

增加硫酸装置运行可靠性， 提高节能减排水平的几点设计体会

江苏庆峰工程集团 扬州庆松环境化学工程设计研究有限公司 高庆华

现在对硫酸装置节能减排的要求日益严格。硫酸装置的节能减排既要体现在装置正常运行时对各项工艺技术指标的有效控制，同时也要体现在装置运行的可靠性方面。所谓装置的可靠性是指装置能够长周期稳定运行，能够在保证工艺指标的前提下，达到设计的开车时间和使用寿命。装置具备了长期运行的可靠性，节能减排才会有根本保证。

近期，我公司承包了澳大利亚新星冶炼厂一套铅冶炼制酸装置，在与对方多次交流和对其原有一套制酸装置考察基础上，确定了新上制酸装置的设计方案。在此过程中，澳方特别重视装置运行可靠性的设计，他们希望更多通过细节上的考虑来完善设计，实现装置长周期稳定运行，从而达到高水平“节能减排”的要求。这使我方从中受益匪浅，现就个人的粗浅体会，对工艺和设备的具体设计作一些介绍和谈一些看法。

1. 转化工段预热升温系统的设计：

转化预热升温系统的设计预热气量，国内一般是满负荷烟气量的 20-35%。这是老的设计手册的数据要求。现在来看，这个预热空气量偏小，不能完全满足转化无污染开车和转化长期停车时热吹触媒的要求。转化预热空气量要增加，此次设计即达到系统满负荷气量的 80%。大的预热空气量，可以同时触媒层各段进行预热升温，在系统通气时触媒各段进口温度都要达到起燃温度且蓄热充分。通气时，转化才会在最短时间达到正常状态，再加上启用尾气处理装置，这样才可能真正做到转化无污染开车。

相反，如果按老的预热气量设计，预热空气量偏小，开车通气时主风机抽气量不能过大，否则触媒温度有被冲垮的危险，更重要的是转化各段至正常控制反应温度的时间加长，此过程转化率不达标，有时即使启用一次吸收的尾气处理装置，还是不能确保尾气达标排放，存在开车污染的风险。

其二，设计同时要考虑短期停车后开车，预热系统的“在线”使用。

主风机来的含SO₂烟气直接被预热系统预热后进入转化器，再加上短期停车触媒的原有蓄热量，转化系统会很快达到正常。要做到这一点，预热系统要有能力预热足够大的烟气量，这也是预热系统预热能力要增加的另一个原因。

此外触媒停车时要用热空气热吹触媒，吹净触媒层中的残留的SO₃、SO₂和酸雾，这也是延长触媒使用寿命，保持触媒活性的重要手段，如果热吹触媒的空气量小和热量不够，则起不到“热吹”作用，基本只起到象征性作用，有时对触媒反而还会有害。

2、转化工序换热器材质的选用：

转化工序换热器是硫酸装置中的关键设备，也是目前整个硫酸装置中最容易发生腐蚀和泄漏问题的设备之一。换热器发生泄漏，直接影响到转化率和转化工段的自热平衡，并因此加速转化设备更进一步腐蚀，与装置的节能减排有最直接的关系。

换热器的可靠性除了与换热器的设计、制作、安装和使用中工艺指标的控制有关外，另一个重要因素是换热器的材质选择。目前国内转化换热器材料的选择，普遍是选用 Q235 或 Q345R 做壳体，20g 钢管做换热管，其中热热换热器即 I、II 换热器换热管为防止高温腐蚀或做渗铝或喷铝处理。但国内不少硫酸厂，存在换热器泄漏的情况，只是轻重而已。据调查，泄漏发生最快的换热器只有使用后半年到一年时间，而且不光是冷热换热器发生泄漏，热热换热器也同样发生泄漏。最常见的泄漏是在换热器上管板向下和下管板向上 200-300mm 处的换热管和换热器壳程换热管冷气体进口部位。转化换热器是要长期连续使用的设备，在正常生产中，少有可能进行彻底检查和维修，即使发现有泄漏，也要坚持生产，等待大修时处理。因此换热器的设计选材要有可靠保证。除了采取设计和制造等措施外，提高换热器的材料等级是延长设备使用寿命的一个必要的手段。当然这样做会增加设备投资，但在节能减排的大环境要求下，这样做势在必行。

