



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101817575 A

(43) 申请公布日 2010.09.01

(21) 申请号 201010196948.0

(22) 申请日 2010.06.10

(71) 申请人 中国华电工程(集团)有限公司
地址 100035 北京市西城区西直门内大街
273 号华电工程大厦 B 座 503
申请人 华电水处理技术工程有限公司

(72) 发明人 韩买良 沈明忠

(74) 专利代理机构 北京联创佳为专利事务所
(普通合伙) 11362

代理人 郭防

(51) Int. Cl.

C02F 1/463(2006.01)

C02F 103/18(2006.01)

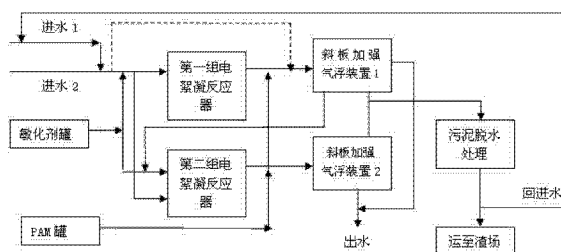
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 1 页

(54) 发明名称

电絮凝回收处理脱硫废水的方法和装置

(57) 摘要

本发明公开了一种电絮凝回收处理脱硫废水的方法和装置,脱硫废水经收集进入电絮凝反应器,然后进行固液分离,分离后的澄清出水回用于电厂的冲灰渣系统或直接排放,泥渣输送到污泥处理系统进行脱水,污泥处理系统的出水回流至进水系统。与现有技术相比,本发明采用电絮凝技术取代复杂的化学法回收处理脱硫废水,能有效去除废水中的污染物,对重金属的处理率可达 95%~99%,对氯的处理率可达 80% 以上,COD、氨氮等去除率可达 90% 以上,并大大缩短了处理时间,提高了处理效率,节省了投资费用;而且,该电絮凝处理装置体积小、占地特别少;无需外加絮凝剂;环保性能好;成本低。



1. 一种电絮凝回收处理脱硫废水的方法,其特征在于:脱硫废水经收集进入电絮凝反应器,然后进行固液分离,分离后的澄清出水回用于电厂的冲灰渣系统或直接排放,泥渣输送到污泥处理系统进行脱水,污泥处理系统的出水回流至进水系统。

2. 按照权利要求1所述电絮凝回收处理脱硫废水的方法,其特征在于:通过药剂添加系统向电絮凝反应器中添加敏化剂,并向固液分离系统中添加聚丙烯酰胺。

3. 按照权利要求2所述电絮凝回收处理脱硫废水的方法,其特征在于:敏化剂的添加量为0.2公斤/吨水;聚丙烯酰胺的添加量为2PPM。

4. 按照权利要求1所述电絮凝回收处理脱硫废水的方法,其特征在于:电絮凝反应器运行时的PH值控制在4-9;工作压力为0.1-0.6Mpa;工作水温5-25℃。

5. 按照权利要求1所述电絮凝回收处理脱硫废水的方法,其特征在于:电絮凝反应器由电源和电絮凝管组成;所述电源优选采用高频电源。

6. 按照权利要求1、4或5所述电絮凝回收处理脱硫废水的方法,其特征在于:电絮凝反应器为管式结构的单极式高频脉冲电絮凝反应器;其阳极材料为铁或铝。

7. 按照权利要求6所述电絮凝回收处理脱硫废水的方法,其特征在于:单极式高频脉冲电絮凝反应器处理脱硫废水的工艺参数为:脉冲频率0.15~0.2kHz、电流密度14~17mA/cm²、电解时间30~60min。

8. 按照权利要求1所述电絮凝回收处理脱硫废水的方法,其特征在于:固液分离采用斜板加强气浮装置,气水比为10~12:1,分离区表面负荷5.4~15m³/(h.m²)。

9. 采用权利要求1-8中任一项所述方法回收处理脱硫废水的装置,其特征在于:包括进水系统、电絮凝反应系统、固液分离系统和污泥处理系统,电絮凝反应系统包括控制系统和电絮凝反应器两个部分,进水系统、电絮凝反应系统、固液分离系统和污泥处理系统依次相连接,污泥处理系统经回流管与进水系统连接。

10. 按照权利要求9所述电絮凝回收处理脱硫废水的装置,其特征在于:还包括敏化剂添加装置和聚丙烯酰胺添加装置组成的药剂添加系统,敏化剂添加装置与电絮凝反应器相连接,聚丙烯酰胺添加装置与固液分离系统相连接。

11. 按照权利要求10所述电絮凝回收处理脱硫废水的装置,其特征在于:敏化剂添加装置通过螺杆泵、管道、管道混合器与电絮凝反应器连接。

12. 按照权利要求9所述电絮凝回收处理脱硫废水的装置,其特征在于:电絮凝反应系统采用一级、两级或多级,两级或多级电絮凝反应系统之间同时采用串联、并联两种方式连接。

