

# 过程装备与控制工程

## 概论

李淑华 李 敏 编著



黑龙江教育出版社

# 过程装备与控制工程概论

李淑华 李 敏 编著

黑龙江教育出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

过程装备与控制工程概论/李淑华编著. —哈尔滨:  
黑龙江教育出版社, 2005. 6  
ISBN 7 - 5316 - 4476 - 2

I. 过... II. 李... III. ①化工过程—化工设备—概论  
②化工过程—过程控制—概论 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 068610 号

**过程装备与控制工程概论**

GUOCHENG ZHUANGBEI YU KONGZHI GONGCHENG GAILUN

李淑华 李敏 编著

责任编辑:王爱琳

封面设计:陈冬妮

责任校对:徐 岩

---

黑龙江教育出版社出版发行(哈尔滨市南岗区花园街 158 号)

黑龙江省阿城制版印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 11.5 字数 300 千字

2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷

印数 1—1 000

---

ISBN 7 - 5316 - 4476 - 2/G · 3396 定价:40.00 元

如有印装质量问题,请与印刷厂联系调换

# 前 言

过程工业是以流程性物料为主要处理对象的。它在生产过程中以特定的工艺条件,通过过程装备完成一系列的化学、物理过程,改变物质的状态、结构、性质,得到适合使用要求的产品。过程工业的生产特点是整个生产工艺都在装置内密闭状态下连续完成。

随着我国改革开放的不断深入,过程工业引进了一些国外的先进技术和大型装备,这些大型化单系列生产装置为设备的管理和使用赋予了新的内涵。保证设备良好的运行状态和长周期的运行对生产过程和生产效益有着直接的关系,这就要求技术人员具备丰富的过程工艺与设备方面的知识,并且不断提高技术水平,这样才能把生产过程的装备使用好、维护好、管理好,保证生产过程连续满负荷运行,达到安全、优质、低耗、高效的目的。

工艺过程和过程装备是过程工业生产的基础,对生产过程和产品的质量起着决定性的作用,因此,从事过程工业生产的工程技术人员,必须具备并掌握过程工业生产的基本知识和生产技能。为达到这一目的,作者编写了《过程装备与控制工程概论》一书。本书以石化生产为基础,全面介绍了生产的工艺过程与特点,典型装备的原理结构,工作性能及过程设备的制造和使用的相关知识,旨在增强从事过程工业生产的工程技术人员的基本知识和技术技能,提高过程工业生产的整体水平。

本书内容丰富,文字深入浅出,编排上图文并茂,可供从事过程工业生产的工程技术人员使用,也可作为大专院校师生的教学参考书。

由于作者水平有限,书中欠妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者  
2004 年 12 月

## 内 容 提 要

本书全面系统地介绍了石油化工过程工艺原理及控制,常用装备的原理、结构、工作性能及设备制造的基本知识和技术操作,具有较强的系统性、知识性和实用性。全书共分四篇:第一篇介绍了过程工业常用的工艺流程;第二篇介绍了过程工业常用的设备;第三篇介绍了过程工业常用的控制系统;第四篇介绍了常用设备的制造方法及工艺。

本书可供从事过程工业生产的工程技术人员使用,也可作为大专院校相关专业师生的教学参考书。

# 目 录

第一篇 石油化工过程工艺 .....	(1)
一、石油化工厂典型流程 .....	(1)
(一)燃料型加工流程 .....	(1)
(二)润滑油型加工流程 .....	(2)
(三)化工型加工流程 .....	(2)
二、燃料油生产工艺 .....	(2)
(一)原油蒸馏 .....	(2)
(二)加氢裂化 .....	(11)
(三)延迟焦化 .....	(16)
(四)催化裂化 .....	(20)
(五)重油催化裂化 .....	(29)
(六)催化重整 .....	(37)
三、润滑油生产工艺 .....	(42)
(一)糠醛精制 .....	(42)
(二)酮苯脱蜡 .....	(45)
(三)蜡脱油 .....	(63)
(四)制蜡装置 .....	(68)
四、化肥生产工艺 .....	(73)
(一)合成氨 .....	(73)
(二)硝氨装置 .....	(75)
第二篇 石油化工过程装备 .....	(79)
一、塔设备 .....	(79)
(一)概述 .....	(79)
(二)分馏塔的工作原理 .....	(81)
(三)常用塔盘简介 .....	(82)
(四)填料塔 .....	(86)
(五)其他工艺塔 .....	(88)
二、换热设备 .....	(89)
(一)概述 .....	(89)
(二)管壳式换热器的分类与结构 .....	(90)
(三)管壳式换热器分类及型号表示方法 .....	(94)
三、管式加热炉 .....	(96)
(一)概述 .....	(96)
(二)管式加热炉的性能指标和工艺流程 .....	(97)

