



普通高等教育“十三五”规划教材

HUAGONG SHEBEI
ZHIZAO GONGYIXUE
SHIJIAN JIAOCHENG

化工设备制造工艺学 实践教程

康 勇 主编

中国石化出版社

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

普通高等教育“十三五”规划教材

化工设备制造工艺学 实 践 教 程

康 勇 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书内容包括过程工艺基础知识、化工设备制造工艺基础、典型化工设备制造程序与方法、化工设备制造机械原理与应用以及过程装备运行与管理。本书在传统的化工设备制造工艺学内容的基础上拓展了相关内容,紧密结合过程装备使用与制造企业的现状,增加了过程装备应用工艺、典型化工设备制造及装备制造机械原理与应用等内容,特别是增加了与实践教学相关的扩展内容及学习指导资料。

本书可作为化工设备制造工艺学的配套教材或实践教学指导书、过程装备及热能与动力等相关专业课教材,也可作为从事过程工艺及装备制造人员的培训教材及相关专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工设备制造工艺学实践教程 / 康勇主编. —北京:
中国石化出版社, 2016. 10
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5114-4250-5

I. ①化… II. ①康… III. ①化工设备-生产工艺-
教材 IV. ①TQ050. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 236166 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号
邮编:100020 电话:(010)59964500
发行部电话:(010)59964526
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail:press@sinopec.com
北京柏力行彩印有限公司印刷
全国各地新华书店经销



787×1092 毫米 16 开本 23.5 印张 594 千字
2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷
定价:58.00 元

前 言

过程工业是通过物理和化学方法进行的生产过程。化工设备制造是过程工业的重要基础,它为完成工艺过程创造了必要条件。随着过程工业的迅速发展,过程工业中各相关专业的相互渗透使过程装备的种类和性能愈加多样和复杂。化工设备制造不但涉及石油^化工行业,而且应用于生物工程、制药、食品、船舶、车辆、冶金、环保、能源、动力工程等诸多行业。随着该行业涉及面的不断拓宽,从事化工设备制造工作相关人员的知识水准也在不断提高。他们不仅应具有过程装备的设计能力,还应掌握各种过程装备的制造技术。本书就是以培养具有装备制造技术的复合型人才为目标,以“拓宽领域,实践为主,学用结合”为编写宗旨,结合相关理论教学,注重实践性,为满足现场技术应用能力培养的需求,按照该学科的专业教学内容、教学进度及实践教学的要求而编写的。

《化工设备制造工艺学实践教程》的特色之一是强调知识的应用性,注重化工设备工艺学的实践教学环节,通过与生产实践相结合,为更好地学习和掌握化工设备制造业常规的生产工艺与制造技术,培养出更为合格的实用型人才创造了条件。本书按照化工设备制造及相关专业的教学要求,将常规的理论教学与应用教学内容有机地结合为一体,培养学生观察能力、自学能力及理论联系实际的能力,以达到学以致用目的。

全书共分为五章:第1章,化工过程工艺与设备基础,详细论述了炼油、化工、热能与动力企业常用生产工艺及主要装备工作原理;第2章,化工设备制造工艺基础,讲述了化工设备制造工艺方面的基础知识及工艺原理;第3章,典型化工设备的制造,主要论述了常用配套工艺过程装备的制造程序与方法;第4章,化工设备制造机械原理及应用,对常用装备制造机械的工作原理与操作方法进行详细地论述;第5章,化工设备运行与管理,结合炼化、装备制造及能源生产企业的实际生产现状,将所需的生产实践性知识汇总为一体。本书在每章最后还给出了思考习题,通过完成习题,使读者更好地掌握本章内容。

本书由西安石油大学康勇主编，第1章由康勇、梁慧荣、闫凤霞编写，第2章由康勇编写，第3章由李景明编写，第4章由王治国编写，第5章由闫凤霞编写，康勇对全书进行了统稿。在编写本书过程中得到了各方面的大力支持和帮助，在此谨表示衷心的感谢。本书参考引用了大量文献资料，由于篇幅所限而未能全部标列出来源，望被引用者能理解并代表读者谨致谢忱。

