

高职高专系列教材

# S 石油化工中试装置实训

HIYOU HUAGONG ZHONGSHI ZHUANGZHI SHIXUN

杨兴楷 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

第六章

高职高专系列教材

# 石油化工中试装置实训

杨兴楷 主编

ISBN 978-7-20329-475-1  
1. 石... 杨... 石油化工... 实训...  
中国石化出版社 (2007) 第 201946 号

中国石化出版社  
地址: 北京市东城区安民门外大街 28 号  
邮编: 100011 电话: (010) 84271830  
读者服务部电话: (010) 84259974  
<http://www.sinopec-press.com>  
E-mail: [press@sinopec.com](mailto:press@sinopec.com)  
北京科信印刷厂印刷  
全国各新华书店均有代售

中国石化出版社  
820 × 1100  
2008  
定价: 12.00 元

## 内 容 提 要

本书主要介绍石油化工中试放大过程评估及实际操作培训的相关内容。全书分六章,包括:石油化工安全、环保和节能,石油化工精馏过程,石油化工反应过程,石油化工公用工程,石油化工过程常用设备,石油化工常用管路。

本书适用于高职高专及中等职业技术学校石油化工类专业学生使用,也可供从事石油化工行业技术管理人员和操作人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

石油化工中试装置实训/杨兴楷主编. —北京:  
中国石化出版社,2007  
(高职高专系列教材)  
ISBN 978-7-80229-472-1

I. 石… II. 杨… III. 石油化工-化工设备:试验  
设备-高等学校:技术学校-教材 IV. TE969

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 201946 号

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

850×1168 毫米 32 开本 5.625 印张 149 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

定价:12.00 元

# 目 录

绪论 .....	( 1 )
第一章 环保、节能与安全 .....	( 5 )
第一节 环境保护 .....	( 5 )
第二节 节能 .....	( 6 )
第三节 安全 .....	( 9 )
第二章 石油化工精馏过程 .....	( 12 )
第一节 精馏原理及系统组成 .....	( 12 )
第二节 工艺流程 .....	( 21 )
第三节 工艺设备的特点及结构 .....	( 25 )
第四节 工艺过程主要控制策略和方法 .....	( 41 )
第三章 石油化工反应过程 .....	( 45 )
第一节 化工生产中的化学反应和反应器 .....	( 45 )
第二节 中试生产项目 .....	( 63 )
第四章 石油化工公用工程 .....	( 70 )
第一节 冷却、冷凝水循环系统 .....	( 70 )
第二节 抽真空系统 .....	( 72 )
第三节 供热系统 .....	( 74 )
第五章 石油化工过程常用设备 .....	( 77 )
第一节 泵 .....	( 77 )
第二节 压缩机 .....	( 99 )
第三节 换热装置 .....	( 115 )
第四节 过滤器 .....	( 122 )

第六章 化工管路 .....	(130)
第一节 管路的基本知识 .....	(130)
第二节 管路的构造与选择 .....	(144)
第三节 管路的安装 .....	(156)
第四节 管路防腐、保温和涂色 .....	(170)
参考文献 .....	(176)
( 0 ) .....	设计 第二卷
( 0 ) .....	全书 第三卷
( 12 ) .....	群论数学工程应用 第二卷
( 15 ) .....	数学分析及其应用 第一卷
( 15 ) .....	数学工程 第二卷
( 25 ) .....	数学及物理的数学工程 第三卷
( 41 ) .....	数学物理的数学工程 第四卷
( 42 ) .....	群论数学工程应用 第三卷
( 42 ) .....	数学物理的数学工程应用 第一卷
( 63 ) .....	数学物理的数学工程 第二卷
( 70 ) .....	群论数学工程应用 第四卷
( 70 ) .....	数学物理的数学工程 第一卷
( 72 ) .....	数学物理的数学工程 第三卷
( 74 ) .....	数学物理的数学工程 第三卷
( 77 ) .....	群论数学工程应用 第五卷
( 77 ) .....	数学 第一卷
( 99 ) .....	群论数学 第二卷
( 112 ) .....	群论数学 第三卷
( 122 ) .....	群论数学 第四卷

