

磷矿伴生超低品位碘资源回收工业化技术研究

彭宝林, 吴有丽, 项双龙*

(贵州开磷集团股份有限公司, 贵州 贵阳 551109)

摘要:通过采用空气萃取法工艺实现磷矿伴生超低品位碘资源的回收,采用 H_2O_2 作氧化剂将磷酸车间稀磷酸及氟硅酸中的碘离子催化氧化成碘分子,通过空气萃取吹出法将混合酸中的碘分子以气相吹入 SO_2 循环吸收液中,通过 SO_2 还原剂将碘分子还原为碘离子,当吸收液中碘离子浓度达到 $30\sim 70\text{ g/L}$ 后,以 $CaCO_3$ 和铝盐絮凝剂净化碘吸收液,之后将 H_2O_2 氧化剂通入吸收液中,碘离子再次被氧化为碘分子,经液固分离即得到碘产品。通过控制成本在 15 万元/t 时,碘总回收率约为 70% 。通过在某磷酸车间建造 $2\times 50\text{ t/a}$ 碘回收装置,成功实现含碘稀磷酸和含碘氟硅酸共用1套碘回收装置。该碘回收装置新增产值约 $2\,500\text{ 万元/a}$,实现利润超过 $1\,000\text{ 万元/a}$ 。

关键词:磷矿;超低品位;碘回收;工业化技术;催化氧化;空气萃取工艺

中图分类号:TQ126.3

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2017)08-0162-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.08.037

Industrial technology to recover ultra-low grade iodine resource associated in phosphate rock

PENG Bao-lin, WU You-li, XIANG Shuang-long*

(Guizhou Kailin Group Co., Ltd., Guiyang 551109, China)

Abstract: The ultra-low grade iodine resources associated in phosphate rock are recovered by air extraction process. Under the existence of catalyst, using H_2O_2 as oxidant, iodine ions in dilute phosphoric acid and fluorosilicate acid from the phosphoric acid workshop are oxidized into iodine molecules. Then the iodine molecules in the mixed acids are blown into SO_2 circling absorption solution by air extraction blowing process and then are reduced into iodine ions by SO_2 reduction agent. When the concentration of iodine ions in the absorption solution reaches $30\sim 70\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, the absorption solution is purified with $CaCO_3$ and aluminum salt flocculant. After that, H_2O_2 is led into the absorption solution to oxidize iodine ions into iodine molecules once again. Finally, the iodine product is obtained through separating liquid and solid. If the recovery cost is controlled to be less than $\text{RMB}150\,000$ per ton iodine, then the total recovery rate of iodine is about 70% . Two 50 t/a iodine recovery lines are constructed at a phosphoric acid workshop, the recovery of iodine resources in both dilute phosphoric acid and fluorosilicate acid can be realized in a same recovering line. These two iodine recovery lines can annually increase production value by about $\text{RMB}25$ million, and achieve a profit of more than $\text{RMB}10$ million per year.

Key words: phosphate rock; ultra-low grade; iodine recovery; industrial technology; catalytic oxidation; air extraction process

碘被誉为生命元素、智慧元素,是植物和人体生长不可缺少的元素,是制造无机或有机碘化物的主要原料,也是许多化学反应的良好催化剂。碘化工产品广泛应用于食品、医药、染料、冶金、合成橡胶、农业、国防尖端科技等诸多行业。全球碘的需求日趋强劲。碘是稀缺资源,世界上的碘矿资源主要有智利硝石、海藻及地下卤水。随着易开采利用的碘矿资源日益枯竭,碘的价格不断攀升。当前,全球碘

的产能约为 20 kt/a ,主要产地集中于日本、智利及美国。碘在国际市场上是有价无市的稀缺物资。碘的下游产品大都为高附加值产品。碘酸钾、碘仿、碘化铯、聚维酮碘及高聚碘等其他碘制品的利润极高。我国碘的产能约为 800 t/a ,碘的消耗量约为 $3\,000\text{ t/a}$,并且以每年 5% 的速度递增^[1]。我国是缺碘国,主要依赖海水中提碘和进口碘。

当前,碘的生产方法主要有离子交换法、活性炭

收稿日期:2017-02-07

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2016]2313)