由于时间仓促，加之编者水平有限，错漏之处在所难免，欢迎广大读者提出和指正，以便改正和提高。

目 录

第 1 章 化工过程工艺与设备基础	(1)
1.1 过程工艺与设备的发展	(1)
1.1.1 过程装备的类型	(1)
1.1.2 我国石化工业的发展概况	(1)
1.1.3 过程装备设计技术的发展趋势	(3)
1.2 常减压工艺与设备	(4)
1.2.1 常减压工艺	(4)
1.2.2 脱水脱盐工艺	(4)
1.2.3 电脱水装置形式和结构	(8)
1.2.4 常压蒸馏系统	(9)
1.2.5 减压蒸馏系统	(10)
1.2.6 原油精馏系统	(11)
1.2.7 常减压系统的主要设备	(11)
1.3 催化裂化工艺及装备	(14)
1.3.1 催化裂化工艺特点及工艺流程	(14)
1.3.2 催化裂化装备组成	(18)
1.4 催化重整工艺与设备	(19)
1.4.1 国内外催化重整工艺技术发展	(20)
1.4.2 催化重整工艺装置的类型	(21)
1.4.3 催化重整工艺流程	(22)
1.4.4 催化重整主要设备	(25)
1.5 加氢裂化与精制工艺及设备	(31)
1.5.1 加氢裂化工艺流程与装置	(31)
1.5.2 加氢精制工艺流程与装置	(36)
1.6 润滑油生产工艺及设备	(37)
1.6.1 润滑油概述	(37)
1.6.2 润滑油生产工艺主要装备	(37)
1.7 天然气脱硫工艺与装置	(38)
1.7.1 脱硫目的及工艺标准	(38)
1.7.2 脱硫的方法	(40)
1.7.3 主要工艺设备及操作参数	(41)
1.8 工业合成氨的工艺与设备	(42)
1.8.1 工业合成氨工艺	(43)

1.8.2	合成氨工艺流程	(44)
1.8.3	工业合成氨合成塔	(45)
1.9	锅炉房工艺与设备	(46)
1.9.1	锅炉本体系统及设备	(46)
1.9.2	锅炉辅助系统及设备	(57)
1.10	汽轮机	(66)
1.10.1	汽轮机本体	(66)
1.10.2	汽轮机辅助设备	(74)
1.11	制冷技术	(78)
1.11.1	制冷原理	(79)
1.11.2	制冷压缩机	(85)
1.11.3	换热设备	(90)
1.11.4	节流机构和辅助设备	(96)
	思考题	(99)
第2章	化工设备制造工艺基础	(101)
2.1	过程装备制造准备	(101)
2.1.1	设备毛坯的准备工序	(101)
2.1.2	金属材料的清洗与准备	(102)
2.1.3	钢板的清洗	(106)
2.1.4	钢材的矫形	(107)
2.2	划线工艺	(108)
2.2.1	分拆	(108)
2.2.2	展开	(108)
2.2.3	号料及排板	(111)
2.3	金属的切割	(118)
2.3.1	金属的机械切割	(119)
2.3.2	热切割	(120)
2.3.3	边缘加工	(131)
2.4	钢材的变形原理与方法	(136)
2.4.1	钢材的变形原理	(136)
2.4.2	钢板的弯曲成形	(138)
2.4.3	钢管的弯曲	(141)
2.4.4	封头的冲压原理与成形	(144)
2.4.5	封头的旋压成形	(147)
2.5	焊接的基本原理与方法	(150)
2.5.1	加热过程对焊接接头的影响	(154)
2.5.2	焊接变形	(155)
2.5.3	焊条电弧焊	(156)
2.5.4	焊接工艺评定	(158)
2.5.5	碳素钢和低合金结构钢的焊接	(166)

2.5.6 非铁素金属的焊接	(170)
2.5.7 常见焊接裂纹及防止方法	(173)
2.5.8 异种钢的焊接	(179)
2.5.9 无损检测	(181)
2.5.10 焊接热处理	(190)
思考题	(195)
第3章 典型化工设备的制造	(196)
3.1 塔器的制造	(196)
3.1.1 塔器的结构及分类	(196)
3.1.2 塔体的制造工艺	(196)
3.1.3 板式塔内件及加工要求	(198)
3.2 换热器的制造	(201)
3.2.1 常见的管束式换热器	(201)
3.2.2 浮头式换热器的零件加工与组装	(202)
3.3 冷却器的制造	(217)
3.3.1 空气冷却器的制造	(217)
3.3.2 翅片管的制造	(220)
3.4 储存设备的制造	(221)
3.4.1 储罐简介	(221)
3.4.2 圆筒形容器制造	(221)
3.4.3 球形容器制造	(224)
3.5 锅炉的制造	(226)
3.5.1 锅炉设备组成	(226)
3.5.2 锅炉制造工艺	(228)
3.6 不锈钢制设备的制造	(245)
3.6.1 不锈钢及其耐蚀性	(245)
3.6.2 不锈钢制设备制造特点	(246)
3.6.3 不锈钢容器的成形加工	(247)
3.7 高压容器的制造	(252)
3.7.1 单层厚壁型高压容器	(253)
3.7.2 多层厚壁高压容器	(256)
3.7.3 缠绕厚壁高压容器	(263)
思考题	(265)
第4章 化工设备制造机械原理及应用	(266)
4.1 清洗设备	(266)
4.1.1 喷砂机	(266)
4.1.2 高压水清洗机	(268)
4.1.3 蒸汽清洗机	(268)
4.1.4 超声波清洗机	(269)
4.2 矫形设备	(271)

