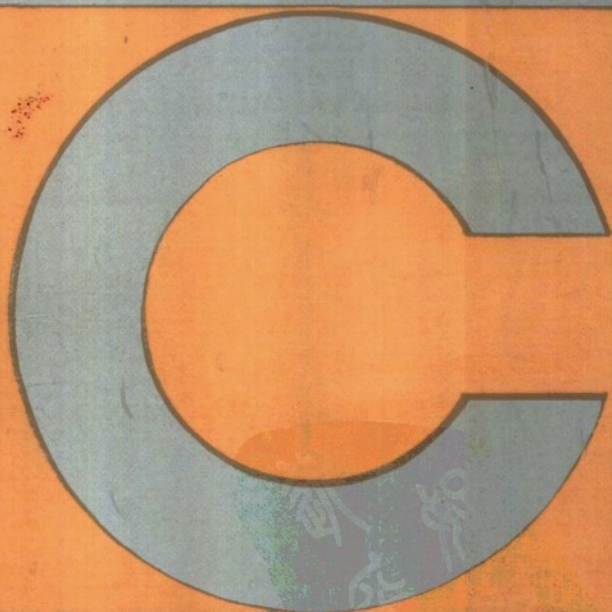


化工单元操作设计手册

下 册



化学工业部化学工程设计技术中心站

化工单元操作设计手册

下 册

化学工业部化学工程设计技术中心编



内 容 提 要

本手册从工程设计出发,系统地编写了近年来化工单元操作过程中较实用、可靠、准确的设计计算方法。全书分三册,上册介绍蒸馏过程、吸收、解吸过程、塔设备、换热器设计;中册介绍加热炉、基本热力学过程、管道流体力学、化工容器工艺设计及气、液、固分离过程设计;下册介绍流化床、液体搅拌、反应器设计,泵系统和压缩机系统的计算及操作性能。各章附有必要的计算步骤及例题。

本手册可供化工、石油、轻工、冶金、核能方面的设计人员使用,并可供与此相关的研究、生产、大专院校的科技人员应用。

化工单元操作设计手册

下 册

化学工业部化学工程设计技术中心站主编

责任编辑:程树云

化学工业部第六设计院出版

(西安·太乙路北段)

邮政编码 710054

内部发行

定价:40.00 元

新华书店
内部发行
PDG

《化工单元操作设计手册》编写人及校审人

		编写人	校审人
第一章		陆恩锡 雷行之	方华星 谢立人 陈余芳 萧成基
第二章		吴万兴 沈玲弟	黄文雄 王自新 钟道迪
		张开坚 黄文雄	
第三章		于鸿寿	萧成基
第四章	4.1~4.4	周 清 杨守诚	盛若瑜 李国杰 王抚华
	4.6~4.9	周 清 杨守诚	盛若瑜 李国杰 王抚华
	4.5	胡毓端	雷行之 王抚华
	4.10	费 濂	王抚华
	4.11	王抚华	费 濂
第五章		何凤歧 林承方	姚国俊 萧成基
第六章		盛青萍	盛德美 费 濂
第七章	7.1	王彩绒	李树琴 刘静方 姜 华 王学涛
	7.2	罗国筠	付朝清 姜 华 王学涛
	7.3, 7.7	黄让泉	付朝清 姜 华 王学涛
	7.4, 7.5	曾富梅	刘静方 姜 华 王学涛
	7.6	程玉芳	姜 华 王学涛
第八章		王学涛	胡道立 郑祖炼
第十一章		施立才 孙恪慎	李康诩 郑 焱 王尊孝
第十二章		马继舜	俞雍增 郑 焱 陈志希
第十三章	13.1~13.2	陶增智	孙恪慎
	13.3~13.4	施立才	李康诩 郑焱 孙恪慎
第十四章		钟桂文	魏宗胜 李明科 陈克东
第十五章	15.1	钟桂文	范德明 刘季芳 裴德余
	15.2	钟桂文	范德明 刘季芳 郁永章 裴德余
	15.3	范德明	钟桂文 刘季芳 朱报桢 裴德余
	15.4	钟桂文	范德明 刘季芳 李超俊 裴德余
	15.5~15.7	钟桂文	范德明 刘季芳 裴德余
	15.8	范德明	钟桂文 刘季芳 周汉臣
	15.9	钟桂文	范德明 刘季芳 孙文良
	15.10~15.12	刘宏俊	季光社 郑祖炼

