

中等专业学校試用教科书

化工过程及設備

上册

上海市化学工业学校等編



中国工业出版社

中等专业学校試用教科书



化工过程及设备

上册

上海市化学工业学校等編

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国工业出版社

本书系根据各校自编教材及有关书籍选编而成，做为中等专业学校的试用教材。参加选编工作的有：上海市化工学校，烏溪江化工学院，蘭州化工学校，合肥化工学校，无錫化工学校以及沈陽藥学院等六个学校。

本书分上下兩册出版。上册除緒論外包括：流体力学基础，管路及管件，液体輸送，气体的压缩和輸送，气相非均一系的分离，液相非均一系的分离，搅拌，传热学基础，加热、冷却及其設備等九章。下册包括：蒸发，結晶，冷冻，传质的理論基础，传质設備及其計算，吸收，吸附，液体的蒸餾，萃取，干燥，固体流态化，固体的粉碎与篩析，固体的輸送与加料等共13章。

本书适用于三年制的化工中等专业学校，亦可供其它与化工接近的专业做参考。

化工过程及設備

上册

上海市化学工业学校等編

*

中国工业出版社出版（北京修麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可证出字第110号）

北京印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 15 $\frac{1}{4}$ · 字数 347,000

1961年7月北京第一版 · 1961年8月北京第一次印刷

印数0001—12,033 · 定价(9—4)1.45元

統一书号：15165·968(化工-67)

中等专业学校試用教科书



化工过程及設備

下 册

上海市化学工业学校等編

中国工业出版社

上册 目 录

绪论.....	5	第二节 泵的基本工作参数.....	57
第一篇 流体力学过程		3-1 泵的压头.....	57
第一章 流体力学基础	11	3-2 泵的吸入高度和压出高度.....	59
第一节 概述.....	11	3-3 泵的送液能力.....	61
第二节 流体的主要物理性质.....	12	3-4 泵的功率和效率.....	61
1-1 重度.....	12	第三节 往复泵.....	62
1-2 密度.....	12	3-5 往复泵的分类、构造及作用原理.....	62
1-3 比重.....	12	3-6 往复泵的流量和特性曲线.....	64
1-4 粘度.....	13	3-7 往复泵的主要部件结构.....	66
1-5 流体的压缩性.....	15	3-8 往复泵的启动与调节.....	65
第三节 流体静力学.....	15	第四节 离心泵.....	66
1-6 压强与流体静压强.....	15	3-9 离心泵的分类作用原理与构造.....	66
1-7 流体静力学的基本方程式.....	16	3-10 液体在泵内的运动.....	68
1-8 流体静力学基本方程式的应用.....	17	3-11 离心泵的特性曲线.....	69
第四节 流体动力学.....	21	3-12 离心泵的比转数.....	70
1-9 流速与流量.....	21	3-13 离心泵的操作.....	71
1-10 流体稳定流动时的物料平衡——连续性方程.....	22	3-14 离心泵的并、串联工作.....	72
1-11 流体稳定流动时的能量平衡——柏努利方程式.....	24	3-15 离心泵的启动、调节与安装.....	72
1-12 粘性流体的流动型态和雷诺准数.....	28	3-16 离心泵与往复泵的比较.....	74
第五节 流体的阻力.....	31	3-17 轴流泵.....	74
1-13 流体阻力及其计算.....	31	第五节 旋转泵.....	75
第六节 流量测定.....	37	3-18 旋转泵.....	75
1-14 流体速度及流量的测定.....	37	3-19 旋转泵的性能及调节.....	76
第二章 管路与管件	45	第六节 其他类型泵.....	76
第一节 管路的计算以及材料的选择.....	45	3-20 利用流体作用的泵.....	76
2-1 管径的计算和选择.....	45	3-21 各种泵的比较与选择.....	80
2-2 管路的特性曲线.....	46	第四章 气体的压缩与输送	82
2-3 管路的种类以及材料的选择.....	47	第一节 概述.....	82
第二节 管件及阀门的类型和应用.....	48	4-1 气体的压缩过程.....	82
2-4 管件.....	48	4-2 气体压缩及输送设备的分类.....	82
2-5 阀门.....	49	第二节 往复压缩机.....	83
第三节 管路的联接.....	52	4-3 往复压缩机的操作原理.....	83
2-6 联接方式的分类.....	52	4-4 往复压缩机的生产能力与功.....	84
2-7 各种联接方式的结构.....	52	4-5 多级压缩.....	86
第四节 管路的热补偿.....	54	第三节 往复压缩机的构造.....	86
第五节 管路.....	55	4-6 往复压缩机的分类.....	86
2-8 管路布置的基本原则.....	55	4-7 单级压缩机.....	87
2-9 管路支架和管架.....	55	4-8 双级与多级压缩机.....	88
第三章 液体输送机械	57	4-9 往复压缩机的操作、维护和检修.....	89
第一节 概述.....	57	第四节 旋转压缩机.....	90
		4-10 操作原理.....	90
		4-11 旋转压缩机的分类和构造.....	91
		第五节 涡轮鼓风机与涡轮压缩机.....	92