4.2.1	钢板矫平机	(271)
4.2.2	型钢矫正机	(272)
4.2.3	矫平机	(273)
4.3	压力容器材料切割及坡口加工设备	(275)
4.3.1	机械切割	(275)
4.3.2	热切割	(279)
4.4	成型设备	(279)
4.4.1	压弯设备	(279)
4.4.2	滚弯设备	(282)
4.5	焊接设备	(283)
4.5.1	手工电弧焊机	(284)
4.5.2	埋弧自动与半自动焊设备	(287)
4.5.3	气体保护电弧焊设备	(289)
4.5.4	等离子焊接与切割设备	(296)
4.5.5	电渣焊设备	(298)
4.5.6	接触焊设备	(299)
4.5.7	气焊与气割设备	(309)
4.6	吊运及主要设备	(320)
4.6.1	轻型起重设备	(320)
4.6.2	桥式起重机	(321)
4.6.3	门式起重机	(322)
	思考题	(323)
第5章 化工设备运行与管理		(324)
5.1	安全生产及其管理	(324)
5.1.1	安全生产	(324)
5.1.2	安全管理	(325)
5.2	事故的预防及处理	(327)
5.2.1	事故	(327)
5.2.2	事故产生的原因	(327)
5.2.3	事故的预防与控制	(330)
5.2.4	事故管理	(335)
5.3	生产安全技术	(337)
5.3.1	机械加工安全技术	(337)
5.3.2	设备安全技术	(340)
5.3.3	焊接与气割安全技术	(352)
5.3.4	电气安全技术	(357)
5.3.5	防火防爆安全技术	(360)
	思考题	(367)
	参考文献	(368)

第1章 化工过程工艺与设备基础

1.1 过程工艺与设备的发展

1.1.1 过程装备的类型

过程工业涉及物料从原料到产品的整个工艺过程,它由不同的工艺单元构成。每个工艺单元需要由能实现这一工艺的设备来完成,过程装备主要由不同的单元设备而构成。化工过程装备是化工生产过程使用的各种机器及过程工艺设备的总称。过程装备不仅应用于化工、石油和石油化工生产中,而且在医药、轻工、食品、冶金、能源、交通等工业中也有广泛的应用。在上述部门的各类装备中,有相当多的装备属于化工生产设备,所以也常称之为化工设备或化工装备。化工机械分为化工设备和化工机器两大类,化工设备一般指以静止状态为主要工作状态的静设备,如各种容器、塔器、反应器、换热器、蒸发器、传质设备、吸附设备、流态化设备等。化工机器则指以运动状态为主要工作状态的动设备,如各种过滤机、破碎机、离心分离机、搅拌机、干燥机、泵、风机和压缩机等。在《化工设备设计文件编制规定》(HG/T 20668—2000)附录C中对设备分类作了详细规定。除0类为规范和标准外,设备共分为9大类,包括容器、换热设备、塔、化工单元设备、反应设备和化工专用设备。化工机械及应用机械包括起重运输、称量和包装机械、管路附件及控制机构及非化工工艺设备。每大类又分为10类,共计90类,目前以此作为化工设备的分类标准。

化工设备在石化生产中具有重要地位。先进技术、先进装备的应用,企业的技术进步和技术改造是加快我国石化工业发展的基本途径。石油及化学工业的快速发展,促进了石化装备制造业的发展。同时,先进可靠的石化装备也是石化工业发展的保障和推动力量。

1.1.2 我国石化工业的发展概况

1.1.2.1 石化装备发展的历程

我国石化装备行业经历了重要的发展阶段。20世纪五六十年代是我国石化装备行业蓬勃发展的时期。由于生产发展和大规模经济建设的需要,各类石化装备供不应求,成为诸多行业的紧缺产品。石化装备设计部门不仅需要提供大量的非标图纸和通用设计,而且急需编制出相关标准和工艺规程,以满足大量石化装备规范加工和安全生产的需要。20世纪七八十年代设备加工转向机械化和自动化电气焊,石化装备设计上上了一个新的台阶,在钢制石化压力容器结构设计、强度计算、材料选用、制造技术、工程规定上做了大量工作,在安全监察和监督上取得了突破性的进展。几十年来,我国化工机械行业在为国内石化生产建设提供装备方面起着主力军和主渠道的作用,能源工业、冶金工业等领域的装备亦多为国内生产。进入80年代后,为了适应过程工业生产的规模和装备日益大型化的趋势,国家高度重视大型成套装备的国产化工作,经过十余年的努力,一批能够代表当前世界水平的大型生产装备已经基本可以立足于国内制造。

20世纪70年代,我国只有数量不多的中小型炼油厂。1976年北京燕山石化 30×10^4 t/a乙烯项目建成投产,石化工业开始发展。到80年代初,又先后建设了南京扬子、上海金山、

