

# 林达大型低压甲醇合成塔技术的推广和创新

楼韧 冯再南 姚泽龙 楼寿林

(杭州林达化工技术工程有限公司 杭州 310013)

**摘要:** 分析了国内外甲醇大型化技术发展, 介绍林达开发 JW 低压气冷均温型和水管式均温型甲醇合成塔, 前者已在哈尔滨气化厂、云南曲靖、内蒙天野、陕西渭化年产 20 万吨等十余套装置投运, 成功改造替代引进装置, 现已完成辽宁大化年产 30 万吨大型甲醇反应器加工; 后者年产 20 万吨卧式水冷和年产 15 万吨立式水冷二种塔将于今年交付在内蒙苏天化投产。完成了日产 3000~5000T/日大型甲醇合成反应器开发结构设计, 数学模型开发、计算表明具有温差小、循环比降低一半、醇净值超过 10%、压差小、可副产中压蒸汽、产量高、结构简单可靠、投资低等优点, 将用于中国泽楷集团在内蒙赤峰大甲醇装置。

## 1 中国甲醇生产发展的背景

1.1 近代甲醇不论作为化工原料(制二甲醚、丙烯、乙烯)或作为能源(甲醇汽油燃料), 用途和规模不断增加。国外装置规模已进入年产百万吨级, 我国“九五”、“十五”都把开发低压甲醇合成技术列为重大项目。近年随着我国经济迅速发展, 能源需求快速增长, 石油进口已突破国际公认安全警戒线。

在这种甲醇生产规模不断扩大, 向大型化发展的情况下, 中国是否能开发自主的现代甲醇生产技术, 几十年来在我们建大化肥当中, 廿余套大型氨合成塔全部从国外引进, 但现在我们中国可以用自主知识产权的专利技术建设大型甲醇生产装置。

## 1.2 目前国外的大型甲醇合成技术

当代甲醇合成生产技术因低压法能耗省而成为主要技术, 据称英国 ICI 公司和德国 Lurgi 公司技术占据 70% 以上的国外生产装置, 代表了国外甲醇合成生产的技术水平。目前单套最大能力为去年在特立尼达 Atlas 投产的日产 5000 吨的由三台反应器组成的 Lurgi 联合反应器。

ICI 甲醇塔结构简单, 催化剂装填系数大, 易大型化, 目前已有单套日产 3000 吨的装置, 但催化剂床层温差大, 气体返混严重, 合成效率低。ICI 近年推出逆流冷管塔, 并已有日产 1650 吨冷管甲醇合成塔多套装置投产, 催化剂用量比冷激型少, 但床层温差尚较大。

Lurgi 管壳甲醇塔, 催化剂床层温度平稳, 操作容易, 合成效率较高, 但反应器催化床存在壁效应, 影响空时产率提高, 催化剂装填系数小, 反应器结构复杂, 单塔能力小, 大型化难度大。

除以上二者, 还有塔间换热的 TOPSΦE 径向流动反应器, KBR 的球形反应器, 段间换热的 CASALE 卧式多床反应器。这类反应器由多台或多床串联组合, 塔间或段间设置外部换热器移去反应热。这类反应器床层压力减小, 大型化容易, 但设备投资大。反应器制造复杂, 催化剂床层分布不够理想。

据 Wu-Hsum cheng, Harold H.Kung methanol production and Use, 上述三种甲醇反应器, 连续换热等温型催化剂生产强度最高, 0.9~1.0kg/L·h, 冷激型最低, 即为 0.35~.04kg/L·h, 间接换热绝热反应在二者之间, 即 0.55~0.6kg/L·h。

## 2 具有我国自主知识产权的甲醇合成技术

近年来我国低压甲醇合成技术取得很大进展, 中国石化协会生产力促进中心等作了大量工作, 华东理工大学、杭州林达公司、南京国昌以及各设计院等承担了一系列甲醇项目。

### 2.1 林达低压气冷式均温甲醇合成塔的创新

杭州林达公司在甲醇和氨合成反应器上具有一系列成功的创新技术, 申请了包括 PCT 国际专利、欧洲专利、俄罗斯专利(已授权)、美国专利(已授权)等在内的国内外专利, 至今已有 18 项授权的国内外专利, 在经成功开发了用于合成氨厂联醇生产的中压联醇塔, 并成为目前中国联醇生产装置应用最多塔型之后, 又成功开发了大型低压均温型甲醇合成塔技术, 经在多家厂家投产运行效果优良, 并被评为 2004 年度国家技术发明奖。2006 年林达公司还获得中国化工行业技术创新示范企业称号。

甲醇合成是强放热反应, 进入催化剂层的合成原料气需先加热到反应温度(>210℃)才能反应, 而低压甲醇合成催化剂(铜基触媒)又易过热失活(>280℃), 又必须将甲醇合成反应热及时移走, 气冷均温型合成塔将原料气加热和反应过程中移热结合, 反应器和换热器结合连续移热, 同时达到缩小设备体积和减少催化剂层温差的作用, 实现达到“均温、高效、易大型化”的目标。

