

用替代技术解决“卡脖子”问题——以新中国成立初期合成石油甲苯的突破为例

孙烈^{1*}, 陈相君^{1,2}

1. 中国科学院 自然科学史研究所, 北京 100190;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 在 20 世纪 50 年代初严峻的国际封锁与国内石油资源短缺背景下, 甲苯作为制造梯恩梯 (TNT) 炸药的关键原料, 成为制约新中国国防与工业发展的“卡脖子”难题。面对困境, 中国科学院创新性地采用替代技术路径: 以煤炭为基础, 通过水煤气费托合成制取液体燃料, 并利用其 C_7 馏分经环化反应生产甲苯。在核心工艺与设备方面, 科研团队自主研发了“连续精密分馏法”实现高纯度甲苯分离, 并为简化工业放大设计, 果断选用技术条件更匹配的固定床反应器而非更先进的流化床。研究表明, 承担国家重大科研任务、“任务带学科”、科研与产业相融合的举措, 为解决阶段性的科技“卡脖子”问题发挥了重要作用, 也为当代科技攻关提供了历史借鉴。

关键词: 甲苯; 水煤气; 梯恩梯; 替代技术; 中国科学院

中图分类号: N91; TQ24

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(XXXX)XX-0001-10

引言

在 20 世纪 50 年代初期, 中国的石油资源极度短缺, 且面临着国际上的技术封锁, 使得甲苯一度成为制约中国发展的“卡脖子”问题。它不仅严重削弱了新中国成立初期有机化学工业体系的建设能力, 更直

接威胁“抗美援朝”期间三硝基甲苯 (梯恩梯, TNT) 的自主供给。

甲苯作为医药、农药、炸药、染料、香料等精细化工关键产业的一级基本有机原料, 其重要性不言而喻。20 世纪初, 随着梯恩梯在战争中的广泛使用, 甲苯的重要性从染料工业更多地转向国防工业, 常常

收稿日期: 2025-05-03; **修回日期:** 2025-05-27

基金项目: 中国科学院中外科技创新史比较研究专项 (E3291J05)

作者简介: *孙烈 (1972—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为工程技术史。E-mail: sunlie@ihns.ac.cn (通讯作者)

陈相君 (2000—), 女, 硕士研究生, 研究方向为能源科技史。E-mail: chenxiangjun@ihns.ac.cn

引用格式: 孙烈, 陈相君. 用替代技术解决“卡脖子”问题——以新中国成立初期合成石油甲苯的突破为例[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, DOI:10.3724/j.issn.1674-4969.20250066.. CSTR: 32282.14.JES.20250066

SUN Lie, CHEN Xiangjun. Solving the Bottleneck Problem with Alternative Technologies: A Case Study of the Breakthrough in Synthetic Petroleum Toluene Production during the 1950s in China[J]. Journal of Engineering Studies, DOI:10.3724/j.issn.1674-4969.20250066.. CSTR: 32282.14.JES.20250066

被作为两用物项而列为禁运品，而各国对甲苯的分离技术更是秘而不宣。1951年，美国操纵联合国大会通过所谓的提案，要求会员国对中国禁运“对制造武器、弹药和战争用品有用的物资”^{[1]128}。甲苯作为用于制造炸药的材料，一直是战争期间的绝对禁运品^[2]。同时在美国对华禁运清单中，芳香烃分离因涉及甲苯制造等问题被特别强调，尤其要注意保密^{[3]226}。

为缓解极为突出的甲苯供需矛盾，国内一方面从废弹中回收三硝基甲苯^{[4]90}，另一方面寻求苏联的援助。1950年毛泽东致电斯大林，请求提供各类弹药和1000 t梯恩梯炸药^{[5]109}。苏联随后向中国补给了部分弹药，不过斯大林表示苏联“没有能力完全实现您（毛泽东）对弹药的申请……尽最大努力能拨给您申请的五分之一”^{[6]240}。在此情形下，中国深刻认识到，甲苯与梯恩梯的供给必须以自给为主。面对这一重大的国家战略需求，中国科学院承担了甲苯合成任务，在短时间内研发了水煤气合成石油、合成油环化制造甲苯的工艺与设备，实现了合成石油甲苯的规模化自产，解决了国家的燃眉之急。

关于20世纪50年代初期中国合成石油甲苯的历程，目前仅有简略提及而未见专题化研究^{[7]35}。有学者注意到中国水煤气合成的发展^[8-9]，但受文献与视角的约束，未能将与之密切相关的合成甲苯问题纳入考察框架。当前，有关“卡脖子”状况下突破封锁的研究大多借鉴国外经验，且对我国两用物项发展案例的实证研究^{[10]3-8, [11]1-5, [12]}很少。本文依据新史料，关注合成石油甲苯这一新问题，探讨中国在科技基础与产业实力相对薄弱的时期，突破关键核心技术的影响因素。

1 原料的替代：水煤气合成石油

以水煤气合成石油为原料制备甲苯并非常规技术路线。20世纪上半叶，国际工业界主要通过炼焦或石油工业来合成甲苯。直至1952年，中国自产甲苯的唯一来源仍是鞍山钢铁公司炼焦副产物^[13]。但由