山东齐鲁、黑龙江大庆4套 $30\times 10^4\text{t/a}$ 乙烯项目,我国有了真正意义上的石化工业。我国石化工业经历了几十年的发展,已经发生了根本性的变化,从石化装备的先进程度、工艺水平和产品质量上都有了很大的提高。

目前我国石油化工关键设备研制取得重大进展,炼油化工专用设备门类比较齐全,规格、品种基本能满足国内需求。乙烯裂解炉、板翅式换热器、大型乙烯球罐、聚丙烯反应器、大型双螺杆造粒机组等相继研制成功。经过几十年的努力,在炼油、炼制、化工、化纤、化肥、城市煤气等重大设备国产化和项目建设上,取得了可喜的成绩。一批重大装备研制成果达到或接近国际先进水平。我国化工装备制造自主率发展如图1-1所示。



图1-1 化工装备制造自主率发展图

1.1.2.2 过程装备制造技术与工艺的发展方向

(1) 技术趋势

我国炼油化工专用设备基本已实现国产化,如反应设备、压缩机组、特殊泵类设备和专用机械。但有的设备仍需要进口,如满足于生产装置大型化的大型装备,这将是国内发展方向。

① 装置大型化 设备大型化不是设备简单放大,需要在设备设计技术、制造和检验技术、运输技术、现场组装和热处理技术以及新材料方面有较大的发展。过程装备的发展要以发展大型乙烯成套装备、大型炼油装置、大型合成氨成套设备和煤气化成套设备为主。

② 技术指标的多功能化 随着轻质油品和清洁燃料的需求量日益加大,炼油装置技术需要不断改进,做到生产工序少、工艺流程短、生产效率高、原料利用率高、能源消耗少,开发出大型、高效、低能耗并具有环保功能的炼油和石化装备及单元设备,掌握其核心技术,达到国际先进水平是以后的发展目标。装备制造业要依托重点建设工程,坚持自主创新与技术引进相结合,强化政策支持,提高重大技术装备国产化水平,特别是在高效清洁发电和输变电、大型石油化工、先进适用的运输装备、高档数控机床、自动化控制、集成电路设备和先进动力装置等领域实现突破,提高研发设计、核心元器件配套、加工制造和系统集成整体水平。

③ 生产装置操作更加安全、可靠 石化装备行业应建立现代工业设计体系,推广产品创新优化设计技术和计算机模拟技术,促进石油化工装备产品升级换代,提高操作的安全性和可靠性。企业要建立健全设备安全管理制度,加强主要机组、机泵设备、特种设备、电气设备、仪表及自动控制设备、安全连锁装置和运输工具的安全管理,保持设备处于完好状态。特种设备的生产、注册登记、使用、检验检测和报废更新等应严格遵守有关规定。

④ 设计手段的提高 计算机辅助设计(CAD)的应用已经十分广泛,在许多工业领域都开发了各自行业的CAD专用系统,如机械零件CAD系统、电气设备CAD系统、管道CAD系统、锅炉CAD系统等,其中过程装备CAD系统是量大面广且使用比较广泛的一种。AutoCAD具有安装简便、占有硬盘空间小、所需内存小、二维绘图功能强、二次开发功能强等特点。

(2) 行业趋势

未来炼油和乙烯将成为石油化工的龙头和核心,我国石化机械行业将呈现以下发展趋势:

① 传统名牌优势产品仍将获得较高的市场份额，例如大型合成氨和尿素装置中的高压容器等重大设备；

② 石油化工企业节能技术改造和产品结构调整需要的设备将有较大发展空间；

③ 节能高效单元设备将会有很大的市场；

④ 环保设备开发创新将成为石化装备新的增长点；

⑤ 石油化工装置规模化带来设备大型化；

⑥ 石油和化工产品储运设备将获得特定的市场份额，如铁路罐车、汽车罐车品种将不断扩大，可以满足不同石油和化工产品运输的需要。

(3) 需要改进的技术

① 先进、高效的焊接技术 目前我国很多承担大型油罐建造的施工单位均掌握了一次成型的气电立焊技术，并购置了相应焊接设备。大型过程装备制造厂基本都能熟悉地使用窄间隙单丝埋弧焊技术，但对窄间隙双丝埋弧焊技术使用得还较少。

② 锻件空心浇注技术 大型加氢反应器绝大多数采用锻焊结构，对于其筒形锻件坯料的生产，采用空心浇注技术，而不用整体浇注技术。前者具有成材率高、加工量小、成本低的优点，具有强大的市场竞争力。

③ 现场组装技术 对于一些大型加氢反应器，由于运输条件的限制，已不能完全在制造厂内制造，只能在制造厂先制成几部分，然后再在使用现场进行组焊。

1.1.3 过程装备设计技术的发展趋势

在经营管理和技术上则向综合利用、大型节能、一体化、深加工的方向发展。在此期间，计算机应用技术也取得了突破性的进展，三维实体设计、科学仿真模拟、人工智能技术等都有重大进展。过程装备设计也将朝着现代化、综合管理和充分应用先进计算机技术的方向发展。过程装备设计技术也是一项多学科、综合性的技术，其技术构成包括力学、机械工程、石化、材料科学、计算机技术、管理技术以及相关现代技术的结合。

