

专论与评述

天然气化工发展现状

陈庆龄¹ 钱伯章²

(1. 上海石油化工研究院, 上海 200127; 2. 上海高桥石化总厂, 上海 200127)

摘要: 21 世纪全球天然气每年的需求将从目前的 2.6 万亿 m³ 增加到 2020 年的 4.9 万亿 m³, 约在 2040 年世界天然气供应量将超过石油和煤炭, 天然气所占能源比例将上升到 51%。介绍了天然气化工的技术进展, 分析了我国天然气发展和应用的前景, 对发展我国天然气化工提出了建议。

关键词: 天然气化工; 清洁能源; 分析; 建议

中图分类号: TQ9

文献标识码: C

Current situation of natural gas chemical industry

CHEN Qing-ling¹, QIAN Bo-zhang²

(Shanghai Research Institute of Petrochemical Industry, Shanghai 200127, China;

2. Shanghai Gaoqiao Petrochemical Co., Ltd., Shanghai 200127, China)

Abstract: The global demand of natural gas in the 21st century will come up to 4.9 trillion m³ in 2020 from 2.6 trillion m³ today. The proportion of natural gas in total energy supply will be up to 51% in 2040 with its supply being more than that of petroleum and coal. Technical advances in the natural gas chemical industry are introduced and prospects in the development and application of natural gas in China are analyzed. Some suggestions for China's natural gas chemical industry are also put forward.

Key words: natural gas chemical industry; clean energy; analysis; suggestion

据统计, 10 年来全球天然气探明储量增长了 30% 以上, 2000 年探明储量达到 150.19 万亿 m³, 2001 年达到 154.42 万亿 m³。天然气储采比已由 1973 年的 47 年、1983 年的 58 年提高到 2000 年的 61 年, 超过石油储采比 39.9 年。世界天然气消费量平均每 10 年增加 5 000 亿 m³, 2000 年世界天然气消费量达 24 046 亿 m³。天然气在世界能源消费结构中的比例已达 24% 以上(其中美国为 27%, 英国为 30%, 俄罗斯为 52.6%), 天然气成为仅次于石油和煤炭的世界第三大能源。世界能源专家普遍认为, 21 世纪是天然气的世纪, 全球天然气的需求将从目前的 2.6 万亿 m³ 增加到 2020 年的 4.9 万亿 m³。约在 2040 年, 世界天然气供应量将超过石油和煤炭, 天然气占能源比例将从 2000 年的 24.5% 上升到 2040 年 51%。

天然气不仅是一种清洁能源, 而且是一种优质

的化工原料。天然气供应量的增长为发展天然气化工创造了良好条件。世界上约有 50 多个国家不同程度地发展了天然气化工, 天然气化工年耗气量约为 1 400 亿 m³, 约占世界总消费量的 5% 左右。全球天然气化工一次加工品年总产量在 11.6 亿 t 以上, 包括合成氨(尿素)、甲醇、乙烯(丙烯)、氢气和合成气(CO + H₂)、乙炔、卤代烷烃、氢氰酸、硝基烷烃、二硫化碳、炭黑等 20 多种及大量衍生物。目前, 世界上 76% 的合成氨、80% 的甲醇、42% 的乙烯由天然气为原料制取。

1 天然气化工技术及进展

1.1 乙烷、丙烷裂解制乙烯

世界富产天然气的地区都将廉价天然气中的乙烷、丙烷用作裂解装置制乙烯的原料, 大大提高了裂解制乙烯的经济性。据统计, 美国乙烯能力(2 718

万 t/a) 的 75% 左右采用乙烷和丙烷为原料, 沙特阿拉伯 85% 的乙烯能力(565 万 t/a) 采用乙烷和丙烷为原料。2000 年加拿大建成世界最大的 127 万 t/a 乙烷裂解装置。

