

多晶硅生产系统热量转换工艺分析

裴蕾^{1*}, 段超¹, 孙强^{1,2}, 张征¹, 张晓伟¹, 陈辉¹

(1. 洛阳中硅高科技有限公司, 河南 洛阳 471000; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

摘要: 综述了多晶硅生产从还原系统到原料系统几种常见的热量转换工艺, 包括导热油热量回收利用系统、高温水热量回收利用系统、高温水回收闪蒸低压蒸汽系统。介绍了热量转化工艺流程及其生产中的一些关键参数, 并对比了每种工艺的优缺点。

关键词: 热量转换; 导热油系统; 热水系统; 闪蒸蒸汽; 工艺对比

中图分类号: TQ021.8

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2020)S-0257-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2020.S.057

Analysis on heat recycling process in polysilicon production system

PEI Lei^{1*}, DUAN Chao¹, SUN Qiang^{1,2}, ZHANG Zheng¹, ZHANG Xiao-wei¹, CHEN Hui¹

(1. China Silicon Corporation Ltd., Luoyang 471000, China;

2. China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

Abstract: Based on decades of development in China's polysilicon industry, several common heat recycling systems, which are used from CVD stage to feedstocks purification stage in polysilicon production, are introduced, including heat-conducting oil heat recycling system, high temperature water heat recycling system and high temperature water recycling flash low pressure steam system. The introduction is focused on the heat recycling process and some key parameters in the actual production. Finally, these systems are compared with each other from aspects such as media cost, equipment investment, environmental protection cost and heat utilization.

Key words: heat recycling; heat-conducting oil system; hot water system; flash steam; process comparison

目前, 由于太阳能级多晶硅的生产技术完全成熟, 国内外市场竞争激烈, 多晶硅销售价格持续走低。我国的多晶硅生产成本远高于国际先进水平, 存在极大的生存压力^[1]。如果能将还原系统富余热量转移到原料系统充分利用, 将大大降低多晶硅企业生产成本。由于处理总量非常大, 转换效率每提高 1% 都将节约大量能源, 因此热量的有效回收和转换利用在整个工艺过程中显得尤为重要, 直接关系到多晶硅生产企业的命脉^[2]。

经过多年发展, 多晶硅生产系统配套的热能转换工艺也出现众多模式。国内早期多晶硅生产系统中, 大多是利用导热油将还原富余热量带出, 然后利用循环水将热油冷却降温, 以达到还原冷却系统进口导热油油温指标, 这种工艺造成了大量的能源浪费^[3]。随着技术的不断成熟, 行业技术人员开始将还原产生的热量传递给大量消耗热量的原料提纯系统, 来实现热量的回收利用^[4]。目前, 关于企业热能转换系统工艺介绍的文章很少。本文介绍了多晶硅生产企业几种常见的热量转换系统及其工艺流程, 对比分析各工艺的优缺点, 以期与实际生产提供指导。

1 热量转换工艺介绍

多晶硅提纯系统中的氯硅烷精馏分离需要消耗大量热量, 而还原系统在运行过程中会副产一部分热量, 通过还原炉筒夹套内换热介质带出还原系统。为了达到全系统热量的有效平衡利用, 须通过一定的技术手段将还原产热有效地转换至提纯系统, 加以回收利用, 减少提纯系统外部补充热量。

根据传热介质的不同, 热量转换工艺系统大概可分为 3 类: 第一种是利用导热油作为原料系统与还原系统热量传递的介质; 第二种是利用高温水作为还原与原料提纯系统热量回收利用的介质; 第三种主要是利用高温水回收热量, 经闪蒸后送入原料系统加以利用。

1.1 导热油热量回收利用工艺

在低蒸汽压下, 导热油具有沸点高、比热容及传热系数较高、加热均匀、传热效果好、调温控制准确、输送和操作方便等优点。导热油型号的选择主要是依据多晶硅生产过程参数, 特别是在还原过程的最高运行温度、压力下, 保证不出现结焦、变质等问题, 一般可采用 YD340 型导热油。整个热量转换过程

