



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 212548949 U

(45) 授权公告日 2021. 02. 19

(21) 申请号 202022124037.9

F28D 7/02 (2006.01)

(22) 申请日 2020.09.24

F28F 1/12 (2006.01)

(73) 专利权人 浙江大学

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路
38号

(72) 发明人 高翔 郑成航 刘少俊 戴豪波
朱松强 沈海涛 范海东 李清毅
张涌新 苏秋凤 岑可法

(74) 专利代理机构 杭州君度专利代理事务所
(特殊普通合伙) 33240

代理人 郑芳

(51) Int. Cl.

B01D 53/50 (2006.01)

B01D 45/12 (2006.01)

B01D 53/00 (2006.01)

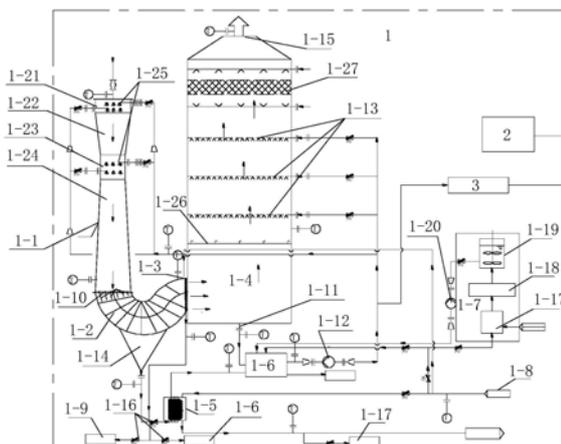
权利要求书2页 说明书12页 附图3页

(54) 实用新型名称

船舶尾气净化装置

(57) 摘要

本实用新型涉及一种分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,包括相连的船舶尾气净化系统和气液相温度调控系统,船舶尾气净化系统包括文丘里冷却塔、U型汽水分离装置、冷凝式除湿装置、烟气洗涤塔、液-液换热器、循环罐、脱硫剂制备及储存系统、海水供应系统和洗涤水处理系统。本实用新型采用文丘里冷却塔耦合烟气洗涤塔,通过文丘里的湍流强化,实现快速降温,一方面实现SO₂的快速洗涤脱除,另一方面提高SO₃的凝结长大速率,同时还可以提高洗涤液滴和炭黑颗粒之间的热泳力,显著强化炭黑颗粒以及PAH的捕集,实现SO₂、SO₃、炭黑、PAH等协同脱除。



1. 一种分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,其特征在于:所述装置包括船舶尾气净化系统、气液相温度调控系统和脱硫剂智能化计量分配系统,所述船舶尾气净化系统分别与气液相温度调控系统、脱硫剂智能化计量分配系统相连接,气液相温度调控系统与脱硫剂智能化计量分配系统相连接;所述船舶尾气净化系统包括文丘里冷却塔、U型汽水分离装置、冷凝式除湿装置、烟气洗涤塔、液-液换热器、循环罐、脱硫剂制备及储存系统、海水供应系统和洗涤水处理系统;

所述文丘里冷却塔与U型汽水分离装置的入口端相连接,在文丘里冷却塔与U型汽水分离装置连接处安装导流板,冷凝式除湿装置安装在U型汽水分离装置与烟气洗涤塔连接处,冷凝式除湿装置入口端连接海水供应系统,冷凝式除湿装置出口端与液-液换热器相连接,U型汽水分离装置的末端与烟气洗涤塔垂直连接,烟气洗涤塔底部设置洗涤液排出管,洗涤液排出管与循环罐相连接,循环罐与循环泵相连接,循环泵与烟气洗涤塔内的洗涤塔喷淋层相连接,海水供应系统连接循环罐和脱硫剂制备及储存系统,脱硫剂制备及储存系统与循环罐相连接,循环罐与洗涤水处理系统相连接,U型汽水分离装置底部设置集液斗,集液斗通过管道与液-液换热器和洗涤水处理系统的氧化器相连接,通过截止阀控制集液斗洗涤液输送去向,海水供应系统与液-液换热器相连接;所述烟气洗涤塔顶部设有尾气排出口。

2. 根据权利要求1所述分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,其特征在于:所述文丘里冷却塔包括由上而下顺次设置的入口段、收缩段、喉道、扩散段,在入口段和喉道分别设置两层以上文丘里冷却塔喷淋层,所述文丘里冷却塔喷淋层与海水供应系统和脱硫剂制备及储存系统相连接。

3. 根据权利要求2所述分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,其特征在于:所述气液相温度调控系统包括气路监测传感器和液路监测传感器,气路监测传感器设置的位置包括文丘里冷却塔入口段、扩散段、冷凝式除湿装置进口段、烟气洗涤塔、尾气排出口;液路监测传感器设置的位置包括海水输送管出口、文丘里冷却塔喷淋层入口、集液斗出口管道、冷凝式除湿装置出口管道、烟气洗涤塔洗涤液排出管出口、液-液换热器海水排出管出口、液-液换热器洗涤液排出管出口、循环罐排出管出口。

4. 根据权利要求1所述分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,其特征在于:所述脱硫剂制备及储存系统包括顺次连接的混合罐、氧化镁活化器和氢氧化镁浆液储罐,所述混合罐与循环罐、氧化镁添加管道相连接,所述氢氧化镁浆液储罐通过浆料泵与循环罐相连接。

5. 根据权利要求1所述分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,其特征在于:所述液-液换热器为管壳式换热器,换热管道呈螺旋结构,换热管道外壁设置弯曲肋片。

6. 根据权利要求1所述分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,其特征在于:所述冷凝式除湿装置采用夹层波纹板式设计,弯折区有勾状液滴捕集结构。

7. 根据权利要求1所述分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,其特征在于:所述烟气洗涤塔包括由下而上顺次设置的均流增效板、洗涤塔喷淋层和除雾器,所述洗涤塔喷淋层的数量为一层以上,均流增效板布置在第一层洗涤塔喷淋层与烟

气洗涤塔进口之间。

8. 根据权利要求7所述分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,其特征在于:所述均流增效板为多孔筛板,筛板开孔率为30~40%,开孔孔径为10~15mm,孔间距为15~20mm;顶层洗涤塔喷淋层布置单向实心锥喷嘴,其他洗涤塔喷淋层采用双向实心锥喷嘴。

船舶尾气净化装置

技术领域

[0001] 本实用新型属于船舶尾气污染物控制技术领域,特别涉及一种分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置。

背景技术

[0002] 我国是世界航运和港口大国,拥有水上运输船舶13.16万艘,世界十大集装箱港口有七个在中国。随着燃煤电厂等固定源、机动车等移动源污染物排放技术研发及应用,大气污染物减排已取得显著进展,船舶尾气污染物排放问题日益凸显。2018年我国船舶排放SO₂和NO_x分别达到58.8万吨,151.1万吨(生态环境部机动车排污监控中心年报),且大部分船舶污染物排放在近海区域,已成为沿海地区和港口大气污染的重要原因。

[0003] 国际海事组织于1997年通过MARPOL 73/78公约,附则《防止船舶造成空气污染规则》对船舶SO_x和NO_x等污染物排放提出了限制要求,在全球设定了波罗地海、北海、北美、美国加勒比海四大排放控制区域(ECA),均对SO_x排放控制提出了新的要求。中国交通运输部于2015年设立了船舶大气污染物排放控制区,2018年对控制区方案进行了升级调整,将我国沿海12海里范围内区域和长江等内河通航区域纳入实施范围,对控制区范围内的船舶SO_x和NO_x等污染物排放提出了细化的控制要求;同时,我国于2018年7月1日开始实施国家环境保护部会同质检总局发布的《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法(中国第一、第二阶段)》第一阶段标准。

