

汽油在线优化调和及 MTBE 组分对调合的影响分析

吴建蓓 (中海油惠州石化储运部, 广东 惠州 516086)

摘要: 汽油在线优化调和与产品指标卡边控制, 既是汽油调和经济效益最大化的最有力手段, 也是助力国家“碳达峰”、“碳中和”战略的有效途径。本文通过介绍国内现阶段汽油在线优化调和技术, 以作者所在炼厂汽油调和的实际应用情况, 对比优化调和的优势。分析在众多汽油调和组份中, MTBE 组分 (甲基叔丁基醚) 具有辛烷值最高、氧含量最高等突出特点, 对汽油调和影响很大, 无氧汽油调和与国六标准汽油调和在很大程度上也是取决于是否使用 MTBE, 本文通过炼厂汽油优化调和中一个时期调和实际案例, 分析在缺少 MTBE 组分的工况下对汽油调和的影响, 分析原因, 并提出对调和的优化建议。

关键词: 汽油优化调和; 辛烷值; MTBE

1 汽油调和介绍

对油品调和的理解, 可以通俗理解为将各种馏段相近, 但性质指标差异较大的组分油, 通过混合, 各项指标存在线性或者非线性迭代关系, 最终达到各性质指标均符合国标要求, 成为一份合格的产品过程。

汽油调和的主要控制指标有研究法辛烷值 (RON)、马达法辛烷值 (MON)、抗暴指数、硫含量、芳烃含量、烯烃含量、苯含量、蒸气压、密度、氧含量、馏程等。一份优质理想的汽油, 是希望辛烷值高、抗暴指数高、硫含量低、芳烃烯烃含量低、蒸气压密度适中, 但往往各项指标相互矛盾, 此消彼长。目前国内炼厂汽油各调和组份, 装置工艺大同小异, 加氢和脱硫以及反应深度的不同, 辛烷值、烯烃含量、硫含量可能存在较大变化, 各组份大致的性质以及参数指标如表 1:

表 1 汽油调和各组分性质参数表

名称	密度	RON	硫	蒸气压	烯烃	芳烃	苯	氧含量
	t/m ³		ppm	kPa	V%	V%	V%	m%
精制脱硫汽油	0.736	90.5	3	56	22	23	0.22	—
重整生成油	0.86	103.8	0	13.5	0.91	86	3.3	—
裂解汽油	0.86	103.8	0	13.5	0.91	86	0.3	—
加氢轻石脑油	0.6321	75	1	109	0.62	0.36	0.35	—
抽余油	0.6864	55	0	33	7.26	1.41	0.12	—
MTBE	0.74	117	8	52.8	—	—	—	8
烷基化油	0.7	96.7	1	34	0.02	0.02	0.02	—

对于用户而言, 希望使用到的汽油能耐用、适合极端气候、适合压缩比高的发动机, 还能低碳不损伤气缸与火嘴。对于生产企业而言, 希望出厂的产品既能符合国家标准要求, 又能使各项指标卡边控制, 减少质量过

剩, 能最大限度地使用低附加值组份、节约高附加值组份, 实现经济效益最大化。

因此, 汽油调和技术的不断革新发展, 从粗放的大罐调和, 到管道调和, 再发展到在线优化调和, 国标要求也根据装置工艺、调和技术、环保要求不断升级, 国 VI A 和国 VI B 的实施, 使得标准要求甚至超过了很多欧美国家, 这样既有效地减少资源的浪费, 也能不断跟随环保要求的提高, 在“碳达峰”、“碳中和”中发挥更大作用。

