

提高科技创新实力 实现我国炼油工业的持续发展

侯芙生

(中国石油化工集团公司, 北京 100029)

[摘要] 指出21世纪我国炼油工业要持续发展, 国际竞争能力要大力提高, 涉及到的原油资源战略、现代化企业管理、行业体制和机制、企业结构调整、人才机制以及科技创新等多方面问题。并就产品质量、深度加工、油化一体化、信息技术和运输燃料替代技术, 以及如何提高科技创新力度、加强科技开发等技术发展战略, 提出了一些对策和建议。

[关键词] 炼油工业; 科技创新; 持续发展

[中图分类号] TE6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)03-0006-09

1 前言

党的十六大提出, 在本世纪头20年全面建设惠及十几亿人口的更高水平的小康社会, 在优化结构和提高效益的基础上, 使国内生产总值到2020年力争比2000年翻两番, 综合国力和国际竞争力明显提高。

石油产品的消费量与GDP的增长密切相关。最近, 许多专家对20年内成品油的平均增长速度作了预测, 比较可靠的是原国家经贸委在石化工业“十五”计划中的预测, 预计“十五”期间成品油的平均增长速度为4.7%, 后10年为4%。据此测算, 我国2010年成品油的消费量为 1.67×10^8 t, 2020年为 2.43×10^8 t, 折成原油加工量分别为 2.78×10^8 t和 4.05×10^8 t。若加工负荷按90%计, 则2010年和2020年原油加工能力将分别达到 3.1×10^8 t/a和 4.5×10^8 t/a。可以预见, 21世纪前10年, 中国炼油工业仍将以较大幅度增长。

2 严峻的形势

2002年底, 我国原油加工能力达到 2.7×10^8

t/a, 当年加工原油 2.17×10^8 t, 可以满足国内成品油增长的需要。我国在21世纪头20年GDP翻两番, 将给中国炼油工业的发展提供机遇, 但是, 要看到发展中面临的形势是严峻的。

2.1 原油资源短缺

目前, 我国探明的剩余原油可采储量为 23.7×10^8 t^①。据估计, 我国原油产量在若干年内将基本保持在 1.6×10^8 t/a。因此, 今后我国对进口原油的依存愈来愈大, 2002年进口 6.941×10^4 t, 预计2010年和2020年将分别进口 1.2×10^8 t和 2.5×10^8 t。

2.2 产品质量不高

我国成品油汽油中, 催化裂化汽油组分占80%以上, 汽油中硫和烯烃含量高。我国汽油新标准GB17930-1999已于2003年7月1日起在全国实施, 但其中硫的质量分数, $w(S)$ 比欧II标准要高0.03%, 北京市已提出2005年供应符合欧III标准的汽油。

我国成品油柴油中, 二次加工柴油比例约占1/3, 如不经精制, 安定性差, 硫和芳烃含量高, 十六烷值低。采用加氢精制和调合等措施后, 虽可满足柴

[收稿日期] 2003-07-23

[作者简介] 侯芙生(1923-), 男, 江苏无锡市人, 中国工程院院士, 中国石油化工集团公司教授级高级工程师

^① 张抗. 1980年以来我国石油剩余可采储量变化分析. 中石化石油勘探开发研究院研究专报, 2002

油新标准 GB252-2000 规定的 $w(S) < 0.2\%$ 的要求, 但仍普遍高于欧 III 标准的 $w(S) < 0.05\%$ 的指标。

当前, 世界车用燃料的发展趋势是, 为降低汽车排放的要求, 将进入超低硫或无硫时代。与此相比, 我们的质量差距就更大了。

我国润滑油质量普遍较低, 外资公司已占国内高档润滑油市场份额的 60%~70%。

2.3 化工轻油供需矛盾突出

我国乙烯产量增长迅速, 2002 年全国生产能力为 551×10^4 t/a, 生产乙烯 541×10^4 t, 相当于加工 40 t 原油生产 1 t 乙烯。据原国家经贸委预测, 2005 年乙烯当量需求量为 $1\ 380 \times 10^4$ t (低限), 今后将保持较高的增长速度, 2010 年和 2020 年乙烯当量需求量将分别超过 $2\ 500 \times 10^4$ t 和 $3\ 500 \times 10^4$ t。届时若按能满足国内需求的 50% 计, 乙烯产量应分别超过 $1\ 250 \times 10^4$ t 和 $1\ 750 \times 10^4$ t, 分别需化工轻油 $3\ 900 \times 10^4$ t 和 $5\ 460 \times 10^4$ t, 原油加工量和乙烯的生产比例将分别降至 22:1 和 23:1, 炼油工业生产的化工轻油将难以满足乙烯产量增长的需求。

2.4 炼油企业结构不合理

2002 年全世界炼油厂的平均规模为 567×10^4 t/a, 其中在委内瑞拉法尔孔的帕拉瓜纳炼油厂最大, 能力为 $4\ 700 \times 10^4$ t/a。我国炼油厂规模偏小, 据 2002 年统计, 全国有 182 个炼油厂, 全国平均规模仅为 148.4×10^4 t/a, 其中明令关闭的地方小炼油厂共 116 个。炼油厂规模偏小, 不利于资源的优化和综合利用, 加工费用高, 竞争能力低。

2.5 炼油企业环境状况亟待改善

我国炼油企业无论在降低吨油耗水、降低污水排放、实施污水回用方面, 还是在控制大气污染, 如 NO_x 、 SO_x 、PM 的排放等方面, 都需进一步采取措施治理, 改善炼油厂的生态环境。

3 大力开展科技创新

21 世纪我国炼油工业要持续发展, 国际竞争能力要大力提高, 涉及到原油资源战略、现代化企业管理、行业体制和机制整合、企业结构调整、人才机制以及科技创新等多方面问题。下面仅就产品质量、深度加工、油化一体化、信息技术和运输燃料替代技术, 以及如何提高科技创新力度、加强科技开发等技术发展战略, 提出一些对策和建议。

3.1 加快石油产品质量与国际接轨的步伐

我国石油产品质量与国际相比, 差距很大, 对提高我国炼油工业的国际竞争力影响很大, 亟需加强技术创新力度, 加大科技投入, 加快炼油企业技术改造进度, 迅速把油品质量提上去, 近期内达到国外同类油品质量水平。