05117

4-12 操作原理.....	92	第四节 离心分离.....	138
4-13 涡轮鼓风机与涡轮压缩机的构造.....	93	6-10 基本概念.....	138
第六节 气体喷射泵.....	94	6-11 影响离心分离的因素.....	139
4-14 操作原理与分类.....	94	6-12 离心机的构造.....	140
4-15 蒸汽喷射泵的构造.....	95	6-13 水力旋风分离器.....	144
第七节 送风机.....	95	6-14 离心机的比较和发展.....	144
4-16 离心式送风机.....	96	第七章 搅拌	146
4-17 轴流式送风机.....	99	第一节 机械搅拌.....	146
第八节 真空泵.....	99	7-1 机械搅拌器的分类.....	146
4-18 真空泵.....	99	7-2 各种机械搅拌器.....	147
第九节 压缩机的比较和选择.....	100	7-3 机械搅拌器的功率计算.....	149
第五章 气相非均一系的分离	103	第二节 气流搅拌.....	153
第一节 概述.....	103	7-4 气流搅拌.....	153
5-1 分离的目的和意义.....	103	第三节 搅拌效率.....	154
5-2 颗粒大小的测定与其分离效率.....	103	7-5 搅拌操作的影响因素.....	154
5-3 分离方法的分类.....	104	7-6 搅拌效率.....	155
第二节 过滤净制.....	104	第二篇 热过程	
5-4 过滤净制的操作原理.....	104	第八章 传热学基础	157
5-5 过滤净制的设备.....	105	第一节 概述.....	157
第三节 沉降分离.....	106	第二节 传热基本方程式.....	158
5-6 重力沉降.....	106	8-1 传热基本方程式.....	158
第四节 离心沉降.....	111	8-2 传热量的计算.....	159
5-7 离心沉降的原理.....	111	第三节 传导方程式与给热方程式.....	161
5-8 旋风分离器的构造和操作原理.....	111	8-3 传导方程式与导热系数.....	161
第五节 湿法净制.....	114	8-4 给热方程式与给热系数.....	163
5-9 湿法净制原理.....	114	第四节 通过间壁的传热.....	173
5-10 湿法净制设备.....	114	8-5 通过平壁的传热.....	173
5-11 文丘里除塵器的机理及技术操作条件.....	116	8-6 通过圆筒壁的传热.....	176
第六节 凝聚法除尘及电气净制.....	117	第五节 温度差的计算.....	177
5-12 凝聚法.....	117	8-7 恒温传热时温度差的计算.....	177
5-13 电气净制.....	118	8-8 变温传热时温度差的计算.....	178
第七节 分离设备的选择与比较.....	119	第六节 热辐射.....	183
第六章 液相非均一系的分离	121	8-9 辐射的基本概念.....	183
第一节 液相非均一系的分类及其分离方法.....	121	8-10 辐射定律.....	184
6-1 液相非均一系的分类及其性质.....	121	8-11 固体物面间的辐射热交换.....	185
6-2 液相非均一系的分离方法.....	121	第七节 热绝缘与热损失.....	187
第二节 沉降.....	122	8-12 损失于周围介质中的热量.....	187
6-3 沉降原理.....	122	8-13 热绝缘与绝热材料.....	187
6-4 沉降器的构造.....	123	第八节 间歇换热过程.....	188
6-5 沉降器的计算.....	124	第九章 加热、冷却与冷凝	191
第三节 过滤.....	126	第一节 概述.....	191
6-6 过滤操作的基本概念.....	126	9-1 换热器的分类.....	191
6-7 过滤介质及助滤剂.....	129	第二节 热源和加热方法.....	192
6-8 过滤机的构造与操作.....	130	9-2 直接热源加热.....	192
6-9 过滤的计算.....	135	9-3 间接热源加热.....	193

9-4 加热剂与加热方法的选择.....	198
第三节 冷却和冷凝.....	200
9-5 冷却和冷凝.....	200
第四节 間壁式换热器.....	201
9-6 間壁式换热器.....	201
第五节 传热强化途径及其发展方向.....	215
9-7 传热强化途径及其发展方向.....	215
第六节 温度的测量.....	217
9-8 膨胀温度计.....	217
9-9 压强温度计.....	219
9-10 热电偶温度计.....	220
9-11 电阻温度计.....	222
9-12 光学温度计.....	223
9-13 辐射温度计.....	224

附录

1. 英制单位换算到公制单位.....	226
2. 单位换算.....	227
3. 固体物料的重度和单位体积的重量.....	228
4. 某些液体在 $0\sim 20^{\circ}\text{C}$ 时的比重.....	228

5. 水在不同温度时的粘度.....	229
6. 某些水溶液的粘度.....	230
7. 液体的粘度.....	231
8. 气体及蒸气的粘度.....	232
9. 某些气体的主要物理性质.....	233
10. 承插式鑄鉄管规格.....	234
11. 水煤气管的规格.....	234
12. 无缝钢管.....	235
13. 某些固体在 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 时的平均比热.....	236
14. 某些液体在 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 时的平均比热.....	236
15. 气体在 $P=1$ 绝对大气压时的分子 比热.....	236
16. 某些液体的汽化潜热.....	237
17. 某些物质的导热系数.....	238
18. 各种不同液体的导热系数.....	239
19. 水在不同温度时的物理参数.....	239
20. 饱和水蒸汽的性质(1).....	240
21. 饱和水蒸汽的性质(2).....	241
22. 水在不同温度时的体积膨胀系数.....	242
23. 液体在 20°C 时体积膨胀系数.....	242