13. 按照权利要求12所述电絮凝回收处理脱硫废水的装置,其特征在于:电絮凝反应系统还包括一级惰性电极电絮凝反应器,其阳极材料为惰性材质。

14. 按照权利要求9所述电絮凝回收处理脱硫废水的装置,其特征在于:固液分离系统由斜板加强气浮装置组成,其排放口后设有在线检测仪表。

15. 按照权利要求9所述电絮凝回收处理脱硫废水的装置,其特征在于:控制系统由计算机、可编程控制器PLC及其执行机构和检测仪表组成。

16. 按照权利要求14或15所述电絮凝回收处理脱硫废水的装置,其特征在于:检测仪表包括进水压力计、流量计和出水COD检测装置。

电絮凝回收处理脱硫废水的方法和装置

技术领域

[0001] 技术领域：本发明涉及一种电絮凝回收处理脱硫废水的方法和装置，属于废水处理技术领域。

背景技术

[0002] 烟气脱硫是目前世界上唯一大规模商业化应用的脱硫方式，是控制二氧化硫污染的主要技术手段。石灰石—石膏法是目前使用最广泛的一种烟气脱硫法，它能高效脱除烟气中的二氧化硫。锅炉烟气湿法脱硫（石灰石 / 石膏法）过程产生的废水主要来自石膏脱水和清洗系统。废水中含有的杂质主要包括悬浮物、过饱和的亚硫酸盐、硫酸盐以及重金属，其中很多是国家环保标准中要求严格控制的第一类污染物。脱硫废水中的各种重金属离子对环境有很强的污染性，其水质比较特殊，处理难度较大。

[0003] 脱硫废水的特点为：① pH 较低（随 FGD 流程不同有差异，一般为 1 ~ 6.5）；② 悬浮物含量很高（石膏颗粒、 SiO_2 、Al 和 Fe 的氢氧化物），可达几万 mg/L；③ 氟化物、COD 和重金属超标，其中包括我国严格控制排放的第一类污染物如 Hg、As、Pb 等；④ 含盐量极高，含有大量的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 SO_3^{2-} 等离子，其中 Cl^- 的浓度达到 10000 ~ 20000mg/L，远高于标准海水的 Cl^- 浓度。因此脱硫废水的处理必须综合考虑如下指标的去除效率和程度：① pH 值；② 悬浮物固体成分及含量；③ 石膏过饱和度；④ 重金属含量。

[0004] 对于湿法烟气脱硫技术，一般应控制氯离子含量小于 20000mg/L。脱硫废液呈酸性（通常 pH4 ~ 6），悬浮物质量分数为 9000 ~ 12700mg/L，一般含汞、铅、镍、锌等重金属以及砷、氟等非金属污染物。脱硫废水为弱酸性，故此时许多重金属离子仍有良好的溶解性。所以，脱硫废水的处理主要是以化学、机械方法分离重金属和其它可沉淀的物质，如氟化物、亚硫酸盐和硫酸盐。

[0005] 国内外常见的脱硫废水处理方式主要有：

（1）水力除灰：该方法是脱硫废水不经处理，直接进入水力除灰系统，脱硫废水中的重金属或酸性物质与灰中的 CaO 反应生成固体而得到去除，从而达到以废治废的目的。但该方案不适用于气力除灰系统的电厂，而目前国内电厂基本不使用水力除灰系统。另外采用该方案会对除灰设备及管道造成腐蚀。

[0006] （2）蒸发：通过蒸发及干燥装置可以使脱硫废水分离为高品质的水（蒸汽）和固体废物，有利于水的重复利用，便于实现全厂废水的零排放。但该方法的缺点是投资很高，在国内还没有投运的先例。

[0007] （3）单独设置化学水处理系统：该方案设置一套完整的化学水处理系统，通过氧化、中和、沉淀、凝聚等方法去除脱硫废水中的污染物。国内的杭州半山电厂、北京热电厂等多数电厂均采用该方案，该方案的问题是从目前的运行效果来看，基本上都达不到排放标准，在以后的环境治理中是非常大的遗留问题。

[0008] 目前国内电厂脱硫废水的实际情况为：

(1) 湿法脱硫废水的主要特征是呈现弱酸性, pH 值低于 5.7; 悬浮物高, 但颗粒细小, 主要成分为粉尘和脱硫产物(CaSO_4 和 CaSO_3);

(2) 含有可溶性的氯化物和氟化物、硝酸盐等; 还有 Hg、Pb、Ni、As、Cd、Cr 等重金属离子。

[0009] 由此国内现行的典型脱硫除尘废水处理技术是基于如上废水的排放性质, 采用物化法针对不同种类的污染物, 分别创造合宜的理化反应条件, 使之予以彻底去除。现行脱硫废水的处理步骤为:

(1) 废水中和

反应池由 3 个隔槽组成, 每个隔槽充满后自流进入下个隔槽, 在脱硫废水进入第 1 隔槽的同时加入一定量的石灰浆液, 通过不断搅拌, 其 pH 值可从 5.5 左右升至 9.0 以上。

[0010] (2) 重金属沉淀

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的加入不但升高了废水的 pH 值, 而且使 Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cr^{3+} 等重金属离子生成氢氧化物沉淀。一般情况下 3 价重金属离子比 2 价离子更容易沉淀, 当 pH 值达到 9.0 ~ 9.5 时, 大多数重金属离子均形成了难溶氢氧化物。同时石灰浆液中的 Ca^{2+} 还能与废水中的部分 F^- 反应, 生成难溶的 CaF_2 ; 与 As^{3+} 络合生成 $\text{Ca}(\text{AsO}_3)_2$ 等难溶物质。此时 Pb^{2+} 、 Hg^{2+} 仍以离子形态留在废水中, 所以在第 2 隔槽中加入有机硫化物(TMT—15), 使其与 Pb^{2+} 、 Hg^{2+} 反应形成难溶的硫化物沉积下来。

