

过程设备机械基础

潘红良 主编



华东理工大学出版社

内 容 提 要

本书是“十五”国家重点图书。本书在总结对非机械类学生进行机械知识的教学经验的基础上,对教学内容进行了创新处理,突出实用的特色,注重深度和广度的关系,适度反映学科前沿的思想,以构成过程设备的主要技术内容为主线,重点介绍从事过程设备工作人员所应掌握的基础知识。全书包括工程力学、过程设备用材、机械传动、压力容器及管道与管配件等五大部分内容,可作为工艺类学生学习机械课程的教材,也可供其他相关专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程设备机械基础/潘红良主编. —上海: 华东理工大学出版社, 2006. 1

(现代化工机械系列丛书)

ISBN 7-5628-1831-2

I. 过... II. 潘... III. 化工过程-机械设备-高等学校-教材 IV. TQ051

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 157870 号

现代化工机械系列丛书

过程设备机械基础

主 编 / 潘红良

责任编辑 / 徐知今

封面设计 / 王晓迪

责任校对 / 金慧娟

出版发行 / 华东理工大学出版社

地址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电话: (021)64250306(营销部)

传真: (021)64252707

网址: www.hdlgpress.com.cn

印 刷 / 长熟华顺印刷有限公司

开 本 / 787×1092 1/16

印 张 / 19.25

字 数 / 477 千字

版 次 / 2006 年 1 月第 1 版

印 次 / 2006 年 1 月第 1 次

印 数 / 1-4 050 册

书 号 / ISBN 7-5628-1831-2/TH·16

定 价 / 29.00 元

(本书如有印装质量问题, 请到出版社储运部调换)

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

前 言

在科学技术日益发展的今天,对人们的知识结构提出了更高的要求,作为一名从事过程工业的工程技术人员掌握必要的机械基础知识显得尤为重要。为此面向非机械类学生的机械课程的教学得到国内许多院校的重视,特别是化工类院校。各校在探索该课程的教学方法和教学内容方面可谓竭尽全力,相关教材就有多个版本,可至今人们依然在进行改进和探索。工艺过程和过程设备是密不可分的,工艺过程的改进和提高必然对设备提出更高的要求,对一个正常运行中的工厂,生产工艺流程的改变是有限的,而通过改造过程设备的效率来提高生产效率是一种行之有效的方法,从这个意义上来说机械设备并不被动地服务于工艺,而是促进和推动工艺发展的动力。因此,掌握一些机械方面的基础知识对任何种类的工厂技术人员均是十分重要的。

过程工业属流程性工业,单台设备是无法发挥作用的,而必须将多种设备通过管道将其连接起来形成装备才能生产出合格的产品。同时区别于一般机械设备,过程设备内的工作环境通常具有高温、高压和强腐蚀性的特点,设备的安全运行是至关重要的,一台过程设备一旦出现事故就会影响到整个系统、整个工厂以至整座城市。因此,对一名工艺工程师来说,应该掌握与过程设备相关的机械知识,这些知识包括工程力学、工程材料、机械传动、压力容器、过程设备和压力管道等内容。

随着教学学时数的不断压缩,要使学生通过该课程的学习,完全掌握这些知识显然是很难的,因此更应该要求“知”,知道所学内容,掌握基本概念,为今后解决相关的问题提供相应的思路。如通过工程力学部分内容的学习,了解构件在承受不同的载荷时,构件截面中会产生不同类型的应力和不同形式的变形,理解在构件设计时应有的强度、刚度和稳定性的概念,从而用这些知识去分析一些工程实际问题,如在平面梁的设计时,针对不同的情况可将梁截面设计成不同的性质;通过工程材料部分的学习,读者可掌握常见金属材料的种类、性能、代号及代号的含义,非金属材料的种类和性能,为正确选用符合工艺要求的材料打下基础,如不锈钢设备内的介质氯离子的含量应严格限制,对焊接设备不应选用中、高碳钢等问题;通过机械传动内容部分的学习,着重了解一些常见机械传动的型式及构成这些机械传动所需要的零部件,掌握这些基础知识有利于在工艺设计时选用正确的机械传动方法;通过对压力容器知识的学习,可正确认识保证压力容器安全使用的方法,正确理解为何

压力容器在低压的情况下常为“矮胖”形,而在高压时为“细长”形。总之经过本课程的学习,可对过程设备中的基本知识有一定的认识,这些知识对工艺类技术人员正确认识过程设备是非常有帮助的,同时还可加强工艺类技术人员和设备类技术人员间的沟通 and 理解,从而使设备能最大限度满足使用要求。

参加本书编写的教师大多为长期从事过程装备教学和科研的教师,其中第 1 章由潘红良编写,第 2 章由陈珏编写,第 3、4、5 章由谢禹钧、潘红良编写,第 6 章由潘红良编写,第 7 章由谢林生、潘红良编写,第 8 章由胡兆吉、潘红良编写,第 9、10 章由郑丽华编写,第 11 章由郝俊文编写,全书习题部分由陈珏编写。

