

引进装置设备技术参考资料

高 压 容 器

~美国卅万吨合成氨引进装置~

上海化学工业设计院石油化工设备设计处设计

出版说明

石化、轻工等部于七十年代初引进了一些成套的大型化肥及石油化工装置。遵照伟大领袖毛主席关于：“独立自主，自力更生”、“洋为中用”的教导，为使引进装置及其技术资料充分地为我所用，根据石化部石油化工规划设计院(75)石化设字189号文中“引进装置设备技术资料汇编”的要求，我们组织了石化、一机系统的有关设计、制造、使用、学校、科研等三十多个单位分头对有关引进装置的设备技术资料进行了汇编工作。

本次汇编工作以装置为单位，分成美国卅万吨合成氨、日本卅万吨合成氨、法国卅万吨合成氨、四十八万吨尿素、催化剂以及北京石油化工总厂、上海石油化工总厂、四川维尼纶厂、辽阳化纤总厂中引进装置。汇编主要从设备设计角度出发，选择引进装置中对设计有用的、有特点的设备及另部件，对选材、结构设计、强度计算、制造、检验、安装、使用、维修等方面进行总结。汇编以图纸、资料为主，根据具体情况收集对外会谈，出国考察及现场施工、安装、验收等方面的资料。

这次汇编资料属第一阶段。以反映各装置的设备特点为主，综合对比分析工作留待第二阶段进行。毛主席指出要：“自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验，引以为戒，这就是我们的路线。”希望读者以战无不胜的毛泽东思想为指导，结合自己的实践经验对引进装置的有关技术资料判批地吸收。

由美国凯洛格公司引进的卅万吨合成氨装置的设备部分资料汇编工作由石化部化工设计院负责，石化部第六设计院、山西省化工设计院、大庆石油化工总厂设计院、辽宁石油化工设计院参加。该装置资料共分八章，本册为其中的第六章“高压容器”，主要介绍了氨合成塔外筒及内件的材料、结构、制造、安装、计算等方面情况，“单层高压容器”一节还介绍了氨分离器外壳的有关资料。由美国引进卅万

吨合成氨装置设备资料汇编的其它章节将陆续分章印出供有关部门参考。

上海化工设计院石油化工设备设计建设组

1976年11月

第 六 章 高压容器

本装置中高压容器有热交换器、分离器及反应器三类。压力都在 150 kg/cm^2 左右。为编写分类方便起见，高压热交换器及高压分离器内件结构分别放在热交换器及分离器两章中介绍。外壳结构放在本章中介绍。高压反应器仅氨合成塔一台，本章将作详细介绍。

从高压外壳本身结构看，本装置中有单层及多层两种形式。在本章中单层高压容器以氨分离器为例，多层高压容器以氨合成塔为例，分别加以介绍。

目 录

第 六 章

高 压 容 器

第一节	概述.....	1
第二节	材料.....	4
第三节	外筒.....	6
第四节	触媒筐.....	24
第五节	换热器.....	33
第六节	按装及装运.....	36
第七节	计算.....	42
第八节	单层高压容器.....	93

第一节 概 述

一、一般概况

氨合成塔是一个将净化后的氢和氮气，在几百个大气压， $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ，并有铁触媒存在的条件下合成为氨的反应器。氨合成的反应是可逆放热反应，反应后体积缩小，从反应机理讲，提高合成压力和使触媒床层温度条件符合最佳温度条件，（即在床层中随着反应的进行，使温度沿最佳温度条件而降低），对提高合成率是有利的，当系统压力经综合平衡选定后，使床层温度分布合理就是提高合成率的措施之一。综上所述，在氨合成塔的结构设计时应注意以下几点：

（一）氨合成塔是在高温下操作的高压设备，氢、氮、氨混合气在高压下当温度超过一定值时，对一般金属材料是有较严重的腐蚀，为了避免增加制造和选材的困难，在结构设计时应力争使高压外壳作成低于 200°C 的冷壁高压容器。

（二）触媒床层内应设置冷却装置，及时取走反应热，使床层温度趋近于最适宜温度。

（三）塔内气体分布装置及床层内阻力分布都应力求使气体均匀通过触媒层，避免由于气流不均造成局部地区反应热过大，影响触媒活性，甚至烧坏触媒，最终影响合成率。

（四）内件处于 $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 下操作，结构设计时应让各零部件热膨胀自由，避免局部温度应力过大而使内件损坏。