[0011] (3) 絮凝反应

经前 2 步化学沉淀反应后, 废水中还含有许多细小而分散的颗粒和胶体物质, 所以在第 3 隔槽中加入一定比例的絮凝剂 FeClSO_4 , 使它们凝聚成大颗粒而沉积下来, 在废水反应池的出口加入阳离子高分子聚合电解质作为助凝剂, 来降低颗粒的表面张力, 强化颗粒的长大过程, 进一步促进氢氧化物和硫化物的沉淀, 使细小的絮凝物慢慢变成更大、更容易沉积的絮状物, 同时脱硫废水中的悬浮物也沉降下来。

[0012] (4) 浓缩 / 澄清

絮凝后的废水从反应池溢流进入装有搅拌器的澄清 / 浓缩池中, 絮凝物沉积在底部并通过重力浓缩成污泥, 上部则为净水。大部分污泥经污泥泵排到灰浆池, 小部分污泥作为接触污泥返回废水反应池, 提供沉淀所需的晶核。上部净水通过澄清 / 浓缩池周边的溢流口自流到净水箱, 净水箱设置了监测净水 pH 值和悬浮物的在线监测仪表, 如果 pH 和悬浮物达到排水设计标准则通过净水泵外排, 否则将其送回废水反应池继续处理, 直到合格为止。

[0013] 电厂产生的脱硫废水量并不多(一般约 10-40 吨 / 小时), 但其组分复杂, 处理难度大, 运行费用高。目前国内电厂实际运行情况是大部分处理后的水质达不到国家排放标准, 或者干脆脱硫废水设备不投运而是采用其它的变相手段把这部分废水转移出去, 给环境带来新的二次污染。如果按照传统的彻底处理办法, 国内外基本是浓缩 + 蒸发 + 结晶的处理方式, 这样投资约 5000-8000 万元。

[0014] 除上述介绍的脱硫废水处理方法外, 国内也有一些专利技术, 有工艺改进的, 有设备改进的, 有浓缩蒸发结晶工艺, 还有采用炉膛燃烧方法的。例如, 美国一些电厂利用电除尘器与空气加热器之间的烟道间隙, 加热蒸发脱硫废水, 废水蒸发成水蒸汽进入烟道, 固体颗粒物被电除尘器去除, 该方案存在的问题是废水蒸发增加了烟气的湿度或 HCl 量, 会对电除尘器造成低温腐蚀, 另外脱硫废水的量过多可能会影响电除尘器的效率, 该方案在国

内还无投运的先例。浓缩蒸发结晶技术是借鉴了 GE 能源公司在其它系统的废水处理及物料回收设备系统方法,其投资很高,20 吨 / 小时的脱硫废水设备投资约需要 1 亿元人民币,到目前为止还没有同类工程的运行实例。

发明内容

[0015] 本发明的目的在于:提供一种电絮凝回收处理脱硫废水的方法和装置。本发明将脱硫废水处理到适合电厂灰渣系统回用的水质,其处理过程主要是去除可能对灰渣系统产生影响的腐蚀性,投资较小,实用性强,具有广泛的推广使用价值。

[0016] 本发明是这样实现的:一种电絮凝回收处理脱硫废水的方法:脱硫废水经收集进入电絮凝反应器,然后进行固液分离,分离后的澄清出水回用于电厂的冲灰渣系统或直接排放,泥渣输送到污泥处理系统进行脱水,污泥处理系统的出水回流至进水系统。

[0017] 前述方法最好再通过药剂添加系统向电絮凝反应器中添加敏化剂,并向固液分离系统中添加聚丙烯酰胺(PAM)。

[0018] 敏化剂的添加量为 0.2 公斤 / 吨水;聚丙烯酰胺的添加量为 2PPM。所述敏化剂是由多种无毒无害的矿物质(如改性氧化铝等)根据废水的性质配制而成,本发明所用敏化剂即水处理领域常用的敏化剂,均为外购产品。在高频电场的作用下,敏化剂中的矿物质吸收微粒能量带有极性并处于激发态;处于激发态的小微粒可以诱发一些无极性或弱极性的物质发生氧化反应,从而起到在电絮凝电场的作用下去除污染物的目的。PAM可提高水中絮体的聚合度,使原本分散的絮体结合成大块的絮体,有利于固液分离系统的污泥分离。

[0019] 前述电絮凝反应器运行时的 PH 值控制在 4-9;工作压力为 0.1-0.6Mpa;工作水温 5-25℃。

[0020] 前述电絮凝反应器由金属合金材料制成;主要由电源和电絮凝管组成。所述电源优选采用高频电源(即高、低压脉冲和高、低压高频自适应智能电源)。

[0021] 前述电絮凝反应器优选采用管式结构的单极式高频脉冲电絮凝反应器;其阳极材料为铁或铝。

[0022] 单极式高频脉冲电絮凝反应器处理脱硫废水的工艺参数优选为:脉冲频率 0.15 ~ 0.2kHz、电流密度 14 ~ 17mA/cm²、电解时间 30 ~ 60min。

