

# 中国甲醇产业链现状分析及发展趋势

薛金召<sup>1,2</sup>, 杨荣<sup>3</sup>, 肖雪洋<sup>1</sup>, 马亚斌<sup>2</sup>, 汪希领<sup>2</sup>, 廖有贵<sup>1\*</sup>

(1. 湖南石油化工职业技术学院, 湖南 岳阳 414012; 2. 中国石化西安石化分公司, 陕西 西安 710086; 3. 中国石化广元天然气净化有限公司, 四川 广元 628471)

**摘要:** 经历过高速增长长期后, 我国甲醇产能扩张趋于放缓, 装置规模化和产业集中度明显提升; 甲醇下游呈多元格局, 传统消费领域甲醇需求趋于平稳增长, 甲醇燃料渐成规模, 甲醇制烯烃成为新兴的主力消费市场, 甲醇制芳烃、甲醇制汽油、甲醇蛋白等高附加值产品领域消费潜力凸显; 大力发展甲醇产业, 对于优化和调整我国石油化工产业结构、提高化工产品国际市场竞争能力具有十分重要的意义。我国甲醇市场要保持平稳向好的发展态势, 仍需延伸产业链条, 发展有竞争力的衍生物产品, 同时要加快甲醇下游衍生物标准化体系建设, 推动先进技术产业示范进程。

**关键词:** 甲醇; 产业链; 供需状况; 多元化; 标准化体系建设

**中图分类号:** TQ231.121

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2016)09-0001-07

**DOI:** 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2016.09.001

## Utilization status and prospect of methanol industrial chain in China

XUE Jin-zhao<sup>1,2</sup>, YANG Rong<sup>3</sup>, XIAO Xue-yang<sup>1</sup>, MA Ya-bin<sup>2</sup>, WANG Xi-ling<sup>2</sup>, LIAO You-gui<sup>1\*</sup>

(1. Hunan Petrochemical Vocational Technology College, Yueyang 414012, China; 2. SINOPEC Xi'an Petrochemical Company, Xi'an 710086, China; 3. SINOPEC Guangyuan SNG Purification Company, Guangyuan 628471, China)

**Abstract:** Trough a rapid growth period, the expansion of methanol production capacity tends to slow down. The device size and industrial concentration degree have been significantly improved. Methanol derivatives demonstrate a diversified pattern. The methanol demand in traditional consumption areas is steadily increased. For instance, methanol fuel gradually becomes a scale. Methanol-to-olefin also turns out to be a new main consumer market. The consumption potential in the fields with high added-value, such as methanol-to-aromatics, methanol-to-gasoline, methanol protein, etc., becomes increasingly prominent as well. The development of methanol industry has great influence on the optimization of industrial structure of China's chemical petroleum and the improvement of the competitiveness in international markets. Some suggestions to maintain a stable and positive development situation of methanol market are puts forward, which includes extension of industrial chains and development of the products with high competitiveness. Furthermore, accelerating standardization system construction in methanol derivatives and promoting the advanced technology industry demonstration process are equally important.

**Key words:** methanol; industrial chains; supply-demand status; diversified pattern; standardization system construction

甲醇是重要的化学工业基础原料和清洁能源, 用途十分广泛<sup>[1-2]</sup>。尤其是近几年, 甲醇燃料、甲醇制烯烃、甲醇制芳烃、甲醇制汽油、甲醇制聚甲氧基二甲醚等技术蓬勃兴起, 完善了甲醇下游产业链。我国煤炭资源丰富, 发展甲醇产业不仅可解决能源高效、清洁、低碳利用问题, 而且开辟了一条不依靠原油发展的能源化工新路线, 实现了无氧燃料向有氧燃料的转变。甲醇作为联系煤化工、天然气化工和石油化工的桥梁和纽带, 对于优化和调整我国石油化工产业结构, 缓解能源供需矛盾、确保能源安全、促进化工产品生产原料多元化和优质化、提高国际市场竞争能力, 具有十分重要的意义, 甲醇消费方式的变革正成为绿色清洁能源化工现代化建设的重要引领。

## 1 甲醇产业市场分析

近10年来, 中国甲醇产能发展迅速。2005—2010年产能和表观消费量年均增幅分别高达51.2%和42.8%, 成为全球最大的甲醇生产和消费大国。2010年后, 甲醛、二甲醚、MTBE(甲基叔丁基醚)等传统消费领域甲醇需求增速放缓, 随着甲醇制烯烃/芳烃/汽油等新型下游产业的兴起, 甲醇产能及消费增速虽有下降但仍发展强劲, 2014年甲醇产能及表观消费量分别达6 860.5万t、4 099.0万t, 增幅仍高居22.7%、24.7%。2015年由于全球经济放缓, 甲醇产能增幅仅1.68%, 为历年最低水平。但随着大批项目的建成投产, 2016年将新增甲醇产能约

收稿日期: 2016-03-05

作者简介: 薛金召(1982-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事石油化工/煤化工类专业教学及科研工作; 廖有贵(1965-), 男, 硕士, 高级工程师, 长期从事石油化工方面的教学及研究工作, 通讯联系人, 18182009936, xuejinz@126.com。

