



普通高等教育“十二五”部委级规划教材（高职高专）

化工原理

HUAGONG YUANLI
KECHENG SHEJI

课程设计

◎ 孙琪娟 编写



普通高等教育“十二五”部委级规划教材(高职高专)

出版

化工原理课程设计

孙琪娟 编写

(1) 围绕一个核心——育人目标。根据专业培养目标和课程培养目标，从培养学生学习兴趣和

和提高职业技能入手，教材内容深透全，实践环节贯穿始终，力求突出重点，注重

实践。既有理论习题指导，又有实际案例介绍，力求做到理论与实践相结合，提高

学生的思维能力和解决问题的能力，增加学生的学习兴趣和学习动力。

(2) 突出一个环节——理论联系实际。教材力求做到理论联系实际，注重培养学生的

实践能力和创新能力。教材力求做到理论联系实际，注重培养学生的实践能力和

创新能力。教材力求做到理论联系实际，注重培养学生的实践能力和创新能力。

(3) 实现一个突破——教材形式突破。教材力求做到理论联系实际，注重培养学生的

实践能力和创新能力。教材力求做到理论联系实际，注重培养学生的实践能力和

创新能力。教材力求做到理论联系实际，注重培养学生的实践能力和创新能力。

教材出版是教育发展中

组织专家评审，并经过

审核，确保教材质量。

不断推出精品教材，以满足

内 容 提 要

本书重点介绍了换热器、蒸发器、板式精馏塔设计的原理和方法、有关流程方案的选择及附属设备的选型等。书中设有典型设计示例以供参考,设计示例多且具有工业生产或科研实践的背景,并附设计任务数则,可供不同专业课程设计时选用及设计训练使用。

本书力求体现化工原理课程设计的基本要求,着眼于培养学生分析问题和解决问题的能力。本书内容充实、适用性强、注重实用、便于自学,可作为高等院校化工原理课程设计、化工类专业毕业设计的参考资料,也可作为化工原理课程教学的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理课程设计/孙琪娟编写. —北京:中国纺织出版社, 2014. 2

普通高等教育“十二五”部委级规划教材. 高职高专
ISBN 978-7-5180-0345-7

I. ①化… II. ①孙… III. ①化工原理—课程设计—高等学校—教材 IV. ①TQ02-41

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第008875号

策划编辑:朱萍萍 责任编辑:范雨昕 责任校对:余静雯
责任设计:何建 责任印制:何艳

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里A407号楼 邮政编码:100124

销售电话:010-87155894 传真:010-87155801

http://www.c-textilep.com

E-mail: faxing@c-textilep.com

官方微博 http://weibo.com/2119887771

北京通天印刷有限公司印刷 各地新华书店经销

2014年2月第1版第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:6.5

字数:135千字 定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

出版者的话

《国家中长期教育改革和发展规划纲要》（简称《纲要》）中提出“要大力发展职业教育”。职业教育要“把提高质量作为重点。以服务为宗旨，以就业为导向，推进教育教学改革。实行工学结合、校企合作、顶岗实习的人才培养模式”。为全面贯彻落实《纲要》，中国纺织服装教育学会协同中国纺织出版社，认真组织制订“十二五”部委级教材规划，组织专家对各院校上报的“十二五”规划教材选题进行认真评选，力求使教材出版与教学改革和课程建设发展相适应，并对项目式教学模式的配套教材进行了探索，充分体现职业技能培养的特点。在教材的编写上重视实践和实训环节内容，使教材内容具有以下三个特点：

(1) 围绕一个核心——育人目标。根据教育规律和课程设置特点，从培养学生学习兴趣和提高职业技能入手，教材内容围绕生产实际和教学需要展开，形式上力求突出重点，强调实践。附有课程设置指导，并于章首介绍本章知识点、重点、难点及专业技能，章后附形式多样的思考题等，提高教材的可读性，增加学生学习兴趣和自学能力。

(2) 突出一个环节——实践环节。教材出版突出高职教育和应用性学科的特点，注重理论与生产实践的结合，有针对性地设置教材内容，增加实践、实验内容，并通过多媒体等形式，直观反映生产实践的最新成果。

(3) 实现一个立体——开发立体化教材体系。充分利用现代教育技术手段，构建数字教育资源平台，开发教学课件、音像制品、素材库、试题库等多种立体化的配套教材，以直观的形式和丰富的表达充分展现教学内容。