(三) 管式加热炉的类型 .....	(99)
(四) 管式加热炉的机械结构 .....	(102)
四、石油化工过程用泵 .....	(104)
(一) 概述 .....	(104)
(二) 离心泵 .....	(105)
(三) 往复泵 .....	(112)
(四) 旋涡泵 .....	(114)
(五) 齿轮泵 .....	(115)
(六) 螺杆泵 .....	(115)
五、活塞式压缩机 .....	(117)
(一) 概述 .....	(117)
(二) 活塞式压缩机的型号及性能 .....	(118)
(三) 活塞式压缩机的主要零部件 .....	(120)
六、离心式鼓风机和压缩机 .....	(127)
(一) 概述 .....	(127)
(二) 离心压缩机的性能参数与特性曲线 .....	(132)
(三) 离心压缩机的主要零部件 .....	(134)
<b>第三篇 石油化工过程控制</b> .....	<b>(136)</b>
一、绪论 .....	(136)
(一) 概述 .....	(136)
(二) 石油化工生产过程的调节 .....	(137)
(三) 自动调节系统的组成 .....	(138)
二、重油催化裂化装置的自动控制系统 .....	(140)
(一) 流量控制 .....	(141)
(二) 温度控制 .....	(142)
(三) 压力控制 .....	(146)
(四) 回流量和回流返塔温度控制 .....	(152)
<b>第四篇 化工设备制造工艺</b> .....	<b>(156)</b>
一、设备主要构件的制造 .....	(156)
(一) 设备制造的准备工序 .....	(156)
(二) 钢板的弯卷 .....	(161)
(三) 封头的冲压 .....	(164)
(四) 管子的弯曲 .....	(167)
二、设备的焊接 .....	(170)
(一) 设备的接头形式和坡口 .....	(170)
(二) 手工电弧焊 .....	(171)
(三) 埋弧自动焊 .....	(173)
(四) 气体保护焊 .....	(174)
(五) 焊条和焊剂 .....	(175)
三、质量检验的重要性及内容和方法 .....	(176)

(一)质量检验的重要性及检验内容·····	(176)
(二)焊缝的缺陷·····	(176)
(三)允许存在缺陷和缺陷的清除与修补·····	(178)
(四)各种探伤方法·····	(178)
(五)设备试压·····	(181)
<b>参考文献</b> ·····	(182)



# 第一篇 石油化工过程工艺

石油化工工业装置较多,它们是石油化工工厂的基本生产单元,每个装置都有自己的工艺特点和生产任务。本篇就石油化工工厂的几个主要装置:燃料油生产装置、润滑油生产装置及化肥生产装置的工艺原理、工艺过程进行重点的阐述。

## 一、石油化工厂典型流程

根据石油化工厂主要产品的不同,石油化工工厂的流程可分为三种类型:

- (1) 燃料型,指以汽油、煤油、柴油等燃料为主要生产的产品。
- (2) 润滑油型,指除汽油、煤油、柴油等燃料外还生产的润滑油。
- (3) 化工型,指在生产燃料的同时,还综合利用石油化工工厂气体以生产各种石油化工产品。

### (一) 燃料型加工流程

在石油产品中,燃料在数量上占绝大部分。轻质燃料,如汽油、煤油、柴油等主要用于交通运输;重质燃料,如燃料油等主要用于船舶、锅炉和发电。

目前,各国对生产原料的需求不断增加,从原油蒸馏得到的直馏轻馏分的数量有限,远不能满足轻质燃料的要求。这样,燃料油生产的一个重要问题是如何将原油中的重质油甚至是渣油转化成轻质燃料产品。因此,一个燃料型的石油化工厂的生产过程主要是由原油蒸馏、重质油轻质化以及轻质油精制等几部分构成。下面就列举一个燃料型石油化工工厂的典型流程,如图1-1所示。

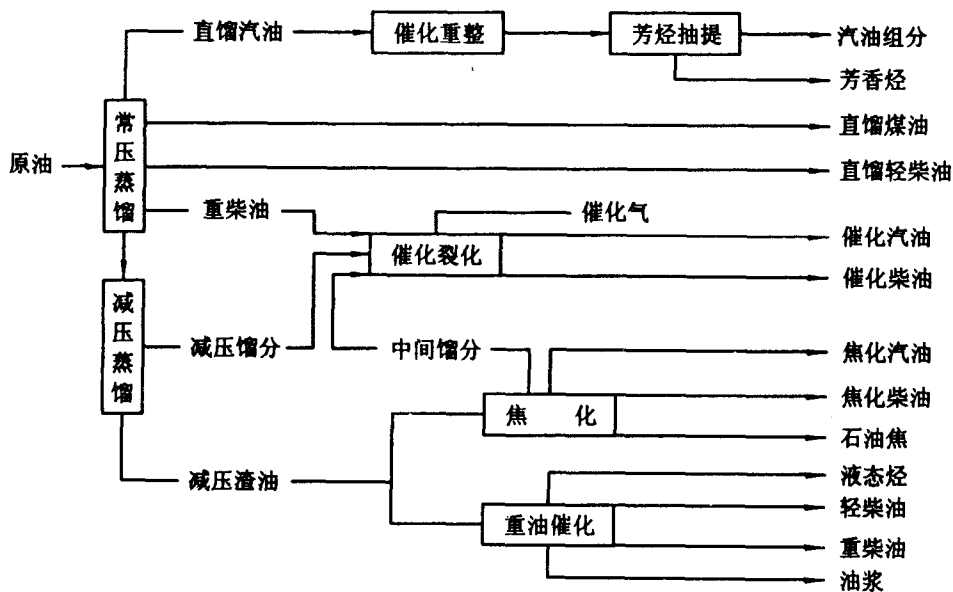


图1-1 燃料型工艺

流程中将常减压蒸馏得到的渣油进行重油催化和焦化,提高了轻质油的产出率。目前,此流程比较普遍。

## (二) 润滑油型加工流程

润滑油的产量在石油产品中虽仅占1%~5%左右,但其产品种类繁多,在国民经济中占有很重要的地位。图1-2为润滑油型石油化工工厂的典型流程。该流程除得到各种石油燃料外,通过对减压馏分的精制、脱蜡等工艺,还可以得到多品种的润滑油馏分。

