世界原油质量趋势及我国面临的挑战

钱伯章, 朱建芳

(上海擎督信息科技公司金秋石化科技传播工作室, 上海 200127)

摘 要: 评述了世界原油质量趋势、我国重质油现状以及我国加工含硫原油的现状和前景。

关键词: 原油; 质量; 趋势; 现状; 世界; 中国

文章编号: 1006-5093(2006)04-0061-05 文献标识码: A

1 世界原油质量趋势

原油按含硫量分类为: 硫含量低于 0.5%为低硫原油, 硫含量高于 0.5%而低于 2.0%为含硫原油, 硫含量在 2%以上为高硫原油。目前, 世界上低硫原油仅占 17%, 含硫原油占 30.8%, 高硫原油比例高达 58%, 并且这种趋势还将进一步增大。

1.1 世界劣质原油所占比重将上升

世界原油质量将继续趋于含硫化、重质化, 据美国《世界炼油》杂志预测, 世界原油平均 API° 重度将由 2000 年 32.5 减小到 2010 年 32.4, 2015 年 32.3, 平均含硫量将由 2000 年 1.14%增大到 2010 年 1.19%, 2015 年 1.25%; 西半球原油平均 API° 重度相应从 28.1 减小到 27.6, 27.3, 平均含硫量由 1.33%增大到 1.42%, 1.43%; 东半球原油平均 API° 重度相应由 34.0 减小到 34.0, 33.8, 平均含硫量由 1.08%增大到 1.12%、1.19%。见表 1。美国原油重度在前 10 年内下降了 1API°, 含硫量上升了约 0.27%。此期间内, 美国焦化能力增加了近2 750

化汽油调合时的数学模型, 即方程(6)和(7), 前者应用于重催汽油在混合汽油中所占的比例为 30% ~ 70%的条件, 后者应用于重催汽油在混合汽油中所占的比例低于 30%或大于 70%时的条件。通过对该模型的检验, 表明它与现在的调合手段相比, 可以至少节约 0.55 个单位的辛烷值, 在每天调合 500 t 汽油的情况下, 每年可因为节约抗爆剂的加入量而产生 297 万元的效益。

在些基础上, 采用线性规划, 成功地建立了重催汽油和芳构化汽油的最优化调合数学模型, 并用枚举法和计算机编程来求解。通过求解, 发现在采用不同的调合方案下, 每天得到的最大总净产值和最小总净产值之间的差高达 18.35 万元, 的确体现了该模型的优化效果。

8.2 模型的局限性

该模型只适用于重催汽油和辛烷值高于 87 以上的芳构化汽油的调合, 而对 87 以下的芳构化汽油应用该模型调合时, 误差特别大, 需要建立新的最优化调合模型。

另外, 在线性规划中, 只考虑生产过程的效益最大化, 而没有顾及用户对炼油厂的满意度, 所以, 最优化调合数学模型中, 应当增加市场对 90 #汽油和 93 #汽油的最小需求量这两个约束条件, 即将用户对炼油厂的不满意度, 控制在炼油厂所能接受的范围内必须调合的最小的 90 #汽油和 93 #汽油的产量。

参考文献:

[1] 沈继红, 施久玉, 高振滨, 等. 数学建模[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1996. 1-9.

[2] 卢名高, 金海林. 实用工程数学[M]. 北京: 石油大学出版社, 1990. 190-304.

收稿日期: 2005-07-26

作者简介: 钱伯章(1939-), 男, 江苏南通人, 教授级高工, 主要从事石油化工技术和经济信息调研和传播工作。电话: (021)58700767。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$\times 10^4$ t/a。美国、墨西哥和南美的重质原油比例还将进一步增大。传统的北非轻质低硫原油生产快速下降，其他的重要轻质低硫原油生产来自北海和中国，但产量有限。亚洲低比重(高重度)、低硫原油生产将进一步减少。波斯湾地区可向世界供应大量原油，但该地区生产的原油也在变重、含硫量也在增高。高硫和低硫原油的价差已由 20 世纪 70 年代中期 4 美元/桶减小到现在的市场价差 1 美元/桶[1]。

表 1 世界原油质量趋势

	2000 年		2010 年		2015 年	
	API°	硫/(%)	API°	硫/(%)	API°	硫/(%)
西半球	28.10	1.33	27.60	1.42	27.30	1.43
东半球	34.00	1.08	34.00	1.12	33.80	1.19
世界平均	32.50	1.14	32.40	1.19	32.30	1.25

