

HRS 技术在中小型硫酸装置的应用

上海海陆昆仑高科技工程技术有限公司 曹真

【摘要】本文介绍了对原有中小型硫酸装置进行低温位热回收技术改造涉及的不同 HRS 工艺流程、各流程的特点、适用范围及典型案例。并且还介绍了 MECS 公司针对国内硫酸市场的现状，推出适合于中小型硫酸装置企业的“经济型”、“多合一”HRS 技改模式，从而降低改造建设成本，缩短投资回收期，让企业尽快完成技术结构调整，完成节能减排、循环经济的任务。

【关键字】硫酸装置 HRS 技术 经济型 能源回收 节能减排

2003 年双狮（张家港）精细化工有限公司 100 万吨/年硫磺制酸装置中首先引入 MECS 公司低温热回收系统（HRS 技术），就此拉开了 HRS 技术在国内硫酸装置中广泛应用的序幕^[1]。到目前为止，国内已有 40 多套的硫酸装置中使用了 HRS 技术，从已开车的项目看来其稳定、可靠的优势均已显现。

HRS 技术进入国内市场初期，由于关键设备及特殊合金材料都为进口，投资成本较高，主要应用在大型新建硫酸装置中。但随着“十二五”以来，国家面临产业结构调整，在“节能减排”、“资源综合利用”，“循环经济”等方面相继出台一系列宏观调控政策，对硫酸工业的发展产生了重大的影响^[2]。对于现在的硫酸企业而言，企业间竞争不断加剧，很难靠生产硫酸获取有效的经济利益，尤其是中小型硫酸厂，开始更加注重生产过程中热能的回收利用，纷纷通过对原装置进行技术改造，使得废热回收的经济价值更大化。HRS 技术作为清洁发展机制（CDM）重点发展的 24 类温室气体减排措施之一，也进入了《国家重点节能技术推广目录（第一批）》，得到国家节能减排政策的支持，这些都使的 HRS 技术越来越受到国内中小型硫酸企业的青睐。至今为止，国内已有 20 多套中小型硫酸装置（年硫酸生产能力 10~40 万吨）通过技改升级增加了 HRS 系统。下面就从技术及效益方面简单介绍 HRS 技术在这些中小型硫酸装置的应用。

1 HRS 技术简述

自从 1984 年 HRS 技术诞生以来，在近 30 年时间里 MECS 对技术的完善及改进从未间断。致力于解决高温酸吸收对金属材料腐蚀问题、改进工艺流程使其最合理、改善仪表及控制系统使其装置稳定性提高及提出最新 HRS 模式使其降低建设成本等。至今为止，全球已有 80 多套装置运行或在建，此技术已然成为了稳定、可靠、成熟的标准化工业技术。

表 1 MECS 公司 HRS 技术的发展史

时 间	技术成果
1984 年	HRS 技术诞生，节能减排，资源充分利用的里程碑；
1987 年	第一套 HRS 装置建成投产；第一代
90 年代初	改进热回收塔，分酸器，提高SO ₃ 吸收率；第二代
90 年代中后期	改善仪表及控制系统，稳定性提高；第三代
21 世纪初期	带蒸汽喷射，增加蒸汽产量，减少设备尺寸，降低建设成本；第四代
现今	HRS SteaMax 系统，产汽量进一步提高，待市场化

1.1 HRS 技术的主要自控要求

对于一家化工企业而言，装置安全、长期稳定的运行，降低装置的维护周期及维护时间，那就意味着效益。MECS 本着先进、安全可靠、操作便捷的控制理念，HRS 系统设置有一系列联锁控制系统，主要有如下两点：

(1) 酸浓控制：HRS 技术为高温的工况下进行浓硫酸吸收反应，一旦高温浓硫酸的浓度降低至控制范围之外，其腐蚀性将数量级的上升，可能对整个装置系统、人身安全带来灾难性的影响，所以 HRS 技术中酸浓的控制为重中之重。HRS 装置管道上配置有多个进口酸浓仪进行在线实时检测，并配套定时实验室取样检测，如有出现酸浓异常变化，就立刻促发联锁，保证整个装置安全。

