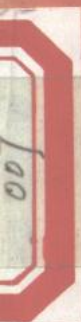


换热器 及配管的设计

〔日〕 松居国夫 著

金 国 梁 译

哈尔滨工业大学出版社



换热器及配管的设计

〔日〕松居国夫 著

金 国 梁 译

哈尔滨工业大学出版社

换热器及配管设计

换热器及配管的设计

〔日〕 松居国夫 著

金国梁 译

王惠德 赵祖耀 校

*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本850×1168 1/32 印张8.875 字数227000

1987年3月第1版 1987年3月第1次印刷

印数 1—3,000

书号15341·50 定价1.85元

前 言

化工设备按其形状可分为塔、罐及管三类，它们都是容器。其中前两类，即塔、罐的设计已在《贮罐的设计》一书中叙及，本书只叙述关于管的设计。在属于管类的典型化工设备中，除各种配管输送装置以外，还有管式换热器。

化工厂往往要在高温或低温下处理物料，因而必须对物料进行加热或冷却的单元操作，进行这种单元操作的设备、亦即传热设备，通常称为广义换热器。但是，一般所谓的换热器是指高温流体与低温流体通过固体器壁进行间接热交换的设备。靠热辐射进行传热的加热炉、锅炉等不称之为换热器。例如，一座塔要正常工作，需要有预先加热塔内原料的加热器、拔出塔外的气体冷凝器、塔底液的再沸器、冷却器等，这些都是按使用目的而确定的名称，但都是换热器。蒸馏塔主体与这些换热器之间是用配管连接的。这些换热器中应用最广的是管式换热器。管式换热器的典型形式是管壳式换热器，其中浮头式换热器，尤为典型，其结构虽较复杂，但因其设计条件及操作条件的灵活性都比较大，而且具有优越的性能，所以应用最广。

本书以管式换热器，特别是浮头式换热器为中心进行叙述，以工艺设计及强度设计为重点。除此之外，对于生产设计、保全设计、材料设计、经济设计以及整个工厂的设备也都作了叙述。化工设备的设计，现在一般是由化学工程出身的技术人员及机械工程出身的技术人员单独或共同进行的。作者有幸在大学工学院机械系及化工系两个系中得到了担任设计课程的教学工作的机会。本书就是对在教学中使用过的教材进行整理的结果。

日本德岛大学工学院化工系所设置的机械工程概论、材料力学、机械设计、化工设备设计等课程的教学，都安排一个学期，每周一学时。材料力学习题课安排一个学期，每周两学时。制图

及机工实习实践课各为一个学期，每周三学时。在教学过程中，该大学一面试图把以上各门课程紧密联系和统一起来，一面力求提高教学效果。许多其他大学及高等工业专科学校的化工系，也设置着大体相同的授课内容及实践环节，而且进行浮头式换热器的性能设计及强度设计的也不少。

作者撰写本书的目的，是想为大学和高等工业专科学校化工系及机械工程系的学生提供一本化工设备设计的教科书或教学参考书。在此，谨向本书所引用的参考文献的作者致以深切的谢意。本书错误之处，如蒙指正，则幸甚矣。

作 者

1981年5月

译 者 序

本书全面系统地介绍了换热器及化工厂配管的设计, 对设计所需的基础理论知识作了简单概括和综合应用。书中着重论述了换热器的工艺设计和强度设计, 同时对生产设计、保全设计、材料设计、经济设计、结构设计以及制造、操作等方面也作了阐述。在四、五两章中, 对现有换热器的改进设计和重新设计均作了详细论述。书中收有丰富的设计资料, 并在书末附有国际单位制换算表。