[0004] 随着国内外船舶排放相关管控政策法规和标准的不断实施和持续加严,船舶尾气高效净化关键技术的自主创新研发及应用已成为推动绿色航运发展、持续改善我国空气质量和主动履行国际公约的关键。然而,船舶发动机机型/容量差异大、燃料油含硫量高、运行工况复杂,尾气温度及流量多变,运行航域海水温度/碱度差异大,如何实现船舶尾气的高效净化,达到国际海事组织最严格排放限值要求是亟待解决的国际性难题。

实用新型内容

[0005] 本实用新型提供了一种分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置。

[0006] 一种分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,所述装置包括船舶尾气净化系统、气液相温度调控系统和脱硫剂智能化计量分配系统,所述船舶尾气净化系统分别与气液相温度调控系统、脱硫剂智能化计量分配系统相连接,气液相温度调控系统与脱硫剂智能化计量分配系统相连接;所述船舶尾气净化系统包括文丘里冷却塔、U型汽水分离装置、冷凝式除湿装置、烟气洗涤塔、液-液换热器、循环罐、脱硫剂制备及储存系统、海水供应系统和洗涤水处理系统;

[0007] 所述文丘里冷却塔与U型汽水分离装置的入口端相连接,在文丘里冷却塔与U型汽水分离装置连接处安装导流板,冷凝式除湿装置安装在U型汽水分离装置与烟气洗涤塔连接处,冷凝式除湿装置入口端连接海水供应系统,冷凝式除湿装置出口端与液-液换热器相

连接,U型汽水分离装置的末端与烟气洗涤塔垂直连接,烟气洗涤塔底部设置洗涤液排出管,洗涤液排出管与循环罐相连接,循环罐与循环泵相连接,循环泵与烟气洗涤塔内的喷淋层相连接,海水供应系统连接循环罐和脱硫剂制备及储存系统,脱硫剂制备及储存系统与循环罐相连接,循环罐与洗涤水处理系统相连接,U型汽水分离装置底部设置集液斗,集液斗通过管道与液-液换热器和洗涤水处理系统的氧化器相连接,通过截止阀控制集液斗洗涤液输送去向,海水供应系统与液-液换热器相连接;所述烟气洗涤塔顶部设有尾气排出口。

[0008] 所述海水供应系统的海水水源来自大海,作为脱硫剂向循环罐中供应新鲜海水,作为溶剂向脱硫剂制备及储存系统供应新鲜海水,作为冷凝水向冷凝水除湿装置供应新鲜海水,作为冷却剂向液-液换热器供应新鲜海水,换热后的海水排放大海。

[0009] 所述脱硫剂智能化计量分配系统基于气液相温度调控系统的实时温度监测数据、烟气成分浓度监测数据,对脱硫剂种类、浓度、用量、喷淋层运行方式进行优化调控,使整套脱硫装置的运行成本最低。

[0010] 本实用新型通过管路切换,对高温洗涤水的去向进行调控,可以实现高温洗涤水再利用分配,合理利用好高温洗涤水的余热资源,减少新鲜海水的使用量。当系统温度低时,热洗涤液可以直接输送至循环罐,提高脱硫剂反应活性,另外热洗涤液还可以直接通入洗涤水处理系统,强化氧化效果,采用综合技术手段实现热洗涤液的再利用率,降低换热器的投运率和出力,减少海水用量。所述U型汽水分离装置功能是对文丘里冷却器出口湿尾气进行气液分离,湿尾气进入U型结构的分离装置,在离心力作用下将烟气中的液滴与尾气分离,烟气中粒径超过 $13\mu\text{m}$ 以上的液滴被U型汽水分离装置外侧内壁捕集,然后被集液斗收集;

[0011] 所述U型汽水分离装置与文丘里冷却器连接处安装导流板,导流板具有调节尾气射入角度的功能,经过导流板的尾气以切向角度进入U型汽水分离装置,U型汽水分离装置汽水分离效率可达80%以上;

[0012] 所述U型汽水分离装置底部安装集液斗,外侧内壁捕集的洗涤液在自重作用下流入集液斗,集液斗收集的洗涤液可根据烟气温度、热洗涤液温度、循环罐浆液温度、烟气洗涤塔内温度、海水温度、排烟温度和 SO_2 浓度灵活调控去向,当上述测点监测值高时,通过管路输送至液-液换热器进行冷却降温,当上述测点监测值低时,则直接进入循环罐。

[0013] 作为优选,所述文丘里冷却塔包括由上而下顺次设置的入口段、收缩段、喉道、扩散段,在入口段和喉道分别设置两层以上文丘里冷却塔喷淋层,所述文丘里冷却塔喷淋层与海水供应系统和脱硫剂制备及储存系统相连接,喷淋层喷淋液由海水供应系统和脱硫剂制备及储存系统供应。文丘里冷却塔用于船舶尾气的降温和 SO_x (包括 SO_2 和 SO_3)的预脱除,通过文丘里的湍流强化,实现快速降温,一方面实现 SO_2 的快速洗涤脱除,另一方面提高 SO_3 的凝结长大速率,提高 SO_3 的脱除效率的同时还可以为洗涤塔内的 SO_3 的进一步脱除提供基础,同时通过湍流强化,可以实现炭黑的碰撞捕集,还可以提高洗涤液滴和炭黑颗粒之间的热泳力,显著强化炭黑颗粒以及PAH的捕集;所述喷淋层通过喷淋液可将尾气温度降低至 $50\sim 80^\circ\text{C}$,喷淋层运行层数和喷淋量由扩散段烟温确定,喷淋层采用的喷淋液类别由尾气中 SO_x 浓度和排放控制区确定。

[0014] 气液相温度调控系统具有在线监测、反馈控制、运行调节的功能,作为优选,所述

气液相温度调控系统包括气路监测传感器(气路监测点)和液路监测传感器(液路监测点),气路监测传感器设置的位置包括文丘里冷却塔入口段、扩散段、冷凝式除湿装置进口段、烟气洗涤塔、尾气排出口;液路监测传感器设置的位置包括海水输送管出口、文丘里冷却塔喷淋层入口、集液斗出口管道、冷凝式除湿装置出口管道、烟气洗涤塔洗涤液排出管出口、液-液换热器海水排出管出口、液-液换热器洗涤液排出管出口、循环罐排出管出口。

[0015] 文丘里冷却塔入口尾气温度高时,加大文丘里冷却塔喷淋液量,控制尾气温度降低至50~80℃,通过U型汽水分离装置对文丘里冷却塔出来的湿尾气进行汽水分离,分离出来的洗涤液由集液斗收集,同时冷凝式除湿装置进一步进行汽水分离,避免热的洗涤液直接进入烟气洗涤塔,提升烟气洗涤塔内温度,影响系统脱硫效率;

[0016] 文丘里冷却塔的功能是尾气降温和SO_x预脱除,通过气液相温度调控系统调控其喷淋层运行方式,利用最少的喷淋液实现尾气降温,最少喷淋液变成洗涤液后,体积量约为传统闭式海水脱硫洗涤液的1/3,大大减少了液-液换热器用海水体积量,也大大减小了液-液换热器体积;

[0017] 洗涤水处理系统对不同海域0~40℃海水、脱硫装置入口温度150~450℃尾气具有很好的自适应性,根据整套系统在线温度监测数据,可实时调控SO₂吸收-氧化过程的温度,保证高海水温度和尾气温度时系统的脱硫效率;

[0018] 经液-液换热器冷却后的洗涤液输送至循环罐,继续用于尾气脱硫,实现循环利用;

[0019] 尾气经文丘里冷却塔预脱硫后温度降低至50~80℃,然后在烟气洗涤塔内与喷淋液充分接触,使烟气洗涤塔内温度控制在40~50℃,烟气洗涤塔内喷淋液用量与系统脱硫效率和SO₂排放浓度有关,通过优化文丘里冷却塔和烟气洗涤塔内喷淋液用量,精准调控烟气洗涤塔内温度,使烟气洗涤塔内温度处于最佳范围,同时洗涤水喷淋量最小,减少运行能耗。

