

团体标准

T/CAMIE 31—2024

船舶尾气脱硫设备

Desulfurization equipment for ship exhaust

2024-12-31 发布

2025-02-28 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 设备类型和组成	3
4.1 设备类型	3
4.2 设备组成	3
5 技术要求	4
5.1 通用要求	4
5.2 性能要求	4
5.3 工艺系统要求	6
5.4 电气和控制要求	7
5.5 安全环保职业卫生要求	8
5.6 消防要求	8
6 试验方法	8
6.1 设备试验	8
6.2 焊接质量试验	9
6.3 保温和油漆试验	9
6.4 环境适应性试验	9
6.5 性能测试	9
7 检验规则	9
7.1 检验分类	9
7.2 检验项目	9
7.3 判定规则	10
8 标志和文件	10
8.1 固定产品标志	10
8.2 包装和储运标志	11
8.3 文件	11
9 包装、运输和贮存	11
9.1 包装	11
9.2 运输	11
9.3 贮存	11
附录 A (资料性) 脱硫设备典型工艺系统流程	12
A.1 开式脱硫设备典型工艺系统流程	12

A.2 闭式脱硫设备典型工艺系统流程	13
A.3 混合式脱硫设备典型工艺系统流程	13
附录 B (资料性) 脱硫设备材料选用	15
B.1 材料要求	15
B.2 金属材料	15
B.3 非金属材料	15
参考文献	16
图 A.1 开式脱硫设备典型工艺系统流程图	12
图 A.2 闭式脱硫设备典型工艺系统流程图	13
图 A.3 混合式脱硫设备典型工艺系统流程图	14
表 1 燃油硫含量限值要求及对应排放尾气硫碳比限值	5
表 2 排放水 PAH 浓度限值	5
表 3 脱硫设备检验项目及要 求	10
表 B.1 镍基不锈钢适用介质条件	15
表 B.2 主要非金属材料及使用部位	15

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。

本文件由中国环保机械行业协会提出并归口。

本文件起草单位：浙江大学、浙江浙能科技环保集团股份有限公司、浙江浙能迈领环境科技有限公司、浙江菲达环保科技股份有限公司、浙江省白马湖实验室有限公司、国能龙源环保有限公司、浙江工业大学、中国船舶集团有限公司第七一一研究所、上海交通大学、浙江大学嘉兴研究院、武汉凯迪电力环保有限公司、浙江大学能源工程设计研究院有限公司、北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所、中国石油大学（华东）、江苏上交碳中和科技有限公司。

本文件主要起草人：高翔、郑成航、吴孝炯、刘猛、郦建国、范海东、张启玖、周灿、吴敏、张涌新、周志颖、林赫、张士汉、王少权、沈腾、左朋莱、李清毅、张悠、杨正大、杨洋、吴端国、张力、龚良丰、黄志祥、李文俊、张弘、朱清江、赵中阳、佟莉。

本文件为首次发布。

船舶尾气脱硫设备

1 范围

本文件规定了船舶尾气脱硫设备的设备类型、组成和技术要求，描述了相应的试验方法，规定了检验规则、标志、文件、包装、运输和贮存。

本文件适用于船用燃油发动机尾气湿式脱硫设备的制造，其他船用燃烧设备尾气用脱硫设备的制造参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 191 包装储运图示标志
- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 B：高温
- GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）
- GB/T 2423.16 环境试验 第2部分：试验方法 试验 J和导则：长霉
- GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Ka：盐雾
- GB/T 2423.101 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验：倾斜和摇摆
- GB 4053（所有部分） 固定式钢梯及平台安全要求
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）
- GB/T 6388 运输包装收发货标志
- GB/T 6748 船用防锈漆
- GB/T 8175 设备及管道绝热设计导则
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 28561 船舶电气设备 自动化、控制和测量仪表
- GB/T 36885 船用柴油机硫氧化物排放测量方法
- GB/T 37820.1 船舶与海上技术 船舶安全标志、防火控制图标志、安全提示和安全标记的设计、位置和使用 第1部分：设计原则
- GB/T 37820.2 船舶与海上技术 船舶安全标志、安全相关标志、安全提示和安全标记的设计、位置和使用 第2部分：分类
- GB/T 37820.3 船舶与海上技术 船舶安全标志、安全相关标志、安全提示和安全标记的设计、位置和使用 第3部分：使用原则
- GB/T 38144.1 眼面部防护 应急喷淋和洗眼设备 第1部分：技术要求

- GB/T 38144.2 眼面部防护 应急喷淋和洗眼设备 第2部分：使用指南
GB/T 42328 船用柴油机脱硫装置技术要求
GB 51284 烟气脱硫工艺设计标准
CB/T 3909 船舶电气设备安装工艺
GBZ 1 工业企业设计卫生标准
GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素
GBZ 2.2 工作场所有害因素职业接触限值 第2部分：物理因素
GD 03 船舶结构防腐蚀检验指南
GD 18 船舶废气清洗系统设计与安装指南
GD 19 船舶焊接检验指南
GD 33 船舶废气清洗系统试验及检验指南
JB/T 10989 湿法烟气脱硫设备 除雾器
JT/T 1360 船舶大气污染物排放监测通用要求
《钢质海船入级规范》2024 中国船级社（CCS）
《材料与焊接规范》 中国船级社（CCS）
MEPC.340（77） 2021年废气清洗系统指南（Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems）

3 术语和定义

GB/T 42328 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

船舶尾气脱硫设备 **desulfurization equipment for ship exhaust**

由洗涤塔、洗涤液供给系统、碱液/浆液（制备）供给系统、洗涤液处理装置、控制和监测装置、尾气与旁通管路组成的用于从船用燃油发动机尾气中除去硫氧化物（ SO_x ）的设备。

[来源：GB/T 42328—2023，3.1]

3.2

洗涤塔 **scrubber**

在脱硫设备中，柴油发动机尾气与洗涤液直接混合接触的设备，一台洗涤塔可以与一台或多台柴油发动机的尾气管道连接。

[来源：GB/T 42328—2023，3.2，有修改]

