

# S zorb 汽油辛烷值损失的影响因素及其优化措施

常耀萍

中国石化扬子石油化工有限公司炼油部, 江苏 南京 211500

**摘要:** 为了研究 S zorb 汽油辛烷值损失较大的问题, 依据 S zorb 吸附脱硫工艺原理, 从 S zorb 装置提取了数据进行分析与优化, 主要从反应温度、反应压力、吸附剂活性、质量空速、氢油比等因素展开讨论, 在满足汽油脱硫率的条件下, 通过优化反应与再生系统的操作条件, 降低了汽油脱硫过程中的研究法辛烷值损失, 同时提升了装置经济效益。

**关键词:** S zorb; 吸附脱硫; 研究法辛烷值

DOI: 10.64649/yh.shygl.issn3105-0085.202603019

## 0 引言

随着我国生态环境保护要求的持续升级, 车用汽油已全面执行《车用汽油》(GB 17930-2016) 国 VI B 标准, 对硫含量 ( $\leq 10$  mg/kg)、烯烃含量 ( $\leq 15\%$ ) 等环保指标提出严苛限值, 倒逼炼油行业采用加氢精制等深度清洁工艺。辛烷值作为衡量汽油抗爆性能的核心指标, 直接决定汽油标号 (92/95/98 号) 与市场定价, 呈现“辛烷值越高, 油价越高”的市场规律, 其水平是影响炼厂产品质量与经济效益的关键要素。

在国六标准深度脱硫、降烯烃的生产过程中, 高辛烷值烯烃组分易发生加氢饱和副反应, 转化为低辛烷值烷烃, 导致汽油辛烷值显著损失。辛烷值损失不仅会降低汽油产品等级、压缩炼厂利润空间, 还需额外投入高辛烷值组分调和以弥补损失, 进一步增加生产成本。当前, “清洁化生产”与“辛烷值保留”已成为国六汽油生产的核心矛盾, 控制辛烷值损失对保障汽油产品质量、提升炼厂市场竞争力、实现环保效益与经济效益协同发展具有重要现实意义<sup>[1]</sup>。

## 1 装置简介

S zorb (Sulfur Zorb) 技术是美国康菲公司 (ConocoPhillips) 开发的催化裂化汽油吸附脱硫技术, 是世界上第一个实现工业化应用的催化汽油吸附脱硫技术。2007 年 7 月, 中国石化集团公司整体收购了 S zorb 脱硫技术所有权, 获得了该技术的完全所有权, 包括后续研发、工程设计、向全球技术转让和技术服务等全部权利。

该技术主要用于催化裂化汽油全组分脱硫, 具有脱硫深度高、氢耗低、辛烷值损失少等优点, 很好地解决了传统脱硫技术存在的辛烷值损失大、装置能耗高等问题<sup>[2]</sup>。

## 2 汽油辛烷值损失的主要因素

### 2.1 反应温度

烯烃和芳烃是汽油中贡献高辛烷值的关键组分, 它们的保留程度直接决定辛烷值水平。从反应机理来看, S zorb 脱硫的核心是在温和条件下通过吸附剂将硫化物选择性脱除, 同时尽量避免烯烃饱和、芳环加氢等导致辛烷值大幅下降的副反应。当反应温度处于 399~438℃ 内逐步升高时, 一方面可以强化脱硫反应的动力学速率, 使脱硫反应更充分、更快速地进行; 另一方面, 高温条件会抑制加氢副反应的发生, 减少烯烃被加氢饱和为烷烃、以及芳烃过度加氢的程度<sup>[3]</sup>。

因此, 随着反应温度提升, 主反应脱硫效率提高, 而造成辛烷值劣化的副反应被有效抑制, 汽油中的高辛烷值组分得以更多保留。与之相对, 若反应温度偏低, 脱硫速率变慢, 同时加氢副反应相对更容易发生, 烯烃饱和程度增加, 最终表现为辛烷值损失明显增大。

在生产过程中, 提高反应温度有利于在保证深度脱硫的同时, 最大限度减少辛烷值损失, 是兼顾脱硫效果与产品质量的重要操作调控手段。从图 1 中可以看出, 整体上符合反应温度越高, 研究法辛烷值损失越小的理论。反应温度控制在 410~420℃ 之间, 可以较好控制研究法辛烷值损失。

