

刘殿宇 著

Design and Application of
the Falling Film Evaporator

降膜式蒸发器 设计及应用



化学工业出版社

刘殿宇 著

Design and Application of
the Falling Film Evaporator

降膜式蒸发器 设计及应用



化学工业出版社

· 北京 ·

降膜式蒸发器在食品、制药、医疗保健用品、化工、玉米深加工及污水处理等行业应用广泛,但相对来说有关这方面的参考资料较少。本书作者具有丰富的降膜式蒸发器设计、使用实践经验,书中内容大多来自作者的一手资料。本书在系统介绍降膜式蒸发器设计理念的同时,通过大量的设计实例及相关的计算,使读者了解选择使用降膜式蒸发器的方法,以及从事不同领域降膜式蒸发器设计中需要考虑的影响因素。

本书适合化工机械、食品机械设计人员以及食品、制药、玉米深加工及污水处理等行业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

降膜式蒸发器设计及应用/刘殿宇著. —北京:

化学工业出版社, 2015. 10

ISBN 978-7-122-25159-6

I. ①降… II. ②刘… III. ①降膜蒸发器-设计

IV. ①P747

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 218086 号

责任编辑: 李晓红
责任校对: 宋 夏

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张16 字数400千字 2016年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 78.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

20世纪70年代初期,我国第一台双效降膜式蒸发器在黑龙江省乳品机械总厂研制成功。到了20世纪90年代中期,由本厂设计并制造的三效降膜式蒸发器才真正开始应用于乳品工业生产中,并于同年出口到国外。随着我国经济的快速发展,降膜式蒸发器的生产企业也得到了发展,降膜式蒸发器在不同领域内得到了应用。在此期间国外的蒸发器也相继进入了我国。

降膜式蒸发器有别于其他形式的蒸发器,其特点是料液在蒸发器中受热温度较低(加热温度大都小于 100°C),大都是在真空减压下加热完成蒸发,属于低温蒸发。连续进料、连续出料,蒸发速率快,料液在蒸发器中停留时间短,最大限度地保证了料液中有益元素不被破坏。因此,这种蒸发器不但适合非热敏性物料的蒸发,而且尤其适合热敏性物料的蒸发,在乳品、果汁、咖啡、蛋品、饮料、医疗保健用品、玉米深加工及污水处理等工业生产中都得到了成功的应用。降膜式蒸发器的另一特点是节能。采用多效蒸发及热压缩技术(或机械压缩技术),可充分利用二次蒸汽作为加热热源,节能效果显著,在生产实践中获得了良好的经济效益。

由于是低温蒸发,连续进料连续出料,所以一台三效降膜式蒸发器单位时间内,即每小时每蒸发1t水大约需要换热面积为 50m^2 左右(设备内无杀菌装置)。蒸发浓度较高的料液其蒸发面积更大。因此,一次性投资相对较大。

降膜式蒸发器的设计过程比较繁琐,首先要进行蒸发器的工艺计算,即通过物料及热量衡算确定出蒸发器的换热面积、预热面积及相关零部件等。物料的性质、工艺参数及其工艺要求不同,降膜式蒸发器的结构形式差异也较大。

本书共分9章,主要围绕降膜式蒸发器的设计及其应用中容易出现的问题结合作者多年设计的经验列举应用实例进行计算并作阐述。

需要说明的是本书中蒸发器的换热面积计算还不是很精准,其中传热系数等还是经验数值,尚不能精准量化。影响传热的因素也较多,与材料、管子规格、加热介质、物料特性、传热温差、操作条件、蒸发器的结构形式及制造水平等因素都有关系。这就需要设计者在实践中不断研究,不断探索,积累更多的经验,计算出更加合理的传热系数数值,从而满足不同料液蒸发的需要。

由于水平所限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正,以便进行修正。

刘殿宇

2015年10月于上海



目录

CONTENTS

第1章 常用的蒸发器种类及降膜式蒸发器的发展

1.1 蒸发器的蒸发及其节能	1	1.5 降膜式蒸发器	8
1.2 升膜式蒸发器	7	1.6 混合式蒸发器应用的范围	13
1.3 外循环蒸发器	7	1.7 板式升降膜式蒸发器	13
1.4 强制循环蒸发器	8		

第2章 蒸发器工艺计算及零部件设计

2.1 单效蒸发器的工艺计算	14	2.3.4 预热器的设计	30
2.1.1 蒸发量的计算	14	2.3.5 分离器的设计	37
2.1.2 加热蒸汽耗量的计算	14	2.3.6 下器体的设计	38
2.1.3 蒸发器传热面积计算	15	2.3.7 热泵的设计	39
2.2 多效蒸发器的工艺计算	16	2.3.8 蒸发器中杀菌器的设置	48
2.2.1 蒸发量的计算	17	2.3.9 冷凝器的设计	48
2.2.2 加热蒸汽耗量的计算	17	2.3.10 真空泵的计算及选型	53
2.2.3 蒸发器传热面积的计算	20	2.3.11 物料泵及冷凝水泵 的确定选型	56
2.3 蒸发器零部件的设计	25	2.3.12 蒸发器蒸汽、出料、冷凝水及 不凝性气体接口的设计	61
2.3.1 蒸发器效体的设计	25	2.3.13 检测仪表及照明灯的设置	61
2.3.2 料液分布器的设计	26		
2.3.3 降膜管在管板上的排列	28		

第3章 降膜式蒸发器的设计

3.1 单效降膜式蒸发器的设计	63	3.6 采用不同计算方法计算蒸 发器换热面积	91
3.2 双效降膜式蒸发器的设计	73	3.7 四效降膜式蒸发器的设计	92
3.3 带预热及杀菌的双效降膜 式蒸发器的设计	76	3.8 降膜式蒸发器分程及其 注意事项	98
3.4 带预热及杀菌的三效降 膜式蒸发器的设计	81	3.9 降膜式蒸发器节流孔板的计算及 其调整对加热温度的影响	102
3.5 用于浓度较高料液蒸发的三 效降膜式蒸发器的设计	86	3.10 料液置换水与水置换料液	105

第4章 降膜式蒸发器有无热压缩蒸汽耗量的比较

4.1 单效降膜式蒸发器有 无热泵的比较	107
-------------------------------	-----

4.2 双效降膜式蒸发器有 无热泵的比较	109	无热泵的比较	114
4.3 三效降膜式蒸发器有 无热泵的比较	111	4.5 四效降膜式蒸发器热压缩不 同效二次蒸汽的比较	117
4.4 四效降膜式蒸发器有		4.6 热泵使用效果及设 计注意事项	122