3.3

脱硫剂 **desulfurization agent**

用来脱除硫氧化物（ SO_x ）的各类反应剂。

注：包括海水、氢氧化钠（NaOH）、氢氧化镁 $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ 和氧化镁（MgO）等。

[来源：GB/T 42328—2023，3.3，有修改]

3.4

洗涤液 **scrubbing solution**

在脱硫设备的洗涤塔中，与尾气直接接触以降低 SO_x 排放的含有碱性物质的液体。

注：包括海水或含有脱硫剂的水溶液。

[来源：GB/T 42328—2023，3.5]

3.5

排放水 discharge water

脱硫设备中任何需要被排出船舶舷外的水。

[来源：GB/T 42328—2023，3.6，有修改]

3.6

残渣 residue

从性能无法满足脱硫效率要求的洗涤液中分离出的含水量较少的固液混合物。

[来源：GB/T 42328—2023，3.7]

3.7

尾气压力降 exhaust gas pressure drop

洗涤塔进口和出口尾气压力之差。

注：单位为帕斯卡（Pa）。

[来源：GB/T 42328—2023，3.8]

3.8

硫碳比 carbon-sulfur ratio

排放尾气中二氧化硫和二氧化碳的体积浓度比值。硫碳比按公式（1）计算：

$$R_s = \frac{VC_{SO_2}}{VC_{CO_2}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R_s ——被测气体中 SO_2 体积浓度和 CO_2 体积浓度的比值；

VC_{SO_2} ——被测气体中 SO_2 体积浓度，ppm；

VC_{CO_2} ——被测气体中 CO_2 体积浓度，%。

[来源：JT/T 1360—2020，6.1.4]

4 设备类型和组成

4.1 设备类型

船舶尾气脱硫设备（简称“脱硫设备”）按结构型式可分为开式脱硫设备、闭式脱硫设备和混合式脱硫设备；脱硫设备按运行模式可分为开式运行设备和闭式运行设备。

4.2 设备组成

4.2.1 开式脱硫设备按开式运行模式进行脱硫处理，主要由洗涤塔、洗涤液制备及供应系统、洗涤液供给泵、尾气监测装置、排放水监测装置、控制装置、尾气与旁通管路组成。开式脱硫设备典型工艺流程图见图 A.1。

4.2.2 闭式脱硫设备按闭式运行模式进行脱硫处理，主要由洗涤塔、洗涤液制备及供应系统、洗涤液供给泵、换热器、尾气监测装置、排放水处理装置、缓冲罐、排放水监测装置、控制装置、尾气与旁通管路组成。闭式脱硫设备典型工艺流程图见图 A.2。

4.2.3 混合式脱硫设备可按开式运行模式或闭式运行模式进行脱硫处理，主要由洗涤塔、洗涤液制备及供应系统、洗涤液供给泵、换热器、尾气监测装置、排放水处理装置、缓冲罐、排放水监测装置、控制装置、尾气与旁通管路、进排液切换阀组成。混合式脱硫设备典型工艺流程图见图 A.3。

5 技术要求

5.1 通用要求

5.1.1 脱硫设备设计符合下列要求：

- a) 设备安装和运行应减少对发动机的影响，运行参数、功率输出在设计范围以内；
- b) 脱硫过程产生的废水和废渣不应对环境造成二次污染；
- c) 设备应按工艺流程、物料顺序布置，符合尾气管和管道短捷、顺畅的要求；
- d) 设备布置在满足安全、生产、维护和消防要求的前提下应紧凑；
- e) 设备布置应合理利用船舶空间并便于检修；
- f) 公用设施宜与船舶原有设备共用；
- g) 钢结构及附属机械、设备的钢结构设计应符合《钢质海船入级规范》2024 中第 3 篇和《材料与焊接规范》的规定；
- h) 设备管道的保温设置应符合 GB/T 8175 的规定；
- i) 设备防锈漆的品质应符合 GB/T 6748 的规定；
- j) 脱硫设备的材料与焊接应符合《材料与焊接规范》的规定。

5.1.2 脱硫设备在下述倾斜和摇摆条件下应正常工作：

- a) 横摇 $\pm 22.5^\circ$ ；
- b) 横倾 $\pm 15^\circ$ ；
- c) 纵摇 $\pm 7.5^\circ$ ；
- d) 纵倾 $\pm 5^\circ$ 。

5.1.3 脱硫设备应能在下列环境条件下正常工作：

- 1) 环境温度： $-5^\circ\text{C}\sim+55^\circ\text{C}$ 。
- 2) 相对湿度：不大于 95%。

5.1.4 耐振动适应性：脱硫设备电控系统在频率为 2 Hz~25 Hz，振幅 $\pm 1.6\text{ mm}$ 以及频率为 25 Hz~100 Hz，加速度为 39 m/s^2 时应正常工作。

5.1.5 耐霉菌适应性：脱硫设备电气绝缘件和涂覆件在 GB/T 2423.16 规定的霉菌环境下 28 d，表面长霉等级不应超过 2 级。

5.1.6 耐盐雾适应性：脱硫设备主要金属零部件表面在 GB/T 2423.17 规定的盐雾条件下 48 h，不应出现锈蚀和涂层脱落现象。

5.1.7 脱硫设备的防火应符合《钢质海船入级规范》2024 中第 6 篇的规定。

5.1.8 脱硫设备的安全标志、安全相关标志、安全提示和安全标记的设计、位置和使用应符合 GB/T 37820.1~GB/T 37820.3 的规定。

5.1.9 当主机排气背压不满足时，应安装风机以维持所需尾气背压；当多台发动机共用脱硫设备时，风机的设置应考虑所有相连发动机装置的尾气背压要求。

5.1.10 每套脱硫设备应能有效地处理与其相匹配的柴油发动机在最大持续运行功率工况下的尾气流量对单台洗涤塔与多台柴油发动机相匹配的情况，脱硫设备的尾气处理能力宜按实际工作时最大的尾气流量之和确定。

