ICS 27.020
CCS J 92

团　　体　　标　　准

T/CSICE 008-2023

船舶发动机废气混合式洗涤脱硫系统技术规范

Technical specification for hybrid scrubber system of marine engine exhaust gas

2023-12-04 发布　　2023-12-04 实施

中国内燃机学会　　发 布

目　次

前　言 III
1　范围 1
2　术语和定义 1
3　规范性引用文件 1
4　设计总则 2
5　工艺选择 3
6　船舶发动机废气混合式洗涤脱硫系统 3
6.1　系统组成 3
6.2　系统运行要求 3
6.3　系统关键设备选型 4
6.4　系统设备布置 4
6.5　管道及管道敷设 5
7　试验方法 6
7.1　试验条件 6
7.2　外观 7
7.3　密封性试验 7
附录 A(规范性)　碱液的危险性和防护措施 8
附录 B(规范性)　设计基础资料 9

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国内燃机学会标准管理部提出。

本文件由中国内燃机学会归口。

本文件起草单位：哈尔滨工程大学、中船发动机有限公司、中船动力（集团）有限公司、海德威科技集团（青岛）有限公司、重庆交通大学、大连中远海运川崎船舶工程有限公司。

本文件主要起草人：周松、张钊、席鸿远、张光伟，刘佃涛、张印光、刘炳言、龚灵华、赵云辉、曹学磊、盛进路、吴济铭、谢湘平、刘晓翠、杜清华。

本文件于2023年首次发布。

船舶发动机废气混合式洗涤脱硫系统技术规范

警告：本标准的应用可能涉及到某些有危险性的材料、操作和设备，但未对与此有关的所有安全问题都提出建议。因此，用户在使用本标准之前有责任制定相应的安全和防护措施（参见附录A），并确定相关规章限制的适用性。

1 范围

本规范规定了船舶发动机废气混合式洗涤脱硫系统（以下简称系统）的设计总则、工艺选择、系统组成以及试验方法。

本规范适用于船舶行业的湿法洗涤脱硫技术。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 600-2008 船舶管路阀件通用技术条件

GB/T 3458-2015 船用立式离心泵

CB/T 4113-2016 船舶不锈钢管对接焊技术要求

GB/T 8175 设备及管道绝热设计导则

GB/T 19229.1-2008 燃煤烟气脱硫设备

GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范

GB 51284-2018 烟气脱硫工艺设计标准

HJ 462-2009 工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范

HJ 2046-2014 火电厂烟气脱硫工程技术规范海水法

JB/T 10963-2010 湿法烟气脱硫装置专用设备 增压风机

JB/T 10964-2010 洗涤塔浆液喷嘴

JB/T 10989-2020 湿法烟气脱硫设备 除雾器

JB/T 10991-2010 湿法烟气脱硫装置专用设备 喷淋管

JB/T 10992-2020 湿法烟气脱硫设备 烟气挡板门

MEPC.340(77) 2021 Guidelines For Exhaust Gas Cleaning Systems

CCS 《钢质海船入级规范》

CCS 《船舶废气清洗系统试验及检验指南 2022》

CCS 《船舶废气清洗系统设计与安装指南2022》

3 术语和定义

3.1

开式系统 open loop system

开式洗涤脱除SO_2系统。

3.2

闭式系统 closed loop system

闭式循环洗涤脱除SO_2系统。

3.3

洗涤塔 scrubber

脱除SO_2的气液交换场所。

3.4

废气流量 exhaust gas flow rate

洗涤的废气量。

3.5

风机 fan

通过将电机机械能转化为废气的压能，以减小洗涤塔在脱硫过程产生的压降的设备。

3.6

循环泵 circulating pump

对洗涤液进行循环的泵。

3.7

洗涤液 scrubbing water

通过喷淋吸收废气中SO_2的碱性液体。

3.8

填料 packing

促进气液交换的固体介质。

3.9

过滤网 filter

过滤洗涤液中杂质的丝网。

3.10

碱性物质供给单元 alkaline substance supply unit

用于给脱硫系统补给新鲜碱液以保持洗涤液碱度的单元。

3.11

补水单元 water replenishment unit

用于给脱硫系统补水的单元。

3.12

除雾器 demister

去除出塔废气中水分的部件。

3.13

废水处理单元 waste water treatment unit

用于净化洗涤废水的单元。

4 设计总则

为了提高船舶脱硫技术的应用水平，促进船舶行业先进技术的发展，规范船舶脱硫技术，满足节能减排的需求，制定本标准。

系统可满足以柴油机为动力的船舶的应用需求。

船舶发动机废气混合式脱硫工艺设计应遵循技术先进、经济合理、安全可靠的原则。

对涉及安全、环保等方面的关键参数应采取监测、报警、连锁等措施，确保安全。

船舶发动机废气混合式洗涤脱硫过程不得对环境造成二次污染。

船舶发动机废气混合式脱硫工艺设计除应符合本规范外，还应符合国家和船级社现行相关标准的规定。

5 工艺选择

（1）系统应根据废气流量、SO_2浓度、废气中其他组分及含量、工况变化、船舶SO_2排放标准、脱硫效率、实际安装条件、含硫副产物综合利用、废水排放、废渣利用、场地布置及其他要素，经过综合比较最终确定。