1.1.3.1 现代化设计技术

过程装备设计将进一步向现代化设计技术方向发展，综合设计的特点会更加明显。现代设备设计技术，包括进一步发展过程装备 CAD 应用技术、开发动态分析和强度设计技术、开发三维实体和原型设计技术、建立大型完善的过程装备图库和石化工程数据库等。在综合设计方面，由单纯设备设计向包括设备报价、诊断、判废等在内的工程全过程承包方向发展；由单个设备设计向包括管道和附属设备在内的成套设备设计方向发展。现代设计向综合设计方向发展是技术发展的必然结果，从广义上讲，过程装备设计应从产品设计构思开始，在包括采购、制造、销售、安装、开车、使用、维修、直至报废回收的整个设备存在过程中，考虑过程装备的横向和纵深相关问题，其中也包括环保问题。

1.1.3.2 过程装备 CAD/CAE

传统的 CAD 已逐步向计算机辅助工程 CAE (Computer Aided Engineering) 的方向发展。传统的 CAD 主要指计算机辅助绘图技术，其发展已经比较成熟。CAD 的技术发展主要体现在标准化、开放化、集成化、智能化和虚拟现实等几个方面向 CAE 方向发展和过渡。

计算机辅助工程 CAE 是指用计算机辅助求解复杂工程和产品的结构力学性能，以及优化结构性能，是包括产品设计、工程分析、数据管理、试验、仿真和制造在内的计算机辅助设计和生产的综合系统。

1.1.3.3 分析设计技术的普遍采用

采取分析设计技术的方法可有效地降低设备的综合成本和延长设备的使用寿命。为了尽量减轻设备的重量,但同时又必须确保设备的使用安全,对大型设备往往需要采用以应力分析为基础的设计方法。失效分析及延寿技术是提高设备经济效益的又一重要方面:失效分析可以预测加工过程中可能产生的缺陷并采取防止措施,以达到控制和保证设备加工质量;延寿分析,是通过设备元件和材料的强度分析、疲劳分析、应力分析及环境分析,对设备进行分析设计,延长设备的使用周期。随着市场发展和设计技术的提高,分析设计技术必将有更为深入的发展,使我国设备设计的技术水平迈上一个新的台阶。

1.1.3.4 各种新标准的使用

随着石化企业工艺技术的发展,特别是石油化工深加工的开发,生产条件会显得更加狭窄,工艺原料的温度、压力、腐蚀条件会变得更加严重和苛刻。与此同时,用户对设备的要求也会越来越高,诸如要求合理的价格、良好的性能、优良的性价比,较长的使用寿命,较低的维修费用等。因此,现代设备设计不大可能采用通用设计来应付用户的多方面要求,而是采用针对性设计,对每台设备都要精心设计,满足客户的要求。为适应这一特点,提高过程装备设计标准化程度和建立丰富的设备基础图库则是解决设计难题的两个重要方面。

1.2 常减压工艺与设备

1.2.1 常减压工艺

常减压工艺是利用了原油在加热过程中各组分的沸点(挥发度)不同,从而蒸馏出所需要的各种石油馏分的工艺。常减压工艺根据加工工艺要求的不同,可将这种工艺过程分为电脱盐部分、初馏部分、常压部分、减压部分、原油换热系统部分、轻烃回收部分等。从油田输往炼油厂的原油往往有含盐(主要是氧化物)的水分,可导致设备的腐蚀、在设备内壁结垢和影响成品油的组成,需在炼油加工前去除。常减压装置整体设备如图 1-2 所示。原油脱水后经常压蒸馏、减压蒸馏后被分割为柴油、直馏蜡油和减压渣油等成分,其中石脑油馏分可作为芳烃生产线催化重整装置或烯烃生产线蒸汽裂化装置的原料;柴油馏分经加氢改质调和后,作为直接产品外输;直馏蜡油馏分作加氢裂化装置的原料;部分减压汽化凝油和经冷却后作燃料油的调和组分;减压渣油作为延迟焦化装置的原料。



图 1-2 常减压装置整体设备

1.2.2 脱水脱盐工艺

原油含盐含水对原油储运、加工,所生产产品质量及设备等均造成很大危害,会增加设备的负荷,增加动力、热能、冷却水的消耗,影响蒸馏塔正常操作。含水过多的原油水分汽化后,气相体积大增,造成蒸馏塔内压降增加,气速过大,易引起冲塔等操作事故,影响传热、堵塞管路。原油中的盐类随着水分蒸发,盐分在换热器和加热炉管壁上形成盐垢,降低传热效率,增大流动阻力,严重时导致堵塞管路、烧穿管壁,造成事故。同时盐类还会造成设备腐蚀,如 CaCl_2 和 MgCl_2 能水解生成具

