

引进装置设备技术资料

一段转化炉

~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

1942-1943

1942-1943

第九章 一段转化炉

目 录

前 言	1
一、概述	2
1. 一段转化炉的工艺流程	2
2. 一段转化炉的操作条件	3
二、一段转化炉——侧烧炉的特点	4
三、转化炉的结构设计	5
1. 总体结构	5
2. 转化炉管	6
3. 上猪尾管	13
4. 下猪尾管	15
5. 进气管	16
6. 分集气管	17
7. 集气总管	18
8. 烧咀（喷咀）	19
9. 对流段	22
四、转化炉的安装	25
1. 一般说明	26
2. 现场安装	26
五、筑炉	33
1. 辐射段	33
2. 对流段	36

3. 集气总管	38
4. 砌筑技术要求	38
六、材料	39
1. 金属材料	39
2. 非金属材料	40
七、炉管的制造	41
1. 炉管合金的冶炼	41
2. 钢水的浇铸温度	41
3. 浇铸钢水包及浇铸速度	41
4. 浇铸用的模子及浇铸前模子的处理和预热	42
5. 浇铸转速	43
6. 炉管浇铸缺陷及其造成的原因	43
7. 管子的加工及检验工序	44
8. 管子的裁选和组配	46
9. 管子的焊接	47
八、烘炉	48
1. 准备	48
2. 烘炉程序	50
九、触媒装卸	53

前 言

南京栖霞化肥厂是自法国赫尔蒂公司引进三套装置中的一套。我们在了解、使用这些资本主义国家的技术时，努力贯彻“洋为中用”的方针，按照“一用、二批、三改、四创”的精神。

对法国引进的这套装置，特别是一段转化炉的性能、结构、材料、制造和检修等进行了整理并选摘了一些结构简图。完成了此项汇编工作，介绍供从事氮肥设计生产的技术人员作参考。

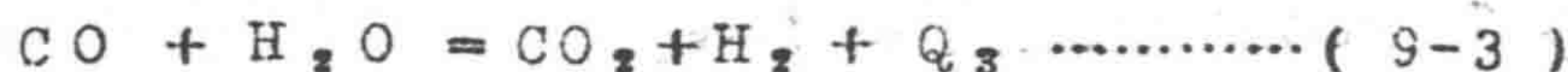
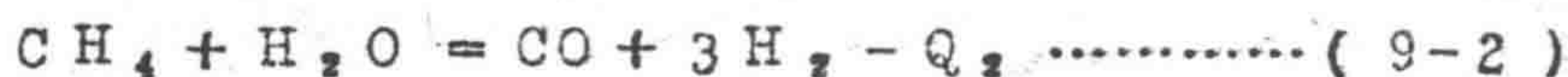
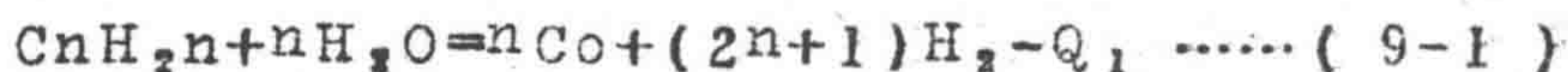
一、概述：

法国赫尔蒂公司引进的几台工业炉，在设计结构、选材制造等各方面基本上都有相同之处，因此本章在汇编时，选了一段转化炉作介绍。

一段转化炉是大型合成氨厂的关键设备，其投资约占整个合成氨厂总投资的15%，所以加深对一段转化炉的认识和了解，对我国化肥工业的建设具有较大的实践意义。

1. 一段转化炉的工艺过程：

一段转化炉（F1201）是以石脑油为原料，采用蒸汽转化法和部分氧化法两者分阶段进行的办法来制取合成氨原料气。一段转化的反应按下式进行：



本装置转化的工艺流程见图（9-1）所示。

经过脱硫后的石脑油气（含0.05 P.P.M 以下的硫）压力为36公斤/厘米²，温度为380℃与压力为37公斤/厘米²，温度390℃，工艺蒸汽混合成水碳比为3.7（注1）然后进一段转化炉对流段工艺气——蒸汽予热器（E1201），予热至490℃（注2），入辐射段顶部的两根进口总管经上猪尾管进入290根装有RKNR（予还原油气共用的镍基触媒）的转化炉管内化学反应，反应后的转化气压为34公斤/厘米²、温度为790℃、甲烷含量为8.9%（干基克分子），由下猪尾管经出口分集气管汇总到两根总集气管再经输气管进二段转化炉（F1202）对残余甲烷进一步转化。

