

# 硫磺制酸系统新型换热器的选择与应用

云南云天化股份有限公司红磷分公司 云南开远 661699 王艳红

**[摘要]** 通过对低阻高效的急扩加速流缩放管管壳式换热器的分析；结合硫磺制酸装置的实际情况，经过对转化系统第一冷热换热器的改造，采用缩放管管束的空心环管壳式换热器与传统列管式换热器相比，可节省传热面积，降低换热器阻力，减少系统能耗，在硫酸转化系统热能利用上具有很好的效果。

**[关键词]** 换热器 传热效率 腐蚀 运行 效果

云南云天化股份有限公司红磷分公司 270 kt/a 硫磺制酸装置于 2000 年 4 月建成投产，以固体硫磺为原料，经快速熔硫、过滤，液体硫磺用泵加压机机械雾化，空气焚硫燃烧，“3+2”两转两吸工艺（三塔二槽），干吸循环酸槽和二吸循环酸槽溢流产酸；设置废热锅炉、蒸汽过热器、省煤器以回收热能，产生 450 °C、3.82 MPa 的过热蒸汽，用于驱动空气鼓风机和发电。第一冷热换热器已连续使用十余年，其工艺流程是转化三段一转气体依次进入第二冷热换热器、第一冷热换热器、1#省煤器换热冷却后，从一吸塔底部进入用 98% 浓硫酸吸收其中的三氧化硫气体，被吸收三氧化硫后的气体，依次进入第一冷热换热器、第二冷热换热器和热热换热器跟热气体换热提高温度后，进入转化四段反应。

## 1 概况

第一冷热换热器为管板式列管换热器，列管总数为 1481 根，面积 1897m<sup>2</sup>，经长时间运行以来，由于换热器列管的腐蚀通漏、列管的封堵，列管的封堵约占总列管数的 8%。导致换热器换热能力下降，从第一冷热换热器出口的烟气温度升至 270°C（设计值为 245°C），增加了省煤器的热负荷（同时省煤器因烟气侧结垢，换热能力也下降），最终导致一吸塔进口烟气温度升至 200~220°C，直接影响了一吸塔的吸收率，导致在一吸塔内产生较多的酸雾，从一吸塔带有酸雾的烟气进入第一冷热换热器再次腐蚀第一冷热换热器，形成恶性循环。装置大修检查第一冷热换热器发现大部分列管腐蚀较为严重，第一冷热换热器列管腐蚀通漏后，部分从三段出来的一转 SO<sub>3</sub> 气体直接串入从一吸塔来的气体中进入四段，而未经一吸塔吸收，直接影响了转化的二次转化率。不但降低了换热效率，而且增加了维修费用、污染环境。

## 2 新型换热器的对比分析

目前硫酸装置已普遍使用的一种新型换热器——旋流网板（空心环）急扩加速流缩放管管壳式换热器，即升级型空心环管壳式换热器。空心环管壳式换热器为 1996 年由国家科委列入“九五”国家级科技成果重点推广计划项目，自 2004 年采用新一代的传热强化技术旋流网板支承急扩加

速流缩放管束的管壳式换热器技术以来,将空心环管壳式换热器技术升格为传热与节能效果更佳的换热器技术,其经济性更佳,多家硫酸工业及其它行业中得到广泛推广和应用。

管壳式换热器广泛应用于能源、动力、石油、冶金、化工等领域,管壳式换热器强化传热对提高能源利用效率、降低能耗有着重要意义<sup>[1]</sup>。缩放管是由多节交替的收缩段与扩张段构成的波形管道,根据收缩段和扩张段是否对称分为对称缩放管和非对称缩放管,缩放管可以强化管内、管外单向流体的传热,尤其适用于流速高的流体。采用空心环网板取代折流板作管间支撑物,可以大幅度减少气体在壳程作反复折流而损失的流体输送功,依靠增加管间流速提高管外传热系数,达到流体输送功的最佳利用。在相同的壳程压力降下,空心环管壳式换热器的壳程传热系数可比传统的单弓形折流板管壳式换热器提高约 100%,而与近年来国外一些先进换热器如碟—环形折流板管壳式换热器相比,壳程传热系数可提高 50%以上<sup>[2]</sup>。根据工业试验结果表明,在同等壳程压力降条件下,采用缩放管时,空心环管壳式换热器比折流板管壳式换热器壳程传热系数可提高 50—80%<sup>[3]</sup>。

与传统换热器相比,优势突出,急扩加速流缩放管管壳式换热器的结构及其使用特点概括如下:

