

工艺与设备

烧碱溶液并列组合式热泵蒸发工艺研究

张武平 秦玉尧 浦伟光

(华东理工大学石油化工学院, 上海 201512)

摘要:通过对烧碱溶液热泵蒸发工艺的研究,提出了一种用驱动蒸汽将热泵效二次蒸汽全部用热泵增压后同时供给热泵效和第一效蒸发器作加热蒸汽的并列组合式工艺。该工艺的热泵效由于可以在较低的浓度下操作,可以适当地改变工艺参数,采用尽可能小的蒸汽增压比以提高热泵的引射系数,可取得节能 15% 以上的显著效果。

关键词:蒸汽喷射泵;烧碱;多效蒸发;热泵;节能

中图分类号:TQ114.15

文献标识码:A

Process of paratactic combination evaporation with heat pump

ZHANG Wu-ping, QIN Yu-yao PU Wei-guang

(School of Petrochemical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 201512, China)

Abstract: By studying the evaporation process of the caustic lye with heat pump, a process of paratactic combination evaporation is put forward. That is a process which uses steam power with heat pump to increase the pressure in heat pump and then with all the secondary steam of heat pump evaporator made both as heat steam of heat pump evaporator and the first evaporator. Since the heat pump evaporator of this process can be operated under a lower concentration, the process parameters can be properly changed and it may use as low the raise pressure ratio of steam as possible to enlarge the entrainment ratio of heat pump, and more than 15% of energy can be saved.

Key words: steam ejector; caustic soda; multiple-effect evaporation; heat pump; energy saving

全国有氯碱厂 200 余家,平均规模在 3 万 t/a 左右。隔膜法烧碱蒸发装置常见的工艺流程主要有三效顺流和三效四体,该工艺蒸汽消耗量比较大,以节汽效果较好的三效顺流生产 42% (质量分数,下同)的液碱为例,蒸汽消耗的较好水平(按每吨 100% NaOH 折合)一般在 3.5 t 左右。过去在增效及循环方式上做了不少工作,也取得了一定效果,但进一步降低烧碱生产成本没有什么突破性的进展,笔者拟采用热泵蒸发技术对该系统予以改进。

1 热泵类型的选择与热泵蒸发

用于热泵蒸发的热泵主要有两类,一类是电动热泵。它一般采用单效蒸发,可循环使用全部二次蒸汽,要维持蒸汽平衡往往还需要补充一部分蒸汽,比较适合于蒸发沸点升高较小的溶液,或作为多效蒸发的预蒸发;另一类则是蒸汽驱动型热泵,即以较

高压蒸汽为动力将较低压力蒸汽增压提升品位的一类设备,如蒸汽喷射泵、热泵-热机综合利用热能机组^[1]、连体热机-热泵^[2]等。

由于我国电热价格比偏高,国外应用较多的电动热泵在国内则很少采用。而我国的工业锅炉数量众多,仅上海市就有 1.2 万台,平均每台产汽不到 2 t/h,绝大多数以烟煤为燃料,燃烧温度为 1 300 ~ 1 400℃,最常见的供汽温度仅在 150 ~ 180℃,作功能力基本上都被浪费了,烟效率很低。

蒸汽喷射泵由于结构简单,没有运动部件,并且利用了价格相对低廉、易得的蒸汽进行驱动,因而在工业余热供暖、提高设备废汽压力、多效蒸发等方面已获得较为广泛的应用。蒸汽喷射泵的引射系数一般采用索科洛夫提出的建立在动量方程基础上并借助气体动力学函数和自由流束理论推导出的方法进行计算,它以热力学分析和大量实验数据为基础,应

用较为普遍^[3]。

热泵蒸发是用热泵将某效的二次蒸汽部分增压后送入第一效作为加热蒸汽的蒸发工艺(如图1所示)。然而热泵蒸发对温度差的变化相当敏感,在处理沸点升高比较显著的溶液时,过大的温差会导致引射系数的急剧下降,一般认为蒸汽喷射泵由于引射系数较小,节能效果不明显因而不宜采用。

