

概况 · 反应 · 塔

引进装置设备技术参考资料

概 况、反 应 器、塔

~法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建设组

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)石化设字第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、有特点的设备及零部件，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批判地吸收。

由法国赫尔蒂公司引进的三十万吨合成氨装置设备技术资料汇编工作由安徽省石油化工设计院负责，南化公司设计院、湖北化工设计院、南京化工学院、广东省石油化工设计院、广东化工学院、广州石油化工厂参加。由于篇幅较大，将分册进行出版。本分册内包括了第一章概况，第六章反应器，第五章塔。

由于资料收集不全、编写人员水平所限，本汇编不免有错误之处，希同志们及时予以指正。在汇编过程中承蒙有关化工生产厂及按装单位热情支持，特此致谢！

上海化工设计院石油化工设备设计建设组

一九七七年六月

目 录

* * * * *

第一章 概 况

一、工艺流程，生产规模

当前，国外大型合成氨生产技术主要有三大流派，即：(1)美国凯洛格公司 (KELLOGG)，(2)丹麦托普索公司 (TOPSØE)，(3)英国帝国化学工业公司 (I.C.I)。这三家专利技术与我国国内通用的流程基本相同。只是由于原料的改变和某些技术的更新而形成部分的差异。引进法国赫尔蒂工业公司 30 万吨合成氨装置 (简称合同工厂) 基本上是按丹麦托普索工艺进行设计的，脱二氧化碳装置则按意大利 G.V 工艺设计。(尿素装置采用荷兰斯太米卡本 CO_2 汽提法全循环工艺流程)。

合成氨装置分石脑油予脱硫和最终脱硫，碳氢化合物的一段蒸汽转化及二氧化碳转化，工艺气体的一氧化碳变换，脱二氧化碳和甲烷化，氨合成，氨吸收六个工号及氨贮存附属装置。

工艺流程图 1-1 所示。

该流程是按石脑油原料设计的，若稍作变更可用于天然气原料。

根据合同规定，本引进装置的生产规模为 1000 吨/日合成氨 (含氮 99.94%——重量比) 和 1740 吨/日尿素 (含氮 46.4%——重量比)。合同工厂是按正常操作维修条件下每年连续运转 8000 小时设计的。

主要原材料、燃料、动力消耗定额见表 1-1。

用于合成氨工艺主要原材料、燃料、动力消耗定额。

表 1-1

名 称	规 格	单 位	每 吨 氮 耗 量	
			设 计 值	合 同 保 证 值
石 脑 油	低热值 10300 千卡/标米 ³	千 卡	5.8×10^6	最大 6.0×10^6
电 却 水	循环温差 $\Delta t = 10^\circ\text{C}$	度 米 ³	9.5	最大 9.9
冷 却 水		米 ³	319	最大 330
锅 炉 给 水	115 公斤/厘米 ² (绝) 120°C	公 斤	4470	
中 压 蒸 汽		公 斤	1280	最大 1380
低 压 蒸 汽		公 斤	450	
仪 表 空 气		标 准 米 ³	9.8	

二、设计基准、采用规范和标准

1. 设计基准

(1) 气象条件

① 气温：

年平均	16.5℃
最高月平均	32℃
最低月平均	3.2℃
绝对最高温度	39.7℃
绝对最低温度	-12.5℃
设计最高温度	32℃
设计最低温度	1.6℃

② 湿度：

年平均相对湿度	77%
32℃时的相对湿度	72%

③ 气压：

年平均气压	980毫巴
设计气压	"

④ 雨雪：

年平均雨量	1363毫米
年最大雨量	2294.2毫米
雷电日数	46.3天/年
最大积雪深度	310毫米

⑤ 蒸发量：

年平均蒸发量	1609.4毫米
--------	----------

⑥ 风：

设计风压

离地面高度

10米

20

压力(最大)

55×1.0公斤/米²

55×1.26

	3 0	55×1.42
	4 0	55×1.54
	5 0	55×1.64
	6 0	55×1.72
	7 0	55×1.79
	8 0	55×1.85
⑦	最大冻土深度	- 0.1 米
⑧	地下水位	- 1.3 米
⑨	地耐力	1.5 吨/米 ²
⑩	地震	无
(2)	工艺设计基础	
①	能力：	
	液氨	41675 公斤/小时
	二氧化碳	56000 "
	粒状尿素	72500 "
②	消耗：	
	见表 1-1	
2	采用规范和标准	
(1)	基本规范和标准：	
设备的设计和制造一般按照下列美国或欧洲规范和标准来进行：		
压力容器	ASME V Ⅲ 第一、二部分	
焊接程序	ASME IX	
热交换器	TEMA-C	
贮 罐	API 650	
管 道	ANSI·B31·3 (包括 ASA·B16-5)	
离心压缩机	API 617	
往复压缩机	API 618	
一般用透平	API 611	
特殊用透平	API 612	

