

均温型（JW）低压甲醇合成塔内件设计及使用

杭州林达化工技术工程有限公司 楼韧 徐荣良 楼寿林

摘要：开发设计了低压均温型甲醇合成塔，成功应用在哈尔滨气化厂国外引进低压甲醇合成装置改造中，达到了在不增加煤气供量和入塔气量、不增加触媒装量的情况下，提高合成率，增加产量 50%。

一、项目概况

(1)项目背景

我国低压甲醇合成技术十多年前由四川维尼纶厂引进的 ICI 冷激塔和山东齐鲁二化引进的 Lurgi 管壳式合成塔开始，二者的设计能力均为年产 10 万吨，但在很长时期内未能达产，国内后来新建的十余套低压甲醇生产装置的合成塔大多采用管壳式结构，在设备的设计计算、制造加工上取得不少成绩，但在结构形式上尚未有大的突破。故国家将开发低压合成甲醇技术作为“九五”全国技术创新重点项目。

哈尔滨气化厂是我国“九五”建成投产的亚洲第一大煤气工程项目。该厂设计日产城市煤气 260 万立方米，而哈市日用气量仅为 65 万立方米，煤气产量供大于求。哈气化甲醇分厂为煤气联产低压甲醇，原甲醇装置 90 年代从俄罗斯引进，甲醇合成塔是 $\Phi 2000$ 冷激塔型，生产能力为 4 万吨/年，于 1993 年投运。为平衡产品结构，解决煤气产量供大于求的局面，增加工厂效益，1999 年哈气化经国家经贸委立项决定进行甲醇装置“四改五”工程，即从四万吨/年能力提高到五万吨/年。改造方案中对甲醇合成塔的选用进行了对国内研究、设计单位的调研，并对使用 Lurgi 管壳式及对国内现有的各种塔型的使用情况进行了考察比较，同时了解到我公司已在甲醇等合成反应器方面拥有包括二项中国发明专利和一项美国发明专利在内的十项专利，承担过国家重大攻关项目和在中高压甲醇合成技术中的一系列良好工程业绩，故决定采用我公司的低压均温型甲醇合成塔技术进行改造。

(2)设计条件和技术难点

- 产量增加 25%

该项目要求在既不增加原合成塔装置动力设备和静止设备，又不增加合成原料气量的情况下，利用原合成塔外壳，通过采用 JW 低压均温型甲醇合成塔，增加产量 25%。

- 原料气量不增加，惰性气含量提高

影响甲醇产量的两大因素一是原料气量，二是有效气成分。在这套合成装置中，压缩机 M1 气量为 $25000\text{Nm}^3/\text{H}$ ，循环机 M52 输入气量 $125000\text{Nm}^3/\text{H}$ ，总入塔气量为

150000Nm³/H，二者均难以提高。而在本次改造过程中要求原料气中的 CH₄ 等惰性气体含量由原来的 14% 提高到 16%，这样入塔气中惰性气体含量高达 35%~40%，比其他低压甲醇厂含量的 5% 高出 30%，大幅度降低了入塔气的有效气体分压，从而影响甲醇合成率的提高。同时受压缩机功率限制，原料气中 CO 低，使 $(H_2-CO)/(CO+CO_2) > 3$ ，比单醇要求的合理比例 2.05 要高。

- 合成塔触媒装量增加困难

由于受到要利用原 Φ2000 合成塔外壳的限制，触媒装量也不可能明显增加。

- 合成塔规格比以往明显增大

从合成塔的结构要求来看，本项目中甲醇合成塔的壳体内径 2 米，比我们过去设计的 1.2 米塔径大的多，而且要求径向温差不能大于原来的指标（同平面不大于 5℃）。由于塔径的放大，冷管数为现有的数倍，既要保证甲醇塔的催化剂层温度均匀、温差小的要求，又要确保结构的可靠性，便于加工、安装、维修及触媒的装卸，这其中就需解决一系列的技术问题。

根据以上情况，我们认为要达到项目要求，关键在于采用设计合理的结构，并运用正确合理的数学模型进行优化设计。根据哈气化提供的低压甲醇合成工艺条件，我们采用了全新的结构方案，并开发了“低温差甲醇合成塔”这一专利技术，通过利用冷管强化传热的手段，既避免了冷激气对甲醇合成的稀释效应，又大幅度降低甲醇合成塔的催化剂层温差，充分发挥催化剂活性，提高甲醇合成率，使用结果证明这个结构取得了圆满成功。