在本书的编写过程中,华东理工大学提供了编写经费的支持,本书编写过程中还得到汤善甫先生的指导,书中的许多插图由本研究室的研究生协助完成,在此向这些为本书编写提供过帮助的单位和个人致以深深的谢意。

由于该书所涉及的面很广,书中难免有错误和遗漏之处,敬请读者提出宝贵意见,以便再版时更正。

编者

2005 年 10 月

目 录

1	绪论	(1)
1.1	过程工程和过程设备	(1)
1.2	过程设备的分类	(3)
1.3	过程设备的基本要求	(5)
1.4	过程设备的基本内容	(7)
2	构件的受力分析	(10)
2.1	静力学的基本概念	(10)
2.2	约束、约束反力与受力图	(13)
2.3	平面汇交力系的合成与平衡条件	(19)
2.4	平面力偶系的合成与平衡条件	(23)
2.5	平面任意力系的合成与平衡条件	(28)
3	拉伸与压缩	(36)
3.1	材料力学的基本概念	(36)
3.2	拉伸和压缩	(40)
3.3	直杆拉伸或压缩时斜截面上的应力	(42)
3.4	直杆受轴向拉伸(压缩)时的强度条件	(43)
3.5	直杆拉伸或压缩时的变形	(46)
3.6	材料拉伸和压缩时的力学性能及测试	(48)
3.7	温度对材料力学性能的影响	(52)
3.8	材料的冲击韧度及其测试	(53)
3.9	材料的硬度及其测试	(54)
3.10	交变应力下的强度问题	(55)
3.11	应力集中的概念	(57)
4	平面弯曲	(59)
4.1	平面弯曲的概念及实例	(59)
4.2	平面弯曲梁的内力分析	(60)
4.3	平面弯曲时梁的正应力	(67)
4.4	常用截面的惯性矩和抗弯截面模量计算	(70)
4.5	梁弯曲时正应力强度条件	(72)
4.6	提高梁弯曲强度的主要措施	(75)
4.7	平面弯曲梁的变形	(78)
5	剪切与扭转	(86)
5.1	剪切构件的特点和实例	(86)
5.2	剪切和挤压的计算及强度条件	(87)

5.3	扭转的概念和扭矩的计算	(90)
5.4	纯剪切	(92)
5.5	圆轴扭转时的应力和变形	(94)
5.6	圆轴扭转时的强度条件和刚度条件	(97)
6	压杆稳定	(102)
6.1	压杆失稳的概念	(102)
6.2	细长杆的临界压力 欧拉公式	(103)
6.3	欧拉公式的适用范围	(105)
6.4	压杆的稳定性校核	(108)
6.5	提高压杆的稳定性措施	(112)
7	过程设备常用材料	(115)
7.1	过程设备材料的基本要求	(115)
7.2	过程设备常用材料特性	(117)
7.3	钢材的热处理	(126)
7.4	金属材料的腐蚀与防护	(129)
7.5	过程设备材料的选择	(137)
8	压力容器	(140)
8.1	压力容器常用零部件	(141)
8.2	压力容器分类	(156)
8.3	内压薄壁容器的设计	(158)
8.4	外压薄壁容器的设计计算	(168)
8.5	容器的安全使用与管理	(180)
9	机械传动	(189)
9.1	机械传动基本概念	(189)
9.2	V 带传动	(190)
9.3	齿轮传动	(197)
9.4	蜗杆传动	(207)
9.5	轮系和减速机	(215)
10	轴系零部件	(223)
10.1	传动轴	(223)
10.2	联轴器	(226)
10.3	轴承	(230)
11	管道与管配件	(242)
11.1	管道概述	(242)
11.2	管道工程图的识别	(244)
11.3	管子	(249)
11.4	管件	(252)
11.5	管系的支撑	(262)
11.6	管系应力分析及热补偿	(265)

11.7 管道的防腐处理/复合管、管道的标识和保温	(267)
12 习题	(274)
12.1 构件的受力分析(第2章)	(274)
12.2 拉伸与压缩(第3章)	(278)
12.3 平面弯曲(第4章)	(281)
12.4 剪切与扭转(第5章)	(285)
12.5 压杆稳定(第6章)	(287)
12.6 压力容器(第8章)	(290)
附录	(291)
附录 I 型钢表	(291)
附录 II 钢板许用应力	(294)
参考文献	(298)