中东以乙烷为原料生产乙烯, 是世界上原料费用最低的地区。其乙烷价格为 37.5 美元/t, 从而使乙烯生产成本低至 100 美元/t。亚太地区如澳大利亚、马来西亚用乙烷为原料的乙烯装置生产成本也较低, 为 200 ~ 240 美元/t。美国墨西哥沿岸为 250 美元/t, 而采用石脑油原料为 300 美元/t。韩国、日本的石脑油裂解装置的乙烯生产成本为 480 ~ 500 美元/t。中国石脑油/瓦斯油裂解装置制乙烯生产成本高达 530 美元/t。

采用氧化偶联技术将甲烷转化为乙烯的工艺正在开发之中。伊朗国家石化公司聚合物研究所将甲烷与被氮气稀释的氧在 700 ~ 800 °C 下藉催化剂发生氧化偶联反应, 催化剂为 CaBaTiO_3 , 乙烯产率为 26%, 已建有中试装置。我国兰州化物所也在研究甲烷氧化偶联制乙烯技术, 采用催化剂为 Na-W-Mn/SiO_2 , 具有较高的甲烷转化率, 尤其适用于流化床和加压操作。

1.2 乙烷催化联产乙烯和醋酸

沙特阿拉伯基础工业公司(Sabir)开发了采用经磷改性的钼-铈-钒酸盐催化剂($\text{Mo}_{2.5}\text{V}_{1.0}\text{Nb}_{0.32}\text{P}_x$)的乙烷联产乙烯和醋酸的新工艺。乙烷和空气(体积比为 15:85)在 260 °C 和 1.38 MPa 下通过催化剂($x = 0.042$), 在转化率为 53.3% 时, 生产醋酸和乙烯的选择性分别为 49.9% 和 10.5%。Sabir 在 Yehbu(延布)建设的 3 万 t/a 装置定于 2003 年开工, 20 万 t/a 生产醋酸的装置也可望 2004 年投产, 可为 35 万 t/a 对苯二甲酸装置提供醋酸溶剂。

1.3 天然气生产合成氨和甲醇

天然气生产合成氨和甲醇是目前天然气化工利用的一条重要途径, 技术成熟, 已大规模组织生产。目前国外单套甲醇装置规模普遍在 50 万 ~ 85 万 t/a, 并新建、拟建 100 万 ~ 165 万 t/a 装置。特立尼达在 2005 年前将建设 80 万 t/a、97.5 万 t/a 和 170 万 t/a 3 套甲醇装置。卡塔尔将建设 83 万 t/a、100 万 t/a 装置。伊朗正在建设 165 万 t/a 装置。

最近, TCI 公司推出绿色甲醇工艺, 不仅可减少天然气用量, 而且可减少 CO_2 排放, 并已在加拿大建 3.785 m^3/d 优化设计装置。该绿色甲醇工艺每生产 1 000 kg 甲醇仅产出 100 kg CO_2 , 而现在大多数甲醇装置 CO_2 的产出量为 300 ~ 700 kg。

甲醇主要用于甲醛、燃料、甲基叔丁基醚(MTBE)、对苯二甲酸二甲酯(DMT)、甲基丙烯酸甲酯(MMA)、醋酸、农药、医药等。最近, 甲醇燃料电池得到迅速开发, 2004 年前, 应用甲醇燃料电池的汽车将推上市场, 可望在 10 年后给甲醇的应用带来光明前景。目前, 甲醇年需求量为 2 800 万 t, 据预测燃料电池将使 2010 年甲醇需求量增加 70 万 t, 2015 年增加 850 万 t, 2020 年增加 6 000 万 t。

1.4 天然气制二甲醚

二甲醚不仅是重要的化工原料, 可用于许多精细化学品的合成、用作气雾剂推进剂, 而且具有优良的燃烧性能, 十六烷值高(55 ~ 60), 污染小, 是良好的汽车替代燃料。目前世界上二甲醚年生产能力超过 15 万 t, 年产量在 10 万 t 以上。