(1) 换热器的传热管采用新开发的低阻高效缩放管——急扩加速流缩放管,该管对原缩放管的凹凸肋面作了改进,使其能满足流体流动与传热温度两场矢量间夹角小于 90°,可强化对流传热的管段比例由原先的 60%提升到 90%,从而有效地加强了近壁处传热滞流底层的对流传热作用,使传热系数提高 8%~10%。

(2) 换热器的壳程采用纽带旋流片网板支承取代空心环网板支承,不但可在壳程流道的空隙率上保持原空心环网板具有的大空隙率、低阻流的优点,而且可使经过支承物的流体在支承物的下游段形成自旋流的流动状态,既不产生流体形成阻力,又能有效改变流体冲刷角度,改善流体流动与传热的场协同作用,从而可以发挥管间支承物的对流强化传热作用,以弥补空心环网板在传热强化方面的不足之处,使管外给热系数提高 20%以上。由于短纽带旋流片在轴上的投影是一完整的圆,故对管束可以起到良好的机械支撑作用。

综合以上两项新技术可使总传热系数比原空心环管壳式换热器提高 15%~20%。

(3) 转化系统换热器的长径比变小,传统的两台串联的冷热换热器可合并为一台,简化和节省了系统管道,减少了占地面积、设备保温及基建费用。换热器的总传热系数可达  $36(\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,比传统换热器节省换热面积 50%左右,降低了设备投资。

(4) 换热器的壳程管间支承物流阻低,且壳程环状进出口不易积垢,可使换热器长期处于低流阻的状态下运行,与传统换热器相比,风机电耗可减少。

(5) 由于管间距与设备大小无关,故有利于设备大型化;缩放管采用 20g 或 304 不锈钢轧制,耐高温,抗氧化,冷热换热器低温端可加接 316L 不锈钢,耐腐蚀,提高了设备的可靠性,延长了使用寿命。

### 3 改造前后运行情况对比

根据 270kt/a 硫磺制酸的生产情况，根据转化系统的热量衡量，确定更换的换热器面积为 1288m<sup>2</sup>，面积余量 10%；由于列管腐蚀主要集中在与下花板连接的 0.5m 高部分，为了使列管具有较好的抗腐蚀性，提高设备的可靠性，延长使用寿命，此次技改与花板连接的列管下端 0.8m 列管采用 316L 不锈钢，其余选用 20g 锅炉钢管，壳体用 Q235-A。

换热器改造前、后规格

时间	直径	高	换热面积
改造前	4450	13316	S=1897m <sup>2</sup>
改造后	3000	9000	S=1288m <sup>2</sup>

#### 3.1 改造前的运行情况

生产过程中，第一冷热换热器换热能力下降，出口的烟气温度升高至 270℃（设计值为 245℃），

换热器连续运行指标统计表（改造前）

指标名称	管程温度℃			壳程温度℃			
	进口	出口	温差	进口	出口	温差	
1 月	最高	404.2	274.1	130.1	63.9	317.5	253.6
	最低	399.3	269.3	130.0	61.3	311.4	250.1
	平均	401.8	271.7	130.1	62.6	314.4	251.8
2 月	最高	405.1	273.9	131.2	63.7	317.6	253.9
	最低	399.6	268.2	131.4	61.0	311.5	250.5
	平均	402.0	271.5	130.5	62.7	314.2	251.5
3 月	最高	404.3	274.2	130.1	63.9	317.7	253.8
	最低	398.7	268.5	130.2	61.5	311.8	250.3
	平均	401.5	271.5	130.0	62.3	314.3	252.0
4 月	最高	404.5	274.3	130.2	63.7	317.6	253.9
	最低	399.2	268.8	130.4	61.4	311.6	250.2
	平均	402.0	271.7	130.3	62.4	314.5	252.1
5 月	最高	404.7	274.4	130.3	63.8	317.4	253.6

指标名称	管程温度℃			壳程温度℃			
	进口	出口	温差	进口	出口	温差	
时间							
月	最低	399.7	268.2	131.5	61.3	311.3	250.0
	平均	402.6	271.6	131.0	62.5	314.4	251.9

增加了省煤器的热负荷，影响一吸塔的吸收率，导致在一吸塔内产生较多的酸雾。从而使一吸塔至冷热换热器的烟气管道、冷热换热器烟气进口出的筒体频繁腐蚀通漏，对生产造成严重的影响。