1

绪 论

1.1 过程工程和过程设备

过程工业(或称流程性工业)是指以改变物料(气体、液体、粉体)的物理和化学性能为主要目标的加工业。它涵盖化学工业、石油炼制工业、能源工业、造纸工业、制药工业、食品工业、冶金工业以及生物技术工业等许多工业门类,这些工业的共同特点是采用连续的生产过程加工自然资源以获得人们日常生活所急需和其他工业中所需要的产品。过程工业所涉及到的范围不仅包括国民经济、国防建设、资源开发和人类衣食住行等方面,而且与许多新兴的高新技术产业密切相关,如生物医药、微电子、纳米技术等。因此过程工业的发展水平体现了一个国家的综合实力,它对解决人类社会所面临的人口、资源、能源和环境等领域的可持续发展等重大问题起着十分重要的作用。

过程工程是通过提升过程工业中的共性问题而形成的,它是以化学工程的基本理论和方向向材料、冶金、生物、环境、能源等过程工业领域渗透而形成的新兴学科。它研究的核心内容是:

- (1) 物质流的传递和转化;
- (2) 能量流的传递和转化;
- (3) 信息流的传递和转化(集成)。

过程工程所涉及的系统是一个复杂系统,但这个复杂的系统可分为许多个基本工序,也可以说任何一个复杂的过程工程包含有许多基本的单元操作。如化学工程是围绕核心反应器组织的,其上游为原料(反应物)的前处理,以满足主要化学反应工艺条件为目标;下游为产品(生成物)的后处理,通过分离、纯化等手段,以达到产品标准为目标。为此化工过程中的设备,除主要化学反应器外,还包括进行物理过程的单元操作(输送、加热、冷却、分离等)和进行化学过程的单元过程(化学法净化、氧化、加氢、硝化、磺化等)。图 1-1 为乙烷裂解制乙烯生产流程图。在该工艺流程中乙烷在裂解炉中实现裂解,裂解气到废热锅炉中迅速冷却,再进入骤冷塔进一步冷却,冷凝水和重质成分冷凝成液体从塔底分出。冷却后的裂解气经离心压缩机一、二、三段压缩,送碱洗塔除去酸性气体,再进乙炔转换塔除去乙炔,然后经压缩机四段增压后到干燥塔除去水分,接下来到乙烯/丙烯冷冻系统,烃类物质降温冷凝,氢气和甲烷则在此得到分离,再在碳二分馏塔顶得乙烯产品,塔底乙烷循环使用。碳三以上作为重质燃料。在该工艺流程中的主要设备包括离心式压缩机、裂解炉、废热锅炉和各种塔。所有的这些设备经管道连接起来形成一套完整的装备。

有些并不复杂的系统也可以看出由多个基本工序组成,如图 1-2 所示是从废有机氯化物中回收盐酸的工艺流程图。有机氯化物首先在压缩空气的作用下在焚烧炉中焚烧,焚烧后的气体经冷却后就可直接得到盐酸,尾气进吸收塔经水吸收可进一步吸收气体中氯化氢

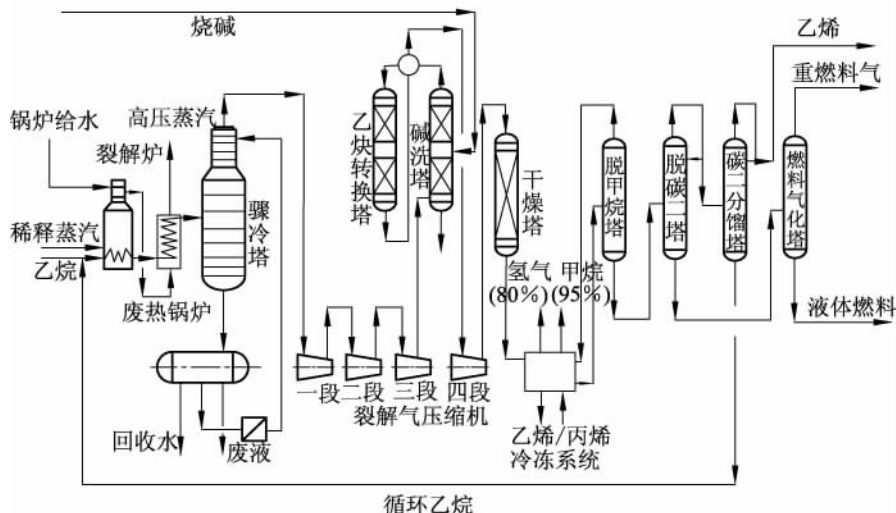


图 1-1

气体,尾气经海水吸收后排放,而吸收后的海水经苛性钠中和后排放。此系统虽然简单,但也包含有燃烧(反应)、传热和吸收(分离)等三个典型的工序,所用到的设备为燃烧炉、塔设备、换热设备、泵和管道阀门。