收稿日期: 2020-03-31; 修回日期: 2020-06-08

作者简介: 裴蕾(1986-), 男, 本科, 工程师, 主要从事多晶硅生产工艺的研究开发, 通讯联系人, peil@sinosico.com。

主要采用导热油作为传热介质。导热油传热系统流程见图 1。

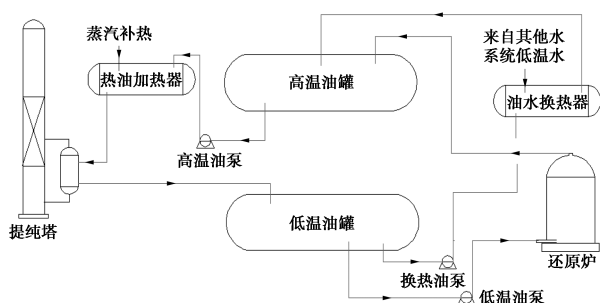


图 1 导热油系统热量转换流程图

系统运行过程中, 150~160℃ 低温导热油从低温油储罐经油泵送入还原炉筒夹套, 吸收还原炉运行过程中炉壁的辐射热后温度升至 170~180℃, 并输送至高温油储罐, 170~180℃ 高温油经高温油泵加压直接送至原料提纯等系统进行使用, 热量利用温度降低后返回低温油罐。在整个过程中, 原料提纯用热与还原系统副产热不会完全平衡, 需要设置原料侧热油的蒸汽加热和还原侧高温油的降温冷却系统。当还原副产热量不足以满足原料提纯用热总量时, 可利用蒸汽加热系统补充热量; 当还原副产热量超出原料提纯系统热量需求时, 需要利用油水换热器补冷水冷却降温。但最合理状态应该尽可能保持还原炉副产热量与原料提纯系统需热匹配。

1.2 高温水热量回收利用工艺

高温水热量回收利用工艺主要是利用高温纯水进行还原炉的冷却降温, 并利用板式高效换热器将热量转换传递至提纯供热高温水系统。为了提纯侧和还原侧能够独立稳定运行, 整个高温水系统可分为两部分, 分别为提纯高温水系统和还原高温水系统。两个系统各自独立内循环, 只进行热量交换不进行介质交换。高温水工艺系统传热流程如图 2 所示。

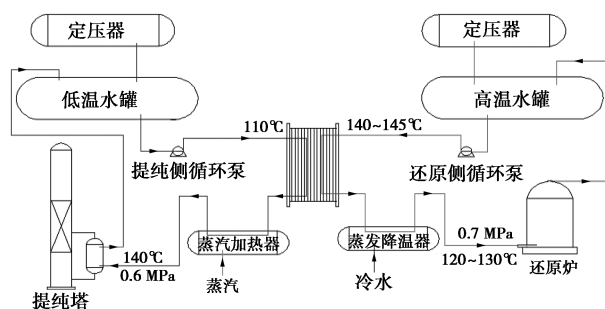


图 2 高温水系统热量转换工艺流程图

在该工艺循环过程中, 约 0.7 MPa、120~130℃

的高温水被送入还原炉筒水夹套, 对还原炉进行降温, 炉筒夹套出口水温升至 140~145℃, 回水至高温水罐后, 经高温水泵送至板式换热器与提纯侧 110℃ 左右低温水换热, 将低温水加热至 140℃ 后送入原料提纯系统使用。系统配有加热器, 可在还原副产热量不足时补充蒸汽给原料高温水进行提热, 保证原料热量需求。

与导热油作为介质相比, 水存在沸点较低的问题, 在还原炉回水压力一定的情况下, 如出现操作不当, 还原侧回水水温过高, 高温回水将会局部汽化, 出现水锤效应, 影响管道的使用寿命。汽化量大时会导致整个系统压力波动较大, 影响还原系统安全稳定运行。因此, 高低温侧均需安装定压器维持压力基本不变^[5]。

1.3 高温水回收闪蒸低压蒸汽系统

高温水回收闪蒸低压蒸汽系统中的核心装置为闪蒸罐。根据液体沸点与外界压力的关系可知, 气压越大沸点越高; 气压越低沸点越低。闪蒸罐的基本原理是, 热流体进入闪蒸罐, 容积突然变大, 压力降低, 热流体沸点降低, 在罐内产生闪蒸汽, 可以将此低压蒸汽引入相应管道进入其他用热设备加热物料, 使热量得以回收利用。低温闪蒸热量转换工艺流程如图 3 所示。

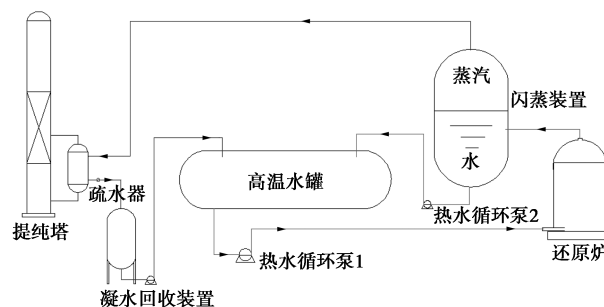


图 3 低温闪蒸热量转换工艺流程

目前多数多晶硅生产企业均采用此热能转换工艺来实现还原产热到原料提纯用热的有效转换。高温水送入还原炉筒水夹套进行升温, 吸收炉筒内部辐射热后温度达到 145~160℃, 压力为 0.5~0.6 MPa 的炉筒高温回水被送入低压蒸汽闪蒸设备, 将高温水减温减压后, 从装置顶部得到压力 0.2~0.25 MPa、温度 145~150℃ 的低压蒸汽, 随后将产生的低压蒸汽送往后续原料提纯系统使用, 使用后产生的低温冷凝水再被送回闪蒸系统。闪蒸系统底部的 130℃ 高温水经循环泵重新送入还原炉。可以看出, 与热水系统相比, 利用闪蒸罐回收闪蒸低