《化工单元操作设计手册》编辑人员(按姓氏笔划排列):

王抚华、王书清、白金、曲莹、陈春生、李辛芳、栾敬文、程树云、鲍贤康、薛冠中。

前 言

化学工程技术是化工工艺的重要基础工作之一。国外一些著名的化工工程公司,都十分重视化学工程工作,并都根据各自的工程经验积累,编有成套的设计技术资料。当前,随着设计改革的不断深化及对外开放的要求,十分需要有一套我国自己的化学工程设计资料。为此,化工部化学工程设计技术中心站自80年代初开始,陆续组织编制了《化工工艺设计基础数据手册》(全套六个分册,已经出齐)及《化工单元操作设计手册》两部大型手册。今后还要在上述基础上,编制一套较完整的化学工程设计的计算机应用软件。这样,就使化工工艺设计工作逐步做到基础数据的统一及设计计算方法的规范化,以保证设计质量,加快设计进度,促进工艺设计现代化。因此,这是一项有深远意义的设计基础工作。

《化工单元操作设计手册》,全书共15章,共约250万字,分为三个分册(其中第九、十章待增补)。其内容包括了化工工艺中通用的一些重要单元操作的设计方法、计算公式及具体的运算步骤,取材以设计工作的实际需要为主,所介绍的方法亦经遴选,力求做到实用、可靠、准确、简明。内容中有的是来自国内的科研、设计及生产实践,有的是引用及消化吸收国外的有用资料,加以整编鉴审而写成。我们希望有了这套手册,设计人员进行化工单元计算时,可以不必去各自寻找分散不同的资料,而直接由《手册》中采用已经整选加工过的最新方法,这样就可以节省大量时间,提高工作效率,统一方法,保证质量,便于审核。

本手册出版后,今后还要逐年地修订和增补新的材料及新的章节,以保证与时代同步,并使它成为反映化工设计系统的经验总结和积累的一部手册,以便更好地为化工设计人员服务,共同为提高设计水平而努力,希望这项工作能得到各设计院同志们及广大读者的关心、支持和帮助。

萧成基

1987年11月

说 明

本手册在编写中引用了部分内部资料,因此规定手册为内部发行。其内容不得在公开发行的出版物中引用,不得在与国外搞合作设计、对外谈判或技术座谈中直接使用,不得提供给外国专家及外国留学生使用。各使用单位及个人必须严格执行,否则需承担由此引起的责任。



《化工单元操作设计手册》总章目

- 第一章 蒸馏过程计算
- 第二章 吸收、解吸过程计算
- 第三章 塔设备设计
- 第四章 换热器设计
- 第五章 加热炉
- 第六章 基本热力学过程计算
- 第七章 管道流体力学计算
- 第八章 化工容器的工艺设计
- 第九章 分离过程——气、液、固非均一相分离
- 第十章 分离过程——干燥、过滤、结晶、萃取
- 第十一章 流化床设计
- 第十二章 液体搅拌
- 第十三章 反应器设计
- 第十四章 泵系统计算及操作性能
- 第十五章 压缩机系统计算及操作性能

蘇州大學
PDF

单位换算表

表 1 长度单位换算

米(m)	厘米(cm)	英尺(ft)	英寸(in)	米(m)	厘米(cm)	英尺(ft)	英寸(in)
1	100	3.2808	39.37	0.3048	30.48	1	12
0.01	1	0.0328	0.3937	0.0254	2.54	0.0833	1

表 2 面积单位换算

米 ² ,m ²	厘米 ² ,cm ²	英尺 ² ,ft ²	英寸 ² ,in ²	米 ² ,m ²	厘米 ² ,cm ²	英尺 ² ,ft ²	英寸 ² ,in ²
1	10 ⁴	10.764	1550	0.0929	929	1	144
10 ⁻⁴	1	1.0764×10 ⁻³	0.155	6.4516×10 ⁻⁴	6.4516	6.944×10 ⁻³	1

表 3 体积和容积单位换算

米 ³ (m ³)	升(L)或分米 ³ (dm ³)	英加仑 (Imp. gal)	美加仑 (U.S. gal)	英尺 ³ (ft ³)	英寸 ³ (in ³)
1	10 ³	220	264.2	35.315	61024
10 ⁻³	1	0.22	0.2642	0.0353	61.02
0.0045	4.546	1	1.201	0.1605	277.4
3.785×10 ⁻³	3.785	0.8327	1	0.1337	231
0.0283	28.317	6.2288	7.4805	1	1728
1.64×10 ⁻⁵	0.0164	3.605×10 ⁻³	4.329×10 ⁻³	5.787×10 ⁻⁴	1