据美国《油气杂志》分析估计，全球重质烃类资源超过 6 万亿桶。据国际能源机构分析，世界油页岩资源量超过 3.5 亿桶。潜在的油页岩储量为 1 600亿桶，美国、前苏联、中国、巴西、加拿大均有储量。世界沥青资源超过 3 万亿桶，加拿大为 2.5 万亿桶，主要在阿尔伯达地区[1]。

世界重质原油的生产量已由 1990 年 524.4 万桶/d 增加到 2000 年 730.6 万桶/d，其中，加拿大由 44.9 万桶/d 增加到 83.9 万桶/d，拉丁美洲由242.5 万桶/d 增加到 379.9 万桶/d，中东由 166.2 万桶/d 增加到 198.3 万桶/d，仅美国加利福尼亚地区由 70.8 万桶/d 减小到 68.5 万桶/d，见表 2。据《油气杂志》统计分析，2004 年和 2005 年世界原油生产量年增长率分别为 1.5%，而重质原油生产量年增长率分别为 6%和 3%。世界超重质原油产量及其预测见表 3[2]。

表 2 世界重质原油生产量 万桶/d

	1990 年	2000 年	1990～2000 年增加
美国加州	70.8	68.5	－2.3
加拿大	44.9	83.9	39.0
拉丁美洲	242.5	379.9	137.4
中东	166.2	198.3	32.1
合计	524.4	730.6	206.2

表 3 世界超重质原油产量及其预测 万桶/d

1990 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2005 年	2010 年
34	40	43	55	61	68	73	88	105

注：数据来源：《油气杂志》，2003 年 7 月 28 日，22～24。

据加拿大国家能源部(NEB)统计，阿尔伯达省的油砂最终含有沥青资源超过 2.5 万亿桶，其确认储量为 1 780 亿桶，其中，已累计生产约 30 亿桶。加拿大重质原油和沥青生产量已由 20 世纪 90 年代初 44.9 万桶/d 增加到 20 世纪末 83.9 万桶/d，此期间增量达到 39 万桶/d。加拿大超重质原油和合成原油产量和预测见表 4。拉丁美洲重质原油生产量相应由 242.5 万桶/d 增加到 379.9 万桶/d，增量达 137.4 万桶/d。委内瑞拉也含有大量重质和超重质原油资源，委内瑞拉超重质原油和合成原油产量和预测见表 5。

表 4 加拿大超重质原油和合成原油产量与预测

万桶/d

	1990 年	1995 年	1997 年	2000 年	2005 年	2010 年
超重质原油	14	15	18	23	32	42
合成原油	23	26	30	35	62	78

表 5 委内瑞拉超重质原油和合成原油产量与预测

万桶/d

	1990 年	1995 年	1997 年	2000 年	2005 年	2010 年
超重质原油	2	5	12	20	47	54
合成原油				17	80	90

加拿大沥青资源可与委内瑞拉重质和超重质原油相比拟，原油管线与美国相连，加拿大重质原油和沥青生产量占拉丁美洲生产量 22%。2000 年起，阿尔伯达沥青生产稳步上升，现已超过 33 万桶/d。截至 2003 年，加拿大重质原油和沥青生产已达 104 万桶/d，其重质原油和沥青约 80%出口到美国的主要炼制中心：芝加哥/怀亭、密尼帕利斯/圣特帕尔、毕林斯、托伦多和伍德阿。到 2010 年，加拿大油砂行业预计可生产加拿大石油的 50%以上，最大的油砂生产商加拿大合成原油公司到 2005 年将增产 40%，使生产量达到 36.8 万桶/d，合成原油生产费用已由 2000 年 17.2 美元/桶，2001 年 18.47 美元/桶减小到 2002 年 16.5～17.5 美元/桶。

表 6 列出世界典型原油的渣油含量，2003 年渣油价格约 45 美元/t，而馏分油为 225 美元/t。渣油高效转化加工已成为炼油工业的重要命题。据《油

表 6 2003 年世界典型原油价格及其渣油含量

原油	价格/(美元/桶)	价格/美元·t^{-1}	API°	渣油含量/(%)
Forcados	31.34	204.23	30.0	8.1
布伦特	30.99	213.21	39.0	13.0
阿拉伯轻质	28.13	187.86	34.0	19.0
Oriente	28.24	185.86	31.6	20.6
玛亚	24.84	153.96	22.1	39.6

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

气杂志》2004 年 10 月 4 日报道预测，世界重质原油产量将增加到 2005 年 810 万桶/d，2015 年 1 180 万桶/d，2005 年 1 750 万桶/d。如尚不考虑其他重油加工工艺的增量，焦化能力将相应增加到 430 万桶/d，610 万桶/d，860 万桶/d，见表 7。

