

离子膜法替代石墨阳极隔膜法生产烧碱的经济效益研究

孟 拓 陈彦敏 徐 田 (山东杰瑞凯泰科技股份有限公司, 山东 青岛 266000)

摘 要: 为了顺应我国的环保趋势, 提高生产烧碱的经济效益, 文章提出生产烧碱将离子膜法取代石墨阳极隔膜法的新思路。概述两种生产工艺的具体流程, 对比离子膜法、石墨阳极隔膜法的生产技艺, 从成品碱的单位成本、综合能耗及运行成本等方面对比经济效益。发现离子膜法取代石墨阳极隔膜法用于生产烧碱将成必然所趋, 可以保证生产烧碱产品质量, 降低生产能耗减小过程污染, 整个生产操作也比较灵活, 各方面的经济效益明显更高。希望可以为我国生产烧碱工业领域的技艺创新有参考作用。

关键词: 离子膜法; 石墨阳极隔膜法; 烧碱

近年来, 为了深入打好环保防污降耗的攻坚战, 我国生产行业的技术创新能力也得到显著提升。烧碱作为一种重要的工业原料, 被广泛用于制药、化纤、造纸等行业领域, 可是传统的电解法烧碱, 在生产中面临尤为明显的能源环保问题, 导致电能耗量猛增, 并且存在废水、废气等环保问题。为了解决这些问题, 近年来逐渐提出一种新型烧碱技艺, 离子膜法的应用旨在降低能耗, 提高烧碱生产效率, 降低生产过程中的废气排放量。接下来将对离子膜法取代石墨阳极隔膜法生产烧碱的经济效益进行对比分析。

1 两种技艺流程

(见图 1、图 2) 作为离子膜法和石墨阳极隔膜法的两种技艺流程图, 根据图示可见基本工艺操作流程相同的工序, 包括盐水精制与电解, 电解液蒸发与氯气处理, 氢气处理和废气吸收工序。

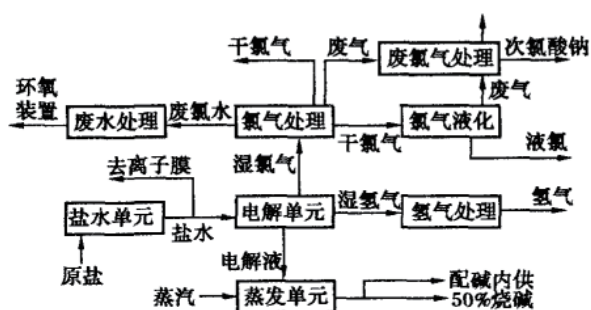


图 1 石墨阳极隔膜法生产工艺流程

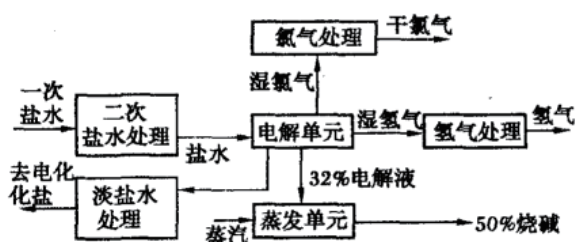


图 2 离子膜法生产工艺流程

2 两种生产技艺对比

2.1 盐水工序

将离子膜法对比石墨阳极隔膜法两种生产烧碱技艺, 首先在隔膜法制碱过程中, 国内所用的传统一次盐水制备技艺, 有着稳定可靠, 整个流程比较简易方便操作, 成本投资较小, 设备后期易维护的特点, 盐水工艺环节的主要参数包括 Ca^{2+} , Mg^{2+} , SS 均严格控制含量大约 3×10^{-6} 。可是盐水工艺环节想要控制硅离子含量的难度较大, 在很大程度上影响离子膜法的盐水质量, 而 SS 含量也无法满足离子膜法的盐水工艺标注, 所以如果选择离子膜法制碱工艺, 那么二次盐水过滤工艺就必不可少。选用二次过滤设备中国内优选的 HVM 膜过滤器, 此设备有着高水平的盐水精制技艺, 整个过程比较简单, 操作工艺流程较短, 可以一次性完成固液分离, 并且此项技艺还有着较高的自动化控制水平, 可以维持盐水质量稳定, 保证经过二次过滤处理后的盐水, 可以直接进入螯合树脂塔完成二次精制。因此项技艺合并了两次盐水过滤技艺, 将隔膜法的砂滤器、碳素管过滤器去除, 成功避免了硅离子、 α -纤维素造成离子膜污染, 从而延长膜使用期限。并且 α -纤维素的停用, 还在一定程度上减少技艺成本投入, 降低制碱污染程度, 提升整个技术装置的安全稳定与可靠性, 目前已经被广泛用于各个氯碱生产企业。所以从盐水技艺工序分析, 离子膜法可以选用 HVM 膜法精制技艺。

