

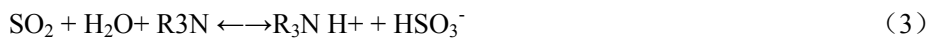
# 新型液体循环吸收法脱硫装置

## 一、新型液体循环吸收法脱硫原理与工艺简介

新型液体循环吸收法脱硫是利用新型溶液对 SO<sub>2</sub> 优良的选择吸收性来完成 SO<sub>2</sub> 的吸收和解吸过程，吸收溶液在解吸出高纯度 SO<sub>2</sub> 后恢复活性，返回脱硫系统继续使用，达到循环利用的效果。吸收溶液是以有机阳离子与无机阴离子为主，添加少量活化剂、抗氧化剂和缓蚀剂组成的水溶液。其脱硫机理如下：



总反应式：



上式中 R<sub>3</sub>N 代表吸收剂，(3) 式是可逆反应，低温下反应 (3) 从左向右进行，高温下反应 (3) 从右向左进行，循环吸收法正是利用此原理，在低温下吸收二氧化硫，高温下将吸收剂中二氧化硫再生出来，从而达到脱除和回收烟气中的 SO<sub>2</sub> 的目的。

工艺流程图如图 1 所示。

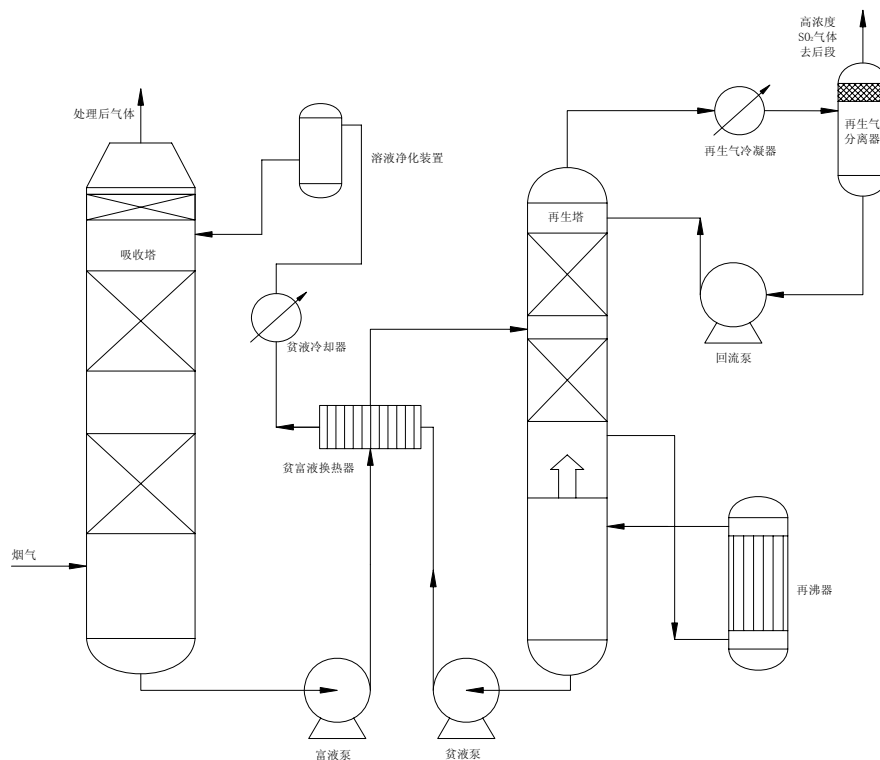


图 1. 新型溶液循环吸收法脱硫工艺流程示意图

烟气进入吸收塔下部，与从吸收塔上部进入的吸收溶液（贫液）逆流接触，气体中的 SO<sub>2</sub> 被吸收。净化后的烟气进入吸收塔上部，经回收液回收夹带的溶液后，从塔顶引出，送至烟囱排空。

吸收了 SO<sub>2</sub> 的溶液称为富液，从吸收塔底经富液泵加压后进入贫富液换热器升温后进入再生塔解吸。富液在再生塔里经过填料后进入再沸器，继续加热至适当温度再生成为贫液。从再生塔底出来的贫液经贫富液换热器和贫液冷却器降温后进入吸收塔上部，重新吸收 SO<sub>2</sub>。