下面表格所列出的换热器材质选用或推荐使用的材料(III I -IV II 换热流程)，供选用参考：

换热器名称	T _{max} (°C)	传统的材料	选用或推荐使用的材料
I	~600	20g 或渗铝换热管/Q345R 壳体	全 304H 不锈钢
II	~520	20g 或渗铝换热管/Q345R 壳体	全 304H 不锈钢
III	~460	20g 换热管/Q345R 壳体	316L 不锈钢 含管板
IV	~440	20g 换热管/Q345R 壳体	316L 不锈钢 含管板
SO ₃ 冷却器	~300	20g 换热管/Q345R 壳体	316L 换热管/304 管板 Q345R 壳体
空气预热器	~600-750	20g 换热管/Q345R 壳体(底部带内衬)	321SS (热气体进口处壳体带内衬)

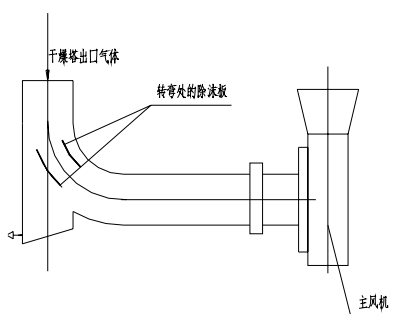
既使提高了换热器的材料等级，澳方对换热器设计的另外要求是两次转化的第一台换热器（若是 3+2 的五段转化，III、I-IV/V、II 换热流程即指的是 III 换热器和第 V 换热器），都要做成 2 台，即前面应设计有一个小的“牺牲部”或称“替死鬼”。“牺牲部”做的尽量小，换热面只占 30% 以下，方便更换检修和节省更换费用。

还有的细节要求是换热器要设置必要的冷凝酸排放口，排放口的阀门和管线一定要采用

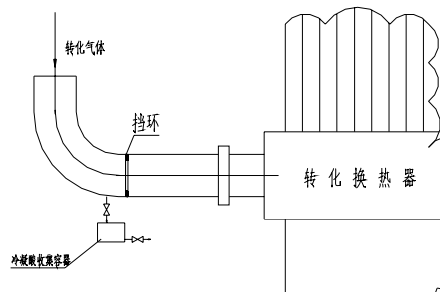
316L 不锈钢材质。这样做的好处是，排放口不容易被腐蚀、堵塞，便于长期运行中的检查和放冷凝酸。相反，国内好多装置，在放冷凝酸时，放不出，以为没有，实际上的碳钢管线已经被腐蚀堵塞不通了。

3、管道设计要求的特点介绍：

3.1 在干燥塔出口至主鼓风机进口管道的合适部位（如 90° 弯头处）、二次转化的第一台换热器冷气体进口管道和其它必要的换热器“冷”烟气进口管道处设置除尘（沫）室，俗称“牛仔靴”，用于收集冷凝酸（或腐蚀物）。冷凝酸要可以收集在一个带阀门的容器中（见参考图-1、2），定期检查排放。管道上设置“牛仔靴”，是对干吸塔除雾（沫）器一种必要补充手段。可以不必花很多钱，在实际生产中可以对设备和管道起到良好保护作用。



参考图-1



参考图-2

3.2 转化工序烟气管道存在着高温和腐蚀性气体及冷凝酸等的共同腐蚀，应同换热器材质一样，严格按介质条件和材料使用规范选用，这样才会满足装置长期运行的要求。

管道材料的选用不但要满足烟气温度使用条件，还要满足转化工段烟气中腐蚀性气体和可能产生的冷凝酸的腐蚀要求。

此次设计管道选用材料温度条件为：350℃以下，选用 Q235-A(B)；烟气温度 350℃-475℃，选用 Q345 或 Q345R；烟气温度大于 475℃，选用 304 或 304H 合金。而这只是单就温度条件而言，如果再考虑烟气腐蚀的因素，则一些低温管道仍要选用高等级的材料，如干燥塔出口至主风机入口管道、进二次转化烟气管道及去一次吸收烟气管道等虽然其使用温度不高，但考虑到腐蚀因素，还是要选用 316L 或 304 合金管道。