二段转化用的工艺空气经工艺空气压缩机加压至32公斤/厘米²、温度120℃，进入一段转化炉的对流段中的第一工艺空气予热器（E1204），加热到350℃后再进入第二工艺空气予热器（E1202），加热至550℃，送入二段转化炉经二段转化后反应气体含甲烷量约为0.30%，压力为30公斤/厘米²、温度957℃，通过高压废热锅

炉(HI20D)回收热量,温度降至 360°C ,去高温变换。

2 一段转化炉的操作条件:

一段转化反应是在一定温度、压力及有触媒存在的条件下进行的,从反应速度和平衡条件来看,影响操作的主要因素简述如下:

(1) 温度:

由式(9-1)和(9-2)转化主要反应方程式来看是吸热反应,故温度升高,既有利于增加反应速度,又有利于达到甲烷的转化,因此转化反应的温度希望提高,但是转化温度提高受到触媒耐热度和转化炉管材料高温强度的限制,现在使用的25-20(HK40)炉管超过 900°C 就容易损坏,所以本装置设计对转化气出口温度控制在 790°C 。

(2) 压力:

从化学的平衡的影响来看,提高转化压力是不利的。但由于考虑到节省合成时的压缩功率和缩小设备管线尺寸,改善传热系数,特别是利用原料——石脑油原有的压力,提高热能回收等因素,故操作时提高压力,但提高压力对转化炉管的材质提出更高的要求,所以设计时必须选择合适的压力,本装置转化压力控制在34公斤/厘米²。

(3) 水碳比:

在一定的温度和压力下,增加水碳比对石脑油蒸汽转化反应是有利的,水碳比越高,可使更多石脑油转化,此外,适当增加水碳比,可抑制碳黑的生成,但增加到一定的程度后过多的水碳比只是增加蒸汽的消耗,而转化率提高甚少,在经济上是不合算的,因此本装置选用3.7(公斤分子水蒸汽/公斤原子碳)水碳比。(注1)

(4) 触媒:

石脑油蒸汽转化装置所采用的是以氧化铝(Al_2O_3)和氧化镁(MgO)为载体的环筒状镍基触媒,尺寸为 $\varnothing 16.5 \times \varnothing 6.5 \times 16$ (外径 $\times$ 内径 $\times$ 高)(毫米),总量24.9米³(约为25.4吨)。

根据介绍此种触媒成份中不含有挥发性的钾,并能抑制碳的生成。

其机械强度:破碎压力:正压300公斤/厘米²

侧压 25 公斤/厘米²

抗热度: $1300 \sim 1400^{\circ}\text{C}$

保证寿命：1 年

予期寿命：5 年

(5) 空速：

空速提高有利于热量传递的提高，但随之而来的转化炉管压降增大，本装置选用 $1.22 \text{ 米}^3 \text{ 石脑油} / \text{米}^3 \text{ 触媒}$ 时，转化炉管的压降为 $2 \text{ 公斤} / \text{厘米}^2$ 。

