

海水淡化过程优化设计的研究进展

夏 艳¹, 伍联营¹, 卢彦越¹, 胡仰栋¹, 高从堦^{1,2}

(1.中国海洋大学 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室 山东 青岛 266100 ;

2.杭州水处理技术研究开发中心 浙江 杭州 310012)

摘 要: 海水淡化是能源密集型工业, 对淡化工艺、操作参数及设备结构等进行优化设计是降低淡化过程能耗的有效途径。本文分析了不同海水淡化方法的技术特点, 详细介绍了海水淡化过程的优化设计方法及海水淡化技术集成的研究进展。

关键词: 海水淡化; 多级闪蒸; 多效蒸发; 反渗透; 优化设计

中图分类号: P747

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2007)-001-05

在目前世界范围内水资源和能源紧缺的形势下, 利用海水淡化解淡水缺乏已经受到越来越多的重视, 并且海水淡化已经规模化发展。但制约其进一步推广应用的瓶颈是淡化水的成本高, 缺乏竞争性, 因此降低海水淡化的能耗是当前面临的一大课题。通过对海水淡化技术的优化设计, 改进淡化工艺、设备结构、操作参数以及对不同的淡化技术进行集成, 提高能源的利用效率, 是降低淡化成本的重要途径。本文将介绍海水淡化过程的优化设计方法及研究进展。

1 海水淡化方法的技术特点

蒸馏法 (MSF 和 MED 为主) 和膜法 (RO 为主) 是迄今为止海水淡化技术中最为主要的两种方法。

在蒸馏法中, 多级闪蒸 (MSF) 技术成熟, 性能稳定, “双目的”电水合建 MSF 规模很大, 造水比高 (一般 8~15), 适应原水范围的能力强, 水质很好, 优势明显。但其设备投资大、能耗高 (约 80kWh/ m³)。现主要为能源廉价的中东等地区广泛用于海水淡化。

与 MSF 相比, 多效蒸发 (MED) 运转温度低 (65~71℃), 热转换系数高, 效数少, 能耗小 (约 8~11kWh/ m³), 造水比高 (潜在造水比可达到 20), 预处理简单, 结垢腐蚀现象轻, 若出现管子漏损, 不会污染淡水。但其构造复杂, 技术不太成熟, 其应用现仍限于中小规模, 有待进一步扩大。

反渗透能耗低 (一般在 10kWh/ m³ 以下), 规模较大, 受能源 (石油、煤等) 价格影响程度较 MSF 小, 适应性强, 应用较广。在能源价格低的中东, 蒸馏法比较经济, 但在能源价格高的美国 and 欧洲等地区, RO 则倍受青睐。近年来 RO 淡化容量持续增长, 规模不断扩大, 前途无量^[1-3]。

2 海水淡化过程的优化设计

2.1 多级闪蒸过程的优化设计

对大规模淡化水的生产来说, 多级闪蒸是一种较成熟的可信赖的技术, 但安装费用和能耗很高。长期以来, 人们一直在寻找降低多级闪蒸淡化水成本的方法, 例如, 通过改进设计, 开发更便宜实用的化学药品, 利用低价位的建筑材料、利用低品位能源, 改进生产工艺, 选择更好的操作条件等^[4]。

S Shrivayyanamath^[5]等对 MSF 过程进行了模拟计算, 建立了动态的数学模型用于预测瞬间变化的系统参数, 用 Runge-Kutta 方法求解, 采用 Fortran-95 来实现。模拟结果显示了与 MSF 装置实际运行参数有很好的-致性。该模型同样适用于双目的淡化装置, 尤其是淡化装置与核能装置的耦合。胡三高等^[6]以年平均淡水成本为目标函数, 在浮动价格结构下对 MSF 系统的优化设计进行了较为详细的分析, 结果指出在原始经济、技术参数唯一确定的情况下, 可以获得唯

收稿日期: 2006-12-14

基金项目: 国家自然科学基金 (20376078)