教材出版是教育发展中的重要组成部分，为出版高质量的教材，出版社严格甄选作者，组织专家评审，并对出版全过程进行跟踪，及时了解教材编写进度、编写质量，力求做到作者权威、编辑专业、审读严格、精品出版。我们愿与院校一起，共同探讨、完善教材出版，不断推出精品教材，以适应我国职业教育的发展要求。

中国纺织出版社
教材出版中心

前言

化工原理课程设计是化工原理课程（包括化工原理、化工原理实验和化工原理课程设计）的重要组成部分，是为配合化工原理课程教学、培养学生工程设计基本技能而编写的配套教材。

本书是从培养学生工程设计的基本技能出发，针对高等院校化工原理课程设计的教学实际需要，按照化工原理课程教学体系的基本要求，结合陕西工业职业技术学院及兄弟院校多年的教学实践经验及改革成果，在参阅国内外有关化工设计资料的基础上编写而成的。

本书重点介绍了换热器、蒸发器、板式精馏塔设计的原理和设计方法，并就有关流程方案的选择及附属设备的选型做了介绍。其中包含典型设计示例以供参考，设计示例多，且具有工业生产或科研实践的背景，并附相应设计任务数则，可供不同专业课程设计时选用。

本书力求体现化工原理课程设计的基本要求，着眼于培养学生工程设计的基本技能，内容充实、适用性强、注重实用、便于自学。本书可作为高等院校化工原理课程设计、化工类专业毕业设计的参考资料，也可作为化工原理课程教学的参考用书。

由于编者水平有限，书中不妥之处恳请读者批评指正。

编者

2013年4月

课程设置指导

课程名称 化工原理课程设计

适用专业 化工类及相关专业

总学时 60

课程性质 本课程是专业实践课，是化工原理课程（包括化工原理、化工原理实验和化工原理课程设计）的重要组成部分。

课程目的

- (1) 巩固化工原理课程的主要内容。
- (2) 进行一次系统的化工设计，掌握化工设计的步骤和方法。
- (3) 培养学生查阅文献资料，使用手册、图表和选用经验公式的能力。
- (4) 培养学生树立正确的设计思想。

课程教学基本要求

教学环节包括动员和布置任务、阅读指导书和查阅资料、设计计算、绘图和编写说明书、考核和答辩。通过各教学环节，学生应在以下几个方面得到较好的培养和训练：

(1) 查阅资料、选用公式和搜集数据的能力。通常设计任务书给出后，有许多数据需由设计者去搜集，有些物性参数要查取或估算，计算公式也由设计者自行选用，这就要求设计者运用各方面的知识，详细而全面地考虑后方能确定。

(2) 正确选用设计参数，树立从技术上可行和经济上合理两方面考虑的工程观点，同时还需考虑到操作维修的方便和环境保护的要求。也即对于课程设计不仅要求计算正确，还要求从工程的角度综合考虑各种因素，从总体上得到最佳结果。

(3) 正确、迅速地进行工程计算。设计计算是一个反复试算的过程，计算工作量很大，因此正确与迅速（含必要的编程能力）必须同时强调。

(4) 掌握化工设计的基本程序和方法，学会用简洁的文字和适当的图表表达自己的设计思想。

教学环节学时分配表

课序	讲授内容	学时分配
1	下达设计任务书并进行初步讲解	6
2	阅读指导书	6
3	搜集、查阅相关资料并完成综述	6
4	确定工艺条件和设计方案	6
5	设计计算	12
6	编写说明书	12
7	绘图	6
8	考核和答辩	6
合计		60

目录

第一章 绪论	001
一、化工原理课程设计的目的和要求	001
二、化工原理课程设计的基本内容和步骤	001
三、化工生产工艺流程设计	002
四、主体设备工艺条件图	003
第二章 换热器设计	005
第一节 概述	005
一、合理地实现所规定的工艺条件	006
二、安全可靠	006
三、有利于安装、操作及维修	006
四、经济合理	007
第二节 列管式换热器的设计	007
一、设计方案的确定	008
二、列管式换热器的结构	013
第三节 列管式换热器的设计计算	018
一、设计步骤	018
二、传热计算主要公式	019
三、流体流动阻力计算主要公式	025
四、壳体直径及厚度的计算	026
第四节 列管换热器设计典型案例与设计训练	027
一、示例 1: 正戊烷立式管壳式冷凝器的设计 (标准系列)	027
二、示例 2: 非标准换热器设计计算示例	030
三、设计训练煤油卧式列管式冷却器的设计任务书	036

