

化工厂工艺系统设计指南

汪寿建 编著

化学工业出版社

79.5184

241

化工厂工艺系统设计指南

汪寿建 编著

3620664

化学工业出版社

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工厂工艺系统设计指南/汪寿建编著. —北京: 化学工业出版社, 1996. 3

ISBN 7-5025-1618-2

I. 化… II. 汪… III. 化工厂-工艺-设计-指南 IV. TQ 08-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 18941 号

出版发行: 化学工业出版社 (北京市朝阳区惠新里 3 号)

社长: 俸培宗 总编辑: 蔡剑秋

经 销: 新华书店北京发行所

印 刷: 北京市通县京华印刷厂

装 订: 北京市通县京华装订厂

版 次: 1996 年 3 月第 1 版

印 次: 1996 年 3 月第 1 次印刷

开 本: 850×1168 $\frac{1}{32}$

印 张: 13 $\frac{1}{4}$

插 页: 1

字 数: 361 千字

印 数: 1—4000

定 价: 22.00 元

前 言

工艺系统专业设计作为设计程序中的一个重要组成部分,随着国外先进设计方法的引进、消化吸收,已在国内化工厂设计中得到广泛应用。为适应现代化化工厂的顺利建成及投产,确保化工单元操作处于优化状态,降低装置投资及长期生产运行费用,节能降耗,工艺系统专业设计将起到十分重要的作用。

本书是在上述背景下,根据作者参加大、中型工程设计的体会,参照化工工艺系统设计手册规定的原则,阐述了工艺系统设计原理,以及运用这些原理进行的工艺系统计算及设计。有一定的实用性。

本书在编写过程中得到中国五环化学工程总公司(原化工部第四设计院)慕国蔚总工程师、殷鹤亭高级工程师的指导和审阅,并提出了宝贵意见。此外还得到其他有关同志的帮助和支持,在此一并致谢。

作者

1994年10月·武汉

43515

目 录

第 1 章 工艺系统设计概况	1
1.1. 概述	1
1.2. 工艺系统设计范围、阶段及程序	1
1.2.1. 设计范围	1
1.2.2. 工程设计阶段	2
1.2.2.1. 工程基础设计阶段	2
1.2.2.2. 工程详细设计阶段	3
表 1-1 设计阶段划分表	3
1.2.3. 设计程序	4
1.2.3.1. 工程基础设计程序	4
图 1-1 工艺系统专业工程设计阶段工作程序方框图(见插页)	
1.2.3.2. 工程详细设计程序	5
1.3. 工艺系统计算种类及数据汇总表	6
1.3.1. 工艺系统计算种类	6
1.3.1.1. 管道水力计算	6
1.3.1.2. 泵和压缩机压差、泵的 NPSH 计算	6
1.3.1.3. 设备设计压力确定	7
1.3.1.4. 管道流量控制元件尺寸计算	7
1.3.1.5. 管道安全控制元件尺寸计算	7
1.3.2. 工艺系统主要计算参数数据表	7
表 1-2 计算数据汇总表一览表	7
表 1-3 管道命名表索引	9
表 1-4 管道壁厚计算表	10
表 1-5 管道计算表	12
表 1-6 压缩机数据表	13
表 1-7 泵数据汇总表	14
表 1-8 泵计算表	15

