

年产三十万吨合成氨厂

转 化 炉

大连工学院化工系化工机械教研室 编

3.26

化 学 工 业 出 版 社

新編 增補 卷之二

新 化 中

新 化 中



新 化 中

年产三十万吨合成氨厂

转 化 炉

大连工学院化工系化工机械教研室编

化 学 工 业 出 版 社

转化炉（包括一段转化炉、二段转化炉）是年产三十万吨合成氨厂的重要设备之一。本书通过对一段转化炉几种炉型的比较，重点介绍排管型顶烧炉、侧烧炉的结构，炉用主要金属材料与非金属材料，炉管寿命计算的几种方法及其比较，一段转化炉的操作事故及其原因分析与维护，炉管的焊接等方面内容。对蒸汽转化法的工艺流程和工艺条件也简略给予介绍。

本书主要供年产三十万吨合成氨厂的工人阅读，也可供有关的工程技术、管理人员参考。

年产三十万吨合成氨厂

转 化 炉

大连工学院化工系化工机械教研室 编

化学工业出版社 出版

（北京和平里七区十六号楼）

天水新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $6^{7/8}$ 插页1 字数151千字 印数1—1,100

1982年2月北京第1版 1982年2月甘肃第1次印刷

统一书号15063·3330 定价0.58元

限 国 内 发 行

目 录

第一章 概述	(1)
(一) 热裂解法	(1)
(二) 部分氧化法	(1)
(三) 蒸汽转化法	(2)
第二章 二段转化法的流程	(4)
(一) 美国凯洛格流程	(4)
(二) 法国赫尔蒂流程	(7)
第三章 加压蒸汽转化法的工艺条件	(11)
(一) 温度	(11)
(二) 压力	(12)
(三) 水碳比	(12)
(四) 触媒	(13)
第四章 一段转化炉的几种炉型	(15)
(一) 顶烧炉	(15)
一、单管型顶烧炉	(16)
二、排管型顶烧炉	(18)
(二) 侧烧炉	(37)
(三) 梯台炉 (倾斜壁型转化炉)	(41)
第五章 顶烧炉结构	(43)
(一) 单管型顶烧炉结构	(43)
一、承重钢结构	(43)
二、砌体结构	(44)
三、炉管结构	(52)

四、烧嘴	(53)
五、对流段加热器	(56)
六、其它部件	(57)
(二) 排管型顶烧炉结构	(58)
一、炉体结构	(58)
二、辐射段炉管结构	(63)
三、输气总管	(74)
四、弹簧吊架	(77)
五、烧嘴	(79)
六、对流段加热盘管	(83)
七、引风机和蒸汽透平	(90)
第六章 侧烧炉结构	(94)
(一) 炉体结构	(94)
一、辐射段炉体	(94)
二、对流段炉体	(96)
(二) 进气分配管和触媒管	(97)
(三) 炉底气体出口管 (下猪尾管、分 集气管、总集气管)	(101)
(四) 烧嘴	(104)
(五) 对流段加热盘管组	(108)
(六) 侧烧炉炉管系统的金属材料	(112)
第七章 一段转化炉的主要材质	(114)
(一) 金属材料	(118)
一、概述	(118)
二、Cr25Ni20 (HK—40)	(123)
三、Cr20Ni32 (英考铬-800合金)	(129)
四、超热合金	(134)
(二) 非金属耐火材料	(137)
一、成型材料	(138)

二、粉粒材料	(147)
三、纤维材料	(151)
四、耐火混凝土	(154)
五、绝热耐火混凝土	(159)
第八章 高温强度的基本概念及炉管寿命的计算	(161)
(一) 金属材料高温强度的基本概念	(161)
一、高温蠕变现象	(161)
二、蠕变断裂的三要素——温度、应力和时间	(161)
三、影响蠕变的金属学因素	(164)
四、断裂应力的计算	(167)
(二) 炉管寿命的计算方法	(172)
一、拉逊—米勒 (L—M) 指数法	(172)
二、公式法	(175)
三、炉管寿命计算方法的讨论	(179)
四、温差应力的影响	(182)
第九章 一段转化炉事故与维护	(184)
(一) 一段转化炉的事故	(184)
一、国外一段转化炉事故情况及原因分析	(184)
二、国内大型氨厂一段炉事故情况及原因分析	(189)
三、国内中型氨厂炉管损坏情况及原因分析	(191)
(二) 一段炉的维护	(193)
第十章 炉管的焊接	(203)
(一) 新触媒管 (HK—40) 的焊接	(203)
一、焊条选择	(203)
二、焊接工艺	(204)
(二) 旧触媒管的焊接	(208)
(三) 下集气管等的焊接	(210)
(四) 上升管 (超热合金) 与下集气管凸台 (异径三通) 的 焊接	(214)