## 绪 论

石油炼制与化工主要涉及以石油和天然气为原料，生产各种用途的动力燃料、润滑剂、添加剂及化工合成产品。其特点是生产规模大、产品链长、技术密集、投资大、安全风险高、涵盖专业面广、技术更新快。作为国民经济的能源和材料支柱产业，我国每年原油加工处理量达2亿多吨。由于国民经济的持续发展，对环境和节能的要求不断提高，促使产业结构和生产规模的全面调整和扩大，产品不断升级和更新换代，也极大地带动和促进能源及材料行业的高速发展。石油加工业的发展速度已经高于GDP增长速度。能源、材料等相关产业的快速增长，又有效地支持和保障了整个国民经济的可持续发展。行业的发展，对与之相关联的人才结构和能力提出新的要求。为了适应这一形势，必须寻求新的人才培养模式，更好地适应生产力的发展水平。而职业教育正是教育体系中与生产实践联系最紧、距离最短、最能有效地将科学技术转化为现实生产力的教育形式，是培养技术应用型人才的有效途径之一。

石油炼制与化工专业是面向石油炼制和化工生产企业工艺岗位实际需求，培养基层一线从事生产、管理、销售和技术服务的高等职业技术应用型人才。为满足这一需求，必须对原有的学科式教育模式进行改革，其中，最主要的方向是紧密结合实际生产，加强实践教学的力量和比例。为此，自1994年起，兰州石化学院组织专职、兼职老师及实验员自己设计、制造、安装了炼油化工中型联合试验装置。

## 一、石油化工中试装置简介

### 1. 规模

石油化工中试装置介于实验室小试和工业规模化装置之间,从满足高等职业教育学生实习实训,提供高等职业技术教育的产、学、研的办学模式平台的目的来看,其实用性和经济性都是较为理想的。中型联合装置采用 150t/a 与 500t/a 两种规模,即反应与分离分别为两种处理能力,而采用同一管路系统,这样可使投资最低,又可满足不同要求。

### 2. 系统构成

石油化工中试装置主要由反应系统、精馏系统、公用工程及单体设备及管路安装五部分构成。涉及的主要单元有:

- ① 流体输送单元:由离心泵、齿轮泵、涡轮泵、真空泵、压缩机等传输设备和管路系统及相关中间罐或缓冲罐组成,用于完成气液物料输送;
- ② 过滤单元:由过滤槽及板框过滤机组成,用于过滤液体中的固体粒子;
- ③ 沉降单元:由沉降槽组成,用于液-固、液-液沉降分离;
- ④ 搅拌混合单元:由搅拌器、循环混合器组成,用于液-气、液-固、液-液搅拌混合;
- ⑤ 换热单元:由列管式换热器、板式换热器、套管式换热器、蒸汽锅炉、导热油炉及制冷机组成,用于物料加热与冷却;
- ⑦ 蒸馏单元:由简单蒸馏釜、精馏塔组成,用于液体混合物分离过程;
- ⑧ 反应单元:由管式反应器、搅拌釜式反应器组成,用于物料间化学反应过程。

## 二、石油化工中试装置功能

石油化工中试装置主要满足高等职业教育石油炼制、石化化

工、机械设备、化工自动控制等专业学生实习和实训；专业教师的“双师型”模式培训；提供将科研成果转化为生产力的研究和实现平台；实现一定规模的实际生产并产生相应的经济效应。

### 1. 教学实验

由于职业教育的特点决定专业教育更注重实践教学，石油化工中试装置既有单体设备，又有系统结构，这样通过实际的现场实验，使学生直观地理解掌握理论原理，并培养其将理论原理应用到实际过程中去的意识。本装置可以进行的实验有：机泵原理与结构，传质，传热，水力学，水力抽真空，过滤，精馏，反应，搅拌混合，自动控制等。

