

“双碳”目标下渣油馏分的使用方向及主流技术路线

The application direction and mainstream processing technology route of residue distillates under China's "dual carbon" goal

2024年11月07日



01

摘要

“双碳”目标下，中国能源消费结构将发生巨大变化，原油消费量可能在成品油消费量达峰后下降，成品油生产原料将发生变化，碳排放市场化影响炼油企业的生产成本。分析渣油馏分加工过程中，延迟焦化、渣油加氢及后续深加工、沥青生产、低硫直馏渣油生产船舶燃料油等的碳排放量，探讨未来渣油馏分的使用方向。

充分利用已成熟的应用渠道、取代作为燃料功能的煤炭、开展渣油馏分新用途的科技研究。未来炼厂渣油馏分加工的主流技术路线应以抑制深度转化为主，并根据其重碳特点最大限度地生产重碳产品，具体包括：

- 优先生产沥青
- 生产低硫船舶燃料油
- 渣油加氢重油再分离，各尽其用
- 重油催化向蜡油催化、柴油催化转型
- 用作焦化原料，生产优质焦

01

“双碳”目标下炼油行业面临的新挑战

- 1.1、中国能源消费结构将发生巨大变化
- 1.2、原油消费量可能在成品油消费量达峰后下降
- 1.3、成品油生产原料将发生变化
- 1.4、碳排放市场化影响炼油企业的生产成本



中国能源消费结构将发生巨大变化

随着“双碳”目标的推进，以绿色低碳能源替代化石能源是必然趋势，以含碳量高低为序削减化石能源消费量是最有效的减排方式，未来，中国的能源消费结构将发生翻天覆地的变化。

据权威专家预测，中国在2030年碳达峰、2060年碳中和时化石能源的消费量见下表，煤炭、石油消费量有巨大的削减空间，保留下来的消费量主要功能并不是作为能源燃料。

从成品油来看，2025年中国成品油实际需求量将达到峰值水平**3.86亿吨**，2060年降至**0.81亿吨**。其中，2025年汽油实际需求量为**1.64亿吨**，2060年消费量不足**1000万吨**^[1]

类别	2021年	2030年	2060年
煤炭 (亿吨)	42.3	39.5	4.5
石油 (亿吨)	6.8	7.3	2.5
天然气 (亿立方米)	3690	5500	3000

原油消费量可能在成品油消费量达峰后下降

从未来碳减排路线图看，作为交通燃料的汽、柴油消费量将在2025年左右达到峰值后逐渐减少；

乙烯生产原料也将推广使用天然气中的乙烷（技术路线更简捷、碳排放更低），原油轻质馏分用作乙烯裂解原料的需求增长将放缓甚至下降；

受碳减排政策影响，2025年国家可能严格限制或全部停止成品油出口。因此，原油消费量可能在成品油消费量达峰后下降。

成品油生产原料将发生变化

在从碳达峰至碳中和的演进过程中，预期交通运输用油将主要由电能替代，汽、柴油需求量下降趋势不可逆转。

在汽、柴油消费量减少的同时，汽、柴油生产也要以低碳排放方式进行，受碳减排成本的制约，未来用于汽、柴油生产的原料将使用蜡油及直馏柴油馏分。

碳排放市场化影响炼油企业的生产成本

为了减少碳排放，全球各经济体纷纷不同程度地采取对碳排放征税的措施，以市场化方式促进碳减排，有效抑制了碳排放。

一些发达国家（例如欧盟国家）率先建立了碳排放权交易市场，通过高额的碳税推动能源转型，碳排放量快速下降。

中国也在探索以市场化方式推动碳减排，规模化的碳排放权交易市场已见雏型。在经过7省区试点的基础上，中国于2021年7月16日在煤电行业正式推出全国统一碳排放权交易市场，覆盖2162家发电企业共约45亿吨/年二氧化碳排放量，交易价格达到54.22元/吨，且稳中有升，为未来进一步完善和发展碳排放权交易市场奠定了基础^[2]。

碳排放高的企业已感受到未来发展的压力。中国大型石油公司高度重视石油加工过程中的碳减排，从碳减排技术、管理和考核方面多管齐下。未来碳排放的货币化制度将越来越科学化和市场化，主要以碳排放成本来约束企业的生产，引导用户低碳和零碳消费，由此炼油行业必须以新的生产经营方式应对挑战。

02

渣油馏分加工过程中的碳排放

- 2.1、延迟焦化的碳排放量
- 2.2、渣油加氢及后续深加工的碳排放量
- 2.3、沥青生产中的碳排放量
- 2.4、低硫直馏渣油生产船舶燃料油的碳排放量



延迟焦化的碳排放量

延迟焦化是传统的渣油馏分加工技术，针对渣油馏分自有碳、氢，通过高温热裂解转化成干气、液化气、石脑油、馏分油、蜡油、焦炭，以脱碳方式、短技术路线实现氢的合理利用，较合理地获得轻质馏分。

