

引进装置设备技术资料

球 罐 与 废 热 锅 炉

~法国三十万吨合成氨引进装置~

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

Handwritten text in a cursive script, likely a signature or title, located at the top of the page.



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、有特点的设备及其部件，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灰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，广东化工学会，广州石油化工厂参加。由于篇幅较大，将分册进行出版，本分册内包括了第三章球罐与第八章废热锅炉二章，均由南京化工学院执笔进行汇编。

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，希望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

一九七七年五月

*
*
*
*
*
*
*
*
*
*

第 三 章

球 罐

第三章 球罐

目 录

一、概述	1
1. 氮球罐的结构特点	1
2. 主要技术参数	2
二、氮球罐的材料	3
三、氮球罐设计	5
1. 结构设计	5
2. 强度设计	7
四、氮球罐的安装	25
1. 氮球罐球板的储存、运输及堆放	27
2. 预制件的检验	27
3. 基础和地脚螺栓位置的复测	28
4. 支柱的组装	29
5. 下赤道带的安装	29
6. 上赤道带的安装	30
7. 下温带的安装	30
8. 上温带的安装	31
9. 上极板的安装	31
10. 下极板的安装	31
11. 安装检验和允许偏差	31
12. 支柱封固	32
13. 安装用的主要工夹具	32
14. 安装施工和管理	32

五	氨球罐的焊接	33
1.	焊接用材与试验	34
2.	焊接概述	35
3.	焊接方法和焊接设备的选择	38
4.	焊接准备	38
5.	焊接	39
6.	缺陷的修补	42
7.	附件的焊接	43
8.	焊工培训与考核	44
9.	焊接检验	45
六	氨球罐的水压试验	46
1.	水压试验的目的	46
2.	水压试验系统流程	46
3.	水压试验条件	47
4.	水压试验程序	47
5.	水压试验结果	49
七	氨球罐的保温	53
1.	保温材料与其特性	53
2.	结构	55
3.	施工顺序与方法	55

一、概 述

球形容器是一种优良的容器，与其它形状的贮罐比较，它具有在同一容积下表面积最小、材料消耗少，占地面积小，以及在同一压力下壁厚最薄的优点。同时，由于球体表面积最小，因而它的散热面积也小，这对贮存物料的保温、保冷带来很大的方便。鉴于上述特点，因此，球罐被石油化工、合成氨工业等广泛地应用于贮存气体、液化气和液体物料。目前，随着高强度钢种和整体热处理技术采用，球罐制造水平、组建机械化和自动化程度不断提高，球形贮罐正在向高参数、多品种、大型化方向迅速地发展。

最近，我国从法国赫尔蒂公司引进的三套单产30万〔吨〕合成氨装置中，液氨的贮存，就采用了球形贮罐（简称氨球罐）。

这台氨球罐直径 $\phi 25.1$ 〔米〕，公称容积8250〔立方米〕，贮氨能力5000〔吨〕。在南京栖霞山化肥厂建设工地负责球罐组建施工的是江苏省第四安装公司，法方派有二名技术人员在现场。

施工过程中，工人阶级和革命的技术人员在党的领导下，坚定地执行毛主席的无产阶级革命路线，坚持“独立自主，自力更生”的方针，并根据我国的具体情况，充分发挥我们自己的创造性和特长，为球罐的组装施工等方面积累了许多成功的经验。

下面，首先就氨球罐的结构特点、工艺参数等作一个简扼的说明。

1. 氨球罐的结构特点

氨球罐主要由球壳、支柱、底座、基础、扶梯、平台、保冷设施和附件等部分组成。如图3-1所示。

球壳共分六带，即：上极带、上温带、上赤道带、下赤道带、下温带和下极带。每带的中心夹角均为 36° 。（见图3-1）。整个球壳由136块瓣片组成，上下极带各有4块瓣片，其余各带都是32块。它们的厚度与重量列于下表：

表 3 - 1 球瓣片的厚度与重量表

带	上极带	上温带	上赤道带	下赤道带	下温带	下极带
壁厚(毫米)	15.7	17.5	20.5	24.7	21.5	21.5
总重(公斤)	3200	32×1600	32×3000	32×3600	32×2000	4400

支柱为赤道正切式支撑。(由于赤道部位为一环焊缝,所以实际上支柱与球板的连接点位于赤道之下。)支柱采用外径 $\phi 1016$ [毫米],壁厚12 [毫米],总长13800 [毫米]的钢管16根,钢管均由钢板卷制焊接而成。每根支柱均分为上、下两部分。上部的材料与球壳板相同,它与下赤道球板的装配焊接在制造厂完成,探伤并经过退火消除应力处理后再运往现场工地。下部焊有一块底板,由两只地脚螺栓将其固定在环形钢筋混凝土基础上,支柱安装的中心圆直径为 $\phi 24800$ [毫米]。