2 汽油在线优化调和优势比对分析

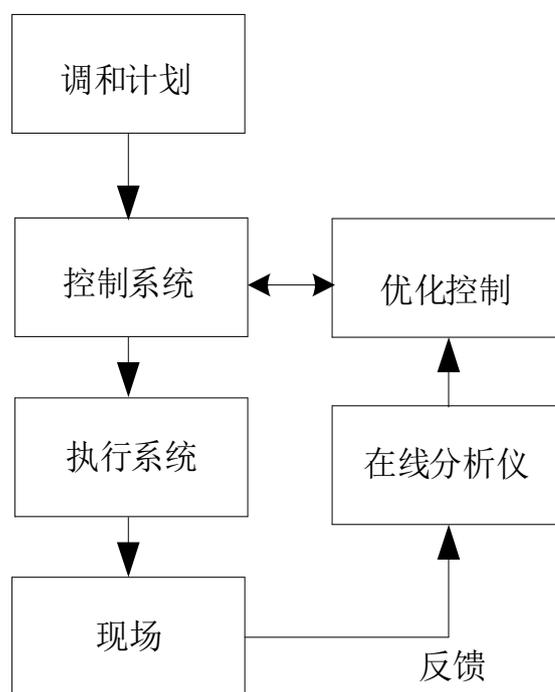


图 1 优化控制逻辑图

传统的油品调和, 目前国内工艺大多采用的是比例调和方式, 一般需要定期对各油品调和组份或侧线产品进行采样分析, 根据最新分析数据, 由技术人员通过调和计算, 制定该罐组份油调和比例, 再经由操作人员按照计算好的比例方案执行。比例调和中人为干预因素占大部分, 对设定调和配方的人员要求较高, 计算方法、调和计算参考值、目标值设定等因素对调和结果的影响

很大，最主要的是在设定调和配方并开始实施后，如装置侧线组份油性质变化，无法及时反馈到调和配方调整上，容易造成调和结果不合格或质量过剩。

在调和组分多的情况下，比例调和更显局限性，如一次调和安排 5~6 种组分油参与，在调和比例计算时，参照了各组分最新的化验分析结果，但在调和过程中，半罐分析显示产品某一指标不合格，在反追溯中，除非明确知道装置波动变化情况，否则往往需要对几种组分油都进行采样分析，确定指标情况，再进行重新计算。花费的时间和费用成倍增加，而且还会影响生产。

汽油在线优化调和是在传统的罐罐调和、管道调和等的基础上，利用在线分析仪表和自动化优化控制系统，实现汽油组份及调和头在线分析，并通过分析数据经系统分析、计算，通过控制系统经调节阀进行实时调节，以达到调和过程全控制和无限接近系统设定的质量卡边（见图 1）。

在线优化调和主要依靠调和系统、在线分析仪表、控制器、现场自动调节阀等设备设施，通过在线分析仪实时检测管道中组份油各项性质，反馈至调和系统，由调和系统通过设定的计算公式和数据模型，预测调和头各项数据指标，并与目标设定值进行比对，比对结果通过控制器，控制现场自动阀门，执行比例调整，从而往复循环，达到预测值与目标设定值无限接近。即通过“自动化检测→调和系统计算→数据库模型比对→计算分析反馈→现场调节阀执行→自动化检测……”，从而在整个调和过程中，无限循环执行，达到实时调节控制。

一般的调和系统在优化调合模式下，系统提供三种控制目标供操作人员选择：组分油成本、与目标比例偏差、质量过剩。技术人员可以根据生产实际和目标需要，利用系统支持的调合组分、产品质量、调合回路进行约束。

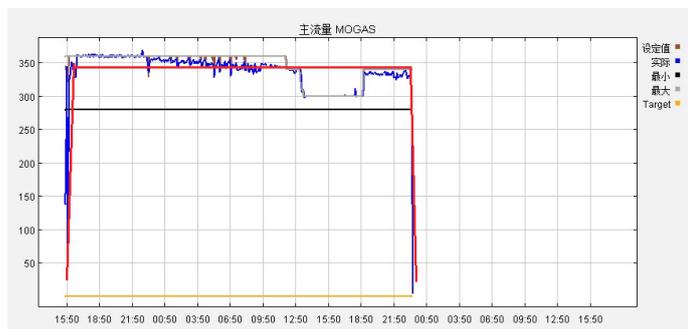


图 2 调和过程主流量曲线图

当操作人员录入所有调和信息后，系统会根据所设定的所有调合组分、质量、回路、调和开始时间、调和头、调和泵、分析仪、调和费用按照设定的优化目标进行线性规划求解来提供优化配方，预测产品质量信息。当调和组分在约束范围内无法计算找到解，结果偏离目标值时，系统将发出报警，提示操作人员进行调整。调和过程中，操作人员可以实时监控到分析仪监测各流路

实时数据，方便进行调整和修正。

从调和过程中混合总管的主流量曲线中可以看到，优化调和过程中流量曲线一直处于波动状态（蓝色曲线），而比例调和过程中，流量曲线为一条直线（红色曲线），如图 2 所示。

