

煤炭职业教育课程改革规划教材

MEITAN ZHIYE JIAOYU KECHENG GAIGE GUIHUA JIAOCAI

# 煤焦化产品回收与加工

MEIJIAOHUA CHANPIN HUISHOU YU JIAGONG

● 主 编 王翠萍  
副主编 张 莺 薛仁生

煤炭工业出版社

煤炭职业教育课程改革规划教材

# 煤焦化产品回收与加工

主 编 王翠萍

副主编 张 莺 薛仁生

常州大学图书馆  
藏书章

编 者

2014年1月

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

煤焦化产品回收与加工/王翠萍主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2014

煤炭职业教育课程改革规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4452 - 7

I. ①煤… II. ①王… III. ①炼焦—化工产品—回收  
②炼焦—化工产品—加工 IV. ①TQ522.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 031518 号

煤炭工业出版社 出版  
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: [www.cciph.com.cn](http://www.cciph.com.cn)

北京玥实印刷有限公司 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本 787mm × 1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 16

字数 376 千字 印数 1—3 000

2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

社内编号 7284 定价 32.00 元

**版权所有 违者必究**

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

# 前 言

为满足煤炭工业新形势对煤炭职业教育发展的需要,加快煤炭职业教育教材建设步伐,依据培养技术应用型专门人才的要求和煤炭行业的自身特点,我们组织有关教师编写了本教材。本教材在编写过程中注重职业教育的特点,简化了理论体系,以实用、必需、够用为原则,力求使所讲内容尽可能与现场实践相结合。

本教材由山西煤炭职业技术学院王翠萍主编。绪论和项目七由山西煤炭职业技术学院王翠萍编写,项目一由山西煤炭职业技术学院张跃淑编写,项目二和项目三由山西煤炭职业技术学院张莺编写,项目四由重庆工业技术学院高丽编写,项目五由山西煤炭进出口检验中心赵法宝编写,项目六由云南能源职业技术学院彭兴华编写,项目八由陕西能源技术学院凌洁编写,项目九由山西吕梁师范学院薛仁生编写。全书由山西煤炭职业技术学院王翠萍、张莺统稿。

在本书编写过程中,参考了大量的专著和资料,在此向作者表示感谢;同时还要向为本书提供大量技术资料的企业和老师以及在出版过程中给予热情支持和大力帮助的单位和个人表示感谢。

限于篇幅和教学时数,本书在内容的深度和广度上可能存在一定的局限性,鉴于编者水平和能力有限,本书存在的不妥之处恳请读者指正。

编 者

2014 年 1 月

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 项目四 煤气中氨和粗轻吡啶的回收  | 82  |
| 任务一 硫酸吸收法生产亚硫酸    | 82  |
| 任务二 磷酸吸收法回收煤气中的氨  | 92  |
| 任务三 粗轻吡啶的回收       | 96  |
| 任务四 剩余氨水的处理       | 100 |
| 项目五 粗苯的回收与制取      | 105 |
| 任务一 粗苯的组成、性质和回收方法 | 105 |
| 任务二 用洗油吸收煤气中的苯族烃  | 108 |
| 任务三 煤气的终冷和除苯      | 121 |
| 任务四 富油脱苯          | 124 |

## 内 容 提 要

本书以煤焦化产品回收工艺过程为主线,由简单到复杂,系统地阐述了国内常规的和先进的煤焦化产品回收的原理和工艺过程、回收设备的结构和焦化产品的加工方法、加工工艺及常用设备等内容,突出了学生实际技能的培养,体现了高职高专教材的特色。