(2) 液位的控制：由于 HRS 二级吸收所需浓硫酸、高湿度下 HRS 稀释器的串酸都从原有干吸酸系统引入，再加上 HRS 塔内吸收的 SO₃ 所产生的硫酸，为了维持 HRS 泵槽内液位，需要将这部分的浓硫酸输送至原有干吸酸系统泵槽。尤其对于不同生产能力的两个或多个硫酸装置联合配套 HRS 系统而言，在控制好不同 HRS 塔泵槽液位的同

时，也要考虑合理的将HRS产酸分配至不同的硫酸装置，使得多个硫酸系统的酸、水平衡。

1.2 HRS 技术在国内推广的合作模式

为了能让国内的硫酸企业多使用 HRS 技术，利用 MECS 的 HRS 工艺技术和提供关键设备的优势再结合我公司总承包工程方面的优势，从而降低 HRS 装置的建造成本，同时还保证 MECS 提供的 HRS 技术品质不变，这样也就会让更多的硫酸企业从中受益。我公司于 2002 年开始与 MECS 公司合作，经过十多年的发展，对于采用 MECS 硫酸技术的装置，设计、采购、施工及装置开车方面积累了相当的工程经验。近些年，我公司以总承包的形式完成了 30 余套 HRS 装置的建设，已经形成了成熟的“一条龙”服务体系。

对于原有硫酸装置上增设 HRS 系统，往往没有足够的预留场地，我公司会经过前期细致的勘察，综合考虑设备的布置及管道的走向等问题，做出合理的初步设计反馈给 MECS。由 MECS 公司完成 HRS 界区内的基础设计并提供工艺包，我公司再进行土建、钢结构、管道等详细设计。我们不仅考虑 HRS 装置界区内的设计，还为用户全面的考虑相应 HRS 装置配套的公用工程、原干吸酸系统的改造、DCS 冗余控制点等。

在现场设备、管道的制作及施工中，ZeCor 合金材料的焊接是特别重要的一环。我公司已具备完善的 ZeCor 材料的焊接工艺体系，长期拥有数十名专业的 ZeCor 材料焊接人员，这些人员均通过严格的焊接考核后持证上岗。另外，为了严格保证现场施工的质量，MECS 公司会派遣第三方监理进行一些关键性节点的检查。

当 HRS 装置机械竣工后，MECS 及 CER 公司都会派遣有着丰富 HRS 装置操作经验的人员，对用户的操作人员进行培训、指导，完成试车、开车工作，以便于用户相关操作人员尽早具备独立操作 HRS 装置的能力。

2 国内原有中小型硫酸装置不同的 HRS 技改方案介绍

根据国内原有中小型硫酸装置企业的各自特点，MECS 提出了多种 HRS 工艺技术改造方案，以此来满足不同用户的具体需求。现将几个具有代表性的技改 HRS 工艺流程介绍如下：