5.1.11 脱硫设备材料的选择见附录 B。

5.2 性能要求

5.2.1 考核性能要求

5.2.1.1 柴油发动机尾气经过脱硫设备处理后的硫碳比应满足航行区域的燃油含硫量限值，同时

应满足国际海事组织（IMO）的规定，见表1；用户另有要求时，应符合设计要求。

表1 燃油硫含量限值要求及对应排放尾气硫碳比限值

公约/法规	燃油硫含量限值 % m/m	排放尾气硫碳比限值	适用区域
《国际防止船舶造成污染公约》（MARPOL 公约） 附则 VI	≤0.5%或等效替代措施	≤21.7	全球公海海域
	≤0.1%或等效替代措施	≤4.3	排放控制区海域
《船舶大气污染物排放控制区实施方案》 （交海发〔2018〕168号）	≤0.5%或等效替代措施	≤21.7	排放控制区海域
	≤0.1%或等效替代措施	≤4.3	内河控制区 海南水域
《空气污染管制 （船用燃料）规例》	≤0.5%或等效替代措施	≤21.7	香港港口

5.2.1.2 排放水的水质符合 MEPC.340（77）决议中关于排放水 pH 值、多环芳烃（PAH）浓度、浊度和硝酸盐含量限值的要求：

- a) 船舶舷外排放点 4 m 处的排放水 pH 值不应小于 6.5；
- b) 排放水连续最大 PAH 浓度应符合表 2 的规定；在任一滚动 12 h 运行周期内，允许累积 15 min 排放水 PAH 浓度可超过表 2 规定排放水 PAH 限值的 1 倍以内；

表2 排放水 PAH 浓度限值

排放水流量 t/MWh	排放水 PAH 浓度限值 μg/L
0~1	2 250
2.5	900
5	450
11.25	200
22.5	100
45	50
90	25

注 1：排放水流量为控制 pH 值进行稀释前流量。
注 2：MW 系指尾气净化设备排放水 PAH 测点处所有连接燃油燃烧装置 MCR 或 80%额定功率总和。

- c) 排放水连续最大浊度不应超过进口水浊度的 25 FNU、25 NTU 或其他等效单位；所有浊度差值的读数应取 15 min 内的滚动平均值，最大差值为 25 FNU 或 25 NTU；任一滚动 12 h 运行周期内，允许累计 15 min 排放水连续混浊度可超过上述排放限值的 20%；
- d) 排放水中硝酸盐的排放量不应超过清除尾气中 12% NO_x 所对应的硝酸盐量或 60 mg/L（洗涤水排放速率为 45 t/MWh 时的标准值）中的较大值。

5.2.2 其他性能要求

5.2.2.1 SO_x 排放浓度、脱硫效率和尾气压力降应满足设计要求。

5.2.2.2 脱硫剂消耗量、淡水/海水消耗量和电能消耗量为按需检验项目，检验结果应满足设计要求。

5.3 工艺系统要求

5.3.1 洗涤液制备及供应系统

5.3.1.1 脱硫剂以固体形式储存在船上时，应设置碱液/浆液制备系统；固体氢氧化钠、氢氧化镁或氧化镁作脱硫剂时，固体脱硫剂品质应符合 GB 51284 的规定。

5.3.1.2 当船上设置碱液/浆液制备模块时，碱液/浆液制备能力应按设计工况下脱硫剂消耗量的 150%设计，储罐容量不应低于设计工况下 2 h 的碱液/浆液消耗量；当不设置碱液/浆液制备模块时，应设有足够容量的碱液/浆液储罐，储罐容量不应低于 30 d 航线里程的碱液/浆液消耗量。

5.3.1.3 应设有碱液/浆液浓度和消耗量检测装置，碱液/浆液的浓度和消耗量应纳入自动控制系统。

5.3.1.4 洗涤液供应管应设有排空及冲洗设施，当脱硫设备停止运行时及时排空并清洗。

5.3.1.5 闭式脱硫设备或混合式脱硫设备洗涤液出口宜设置板式换热器，设计裕量不应低于 10%；换热器应使用天然海水冷却洗涤水，材质需耐海水及洗涤水腐蚀，板片宜采用钛合金；冷端和热端进口应设置篮式过滤器，其材质防腐性能等级不应低于 S22053 不锈钢。

5.3.1.6 洗涤液供给系统应设置供给备用泵，供给泵的入口应设有过滤装置。

5.3.1.7 闭式脱硫设备或混合式脱硫设备中，循环罐容量不应低于设计工况下 2 h 的洗涤液最大消耗量。循环罐应配置液位监测设备、温度传感器和 pH 值传感器，并设置防溅板。