注 1：根据后来法方来信，水碳比从原来的 3.7 增至 4.0。

注 2：法方来信提出，转化炉管入口温度从原来的 490°C 降低到 470°C ，最高温度不超过 480°C 。

（来信中说明，这些参数改变的原因是因为在管子入口处有积碳的危险）。

二、一段转化炉——侧烧炉的特点：

引进的侧烧炉是丹麦托普索公司的专利，是一种方箱管式炉的炉型，具有两个平行排列的辐射段和一个共用的对流段。

炉膛内工艺操作所需适当负压（一般正常操作是维持在 $6 \text{ mm H}_2\text{O}$ 柱）是靠对流段顶部的烟道气排风机来抽吸保证。

这种侧烧炉的特点：

1. 由于烧咀分布沿侧壁自上而下排列，故温度和热量可以分别控制，使纵向温度分布比较理想，但是炉管的周向温度梯度却比较大，因此发生在一定时间操作后炉管有弯曲现象。

2. 因整个炉墙由多排烧咀组成，予先将燃料气体与空气按正比例混合后送入烧咀内燃烧，这样就缩短了燃烧时间，缩小了炉膛的体积，降低了空气过剩系数，增加了炉膛强度。

3. 燃料气体是在烧咀盅内燃烧，火焰不直接喷到管壁上，因此，炉管上下几乎无局部过热现象。加热均匀，热效率高，燃料耗用率低，无须采用不同规格的催化剂来补偿热量分布的不均匀性。

这种炉子的调节幅度大，一次辐射面广，反应物可以较快的达到反应温度，应用范围广。

4. 转化炉上下都有猪尾管与集气系统相连接，当操作时发现个

别炉管损坏时，可以夹死上下猪尾管，使整个转化炉不必停车，而能继续生产。

5. 采用上烟道，布置紧凑节省引风机动力，减少了占地面积。但是炉体结构复杂，钢结构材料增加，并且对安装，检修带来很大麻烦。

6. 由于侧烧炉管必须二行错排，虽然采用双辐射型式，炉身还是很长，如果进一步扩大生产，势必炉管要增多，占地面积会增加很多，这是其中一个的缺点。

三、转化炉的结构设计：

1. 总体结构； 总体图见图示（9-2）

侧烧炉有二个平行排列的辐射室，其净空间隔为3120毫米，每个辐射室的内部尺寸为 $23593 \times 2088 \times 10502$ （长 $\times$ 宽 $\times$ 高）（毫米），炉子外壳用钢板封闭，四侧和底钢板厚5毫米，顶为8毫米，炉墙有耐火材料衬里，整个炉体重量完全由I300钢架支承于24个基础上，对于钢架不但要考虑到设备高受风载荷影响，同时还得考虑热应力的影响。

每个辐射室（段）内竖排5组转化管（即称5个竖琴）每个竖琴有29根炉管，因此每个辐射室有145根炉管，每组转化炉管均成双排三角形排列，炉管的排间距与管间距均为炉管的外径2倍（286毫米），见图示（9-3），这样能保证炉管受热均匀。炉管顶部由上猪尾管与进气管相接，每个辐射室有一根进气管，炉管与上猪尾管取用法兰连接。炉管下部通过下猪尾管与集气分管相连，炉管固定下端，支承在下部两根工字梁之间的格栅上，见图示（9-4，9-5）

在辐射室两侧的炉墙上，按上下方向等距离（1500毫米）装有六排自吸式烧咀，每排分成五组，每组四只，全炉共有480只，在每个烧咀旁都附有一只点火烧咀供开车时点火用。

在辐射室侧面设有20只防爆门，因开车点火时，可能会出现瞬时爆炸而产生的压力，防爆门为排放炉内压力用。两头炉墙上，装有24个观察孔，孔的周围用铸铁与炉墙隔开，是观察炉管操作时的情况用。两头炉墙下面共装有4个人孔，为检修炉管用。

转化炉对流段位于辐射室正中的上部，由五排盘管换热器组成，自下而上排列的是E1201——工艺气和蒸汽予热器，E1202——第二工艺空气予热器，E1203——高压蒸汽过热器，E1204——第一工艺空气予热器，E1205——低压锅炉给水予热器。燃料气燃烧后生成的高温烟气由辐射室上部经烟道到对流段，与换热器内介质换热使温度从1205℃降至225℃回收热量。在对流段的顶部设有二台由蒸汽透平驱动的引风机和二个垂直自支撑的筒式烟囱，烟气经风机自烟囱排出。

