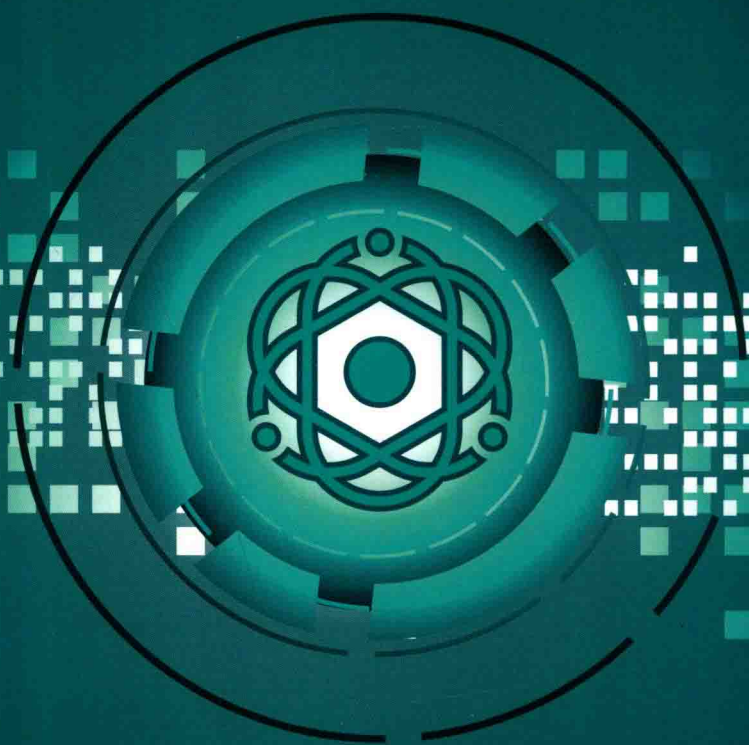


过程设备与工业应用丛书

输送技术、设备 与工业应用

廖传华 周玲 朱美红 著



化学工业出版社

过程设备与工业应用丛书

输送技术、设备 与工业应用

廖传华 周玲 朱美红 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是“过程设备与工业应用丛书”的一个分册。本书根据过程工业所用原料和生产产品的特性,提出了对输送设备的要求,对流体流动从理论上进行了介绍;并介绍了液体输送设备——泵、高压气体输送设备——往复式压缩机和离心式压缩机、低压气体输送设备——风机、粉体的机械式输送设备、粉体的流态化输送设备——气力输送与水力输送、粉体的生产加工设备——粉碎设备的工作原理、特性、分类、选型、使用要求、优化设计及工业应用等内容。

本书不仅适用于石油、化工、生物、制药、食品、医药、环境、机械等专业的院校教师、研究生及高年级本科生,同时对过程装备与控制工程、过程设备使用与维护、化学工程、化工机械等相关行业的工程技术人员、研究设计人员也会有所帮助。

图书在版编目 (CIP) 数据

输送技术、设备与工业应用/廖传华,周玲,朱美红著. —北京:化学工业出版社,2018.1

(过程设备与工业应用丛书)

ISBN 978-7-122-30312-7

I. ①输… II. ①廖… ②周… ③朱…
III. ①过程控制 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 181320 号

责任编辑:卢萌萌 仇志刚
责任校对:王静

文字编辑:向东
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张27 $\frac{3}{4}$ 字数707千字 2018年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:158.00元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

物料输送设备是过程工业中最常见的设备，人们常将其比喻为过程工业生产系统的“心脏”。过程工业所涉及的原料和生产的产品多种多样，根据其形态可分为气态物料、液态物料和固态物料。针对过程工业生产系统中所处理原料及所生产产品的物态、工艺条件等要求，在江苏高校品牌专业建设工程资助项目（PPZY2015A022）的资助下，我们编写了这本《输送技术、设备与工业应用》，系统介绍了输送过程对所用设备的要求及各种不同输送设备在工业领域中的应用，力求使读者通过本书的学习，对目前过程工业中涉及的输送过程设备及其应用特性有一个概括性的了解。

根据物料的存在状态及输送要求，本书将输送设备分为液态物料输送设备（统称泵）、气态物料输送设备（根据压力大小分为压缩机和风机）、粉状物料输送设备（机械式输送设备、流态化输送设备）及粉状物料制备设备（粉碎设备），并分别针对各种设备进行了理论阐述和工业应用实例介绍，使得本书具有很强的实用性。