从再生塔内解吸出的 SO<sub>2</sub> 随同蒸汽由再生塔塔顶引出，送入再生气冷凝器冷却，然后去气液分离器。分离后的气体（高纯度的 SO<sub>2</sub>）送去后处理。液体（含 SO<sub>2</sub> 的冷凝液）经回流泵送回至再生塔以维持系统水平衡。

从再生塔出来的贫液经贫液泵加压后送至冷却器冷却后，大部分送吸收塔重新吸收 SO<sub>2</sub>，一小部分送溶液净化系统。吸收溶液净化是通过脱盐槽装置（脱盐槽树脂净化，软化水冲洗及碱液制备和给液装置）来进行盐的脱除和树脂的再生，置换出的热稳定盐被冲洗水带出少量工业废水，送往废水处理站处理后在循环利用。

## 二、金川防城港公司新建年产 160 万 t/a 硫酸工程硫酸尾气脱硫项目

金川集团防城港公司一期年产 160 万 t/a 硫酸工程硫酸尾气脱硫项目是由我公司负责建造的装置。设计烟气处理量 225962.7Nm<sup>3</sup>/h，将尾气脱硫副产的 SO<sub>2</sub> 用来生产硫酸，这样在减排二氧化硫的同时增加了硫酸产量，实现了经济效益与环境效益的统一。

1、硫酸尾气烟气脱硫工艺设计参数见表 1。

表 1. 烟气脱硫设计参数

参数	数值	备注
入口烟气 SO <sub>2</sub> 含量/ (mg/Nm <sup>3</sup> )	1200	
出口烟气 SO <sub>2</sub> 含量/ (mg/Nm <sup>3</sup> )	≤150	国标为 400 mg/Nm <sup>3</sup>
脱硫效率/ %	87.5	
总电耗/kW	242.5	
低压蒸汽用量 (t/h)	7	0.3~0.5MPa
软水 (m <sup>3</sup> /h)	10	0.3~0.6MPa
循环冷却水量 (t/h)	170	0.3~0.6MPa, ≤34℃
首次注入胺量/t	44	
正常吸收液消耗量 (t/a)	7.9	
净化装置废水量 (m <sup>3</sup> /h)	1	

2、表 2 为硫尾脱硫装置主要设备一览表。

表 2. 硫尾脱硫装置主要设备一览表

序号	名称	规格	单位	数量	材质
1	吸收塔	φ5800x27400	台	1	碳钢内衬 254SMO
2	再生塔	φ1400x19800	台	1	不锈钢
3	地下槽	φ2000x2400	台	1	不锈钢
4	吸附槽	φ800x2000	台	1	不锈钢
5	碱液槽	φ2000x2500	台	1	碳钢
6	配碱槽	φ2000x2500	台	1	碳钢
7	再生气分离器	φ1200x6500	台	1	玻璃钢

### 3、脱硫整体装置特点

(1)属于新型湿法脱硫，烟气与液体脱硫剂接触传质效率高，脱硫效率高，可达 99%以上。

(2)吸收剂循环使用，运行费用不随硫含量上升明显增加，与传统脱硫装置相比，综合经济指标具有明显优势。

(3)净化烟气中 SO<sub>2</sub> 含量≤150 mg/Nm<sup>3</sup>，远远低于《国家标准大气污染物综合排放标准》中规定的≤400 mg/Nm<sup>3</sup>。

(4)能耗低，可利用工厂低品位废热。

(5) 装置自动化程度高，运行操作简便。

(6)属于资源回收型环保装置，烟气达标排放的同时，回收了宝贵的硫资源。

(7)装置自 2013 年底投产后，运行平稳可靠，脱硫效率达到预期效果，本套装置的技术水平脱硫指标达到国内领先水平。

### 4、主要设备制造特点

#### 4.1 吸收塔

##### 4.1.1. 选材

目前国内脱硫塔常用的防腐方式包括：专用防腐漆、制作衬里和使用爆破复合钢板。涂刷防腐漆使用寿命短，施工困难，且适用范围窄，不能适用于所有脱硫工艺，对使用温度也有严格的要求。爆破复合钢板成型快，制作简单，但是在爆破的过程可能损伤母材，且内衬材料不容易爆破均匀，实际使用中可能由于局部腐蚀过快而影响整体装置的使用。目前国内烟气脱硫吸收塔的衬里大多采用丁基橡胶、塑料和玻璃钢几种防腐方式，同样也有使用温度受限，使用一段时间后容易老化等缺点。

