

溴素新型生产工艺及经济效益分析

杨彩霞（山东莱央子盐场有限公司，山东 寿光 262700）

摘要：溴素在工业生产领域有着广泛的应用，近些年，随着溴系列产品需求不断增加，溴素生产工艺改进创新成为化工领域关注的重点，传统溴素生产工艺往往具有一定的缺陷，难以实现工艺效果与经济效益的平衡，还有很大的改进空间，为了进一步提升溴素工艺的经济效益，需要积极进行新型工艺的研发，基于以上认识，本文从溴素的重要性以及应用场景出发，分析溴素生产常见工艺以及存在的问题，在此基础上提出了溴素新型生产工艺，并对其经济效益进行了分析，希望该研究能够为溴素生产工艺的改进创新提供一定的思路，并推动溴素生产领域的发展。

关键词：溴素；新型生产工艺；经济效益

溴素（Br）是一种具有广泛应用的重要化学元素，被广泛用于制药、染料、农药、消毒剂等领域。随着全球经济的快速发展，对溴素及其衍生物的需求不断增加，使得溴素生产工艺的研究和改进成为一个亟待解决的问题。传统的溴素生产工艺，如空气吹出法和水蒸汽蒸馏法，虽然在工业应用中取得了一定的成果，但仍存在诸如能源消耗高、环境污染严重、低浓度溴离子资源利用率低等问题。因此，开发新型的溴素生产工艺以提高生产效率、降低环境污染和实现低浓度溴离子资源的高效利用具有重要意义。

1 溴素的重要性以及应用场景

溴素是重要的化工原料之一，是海洋化学工业的主要分支，由它衍生的种类繁多的无机溴化物、溴酸盐和舍溴有机化合物在国民经济和科技发展中有着特殊的价值，随着我国主导工业的发展，正广泛应用于医药、农药、染料、阻燃剂等各个行业和领域^[1]。随着国民经济的发展和溴系列产品的不断开拓，溴素需求量和产量逐年递增，溴素生产的重要性越来越突出。

溴素主要应用于以下几大领域：

1.1 制药

溴素及其衍生物在药物制造中占有重要地位，可用于合成各种抗生素、镇痛药、抗炎药、镇静药和抗癫痫药等。例如，溴化物在抗生素药物中可以增强药物的抗菌作用，而溴己新作为一种非处方药，被广泛用于治疗支气管炎和哮喘等呼吸道疾病。

1.2 消毒剂

溴素具有很强的氧化性和杀菌作用，因此常被用于制造消毒剂。溴酸盐是一种常见的水处理消毒剂，被广泛用于泳池、饮用水和工业废水处理等场景。溴化物在冷却水系统中也可以用作生物防污剂，防止生

物附着和生长。

1.3 火灾防护

溴化物是一种有效的火灾防护材料。溴化物可以在燃烧过程中释放溴原子，与火焰中的自由基发生反应，降低火焰传播速度，达到抑制燃烧的目的。因此，溴化物在建筑材料、家具、电子设备等领域被广泛应用，能够显著提升其防火性能。

1.4 农药

溴素及其衍生物在农业领域也具有重要应用。溴代农药（如溴氰菊酯、溴敌隆等）具有较高的杀虫、杀螨和杀菌活性，被广泛用于农作物病虫害防治。

1.5 染料和光学材料

溴素在染料和光学材料生产中也具有一定的应用。溴化物可以用于合成各种有机染料，如酞菁染料。此外，溴化物在光纤通信领域也有应用，如溴化锗在光纤光栅中作为光波导材料。

1.6 汽车行业

溴化物在汽车行业中也有应用。例如，溴化物在制动液中作为添加剂，可以提高制动液的沸点，降低腐蚀性，从而提高制动系统的性能和安全性。此外，溴素衍生物在汽车空调系统中也被用作制冷剂，以提高空调系统的效率和环保性能。

2 溴素常见生产工艺及缺陷

2.1 空气吹出法工艺

经典的空气吹出法，首先用氯气将酸化卤水氧化，卤水中的游离溴离子被氧化成溴单质，通过空气吹出，进入二氧化硫吸收塔再次转化为溴离子，经捕沫塔处理后，氯气二次氧化出溴单质，蒸馏冷凝后得到成品溴。该生产工艺的缺陷在于溴素收率相对较低，因为空气中氧气的氧化能力较弱，不能完全将海水中的溴

离子氧化为溴素。此外，空气中还包含氮气和其他不活跃气体，可能影响氧化反应的效率，此外：空气吹出法需要消耗大量的空气，可能需要使用鼓风机等设备进行空气输送。此外，溴素的提取和纯化过程也会消耗能源，如蒸馏过程中的热能。由于溴素具有强烈的氧化性和腐蚀性，生产过程中设备容易受到腐蚀，增加设备维护和更换的成本。

