

Research on Optimization and Energy-saving Control of Three-effect Evaporation Process in Polysilicon Production

Keping Gao Yongze Guo Juxing Ke Dongdong Cheng

Xinjiang Jingnuo New Energy Industry Development Co., Ltd., Huyanghe, Xinjiang, 834034, China

Abstract

This paper discusses the improvement of the three-effect evaporation process and energy-saving control in polysilicon production, pointing out the problems faced by traditional processes such as high energy consumption, easy scaling of equipment, and low output. By reducing evaporation temperature, changing steam pressure, increasing heat utilization efficiency, and shortening the residence time of liquid in the system, the purpose of improving steam stratification and heat conduction is achieved, thereby saving energy consumption, reducing the frequency of equipment scaling, increasing output, and ensuring process stability. The study found that reasonable process modifications can not only effectively reduce costs but also extend the service life of production equipment and ensure product quality, promoting the energy-saving, environmentally friendly, clean production, and sustainable development of the polysilicon industry to a certain extent.

Keywords

polysilicon; three-effect evaporation process; energy-saving control

多晶硅生产中三效蒸发工艺优化与节能控制研究

高科平 郭永泽 柯具省 成东东

新疆晶诺新能源产业发展有限公司, 中国·新疆 胡杨河 834034

摘要

本文以多晶硅生产中三效蒸发工艺改进以及节能控制为主题进行探讨, 指出了传统工艺所面临的问题有: 高能耗、设备易结垢、产量低等。通过对降低蒸发温度、改变蒸汽压力、增加热量利用率和缩短液体在系统内停留时间等方式来达到对蒸汽分层使用及热传导效果提升的目的, 进而节约能源消耗、减少设备结垢现象发生频率、提高产量以及保证工艺稳定性。研究发现合理的工艺改造不仅可以有效降低成本开支还可以延长生产设备使用寿命并且保障产品质量, 在一定程度上促进了多晶硅行业的节能环保型、清洁生产和可持续发展之路。

关键词

多晶硅; 三效蒸发工艺; 节能控制

1 引言

多晶硅是光伏产业主要原料, 在其生产过程中消耗大量能源及资源。而在多晶硅提纯过程中, 三效蒸馏是一个重要步骤, 通过对多次蒸发浓缩硅料得到高纯度硅产品。但是传统的三效蒸馏具有热利用率低、蒸发器易结垢以及能耗高等缺点, 制约着降低生产成本和绿色制造的发展需求。为了解决这个问题, 进行对三效蒸馏工艺改进及节能控制的研究工作, 以期提高热能利用率, 保证蒸发器运行稳定可靠, 减少单耗, 促进多晶硅生产向着更加节能环保的方向进步, 从而达到降低光伏行业成本并提高效益的目的。

2 三效蒸发工艺的概述

三效蒸发工艺是在化工、冶金以及光伏多晶硅等行业应用较为广泛的一种多级蒸发浓缩方法, 它主要是通过蒸汽在各个效应(级)之间依次进行热交换来达到对物料的高效浓缩的目的, 在三效蒸发过程中, 原料液先经过第一效应蒸发器被加热使一部分水分汽化, 产生的蒸汽作为第二效应的热源从而节约了额外蒸汽用量; 第二效应蒸发出来的蒸汽再进入第三效应进行加热, 这样就形成了热量逐级使用的模式大大提高了整个系统的效率以及能源利用率^[1]。相对于单效蒸发而言, 使用三效蒸发可以在保证产品质量的基础上节省大约 30% 到 50% 左右的蒸汽消耗量, 具有良好的经济效益和社会效益双重优势。其结构一般由蒸发釜、汽液分离器、冷凝器及循环泵等组成, 各效应间用管道相连形成封闭或者半封闭回路。而在多晶硅生产中, 三效蒸发主要用于硅料溶液的浓缩, 调节好蒸发温度、压力及液面高度可以避免硅胶

【作者简介】高科平(1986-), 男, 中国甘肃张掖人, 本科, 工程师, 从事多晶硅领域公用工程生产研究。

结垢现象发生,增加设备使用寿命。同时还可以配合热回收系统、自动化控制系统和在线监测技术等手段实现节能减排、平稳运行、安全生产的目标。因此掌握并改进完善三效蒸发技术有利于降低整个工厂的动力消耗水平、提高原材料的有效利用率并且为高纯度多晶硅产品的高质量稳定产出奠定坚实的基础。

