

热能综合利用在改良西门子法多晶硅生产中的应用

李 锋*

(国电内蒙古晶阳能源有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 010321)

摘要: 精馏、还原、尾气回收这3个装置的蒸汽耗量占整个多晶硅生产过程中总耗的大约95%。为了降低多晶硅的综合能耗,通过对目前多晶硅企业的生产技术进行综合分析,结合实际运行经验,可通过热能综合利用方式对精馏、还原、尾气3个单元分别采取不同的工艺路线进行改造设计,采取更为有效地节能措施,降低多晶硅行业的综合能耗。

关键词: 精馏;还原;尾气回收;热能综合利用

中图分类号: TK219;TQ219

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2015)09-0152-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2015.09.038

Application of comprehensive utilization of heat energy in polysilicon production based on improved siemens method

LI Feng*

(Guodian Inner Mongolia Energy Jingyang Co., Ltd., Ordos 101300, China)

Abstract: The steam consumption in distillation, reduction and recycling of the waste gas accounts for about 95% of the total one. To reduce the comprehensive energy consumption, the current technologies for polysilicon production are compared. Based on the actual operation experiences, the process reform design is performed by comprehensive utilization of heat energy in the units for distillation, reduction and recycling of the waste gas to effectively save the energy and reduce the comprehensive energy consumption for the polysilicon production industry.

Key words: distillation; reduction; recycling of the waste gas; comprehensive utilization of heat energy

作为信息化产业与太阳能电池的生产原料,多晶硅在新能源领域有着不可替代的地位。受到国际金融危机的影响,多晶硅价格一直下跌,多晶硅的暴利时代已经一去不复返。因此在多晶硅企业中节能降耗已成为当务之急,选择合适的生产线,尽可能地降低生产成本,已成为增加多晶硅企业在市场竞争地位的必要条件。

目前国际上多晶硅的生产工艺主要是改良西门子法和硅烷法,其中85%以上采用改良西门子法^[1]。改良西门子法主要包括的生产单元有三氯氢硅合成、精馏提纯、三氯氢硅还原、四氯化硅氢化、尾气回收。

1 多晶硅热能综合利用分析与措施

从表1可以看出,精馏、还原、尾气回收这3个工序的蒸汽耗量占整个多晶硅生产过程总耗量的近95%。为了降低多晶硅的综合能耗,对目前多晶硅企业的生产技术进行综合分析,结合实际运行经验,可通过热能综合利用方式对精馏、还原、尾气这3个单元分别采取不同的工艺路线进行改造设计,采取

更为有效的节能措施,降低多晶硅行业的综合能耗。

表1 某5 000 t/a多晶硅企业的蒸汽和循环水耗量

工序	蒸汽用量/(t·h ⁻¹)	循环水用量/(m ³ ·h ⁻¹)
还原工序	5	9000
尾气回收工序	15	3000
精馏工序	68	5700
冷氢化工序	0.5	800
公用工程	5	1800
总计用量	93.5	20300

1.1 尾气回收热能利用分析

传统尾气回收解析塔再沸器出口的贫液用循环水冷却后,再与吸收塔底的富液进行热交换,降低贫液温度,换热后的解吸塔进料温度为15~25℃(见图1),5 000 t/a尾气回收解吸塔再沸器热量为10 500 kW,折合蒸汽15 t/h,传统工艺未充分利用解析塔再沸器贫液的热能,使大量热量白白浪费,通过将解吸塔进料富液与解吸塔底贫液再次换热,将解吸塔进料温度提高到75~80℃,将输送至解吸塔底的贫液温度降低(见图2),同时降低吸收塔冷冻