第5章 不同加料方法蒸汽耗量的比较

5.1 主要技术参数	123	5.2.3 逆流加料、一效出料 的蒸汽耗量	127
5.2 不同加料方法的比较	123	5.2.4 低于沸点温度并流加 料的蒸汽耗量	128
5.2.1 并流加料、末效出料 的蒸汽耗量	124	5.3 闪蒸脱汽设备	130
5.2.2 混流加料、二效出料 的蒸汽耗量	126		

第6章 降膜式蒸发器的自动控制

6.1 蒸发器自动控制程序 的编写过程	131	6.2.2 压力变送器、差压变送器 与调节阀	133
6.2 控制阀的选择	133	6.2.3 密度检测	140
6.2.1 管道上常规阀门	133		

第7章 降膜式蒸发器安装调试过程及注意事项

7.1 设备原理	141	7.6 蒸发器蒸发温度高 对奶粉质量的影响	147
7.2 设备安装	142	7.7 导致蒸发器生产能力降 低的因素	148
7.3 设备调试	142	7.8 多效降膜式蒸发器蒸发温 度升高的原因	150
7.4 蒸发器真空度保持不 住的原因	144		
7.5 蒸发器清洗间隔时 间缩短的原因	145		

第8章 降膜式蒸发器在各领域应用及注意事项

8.1 降膜式蒸发器预热器的设置	153	8.7.1 帽式捕沫器	158
8.2 预热器的计算	154	8.7.2 挡板式捕沫器	159
8.3 预热器形式的确定	155	8.7.3 其他形式捕沫器	159
8.4 板式蒸发器的预热问题	155	8.8 杀菌装置的设置	160
8.5 国内板式蒸发器存在的问题、 建议及其发展方向	156	8.8.1 间接式杀菌装置	161
8.6 盘式液体分布器结构特点及 其应用效果	157	8.8.2 直接式杀菌装置	163
8.7 分离器的设计注意事项	158	8.8.3 管式杀菌的控制研究	166
		8.9 温差损失对蒸发器换热面 积的影响	169
		8.10 闪蒸脱汽设备的设计及应用	171

8.11 利用末效二次蒸汽对物料预热的节能效果及意义	173	8.20 多效降膜式蒸发器换热面积分配原则	198
8.12 大型蒸发器中冷凝水的回收利用	175	8.21 回收污染物的方法	204
8.13 降膜式蒸发器的绝热保温处理	177	8.22 混合式蒸发器设计注意事项	206
8.14 混合式三效蒸发器在谷氨酸二次母液上的应用	178	8.23 MVR 蒸发器与 TVR 蒸发器节能效果比较	209
8.15 红曲色素生产中浸提液的蒸发及酒精回收的设计	180	8.24 关于蒸发过程中香气回收问题	214
8.16 降膜式蒸发器在茶多酚生产中的应用	184	8.25 外循环及强制循环蒸发器设计注意事项	215
8.17 板式升降膜蒸发器在胶原蛋白生产中的应用	188	8.25.1 外循环蒸发器未能达到生产能力的原因为何	215
8.18 浓缩与喷雾干燥设备的合理匹配	192	8.25.2 强制循环蒸发器设置热泵的应用效果	218
8.19 降膜式蒸发器效数的确定原则	195	8.26 四效降膜式蒸发器在酶解蛋白生产中的应用	221

第9章 国内引进蒸发器的特点

9.1 我国引进丹麦四效降膜式蒸发器	228	9.4 我国引进 GEA 可切换四效降膜式蒸发器	231
9.2 我国引进 GEA 四效降膜式蒸发器	229	9.5 我国与国外降膜式蒸发器比较	232
9.3 我国引进 GEA 混合式多效蒸发器	230		

附 录

附表 1 管壳式冷却器总传热系数	234	附表 9 夹套式蒸发器总传热系数	240
附表 2 管壳式换热器总传热系数	235	附表 10 螺旋板式换热器总传热系数	240
附表 3 管壳式加热器总传热系数	235	附表 11 其他换热器总传热系数	240
附表 4 管壳式冷凝器总传热系数	236	附表 12 饱和水蒸气及饱和水质表(依温度排列)	241
附表 5 蛇管式冷却器总传热系数	237	附表 13 不同温度下无机水溶液的浓度	248
附表 6 蛇管式蒸发器总传热系数	238		
附表 7 蛇管式加热器总传热系数	238		
附表 8 蛇管式冷凝器总传热系数	239		

参 考 文 献

1.1 蒸发器的蒸发及其节能

蒸发分为加压蒸发、常压蒸发及减压蒸发三种。工业上的蒸发操作经常在减压下进行，这种操作称为真空蒸发。真空蒸发的优点是：可使加热蒸汽与料液的温度差加大；可低温蒸发，能够减少料液在蒸发过程中的热变性；可采用多效蒸发，从而降低蒸汽的消耗；可利用冷凝的方式将蒸发后的尾汽冷凝成液态，减少对大气的排放量及污染。但真空蒸发也有缺点，因为随着真空度的提高 [式 (1-1)]，蒸发潜热也随之加大。

$$r = 607 - 0.708t \quad (1-1)$$

式中 r ——水的蒸发潜热，kcal^①/kg；

t ——蒸发温度，℃。

可见在减压下低温蒸发，当扣除潜热后丝毫也不能节能，实际上为保持系统的真空度，必须启动冷凝器及真空泵并支付动力费用。从这一点看单纯地减压蒸发水分以浓缩料液是达不到经济的要求的，非反复多次利用蒸汽的潜热不可，即采用多效蒸发。

蒸发器要达到节能目的有以下几种途径：采用多效蒸发；采用热压缩二次蒸汽技术；采用完全机械压缩二次蒸汽技术；充分利用末效二次蒸汽及冷凝水热量对物料进行预热。

图 1-1 (a) 为蒸汽直接加热。图 1-1 (b) 为采用热压缩技术抽吸一部分二次蒸汽作为蒸发器的加热热源，即 TVR 蒸发器。图 1-1 (c) 为采用蒸汽压缩机将二次蒸汽全部进行再压缩作为蒸发器的加热热源，即 MVR 蒸发器。可以看出，由于在蒸发器中引入了节能装置，降低了能源的消耗。

