

# 煤制甲醇装置中甲醇洗涤塔的脱瓶颈改造

孙涛\*

(中石化南京工程有限公司, 江苏南京 211100)

**摘要:**针对某煤制甲醇装置脱瓶颈改造项目存在的问题,建立了甲醇洗涤塔重力流管路系统计算模型,确定了 B 段集液箱液位与贫甲醇操作负荷的定量关系;根据扩能前后甲醇洗涤塔的负荷变动情况,对该塔 4 个部分的塔盘水力学进行核算,找到了瓶颈之所在,并提出了有效的改造方案。改造方案实施后,装置达到了设计指标,已顺利开车并达到 62 万 t/a 的产能。

**关键词:**甲醇洗涤塔;重力流;塔盘水力学;降液管;液泛率

**中图分类号:**TQ11-2172

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2019)05-0211-04

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2019.05.047

## De-bottleneck renovation of methanol washing column in coal-to-methanol plant

SUN Tao\*

(Sinopec Nanjing Engineering Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

**Abstract:** Aiming at solving the problems existed in a certain coal to methanol plant, a calculation model for the gravity flow piping system of the methanol washing column is established, and the quantitative relationship between the liquid level of the collector tank of B section and the lean methanol operation load is determined. According to the load changes of the methanol washing column before and after the de-bottleneck renovation, the tray hydraulics of the four sections of the column are calculated and the bottleneck is therefore found. An effective renovation scheme is proposed accordingly. After the implementation of the renovation scheme, this coal-to-methanol plant has successfully put into operation and reached a running capacity of 620 000 tons/year.

**Key words:** methanol washing column; gravity flow; tray hydraulics; downcomer; flooding rate

某煤制甲醇装置原产甲醇 50 万 t/a,本脱瓶颈改造项目目标是将甲醇产能提高至 62 万 t/a。由于甲醇产能提高幅度较大,需对低温甲醇洗单元甲醇洗涤塔的处理能力进行核算,以确保改造效果。经全面分析该塔提负荷前后的工艺参数,确定改造的 2 个关键点如下:

(1)从 DCS 运行的历史画面可知,该煤制甲醇装置甲醇洗涤塔的 B 段集液箱的液位一直处于较高状态,最高液位 80% 以上,过高的液位制约了该塔负荷的进一步提升;另外,集液箱液位过高甲醇液会有可能通过升气管短路直接进入下段塔盘造成返混,影响洗涤效果。因此,对上述现象进行分析并总结出该塔 B 段集液箱液位与塔顶贫甲醇操作负荷之间的定量关系显得极为必要。

(2)该煤制甲醇装置甲醇洗涤塔原塔塔盘的操作弹性上限为 111%,经脱瓶颈改造后,塔盘操作负荷上限大约为 117%,已经超出原塔盘的操作弹性范围。因此,有必要对该塔塔盘进行详细的水力学核算,找出制约因素,并提出在工程上可行的改造和

实施方案。

## 1 流程简介

图 1 为甲醇洗涤塔流程,由图 1 可知,低温贫甲醇由 A 段顶部进入该塔,来自上游单元的变换原料气由 D 段底部进入该塔,2 股流体在塔内逆流接触完成酸性气的吸收。在甲醇洗涤塔上段,通过甲醇再生段产生的冷的贫甲醇使 CO<sub>2</sub> 摩尔分数降低至 2.7% 左右。CO<sub>2</sub> 吸收的溶解热由丙烯冷却器和绕管换热器移除,具体流动路径为:吸收了 CO<sub>2</sub> 的富