二、 开发设计情况

（一）结构设计

甲醇合成反应器型式繁多，一个好的甲醇反应器设计应具有如下要求（1）：

- (1)、能保证催化剂在升温还原过程中操作正常、还原充分，尽可能提高催化剂的活性，达到最大的生产强度。
- (2)、能有效地移去反应热，合理地控制催化剂层的温度分布，使其逼近最佳操作温度线，提高甲醇净值和催化剂的使用寿命。
- (3)、能保证气体均匀地通过催化剂层，阻力小，气体处理量大，甲醇产量高。
- (4)、充分利用高压空间，尽可能多装触媒，提高高压容积利用系数。
- (5)、操作稳定、调节方便，能适应各种操作条件的变化。
- (6)、结构简单，运转可靠，装卸催化剂方便，制造、安装和维修容易等。
- (7)、妥善处理各个部件的连接和保温，避免产生热应力，使内件在塔内能自由胀缩等等。

在甲醇合成反应中反应本身的强放热特性和甲醇铜基催化剂的耐热性差、使用温度范围狭窄一直是一对突出的矛盾。厂方也本着高度认真负责的精神在温差方面对我方提出了很高的要求。在调研国内外现有甲醇合成塔结构型式和使用情况以及分析目前甲醇合成生产中的实际问题后，我们基于多年来在均温型甲醇合成塔上的开发应用经验，把研究工作的重点确定在进一步缩小触媒层温差实现全床层温度的均匀分布，并尽可能的增加触媒装填系数，并确保结构可靠性，为此开发设计为全新的低压甲醇合成塔合成塔，结构见下图1。气体流向为：从进气口（1）→引气管（11）→环管（10）→下行管（4）→触媒层（5）→上行管（9）→出气口（8）。

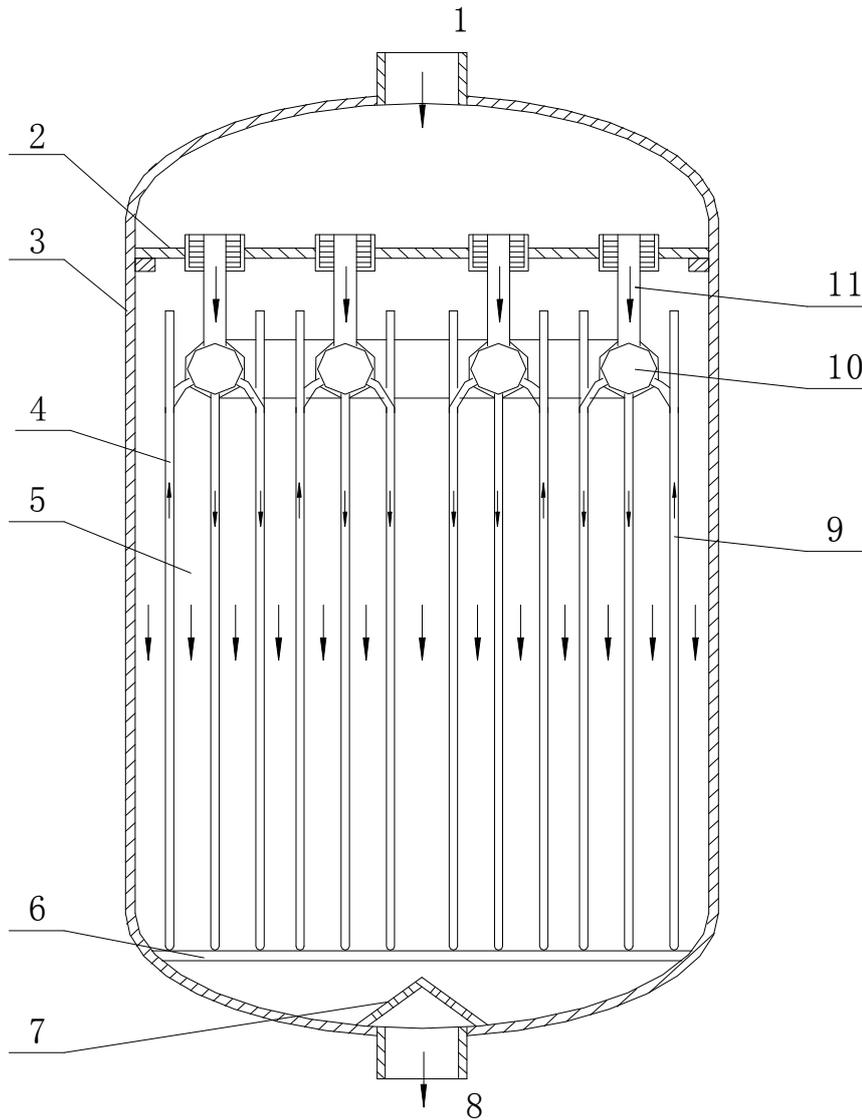


图1 JW φ 2000低压甲醇合成塔简图

- 1—进气口； 2—隔板； 3—壳体； 4—下行管； 5—触媒层；
 6—冷管支撑座； 7—集气帽； 8—出气口（卸料孔）； 9—上行管；
 10—环管； 11—引气管