全书共分9章。第1章根据过程工业所用原料和生产产品的特性，提出了对输送设备的要求；第2章对流体流动从理论上进行了介绍；第3章介绍了液体输送设备——泵；第4章和第5章分别介绍了高压气体输送设备——往复式压缩机和离心式压缩机；第6章介绍了低压气体输送设备——风机；第7章介绍粉体的机械式输送设备；第8章介绍了粉体的流态化输送设备——气力输送与水力输送；第9章介绍了粉体的生产加工设备——粉碎设备。

全书由南京工业大学廖传华、南京凯盛国际工程有限公司周玲和南京三方化工设备监理有限公司朱美红著，其中，第1~3章、第6章、第8章由廖传华著，第4章、第5章由朱美红著，第7章、第9章由周玲著。全书由廖传华统稿。

全书从选题到材料的收集整理、文稿的写作及修订等方面都得到了南京工业大学黄振仁教授的大力支持，在此深表感谢。南京三方化工设备监理有限公司赵清万、许开明、李志强，南京工业大学李政辉对本书的写作工作提出了大量宝贵的建议，南京朗润机电进出口公司朱海舟提供了大量图片资料，研究生赵忠祥、闫正文、王太东、李洋、刘状、汪威、李亚丽、廖玮、宗建军等在资料收集与文字处理方面提供了大量的帮助，在此一并表示衷心的感谢。

本书的写作与修订工作历时三年，虽经多次审稿、修改，但由于作者水平有限，不足之处在所难免，敬请广大读者不吝赐教。在编写过程中参考了大量的相关资料，书中没有一一列出，在此谨对原文作者致以衷心的感谢。

著者

2017年8月于南京工业大学

目录

CONTENTS

第1章 绪论

- 1.1 过程工业的特征 /001
- 1.2 过程工业的原料及产品 /002
 - 1.2.1 无机产品及原料 /002
 - 1.2.2 有机产品及原料 /003
 - 1.2.3 生物质碳资源 /008
- 1.3 过程工业对输送设备的要求 /010

第2章 流体流动

- 2.1 流体的有关性质 /011
 - 2.1.1 流体的密度 /011
 - 2.1.2 流体的压力 /013
- 2.2 流体静力学 /015
 - 2.2.1 流体静力学基本方程 /015
 - 2.2.2 流体静力学基本方程的应用 /016
- 2.3 流体动力学 /018
 - 2.3.1 流量与流速 /018
 - 2.3.2 稳定流动与不稳定流动 /019
 - 2.3.3 流体流动的物质衡算 /019
 - 2.3.4 流体流动的能量衡算 /020
- 2.4 流体在管内的流动阻力 /028
 - 2.4.1 牛顿黏性定律与黏度 /028

- 2.4.2 流体的流动类型 /030
- 2.4.3 流体的流动阻力 /032
- 2.4.4 管路计算 /038
- 2.4.5 管道直径的确定 /041
- 2.5 流速与流量的测量 /042
 - 2.5.1 测速管 /042
 - 2.5.2 孔板流量计 /043
 - 2.5.3 转子流量计 /045
- 参考文献 /046

第3章 泵

- 3.1 泵的分类与选型 /047
 - 3.1.1 泵的分类 /047
 - 3.1.2 泵的性能参数 /048
 - 3.1.3 泵的特性和使用要求 /049
 - 3.1.4 过程工业用泵的要求 /051
 - 3.1.5 泵的选型 /052
- 3.2 离心泵 /053
 - 3.2.1 离心泵的工作原理和特性 /054
 - 3.2.2 离心泵的分类 /059
 - 3.2.3 离心泵的主要部件 /061
- 3.3 旋涡泵 /069
 - 3.3.1 旋涡泵的工作原理 /069
 - 3.3.2 旋涡泵的结构与分类 /070
 - 3.3.3 旋涡泵的工作特性 /071
 - 3.3.4 旋涡泵的选用 /072
- 3.4 往复泵 /073
 - 3.4.1 往复泵的工作原理 /073
 - 3.4.2 往复泵的分类 /074
 - 3.4.3 往复泵的性能曲线 /075
 - 3.4.4 往复泵的特点 /076
 - 3.4.5 往复泵的应用 /077
 - 3.4.6 其他往复泵 /077
- 3.5 转子泵 /079
 - 3.5.1 齿轮泵 /079