目前在食品、制药、玉米深加工及生物化工等领域比较常用的蒸发器有外循环蒸发器、强制循环蒸发器、降膜式蒸发器、混合式蒸发器及板式蒸发器五种，如图 1-2 所示。

① 1cal=4.187J，下同。

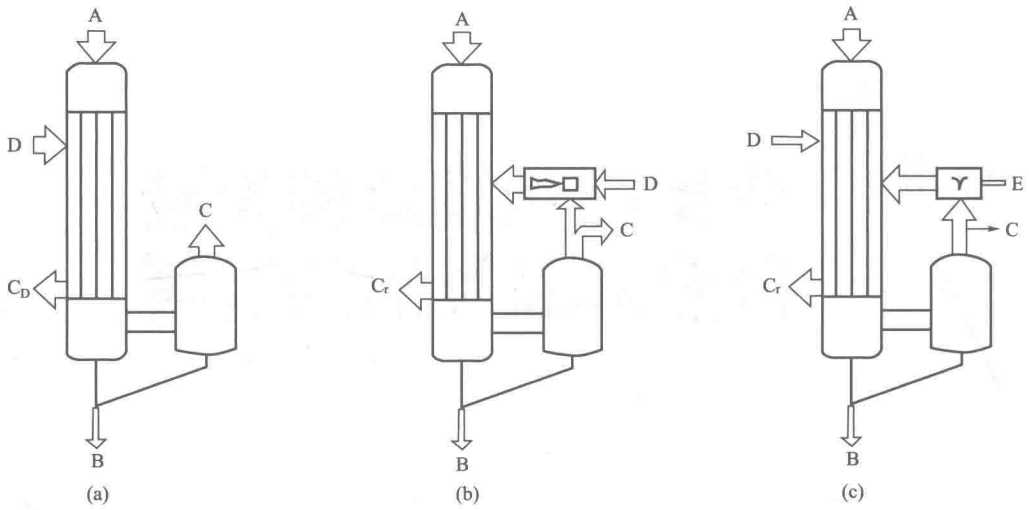
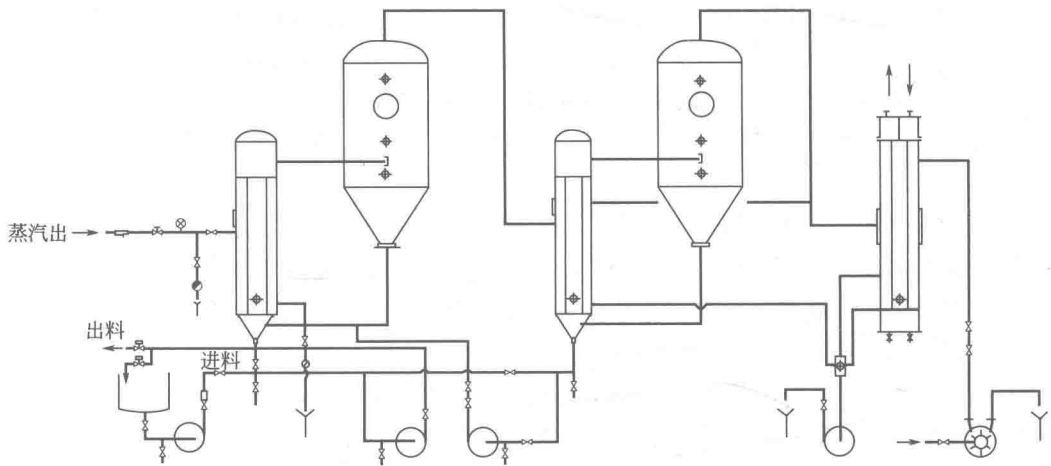
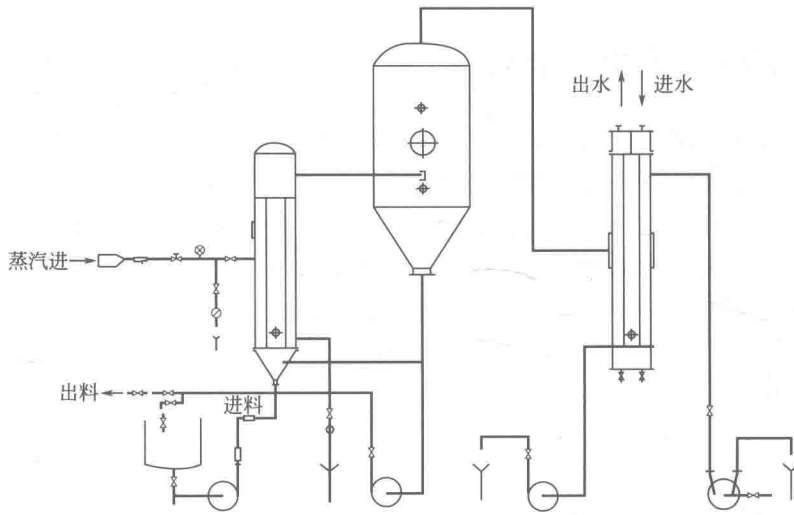
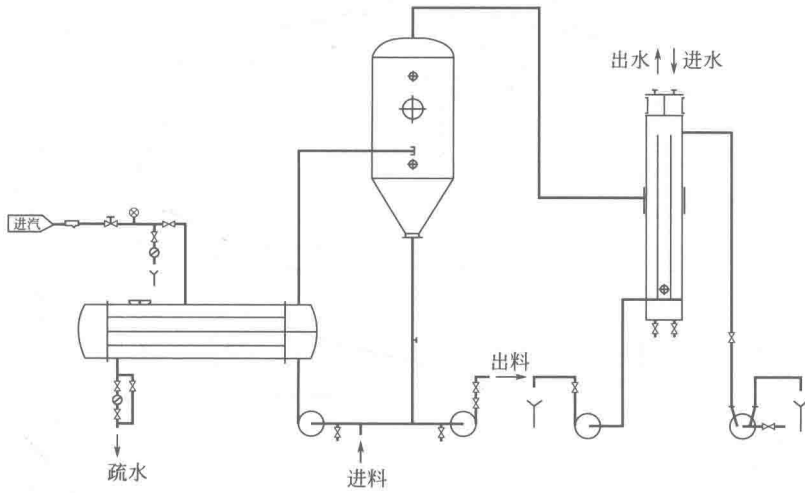
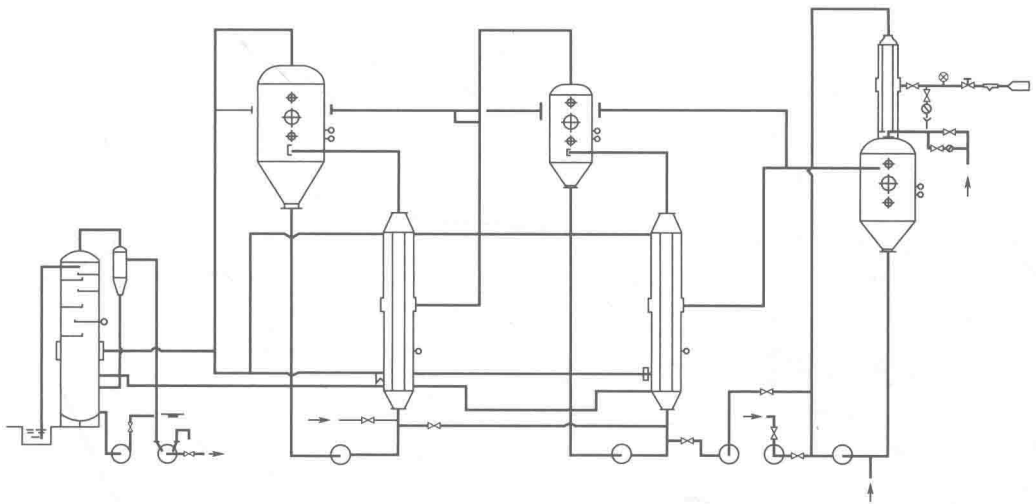