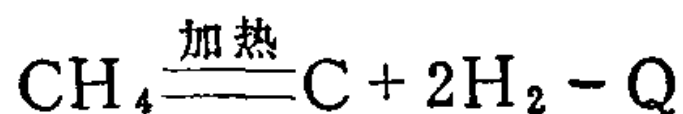
第一章 概 述

目前世界各国的大型氨厂多以天然气、油为原料。天然气的主要成分是甲烷。甲烷和其他饱和烃类一样是很不活泼的，但在高温下甲烷则能裂解，并易于与氧化性物质起氧化反应。因此工业上利用甲烷在高温下裂解和加入某种氧化剂的办法，使甲烷转化成工业用氢气或合成氨原料气。

目前利用甲烷制氢有三种方法：热裂解法，部分氧化法和蒸气转化法。

(一) 热 裂 解 法

基本反应式如下：



要使裂解气中甲烷的含量很低，以制得高纯度氢气，在无触媒存在时，裂解反应要在高温（约1100~1300°C）下进行，同时有碳黑生成。由于此法设备较复杂，操作较困难，生成的碳黑难于处理，影响操作和产品纯度，所以大型厂不用此法。

(二) 部 分 氧 化 法

基本反应式如下：



生成的一氧化碳又可与水蒸汽变换生成氢气。

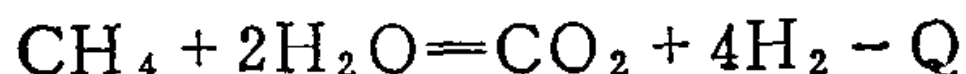
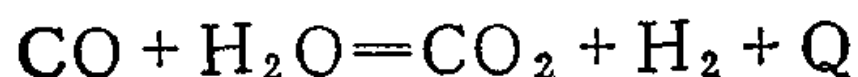
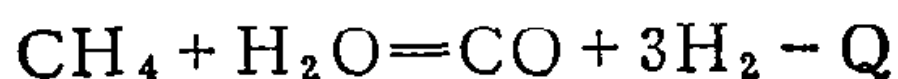
在有镍触媒存在时，甲烷的部分氧化反应温度约为950°C。在无触媒时，需要1300°C左右的高温。部分氧化反应的高温是靠反应热维持的，因为它是一个放热反应，不需要外供热，因而不需要用贵重的耐热合金钢炉管，设备比较简单，燃料消耗较少。但缺点是需要有空气分离制氧设备供应氧气，因此这方面的设备投资及动力消耗较高，并需用大量低温钢和有色金属。

（三）蒸汽转化法

早在卅年代就有蒸汽转化法，用水蒸汽作氧化剂把甲烷转化为氢。但由于当时的触媒不能抗硫，脱硫技术又未过关，故采用的不多，因而使部分氧化法得到较快发展。

从五十年代初期到八十年代的今天，蒸汽转化法在原料脱硫、触媒性能、反应条件、炉型和耐高温材料等方面进行了多次改进，并且利用了天然气的原有压力，采用了加压蒸汽转化法，这样不仅取消了转化气柜，使得设备布置紧凑，而且大大节省了压缩原料气的动力消耗。由于加压蒸汽转化法投资较少，成本较低，原料供给方便，因此目前已成为合成氨工业中生产原料氢的主要手段。

天然气蒸汽转化的基本反应式如下：



以上反应是在镍触媒存在时，在加压和加热至高温条件下进行的，由于主要是吸热反应，所以必须外供大量热量。

在以天然气为原料的大型氨厂中，由于合成氨原料气中

除氢外尚须配备一定比例的氮，故世界各国制取合成氨原料气大都采用二段转化法：在一段炉中进行加压蒸汽转化后，再在二段转化炉中加入部分空气，使一段炉中未转化的残余甲烷与空气中氧气进行部分氧化反应，使残余甲烷进一步转化成氢，提高了甲烷的转化率，同时又达到氮氢气配比要求，从而降低了大型氨厂的生产成本。