于炼焦副产甲苯用于大规模化工原料生产时，具有产品收率^①低的明显局限性^{[14]126}，因此尽管“在炼焦副产品中可以得到甲苯，但产量很少，还不能满足需要”^[15]。1954年7月，国家计划委员会（以下简称“国家计委”）在就甲苯问题向主席、中央提交的报告中，提出“在炼油厂暂不能供应甲苯的情况下，甲苯之来源只有求诸钢铁工业的炼焦副产”^{[16]287}。重工业部经审慎评估发现，即便按炼焦副产甲苯最大产量考虑，仍不能满足国防的急迫需求^{[16]287}。

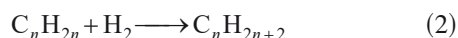
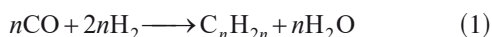
当时在国际上，催化重整是解决甲苯生产的主要思路^[17]。该工艺以石油轻馏分为原料，经预加氢精制、催化重整、溶剂抽提及分离得到甲苯，克服了依靠炼焦副产甲苯收率低的局限。然而，受限于国内已有石油资源的产量与特性，难以在短时间内通过该工艺制取大量甲苯。1952年，中国科学院工业化学研究所（现中国科学院大连化学物理研究所前身，以下简称“大连化物所”）开展“天然石油中甲苯含量测定”研究，明确得出“天然石油中甲苯含量甚微，无提取之经济价值”^[18]的结论。这就在学术上直接否定了国内从天然油中提取甲苯的可行性^[19]。由于形势急迫，大连化物所不得不尝试从玉门直馏汽油中制取甲苯的研究，采用常压钨触媒法^[20-21]。但该技术路线存在钨触媒寿命短的缺陷，欧美国家多以更先进的钨触媒中压加氢法为主^[21]。无奈国内尚未掌握中压设备的制造与使用技术^[22]。这反映出，即便尝试模仿催化重整法，我国也存在工艺与设备方面的显著短板。

鉴于常规路线走不通，大连化物所提出以水煤气合成油中的C₇馏分再环化制造甲苯的创新思路^[23]。水煤气^②合成工艺是指以煤炭或天然气经水蒸气处理生成的CO和H₂的混合物为原料，在催化作用下经费托合成（Fischer-Tropsch process, F-T合成）制取烃类和含氧化合物，以实现所谓煤制油转化的方法。此法的最大好处在于，能够发挥中国拥有丰富煤炭资源的优势，摆脱对石油的依赖。当时中国已经掌握的水煤气合成技术需使用标准钴催化剂，并在常压固定床反应器中进行，其主要反应式如式（1）

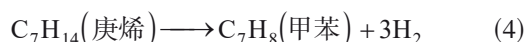
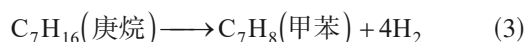
① 收率=转化率×选择性。

② 水煤气是以水蒸气作为气化剂，利用燃料（一般为煤炭、焦炭及半焦）中碳与水蒸气间的反应所生成的气体，主要成分为CO和H₂。

和式 (2) [24]18:



在水煤气合成油的过程中, 可供合成甲苯用的馏分为占比约9%的C₇馏分^[20], 其主要成分为正庚烷和正庚烯。合成甲苯的主要反应是芳烃化反应或环化脱氢反应, 大连化物所简称其为“环化”^[25]。通常, 该反应在约500℃、常压条件下进行, 并以氧化铬为催化剂。环化过程的主要反应式如式(3)和式(4)^[17]:



1951年年底, 在东北科学研究工作计划会议上, 东北工业部兵工局基于抗美援朝战争的实际需求, 正式将甲苯研制任务部署到大连化物所^{[26]17}。随后, 该所围绕任务对机构做出调整, 设立了轻油研究室, 专门从事合成油环化制甲苯研究, 同时全所在建制上归属中国科学院。作为生产单位, 锦州石油六厂给予配合。该厂是日本侵华时期在东北建立的人造石油厂, 1951年完成重建后, 具备采用费托合成技术年产3100 t合成油的能力^{[27]32}。

1952年9月, 环化法试制甲苯在试验室规模取得成功^{[28]192}, 中试研究也取得进展。随着战争中弹药消耗的激增, 甲苯的供应问题成为国家计委关注的“甚急”之事^[22]。1953年国家计委“责成中国科学院工业化学研究所与石油总局设计局加紧研究并完成甲苯工业化生产方法, 以期早日建厂”^[22]。为实现这一目标, 大连化物所在完成试验室规模工作的基础上, 与石油设计局合作开展环化法的扩大试验, 标志着研制任务的重心正式转向规模化生产的准备阶段。

将一项新技术从试验室规模转入工业生产是一个很复杂的过程, 不仅需要新的试验研究, 还需要构建一整套适合实际工业水平和装备条件的工艺与设备体系。由于当时中国的石油化学工业底子很薄, 远未成体系^[29-30], 再加上国际技术封锁, 直接引进核心技术与装置几无可能。因此, 解决相关工艺流程和关键设备成为合成石油甲苯工业化过程中亟待突破的一个

“卡脖子”问题。

2 工艺与设备的替代: 连续精密分馏法与固定床反应器

虽然合成甲苯的实验室试制与中试阶段进展都比较顺利, 但是核心工艺和关键设备才是规模化生产的技术瓶颈。实际上, 20世纪50年代, 中国要实现合成油环化制甲苯的工业化生产, 国际上无先例可循。全球未出现过以烷烃为原料, 通过常压下环化的方法制造甲苯的完整工厂^[31]。二战期间, 德国鲁尔化学公司曾试图建造水煤气合成油C₇馏分环化厂, 但未完工^[17], 而且各国对设计建造此类工厂的方法与数据通常不予公开^[32], 中国只能自行解决。

