

化学工程 卷VI

SI单位

化工设计导论

[英] J.M. 柯尔森 J.F. 李嘉森 著

化学工业出版社

81.17
395
6:2

化 学 工 程

卷 VI SI单位

〔英〕 J.M.柯尔森 J.F.李嘉森

化 工 设 计 导 论

〔英〕 R.K.辛诺特 著

李全熙 虞廷华

译

盛若瑜 李世玉

31210/16

化 学 工 业 出 版 社

本书是一部关于化工设计的专著。内容包括了化工厂设计的各主要方面,如设计的前期工作、设计数据的推算、物料平衡、能量平衡、流程图和管道仪表流程图的编制、设备选择及计算、工厂布置等;还论述了设计的组织工作以及应考虑的安全、经济等因素。内容比较实用、全面。可作为大专院校化工系高年级学生的学习参考书,对从事化工设计的化工和化工机械工程师尤有价值,也可供从事化工生产建设的工程技术人员或管理人员参考。

参加本书翻译工作的是北京石油化工工程公司的四位高级工程师。各章译者的姓名如后:第四、五、十二章,虞廷华;第十一章和第十章后半部分,盛若瑜;第七、十三章及第十章前半部分,李世玉;其余各章,李全熙。统一校译工作由李全熙承担。

CHEMICAL ENGINEERING

Volume six

J. M. Coulson and J. F. Richardson

An Introduction to Chemical Engineering Design

R. K. Sinnott

PERGAMON PRESS First Edition 1983

化 学 工 程

卷VI SI单位

化工设计导论

李全熙 虞廷华 译

盛若瑜 李世玉

责任编辑:李洪勋

封面设计:任 辉

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

开本787×1092¹/₃₂印张41⁷/₈插页1字数1,060千字

1989年6月第1版 1989年6月北京第1次印刷

印 数 1—2,720

ISBN 7-5025-0339-0/TQ·252

定 价 17.00元

著 者 序

本书主要是为学习化学工程课的大学生而编写，它与学生们的设计选修课关系尤为密切。对于毕业于其它专业而正从事化学或炼油等工业方面工作的人也有益处。写本书时，我运用了在Swansea大学教授设计课和在化工生产行业多年的工作经验。

关于设计的书大体有两类。有些是学院式的，大多是论述设计过程性质和方法的基本原理，实际用途一般不大；还有些是包括设计方法、资料和数据的手册，也多出自教师之手。而本书的目的是要求实用，其重点是提供有用的设计方法和技巧。很显然，要把化工生产工艺所需的全部设计技巧和方法在一本书中囊括详尽是不可能的。同样，这也不是任何一个著者的经验和专长所能包罗得全的。本书的作法是为工艺和设备的初步设计提供足够详细的说明，并提出权威性的书籍和参考文献作为补充。这些参考资料包含对有关专题更为透彻的讨论和相应的详尽设计方法。

对设计方法基本原理的阐述必然是扼要的。至于化学工程的科学原理和单元操作，则已在本丛书第一，二，三卷以及本卷所援引的参考文献中包括，读者可以参阅。

全书内容可以分为三组主题。第一至第九章和第十四章是工艺设计，还包括设计方法的简述、安全方面的考虑、价格计算、以及材料选择；第十、第十一及第十二章是设备的选择和设计；第十三章是化工厂的机械设计。

第一至第十二章可以作为工艺和设备设计的教材，对于已熟悉物料平衡和热量平衡计算的学生来说，第二章和第三章的第一部分可以省略；第十三章则可以使学化学工程的学生对设备设计的机械方面有所评价。

设计的技艺和实践不是从书本中可以学到的，把理论应用于实践所需的直感和判断只能来自实际经验。我相信本书能为走在这条大路上的读者提供一个谨慎的开始。

在结束这个序言的时候，我愿向我的那些朋友和同事们表示感谢。是他们的影响使我成为一个职业工程师并对本书有所贡献。

R. K. 辛诺特

(斯旺西大学化学工程系)

序

这套丛书的前几卷（第一、二、三卷）论述了化工工艺和操作的基本理论知识以及某些特定设备的功能。本卷对如何进行全面的工艺设计，并使之适应环境所作的阐述完善了这部丛书，同时扩大了这套丛书所论及的专题。本卷包括了编制流程图的材料、配管、机械结构、安全和估价。在基本理论知识方面，本卷主要借重于前几卷的有关讨论，为了使本卷的内容完整，而把前几卷中曾经描述过的某些设备进行了例证说明，但扩大了对蒸馏和换热器设计方面的论述。

本书主要为学习化学工程的大学生而编写，但是对从事工业工作的化学工程师（特别是研究工程项目设计的）和那些必须同化学、炼油等工业中出现的问题打交道的化学师和机械工程师也很有价值。

设计工程师必须利用取自来源不同、范围广泛的资料，也必须考虑很多相互抵触的要求——技术方面的、经济方面的、环境方面的。他必须在可能获得的时间内做出一个满意的兼顾的方案，同时必须牢记，所谓独一无二的、最佳的解决设计问题的方法是从来不曾有过的。此外，在某地是一部令人满意的设计，可是换到另外一个地方就可能完全不恰当。虽然要想通过一本书提出一套完整的设计准则是不可能的，但本卷试图使读者了解在同一设计中必须处理的、差别悬殊的很多因素。本卷仅提供了一个导论，但也提出了这个专题各个分支方面更为详细的情报资料来源。

