

海水综合利用系统优化分析方法的探讨

王彦飞*, 杨兴红, 李娜, 朱亮, 杨立斌, 王学魁, 沙作良

(天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457)

摘要:依据层次分解原理,建立了海水综合利用系统层次优化模型。借助 Aspen Plus 软件,以降低过程系统能耗为目的,从单元操作和产品生产 2 个层次介绍了海水综合利用系统优化分析方法,为海水的综合高效利用提供了理论指导和技术支撑。

关键词:海水综合利用;层次分解;Aspen Plus;系统优化

中图分类号:TQ115

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)05-0169-03

Discussion on optimization of comprehensive utilization of seawater system

WANG Yan-fei*, YANG Xing-hong, LI Na, ZHU Liang, YANG Li-bin,

Wang Xue-kui, SHA Zuo-liang

(Tianjin Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry, College of Marine science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: A hierarchical optimization model of comprehensive utilization of seawater system is established based on the hierarchical decomposition principle. For the propose of reducing the energy consumption of process system, by using Aspen Plus software, the optimization analysis method about comprehensive utilization of seawater system is introduced from two levels of unit operation and product production. It provides the theoretical guidance and technical support for the comprehensive utilization of seawater.

Key words: comprehensive utilization of seawater; hierarchical decomposition; Aspen Plus; system optimization

海水是化学资源宝库,我国已将海水化学资源综合利用列为发展重点之一^[1]。在我国,海水的利用技术基本成熟,海水利用产业已具有一定的基础和规模,但仍存在产业规模较小,发展速度较慢,综合配套不完善,市场竞争力不强等问题。因此还需进一步优化技术工艺,降低成本,同时减少海水综合利用过程对环境的污染^[2]。但是,海水综合利用过程相当复杂,包含了很多的单元操作过程,涉及到大量各种类型的设计变量和约束。采用传统的整体优化方法求解这样一种大型设计问题,将是非常困难而耗时的。因此,可以将其分解为若干较小的子系统,逐一进行优化。

Aspen Plus 是基于稳态化工模拟、优化、灵敏度分析和经济评价的大型化工流程模拟软件。其完善的单元模型库可以用来模拟实际工程中诸如换热器、反应器、蒸馏塔等装置设备;同时,其丰富的物性数据库几乎囊括了所有的有机物和无机物的物性数据;另外,其全面的热力学模型可以较准确地分析各种热力学状态过程。应用 Aspen Plus 软件对海水综合利用系统建立模型,通过流程模拟和优化,不仅可以得到物流的详细信息,还可以寻求最佳工艺条件,从而达到节能、降耗、增效的目的^[3]。

1 海水综合利用系统层次优化模型的建立

不同的复杂系统有不同的分解策略,同时对应着不同的分解模型,目前主要有 3 种分解模型,即层次模型、网状模型和混合模型。3 种模型对应的求解方法分别为层次分解优化方法、网状分解优化方法和混合分解优化方法。本文中根据海水综合利用过程特点,采用层次分解原理对海水综合利用系统进行分解,建立了海水综合利用系统层次优化模型。在此基础上,从单元操作和无机盐产品生产 2 个层次,以降低过程系统能耗为目的,阐述了海水综合利用系统优化分析方法^[3]。

1.1 层次分解原理

层次分解模型^[4]如图 1 所示。由图 1 可以看到各子系统之间组成了一个类似金字塔的模型。塔顶为系统层,其下各层为子系统层,越向下分解越细化,直到不能分解为止。

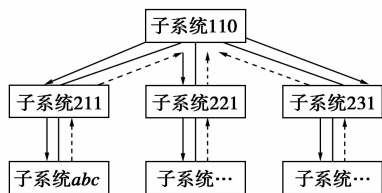
在层次分解模型中,系统层取为第 1 层,系统层以下各层分别为第 2 层,第 3 层,⋯,第 n 层。对模型中的任一子系统,可用一个 3 位数 abc 来标识,这里 a 表示该子系统所在的层号, b 表示该子系统在第 a 层中从左算起的位置, c 表示该子系统的上一

收稿日期:2014-11-12

基金项目:天津市科委重点基金资助项目(12JC2DJC28200);教育部科研创新团队培育计划([2013]373);天津市高等学校创新团队培养计划(TD12-5004)

作者简介:王彦飞(1977-),男,博士,副教授,研究方向为工业结晶,022-60601110, wangyanfei@tust.edu.cn。

层子系统的位置。



向下箭头—控制;向上箭头—反馈

图 1 层次分解模型

1.2 模型的建立

海水综合利用包括海水淡化、海水直接利用、海水化学资源利用 3 个方面^[5]。海水综合利用系统有明显的层次结构,根据层次分解原理,可以简单地按系统的拓扑结构进行分解。因海水各综合利用分析过程类似,现以海水的一种综合利用过程为例,如图 2 所示,建立海水综合利用系统层次优化模型,其他不再过多陈述。

