

芳烃联合装置中制苯工艺对比及技术展望

王 维

中国石化海南炼化有限公司 海南 洋浦 578101

摘要：芳烃联合装置中的制苯工艺一直是石化工业中备受关注的焦点领域，通过对比不同工艺路线，分析其优缺点，并展望未来技术发展趋势，我们可以更好地探讨如何实现制苯工艺的持续优化和创新。本文旨在从多个角度深入研究芳烃联合装置中的制苯工艺，希望能够为相关领域的研究人员、工程师和决策者提供有益的见解和启示。

关键词：芳烃联合装置；制苯工艺；生产能力

对不同制苯工艺方案进行对比分析，有助于揭示其在能源消耗、原料利用、产品选择性、环境友好性等方面的技术特点与经济效益，通过对未来技术发展趋势进行展望，可以指导我们寻求更加绿色、高效的工艺方案，满足可持续发展的要求，提高产业竞争力。

1 目前常见的制苯工艺

1.1 氧化苯工艺

氧化苯工艺是利用苯通过氧化反应产生苯酚的过程。其反应方程式如下所示：



在氧化苯工艺中，苯与氧气在适当的条件下通过催化剂催化反应生成苯酚，该反应主要由两个步骤组成，苯的氧化生成苯酚，苯酚的脱氢反应生成酚醛，苯氧化反应需要在适当的反应条件下进行，以获得较高的产率和选择性，反应温度在180-250℃之间，反应压力为1-5 MPa，反应还需要适量的催化剂和氧气作为氧化剂，常用的催化剂包括钒酸铵、次氯酸钠和过渡金属催化剂等，这些催化剂能够促使苯的氧化反应发生，并且能够抑制副反应的产生，氧化苯反应产生的苯酚产品还需要进行纯化处理，该工艺采用蒸馏分离和萃取等方法进行产品纯化，蒸馏分离是利用苯酚和苯的不同沸点进行分离，以去除其中的杂质，而萃取则是利用溶剂的选择性提取苯酚，以获得高纯度的产品。

1.2 煤合成制苯工艺

煤合成制苯通过煤气化得到合成气，然后进行一系列复杂的化学反应，最终将合成气转化为苯和其他芳烃化合物，这个过程包括煤气化、水煤气变换以及芳构化反应等，在煤气化过程中，煤在高温下与氧气或水蒸气反应生成一氧化碳和氢气，形成合成气，合成气经过一系列反应，如费舍尔-特罗普反应和芳构化反应，逐步转化为苯和其他芳烃化合物，通过合成气中一氧化碳和氢气在催化剂的存在下发生反应，生成包括甲烷、乙烷、乙烯等的多元醇和酯，这些中间产物是芳构化反应的前体，芳构化反应将这些中间产物转化为苯和其他芳烃化合物，是制得苯的关键步骤，煤合成制苯工艺中所使用的催化剂包括铁、钴、镍等金属或其氧化物、贵金属和其他复合催化剂，这些催化剂对费舍尔-特罗普反应和芳构化反应具有高效的活性和选择性，能够将合成气高效转化为苯和其他芳烃类产物。

1.3 其他新兴制苯工艺

甲醇制苯是一种新型的绿色制苯工艺，该工艺以甲醇为原料，通过催化转化反应制取苯，甲醇在催化剂的作用下发生甲醇转化和缩合反应，生成乙醇、甲苯和二甲苯等产物，经过一系列分离和提纯过程，最终得到苯产品，相比于传统的煤合成制苯工艺，甲醇制苯工艺具有原料来源广泛、生产过程简化的优势，而且能有效降低对石油资源的依赖，因此备受关注。生

物质制苯是近年来备受关注的一种新兴制苯工艺，该工艺利用生物质资源，如木质纤维、秸秆等，通过热解、气化和催化转化等过程，将生物质转化为合成气，再通过一系列反应制取苯，生物质制苯工艺与传统的煤合成制苯工艺相比，具有减少碳排放、提高可持续性和降低对化石燃料的依赖等优势。催化裂解制苯是另一种新兴制苯工艺，该工艺利用石油馏分或石油裂解气等作为原料，通过催化裂解反应将重质碳氢化合物转化为苯和其他轻质芳烃化合物。