减速器

AGMA 421.06

电气

IEC 的推荐

仪表

ISA, API, RP550 及 SSI

(1968年3月)

钢结构

CM66 钢结构计算规范

(regles de calcul des
construction enacier)

危险区域

NEC-API-500-4a 条及 500-4b 条

(2) 特殊规范

多层容器

制造厂家标准和 ASME D III 第二部分

尿素高压设备

斯太米卡本说明及 A.D. MerKb-

氨高压设备

latter

特殊设备

制造厂家标准

转化炉管

特殊计算

仪表、流量测

Heuter 标准 SGT-N 1001

量装置

AFNOR 标准 (法文)

三、设备概貌

常称, 大型合成氨厂有四大主机七大件。即天然气压缩机 (以天然气为原料时)、合成气压缩机、冰机、CO₂ 压缩机; 一段转化炉、高压废热锅炉、CO₂ 吸收塔、再生塔、氨合成塔、氨球罐、尿素合成塔。这是指其在工艺流程中的重要性, 设备制造的技术复杂程度和设备吨位重量而言。

按图 1-1 工艺流程图, 与引进美国、日本同类装置相比较, 本引进合成氨装置的设备特点可概括为: 采用侧壁烧嘴箱式一段转化炉; 径向高压多层热套氨合成塔 ($P = 269$ 公斤/厘米²); U 型管式高压废热锅炉; 大型氨球罐 ($V = 8250$ 米³)。

(1) 一段转化炉

为侧烧式转化炉。这种炉型是由丹麦贺尔达·托普索 (HALDOR TORSØE) 公司提出的, 故又称托普索炉。据介绍, 这种炉子国外已

有50多座投入生产，用以生产氢和城市煤气，并生产合成原料气制造合成氨，合成甲醇和羰基合成等。本一段转化炉具有两个平行排列的辐射室及其共用的烟道气对流段，每个辐射室有一组垂直安装的充填RKNR型镍触媒的高铬镍合金钢管（ASTMA351HK40），每个室分为五段，每段29根炉管，排成双列。全炉共 $29 \times 5 \times 2 = 290$ 根炉管。每段联有一根分集气管，分集气管与内衬耐火材料的总集气管相连。炉管上下端与猪尾管（又称“发夹管”）连接，当转化管破裂漏气时，只需把上下猪尾夹住而不用停炉换管。下猪尾管又与一系列独立的水平分集气管相连接，分集气管可有适当的位移，从而避免相关部件受热膨胀而造成过渡的变形。炉子下部设有大梁支承全部炉管重量，省去炉管上部弹簧悬挂或平衡装置，炉管装拆比较方便。对流段设在顶部，可节省风机的部分动力。辐射室出来的烟道气，由两台安装在对流段顶部的风机抽吸，风机由蒸汽透平驱动。对流段内装有工艺气体和蒸汽预热器，第二段工艺空气予热气，高压蒸汽过热器，第一段工艺空气予热器和低压锅炉给水予热器。安装比较紧凑。

炉壁上装有480个自吸式碗形辐射烧嘴，烧嘴在每室两侧分成六排排列。火焰朝炉壁喷烧，利用炉墙和辐射热加热炉管，可减少火焰对炉管的冲击，延长炉管寿命而且炉子轴向温度较均匀。烧嘴能力可在35—125%范围内调节，生产灵活性大。

一段转化炉的承包商H.P.烧嘴，耐火砖，钢结构，炉管等由不同的分包厂家制造。其中炉管由法国Faser供应。炉体由克洛索—卢瓦厂制造。

(2) 废热锅炉

废热锅炉为立式U型管水管式。设于二段炉后。产汽能力181吨/小时。管程操作压力10.6公斤/厘米²（绝），壳程3.1公斤/厘米²（绝）；传热面积719米²，传热管 $\varnothing 25.4 \times 2$ 毫米，共646根，正三角形排列，管间距34毫米，管子热强度达300000千卡/小时·米²，比凯洛格插入管式高得多。锅炉壳体分高中压两部分，管板以上壳体和封头为高压管箱，管板以下为中压部分。高压管箱与管板焊接成整体，管板兼作上法兰，管子与管板用

胀、焊连接。下法兰与中压壳体连接，锅炉全部重量由四个带止推球轴承的耳式支座支承。汽包操作压力为 106公斤/厘米^2 ，内径 $\varnothing 2000$ 毫米，壁厚 90 毫米，两端为半球形封头，壁厚 55 毫米，每侧装有一个乳液分离器和液滴分离器，筒体长 18000 毫米，由钢架支承，置于 32 米高度处。为便于建立水的自然循环，附有一台锅炉工艺泵和开工文丘里。

