

螺旋板换热器在硝酸钾与氯化铵生产中的应用

张 罡¹ 沈晃宏² 张一甫²

(1.岳阳市钾盐科学研究所,湖南 岳阳 414000;2.湖南理工学院西院化工系,湖南 岳阳 414000)

摘要:介绍在硝酸铵与氯化钾复分解法生产硝酸钾与氯化铵工业中,采用螺旋板换热器分别用于硝酸钾溶液冷却和氯化铵溶液冷却的设备选型、安装方式及工艺操作流程。生产实践表明,采用螺旋板换热器具有不结垢、传热系数高、能耗低、生产能力大、体积小和操作方便等优点。

关键词:螺旋板换热器;硝酸钾;氯化铵;冷却结晶

中图分类号:TQ051.5

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)09-0049-02

Application of plate coils in production of potassium nitrate and ammonium chloride

ZHANG Gang¹, SHEN Huang-hong², ZHANG Yi-fu²

(1. Yueyang Research Institute of Potassium Salt Science, Yueyang 414000, China;

2. Department of Chemistry in West Campus, Hunan College of Science and Technology, Yueyang 414000, China)

Abstract: The equipment selection, installation ways and operation process of plate coil used respectively in the cooling of potassium nitrate solution and ammonium chloride solution, which were two of the steps in the production of potassium nitrate and ammonium chloride by double decomposition of ammonium nitrate and potassium chloride, were introduced. The practical results show that the plate coil has the advantages of anti-scaling, high heat-transfer coefficient, energy saving, better production capacity, less bulk, and easy to use.

Key words: plate coil; potassium nitrate; ammonium chloride; cooling crystallization

螺旋板换热器是一种高效传热设备,和管壳式换热器比较,螺旋板换热器具有结构紧凑、传热系数大、使用寿命长、设备体积小、可以进行完全逆流操作、在较小的温差下进行传热、有自身冲刷作用防止污垢的沉积等优点^[1]。尽管螺旋板换热器有许多优点,但它没有像管壳式换热器那样在化工生产中得到广泛应用,螺旋板换热器在许多化工生产领域尚待开发应用。笔者从 2002 年 12 月开始和生产厂家合作,在硝酸铵与氯化钾复分解循环法生产硝酸钾和氯化铵工业装置中,在国内首次采用螺旋板换热器,取得了理想的效果。

1 工艺条件与设备选型

用硝酸铵与氯化钾复分解法生产硝酸钾与氯化铵装置,生产规模为 2 万 t/a 硝酸钾与 1.12 万 t/a 氯化铵,年设计生产日为 300 天。复分解循环法生产硝酸钾大致工艺过程是^[2]:在循环母液中加入氯化钾,调配成一定温度与浓度的溶液(称为硝酸钾溶液),硝酸钾溶液经冷却结晶析出硝酸钾晶体,然后经分离得硝酸钾晶体与母液 I。母液 I 中再加入硝酸铵溶解,蒸发浓缩到一定浓度(称为氯化铵溶液),

氯化铵溶液再冷却结晶析出氯化铵晶体,然后经分离得氯化铵晶体与母液 II(母液 II 返回循环使用)。

笔者在硝酸钾溶液冷却工序和氯化铵溶液冷却工序中分别采用了不同型号螺旋板换热器。由于物料是液固混合物,溶液中晶体固体物质含量高,液体黏度大,因此必须根据物料特性选用合理结构的设备,如设计合适的螺旋板宽度来保证物料全部流动、合适的螺旋板长度和螺旋通道来达到流量和换热面积要求。

1.1 硝酸钾溶液冷却设备选型

硝酸钾溶液冷却前初始温度 $T_1 = 115^\circ\text{C}$,要求冷却终点温度 $T_2 = 30^\circ\text{C}$,定性温度 $T = (T_1 + T_2)/2 = 72.5^\circ\text{C}$ 。此温度条件下,溶液物理参数为:密度 $\rho_1 = 1\,300\text{ kg/m}^3$,黏度 $\mu_1 \approx 0.43\text{ mPa}\cdot\text{s}$ (实测值),比热容 $c_1 \approx 1\,869\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$,传热系数 $\lambda_1 \approx 0.521\text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ 。已知每 100 kg 溶液可结晶析出硝酸钾晶体约 30 kg,即固相硝酸钾质量分数为 30%。

采用螺旋板换热器冷却硝酸钾溶液时,选用螺旋板换热器的技术设计参数为:换热面积 $S = 20\text{ m}^2$,螺旋长度 $L = 10\text{ m}$,螺旋板宽度 $H = 1\text{ m}$,螺旋外径 $D_{\text{max}} = 0.8\text{ m}$,螺旋通道宽均为 18 mm,钢板选用

316 L 不锈钢,板厚 $\sigma = 4$ mm,螺旋中心直径 $D_1 = 0.3$ m,定距柱数目 $n = 40$ 个/ m^2 ,两侧通道均采用泵输送,故阻力降是完全可以克服的。设备台数 2 台,采用 I 型螺旋板换热器,螺旋体上下部两螺旋通道全部焊死不可拆,公称压力 0.588 MPa,即 I6B20-1/800-18 型。