本书作者1944年毕业于旅顺工大, 曾任日本群馬大学教授, 现任德岛大学教授、工学博士。本书是作者根据自己多年的讲义及教学经验写成的。

本书可供从事化工设备设计的工程技术人员及高等院校化工机械专业师生参考。

全书经王惠德、赵祖耀二同志校订, 特此深致谢意。

译 者

1986年12月

目 录

第1章 化工设备设计

- 1.1 化工设备的分类..... (1)
- 1.2 化工设备设计步骤..... (2)
- 1.3 工厂设备总体设计步骤..... (3)
- 1.4 化工设备的强度设计..... (4)
 - 1.4.1 化工设备强度设计的基本原则 (4)
 - 1.4.2 压力容器的规范和标准 (5)
 - 1.4.3 设计压力、工作压力、最大许用压力、
设计温度、设计载荷、风载荷、地震载荷... (6)
 - 1.4.4 许用应力 (8)
- 1.5 内压容器的强度设计 (12)
 - 1.5.1 日本劳动省压力容器结构及 JIS 压力容器
结构中的内压容器的强度设计 (12)
 - 1.5.2 按高压气体管理法进行内压容器的强度设计
..... (22)
- 1.6 细长杆或薄壁圆筒受轴向压缩的失稳 (23)
 - 1.6.1 细长杆失稳的欧拉公式 (23)
 - 1.6.2 压杆失稳的经验公式 (24)
 - 1.6.3 薄壁圆筒受轴向压缩的失稳 (25)
- 1.7 薄壁圆筒受径向外压作用时因周向压应力引起的
失稳 (外压容器的强度设计) (25)
 - 1.7.1 安文公式及索斯维尔公式 (25)
 - 1.7.2 外压圆筒按 JIS B8243—1977 压力容器结构的
强度计算 (27)
 - 1.7.3 按 JIS B8243—1977 压力容器结构绘制的外压
圆筒容器壳体的强度计算图表 (28)

1.7.4	外压圆筒容器壳体的加强圈	(40)
1.7.5	受外压的球形壳体	(42)
1.7.6	凸面受压的封头、圆锥形壳体	(43)
1.8	螺栓联接法兰的强度设计	(46)
1.8.1	螺栓联接法兰的结构形式	(46)
1.8.2	螺栓联接法兰的强度计算	(47)
1.8.3	JIS标准法兰的应用	(58)
1.8.4	非JIS标准法兰的设计, 法兰概略尺寸 的假定	(63)
1.9	开孔补强	(69)
1.9.1	补强件的最小截面面积 A_p	(69)
1.9.2	补强的有效范围 $L \times H$	(70)
1.9.3	补强有效截面面积	(70)
1.10	管板的强度设计	(71)
1.10.1	不带支柱的管板	(71)
1.10.2	带支柱的管板	(73)
1.10.3	支柱的最小截面积 A	(74)
1.10.4	传热管在管板上的安装	(74)
1.11	固定管板式换热器壳体膨胀节的设计	(75)
1.11.1	固定管板式换热器壳体是否要装膨胀节 的讨论	(75)
1.11.2	固定管板式换热器壳体膨胀节中产生 的应力	(77)
1.12	塔罐类支撑结构的强度设计	(78)
1.12.1	立式塔罐的支撑结构	(78)
1.12.2	圆筒形卧式塔罐 (包括圆筒形管壳式换热 器) 的鞍型支座	(80)

第2章 配管设计

2.1	管路系统元件	(84)
-----	--------------	------

2.1.1	管	(84)
2.1.2	管接头、阀门、龙头	(86)
2.2	配管设计图	(94)
2.2.1	配管图面设计	(94)
2.2.2	配管尺寸	(95)
2.3	配管管路中的压力损失	(97)
2.3.1	层流、紊流和雷诺数	(97)
2.3.2	圆管摩擦损失	(97)
2.3.3	非圆截面管路的摩擦损失	(101)
2.3.4	管路入口、弯曲管路、截面变化、阀及管路 出口等处的损失	(101)
2.4	配管的设计载荷	(104)
2.5	配管支承装置的设计	(107)
2.5.1	管路支架和支撑结构	(107)
2.5.2	塔架(塔形桁架结构)的解法	(108)
2.5.3	管支架(门形框架结构)的解法	(110)
2.6	配管中的热应力	(115)
2.6.1	是否有必要详细分析配管热应力的判断 方法	(115)
2.6.2	详细计算配管热应力的方法	(126)
2.6.3	配管热应力的简易算法	(136)
2.6.4	沿管的轴向或垂直于轴向受有载荷作用的弯 管的变形和弯曲应力	(138)
2.6.5	为减少热应力而设置于直管一端的弯管尺寸 的确定方法	(140)
2.7	膨胀节	(145)
2.8	配管安装时因制造误差引起的装配应力	(145)
第3章 换热器设计		
3.1	换热器的定义、操作目的、特征	(148)