（五）为使塔内阻力降小，制造、维修方便，利于长期连续运转，内件结构应尽量简单。

二、本装置氨合成塔概况

本装置采用的是“瓶式”轴向流动氨合成塔，外筒筒体为多层卷板结构。密封为半自紧式的金属八角垫，触媒筐为分层冷激式，整个床层分成四层，在每层之间的空间内引进冷激气体，直接与反应气体混合以降低反应气体温度，用控制冷激气量来调节床层温度，使反应能接近最佳条件进行，层间设有卸触媒管，塔底有卸触媒孔，使塔内

触媒能卸出。塔的结构见图(6-1-1)，操作工艺数据见表(6-1-1)

操作工艺数据：

表(6-1-1)

	温 度 °C		氨含量(%)		冷激气量 (%)	阻力降
第一触媒层	入口: 399出口: 490		入口: 2.08 出口: 8.34		65.7	开车初期
第二触媒层	426	460	7.06	9.85	13.0	6.2 kg/cm ³
第三触媒层	428	460	9.03	11.49	10.0	有触媒粉 尘 7.28 kg/cm ³
第四触媒层	430	457	10.57	12.75	7~10	压缩机 超 速
			净值 10.67	冷激气占 40%	10.1	kg/cm ²

(一)塔的特点：

1. 外筒为“瓶式”结构

“瓶式”结构缩小了开口直径，避免使用大锻件及大直径紧固件使容器的密封结构简单而易于保证密封性能，塔外筒重量也减轻，但同时也带来以下缺点：

(1) 触媒筐不能取出，如果内件损坏严重，需取出就要把顶部球形封头割下，一般生产现场没有焊接球形封头的装备，使检修周期很长。

(2) 从设备结构上要求外筒与触媒筐同时整体出厂，不能分件运输，使塔的运输及吊装困难，制造厂也需配备较大吨位的吊车。

(3) 触媒筐不能取出检查和替换，要保持长期使用，在制造、检验上就附加了下列一些措施使结构复杂。

①为防止氯离子对不锈钢的腐蚀触媒筐保温采用结构颇为复杂的双层筒壁结构，以防止试压用水存积于保温层中。

②试压用水及清理用水要求含氯离子量小于2 PPM，制造中为防止氯离子也得采取许多措施，增加了许多工作量。

③为了检查外筒内壁使用后的腐蚀情况，设立了四个检查孔，这使触媒筐结构尤其是保温结构复杂许多。

2 床层内气体冷却采用冷激结构，与冷管结构相比，内部零部件较少，易损坏的零部件也少。增加了内件的使用寿命，也易于达到长期连续运转。

3 塔内无电炉，开工时热气体由外加热炉供给，使塔内结构简单，减少正常操作中塔的阻力损失，但在不稳定操作时，控制床层温度不如塔内电炉灵活及方便。

4 将较易损坏的换热器放在触媒筐上部的“瓶颈”内，给检查和维修带来方便。因颈部直径较小可提高换热器的效率。

5 触媒筐及换热器均为悬吊式支承，使膨胀方向与内件重量方向一致，较为自由，采用金属软管及波纹管来吸收热膨胀，使触媒和换热器可以较自由热膨胀，尽量地降低了温度附加应力。

6 触媒可以从底部卸出，避免了重型吊车和大框架。

7 采用双层筒壁的触媒保温结构，避免了水压试验时水进入隔热层并在里面积存，而造成氯离子在操作中浓缩后对触媒体的腐蚀。

(二) 气体在塔内流程

操作时气体由塔底封头上 $\phi 324 \times 25$ 的接管B进入，沿内外筒环隙向上流动以冷却筒壁，气体再穿过触媒筐缩颈上的三排槽形孔，入瓶颈部换热器与外筒间环隙向上流动，以冷却筒壁，然后气体从换热器顶部入壳程，向下经由折流板与管内反应后气体换热，从底部八条通气槽形孔流出，进入第一层触媒，反应后气体经冷激气冷却，再依次经第二、三、四层触媒（每层间都有冷激气）出第四层触媒的气体入底部六边形气体收集器经径向流通管入中心回气管，向上流动，经换热器管内及膨胀节从塔顶接管G出塔。

