

引进装置设备技术参考资料

球罐与换热器

~日本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

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，分成美国三十万吨合成氨、日本三十万吨合成氨、法国三十万吨合成氨、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。

由日本东洋工程公司引进三十万吨合成氨装置设备技术资料汇编共分：概况与材料；工业炉；废锅、反应器、过滤器、消声器；球罐与换热器；高压设备；塔与零部件六个分册。分别对转化炉、加热炉、工艺气体和烟气废热锅炉、反应器、典型容器和过滤器、消声器、氨球、中低压换热器、氨合成塔、氨分离器、CO₂吸收和再生塔以及主要材料和标准零部件做了扼要介绍，并附有装置和主要结构图。参加

汇编的单位有四川省化工第一设计院、上海市化工局设计室、华东石油学院、自贡东方锅炉厂、四川化工厂、四川化机厂、兰化公司设计院、山东胜利石化总厂设计院。由于资料收集不全、编写人员水平有限，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接装单位热情予以支持和帮助，特此致谢。

上海化工设计院石油化工设备设计建设组

1977年4月

目 录

第十章 球 罐..... 3

第八章 换热器..... 51

目 录

第一节	概 述	3
第二节	球罐材料的选择要求	7
第三节	设 计	8
一	强度计算	8
二	结构特点	19
三	安全、防火,保冷设施与结构	20
第四节	球面板制造	22
一	制造工序	22
二	球面板储存、运输、吊运、堆放要求	23
第五节	焊 接	24
一	焊接材料的选定与要求	24
二	焊条干燥	25
三	焊接予热与后热	25
四	焊接接头机械性能与韧性要求	26
五	焊接输入热量	27
六	焊后热处理	27
七	焊工考核及培训	28
第六节	现场安装与焊接	29
一	安装工序	29
二	焊接工艺	32
三	安装工夹具	35
第七节	球罐检验与施工质量	35
一	检验项目	36
二	返修工艺	44
三	球罐施工的几点看法	47

目 录

一、概 述	51
二、工程规范	55
(一) 范 围	55
(二) 特殊要求	55
(三) 设计规定	55
(四) 制造与检验	60
三、几种换热器简介	61
(一) 固定管板式	61
(二) U型管式	62
(三) 填函式浮头	62
(四) 淋洒式	62
四、壳程(管间)结构	62
(一) 折流板	62
(二) 分割流板	63
(三) 分流板	63
(四) 支承板	64
(五) 防冲挡板	64
五、管箱法兰的密封	65
(一) 固定式管板	66
(二) 不兼作法兰的管板	66
(三) 法兰密封面的平面变形	66
(四) 特殊的榫槽面密封结构	67
六、带波纹管式浮头换热器	67
(一) 正常操作时的情况	68
(二) 带波纹管式浮头换热器是比较理想的结构	68
七、管子与管板的连接	68
(一) 胀 接	68
(二) 胀焊结合	68

第 十 章

球 罐

目 录

第一节	概 述	3
第二节	球罐材料的选择要求	7
第三节	设 计	8
一	强度计算	8
二	结构特点	19
三	安全、防火,保冷设施与结构	20
第四节	球面板制造	22
一	制造工序	22
二	球面板储存、运输、吊运、堆放要求	23
第五节	焊 接	24
一	焊接材料的选定与要求	24
二	焊条干燥	25
三	焊接预热与后热	25
四	焊接接头机械性能与韧性要求	26
五	焊接输入热量	27
六	焊后热处理	27
七	焊工考核及培训	28
第六节	现场安装与焊接	29
一	安装工序	29
二	焊接工艺	32
三	安装工夹具	35
第七节	球罐检验与施工质量	35
一	检验项目	36
二	返修工艺	44
三	球罐施工的几点看法	47

第十章 球 罐

第一节 概 述

球形容器是最优良的高压容器，在一定的体积下，表面积最小。在承受相同的内压，直径相等的情况下，球形容器的壁厚要比园柱形容器的壁厚小一半，除了节约钢材外，球形容器还有占地面积小，设备高度低，易于维护保养等优点。因此，在石油化工生产中，已得到了广泛的采用。

由日本东洋工程公司引进的日产千吨的合成氨装置，液氨贮存采用球罐，球罐容积 5200 M^3 ，在 4 kg/cm^2 表压下贮存 2800 吨液氨。

液氨球罐组装图见图 10-1-1

设 计 条 件

法 规		高压气体控制法规
贮存物		液 氨
比 重		0.638
几何容量		5200 M^3
操作	压力	4.0 kg/cm^2 (表)
	温度	3.4°C
设计	压力	5.0 kg/cm^2 (表)
	温度	0°C
风负荷 (胜利)		$35 \sqrt{H} \text{ kg/m}^2$
地震系数 (胜利)		0.15
焊后热处理		仅南北极板
焊缝系数		1.0
腐蚀裕度 (mm)		1.0

