

引进装置设备技术参考资料

换 热 器

~辽阳石油化纤总厂引进装置~

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级，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级进行。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。

本篇《换热器》由轻工业部第二设计院一室设备组负责编写了，介绍了辽阳石油化纤总厂引进装置中聚酯系统及尼龙系统中的换热器情况。

上海化学工业设计院
上油化工设备设计建设组
一九七七年十月

目 录

第一节 概述	1
一、概 况	1
二、材料的选择	1
三、设计标准	5
四、设计参数的确定	6
五、水压试验	10
第二节 列管式换热器	11
一、一般介绍	11
二、结 构	16
第三节 蒸发器	24
一、升膜式蒸发器：84E602~E604	24
二、降膜式蒸发器：84E701~E702	28
三、薄膜式蒸发器：85E203	35
第四节 板式换热器	41
一、板式换热器	41
二、板壳式换热器	43
三、螺旋板式换热器	44
第五节 空冷器	46
第六节 特殊型式换热器	46
一、直立翅片空气加热器 84E409	46
二、特殊结构再沸器 72E204A.B	47
三、64#装置用特殊套管式换热器	48
附录一、法国列管式换热器管板计算方法	56
附录二、列管式换热器管箱的设计与安装	81
附录三、“”“”“”“”管束的折流板和支撑挡板	92

换 热 器

第一节 概 述

一、概况：

辽阳石油化纤总厂聚酯系统(64#、71#、72#装置)由法国德希尼布公司设计,尼龙系统(81#~88#装置)由法国斯贝西姆公司设计,共有换热设备425台,设备分类台数,详见表1-1《换热器分类台数统计表》。

全部换热设备的最大设计压力为:壳程41巴;

管程41巴。

最高设计温度为:壳程:420℃;

管程:397℃

最低设计温度为:壳程:-94℃;

管程:-85℃。

各类换热器的技术参数,详见附表一,《换热器一览表》。

二、材料的选择:

1. 高温条件下的选材:

1) 当温度在420℃以下时,一般使用碳钢,

2) 当温度 ≥ 420 ℃时,大多选用含有0.5Mo的低合金钢。如335P₁; 18MD4.05; 15CD4.05等。

对温度再高的条件,设计上选用耐热钢(NFA36-578)。

表 1-1 换热器分类台数统计表

装置号	装置名称	类型	管板式	浮头式	U 管式	套管式	盘管式	板式	螺旋板式	蜂窝式	特殊式	蒸发式	空冷器	总计
64	对二甲苯		2	21	5	12	1						22	63
71	DMT		71	7		2								80
72	聚酯		31	9		24	2				6			72
	合计		104	31	12	38	3				6		22	215
81	硝酸		4		1		1	1	1					8
82	环己烷		2	6	3									11
83	醇酮		31	11	1	1		6	1	2			10	63
84	己二酸		38					4			1		1	43
85	己二腈		27	2	2			3				6	1	41
86	己二胺		26		1	2	1	2					2	34
87	尼龙盐		1											1
88	尼龙结晶		6					2						8
	合计		135	19	8	3	2	18	2	2	1	6	14	210
	总计		239	49	20	41	5	18	2	2	7	6	36	425

2. 低温条件下的选材：

对低温设备的选材基本上是按法国 SNCT-69 规范的原则进行的。对一些用于更低温度的套管式换热器的设计选表见表 1-2。

表 1-2 用于套管式换热器的低温选材

设备位号	介 质		设计温度 ^{°C}		设计压力 ^{kg/cm²}		材 质	
	套 管	内 管	套管	内管	套管	内管	套 管	内 管
64E201	C8 芳烃	滤 液	-28	-73	8.3	8.4	AlumAGS	AlumAGS
64E202	低压蒸汽	滤 液	260	-77	6.5	8.4	A312TP 304L	A312TP ^② 304L
64E211	低压蒸汽	二甲苯	260	-50	6.5	8.4	A312TP 304L	A312TP ^② 304L
64E501	乙 烯	乙 烯	-73	-63	13.9	44.5	6060T5	6060T5
64E502	乙 烯	乙 烯	-94	-85	9.3	29.7	6060T5	6060T5

