

应用智能可视化优化方法确定 催化重整的优化操作区域

熊佐松¹, 黄辉², 陈春锋¹, 孙珊珊², 马萌宏², 史彬², 鄢烈祥²

(1. 中国石油化工股份有限公司武汉分公司, 430082, 武汉;

2. 武汉理工大学化学化工与生命科学学院, 430070, 武汉)

摘要: 为了确定催化重整的优化操作区域,以方便催化重整过程中操作参数的调节,基于数据驱动的智能可视化优化方法,提出了优化催化重整过程的操作方法。基于该过程的操作数据,以脱戊烷油量和辛烷值为目标,应用智能可视化优化方法建立了降维映射模型,将操作数据降维到二维平面,并生成目标等值线。由此,在映射平面上找到了协调脱戊烷油量和辛烷值两目标的优化操作区域。该优化区域为催化重整过程中操作参数的调节带来了便利,当某个或几个操作参数发生变化时,可通过调节其他参数,使操作点仍然落在优化区域内。应用所提方法对一个季度的操作数据进行统计,结果表明,有96%的操作点在优化区域内,且脱戊烷油量和辛烷值得到了同步提高,验证了所确定优化区域的有效性。

关键词: 催化重整;智能可视化优化方法;优化操作区域;多目标

中图分类号: O121.8;G558 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2017)03-0136-05

Determination of Catalytic Reforming Optimal Operation Region Based on Intelligent Visualization Optimization Method

XIONG Zuosong¹, HUANG Hui², CHEN Chunfeng¹, SUN Shanshan²,

MA Menghong², SHI Bin², YAN Liexiang²

(1. Sinopec Wuhan Company, Wuhan 430082, China; 2. School of Chemistry, Chemical Engineering and Life Sciences, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to determine the optimal operating area for catalytic reforming to facilitate the adjustment of operating parameters in catalytic reforming process, a data-driven intelligent visualization optimization method was proposed to optimize the operation of the catalytic reforming process. Based on the operation data of the plant, the method of intelligent visualization optimization was used to establish a dimension-reduction mapping model in order to increase the yield of depentanized oil and octane value. The operating data from a multidimensional space are reduced to a two-dimensional plane, and then the target contour is generated. In the mapping plane, the optimal operating area for the yield of depentanized oil and octane value can be found easily. The discovery of the optimized region can facilitate the adjustment of the operating parameters in the catalytic reforming process. When one or several operating parameters are changed, the operating point can still fall within the optimized region by adjusting other parameters. This knowledge of area optimization has been applied in the refinery.

分离预加氢产物中的溶解轻烃(含硫化液化气)。重整反应主要由4个反应器逐级反应完成,主要进行芳构化、异构化反应,提高辛烷值、芳烃产率。脱戊烷部分主要由稳定塔完成,主要分离C5及以下部分烃类,为抽提系统提供原料。

2 智能可视化优化方法

智能可视化优化方法是由武汉理工大学鄢烈祥教授提出的,该方法是一种基于数据驱动的优化方法,综合了智能优化算法、可视化方法和计算机信息技术,已在石化、化工、制药、材料、生物等领域得到很好的应用^[8-12]。

智能可视化优化方法的原理如图2所示,它应用人工神经网络以实现降维映射。此网络有两个隐含层, n 维输入向量 $\mathbf{X}$ 首先通过线性映射到第一个隐含层(只有两个节点,构成映射平面 $\mathbf{Z}$),然后 $\mathbf{Z}$ 通过第二隐含层的非线性映射到 m 维输出向量 $\mathbf{Y}$,信息传递为

$$\mathbf{Z} = \mathbf{W}\mathbf{X} + \mathbf{P} \quad (1)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{V}\mathbf{H} + \mathbf{Q} \quad (2)$$

式中: $\mathbf{W}$ 、 $\mathbf{V}$ 为网络权向量; $\mathbf{P}$ 、 $\mathbf{Q}$ 为偏置向量; $\mathbf{H} = [\varphi_1(\mathbf{Z}), \varphi_2(\mathbf{Z}), \dots, \varphi_n(\mathbf{Z})]$ 为非线性扩展向量, $\varphi(\mathbf{Z})$ 为传递函数。