1.2 氯化铵溶液冷却设备选型

氯化铵溶液冷却前初始温度 $T_1 = 125^\circ\text{C}$,要求冷却终点温度 $T_2 = 70^\circ\text{C}$,定性温度 $T = 97.5^\circ\text{C}$ 。此温度条件下,溶液物理参数为:密度 $\rho_2 = 1\ 385$ kg/m^3 ,黏度 $\mu_2 \approx 0.53$ $\text{mPa}\cdot\text{s}$ (实测值),比热容 $c_2 \approx 1\ 750$ $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$,传热系数 $\lambda_2 \approx 0.521$ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ 。每 100 kg 溶液经冷却能结晶析出固体氯化铵 22 kg,即固相氯化铵质量分数为 22%。

采用螺旋板换热器冷却氯化铵溶液时,选用螺旋板换热器的技术设计参数为:换热面积 $S = 22$ m^2 ,螺旋长度 $L = 18$ m,螺旋板宽度 $H = 0.6$ m,螺旋外径 $D_{\text{max}} = 1$ m,螺旋通道间距均为 18 mm,钢板选用 316 L 不锈钢,板厚 $\sigma = 4$ mm,螺旋中心直径 $D_1 = 0.3$ m,定距柱数目 $n = 40$ 个/ m^2 。设备台数 1 台,采用 I 型螺旋板换热器,公称压力 0.588 MPa,即 I6B22-0.6/1000-18 型。

2 工艺操作流程

2.1 设备安装方式

螺旋板换热器的安装方式十分重要,笔者在硝酸钾冷却工序和氯化铵冷却工序中最初采用立式安装,试生产过程中经常发生物料堵塞,导致设备无法使用,而且硝酸钾物料堵塞现象比氯化铵更严重。经分析,主要原因可能是溶液在流经螺旋通道并逐渐冷却的过程中,不断结晶析出硝酸钾或氯化铵晶体,这些析出晶体密度都大于溶液的密度。带有大量晶体粒子的液固混合物料在流过立式安装的螺旋板换热器时,水平面内螺旋流动的液体给析出硝酸钾(氯化铵)晶体的拖带力不能平衡其重力,晶体容易沉降,进而逐渐堵塞通道。由于硝酸钾密度大于氯化铵密度,故其沉积堵塞现象更严重。但如果将原立式安装改为卧式安装,固液混合物料则在垂直面内螺旋流动,只要保证料液的流速一定(一般为 0.8~1.4 m/s 即可),液体给固体粒子的拖带力就可平衡其重力,可避免堵塞,所以在实际生产中将螺旋板换热器安装方式全部改为卧式安装。

2.2 除杂处理

生产中采用的原料氯化钾与硝酸铵中含有极少

量不溶性杂质、钙镁杂质以及有机添加剂,这些物质对传热系数有较大影响。另外,在打开原料编织袋投料过程及生产操作过程中,因各种原因容易混进绳头、铁丝、沙石、塑料、木屑等各种杂质,这些杂质一旦进入螺旋板换热器中,将造成阻力上升,甚至堵塞螺旋通道,如沙石粒质量大,易沉淀,绳头、铁丝、塑料、木屑易缠绕在定距柱上等。因此必须对进入螺旋板换热器的溶液进行必要的去除杂质处理,确保传热效果和设备正常运转。

2.3 硝酸钾冷却操作流程

将硝酸钾结晶器中温度较高的溶液通过自吸泵抽送,由一个螺旋通道的周边进入螺旋板换热器,经螺旋通道流向中心,再从中心出料管口排出返回硝酸钾结晶器中;循环冷却水通过泵由螺旋通道中心流入,经螺旋通道流向周边。停止使用后,立即通入蒸汽或清水对螺旋通道进行冲刷,以清洗通道内残留的硝酸钾料液,避免通道结垢与堵塞。实际生产过程中,溶液输送流量为 80 m^3/h ,初始温度为 113°C ,冷却温度为 30°C ,冷却水输送流量为 50 m^3/h ,冷却水进口温度为 17°C ,测得并计算对数平均传热温差为 45.45°C ,单台螺旋板换热器能生产硝酸钾 2 950 kg/h。计算出的传热量为 1 525 415 kJ/h,总传热系数为 466 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ 。

2.4 氯化铵冷却操作流程

将氯化铵结晶器中温度较高的溶液通过自吸泵抽送,由一个螺旋通道的周边进入螺旋板换热器,经螺旋通道流向中心,再从中心出料管口排出返回氯化铵结晶器中;循环冷却水则从上部由螺旋通道中心流入,经螺旋通道流向周边。停止使用后,立即通入蒸汽或清水对浓缩液螺旋通道进行冲刷,以清洗通道内残留的氯化铵料液,避免通道结垢与堵塞。实际溶液输送流量为 30 m^3/h ,初始温度 125°C ,冷却温度 70°C ,冷却水输送流量 35 m^3/h ,冷却水进口温度为 30°C ,测得并计算对数平均传热温差为 52°C ,单台螺旋板换热器能生产氯化铵 1 680 kg/h。计算出的传热量为 735 000 kJ/h,总传热系数为 426.8 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ 。