3.1.1 清洁汽油 我国汽车排放指标采用欧盟标准制定, 因此, 汽油标准基本上也是参考欧盟标准。欧洲汽油规格变化见表 1。

表 1 欧洲汽油规格变化

Table 1 Changing of Europe gasoline code

| 项目 | 1993 年 | 1998 年 | 2000 年 | 2005 年 |
|---|--------|---------|-----------|---------|
| | | | EN-228-99 | (待批) |
| 汽车排放标准 | 欧洲 I 号 | 欧洲 II 号 | 欧洲 III 号 | 欧洲 IV 号 |
| $w(S)/\%, \nearrow$ | 0.1 | 0.05 | 0.015 | 0.005 |
| $\varphi_{\text{苯}}/\%, \nearrow$ | 5 | 5 | 1 | 1 |
| $\varphi_{\text{芳烃}}/\%, \nearrow$ | 无规定 | 无规定 | 42 | 35 |
| $\varphi_{\text{烯烃}}/\%, \nearrow$ | 无规定 | 无规定 | 18 | 18 |
| $w(O)/\%, \nearrow$ | 2.5 | 2.5 | 2.7 | 2.3 |
| $\rho(\text{Pb})/\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}, \nearrow$ | 13 | 13 | 5 | 5 |
| RON/MON \leq | 95/85 | 95/85 | 95/85 | 95/85 |

我国今年实施的新汽油标准, 烯烃、芳烃、苯含量比欧 II 严格, 但硫含量较宽。结合我国实情, 建议我国汽油升级分 3 步走: 第一步, 近期将汽油中 $w(S)$ 从 0.08% 降到 0.05% 以下, 以满足汽车尾气三效催化转化器催化剂长寿命的需要; 第二步, 2010 前普遍实施符合欧 III 的汽油标准, 北京、上海、广州等大城市提前到 2005 年实施; 第三步, 2010 年后实施符合欧 IV 的汽油标准, 北京等城市过渡到使用 $w(S) < 10 \times 10^{-6}$ 的超低硫汽油。

清洁燃料生产是炼油技术创新的重点, 我国这两年加大了开发力度, 取得了丰硕成果。

1) 降烯烃技术重点是降低催化裂化汽油中的烯烃。

a. 总结了一套催化裂化优化操作技术, 包括提高剂油比、维持平衡催化剂活性、提高转化深度、汽油深度稳定等, 可使汽油中的烯烃降低 8%~10%。

b. 采用降烯烃新工艺, 许多工艺思路新颖, 催化裂化装置适当改造就可较大幅度的降低烯烃。

——MGD 工艺, 在中石化多套装置上推广应用, 汽油中 $\varphi_{\text{烯烃}}$ 可降低 5%~8%, LPG 和柴油产

率增加。MGD有较大灵活性,可结合装置负荷、气压机能力以及市场油品需求等情况考虑采用。

——MIP工艺^[1],是最大量生产异构烷烃的催化汽油降烯烃工艺,在思路上有创新,把催化裂化反应分成高低温两个区域,高温有利于把大分子原料裂解为较小分子烯烃,低温及较高的空速则有利于氢转移反应,实现异构化和芳构化反应,从而降低烯烃。在上海高桥石化 140×10^4 t/a重油催化装置上进行工业试验,催化汽油中 $\varphi_{\text{烯烃}}$ 可下降8%~15%。装置的改造也较简单,主要是更换具有2个反应区的提升管和增加待生剂到第二反应区的循环系统。安庆石化重油催化装置采用MIP工艺取得同样明显的效果。

——FDFCC灵活催化裂化工艺^[2],采用双提升管,催化汽油在第二提升管内改质,实现芳构化、异构化等反应,降低汽油中的烯烃。在清江石化厂的工业试验产品中,烯烃的体积百分数可降低20~30, RON可提高1~2个单位,负荷富余的装置,增加一个提升管就可实现。

——石油大学开发的两段提升管催化裂化技术^[3],已在胜华炼厂 10×10^4 t/a装置上进行了工业试验,处理能力可提高20%~30%,轻油收率提高2%~3%,汽油中烯烃降到35%以下。

c. 降烯烃催化剂和助剂。降烯烃催化剂和助剂国内应用较广,现又开发出GOR第二代、LAP第二代、LBO-12、DOCO等产品。

——GOR第二代产品的开发思路是将氢转移活性和裂化活性有效匹配;催化剂具有优良的扩散性,有利于重油裂化,多产柴油;合理调节催化剂酸性分布,减少焦炭和干气生成。它与第一代产品相比,除降烯烃能力相当外($\varphi_{\text{烯烃}}$ 可下降8%~12%)焦炭和干气产率略低,柴油产率增加。

——LAP-2第二代降烯烃助剂的开发思路是促进催化汽油烯烃分子的二次催化转移,进一步增加异构化和氢转移反应,将烯烃转化为芳烃、烷烃及小分子烯烃,减少生焦量,工业试验中添加质量分数为5%的LAP-2助剂,汽油中 $\varphi_{\text{烯烃}}$ 可下降6%。

——LBO-12是按具有适度氢转移反应和加强芳构化、异构化性能的思路开发的,工业应用可降低 $\varphi_{\text{烯烃}}$ 10%,并增加了辛烷值组元,弥补辛烷值损失。采用降烯烃催化剂和助剂是当前一项重要的措施,国内的GOR和LAP第一、第二代产品以

及兰炼的LBO-12等剂,使用后均有一定效果。国外公司开发的如Davison公司的RFG催化剂、Akzo Nobel的Tom Opel 8781等,在我国工业装置上应用也均有降烯烃效果。

以上是通过改进催化工艺的降烯烃技术,同时炼油厂要千方百计挖掘高辛烷值组分,如重整生成油、重芳烃、MTBE、TAME(包含催化轻汽油醚化)、C5/C6异构化油、加氢裂化轻石脑油以及烷基化油等。这些组分除了可提高汽油辛烷值外,还可有效降低成品汽油的烯烃含量。

2) 降低催化汽油中的硫含量。催化汽油中的硫约占原料油中硫的10%,但是许多装置超过这一比例。这可以采取调整操作,如适当切轻等措施,降低硫含量,但降幅有限。国内外主要降硫技术发展很快,主要有:

——脱硫催化剂和助剂,降烯烃催化剂和助剂都具有一定的降硫作用,降幅在15%~20%。目前国内已经开发专用的脱硫助剂,如江阴溶剂厂的TS-01、长岭炼油厂的SRS-1、北京石油化工科学研究所的LGSA、洛阳石化工程公司的LDS-L1等,降硫率一般为15%~20%。国外催化裂化装置普遍采用脱硫催化剂和助剂,据报道Davison公司^[4]开发的D-Prism脱硫添加剂,降硫率为20%~35%,已有25个炼油厂应用;SuRCA脱硫催化剂降硫率20%~35%,在11个炼油厂应用;一种新的SATURN脱硫催化剂,降硫率可高达50%以上,已在3个炼油厂应用。AKZO公司^[5]的Resolve降硫添加剂从650开始到850已开发了5代产品,850的脱硫率可达到40%。因此,我国还要抓紧脱硫率高的新一代催化剂和助剂的开发。

——汽油选择性加氢脱硫技术,国外的Scanfining、Prim-G等催化汽油选择性加氢技术已经工业化。我国RIPP开发的RSDS技术和FRIPP开发的OCT-M技术都属选择性加氢技术,其基本流程都是将催化裂化汽油分为轻重馏分,轻馏分进行脱硫醇,重馏分进行选择性加氢,然后轻重馏分再混合,汽油中 $w(S)$ 可降到 300×10^{-6} 以下, RON值约损失1.5~2个单位。上述两项技术将在上海石化公司和广州石化总厂工业化。

——非选择性加氢脱硫技术,国外OCTGAIN和Isal为非选择性加氢技术。最近报道,位于Mesaieed的卡塔尔炼油厂的 140×10^4 t/a重油催化裂化装置,将140~210℃催化汽油馏分($w(S)$ 为

0.4%~0.7%), 采用 OCTGAIN 技术脱硫, 使 $w(S)$ 降到 1×10^{-6} 以下, 脱硫率达 99.98%, 溴值降低 70%, RON 增加 0~2, C_5^+ 收率 100%, 取得较好效果。

——RIPP 开发的 RIDOS 催化汽油脱硫异构技术, 基本流程和选择性加氢类似, 其不同点是切割的催化汽油重馏分先在第一反应器内进行加氢脱硫饱和, 然后在第二反应器催化剂上进行异构化反应恢复辛烷值。该技术已在燕山石化公司工业化, 催化汽油中 $w(S)$ 可以由 119×10^{-6} 下降到 17×10^{-6} , $\varphi_{\text{烯烃}}$ 从 51.8% 下降到 18.7%, 抗爆指数下降 1.25 个单位, 汽油液收 >85%。

——S-Zorb 临氢吸附脱硫技术^[6], ConocoPhillips 公司开发的 S-Zorb 技术在临氢状态下进行吸附脱硫。第一套以加氢常压渣油为原料的催化汽油的 S-Zorb 工业化 25 号装置, 在该公司德州的 Borger 炼油厂于 2001 年 4 月投产。当脱硫率达 99% 时 (R+M)/2 损失 0.5~0.8, 氢耗为 $8 \sim 10 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。据报道, 第二套和第三套 S-Zorb 装置将在华盛顿州的 Ferndale 和德州的 Sweeny 炼油厂建设, 全馏分催化汽油处理能力分别为 $85 \times 10^4 \text{ t/a}$ 和 $150 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。

——洛阳石化工程公司炼制所开发的 LADS 非临氢吸附脱硫也有一定特点, 在吸附脱硫温度 80°C 、空速 $1 \sim 2.0 \text{ h}^{-1}$ 、剂油比 0.5~2.0 条件下, 可使催化汽油的 $w(S)$ 从 1290×10^{-6} 分别降至 800×10^{-6} , 400×10^{-6} , 200×10^{-6} , 精制油收率达 96%~98%。该工艺条件缓和, 设备简单, 易于工业化。中石化拟在洛阳石化建一套示范装置。

——S-Brane^[7]为 Davison 公司开发的膜分离脱硫技术, 采用催化汽油 LCN 和 ICN 馏分为原料, 当 $w(S)$ 为 500×10^{-6} 时, 在 $65 \sim 120^\circ\text{C}$ 温度下, 通过一种高分子膜, 膜下面用真空抽吸, 约 30% 的汽油穿透薄膜, 其 $w(S)$ 为 1600×10^{-6} , 需进一步处理, 留在膜上的汽油占 70%, 其 $w(S)$ 为 30×10^{-6} , 可直接作成品汽油的调和组分。一套能力为 $4300 \sim 12900 \text{ t/a}$ 的催化汽油膜分离脱硫示范装置, 于 2003 年 1 月在 ConocoPhillips 的贝威炼油厂建成并于 3 月开工。

3.1.2 清洁柴油生产技术 我国柴油汽车排放也是采用欧洲标准, 因此车用柴油主要性能也要求符合欧洲标准, 欧洲车用规格的变化如表 2 所示。

2002 年, 我国已按 GB252-2000 标准生产

$w(S) < 0.2\%$ 的柴油, 2005 年在我国城市中将要实施符合欧洲 II 号的车用柴油标准, 要求 $w(S)$ 不大于 0.05%, 北京等大城市将要求采用符合欧洲 III 号的柴油标准, 至于国外发展趋势主要是超低硫柴油 (ULSD)。

表 2 欧洲车用柴油规格

Table 2 Changing of Europe code for transportation diesel

| 项目 | 1993 年 | 1998 年 | 2000 年 (EN590-99) | 2005 年 待批 |
|---|---------|---------|----------------------|--------------|
| | 欧洲 I 号 | 欧洲 II 号 | 欧洲 III 号 | 欧洲 IV 号 |
| 十六烷值, \leq | 49 | 49 | 51 | 58 |
| 十六烷指数, \leq | 46 | 46 | 46 | |
| $\rho_{20^\circ\text{C}}/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ | 820~860 | 820~860 | 820~845 | 820~825 |
| $\varphi_{\text{多环芳烃}}/\%$, \leq | 无规定 | 无规定 | 11 | 1 |
| $t_{95}/^\circ\text{C}$, \leq | 370 | 370 | 360 | (340) |
| $w(S)/\%$, \leq | 0.2 | 0.05 | 0.035 | 0.005 |