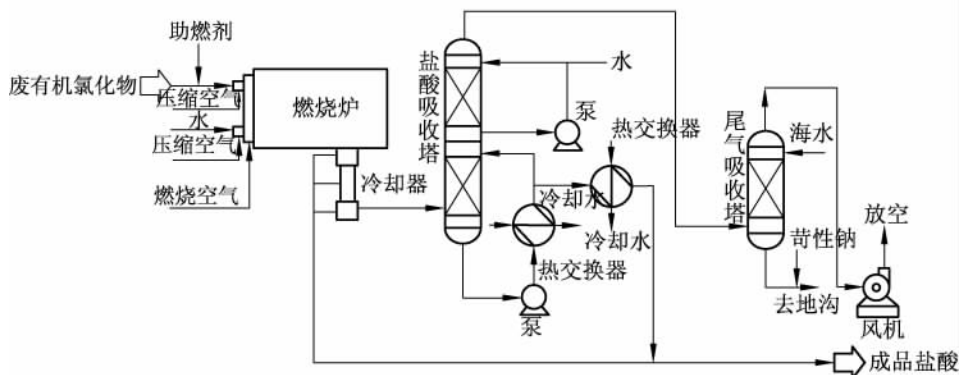


图 1-2

事实上任何一台过程设备是为实现某种基本工艺过程的功能而设置的,由于基本工艺过程可根据其功能划分为几大类,这就为我们采用具有一定通用性的设备来满足这些基本工艺过程的要求提供了技术保证。如泵用来输送液体物料,压缩机用来输送气体物料,换热器用来加热和冷却物料,塔用来分离和吸收物料。实现工艺过程的重任由过程设备承担,任何一种过程设备都是为实现某一工艺过程而设置的,这些设备功能的好坏将直接影响到某个具体过程工程的实施,从这个意义上说过程设备的发展将促使过程工程技术的进步。由于同一种工艺过程所使用的设备结构也有许多共同的特点,因此我们可把过程工程中所用的机器和设备,归纳成为数不多的几类设备,这些设备通称为过程设备。而将这些过程设备通过管道连接起来就构成了过程装备,每一种过程装备可实现一种和几种工艺过程。

1.2 过程设备的分类

过程设备按照工作状态可广义地分为动设备和静设备两大类。动设备包括泵、压缩机、风机、压滤机、粉碎机等；而静设备包括各类储罐、塔器、热交换器、反应器等。在化学工业中，过程设备常按其所能实现的单元操作能力归纳为几大类通用的典型设备，这些设备大致可分为以下几种。

1.2.1 化学反应设备

化学反应设备是化工生产中的核心设备，其用途是实现化学反应过程。如硫酸工厂中的硫铁矿焙烧炉、二氧化硫转化器；合成氨工厂中的水煤气发生炉、一氧化碳变换炉、氨合成塔；硝酸工厂中的氨氧化器、硝酸吸收塔；等等。由于物料状态不同，反应的性质和条件的不同，化学反应设备的型式和结构十分繁复。常用化学反应器的类别有：

(1) 搅拌釜式反应器 这种反应器是工业生产中最广泛采用的反应器型式，适用于各种相态物料的反应。反应釜中设有各种不同型式的搅拌、传热装置，可适应不同性质的物料和不同热效应的反应，以保持反应物料在釜内合理地流动、混合与良好的传热。搅拌釜式反应器既可间隙操作也可连续操作或半连续操作，既可单釜操作，又可多釜串联操作。搅拌釜式反应器的适用性广，操作弹性大，浓度容易控制。它通常由釜体、换热装置、搅拌器和传动装置等构件组成。

(2) 管式反应器 这类反应器是指气体物料通过装满催化剂的管子，气体物料在管子内部呈活塞流流动。该反应器的特点是反应器容积较小，结构简单，物料返混少，比传热面积大，因此这类反应器常用于单相流体和高温、高压的场合，如石油化工中的石脑油裂解、管式法制高压聚乙烯。

(3) 固定床反应器 这类反应器属非均相物料反应器，其中尤以气态反应物通过静止状态的固体床层的气固相催化反应居多，也有用作液固相催化反应，大多数固定床反应器内使用的固体颗粒属于催化剂。它广泛用于合成氨、乙苯脱氢、乙烯法制醋酸乙烯等工业部门。这类反应器结构型式简单，主要是由一容器，内装气体分布装置和热交换器组成。

(4) 流化床反应器 这类反应器是利用固体颗粒流态化技术的优点而进行气体与气体（催化反应）或者气体与固体反应的一种设备。当原料气体通入反应器时，以气泡形式通过粒度很细的催化剂床层，并使催化剂颗粒悬浮起来，在反应器内剧烈运动，就像沸腾的液体一样，形成流态化的固体，因此将这类反应器称为流化床反应器。流化床反应器广泛应用于石油、化工、冶金、轻工、原子能、食品和农林等部门。它主要是由一容器，内装的气体分布装置、旋风分离装置和热交换装置组成。