表 1-9	设备保温汇总表	19
表 1-10	爆破板计算表	19
表 1-11	爆破板采购数据表	20
表 1-12	限流孔板计算表	20
表 1-13	限流孔板汇总表	21
表 1-14	安全阀采购数据表	21
表 1-15	电动阀和活塞式操作阀数据表	22
表 1-16	疏水器采购数据表	23
表 1-17	特殊管件数据表之一	23
表 1-18	特殊管件数据表之二	24
表 1-19	设备标高和泵的 NPSH 表	25
表 1-20	容器接管汇总表(工业炉)	25
表 1-21	换热器接管汇总表	26
第 2 章	工艺系统水力计算原理及常用公式	27
2.1.	流体运动概述	27
2.2.	稳定流动与断面平均流速	27
2.2.1.	稳定流动	27
	图 2-1 均匀流示意图	28
	图 2-2 非均匀流示意图	28
2.2.2.	断面平均流速	28
2.3.	质量守恒定律	29
	图 2-3 管道质量流量计算示意图	29
2.4.	连续性方程	30
2.4.1.	不可压缩流体连续性方程	30
	图 2-4 任意管道截面推导连续性方程示意图	30
2.4.2.	可压缩流体连续性方程	31
	图 2-5 连续性方程计算示意图	32
2.5.	一元流动运动方程	32
2.5.1.	基本概念	32
2.5.2.	运动方程的推导	33
	图 2-6 微元流管受力分析示意图	33
2.6.	一元流动百努利方程	35
2.6.1.	不可压缩流体百努利方程	35

图 2-7 理想流体 $H-I-Z$ 相互关联示意图	36
图 2-8 计算示意图	37
2.6.2. 理想气体等温过程百努利方程	38
2.6.3. 理想气体绝热过程百努利方程	39
2.7. 实际流体百努利方程	40
图 2-9 实际流体能位损失曲线示意图	41
2.8. 百努利方程的几种简化计算公式	42
2.8.1. 不可压缩实际流体百努利方程式	42
2.8.2. 可压缩实际流体等温过程百努利方程式	43
2.8.3. 可压缩实际流体绝热过程百努利方程式	44
2.9. 经济管径	44
2.9.1. 管径的一般表示方法	44
表 2-1 白铁管与黑铁管规格	44
表 2-2 热拔无缝钢管规格	45
表 2-3 高压管道规格	45
2.9.2. 管径与管道动力消耗	46
图 2-10 管径与管道动力消耗曲线	47
2.9.3. 管径与一次投资费用	47
表 2-4 部分管道单位长度重量	47
表 2-5 管径 d 与管道单价 W_1 表	47
图 2-11 管径与管道单价曲线图	48
2.9.4. 经济管径	48
图 2-12 管道尺寸与总成本关系曲线	48
2.10. 许用压力降	50
2.10.1. 管道工作压力降	50
图 2-13 水泵取水压力降示意图	50
2.10.2. 管道许用压力降	51
2.10.3. 许用压力降的选取	54
表 2-6 两相流许用压力降	54
表 2-7 某些蒸汽许用压力降	54
表 2-8 某些气体许用压力降	55
表 2-9 某些液体许用压力降	55
本章符号对照表	56

第3章 阻力控制法确定管径及管网系统方程	58
3.1. 流速控制法确定管径	58
表 3-1 蒸汽控制流速 $[u]$	60
表 3-2 液体控制流速 $[u]$	60
表 3-3 气体控制流速 $[u]$	60
3.2. 阻力控制法确定管径	61
3.3. 阻力控制法与流速控制法对比及应用	65
3.3.1. 阻力控制法与流速控制法比较	65
图 3-1 管道能耗损失曲线	67
3.3.2. 阻力控制法应用	67
3.4. 管系压力降	67
3.4.1. 管系压力降的表示方法	67
图 3-2 几种管系压力降示意图	68
3.4.2. 管系压力降的分类	69
3.4.3. 管系压力降的控制	70
3.5. 系统压力降	71
3.5.1. 系统压力降表示方法	72
3.5.2. 简单管网系统	73
图 3-3 简单管网系统	73
3.5.3. 循环管网系统	73
图 3-4 氨合成工艺循环系统流程示意图	73
3.5.4. 敞开系统	74
图 3-5 敞开系统管网	75
3.5.5. 重力流、减压系统	76
图 3-6 重力流、减压系统示意图	76
本章符号对照表	77
第4章 工艺系统常用物性数据选取	79
4.1. 换算系数	79
表 4-1 速度换算系数	79
表 4-2 能量换算系数	79
表 4-3 长度换算系数	80
表 4-4 单位面积上的重量换算系数	80
表 4-5 压力、应力换算系数	80

