

年处理 50 万吨中低温煤焦油加氢项目

1.1 产品概述

陕北榆神煤田有大量的低阶烟煤，这种煤具有低灰、低硫、低灰熔点、高发热量和富含煤焦油等优良特性，特别是煤焦油产率可达 8~11%，非常适合于煤干馏生产兰炭、抽提煤焦油。这种低阶烟煤提质过程干馏操作温度一般在 500-800℃ 之间，产品焦油一般被称为中低温煤焦油，操作温度越高，焦油收率越高，所得到的焦油也愈重。最高可达原煤量的 12% 左右，最低在 5% 左右。这种焦油相对密度通常在 1.0g/cm³ 左右，其中 <350℃ 馏份占 50% 以上，>490℃ 馏份不到 10%。这种煤焦油芳烃含量相对较低（其中主要是芳香酚类化合物），烷烃和环烷烃含量较高，因此中低温煤焦油与石油在应用上十分相似。

鉴于中、低温煤焦油中含有较多的脂肪烃而芳烃含量较少，通过对煤焦油进行合适的加氢精制或改质处理，生产清洁燃料油品，不仅解决了环境污染问题，而且对缓解我国石油供应紧张、保障能源安全，促进焦炭/兰炭行业节能减排具有良好的示范作用。

1.2 产品市场分析

1.2.1 国外市场分析

1.2.1.1 柴油

根据初步估算，2015 年全球柴油产量 2707 万桶/日，柴油需求量 2753 万桶/日。亚洲、欧洲和北美是三大主要生产和消费地区。

随着全球经济的复苏，柴油需求也将保持增长，预计 2020 年，全球柴油需求量将达到 2955 万桶/日，而随着替代燃料和可再生能源的发展，石油基柴油产量将逐渐被挤压，2020 年全球柴油产量将达

到 2896 万桶/日。

表 1-1 全球柴油供需情况 单位：万桶/日

年份	产量	需求量
2010 年	2526	2575
2013 年	2664	2694
2014 年	2692	2706
2015 年	2707	2753
2020 年（预测）	2896	2955

1.2.1.2 石脑油

2014 年，全球石脑油产量 2.49 亿吨，略高于 2013 年；消费量达到 2.68 亿吨，同比增长 1.5%。

表 1-2 2014 年全球主要地区石脑油供需情况 ：万吨

地区	产量	进口量	出口量	消费量
中东	3158	14	3898	762
亚洲	13047	6753	1614	18099
非洲	1197	110	1147	433
拉美	1162	560	764	1127
北美	1125	107	64	1199
欧洲	3500	3288	2072	4559
独联体	1725	27	1173	585
合计	24915	10861	10734	26764

目前全球石脑油主要用于裂解乙烯、重整芳烃和生产清洁汽油，石油化工行业的发展对石脑油影响重大。一方面近年乙烯和清洁汽油的需求量逐渐增加，另一方面生产乙烯所用的裂解原料的替代品也逐步增多，对石脑油在化工行业中的使用量会稍有影响。从这两方面来看，未来石脑油消费量增长将趋于平稳。预计 2020 年全球石脑油需

求将达到 2.87 亿吨，产量将达到 2.73 亿吨，年平均增速在 1.0% 左右。今后石脑油过剩地区仍然主要在中东，而亚洲仍然是石脑油主要缺口地区。

1.2.2 国内市场分析

1.2.2.1 柴油

近年来，我国经济保持平稳较快发展，柴油供应、需求量同步增长。2015 年，我国柴油产量 18007.9 万吨，进口量 42.8 万吨，出口量 716.4 万吨，我国柴油实现净出口 673.6 万吨，表观消费量 17334.3 万吨，自给率 103.9%。总体上看，我国柴油生产与消费基本匹配，少量差额（1%~3%）由进出口平衡。

表 1 - 1 2005-2015 年我国柴油供需情况单位：万吨

年份	产量	进口量	出口量	表观消费量
2005	11061.6	53.7	147.5	10967.8
2006	11653.4	70.9	77.6	11646.7
2007	12370.2	162.2	66.0	12466.4
2008	13323.6	624.8	62.9	13885.5
2009	14126.8	183.7	450.7	13859.8
2010	15887.7	179.9	467.2	15600.4
2011	16676.0	244.1	203.2	16716.9
2012	17063.6	94.7	186.2	16972.1
2013	17272.7	26.6	247.5	17051.9
2014	17757.5	47.4	399.8	17405.1
2015	18007.9	42.8	716.4	17334.3