调和系统需在调和模型及具体调和指标需求基础上，根据组分油库存量、在线分析仪实时测量性质数据、调和设备情况等限制条件和调和目标确定最优调和配方，达到自动控制调和过程进行，在确保调和成品合格基础上，实现产量的优化和效益最大化。

比例调和与优化调和相比较，主要存在以下差异：见表 2。

表 2 比例调和与优化调和特点对比

序号	比例调和	优化调和
1	需提前对各组份油进行各项指标化验分析，且调和过程中质量指标有变化，无法及时反馈，调和比例不能实时变化	在线分析仪表在整个调和过程中实时进行数据分析，对各项质量指标如有变化，可及时反馈至调和系统，通过调和模型重新计算比例，从而实现优化调节
2	全过程统一调和比例，无系统干预	全过程调和比例不断变化，系统全过程干预
3	无参考值	可以通过价格成本、组份库存、质量指标等参考值，进行系统干预，使调和一直向目标方向无限接近进行

3 MTBE 组分对调和的影响

MTBE 学名甲基叔丁基醚，辛烷值 117，能很好地改善汽油的冷启动特性、加速特性以及辛烷值分布。在众多的调和组分中，MTBE 因其拥有最高辛烷值、高氧含量等特点，在调和对辛烷值贡献很大，也会直接影响成品油的多项性质，其氧原子有助于提高汽油的燃烧效率。

本文根据作者所在单位汽油调和设施情况，以某次 MTBE 装置换剂停工检修，在缺少 MTBE 组分下的汽油调和情况，分析在汽油调和中 MTBE 组分对其影响。

3.1 调和背景

本案例时期汽油调和各参调组分有精制脱硫汽油、C9/ 甲苯、MTBE、抽余油、烷基化油和轻石脑油，调合依据组分装置侧线产量进行，也根据组分市场价格成本以及销售情况确定参与调和种类，MTBE、抽余油、C9 均可作为产品外销。

MTBE 停工期间，调和依据催化汽油、生成油和烷基化油进行，在调和过程中发现成品汽油目标辛烷值实测值偏离预测值较大，屡次出现辛烷值不合格情况。

MTBE 停工期间, 各组分主要指标为: 催化脱硫汽油装置馏出口辛烷值 (RON) 为 88, 硫含量约 7mg/kg, 蒸汽压 58kPa; 生成油辛烷值 103, 苯含量约 4.5v/v%; 烷基化油辛烷值 95.8, 蒸汽压约 30kPa; MTBE 辛烷值 117。

MTBE 装置开始降量停工, 停工初期首罐缺少 MTBE 组分的调和 T-01 罐 (成品储罐为 1 万立内浮顶罐), 组分配方为: 催化汽油 3692t、生成油 700t、烷基化油 1033t, 目标计算预测辛烷值为 92.6, 最后成品汽油辛烷值实测 91.7, 偏离了 0.9 个单位。后对此罐进行重调, 向其他罐倒罐 300t 后, 再加入 300t 生成油和 100t 烷基化油, 最后成品辛烷值达到 92.4, 产品合格。

下一罐 T-02 调和方案配方为催化汽油 3320t, 生成油 1100t, 烷基化油 1261t, 目标计算辛烷值预测为 92.6 (按催化辛烷值 87.8、生成油 103、烷基化油 93 计算), 成品实测辛烷值仅 91, 辛烷值偏离预测值 1.6 个单位。此时分别通过对自动采样器上、中、下和罐顶采上、中、下样做化验分析, 确定各部密度基本一致, 辛烷值误差较小的结果, 排除了分析结果误差的可能。

重调时, 通过向其他储罐倒罐 1400t 后, 重新调入 120t MTBE 和 800t 生成油, 预测目标辛烷值为 93.46, 实测辛烷值 92.7。

T-08 调和配方催化脱硫汽油 2450t, 生成油 1500t, 烷基化油 925t, 目标辛烷值预测为 94.13, 最后实测 92.3, 勉强达到内控指标。

MTBE 检修完成后侧线产品正常, 调和方案配方催化汽油使用 2850t, 生成油 1000t, 烷基化油 1000t, MTBE 160t, 目标辛烷值 93.73, 最后实测结果 93.7, 与目标一致, 调和回到正常效应。

