



# 船舶防污染技术

## Marine Pollution Prevention Technology





## 第八章 防止船舶大气污染

---

第一节 船舶对大气污染的来源及危害

第二节 公约及法规对防止船舶大气污染的要求

第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

第四节 船载液体货物蒸气污染控制技术

第五节 船舶CFCs对大气污染控制技术

第六节 船舶温室气体排放控制技术

第七节 港口粉尘等污染控制技术



## 第一节 船舶对大气污染的来源及危害

### 一、船舶对大气污染的来源

#### 1、概念

通常是指由于人类活动和自然过程引起某些物质进入大气中，呈现出足够的浓度，达到足够的时间，并因此而危害了人体健康、舒适感或环境。

#### 2、船舶对大气环境造成污染的污染源

- ①发动机等设备燃烧燃料后的废气排放污染；
- ②液货船货物的蒸发气体；
- ③船舶使用的部分制冷剂和灭火剂；
- ④散货船产生粉尘污染



## 第一节 船舶对大气污染的来源及危害

### 一、船舶对大气污染的来源

### 二、船舶对大气污染的危害

#### 1、船舶动力装置排放的废气危害

##### 1) SO<sub>x</sub>: SO<sub>2</sub> (绝大部分) 和 SO<sub>3</sub>

来源：燃料中的S，船用燃料含硫量可能高达4.5%

$$E_{\text{SO}_2} = 1000 \times \beta \times M \times S_r \times (1 - \eta)$$

$E_{\text{SO}_2}$  为 SO<sub>2</sub> 排放量，kg； $\beta$  为排污系数； $M$  为燃料燃烧量，t； $S_r$  为燃料中的硫含量，%； $\eta$  为脱硫效率，%。

关于  $\beta$ ，柴油和燃料油取2，燃煤取1.6；关于  $S_r$ ，一般柴油为0.5 % ~ 0.8 %，燃料油为1.5 % ~ 3.0 %，燃煤为0.6 % ~ 1.5 %。

**危害：**酸雨，刺激上呼吸道粘膜，急性支气管炎、哮喘和意识障碍等症状，长期暴露在低浓度的SO<sub>2</sub> 环境中会发生慢性中毒



## 第一节 船舶对大气污染的来源及危害

### 一、船舶对大气污染的来源

### 二、船舶对大气污染的危害

#### 1、船舶动力装置排放的废气危害

#### 2) $\text{NO}_x$ : $\text{NO}_2$ , $\text{N}_2\text{O}$ , $\text{NO}$ (主要)

来源：燃料中的N，助燃空气中的 $\text{N}_2$

$$E_{\text{NO}_x} = \alpha \times M$$

$E_{\text{NO}_x}$  为 $\text{NO}_x$  排放量，kg； $\alpha$  为排污系数，kg/t（对于低速船用柴油机，取 78；对于中速船用柴油机，取 51；对于燃油锅炉，取 7）。如燃烧1 t 燃油，对于远洋船舶主机，则 $E_{\text{NO}_x}$  为 78 kg。