作者简介:彭宝林(1986-),男,工程师,从事磷化工生产技术研究工作;项双龙(1988-),男,硕士,工程师,研究方向为磷煤化工生产工艺技术,通讯联系人,0851-87714306,neimengxsl@163.com。

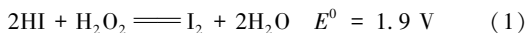
吸附法、溶剂浮选法、沉淀法(铜法和银法)、有机溶剂萃取法、特殊的催化氧化法及空气萃取法等^[2-8]。传统的碘生产方法对原料含碘量要求较高,经济效益较差。当前,除智利从含碘矿石中提碘以外,国外大多数国家均主要依赖海水提碘。磷矿伴生碘资源回收工业化技术的研究鲜有详细报道^[9-12]。我国云贵川鄂等地的磷矿石中均伴生有碘的氧化物,碘储量丰富。贵州省磷矿资源居全国之首,已探明储量(金属)为27亿t,远景储量上百亿吨,磷矿石中伴生有碘的氧化物,平均含碘量在19~76 mg/kg。其中磷块岩中伴生碘的储量为暂难利用储量。贵州开磷集团磷矿石中伴生碘的平均品位仅约40 mg/kg,属于超低品位碘资源,回收技术难度较大。

本研究通过对开磷集团某磷酸车间含碘稀磷酸及含碘氟硅酸进行处理,有效回收磷矿伴生超低品位碘资源,避免碘的无序排放,同时达到废气、废水环保综合治理的目的。本技术开创了磷矿伴生超低品位碘资源作为碘工业原料的新纪元,改变了世界碘工业原料资源格局。全球已探明的磷矿总储量约为500亿t,主要分布在非洲、北美、亚洲、中东、南美等60多个国家和地区,按磷矿伴生碘的平均品位30 mg/kg计,本技术的实施等于为世界贡献一个150万t的新的碘矿资源,可供使用50~70年。本研究的成功将为众多的磷矿山和磷化工企业提供示范效应,使丰富的磷矿伴生碘资源得到充分回收,避免资源浪费,具有广泛而积极的社会效益。

1 技术原理

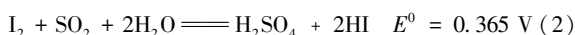
1.1 碘离子催化氧化及碘分子还原吸收原理

二水法湿法稀磷酸及氟硅酸中碘主要由游离的碘分子与碘离子组成,采用 H_2O_2 作氧化剂与稀磷酸及氟硅酸中的碘离子发生如下反应:



在298.15 K时,反应(1)的标准吉布斯自由能 $\Delta G^0 = -358.87 \text{ kJ/mol}$,反应(1)可进行得很彻底,可将碘离子(I^-)氧化成碘分子(I_2)。而碘分子难溶于水,可用空气萃取吹出。

采用 SO_2 作还原剂与从稀磷酸及氟硅酸中吹出的碘分子发生如下反应:

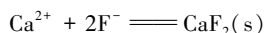


在298.15 K时,反应(2)的标准吉布斯自由能 $\Delta G^0 = -404.97 \text{ kJ/mol}$,反应(2)可进行得很彻底,可将碘分子还原成碘离子。

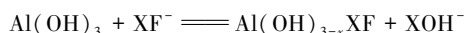
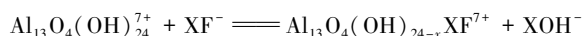
1.2 碘净化精制原理

对于含氟较高碘吸收液,氟主要以 F^- 形式存

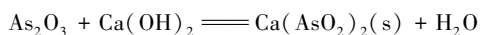
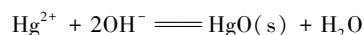
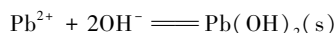
在,向碘吸收液中加入钙盐利用 F^- 与 Ca^{2+} 反应生成难溶的 CaF_2 沉淀而达到除氟的目的,反应如下:



在钙盐脱氟的基础上,铝盐的加入会使 Al^{3+} 与 F^- 络合生成羟基氟化铝化合物以及铝盐水解中间产物,另外 Al^{3+} 还会生成 $Al(OH)_3$ 絮体对 F^- 进行配位体交换、吸附、网捕作用而去除碘液中的氟,反应如下:



此外,由于在高氟碘液中加入铝脱氟剂之后,溶液整体呈现碱性,这也使得碘液中 Pb 、 Hg 分别以氢氧化物、氧化物形式被沉淀分离, As 生成难溶的砷酸盐被沉降分离,从而进一步降低脱氟氧化后固体碘中的杂质含量,反应如下:



2 磷矿伴生碘回收工艺研究

研究发现,开磷集团某磷酸车间使用磷矿石中伴生碘资源约60%进入稀磷酸中,约25%进入萃取尾气洗涤吸收系统,其中稀磷酸中含碘约40 mg/kg,萃取尾气洗涤吸收液-氟硅酸中含碘约25 mg/kg。采用 H_2O_2 作氧化剂将23%(P_2O_5)稀磷酸及10%氟硅酸中的碘离子催化氧化为碘分子,通过空气萃取吹出法将稀磷酸及氟硅酸中的碘分子以气相吹入吸收液- SO_2 水溶液中,通过 SO_2 还原剂将碘分子还原为碘离子,当吸收液中碘离子浓度达到一定值后,将 $CaCO_3$ 及铝盐絮凝剂依次通入吸收液中,净化除去碘吸收液中残余的氟化物、磷石膏及铅汞砷等杂质元素,经液固分离后将 H_2O_2 氧化剂通入滤液中,碘离子再次被氧化为碘分子,经液固分离即得到碘产品。磷矿伴生碘回收工艺过程包括碘离子催化氧化、碘分子空气萃取、碘分子还原吸收、碘吸收液净化除杂及碘产品析出工序。研究发现,碘离子催化氧化最佳工艺条件为:30% H_2O_2 氧化剂加入体积分数为0.5%~3.0%,反应温度为60~90℃,反应时间为10~30 min;碘分子空气萃取最佳工艺条件为:气液体积比为80~150,反应温度为65~95℃;碘分子还原吸收最佳工艺条件为: SO_2 水溶液质量分数为2%~10%,反应温度为20~50℃,吸收液中碘离子浓度为30~70 g/L;碘吸收液净化除杂最佳工艺条件为 $CaCO_3$ 及铝盐絮凝剂用量为

理论加入量的 105%~110%;碘产品析出最佳工艺条件为:30% H₂O₂ 氧化剂用量为理论加入量的 105%~120%,反应温度为 10~40℃,反应时间为 10~30 min。

3 磷矿伴生碘回收工业化技术研究

3.1 工艺流程

磷矿伴生超低品位碘资源回收工艺流程如图 1 所示。将来自磷酸车间的温度为 70~85℃ 的 23% (P₂O₅) 稀磷酸及 10% 氟硅酸通入催化氧化槽内,利用计量泵于混合酸输送管线三通上通入 30% H₂O₂ 氧化剂,启动搅拌桨均匀搅拌混合酸,H₂O₂ 氧化剂加入体积分数为 0.5%~3.0%,物料停留反应时间为 10~30 min。将氧化后的含碘分子的混合酸通过泵由萃取塔上部通入塔内,鼓风机将常温过滤净化后的空气由萃取塔下部通入塔内,塔内自上而下喷淋的含碘分子混合酸与自下而上吹入的空气与萃取塔板间充分接触并发生传质反应,萃取塔内气液体积比为 80~150,碘分子经由空气萃取分离后随气相由萃取塔顶部吹出,萃余液混合酸由萃取塔底部通入混合酸浓缩系统。混合酸中的氟硅酸在浓缩过程以 SiF₄ 气态形式高效蒸发分离并由氟吸收系统回收处理得到高品质的 12% 氟硅酸并用于生产无水氟化氢及氟硅酸钠产品,浓缩后得到高品质的 45% (P₂O₅) 浓磷酸用于生产高浓度磷复肥产品。由萃取塔顶部吹出的含碘分子气体通入换热器壳