近年来，由于国内经济增速放缓、产业结构调整、大气治理压力加大、鼓励发展替代能源等原因，消费柴汽比快速下降。2012-2015

年，我国消费柴汽比由 1.95 减小至 1.50，同比下降 23.1%；生产柴汽比由 1.90 减小至 1.49，同比下降 21.6%。尽管国内炼厂通过调整装置结构努力降低生产柴汽比，但依然无法满足消费柴汽比需求。为了缓解国内柴油销售压力，中石油和中石化均加大了柴油出口贸易量。2015 年柴油出口量为 716.4 万吨，同比增长 79.2%。

柴油消费中，商用车用油占 68% 的比重，柴油需求量与商用车保有量及使用强度密切相关。2014 年我国商用车保有量接近 4500 万辆。受国内经济增速放缓影响，占中重型货车运输需求 50% 的煤炭、钢铁、建材等大宗商品产量将在 2020 年前达到峰值，加之受铁路运输替代，未来中重型货车需求将大幅放缓；占中重卡销量三分之一的日用消费品类运输，受城镇化、城市物流业迅速发展影响，需求将有所增加；城市化是客车需求的主要动力，但是受到地铁、乘用车发展以及天然气车和电动车的替代影响较大，未来柴油客车销量将有所下降。未来报废更新需求将是商用车需求的主要推动力。随着中国经济潜在增速的下降，经济结构不断调整，运输效率提高，商用车销量已步入小幅下降的平台期。预计 2016-2020 年我国商用车保有量将达到饱和。从单位宏观经济规模上看，我国商用车保有水平已经与美国相当，远高于日本和德国，商用车保有量没有很大的发展空间。此外，综合考虑农用车用油、渔业和运输船用油、铁路用油和工矿企业用油，以及电动汽车和 LNG 汽车等替代产品的发展趋势，预计我国柴油需求在 2020 年之前将处于 1.72 亿吨左右的平台期。在当前装置结构下，根据对炼油能力及开工率、收率的预测，2020 年柴油产量将达到 1.9 亿吨。如果国内炼油装置结构没有较大调整，柴油供需过剩形势将持续。2020 年我国柴油供需平衡预测见下表。

表 1-2 我国柴油供需平衡预测（万吨）

项目	2015 年	2020 年
产量	18008	19200

项目	2015 年	2020 年
产量	18008	19200
消费量	17334	17050
供需平衡	+674	+2150

然而，虽然我国柴油供应能力已经有盈余，但原油供应的对外依存度逐年攀升，已经超过 60%，原油供应存在一定的风险，因而也成为柴油供应的隐患；此外我国加工的原油品质呈现劣质化，而油品质量升级过程加快，原料劣质化和产品质量清洁化的双重压力使得炼化企业需要通过各种手段实现油品质量升级。

1.2.2.2 石脑油

我国是世界上石脑油产量大国，石脑油供给方式主要是国内自产，另外有部分进口产品，但进口量远低于产量。近五年来，我国石脑油产量和表观消费量均呈现出整体稳步增长的态势。2010-2011 年小幅下降，2012 年有较大幅度增长，继 2013-2014 年小幅增长后，受国际原油价格大幅下跌局势的影响，2015 年我国石脑油产量略减，进口量大幅增加至 664.8 万吨，同比增长 79.8%。2010-2015 年期间，国内石脑油产量年均增长 2.3%，表观消费量年均增长 5.1%。其中，2015 年表观消费量达 3499.8 万吨，比上年增长 7.2%，这一方面是因为 2015 年对二甲苯的产量同比增加了 5.8%，另一方面国际油价大幅走低，进口量激增 79.8%。