压蒸汽工艺不仅进行了能量交换,还进行了介质交换^[6]。

2 工艺对比

以上主要介绍了导热油热量回收利用工艺、高

温水热量回收利用工艺、高温水回收闪蒸低压蒸汽热量利用的工艺流程及传热过程,下面将从这3种热能转换的介质成本、热能转换系统设备投资、安全性、环保、热量利用率等方面加以对比,详见表1。

表1 3种热量转换工艺对比分析

工艺	介质成本	系统构成及投资成本	安全性	环保风险	热量利用率
导热油热量回收转换工艺	导热介质为导热油,介质补充成本较高,8000~10000元/t	主要设备包括导热油储罐、油泵、定压罐,系统配置大量导热油泵,导致总体成本相对较高	导热油热稳定性高,相对于水不易出现高温气化;导热油存在泄漏燃烧着火风险	导热油系统对外部环境存在影响	热利用效率较高,且在同等压力下可承载更高的自身温度
高温水热量回收转换工艺	介质为除盐水,单位成本相对较低,8~10元/t	主要设备为高温水罐、定压罐、高温水泵、板式换热器,特定的板式换热器价格昂贵,导致总体成本较高	高温水热稳定性差,在实际控制时如还原出口温度过高,会出现局部汽化,系统有失压风险	介质为除盐水,对外部环境无影响	因产热与用热工艺侧依靠高效板式换热器进行热交换,其热量利用率相对较低,为保证有效换热,对高温侧还原回水热品位要求严格
高温水闪蒸低压蒸汽转换工艺	介质为除盐水,单位成本相对较低,8~10元/t	主要设备为水罐、闪蒸罐、高温水泵,设备相对简单,投资相对较低	因还原回水进闪蒸装置,回水局部汽化对系统影响较小	介质为除盐水,对外部环境无影响	利用还原回水产生闪蒸汽,热利用率相对较高

3 结语

经对上述3种多晶硅生产系统热量转换工艺的对比分析可知,高温水闪蒸低压蒸汽转换工艺具有介质及设备投资成本低、安全环保风险低、热利用率高等多方面的优势,将是未来发展的主流工艺。实际生产中,还应结合具体的热量利用情况,尽可能做到热量的综合回收和高效利用,尽可能科学配置全厂热量平衡系统,达到较高的热量利用效率。

参考文献

- [1] 张超,尚保卫.多晶硅生产中节能降耗研究[J].化工管理,2016,(8):229.
- [2] 杨友麒.企业公用工程系统节能减排的发展现状[J].现代化工,2010,30(12):1-6.
- [3] 蒋荣华,肖顺珍.国内外多晶硅发展现状[J].半导体技术,2001,26(11):7-10.
- [4] 中国电子材料行业协会.2008年多晶硅产业技术与市场论坛论文集[C].徐州,2008:40-50.
- [5] 石何武,杨永亮,姜利霞,等.多晶硅生产系统高温水的利用优化实践[J].有色冶金节能,2019,35(5):9-12.
- [6] 王惠,张伟,宋高杰,等.多晶硅生产过程中的热能利用系统和方法:CN108117079B[P].2019-08-16. ■
- [7] 孙立,张晓东.生物质发电产业化技术[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [8] 郎林,谢建军,杨文申,等.改性陶瓷管高温净化生物质粗燃气的研究[J].工程热物理学报,2014,35(8):1665-1668.
- [9] 张强,常厚春,容敏智.陶瓷多管旋风除尘器在生物质气化工艺上的应用[J].广州化工,2015,43(4):74-76.
- [10] 董玉平,董磊,强宁,等.旋风分离器内生物质焦油湍流特性的数值模拟[J].农业工程学报,2010,26(9):171-175.
- [11] 时铭显,刘隽人,刘国荣.PFBC高温燃气旋风分离器的性能分析[J].东南大学学报,1992,22(增刊):14-19.
- [12] 李晓霞,闫桂焕,孙荣峰,等.生物质燃气高温过滤材料的研究[J].环境工程学报,2008,2(10):1389-1392. ■
- [3] 马隆龙,吴创之,孙立.生物质气化技术及其应用[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [4] 孟凡华,杨天华,孙洋,等.生物质燃烧过程中碱金属迁移转化研究进展[J].可再生能源,2010,28(5):111-114.
- [5] 常轩,齐永锋,张冬冬,等.生物质气化技术研究现状及其发展[J].现代化工,2013,33(6):36-40.
- [6] 鲍振博,靳登超,刘玉乐,等.生物质气化中焦油的产生及处理方法[J].农机化研究,2011,33(8):172-176.
- [7] 金亮,童瑞明,周劲松,等.生物质燃气焦油产率及其净化[J].农业工程学报,2010,26(S2):259-263.

(上接第256页)