

# 硫磺制酸装置低温位余热回收技术应用与改进

云南天安化工有限公司 云南安宁 650309 杨建全

**【摘要】** 本文介绍了云南天安化工有限公司一期 80 万吨/年硫磺制酸装置 HRS 的工艺、设备、电气仪表、控制系统;对 HRS 的工艺、设备、联锁系统等的优化改进情况、效果进行了分析评价;对以后的硫磺制酸装置进行 HRS 技改提出建议。

**【关键词】** 硫磺制酸 低温位余热 余热回收

## 1 前言

近十多年来随着磷肥等工业的发展,在国内硫磺制酸装置也在快速的发展,全国产量从 585 万吨/年逐年增加到 3300 万吨/年,大大超过硫铁矿制酸、冶炼烟气制酸而居第一。

在硫磺制酸的整个生产过程中,中高温位余热利用较好,但总的余热利用率只有约 65%;如果再设法对低温位余热进行利用,总的余热利用率可以达到 93%,会有极大的节能减排效果、极大的环保效益和一定的经济效益。

低温位热回收系统(HRS)的功能就是从硫酸装置转化烟气中吸收  $\text{SO}_3$ ,回收吸收过程中的热量生产低压蒸汽。

硫酸装置低温位余热回收利用,是进一步改善硫酸生产能耗状况和可持续发展的需要。

云南天安化工有限公司一期 80 万吨/年硫磺制酸装置,是一期 60 万吨/年磷铵和 30 万吨/年湿法磷酸装置的配套项目,是一期“836”工程项目之一,设计能力为日产  $\text{H}_2\text{SO}_4(100\%)2400$  吨。装置以固体硫磺为生产原料,原工艺上采用快速熔硫、机械过滤器除去杂质、机械雾化燃烧、“3+1”两转两吸、三塔单槽浓酸吸收流程。

## 2 一期 80 万硫磺制酸装置 HRS 情况

云南天安化工有限公司一期 80 万吨/年硫磺制酸 HRS 系统,是一期 80 万吨/年硫磺制酸低温位热能回收技改项目,一期 80 万吨/年硫酸装置 HRS 技改项目始于 2007 年 12 月,2009 年 11 月建成。系统按照日产  $\text{H}_2\text{SO}_4(100\%)2500$  吨/日(24 小时)设计,采用美国孟莫克 MECS 公司技术,上海海陆昆仑公司总体设计。当时因公司总体低压蒸汽过剩,不具备开车条件。2011 年 11 月低压蒸汽发电机组建成投产, HRS 具备开车条件,于 2011 年 11 月试车投产。

### 2.1 工艺流程

从一期 80 万硫酸装置省煤器 I 来的  $\text{SO}_3$  烟气进入热回收塔(HRS 塔),与 99.6%浓度的浓酸

进行吸收反应。在 HRS 塔内，自下往上通过填料的烟中的  $\text{SO}_3$  被自上往下通过填料的循环酸吸收；从热回收塔出来的气体送至现有一吸塔，所有剩余的  $\text{SO}_3$  气体基本上被自上往下通过填料的循环酸吸收。自上往下的浓酸聚集在热回收塔底部，并通过位于泵槽内的离心式浓酸液下泵进行泵送循环。来自现有一吸塔的回酸回到原有干吸循环酸槽。见图 1。

在一吸塔，用 MECS 同心圆式 ES 型除雾器替换原一吸塔除雾器。

进入一吸塔的烟气自下往上从塔填料层通过后进入 MECS 除雾器，除去在 HRS 塔和现有一吸塔中生成的酸雾以保护下游的现有冷热换热器。由于在 HRS 塔的吸收机理特性，现有一吸塔出口气体中的酸雾含量稍高于传统的一吸塔，在一吸塔出口作木棒测试足够使木棒变色，但不会影响下游设备或烟囱  $\text{SO}_2$  的排放。

