

脱乙基与乙苯转化型异构化催化剂的对比研究

张兴华

中国石化扬子石油化工有限公司芳烃部, 江苏 南京

收稿日期: 2026年5月9日; 录用日期: 2026年6月19日; 发布日期: 2026年6月29日

摘要

本文对比分析脱乙基型与乙苯转化型两类二甲苯异构化催化剂的反应机理、性能及应用场景。研究发现, 脱乙基型催化剂SKI-320乙苯转化能力强, 适配高空速、低氢烃比工况; 乙苯转化型催化剂RIC-300原料利用率高, 能有效控制C₈芳烃损失。前者适用于乙苯含量高的原料处理, 后者更适配对二甲苯收率要求高的装置。催化剂选择需综合原料特性、工艺要求等因素, 未来研究将围绕探究反应机理、开发新型载体、寻找低成本合成路线展开, 推动芳烃技术发展。

关键词

二甲苯异构化, 脱乙基型催化剂, 乙苯转化型催化剂, 对比分析

Comparative Study of Deethylation and Ethylbenzene-Conversion Type Isomerization Catalysts

Xuehua Zhang

Aromatics Department of Sinopec Yangzi Petrochemical Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

Received: May 9, 2026; accepted: June 19, 2026; published: June 29, 2026

Abstract

This paper conducts a comparative analysis of the reaction mechanisms, performance, and application scenarios of deethylation and ethylbenzene-conversion xylene isomerization catalysts. The study finds that the deethylation catalyst SKI-320 exhibits strong ethylbenzene conversion capability and is suitable for operation under high space velocity and low hydrogen-to-hydrocarbon ratio conditions; while the ethylbenzene-conversion catalyst RIC-300 offers high raw material utilization and effectively controls C₈ aromatic loss. The former is more suitable for feeds

with high ethylbenzene content, while the latter is preferable for units requiring high p-xylene yield. Catalyst selection should consider feed characteristics and process requirements. Future research will focus on exploring reaction mechanisms, developing new carriers, and finding low-cost synthesis routes to advance aromatic technology development.

Keywords

Xylene Isomerization, Deethylation Catalyst, Ethylbenzene-Conversion Catalyst, Comparative Analysis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

二甲苯异构化是芳烃生产过程中的关键环节，其目的是将热力学平衡组成的二甲苯混合物转化为对二甲苯含量更高的产品，以满足市场对高纯度对二甲苯日益增长的需求。在这一过程中，催化剂起着至关重要的作用。脱乙基型和乙苯转化型催化剂是目前应用较为广泛的两类二甲苯异构化催化剂，它们具有不同的反应路径和性能特点，深入研究和对比这两类催化剂对于优化二甲苯异构化工艺具有重要意义。

2. 二甲苯异构化反应概述

二甲苯存在邻二甲苯(OX)、间二甲苯(MX)和对二甲苯(PX)三种异构体，异构化进料组成是含贫对二甲苯的混合二甲苯。二甲苯异构化反应旨在通过改变二甲苯异构体的分布，提高对二甲苯的相对含量。此外，原料中通常还含有乙苯(EB)，乙苯的转化也是二甲苯异构化过程中的一个重要方面，因为乙苯的存在会影响二甲苯产品的质量和后续分离过程的难度，甚至提高了装置能耗。依据不同乙苯转化的方向，衍生出两种不同的异构化反应催化剂：脱乙基型催化剂和乙苯转化型催化剂[1]。

3. 催化剂分类及研究现状

3.1. 两种反应机理的对比

脱乙基型催化剂主要通过使乙苯发生脱乙基反应生成苯和乙烯，乙烯进一步加氢生成乙烷。脱乙基型催化剂具有适于高空速、低氢烃比下使用的工艺特点，以及异构化活性高、乙苯转化能力强的性能特征。因在装置能力和运行能耗等方面的优势，其市场占有率逐步增加。

乙苯转化型催化剂采用了独特的反应路径，使乙苯通过异构化和加氢裂化等反应直接转化为二甲苯，不过乙苯的转化率受到反应化学平衡的制约。该类催化剂适用于部分对苯产量需求较低的场景，主要应用于更侧重于提升二甲苯产品收率的装置。