程,利用冷水泵将凉水塔循环冷却水通入换热器管程进行气相冷却,换热器中循环冷却水换热后返回循环水热水池,利用热水泵将热水通入凉水塔进行冷却,冷却后的循环水靠重力作用流至冷水池再次循环使用。含碘分子气体经换热器换热降温至 10~40℃ 后由填料吸收塔下部通入塔内,来自吸收循环槽内浓度为 2%~10% 的 SO₂ 水溶液由填料吸收塔上部通入塔内喷淋洗涤吸收碘分子,吸收塔洗涤吸收后的气相通入尾气洗涤系统处理后达标排空,当吸收循环槽内吸收液中碘离子浓度达到 30~70 g/L 后将吸收液通入一级净化槽上部,启动搅拌桨均匀搅拌吸收液并加入 CaCO₃ 进行一级净化,一级净化槽底部浊液放入浊液槽,净化后的上清液通入二级净化槽上部启动搅拌桨均匀搅拌吸收液并加入铝盐絮凝剂进行二级净化,二级净化槽底部浊液放入浊液槽,浊液槽上清液返回吸收液循环槽,底部废渣返回磷酸车间萃取槽,净化后的上清液通入氧化析碘槽,启动搅拌桨均匀搅拌吸收液并通入 30% H₂O₂ 氧化剂,30% H₂O₂ 氧化剂用量为理论加入量的 105%~120%,反应时间为 10~30 min,碘离子再次被氧化为碘分子,碘分子晶体不断成长,当析碘槽内溶液的氧化电位达 540 mV 时,95% 以上的碘已析出。析碘槽上清液部分返回催化氧化槽,部分返回吸收液循环槽。浓碘液经氧化析碘槽底部通入滤液槽过滤,滤液返回吸收液循环槽,碘结晶滤饼通过人工转运至离心机经液固分离即得到碘产品。

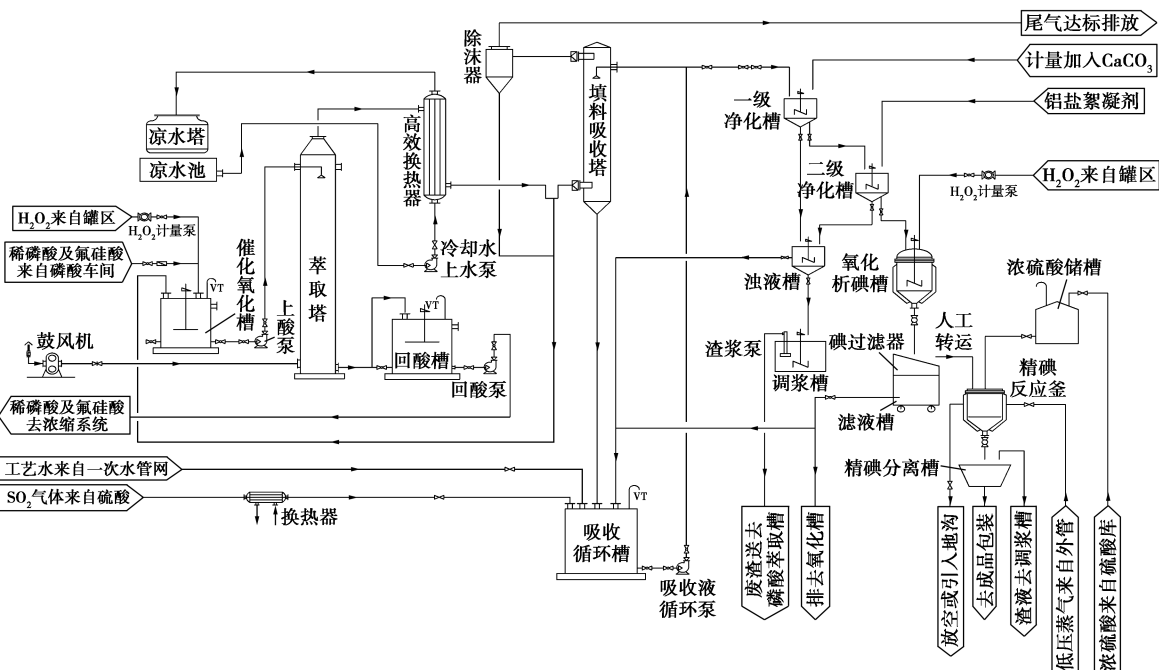


图 1 磷矿伴生超低品位碘资源回收工艺流程图

3.2 操作要点

(1) H_2O_2 氧化剂通过计量泵加入混合酸输送管道上混合三通内,氧化剂进口管线前设置止回阀防止混合酸倒流氧化剂管线。根据混合酸于输送管中流速及催化氧化速度,混合三通夹角角度为 $45^\circ \sim 60^\circ$ 。