废热锅炉的制造厂家是P.T.C (PECQUET TESSON & CLC) 汽包分由另外两个厂制造。其中S.V.C.M厂制造二个，大西洋厂 (CHANTIERS d' ATLANTIQUE) 制造一个。

(3) 氨合成塔

本装置采用径向流动合成塔。这种塔型是丹麦托普索公司首先设计使用的，故又称托普索径向塔。1964年开始在大型合成氨厂中应用，到1972年为止，全世界已有27个产量在 460 吨氨/日以上的径向塔投入使用。其中有四个日产量为 1500 吨氨/日，一个为 1700 吨氨/日。 3000 吨氨/日的塔已在设计。在全世界当前使用的大型氨合成塔中，径向塔的数量仅仅次于美国凯洛格的瓶式轴向塔而居第二位。

本塔的特点是径向二段冷激，合成压力高，触媒粒度小，压降低，大封头，塔径小，塔体多层热套。

根据合成气压缩机的打气压力及触媒活性温度诸因素的决定，本塔工作压力为 269公斤/厘米^2 (设计压力 295公斤/厘米^2) 工作温度为 $375\sim 530^\circ\text{C}$ ，塔内径 $\varnothing 2035$ 毫米，壁厚 153 ($39+38\times 3$) 毫米。

触媒管为双层圆筒结构，长 16.9 米。沿长度方向分为上、下两段，分别为第一触媒床与第二触媒床。共装触媒 31.8米^3 ，触媒颗粒大小分别为 $3\sim 6$ 毫米与 $1.5\sim 3$ 毫米。上层触媒床装予还原触媒 (KMI型)。合成塔全塔压降为 $2.5\sim 4\text{公斤/厘米}^2$ 。

热交换器置于塔下部。为一般列管单程式，管子 $\varnothing 13\times 1.2$ 毫米， 7066 根。管外装有圆形和环形折流挡板。

塔顶有等径平盖大封头，触媒管和热交换器可以吊出检修。

但是，径向氨合成塔内件较复杂，气体容易短路。触媒不能从塔床卸出（使用布袋装填和真空抽吸），还需配备高框架和大型内件起吊装置，这是不足之处。

本塔筒体的制造为多层不加工热套，材料为Ni-Mo-V钢，相当于美国ASTM SA302GrC钢，内筒厚39毫米，外层各厚38毫米。多层热套式高压容器除具有组合式容器的一般优点外，和多层包扎式相比，由于层数较少，具有制造周期短，材料利用率高，不需要专门加工装备等优点。因此，目前世界各国在石油化工高压容器的制造上已广泛采用了多层热套工艺，其中不加工多层热套工艺不需要重型压延设备和包扎装置，正为越来越多的国家所重视。仅美国就生产了400台。运转结果证明质量较好。日、英、法、捷克等国也在生产。在“独立自主，自力更生”的方针指引下，我国哈尔滨锅炉厂在1959年便开始对热套容器进行试验研究，1971年正式进行试制，并已在某化肥厂投入运转。1974年以来，在一机部组织与规划下，东方锅炉厂，通用机械研究所，兰川石油化工机器厂等单位共同进行了试验研究及试制攻关，取得了大量试验数据，并正式进行生产，推广使用。

引进法国氨合成塔由法国C.M.P厂（CONSTRUCTIONS METALLIQUES DE PROVENCE）制造。内件由C.I.C.S厂制造。

(4) 氨球罐

全装置只设置一个液氨球罐，容积8250米³，为引进十三套化肥装置中容积最大者。球罐平均直径为25100毫米。装填系数为0.96。操作压力4.1~4.7公斤/厘米²（绝），操作温度-1°~+2°C。共分六带，自底（盖）至顶（盖）厚度分别为21.5、21.5、24.7、20.5、17.5、15.7毫米。16根∅1016毫米的支柱（焊接钢管）沿赤道带切向布置。

球罐制造厂家为TILSOP。

第六章 反 应 器

目 录

一、概 述.....	1
二、材料选用.....	12
三、结构特点.....	13
四、制造、安装和验收.....	15
五、二段转化炉.....	18
1. 概 述.....	18
2. 技术特性.....	18
3. 材料选用.....	19
4. 结构特点.....	19
5. 衬里的施工程序.....	23
6. 衬里的烘干与开工准备, 操作和维修.....	24
7. 衬里厚度的核算.....	24

