

⑦ 制盐蒸发器设计的技术关键及改进

魏宗胜* 中国成达化学工程公司 成都 610041

TQ 051.62
TQ

摘要 阐述制盐蒸发器的技术关键及解决措施,针对切向进料结晶蒸发器的弊病提出改进,采用轴向正中进料和反循环操作。中国成达化学工程公司反循环蒸发器发明专利已授权,并已工业化。

关键词 制盐 蒸发器 反循环 改进

蒸发器是真空制盐装置的核心设备,蒸发器生产能力、洗罐周期、汽耗和电耗都与结晶过程有关,因此国外有的公司将制盐蒸发器称为蒸发式结晶器。本文指出制盐蒸发器工艺设计中应注意的关键问题以及解决措施,现叙述如下。

1 制盐蒸发器设计的技术关键

影响真空制盐装置技术经济指标的重要因素是洗罐周期和盐晶体的粒度及其均匀性。

1.1 延长洗罐周期

制盐蒸发器运行一段时间后,由于蒸发器内壁所结盐块脱落到某些加热管上,使管内的流速骤降,管内壁温接近加热蒸汽温度,引起料液沸腾而析盐,导致管内迅速结盐甚至整管被堵死的恶果。因生产能力下降,被迫加水洗罐,外加水又增加了汽耗。据查定,国内制盐蒸发器的洗罐周期通常为7~13天,洗罐外加水占有有效蒸发水量的2.4%~5%。另外,洗罐还造成蒸发装置有效生产时间的减少。因此,延长洗罐周期是节能和增产的重要途径。

延长洗罐周期的措施如下:

(1)蒸发器结盐的必要条件是出现过饱和度。为避免蒸发器结盐,就应在沸腾区,尤其是产生过饱和度趋势最强烈的液面附近,均匀悬浮尽可能多的盐晶体,使沸腾产生的过饱和度能被悬浮的晶体及时吸收,而不是在器壁上释放。

(2)应将沸腾强烈区限制在蒸发室的中部,而不是在器壁处。

(3)蒸发室应有足够的液相容积,保证过饱和液在蒸发室有足够的停留时间,使料液进入加热

管前,其残余过饱和度尽量小,避免加热管结盐。

(4)对于硫酸钙型卤水,由于硫酸钙的逆溶解度特性,即经加热后溶解度降低而析出,可采用石膏晶种防垢法。其防垢原理是:在蒸发器料浆中悬浮约20g/l硫酸钙晶种,利用晶种对垢物的亲和力,使料液中析出的硫酸钙首先附着在悬浮的石膏晶种上,而不是在加热管壁上,因此管垢清除周期可长达一年。

(5)防止加热管内沸腾。利用加热管上方液柱静压引起的沸点升高,阻止加热管内任何处料液沸腾造成的析盐。应按加热管内壁处液膜的最高温度来确定加热室上方的液柱静压大小。这里应注意,对外沸式蒸发器,在计算有效传热温差时,静压温差损失仅取料液经加热室的温升之半,而与加热室上方的静液柱大小无关。因此,可以在加热室上方设置足够富裕的液柱高度,不会增加静压温差损失。

(6)蒸发室内壁,尤其是液面附近的内表面应力求光滑。粗糙的内壁能诱发晶核的生成,并增加盐垢的附着力。为此,蒸发室要选用耐蚀材料;选用幅宽的板料,以减少焊缝数量;环焊缝要移到正常液面以外;内部焊缝必须打磨平滑,沸腾液面附近的内壁应抛光处理;人孔、视镜等附件应尽量与蒸发室内壁齐平,其位置应从习惯的液相部位移至汽相部位。

1.2 控制盐的粒度及其均匀性

成品盐的粒度系根据市场的需求而变,平均粒度应在400~1500 μ m范围内。近年来,国际市场对粗粒盐的需求量呈上升趋势。对已定的成品盐粒径,还要求粒度范围尽可能窄。国内真空制

* 魏宗胜:教授级高级工程师,1964年毕业于成都科技大学化机专业,主要从事机泵专业的工程设计,获6项部级科技进步奖、1项发明专利和3项实用新型专利(均为第一完成人),联系电话:(028)5582133-2383。

盐的粒度偏细,且均匀性差。适当增大盐粒度、提高均匀性的优点如下:

(1)提高离心机的分盐能力;