3.3 浓酸管道尽量使用高等级的不锈钢材料，减少法兰连接的数量，提高抗腐蚀性，如 304、316L 带阳极保护及更好的 SX/DS、zecor 合金等。

3.4 管道“手杖测试口”设置：

现在国内已经较少使用“手杖测试”或称“木棍测试”这种方法来判断烟气夹带酸沫的情况。这次澳方几次提出要在干燥塔和一吸、二吸塔烟气出口管道设置手杖测试口。说明他们还在

使用。这种方法虽然原始但可以简单、迅速地判断干吸塔的运行情况，在生产中非常实用，所以建议我国的硫酸设计也保留这种简单实用方法，对于生产中故障的迅速判断十分有利。

4、尾气烟囱的设计要求和细节设计：

尾气烟囱的设计应以消除尾气夹带冷凝酸（沫）而导致“烟羽”和酸雨的可能性为要求。国内硫酸尾气烟囱排放速度的设计值现在选用普遍偏高，有的已经达到 12-15 m/s（工况）。排放速度高，尾气夹带酸沫量和硫酸铁灰量增大，导致“尾气带酸和烟羽现象”。澳方意见，尾气烟囱排放速度应保持在 6 m/s，最大也不能超过 8m/s；并且烟囱顶部要设有一个锥形收口，以增加出口气体的排放速率，这样可改善“烟羽”现象。

尾气排放烟囱与国内一样都设有在线尾气SO₂浓度分析仪，但这次外方要求，要在烟囱同一水平面上，设置 4 个采样口，每 90° 一个，以更准确的校正尾气SO₂浓度分析仪和监测尾气夹带酸雾和酸沫情况。

烟囱气体的侧面入口还设置了除沫装置，底部设置的冷凝酸排放管线使用不锈钢材质(316L)并设置“U型管”或类似密封装置。冷凝酸排放管线若采用碳钢，受腐蚀容易堵塞管线，此处在生产上又不会经常去检查，使冷凝酸无法排除，故有时会造成尾气莫名其妙带酸或“烟羽”现象。

5、设备部分：

5.1. 干吸塔分酸器位置向上部位壳体设置带光源的对称视镜。

相信在硫酸现场长期工作过的工艺人员都有过这样的体会，为尾气烟囱突然“冒大烟”查不到原因而着急。如果是操作等方面的原因是很好判断的，但如果是干吸塔内部的原因，特别是容易出问题的干吸塔分酸器发生异常，就不好判断，究竟是干吸塔的哪一个塔出现问题，需要全面停车检查，比较麻烦。如果设计带光源的视镜，在运行中可以观察分酸器工作和气体带雾情况，再结合“手杖测试”的手段，就可以很快做出判断，可以减少一些盲目的环境恶劣的如掏瓷环等检查工作，节省了检查和检修时间。

5.2 干吸塔除雾（沫）器的设置：

干吸塔的除雾（沫）器，在使用中，不少厂家不同程度出现被腐蚀的现象。除雾（沫）器被腐蚀，在塔的内部，不容易被发现，即使发现了，有的厂也只有选择强行继续生产，要等到大修或合适机会才能维修更换，因此除雾（沫）器的设计和选材要可靠。

此次设计重点是，除雾（沫）器的材料如金属丝网、网垫及纤维除雾器的管板等材质要根据净化烟气中所含杂质的不同进行选择，不能普遍的、不加以区别使用诸如 316L、304 等材料，特别是冶炼烟气制酸和硫铁矿制酸，烟气中杂质复杂，要区别对待。比如净化烟气中含有 Cl⁻ 离子，长期生产中一样会带到干吸工序中，在塔内酸雾（沫）中富集，腐蚀如 316L 等奥氏体不锈钢。实际上，Cl⁻ 离子对玻璃纤维也是有腐蚀的，只是年限不同而已。

另外澳方技术人员特别强调，纤维除雾器要改为悬挂式。吸收塔烟气出口必须设置在吸收塔顶部，不许侧面出口，其主要目的是要防腐和保证除雾效率。

5.3 转化器触媒装满后，其上方的顶部空间和触媒层下部还要留有足够的空间，不光是要给筛分触媒人员工作方便，能站直工作，更重要的是上方留有较大的空间，相当于一个“静压”的气体分布室，有利于气体在触媒层的均匀分布，以获得高的转化率。

