

# 含氧煤层气的分离与液化

杨克剑

含氧煤层气分离液化项目组

**摘要：**煤矿开采时抽放的、含空气的煤层气难以得到很好的利用。本文介绍了一种专利技术及其工业化试验装置。该装置采用低温精馏的方法将空气和煤层气分开，同时将提纯后的煤层气液化。分离液化后生产的液化煤层气纯度达到 99.86%，分离后排放的空气甲烷含量小于 0.1%。这种方案和流程设备简单、能耗物耗低、产品纯度高、具有很好的经济效益和社会效益。

**关键词：**煤层气 分离 液化

## 1 引言

煤层气，是一种吸附在煤层中的可燃性气体，其主要成分是甲烷。在煤矿开采过程中，必须提前将它抽放掉，否则就会对采矿人员的生命安全带来严重的威胁。但是，煤层气也是一种宝贵的清洁能源和重要的化工原料，应该加以很好的利用。中国的煤层气资源极为丰富，但开发利用却很少，大部分都是排放到大气中，这不但造成了严重的大气污染，也是很大的资源浪费。

采用地面打井的方法，来实现煤层气回收的技术，在世界范围内已有很好的发展。但是，采煤过程中抽放的瓦斯气（Coal Mine Methane 简称 CMM），压力很低，甲烷含量也低，约在 50%左右，有的甚至低至 30%以下。抽放的瓦斯气中混有空气。这就给煤层气的加工和输送带来了困难。这种含空气的煤层气通常只能就地使用，放空浪费的现象就更严重，这个问题在中国一直没有得到很好的解决。最近，由北京赞成国际投资有限公司和中科院理化技术研究所及煤矿企业合作，成功地开发了一种小型工业试验装置，采用一种低温分离的专

利技术，把 CMM 中的煤层气（主要是甲烷）和空气分离开来，同时将提纯后的煤层气液化，这就极大地方便了煤层气的运输和利用。

装置运行的结果显示，分离液化后生产的液化天然气纯度，经检测达到 99.86%，分离后排放的空气甲烷含量小于 0.1%。这种方案和流程的设备简单、能耗物耗低、产品纯度高。由于含氧煤层气放空现象较严重，因而原料气价格较低，天然气这一清洁能源又十分紧缺，市场价格好，投资方在四、五、年内就能收回投资。因此，这个项目不但能显著地降低大气污染，有很好的社会效益，而且具有很好的经济效益。

现在，在这一成果的基础上，一个新的研究开发机构即将在北京成立。一方面要立即着手建立大型的工业化生产装置，另一方面要进一步研究新技术、新工艺，使中国的煤层气能够得到更好的应用。

## 2 液化与分离的方案的设计

煤层气和天然气一样，主要成分是甲烷。甲烷的临界温度为 190.7K（即约 -82.45℃），临界压力为 46.4 bar，也就是说，至少要在 -82.45℃ 以下，并增加其压力（到 46.4 bar），它才能变成液体。如果压力是一个大气压，其液化温度则是 -161.5℃。因此煤层气液化只能在低温下实现。煤层气的液化流程与天然气一样，有复叠式制冷液化循环、混合制冷剂制冷液化循环、带膨胀机的制冷液化循环等。CMM 煤层气通常流量不大，原料气压力也低，在低温液化分离的过程中能生产出洁净的氮气，不仅可以用做分子筛净化器的再生气体，而且可以用来补充气体制冷循环的泄漏。因此，装置采用了一种带氮气膨胀的低温液化分离的方案。

低温液化分离法的原理是先将气体混合物冷凝为液体，然后再按各组份蒸发温度的不同将它们分离。这是很适合含氧煤层气分离的方案。首先，因为这种方案分离的纯度最高，其他方法都很难达到这样高的纯度；其次，是因为这种方案比较安全，其分离过程是在低压和低温下进行的，即使处在甲烷的燃烧爆炸范围内也不容易产生燃烧和爆炸；第三，是这种方案最经济，它不仅可以同时分离和脱除氧、氮，而且能直接生产出液体煤层气（LNG）。