第二章 二段转化法的流程

本章分别介绍由美国引进的凯洛格流程和由法国引进的赫尔蒂流程。前者以辽河化肥厂流程为例，后者以安庆化肥厂流程为例，生产规模均为日产1000吨氨。

（一）美国凯洛格流程

图2-1为以天然气作原料的二段转化流程图。在一段转化炉中采用蒸汽转化法，在二段转化炉中采用添加空气的部分氧化法，一段与二段转化均采用镍触媒。

流程说明：经过氧化锌脱硫后的天然气（甲烷含量90%左右）与压力为38.3公斤/厘米²，温度为321°C的中压蒸汽，以水碳比为3.5的比例混合，经对流段的混合原料气预热器加热到510°C，然后进入进气总管，再通过9根进气支管，从一段转化炉7的炉顶上经猪尾管进入炉内的9排共378根触媒管中（挠性的猪尾管连接进气支管和触媒管）。混合原料气自上而下流过触媒管，在镍触媒的作用下，甲烷与水蒸汽发生转化反应，并吸收大量热量。气体离开触媒管时，温度为822°C，压力为31.6公斤/厘米²，转化后气体中未反应的甲烷含量约10%。同一排的42根触媒管的下端均连至一根下集气管，转化反应后气体汇集到下集气管并由其中部的上升管引到炉顶输气总管；由于上升管置于炉膛中，转化气经上升管时被进一步加热，所以当气体进入输气总管时，温

