

高等学校教材

石油化工过程设备设计

杨启明 饶霁阳 编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等学校教材

石油化工过程设备设计

杨启明 饶霁阳 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书重点选择了传质、传热和与化学反应过程有关的常用换热设备、塔设备与反应设备,进行了这些过程设备设计的理论、方法、步骤与结构的介绍和分析研究。书中参考了大量的资料,结合教学和科研的成果,遵循学生的基本思维过程进行阐述,并突出了这些设备在生产实践中的应用。

本书可作为高等院校过程装备与控制工程专业教材,也可作为科研、设计和生产单位的工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工过程设备设计/杨启明,饶霁阳编:
北京:石油工业出版社,2012.11
(高等学校教材)
ISBN 978-7-5021-9252-5

- I. 石…
- II. ①杨…②饶…
- III. 石油化工过程-石油化工设备-设计-高等学校-教材
- IV. TE960.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 203355 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:<http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010)64240656 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:35.5 插页:2

字数:906 千字

定价:60.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

石油天然气化工工业属于过程工业的范畴,而过程工业则是国民经济的基础工业之一,它关系到工业、农业、交通运输业、国防工业等国民经济各个部门以及人民生活各方面的发展。过程工业的设备涉及成套过程装置、过程装备——单元过程设备(如塔、换热器、反应器与储罐等)与单元过程机器(如压缩机、泵与分离机等),均是石油天然气化工工业的基础设备。

过程设备是为工艺过程服务的,它必须在所规定的工艺条件下,在规定的时间内尽可能消耗较少的能源,在尽量小的空间内生产出更多的产品,且在经济上也是合理的。有鉴于此,根据传质、传热与化学反应过程是石油天然气化工工业中基本的工艺过程,在编写本书时重点选择了与此有关的常用的换热设备、塔设备与反应设备的设计作为典型的过程设备设计的内容,进行了有关设计的理论、方法、步骤与结构设计的介绍和分析研究。

在本书编写中,参考了大量的资料,根据科技发展的现状及新技术、新工艺在过程设备中的应用,结合近期教学和科研的成果,遵循学生在学习过程中的认识、了解、熟悉、掌握的基本思维过程,阐述了这些设备设计的基本理论、基本分析思路与设计计算方法,并通过对设备的功能与选型的介绍,突出了在生产实践中的应用。由于这些设备基本都属于压力容器的范畴,一般的设计计算可用“化工容器设计”课程中学到的知识来解决,因而本书重点介绍了这三类设备中一些特殊零部件的受力分析、结构分析、结构强度与稳定性的校核和计算。其中,对于换热设备,主要介绍了常用的管壳式换热器的设计计算理论与方法,进行了相关的结构分析,并对管板、膨胀节的强度计算以及换热器中流体诱发的振动进行了讨论;而对塔设备,则重点针对板式塔与填料塔的传质元件、主要零部件的结构及其促进过程强化的措施进行了分析,阐明了在风载荷、地震载荷与风诱发振动时流体作用力下塔体的强度与稳定性校核的计算方法;考虑到反应器是发生化学反应的场所,是化工产品生产过程中的核心设备,因此在反应设备的编写中,重点介绍了我国目前大量使用的搅拌反应器的主要零部件的结构、结构强度分析与产品设计的基本方法与步骤。本书还对近年来国内外迅速发展的有关换热设备、塔设备与反应设备的最新成果、水平、动向和趋势作了介绍。在编写过程中,本书注意理论与实践的结合,重点突出了在工程实际中的应用,同时介绍了常见设备结构设计

中应注意的问题,并特别通过思考题与习题的选编,给学习留下了独立思考的空间,以强化对学生自主学习精神和解决工程实际问题能力的培养。

本书是过程装备与控制工程专业本科生必修的技术基础课程用书(参考学时数为40学时),也可作为科研、设计和生产单位的工程技术人员的参考用书。

本书的第一、四、五、六、七章由西南石油大学杨启明编写,第二、三章由西南石油大学饶霁阳编写,并由杨启明负责统稿。本书的编写工作得到了西南石油大学各级领导与教师的帮助,在编写过程中提出了很多宝贵的意见与建议,在此谨表感谢。此外,在本书的编写中,参考了国内外相关的文献资料,在此特向原著作者表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中谬误在所难免,热切希望读者批评指正。