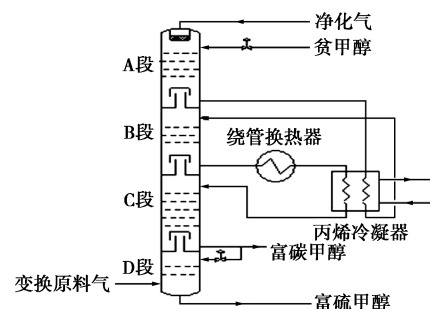


图 1 甲醇洗涤塔流程

收稿日期:2018-09-18;修回日期:2019-03-25

作者简介:孙涛(1984-),男,硕士,高级工程师,从事化工工艺和系统设计工作,通讯联系人,suntao.snei@sinopec.com。

甲醇由集液箱 A 段和 B 段分别引出,经丙烯冷却器和绕管换热器换热后返回塔内,流动的推动力为液位差。在洗涤塔下段,使用冷甲醇完全吸收  $H_2S$  和  $COS$ 。由于甲醇中  $CO_2$  的溶解度低于  $H_2S$  和  $COS$  的溶解度,因此, $CO_2$  脱除段的流量要大于  $H_2S$  吸收段流量,流量差额由 C 段底部抽出并送至下游设备<sup>[1]</sup>。

## 2 工程背景

### 2.1 甲醇洗涤塔结构参数

甲醇洗涤塔共计 81 层塔盘,塔盘型式为浮阀,具体采用的是导向桥阀,塔盘为不锈钢材质。塔的部分结构参数见表 1。

表 1 甲醇洗涤塔结构参数

塔位置	A 段	B 段	C 段	D 段
塔径/m	3.5	3.5	3.5	3.5
溢流数	2	4	4	2
塔盘间距/mm	450	500	600	380
开孔率/%	4.3	6.1	7.4	8.2
鼓泡区面积/m <sup>2</sup>	4.3	6.3	6.3	5.8
溢流堰堰长/mm	6900/5570	12576/11134	12576/11134	6942/5276
溢流堰堰高/mm	60/50	70/60	70/60	70

### 2.2 B 段集液箱及附属重力流管路系统结构参数

B 段集液箱材质为低温碳钢,和甲醇洗涤塔塔体同材质,结构示意图见图 2,液位计 L1A/B 跨距为 4 600 mm,液位计下管口 L1A 和 N2 管口间距为 1 290 mm。

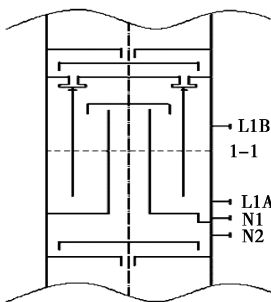


图 2 甲醇洗涤塔 B 段集液箱示意图

管道阻力降相关的结构参数在表 2 列出,表 2 中,管段 1 表示 B 段集液箱到丙烯冷凝器之间的管路,管段 2 表示丙烯冷凝器和绕管换热器之间的管路,管段 3 表示绕管换热器和甲醇返回口之间的管路。丙烯冷凝器在基准负荷下的设备压降为 4 kPa,绕管换热器在基准负荷下的设备压降为 6 kPa,管道阻力降和设备阻力降之和为压头损失  $H_f$ 。

表 2 甲醇洗涤塔 B 段重力流管路系统阻力元件参数

阻力元件名称	管段 1	管段 2	管段 3
公称直径/mm	300	300	300
管道等级	SCH60	SCH60	SCH60
管道内径/mm	295.5	295.5	295.5
直管段长度/m	46	25	50
弯头数/个	7	5	8
三通数/个	0	2	2

## 3 工程计算基础

图 2 中,N1 表示甲醇出口,N2 表示甲醇进口,L1A/B 表示远传液位计口,1-1 为假定的集液箱液位,对液位 1-1 和 N2 管口中心线之间列伯努利方程<sup>[2-3]</sup>:

$$Z_1 + u_1^2/(2g) + p_1/(\rho g) = Z_2 + u_2^2/(2g) + p_2/(\rho g) + H_f \quad (1)$$

$$H_{f0} = \lambda u_0^2(l + \sum l_e)/(2gd_i) \quad (2)$$

$$H_f = f^2 H_{f0} \quad (3)$$

对公式(1)~(3)进行整理并忽略次要项:

$$\Delta Z = (P_2 - P_1)/(\rho g) + f^2 \lambda u_0^2(l + \sum l_e)/(2gd_i) \quad (4)$$