硫酸尾气脱硫装置的吸收塔内介质主要是吸收了 SO<sub>2</sub> 的吸收溶液体，具有较强的腐蚀性，另

外由于冶炼烟气中 F、Cl 等强酸根离子的存在，合理的选用防腐蚀合金材料是吸收溶液脱硫技术的重中之重。在制作吸收塔时，首次采用了碳钢板内衬 2mm 的 254SMO 不锈钢的复合钢作为壳体。

(1) 254SMO 是一种纯奥氏体不锈钢，较低的碳含量和高含钼量使其具有极高的耐点腐蚀和耐缝隙腐蚀性能，也具有较好的抗晶间腐蚀性。在海水、充气、存在缝隙、低速冲刷条件下，有良好的抗点蚀性能 ( $PI \geq 40$ ) 和较好的抗应力腐蚀性能，是 Ni 基合金和钛合金的代用材料。在酸性介质的各种工业场合，特别是在含卤化物的酸中，254SMO 要远远优于其它不锈钢，是一种高性价比不锈钢，适用于化工、脱硫环保等领域。本次所使用的为瑞典进口 Avesta 集团的产品，其供货状态为退火。

(2) 吸收塔壳体结构为外层碳钢，内表面贴衬 2mm 的 254SMO 不锈钢板，贴衬前需先将碳钢板卷制成型再进行衬里焊接，以防止机械成型对 254SMO 钢板的伤害，还可以避免弯曲应力对焊缝质量的影响。

为了节省现场安装时间，先根据图纸要求在下料场地对衬里薄板进行预排料并逐块标识，薄板的打孔规定间距布置塞焊孔。

采用钨极气体保护焊工艺 (GTAW) 焊接合金与合金、合金与基材以及薄板中央的塞孔焊，焊丝型号为 ER NiCrMo-3。施焊前按工艺卡规定的参数进行一系列试焊，调整焊接参数直至焊接质量合格，焊点颜色呈银白色或淡黄色。最终确定焊接电流约为 120A，焊接电压控制在 10-15V 之间，惰性气体 (99.99% 以上纯度的氩气) 流速控制在适合范围内。

焊接之前，应检查基材是否平整，不得有较大的凹凸，否则影响贴板。对基材进行喷砂处理去除铁锈、氧化皮等杂物，清理干净后应尽快施焊，不跨班不过夜。

施焊过程中，如焊道表面被污染，在进行下一焊道前应进行机械清理 (砂磨) 和丙酮擦洗，严禁在被污染的焊道上再施焊。对 254SMO 合金，不能用碳弧气刨来修整和切孔。可采用切片或等离子切割，等离子切割后应打磨去除金属表面的渣滓。

焊后清理工作非常重要。可用不锈钢丝轮去除焊缝及周围回火色，对可能存在的飞溅、划伤、引弧点等应用细砂轮轻微打磨，露出金属光泽。合金表面的污染物可用丙酮清洗。

(3) 所有的焊接完成后应进行无损检验。

4.1.2. 吸收塔直径为  $\Phi 5800$ ，高度超过 27m，整体吊装重量达 130t，属于大型塔式设备，在制作和安装的过程中需采取科学合理的施工方案以保证安装精度。

(1) 厂内制作：综合考虑施工工期、运输、加工质量、设备精度等多种因素，采用厂内分片、分段卷制成型，现场拼装组焊和吊装的方案。每块壳体板均空出四周不作贴衬，待运至现场组焊完成后，再用合金板对焊缝进行覆盖。