第三章 蒸发装置的设计	039
第一节 概述	039
第二节 蒸发方案的确定	039
一、蒸发操作条件的确定	039
二、蒸发器的类型及选择	040
三、蒸发装置流程的确定	045
第三节 多效蒸发的工艺计算	048
第四节 多效蒸发器设计典型案例与设计训练	048
一、示例：NaOH 水溶液三效并流加料蒸发装置的设计	048
二、设计训练：多效蒸发器设计任务书	057
第四章 板式精馏塔设计	059
第一节 概述	059
一、精馏操作对塔设备的要求	059
二、板式塔类型	059
三、精馏塔的设计步骤	060
第二节 设计方案的确定	061
一、操作条件的确定	061
二、确定设计方案的原则	062
第三节 板式精馏塔的工艺计算	063
一、常规塔	063
二、直接蒸汽加热	065
第四节 板式塔主要尺寸的设计计算	065
一、塔的有效高度和板间距的初选	066
二、塔径	066
第五节 板式塔的结构	068
一、塔的总体结构	068
二、塔体总高度	069
三、塔板结构	069
第六节 精馏装置的附属设备	070
一、回流冷凝器	070
二、管壳式换热器的设计与选型	071

三、再沸器	072
四、接管直径	073
五、加热蒸气鼓泡管	074
六、离心泵的选择	074
第七节 筛板精馏塔设计典型案例与设计训练	074
一、典型案例：苯—氯苯板式精馏塔的工艺设计	074
二、分离苯—甲苯混合液的浮阀板式精馏塔工艺设计	092
参考文献	094

课程设计的目的是培养学生的设计能力，在设计中需要学生自己做出决策，即自己确定方案，选择流程，查阅资料，进行过程和设备计算，并对自己选择做出论证和核算。经过反复分析比较，择优选定最理想的方案和合理的工艺。因此，课程设计的目的是培养学生独立工作能力的有益实践。

通过课程设计，可以培养和训练学生以下方面的能力：

- (1) 查阅资料，应用公式和搜集数据（包括从已发表的文章中和从生产现场中搜集）的能力。
- (2) 对互既考虑技术上的先进性与可行性，又考虑经济上切合实际——注意到操作时的安全条件和环境保护的正确设计思想，在这种设计思想的指导下去分析和解决实际问题。
- (3) 迅速准确地地进行工程计算的能力。
- (4) 用简洁的文字、清晰的图表来表达自己设计思想的能力。

二、化工原理课程设计的基本内容和步骤

(一) 课程设计的基本内容

1. 设计方案的简介
设计方案简介是对给定或选定的工艺流程，主要设备型式进行简要的论述。
2. 主要设备的工艺设计计算
主要设备的工艺设计计算包括工艺参数的确定、物料衡算、热量衡算、设备选型及结构设计。
3. 典型辅助设备的选型和计算
典型辅助设备的选型和计算包括典型辅助设备的主要工艺参数、结构尺寸和性能指标的确定。
4. 带控制点的工艺流程图
带控制点的工艺流程图是以单线图的形式绘制，标注主要设备名称、主要物料流向、物流量、能流量和主要控制参数。
5. 主要设备工艺条件表
主要设备工艺条件表应包括设备的主要工艺参数、结构尺寸和材料表。

第一章 绪论

一、化工原理课程设计的目的和要求

化工原理课程设计是化工原理专业课程(包括化工原理、化工原理实验和化工原理课程设计)的重要组成部分,是教学中综合性和实践性较强的教学环节,是理论联系实际桥梁,是培养学生综合运用本门课程及其有关课程的基本知识去解决某一设计任务的一次训练。

课程设计不同于平时的作业,在设计中需要学生自己做出决策,即自己确定方案,选择流程,查阅资料,进行过程和设备计算,并要对自己的选择做出论证和核算,经过反复分析比较,择优选定最理想的方案和合理的设计。所以,课程设计是培养学生独立工作能力的有益实践。

通过课程设计,可以培养和训练学生以下几方面的能力:

- (1) 查阅资料,选用公式和搜集数据(包括从已发表的文献中和从生产现场中搜集)的能力。
- (2) 树立既考虑技术上的先进性与可行性,又考虑经济上的合理性,并注意到操作时的劳动条件和环境保护的正确设计思想,在这种设计思想的指导下去分析和解决实际问题。
- (3) 迅速准确地进行工程计算的能力。
- (4) 用简洁的文字、清晰的图表来表达自己设计思想的能力。

二、化工原理课程设计的基本内容和步骤

(一) 课程设计的基本内容

1. 设计方案简介

设计方案简介是对给定或选定的工艺流程,主要的设备型式进行简要的论述。

2. 主要设备的工艺设计计算

主要设备的工艺设计计算包括工艺参数的选定、物料衡算、热量衡算、设备的工艺尺寸计算及结构设计。

3. 典型辅助设备的选型和计算

典型辅助设备的选型和计算包括典型辅助设备的主要工艺尺寸计算和设备型号规格的选定。

4. 带控制点的工艺流程简图

带控制点的工艺流程简图是以单线图的形式绘制,标出主体设备和辅助设备的物料流向、物流量、能流量和主要化工参数测量点。

5. 主体设备工艺条件图

主体设备工艺条件图面上应包括设备的主要工艺尺寸、技术特性表和接管表。

6. 课程设计报告

完整的课程设计由说明书和图纸两部分组成。说明书是设计的书面总结,也是后续设计工作的主要依据,应包括以下主要内容:

- (1) 封面(课程设计题目、班级、姓名、指导教师、时间);
- (2) 目录;
- (3) 设计任务书;
- (4) 设计方案简介;
- (5) 设计条件及主要物性参数表;
- (6) 工艺设计计算;
- (7) 辅助设备的计算及选型;
- (8) 设计结果汇总表;
- (9) 设计评述及设计者对本设计有关问题的讨论;
- (10) 工艺流程图及设备工艺条件图;
- (11) 参考资料。

(二) 课程设计的步骤

课程设计包括以下步骤:

- (1) 动员和布置任务;
- (2) 阅读指导书和查阅资料;
- (3) 现场调查;
- (4) 设计计算,绘图和编写说明书;
- (5) 考核和答辩。

整个设计是由论述、计算和绘图三部分组成。论述应该条理清晰,观点明确;计算要求方法正确,误差小于设计要求,计算公式和所用数据必须注明出处;图表应能简要表达计算的结果。一个合理的设计往往必须进行多种方案的比较,进行反复多次设计计算方能获得。

设计后期的答辩,是及时了解学生设计能力的补充过程,也是提高设计水平,交流心得和扩大收获的重要过程。答辩通常包括个别答辩和公开答辩两种形式。个别答辩的目的不仅是对学生进行全面考核,更主要的是促进学生开动脑筋,提高设计水平。所以,在个别答辩后,应允许学生修改补充自己的图纸和说明书。公开答辩是在个别答辩的基础上,选出几个有代表性的学生在全班公开答辩,实际上是以他们的中心发言来引导全班性的讨论,目的是交流心得、探讨问题和扩大收获。

三、化工生产工艺流程设计

化工生产工艺流程设计是所有化工装置设计中最先着手的工作。工艺流程设计的目的是在确定生产方法之后,以流程图的形式表示出由原料到成品的整个生产过程中物料被加工的顺序以及各股物料的流向,同时表示出生产中所采用的化学反应、化工单元操作及设备之间的联系,据此可进一步制订化工管道流程和计量控制流程。它是化工过程技术经济评价的依据。

生产工艺流程设计一般分为三个阶段：

(一) 生产工艺流程草图

为便于进行物料衡算、能量衡算及有关设备的工艺计算,在设计的最初阶段,首先要绘制生产工艺流程草图,定性地标出物料由原料转化为产品的过程、流向以及所采用的各种化工过程及设备。

(二) 工艺物料流程图

在完成物料计算后便可绘制工艺物料流程图,它是以图形与表格相结合的形式来表达物料计算结果,其作用如下:

- (1) 作为下一步设计的依据;
- (2) 为接受审查提供资料;
- (3) 可供日后操作参考。

(三) 带控制点的工艺流程图

在设备设计结束、控制方案确定之后,便可绘制带控制点的工艺流程图。图中应包括如下内容:

1. 物料流程

物料流程包括:

- (1) 设备示意图。示意图大致依设备外形尺寸比例画出,标明设备的主要管口,适当考虑设备合理的相对位置。
- (2) 设备流程号。
- (3) 物料及动力(水、汽、真空、压缩机、冷冻盐水等)管线及流向箭头。
- (4) 管线上的主要阀门、设备及管道的必要附件,如冷凝水排除器、管道过滤器、阻火器等。
- (5) 必要的计量、控制仪表,如流量计、液位计、压强表、真空表及其他测量仪表等。
- (6) 简要的文字注释,如冷却水、加热蒸汽来源、热水及半成品去向等。

2. 图例

图例是将物料流程图中画出的有关管线、阀门、设备附件、计量控制仪表等图形用文字予以说明。

3. 图签

图签是写出图名、设计单位、设计人员、审核人员(签名)、图纸比例尺、图号等项内容的一份表格,其位置在流程图右下角。

带控制点的工艺流程图一般是由工艺专业人员和自控专业人员合作绘制出来的。作为化工原理课程设计只要求能标绘出测量点位置即可。

四、主体设备工艺条件图

主体设备是指在每个单元操作中处于核心地位的关键设备,如传热中的换热器,蒸发中的蒸发器,蒸馏和吸收中的塔设备等。一般主体设备在不同单元操作中是不同的,即使同一设备在不同单元操作中其作用也不相同,如某一设备在某个单元操作中为主体设备,而在另一单元

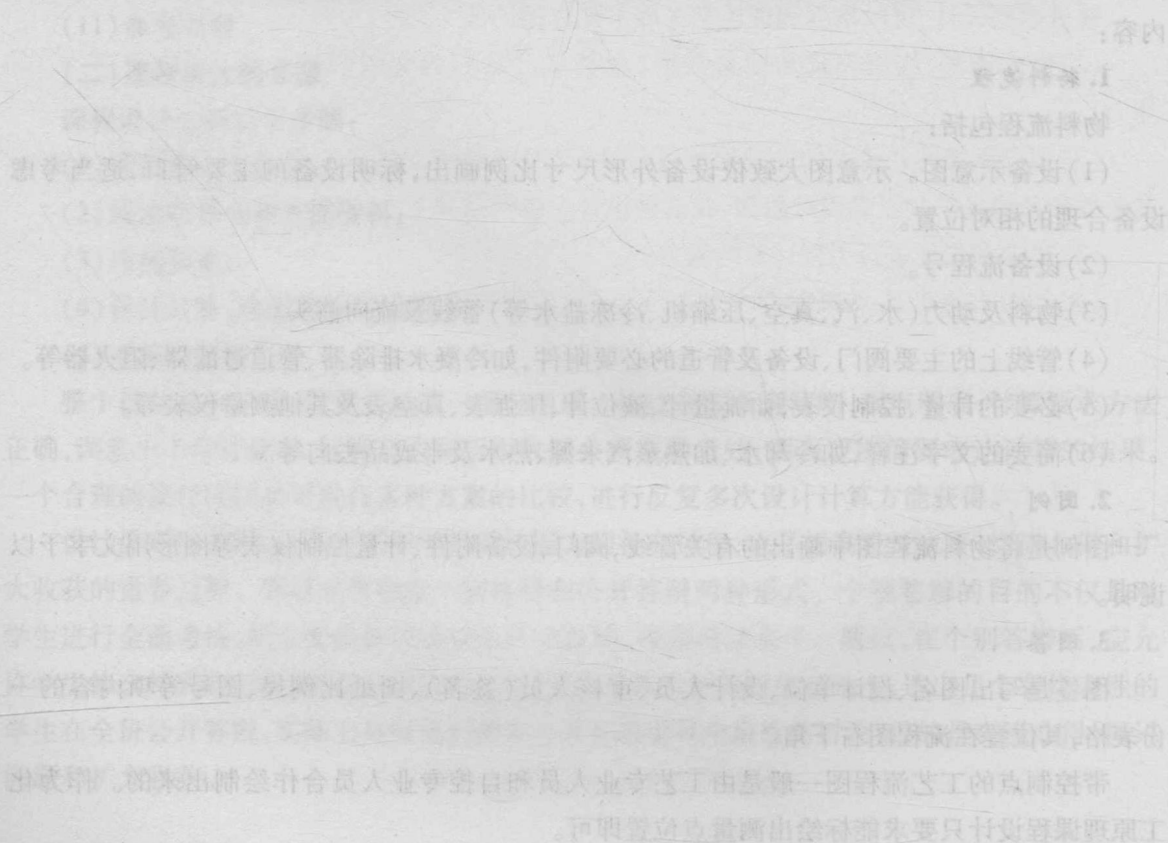
操作中则可变为辅助设备。如换热器在传热操作中为主体设备,而在精馏或干燥操作中就变为辅助设备。泵、压缩机等也有类似情况。