为实现上述目标，达到工艺先进和结构的可靠性，我们在开发设计中采取了一系列的措施：

1、独特的冷管结构，全床层连续换热，管内冷气强化传热。

- 新型 U 型冷管结构的引入

过去的均温型甲醇塔采取的是上下环管的冷管连接方式，这样下环管上每根冷管都有一个焊接点，而下环管位于触媒层底部，一旦焊接点漏气，冷管内气体不经触媒层反应直接出塔，必然影响甲醇合成反应率和产量，为此我们采用了独特的 U 形管结构，它不同于以往曾经用于甲醇合成塔的 U 形管。我们经过计算得到，在低压甲醇合成的工艺条件下，采用这种 U 形管布置既能够得到合理的温度分布，又可以取消下部触媒层中的环管。在大塔径条件下，所需传热面积大，以 $\Phi 2000$ 塔为例，冷管总数量超过一千根，取消下环管的意义在于取消了下部触媒层内冷管与环管的一千多个焊接节点，使得整个冷胆的焊接点数量仅为双环管结构的 1/3，不仅在合成塔的制作工艺上得到了大大简化，更重要的是达到了全触媒层内无焊接点，杜绝了触媒层中冷管内气体泄漏的可能性而增加了结构的可靠性。

- 取消绝热触媒层

国内外一些冷管型（包括三套管、单管并流）甲醇合成反应器受氨合成塔结构形式的影响，依旧保留了上部绝热层，以求在气体进入床层的初期能够迅速提高温度达到较高的反应速率。但我们通过计算发现，由于甲醇合成反应的强放热效应以及目前甲醇催化剂的低温高活性使得冷管型甲醇合成塔中的绝热层成为多余，上部绝热层的存在使环管埋在触媒层内，不利于冷管的自由伸缩，增加了环管与冷管焊接点泄漏的隐患。因此我们取消了上、下部绝热层，采用全床层连续换热的形式。

- 采用管内冷气向并流换热移走热量，强化传热效果

Lurgi 管壳式塔利用管外饱和中压蒸汽换热，通过调节气包压力来调节温度，管内外温差不大，调节手段单一，其传热效果有限，Lurgi 塔的进出口温差在 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 左右，由于塔内不设测温点，考虑热点温度，则其实际轴向温差应大于 30°C 。

ICI 冷激塔采用多段冷激调温，用冷原料气喷入各段触媒之间与反应气混合来强制性地降低温度，其传热效果虽然好但在降温的同时稀释了反应气中甲醇含量，影响了触媒利用率，同时由于要靠大的循环量来控制温差，造成了能耗的增加。而且由于触媒层内为绝热反应，温升很快，其轴向温差也有 $30\sim 47^{\circ}\text{C}$ 。

均温型低压甲醇塔利用反应产生的热量加热入塔原料气，冷却反应气，既充分利用了反应热满足了气固相催化反应的自热要求，同时亦可称作是一种“自冷”的移热手段，符合节能理念，管内外气体的大温差、冷管分布的均匀性和合理性、向并流换热的连续

性、整个触媒层内的高比冷面，都使得传热效果大大加强。计算机模拟结果中显示出床层轴向温差在 10℃左右，热点位置也很合理，这样使得触媒的利用率得以提高。在工艺上采用了冷副线和蒸汽压力两种方法调节温差，手段多样、灵活，操作简便。

2、多层冷管胆束，结构可靠性的进一步完善

• 多层冷管胆束结构

在过去均温型甲醇塔的设计中，由于塔径小，多采用单层冷管胆，这次我们采用了多层冷管胆束结构，为制造大塔径，高比冷面、小床层温差创造了条件。

• 结构可靠性的进一步完善

盖板与冷管胆的连接形式采取了新型的全自由伸缩复合结构，活动填料函密封，取消了焊接点，避免温度应力对冷管的损坏，从根本上消除泄漏隐患。

顶部设置气体分布器，保证气体在径向范围内均匀分布，避免偏流。

反应器底部设置顶杆式触媒自卸装置，更换触媒时无须吊装设备，操作简单省时。

3、触媒空间的充分利用，触媒装填系数的提高

同样是管内外介质的传热形式，Lurgi 管壳式塔由于管两侧介质的传热温差小，需要靠很高的比冷面保证热量能及时移走，其触媒装在管内，使得整个反应器的触媒装填系数很低，约在 30%左右。均温型低压甲醇塔采取管外装触媒的形式，使得触媒的装填率达到 70%，与管壳式相比大幅度节省了设备投资。