负荷,减少解吸塔需要的热量4 900 kW,节约蒸汽用量7 t/h。

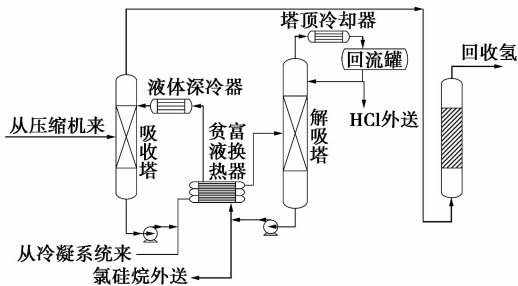


图1 尾气回收装置吸收与解析系统图

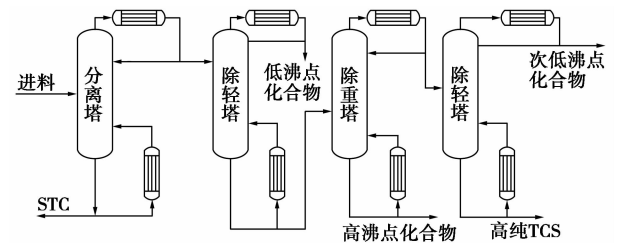


图3 多晶硅精馏流程图

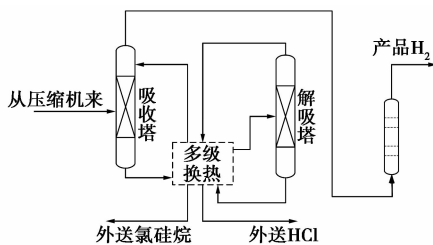


图2 尾气回收装置吸收与解析系统热能综合利用图

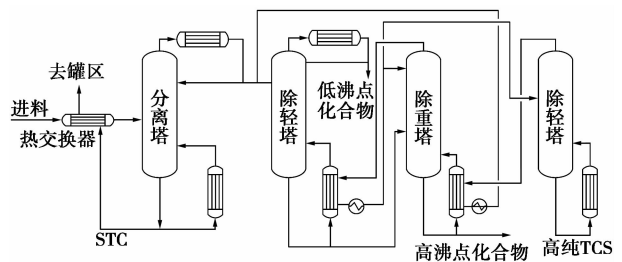


图4 多晶硅精馏热能综合利用图

1.2 多效精馏分析

多晶硅精馏单元主要分为合成精馏单元、还原回收精馏单元、冷氢化精馏单元3部分,精馏是多晶硅生产过程中能量消耗较大的单元操作之一。生产多晶硅的氯硅烷精馏存在着分离要求高、全塔组分

组成接近、操作过程中回流比和再沸量大的特点,因此所需的冷媒和加热介质质量很可观。在生产过程中,为了节省制冷能耗,使用常温冷却水(30~40℃)代替深冷水(6~12℃)进行冷凝器的冷却,目前常采用加压精馏的方法,以提高冷凝温度^[2]。传

统多晶硅精馏系统热源均采用蒸汽直接加热方式,5 000 t/a多晶硅精馏需要的热量为47 698 kW(冷氢化精馏热量为23 681 kW,合成及还原精馏需要热量为24 017 kW),折合蒸汽量为68 t/h,(见

(上接第151页)

(3)对于有机物含量不高的高盐废水,结垢和盐类结晶是造成膜蒸馏膜污染的主要因素。针对该高盐废水,膜蒸馏的膜面污染物主要为碳酸钙、硅酸钙结垢污染和氯化钠结晶污染,有机物污染较少。

(4)对于有机物含量不高的高盐废水的膜蒸馏过程膜污染,酸洗为有效的膜污染清洗工艺,经过酸洗,膜通量和脱盐率基本恢复到初始水平。

参考文献

- [1] 王许云,张林,陈欢林.膜蒸馏技术最新研究现状及进展[J].化工进展,2007,26(2):168-172.
- [2] 张新妙,刘正,赵鹏.膜蒸馏技术在石化废水处理领域的应用进展[J].化工环保,2009,29(1):35-38.
- [3] 王车礼,钟璟,王军.膜蒸馏淡化处理油田高含盐废水的实验研究[J].膜科学与技术,2004,24(1):46-49.
- [4] Lee Chul Haeng, Hong Won Hi. Effect of operating variables on the flux and selectivity in sweep gas membrane distillation for dilute a-

queous isopropanol[J]. J Memb Sci, 2001, 188: 79-86.

- [5] Gryta M, Karakulski K, Morawski A W. Purification of oily wastewater by hybrid UF/MD[J]. Water Res, 2001, 35(15): 3665-3669.
- [6] Gryta M. Concentration of saline wastewater from the production of heparin[J]. Desalination, 2000, 129(1): 35-44.
- [7] Gryta M, Tomaszewska M, Grzechulska J, et al. Membrane distillation of NaCl solution containing natural organic matter[J]. J Memb Sci, 2001, 181(2): 279-287.
- [8] Zongli Xie, Tuan Duong, Manh Hoang, et al. Ammonia removal by sweep gas membrane distillation[J]. Water Research, 2009, 43: 1693-1699.
- [9] Corinne Cabassud, David Wirth. Membrane distillation for water desalination: How to choose an appropriate membrane[J]. Desalination, 2003, 157(1/2/3): 307-314.
- [10] Fawzi Banat, Fahmi Abu Al-Rub, Khalid Bani-Melhem. Desalination by vacuum membrane distillation; Sensitivity analysis[J]. Separation and Purification Technology, 2003, 33(1): 75-87.
- [11] 闵鹏,张新妙,杨永强,等.清洗液和阻垢剂对疏水膜接触角的影响[J].化工环保,2011,31(4):375-378. ■

图 3),通过多效精馏是扩展工艺流程实现节约能耗,利用能位较高的塔排出的能量用于能位较低的塔,从而达到节能目的,将精馏系统的除轻、除重塔改为差压耦合工艺,利用分离塔进口物料与塔釜采出的 STC 换热等方式(见图 4),可节省热量 18 905 kW,折合蒸气 27 t/h。