本书可作为高职高专院校及成人教育院校煤化工专业、化学工程与工艺专业的教材或参考书,也可供从事能源、燃气、煤化工及煤综合利用工作的工程技术人员及管理人员参阅。

主 编 王 翠 芳

主 审 黄 米 杰

煤炭工业出版社

· 京 北 ·

# 目次

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 绪论                    | 1   |
| 项目一 煤气的初冷和焦油氨水的分离     | 3   |
| 任务一 煤气在集气管内的冷却        | 3   |
| 任务二 煤气在初冷器的冷却         | 7   |
| 任务三 焦油氨水的分离           | 14  |
| 任务四 煤气冷却和冷凝的主要设备      | 17  |
| 任务五 煤气初冷操作和常见故障处理     | 24  |
| 项目二 焦炉煤气的输送和煤焦油雾的清除   | 29  |
| 任务一 煤气的输送系统           | 29  |
| 任务二 鼓风机               | 32  |
| 任务三 煤气中焦油雾的清除         | 40  |
| 项目三 焦炉煤气中硫化氢和氰化氢的清除   | 46  |
| 任务一 概述                | 46  |
| 任务二 焦炉煤气的干法脱硫         | 48  |
| 任务三 HPF 法脱硫           | 51  |
| 任务四 改良蒽醌二磺酸钠法脱硫和栲胶法脱硫 | 58  |
| 任务五 苦味酸法脱硫脱氰          | 69  |
| 任务六 氨水法脱硫             | 74  |
| 项目四 煤气中氨和粗轻吡啶的回收      | 82  |
| 任务一 硫酸吸收法生产硫酸铵        | 82  |
| 任务二 磷酸吸收法回收煤气中的氨      | 92  |
| 任务三 粗轻吡啶的回收           | 96  |
| 任务四 剩余氨水的处理           | 100 |
| 项目五 粗苯的回收与制取          | 105 |
| 任务一 粗苯的组成、性质和回收方法     | 105 |
| 任务二 用洗油吸收煤气中的苯族烃      | 108 |
| 任务三 煤气的终冷和除萘          | 121 |
| 任务四 富油脱苯              | 124 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 任务五 富油脱苯主要设备          | 130 |
| 任务六 洗脱苯工段的主要操作及常见故障处理 | 139 |
| 项目六 焦化废水的处理           | 145 |
| 任务一 焦化企业废物的来源及危害      | 145 |
| 任务二 焦化废水的处理技术         | 147 |
| 任务三 焦化废水的处理工艺         | 152 |
| 任务四 焦化废水零排放           | 160 |
| 任务五 水污染防治对策           | 162 |
| 项目七 粗苯的精制             | 164 |
| 任务一 粗苯精制主要产品和加工方法     | 164 |
| 任务二 苯催化加氢的原理及主要化学反应   | 167 |
| 任务三 苯催化加氢工艺流程及主要设备    | 170 |
| 任务四 萃取精馏精制苯           | 176 |
| 任务五 主要设备操作规程          | 179 |
| 任务六 粗苯车间安全防火          | 191 |
| 任务七 古马隆—茛树脂的生产        | 199 |
| 项目八 煤焦油的加工            | 204 |
| 任务一 煤焦油的组成、质量及用途      | 204 |
| 任务二 煤焦油加工前的准备         | 205 |
| 任务三 连续式焦油蒸馏           | 207 |
| 任务四 焦油蒸馏系统的主要设备       | 211 |
| 任务五 沥青的冷却及加工          | 216 |
| 项目九 工业萘及精萘的生产         | 223 |
| 任务一 生产工业萘的原料及产品       | 223 |
| 任务二 工业萘的生产            | 227 |
| 任务三 精萘的生产             | 237 |
| 参考文献                  | 247 |

# 绪 论

炼焦化学是研究以煤为原料，经高温干馏获得焦炭和荒煤气（或称粗煤气），并用经济合理的方法将荒煤气分离和精制成化学产品的技术和工艺原理的科学。以煤为原料，经过高温干馏生产焦炭，同时获得煤气、煤焦油，并回收其他化工产品的工业是炼焦化学工业。生产和经营炼焦化学产品的单位是炼焦化学工厂。在中国钢铁联合企业能耗中，焦炭和煤焦煤气提供的能源占 60% 以上，所以大部分焦化厂均设在钢铁联合企业中，是钢铁联合企业的重要组成部分，另有一部分是设在民用煤气或化工部门。

煤于炼焦炉内在隔绝空气高温加热条件下，煤质发生一系列的变化，除生成固态的焦炭外，还裂解生成挥发性产物，简称荒煤气。荒煤气中含有多种化合物，包括常温下的气态物质如氢气、甲烷、一氧化碳、二氧化碳等； $C_1 \sim C_6$  直链烃类和氢等裂解成焦炉煤气的主要部分。缩环裂解后，含一个苯环的为苯系化合物，包括苯、甲苯、乙基苯和二甲苯、三甲苯的同分异构物；含两个苯环的为萘系化合物，包括萘和甲基萘、二甲基萘的异构物，也包括茚、联苯及茈等；含 3 个苯环的为蒽系化合物，包括蒽、菲和荧蒽等；含 4 个和 4 个以上苯环的为多环系化合物，包括芘、苯并荧蒽等。煤结构中除碳、氢元素外的氮、氧、硫等成分，在裂解中一部分生成一氧化碳、氰化氢、硫化氢、氨等进入焦炉煤气，其余部分是与苯环和多环化合物结合，形成一系列复杂化合物。例如，含氧的苯环生成酚、甲酚、二甲酚等酸性物质；含氧的萘环生成萘酚、萘二酚等；氧也能生成杂环含氧化合物，如古马隆、氧茚等。氮在裂解时可生成吡啶、甲基吡啶等碱性物质，也可以生成喹啉、异喹啉等；还可以生成咪唑、吡嗪、苯胺、萘胺等化合物。硫与碳原子直接结合组成二硫化碳，存在于焦炉煤气中；另外，硫还能与直链化合物生成噻吩，与苯环合成硫茚，与萘化合成萘硫酚等。煤高温下裂解转入荒煤气的物质有上万种，目前有些国家生产的炼焦化学产品品种已达 500 多种。中国目前经过生产试制，包括小批量生产的为 150 余种，正式生产的有 70 多个品种。这 70 多个品种的含量约占煤化学产品的 95%，搞好这些炼焦化学产品的回收与精制，对国家经济建设将起到重大作用。

炼焦化学产品在国民经济中占有重要地位。炼焦化学工业是国民经济的一个重要部门，是钢铁联合企业的主要组成部分之一，是煤炭的综合利用工业。煤在炼焦时，除有 75% 左右变成焦炭外，还有 25% 左右生成多种化学产品及煤气。

来自焦炉的荒煤气，经冷却和用各种吸收剂处理后，可以提取除煤焦油、氨、萘、硫化氢、氰化氢及粗苯等化学产品，并得到净焦炉煤气。

氨可用于制取硫酸铵和无水氨；煤气中所含有的氢可用于制造合成氨、合成甲醇、过氧化氢、环己烷等，合成氨可进一步制成尿素、硝酸铵和碳酸氢铵等化肥；所含的乙烯可用作制取乙醇和二氯乙烷的原料。