表 4-6	质量换算系数	81
表 4-7	体积换算系数	81
4.2.	压缩因子	81
4.2.1.	两参数普遍化压缩因子图	81
图 4-1	普遍化压缩因子图之一	82
图 4-2	普遍化压缩因子图之二	82
图 4-3	普遍化压缩因子图之三	83
图 4-4	普遍化压缩因子图之四	84
4.2.2.	三参数普遍化压缩因子图	84
表 4-8	某些气体偏心因子 ω	84
图 4-5	三参数普遍化压缩因子图之一	85
图 4-6	三参数普遍化压缩因子图之二	86
4.3.	流体密度	86
4.3.1.	标准密度	86
4.3.2.	操作密度	87
4.3.3.	混合气体密度	88
4.3.4.	混合液体密度	89
4.3.5.	临界密度	89
4.3.6.	两相流密度	89
4.3.7.	平均密度	90
4.3.8.	高压气体密度	90
4.4.	流体粘度	91
4.4.1.	粘度定义	91
表 4-9	动力粘度换算表	92
表 4-10	运动粘度换算表	93
4.4.2.	低压气体粘度	93
表 4-11	简单类型分子的极性	93
表 4-12	Lennard-Jones 势能参数	94
表 4-13	偏心因子	95
表 4-14	某些极性分子势能参数	97
4.4.3.	低压气体混合物粘度	97
4.4.4.	高压气体粘度	100
4.4.5.	高压气体混合物粘度	100

图 4-7	加压下气体粘度	101
图 4-8	普遍化气体对比粘度	102
图 4-9	对比态粘度之一	103
图 4-10	对比态粘度之二	104
图 4-11	对比态粘度之三	104
图 4-12	双原子气体的粘度	105
图 4-13	烃类燃烧气粘度	106
4.4.6.	纯液体粘度	106
表 4-15	某些原子和基团结构常数	106
表 4-16	θ 结构常数	107
表 4-17	简单流体对比粘度 $\mu_r^{[0]}$	108
表 4-18	简单流体对比粘度 $\mu_r^{[1]}$	109
4.4.7.	常压液体粘度	110
图 4-14	常压液体粘度列线图	110
表 4-19	液体 X, Y 值表	111
4.4.8.	高温液体粘度	111
4.4.9.	混合液体粘度	112
本章符号对照表		112
第 5 章	直管沿程阻力摩擦系数选取	116
5.1.	直管摩擦系数	116
5.1.1.	流动形态	116
5.1.2.	摩擦系数是雷诺数和相对粗糙度的函数	117
5.1.3.	摩擦系数的判断	118
5.1.4.	相对粗糙度	119
表 5-1	某些工业管道绝对粗糙度	121
5.2.	摩擦系数的一般表达式	121
5.3.	层流摩擦系数	123
5.3.1.	圆管中流速分布方程	123
图 5-1	流速分布图	123
5.3.2.	摩擦系数	125
表 5-2	校正系数 K 值	125
表 5-3	正方形管层流摩擦系数表	126
表 5-4	矩形管层流摩擦系数表	126