作者简介: 夏 艳 (1983-) 女, 硕士研究生, 研究方向为海水淡化过程的模拟与优化

联系作者: 胡仰栋, 博士, 教授, 联系电话: 0532-66781875, E-mail: xiayan5808@sina.com。

一的最优解方案,且在最优化设计点附近,淡水成本函数对级数的敏感度不高。Ahmed M Helal^[9]等研究了在未来大型海水淡化装置中,贯流型多级闪蒸(OT-MSF)代替传统的盐水回收的多级闪蒸(BR-MSF)的可行性,在其它操作条件相同的情况下,以总传热面积最小为目标,对这个最优化问题建立了一个严格的数学模型,用 Microsoft Excel 来求解,得出长管多级闪蒸(LT-MSF)在容量和造水比相同的情况下,其级数达到 40,能够比横管盐水循环多级闪蒸(CT-BR-MSF)节省 40%的传热面积,然而,当比较不同级数的不同结构装置的单位流量的传热面积的全局最优化时,发现,OT-MSF 相对于传统的 CT-BR-MSF 并不能节省传热面积,据此说明只有当总级数达到 40 或以上的时候,LT-OT-MSF 才有优势。Sergio Mussati^[9]等给出了 MSF 系统的严格模型,表述为一个非线性规划(NLP)问题,以费用最小为目标进行了优化,但费用仅包括传热面积费用和消耗的能量费用,而其他费用忽略不计,采用 GAMS 程序来实现求解,在算例中,采用了简化的梯度算法 CONOPT 2.041。

2.2 多效蒸馏过程优化设计

多效蒸馏系由单效蒸馏组成的系统。即将前一个蒸发器蒸发出来的二次蒸汽引入下一蒸发器作为加热蒸汽并在下一蒸发器中凝为蒸馏水,如此依次进行。多效蒸发和单效蒸发相比,热能得以重复利用,造水比几乎按效数成倍增加,但单产设备费亦随效数的增加而逐渐升高,故不能一味地增加效数。

苏保卫^[9]等基于全塔负荷均衡的原则对塔式多效蒸馏海水淡化系统的进料状况进行了优化,探讨了进料流股数、进料位置以及各流股的进料量对淡化过程的影响,结果表明:在一定范围内,进料流股数和进料比例的变化对盐水浓度、沸点升高、盐水流量、传热温差及造水比有较大影响,采用优化的进料方式可以降低投资费用和运行费用。

刘晓华^[10]等以 9 效竖管降膜多效蒸发海水淡化系统为例,分别采用等温差分配法和等面积分配法对多效蒸发海水淡化系统进行了模拟计算,并考虑了海水沸点升高的影响。计算结果表明,在相同的淡水产量前提下,等温差分配得到的蒸发器总面积要比等面积分配得到的蒸发器总面积略小,等面积分配所需的加热生蒸汽量比等温差分配所需加热生蒸汽量略少。同时,以系统总传热损失最小为优化目标对多效蒸发海水淡化系统进行了优化计算,结果表

明,优化计算结果比等面积分配计算结果节省传热面积 20.3%,节省加热生蒸汽量 3.3%,可以有效降低海水淡化淡水成本。

杨洛鹏^[11]等建立了低温多效蒸发系统在变工况运行条件下的数学模型,分析了加热蒸汽温度、加热蒸汽流量和供入海水流量对系统的蒸发产物负荷率和单位蒸发产物热耗率的影响,探讨了多效蒸发器中海水的温度和浓度的变化与装置结垢的关系。结果表明,在控制结垢发生的前提下,即盐水浓缩比不超过 2.5、盐水顶温低于 75 时,降低供入海水流量、增加加热蒸汽流量和提高加热蒸汽温度有利于系统运行。

沈胜强^[12]等对串流、并流和并叉流 3 种不同工艺流程下的低温多效蒸发海水淡化系统进行了分析。结果显示,对于给定的多效蒸发海水淡化装置,提高加热蒸汽温度,可大大提高装置的淡化水量,同时对加热蒸汽的需求量也增大,但造水比随加热蒸汽温度的升高呈减小趋势,就 3 种工艺流程而言,并叉流具有较好的热利用率。

2.3 反渗透海水淡化过程的优化设计

海水反渗透的工程设计,其任务是以合理的工艺流程和运行参数,较低的成本实现工程的预定目标,满足用户所需要的产水量及其水质指标。通过系统的设计,确定工艺流程和运行参数,相应的给水预处理系统、所需要的膜组件数量及其排列组合、所需其他配套设备及其大小等。

目前,反渗透工程设计主要借助于膜生产商提供的设计软件。它采用迭代计算的方法,其中流程的设计及过程单元的选择主要是利用工程经验。由于反渗透过程的设计是一个比较复杂的过程,涉及诸多的变量,如海水的组分、pH 值、温度、操作压力、回收率、产水量、进料流量、膜的特性、能源价格等,而且有些参数彼此有密切关系并相互影响。因此采用过程综合优化的方法,对各个子系统进行集成及整体优化必将取得更大的经济效益。