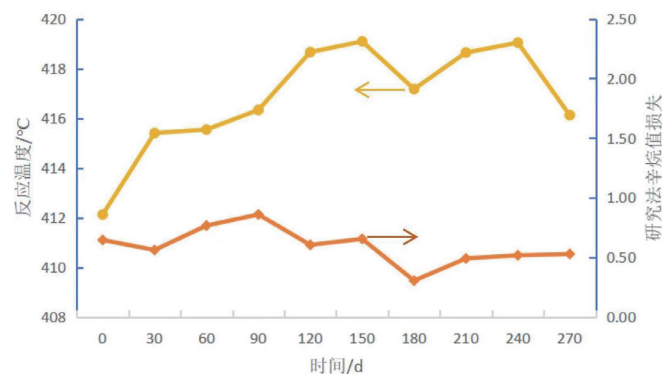


图 1 反应温度与研究法辛烷值损失的变化趋势

## 2.2 反应压力

S zorb 吸附脱硫过程依赖氢气环境实现硫化物的吸附脱除,而系统总压力直接决定了反应器内的氢分压水平。当反应压力升高时,氢分压同步增大,一方面会促进加氢脱硫主反应的进行,提升脱硫深度;但另一方面,过高的氢分压也会显著加剧烯烃加氢饱和副反应。汽油中的烯烃是贡献高辛烷值的关键组分,烯烃被加氢生成低辛烷值的烷烃,是造成辛烷值损失的主要原因。

在较高压力下,氢气在催化剂表面的吸附浓度增加,烯烃与氢气接触并发生加氢反应的概率大幅上升,大量高辛烷值烯烃组分被转化,直接导致产品汽油研究法辛烷值(RON)明显下降。反之,若适当降低反应压力,氢分压随之减小,烯烃加氢饱和的趋势受到抑制,高辛烷值组分保留更多,辛烷值损失相应减小<sup>[4]</sup>。从图2中可以看出,随着时间推移,反应压力呈下降趋势,与之对应的研究法辛烷值损失也逐渐减小。反应压力控制在2.5~2.65MPa之间,能够维持研究法辛烷值损失较小。

因此,在S zorb装置的实际操作中,反应压力并非越高越好。在满足脱硫指标的前提下,控制合理偏低的反应压力,有助于减少烯烃加氢副反应,从而有效降低汽油辛烷值损失,改善产品质量。

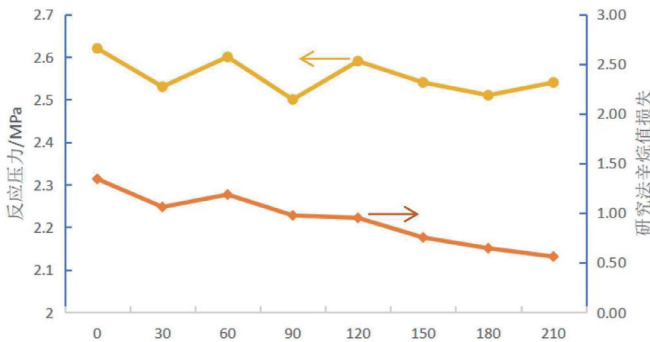


图2 反应压力与研究法辛烷值损失的变化趋势

## 2.3 吸附剂活性（再生吸附剂硫含量）

再生吸附剂硫含量越低,辛烷值损失越大,这一规律由吸附剂活性与烯烃加氢副反应的耦合关系决定,再生吸附剂的硫含量直接反映其活性恢复程度<sup>[5]</sup>。

待生吸附剂的再生程度越高,也就是再生吸附剂硫含量越低,吸附剂上ZnS被氧化脱除越彻底,表面Ni活性位点暴露越多,脱硫活性越高。高活性吸附剂在反应器中不仅强化C-S键断裂与硫吸附,还会显著促进烯烃加氢饱和副反应。汽油中烯烃是高辛烷值核心组分,加氢生成低辛烷值烷烃,直接造成RON损失

<sup>[6]</sup>。从图3中可以看出,再生吸附剂硫含量越高,辛烷值损失越小,在再生吸附剂硫含量低于6%(质量分数)的情况下,辛烷值损失大于1,在180天与210天并未符合规律,呈现再生吸附剂硫含量越高,辛烷值损失越大,在因为吸附剂硫含量高,造成精制汽油硫含量涨幅过大,为满足精制汽油硫含量合格,同时调整了反应温度与反应压力。再生吸附剂硫含量控制在6.5~8.0%(质量分数),保持研究法辛烷值损失在0.5~0.7。

反之,再生吸附剂保留适度硫含量,会部分覆盖活性位点,适度抑制加氢副反应,在满足脱硫指标的同时,减少烯烃损耗,实现辛烷值更好保留。正因此,再生吸附剂硫含量太低,活性太强,在实际生产过程中,停工检修恢复生产需要吸附剂含有一定含量的硫含量,以免造成反应器飞温。