有强腐蚀性的 HCl，特别是在低温设备中存在水分时，形成盐酸，腐蚀更为严重。加工含硫原油时，含硫化合物会分解出 H_2S ，对设备有腐蚀作用，但生成的腐蚀物 FeS 附着在金属表面上，能对金属起部分保护作用。当同时有 HCl 存在时，HCl 能与 FeS 反应而破坏保护层，而放出的 H_2S 又会进一步与铁反应，加剧腐蚀，影响产品质量。盐类中的金属进入重馏分油或渣油中，毒害催化剂，影响二次加工原料质量及产品质量。因此原油进入炼油厂后，必须先进行脱盐脱水，脱水深度达到《原油电脱水设计规范》(SY/T 0045—2008)的标准，使含水量达到 0.1%~0.2%，含盐量 <5mg/L。对于有渣油加氢或重油催化裂化过程的炼油厂，要求原油含盐量 <3mg/L。

1.2.2.1 电脱盐工艺

电脱盐工艺流程如图 1-3 所示，原油电脱盐及脱水装置如图 1-4 所示。一般采用二级脱盐工艺，原油分配器的作用是使从底部进入的原油通过分配器后能够均匀地垂直向上流动，一般采用低速槽型分配器。交流电脱盐罐常采用水平电极板，交直流脱盐罐则采用垂直电极板。水平电极板往往为两至三层。油、水、破乳剂进脱盐罐前应充分混合，使水和破乳剂在原油中尽量分散到合适的浓度。一般来说，分散细，脱盐率高；但分散过细时可形成稳定乳化液反而使脱盐率下降。脱盐设备多用静态混合器与可调差压的混合阀串联来达到上述目的。

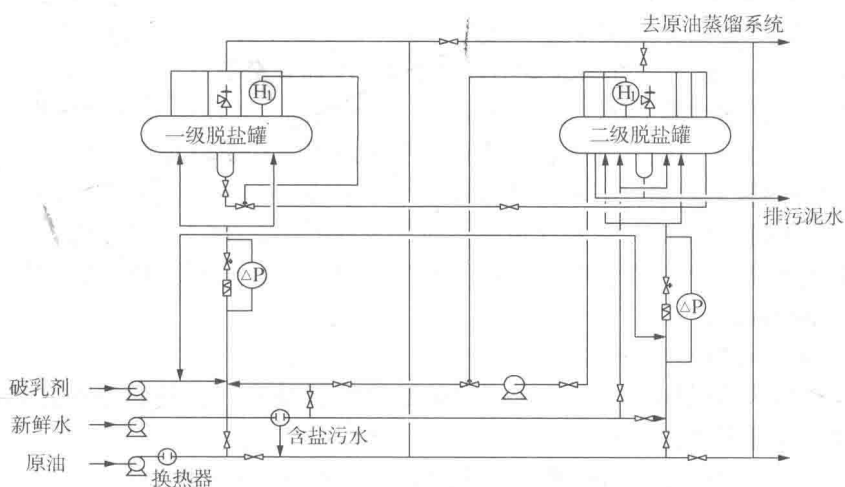


图 1-3 二级电脱盐脱水工艺流程图

(1) 电脱盐进料温度

电脱盐罐温度高低对于脱盐效率影响较大，为此应避免电脱盐罐温度突然大幅度波动，电脱盐的最佳操作温度为 $(125 \pm 5)^\circ C$ ，温度过低，原油黏度大，破乳困难，脱盐率下降。由于原油导电性随着温度的升高而增大，温度过高，会导致能耗增加，电流的增加会导致电极板上的电压降低，会影响脱盐效果。另外，温度过高会导致电耗增加，会引起操作不正常，影响脱盐效果。渣油量、渣油温度变化、各侧线量及侧线温度变化、

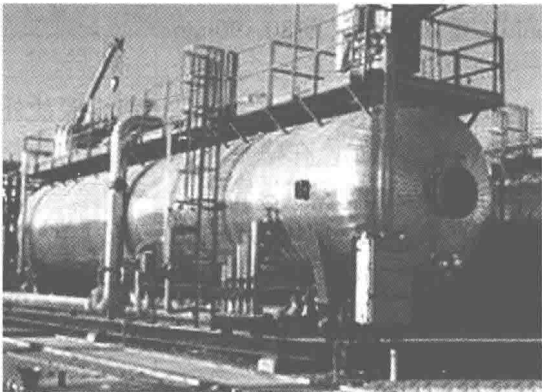


图 1-4 原油电脱盐及脱水装置

原油及装置温度、原油含水都将影响电脱盐的操作温度。

(2) 电脱盐罐内压力

罐内控制一定压力是为了控制原油的蒸发,如果罐内压力较低,产生蒸汽,轻则导致操作不正常,重则引起爆炸。因此,罐内压力必须维持在高于操作温度下原油和水的饱和蒸气压,低于设备设计压力的范围内。当油、水、破乳剂通过混合阀时,混合压降适中可使三者充分混合。压降过高形成过乳化液,破乳困难;压降过低,达不到破乳剂和水在原油中充分扩散的目的,使脱盐率大大下降。

