空区, 可以起到惰化火区和阻爆的作用, 这适应于高瓦斯矿井的防灭火。

这项技术, 由于氮源丰富可靠, 工艺技术简便, 不污染矿井环境, 既可扑明火, 也可控制自然发火, 且灭火速度快、效率好, 在世界上一些主要产煤国家早已应用。如欧洲共同体产煤国在70年代已成功地将其液氮用于煤矿防灭火, 解救了大量综采工作面免受火灾危险。仅前联邦德国用这项技术就扑灭了近40起矿井火灾。80年代, 澳大利亚的一些煤矿也成功地应用了这项技术。

液氮汽化法防火, 一般用在这项技术开发的初期, 它设备庞大, 最难解决的是储运。液氮运输需要液体槽车, 从较大的空分厂运至发火区, 往往因路途遥远和时间拖延而不

能满足需要;另一个不利因素是气体装置的运输和安全问题。虽然一些国家在技术上已解决了液氮的输送、气化及灌注,但在实际应用中,用液氮防灭火仍有许多不利推广的因素。最重要的一条就是它费用高,因而一些主要产煤国家在80年代初就将氮源由液态氮转向气态氮。如前联邦德国开发的GAN-800、GAN-1200型等移动式制氮装置,其产气量分别为800、1200 m<sup>3</sup>/h,纯度为97%。利用这种设备可快速行动到任何地点的矿井,并直接产出气态氮输入井下高度机械化采区防治火灾,从而确保矿井安全。目前,德国为防灭火氮气量已消耗  $5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>以上。

我国煤矿用氮气防灭火已有数年,在原能源部编制的《煤矿安全规程(1992年版)执行说明》第64条“综合机械化放顶煤采煤的安全措施”的第一项就是“氮气防火技术”,其中详细说明了氮气防火的机理及注氮的管理;《煤矿安全规程》第220条是“关于采空区注入氮气的要求”;第224条是“关于放顶煤综采工作面采空区注入惰性气体防火的要求”。我国煤矿用氮防灭火的经历与国际上相仿,即氮源由液态氮转向气态氮,供氮方式由固定式转向移动式。目前,在许多用氮防灭火的矿区中,主要是利用深冷空分设备制取液态氮或气态氮,为就近矿井服务,这种方法有天府矿务局(包括重庆地区)、抚顺矿务局、新疆乌鲁木齐矿务局等单位,在急倾斜、特厚煤层中应用,取得了可喜的效益。

然而,利用液氮防灭火,除成本高外,还有我国的矿区不具备大量集中供给液氮源的条件。若自产液氮,又因厂小液氮产量低,不能满足需要。目前国内外常用的制氮法,有深冷空分法和PSA两大类。深冷空分法制氮需贮存罐和气化器,工艺复杂,通俗地说一套制氮装置实际上就是一小型的空分制氮厂,虽然解决了储存、运输等问题,但弊病不少。首先是投资大,包括大量土建工程及

重型设备;再是,启动慢,操作复杂,一般需要12~24小时才能提供成品氮气,需要经专门培训的人才能操作;还有一点就是由操作复杂带来的安全与可靠系数低。在国内煤炭系统,现已趋向用变压吸附(PSA)法代替深冷空分法。

### 三、PSA 制氮技术

PSA 制氮技术,作为新兴的空气分离技术而引入注目,国内外新兴的空气分离方法——非低温空分工艺正在异军突起,其中之一就是变压吸附法,即PSA法。它是以压力为循环变量对气体混合物进行分离,在过程中气体混合物的压力作周期性变化,吸附剂在压力作用下吸附某种气体,卸压后进行解析,同时吸附剂得到再生。

由于PSA法具有工艺简单、设备少、投资省、操作方便和产品气的纯度容易调节等优点,很受用户的欢迎。尤其是随着PSA技术的不断成熟,必将对传统的深冷法制氮提出挑战,乃至在某些范围内取而代之。