[0023] 所述固液分离采用斜板加强气浮装置,气水比为 10 ~ 12 : 1,分离区表面负荷 5.4 ~ 15m³/(h.m²)。斜板加强气浮装置可为絮体提供大的表面负荷,气浮机释放的微小气泡与絮粒结合后,提高了絮体的上升速度,可实现絮体快速分离。

[0024] 采用前述方法回收处理脱硫废水的装置,包括进水系统、电絮凝反应系统、固液分离系统和污泥处理系统,电絮凝反应系统包括控制系统和电絮凝反应器两个部分,进水系统、电絮凝反应系统、固液分离系统和污泥处理系统依次相连接,污泥处理系统经回流管与进水系统连接。

[0025] 前述装置还包括敏化剂添加装置和聚丙烯酰胺(PAM)添加装置组成的药剂添加系统,敏化剂添加装置与电絮凝反应器相连接,PAM添加装置与固液分离系统相连接。

[0026] 所述敏化剂添加装置通过螺杆泵、管道、管道混合器与电絮凝反应器连接。工作时,将敏化剂通过螺杆泵加入到管道中,经过管道混合器进入电絮凝反应器中。

[0027] 前述电絮凝反应系统采用一级、两级或多级,两级或多级电絮凝反应系统之间同

时采用串联、并联两种方式连接。在脱硫废水的水质发生变化时可以多级串联使用；若设备需要维修更换，可以启用备用级，多级也可以交替运行，以延长设备的使用寿命。

[0028] 前述电絮凝反应系统还包括一级惰性电极电絮凝反应器，其阳极材料为惰性材质。要求脱硫废水进行回用时，加一级惰性电极电絮凝反应器来除去脱硫废水中的氯离子。

[0029] 前述固液分离系统由斜板加强气浮装置组成，其排放口后设有在线检测仪表。斜板加强气浮装置可为絮体提供大的表面负荷，气浮机释放的微小气泡与絮粒结合后，提高了絮体的上升速度，实现絮体快速分离。在线检测仪表实时将测量结果反馈给 PLC，如处理指标不合格，系统将显示“超标”，并及时改变反应器的电参数。

[0030] 前述控制系统由计算机、可编程控制器 (PLC) 及其执行机构和检测仪表组成，使用时可以根据废水的负荷变化而设定不同的参数，使之达到最佳的处理结果。检测仪表包括进水压力计、流量计和出水 COD 检测装置。

[0031] 电絮凝能有效地去除脱硫废水中的有机物、重金属、悬浮颗粒等杂质。在电絮凝反应器中，由计算机控制的发射极释放出离子和电子；当废水进入反应室时，会发生电化学反应，从而产生凝聚沉淀。电絮凝反应系统是利用电化学的原理，在电流的作用下溶解可溶性电极，使其成为带有电荷的离子并释放出电子；产生的离子与水电离后产生的 (OH^-) 结合，生成有絮凝作用的化合物；另外释放出的电子还原带有正电的污染物，从而达到去除液体中污染物的目的。该技术采用电化学原理去除废水中的杂质，产生易去除的不溶解于水的氧化物和氢氧化物，取代了复杂的化学处理法。

[0032] 电絮凝是一个复杂的物理化学及电化学过程，一般情况下，电场作用于电极上，产生的离子或释放的电子在进入水体时产生以下 6 种基本的物理化学及电化学反应：

1) 氧化：氧化作用可以分为直接氧化和间接氧化，直接氧化即污染物直接在阳极失去电子而发生氧化；间接氧化是利用溶液中的电极电势较低的阴离子，例如 OH^- 、 Cl^- 在阳极失去电子生成新的较强的氧化剂活性物质 Cl_2 等，利用这些活性物质使污染物失去电子，起氧化分解作用，以降低原液中的 BOD_5 、COD、 NH_3-N 等。

[0033] 2) 还原：还原作用也分为直接还原和间接还原，直接还原即污染物直接在阴极上得到电子而发生还原作用；间接还原是污染物中的阳离子首先在阴极得到电子，使得电解质中高价或低价金属阳离子在阴极得到电子直接被还原为低价阳离子生成易于沉淀的金属氧化物或金属沉淀。

[0034] 3) 絮凝：可溶性阳极通以直流电后，阳极失去电子，形成金属阳离子，与溶液中的 OH^- 生成吸附能力极强的金属氢氧化物胶体絮凝剂，将废水中的污染物质吸附共沉而去除。

[0035] 4) 气浮：当电压达到水的分解电压时，在阴极和阳极上分别析出氢气和氧气。气泡尺寸很小，分散度高，作为载体粘附水中的悬浮固体而上浮，这样很容易将污染物质去除。电解气浮既可以去除废水中的疏水性污染物，也可以去除废水中的亲水性污染物。

[0036] 5) 电絮凝配合高频电源还可以发生较强络合反应或螯合反应，使得一些难以去除的物质以络合胶体的形式沉淀出来。对于氯离子，可以跟羟基和其他物质形成卤化复合物絮体。

[0037] 6) 电絮凝配合高频电源及敏化剂的使用，可以发生络合反应和诱导催化氧化反应，使氧化、还原反应进行的更彻底，对溶解性污染物有较高的处理能力，有较宽的处理范围和更好的处理效果，可使 COD、氨氮等去除率高达 90% 以上。