制备盐水往往需要原材料包括海盐、卤水、精制盐, 近些年我国的精制盐产量猛增, 一般在四川、江苏、湖北等地为主要精制盐产能地区。为了应对在精制盐的运输途中以及库存出现结块对生产造成影响, 需要将少量亚铁氰化钾用作松散剂加入其中, 但是优势会出现离子膜表面颜色变化等现象, 但是否对产品

质量有所影响并未得出最终结论。因此认为不论从设备投资、环保需要还是创造经济效益各方面综合考虑,都应当选用精制盐。但是目前制碱工业领域应用隔膜法依然有较大前景,主要表现在电解槽技术进步,包括固定盒式阳极加铁阴极加普通石棉隔膜,扩张阳极加铁阴极加改性隔膜。如今我国大多数氯碱企业采用隔膜法生产烧碱,一般多用第二种隔膜技艺,这主要由于极距可以由最初 7.5~8.5mm 缩减至 3~5mm,提升原本 1500A/m² 电流密度至 2000A/m²,降低了 100~150kW·h/t 的电耗,因此具备较明显的节能优势,适用于高电流密度生产条件,并且可以减少设备投产数量,生产成本减少效益增长明显。盐水预热与解决杂散电流所产生的设备、管道腐蚀问题的应对方式,一般在预热后进高位槽进入,成功断流之后达到保护盐水预热设备的作用。之后盐水在进入电解槽与电解液出口,加装导流器进行分流,提前向地下导入杂散电流,从而发挥有效保护作用。预热器可以优先选用板式换热器,发挥良好的防腐与传热材料性能优势。

现阶段生产制碱比较常用的技艺为离子膜法,可以保证产品的最终制备质量,减少蒸发环节满足 NaOH 质量分数在 30%~32% 区间,降低电耗与能耗控制在 2130kW·h/t,相较于隔膜法在蒸汽耗能方面可以减少 3000kg,所以有着良好的降耗优势,设备占地总面积较小,装置自动化智能运行安全性高。国内目前新建的氯碱生产项目中,应用离子膜法制碱技艺逐渐增多,此项技艺在生产实践中,电解槽也在逐渐向大型化、低能耗、高电流自然循环方向发展。在制碱技艺中淡盐水脱氯环节,需要通过空气吹除与真空脱氯这两种,后者的技术优势更加明显,可以达到更高的氯气回收利用率。真空脱氯技艺一般选择蒸汽喷射泵、水喷射泵、风机不同的方式,一般最为合理的抽真空方法以水喷射法为优选。

将两种制碱技艺的盐水工序进行对比,可以看出离子膜法多了淡盐水脱氯、盐水二次精制,而隔膜法则多了蒸发装置,因此投资成本由于生产情况不同也会产生一定差异。

2.2 电解工序

在隔膜法制碱操作中,加入隔膜电解槽的物料只允许一种,就是精盐水,经电解槽盖向阳极室流入,之后通过改性隔膜向阴极室流入,进行电解处理便在阳极室与阴极室,分别得到氯气、氢气和电解液。离子膜制碱工艺的电解工序,需要将精制盐水加入阳

极,将高纯水加入阴极,之后电解便可在阳极侧与阴极侧分别得到淡盐水与氯气、电解液与氢气。因离子膜法制碱技艺在电解工序具备高选择透过性,能够保证所获电解液的纯度更高,其中氢氧化钠的含量达到 32%,氯化钠的含量达到 0.04%,可以直接用于商品出售。但是相比之下,隔膜法制碱的电解液内氢氧化钠仅有 10.8% 的含量,氯化钠达到 16.4% 的含量,对此依然需要记性后续的浓缩除盐步骤。

2.3 氯氢处理工序

生产烧碱过程中处理氯气一般包括两部分,分别是氯气干燥、氯气压缩,现有的多个制碱生产企业,所采用的氯气干燥工艺流程,主要是氯气水洗塔、氯气冷却器、水除雾器、填料塔、泡罩塔、酸雾捕集器、透平压缩机、用户。这样的二塔干燥流程中,为了确保最终的干燥效果,已经生产制碱的工艺负荷,现有流程正在向三塔干燥处理工序发展,具体设备包括 2 台填料塔外加 1 台组合塔,在处理之后确保满足透平机需要。水除雾器所获效果至关重要,氯气内夹带盐必须要处理干净,否则就会导致酸雾捕集器过滤层表面遗留诸多白色固体颗粒,造成过滤器堵塞进而增加系统阻力,影响生产。

就国内现行的生产制碱工艺流程中,对于氯气压缩问题一般达到 10 万 t/a 以上制碱规模的企业,都会选用现有成熟的大型透平压缩机技术设备。不仅有着节能的技术优势,设备本身的运行自动化及可靠性也更高,具体优点如下:首先具备了明显的节能效果,能够保证 65%~100% 生产负荷区间不耗功,据统计每年设备运行成本可以节省 60~70 万;其次此设备有着比较完整的隔离系统,在压缩机内共计两套气体隔离系统,分别是氮气轴封隔离系统,油与环境气隔离系统,充分保障油质不受破坏;再者设备在运行过程中故障率不高,整体运行比较稳定可靠有着较久的使用周期;最后设备的自动化运行控制水平较高,满足 DCS 远程控制条件。