下 冊 目 录

第十章 蒸 发

第一节 概述247

10-1 蒸发的条件247

10-2 蒸发的方法247

第二节 蒸发器及其附属设备248

10-3 对蒸发器的要求248

10-4 蒸发设备的分类249

10-5 蒸发器的介绍249

10-6 蒸发器的比较与选用255

10-7 蒸发装置中真空的造成256

第三节 单效蒸发257

10-8 单效蒸发流程257

10-9 单效蒸发的计算258

第四节 多效蒸发263

10-10 多效蒸发流程263

10-11 多效蒸发的温度差损失及有效温度差的分配265

10-12 多效蒸发效数的限度266

10-13 多效蒸发的计算267

第五节 蒸发器的生产强度271

10-14 生产强度的概念271

10-15 提高蒸发器生产强度的方向271

第十一章 結 晶

第一节 結晶的基本概念275

11-1 基本概念275

11-2 相平衡及溶解度276

11-3 晶核的形成与晶体的成长276

11-4 結晶的方法278

第二节 結晶器的构造278

11-5 转筒式結晶器278

11-6 真空結晶器278

11-7 不移除溶剂的結晶器279

第三节 結晶操作的计算281

11-8 物料平衡281

11-9 热量平衡281

11-10 結晶器主要尺寸的确定282

第十二章 冷 冻

第一节 基本概念284

12-1 冷冻在化学工业及其他国民经济中的应用284

12-2 冷冻的方法284

12-3 冷冻的原理284

第二节 压缩式冷冻机287

12-4 压缩气体冷冻机287

12-5 压缩蒸气冷冻机287

12-6 冷冻能力290

12-7 多段压缩蒸气冷冻机291

12-8 冷冻剂292

12-9 冷冻盐水294

12-10 压缩蒸气冷冻装置的设备294

12-11 压缩蒸气冷冻机的计算296

第三节 吸收式和蒸汽喷射式冷冻机299

12-12 吸收冷冻机299

12-13 蒸汽喷射式汽化冷冻机300

第三篇 传质过程

第十三章 傳质理論基础

第一节 概述302

13-1 化工生产上的传质操作302

13-2 传质方式302

13-3 相组成的表示方法303

第二节 相間的平衡305

13-4 相平衡及平衡关系305

13-5 推动力与物质传递的方向306

第三节 传质方程式307

13-6 传质方程式307

13-7 分子扩散307

13-8 对流扩散309

第四节 传质机理309

13-9 传质过程的基本理論309

13-10 双膜論及其局限性310

13-11 界面动力学状态理論311

第五节 传质过程的物料平衡313

13-12 物料平衡和操作綫313

13-13 操作綫与平衡曲綫314

第六节 传质过程中平均推动力的计算方

法314

13-14 平均推动力及其计算314

第十四章 气液傳质設備及其計算

第一节 概述317

14-1 气液传质设备的分类317

14-2 设备概述317

第二节 填料塔及其計算320

14-3 填料塔的構造分析320

14-4 填料塔的计算323

14-5 填料塔的流体阻力327

14-6 乳化石料吸收塔	329
第三节 泡罩塔	330
14-7 泡罩塔的结构	330
14-8 塔板上的操作及影响塔板操作之因素	333
14-9 蒸汽和液体在塔板上同一流动方向的泡罩塔	335
第四节 筛板塔和泡沫塔	335
14-10 筛板塔	335
14-11 泡沫塔	336
第五节 板式塔的计算	338
14-12 理论塔板及理论塔板数求法	338
14-13 板效率与实际板数	339
14-14 板式塔的精馏计算	339
第六节 气液传质设备的比较	340
14-15 气液传质设备的评比	340
第十五章 吸 收	
第一节 概述	344
第二节 吸收的物理基础	344
15-1 气液平衡关系	344
15-2 吸收方程式	345
15-3 逆流与并流吸收时的操作线	346
15-4 吸收剂用量及其确定	347
15-5 非等温吸收	348
第三节 具有化学反应吸收的特点	350
15-6 基本概念	350
15-7 化学吸收的特点	350
第四节 解吸	350
15-8 解吸(脱吸)的概念	350
15-9 解吸操作的主要方法	351
第五节 吸收操作的流程	351
15-10 吸收流程	351
第十六章 吸 附	
第一节 概述	354
16-1 吸附过程的基本概念	354
16-2 工业上常用的吸附剂及吸附剂的活性	354
第二节 吸附过程的理论	355
16-3 相间的平衡	355
16-4 吸附动力学	356
第三节 固定层吸附器	359
16-5 流程	359
16-6 固定层吸附器的计算	360
第四节 高强度吸附器	361
16-7 流态化吸附器	361
16-8 流动床吸附器(超吸附器)	361

第十七章 液体的蒸馏

第一节 概述	364
17-1 液体混合物的相平衡	364
17-2 挥发度与相对挥发度	369
第二节 简单蒸馏	370
17-3 简单蒸馏	370
第三节 精馏	371
17-4 精馏原理	371
17-5 间歇精馏与连续精馏的流程	372
第四节 双组份混合液精馏塔操作的计算	373
17-6 基本假设	373
17-7 精馏段操作线方程式	374
17-8 提馏段操作线方程式	375
17-9 塔板数的求法	376
17-10 进料情况对精馏操作的影响	376
17-11 回流比、塔板数与加热蒸汽消耗量之间的关系	380
第五节 连续精馏装置的热量平衡	382
17-12 连续精馏塔的热量平衡	382
第六节 间歇蒸馏	385
17-13 间歇蒸馏	385
第七节 特殊方法蒸馏	385
17-14 蒸汽蒸馏	385
17-15 萃取蒸馏和恒沸蒸馏	388
17-16 减压蒸馏	389
17-17 分子蒸馏	390