根据原料性质的轻重和产品结构的要求，加工过程中的碳排放量存在差异，通常焦化过程中加工1吨原料的二氧化碳排放量约为**0.0707吨**。

渣油加氢及后续深加工的碳排放量

渣油加氢是人们在认为石油资源紧缺，着眼于最大限度获取汽、煤、柴油等轻质馏分背景下诞生的技术。该技术利用加氢方法脱除渣油馏分中的硫、重金属等有害物质，为后续深加工创造条件；同时加氢过程还向芳烃、沥青质等大分子组分补氢提高馏分氢/碳比，为后续深加工获得高轻油收率提供条件。典型的渣油加氢过程中加工1吨原料的二氧化碳排放量约为**0.0441吨**。

渣油加氢技术对于氢气的消耗量较大，氢气以小分子烃或煤为原料获得，整体过程中碳排放量大。如果以渣油原料为基准（高硫、高金属），考虑氢气消耗与运行过程中的碳排放量，则渣油加氢过程中加工1吨原料的二氧化碳排放总量**超过0.2吨**。

渣油加氢及后续深加工的碳排放量

渣油加氢 - 催化裂化组合的碳排放量

如果含硫渣油馏分用于深加工，通常需要加氢预处理来脱硫、脱金属，中国炼油业以渣油加氢与催化裂化组合为典型流程来生产汽油、液化石油气、柴油。

催化汽油是炼厂汽油池中的主要组分，催化裂化装置是炼厂最大的碳排放装置，加氢后渣油催化裂化过程中加工1吨原料的二氧化碳排放量约为0.3718吨。

如果以渣油原料为基准，经渣油加氢 - 催化裂化组合，则渣油加工过程中每吨原料的二氧化碳排放量接近**0.6吨**。

渣油加氢-蒸馏/溶剂抽提生产船舶燃料

含硫渣油馏分经加氢预处理脱硫、脱金属后，加氢生成油中的氢含量明显上升，尽管可以作为催化裂化原料，但其中残炭、金属通常远高于蜡油，在催化裂化过程中会产生较高的催化剂消耗和生焦。

加氢生成油直接作为船舶燃料油或船舶燃料油主要调和组分通常产生严重质量过剩，对炼厂不利。

生成油经过蒸馏深拔或溶剂抽提分离出重蜡油、渣油：渣油直接或稍加调和获得性价比高的船舶燃料油，重蜡油就成为较好的催化裂化原料，实现各尽所用，加工过程中每吨原料的二氧化碳排放量为**0.211吨**。

沥青生产中的碳排放量

以重质原油为原料通过蒸馏法可以直接生产交通道路用沥青以及其他各种沥青。通过两种或两种以上可生产沥青的原油混炼，其渣油馏分可生产高品质重交通道路用沥青。

渣油馏分通过蒸馏法生产沥青是目前主流的技术路线，具有加工流程短、加工成本低、二氧化碳排放少的特点，加工过程中每吨原料的二氧化碳排放量约为**0.0221吨**。

根据沥青的用途、使用环境及目前质量标准，渣油馏分生产沥青是合理用途之一。

低硫直馏渣油生产船舶燃料油的碳排放量

船舶燃料油质量升级后，低硫直馏渣油用作船舶燃料油主要调和组分是最合理的技术选择之一，尤其是低硫环烷 - 中间基、低硫环烷基的直馏渣油馏分用于调和船舶燃料油，充分利用了低硫、高密度的特点，具有较好的经济性，其加工过程中的单位二氧化碳排放量与沥青产品接近，约为**0.02吨二氧化碳/吨**。

03

未来渣油馏分的使用方向及 主要加工技术路线

3.1、未来渣油馏分的使用方向

3.2、未来渣油加工的主流技术路线



未来渣油馏分的使用方向



充分利用已成熟的产品市场

直馏渣油馏分直接或经调和形成产品的市场渠道有沥青、船舶燃料油、燃料油等。

其中船舶燃料油属于刚性需求；燃料油可能成为煤炭的战略接替，具有潜在的需求增长前景；沥青属于建设材料，在未来水泥等建材因碳排放推升成本或受到政策限制的情况下，沥青市场完全可能存在拓展空间，因此有必要加强沥青材料的功能应用研究，拓宽应用领域，扩大沥青消费，通过沥青合理转移、消化原油重馏分中的重碳组分和“有害”杂质，消除因改质和脱除这些组分所带来的超高碳排放。



取代作为燃料功能的煤炭

与煤炭相比，渣油馏分是“低碳”能源，在对镍、钒、铁等物质没有严格要求的用煤环境中，优先使用渣油馏分替代煤（例如直接替代煤炭作为燃料、替代煤制氢）在技术上可行，也有利于低碳排放。