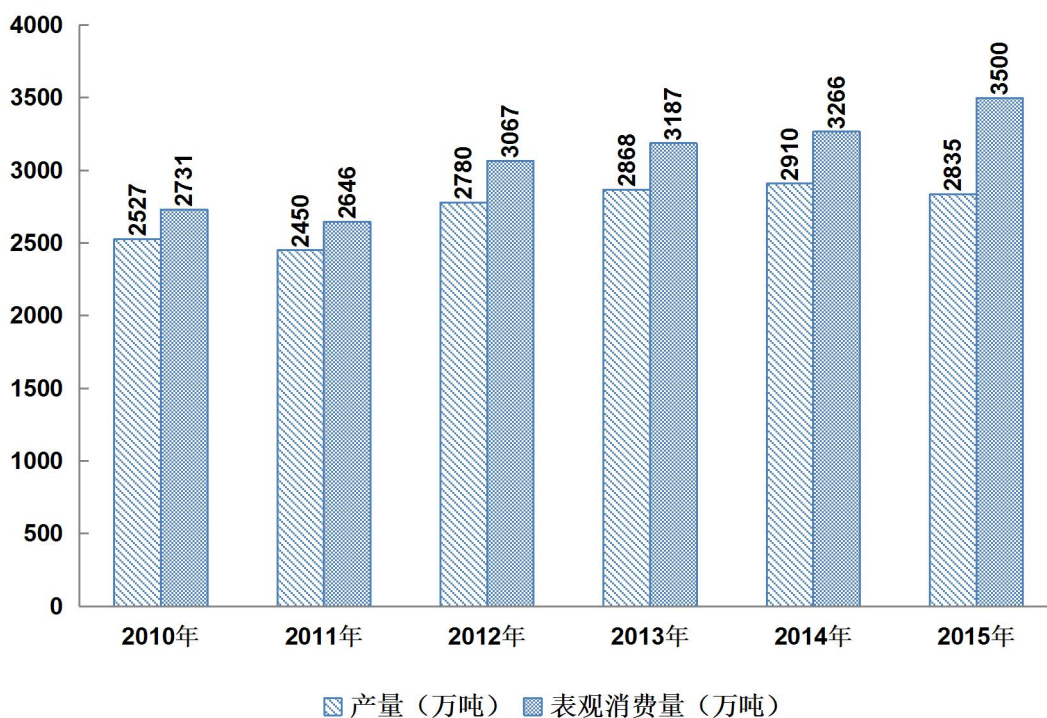


图 2-1 2010-2015 年我国石脑油供需情况

综合预计，2020 年我国石脑油需求量将超过 4200 万吨，国内石脑油产能将增至 3840 万吨/年，按装置 80% 开工率计算，预计 2020 年我国石脑油产量约 3072 万吨，供应缺口约 1207 万吨。2020 年国内石脑油供需平衡预测如下表所示。

表 2-2 我国石脑油供需平衡预测 (万吨)

项目	2015 年	2020 年
产量	2835	3072
消费量	3500	4279
供需平衡	-665	-1207

1.3 生产规模及产品方案

根据目前煤焦油加工发展现状，生产规模定位年加工 50 万吨煤焦油。产品为柴油 31.9 万吨，石脑油 11.4 万吨，LPG2.2 万吨。

1.4 工艺技术方案

1.4.1 生产工艺技术及比较

低中温煤焦油加工工艺主要分为蒸馏路线和加氢路线。蒸馏路线是逐级分离煤焦油所含组分，主要产品主要是从中提取的苯酚、甲酚、二甲酚等。此路线目前发展较慢，原因在于除酚类外，其余单体组分含量较少，进行单体分离的经济效益不好。

焦油加氢与石油化工渣油加氢技术类似，以渣油为原料加氢精制或加氢裂化生产油品在国内已有比较成熟的技术，目前焦油加氢多借鉴石油化工相应技术。中低温煤焦油加氢技术按部分加氢和全馏分加氢可以分为两大类：

1.4.1.1 部分加氢——加氢精制

以煤焦油通过切分预处理和（或）延迟焦化后的轻组份为原料、进行加氢精制或加氢处理，脱除原料油中的硫、氮、氧、金属等杂原子和杂质以及饱和烯烃和芳烃，生产出石脑油、柴油、低硫低氮重质燃料油或碳材料的原料等目标产品。该加氢工艺的优点是工艺流程简单，缺点是原料利用率低，产品的十六烷值较低。

1.4.1.2 全馏分加氢

（1）加氢精制-加氢裂化技术

煤焦油加氢精制-加氢裂化工艺以全馏分煤焦油为原料，通过加氢精制-加氢裂化过程把煤焦油中的重油或沥青转化成轻馏分油，以最大限度地提高轻油收率。与煤焦油加氢精制技术相比，这类技术的缺点是增加了加氢裂化段，工艺流程相对复杂，过程操作稳定性不及加氢精制工艺，优点是轻油收率高，提高了煤焦油资源的利用率，同

时柴油产品的十六烷值较高，基本能达到 **40** 以上。

煤焦油加氢精制-加氢裂化技术有代表性的是上海胜帮技术和陕西天元技术。

陕西煤业化工集团(上海)胜帮化工技术有限公司加氢精制-加氢裂化技术，以煤焦油为原料生产优质汽油和柴油产品。其工艺流程是：自原料油缓冲罐来的原料油经加氢进料泵增压后与混合氢混合，经反应流出物/反应进料换热器换热后，进入加氢精制段的 **2** 台反应器。从加氢精制反应器出来的物料经换热后进入加氢裂化段进行加氢裂化反应，反应生成物进入稳定塔，塔顶油气经塔顶空冷器和水冷器冷却后，进入稳定塔顶回流罐进行气、油、水三相分离，塔底流出物经重沸炉加热后进入分馏塔生产轻芳烃、重芳烃和尾油。