由于液位计读数为液位高度与跨距的百分比,对公式(4)进一步整理得到液位计读数与负荷因子的关系式:

$$G = [(P_2 - P_1)/(\rho g) + f^2 \lambda u_0^2(l + \sum l_e)/(2gd_i) - \Delta h]/\Delta L \times 100 \quad (5)$$

式中, $Z_1$  为甲醇洗涤塔 B 段集液箱液位的标高,m; $u_1$  为甲醇洗涤塔 B 段集液箱液体流速,m/s; $g$  为重力加速度,m/s<sup>2</sup>; $P_1$  为甲醇洗涤塔 B 段集液箱压力,Pa; $\rho$  为液相甲醇的密度,kg/m<sup>3</sup>; $Z_2$  为甲醇洗涤塔 N2 管口中心标高,m; $u_2$  为甲醇洗涤塔 N2 管口液体流速,m/s; $p_2$  为甲醇洗涤塔 N2 管口出口压力,Pa; $H_f$  为压头损失,m; $H_{f0}$  为基准负荷下的压头损失,m; $u_0$  为基准负荷下的管内流速,m/s; $\lambda$  为摩擦系数,1; $l_e$  为管件当量长度,m; $d_i$  为液相连通管内径,m; $f$  为负荷因子,1; $\Delta h$  为管口 N2 和 L1A 间距,m; $\Delta L$  为液位计跨距,m; $G$  为液位计读数,%。

## 4 B 段集液箱液位问题结果与讨论

### 4.1 重力流管路系统基准负荷下压降分布

根据上述给出的设备和管道结构参数以及计算模型,基准负荷下重力流管路系统压降分布如表 3。

表 3 基准负荷下重力流管路系统压降分布

名称	管段 1	管段 2	管段 3	设备 E01	设备 E02
压降/kPa	9.18	7.84	11.82	4	6
所占比例/%	23.64	20.19	30.43	10.30	15.45

由表3可知,基准操作负荷状态下,管段1、管段2、管段3等3段管路压降占重力流系统总压降的74.25%,设备压降占比25.75%。从上述占比可以看出,该重力流系统的主要矛盾在于管路压降太大;如果该系统需要做提负荷改造,则改造的重点在于降低该系统管路压降。

#### 4.2 B段集液箱液位读数与贫甲醇操作负荷的关系

甲醇洗涤塔B段重力流管路系统压降和B段集液箱液位是一一对应关系,其值与塔顶贫甲醇流量有关。根据上述计算模型,整理计算了不同贫甲醇流量负荷下液位计读数,见图3。

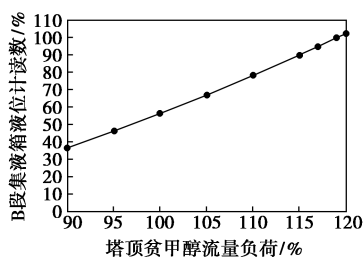


图3 甲醇洗涤塔B段集液箱液位计读数与塔顶贫甲醇负荷关系

由图3可知,在塔顶贫甲醇负荷为115%和117%时,B段集液箱液位计读数分别为91%和95%;当贫甲醇操作负荷超过120%时,液位计已经满量程。经查阅DCS历史画面,B段集液箱液位计读数和计算值相差不大,说明该计算模型可以用于预测B段集液箱液位计读数和塔顶贫甲醇负荷的关联关系。

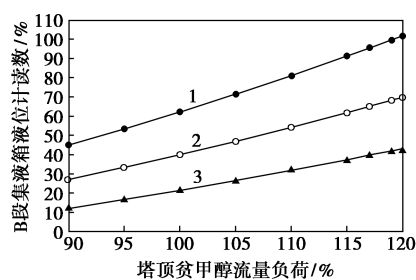
#### 4.3 重力流管线的改造措施建议

由图3可知,塔顶贫甲醇负荷为120%时,B段集液箱液位计读数已经超出液位计量程。如果由于工厂运行需要期望将塔顶贫甲醇操作负荷增加至120%,则有必要对B段重力流管路系统进行改造。考虑到丙烯冷凝器和绕管换热器面积裕量满足此工况要求,根据4.1确定的原则,需要对管路系统进行针对性的改造,分别对管线尺寸DN350和DN400进行计算,结果见表4和图4。