(2) 常温过滤净化后的空气沿萃取塔下部切线方向通入塔内,使混合酸产生旋流,萃取塔板采用鼓泡式筛板,筛板开孔率为 15%,开孔孔径为 20 mm,强化萃取传质过程。

(3) 控制萃取塔操作温度为 $65 \sim 95^\circ\text{C}$,防止在萃取反应过程中混合酸温差变化过大造成混合酸中杂质沉淀析出堵塞萃取鼓泡式筛板,延长萃取塔运行周期。

(4) 萃余液混合酸由萃取塔底部通入传统的稀磷酸浓缩装置内,混合酸中的氟硅酸在真空蒸发浓缩过程以 SiF_4 气态形式高效蒸发分离并由氟吸收系统回收处理得到高品质的 12% 氟硅酸并用于生产无水氟化氢及氟硅酸钠产品,浓缩后得到高品质的 45% (P_2O_5) 浓磷酸用于生产高浓度磷复肥产品。

(5) 控制氧化析碘槽搅拌转速为 $50 \sim 70 \text{ r/min}$,使析碘槽内吸收液不出现漩涡。于析碘槽内低速添加 H_2O_2 氧化剂,控制 H_2O_2 氧化剂加入流量为 $30 \sim 60 \text{ mL/min}$,观察吸收液颜色变化,当颜色由淡红色-酒红色-深红色-黑褐色过渡过程中逐渐降低搅拌浆转速至 $30 \sim 50 \text{ r/min}$,降低氧化剂加入流量为 $15 \sim 35 \text{ mL/min}$ 。

(6) 萃取塔筛板、换热器及填料吸收塔清洗剂采用 12% H_2SiF_6 和 30% H_2O_2 以体积比为 1:3 配置混合液,清洗液温度为常温。该清洗工艺可快速清除系统积垢,显著提高装置开机率。

4 工业化效果

开磷集团磷矿石开采量达 $8\,000 \text{ kt/a}$,磷矿石中伴生碘的平均品位约 40 mg/kg ,碘资源开采量约 320 t/a ,但该碘资源属于超低品位碘资源,回收技术难度较大。通过采用空气萃取法工艺实现磷矿伴生超低品位碘资源的回收,通过控制碘资源回收成本在 15 万元/t 时,碘总回收率约为 70%。通过在某磷酸车间建造 $2 \times 50 \text{ t/a}$ 碘回收装置,成功实现含碘稀磷酸和含碘氟硅酸共用 1 套碘回收装置,降低装置建设投资,节约生产成本,提高生产效率。本装置的控制采用 DCS,在提高装置运行质量和保证安全生产方面都具有较高的优越性和可靠性。总体控

制以集中控制为主,整个生产过程及主要动设备的运行状态在控制室集中显示,主要操作均可在控制室内完成。该装置已达达产运行。碘回收装置新增产值约 2 500 万元/a,实现利润超过 1 000 万元/a,经济效益显著。碘回收装置的成功建成投产,使开磷集团磷矿资源得到了高效综合回收,避免了资源浪费,且充分发挥了资源的最大效能,避免碘的无序排放,同时达到废气、废水环保综合治理的目的,除去有害物质对环境的污染,具有良好的环境效益。

5 结论

本研究通过采用空气萃取法工艺实现磷矿伴生超低品位碘资源的回收,通过控制碘资源回收成本在 15 万元/t 时,碘总回收率约为 70%。通过在某磷酸车间建造 $2 \times 50 \text{ t/a}$ 碘回收装置,成功实现含碘稀磷酸和含碘氟硅酸共用 1 套碘回收装置,降低装置建设投资,节约生产成本,提高生产效率。碘回收装置新增产值约 2 500 万元/a,实现利润超过 1 000 万元/a。