该低压均温型甲醇塔是不同于现有国外甲醇塔的全新反应器结构, 为国内外首创, 经 PCT 国际检索、初步审查和国家实审, 授予中国发明专利权, 最近还获得俄罗斯专利, 具多项独特的创新技术。其关键部分是发明了独特的大小二种弯头的双 U 形管冷管胆结构作为换热元件。小弯头 U 形管套在大弯头 U 形管内构成一对双 U 形管, 双 U 形管中大小弯头 U 形管反向排列套装, 气体在每二根相邻冷管内上下流动, 方向均为逆流, 达到触媒层等温均温反应目的, 温差低至 10℃, 开发了全自由伸缩复合密封结构, 环管位于催化剂上方的自由空间, 双 U 形管位于催化剂层中, 冷管没有焊接点, 结构可靠。另一种型式为具上下双环管的低压均温型甲醇塔, 冷管胆有上环管和下环管, 上环管连结进气管和下行冷管, 下环管连结下行冷管和上行冷管。这两种结构均在已授权的国家发明专利中(申请日 2001.4.23), 其结构见附图, 该结构已成功用于直径  $\phi$  2000 和  $\phi$  3000 的大型甲醇塔, 2004 年先后用于河北邯郸、云南曲靖, 取得良好效果。

创造开发成功用于甲醇合成的反应器模拟计算软件—“Reactor Designer”, 数学模型经过大量实际生产数据校正, 更逼近实际效果。用于均温型单(联)醇反应器、管壳式反应器、ICI 冷激型反应器及大型甲醇装置的联合反应器, 内含各种甲醇催化剂动力学数据, 可方便地对反应器进行优化设计, 为开发优化设计高性能甲醇合成反应器提供强有力的技术保障。

## 2.2 投运主要技术指标和效果

### 2.2.1 改造国外引进甲醇装置成功典型示例

哈尔滨气化厂，采用城市燃气联产甲醇技术。2000年林达第一台低压均温甲醇合成塔用于改造其原进口ICI冷激塔。改造后，甲醇塔催化剂层温差大幅降低，由原60℃多降为10℃左右。在相同塔径，催化剂、原料气、进塔气量不变的情况下，提高合成率增产50%多，使甲醇年产量增至6万吨。2001年哈气化新建8万吨/年甲醇装置采用林达第二台低压甲醇塔，再次实现温差小，产量高的预期效果，甲醇年产达到14万吨，与国外同等生产能力装置相比，直径最小仅为2米，效果明显提高。JW塔和国外冷激式等温甲醇塔技术指标比较见表1：

表1 林达JW塔和国外冷激式等温甲醇塔技术指标比较

厂名		哈气化			俄罗斯 Nevinomysk	
反应器型号		俄罗斯冷激	林达均温-1	林达均温-2	冷激	Casale IMC
生产能力	万吨/年	4	6	8	10	10
入塔气压力	Mpa	4.7	4.8	4.97	4.53	4.58
循环比	温度℃	25	5	5		6.7
气体成分%	CH <sub>3</sub> OH	0.6/3.37	0.6/4.74	0.6/4.53	3.41	4.6
	惰气	30.4	39.42	36	36.14	39.03
进触媒层		206	225	225		217
热点		275	235	240		260
温差		69	10	15		43
精醇产量	T/日	126.2	192.5	240	315	375
空时产率	T/m <sup>3</sup> .h	0.25	0.401	0.469	0.263	0.3634
*基准空时产率	T/m <sup>3</sup> .h	0.382	0.69	0.738	0.453	0.651
触媒装量	m <sup>3</sup>	20	20.3	23	50	43
触媒型号		NC501	NC306	NC306		C79-7GL
投运时间			2000年	2001年		2002年

由表1可以看出，在合成压力和入塔气、惰气组分相同工况下，空时产率均温型比Casale IME明显提高。

实际使用结果显示JW低压均温型塔达到了兼具冷激型甲醇塔结构简单、催化剂装填系数大和管壳型甲醇塔床层温差小、合成效率高的优点，在同样生产能力下其直径比上述二种塔型都要小（见表2）。