J. M. 柯尔森

J. F. 李嘉森

致 谢

取自英国标准的资料是经英国标准学会（British Standards Institute）的允许而复制的。该学会在伦敦W1A 2BS花园街2号，可以通过该会得到全部的标准复印件。

目 录

第一章 设计导论	1
1.1 引言	1
1.2 设计的性质	1
1.2.1 设计的目标 (需要)	2
1.2.2 数据收集	2
1.2.3 产生有可能性的设计答案	2
1.2.4 选择	3
1.3 对化工生产过程的剖析	4
1.4 化工设计项目的组织	5
1.5 工程项目的文件	6
1.6 规范与标准	8
1.7 安全系数 (设计因数)	9
1.8 单位制	9
1.9 自由度和设计变量·设计问题的数学表达法	10
1.9.1 信息流和设计变量	10
1.9.2 设计变量的选择	13
1.9.3 信息流和设计问题的结构	13
1.10 优化	16
1.10.1 总程序	16
1.10.2 简单模型	17
1.10.3 多变问题	17
1.10.4 线性规划	18
1.10.5 动态规划	18
1.10.6 间歇式与半连续工艺过程的优化	18
1.11 参考文献	19
1.12 符号说明	20
第二章 物料平衡基本原理	21
2.1 引言	21
2.2 质量与能量的相当性	21
2.3 质量守恒	21
2.4 表示组成的单位	22
2.5 化学计算	23
2.6 系统边界的选择	23
2.7 计算基准的选择	25
2.8 独立组分的个数	26
2.9 流量和组成的约束因素	26

2.10 一般代数法	27
2.11 连结组分	28
2.12 过量反应物	30
2.13 转化率和收率	30
2.14 循环工艺过程	33
2.15 排放	35
2.16 旁路	36
2.17 不稳定状态的计算	36
2.18 处理物料平衡问题的一般步骤	38
2.19 参考文献 (进一步的读物)	38
2.20 符号说明	39
第三章 能量平衡的基本原理	40
3.1 引言	40
3.2 能量守恒	40
3.3 能量的形态 (每单位物质的物料)	40
3.3.1 势能	40
3.3.2 动能	40
3.3.3 内能	41
3.3.4 功	41
3.3.5 热	41
3.3.6 电能	41
3.4 能量平衡	41
3.5 比焓的计算	44
3.6 平均热容	45
3.7 压力对热容的影响	46
3.8 混合物的热焓	48
3.8.1 积分溶解热	48
3.9 热焓-浓度图	50
3.10 反应热	50
3.10.1 压力对反应热的影响	51
3.11 标准生成热	53
3.12 燃烧热	54
3.13 气体的压缩和膨胀	55
3.13.1 Mollier图	55
3.13.2 多变压缩和膨胀	57
3.13.3 电驱动设备	61
3.14 简单能量平衡程序	62

3.15 不稳定状态能量平衡	65	5.5 管道系统的机械设计	122
3.16 能量回收	66	5.5.1 壁厚:管子表号	122
3.16.1 热交换	67	5.5.2 管架	122
3.16.2 热交换器网络	67	5.5.3 管件	122
3.16.3 废热锅炉	67	5.5.4 管道应力	123
3.16.4 高温反应器	68	5.6 管道尺寸的选择	123
3.16.5 低品位燃料	69	5.7 控制和仪表	130
3.16.6 高压工艺物流	71	5.7.1 仪表	130
3.17 参考文献	73	5.7.2 仪表和控制目标	131
3.18 符号说明	73	5.7.3 自动控制方案	131
第四章 流程图的编制	76	5.8 典型的控制系统	132
4.1 引言	76	5.8.1 液面控制	132
4.2 流程图的表示方法	76	5.8.2 压力控制	132
4.2.1 方块流程图	76	5.8.3 流量控制	133
4.2.2 图例	76	5.8.4 换热器	133
4.2.3 物流流量的表示	77	5.8.5 串级控制	134
4.2.4 图中应包括的资料	77	5.8.6 比例控制	134
4.2.5 流程图的布置	79	5.8.7 蒸馏塔的控制	134
4.2.6 数据的精确度	79	5.8.8 反应器的控制	135
4.2.7 计算的基础	80	5.9 报警、安全自动断开和联锁	137
4.2.8 间歇式工艺过程	80	5.10 参考文献	138
4.2.9 公用工程	80	5.11 符号说明	138
4.2.10 设备的标识	80	第六章 估价与工程项目评价	140
4.3 流程图的手工计算	80	6.1 引言	140
4.3.1 流程计算的基准	81	6.2 投资估算的准确度与目的	140
4.3.2 单个设备的流程图计算	81	6.3 固定投资与流动资金	140
4.4 计算机辅助编制流程图	102	6.4 价格的上升(通货膨胀)	141
4.5 全稳态的模拟程序	102	6.5 快速投资估算法	143
4.5.1 信息流程图	103	6.6 因子法估价	145
4.6 简单的物料平衡程序	104	6.6.1 Lang氏因子	145
4.6.1 简单物料平衡程序的开发	104	6.6.2 详细因子估价	145
4.6.2 例证	106	6.7 购买设备的估价	147
4.6.3 估算分流分率系数的导则	111	6.8 因子法摘要	151
4.6.4 MASSBAL, 质量平衡程序	112	6.9 操作费用(Operating Cost)	151
4.7 参考文献	114	6.9.1 操作费用的估算	152
4.8 符号说明	114	6.10 工程项目的经济评价	158
第五章 管道及仪表流程图	116	6.10.1 现金流量和现金流量图	158
5.1 引言	116	6.10.2 税金和折旧	159
5.2 P&I图	116	6.10.3 折现现金流量(货币的时值)	159
5.2.1 符号与布置	116	6.10.4 回收率的计算	159
5.2.2 基本符号	116	6.10.5 折现现金流量的回收率	
5.3 阀的选择	117	(DCFRR)	160
5.4 泵	120	6.10.6 偿还期	160