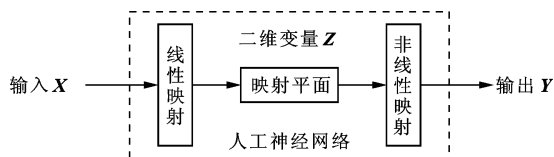


图2 智能可视化优化方法的原理图

为提高网络的泛化能力,传递函数 $\varphi(\mathbf{Z})$ 采用了二次函数,而且网络的第二隐含层的节点控制在10个以内。本文采用Levenberg-Marquardt算法训练上述网络,一旦网络的权向量得以确定,即模型参数确定,就能在映射平面上用二维变量 $\mathbf{Z}$ 绘出输出变量 $\mathbf{Y}$ 的等值线,并能同时绘出多维空间的数据点。

多维空间的样本数据通过降维映射到平面上并生成目标函数的等值线后,即可由人的视觉直观看出最优点和最优区域。此最优点或最优区域还要逆映射到多维空间用原始变量表示,计算逆映射的公式^[13]为

$$X^c = X^a + \lambda(X^b + X^a) \quad (3)$$

式中: X^a 、 X^b 为映射平面上 a 、 b 两点在多维空间相对应的点; X^c 为经过 a 、 b 两点的直线上任一点 c 在多维空间相对应的点; λ 为步长,其值等于 a 、 c 两点

间的距离与 a 、 b 两点间距离之比。当 $0 < \lambda < 1$ 时, X^c 为内插点;当 $1 < \lambda$ 时, X^c 为外推点。

实际应用时,通过选择映射平面上的两点和步长,使其 c 点落在优化点上或优化区域内,再由式(3)计算出 X^c 。

3 催化重整过程的优化操作区域

3.1 优化目标与变量

由于脱戊烷油量反映了催化重整反应的经济指标,而辛烷值反映了产品质量的技术指标,因此选取脱戊烷油量与辛烷值作为操作优化的双目标,形式化表达为

$$\max \mathbf{Y}(\mathbf{X}) = \max[f_1(\mathbf{X}), f_2(\mathbf{X})]^T \quad (4)$$

式中: $\mathbf{Y} = [y_1, y_2]^T$, y_1 为脱戊烷油量, y_2 为辛烷值; $\mathbf{X}$ 为催化重整过程的操作向量。催化重整产品脱戊烷油量和辛烷值主要受到原料、预加氢、蒸发塔和重整反应4部分操作参数的影响。选取各个部分12个独立可调节的操作变量作为优化变量, $\mathbf{X} = \{ \text{原料油进料量 } F_{\text{oil}}, \text{ 进料温度 } T_{\text{oil}}, \text{ 蒸发塔塔顶温度 } T_{\text{cl, top}}, \text{ 蒸发塔塔底温度 } T_{\text{cl, bot}}, \text{ 蒸发塔塔顶回流量 } L_{\text{cl, top}}, \text{ 第1重整反应器入口温度 } T_{\text{r1, in}}, \text{ 第2重整反应器入口温度 } T_{\text{r2, in}}, \text{ 第3重整反应器入口温度 } T_{\text{r3, in}}, \text{ 第4重整反应器入口温度 } T_{\text{r4, in}}, \text{ 1段混氢量 } F_{\text{H2, in1}}, \text{ 2段混氢量 } F_{\text{H2, in2}} \}$, 其中 $F_{\text{H2, in1}}$ 和 $F_{\text{H2, in2}}$ 为标准状态下的体积流量。

3.2 应用智能可视化优化方法确定优化操作区域

为优化某石化企业催化重整的操作条件,在考虑操作稳定和时间对应的情况下,选取装置的57组操作数据,以此数据为样本建立降维映射模型,催化重整装置操作数据的降维映射如图3所示。图3中 z_1 、 z_2 是无量纲映射坐标轴,圆圈及数字分别表示样本数据点和对应的序号,实线为脱戊烷油量等值线,虚线为辛烷值等值线。从图3可看出,所有样本数据点的辛烷值都大于96,但脱戊烷油量的变差较大,在32~36 t/h之间变化。此外,从两个目标的等值线分布可看出,若想同时提高脱戊烷油量和辛烷值,使两个目标达到最大化是不可能的,但可以找到一个兼顾两个目标的优化区域。图中阴影所示的区域为脱戊烷油量大于35.25 t/h和辛烷值大于97.13的优化区域。

选取优化图3中的11和44两点,将两点的数值代入式(1)得

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}^{11} + \lambda(\mathbf{X}^{44} + \mathbf{X}^{11}) \quad (5)$$