注① AlumAGS 及 6060T5 均为铝合金翅片管。

② 不锈钢材料选择还与使用条件有关。

3. 对一般换热器的材料选择：

凡为腐蚀性介质或介质氧化后生成腐蚀性产物的设备，均选用不锈钢，对于无腐蚀性介质皆选用碳钢；但对某些中性物料考虑到清净的要求也选用不锈钢。

在聚酯及尼龙系统的换热器中，一般选用了下列材料牌号：（详见换热器一览表）

壳体（以及管箱、封头）材料为：

A42C1，Z2CN18-10，A106B，18MD4.05，
Z8CNDT17-12，Tu37b，Tu37a 等。

管束材料为：

A179，A209T1，Z2CN18-10，Z2CND17-13，
Z8CNDT17-12。

管板材料为：

A105 (或 A181.1, A42C1), A264, A182F1, Z2CN18-10, Z8CNDT17-12。

为了降低成本,对压力小于40巴的无强腐蚀,无泄露危险的场合下,选用厚度较薄的焊接不锈钢管(对缝焊接管)作设备接管和换热器列管。

特殊材料的选用:

除了一般常用材料外,尚选用了下述特殊材料:

设备位号	材料牌号	用途	重量(kg)
86E102	URANUSB6	换热管,管箱,管板	2600
83E212	T 40	壳体,管箱,管板	
83E212	T 35	换热管	

1) 86E102,管程介质为已二胺+水+氢氧化钠,壳程介质为低压蒸汽;操作温度管程135°C,壳程260°C;操作压力:管程0.2巴,壳程6.5巴。而换热管及管板、管箱的材料则选用URANUSB6(天王星B6)材料,近似于我国材料0Cr23Ni28Mo3Cu3Ti(此牌号材质为试制产品)。

该设备管程介质为碱性,温度不算太高,腐蚀不甚严重,为何一定要用含铜的天王星B6不锈钢,而不用一般的不锈钢,尚待研究。

据引进资料介绍,URANUSB6(天王星B6)用于特殊腐蚀的化学介质,特别是磷酸、硫酸和盐酸介质,它是最好的不锈钢。其化学组成和机械性能如下:

化学组成:

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu
≤0.020	≤2	≤1	≤0.030	≤0.040	24~27	19~22	4~48	1~2

机械性能:

σ_B kgf/mm ²	σ_S kgf/mm ²	$\delta\%$ $l = 5.65d$	冲击韧性 α_K kg·m/cm ²	
			常温 U形缺口	低温-196°C V形缺口
>60	>25	直径或厚度 ≤ 50 mm > 40 直径或厚度 > 50 mm > 35	>12	>10

(注：有关天王星 B6 材料的应用、加工、耐腐蚀性能及其它详细情况，可参见我院一九七六年六月译编的《法国不锈钢 URANUS 的资料》。)

2) 83E212，其介质管程为铬酸叔丁酯、叔丁醇、磷酸辛脂，壳程为水。操作温度管程 48°C ，壳程 60°C ，操作压力：管程 50mmHg ，壳程 2.5 巴，从耐腐蚀角度考虑由于物料中含有铬酸，故壳体、封头、盖板、管板、焊环等选用钛材 T40，管子选用钛材 T35，其化学成分和机械性能如下：