6.10.7 考虑通货膨胀	160	7.9.4 玻璃钢(GRP)	179
6.10.8 敏感性分析	161	7.9.5 橡胶	179
6.10.9 摘要	161	7.10 陶瓷材料(硅酸盐材料)	179
6.11 参考文献	164	7.10.1 玻璃	180
6.12 符号说明	164	7.10.2 陶瓷	180
第七章 结构材料	166	7.10.3 耐酸砖	180
7.1 引言	166	7.10.4 耐火材料(耐热材料)	180
7.2 材料性能	166	7.11 石墨	180
7.3 机械性能	167	7.12 保护涂层	181
7.3.1 拉伸强度	167	7.13 耐腐蚀结构设计	181
7.3.2 刚性	167	7.14 参考文献	181
7.3.3 韧性	167	7.15 符号说明	184
7.3.4 硬度	168	第八章 设计资料和数据	185
7.3.5 疲劳	168	8.1 引言	185
7.3.6 蠕变	168	8.2 生产工艺资料的来源	185
7.3.7 温度对机械性能的影响	168	8.3 物性的一般来源	186
7.4 耐腐蚀性	168	8.4 工程数据需要的准确性	186
7.4.1 均匀腐蚀	169	8.5 物性的推算	187
7.4.2 电化腐蚀	170	8.6 密度	188
7.4.3 点蚀	171	8.6.1 液体	188
7.4.4 晶间腐蚀	171	8.6.2 气体和蒸气的密度(比容)	189
7.4.5 应力的影响	171	8.7 粘度	189
7.4.6 磨蚀-腐蚀	172	8.7.1 液体	189
7.4.7 高温氧化	172	8.7.2 气体	192
7.4.8 氢脆	172	8.8 导热率	192
7.5 耐腐蚀性能的选择	172	8.8.1 固体	192
7.6 材料价格	173	8.8.2 液体	192
7.7 污染	174	8.8.3 气体	193
7.8 通常使用的结构材料	174	8.8.4 混合物	193
7.8.1 钢铁	174	8.9 比热	194
7.8.2 不锈钢	175	8.9.1 固体和液体	194
7.8.3 镍	177	8.9.2 气体	196
7.8.4 蒙乃尔合金(Monel)	177	8.10 气化热焓(潜热)	197
7.8.5 因康镍(Inconel)	177	8.10.1 混合物	200
7.8.6 海氏合金(Hastelloy)	177	8.11 蒸气压	201
7.8.7 铜及铜合金	177	8.12 扩散系数	201
7.8.8 铝及铝合金	177	8.12.1 气体	201
7.8.9 铅	177	8.12.2 液体	203
7.8.10 钛	177	8.13 表面张力	204
7.8.11 钽	178	8.13.1 混合物	205
7.9 作为建造化工装置的材料——塑料	178	8.14 临界常数	206
7.9.1 聚氯乙烯(PVC)	178	8.15 反应热焓和生成热焓	208
7.9.2 聚烯烃	179	8.16 相平衡数据	208
7.9.3 聚四氟乙烯(PTFE)	179	8.16.1 汽-液平衡数据(vle)	208

8.16.2 液相活度系数的关联	210	10.3.6 分选离心机	248
8.16.3 汽-液平衡的推算	211	10.3.7 浓稠介质分离器(浮沉法)	248
8.16.4 烃类的 K 值	213	10.3.8 浮选分离器(泡沫浮选)	248
8.16.5 高压下的汽-液平衡	214	10.3.9 磁选机	249
8.16.6 液-液平衡	214	10.3.10 静电分离器	249
8.16.7 气体溶解度	214	10.4 液-固(固-液)分离器	249
8.17 参考文献	214	10.4.1 增稠器和澄清器	250
8.18 符号说明	216	10.4.2 过滤	250
第九章 安全和预防损失	218	10.4.3 离心机	254
9.1 引言	218	10.4.4 旋液分离器(液体旋流器)	259
9.2 本质和非本质安全	218	10.4.5 压榨(挤出)	262
9.3 危险	219	10.4.6 固体干燥	262
9.3.1 毒性	219	10.5 溶解固体的分离	267
9.3.2 可燃性	220	10.5.1 蒸发器	268
9.3.3 爆炸	221	10.5.2 结晶器	270
9.3.4 燃烧源	221	10.6 液-液分离	272
9.3.5 离子辐射	222	10.6.1 倾析器(澄清器)	272
9.3.6 压力	222	10.6.2 板式分离器	275
9.3.7 温度偏差	223	10.6.3 聚结器	276
9.3.8 噪声	223	10.6.4 离心分离机	276
9.4 “Dow”火灾和爆炸指数	224	10.7 溶解液体的分离	276
9.4.1 “Dow”火灾和爆炸指数的 计算	224	10.7.1 溶剂萃取(液-液萃取)	276
9.4.2 防护措施(P&P)的选择	227	10.8 气-固分离(气体净化)	277
9.4.3 Mond-Dow 指数	230	10.8.1 重力沉降(沉降槽)	278
9.4.4 小结	230	10.8.2 撞击式分离器	278
9.5 危险性和可操作性研究	232	10.8.3 离心分离器(旋风分离器)	278
9.5.1 基本原则	232	10.8.4 过滤器	284
9.5.2 引导字码的解释	233	10.8.5 湿式洗涤器(洗涤)	284
9.5.3 步骤	234	10.8.6 静电除尘器	285
9.6 危险性分析	237	10.9 气-液分离器	285
9.7 可以接受的风险和安全优先	238	10.10 破碎与研磨设备	287
9.8 安全核查表	239	10.11 混合设备	289
9.9 参考文献	241	10.11.1 气体混合	289
9.10 符号说明	243	10.11.2 液体混合	289
第十章 设备选择、规格要求和设计	244	10.11.3 固体和膏状物	293
10.1 引言	244	10.12 物料的输送与贮存	294
10.2 分离过程	244	10.12.1 气体	295
10.3 固-固分离	245	10.12.2 液体	297
10.3.1 筛分	245	10.12.3 固体	297
10.3.2 液-固旋流器	247	10.13 反应器	299
10.3.3 水力分离器和筛子(分选器)	247	10.13.1 主要类型的反应器	299
10.3.4 水力淘选筛	247	10.13.2 设计步骤	301
10.3.5 淘选台	248	10.14 参考文献	302
		10.15 符号说明	304