2.1 利用原有一吸塔作为 HRS 塔的第二级吸收的流程

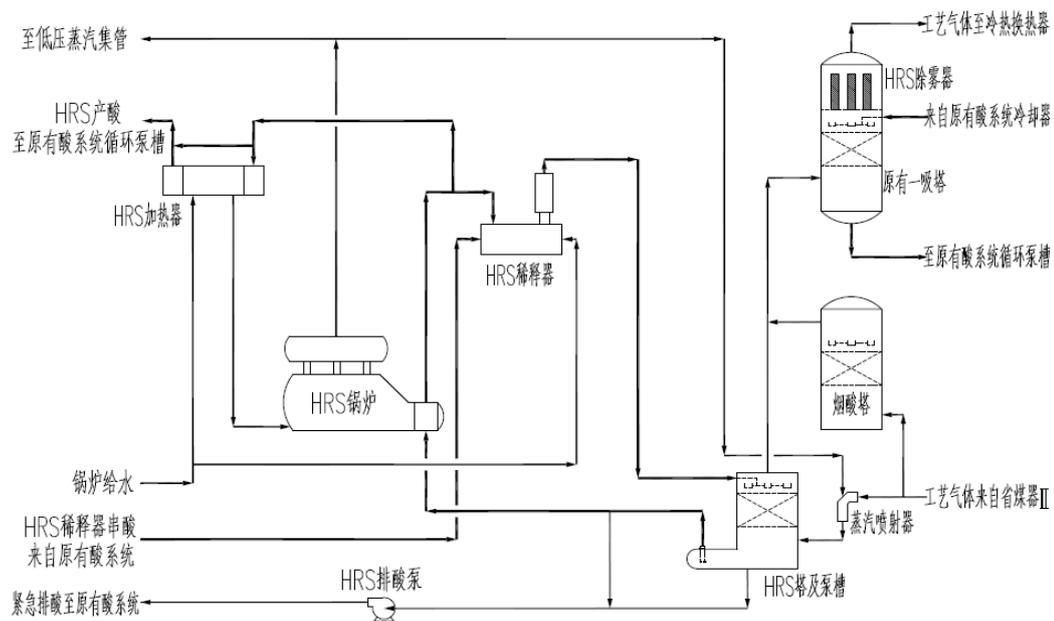


图 1 HRS 技术工艺流程图 1

从图 1 中可见，此 HRS 技术工艺流程主要适用于原有中小型规模硫酸装置有生产烟酸的技改项目。主要流程简述如下：

1) 烟气系统：来自原有转化工段省煤器 II 的工艺气体分为两股分别进入 HRS 塔及原有烟酸塔。一股工艺烟气进入 HRS 塔前先与低压蒸汽（来自 HRS 锅炉自产蒸汽并减压）混合后，自下而上流经 HRS 塔（作为一级吸收）的填料层，工艺气体中的大多数 SO_3 被高温浓硫酸吸收后，流出 HRS 塔与烟酸塔出口工艺气体混合后，自下而上流经原一吸塔（作为 HRS 塔二级吸收）的填料层，用低温浓硫酸吸收工艺气体中残余的 SO_3 ，再通过原一吸塔顶部的新更换的 HRS 专用除雾器后，进入冷热换热器。

2) 酸系统：一级 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 99% 高温循环酸在填料层自上而下与工艺气体接触，吸收 SO_3 后流入 HRS 塔底泵槽，由 HRS 酸循环泵输送至 HRS 锅炉，与来自 HRS 加热器的锅炉给水进行换热，生产低压蒸汽。经过 HRS 锅炉冷却后浓硫酸分为两股，一大股浓硫酸进入 HRS 稀释器，通过加水将浓硫酸稀释至 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 99%，然后返回 HRS 塔分酸器。另一小股从 HRS 锅炉冷却后的浓硫酸流经 HRS 加热器，加热锅炉给水后进入原有酸系统泵槽。HRS 装置设计有紧急排酸系统，由 HRS 排酸泵将酸快速输送至原有酸系统泵槽。在高湿度的情况下，由于空气中含有大量的水分，为了维持原有硫酸系统的水平衡，需要从原有酸系统输送部分浓硫酸至 HRS 稀释器，作为 HRS 系统加水的一部分。

3) 汽水系统：来自除氧器的低压锅炉给水先进入 HRS 加热器，被加热后的锅炉给水进入 HRS 锅炉，继续加热汽化产生低压蒸汽。HRS 产生的低压蒸汽中一小股通过减压后喷射与进 HRS 塔的工艺气体混合，其余进入用户低压蒸汽管网。

此 HRS 工艺流程中新建 HRS 塔只有一层填料，作为一级高温酸吸收；保留了原有一吸塔及酸循环系统，作为二级低温酸吸收。由于增加 HRS 装置之后，酸雾会比传统流程产生的更多，为了保护下游冷热换热器等设备，将原一吸塔顶部原有除雾器更换为 HRS 专用除雾器。在 HRS 塔工艺气体管道进出口设置旁通，满足当 HRS 装置停车的时候，原有硫酸装置仍能够单独运行。

该HRS工艺流程特别适合带有烟酸系统的硫酸装置的技改，其典型案例为：江苏40万吨/年硫磺制酸装置HRS技改工程，日产900吨 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 98%硫酸和 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 104.5%烟酸，设计的吨酸产汽率为0.53，2011年11月一次开车成功，现各项经济指标达到设计要求。