编 者

2012年8月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 过程设备概述	(1)
第二节 过程装备设计的基本内容	(19)
思考题	(21)
第二章 换热设备设计	(23)
第一节 概述	(23)
第二节 列管式换热器的结构选择	(28)
第三节 列管式换热器的设计	(63)
第四节 设计示例	(93)
思考题	(108)
习题	(109)
第三章 换热设备的发展及常用换热器简介	(111)
第一节 石油化工工业常见的换热器	(111)
第二节 特殊类型换热器	(124)
第三节 国内外换热器研究及进展	(142)
思考题	(161)
第四章 塔设备设计	(162)
第一节 概述	(162)
第二节 板式塔的基本结构及选型	(172)
第三节 板式塔的工艺设计	(184)
第四节 板式塔塔板结构与布置	(219)
第五节 填料塔的结构设计	(231)
第六节 塔设备的机械设计计算	(262)
思考题	(301)
习题	(302)
第五章 塔设备的发展及其他常用塔设备简介	(304)
第一节 国内外板式塔设备的发展简介	(304)
第二节 国内外填料塔设备的发展简介	(336)
第三节 其他常用塔设备简介	(361)
思考题	(378)
第六章 反应设备设计	(379)
第一节 概述	(379)

第二节	机械搅拌反应设备生产物料的种类及特性	(385)
第三节	机械搅拌式反应器的基本结构	(387)
第四节	搅拌容器设计	(388)
第五节	搅拌装置设计	(392)
第六节	热交换装置设计	(428)
第七节	轴封装置设计	(439)
第八节	传动装置设计	(444)
第九节	搅拌设备的试运转	(450)
第十节	机械搅拌设备技术进展简介	(451)
第十一节	搅拌反应器综合计算示例	(458)
思考题	.....	(469)
习题	.....	(469)
第七章	石油化工常用反应器及新型反应器简介	(471)
第一节	概述	(471)
第二节	石油化工工业常用的反应器	(473)
第三节	微反应器简介	(507)
第四节	其他新型反应器简介	(512)
思考题	.....	(547)
参考文献	.....	(548)
附表	.....	(550)
附图	.....	(559)

第一章 绪 论

第一节 过程设备概述

一、过程工业及过程设备的涵义

1. 过程工业

过程工业(Process industry)也称为流程工业,是国家的基础工业之一,它包括了化学工业、石油炼制工业、石化工业、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。过程工业对于发展国民经济及增强国防力量,起着重要的作用。

传统的过程工业大多以天然资源如矿石、煤炭、石油、农产品等为原料,通过物理及化学变化,生产出人类衣、食、住、行等所需的物品和材料,以及为成品制造工业提供所需要的原材料。

过程工业的特点是其产品种类繁多、丰富多彩、千变万化、经济实用,但其缺点是生产过程中的化学变化常伴有大量固体、液体和气体的废弃物和污染物排出,因而常可能对环境形成一定程度的改变,且容易造成突发的环境灾难。由于过程工业可能对环境造成污染,因而发展无污染的过程工艺流程,是从事过程工业及其配套工程技术人员的一个重要任务。

由此可见,为了发展过程工业,不仅需要从原理上研究如何提高生产率、降低投资费用及操作成本等,还需要改进设备,提高生产能力,不断创新研究,发展新的生产过程,尽量减少或避免生产过程中产生的污染,并使其符合可持续发展的基本原则。

综上所述,过程工业具有如下特点:

- (1) 生产所使用的原料主要是自然资源。
- (2) 产品主要作为成品制造工业的原料。
- (3) 以连续生产过程为主。
- (4) 原料中的物质在生产过程中经过了許多化学变化和物理变化。
- (5) 产量的增加主要靠扩大工业生产规模来达到,或者说靠放大生产规模(Scale-up)来达到。
- (6) 一般说来,过程工业可能造成的污染比较严重,治理比较困难。据估计美国有约75%的固体废物来自过程工业,这类工业需要发展新的绿色生产过程,才能从根本上解决生产带来的污染问题。

2. 过程装备的基本内容

过程装备是学科领域扩展后的化工机械,总体包括如下的一些过程和装备:

- (1) 流体动力过程和装备,它包括涉及流体动力过程的泵、压缩机、风机、管道、阀门等流体输送、混合等过程和装备;
- (2) 热量传递过程与装备,它包括热量传递与交换所需的过程和装备;
- (3) 质量传递过程与装备,它包括干燥、蒸馏、吸收、吸附、萃取、结晶、离子交换等涉及质量传递的过程与装备;
- (4) 机械操作过程与装备,它包括固体粉碎、超细粉碎、固液体系、液液体系、气液体系以及固液气三相体系的机械混合和分离,粉体的分级、混合、造粒等的过程和装备;

(5)热力学过程和装备,它包括燃气动力循环、蒸汽动力循环、制冷循环、气体低温液化及分离等过程与装备;