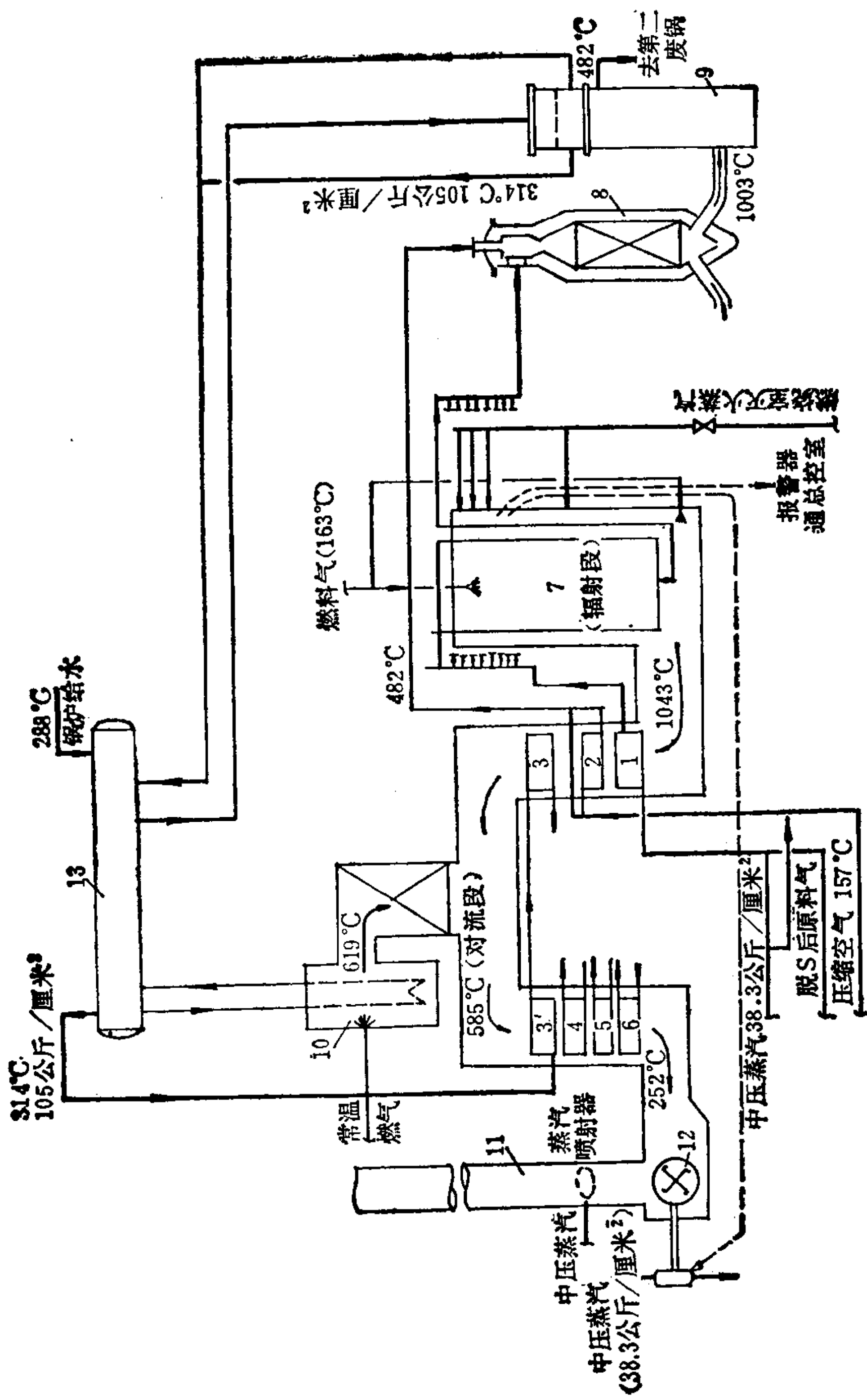


图 2-1 甲烷蒸汽二段转化流程图 (以辽河化肥厂为例)

1—原料混合气预热器；2—空气—蒸汽预热器；3—蒸汽预热器（热侧）；4—原料气预热器（冷侧）；5—锅炉给水加热器；6—燃料气预热器；7—二段转化炉（101B）；8—二段转化炉（103D）；9—第一废热锅炉（101CB）；10—辅助锅炉；11—烟囱；12—引风机；13—汽包（101F）

度可达856℃。

一段转化炉出来的转化气从二段炉的侧面由切线方向进入混合器的外部，空气—蒸汽混合物经对流段预热器加热到454℃，从二段炉顶端中心的小管进入混合器内。两种气体混合均匀并燃烧，从而使二段炉触媒层上面气温达到1200℃以上。混合并部分燃烧的气体从上而下通过触媒层，使残余甲烷进一步转化。二段转化后的出口气体中，甲烷含量仅为0.33%，出口温度为1003℃。由二段炉下部分两路引出，进入两个并联的第一废热锅炉。转化气在第一废热锅炉的水管外面流过，被冷却到482℃，同时产生105公斤/厘米²的高压蒸汽；然后进入第二废热锅炉并继续产生高压蒸汽，从第二废热锅炉出口的已经冷却的转化气温度约370℃，然后送往变换工段。

第一废热锅炉、第二废热锅炉与辅助锅炉（简称辅锅）发生的高压蒸汽共用一个汽包（位号101-F），产生105公斤/厘米²314℃的高压饱和蒸汽，经对流段高压蒸汽过热器过热到441℃，作为带动合成气压缩机等高压蒸汽透平机的动力。对流段蒸汽过热器由高温段和低温段两组盘管换热器组成，串联使用。锅炉给水由对流段锅炉给水加热器预热到288℃，由侧面加入到汽包中。原料气必须经过脱硫才能进行蒸汽转化反应。为此在对流段的原料气预热器中预热到427℃，然后送去氧化锌脱硫槽。除辅助锅炉烧嘴用的燃料气为常温燃料气外，辐射段顶烧嘴及烟道烧嘴均使用预热的燃料气。在对流段的燃料气预热器中预热到163℃，分别送到上述烧嘴中进行燃烧。辐射段顶烧嘴在管排之间，垂直向下燃烧，焰端温度达1250℃以上。从上向下对触媒管和上升管辐射传热，温度逐渐降低。从辐射段炉膛经炉底部十条烟

道出来的烟道气温度为 1043°C 。经对流段高温侧的三组加热器换热后，离开高温侧的烟道气温度为 580°C 。●与辅助锅炉来的 619°C 的烟道气混合，在进入低温侧蒸汽过热器时烟道气温度稍有提高，约 585°C 。离开对流段时的烟气温度的为 252°C ，通过引风机，经烟囱排空。为了维持辐射段炉膛一定的负压操作，由中压蒸汽透平带动的引风机（位号101BJ），根据炉膛规定的负压值——在顶烧嘴附近维持5毫米水柱的负压——自动调节进入蒸汽透平的蒸汽量即调节引风机的转速。当炉膛出现1.2毫米水柱的正压时，通过总控制室的报警器开始发出警报，要求加大引风机透平的蒸汽进量来提高引风机转速。在特殊情况下，如引风机故障停车时，通往烟囱中蒸汽喷射器的管道上的控制阀则自动打开，使烟囱中的环管喷射蒸汽，可短时间地维持炉膛必要的负压，以便由总控制室采取紧急措施，有秩序地停车。蒸汽喷射环管不能代替引风机进行正常的生产操作。