5.3.1.8 洗涤水舷外排放口应设置在船舶正常航行时舷外水面以下，舷外排放口的布置应便于洗涤水取样和远离海水吸入口，并设置舷外水防倒流措施。

5.3.1.9 洗涤液在储存及输运过程中的温度应维持在规定范围内，并设置温度控制措施，碱液舱及碱液输送管路应设置加热、伴热或保温措施。

5.3.2 洗涤塔

5.3.2.1 按型式可分为 U 型塔和 I 型塔。U 型塔烟气从塔 U 型入口进入，I 型塔烟气从塔底部进入。

5.3.2.2 洗涤塔前应设置降温预洗涤措施，降低尾气温度并预净化尾气。

5.3.2.3 应设置防止洗涤水倒灌进入洗涤塔前尾气管的措施，其中 I 型塔底部进气口的高度不应低于晃动航行洗涤水溢流液位，底部排水口应设置防旋流装置。

5.3.2.4 应设有泄放设施，当脱硫设备不工作或紧急需要时，可将系统内的洗涤液泄放到指定舱柜或舷外。

5.3.2.5 洗涤塔出口应设置气液分离装置和冲洗设施，当气液分离装置为除雾器时，应符合 JB/T 10989 的规定，材质应优选选用金属材质。

5.3.2.6 喷淋系统的设计、布置应考虑结垢、堵塞、磨损等风险；喷淋层喷淋覆盖率应大于 250%，喷嘴宜为实心锥喷嘴，角度不应小于 90°。

5.3.2.7 吸收喷淋区液气比的选择应考虑入口烟气条件、脱硫效率和喷淋覆盖率等因素。

5.3.2.8 内部结构设计应便于检修维护，设置人孔/检查孔、通道和平台。

5.3.2.9 循环泵应设有变频驱动调整泵电机转速，流量不应低于 IMO 规定的海水排放 pH 限值点的流量，并设置控制回路予以控制。

5.3.2.10 洗涤塔的壳体、支撑构件的设计应符合《钢质海船入级规范》2024 中第 2 篇和第 9 篇的规定。

5.3.2.11 应对洗涤塔支撑结构强度进行评估，并应有减少洗涤塔安装后对船体结构的局部振动的措施。

5.3.3 排放水处理系统

5.3.3.1 排放水的水质应符合 5.2.1.2 的规定。当监测结果超标应及时发出报警，并返回洗涤液处理装置继续进行处理。

5.3.3.2 应根据排放水处理系统及其部件可能超压情况设有压力泄放装置。

5.3.3.3 可采用膜式、气浮式排放水处理系统，水质排放监测系统的设置应符合 MEPC.340 (77) 决议的规定，对排放水处理装置产生的排放水 pH 值、浊度和 PAH 含量排放前应进行检测。

5.3.3.4 排放水处理后的残渣或高浓度废水，应进行安全储存，储存装置设置高位报警，储存容量设计应考虑脱硫设备的类型、数量以及可排放残渣港口之间最大的航行时间等因素。

5.3.3.5 脱硫残渣应储存在指定残渣柜，残渣柜应独立于其他舱柜。残渣柜的设计应考虑清洁方便，残渣柜如兼作脱硫剂储存柜的溢流柜，同时应满足脱硫剂储存柜的要求。残渣柜的容量应考虑脱硫设备的类型、数量和可排放脱硫残渣港口之间最大的航行时间等因素。残渣柜应设置放空管、液位测量装置和防止晃动溢流措施。

5.3.4 尾气与旁通管路

5.3.4.1 主机、辅机和辅助燃油锅炉设置旁路时，旁路上应设置可远程操作的挡板门，并配置密封风系统，密封风机应配置备用机。

5.3.4.2 当设旁通管路时，应设有正确指示其工作状态的装置。当不设旁通管路时，应设置脱硫设备停止工作时柴油发动机产生的高温尾气顺利排出的必要措施。

5.3.4.3 尾气管及部件应采取防腐措施。当尾气管内存在冷凝水积聚风险时应设置冷凝水泄放装置。

5.3.4.4 与洗涤塔入口相连的高温段尾气管应设置保温隔热措施。

5.3.4.5 尾气管路有并管时，应采取有效的联锁保护措施。隔离装置应工作可靠，任何情况下发生故障时应保证柴油机能安全运行。

5.4 电气和控制要求

5.4.1 电气要求

5.4.1.1 电源应满足脱硫设备的正常使用，配电板短路电流、断路器和开关选择性保护均应符合《钢质海船入级规范》2024 中第 4 篇的规定，对新增脱硫设备的船舶应对增加脱硫负荷后的原船电力负荷计算书进行复核并满足发电机负载率的要求。

5.4.1.2 室外控制柜外壳防护等级应符合 GB/T 4208 中 IP54 的规定，室内控制柜外壳防护等级应符合 GB/T 4208 中 IP33 的规定，现场操作箱外壳防护等级应符合 GB/T 4208 中 IP54 的规定。

5.4.1.3 宜设置交流保安电源和交流不停电电源（UPS）向不停电负荷设备供电。

5.4.1.4 电机、控制器等电气设备应符合《钢质海船入级规范》2024 中第 1 篇第 3 章的规定。

5.4.1.5 电气设备其他要求应符合 GB/T 28561 的规定。

5.4.2 控制要求

5.4.2.1 控制系统可与船舶综合控制系统整合，也可设计为单独的控制系統。应在脱硫设备就地控制站和集控室设紧急停机装置，紧急停机装置启动时应自动打开尾气旁通装置（如安装）。

5.4.2.2 控制系统应具有模拟量控制、顺序控制、联锁、保护和报警等功能，设远程和本地两种操作方式。

5.4.2.3 开式脱硫设备的自动控制系统，应实现洗涤液流量、洗涤塔内液位自动调节与控制。闭式脱硫设备或混合式脱硫设备的自动控制系统，应实现脱硫剂供给量、洗涤液供应流量、洗涤塔内液位、洗涤液 pH 值、缓冲罐液位和冷却水供应流量自动调节与控制。

5.4.2.4 监测报警及安全保护控制要求应符合 GD 18 的规定。

5.4.3 监测要求

5.4.3.1 尾气监测系统应包括取样探头、取样伴热管线、预处理装置、分配单元和分析单元。尾气应采用抽取加热方式，取样探头应安装在洗涤塔后的尾气管上。

5.4.3.2 应设置监测进、出口排放水水质的水质分析单元。

5.4.3.3 开式脱硫设备的监测参数应包括洗涤液流量，洗涤塔内液位、洗涤塔尾气压损，排放水 pH 值、排放水 PAH、排放水浊度、洗涤塔进尾气温度的；闭式脱硫设备或混合式脱硫设备的监测参数应包括洗涤液流量、洗涤塔内液位、洗涤塔尾气压损、排放水 pH 值、排放水 PAH、排放水浊度、洗涤塔进尾气温度、洗涤液 pH 值、缓冲罐液位和洗涤液温度。