[0038] 电絮凝反应处理脱硫废水的影响因素主要包括可溶性阳极材料、脉冲电源脉冲占空比、脉冲频率、电流密度、电解时间和废水浓度等。

[0039] 传统电絮凝技术存在着由于电极极化导致电耗升高、处理效率降低的不足。脉冲电絮凝与直流电絮凝相比,脉冲电絮凝技术在处理脱硫废水中有着明显的节能优势。单脉冲和双脉冲电絮凝都具有明显的节能效果,与直流电絮凝相比,能耗分别下降了 84% 和 87%,而 COD 处理效果相当;但双脉冲与单脉冲电絮凝相比,双脉冲电极耗材较大,单脉冲电极耗材与直流电絮凝相当。所以,脉冲电絮凝在处理脱硫废水上具有较好的节能效果,且单脉冲电絮凝的综合效益更好。

[0040] 脉冲占空比对重金属和有机物去除率有明显的影响,随占空比的增加对重金属和有机物去除率增大,但当占空比大于 0.4 以后对重金属和有机物去除率变化不大;

脉冲频率对重金属和有机物去除率影响不明显,在 0.15 ~ 0.2KHz 范围内都有较好的去除效果;

电源电流密度对重金属和有机物去除率的影响较大,重金属和有机物去除率随电流密度的增大而增加,在电流密度为 $16.8\text{mA}/\text{cm}^2$ 时重金属和有机物去除率可达 90%。电流密度大于 $16.8\text{mA}/\text{cm}^2$ 以后去除率变化很小,而电流密度越大耗能越大,故选电流密度 $16.8\text{mA}/\text{cm}^2$;

重金属和有机物去除率随电解时间的延长而增加,在 60min 后平均达到 97% 以上,此后随时间的延长基本保持不变。

[0041] 综上所述,单脉冲电絮凝处理脱硫废水的最佳工艺参数为:脉冲占空比:0.4;脉冲频率:0.15kHz;电流密度: $16.8\text{mA}/\text{cm}^2$;电解时间:60min。

[0042] 电絮凝产生大量的、具极强氧化性能的羟基自由基和新生态的混凝剂,使废水中的污染物发生诸如催化氧化、分解、混凝、吸附等作用,能有效去除废水中的污染物,COD、BOD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、大肠杆菌、悬浮物、重金属等的除去率可达到 95% ~ 99%。

[0043] 电絮凝在一个封闭的空间内进行电化学反应,使得诱导催化、氧化反应、还原反应、络合反应、溶气等一次完成,大大缩短了处理时间,提高了处理效率。

[0044] 另外,电絮凝产生的污泥为惰性污泥,可以作为无毒物质分类和处理。

[0045] 电絮凝处理的工艺特点:

- (1) 具备强氧化 - 自产氧化剂;
- (2) 强还原 - 自产还原剂;
- (3) 絮凝 - 自产絮凝剂;
- (4) 气浮 - 自产气浮超细气泡;
- (5) 去除效果:

SS:包括悬浮与胶状 SS 去除 99% 以上;

Cl^- :氯离子浓度在脱硫废水中一般是 10000-20000ppm,如要回用最大的问题是对回用系统设备产生强腐蚀,而经过电絮凝后氯离子浓度可以降到 100-500ppm,防止了对回用系统设备、管道的腐蚀。这种情况下,系统可增加一级惰性电极电絮凝反应器来除去脱硫废水中的氯离子。由于前级消耗电极絮凝反应器大大降低了废水中的胶体硅、COD 等,可极大地提高后续氯离子的去除效果。

[0046] BOD:高 BOD 浓度废水强氧化破键可作浓缩预处理,以利后续处理,中低浓度废水

可去除 85%-99% ;

COD :高浓度 COD 废水,为电中性不易物化处理,可因强氧化断化学键而破坏电中性进行混凝去除或分解成可生物降解小分子,作预处理 ;对于中低浓度的废水,常可一次处理达回用标准 ;

重金属 :生成氢氧化物胶体去除。

[0047] 本发明电絮凝回收处理工艺是一种独特的处理工艺,不是传统的方法,这种工艺一直没有被进行专业应用,或者在特定水质条件下发现其使用的优势。该技术在处理各种污水和脱硫废水时不仅仅是使用电絮凝一种单一的方式,而是采用多种技术的“有机组合方式”,综合了“电氧化气浮-絮凝”;“电解加微泡臭氧”;“电解加亚滤”;“电解加超声波”;“电解加微波”;“电解加紫外线”等技术,可以使单一的电絮凝法不易处理的污水、废水快速的分层、分离、絮凝、沉淀,同时也有除臭、脱色、消毒、灭菌、大幅度降低 COD、BOD、SS 等效果。它采用电化学原理去除废水中的杂质,产生易去除的不溶解于水的氧化物和氢氧化物。这种方法取代了复杂的化学处理法,减少了或完全免去了对酸、氢氧化物、三氧化铁、亚硫酸盐或其他许多试剂的需求和依赖。电絮凝可以中和离子或颗粒上的电荷而使污染物沉淀。电絮凝技术处理废水的实例表明水中的重金属如 :砷、镉、铬、铅、镍、锌、钙的处理率可达 95%~99%,具有足够活化能的重金属可沉淀为耐酸氧化物的污泥如 NiFe_2O_4 。在敏化剂的作用下,对于氯的处理率也可达 80% 以上。电絮凝配合高频电源及敏化剂的使用,可以发生诱导催化氧化反应,使氧化、还原反应进行的更彻底,从而使 COD、氨氮等去除率高达 90% 以上。