(二)计算机模拟软件的开发建立，算法的完善

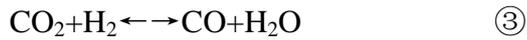
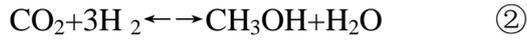
• 软件的开发

在设计过程中要想直观的分析反应器运行效果和各项操作指标离不开计算机的模拟，国内外开发的工艺计算软件中针对气固相催化反应而又能普遍适用的几乎没有。在 80 年代末均温型甲醇塔的研究初期相应计算机软件的开发已经进行，受当时计算机操作系统和编程工具的限制，反应器计算软件采用了 FORTRAN 编写，实际上只是一段计算程序，功能单一，可读性、扩充性和操作的简便性都比较差，随着计算机软硬件的迅速发展，软件的编写和应用水平已进入了面向对象的时代，我们也相应开发了基于 Windows 操作系统下的反应器设计工艺软件包----“Reactor Designer”，软件用“C++ Builder”编写，能够对不同压力等级下使用不同催化剂的均温型联醇塔、单醇塔、佳温型氨合成塔以及 ICI 冷激塔、Lurgi 管壳式塔进行各种操作工况下的模拟计算并输出详尽的计算报告供设计人员分析调优。若是引入相应的动力学数据和物性数据，该软件同样可用作其他气固相催化反应器的设计计算。