合成油环化法制甲苯必须解决的问题包括环化催化剂的试验室制备、环化法的中间试验研究、硝化纯甲苯的分离^[29]。大连化物所在甲苯分离工艺方案的探索中经历了曲折历程。科研人员起初看好抽提分馏法, 后来却不得不放弃。当时, 国际上从重整油分离出纯甲苯普遍采用抽提分馏法或共沸分馏法^[33]。大连化物所的实验研究表明, 这两种方法均能够从环化油中分离出硝化级纯甲苯^[33], 但在连续工业操作中, 抽提蒸馏法所需塔板较少, 因此较共沸蒸馏法更易于实施^{[34]167}。为争取时间, 研究所很快将力量集中于抽提蒸馏研究。然而, 进一步研究发现, 抽提分馏法仍存在设备与操作方面的困难。最终, 研究团队决定停止抽提蒸馏及共沸蒸馏的相关试验^[35-36]。

由于上述两种方法都无法满足国内的需求, 大连化物所转向研发新工艺。1953年初, 章元琦等开启了连续精密分馏分离甲苯的研究。他们测定了体系相平衡数据, 推算出理论塔板数为40, 再通过直径为5.08 cm的筛板塔开展验证实验^[37], 最终论证得出, 连续精密分馏法满足工业规模生产硝化纯规格甲苯的需求^[38]。

相比国际已有的两种方法, 连续精密分馏分离甲苯相对简单^[32], 更适合在当时工业水平下硝化级纯甲苯的生产需求, 加快了环化法合成甲苯的工业化速度^[20]。1954年6月, 研究所先后完成了中型工厂规模

的环化法工业试验及从环化产品中分离硝化级纯甲苯的科研任务^[17]。环化厂的设计也由石油总局设计局于当年完成，所需设备简单且成本低^[20]。

在自主开发工艺期间，设备的选择与设计也是“拦路虎”，其中固定床反应器的设计最为关键。研究所召开“放大问题讨论会”时，基于“我国在设计经验及理论方面的水平”，决定采取列管式反应器先进行“单管试验”，使反应器的放大问题大为简化。照此方案，只要掌握一根单管的反应、再生及其他的操作参数，再把这个结果放多而非放大——同样的反应能在几百根管子间同时进行，即可实现工业级反应器的设计^[39]。

在固定床反应器的选择环节，同样贯彻简便高效的原则。实际上，自1950年12月起，大连化物所就布局更先进的流化床反应器的研制工作。但研究人员发现流化床反应器的放大难度远高于固定床反应器，若要在比较短的时间内解决一部分甲苯的供应问题，“采用固定床还是比较现实”^[40]。至1954年3月，通过中间试验获取了固定床反应器的主要特性常数，掌握了设计所需的重要试验数据^[41]。最终，项目组采用了放大设计简单易行、较有把握的固定床反应器，而非当时更先进的流化床反应器。

至1954年中期，水煤气合成油C₇馏分环化制甲苯的主要研究工作已完成了从试验室到工业化的放大验证。当年8月，大连化物所轻油研究室主任彭少逸和石油总局设计局工程师武宝琛向国家计划委员会分别汇报环化法合成甲苯的科研进展和工业化设计方案^[20]。1954年下半年，技术人员完成了环化厂的设计工作^[42]。这意味着，环化法制甲苯已具备了工业化的生产条件。鉴于此，国家计委指示^[20]：

国家对甲苯要求很急，所要的量也很大，一九六二年要求生产三万吨，社会主义工业化甲苯生产量要达七万吨。可是我们的技术条件还很差，因之必须积极发展，稳步前进。用锦州石油六厂合成石油为原料，以环化法合成甲苯之建厂计划，已经中央燃料工业部批准。

1957年5月，年产千吨规模的石油六厂601车间投产合成石油甲苯成功。第一批甲苯经辽阳375厂试验鉴定表明：“合成甲苯质量稍优于煤焦甲苯，试用

过程正常，可以投产。”^[43]^[92]从此结束了我国只能“靠单一煤焦油甲苯生产梯恩梯的历史”^[43]^[92]，从水煤气合成油C₇馏分环化制甲苯成为解决我国甲苯短缺问题的一个主要途径^[23]。1956年，彭少逸、郭燮贤、陈英武、章元琦等以“合成石油芳烃化的研究”成果获得了中国科学院自然科学奖三等奖^[44]。这项成果的独特价值在于它并非以论文为主要载体，而是将实验探索转化为产业技术能力，切实解决了国家重大需求^[23, 32]。

3 攻坚模式的探索：科研与产业的融合

在水煤气合成与合成油环化制甲苯两项替代技术的研发过程中，大连化物所探索出的科研攻坚模式具有显著的示范价值。该所以国家重大战略需求为导向，以科研与产业相结合，在短时间内集中力量有针对性地解决了“卡脖子”问题。