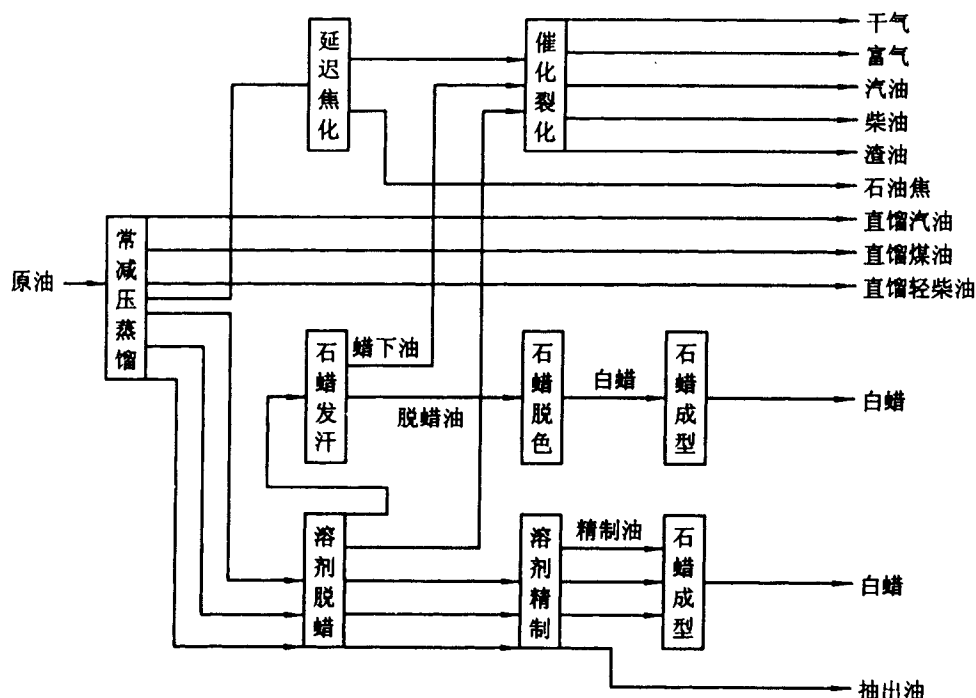


图1-2 燃料—润滑油型工艺流程

## (三) 化工型加工流程

近年来,石油已逐渐成为有机合成工业的主要原料资源,石油化工厂也逐渐从单纯生产石油产品转化为综合利用石油资源的工厂。在化工型工厂中,除生产各种燃料外,还利用催化的气体产物和催化重整产生的芳香烃等做原料,生产合成橡胶、合成纤维、塑料、合成氨等各种石油化工产品。图1-3为燃料—化工型流程的示意图。

以上介绍的是石油化工工厂的三种典型流程,在后序的内容中,我们将对石油化工工厂工艺分为燃料油、润滑油及化肥生产工艺三部分来介绍。

## 二、燃料油生产工艺

### (一) 原油蒸馏

原油蒸馏,又称常减压蒸馏,是石油化工工厂必不可少的第一道工序,通过它可以从中直接得到各种燃料、润滑油馏分及裂化原料。

#### 1. 工艺原理

原油蒸馏是根据原油中各组分的沸点(挥发度)不同用加热和蒸馏的方法从原油中分离出来各种石油馏分。例如,重整原料、汽油馏分、航空煤油、柴油、二次加工原料(润滑油,催化裂化

原料等)及渣油(重催及焦化沥青料)。常减压装置的产品质量要求是根据全厂加工方案决定的。原油经过换热进初馏塔。从塔顶分馏出初馏点约 150℃ 的馏分做重整原料,也可以出较重的汽油组分。拔头原油经过常压炉升温为气液两相,在常压塔内使气液两相充分接触,进行质量、热量交换。从塔顶分离出汽油组分,塔自上而下得到侧线产品,依次为航煤、轻柴、重柴、蜡油等。塔底分离出沸点较高的重油,这部分重油的分子量较大,在高温下易发生裂解反应,从而降低馏分油质量或引起结焦。根据减压下油品沸点低易蒸馏的道理,将减压塔用蒸气喷射泵抽成负压塔进行蒸馏,从减压塔顶分出的馏分,作为柴油混入常二线,减一线和常三线的油一般给加氢装置做原料,减二线油做蜡料,减三线油做裂化原料,减四线油做二次加工的混合原料,减压五线油做重催原料,另外,减二、三、四线油还可做润滑油基础料,减压塔底渣油除做燃料外,还可做重催、焦化、脱沥青装置原料。