**危害：**NO 在大气中可以被臭氧氧化成具有剧毒的 $\text{NO}_2$ ， $\text{NO}_2$ 造成血液的输氧能力下降，形成光化学烟雾的起因物质之一。



## 第一节 船舶对大气污染的来源及危害

### 一、船舶对大气污染的来源

### 二、船舶对大气污染的危害

#### 1、船舶动力装置排放的废气危害

3) **CO<sub>x</sub>**: CO无色、无味，有毒，阻止血液输送氧

CO<sub>2</sub>无味，没有毒性，但有温室效应

$$E_{CO_2} = \gamma \times M$$

4) **HC（未燃烃）**：燃滑油未完全燃烧及其裂变产物

危害：贫血、神经衰弱、参与光化学反应

5) **PM（微粒）**：燃烧产生微粒，由直径1.1~10 μm 的多孔性炭粒构成；粒径越小，越容易停滞于人体肺部、支气管



## 第一节 船舶对大气污染的来源及危害

### 一、船舶对大气污染的来源

### 二、船舶对大气污染的危害

#### 1、船舶动力装置排放的废气危害

#### 2、船载液体货物蒸气污染

#### 挥发性有机化合物（Volatile Organic Compounds）

**危害：**眼睛、喉部等粘膜不舒适，引发病变；伤害中枢神经，和内脏器官；VOCs 还会参与光化学反应，造成光化学污染。

2018 年发生在我国东海的“桑吉轮”事故，泄漏的凝析油主要成分是C5 ～C8 的轻烃类混合物，挥发性强，泄漏事故中的蒸气扩散对大气和生态环境影响严重。





## 第一节 船舶对大气污染的来源及危害

## 一、船舶对大气污染的来源

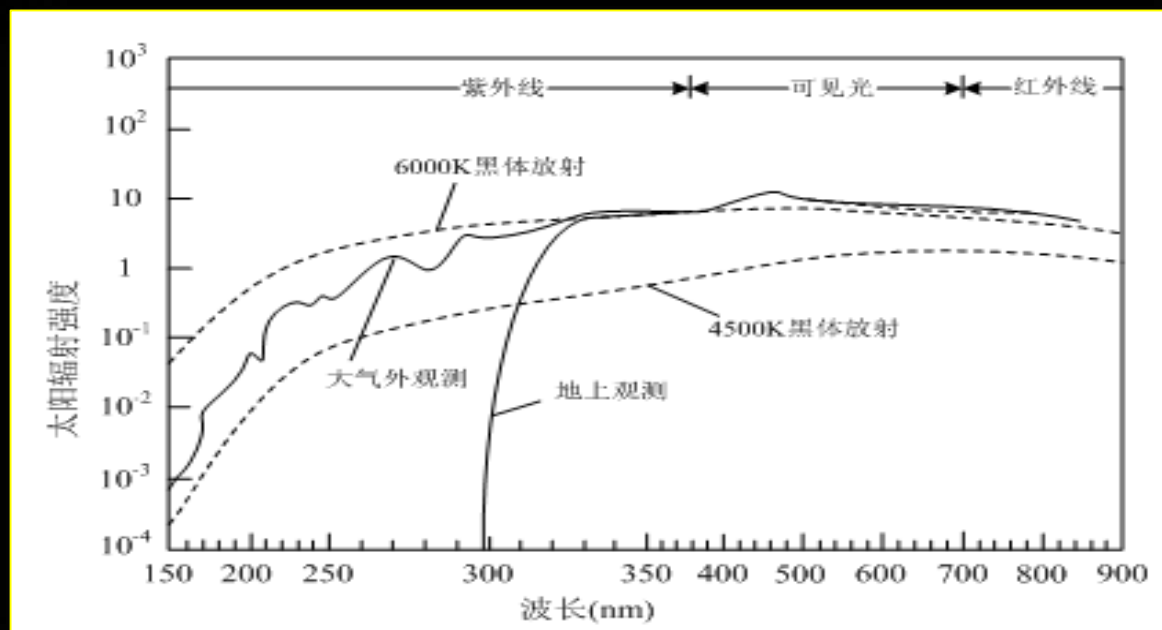
## 二、船舶对大气污染的危害

## 1、船舶动力装置排放的废气危害

## 2、船载液体货物蒸气污染

## 3、氯氟烃（CFCs）及卤代烷（Halon）的危害

破坏臭氧层







## 第一节 船舶对大气污染的来源及危害

### 一、船舶对大气污染的来源

### 二、船舶对大气污染的危害

#### 1、船舶动力装置排放的废气危害

#### 2、船载液体货物蒸气污染

#### 3、氯氟烃（CFCs）及卤代烷（Halon）的危害

#### 4、散货船的粉尘污染





## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 一、概述

#### 1、国际公约、规则

- (1) MARPOL 73/78 附则VI;
- (2) 《船用柴油机氮氧化物排放控制技术规则》(NOX 技术规则);
- (3) 《废气清洗系统导则(2015)》;
- (4) 《2014 年能效设计指数(EEDI)检验和发证指南》;
- (5) 《使用气体或低闪点燃料船舶国际安全规则》(IGF规则)等。