图 1-1 不同加热方式下的蒸发器质量能量



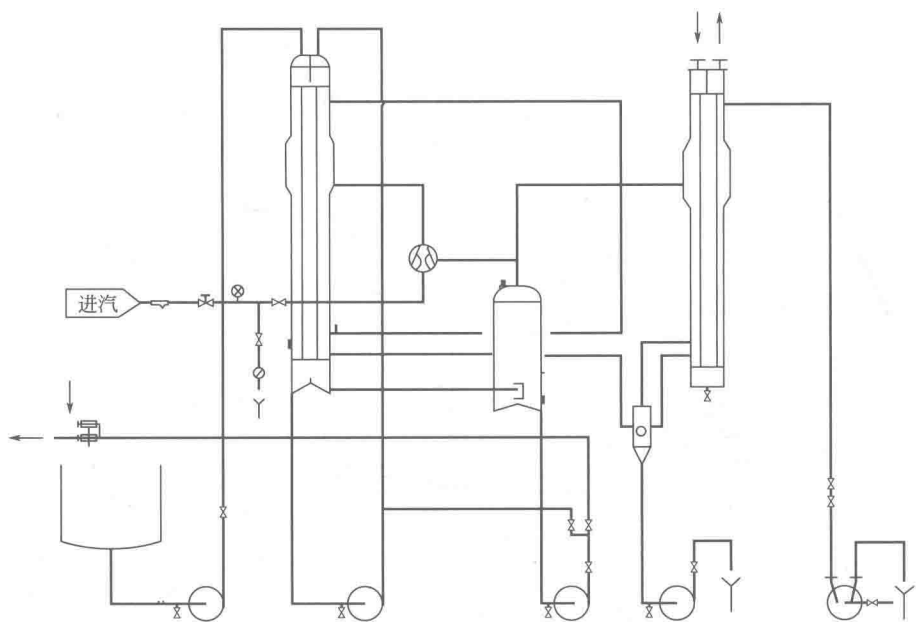


(c)单效卧式强制循环蒸发器

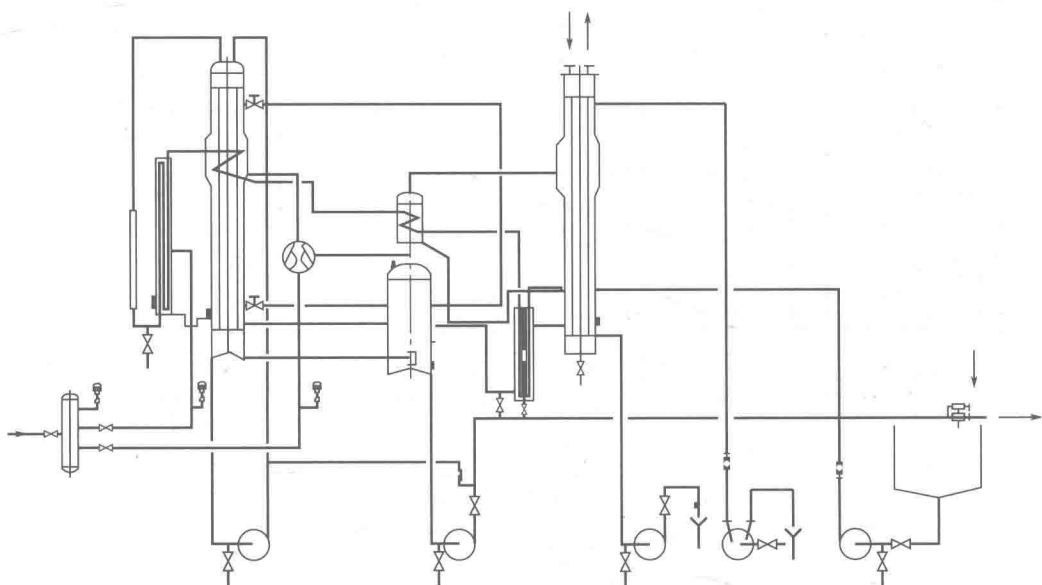


(d)三效强制循环蒸发器

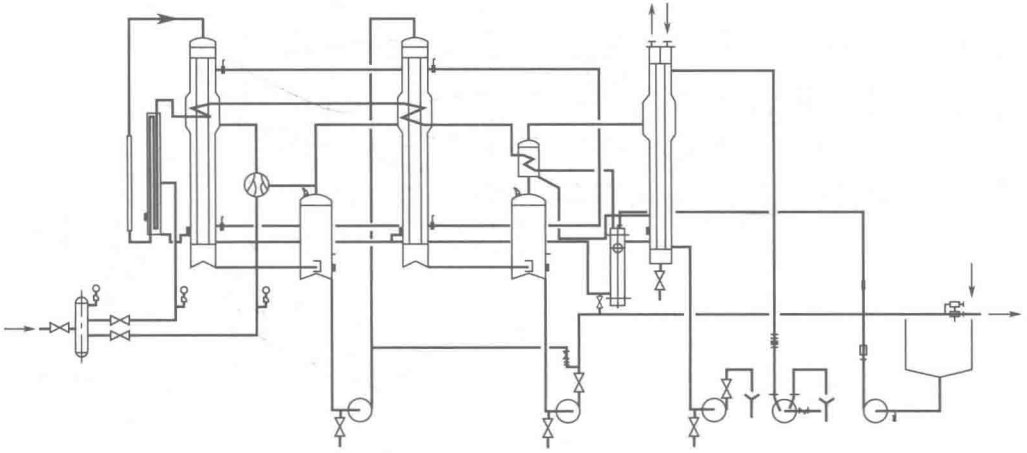
图1-2



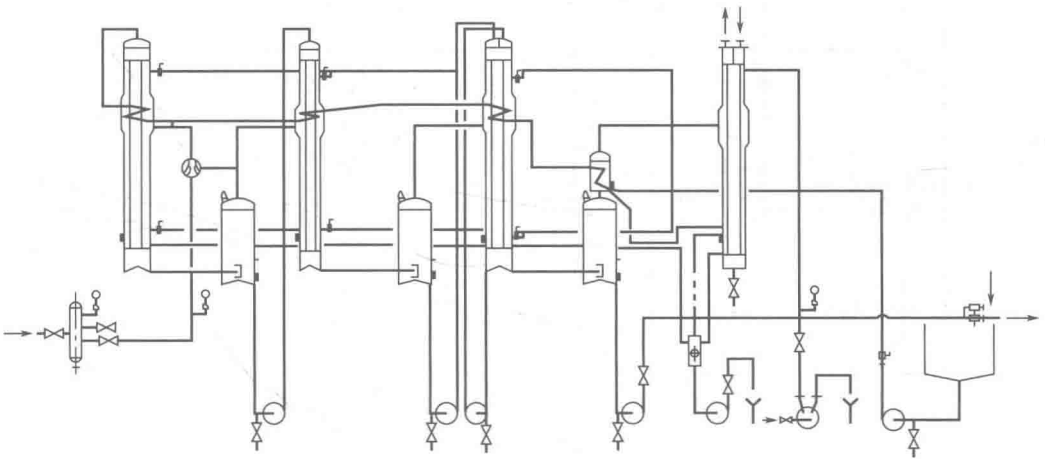
(e)单效降膜式蒸发器



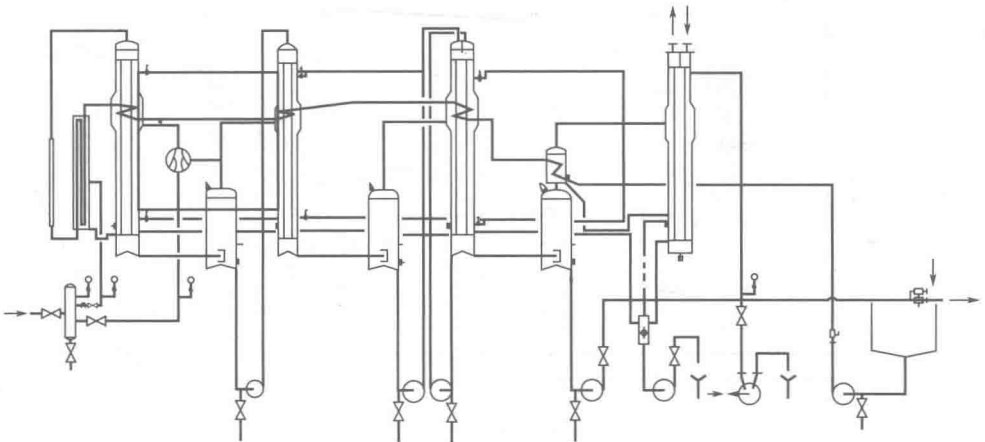
(f)单效降膜式蒸发器



(g) 双效降膜式蒸发器

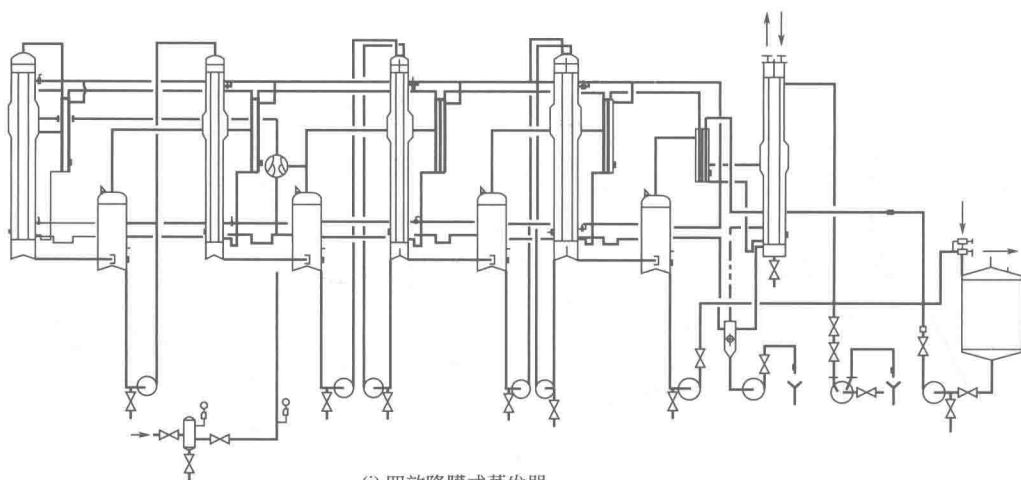


(h) 三效降膜式蒸发器

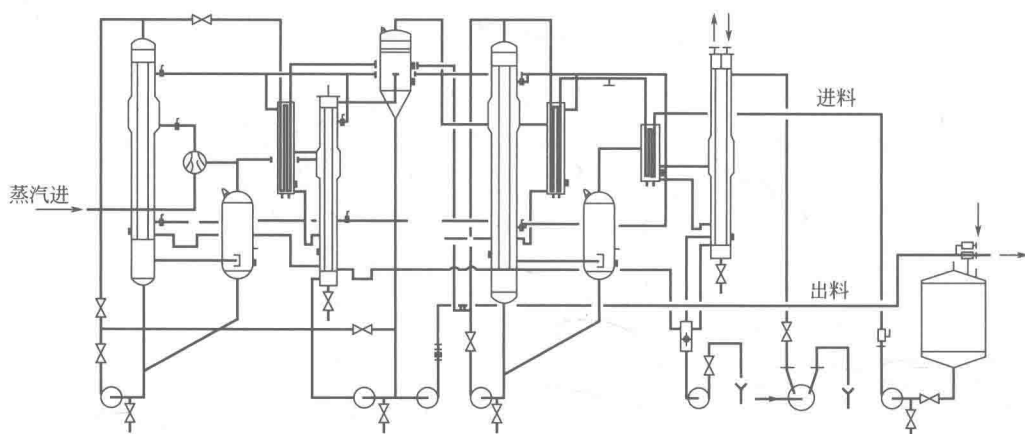


(i) 三效降膜式蒸发器(含杀菌)

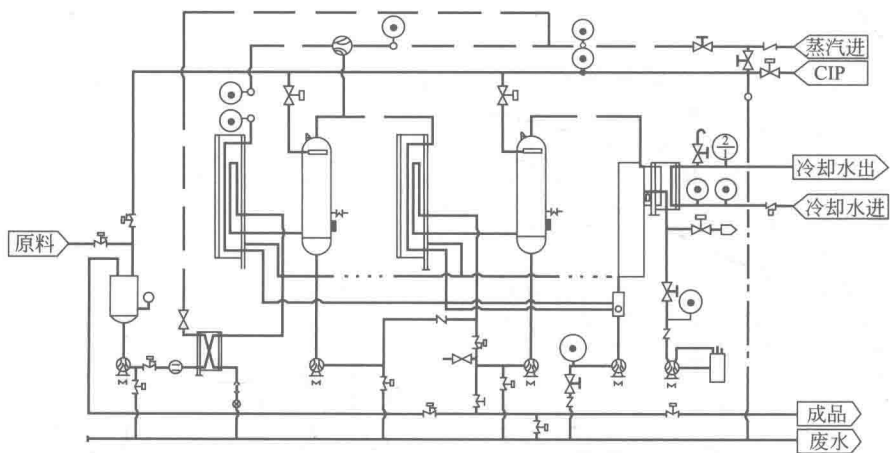
图1-2



(j) 四效降膜式蒸发器



(k) 混合式三效蒸发器



(l) 板式双效升降膜式蒸发器

图 1-2 几种常用的蒸发器

1.2 升膜式蒸发器

