

二合一氯化氢石墨合成炉系统设备的 优化设置

熊洁羽¹, 王国军¹, 马海燕²

(1. 江苏技术师范学院化学化工系, 江苏 常州 213001; 2. 上海工程化学设计院, 上海 200235)

摘要:氯化氢生产设计中缺少对二合一氯化氢石墨合成炉系统的整体优化设置, 通过冷却器形式和系统生产能力的关系研究, 确定石墨冷却器采用 YKB 型圆块孔式石墨冷却器, 石墨冷却管采用纵向翅片管型套管式石墨冷却管。研究了该系统设备的设计方法, 该优化设计方法在内蒙古三联化工股份有限公司试验, 经生产检验结果表明, 该优化设计合理, 操作稳定, 系统生产能力可提高 25% ~ 30%。

关键词:石墨合成炉; 氯化氢; 冷却管; 冷却器; 设备优化

中图分类号: TQ054

文献标识码: A

文章编号: 0253 - 4320(2006)05 - 0057 - 04

Optimization design-aside in two-appulse-one hydrogen chloride graphite synthetic furnace system

XIONG Jie-yu¹, WANG Guo-jun¹, MA Hai-yan²

(1. Department of Chemistry and Chemical Engineering, Jiangsu Teachers College of Technology, Changzhou 213001, China; 2. Shanghai Chemical Engineering Incorporation, Shanghai 200235, China)

Abstract: The hydrogen chloride producing design needed the whole optimization design-aside of two-appulse-one hydrogen chloride graphite synthetic furnace system. With the analysis on the relation of different types of chillers and the productive forces, the YKB round pass graphite chiller, endwise wing drivepipe graphite cooling pipe and equipment design methods for graphite chiller modality were adopted. The production practice in San-Lian Chemical Industry Incorporated Company has proven that the design method is reasonable, the operation is stable, the system productive forces increased by 25% ~ 30%.

Key words: graphite synthetic furnace; hydrogen chloride; cooling pipe; chiller; equipment optimization

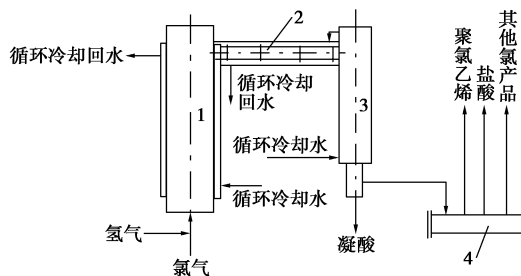
以海湖盐或井矿盐为原料生产盐酸及聚氯乙烯的氯碱厂, 原料气氯化氢的制取均采用合成法, 即氯气和氢气分别经管道进入合成炉灯头混合、燃烧生成氯化氢, 灯头处氯化氢气体温度高达 2 500℃ 左右。由于水吸收氯化氢制盐酸需要在低温下进行, 生产聚氯乙烯树脂也需在低温条件下, 氯化氢和乙炔混合脱水后再进行聚氯乙烯反应, 因此合成的高温氯化氢气体需通过三级冷却至 40℃ 左右, 然后送至盐酸的吸收系统或氯乙烯系统。

多年来我国合成氯化氢装置一直采用钢制水夹套合成炉、钢制空气冷却管和石墨冷却器, 虽然该合成炉制造加工方便、传热效率高且成本低, 但由于操作不当等因素, 合成炉局部常发生高温腐蚀或低温氢去极化腐蚀, 造成氯化氢气体中 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 浓度偏高, 不能满足高纯度盐酸生产和高品质聚氯乙烯树脂产品制备的要求。所以开发出新型的氯化氢合

成炉系统并研究其性能是目前急需解决的问题。

1 合成炉介绍

近年来随着经济的迅速发展, 对高纯度盐酸和高品质聚氯乙烯树脂需求加大, 我国开发了新型石



1—石墨合成炉; 2—石墨冷却管; 3—石墨冷却器;
4—HCl 气体分配台

图 1 二合一氯化氢石墨合成炉系统生产流程示意图

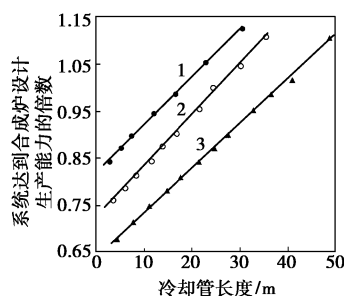
墨合成炉,配合石墨冷却管和石墨冷却器称之为二合一氯化氢石墨合成炉系统,有效地降低了氯化氢气体中 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 的含量,可满足高纯度盐酸和高品质聚氯乙烯树脂产品的生产要求,其工艺流程如图 1 所示。