785 万 t。近年来甲醇供需情况见表 1。

表 1 近年来我国甲醇市场供需状况  $10^4$  t

年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015
产能	3756.5	4543.0	5149.1	5590.2	6860.5	6976.5
产量	1575.3	2226.9	2640.5	2878.5	3740.7	4010.5
进口量	519.0	573.2	500.1	485.9	433.2	553.9
出口量	1.2	4.4	6.7	77.3	74.9	16.3
表观消费量	2093.0	2795.7	3133.8	3287.1	4099.0	4548.1
产能增长率/%	38.3	20.9	13.3	8.6	22.7	1.6
消费年增长率/%	26.3	33.6	12.1	4.9	24.7	11.0
开工率/%	41.9	49.0	51.3	51.5	54.5	57.9

甲醇开工率呈逐年提高态势,2015 年达到 57.9%,较 2010 年提高了 16.0 个百分点。甲醇产业虽面临阶段性供过于求的局面,但需求强劲的下流新兴市场对其起着巨大的支撑和推动作用。目前甲醇生产企业主要分布在具有资源优势的西部地区,内蒙古、山东、宁夏、陕西等地产能占比较大,消费市场主要集中在东部沿海地区,而传统运输方式能力不足,长距离管道运输在经济性上存在一定的变数,因此东部地区每年进口中东、北美地区廉价的天然气/页岩气甲醇补充供应缺口。从甲醇生产工艺来看,逐渐形成了以煤炭大型装置为主力、焦炉气中小型装置迅速发展、天然气装置逐渐淘汰的格局。2015 年我国煤、焦炉煤气、天然气制甲醇的产能占比分别为 70.2%、16.5%、13.1%。国内 40 万 t/a (含)和百万吨以上装置占比分别由 2012 年的 58.7%、22.7% 提高到 67.2%、33.1%。

根据《石化产业规划布局方案(2015 年)》,到 2020 年全国乙烯、芳烃生产能力分别为 3 350 万 t/a、3 065 万 t/a,2025 年乙烯、芳烃生产加工能力分别为 85 000 万 t/a、5 000 万 t/a 和 4 000 万 t/a。重点建设浙江宁波、广东惠州、福建古雷等七大石化产业基地。《石化产业调结构促升级三年实施方案》提出新建项目一律进入基地发展,大力发展高端石化产品,加快现有装置升级改造,合理布局对二甲苯项目,增强烯烃尤其是芳烃的保障能力。《现代煤化工“十三五”发展指南》指出,“十三五”期间,规划在内蒙古、新疆、陕西、宁夏等地重点建设六大基地,将向高效、洁净、大型化、精细化、原料和产品多元化方向发展,探索清洁高效的现代煤化工发展途径,研发新一代甲醇制低碳烯烃、合成气制燃料乙醇关键技术,煤基聚乙醇酸降解材料技术,开展 100 万 t/a 煤制芳烃及衍生物工程示范,30 万 t/a 聚甲氧基二甲醚产业化示范。从未来发展情况看,行业集约化、规

模化、一体化、多元化趋势更加明显,煤经甲醇及其下游产品的产能和产量仍继续向资源区聚集,部分沿海企业还将尝试走进口甲醇制烯烃、芳烃及有机原料的发展道路,以提高原料多元化水平。

## 2 甲醇下游产业发展概况

原料甲醇充足、廉价,我国自主研发的二甲醚、甲醛、醋酸生产技术国际领先,近年来,其产能及产量均呈现快速增长趋势,但由于宏观上缺乏正确的引导和统一规划,下游产品需求领域拓展速度远远低于产能的扩张速度,均面临不同程度的产能过剩、负荷低位、产品单一、需求不旺的局面。我国甲醇下游产品市场情况见表 2。

表 2 我国近年来甲醇下游产品市场情况  $10^4$  t

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
醋酸							
产能	449.04	668.20	693.60	767.40	922.10	1012.00	1012.00
净进口量	23.3	-15.9	-64.9	-30.9	-16.2	-16.4	-34.0
消费量	320.2	367.9	359.6	399.4	413.7	520.8	553.0
开工率/%	66.1	57.4	61.2	56.1	46.6	55.3	58.0
甲醛							
产能	2489.2	2613.0	2992.0	3157.0	3573.0	3785.0	3845.0
净进口量	-464.5	-317.3	-212.1	-110.1	-87.8	-47.8	-10321.6
开工率/%	63.6	65.2	65.3	67.2	67.8	66.0	52.7
MTBE							
产能	515.9	601.0	674.4	820.3	1182.0	1329.5	1537.5
净进口量	58.4	68.9	53.8	12.8	30.8	28.8	18.0
消费量	368.6	468.0	485.0	529.0	646.0	502.6	690.1
开工率/%	60.1	66.2	64.0	62.8	52.0	52.8	46.0
二甲醚							
产能	937.8	1022.8	1176.0	1211.8	1289.9	1090.8	1095.8
产量	236.8	284.8	350.0	455.0	486.6	478.6	245.7
开工率/%	25.3	27.8	29.8	37.5	37.7	43.9	22.4

《液化石油气二甲醚混合燃气标准》和《液化石油气二甲醚混合燃气钢瓶标准》缺失,国家现行政策下,明确规定二甲醚只能纯烧。自 2009 年起,行业整体开工率在三四成间徘徊。国内醋酸进出口趋势从 2010 年开始出现大幅逆转,醋酸基本满足自用,且有大量出口。今后几年,仍有多套醋酸及醋酸乙烯、聚酯装置建成投产,预计到 2018 年,我国醋酸产能及下游需求量将分别达到 1 200 万 t/a 和 580 万 t/a,产需失衡将更加明显。房地产行业持续低迷,甲醛最主要下游产品三醛树脂胶在建材领域的需求增速明显回落,甲醛类产品受环保安全因素制约在纺织行业的市场份额逐步萎缩,尽管 1,4-丁二醇、戊二醇产能密集投放,但对甲醛需求量有限。