### 3.2 改造后的运行情况

改造后换热器运行情况良好，完全能满足设计要求，而且消除了设备长期存在的泄漏点及安全隐患。

换热器连续运行指标统计表（改造后）

指标名称	管程温度℃				壳程温度℃				
	进口	出口	实际温差	设计温差	进口	出口	实际温差	设计温差	
7月	最高	379.2	227.9	151.3	105.0	52.9	276.6	223.7	134.0
	最低	369.3	219.8	149.5	105.0	51.2	267.0	215.8	134.0
	平均	373.5	223.2	150.2	105.0	52.1	271.1	219.0	134.0
8月	最高	381.4	230.3	151.1	105.0	53.9	279.2	225.3	134.0
	最低	375.2	224.6	150.6	105.0	49.7	272.9	223.2	134.0
	平均	379.1	227.7	151.5	105.0	52.0	276.5	224.6	134.0
9月	最高	380.2	229.2	151.0	105.0	54.0	277.5	223.5	134.0
	最低	375.2	223.5	151.7	105.0	46.4	271.2	224.8	134.0
	平均	378.3	226.9	151.3	105.0	51.6	275.2	223.6	134.0
10月	最高	381.0	230.7	150.3	105.0	55.5	278.4	222.9	134.0
	最低	379.0	228.1	150.9	105.0	52.9	276.1	223.2	134.0
	平均	379.8	229.0	150.8	105.0	54.1	277.3	223.3	134.0

从上表中换热器的连续运行数据可看出，新更换的旋流网板支撑急扩加速流缩放管换热器在装置生产负荷稳定控制在 900 吨/天以上条件下（达到了 30 万吨/年生产能力），其管程（151℃）、壳程（225℃）的换热温差大大地超过了设计时的 105℃、134℃的范围，运行效果良好，换热器

换热面积余量较大，考虑增设近路管及近路阀（DN800）来进行调节。

#### 4 效果分析

通过此次改造，270kt/a 硫磺制酸装置能在满负荷开车的条件下工艺指标达到设计要求，并在正常开车条件下达到转化系统的自然平衡，为稳定装置生产提供了有力保证，且改善了现场环境，提高了开车率，创造良好的环境效益和社会效益。

（1）提高设备完好率及装置的运转率，以减少因设备频繁泄漏导致装置非计划停车，降低机物料消耗，同时降低维修费用；

（2）改造后的空心环管壳式换热器换热效率高，降低进入1#省煤器的烟气温度，最终使一吸塔进口烟气温度有效地控制在170~190℃内，达到工艺控制要求，在一定程度上降低进入一吸塔出口的酸雾，减少对后续设备、触媒、管道的腐蚀；

（3）通过技改有效的避免换热器泄漏影响转化率，最终提高系统转化率，提高硫的利用率。采用缩放管束的空心环管壳式换热器与传统列管式换热器相比，可节省传热面积40%~50%，降低换热器阻力，减少系统能耗，降低操作费用，减少硫酸生产成本，具有一定的节能降耗作用。

#### 5 结论

装置通过更换旋流网板（空心环）急扩加速流缩放管壳式换热器后，生产负荷稳定，运行效果良好，装置的热量得到了更好地利用，从技术可行性方面看，旋流网板（空心环）急扩加速流缩放管壳式换热器应用效果突出，转化率得到明显提高的同时，尾气二氧化硫排放量也将有所降低，还能创造良好的环境效益和社会效益。

#### [参考文献]

- [1] 王丰华. 管壳式换热器强化传热技术进展[J]. 硫酸工业, 2009(2): 13—17.
- [2] 邓先和. 空心环管壳式换热器工业应用概况[J]. 化工进展, 1997(5): 35—38.
- [3] 邓先和, 叶树滋. 新型换热器在硫酸转化系统中的应用[J]. 硫酸工业, 1996(6): 19—23.

#### 作者简介

王艳红(1977-4), 女, 云南省蒙自市人, 化工工艺工程师, 长期从事磷酸和硫酸的技术管理工作。联系电话: 13577323638, Email: 853048261@qq.com。

# Selection and application of new type heat exchanger in sulphur burning sulphuric acid system

Wang Yanhong

(Yunnan Yuntianhua Limited by Share Ltd red phosphorus branch, Yunnan Kaiyuan 661699)

**[Abstract]** the quick expansion of low resistance and high efficiency of the accelerated flow scaling analysis of tube shell heat exchanger; combined with the actual situation of sulphur burning sulphuric acid plant, after the transformation of heat exchanger in conversion system first hot and cold, the use of hollow scaling tube bundle ring shell and tube heat exchanger with the traditional shell and tube heat exchanger in comparison, heat transfer area can be saved, reducing the heat resistance, reduce the energy consumption of the system, in the conversion system of sulphuric acid plant heat utilization has a very good effect.

换热器, 传热效率, 腐蚀, 运行, 效果[keyword] heat exchanger, the heat transfer efficiency, corrosion, operation, effect