2.2 水蒸汽蒸馏法

水蒸汽蒸馏法 (steam distillation) 是一种常见的分离和提纯挥发性化合物的方法，尤其适用于高沸点、易分解或与水不混溶的物质^[2]。水蒸汽蒸馏法的原理主要基于两个方面：溶剂的相对挥发性和溶剂混合物的汽液平衡。当两种或多种物质混合在一起时，各组分的气相中的浓度会受到相互影响。在水蒸汽蒸馏过程中，添加水蒸汽可以降低混合物中其他组分的气相浓度，从而降低它们的沸点。在水蒸汽蒸馏过程中，被蒸馏物质与水形成的混合物在加热时会达到一个气液平衡状态。在这个状态下，混合物中的各组分会以一定比例分布在液相和气相之间。当加热至一定温度时，混合物中挥发性较强的组分会被优先汽化并带走，从而实现分离。

水蒸汽蒸馏法也存在一定的缺陷，水蒸汽蒸馏法需要加热，可能会导致热敏性物质分解或产生降解产物，从而影响目标物质的质量和纯度，此外该方法对于原料品味要求也相对较高。

2.3 乳状液膜法

乳状液膜法 (emulsion liquid membrane method, ELM) 是一种用于溴素生产的新型工艺方法，特别适用于低浓度溴离子的提取^[3]。这种方法的主要优势在于其高选择性、高效率 and 较低的能源消耗。乳状液膜由三部分组成：内水相、膜相和外水相。内水相和外水相通常是水溶液，而膜相是由有机相（如矿物油）和表面活性剂组成。通过高速搅拌，内水相被分散在膜相中形成乳状液滴。溴离子从外水相（含有溴离子的溶液）通过膜相转移到内水相^[4]。这一过程通常涉及到溴离子与载体（如膜相中的络合剂或离子交换剂）的结合，从而实现溴离子在乳状液滴中的富集。经过一定时间的搅拌，溴离子从外水相转移到内水相。之后，通过离心、沉降或过滤等方法分离乳状液滴。在乳状液滴分离后，可以通过氧化还原等方法从富集溴离子的内水相中提取溴素。

在实际应用过程中乳状液膜法表现出了较低的乳

状液滴稳定性，乳状液滴在搅拌过程中容易破裂，导致内水相与外水相混合，降低溴离子提取效率，且由于乳状液滴尺寸较小，分离过程可能较为困难，需要采用较高离心力或者特殊的过滤材料。

3 溴素新型生产工艺改进思路

溴素新型生产工艺主要工艺流程为：利用卤水泵抽取卤水，并向卤水泵出口管中依次加入稀酸和氯气。在管内，卤水中的溴化物通过酸和氯的氧化作用转化为单质溴。然后，将卤水通过管道输送至吹出塔顶部。氧化后的卤水从吹出塔顶部喷淋而下，在塔内填料表面与循环气体接触。单质溴从塔顶部被吹出，塔底部的脱溴卤水排出并送至盐田进行晒盐。塔顶部吹出的含溴气体与顶部风道中的二氧化硫和雾状淡水进行反应，生成氢溴酸和硫酸。在吸附塔中，这些微粒被浓缩，凝结为液态，再由塔底自流流入成品液贮箱。将从吸收塔中分离出来的完整液体，通过吹风机，经过增压后，重新输送到吹风塔中。气体经过吹出塔，吸收塔，捕沫器，鼓风机，形成一个封闭的循环。用泵从蒸馏柱的顶端注入成品液体，而在蒸馏柱的底部注入水蒸汽和氯。在塔中，用水蒸汽和氯气进行了反向流动，将溴化氢与氯气进行氧化，得到了一种简单的溴化物和氯化氢。从精馏塔顶抽出的单质溴化物在一定程度上伴随着一些水蒸汽，通过热交换器、冷凝器等的冷却，最终到达溴化水分离瓶。在溴—水分离罐中，将粗溴与溴—水混合物进行处理，去除过量的氯气，制成最终的溴—水分离罐，并将其贮存。在与成品液体混合后，将溴—水混合物送回精馏塔中，继续下一次精馏。而在此过程中，从精馏塔底排出的酸性废水经回收后，再进入配酸槽，通过卤泵排出管道对卤水进行酸化。

4 溴素新型生产工艺细节分析

4.1 溴素生产蒸馏系统

溴素生产蒸馏系统主要包括蒸馏塔、电磁感应加热机组、出口换热器和入口换热器。蒸馏塔的进料口处设置入口换热器，出料口处设置出口换热器，酸液入口处设置有电磁感应加热机组，其一端连接有酸液塔，电磁感应加热机组通过 PLC 恒温控制加热酸液塔进入电磁感应加热机组的酸液温度。出口换热器与料液塔和蒸馏塔之间的管道连接设置，出口换热器用于加热料液塔和蒸馏塔之间的管道内的料液。蒸馏塔管道连接有氯气汽化器，蒸馏塔和氯气汽化器之间设有氯气加热器，氯气加热器用于加热汽化后的氯气。氯