3.1.1	换热器的定义	(148)
3.1.2	换热器的操作目的	(148)
3.1.3	换热器的特征(形式选定、设计、操作注意 事项)	(149)
3.2	换热器的种类	(152)
3.2.1	按结构分类	(152)
3.2.2	按用途分类	(152)
3.2.3	按性能分类	(153)
3.2.4	换热器形式的选定	(153)
3.3	管壳式换热器的种类和结构	(154)
3.3.1	固定管板式	(155)
3.3.2	U形管式	(156)
3.3.3	浮头式	(156)
3.4	浮头式换热器的设计	(156)
3.4.1	浮头式换热器的设计目的	(156)
3.4.2	浮头式换热器的工艺设计	(160)
	(a) 给定的处理条件(160) (b) 流体流程的选定(160)	
	(c) 管内流体的流速、管径和流量的设定(161) (d) 入口及出口 温度、冷端温差、对数平均温差、有效温差(163) (e) 设计 总传热系数 U_D 的假设(166) (f) 所需传热面积 A 的计算 (169) (g) 由传热面积 A 选定换热器的尺寸(169) (h) 管 程边界膜传热系数 h_i 的计算(177) (i) 管程压力损失 Δp_i 的计算 (180) (j) 壳程边界膜传热系数 h_s 的计算(181) (k) 壳程 压力损失 Δp_s 的计算(184) (l) 清洁总传热系数 U_c 、污垢 系数 h_D 、设计总传热系数 U_D 的计算(186)	
3.4.3	浮头式换热器的结构设计	(186)
3.4.4	浮头式换热器的生产设计	(186)
3.4.5	浮头式换热器的保全设计	(189)
3.4.6	浮头式换热器的材料设计	(191)
3.4.7	浮头式换热器的强度设计	(195)

(a) 浮头式换热器工艺设计时给定的处理条件 (195) (b) 浮头式换热器强度设计时给定的设计条件 (195) (c) 浮头式换热器主体的强度设计 (195) (d) 浮头式换热器法兰盘的强度计算 (197) (e) 浮头式换热器接管的结构强度计算 (198) (f) 浮头式换热器支撑结构的强度计算 (199)

3.4.8 浮头式换热器的预算..... (199)

第4章 现有浮头式换热器的改进设计计算及工作流体、工作压力、工作温度的选择

4.1	设计课题.....	(203)
4.2	设计步骤.....	(203)
4.3	所用材料和制造条件对工作流体、工作压力、工作温度的限制.....	(212)
4.4	流体流程的选定.....	(214)
4.5	强度设计的计算.....	(214)
4.6	由强度设计计算选定工作流体、设计压力、设计温度 (处理条件)	(239)
4.7	对选定的处理条件进行工艺校核设计计算.....	(240)
4.8	改变工作流体后的工艺校核设计计算.....	(244)

第5章 按说明书给定的处理条件设计浮头式换热器

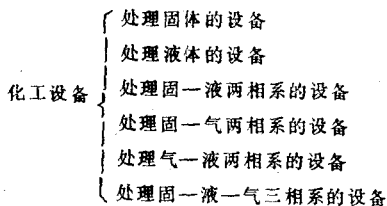
5.1	设计课题.....	(250)
5.2	设计步骤.....	(250)
5.3	工艺设计.....	(251)
5.3.1	热平衡.....	(251)
5.3.2	有效温度差.....	(251)
5.3.3	确定流体流程, 假定管内流体速度.....	(251)
5.3.4	设计总传热系数的假定和传热面积的计算.....	(251)
5.3.5	根据传热面积选定换热器的尺寸.....	(252)

5.3.6	边界膜传热系数的计算.....	(254)
5.3.7	压力损失的计算.....	(254)
5.3.8	总传热系数及污垢系数的计算.....	(254)
5.4	结构设计、生产设计、保全设计、材料设计...	(254)
5.5	强度设计.....	(255)
5.5.1	按内压容器计算.....	(255)
5.5.2	按外压容器计算.....	(255)
5.5.3	法兰的强度计算.....	(255)
5.5.4	接管处的强度计算.....	(255)
5.5.5	支承结构的强度计算.....	(257)
5.6	预 算.....	(261)
6.	资 料.....	(264)
	参考文献	(269)