（2）系统详细设计应根据船舶柴油机废气成分浓度、船舶安装空间等要素选择。

（3）系统应能够适应船舶发动机的负荷变化。

（4）系统应确保船舶最终SO_2排放满足法规要求。

（5）系统排放废水的水质应符合IMO关于洗涤废水的要求（MEPC.340(77)）。

（6）系统产生的污泥应集中进行无害化处理。

6 船舶发动机废气混合式洗涤脱硫系统

6.1 系统组成

系统原理图如图1所示。系统包括洗涤塔单元、循环泵组单元、碱性物质供给单元、废水处理单元、补水单元及水质监测单元，其中洗涤塔单元包括增压风机、除雾器、填料、过滤网、喷淋层及传感器等，洗涤塔引起的背压是决定是否需要安装增压风机的重要条件。循环泵组单元包括水泵、流量传感器、压力传感器、温度传感器、密度传感器、pH传感器、阀件及连接管路等，碱性物质供给单元包括碱性物质储存单元、流量计、温度及液位计等，废水处理单元包括废水储存柜、废水氧化风机、废水净化单元等，水质监测单元包括浊度传感器、PAHs传感器、pH传感器、自动校准单元等。

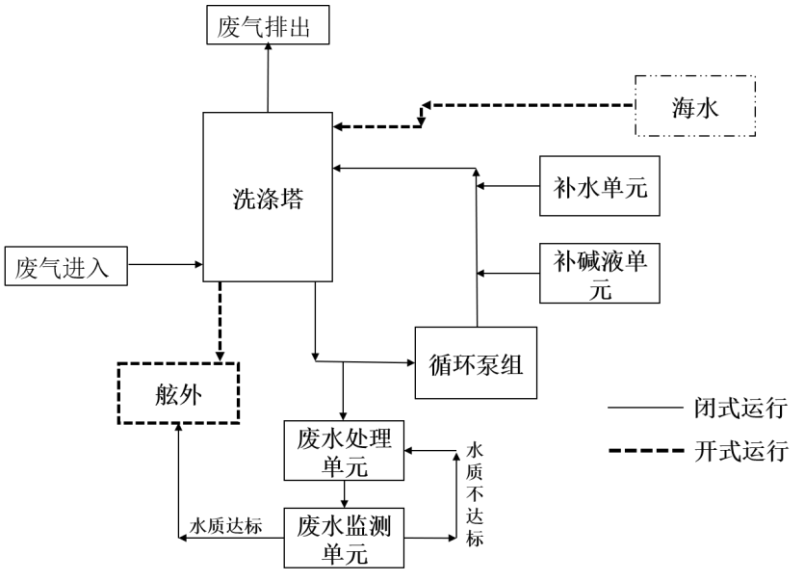


图1 系统原理图

6.2 系统运行要求

系统可以根据运行要求随意切换工作模式，分为开式运行模式和闭式运行模式。

6.3 系统关键设备选型

设备选择应确保系统安全可靠运行，同时系统中所选择的成品设备必须具有CCS船级社的认证证书。

6.3.1 风机

（1）当系统背压增加对发动机性能产生影响，需安装增压风机。

（2）增压风机规格参数应有一定的裕量，最大风量应大于最大设计工况下废气流量的110%，增压压头宜为最大设计工况下压头的120%。

（3）风机选型需满足JB/T 10963-2010的相关要求。

6.3.2 洗涤塔

（1）洗涤塔应满足结构简单、脱硫效率高、阻力小、操作维护方便、投资运行费用低的要求。

（2）洗涤塔宜选择喷淋空塔、填料塔等高效低阻设备；洗涤塔材质应根据气液介质特性进行选择，洗涤塔材质应耐海水、强酸及强碱腐蚀。

（3）洗涤塔应当设置除雾器，除雾器需设置冲洗装置；除雾器应当满足液滴捕集效率高、阻力小、易冲洗、耐腐蚀、方便维护的要求，除雾器的选型应满足JB/T 10989-2020《湿法烟气脱硫设备 除雾器》的相关要求。

