

烃
加工

炼油工业技术知识丛书



◇ 梁朝林 顾承瑜 编

延迟焦化

(第二版)

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

炼油工业技术知识丛书

延迟焦化

(第二版)

梁朝林 顾承瑜 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书在简单介绍延迟焦化在炼油厂中的地位、作用的基础上,详细阐述了石油烃类的热化学反应机理、延迟焦化装置的工艺流程、操作条件及影响因素、主要设备(加热炉、焦炭塔、分馏塔、机泵、水力除焦设备)的结构特点及其操作管理、安全环保、防腐蚀等;结合生产实践,总结了延迟焦化装置开停工及一般事故处理的经验方法。此外,对延迟焦化新技术的发展与应用等也做了适当的介绍。

本书可作为延迟焦化装置技术工人的培训教材;也可供从事延迟焦化装置管理的技术人员及有关院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

延迟焦化/梁朝林,顾承瑜编. —2版.
—北京:中国石化出版社,2015.7
(炼油工业技术知识丛书)
ISBN 978-7-5114-3389-3

I. ①延… II. ①梁…②顾… III. ①石油炼制-延迟焦化
IV. TE624.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 134523 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 8.75 印张 230 千字
2015 年 7 月第 2 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

定价:32.00 元

《炼油工业技术知识丛书》

编委会

主任：凌逸群

副主任：王子康

技术顾问：龙军 方向晨 李平

王强 王治卿

编委：（按姓氏笔画排序）

仇性启 华炜 吕亮功 吕家欢

孙兆林 宋天民 陈保东 郑世桂

赵培录 高步良 梁凤印 梁文杰

梁朝林 赖光愚 廖士纲

序

随着我国石油化学工业的不断发展，炼油技术也在不断进步，炼油企业管理水平不断提高。与之相应，炼油行业十分迫切需要既掌握炼油理论知识、又拥有丰富生产经验和较高技术管理水平技术人员与管理队伍。近些年来，在石化企业中，由于很多老职工和老技术人员相继退休，离开了工作岗位，取而代之的是一大批年轻职工和许多参加工作不久的技术和管理人员。他们走上炼油行业关键技术和管理岗位后，迫切需要补充炼油技术知识。

为了确保装置安稳长满优运转，提高炼油企业的国际竞争能力，提高职工队伍的整体素质，造就一大批懂管理、懂技术的人才，非常有必要在广大炼化企业职工中大力传播专业技术知识，推广科学技术，营造比学赶帮超的良好学习氛围。为了适应这一需要，中国石化股份公司炼油事业部和中国石化出版社及时组织编写了《炼油工业技术知识丛书》。

参加该丛书编写的作者来自于各炼化企业、科研院所和大专院校，他们都是石油化工领域的专家和长期工作在生产一线的技术骨干。在编写过程中，他们将自己的丰富学识与多年的生产实践经验相结合，并查阅大量文献资料，精心编写。可以说，这套丛书的每一分册都

是作者的智慧结晶。丛书按装置和专业设分册编写、出版，既考虑炼油厂装置的实际情况，也考虑炼油企业岗位不同工种的学习需要。在介绍基本理论、基本知识的基础上，紧密结合炼油企业生产和技术管理的实际，注重理论与实践相结合。在文字表述方面，力求通俗易懂，深入浅出。

纵观丛书，最大的特色是理论与实际相结合，且系统性强，基本上涵盖了炼油工业技术的基础知识。该丛书的出版发行，有利于普及炼油工业技术知识，有利于提高炼油企业职工素质，有利于总结生产经验，能更好地为炼油装置的安稳长满优运行服务。我相信，《炼油工业技术知识丛书》的出版，将为行业内人员提供一套比较完整的炼油技术知识参考书，在加强技术传播、促进技术交流、推广技术应用、指导生产实践等方面会起到积极的作用，得到广大炼油行业从业人员的热烈欢迎。



中国工程院院士

前 言

20世纪80年代初,由原大庆石油化工总厂编写了《延迟焦化》,2007年,梁朝林、沈本贤在原《延迟焦化》基础上重新修订编写了《延迟焦化》。转眼过去了7年,我国的石油炼制的各种工艺技术及设备仪器都发生了巨大变化。延迟焦化装置也不例外,无论是延迟焦化装置的规模、数量,还是延迟焦化装置面临的任务都和以前有明显的差别。随着经济的发展,一方面是能源需求在不断增加,特别是汽、柴油产品质量(主要是降低硫含量)的升级,另一方面是世界原油总的趋势是变重变劣,高硫(或含硫)、高残炭、高金属和高酸值原油比例在增加,特别是随着重质与非常规原油开采技术的发展与成熟,这种趋势将更加明显。因此,炼油企业的主要任务是将原油最大限度地转化为轻质交通运输燃料和石油化工原料。在这种形势下,作为重油加工的重要装置——延迟焦化装置的作用非常重要。