(6)化学反应过程和装备,包括化工反应、生物反应、核反应、环境治理以及废水、废气处理、固体废弃物处理等过程和装备。

上述过程与装备组成了各种流程工业,它们涉及一种或几种过程,在每一种过程中都需要相应的装备来实现。

过程装备涉及一个交叉型的学科,它交叉并融合了机械工程、化学工程、控制工程和信息工程等学科,所涉及的内容不仅是传统化学工程的“三传一反”,即热量传递、质量传递、能量传递、反应工程,也涉及机械工程的“三力一机”,即固体力学、流体力学、工程热力学和机械原理,目前更涉及先进的设计理念、信息技术、并行工程、精益生产、敏捷制造、虚拟制造等先进技术,这些科学技术的发展都大大促进了过程装备的发展。

如前所述,过程装备涉及多学科知识的交叉,综合了研究与开发、放大与设计、施工与生产的各个环节,综合了装备中各设备的设计、材料的选用、材料质量的检测、设备寿命的预测、安全评价和绿色制造等各领域的相关技术与知识,是一门具有巨大社会需求的综合性学科。其综合性还表现在:体现了不同学科的交叉与相互渗透;正在朝着大型、超大型设备和小型与微型设备发展;采用了各种高新先进技术,包括现代数学、光电核测量技术、多尺度模型的放大和优化,以促使过程装备的高性能化。

由于过程装备涉及大量的知识,本书仅针对有关化学反应过程、质量传递过程和热量传递过程的部分常用设备的设计加以详细地分析与研究,对相关的设备仅进行简单地介绍,以使学生在过程中对涉及上述三部分的其他设备内容有个基本的了解。

3. 过程设备的基本特点

由于过程设备是过程装备的有机组成部分,因而具有与过程装备相似的特点。

1) 功能原理的多样性

过程设备属典型的非标设备,功能原理多种多样。其原因在于过程设备的用途、介质特性、操作条件、安装位置和生产能力千差万别,往往要根据功能、使用寿命、质量、环境保护等要求,采用不同的工作原理、材料、结构和制造工艺单独设计。例如,传热设备的传热过程可以是传导、对流和辐射中的任一种或几种;搅拌设备中,有的搅拌轴用电动机驱动,有的则用磁力带动。

2) 化机电一体化

新设备是新工艺的摇篮。为使过程设备高效、安全地运行,又需要控制物料的流量、温度、压力、停留时间等参数,以及检测设备的安全状况,因而化机电一体化是过程设备的一个重要特点。

3) 一般为压力容器

过程设备通常是在一定温度和压力下工作,虽然形式繁多,但是一般都由限制其工作空间且能承受一定压力的外壳和各种各样的内件组成的压力容器。

压力容器往往在高温、高压、低温、高真空、强腐蚀等苛刻条件下工作,因此其生产中安全性能是必须关注的一个重要问题。

4) 设计寿命较长

由于单台过程设备的投资一般都较大,加上设备均在连续生产的过程中工作,因而设计寿命通常都超过10年,最高的甚至可达20年以上。

5) 承受载荷种类较多

在使用期间,除受到压力、重量等静载荷作用外,过程设备还可能受风载荷、地震载荷、冲击载荷等动载荷的作用。

6) 易发生意外事故

由于工作环境苛刻,过程设备一旦发生事故一般就较为严重。一旦意外事故发生,就易造成人员伤亡、企业停产、财产损失和环境污染,对人员、设备与社会的影响都较大,且可能造成较大的经济损失。

7) 各阶段须严格遵循相关的法令法规和标准

设计、制造、安装与运行必须严格遵循国家颁布的相关法令法规、标准和规范。

为确保压力容器的安全运行,许多国家都结合本国的国情制定了强制性或推荐性的压力容器规范标准,如我国的 GB150.1 ~ GB150.4—2011《压力容器》、JB/T 4735.1—2009《钢制焊接常压容器》和技术法规《压力容器安全技术监察规范》等,对其材料、设计、制造、安装、使用、检验和修理改造提出相应的要求。