4 T 40 化学成分：

Si	C	N ₂	H ₂	Fe	Ti
< 0.025	< 0.06	< 0.04	< 0.01	< 0.1	其余

T 40 机械性能：

σ_B (HB)	σ_s (Hb)	δ (%)
43 ~ 47.5 kgf/mm ²	35 ~ 40 kgf/mm ²	21.4 ~ 40

三、设计标准

(一) 聚酯系统换热设备为法国德希尼布公司设计的，其采用的设计标准为：

1. 法国“SNCTTI-69”；
2. 美国“TEMA”；
3. 德希尼布和斯贝西姆两公司规则（即《化工厂用热交换器的设计和制造专用规则》）。

德希尼布公司的换热器设计，按下原则分级：

1. 管程和壳程压力大于 21 巴时，按“TEMA”“R”级设计。
2. 管程和壳程压力小于 21 巴时，按“TEMA”“C”级设计。
3. 上述分级不包含温度和介质因素。

(二) 尼龙系统换热器为法国斯贝西姆公司设计，其采用的设计标准为：

1. 法国“SNCTTI-69”；

2. 德希尼布和斯贝西姆公司规则。

3. 固定管板式换热器管板厚度的计算方法按本公司规范《法国斯贝西姆公司列管式换热器管板计算方法》；(附后)：浮头、U型按“TEMA”标准计算。

4. 其它有关零部件，如分程隔板、折流板等，均按本公司标准进行设计计算。

四、设计参数的确定：

(1) 设计压力的确定：

承受内压的热交换器外壳，其设计压力应取等于或大于最大操作压力。

在温度足够高至仅考虑材料蠕变性能时，计算公式中所采用的压力，应取等于正常使用的压力，而不是最大操作压力。

承受负压的热交换器外壳，其设计压力(绝对)应取至多等于外壳可能有的最小绝对压力。

热交换器零件在两种或更少条件下操作时，例如根据情况在真空或受压条件下，则必须检验热交换器经受不同操作条件的能力。在此情况下，除另有说明者外，热交换器应设计为两侧受压的部件，能经受在这部件上可能受的最大设计压力(例如该部件一侧承受压力，而另一侧不受压或承受负压)，特别是浮头式换热器有这种情况。

设计压力的选取，按照双方协议按表1-5规定进行。

表1-5 设计压力的选取

操作压力 kg/cm ²	设计压力 kg/cm ²	
	德希尼布公司规定	斯贝西姆公司规定
$P_0 > 10$	$P_D = 1.1 P_0$	$P_D = 1.1 P_0$
$1.5 < P_0 \leq 10$	$P_D = P_0 + 1.0$	$P_D = P_0 + 1.0$
$0.5 < P_0 \leq 1.5$	$P_D = 2.5$	$P_D = 2.5$
常压 $< P_0 \leq 0.5$	$P_D = 2.5$	$P_D = 1.5$
有液封或与大气直接连通	$P_D = P_0$	$P_D = P_0$
真空容器	真空或 $2.5 \sim 4$ kg/cm ²	按最小绝对压力设计(注③)

注：① P_0 为最大操作压力 kgf/cm^2

② P_D 为设计压力 kgf/cm^2

(实际使用中压力单位是以巴计)

③ 斯贝西奥公司对绝对压力 ≤ 500 托的设备，按负压容器考虑进行试验，对承受负压的容器的试验，将根据实际压力情况区分，如对最大操作压力 ≤ 500 托的设备，将以操作条件相密的设计外压 + 20%。

对最大操作压力 ≤ 200 托的设备，将以 50 托 (即负压值为 0.95 巴) 进行试验。

(2) 设计温度的确定：

法国 SNCT-69 规定，以操作中可能出现的最高或最低温度 (指高于零度或低于零度) 作为设计温度。

对换热器设计温度，经协商按下列原则选取：

i 当操作温度大于 0°C 时，以最大操作温度加 15°C 作为设计温度。

ii 当操作温度小于 0°C 时，以最低操作温度加 -10°C 作为设计温度。但在有相变的情况温度不可能再低时，则不可另加 -10°C 。

iii 当材料以蠕变性能作为设计依据时，设计温度为正常操作材料可达到的温度作为设计温度。(而不是以最高操作温度计)