(2) 现场拼装：

吸收塔壳体采用卧式拼装法，由于所有焊缝均为平焊位，焊接操作简单，劳动强度较低，焊

缝质量优良可控。

### (3) 吊装

根据现场的施工环境、作业面情况，以及周边现有的吊装机具的情况，可以采用散装法和分步正装法两种吊装方法，综合考虑，该装置采用分步正装法。

#### 4.1.3 吸收塔内部组件

##### (1) 填料

吸收塔填料的种类很多，根据装填方式的不同，可分为散装填料和规整填料。散装填料又可分为环形填料、鞍形填料、环鞍形填料及球形填料等。相较于散装填料，规整填料具有大通量，能改善液体均匀分布，以提高分离效率及克服放大效应，降低填料层阻力及持液量，以起到节能效果。规整填料在整个塔截面上，集合形状规则、对称、均匀。它规定了气液流量，改善了沟流和壁流现象，压降可以很小。在相同的能量和压降下，与散装填料相比，可以安排更大的表面积，因此效率高。由于其结构的规整性，合理的设计可以做到几乎无放大效应。

吸收塔采用 PP 材质的规整孔板波纹填料。在填料片上开有小孔，可以大大提高传质效率，具有大能量、低压降和高的比表面积，在提高产量，降低能耗，提高效率上有较大的优势。同时由于填料的有序排列，物料中含有的固相颗粒可通过填料的波纹底排出，因此抗堵性能优良，操作弹性比一般通用塔器大，取代散装塔填料，可提高生产能力 5%，提高生产效率 50%。同时具有质轻、价廉的特点，适用大容积塔器。相比于传统散装填料，波纹填料装填和更换方便，装填中不会碎裂产生杂质混入吸收剂中，造成循环系统的堵塞。PP 材质使用温度不大于 90℃，具有很强耐化学腐蚀性。目前国外最大的塑料填料塔已达 11 米，最小可用于直径 200mm 的塔器，可在负压及加压状态下操作。

我们采用的规整填料为 250Y 型，比表面积为 250 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>，空隙率 97%，压力降 130Pa/m，持液量 0.04~0.05m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>。波纹峰高为 11±0.4mm，波纹倾角 45°±1°。

吸收塔采用独特的三段式填料，即吸收段、回收段和除沫段。烟气从塔底进口引入，新型吸收液从塔体中部经液体分布装置均匀流下，烟气与吸收液在吸收段填料中逆流接触，均匀传质，可以吸收烟气中 99% 以上的 SO<sub>2</sub>。净化后的烟气继续上行，穿过集液盘上的升气帽，进入回收段填料，与回收液逆流接触，回收烟气中夹带的吸收液。最后烟气经塔顶除沫段填料，捕集夹带雾沫后送烟囱放空。放空的烟气几乎无夹带液滴，不会在烟囱处产生“下雨”现象。

##### (2) 液体分布装置

液体分布装置的种类多种多样，有喷头式、盘式、管式、槽式等。喷头式液体分布器结构简单，只适用于直径小于 600mm 的塔中，因小孔容易堵塞，一般使用较少。盘式分布器液体直接加至分布盘上，经溢流管流下，一般用于直径小于 800mm 的塔中。管式分布器结构简单，供气液体流过的自由面积大，阻力小，但小孔容易堵塞。

吸收塔液体分布装置选用国内的专利产品。包括贫液进料分布管、贫液槽式液体分布器、回

收液进料分布管和回收液槽式液体分布器。

液体进料分布管属于改进型排管式分布器，除具有一般管式液体分布器的优点外，在副管下面增加了若干均匀分布的喷淋管，相比于小孔，液体流动更平稳可控，也不容易堵塞。

槽式液体分布器由一级槽和二级槽组成，一级槽通过槽底开孔将液体初分成若干股，分别加入其下方的二级槽。二级槽底设有孔道，将液体均匀分布于填料层上。槽式液体分布器具有较大的操作弹性和极好的抗污性，液体分布质量高，气相流动阻力低，液体在填料塔中负荷较大，喷淋孔防堵性较好等特点，特别适合于气液负荷大及含有固体的悬浮物、粘度的分离场合。

