

## 工艺与设备

# 煤层气非催化转化制甲醇生产工艺设计与化工设备

吴晓明<sup>1</sup>,董丽君<sup>1,2</sup>,鲜建<sup>1</sup>,罗法<sup>1</sup>,刘星生<sup>1,2</sup>

(1. 江西师范大学化学化工学院,江西 南昌 330022;

2. 江西师范大学江西省无机膜材料工程技术研究中心,江西 南昌 330022)

**摘要:**采用非催化转化制甲醇生产工艺对煤层气的开发利用进行设计。通过对煤层气非催化转化制甲醇生产工艺流程的物料衡算可知:基于每年连续生产280 d和处理1亿m<sup>3</sup>煤层气计算,1年可获得精制甲醇产品约3.8万t。经过对煤层气非催化转化制甲醇生产工艺流程、物料和化工设备的设计,为大规模煤层气开发利用提供依据和指导。

**关键词:**煤层气;非催化转化;甲醇;工艺设计;化工设备

中图分类号:TD712.67

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2011)01-0061-03

## Process design of methanol production from coal-bed gas by non-catalytic transforming and its equipment

WU Xiao-ming<sup>1</sup>, DONG Li-jun<sup>1,2</sup>, XIAN Jian<sup>1</sup>, LUO Fa<sup>1</sup>, LIU Xing-sheng<sup>1,2</sup>

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2. Jiangxi Inorganic Membrane Materials Engineering Research Center, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

**Abstract:** The development and utilization process of methanol from coal-bed gas is designed by non-catalytic transforming technology. After the material balance calculation of the process, with continuous production of 280 days per year and coal-bed gas processing capacity of 100 million m<sup>3</sup>/a, it could get refining methanol about 38 000 t/a. It can provide a basis and guidance for large-scale development and utilization of coal-bed after the design of production process, material and chemical equipment.

**Key words:** coal-bed gas; non-catalytic transforming; methanol; process design; chemical equipment

煤层气俗称煤矿瓦斯,是一种以吸附状态为主,生成并储存在煤系地层中的非常规天然气。对煤层气的综合利用可以改善我国能源结构,提高我国煤矿生产的安全性并带动相关产业的发展<sup>[1-3]</sup>。我国是世界采煤大国,但煤层气勘探仍处于小范围试验阶段,仍未规模开发利用,开发利用煤层气在我国具有特殊的紧迫性和重要性。

目前,煤层气非催化转化制甲醇生产工艺由于资源综合利用率高、环境友好、产品可直接用作燃料和易于储存运输等优点,非常适合采煤工业重大量的煤层气资源的回收利用,在我国具有广阔的推广应用前景<sup>[4-6]</sup>。然而,对于大规模煤层气非催化转化制甲醇生产工艺的工业化装置仍然极少,其工艺、有关物料和设备要求尚未见报道。笔者对煤层气非催化转化制甲醇生产工艺的流程、物料和化工设备规格进行设计,为大规模煤层气非催化转化制甲醇生产工艺提供依据和指导,以促进我国煤层气的规模化开发利用。

## 1 工艺原料设计

按照每年280天连续处理1亿m<sup>3</sup>煤层气,即约15 000 m<sup>3</sup>/h的连续处理煤层气的工艺进行设计。其中煤层气的成分含量<sup>[7]</sup>和各组分的流量见表1。以表1数据为依据,确定煤层气非催化转化制甲醇生产工艺的流程、物料衡算和化工设备规格。

表1 煤层气的组成与各组流量

	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
煤层气组成(体积分数)/%	50.00	0.10	6.27	43.63
组分流量/m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	7500.0	15.0	940.5	6544.5

## 2 工艺流程设计

根据煤层气非催化转化制甲醇生产工艺特点,笔者设计的工艺流程分成4个部分:首先一部分为工艺原料的供给,主要是利用鼓风机将煤层气及空气进行供给;第2部分是在转化炉中进行煤层气

收稿日期:2010-08-06

作者简介:吴晓明(1989-),大学,工程师,主要从事化工工艺的研究;刘星生(1979-),男,博士,副教授,研究方向为无机材料的制备与应用,通信联系人,0791-8210483, xingshengliu@sina.cn.