整个转化炉外面设有五层平台，布置在辐射室四周，标高为4910、7910、10910毫米平台宽度为900毫米，主要为操作人员检查辐射室内烧咀和炉管工作状况。第四层平台，标高为15504毫米，位于辐射室顶部，平台宽度900毫米，主要是为处理和检查炉管之用。

第五层平台，标高24550毫米，位于对流段顶部二台引风机四周，五层平台的上下是由四条扶梯和六条笼梯连接。

在两辐射室中间的操作平台是用格子板铺设，而不用普通的花纹钢板，这主要考虑空间冷热空气能自然对流使热量能比较快地散发，改善操作条件，根据法商介绍，炉壁温度71℃左右。

2. 转化炉管：

转化炉管是一段转化炉的关键部件，它的费用占整个炉子投资的50%，因此要考虑炉子的强化，首先考虑炉管的设计、结构，选材和制造。为此，各国都在对此进行研究和革新。

(1) 炉管总述：

炉管结构图见图(9-6)。

- ① 炉管参数：
- | | |
|-------|---------------------------|
| 设计压力： | 38 公斤/厘米 ² |
| 设计温度： | 900℃ |
| 操作压力： | 34 公斤/厘米 ² (表) |
| 试验压力： | 57 公斤/厘米 ² |
| 操作温度： | 进口 440℃
出口 790℃ |
| 炉管全长： | 11905 ± 10 毫米 |

炉管本体长：11090±10毫米（有效）

设计受热有效长度：10502毫米

炉管外径： $\varnothing 143^{+2}_{-0}$ 毫米

炉管内径： $\varnothing 102^{+0}_{-2}$ 毫米

最小壁厚：17.5毫米（有效）

平直度最大偏差：10毫米

每根重量：725公斤

总传热面积：9750米²（内径计）

设计热强度：60000千卡/米²·时

设计热负荷： 55.95×10^6 千卡/小时

注：水压试验水温要求35℃，水质要求 $Cl^- < 20 P.P.M$
持压30分钟。

炉管价格：16516.5法郎/根。

② 炉管结构：

炉管内触媒是由炉管里面下端的触媒支承架承托，结构见图（9-7），其形像炉篦。转化反应后的气体透过触媒支承架的环隙进入下猪尾管、环隙为8毫米。

炉管底部为热底式底部支承的结构，这种结构可以避免转化气体出口时产生的付蚀性冷凝液腐蚀管端。并使由热应力产生的推力均由上猪尾管吸收，这样使下猪尾管在苛刻的操作条件下不再受外界推力的作用延长下猪尾管的使用寿命。在支座管与下夹管引出端之间充填绝热保温材料。

为测量转化炉管中触媒床的温度分布，每个炉室有二根炉管装有热电偶，每根电偶可测长度为2385、3285、4185、4385（毫米）四个点的温度。

赫尔蒂公司介绍炉管内气体温度、管壁温度、压力、热负荷和甲烷转化率等参数，如表（9-1）所示，从表中可以看出，侧烧炉炉管壁温纵向是比较均匀，最高温度不超过900℃，这与同表中凯洛格顶烧炉来比较，顶烧炉纵向温差就比较大，但表中没反映出管壁周向温

差程度根据赫尔蒂公司提供的周向温差为 70°C ，使之在正常操作一段时间后发生炉管弯曲、正常弯曲度允许 125 毫米，在不稳定情况下，炉管最大弯曲可碰到墙壁。

炉管弯曲在未损坏的情况下，虽然产生残余变形，仍能使用，但炉管弯得太利害时，会使炉管有触媒不均的情况，致使炉管局部过热降低炉管使用寿命，并会使炉管上端的猪尾管应力增加，导致猪尾管焊缝拉裂，所以在检修时，应将弯曲利害但尚未破裂损坏的炉管更换掉。