表4 管径调整后重力流管线压降 kPa

名称	管段1	管段2	管段3
DN300 管路压降	9.18	7.84	11.82
DN350 管路压降	5.89	5.64	8.01
DN400 管路压降	3.15	3.78	4.83

由表4和图4可知, DN350和DN400的管路系统均能满足120%负荷要求。因此,如果后期业主



1—DN300;2—DN350;3—DN400

图4 不同管径下B段集液箱液位计读数与塔顶贫甲醇负荷关系

希望进一步提升甲醇产能导致甲醇洗涤塔贫甲醇操作负荷提升至120%,则需要将现有管路系统的管径由DN300调整至DN350,虽然DN400的管径也能满足要求,但会导致投资增加。

## 5 塔盘水力学核算结果与讨论

尽管改造后甲醇洗涤塔的操作负荷提高17%,考虑到操作时的负荷波动及水力学经验公式的误差,按120%处理负荷核算甲醇洗涤塔塔盘水力学参数<sup>[3-8]</sup>。

### 5.1 塔盘水力学计算结果

120%工况下甲醇洗涤塔各段水力学计算结果见表5。

表5 120%工况下甲醇洗涤塔各段水力学计算结果

水力学参数	A段	B段	C段	D段	控制指标
降液管流速/( $m \cdot s^{-1}$ )	0.06	0.089	0.098	0.042	$\leq 0.12$
降液管清液层高度/mm	222	197	199	188	$\leq 0.4 \times$ 板间距
降液管停留时间/s	7.6/	5.7/	6.1/	9/1	$\geq 5$
	9.8	6.3	6.8	2.6	
降液管底隙流速/ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0.22	0.36/	0.40/	0.31/	$\leq 0.4$
		0.26	0.30	0.25	
阀孔动能因子/ ( $kg^{0.5} \cdot s^{-1} \cdot m^{-0.5}$ )	15.35	12.85	12.94	12.34	—
修正后的阀孔动能因子/ ( $kg^{0.5} \cdot s^{-1} \cdot m^{-0.5}$ )	16.68	13.78	13.72	13.08	$\leq 15$
喷射液泛率/%	84.05	54.69	69.72	76.61	$\leq 82$
溢流强度/( $m^3 \cdot m^{-1} \cdot h^{-1}$ )	63.84	43.2	47.88	31	$\leq 90$
塔盘压降/kPa	1.07	0.89	0.92	0.86	$\leq 1$

### 5.2 A段塔盘水力学结果讨论

由表5可以看出,扩能后降液管流速、降液管清液层高度、降液管液体停留时间、降液管底隙流速均在合理范围内,说明降液管处理能力满足120%工况要求,不需要改造。

阀孔动能因子是判断塔盘水力学的一个较为重要的参数,在新塔设计时该值通常在 8~11,在旧塔改造时,阀孔动能因子的上限可取 13~17,考虑到甲醇洗涤塔在整个煤制甲醇工艺流程中的重要性,本次改造阀孔动能因子上限取 15。由表 5 可知,扩能后在 120% 工况下,修正后的阀孔动能因子为 16.68,该值太高,已经超出工艺控制指标;120% 工况下塔盘喷射液泛率为 84.05%,同样偏高,会导致雾沫夹带量超过 0.10(kg/kg 气相),造成塔盘效率的下降;甲醇洗涤塔操作负荷升至 120% 后,塔盘压降值为 1.07 kPa,超过了 1 kPa。综上,需要增大 A 段的鼓泡区塔盘开孔率,将阀孔动能因子、塔盘喷射液泛率和塔盘压降值降低至正常范围内,具体实施方案为:降液管利旧,将 A 段开孔率为 4.3% 的 15 块鼓泡区塔盘更换为开孔率为 5.7% 的鼓泡区塔盘,塔盘更换后 120% 工况下的主要水力学参数见表 6。