实际应用显示，该液体分布装置能够有效防止沟流、偏流、壁流等流动，获得均匀的柱塞流，使得气、液在填料中均匀传质，避免干填料和气体短路现象的产生。

## 4.2 再生塔

### 4.2.1. 结构

再生塔是直径  $\phi 1400\text{mm}$ ，高度 19.8m 的整体不锈钢式常压设备，重量约 12t。塔内置两段不锈钢规整孔板波纹填料，一套集液分布器，一套冷凝液进料分布管，一套槽式液体分布器，一套环槽式液体分布器和一套槽盘是液体分布器。

吸收了  $\text{SO}_2$  的吸收剂（富液）在进入再生塔前会经过贫富液换热器加热，这时会解吸出一部分  $\text{SO}_2$  形成半贫液。所以再生塔内的介质为腐蚀性较低的半贫液和再生出来的  $\text{SO}_2$  蒸汽，316L 材质完全可以满足使用要求。

为节约工期和成本，再生塔在厂内完成组装，整体运至现场，使用 100t 汽车吊整体吊装就位。

### 4.2.2 特点

再生塔配套使用一台再沸器，使半贫液的加热解吸在再沸器内进行，而不需要将蒸汽直接通入再生塔，再生塔按常压容器设计和制造，大大降低了成本和安全隐患。

考虑到再生塔内温度较高，再生填料采用 316L 材质的孔板波纹填料，其余参数与吸收塔相同。

槽盘式液体分布器采用了国内的专利技术，它将槽式及盘式分布器的优点有机的结合一体，兼有集液、分液及分气三种作用，结构紧凑，操作弹性高达 10:1。它具有优良的综合性能：多功能、低占位、抗脏堵、防夹带、弹性高、升液位、适闪蒸、宜采出、利传热、盛漏液、布气均、布液匀、混合平、压降低、投资省、用途广。

与槽盘式液体分布器配套使用的是环槽式液体分布器。半贫液进入再生塔从环槽式液体分布器四周的半圆形缺口流入下层的槽盘式液体分布器内积聚起来，当液位达到其溢流高度，半贫液通过溢流孔均匀喷淋在填料上。

## 4.3 换热器

换热器在整套脱硫装置中的作用至关重要，是 SO<sub>2</sub> 吸收和解吸循环进行的动力所在，换热器的合理选型和稳定运行是保障硫尾脱硫装置运行指标的重中之重。表 3 所示是硫尾脱硫装置所使用换热器的详细信息。

表 3. 硫尾脱硫装置换热器一览表

序号	名称	规格	单位	数量	材质
1	贫富液换热器	M15-BFM	台	1	254SMO
2	贫液冷却器	M10-MFM	台	1	254SMO
3	再生气冷却器	T20-MFM	台	1	254SMO
4	列管式再沸器	DN1100	台	1	碳钢+316L

硫尾脱硫装置使用了两种类型的换热器，即板式和列管式。

贫富液换热器、贫液冷却器和再生气冷却器均选用阿法拉伐公司生产的板式换热器，它独创的金属板设计，是以最小的换热面积提供高热效能，另外板片之间均匀网状分布有许多接触点，使之非常结实和坚固。阿法拉伐先进的板片设计其另一个特点是分流区的设计，这也是阿法拉伐众多专利之一。为便于配置接管，现在的板式换热器的进出口接管都采用单边。要充分利用全部的换热面积，必须保证流体均匀分布在板片。阿法拉伐独特的流区设计，即使对一个最宽的板面，也能保证均匀分布。另一个显著特点是压力降较低，可以使更经济的压力降用于传热，从而获得最高的传热系数。

再沸器属于列管式换热器，除上述的优点外，还有结构比较简单、造价便宜等优点。安装在壳体内部的折流挡板可以提高壳程流体流速，还可防止流体短路、增加流体流速，还迫使流体按规定路径多次错流通过管束，使湍动程度大为增加。

综上所述，本装置为新型的液体吸收法脱硫装置，技术先进、设备新颖、运行稳定、脱硫效果好、运行费用低，在国内处于领先水平。