当步长 $0 \leq \lambda \leq 1$ 时,该方程定义了一条映射平

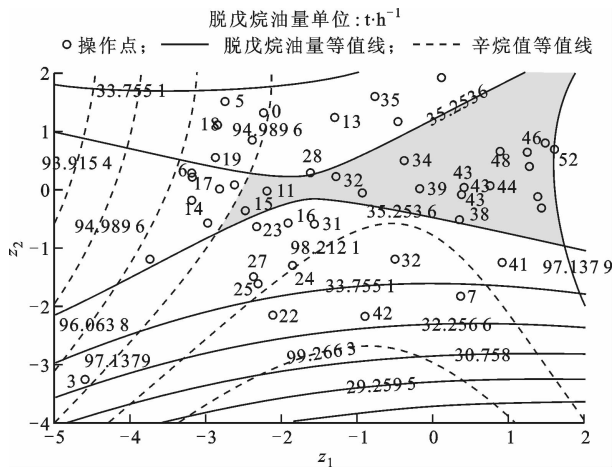


图 3 催化重整过程的降维映射图

面上的优化操作线,此操作线对应于实际操作空间的一个优化子区域。表 1 给出了此优化子区域上取

表 1 操作点从 11 移动到 44 时操作参数与目标值的变化情况

操作变量与目标	操作点					
	$\lambda=0$	$\lambda=0.2$	$\lambda=0.4$	$\lambda=0.6$	$\lambda=0.8$	$\lambda=1.0$
	(11 号点)					(44 号点)
$F_{oil}/t \cdot h^{-1}$	51.240	51.196	51.153	51.109	51.065	51.021
$T_{oil}/^{\circ}C$	157.56	156.90	156.24	155.58	154.92	154.26
$T_{cl,top}/^{\circ}C$	115.94	114.46	112.99	111.52	110.04	108.57
$T_{cl,bot}/^{\circ}C$	210.51	213.78	217.04	220.31	223.57	226.84
$L_{cl,top}/t \cdot h^{-1}$	6.997 5	7.283 3	7.569 0	7.854 8	8.140 6	8.426 3
$T_{r1,in}/^{\circ}C$	482.12	482.53	482.95	483.37	483.79	484.20
$T_{r2,in}/^{\circ}C$	481.99	482.40	482.80	483.21	483.62	484.02
$T_{r3,in}/^{\circ}C$	485.31	485.48	485.65	485.83	486.00	486.17
$T_{r4,in}/^{\circ}C$	485.22	485.39	485.57	485.74	485.92	486.09
$F_{H2,in1}/m^3 \cdot h^{-1}$	52 404.6	52 404.6	52 404.7	52 404.7	52 404.8	52 404.9
$F_{H2,in2}/m^3 \cdot h^{-1}$	22 470.6	23 407.3	24 344.0	25 280.7	26 217.4	27 154.1
脱戊烷油量/ $t \cdot h^{-1}$	35.852	35.605	35.426	35.315	35.272	35.297
辛烷值	97.722	97.964	98.055	97.995	97.785	97.424

4 结 论

本文基于催化重整过程的生产操作数据,应用智能可视化优化方法建立了操作变量与脱戊烷油量、辛烷值两优化目标的降维映射模型。应用该模型将操作数据降维映射到平面,并生成脱戊烷油量、辛烷值的等值线,在映射平面上找到了协调脱戊烷油量、辛烷值两目标的优化区域。该优化操作区域的发现为催化重整过程操作参数的调节带来了便利。该优化区域已用于指导实际操作,取得了同步提高脱戊烷油量和辛烷值的成效。

不同步长的若干个操作点。操作点从 11 移动到 44 时操作参数与目标值的变化情况如表 1 所示,当操作点从 11 号点移动到 44 号点时,进料量,第 3、4 反应器温度和 1 段混氢量变化不大,而进料温度和塔顶温度是逐步上升的,但塔底温度,回流量,第 1、2 反应器温度和 2 段混氢是逐步降低的。在优化区域内,虽然通过改变操作变量的值使操作点从 11 点移动到 14 点,但脱戊烷油量和辛烷值两个目标值变化不大。当某个或几个操作参数受当时条件的限制成为可测但不可控的参数时,可通过调节其他可调操作参数,使操作点落在优化区域内。通过对一个季度操作数据的统计,有 96%的操作点在优化区域内,有 4%的操作点在优化区域外但离优化区域的边界较近。应用效果检验说明了本文确定的优化区域是有效的。

参考文献:

[1] 梁超,张泉灵. 催化重整装置反应器的建模与仿真[J]. 化工学报,2012,63(11): 3591-3596.
LIANG Chao, ZHANG Quanling. Modeling and simulation of continuous catalytic reforming reactor [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2012, 63 (11): 3591-3596.
[2] 卢进,徐文立,韩曾晋. 神经预测和模糊推理在催化重整优化控制中的应用 [J]. 信息与控制,1995,24 (2): 71-77.
LU Jin, XU Wenli, HAN Zengjin. The optimal con-

- trol of catalytic reforming based on neural prediction and fuzzy reasoning [J]. Information and Control, 1995, 24(2): 71-77.
- [3] 郭彦, 李初福, 何小荣, 等. 采用神经网络和主成分分析方法建立催化重整装置收率预测模型 [J]. 过程工程学报, 2007, 7(2): 366-369.
- GUO Yan, LI Chufu, HE Xiaorong, et al. Using neural network and principal component analysis method to establish the catalytic reforming unit yield prediction model [J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2007, 7(2): 366-369.
- [4] 张成涛. 催化重整产品质量与收率预测建模的研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2009: 35-40.
- [5] 秦秀娟, 陈宗海. 汽油辛烷值神经网络预测模型的设计 [J]. 控制与决策, 1999, 14(2): 151-155.
- QIN Xiujian, CHEN Zonghai. The design of neural network prediction model for the gasoline octane number [J]. Control and Decision, 1999, 14(2): 151-155.
- [6] 孙自强, 顾幸生. 基于规则的连续重整反应器工况识别与优化操作 [J]. 中南大学学报(自然科学版), 2003(S1): 10-13.
- SUN Ziqiang, GU Xingsheng. Rule-based continuous reforming reactor to identify operating conditions and optimize operations [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2003(S1): 10-13.
- [7] 李鸿亮, 陆金桂, 侯卫锋, 等. 基于混合遗传算法的催化重整过程多目标优化 [J]. 化工学报, 2010, 61(2): 432-438.
- LI Hongliang, LU Jingui, HOU weifeng, et al. Multi-objective optimization based on hybrid genetic algorithm for naphtha catalytic reforming process [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2010, 61(2): 432-438.
- [8] 肖翔, 熊佐松, 刘海燕, 等. 智能可视化优化技术用于常压塔多目标操作优化 [J]. 炼油技术与工程, 2015(4): 8-10.
- XIAO Xiang, XIONG Zuosong, LIU Haiyan, et al. Intelligent visualization multi-objective optimization techniques used in atmospheric tower operation optimization [J]. Petroleum Refinery Engineering, 2015(4): 8-10.
- [9] 杨旭, 汪坤, 肖翔, 等. 基于粗糙集的智能可视化优化方法用于加氢裂化反应操作优化 [J]. 化工进展, 2016, 35(3): 722-726.
- YANG Xu, WANG Kun, XIAO Xiang, et al. Operation optimization of hydrocracking reaction process based on rough set and intelligent visualization optimization method [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2016, 35(3): 722-726.
- [10] ZHANG Guangxu, YAN She, YOU Yanqing, et al. The application of an advanced visualized method in synthesis process optimization of carboxy methyl hydroxyethyl starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 79(3): 673-676.
- [11] LIU Xin, JI Xiaojun, ZHANG Hongman, et al. Development of a defined medium for arachidonic acid production by *Mortierella alpina* using a visualization method [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2012, 168(6): 1516-1527.
- [12] 鄢烈祥, 华丽. 工业过程操作优化可视化方法: 降维分析法 [J]. 武汉理工大学学报, 2002, 24(7): 79-82.
- YAN Liexiang, HUA Li. Industrial process operation optimization visualization methods: dimension reduction analysis [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2002, 24(7): 79-82.
- [13] YAN Liexiang, BOGLE I D L. A visualization method for operating optimization [J]. Computers & Chemical Engineering, 2007, 31(7): 808-814.

(编辑 赵炜 葛赵青)

(上接第 37 页)

- [J]. Automotive Safety and Energy, 2015, 6(2): 191-197.
- [12] 杨皓, 李兴虎, 牟鸣飞, 等. 柴油/聚甲氧基二甲醚混合燃料的柴油机性能与排放试验 [J]. 汽车安全与节能学报, 2015, 6(3): 280-285.
- YANG Hao, LI Xinghu, MOU Minfei, et al. Experiments on the performances and emissions of diesel engine fuelled with diesel/polyoxymethylene dimethyl ethers blends [J]. Automotive Safety and Energy, 2015, 6(3): 280-285.

(编辑 苗凌)