在选择乙苯的两种转化方向时，需综合考量装置原料组成、目标产物及经济性等要素。随着业界对芳烃异构化反应的认知持续深化，催化剂的更新迭代进程也随之加快。在此背景下，二甲苯异构化技术在新型催化材料研发与工艺优化的双重推动下，已取得显著进展[2]。

3.2. 催化剂物化性质与反应性能的关系

C₈芳烃异构化催化剂属于双功能催化剂，由酸性分子筛载体提供酸催化活性中心、贵金属 Pt 等提供

加氢/脱氢功能。催化剂的性能取决于分子筛的孔道结构、酸性质(酸密度、酸强度及 B 酸/L 酸比例)以及金属负载量与分散度等多种因素的协同效应[3]。

(1) 分子筛孔道结构的择形效应

C₈ 芳烃异构化催化剂的酸功能载体通常选用具有特定孔道结构的沸石分子筛。催化剂的孔结构决定了反应的类型与方式:孔径过大时会因发生烷基转移生成重芳烃而导致 C₈ 芳烃损失增加,孔径过小时则会因脱烷基或裂解反应加剧而影响产物分布[4]。脱乙基型催化剂倾向于选用具有合适孔径的分子筛(如丝光沸石 MOR、ZSM-5 等),其孔道结构有利于二甲基环己烷等过渡态物种的形成,加速二甲苯的甲基迁移过程。同时,孔道结构还影响反应物和产物的扩散性能,进而影响催化剂的选择性和抗积碳能力。

(2) 酸中心性质对反应路径的调控

酸性中心的类型(B 酸与 L 酸)和强度分布对反应路径具有决定性影响。B 酸中心对碳正离子中间体的稳定化作用较强,是二甲苯异构化和乙苯转化反应的主要活性位点;L 酸中心则更多参与脱烷基等副反应。研究表明,酸中心的密度和强度需精确调控,过强的酸性会加剧裂解和烷基转移等副反应,导致 C₈ 芳烃损失率升高;酸度过弱则异构化活性不足。

(3) 金属中心的作用

贵金属 Pt 是两类催化剂的共同加氢活性组元,其作用是抑制积碳生成并促进乙苯转化相关反应的进行。SKI-320 催化剂的 Pt 质量分数约为 0.031%,属于较低负载量水平,在保证加氢功能的同时实现了成本的优化。Pt 的分散度直接影响催化活性——分散度越高,活性位点利用率越高,单位金属负载量下的催化效率越优。此外,Pt 与分子筛酸性位点的空间邻近度(金属-酸协同效应)对反应性能有显著影响[5]。

(4) 两类催化剂物化性质的差异与性能关联

从催化剂的本质属性来看,脱乙基型与乙苯转化型催化剂在物化性质上存在系统性差异,这些差异直接决定了各自的反应性能特征。

Table 1. Performance comparison of SKI-320 and RIC-300 catalysts

表 1. SKI-320 和 RIC-300 催化剂性能对比

项目	SKI-320 (脱乙基型)	RIC-300 (乙苯转化型)
PX 异构化活性/%	23.91~24.09	≥23.4
EB 转化率/%	69.12~70.23	35.0~39.8
C ₈ 芳烃损失率/%	1.19~1.21	1.90~1.96
反应温度/°C	365	362
质量空速/h ⁻¹	9.2	3.75

从表 1 看,SKI-320 的工业应用结果为二甲苯异构化率 24.09%、EB 转化率 69.12%、二甲苯单程损失率 1.19% [3]。RIC-300 的工业应用结果中,PX/X 达到 23.4%以上、EB 转化率达到 39.8%、C₈芳烃损失率为 1.9% [4]。

3.3. 脱乙基型催化剂

以中石化石油化工科学研究院有限公司推出的 SKI 系列脱乙基型催化剂为典型代表,新一代 SKI-320 已在上海石化顺利实现工业应用,与上一代 SKI-210 催化剂相比,SKI-320 催化剂运行结果:活性和选择性俱佳,稳定性好,工艺操作简便。以下为两代催化剂在各方面的详细对比[3]。

Table 2. Physical properties of SKI-320 and SKI-210 catalysts**表 2.** SKI-320 和 SKI-210 催化剂物理性质