2.2 不利用原有一吸塔，新建两级 HRS 塔的流程

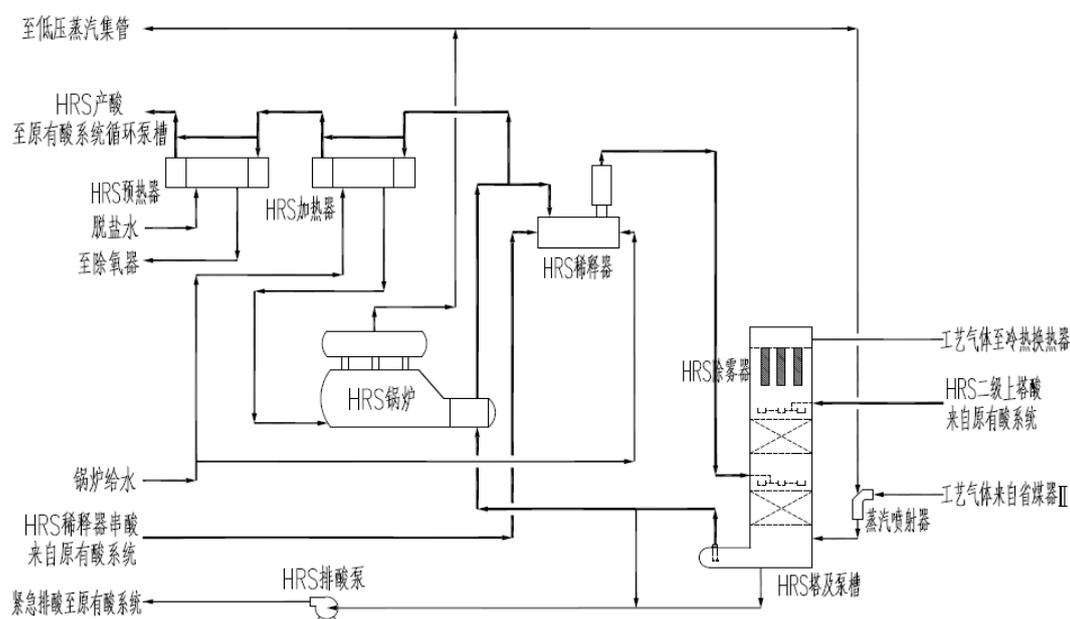


图 2 HRS 技术工艺流程图 2

从图 2 与图 1 的工艺流程对比可看，图 2 的HRS工艺流程中HRS塔为两段填料塔，HRS专用除雾器安装在HRS塔顶部，原有一吸塔系统取消。来自省煤器II的工艺气体自下而上通过 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 99%高温浓硫酸及 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 98%低温浓硫酸两段吸收后，经过塔

顶除雾进入冷热换热器。在酸流程方面，有一股来自原干吸酸系统的 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 98%低温浓硫酸至HRS塔二级段分酸器，在二级填料层自上而下工艺气体接触，吸收残余的 SO_3 后，与一级段高温浓硫酸混合进入塔底部泵槽。高温浓硫酸流经HRS加热器，加热锅炉给水后，接着进入HRS预热器，继续加热脱盐水，进一步回收热量，最后进入原有干吸酸系统泵槽。被加热后的脱盐水进入除氧器，可节省除氧器低压蒸汽的用量。

该HRS工艺流程适用于不利用原有一吸塔吸收系统的硫酸装置的技改，其典型案例为：镇江索普 32 万/吨硫磺制酸HRS技改工程，日产 980 吨 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 100%硫酸，设计的吨酸产汽率为 0.48，2010 年 4 月一次开车成功，现各项经济指标达到设计要求。

