焦化厂蒸氨系统稳定性的研究

安 蕾,杨 雪,李春燕

(内蒙古包钢钢联股份有限公司煤焦化工分公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 运用六西格玛管理的理念和工具,采用其典型的改进模式——DMAIC,对焦化厂蒸氨系统进行了系统研究。找出影响蒸氨系统稳定性的操作参数,建立数学模型,确定参数最优解的范围,实现操作的科学管控,提高了蒸氨系统的稳定性,创造了经济效益。

关键词: 六西格玛管理; 蒸氨; 稳定性

中图分类号: TQ520.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)05-0095-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.05.026

Study on Stability of Ammonia Distillation System in Coking Plant

An Lei, Yang Xue, Li Chun-yan

(*Coke Chemical Engineering Branch Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The ammonia distillation system in Coking Plant is studied with the idea and tool of six sigma management as well as its typical improved mode - DMAIC. The operating parameters affecting the stability of ammonia distillation system are found out and the mathematical model is established to determine the range of the parametric optimal solution so that the scientific control of operations is realized, the stability of ammonia distillation system is improved and the economic benefits are created.

Key words: six sigma management; ammonia distillation; stability

焦化厂的剩余氨水经过蒸氨处理后得到蒸氨废水,蒸氨废水再经生化处理达到标准后才能排放或再利用。随着近几年环保要求的日趋严格,尤其是《环保法》正式实施以后,对焦化行业高污染排放水的水质管控也越来越严。作为焦化排放水重要源头的蒸氨废水,其质量越稳定,排放水的质量就稳定,这就势必需要蒸氨系统稳定。煤焦化工分公司自建厂以来从未对蒸氨系统的稳定性进行过研究,这几年虽然不断加强操作和标准化管理,但是仍然存在着稳定性偏低的情况,最低时月稳定率不足15%,质量波动大,严重影响着生化系统的处理效果,造成焦化出水不达标。2016年集团公司大力开展并推进六西格玛项目,煤焦化工分公司利用此次机会,学习和采用六西格玛的改进模式,运用数理统计和质量工具,对蒸氨系统的稳定性进行了系统、科学的研究,取得了显著的效果,达到了降本增效的目的。

1 六西格玛简介

1.1 六西格玛的概念[1]

六西格玛诞生于美国摩托罗拉公司,是一套系统的、集成的业务改进方法体系,是旨在持续改进组织业务流程,实现顾客满意的管理方法。它通过系统地、集成地采用业务改进流程,实现无缺陷六西格玛设计,并对现有过程进行过程界定、测量、分析、改

收稿日期: 2018-02-27

作者简介: 安 蕾(1973-),女,辽宁盘锦县人,高级工程师,现从事焦化化产生产运行管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

进、控制，简称 DMAIC 流程。通过消除过程缺陷和无价值作业，从而提高质量和服务，降低成本，缩短运转周期，达到顾客完全满意，增强组织竞争力。

1.2 DMAIC 模式

DMAIC 是一个逻辑严密的过程循环，是由项目管理技术、统计分析技术、现代管理方法等综合而成的系统方法[1]。其活动分为界定阶段、测量阶段、分析阶段、改进阶段和控制阶段。通过项目各阶段的活动，完成工作任务，进行数据统计分析，确定关键影响因素，寻找改进方案，固化成果，达到持续改进的目的。

2 蒸氨稳定性衡量指标的确定

蒸氨系统主要的功能是将剩余氨水中的无机氨、有机氨等含氨的物质经过蒸馏的操作而除去，得到蒸氨废水。氨氮是衡量蒸氨废水质量好坏的重要指标，蒸氨废水的氨氮值是验证蒸氨系统效果好坏的关键性指标，氨氮值越稳定说明蒸氨系统越稳定，所以，将蒸氨废水氨氮值确定为衡量蒸氨稳定性的指标。蒸氨废水的氨氮值稳定在一定的范围内，后续生化处理系统就不会因其波动而大幅度地进行生产调整。结合这些情况，首次规定了氨氮值的稳定范围是 50～150 mg/L，并依据这个范围统计近一年的蒸氨稳定率，数据见表 1。由表 1 可知蒸氨稳定性非常差，稳定率平均仅 27.35%，最高才达到 40%。