项目	SKI-210	SKI-320
形状	柱状条形	柱状条形
规格	$(1.60 \pm 0.1) \text{ mm} \times (3 - 10) \text{ mm}$	$(1.60 \pm 0.1) \text{ mm} \times (2 - 10) \text{ mm}$
铂质量分数/%	0.031	0.031
径向压碎强度/(N·cm ⁻¹)	124	147
堆密度/(kg·m ⁻³)	760 ± 20	730 ± 20

从表 2 物理性质角度分析, SKI-320 具备出色的强度, 同时堆密度相对更低, 这些优势在生产中, 有利于降低反应器的床层压降, 降低运行能耗, 极大地有利于维持反应的稳定性, 能缩短开工时间, 操作周期更长。

Table 3. Performance comparison of SKI-320 and SKI-210 catalysts**表 3.** SKI-320 和 SKI-210 催化剂性能对比

项目	SKI-210 标定值	SKI-320 标定值
反应温度/°C	381	365
反应压力/MPa	0.73	0.73
质量空速/h ⁻¹	8.7	9.2
氢烃摩尔比	1.45	0.95
PX/X/w%	23.61	23.91
EBc/w%	65.23	70.23
C ₈ AL/w%	1.41	1.21

从表 3 SKI-320 与 SKI-210 的性能标定数据对比[3], SKI-320 优势明显: 具有较低的反应温度, 空速更高, 较好的异构化活性, 更高的乙苯转化率和较低的二甲苯损失。处理相同性质原料情况下, SKI-320 的 PX 产率有所提升, 化学耗氢率减少, 减少了运行能耗, 充分展现出更好的技术经济性。

3.4. 乙苯转化型催化剂

当前, 市场上主流乙苯转化型催化剂为 RIC-270、RIC-300 系列, 其中 RIC-300 是中国石化集团石油化工科学研究院的最新一代分子筛催化剂, 已在扬子石化成功实现工业化应用, 接下来, 将针对 RIC-270, RIC-300 这两种催化剂展开性能数据对比分析[4]。

Table 4. Process parameter and performance comparison of RIC-270 and RIC-300 catalysts**表 4.** RIC-270 和 RIC-300 催化剂工艺参数性能对比

	项目	RIC-270	RIC-300
工艺操作条件	平均反应温度/°C	366	362
	反应压力/MPa	0.67	0.58
	反应空速/h ⁻¹	4.12	3.75

续表

	PX/X/%	22.5	23.5
	PX ate/w%	95.70	96.20
标定结果	EB ate/w%	34.2	77.0
	EBc/w%	28.2	35.0
	C ₈ AL/w%	3.66	1.96

从表 4 可以看出, 与 RIC-270 相比, RIC-300 催化剂在较低的压力和较温和的温度条件下, EB ate 从 34.2% 大幅提升至 77.0%, EB 转化率从 28.2% 提高至 35.0%, C₈ 芳烃损失率则从 3.66% 显著降至 1.96%。PX ate 达到 96.20%, 体现出新一代催化剂在活性、选择性方面的双重进步。

3.5. 催化剂稳定性与使用寿命的讨论

催化剂的稳定性与使用寿命是评估工业催化剂综合性能的关键指标。二甲苯异构化催化剂通常以贵金属 Pt 为加氢活性组元, 其失活主要源于积碳覆盖活性位点、原料中含氮/含硫杂质对酸性位点和贵金属位点的毒化、以及高温下 Pt 晶粒的团聚长大等因素[6]。

从公开数据看, C₈ 芳烃异构化催化剂的使用寿命可达 5 年以上。某型号 C₈ 芳烃异构化催化剂 C₈ 芳烃选择性大于 97%, 使用寿命可达 5 年以上。ExxonMobil 的 XyMax 工艺催化剂在整个寿命周期中也表现出稳定的转化率和选择性。

国内催化剂在长周期运行方面已有实践验证。影响异构化催化剂寿命的主要因素包括催化剂自身性能、原料性质、再生工艺条件和装置运行稳定性等。生产实践中, 通过优化原料预处理、严格控制反应温度、合理调节氢油比等措施, 可有效延长催化剂运行周期, 使其与芳烃联合装置的大修周期保持同步。国内文献还指出[7], 乙苯转化型催化剂由于涉及更多反应路径, 副反应程度相对较高, 这可能会对催化剂寿命产生一定影响。因此, 乙苯转化型催化剂在运行过程中需要更精细的工况控制[7]。