第十八章 萃 取

第一节 液液萃取	393
18-1 概述	393
18-2 萃取剂(溶剂)的选择	393
18-3 物质分配定律	394
18-4 萃取操作流程简述	395
18-5 影响萃取操作的因素	396
18-6 液液萃取设备	397
第二节 固液萃取	402
18-7 概述	402
18-8 萃取的操作流程和设备	403
第三节 有关萃取计算的说明	404
18-9 液液萃取塔	404
18-10 固液萃取计算	404

第十九章 干 燥

第一节 基本概念	406
19-1 干燥及其在化学工业中的应用	406
第二节 湿空气的性质和 $I-x$ 图	406
19-2 空气干燥器的操作流程	406
19-3 湿空气的性质	407

19-4	湿空气 $I-x$ 图	409
19-5	烟道气的性质与湿空气的区别	410
第三节	干燥静力学	413
19-6	空气干燥器的物料平衡与热量平衡	413
第四节	干燥动力学	419
19-7	干燥速度	419
19-8	干燥速度曲线	419
19-9	物料中所含水份的性质	421
19-10	表面汽化与内部扩散	422
19-11	影响干燥速度的因素	422
第五节	干燥设备	424
19-12	干燥器的分类	424
19-13	块状物料干燥器	424
19-14	粒状物料干燥器	426
19-15	悬浮液及糊状物料干燥器	428
19-16	各种干燥设备的评述	431
第二十章	固体流态化技术	
第一节	基本概念	434
20-1	流体速度变化时床层的三个阶段	434
20-2	流化过程中不正常现象	437
20-3	广义的流态化技术	439
第二节	流化床流速及阻力的确定	439
20-4	流化床的压强降	439
20-5	临界速度 $u_{临}$ 的计算	440
20-6	极限速度(带出速度) $u_{极}$ 的计算	441
第三节	流化床中的传热	441
20-7	流化床中流体与固体颗粒之间的传热	441
20-8	流化床和器壁或换热器壁面之传热	441
第四节	固体流态化设备简介	442
20-9	壳体	442
20-10	加料口与卸料口	442

第四篇 机械操作过程

第二十一章 固体的粉碎与筛析

第一节	概述	444
21-1	基本概念	444
21-2	粉碎机械的分类	445
21-3	粉碎规程和粉碎流程	446
第二节	粉碎机	446
21-4	颚式压碎机	446
21-5	锥式轧碎机	449

21-6	滚筛机	449
21-7	离心锤击式粉碎机	452
21-8	盘磨	452
21-9	球磨与棒磨	453
21-10	环滚研磨机	456
21-11	胶体磨	457
第三节	物料的分级筛选	458
21-12	筛与筛析	458
21-13	筛的构造	460
第四节	水力分级和空气离析	462
第二十二章	固体的输送与加料	
第一节	概述	465
22-1	分类	465
第二节	有牵引装置的运输设备	465
22-2	带式运输机	465
22-3	板式运输机	468
22-4	刮板运输机	469
22-5	斗式提升机	469
第三节	无牵引装置的运输设备	471
22-6	螺旋运输机	471
22-7	振动式运输机	472
22-8	重力运输设备	472
第四节	机械运输设备的计算	473
22-9	机械运输设备的生产能力	473
22-10	机械运输设备的功率消耗	475
第五节	气力和水力运输	476
22-11	气力运输	476
22-12	水力运输	477
第六节	加料设备	478
22-13	加料斗及闸门	478
22-14	旋转加料器	479

附 录

1.	某些溶液在大气压下的沸点	481
2.	对水溶液的校正系数 f 值	481
3.	某些物质的结晶热	482
4.	冷冻剂的饱和蒸汽表	483
5.	冷冻盐水的物理性质	484
6.	某些二元物系在 $p=1$ 绝对大气压时的汽液平衡组成	486
7.	某些物料的平衡湿含量 C_p	487
8.	氨冷冻剂的温焓图	489

第十章 蒸 发

第一节 概 述

在工业上有时需要提高溶液中溶质的浓度(增浓),或使溶质成为固态从溶液中析出(结晶)。为此,我们可通过溶剂的汽化并除去其蒸气而达到目的。

使溶液中溶剂因汽化而除去的操作称为蒸发。

蒸发广泛的应用于化学工业(如制碱工业)、食品工业(制糖工业)、医药工业等生产过程中,它为重要的化工单元操作之一。

10-1 蒸发的条件

蒸发可分两种方式,即沸腾蒸发和自然蒸发。

自然蒸发是使溶液中溶剂在低于其本身的沸点温度下汽化,如海盐的晒制,且溶剂的汽化只在溶液的表面进行,所以溶液的蒸发过程缓慢,故工业上应用较少。

沸腾蒸发是使溶液中溶剂在沸点的情况下汽化,在汽化过程中溶液呈沸腾状态,故汽化不仅发生在溶液的表面,同时也发生在溶液的內部,因此溶液的浓缩速度较前者为快。工业上的蒸发大都是在沸腾状况下进行。

无论是自然蒸发或沸腾蒸发,都必需具备下列条件:

(一)溶剂为挥发性物质而溶质为不挥发性物质 只有具备上述性质的溶液,才能应用汽化的方法除去溶剂,使溶液得到浓缩,若二者均为挥发性物质,就不能凭借蒸发的方法达到蒸浓的目的,此种情况将在以后“蒸馏”中讨论。

(二)不断供给热能 溶液要汽化就需要供给热量,同时汽化后生成的蒸汽(称二次蒸汽)不断排除,并将带走热量。因此,为了汽化能不断的进行,必需不断的由外部供给热量。

热源的种类很多,一般用得最多的为水蒸汽(称加热蒸汽)和溶剂汽化后生成的蒸汽(称二次蒸汽),此外还有烟道气、电流、高沸点液体及其蒸汽,以及动力设备的废气。

(三)将汽化生成的蒸汽不断的抽出 要汽化进行,除应不断的供给热能外,还必需不断的抽出汽化新生成的蒸汽。否则蒸发生成蒸汽的蒸汽压与溶剂蒸汽的分压相等时,成立了平衡状态,致使沸腾蒸发操作不能继续进行。

10-2 蒸发的方法

蒸发的分类方法很多,一般有下列几种。

(一)按加热的方式,蒸发可分为:直接加热蒸发与间接加热蒸发两种。

(1)直接加热蒸发 是将热源直接通入溶液之中,使二者直接接触。由于热源的加入对溶液有剧烈的搅动作用,故有助于蒸发操作在良好的情况下进行。如浸没燃烧蒸发器,就是把烟道气或煤气用鼓风机及喷嘴喷入溶液之中燃烧,使溶液沸腾汽化,这种蒸发器由于能充分的利用热能,故效率很高,约为 90~95%。

(2)间接加热蒸发 其特点是热能通过间壁传给溶液,这是目前工业上广泛采用的方法。由于热能的传递,多了一层间壁的热阻,且当处理易生垢层的溶液时还将受到垢层的影响,致使热能不能得到迅速的传递而影响蒸发操作的良好进行。故一般认为,直接加热蒸发,比间接加热蒸发优越。

(二)按操作压强分

(1)常压蒸发 即蒸发操作是在常压下进行,从溶液中形成的二次蒸汽排入于大气之中。此种蒸发方法最简单。

(2)减压蒸发(真空蒸发) 即将二次蒸汽在特设的冷凝器中冷凝,并以真空泵抽去其中不凝性气体,以造成设备中的真空,真空蒸发将使溶液沸点降低。

(3)加压蒸发 即操作是在加压下进行,因而溶液的沸点升高,二次蒸汽的温度升高,就有可能利用二次蒸汽来作为其它设备(预热器、暖气装置)的加热剂。

(三)按蒸发器的效数分(或按二次蒸汽是否再作为蒸发的热源来分)

(1)单效蒸发 凡溶液在蒸发器内蒸发时,其所产生的二次蒸汽不再利用,则此种蒸发操作,称为单效蒸发。

(2)多效蒸发 产生的二次蒸汽,用作另一蒸发器的加热蒸汽,此种蒸发过程,谓之多效蒸发。

(3)热泵蒸发 其原理是借压缩机绝热压缩二次蒸汽而将蒸汽的饱和温度提高,并重新作为本效的热源。

第二节 蒸发器及其附属设备

10-3 对蒸发器的要求

蒸发器为实现蒸发操作之设备。为使蒸发设备的设计更为合理,应重点的考虑下列三方面问题。

(一)设备的经济程度 即指单位重量的加热蒸汽,所能蒸发的溶剂(水分)量,这一指标表明了加热蒸汽利用的程度。

(二)设备的生产操作程度 乃是指单位传热面,在单位时间内所能蒸发的溶剂(水分)量,这一指标表明了金属的利用程度。

(三)符合工艺过程的特点 被蒸发的溶液皆具有一定的特性,例如溶液增浓时结晶的生成以及沉淀和污垢的生成,这些都将导致传热效率的降低,因而加热部分须经经常清洗;对于腐蚀性溶液,尚需考虑设备的腐蚀问题;对热敏性溶液,尚须考虑温度的控制问题。因此,对蒸发设备的考虑,不应该对溶液的各种性质有所忽视。

所谓溶液的热敏性,是指该溶液在高温下易于分解变质,对于这种物料可采用真空蒸发以避免高温,或者使溶液在蒸发器内停留时间及与加热面接触时间缩短。例如单程循环、高速度蒸发等。

为了防腐蚀,有的设备需用特殊材料制成,增大了设备的造价,因此设计时应考虑使设备结构简单,并尽可能采用易于获得的廉价代用材料。

10-4 蒸发设备的分类

(一)自然循环蒸发器 溶液在设备内的循环,是由于溶液的重度不同所致,按此原理构成的蒸发器,称为自然循环蒸发器。

(二)强制循环蒸发器 溶液在设备内的循环,是依靠外界加入动力所导致的强制运动,按此种原理构成的蒸发器,称为强制循环蒸发器。

(三)单程蒸发器 溶液在设备内仅加热蒸发一次,不作循环,按此原理构成的蒸发器,称为单程蒸发器。

(四)其它类型的蒸发器。

10-5 蒸发器的介绍

(一)自然循环蒸发器

(1)夹套式和蛇管式蒸发器 夹套式蒸发器常为开口蒸发锅,间歇操作。此为较旧式的设备,出现于上世纪初。在浓缩粘滞的溶液与有结晶的溶液时可采用。此设备虽然简单,但有一系列的缺点,即生产能力小,在加热表面上极易生成锅垢和沉淀而严重的影响到传热系数的降低。且消耗之金属材料亦多,故在生产上的应用受到了一定的限制。