3 多晶硅生产中三效蒸发工艺优化的意义

3.1 降低能源消耗

在多晶硅生产过程中,三效蒸发工艺是硅料浓缩的主要步骤,但是传统的蒸发方法一般会存在较大的蒸汽用量以及较低的热量利用率的问题,造成大量的能耗浪费。通过对生产工艺进行改进后,可大幅度降低能耗水平,达到节能减排的效果。首先对蒸发温度及压力进行调整使得各个效应之间蒸汽逐级利用更充分,尽可能地将前一效应产生的余热加以回收再利用以减少外购蒸汽的数量;其次调节好液面高度和循环量来防止物料长时间停留在蒸发器内而延长加热时间增加不必要的能耗损耗;最后添加一些隔热保温材料或者热交换设备也可以有效降低热量损失从而提高整个蒸发系统的热效率^[2]。减少能耗不仅可以降低成本,还可以降低温室气体排放量,达到绿色生产的目的。三效蒸发工艺改进后节能效果主要表现在每吨多晶硅产品所用蒸汽量降低上,进而节省煤气、电能或者蒸汽费用开支,在大规模工业化生产过程中该节能优势会形成叠加效应,给企业带来巨大经济效益以及环保效益。此外,节约能源还可以减轻设备负担,使整个系统的运行更加平稳可靠,避免由于过大能量供给造成设备损伤及结垢等问题发生。因此从长远来看,合理优化三效蒸发工艺以达到节能减排目的既是技术创新的主要方向又是促进多晶硅行业发展壮大的有效手段之一。

3.2 提高生产效率

在多晶硅生产过程中,三效蒸发是硅料浓缩的重要步骤,在一定程度上决定了整个生产线的生产能力以及成本。通过对工艺进行改进,可大幅度提高蒸发器对物料的处理能力及物料转换率,进而提高整条生产线的工作效率。首先,在蒸发器操作条件方面进行优化,比如改变蒸发温度、蒸汽压力以及液体循环量等参数可以使蒸发过程趋于平稳、高效,减少液料在设备内部的滞留时间,加快蒸发速度;其次,采用合适的搅拌方式和控制好液面高度可以避免局部过热或者结垢的现象发生,使热量均匀分布在整个容器内,充分利用热能,加快物料浓缩的速度。经过改造后的三效蒸发工艺实现了各效应之间蒸汽梯级利用,使蒸发过程连续稳定地进行下去,减少了停车检修的时间以及调节次数,提高了单位时间内产量^[3]。此外,提高生产效率不仅仅指产量的增长,还包括资源利用率的提升以及工艺稳定性增强等。通过对生产工艺进行改进后,蒸发器工作更为顺畅,故障频率下降,检修间隔时间加长,减少了生产线停工次数,提高了整体工

作效率;另外,优化后的生产工艺可以对物料浓度及温度进行更好的把控,保证产品品质的一致性,降低返工率以及损耗量。高效的三效蒸发工艺还可以与下游多晶硅提纯工序良好对接,使整个生产线实现连续化作业模式,加快生产节奏并提高产能利用率。因此,通过三效蒸发工艺改造来提高生产效率不仅可以增加产量而且可以节约能源消耗、降低人工费用开支,有利于促进多晶硅行业健康发展。

3.3 减少设备结垢

在多晶硅生产过程中,高盐废水浓缩出盐的主要步骤,但是设备结垢严重影响到三效蒸发的有效运行。结垢不仅会降低传热效率、增加能耗,还会造成设备堵塞、停车检修以及维修费用上升等问题。通过对生产工艺进行改进,能够显著缓解甚至消除蒸发器内部结垢情况的发生。例如:合理调节蒸发温度、蒸汽压力以及液体流速可以使物料在蒸发器内得到良好加热而不至于出现局部过热而产生硅胶沉积的现象;适当控制液面高度及循环量可使液体充分流动并均匀受热从而降低结垢概率;此外改变搅拌方式或者投料方法也可以缩短物料停留在容器壁上时间以防止局部浓度过高引起硅胶附着问题发生,进而提升蒸发器工作时的洁净程度与换热性能。减少设备结垢不但有利于提高工艺操作稳定性,而且具有较大的经济效益。结垢降低传热效率,使系统需要更多的热量来维持蒸发速率而增加能耗,在改进工艺减轻结垢的情况下可以使设备长期保持良好的传热性能,节约能源并减少检修次数;同时还可以延长设备寿命,减少经常性的清理维修给生产造成的干扰,保证生产的连续性以及产线利用率等。稳定可靠的蒸发工艺还有利于保障多晶硅产品质量的一致性,避免由于结垢造成的产品差异或者返工等问题发生。因此通过合理的优化三效蒸发工艺,有效的缓解设备结垢问题不仅可以确保整个生产过程平稳有序地进行下去并且实现高效节能的目标,同时也为降低成本、节能减排及可持续发展奠定良好的技术基础。

4 多晶硅生产中三效蒸发工艺节能控制的方法

4.1 优化蒸发温度

蒸发温度对液料的蒸发速度、热能利用率及蒸汽消耗量都有影响。在传统的工艺流程中,若蒸发温度过高易造成局部过热使液料产生结垢现象并且会浪费大量的蒸汽能源;反之如果温度偏低又会导致蒸发效率降低延长了浓缩的时间从而降低了生产率。合理地调整蒸发温度不仅有利于硅料的有效蒸发而且可以充分利用各个效应间的蒸汽余热进行逐级回收利用以达到节约外购蒸汽的目的。即第一效应蒸发器的温度要稍微高于后面的几个效应使得蒸汽可以依次传递给第二、第三效应而加以再利用;另外第二、第三效应的温度也要控制好以防物料被加热过度或者蒸发不充分等问题的发生。通过温度优化可防止液料在蒸发器内局部过热造成硅胶及杂质析出,降低设备结垢以及清洗次数,节约维修