在升膜式蒸发器中, 料液在二次蒸汽流的拖动下以液膜的状态沿着管壁向上流动, 边流动边与管外加热介质进行热与质的交换并蒸发。升膜式蒸发器不适合浓度较高的易结垢结焦或在蒸发过程中有结晶析出的料液的蒸发, 其特点是在高速的二次蒸汽流及真空的作用下在管壁成膜并向上运动, 蒸发后料液与二次蒸汽从蒸发器顶部进入分离器, 实现蒸发后料液与二次蒸汽的分离。

进入升膜式蒸发器中料液的温度必须大于或等于蒸发温度, 否则料液在蒸发器底部必有一部分受热面用来加热料液使其达到沸点后才能汽化蒸发, 不仅如此, 低温的物料进入蒸发器后不能马上形成液膜, 而且在泵及真空的作用下会以液柱的形式上升, 从而降低了蒸发效率。因此, 低于沸点温度的料液要经过预加热到沸点或沸点以上温度方可进入蒸发器, 这样蒸发参数才会很快达到要求并稳定。升膜加热管的长径比为 $100\sim 150$, 管径为 $25\sim 50\text{mm}$ 。升膜式蒸发器管长可高达 8m , 短管则为 $3\sim 4\text{m}$ 。升膜式蒸发器中液膜的形成完全依靠二次蒸汽及真空的推动, 二次蒸汽在加热管内的速度不低于 10m/s , 一般为 $20\sim 50\text{m/s}$, 减压下可高达 $100\sim 160\text{m/s}$, 甚至更高。需要加热温差比较大, 加热蒸汽压力不稳定或不足就会影响二次蒸汽对料液的向上拖动, 也会影响液膜的形成。升膜式蒸发器进料开始不能快, 要求在加热管中必须保持一定的料位高度, 否则难以成膜。