编者早年曾在茂名石化公司炼油厂生产一线工作,现主要从事石油化工工艺的理论教学工作,也多次为中国石化延迟焦化装置高级技师班授课培训,深感有必要继续编写一些炼油工业技术图书。因此,编者应中国石化出版社之约,与中国石化金陵分公司的顾承瑜同志欣然承担起《延迟焦化》一书的编修任务。为了满足广大读者的需要,作者在原梁朝林、沈本贤编写的第一版《延

迟焦化》的基础上，结合近期延迟焦化技术发展的情况，进行了修改，删除了过时的东西，增加了新的内容，力图更加符合当前的生产技术情况。期望本书在很好总结延迟焦化装置生产操作经验的基础上，重点介绍操作工人应知应会的基本原理、基本操作技术及基本的计算方法。本书尽可能用比较简洁通俗的语言去表达专业性较强的内容，用清晰的数字层次去阐明严谨的操作顺序。

近几年国内陆续新建或改扩建的一些延迟焦化装置，加工能力都在100万吨/年以上(中海油惠州炼化的延迟焦化装置已达420万吨/年)，并采用了一些当代较为先进的技术，如生焦除焦过程的顺控联锁技术、远程智能除焦系统、双面辐射式加热炉、优化工艺流程及操作参数、配套完善吸收稳定系统、自动化的焦炭塔卸盖系统、四通阀由手动旋塞阀改为电动球阀等。尽管如此，延迟焦化当中石油烃类的热化学反应机理、工艺生产技术、主要的原理流程、设备结构及操作方法并无根本变化，仍然可继续使用。因此本书沿用原书成功的体系编写，只作推陈出新的微小努力。例如，随着技术发展某些专业术语、名词予以更新；删除或精简那些落后淘汰的空气-蒸汽烧焦法，补充新的在线清焦法和机械清焦技术；加热炉型由传统的立式炉改为多室双面辐射炉，焦炭塔等设备材料材质更新提升；作为新技术发展应用的可灵活调节循环比已得到广泛应用，调整放入前面的工艺流程介绍而不再列为发展述评。在新技术的发展与应用方面新增了避免或适应弹丸焦产生技术(国家自然科学基金项目21176050[劣质渣油生成弹丸焦的机

理研究及预防对策])。

本书第1、2、3、4、8章由梁朝林编写，第5、6、7章由顾承瑜编写，第9章由梁朝林、顾承瑜共同编写，最后由梁朝林进行全书统稿。在本书编写过程中，主要参考了瞿国华主编的《延迟焦化工艺与工程》、胡尧良主编的《延迟焦化装置技术手册》、中国石化集团公司《延迟焦化装置高级技师教材》等书的内容，同时也参考和引用了劣质渣油生成弹丸焦的机理研究及预防对策(国家自然科学基金项目21176050)以及一些企业内部最新的技术资料，在此向这些作者表示最衷心的感谢。在资料收集和编写过程中硕士研究生刘武以及金陵石化公司炼油三部马建军、曹吉、岳粹航等给予了热情帮助，在此也向他们表示感谢。

由于编者知识局限、时间仓促，书中难免有谬误欠妥之处，敬请读者、特别是从事一线生产的技术管理人员提出宝贵意见，以便再版时修改。

梁朝林

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 焦化的地位、作用	(1)
1.2 延迟焦化的发展过程	(2)
1.3 延迟焦化的特点	(5)
1.4 延迟焦化的目的和任务	(6)
1.5 延迟焦化的原料和产品质量指标	(8)
第2章 焦化反应机理及延迟焦化装置的工艺 原理流程	(15)
2.1 石油烃类的热化学反应	(15)
2.2 延迟焦化过程的反应机理	(22)
2.3 延迟焦化的工艺流程	(27)
第3章 延迟焦化装置的工艺条件及影响因素分析	(44)
3.1 延迟焦化装置主要工艺操作指标	(44)
3.2 延迟焦化的影响因素分析	(48)
第4章 延迟焦化装置主要设备及操作管理	(59)
4.1 加热炉	(59)
4.2 焦炭塔	(92)
4.3 分馏塔	(115)
4.4 泵(含汽轮机部分)	(132)
4.5 气体压缩机	(144)
第5章 延迟焦化装置的开停工及一般事故处理	(153)
5.1 延迟焦化装置的开工	(153)
5.2 延迟焦化装置的停工	(161)