支柱间设有拉杆,每根拉杆跨越一根支柱,采取此种拉杆配置形式,是为了减小拉杆与支座水平线的夹角,从而改善拉杆的受力状况,以缩小拉杆的横截面积(本球罐的拉杆直径仅为 $\phi 30$ [毫米])。

为了操作、维修的方便,球罐外部设有扶梯。赤道以上为一段盘旋梯,赤道以下为一段斜直梯,上下交接处有一个小平台,顶部还设置了一个外圆直径为 $\phi 4400$ [毫米]的圆环形平台。所有扶梯、平台的宽度都是700 [毫米]。

为防止外界热量的侵入,保证操作温度,球壳和所有的开孔、接管和支柱等都根据不同情况和要求,采取了以聚氨基甲酸酯板为绝热材料的保冷设施。

2 主要技术参数

公称容积: 8250 [立方米]

球罐中径: $\phi 25100$ [毫米]

贮存物料：液氮

物料比重： $\rho = 0.633$

操作压力：3.7 [公斤/厘米²]

设计压力：4.05 [公斤/厘米²]

试验压力：6.075 [公斤/厘米²]

试验型式：水试

设计温度： $+4^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$

允许负压： -0.16 [公斤/厘米²]

设计装料系数：100%

球罐总重：463 [吨]

操作时最大重量：5710 [吨]

水压试验时最大重量：8713 [吨]

设计制造规范：美国机械工程师协会 (ASME) 锅炉及受压容器规范第八篇第二分篇。

三 氮球罐的材料

本球罐的主要部件用材和材料的有关性能数据见表3-2，表中并将各种材料与中国钢号、美国钢号作了相应对照。

对于所有用材，法方均未提供制造厂的取样情况和检验证明书。我方曾对主要部件材料A52P1进行过拉伸试验，测得其抗拉强度限 σ_b 在52 [公斤/毫米²]左右，屈服限 σ_s 在35~36 [公斤/毫米²]左右，延伸率 δ 在21~22%左右。

三 氨球罐设计

1. 结构设计

(1) 支柱与球壳板连接处的结构：

支柱与壳体的连接采用赤道正切式（接近正切）的结构。

支柱顶部是一个外圆半径 R 为508〔毫米〕的 $\frac{1}{4}$ 球形封头，壁厚与柱体相同，上部柱体长 h_1 为4500〔毫米〕。在距离上部支柱底面200〔毫米〕的部位开有一个 $\phi 8$ 〔毫米〕小孔，充以熔点为 96°C 的易熔金属，以防火灾对柱腿的危害。

支柱与壳体连接处采用了补强板结构，以弥补局部应力产生的影响。补强板材料与壳体材料相同，规格为 $4500 \times 1250 \times 24.7$ 〔毫米〕，两端为半圆形，具体尺寸见图3-2。

为了便于上下两部分支柱的准确装配，在上部柱体末端的内壁预先焊有一个由扁钢制成的园圈，形式与尺寸见图3-3。

有一点应指出，上述结构中，加强板顶部焊缝与赤道环焊缝之间的距离 δ 仅为75〔毫米〕似嫌稍小了一点。

(2) 上下顶盖的开孔与补强结构：

为满足工艺、维护检修和施工等方面的要求，上极板开有人孔、接管口等，图3-4为上极板的管口方位图。下极板仅有一个氨出口，并位于极板中心部位。

对于 $\phi 4$ 〔吋〕以上的接管口；均设有加强圈补强结构，材料与球板相同。每个加强圈上都开有一个 $\frac{1}{4}$ 〔吋〕螺孔，作为气密性试验之用。管口的名称、规格列于表3-3中，表中的焊接方式A、B、C见图3-5。