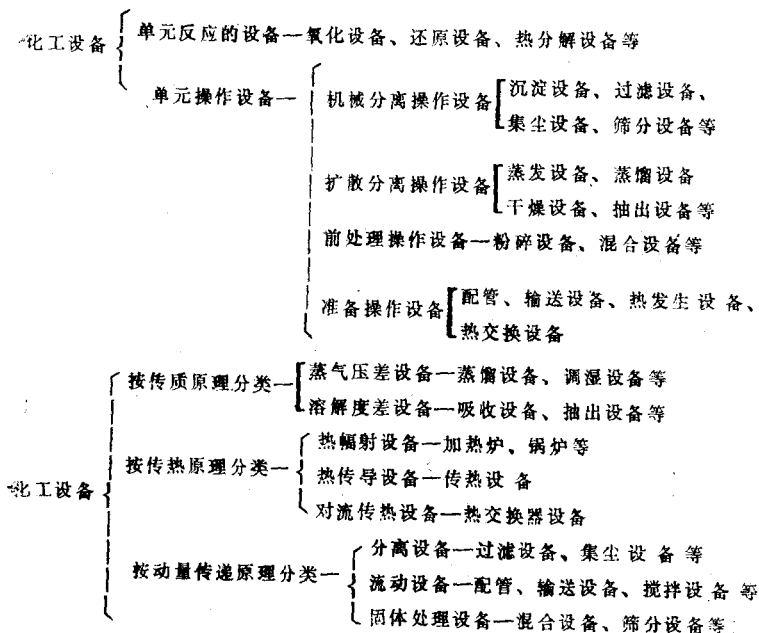
第1章 化工设备设计

1.1 化工设备的分类

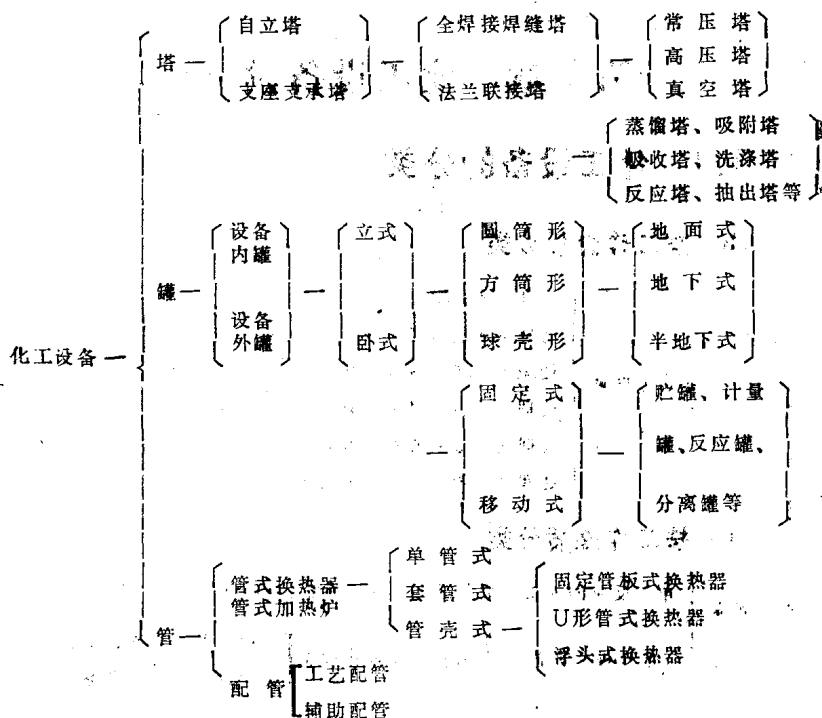
(a) 按工作介质分类



(b) 按工作性质分类



(c) 按形状分类



1.2 化工设备设计步骤

构成化工设备的机器，如粉碎机、离心分离机、吸尘机、过滤器、输送机、压缩机、鼓风机、泵、电动机等均有专门制造厂制造的标准产品，供特定的化工厂选用。这在作者前著《贮罐的设计》^[14]一书中曾叙述过，故不再赘述。

塔、罐、管式换热器等主体化工设备，多半是为特定化工厂设计的，设计制造的专用产品能作为通用产品的极少。在这些专用产品完成了产品设计说明书并选定形式以后，要自行绘制设计图，而后将设计说明书及设计图提交生产厂家委托加工制造。