硫化氢是生产单斜硫和元素硫的原料，氰化氢可用于制取黄血盐钠或黄血盐钾。同时，回收硫化氢和氰化氢对减少大气和水质的污染、加强环境保护以及减轻设备腐蚀均具有重要意义。

粗苯和煤焦油都是组成很复杂的半成品，经精致加工后，可得到的产品有二硫化碳、苯、甲苯、二甲苯、三甲苯、古马隆、酚、甲酚、萘、蒽和吡啶盐基及沥青等。这些产品具有极为广泛的用途，是塑料、合成纤维、染料、合成橡胶、医药、农药、耐辐射材料、耐高温材料以及国防工业的重要原料。

在钢铁联合企业中，经过回收化学产品的焦炉煤气是具有较高热值的冶金燃气，是钢铁生产的重要燃料。焦炉煤气除满足钢铁生产自身的需要外，其余部分经深度脱硫后，可供民用或送往化学工厂用作合成原料气。

由于石油和天然气的化学加工和合成技术的发展，炼焦化学产品存在竞争，但石油储量有限，开采量加大，按目前耗用速度，使用年限估计为几十年，而煤的使用年限估计在几百年。世界各国都重视炼焦化学工业的发展，以从中取得化学应用的原料。一些重要化工原料，主要来自炼焦化学产业，如全世界萘需求量的90%来自煤焦油，作为染料原料的精蒽也几乎全来自煤焦油，生产碳素电极的电极沥青大部分来自煤焦油沥青。近年来，为了进行经济上的竞争和加强环境保护，炼焦化学工业在改进生产工艺、生产优质多品种的炼焦化学产品、降低生产成本和减少单位投资等方面均取得了很大进展。我国已经从焦炉煤气、粗苯、煤焦油中提取出百余种产品，今后，煤的综合利用将更加合理和高效地发展。

粗苯和煤焦油都是组成很复杂的半成品，经精致加工后，可得到的产品有二硫化碳、苯、甲苯、二甲苯、三甲苯、古马隆、酚、甲酚、萘、蒽和吡啶盐基及沥青等。这些产品具有极为广泛的用途，是塑料、合成纤维、染料、合成橡胶、医药、农药、耐辐射材料、耐高温材料以及国防工业的重要原料。

在钢铁联合企业中，经过回收化学产品的焦炉煤气是具有较高热值的冶金燃气，是钢铁生产的重要燃料。焦炉煤气除满足钢铁生产自身的需要外，其余部分经深度脱硫后，可供民用或送往化学工厂用作合成原料气。

由于石油和天然气的化学加工和合成技术的发展，炼焦化学产品存在竞争，但石油储量有限，开采量加大，按目前耗用速度，使用年限估计为几十年，而煤的使用年限估计在几百年。世界各国都重视炼焦化学工业的发展，以从中取得化学应用的原料。一些重要化工原料，主要来自炼焦化学产业，如全世界萘需求量的90%来自煤焦油，作为染料原料的精蒽也几乎全来自煤焦油，生产碳素电极的电极沥青大部分来自煤焦油沥青。近年来，为了进行经济上的竞争和加强环境保护，炼焦化学工业在改进生产工艺、生产优质多品种的炼焦化学产品、降低生产成本和减少单位投资等方面均取得了很大进展。我国已经从焦炉煤气、粗苯、煤焦油中提取出百余种产品，今后，煤的综合利用将更加合理和高效地发展。

粗苯和煤焦油都是组成很复杂的半成品，经精致加工后，可得到的产品有二硫化碳、苯、甲苯、二甲苯、三甲苯、古马隆、酚、甲酚、萘、蒽和吡啶盐基及沥青等。这些产品具有极为广泛的用途，是塑料、合成纤维、染料、合成橡胶、医药、农药、耐辐射材料、耐高温材料以及国防工业的重要原料。

在钢铁联合企业中，经过回收化学产品的焦炉煤气是具有较高热值的冶金燃气，是钢铁生产的重要燃料。焦炉煤气除满足钢铁生产自身的需要外，其余部分经深度脱硫后，可供民用或送往化学工厂用作合成原料气。

由于石油和天然气的化学加工和合成技术的发展，炼焦化学产品存在竞争，但石油储量有限，开采量加大，按目前耗用速度，使用年限估计为几十年，而煤的使用年限估计在几百年。世界各国都重视炼焦化学工业的发展，以从中取得化学应用的原料。一些重要化工原料，主要来自炼焦化学产业，如全世界萘需求量的90%来自煤焦油，作为染料原料的精蒽也几乎全来自煤焦油，生产碳素电极的电极沥青大部分来自煤焦油沥青。近年来，为了进行经济上的竞争和加强环境保护，炼焦化学工业在改进生产工艺、生产优质多品种的炼焦化学产品、降低生产成本和减少单位投资等方面均取得了很大进展。我国已经从焦炉煤气、粗苯、煤焦油中提取出百余种产品，今后，煤的综合利用将更加合理和高效地发展。