对于多级反渗透系统的最优化设计已经有了许多研究报道。El-Halwagi^[13]提出了一个用状态空间法来描述的反渗透网络超结构。这个超结构采用了 4 个框图:加压/减压物流分布框图、加压/减压物流匹配框图、反渗透物流分布框图、反渗透物流匹配框图。通过这种结构描述,可以将所有可能的反渗透工艺流程用数学方法表达出来。最终将设计问题表达成混合整数非线性规划问题(MINLP),通过求解该

规划问题获得最佳流程和设备参数、操作状态。在此基础上, M Zhu^[14]等、H J See^[15]等对考虑膜污染的反渗透系统设计和膜组件清洗策略问题进行了研究。Voros^[16-17]对 El-Halwagi 的超结构描述方法进行了简化, 将框图简化为物流连接节点。同时不考虑设备的选型, 将设计问题表达为一个简单的非线性规划问题(NLP) 降低了计算难度。F Maska^[18]等用有向图来描述反渗透网络超结构, 这种结构的数学模型表达采用了布尔矩阵。在数学模型表达中, 去除了许多不必要的变量, 减少了求解数学规划问题的时间, 提高了求解的准确性。A Malek^[19]将成熟的理论模型和膜实验数据结合推导出半经验数学模型, 用这个数学模型模拟了传质过程并给出了可靠的操作预测, 提出了投资和操作费用的经济模型, 对反渗透海水淡化进行了经济评价。

卢彦越^[20-21]等首先对反渗透过程进行了模拟, 然后以年费用最小为目标, 将反渗透海水淡化系统表述为一个混合整数非线性规划问题, 对不同的膜组件, 当产品水的设计要求不同, 能分别得出不同的最优方案。基于过程系统综合的思想, 他们对在不同浓度的进料水条件下(从高浓度海水到低浓度苦咸水), 不同的产品水质需求的反渗透系统最优化设计问题进行了研究。采用并修改了 El-Halwagi 提出的反渗透网络超结构, 给出了一个包括两套物流节点(物流混合节点, 反渗透单元节点) 的网络结构。同时给出了一个反渗透单元模型, 该模型考虑了膜元件的压降和浓差极化问题, 膜元件的选型及压力容器最优化设计问题。针对不同的进料水浓度和产品水需求, 求解这个混合整数非线性规划问题(MINLP), 可得出一套最优的设计方案。他们还对考虑膜污染的反渗透系统设计问题进行了研究, 给出了膜组件清洗和更换的操作策略, 提出了如下膜污染模型:

$$A_{n,q} = A_0 \cdot (1 - \psi_1 \cdot T_{2,n,q}) \cdot \exp(-T_{1,n,q} / \Gamma_1)$$

$$B_{n,q} = B_0 \cdot (1 + \psi_2 \cdot T_{2,n,q}) \cdot \exp(T_{1,n,q} / \Gamma_2)$$

式中 $A_{n,q}$ 和 $B_{n,q}$ 分别为水的渗透性常数和盐的传质参数, 膜元件制造商通常会提供新组件的这两种参数, 即纯水渗透性常数和盐的传质参数初始值 A_0 和 B_0 。T 表示上一次清洗或更换后膜组件的操作时间。参数 ψ 表示膜组件性能不可恢复性的恶化程度, Γ 表示由于膜污染造成组件性能下降快慢的时间常量。它们的值可由实际测定的膜污染数据来确定。

以上研究提出的最优化设计方法, 可获得较高的产水率, 能量消耗低, 从而进一步降低了产水成

本。但这些方法目前还在研究探讨中, 在实际的反渗透工程设计中应用较少。

3 海水淡化集成过程的优化设计

海水淡化技术的集成可以大大的降低生产过程的能量消耗, 提高产品水的产量和质量。海水淡化技术的集成主要有 3 种形式: 一是海水淡化方法的集成, 二是能源与海水淡化集成, 三是发电 - 海水淡化 - 综合利用的深度集成。海水淡化集成的目的是为了充分发挥各方法的特长及合理利用能量, 实现资源的优化配置, 从而提高产量、降低成本获取综合效益。

