

# 林达均温型甲醇合成塔在渭化大型化甲醇装置上的使用总结

张安平<sup>1</sup> 王学军<sup>1</sup> 周传华<sup>2</sup> 赵金龙<sup>2</sup>

(1 陕西渭河煤化工集团有限责任公司双甲车间, 陕西渭南, 714000)

(2 杭州林达化工技术工程有限公司, 浙江杭州, 310012)

**摘要:**介绍了杭州林达公司的均温型甲醇合成塔在渭化 200kt/a 甲醇装置上两年来的运行情况和陕西省科技厅的专家鉴定意见,充分显示了国产化大型甲醇合成塔良好的应用前景。

**关键词:** 均温型甲醇合成塔 甲醇生产 应用总结

陕西渭河煤化工有限责任公司的 200kt/a 甲醇装置是渭河集团公司适应市场需求,追求多元化生产经营,为企业创造经济效益最大化的新建装置,为陕西省重点支持化工项目,于 2003 年 6 月筹备建设,2006 年 5 月建成投产,并于 2007 年 8 月 14 日经陕西省科技厅鉴定。整套装置以 6.5MPa 德士古水煤浆加压气化技术为龙头,经耐硫变换、低温甲醇洗技术制备合格的甲醇合成气,整个过程实现等压合成。其中甲醇合成装置的关键设备——甲醇合成塔,采用了具有自主知识产权的杭州林达公司的均温型甲醇合成塔,甲醇合成系统工作压力为 5.2MPa,合成塔内装南京化工研究院的 NC307 低压甲醇合成催化剂 50m<sup>3</sup>,并副产 1.0MPa、0.34MPa 两个等级的低压蒸汽。

## 1 工艺流程介绍

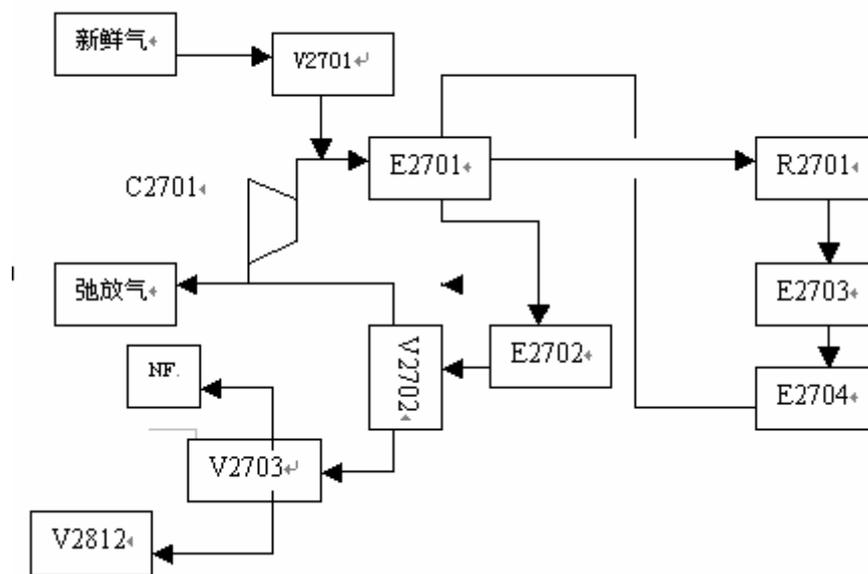
由德士古水煤浆加压气化技术生产的水煤气经耐硫变换、低温甲醇洗合格后进入甲醇合成界区,先进入脱硫剂罐(V2701),经常温氧化锌进一步脱硫后,与来自循环气压缩机出口的循环气混合,进入中间换热器(E2701)壳程与来自 E2704(二级废锅)的高温出塔气体换热,换热后的气体(约 110℃)从顶部进入甲醇合成塔(R2701),反应后的气体从 R2701 底部排出。

出 R2701 的气体经一级废热锅炉(E2703)、二级废热锅炉(E2704)换热后进入中间换热器(E2701)管程,与换热器壳程的入塔气体换热,后又进入水冷器(E2702A/B)进一步冷却,温度降到 40℃以