## 项目一 煤气的初冷和焦油氨水的分离

从炼焦炉产生的荒焦炉煤气，首先需进行初步冷却、焦油气和水汽的冷凝及初步净化，然后再输送到以后的工段回收煤气中的氨、苯族烃并脱硫脱氰。在煤气初步冷却过程中，还可得到粗焦油及氨水。

焦炉煤气从炭化室经上升管逸出时的温度为  $650 \sim 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，此时煤气中含有焦油气、苯族烃、水汽、氨、硫化氢、氰化氢、萘及其他化合物。为回收和处理这些化合物，首先应将煤气冷却，原因有以下几点：

(1) 从煤气中回收化学产品和净化煤气时，多采用比较简单易行的冷凝法、冷却法和吸收法，在较低的温度 ( $25 \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 下才能保证较高的回收率。

(2) 含有大量水汽的高温煤气体积大 (例如查得  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时  $1\text{ m}^3$  干煤气，在  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  经水蒸气饱和后的体积将变为  $2.429\text{ m}^3$ ，而在  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  经水汽饱和的体积为  $1.126\text{ m}^3$ ，前者比后者大  $1.16$  倍)，显然所需输送煤气管道直径、鼓风机的输送能力和功率均增大，这是不经济的。

(3) 在煤气冷却过程中，不但有水汽冷凝，且大部分焦油和萘也被分离出来，部分硫化物、氰化物等腐蚀性介质溶于冷凝液中，从而可减少回收设备及管道的堵塞和腐蚀。

煤气的初步冷却分两步进行：

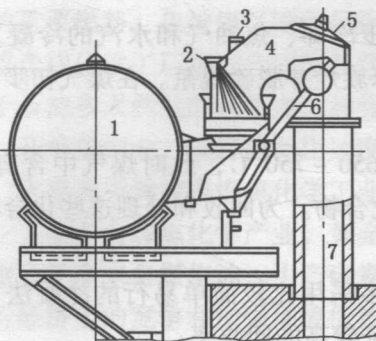
第一步是在集气管及桥管中用大量循环氨水喷洒，使煤气冷却到  $80 \sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

第二步是在煤气初冷器中冷却。在初冷器中将煤气冷却到何种程度，随化学产品回收与煤气净化选用的工艺方法而异，需经技术经济比较确定。例如，若以硫酸或磷酸作为吸收剂，用化学吸收法除去煤气中的氨，初冷器后煤气温度可以高一些，一般为  $25 \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；若以水作吸收剂，用物理吸收法除去煤气中的氨初冷后煤气温度要低些，一般为  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下。

### 任务一 煤气在集气管内的冷却

#### 一、煤气在集气管内冷却的机理

煤气在集气管和桥管内冷却，是用表压为  $150 \sim 200\text{ kPa}$  的循环氨水通过喷头强烈喷洒进行的，如图 1-1 所示。当细雾状的氨水与煤气充分接触时，由于煤气温度很高而湿度又很低，故煤气放出大量显热，氨水大量蒸发，快速进行着传热和传质过程。传热过程的推动力是煤气与氨水的温度差，所传递的热量为显热，是高温的煤气将热量传递给低温的循环氨水。传质过程的推动力是循环氨水液面上的水汽分压与煤气中水汽分压之差，氨水部分蒸发，煤气温度急剧降低，以供给氨水蒸发所需的潜热，此部分热量占煤气冷却所放出总热量的  $75\% \sim 80\%$ ；另外，约占所放出总热量  $10\%$  的热量由集气管表面散失。



1—集气管；2—氨水喷嘴；3—无烟装煤蒸汽入口  
4—桥管；5—上升管盖；6—水封阀翻盖；7—上升管

图 1-1 上升管、桥管和集气管

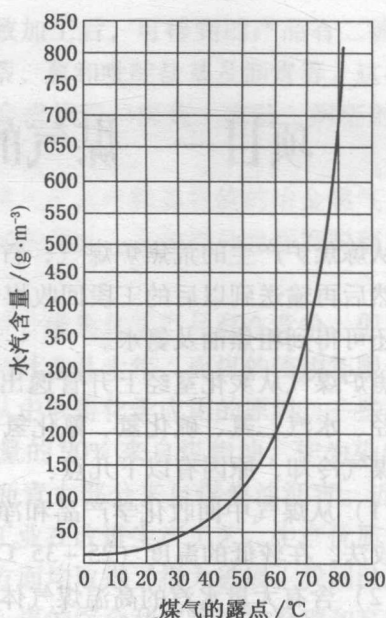


图 1-2 煤气露点与煤气中水汽含量的关系

通过上述冷却过程，煤气温度由 650 ~ 750 °C 降至 80 ~ 85 °C，同时有 60% 左右的焦油气冷凝下来，含在煤气中的粉尘也被冲洗下来，有焦油渣产生。在集气管冷却煤气主要是靠氨水蒸发吸收需要的相变热使煤气显热减少，温度降低，所以煤气温度可冷却至高于其最后达到的露点温度 1 ~ 3 °C。煤气的露点温度就是煤气被水汽饱和的温度，也是煤气在集气管中冷却的极限。

## 二、煤气露点与煤气中水汽含量的关系

煤气的冷却及所达到的露点温度同煤料水分、进集气管前煤气的温度、循环氨水量、进出口温度等因素有关。其中以煤料水分影响最大，在一般生产条件下，煤料水分每降低 1%，露点温度可降低 0.6 ~ 0.7 °C。煤气露点与煤气中水汽含量之间的关系如图 1-2 所示。