[0048] 这种综合电絮凝处理技术目前还鲜见报道,尤其是将多种前沿的纯物理废水处理方面的新技术有机组合起来的“综合处理方式”更是鲜为人知,完全是一个空白点。

[0049] 本发明高频电絮凝是在传统电絮凝技术的基础上开发的。发明人深入研究了脱硫废水在各种电场条件下发生的电化学反应和产生的结果后,总结了使用的电源电压高低、电流密度的大小、电源的形式(如直流、脉冲及频率的高低)、敏化剂(硅藻精土敏化剂)在不同电场下发生的诱导催化氧化的作用、电极的形状等后,确定了电絮凝反应器和与其配备的电源系统。高频电絮凝与传统电絮凝的区别与特点如下 :

(1) 改变了传统电絮凝反应器电极的形式,采用管式结构。管式的几何形状可使阴极、阳极间液体与阴阳极获得最充分的表面接触,大大缩短了停留时间。一般情况下只需要停留 15 秒~30 秒的时间。在高频电场的作用下,使有效操作的能耗降低到最小程度,运行费用低于一般的电絮凝技术。

[0050] (2) 一般电絮凝采用的配套电源为直流电源、脉冲电源、高压电源。高频电絮凝采用的是高、低压脉冲和高、低压高频自适应智能电源。这种电源在一定范围内,可以根据被处理液体负荷(水量和污染物含量)的变化自动调整。这样不但可以实现对液体中某种污染物或物质有针对性地去去除或提取,也使污水处理或水净化工程完全实现自动化。另外,利用高频电源电解的方式消除了阳极絮凝过程中的钝化现象,提高了电解电流效率。高频电絮凝处理脱硫废水的优化参数值为 :电流密度 $16.8\text{mA}/\text{cm}^2$,脉冲频率 0.15kHz ,电解时间 60min 。

[0051] (3) 根据处理的要求,可以在电絮凝的过程中加入适量的“敏化剂”。由于高频同轴电絮凝是在一个完全封闭的空间内完成,所以在高频电场作用下,敏化剂可以更充分的

被“激活”，使得诱导催化氧化反应进行的更彻底，完成一般电絮凝不能完成的处理工作。

[0052] (4) 电絮凝产生的污泥为惰性化污泥，可以作为无毒物质分类和处理，并且即使在酸性条件下其中的重金属也不会从污泥中析出。

[0053] (5) 在特定的反应器中，由于高频电场中电子和敏化剂的作用，不但破坏了氯化物盐的对称醋酸纤维素膜中的分配系数和总扩散参数的平衡关系，也破坏了盐的水和离子的形成。所以使用高频电絮凝比一般电絮凝有更强的除盐的能力。

[0054] (6) 采用电絮凝反应器和分离装置分体设计，实现电絮凝设备的标准化，极大提高了电絮凝过程的处理效率，降低了电絮凝处理过程的能耗，吨水处理能耗仅为传统电絮凝设备的 50% ~ 60%，工程建设总投资是一般处理技术的 70%，同时极大地简化了设备的运行维护。

[0055] 本发明所采用的电絮凝技术处理废水方式更经济，节省了投资费用，例如，20 吨/小时脱硫废水进行回收处理投资只需要约 500 万元，采用热法投资高达 6000-8000 万元。而且电絮凝处理速度快，不受环境温度影响；装置体积小、占地特别少（是传统方式的 1/10 甚至更少）；不用外加絮凝剂；环保性能好（没有任何二次污染，沉淀物不含任何化学物质，可以再利用）；成本低，一般是传统处理方式的 1/2—1/3。

[0056] 为了验证本发明电絮凝处理脱硫废水的效果，发明人进行了小型试验：

试验的最佳运行控制参数：进水 COD 值为 100 ~ 150mg/L，氯离子浓度 20000mg/L，pH 值在 5-6 之间，脉冲频率 0.15kHz、电流密度 16.8mA/cm²、电解时间 60min。

序号	项 目	单 位	进水水质	出水水质
1	SS	mg/l	160	10
2	PH 值		5-6	6-9
3	COD	mg/l	150	60
4	总铬量, Cr	mg/l	2.0	0.06
5	CL ⁻	mg/l	20000	300
6	F ⁻	mg/l	30	3

[0057] 试验结论：经过电絮凝后水中的 COD、氟离子浓度、重金属杂质能够达到《污水综合排放标准》中规定的“第一类污染物最高允许排放浓度”的要求，氯离子浓度满足回用系统材料的防腐要求，不会对回用系统产生腐蚀。

[0058] 与现有技术相比，本发明采用电絮凝技术取代复杂的化学法回收处理脱硫废水，能有效去除废水中的污染物，对重金属的处理率可达 95% ~ 99%，对氯的处理率可达 80% 以上，COD、氨氮等去除率可达 90% 以上，并大大缩短了处理时间，提高了处理效率，节省了投资费用；而且，该电絮凝处理装置体积小、占地特别少；无需外加絮凝剂；环保性能好；成本低。