- 3.5.2 螺杆泵 /084
- 3.6 真空泵 /089
 - 3.6.1 往复式真空泵 /090
 - 3.6.2 水环式真空泵 /090
 - 3.6.3 射流式真空泵 /092
 - 3.6.4 其他类型真空泵 /094
- 3.7 磁力泵 /094
- 参考文献 /095

第4章 往复式压缩机

- 4.1 往复式压缩机的工作过程及其特性 /100
 - 4.1.1 适用范围 /101
 - 4.1.2 结构与组成 /103
 - 4.1.3 分类及特性 /103
 - 4.1.4 发展趋势 /106
- 4.2 往复式压缩机的组成 /106
 - 4.2.1 机体 /106
 - 4.2.2 曲轴 /108
 - 4.2.3 连杆 /113
 - 4.2.4 十字头 /117
 - 4.2.5 轴承 /120
 - 4.2.6 气缸(套) /122
 - 4.2.7 活塞及活塞环 /128
 - 4.2.8 气阀 /136
 - 4.2.9 活塞杆及填料 /140
 - 4.2.10 附件 /144
 - 4.2.11 润滑系统及润滑油(脂) /148
- 参考文献 /149

第5章 离心式压缩机

- 5.1 离心式压缩机的基础理论 /152
 - 5.1.1 压缩机的常用气体性质 /152

- 5.1.2 压缩机级中的气体流动 /153
- 5.1.3 功与压力升高——伯努利方程式 /157
- 5.1.4 压缩机的压缩过程和压缩功 /157
- 5.1.5 压缩机的级效率 /159
- 5.1.6 压缩机的内功、内功率和轴功率 /161
- 5.2 压缩机的基本组成 /162
 - 5.2.1 进气室 /162
 - 5.2.2 叶轮 /163
 - 5.2.3 扩压器 /167
 - 5.2.4 弯道和回流器 /170
 - 5.2.5 排气室 /171
- 5.3 离心式压缩机的组成 /172
 - 5.3.1 气缸和隔板 /172
 - 5.3.2 转子 /174
 - 5.3.3 叶轮 /176
 - 5.3.4 轴向力及其平衡装置 /177
- 5.4 离心式压缩机的密封结构 /179
 - 5.4.1 迷宫型密封 /179
 - 5.4.2 浮环密封 /180
 - 5.4.3 机械接触式密封 /183
 - 5.4.4 干气密封 /184
- 5.5 离心式压缩机的轴承结构 /185
 - 5.5.1 动压轴承工作原理 /185
 - 5.5.2 支持轴承 /186
 - 5.5.3 止推轴承 /188
- 参考文献 /189

第6章 风机

- 6.1 风机的分类和用途 /191
 - 6.1.1 离心式通风机 /192
 - 6.1.2 轴流式通风机 /192
 - 6.1.3 罗茨式鼓风机 /193
 - 6.1.4 其他类型的风机 /194
 - 6.1.5 通风机主要参数的确定 /195

- 6.2 离心式通风机 /197
 - 6.2.1 主要气流与结构参数 /197
 - 6.2.2 通风机的理论基础 /199
 - 6.2.3 离心式通风机的损失和效率 /205
 - 6.2.4 离心式通风机的组成 /208
 - 6.2.5 离心性通风机的性能与用途 /214
- 6.3 轴流式通风机 /214
 - 6.3.1 主要气流与结构参数 /214
 - 6.3.2 轴流式通风机的的工作原理 /216
 - 6.3.3 翼型空气动力特性 /220
 - 6.3.4 叶栅气动力基本方程 /223
 - 6.3.5 轴流式通风机的损失和效率 /225
 - 6.3.6 轴流式通风机的组成 /228
 - 6.3.7 轴流式通风机的性能与用途 /232
- 6.4 罗茨鼓风机 /232
 - 6.4.1 罗茨鼓风机的组成 /233
 - 6.4.2 罗茨鼓风机的选用 /234
- 参考文献 /234

第7章 粉体输送设备

- 7.1 胶带输送机 /237
 - 7.1.1 胶带输送机的构造 /237
 - 7.1.2 胶带输送机的应用 /248
 - 7.1.3 胶带输送机的选型计算 /250
 - 7.1.4 选型计算示例 /257
- 7.2 螺旋输送机 /259
 - 7.2.1 螺旋输送机的构造 /259
 - 7.2.2 螺旋输送机的应用 /261
 - 7.2.3 螺旋输送机的选型计算 /263
 - 7.2.4 选型计算示例 /265
- 7.3 斗式提升机 /266
 - 7.3.1 斗式提升机的构造 /266
 - 7.3.2 斗式提升机的应用 /269
 - 7.3.3 斗式提升机的装载和卸载方式 /270