蛇管蒸发器同夹套式的相比,单位传热面消耗的金属材料少,传热效果也较好,但是蛇管式的制造较复杂,需经常清理,传热面也不够大,因此也仅在特殊的情况下应用。

(2)中央循环管式(标准式)蒸发器 此种设备如图10-1所示。早在100年以前已被采用,但由于结构紧凑,传热良好,能连续操作,到目前为止还广泛的被应用着。

设备的加热部分置有许多加热管(沸腾管),在加热管中央有一管径较大的中央循环管。由于中央循环管的截面较大,因此一定量溶液所占有的传热表面就较沸腾管内同等量的溶液为小,故在加热时中央循环管内的溶液较沸腾管内溶液被加热的程度小。因而这部分溶液重度大,这就使溶液产生由中央管下降而过沸腾管上升的不断循环,提高了蒸发器的传热系数和生产能力。

为了得到合乎要求的循环速度(0.4~0.5米/秒),循环管的截面应不小于所有加热管截面积的35~40%。

(3)悬筐式蒸发器 悬筐式蒸发器如图10-2所示,实际上是中央循环管式蒸发器的变形。这种类型蒸发器的加热室可以取出更换。由于液体循环是通过壳体与加热室间的环形间隙进行的,因此它

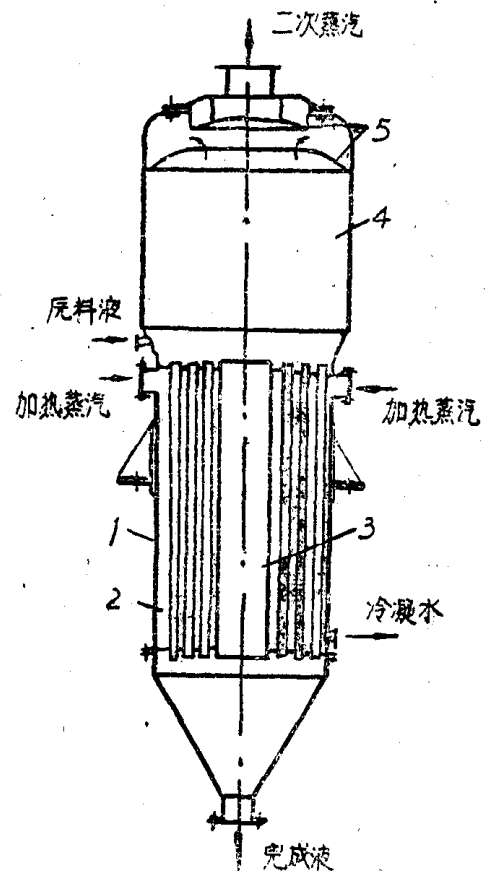


图10-1 中央循环管竖式蒸发器

1—外壳; 2—竖管加热室; 3—中央循环管;
4—分离器; 5—除沫器

的热损失比中央循环管式的为少。

这种设备多用于易生成结晶的溶液的蒸发,并常常增设析盐器,以利于晶体与溶液的分离。图 10-3 所示为一有析盐器 2 和 3 的结晶式蒸发器。

这种蒸发器的缺点在于单位传热面的金属消耗量大,装置复杂,因此其应用也受到一定限制。

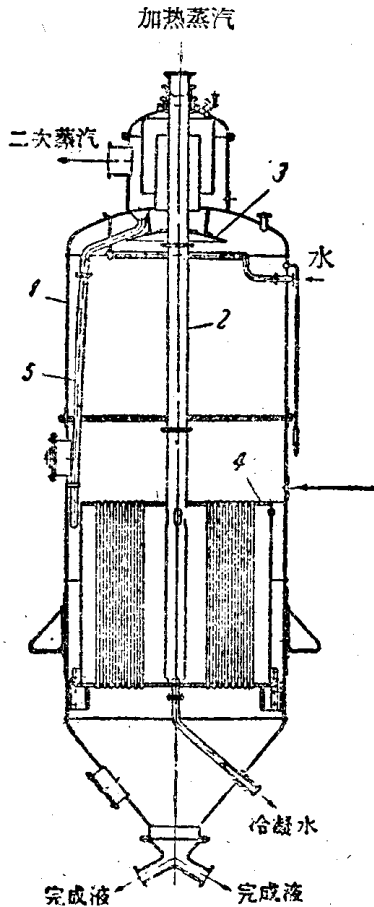


图 10-2 悬筐式蒸发器

1—外壳；2—加热蒸汽管；3—除沫器；
4—加热室；5—回流管

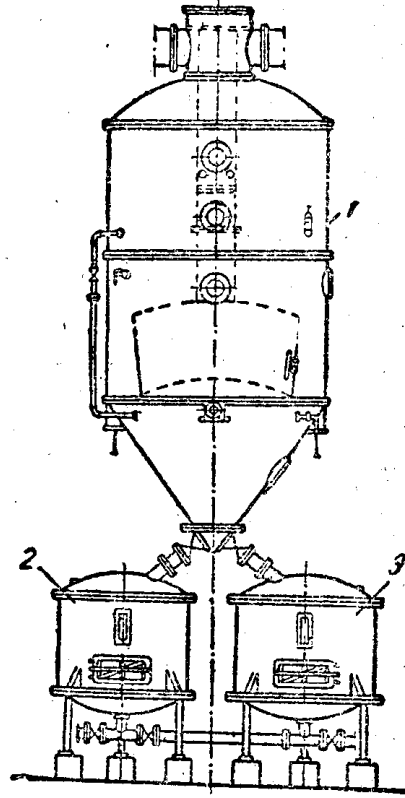


图 10-3 结晶蒸发器

1—悬筐式蒸发器；2和3—析盐器

(4) 外加热式蒸发器 外加热式蒸发器如图 10-4 所示,此蒸发器的加热室很长,因而安装于蒸发室外。这样,蒸发器的高度可降低,且循环管未受到蒸汽加热,故加快了溶液的自然循环速度,设备的清洗亦较方便。对于易形成锅垢的溶液,可采用外热倾斜式蒸发器如图 10-5 所示。图中加热室的下端 4 为一可以打开的盖子,便于管子的清洗。