大连化物所较快实现了科研组织方式的转型。中国科学院在建院时强调理论与实际相结合、科学要为国家建设服务^[45]^[39]。当时大连化物所虽然重视将科研计划与国民经济相结合，但是缺乏对生产实际的调查研究。改变这种状况的主要举措有：①研究所邀请厂矿企业单位代表讨论制定科研计划^[37]^[183-184]。正是在1951年12月召开的东北科学研究工作会议上，东北工业部兵工局与科研人员一起将甲苯合成确定为明确的攻关目标^[37]^[13, 46]。②研究所与企业签订技术协作合同，进一步结合生产需求细化科研目标。譬如，与锦州石油六厂签订合同针对常压水煤气合成所用催化剂展开研究，目标定为研制以国产的工业原料代替钴剂，制备出可大批供给的铁催化剂^[37]^[184]。③中国科学院等将相关研究所与企业牵线搭桥的工作会议确立为一种常设制度，每年召开一次，会前还会派人直接到厂矿收集问题，再确立研究题目及攻关计划^[47]^[19]。在后续工业化试验的研究中，该所的科研课题大多来自于企业提出的技术疑难。1955年研究计划中，面向企业的甲苯合成研究与水煤气合成液体燃料研究课题各有5项，达到该所全年项目总数的40%^[42]。④设立专门研究团队并逐步扩大规模。甲苯合成团队从最初的3人增加至数十人的规

模^[46],^[48]151-152, 后续又发展成为国内首屈一指的轻油研究室, 提升了建制化的科研能力。

重视中间试验工厂是大连化物所在当时的一项突出优势。新中国成立初期, “从试验室的结果, 经过中型试验, 达到工厂设计, 在我国化学工业中还是很少的”^[32]。而1952年大连化物所抓住重点任务攻关的机遇, 集中力量建立中间试验工厂, “起初研究人员不知如何合乎设计要求, 设计人员也不知缺乏甚么数据, 因之有互相等待现象, 现在已经开始很好地配合了”^[47]396。合成反应规模由试验室的20 ml、100 ml反应扩大至5 L反应器的中间试验规模, 还同步进行了空间速度、循环油、触媒寿命试验和催化剂制备的扩大试验^[31, 38-39]。通过工艺放大, 以常压环化铬催化剂的生产为例, 从每次制造100 ml扩大至每次制造500~1000 ml, 一次反应后甲苯生成率可达40%~42% (即每100 t C₇馏分可制得40~42 t 甲苯)^[17]。1953年11月, 甲苯合成顺利进入环化中型试验阶段, 次年初取得了建立甲苯生产工厂和触媒车间的一手数据^[49], 其建厂设计成为新中国第一次实现实验室研究成果转移转化的成功范例。1956年, 中国科学院科学奖金的鉴定意见同样肯定了甲苯合成的科研模式, “在工作内容中贯彻了从实验室规模到小型、中型至建厂设计的步骤, 说明我国已掌握了如何进行工业化研究与发展一个新方法的技术, 并且是研究工作为生产服务的具体表现。”^[23]

在生产中发现并提炼关键共性问题, 是突破甲苯核心技术的有效途径。针对环化催化剂载体——氢氧化铝的产量与质量瓶颈, 大连化物所于1954年调研时发现, 山东五〇一厂存在工艺与设备设计缺陷^[17]。科研人员不仅为工厂设计了新的工艺流程与配套设备, 降低了生产成本, 而且推动了催化剂的理论研究与应用研究的协同发展。这种依托合成油C₇馏分环

化制甲苯建立的基础研究的布局, 为水煤气合成及其环化这两项成果奠定学术基础, 开拓了新学术方向^[37]96。由此可见, 围绕重大任务开展关键共性技术研究, 有助于带动学科建设。

4 结语

新中国成立初期, 我国科技与工业基础相对薄弱, 关键核心技术受制于人的局面非常突出。中国科学院以两项替代技术为突破口, 通过科研与产业的深度结合, 攻克了合成石油制甲苯的难题, 为我国独立构建气体液体烃类分析分离技术体系奠定了重要基础。

替代技术是在短时间内突破资源与技术封锁的一种有效途径。在甲苯合成的研制中, 以“煤代油”策略摆脱了石油短缺和煤焦油甲苯产率低的双重困境, 以连续精密分馏法与固定床反应器的创新应用实现了核心工艺与关键设备的简化, 加快了环化法合成的工业化进度。本案例中, 反应放大和反应器的传热传质、反应产品分离方法等技术并不是回归粗糙和原始, 而是找到了适合特定技术条件的基础问题和共性技术, 成为比简单地跟踪模仿更为有效的手段。

以国家重大战略任务为导向, 实施科研与产业相结合, 是明确学科发展方向的宝贵经验。甲苯合成技术的突破, 不仅带动了较为薄弱的学术领域和相应学科领域的发展, 更为石油化工领域厘清了继续发展的关键问题。在《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要》中, 水煤气合成与甲苯合成的技术瓶颈与解决思路, 被进一步凝练为“综合利用燃料, 发展重有机合成”, 正式成为带动全局的十二大重点任务之一^[50]432。

参考文献

- [1] 抗美援朝战争编辑委员会. 抗美援朝战争[M]. 北京: 当代中国出版社, 香港祖国出版社, 2009: 128.
Editorial Committee of the War to Resist U.S. Aggression and Aid Korea. War to Resist U.S. Aggression and Aid Korea[M]. Beijing: Contemporary China Publishing House; Hong Kong Motherland Publishing House, 2009: 128.
- [2] Stranges A N. The US Bureau of Mines's Synthetic Fuel Programme, 1920—1950s: German Connections and American Advances[J].