表 4 重量和质量单位换算

吨(t)	千克(kg)	克(g)	英吨(tn)	美吨(shtn)	磅(lb)
1	10 ³	10 ⁶	0.9842	1.1023	2204.6
10 ⁻³	1	10 ³	9.842×10 ⁻⁴	1.1023×10 ⁻³	2.2046
10 ⁻⁶	10 ⁻³	1	9.842×10 ⁻⁷	1.1023×10 ⁻⁶	2.2046×10 ⁻³
1.0161	1016.1	1.0161×10 ⁶	1	1.12	2240
0.9072	907.2	9.072×10 ⁵	0.8929	1	2000
0.4536×10 ⁻³	0.4536	453.6	4.464×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	1

表 5 力单位换算

牛顿(N)	公斤(kg)	达因(dyn)	磅(lb)	磅达(pdl)
1	0.102	10 ⁵	0.2248	7.233
9.807	1	9.807×10 ⁵	2.2046	70.93
10 ⁻⁵	1.02×10 ⁻⁵	1	2.248×10 ⁻⁵	7.233×10 ⁻⁵

牛 顿(N)	公 斤(kg)	达 因(dyn)	磅(lb)	磅达(pdl)
4.448	0.4536	4.448×10^5	1	32.174
0.1383	1.41×10^{-2}	1.383×10^4	3.108×10^{-2}	1

表 6 密度和重度单位换算

克/厘米 ³ (g/cm ³)或 吨/米 ³ (t/m ³)	公斤/米 ³ (kg/m ³)或 克/升(g/L)	磅/英寸 ³ (lb/in ³)	磅/英尺 ³ (lb/ft ³)	磅/英加仑 (lb/Brit. gal)	磅/美加仑 (lb/U. S. gal)
1	10 ³	3.613×10^{-2}	62.43	10.02	8.345
10 ⁻³	1	3.613×10^{-5}	6.243×10^{-2}	1.002×10^{-2}	8.345×10^{-3}
27.68	2.768×10^4	1	1728	277.42	231
1.602×10^{-2}	16.02	5.787×10^{-4}	1	0.1605	0.1337
9.98×10^{-2}	99.8	3.6×10^{-3}	6.229	1	0.8327
0.1198	119.8	4.329×10^{-3}	7.48	1.201	1

表 7 压力单位换算

序号	牛顿/米 ² (N/m ²) 或帕斯卡(Pa)	巴 (bar)	公斤/厘米 ² (kg/cm ²) 或工程大气压(at)	磅/英寸 ² (lb/in ²)
1	1	10 ⁻⁵	1.02×10^{-5}	1.45×10^{-4}
2	10 ⁵	1	1.020	14.5
3	9.807×10^4	0.9807	1	14.22
4	6.895×10^3	6.895×10^{-2}	7.031×10^{-2}	1
5	1.013×10^5	1.013	1.033	14.7
6	1.333×10^2	1.333×10^{-3}	1.36×10^{-3}	1.934×10^{-2}
7	3.386×10^3	3.386×10^{-2}	3.453×10^{-2}	0.4912
8	9.798	9.798×10^{-5}	9.991×10^{-5}	1.421×10^{-3}
9	2.489×10^2	2.489×10^{-3}	2.538×10^{-3}	3.609×10^{-2}

序号	大气压(atm) (标准大气压)	毫米汞柱(0℃) (mmHg)	英寸汞柱(0℃) (in Hg)	毫米水柱(15℃) (mmH ₂ O)	英寸水柱(15℃) (in H ₂ O)
1	9.869×10^{-6}	7.501×10^{-3}	2.953×10^{-4}	0.1021	4.018×10^{-3}
2	0.9869	750.1	29.53	1.021×10^4	401.8
3	0.9678	735.6	28.96	1.001×10^4	394.1
4	6.805×10^{-2}	51.71	2.036	7.037×10^2	27.7
5	1	760	29.92	1.034×10^4	407.2

序号	大气压(atm) (标准大气压)	毫米汞柱(0℃) (mmHg)	英寸汞柱(0℃) (in Hg)	毫米水柱(15℃) (mmH ₂ O)	英寸水柱(15℃) (in H ₂ O)
6	1.316×10^{-3}	1	3.937×10^{-2}	13.61	0.5357
7	3.342×10^{-2}	25.4	1	3.456×10^2	13.61
8	9.67×10^{-5}	7.349×10^{-2}	2.893×10^{-3}	1	3.937×10^{-2}
9	2.456×10^{-3}	1.867	7.349×10^{-2}	25.4	1