第十一章 分离塔(蒸馏与吸收) 306

11.1 引言.....	306
11.2 连续蒸馏的过程说明.....	306
11.2.1 关于回流方面的考虑.....	307
11.2.2 进料点位置.....	308
11.2.3 塔压选择.....	308
11.3 连续蒸馏的基本原理.....	308
11.3.1 平衡级方程.....	308
11.3.2 露点和泡点.....	309
11.3.3 平衡闪蒸的计算.....	309
11.4 蒸馏中的设计变量.....	311
11.5 二元系统的设计方法.....	312
11.5.1 基本方程.....	313
11.5.2 McCabe-Thiele法.....	314
11.5.3 低浓度产品.....	316
11.5.4 Smoker方程.....	319
11.6 多组分蒸馏的一般原理.....	323
11.6.1 关键组分.....	323
11.6.2 塔数.....	324
11.7 多组分蒸馏、板数和回流比的简 捷算法.....	324
11.7.1 虚拟二元系统.....	324
11.7.2 Smith-Brinkley法.....	327
11.7.3 经验关联法.....	328
11.7.4 非关键组分的分配(作图法)...	331
11.8 多组分系统的严格解法(电算法)...	344
11.8.1 Lewis-Matheson 法.....	345
11.8.2 Thiele-Geddes 法.....	345
11.8.3 松弛法.....	346
11.8.4 线性代数法.....	346
11.9 间歇蒸馏.....	346
11.10 塔板效率.....	346
11.10.1 塔板效率的推算.....	347
11.10.2 O'Connell关联法.....	348
11.10.3 Van Winkle关联法.....	350
11.10.4 AIChE法.....	350
11.10.5 雾沫夹带.....	353
11.11 近似选定塔的尺寸.....	353
11.12 板式塔.....	354
11.12.1 板型选择.....	356
11.12.2 塔板结构.....	356
11.13 塔板流体力学计算.....	359
11.13.1 塔板设计步骤.....	359
11.13.2 塔板面积.....	360

11.13.3 塔径.....	360
11.13.4 液流型式.....	362
11.13.5 雾沫夹带.....	362
11.13.6 泄漏点.....	362
11.13.7 堰上清液层高度.....	363
11.13.8 溢流堰的尺寸.....	364
11.13.9 开孔面积.....	364
11.13.10 孔径.....	365
11.13.11 孔间距.....	365
11.13.12 液面梯度.....	365
11.13.13 液体抛出距离.....	365
11.13.14 塔板压降.....	365
11.13.15 降液管设计[滞液(淹塔) 现象].....	367

11.14 填料塔.....	375
11.14.1 填料形式.....	377
11.14.2 填料(床)高度.....	379
11.14.3 传质单元高度的推算 (HTU).....	382
11.14.4 塔径(能力).....	385
11.14.5 塔的内件.....	391
11.14.6 润湿率.....	394
11.15 塔的附属设备.....	394
11.16 参考文献.....	394
11.17 符号说明.....	396

第十二章 传热设备 402

12.1 引言.....	402
12.2 基本的设计方法和理论.....	402
12.3 总传热系数.....	403
12.4 污垢系数.....	405
12.5 列管换热器的结构零件.....	407
12.5.1 换热器的标准和规范.....	408
12.5.2 管子.....	410
12.5.3 壳体.....	411
12.5.4 管板的布置(管子计数).....	412
12.5.5 壳体型式(程数).....	414
12.5.6 折流板.....	414
12.5.7 支承板和拉杆.....	415
12.5.8 管板.....	415
12.5.9 壳体与管箱的管口.....	416
12.5.10 流动引起的管子震动.....	416
12.6 平均温度差(温度推动力).....	416
12.7 列管换热器一般的设计考虑.....	420
12.7.1 流体流道的选择.....	420