该工艺的优点是工艺流程简单、技术成熟、生产过程清洁、产品性质优良，缺点是建设投资略高。

陕西煤业化工集团神木天元化工有限公司加氢精制-加氢裂化技术对煤焦油进行“**2**次加氢、尾油裂化”，然后对生成油进行分离得到燃料油。产品主要为柴油、石脑油和液化气。

来自罐区的原料油与氢气混合加热升温后送入预加氢反应器。预加氢反应器的主要任务是对原料油内所含氮、氧、硫及重金属化合物进行加氢转化，生成相应的氨气、水、硫化氢及硫化物而加以脱除。预加氢完毕后，初产物再送入第 **2** 段加氢反应器进行第 **2** 次加氢，反应流出物经分离器分离出氢气和生成油，生成油经分馏塔分离为塔顶的产品油和塔底的尾油，尾油送入加氢裂化反应器继续加氢仍可得到液化气、石脑油和柴油馏分，工艺的煤焦油转化率高达 **93%**。

(2) KBR-VCC 悬浮床加氢技术

VCC 悬浮床加氢裂化技术是在 **1913** 年德国 Bergius-Pier 煤液化技术基础上发展起来的。

VCC 技术是悬浮床加氢裂化与固定床加氢联合的技术，以非常高的转化率 (**>95%**，**524℃** 以上馏分) 和高液收 (**>100vol%**) 将渣

油转化为可直接销售的馏分油产品。工艺中采用了早期将重质渣油或煤初步转化为轻质馏分油的 Bergius-Pier 技术原理。该流程可用于处理炼油渣油、沥青、煤或煤油混合物。原料与专用添加剂混合成浆料后注入工艺的高压部分。

1.4.2 推荐的工艺技术来源

推荐采用悬浮床加氢裂化+固定床加氢精制技术，技术来源考虑采用 VCC 技术。

1.5 主要原材料及公用工程消耗

表 主要原材料消耗量

序号	名称	单位	消耗定额	年耗量（万单位）
1	煤焦油	T	1	50.0
2	氢气	kg	640	3200

注：消耗定额按吨原料煤焦油计。

表 公用工程规格及消耗量

序号	名称	规格	单位	消耗定额	小时消耗量
1	循环冷却水		t	13.0	811
2	脱盐水		t	0.4	22
3	电		kWh	298	18600
4	中压蒸汽	3.5MPa	t	0.06	3.5
5	低压蒸汽	0.5MPa	t	-0.25	-15.6

1.6 装置占地及定员

装置占地 4.5 公顷，定员 88 人。

1.7 主要污染物排放量及处理方式

表 主要污染物排放量及处理方式

序号	污染物	排放量	主要污染物	处理方式
一	废气	Nm ³ /h		
1	加热炉烟气	48700	SO ₂ <0.1mg/Nm ³ NO _X <150mg/Nm ³ 烟尘<50mg/Nm ³	高空排放
二	废水	m ³ /h		
1	加氢酸性水	3.0	H ₂ S 3.95% ; NH ₃ 4.92%; CO ₂ 1.71%; 挥发酚 0.11%; 油类 0.06%; Cl ⁻ 0.02%	送汽提脱酸、脱酚
三	废渣	t/a		
1	废催化剂	10	分子筛、氧化铝	催化剂厂回收

1.8 投资估算及静态效益指标

静态技术经济指标

序号	名称	单位	数量	备注
1	总投资	万元	127600	
2	建设投资	万元	112000	
3	年销售收入	万元	296500	柴油 价格 6371 元/吨 石脑油 价格 7248 元/吨 LPG 价格 4832 元/吨
4	年总成本	万元	196700	
5	年利税额	万元	99800	其中柴油和石脑油消费税达 69600 万元
6	年利润额	万元	11200	
7	投资利税率	%	78.2	
8	投资利润率	%	8.8	

序号	名称	单位	数量	备注
9	投资回收期（税前）	年	12.4	包括建设期 1 年

1.9 建议

中低温煤焦油加氢是煤焦油资源化利用的重要方向，尤其是在我国石油资源不足，对外进口依存度高的背景下，中低温煤焦油加氢制取清洁燃料有重要意义。当前油价低位徘徊，对中低温煤焦油加氢项目经济效益带来巨大挑战，加之项目产品柴油和石脑油都需要缴纳高昂消费税，大大影响了项目的经济效益，在实施项目时，应注重控制投资和成本，通过和煤炭热解项目联合建设，降低投资，同时也有助于获取低成本煤焦油和氢气。