根据介绍炉管弯曲原因如下：

- a、如上所述，侧烧炉特点决定了炉管的弯曲。
- b、炉管是分段组装焊接的，由于坡口中心线与炉管的轴线不垂直，焊接变形发生弯曲。
- c、由于烧咀调节不均匀，使炉管环向温差大，加速炉管的弯曲。
- d、蒸汽含盐量大，在炉管内结盐，造成阻力增大，以致炉管局部过热。
- e、触媒表面结碳，造成阻力增大，使炉管局部过热。

炉管上下与猪尾管连接，一旦炉管损坏，可用特殊夹具，先将下猪尾管卡死，因为下猪尾管硬，当时同长后冷下来难以夹动，然后夹上猪尾管，这样可继续操作运行，对生产影响不大。

(2) 炉管设计：

① 赫尔蒂公司提供的转化炉管计算公式：

$$t = \frac{diP}{2S - 1.2P} \dots\dots\dots (9-4)$$

式中：t —— 最小有效壁厚（毫米）

di —— 无缺陷的有效内径（毫米）

P —— 设计压力（公斤/毫米²）

S —— 许用应力，当设计温度 900°C 时，取 10^5 小时 90% 的平均蠕变破坏极限（公斤/毫米²）

表 9-1

托普索侧烧炉管转化情况

距入口处 距离 (米)	气体温度 (°C)	炉管内壁温 (°C)	炉管外壁温 (°C)	压 力 (公斤/厘米 ²)	甲烷含量 (%干基)	热 负 荷 ×10 ⁶ (千卡/小时)
0	520.00	663.10	700.00	34.44	81.44	0
1	543.78	756.89	826.42	34.73	58.73	5.75
2	585.94	808.97	872.93	33.14	44.14	12.83
3	627.71	829.50	890.04	33.01	35.01	19.87
4	663.65	841.11	896.34	33.73	28.73	26.40
5	693.15	848.76	898.65	33.97	23.97	32.35
6	717.70	854.55	899.50	33.21	20.21	37.72
7	738.57	859.33	899.82	33.18	17.18	42.57
8	756.68	863.49	899.93	32.75	14.75	46.94
9	772.57	867.19	899.98	32.76	12.76	50.88
10	786.65	870.53	899.99	32.12	11.12	54.44
11	799.22	873.58	900.00	32.75	9.75	57.61

凯洛格顶烧炉管转化情况

0	510.0	531.7	531.7	35.50	88.70	0
0.6096	495.0	694.3	795.3	35.35		6.1153
1.2192	552.8	737.7	836.2	35.20	62.16	5.1089
1.8288	594.8	767.8	852.8	35.03		12.007
2.4384	628.5	791.8	885.3	34.85	41.58	17.756
3.0480	657.7	806.9	894.8	34.60		23.275
3.6576	682.9	818.1	899.4	34.46	29.14	28.404
4.2672	704.8	826.9	901.7	34.24		33.140
4.8768	723.9	833.7	902.0	34.02	21.70	37.480
5.4864	740.4	838.5	900.3	34.78		41.426
6.0960	754.6	841.4	896.7	33.54	16.87	44.977
6.7056	766.6	842.4	892.3	33.29		48.135
7.3152	776.6	841.8	884.1	33.08	13.62	50.897
7.9248	785.4	844.9	884.8	33.76		53.252
8.5344	793.9	848.3	884.9	32.46	11.36	55.607
9.1440	801.7	852.2	885.4	32.26		57.708
9.7536	808.8	854.9	883.9	31.83	9.63	59.644
10.218	813.6	856.4	884.8	31.69	9.09	60.981

根据赫尔蒂公司介绍：

炉管内壁疏松层厚 2.2 毫米。

外壁疏松层和氧化层厚 0.8 毫

米。

$$\begin{aligned} \text{这样得：} d_i &= 102 + 2.2 \times 2 \\ &= 106.4 \text{ (毫米)} \end{aligned}$$