表2 JW低压均温甲醇塔与管壳式甲醇塔实际尺寸比较（直径）

	年产10万吨	年产20万吨	年产30万吨
Lurgi管壳塔	3.2米	4.0米	难加工
JW均温塔	2米	3.0米	3.8米

哈尔滨气化厂2000年前甲醇合成仅为年产4万吨小厂，采用JW低压甲醇塔改造扩大能力，现达年产14万吨，甲醇年产值由原几千万到现在年产值3亿多元。

## 2.2.2 大型甲醇合成装置成功典型示例

### 2.2.2.1 内蒙天野天然气为原料制甲醇合成系统使用情况

中海油内蒙天野集团年产 20 万吨甲醇项目,采用林达公司 JW 低压均温型甲醇合成塔专利技术,于 2005 年 12 月成功投运,并于 2006 年 7 月 17 日顺利通过考核。该套装置是林达首套投运的大型化甲醇塔,从甲醇塔开车投产及运行情况显示出触媒层温差小、有效气转化率高,催化剂活性发挥好,操作控制容易、生产弹性较大,触媒装填系数大等优点,充分证明了林达开发的大型均温甲醇合成塔技术无论从软硬件方面都具备了较强的水平,完全适用于大型甲醇合成装置。《中国化工报》对该项目投产进行了显著报道。

此次考核验收,在原料气量和 CO 含量、甲醇合成压力均未达到设计条件情况下,日产精甲醇 650 吨,平均平面温差 6.5℃,轴向温差 6.7℃。

表 2 内蒙天野 200kt/a 装置操作运行主要参数和指标

项 目		设计值	实际值
操作压力	MPa	7.9	6.6
转化气流量	Nm <sup>3</sup> /h	75900	~75600
转化气成分 mol%	H <sub>2</sub>	66.10	64.42
	CO	17.30	13.36
	CO <sub>2</sub>	12.40	14.20
	CH <sub>4</sub>	3.90	3.92
	N <sub>2</sub>	-	0.3
入塔气流量	Nm <sup>3</sup> /h	490000	~413000
平面温差	℃	<10	<10
轴向温差	℃	<20	<15
精醇产量	吨/日	670	650

目前在操作压力、原料气量、原料气中 CO 含量、入塔气量均低于设计要求的情况下日产精甲醇 650 吨,已达到年产 20 万吨精醇能力,如条件能满足设计值要求,产量完全可超过设计值。

合成塔内径 Φ3000,触媒层高度约 7600mm,在不同半径处布置了四组共 28 个测温点,考核时测温数据如下(单位℃):(表 3)

床深	触媒层				平面温差
↓	246.9	245.9	250.7	246.2	4.8
	243.9	242.4	246.9	<del>237.2</del>	4.5
	失效	242.7	252.8	243.7	10.1
	245.6	<del>237.1</del>	250.0	245.3	4.7
	248.9	251.6	246.3	247.2	5.3
	247.9	254.7	248.6	250.2	6.8
	247.5	252.8	246.9	243.8	9.0
	轴向温差	2.0	12.3	5.9	6.5

内蒙天野投运的甲醇合成塔为林达首套大型化甲醇塔，在生产过程中显示出触媒层温差小、操作控制容易、生产弹性较大等特点，充分证明了林达大型甲醇合成塔具有较强的技术水平。内蒙天野投产后先后有多家用户和设计单位去现场考察，考察中对在线运行数据通过 DCS 计算机屏幕全面了解，这种实事求是的态度得到有关方面的好评。

同时，林达公司利用这次工厂实际考核数据，对自行开发的用于设计该甲醇塔的数学模拟软件进行校核，校核结果表明该反应器设计所采用的模型参数合理，模拟结果与工厂实际数据非常接近。根据计算在达到原设计要求的合成压力、原料气量成分、入塔气量条件工况下，日产精甲醇将达到 719 吨。

### 2.2.2.2 陕西渭化德士古水煤浆制气甲醇合成系统使用情况

2003 年，陕西渭河煤化工集团与我公司签订年产 20 万吨甲醇合成塔，该公司除甲醇合成技术采用我公司外，其余装置技术均取自国外，这充分说明林达公司均温型技术已达到国际先进水平，该塔已于 2006 年 5 月成功投运，2007 年 4 月进行了考核，在原料气量、进塔气量、合成压力均未达到设计指标情况下，日产精甲醇 630 吨，触媒床层热点温度 253.8℃，平面平均温差 14℃，轴向平均温差 17.5℃，合成塔压差在 0.21Mpa 左右。达到年产 21 万吨能力。

此次考核验收自 4 月 10 日开始，4 月 16 日结束。其中 4 月 14-16 日新鲜气量在 63000m<sup>3</sup>/h 左右，组分基本如下：CO：26.5%、CO<sub>2</sub>：4.0%、H<sub>2</sub>：69.0%，精甲醇产量分别为 646.2t、635.0t、593.4t。

陕西渭化投运的甲醇合成塔为第一套以德士古制气为原料的第一套大型化甲醇塔，在生产过程中显示出触媒层温差小、几乎为等温还原，出水均匀平稳，CO 转化率高，操作控制容易，生产弹性较大，合成塔装填系数大，同等生产能力管壳式塔直径需 4 米等特点，充分证明了林达大型甲醇合成塔具有较高的技术水平。