表3-2 球罐主要部件材料的化学成分和机械性能表

部件名称	钢 号	化 学 成 分 (%)							机 械 性 能			相 应 钢 号		备 注
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	σ_b (kg/mm ²)	σ_s (kg/mm ²)	δ (%)	中 国	美 国	
球板、加强板、支柱封头和上部柱体	A52P1	≤0.24	≤0.60	≤0.90	≤0.05	≤0.05			≥52	≥36	≥22	16Mn	A537GrA	
支 柱	L30-2	0.25~0.29	-	0.80~1.00	0.05	0.04			58~60	36	23	A ₂ 、A ₃ F	A131	
支柱底板	E24-2				0.05	0.04			55~65	30	25		A283C	
地脚螺丝	A37								37~44	24	21~27	A ₂ 、A ₃ F	A131	
拉 杆	E24-1											A ₂ 、A ₃ F	A131	
法 兰	A181-1	0.35	-	0.90	0.05	0.05			60	30	22		A181 Gr-1	
接 管	A106-B	≤0.30	≥0.10	0.29~1.06	≤0.058	≤0.048			≥60	≥35	≥22		A106-B	
接管插入孔用	螺栓	A193-B7	0.38~0.48	0.20~0.35	0.75~1.00	≤0.04	≤0.04	0.8~1.00	0.15~0.25				A193B7	高温用合金钢和奥氏体钢螺栓
	螺母	A194-2H	≥0.40			0.05	0.05					45#	A194 Gr-2H	

表 3 - 3 接 管 表

位 号	名 称	管 口 直 径	法 兰		配管 壁厚 (mm)	加 强 板		焊 接 方 式	螺 栓			热 片 厚 度 (mm)	备 注
			规 格*	厚度 (mm)		直径 ϕ (mm)	厚度 (mm)		数量	直径 ϕ (mm)	长度 (mm)		
P ₂	压 力 计	2"	WN ASA 300RF	22	5.53			C	8	16	90	2	
T	温 度 计	2"	WN ASA 300RF	22	5.53			C	8	16	90	2	
P ₂	压 力 计	2"	WN ASA 300RF	22	5.53			C	8	16	90	2	
H	液位指示器	2"	WN ASA 300RF		5.53			C	8	16	90	2	
L	液位报警器	6"	WN ASA 300RF		10.97	340	21.5	A	12	20	130	2	
B ₂	氨吸入管	4"	WN ASA 300RF		8.56			A	8	20	130	2	
G	液 位 计	8"	WN ASA 300RF	41.5	12.7	440	21.5	B	12	22	150	2	
S	安 全 阀	4"	WN ASA 300RF		8.56	240	21.5	A	8	20	130	2	
A ₂	冰机氨入口	2"	WN ASA 300RF		5.53			C	8	16	90	2	
A ₁	氨 入 口	4"	WN ASA 300RF		8.56	240	21.5	A					
M ₂	人 孔	20"	WN ASA 300RF	63.5	16	1020	21.5	A	24	33	225	2	法兰带吊柱
M ₁	人 孔	20"	WN ASA 300RF	63.5	16	1020	21.5	A	24	33	225	2	"
B ₁	氨 出 口	6"			10.97	340	21.5	A					位于下极板

* WN——长颈对焊，RF——凸面法兰。

(3) 支柱底座结构：

支柱底座为 $1850 \times 1850 \times 900$ [毫米] 的钢筋混凝土基础。在安置二个 $\phi 36$ [毫米] 的地脚螺栓部位，预先留有 $400 \times 400 \times 900$ [毫米] 的空间，目的在于组装完毕，进行调正之后二次灌浆用。灌浆用“EMBECCO”砂浆，8天后进行水压试验。

另外，在支柱与支柱底座上焊有拉杆的上下固定筋板。见图3-6所示。

2. 强度计算：

结构尺寸见图3-7所示。

(1) 球壳应力验算：

A. 许用应力：

设计球罐时，应使球罐在操作和水压试验状态下的应力不超过下列各值：

操作状态下：

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b \cdot \phi}{n_b} = \frac{52 \times 1}{3} = 17.33 \text{ [公斤/毫米}^2\text{]}$$

式中：

$[\sigma]$ ——材料在操作状态下的许用应力 [公斤/毫米²]

σ_b ——设计温度下材料的抗拉强度 [公斤/毫米²]

n_b ——材料抗拉安全系数 $n_b = 3$

ϕ ——焊缝系数 $\phi = 1$

水压试验状态下：

$$[\sigma]_{\text{水}} = 0.9 \phi \sigma_s = 0.9 \times 1 \times 36 = 32.4 \text{ [公斤/毫米}^2\text{]}$$

式中：

$[\sigma]_{\text{水}}$ ——材料在水压试验状态下的许用应力 [公斤/毫米²]

σ_s ——设计温度下材料的屈服强度 [公斤/毫米²]

支柱中的应力不得超过下列各值：

$$\text{操作状态下: } [\sigma_1] = \frac{\sigma_s}{n_s} = \frac{30}{1.5} = 20 \text{ [公斤/毫米}^2\text{]}$$

$$\begin{aligned} \text{水压试验状态下: } [\sigma_1]' &= 0.9\sigma_s = 0.9 \times 30 \\ &= 27 \text{ [公斤/毫米}^2\text{]} \end{aligned}$$