## 三、煤气在集气管内冷却的技术要求

### 1. 集气管技术操作指标

集气管技术操作的主要指标如下（中国沿海地区数据）：

|                  |           |
|------------------|-----------|
| 集气管前煤气温度/°C      | 650 ~ 750 |
| 离开集气管的煤气温度/°C    | 80 ~ 85   |
| 循环氨水温度/°C        | 72 ~ 78   |
| 离开集气管氨水的温度/°C    | 74 ~ 80   |
| 煤气露点/°C          | 79 ~ 83   |
| 循环氨水量/(m³ · t⁻¹) | 5 ~ 6     |
| 蒸发的氨水量（占循环氨水量）/% | 2 ~ 3     |

由此可见，煤气虽然已显著冷却，但集气管内不仅不发生水蒸气的冷凝，相反由于氨水蒸发，使煤气中水分增加。但煤气仍未被水汽所饱和，经冷却后煤温仍高于煤气的露点温度。

2. 技术要求

（1）集气管在正常操作过程中用氨水而不用冷水喷洒，因冷水温度低不易蒸发，使煤气冷却效果不好，所带入的矿物杂质会增加沥青的灰分。此外，由于水温很低，使集气管底部剧烈冷却、冷凝的焦油黏度增大，易使集气管堵塞。氨水又有润滑性，便于焦油流动，可以防止煤气冷却过程中煤粉、焦粒、焦油混合形成的焦油渣积聚而堵塞煤气管道。

（2）进入集气管前的煤气露点温度主要与装入煤的水分含量有关，煤料中水分（化合水及配煤水分，约占干煤质量的 10%）形成的水汽在冷却时放出的显热约占总放出热量的 23%，所以降低煤料水分，会显著影响煤气在集气管内冷却的程度。当装入煤全部水分为 8%~11% 时，相应的露点温度为 65~70℃。为保证氨水蒸发的推动力，进口水温应高于煤气露点温度 5~10℃，所以采用 72~78℃ 的循环氨水喷洒煤气。

（3）对不同形式的焦炉，所需的循环氨水量也有所不同，生产实践经验确定的定额数据如下：对单集气管的焦炉，每吨干煤需 5 m³ 循环氨水；对双集气管焦炉，每吨干煤需 6 m³ 的循环氨水。近年来，国内外焦化厂已较普遍地在焦炉集气管上采用了高压氨水代替蒸汽喷射进行无烟装煤，个别厂还采用了预热煤炼焦，设置了独立的氨水循环系统，用于专设的焦炉集气管的喷洒，则它们的循环氨水量又各不相同。

（4）集气管冷却操作中，应经常对设备进行清扫，以保持循环氨水喷洒系统畅通，氨水压力、温度、循环量力求稳定。

四、集气管的物料平衡与热平衡

通过集气管的物料平衡和热平衡的计算，可以了解集气管内物料转移的情况以及求得冷却后的煤气温度。若冷却后的煤气温度已确定，就可以求得必需的循环氨水用量及其蒸发量。也可用以评定集气管操作好坏。

下面以沿海地区某厂实际生产数据为例，计算煤气被冷却至一定温度时循环氨水的蒸发水量和集气管出口煤气的露点温度。

（一）某厂实际生产数据

1. 产品产率（对干煤质量）

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 焦炉煤气/%               | 15.8  |
| 水分(化合水 2%，配煤水分 8%)/% | 10.0  |
| 焦油/%                 | 4.0   |
| 粗苯/%                 | 1.1   |
| 氨/%                  | 0.3   |
| 硫化氢/%                | 0.3   |
| 焦炭/%                 | 76.5  |
| 总计/%                 | 108.0 |

## 2. 操作指标

|                                                |                     |
|------------------------------------------------|---------------------|
| 冷凝焦油量占总焦油量/%                                   | 60                  |
| 进入集气管的煤气温度/℃                                   | 650                 |
| 离开集气管的煤气温度/℃                                   | 82                  |
| 进入集气管的循环氨水温度/℃                                 | 75                  |
| 离开集气管的循环氨水温度/℃                                 | 78                  |
| 标准状态下的煤气密度/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | 0.465               |
| 集气管内压强/Pa                                      | $1.013 \times 10^5$ |

## 3. 热量分配情况 (占总放出热量)

|              |    |
|--------------|----|
| 氨水蒸发所吸收的热量/% | 75 |
| 氨水升温所吸收的热量/% | 15 |
| 集气管的散热损失/%   | 10 |

## 4. 各种组分在 82 ~ 650 ℃ 之间的平均比热容

|                                                                    |        |
|--------------------------------------------------------------------|--------|
| 焦炉煤气/( $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ) | 1.591  |
| 水汽/( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )  | 2.010  |
| 苯族烃/( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ) | 1.842  |
| 氨/( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )   | 2.613  |
| 硫化氢/( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ) | 1.147  |
| 焦油气/( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ) | 2.094  |
| 82 ℃ 时焦油平均汽化潜热/( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )                | 330.8  |
| 水在 82 ℃ 时的汽化潜热/( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )                | 2303.3 |