高温浓酸由 HRS 塔泵槽中的循环泵输送到卧式锅炉，出锅炉后分成两部分，其中大部分送到稀释器后返回热回收塔循环；另一小部分酸到 HRS 加热器，将热量传送给 HRS 锅炉给水。从 HRS 加热器出来的酸，自流到现有的干吸循环酸槽与来自现有吸收塔的回酸混合。剩余未回收的热量经现有的酸冷器后移除。

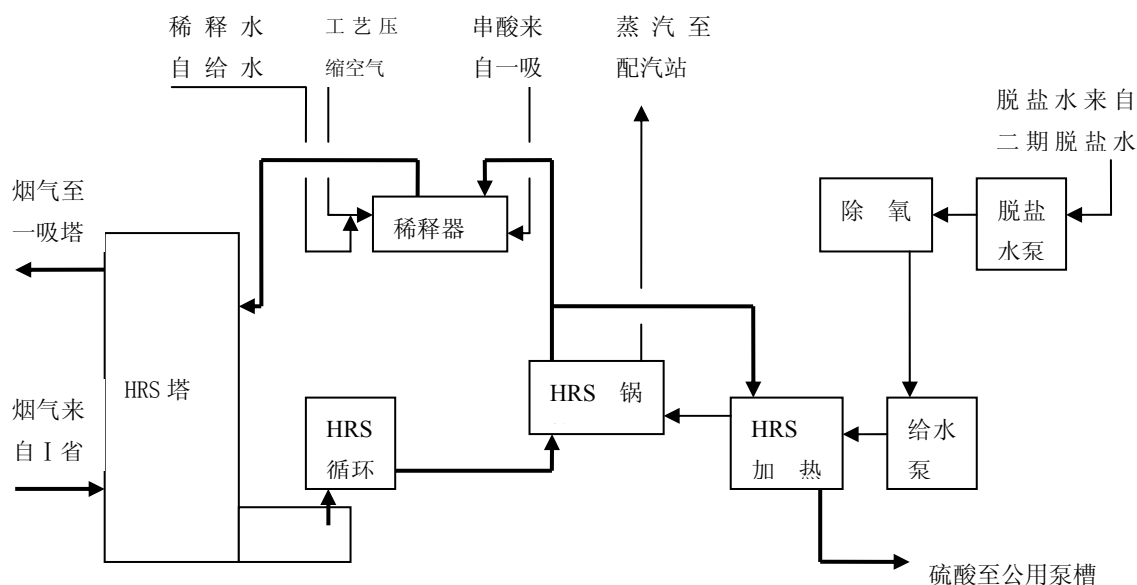


图 1 一期 80 万硫酸 HRS 工艺流程简图

稀释水不断与 HRS 锅炉下游的酸混合，以控制酸的浓度在 99.0~99.3%，与稀释水混合的酸从 HRS 塔顶部进入继续循环。由于加了稀释水和在塔内吸收了三氧化硫的原因，使得循环酸温度升高。循环酸流经锅炉，与沸水换热产生蒸汽。为了保持锅炉中热交换的温差，循环酸温保持在汽化水的沸点以上。

推荐的 HRS 循环酸的浓度上限是 99.6%，高于此值时，HRS 塔内三氧化硫的吸收率下降，从而导致热回收效率下降，并造成现有一吸塔的  $\text{SO}_3$  负荷增大。

脱盐水由泵送至除氧器，除氧后的给水经过 HRS 加热器至 150℃后进入 HRS 锅炉，吸热汽化产生低压蒸汽送至原配汽站供用户。

HRS 锅炉的连排和定排，在 HRS 锅炉排污闪蒸罐内减压至常压，污水排入工厂地沟。

## 2.2 主要设备

### 2.2.1 HRS 塔和泵槽

HRS 塔是一座单级、立式、圆柱型特殊 ZeCor™-310M 材质的不锈钢容器，内径 8,300 mm。塔内装有 76 毫米化学陶瓷矩鞍环填料,填料支撑为 MECS 的 ZeCor™ 310M 不锈钢格栅。