由于辛烷值出现较大偏差, 在缺少高辛烷值的 MTBE 组分, 烷基化油产量一定且辛烷值较正常值偏低的情况下, 调和中只能依靠加入拥有较高辛烷值的生成油, 致使每罐生成油调入量大大增加, 成品汽油苯含量随之增高。同时, 催化汽油用量减少, 使得成品汽油的蒸汽压低而密度高, 芳烃含量升高, 各项指标很难控制在最优范围内。

3.2 MTBE 组分对汽油调和的影响分析

根据调和实际情况分析, 相同组分参与调和情况下, MTBE 对汽油调和的帮助不仅呈现指数正效应。在有 MTBE 参与调和时, 感受性更好, 芳烃组分和烷基化油组分的辛烷值贡献发挥更高。

MTBE 是调和中辛烷值最高的组分, 能较显著提高成品油辛烷值, 且与成品油辛烷值呈线性关系, 并存在某种调合效应, 在缺少该组分的情况下, 调和不符合正常的计算方式。由以上事例 1、3 与事例 4 对比可发现, 在缺少 MTBE 组分情况下, 预测的辛烷值计算结果与实测数值相差很大。

MTBE 的研究法辛烷值为 117 (纯度保证的前提下), 马达法辛烷值为 102, 有良好的化学稳定性, 一般在调

和中占比 10% 的情况下可提高辛烷值 2.5~3 个单位。同时 MTBE 中氧含量高, 所以在无氧汽油调和时, MTBE 一般不作为参调组分。

4 对调和优化的建议

受国标指标不断严格、环保要求日益提高的影响, 装置生产的工艺水平虽然不断提高但组分油仍受诸多因素影响, 对产品指标的控制更多地落在了调和控制上, 为此, 汽油优化调和在国内石油炼化企业广泛应用, 但在目前国内大多炼厂生产实际应用中效果还是较差, 主要原因有, 原油品种加工变化, 组分油性质差异大, 造成调和指标变化快; 组分油市场价格波动大, 企业为优化经营, 参加调和的组分变化较大, 都可能导致优化数据库缺少比对模型, 计算结果偏差增加, 调和结果自然偏差大。

因此, 对于汽油优化调和, 有如下建议:

①保证分析仪表等硬件设施精确度的情况下, 通过优化生产, 尽量稳定原油加工品种、比例, 减少对组分油性质方面大的波动;

②在实施优化调和时, 对性质指标的约束, 需放在辛烷值、硫含量、苯含量、烯烃芳烃含量等重要指标上, 对其他指标尽量减少约束条件, 避免系统计算无解情况;

③在无法进一步优化生产情况下, 扩充系统数据库模型, 增加建模范围, 各类工况下的调和计算均有比对, 从而增加技术精确度。

对于对调和有突出贡献的组分, 如本文分析的在调和和无氧汽油或缺少 MTBE 组分调合的情况下, 应提前做好准备, 增加指标富余量。

①在各组分油受控的情况下, 调和计算的辛烷值预测值尽量富余, 特别地, 由于 MTBE 对马达法辛烷值的贡献大, 在缺少该组分情况下, 为确保抗暴指数合格, 考虑增加研究法辛烷值富余量。可以通过增加芳烃组分油使用比例, 减少催化汽油比例, 尽量将预测辛烷值提高 1 个单位以上, 再根据调合小样或第一罐最终分析结果进行后续调整;

②在极端工况下, 根据各组分油化验分析结果, 结合调和方案配方, 提前做小调试验, 分析预测值和实际测量结果偏差, 做好调整, 优化调和过程中, 可增加化验分析与系统预测的比对分析;

③在调合时间、组分油库存允许的情况下, 调合至半罐时, 可采取暂停调合或者增加半罐分析, 简单循环后做成品油半罐分析, 方便后续调整。

参考文献:

- [1] 吴智杰, 祝春强. 无氧汽油调和的计算方法研究 [J]. 当代化工研究, 2020(17):38-39.
- [2] 方义, 计伟, 郭宝华. 高标号国 VI A 车用汽油调和研究 [J]. 石化技术与应用, 2021(02):97-100.
- [3] 王宝宇, 唐晓宇, 王超, 李文超. 汽油调和方案的优化 [J]. 石化技术与应用, 2017(01):72-76.