根据法商提供的 (9-1) 图表

查得：

平均端变破坏极限为 1.6

(公斤/毫米²)

$$\text{得 } S = 1.6 \times 0.9 = 1.44 \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}$$

$$\text{设计压力 } P = 38 \text{ 公斤/厘米}^2 = 0.38 \text{ 公斤/毫米}^2$$

将数值代入式 (9-4) 中：

$$\begin{aligned} t &= \frac{d_i P}{2S - 1.2P} = \frac{106.4 \times 0.38}{2 \times 1.44 - 1.2 \times 0.38} \\ &= 17.35 \text{ (毫米)} \end{aligned}$$

图纸提供的实际有效壁厚为 17.5 毫米。

所以尚有余量 0.15 毫米。

② 赫尔蒂公司在第二次设计会议中还介绍如下公式：

$$t = \frac{d_i P}{2SE + YP} \dots\dots\dots (9-5)$$

式中：E —— 纵向焊缝系数，

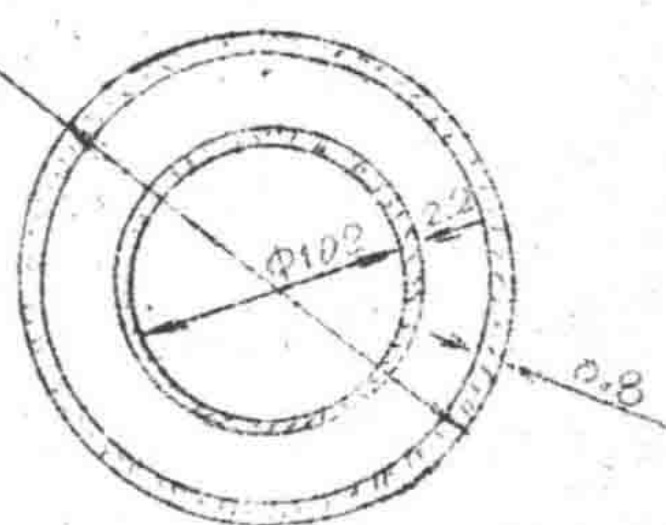
对于离心浇铸炉管 $E = 1$

Y —— 材料的温度系数，与金属材料环境温度有关

$$Y = 0.4 \sim 0.7$$

现取 $Y = 0.4$

将数值代入式 (9-5) 中：



炉管剖面示意图

$$t = \frac{diP}{2SE + YP} = \frac{106.4 \times 0.38}{2 \times 1.44 \times 1 + 0.4 \times 0.38}$$

$$= 13.3 \text{ (毫米)}$$

赫尔蒂公司介绍，因内外壁有疏松层与介质隔离，无需考虑腐蚀裕度，所以，由计算结果可以认为炉管设计是能保证本装置按合同规定安全运行。

③ 根据普遍使用炉管的计算公式，再进行设计复核一下：

a、采用 ASA 方法：

$$t = \frac{PD}{2SE + 2YP} \dots\dots\dots (9-6)$$

式中：D——外径（有效）（毫米）

$$D = 143 - 2 \times 0.8 = 141.4 \text{ (毫米)}$$

将数值代入式（9-6）中：

$$t = \frac{PD}{2SE + 2YP} = \frac{0.38 \times 141.4}{2 \times 1.44 \times 1 + 2 \times 0.4 \times 0.38}$$

$$= 16.9 \text{ (毫米)}$$

b、采用 API 方法：

$$t = \frac{PD}{2.4S} = \frac{0.38 \times 141.4}{2.4 \times 1.44} = 15.55 \text{ (毫米)}$$

c、采用平均直径公式：

$$t = \frac{PD_m}{2S} \dots\dots\dots (9-7)$$

式中：D_m——平均直径（毫米）

$$D_m = \frac{D_i + D}{2} = \frac{106.4 + 141.4}{2} = 123.9$$

将数值代入式 (9-7) 中：

$$t = \frac{PD_m}{2S} = \frac{0.38 \times 123.9}{2 \times 1.44} = 16.36 \text{ (毫米)}$$