第二节 材 料

外筒各主要部件选用材料的型号、成分及性能见表 6-2-1 触媒筐及内件材料见表 6-2-2，换热器主要部件用材料表 6-2-3。

触媒筐主要材料表

表 6-2-2

部 位	牌 号	粗略成份
管 材	SA-321-TP321	18Cr-10Ni-Ti
板 材	SA-240-TP321	
锻 件	SA-182-F321	
棒 材	SA-479-TP321	
筛 网	SB-166	Ni-Cr-Fe

换热器主要部件材料表

表 6-2-3

部 位	牌 号	粗略成份
管板、法兰、套环	SA-182-F304	18Cr-8Ni
管子	SA-249-TP304	“
外套筒体、封头、折流板	SA-240-304	“
膨胀节	321型不锈钢	18Cr-10Ni-Ti

外筒主要部件材料表

表 6-2-1

部 位	牌 号 (钢 号)	化 学 成 分 %										机 械 性 能							备 注
		C	Si	Mn	P≤	S≤	Cr	Mo	Ni	V	σ_B 磅/时 ² (Kg/mm ²)	σ_s 磅/时 ² (Kg/mm ²)	σ %	ψ %	α_k 磅-呎	HB			
筒体内筒反层板	K-TEN62M (1)	<0.18	<0.55	<1.60	<0.035	<0.035				0.05	室温 (>62)	1>50,	19	50*			正大状态供货		
											205℃ 77650 (56)								
球形封头	SA516-70 (2)	0.27~ 0.31	0.13~ 0.33	0.8~ 1.25	<0.035	<0.04					室温 70000~85000 (49~59.5)	>38000 (>27)	8时 17 2时 21				锰钢正大状态供货		
											205℃ 61160 (43)								
直接焊于封头上锻造法兰	AOS5002M (3)	0.19~ 0.25	0.20~ 0.35	1.10~ 1.50	<0.04	<0.04	≤0.2*	≤0.06*	0.40~ 0.70	0.13~ 0.18	室温 >80000 (56)	>51000 (>35.7)	20	35					
反锻环											205℃ 71100 (50)								
换热器顶部出口封头	SA182-F ₁ (4)	0.28	0.15~ 0.35	0.60~ 0.90	<0.045	<0.045		0.44~ 0.65			70000 (49)	40000 (28)	25	35		192	Q5 铜钢		
开工加热气进口“C”接管	SA182-F ₂₂ (5)	0.15	0.50	0.30~ 0.60	<0.040	<0.040	2.00~ 2.50	0.87~ 1.13			70000 (49)	40000 (28)	20	30		192	铬铜钢		
除“C”接管之外冷却气进口接管	SF45 (6)	0.18~ 0.26	0.15~ 0.45	0.3~ 0.6	0.04	0.035					(45~55)	(23)	27						
反热电偶接管																			
人孔盖	SF50 (7)	最大 0.30	0.15~ 0.40	0.50~ 0.80	<0.035	<0.04					(50~60)	(25)	25				相 近 于 25 号 钢		
螺 柱	SCM4 (8)	0.38~ 0.43	0.15~ 0.35	0.60~ 0.85	<0.030	<0.030	0.90~ 1.20	0.15~ 0.30			>700000 >(100)	>(85)	>12	>45	76	285~341	铬铜钢 (近于 35CrMo)		
											205℃ 120000 (55)								
螺 母	S45C (9)	0.42~ 0.48	0.15~ 0.35	0.60~ 0.90	<0.030	<0.035					(70)	(50)	17	45	8	201~269*	近于 45 号钢		
垫 圈	S10C (10)	0.08~ 0.13	0.15~ 0.35	0.30~ 0.60	<0.030	<0.035					(32)	(21)	33			120	“ 10 ”		
裙座反垫基圈	A285-C (11)	0.28	0.15~ 0.35	0.90	<0.035	0.045				0.20~ 0.25	55000~65000 (39~46)	30000 (21)	27				“ 25 ”		
温度计座、排气管座、吊耳	SS41 (12)	最大 0.26			<0.05	<0.05					(41~52)	(22~25)	20						