这个量需要在生产实际中去摸索。尤其在多效升膜式蒸发器中, 如果次效靠二次蒸汽加热蒸发, 进料量必须严格加以控制, 否则便难以成膜, 难以蒸发。由于料液在加热管中的布膜完全靠高速的二次蒸汽流及真空带动下形成, 所以其膜不稳定, 进入分离器时在二次蒸汽与料液分离过程中更容易产生二次蒸汽中雾沫的夹带, 即分离不彻底而造成跑料。升膜式蒸发器的特点更适合高温加热蒸发, 这样可获得较高的加热温差并达到预期的二次蒸汽的流速。当蒸发量大于料液量实际的蒸发水分时也不能成膜, 甚至还引起结垢结焦。

升膜式蒸发器在生产过程中是连续进料连续出料, 它不同于外循环式蒸发器, 外循环式蒸发器间断出料, 料液在蒸发器中是靠密度差形成循环并蒸发, 加泵后料液在加热管中达到 $2\sim 5\text{m/s}$ 速度即为强制循环型蒸发器。而升膜式蒸发器的泵也不是强制循环的泵, 仅是维持正常进料的泵。料液在外循环蒸发器中自循环时间较长, 根据对出料密度(或浓度)的要求至少都在 20min 左右。自然外循环蒸发器加进一定料液泵即停止工作, 而升膜式蒸发器的物料泵是连续工作的。升膜式蒸发器当蒸发参数稳定后料液在蒸发器中不进行循环, 严格地说是一次进料一次出料即能达到设计蒸发要求。这种蒸发器要求加热温差较大, 二次蒸汽速度较高, 二次蒸汽中易产生雾沫夹带, 不易操作及控制, 所以升膜式蒸发器应用受到了限制。