5.4.3.4 监测系统其他要求应符合 GD 33 的规定。

5.5 安全环保职业卫生要求

5.5.1 脱硫设备的工作平台、扶梯和栏杆应符合 GB 4053 的规定。

5.5.2 脱硫设备的职业卫生要求应符合 GBZ 1、GBZ 2.1 和 GBZ 2.2 的规定。

5.5.3 脱硫设备的用电安全应符合 CB/T 3909 的规定。

5.5.4 应设置应急喷淋和洗眼设备。应急喷淋和洗眼设备设计应符合 GB/T 38144.1 的规定，用水水质应符合 GB/T 38144.2 的规定。

5.6 消防要求

5.6.1 消防系统的设计应符合《钢质海船入级规范》2024 中第 2 章和第 6 章的规定，灭火系统的设置应覆盖所有设备。

5.6.2 配置的固定式气体灭火系统控制设施，其所在处所应有足够的照明，除主照明以外，还应设有应急照明。

5.6.3 固定式气体灭火系统站室应满足下列要求：

- a) 只用于存放灭火剂容器以及与系统有关的部件和设备；
- b) 应有与驾驶室或控制站直接联系的通信设施；
- c) 驾驶室或控制站的开启钥匙应置于有玻璃面罩的盒子内，该盒子应设在门销附近明显而易于接近的地点；
- d) 驾驶室或控制站应设有清楚而永久性的示意图，以表明与灭火剂的施放及分配直接相关的容器、总管、支管和附件等的布置，并对系统的操作方法作简要的说明。

6 试验方法

6.1 设备试验

6.1.1 洗涤塔安装、制作试验应按《钢质海船入级规范》2024 中第 2 章和第 9 章的规定执行。

6.1.2 尾气与旁通管路试验应按《钢质海船入级规范》2024 中第 3 章的规定执行。

6.1.3 钢结构及附属机械、设备的钢结构试验应按《钢质海船入级规范》2024 中第 3 章和《材料与焊接规范》的规定执行。

6.1.4 管道工程试验应按《钢质海船入级规范》2024 中第 3 章的规定执行。

6.1.5 电气设备试验应按《钢质海船入级规范》2024 中第 4 章和 CB/T 3909 的规定执行。

6.1.6 控制装置试验应按《钢质海船入级规范》2024 中第 7 章的规定执行。

6.1.7 消防和灭火装置试验应按《钢质海船入级规范》2024 中第 2 章和第 6 章的规定执行。

6.1.8 监测系统试验应按 GD 33 的规定执行。

6.2 焊接质量试验

工业管道和钢结构在船舶上焊接质量试验应按 GD 19 和《材料与焊接规范》的规定执行。

6.3 保温和油漆试验

保温和涂漆试验应按 GD 03 的规定执行。

6.4 环境适应性试验

环境适应性测试项目如下：

- a) 脱硫设备的低温试验按 GB/T 2423.1 的规定执行；
- b) 脱硫设备的高温试验按 GB/T 2423.2 的规定执行；
- c) 脱硫设备的湿热试验按 GB/T 2423.3 的规定执行；
- d) 脱硫设备的倾斜摇摆试验按 GB/T 2423.101 的规定执行；
- e) 脱硫设备的振动试验按 GB/T 2423.10 的规定执行；
- f) 电气绝缘件和涂覆件的霉菌试验按 GB/T 2423.16 的规定执行；
- g) 主要金属零部件的盐雾试验按 GB/T 2423.17 的规定执行。

6.5 性能测试

6.5.1 考核性能测试

脱硫设备排放尾气硫碳比的测试方法应按 JT/T 1360 的规定执行；洗涤水排放 pH 值、PAH 浓度、浊度和硝酸盐含量的测试方法应按 GD 33 的规定执行。

6.5.2 其他性能测试

SO₂ 排放浓度的试验应按 GB/T 36885 的规定执行。尾气压力降、脱硫剂消耗量、洗涤液消耗量、电能消耗量和淡水/海水消耗量试验应按 GD 33 的规定执行。

7 检验规则

7.1 检验分类

7.1.1 型式认可和产品检验：采用工作参数连续监测，并进行定期排放检查的脱硫设备，应进行《SO_x 排放符合证书》发证检验。当检验合格后，由船级社签发 SO_x 排放符合证书，证书格式应符合 GD 33 的规定。

7.1.2 初次检验：应符合 GD 33 的规定，并按船上验证程序证明脱硫设备运行时的性能满足要求。

7.1.3 营运中检验：应符合 GD 33 的规定，并按船上验证程序证明脱硫设备运行时的性能满足要求；包括年度检验、中间检验及换证检验，检验日期以船舶完成初次发证检验后签发 IAPP 证书的时间为准。

7.2 检验项目

所有零、部件应经制造厂质量检验部门检验合格方可交付，安装检验和营运中检验应在现场进行。检验项目见表 3。

表 3 脱硫设备检验项目及要

序号	项目名称	要求	试验方法	型式认可和 产品检验	初次 检验	营运中 检验
1	洗涤塔	5.3.2	6.1.1	√	√	—
2	尾气与旁通管路	5.3.4	6.1.2	√	√	—
3	钢结构及附属机械、设备的钢结构	5.1.1 g)	6.1.3	√	√	—
4	管道工程	5.3.4	6.1.4	√	√	—
5	电气设备	5.4.1	6.1.5	√	√	—
6	控制系统	5.4.2	6.1.6	√	√	—
7	消防装置	5.6	6.1.7	√	√	—
8	监测系统	5.4.3	6.1.8	√	√	—
9	焊接质量	5.1.1 j)	6.2	√	√	—
10	保温、涂漆检验	5.1.1 h)、i)	6.3	√	√	—
11	环境适应性检验	5.1.3~5.1.7	6.4	√	√	—
12	硫碳比	5.2.1.1	6.5.1	—	√	√
13	排放水 pH 值	5.2.1.2 a)	6.5.1	—	√	√
14	排放水 PAH 浓度	5.2.1.2 b)	6.5.1	—	√	√
15	排放水浊度	5.2.1.2 c)	6.5.1	—	√	√
16	排放水硝酸盐含量	5.2.1.2 d)	6.5.1	—	√	√
17	脱硫效率	5.2.2	6.5.2	—	√	√
18	SO _x 排放浓度	5.2.2	6.5.2	—	√	√
19	尾气压力降	5.2.2	6.5.2	—	√	√
20	脱硫剂消耗量 ^a	5.2.2	6.5.2	—	√	√
21	淡水/海水消耗量 ^a	5.2.2	6.5.2	—	√	√
22	电能消耗量 ^a	5.2.2	6.5.2	—	√	√
注：“√”表示要检验的项目，“—”表示不需要检验的项目。						
^a 表示该项目为按需检验项目。						