林达公司利用这次工厂实际考核数据，对自行开发的用于设计该甲醇塔的数学模拟软件进行校核，校核结果如下：

1、本次校核系根据 2007 年 4 月 15 日 3:54 分数据进行计算，计算中的触媒动力学为南化的 NC307 宏观动力学，用来计算触媒活性衰退的时间因子取了 300 天。

2、可以看出：**原料气流量及组成、进出塔温度、入塔气组成、甲醇产量**都吻合得较好，**入塔气流量**则偏差较大，根据经验，气体流量的计量（尤其在操作压力与设计压力不符的情况下）一般容易产生较大误差，因此在计算中放弃了入塔气量这个校核基准，并根据实际操作压力与设计操作压力的关系计算循环气量；此外出塔气组成也有一定误差，如按记录中进出塔的 CO 浓度差，仅 CO 反应就可以带来进出塔约 180℃的绝热温升，而实际为 150℃左右。

**所以，本次校核所选择的基准，能够较准确的平衡“进出塔绝热温升—气体组成—气体流量—甲醇产量”这四者的关系，可以作为统计和考核的依据。**

3、本次考核时间为触媒使用近一年的时候，即相当于触媒使用中期，根据上述“三”表中的设计值与操作校核数据的对比，可以看出，在原料气量、合成压力、原料气氢碳比尚未达到设计值（指该组考核记录数据）的前提下，精醇产量约 26.5 吨/小时，年产量已达到 21 万吨（8000 小时计），

当原料气量、操作压力及原料气氢碳比达到设计要求时，可以确保超过设计值（29.2 吨/小时）

表 4 合成回路物料平衡表(注：颜色加深区块为校核点)

合成工段物料平衡表							
物流名称	新鲜气	入塔气	出塔气	循环气	弛放气	闪蒸气	粗甲醇
相 态	气	气	气	气	气	气	液
摩尔分率 mol%							
H2	68.841	82.099	79.760	84.699	84.699	45.070	0.076
CO	27.826	7.596	3.419	3.629	3.629	4.019	0.007
CO2	2.502	1.632	1.403	1.461	1.461	35.635	0.060
N2	0.701	6.956	7.707	8.182	8.182	7.055	0.012
CH4	0.130	1.188	1.316	1.395	1.395	3.687	0.006
H2O	0.000	0.090	0.505	0.108	0.108	0.771	6.940
CH3OH	0.000	0.439	5.889	0.525	0.525	3.764	92.899
标准流量 Nm <sup>3</sup> /hr	62300.0	380000.0	342943.0	317700.0	5104.0	234.6	-
质量流量 kg/hr	29185.9	115232.6	115230.4	86045.1	1382.4	226.4	27576.5
平均分子量 kg/kmol	10.500	6.797	7.531	6.071	6.071	21.630	31.051
温 度 °C		85.0	236.9	31.0	31.0	31.0	31.0
压 力 MPa		4.85	4.70				

表 5 主要技术指标

主要参数和技术指标			
项 目	单 位	校核值	备 注
精醇产量	吨/日	634.7	未计精馏损耗
粗醇产量	吨/日	661.8	
粗醇浓度	wt%	95.86	
触媒装量	m <sup>3</sup>	46.817	
操作空速	Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> cat	8116.7	
合成塔阻力	MPa	0.15	
原料气氢碳比	-	2.191	(H <sub>2</sub> -CO <sub>2</sub> )/(CO+CO <sub>2</sub> )
CO 单/总转化率	%	59.38/98.88	
CO <sub>2</sub> 单/总转化率	%	23.16/94.77	
原料气耗	Nm <sup>3</sup> /吨醇	2357	

表 6 与设计工况对比(设计工况按工艺包中触媒中期 100%生产负荷设计值)

项 目	单 位	设计值	操作校核值
操作压力	MPa	5.5	4.85
原料气量	Nm <sup>3</sup> /hr	68058	62300
原料气组成			
H <sub>2</sub>	mol%	68.27	68.84
CO		27.92	27.83
CO <sub>2</sub>		2.98	2.50
循环气量	Nm <sup>3</sup> /hr	371000	317700
精醇产量	吨/小时	29.2	26.45
粗醇产量	吨/小时	30.8	27.58
粗醇浓度	wt%	95.0	95.9
进/出塔温度	℃	100/245	85/237
合成塔阻力	MPa	0.2	0.2

### 2.2.2.3 云南曲靖焦化焦炉气制甲醇合成系统使用情况

以焦炉煤气为原料生产甲醇是对焦炉煤气的合理、灵活运用，对促进炼焦行业的健康发展、保护环境和甲醇生产新原料的开辟均有重要的意义。

#### 1、装置概况

曲靖焦化制供气有限公司年产 80kt 焦炉气制甲醇项目是由华泰工程公司设计的国内第一套以焦炉气为原料，低压合成甲醇的生产装置。甲醇合成采用杭州林达化工技术工程公司的气冷型均温低压甲醇合成专利技术。该甲醇合成装置从 2004 年 12 月 24 日一次试车成功以来，已有两年多，简要情况如下。