① 标准大气压即物理大气压。

表 8 体 积 流 率 单 位 换 算

米 ³ /时 (m ³ /h)	米 ³ /分 (m ³ /min)	米 ³ /秒 (m ³ /s)	英尺 ³ /时 (ft ³ /h)	英尺 ³ /秒 (ft ³ /s)	英加仑/分 (Imp. gal/ min)	美加仑/分 (U. S. gal/ min)
1	1.667×10^{-2}	2.778×10^{-4}	35.31	9.81×10^{-3}	3.666	4.403
60	1	1.667×10^{-2}	2.119×10^3	0.5886	2.1998×10^2	2.642×10^2
3.6×10^3	60	1	1.271×10^5	35.31	1.32×10^4	1.585×10^4
2.832×10^{-3}	4.72×10^{-4}	7.866×10^{-6}	1	2.778×10^{-4}	0.1038	0.1247
1.019×10^2	1.699	2.832×10^{-2}	3.6×10^3	1	3.737×10^2	4.488×10^2
0.2728	4.546×10^{-3}	7.577×10^{-5}	9.632	2.676×10^{-3}	1	1.201
0.2271	3.785×10^{-3}	6.309×10^{-5}	8.021	2.228×10^{-3}	0.8327	1

表 9 重 量 和 质 量 流 率 单 位 换 算

公斤/秒 (kg/s)	公斤/时 (kg/h)	磅/秒 (lb/s)	磅/时 (lb/h)	吨/日 (t/day)	吨/年(8000小时) (t/y)
1	3.6×10^3	2.205	7.937×10^3	86.4	2.88×10^4
2.778×10^{-4}	1	6.124×10^{-4}	2.205	2.4×10^{-2}	8
0.4536	1.633×10^3	1	3.6×10^3	39.19	1.306×10^4
1.26×10^{-4}	0.4536	2.778×10^{-4}	1	1.089×10^{-2}	3.629
1.157×10^{-2}	41.67	0.02552	91.86	1	3.333×10^2
3.472×10^{-5}	0.125	7.656×10^{-5}	0.2756	3×10^{-3}	1

表 10 动 力 粘 度 (粘 度) 单 位 换 算

公斤·秒/米 ² (kg·s/m ²)	牛顿·秒/米 ² (N·s/m ²) 或帕·秒(Pa·s)	泊(P)或克/(厘米·秒) [g/(cm·s)]	泊厘 (cP)	磅·秒/英尺 ² (lb·s/ft ²)
1	9.81	89.1	9.81×10^3	0.205
0.102	1	10	10^3	20.9×10^{-3}
1.02×10^{-2}	0.1	1	10^2	20.9×10^{-4}

公斤·秒/米 ² (kg·s/m ²)	牛顿·秒/米 ² (N·s/m ²) 或帕·秒(Pa·s)	泊(P)或克/(厘米·秒) [g/(cm·s)]	泊厘 (cP)	磅·秒/英尺 ² (lb·s/ft ²)
1.02×10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	1	2.09×10 ⁻⁵
4.88	47.88	478.8	4.788	1

表 11 运动粘度单位换算

厘米 ² /秒 (cm ² /s)或施(st)	米 ² /秒 (m ² /s)	米 ² /时 (m ² /h)	英尺 ² /秒 (ft ² /s)	英尺 ² /时 (ft ² /h)
1	10 ⁻⁴	0.36	1.076×10 ⁻³	3.875
10 ⁴	1	3.6×10 ³	10.76	3.875×10 ⁴
2.778	2.778×10 ⁻⁴	1	2.99×10 ⁻³	10.76
929	9.29×10 ⁻²	3.346×10 ²	1	3.6×10 ³
0.258	2.58×10 ⁻⁵	9.29×10 ⁻²	2.78×10 ⁻⁴	1