目前,根据科技发展的需要,我国正在对已颁发的各项相关法令法规、标准和规范进行修改与补充。

二、过程设备的分类及用途

如前所述,过程设备的类型较多,主要设备如图 1-1 所示。

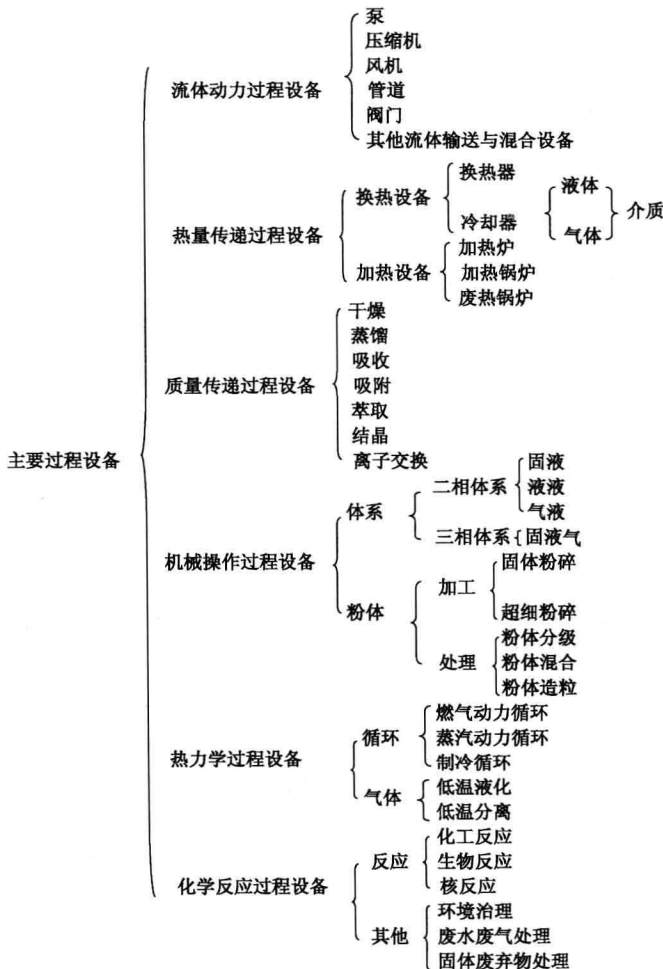


图 1-1 过程设备的主要类型与设备体系

上述各种类型的过程设备,都在过程工业生产中根据需要设计、配置与组合在一起,构成过程生产体系,参加不同的生产活动,制造出所需的各门各类的产品。因而其用途应根据设备的不同而存在差异,但其共同点则都是作为过程生产的必要设备参加工作的。

三、过程设备设计的基本要求及选材基本原则

1. 设计基本要求

由上述分析可知,必须对过程设备的设计提出一些基本要求,以确保其生产安全可靠,寿命长,且尽可能做到经济合理。

1) 安全可靠

为保证过程设备安全可靠地运行,所设计的过程设备应具有足够的能力来承受设计寿命内可能遇到的各种载荷。主要影响因素有:材料的强度、韧性和对介质的适应性;设备的刚度、抗失稳能力和密封性能等。

(1) 要求材料的强度高、韧性好。

过程设备是由材料制造而成的,其安全性与材料强度紧密相关。此外,过程设备的强度还与所设计的结构、制造质量等因素有关。由于过程设备中各零部件的强度并不一定相同,因此设备的整体强度往往由强度最弱的零部件的强度所决定。如果采用等强度的设计方法,则可以充分利用材料的强度,节省材料,减轻重量。

此外,材料韧性一般随着材料强度的提高而降低,过分追求强度而忽略韧性是非常危险的。除强度外,环境也会影响材料韧性。掌握材料性能随环境的变化规律,防止材料脆化或将其限制在许可范围内,是提高过程设备可靠性的有效措施之一。

(2) 材料与介质的适应性要求。

过程设备的生产介质(酸、碱、盐等)往往具有较强的腐蚀性。材料被腐蚀后,不仅会导致壁厚减薄,而且有可能改变其组织和性能,因此必须充分认识与了解不同材料对介质的适应性问题。

(3) 足够的结构刚度和抗失稳能力。

刚度不足是过程设备产生过度变形的主要原因之一,失稳也是过程设备中常见的失效形式。过程设备应有足够的刚度和抗失稳能力,以避免由于刚度不足或失稳而导致设备的早期失效。

(4) 密封性能要求高。

过程设备的介质除具有腐蚀性外,通常还可能具有一定的毒性,或者具有易燃、易爆的性质,因此,过程设备的密封性要求较高。

过程设备的泄漏可分为内泄漏和外泄漏。内泄漏是指过程设备内部各腔体间的泄漏,如管壳式换热器中,管程介质通过管板泄漏至壳程。这种泄漏轻则会污染,重则会发生爆炸事故。外泄漏则是指介质通过受损伤的密封件泄漏到周围环境中,或空气通过受损部位进入过程设备内,与设备内的介质发生不必要的反应,轻则使产品质量受到影响,严重时则可能导致燃烧或爆炸等重大事故发生。过程设备内的介质往往具有危害性,外泄漏不仅有可能引起中毒、燃烧和爆炸等事故,而且会造成环境污染,因此密封良好是过程设备安全工作的必要条件。

2) 满足过程生产要求

过程生产要求包括:功能要求、寿命要求等。

(1) 功能要求。

为了满足生产的需要,过程设备都有一定的功能要求,如不同塔器生产时对流量、压力与温度等的要求,换热器的传热量与进出口间的压力降,反应器的生产效率等有关。功能要求得不到满足,会影响整个过程的生产效率,造成不必要的经济损失。