(5) 塔式反应器 这是一种直立式反应的塔式反应器，反应器的类型随塔内构件的不同而种类繁多，根据塔的类型不同，这类反应器可适用于液相、气-液相和气-液-固相。它是由塔外壳和塔内构件组成。

1.2.2 物料输送设备

过程工业属流程性工业，其生产的产品通常需要一套典型的装备，构成这样一套装备需要多种设备，为保证物料在设备间的流动和保证物料在设备内的工艺条件，需要采用流

体输送设备来达到这一要求。物质一般具有三种形态,即固态、液态和气态。由于液体和气体无固定的形状,能自由地流动,而且流动性质也都很相似,所以一般将液体和气体统称为流体。

固体物料运输采用人力运输工具,不但劳动强度大、占用人力多,而且工作效率低。采用机械运输不但可以大大地提高效率,并且可以保证生产过程的连续性。典型的固体物料输送设备有皮带运输机、螺旋运输机、斗式提升机等等。

流体在进行化学反应时,一般均在一定的密封设备内进行,反应后再从设备内流出。故在化工生产中,常需将流体从低处输送至高处,或从低压处送至高压处,或沿管道送至较远的地方。为达到此目的,必须给流体一定的能量以克服流动过程中的阻力,这种给流体一定能量的设备称为流体输送设备。用于气体物料输送的设备有送风机、鼓风机、压缩机,用于液体输送的设备则通称为泵。

1.2.3 分离设备

分离设备也是很重要的一类过程设备,它的重要作用是从混合物中分离出某种需要的组分,或者除去其中某些有害的杂质。根据混合物的性质不同,采用物理或化学的方法达到净化物料的设备统称为分离设备。分离设备按所处理物料的性质不同,常将其分为:

(1) 固-固分离设备 这类设备所要分离的混合物中各种组分都是固体,其分离主要利用物料物理性质的不同(如粒度、密度、溶解性等)而采用不同的分离方法。这类设备主要有筛选设备、浮选设备、浸取设备等。

(2) 液-液分离设备 这类设备所要分离的混合物中各组分都是液体,分离的方法主要利用不同组分物料间的物理化学性质的不同(如沸点、溶解度等),这类设备主要有蒸馏、精馏塔、萃取设备等。

(3) 气-气分离设备 这类设备所要分离的混合物各个组分都是气体,分离这类物料主要利用不同气体间的沸点或溶解度差异,这类设备主要有吸收设备、吸附设备。

(4) 液-固分离设备 这类设备的功用是分离液体中含有悬浮的固体颗粒,所用的原理是利用固体物料的密度或粒度,由于分离的效果与固体物料的粒度有关,在工业生产中常采用絮凝剂使微小颗粒絮凝,然后再进行分离,这类设备主要有沉降槽、过滤机、离心机等。

(5) 气-固分离设备 这类设备也称为除尘设备,它的作用是分离气体中的悬浮颗粒,主要设备有:旋风分离器、气体过滤器、沉降除尘器、电除尘器、超声除尘器等。

(6) 气-液分离设备 这类设备也称为除雾设备,其作用是除去气体中悬浮着的液体颗粒,主要类型类似于气-固分离。

1.2.4 传热设备

为保证化学反应的顺利进行,反应过程必须对物料进行连续不断的加热或冷却,因此工艺过程往往都伴随着热量的传递过程,我们把热量传递的过程通称为传热过程。传热过程是通过传热设备来完成的,由于传热过程的普遍性,在一般化工厂中传热设备的总重量往往会占到全厂所有设备重量的40%,故传热设备在过程工业中占有极其重要的地位,是不可缺少的设备之一。由于加热和冷却过程主要通过两种温度不同的介质交换热量来实现,所以这类设备又称为换热设备。

换热器在过程工业中的种类繁多,如按作用原理或传热方式分,其类型有:

(1) 混合式换热器 它是利用两种流体的直接接触与混合的作用来进行热量的交换。混合式换热器操作的一个主要因素,就是要使两种流体的接触面积尽可能大,以促进它们之间的热量交换。典型的换热过程是采用蒸汽直接通入各种不同的液体中,利用蒸汽的热量加热各种不同的液体。

(2) 蓄热式换热器 它是让两种流体先后通过同一种蓄热材料的表面,从而达到换热的目的。由于这种换热器在工作时,不可避免地会使两种流体有少量的混合,这一特征限制了该种传热方式在工业生产中的应用。为使传热过程得以连续进行,这种类型的换热器必须成对使用,即当一个通入热流体时,另一个则通入冷流体,并靠自动阀进行交替切换。

(3) 间壁式换热器 它是利用固体壁面将进行热交换的两种流体隔开,使冷热两种流体分别通过器壁两侧,从而实现传热的目的。为使传热得以顺利进行,这类换热器要求用于隔断两种介质的材料具有很好的导热性能。这种形式的换热器在过程工业中使用最为广泛。通常按传热面的形状可将其分为管式换热器和板面式换热器。前者包括:蛇管式、套管式和列管式等;后者有:螺旋板、板式、伞板式、板翅式、板壳式等。