12.7.2 壳程和管程的流体速度.....	420	13.1.1 压力容器的分类.....	491
12.7.3 物流的温度.....	421	13.2 压力容器规范和标准.....	492
12.7.4 压力降.....	421	13.3 基本原理和公式.....	492
12.7.5 流体的物性.....	421	13.3.1 主应力.....	492
12.8 管程传热系数和压力降(单相) ...	422	13.3.2 失效理论.....	493
12.8.1 传热.....	422	13.3.3 弹性稳定.....	493
12.8.2 管程压力降.....	425	13.3.4 回转壳体的薄膜应力.....	494
12.9 壳程传热和压力降(单相)	427	13.3.5 平板.....	498
12.9.1 流动状态.....	427	13.3.6 容器的胀大变形.....	500
12.9.2 设计方法.....	429	13.3.7 二次应力.....	501
12.9.3 Kern的方法	429	13.4 压力容器的设计总则.....	501
12.9.4 Bell的方法	436	13.4.1 设计压力.....	501
12.9.5 壳体和管束的几何尺寸.....	443	13.4.2 设计温度.....	502
12.9.6 污垢对压力降的影响.....	445	13.4.3 材料.....	502
12.9.7 压力降的限制.....	446	13.4.4 设计应力(公称设计强度).....	502
12.10 冷凝器	449	13.4.5 焊缝系数和结构分类.....	502
12.10.1 传热的基本原理	449	13.4.6 腐蚀裕度.....	503
12.10.2 水平管外冷凝	450	13.4.7 设计载荷.....	504
12.10.3 垂直管内、外的冷凝.....	450	13.4.8 实用的最小壁厚.....	504
12.10.4 水平管内冷凝	454	13.5 内压作用下的薄壁容器设计.....	504
12.10.5 蒸汽冷凝	454	13.5.1 圆筒和球壳.....	504
12.10.6 平均温度差	455	13.5.2 封头和顶盖.....	505
12.10.7 过热降温 and 过冷	455	13.5.3 平封头的设计.....	506
12.10.8 混合物的冷凝	456	13.5.4 凸形封头的设计.....	507
12.10.9 冷凝器中的压力降	458	13.5.5 圆锥形部分和端盖.....	508
12.11 再沸器和气化器	463	13.6 开孔和接管的补强.....	509
12.11.1 沸腾传热的基础	464	13.7 外压容器的设计.....	511
12.11.2 槽式沸腾	465	13.7.1 圆筒形壳体.....	511
12.11.3 对流沸腾	467	13.7.2 加强圈的设计.....	513
12.11.4 强制循环再沸器的设计	470	13.7.3 容器封头.....	514
12.11.5 热虹吸式再沸器的设计	471	13.8 承受组合载荷的容器设计.....	515
12.11.6 釜式再沸器的设计	474	13.8.1 重量载荷.....	518
12.12 板式换热器	478	13.8.2 风载荷(高耸容器).....	519
12.12.1 传热的设计	478	13.8.3 地震载荷.....	521
12.12.2 压力降	479	13.8.4 偏心载荷(高耸容器).....	521
12.13 直接接触式换热器	479	13.8.5 扭矩.....	522
12.14 翅片管	480	13.9 容器支座.....	524
12.15 套管换热器	481	13.9.1 鞍式支座.....	524
12.16 空气冷却器	481	13.9.2 裙式支座.....	528
12.17 火加热炉	481	13.9.3 悬挂式支座.....	533
12.18 参考文献	483	13.10 螺栓法兰连接	535
12.19 符号说明	485	13.10.1 法兰型式及其选择	535
第十三章 工艺设备的机械设计	491	13.10.2 垫片	536
13.1 引言.....	491	13.10.3 法兰接触面	538

13.10.4 法兰设计	538
13.10.5 标准法兰	541
13.11 换热器管板	542
13.12 焊接接头的设计	544
13.13 容器的疲劳估计	546
13.14 压力试验	546
13.15 高压容器	546
13.15.1 基本方程式	547
13.15.2 复合容器	549
13.15.3 自增强处理	550
13.16 液体贮罐	550
13.17 离心机的机械设计	551
13.17.1 离心压力	551
13.17.2 转鼓和主轴的运转, 临界转速	552
13.18 参考文献	554
13.19 符号说明	557
第十四章 厂址方面的一般考虑	563

14.1 引言	563
14.2 工厂位置与厂址的选择	563
14.3 厂址的布置	564
14.4 工厂的布置	566
14.4.1 用于厂址与工厂布置的技术	567
14.5 公用工程	567
14.5.1 含水废物处理	569
14.6 参考文献	570
附录 A 装置和配管系统图示符号按BS1553, 第1部分: 1976	571
附录 B 一个简单的流程图编制程序 <i>MASSBAL</i>	580
附录 C 腐蚀表	588
附录 D 物理性质数据库	609
附录 E 部分常用SI单位的换算系数	630
附录 F 标准法兰	633
附录 G 设计习题	639

第一章 设计导论

1.1 引言

本章介绍设计过程的性质和方法，以及它在化工生产工艺设计中的应用。

1.2 设计的性质

本节是设计过程的概述，它带有一些哲理性；本节也将讨论设计者如何进行工作。本书的主题是化工设计。但是本节所述的设计方法也同样可以应用于别的学科的工程设计。

设计是一种富有创造性的活动，而且也许是一个工程师所能从事的最值得和最令人满意的活动。它是把很多想法加以综合，以实现欲达之目的。设计并不是在一个工程项目一开始时就存在的。开始这一工作时，设计者在思想中就有一个特定的目标要求，经过编制和评价有可能性的设计，而获得他认为实现该目标的最好的办法，其成果或许是一把比较好的椅子，或许是一座新的桥梁，而对一个化学工程师来讲，则是一种新的化学产品或者是一个生产工艺设计的新阶段。