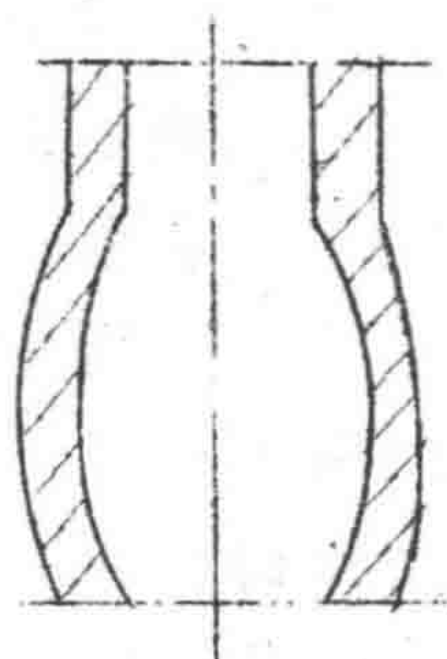
从以上公式复核，本装置炉管设计是合理的。

(3) 炉管内壁加工的讨论：

因为炉管是由多段标准离心浇铸管焊接组装而成的，因此内表面有象铸铁一样的多孔疏松组织，如放大图所示，对于内壁的加工有两种意见：（根据赴法调查组调查报告）一种意见是主张机械加工的，其理由是管子在设计计算中，内表面疏松层及外表面疏松层都不计在厚度之内的，那么把它加工掉，不会影响炉管使用强度和寿命；再说炉管内介质的化学反应要由外部供热，去掉疏松层的厚度对传热也是有利的。就其腐蚀角度来看，这种内表面疏松层很粗糙，耐蚀性薄膜易受破坏，同时内壁易结焦，致使炉管受腐蚀气体侵蚀，并且侵蚀始终沿着表面的缝隙不断地向里扩展，加速了损坏，影响了炉管的使用寿命。如果加工过的管子内壁光洁平整，消除内壁缺陷，不易受侵蚀，同时保证直径与壁厚的均匀性，另外经加工过的管子重量减轻，将来使用时，管下端的变形可小些，因为炉管是在苛刻的高温条件下操作，时间长了会变形，上图是使用



内表面显微镜放大图



炉管高温使用
后下端变形示意图

10年的炉管下端变形情况，而这种变形又与重量有关，所以重量减轻能使变形减少，当然炉管进行加工管子费用是需增加。

另一种意见，是主张不加工的，其理由是：虽然内壁疏松层不耐腐蚀，但它不计在有效厚度内，不管怎样总能抵挡一下腐蚀介质，要使用一段时间后才侵蚀到有效厚度部分，延长了炉管使用寿命，而加工过的炉管，虽然腐蚀轻一些，但腐蚀一开始就从有效厚度部分进行，这样看来加工过的炉管使用寿命不一定比未加工的寿命长。根据有关的资料来看，没有听说炉管的损坏是因为管内的多孔性或是内表面的粗糙性而造成的，所以在保证质量和有效壁厚的前提下，采用毛管是可行的，否则加工费用昂贵，增加炉子的投资（资料的介绍，在美国进行炉管的加工增加费用约12美元/呎），而对炉管使用寿命的延长作用不大。据介绍，有关加工内壁面的理论有“ROUEN”特种钢研究所一个专家写过一篇论文。

本装置的炉管内外壁是没有经过加工的。

3. 上猪尾管：

(1) 上猪尾管总述：

① 参数：设计压力：38公斤/厘米²

设计温度：545℃（有气体时565℃）

水压试验压力：69公斤/厘米²

管径：∅33.4×3.4毫米（外径×壁厚）

长度：6150毫米

重量：30公斤/根

材质晶粒大小≥0.00005毫米或更粗。

为了达到上述晶粒大小，必须在1093℃下进行退火处理。

弯管处椭圆度：

$$\frac{D_x - D_y}{D_n} < 10\%$$

式中：DN——标准管径。