二甲醚生产可采用合成气制甲醇、甲醇脱水二步法, 但由合成气一步法直接制二甲醚的工艺具有流程短、能耗低等优点, 而且可得到较高的单程转化率。开发合成气一步法工艺的公司有丹麦托普索公司、美国空气产品和化学品公司及日本 NKK 公司。目前处于中试阶段, 不久可望建设工业化装置。NKK 公司一步法制二甲醚的合成条件为: 250 ~ 280 °C、3 ~ 7 MPa, 采用浆液床反应器。一次通过转化率大于 50%, 二甲醚选择性大于 90%。生成水很少, 二甲醚纯度大于 99.9%, 水和甲醇含量小于 1×10^{-4} , 总转化率大于 95%。5 t/d 的中试已经完成, 并建成 1 万 t/a 半工业化装置。

国外已有建设大型化二甲醚装置的计划。BP 公司和印度天然气管理局合资投资 6 亿美元拟建设商业规模的二甲醚生产厂, 采用托普索公司技术, 每天利用 24 亿 m^3 天然气, 年产二甲醚 180 万 t, 用以替代石脑油、柴油和液化石油气(LPG)。拟在 2004 年建成。日本由三菱瓦斯化学等公司组成的财团也将在澳大利亚建设大规模二甲醚装置, 拟年产二甲醚 140 万 ~ 240 万 t, 预计 2006 年投产。日本东洋工程公司完成了单系列 250 万 t/a 二甲醚装置的可行性论证, 以中东天然气为原料, 生产的二甲醚成本为 90 ~ 100 美元/t。这意味着二甲醚作为清洁燃料可与 LPG 相竞争。

我国二甲醚市场发展很快, 但年产量为 3 000 t 左右, 满足不了需求。宁夏银川正在筹划利用美国空气产品和化学品公司的技术建设 83 万 t/a 二甲醚装置。山东临沂鲁明化工公司 5 000 t/a 生产线已于 2002 年初建成, 2002 年还可望建成 3 万 t/a 生产线。国内已有多家单位从事二甲醚生产的工艺技术

研究,广州中山市精细化工公司采用西南化工研究院技术建成 2 500 t/a 二甲醚装置,现规模已达 5 000 t/a。上海石化研究院建成 800 t/a 装置,并在江苏昆山建成 1 000 t/a 工业示范装置。

1.5 天然气经甲醇制醋酸

以甲醇和 CO 为原料,用羰基合成法生产醋酸占全球醋酸生产量的 60% 以上。目前全球醋酸生产能力为 800 万 t/a,产量 650 万 t/a。塞拉尼斯公司和 BP 公司先后开发了甲醇羰基化制醋酸改进的专利工艺:AO 法技术和 Cativa 技术。采用 Cativa 工艺可改进传统的甲醇羰基化过程,削减生产费用 30%,节减扩建费用 50%。上海吴泾化工公司和扬子江乙酰化工公司分别采用 BP 技术建成 10 万 t/a 和 15 万 t/a 醋酸装置。扬子江乙酰化工公司还将采用 BP 公司 Cativa 工艺将装置扩改至 35 万 t/a,于 2002 年完成。

1.6 天然气经甲醇生产烯烃

UOP/Hydro 公司开发成功天然气转化制甲醇(GTM)、甲醇再转化制烯烃(MTO)的二步法工艺。在 MTO 工艺中,采用流化床反应器和非沸石分子筛 MTO-100 催化剂,催化剂可连续再生,甲醇转化率达 99% 以上。MTO 工艺的乙烯加丙烯产率可高达 80%。乙烯/丙烯比可调节至(0.75~1.5):1。

埃及苏伊士石化联合企业将在世界上首次工业化应用甲醇制烯烃(MTO)技术。该技术生产的烯烃将用于生产聚乙烯和聚丙烯,装置定于 2004 年投产。该天然气经甲醇生产聚合物的途径可用最低生产费用生产 PE 和 PP。

1.7 天然气制合成油

为有效利用偏远地区天然气的气源,将天然气经合成气由费-托法合成生产合成原油已成为当今世界天然气工业的一大热点。天然气制合成油主要包括合成气生产、费-托合成和产品改质三部分。由于费-托合成新型钴基催化剂和淤浆床反应器技术的进步,天然气制合成油(简称 GTL)的投资和操作费用已大大降低。同时,天然气合成油生产的柴油基本不含硫、芳烃,十六烷值高达 70 以上,面对当今世界柴油低硫、超低硫(质量分数为 3×10^{-4} ~ 1.5×10^{-4})规范的严峻挑战,合成油技术为生产清洁燃料开辟了一条新途径。