提高汽油辛烷值最经济的手段就是添加 MTBE,我国 90% 以上的 MTBE 消费都流向汽油添加剂,国家油品升级步伐的加快大幅提高了对 MTBE 的需求,带动了大量产能扩张。2015 年 MTBE 产能达到 1 537.5 万 t/a,较 2009 年增长 198%。年内还有金陵亨斯迈(74.2 万 t/a)、齐翔腾达(35 万 t/a)、新启元(30 万 t/a)、安瑞佳(30 万 t/a)等 MTBE 装置投产。从 2015 年以来新增产能来看,未来 MTBE 生产工艺将以异丁烷/混烷脱氢以及 PO/MTBE 为主,且单套装置产能较大。目前,国内 MTBE 市场持续处于供应短缺的局面,但从长远来看,并不利于 MTBE 的发展:一是我国汽车工业由高速增长转为微增长,成品油市场已基本饱和;二是随着我国汽油标准的继续提升,性能更为优异的烷基化汽油和醇醚燃料代替 MBTE 作为汽油调和组分的比例会逐步增大;三是 MTBE 对于环境和人类健康具有潜在威胁,今后限制甚至禁止 MTBE 的应用也势在必行。预计到 2019 年我国将转为 MTBE 净出口国。

### 3 甲醇产业未来发展方向

#### 3.1 甲醇制烯烃/甲醇制丙烯(MTO/MTP)

乙烯、丙烯是重要的平台化合物,最大的用途是生产聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP),其次为环氧乙烷、乙二醇、环氧丙烷、丙烯腈等产品。近年来因下游市场需求旺盛,烯烃供需关系日益紧张。2009—2015 年,(乙烯+丙烯)/(PP+PE)产量由 2 429.9 万/1 599.1 万 t/a 增加 4 000.4 万/2 911.7 万 t/a,年均增长率为 10.8%/13.7%,其消费量由 2 682.1 万/2 745.6 万 t/a 增长到 4 429.1 万/4 238.0 万 t/a,新增产能远填补不了巨大的新增市场缺口,(乙烯+丙烯)/(PP+PE)自给率一直维持在 90.1%/64.5%左右,年均净进口量仍以 11.6%/1.7%的速

表 3 2009—2015 年我国(乙烯+丙烯)/(PP+PE)

供需状况				10 <sup>4</sup> t
年份	产量	净进口量	表观消费量	自给率/%
2009	2429.9/1599.1	252.2/1146.5	2682.1/2745.6	90.6/58.2
2010	2768.9/1981.5	233.9/1098.5	3002.8/3080.0	92.2/64.3
2011	2914.9/2046.3	281.5/1073.4	3196.4/3119.7	91.2/65.6
2012	3037.8/2152.2	356.9/1148.3	3394.7/3300.2	89.5/65.2
2013	3307.0/2332.1	434.5/1122.5	3741.5/3454.6	88.4/67.5
2014	3568.7/2391.4	454.5/1236.6	4023.2/3628.0	88.7/65.9
2015	4000.4/2911.7	428.7/1282.8	4429.1/4238.0	90.3/68.7

度攀升。2015 年,PP、PE 和乙烯、丙烯单体总净进口量已达到 1 711.5 万 t/a。从需求端看,未来几年国内乙烯、丙烯及衍生物需求仍将持续增长。预计到 2018 年,我国(乙烯+丙烯)当量需求达 7 710 万 t/a。近年来(乙烯+丙烯)/(PP+PE)市场供需情况见表 3。

MTO/MTP 技术的进步、巨大的原料成本优势及市场前景,使 MTO/MTP 异军突起<sup>[3-7]</sup>。截至 2016 年 5 月,全国共有神华包头、神华宁煤、大唐多伦、中原石化等 23 套装置投产,合计产能 963.5 万 t/a,下游终端产品多以 PP、PE 为主,部分涉及乙二醇、环氧乙烷等精细化工品,局部以直接销售烯烃单体为主。按照 3:1 的消耗关系,将消耗其甲醇产能的 39.4%,除部分一体化设计配套的 1 900 万 t/a 甲醇产能外,还需外购甲醇 1 297 万 t/a。截止到 2016 年 5 月的 MTO/MTP 投产情况见表 4。

表 4 2010 年以来我国 MTO/MTP 产能情况 10<sup>4</sup> t/a

年份	数量/个	烯烃产能	PP 产能	PE 产能	乙、丙 烯产能	配套甲 醇产能	外购 甲醇
2010	2	112.0	82	30	0.0	347	0
2011	2	66.0	56	10	0.0	168	60
2013	2	89.5	40	0	49.5	30	240
2014	8	367.0	220	120	27.0	860	510
2015	7	209.0	69	60	80.0	140	487
2016 年 1—5 月	2	120.0	60	60	0.0	380	0
合计	23	963.5	527	280	156.5	1905	1297