#### 2、国内法规、标准

- 1) 综合法规: 环保、大气污染法等;
- 2) 船舶废气排放控制: 发动机排放限值、燃油质量、排放控制区等;
- 3) 船舶清洁能源使用: LNG应用、LNG动力船监管等;
- 4) 制冷剂替代: 含氢氯氟烃生产限制、臭氧层物质管理等;
- 5) VOCs排放控制: 油气回收、储油库大气污染物排放标准等;
- 6) 船舶建造要求: 海船、内河船法定检验技术规则。

国际航行海船: 满足MARPOL 73/78 附则VI 以及《国际航行海船法定检验技术规则》第5 篇第6 章等要求;

国内航行海船: 满足《国内航行海船法定检验技术规则》第5 篇第7 章等要求;

内河航行船舶: 满足《内河船舶法定检验技术规则》第7 篇第7 章等相关要求。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 二、定义

MARPOL 73/78附则VI 及《内河船舶法定检验技术规则（2019）》等定义：

**排放：**船舶向大气或海洋中释放受本附则控制的任何物质。

**排放控制区（ECA）：**需要对船舶排放采取特别强制性措施以防止、减少和控制NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>或颗粒物或所有三类物质的排放造成的大气污染及其伴生的对人类健康环境的不利影响的区域。

**燃油：**系指为了船舶推进或运转而交付船上的用于燃烧的任何燃料，包括蒸馏物和残余燃油。

**NO<sub>x</sub>技术规则：**系指通过的《船用柴油发动机氮氧化物排放控制技术规则》，可由MEPC修正。

**臭氧消耗物质：**系指《1978年消耗臭氧层物质蒙特利尔议定书》中定义的受控物质。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 二、定义

MARPOL 73/78附则VI 及《内河船舶法定检验技术规则（2019）》等定义：

**船用柴油机：**系指以液体或双燃料运行的任何往复式内燃机，包括增压/复合系统（如适用）。此外，2016 年3 月1 日或以后建造船上安装的单一气体燃料发动机或在此日期或以后安装的新增或非完全相同替代的单一气体燃料发动机，也视为船用柴油机。

**第1 类柴油机：**系指额定功率大于或等于37 kW并且单缸排量小于5 L的船用柴油机。

**第2 类柴油机：**系指单缸排量大于或等于5 L且小于30 L的船用柴油机。

**第3 类柴油机：**系指单缸排量大于或等于30 L 的船用柴油机。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 三、船舶动力装置废气排放控制要求

#### 1、排放控制区

##### 1) MARPOL 73/78 附则VI 设置的排放控制区

指定的NO<sub>x</sub> 或SO<sub>x</sub> 和PM 或所有3种排放类型的排放控制区域包括：

- (1) 欧洲的波罗的海和北海海域（包括英吉利海峡在内）；
- (2) 美国加勒比海域（包括毗邻的波多黎各海岸区域、维京群岛以及夏威夷岛附近海域）；
- (3) 美国和加拿大太平洋海岸200海里内的海域。

其中：

NO<sub>x</sub> 排放控制区指上述区域的（2）、（3）；

SO<sub>x</sub> 排放控制区指上述的区域的（1）、（2）和（3）。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 三、船舶动力装置废气排放控制要求