[0059] 附图说明：

图 1 是电絮凝回收处理脱硫废水的一种工艺流程框图；

图 2 是电絮凝回收处理脱硫废水的一种装置系统图。

[0060] 具体实施方式：

本发明的实施例 1:一种电絮凝回收处理脱硫废水的方法:脱硫废水经收集进入电絮凝反应器,通过药剂添加系统向电絮凝反应器中按 0.2 公斤/吨水添加敏化剂(水处理领域常用的敏化剂,从市场上购买),反应器中 PH 值控制在 5-8,工作压力 0.2-0.5Mpa,工作水温 10-20℃;然后采用斜板加强气浮装置进行固液分离,通过药剂添加系统向固液分离系统中添加聚丙烯酰胺(PAM) 2PPM,气浮装置的气水比为 11 : 1,分离区表面负荷 $8 \sim 12\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$;分离后的澄清出水回用于电厂的冲灰渣系统,泥渣输送到污泥处理系统进行脱水,污泥处理系统的出水回流至进水系统。

[0061] 上述电絮凝反应器由金属合金材料制成;主要由高频电源(即高、低压脉冲和高、低压高频自适应智能电源)和电絮凝管组成。本实施方案中电絮凝反应器采用管式结构的单极式高频脉冲电絮凝反应器;其阳极材料为铁。单极式高频脉冲电絮凝反应器处理脱硫废水的工艺参数为:脉冲频率 0.15kHz、电流密度 $16.8\text{mA}/\text{cm}^2$ 、电解时间 60min。

[0062] 按照前述方法回收处理脱硫废水的装置(参见图 2):包括进水系统、电絮凝反应系统、固液分离系统、污泥处理系统和敏化剂添加装置与聚丙烯酰胺(PAM)添加装置组成的药剂添加系统,电絮凝反应系统包括控制系统和电絮凝反应器两个部分,进水系统、电絮凝反应系统、固液分离系统和污泥处理系统依次相连接,敏化剂添加装置与电絮凝反应器相连接,PAM 添加装置与固液分离系统相连接,污泥处理系统经回流管与进水系统连接。

[0063] 其中,电絮凝反应系统采用多级,多级电絮凝反应系统之间同时采用串联、并联两种方式连接。脱硫废水的水质发生变化时可多级串联使用;设备需要维修更换时启用备用级,多级可以交替运行,以延长设备的使用寿命。

[0064] 电絮凝反应系统还包括一级惰性电极电絮凝反应器(阳极材料为惰性材质),以除去脱硫废水中的氯离子,防止回用时对回用系统设备、管道的腐蚀。

[0065] 固液分离系统由斜板加强气浮装置组成,其排放口后设有在线检测仪表。

[0066] 敏化剂添加装置可通过螺杆泵、管道、管道混合器与电絮凝反应器连接。工作时,将敏化剂通过螺杆泵加入到管道中,经过管道混合器进入电絮凝反应器中。

[0067] 控制系统由计算机、可编程控制器(PLC)及其执行机构和检测仪表组成;检测仪表包括进水压力计、流量计和出水 COD 检测装置。

[0068] 本发明的实施例 2:电絮凝回收处理脱硫废水的方法:脱硫废水经收集进入电絮凝反应器,通过药剂添加系统向电絮凝反应器中按 0.2 公斤/吨水添加敏化剂(市场上购买),反应器中 PH 值控制在 4-9,工作压力 0.1-0.6Mpa,工作水温 5-15℃;然后采用斜板加强气浮装置进行固液分离,通过药剂添加系统向固液分离系统中添加聚丙烯酰胺(PAM) 2PPM,气浮装置的气水比为 10 : 1,分离区表面负荷 $5.4 \sim 10\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$;分离后的澄清出水直接排放,泥渣输送到污泥处理系统进行脱水,污泥处理系统的出水回流至进水系统。

[0069] 上述电絮凝反应器主要由高频电源和电絮凝管组成。本实施方案中电絮凝反应器采用管式结构的单极式高频脉冲电絮凝反应器;其阳极材料为铝。单极式高频脉冲电絮凝反应器处理脱硫废水的工艺参数为:脉冲频率 0.15 ~ 0.2kHz、电流密度 $14 \sim 17\text{mA}/\text{cm}^2$ 、电解时间 40min。

[0070] 按照上述方法回收处理脱硫废水的装置(参见图 2):包括进水系统、电絮凝反应系统、固液分离系统、污泥处理系统和敏化剂添加装置与聚丙烯酰胺(PAM)添加装置组成的药剂添加系统,电絮凝反应系统包括控制系统和电絮凝反应器两个部分,进水系统、电絮凝反