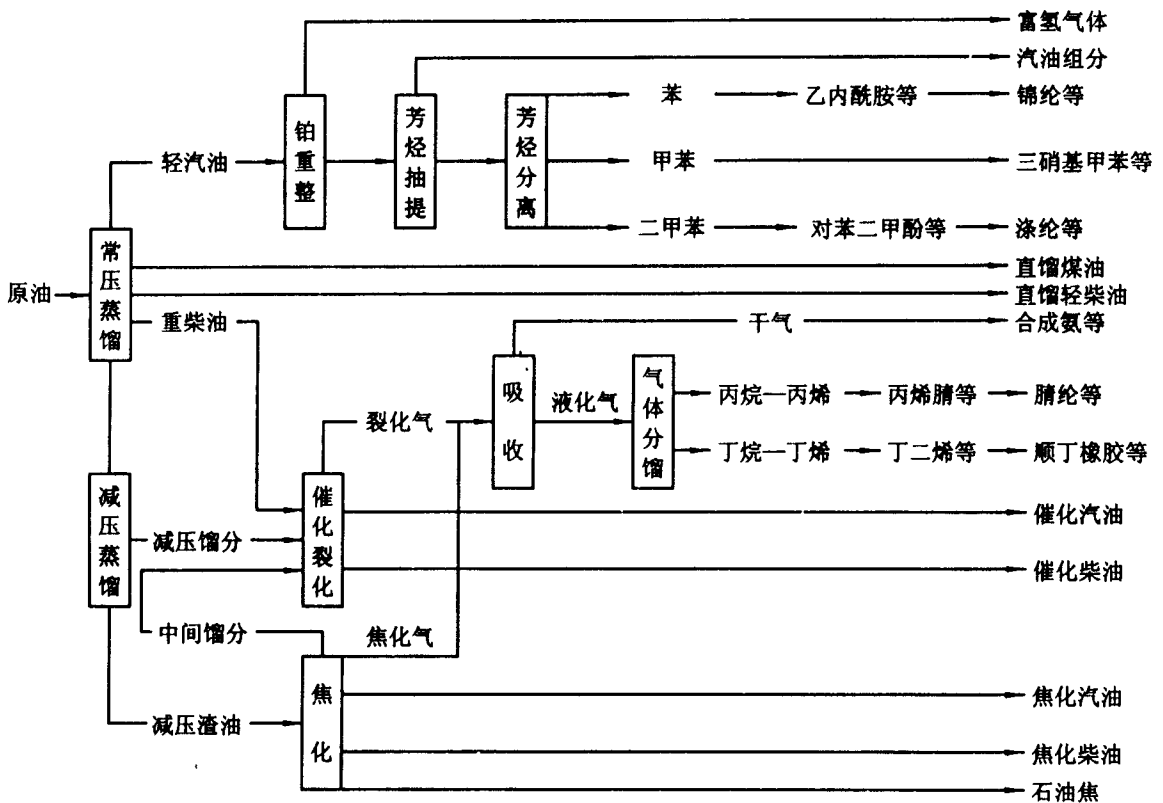


图 1-3 燃料-化工型工艺流程

## 2. 工艺流程

工艺流程见图 1-4, 45℃ 原油从输转 87 单元 11#、12# 罐进装置, 经原油泵—1/1、2 分两路进行换热, 泵前注入破乳剂。

一路原油与换—1(常顶气)换热到 68℃; 与换—2(常二线)换热到 76.6℃; 与换—3(常顶回流)换热到 86.9℃; 与换—4(减三线)换热到 94.1℃; 与换—5(常一线)换热到 101.4℃; 与换—6(减渣油)换热到 120.3℃。

二路原油与换—14(常顶气)换热到 68℃; 与换—15/1~3(常顶循环)换热到 104.6℃; 与换—16(常二线)换热到 112.3℃; 与换—17(减二线)换热到 120.6℃。

两路原油混合换热后温度为120℃,注入冷凝水注入量为5%(占原油),经混合阀充分混合后,进入电脱盐罐(容-1),将原油中水和盐分别脱到0.1%(重)及2.5mg/L以下。

脱后原油117.4℃分成四路进行换热,一路脱后原油与换-7(常二线)换热到138.2℃;与换-8(减二线)换热到152.6℃;与换-9/1,2(减三线)换热到169.5℃;与换-10/1~4(渣油)换热到239.8℃。二路脱后原油与换-11/1,2(减一中)换热到162.7℃;与换-12/1,2(常二线)换热到203℃;与换-13/1,2(减渣)换热到239.7℃。三路脱后原油与换-18(渣油)换热到137.8℃;与换-19(常四线)换热到153℃;与换-20(减四线)换热到173℃;与换-21/1,2(减二线)换热到202.9℃;与换-22(减二中)换热到222.7℃;与换-23(减三线)换热到240.3℃。四路脱后原油与换-24/1,2(渣油)换热到140.1℃;与换-25(减五线)换热到125℃;与换-26(常三线)换热到172.2℃;与换-27/1,2(渣油)换热到194.2℃;与换-28/1,2(常二中)换热到231℃;与换-29(常四线)换热到239.1℃。

四路脱后原油升温到230℃合为一路进入初馏塔(塔T-1)汽化段(图1-5)。原油在塔内闪蒸,从初馏塔顶馏出的油气约120℃,与采暖水(换-44/1~4)换热,(非采暖季节停用换-44/1~4),油气改走空冷(空冷-5/1~5)油气冷凝到77℃,进入初顶回流罐(容-2)。油气经分离后,液相用初顶回流泵(泵-4/1,2)打回初馏塔顶作回流,其余油气继续由初顶空冷器(空冷-1/1~3)、初顶后冷器(冷-1)冷却到40℃,进入初顶产品罐。液相用初顶产品泵(泵-5)送出装置做重整原料。气相经瓦斯分液罐(容-17)分液后送出装置回收轻烃。当轻烃装置停运时,瓦斯引到本装置加热炉做燃料。