年内还将有中天合创、久泰能源、青海盐湖等多套 MTO/MTP 装置合计 307 万 t/a 烯烃产能投放。按照《能源发展战略行动计划(2014—2020 年)》及《现代煤化工“十三五”发展指南》,煤制烯烃在技术逐步完善、资源利用和环境保护水平提升的基础上,适时扩大产能。到 2020 年规划 MTO/MTP 产能达 1 600 万 t/a,可消耗甲醇约 4 800 万 t/a。《煤制烯烃行业规范条件(2015 年)》使行业发展有规可依、有章可循,对我国煤经甲醇制烯烃产业的健康有序、可持续发展无疑是重大利好。新兴的 MTO/MTP 已成为拉动国内甲醇需求量和产量快速增长的主动力量,将极大地改善甲醇市场的供求格局。

#### 3.2 甲醇燃料

甲醇燃料是利用工业甲醇或燃料甲醇,加入变性醇添加剂,与国标汽/柴油成品油按照一定比例混合,经调配制成的新型清洁燃料。由于环保性好、性

价比高、技术成熟等优越性能,甲醇燃料已成为首选车用替代燃料。按照甲醇加入比例,甲醇汽油有 M5 (甲醇含量为 15% 的汽油)、M10、M15、M20、M30、M50、M85 及 M100 多种规格,甲醇柴油有 M15、M20 及 M25 等规格。

甲醇汽油技术成熟,具备全国推广条件<sup>[8]</sup>。天津大学开发的“柴油甲醇二元燃料燃烧技术”突破了在柴油机上燃用甲醇的技术障碍,实现了 35% 甲醇对柴油的高比例替代,满足国四、国五排放标准要求<sup>[9]</sup>。甲醇柴油双燃料国 V 重卡经过 7 000 km 道路试验和性能测试,形成了产业化应用,并于 2015 年 6 月 26 日通过工信部组织的科技成果鉴定。

我国政府推进能源(特别是交通燃料)多元化的战略进一步明确,为醇醚燃料行业带来政策利好。《车用燃料甲醇》、《车用甲醇汽油(M85)》国家标准,已分别于 2009 年 11 月 1 日、12 月 1 日起实施。国家在山西、陕西、上海、甘肃、贵州等四省一市开展甲醇汽车试点;已有吉利、陕汽、一汽靖焯等 6 家车企的 20 款甲醇汽车进入车辆国家公告;汽柴油/甲醇双燃料内燃机试点等一系列扶持政策相继出台;《车用甲醇汽油添加剂》标准已于 2014 年 7 月完成了全部试验检测;《车用甲醇汽油(M15)》国标正处于审批阶段;《甲醇汽油中甲醇含量的检测方法》于 2015 年 10 月 1 日实施;《车用甲醇燃料加注站建设规范》和《车用甲醇燃料作业安全规范》已于 2015 年 6 月 26 日通过工信部组织的评审,并于当年 10 月底发布。成熟的产业化技术与利好政策将推动甲醇燃料快速发展。

### 3.3 甲醇制汽油(MTG)

MTG 技术可将粗甲醇直接转化为无硫、无氮、低烯烃、低苯、高辛烷值的清洁汽油,直接销售或与常规的炼厂汽油相调合,并且对环保及发动机都没有影响。消耗比为 2.64 t 甲醇/t 汽油,由该工艺过程生产的汽油产率约为 89%,LPG 产率约为 10%,燃料气约为 1%。与煤直接液化、煤间接液化相比,MTG 技术具有流程短、装置规模灵活、投资少、见效快等优势,同时有助于削减甲醇过剩产能,推进产业结构调整升级。

固定床 MTG 技术已经成熟<sup>[10]</sup>,埃克森美孚公司开发的“两步法甲醇制汽油技术”、中科院山西煤化所与赛鼎工程联合开发的“一步法甲醇转化制汽油技术”<sup>[11]</sup>、中石油昆仑工程和中海油天津院合作开发的“两步法甲醇制稳定轻烃第一代技术”、洛阳科创开发的“一步法甲醇裂解制丙烯和高清洁汽油技术”<sup>[12]</sup>及麦森河北能源开发的具有自主知识产权的“FCP 甲醇制国 V 标准汽油技术(两步法)”<sup>[13]</sup>于 2009 年后相继实现了工业化应用;江苏煤化工工程研究设计院利用分子设计、混床催化及定向反应理念开发的“千吨级低能耗甲醇烃化混合固定床制备高辛烷值稳定轻烃(CMTG)工业化试验项目技术”<sup>[14]</sup>于 2014 年 10 月通过了中国石化联合会组织的 72 h 运行考核,15 万 t/a 产业化装置已开始建设;另外中石化与埃克森美孚正合力开发新型流化床 MTG 技术。截止到 2015 年底,共有 15 套 MTG 装置、合计 172 万 t/a 产能投产。预计 2020 年,MTG 产能将达到 500 万 t/a。MTG 产能投放情况见表 5。