注：*者为从赴日考察索取之数据，其余为

第三节 外 筒

一、设计条件:

(一) 压力:

操作压力	2080 (磅/吋 ²)	(146.2 kgf/cm ²)
设计压力	2184	" (153.6) "
试验压力	3276	" (230.4) "

(二) 温度:

	换热器出口封头	开工付线接管“C”	其它部位
操作温度	543.3°F (284°C)	1000.0°F (538°C)	295°F (146°C)
设计温度	600 (315°C)	1000°F (538°C)	400 (204°C)

二、设计要求:

(一) 外筒筒体为多层结构

(二) 规范公式中许用应力应为 $\sigma_b^{tmax} / 3.5$ 及 $\sigma_s^{tmax} / 1.5$ 较小者。

(三) 外筒上其它受压部件应采用整体结构。公称内径 125.5 吋的容器封头为半球形，所有管口和人孔应位于封头上，并整体补强。

(四) 水压试验时的应力不应超过常温下材料屈服应力的 0.9 倍。

三、结构

外筒结构见图 (6-3-1)。整个外筒分成上下两段，上段为内部换热器的外筒，下段为煤触的外筒，上下两段筒体的内径及壁厚分别为 $\phi 3'-8" \times 2 \frac{3}{8}"$ ($\phi 1118 \times 60.3$) 及 $\phi 10'-5 \frac{1}{2}" \times 6 \frac{1}{2}"$ ($\phi 3187.7 \times 165$)。两段间用梯形槽配八角金属垫密封，下段筒体两端是球形封头，上封头设有人孔，冷激管及热电偶接管，下封头有卸煤触孔及气体入口。详细结构下面分别叙述。

(一) 多层筒体

上下两段筒体均为瓦片式的多层结构，内筒板厚为 12 mm，层板厚 12 mm，下段筒体最外层层板为 9 mm，厚。

筒节与封头、法兰的焊缝坡口形式见图 6-3-1 之节点 III~IV。上段筒节与换热器出口封头间的焊接是异种钢焊接，为防止焊缝产生缺陷，如节点 III 所示，在封头锻件坡口上用 LB62 焊条堆焊一层，经退火处理后再与筒节焊接。

多层筒节与封头，法兰及筒节之间的焊接，为防止产生熔边夹渣现象，在层板间隙上用钨极氩弧焊熔堆 4.5 mm，第一次用不加焊丝熔化层板 1.5 mm 深左右，第二次用堆焊丝 3 mm 深。如节点 III~IV 所示。

(二) 密封形式及紧固件：

外筒上全部可拆卸的部件都采用梯形槽配碳钢材质的八角垫半自紧式密封，所选用的八角垫及有关尺寸见表 6-3-1 及图 6-3-2。由表 (6-3-1) 可见开口直径 $\phi 460$ 与 $\phi 118$ 所采用的八角垫截面尺寸是完全相同的，这样做对密封垫本身的制造和加工提供了方便条件。