## (二) 循环氨水量的计算

以 1 t 干煤作计算基准, 煤气在集气管内进行冷却时放出的总热量可按如下计算得到。

煤气放出的显热:

$$1000 \times 0.158 \times \frac{1.591}{0.465} \times (650 - 82) = 307060 \text{ kJ}$$

焦油气放出的显热:

$$1000 \times 0.04 \times 2.094 \times (650 - 82) = 47576 \text{ kJ}$$

焦油气放出的冷凝热:

$$1000 \times 0.04 \times 0.6 \times 330.8 = 7939 \text{ kJ}$$

水汽放出的显热:

$$10000 \times 0.107 \times 2.010 \times (650 - 82) = 122160 \text{ kJ}$$

苯族烃放出的显热:

$$1000 \times 0.011 \times 1.842 \times (650 - 82) = 11509 \text{ kJ}$$

氨放出的显热:

$$1000 \times 0.003 \times 2.613 \times (650 - 82) = 4453 \text{ kJ}$$

硫化氢放出的显热:

$$1000 \times 0.003 \times 1.147 \times (650 - 82) = 1954 \text{ kJ}$$

则放出的总热量为

$$Q = 307060 + 47576 + 7939 + 122160 + 11509 + 4453 + 1954 = 502651 \text{ kJ}$$

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 = 502651 \text{ kJ}$$

因循环氨水蒸发所吸收的热量  $q_1 = 0.75Q$ ，根据热平衡得蒸发水量为

$$G_1 = q_1 / 2303.9 = 0.75 \times 502651 / 2303.9 = 164 \text{ kg}$$

因氨水升温所吸收的热量  $q_2 = 0.15Q$ ，则循环氨水量为

$$G_2 = q_2 / [4.187 \times (78 - 75)] = 0.15 \times 502651 / [4.187 \times (78 - 75)] = 6003 \text{ kg}$$

式中 4.187——水的比热容， $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

所以，以 1 t 干煤的循环氨水总量为

$$164 + 6003 = 6167 \text{ kg}$$

氨水蒸发量占循环氨水总量为  $164/6167 \times 100\% = 2.66\%$ 。

### (三) 煤气露点温度的确定

根据已知数据及计算结果，可求得离开集气管的煤气露点温度。

进入集气管的气态炼焦化学产品按体积计为

$$\frac{1000 \times 0.158}{0.465} + 1000 \times \left( \frac{0.1}{18} + \frac{0.04}{200} + \frac{0.011}{83} + \frac{0.003}{17} + \frac{0.003}{34} \right) \times 22.4 = 478 \text{ m}^3/\text{t 干煤}$$

式中，18、200、83、17、34 分别为水、焦油、苯族烃、氨及硫化氢的相对分子质量。

在集气管内冷凝的焦油体积为

$$1000 \times 0.04 \times 0.6 \times 22.4 / 200 = 2.69 \text{ m}^3/\text{t 干煤}$$

在集气管内蒸发的氨水体积为

$$164 \times 22.4 / 18 = 204 \text{ m}^3/\text{t 干煤}$$

在无烟装煤时喷射的蒸气量对干煤的百分数为单集气管 1.5%，双集气管 3%。现按双集气管的喷射蒸气量求得体积为

$$1000 \times 0.03 \times 22.4 / 18 = 37.33 \text{ m}^3/\text{t 干煤}$$

则离开集气管的水汽总体积为

$$1000 \times 0.1 \times 22.4 / 18 + 204 + 37.33 = 365.8 \text{ m}^3/\text{t 干煤}$$

离开集气管的煤气总体积为

$$478 + 204 + 37.33 - 2.69 = 717 \text{ m}^3/\text{t 干煤}$$

集气管出口煤气中水汽分压为

$$P = 1.013 \times 10^5 \times 365.8 / 717 = 51681 \text{ Pa}$$

由相关资料查得相应的煤气饱和温度（露点）为  $82.05^\circ\text{C}$ 。

## 任务二 煤气在初冷器的冷却

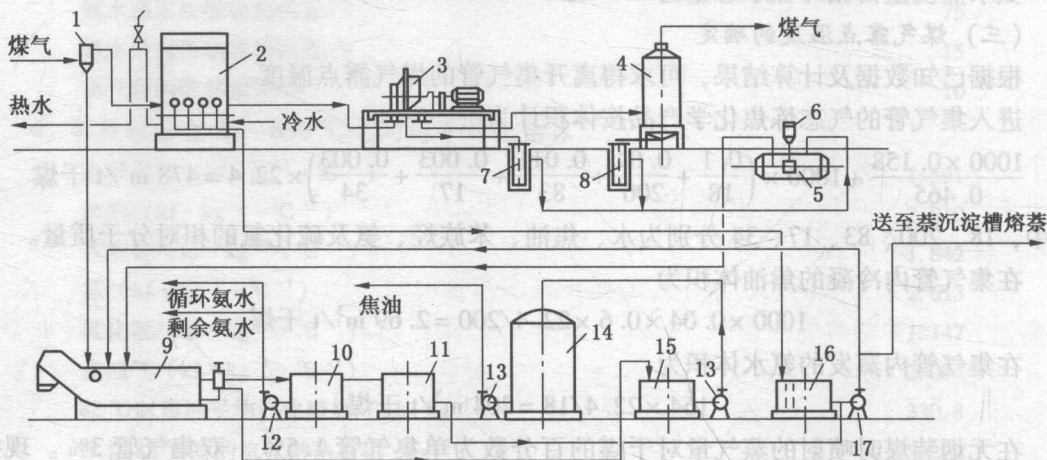
煤气冷却和焦油气、水蒸气的冷凝，可以采用不同形式的冷却器。被冷却的煤气与冷却介质直接接触的冷却器称为直接混合式冷却器，简称为直接冷却器或直接冷却；被冷却的煤气与冷却介质分别从固体壁面的两侧流过，煤气将热量传给壁面，再由壁面传给冷却介质的冷却器称为间壁式冷却器，简称为间接冷却器或间接冷却。