原料的转化反应;第 3 部分是热交换部分,考虑煤层气的转化反应为放热反应,需要把过热的气体进行利用与热交换,主要设备是废热炉和冷却塔;最后一部分是甲醇的合成和精馏,得到目的产品,主要的步骤是首先对合成气脱硫净化,然后在合成塔中合成产品,最后对合成产品进行精馏。具体流程见图 1。

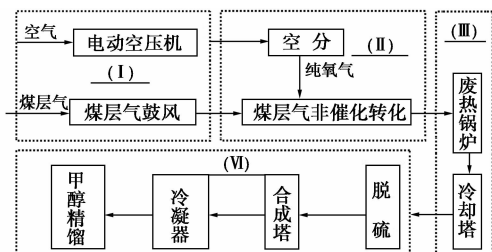


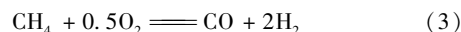
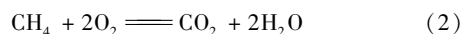
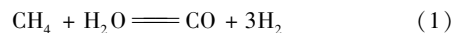
图 1 煤层气非催化转化制甲醇生产工艺流程图

### 3 工艺物料衡算

根据表 1 所提供的数据和图 1 设计的生产工艺,下面对煤层气非催化转化制甲醇生产工艺中所涉及的物料进行逐一计算。

#### 3.1 转化炉物料衡算

按照图 1 可知,原料气首先进入转化炉。查阅文献可知,原料气在转化炉内主要发生下列 3 个反应:



在转化炉的物料计算,根据煤层气最大化综合利用的原则,笔者以甲烷和氧气完全转化进行计算,设计 45% 的甲烷按反应 (1) 进行,20% 的甲烷按反应 (2) 进行,35% 甲烷按反应 (3) 进行,则需通入氧气 3 372 m<sup>3</sup>/h;需加入水蒸气 375 m<sup>3</sup>/h;产生 CO<sub>2</sub> 1 500 m<sup>3</sup>/h;产生 CO 6 000 m<sup>3</sup>/h;产生 H<sub>2</sub> 15 375 m<sup>3</sup>/h。

转化炉内各物料衡算见表 2。

表 2 转化炉物料平衡表

项目	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>
加入量/m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	7500.0	15.0	0.0	6544.5
加入量/kg·h <sup>-1</sup>	5357.1	29.5	0.0	8180.6
流出量/m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	0.0	1515.0	6000.0	6544.5
流出量/kg·h <sup>-1</sup>	0.0	2975.9	7500.0	8180.6
项目	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	合计
加入量/m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	375.0	4312.5	0.0	19217.25
加入量/kg·h <sup>-1</sup>	301.3	6160.8	0.0	20029.3
流出量/m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	0.0	0.0	15375.0	29449.5
流出量/kg·h <sup>-1</sup>	0.0	0.0	1372.8	20029.3

注:体积流量与质量流量间换算按照:质量流量=(体积流量×气体分子质量)/22.4。

(上接第 60 页)

大分子,具有很大的表面积,有助于快速吸湿;化学吸附过程是水分从树脂表面扩散到内部的过程,由于高吸湿性树脂的外表面和内表面都富含强亲水性基团,如—SO<sub>3</sub>H 和—COOH 基团等。水分子易于被吸附。同时,内表面的负离子基团间强烈的静电排斥作用使大分子链趋于伸展构象,水分子更容易进入凝胶内部,故初期吸湿较快且吸湿量较大。后期,随着水分子的进入,交联网络的孔隙变小,水分子扩散越发困难,导致吸湿变慢。