##### (1) 甲醇合成塔

采用新改进低压均温型甲醇合成专利技术，更换催化剂不用打开大法兰。甲醇合成塔规格内径 Φ2000mm，催化剂装量 22m<sup>3</sup>；

##### (2) 原料气条件

原料气量 26700 m<sup>3</sup>/h，组成如下表 7。

表 7 云南曲靖原料气组成

组分	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	总硫	总气量
含量%	67.9	20.6	7.9	0.6	2.6	0.4	<0.1×10 <sup>-4</sup>	26700Nm <sup>3</sup> /h

##### (3) 设计产量

在上述原料气量和组成，进塔气量 174888 m<sup>3</sup>/h，合成压力 5.1MPa 下，日产精甲醇 240t。

## 2、开车和使用情况

### (1) 升温还原情况

JWΦ2000mm 均温型低压甲醇合成塔首次共装南化催化剂厂 NC308 甲醇催化剂 36.5t, 循环机为 1 台 DA60-11, 于 2004 年 12 月 24 日 14:30 开始升温, 至 12 月 27 日 24:00 还原结束换气投产, 共耗时 81h。

甲醇催化剂的还原采用低氢还原方案, 还原压力为 0.9~1.4MPa, 还原气为纯 N<sub>2</sub> 和精炼气 (氢源)。用 N<sub>2</sub> 置换, 系统合格后, 升温到 170℃, 出完物理水。之后开始缓慢补入精炼气, 根据催化剂还原出水速率来调整催化剂升温速率和补氢量。由于 JWΦ2000mm 甲醇合成塔内气体流向设置合理, 冷管布置均匀, 升温还原操作控制简便安全, 使得整个还原过程非常平稳, 催化剂还原效果好, 特别是提高了底部催化剂温度, 使整个催化剂层能够彻底还原。还原过程催化床层温差小, 同平面温差 <3℃, 轴向温差 <10℃。还原出物理水 955kg, 总共出水 6909kg, 出水量约占催化剂的 19%。

### (2) 生产情况

2004 年 12 月 28 日换气投产以来, 初期由两台焦炉供气, 转化气量为 15~16km<sup>3</sup>/h, 其中 CO 15%~17%, CO<sub>2</sub> 7%~9%, CH<sub>4</sub> 1.5%~2%, N<sub>2</sub> 5%, H<sub>2</sub> 67%~69%。合成压力 3.4~4.9MPa, 进塔温度为 130℃, 出塔 235℃, 催化剂床层平面平均温差 5℃, 轴向平均温差 11℃, 合成塔压差 0.12MPa, 甲醇产量达到 170~180t/d。表 2 为 2005 年 2 月 21 日至 25 日的生产情况。

表 5 生产情况

日期	原料 气量 /km <sup>3</sup> /h	原料气成分/%					入塔 压力 /MPa	塔压差 /MPa	温度/℃		进塔气成分/%		产量 /t/d	
		CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>			进塔	出塔	CO	CO <sub>2</sub>		
设计值	26.7	20.6	7.9	67.9	0.6	2.6	5.1			245	8.93	5.34	240	
实际 运行 值	3.11	23.47	19.2	11	66.1	2.2	3.0	5.1	0.12	113	240	6.7	11	312.8
	3.12	23.3	21.9	11	64.3	1.2	4.0	5.1	0.12	115	242	7.9	14	316.8
	3.13	24.2	19.4	10.2	67.1	2.2	5.7	5.1	0.12	117	245	8.7	11	313.1
	1~15 平均值	23.64	19.9	10.9	66.1		3.1	5.1				6.9	12	313.8
	16~31 平均值	23.46	19.5	10.4	66.9		3.1	5.1				7.3	12	305.4

本装置为全国首家焦炉气制甲醇装置, 因此在开车过程中碰到较多需解决的问题。因设备原因有过多停车。造成停车的原因分别有空分、转化、压缩等故障。甲醇合成系统除一次循环机故障短期停车外, 没有因为合成塔原因而停车。通过多次技改, 目前已解决空分、转化等装置存在的问题, 开工率得到提高, 整套装置已进入全系统长周期运行。

目前该合成装置已经生产了两年多, 甲醇合成塔的生产能力已超过设计能力。由于焦炉气制甲醇成本据报导比国内煤制甲醇平均成本低得多, 企业得到了较好的经济效益。



#### 2.2.2.4 小结

目前低压甲醇共签订了廿多套合同，已投产最大能力为内蒙天野及陕西渭化两套 20 万吨，并且目前均已顺利通过考核。加工完毕或在加工的有 13 套，其中包括大连大化集团 30 万吨(在加工最大能力)、陕西榆林煤化工、山西天浩、云南云维和山西兰科 20 万吨/年大型甲醇塔，以及内蒙苏天化 20 万吨/年采用我公司最新技术的卧式水管甲醇塔和 15 万吨/年立式水管甲醇塔。决定选用林达甲醇技术并已通过专家论证的还有山西、内蒙 60 万吨/年等多套，并还接受多套由国外引进的二手设备改造(详见表 8)。