- Annals of Science, 1997, 54(1): 29-68.
- [3] 朱康福. 朱康福自述[M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2010: 226.
Zhu K F. Zhu Kangfu's Personal Account[M]. Changsha: Hunan Education Publishing House, 2010: 226.
- [4] 中国人民政治协商会议辽宁省委员会文史资料委员会, 丹东市委员会文史资料委员会. 辽宁文史资料 总第29辑 鸭绿江畔的丰碑 辽宁抗美援朝纪实[M]. 沈阳: 辽宁人民出版社, 1990: 90.
Committee of Literary and Historical Materials of Liaoning Provincial Committee of the Chinese People's Political Consultative Conference, Committee of Literary and Historical Materials of Dandong Municipal Committee of the Chinese People's Political Consultative Conference. Liaoning Literary and Historical Materials Vol. 29: Monument on the Yalu River: Records of Liaoning in the War to Resist U.S. Aggression and Aid Korea[M]. Shenyang: Liaoning People's Publishing House, 1990: 90.
- [5] 沈志华. 俄罗斯解密档案选编 中苏关系 第三卷[M]. 上海: 东方出版中心, 2015: 109.
Shen Z H. Selected Declassified Russian Archives: Sino-Soviet Relations Vol. 3[M]. Shanghai: Oriental Publishing Center, 2015: 109.
- [6] 沈志华. 俄罗斯解密档案选编 中苏关系 第四卷[M]. 上海: 东方出版中心, 2015: 240.
Shen Z H. Selected Declassified Russian Archives: Sino-Soviet Relations Vol. 4[M]. Shanghai: Oriental Publishing Center, 2015: 240.
- [7] 张万欣. 当代中国的石油化学工业[M]. 北京: 当代中国出版社, 香港祖国出版社, 2009: 35.
Zhang W X. Contemporary China: Petrochemical Industry[M]. Beijing: Contemporary China Publishing House; Hong Kong Motherland Publishing House, 2009: 35.
- [8] 陈家磊. 中国煤液化技术兴衰历程初析[J]. 中国科技史杂志, 2013,34(2):199-212.
Chen J L. Rise and Decline of Coal Liquefaction Technology in China[J]. The Chinese Journal for the History of Science and Technology, 2013,34(2):199-212.
- [9] 陈贵信. 中国煤炼油工业兴衰履迹[J]. 中国科技史料, 1997(1): 21-28.
Chen G X. The Rise and Decline of Producing Syncrude from Coal in China[J]. China Historical Materials of Science and Technology, 1997(1): 21-28.
- [10] 顾强, 金海年, 巩冰. 大国的坎 如何破解卡脖子难题[M]. 北京: 中译出版社, 2022: 3-8.
Gu Q, Jin H N, Gong B. Breaking the Barrier: How to Solve the Bottleneck Problem[M]. Beijing: China Translation & Publishing House, 2022: 3-8.
- [11] 吕彬, 李晓松, 姬鹏宏. 西方国家军民融合发展道路研究[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015: 1-5.
Lü B, Li X S, Ji P H. Research on Military-Civilian Integration Development Path in Western Countries[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2015: 1-5.
- [12] 李璐, 梁新. 军民融合发展历史经验研究[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2019.
Li L, Liang X. Research on Historical Experience of Military-Civilian Integration Development[M]. Beijing: China Financial & Economic Publishing House, 2019.
- [13] 朱秀昌. 找寻鞍山钢铁公司甲苯回收率低之原因--分析工作报告, 08.10-001-01[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1952.
Zhu X C. Analytical Work Report of Investigating the Causes of Low Toluene Recovery Rate at Anshan Iron and Steel Company, 08.10-001-01[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1952.
- [14] 汉考克. 甲苯二甲苯及其工业衍生物[M]. 王杰, 白庚辛, 译. 北京: 化学工业出版社, 1987: 126.
Hancock E G. Toluene, The Xylene and Theirs Industrial Derivatives[M]. Wang J, Bai G X, translate. Beijing: Chemical Industry Press, 1987: 126.
- [15] 章元琦. 甲苯分离组研究的目的是主要内容, B102-01230-013[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1954.
Zhang Y Q. Purpose and Main Content of Toluene Separation Group Research, B102-01230-013[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1954.
- [16] 中共甘肃省委党史研究室. 甘肃工业的基石:"一五"时期甘肃重点工程建设[M]. 兰州: 甘肃文化出版社, 2007: 287.
Party History Research Office of Gansu Provincial Committee of CPC. Cornerstone of Gansu's Industry: Key Projects in Gansu During the First Five-Year Plan Period[M]. Lanzhou: Gansu Culture Press, 2007: 287.
- [17] 中国科学院, 石油所. 中国科学院石油所轻油研究室获技术科学论著三等奖材料论文——环化法自合成汽油七碳馏分制造硝化级纯甲苯的工业研究, 1956-02-065-07[G]. 北京: 中国科学院办公厅档案馆, 1956.
Chinese Academy of Sciences, Petroleum Institute. Third Prize Award Materials for Light Oil Laboratory, CAS Petroleum Institute: Industrial Research on Producing Nitration-Grade Pure Toluene from C₇ Fraction of Synthetic Gasoline via Cyclization Method, 1956-02-065-07[G]. Beijing: Archives of General Office, Chinese Academy of Sciences, 1956.
- [18] 胡孝忠. 从工业试验到化学物理——中国科学院大连化学物理研究所发展之路研究(1949—1966)[D]. 北京: 中国科学院自然科学史研究