一、概述

本装置计有八台反应器。其中转化工段有二段转化炉(F1202) 脱硫工段有加氢反应器(二台, D1101、D1105)、脱硫槽(二台, D1106、D1107); 变换工段有高温变换炉(D1310)、低温变换炉(D1302); 甲烷化工段有甲烷化炉(D1404)。

本章介绍的反应器均为固定层反应器, 每个反应器根据工艺要求分别填装不同类型和规格的触媒。

八台反应器中, 二段转化炉(F1202)是内衬耐热衬里设备, 其它七台在结构上有其共性。所以, 除二段转化炉单独介绍外, 其它七台只作综合叙述。

编写的内容取自直至目前为止法国赫尔蒂公司所提供的资料。虽然有些内容我们认为对设备设计很有参考作用, 但法商却没有提供这方面的资料, 所以也就无法编入。

八台反应器的主要技术特性参数见表 6-1。

表 6-1

反 应 器 技 术 特 性 表

设备名称及位号	介 质	温度(°C) 操作/设计	压力(kg/cm ²) 操作/设计	规 格	材 料	触 媒 型 号 高度、容积	腐蚀裕度 (mm)	设 计 规 范
予脱硫加氢反应器 (D1101)	气化石脑油 +循环气	415/420	29/39	D _内 :1900×(31+2) H=7414	A387GrCN+ A240TR321	CMK-2.4.95M ³ h=1850	无	ASME VIII-2
加氢反应器 (D1105)	气化石脑油 +循环气	400/430	37/48	D _内 :2254×48 H=8390±13	SA387 GrCN	CMK-2.9.9M ³ h=1150×2	3	"
脱 硫 槽 (D1106)	"	390/430	"	D _内 :2110×45 H=11450±13	"	HT2-3 h=2650×2 9.15×2=18.3M ³	3	"
脱硫槽 (D1107)	"	"	"	"	"	"	"	"
高温变换炉 (D1301)	工艺气体(CO, CO ₂ , H ₂ ……)	425/480	29.5/35	D _内 :4800×48 H=12355±13	"	SK-2 h=1600 ×2 58M ³	1	"
低温变换炉 (D1302)	"	238/300	27.8/35	D _内 :4800×65 H=13021±13	SA515Gr70	LRS h=1900×2 34.4×2=68.8M ³	1	"
甲烷化炉 (D1404)	"	353/460	26.3/31	D _内 :3000×46 H=9140±13	SA387GrCN	PK-2R h=2800 20.5M ³	1	"
二段转化炉 (F1202)	工艺气体+空气	150/250	31/38	D _内 :4750×59 H=13010	SA302-8	RKS h=3322 26.4M ³	1	ASME VIII-2

D_内:设备内径(mm) , H:设备总高(mm) , h:触媒层高(mm)

三 材料的选用

七台反应器（不包括二段转化炉）是处在中温（ $300\sim 480^{\circ}\text{C}$ ）中压（ $31\sim 48\text{ kg/cm}^2$ ）下工作，介质中有氢和硫化物（指脱硫部分）的腐蚀。因此材料的选用需考虑既有良好的中温耐热性和足够的强度，又要具有良好的抗氢腐蚀和耐硫化物腐蚀（指脱硫部分）的性能。

法商在这七台反应器主体部分（壳体、封头）的材料选用上基本综合考虑了上述因素，较合理地选用了材料。

从表6-1中可看出，除低温变换炉（D1302）选用A515Gr70（C-Mn系的低合金高强度钢）外，其它六台设备均选用SA387GrCN（ $1\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$ 系的低合金高强度钢）。因为这六台反应器的操作温度较高，SA387GrCN的中温耐热性和强度以及抗氢腐蚀性能都比A515Gr70要好。

脱硫工段的反应器不仅要抗氢腐蚀；而且还要抗硫化物的腐蚀。法商对脱硫工段的反应器的选材作如下处理：予加氢反应器（D1011）其介质中含硫化物浓度较高（约为430PPm），故选用不锈钢复合板制造，其复层不锈钢为A240TP321；其它三台设备介质中含硫化物的浓度较低（约为10PPm），只是在设备壁厚上增加腐蚀裕度来解决，选取腐蚀裕度为3mm。我们认为这样的处理还是可以的。

七台反应器的主要零部件的选材列于表6-2。

表6-2 反应器主要零部件用材

零 部 件 名 称	材 料
法 兰	SA182F11 SA181II
接 管	SA355P11 SA335P11 A106B
格 栅	AISI 304
裙 座	SA387GrCN A515Gr70
垫 片	5cr-0.5Mo
设备外部附件（梯子、平台、外部螺栓、螺母、支撑件等）	A383C (E24-2) 外部螺栓、螺母 A193GrB18 A194Gr2H
设备内部附件	SA387GrCN 螺栓、螺母 A307B