在PSA制氮装置吸附塔内,通常使用4A碳分子筛。碳分子筛分离空气制氮的机理,不是吸附剂固有的选择吸附性或对分子的选择排斥性,而是利用空气中氧氮在吸附剂颗粒内部的扩散性差别,即依靠氮、氧分子在碳分子筛微小孔穴内扩散率的不同而分离氮和氧的。氧的吸附要比氮快得多,由于氧分子的气体动力直径(2.8G),小于氮分子的气体动力直径(3.0G),所以,当空气通过碳分子筛时,氧分子很快被吸附在碳分子筛的微孔表面,而氮分子则通过碳分子筛,利用切换阀门对吸附塔进行反复切换,即可连续制取氮气。

### 四、PSA 制氮装置 配套于煤矿防 灭火系统

在我国,把PSA制氮装置应用于煤矿防灭火系统已有先例。1992年在西山矿务局杜儿坪矿,就利用杭州制氧机厂制造的PSA制

氮设备进行过模拟火灾注氮灭火试验,其试验结论是:“用注氮方法可以极快地抑制或控制住火灾的发展,达到快速扑灭火灾的目的”,“用氮快速抑制火势,为缩小火区范围提供了可能性,为采取进一步直接灭火创造了条件”。在杜儿坪矿19110综采工作面进行了注氮防火试验,其结论为:“向开采工作面本层采空区注入氮气,能防止上层老火区复燃和本层采空区的自燃,能够保障工作面的安全回采和顺利撤架。氮气防火,是近距离复合煤层行之有效的防火方法”。

虽然PSA制氮装置用于煤矿防灭火系统,在我国前几年就有厂家进行过工作,但由于种种原因没有普遍得到应用。1995年我公司在这方面作了深入细致的工作,并得到煤炭科学研究总院重庆分院及煤炭部综采放顶煤中心的大力支持,于1995年3月同甘肃省靖远矿务局魏家地煤矿(简称魏矿)签定了PSA-500型制氮设备技术合作合同,并于该月正式执行。合同规定,该套装置是我公司在魏矿现有空气压缩机基础上的技术配套产品,该设备要求达到的合同技术指标为:

产氮量:500 m<sup>3</sup>/h

氮气纯度:97%

出口压力:0.6 MPa

魏家地煤矿与我公司自1995年3月签订PSA-500型制氮装置技术合作合同并正式执行后,经过双方努力合作,该套设备已于1995年7月完成安装调试工作。在调试阶段,煤炭工业部、省煤炭工业管理局、矿务局等单位的领导在现场进行了检查、指导,并给予了较高的评价。

PSA-500型制氮装置先后进行了近200小时的运行,其中连续三次每次连续工作10个小时以上,设备状态保持良好,各项技术指标均已达到或超过合同规定的技术要求:

平均流量 530~540 m<sup>3</sup>/h

纯 度 98%以上

平均出口压力 0.6 MPa 以上

经过调试运行,整套设备已具备了综合放顶煤技措项目工业试验运行的能力。

PSA-500型制氮装置,采用的是目前技术比较成熟的变压吸附制氮工艺,该项技术已获国家专利(专利号:92236007.3)。设备中选用了碳分子筛作为吸附介质,利用空气中氧、氮分子在碳分子筛微孔内扩散率的不同而将氮气分离出来。该设备配置了两个吸附塔轮流工作,依靠阀门系统有序的切换得到连续、平稳的氮气气流。

PSA-500型制氮装置的特点:

#### 第一,启动快

采用传统的深冷制氮方法,设备启动时间最少都在8小时以上,要得到合格产品的时间更长,而该套装置在25分钟之内即可输出稳定合格的氮气,能应急煤矿系统防灭火工作,特别适于突发性火灾事故的防治。

#### 第二,可以随时停机并再次启动

深冷制氮设备不宜随时停机,停机时间过长,则恢复运行困难,再次启动的时间大约需要24小时左右;而PSA-500型装置,不但可以象深冷机组一样长时间连续运行,而且可以随时停机,并在任意时刻再次启动,再次启动所花费的时间,比首次启动时间还要短。

#### 第三,运行稳定,操作人员少

PSA-500型制氮装置,经操作人员启机运行后,便能稳定可靠的工作,无需再进行专门操作,全套设备每班只需1人,或者指派人员定时巡视即可。而深冷机组,每班至少要有6个以上熟练的专职操作人员。