表 5-5	圆管层流摩擦系数表	127
表 5-6	套管环隙层流摩擦系数表	128
5.4.	湍流摩擦系数	128
5.4.1.	光滑区摩擦系数	129
5.4.1.1.	总切应力	129
5.4.1.2.	流速分布方程	130
5.4.1.3.	摩擦系数	131
5.4.1.4.	工程上的应用	133
表 5-7	光滑管摩擦系数表(一)	135
表 5-8	光滑管摩擦系数表(二)	141
5.4.2.	粗糙区摩擦系数	146
5.4.2.1.	粗糙区流速分布方程	146
5.4.2.2.	摩擦系数	147
5.4.2.3.	工程上的应用	148
5.4.3.	过渡区摩擦系数	149
5.4.3.1.	摩擦系数	149
5.4.3.2.	过渡区的判断	150
5.4.3.3.	工程上的应用	151
5.5.	临界区摩擦系数	152
表 5-9	摩擦系数公式汇总表	153
图 5-2	摩擦系数与雷诺数及相对粗糙度曲线图	154
	本章符号对照表	155
第 6 章	管件局部阻力系数选取	157
6.1.	概述	157
6.2.	局部阻力的分类	158
6.2.1.	常用管件	158
表 6-1	常用管件图例	158
6.2.2.	局部阻力分析	159
6.2.2.1.	流道突然扩大	159
图 6-1	突扩管	159
6.2.2.2.	流道突然缩小	159
图 6-2	突缩管	159
6.2.2.3.	流道逐渐扩大	160

图 6-3 渐扩管	160
6.2.2.4. 流道逐渐缩小	160
图 6-4 渐缩管	160
6.2.2.5. 流道方向变化	160
图 6-5 转弯管	161
6.2.2.6. 流道汇合与分支	161
图 6-6 流道汇合与分支管	161
6.2.2.7. 流道急剧变化	161
图 6-7 管道隔板	161
6.3. 局部阻力计算方程	162
6.3.1. 阻力系数法	162
6.3.2. 当量长度法	163
6.4. 突扩管阻力系数	163
图 6-8 突扩管	164
表 6-2 突扩管局部阻力系数(ξ_{e1})	165
6.5. 突缩管阻力系数	166
6.5.1. 插入式突缩管	166
图 6-9 插入式突缩管	167
表 6-3 插入式突缩管阻力系数(ξ_{C2})	168
6.5.2. 无插入式突缩管	168
图 6-10 无插入式突缩管	169
表 6-4 无插入式突缩管阻力系数(ξ_{d2})	169
6.6. 渐变管阻力系数	170
6.6.1. 渐扩管阻力系数	170
图 6-11 渐扩管	171
图 6-12 吉布森曲线图	172
6.6.2. 渐缩管阻力系数	173
图 6-13 渐缩管	173
6.7. 合流三通阻力系数	174
图 6-14 合流管	174
图 6-15 任意合流三通管	175
图 6-16 合流三通隔离体受力图	176
图 6-17 合流三通管($\varphi_2=0, \varphi=\varphi_1$)	180

	图 6-18 合流三通管($\varphi_2=0, \varphi=\varphi_1=90^\circ$)	180
6.8.	分流三通阻力系数	182
	图 6-19 任意分流三通管	182
	图 6-20 分流三通隔离体受力图	183
6.9.	弯管局部阻力系数	186
6.9.1	圆截面缓弯管阻力系数	187
	图 6-21 圆截面缓弯管	187
6.9.1.1.	90°圆截面缓弯管阻力系数	187
	表 6-5 90°直角弯头阻力系数	188
	图 6-22 长弯曲半径阻力系数图	188
6.9.1.2.	60°圆截面缓弯管阻力系数	189
	图 6-23 60°缓弯管	189
6.9.1.3.	45°圆截面缓弯管阻力系数	189
	图 6-24 45°缓弯管	189
	表 6-6 45°缓弯管局部阻力系数	190
	图 6-25 45°缓弯管阻力系数	190
6.9.1.4.	30°圆截面缓弯管阻力系数	190
	图 6-26 30°缓弯管	191
	表 6-7 30°缓弯管阻力系数	191
6.9.1.5.	135°圆截面缓弯管局部阻力系数	191
	图 6-27 135°弯管阻力系数	191
6.9.1.6.	180°圆截面缓弯管局部阻力系数	191
	图 6-28 180°弯管阻力系数	192
	表 6-8 其它弯管阻力系数	192
6.9.2.	矩形截面弯管局部阻力系数	192
	图 6-29 矩形截面弯头	193
6.9.3.	急转弯管阻力系数	194
6.9.3.1.	二段圆截面急转弯管阻力系数	194
	图 6-30 二段圆截面弯管	194
	表 6-9 二段圆截面阻力系数	194
6.9.3.2.	二段矩形截面急转弯管阻力系数	194
	图 6-31 二段矩形截面弯管	194
	表 6-10 二段矩形截面阻力系数	194