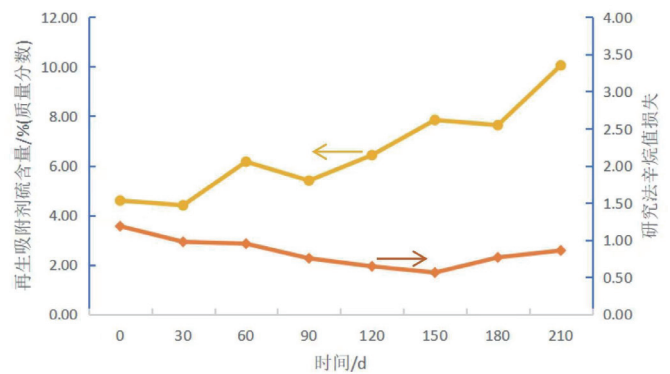


图3 再生吸附剂硫含量与研究法辛烷值损失的变化趋势

## 2.4 质量空速

质量空速反映了单位质量吸附剂在单位时间内处理的进料汽油量。当质量空速提高时,意味着油气在反应器内的停留时间缩短,原料与吸附剂活性位点的接触时间相应减少。S zorb过程中,脱硫主反应速率较快,在较短接触时间内仍可保证较好的脱硫效果;而烯烃加氢饱和和这类造成辛烷值损失的副反应速率相对较慢,对接触时间更为敏感<sup>[7]</sup>。

因此,在较高质量空速下,油气停留时间短,烯烃来不及充分发生加氢饱和反应,高辛烷值的烯烃组分得以更多保留,加氢副反应受到明显抑制,最终表现为辛烷值损失减小。反之,若质量空速偏低,物料停留时间延长,烯烃与氢气在活性位点上的接触更加充分,加氢饱和反应加剧,大量高辛烷值烯烃转化为低辛烷值烷烃,导致辛烷值损失显著增大。质量空速控制在0.3~0.33m/s之间,即避免了反应器过滤器的负担,也有效降低了研究法辛烷值损失。

## 2.5 氢油比

氢油比提高意味着反应器内氢气浓度与氢分压相应提升,充足的氢气能够优先与吸附剂上的硫化物发生反应,促进吸附脱硫主反应快速进行,使硫原子更高效地从汽油组分中脱除并被吸附剂固定。在氢气供给充裕的条件下,活性位点更多被脱硫反应占据,一定程度上减少了烯烃在活性中心上的吸附与加氢机会,从而抑制了烯烃加氢饱和这一导致辛烷值下降的主要副反应<sup>[8]</sup>。

同时,较高的氢油比有助于改善反应器内流场分布,降低局部过热与局部高浓度加氢现象,避免因局部氢分压过高造成的过度加氢。随着氢油比的提升,汽油中高辛烷值的烯烃组分得以更好保留,芳烃等辛烷值贡献组分也不易发生过度加氢,最终使得汽油辛烷值损失明显减小。

反之,若氢油比偏低,氢气供给不足,脱硫反应速率受限,吸附剂活性中心更易引发烯烃非选择性加氢,造成高辛烷值组分大量转化

为低辛烷值烷烃,辛烷值损失随之增大。氢油比控制在0.2~0.25之间,即保证了汽油脱硫率,又控制了研究法辛烷值损失。因此,在S zorb装置适宜操作范围内,合理提高氢油比,有利于强化脱硫主反应、抑制加氢副反应,从而实现更小的辛烷值损失。

## 3 结论

基于上述影响规律,在保证汽油脱硫达标的前提下,反应温度控制在410~420℃,反应压力控制在2.5~2.65MPa,再生吸附剂硫含量控制在6.5~8.0%(质量分数),质量空速控制在0.3~0.33m/s,氢油比控制在0.2~0.25,有效降低研究法辛烷值损失。该优化措施既能保障汽油清洁化生产要求,又能减少高辛烷值组分调和成本,提升装置经济效益,为S zorb装置平稳高效运行与产品质量管控提供可靠的理论依据与实践指导。

## 参考文献:

- [1] 鞠建民.S-Zorb脱硫汽油辛烷值补偿问题的研究[J].化工管理,2015,(21):20.
- [2] 管泽坤,赵亭,张雨,等.反应吸附脱硫催化剂的研究进展[J].石油学报(石油加工),2024,40(6):1564-1575.
- [3] 单国彬,刘会洲,邢建民,等.汽油吸附脱硫的研究进展[J].现代化工,2003,23(6):18-20.
- [4] 赵欣.S Zorb装置精制汽油辛烷值损失问题探讨[J].现代商贸工业,2021,42(30):164-168.
- [5] 吴田.NiO/ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>吸附剂中温反应吸附脱硫过程及烯烃加氢过程研究[D].华东理工大学,2020.
- [6] 杨行远,邹亢,徐广通.S Zorb催化剂硅酸锌成因及抑制对策研究[C]//石油化工科学研究院.2014年石油化工科学研究院青年科研论文交流会论文集.中国北京市北京市,2014:28-34.
- [7] 王文寿,王煦焯,张文吉,等.S Zorb装置中吸附剂流化状态对脱硫性能的影响[J].石油炼制与化工,2026,57(01):36-43.
- [8] 余贺,赵基钢,侯晓明,等.S Zorb反应吸附脱硫反应过程的热力学分析[J].化工进展,2014,33(11):2843-2847.

**作者简介:**常耀萍(1996.02—),女,汉族,山西大同人,硕士研究生,助理工程师,研究方向:S zorb装置性能参数优化及长周期运行的研究。