(3) 电脱盐罐注水量

装置电脱盐注水量控制在5%左右,注水目的是为了增加水递减碰撞机会,有利于水滴聚集和洗涤原油中的盐。由于水是导电的,注水量过大容易形成电桥,造成事故;注水量过小,达不到洗涤和增加水凝结力的作用。

(4) 电脱盐罐界位的控制

电脱盐的界位控制是非常重要的,若界位太低,则原有脱水的沉降时间变少,不利于脱盐效果,造成脱水带油;若界位太高,不但减少原油在弱电场中的停留时间,而且电脱盐罐容易因为水位过高而导致跳闸,从而影响到电脱盐的操作。

1.2.2.2 原油水含量的控制

(1) 进入电脱水器的原油水含量不宜大于30%(质量分数)。对于乳化严重、导电性强、击穿电压小于0.6kV/cm的原油水含量不宜大于10%(质量分数)。

(2) 脱水原油的水含量标准,按轻质原油、中质原油、重质原油分等级如下:

- ① 轻质原油的脱水原油,其水含量指标应小于或等于0.5%(质量分数);
- ② 中质原油的脱水原油,其水含量指标应小于或等于1.0%(质量分数);
- ③ 重质原油的脱水原油,其水含量指标应小于或等于2.0%(质量分数)。

(3) 从电脱水器脱出的污水中油含量不宜大于5000mg/L;输往污水处理站的污水中,油含量不大于1000mg/L。

1.2.2.3 原油电脱水设计参数

(1) 原油电脱水器操作温度应根据原油的黏温特性确定,宜使原油在其运动黏度低于 $50\text{mm}^2/\text{s}$ 的温度条件下进行脱水。

(2) 原油电脱水器操作压力应比操作温度下的原油饱和蒸气压高0.15MPa。

(3) 原油电脱水器的处理能力,应由乳化原油处理的难易程度、在电脱水器内的停留时间和电脱水器容积确定。停留时间:轻质原油一般宜为30~40min,中质原油不宜超过60min,重质原油宜为80~90min。

1.2.2.4 三注系统

为了减少设备的腐蚀,除了二级电脱盐外,在初馏、常压和减压塔顶馏出线上分别注入缓蚀剂、氨水和水,在稳定塔顶注缓蚀剂,装置内设置破乳剂、缓蚀剂和氨水的配置系统。

(1) 破乳剂的选择与应用

① 原油电脱水使用的破乳剂,应科学地选择其品种、用量、加入点和加入方式。

② 破乳剂品种选择,应选取优良品种,根据用量少、出水快、界面清晰、油中含水少、水中含油低的原则,并结合生产特点和要求,经现场工业试验后,确定最佳品种。国内常用破乳剂品种见表1-1。

③ 破乳剂加入浓度按纯油计,轻质、中质原油加药浓度为 $10\times 10^{-6}\sim 60\times 10^{-6}$,重质原油加药浓度为 $40\times 10^{-6}\sim 180\times 10^{-6}$ 。

表 1-1 国内常用破乳剂品种

破乳剂类型	序号	名 称	有效成分含量/%	稀释剂	使用效果
聚氧烷基醇	1	SP160	55	水	出水快、水较清
	2	BP7530	50~55	水	出水快
	3	BP5921	50~55	水	水较清
	4	BP2040	50~55	水	出水快
	5	SLD-2131	55	水	出水快
聚氧烷基多胺	6	9901	50~55	水	出水快
	7	AE8051	50~55	水	出水快
	8	GL-1402	50~55	水	出水快
	9	AP221	55	水	水较清
	10	AE1213	50~55	水	水较清
	11	J-50	50~55	水	出水快
	12	SLD-1921	55	水	出水快
	13	AEC6952	55	水	出水快
	14	AP212	55	水	出水快
	15	C-20	55	水	出水快
	16	HD-6	55	水	出水快、水较清
聚氧烷基树脂	17	TA1031	50~55	水	出水快
	18	AF3111	50~55	水	水较清
	19	PFA8311	50~55	水	出水快
	20	FI5111	50~55	水	出水快
	21	SLD-3105	50~55	水	出水快
	22	SLD-3106	50~55	水	出水快
	23	SLD-3010	50~55	水	出水快
交联加聚物	24	FOI2420	13	混苯	出水快
	25	RA101	33	混苯	出水快
	26	API7041	33	混苯	出水快
	27	XJ-415	42	混苯	出水快
	28	SLDE-04	35	混苯	稠油破乳剂
有机硅聚醚	29	SAE	50~55	水	破乳温度低, 防蜡 低温性能好
	30	KL-2	50~55	醇	
复配物	31	LH-1	50~55	水和甲醇	水清
	32	LH-2	50~55	水和甲醇	出水快、水较清
	33	LH-3	50~55	混苯	出水快、水较清
	34	YPA	50~55	水和甲醇	出水快、水较清
	35	YFB	50~55	水和甲醇	出水快
	36	YPC	50~55	水和甲醇	出水快
	37	PA302	50~55	水和醇	稠油破乳剂
	38	RAK-5	50~55	水	出水快、水清