6.9.3.3.	圆截面急转管 90°阻力系数	195
表 6-11	90°圆截面急转弯管阻力系数	195
6.9.3.4.	虾米弯阻力系数	195
表 6-12	各种虾米弯阻力系数	195
6.10.	阀门阻力系数	197
6.10.1.	旋塞阻力系数	197
表 6-13	旋塞阻力系数	198
6.10.2.	截止阀	198
表 6-14	常用截止阀阻力系数	198
图 6-32	角式截止阀阻力系数	198
6.10.3.	闸阀、蝶型阀、隔膜阀阻力系数	198
表 6-15	闸阀、蝶阀、隔膜阀阻力系数	199
6.10.4.	止回阀、底阀、水表阻力系数	200
表 6-16	止回阀、底阀、水表阻力系数	200
6.10.5.	层流管件阻力系数	200
表 6-17	管道附件, 阀门局部阻力系数(层流)	200
6.10.6.	补偿器阻力系数	200
表 6-18	补偿器阻力系数	201
6.11.	当量长度法	201
表 6-19	管件当量长度	202
	本章符号对照表	206
第 7 章	单相流管道压力降及尺寸设计	208
7.1.	层流管阻及管径设计	209
7.1.1.	不可压缩流体层流管阻及管径确定方程	209
7.1.1.1.	不可压缩流体层流单位管阻	209
7.1.1.2.	不可压缩流体层流管径	210
7.1.1.3.	不可压缩流体层流管系管阻及管长确定方程	210
7.1.1.4.	不可压缩流体层流系统管阻 ΔP_{AB}	213
7.1.2.	可压缩流体层流管阻及管径确定方程	216
7.1.2.1.	当 $P_a < \Delta P_{ab}$ 时, 可压缩流体层流管阻及管径设计	216
7.1.2.2.	当 $10\%P_a < \Delta P_{ab} < 40\%P_a$ 时, 可压缩流体层流管阻及管径设计	217
7.2.	湍流光滑区管阻及管径设计	218

7.2.1.	光滑区临界管径	218
7.2.2.	不可压缩流体光滑管管阻及管径确定方程	219
7.2.2.1.	不可压缩流体光滑管单位管阻	219
7.2.2.2.	不可压缩流体光滑管管系管阻	221
7.2.2.3.	不可压缩流体光滑管系统管阻	222
7.2.2.4.	不可压缩流体光滑管管径及管长确定方程	222
7.2.3.	可压缩流体光滑管管阻及管径确定方程	224
7.2.3.1.	可压缩流体光滑管绝热过程管阻及管径计算	225
7.2.3.2.	可压缩流体光滑管等温过程管阻及管径计算	228
7.3.	湍流粗糙区管阻及管径设计	228
7.3.1.	粗糙区临界管径	228
7.3.2.	不可压缩流体粗糙管管阻及管径确定方程	229
7.3.2.1.	不可压缩流体粗糙管单位管阻	229
7.3.2.2.	不可压缩流体粗糙管管系管阻	230
7.3.2.3.	不可压缩流体粗糙管系统管阻	230
7.3.2.4.	不可压缩流体粗糙管管径及管长确定方程	231
7.3.3.	可压缩流体粗糙管管阻及管径确定方程	232
7.3.3.1.	可压缩流体粗糙管绝热过程管阻及管径计算	232
7.3.3.2.	可压缩流体粗糙管等温过程管阻及管径计算	233
7.4.	湍流过渡区管阻及管径设计	233
7.4.1.	过渡区判断	233
7.4.2.	不可压缩流体过渡管管阻及管径确定方程	233
7.4.2.1.	不可压缩流体过渡管单位管阻	233
7.4.2.2.	不可压缩流体过渡管管系管阻	234
7.4.2.3.	不可压缩流体过渡管系统管阻	235
7.4.2.4.	管道尺寸设计方程	235
7.4.3.	可压缩流体过渡管管阻及管径确定方程	236
7.4.3.1.	可压缩流体过渡管绝热过程管阻及管径计算	236
7.4.3.2.	可压缩流体过渡管等温过程管阻及管径计算	237
7.5.	可压缩流体临界流判断	242
7.5.1.	声速计算	242
	表 7-1 常用气体绝热指数	243
7.5.2.	临界流动判别	243