- 所, 2011.
- Hu X Z. From industry experiments to chemical physics: A study of the developmental way of Dalian Institute of Chemical Physics(1949—1966)[D]. Beijing: The Institute for History of Natural Sciences, Chinese Academy of Sciences, 2011.
- [19] 中国科学院工业化学研究所. 中国科学院工业化学研究所一九五二年工作简要总结[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1952.
- Institute of Industrial Chemistry, Chinese Academy of Sciences. Brief summary of work in 1952 by the Institute of Industrial Chemistry [G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1952.
- [20] 中国科学院. 关于送上“汇报甲苯研究工作情况记录摘要”的函, 1954-03-023-01[G]. 北京: 中国科学院办公厅档案馆, 1954.
- Chinese Academy of Sciences. Letter regarding submission of “Summary Report on Toluene Research Work Progress”, 1954-03-023-01 [G]. Beijing: Archives of General Office, Chinese Academy of Sciences, 1954.
- [21] 中国科学院. 关于工业化学所甲苯工作问题给国家计委、文教委的请示(附件二件), 1953-03-021-02[G]. 北京: 中国科学院办公厅档案馆, 1953.
- Chinese Academy of Sciences. Request to the state planning commission and culture-education commission on toluene work issues at the Institute of Industrial Chemistry (Two Attachments), 1953-03-021-02[G]. Beijing: Archives of General Office, Chinese Academy of Sciences, 1953.
- [22] 中国科学院工业化学研究所. 甲苯工作会议总结, B102-00882-003[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1953.
- Institute of Industrial Chemistry, Chinese Academy of Sciences. Summary of Toluene Work Conference, B102-00882-003[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1953.
- [23] 张大煜. 1956年中国科学院科学奖金推荐书及学术鉴定意见表(环化法自合成汽油七碳馏分制造硝化级纯甲苯的工业研究), 1956-02-065-02[G]. 北京: 中国科学院办公厅档案馆, 1956.
- Zhang D Y. Recommendation Letter for 1956 CAS Science Award and Academic Evaluation Form (Industrial Research on Producing Nitration-Grade Pure Toluene from C_7 Fraction of Synthetic Gasoline via Cyclization Method), 1956-02-065-02[G]. Beijing: Archives of General Office, Chinese Academy of Sciences, 1956.
- [24] 石油六厂. 常压钴剂合成资料[M]. 北京: 石油工业出版社, 1960: 18.
- Petroleum Plant No. 6. Synthesis Data of Atmospheric Cobalt Agent[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1960: 18.
- [25] 郭燮贤. 锦州油常压环化工作报告, B102-00882-018[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1953.
- Guo X X. Jinzhou Oil normal pressure cyclization work report, B102-00882-018[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1953.
- [26] 辽宁省科技志编委办公室. 辽宁科学技术大事记 1945.9.3—1985.12.31[M]. 沈阳: 内部资料, 1987: 17.
- Editorial Office of Liaoning Provincial Science and Technology Chronicle. Chronicle of Major Science and Technology Events in Liaoning Province 1945.9.3—1985.12.31 [M]. Shenyang: Internal Information, 1987: 17.
- [27] 辽宁省地方志编纂委员会办公室. 辽宁省志: 石化工业志[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996: 32.
- Editorial Office of Liaoning Provincial Local Chronicle Compilation Committee. Liaoning Provincial Chronicle: Petrochemical Industry Chronicle[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House, 1996: 32.
- [28] 郭建荣. 中国科学技术年表 1582—1990[M]. 北京: 同心出版社, 1997: 192.
- Guo J R. Chronology of Chinese Science and Technology 1582—1990[M]. Beijing: Tongxin Publishing House, 1997: 192.
- [29] 中国科学院石油所. 环化法自合成汽油七碳馏分制造硝化级纯甲苯的工业研究, B102-00883-008[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1956.
- Institute of Petroleum, Chinese Academy of Sciences. Industrial research on the production of nitration-grade pure toluene from the C_7 fraction of synthesized gasoline by cyclization, B102-00883-008[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1956.
- [30] 祝晓楠. “合成油七碳馏分环化制甲苯”项目申请院科学奖金的有关材料, B102-00882-022[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1956.
- Zhu X N. Materials for the application of Scientific Award for the cyclization of seven-carbon fraction from synthetic oil project, B102-00882-022[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1956.
- [31] 中国科学院工业化学研究所, 石油管理总局设计局. 甲苯中型工厂试验研究进行步骤, B102-00882-010[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1953.
- Institute of Industrial Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Petroleum Management Bureau Design Bureau. Experimental research steps for medium-sized toluene factory, B102-00882-010[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1953.