2.3 不同规模的硫酸装置合用的 HRS 流程

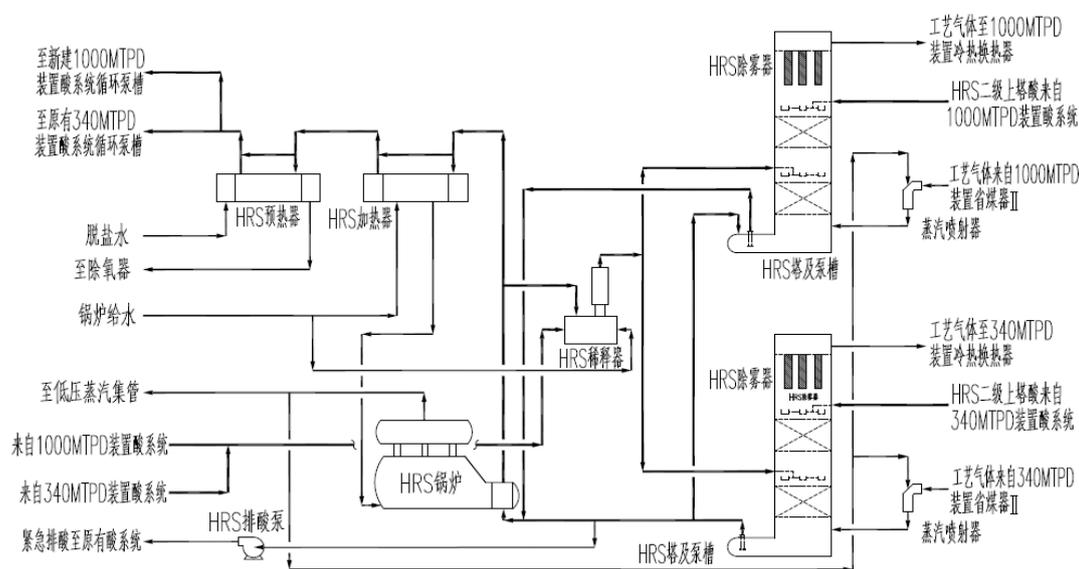


图 3 HRS 技术工艺流程图 3

从图 3 中可见，此 HRS 工艺流程为不同生产能力的两个硫酸装置“二合一”配套 HRS 系统的技改项目。主要流程：

1) 烟气系统：来自不同规模硫酸装置的省煤器 II 的工艺气体分别进入相应的 HRS 塔，经过 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 99%高温浓硫酸及 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 98%低温浓硫酸两段吸收，塔顶 HRS 专有除雾后再分别进入各自装置的冷热换热器。

2) 酸系统：规模稍小装置的 HRS 塔泵槽中的高温浓硫酸首先被输送至规模稍大装置的 HRS 塔泵槽，再由规模稍大装置的 HRS 酸循环泵将高温浓硫酸输送至 HRS 锅炉，加热锅炉给水产生低压蒸汽，换热后的高温浓硫酸分为两股，一大股酸进入 HRS 稀酸

器，通过加入稀释水将其浓度降为 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 99%后分别返回至两个装置的HRS塔一级段分酸器，高温吸收工艺气体中的 SO_3 后，回到各自HRS塔泵槽。另一小股高温酸先流经HRS加热器，加热锅炉给水，然后流经HRS预热器，继续加热脱盐水，最后分别进入两个装置的干吸酸系统泵槽。HRS二级吸收所需的 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 98%低温浓硫酸分别来自两个装置各自的干吸酸系统，低温酸吸收工艺气体中残余的 SO_3 后，回到各自HRS塔泵槽。在高湿度的情况下，为了维持两个硫酸装置的水平衡，需要从各自装置干吸酸系统输送部分浓硫酸至HRS稀释器，作为HRS系统加水的一部分。

3) 汽水系统：来自除氧器的低压锅炉给水先进入HRS加热器，与高温浓硫酸换热，加热后的锅炉给水进入HRS锅炉，继续加热汽化产生低压蒸汽。HRS产生的低压蒸汽分出两小股通过减压后喷射与进HRS工艺气体混合，其余进入用户低压蒸汽管网。

此工艺流程可适用于两个不同规模的硫酸装置技改增加的“二合一”HRS系统，两套硫酸装置可以都为老装置技改或“一老一新”。此工艺在烟气管道、酸及汽水管道路都设置相应的旁通，确保满足两套硫酸装置同时运行或只运行其中一套装置的工作，以此适应用户平时生产状况的要求。其典型案例为：湖北中孚1340MTPD硫磺制酸HRS技改工程，原有装置生产能力为日产 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 100% 340吨，新建装置生产能力为日产 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 100% 1000吨，设计的吨酸产汽率为0.44，此装置正在建设中，估计2014年7月投料运行。

3 不同的HRS模式对经济效益的影响

HRS技术就是通过回收低温位热，产生低压蒸汽，从而大大降低了硫酸厂的成本。HRS锅炉取代了传统吸收的酸冷却器，把由循环冷却水带走的热量转移到加热锅炉给水生成低压蒸汽上。如果循环水温升按 8°C 计，则每生产1t硫酸可减少40t左右循环冷却水耗量。同时，生产每吨 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 100%的硫酸可利用低温位热生产0.5以上的低压蒸汽。HRS低压蒸汽可直接用作发电或推动其他透平机，还可作为厂区内部其他工艺热源，形成循环经济项目，更具有经济性。