7.3 判定规则

性能检验项目符合要求，则脱硫设备判定为合格。若有不合格项时，允许对其进行调整、消除缺陷，重新做性能检验。

8 标志和文件

8.1 固定产品标志

应在合适而明显位置上固定产品标牌，其型式和尺寸应符合 GB/T 13306 的规定，标志至少应

包括以下内容：

- a) 制造单位名称或商标；
- b) 工艺方式及塔型；
- c) 设计处理能力；
- d) 脱硫效率；
- e) 洗涤塔设计进口最大 SO₂ 浓度；
- f) 设备编号；
- g) 制造日期。

8.2 包装和储运标志

包装和储运的标志应符合 GB/T 191 和 GB/T 6388 的规定。

8.3 文件

应附有下列随机图样和文件：

- a) 设备总图、系统图、基础图和安装图；
- b) 设备总清单、材料清单、包装清单和备品备件清单；
- c) 产品合格证；
- d) 使用说明书、运行维护手册；
- e) 技术文件清单。

9 包装、运输和贮存

9.1 包装

9.1.1 包装应符合 GB/T 13384 的规定。

9.1.2 零部件及外购件应在出厂检验合格后方可进行包装。

9.1.3 包装箱内应有产品合格证。

9.2 运输

9.2.1 运输时应对设备的接管法兰表面加以保护，采用合理装载加固措施，对易变形的部件应有不致发生损坏的包装措施。

9.2.2 产品要用干燥、有遮篷运输工具运输，在运输过程中，应采取防雨淋、水浸、压轧、撞击和沾污措施。

9.3 贮存

9.3.1 脱硫设备钢结构件可露天存放，电器、仪表及设备备件宜在库房保存。

9.3.2 零部件存放时应采取防潮、防雨和防腐蚀措施。

附录 A
(资料性)
脱硫设备典型工艺系统流程

A.1 开式脱硫设备典型工艺系统流程

开式脱硫设备典型工艺系统流程主要由洗涤塔、洗涤液制备及供应系统、洗涤液供给泵、尾气监测装置、排放水监测装置、控制装置、尾气与旁通管路组成，见图 A.1。采用海水作为洗涤水洗涤船舶尾气，海水取自航行区域海平面，分别由洗涤液供给泵分别输送至洗涤塔喷淋层、除雾器冲洗层和降温预洗涤段；洗涤液在作为排放水被排放到舷外之前只通过洗涤塔一次。该工艺适用排放控制区以外海域，以及其他区域的离岸 200 海里以外及公海海域。

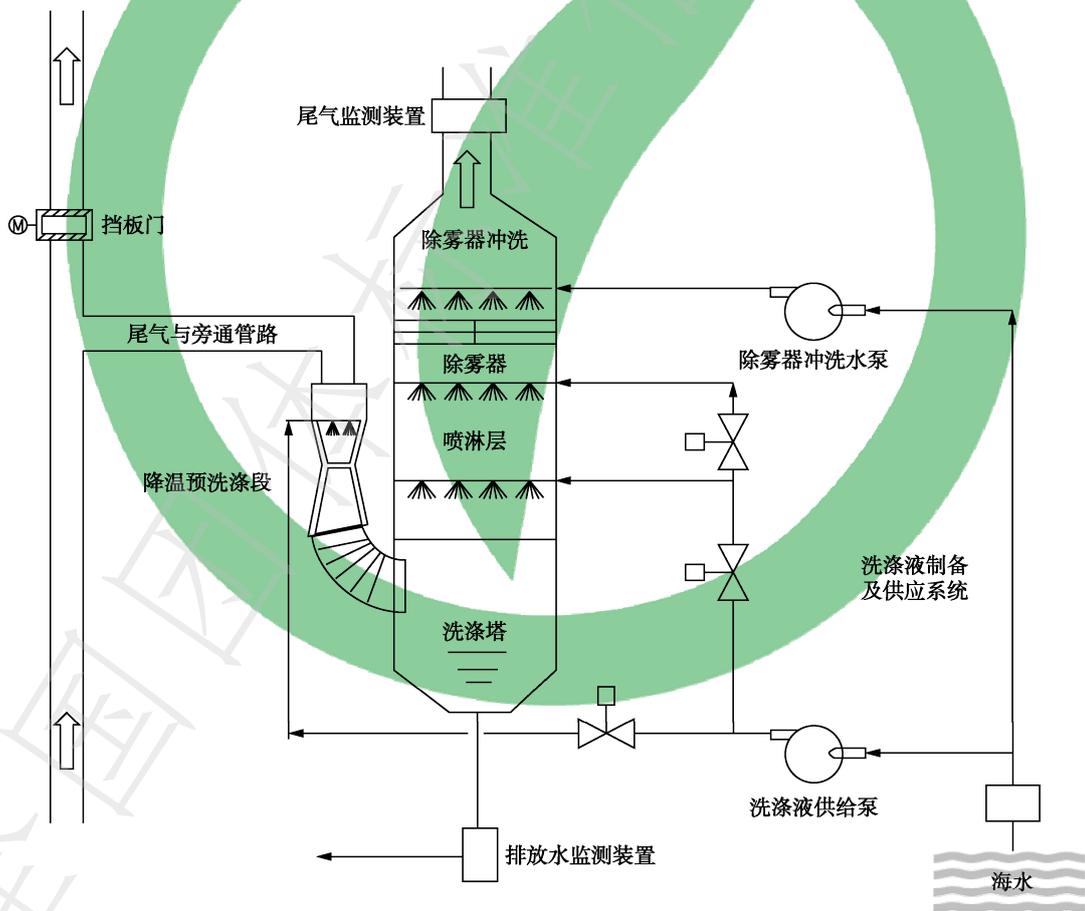


图 A.1 开式脱硫设备典型工艺系统流程图

A.2 闭式脱硫设备典型工艺系统流程

闭式脱硫设备典型工艺系统主要流程由洗涤塔、洗涤液制备及供应系统、洗涤液供给泵、换热器、尾气监测装置、排放水处理装置、缓冲罐、排放水监测装置、控制装置、尾气与旁通管路组成，见图 A.2。采用海水或淡水通过添加如 NaOH、 $Mg(OH)_2$ 等脱硫剂作为洗涤液对船舶尾气进行脱硫，洗涤液多次通过脱硫设备，为了使洗涤液的性能保持为具有足够的脱硫效率，完成脱硫后的洗涤水经脱硫剂补充、补水和冷却等处理过程后，循环进行船舶尾气脱硫；此外，脱硫设备会定期或连续地排放少量性能无法满足脱硫要求的洗涤液，洗涤液排放前采用排放水处理装置进行处理以使其满足排放标准。该工艺适用排放控制区以内海域或全海域。