iv 对设备操作温度大于 450°C 时所使用的未保温的设备法兰、螺栓，其设计温度取值为：

法兰以最大操作温度的 90%；

螺栓以最大操作温度的 85%。

v 气温条件确定为：

最低温度取 -28°C ；

最高温度取 $+25^\circ\text{C}$ 。

其它特殊情况，设计温度另行规定。

(3) 腐蚀裕度和最小壁厚：

法国 SNCT-69 规范关于腐蚀裕度和最小壁厚，无明确规定，双方协商对本厂设备具体规定如下：

1. 碳钢和低合金钢腐蚀裕度：

序号	介质特性	腐蚀裕度
1	一般腐蚀介质	3 mm
2	非腐蚀性气体、液体和精制的烯烃 (HC)	1.5 mm
3	15 ~ 30 °C 的冷却水	3 mm
4	中低压蒸汽 (包括锅炉水、冷凝水)	1.5 mm

2. 不锈钢的腐蚀裕度

不锈钢的腐蚀裕度斯贝西姆公司提出，除用于非腐蚀性介质（如水、氮、空气等）其余均不小于 0.5 mm，德希尼布公司提出：不锈钢无腐蚀裕度，但实际使用中，德希尼布公司的相当腐蚀裕度量要比 0.5 mm 大得多。

3. 当设备或零部件两面都与腐蚀性物料接触时，并且设备厚度是以受力计算作为基础的话，设计上将按上述规定，增加两面的腐蚀裕度。

对与大气接触但可用油漆保护的碳钢如设备外壁不考虑腐蚀裕度。

换热器内件的腐蚀裕度应是用于两侧腐蚀的总和，带有分隔内壳体之内壁的浮头式热交换器腐蚀裕度是用于各面的。

注：所附“换热器一览表”中之管程腐蚀裕度系指管箱而言，而不是指管子。

对设备的最小壁厚，法国 SNCTI-69 规范中，无明确规定，斯贝西姆公司确定为：

碳钢设备为 4 mm；

不锈钢设备为 $2 + C$ (C 为腐蚀裕度) mm，对与工艺物料接触的设备实际最小壁厚为 2.5 mm。

(4) 安全系数与许用应力：

材料的许用应力按照法国 SNCT-69 规范，有下述具体规定：

1. 碳钢和低合金钢板取下述值中较小的一个作为设计的许用应力值：

$$\frac{R_E}{X_1} \quad \text{和} \quad \frac{R_m}{X_2}$$

其中 R_m 、 R_E 为材料的强度极限和屈服极限；
 X_1 、 X_2 为相应条件下的安全系数。

X_1 、 X_2 值按下表格定选取：

序号	容 器	材料经检验		材料未经检验	
		W_1	X_2	X_1	X_2
1	符合法国规范的气体压力容器	1.6	3	1.9	3
2	不符合“”“”“”“”“”“”“”“”“”	1.5	2.4	1.9	3
3	蒸 发 器	1.5	2.4	1.9	3

在实际设计中，斯贝西姆公司按上表规定选取安全系数并确定许用应力值，而德希尼布公司则一律按上表三种情况中的第一种情况选取。

设计中，对材料的温度影响予以认真考虑。

2. 奥氏体不锈钢：

奥氏体不锈钢的许用应力按法国政府的规定为：

$$f_E = \frac{R_t}{3.5} \quad \text{在常温时：} \quad f_E = \frac{R_m}{3.5}$$

式中： R_t ：为设计温度下不锈钢的强度限。

R_m ：为常温时不锈钢强度限。

由于设计中都采用屈服限很低，屈服比很小的超低碳不锈钢（Z2CN18-10： $R_m = 45 \sim 55 \text{ kg/cm}^2$ ， $R_E = 18 \sim 19 \text{ kg/mm}^2$ ）所以，其许用应力值均较按屈服强度选取的情况要大得多。