由于冷却器的形式不同，煤气冷却所采取的流程也不同。煤气冷却的流程可分为间接冷却、直接冷却和间直混合冷却 3 种。上述 3 种流程各有优缺点，可根据生产规模、工艺要求及其他条件因地制宜地选择采用。我国目前广泛采用的是间接冷却。

## 一、煤气的间接初冷

### 1. 立管式冷却器间接初冷工艺流程

图 1-3 所示为立管式煤气初冷工艺流程。焦炉煤气与循环氨水、冷凝焦油等沿煤气管先进入气液分离器，煤气与焦油、氨水、焦油渣等在此分离。分离下来的氨水和焦油一起进入机械化焦油氨水澄清槽，利用密度不同经过静置澄清分成 3 层：上层为氨水（密度为  $1.01 \sim 1.02 \text{ kg/L}$ ），中层为焦油（密度为  $1.17 \sim 1.20 \text{ kg/L}$ ），下层为焦油渣（密度为  $1.25 \text{ kg/L}$ ）。



- 1—气液分离器；2—煤气初冷器；3—煤气鼓风机；4—电捕焦油器；5—冷凝液槽；6—冷凝液下泵；  
7—鼓风机水封槽；8—电捕焦油器水封槽；9—机械化氨水澄清槽；10—氨水中间槽；11—事故氨水槽；  
12—循环氨水泵；13—焦油泵；14—焦油储槽；15—焦油中间槽；16—初冷冷凝液中间槽；17—冷凝液泵

图 1-3 立管式煤气初冷工艺流程

沉淀下来的焦油渣由刮板输送机连续刮送至漏斗处排出槽外。焦油则通过液面调节器流至焦油中间槽，由此泵往焦油储槽，经初步脱水后泵往焦油车间。氨水由澄清槽上部漫流至氨水中间槽，再用循环氨水泵送回焦炉集气管以冷却荒煤气。这部分氨水称为循环氨水。

经气液分离后的煤气进入数台并联立管式间接冷却器，用水间接冷却，煤气走管间，冷却水走管内。从各台初冷器出来的煤气温度是有差别的，汇集在一起后的煤气温度称为集合温度，这个温度依生产工艺的不同而有不同的要求：在生产硫铵系统中，要求集合温度低于  $35^{\circ}\text{C}$ ；在水洗氨生产系统中，则要求集合温度低于  $25^{\circ}\text{C}$ 。随着煤气的冷却，煤气中绝大部分焦油气、大部分水汽和萘在初冷器中被冷凝下来，萘溶解于焦油中。煤气中一定数量的氨、二氧化碳、硫化氢、氰化氢和其他组分溶解于冷凝水中，形成了冷凝氨水。

焦油和冷凝氨水的混合液称为冷凝液。冷凝氨水中含有较多的挥发铵盐，固定铵盐的含量较少。当其溶液加热至  $100^{\circ}\text{C}$  即分解的铵盐为挥发铵盐，需加热到  $220 \sim 250^{\circ}\text{C}$  或有碱存在的情况下才能分解的铵盐为固定铵盐。循环氨水中主要含有固定铵盐，在其单独循环时，固定铵盐含量可高达  $30 \sim 40 \text{ g/L}$ 。为降低循环氨水中固定铵盐的含量，以减轻对焦

油蒸馏设备的腐蚀和改善焦油的脱水、脱盐操作，大多采用两种氨水混合的分离流程，混合氨水固定铵盐含量可降至 1.3 ~ 3.5 g/L。

如图 1-3 所示，冷凝液自流入冷凝液槽，再用泵送入机械化氨水澄清槽，与循环氨水混合澄清分离。分离后所得剩余氨水送去蒸氨，蒸氨废水还应经生化处理。由管式初冷器出来的煤气尚含有 1.5 ~ 2 g/m<sup>3</sup> 的雾状焦油，被鼓风机抽送至电捕焦油器除去其中绝大部分焦油雾后，送往下一道工序。

当冷却煤气用的冷却水为直流水时（水源充分的地区），冷却器后的热水直接排放（或用作余热水供热）。

上述煤气间接初冷流程适用于生产硫铵工艺系统；当生产水洗氨时，为使初冷后煤气集合温度达到 20℃ 左右，宜采用两段初步冷却。

两段初冷可采用如图 1-4 所示具有两段初冷功能的初冷器，其中前 4 个煤气通道为第一段，后两个煤气通道为第二段。在第一段用循环冷却水将煤气冷却到约 45℃，第二段用低温水将煤气冷却到 25℃ 以下。两段初冷