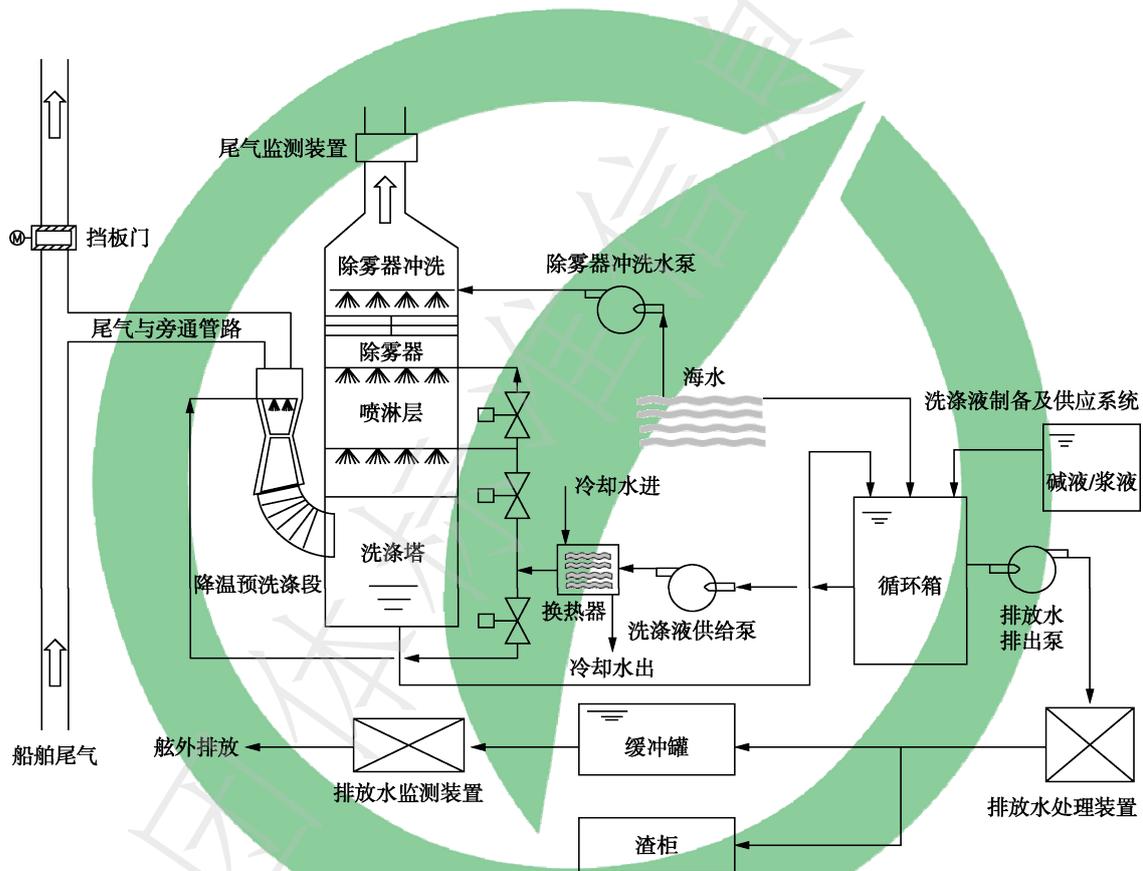


图 A.2 闭式脱硫设备典型工艺系统流程图

A.3 混合式脱硫设备典型工艺系统流程

混合式脱硫设备典型工艺系统流程主要由洗涤塔、洗涤液制备及供应系统、洗涤液供给泵、换热器、尾气监测装置、排放水处理装置、缓冲排放水监测装置、控制装置、尾气与旁通管路、进排液切换阀组成，见图 A.3。混合式工艺系统可根据在不同海域、水域航行时的排放法规要求自动切换运行开式或闭式模式工艺系统；该工艺适用各个海域。