——FRIPP 开发的第二代 MCI 技术, 采用 FC-18 催化剂, 以改性 FMA 氧化铝为载体, 改性分子筛为裂化组分, 以钨镍为加氢组分, 采用新的制备工艺。与第一代双剂相比, 脱氮脱硫活性明显改善, 芳烃相对脱除率提高 15%, 柴油十六烷值提高 2 个单位。在广石化 $60 \times 10^4 \text{ t/a}$ 加氢精制装置上进行了工业试验, 以重油催化柴油为原料, 在氢分压 6.3 MPa、空速 1.0 h^{-1} 、反应温度 360°C 、氢油比 700:1 的条件下, $w(S)$ 从 7000×10^{-6} 降到 5.8×10^{-6} , 十六烷值从 33.9 提高到 44.8, 增幅 10.9 个单位, 密度从 0.8962 g/cm^3 降到 0.8534 g/cm^3 , 降幅 0.0428 g/cm^3 , 柴油收率 96.61%。

——RIPP 开发的 RICH 技术, 采用氧化铝铝匹配分子筛, 使载体提供合适的酸性。镍钨为金属活性组分的 RIC 催化剂, 具有较高芳烃饱和、脱硫脱氮性能。在洛阳石化厂工业装置上试验, 在氢分压 6.0 MPa、空速 1.0 h^{-1} 、反应温度 375°C 、氢油比 840 的条件下, 可使催化柴油的十六烷值提高 10.4 个单位, $w(S)$ 从 6043×10^{-6} 降至 1.9×10^{-6} , 密度降低值 0.0352, 取得较好工业试验结果。

——过氧化氢氧化技术^[8], 是美国 Lyondell 化学公司开发的柴油脱硫新方法。采用叔丁基过氧化氢为氧化剂, 该有机过氧化物和燃料可全溶, 在低于 93°C 温度、 7 kg/cm^2 (0.69 MPa) 压力下,

有机过氧化物可将 4, 6-DMBT 在装有特殊催化剂的固定床反应器内, 氧化成砒。反应很快, 仅需 10 min 反应即可完全。砒可用溶剂抽提或吸附去除, 未反应的过氧化物需分解掉, 在柴油中的副产物叔丁醇可通过 MTBE 或异辛烷法去除, 该法可将 $w(S)$ 为 $(350 \sim 500) \times 10^{-6}$ 的柴油经氧化脱除到 $w(S) < 10 \times 10^{-6}$, 达到 ULSD 的标准。正在建设一套 5 000 ~ 10 000 t/a 的示范装置, 将于 2003 年底或 2004 年初投产。

等温加氢技术^[9] (Isotherming), 根据是滴流床反应器内加氢反应, 主要是含硫化合物和液相中的溶解氢在催化剂上加氢脱硫反应, 为不可逆反应这一事实。等温下有利于化学反应的完成, 所以提出了在滴流床反应器前加 1~2 个等温加氢反应器。原料和氢气混合后, 先通过等温反应器, 反应产物分成 2 部分, 一部分循环返还等温反应器入口, 使其中的溶解氢继续和硫化物在等温状态下反应, 另一部分进入滴流床反应器, 继续加氢。美国 Giant 公司正在新墨西哥州 Gallup 的 Ciniza 炼油厂将一套 15×10^4 t/a 的加氢精制装置, 增加 2 个等温反应器改造成为 19×10^4 t/a 的等温反应加氢装置。原料为直馏馏分: LCO = 60: 40 的柴油, $w(S)$ 为 $2 100 \times 10^{-6}$, 中试结果表明可得到 ULSD 产品, 见下表 3。

表 3 等温床加氢试验结果

Table 3 Results of Isothermal hydrogenation

| 项目 | 等温反应系统 | 滴流床反应系统 |
|------------------------------------|--------|---------|
| LHSV/h ⁻¹ | 4.8 | 3.4 |
| p /MPa | 40 | 40 |
| t /°C | 329 | 329 |
| $w(S)/10^{-6}$ | 进料 | 2 105 |
| | 产品 | 275 |
| $w(N)/10^{-6}$ | 进料 | 186 |
| | 产品 | 25 |
| 氢耗/m ³ ·m ⁻³ | 35 | 10 |

——直馏柴油加氢生产 ULSD 技术, 我国 FRIPP 的 FH 系列和 RIPP 的 RN 系列催化剂, 可以将直馏柴油加氢精制到符合欧 III 标准。Akzo 公司报道用 STARS (超 II 型活性中心) 催化剂, 如 KF-757, KF-848 等在工业装置上可生产硫含量符合欧 III、IV 标准的柴油。我国西太平洋公司 2001 年使用 KF-757, 可将煤油馏分的 $w(S)$ 从

$1 500 \times 10^{-6}$ 降到 81×10^{-6} , 柴油馏分的 $w(S)$ 从 1.55% 降到 0.07%。当前, 城市柴油的发展趋势是 ULSD 或无硫, 北欧一些国家早就使用 $w(S) < 10 \times 10^{-6}$ 的 ULSD 了, 德国拟于 2003 年起采用 ULSD。2005 年前, 预计欧洲将普遍采用 ULSD。最近 Akzo 公司和 Exxon/Mobil 公司共同开发了 Nebula 催化剂^[10], 其活性为 KF-757 的 3 倍, 在 BP 公司一工业装置上实现了用 Nebula-1 催化剂生产 $w(S) < 10 \times 10^{-6}$ 的 ULSD。

除了上述降烯烃、降硫等清洁燃料技术外, 其他高辛烷值组分技术的生产也有很多进展, 如 C5/C6 异构化已在金陵公司和东兴炼油厂工业化, 烷基化采用了选择性加氢和分段进料扩能, 连续重整开发了积炭低的 PS-VI 催化剂等。总之, 近年来, 清洁燃料技术的开发硕果累累, 且技术创新的力度未减, 新思路、新技术不断涌现, 预计还会有新的突破。