**表 8 JW 低压甲醇塔推广业绩表**

序号	用户名称	生产能力	投 用 情 况	日 期
25	呼伦贝尔东能	200 kt/a	Φ3000, 施工图设计	2007 年
24	山东垦利化工	60kt/a	Φ1800, 施工图设计	2008 年
23	四川隆桥化工	20kt/a	Φ1400, 施工图设计	2007 年
22	内蒙苏天化	180 kt/a	Φ3400 卧式水冷塔, 施工图设计	2007 年
21	内蒙苏天化	150 kt/a	Φ2800 立式水冷塔, 施工图设计	2007 年
20	山西金通焦化	100 kt/a	Φ2100, 施工图设计	2007 年
19	湖北潜江	100 kt/a	Φ2400, 施工图设计	2007 年
18	四川射洪	40 kt/a	Φ1600, 施工图设计	2007 年
17	山西兰花	200 kt/a	Φ3000, 已加工	2006 年
16	山西天浩	100 kt/a 焦炉气	Φ2100, 出厂交货	2006 年
15	云南云维	200 kt/a 焦炉气	Φ3200, 加工完毕	2006 年
14	陕西榆林	100 kt/a	Φ2100, 出厂交货	2006 年
13	辽宁本溪	30 kt/a	Φ1900, 出厂交货	2005 年
12	大连大化	300 kt/a	Φ3200, 出厂交货	2005 年
11	内蒙天野	200 kt/a	Φ3000, 成功投运并考核	2005 年
10	陕西渭化	200kt/a	Φ3000, 成功投运	2004 年
9	福建漳州长泰	30kt/a	Φ1600, 成功投运	2004 年
8	河南骏马集团	80kt/a	Φ2000, 管内水冷	2004 年
7	云南曲靖焦化	80kt/a	Φ2000, 运行良好	2004 年
6	河北邯郸新阳光	20kt/a	Φ1400, 运行良好	2004 年
5	山东垦利化肥厂	30kt/a	Φ1600, 运行良好	2003 年
4	河南中原气化厂	70kt/a	Φ2000, 超过设计能力	2003 年
3	江苏武进化工厂	20kt/a	Φ1400, 运行良好	2001 年
2	哈尔滨气化厂	80kt/a	Φ2000, 超过设计能力	2001 年
1	哈尔滨气化厂	60kt/a	Φ2000 改造, 增产 50%	2000 年

在承接上述各个低压甲醇工程项目中，林达公司成功完成三类压力容器全套甲醇合成反应器壳体和内件的施工设计，并成功开发多种甲醇合成反应器模拟计算软件。经天野等投运实际数据校核，设计计算结果与实际数据高度吻合，证明其数学模型完全可用于大型甲醇合成反应器设计计算。

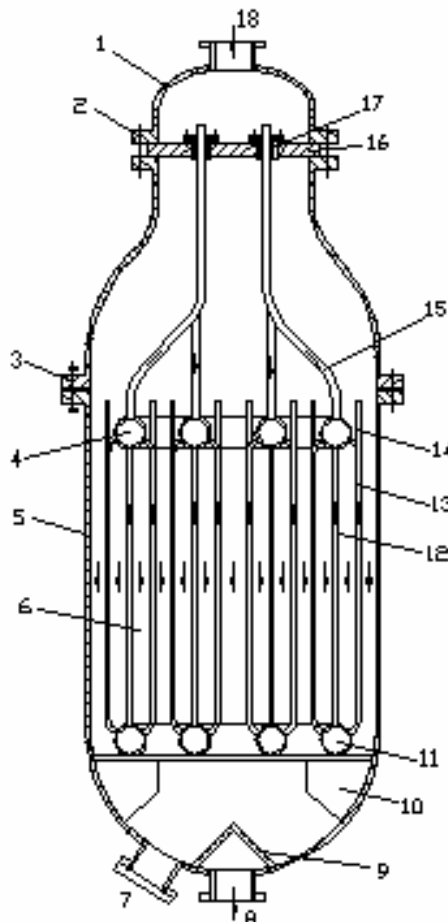
本项目的成功开发和应用改变了过去现代化反应器技术长期依赖国外的状况，在现有氨合成塔采用国外技术的渭化、天野、大化三家大型化工厂中，本项目在与国内外技术竞争中取得了成功，替代了引进，节省了大量外汇资金。本技术全部投产后年产超过 250 万吨能力。此外在国内还有多套煤气甲醇、焦炉气制甲醇项目拟使用该项技术，如山西交城 60 万吨大型甲醇项目中采用了本项目技术，通过专家评审。四川等多套国外购置直径超过 4 米的 ICI 冷激型大塔要求用本项目技术改造，提高生产能力。本技术有较强的国际竞争力，已有国外公司与我们进行了技术交流。