表 5 2009 年以来我国 MTG 产能投放情况

项目名称	甲醇消耗量/10 <sup>4</sup> t	技术来源	投产日期
晋煤天溪 10 万 t/a 煤基合成油	26.0	埃克森美孚 MTG-II	2009.6
庆华内蒙古 2 × 10 万 t/a 甲醇制芳烃	60.0	山西煤化所、赛鼎工程及云南解化 MTG	2012/2013
广州天乙 10 万 t/a 甲醇裂解制汽油和丙烯	30.0	洛阳科创石化 MTPG-I	2013.8
新疆新业 10 万 t/a 甲醇制汽油	30.0	山西煤化所、赛鼎工程及云南解化 MTG	2013.10
云南先锋 20 万 t/a 甲醇转化制汽油	53.0	山西煤化所、赛鼎工程及云南解化 MTG	2014.3
唐山境界 20 万 t/a 甲醇合成高清洁燃料	53.0	山西煤化所、赛鼎工程及云南解化 MTG	2014.8
河北玺尧一期 10 万 t/a 甲醇制汽油	26.0	麦森河北能源 FCP-MTG	2014.5
成都天成碳一化工 6 万 t/a 甲醇制汽油	18.0	成都天成碳一 MTG	2014.5
内蒙古三维 14 万 t/a 甲醇制稳定轻烃	33.6	山西煤化所、赛鼎工程及云南解化 MTG	2014.11
沈阳石蜡 12 万 t/a 甲醇裂解制汽油和丙烯	38.0	洛阳科创石化 MTPG-I	2015.1
山东瑞昌 10 万 t/a 甲醇裂解制汽油和丙烯	30.0	洛阳科创石化 MTPG-II	2015.1
内蒙古丰汇一期 10 万 t/a 甲醇制稳定轻烃	26.0	中石油昆仑工程、中海油天津院 MTG-I	2014.11
浙能嘉兴 10 万 t/a 甲醇制清洁汽油	26.0	中科院山西煤化所、赛鼎工程 MTG	2015.7
陕西宝氮 10 万 t/a 甲醇制清洁汽油	26.0	中科院山西煤化所、赛鼎工程 MTG	2016.1

### 3.4 甲醇制聚甲氧基二甲醚

DMM<sub>3-8</sub>(聚甲氧基二甲醚)是目前国际上公认的降低油耗和减少烟气排放的新型环保柴油调组分,柴油中添加 10% ~ 20% (质量分数,下同)的 DMM<sub>3-8</sub>,能够大幅减少尾气固体颗粒物、NO<sub>x</sub> 和 CO 的排放。DMM<sub>3-8</sub>十六烷值达 76,闪点 65.5℃,沸点 160℃,其物性与柴油相近,调和到柴油中使用不需要对在用车辆进行任何改动。中国车用柴油分别于 2015 年 1 月 1 日和 2017 年 1 月 1 日起全面强制执行国四和国五排放标准,对油品质量的升级势在必行。围绕 D10(指 10% 的 DMM<sub>3-8</sub>与石油柴油调和而成的柴油)行业标准开展的试验方法、技术指标和性能测试、包装、运输和储存、安全等一系列工作正在制定,计划 2016 年发布。2014 年中国柴油消费量 1.73 亿 t,如果全部按 10% 比例调和,年消费 DMM<sub>3-8</sub>将达 1730 万 t。合成 DMM<sub>3-8</sub>的主要原料是甲醇,其消耗量约为 1.4 t 甲醇/t DMM<sub>3-8</sub>。

中国石化联合会已将“DMM<sub>3-8</sub>产业化及应用技术”列入《我国石油和化工行业“十三五”关键技术研发方向目录 2015》。目前我国 DMM<sub>3-8</sub>合成技术国际领先<sup>[15]</sup>。中科院兰州化物所“离子液体催化剂及再生工艺合成 DMM<sub>3-8</sub>”<sup>[16]</sup>百吨级中试试验于 2012 年 12 月通过了甘肃省科技厅组织的技术成果鉴定,建成的全球首套全流程万吨级“甲醇-甲醛、三聚甲醛-DMM<sub>3-8</sub>”工业装置于 2013 年 7 月一次投料试车成功,并于 2015 年 12 月通过中国石化联合会组织的课题验收,这预示着万吨级甲醇合成 DMM<sub>n</sub> 装置已完成示范。中国石油大学与北京东方红升新能源联合开发的“高十六烷值柴油组分 DMM<sub>3-8</sub>合成技术”<sup>[17]</sup>、北京旭阳化工开发的“甲醇法合成 DMM<sub>3-8</sub>的环保工艺”<sup>[18]</sup>相继完成千吨级工业试验及 72 h 连续运行考核。清华大学以自有固体酸催化剂和气-液-固三相流化床多级反应器技术为基础开发的“DMM<sub>3-5</sub>合成技术”<sup>[19]</sup>及中国石油大学与润成科技等研发团队开发的“甲醇工业化合成 DMM<sub>3-4</sub>成套技术(MTCD 技术)”<sup>[20]</sup>万吨级工业装置先后开车成功。另外,中石化上海石油化工研究院、华东理工大学、中国海油天津化工研究设计院等单位也围绕 DMM<sub>3-8</sub>课题开展了大量工作。目前 DMM<sub>3-8</sub>现有产能约 16 万 t/a,在建产能 220 万 t/a 左右。

DMM<sub>3-8</sub>万吨级工业化技术的开发及成功投产,不仅有利于降低柴油质量升级投资,还为甲醇发展带来新的市场空间。

### 3.5 甲醇制芳烃

芳烃为大宗基础有机化工原料,最重要的是苯、甲苯和二甲苯,主要用于合成树脂、合成橡胶、合成纤维等产品。我国芳烃的需求量逐年递增,对芳烃产品尤其是对二甲苯(PX)供需缺口很大。2015 年我国 PX 的对外依存度达到了 55.9%,并呈现进一步扩大的态势。截至 2015 年年底,国内 PX 产能合计为 1 365.8 万 t/a。近年来我国 PX 供需状况见表 6。