### 3 流程简述

由于含氧煤层气压力通常很低，因此必须经压缩机压缩以提高其压力，才可以进行后续的净化、液化、分离等工序。净化的方法与原料气的组分有关，多数含氧煤层气除含有水蒸汽以外只含有少量的二氧化碳等酸性气体，因此可以用分子筛同时脱出水分和二氧化碳。本试验装置的流程就采用了分子筛净化的方案。

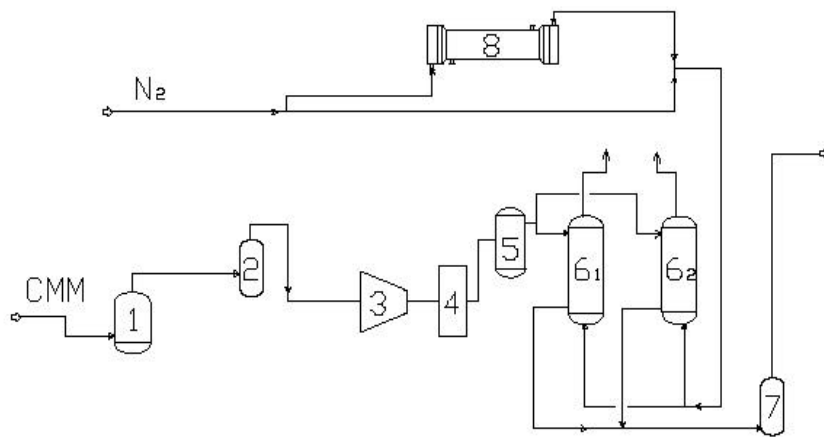


图 1 压缩、净化流程图

参见图 1，自排放管道来的原料气，压力是微正压，温度是常温，先经过气液分离器 1 分液（主要是游离水），气液分离器 1 也起着气体缓冲罐的作用，然后气体经过滤器 2 除去灰尘。

过滤后的气体进入原料气压缩机 3 进行压缩。压缩后的气体经冷却器 4 冷却后，再进入气液分离器 5 分离冷凝水。分水后的原料气进入分子筛干燥器，用于脱水和脱除二氧化碳。

分子筛干燥器设两台，一台 6-1 工作，一台 6-2 加热再生然后冷却备用。每 12 小时切换一次。过滤、压缩后的原料气进入干燥器塔 6-1，原料气中的水分和二氧化碳被干燥器塔中的分子筛所吸附，脱除了水分和二氧化碳的气体从塔 6-1 出来，再经过过滤器 7 过滤掉有可能带出的分子筛粉尘，然后气体进入制冷液化工段，降温、液化和分离。

选用后面的液化分离工段中从原料气里分离出来的洁净氮气作为干燥器的再生气和冷吹气。这部分氮气，经加热器 8 加热。加热后进入需再生的干燥器

6-2，将 6-2 中分子筛所吸附的水和二氧化碳带走（排空）。然后，氮气不经过加热器 8 加热，而是直接进入已加热再生好的干燥器 6-2，冷却分子筛，降低干燥器 6-2 的温度备用。冷吹的气体仍然从干燥器的顶部排出。加热再生和冷吹的时间总共也是 12 小时。