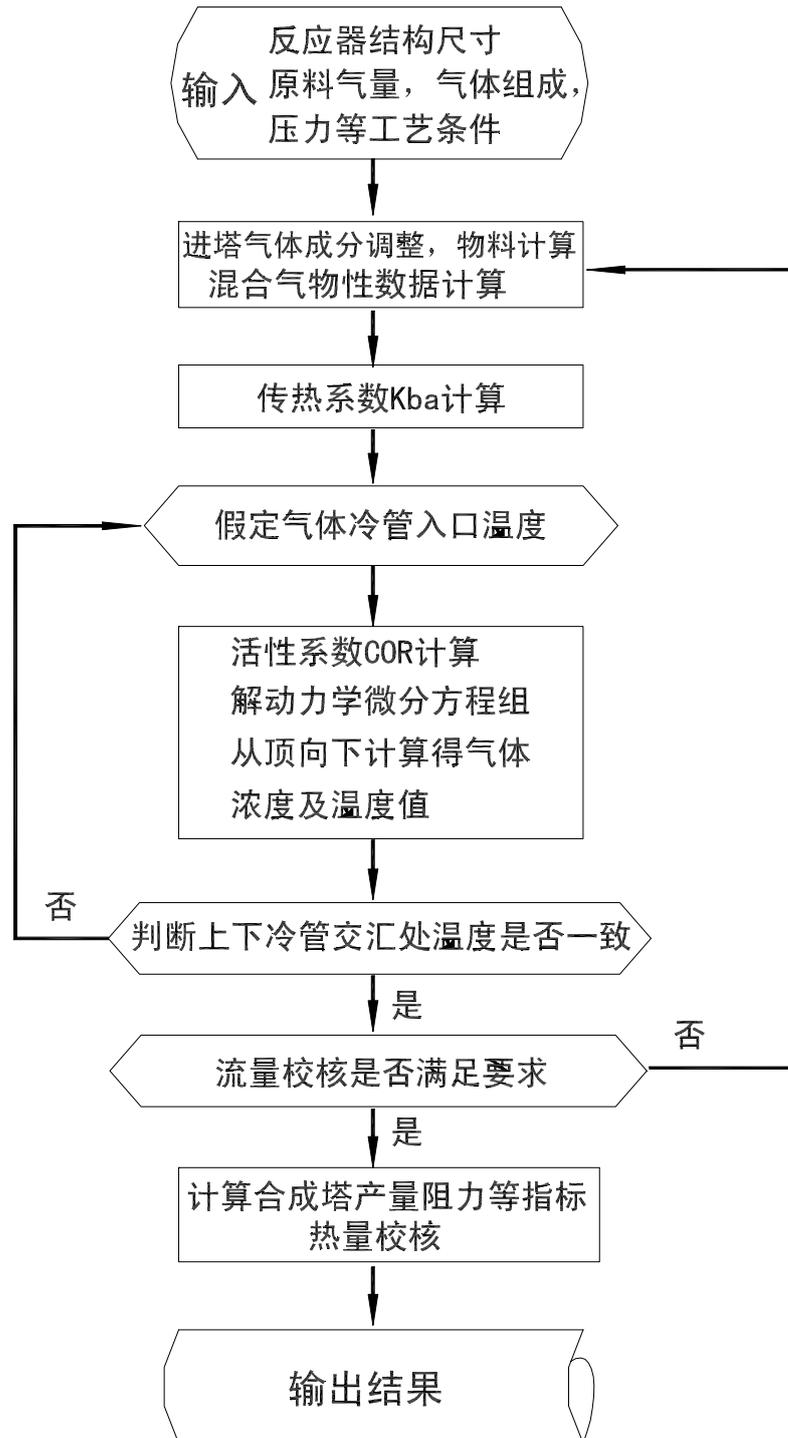
• 数学模型

在甲醇合成反应中有三个化学反应存在





一般认为反应③的反应速率很高，可认为在催化剂表面上达到平衡而不考虑其对甲醇合成反应的影响。我们早期的计算程序中采用的是单速率模型，只考虑反应①的反应速率式，而把反应②的影响以 r_c 因子的形式计入反应①。该模型太过依赖经验值而不能客观准确地体现反应的实际情况，因此我们在“Reactor Designer”的算法设计过程中重



Reactor Designer 基本计算框图

新建立了基于 CO 和 CO₂ 并行加氢竞争反应合成甲醇的双速率模型，并且可以针对不同的触媒选型（C207、C301、C302、NC306），选择相应的动力学方程式，与传热方程组成微分方程组求解，可以求得整个床层和冷管内的气体浓度和温度分布，进而计算所有需要的参数和指标。

- 算法的完善

催化剂活性系数对模拟结果是否准确有着很大影响，但其本身却受到诸多因素的影响，比如催化剂的表面扩散和内扩散、使用寿命、中毒、甚至是还原过程是否理想等多种因素，因此我们用较大的工作量整理了工厂操作生产报表后用实际数据反算催化剂不同时期的活性数据，进而回归出合理的活性系数计算式。

此外在算法上还对热量校核、流量校核，气体成分的自动优化调整等方面进行了修正，并重新设计了计算报告的界面。有关软件扩充方面的工作仍在进行中，例如增加更新结构均温型合成塔的计算模块，整个合成回路的工艺计算等等。

(5)设计工艺参数和技术特性

第一台 JW Φ2000 低压甲醇合成塔设计工艺参数和技术特性表如下：

- 工艺参数

类 别	单 位	设 计 值
操作压力	MPa	5.0
入塔气体温度	℃	120~150
入塔气量	Nm ³ /h	130000~160000
入塔气成分		CO % 4~12 CO ₂ % 1~3 总硫<0.1ppm
触媒型号		NC306
触媒粒度	mm	Φ5×5
生产能力	吨/年	50000

- 技术特性

类 别	单 位	设 计 值
设计压差	MPa	0.6
工作温度	℃	<320
工作介质		H ₂ 、N ₂ 、CO、CO ₂ 、CH ₃ OH、H ₂ O、CH ₄
触媒容积	M ³	20

三、 均温型低压甲醇合成塔使用效果

2000年1月在完成JWΦ2000低压甲醇合成塔的施工设计图后进行加工制造，由于该合成塔隔板外围直径超过2米，冷管数超过千根，重十余吨，管间距小，为此公司技术人员下车间现场研究加工方案，设计加工特殊工装，逐个克服难关。2000年4月中旬准时将设备运到哈气化，4月下旬公司技术人员到哈气化进行现场技术服务。设备现场试压合格后于4月27日顺利装入外壳，5月3日完成触媒装填，合成塔安装完毕，5月9日开始触媒升温还原，5月12日顺利结束触媒还原，补合成气逐步提压转入生产。

(1) JWΦ2000 低压甲醇塔在哈尔滨气化厂投运情况

- 升温还原实施情况

本次还原从2000年5月9日零时开始，到5月12日16时结束，共计88小时。还原工作十分顺利，其中前26小时从室温到150℃，为用纯氮气升温出物理水阶段，共计出水1035Kg。然后补合成气达H₂0.2~0.5%，压力提到0.8MPa，出水速率70Kg/h左右，到第70小时，温度达到195℃，H₂达5%，出水速度降到20Kg/h，到88小时，温度220℃，H₂提到64%，出水<20Kg/h，共计出水5073Kg，占触媒总重14.7%。

- 生产运行基本情况

JWΦ2000 低压甲醇塔于5月12日下午结束催化剂还原，补合成气逐步提压转入生产，在原料气量~25000Nm³/h，入塔气量150000Nm³/h，进塔气中CO=4~6.5%，CO₂=0.5~2%，CH₄=35~40%，入塔气压力4.8MPa，触媒层温度235℃工况下，达到日产粗醇200吨，月产精甲醇5600多吨比改造前提高产量50%，实际年生产能力超过6万吨，比合同所定改造要求超出1万吨。