(5) 列文蒸发器 当蒸发浓稠而易于结晶和生垢的饱和溶液时,可用上述各类型的自然循环蒸发器。由于都具有循环速度较小(在 0.1~1.5 米/秒以下)的缺点,因此使溶液易析出晶体而生成沉淀,从而降低了传热效率。苏联学者 P. E. 列文设计的列文蒸发器,克服了上述缺点。其特点为:

- (i) 使溶液在加热管中不沸腾;
- (ii) 溶液具有较大的循环速度。

针对上述基本要求,就形成了列文蒸发器构造上一系列的特点:

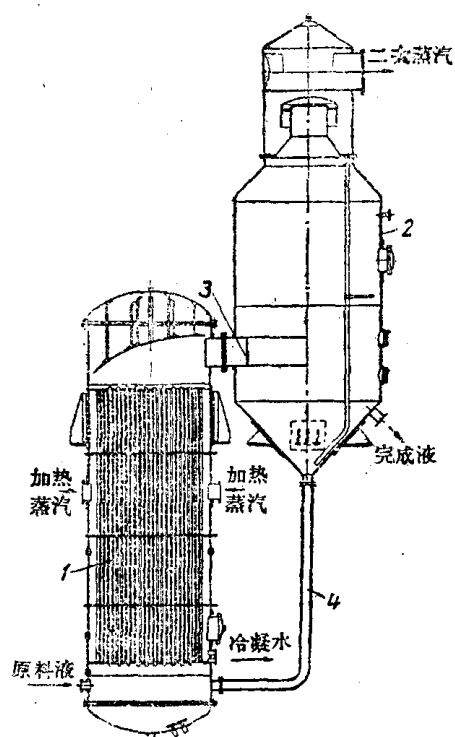


图 10-4 加热室在外的蒸发器

1—加热室；2—分离器；3—汽液混合体导管；4—循环管

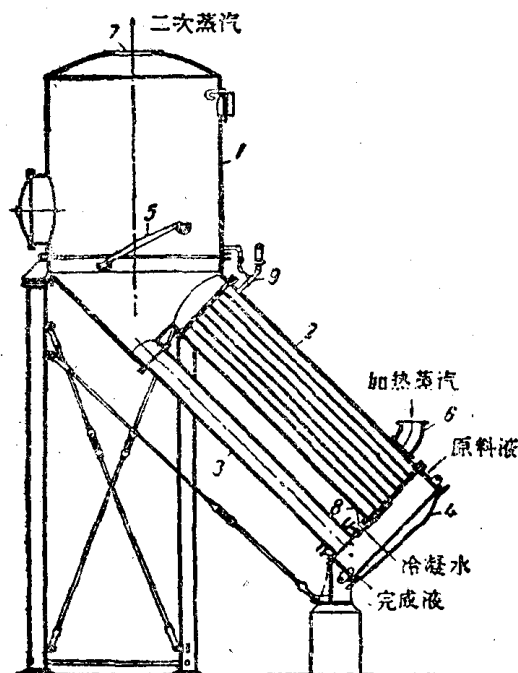


图 10-5 倾斜加热室在外的蒸发器

1—蒸汽室；2—加热室；3—循环管；4—可打开的盖；5—除沫器；6—加热蒸汽进口；7—二次蒸汽出口；8—冷凝水出口；9—空气及气体排出管

(i) 加热室上装有一段长管，以增加液柱的静压强，因而就避免了沸腾在加热管中进行，使结晶不会在此区域内析出而生成沉淀；

(ii) 沸腾管上部装有隔板，使汽泡能均匀分散于溶液之中，从而降低溶液的重度以增加溶液之循环速度；

(iii) 循环管截面远远超过加热管之截面，有利于溶液循环速度的提高。

由于上述特点，列文蒸发器已被成功地运用。其循环速度可达 2~3 米/秒，较长时期不必清洗而传热效果良好。列文蒸发器亦有一定的缺点，即设备高大，耗费材料多，且循环管上之文氏流量计增加了一定的阻力。此等问题尚有待于今后进一步改进。图 10-6 所示为列文蒸发器，料液连续的进入并经过循环，结晶在蒸发室内之锥形部分析出，蒸汽经捕沫器之后自顶部排出。

(二) 强制循环蒸发器 上述所讨论的皆是属于自然循环的蒸发器，其循环速度一般较小。为了防止结晶和沉淀在加热表面上生成，为了进一步提高溶液的给热系数，必须加大溶液的循环速度。因此出现了强制循环蒸发器，如图 10-7 所示。