工业磷矿主要是海相沉积矿。海相沉积磷矿伴生碘已是一个不争的事实。本研究首创磷矿伴生超低品位碘资源的大型一体化提取装置,装置结构新颖紧凑有效,实现单套设备同时提取、富集及净化磷酸车间稀磷酸和氟硅酸中碘资源。特殊结构的静态混合反应器加速了低浓度碘催化氧化反应。采用常温空气萃取碘,实现最大限度地提高磷氟碘的分离效果。采用两段净化工艺,确保产品碘的质量。紧贴生产实际的系列创新成果解决了磷矿伴生超低品位碘资源回收产业化进程中的关键难题。本技术是目前世界上唯一一种可用磷矿伴生极超低品位碘资源工业化生产碘的经济有效的新技术、新工艺、新方法。本研究使过去被废弃的、在磷肥生产中耗散并污染环境的、“暂难利用”的磷矿伴生超低品位碘资源成为了人类的财富,亦改变了世界碘工业生产的格局,环保效益和社会效益显著。本研究成果使贵州这个极度缺碘、碘缺乏病猖獗的省份成为了我国的碘资源大省。碘资源优势已成为贵州省磷化工企业的技术优势、新兴产业优势,成为贵州省新的经济增长点指日可待。本技术可直接应用于国内外其他大型磷化工企业回收碘。如国内昆阳磷矿、瓮福磷矿,美国佛罗里达、北卡罗米纳和西部磷矿,北非摩洛哥、阿尔及利亚、突尼斯磷矿,俄罗斯卡拉塔乌磷矿,哈萨克斯坦磷矿等海相沉积岩磷矿。本技术对

(下转第 167 页)

级水洗可脱除大部分 NO_2 , 因此烟气中剩余 NO_x 成分主要为 NO , 最后进入 SCR 系统进行脱硝, 达标后排放至烟囱。

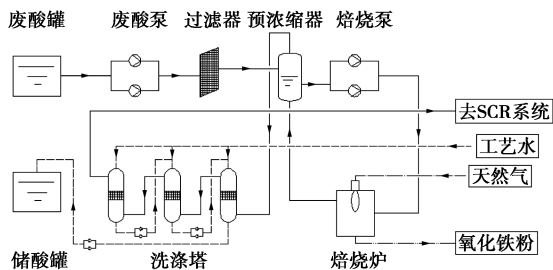


图1 酸洗线混酸再生流程

表1为某特钢企业提供的焙烧炉再生烟气经水洗后的烟气参数。可知烟气体积量较小仅为 $8\ 195\ \text{m}^3/\text{h}$, 烟温较低仅为 $40\sim 60^\circ\text{C}$, NO_x 含量折算后高达 $37\ 381\ \text{mg}/\text{m}^3$ (干基, $8\%\ \text{O}_2$)。

表1 预脱硝烟气参数

名称	含量	组分/ $(\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1})$	折算值
烟气体积	$8\ 195\ \text{m}^3/\text{h}$	365.83	
温度	$40\sim 60^\circ\text{C}$		
NO	1.89%	6.92	$37\ 381\ \text{mg}/\text{m}^3$ (干基, $8\%\ \text{O}_2$)
H_2O	5.98%	21.89	
O_2	6.23%	22.79	6.63% (干基)
N_2	72.86%	266.56	
HF	0.003%	0.01	
CO_2	13.03%	47.66	

表1中 NO 含量折算值按式(1)计算:

$$\text{NO}_{x,8\%\ \text{O}_2,\text{dry}} =$$

$$\left\{ (Q_{\text{wet}} \times y_{\text{NO}} \times 46 \times 10^6) / [22.4 \times Q_{\text{wet}} \times (1 - y_{\text{H}_2\text{O}})] \right\} \times \left[(0.21 - 0.08) / (0.21 - y_{\text{O}_2,\text{dry}}) \right] \quad (1)$$

式中, Q_{wet} 为湿基烟气体积量; $y_{\text{H}_2\text{O}}$ 为湿基烟气中 H_2O 的体积分数; y_{NO} 为湿基烟气中 NO 的体积分数; $y_{\text{O}_2,\text{dry}}$

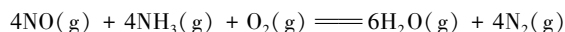
为干基烟气含氧量。

根据 GB 16297—1996《大气污染物综合排放标准》, 该新建混酸再生系统烟气 NO_x 排放浓度应不高于 $240\ \text{mg}/\text{m}^3$ ($8\%\ \text{O}_2$ 下), NO_x 的脱除率高达 99.4%, 脱除率 η 按式(2)折算:

$$\eta = (\text{NO}_{x,8\%\ \text{O}_2,\text{dry}} - 240) / \text{NO}_{x,8\%\ \text{O}_2,\text{dry}} \quad (2)$$