初馏塔第10层(或12层)用初馏侧线泵(泵-6/1,2)抽出与常一中返塔管线合并送到常压塔第33层塔盘上。

初馏塔底拔头油,温度约为226℃,经初底泵(泵-2/1)抽出再次分两路换热。

一路拔头原油经换-30/1,2(常二中)换热到260.9℃;与换-31(渣油)换热到270℃;与换-32(渣油)换热到275.7℃;与换-33(减四线)换热到279.9℃;与换-34/1,2(渣油)换热到309.5℃。

二路拔头原油与换-35/1,2(减二中)换热到251.5℃;与换-36(渣油)换热到259℃;与换-37/1,2(减二中)换热到276.4℃;与换-38(常四线)换热到280.4℃;与换-39/1,2(渣油)换热到309.8℃;与换-53(减五线)换热到312.8℃;

两路拔头原油换热到309℃,然后分四路进入常压炉(炉-1),经过对流和辐射炉管,加热到365℃后,进入常压塔(塔T-2)进料段。

常压塔顶馏出的110℃油气(图1-6),与原油换热(换-1、换-14),油气冷却到86℃进入常顶回流罐(容-4)。经油气分离及分水后,液相用常顶回流泵(泵-7/1,2)抽出后打回到常压塔顶当做塔顶回流。从容-4出来的未凝油气继续经空冷器(空冷-2/1,2)和后冷器(冷-2)冷却到40℃,进入常顶产品罐(容-5),经分水后由常顶产品泵(泵-8)送出装置作为轻裂解料,不凝油气送到炉-1做燃料气。

常压塔设有47层塔盘及一个常二中填料段,顺次从第34层、23层、15层(或13层、11层)及第9层(或第7层)抽出常一线、常二线、常三线、常四线,抽出温度分别为170℃、260℃、322℃、345℃,其中常一、二、三线分别进入常压汽提塔(塔T-3)的上、中、下段进行汽提,汽提出的轻组分分别返回常压塔。常一线汽提是用常三线做重沸器热源、常二、三线用蒸气汽提。

常一线泵(泵-9/1,2)从汽提塔抽出常一线油,经与换-5(原油)换热到130℃注入少

量空气后送入内部装有 13X 铜分子筛的脱硫醇反应器(反-1/1,2)进行脱硫醇反应。经过脱硫醇后的常一线油顺次通过与换-41(伴热水)换热及空冷-3,冷却到 45℃ 后进入脱硫醇中间罐(容-14),再用航煤脱硫醇泵(泵-30/1,2)抽出。经过航煤脱色罐(容-8/1,2),玻璃毛过滤器(滤-1/1,2)和陶瓷过滤器(滤-2/1,2)送往装置外 3#航煤储罐。

常二线泵(泵-10/1,2)从汽提塔抽出常二线油,依次经换-12/1,2、换-7、换-16、换-2(原油)换热后,进入空气预热器(空预-1),与加热炉燃烧用的空气换热,然后送出装置。在开工期间,空预-1 未启用时,常二线油也可走空冷器(空冷-4/1,2)冷却到 60℃ 送出装置,作为轻柴油。

常三线泵(泵-11/1,2)从汽提塔抽出常三线油,经过换-40(常三热虹吸重沸器)提供汽提热源,然后与换-26(原油)、换-42(除盐水)、换-45(伴热水)换热,再经冷却器(冷-3)冷却到 60℃ 送出装置,作为 75SN 中型润滑油料。

常四线泵(泵-12/1,2)从常压塔第 9 层(或第 7 层)抽常四线油,先与换-38、换-29、换-19(原油)、换-46(采暖水)换热,然后经冷却器(冷-4)冷却到 70℃ 送出装置,作为催化裂化原料。

为了取走全塔的过剩热量,常压塔设有顶回流、顶循回流、常一中、常二中,取热比例:10:20:35:35。

顶循回流从第 44 层经常一中泵(泵-13/1,2)抽出,温度为 132℃,经与换-15/1~3(原油)冷却到 83.8℃,返回塔 46 层塔盘上。

常一中从 31 层塔盘经常一中泵(泵-14)抽出,温度为 204℃。经与蒸-1、蒸-3 换热发生泵  $p=1.0\text{MPa}$  及  $p=0.4\text{MPa}$  的蒸气后温度降为 154℃ 返回常压塔 33 层塔盘上。

常二中从第 22 层塔盘经常二中泵(泵-15/1,2)抽出温度为 288℃,与换-30/1,2 和换-28/1,2(原油)换热,温度降为 154℃,返回常压塔常二中填料段上部。

常压塔底油温度为 355℃。用常底泵(泵-3/1,2)抽出,分四路送入减压炉(炉-2),在辐射段入口注入  $p=1.0\text{MPa}$  的蒸气约 1530kg/h,经加热到 395℃,进入减压塔(塔 T-4)(图 1-7)的进料段进行减压蒸馏。