表 6-3-1

项目		用途		主 达 兰	卸 能 媒 孔	人 孔	热 电 偶 接 管
尺 寸	直 径	直 径	直 径				
槽	公 称 直 径	3'-8" ($\phi 1117.6$)	2'-3" ($\phi 685.8$)	1'-6 1/8" ($\phi 460$)	2 7/16" ($\phi 62.3$)		
	ϕ_1	4'-2" ± 0.005 ($\phi 1270 \pm 0.127$)	2'-7" ± 0.005 ($\phi 787.4$)	1'-9" ± 0.005 ($\phi 533.4$)	4 1/4" ± 0.005 ($\phi 107.9$)		
	A	1 3/16" ± 0.008 (30.162 ± 0.2)	1 3/16" ± 0.008	1 3/16" ± 0.008	15 1/32" ± 0.008 (11.906)		
	B	1 1/8" ± 0.008 (28.575)	1 1/8" ± 0.008	1 1/8" ± 0.008	7 1/16" ± 0.008 (11.112)		
	C	25 3/32" ± 0.008 (19.812)	25 3/32" ± 0.008	25 3/32" ± 0.008	5 1/16" ± 0.008 (7.757)		
	H ₁	1 3/8" ± 0.015 (34.92 ± 0.39)	1 3/8" ± 0.015	1 3/8" ± 0.015	5 1/8" ± 0.015 (15.88)		
	H ₂	1 1/16" ± 0.012 (17.5 ± 0.3)	1 1/16" ± 0.012	1 1/16" ± 0.012	5 1/16" ± 0.012 (7.937)		
型	R ₁	3/32" (2.38)	3/32"	3/32"	1/16"	(1.587)	
	R ₂	3/32" (2.38)	3/32"	3/32"	1/16"	(1.587)	
	α	23° $\pm 0.5^\circ$	23° $\pm 0.5^\circ$	23° $\pm 0.5^\circ$	23° $\pm 0.5^\circ$		
紧 固 件	螺 栓 圆 直 径	5'-1 13/16" (1570)	3'-4 15/16" (1040)	2'-6 1/2" (774.7)	7 1/2" (190.5)		
	螺 栓 直 径	4"	2 1/2"	2 3/4"	1"		
	螺 栓 数 量	20	24	16	8		

~00~

(三)冷激气接管

三根冷激气接管与上封头连接结构见图 6-3-3。

(四)开工加热气, (兼付线接管)入口。

开工加热气体的温度为 1000°F (538°C), 为防止大量热传递到封头上使封头温度过高而产生腐蚀, 此接管采用了如图 6-3-4 所示的有隔热衬里的结构。

1. 材料:

接管材料是 A182GrF22, 球形封头材料为 A516Gr170, 两者焊接前应在接管上用 LB62 材料堆焊一层, 焊后 880°C 正火, 空冷 7 小时, 然后 715°C 退火, 炉冷。

保温材料: Castolast "G"

此结构靠塑铸性保温材料 and 一层死气来降低外筒的温度, 设计时可以按下列温度条件选材。

部 位	操 作 温 度	设 计 温 度
$L = 4''$ 段	1000°F (538°C)	1000°F (538°C)
$L = 1-2\frac{1}{4}''$ 段	(426°C)	(426°C)
接筒体直段	(154°C)	(204°C)

制造厂从制造方便角度考虑, 全用 538°C 作设计温度不分三段。

2 安装程序

- (1) 焊上试压盖, "A" 和 "B", 对插入件以 50 磅/吋², (3.52 kg/cm^2) 表压作水压或气压试验。
- (2) 去掉试压盖 "A" 磨光焊区。用磁粉探伤检验, 不得有裂缝。
- (3) 将塑铸性保温材料填满到插入件内, 焊接 "Y" 焊缝, 用锥形档圈挡住塑铸性保温材料端部, 以免气体直接冲刷而损坏保温层。
- (4) 把插入件装入接管内, 焊 X 焊缝并用磁粉检验。
- (5) 焊接试压盖 "C", 对整个连接件以 50 磅/吋² (3.52 kg/cm^2) 表压作气压或水压试验, 检查 "X" 焊缝。
- (6) 与外筒体球形封头上接管焊完后, 以 $625^{\circ} \pm 25^{\circ}\text{C}$ 20 小时消

除应力处理。

(7)再一次对整个连接件作 50 磅/吋²，表压的压力试验，并检查焊缝。

(8)去掉试压盖“B”和“C”，磨光焊区，并以磁粉或渗透试验来检查。

(四)热电偶接管

两根热电偶接管与封头的连接见图 6-3-1，加工方法为接管先钻出 $\phi 40$ 孔，加工坡口后与封头角接，然后接管孔二次加工，封头钻孔，以消除焊不透部份及其它缺陷。

(五)球形封头与筒体连接结构

1. 上封头与筒体连接

原设计时在接缝不等厚度的过渡部分按 ASME 第八篇第一部分的准则逐渐过渡，但在制造厂为制造方便，采用了局部堆焊的方法过渡，过渡段长度为 150 mm，厚度差为 4.7 mm。过渡层堆焊完后用磁粉探伤检查。