#### 第四,安装配套灵活方便,对场地限制少

PSA-500型制氮装置,在设备造型、整体设计、整体布局上已是定型产品,由于魏矿方面提出要利用原有空压机(L5.5-40/8)进行配置,经过我公司技术人员的考察,对原系统压缩空气前期处理的流程进行了改进

——通过使用后冷器(AA=40/8)、高效除油器(QZC=40/8)及T级过滤器(T1700)等设备进行空气净化处理。这样既满足了工艺要求,为矿方节约了资金,又将闲置设备进行了合理利用。

在整套设备运至现场以后,根据矿方要求,针对厂房实际情况,我公司的技术人员对系统的整体布置又作了相应调整。利用现有空闲场地(实际占地面积不到30 m<sup>2</sup>),安装了制氮装置,保持了厂房内原有设备的布局,为矿上节省了设备拆除费用和基础费用,保证了其它工作的正常进行。

#### 第五,对原料空气要求较低

膜分离技术作为新兴的制氮方法,有它独到的一面,但对原料空气的要求条件较高,却也是不容忽视的事实,这无形当中就增加了净化设备的投资及工艺技术的复杂程度。而PSA-500制氮装置的原料空气,是经过净化的压缩空气,目前所达到的指标已完全能够满足需要。

#### 第六,维修、维护方便,使用寿命长

PSA-500型制氮装置的维护非常简单,只要按照设备使用说明书定时进行排污处理,定期检查阀门密封情况即可。该设备易损部件非常少,一般的检修人员即可完成维修工作。吸附过程是一个物理过程,制氮设备主要依靠的吸附介质,除有微量的损耗外,没有任何质的变化,不存在失效、过期等问题,可以长期使用。

#### 第七,控制可靠,管理自动化

PSA-500型制氮装置,阀门切换装置电气控制系统,采用日本OMRON公司的工业PLC可编程序控制器,满足日本JIS质量标准。该控制器广泛应用于煤矿系统的洗煤工艺控制,并配备氧气传感器、压力传感器、流量传感器,可以测量氮气纯度、压力及流量的实时数据并进行控制,具有很强的抗干扰能力,平均无故障工作时间可达十几万小时,

准确有效地保证了切换装置的正常工作。

另外,PSA=500型制氮装置,配置了计算机数据管理、动态图形显示、打印系统等,计算机可对设备运行期间的参数,如压力、纯度、流量、累计流量等数据进行统计管理,并可打印多种形式的报表,还可以同矿上微机系统联网,并入魏矿整体管理系统。

#### 第八,机械设备、材料国产化

PSA=500型制氮装置,加工空气净化处理、吸附组设备及切换阀全部实现国产化,其中吸附剂采用的是浙江省长兴化工厂生产的4A碳分子筛。值得一提的是,这套设备的切换阀采用了温州瑞气机电有限公司的国家专利产品(专利号:89.2.13676.6)ZSGP型管道式气动阀,我公司根据实际情况进行了相应的调整,满足了工艺要求。

### 五、存在问题

我公司生产的PSA-500型制氮装置仍为固定式机组,受距离和敷设管路长度限制,一般只能就近服务于一、二个采区或一、二个邻近的井口,不能满足防火地点的变迁,不能满足各矿偏远地点突发火灾的需要。鉴于这种情况,我公司在原有设备的基础上与重庆分院合作,不久我公司将推出适用于井下工作的移动式PSA制氮装置,以适应煤炭系统安全生产的需要。

### 六、结束语

PSA-500型制氮装置是我公司为煤矿防火系统提供的第一套设备,随着氮气在煤矿防火系统中的逐渐普及,我公司将不断改进技术,继续为煤矿系统服务,提供更多的优质设备。

### 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国能源部. 煤矿安全规程. 1992.
- 2 中华人民共和国能源部. 煤矿安全规程(1992年版)执行说明. 1993.
- 3 西山矿务局、煤炭科学研究总院重庆分院、

西山矿务局杜儿坪矿。西山矿务局杜儿坪  
矿利用地面移动式制氮装置防治近距离煤  
层采空区火灾工程验收报告。1992.7

4 魏家地煤矿 PSA-500 型制氮装置 安装调  
试纪要。1995.9

(1995年11月)