由于缺少对二合一氯化氢石墨合成炉系统的研究,目前尚无成熟的优化设计方法,设计系统装置时仅根据氯化氢生产能力进行石墨合成炉的选型;石墨冷却器仅依据钢制合成炉系统进行设计;对于石墨冷却管仅根据设备布置确定其长度,采用水平放置(外带条形水槽)的光滑管型套管式石墨冷却管,而没有把 3 台设备合为一体作为系统进行整体优化设置。这在生产中就出现一个问题,即在合成炉生产设计时,由于石墨冷却管出口气体温度高于石墨冷却器的许用温度,致使石墨冷却器极易损坏;或者为防止石墨冷却器损坏而造成系统停车、停产,必须以降低合成炉生产能力为代价,一般系统实际生产能力只能达到合成炉设计能力的 65%~75%。这些都严重影响了石墨冷却器的使用寿命,同时影响了盐酸和聚氯乙烯树脂的正常生产。笔者对二合一氯化氢石墨合成炉系统中采用不同形式石墨冷却器的条件下,研究了石墨冷却管长度与生产能力的关系,提出了系统达到合成炉设计生产能力的设备优化设置方案,并给出了设备设计计算程序和数学模型,经在内蒙古三联化工股份有限公司氯碱厂生产检验,整套设备运行稳定,使用寿命长,且系统生产能力达到合成炉设计要求。

2 系统设备优化设置^[1]

2.1 石墨冷却管设置长度与系统生产能力的关系

对二合一氯化氢石墨合成炉生产系统分别采用不同形式的石墨冷却器(列管式石墨冷却器, $\leq 130^{\circ}C$; YKA 圆块孔式石墨冷却器, $\leq 170^{\circ}C$; YKB 圆块孔式石墨冷却器, $\leq 220^{\circ}C$),对石墨冷却管设置长度与生产能力的关系进行了研究,研究过程如图 2 所示,研究结果如图 3 所示。



1—YKB 型圆块孔式石墨冷却器;2—YKA 型圆块孔式石墨冷却器;3—列管式石墨冷却器

图 3 石墨冷却管长度与生产能力关系图

试验结果表明:①不同形式的石墨冷却器对合成气进口温度的要求是不同的,石墨冷却器允许温度越高,石墨冷却管出口气体温度设计的就可以越高,在石墨冷却管长度相同条件下,系统生产能力就越大,反之就越小;②对于同一型号的石墨冷却器,系统生产能力随石墨冷却管设置长度的增加呈线性增加。在石墨冷却管长度不变的情况下,通过强化