7.6.	几种典型管径确定方程	244
7.6.1.	魏玛斯公式	244
7.6.2.	潘汉德公式	247
	表 7-2 气体流动效率系数	248
7.6.3.	哈雷斯公式	248
7.6.4.	哈曾-威廉斯公式	249
	表 7-3 哈曾-威廉斯系数	249
	本章符号对照表	250
第 8 章	两相流管道压力降及尺寸设计	252
8.1.	概述	252
	图 8-1 汽水两相流流型示意图	253
8.2.	流型及流态确定	254
8.2.1.	流型分类	254
	图 8-2 分散流流型示意图	255
	图 8-3 层流流型示意图	255
	图 8-4 波状流流型示意图	256
	图 8-5 环状流流型示意图	256
	图 8-6 气泡流流型示意图	256
	图 8-7 柱状流流型示意图	256
	图 8-8 活塞流流型示意图	256
8.2.2.	流型判断	256
	图 8-9 贝克流型判断图	257
	表 8-1 等张比容的结构贡献表	258
	图 8-10 克里菲思-沃利斯流型判断图	259
8.2.3.	流态判断	259
8.3.	两相流分额计算	262
	图 8-11 两相流汽液分额示意图	263
8.3.1.	空泡分额	263
8.3.2.	液相分额	264
8.3.3.	拟均相流动中液相分额的计算	265
8.3.4.	非均相流动中液相分额的计算	266
8.3.4.1.	洛卡特-马梯奈理方程	267
8.3.4.2.	胡玛克方程	269

8.3.4.3.	胡玛克图解法	272
	图 8-12 胡玛克曲线图	273
8.4.	两相流管阻及管径设计	276
8.4.1.	通用法计算两相流管阻	276
8.4.1.1.	压力降计算通式	276
8.4.1.2.	气液相均为层流压力降计算公式	277
8.4.1.3.	气液相均为湍流光滑管压力降计算公式	278
8.4.1.4.	气液相均为湍流粗糙管压力降计算公式	278
8.4.1.5.	气液相不同流态压力降计算公式	279
8.4.1.6.	图解法确定 ϕ_L, ϕ_V	279
8.4.2.	通用法管径确定方程	282
8.4.2.1.	层流两相流管径确定方程	282
8.4.2.2.	湍流两相流管径确定方程	283
8.4.2.3.	不同流态管径确定方程	284
8.4.3.	定型法计算两相流管阻	286
8.4.3.1.	汽泡流压力降计算公式	286
	图 8-13 汽泡流压力降图	287
8.4.3.2.	活塞流压力降计算公式	288
8.4.3.3.	层流压力降计算公式	289
8.4.3.4.	柱状流压力降计算公式	290
8.4.3.5.	环状流压力降计算公式	290
	图 8-14 环状流压力降图	291
8.4.3.6.	分散流压力降计算公式	292
	图 8-15 分散流压力降图	292
8.4.3.7.	波状流压力降计算公式	293
	图 8-16 泡状流摩擦系数图	294
8.4.4.	定型法管径确定方程	294
	表 8-2 定型法常数表	295
8.4.5.	均相法计算两相流管阻和管径	296
8.4.6.	邓克勒法计算两相流管阻和管径	297
	图 8-17 邓克勒法曲线图	299
8.5.	两相流管件阻力	300
8.5.1.	突扩管管阻	300