表 6 120% 工况下塔盘更换前后 A 段水力学主要参数对比表

名称	修正后的阀孔动能因子/ ( $\text{kg}^{0.5} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-0.5}$ )	喷射液泛率/ %	塔盘压降/ kPa
原开孔率为 4.3% 鼓泡区塔盘	16.68	84.05	1.07
更换后开孔率为 5.7% 鼓泡区塔盘	12.58	63.43	0.79

### 5.3 B 段塔盘水力学结果讨论

根据表 5 数据,甲醇洗涤塔 B 段无论是降液管的能力还是塔盘鼓泡区能力均能满足 120% 负荷下的操作工况,另外,塔盘压降也在控制指标范围内,因此,该段塔盘无需改造。

### 5.4 C 段塔盘水力学结果讨论

由表 5 可知,甲醇洗涤塔 C 段降液管流速、降液管清液层高度、降液管停留时间等参数均在合理范围内,但 2 降液管的底隙流速偏高,已经达到 0.4 m/s,因此需要增加该区域的降液管底隙高度,从而降低降液管底隙流速。具体实施方案:在该塔停车检修期间取出 C 段 2 降液管区域的降液板,将降液板底部部分切割 10 mm 左右,底隙高度由 30 mm 增加到 40 mm,使 120% 工况下 C 段 2 降液管底隙流速由 0.4 m/s 降低至 0.3 m/s,从而满足了工艺要求。

阀孔动能因子、塔盘喷射液泛率、溢流强度、塔盘压降值均在合理范围内,因此,塔盘鼓泡区无需改造。

### 5.5 D 段塔盘水力学结果讨论

根据表 5 数据,甲醇洗涤塔 D 段无论是降液管

的能力还是塔盘鼓泡区能力均能满足 120% 负荷下的操作工况,该段塔盘无需改造。

## 6 结语

(1) 改造方案实施后,该煤制甲醇装置顺利开车并达到 62 万 t/a 的产能。在改造后的运行负荷下,甲醇洗涤塔的主要工艺运行参数见表 7。

表 7 改造后甲醇洗涤塔主要工艺运行指标

名称	变换气处理量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	塔顶 H <sub>2</sub> S 体积分数/ $10^{-6}$	塔顶 CO <sub>2</sub> 体积分数/ %	整塔压降/ kPa
改造后运行指标	256464	痕量	2.63	63.1
设计指标	253067	≤0.1	≈2.7	≤81

由表 7 可以看出,甲醇洗涤塔的变换气处理量、净化气指标和整塔压降都达到了设计指标,说明本次甲醇洗涤塔的内件改造取得了成功。

(2) 由于本装置改造后负荷提升大约 17%,因此,从投资经济性角度考虑,对该甲醇洗涤塔 B 段重力流管路系统不做改造。装置开车后经查阅 DCS 画面,B 段集液箱液位读数为 95.04%,和重力流管路系统计算模型计算值 95% 相吻合,考虑到液位较高,建议在平时操作过程中对甲醇洗涤塔 B 段集液箱液位进行重点监控。

(3) 在确定最终塔内件改造方案前,一定要和业主提前确认好塔内件液体分布器、降液板等是否为可拆结构,否则现场不具备施工条件,会导致改造方案无法实施。

(4) 该项目提出的甲醇洗涤塔重力流管路系统计算模型以及对塔盘水力学的计算和分析过程,对其他关键塔设备的设计和脱瓶颈改造具有参考意义。

## 参考文献

- [1] 陈菊枝.低温甲醇洗工段洗涤塔积液问题分析及解决[J].化工管理,2016,(2):177-178.
- [2] 姚玉英.化工原理[M].天津:天津大学出版社,1998.
- [3] 吴德荣.化工工艺设计手册[M].4 版.北京:化学工业出版社,2010.
- [4] DEP-T-PE1101-2016.塔器水力学计算导则[S].
- [5] 刘卫国.MATLAB 程序设计与应用[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [6] Henry Z.Kister distillation design[M].McGraw-Hill,1992.
- [7] Fractionation Research Inc.Tray design handbook[M].China Petrochemical Press,2005.
- [8] Norman P.Lieberman, Elizabeth T.Lieberman a working guide to process equipment[M].New York:McGraw-Hill,2008.■