此外化学工业中常用的蒸发、结晶和干燥设备,它们与加热过程有密切的关系。虽然功能与换热器不同,但它们为达到目的所采用的手段相同,或设备主要部件的结构在某种程度上与换热器近似,所以有时将其归入换热设备。

1.2.5 粉碎设备

粉碎是一种使大块物料变成小块物料的过程。这个过程是用外力施加于被粉碎的物料上,克服物料分子间的内聚力,使大块物料分裂成若干小块。人们通常把粉碎产品粒度大于 $3\sim 5\text{ mm}$ 者称为破碎,所对应的设备为各种型式的破碎机;把颗粒粒度控制在 $60\ \mu\text{m}\sim 3\text{ mm}$ 之间者称为磨碎,小于 $60\ \mu\text{m}$ 者称为超细磨碎,常用球磨机和超细分散技术来实现这一功能。

1.2.6 加热炉

加热炉是石油化工生产装置的关键设备之一,它类似于传热设备,具有传递热量的功能。但加热炉具有高温换热和燃料燃烧火焰传热等特点。加热炉内的核心部件是炉管,炉管在直接明火的作用下在高温下工作,因此要求炉管不但能耐高温介质的腐蚀,还要求材料有较强的抗蠕变能力。加热炉主要由辐射室、对流室、燃烧器、废热锅炉和通风系统五大部分构成。除石油化工所用的特殊的高温高压炉外,一般按外形结构型式可分为圆筒加热炉、立式加热炉、箱式加热炉、梯台加热炉和斜管加热炉等。

过程设备种类繁多,以上这些仅为常规通用设备。在某些具体的行业中,还有反映行业特征的专用设备,如食品行业中的发酵设备,橡胶工业中的硫化和挤出设备等等。但它们均离不开过程设备的一些共有的特点。

1.3 过程设备的基本要求

对于众多种类的工艺过程设备,它们所应满足的基本要求大致可分为技术经济指标要求和结构要求两类,而这些要求归根到底就是要求设备在安全可靠工作的前提下使设备的运行成本为最低,效率为最高。

1.3.1 技术经济指标

类似于机械设备,工艺过程设备首先应满足的是技术经济指标,技术经济指标主要包括五项内容:单位生产能力、消耗系数、设备价格、管理费用和产品总成本。

(1) 单位生产能力 单位生产能力是指设备在单位时间、单位容积内处理物料的数量。过程设备不但要求处理量大而且要求效率高,而这两者常会发生矛盾,如处理量大的设备有时效率较低,而效率很高的设备有时处理量却很低。单位生产能力实际上就是处理量与设备效率的综合指标。单位生产能力愈高愈好,设备的效率与内件的结构有关。

(2) 消耗系数 消耗系数是指生产每单位质量或单位体积产品所需消耗的原材料及能量,包括原料、燃料、蒸汽、水电等。消耗系数不仅与所采用的工艺路线有关,而且与设备的结构有关。消耗系数当然愈低愈好。

(3) 设备价格 设备价格影响到工厂投资的大小,因此采用价廉的设备是很必要的。但有时设备虽然复杂些,价格高一些,但却有较高的单位生产能力、较长的使用寿命,能确保产品有较高的质量,并且操作控制现代化,因此在进行全面经济合理性的核算后,也可能采用较为昂贵的设备。

(4) 管理费用 管理费用包括劳动工资、维护和检修费用等。设备越简单,管理越容易,管理费用降低,产品成本也随之降低。

(5) 产品总成本 产品总成本是生产中一切经济效果的综合反映。一般要求产品总成本愈低愈好。但如一个工厂设备所生产的是中间产品,则为了使整个生产过程的最终产品的总成本为最低,此中间产品的总成本就不一定选择最低的指标,而应从整个生产系统的经济效果来确定。降低产品的总成本有利于提高产品在市场中的竞争力。

1.3.2 结构上的要求

设备的结构对设备安全可靠运行起着至关重要的作用。过程设备往往要求在一定的温度和一定的压力下工作,所处理的物料品种繁多,既有对设备材料有腐蚀性作用的物料,又会遇到具有燃烧、爆炸或有毒的介质,这就要求过程设备在材料和结构上必须满足以下要求:

(1) 强度 强度是指设备在载荷的作用下抵抗破坏的能力。过程设备所有部件都应有足够的强度,否则就不能保证生产和人民生命财产的安全。但为了保证强度而盲目地增加结构尺寸也是不合理的,这样会造成材料的很大浪费。一般设计时将各个部件做成等强度,这样最省材料。但有时故意使设备中的某一部件的强度特别低一些,当设备过载时这个部件首先破坏,从而达到保护设备上重要部件的目的。