（二）法国赫尔蒂流程

图2-2为以石脑油作原料的二段转化流程图，也是由法国赫尔蒂公司引进的二段转化法的典型流程。

流程介绍：经过脱硫的石脑油气（含硫 0.05ppm 以下，温度为 380°C ，压力约 36公斤/厘米^2 ），与中压工艺蒸汽（ 390°C ， 37公斤/厘米^2 ）相混合，组成水碳比为 $3.7\sim 4.0$ 的混合原料气，共同进入一段转化炉对流段的工艺气—蒸汽预热器（位号E1201），被加热到 $470\sim 480^{\circ}\text{C}$ ，然后进入两根进气总管（两个辐射室顶上各一根），混合原料气由进气总管通过上猪尾管进入290根触媒管（每个辐射室145根）。气体自上而下流过触媒层（牌号RKNR预还原油气共用镍触

媒),在此进行一系列的转化反应,转化后的气体由29根触媒管的下猪尾管流入集气支管,再由5根集气支管汇流入集气总管,两根集气总管又并成一根输气总管,往二段转化炉输送气体,气体离开触媒管下部时的温度为 790°C ,压力为32公斤/厘米²,残余甲烷含量约8.9%。气体温度为 $780\sim 790^{\circ}\text{C}$ 以上。在二段炉中,甲烷转化所需要的热量,系由炉顶加入适量空气燃烧一部分可燃组分发出的热量来维持的。

二段转化用的工艺空气,系由工艺空气压缩机把空气加压至32公斤/厘米²,温度约 120°C 。经过一段转化炉的对流段中第一工艺空气预热器(位号E1204)和第二工艺空气预热器(位号E1202)被加热到 550°C ,送往二段转化炉顶部。第一与第二工艺空气预热器之间有旁路管线,可以调节工艺空气进入二段转化炉的温度。

由一段转化炉来的气体,从二段转化炉顶部气体混合器的侧面进入混合器,预热后的工艺空气则从混合器顶部中间进入混合器。两种气体混合燃烧,从而使二段炉触媒层上部气体温度升高到 1200°C 左右。高温气体通过触媒层(托普索牌号为RKS触媒),进行甲烷等饱和烃的二段转化,从二段转化炉出来的转化气中,残余甲烷含量只有0.3%,温度为 957°C ,压力约为30公斤/厘米²。为回收这部分热量并使气体降温,高温转化气由二段转化炉底部进入高压废热锅炉(位号H1201),转化气走管间,被U形管内的高压水降温至 360°C ,然后去高温变换炉。

由变换工段高压锅炉给水预热器来的锅炉水(温度 313°C),加入高压汽包(D1201)中,然后由汽包下降管进入废热锅炉的U形管内,被高温转化气加热,产生 314°C 的高压饱和蒸汽,由上升管进入汽包,从汽包顶部引出的高压饱

和蒸汽（压力为104公斤/厘米²，温度为314°C），在一段转化炉对流段的高压蒸汽过热器（位号E1203）进行过热，并在高压蒸汽辅助过热器中（位号F1203）进一步过热。过热的高压蒸汽（压力为100.5公斤/厘米²，温度为495°C）供驱动蒸汽透平机之用。高压蒸汽辅助过热器用重燃料油燃烧供热。

中压锅炉给水（50公斤/厘米²，120°C）在中压锅炉给水预热器（E1206）中加热至145°C，送往中压辅助锅炉。

低压锅炉给水预热器（E1205）加热低压锅炉给水，由温度80°C升高到97°C左右。

一段转化炉用炼厂气和液化气的混合气作为燃料气（也可以用轻油作燃料），一段炉炉型为侧烧炉，采用侧壁无焰烧咀。两个辐射室中的烟道气进入顶部共用的一个对流段。在对流段中，烟道气加热一系列的物料，烟气本身温度降至约225°C，用二台烟道气引风机（K1201）排送大气中。