主体设备工艺条件图是将设备的结构设计和工艺尺寸的计算结果用一张总图表示出来。图面上应包括如下内容:

- (1) 设备图形。指主要尺寸(外形尺寸、结构尺寸、连接尺寸)、接管、孔等。
- (2) 技术特性。指装置的用途、生产能力、最大允许压强、最高介质温度、介质的毒性及爆炸危险性等。
- (3) 设备组成一览表。

应予指出,以上设计全过程统称为设备的工艺设计。完整的设备设计,应在上述工艺设计基础上再进行机械强度设计,最后提供可供加工制造的施工图。这一环节在高等院校的教学中,属于化工机械专业课程,在设计部门则属于机械设计组的职责。

高职化工原理课程设计主要是根据所下达的任务书,进行完整的工艺计算,确定设备的主要工艺尺寸和参数,为结构设计提供依据。设备结构设计可不作要求。



三、化工生产工艺流程设计

化工生产工艺流程设计是所有化工装置设计中最复杂、最困难、最关键的环节。它是在工艺设计的基础上,根据物料衡算和能量衡算的结果,结合设备选型和管道布置,进行物料和能量在装置中的流动和传递的工程设计。其内容包括:物料流程图、能量流程图、管道布置图、设备布置图、仪表流程图等。其中,物料流程图是工艺流程设计的基础,它反映了物料在装置中的流动和传递过程。能量流程图则反映了能量在装置中的流动和传递过程。管道布置图和设备布置图则反映了物料和能量在装置中的流动和传递的几何形状和位置。仪表流程图则反映了装置中的控制点和控制回路。因此,化工生产工艺流程设计是一个综合性很强的设计工作,需要设计人员具备扎实的工艺知识和丰富的工程经验。

第二章 换热器设计

第一节 概述

在不同温度的流体间传递热能的装置称为热交换器,简称为换热器。在换热器中至少要有两种温度不同的流体,一种流体温度较高,放出热量;另一种流体则温度较低,吸收热量。在工程实践中有时也会存在两种以上流体参加换热的换热器,但它的基本原理与前一种情形并无本质上的差别。

在化工、石油、动力、制冷、食品等行业中广泛使用各种换热器,且它们是上述这些行业的通用设备,并占有十分重要的地位。在化工厂,换热器的费用占总费用的 10% ~ 20%,在炼油厂占总费用的 35% ~ 40%。随着我国工业的不断发展,对能源利用、开发和节约的要求不断提高,因而对换热器的要求也日益加强。换热器的设计、制造、结构改进及传热机理的研究十分活跃,一些新型高效换热器相继问世。

随着换热器在工业生产中的地位和作用不同,换热器的类型也多种多样,不同类型的换热器各有优缺点,性能各异。在换热器设计中,首先应根据工艺要求选择适用的类型,然后计算换热所需传热面积,并确定换热器的结构尺寸。

换热器按用途不同可分为加热器、冷却器、冷凝器、蒸发器、再沸器、深冷器、过热器等。

换热器按传热方式的不同可分为混合式、蓄热式和间壁式。其中间壁式换热器应用最广泛。按照传热面的形状和结构特点,间壁式换热器又可分为管壳式换热器、板面式换热器和扩展表面式换热器(板翅式、管翅式等),前两类是主要的,如表 2-1 所示。

表 2-1 间壁式换热器的结构分类

类 型		特 点	
管壳式	固定管板式	刚性结构	用于管壳温差较小的情况(一般 $\leq 50^{\circ}\text{C}$),管间不能清洗
		带膨胀节	有一定的温度补偿能力,壳程只能承受低压力
	浮头式		管内外均能承受高压,可用于高温高压场合
	U形管式		管内外均能承受高压,管内清洗及检修困难
	填料函式	外填料函	管间容易泄漏,不宜处理易挥发、易爆炸及压力较高的介质
		内填料函	密封性能差,只能用于压差较小的场合
	釜式		壳体上部有个蒸发空间用于再沸、蒸煮
	双套管式		结构比较复杂,主要用于高温高压场合和固定床反应器中
	套管式		能逆流操作,用于传热面较小的冷却器、冷凝器或预热器