1.3 还原热能综合利用分析

传统还原炉夹套、底盘、尾气冷却高温回水用循环水冷却,精馏塔再沸器及尾气回收解吸塔直接用蒸汽加热,未利用还原炉冷却水热量进行换热,消耗大量循环水,消耗大量蒸汽,使系统热量白白浪费(见图 5);还原进水温度为 130℃,回水温度为 150℃,产生的温差 20℃,还原直接电耗 60 kWh/kg,按 5 000 t/a 多晶硅满负荷运行,每小时产 750 kg 硅,夹套带走约 75.8% 的热量,还原夹套水可产生的热量为 34 125 kW,还原尾气出口温度为 580 ~ 610℃,尾气产生的热量 3 500 kW;还原汽化器的操作压力按 0.75 MPa,还原 H₂ 与 TCS 进料摩尔比为 3.5,还原汽化系统需要的热量 3 021 kW,传统还原炉进料氢气、三氯氢硅采用蒸汽加热方式进行预热,还原炉尾气到尾气回收系统用循环水进行冷却(见图 6),未利用还原夹套高温水、还原尾气进行分别换热,消耗大量循环水和蒸汽,使热量白白浪费;将还原炉夹套、底盘、尾气冷却高温回水通过泵输送进入精馏塔系统再沸器及尾气解吸塔再沸器,作为精馏系统各再沸器及尾气回收解吸塔热源,精馏系统及尾气回收解吸塔各再沸器换热后高温回水作为还原炉夹套、底盘、尾气冷却进水,再次对各还原炉进行冷却(见图 6),使热能综合利用,同时将还原炉高温回水分别对还原进料氢气、三氯氢硅进行预热,预热后的混合进料气体与还原炉出口尾气进行再次换热,还原炉高温回水对还原进料预热后对还原炉尾气进行再次换热(见图 6),以提高还原炉进料温度,降低还原炉尾气温度,减少尾气回收装置冷冻机负荷,同时降低还原炉电耗,降低还原蒸汽、循环水消

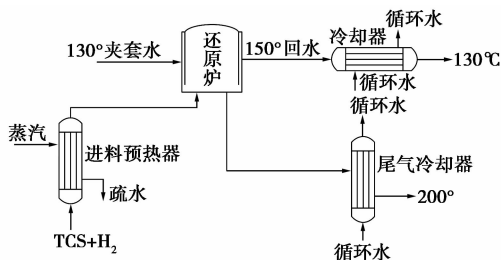


图 5 精馏、还原、尾气回收热水综合利用图

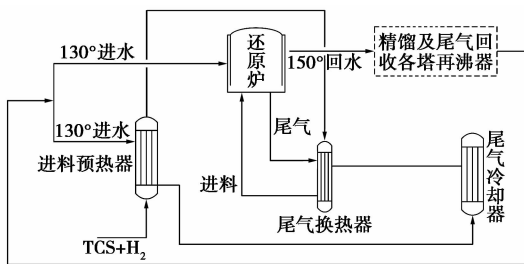


图 6 精馏、还原、尾气回收热水系统图

耗量,使热量完全得到综合利用,可使全厂生产系统降低 89% 的蒸汽消耗量,还原循环水用量降低 94%;使尾气回收装置降低冷冻机负荷 5%,尾气回收循环水用量降低 67%。

同时还原炉高温回水作为精馏塔系统及尾气回收解吸塔再沸器的直接热源,在生产过程中还原炉的开停会对精馏塔系统温度、流量造成波动和系统初次开车系统热水温度达不到精馏塔再沸器温度、流量(见图 7);在还原炉高温回水进入精馏塔系统再沸器之前增加 1 台蒸汽加热器,蒸汽以 1.2 MPa、190℃ 通过还原蒸汽加热器将还原炉高温回水加热到 150℃,还原蒸汽加热器底部蒸汽冷凝水回到锅炉,高温回水总管与还原高温水总管进、出旁路调节,使进入精馏塔系统高温水温度和流量稳定,保证了精馏塔工艺参数稳定;在生产过程中精馏塔系统部分停塔对运行还原炉高温进水温度、流量会造成波动,在精馏塔再沸器进、回水总管增加 1 套循环水板式换热器,循环水进、出水通过循环水板式换热器将高温冷却水进行冷却,进入蒸汽加热器还原炉高温进水总管旁路到精馏塔系统水板式换热器之后再沸器回水,依靠旁路调节,保证了进入还原炉系统高温冷却进水温度和流量稳定(见图 7)。