下，然后进入甲醇分离器（V2702）进行气液分离。分离出的液体粗甲醇经减压闪蒸除去溶解在其中的大部分气体后送往粗甲醇贮槽（V2712A/B）。

从分离器上部出来的气体作为循环气大部分返回循环气压缩机（C2701），经加压后循环使用。另有一小部分气体作为弛放气，先通过弛放气洗涤塔（T2701）用密封水洗涤吸收其中的甲醇蒸汽，后经 C2702（弛放气压缩机）加压后送往老厂变换回收。

附：工艺流程方块图



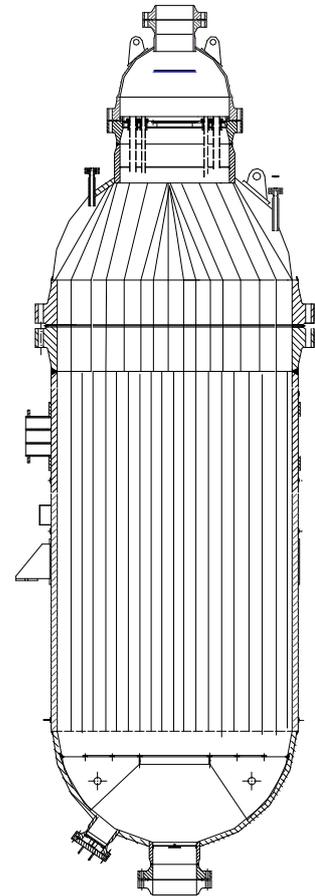
## 2 合成系统主要设备

序号	设备名称	规格型号	数量
1	甲醇合成塔	Φ3000×14000	1
2	开工加热器	Φ1200×28×5643	1
3	一级废锅	Φ11488/Φ2400×44/25×10399	1
4	二级废锅	Φ11488/Φ2400×44/25×11399	1
5	中间换热器	Φ1600×40×16008	1
6	水冷器	Φ1600×56×13653	1
7	甲醇分离器	Φ2400×12×6520	1
8	闪蒸罐	Φ2400×16×7316	1

9	循环机	4V-1S	1
---	-----	-------	---

### 3 Φ3000 均温型合成塔

合成塔装置的关键设备合成结构简图如右图所示，进塔气由上部进入合成塔，经多根引气管进入上集气环，再均匀分布到多排下行管与触媒层换热，后又并入下集气环，均匀分布到多排上行管与触媒层再次换热，达到反应温度后出上行管进入触媒层进行合成反应并与管内冷气换热，反应气由下部出塔。合成塔内装有 4 根测温热电偶，共设 28 个测温点，同平面 4 个测温点，按不同插入深度均匀分布于 7 个平面，从而有利于操作工更好的掌握触媒层的反应情况和温度分布，以便进行相关操作。



渭化 Φ3000 低压均温型合成塔是杭州林达公司由 Φ2000 型合成塔直接放大为 Φ3000 型的，在技术革新上实现了跨越式的一步，虽然理论上工业装置的放大存在一定的风险，但经过在我厂甲醇装置上近两年的应用表明这次放大改进是成功的。

### 4 催化剂的升温还原情况

触媒升温还原使用的还原气是我公司合成氨装置液氮洗分子筛后的净化气，压力为 5.2 Mpa，其组成为：CO: 2.6%(V)、H<sub>2</sub>: 96.5%(V)。系统采用氮气循环，触媒还原压力根据循环机的最大打气量控制在 0.7~0.8Mpa。

2006 年 5 月 5 日 13 时合成系统开始升温，升温过程持续到 5 月 7 日 17: 00，共 52 小时，出物理水 2508.72Kg。5 月 7 日 17: 00 开始加氢还原，5 月 11 日 15: 30 还原结束，共 94.5 小时，还原阶段累计出水 11264.65Kg。初次加氢入塔气氢浓度为 0.52%，还原结束前，小时出水量小于 8Kg 达 7 小时，还原结束时合成塔进出口氢浓度分别为：21.22%和 21%。