续表

类 型		特 点	
管壳式	螺旋管式	沉浸式	用于管内流体的冷却、冷凝或管外流体的加热
		喷淋式	只用于管内流体的冷却或冷凝
板面式	板式	拆洗方便,传热面能调整,主要用于黏性较大的液体间换热	
	螺旋板式	可进行严格的逆流操作,有自洁的作用,可用作回收低温热能	
	平板式	结构紧凑,拆洗方便,通道较小、易堵,要求流体干净	
	板壳式	板束类似于管束,可抽出清洗检修,压力不能太高	
	混合式	适用于允许换热流体之间直接接触	
	蓄热式	换热过程分阶段交替进行,适用于从高温炉气中回收热能的场合	

完善的换热器在设计或选型时应满足以下各项基本要求。

一、合理地实现所规定的工艺条件

传热量、流体的热力学参数(温度、压力、流量、相态等)与物理化学性质(密度、黏度、腐蚀性等)是工艺过程所规定的条件。设计者应根据这些条件进行热力学和流体力学的计算,经过反复比较,使所设计的换热器具有尽可能小的传热面积,在单位时间内传递尽可能多的热量。其具体做法如下:

(1) 增大传热系数。在综合考虑流体阻力及不发生流体诱发振动的前提下,尽量选择高的流速。

(2) 提高平均温差。对于无相变的流体,尽量采用接近逆流的传热方式。因为这样不仅可以提高平均温差,还有助于减小结构中的温差应力。在允许的条件时,可提高热流体的进口温度或降低冷流体的进口温度。

(3) 妥善布置传热面。例如在管壳式换热器中,采用合适的管间距或排列方式,不仅可以加大单位空间内的传热面积,还可以改善流体的流动特性。错列管束的传热方式比并列管束好。如果换热器中的一侧有相变,另一侧流体为气相,可在气相一侧的传热面上加翅片以增大传热面积,更有利于热量的传递。

二、安全可靠

换热器是压力容器,在进行强度、刚度、温差应力以及疲劳寿命计算时,应遵照我国《钢制石油化工压力容器设计规定》与《钢制管壳式换热器设计规定》等有关规定与标准。这对保证设备的安全可靠起着重要的作用。

三、有利于安装、操作及维修

直立设备的安装费往往低于水平或倾斜的设备。设备与部件应便于运输与装拆,在厂房移动时不会受到楼梯、梁、柱的妨碍,根据需要可添置气、液排放口,检查孔与敷设保温层。

四、经济合理

评价换热器的最终指标是:在一定的时间内(通常为一年)固定费用(设备的购置费、安装费等)与操作费(动力费、清洗费、维修费等)的总和为最小。在设计或选型时,如果有几种换热器都能完成生产任务的需要,这一指标尤为重要。

动力消耗与流速的平方成正比,而流速的提高又有利于传热,因此存在一个最适宜的流速。

传热面上垢层的产生和增厚,使传热系数不断降低,传热量随之而减少,故有必要停止操作进行清洗。在清洗时不仅无法传递热量,还要支付清洗费,这部分费用必须从清洗后传热条件的改善得到补偿,因此存在一个最适宜的运行周期。

严格来讲,如果孤立地仅从换热器本身来进行经济核算以确定适宜的操作条件与适宜的尺寸是不够全面的,应以整个系统中全部设备为对象进行经济核算或设备的优化。但要解决这样的问题难度很大,当影响换热器的各项因素改变后对整个系统的效益关系影响不大时,按照上述观点单独地对换热器进行经济核算仍然是可行的。

第二节 列管式换热器的设计

列管式换热器的应用已有很悠久的历史。现在,它被当作一种传统的标准换热设备在很多工业部门中大量使用,尤其在化工、石油、能源设备等部门所使用的换热设备中,列管式换热器仍处于主导地位。同时板式换热器也已成为高效、紧凑的换热设备,大量地应用于工业中。为此本章对这两类换热器的工艺设计进行介绍。