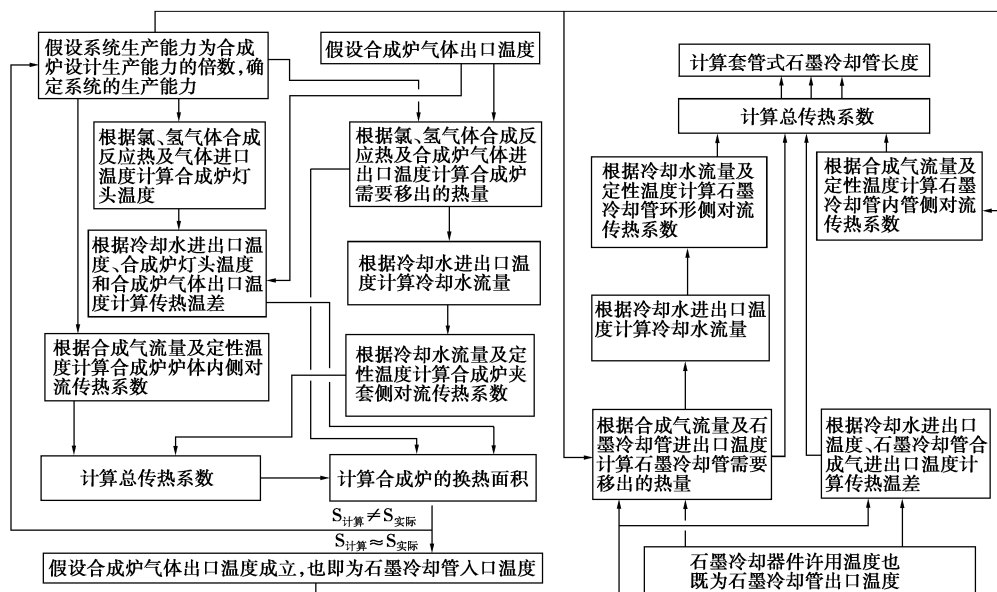


图 2 石墨冷却管设置长度与系统生产能力关系计算框图

石墨冷却管的传热,可提高系统生产能力。

2.2 设备优化设置的技术方案

据上述结果将系统中石墨冷却器设置为 YKB 型圆块孔式。强化石墨冷却管的传热在理论上可以通过提高对数平均传热温差、总传热系数和总传热面积实现。石墨冷却管进出口气体温度、冷却水进口温度和温差一定,则对数平均传热温差为定值。采用套管式石墨冷却管,气体走管内,冷却水在管外环隙流动,总传热系数取决于管内合成气的对流传热系数。因石墨冷却管的管径与合成炉气体出口管径相同,其管内流体湍流程度很大,通过改变管内填充构件或填料的方式虽然可使总传热系数略有提高,但给设备安装及检修带来困难,同时流体流动阻力的增加加大了动力消耗,因此只能通过增加传热面积来实现石墨冷却管的强化传热。翅片管型套管式冷却管在长度相同条件下可有效增加换热面积,翅片管型分为纵向翅片管型和径向翅片管型,对于石墨管现场加工而言,纵向翅片管型优于径向翅片管型,故将石墨冷却管设置为纵向翅片管型套管式石墨冷却管,以强化传热提高系统生产能力,纵向翅片管型套管式石墨冷却管结构(横截面)如图 4 所示。二合一氯化氢石墨合成炉系统设备优化设置为石墨合成炉、纵向翅片管型套管式石墨冷却管和 YKB 圆块孔式石墨冷却器。

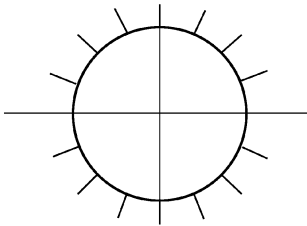


图 4 纵向翅片管型结构图

3 系统中设备的设计方法

3.1 纵向翅片管型套管式石墨冷却管设计方法

纵向翅片管型套管式石墨冷却管设计方法为:先根据设备布置确定较为适宜的石墨冷却管长度,假设纵向翅片的结构尺寸(即翅片高度、翅片厚度和翅片数),计算石墨冷却管管外环隙对流传热系数、内管侧对流传热系数和总传热系数,再由传热速率方程计算纵向翅片管型套管式石墨冷却管的长度,将计算得到的冷却管长度与确定的冷却管长度比较,若两值相符即为纵向翅片结构尺寸,若不相符需

重新假设纵向翅片结构尺寸再行计算,直至计算值与假设值相符,其设计计算所用到的数学公式参见文献[2]。

3.2 YKB 圆块孔式石墨冷却器设计方法

先根据生产能力假设所需换热面积,在圆块孔式石墨换热器产品系列中选择换热面积最接近的型号,依据其结构参数计算轴向流道对流传热系数、径向流道对流传热系数和总传热系数,再由传热速率方程复算传热面积与所选型号面积是否相符(要求所选型号的传热面积比计算传热面积大 10% ~ 20%),直到满足要求为止。其设计计算所用到的数学公式参见文献[3]和文献[4]。

3.3 系统设计计算实例^[5-7]

内蒙古三联化工股份有限公司氯碱厂以吉兰泰湖盐为原料电解生产氢氧化钠,部分氯气用于生产聚氯乙烯树脂,其聚氯乙烯生产能力为 1.5 万 t/a,年工作 8 000 h;进入系统原料气体组成等参数如表 1 所示。

表 1 系统原料气参数

原料气	体积分数/%						温度/压力/摩尔流量/		
	H ₂	Cl ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O	CO ₂	°C	MPa	kmol·h ⁻¹
氢气	97.45	0	0.01	0.06	2.48	0	30	0.18	17.78
氯气	0.34	97.16	0.99	1.12	0.18	0.21	12	0.28	16.98

系统中装置石墨冷却管内管、套管尺寸与合成炉气体出口尺寸相同。系统循环冷却水在各设备的进口温度及温差如表 2 所示。

表 2 冷却水在各设备的进口温度及温差

	进口温度/°C	温差/°C
合成炉	27	4
石墨冷却器	27	2
石墨冷却管	29	2

采用该设计方法,二合一氯化氢石墨合成炉系统设备装置为:①合成炉型号为 SSL-900,传热面积为 32 m²;②石墨换热器型号为 YKB·II-600 $\frac{18}{15}$,传热面积为 60 m²;③石墨冷却管为纵向翅片管型套管式石墨冷却管,翅片高 70 mm,翅片数为 17,翅片宽为 10 mm,管长 5.5 m,有关设计计算中间参数及结果如表 3 所示。