- 温差

哈气化这次甲醇塔改造中采用了DCS控制，温度记录精度为小数点后一位，这次在催化剂升温还原中同平面温差和轴向温差基本上都在2℃内，在正常生产中同平面温差在2℃内，轴向温差在CO含量低时在5℃内，CO较高时在10℃左右，而改造前合成塔不仅轴向温度在70℃多，同平面温差也有20℃多。

- 气耗

按小时原料气26000Nm³，用作煤气的吹除气10000Nm³，时产精甲醇7.5吨，吨醇实际气耗2133Nm³；

- 电耗

压缩机与循环机额定电压均为6000V，压缩机电流不大于200A，循环机电流不大于100A，实际电耗压缩机1200KW·h，循环机600KW·h，共1800KW·h。按时产精甲醇7.5吨计，吨醇合成实际电耗240KW·h；

(2) 改造前后生产工艺指标比较

合成塔性能

	轴向温差	平面温差	压力降	空时产率	催化剂装填系数	催化剂用量和寿命
冷激式	~40℃	~23℃	0.36MPa	0.25	71.4%	20m ³ ~1年
均温式	<10℃	<5℃	<0.2MPa	0.37	71.6%	20.3m ³ >1.5年

合成回路参数

	原料气耗量	循环比	CO总转化率 %	CO ₂ 总转化率 %	反应热回收率 %
冷激式	4572Nm ³ /吨醇	4.83	87.64	73.08	75
均温式	3467Nm ³ /吨醇	4.80	94.17	98.2	75

消耗定额（吨精甲醇耗量）

	电(KW·h)	冷却水(t)	有效气体 (CO、H ₂ 、CO ₂) (Nm ³)
冷激式	356	27	2413
均温式	238	60	2285

以上数据可以看出，均温型与哈气化原进口冷激式合成塔比较，前者具有：

- ① 工艺性能好，CO、CO₂转化率高，吨甲醇原料气耗少，电耗低，能耗下降。
- ② 塔结构合理，可以充分利用催化剂低温活性，轴径向温差小，空时产率高，催化剂使用寿命长。
- ③ 投资少，合成塔价格约 300 万元人民币，整个系统包括合成、精馏改造（ADV 微分浮阀塔盘）和 DCS 控制，总工程费用 980 万元，增加了 2 万 t 精醇产量，使产品成本明显下降。

鉴于压缩机能力的限制，催化剂的能力尚未得到充分的发挥。

以上分析是在原料气中惰性气体含量较高的装置中进行。当原料气中惰性气体含量很少时以上数据值会相应改变，但两塔的操作工况不会改变。

(3) JW 低压均温型与国内外其他低压甲醇反应器比较（见下表）

厂名		哈气化	哈气化	A厂	B厂	西德林德	日本三菱
反应器型号		冷激	均温	管壳式	管壳式	螺旋管	超转化率
生产能力	万吨/年	4	6	10	10	10	30万
反应器内径	m	2	2	3.4	2.8	2.8	
入塔气压力	Mpa	4.7	4.8	4.26	4.4	5.9	9.3
原料气流量	10 ³ Nm ³ h ⁻¹	25	25	40.477	13.56		
进塔气流量	10 ³ Nm ³ h ⁻¹	150	150	254.7	106.9	215	316.5

进塔气 成分%	CO	7.63	5.48	9.93	5.64	10.8	7.5
	CO ₂	2.59	1.06	9.28	0.99	3.7	7.3
	H ₂	58.38	53.53	62.03	86.55	58.77	62
	CH ₃ OH	0.8	0.6			0.42	
	惰气	30.4	39.42	18.76	6.81	26.24	22.3
操作空速	Nm ³ /M ³ ·h	7850	7921	8783	6168	8996	11047
进触媒层	温度 °C	206	225	199.3	205.5	220	240
热点		275	235		225	254.6	250
出触媒层			230	239.9	220	248.5	200
温差		69	10	41.6	20	34.6	50
粗醇产量		T.h ⁻¹	5.26	8.428	14.59		
精醇产量	T.h ⁻¹	5	8.02	13.13	5.7	13.75	18.88
空时产率	T/m ³ .h	0.25	0.401	0.453	0.297	0.575	0.695
基准空时产率	T/m ³ .h	0.382	0.69	0.649	0.362	0.661	0.456
触媒装量	m ³	20	20.3	29	19.2	23.9	28.65
反应器总容积	m ³	28	28.7		52	52	81.4
触媒装填系数	%	71.4	71.6	35	36.9	46	35
触媒型号		NC501	NC306	NC306	C302	C302	