列管式换热器的设计资料较完善,已有系列化标准。目前我国列管式换热器的设计、制造、检验及验收按《管壳式换热器》(GB 151—1999)标准执行。

列管式换热器的设计和分析,包括热力设计、流动设计、结构设计以及强度设计。其中以热力设计最重要。不仅在设计一台新的换热器时需要进行热力设计,而且对于已生产出来的,甚至已投入使用的换热器在检验它是否满足使用要求时,均需进行这方面的工作。

热力设计指的是根据使用单位提出的基本要求,合理地选择运行参数,并根据传热学的知识进行传热计算。

流动设计主要是计算压降,其目的就是为换热器的辅助设备(如泵)的选择做准备。当然,热力设计和流动设计两者是密切关联的,特别是进行热力计算时常需从流动设计中获取某些参数。

结构设计指的是根据传热面积的大小计算其主要零部件的尺寸,例如管子的直径、长度、根数、壳体的直径、折流板的长度和数目、隔板的数目及布置以及连接管的尺寸等。

在某些情况下,还需对换热器的主要零部件——特别是受压部件做应力计算,并校核其强度。对于在高温高压下工作的换热器,更不能忽视这方面的工作。这是保证安全生产的前提。在做强度计算时,应尽量采用国产的标准材料和部件,根据我国压力容器安全技术规定进行计算或校核(该部分内容属设备计算,此处从略)。

列管式换热器的工艺设计主要包括以下内容:

- (1) 根据换热任务和有关要求确定设计方案;
- (2) 初步确定换热器的结构和尺寸;
- (3) 核算换热器的传热面积和流体阻力;
- (4) 确定换热器的工艺结构。

一、设计方案的确定

(一) 换热器类型的选择

1. 固定管板式换热器

这类换热器如图 2-1(a) 所示。固定管板式换热器的两端和壳体连为一体,管子则固定于管板上,它的结构简单;在相同的壳体直径内,排管最多,比较紧凑;由于这种结构使壳侧清洗困难,所以壳程宜用于不易结垢和清洁的流体。当管子和壳体的壁温差大于 50°C 时,应在壳体上设置温差补偿——膨胀节,依靠膨胀节的弹性变形可以减少温差应力。膨胀节的形式较多,常见的有 U 形、平板形和 Ω 形等几种。由于 U 形膨胀节的挠性与强度都比较好,所以使用得最为普遍。当管子和壳体的壁温差大于 60°C 和壳程压强超过 0.6MPa 时,由于补偿圈过厚,难以伸缩,失去温差补偿的作用,就应考虑其他结构。由此可见,这种换热器比较适用于温差不大或温差较大,但壳程压力不高的场合。

2. 浮头式换热器

浮头式换热器针对固定管板式的缺陷做了结构上的改进。两端管板只有一端与壳体完全固定,另一端则可相对于壳体做某些移动,该端称为浮头,如图 2-1(b) 所示。换热器管束膨胀不受壳体约束,所以壳体与管束之间不会由于膨胀量的不同而产生热应力。而且在清洗和检修时,仅需将管束从壳体中抽出即可,所以能适用于管壳壁间温差较大,或易于腐蚀和易于结垢的场合。但该类换热器结构复杂、笨重,造价约比固定管板式高 20% 左右,材料消耗量大,而且由于浮头的端盖在操作中无法检查,所以在制造和安装时要特别注意其密封,以免发生内漏,管束和壳体的间隙较大,在设计时要避免短路。至于壳程的压力也受滑动接触面的密封限制。

3. 填料函式换热器

此类换热器的管板也仅有一端与壳体固定,另一端采用填料函密封,如图 2-1(c) 所示。它的管束也可自由膨胀,所以管壳之间不会产生热应力,且管程和壳程都能清洗,结构较浮头式简单,造价较低,加工制造方便,材料消耗较少。但由于填料密封处易于泄漏,故壳程压力不能过高,也不宜用于易挥发、易燃、易爆、有毒的场合。

4. U 形管换热器

U 形管式换热器仅有一个管板,管子两端均固定于同一管板上,如图 2-1(d) 所示。这类换热器的特点是:管束可以自由伸缩,不会因管壳之间的温差而产生热应力,热补偿性能好;管程为双管程,流程较长,流速较高,传热性能较好;承压能力强;管束可从壳体内抽出,便于检修和清洗,且结构简单,造价便宜。但管内清洗不便,管束中间部分的管子难以更换,又因最内层管子弯曲半径不能太小,在管板中心部分布管不紧凑,所以管子数不能太多,且管束中心部分存