1.3 外循环蒸发器

外循环蒸发器主要适用于物料浓度较大、黏度较大、易结垢结焦的料液的蒸发。如骨头汤、番茄酱及刺五加等中草药的蒸发浓缩, 如图 1-2 (a)、(b) 所示。这种蒸发器在化工、医药、食品等行业上仍有应用。由于料液在管内液柱较高, 提高了下部液体的沸点,

故要求加热误差较大,限制了多效使用。这种蒸发器生蒸汽(一次蒸汽)加热温度都较高。

外循环蒸发器是中央循环管蒸发器的变形,相比中央循环管蒸发器其方便清洗与检修。外循环蒸发器加热管管径常采用的规格是 $\phi 19\text{mm}\times 2\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}\times 2\text{mm}$ 、 $\phi 32\text{mm}\times 2\text{mm}$ 。其长径比在50~100之间,多在80左右。循环管截面积按加热管截面积的50%~60%选取。外循环蒸发器的蒸发过程与降膜式蒸发器的蒸发过程不同,降膜式蒸发器是边蒸发料液边与二次蒸汽分离,到了分离室已基本完成分离,而外循环蒸发器完成汽液分离绝大部分是在分离室中进行的。因此,外循环蒸发器就更容易产生雾沫夹带,甚至跑料。分离室必须要有足够的分离容积,除了进口要制成切线的方式外,分离室内要设置捕沫装置。二次蒸汽要在分离室顶部排出,二次蒸汽管道要插入分离室内一段,这段长度一般在150~250mm之间,这样可起到旋流的作用,有利于汽液进一步分离。为了更好地回收二次蒸汽中夹带的料液,也可在排出管道即分离室至冷凝器管道之间设置挡板式或旋流式捕沫装置。分离室偏小,二次蒸汽直接进入分离室,分离室中没有设置捕沫装置等在实际中比较多见,因此跑料现象在所难免。

外循环蒸发器与升膜式蒸发器最大的区别就在于外循环蒸发器料液蒸发后形成了密度差,循环管中料液密度高于加热室中料液密度,这样依靠料液密度差产生自然循环,如果在外循环管与加热室之间加装泵加快料液在加热管中的循环速度即为强制循环蒸发器。外循环蒸发器是间断进料间断出料,而升膜式蒸发器则是连续进料连续出料。升膜式蒸发器进料泵仅为正常进料而设置,而维持正常形成膜的量的泵并不是作为强制循环泵来用。升膜式蒸发器进料温度必须高于或等于沸点温度,否则料液在管中难以成膜,会降低蒸发效率,便不能连续进料连续出料。而外循环蒸发器则不需要。升膜式蒸发器蒸发后的料液一般不循环而是直接进入次效蒸发器或出料。

1.4 强制循环蒸发器

强制循环蒸发器主要用于浓度较大、黏度较大、在蒸发过程中易结垢结焦并含有颗粒物的耐热性比较强的料液的蒸发,如用于骨头汤、番茄酱、刺五加、污水、氯化钾等的蒸发浓缩,如图1-2(c),(d)所示。这种蒸发器可独立使用,也可与降膜、外循环蒸发器组合使用。目前应用较多。

强制循环蒸发器实际是在外循环蒸发器的基础上演变而来的。自然循环蒸发器亦即外循环蒸发器(或中央循环管蒸发器)是指在蒸发过程中由于蒸发的作用使料液产生密度差,料液依靠密度差产生循环。如果在料液循环管与加热室之间加装泵来加大循环速度即为强制循环蒸发器。强制循环蒸发器料液在加热管中循环速度为2~5m/s。强制循环蒸发器动力消耗大,通常为0.4~0.8kW/m²,这种蒸发器生蒸汽(一次蒸汽)加热温度都较高,因此这种蒸发器加热面积设计不宜太大。因此能用其他蒸发器蒸发的则不选用此蒸发器。

1.5 降膜式蒸发器

目前,实际中应用最为广泛的是降膜式蒸发器,如图1-2(e)~(j)所示。这是因为降膜式蒸发器加热温度低、蒸发速率快、物料在设备中停留时间短、节能。在食品、

乳品、化工、制药及玉米深加工中降膜式蒸发器都有广泛的应用，如用于果蔬汁、牛奶、蛋品、维生素 C、胶原蛋白、茶的浸泡液、谷氨酸钠等的蒸发浓缩，尤其适合热敏性物料的蒸发浓缩，物料在加热蒸发过程中有益元素能最大限度地得到保护。降膜式蒸发器分为单效、双效、三效及多效几种。根据料液特点及工艺需要，其加料方法也不尽相同。以三效降膜式蒸发器为例，其中最常用的加料方法是并流加料法，末效出料，如图 1-3 所示。