当树脂放湿时,树脂表面的水分子扩散到空气中,将使交联网络孔隙变大,树脂内部的水分子更易于脱附,故放湿过程较快。

树脂具有保水能力,是因为高吸湿性树脂结构中大量的亲水性基团与水分子形成了结合力较强的氢键的缘故<sup>[8]</sup>。

### 4 结语

①以 AA、AM、AMPS 为原料,采用水溶液聚合方法制备了 AA/AM/AMPS 高吸湿性树脂。并对材料的吸湿放湿性能进行了测定。结果表明,该材料具有良好的吸湿放湿性能,且初期吸湿速率较快。当

处于低湿环境时,又可以迅速放湿,对环境湿度变化可以快速响应,且具有一定保湿能力。②与无机吸湿材料和现有的一些高分子吸湿树脂材料相比,本材料都具有更快的初期吸湿速率和高的吸湿量。因而可广泛地应用于民用和武器装备产品的防潮及防腐包装中。③对材料的吸放湿机理进行了简要分析,说明了强亲水基团的引入和多种基团的协同作用有助于吸湿量和吸湿速度的提高。

### 参考文献

- [1] 刘川文,黄红军,李志广,等. 我军弹药防潮技术的现状与发展[J]. 包装工程,2006,27(2):73-75.
- [2] 张春晓,张万喜,刘健,等. 有机高分子吸湿材料的研究进展[J]. 现代化工,2008,28(10):14-17.
- [3] 刘川文,黄红军,李志广,等. 聚乙烯醇吸附性树脂的制备及其吸湿放湿性能研究[J]. 科学技术与工程,2007,7(2):242-244.
- [4] 曹嘉洲,罗曦芸,张文清,等. 壳聚糖基调湿材料的制备及性能[J]. 化工新型材料,2009,37(3):94-96.
- [5] 李万芬,汪超,李红斌,等. 魔芋超强吸水剂吸湿性能研究[J]. 食品工业科技,2006,27(6):93-95.
- [6] 张春晓,张万喜,潘振远,等. 聚丙烯酰胺及其多孔材料吸湿性能研究[J]. 功能材料,2009,40(8):42-46.
- [7] 赵振国. 吸附作用应用原理[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [8] 邹新禧. 超强吸水剂[M]. 2 版. 北京:化学工业出版社,2001. ■

### 3.2 废热炉、冷却塔和脱硫过程物料衡算

在废热锅炉和冷却塔中,主要是进行热量的交换,而在脱硫过程也只要少量的物料变化。因此,该部分工艺中的物料衡算比较简单,主要按照少量物料耗损进行计算。笔者按照废热锅炉中物料耗损率为0.5%,冷却塔和脱硫过程耗损率为1.0%进行物料计算,具体见表3。

表3 废热炉、冷却塔和脱硫过程物料平衡表 kg/h

项目	CO <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	合计
废热炉加入量	2975.9	7500.0	8180.6	1372.8	20029.3
废热炉耗损量	15.3	37.5	40.9	6.9	100.6
冷却塔加入量	2960.6	7462.5	8139.7	1365.9	19928.7
冷却塔耗损量	29.6	74.6	81.4	13.7	199.3
脱硫过程加入量	2931.0	7387.9	8058.3	1352.2	19729.4
脱硫过程耗损量	29.3	73.9	80.6	13.5	197.3
脱硫过程流出量	2901.7	7314.0	7977.7	1338.7	19532.1

### 3.3 甲醇合成过程物料衡算

甲醇合成过程包括产品的反应和产品的精馏。在甲醇合成塔内,主要进行  $\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$  和  $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$  2个反应,CO转化率约60%,CO<sub>2</sub>按照转化率约40%。则CO反应生成甲醇量为5 015.3 kg/h;CO<sub>2</sub>生成的甲醇量为844.1 kg/h;产生水量为476.3 kg/h。合成塔内物料计算见表4。

表4 合成塔内物料平衡表 kg/h

项目	CO <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> OH	合计
加入量	2901.7	7314.0	7977.7	1338.7	0.0	0.0	19532.1
流出量	1741.0	2925.0	7977.7	553.0	476.0	5859.4	19532.1