表 12 功、能和热量单位换算

序号	焦耳 (J)	公斤·米 (kg·m)	公制马力·时 (PS·h)	英制马力·时 (HP·h)
1	1	0.102	3.777×10 ⁻⁷	3.725×10 ⁻⁷
2	9.807	1	3.704×10 ⁻⁶	3.653×10 ⁻⁶
3	2.648×10 ⁵	2.7×10 ⁵	1	0.9863
4	2.685×10 ⁵	2.738×10 ⁵	1.014	1
5	3.6×10 ⁶	3.671×10 ⁵	1.36	1.341
6	4187	426.9	1.581×10 ⁻²	1.559×10 ⁻³
7	1055	107.6	3.985×10 ⁻⁴	3.93×10 ⁻⁴
8	1.356	0.1383	5.121×10 ⁻⁷	5.05×10 ⁻⁷
序号	千瓦·时 (kW·h)	千卡 (kcal)	英热单位 (Btu)	英尺·磅 (ft·lb)
1	2.778×10 ⁻⁷	2.389×10 ⁻⁴	9.478×10 ⁻⁴	0.7376
2	2.724×10 ⁻⁶	2.342×10 ⁻³	9.295×10 ⁻³	7.233
3	0.7355	632.5	2510	1.953×10 ⁶
4	0.7457	641.2	2544.4	1.98×10 ⁶
5	1	859.8	3412	2.655×10 ⁶
6	1.163×10 ⁻³	1	3.968	3.087×10 ³
7	2.93×10 ⁻⁴	0.252	1	778.2
8	3.768×10 ⁻⁷	3.24×10 ⁻⁴	1.285×10 ⁻³	1

表 13 功率单位换算

序号	瓦 (W)	千瓦 (kW)	公制马力 (PS)	英制马力 (HP)
1	1	10^{-3}	1.36×10^{-3}	1.341×10^{-3}
2	10^3	1	1.36	1.341
3	735.5	0.7355	1	0.9863
4	745.7	0.7457	1.014	1
5	9.807	9.807×10^{-3}	1.333×10^{-2}	1.315×10^{-2}
6	4187	4.187	5.692	5.614
7	1055	1.055	1.434	1.415
8	1.356	1.356×10^{-3}	1.843×10^{-3}	1.82×10^{-3}
序 号	公斤·米/秒 (kg·m/s)	千卡/秒 (kcal/s)	英热单位/秒 (Btu/s)	英尺·磅/秒 (ft·lb/s)
1	0.102	2.39×10^{-4}	9.478×10^{-4}	0.7376
2	102	0.239	0.9478	737.6
3	75	0.1757	0.6972	542.5
4	76.04	0.1781	0.7068	550
5	1	2.342×10^{-3}	9.295×10^{-3}	7.233
6	426.9	1	3.968	3087
7	107.6	0.252	1	778.2
8	0.1383	3.24×10^{-4}	1.285×10^{-3}	1

表 14 热容(比热)单位换算

焦耳/公斤·K J/(kg·K)	焦耳/克·°C J/g·°C	千卡/公斤·°C kcal/(kg·°C)	英热单位/磅·°F Btu/(lb·°F)	摄氏热单位/磅·°C Chu/(lb·°C)	公斤·米/公斤·°C kg·m/(kg·°C)
1	10^{-3}	2.389×10^{-4}	2.389×10^{-4}	2.389×10^{-4}	1.02×10^{-1}
10^3	1	0.2389	0.2389	0.2389	1.02×10^2
4.187×10^{-3}	4.187	1	1	1	4.269×10^2
9.807	9.807×10^{-3}	2.342×10^{-3}	2.342×10^{-3}	2.342×10^{-3}	1

表 15 导热系数单位换算

千卡/米·时·℃ kcal/(m·h·℃)	卡/厘米·秒·℃ cal/(cm·s·℃)	瓦/米·K W/(m·K)	焦耳/厘米·秒·℃ J/(cm·s·℃)	英热单位/ 英尺·时·F Btu/(ft·h·F)
1	2.78×10^{-3}	1.16	1.16×10^{-2}	0.672
360	1	418.7	4.187	242
0.8598	2.39×10^{-3}	1	10^{-2}	0.578
85.98	0.239	100	1	57.8
1.49	4.13×10^{-3}	1.73	1.73×10^{-2}	1

表 16 传热系数单位换算

焦耳/米 ² ·秒·K J/(m ² ·s·K)或 瓦/米 ² ·K[W/(m ² ·K)]	千卡/米 ² ·时·℃ [kcal/(m ² ·h·℃)]	卡/厘米 ² ·秒·℃ [cal/(cm ² ·s·℃)]	英热单位/英尺 ² ·时·F [Btu/(ft ² ·h·F)]
1	0.8598	2.388×10^{-5}	0.1761
1.162	1	2.778×10^{-5}	0.2048
4.187×10^4	3.6×10^4	1	7373
5.678	4.882	1.356×10^{-4}	1