表 6 近年来我国 PX 供需状况

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
产能	725.3	825.3	883.8	883.8	1110.8	1205.8	1391.5
产量	505.2	601.1	668.8	621.0	738.8	779.4	910.4
进口量	370.5	352.7	498.7	628.2	905.3	997.0	1164.9
出口量	33.3	21.0	34.8	19.2	18.1	10.4	12.0
表观消费量	842.4	932.9	1132.7	1230.0	1626.0	1766.0	2063.3
自给率/%	59.9	64.4	59.1	50.5	45.4	44.1	44.1

目前,国内 97% 以上的芳烃依赖于石油原料,而我国石油资源短缺,获取成本越来越高。与芳烃缺口形成鲜明对比的是甲醇的产能过剩。国内甲醇制芳烃技术世界领先,1 t 芳烃约消耗 3 t 甲醇。中石化“20 万 t 级固定床甲苯与甲醇甲基化制取 PX (MTX)”<sup>[21]</sup>、中科院大连化物所百吨级循环流化床“甲苯与甲醇烷基化制 PX 联产低碳烯烃”<sup>[22]</sup>、清华大学 3 万 t 级双段环流化床“甲醇与 C<sub>5</sub> ~ C<sub>6</sub> 非芳共炼生产芳烃(FMTA)”<sup>[23]</sup>等试验项目,先后完成了各种工况的标定和各项技术指标的考核,并通过了相关部门组织的技术鉴定,中石油乌鲁木齐分公司正在利用 20 万 t/a 半再生重整装置开展“苯与甲醇烷基化”生产芳烃<sup>[24]</sup>工业应用试验。“十三五”期间将完成一批“百万吨级的甲醇制芳烃”工业化示范装置。甲醇制芳烃的工程技术可行性、经济性及良好的市场前景,可有效缓解我国原油短缺的现状,解决高端化工原料来源单一的现状<sup>[25]</sup>。

### 3.6 甲醇-醋酸制乙醇

乙醇作为基础化工原料及稀释剂,供需市场已趋于饱和;作为清洁、绿色、高辛烷值的汽油添加剂,近年来发展迅速。E10(添加 10% 乙醇的汽油)已经在 11 个省份全部或部分区域进行了试点运行,《可再生能源发展“十二五”规划》和《可再生能源中长期发展规划》提出,到 2015 年和 2020 年,燃料乙醇年利用量要分别达到 400 万 t 和 1 000 万 t,而截至 2014 年年底,燃料乙醇产能仅为 310 万 t/a,产量为

227 万 t/a。目前,我国燃料乙醇以粮食为主要原料,第二代纤维素乙醇制备上存在技术瓶颈,且成本较高<sup>[26]</sup>。根据财政部《关于调整重点企业生物燃料乙醇财政政策的的通知》,国家已于 2015 年 1 月 1 日起恢复了对以粮食为原料生产用于调配车用乙醇汽油的变性燃料乙醇恢复征收 5% 的消费税,同时 2016 年以后取消对以粮食为原料的燃料乙醇的财政补贴。

我国甲醇、醋酸原料富足,乙醇制备技术逐步成熟<sup>[27]</sup>。上海浦景化工自主开发的 300 t/a 醋酸直接加氢制乙醇中试项目于 2013 年 5 月通过中国石化联合会组织的 72 h 现场考核,单程醋酸转化率达 99% 以上,乙醇选择性大于 97%,装备实现 100% 国产化。利用该技术及催化剂建成的全球首套万吨级煤基乙醇酸甲酯工业化示范装置(设计规模为 6 000 t/a)于 2015 年 6 月一次性成功开车。中国石化以雷尼铜催化剂及醋酸加氢制乙醇单管试验为基础,针对醋酸介质,通过流程优化研究,开发了降低醋酸腐蚀的反应工艺和乙醇三塔分离流程。江苏索普采用中科院大连化物所研发的催化加氢技术和低能耗的分子筛膜脱水技术建设的 3 万 t/a 醋酸加氢制乙醇工业示范装置,也于 2016 年 4 月一次开车成功并实现平稳运行,装置产出的无水乙醇产品纯度达到 99.6%,高于工业乙醇国家标准。另外,上海戊正、丹化集团分别独立开发的间接法醋酸加氢制乙醇催化剂和工艺技术均已完成中试,取得了较好的效果,具备了开展相关规模产业化示范的能力。

### 3.7 甲醇-甲醛制丙烯酸(酯)

丙烯酸(酯)用途较广,能自聚或和其他单体共聚,是制造胶粘剂、合成树脂、特种橡胶和塑料的单体。丙烯两段氧化法是现在工业上生产丙烯酸(酯)最常用的方法,其生产能力占总产能的 95% 以上。目前该技术主要由国外垄断,并且原料成本较高。北京旭阳化工利用自主开发的催化剂反应-再生流化床耦合系统和特殊分离技术<sup>[28]</sup>,利用新型复合功能催化剂,以醋酸甲酯和甲醛为原料合成丙烯酸甲酯,填补了我国在此技术领域的空白。中科院过程所以醋酸和三聚甲醛/多聚甲醛为原料,开发了酯化-羟醛缩合-酯交换三步反应制备丙烯酸(酯)的新工艺<sup>[29]</sup>。与现有丙烯氧化法相比,丙烯酸甲酯产品吨成本降低 1 000 ~ 1 600 元,有巨大经济优势,该技术正在进行中试。