也可采用初冷器并串联实现。例如，煤气先通过两台并联的初冷器（作为第一段），再汇合通过一台初冷器（作为第二段），简称为“二串一”，第一段用循环水冷却，第二段用低温水冷却，可将煤气冷却到 25℃ 以下。另外，还可采用“三串一”工艺。

2. 横管式冷却器间接初冷工艺流程

横管式煤气初冷器冷却，煤气走管间，冷却水走管内。水通道分上、下两段，上段用循环水冷却，下段用制冷水冷却，将煤气温度冷却到 22℃ 以下。横管式初冷器煤气通道，一般分上、中、下 3 段，上段用循环氨水喷洒，中段和下段用冷凝液喷洒。根据上、中、下段冷凝液量和热负荷的计算可知：上段和中段冷凝液量约占总量的 95%，而下段冷凝液量仅占总量的 5%；从上段和中段流至下段的冷凝液由 45℃ 降至 30℃ 的显热及喷洒的冷凝液冷却显热，约占总热负荷的 60%；下段冷凝液的冷凝潜热及冷却至 30℃ 的显热，约占总热负荷的 20%；下段喷洒冷凝液的冷却显热，约占总热负荷的 20%。

由此可见，上段和中段喷洒的氨水和冷凝全部从下段排出，显著地增加了下段负荷。为此推荐如图 1-5 所示的横管式煤气初冷工艺流程。该流程上段和中段冷凝液从隔断板经水封自流至氨水分离器，下段冷凝液经水封自流至冷凝液槽。下段冷凝液主要是轻质焦油，作为中段和下段喷洒液有利于洗萘。喷洒液不足时，可补

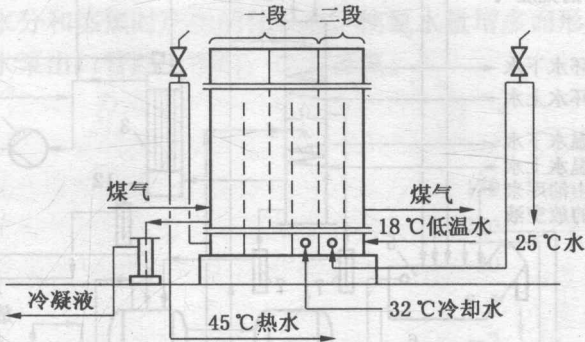


图 1-4 两段煤气间接初冷器

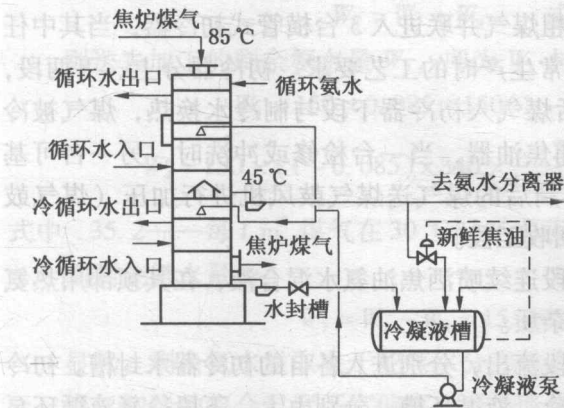


图 1-5 横管式煤气初冷工艺流程

新建焦化厂一般采用半负压下横管式冷却器间接初冷煤气工艺流程,如图1-6所示。

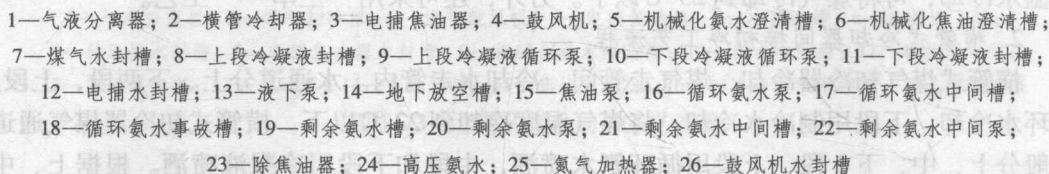


图 1-6 半负压下横管式煤气初冷工艺流程

如图 1-6 所示,从焦炉来的焦油氨水与煤气的混合物(温度约 80℃)入气液分离器,煤气与焦油氨水等在此分离。分离出的粗煤气并联进入 3 台横管式初冷器,当其中任一台检修或吹扫时,其余两台可基本满足正常生产时的工艺要求。初冷器分上、下两段,在上段,用循环水将煤气冷却到 45℃,然后煤气入初冷器下段与制冷水换热,煤气被冷却到 22℃。冷却后的煤气并联进入两台电捕焦油器,当一台检修或冲洗时,另一台可基本满足正常生产时的工艺要求。捕集焦油雾滴后的煤气送煤气鼓风机进行加压(煤气鼓风机一开一备),加压后煤气送往脱硫及硫回收工段。

为了保证初冷器的冷却效果,在上、下段连续喷洒焦油氨水混合液,在其顶部用热氨水不定期冲洗,以清除管壁上的焦油、萘等杂质。

初冷器的煤气冷凝液由初冷器上段和下段流出，分别进入各自的初冷器水封槽。初冷器水封槽的煤气冷凝液分别溢流至上、下段冷凝液循环槽，分别由上、下段冷凝液循环泵送至初冷器上、下段喷淋洗涤除萘及焦油，如此循环使用。下段冷凝液循环槽多余的冷凝