[0020] 所述脱硫剂制备及储存系统采用氧化镁和海水作脱硫剂原料,作为优选,所述脱硫剂制备及储存系统包括顺次连接的混合罐、氧化镁活化器和氢氧化镁浆液储罐,所述混合罐与循环罐、氧化镁添加管道相连接,所述氢氧化镁浆液储罐通过浆料泵与循环罐相连接。

[0021] 作为优选,所述液-液换热器为管壳式换热器,热相流在换热管道内流动,冷相流在换热管道外流动,换热管道呈螺旋结构,换热管道外壁设置弯曲肋片。海水将换热管道完全沉浸在壳体内,实现换热面积最大化,整套装置采用不锈钢材料(如316L、2205等),具有良好的抗腐蚀性和导热性,液-液换热器采用新鲜海水作为冷却介质,冷却对象为集液斗收集的洗涤液和冷凝式除湿装置排出的热海水,进行热交换后的新鲜海水直接外排大海,在正常工作阶段,海水连续进入和排出液-液换热器,部分热海水通过管道输送至脱硫剂制备系统,用于制备氢氧化镁浆液。

[0022] 作为优选,所述冷凝式除湿装置,又称冷凝式分离器,采用夹层波纹板式设计,弯折区有勾状液滴捕集结构。夹层作为新鲜海水通道用于冷却湿尾气温度,夹层波纹板之间通道用于尾气流通,冷凝式除湿装置的功能是通过降低湿尾气温度,促使液滴碰撞、凝聚、长大,大的液滴被夹层波纹板捕集,然后流入U型汽水分离装置内,被集液斗收集,在此过程中,5μm以上的液滴捕集率超过75%,1μm以上的液滴捕集率达50%以上,同时冷凝式除湿装置

还具有流场均布作用,湿尾气被均流后进入烟气洗涤塔,能够强化SO₂吸收,同时具有很好的SO₃、炭黑、PAH的协同脱除作用;

[0023] 所述冷凝式除湿装置采用海水作为冷却剂,通过管道布水方式将新鲜海水均匀通入夹层波纹板中,海水在夹层内的流速可以通过动力泵控制,海水与湿尾气逆向流动,加热后的海水与集液斗收集的洗涤液混合后通过管路输送至液-液换热器,当烟气温度和烟气洗涤塔内温度低时,冷凝水除湿装置不需要通入冷却剂,通过除湿装置物理结构即可去除液滴,降低海水使用量和系统能源消耗。

[0024] 作为优选,所述烟气洗涤塔包括由下而上顺次设置的均流增效板、洗涤塔喷淋层和除雾器,所述洗涤塔喷淋层的数量为一层以上,均流增效板布置在第一层洗涤塔喷淋层与烟气洗涤塔进口之间,采用耐腐蚀金属材料。

[0025] 作为优选,所述均流增效板为多孔筛板,筛板开孔率为30~40%,开孔孔径为10~15mm,孔间距为15~20mm,运行过程中筛板上形成一层持液层,用于强化SO₂吸收-氧化;所述洗涤塔喷淋层用于向尾气中均匀喷射脱硫剂,并实现雾化脱硫剂对尾气的全覆盖,喷淋层喷嘴采用双向实心锥喷嘴和单向实心锥喷嘴组合布置的方式,顶层洗涤塔喷淋层布置单向实心锥喷嘴,其他洗涤塔喷淋层采用双向实心锥喷嘴,液气比为8~15L/m³,脱硫效率可达98%以上。

[0026] 所述除雾器用于除去净化尾气携带的液滴,超过15μm以上的雾滴被拦截,烟气中雾滴含量可以控制在30mg/m³以下。

[0027] 本实用新型使用时,包括下述步骤:

[0028] a、船舶高温烟气进入文丘里冷却塔,启动入口段喷淋层,向烟气中喷入脱硫剂,同时监测扩散段出口尾气温度,当尾气温度高于80℃以上时,启动喉道喷淋层;

[0029] b、降温后的湿尾气从文丘里冷却塔扩散段经导流板整流后进入U型汽水分离装置,在U型汽水分离装置的作用下进行汽水分离,湿尾气中13μm以上的液滴被捕集,从尾气中分离,洗涤液被底部集液斗收集;

[0030] c、进行气液分离后的湿尾气经过冷凝式除湿装置,在其作用下湿尾气中大量的细微液滴被捕集、去除,冷凝液流入U型汽水分离装置底部的集液斗;

[0031] d、经过冷凝式除湿装置除湿、整流和进一步降温后的尾气进入烟气洗涤塔;

[0032] e、尾气进入烟气洗涤塔后首先通过均流增效板,洗涤塔内喷淋层向尾气中喷入脱硫剂,与尾气逆向充分接触,洗涤塔内pH控制在6.0~6.8之间,温度控制在40~50℃,使尾气中的S(IV)充分吸收、氧化,氧化效率达90%以上,SO_x脱除率达99%;

[0033] f、净化后的尾气经除雾器除去雾滴后由尾气排出口排入大气;

[0034] g、采用新鲜海水作为脱硫剂时,海水供应系统将新鲜海水输送至循环罐和冷凝式除湿装置,由循环罐向文丘里冷却塔和烟气洗涤塔供应脱硫剂,当船舶航行至高温海水区域时,还需向液-液换热器供应冷却海水,降低洗涤液温度后返回至循环罐,当船舶航行至低温海水区域时,不需向液-液换热器供应冷却海水,热的洗涤液经过液-液换热器后直接进入循环罐,提升循环罐内循环洗涤液温度,有利于提高系统脱硫效率;

[0035] h、采用氢氧化镁作为脱硫剂时,通过浆液泵将氢氧化镁浆液输送至循环罐,由循环罐向文丘里冷却塔和烟气洗涤塔供应脱硫剂,海水供应系统向脱硫剂制备及储存系统和冷凝式除湿装置供应新鲜海水,当船舶航行水域温度变化时,操作方式同g;

[0036] i、烟气洗涤塔内洗涤液直接由洗涤液排出管输送至循环罐，实现洗涤液循环利用，当定期排水时间到时，向洗涤水处理系统进行排水；

[0037] j、气液相温度调控系统实时监测、反馈、精准调控整套装置的运行过程，使文丘里冷却塔、烟气洗涤塔的喷淋液用量和烟气洗涤塔内温度维持最优，同时隔离文丘里冷却塔热水进入烟气洗涤塔，实现整套系统运行最优化；

[0038] k、整个系统经过步骤a~j，实现船舶尾气SO₂达标排放。

[0039] 作为优选，氧化镁纯度在85%以上，粒径30~50 μ m，氧化镁活化器为高温高压绝热装置，活化器配备强化搅拌器，设置双层搅拌桨，抽取船舶蒸汽管道内高压水蒸汽，蒸汽压力0.2~0.6MPa，氧化镁活化器内反应温度控制在85~100 $^{\circ}$ C，活化反应20min后将成熟氢氧化镁浆液输送至储罐，并通入新鲜海水稀释至0.5%~2%备用，同时降低氢氧化镁浆液温度至常温储存。

[0040] 作为优选，U型汽水分离装置外侧内壁捕集的洗涤液在自重作用下流入集液斗，集液斗收集的洗涤液根据烟气温度的、热洗涤液温度、循环罐浆液温度、烟气洗涤塔内温度、海水温度、排烟温度和SO₂浓度灵活调控去向，当上述测点监测值高时，通过管路输送至液-液换热器进行冷却降温，当上述测点监测值低时，则直接进入循环罐。