地震条件下: $[\sigma_1]''$ —— 不予考虑

拉杆中的应力不得超过下列各值：

$$\text{操作状态下: } [\sigma_2] = \frac{\sigma_s}{n_s} = \frac{24}{1.5} = 16 \text{ [公斤/毫米}^2\text{]}$$

地震条件下: $[\sigma_2]''$ —— 不予考虑

B. 计算公式：

由于气压所形成的球壁上任何一点的单位内力均相等：

$$N_1 = N_2 = 5RP$$

由液压头和所装物料的重量所引起的单位内力为：

① 赤道线以下任一纬线上：（见图 3-8）

$$N_1 = \frac{\gamma \cdot R}{2} \left[H + \frac{h(3R-h)}{3(2R-h)} \right]$$

$$N_2 = \frac{\gamma \cdot R}{2} \left[H - \frac{h(3R-h)}{3(2R-h)} \right]$$

② 赤道线以上任一纬线上：（见图 3-9）

$$N_1 = \frac{\gamma \cdot R}{2} \left[H - \frac{h(3R-h)}{3(2R-h)} \right]$$

$$N_2 = \frac{\gamma \cdot R}{2} \left[H + \frac{h(3R-h)}{3(2R-h)} \right]$$

式中：

N_1 ——单位经向内力，以单位纬向弧长（以直线距计，
〔毫米〕）所受的力（公斤）表示〔公斤/毫米〕；

N_2 ——单位纬向内力，以单位经向弧长（毫米）所受的力
（公斤）表示〔公斤/毫米〕；

P ——气相压力〔公斤/厘米²〕；

γ ——物料重度〔公斤/米³〕；

R ——球壳半径〔米〕；

H ——某一标高处液体高度〔米〕；

h ——某区高度〔米〕。

C. 本球罐壳壁应力验算：

经向应力：

$$\sigma_1 = \frac{\Sigma N_1}{S_c - C}$$

纬向应力：

$$\sigma_2 = \frac{\Sigma N_2}{S_c - C}$$

式中：

S_c ——球罐厚度（包括腐蚀裕度的壁厚），〔毫米〕；

C ——腐蚀裕度 取 $C = 1$ 〔毫米〕

将 $h = R - R \cos \theta$

$H = 2R - (R - R \cos \theta)$ （适用于赤道以下部位）

$H = h = R - R \cos \theta$ （适用于赤道以上部位）

代入上述各式，简化后得下表各值：

表 3-4 各区应力计算值

部 位	公 式	操 作 状 态			水 压 试 验 状 态		
		ΣN_1 kg/mm	ΣN_2 kg/mm	σ kg/mm ²	ΣN_1 kg/mm	ΣN_2 kg/mm	σ kg/mm ²
下 盖 $\theta = 0^\circ$	$N_1 = N_2 = 5RP$	254.1	254.1	17.26	381.2	381.2	26.27
	$N_1 = N_2 = \gamma R^2$	99.7	99.7		157.5	157.5	
		353.8	353.8		538.7	538.7	
下赤道区 $\theta = 54^\circ$	$N_1 = N_2 = 5RP$	254.1	254.1	14.53	381.2	381.2	22.10
	$N_1 = 0.906\gamma R^2$	90.3	-		142.6	-	
	$N_2 = 0.682\gamma R^2$	-	68.0		-	107.4	
		344.4	322.1		523.8	488.6	
上赤道区 $\theta = 90^\circ$	$N_1 = N_2 = 5RP$	254.1	254.1	17.29	381.2	381.2	26.27
	$N_1 = 0.166\gamma R^2$	16.5	-		26.1	-	
	$N_2 = 0.833\gamma R^2$	-	83.0		-	132.2	
		270.6	337.1		407.3	512.4	
上 区 $\theta = 54^\circ$	$N_1 = N_2 = 5RP$	254.1	254.1	17.32	381.2	381.2	26.13
	$N_1 = 0.094\gamma R^2$	9.3	-		14.8	-	
	$N_2 = 0.318\gamma R^2$	-	31.7		-	50.0	
		263.4	285.8		396.0	431.2	
上 盖 $\theta = 0^\circ$	$N_1 = N_2 = 5RP$	254.1	254.1	17.28	381.2	381.2	25.93
	$N_1 = N_2 = 0$	0	0		0	0	
		254.1	254.1		381.2	381.2	