常压塔底油温度为 355℃,用常底泵(泵-3/1,2)抽出经过炉-2 加热到 395℃,进入减压塔(塔 T-4)的进料段进行减压蒸馏。

减压塔按湿式蒸馏设计。塔底吹入汽提蒸气,减二、三、四用蒸气汽提,以保证产品的闪点合格并适当调整馏分宽度。

减压塔顶出来的油气 55℃、3.33kPa 先进入预冷器(冷-5/1~4),将大部分蒸气及可凝油冷凝下来,预冷器采用 12℃ 深井水冷却,从预冷器出来的未凝油气和蒸气为 19.5℃,进入一段蒸气喷射器(抽-1/1,2)由 2.53kPa 增压到 16.80kPa 进入一级冷凝器(冷-6/1,2),冷-6/1,2 的冷却水是利用冷-5/1~4 排出的深井水,从冷-6/1,2 出来的 32℃ 的不凝气和水蒸气进入二级蒸气喷射器(抽-2/1,2),增压到 106.66kPa,然后进入二级冷凝器(冷-7/1,2)中将大部分蒸气冷凝下来,不凝气引到加热炉烧掉。在空预冷器,一级冷凝器和二级冷凝器中冷凝下来的凝缩油和水,通过大气流入减顶分水罐(容-6)中进行油水分离,分出的减顶油用顶油泵(泵-24/1,2)送出装置做柴油组分。减顶分水罐排出的水排入含油污水管网及电脱盐注水泵(泵-25/1,2)入口做电脱盐注水。

减一线油 130℃,从减压塔顶部填料段下面的集油箱中抽出,用减一线泵(泵-16/1,2)抽出。经过换-3(原油),换-43/1,2(除盐水)换热后分成两路。一路作为减一线油送出装

置做裂化原料;另一路继续经冷却器(冷—8),冷至50℃,返回减压塔顶做减顶回流。

减二线油270℃,从减压塔第13层(或15层)塔盘馏出进入减二线汽提塔。汽提出的轻组分及水蒸气返回减压塔。汽提过的减二线油用减二线油泵(泵—17/1、2)抽出,依次与换—21/1、2、换—8、换—17原油、换—51(采暖水)换热,最后经冷却器(冷—9)冷至60℃送出装置做200SN(或150SN)润滑油料。

减三线油338℃,从减压塔第5层塔盘馏出,进入减三线汽提塔,汽提出的轻组分及水蒸气返回减压塔,汽提过的减三线油用减三线泵(泵—18)抽出,与换—23、换—9/1、2及换—4(原油)换热后,进入冷却器(冷—10)冷至60℃送出装置,做500SN(或400SN)原料。

减四线油358℃,从减压塔净洗油填料段下面的集油箱馏出,进入减四线汽提塔,汽提出的轻组分及水蒸气返回减压塔。汽提过的减四线油用减四线泵(泵—19/1、2)抽出,大部分返回减压塔,通过喷头喷在净洗填料段的上方作为净洗油;另一部分依次与换—33、换—20(原油)、换—47(采暖水)换热,最后进入冷却器(冷—11)冷至60℃送出装置,做650SN(或150SN)原料。

减五线油370℃,从减压塔靠近汽化段之上集油箱流入减五线中间罐,再用减五线泵(泵—20/1、2)抽出,分送两处。一路作为过汽化油返回到常压塔底泵(泵—3/1、2)入口,经减压炉返回减压塔汽化段;第二路经换—53(拔头油)、换—25(原油)换热,进入冷却器(冷—12)冷至90℃送出装置,做催化裂化原料。

减压塔底渣油370℃,从减底油泵(泵—21/1、2)抽出,分两路与原油换热,一路为换—39/1、2、换—31、换—10/1~4、换—18;另一路为换—34/1、2、换—32、换—36、换—13/1、2、换—27/1、2换热后两路合并温度为160℃,分出少量作为本装置的自用燃料供炉—1、炉—2使用,其余大部分继续与脱前原油换—6换热,接着与换—48换热(脱盐注水)换热,换—50(采暖水)换热后渣油温度为98℃,可直接送出装置。非采暖季节,采暖水换热器停用,渣油改走冷却器(冷—13/1、2)冷至98℃送出装置做催化裂化原料,减压渣油在与电脱盐注水换热后温度为125℃,直接分出一部分送至焦化装置。

减压塔设有两个中段回流,减一中用泵(泵—22)从第18层塔盘抽出,温度为214℃。经蒸—2/1、2中发生泵 $p=1.0\text{MPa}$ 蒸气之后,再与换—11/1、2(原油)换热温度为300℃与换—37/1、2、换—35/1、2、换—22(原油)换热后温度降为236℃,返回减压塔第11层塔盘上。

为了减轻初馏塔、常压塔和减压塔塔顶部馏出物对设备和管线的腐蚀并使初顶油,常顶油腐蚀检验合格,本装置设有塔顶注水泵(泵—26/1、2)和氨水泵(泵—29/1、2)向上述三塔顶注水注氨。