气汽化器连接有热水罐，热水罐为氯气汽化器汽化氯气提供能量。热水罐内设有电加热器和温度感应器。蒸馏塔和酸液塔之间的管道上连接有金属浮子流量计和电动调节阀，蒸馏塔和氯气汽化器之间的管道上连接有金属浮子流量计和电动调节阀，金属浮子流量计和电动调节阀电连接有自动控制柜，自动控制柜设有控制主板和触控屏。

4.2 自动取样检测系统

自动取样检测系统，包括反应釜、自动取样设备和自动分析仪，自动取样设备和自动分析仪与反应釜连接，反应釜下部侧壁的气管和酸管上设有电磁控制阀，气管管道连接氯气塔，酸管管道连接盐酸塔。

自动取样设备与自动分析仪连接，自动分析仪无线网络连接工控机，工控机连接报警器，工控机还连接DCS系统，DCS系统与电磁控制阀连接，DCS系统能够控制电磁控制阀来控制氯气塔和盐酸塔。

自动取样设备包括取样管道和减压阀，取样管道与反应釜连通，减压阀位于取样管道上，取样管道的上部管道连接清洁水箱，清洁水箱与取样管道连接的管道上设有控制阀。取样管道的下部设有气泵。

5 溴素新型生产工艺效益分析

溴素新型生产工艺具有较为明显的经济效益优势，该工艺通过料液塔和蒸馏塔之间的入口换热器采集料液入蒸馏塔时散发的余热对酸液进行预热，而蒸馏塔的出料口处的出口换热器通过采集蒸馏后的产品的余热对料液进行预热，充分利用能源，减少了能源的浪费和消耗；通过自动控制柜控制金属浮子流量计和电动调节阀，能够实时自动控制酸液和氯气的投入量，实现了生产的自动化，大大节约了人力成本和生产成本；自动加热柜和热水罐能够为氯气汽化器带来稳定的能源输出，充分保证了提供氯气的稳定性。

从该新型工艺的实现方式来看，可以通过对原有产线改造升级实现，从而最大程度节约成本。以A公司为例，该公司原工艺产线年产溴素900t，对依据新工艺对产线进行改造升级需要花费600万元，升级改造完成后，可将产能提升至1050t/a，新增销售收入840万元，净利润383万元。为企业带来经济效益的同时，增加地方税收，预计每年新增税收262万元，并带动当地上下游相关行业的发展。项目建设完成后，计算期内年均增加销售收入达到840万元，年均营业税金及附加为26万元，年均增值税为109万元，年均利润总额为510万元，年均所得税为127万元，平

均税后净利润为383万元，税后投资回收期为4.83年（含建设期），预测各项财务指标良好，盈亏平衡点比较安全。项目从财务角度评价是可行的。

新工艺的实施能够实现精准控制、实时监控，实现生产数据可视化、生产全流程自动化、产品质量稳定化，提高企业本质安全水平和安全生产科技保障能力，从根本上有效防范和遏制事故发生，保护企业职工生命财产安全。项目充分利用了原有溴素生产工艺基础，提高土地资源利用率，提高自动化水平，减少劳动力，提高产品质量及附加值，符合国家产业政策和企业发展规划，有利于企业长久高效发展。

此外，采用这种新型溴素生产工艺能够产生显著的辐射和带动效应，从而提高整个行业的技术水平和国际竞争力。这一工艺将推动产业结构的调整、优化和升级，以及产品创新和替代。在地区经济发展中，这一工艺占据关键地位。同时，新型溴素生产工艺还将促使一系列本地企业共同发展，为大量人口提供就业机会，进而对当地经济产生显著的拉动作用。这将有效提高当地居民的生活质量，并对地区经济科技发展和社会进步产生积极影响。换言之，这一工艺不仅对溴素产业具有重要价值，还对整个社会产生深远的意义。

6 总结

目前来看，溴素传统生产工艺仍有很大的改进空间，通过对传统生产工艺进行改进创新能够有效有效提升溴素生产效率以及经济效益。新型溴素生产工艺具有显著的技术优势和良好的经济效益，为低浓度溴离子资源的高效利用提供了一种可行的解决方案。未来需进一步完善和优化该工艺，推动其在溴素生产领域的广泛应用。

参考文献：

- [1] 冶红耀. 溴素的提取工艺研究 [D]. 唐山: 华北理工大学, 2020.
- [2] 龚伟. 某地区溴素生产企业共性问题及改进措施的探讨 [J]. 山东化工, 2020, 49(05): 155-157+164.
- [3] 刘静. 溴素全流程自动控制技术通过评审 [J]. 盐科学与化工, 2020, 49(01): 46.
- [4] 毕李刚, 冶红耀. 浅谈溴素生产节能降耗 [J]. 盐科学与化工, 2019, 48(08): 35-36.

作者简介：

杨彩霞 (1985-)，女，汉族，山东潍坊人，本科，工程师，研究方向：盐及盐化工工艺技术。