3 应用效果与结论

从 2002 年 12 月开始将螺旋板换热器应用于硝酸钾与氯化铵生产,至今已有近 2 年,一直运转正常,从未发生过结垢堵塞等现象,所得产品硝酸钾与氯化铵结晶粒度与质量均符合工艺要求,生产能力

(下转第 54 页)

测试结果表明,Z412W/Z413W 催化剂具有良好的使用强度。

3.3 催化剂的活性和抗结碳性能

Z412W/Z413W 催化剂载体是由 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 在高温下烧结而成,故其体相结构具有很高的稳定性,尤其是又经过稀土改性处理,这不仅有效减缓了活性组分镍晶粒长大的速度,而且从根本上保证了催化剂的活性稳定性及抗结碳性能。

由于反应(4)为一强吸热转化反应,且具有“无水”转化的特征,在此条件下,降低水碳比则意味着对催化剂的抗结碳性能提出了更高的要求。实践证明,在 1999 年将水碳比降至 3.05 左右后,用于川维厂的 Z412W/Z413W 催化剂在高生产负荷条件下运行,至 2001 年 2 月停车更换催化剂。由于 Z412W/Z413W 催化剂具有较高的、稳定的转化活性,其抗结碳性能仍可满足要求。停车后取样,对运行 4 年多的 Z412W 催化剂进行定碳分析,结果列于表 8。

表 8 Z412W 催化剂在川维厂运行 4 年后的积碳量

转化炉部位/m	Z412W 催化剂					
	入口	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5
积碳质量分数/%	0.19	0.24	0.39	0.33	0.00	0.00

分析结果表明,催化剂基本无积碳,具有良好的抗结碳性能。

3.4 经济效益

由于 Z412W/Z413W 催化剂的活性高且稳定,在出口温度为 820℃ 的条件下,炉管的壁温始终 $\leq 940^\circ\text{C}$,比设计值(981℃)低 41℃。由于转化管的投资约占整个转化炉的 50% 以上,显然催化剂拥有稳

定的高转化活性对延长转化管的使用寿命和降低转化炉的运行费用是非常重要的。

在补碳转化的运行过程中,水碳比是关系到运行安全的重要参数,它对转化气的气质、氢碳比、残余甲烷含量和炉内热负荷均有直接影响。在满足安全要求的前提下,适当降低水碳比对工厂实施节能降耗、提高经济效益具有实际意义。为此川维厂对该催化剂进行了水碳比优化试验^[2],结果列于表 9。

表 9 水碳比优化前后的主要参数对比

项目	水碳比	燃料天然气量/ $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	残余甲烷体积分数/%	精甲醇产量/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$	中压蒸汽量/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$
优化前	3.55	3520	3.1	12.71	32.6
	3.51	3480	3.3	12.83	32.3
	3.50	3496	4.1	12.79	32.3
优化后	3.30	3143	3.2	13.58	30.5
	3.20	2894	3.4	13.67	29.5
	3.00	2706	3.4	13.42	28.0

结果表明,降低水碳比可节省蒸汽、降低燃料天然气的消耗、改变转化气的气质、提高甲醇的产量。通过综合效益核算:其节约的蒸汽价值为 7 488 元/d,节约的燃料天然气价值为 9 360 元/d,增产的甲醇价值为 8 000 元/d,增加的综合经济效益为 24 848 元/d,平均可增效益 819.9 万元/a。川维厂使用 Z412W/Z413W 催化剂后,仅降低转化的水碳比一项就给厂家带来可观的经济效益。

参考文献

- [1] 蒋德军,唐宏青.[J].天然气化工,1994,19(6):29-37.
 [2] 马兵.[J].化工进展,2001,20(5):49-51. ■

(上接第 50 页)

超过设计能力。应用结果表明,只要选用的螺旋板换热器结构合理,采用合理安装方式,尽量减少溶液中的杂质含量,以及合理操作,完全能够保证螺旋板换热器正常、稳定地工作,螺旋板换热器应用于硝酸钾与氯化铵冷却结晶生产是完全可行的。

和传统使用的管壳式换热器相比较,它具有不易结垢、传热效率高、结构紧凑、造价低、体积小、生产能力大、能耗低、使用寿命长、自洁能力强和操作稳定方便等优点。但因为螺旋板换热器已整体卷制焊接为一体,所以一旦发生故障就很难检修,因此生

产时一定要严格按照要求操作。

目前,我国硝酸钾生产工业发展迅速,生产规模越来越大,如果在硝酸钾生产中推广使用螺旋板换热器,可以大幅度降低投资,减少用地面积,提高生产能力,降低能耗,这对提高我国硝酸钾生产技术水平和社会效益有重要意义。

参考文献

- [1] 化学工程手册编委会.化学工程手册[M].第 2 版.北京:化学工业出版社,1989.48-57.
 [2] 沈见宏,张罡,张一甫,等.[J].化工进展,2002,21(7):506-508. ■