(2) 寿命要求。

在石油天然气化工行业中,一般要求高压容器的使用年限不少于 20 年,塔设备和反应设备不少于 15 年。其中腐蚀、疲劳、蠕变等是影响过程设备寿命的重要因素,因此在过程设备的设计时应综合考虑生产中的过程参数、介质的性质和环境因素等对设备性能的影响,以便采取有效的措施,确保过程设备在设计寿命周期内安全可靠地运行。

3) 综合经济性好

过程设备的投资一般较大,因而综合经济性是衡量过程设备性能优劣的重要指标之一。在市场经济条件下,过程设备的综合经济性差,就必然减弱其在市场中的竞争力,最终可能被淘汰,即发生经济失效。

过程设备的综合经济性主要体现在以下几个方面:

(1) 高效生产、低消耗。

过程设备通常使用单位时间内单位容积(或面积)处理物料或所得产品的量来衡量其生产效率。例如,热交换设备在单位时间和单位容积内的传热量,塔器的产量与质量等。消耗则是指生产单位质量或体积产品所需的资源(包括原材料和能量等)和人力。

过程设备的经济性与工艺流程和结构形式的影响联系较为密切。例如,在相同的工艺流程、相同外壳结构的塔设备,若采用不同的塔内件,其传热与传质的效率可能存在较大的差异。生产实践表明,注意从工艺、结构等方面进行综合考虑,可以有效地提高过程设备的生产效率,降低对资源的消耗。

(2) 设计合理结构,降低制造成本。

过程设备的结构设计合理、紧凑,将有利于充分利用材料的性能,减轻工人的劳动强度,缩短制造周期,降低制造成本,同时还可以减少占地面积。

(3) 易于运输和安装。

由于一般过程设备的体积较大,其尺寸和质量均较大,设计时必须充分关注其运输的可能性和安装的方便性。例如,对一些高、大、重的过程设备,为解决运输中可能存在的问题,往往先在车间内加工好部分或全部零部件,再到现场组装和检验。

4) 可操作性好,人机功效优良,易维护保养和控制

(1) 注意设备的可操作性和优良的人机功效设计,是避免事故发生的一个重要措施之一,这可以有效减少误操作可能造成的事故发生。

(2) 提高设备的可维护性和易修理性。

为保证生产的安全性和可靠性,过程设备通常需要定期检验安全状态,及时进行损伤(坏)的零部件的更换,定时进行易结垢表面的清洗,因此在结构设计时应充分考虑这些要求,以利于提高过程设备的可维护性和易修理性。

(3) 易于控制。

现代石油天然气化工企业正在向大型化、集约化发展,因而要求过程设备尽可能地实现自动控制,以及时调整生产设备和相关参数,适应流程化连续生产过程中操作条件的波动,尽量避免事故的发生。

与此同时,对于那些由于事故的发生可能造成严重危害的过程设备,还需要考虑安装在线监控仪器,实时了解其安全状态,根据监测参数的变化,自动判断过程设备的安全状态,及时调控,以避免事故的发生。

5) 尽可能创造优良的生产环境

过程设备因失效造成的影响已不仅仅包括直接的功能失效,还必须关注对环境失效的影响。例如,石油天然气化工企业最常发生的因密封失效导致地面设备的跑、冒、漏、滴等问题,都可能造成对环境、空气或对水资源的污染。目前我国已制定出一些强制性的规范和标准,以尽可能避免、减少或减轻有害物质泄漏所导致的对环境的不良影响。

要同时全部满足上述各项要求往往是比较困难的,这些要求既包括了可能性,也涉及经济性等方面的问题,因此在设计过程设备时,应针对具体情况具体分析,在满足主要要求的前提下,尽可能兼顾次要要求。

2. 选材的基本原则

材料性能对过程设备运行的安全性有显著的影响。选材不当,不仅会影响总成本,而且可能导致设备的安全事故。因此,合理选材是过程设备设计的关键环节之一。

尽管过程设备用材多种多样,包括金属材料、非金属材料和复合材料三大类,但使用最多的还是钢材。因此,本节将以常用的压力容器用钢为例,讨论钢材的基本要求,然后介绍过程设备材料选用时需考虑的主要因素。

1) 过程设备材料的选用原则

过程设备材料选用时,应综合考虑设备的使用条件、介质特性、零件的功能和制造工艺、材料的经济性、材料的使用(历史)经验和规范标准等因素进行。

(1) 设备的使用条件。

设备的使用条件包括设计温度、压力、介质特性和操作特点。材料选用主要由使用条件决定。例如,对于高压或超高压容器,常选用高强度或超高强度钢。在满足强度要求的前提下,尽量采用塑性和韧性较好的材料。这是因为塑性、韧性好的高强度钢,能降低脆性破坏的概率。在承受交变载荷时,可在设计时考虑将失效形式改变为未爆先漏,以提高运行的安全性。