[0041] 本实用新型有益效果：

[0042] 1、文丘里冷却塔扩散段与U型汽水分离装置之间设置导流板，保证湿尾气以最大切线速度进入U型汽水分离装置，获得高的离心速度，实现汽液分离效率达80%以上；

[0043] 2、开发U型汽水分离装置，实现文丘里冷却塔的热湿尾气与烟气洗涤塔内低温洗涤液分离，避免两者混合后导致烟气洗涤塔内温度升高，影响系统脱硫效率，U型汽水分离装置底部设置集液斗，将尾气中分离出来的洗涤液单独收集后冷却降温，冷却降温过程海水使用量为常规海水脱硫工艺的1/3，大大节约了海水使用量，节约燃料；

[0044] 3、液-液换热器小型化，文丘里冷却塔内使用的喷淋液少，通过U型汽水分离装置汽液分离后洗涤液量明显少于整套系统洗涤液量（包括文丘里冷却塔和烟气洗涤塔），液-液换热器的体积减小约70%，减少占地面积，当船舶航行区域的海水温度低时，液-液换热器不需要工作，热洗涤液可以直接去循环罐或洗涤水处理系统，实现高温洗涤水再利用；

[0045] 4、针对船舶航行区域的海水温度、碱度变化，调控液-液换热器的工作方式，在海水低温区不需要海水进行冷却降温，热洗涤液进入循环罐有利于提高循环浆液的脱硫效率，在海水高温区需要海水进行冷却降温，海水使用量少，洗涤液循环使用时不影响烟气洗涤塔内温度，从而不影响系统脱硫效率；

[0046] 5、增设冷凝式除湿装置，具有捕集细微液滴、降低尾气温度和整流功能，进一步对系统温度进行精准调控，当船舶航行至海水低温区、尾气温度低或系统入口SO₂浓度低时，冷凝式除湿装置无需通入新鲜海水，即可对液滴进行高效捕集，减少海水用量，降低系统能耗；

[0047] 6、采用气液相温度调控系统，对气路、液路进行全流程温度监测、反馈、调控，合理配置文丘里冷却塔和烟气洗涤塔的喷淋层运行方式，当文丘里冷却塔入口尾气温度低或船舶航行在海水低温区时，基于温度监测数据实时调控文丘里冷却塔的喷淋层运行方式，保证烟气洗涤塔入口烟温在50~80 $^{\circ}$ C，然后调整烟气洗涤塔的喷淋层运行方式，维持烟气洗涤塔内最佳pH、温度和喷淋液用量，实现脱硫效率最高，物耗能耗最低，当文丘里冷却塔入口

尾气温度高或船舶航行的海水高温区时,温度调控方式同上;

[0048] 7、烟气洗涤塔内增设均流增效板,均流增效板能够有效提高筛板上液膜的厚度和表面张力,从而提高烟气通过吸收塔筛板时气液接触效率,提高液体中吸收剂的利用率,同时提高对烟气流动导向效率和对气流均布的稳定性,并有助于降低烟气流动速度,强化SO₂吸收、氧化,能够显著提升气液混合均匀性及SO₂脱除性能,相同脱硫效率下液气比减少10%以上;

[0049] 8、洗涤塔喷淋层喷嘴采用双向实心锥喷嘴和单向实心锥喷嘴组合布置的方式,单位截面内,喷嘴密度高的布置方式有利于提高浆液的覆盖率和传质表面积,使得传质通量增加,从而提高脱硫效率,相同脱硫效率下液气比显著减少15%以上;

[0050] 9、采用双介质脱硫剂,提高了船舶尾气洗涤系统的灵活性,海水法适用于海水碱度较高和公海海域,镁法适用于海水碱度不达标和近海海域,另外,向海水中添加氢氧化镁浆液,可提高海水碱度,强化SO₂吸收,提高系统脱硫效率,降低运行成本;

[0051] 10、采用脱硫剂智能化计量分配系统,对文丘里冷却塔、烟气洗涤塔的脱硫剂用量根据在线监测温度数据、烟气成分浓度数据、海水碱度、浆液pH等参数进行脱硫剂用量分配调节,控制系统各环节温度和脱硫塔的液气比,保证系统高效、稳定、低能耗运行;

[0052] 11、采用文丘里冷却塔耦合烟气洗涤塔的工艺,通过文丘里的湍流强化,实现快速降温,一方面实现SO₂的快速洗涤脱除,另一方面提高SO₃的凝结长大速率,提高SO₃的脱除效率的同时还可以为洗涤塔内的SO₃的进一步脱除提供基础,同时通过湍流强化,可以实现炭黑的碰撞捕集,还可以提高洗涤液滴和炭黑颗粒之间的热泳力,显著强化炭黑颗粒以及PAH的捕集,实现SO₂、SO₃、炭黑、PAH等协同脱除。

附图说明

[0053] 图1是本实用新型的工艺流程图;

[0054] 图2是本实用新型冷凝式除湿装置的结构示意图;

[0055] 图3是本实用新型液-液换热器的换热管的结构示意图;

[0056] 图4是本实用新型液-液换热器的换热管的横截面图;

[0057] 图5是本实用新型U型汽水分离装置的结构示意图;

[0058] 图6是本实用新型热洗涤液流向系统的示意图;

[0059] 图7是本实用新型新鲜海水流向系统的示意图。

具体实施方式

[0060] 下面结合附图和具体实施例对本实用新型进一步描述,但本实用新型所要保护的范围并不限于此。

[0061] 实施例1

[0062] 参照图1~7,一种分段温度自适应精准调控强化SO₂吸收-氧化的船舶尾气净化装置,所述装置包括船舶尾气净化系统1、气液相温度调控系统2和脱硫剂智能化计量分配系统3,所述船舶尾气净化系统1分别与气液相温度调控系统2、脱硫剂智能化计量分配系统3相连接,气液相温度调控系统2与脱硫剂智能化计量分配系统3相连接;所述船舶尾气净化系统包括文丘里冷却塔1-1、U型汽水分离装置1-2、冷凝式除湿装置1-3、烟气洗涤塔1-4、

液-液换热器1-5、循环罐1-6、脱硫剂制备及储存系统1-7、海水供应系统1-8和洗涤水处理系统1-9；

[0063] 所述文丘里冷却塔1与U型汽水分离装置1-2的入口端相连接,在文丘里冷却塔1-1与U型汽水分离装置1-2连接处安装导流板1-10,冷凝式除湿装置1-3安装在U型汽水分离装置1-2与烟气洗涤塔1-4连接处,冷凝式除湿装置1-3入口端连接海水供应系统8,冷凝式除湿装置3出口端与液-液换热器5相连接,U型汽水分离装置1-2的末端与烟气洗涤塔1-4垂直连接,烟气洗涤塔1-4底部设置洗涤液排出管1-11,洗涤液排出管1-11与循环罐1-6相连接,循环罐1-6与循环泵1-12相连接,循环泵1-12与烟气洗涤塔1-4内的洗涤塔喷淋层1-13相连接,海水供应系统1-8连接循环罐1-6和脱硫剂制备及储存系统1-7,脱硫剂制备及储存系统1-7与循环罐1-6相连接,循环罐1-6与洗涤水处理系统1-9相连接,U型汽水分离装置1-2底部设置集液斗1-14,集液斗1-14通过管道与液-液换热器1-5和洗涤水处理系统1-9的氧化器相连接,通过截止阀1-16控制集液斗洗涤液输送去向,海水供应系统1-8与液-液换热器1-5相连接;所述烟气洗涤塔1-4顶部设有尾气排出口1-15,气液相温度调控系统连接整套船舶尾气净化系统。

[0064] 所述海水供应系统的海水水源来自大海,作为脱硫剂向循环罐中供应新鲜海水,作为溶剂向脱硫剂制备及储存系统供应新鲜海水,作为冷凝水向冷凝式除湿装置供应新鲜海水,作为冷却剂向液-液换热器供应新鲜海水,换热后的海水排放大海。