(2)降低离心分离后湿盐的含水量;大幅度减少盐干燥的能耗。

(3)减少沸腾干燥时的盐粉尘损失。

增大盐粒度与提高粒度均匀性的措施有:

(1)沸腾液面附近是产生过饱和度趋势最强烈的区域,也极易生成大量晶核,故要求在蒸发室沸腾料液中,尤其是液面附近应维持适当高浓度的盐晶体,以消除沸腾时悬浮的盐晶体产生的过饱和度,使盐粒长大,限制自发晶核的生成量。

(2)蒸发器的设计应保证连续地将盐晶体送至过饱和度正在产生的沸腾区。

(3)进入蒸发室的过热料液应与蒸发室内的料液均匀混合,力求避免局部急剧沸腾,防止出现局部的高过饱和度,以便限制过量晶核的产生。

(4)应有过量细晶的消除措施,充分利用循环液经加热室或过料液预热器升温时的细晶溶解作用。

(5)设置淘析腿进行粒度分级,控制盐粒度及其分布。

2 切向进料蒸发器的缺陷

蒸发有晶体析出的物料,如食盐、隔膜法烧碱、磷酸、磷铵、无机盐等,国内外广泛采用外热式强制循环蒸发器,如图1所示。循环液从蒸发室向下排出,经下循环管、循环泵、加热室、上循环管后从切向进入蒸发室。采用切向进料的目的是

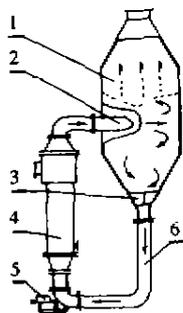


图1 切向进料强制循环蒸发器

1. 蒸发室 2. 切向进料管 3. 淘析器
4. 加热室 5. 循环泵 6. 下循环管

借助料液的迴转运动,使进入蒸发室内的过热料液与蒸发室内的料液迅速混合,沸腾不致过于强烈。由于液面呈凹形抛物面,还增大了蒸发面积,可减少雾沫夹带。但国外的研究成果表明,切向进料蒸发器存在如下缺陷^[1]:

(1)蒸发室中固相偏析,沸腾区固相浓度低,增加成核速度和结盐速度。

切向进料使蒸发室中的料液旋转,固相因离心力而向四周分离。图2为切向进料蒸发室不同高度上的固相浓度分布情况。图中Z为测定平面到切向进料管中心线的标高;纵坐标为局部固相浓度M与外循环管中固相浓度 M_w 的百分比;横坐标为蒸发室横截面,0为轴线,0.5m处为器壁。试验结果表明,蒸发室中固相浓度很低,靠近液面处和轴线附近更少,出现严重偏析。由于沸腾产生的过饱和度不能为足够的晶体所吸收,因此一次成核速率高,产生过量细晶,蒸发室也易结盐。

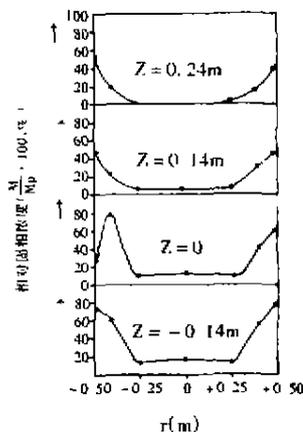


图2 不同高度上相对固相浓度的径向分布

(2)外循环料液中的固相浓度反而高,晶体与循环泵叶轮碰撞,增加二次成核速率,并加速盐浆对叶轮和加热管的磨损。

(3)出现热短路,减小传热有效温差。测试表明,水平切向进料蒸发室断面上向上的速度很小,较大区域出现向下的轴向分速度,造成进入蒸发室的部分过热料液无法上升到液面,因液柱静压作用,还未充分闪蒸降温到与蒸发室压力相平衡的温度,就向下从蒸发室锥底排出。这种短路现象使进入加热室的料液温度升高,从而减小传热有效温差,降低蒸发器生产能力。

(4)出现漩涡损失,增加循环泵功耗。蒸发室内液面呈漏斗状抛物面,正中的液面下降。循环

泵进口侧的循环管正对低液位,而出口侧的循环管连接蒸发室外围的高液位,其液位差即为循环泵要额外克服的阻力,即“漩涡损失”。漩涡的出现还造成下循环管中的料液带汽,料液比重减小,降低循环泵的入口压力,这又增加循环泵的扬程。我们曾在切向进料烧碱蒸发器上测定到,其损失高达 0.71m。