### 3 大型甲醇合成反应器结构问题的解决

由于单系列大型化甲醇生产装置可显著降低投资和生产成本，故甲醇装置大型化成为甲醇生产技术发展的重要方向。在这一问题上管壳式反应器由于实际上是一台管板和壳体成一整体而不可分的大型列管换热器，在大型化上遇到难题。如在 5MPa 合成压力下年产 20 万吨单台管壳反应器直径已达 4 米，这已达到我国公路运输限宽，超过 4 米不仅加工难度大，且整体难以运输。故超过 20 万吨/年需要采用多台管壳式并联，而这将带来增加设备投资等问题。减小直径的一个办法是提高合成塔高径比，国内有冷激塔提出高径比达 10，如此大的高径比不仅采用轴向塔阻力很大，即使采用了径向塔，如为连续催化剂床则对用压制成型、强度低的甲醇催化剂来说难保不被压研粉化。虽然提高合成压力也可使一定直径上反应器生产能力提高，但这一使反应管内外和管板上下反应气和壳程水汽压差增加，同样增加设备投资和制造加工技术难度。JW 均温型塔却在大型化上具备多方面有利条件。

(1) 首先 JW 塔触媒装填系数大，同样生产能力和催化剂装量下，反应器体积大幅减小（见表 2），故在 5MPa 下直径 4 米以内合成塔单台能力可达到年产 30 万吨。JW 塔提高合成压力时，内件中管内外压差并不相应增加，因此除了壳体设计压力相应增加外并不增加合成塔内件加工制造的技术难度，可以十分方便地用提高合成压力提高一定直径下的生产能力，合成压力 9MPa 左右单台生产能力达到年产 60 万吨。

(2) JW 塔内件采用化整为零冷管胆多重同轴套装，因此即使直径超过 4 米，也可以采用内件分开运输到现场组装，外壳到现场组焊和热处理，我们已在进行国外购置多套塔径超过 4 米、4.3 米、4.5 米、4.8 米合成塔改



造设计，这样单台能力可达到年产 100 万吨。

### (3) 用多台组合

国外在大型化甲醇合成装置中合成塔的方案中，ICI 为增大塔径单台塔，TOPSΦE 采用三台径向绝热塔串联，Lurgi 过去提出二台管壳式并联共用一个汽包，现在则大力提倡水冷一气冷联合反应器，即由一台气冷的冷管合成塔和外冷副产蒸汽的水冷反应器串联组合，原料气先进气冷反应器，这种联合则需直径 4 米多一台气冷反应器和直径 6 米多一台水冷反应器，如果水冷反应器直径与气冷反应器一样大，则因气体走反应管内，通气截面只有气冷一半，故阻力很大。但直径 6 米管壳式反应器制造难度大，故现在 Lurgi 采用二台水冷反应器并联再和一台气冷反应器组合。而林达开发的水冷一气冷组合反应器则为管内走水副产蒸汽，管外装催化剂。通气截面与气冷反应器一样大，故只需水冷、气冷各一台反应器，比 Lurgi 法少了一台水冷反应器，配置更为合理，投资大为节省，对特大型 5000t/日以上可采用这种型式。（去年我们接受国内一套日产 7500 吨大型甲醇合成塔的方案设计任务，现已完成结构方案设计、特大型反应器数学模型开发，经计算机模拟结果具有催化剂装填系数高、容易大型化、温差小、可利用国产催化剂实现大型、特大型甲醇合成、空时产率高、合成效率高、醇净值高、出塔甲醇浓度 10%以上、合成塔压差低于国外大甲醇的 1/3、结构简单可靠等十分显著的优势。本技术已申请国际 PCT 专利。）

林达 JW 低压合成反应器除用于甲醇合成外，还非常适合甲醇脱水制二甲醚等反应过程，据设计计算，年产 60 万吨二甲醚塔径 3.6 米，比管壳式 4.6 米和绝热型反应器 4.4 米要小得多。

## 4 林达大型高效低压甲醇合成技术

林达公司在充分分析大型甲醇合成装置的特殊要求后，提出开发林达大型甲醇合成塔的具体目标要求：均温、高效、节能、可靠、投资低、易大型化。即均温甲醇合成反应，高甲醇合成率，高催化剂装填系数，合成电耗低，副产蒸汽回收热量好，结构简单可靠，投资低，容易大型化。