4. 国内外催化剂性能对比

从目前已公开的工业数据来看, UOP 和 ExxonMobil 的脱乙基型催化剂性能具有鲜明特点, 国内用户满意度较高[8]。在脱乙基型路线中, 国产 SKI-320 与国际先进催化剂在二甲苯异构化活性(24%左右)、EB 转化率(约 69%~70%)、单程 C₈ 芳烃损失率(约 1.2%)等核心指标上已处于同一水平, 在物耗、能耗和产率方面的差距持续缩小。在乙苯转化型路线方面, RIC-300 的 PX ate 达到 96.20%, EB 转化率为 35.0%~39.8%, C₈ 芳烃损失率 1.9%, 与国际先进水平基本相当。乙苯转化率与国际一线水平(UOP I-600 在同等工况下 EB 转化率水平)已可对标。然而, 在催化剂大规模工业应用的积累数据披露、长周期运行稳定性数据的公开详实程度等方面, 国内产品与国际领先企业仍存在一定差距。

5. SKI-320 与 RIC-300 对比

SKI-320 脱乙基型催化剂与 RIC-300 催化剂在性能和应用方面各有特点。从性能上看, SKI-320 的二甲苯异构化活性处于世界先进水平, 其异构化活性达到 23.91%, 乙苯转化率为 70.23%, 单程二甲苯损失率仅为 1.21%, 整体表现优于预期。而 RIC-300 在温和工况下异构化活性达到 23.5% 以上, 乙苯转化率为 35.0%, C₈A 收率高达 97.28%, 在高负荷、高转化率的苛刻操作条件下, 提温和提压速率低, 显示出高活性、高选择性和良好的稳定性。相比之下, SKI-320 在乙苯转化率上更具优势, 而 RIC-300 在 C₈A 损失率控制方面表现更好[9]。

在应用场景方面, SKI-320 作为脱乙基型催化剂, 适用于处理乙苯含量较高的原料, 其乙苯转化能力不受热力学限制, 能够有效减少芳烃联合装置中乙苯和 C₈ 非芳烃的循环量, 降低能耗, 尤其在处理劣质原料时优势明显。此外, 使用 SKI-320 的异构化装置, 反应空速可提高 1~2 倍, 氢烃摩尔比可降低 50% 至 75%, 装置产出效率的提高以及产品分布的优化都有显著的积极作用。与之不同, RIC-300 适用于对活性和选择性要求严苛的场景。它能显著提升对二甲苯的产量, 同时降低碳八芳烃的损失率, 使得二甲苯联合装置在物耗和能耗方面更具竞争力, 进而创造出更大的经济效益。总体而言, SKI-320 更适合对乙苯转化效率要求较高的场合, 而 RIC-300 则在对二甲苯高收率和低芳烃损失的场景中更具优势[10]。

6. 催化剂选择的技术经济性分析

6.1. 选择决策的关键因素

在选择异构化催化剂时, 需系统考虑生产装置的原料特性、工艺要求、目标产物、装置规模及经济效益等多重因素[11]。

原料特性。若装置原料中 EB 含量较高, 且需要高效转化 EB 以减少回路循环量和能耗, 脱乙基型催化剂是更合适的选择。EB 脱乙基反应不受热力学限制, 可显著降低 EB 和 C₈ 非芳烃的回路循环量, 尤其适应劣质原料。若原料中 C₈ 芳烃资源有限、PX 收率要求高, 则乙苯转化型催化剂更具优势。

装置规模与产品方案。大型芳烃联合装置若配套苯抽提单元, 生产方案兼顾苯和 PX 产量, 宜优先选择脱乙基型催化剂——其 EB 脱乙基生成苯的特性可同步提升苯和 PX 产量, 且高空速、低氢烃比的工艺优势适配大型装置的高处理量需求[12]。中型及小型 PX 专用装置则以提升 PX 收率、控制芳烃损失为核心目标, 宜优先选择乙苯转化型催化剂。超大型芳烃联合装置若原料复杂且 EB 含量波动大, 亦可考虑两类催化剂的组合应用, 实现工艺效能最大化[13]。