HRS 塔分酸器材质用 ZeCor®-310M 不锈钢，包括酸分配管、分酸槽、玻璃插管、降液管、吊杆等。

塔和泵槽底部可以存酸以利于 HRS 泵运行；设有一个侧面排酸口和一个底部排酸口。

设置了一个人孔可从泵槽平台进入到塔底和分酸器。

HRS 塔泵槽是一台卧式、圆柱型特殊 ZeCor™-310M 材质的槽体，泵槽与塔体通过偏心异径部件连接。

从热回收塔出口到现有一吸塔入口的烟气管道为 304 不锈钢。

### 2.2.2 HRS 循环酸泵

一台湿部件材质为特殊规格不锈钢、叶轮为 LEWMET 15 的路易斯立式液下泵，在扬程约为 16 米和 221 °C 温度时，其流量为 2,000 m<sup>3</sup>/h，用于从热回收塔泵槽输送循环酸通过 HRS 锅炉至热回收塔和 HRS 成品酸串酸到干吸循环酸槽。该泵采用机械轴封，轴封内通入大于工艺气体压力的干空气来实现密封，轴承箱水冷结构。

### 2.2.3 HRS 锅炉

HRS 锅炉为卧式、TEMA BKU 型、按 ASME B&PV Section VIII, Division I 标准设计的锅炉，附带有独立的外部蒸汽净化器。釜形锅炉一端设计成可以打开，用来拆卸 U 型换热管束。来自 HRS 塔泵槽、流量为 1,999 m<sup>3</sup>/h 的酸通过 U 形管管束的管侧，温度从 221℃ 冷却到 200℃，汽包内产出的蒸汽量为 52,904 kg/h，压力为 8.0 巴表压。锅炉为碳钢壳体，管子材质为 ZeCor®-310MT 不锈钢，换热表面积为 681 m<sup>2</sup>。管束的设计和特殊的配管使 U 型管束进出口能够进行调向。

### 2.2.4 HRS 酸稀释器

HRS 酸稀释器是一台按 ASME Section VIII, Division I 设计的衬特氟隆的立式柱形容器，内部带特氟隆稀释水喷淋器位于水平混合处。在高湿度期间，泵槽的浓硫酸可直接串到稀释器。

2.3 此外，还有加热器、除雾器、排酸泵、脱盐水泵、HRS 锅炉给水泵、除氧器、HRS 紧急定排罐等设备。

2011 年 11 月运行至 2012 年 5 月短期停车，经检查设备、管道的耐腐蚀情况良好。

## 2.4 仪表及 DCS 控制系统、联锁

由于硫酸浓度控制的重要性，HRS 系统的在线酸浓分析仪采用环形电导传感器，安装在取样管的外边，这样做一方面避免了探头损坏，另一方面也避免了在流量不足时的仪表失灵情况的出现。共有 4 个电导监测器，一个设置在锅炉酸侧进口，二个设置在稀释器出口，还有一个设置在 HRS 成品酸管道上。

DCS控制：在一期80万硫酸装置原有DeltaV系统进行扩展，操作界面并入原操作站。

综合连锁系统(由酸温、浓度和流量激活)是主要用来避免进入 HRS 塔酸浓低于推荐的 99.0% 下限值等故障或事故，供设有 14 项相互关联的连锁。

### 3 优化改进的项目

#### 3.1 工艺优化改进。

HRS 所产低压蒸汽原指标为 8barg (0.8MPa)、176℃。为更好地与现有蒸汽管网衔接、并更多利用硫酸吸收过程余热，将 HRS 所产低压蒸汽原指标为 0.5~0.65MPa、155~166℃。

通过性能考核，HRS 实际产 0.57MPa、162℃低压蒸汽 0.571t/t100% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (正常湿度情况下)，焓值 1.576×10<sup>6</sup> kJ；原设计正常湿度情况下 8barg (0.8MPa)、176℃蒸汽平均产量为 0.472 t/t100% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>，焓值 1.309×10<sup>6</sup> kJ。

通过两种蒸汽对应焓值比较，相当于优化后的蒸汽产量比原设计增加了 20.40%，折算为 0.57MPa、162℃低压蒸汽 0.0967t/t100% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>，77360 t/a，价值 464 万元/年，低压蒸汽按 60 元/吨计。