表 1 包钢焦化厂蒸氨系统稳定率 %

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
31.78	11.49	21.43	39.81	15.38	40.19	23.23	31.76	24.36	32.58	25.29	30.86	27.35

用氨氮值对蒸氨系统的过程进行能力分析，计算出 Cp、Cpk、Pp 和 Ppk，绘制成图(见图 1)。发现蒸氨过程能力过于充足，均值与控制中心线偏离得非常远，属于严重质量过剩现象。

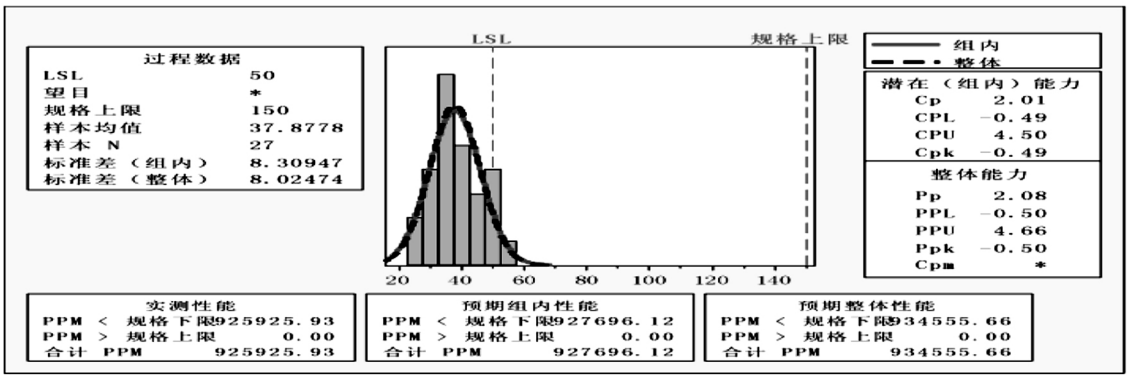


图 1 蒸氨过程能力分析图

从图中反映出来的情况来看，改进的重点就是消除氨氮均值与控制中心线的偏移，也就是着重于纠偏，使氨氮值控制在稳定范围内。

3 关键影响因子的确认

3.1 蒸氨过程能力分析

确定改进方向后，对整个蒸氨系统进行了详细的分解。使用详细流程图，从人、机、料、法、环、测等方面寻找影响氨氮值的因素，绘制出鱼骨图和流程分析图。使用 IPO 图和 CE 矩阵，分析因素的可控性和权重，将寻找出来的 19 个因素剔除掉 4 个非影响因素。再用 PFMEA 工具进一步分析筛选出 10 个重要的影响因子。

3.2 因子间相关关系分析

相关关系是指因子间有某种关系，但又不是确定性的关系[2]。针对筛选出的 10 个重要的影响因子，制定详细的数据收集计划，将数据编入表格，用这些数据对重要影响因子之间的相关关系进行分析，得到它们之间的相关系数和概率 P 值数据(见表 2)。从 P 值小于 0.05 判断得出影响因子之间存

中国知网 https://www.cnki.net

在显著相关。

表 2　相关分析数据

影响因子	相关系数	P 值
加碱量与蒸氨废水温度	0.729	0.001
塔顶压力与塔底温度	0.790	0.000
塔顶压力与塔底压力	0.546	0.029
塔底压力与塔底温度	0.587	0.017
剩余氨水流量与塔顶压力	0.677	0.004
剩余氨水流量与塔底温度	0.811	0.000
蒸氨废水温度与塔底压力	0.507	0.045
剩余氨水流量与塔底压力	0.750	0.001
剩余氨水温度与终冷冷凝液流量	0.549	0.028
剩余氨水温度与蒸氨废水流量	−0.748	0.002

因子之间若存在显著的相关关系，就说明该因子为关键影响因子，所以最终确认：加碱量、蒸氨废水温度、塔顶压力、塔底温度、塔底压力、、塔底温度、剩余氨水量、终冷冷凝液流量为关键影响因子。