[0065] 所述脱硫剂制备及储存系统采用氧化镁和海水作脱硫剂原料,包括混合罐1-17、氧化镁活化器1-18、氢氧化镁浆液储罐1-19和浆液泵1-20,氧化镁纯度在85%以上,粒径30~50 μm ,氧化镁活化器为高温高压绝热装置,活化器配备强化搅拌器,设置双层搅拌桨,抽取船舶蒸汽管道内高压水蒸汽,蒸汽压力0.2~0.6MPa,氧化镁活化器内反应温度控制在85~100 $^{\circ}\text{C}$,活化反应20min后将成熟氢氧化镁浆液输送至储罐,并通入新鲜海水稀释至0.5%~2%备用,同时降低氢氧化镁浆液温度至常温储存。氢氧化镁浆液储罐1-19与循环罐1-6通过浆液泵1-20连接,当海水作脱硫剂无法满足系统脱硫要求时,启动脱硫剂制备及储存系统向循环罐中供应氢氧化镁浆液。

[0066] 所述液-液换热器1-5是一种管壳式换热器,热相流在管道内流动,冷相流在管外流动,换热管道1-30呈螺旋结构,换热管道外壁设置弯曲肋片1-31,海水将换热管道完全沉浸在壳体内,实现换热面积最大化,整套装置采用不锈钢材料(如316L、2205等),具有良好的抗腐蚀性和导热性,液-液换热器采用新鲜海水作为冷却介质,冷却对象为集液斗收集的洗涤液和冷凝式除湿装置排出的热海水,进行热交换后的新鲜海水直接外排大海,在正常工作阶段,海水连续进入和排出液-液换热器,部分热海水通过管道输送至脱硫剂制备系统,用于制备氢氧化镁浆液。

[0067] 所述脱硫剂智能化计量分配系统3基于气液相温度调控系统的实时温度监测数据、烟气成分浓度监测数据,对脱硫剂种类、浓度、用量、喷淋层运行方式进行优化调控,使整套脱硫装置的运行成本最低;

[0068] 本实用新型通过管路切换,对高温洗涤水的去向进行调控,可以实现高温洗涤水再利用分配,合理利用好高温洗涤水的余热资源,减少新鲜海水的使用量。当系统温度低时,热洗涤液可以直接输送至循环罐,提高脱硫剂反应活性,另外热洗涤液还可以直接通入洗涤水处理系统,强化氧化效果,采用综合技术手段实现热洗涤液的再利用率,降低换热器

的投运率和出力,减少海水用量。所述文丘里冷却塔用于船舶尾气的降温和SO_x(包括SO₂和SO₃)的预脱除,通过文丘里的湍流强化,实现快速降温,一方面实现SO₂的快速洗涤脱除,另一方面提高SO₃的凝结长大速率,提高SO₃的脱除效率的同时还可以为洗涤塔内的SO₃的进一步脱除提供基础,同时通过湍流强化,可以实现炭黑的碰撞捕集,还可以提高洗涤液滴和炭黑颗粒之间的热泳力,显著强化炭黑颗粒以及PAH的捕集。

[0069] 所述文丘里冷却塔设置入口段1-21、收缩段1-22、喉道1-23、扩散段1-24,在入口段1-21和喉道1-23分别设置两层文丘里冷却塔喷淋层1-25,喷淋层喷淋液由海水供应系统和脱硫剂制备及储存系统供应;

[0070] 所述文丘里冷却塔喷淋层通过喷淋液可将尾气温度降低至50~80℃,喷淋层运行层数和喷淋量由扩散段烟温确定,喷淋层采用的喷淋液类别由尾气中SO_x浓度和排放控制区确定。

[0071] 所述U型汽水分离装置功能是对文丘里冷却器出口湿尾气进行气液分离,湿尾气进入U型结构的分离装置,在离心力作用下将烟气中的液滴与尾气分离,烟气中粒径超过13 μm以上的液滴被U型汽水分离装置外侧内壁捕集,然后被集液斗收集。

[0072] 所述U型汽水分离装置1-2与文丘里冷却器1-1连接处安装导流板1-10,导流板具有调节尾气射入角度的功能,经过导流板的尾气以切向角度进入U型汽水分离装置,U型汽水分离装置汽水分离效率可达80%以上。

[0073] 所述U型汽水分离装置底部安装集液斗1-14,外侧内壁捕集的洗涤液在自重作用下流入集液斗,集液斗收集的洗涤液可根据烟气温度、热洗涤液温度、循环罐浆液温度、烟气洗涤塔内温度、海水温度、排烟温度和SO₂浓度灵活调控去向,当上述测点监测值高时,通过管路输送至液-液换热器1-5进行冷却降温,当上述测点监测值低时,则直接进入循环罐1-6。

[0074] 所述冷凝式除湿装置3,又称冷凝式分离器,采用夹层波纹板式设计,弯折区有勾状液滴捕集结构1-28,夹层1-29作为新鲜海水通道用于冷却湿尾气温度,夹层波纹板之间通道用于尾气流通,冷凝式除湿装置的功能是通过降低湿尾气温度,促使液滴碰撞、凝聚、长大,大的液滴被夹层波纹板捕集,然后流入U型汽水分离装置内,被集液斗1-14收集,在此过程中,5 μm以上的液滴捕集率超过75%,1 μm以上的液滴捕集率达50%以上,同时冷凝式除湿装置还具有流场均布作用,湿尾气被均流后进入烟气洗涤塔,能够强化SO₂吸收,同时具有很好的SO₃、炭黑、PAH的协同脱除作用。

[0075] 所述冷凝式除湿装置1-3采用海水作为冷却剂,通过管道布水方式将新鲜海水均匀通入夹层波纹板中,海水在夹层1-29内的流速可以通过动力泵控制,海水与湿尾气逆向流动,加热后的海水与集液斗1-14收集的洗涤液混合后通过管路输送至液-液换热器1-5,当烟气温度和烟气洗涤塔内温度低时,冷凝式除湿装置不需要通入冷却剂,通过除湿装置物理结构即可去除液滴,降低海水使用量和系统能源消耗。

[0076] 所述烟气洗涤塔1-4内主要构件为均流增效板1-26、洗涤塔喷淋层1-13和除雾器1-27,均流增效板1-26布置在第一层洗涤塔喷淋层与烟气洗涤塔1-4进口之间,采用耐腐蚀金属材料,设计为多孔筛板,筛板开孔率为30~40%,开孔孔径为10~15mm,孔间距为15~20mm,运行过程中筛板上形成一层持液层,用于强化SO₂吸收-氧化;

[0077] 所述洗涤塔喷淋层1-13用于向尾气中均匀喷射脱硫剂,并实现雾化脱硫剂对尾气

的全覆盖,喷淋层喷嘴采用双向实心锥喷嘴和单向实心锥喷嘴组合布置的方式,顶层喷淋层布置单向实心锥喷嘴,其他喷淋层采用双向实心锥喷嘴,液气比设计为8~15L/m³,脱硫效率可达98%以上。

[0078] 所述除雾器27用于除去净化尾气携带的液滴,超过15μm以上的雾滴被拦截,烟气中雾滴含量可以控制在30mg/m³以下。

[0079] 所述气液相温度调控系统2具有在线监测、反馈控制、运行调节的功能,温度在线监测分为气路和液路,气路监测点包括文丘里冷却塔入口段、扩散段、冷凝式除湿装置进口段、烟气洗涤塔、尾气排出口,液路监测点包括海水输送管出口、文丘里冷却塔喷淋层入口、集液斗出口管道、冷凝式除湿装置出口管道、烟气洗涤塔洗涤液排出管出口、液-液换热器海水排出管出口、液-液换热器洗涤液排出管出口、循环罐排出管出口,上述气液路温度在线监测数据全部传输至气液相温度调控系统。