现有 2 套天然气制合成油装置在运转之中,一套是壳牌公司在马来西亚民都鲁的 56 万 t/a 装置,另一套是 Mossgas 公司在南非莫塞尔湾的 135 万 t/a 装置。21 世纪已迎来 GTL 新的发展期,预计在未来

15 年内,GTL 装置生产能力将增加到 4 500 万 ~ 7 500 万 t/a。据统计,全世界正在建设和拟建的 GTL 装置已有 10 套之多,建设地点包括尼日利亚、埃塞俄比亚、澳大利亚、卡塔尔、南非、印度尼西亚、埃及、委内瑞拉、特立尼达-多巴哥、玻利维亚等。2005 年前将有 7 套 GTL 装置投产,总能力将超过 880 万 t/a。

壳牌公司 GTL 催化剂性能的突破已使其 GTL 装置与原油价格的可竞争性由 1987 年的 30 美元/桶、1996 年的 20 美元/桶进一步降低到 2000 年的 15 美元/桶,使用壳牌新催化剂可使装置产能提高 20%。

2 分析

2.1 中国天然气资源及应用前景

中国天然气资源总量为 11.34 万亿 m^3 。大陆和大陆架分别为 8.843 万亿 m^3 和 2.497 万亿 m^3 ,分别占天然气资源总量的 78.0% 和 22.0%,目前累计探明 2.56 万亿 m^3 。天然气资源量主要分布在中部区和西北区,它们各占全国的 1/3 强(34.0% 和 34.3%),东部区仅占 7%。在西北区内,新疆(主要指塔里木和准噶尔两大盆地)占全国的 29.8%,甘、青地区(主要指柴达木盆地)占全国的 4.5%。从南北分布看,明显集中在北方,松辽、渤海湾、鄂尔多斯等盆地和西北的资源量占全国大陆的 73.5%。海域的资源量占全国的 22%。

截至 2000 年底统计,我国大、中型气田(地质储量大于 100 亿 m^3)56 个,占全国气田数的 13.4%,占储量的 75%。大型气田主要分布在中部和西北部的鄂尔多斯、四川、塔里木 3 个盆地,海上的大型气田全部在南海北部陆架上的莺琼盆地。到 2001 年初为止,新探明的塔里木克拉 2 号和鄂尔多斯苏里格气田可采储量分别为 1 879 亿 m^3 和 1 632 亿 m^3 ,可列入世界大型气田之中。

西气东输工程建成后,每年将供应长江三角洲地区 120 亿 ~ 200 亿 m^3 天然气,使这一地区清洁能源比例上升到 15% 以上。到目前为止,中国石油天然气集团公司已与分布在上海、江苏、浙江、河南及安徽的 33 家企业初步落实用气量,到 2005 年逾 90 亿 m^3 ,2007 年增至 140 亿 m^3 ,2010 年达到 190 亿 m^3 ,确保稳定供气 30 年。深圳将于 2005 年建成我国第一个液化天然气(LNG)接受终端,每年进口 LNG 300 万 t。二期工程 2008 年投产,每年进口 LNG 500 万 t。浙江省也提出大椰岛为 LNG 项目首选场

址。

据市场调查,中国天然气消费量将从 2000 年的 300 亿 m³ 增加到 2005 年的 645 亿 m³、2010 年的 1 010 亿 m³、2015 年的 1 606 亿 m³。天然气在一次能源中的比例将由 2000 年的 3.59% 提高到 2010 年的 7.17%、2015 年的 10.08%。中国天然气资源的持续开发和国外天然气资源的引进将促进中国天然气化工工业的进一步发展。