5.3	延迟焦化装置的一般事故处理	(164)
第6章	水力除焦	(178)
6.1	基本原理及焦量计算	(178)
6.2	除焦设备及操作方法	(182)
6.3	水力除焦系统的操作	(204)
6.4	除焦方法对比分析	(206)
第7章	延迟焦化装置 HSE 技术规程	(209)
7.1	安全生产技术规程	(209)
7.2	职业卫生与劳动保护	(217)
7.3	环境保护	(219)
第8章	焦化装置设备的防腐及选材	(223)
8.1	延迟焦化装置的腐蚀特征及其影响因素	(223)
8.2	设备选材和防护措施	(235)
第9章	延迟焦化新技术的发展与应用	(242)
9.1	避免或适应弹丸焦产生技术	(242)
9.2	延迟焦化工艺技术的发展	(247)
9.3	延迟焦化设备技术的发展	(259)
9.4	先进控制技术	(263)

第 1 章 绪 论

1.1 焦化的地位、作用

焦化(严格称焦炭化)工艺是一种重要的渣油热加工过程。它以渣油为原料,在高温(495~505℃)下进行深度热裂化反应,主要产物有气体、汽油、柴油、蜡油(重馏分油)和焦炭。它包括延迟焦化、釜式焦化、平炉焦化、流化焦化、灵活焦化等五种工艺过程。

延迟焦化工艺自 20 世纪 30 年代开发成功以来,至今已有 80 年的工业运转经验,已经成为一项重要的渣油加工工艺。自 2000 年始至今,随着我国轻质油品市场快速增长和炼油企业提高经济效益的需要,重油加工技术发展最快,其中尤以重油催化裂化和延迟焦化两种工艺路线最为明显。从近几年的统计数字看,延迟焦化仍然是我国重油加工的主要装置,重油转化能力仍居第一位。

据美国油气杂志 2013 年 12 月 2 日统计,2013 年在全世界的 645 个炼油厂总焦化装置加工能力为 2.57 亿 t/a。美国焦化装置总加工能力为 1.45 亿 t/a,约占世界焦化装置总加工能力的 56.48%,居世界首位;我国(不包括台湾省)焦化装置总加工能力为 858 万 t/a,占世界焦化装置总加工能力的 3.34%(油气杂志统计的焦化产能数据与我国实际数据不符,差别较大)。2013 年,我国延迟焦化装置加工能力实际为 1.26 亿 t/a,仅次于美国,居世界第二位,我国延迟焦化加工能力占原油一次加工能力的比例超过 15%。

从炼油技术看,减压渣油的轻质化和预处理,生产适宜的催化裂化原料并减少催化裂化的生焦量已成为焦化过程的主要目的

之一。近年来，焦化过程也为加氢处理提供原料油。

目前，延迟焦化已不仅是重要的渣油转化过程和单纯为了增产汽、柴油的工艺方法；石油焦也不再是炼油的副产品。优质石油焦除了广泛用于钢铁、炼铝工业外，其应用已经逐步向生产新材料方面延伸，焦化工艺已成为生产碳素材料的工艺技术。在美国，渣油化学和沥青化学已经成为石油化学的新分支。日本的黑色油品化学也正在兴起。这方面，焦化工艺正在发挥着日益重要的作用。

延迟焦化工艺技术成熟，装置投资和操作费用较低，并能将各种重质渣油（或污油，甚至油泥）转化成液体产品和特种石油焦，可提高炼油厂的轻油收率，增加经济效益。随着渣油/石油焦的气体技术和焦化-气化-汽电联产工艺技术不断得到开发和应用，延迟焦化工艺至今以至于将来都是渣油深加工的最重要手段。

1.2 延迟焦化的发展过程

在重质油热加工工业中，焦化方法主要有釜式、平炉、延迟、灵活和流化等五种。由于釜式、平炉两种工艺技术落后、间歇生产、劳动条件差、耗钢材多、能耗大、占地面积大等缺点，已被逐步淘汰。延迟焦化、流化焦化、灵活焦化都是已经工业化的焦化工艺，其中延迟焦化占焦化总加工能力的95%以上。