（4）洗涤塔应当设置洗涤液液位传感器传感器、废气入口压力传感器及废气出口压力传感器等用于监控洗涤塔运行状态的传感器。

（5）洗涤塔建议采用焊接式，确保不会发生泄露。

（6）洗涤塔出口的三通烟气阀应当耐酸、碱及海水腐蚀，且具有CCS船级社的认证证书。

（7）洗涤塔的人孔导门应符合JB/T 10992-2020的相关要求。

（8）洗涤塔喷淋装置的喷淋管和喷嘴应符合JB/T 10991-2010和JB/T 10964-2010的相关要求。

6.3.3 废水氧化风机

（1）氧化风机宜采用罗茨风机或离心风机。

（2）氧化风机需设置2台全容量氧化风机，其中1台备用。

6.3.4 泵类设备

（1）洗涤水泵宜选用立式离心泵，符合GB/T 3458-2015中的规定。

（2）系统中所有泵组应设置备用泵组。

（3）系统中所有泵组及密封结构应当耐酸碱和海水腐蚀。

（4）循环泵组的流量应根据开式和闭式运行过程中的液气比计算确定，扬程应根据输送介质的特性、洗涤塔液位及管道和阀门的阻力计算确定，流量宜选取最大喷淋量的110%，扬程应满足极端条件下最高扬程的120%。

6.4 系统设备布置

6.4.1 设备布置基本规定

（1）设备应当按照工艺流程、物料顺序布置，满足烟道和管道短捷、顺畅的要求，同时充分利用重力的作用。

（2）设备布置在满足安全、生产、维护及消防要求的前提下应紧凑。

（3）设备布置应符合职业健康安全与环境的要求。

6.4.2 增压风机布置

（1）增压风机进出口气体管道及收缩管规格及长度不应影响风机性能。

（2）增压风机应设独立基础，当风机基础较高时应设置操作平台。

6.4.3 泵类布置

（1）循环泵和喷淋泵应靠近吸收侧设备布置。

（2）泵的布置应考虑泵、阀门、管件的安装、操作和检修要求。

6.5 管道及管道敷设

6.5.1 气体管道设计

（1）当废气温度高于150 ℃时，废气的流速应为15 m/s～30 m/s；当废气的温度低于150 ℃时，废气的流速应为12 m/s～15 m/s。

6.5.2 液体管道设计

（1）液体流速应根据输送介质特性选择。

（2）管道材质应根据输送介质及介质的浓度、温度、压力进行选择，输送腐蚀性洗涤液的管道应耐腐蚀。

6.5.3 阀门的选择与安装规定

（1）阀门应根据工艺流程、介质特性、设计温度及设计压力进行选择。

（2）气体阀门宜选用蝶阀或闸板阀，阀门材质应根据介质特性选择。

（3）液体阀门宜选用蝶阀、球阀；底流阀门宜选用隔膜阀；阀门直径宜与主管道一致。

（4）阀门安装高度应方便操作和检修；操作频繁的阀门，位置应当较高，且设置操作平台。

（5）水平管道上阀门的阀杆不宜向下安装;垂直管道上阀门的阀杆、手轮与操作巡回线方向平行。

（6）阀门宜安装在热位移较小的位置。

（7）管道绝热应符合国家现行标准GB 50264和GB/T 8175的规定。

（8）压力管道的设计应该满足 CCS《钢质海船入级规范》的要求。

6.5.4 船舶发动机废气混合式洗涤方法

（1）系统在开式运行模式中宜采用海水作为洗涤液，在闭式运行模式中宜采用海水添加碱性物质作为洗涤液，实现船舶动力装置废气中SO_2的高效脱除。

（2）系统应根据海域和船舶状况具体选择开式循环或者闭式循环。

（3)无论开式运行模式还是闭式运行模式，脱硫系统排放的废水应当满足MEPC.340(77)及 CCS《船舶废气清洗系统试验及检验指南》的相关要求。

6.5.5 碱性物质供给单元

（1）在系统中，碱性物质的供给一般以钠基或镁基碱性物质为宜。

（2）碱性物质供给系统中所有部件应采用耐强碱腐蚀的材料。

6.5.6 自动控制系统

自动控制及在线监测应包括碱性物质供应、废气输送、SO_2吸收及废水处理等过程。

6.5.7 在线监测系统应监测以下参数

（1）洗涤塔进出口的废气流量、温度及压力。
（2）洗涤系统进出口废气的SO_2浓度、CO_2浓度及O_2浓度。
（3）洗涤液的pH值、密度。
（4）洗涤塔液位。
（5）洗涤液的密度和流量。
（6）增压风机（若有）进出口压力。
（7）补充液的流量。
（8）除雾器前后废气的压差。