对比隔膜法和离子膜法两种工艺在氢氯处理工序,氢气冷却一般选择水喷淋冷却塔,保证可以循环应用冷却水,降低生产工序的废水排放量与水耗。氢气压缩设备也呈小型水环式压缩机发展至大型压缩机趋势,单台压缩机的设备输送能力基本可以达到 6 万 t/s 烧碱,减少占地面积。

2.4 蒸发工序

隔膜法制碱工艺一般需要蒸发装置,在这些年一

表 1 隔膜法烧碱投资成本预估结果

费用项目	盐水	电解	蒸发	氯氢	整流	共计
工艺管道	210	120	170	200	20	720
设备	280.9	4440.0	1290.0	1100.0	800.0	7910.8
电气	55	290	130	105	300	880
自控	49.6	400	78.0	216.0	100.0	483.5
土建	378.5	250.0	250.0	350.0	200.0	1428.7
共计	974.0	5140.0	1918.0	1971.0	1420.0	11423.0
备注	含盐仓	含变电所	含包装	/	/	/

表 2 离子膜法烧碱投资成本预估结果

费用项目	一次盐水	二次盐水	电解	氯氢	整流	共计
工艺管道	205.0	811.0	361.3	309.4	14.4	1701.1
设备	940.0	182.0	7281.0	1563.6	26.6	9993.2
电气	60	136	60	158	1256	1670
自控	40.0	70.5	153.7	223.0	/	487.5
土建	342	546	/	259	/	1145
共计	1587.0	1745.5	7856.0	2513.0	1297.0	14995.5

表 3 两种制碱工艺能耗比较

项目	离子膜法			隔膜法		
	消耗定额	能耗 /kJ	标准煤 /t	消耗定额	能耗 /kJ	标准煤 /t
电 / (kW · h)	2283.83	2.704×10^7	0.923	2610.75	3.091×10^7	1.055
蒸汽/kg	700.00	2.638×10^6	0.090	4200.0	1.584×10^7	0.540
新鲜水/t	8.00	4.525×10^3	0.0002	34.81	0.745×10^4	0.003
纯水/t	2.50	3.60×10^4	0.001	/	/	/
压缩空气/m ³	32.41	3.799×10^4	0.0013	29.50	3.799×10^4	0.0012
总计	/	2.978×10^7	1.016	/	4.687×10^7	1.600

次次的技艺改造中，现已成熟的操作工艺是 30% 烧碱的三效顺流部分强制循环，与 30%，42% 烧碱的三效四体工艺。两种相比前者虽有着更为先进的操作工艺，但是一般在企业应用中作为引进装置，处理盐泥依然选择卧式离心机与推料式离心机设备。

3 经济效益对比

3.1 投资成本比较

（见表 1、表 2）分别作为隔膜法与离子膜法两种制碱工艺的投资成本预估费用，对比可见离子膜法的制碱成本明显高出。

3.2 能耗及经济效益比较

将离子膜法制碱 50% 对比隔膜法制碱 42%，参照以往文献各类能源折算及标准煤规定折算所得能耗结果。可见隔膜法制碱能耗可达 1.599t 标准煤，而离子膜法制碱能耗仅为 1.016t 标准煤，离子膜法的降耗优势更为明显（见表 3）。

以某企业应用离子膜法取代隔膜法前后的制碱项目所获经济效益对比，项目总投资为 4271.28 万元，在性能方面达到 96% 的电流效率均值，成品碱的含盐

质量分数在 0.003% 以内，氢氯处理后各自体积分数为 99%、98.5% 以上。年收入达到 5050 万元增收，增加年利税 1092.5 万元，年利润均值增收 1084.5 万元，证明了离子膜法的经济效益显著。

4 结论

综上所述，未来生产制碱行业利用离子膜法取代石墨阳极隔膜法已成必然所趋，能够在保证制碱产品质量的基础上，降低能耗稳定生产，在生产清洁、工艺流程、能耗效益各方面都有较大优势，同时还顺应整个社会的环保之势，在未来生产技艺不断创新的进程中，为生产企业创造更多的经济效益。

参考文献：

[1] 柳维. 离子膜法烧碱生产工艺中盐水处理经验分析[J]. 数字化用户, 2016, 22(41): 9.
[2] 王跃兰, 湛丽. 离子膜法烧碱生产中的节能技术改造[J]. 氯碱工业, 2011, 47(9): 37-42, 44.
[3] 许仕. 浅谈离子膜法制烧碱工艺中的节能降耗技术[J]. 中国科技投资, 2019, 5(3): 65.