3. 对使用复合钢板的设备若基层和复合层有良好的贴合时，复层应去掉腐蚀裕度后计入壳体厚度中，其复层的许用应力值的选取：

当复层的强度大于等于或接近母材时，则按母材的许用应力一并计算。

当复层的强度较母材低得多时，则应按照 f (复层) / t (基层) 之比值进行相应的缩减，以当量厚度计算。

(5) 焊缝系数与透视量的规定：

焊缝系数的选取一般按 SNCT-69 规范和双方协议的规定进行。

焊缝系数取值和焊缝形式、透视图有关，一般压力容器焊缝系数取 0.8，对无压或低压设备多数取 0.7，对特殊材料或高压的情况下，焊缝系数多取 0.9。

设备焊缝透视检查应在最终热处理之前进行。除非图纸上另有规定，一般均按设备类别规定的最少透视检查量进行检查。

具体透视图按表 1-6 规定。

表 1-6 透视图规定

设备类别	焊缝系数值 ϕ	透视图规定
A	0.8	全部交叉焊缝+10%纵向环向焊缝全长
	0.9	100%透视图检查。
B	0.8	全部交叉焊缝+10%纵向环向焊缝全长
C	0.8	10%纵向环向焊缝全长
D	0.8	10%纵向环向焊缝全长
	0.7	不透视图检查。

注：对 B 类设备，当焊缝系数取 0.9 时，也要求 100% 透视图检查。

五、水压试验：

(一) 受内压的热交换器：

法国德希尼布公司和斯贝西姆公司标准：《化工厂用热交换器的设计和制造专用规则》中规定非奥氏体钢热交换器要在车间试验或现场再试验，并进行检验，任何部位所产生的应力不大于所采用材料屈服应力的 95%。