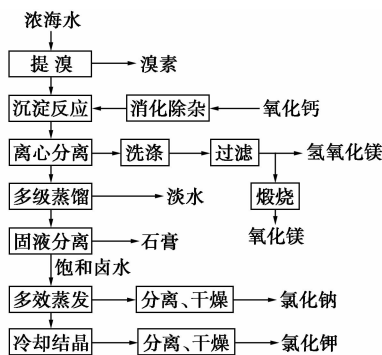


图 2 浓海水综合利用过程

根据图 2 所展示的结构,根据浓海水综合利用方案^[6],其中各种盐生产或单元操作之间的物流和能流的交换已考虑在内,建立如下层次优化模型,如

(上接第 168 页)

4 结论

通过对甲醇精馏系统操作压力的模拟计算分析,可以得出如下结论。

- (1) 随操作压力的减小,塔顶和塔底温度同步减小。
- (2) 塔内温度的降低减轻了腐蚀、结垢的倾向及速率。
- (3) 随操作压力的减小,全塔的气、液相负荷均略有减小。
- (4) 降低操作压力是精馏节能的有效手段之一,但操作压力不可过低,过低则单位装置的综合能

图 3 所示。

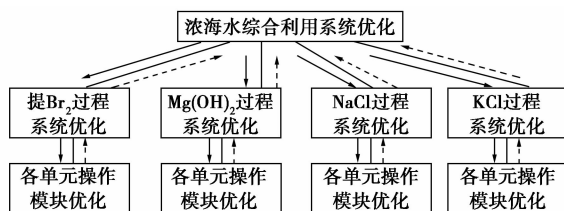


图 3 浓海水综合利用系统层次优化模型

2 海水综合利用系统优化

对于海水综合利用系统,虽然各种无机盐生产原理和生产方法异彩纷呈,但也存在着共性。总结各种无机盐产品生产所涉及的单元操作,主要包括混合、蒸发(结晶)、冷却(结晶)、过滤、洗涤、干燥等^[7]。Aspen Plus 中提供了 50 多种单元操作模型,如混合、分离、换热、闪蒸、精馏、反应等,可以很好地模拟用户所需的流程。鉴于海水综合利用系统的复杂性,现以钾石盐热溶-冷析结晶生产 KCl 为例,以降低过程系统能耗为目标,从单元模拟和产品生产 2 个层次,介绍海水综合利用过程优化分析方法。

2.1 KCl 生产工艺原理

热溶-冷结晶法生产氯化钾的基本原理:将钾石盐加入冷却结晶后的循环母液,加热至 100℃,并在此温度下固液分离,得到氯化钠固体,液相进行冷却结晶,经分离、洗涤后得到氯化钾产品。析出氯化钾的母液再用于溶解钾石盐,如此循环生产。

2.2 KCl 生产工艺模拟流程建立

KCl 生产过程所涉及的单元操作主要有混合、加热、冷却结晶、分离等。这些单元操作可以使用

耗反而随之急剧增大。

参考文献

- [1] 董海生,卢宝春. 浅谈节流效应及在天然气集输工艺中的应用[J]. 油气田地面工程,2003,22(11):24.
- [2] 慕蓉,李斌,曹军军,等. 降低甲醇回收换热器腐蚀速率[J]. 辽宁化工,2014,43(9):1149-1151.
- [3] 陈砺,张宁安. 操作压力与精馏节能[J]. 节能,1996,(2):25-27.
- [4] 黄凤林,向小凤. 甲醇精馏过程四塔流程模拟分析[J]. 石油与天然气化工,2007,36(1):18-21.
- [5] Component and thermophysical properties reference manual (Version 8.3)[CP/DK]. Invensys plc,2008.
- [6] GB/T 2589—2008. 综合能耗计算通则[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [7] 王贵文,秦孝良. 操作压力对加压精馏装置能耗的影响[J]. 化工科技,2002,10(2):36-39. ■

Aspen Plus 中以下单元操作模块表示:混合器/分流器单元、换热器单元、固液分离单元、气液分离器单元等。分别选用的单元操作模块为 HeaterX (换热器)、Mixer (混合器)、Sep (分离器)、Flash2 (闪蒸器),其中 KCl 冷却结晶过程采用真空闪蒸方式制备。根据实际流程,建立以下流程模拟模型,如图 4 所示。