同时，渣油轻碳馏分优先用作石化原料，中碳馏分作为汽、柴油生产原料，抑制重碳馏分转化为成品油，为渣油各馏分段合理利用创造市场环境，以低碳排放合理接续替代能源。



开展渣油馏分新用途的科技研究

沥青作为道路使用的粘结材料，在某些方面具有比水泥更为优越的性能，政府和交通行业应最大限度地推广和使用道路沥青，尽量减少水泥的使用，积极加强拓宽沥青取代水泥应用场景的科技研究。

要以国家全面减少二氧化碳排放为目标，扩大渣油重碳馏分的传统需求领域，突破新领域，实现产业优化和结构调整。

未来渣油加工的主流技术路线



优先生产沥青

重劣质原油大都含有硫、金属等杂质，残炭、胶质含量也很高，通过蒸馏后的渣油馏分可直接生产沥青，生产沥青是渣油馏分成为产品最简捷的技术途径。

按照各国现有沥青质量标准，沥青对硫、重金属、残炭、胶质等杂质含量没有限制，这些杂质进入工程环境和人类生活后影响很小。硫、重金属、残炭、胶质在炼油过程中属于“有毒、有害”物质，生产沥青可以完全消纳原油中的这些物质，属于超低碳排放的加工过程，因此**应该优先选择用重劣质原油生产沥青。**

应研究实践各种含硫原油生产沥青的技术可行性。集聚各种不宜生产沥青的原油的浓缩减渣，利用沥青产品可以大量容纳金属、沥青质、胶质这一特点，在适合生产沥青时再进行掺炼，以此集中消纳原油中金属、沥青质、胶质等杂质。以低成本方式替代渣油加氢脱金属功能，可以大幅提高渣油加氢催化剂的寿命和单位处理能力，有效减少碳排放。

未来渣油加工的主流技术路线



生产低硫船舶燃料油

低硫船舶燃料油属于重碳馏分，其中大部分属于渣油馏分，目前质量标准中的金属、残炭等指标也比较宽松，生产低硫船舶燃料油可以消纳一定数量的原油中的“有毒、有害”物质，也属于低碳排放的加工过程。

以中国沿海合理需求为目标，为外航船舶提供保税船舶燃料油。国家应在政策上加以引导，健康发展保税燃料油业务，为优化炼油产品结构搭建平台，为浅加工、低排放创造条件。按照每年生产**3000万吨**船舶燃料油供应沿海市场测算^[4]，可以**减少1亿~1.5亿吨**渣油馏分的深度处理及转化，实现低碳排放下化工资源、成品油、重馏分的合理平衡，此举不失为当下的权宜之计，也是渣油馏分低碳加工的优选路线。

未来渣油加工的主流技术路线



渣油加氢重油再分离，各尽其用

在中国典型的炼油流程中，高硫原油直馏渣油经加氢脱金属、脱硫后得到的加氢重油通常作为催化裂化原料再进行深度转化，加氢重油馏分中仍含有较高的沥青质、胶质、残炭及金属杂质，碳含量也高，在催化转化过程中具有高生焦、产品含碳高的倾向。

加氢重油通过溶剂抽提等技术分离成重蜡油、渣油馏分，沥青质、胶质、残炭及金属杂质几乎全部进入高碳含量的渣油馏分中，渣油馏分作为低硫船舶燃料油的调和组分，重蜡油馏分则作为催化裂化原料，实现了催化原料的清洁化和轻质化，一举多得，对优化产品结构、减少碳排放、抑制废渣产生的效果较为显著。

未来渣油加工的主流技术路线



重油催化向蜡油催化、柴油催化转型

催化裂化既是炼油技术的核心装置，也是最大的碳排放装置。催化裂化反应在裂解生产轻质烃的同时，必然脱碳生焦，原料越重越劣质，脱碳生焦倾向越大，碳排放量也更大。

为适应未来成品油消费结构演变以及减碳排放要求，催化装置应改变角色，原料向蜡油、柴油等轻质原料转变，产品向低碳烯烃转变，减少柴油馏分。



用作焦化原料，生产优质焦

扩大焦化路线在炼油二次加工中的比重无疑会多产焦炭，焦炭又是重碳产品，如果作为燃料必然成为高强度碳排放源。在煤炭作为能源还没有退出历史舞台之前，使用延迟焦化路线所产焦炭替代煤炭是合理的，通过延迟焦化路线生产部分焦炭也是渣油馏分的出路。

可以使用渣油加氢重油再分离后的重质馏分作为焦化原料生产优质焦炭——针状焦，针状焦是制作电极的原料，这样焦炭就成为工程材料，可以实现零碳排放。

在“双碳”目标下，对渣油馏分从用途和技术上进行调整是炼油企业采取的应对措施之一。

- 抑制渣油的深度转化，减少成品油产量并减少加工过程中的碳排放
- 努力巩固和拓展渣油馏分以重碳产品方式进入市场
- 加强科技创新，开发重碳产品的新用途

汇报完毕，
不妥之处请批评指正！