- 7.3.4 斗式提升机的选型计算 /271
- 7.4 链板输送机 /272
 - 7.4.1 板式输送机 /272
 - 7.4.2 刮板输送机 /273
 - 7.4.3 埋刮板输送机 /275
 - 7.4.4 FU链式输送机 /276
- 参考文献 /278

第8章

两相流与固体流化输送

- 8.1 两相流的基本性质 /279
 - 8.1.1 两相流的浓度 /279
 - 8.1.2 两相流的密度 /280
 - 8.1.3 两相流的黏度 /281
 - 8.1.4 两相流的比热容和热导率 /281
- 8.2 颗粒在流体中的运动 /282
 - 8.2.1 颗粒的受力 /282
 - 8.2.2 颗粒在流体中的运动 /283
 - 8.2.3 颗粒在流体中的运动方程 /284
- 8.3 固体流态化 /285
 - 8.3.1 流化床 /285
 - 8.3.2 流体阻力 /287
 - 8.3.3 流化床的操作范围 /291
- 8.4 气力输送 /293
 - 8.4.1 气力输送系统的类型 /294
 - 8.4.2 空气输送料槽 /296
 - 8.4.3 螺旋式气力输送泵 /298
 - 8.4.4 仓式气力输送泵 /300
 - 8.4.5 气力提升泵 /302
 - 8.4.6 气力输送系统的主要参数 /303
 - 8.4.7 固体颗粒在水平管内的稀相输送 /304
 - 8.4.8 垂直管中稀相输送时的最低气速 /306
 - 8.4.9 倾斜管中的最低气速 /307
 - 8.4.10 稀相气力输送的压强降 /308
 - 8.4.11 气力输送系统的优化设计 /310
 - 8.4.12 气力输送系统的应用与发展 /317

- 8.5 水力输送 /322
 - 8.5.1 基本原理与颗粒的受力分析 /322
 - 8.5.2 输送管道内固体颗粒的运动 /323
 - 8.5.3 水力输送前后的处理 /327
 - 8.5.4 水力输送过程存在的问题 /329
 - 8.5.5 水力输送管道的压力损失 /329
 - 8.5.6 水力输送中的管道磨损 /331
- 参考文献 /335

第9章 粉碎设备

- 9.1 粉碎过程的主要表征参数 /337
 - 9.1.1 粉碎过程的基本参数 /338
 - 9.1.2 粉碎物料的基本物性 /339
- 9.2 粉碎工艺 /340
 - 9.2.1 粉碎方式 /341
 - 9.2.2 粉碎模型 /341
 - 9.2.3 混合粉碎和选择性粉碎 /342
- 9.3 破碎设备 /344
 - 9.3.1 颚式破碎机 /345
 - 9.3.2 锤式破碎机 /351
 - 9.3.3 辊式破碎机 /357
 - 9.3.4 反击式破碎机 /359
 - 9.3.5 圆锥式破碎机 /367
 - 9.3.6 破碎设备的工业应用 /371
- 9.4 粉磨设备 /373
 - 9.4.1 球磨机 /373
 - 9.4.2 辊压机 /381
 - 9.4.3 立式磨机 /383
 - 9.4.4 粉磨工艺的工业应用 /386
- 9.5 超细粉碎设备 /392
 - 9.5.1 机械冲击式超细粉碎机 /393
 - 9.5.2 气流粉碎式超细粉碎机 /395
 - 9.5.3 搅拌磨 /400
 - 9.5.4 振动磨 /407
 - 9.5.5 胶体磨 /409

9.6	粉碎物料的空气分级设备	/410
9.6.1	粗粉分离器	/411
9.6.2	离心式选粉机	/412
9.6.3	旋风式选粉机	/413
9.6.4	O-Sepa 选粉机	/414
9.6.5	Sepax 选粉机	/417
9.6.6	组合式选粉机	/418
9.6.7	转子选粉机	/420
9.6.8	矿渣微粉分级机	/420
9.6.9	打散分级机与 V 形选粉机	/421
9.6.10	选粉效率和循环负荷	/423
	参考文献	/424