3 制盐蒸发器的改进

3.1 轴向进料蒸发器

切向进料蒸发器是美国斯文森蒸发器公司和瑞士埃舍·维斯公司的标准形式,为国内外真空制盐装置广泛采用。针对其存在的缺陷,这两家公司在 80 年代新建的真空制盐装置上开始改用轴向正中进料蒸发器。图 3 为斯文森公司的此种蒸发器,其特点是:

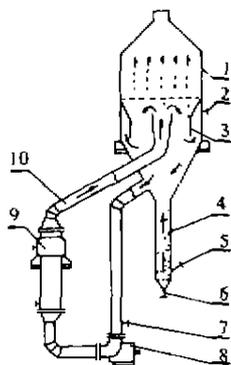


图 3 轴向正中进料蒸发器

1. 蒸发室 2. 出口 3. 挡圈 4. 淘析腿 5. 盐浆出口
6. 淘析液进口 7. 进液口 8. 循环泵 9. 加热室 10. 上升管

(1)设置消除细晶的措施 吸取 DTB 型结晶器的结构,在蒸发室内壁增设环形挡圈,把蒸发室液相分隔为晶体成长区和细晶沉降区。该区的上方设过料液出口,区中的料液上升速度很小,保证晶体的充分沉降分离,送回蒸发室继续成长,过量的细晶则随过料液排出,送到下一效蒸发器。经逆流蒸发流程的预热器和主加热室,或顺流蒸发流程的主加热室,使过量细晶溶解。

(2)建立良好的结晶条件 蒸发室中液流的主流型为轴向向上,使过饱和度最高的沸腾表面附近能悬浮较多的晶体,这对于增大盐晶体粒度和延长蒸发器洗罐周期十分有利。

(3)蒸发室内壁不易结盐 轴向正中进料方

式将沸腾最强烈的区域从切向进料的器壁处移向罐体中部,加之此处的晶体浓度高,料液沸腾产生的过饱和度能及时为悬浮的晶体所吸收,消除了器壁结盐的根源。

(4)蒸发强度高,降低蒸发器投资 由于过热料液能在蒸发室断面上均匀分布,沸腾较缓和、均匀,因而允许选用较高的断面蒸发强度。此外,蒸发室液相的固相浓度高,可保证晶体足够的停留时间,因此蒸发室液相容积可缩小,降低用纯钛等昂贵材料制造的制盐蒸发器的投资。

(5)短路温差损失小 蒸发室内液流的主流向上,只要液位控制正确,过热料液就能全部升至蒸发室液面,从而消除了热短路现象。

轴向正中进料是制盐蒸发器的重大改进,我国近期引进的几套真空制盐装置均用此蒸发器。

3.2 改进型淘析腿

淘析腿是制盐蒸发器必设的重要部件。图 4 为斯文森蒸发器公司改进型淘析腿的结构简图^[1]。

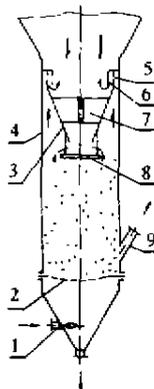


图 4 改进型淘析腿结构

淘析腿为圆筒状,其顶端与蒸发室下锥体相连,底端为锥形封头或碟形封头。淘析液为本效进料盐水,从淘析腿底部的切向进液管(1)进入。经均布板(2)使盐水均匀向上流动,盐晶体在淘析腿中呈流态化悬浮。在淘析腿的上端有锥形导流筒(3),挟带细晶的淘析盐水沿导流筒与筒体(4)之间的环形区向上流动,避免与下降的盐浆流发生干扰。淘析液向上经导流筒上端的一圈小孔(5),绕过环形挡圈(6)进入蒸发室。此挡圈能有效阻止蒸发室流下的盐浆经小孔的短路,而只能经导流筒向下进入淘析腿。导流筒中的十字形消

涡器(7)用以消除蒸发室中强烈的搅动和涡流对淘析腿中流化床的干扰。在导流筒的下端还悬挂圆形防冲板(8),以减轻盐浆向下的冲力,让盐浆平稳进入流化晶床。经淘析达到预定粒度的浓缩盐浆从淘析腿筒体下部的盐浆出口管(9)排出。淘析腿有分级、洗涤和增稠三项功能:

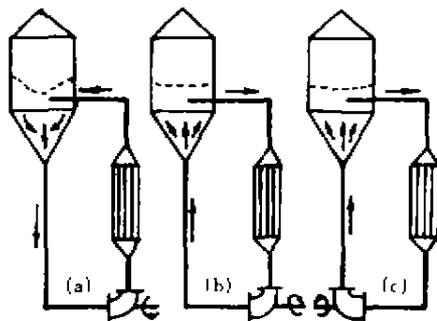
(1)分级 淘析腿中向上流动的盐水把小于某一分级粒度 L_p 的细晶送回蒸发室中继续成长,只有当晶体长大到超过 L_p , 即其沉降速度大于淘析腿中液流上升速度时才能沉降并排走。调节淘析液的流量就可控制排出盐浆的晶体平均粒度和蒸发室中的晶体浓度。为此,在淘析液管线上应设置调节阀,用流量指示调节器进行控制。使排出的盐浆粒度比较粗大、均匀,并可人为控制其粒度。

(2)洗涤 用温度较低的进料盐水对淘析腿中的盐浆进行逆流洗涤,将浓缩过程中杂质不断积累的母液从盐浆中置换出去,提高成品盐的纯度,经洗涤后,排出盐浆的温度降低,减少了热损失,并减轻对后续设备的腐蚀。

(3)增稠 采用淘析腿后,从蒸发器排出的盐浆浓度增大,固液比通常达到 40% ~ 50%,既减轻了离心分离机的负荷,又提高了分离效率。

3.3 用反循环改进切向进料蒸发器

为克服切向进料蒸发器的缺陷,最简便又有效的措施就是变正循环为反循环,见图 5。



(a)正循环 (b)反循环(泵反转) (c)反循环(泵反装)

图 5 切向进料蒸发器由正循环改反循环示意图

荷兰 C. J. Asselbergs 博士在大致相同的试验条件下,采用循环泵正转和反转两种循环方式进行了盐水蒸发结晶试验^[1]。为得到与正循环时相同的循环量,泵反转时的转速增大 80%,显然,这会使晶体破碎率和二次成核率均增大。即使如此,晶体的平均粒度 L_0 却从正循环时的 285 μm 增

大到 377 μm 。图 6 为两种循环时的晶体粒度分布曲线。从图可见,反循环时细晶比例减少,而粗晶比例增多。如按图 5(c)将循环泵安装位置改动,因未改变泵的进、出口位置和泵的转向,故不改变泵的转速,肯定将得到更佳的结晶效果。如在蒸发室下锥的侧面装淘析腿,则可进一步改进其性能,排出的盐浆粒度更粗,均匀度好,纯度高,固相浓度高。

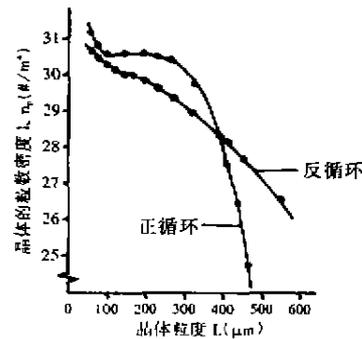


图 6 正循环和反循环时的晶体粒度分布

根据反循环蒸发结晶试验得出如下结论:

(1)反循环时蒸发室中建立了喷动床,料液由切向流变为竖向流,使较多较粗的盐晶体存留在蒸发室。显然,在过饱和度趋势高的沸腾区悬浮较多的晶体,既抑制一次成核速率,增大晶体平均粒度,又减缓蒸发室壁结盐速度,延长清洗周期。

(2)反循环时,外循环料液中的晶体量少,尤其是粗晶量更少,减少了晶体与循环泵叶轮的碰撞机会,降低二次成核速率。另外,使料液经加热室升温产生的细晶溶解作用更加有效。

(3)反循环的短路温差损失小。表 1 和表 2 是用水为介质进行沸腾试验,按正、反两种循环方式测出的短路温差损失。

表 1 正循环时的短路温差损失

料液经加热室的温升, $^{\circ}\text{C}$	0.5	0.9	1.3	1.7	2.6	3.45
短路温差损失, $^{\circ}\text{C}$	1.5	1.74	1.65	1.45	1.15	0.75

试验条件:液面至切向进口中心的高度为 0.48m;