3.1 海水淡化方法的集成

目前, 研究最多的是多级闪蒸和反渗透过程的集成, 而预处理方法与淡化的集成已经引起广泛的关注, 根据环境友好和可持续发展的要求, 这一集成方案有较大的发展潜力和应用前景。

近年来, 微滤 (MF)、超滤 (UF) 和纳滤 (NF) 技术都得到了长足的发展, 尤其是 NF 技术的应用和发展, 为 NF-SWRO-MSF 过程集成创造了有利的条件。经过 NF 处理过的进料海水, 不但硬度大幅度降低, 而且 TDS 也有一定程度的减少^[22]。这样就可以采用 SWRO 排放的浓盐水作为 MSF 过程的进料, 可提高整个系统的回收率, 同时将 SWRO 的产品水与 MSF 生产的蒸馏水混合来生产饮用水, 节省地表水和地下水, 在改善水质的同时, 也可降低后处理费用^[23]。另外, 利用 MSF 排热段预热海水经过 NF 预处理并作为 SWRO 淡化过程的进料, 可以减少季节水温变化对过程的影响。

新型淡化系统的趋势是采用集成膜过程 (Integrated membrane system, IMS), 即全膜法预处理技术, 将 MF、UF 和 NF、RO 组合起来。据预测采用 UF-NF-RO 集成技术, 产水成本可进一步降低。因此, 采用全膜法预处理代替传统的化学品预处理就成为一种必然的发展趋势。

陈益棠^[24-25]等提出一种反渗透 - 纳滤联合脱盐的膜集成海水淡化新工艺及其过程特征方程, 指出采用新工艺可以在不提高操作压力的条件下, 反渗透海水淡化的回收率可以提高到 60% 以上; 总设备直接投资费分别比回收率为 20% 和 40% 时的传统工艺下降 20.06% 和 6.27%, 操作费用中的能源费分别下降 13.33% 和 7.14%。

A M Helal^[4]等研究了 7 种不同设计的 MSF/RO 集成装置, 并分别建立了模型, 以水成本最小为目标, 对不同集成装置的可行性进行了分析。运用

Microsoft Excel 来求解,采用 Newton-Raphsons 搜索技术来得到目标函数的最小值,迭代变量不断更新来满足收敛标准。但是由于多维目标函数的复杂性,不能保证所得到的解是全局最小值。在计算过程中,收敛误差标准为 0.1%,水的费用由每立方米水的直接投资费用、间接投资费用(包括进口和出口设备)和操作维护费用组成。

M G Marcovecchio^[26]等对贯流型多级闪蒸(OT-MSF)和反渗透(RO)海水淡化集成过程建立了一个严格的非线性规划(NLP)模型,目标是在给定淡水产量的情况下寻找最佳的过程设计方法和操作条件。利用 GAMS 程序来实现求解。其中,每一级的几何形状设计(包括长度、高度和宽度)、预热器的管子数目和浓盐水的流速、总传热系数作为蒸发器的最优化变量;在 RO 中,每一级的过滤器的数量、操作压力、进出口流量、进出口盐水浓度作为最优化变量。所建立的数学模型能够成功的求解不同的海水条件和淡水需求。

3.2 能源与海水淡化集成

能源与海水淡化的集成主要包括火力发电、太阳能、核能与多级闪蒸、多效蒸发、反渗透或电渗析的集成,其目的是利用余热(低品位能源)和剩余电力,达到能量合理利用。

现代大型火电厂一方面消耗大量淡水,且又对淡水的水质要求很高;另一方面火电厂具有大量低品位余热能,而热法海水淡化技术(MSF、LT-MED 等)是靠热能驱动的,同时由于海水受热后在金属表面的结垢特性,要求蒸发过程的顶温不宜过高。因此,这就使热电联产海水淡化成为解决沿海电厂淡水资源短缺的最佳方案。但由于其系统结构、汽轮机结构特性以及海水淡化装置运行条件等具体情况限制,在能源利用方面仍然存在着比较大的损失。

E Cardona^[27]等对发电-MSF-RO 系统进行了研究,以利润最大为目标,优化结果表明水成本最小的集成装置并不能产生最大的利润。优化的参数为蒸汽的压力和 MSF 与 RO 装置容量比。所建立的热经济学模型可以适用于不同国家的价格体系和较大范围的进料水盐度。