材

料

球面板	S P V 3 6
文 柱	S P V 3 6 + S T K 4 I
拉 杆	R S T - III
接 管	S T P G 3 8 S C H 8 0
法 兰	S 2 5 C
螺 栓	S C M 3
螺 母	S 4 5 C
垫 片	T # 1 1 0 0

检 查 和 试 验

球面板	提供工厂检验证明书	
X 射线照相	全部对接焊缝	
水压试验	7.5 kg / cm ² (表)	
气密试验	5.5 kg / cm ² (表)	
焊 接	程 序	按焊接手册
	焊 工	只提供试板
磁粉探伤检查	水压试验前后各进行一次	
着色渗透检查	角焊处, 碳弧气刨后	

涂 漆

准 备	壳 内	喷 砂 除 锈
	外 壳	“ ”
	附 件	“ ”
涂 漆	壳 内	—————
	壳 外	红 丹 两 遍
	附 件	“ ”
坡 口 保 护		银 粉 两 层

附 件

序号	名 称	尺 寸	数 量	备 注
1	平 台	宽 800	1 套	
2	盘 梯	宽 700	1 套	
3	内 梯	宽 400	1 套	
4	接地套管		2	
5	焊 条		150%	
6	阀 门	2"	1	
7	安全伐	—	—	制造厂不供货
8	压力表, 温度计	—	—	“ ”
9	铭 牌		1	
10	玻璃板液面计	—	—	制造厂不供货
11	液面指示计	—	—	浮标式制造厂不供
12	保 温	—	—	制造厂不供货

附 件

序号	名 称	尺寸	数量	备 注
13	安装夹具		1套	
14	备用螺栓螺母		5%	
15	备用垫片		300%	
16	液面计	—	—	差压式,制造厂不供

接 管 表

法兰规格	人 孔		JPII50磅/吋 ²	滑套	凸面
	管 口		JPII50磅/吋 ²	颈焊	凸面
序 号	用 途		尺寸	数量	备 注
M-1	顶部人孔		24"	1	
M-2	底部人孔		24"	1	
N-11	液氮入口		6"	1	
N-17	液氮出口		3"	1	
N-18	氮气出口		6"	1	
N-31	排 污 口		1"	1	
N-33 A B	安全伐接管		6"	2	
N-36 A B	压力表接管		3/4"	2	
N-40 A B	温度计接管		1 1/2"	2	
N-45 A B	液面计总管		2"	2	玻璃板式
N-47	液面计接管		1 1/2"	3	浮标式
N-12	液氮返回管		1"	1	
N-37	压力指示器接管		3/4"	1	
N-48	备 用		4"	1	
N-46 A B	液面计接管		3/4"	2	差压式

球罐内径21.5M,球体采用桔瓣式分割,分为六带:赤道带(19,21mm,2 4块),第一上温带(17mm,2 4块),第二上温带(18mm,2 4块),下温带(20mm,2 4块),南极带(20mm,3块),北极带(17mm,3块)。支柱形式为赤道正切柱式支座,支柱数量1 2根($\varnothing 711 \times 12.7\text{mm}$)。

球面板材料为日本工业标准,压力容器用钢板JIS G3115 SPV36,板厚17~21mm。

球面板由日本石井铁工所制造,检验合格后,运往现场进行组装、焊接、验收。组装、焊接过程中,日方派遣安装、焊接人员各一人在现场配合施工。

* 此球罐总结资料以山东胜利化肥二厂的球罐为主。

第二节 球罐材料的选择要求

球形贮罐用材必须具备必要的强度和韧性,焊接性能良好,价格便宜,易得到。

在日本,为了在现场不进行热处理,使壁厚控制在一定范围内,因此,越来越多地采用高强度钢。

日本制造球罐采用高强度细晶粒钢。一般地说,钢材的强度高则韧性差,而且易脆,有脆性断裂的危险。因此,要求高强度钢具有良好的韧性。为了提高强度和韧性,在高强度钢中掺有各种合金元素。因此,它的可焊性比碳钢差,强度越高,这个倾向越明显,可焊性的好坏可用碳当量来表示。

碳当量(Ceq)计算公式

$$Ceq = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \left(\frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \right)$$

材料的碳当量越低,可焊性越好。但碳当量太低,却得不到规定的强度。因此,需要有适当的碳当量。

日本KHK S0201-1970《高压气体球形贮罐有关规范》对于

常温和低温贮罐材料做了详细的规定。

此球罐的设计温度为 0°C ，球面板材料采用了 SPV36。

表 10-2-1 SPV36 化学成份及机械性能

化 学 成 份 %							
	C	Si	Mn	P	S	Ceq%	
SPV36	0.20以下	0.15~0.55	1.6以下	0.035以下	0.040以下	~0.4	
机 械 性 能							
抗 拉 试 验			弯 曲 试 验		冲 击 试 验 (却 贝 试 验)		
屈服点 kg/mm^2	抗拉强度 kg/mm^2	伸长率% 钢板厚度 16mm以 上	弯 曲 角 度	内 侧 半 径	摆锤式吸收能量 ($\text{kg}-\text{m}$)		
钢板厚度 mm <40 >40					三个试样 平均值	每 个 试 样	
36以上 34以上	53~65	大于18	180°	1.5d	4.8以上	2.8以上	