费用；同时合理控制温度有利于各效应之间热量均匀分配，加快蒸发速度并提升整个系统的生产能力，达到节电增产的目的，在生产实践中可根据实际情况采用在线测温与自动调节相结合的方法来实现对各个效应的蒸发温度进行精准调控以保证蒸发操作始终处于最佳工况下。

4.2 调整蒸汽压力

蒸汽压力对蒸发温度以及热能利用率有较大影响，高压蒸汽虽然能够提高蒸发速率但是会带来能耗浪费及设备过载的问题；低压蒸汽又会导致蒸发不足从而影响产量。合理调节各个效应间的蒸汽压力可使蒸汽得到充分利用，发挥多效蒸发的优点。即第一效用较高压力蒸汽加热使物料快速蒸发，第二、第三效使用由前一效产出的低品位蒸汽作为热源，这样就可以减少额外蒸汽用量，达到节约能源的目的。适当的压力调节能够保证各个效应间的压力差及温度差均衡，防止液体物料在蒸发器内局部过热或者沸腾不均匀而造成结垢以及溢流的情况发生，有利于保障设备安全运行；同时合理的压力控制还可以增加泵、管道、阀门等附属设施的使用时间，节约维修费用，在生产实践中可以采用压力变送器与自动控制系统相结合的方法来实现对各效应蒸汽压力的有效监测与调整，使蒸发操作处于良好的工作条件下。

4.3 提高热回收率

三效蒸发利用多级蒸汽传热对物料进行浓缩，在此过程中如果热量得不到合理利用会造成大量蒸汽及能源浪费。提高热回收率主要是要尽可能地把前面一效所产生蒸汽用于后面一效的加热，做到热能逐级使用。即第一效蒸发器产生的蒸汽可以供给第二效应加热料液，而第二效应的蒸汽又可用于加热第三效应，依次类推，这样就可以大大节约外购蒸汽量；另外还可以通过改善蒸汽管道结构、降低热损以及提升换热器效率等手段来保证蒸汽能量在各个效之间最大限度地传递，让每一克热量都发挥最大作用，从而大幅度降低单耗。高效热回收可保证各个效应蒸发器之间温度、压力均衡，防止液体局部受热过高或者蒸发不足而造成结垢以及泵阀等设备损耗，延长设备使用寿命。同时通过对热回收系统改进可以实现生产的连续化操作，降低停车检修次数及时间，提高整个生产线工作效率，在生产过程中可根据实时在线温度、压力、流量情况对热回收系统进行调节优化控制以

达到最大限度地发挥蒸汽潜能。

4.4 减少液体停留

在多晶硅生产的三效蒸发工艺中，减少液体停留时间是实现节能控制的重要方法之一。液体在蒸发器中停留过长，不仅会降低蒸发效率，还会导致热能浪费和局部过热，增加结垢风险。通过优化液体循环系统和调整泵的流量，可以确保液料在各效应蒸发器中快速、均匀流动，缩短停留时间，同时维持蒸发器内温度分布的均匀性。这种方法能够提高热量传递效率，使蒸汽能量充分用于液体蒸发而不是无效加热，从而降低外部蒸汽消耗，实现节能目标。停留时间过长容易导致硅料局部过浓或形成硅胶沉积，使设备结垢加剧，增加清洗频率和维护成本。通过合理设计蒸发器管路、优化循环泵参数和控制液面高度，可以使液料连续流动，减少局部过浓现象，提高蒸发效率和设备运行的稳定性。同时，液体快速循环还能保证多晶硅产品浓度均匀，降低因停留不均导致的产品质量波动。在实际生产中，可结合在线流量和液面监测系统，实现对液体停留时间的实时控制和优化，从而在降低能耗的同时提升产线效率。

5 结语

多晶硅生产中三效蒸发工艺改进及节能控制有较大技术及经济效益。适当调节蒸发温度、蒸汽压力、液体滞留时间和提高热回收率等手段，不但可以有效节约能耗、减轻设备结垢程度，而且有利于提高生产能力、改善工艺稳定性。这是一项既能降低成本又能促进多晶硅行业朝着优质、环保、可持续发展的方向前进的技术革新，在光伏行业发展迅速的情况下，对三效蒸发工艺进行合理的优化改造并加以有效的节能管理不仅能给企业带来良好的经济效益还能起到节能减排、低碳环保、绿色生产的积极作用，有着广泛的应用前景和发展潜力。

参考文献

- [1] 王海元. 浅谈多晶硅高盐水的处理工艺及运行情况[J]. 中国井矿盐, 2020, 51(4):4.
- [2] 李春林. 多晶硅生产中蒸发器在盐类废水处理中的运用介绍[J]. 化工管理, 2014(17):2.
- [3] 张晓峰, 王黎鹏, 张亮亮, 等. 多晶硅生产中蒸发器在盐类废水处理中的运用分析[J]. 化工管理, 2018(17):1.