6、净化工序的配置：

净化指标控制的好坏，是提高制酸装置运行可靠性、减低尾气SO₂排放量和生产优质硫酸的保证。

本人曾经参观过国外两套“很老”的制酸装置（冶炼制酸），无一例外的净化工序很早都使用了3级洗涤+2级电雾净化流程，我认为这是其装置能够平稳运行很久的一个重要原因。相对于国内普遍净化配置2级洗涤+2级电雾的流程，制酸部分因为净化指标得到保证，系统能够更稳定的运行。土耳其的一家冶炼制酸装置，使用的是中国产触媒，据现场技术人员介绍，使用了几年与使用其他国家进口触媒并无明显区别，我想，这或许是国产触媒在干净的烟气净化环境中使用，也能发挥其应有效能。

澳方对于净化设备的配置非常认真，非常强调设计的针对性，甚至是繁琐。如其根据原料气所含杂质的不同，净化工段要配置除汞塔用来除去烟气中的汞；设置水玻璃加入装置用于除去烟气中的氟；烟气中含硒等，易堵塞设备，则在设计冷却塔时将填料分成2段设置，下层填料高度约1米，剩下的填料布置在上层，两层之间设人孔门和压力测点等。

净化工序的设计重要性自不必多说，主要的体会是净化工段的设计要有针对性，要根据烟气（炉）气的特点有针对性的配置净化流程和设备选择，不能照搬照抄，一概而论。

以下表格是澳方提出的铅冶炼装置净化工段的工艺控制指标和成品酸质量要求：

项目	净化工段出口烟气控制指标 (mg/Nm ³)	成品酸质量要求 (ppm)
Pb	<0.5	<1
Fe	<4.0	<20
Se	<0.1	<0.2
Te	<0.5	<1
As	<0.5	<1
Cu	<0.5	<1
Sb	<0.5	<1
Hg	<0.25	<0.5
Zn	<0.5	<1
Cl	<2.2	<5
F	<0.5	<1
Solids	<1.0	<10 (g/t)
主风机出口烟气含固体颗粒物	≤1 mg/Nm ³	
主风机出口气体含酸雾	≤0.0025g/Nm ³	
主风机出口气体含水分	≤0.08g/Nm ³	

由以上表格中数据可以看出2个特点即净化指标的规定要求很详细，也很严格。

7. 关于硫酸装置区内废、污水的流向：

现在一般的制酸装置，其主要污水如净化工段排放的含酸污水大都基本得到了较好处理，这里讲的是设计上不易引起注意的其它废、污水的走向。

以硫铁矿制酸为例，装置区内还有产生废、污水的地方是焙烧工段的炉前风机冷却水和转化工段主风机的冷却水；排渣设备的冷却水、排渣增湿器尾气的除尘污水；净化、干吸工段检修设备冲洗水或事故状态的废酸等。这些废、污水的处理要因地制宜，其走向要在设计过程中就要明确做出设计。要做到在界区内尽量合理利用，减少外排。污水的排放要做到“雨污”分流。

要实现干净的生产，至少要将净化工段、干吸工段和成品工段设置在单独的围堰内，围堰内设单独区域污酸泵，将收集的含酸污水送入污水处理净化或回收系统。而围堰还应设置与厂区排水沟连通的通道，用插板调节，围堰内在下雨后的初期含酸污水用区域污酸泵打走，后期清洁雨水则打开围堰与排水沟连通的插板，通过排水沟自流出厂外。

8、提高装置可靠性设计的投入费用问题

提高装置的可靠性设计，有的地方是需要增加很大投资的，比如采用更高等级的材料来保障换热器的使用寿命等。从长期运行的角度考虑，该花的钱，还是要花，多花的钱不但会产生一定经济效益还会具有重要的社会效益。而增加一些周全细节的设计，并不需要增加多少投资，但会取得好的运行效果，给装置生产操作和节能减排带来便利。国内不管哪家设计或施工的硫酸装置大多都可以投产使用，但仔细观察，运行效果的差别还是很大的，主要是设计、施工的细节要做到合理和全面。

以上一些增加硫酸装置运行可靠性、提高节能减排水平的设计和看法，定有不当之处，敬请各位批评指正。谢谢大家。