- [32] 中国科学院. 关于对“环化法自合成汽油七碳馏分制造硝化级纯甲苯的工业研究”的评语, 1956-02-065-08[G]. 1956.
Chinese Academy of Sciences. Comments on industrial research on the production of nitration-grade pure toluene from the seven-carbon fraction of synthesized gasoline by cyclization, 1956-02-065-08[G]. 1956.
- [33] 中国科学院, 工业化学所. 液体燃料研究工作报告会资料——共沸分馏与抽提分馏分离环化油中甲苯之研究, 1954-03-037-07[G]. 北京: 中国科学院办公厅档案馆, 1954.
Chinese Academy of Sciences, Institute of Industrial Chemistry. Liquid fuel research report: Research on the separation of cyclization oil's toluene by azeotropic distillation and extractive distillation, 1954-03-037-07[G]. Beijing: Archives of General Office, Chinese Academy of Sciences, 1954.
- [34] 布鲁克斯. 石油烃化学-第一卷 第一分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1959: 167.
Brooks B T. Petroleum Hydrocarbons Chemistry - Volume 1, Part 1[M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1959: 167.
- [35] 中国科学院工业化学研究所. 连续精密分馏分离甲苯之研究[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1954.
Institute of Industrial Chemistry, Chinese Academy of Sciences. Study on the continuous precise distillation separation of toluene[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1954.
- [36] 石油总局设计局. 对环化生成油精炼试验的要求, B102-00882-013[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1954.
Petroleum Bureau Design Bureau. Requirements for the refining experiment of cyclization oil, B102-00882-013[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1954.
- [37] 中国科学院大连化学物理研究所. 中国科学院大连化学物理研究所志(1949-1985)[M]. 大连: 内部资料, 1985.
Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences. Chronicle of the Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences (1949-1985)[M]. Dalian: Internal Information, 1985.
- [38] 郭燮贤. 环化法制甲苯简介表, B102-00882-001[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1954.
Guo X X. Brief table on cyclization method for toluene production, B102-00882-001[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1954.
- [39] 郭燮贤. 环化中型试验, B102-00883-006[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1954.
Guo X X. Medium-sized cyclization experiment, B102-00883-006[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1954.
- [40] 许怀瑜. 水煤气合成油七碳馏份环化中间试验, B102-00883-009[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1956.
Xu H Y. Intermediate experiment on cyclization of water gas synthesis oil's C₇ fraction, B102-00883-009[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1956.
- [41] 郭燮贤. 研究工作报告: 环化法制甲苯铬触媒制造之中间试验, B102-00882-011[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1953.
Guo X X. Research work report: Intermediate experiment on cyclization method for toluene production using chromium catalyst, B102-00882-011[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1953.
- [42] 中国科学院, 石油所. 关于寄上石油所概况、1955年研究工作计划概要及接待苏联科学代表团计划草案等资料的函(附件2件), 1955-02-042-12[G]. 北京: 中国科学院办公厅档案馆, 1955.
Chinese Academy of Sciences, Institute of Petroleum. Letter regarding the submission of the Petroleum Institute overview, summary of 1955 Research Plan, and draft of the reception plan for the Soviet Scientific Delegation (Attachment 2 documents), 1955-02-042-12[G]. Beijing: Archives of General Office, Chinese Academy of Sciences, 1955.
- [43] 锦州炼油厂. 艰苦创业五十年 1937—1987[M]. 锦州: 内部资料, 1987: 192.
Jinzhou Refinery. Fifty Years of Hard Struggle 1937—1987[M]. Jinzhou: Internal Information, 1987: 192.
- [44] 中国科学院科学奖金委员会. 中国科学院1956年度科学奖金(自然科学部分)获得者的科学研究论著目录, B102-00882-021[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1957.
Chinese Academy of Sciences Scientific Award Committee. Catalogue of scientific research papers by the recipients of the 1956 Chinese Academy of Sciences Scientific Award (Natural Sciences Part), B102-00882-021[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1957.
- [45] 中国科学院编辑委员会. 中国科学院 上[M]. 北京: 当代中国出版社; 香港祖国出版社, 2009: 39.
Editorial Committee of the Chinese Academy of Sciences. Chinese Academy of Sciences I [M]. Beijing: Contemporary China Publishing House; Hong Kong Motherland Publishing House, 2009: 39.
- [46] 中国科学院. 甲苯工作会议记录, 1953-03-021-06[G]. 北京: 中国科学院办公厅档案馆, 1953.
Chinese Academy of Sciences. Toluene work meeting minutes, 1953-03-021-06[G]. Beijing: Archives of General Office, Chinese Academy of Sciences, 1953.

- [47] 武衡. 东北区科学技术发展史资料-2-科研管理卷[M]. 中国学术出版社, 1986.
Wu H. History of Science and Technology Development in Northeast China-2-Scientific Research Management[M]. China Academic Publishing House, 1986.
- [48] 竺可桢. 竺可桢全集 第13卷[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2007: 151-152.
Zhu K Z. The Complete Works of Zhu Kezhen, Volume 13[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Education Publishing House, 2007: 151-152.
- [49] 郭燮贤, 焦诚德. 甲苯触媒之研究报告, B102-00883-001[G]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所综合档案室, 1953.
Guo X X, Jiao C D. Research work report on toluene catalysts, B102-00883-001[G]. Dalian: Comprehensive Record Office of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, 1953.
- [50] 中共中央文献研究室. 建国以来重要文献选编 第9册[M]. 北京: 中央文献出版社, 2011: 432.
Office of the Central Committee of the Communist Party of China. Selected Important Documents since the Founding of the People's Republic of China, Volume 9[M]. Beijing: Central Party Literature Press, 2011: 432.