化工设备中专用产品的设计步骤如下：

- 1) 明确操作目的(为什么用,要求达到什么程度);
- 2) 根据相应的操作目的,选定单元反应或单元操作,并确定所需的装置、设备及机器的形式;
- 3) 在整个工厂设备中,确定有关装置设备的安装位置及作用;
- 4) 工艺调查;
- 5) 选定最经济的形式;
- 6) 按目的设计(符合目的要求是设计设备的一贯原则);
- 7) 工艺设计(根据物料平衡、热平衡,通过工艺设计决定设备的主要尺寸);
- 8) 结构设计(结构的组成及所需空间位置);
- 9) 生产设计(决定容量、成形方式并采用标准尺寸);
- 10) 保全设计(安全性、操作性、耐久性);
- 11) 材料设计(考虑原材料费、加工费、保全费之后选定适当的材料);
- 12) 强度设计;
- 13) 经济设计,预算。

1.3 工厂设备总体设计步骤^[14]

如 1.23) 所述,在化工设备设计中,必须确定有关设备在整个工厂设备中的位置和作用,从这个意义出发,有必要概述一下工厂的总体设计步骤。

(1) 初步设计

- | | |
|---------|---|
| 1. 全面调查 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 市场调查(产品的性能、价格、需求); 2. 技术调查(制造技术、专利、规范、产量); 3. 企业计划(作出损益分析图表,即利润图表、许用成本); |
|---------|---|

4. 选定工厂建设地点 (选定厂址、原料运入, 产品运出)。
2. 选定工艺 — {
 1. 制订初步工艺流程图;
 2. 装置、设备型式的选定;
 3. 绘制工厂总平面图。

(2) 基本设计 (工艺设计)

1. 制订工艺流程图 — {
 1. 装置的说明书和草图;
 2. 在重要操作处记入压力、温度、流量。
 2. 绘制工厂总布置图 — {
 1. 机器的间距、基础;
 2. 原料运入、产品运出;
 3. 总体调整。
- (主视图和俯视图, 立体图, 立体模型)

(3) 详细设计 (工厂设计)

1. 工艺流程图的绘制 (配管测量仪表图);
2. 绘制生产进度图 (工程图);
3. 装置、设备的详细设计 (工厂设计的中心环节);
4. 材料的选定和供给;
5. 框架、支座、基础的设计;
6. 配管设计;
7. 测量仪表设计;
8. 辅助设计;
9. 建筑物设计;
10. 施工与安装;
11. 试运转、正式运转;
12. 附属设备设计。

1.4 化工设备的强度设计^[14]

1.4.1 化工设备强度设计的基本原则

首先要明确化工设备的强度设计在工厂总体设计步骤 1.3 及在化工设备设计步骤 1.2 中所占据的位置。

- 1) 有无规范;

- 2) 确定载荷条件;
- 3) 推算应力;
- 4) 确定设计温度;
- 5) 推断腐蚀性环境;
- 6) 选择使用材料;
- 7) 应力集中、疲劳、冲击、热应力;
- 8) 破坏时的危险性;
- 9) 确定许用应力。

1.4.2 压力容器的规范和标准

作为规范,有日本劳动省的锅炉及压力容器安全规程、锅炉结构标准、第一种压力容器结构标准、第二种压力容器结构标准。此外还有日本通产省的高压气体管理法、发电用锅炉技术标准、原子能发电技术标准及日本自治省的消防法中有关危险物品的规定等。

《JISB8243—1977压力容器的结构》是日本压力容器的国家标准。这一标准是按力求与世界各国的压力容器标准相容,并适合日本国情而制定的。

作为换热器的标准,除上述压力容器的规范外,还有日本石油学会的 JPI7S—33—71《管壳式换热器的结构》,JISB8249—一般化学工业用管壳式换热器,美国换热器制造专业者协会(Tubular Exchanger Manufacturers Association)的标准。

(a) 第一种压力容器

盛有蒸气等热介质或者是为发生蒸气而加热固体或液体,在容器内由于发生反应而产生蒸气,以及因加热容器内的液体而产生蒸气或蓄存有饱和水等等,凡是具备这些条件的容器,容器内的压力往往超过大气压。这种含有超过大气压下沸点的高温介质的压力容器,被规定为第一种压力容器。这种压力容器破坏时,伴随着饱和液的急速气化膨胀,所以这类容器潜伏着破裂的危险。