近些年，MECS针对国内硫酸装置及企业的特点，逐步调整和完善市场的战略。除了大型硫酸装置外，MECS也同时希望帮助中小型硫酸企业进行HRS技术改造，顺

利完成技术转型，不被市场淘汰。然而 HRS 系统的经济效益高低取决于很多因素，其中装置的规模有着首当其冲的影响。由于小型装置能量回收总和的限制，随着规模越小，用户配套 HRS 系统的投资回收期也将相应变长。MECS 经过不断的探索及尝试，针对国内中小型硫酸装置技改项目推出了“经济型”及“多合一”HRS 技改模式，以此来降低 HRS 装置的建设成本，满足用户企业投资成本在可接受范围之内。

a. “经济型” HRS 模式^[3]

“经济型” HRS 模式相比于应用于大型装置的“经典型”，“经济性”在确保装置稳定性和可靠性的前期下，最大限度的将设计、材料和非核心设备国产化，从而降低 HRS 装置的建设成本。具体的实施措施如下：

1) 技术设计方面：基础设计由 MECS 完成，其中关键指标蒸汽产汽率保持不变，尽可能扩大国内详细设计方的工作范围。

2) 设备方面：HRS 装置的核心设备由 MECS 供货，如除雾器、稀释器等。其他设备尽可能扩大国内供货及加工范围。

3) 建设周期方面：缩短至 12 个月之内。

值得一提的是，在国内已建 20 多套中小装置改造的项目中，极大多数装置为“经济型” HRS 模式。“经济型” HRS 的建设成本对于国内中小型企业来说是在可接受的成本范围之内。从几年来的运行经验来看，“经济型” HRS 模式在技术指标、运行和维护成本等方面与“经典型”基本没有区别。

b. “多合一” HRS 模式

有些用户企业有二套或多套中小型的硫酸装置需要技术改造配套 HRS 系统，或者用户需要新上一套新硫酸装置再与原有装置配套 HRS 系统。MECS 公司本着资源整合，资源利用最大化的原则，推出了“二合一”或“多合一”的 HRS 模式。此类 HRS 模式最大程度的回收二套或多套硫酸装置的热量，将建设成本降低，使得用户的经济效益最大化。“多合一” HRS 模式需要设计人员考虑硫酸装置单套或多套同时运行的工况，这使得 HRS 装置的负荷变化较大，对于仪表控制及自动化要求比较高。MECS 经过多年的实践研究，已经拥有相当成熟的工艺流程及仪表控制方案。图 3 中 HRS 工艺流程图所描述的案例是湖北中孚“二合一”硫磺制酸 HRS 技改项目。湖北中孚企业原有一套日产 340MTPD(折 100%硫酸)的硫磺制酸装置，如配套 HRS 系统来回收

低温位热，由于生产规模较小，其投资的回收期将较长。正好由于企业整体战略的需求，需新建一套日产 1000MTPD（折 100%硫酸）的硫磺制酸装置。MECS 根据用户现实需求，完成设计方案，使得二套装置的热量回收最大化，也同时将 HRS 系统的建设成本降低，总的投资回收期提前。

4 结语

近些年，由于受到国内经济结构的宏观调控影响，硫酸行业进入缓慢发展期，甚至出现产能过剩的现场，导致硫酸装置的开工率下降，逐步淘汰现有装置的落后产能，尤其对于中小型装置冲击很大。MECS 针对现在国内硫酸市场的现状，希望帮助中小型硫酸装置企业进行技术的改造，推出适合中小型硫酸装置的“经济型”及“多合一”HRS 模式。从而降低 HRS 装置的建设成本，帮助企业尽快完成节能减排，循环经济的要求，让企业走进绿色发展之路。

【参考文献】

- [1] 丁华. 双狮精细化工 3000 kt/d 带 HRS 硫磺制酸装置[J]. 硫酸工业, 2008 (1): 33-38.
- [2] 全国硫酸工业信息站. 节能减排和循环经济是我国硫与硫酸工业未来的发展方向[A]. 中国硫酸工业协会. 2013 年硫酸行业技术交流会论文集[C]. 北京: 中国硫酸工业协会, 2013, 1-9.
- [3] 彭海波, 方旭东. 孟莫克经济性 HRS 的实践[A]. 中国硫酸工业协会. 2013 年硫酸行业技术交流会论文集[C]. 北京: 中国硫酸工业协会, 2013, 126-128.