### 2. 实习实训

学生进行大工厂实习无疑是必要的，但是由于工业生产装置平时处于正常操作状态，并且从安全与稳定生产的角度，学生均无法亲自动手操作掌握其基本操作技能。而装置开、停工操作及非正常操作更是很少见到，这对于学生操作技能的培养极为不利，使得学生毕业到现场后，感到只有理论，而实际无从下手。该装置的建设，可大大改善这种状况，提高学生的动手能力，而且能够在该装置上进行大工业生产装置上不便实现的基本操作技能的培养，巩固课堂所学，消化理论知识，为将来工作打下一个较为坚实的基础。因此，中试装置可替代石油加工专业及石油化工专业部分下厂实习，同时也可可为机械、仪表、企电等专业提供一个良好的认识实习场所。另外，结合中试装置进行毕业设计工作，也是实践性教学环节的重要内容之一。

### 3. 科研开发技术平台

由于职业技术教育的特点，决定了学院在科研开发工作中应立足并着重于应用性科研开发工作，也可以认为是在大学、研究院等研究机构和实际生产企业之间架起一座桥梁，将研究机构实验室成果进行再研究、再开发，并推向生产现场、推向市场。在此过程中，将实验室研究成果进行中试放大，是将其达到工业化



规模的有效途径。由于装置规模要比实验室小试规模大得多，故可对生产工艺流程、设备结构、操作条件以及测定控制等方面作较为全面的试验、模拟，可为大工业生产装置设计、生产提供可靠的数据。

中试装置可以采用全流程实验，也可以采用部分流程实验，应根据开发研究内容的侧重点和过程开发的难易程度而定。若中试装置必须检验全流程中各工艺步骤之间的配合和连续运转的可靠性，则应作全流程中试；如果工艺流程中只有某一工艺步骤的放大没有把握，而其他工艺步骤均有可靠的放大依据，则只需进行部分流程实验或单一设备实验，寻求放大判据或测取有关放大设计数据。由此，中型联合装置设计建造过程中尽量做到设备齐全、线路灵活、检测准确、操作方便、安全可靠。

中型联合装置随着研究对象及研究方法不同，可以完成不同的实验任务，总体上主要有以下几项：

- ① 检验小试确定的工艺方法和工艺条件，以及工艺系统连续运转的可靠性；
- ② 考察放大效应，寻找其产生的原因和消除的办法；
- ③ 检验数学模型与实际过程的差别，并改进模型；
- ④ 考察物料对于设备材质的腐蚀作用；
- ⑤ 考察工艺过程微量杂质积累对过程及最终产品质量的影响；
- ⑥ 提供一定量的产品，供进一步加工、应用、考察；
- ⑦ 考察工艺过程中产生的“三废”情况，寻找综合治理的方法。

# 第一章 环保、节能与安全

## 第一节 环境保护

我们只有一个地球，每个人都有必要也有责任爱护它。凡是向地球周围空间、地表及地下排放的一切对自然界有影响及危害的物质可定义为污染源，主要包括有害气体、有害液体、有害固体、噪声及放射源等。石油化工产业原料、生产过程及产品都含有或使用一些有害物质，是目前对环境危害较大的产业之一。因此，作为庞大的石油化工产业链中的一个环节的石油化工中型实验装置，其在设计、安装、使用过程中强调环保意识，遵守环保相关的法律制度，制定有利于环境保护的规章制度，安装和采用有利于环保的设备和技术，将其对环境的影响和危害降到最低。石油化工中试装置的主要污染源有：