(2) 介质特性。

过程工业的生产介质有各种各样的特性,有的会使材料脆化,有的腐蚀性强,有的易燃易爆,有的具有毒性,有的易分解。因此过程设备选材时,必须考虑与介质的相容性。例如,当介质腐蚀性较强时,必须选择合适的耐腐蚀材料,或采取一定的防腐蚀措施。

(3) 零件的功能和制造工艺。

相当部分过程设备的加工制造都与焊接有关,因此明确各零件的功能和制造工艺,据此提出相应的材料性能要求,如强度、耐腐蚀性、可焊性等是十分必要的。选材时还应考虑制造工艺的影响,如选用的钢板是通过卷焊技术制造压力容器筒体的,必须要求材料具有良好的弯曲性能和可焊接性能等。

(4) 材料的经济性。

在满足设备使用性能的前提下,材料选用时还应注意其经济性,同时,所选用的材料品种应尽量少而集中,以便于采购和管理。

(5) 材料的使用(历史)经验。

对于成功的材料使用实例,应查阅有关的失效分析报告,根据失效原因,采取有针对性的措施。

(6) 规范标准。

与一般结构钢相比,过程设备用钢有不少特殊的要求,选用时应符合现行的国家标准和行业标准的规定。

2) 压力容器用钢的基本要求

如前所述,压力容器用钢的基本要求是要求具有较高的强度,有良好的塑性、韧性、加工工艺性能和与介质的相容性。而改善钢材性能的途径主要有化学成分的设计、组织结构的变化和零件表面的改性等。主要包括了如下一些内容:

(1) 钢材化学成分。钢材的化学成分对其性能和热处理有较大的影响。

(2) 力学性能。压力容器用钢要求具有优良的综合力学性能,即要求强度高、塑性和韧性好,较低的冷脆倾向,较低的缺口和时效敏感性等。

(3) 与介质的相容性。压力容器经常与酸、碱、盐等各种各样的介质接触,因此,材料必须与介质相容。

(4) 加工工艺性能。材料加工工艺性能的要求与容器结构形式和使用条件紧密相关。同时,由于压力容器各零件之间主要采用焊接,因而良好的可焊接性能是压力容器用钢的一项极重要的指标。

(5) 冶炼方法等特殊要求。压力容器用钢必须采用镇静钢。下面将常用的碳素镇静钢板如 Q235 - B、Q235 - C 的适用范围列于表 1 - 1。

表 1 - 1 Q235 - B 和 Q235 - C 钢板的适用范围

钢板牌号	使用温度,℃	设计压力,MPa	壳体钢板厚度,mm	其他限制
Q235 - B	0 ~ 350	≤1.6	≤20	不得用于毒性程度为高度或极度危害介质的压力容器
Q235 - C	0 ~ 100	≤2.5	≤30	

3. 常用材料

目前过程设备材料的主要类型一般分为:黑色金属,如碳钢、合金钢、铸铁等;有色金属,如铜、铝等及其合金等;非金属材料,如陶瓷、玻璃、塑料等。其中,钢铁是目前制造过程设备的主要选用材料,有色金属和非金属材料由于具有某些特殊性能,也得到了广泛的应用。

常用材料如表 1 - 2 所示。

表 1 - 2 过程设备常用材料性质一览表

类型	材料名称	材料性能	适用范围	
黑色金属	碳素结构钢	有好的塑性、韧性和加工性,且价廉	在过程设备中应用较为广泛	
	优质碳素钢	具有较高的强度和韧性	多用于制造压力容器、接管、法兰等	
	工程用铸钢(铁)	具有好的可铸性、耐磨性、减振性、切削加工性和耐腐蚀性,价廉	可制作各种耐酸泵、冷却排管和热交换器等	
	合金钢	低合金钢	强度、韧性、耐腐蚀性、低温和高温性能等均优于相同含碳量的碳素钢	制作钢炉、压力容器和压力管道等工程构件
		特殊性能钢	具有高强度和特殊性能	主要用于制造中、低压容器和多层高压容器
	不锈钢	具有高化学稳定性、抵抗腐蚀	制作各种阀、机泵等零部件、压力容器与管道等设备和一些不锈钢工具等	