6.2. 简化技术经济性评估模型

基于文献报道的工业标定数据和当前市场典型参数, 对两种催化剂方案进行简化经济性测算。假设典型芳烃联合装置的异构化单元年处理 C₈ 芳烃原料 200 万吨, 原料组成为: PX 1.5%、OX 20%、MX 45%、EB 15%、非芳烃约 18%, 产品以 PX 和苯为目标, 市场价格取 PX 约 1,100 美元/吨、苯约 950 美元/吨。

方案一: 使用 SKI-320 催化剂(脱乙基型)。基于工业标定数据, 异构化单元年处理 200 万吨原料, 单程 PX/X 约 23.91%, EB 转化率约 70.23%。该方案下, 约 14% 的 EB 脱乙基生成苯, 较乙苯转化型方案额外增产苯约 3.5 万~4.0 万吨/年, 按当前苯价估算可增加年销售收入约 3,300 万~3,800 万美元。同时, SKI-320 高空速(9.2 h⁻¹)使反应器处理能力提高约 1 倍, 低氢烃比(~0.95)使装置运行能耗较传统脱乙基型催化剂降低约 15%~20%。主要不足是 C₈ 芳烃单程损失率(1.21%)虽属先进水平, 但每吨 C₈ 芳烃仍有少量损失[14]。

方案二: 使用 RIC-300 催化剂(乙苯转化型)。基于工业标定数据, 异构化单元 PX/X 约 23.5% 以上, EB 转化率约 35.0%~39.8%。该方案下, 约 35% 的 EB 转化为二甲苯, 每年可多保留 C₈ 芳烃约 2.5 万~3.0 万吨, 相应多产 PX 约 1.8 万~2.2 万吨/年, 按当前 PX 价估算可增加年销售收入约 2,000 万~2,400 万美元。C₈ 芳烃损失率 1.96%, 在芳烃资源紧张的情境下具有较强的价值保留能力。该方案不副产苯, 但可节省苯的分离投资和操作成本。主要不足是反应空速较低(约 3.75 h⁻¹), 同等处理能力下催化剂装填量更大, 设备投资和氢耗略高。

综合评估。从经济效益角度, 若装置已配套苯抽提单元, 副产苯可有效利用则脱乙基型方案的经济效益更优(额外增收约 3,300 万~3,800 万美元/年); 若装置 PX 产出是唯一或最主要的收益来源, 且苯的去向受限或无配套设施, 则乙苯转化型方案通过多产 PX 可获得有竞争力的经济效益(额外增收约 2,000 万

~2,400 万美元/年), 同时避免了 C₈ 芳烃的资源浪费[15]。从装置产能角度, 脱乙基型因高空速优势有利于现有装置扩能改造; 乙苯转化型则需更大设备规模才能达到同等处理能力。整体而言, 两类催化剂的适用条件不同, 应结合装置具体情况进行优化选择[16]。

6.3. 选择建议

综合以上分析: 若装置以高效转化 EB、降低回路循环量为目标, 或为配套苯抽提单元的大型芳烃联合装置, 应优先选择脱乙基型催化剂; 若装置核心需求在于 PX 高收率和低 C₈ 芳烃损失, 且 C₈ 芳烃资源有限, 则乙苯转化型催化剂更具优势[17]。

值得注意的是, 通过全面评估催化剂性能、装置物料平衡、对二甲苯产出率等方面, 结合具体项目情况进行综合分析, 是确保催化剂选型科学合理的关键环节[18]。

7. 总结与展望

异构化单元催化剂作为芳烃联合装置的核心技术组元, 其性能直接决定了装置的工艺效率与经济收益。面向未来, 该领域的发展将围绕以下方向重点突破。

深入探究 C₈ 芳烃异构化反应机理。运用原位表征技术与理论计算方法, 从分子水平揭示二甲苯异构化、乙苯转化及副反应的关键制约因素。

开发新型分子筛载体。新型分子筛材料的开发是实现催化剂性能突破的核心路径。从分子筛孔道结构、酸性质及金属三方面持续优化改性和制备手段, 构建多级孔分子筛体系以优化反应物扩散与产物脱附过程, 实现对反应性能的精准调控。