所谓强制循环，是依靠外加动力迫使液体沿一定方向循环，速度一般可达 1.5 米/秒至 3.5 米/秒的范围，设备生产强度大。

图 10-7 中的 1 为加热室，由直径为 20 毫米、长度为 3~4 米的管子所组成。这些管子伸到蒸汽室 2 中的长度约为其总长的 $1/4 \sim 1/3$ ，循环泵 3 迫使溶液由加热管向上循环。完成液则由蒸汽室下部的圆锥形底引出。二次蒸汽与液体的混合物撞击到除沫器 4 上，则二次蒸汽继续上升由顶部逸出，液体则受阻落下，从圆锥形底部被循环泵吸入，迫使进入加热

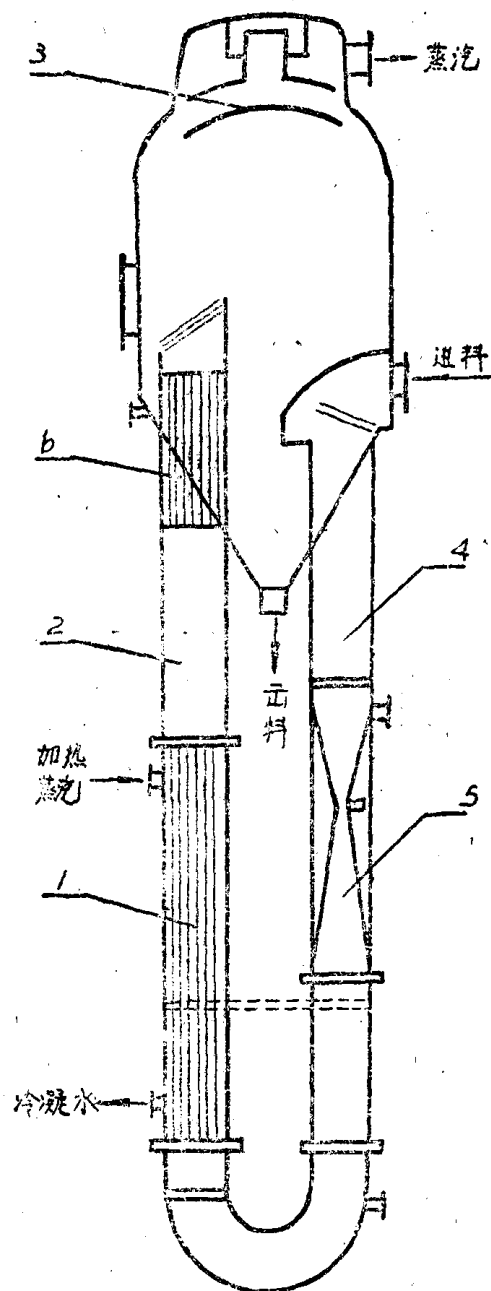


图 10-6 列文蒸发器

1—加热管；2—沸腾室；3—捕沫器；4—循环管；
5—文丘里管；6—沸腾室隔板

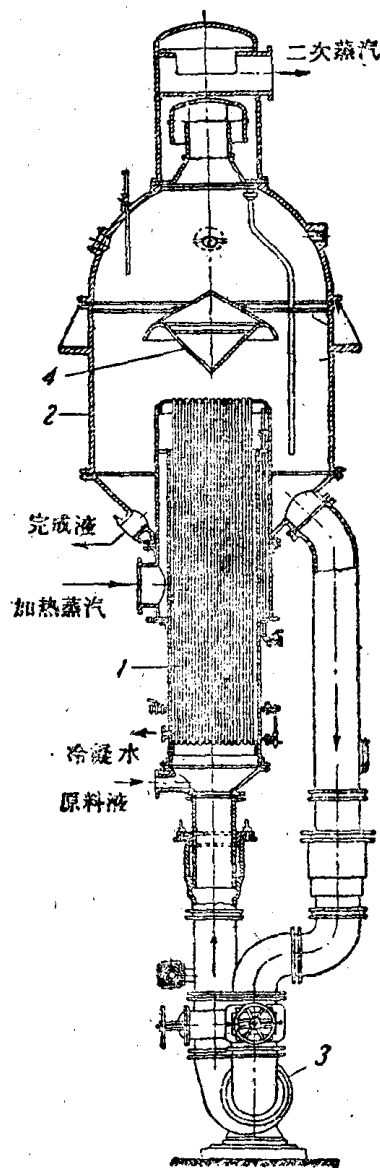


图 10-7 强制循环蒸发器

1—加热室；2—蒸汽室；
3—循环泵；4—除沫器

室，如此继续循环。

图 10-3 系用于在蒸发过程中有晶体析出的强制循环蒸发器，加热室系安装于蒸发器之外。同时有循环泵 1 与晶体过滤器 6，圆锥形底 5 则用作晶体沉降槽。由于循环速度大，致使生成的晶体保持为悬浮状态，不易沉于加热面上。强制循环蒸发器的主要缺点在于动力消耗太大，尚需进一步改进。

(三)单程蒸发器(液膜蒸发器) 上述各种蒸发器虽各有优点，但都存在着共同的缺点，即溶液在器内产生混合。已经蒸发的溶液和未经蒸发的溶液的浓度差异，由于循环而减小，当混合程度愈大，器内各部浓度愈趋一致，且都等于最终产品浓度，因此而引起了沸点上升，