[0080] 所述文丘里冷却塔1-1入口尾气温度高时,加大文丘里冷却塔喷淋液量,控制尾气温度降低至50~80℃,通过U型汽水分离装置1-2对文丘里冷却塔出来的湿尾气进行汽水分离,分离出来的洗涤液由集液斗1-14收集,同时冷凝式除湿装置1-3进一步进行汽水分离,避免热的洗涤液直接进入烟气洗涤塔,提升烟气洗涤塔内温度,影响系统脱硫效率。

[0081] 所述文丘里冷却塔1-1的功能是尾气降温和SO_x预脱除,通过气液相温度调控系统调控其喷淋层运行方式,利用最少的喷淋液实现尾气降温,最少喷淋液变成洗涤液后,体积量约为传统闭式海水脱硫洗涤液的1/3,大大减少了液-液换热器用海水体积量,也大大减小了液-液换热器体积。

[0082] 海水供应系统1-8和洗涤水处理系统1-9对不同海域0~40℃海水、脱硫装置入口温度150~450℃尾气具有很好的自适应性,根据整套系统在线温度监测数据,可实时调控SO₂吸收-氧化过程的温度,保证高海水温度和尾气温度时系统的脱硫效率。

[0083] 经液-液换热器1-5冷却后的洗涤液输送至循环罐1-6,继续用于尾气脱硫,实现循环利用。

[0084] 尾气经文丘里冷却塔1-1预脱硫后温度降低至50~80℃,然后在烟气洗涤塔1-4内与喷淋液充分接触,使烟气洗涤塔1-4内温度控制在40~50℃,烟气洗涤塔4内喷淋液用量与系统脱硫效率和SO₂排放浓度有关,通过优化文丘里冷却塔1-1和烟气洗涤塔1-4内喷淋液用量,精准调控烟气洗涤塔内温度,使烟气洗涤塔1-4内温度处于最佳范围,同时洗涤水喷淋量最小,减少运行能耗。

[0085] 上述装置用于船舶尾气净化时,包括下述步骤:

[0086] a、船舶高温烟气进入文丘里冷却塔1-1,启动入口段1-21喷淋层,向烟气中喷入脱硫剂,同时监测扩散段1-24出口尾气温度,当尾气温度高于80℃以上时,启动喉道1-23喷淋层;

[0087] b、降温后的湿尾气从文丘里冷却塔扩散段1-24经导流板1-10整流后进入U型汽水分离装置1-2,在U型汽水分离装置1-2的作用下进行汽水分离,湿尾气中13μm以上的液滴被捕集,从尾气中分离,洗涤液被底部集液斗1-14收集;

[0088] c、进行气液分离后的湿尾气经过冷凝式除湿装置1-3,在其作用下湿尾气中大量的细微液滴被捕集、去除,冷凝液流入U型汽水分离装置1-2底部的集液斗1-14;

[0089] d、经过冷凝式除湿装置1-3除湿、整流和进一步降温后的尾气进入烟气洗涤塔1-

4;

[0090] e、尾气进入烟气洗涤塔1-4后首先通过均流增效板1-26,洗涤塔内喷淋层1-13向尾气中喷入脱硫剂,与尾气逆向充分接触,洗涤塔内pH控制在6.0~6.8之间,温度控制在40~50℃,使尾气中的S_(IV)充分吸收、氧化,氧化效率达90%以上,SO_x脱除率达99%;

[0091] f、净化后的尾气经除雾器27除去雾滴后由尾气排出口1-15排入大气;

[0092] g、采用新鲜海水作为脱硫剂时,海水供应系统1-8将新鲜海水输送至循环罐1-6和冷凝式除湿装置1-3,由循环罐1-6向文丘里冷却塔1-1和烟气洗涤塔1-4供应脱硫剂,当船舶航行至高温海水区域时,还需向液-液换热器1-5供应冷却海水,降低洗涤液温度后返回至循环罐1-6,当船舶航行至低温海水区域时,不需向液-液换热器1-5供应冷却海水,热的洗涤液经过液-液换热器1-5后直接进入循环罐1-6,提升循环罐1-6内循环洗涤液温度,有利于提高系统脱硫效率;

[0093] h、采用氢氧化镁作为脱硫剂时,通过浆液泵1-20将氢氧化镁浆液输送至循环罐1-6,由循环罐1-6向文丘里冷却塔1-1和烟气洗涤塔1-4供应脱硫剂,海水供应系统1-8向脱硫剂制备及储存系统1-7和冷凝式除湿装置1-3供应新鲜海水,当船舶航行水域温度变化时,操作方式同g;

[0094] i、烟气洗涤塔1-4内洗涤液直接由洗涤液排出管1-11输送至循环罐1-6,实现洗涤液循环利用,当定期排水时间到时,向洗涤水处理系统1-9进行排水;

[0095] j、气液相温度调控系统2实时监测、反馈、精准调控整套装置的运行过程,使文丘里冷却塔1-1、烟气洗涤塔1-4的喷淋液用量和烟气洗涤塔1-4内温度维持最优,同时隔离文丘里冷却塔1-1热水进入烟气洗涤塔1-4,实现整套系统运行最优化;

[0096] k、整个系统经过步骤a~j,实现船舶尾气SO₂达标排放。

[0097] 实施例2

[0098] 本实施例以1万吨远洋货轮为例,远洋货轮航行在海水高温区域(30℃),海水pH为7.8,燃油发动机功率320kW,燃料为III柴油,排烟温度230℃,烟气量3000m³/h,SO₂浓度1200μL/L(设计值为1500μL/L),文丘里冷却塔设置4层喷淋层,烟气洗涤塔设置3层喷淋层、一层均流增效板和一层除雾器。

[0099] 其具体实施过程是:

[0100] 船舶航行过程中产生尾气进入文丘里冷却塔,由于海水pH为7.8,采用海水作脱硫剂,系统脱硫效率仅达到94.5%,SO₂排放浓度约66μL/L,不满足排放要求,若采用氧化镁作脱硫剂,则运行成本太高,因此采用混合吸收剂进行脱硫,即在海水中添加氢氧化镁浆液,将混合吸收剂pH提升到8.3,并稳定下来,由于尾气中SO₂浓度和烟气温度较高,因此文丘里冷却塔入口段的2层喷淋层、喉道的2层喷淋层投运,运行液气比为10 L/m³,尾气与喷淋液充分接触,SO₂被喷淋液吸收去除,烟气温度降低至76℃,雾化喷淋液随尾气进入U型汽水分离装置1-2,经过导流板1-10整流过的湿尾气沿切线方向进入U型汽水分离装置1-2,在离心力作用下进行气液分离,13μm以上的液滴及部分细微液滴被U型汽水分离装置1-2外侧内壁捕集,形成水流被集液斗1-14收集,气液分离后的尾气进入冷凝式除湿装置1-3,76℃的尾气与冷凝式除湿装置1-3接触后,尾气温度进一步降低至71℃,细微液滴在冷凝式除湿装置1-3内碰撞、凝聚成大液滴,被夹层波纹板捕集,然后流入U型汽水分离装置1-2,被集液斗1-14收集,尾气中的液滴含量降低至32mg/m³,然后进入烟气洗涤塔1-4,烟气洗涤塔的3层喷

淋层全开,向尾气中喷入脱硫剂,尾气首先穿过均流增效板1-26,均流增效板为多孔筛板,筛板开孔率为35%,开孔孔径为12mm,孔间距为18mm;在均流增效板持液层与脱硫剂充分接触,尾气中SO₂被充分吸收、氧化,洗涤液顺着均流增效板的孔隙流入洗涤塔底部,烟气洗涤塔内液气比为11 L/m³,脱硫剂pH为8.3,尾气与喷淋液逆向接触,穿过喷淋层后经除雾器27除去雾滴后,由排气管外排大气,外排尾气中SO₂浓度不高于10mg/m³,系统整体脱硫效率约99.17%。