(2) 刚度 刚度是指构件在外力作用下保持原来形状的能力。有时设备构件的设计主要决定于刚度而不是决定于强度。如塔设备的塔板,其厚度通常是由刚度而不是由强度来决定,因为塔盘板的允许挠度很小,如塔板挠度过大,则塔盘上液层的高度就有较大的差别,使通过液层的气流不能均匀分布,会大大地影响塔盘的效率。

(3) 耐久性 耐久性是根据所要求的使用年限来决定的,过程设备的使用年限一般为10~20年。过程设备的耐久性大多数情况取决于介质的腐蚀情况,在受反复载荷、高温操作或流体振动的情况下,过程设备的寿命还取决于设备的疲劳、蠕变及振动磨损等因素。在科学技术日新月异的今天,新的结构形式不断出现,对设备的使用年限要求太长是不合

适的。

(4) 密封性 过程设备的密封性是一个十分重要的问题。这主要是由于过程设备内所处理的物料很多是易燃、易爆或有毒的,对正压操作的设备内的物料如果泄漏出来,不但在生产上会造成损失,更重要的是会污染操作环境,甚至引起爆炸事故;相反如空气漏入负压操作的设备,亦会影响生产过程的进行以及可能引起爆炸事故。

(5) 节约材料和制造方便 过程设备的特殊要求往往选用贵重材料制造,因此在结构上应保证最少材料的消耗。同时,在考虑结构时应使其便于制造,能保证质量。在设计时应尽量采用标准设计和标准部件,因过程设备大多是单件生产的,故标准化是降低设备成本的一个重要方法。

(6) 运输与安装方便 过程设备往往是非常笨重的,这就给设备的运输与安装带来不便。制造设备的工厂可能与使用设备的工厂相距很远,当由水路运输时,一般尺寸限制问题还不大,但由陆路运输时,就必须考虑到设备的直径、重量与长度是否符合铁路或公路运输的规定。

(7) 运转性能好 过程设备在使用操作中要求运转性能好,具体要求是:运转方便,操作简单,在运转时噪音和振动小;能连续运行、自动化程度高;装拆和检修方便;能进行试验和监控。

1.4 过程设备的基本内容

随着化学工业、能源工业以及其他工业的发展,过程设备正朝着单系列大型化方向发展,且工作条件愈来愈苛刻,操作压力从高度真空到数千大气压,工作温度从 -250°C 到 2000°C 左右,工作介质从三酸两碱到尿液,有强烈的腐蚀性、毒性、易燃、易爆性,甚至有中子辐射。面对这种苛刻的工作条件、结构复杂,制造安装特殊的过程设备,过程设备的设计制造者除掌握必要的力学知识外,还必须学会从化工工艺过程、制造、安装、生产操作的要求去分析结构,正确选择材料,才能保证过程设备的安全可靠运行。

本书主要涉及的内容为过程设备中常用的机械基础知识,主要包括工程力学、工程材料、机械传动、压力容器、压力管道等方面的基础知识。

1.4.1 工程力学

所谓机械就是由力学原理构成的装置,换句话说构成机械的基础是力学。力学作为一门学科,所涉及的内容相当广泛,但就工程力学而言,其所要解决的是构件受力后的变形和破坏规律,解决强度、刚度和稳定性问题。在工程实践中,构件的形状多种多样,但按其几何形状特征,大致可将其分为三类:杆(指长度方向出现远大于垂直于长度方向尺寸)、板(厚度比其长度或宽度小得多)、壳(厚度比长度或宽度小得多,但几何形状不是平面而是曲面)。

一般说来,板和壳的几何形体比杆件复杂得多,其变形分析也比较复杂。杆件的变形及分析方法虽较简单,但它是最基本的,也是分析板、壳问题的基础。因此本书以杆件为分析对象。尽管杆件在外力作用下,会产生各种不同的变形,但其基本形式不外乎:拉伸(压缩)、弯曲、扭转、剪切四种形式,其他情况可视为这四种形式的组合。对细长杆,我们还应考虑其在压缩载荷的作用下的稳定性问题。

1.4.2 工程材料

为满足过程设备所承受复杂而苛刻的工艺条件,其所用的材料不仅采用金属材料,高分子材料和陶瓷材料的应用也日益广泛。合理而正确地选用材料,对过程设备的正常运行起到至关重要的作用。作为过程设备用的材料必须考虑以下因素:

(1) 力学性能 力学性能包括材料的机械强度、硬度、塑性和韧性的指标。过程设备用材除要求具有一定的强度指标外还需要具有一定的塑性和韧性。

强度是决定材料许用应力的依据,设计中常用的是拉伸极限 σ_b 和屈服极限 σ_s ,高温时要考虑蠕变极限 σ_n 和持久极限 σ_D ,交变应力下应考虑疲劳极限 σ_{-1} 。