附：升温还原表

滑化 NC307 型甲醇合成催化剂升温还原情况

阶段	时间 (h)		塔出口温度 (°C)	升温速率 (°C/h)	进塔气 H <sub>2</sub> 浓度 (%)	入塔压力 (Mpa)	入塔流量 (m <sup>3</sup> /h)	出水速率 (Kg/h)	出水量 (Kg)	
	阶段	累计								
升温	I	7	7	室温~70	~7	0.7	~90000	20	157.4	
	II	31	38	70~170	~3			40~140	2120.8	
	III	14	52	170	0			7~40	230.52	
还原	I	52	104	170~180	0.2			0.2~0.5	70~250	9031.12
	II	6	110	180~190	1.5			9~19	30	863.97
	III	36	146	190~210	~0.7			20	1~20	1369.56
	IV	20	166	210~225	~0.7				0	

备注：升温阶段出水总量 2508.72kg，还原阶段出水总量 11264.65kg，升温还原总出水量 13773.37kg

在整个升温还原过程中出水均匀，温度易于控制且分布均匀，催化剂还原比较彻底，做到了低温下多出水。升温还原结束后的床层温度分布见下表：

T1-7	218.9	220.4	220.4	220.2	221.0	221.4	220.8
T8-14	216.7	219.0	218.1	220.0	220.8	220.6	220.6
T15-21	214.3	217.5	218.5	219.0	218.5	219.2	219.3
T22-28	217.2	220.1	220.6	220.9	221.4	222.8	222.0

## 5 甲醇合成系统的运行情况总结

### 1) 系统导气及轻负荷生产

我厂甲醇装置于 2006 年 5 月 11 日 23:00 导气进行生产。导气前触媒床层温度已升至大约 220°C 左右，分布均匀，系统压力为 0.6MPa，当天晚上 23:00 系统开始导气，随着新鲜气量的增加系统压力不断上涨，当系统压力上涨至大约 1.0 MPa 时，触媒层温度开始出现上涨趋势，表明反应已开始进行，随后采取不同手段对床层温度进行调整控制，以优化系统反应，大约在 12 日 13:00 时甲醇分离

器出现液位，表明已产出粗甲醇产品，随后系统即进入低负荷生产。

附：低负荷生产情况下的一组数据

新鲜气	21.4KNM3/H	24.1℃	5.17MPa	入塔组成	H <sub>2</sub> %	CO%	CO <sub>2</sub> %
循环气	143KNM3/H	30.2℃	3.23MPa		87.19	5.06	0.53
入塔气		139.6℃	3.22MPa	出塔组成	H <sub>2</sub> %	CO%	CO <sub>2</sub> %
出塔气		224.6℃	3.16MPa		87.49	1.00	0.38
T1-7	234.8	242.5	235.4	236.4	232.7	228.6	226.5
T8-14	232.3	239.1	234.6	225.2	226.3	224.9	221.4
T15-21	234.0	243.2	241.2	236.8	233.0	230.8	232.3
T22-28	229.3	239.5	241.9	236.3	230.8	229.7	223.6

## 2) 对于反应器温度的控制

由于我厂是德士古水煤浆制气，从气化装置来的水煤气本身 CO 含量高达 30%左右，其他惰性组分含量低于 1%，触媒又处于初期高活性阶段，所以对有效组分的变化非常敏感，稍不注意就有可能出现温度快速上涨。在生产初期就频繁出现此类现象，前系统 CO 上涨 0.2%床层温度就开始上涨，由于反应加剧系统压力就不断下降，导致前后系统压差增大，无形中新鲜气量就增大了，随之反应就更加剧烈，如此形成恶性循环，这就要求必须尽快将系统反应控制住，遏制这种情况的继续进行。均温型反应器在出现此类问题时，处理起来就表现出明显的优势，由于本身床层温差小，就允许快速降低反应器入口温度，增大循环量，从而有效地降低床层温度，以稳定系统反应，而又不怕入口温度降的过低而导致床层局部垮温或整体垮温，这对稳定生产是非常有利的。