表 7　世界重质原油产量和焦化能力预测　　万桶/d

年份	重质原油产量	焦化能力
2005	810	430
2010	980	510
2015	1 180	610
2020	1 440	720
2025	1 750	860

1.2　我国重质油现状

我国也拥有重质油（即稠油）资源，稠油具有比重大（0.9 以上）、黏度高（50 ℃时达到 1 700MPa·s）、轻馏分低（一般只有 4%左右）、含蜡量少（低于 5%）和凝固点不高（5～22 ℃）等特点。我国对稠油油藏的研究、开发和加工已日趋成熟，并形成相当大的开采规模。目前，我国各大油田针对其自身的特点，通过引进、消化、吸收和技术创新，形成了各具特色的开采技术，取得了新的进展和突破。胜利油田、辽河油田、大港油田、新疆油田均有稠油油藏。辽河油田是我国最大的稠油生产基地，2004 年共生产稠油 775.9×10^4 t，占油田总产量 60%以上。我国稠油加工已取得了一定经验，如克拉玛依石化公司稠油集中加工工程于 2004 年 12 月底投产，使该公司原油加工能力跃上 500×10^4 t/a 的新台阶。该工程的投产，使新疆北疆地区重质稠油全部实现就地加工。该分司配套建设 150×10^4 t/a 延迟焦化和 90×10^4t/a 汽油、柴油加氢装置，以三高（高酸值、高黏度、高密度）三低（低含蜡、低含硫、低凝点）、难采、难输、难炼的稠油为原料生产了变压器油、橡胶油、冷冻机油、沥青等特色产品。

我国已探明和预测油页岩总储量为 4 831.7×10^8 t，居世界第 4 位。按含油率 6%折算，页岩油的地质储量达 289.9×10^8 t。若按每 33～35 t 油页岩生产 1 t 页岩油折算，可生产 142×10^8 t 页岩油，接近我国到目前为止累计探明天然气石油储量总和。以抚顺为例，抚顺市已探明地质储量 35×10^8 t，仅东部露天矿可采储量就达 4.3×10^8 t，平均含油率 7.01%，按年开采 650×10^8 t 计算，可以维持生产 65 a 以上。我国油页岩开采已具有丰富的经验和成熟的技术，新兴的用页岩尾矿和废渣生产水泥、烧砖等产业更是蒸蒸日上。抚顺矿业集团页岩炼油厂已被国家发改委列为全国唯一的油母页岩综合利用示范基地。

在新一轮全国油气资源调查评价中，吉林省的油页岩资源探明储量居全国首位，约占全国总量的一半以上。吉林省已探明油页岩储量的 174×10^8t 预测资源总量接近 3 000×10^8t。已探明约占全国油页岩探明总量的 55.5%，其含油率最高可达 21%～22%，平均为 5%～6%，按平均含油率 5%计算，可开采石油 8.7×10^8 t。吉林省油页岩资源有以下四大特点：一是已探明的储量贫矿多富矿少，约 169×10^8 t，含油率在 5.1%～5.95%之间；二是储量相对集中，主要在农安县和前郭县两地，保有储量约为 169×10^8 t，占全省总量的 97%以上；三是适合露天开采的矿床少，大部分位于基本农田保护区之内；四是油页岩造岩矿物的灰分是烧制陶粒的理想材料。吉林省将应用壳牌公司技术开发当地油页岩，壳牌公司拥有目前世界上最先进的地下转化工艺技术（ICP），这种技术不需破土开矿，非常适合吉林省油页岩大部分埋藏于平原耕地之下的特点和生态省建设的要求。地下转化工艺技术是壳牌公司投入巨资研发出的一项最先进的开采油页岩及其他非常规资源的专利技术，它通过地下加温，使油页岩在地下进行裂解，再通过相关通道将油、气分别提取出来。这一方法不仅占地少（几乎不占耕地），而且对环境破坏非常小，没有空气污染，成本更低而产品价值更高。尽管该项技术现在还未完全商业化，但关键的工艺、设备等技术问题都已解决，并在美国科罗拉多和加拿大艾伯塔省进行了商业示范。2004 年吉林省与壳牌公司签订相关协议。根据壳牌公司在北美 ICP 技术的研发及对当地油页岩资源的勘察情况，该技术于 2006 年进入商业示范阶段，合资公司于 2006 年开始示范运作，经过 2～3 年时间的示范，2010 年后开始全面商业生产，预计年产 1 400×10^4 t 轻油，总投资 200 亿美元[1]。