第1章

绪论

工业的不断发展与进步，对提高人类生活质量起着十分巨大的作用，但同时也带来了许多人类难以解决的问题，如工业生产带来的污染，即使投入大量的人力、物力，也常常难以得到好的解决，人类对环境保护重要性的认识明显滞后于对发展生产重要性的认识。

工业种类繁多，也有许多分类方法，如重工业与轻工业之分，又如机械、建筑、电子、航空、化学等工业的区分，还有一般工业与先进工业的区分，以及绿色与非绿色工业的区分等。如果比较科学地从生产方式、扩大生产的方法以及生产时物质（物料）所经受的主要变化来分类，则工业生产可以分为过程工业与产品（生产）工业两大类。

1.1 过程工业的特征

过程工业（process industry）也称流程工业，它们由一系列单元操作设备通过管道组合成复杂系统，原料通过一定工艺流程，最终输出产品；它们具有连续运行的特征和工艺、设备、控制、操作、管理等多方面的共同规律，也有易燃、易爆、有毒和易发生事故的工业系统。过程工业包括化学工业、石油炼制、石油化工、天然气加工、污水处理、能源工业、冶金工业、建材工业、核能工业、生物技术工业以及医药工业等，其产品的种类已逾上万；它包含了每个国家的大部分重工业，是一个国家发展生产和增强国防力量的基础。发展这类工业，需要应用现代化技术和大量投资。

过程工业的最大特点是原料中的物质在生产过程中经过了许多化学变化和物理变化，因此这类生产过程又称为工业化学过程。在国民经济的各个部门中，工业化学过程得到了广泛应用，工业化学产品遍及工农业生产的各个部门和人民生产生活中的各个领域，诸如现代化农业需要的化学肥料、农药、杀虫剂、除莠剂、饲料添加剂和兽药等都是工业化学产品。工业部门中除了化学工业及石油化学工业本身需要的化工原料、催化剂及其他化学品以外，矿山及油田开采需要的炸药、浮选剂和油井化学处理剂，冶金和机械工业需要的助熔剂、浸取剂、酸洗剂和表面处理剂，石油炼制需要的氢气、酸、碱和催化剂，以及食品加工业需要的

冷冻剂和防腐添加剂等，都是工业化学产品。此外，人们的日常生活用品，如化妆品、药品、肥皂、牙膏、洗涤剂、消毒剂等也都属于工业化学产品。可以说，在当今世界上人们生产生活的各个方面——衣、食、住、行、卫生、通信、娱乐和安全保卫等都离不开工业化学产品。

工业化学产品的多样性导致化学加工过程的广泛性、多样性和复杂性。虽然不同过程工业所生产产品的工艺过程各不相同，但只需稍加分析就可以看出它们的共性：一般来说，一个工业化学产品的生产或加工过程大都可以划分为原料预处理、化学反应和产品后加工三个步骤或基本环节。

原料的预处理是化学反应前的准备工作。当使用气体（或液体）原料时，预处理包括原料气的制备、净化和配制，要求制得的原料具有一定的组成、浓度和纯度，尽量少含杂质（特别是有害杂质）。当使用矿物原料时，预处理包括选矿、配矿、粉碎、筛分，有时还需要干燥或煅烧。原料矿粉应具备一定的组成（或品位）及一定的细度，以利于化学反应。

化学反应是工业化学过程的中心环节。为使反应进行得迅速、完全，需要维持一定的温度、压力和流量等操作条件，多数情况下还要使用催化剂，因此在化学反应过程中还要创造良好的传热、传质和流体流动条件，以保证化学反应的顺利进行。

产品的后加工主要是指对产品的分离和提纯以及对未反应物的回收利用。最常见的分离方法有冷冻冷凝、精馏分离和结晶分离等。未反应物的回收利用常常采取循环作业。此外，固体产品的造粒成形、干燥和包装也是产品后加工不可缺少的内容。

1.2 过程工业的原料及产品

过程工业所处理的原料及所生产的产品种类繁多，特别是化工产品品种成千上万。以石油和天然气为原料生产的各种石油化学品不仅种类很多，而且具有自身的特点，已经形成了一大类重要的化学产品。与此同时，以高技术、深加工、小批量生产的具有特殊功能的精细化工产品也以其种类繁多、性能特殊而独立形成一类化工产品。根据当今世界过程工业生产发展的现状和趋势，可将各种工业化学产品分为无机产品和有机产品两大类。