4　建模和优化参数

4.1　多元线性回归模型的建立

确定了相关关系的因子再经过最佳子集的分析，筛选出了决定系数相差最少，Cp 值较高的一组因子共 7 个，进行多元线性回归模型的建立。经过回归分析后得到多元线性回归模型为：$y = -2 - 6.35x_1 - 7.93x_2 - 13.3x_3 + 7.68x_4 + 16.3x_5 + 8.79x_6 + 2.29x_7$，并且残差图无异常（见图 2），回归模型有效。

回归分析：

自变量	系数	系数标准误	T	P
常量	−1.8	114.7	−0.02	0.988
加碱量	−6.3511	0.9832	−6.46	0.000
塔顶压力	−7.929	4.270	−1.86	0.100
塔底压力	−13.343	3.575	−3.73	0.006
蒸氨废水温度	7.679	2.358	3.26	0.012
剩余氨水流量	16.349	3.179	5.14	0.001
终冷冷凝液流量	8.791	6.673	1.32	0.224
蒸氨废水流量	2.2882	0.5538	4.13	0.003

S = 13.4043　R-Sq = 91.8%　R-Sq（调整） = 84.7%

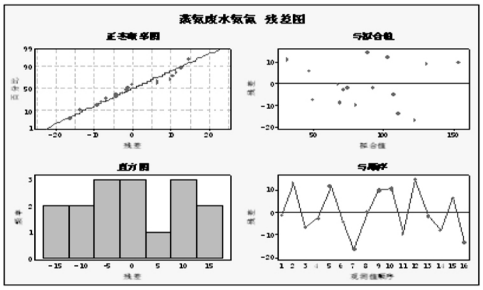


图 2　多元回归及残差图

4.2　多元线性回归模型的应用效果

蒸氨系统多元线性回归模型建立后，运用在生产实际操作中，虽然有效果，但没有想象中的那么明显。分析原因是员工理解程度不足，有的班组操作仍然使用原来的操作模式和方式，没有进行改进，而且班组间操作存在着差异。通过对员工进行针对性的培训，编制标准化作业文件进行效果固化等措施，将班组间的差异 P 值由显著差异 0.003 改进到非显著差异 0.787，减少了人员操作的波动，提高了蒸氨系统的稳定性，取得了较好的成效。

4.3　操作参数的优化

虽然建立了多元线性回归模型，生产中也运用了，并取得了一定的效果，但是从模型的 R_{-Sq}（调整）值 84.7%（见图 2）来讲，此数学模型并未完全体现出因子与结果的对应关系。分析因子之间不仅有主效应，还可能存在有交互作用而引起的交互效应。因子之间是否一定存在交互作用，对于这种情况，通常先假设存在有交互作用，然后通过假设检验的方法，给出它们之间是否有交互作用的判断。如果它们的交互作用不显著，则可以把它们的交互作用从模型中剔除出去[1]。所以对已建立的蒸氨系统多元线性回归模型还需要进一步完善，并且了解如何优化蒸氨操作参数以达到改进蒸氨系统氨氮值的目的。基于这两个方面的需求，采用试验设计（DOE）的改进方案，通过进行科学的生产试验，完善蒸氨系统数学模型，得到优化后的操作参数，实现提升改进的目的。

4.3.1　部分因子设计试验

采用全因子试验设计可以了解显著因子对蒸氨系统氨氮值的影响。由于因子个数较多，试验数量大，耗时长，所以选用部分因子试验设计来进行试验。部分因子试验是在因子个数较多，只需要分析各因子主效应和二阶交互效应是否显著而并不需要考虑高阶交互效应时使用[1]。随机安排了 7 因子的部分因子试验，得出 20 组数据，对其进行分析。

得出结论是：实验模型的主效应 $P = 0.001 < 0.050$，主效应显著，2 因子交互作用 $P = 0.005 < 0.050$，2 因子交互作用显著。但模型弯曲 $P = 0.038 < 0.050$，模型有明显的弯曲，需要进行响应

中国知网　https://www.cnki.net

曲面设计，增加模型的高阶项。

4.3.2 响应曲面设计试验

经过部分因子设计试验，将主效应和交互效应不显著的因子剔除，对剩下的3个因子，即加碱量(x_1)、塔底压力(x_2)和剩余氨水流量(x_3)进行响应曲面设计。考虑到生产现实情况，根据响应曲面设计的概论和序贯试验的策略，决定采用中心复合序贯设计(CCC)，将角点、中心点、轴点的试验点排入生产试验中。再次编排生产试验计划，组织相关人员进行生产试验、数据统计，补充缺失的试验点数据后再进行分析，结果见图3。