我国油砂资源也十分丰富，分布非常广泛，在准噶尔、柴达木、鄂尔多斯、松辽、四川、二连、塔里木、吐哈等盆地都发现了油砂的分布。我国油砂点多面广，且含油率高，有的地区油砂含油率高达 12%以上，勘探前景十分喜人。

随着世界经济对石油需求的不断增加，常规石油资源已不能满足石油需求的快速增长，人们纷纷把目光转向非常规石油资源，其中之一就是油砂。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

油砂又称沥青砂或焦油砂，即含有沥青或焦油的砂或砂岩，属于非常规石油资源。目前已知世界油砂可采资源量约为 6 510 亿桶，占世界石油可采总量的 32%，已成为世界能源结构的重要组成部分。

2 我国加工含硫原油现状和前景

进口原油尤其是中东含硫原油将是满足世界以及我国需求的重要选择，据预测，到 2010 年，我国进口中东含硫原油将达到 6 000× 10^4 ~7 000× 10^4 t。中东含硫原油 95%以上来自沙特阿拉伯、伊朗、伊拉克、阿联酋、科威特等国，除科威特外，这些国家出口的原油均可划分为轻质、中质和重质三类。除极少数例外，如阿曼、也门和阿联酋部分原油，中东原油都是高含硫原油。

2.1 含硫原油加工费用

加工含硫原油的吨油完全费用高于低硫原油完全费用，主要是由于装置初期投资成本较高、正常运行过程中，由于硫对设备和管道的腐蚀和加氢脱硫催化剂价格相对较高等因素，造成加工含硫原油中装置折旧、修理费用和催化剂费用较高。一般情况下，加工含硫原油的吨油完全费用比加工低硫原油高出约 1 美元/桶，但与总成本相比，所占比例较小。因此，炼油厂的降低成本的重点主要在原油上，尽量采购适合加工的低成本原油。如果原油加工成本中，含硫与低硫价差在 1 美元/桶以上，加工含硫原油已经成为盈利可能。2004 年 1 000× 10^4t/a 炼厂吨油完全费用比较见表 8[3]。

从国际上看，2004 年加工含硫原油的炼厂都实现了较高的效益；如美国最大的加工能力为8 000× 10^4 t/a 的 Valero(瓦莱罗)公司，其中一座位于加州的以加工含硫原油为主的炼油厂，2004 年炼油毛利高达 20 美元/桶，远高于一般炼油厂 5~10 美元/桶的水平。从国内看，前几年改造的沿海四大含硫原油加工基地，经济效益都明显高于国内同行，并不断创下历史新高。我国目前原油加工能力约为 3.2× 10^8 t，而含硫原油加工能力为 4 500× 10^4 t，占总加工能力的比例仅为 14.1%，远低于全球 56%的平均水平，与日本 99.6%和美国 86.1%的差距更大。

表 8 1 000× 10^4t/a 炼厂吨油完全费用比较

	含硫原油	低硫原油
炼厂总投资/亿美元	16	13
变动费用/(美元/桶)	0.34	0.13
催化剂/(美元/桶)	0.21	0.12
修理费用/(美元/桶)	0.65	0.35
装置折旧/(美元/桶)	1.45	1.18
其它/(美元/桶)	0.32	0.25
合计/(美元/桶)	2.97	2.03

2.2 我国含硫原油进口态势

近年我国加工进口含硫原油占进口原油比例尽管也下降，但进口含硫原油的数量呈不断增长之势，已由 1999 年 786× 10^4 t 迅速增加到 2000 年 1 849× 10^4 t，2001 年 2 343× 10^4t，2002 年 2 408× 10^4 t，2003 年 3 016× 10^4t 和 2004 年 2 452× 10^4 t。表 9 列出 1999~2004 年我国含硫原油进口量态势。加工中东地区含硫原油的进口成本明显的具有竞争力，如 2004 年 10 月，布伦特原油和中东迪拜原油平均差价高达 11.37 美元，远远超过正常情况下只有 1.50 美元左右的差价。2004 年由于国内含硫原油加工能力不足，限制了价格较低的高硫原油的进口[1,4]。

表 9 1999~2004 年我国含硫原油进口量态势

	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
原油进口量/ 10^4t	3 661.37	7 026.53	6 025.54	6 940.77	9 112.63	12 281.55
含硫原油进口量/ 10^4t	786.34	1 849.67	2 343.26	2 408.46	3 016.61	3 452.85
含硫原油占进口/(%)	21.5	26.3	38.8	34.7	32.5	28.1