经过上表对各种国内外低压甲醇反应器性能的比较可见，均温型反应器的触媒装填系数要大大高于管壳式、螺旋管式和三菱超转化率反应器，和冷激塔相等。由于哈气化入塔气中惰性气含量高(39.42%)影响了合成率，因此体现出来的空时产率并不高，但将空时产率折算成 5MPa 压力无惰性气条件下每立方米催化剂每小时的精醇产量（吨）后可见，哈气化均温塔的基准空时产率 0.69 要高出原冷激塔的 0.382、A 厂管壳式的 0.649、B 厂管壳式的 0.362（未满载）、林德螺旋管式的 0.661 及三菱超转化率塔的 0.456。

四、小结

现依次根据本报告开头提出的对一个性能优良的甲醇反应器 7 个基本要求对本技术进行归纳总结。

- 升温还原。

该塔触媒还原只需 88 小时，床温到 220℃ 就还原完全，比触媒供货商南化的要求低

10℃，良好地保持了催化剂的低温活性，有利延长触媒使用寿命。还原共计出水 5073Kg，占触媒总重 14.7%。还原中轴径向温差仅 2℃，投运后持续高产超过设计能力，

- 传热和温度分布

在哈气化使用效果中可见，均温型反应器连续向并流换热的方式能够迅速有效地移走反应热，使轴向温差不大于 10℃，大大优于冷激式，并且不象冷激式在移热的同时降低了甲醇净值。管壳式反应器管内外传热温差推动力小，用大的换热面积来移热减少触媒层温差；均温型塔用管内冷气移热，传热温差大，达到缩小全床层温差的效果。合理的冷管布局使触媒层径向同平面温差在 5℃以内，这在直径达 2 米的大塔径反应器中也是很难做到的。良好的温度分布使得反应逼近最佳温度线，提高甲醇产量，并且为提高催化剂的活性，延长寿命，尤其是在使用后期能够充分发挥催化剂的整体活性创造了条件。

- 气体处理和阻力

冷激式反应器的气体处理量大，但是在均匀性方面不易控制，管壳式反应器触媒层中气体的均匀性好，但是由于气体走管内，处理量则相对较小。本次改造将冷激式改为均温型反应器，利用原外壳，高压空间和气量均未变，显示了均温型的气体处理达到了原冷激式的能力，而气体均匀性可以直接在平面温差上显示出来，JWΦ2000 塔在不同半径处共设置了 3 组测温点，相互间隔 120°，在直径 2 米范围 5℃内的平面温差说明了该设备的气体均匀性能良好。全塔阻力约 0.15MPa。

- 高压容积利用系数

均温型反应器的催化剂装填系数高达 70%，与冷激式相等，而为管壳式 30~35%的二倍，充分利用了高压空间，节省了设备投资。

- 操作性，稳定性，适应性

均温型内件有冷付线和蒸汽压力调节两种调温手段，使合成塔操作控制灵活简便。冷管型向并流连续换热的移热方式使反应热能迅速被移走，保证了反应器操作稳定性。均温型反应器在哈气化已稳定运行一年多，经历了还原后的轻负荷、正产生产时的满负荷，操作温度从初期的 220℃到后期的 280℃，说明该设备能够适应各种操作条件的变化稳定生产。

- 触媒装卸方便，结构简单可靠

Jw 均温塔催化剂装在管间：装触媒时打开盖板，四周均匀散布很快装好，卸触媒时顶开底部顶杆很快卸完。

管壳式塔除有数千根触媒管外，还有环形进水管，分 4-6 根进入合成塔下部。装催化剂时将催化剂用漏斗注入胶皮管内，人由人孔进入塔内，拿着胶皮管，往列管内装催

化剂，装满为止。卸催化剂时先通氮气及空气（含 N_2 99%， O_2 1%）将催化剂氧化，再降温至 35°C ，打开塔下部卸催化剂孔，塔下管板下面有一个栅板一个一个地放下来，催化剂即可卸出。为了使催化剂不致流入气体管，可将气体出口管从侧面接出。

均温型塔管间装触媒，底部设顶杆式触媒自卸装置，使得触媒装卸比管壳式要方便得多，JW Φ 2000 塔在更换触媒时仅用了半小时就卸完了所有 20m^3 约 35 吨的触媒。

- 部件连接合理，消除热应力

均温型反应器在中压联醇中已有数百台的使用业绩，各部件的连接、密封和保温经过工厂实际应用的检验证明是成熟可靠的。均温型低压甲醇塔吸取了中压联醇塔结构上的优点并进行了改进，保证了哈气化装置的成功运行。盖板和冷管胆的活动填料函密封形式以及冷管与环管连接处的弯头设计均使冷胆能够自由伸缩，有效地避免因热应力而产生的冷管拉裂。