由以上计算可知,经过反应后,在合成塔内得到甲醇水溶液,既粗制甲醇6 335.7 kg/h,质量分数为92.5%。粗制甲醇一般需要经过精馏塔进行精馏达到。为了方便计算,在整个精馏过程按照损耗率为5%进行计算,得到精制甲醇5 622.6 kg/h,质量分数为99%。因此,以每年连续生产280天计算,笔者设计的工艺每年生产精制甲醇产品约3.8万t。

## 4 化工设备设计

对煤层气大规模利用过程中涉及空分制氧机、转化炉和合成塔等许多化工设备。因此,对煤层气非催化转化制甲醇生产工艺的设计过程中,有必要对所涉及到的化工设备进行选型,使整个工艺设计更加完善和更具工业参考价值。

首先需要考虑的是抽采煤层气鼓风机的选型。由笔者以上计算可知,煤层气抽采量为15 000 m<sup>3</sup>/h

(250 m<sup>3</sup>/min),可采用进口流量为350 m<sup>3</sup>/min,专门输送煤气AI(M)350-1.14/0.98型加压离心鼓风机。在转化炉中制备甲醇合成气需补充纯氧3 372 m<sup>3</sup>/h,故可选用空分制氧机规格为制氧3 500 m<sup>3</sup>/h的标准设备。废热炉可选用Q36/900-10-1.25/250规格,气体峰值流量为3 600 m<sup>3</sup>/h。粗制甲醇合成量为6 335.7 kg/h,则可选甲醇合成能力为10 t/h的甲醇合成标准塔。针对本文设计的煤层气非催化转化制甲醇生产工艺流程和物料计算情况,主要的化工设备详见表5。

表5 主要化工设备一览表

名称	规格型号	材质	数量
鼓风机	350 m <sup>3</sup> /min	不锈钢	1
转化炉	3000~5000 m <sup>3</sup> /h	不锈钢	3
空分制氧机	3500 m <sup>3</sup> /h	不锈钢	1
废热炉	36000 m <sup>3</sup> /h	搪瓷	1
冷凝器	20 t/h 冷凝器	搪瓷	2
合成塔	10 t/h	不锈钢	1
精馏塔	10 t/h	不锈钢	1

## 5 结语

以文中煤层气非催化转化制甲醇生产工艺流程为依据,以年连续生产280天和处理1亿m<sup>3</sup>煤层气计算,可获得精制甲醇产品约3.8万t。对煤层气非催化转化制甲醇生产工艺进行了化工设备选型,使整个工艺设计更加完善和更具工业参考价值。以资源综合利用率高、环境友好的煤层气非催化转化制甲醇生产工艺在我国具有广阔的推广应用前景,本文对煤层气非催化转化制甲醇生产工艺的流程、物料和化工设备规格进行了设计,能促进我国煤层气的规模化开发利用。

### 参考文献

- [1] 崔长春. 煤层气开发利用前景诱人[J]. 天然气化工, 2008, 33(3): 71-74.
- [2] 张志翔, 苑慧敏, 王凤荣, 等. 煤层气的化工利用进展[J]. 现代化工, 2007, 27(8): 26-28.
- [3] 钱鸣高, 许家林, 缪协兴. 煤矿绿色开采技术[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(4): 343-348.
- [4] 王许涛, 赵兴涛, 张百良. 平顶山矿区煤层气开发利用模式探讨[J]. 煤气与热力, 2007, 27(9): 55-59.
- [5] 李琼玖, 杜世权, 廖宗富, 等. 实现零排放的煤层气利用最佳途径[J]. 中外能源, 2006, 11(6): 15-20.
- [6] 黄盛初, 刘文革, 赵国泉. 中国煤层气开发利用现状及发展趋势[J]. 中国煤炭, 2009, 35(1): 5-10.
- [7] 黄格省, 李顶杰. 煤层气化工利用技术进展[J]. 石油化工应用, 2010, 29(5): 1-6. ■