### 3.8 甲醇蛋白

甲醇蛋白是通过单细胞生物发酵而得到的菌体

蛋白质,主要用作猪、鸡、牛和鱼等畜禽饲料蛋白。与其他饲料蛋白如鱼粉、大豆等天然动植物蛋白质相比,优势明显。甲醇蛋白在国内具有较大的市场潜力和广阔的发展前景。2015 年我国饲料总产量 2.18 亿 t,大豆和鱼粉进口总量分别为 8 169 万 t 和 102.5 万 t,对外依存度高达 86.3% 和 69.8%,且供求关系日趋紧张。每 1 t 甲醇蛋白可节省粮食 3.5 t,对解决我国养殖业及食品工业蛋白质短缺问题和粮食问题具有重大的战略意义。2012 年 5 月,义煤集团利用自有技术<sup>[30]</sup>建成的甲醇蛋白中试装置,成功产出合格产品,不仅开辟了甲醇研究与开发的新领域,还填补了我国大规模甲醇蛋白生产的技术空白,也使我国成为继俄罗斯、英国之后第三个拥有该项技术的国家。随后建成世界首条 1 000 t 甲醇蛋白→脂肪酶→木聚糖酶→蛋白纤维完整的高附加值产业链,2014 年 1 月成功投产。为扩大产业规模,义煤集团一期 2 万 t/a 甲醇蛋白联产酶制剂项目已于 2014 年 10 月在青海正式开工建设,计划 2016 年投产。

### 3.9 甲醇制碳酸二甲酯-聚碳酸酯

碳酸二甲酯(DMC)在 1992 年被欧洲列为无毒产品,2009 年被 EPA 列入非挥发性有机物。涂料行业相关政策法规明确规定“禁止纯苯溶剂的使用,降低有毒有害芳烃溶剂的使用,限制乙二醇醚、乙二醇醚酯类系列助溶剂、成膜助剂的使用”。自 2015 年 2 月 1 日起,我国对施工状态下 VOC 含量高于 420 g/L 的涂料征收 4% 的消费税。新《大气污染防治法》于 2016 年 1 月 1 日起实施,首次将挥发性有机化合物(VOCs)纳入监管范围,指出生产、进口、销售和使用含挥发性有机物的原材料和产品的,其挥发性有机物含量应当符合质量标准或者要求,鼓励生产、进口、销售和使用低毒、低挥发性有机溶剂。按照《重点行业挥发性有机物削减行动计划(2016 年)》,到 2018 年,工业行业 VOCs 排放量比 2015 年削减 330 万 t 以上,减少苯、甲苯、二甲苯、二甲基甲酰胺(DMF)等溶剂、助剂使用量 20% 以上,低(无) VOCs 的涂料产品比例达到 60% 以上。

DMC 作为环保型涂料的溶剂及性能优异的油品添加剂,市场容量巨大。DMC 市场消费的 51% 用于合成聚碳酸酯。聚碳酸酯(PC)是一种综合性能优良的热塑性工程塑料,广泛应用于电子电器、数据载体、汽车部件、医疗设备、建筑、纺织和包装等领域。我国 PC 需求旺盛,新增产能远不能满足,自给率长期不足 25%,主要依赖进口。2015 年,国内 PC

产能和表观消费量增长至 58.7 万 t 和 172 万 t, 预计未来国内 PC 消费仍将保持年均 7% ~ 10% 的增长速度<sup>[31]</sup>。近年来, 中科院山西煤化所“二氧化碳经尿素醇解法合成 DMC”<sup>[32]</sup>、晋煤恒盛和华东理工大学“尿素二步法 DMC”<sup>[33]</sup> 以及亚申科技与山东飞扬化工“尿素醇解法制备 DMC”<sup>[34]</sup> 等技术使 DMC 生产成本大大降低, 浙铁大风独创的“非光气熔融酯交换法 PC 生产工艺”<sup>[35]</sup> 完成了 10 万 t/a 级工业试验, 为其大规模应用提供了技术支撑, 而 DMC-PC 行业的快速发展也为甲醇市场带来了生机。

## 4 结论

我国甲醇的产能和需求还将继续大幅度增长, 甲醇产能过剩的局面将得到有效缓解, 甲醇市场将保持平稳向好的发展态势。甲醇传统消费领域产能过剩问题突出, 在潜在市场尚未释放的前提下, 项目规划和审批需格外谨慎, 未来几年的主要工作将是开发有竞争力的下游衍生物产品。同时, 为更好地发挥甲醇经济的活力, 需加快甲醇下游高附加值产品标准化体系建设, 推动先进技术产业示范进程。