表3 二合一氯化氢石墨合成炉系统设计计算
中间参数及结果

计算项目	计算数据
纵向翅片管型套管式石墨冷却管	
合成气入口温度/℃	350
合成气出口温度/℃	220
移出热量/MJ·h ⁻¹	166.6
冷却水流量/kg·h ⁻¹	19.9
内管内径/mm	254
内管外径/mm	330
条形水槽宽度/m	0.50
条形水槽水深度/m	0.60
翅片高/mm	70
翅片厚度/mm	10
翅片数/个	17
内管侧对流传热系数/W·m ⁻² ·℃ ⁻¹	14.11
环形侧对流传热系数/W·m ⁻² ·℃ ⁻¹	155.38
管内侧热阻/m ² ·℃·W ⁻¹	17.19 × 10 ⁻⁵
管外侧热阻/m ² ·℃·W ⁻¹	34.39 × 10 ⁻⁵
石墨冷却管内管导热系数/W·m ⁻¹ ·℃ ⁻¹	110
总传热系数/W·m ⁻² ·℃ ⁻¹	10.05
石墨冷却管长度/m	5.40
石墨冷却器	
假设氯化氢石墨冷却器换热面积/m ²	60
选择石墨换热器型号	YKB·II-60 $\frac{18}{15}$
石墨换热器结构参数	
石墨换热块数/块	8
单元石墨换热块外径/mm	600
单元石墨换热块内径/mm	195
单元石墨换热块高度/mm	625
轴向流通截面积/m ²	5.95 × 10 ⁻²
轴向流通孔径/mm	18
轴向流通孔数/个	234
轴向流通长度/m	5.0
轴向流通传热面积/m ²	66
径向单程流通截面积/m ²	6.68 × 10 ⁻²
径向流通孔径/mm	15
径向流通孔数/个	378

径向流通长度/mm	405
径向流通传热面积/m ²	57.60
石墨冷却器移出热量/MJ·h ⁻¹	221.7
冷却水流量/kg·h ⁻¹	26521.64
轴向流通对流传热系数/W·m ⁻² ·℃ ⁻¹	18.28
径向流通对流传热系数/W·m ⁻² ·℃ ⁻¹	612.71
轴向流通热阻/m ² ·℃·W ⁻¹	17.58
径向流通热阻/m ² ·℃·W ⁻¹	17.19 × 10 ⁻⁵
石墨冷却器材质导热系数/W·m ⁻¹ ·℃ ⁻¹	34.39 × 10 ⁻⁵
总传热系数/W·m ⁻² ·℃ ⁻¹	110
石墨冷却器计算换热面积/m ²	52.89
石墨冷却器选用型号所需面积/m ²	52.89 × (1.1 ~ 1.2) ≈ 58.18 ~ 63.47

4 结语

本文在对二合一氯化氢石墨合成炉生产系统中采用不同形式石墨冷却器条件下,研究石墨冷却器设置长度与系统生产能力关系的基础上,提出了系统设备优化设置的技术方案为石墨合成炉、纵向翅片管型套管式石墨冷却管和YKB圆块孔式石墨换热器。并提出了纵向翅片管型套管式石墨冷却管和YKB圆块孔式石墨换热器的工艺设计方法,经在内蒙古三联化工股份有限公司氯碱厂生产实践检验,该系统生产运行可靠,产品质量稳定,生产能力提高了28%,达到了合成炉的设计生产能力。该设备优化设置技术方案和工艺设计方法对氯化氢设备装置的优化设计,以及改进现有设置不合理的二合一氯化氢石墨合成炉系统具有重要参考价值。

参考文献

- [1] 天津大学物理化学教研室. 物理化学[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 1992: 98-99.
- [2] 尾花英朗. 热交换器设计手册: 下册[M]. 徐中权, 译. 北京: 石油工业出版社, 1984.
- [3] 姚玉英. 化工原理: 上册[M]. 天津: 天津大学出版社, 1999: 242-246.
- [4] 许志远. 石墨制化工设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [5] 北京石油化工工程公司. 氯碱工业理化常数手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988.
- [6] 石油化学工业部化工设计院. 氮肥工艺设计手册[M]. 北京: 石油化学工业出版社, 1977.
- [7] 化学工业部化学工程设计技术中心站. 化工工艺设计基础数据手册[M]. 北京: 化工部化工设计中心, 1982. ■