

大型甲醇合成塔结构形式选择探讨

杭州林达化工技术工程公司 楼寿林 楼韧 任筱娴

一、大甲醇的发展趋势

随着甲醇制二甲醚（DME）、甲醇制丙烯（MTP）、甲醇制氢（MTH）的发展，为甲醇工业提供了大规模生产的需求，而单系列大型甲醇生产装置和合成塔又是提高甲醇生产经济性的有效途径，目前国外已提出百万吨级大甲醇装置，国内随着国家能源安全战略方针的考虑和大力发展煤化工和醇醚清洁燃料的进展，目前在建和在立项设计的甲醇装置不断扩大规模，有多套 20 万、30 万、40 万、50 万、60 万和更大甲醇装置在建和计划兴建。

杭州林达公司以其多年来在合成氨厂中压联醇合成塔和近年来在低压甲醇合成塔中取得的优良业绩，引起广泛关注。至今已加工出厂的低压甲醇塔 5 套，均已成功投运，正在加工的有云南曲靖等五套甲醇塔。林达均温甲醇塔以其工艺性能好、合成率高和结构简单紧凑、催化剂装填系数大、外形尺寸小而在大型化甲醇装置中的优势广受关注。泸天化年产 40 万吨甲醇装置的甲醇合成塔招标，共邀四家国内外公司，其中有杭州林达公司，其余三家为国外公司。陕西渭化年产 20 万吨甲醇合成塔通过多家国内外公司调查比较，最终确定选用林达公司均温型甲醇合成塔。正在设计的有从几万到几十万的多套装置。

二、大型甲醇塔的几种可选形式

目前在文献中论述大甲醇的文献虽不少见，但至今已投产的单系列百万吨级装置不多见，可选择塔型主要有：1.ICI 冷激型。据文献介绍可用四段冷激 ICI 冷激型塔达到年产百万吨能力。

合成塔内径 6.1 米，床高 12.2 米，内装甲醇催化剂 283m³，采用煤制原料气在 10.34MPa 下，出塔气中甲醇含量 5.7%，日产甲醇 3600 吨，催化剂空时产率 0.53 吨/m³·h，折成惰性气 5MPa 下有效合成压力的基本空时产率 0.327 吨/m³·h。一般认为单台甲醇合成塔的直径最大为 6 米，否则加工制造运输等难度更大。

2.Topsøe 甲醇塔。

文献报导 Topsøe 公司 2500T/日甲醇合成方案采用内径 3 米绝热塔串联绝热反应，二台合成塔之间用加热水移走反应热，一塔进口 182℃，末塔出口 271℃，装触媒 136m³，在 7.83MPa 压力下，日产甲醇 2500T，三塔均采用径向流动形式，若采用轴向，按上述塔径，三塔串联阻力很大，难以运行。

3.TEC 公司 MRF 反应器

TEC 提出百万吨级可用单台 MRF 反应器，采用 MRF-2 反应器（5000 吨/日甲醇塔直径 5 米，反应器管长 22.4 米），按我国四川某厂设计能力 420T/日反应器为直径 2.5 米，床高 12 米，装触媒 43m³，在 5.82MPa 压力下，日产 405 吨，催化剂生产强度只有 0.407 吨/m³·h。以上百万吨级催化剂为后者的 8 倍—350m³。

4.Lurgi 联合反应器

Lurgi 管壳式反应器已在不少甲醇厂使用，但在大型化甲醇装置中因结构复杂、体积大，需多套塔。近几年 Lurgi 提出用于百万吨级甲醇的联合反应器，即用管壳式反应器和冷管式反应器各一台串联组合。冷气（125℃左右）先进冷管反应器管内与管外触媒逆流换热加热到 250℃，然后先在管壳反应器反应温度 265℃，出塔再进冷管反应器管外反应，对 2500 吨/日装置，需高度为 12.19 米、内径 4.572 米管壳反应器和内径 3.048 米冷管反应器各一台，合成压力 9.14MPa，循环比为现用甲醇塔的一半，以便避免合成塔阻力过大，节约能耗。国内四川建峰年产 60 万吨甲醇合成塔专家评审通过了采用国内华东理工大学绝热管壳反应器和林达冷管型塔串联组合方案。