干燥器塔 6-1 工作 12 小时后，即切换到干燥器塔 6-2。原料气则进入干燥器塔 6-2，脱除水分和二氧化碳。干燥器塔 6-1 则进行加热、再生和冷吹。

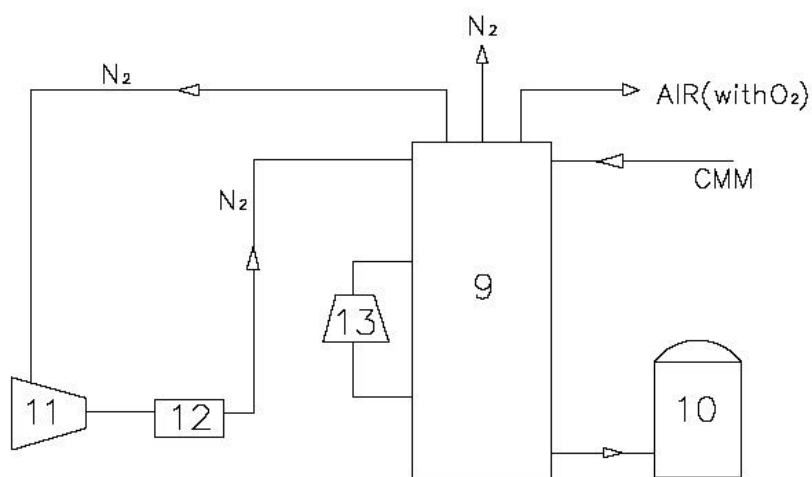


图 2 液化、分离

图 2 是含氧煤层气在低温下分离的流程示意图。压缩和净化后的原料气，进入液化工段的冷箱 9。在冷箱中的换热器里，原料气被膨胀后的低温制冷气体所冷却，温度降低到气液两相状态。温度下降后的含氧煤层气进入冷箱中的分离器，在分离器中，气体与液体进行热、质交换。分离器分出一部分洁净的富氧空气，这部分气体进入换热器回收冷量，复热以后放空。

从分离器还放出一部分纯度很高的氮气，减压后，进入换热器回收冷量。复热以后，这部分氮气可用做净化器的加热再生和冷却气体。

从分离器下部放出的就是纯度很高的液化煤层气（LNG），纯度达到 99.9% 以上。产品 LNG 经过保温管道输入储槽 10 中储存。

低温分馏和液化所需要的冷量是由制冷系统提供的。制冷系统主要由制冷压缩机、冷却器、透平膨胀机和热交换器组成。

在制冷系统回路中，制冷用的氮气经压缩机 11 压缩，再经过冷却器 12 冷却，

然后进入冷箱，在冷箱中被反流的冷气进一步降低温度。然后，制冷气经透平膨胀机 13、14 膨胀，温度和压力都下降，这股冷气体就是系统的主要冷源。这部分气体复热以后，再压缩、冷却、膨胀制冷，如此循环。

这种专为含氧煤层气设计的制冷、分离液化流程，其液化和分离在低温下同步进行，一次完成，分离纯度高，安全性能好，在分离的同时就可制取 LNG，而且在装置运行以后，其制冷工质完全从原料气中获得，不需要另行购买。设备由几个部分组成，安装、联接都比较方便。因此，是一种十分先进的流程。

这台工业试验装置每天处理 CMM 4000Nm<sup>3</sup>，原料气的组成是，甲烷 35%，二氧化碳 0.4%，其余是空气，也就是大约氮气占 51.03%，氧气占 13.57%。装置每天可生产 LNG 2.5m<sup>3</sup>，压力是 2.5bar (g)，相当 1400Nm<sup>3</sup> 纯天然气。

#### 4 结束语

采煤过程中抽放的煤层气，因为压力低，甲烷含量低，并混有空气，放空浪费、污染环境的现象十分严重。采用低温分离液化的方法，把含氧煤层气中的煤层气（主要是甲烷）和空气分离开来，同时将提纯后的煤层气液化，极大地方便了运输和利用。这样，把原本无法很好利用的含氧煤层气利用起来，是一件利国利民、而且对企业也能产生经济效益的好事。工业试验装置的试验结果表明，这一技术是完全可行的，它在中国的进一步推广，不仅可以充分利用中国丰富的煤层气资源，而且可以有效地减少环境污染，改善能源利用结构，有十分重要的意义。