1.2.1 无机产品及原料

无机产品主要指传统的基本化工产品，主要包括“三酸”（硫酸、硝酸和盐酸）、“两碱”（纯碱和烧碱）、无机肥料（氮、磷、钾肥）、无机盐和无机非金属材料（水泥、陶瓷）等许多化工产品。其基本特征是以无机矿物作为原料，生产的产品也均为无机物。

矿物原料是许多基本化工产品生产的专用原料，例如，硫酸生产必须使用硫或硫铁矿；磷肥生产离不开磷灰石；钾肥生产要用钾矿；纯碱生产需用盐或盐卤和石灰石；水泥生产需要石灰石。矿物原料品种多，质量和品位各不相同，工业使用之前一般都要进行试验研究，以寻求最恰当的加工路线和最适宜的操作条件。在开发利用某种矿物原料主要成分的同时，应注意综合利用其他成分，并避免污染环境的废料产生。对于一些品位不高的矿物原料，可采用选矿（富集）或配矿（调配）等原料预处理手段来提高品位，使原料得到充分利用。

自然界中蕴藏着大量的含盐水，包括盐井卤水、盐湖水、油（气）井水和海水，其中含有一定量的氯化钠及其他无机盐类，是制取无机盐产品的天然原料。

1.2.2 有机产品及原料

有机产品及原料又可分为石油化工产品、基本有机化工产品和精细化工产品三大类。

1.2.2.1 石油化工产品及原料

凡是全部或部分以原油（液体石油）或天然气为原料，经过转化反应而制得的新化合物或元素，都可以称为石油化学品。工业上用的石油化工原料主要是液体石油、炼油气（或炼厂气）以及天然气三大类。

石油的主要成分是烷烃、环烷烃和少量芳烃。以原油（液体石油）为原料的工业化学过程一般称为石油化学工业，也称石油化工。石油化工生产一般与石油炼制联合，相互提供原料、副产品或半成品，以提高经济效益。

石油化工行业从原料开始到最终产品，通常需要经过几个大的阶段，前一阶段的产品往往就是下一阶段的原料。根据加工层次，可将其分为石油炼制、石油化工和高分子化工。

(1) 石油炼制

石油炼制是以原油为原料、采用物理方法生产各种燃料油和润滑油的加工过程，因此石油炼制企业又称炼油厂。其主要加工方法有常减压蒸馏、重油裂化、石油精炼与油品精制。

① 常减压蒸馏 常减压蒸馏是分别在常压和减压条件下，通过蒸馏过程将石油分割为不同沸点范围的馏分，然后进一步加工利用，或除去这些馏分中的非理想组分，或经化学变化得到所需组成结构进而获得一系列合格产品的过程。

② 重油裂化 重油裂化是以蒸馏过程剩余的重质馏分油为原料，在热和催化剂的作用下发生裂化反应，转变成裂化气、汽油和柴油等轻质馏分的过程。裂化工艺大体可分为热裂化和催化裂化两种。由于热裂化的产品质量较差，且开工周期短，因此热裂化已被催化裂化所代替。

③ 石油精炼 其目的是提高产品的质量，以获得更多质量更高的油品。精炼方法主要有重整、异构化、烷基化和叠合。通过精炼可将普通直馏汽油重整或异构化为高辛烷值的汽油，将裂化气烷基化或聚合成高辛烷值的汽油，同时还可制得石油化工和有机化工的基本原料。

④ 油品精制 石油经过一次加工（蒸馏）、二次加工（裂化）所得到的汽油、喷气燃料油、煤油和柴油等燃料，由于含有各种杂质，产品性能不能全面达到使用要求，往往不能直接作为商品出售或使用，还需经过三次加工（包括石油烃烷基化、烯烃叠合、石油烃异构化等）才能生产高辛烷值的汽油组分和各种化学品，这种加工过程称为油品的精制。

(2) 石油化工

石油化工是采用各种化学方法将石油制成一系列重要的有机化工原料和产品（如乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯和醇、酮、醛、酸类及环氧化合物等）的加工过程。这些产品主要是制备三大合成材料、合成洗涤剂、表面活性剂、染料、医药、农药、香料、涂料等有机化工产品的原料及中间体，为化学工业的发展提供重要的物质基础，从而促进国民经济各部门的发展。石油化工中常用的加工方法有：