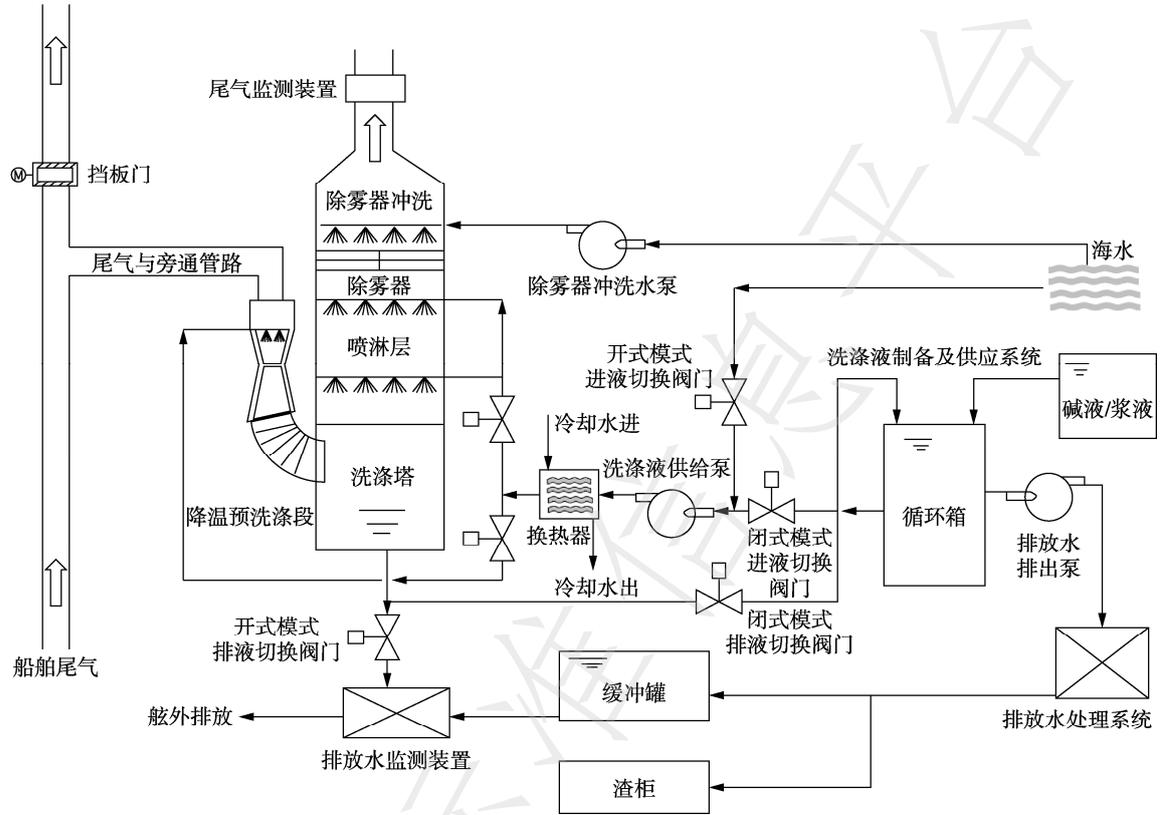


图 A.3 混合式脱硫设备典型工艺系统流程图

附录 B
(资料性)
脱硫设备材料选用

B.1 材料要求

B.1.1 脱硫设备相关管系、设备的材料与其接触介质的特性及工作条件相适应，并符合《材料与焊接规范》的规定。

B.1.2 脱硫设备内部防腐施工所选择的涂层材料、玻璃鳞片树脂，橡胶板及无机材料的质量符合相关规定，并具有出厂合格证和检验资料，必要时对原材料进行抽查复验。

B.2 金属材料

B.2.1 金属材料宜以碳钢材料为主。对金属材料表面可能接触腐蚀性介质的区域，根据脱硫工艺不同部位的实际情况，衬以抗腐蚀性和耐磨损性的非金属材料。

B.2.2 当以金属材料作为承压部件，所衬非金属材料作为防腐部件时，宜考虑非金属材料 and 金属材料之间的黏结强度，同时承压部件的自身设计应确保非金属材料能够长期稳定地附着在承压部件上。

B.2.3 对于接触腐蚀性介质的某些部位，如果采用碳钢衬以非金属材料难以达到工程应用要求，宜根据介质的腐蚀性和磨损性，采用以镍基材料为主的不锈钢。当经过充分论证后，部分区域也可采用具有抗腐蚀性的低合金钢。其适用介质条件见表 B.1。

表 B.1 镍基不锈钢适用介质条件

序号	材料成分	适用介质	备注
1	铁-镍-铬合金	净烟气、低温原烟气	—
2	铁-镍-铬合金 铁-钼-镍-铬合金	pH 值为 3~6, 氯离子浓度 ≤ 60 000 mg/L 的浆液	两者使用条件有差异，实际选用时应注意

B.3 非金属材料

非金属材料主要宜选用玻璃鳞片树脂、无溶剂树脂陶瓷、玻璃钢、塑料、橡胶、陶瓷类产品用于防腐和磨损，其适宜的使用部位见表 B.2。对于含氟较高的船舶尾气，防腐材料中不含玻璃成分。

表 B.2 主要非金属材料及使用部位

序号	材料名称	材料主要成分	使用部位
1	玻璃鳞片树脂	乙烯基酯树脂、酚醛树脂、环氧树脂	脱硫浆液箱/罐内衬
2	无溶剂树脂陶瓷	树脂陶瓷	脱硫浆液箱/罐内衬
3	塑料	聚丙烯、聚乙烯、聚氨酯、聚氯乙烯等	脱硫液管道、泵叶轮、泵体内衬
4	玻璃钢	玻璃鳞片、玻璃纤维、乙烯基酯树脂、酚醛树脂	洗涤塔喷淋层、管道、箱罐
5	陶瓷	碳化硅、氮化硅	脱硫喷嘴、冷却降温喷嘴
6	橡胶	氯化丁基橡胶、氯化橡胶、丁苯橡胶	管道和箱罐的内衬

参 考 文 献

- [1] NB/T 47004.1—2017 板式热交换器 第1部分：可拆卸板式热交换器
- [2] STEEL VESSELS—2018 ABS 钢制海船入级规范（美国船级社）
- [3] GD 01—2006 电气电子设备型式认可试验指南（中国船级社）
- [4] 《国际防止船舶造成污染公约》（MARPOL 公约）附则 VI 修正案
- [5] 《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发〔2018〕168号）
- [6] 《空气污染管制（船用燃料）规例》
- [7] IEC 60529 IP 防尘防水等级标准 [Corrigendum 1-Amendment 2-Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)]
- [8] DNV GL class documents: rules for classification-2017 [DNV-GL 入级规范（挪威-德国劳式船级社）]



标准实施反馈与服务

中国环保机械行业协会团体标准

船舶尾气脱硫设备

T/CAMIE 31—2024

*

北京科学技术出版社出版发行
(北京西直门南大街16号 邮编: 100035)

新华书店经销

河北泓景印刷有限公司印刷

版权专有 不得翻印



155714744

开本 880 × 1230 1/16 印张 1.25 字数 25 千字
2025 年 1 月第 1 版 2025 年 1 月第 1 次印刷

*

书号: 155714 · 744 定价: 42.00 元