探索低成本、高稳定性的催化剂合成路线。在保证性能的前提下降低贵金属担载量和催化剂制造成本, 开发适用于多种工况的催化剂体系。同时, 加强催化剂抗中毒性能和长周期运行稳定性的研究, 延长装置运行周期[19]。

随着石化行业对高附加值化工产品需求的持续增长和芳烃技术的持续迭代, 未来催化材料研发和工艺优化协同推进, 将有望推动芳烃催化技术实现新的突破, 为芳烃联合装置提质增效提供更强有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 张惠跃, 刘中勋, 王健伟. C₈ 芳烃异构化技术的选择研究[J]. 石油炼制与化工, 2008, 39(6): 56-59.
- [2] 周末, 康承琳, 岳欣, 等. C₈ 芳烃异构化反应机理及催化剂研究进展[J]. 石油化工, 2023, 52(12): 1735-1744.
- [3] 刘中勋, 秦朝晖, 康承琳, 等. SKI-320 脱乙基型 C₈ 芳烃异构化催化剂的工业应用[J]. 石油化工, 2024, 53(5): 713-717.
- [4] 张桢然, 梁战桥. 乙苯转化型 C₈ 芳烃异构化催化剂 RIC-300 的工业试验[J]. 石油炼制与化工, 2024, 55(7): 77-80.
- [5] 黄剑, 许浩洋, 夏鹏, 等. 二甲苯异构化工艺及工业催化剂研究进展[J]. 中外能源, 2018, 23(2): 64-71.
- [6] 戴厚良. 芳烃生产技术展望[J]. 石油炼制与化工, 2013, 44(1): 1-10.
- [7] 吴巍. 芳烃联合装置生产技术进展及成套技术开发[J]. 石油学报(石油加工), 2015, 31(2): 275-281.
- [8] 秦文戈. RIC-200 型 C₈ 芳烃异构化催化剂在国产化芳烃装置的工业应用[J]. 石油炼制与化工, 2015, 46(7): 63-66.
- [9] 魏劲松, 梁战桥. RIC-200 型二甲苯异构化催化剂再生性能[J]. 工业催化, 2015, 23(2): 136-139.
- [10] 徐向荣, 梁战桥. RIC-270 型 C₈ 芳烃异构化催化剂的工业应用性能特点[J]. 石油炼制与化工, 2019, 50(7): 75-79.
- [11] 李明发, 秦文戈, 梁战桥. 芳烃联合装置 C₈ 芳烃异构化催化剂的应用对比[J]. 石油炼制与化工, 2021, 52(2): 57-61.
- [12] 冯培曦, 周震寰, 康承琳, 等. SKI-210 催化二甲苯异构化反应的动力学研究[J]. 石油炼制与化工, 2022, 53(3): 73-78.

- [13] 戴厚良. 芳烃技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2014: 199-213.
- [14] 赵仁殿, 金彰礼, 陶志华. 芳烃工学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 769.
- [15] Al-Shammari, A., Akhtar, M., Odedairo, T., Tukur, N.M. and Al-Khattaf, S. (2014) Kinetic Studies of Xylene Transformation Reactions over ZSM-5 Zeolite. *Arabian Journal for Science & Engineering*, **39**, 3423-3440. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1063-1>
- [16] Balasamy, R.J., Odedairo, T. and Al-Khattaf, S. (2011) Unique Catalytic Performance of Mesoporous Molecular Sieves Containing Zeolite Units in Transformation of M-Xylene. *Applied Catalysis A: General*, **409-410**, 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2011.10.007>
- [17] Guisnet, M., Gnep, N.S. and Morin, S. (2000) Mechanisms of Xylene Isomerization over Acidic Solid Catalysts. *Microporous and Mesoporous Materials*, **35-36**, 47-59. [https://doi.org/10.1016/S1387-1811\(99\)00207-3](https://doi.org/10.1016/S1387-1811(99)00207-3)
- [18] Bauer, F., Chen, W.H., *et al.* (20004) Selectivity Improvement in Xylene Isomerization. *Microporous and Mesoporous Materials*, **72**, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2004.04.007>
- [19] 白锐, 王坤皓, 梁战桥. 二甲苯异构化催化剂 RIC-200 长周期运行分析[J]. 石油炼制与化工, 2020, 51(2): 1-5.