2 制苯工艺的比较指标

2.1 生产能力与产量

氧化苯工艺是一种重要的制苯工艺，它通过对甲苯或乙苯进行氧化反应来生产苯，该工艺具有成熟的工艺流程和设备，生产能力较大，能够满足大规模工业生产的需求，氧化苯工艺的生产能力通常可达到数十万吨到数百万吨的规模，产量较高，为制苯工艺中的主要生产方式之一。煤合成制苯工艺是利用煤炭等碳质原料进行合成制苯的工艺，依赖于大型化工厂和设备，具有较高的生产能力，生产能力可达到数十万吨到数百万吨的产量，并且产量稳定，能够大规模满足市场需求。甲醇制苯工艺利用甲醇作为原料，经过一系列的催化转化反应制取苯，这种工艺相较于煤合成和氧化苯工艺，其生产能力相对较低，一般为数万吨到十几万吨的规模，随着催化剂和工艺技术的不断改进，甲醇制苯工艺的生产能力在逐步提升，成为一种备受关注的制苯方式。生物质制苯工艺利用生物质资源进行热解、气化等反应生产苯，由于生物质资源的限制以及热解、气化技术的成熟度等因素，生物质制苯工艺的生产能力一般相对较低，一般为数千吨到数万吨的规模，尽管生产能力不及其他工艺，但生物质制苯工艺由于其可持续性和环保性，在特定领域有着广阔的应用前景。催化裂解制苯工艺利用石油原料进行裂解反应生产苯，这种工艺鲜有独立的苯生产装置，通常作为裂解汽油、乙烯裂解等其他工艺的副产品而产生，催化裂解制苯的生产能力和产量受到原始装置的影响，一般相对较低，常为数千吨到数万吨的规模。

2.2 能源消耗和碳排放

氧化苯工艺作为一种较为成熟的制苯工艺，通常需要高温和氧化剂以进行苯的合成反应，虽然该工艺的能源消耗相对较高，但其碳排放相对较低，反应中主要使用的是氧气作为氧化剂，不产生额外的碳排放。煤合成制苯工艺使用煤炭等碳质原料作为主要原料，该工艺需要大量的能源来提炼和合成苯，能源消耗较高，在煤的燃烧过程中会释放大量的二氧化碳，该工艺的碳排放量较大，对环境产生较大的影响。甲醇制苯工艺利用甲醇进行催化转化反应制取苯，这种工艺相对于煤合成制苯工艺能源消耗较低，甲醇作为原料可由可再生资源、废弃物或天然气等多种方式生产，在反应过程中产生的碳排放相对较低，

作者简介：王维（1994—），男，汉族，海南海口人，中国石化海南炼化有限公司，副操，职称：助理工程师，硕士研究生，研究方向：介电响应材料

催化转化反应通常能够实现高效、清洁的苯合成过程，甲醇制苯工艺在能源消耗和碳排放方面具有一定的环保优势。生物质制苯工艺利用生物质资源进行热解、气化等反应生产苯，这种工艺的能源消耗相对较低，生物质资源通常为可再生资源，生物质裂解过程中生成的副产物可用作能源回收，生产过程中的碳排放也相对较低，由于生物质资源的循环利用和再生特性，有助于减少对化石能源的依赖，并减少碳排放。催化裂解制苯工艺主要利用石油原料进行裂解反应生产苯，这种工艺的能源消耗相对较高，裂解需要高温条件和大量能源，会产生较多碳排放，虽然通过先进的催化技术能够提高选择性和产率，但是由于石油资源的有限性和环境问题，催化裂解制苯工艺在能源消耗和环保性方面存在一定的挑战。

2.3 产品质量与纯度

氧化苯工艺以甲苯或乙苯为原料进行氧化反应制取苯，该工艺产出的苯一般质量较高，纯度较高，符合工业级标准，氧化苯工艺产品通常无杂质，稳定性好，适用于广泛的下游应用，如合成聚酯、合成橡胶和染料等。煤合成制苯工艺利用煤炭等碳质原料合成苯，由于合成过程中存在复杂的化学反应和分离过程，且煤合成气中可能含有其他成分，如甲烷、乙烷等，煤合成制苯的产品质量可能受到一定影响，通过后续的分离和纯化工艺，可以获得高纯度的苯产品，但相对于氧化苯工艺，其产品质量可能会略有差异^[1]。甲醇制苯工艺利用甲醇为原料进行催化转化反应制取苯，该工艺通常能够获得较高纯度的苯产品，甲醇本身的纯度相对较高，且催化转化反应通常具有较好的选择性，能够产生较纯的苯产品，甲醇制苯工艺的产品质量一般较高。生物质制苯工艺利用生物质资源进行热解或气化等反应制取苯，生物质制苯工艺的产品质量可能受到原料的影响，生物质资源本身可能含有杂质，对最终产品的纯度可能会有一定影响，通过精细的处理和纯化工艺，可以获得符合工业标准的苯产品。催化裂解制苯工艺通常作为裂解汽油、乙烯裂解等其他工艺的副产品而产生苯，由于裂解过程中存在多种组分，苯产品的纯度可能受到其他组分的影响，相较于其他工艺，催化裂解制苯的产品纯度可能略有偏低。

3 制苯工艺技术展望

3.1 催化剂和催化技术的优化

随着催化科学和催化工程的迅速发展，设计和合成高效、高选择性的催化剂成为制苯工艺的关键，未来的趋势是开发具有更高催化活性和稳定性的催化剂，以实现更高的苯产率和减少副产物的生成，对于催化剂的选择性也提出了更高的要求，希望能够实现高选择性的苯合成，避免副反应的发生，绿色环保也是催化剂优化的方向之一，开发可再生材料或可回收催化剂，减少对贵金属等稀缺资源的依赖^[2]。改善反应条件和操作参数是催化技术优化的重要内容，通过优化反应温度、压力、反应时间等参数，可以提高反应活性和选择性，减少催化剂失活和副反应的发生，改进反应体系和反应器结构也是实现催化技术优化的重要手段，例如，设计和优化催化剂的载体、改进传质和传热性能，提高反应体系的稳定性和效率，新型反应器的设计和改进也有助于提高反应效果，例如微反应器、催化薄膜反应器等。