3.1.3 提高润滑油质量 润滑油产品升级换代很快, 重点是内燃机油 汽油机油在质量档次上, 美国 2000 年发表了 SL/GF-3 规格, 2004 年将发表 SM/GF-4 新规格。在粘度等级上, 美国 1998 年前以 10W/30、10W/40 和 20W/50 为主, 1998 年引入 5W/30, 到 2000 年比例达到 13.8%, 从 2001 年开始又引入 5W/20 机油, 福特、本田就用作装车机油, 通用也于 2002 年用作装车机油市场上 10W/30、5W/30 并用。5W/20 用 PAO 合成烃或半合成油为基础油, 其优点是: 发动机工况好、超燃油经济性、低排放、低温启动粘度 $\eta_{-25^\circ\text{C}} = 3 500 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 、低温泵送粘度 $\eta_{-35^\circ\text{C}} = 6 000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。虽然应用了 5W/20 的机油, 但预计到 2005 年市场上 10W/30 和 10W/40 机油将并存。

柴油机油, 美国 1991 年发表了 CF-4 规格, 以后又相继发表了 CG-4、CH-4, 近年又发表了 PC-9、PC-10。

我国润滑油市场已开放, 2002 年国内市场消费量估计约为 370×10^4 t, 由于汽车、机械等行业的迅速发展, 将促进润滑油需求量的增长。国内市场的份额目前由石油、石化两国有企业, 外资企业和地方企业三分天下, 外资公司在国内建设的调合厂, 其总能力约为 90×10^4 t/a, 60% ~ 70% 的高档油品市场为外国品牌占领。

根据国内汽车工业的发展, 大多数装车油用 SJ/GF-2, 但风神和天津丰田已采用 SL/GF-3,

预计将会有更多车采用。在粘度等级上, 5W/20机油必然也要发展。柴油机油近期仍将以CC、CD为主, 同时需一部分CF-4机油用于中高当设备。

提高我国内燃机油质量的措施主要有: 发展API II、III基础油和PAO IV类基础油; 发展性能好的添加剂; 加强高档油品配方研究; 与国外公司合作, 加快高档油品的开发。

3.2 继续走深度加工道路, 有效利用原油资源

我国原油资源短缺, 需大量进口原油, 除生产成品油、运输燃料外, 还需生产大量化工轻油, 以满足乙烯增长的需要。从炼油技术政策讲, 原油加工应最大量生产轻质油品, 不生产窑炉用燃料油, 而用煤炭、天然气来代替, 以有效利用原油资源, 少进口原油。因此走原油深度加工的道路是一项长期的战略方针。

3.2.1 充分发挥催化裂化的骨干作用 截止2001年底, 我国催化裂化总能力已达到 1.0096×10^8 t/a, 上了亿吨/年的台阶, 仅次于美国(2.8×10^8 t/a) 位居世界第二位。其中, 中石化 4960×10^4 t/a、中石油 4435×10^4 t/a。我国催化裂化装置大都掺炼渣油, 属重油催化裂化。2001年, 中石化、中石油两大公司的催化裂化装置共加工原料 7520×10^4 t, 合计共掺炼减压渣油 2719×10^4 t (包括常压渣油折成减压渣油), 占原料总量的36.2%, 掺炼量比当年全国焦化处理 1976×10^4 t减压渣油的总量还多了 743×10^4 t。因此, 几年来, 催化裂化始终是我国炼油工业中加工渣油第一位的深度加工装置, 是提高轻油收率最为重要的手段。

据报道, 2002年全世界催化裂化总能力约为 6.9×10^8 t/a, 其中重油催化裂化能力约占25%, 即 1.7×10^8 t/a左右。重油催化裂化将是今后发展的重要方向。我国重油催化裂化目前走在世界前列, 在炼油工业中占有重要的地位, 我国重油催化裂化将为世界重油催化裂化的发展做出贡献。

我国催化裂化装置掺渣比越来越高, 原料可归纳为一重四高, 即原料馏分重, 残炭高、重金属含量高、硫含量高、芳烃含量高。经常发生装置严重结焦, 结焦部位从提升管、沉降器顶部、旋分器、油气大管线一直到分馏塔底和油浆换热系统, 造成旋风分离器内焦块脱落, 堵塞料腿; 沉降器顶部焦块脱落, 堵塞待生催化剂汽提和输送系统; 提升管内壁结焦, 影响加工负荷和分馏塔结焦等, 影响装置的长周期运转。因此要求重油催化裂化的操作要

更加优化。通过多年来的实践, 在防止重油催化结焦方面, 我国已总结出了一套有效的技术经验。

1) 改用高效雾化喷嘴, 增加雾化蒸汽量(>5%), 使油滴平均粒径与催化剂平均粒径相当($40 \sim 60 \mu\text{m}$); 提高提升管底部剂油混合温度, 使重质油在高温催化剂接触下充分蒸发, 并配合在提升管下游部位打入中止剂的技术, 以控制过度裂化; 适当提高原料预热温度, 控制粘度小于 $5 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

2) 加强沉降器顶部及转油线的保温, 减少热损失, 防止裂化重组分在低温死区冷凝结焦。

3) 提升管出口采用封闭式的快分装置, 尽量缩短油气在沉降器顶的停留时间, 防止顶部结焦。UOP的VSS(用于内提升管)、VDS(用于外提升管)已用在国内催化裂化装置上。我国开发的旋流快分装置(VQS), 已在燕山、九江、金陵、兰炼等装置上应用, 效果很好。九江炼油厂重油催化原料为管输油, 容易结焦, 采用VQS快分装置后, 掺渣比从15%~20%提高到30%~35%, 轻油加液化气的产率达80%, 连续运转19个月, 沉降器顶部未见明显结焦。

4) 控制油气管线内物料流速在 $35 \sim 45 \text{ m/s}$, 分馏塔底温度不超过 $350 \sim 360^\circ\text{C}$ 等。

3.2.2 发展渣油加氢/重油催化(RHT/RFCC)组合工艺 茂名、齐鲁和西太平洋公司已采用RHT/RFCC组合工艺。我国进口中东含硫原油日益增多, 上述3个炼油企业的实践经验表明, 这是一条最大量生产轻质油品的渣油加工路线。在渣油催化剂和工程技术上我国都已有了成功的经验。通过实践证明, 这一技术路线的特点有:

1) 渣油加氢可以处理高硫、高残炭、高金属含量的中东渣油。

2) 加氢常渣和加氢减渣可满足RFCC进料的要求, 能维持催化剂的活性, 减少生焦, 降低再生器的负荷。

3) HT/RFCC组合工艺, 其轻油+LPG的收率比焦化/FCC约高出20%, 原油利用率最高。

4) 加氢渣油作为RFCC的原料有利于降低催化汽油的硫含量、烯烃含量和提高辛烷值。

5) 加氢渣油的硫氮杂质低, 可减少烟气排放中 SO_x 、 NO_x 的污染。

6) 组合工艺虽然投资略高, 但可为炼油厂带来巨大的经济效益。

建议国家把RHT/RFCC组合工艺作为加工中

东高含硫原油的一条重要炼油技术政策。

3.2.3 适当发展延迟焦化 世界延迟焦化技术发展很快,加热炉采用双面辐射和在线清焦,焦炭塔直径超过9 m,卸盖、阀门切换实现自动化,采用降压操作及改善安全和环境等一套技术,实现了装置大型化。如焦化专利商 ConocoPhillips 公司^[11]为加拿大 Suncor 设计了 500×10^4 t/a 和 600×10^4 t/a 的大型焦化装置, Lummas 公司则设计了最大 900×10^4 t/a 的装置。我国设计部门采用了新技术,用1炉2塔就可实现 150×10^4 t/a 延迟焦化装置,设备简单,能力大,投资省,近年建了多套焦化装置。到2002年止,全国焦化装置总能力已达到 $2\,525 \times 10^4$ t/a,还有多套装置正在建设,对提高加工深度起到了重要的作用。但是从原油资源利用角度分析,焦化生产25%~30%的焦炭,除少数做电极和阳极糊外,大部分用作燃料。在煤炭资源丰富的我国,是可以用来代替的。我国缺少原油资源,炼油的技术政策应该是最大量生产其他能源难以取代的液体运输燃料。因此建议国家从资源发展战略考虑,适当控制延迟焦化发展。

渣油深度加工方法是多样化的,其他组合工艺,如渣油脱沥青/沥青气化制合成气,渣油或焦炭气化/IGCC等,可根据具体情况,作为一种渣油化工途径,适当建设示范装置,掌握技术。

3.3 油化一体化多产化工原料技术

21世纪初,石油化工的增长将超过石油产品的增长,炼油厂生产的石脑油除提供作化工原料外,也是催化重整的原料,用以生产高辛烷值汽油组分和提供芳烃,而且石脑油也是喷气燃料的重要组成部分。因此,单靠炼油厂的直馏石脑油,无法满足化工轻油的要求。根据国情,炼油厂势必走油化一体化,提供多样的化工原料,满足石油化工发展的需要。我国在炼油和石油化工的发展道路上存在密切相互依存的关系,总的讲,石油化工的发展促进了炼油工业的发展。增加化工原料需要综合考虑,例如进口石脑油含量高的轻质原油、轻烃和凝析油,石脑油直接作乙烯裂解原料,发挥 DCC, ARGG 等催化裂化家族技术多产丙烯以及在 HCC 和 CPP 工业试验的基础上完善工艺,用重油原料生产乙烯等方法。但是就当前看,加氢裂化(高压或中压)是炼油厂最重要的油化一体化技术。

加氢裂化的特点是,可生产异构烃含量高的轻石脑油,作为高辛烷值汽油组分;可生产芳潜含量

高的重石脑油,作为催化重整原料,生产高辛烷值组分或 BTX 芳烃;可最大量生产喷气燃料和柴油等中间馏分油,柴油质量可达到 ULSD 标准;一次通过操作,可最大量生产尾油, BMCI 值低,可作乙烯优质裂解原料。据此,加氢裂化是炼油、化工、化纤企业不可缺少的技术,是把油、化、纤有机结合起来的桥梁技术。

3.3.1 灵活加氢裂化 FRIPP 去年推出2种新催化剂,精制催化剂 FF-16,属第三代 VGO 加氢脱氮催化剂,反应活性比 3996 低 4°C ;裂化催化剂 FC-12,以 FSY 分子筛为活性组分, W-Ni 为加氢组分,具有很大灵活性。这两种催化剂配合,可以通过反应温度的调节,使主产品重石脑油的产率控制在 22.4%~32.4%, $>350^\circ\text{C}$ 尾油的产率控制在 42.1%~24.6% 范围内,可结合生产需要调整,体现了很大的灵活性,已在上海石化 150×10^4 t/a 加氢裂化装置上实现了工业化。

3.3.2 RMC 中压加氢裂化 RIPP 的 RMC 中压加氢裂化技术已在燕山石化 130×10^4 t/a 装置上工业化。采用 RN/RT 系列催化剂,干点 $\geq 540^\circ\text{C}$ 的大庆 VGO 为原料,在氢分压 8.0 MPa、总空速 1.1 h^{-1} 条件下,可获得质量产率为 18% 的喷气燃料、66% 的优质乙烯裂解料 (BMCI 值 ≤ 10) 和 13% 的中石脑油。也可按柴油/尾油方案操作,操作灵活性较大。上海石化的一套 RMC 加氢裂化也已投入生产,还有几套正在建设或规划中。

3.3.3 单段加氢裂化 单段加氢裂化在国外也是发展较快的一种工艺, Chevron, UOP 公司都占一定比例。国内 FRIPP 开发的 ZHC 系列单段加氢裂化催化剂已实现了工业化, ZHC 系列催化剂采用共胶法生产,制备工艺较复杂,活性低,需用较高反应温度。最近该院推出了新一代的单段加氢裂化催化剂 FC-14,用浸渍法制备,活性明显提高,中间馏分油收率达到 78.83%,已确定在金陵石化建设一套 150×10^4 t/a 的工业化装置。

3.4 加强信息技术的推广应用

以信息技术为代表的新技术革命在全球掀起了一场伟大的变革,促进了经济和社会的快速发展。信息技术已成为推动全球经济发展、社会进步的主导力量,也是企业向数字化时代跨越的重要途径。