M Hajeer^[28]等指出水电联产装置在淡水资源缺乏的国家广泛应用,对一个用于阿拉伯海湾地区的水电联产系统作了详细的描述。另外,还对此过程提出了一个数学最优化模型,在一定的约束条件下,使操作费用最小化。表述为一个混合整数非线性问题,

并采用分解策略进行求解。

近年来,随着能源和水资源的短缺,利用核能进行海水淡化受到了越来越多的重视,但核能海水淡化系统的可靠性和产水成本有待进一步验证,同时还需要解决包括适合于核能淡化的反应堆系统、淡化系统及二者接口的优化设计。另外,还涉及资金、安全、产品水放射性污染隔离、核废料处置、公众接受程度以及核不扩散等一系列问题^[29]。

3.3 发电-海水淡化-综合利用的深度集成

海水淡化与综合利用的深度集成是将海水淡化与制盐及盐化工生产相结合,实现海水淡化与制盐、盐化工生产联产,以达到合理配置资源优化项目方案的目的。具体为:首先利用现有盐田设施为淡化厂输送澄清后的原料海水进行提淡操作;淡化后的浓缩水送入化工小区进行提钾、提溴等操作后存入卤库,制盐场再取卤库中的卤水进行制盐生产,产盐后的制盐母液再回到化工小区,进行相应操作(如提镁等),完成整个生产循环。

4 结 语

本文主要介绍了各种海水淡化方法的技术特点、优化设计方法及海水淡化技术集成的研究进展,通过淡化过程的优化设计、淡化方法自身的集成、与不同能源的集成以及海水的综合利用等可使淡化装置的性能提高。随着海水淡化技术的发展,优化设计方法在近一步降低淡化成本、提高产率、开发环境友好型的淡化工艺等方面将发挥更大作用。

参考文献:

- [1] 林斯清.海水和苦咸水淡化[J].水处理技术,2001,27(1):57-62.
- [2] 林斯清,于品早.海水淡化与远程引水[J].水处理技术,2002,28(4):187-189.
- [3] 林斯清.国外海水反渗透淡化技术现状及未来[J].水处理技术,1998,24(1):1-6.
- [4] A M Helal, A M El-Nashar, E S Al-Katheeri, et al. Optimal design of hybrid RO/MSF desalination plants, part I: modeling and algorithms[J]. Desalination, 2003, 154: 43-66.
- [5] S Shivayyanamath, P K Tewari. Simulation of start-up characteristics of multistage flash desalination plants[J]. Desalination, 2003, 155: 277-286.
- [6] 胡三高,等.MSF 海水淡化系统热经济学优化分析[J].水处理技术,2000,126(1):13-17.
- [7] Ahmed M Helal, Mufeed Odeh. The once-through MSF design: Feasibility for future large capacity desalination plants[J]. Desalination, 2004, 166: 25-39.
- [8] Sergio Mussati, Pio Aguirre, Nicolas J Scenna. Optimal MSF plant design[J]. Desalination, 2001, 138: 341-347.