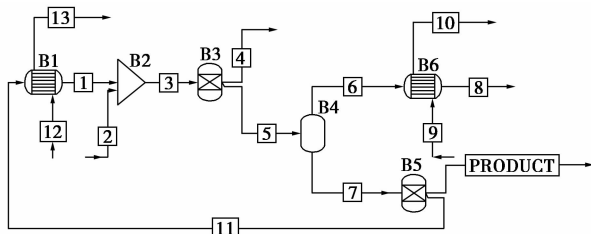


图 4 KCl 生产工艺过程模拟流程图

原料和来自换热器 B1 的 100℃ 的循环母液在混合器 B2 进行混合,在此温度下,通过分离器 B3 将未溶解的 NaCl 分离出去,料液经真空绝热闪蒸析出氯化钾晶体,再进入分离器 B5,通过固液分离得到 KCl 产品,剩余的母液经加热再用于溶解钾石盐,如此循环生产。二次蒸汽则通过换热被冷凝下来。

2.3 单元操作模块优化

现以真空闪蒸 Flash 2 模块为例对单元操作模块的优化进行说明。用两相闪蒸器 Flash 2 模块模拟计算时,需要规定闪蒸的温度、压力、气相分率、热负荷这 4 个中的任意 2 个,本文中设定的是钾石盐溶液闪蒸的压力和热负荷。闪蒸过程参数的优化可以通过调节进料流量、进料温度、闪蒸压力等操作参数对工艺条件进行改进。闪蒸压力是根据闪蒸原理确定的,应用 Aspen Plus 物性分析功能分析不同温度下料液的泡点、露点温度对应的压力。Aspen Plus 模型分析工具主要包括灵敏度分析 (Sensitivity)、优化 (Optimization)、约束 (Constraint)、数据拟合 (Data Fit)、工况分析 (Case Study) 等,采用灵敏度分析功能分析改变闪蒸过程操作参数所对应的过程能量消耗。

蒸过程结构的优化可以通过选用其他结晶设备如冷却结晶器代替真空闪蒸设备,对过程能耗进行优化分析。

2.4 产品生产过程的优化

在 KCl 制备过程中,过程总能耗主要集中在真空闪蒸过程和母液循环过程,包括料液真空绝热闪蒸析晶过程,闪蒸器达到指定真空度真空泵对设备所做的功;母液循环泵所做的功及其升温所消耗的

能量。对于参数的优化,可通过调节原料的加入量、进料的温度、闪蒸压力、母液加热过程蒸汽的压力和流量等,分析不同工况条件下系统所对应的过程总能量消耗。

对于 KCl 制备过程结构的优化可以通过以下方面进行。循环母液加热过程,可以采用不同的加热设备,如蒸汽加热设备改电加热设备,还可以利用二次蒸汽冷凝放出的热量对循环母液进行预热;固液分离可以采用不同的分离设备如重力分离设备、真空分离设备、加压过滤设备或离心分离设备等。冷却结晶过程既可采用真空闪蒸设备,还可以使用冷却结晶设备。真空闪蒸制备 KCl 过程,可以通过改变闪蒸的级数,对过程进行优化;二次蒸汽可以采用水冷或者循环母液冷却等。

3 结语

用 Aspen Plus 软件模拟海水综合利用系统,对海洋资源的开发具有重要的实践意义。鉴于目前对海水产业化利用要求越来越高,研究开发更多适用于海洋资源利用的软件尤为紧迫。本文中结合 Aspen Plus 强大的功能,对海水综合利用系统层次优化分析方法进行了阐述,为其他无机盐制备过程的模拟与优化提供了理论指导和技术支撑。通过对海水综合利用系统的优化,可以寻求最佳的工艺条件,从而达到节能、降耗、增效的目的。但因为各子系统之间存在的耦合和反馈作用不能完全忽略,所以利用局部优化通常无法达到真正的全局优化,该优化方法有待进一步的验证和改进^[8]。

参考文献

- [1] 张雨山,黄西,平孙强.开发海水资源综合利用技术促进环渤海地区经济发展[J].海洋开发与管理,2008,25(1):39-44.
- [2] 赵玉杰.我国海水综合利用产业发展战略研究[J].海洋开发与管理,2013,30(9):41-44.
- [3] 孙兰义.化工流程模拟实训-Aspen Plus 教程[M].北京:化学工业出版社,2012:2-3.
- [4] 孔凡国.复杂工程系统结构优化层次分解神经网络方法[J].机械设计与研究,2006,22(1):9-12.
- [5] 韩凯,刘艳萍.我国海水综合利用现状及发展趋势[J].科技信息,2011,(17):69-70.
- [6] 陈侠,陈丽芳.浅谈我国浓海水化学资源的综合利用[J].盐业与化工,2008,37(5):47-49.
- [7] 天津化工研究院.无机盐工业手册[M].北京:化学工业出版社,1995.
- [8] 张超.复杂能量系统的热经济学分析与优化[D].武汉:华中科技大学,2006:122-128. ■