[0101] 由于货轮航行在海水高温区,U型汽水分离装置1-2捕集的洗涤液进入循环罐1-6前应先进行冷却降温,文丘里冷却器1-1至冷凝式除湿装置1-3段产生的洗涤液全部由集液斗1-14收集,该洗涤液温度为76℃,冷凝式除湿装置1-3采用海水作冷凝媒介,与尾气接触后温度升高至33℃,热洗涤液与加热后海水混合后输送至液-液换热器1-5,采用大量海水对热混合液进行冷却降温,热混合液经液-液换热器5处理后,温度降低至40℃,然后输送至循环罐1-6,再由循环罐6通过循环泵输送至喷淋层再利用,当循环罐1-6设定定排时间到时,向洗涤液处理系统进行排水,换热后的海水温度升高至34℃,然后外排大海。

[0102] 循环罐内1-6海水脱硫剂由海水供应系统供应,氢氧化镁浆液由氢氧化镁浆液储罐提供,通过浆液泵1-20输送至循环罐1-6,与海水进行混合,形成混合脱硫剂,制备氢氧化镁浆液的工艺水为新鲜海水。

[0103] 整套系统运行过程中,气液相温度调控系统实时监测气液相温度,当文丘里冷却塔入口尾气温度升高时,则采用增加液气比的方式来控制进入烟气洗涤塔的湿尾气的温度,液气比增加会增加文丘里冷却塔的脱硫效率,因此根据脱硫效率来降低烟气洗涤塔的液气比,从而实现两侧塔喷淋液用量的分配,保证整个脱硫系统处于最佳反应温度区间;当文丘里冷却塔入口尾气SO₂浓度升高、温度降低时,则采用降低液气比的方式来控制进入烟气洗涤塔4的湿尾气的温度,液气比降低会降低文丘里冷却塔的脱硫效率,因此根据脱硫效率来增加烟气洗涤塔的液气比,从而实现两侧塔喷淋液用量的分配,该种情况下文丘里冷却塔内产生的热洗涤液少,则达到同样冷却降温效果时液-液换热器需要的新鲜海水量减少,降低系统能耗。

[0104] 实施例3

[0105] 本实施例以1万吨远洋货轮为例,远洋货轮航行在海水高温区域(40℃),海水pH为7.5,燃油发动机功率350kW,燃料为III柴油,排烟温度370℃,烟气量3600m³/h,SO₂浓度1500μL/L(设计值为1500μL/L),文丘里冷却塔设置4层喷淋层,烟气洗涤塔设置3层喷淋层、一层均流增效板和一层除雾器。

[0106] 其具体实施过程是:

[0107] 船舶航行过程中产生尾气进入文丘里冷却塔,由于海水pH为7.5,采用海水作脱硫剂,系统脱硫效率仅达到92.3%,SO₂排放浓度约115μL/L,不满足排放要求,若采用氧化镁作脱硫剂,则运行成本太高,因此采用混合吸收剂进行脱硫,即在海水中添加氢氧化镁浆液,将混合吸收剂pH提升到8.4,并稳定下来,由于尾气中SO₂浓度和烟气温度高,因此文丘里冷却塔入口段2层喷淋层、喉道的2层喷淋层投运,运行液气比为12.5 L/m³,尾气与喷淋液充分接触,SO₂被喷淋液吸收去除,烟气温度降低至79℃,雾化喷淋液随尾气进入U型汽水分离装置,经过导流板整流过的湿尾气沿切线方向进入U型汽水分离装置,在离心力作用下进行气液分离,20μm以上的液滴及部分细微液滴被U型汽水分离装置外侧内壁捕集,形成水流被

集液斗收集,气液分离后的尾气进入冷凝式除湿装置,79℃的尾气与冷凝式除湿装置接触后,尾气温度进一步降低至75℃,细微液滴在冷凝式除湿装置内碰撞、凝聚成大液滴,被夹层波纹板捕集,然后流入U型汽水分离装置,被集液斗收集,尾气中的液滴含量降低至54mg/m³,然后进入烟气洗涤塔,烟气洗涤塔4层喷淋层全开,向尾气中喷入脱硫剂,尾气首先穿过均流增效板,均流增效板的筛板开孔率为38%,开孔孔径为13mm,孔间距为17mm;在均流增效板持液层与脱硫剂充分接触,尾气中SO₂被充分吸收、氧化,洗涤液顺着均流增效板的孔隙流入洗涤塔底部,烟气洗涤塔内液气比为13 L/m³,脱硫剂pH为8.4,尾气与喷淋液逆向接触,穿过喷淋层后经除雾器除去雾滴后,由排气管外排大气,外排尾气中SO₂浓度不高于21mg/m³,系统整体脱硫效率约98.6%。

[0108] 由于货轮航行在海水高温区,U型汽水分离装置捕集的洗涤液进入循环罐前应先进行冷却降温,文丘里冷却器至冷凝式除湿装置段产生的洗涤液全部由集液斗收集,该洗涤液温度为79℃,冷凝式除湿装置采用海水作冷凝媒介,与尾气接触后温度升高至54℃,热洗涤液与加热后海水混合后温度为69℃,输送至液-液换热器,采用大量海水对热混合液进行冷却降温,热混合液经液-液换热器处理后,温度降低至44℃,然后输送至循环罐,再由循环罐通过循环泵输送至喷淋层再利用,当循环罐设定定排时间到时,向洗涤液处理系统进行排水,换热后的海水温度升高至45℃,热海水一部分去混合罐用于制备氢氧化镁浆液,另一部分外排大海。

[0109] 综合实施例2和实施例3可知,当船舶航行区域、海水碱度、入口SO₂浓度、尾气温度发生较大变化时,整套脱硫系统脱硫效率仍然达到98.6%以上,系统换热效果稳定,波动较小,实施例3由于入口SO₂浓度增大,尾气温度升高,系统喷淋层液气比增大,脱硫剂消耗量增加,但产生的高温海水一部分用于制备氢氧化镁浆液,系统的新鲜海水用量减少了约15%(相对实施例2),降低了系统能耗。