流化焦化和灵活焦化于20世纪50年代初期就已经工业化。虽然也建成了一些工业装置，由于焦粉和低热值煤气应用等因素的限制，而未能有更大的发展。与延迟焦化相比，它们具有连续操作、处理能力大、液体产品收率较高等许多优点。近年的研究结果认为，流化焦化的操作灵活性和可靠性已经得到证实，对于重质油加工还是具有吸引力的。

流化焦化是将氢碳比很低，含硫、含重金属高的渣油轻质化，生产气体、轻油和焦炭的连续工艺过程。它和延迟焦化工艺的区别在于：焦炭在流化床反应器内生成；焦炭在反应器和加热

器之间连续循环；部分焦炭在加热器内燃烧以提供裂化反应所需之热量；若选择低残炭、低重金属含量的原料及适当的操作条件，可使焦炭产率很低甚至实现“无焦焦化”。1954年第一套流化焦化装置投入炼油工业使用，目前世界上已有20多套流化焦化装置在运转中。

灵活焦化是在流化焦化工艺过程中附加一套焦炭气化设备，用副产的劣质焦炭产生燃料气。它是美国埃克森公司1968年开发的技术，自1976年日本川崎炼油厂建成第一套125万t/a灵活焦化以来，迄今建有7套工业装置，总能力达1750万t/a。其主要优点是能处理各种渣油，不受渣油质量的限制。

接触焦化，由于它的工艺及设备结构复杂，投资及维修费用高，技术不够成熟而发展极缓慢。

延迟焦化是渣油在炉管内高温裂解并迅速通过，将焦化反应“延迟”到焦炭塔内进行的工艺过程。焦炭塔可用数台轮换操作。延迟焦化装置是减少重质渣油产量并提高轻、中馏分油产率的必要手段，而且低硫石油焦是制造电极原料的主要来源。1930年8月，美国第一套工业化延迟焦化工业装置投产。经过半个多世纪的发展，延迟焦化在工艺技术、设备和生产操作等方面都有不少发展和创新。特别是应用水力除焦技术后，包括有井架水力除焦、无井架水力除焦、半井架水力除焦、微型切割器、加热炉在线清焦、焦炭塔顶/底自动卸盖机等技术，延迟焦化发展更为迅速。

我国是从20世纪60年代初决定开发、建设延迟焦化工业装置的。至今绝大部分的大型石化企业都建有延迟焦化装置，特别是新建炼厂都有延迟焦化装置，并将之作为主要的渣油转化过程。所产的焦化汽油经过加氢精制后成为较好的乙烯原料或催化重整原料；焦化柴油经过加氢脱硫、脱氮后成为优质柴油组分；焦化蜡油经过脱氮后用作催化裂化或加氢裂化原料油；在主要炼制国产原油的情况下，大部分延迟石油焦可符合1~3号石油焦的标准，经过煅烧后可作为炼钢的电极和炼铝工业的阳极焦。在

高硫石油焦的综合利用方面，近年来的主要发展包括：焦炭造气联合发电技术和循环流化床(CFB)锅炉及汽电联产技术。我国自1999年开始建成、投产了多台220t/h的CFB锅炉，所产的10MPa蒸汽供25MW双轴式汽轮机发电机组发电。高硫石油焦用作立窑燃料生产水泥已经实现了工业化。

渣油焦化对提高轻质油品产量起着重要作用。以加工国产原油年处理能力为10Mt的炼油厂为例，进行工艺流程方案分析、比较后认为：建设一套年加工能力为3Mt的延迟焦化装置比不建延迟焦化装置的炼油厂每年可增产汽、柴油2Mt，使催化裂化装置处理量由3Mt/a扩大至4Mt/a，可以显著提高炼油厂的轻质油收率 and 经济效益。我国焦化能力约相当于原油加工能力的20%，延迟焦化-催化裂化-加氢处理联合过程是我国炼油工业目前采用的主要渣油转化工艺路线。

进入21世纪以后，由于进口高硫、高金属原油增多，燃料清洁化步伐加快，特别是汽油中的烯烃、硫含量向国际标准进一步靠拢，高硫、高金属中间基原油的重油已难以作为催化裂化的掺炼原料，延迟焦化已成为重油加工的首选工艺，其发展速度明显加快。

几十年来，我国对延迟焦化工艺作了许多改革和创新，达到提高产品收率、降低生产成本的目标。主要的创新包括：原料的预处理，如加强原油的脱盐、脱硫和脱酸；降低操作压力和循环比以提高液体产品收率；缩短焦化时间以提高加工能力；提高焦化加热炉的效率和延长操作周期；提高自动化水平实现安全操作；减少环境污染等方面。