三、林达均温型甲醇塔在大型化装置中的优势

1. 同样大小的均温型甲醇塔生产能力比冷激塔和管壳式高。林达均温型塔催化剂装填系数和冷激塔一样，均在 70% 以上，但因接近等温反应，反应中间不用冷激气降温避免降低反应器中甲醇生成浓度。据哈气化均温型和冷激型比较，在同样原料气量、进塔气量、合成压力和催化剂装量下，提高产量 50%。若在同样入塔气有效压力下将增产更多。故达到同样能力其反应器尺寸可比冷激塔减少 1/3 以上。

林达均温型塔比管壳式温差还小，Lurgi 管壳反应器原设计反应器内不设测温点，现我国有的管壳反应器设了 3-5 个测温点测轴向温差，但均不测同平面温差，在二者同样合成效率，即催化剂生产强度一样情况下，因触媒装管外，装填系数比管壳式多一倍，故外形尺寸可减小一半。下表一为同样床层高度 7 米下的比较：

表一

生产能力	万吨/年	10	20	30	40	50	60	100
均温型直径	米	2	3	3.8	3.8	3.8	4.2	5.0
管壳式直径	米	3	4	5.0 (加工困难)				
合成压力	MPa	5	5	5	6.5	8.5	8.5	8.5

下表二是目前各种低压甲醇塔主要情况。由表可见，均温型塔温差小，在相同有效压力下触媒空时产率高。

表二 林达均温型与其他甲醇合成反应器情况

厂名		哈气化			国内 A 厂			国内 B 厂	渭化
反应器型号		林达均温-1	林达均温-2	俄罗斯冷激	ICI冷激型	Lurgi管壳式	TEC MRF	管壳式	林达均温设计
生产能力	万吨/年	6	8	4	10	10	14	10	20
反应器内径	米	2	2	2	3.9		2.8	3.4	3
入塔气压力	MPa	4.8	4.97	4.7	5.0	6.8	5.82	4.26	5.0
原料气流量	10 ³ Nm ³ h ⁻¹	25	36	25	39.9	48	45	40.5	63
进塔气流量	10 ³ Nm ³ h ⁻¹	150	200	150	280	230	280	254.7	410
进塔气成分%	CO	5.48	6.4	7.63	9.98		11.7	9.93	11.05
	CO ₂	1.06	2.4	2.59	12.73		5.5	9.28	1.83
	H ₂	53.53	54.5	58.38	66.83		54.5	62.03	67.23
	CH ₃ OH	0.6	0.6	0.8	0.48		0.5	0.64	0.56
	惰气	39.42	36	30.4	10.21		28	18.76	19.23
操作空速	10 ³ h ⁻¹	7921	8696	7850	6236	11220	6512	8783	8828
进触媒层	温度℃	225	225	206	230	214	210	199	240
热点		235	240	275	270		263		253
出触媒层		230	235		270	253	254	239.9	242
温差		10	15	69	>40	39	53	41.6	13
粗醇产量	T·h ⁻¹	8.428	11.22	5.26		330	420		
精醇产量	T·h ⁻¹	8.02	10.80	5	12.784			13.125	28.17
空时产率	T/m ³ ·h	0.401	0.469	0.25	0.285	0.671	0.407	0.453	0.606
基准空时产率	T/m ³ ·h	0.69	0.738	0.382	0.317	0.62	0.486	0.65	0.75
触媒装量	M ³	20.3	23	20	44.9	20.5	43	29	46.4
反应器总容积	M ³	28.7	32	28					64
触媒装填系数	%	71.6	72	71.4	70	~35	~45		71
触媒型号		NC306	NC306	NC501	ICI517	NC306	ICI517	N306	

2. 林达新开发大型甲醇合成塔新技术

由于林达低压均温型甲醇塔取得的良好业绩，特别在大型化装置中的优势，一些用户和设计单位要求林达提供年产 30 万吨以上大型甲醇合成技术，为适应这一要求，林达公司于 2001 年开发了优化甲醇工艺，并申请了 PCT 国际专利：该技术采用前后相连的自热式内冷式反应器和外冷式反应器前后相连串联组成（见附图 1）。