## 参考文献

- [1] George A Olah, Lain Goeppert, G K Surya Prakash. 夏磊, 胡金波, 等译. 跨越油气时代: 甲醇经济[M]. 第 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2011: 75-82.
- [2] 冯向法. 甲醇经济[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014: 2117-225.
- [3] 刘中民, 刘昱, 叶茂, 等. 1.80 Mt/a 甲醇进料 DMTO 工艺技术及其装置特点[J]. 化工进展, 2014, 44(7): 1-6.
- [4] 吴秀章. 煤制低碳烯烃工业示范工程最新进展[J]. 化工进展, 2014, 33(4): 787-794.
- [5] 琨德荣, 何琨. MTO 与 MTP 工艺技术和工业应用的进展[J]. 石油化工, 2015, 44(1): 1-10.
- [6] 项东, 彭丽娟, 杨思宇, 等. 石油与煤路线制烯烃过程技术评述[J]. 化工进展, 2013, 32(5): 959-970.
- [7] 王垚, 狄佐星, 李玉新, 等. 用于甲醇制烯烃的非均相催化反应器评述[J]. 化工学报, 2014, 65(7): 2474-2484.
- [8] 穆仕芳, 尚如静, 魏灵朝, 等. 我国甲醇汽油的研究与应用现状及前景分析[J]. 天然气化工, 2012, 37(1): 62-66.
- [9] 刘军恒, 姚安仁, 姚春德, 等. 柴油/甲醇双燃料车辆道路运行特性[J]. 中国公路学报, 2015, 28(6): 120-126.
- [10] 庞小文, 孟凡会, 卢建军, 等. 甲醇制汽油工艺及催化剂制备的研究进展[J]. 化工进展, 2013, 32(5): 1014-1019.
- [11] 李文杯, 张庆庚, 胡津仙. 一种甲醇一步法制取烃类产品的工艺: 中国, CN 1923770[P]. 2006-09-15.
- [12] 洛阳市科创石化科技开发有限公司. 一种利用甲醇生产丙烯和高辛烷值汽油的方法: 中国, CN 102351629A[P]. 2012-02-15.
- [13] 麦森能源科技有限公司. 甲醇制汽油的反应系统及甲醇制汽油的方法: 中国, CN 105038838A[P]. 2015-01-11.
- [14] 江苏煤化工工程研究设计院有限公司. 甲醇经混合固定床生产油品及联产丙烯的工艺方法: 中国, CN 102618316A[P]. 2012-08-01.
- [15] 刘康军, 张朝峰, 李瑞丰. 聚甲氧基甲缩醛的最新研究进展[J]. 化工进展, 2013, 32(11): 2593-2630.
- [16] 中国科学院兰州化学物理研究所. 离子液体催化合成聚甲氧基二甲醚的工艺过程: 中国, CN 102249869A[P]. 2011-11-23.
- [17] 北京东方红升新能源应用技术研究院有限公司, 中国石油大学(华东). 一种合成聚甲氧基甲缩醛的方法: 中国, CN 103664550A[P]. 2014-03-26.
- [18] 北京旭阳化工技术研究院有限公司. 制备聚甲氧基二甲醚的系统: 中国, CN 201420208600.2[P]. 2014-09-10.
- [19] 清华大学. 一种由高凝聚甲氧基二甲醚组分 DMM<sub>6+</sub> 和甲缩醛 DMM 制 DMM<sub>3-5</sub> 的方法: 中国, CN 105152882A[P]. 2015-12-16.
- [20] 东营市润成碳材料科技有限公司, 中国石油大学(华东). 一种制备聚甲氧基二甲醚的组合工艺: 中国, CN 103360224A[P]. 2013-10-23.
- [21] 陈庆龄, 杨为民, 滕加伟. 中国石化煤化工技术最新进展[J]. 化工进展, 2013, 34(1): 217-224.
- [22] 曹劲松, 许磊, 刘中民, 等. 甲苯甲醇烷基化制 PX 技术的开发优势[J]. 石油化工技术与经济, 2010, 26(1): 8-10.
- [23] 蹇伟中, 苏倡, 魏飞. 甲醇与 C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub> 非芳共炼生产芳烃技术[A]. 见: 中国化工学会年会论文集[C]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 5-8.
- [24] 徐亚荣, 董志新, 徐新良, 等. 苯与甲醇烷基化反应动力学[J]. 化学反应工程与工艺, 2014, 30(2): 188-192.
- [25] 孔德金, 杨为民. 芳烃生产技术进展[J]. 化工进展, 2011, 30(1): 16-25.
- [26] 刘海军, 李琳, 白殿国, 等. 我国燃料乙醇生产技术现状与发展前景分析[J]. 化工科技, 2012, 20(5): 68-72.
- [27] 丁云杰. 煤制乙醇技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014: 72-83.
- [28] 赵立红, 闫捷, 魏灵朝, 等. 以醋酸为原料合成丙烯酸(酯)的研究进展[J]. 现代化工, 2015, 35(6): 44-49.
- [29] 杨学萍. 国内外丙烯酸及酯生产技术进展及市场分析[J]. 石油化工技术与经济, 2015, 35(5): 24-29.
- [30] 义马煤业集团煤化工高科技工程有限公司. 一种单细胞甲醇蛋白的工业化生产方法: 中国, CN 103060212A[P]. 2013-04-24.
- [31] 薛金召, 王希领, 王先锋, 等. 国内环氧丙烷市场分析[J]. 化工进展, 2015, 34(9): 3500-3506.
- [32] 中国科学院山西煤炭化学研究所. 一种尿素醇解法合成碳酸二甲酯的方法: 中国, CN 1421430[P]. 2003-06-04.
- [33] 田恒水, 李峰, 陆文龙, 等. 发展二氧化碳的绿色高新精细化工产业链促进产业结构优化节能减排[J]. 化工进展, 2010, 29(6): 977-83.
- [34] 亚申科技研发中心(上海)有限公司. 尿素醇解法联产碳酸二甲酯和二甲醚的方法和该方法所采用的催化剂及该催化剂的制备方法: 中国, CN 103623802A[P]. 2014-03-12.
- [35] 宁波浙铁大风化工有限公司. 一种聚碳酸酯生产装置: 中国, CN 204779448U[P]. 2015-11-18. ■