当设计者在思考达到目标的可能方法时，他要受很多因素的约束，这些因素会使有可能性的设计（possible designs）的数目变少。但是，对一个问题仅有一个可能答案的设计的情况是很罕见的。通常要达到目标可能有好几个方案，甚至可能有好几个最佳设计，这取决于约束因素的性质。

对设计问题的可能答案起约束作用的因素来自很多方面。有些约束是固定不变的，象物理定律、政府规定和标准；另外一些约束因素则不是那么硬性的，设计者能够去左右它，使它放宽一些，作为他寻求最佳设计的总体战略的一个部分。那些在设计者影响范围以外的约束因素可以称为外部约束的因素，这些约束因素决定了有可能性的设计的外层边界，如图1.1所示。在这个外层边界内有许多受到别的约束因素（内部约束因素）制约的似乎可取的设计

（Plausible designs）。内部约束因素是设计者能在一定程度上控制的，如工艺的选择，工艺条件、原料和设备的选择。

很显然，经济方面的考虑对任何工程设计都是一个主要的约束因素，那就是说工厂必须盈利。

时间也是约束因素，可以获得多少时间去完成一个设计常常限制了能够考虑的设计方案的数目。

从最初确定目标起到最终设计止，设计进行的阶段用图1.2示意。以下诸节中将对每一

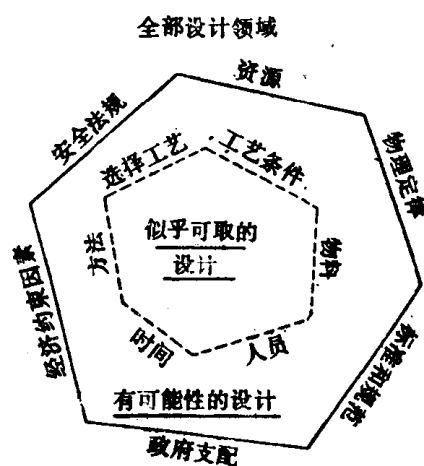


图 1.1 设计约束因素

—外部约束因素
—内部约束因素

阶段进行论述。

图 1.2说明设计是一个相互影响的程序。随着设计的进行,设计者将要知道更多的可能性和更多的约束因素,并要不断地寻求新的数据和新的想法,以及评价有可能性的设计的答案。

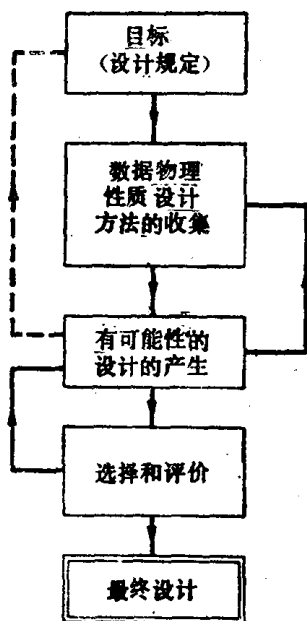


图 1.2 设计过程

1.2.1 设计的目标 (需要)

Chaddock在1975年对设计下定义为:设计是把不明确的要求转变成一个满意的顾客。

设计者创制一个设备设计、或者一项生产过程的设计,都是为了满足一个特定的要求。而在进行化学工艺设计时,这个要求就是销售和市场机构所预测的公众对化学品的需要和商业上的机会。在这个总目标内,设计者还要认识到他的分段目标,和组成整个工艺过程所需要的各个单元。

在进行这一工作前,设计者得到的是需求声明,它应当是尽可能完整和毫不含糊的。假如这个需求(需要)是来自设计组外,来自客户或另外一个部门,那么他必须通过探讨来明确真正的需求。区别真正的需要和愿望是很重要的。所谓愿望就是最初的规定中某些被认为是

是最合意的部分,但随着设计的进行,根据需要把它加以放松。例如,销售部门可能认为最好是生产一种特殊规格的产品,但要生产出这种规格很困难,而且价格高昂,同时有可能把这个规格稍加放松,生产出既好销售、价格又便宜的产品。假如设计者处于这种位置,他就应该对设计的要求(设计项目和设备规格)提出问题,并且在设计进行过程中加以审查。

当设计者向他人提出规格的时候,比如向机械设计或向设备采购者提出规格的时候,他应该知道这是在对另外的设计者施加着约束。一个严密的、经过周密思考的、多方面的规格要求对另外设计者来说是一个外部的约束因素,他们必需在这个外部约束范围内工作。

1.2.2 数据收集

在进行设计的时候,设计者必须首先收集所有有关事实和所需数据。对于工艺设计来说,必须收集包括可能的工艺流程设计资料,设备的特性和物理性质数据。这个阶段可能是设计方面最化时间的和易受到阻碍的一个阶段。关于工艺设计资料和物理性质的来源,在第八章中有所论述。

有很多设计机构准备了基本数据手册,它包括了据以进行设计的全部工艺技术诀窍。大多数机构有设计手册,这些手册包括了常用的设计步骤、所需的方法和数据。

国家的标准也是设计方法和数据的来源,也是设计的约束因素。

这些约束因素,尤其是外部的约束因素,应当在设计过程的前期就加以明确。

1.2.3 产生有可能性的设计答案

设计过程的创造性部分就是产生对问题的可能答案(即满足目标要求的方法)以便进行分析、评价和选择。在这项活动中设计者主要依靠他自己和别人的以往经验。一个设计不太可能是全新的。通常,有很多设计的先例可以依据。很显然,头一辆汽车是一辆不用马拉的

马车, 汽车的设计和发展的在这些原形汽车的基础上逐步改革而来。在化学工业方面, 现代的蒸馏过程是从古老的酒精的蒸馏釜发展而来的; 而现在用作气体吸收的填料塔也是从最原始的填装木块的塔发展成功的。所以, 通常一个工艺设计师所面对的任务并不是去做出一个全新的工艺或一个全新的设备设计。

一个有经验的工程师能聪明地选择经过考验的方法, 而非更使人兴奋的、但未经试验的全新设计。发展新工艺所需要化费的工作和代价常常是被低估了。取得较小的进步较有把握。然而在需要革新时, 仅靠老经验, 再加上偏见就会阻碍产生和接受新的概念, 犯了这样的通病: “这儿还没听说过哪”!