6.5.8 系统连锁、控制及报警功能应涵盖以下内容

（1）洗涤塔进口废气温度与增压风机连锁并报警。
（2）洗涤塔进口废气低压报警。
（3）循环液的pH值与碱性物质补充液连锁。
（4）洗涤液的密度与洗涤液的排出量连锁。
（5）洗涤塔液位与补水流量连锁。
（6）除雾器压差与除雾器冲洗水连锁。
（7）循环泵进出口低压报警。
（8）循环液的密度与碱性物质补充量、加水量连锁。
（9）箱、罐、槽液位低位、高位报警。

6.5.9 管路

系统管路应当耐酸、耐碱且耐海水腐蚀，管路设计要避免过度弯折，尽可能降低管道流动阻力，管路和阀件的品质应满足GB/T 600-2008中的规定。

6.5.10 装置管路连接要求

（1）系统中所使用的焊条应符合焊接材料的要求。
（2）焊缝不允许出现烧穿、裂纹、间断和凹坑等缺陷。
（3）系统中管路焊接应符合CB/T 4113-2016的相关要求。

6.5.11 装置安全要求

（1）当任何一个水箱液位超过警戒水位时，系统应立即停止工作。
（2）系统控制电路的对地绝缘电阻应该足够大，以确保系统安全。
（3）系统中的电路应设有防爆保护、短路保护、过电流、过电压和超温报警保护装置。
（4）系统应该有可靠的接地结构和醒目的接地标志。

6.5.12 装置气密性要求

（1）系统中容器和管道的焊缝不允许出现渗漏现象。
（2）压缩空气管道不允许出现任何泄露。

7 试验方法

7.1 试验条件

除有特殊规定外，试验均在标准温度、标准湿度及发动机处于正常工作状态的条件下进行。

7.2 外观

外观用目测。

7.3 密封性试验

向盛放液体的容器中加入水，加至允许的最高液位，保持十分钟，各部件不允许发生滴漏。

附 录 A
（规范性）
碱液的危险性与防护措施

本技术规范中可能用高浓度碱液作为洗涤液的有效成分，碱液具有很强的腐蚀性和刺激性，当高浓度的碱液飞溅到皮肤上，会造成皮肤表面腐蚀和烧伤，当高浓度碱液滴落到金属表面，会造成金属的严重腐蚀，并有可能引发火灾，因此高浓度碱液在使用过程中必须做好以下防护措施（包括但不限于）：

（1）在使用高浓度碱液时，工作人员必须佩戴防毒口罩和防护面罩；

（2）工作人员必须穿着耐强碱性腐蚀的工作服、手套、靴、套袖、围裙，并且在使用之前需检查耐强碱腐蚀的工作服的密封性，其中防护手套应满足 LD34-92《耐酸（碱）手套》标准。

（3）操作之前必须检查阀门开关情况，并在作业区域悬挂危险操作的警示牌。

（4）当发现阀门或者法兰连接处有泄露需立即停止作业，并及时联系检修处理。

（5）操作过程中必须密切注意盛放碱液容器的液位变化情况，发现液位降低太快必须立即停止作业。

（6）当碱液飞溅到眼睛内或者皮肤上时，应迅速使用大量清水冲洗，再用 2%的稀硼砂溶液清洗眼睛或用 1%的醋酸清洗皮肤。

（7）当碱液发生泄漏时，人员迅速撤离泄漏污染区到安全区域，并进行隔离，严格限制非应急人员出入现场，并在中和之后用大量清水冲洗泄露现场。

附 录 B
（规范性）
设计基础资料

B.1 设计资料内容

（1）标况条件下废气流量及波动范围。
（2）标况条件下废气组分浓度及波动范围。
（3）发动机不同工况下废气温度及波动范围。
（4）发动机不同工况下废气压力及波动范围。
（5）废气洗涤之后的排放要求。
（6）洗涤液的种类及特性。
（7）含硫副产物的要求。
（8）洗涤液种类。
（9）洗涤装置的生产特点及操作制度。

B.2 物料平衡计算规定

（1）标准状态废气流量和实际状态废气流量转换时，废气可视为理想气体。
（2）物料平衡计算应包含SO_2、O_2、N_2、CO_2、NO_x等组分，应对这些物质进行物料平衡计算。
（3）洗涤液的消耗量和产物的生成量应根据脱除的SO_2量计算。
（4）物料平衡计算应包括洗涤塔进出口洗涤液、补充洗涤液、补充水、排出液等。
（5）应分别对最大、正常、最小废气流量及组分进行物料平衡计算。
（6）设计相关参数应按照GB 51284-2018《烟气脱硫工艺设计标准》中的指导进行选取。

B.3 热平衡计算规定

（1）SO_2吸收应按绝热过程计算，洗涤塔的热损失可忽略不计。
（2）洗涤塔的热平衡计算应包括进口废气显热、进口废气中水蒸气潜热、SO_2与洗涤液反应热、补充洗涤液带入热、补充水带入热、排出液带出热、出口废气显热、出口水蒸汽潜热等。