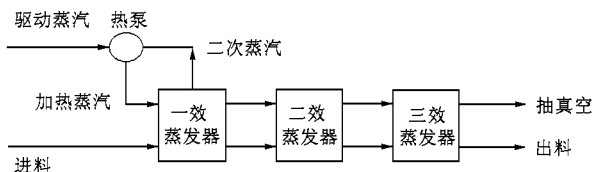


图1 采用热泵技术改进三效顺流蒸发工艺

2 三效顺流及常规热泵蒸发工艺

2.1 三效顺流蒸发工艺

国内某典型的三效顺流蒸发工艺生产42%液碱工艺参数如表1^[4],实际吨碱汽耗为3 500 kg(为每吨100% NaOH,下同)。

表1 典型三效顺流蒸发工艺生产液碱工艺参数

项目	一效	二效	三效
一次汽压/MPa	0.77	0.31	0.12
一次汽温/℃	168	135	104
液温/℃	150	122	92
二次汽压/MPa	0.31	0.12	0.016
二次汽温/℃	135	104	55
蒸发量/kg·t ⁻¹	2197	2284	2027
NaOH质量分数/%	13	22	42

原料液进料温度为80℃,进料量为10 000 kg(按100% NaOH计),其中含10%的NaOH和16%的NaCl,分别经二效冷凝水和一效冷凝水两级预热后,顺序流经一、二、三效蒸发器进行蒸发操作,洗水量一般为总出水量的5%~10%,按7.5%计总的蒸出水量为6 508 kg,经计算^[5]得出的吨碱汽耗为3 152 kg。

2.2 常规热泵蒸发工艺

用3.5 MPa的蒸汽增压0.31 MPa的二次蒸汽到0.77 MPa的引射系数按文献^[3]索科洛夫提出的方法计算为0.26,混合汽进一效蒸发器作加热蒸汽,其他部分的工艺布置与方案一基本相同,计算^[5]得出的吨碱蒸汽耗量为2 993 kg,各效工艺参数如表

2所示。

表2 常规热泵三效蒸发工艺参数

项目	一效	二效	三效
一次汽压/MPa	0.77	0.31	0.12
一次汽温/℃	168	135	104
液温/℃	151	123	92
二次汽压/MPa	0.31	0.12	0.016
二次汽温/℃	135	104	55
蒸发量/kg·t ⁻¹	2733	2059	1886
NaOH质量分数/%	15	23	42

2.3 存在的主要问题

(1) 节能效果不够明显

与三效顺流蒸发工艺的汽耗相比,常规热泵蒸发工艺节汽率为5%。由于一般管道输送来的生蒸汽都是过饱和的,过饱和度一般在5%~10%以下,两种生蒸汽的实际焓差一般也不超过5%。如果按焓值提高5%左右计,方案一就难以取得节能的效果,不宜采用。

(2) 直接降低第一效的有效温差作用有限

直接降低第一效的有效温差可以提高热泵的引射系数,但自然循环式或强制循环蒸发器的传热系数也随传热温差的下降而明显下降,有效温差一般不宜低于10℃左右,同时蒸发量的增大还会增加该效的温度差损失,而且由于蒸发量较大,温度差的降低将导致设备费用剧增,即使能够节能也并没有多少实际的经济效益。

3 并列组合式热泵蒸发工艺

3.1 并列组合式热泵蒸发工艺流程

该工艺主要增加了一个采用降膜式蒸发器热泵效,原料液从热泵效顺序流至一、二、三效蒸发器,用驱动蒸汽将热泵效二次蒸汽全部经热泵增压后同时供给热泵效和第一效蒸发器作加热蒸汽,第一效和后续各效蒸发器按常规的多效蒸发进行操作。原料液采用组合式三级预热,第三级用热泵效和一效蒸发器的冷凝水预热,第二级用一效蒸发器的二次蒸汽预热,第三级用第一、第二级预热器排出的冷凝水和第二效蒸发器的冷凝水一道混合预热,见图2。

3.2 并列组合式热泵蒸发工艺布置及参数

将热泵效二次蒸汽的压力由原来的0.31 MPa提高到0.44 MPa,用3.5 MPa的蒸汽热泵增压到0.80 MPa的引射系数按文献^[3]计算为0.65,混合

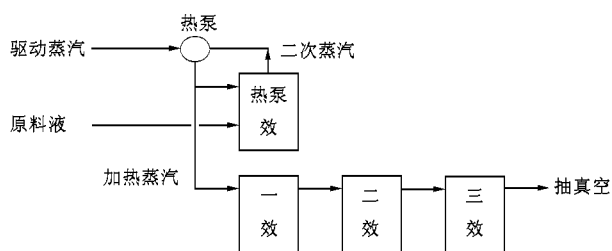


图 2 并列组合式热泵蒸发工艺流程图

汽分别进热泵效和一效蒸发器作加热蒸汽,原料液经组合式多级预热后从热泵效顺序流至一、二、三效蒸发器,其他部分的工艺布置与方案一基本相同,经计算^[5]得出的吨碱蒸汽耗量为 2 447 kg,各效工艺参数如表 3 所示。