### 1、林达卧式管壳水冷甲醇合成塔的结构特点

该大型甲醇合成塔专利名为“横向管式换热反应设备”，创新点为合成塔壳体和换热管均为横向放置。在横向放置(即卧式)的圆筒形壳体内设置有多组横向换热水管，锅炉水在管内横向流动吸热汽化，在合成塔壳体内换热管间装催化剂，原料气进入合成塔壳体后通过顶部弓形空间的气体分布器由上到下径向流动，在管外催化剂上进行甲醇合成反应，并与换热管内流动的水错流换热。通过强化传热实现和反应气的均匀分布，达到实现均温反应的目的。

管壳式换热器和管壳式甲醇合成塔是工厂应用十分成熟的设备，但上述林达卧式管壳甲醇水冷反应器却显示一系列均温、高效、易大型化的突出优点：

1) 首先合成塔催化剂装填系数大，从而有利于缩小合成塔尺寸，Lurgi 管壳式甲醇塔因为是立式催化剂只能装在反应管内，只占合成塔总容积 1/3，而卧式管壳塔则可方便地装在管外，催化剂装量可提高约一倍，且可方便地装填和卸出催化剂。

2) 均温高效反应，表现在：采用管外催化剂层中气体由上到下与换热管内水错流传热，大大提高传热系数，大大缩小并流和逆流传热中的管壁效应；横向列管管数可比 DAVY 立式单管和东洋双

套管换热面积大；可根据气体在催化剂床中速度变化来优化换热管排列。以上几方面结果大大提高移热能力，使催化剂床层温差大幅减小达到均温或等温反应效果，从而能充分发挥催化剂活性，提高甲醇合成率和催化剂生产强度，同时均温反应又提高了选择性，减少副产物量，减少原料气消耗量，提高产品质量，均温还延长催化剂使用寿命。

3) 均气、高效，上下方向径向流气体分布均匀，提高了合成效率。TOPSΦE、DAVY 或 TEC 立式径向塔，反应气在同心圆柱环形空间中的催化剂床中由外到内(或由内到外)，一方面气体流通截面变化很大，流通路程又短，另一方面催化剂床层高，顶部和底部堆积密度不同，这又影响气体分布均匀，另外还需考虑催化剂还原收缩将上部不开孔影响效率。而卧式径向塔克服了上述缺点，从上到下气体流通截面变化不大，流通路程比上述立式径向增加，更易实现气体流通和反应均匀，提高合成反应效率。

4) 低循环比、低压降、合成电耗少、副产蒸汽压力高、热量回收好。高移热能力可采用低循环比到 3 左右，出塔甲醇浓度提高到 8% 左右，低床层和大流动截面的径向流使塔压差 $<0.05\text{MPa}$ 。低压降和低循环量使循环机电耗降低 30% 多，高出塔甲醇浓度副产蒸汽压力高，使吨醇副产中压蒸汽量提高到 1.2 吨多。

5) 投资低。一是因为合成塔催化剂装填系数大，结构紧凑尺寸小，材料省，同时因合成塔壳体和内件分开，提高壳体使用寿命，降低合成塔材料要求，从而节省合成塔费用。二是合成循环比大幅降低，出塔醇净值提高，合成配套设备循环机，换热分离设备和管道等设备投资降低。三是卧式合成塔省去大型高立式塔所需合成塔基础和大型吊装设备费。

6) 结构简单可靠。采用卧式换热管一端可自由伸缩，无热应力。例如用 U 形管，只需一端与管板或联箱管连结，避免立式换热式塔如 Lurgi、DAVY 等塔上下端都需与换热管联结，需解决好热应力。

7) 易大型化。一是在合成塔直径受限制情况下可以用增加长度来扩大能力；二是外壳和内件分开，可到现场组装；三是内件即换热管化整为零，分成多组到现场组装，这样年产百万吨大甲醇也可做到用单系列单塔合成塔。

## 2、林达卧式管壳水冷甲醇塔合理性、可靠性分析

1) 采用管内热水强制循环、管外装填触媒的合成塔结构，ICI/DAVY.P.C.的 ILPM 在特立尼达 5400T/D 中采用，也为管内水、管外催化剂径向流。

2) 采用 U 形或分组水管排列，管子数量增加，比冷面积与 Lurgi 管壳式相当，反应热能及时移出，副产蒸汽品位高。

3) U 型管结构为列管换热器中常见型式，避免管子受热膨胀热应力而引起拉裂，结构比 Lurgi、DAVY 公司水冷反应器更可靠。

4) 凯洛格卧式塔在合成氨中已得到成功应用，通过床层上面设计两块平行的孔眼错开的多孔板使气体达到均匀分布。Casale 公司在俄罗斯陶里亚地 TOAZ 建成的 1350T/D 和目前在河南投产的 30 万吨/年甲醇装置也都采用了卧式甲醇反应器，其为段间换热的绝热反应器。卧式塔具有成功的使用基础。