3.4.1 加强信息化基础设施建设 计算机硬件、操作系统、网络、数据通信和数据库等技术的发展日新月异。信息技术可以帮助人们完成越来越多的

工作，对于大型石油和石化集团公司来讲，各级领导通过掌握各种相关的信息，可以尽快地作出正确的决策；业务人员利用所掌握的信息可以更有效地从事生产、科研、销售、管理等工作；各部门通过掌握的信息，可以更好地发挥职能；公司总部运用各种信息资源，可以及时有效地制定与调整战略部署，提高综合竞争力，在激烈的市场竞争中占据有利的地位。信息技术是企业生存与发展的重要因素和前提，而信息技术的广泛应用，只有通过信息基础设施建设才能得以实现，因此，信息基础设施建设是当前最重要的基础投入和基本建设。

3.4.2 提高信息技术的实用性 在信息化建设方面，石油和石化集团公司，在信息基础设施上已具备一定的规模，如石化集团的分、子公司内部已基本实现网络化，并通过公用电信网和专用卫星网与总部实现了广域网互联，并且接入了因特网；主要经营业务，如生产经营计划、统计、财务、销售、物资采购等，已实现了计算机处理，为严格生产管理和经营决策提供了强有力的支撑。财务管理信息系统已按照国际会计准则及中国会计准则，形成了统一的财会制度，统一了综合财务报表，满足上市公司财会运作和对外披露信息的需要；石油产品销售系网络覆盖了系统内 19 个省区、200 多个地市及 1300 多个县，建成了县、地、省级石油公司与公司总部的四级互联广域网、分布式数据库、地理信息系统与分析系统，实现了各级石油公司将每日经营活动中的进、销、存、价信息逐级上报，满足了对成品油、销售市场的管理要求；物资采购和石化产品销售电子商务系统成交额巨大，取得了良好效益。通过企业资源计划系统（ERP）的全面实施，将会开创信息化建设的新局面。

3.4.3 加强信息技术在基层企业的应用

1) 现代炼油企业实现计算机网络化、使用 DCS 和先进控制等数字化技术。数字化信息技术最容易和炼油厂的实际结合，而且效果显著。

2) 信息管理和过程控制相结合，即管控一体化是现代炼油企业信息技术的主要发展方向。把从原料到产品连续加工的复杂物流过程中产生的大量数据和信息，通过计算机进行控制和集成管理，实现炼油系统的现代化。

3) 计算机技术和通信技术相结合，形成网络，其威力无穷。信息传输量大，传输范围广，传输速度快，并可以得到广泛的共享。

4) 计算机技术与控制技术相结合，可极大地改变传统的生产组织形式，最大限度地提高生产率，优化生产，达到降低原材料消耗、能量消耗和成本的目的。用 DCS 和数字仪表取代传统的常规仪表，是计算机技术和控制在炼油企业相结合的最成功的例子。现在又发展了先进控制技术、流程模拟技术、离线优化技术和在线实时优化控制技术，实现了生产过程的最优化。今后，还应进一步提高过程控制系统的先进性和实用性，催化裂化等骨干装置都要采用先进控制，流程模拟软件和在线实时优化控制策略。总之，信息化技术是实现企业降本增效、提高企业的综合竞争力的有力手段。

3.4.4 信息技术人才 信息技术的应用需要大批复合型的高科技人才，包括计算机技术、人工智能技术、最优化技术、先进控制技术、生产自动化技术、传感技术、网络通信技术、化学工程技术等各种人才。因此，要积极地培养人才、发现人才，更重要的是用好现有的人才。

3.4.5 积极引进和消化国外先进的信息技术 引进与自主开发相结合。要形成具有自主知识产权的、先进的软件产品，要实现软件产品的商品化，以便进行推广与普及。

3.5 运输用替代燃料发展的展望

世界常规原油探明剩余可采储量一直保持在 $1\ 400 \times 10^8$ t 左右，预计 21 世纪中叶，运输燃料仍以石油为主。我国资源战略一方面加强国内陆上和海洋的勘探，增加可采储量，同时要加快建立石油战略储备；另一方面要通过多种途径分享全球石油资源，加强国外石油勘探开发力度，与产油国签订长期供货合同等。虽然我国在 21 世纪初，预测运输燃料也将以石油为主，但替代燃料的技术也应提到日程上来。通过研究开发，建立替代燃料的示范装置，掌握技术，作为战略储备，同时生产一定量的产品进行应用试验。

3.5.1 天然气 我国天然气正进入发展时期，天然气总资源量^①为 50.6×10^{12} m³，2001 年已探明剩余可采储量^② 1.35×10^{12} m³，2002 年天然气实际产量 326×10^8 m³。据专家估计，2005 年产量有望达到 500×10^8 m³ 左右，2010 年接近 $1\ 000 \times 10^8$ m³

① 魏永佩，陈会鑫 世界天然气资源和市场分析，中石化石油勘探开发研究院研究专报，2002

② 魏永佩，中石化在“西气东输工程”中的对策分析，中石化石油勘探开发研究院研究专报，2002

左右^[12]。

近期天然气的主要利用方向是工业和民用燃料,可将窑炉用燃料油顶出来。用天然气生产合成油的F-T技术,南非Sasol和Shell等公司技术已较成熟,建有工业化装置。但天然气消耗量很大,一套年产 250×10^4 t的F-T合成油厂,需用天然气约 42×10^8 m³。又如天然气合成甲醇,再由甲醇合成汽油的MTG技术,一套年产 50×10^4 t汽油的装置,也需天然气约 15.5×10^8 m³。所以当天然气产量在达到千亿立方米前,主要是通过探索研究掌握技术,在适当时候建立示范装置,取得经验。

我国目前使用天然气和LPG作为车用燃料的汽车约有11万辆,主要是公交车和出租汽车,由于行驶里程和加气站的限制,虽在大城市尚有发展空间,但大面积推广尚不现实。

3.5.2 煤炭

1) 煤合成油 我国煤炭资源丰富,煤炭液化生产石油产品技术列为国家高技术工程,神华集团拟建设 500×10^4 t/a的煤液化示范装置,分二期建设,一期 250×10^4 t,用煤 602.8×10^4 t,投资162.99亿元,将于2005年建成。煤液化工程投资大,虽然我国资源丰富,但大规模产业化尚待时日。用煤为原料的F-T合成燃料的研究我国也已进行多年,2000 t/a的示范厂正在做试验。