表 3 并列式热泵蒸发工艺参数

项目	热泵效	一效	二效	三效
一次汽压/MPa	0.77	0.77	0.33	0.12
一次汽温/℃	168	168	137	104
液温/℃	162	153	124	92
二次汽压/MPa	0.44	0.33	0.12	0.016
二次汽温/℃	147	137	104	55
蒸发量/kg·t ⁻¹	1591	1893	1557	1467
NaOH 质量分数/%	11.8	16.5	26	42

3.3 可行性分析与讨论

在该工艺中,热泵效蒸发器由于在充分利用二次蒸汽循环的前提下最大限度地降低了蒸发量,因而可以在较低的浓度下操作,可以有效地缓解溶液沸点升高的影响,同时由于热泵效的 NaCl 质量分数仅为 18.9%,尚未达到该温度下 20.7% 的饱和浓度^[4],不会有明显的结晶、结垢现象,所以可以采用降膜蒸发器或自动清洗式降膜蒸发器^[6],以消除由于液位静压引起的温度差损失,而且降膜蒸发器的传热温差只需 5℃ 左右就可以保持较高的传热系数,因而可以将热泵增压所需的温度差降低约 12℃,从而显著降低热泵所需的增压比,有效地将热泵的引射系数提高到较高的水平,而增加的传热面积又不会太高。第一效和后续各效仍可按常规的多效蒸发进行操作,既可以不高热泵效和第一效加热蒸汽的温度,又可以不改变末效蒸发室的真空度,使得整个蒸发过程单位生蒸汽的蒸发量大为提高。

采用部分二次蒸汽和各种冷凝液与原料液按温位高低进行组合式多级预热,可以再次增加二次蒸

汽的利用量,相当于进一步提高了热泵的引射系数,还可节省热泵效的传热面积。

对于利用现有装置进行改造而言,并列组合式热泵蒸发工艺主要新增热泵效蒸发器即可,其他各效的传热面积由于蒸发量减少而留下了 20% ~ 30% 的裕量,对于利用现有装置进行扩能改造更为有利。

与 3 万 t/a 100% NaOH 三效顺流蒸发工艺的汽耗相比,并列组合式热泵蒸发工艺的节汽率为 22%。由于一般管道输送来的生蒸汽都是过饱和的,过饱和度一般在 5% ~ 10%,两种生蒸汽的实际焓差一般也不超过 5%,而且蒸汽增压过程的计算基本上都是按饱和温度来计算的,3.5 MPa 蒸汽与 0.8 MPa 蒸汽饱和温度的焓差还不到 1%,尽管蒸汽的焓值有一定的差别,但往往还是按吨位来计价的。如果按焓值来计价,则生蒸汽的过饱和程度在进入蒸汽喷射泵前不宜过高,按焓值提高 5% 计,并列组合式热泵蒸发工艺的节汽率仍可达 18%,按蒸汽价格每吨 90 元计,每年可节约蒸汽费用 153 万元。需新增一台传热面积约 370 m² 的蒸发器,采用结构更紧凑、价格更低廉的降膜式蒸发器或自动清洗式降膜蒸发器,价值约 120 万 ~ 200 万元,新增一台蒸汽喷射泵,约为 10 万元,同时蒸汽进汽管线也需要改造,蒸汽压力应在 3.5 MPa 左右,一两年即可收回技改设备投资。

4 结论

(1) 热泵蒸发节能的关键在于有效提高热泵的引射系数。

(2) 对于利用现有装置进行扩能改造更为有利。

(3) 并列组合式热泵蒸发工艺可以取得较为显著的节能效果和经济效益。

参考文献

- [1] 李成春,韩伟.热泵蒸发-高效节能技术[M].北京:科学技术文献出版社,1986.102~109
- [2] 秦玉尧,张武平,傅琴,等.连体热机-热泵的结构及工作原理[J].华东理工大学学报,2001,27(4):407~410
- [3] 王权,向雄彪.蒸汽喷射压缩机喷射系数计算方法研究[J].太阳能学报,1997,18(3):314~321
- [4] 方度,蒋兰芬,吴正德.氯碱工艺学[M].北京:化学工业出版社,1990.286~321
- [5] 史贤林,潘鹤林,陆明辉.NaCl 饱和的烧碱溶液的物性和汽、液平衡关联式[J].氯碱工业,1996(3):21~25
- [6] 秦玉尧,傅琴,萧前.自动清洗式降膜蒸发器的研究[J].石油化工设备,2002(5):32~34