反应热的回收利用比较，决定于反应热大小，同样空速下主要决定于进出塔甲醇浓度差，该值越大反应热越多，同样甲醇浓度差下决定于 CO 和 CO_2 合成甲醇的比例，其中 CO 反应热比 CO_2 大，JW 塔不仅出塔甲醇浓度高而且 CO_2 反应比例少，故反应热大。与冷激塔比较，冷激塔不副产蒸汽，均温型塔和管壳式均副产蒸汽。JW 均温型塔与管壳式反应热利用的区别在于，管壳式蒸气设计压力为 4MPa ，但目前低压甲醇触媒使用温度多在 $230\sim 260^\circ\text{C}$ ，这时蒸汽温度在 $210\sim 250^\circ\text{C}$ ，蒸汽压力只有 $2.0\sim 3.9\text{MPa}$ ，这种 3MPa 左右的蒸汽用作动力，压力欠高，故不少厂仍减压作低压蒸汽用；而 JW 均温塔蒸汽温度在 185°C 左右，蒸汽压力 1MPa 左右，可用于甲醇精馏，每吨甲醇产 1 吨蒸汽，回收热量与管壳式一样。

综上所述，本项低压低温差甲醇反应器作为我国自行设计制造开发的新塔型，具有优良的工艺性能（触媒层温差小，催化剂生产强度高），又具有投资省，易于大型化，结构简单可靠，操作稳定，节约能源的优势，适用于以煤、天然气等不同原料制得的合成气。

五、经济效益和展望

1、经济效益

哈尔滨气化厂应用本技术改造进口甲醇合成塔后：

（1）年产增加 2 万吨，新增产值 3700 万元，年新增利税 1200 万元；

（2）吨醇成本比改造前降低 235 元，按改造前年产 4 万吨计算，年节省开支 940 万元。二项共计 2140 万元。

2001 年新建的 8 万吨甲醇生产装置工程总投资 6500 万元，10 月份投产，实际生产

能力已超过 8 万吨，年销售收入可达 1 亿多，预计年均利润总额 4759 万元。同时解决了该厂煤气生产供大于求的局面，使哈气化成为国内第三大甲醇生产基地。

2、展望

甲醇作为基本化工原料有着广泛的用途，特别是作为清洁能源具有很大发展前景。国家“能源节约和资源综合利用‘十五’规划”中在重点发展技术和重大示范工程中都强调重点发展清洁煤、甲醇和乙醇替代汽油技术和示范工程，在“化学工业‘十五’规划”中将低压法甲醇技术称为行业急需的新技术。目前我国虽已建立一批低压法甲醇生产装置，但国内大多数甲醇生产装置还是采用高中压法，不少合成塔的结构与氨合成塔相似，这些甲醇生产装置存在规模小、能耗高、效益低的状态，新建的一批低压甲醇装置大多采用管壳式，具有温差较小，能耗较低，生产强度较大的优点，但管壳反应器触媒装填系数小，因此反应器投资大，限制了大型化的要求。面对国外甲醇生产装置普遍大型化，装置生产能力上到数十万吨乃至数百万吨/年，以大规模来降低生产成本，占有市场的局势，本项目低压低温差甲醇反应器作为我国自行设计制造开发的新塔型，打破了国内低压甲醇技术依赖进口装置或是仿制国外技术的局面，同时具有优良的工艺性能，和投资省、易于大型化、结构简单可靠、操作稳定的优势，适用于以煤、天然气等不同原料制得的合成气，值得推广应用。

2001 年 11 月，JW 均温型甲醇合成塔技术通过浙江省科技厅鉴定，专家鉴定组的意见认为：该技术“拥有自主知识产权（已获二项国家发明专利、一项美国专利和七项实用新型专利），项目技术路线先进可靠，具有综合优势，达到了同类反应器的国际先进水平”，专家组建议，“尽快实施成果转化，使之运用于年产 10 万吨以上等大规模的甲醇合成装置上，形成我国该类型反应器自己的甲醇合成的成套技术与装备参与国内外市场竞争，为发展我国甲醇事业创造更为有利的竞争条件”。

参考资料:

1. 《甲醇工学》 宋维端、肖任坚、房鼎业 化学工业出版社
2. 《均温型甲醇合成塔在低压法甲醇合成工艺中应用分析》 任宝生、刘洪祥、张文效
《化工催化剂及甲醇技术》 2001 年第 2 期
3. 《JW Φ2000mm 低压均温型甲醇合成塔应用》 盛于蓝、李维
《天然气化工》2001 年第 26 卷
4. 《哈尔滨气化厂甲醇装置节能增产技改工程顺利实施的成功经验》 王彦明、李爱霞
《化工催化剂及甲醇技术》 2001 年第 2 期
5. 《我低压甲醇合成技术获重大突破》 董万森 《中国化工报》2001 年 8 月 18 日
6. 《甲醇生产技术与进展》 房鼎业、姚佩芳、朱炳辰 华东化工学院出版社