① 废水：泵系统冷却水、地面冲洗水、生活污水、停工检修清洗设备污水；

② 废气：由机械抽真空泵从设备中抽出的小量 HCl、正丁醇、亚磷酸二丁酯类气体；

③ 废酸：反应过程中绝大多数的 HCl 气体经水吸收后形成废盐酸；

④ 噪声：主要是来自机械抽真空泵，噪音在 80dB 以下。

针对以上污染源，主要采取以下措施以降低其对环境的影响。

① 废水：泵系统冷却水、生活污水、地面冲洗水污染很小，直接排至生活废水系统；停工检修清洗设备污水，经处理后排入生活废水系统；

② 废气：机械抽真空泵抽出的少量气体经水洗涤后由高位排放；

③ 废酸：将 HCl 水吸收后形成的废酸用塑料桶盛装，拉至

定点废酸处理点统一处理；

④ 噪声：通过加装消音罐，降低噪音。

作为石油化工装置的使用者一定要做到：

① 要有较强的环境保护意识；

② 严格遵守与环境保护有关的法律制度；

③ 坚持少排放、多循环的中间物使用原则，如循环水、溶剂介质等；

④ 向环境排放物一定要做到先处理后排放。

## 第二节 节能

原料通过一定的工艺过程转化为产品，其间一定要消耗能量才能实现。工艺过程中耗能的多少直接影响产品的成本，并且，大多数能源是不可再生的。因此，节约能源对行业及社会发展都有益。节能从两个方面入手，即数量和质量。也就是说能量既有质量，也有数量。热力学第一定律揭示能量的数量关系，热力学第二定律显示能量的质量性能。化工过程的用能可用三环节模式进行分析和理解，见图 1-1 所示。

不论何种工艺过程，从能量的利用和演化过程角度，我们至少可以确认：

第一，进出过程体系的能量在数量上必定是守恒的，不论它们形式上如何转换，如何在各个物流之间传递、交换。

第二，进入体系的能级较高的能量（电、燃料的化学能）的大部分，必定在一系列不可逆的实际过程中因有效能的损耗而降质，而以能级较低的能量排除体系，这正是它得到利用以推动过程进行和完成的必然结果。

### 一、工艺过程用能分析

在图 1-1 中，从热力学第一定律可知，进出过程体系的能

量在数量上必定守恒，即：

$$E_P = E_W + E_B + E_T + E_J + E_E \quad (1-1)$$

总供入能  $E_P$  或净供入能  $E_P - E_B$ ，包括：

① 加热炉燃料化学能  $E_{PF}$ ；

② 锅炉燃料化学能  $E_{PB}$ ；

③ 催化烧焦化学能  $E_{PC}$ ；

④ 供入蒸汽能  $E_{PS}$ ；

⑤ 供入电能  $E_{PE}$ ；

⑥ 供入热量  $E_{PH}$ 。

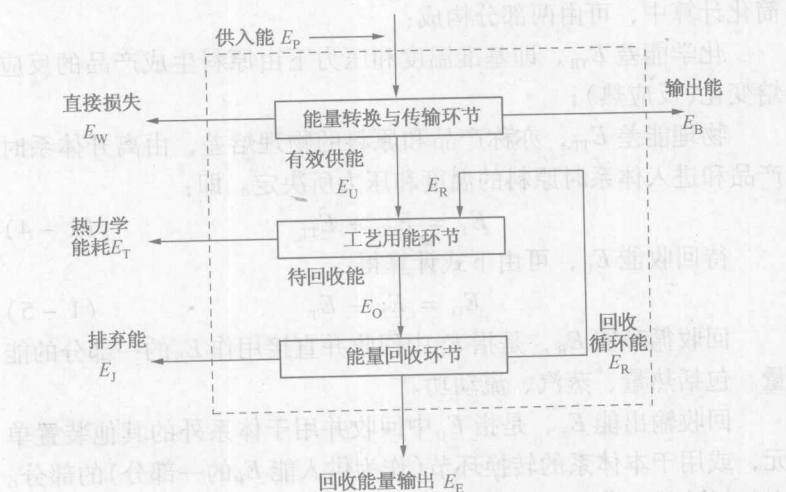


图 1-1 工艺过程用能三环节模式

直接损失能  $E_W$ ，是指在转换和传输过程中直接损失、逸入环境的部分能量，根本没有进入利用环节，包括：

① 物流排弃损失（如排烟损失） $E_{WX}$ ；

② 直接散热损失（或转换设备散热） $E_{WD}$ ；

③ 无效动力损失  $E_{WP}$ 。

有效供能  $E_U$ ，其定义为供入能量经过转换传输后实际进入工艺利用环节的总和，即供入能中被有效地转换的部分，由能量转换环节的守恒关系求得：

$$E_U = E_P - E_B - E_W \quad (1-2)$$

工艺总用能  $E_N$ ，是指完成工艺过程实际上所用的（即实际上进入到工艺利用环节的）能量的总和。 $E_N$ 由  $E_U$ 和回收循环能  $E_R$ 构成。