工作量和处理工作的方法, 取决于设计项目技术新旧的程度。

根据技术的新旧程度, 化工设计项目可以分为三类:

1. 对于老装置的修改和增加, 这个工作通常是由工厂的设计组承担。
2. 为了满足销售增长的需要, 要求新的生产规模, 以及工程公司对已经成熟的工艺的销售。这种情况下, 是对已有设计的重复使用, 而仅稍加变更。
3. 通过试验研究, 中间试验, 达到工业化的新工艺。即使在这种情况下, 多数的单元操作和工艺设备也属于成熟的设计。

进行新工艺设计的第一步是画出一个初步的, 表示工艺流程主要阶段的方块流程图; 并且列出主要作用(目标)和每个阶段的主要约束因素。通过经验能够知道应当采取什么样的单元操作和什么样的设备。Jones于1970年曾经论述了设计的方法, 并评论了一些专用的技巧, 如已发展成有助于解决难处理问题的妙法或窍门。

Polya 1957年的关于解决问题的技巧的经典著作是一部很好的参考书。

产生设计问题的可能答案与设计过程的阶段选择是分不开的。随着对于问题的进一步考虑, 有些想法将被认为不现实而被摒弃。

1.2.4 选择

设计者开始工作时, 先研究受外部约束因素限制的所有可能方案, 经过逐步评价和选择, 不断缩小候选方案的范围, 最后获得达到目的的“最佳”设计。

选择的过程可以通过以下阶段来考虑。

有可能性的设计(可信的)——在外部约束因素范围之内;

似乎可取的设计(可行的)——在内部约束因素范围之内;

可能实现的设计——可能候选的设计;

最佳设计(最优化的)——被判断为问题的最佳答案。

随着设计从“有可能性的”领域发展到“可能实现”的领域, 选择的过程也愈加具体和精细。在选择初期, 依据常识、工程知识和比较粗的价格估算进行粗略筛选, 已经足够。例如, 为了生产合成氨, 要从譬如木材、泥煤、煤炭、天然气和油等候选原料中加以筛选, 不需几分钟就能把范围缩小, 选出天然气和油。但要在油和天然气二者之中选择一种, 则需要详尽得多的研究。要在可能实现的设计中选出最佳设计, 则通常需要作详细的设计工作和估价工作。然而, 如果完成候选设计所耗用的时间和金钱, 可能与进一步做细致工作的耗费很接近, 则或许是不值得作的, 特别是由于在估价的准确性方面经常有某些出入。

关于借助已经发展的数学技巧来使设计和工厂运行优化的问题, 在第1.10节中有所讨论。

Rudd和Watson于1968年, Well于1973年论述了多方案初步筛选的正规方法。

1.3 对化工生产过程的剖析

图 1.3 所示是一个典型化工工艺过程的基本组成部分，图中每个方块代表从原料到产品的整个过程中的一个阶段。图 1.3 所表示的是一个概括化的工艺过程，对于某一具体工艺来说，并不是图中所有的阶段都需要，而每一阶段的复杂性也取决于工艺的特点。化学工程设计就是考虑如何选择和安排这些阶段，以及对所需设备进行选择、定规格和设计以完成每一阶段的功能。

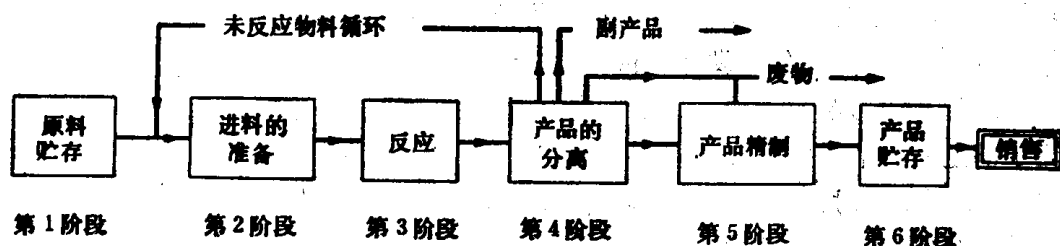


图 1.3 化工工艺过程的剖析

第一阶段 原料贮存

除非原料是从相邻工厂以中间产品的形式送来外，总是要准备将原料贮存几天或几周的，其目的是利用贮存以缓冲供应的波动或中断。甚至即使原料是来自附近工厂，通常也要准备贮存几小时，甚至几天，借以使供应和生产相适应。需要什么样的贮存将取决于原料的性质、输送的方法，以及对连续供应的保证的程度。如果原料采用船运方式（用槽船或散装船），需要数周的贮存容量，而用铁路或公路陆运时，运输批量小一些，则所需贮存容量可以少一些。