- [9] 苏保卫,等.塔式多效蒸馏海水淡化装置的进料优化[J].水处理技术,2004(30)4:191-195.
- [10] 刘晓华,沈胜强,Klaus Genthner,等.多效蒸发海水淡化系统模拟计算与优化[J].石油化工高等学校学报,2005,18(4):16-21.
- [11] 杨洛鹏,沈胜强,杨荣如.低温多效蒸发海水淡化系统的变工况性能分析[J].热科学与技术,2006,5(2):118-121.
- [12] 沈胜强,张全,刘晓华.低温多效蒸发海水淡化装置的计算分析[J].节能,2005,6:10-14.
- [13] M M El-Halwagi. Synthesis of reverse osmosis networks for waste reduction[J]. AIChE J,1992,38:1185-1198.
- [14] M Zhu, M M El-Halwagi. Optimal design and scheduling of flexible reverse osmosis networks [J]. Journal of Membrane Science, 1997,129:161-174.
- [15] H J See, VS Vassiliadis, D I Wilson. Optimisation of membrane regeneration scheduling in reverse osmosis network for seawater desalination[J]. Desalination, 1999,125:37-54.
- [16] N G Voros, Z B Maroulis. Optimization of reverse osmosis networks for seawater desalination [J].Comp Chem Eng.,1996,20:345-350.
- [17] N G Voros, Z B Maroulis. Short-cut structural design of reverse osmosis desalination plants [J].Journal of Membrane Science, 1997,127:47-68.
- [18] F Maskan, D E Wiley. Optimal design of reverse osmosis module networks[J]. AIChE Journal,2000,46:946-954.
- [19] A Malek, M N A Hawlader. Design and economics of RO seawater desalination[J].Desalination,1996,105:245-261.
- [20] 卢彦越,等.反渗透海水淡化系统的优化设计[J].水处理技术,2005,(31)3:9-14.
- [21] Yan-yue Lu. Optimum design of reverse osmosis seawater desalination system considering membrane cleaning and replacing [J]. Journal of Membrane Science, 2006,28(2):7-13.
- [22] Hassan A M, Al-Sofi, M A-K, et al. A new approach to membrane and thermal seawater desalination processes using nanofiltration membranes (Part 1) [J]. Desalination, 1998,118:35-51.
- [23] Al-Mutaz, Ibrahim S. A comparative study of RO and MSF desalination plants[J]. Desalination, 1996,106:99-106.
- [24] 陈益棠,陈波.高回收率反渗透海水淡化[J].水处理技术,2004,(30)4:196-198.
- [25] 陈益棠,陈雷.高回收率反渗透-纳滤海水淡化成本[J].水处理技术,2004,(30)5:251-254.
- [26] Marian G Marcovecchio, Sergio F Mussati, Pio A Aguirre. Optimization of hybrid desalination processes including multi stage flash and reverse osmosis systems [J]. Desalination, 2005,182:111-122.
- [27] E Cardona, A Piacentino. Optimal design of cogeneration plants for seawater desalination[J]. Desalination,2004,166:411-426.
- [28] M Hajeer, O Mohammad, W Behbahani. A mathematical model for a dual-purpose power and desalination plant[J]. Desalination, 2003,159:61-68.
- [29] B M Misra, J Kupitz. The role of nuclear desalination in meeting the potable water needs in water scarce areas in the next decades [J]. Desalination,2004,166:1-9.

PROGRESS IN RESEARCHES ON OPTIMAL DESIGN FOR SEAWATER DESALINATION PROCESS

XIA Yan, WU Lian-ying, LU Yan-yue, HU Yang-dong, GAO Cong-jie

(Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology of Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The optimal design for the technological process, operating parameters and equipment structure of seawater desalination, as a energy intensive industry, is an effective path to lower energy consumption for seawater desalination. In this paper, different seawater desalination methods and technical characteristics are analysed, and the optimal design method for seawater desalination process and the progress in the researches on integrated techniques for seawater desalination are introduced in detail.

Key words: seawater desalination; multistage flash; multi-effect distillation; reverse osmosis; optimal design

简 讯

兖州矿业(集团)公司鲍店选煤厂实现洗水闭路循环

兖州矿业(集团)公司鲍店煤矿选煤厂对煤泥水系统实施技术改造以后,使洗水浓度处于受控状态,保证了正常的选煤生产,年经济效益达到500万元以上,实现了一级闭路循环,减少了环境污染。

该厂投产以后,由于煤泥水系统本身存在着薄弱环节,循环水浓度在100g/L以上,高灰细泥在系统中积聚,洗水浓度越来越高,要降低洗水浓度减少高灰细泥在系统中的不良循环,使循环水变清,满足复用、脱泥、脱介的要求,该厂特将主攻方向定为二次浓缩机出清水:考虑到浓缩机周边只有部分产生溢流,因此将高处磨低、低处加高,实现了周边溢流,使现有的沉淀面积得到了充分的利用。φ24m浓缩机沉淀面积相对较小、沉淀时间较短,没有适当稳定的入料量和入料浓度,无法溢流清水,故而采取了一定的措施予以保障。入料槽来料速度较快,极大地降低了沉淀效果,在浓缩机入料槽中增设了3道篦子以后,不仅使药剂与煤泥水接触充分,而且挡住了部分杂物,为煤泥水的分离沉淀创造了有利的条件。

浓缩机原先为一点加药,通过试验增加了药剂分配槽,实现了2大点全断面10小点加药,并且在入料槽上下安装了4个探头,控制加药管阀门的大小,可以根据入料量自动调节加药量,有效地控制了清水层的厚度。改变浓缩机底流的排放方式,5台压滤机轮流入料,实行浓缩机连续排放。充分发挥压滤机的作用,严格控制压滤机的无效板数,提高其工作效率和工作质量,减少了压滤机的喷料事故,确保了滤液水的澄清复用。

(李剑峰)