本装置设有仪表冲洗油泵(泵—32)一台,从航煤脱硫醇中间罐(容—14)抽出部分常一线油作为仪表冲洗油。

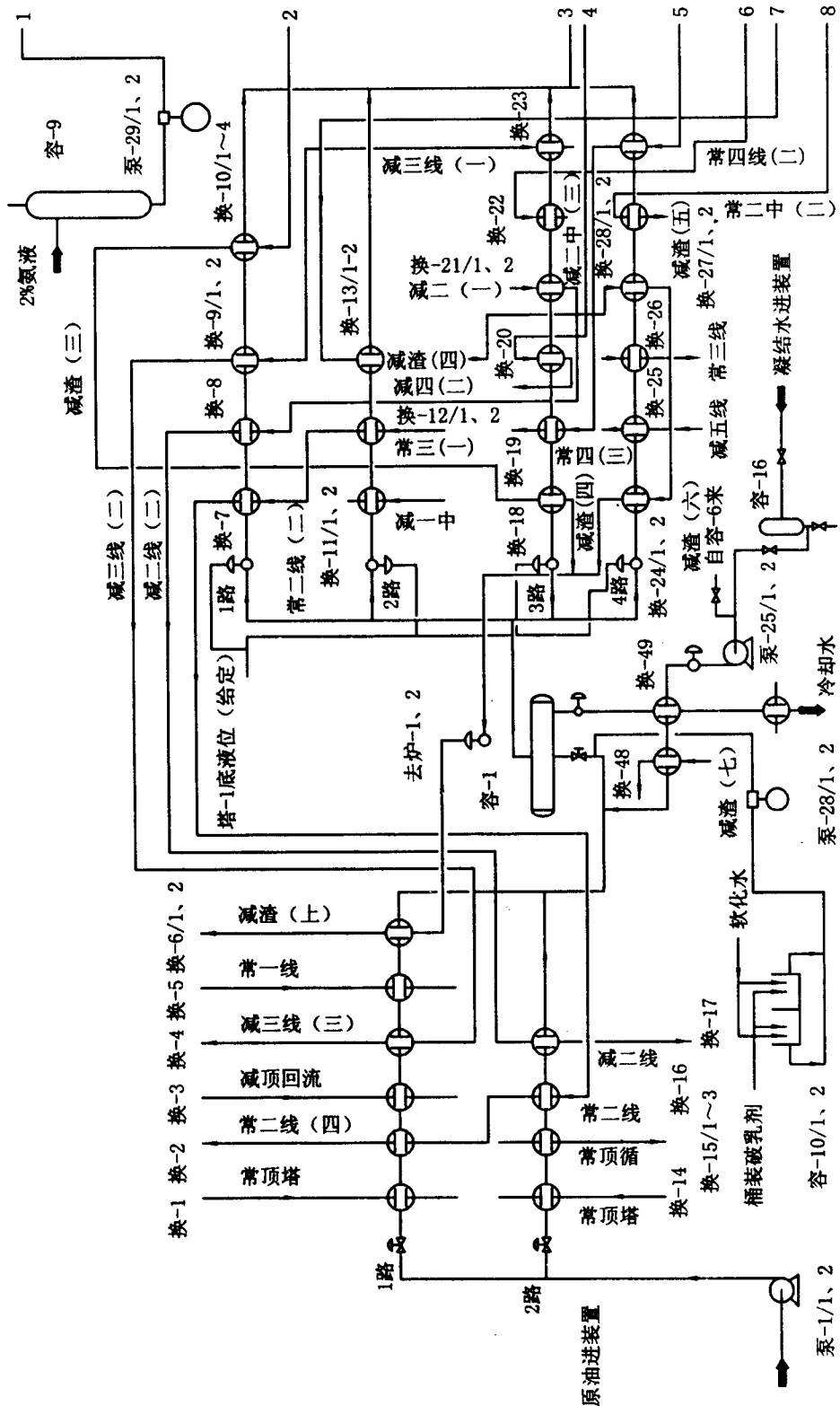


图 1-4 常减压流程图 (一)