表 17 扩散系数单位换算

厘米 ² /秒 (cm ² /s)	米 ² /时 (m ² /h)	英尺 ² /时 (ft ² /h)	英寸 ² /秒 (in ² /s)
1	0.36	3.875	0.155
2.778	1	10.76	0.4306
0.2581	0.0929	1	0.04
6.452	2.323	25	1

表 18 表面张力单位换算

达因/厘米 (dyn/cm)	克/厘米 (g/cm)	公斤/米 (kg/m)	磅/英尺 (lb/ft)
1	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-4}	6.854×10^{-5}
980.7	1	0.1	6.72×10^{-3}
9807	10	1	0.672
14592	14.88	1.488	1

表 19 温度换算公式

摄氏度 $^{\circ}\text{C}$	华氏度 $^{\circ}\text{F}$	兰金度 $^{\circ}\text{R}$	开尔文 K
$^{\circ}\text{C}$	$\frac{9}{5}^{\circ}\text{C} + 32$	$\frac{9}{5}^{\circ}\text{C} + 491.67$	$^{\circ}\text{C} + 273.15$
$\frac{5}{9}(\text{F} - 32)$	F	$\text{F} + 459.67$	$\frac{5}{9}(\text{F} + 459.67)$
$\frac{5}{9}(^{\circ}\text{R} - 491.67)$	$^{\circ}\text{R} - 459.67$	$^{\circ}\text{R}$	$\frac{5}{9}^{\circ}\text{R}$
$\text{K} - 273.15$	$\frac{9}{5}\text{K} - 459.67$	$\frac{9}{5}\text{K}$	K

新
学
社
PDG

化工单元操作设计手册

下 册

第十一章	流化床设计	(1)
第十二章	液体搅拌	(68)
第十三章	反应器设计	(140)
第十四章	泵系统计算及操作性能	(210)
第十五章	压缩机系统计算与操作性能	(383)

资源知识
PDG

第十一章

流化床设计

前言	(3)
11.1 流化床概述	(3)
11.2 流化床的一般特性	(4)
11.2.1 流化床的原理	(4)
11.2.2 流态化的类型	(4)
11.2.3 主要床型	(5)
11.3 基本数据计算	(5)
11.3.1 颗粒平均粒径	(5)
11.3.2 颗粒形状系数 ϕ_p 及床层的比表面积	(6)
11.3.3 混合气体的粘度	(8)
11.3.4 固体颗粒的密度	(8)
11.4 流化床压降	(8)
11.4.1 流化床总压降	(8)
11.4.2 流化床层压降	(9)
11.4.3 分布板压降	(12)
11.4.4 内部构件的压降	(16)
11.5 流化床流化速度与床层空隙率	(16)
11.5.1 临界流化速度与临界空隙率	(16)
11.5.2 终端速度 U_t	(18)
11.5.3 流化床的膨胀比	(20)
11.5.4 操作流化速度	(21)
11.6 流化床内的构件	(22)
11.6.1 床层内部构件	(22)
11.6.2 床层传热构件	(24)
11.6.3 气体预分布器	(29)
11.7 流化床的回收系统	(29)
11.7.1 夹带和扬析	(29)
11.7.2 扬析量估算	(30)
11.7.3 TDH 的估算	(30)
11.7.4 沉降段直径	(31)
11.7.5 流化床内旋风料腿与料封设计	(31)
11.8 固体颗粒的循环系统	(35)

11.8.1	固体颗粒循环量的确定	(35)
11.8.2	浓相输送	(39)
11.8.3	稀相输送	(41)
11.9	流化床的其它附加装置	(47)
11.9.1	床内破碎装置	(47)
11.9.2	床层料面测定	(49)
11.9.3	床层测压口装置	(49)
11.10	细颗粒流化床	(49)
11.10.1	细颗粒流化床概述	(49)
11.10.2	细粒床的临界流化速度和操作速度	(49)
11.10.3	细粒床的膨胀比	(50)
11.10.4	细粒床分布板压降	(51)
11.10.5	细粒床分布板(多管式气流分布器)	(54)
11.10.6	细粒床的夹带、扬析及 TDH	(55)
11.10.7	床层内颗粒与液体间传热	(62)
11.10.8	细粒床设计与放大的有关实例	(63)
	参考文献	(67)