2. 下部球形封头与筒体及裙座之间用图 (6-3-5) 所示的底环来连接，这种结构把不同厚度的筒体与封头连接在一起而避免产生过大的应力集中，底环与三者的接缝都是对接，可以分别进行，磁粉，超声波和射线检查，质量容易保证，但在制造上要多加一个焊环，并需上机床加工，成本比较高。

(六)裙座：

裙座厚为 $1\frac{1}{4}$ " (32)，其上有 8 个排气孔，及一个长园形人孔，结构尺寸见图 (6-3-1)，地脚螺栓共八个直径为 $1\frac{1}{2}$ "，沿园周分成四组，每组的结构尺寸见图 (6-3-6)。

(七)开孔补强：

外壳上开孔补强有三种形式，内伸式接管补强，接管补强及凸缘补强。

1. 内伸式接管补强

三根冷激管采用这种补强结构，见图 (6-3-3)，这种补强结构从受力讲最好，一般用在里面有内接管的场合。

2. 接管补强

接管 B 气体入口及热电偶接管采用这种补强。

3. 凸缘补强

一般较大口径开孔全采用凸缘补强，补强锻件与封头采用对接形式，为避免焊缝处因锻件刚性大造成应力集中，锻件与封头焊接处都有一定圆弧过渡，详细结构见图 (6-3-1) 各有关节点。

四、高压外壳对材料的特殊要求：

外壳所用材料及性能见表 6-2-1，以下为对材料的特殊要求。

(一) 锻件不考虑采用淬火和回火材料。

(二) 管接头和法兰应采用与封头和筒体材料物理，化学性能相当的无缝钢管或锻件。

(三) 内径为 3'-8' 的顶部封头应为抗氢腐蚀材料，其抗腐能力至少应等于 SA-204 B 级 (0.5 铜钢)

(四) 所有受压部件和焊在受压筒体上的部件材料应在 41°F (5°C) 进行 V 型缺口冲击试验，冲击值应符合表 6-3-2 的要求，如果某些材料在 41°F 时冲击值不能符合表上的值，可将试验温度按 5°C 左右逐渐提高，做到直至全部合格，但最高合格温度不得超过 62.2°F (17°C)，以确定水压试验及最初加压的许用最低温度。

取样原则：每个锻件，每块轧制封头用板。每个熔炼炉号的筒体层板，每个熔炼炉号焊在受压部件上的非受压部件板材，每根不同的管子，每个不同炉号的螺栓（取最大直径螺栓）。各取三个试样。

表 6-3-2

材料最小屈服强度 磅/吋 ² (kg/cm ²)	三个试样最小平均值 呌-磅	单个试样最小值 呌-磅
<35000 (2450)	15	10
35000~45000 (3150)	20	15
45000~75000 (5250)	30	25
≥75000	35	30

(五)所选用材料应做设计金属温度 205℃时抗拉试验，最小值如表 6-3-3 所示。

取样原则，每个锻件，每块轧制板材，每个熔炼炉号的筒体层板及内筒，每个不同直径螺栓各取一个试样。

表 6-3-3

材 料	抗 拉 强 度 (最 小 值)
AOS 5002M	7100 磅/吋 ² (50kgf/cm ²)
A516Gr70	61160 " (43)
K-TEN62M	77650 " (56)
SCM ₄	120000 " (85)

五、制造

(一)设计对公差的特殊要求

公差除符合 ASME 规定之外尚须附加以下要求：

1. 筒体垂直度

在 20 呎 (6100mm) 内偏差为 1/4"， (6mm)，但不能在整个塔高内累积，全塔的极限偏差为 1/4"。

2. 筒体内径公差：

$$\phi 10 \begin{matrix} -5 \\ -0 \end{matrix} \frac{1}{2}'' \begin{matrix} +3/8'' \\ -0 \end{matrix} \quad (\phi 3187.7 \begin{matrix} +9.5 \\ -0 \end{matrix})$$

3. 筒体颈部锻件上垫圈槽，触媒管支承座及其内径的轴向中心线应与外壳轴向中心线重合，在全长上允许偏差为 ≤ 1/8" (3mm)。

(二)焊接

1. 焊条选择

(1)钨极惰性气体保护焊

焊条：TGS-M

焊丝化学成分：

C：0.06；Mn：0.80；S：0.38；Mo：0.52