在装置运行初期，由于前系统工况大幅度波动，加之操作工缺乏操作经验，曾导致触媒床层出现了几次偏温情况。操作工为了控制床层不超温，大幅度降低反应器入口温度，又为了防止床层温度下降过快而减小循环量，造成入塔气体温度过低且分布不均匀，使整个床层换热不均匀，而最终出现局部温度下降，另外一部分温度上涨的偏温现象。我们在处理这类问题时充分考虑了均温型反应器的特点，不断提高入塔气温度，同时加大循环量以利于气体入塔后的均匀分布，使入塔气与整个床层均匀换热，从而将低温部分的温度慢慢提起来，而又能减缓高温部分的上涨趋势，最终将整个触媒床层温度调整趋于均匀。总的来说均温型反应器在温度控制上是比较容易的，操作弹性大。这对原来认为林达均温型低压甲醇塔适用于惰性气体含量高的气质，对 CO 含量高、惰性气浓度低的优质合成气不一定适用的疑问有了答案，证明林达均温型低压甲醇塔同样适用于优质合成气。

## 3) 系统结蜡情况

对于均温型反应器，由于触媒床层温度分布均匀，且利于控制，减少了副反应地进行，从而大大减少了石蜡的生成，07年5月装置大检修时共清理出石蜡大约30多公斤，据我们得知，使用同样催化剂而使用不同甲醇合成反应器的装置，石蜡的生成量明显多于我们装置，对他们的生产构成了一定影响。

#### 4) 装置性能考核

渭化甲醇装置自建成投产以来，由于种种原因的限制，系统一直处于低负荷运行状态，为了尽早实现达标达产，并在07年大检修之前将所有问题暴露出来，在我公司生产部及总调的组织领导下，对甲醇合成装置进行了72小时性能考核。本次性能考核的时间是2007年4月10日至4月16日，其中4月13日下午甲醇合成工段新鲜气量加至63.0KNM<sup>3</sup>/H,72小时考核运行至4月16日下午，三天甲醇总产量为1902.8吨，平均日产量为634.3吨，平均负荷率为97.6%，CO单程转换率达到75%以上，且触媒床层温度分布均匀，热点温度基本稳定在252℃左右，平面温差<15℃，轴向温差<19℃，基本达到设计值。只是由于前系统和弛放气压缩机的原因，甲醇合成系统没有加至满负荷，但从性能考核数据来看，待影响原因解决后甲醇装置达到设计能力是毋庸置疑的。

附：性能考核试验的两组数据

**表1 2007年4月14日 10:00**

新鲜气	63.4KNM <sup>3</sup> /H	24.5℃	5.08MPa	入塔组成	H <sub>2</sub> %	CO%	CO <sub>2</sub> %
循环气	274KNM <sup>3</sup> /H	36.5℃	4.88MPa		84.51	7.59	0.72
入塔气		97.2℃	4.84MPa	出塔组成	H <sub>2</sub> %	CO%	CO <sub>2</sub> %
出塔气		226.7℃	4.63MPa		88.12	1.30	0.45
T1-7	233.0	237.6	244.8	246.6	245.5	249.5	237.3
T8-14	237.9	239.3	244.8	226.4	230.2	229.4	222.5
T15-21	246.6	252.9	253.5	251.5	248.0	242.9	244.9
T22-28	233.0	239.8	252.8	246.5	240.0	237.2	225.2

**表2 2007年4月15日 10:00**

新鲜气	62.8KNM <sup>3</sup> /H	25.2℃	5.08MPa	入塔组成	H <sub>2</sub> %	CO%	CO <sub>2</sub> %
循环气	274KNM <sup>3</sup> /H	36.3℃	4.88MPa		84.67	7.32	0.68
入塔气		98.4℃	4.85MPa	出塔组成	H <sub>2</sub> %	CO%	CO <sub>2</sub> %
出塔气		224.7℃	4.65MPa		88.13	1.25	0.43
T1-7	231.2	235.6	242.9	243.8	241.5	245.7	233.8
T8-14	234.3	235.1	240.1	222.3	226.7	226.5	221.2
T15-21	244.2	250.1	253.8	249.7	246.4	241.3	243.5