$$E_N = E_U + E_R \quad (1-3)$$

热力学能耗  $E_T$ ，其定义为产品带出的总能量与原料带入的总能量之差，亦即过程用能中转化到产品中去的部分。在实际的简化计算中，可由两部分构成：

化学能差  $E_{TR}$ ，即基准温度和压力下由原料生成产品的反应焓变化（反应热）；

物理能差  $E_{TT}$ ，亦称产品和原料的物理焓差，由离开体系时产品和进入体系时原料的温度和压力所决定。即：

$$E_T = E_{TR} + E_{TT} \quad (1-4)$$

待回收能  $E_O$ ，可由下式计算得：

$$E_O = E_N - E_T \quad (1-5)$$

回收循环能  $E_R$ ，是指  $E_O$ 中回收并直接用作  $E_N$ 的一部分的能量。包括热量、蒸汽、流动功。

回收输出能  $E_E$ ，是指  $E_O$ 中回收并用于体系外的其他装置单元，或用于本体系的转换环节（作为供入能  $E_P$ 的一部分）的部分。也包括热量、蒸汽、流动功。

排弃能  $E_J$ 包括以下各项：

① 冷却排弃能  $E_{JC}$ ，通过冷却介质（水或空气）排入周围环境（主要是大气，有时为江海）的部分；

② 散热排弃能  $E_{JD}$ ，通过除转换设备以外的全部设备、管线表面散失于大气中的能量；

③ 物流排弃能  $E_{JM}$ ，由回收环节排入环境的物流所携出的

能量；

④ 其他排弃能  $E_{10}$ ，非工艺流体的有效动力，没有体现在热量平衡计算中并计入上述各项。但实际上随上述各项排入环境，故应列项示出其数值，尽管它一般很小，有时可忽略不计。

由以上分析可知要节能必须做到以下几点：

- ① 提高能量转换环节的转换效率；
- ② 缩小产品与原料之间总能量之差，尤其物理能差；
- ③ 提高能量的回收利用，减少排弃能。

## 二、工艺过程有效能分析

由于实际工艺过程的不可逆过程的存在，必然造成实际能量使用过程的能级下降，亦即能量的质量有高低之分。将热力学第二定律用于用能过程，提出有效能(available energy)简称  $E_x$  的概念，其定义如下：

$$E_x \equiv (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (1-6)$$

在实际的能量转换和传输过程中，能量的数量并未减少，但其中的有效能减少了，因而能量的质量、能级相应地降低。在能量的工艺利用和回收环节也是这样，这也是实际过程的推动力。实际过程中有效能的损耗，即过程的不可逆度，也就是偏离可逆过程的程度。从有效能的角度考虑节能，应做到以下几点：

- ① 缩小能量转换之间的能级差；
- ② 减少排弃物流及能流。

## 第三节 安 全

安全生产对企业及员工来说是非常重要的。化学工业对人类社会的物质文明作出了巨大贡献，但对人类的生命安全和大自然的生态平衡也带来了潜在威胁。化工生产具有易燃、易爆、易中毒、高温高压、有腐蚀的特点。与其他行业相比，化工生产的不

安全因素更多，危险性和危害性更大，对安全生产的要求更加严格。因此，炼油化工中试装置建立严格的安全生产规章制度，采用一系列安全保障措施和技术。首先是安全教育，其次是建设和实施安全保障措施。

### 一、安全教育

对于进入炼油化工中试装置和在其中进行操作的人员必须进行安全教育。其目的是树立高度的安全生产意识，熟悉全规章制度，掌握安全防护技术。对安全教育不合格者严禁进入炼油化工中试装置。模拟石油化工生产企业，对进入实际生产装置实行三级安全教育制度。三级教育是指：第一级：入厂教育。其内容包括国家有关安全生产方针政策和法规，本厂安全生产的一般状况，企业内部特殊危险部位的介绍，一般的机械电气安全知识，入厂安全须知和预防事故的基本知识。第二级：车间教育。教育内容有本车间的生产概况，安全生产情况，本车间的劳动纪律和生产规则，安全注意事项，车间的危险品位，危险机电设施、尘毒作业情况，以及必须遵守的安全生产规章制度。第三级：岗位教育。教育内容有工段、班组安全生产概况，工作性质和职责范围，应知应会，岗位工种的工作性质、机电设备的安全操作方法，各种安全防护设施的性能和作用，工作地点的环境卫生及尘源、毒源、危险机件、危险物的控制方法，个人防护用具的使用方法，以及发生事故时的紧急救灾措施和安全撤退路线。没有经过三级教育或考试不合格者绝对禁止独立操作。