球面板以外的材料亦做了相应的规定，当球面板使用高强度钢的场合，而支承构件直接焊在贮槽本体上时，则构件材料采用具有与球面板同等以上性能的钢材。

第三节 设 计

一、强度计算

球罐的壁厚，按所用规范的计算公式确定。目前球罐厚度计算公式各国不一致。现列表如下：

	计 算 式	备 注
中国	$S = \frac{P D_B}{4 [\sigma] \phi - P} + C \text{ mm}$	<p>S — 球体壁厚 m m</p> <p>P — 设计压力 kg / cm²</p> <p>D_B — 球体, 内径 m m</p> <p>[σ] — 材料许用应力 kg / cm²</p> <p>φ — 焊缝系数</p> <p>C — 腐蚀裕度, 一般取 C = 3</p> <p>σ_S^t — 在设计温度下材料的屈服限</p> <p>n_S — 屈服安全系数取 n_S = 2</p>
日本通产省高压气体监督法	$t = \frac{PD}{100f\eta - P} + C$ $\sigma_a = \frac{f}{4} = \frac{3.4 - 2\gamma}{4} \sigma_r$	<p>t — 壁厚 m m</p> <p>P — 设计压力 kg / cm²</p> <p>D — 内径 + 2 C m m</p> <p>C — 腐蚀裕量 m m</p> <p>f — (3.4 - 2γ)σ_r</p> <p>对于 (SM) (SPV) 等材料</p> <p>γ — 材料的屈服点与抗拉强度之比, 不足 0.7 者取 0.7</p> <p>σ_r — 材料屈服点 kg / mm²</p> <p>η — 焊缝效率</p> <p>σ_a — 许用应力 kg / mm²</p>
日本劳动省压力容器构造规范	$t = \frac{PD}{400\sigma \times \eta - 0.4P} + a$ $\sigma_a = \sigma \cdot X$	<p>t — 壁厚最小值 m m</p> <p>P — 最高使用压力 kg / cm²</p> <p>D — 内径 m m</p> <p>a — 腐蚀余量 m m</p> <p>σ — 材料抗拉强度 kg / mm²</p> <p>X — 许用抗拉强度与抗拉强度之比</p>

续上表

	计算式	备注
		<p>η—焊缝系数 σ_a—许用抗拉强度 kg/mm^2</p>
<p>日本通产 省气体事 业法</p>	$t = \frac{P D}{400 f \eta - 0.4 P} + C$ $\sigma_a = f = \frac{3.4 - 2\gamma}{4} \sigma_r$	<p>t—壁厚的最小值 mm P—最高使用压力 kg/cm^2 D—内径 mm f—$\frac{1}{4}(3.4 - 2\gamma)\sigma_r$ σ_r—屈服限 kg/mm^2 γ—材料屈服点与抗拉强度之比，不足0.7者取0.7 η—焊缝效率 σ_a—许用应力 kg/mm^2 C—腐蚀裕量 mm</p>
<p>美国 ASME 规范第 VIII 篇</p>	$t = \frac{P R}{2 S E - 0.2 P} \text{ 吋}$	<p>t—壳体最薄壁厚 吋 P—设计压力 磅/吋² (最大许用工作压力) R—内半径 吋(不包括腐蚀裕度) S—最大许用应力值 磅/吋² E—连接系数</p>
<p>西德 A D 规范 B₁</p>	$S = \frac{P D_i}{400 \frac{K}{S} \nu - p} + C \text{ mm}$	<p>P—最高的许可工作压力，计算大气压，kg/cm^2 D_i—球体内径 mm S—安全系数一般取1.5~1.8 K—材料屈服限 kg/mm^2</p>

续上表

	计算式	备注
		ν — 焊缝系数 C — 壁厚附加量 mm
法国	$e = \frac{P R_i}{2fZ - 0.6P}$	e — 球壳最小厚度 mm P — 计算压力 kg/cm ² Z — 焊缝强度系数 f — 公称计算应力, kg/cm ² R_i — 球壳内半径 mm

此球罐壁厚的计算采用《日本通产省高压气体监督法》计算公式。

1. 强度计算

球面板厚度 图 10-3-1

$$t = \frac{P D}{100 f \eta - p} + C \text{ mm}$$

式中： t —— 最小壳体厚度 mm

P —— 计算压力 = 设计压力 + 静压头 kg/cm² (表)

D —— 内径 + 2C

C —— 腐蚀裕度 取 1.0 mm

σ_t —— 抗拉强度 55 kg/mm²

σ_y —— 屈服点 36 kg/mm²

$$\gamma = \frac{\sigma_y}{\sigma_t} = \frac{36}{55} = 0.655 \quad \text{取 } \gamma = 0.7$$

f —— $(3.4 - 2\gamma)\sigma_y = (3.4 - 2 \times 0.7) \times 36 = 72 \text{ kg/mm}^2$

η —— 焊缝系数 取 1.0