对于不遵守本规定的热交换器，则按照使用规则所确定的数值进行。

对于使用蒸汽的设备，其使用范围满足法国SNCT-69规范要求者，该规范对水压试验具体规定如下：

当 $P \leq 6$ 则 $P_E = 2P$

当 $6 < P \leq 12$ 则 $P_E = P + 6$

当 $P > 12$ 则 $P_E = 1.5P$

式中： P 为设计压力

P_E 为水压试验压力

对于固定管板管壳式换热器的壳侧试验压力，双方协议书规定为1.5倍壳侧设计压力，并在任何情况下其值不小于管侧的设计压力。

例如71E201， $P_{壳设} = 5$ 巴， $P_{管设} = 35$ 巴，
则 $P_{壳水试} = 35$ 巴。

第二节 列管式换热器

一、一般介绍：

(一) 概况：

聚酯及尼龙系统列管式换热器共有308台，其中固定管板式239台，浮头式49台，U形管式20台，有关技术参数详见“换热器一览表”。

列管式换热器的管程数有以下几种：

固定管板式：1, 2, 4, 6, 8, 12程；（其中12管程只有81E102一台，壳体直径 $\varnothing 1500 \times 18$ ）。

浮头式：1, 2, 4, 6, 8, 10程；（其中10管程只有72E206共3台，壳体直径 $\varnothing 550 \times 5$ ）。

U形管式：2, 4, 6程。

一般以2, 4管程为最多，小直径多管程亦不少。如85E301、 $\varnothing 323.9 \times 9.52$ ，8管程

84E704 $\varnothing 355.6 \times 3$ 8管程等等

列管式换热器中所使用的管子规格、排列型式与管子间距，见表 2-1。

表 2-1 使用换热管规格、排列型式、管间距

换热器类型	材料	管子规格 mm	排列型式	管间距 mm	备注
固定管板式	碳钢	∅19.05 × 2.11	△	25.4	用于聚酯及尼龙系统中
"	"	"	□	25.4	仅用于聚酯系统中
"	"	∅25.4 × 2.11	△	33	仅用于尼龙系统中
"	"	∅25.4 × 2.76	△	33	"
"	"	∅33.4 × 3.38	△	41	"
"	"	∅42.4 × 2.6	□	53	"
"	不锈钢	∅17.2 × 1.6	△	24.2	用于尼龙系统
"	"	∅19.05 × 2.11	□	25.4	用于聚酯系统
"	"	∅21.3 × 2	△	29	" " 尼龙 " "
"	"	∅26.9 × 1.6	△	34	" " " " " "
"	"	∅26.9 × 2	△	34	用于聚酯及尼龙系统
"	"	∅44.5 × 2	△	56	" " " " " " " "
"	"	∅42.4 × 1.6	△	53	用于尼龙系统
"	"	∅42.4 × 2.6	△	53	"
"	"	∅48.3 × 1.6	△	61	"
"	"	∅54. × 1.6	△	68	"
"	"	∅60.3 × 3.6	△	90	"
"	天王星 B6	∅26.9 × 1.6	△	34	"
"	钛材 T35	∅25.4 × 0.9	△	32	"
浮头式	碳钢	∅19.05 × 2.11	□	25.4	用于聚酯及尼龙系统
	"	∅25.4 × 2.11	□	31.25	用于聚酯系统
	"	∅25.4 × 2.11	□	33	用于尼龙系统
	"	∅38.1 × 2.76	□	47.63	用于聚酯系统

续表 2-1 使用换热管规格排列型式、管间距

换热器类型	材料	管子规格 mm	排列型式	管间距 mm	备注
浮头式	不锈钢	∅ 26.9 × 1.6	△	34	用于聚酯系统
		"	□	34	"
		∅ 26.9 × 2	□	34	用于尼龙系统
U形管式	碳钢	∅ 19.05 × 2.11	□	25.4	用于聚酯系统
		"	△	"	"
		∅ 25.4 × 2.11	□	33	用于尼龙系统
	不锈钢	∅ 21.3 × 1.6	△	33	用于尼龙系统
		∅ 26.9 × 1.6	□	34	"
		∅ 26.9 × 1.6	△	34	用于聚酯系统
		∅ 26.9 × 2	△	40	"
		∅ 26.9 × 2	□	34	"

管子长度规格计有：

固定管板式：1000, 1086, 1186, 1390, 1500, 1800, 2000, 2100, 2450, 2600, 2650, 3000, 3050, 3650, 4100, 4520, 5000, 5200, 6000, 6100 共 20 种规格。

浮头式：2500, 3000, 3050, 3650, 4900, 5100, 6100, 7320, 11600 共 9 种。

U形管式：2450, 3650, 3810, 4000, 4900, 5030, 5100, 6100, 11000 共 9 种

壳体直径范围（以外径为基准）：

固定管板式：自 ∅ 114.3 ~ ∅ 2300 mm

浮头式：∅ 323 ~ ∅ 1296 mm

U形管式：∅ 273 ~ ∅ 1800 mm

传热面积：

固定管板式：0.53 ~ 434 M²

浮头式： 9.6 ~ 568 M²

U形管式： 7.9 ~ 600 M²

再沸器的壳体直径在 $\varnothing 193.7 \sim \varnothing 1150$ mm之间。

传热面积在 2.1 ~ 435 M²之间。

浮头式换热器的结构型式有两种：

一种是一般的具有浮头和衬托构件的浮头式，利用浮头盖的浮动来补偿列管的伸缩。如 82E105 等，见图 2-5。

一种是带膨胀节的浮头式，利用膨胀节的伸缩来补偿列管的伸缩，如 64E301·82E101 等，见图 2-3 和图 2-4。

(二) 各类换热器的典型结构示意图：

1. 卧式冷凝器的典型结构示意图：

如图 2-1，71E307

2. 立式再沸器的典型结构示意图：

如图 2-2，71E310

3. 浮头式换热器的典型结构示意图，如：

图 2-3，64E301

图 2-4，82E101

图 2-5，82E105

4. U形管式换热器的典型结构示意图

图 2-6，71E208