### 二、安全保障措施的建设 and 实施

安全保障措施包括软件和硬件，软件包括各种安全规章制度安全保障技术。硬件包括各种安全保障设施和装备。主要安全规章制度安全保障技术有：

- ① 安全教育不合格者，严禁独立上岗操作；

② 严禁在装置内吸烟，严禁私自携带香烟火种和易燃、易爆、有毒、易腐蚀物品进入；

③ 严禁穿易产生静电服装、带铁钉鞋、不戴安全帽进入装置；

④ 严禁班前班中饮酒；

⑤ 严禁使用防护设备不完好的设备；

⑥ 设备的转动部件，在运转中严禁擦洗或拆卸；

⑦ 严禁用汽油等易挥发溶剂擦洗设备、衣物、工具及地面；

⑧ 严禁就地排放易燃、易爆物料及其他化学危险品；

⑨ 严禁在爆炸危险场所内使用非防爆设备、器材及工具；

⑩ 严禁损毁、随意挪用消防及防火防爆设施；

⑪ 在有毒及窒息的环境下作业，必须指派监护人员；

⑫ 在有毒及窒息环境下作业时，必须佩戴可靠的劳动防护用品；

⑬ 发生人员中毒、窒息及其他伤害时处理及救护及时，方法正确；

⑭ 要定期对有毒有害场所进行检测，采取措施，使之符合国家标准；

⑮ 对各类有毒物品、防毒器具、消防设施、防爆设施必须有专人管理，并定期检查。

在石油化工中试装置设计建设过程中配备相应的防火、防爆、防毒等安全防护及救援设备、通道及器具，如：

① 防毒：装置部分设在室内，故设置了轴流式通风机，定时开机置换室内空气。抽真空尾气经水洗涤之后高空排放。操作有毒物料时，配戴防毒面罩和手套。设置安全梯和紧急出口。设备严格密封，密封实验后投料。离心泵搪瓷反应釜采用机械密封。

② 防火防爆：采用防爆型电机、防爆型照明系统。带压设备采用安全阀。设置物料紧急排放阀，安全阀失灵时，可开阀泄压。储备充分的消防水源。布置足够的灭火器，设置符合消防规范的消防检修通道。



## 第二章 石油化工精馏过程

### 第一节 精馏原理及系统组成

#### 一、溶液气液相平衡

##### 1. 气液相平衡

在一封闭容器中，在一定条件下，液相中各组分均有部分分子从界面逸出进入液面上方气相空间，而气相也有部分分子返回液面进入液相内。经长时间接触，当每个组分的分子从液相逸出与气相返回的速度相同，或达到动平衡时，即该过程达到了相平衡。与液体处于平衡状态的气相所具有的压力称为饱和蒸气压，此时的液体称为饱和液体，体系的温度称为相平衡温度。当外部条件改变时，上述平衡状态即遭破坏，待体系在新的条件下重新建立平衡为止。平衡时气液两相的组成之间的关系称为相平衡关系。它取决于体系的热力学性质，是蒸馏过程的热力学基础和基本依据。

##### 2. 体系的分类

由于混合物各组分的分子，或同一组分的分子之间的吸引或排斥作用的差异，以及混合前后分子的缔合结果可将气液两相分为：

- ① 气相为理想气体，液相为理想溶液；
- ② 气、液两相均为理想状态；
- ③ 气相为理想气体，液相为非理想溶液；
- ④ 气、液两相均为非理想状态。

##### 3. 沸点、泡点与露点

一种液体在升高温度时，饱和蒸气压也随之升高。当升高至