④ 破乳剂加入点宜选在采油井口或抽气分离器前的进口汇管处。随原油水含量增大,可根据破乳剂的特性和生产的要求适当调整加药点。

⑤ 破乳剂的加入方式,应采用可调节流量的加药泵定量、连续、均匀地加入生产系统。水溶性破乳剂一般稀释至 1%~10% 的溶液后,再用泵加入;油溶性破乳剂一般不经稀释采用小排量的泵直接加入。

1.2.3 电脱水装置形式和结构

1.2.3.1 卧式电脱水器

卧式电脱水器和立式电脱水器相比有很多优点,在绝大多数情况下常采用卧式电脱水器,其结构如图 1-5 所示。除有电脱水段外,还有用于气液分离的进口段即除气段,电脱水器具体形式的选用应根据具体的工艺流程和油田情况而定。从安全生产的角度出发,实践证明在电脱水器顶部必须设有放气阀和防爆型浮球液位控制器,凡在容器顶部开口时,其开口接管的顶部亦必须设有放气阀。

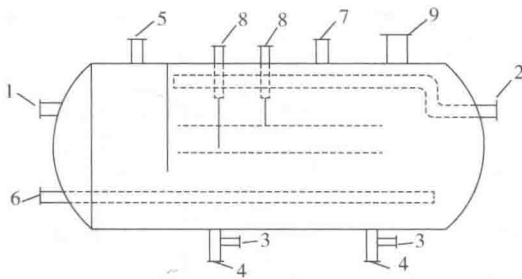


图 1-5 卧式电脱水器结构示意图 (含除气段)

1—进油口; 2—出油口; 3—放水口; 4—排砂口; 5—气出口; 6—冲砂口; 7—放气口; 8—绝缘棒; 9—透光口

1.2.3.2 电脱水装置的操作参数

电脱水器的操作参数应以实验为依据。

(1) 电压、电场强度、供电方式

电脱水器中电极的电压、电场强度、供电方式、电极面积和电极个数需针对具体的油品进行试验方能确定。对于弱电场强度,通过实验表明,当电场强度在 0.2 kV/cm 时,便开始产生水滴的聚结作用。但是当弱电场强度偏低时,电脱水器内弱电场部分的脱水效果较差,会使进入强电场的原油含水量增高,导致强电场负荷增大和脱水效果变差。

所以,弱电场部分的电场强度设计值一般为 $0.3\sim 0.5\text{ kV/cm}$ 。

电脱水器供电方式应优先考虑采用双电场脱水工艺。这种双电场脱水法能提高净化原油的质量,并使处理每吨原油的耗电量降为原直流电脱水的 $1/2$ 以下。

(2) 电脱水器温度和压力的确定

电脱水器操作温度一般为 $40\sim 85^\circ\text{C}$,而重质原油需要的电脱水温度就有较大幅度的提高,其脱水温度应达到 $100\sim 120^\circ\text{C}$,所以将电脱水器设计温度的上限定为 150°C 。这个温度是电脱水器内所使用的聚四氟乙烯绝缘挂板所能耐热的最高温度,但如使用耐热性能更高并可以代替聚四氟乙烯材料的绝缘挂板,则电脱水器的设计温度可以高于这个温度。

原油电脱水工作压力为 $0.11\sim 0.6\text{ MPa}$ 。其中 $0.2\sim 0.6\text{ MPa}$ 占绝大多数,所以在设计压力系列中有 1.0 MPa 的等级。电脱水器的操作压力的确定应满足以下要求:

① 对没有除气段的电脱水器的操作压力至少应比操作温度下的原油饱和蒸气压高 0.15 MPa ,否则会增加电力消耗。

② 电脱水器的操作压力应能满足整个工艺流程的需要。充分利用上游能量,使电脱水器内的原油靠压力能自动流入稳定塔而不必增加动力设备。

(3) 电脱水器几何尺寸的确定

电脱水器的几何尺寸是用停留时间来确定的。原油在电脱水段内的停留时间应该适当,停留时间不能小于水滴从油层中沉降下来所需的沉降时间,但也不能太大,因为电分散的存