切向进口速度为 0.61m/s

表 2 反循环时的短路温差损失

料液经加热室的温升, $^{\circ}\text{C}$	1.85	2.65	3.5	4.14	5	6.1
短路温差损失, $^{\circ}\text{C}$	0.33	0.2	0.37	0.39	0.4	0.41

试验条件:液面至切向出口中心的高度为 0.5m;

切向出口速度为 0.6m/s

反循环时,过热料液容易上升到沸腾液面充

分闪蒸,只要控制好液面至切向出口的高度,短路温差损失就比切向进口正循环时小得多。

(4)反循环允许选用较高的循环料液加热温升,即较高的总过饱和度(产盐量/循环流量),为提高制盐蒸发器的生产强度提供了一种很有价值的途径。

(5)增大管内传热膜系数。加热管内为强制对流传热,其热阻集中在管内壁的滞流底层。在反循环加热管中,强制流动方向是从上而下,与料液受热后向上的自然对流方向相反,使滞流底层流体受到强烈搅动,提高了对流传热膜系数。

3.4 实现反循环的技术关键

(1)防止循环泵汽蚀。从图 5 可见,由正循环改为反循环后,与循环泵入口相连的是阻力大的加热室,造成泵进口压力下降。如蒸发器的有效汽蚀余量 $NPSH_e$ 降到循环泵的必需汽蚀余量 $NPSH_r$ 时,泵将发生汽蚀而无法正常运行。当切向进料蒸发器被改为反循环时,必须校核计算,保证 $(NPSH_e - NPSH_r)$ 至少应有 0.5m 以上的富裕量。其中 $NPSH_e$ 要按蒸发室的最低液位和最大循环量计算; $NPSH_r$ 要用循环泵可能的运行流量范围内的最大 $NPSH_r$ 值。如不能满足以上要求时,则应将加热室移到蒸发室的下方,仅实现蒸发室的反循环操作,加热室仍按正循环方式操作。

新设计反循环蒸发器时,选择抗汽蚀性能优良的循环泵或慢速循环泵,正确布置蒸发室高度,可满足抗汽蚀的要求。

另外,要避免反循环时加热管上端入口被堵塞,如加热管入口结盐或被蒸发室和循环管壁脱落的盐块堵塞,将使泵入口侧阻力增大,也会引起

泵汽蚀。有效的办法是采取本文所述的避免蒸发器结盐的各种措施,并保证循环液进入加热管之前,其过饱和度已经消除。万一有盐块脱落到加热管上端,可让循环泵瞬时反转,即可冲开盐块。

(2)准确控制蒸发室液位。蒸发室的液位绝不能低于切向出料管的上沿,否则蒸汽进入循环料液将引起蒸发器强烈振动;而液位过高,会增大短路温差损失,并增加二次蒸汽的雾沫夹带量。因此,为准确控制蒸发室的液位,应保证液位变送器的测量准确性,变送器的安装位置应选在过饱和度和尽可能低的液相处,以防变送器膜头上结盐;还应设置冲洗口,定期用冷凝水冲洗膜头。

4 结语

中国成达化学工程公司从 90 年代初开始对反循环蒸发器进行了研究,针对切向进料强制循环蒸发器用于磷酸铵浓缩时,出现加热管结垢严重、操作周期短的生产难题,我们将循环泵反装,蒸发室和加热室均改为反循环操作,使蒸发器的清洗周期从原来 1 个月左右延长到 7~8 个月。改为反循环后,泵出口的上升循环管为空管,在此管上通入磷酸和氨气,实现中和浓缩一体化,缩短了流程,节省了投资,充氨的气升作用还降低了循环泵功耗。如今,中国成达化学工程公司的反循环蒸发器中国发明专利已授权。

参 考 文 献

- 1 C. J. Asselbergs: A Study of factors in operation and design of salt evaporators, Doctoral Thesis, 1987
- 2 U. S. P 4773552

(收稿日期 1999-05-05)

下 期 要 目

- 先进的合成氨技术
- 减压蒸馏系统的管道设计
- 纵联差动保护在 10(6)kV 线路保护中的应用
- 正确处理采购与设计接口关系的重要性
- 国内外若干工程设计软件简介
- 兰化大化肥合成氨装置技术评价
- 高真空液-液气射流泵的结构设计
- 论工程公司项目的矩阵式管理
- 孟山都环境化学公司 UPI 热循环尿素技术
- 回转干燥器的设计改进