Solving the Bottleneck Problem with Alternative Technologies: A Case Study of the Breakthrough in Synthetic Petroleum Toluene Production during the 1950s in China

SUN Lie^{1*}, CHEN Xiangjun^{1,2}

1. Institute for the History of Natural Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Highlights

Substituted petroleum with F-T synthetic oil for toluene feedstock.

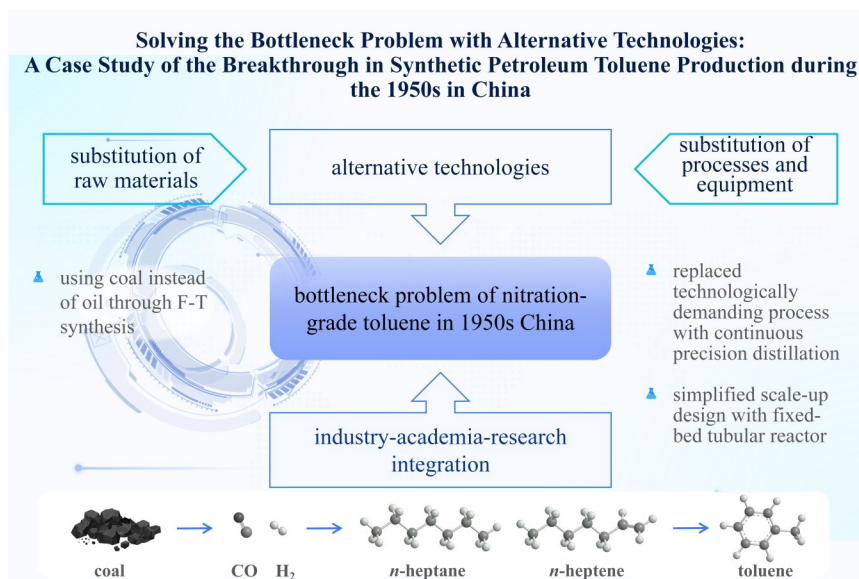
Replaced technologically demanding process with continuous precision distillation.

Simplified industrial scale-up design through fixed-bed tubular reactor.

Integrated academic research with industrial system.

Integrated national strategic research priorities with fundamental disciplinary development.

Graphical Abstract



Abstract: This paper aims to explore how China broke through the bottleneck problem of toluene supply in the early days of the PRC through alternative technologies, and to provide historical reference for solving periodic scientific and technological challenges. In the early 1950s, China faced severe oil shortages and international technological blockades, with toluene, a key raw material for manufacturing TNT, becoming a critical issue that threatened national defense and industrial construction.

Traditional routes such as recovering from coking by-products had low yields, and the western countries' embargo further cut off supply channels. Against this backdrop, the DICP [Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences (CAS)] undertook the task of synthesizing toluene. The DICP adopted alternative technical routes using water gas to synthesize petroleum *via* the Fischer-Tropsch (F-T) synthesis, and then cyclizing the C₇ fraction of synthetic oil to produce toluene. The principle lies in converting coal-derived CO and H₂ into hydrocarbons through F-T synthesis, and then carrying out aromatization or cyclization dehydrogenation reactions on the C₇ fraction at about 500°C under atmospheric pressure with chromium oxide as a catalyst. In terms of process and equipment, facing the lack of precedents and technical blockades, CAS developed a continuous precision distillation method to separate nitration-grade pure toluene, and chose a fixed-bed reactor over a fluidized-bed reactor considering practical industrial conditions, simplifying the scaling-up design.

The DICP adopted alternative technical routes: using water gas to synthesize petroleum *via* the Fischer-Tropsch (F-T) synthesis, and then cyclizing the C₇ fraction of synthetic oil to produce toluene. The principle lies in converting coal-derived CO and H₂ into hydrocarbons through F-T synthesis, and then carrying out aromatization or cyclization dehydrogenation reactions on the C₇ fraction at about 500°C under atmospheric pressure with chromium oxide as a catalyst. In terms of process and equipment, facing the lack of precedents and technical blockades, CAS developed a continuous precision distillation method to separate nitration-grade pure toluene, and chose a fixed-bed reactor over a fluidized-bed reactor considering practical industrial conditions, simplifying the scaling-up design.

The technical route started with the task deployment by the Northeast Industrial Department's Ordnance Bureau in late 1951, with the DICP establishing a light oil research laboratory. Laboratory-scale success was achieved in September 1952, followed by pilot tests and cooperation with one of Jinzhou Petroleum Factories. By 1954, industrial trials and plant design were completed, and the synthesized toluene was identified as superior to coal tar toluene. This process integrated scientific research with industry, addressing key technical challenges such as reactor design and mass transfer.

The case study concludes that alternative technologies, such as "using coal instead of oil" and innovative processes, effectively broke through resource and technological blockades in a short time. The model of integrating national major tasks with disciplinary development ("task-driven discipline") and combining scientific research with industry not only solved the urgent need for toluene but also laid the foundation for the development of petroleum chemistry. The innovation lies in the independent development of a non-traditional toluene production route in the context of weak technological foundations, providing a domestic case for the major demands of the country. Policy implications include the importance of national strategic task orientation and industry-academia-research integration. Academically, it enriches the research on domestic dual-use item technology development and offers historical experience for technological self-reliance.

Keywords: toluene; water gas; TNT; alternative technologies; CAS