2) 甲醇汽油 美国M85汽油应用较早,但迄今只有2万余辆汽车使用,甲醇汽油对金属的腐蚀,虽开发了多种腐蚀抑止剂,但存在严重问题。汽油中加入少量甲醇,可增加含氧量,降低汽车CO和HC的排放,但有毒醛类的排放却增加了3~4倍,还有对橡胶胀溶性大等问题,所以甲醇汽油的推广有一定难度。

3.5.3 生物燃料

1) 乙醇汽油 我国乙醇用粮食发酵制取,属生物产品。含10%乙醇的乙醇汽油,已在河南等地试用,取得了一定的试验成果。吉林、河南、安徽等省正在建设用玉米发酵,规模为 $30 \times 10^4 \sim 60 \times 10^4$ t/a的乙醇厂。如全国年产百万吨粮食乙醇,就可调合 1000×10^4 t乙醇汽油。乙醇含氧35%,调合RON为117.5,可替代MTBE作为汽油高辛烷值组分和含氧添加剂。乙醇汽油的发展前景,主要取决于农业生产。

2) 生物柴油 生物柴油用植物油和低碳醇(甲醇、乙醇)进行酯交换,形成植物油酯类化合

物,如菜籽油甲酯,其性能与柴油接近,十六烷值52。发展生物柴油取决于油料作物生产和野生油料植物的规模,种、收和集中等环节都需妥善解决。

3.5.4 燃料电池 燃料电池的发展,引人注目。燃料电池由氢转化为能源,排放的尾气属无害的水蒸汽,没有污染,而且燃烧效率高,是理想的车用能源。目前甲醇燃料电池最为成熟,已达到实用阶段,即将进入市场,预计2020年前会有一定发展。鉴于我国煤炭资源丰富,可以用煤炭为原料建设规模化的甲醇装置,发展以燃料电池为动力的电动汽车。

总之,我国炼油工业,虽然面临非常严峻的形势,但已具有相当的实力。通过健全炼油行业的技术创新体系,制定提高技术创新的发展战略,加强基础性探索性研究,鼓励跨越式创新技术的开发,一定会涌现出一批炼油新工艺、新技术,把我国炼油工业的技术推向到世界先进水平。

参考文献

- [1] 中石化RIPP,高桥分公司. LPEC多产异构烷烃的催化裂化工艺(MIP)及其工业应用[A]. 催化裂化协作组第九届年会论文集[C]. 广州,2002. 71~85
- [2] 汤海涛,王龙延,王国良. 灵活多效催化裂化工艺技术的开发应用[A]. 催化裂化协作组第九届年会论文集[C]. 广州,2002. 44~47
- [3] 石油大学(华东)化工学院. 胜华炼油厂两段提升管催化裂化技术[A]. 催化裂化协作组第九届年会论文集[C]. 广州,2002. 115~120
- [4] Krisnaiah G, Balko J. Reduce ultra-low sulfur gasoline complain costs with Davison clean fuels technologies [A]. NPRA [C]. San Antonio,2003. AM-03-121
- [5] Hupries C A, Kuehler C W. Meeting clean fuels objectives with the FCC [A]. NPRA [C]. San Antonio, 2003. AM-03-57
- [6] Tucker C A, Sughvue E, Laan J V. Production of ultra-low sulfur fuels: today and tomorrow [A]. NPRA [C]. San Antonio, 2003. AM-03-48
- [7] Krisnaiah G, Balko J. Reduce ultra-low sulfur gasoline complain costs with Davison clean fuels technologies [A]. NPRA [C]. San Antonio, 2003. AM-03-121
- [8] Liotta F J, Han Y. Production of ultra-low sulfur fuels by selective hydroperoxide oxidation [A]. NPRA [C]. San Antonio, 2003. AM-03-23

(cont. on p.18)

学的奥林匹克”。可由我国牵头组织，吸引国内外投资，甚至也可委托 ICDP（国际大陆科学钻探计划组织，设在德国波斯丹）来组织。我国目前在江苏施工的 CCSD 大陆科学钻探工程，就是该组织在

选址、部份设备、管材等方面支持下进行的。

作为一名在地质部门工作了近 56 年的普通探矿工作者，愿在耄耋之年再为党和祖国奉献些许拙见，是笔者魂萦梦牵的思想，供地学界同志参考。

Suggestions on the Development of Four Major Geoscience project

Liu Guangzhi

(Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

[Abstract] The paper suggests that the geoscience and the geological prospecting circles in China should carried out research and development on four major geoscience project: Participating the Integrated Ocean Drilling Program (IODP) which is initiated by Japan; Developing deep sea mineral resources (mainly nodules) within the scope of the exclusive economic zone of China in the northwest pacific; Formulating technical policy for exploiting natural gas hydrate and carrying out research on the related technology and equipment; Accelerating the exploration of deep geoscience earth conducting super-deep continental scientific drilling on the Qinghai-Tibet plateau.

[Key words] integrated ocean drilling; deep-sea nodules; natural gas hydrate; geoscience of deep earth; Qinghai-Tibet plateau

(cont. from p. 14)

[9] Key R D, Ackerson M D, Steven M. Byars Isotherming—A new technology for ultra low sulfur fuels [A]. NPRA [C]. San Antonio, 2003. AM-03-11.

[10] Brewood E. Veba and BP are prepared for 10 ppm

sulfur diesel production [J]. Catalysts Courier, AkzoNobel, march 2003

[11] Heniford R R., Doerksen B J, Michelle I. Wohlgenant Coke is good, but less is better [A]. NPRA [C]. San Antonio, 2003. AM-03-90

[12] 戴金星, 夏新宇, 卫延召. 中国天然气资源及前景分析 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22 (1)

Enhance Technical Innovation to Realize Sustainable Development of China's Refining Industry

Hou Fusheng

(SINOPEC, Beijing 100029, China)

[Abstract] This paper points out that China's refining industry needs to energetically improve its international competitiveness to realize the continuous development in the new century. It involves many aspects such as crude resource strategy, modern management of enterprises, industry system and mechanism, enterprise structural regulation, human resource mechanism and technical innovation. This paper brings forward some suggestions and countermeasures on product quality, deep upgrading, refining-chemical integration, IT and fuels substitute technology, as well as the development strategy on how to improve technical innovation and to strengthen technology development.

[Key words] refining industry; technical innovation; continuous development