## 工业氮、纯氮、高纯氮国家标准及 六种标准气的研制通过审查

1995年10月26日至29日,全国气体标准化技术委员会、国际半导体设备和材料标准化委员会中国标准化委员会化学品分会一届二次联合会议,在四川省峨眉山市召开。此次会议审查并通过了修订的工业氮、纯氮、高纯氮国家标准及6种气体标准样品。全国各地前来参加此次会议的有关科研院所、高等院校和企事业单位的代表为气标委委员、通讯委员、化学品分会委员(含已上报待批的增补委员)、两标委秘书处人员、标准起草人、气体标样研制人员。峨眉山市技术监督局领导也应邀到会并作了讲话。会议代表共60人。

在会议进程中,与会代表听取了标准起草人对工业氮、纯氮、高纯氮3个国家标准修订的说明。即这三个标准的修订是根据化学工业部文件(1994)化督发第87号下达的标准制、修订计划任务和现行国家标准清理整顿的要求,对GB/T 3864—83《工业用气态氮》、GB/T 8979—88《纯氮》、GB/T 8980—88《高纯氮》国家标准进行修订和合并。由于工业氮、纯氮、高纯氮是不同种产品,而它们又不是氮气的不同级别产品,所以,其生产工艺、产品适用范围、分析方法、产品包装要求等都差异甚大,因此,合并后的氮气系列标准,将其分为同一标准的三个独立部分:GB/T 3864.1—××××工业氮、GB/T 3864.2—××××纯氮、GB/T 3864.3—××××高纯氮。根据我国有关标准化文件和标准编写的规定,将原标准中的计量单位改为法定计量单位。如将压力单位 $\text{kgf/cm}^2$ 改为MPa,浓度ppm改为负指数 $10^{-6}$ 等。再有,原工业用气态氮改名为工业氮,其适用范围中增加液态氮。……。

会议认为:经修订后的三个系列标准的标准指标分级合理,检验方法适用可靠,既向国际接轨,又兼顾了国内的生产实际,并达到了国际水平。其中工业氮的优等品还达到了国际先进水平。从而使

标准引入了竞争,有利于促进我国氮气产品质量的提高。

氮气系列标准经会议表决,通过审查。

接着,与会代表还听取了气体标样研制人对氩中氢、氮( $\text{H}_2\text{—N}_2/\text{Ar}$ )、氩中甲烷( $\text{CH}_4/\text{Ar}$ )、氮中氢( $\text{H}_2/\text{N}_2$ )、氮中甲烷( $\text{CH}_4/\text{N}_2$ )、氩中氮( $\text{N}_2/\text{H}_2$ )、氩中一氧化碳、二氧化碳和甲烷( $\text{CO—CO}_2\text{—CH}_4/\text{H}_2$ )六种气体标样研制情况的说明。

对氩中氢、氮等六种气体标样的研制情况,经审议,会议认为:西南化工研究院很好地完成了化学工业部下达的气体标样研制计划任务,做了大量而仔细的研究工作。大量数据表明,采用称量法制备氩中甲烷( $\text{CH}_4/\text{Ar}$ )等六个气体标样,方法可靠。经过一年左右对稳定性和均匀性的考查,其结果表明,标准样品的均匀性和稳定性均良好。对于标准样品的定值、误差分析与估算均严格按照国家标准(GB 5274)进行处理。从与不同方法制备的标样进行比对分析的结果表明,在分析的误差范围内完全吻合。这六个气体标样所达到的技术指标,在氩气、氮气、氢气国家标准制定、修订工作中,可用于试验方法研究与验证;在标准的贯彻实施中,可用于产品质量检验、质量监督检验、仲裁检验;同时,还可用于分析方法研究等。

上述六种气体标准样品经会议表决,通过审查。

会议期间,按照国家技术监督局的有关要求,并结合标委会的特点和任务,及时对标委会进行了整顿和人员调整,以使标委会的工作今后更具活力。

四川省气体产品质量监督检验站

胡志雄 1995年11月28日

(610225,四川成都双流航空港445信箱,  
西南化工研究院)

编者:会议审查通过的工业氮、纯氮、高纯氮3个修订标的技术指标,本刊下期摘登。