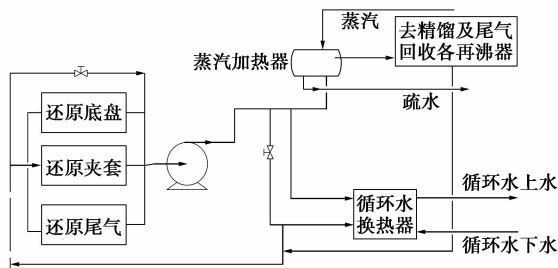


图 7 还原热能综合利用图

1.4 蒸汽疏水热能综合利用分析

7℃ 水采用溴化锂机组制冷,需要的热量 3 488 kW,冬季全厂空调暖通需要的热量为 3 800 kW,传统 7℃ 水溴化锂组及暖通均采用蒸汽加热方式进行,而全厂蒸汽疏水靠循环水冷却降温

(图8),未利用蒸汽疏水热能,蒸汽疏水热能白白浪费,将全厂蒸汽疏水与暖通水换热,疏水进水125℃,出水89℃,暖通水进水80℃,出水90℃,暖通水循环量为200 m³/h;暖通水用于溴化锂机组制冷及全厂暖通,换热后的疏水直接进入锅炉凝结水箱,其余热量由蒸汽加热器加热(图9),从而达到疏水余热综合利用的目的。

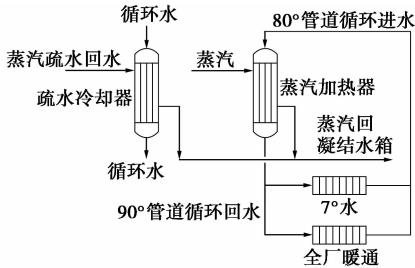


图8 全厂蒸汽疏水系统图

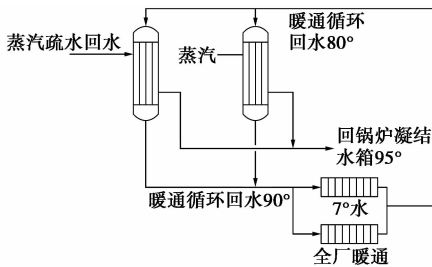


图9 全厂蒸汽疏水综合利用图

2 全厂热量平衡分析

通过系统热能综合利用,5 000 t/a 满负荷运行后理论上全厂需要的热量为4 984 kW,折蒸汽补充量仅为7~8 t/h(见表2),即可满足整个多晶硅系统的生产。

表2 全厂热量平衡分析表 kW

工序名称	数值
还原夹套热量	+34125
还原汽化热量	-3021
还原尾气回收热量	+3500
精馏系统热量	-28700
尾气回收热量	-5600
7℃水热量	-3488
全厂疏水热量	+2400
其他工序需要的热量	-4200
系统补充热量	+4984

3 多晶硅热能综合利用效果和经济效益

3.1 热能综合利用改造效果

通过热能综合利用5 000 t/a 多晶硅生产线满负荷运行所耗的蒸汽和循环水耗量如表3。

表3 全厂蒸汽和循环水耗量表

工序	蒸汽用量	循环水用量
还原工序	0	3000
尾气回收工序	0	2100
精馏工序	4.5~5.5	5000
冷氢化工序	0.5	800
公用工程	5	1200
总计用量	10~11	12000

3.2 产生的经济效益

还原炉夹套、尾气冷却水、蒸汽疏水等热能综合利用及通过物料热能再次利用,全厂系统只需要补充10~11 t/h 蒸汽即可满足,还原炉高温水不需要循环水冷却,还原尾气也不需要循环水冷却,精馏系统不需要蒸汽加热,能为全厂精馏、尾气、冷冻系统每小时减少热量58 452 kW,折合蒸汽83.5 t/h,蒸汽按120元/t计算,每小时可以节约10 020元,全年可节约8 016万元。还原夹套、尾气按循环水冷却,循环水5℃温差,循环水量就是6 479 m³/h,1台循环水泵流量为5 000 m³/h,1台循环水泵功率为1 000 kW 单台风机功率为180 kW,按0.5元/kWh计算:每小时可以节约590元,全年可节约424.8万元;循环水系统年节约补水100 000 m³,水按5元/m³计算,年节约50万元。3项合计全年可节约8 490.8万元。

4 结论

对多晶硅还原炉夹套水、尾气、蒸汽疏水等热能的综合利用及通过物料热能的再次利用,可使多晶硅全系统降低89%的蒸汽消耗量,使尾气回收装置降低冷冻机负荷5%,全厂循环水用量降低约40.8%。

参考文献

- [1] 柯曾鹏,杨志国,刘继三.多晶硅行业生产节能有效途径探讨[J].化学工程,2013,41(3):75-78.
- [2] 黄碧慧,白鹏,张文,等.一种加压精馏的装置和方法:CN,200810152331[P].2008-10-15. ■