第二阶段 进料的准备

由于原料还不够纯净或形状还不合乎需要，为了向反应阶段进料，通常需要先进行提纯或整理。比如，用电石生产的乙炔含有砷、硫等化合物及别的杂质，应该经过浓硫酸（或其它工艺）洗涤以去除之，达到足够的纯度，然后与盐酸反应以生产二氯乙烷。如果是气相反应，则液体原料必须先经过气化，而固体原料则可能要经过破碎、磨细及筛分。

第三阶段 反应

反应是化工生产过程的心脏。把原料放入反应器中使处在有利于生产欲获产品的条件下，也不免生成一些副产品或不希望获得的化合物（杂质）。

第四阶段 产品的分离

在反应之后的这个阶段中，要把产品和副产品与未反应的物质加以分离。如果未反应物的数量可观，则将其循环送回反应器。可以直接送回反应器，也可以送至进料提纯和整理阶段。副产品也可以在这个阶段中与产品分离。

第五阶段 精制

主要产品一般必需经过精制，使之达到产品规格，然后销售。如果所得副产品的数量具有经济意义，则也可以加以精制后出售。

第六阶段 产品贮存

必须保持最终产品的贮量以使生产和销售相互配合。根据产品的性质不同，也需要有产

品包装和运输的设施。液体的运送一般用桶或散装槽类（如汽车槽车、火车槽车或槽船），固体则用袋装，硬纸板盒或包捆。

贮存量取决于产品的性质和市场情况。

其它附属过程

除图 1.3所示的主要的工艺过程阶段之外，也要具备所需的公用工程条件。比如工艺用水、冷却水、压缩空气、蒸汽。还要有生产维护设施、消防设施、办公室和居住房屋，以及化验室。参见第十四章。

1.4 化工设计项目的组织

化工生产工艺设计的设计工作可以分为两大阶段。

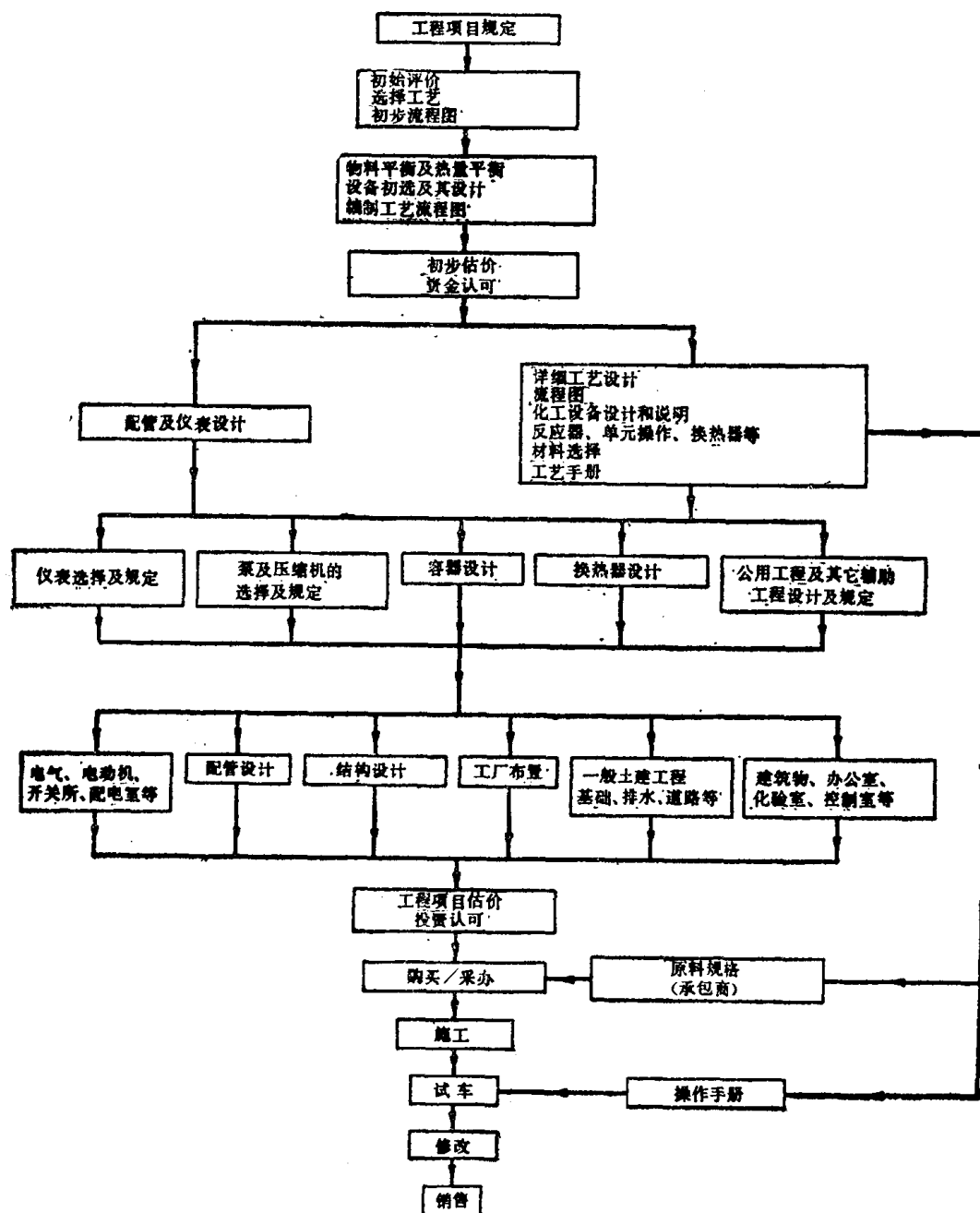


图 1.4 化工设计项目的结构