优化包括延迟焦化工艺的联合工艺过程，可以提高液体产品收率、改善产品质量。国内的主要实践有：减压渣油先进行减黏裂化，减黏渣油再用作延迟焦化的原料油就可以提高液体产品收率，降低焦炭产率；为了优化延迟焦化与催化裂化的组合，焦化蜡油经过加氢处理后再用作催化裂化的原料就可以改善产品分布，减少生焦并延长开工周期；催化裂化油浆用作焦化掺合料可

以提高延迟焦炭质量；采用主动适应弹丸焦生成、或避免弹丸焦产生的设计，适应加工劣质渣油，添加减焦增液助剂等。

国内的一部分延迟焦化装置存在的主要不足是：焦化加热炉热效率偏低、能耗偏高；焦炭塔等工艺设备操作和能力不平衡问题；加工劣质渣油时容易出现弹丸焦问题；环境污染有待改善；需要加强设备防腐以实现安全生产。

1.3 延迟焦化的特点

1.3.1 工艺特点

延迟焦化和其他形式的焦化共同之点是采用加热裂解，是渣油深度反应转换为气体、汽油、柴油、蜡油和固体产品焦炭的过程。延迟焦化与其他焦化方法的不同点是渣油以高的流速流过加热炉的炉管，加热到反应所需的温度 $495\sim 505^{\circ}\text{C}$ ，然后进入焦炭塔，在焦炭塔里靠自身带入的热量进行裂化、缩合等反应。

热渣油在炉管里虽然已达到反应的温度，但由于渣油的流速很快，停留时间很短，裂化反应和缩合反应来不及发生就离开了加热炉，而把反应推迟到焦炭塔里进行，因此叫延迟焦化。

热渣油在焦炭塔里处于高温状态，不但压力大大减少，而且有足够的反应停留时间。因此，反应就能很好地进行。裂化、缩合等反应的结果产生了气体、汽油、柴油、蜡油和石油焦，达到了焦化目的。

为了保证在炉管里不发生反应或很少发生反应，在工艺上采用炉管注水(或水蒸气)，以加快流速、缩短停留时间，避免在炉管内产生裂化反应而结焦。

综上所述，延迟焦化的工艺特点是：既结焦又不结焦。要求结焦在焦炭塔里，而不是在炉管或其他设备里。

1.3.2 操作特点

工艺流程上采用的是一个加热炉配两个(或四个)焦炭塔。渣油经加热炉加热后进入其中一个焦炭塔，生焦到一定高度后，将热渣油切换到另一个焦炭塔去。对于加热炉和后面的分馏系统

来说，是连续操作，而对于焦炭塔来说就要进行新塔准备、切换、老塔处理、除焦等间歇操作。所以，延迟焦化是既连续又间歇的生产过程。

焦炭塔生焦到一定高度后，就需要切换另一个焦炭塔，这样就必然造成加热炉、分馏塔等周期性波动。为了保证平稳操作，产品质量合格，在操作上必须做好每一步骤的工作，尽量减少这种周期性的波动。如新塔的预热要缓慢；换塔前要加强岗位间的联系；加热炉温度烧高一点。全装置要保持平稳操作，加强调节；同时在波动的情况下，要使操作适应波动后的情况。及时调节分馏塔底温度；适当降低产品（抽出油）出装置流量等。

虽然操作发生周期性的波动，只要及时调节，认真操作，仍然可以保证生产平稳，产品质量合格。

1.4 延迟焦化的目的和任务

虽然国内现有延迟焦化装置加工总量大且装置套数也多，可是存在单套装置加工规模小、技术水平已落后及生产上会产生一定的环保问题等缺点，但是延迟焦化这种工艺在短时期内也不会马上被其他先进的渣油加工工艺所取而代之，因此当前近一段时间内延迟焦化的主要任务是如何进一步去完善流程优化操作，充分发挥其工艺流程简单、技术成熟可靠、操作费用低、对原料的适应性强、产品的柴汽比高等特点。延迟焦化的主要目标是提高液体收率、加工劣质渣油污油污泥、降低能耗、提高安全水平和减少环境污染。

1.4.1 处理重质渣油、劣质渣油和催化油浆

劣质原油的加工导致渣油产量快速增加。为合理加工炼油厂过剩的渣油以提高经济效益，大部分炼油厂都选择了工艺成熟、投资较低、操作费用较少和对原料适应性强的延迟焦化工艺技术。目前焦化装置的原料呈现多样化，已处理的原料多达 60 种，有减压渣油、常压渣油、超稠原油、减黏渣油、重质燃料油、煤焦油等。