3.2 过程设计与工艺流程改进

过程设计是实现高效制苯的关键，结合先进的计算机模拟技术和材料科学，设计新型高选择性和高效率的催化剂，优化反应条件和提高芳烃转化率，加强对流程的系统工程化设计，通过对整个生产系统的综合考量，实现能源、原料和环境的最优配置，注重工艺的智能化和数字化设计，引入先进的过程控制技术和自动化设备，提高生产过程的可控性和稳定性，减少不稳定因素对工艺的影响，从而实现工艺的高效化^[3]。工艺流程改进是实现高效制苯的另一个重要方向，通过综合利用先进的传质传热技术，实现反应条件的精细控制和优化，减少能源

消耗和副产物的生成，注重工艺的可持续性，通过开发新型的废物处理技术和资源利用技术，最大限度地减少废弃物的排放，提高资源的综合利用率，引入先进的过程监测技术和在线分析技术，实现对工艺过程的实时监测和优化调控，提高工艺的可控性和稳定性，降低生产过程的波动性。

3.3 芳烃转化与废弃物利用的创新

随着能源和化工行业的发展，对于芳烃的有效转化和高附加值产品的开发提出更高要求，未来的趋势是探索和开发新的转化反应途径，通过改变反应条件、催化剂的选择和反应机理的研究等手段，实现芳烃分子结构的精细调控，以提高转化率、选择性和产物品质，例如，开发新型的催化剂，可以实现芳烃的选择性芳构化反应，将其转化为苯等高附加值芳香烃，研究芳烃的环化和重排反应，可以在工艺中利用废弃物和副产物，实现资源的再循环利用和能源的最优配置^[4]。芳烃联合装置中常常伴随着大量的废弃物和副产物的生成，如碳黑、废气和废水等，未来，应加强对这些废弃物的综合利用研究，以减少对环境的负面影响和资源的浪费，通过成熟的废物处理技术，如焚烧、气化和液化等，将废弃物转化为能源或其他有用的化学品，通过创新技术和绿色工艺，如生物降解技术、催化转化技术和循环经济模式，将废弃物转化为高附加值的产品或中间体，例如，将废弃物利用作为再生原料，开发废弃物转化产物的重要用途，如合成润滑油、高级燃料和有机合成中间体等。

3.4 绿色化和可持续发展的趋势

未来的制苯工艺将逐渐减少对传统能源的依赖，更多地利用可再生能源和清洁能源，例如太阳能、风能等，通过提高生产流程的能源利用效率，减少废热、废气和废水的排放，并开发废热回收和再利用技术，以降低总体能源消耗，工艺设计将更多地注重原材料的可持续性和循环利用，推动生产过程中废弃物和副产品的资源化再利用，从而实现资源的有效利用^[5]。制苯工艺将致力于减少环境排放和降低污染物的生成，通过改进工艺流程和引入先进的废气净化、废水处理技术实现，例如，优化反应条件、采用高效催化剂和提高产品分离纯化技术，以减少有害气体和液体废弃物的排放，引入生物降解技术和其他绿色环保技术，加强对废弃物的处理和综合利用，实现减少环境污染和促进资源再利用的目标。制苯工艺将更多地倡导循环经济理念，即将废弃物转化为资源并循环利用，以实现生产过程的可持续性，通过工艺设计和设备改造，推进原料的减量化和资源的综合利用，加强产品的设计和绿色化生产，推动降解和再生利用，最大限度地减少废弃物的产生，将循环经济理念贯穿于整个生产过程。

4 结束语

综合对比芳烃联合装置中的制苯工艺，发现不同工艺路线在能源消耗、原料利用和环境影响等方面存在着挑战和机遇，在未来的发展中，需要更加注重制苯工艺的全生命周期环境影响，并积极推动绿色化学工程的发展和应用将是关键。

参考文献

- [1] 中国化学环己烷制苯工艺完成中试[J]. 石油化工技术与经济, 2023, 39 (04): 4.
- [2] 唐洁, 雷军, 张清建. 金属助剂对邻二甲苯氧化制苯酐催化剂影响的研究进展[J]. 煤化工, 2022, 50 (01): 61-64+60.
- [3] 杨晰, 龙海涛. 氧气催化氧化乙苯制苯乙酮研究进展[J]. 工业催化, 2021, 29 (08): 19-25.
- [4] 王熙庭. 美升级小型天然气制苯新工艺[J]. 天然气化工(C1化学与化工), 2020, 45 (05): 110.
- [5] 王洪军. 制苯车间苯和甲苯精馏系统模拟与优化[J]. 山东化工, 2020, 49 (11): 247-250.