茂名石化公司为开拓利润空间，优化原料结构，降低原油采购成本。随着国际油价大幅上扬，目前原油成本已占炼油总成本 90%以上。茂名石化通过建立完善原油采购价格模型，及时根据油价走势，对比和筛选原油采购方案，对高硫油与低硫油、重质油与轻质油的比例进行调节优化。在国际油价高企阶段，高硫油与低硫油每桶价差拉大到 2~3 美元，甚至高达 5 美元。该公司将高硫原油加工比例扩大至 60%，2004 年加工高硫原油约 700× 10^4t，大大降低了原油采购成本，其中在国际油价处于顶部的 9

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

月份，茂名石化实现的平均油价比中石化股份公司平均油价每桶低 2.51 美元。2004 年进口原油每桶价格低于股份公司平均水平 1.4 美元，以全年进口原油 1 200×10^4t 计算，节约原油采购成本 8 亿元。该公司还优化重质油加工流程，“吃光榨干”所有渣油，不再生产重油，使轻油收率迅速提高至 73%以上，一年可多拿效益约 5 000 万元。通过装置结构优化，将重质原油加工比例由 24%提高到 39%，与加工轻质原油相比，每吨降低原油采购成本 13 元，全年由此降低成本 6 400 万元，原油加工综合商品率达到 92%，创历史最好水平。

3　我国加工含硫原油趋势

加工进口原油尤其是含硫原油也是我国炼油行业可持续发展的重要战略。

镇海炼化股份公司炼油综合配套加工能力已达到 1 600×10^4t/a，其中含硫原油加工能力达 1 200×10^4t/a，成为目前国内最大的炼油企业和最大的含硫原油加工基地。

茂名石化公司新世纪之初建成以加工进口含硫原油为目标的改扩建工程，不仅将炼油能力扩大到 1 350×10^4t，而且拥有 140×10^4t/a 重油催化裂化、200×10^4t/a 柴油加氢精制、200×10^4t/a 渣油加氢脱硫等多套国内单套加工能力最大、工艺技术最先进的生产装置，在加工高含硫原油、生产高质量产品和提高加工效益上具有明显优势。茂名石化公司加工的原油品种已达 75 种，在国内炼油企业中加工原油的种类居首位。茂名石化具备加工进口含硫原油的优势，主要以加工阿曼油、沙中油、沙轻油、伊朗重油和伊朗西里油为主，加工含硫原油和高含硫原油的比例达到 90%以上。在国际原油价格在高价位阶段，高含硫原油和低硫原油之间的价差比较明显，每桶价差在 1.5 美元左右，相当于每吨 90 元人民币。茂名石化一方面全天候跟踪国际原油市场，按照效益最大化原则筛选采购方案，选择最经济的原油品种，降低采购成本；另一方面茂名石化充分发挥渣油加氢脱硫技术的优势，通过优化催化剂装填方案、优化装置开停工方案、优化工艺操作参数等，实现优化生产、降低成本、增添效益。

上海石化公司加工进口高硫原油改造工程投产，使其加工进口高硫原油能力提高到 500×10^4t/a；金陵石化公司加工进口含硫原油技改工程的完成，使其原油一次加工能力达到 1 050×10^4t/a。

扬子石化公司于 2005 年初完成 800×10^4t/a 含硫原油炼油改造，工程包括 8 套主体装置的改、新建和 14 项配套项目的建设。新建 160×10^4t/a 延迟焦化装置、100×10^4t/a 中压加氢裂化装置、120×10^4t/a 柴油加氢精制装置、30 000 标准 m^3/h 气体脱硫装置、80 t/h 酸性水汽提装置等先后建成投产。7×10^4t/a 硫磺回收装置采用了国内领先水平的尾气处理、氢气还原等新工艺，装置投用后对加工高含硫原油形成的酸性气、酸性水回收率达 99.9%以上。

广州石化公司规划原油加工能力将从 770×10^4t/a 改扩建至 1 000×10^4t/a，其中进口高含硫原油加工能力由 100×10^4t/a 增加到 480×10^4t/a。

大连石化公司进行 2 000×10^4t/a 含硫原油加工改造，力争 2006 年全面完成改造工作，具备加工含硫原油能力。

参考文献：

[1] 钱伯章. 世界石油石化发展新趋势(技术篇)[M]. 北京：石油工业出版社，2005.

[2] 钱伯章. 2002 年、2003 年世界石油科技综述——世界炼油技术新进展[M]. 北京：中国石油集团经济和信息研究中心，2003，2004.

[3] 镇海炼化公司，加工进口原油的效益测算[J]. 中国石油和化工经济分析，2005(2)：21-24.

[4] 钱伯章. 含硫原油加工技术路线的选择[J]. 炼油，2004，(4)：12-18.