塑性和韧性指标是关系材料能否抵抗这类缺陷扩展的能力,过程设备大多为焊接结构,焊缝中难免存在各种各样的缺陷。这方面主要参数有:弹性模量 E 、延伸率 δ 、断面收缩率 ψ 、冲击韧度 α_K 及断裂韧度 K_{IC} 等。

硬度是指材料抵抗硬物侵入的能力,说明材料耐磨性和切削加工的可能性,金属材料中常用的是布氏硬度(HB)和洛氏硬度(HRC)。

(2) 物理性能 物理性能指的是材料的密度、导电性、导热性等指标,如对于换热器,所用的材料必须具有很好的导热性能。

(3) 化学性能 化学性能直接影响到材料的防腐蚀性能。腐蚀是过程设备最常见的失效形式,工艺介质的种类众多,其表现出的化学性能也不相同,对材料所产生的腐蚀形式也有很大的区别,常见的腐蚀失效类型有均匀腐蚀、点腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀、氢腐蚀和疲劳腐蚀。适当地了解各种腐蚀产生的机理和材料的防腐蚀能力,有助于制定正确的防腐蚀方法。

1.4.3 机械传动

过程设备在工作的时候往往需要运动和动力,而这一工作的实现就是依靠机械传动装置。掌握一些机械传动装置和传动用的零部件有助于对带传动装置的过程设备的理解。本书将机械传动部分内容分为机械传动和轴系零部件两大部分内容。在机械传动中我们应掌握常见机械传动的类别及其工作原理;如带传动、齿轮传动、蜗轮蜗杆传动。机械传动离不开轴,传动件装在轴上就构成轴系零部件,而为保证轴能正常运转,轴必须采用合适的支承,因此这部分知识的主要内容有:轴的强度和结构设计,联轴器和轴承的种类、工作原理和选用方法。

1.4.4 压力容器

之所以将压力容器作为过程设备单独介绍,一方面是由于压力容器在过程工业中应用广泛,对绝大多数过程静设备,作为设备外壳的压力容器是构成设备的最为主要的受力构件,而且其设计制造管理上都有其严格的限制;另一方面是由于压力容器一旦出现事故,将对一套装备以及一个工厂甚至于一座城市都将产生严重的危害,所造成的损失将是十分巨大的。世界各国为保证容器的安全均制定严格的规范和规程。我国为保证容器的安全,国家技术监督局制定了《压力容器安全技术监察规程》,该规程按容器的危害程度将压力容器进行分类,不同类别的容器则要求符合相应类别的设计、制造、检验和使用要求;而国家标准《钢制压力容器》GB150—1998 则对容器的计算方法、材料的选用、焊接结构形式、制造安装要求等方面提出详细的要求;同时对设计、制造、检验单位分别进行严格资格认

定,只有具有资格单位才可从事相应的工作。正因为如此,在学习压力容器时除了解一些设计计算方法外,了解相应的设计制造规范和规程也是非常重要的内容。

1.4.5 管道及管配件

管道本身并不属于过程设备,但单台过程设备实际上无法实现其自身的功能,只有将多台设备用管道连接起来形成成套装备,才能完成相应的工艺使命。管道担负着输送介质的任务,完整的管道除管道本身外还包括各种管配件,如各种阀门、弯头、法兰等。在过程工业中,压力管道遍布各工厂,担负着输送易燃、易爆、高温、腐蚀、有毒及放射性介质的重要任务,在国民经济中占有重要的地位。世界上发达国家(如美国、日本、德国、英国等)都把压力管道与压力容器并列为特种设备,实行国家监察。

与过程设备相比,管道的受力情况更为复杂。管道在工作时除承受压力外,还承受由于热胀冷缩引起的弯曲和扭转载荷,管道内部和外部冲击而产生的冲击载荷,由于管道振动而产生的振动载荷,管道本身及附件的质量载荷等等。本书中主要介绍有关管道的一些基础知识,如管道所承载荷的种类、管配件种类及其选用方法、管道系统的布置、管道的保温和防腐等内容。

思考题

- 1-1 何为过程工业?区别于一般工业,过程工业有何特点?
- 1-2 工艺过程和过程设备间存在何种关系?
- 1-3 何为过程工程?过程工程领域主要研究内容有哪些?
- 1-4 常见过程设备有哪几类?
- 1-5 从结构角度考虑,对过程设备有哪些基本要求?
- 1-6 构成过程设备的基础知识有哪些?
- 1-7 作为过程设备用的材料有哪些基本要求?
- 1-8 过程设备用材为何特别强调化学性能?
- 1-9 为何将压力容器作为一种过程设备?保障压力容器的安全有何重要意义?
- 1-10 管道在过程设备中起何作用?与设备相比管道的受力情况有何特点?