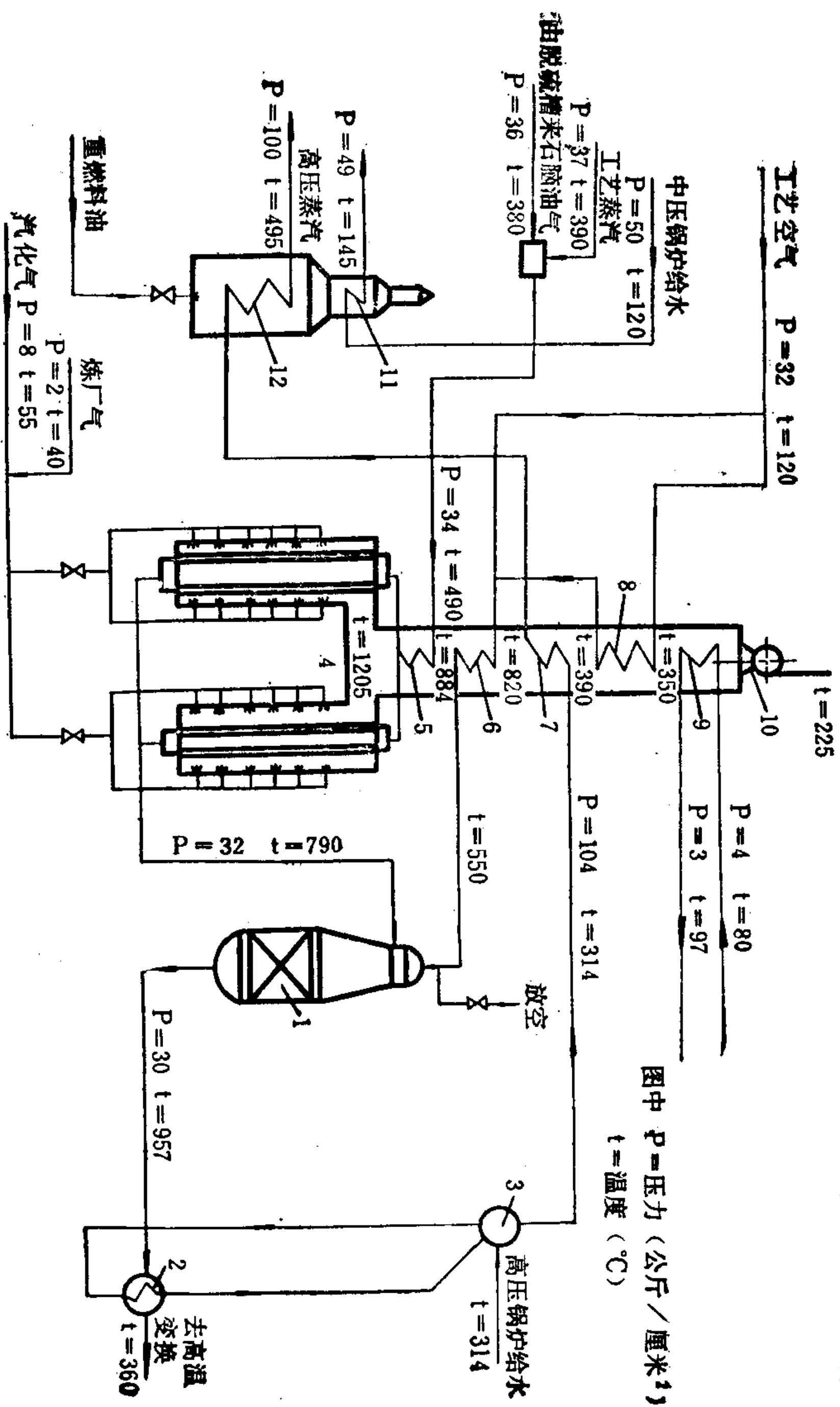


图 2.2 石脑油二段转化流程图 (以安庆化肥厂为例)

- 1—二段转化炉 (F1202); 2—高压废热锅炉 (H1201); 3—高压废热锅炉汽包 (D1201); 4—一段转化炉 (F1201);
- 5—石脑油气和工艺蒸汽加热器 (E1201); 6—第二段工艺空气预热器 (E1202); 7—高压蒸汽过热器 (E1203);
- 8—第一段工艺空气预热器 (E1204); 9—低压锅炉给水预热器 (E1205); 10—烟道气排风机 (K1201);
- 11—中压锅炉给水预热器 (E1206); 12—高压蒸汽辅助过热器 (F1203); 13—汽化气蒸发器 (E1207)