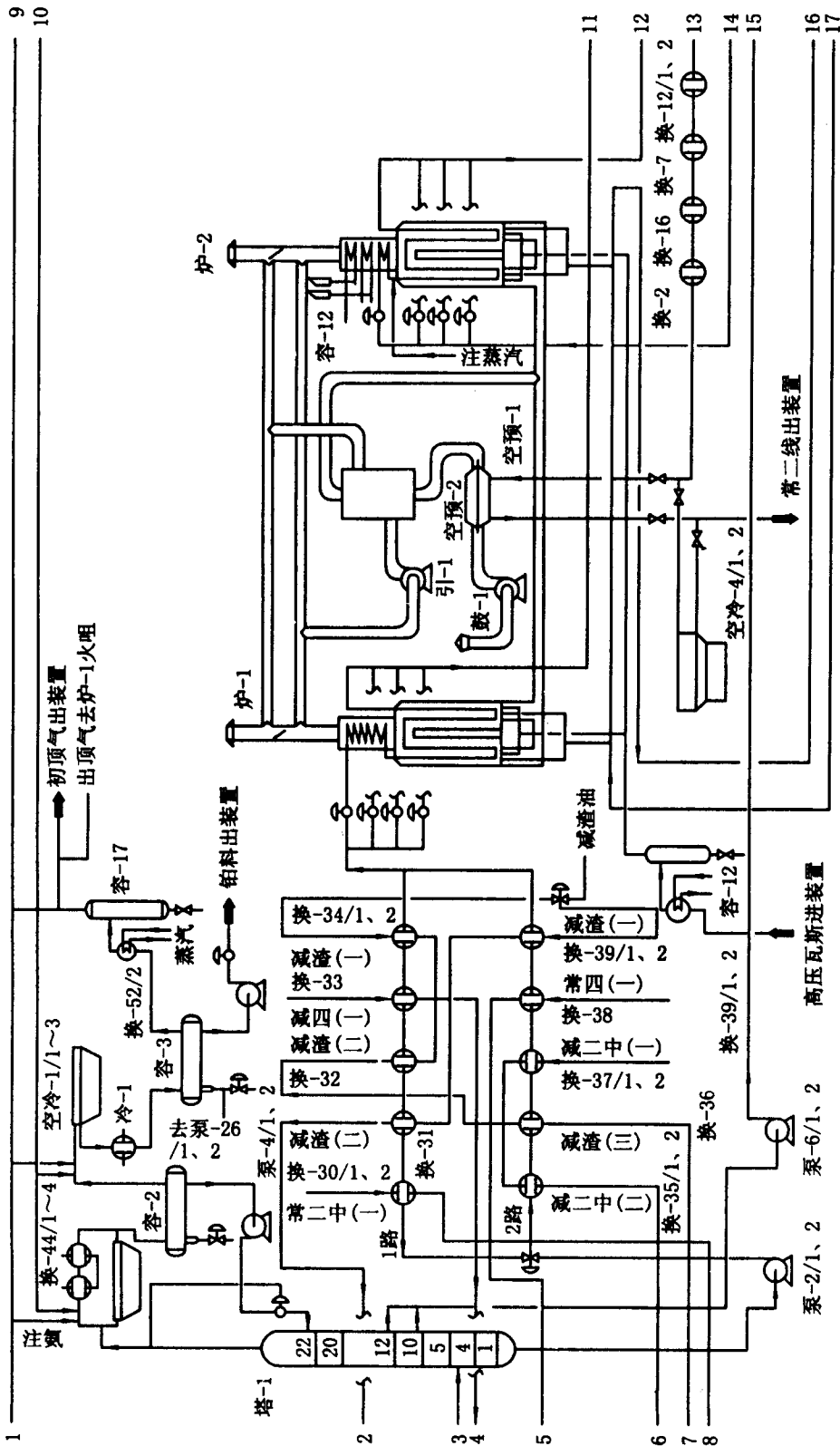


图 1-5 常减压流程图 (二)



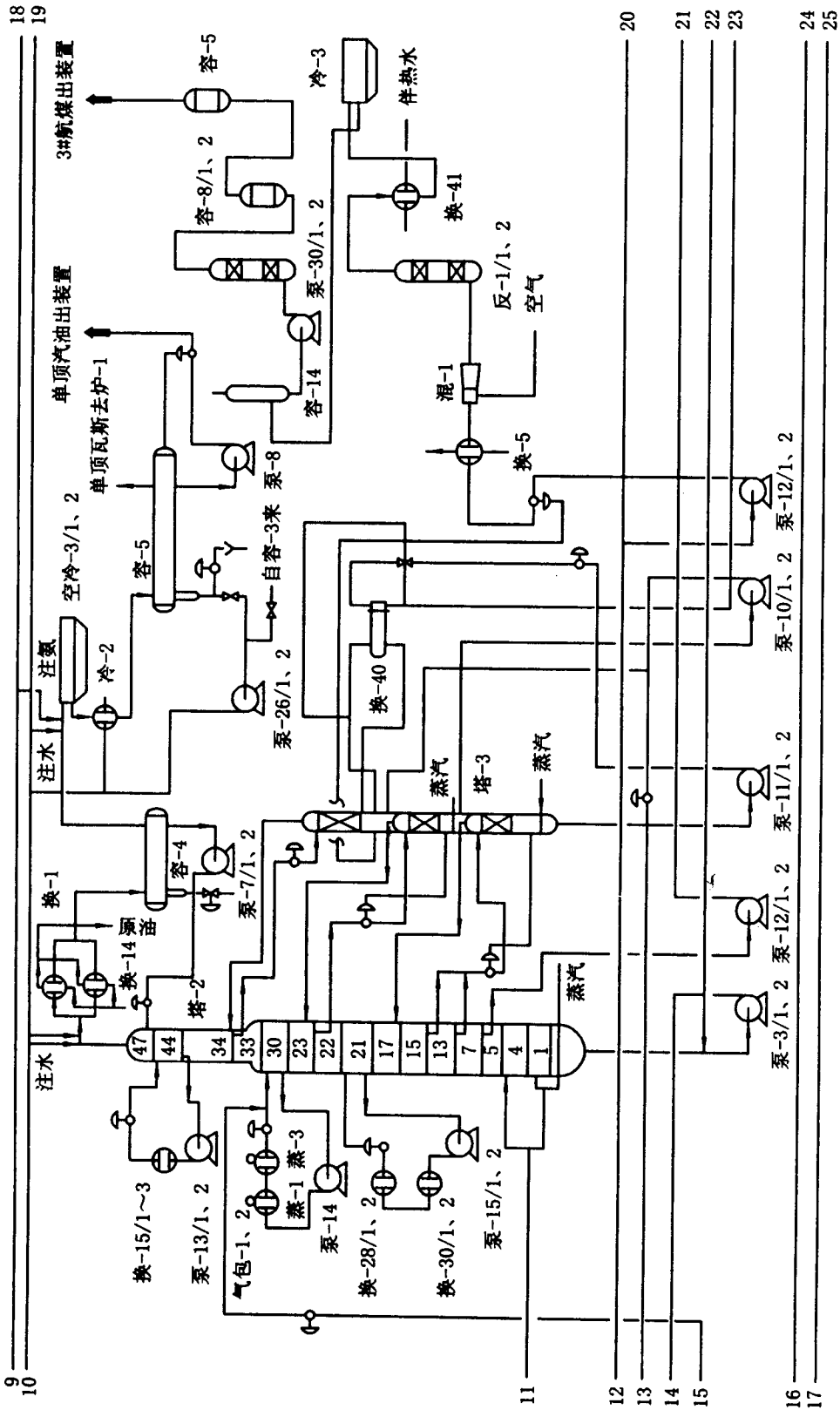


图 1—6 常减压流程图 (三)