续表

类型	材料名称	材料性能	适用范围	
有色金属	铝合金	质轻,比强度高,具有导电、导热性好,不耐含有卤素离子的盐类、氢氟酸以及碱溶液腐蚀	制作与液体接触的零件和深冷设备中的液气吸附过滤器、分离塔等	
	铜合金	纯铜(紫铜)	具有很高的导热、导电性和塑性,不耐各种浓度的硝酸、氨和铁盐溶液腐蚀,强度较低	可作为制造深度冷冻设备、换热器和高压容器的垫片用材和管材,不适于用作结构材料
		黄铜	铸造性好,强度较高,价廉,可耐腐蚀,易发生选择腐蚀	制作深冷设备的筒体、管板、法兰及螺母等
		白铜	具有良好的耐腐蚀性和抗冲击腐蚀,应力腐蚀性能也好	是制造海水冷凝管的理想材料
		锡青铜	在大气、海水和无机盐类溶液中有较高耐腐蚀性和耐磨性	作轴承、轴瓦、蜗轮等和泵壳、阀门以及蒸汽锅炉、海船的零部件
	钛合金	优良的耐腐蚀性、低温塑性和韧性等特殊性能	可制作塔、换热器、容器和泵等,以及设备衬里或制成钛复合钢板	
	轴承合金	塑性、减摩性好	制作滑动轴承的轴承衬	
	镍合金	有高强度和可塑性、良好延展性和可锻性、抗高温氧化和耐腐蚀性	主要用在制碱工业,用于制造处理碱介质的过程设备	
非金属材料	无机材料	化工陶瓷	有好的耐腐蚀性、不透性、耐热性和定机械强度;但性脆易裂,导热性差	可制作塔、储槽、泵、阀、搅拌器、反应器、管道和管件等
		化工搪瓷	优良的耐腐蚀性	制作反应器、储罐、换热器、蒸发器、塔和阀等
		玻璃	耐腐蚀性好、流动阻力小、易清洗、透明、价廉等;但质脆、耐温度急变性差,不耐冲击和振动	主要用来制造管道、离心泵、热交换器、精馏塔等,还是承压设备视镜的主要材料
	有机材料	塑料	密度小、比强度大、绝缘和耐蚀性好及易加工;不耐高温、强度差、易变形、热胀系数大、导热差、易老化等	作结构材料、耐蚀衬里、绝缘材料等及多种型材(管、板、棒、膜)以及各类制品(如泵、阀、塔、槽、零部件等)
		硬聚氯乙烯(PVC)	耐腐蚀性较好,有一定强度,易加工成型,焊接性好等;但难导热,冲击韧性低、耐热性较差	广泛用于制作各种化工设备,如塔、储槽、离心泵、通风机、管道、管件和阀等
		聚四氟乙烯	具有优异的耐腐蚀性,能耐强腐蚀性介质,减摩性较好	常用作耐腐蚀的密封元件、无油润滑的活塞环及高温管道等的材料
		聚乙烯(PE)	有优良的电绝缘性、防水性、化学稳定性和在室温下的耐腐蚀性	可做管道、管件、阀门、泵,做设备衬里,还可涂在金属表面作防腐涂层
		橡胶	高弹性、抗撕裂、耐疲劳性、不透水、不透气、耐酸碱和绝缘性等	广泛用作密封、防蚀、防漏、减震、耐磨、绝缘以及安全防护等材料
		涂料	具有保护功能、装饰功能和特殊功能	大多用于设备内外壁的防腐涂层
		不透性石墨	具有高化学稳定性和导热性,热胀系数小,耐温度急变,不污染,加工性好和密度小等;机械强度低,性脆	常用于制作腐蚀性强介质的换热器、反应釜、填料塔、吸收塔、冷却塔、过滤器等

续表

类型	材料名称		材料性能	适用范围
非金属材料	有机材料	铸石	除氢氟酸和熔融碱外,辉绿岩铸石能耐各种酸、碱、盐的腐蚀作用,并具有很高的抗压强度;但抗拉强度较低,不耐冲击	用辉绿岩铸石衬里代替酸洗槽里的铅衬里,寿命可增长 10 倍以上;可将天然的辉绿岩熔化浇铸成管材或板、砖,制作设备衬里
复合材料		玻璃钢	具有高耐蚀性,较高的强度和良好的加工工艺性等	可做容器、储槽、塔、鼓风机、槽车、搅拌设备、泵、管道、阀门等或管件
		碳纤维—金属	低密度、高强度、高耐热性,抗冲击韧性好等,价较贵	可作结构材料,制作车载气瓶等

四、过程设备的发展趋势

近年来,过程设备朝着大型化和微型化发展的趋势日趋明显,为了适应这种发展,其制造方法也相应得到了迅速发展。过程设备的制造方法除了传统的锻造式、卷焊式、包扎式、热套式等方法外,还可以采用焊接成型技术或微加工技术等,如蒂森公司采用的多丝埋弧焊法制造压力容器筒体等。

1. 过程设备用材的发展

过程设备的发展离不开高性能、高标准的金属材料。目前过程设备新金属材料的开发在于对传统材料的改进,其技术核心是在金属中添加必要的合金元素和改善发展新的制备工艺。

复合材料具有重量轻、比强度高、机械性能与设计性好等普通材料所不具有的显著特点,既保持了组成材料的特性,又具有复合后的新性能,并且有些性能往往优于组成材料性能的总和,是过程设备材料选择的主要趋势。当前复合材料的发展趋势为:由宏观复合向微观复合发展,由二元复杂混合向多元混杂和超混杂方向发展,由结构材料为主向与功能复合材料并重的局面发展。