2 SCR 工艺比选

酸洗烟气经水洗后的 SCR 系统中, 可以考虑只有 NO 气体, NO 、 NH_3 和 O_2 在脱硝催化剂的表面吸附, 反应生成无害的 H_2O 和 N_2 , 脱硝后随烟气排放, 反应方程式如下:



查阅相关资料, 以氨气为基准的脱硝化学反应热按式(3)计算; 脱硝氨气的耗量 n_{NH_3} 按式(4)计算; 烟气的比热容 \bar{C}_{pm} 按式(5)计算; 最终, 烟气脱硝反应热致使的系统温升 ΔT 按式(6)计算。

$$\Delta rH_m^\ominus = (1/v_{\text{NH}_3}) \times \sum_B v_B H_m^\ominus(B) \quad (3)$$

$$n_{\text{NH}_3} = Q_{\text{wet}} \times y_{\text{NO}} \times (\eta / 22.4) \quad (4)$$

$$\bar{C}_{\text{pm}} = \sum_{i=1}^n y_i \times C_{\text{pm}i} \quad (5)$$

$$\Delta T = (n_{\text{NH}_3} \times \Delta rH_m^\ominus \times 10^3) / (n_{\text{烟气}} \times \bar{C}_{\text{pm}}) \quad (6)$$

以表1中的烟气参数, 经过式(1)~式(6)计算, 由 SCR 系统反应热引起的温升约为 228°C , 因脱硝催化剂活性范围 $260\sim 430^\circ\text{C}$, 若直接进行脱硝, SCR 系统出口温度将达到 $488\sim 658^\circ\text{C}$, 将直接引起催化剂的高温失活。另外, 初始预脱硝烟气温度仅为 $40\sim 60^\circ\text{C}$, 因此需额外热源将烟气温度提升至 260°C 以上, 本系统考虑采用燃烧器开车使用, SCR 出口产生的较高反应热可通过 GGH 来预热 SCR 入口的烟气, 尤其当 GGH 预热后烟气温度高达 260°C

(上接第165页)

从我国大量的地下盐卤和油气田地下水卤中低浓度碘的回收, 亦有积极的指导意义。项目的远景经济效益丰厚。

参考文献

- [1] 张红映, 雷学联. 中国碘资源和碘化工生产与消费[J]. 磷肥与复肥, 2011, 26(2): 76-78.
- [2] 王景刚, 冯丽娟, 相湛昌, 等. 碘提取方法的研究进展[J]. 无机盐工业, 2008, 40(11): 11-14.
- [3] 史春英, 胡宏, 解田, 等. 碘回收方法及发展现状[J]. 磷肥与复肥, 2011, 26(6): 6-8.
- [4] 张承屏, 李天祥, 朱静, 等. 碘的回收方法及其在磷化工中的应用[J]. 磷肥与复肥, 2012, 27(6): 7-10.

- [5] 苗钧魁, 冷凯良, 许洋, 等. 活性炭吸附法回收海带化工提碘废水中的碘[J]. 无机盐工业, 2010, (10): 54-55.
- [6] 孙克萍, 陈肖虎, 陈效军, 等. 黄磷废水的综合治理及碘回收工艺研究[J]. 化工矿物与加工, 2007, 36(9): 6-8.
- [7] 魏剑英, 许炎妹, 韩周祥, 等. 含碘废液中碘的回收[J]. 无机盐工业, 2007, 39(9): 47-49.
- [8] 王彤. 液膜技术提取碘的研究[J]. 化学通报, 1995, (1): 28-30.
- [9] 杨跃华, 罗如意. 湿法磷酸中碘的回收利用[J]. 无机盐工业, 2013, 45(1): 8-9.
- [10] 陆显石. 从稀磷酸中回收碘工业化常见问题及应对措施[J]. 贵州化工, 2010, 35(3): 19-21.
- [11] 汤正河, 孙纯国, 刘璐, 等. 从湿法磷酸副产品氟硅酸中提碘的研究[J]. 贵州工业大学学报: 自然科学版, 2006, 35(4): 46-49.
- [12] 宋锡高, 宋子瞻. 磷矿伴生碘的回收及其精制加工[J]. 化学工业与工程技术, 2014, 35(4): 38-42. ■