应系统、固液分离系统和污泥处理系统依次相连接,敏化剂添加装置与电絮凝反应器相连接,PAM 添加装置与固液分离系统相连接,污泥处理系统经回流管与进水系统连接。

[0071] 其中,电絮凝反应系统采用一级或两级,两级电絮凝反应系统之间同时采用串联、并联两种方式连接。

[0072] 固液分离系统由斜板加强气浮装置组成,其排放口后设有在线检测仪表。

[0073] 敏化剂添加装置可通过螺杆泵、管道、管道混合器与电絮凝反应器连接。

[0074] 控制系统由计算机、可编程控制器(PLC)及其执行机构和检测仪表组成;检测仪表包括进水压力计、流量计和出水 COD 检测装置。

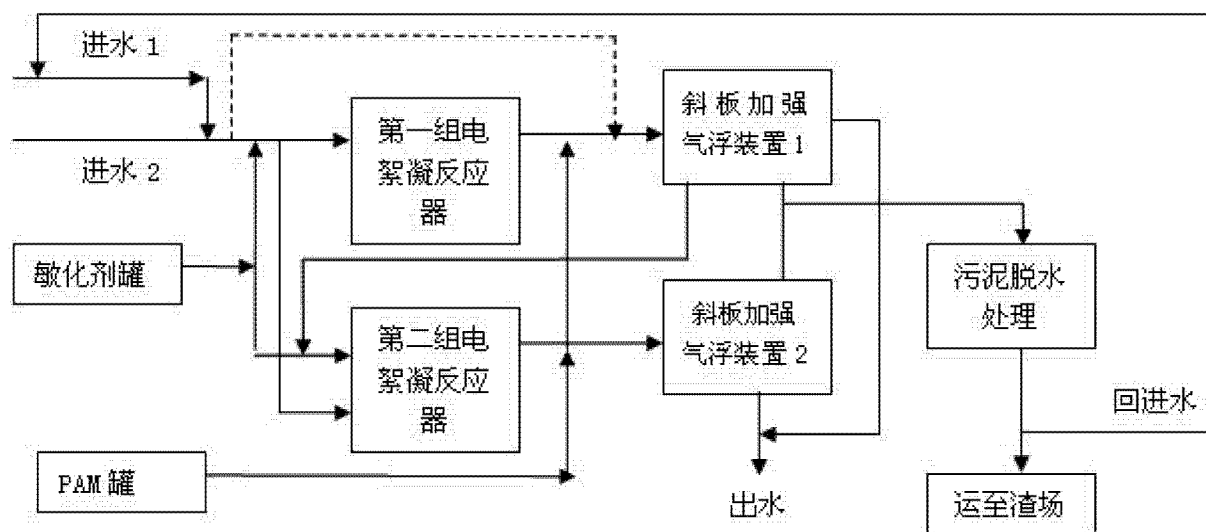


图 1

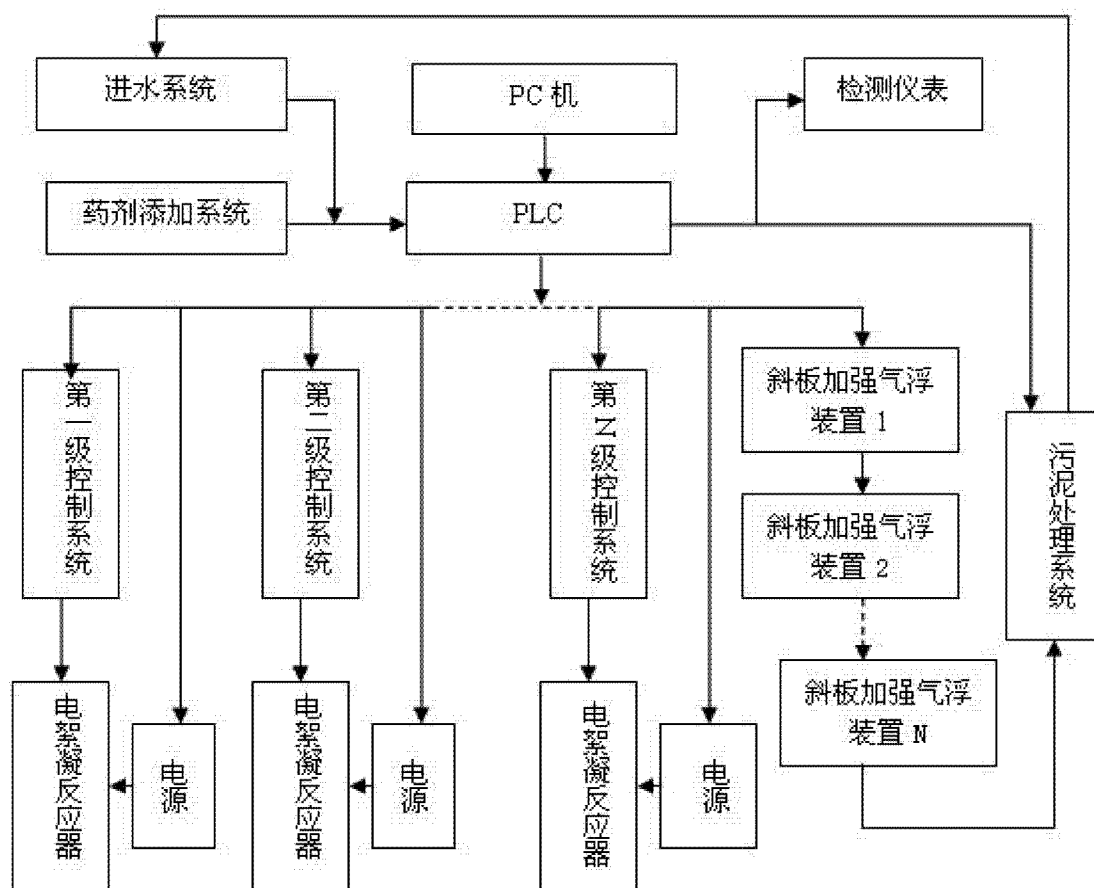


图 2