① 催化重整 重整的最初目的是将重整原料油（沸程 95℃ 以下）和直馏汽油（沸程 95~130℃）里的一部分环烷烃和烷烃转变为芳烃，以提高汽油的辛烷值。现在重整已成为制取苯、甲苯和二甲苯等芳烃的重要方法之一。铂重整是在氢气存在的条件下，在 490~530℃ 和 0.25~0.30MPa 的条件下进行的，发生的反应很多，其中生成芳烃的反应叫芳构

化,主要有:六元环烷烃脱氢生成芳烃、五元环烷烃异构化脱氢生成芳烃以及烷烃脱氢环合生成环烷烃再脱氢生成芳烃等。重整油含30%~50%芳烃,经分离可得到苯、甲苯和二甲苯。

② 热裂解 裂解的主要目的是制取乙烯、丙烯和丁二烯等烯烃。裂解汽油中还含有40%~80%的芳烃,其中主要是苯、甲苯和二甲苯。裂解法中使用最多的是管式裂解法,当将直馏汽油、轻柴油、减压柴油等原料油加热到750~800℃进行热裂解时,除了发生高碳烷烃裂解为低碳烷烃和二烯烃的主要反应外,还发生各种芳构化反应。

③ 催化裂化 催化裂化的主要目的是将直馏轻柴油、重柴油或润滑油等高沸程原料油中的高碳烷烃加氢裂化得到低碳烷烃,同时发生异构化、环烷化和芳构化等反应而得到高辛烷值汽油。催化裂化一般用硅酸铝作催化剂,在450~560℃和0.01~0.25MPa的条件下进行。所得到的轻柴油馏分(沸程180~340℃)中含有相当多的重质芳烃,其中主要是多烷基苯和烷基萘。

④ 临氢脱烷基 重整的石脑油馏分(沸程66.5~156℃)中苯、甲苯和二甲苯的比例约为1:5.2:3.8。由于甲苯的需要量比苯和二甲苯小,因此又发展了甲苯在氢气存在下用 $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ 催化脱烷基制取苯的方法。另外,从催化裂化轻柴油中分离出来的多烷基苯和烷基萘也可以通过临氢脱烷基法制取苯类产品和石油萘,但有很大的限制。

(3) 高分子化工

高分子化工是以煤、石油、天然气等为原料,将经过化学制取的单体聚合而成聚合物的加工过程。其主要产品可分为合成塑料、合成纤维和合成橡胶三大类,其产量占合成材料总量的90%。

目前,受中国能源结构的限制,高分子化工常用的原料以石油为主,因此常将高分子化工归为石油化工过程的一个分支。

(4) 天然气化工

天然气的主要成分是甲烷,可直接用来制炭黑、乙炔、氢氰酸、各种氯代甲烷、二硫化碳、甲醇、甲醛等产品。另外,天然气也可以先制成合成气,一氧化碳经各种羰基合成反应可制得甲醇、高碳醇、正丁醇、甲酸、乙酸、丙酸、丙烯酸、丙烯酸酯等化工产品。

以天然气为原料生产燃气和化工产品的天然气化工是工业化学过程的分支之一,一般包括天然气的净化分离、化学加工。

净化分离:从地下采出的天然气,在气井现场经脱水、脱砂与分离凝析油后,根据气体组成情况进行进一步的净化分离加工。富含硫化物的天然气,必须经过脱硫处理,以达到输送要求,副产的硫黄作为硫资源,用以生产硫酸、二硫化碳等一系列硫化物;脱硫后的天然气经过深冷分离,可得到液化天然气。若天然气富含稀有气体氦,则可同时得到氦气;若天然气是富含乙烷以上烷烃的湿气,则可同时得到天然气凝析液。后者常采用精馏的方法以回收乙烷、丙烷、丁烷,并且还可得到一部分凝析油。

化学加工:包括在高温下进行的天然气热裂解,主要生产乙炔和炭黑;天然气蒸汽转化或天然气的部分氧化,可制得合成气;天然气经过氯化、硫化、硝化、氨化氧化、氧化可制得甲烷的各种衍生物;湿性天然气中的乙烷、丙烷、丁烷和天然气凝析液等,经蒸汽裂解或热裂解可生产乙烯、丙烯和丁二烯;丁烷脱氢或氧化可生产丁二烯或醋酸、甲基乙基酮、顺丁烯二酸酐等。