纳米科学技术是 20 世纪 80 年代末诞生并正在崛起的新技术,鉴于纳米材料的诸多优势,与纳米相关的技术也逐渐运用于过程设备中,如粉体设备技术是化工机械技术的主要分支之一,而纳米粉体的制备技术则是其前沿技术。目前中国首创的超重力反应沉淀法(简称超重力法)合成纳米粉体技术正在进入工业化生产阶段。

2. 再制造技术的发展

再制造技术是先进制造技术的延伸和发展,它属于绿色先进制造技术。在充分发挥旧设备潜力的基础上,通过对服役产品进行科学评估、综合考虑、技术改造、整体翻新以及再设计,使得旧产品在对环境的负面影响小、资源利用率高的情况下高质量地获得再生,不仅能够恢复产品原有性能,还能赋予旧设备更多的高新技术含量,从而最大限度地延长产品的使用寿命。再制造的重要特征是再制造产品的质量和性能可以达到或超过新品,成本却远低于新产品,显著降低对环境的不良影响。由于过程设备对安全性和可靠性的要求较高,在应用再制造技术时必须严格论证和检验后才能使用。

3. 过程强化技术

随着过程工业的进一步发展,如何使过程设备朝着节能、高效、优质的方向发展,一直是国内外科技工作者密切关注的课题之一。因此,对于过程设备而言,过程强化技术依然是当前过

程装备技术的重要研究内容。过程强化是指能显著减小工厂和设备体积、高效节能、清洁、可持续发展的过程新技术,它主要包括传热、传质强化以及物理强化等方面的内容。其目的在于通过高效的传热、传质技术减小传统设备的庞大体积或者极大地提高设备的生产能力,显著地提升其能量利用率,并大量减少废弃物的排放。

1) 热交换设备强化传热技术

热交换设备(如换热设备)的强化传热技术主要体现在管程设计、壳程设计两方面。

在管程设计方面,为了强化传热,当前的研究热点主要集中在优化换热管结构上,如采用螺旋槽管、横纹槽管、缩放管、管内插入物,等等。

在壳程设计方面,当前的研究热点主要有:一是改变管子外形或在管外加翅片,如采用螺旋管、外翅片管等;二是改变壳程挡板或管束支承结构,使壳程流体形态发生变化,以减少或消除壳程流动与传热的滞流死区,使换热面积得到充分利用。

据文献报道,在强化传热技术方面,最近兴起了一种电场强化冷凝传热技术,进一步强化了对流、冷凝和沸腾传热,特别适用于强化冷凝传热和低传热性介质的冷凝。

(1) 国外发展现状。

有关传热强化效果与国外发展现状详见第二章第一节。

(2) 国内发展现状。

目前国内的发展进程与国外先进工业国家还存在一定的差距,国内发展现状如表 1-3 所示。

表 1-3 强化技术在我国的应用

种类	适用工况	应用单位	使用介质	面积, m ²	强化效果(与光管比较)
螺旋管	管外无相变对流	中石化荆门石化总厂	原油—渣油	270	总传热系数提高 50% ~ 70%
螺旋槽管	对流, 沸腾, 冷凝	金陵石化炼油厂	原油—渣油	126	总传热系数提高 20% ~ 50%
横纹管	对流, 冷凝	茂名石化炼油厂	原油—渣油	180	总传热系数提高 85%
内波纹外螺旋	对流, 冷凝	独子山石化炼油厂	原油—渣油	90	总传热系数提高 1.9 倍
锯齿形翅片	管外冷凝	武汉冷冻机厂	氟里昂	50	总传热系数提高 25%
纵槽管	管外冷凝	丰顺地热电站	异丁烷冷凝	400	总传热系数提高 1.4 倍
销钉管	对流	中石化济南炼油厂	渣油加热		总传热系数提高 1.4 倍
E 管	管外沸腾	上海溶剂厂	氟里昂	49	节省换热面积 35.6%
螺旋内翅片	管内沸腾, 冷凝	武汉冷冻机厂	氟里昂	24	总传热系数提高 60%
管内组带	对流	辽阳石化化工一厂	空气—烟气	76	总传热系数提高 4 倍
交叉锯齿带	高黏度流体对流	上海石化乙烯厂	原油—蜡油	162	总传热系数提高 50%
折流杆	管外无相变对流	中石化荆门石化总厂	初流塔底—减二中	220	节省换热面积 50% ~ 70%

2) 塔设备强化传质技术

过程设备中用于传质的主要设备之一是塔设备,塔设备的强化传质技术主要体现在填料和塔板的设计上。

(1) 国内外塔设备强化传质技术的进展。

国内外塔设备强化传质技术的进展如表 1-4 所示。