经过响应曲面设计试验，增加了二阶相，拟合了二次曲面，得到的数学模型是：$y = 19\ 534.8 + 171.069x_1 - 984.498x_2 + 106.724x_3 + 11.686\ 7x_2^2 + 1.047\ 76x_3^2 - 2.963\ 18x_1x_2 - 3.369\ 76x_2x_3$。数学模型的线性 $P = 0.000 < 0.050$，线性显著。平方 $P = 0.000 < 0.050$，平方显著。交互作用 $P = 0.000 < 0.050$，交互作用显著。模型的决定系数分别为 $R_{-Sq} = 98.61\%$，R_{-Sq}(预测) $= 95.77\%$，R_{-Sq}(调整) $= 97.80\%$，这说明经过进一步研究和试验设计，R_{-Sq}(调整)值有较大提升，模型得到完善。

响应曲面回归:蒸氨废水氨氮 与 加碱量, 塔底压力, 剩余氨水流量

分析是使用已编码单位进行的。

蒸氨废水氨氮 的估计回归系数

系数标

项	系数	准误	T	P
常量	93.43	46.32	2.017	0.067
加碱量	156.74	43.67	3.589	0.004
塔底压力	-925.80	43.67	-21.198	0.000
剩余氨水流量	324.73	43.67	7.435	0.000
塔底压力*塔底压力	844.36	77.20	10.937	0.000
剩余氨水流量*剩余氨水流量	163.71	77.20	2.121	0.055
加碱量*塔底压力	-314.84	48.83	-6.448	0.000
塔底压力*剩余氨水流量	-358.04	48.83	-7.333	0.000

S = 138.108 PRESS = 696182

R-Sq = 98.61% R-Sq(预测) = 95.77% R-Sq(调整) = 97.80%

图3 响应曲面设计数据分析

再用等值线与曲面图与响应优化器进行分析，结合当时实际剩余氨水量，找出生产成本较低的最优参数范围。剩余氨水流量(50±1) m^3/h，加碱量(66±2) mm/h，塔底压力52.5~53.7 kPa，依据优化后的操作参数，对生产进行管控。

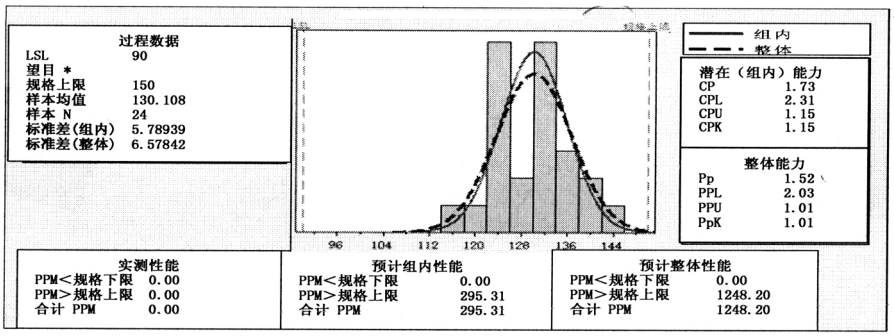


图4 改进后的蒸氨系统过程能力

5 应用效果

经一段时间的改进和控制，蒸氨过程能力得到了显著提升(见图4)。在满足客户需求的条件下，调整控制范围为90~150 mg/L。

通过前后两次过程能力的对比，在优化参数操作后，整个过程的均值已经向控制中心靠近，波动减少，稳定性增强。现蒸氨系统的稳定率(氨氮值在50~150 mg/L范围内)达到了80%以上。

6 结束语

通过对焦化厂蒸氨系统稳定性的研究，得出影响蒸氨效果的关键因子，并通过对其的控制，实现精细化操作。整个研究过程投入费用8.2万元，降低成本460万元，降低污染处理费10万元，总收益461.8万元。

参 考 文 献

[1] 何桢. 六西格玛管理[M]. 北京: 中国人民大学出版社，2014.

[2] 马逢时，周暐，刘传冰. 六西格玛管理统计指南[M]. 北京: 中国人民大学出版社，2013.

中国知网 https://www.cnki.net