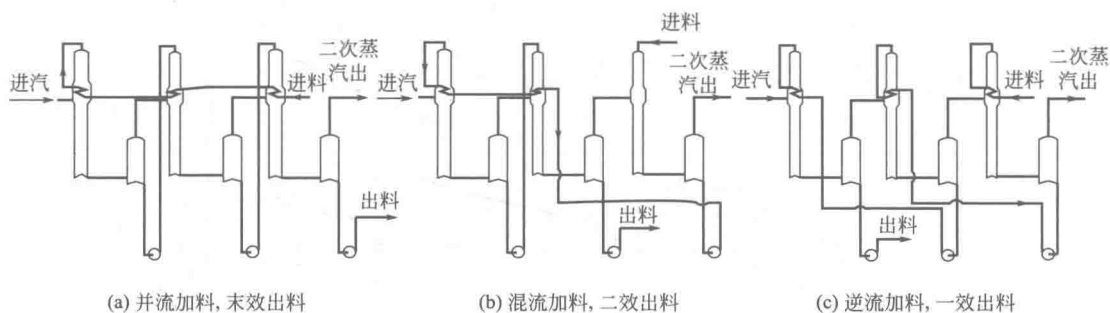


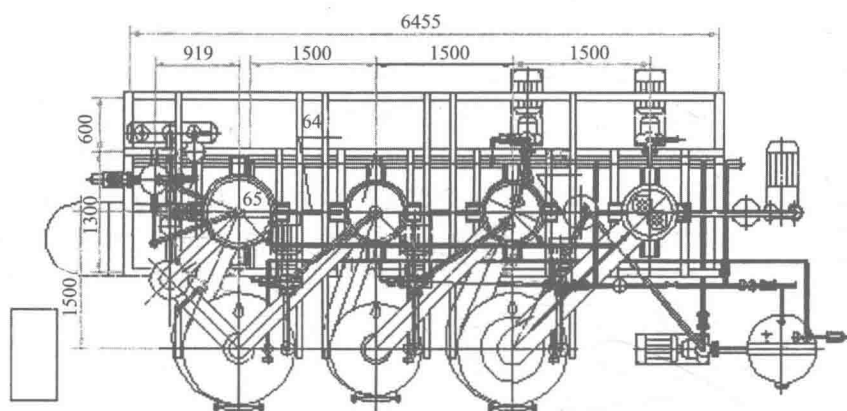
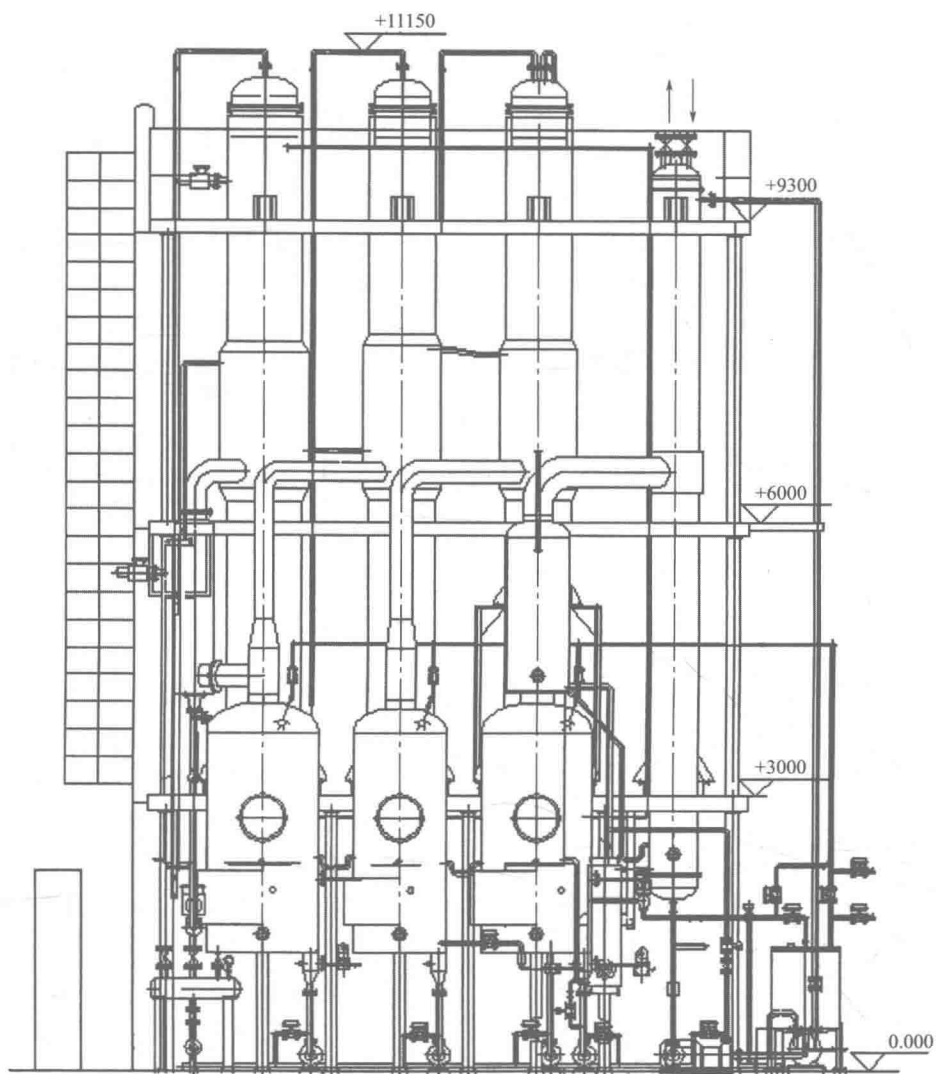
图 1-3 不同加料法的三效降膜式蒸发器

料液在降膜式蒸发器中膜的形成与升膜式蒸发器完全不同。在降膜式蒸发器顶部设有料液分布器（应用最为广泛的是盘式分布器），料液分布器的作用是将进料均匀地分配给每根降膜管，并保证每根降膜管中的料液以液膜的状态沿着管壁向下流动。料液在降膜管中的流动是在重力及二次蒸汽流的作用下进行的，由于不是二次蒸汽克服料液自身的重力推动向上成膜，而是料液边向下流动边蒸发，到了降膜管底端，料液与二次蒸汽基本完成了分离，因此二次蒸汽夹带料液的现象大大改善，料液在加热管中布膜及蒸发更加稳定而有序。降膜管的长径比在 100~250 之间，管径一般在 38~50mm 之间。

降膜式蒸发器体积较大，占用空间较大，比同生产能力的外循环、强制循环蒸发器外形尺寸都要大。因此，一次性投资成本也比较大。如一台用于葡萄糖浆（玉米淀粉糖化液化转化而成）生产能力为 8000kg/h 的三效降膜式蒸发器，外形尺寸（长×宽×高）为 10000mm×5000mm×12500mm。

降膜式蒸发器的最大特点是连续进料连续出料，浓度可一次达到设计要求，料液在设备中停留的时间短，一台蒸发量为 5000kg/h 的三效降膜式蒸发器料液从进入（含预热过程）至出料的时间仅为 7min 左右，而外循环等蒸发器则是间断出料，物料在设备中停留时间长，一般在 20min 以上。降膜式蒸发器的另一特点是节能，运行成本较低，而强制循环蒸发器的动力消耗大。因此，能用降膜式蒸发器蒸发的则不采用强制循环蒸发器或外循环蒸发器。无论从应用领域及数量上看，降膜式蒸发器都是排在首位的，随着我国国民经济的快速发展，降膜式蒸发器的应用领域也正在不断地扩大。降膜式蒸发器在热敏性物料的低温蒸发上更显其优越性。作为节能技术的热压缩装置即热泵在降膜式蒸发器中获得了广泛的应用并产生了良好的经济效益及社会效益。

图 1-4 所示为不同预热形式的降膜式蒸发器总装图。实际应用中的降膜式蒸发器如图 1-5 和图 1-6 所示。



(a) RNJM03-4000型三效降膜式蒸发器(体内预热、含杀菌、含冷凝水预热)