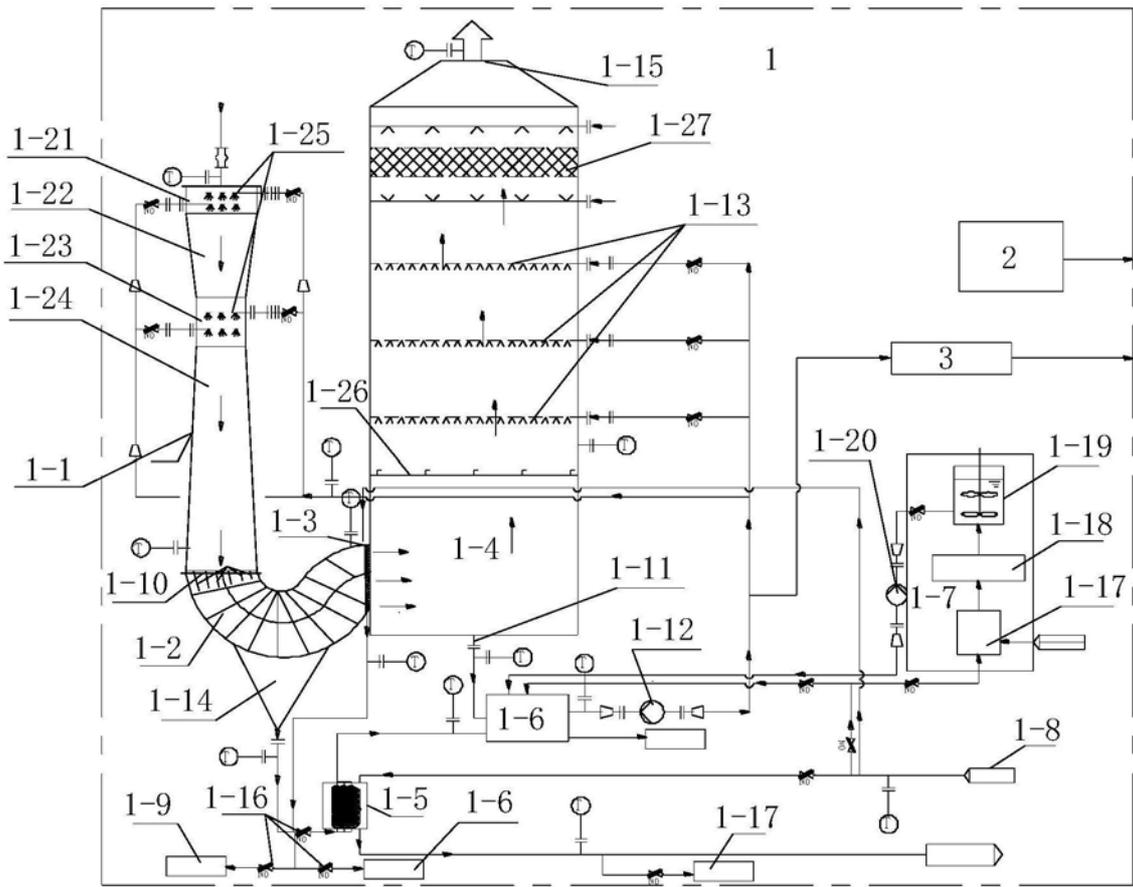


图1

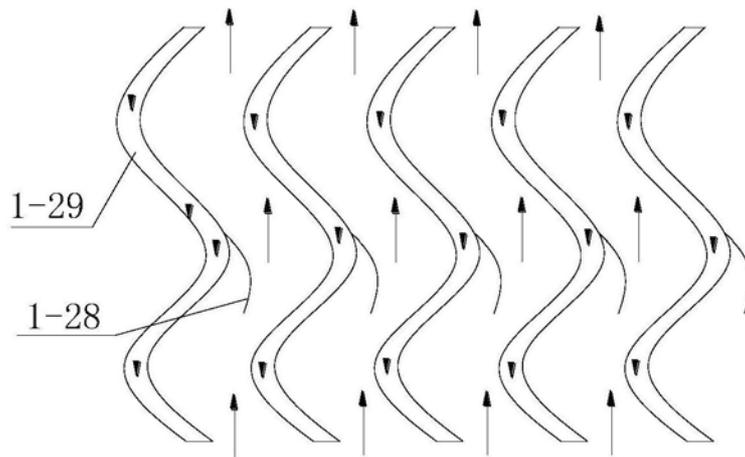


图2

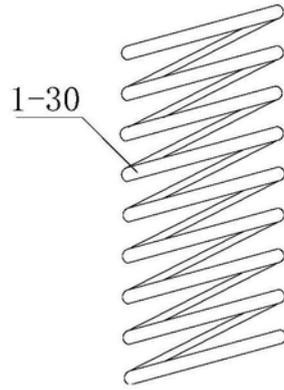


图3

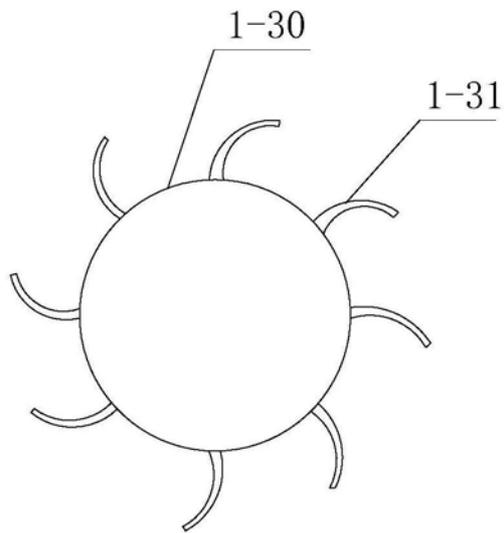


图4

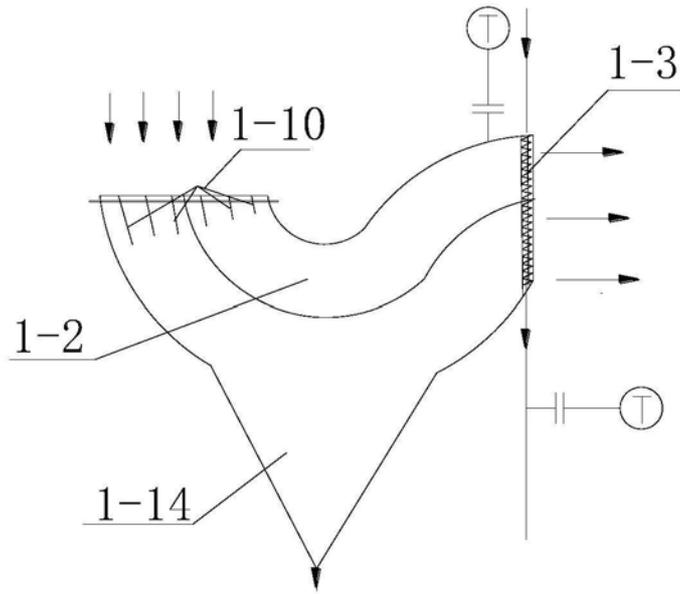


图5

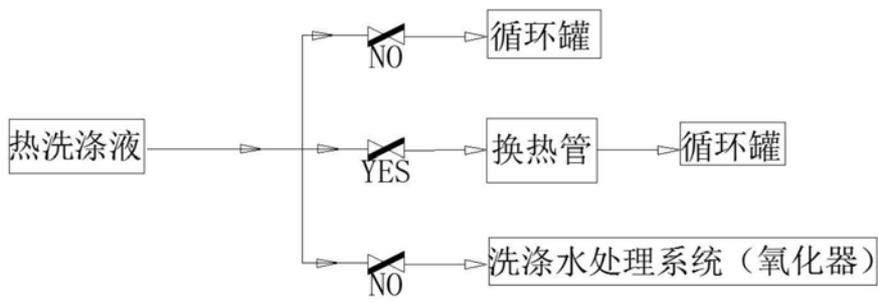


图6

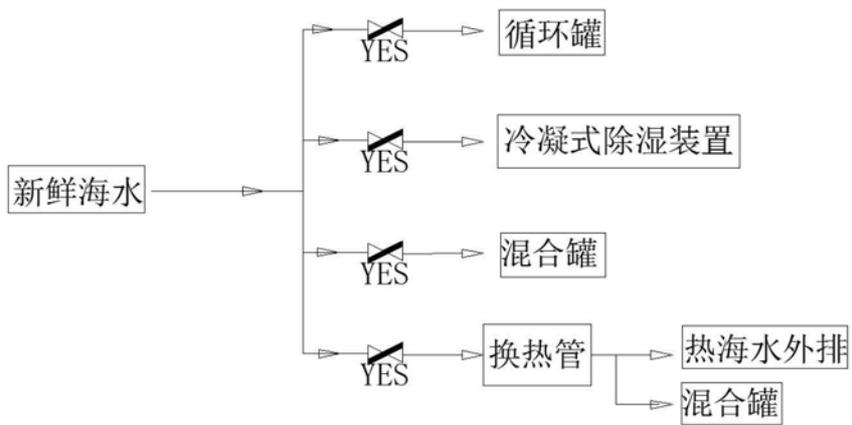


图7