当然这样的效果和效益也有设备、仪表连锁系统等优化改进带来的协同作用。

#### 3.2 设备优化改进

##### 3.2.1 高温硫酸循环槽密封

原设计循环酸泵平台在循环槽密封上方，非常不便于循环槽密封的检修、维护；优化后将循环槽密封上方整圈钢平台高度下降，方便于循环槽密封的检修、维护。

##### 3.2.2 高温硫酸管道支撑

在运行中，高温硫酸管道振动大，并传递到了钢平台和设备，危及装置运行，因此对高温硫酸管道支撑进行了改进、加固；对循环酸泵钢平台、稀释器钢平台、锅炉钢平台支撑也进行了改进、加固。降低了高温硫酸管道、钢平台的振动，利于 HRS 的长周期稳定运行。

##### 3.2.3 高温硫酸循环泵

采用国产的高温硫酸循环泵代替进口泵，降低备品备件的采购价格、采购时间周期。

##### 3.2.4 循环酸取样器

改用四氟材质的循环酸取样器，改开口向上方，防止取样时硫酸向水平方向飞溅而伤害人员。

#### 3.3 连锁系统优化改进

通常 HRS 的连锁系统设计都较为复杂，会有造成非系统实际故障而意外停车的潜在问题，这是很多厂不愿意投用 HRS 连锁的原因。通过对原设计的连锁系统进行了研究讨论，作了优化

调整，既能保护装置设备管道，又能避免非系统实际故障而意外停车的问题，使之更适合装置的运行。投用后装置运行稳定。

#### 4 主要工艺指标情况

##### 4.1 HRS 塔阻力

技改时在一吸塔用 MECS 同心圆式 ES 型除雾器替换原一吸塔除雾器。系统投产后，HRS 塔加一吸塔阻力为 7.0 kPa。

##### 4.2 其它主要工艺指标情况

项 目	单 位	控制范围	最高	最低	平均
HRS 塔入口酸浓	%	99.0~99.3	99.36	99.00	99.24
HRS 塔出口酸浓	%	99.5~99.7	99.80	99.45	99.65
一吸塔出口酸雾	mg/Nm <sup>3</sup>	≤45	116.0	33.2	70.78
炉水氯离子	mg/L	≤4	1.67	0.14	0.34

一吸塔出口酸雾比原指标高，这是一段式的 HRS 工艺的特点和缺点，符合预期情况。

#### 5 建议

一期 80 万吨/年硫磺制酸 HRS 技改采用一段式的 HRS 塔，并在原一吸塔，用 MECS 同心圆式 ES 型除雾器替换原一吸塔除雾器，统投产后 HRS 塔加一吸塔阻力为 7.0 kPa；一吸泵功率 280kw，一吸酸量为 1300 m<sup>3</sup>/h。如果采用两级式的 HRS 塔，原一吸塔废除不用，HRS 塔含除雾器的阻力为 5.0 kPa，降低了 2 kPa；减少了原一吸泵，HRS 塔二级酸量为 120 m<sup>3</sup>/h，比前方案降低电耗约 250kw；酸雾量可降低到 40 mg/Nm<sup>3</sup>；后一种技改方案虽然投资略高一些，但阻力低、节能、酸雾量少，有比较明显的技术经济优势。因此建议在以后类似技改时，采用两级 HRS 塔工艺。

#### 6 结语

一期 80 万吨/年硫磺制酸 HRS 技术应用及进一步的优化改进效果较好，优化后的蒸汽产量比原设计增加了 20.40%，增加效益 464 万元/年；设备、管道运行稳定、耐腐蚀情况良好；电气仪表运行正常，DCS 控制系统运行正常；主要工艺指标基本达到要求。

在硫磺制酸装置进行 HRS 技改时，从技术经济上考虑，采用两级 HRS 塔工艺更为合理。

作者：杨建全，云南天安化工有限公司硫酸厂，职称：工程师，  
电话：15368115288；E-mail: yjq97@126.com。