T22-28	229.3	233.4	246.4	242.1	235.8	234.4	222.6
--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

### 5) 陕西省科技厅科技成果鉴定

2007年8月14日,陕西省科技厅组织并主持,对列入陕西省重大科技项目的陕西渭河煤化工集团有限责任公司和杭州林达化工技术工程有限公司共同完成的“均温型甲醇合成塔的大型化研究开发”项目进行了科技成果鉴定。鉴定委员会听取了项目组的工作和技术总结汇报,审查了相关资料,鉴定委员会的专家到现场考察了运行情况,鉴定会时达到的产量比前述考核时高13吨/日多。

附:科技鉴定几天的甲醇合成运行数据

**表1 产量**

日期	一班(吨)	二班(吨)	三班(吨)	日产(吨)
8月11日	208.6	217.42	227.82	653.84
8月12日	204.5	212.6	212.85	629.95
8月13日	217.6	218.9	223.3	659.82
三日平均值				647.86

**表2 气量(以下数据均为8月14日现场数据)**

8月14日 (现场)	原料气量 ( $10^4\text{Nm}^3/\text{h}$ )	循环气量 ( $10^4\text{Nm}^3/\text{h}$ )	放空气量 ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )
		6.32~	26.66

**表3 压力和温度**

	循环机		合成塔		催化剂层温度		
	进口	出口	进口	出口	进床层	热点	底部
压力(MPa)	4.48	4.80	4.76	4.57			
温度( $^{\circ}\text{C}$ )	33.8	40.6	107.9	244	242.6	260	248.3

**表4 气体成分**

	CO(%)	CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> (%)
进塔气	9.04	1.52	84.87
出塔气	2.28	1.16	88.58

现场考察后专家组经过质疑和认真讨论作出鉴定意见,认为“该项目开发研究的气冷均温大型甲醇合成塔及甲醇合成技术成功应用于水煤浆加压气化为原料气的等压合成工艺。在强放热条件下,具

有固定床甲醇合成床层径向和轴向的温度均匀、温差小、操作稳定、控制方便、催化剂生产强度大、CO 转化率高优良性能。”；“本项目研制开发出年产 20 万吨甲醇的大型均温型甲醇合成塔，在结构上通过上下行冷管的优化设计，达到了缩小轴向和平面温差，提升热点温度位置的目的；催化剂装填在管间，装填系数达 70%以上，反应器体积小，壳体和内件自由伸缩，避免了热应力；壳体结构设计合理，简单可靠，催化剂装卸方便，制造安装维修容易；用低合金钢和国产不锈钢替代进口双相不锈钢，大大降低了投资。”；“工厂运行表明，该合成塔完全满足水煤浆加压气化和等压合成工艺，各项运行及经济指标良好，为煤制甲醇装置大型化提供了成功示范。”；“其整体技术达到国内同行业领先水平，属于甲醇合成塔的重大技术创新。”；“建议进一步加大推广应用并完善系统工艺及装置的配套性能。”。

## 6 总结

渭化甲醇装置从 07 年 4 月份性能考核后一直保持着较好的生产势头,07 年曾创下了连续运行 100 天的骄人成绩，装置负荷率一直保持在 80%以上，现在平均日产精甲醇 550 吨以上，从这两年的运行情况可以看出：

- 1) 合成塔床层温度分布均匀，同平面、同轴向温差小，温度控制容易，操作弹性大；
- 2) 合成塔反应效率高，对应于单甲醇净值的进出塔 CO 差值高于 6%，CO 单程转换率达到 75%以上；
- 3) 合成塔内部结构简单，装卸触媒容易，外形尺寸小，易于工业生产大型化。