2.2 天然气价格对发展天然气化工策略的影响

我国与世界的情况有些不同,天然气价格普遍偏高,约比中东高 4~8 倍。俄罗斯的天然气价格为 0.4 美元/百万英热单位(折 0.11 元/m³),沙特阿拉伯为 0.5~0.75 美元/百万英热单位(折 0.14~0.21 元/m³,1998 年以前和目前),美国为 3.0 美元/百万英热单位(折 0.84 元/m³)。目前我国天然气价格有上涨趋势,重庆市天然气价格已从 1991 年的 0.268 元/m³ 上涨到目前的 0.733 元/m³。重庆市已规划大力发展天然气化工,在未来 10 年内总用气量将超过 50 亿 m³,其中化工用气占 80% 以上。武汉市围绕“川气入汉”也在葛化集团和武汉石化厂规划了 7 个项目:天然气制乙炔、氢、聚氯乙烯、甲醇、聚甲醛、丙酸、醋酸乙烯。大部分企业的平均气价现为 0.85 元/m³。

我国陆上天然气资源主要分布在西部,而主要市场又在东部,西气东输长距离管输费用将使有些用户难以承受。据测算,新疆天然气到上海门站的管输费用高达 0.884 元/m³,占到上海气价 1.304 元/m³ 的 68%。广东 LNG 项目天然气气价预计为 1.39 元/m³。一般情况下,如果产品是大型合成氨或甲醇装置能承受的天然气,气价为 0.6~0.8 元/m³;如用于天然气制氢则天然气气价可为 1.0 元/m³ 以上。发展深加工、高附加价值的天然气化工产品承受较高天然气气价的必由之路。

3 对发展我国天然气化工的建议

(1)我国西部和东部沿岸有条件的石油化工厂,

可利用部分天然气资源作为乙烯装置原料,既可替代石脑油供应的不足,又可进一步生产高附加价值的石化产品。开展天然气化工深加工利用可承受较高的气价,位于杭州湾的上海化学工业区已规划利用东海天然气作为碳一化工原料。

(2)继续发展天然气制化肥工业。合成氨和尿素仍将是天然气的主要化工用户。中国以天然气为原料生产合成氨的能力为 726 万 t/a,占合成氨总产能的 17.8%。全国已拥有 15 套 30 万 t/a 以天然气为原料的合成氨装置。中国海洋石油总公司还规划在海南省东方县建设 45 万 t/a 合成氨和 80 万 t/a 尿素生产厂,预计 2003 年底投产。

(3)建设大规模天然气制甲醇装置。甲醇是我国天然气化工利用的潜在市场。中国现有 200 多套甲醇装置,生产能力 340 万 t/a,但装置规模小,技术落后,物耗能耗高,生产成本低,无法与国外尤其是以天然气为原料的甲醇装置相竞争。我国生产规模 5 万 t/a 以上的甲醇厂不到 20 家,大多为 1 万 t/a 左右的装置,而且大多数以煤为原料。在甲醇市场较为发达的东部地区,建议采用世界上先进的中低压法技术建设 1~2 套 80 万 t/a 以上规模的大型甲醇装置,以顶替进口市场份额。

(4)加快甲醇羰基化制醋酸、甲醇制烯烃、合成气制二甲醚、天然气制合成油的技术开发步伐,为天然气的化工利用营造更大的发展空间。天然气经合成气一步法直接生产二甲醚,其成本仅为甲醇脱水二步法的 1/4 左右,应予加快开发。甲醇制醋酸、甲醇制烯烃工艺的开发,也可为天然气化工深度利用提供契机。天然气制 GTL 技术应重点研究和开发合成气生产技术和费-托合成技术,GTL 不仅可生产超低硫柴油,而且可生产高质量润滑油基础油。南非萨索尔公司还拥有 2 套以煤炭为原料从合成气生产合成油装置(年生产合成油 500 多万 t)。研发 GTL 技术,不仅可为我国西部后续开发的天然气资源潜力提供就地利用的技术储备,而且可为我国储量丰富的煤炭化工的利用开辟一条新路。■

欢迎订阅《现代化工》2001 年合订本

《现代化工》2001 年合订本已装订完毕,尚有少量存书,欢迎订阅。定价:100 元(含邮资),联系电话:010-64444095 转 839;联系人:胡世明。