在图 1 中，有内冷式反应器 1A 和外冷式反应器 1B 前后串联，有废热锅炉 2、气-气换热器 3、水冷器 4、甲醇分离器 5 和循环压缩机 6，前后用管道连结组成甲醇生产装置。经压缩机压缩到 5~15MPa 的含有氢和二氧化碳的原料气 7 进入甲醇合成装置与来自循环机 6 的循环气 12 汇合为混合气 8，经气-气换热器 3 与反应气换热加热到 100℃左右进入反应器 1A，反应器 1A 可采用我公司已授权的低压均温型甲醇塔专利技术，也可采用其他自热冷管型结构。进合成塔气体在冷管内吸收管外催化剂层中的反应热，温度升高到 200℃左右出冷管，进入管外催化剂层中反应。由于被冷管内气体连续移热，故保持催化剂层较低的

温差，出反应器 1A 的反应气中 CH_3OH 达到 6%左右，温度 250℃左右，再进入反应器 1B 外冷式反应器进一步进行甲醇合成反应。反应热被冷却剂水通过管壁连续移去，反应热可用于产生压力 4MPa 左右的中压蒸汽，反应温度可以通过反应器副产蒸汽的压力来方便调节，因此可使反应器 1B 的反应温度低于前部反应器 1A，例如 210℃左右，以优化反应温度工艺条件，提高合成率，使出反应器甲醇浓度提高到 10%左右。出反应器 1B 反应气 9 经塔外热回收器 2 回收反应热，副产低压蒸汽，再在气-气换热器 3 中加热进反应器气体 8，然后反应气再进入水冷却器 4 中进一步冷却到 30℃左右，反应气中的甲醇绝大部分被冷凝。

外热反应器在受压外壳中装有换热管组，外壳与换热管组间装有催化剂，图中换热管组由多组冷管胆组成，每组冷管胆由分管（下环管）、多排冷管、集流管（上环管）连接构成。冷管连接分管和集流管，分管连接进口管，集流管连接出口管，穿过壳体与外部管道连结。出口管可用弹性软管或波纹管等，出口管可单独引出反应器壳外，也可象图中在反应器内汇合后由出口出。出口的位置可以在侧面，也可以在上封头顶部中间，而将进气口设置在侧面。反应器顶部有进气口，底部有出气口。出气口设有多孔锥形罩，用以支承反应器内的催化剂，顶部还设有人孔，用于装催化剂和作检修口。当以此反应器用作甲醇合成副产蒸汽时，经预热到 200℃左右的锅炉水由进口管引入下部分流管，再均匀分流到各冷管中。冷管中的水一边向上流一边吸收管外反应热，受热汽化产生蒸汽，再由上部集流管汇合，由出口管引出，温度为 200℃以上的进塔气由进气口进气，进入甲醇触媒层反应。反应热被管内水吸收，因此触媒层温差小。

本专利技术中自热反应器—林达低压均温型反应器已有多台成功业绩，首台外冷反应器将于明年在河南骏马集团洛阳氮肥厂投运。

小结

1. 在已投产的大型甲醇合成塔中以 ICI 冷激塔为多，主要由于结构简单，易于制造加工，但冷激塔合成率较低，故 ICI 也推出逆流冷管塔，即用冷管连续移热代替加入冷激气间断冷却，工厂使用表明在同样合成压力 8.5MPa 下，采用冷激塔装 100m³ 催化剂日产 1200 吨，而用逆流冷管塔装 120m³ 催化剂，日产可达 1650 吨。
2. Lurgi 管壳合成塔因其温差小，目前的低压甲醇厂得到很多应用，但因催化剂装管内，用于大甲醇则反应器体积大，且因限于轴向气流，若加高催化剂床层则增大阻力，以上因素将制约该塔型在大甲醇的应用。故在大甲醇装置中，Lurgi 合成塔由单管壳塔发展到管壳塔与冷管塔结合，且在 Lurgi 联合反应器中，大部分触媒装在冷管塔中。
3. 林达均温型甲醇塔催化剂装填系数大，催化剂温差小，CO 转化率高，且可轴向也可径向，并已开发可副产中压蒸汽甲醇塔，即将投入实际应用，可减小反应器直径，在今后的大甲醇中更显示出优势。