天然气的化工利用目前有四个方面的趋势:a.以天然气为原料的合成氨工业发展最快,

许多国家的制氨原料已由煤向天然气转移，生产规模逐渐扩大。b. 以天然气制甲醇和乙炔占有重要地位，特别是甲醇已成为天然气利用中仅次于合成氨的第二大产品。c. 加强综合利用，从天然气中回收硫、提取氮，并利用工艺过程中产生的各种尾气生产所需的产品，如由甲醇吹出气制合成氨；以乙炔尾气制合成氨或甲醇；用副产品一氧化碳和二氧化碳分别同甲醇和氨生产醋酸和尿素，更加经济、有效地利用了天然气资源。d. 重视湿性天然气和油田伴生气的利用，以这些气体中富含的乙烷、丙烷为原料制取乙烯和丙烷；以湿性天然气中的乙烷制取氯乙烯；以制取乙烯副产的裂解汽油经加氢处理提取芳烃等。

1.2.2.2 基本有机化工产品及其原料

基本有机化工产品的原料，在 20 世纪初主要是煤。煤通过干馏（或炼焦）生成焦炉气、煤焦油和焦炭，焦炉气和煤焦油中的有机物就是有机化工产品的主要原料。后来，利用煤和石灰制得了电石，由电石可生产乙炔，以乙炔为原料可制造出有关的有机化工产品。与此同时，煤和焦炉气制得含一氧化碳和氢的合成气也是当时有机化工产品的重要原料。由于用石油化工原料生产的有机化工产品品种多、成本低，因此它们逐渐取代了煤焦而大量用于制造有机化工产品。到目前为止，绝大多数有机化工产品都是从石油或天然气制得的，因此它们也属于石油化工产品。

煤炭是我国最主要的能源资源，不仅是重要的燃料，还是重要的化工原料。煤的元素组成中碳、氢、氧三者之和约占有机质的 95% 以上，氮和硫平均约占 2.5%，其他元素约占 2.5%，有机质以芳香族为主，以稠环为核心单元，通过桥键互相连接，带有各种官能团，表现为大分子结构，通过热加工和催化加工，可以转化为各种小分子量的燃料和化工产品。煤化工就是以煤为原料，经过化学加工使煤转化为气体、液体和固体燃料以及化学品的过程，包括煤的干馏、气化、液化和合成化学品等。

煤化工开始于 18 世纪后半叶，19 世纪形成了完整的体系。进入 20 世纪，许多以农林产品为原料的有机化学品多改为以煤为原料进行生产，煤化工成为化学工业的重要组成部分。第二次世界大战后，石油化工发展迅速，很多化学品的生产又从以煤为原料转移到以石油、天然气为原料，从而削弱了煤化工在化学工业中的地位。20 世纪 80 年代后期，煤化工有了新的突破，成功地由煤制成醋酸酐，在能量效率和经济效益上都有显著提高，成为化学工业中的重要分支。新型煤化工以生产洁净能源和可替代石油化工的产品为目标，如柴油、汽油、航空煤油、液化石油气、乙烯原料、聚丙烯原料、替代燃料（甲醇、二甲醚）等，它与能源、化工技术结合，形成煤炭-能源化工一体化的新兴产业。煤炭的能源化工产业将在我国能源的可持续发展与利用中扮演重要角色，对于我国减轻燃煤所造成的环境污染、降低对进口石油的过度依赖发挥重要作用。

(1) 煤干馏

煤干馏是指煤在隔绝空气条件下加热、分解，生成焦炭（或半焦）、煤焦油、粗苯、煤气等产物的过程。按加热终温的不同，可分为 3 种：900~1100℃ 为高温干馏，即焦化；700~900℃ 为中温干馏；500~600℃ 为低温干馏。煤的低温干馏过程是一个热加工过程，常压生产，不用加氢，不需氧气，即可制得煤气和焦油，实现煤的部分气化和液化。其优势是加工条件温和、投资少、成本低，主要产物是半焦，性能好。我国低阶煤储量大，约占全部煤炭的 42%，其中褐煤约占 14%，适合于低温干馏。将煤在炼焦炉中在隔绝空气条件下进行高温干馏（1000~1200℃）时，除了生成焦炭以外，还得到粗苯和煤焦油等副产品。另外，煤在高温条件下用空气或水蒸气处理转化成煤气（CO、CH₄、H₂ 的混合物）时，也得