#### 1、排放控制区

#### 2) 我国设置的船舶大气污染物排放控制区

我国设置的船舶大气污染物排放控制区包括沿海控制区和内河控制区。

沿海控制区范围为图（a）所示60个点依次连线以内海域，其中海南水域范围为图（b）所示20个点依次连线以内海域。

内河控制区范围为长江干线（云南水富至江苏浏河口）、西江干线（广西南宁至广东肇庆段）的通航水域（如图（a）所示）。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 三、船舶动力装置废气排放控制要求

#### 2、船舶排放控制要求

##### 1) 硫氧化物 ( $\text{SO}_x$ ) 排放控制

##### (1) $\text{SO}_x$ 排放控制要求

**全球：** MARPOL 73/78 附则VI、欧洲环境署 (EU)、美国环保局 (USEPA) 和美国加州空气资源委员会 (CARB) 等相继规定或实施了新的船舶 $\text{SO}_x$  排放控制标准。

#### 全球和区域性船舶燃油硫含量(质量分数)限值规定

年份 ↕	MARPOL73/78 附则VI ↕		EU ↕		USEPA ↕	CARB ↕	中国 ↕	中国 香港 ↕
	全球 ↕	ECA <sup>①</sup> ↕	一般 海域 ↕	港口 ↕	美国近 岸海域 ↕	加州海岸线 ↕ 24 海里以内海域 ↕	ECA ↕	香港 港口 ↕
2020 ↕	<0.5% ↕	<0.1% ↕	<0.1% ↕	<0.1% ↕	<0.1% ↕	<0.1%(MDO 或 MGO) ↕	<0.1% ↕	<0.1% ↕

注：①排放控制区为前述(1)、(2)、(3)区域，以及海上环境保护委员会 (MEPC) 划定的设定的  
衡准和程序而指定的任何其他海域，包括任何港口区域；②中国的ECA区指内河ECA区域。





## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 三、船舶动力装置废气排放控制要求

**中国：**《船舶大气污染物排放控制区实施方案》、《2020年全球船用燃油限硫令实施方案》、《船用燃料油》(GB17411-2015)、《普通柴油》(GB252-2015)。

● **国际航行船舶：**

- ①2020年1月1日：中华人民共和国管辖水域，硫含量不超过0.50 %m/m的燃油；
- ②2020年1月1日：内河ECA区域，硫含量不超过0.10 %m/m 的燃油；
- ③2022年1月1日，沿海ECA区域之海南水域，硫含量不超过0.10 %m/m 的燃油；
- ④2020年3月1日，中华人民共和国管辖水域，不得装载硫含量超过0.50 %m/m的自用燃油；
- ⑤2020年1月1日，不得在我国ECA区域内排放开式废气清洗系统洗涤水。

● **国内航行船舶：**

- ①2019年1月1日：大型内河船和江海直达船舶应使用符合船用燃料油国家标准要求的燃油（GB 17411-2015，其中硫含量限值规定了三个等级，其中I 级与ISO/CD 8217 中硫含量要求一致、II 级符合IMO规定的2020年船舶行驶在普通区域对燃料油硫含量的要求、III符合船舶行驶在SO<sub>x</sub>排放控制区内对燃料油硫含量的要求）；
- ②2019年1月1日：内河船应使用符合国标的柴油（GB 252-2015），限值10 mg/kg。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### (2) 废气清洗系统 (Exhaust gas cleaning, EGC)

**IMO:** 《废气清洗系统导则 (2015) 》，规定了EGC排放符合性（包括废气排放和洗涤水排放）验证方法和检验程序。

①EGC 系统排放符合性通过测量SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 比值的方法进行验证；

燃油硫含量限值 (% m/m)	4.50	3.50	1.50	1.00	0.50	0.10
SO <sub>2</sub> (ppm)/CO <sub>2</sub> (% v/v)	195.0	151.7	65.0	43.3	21.7	4.3

②SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 比值法仅适用于石油馏分油或渣油；

③EGC 系统的洗涤水排放出口应尽量远离船舶海水进口；

④EGC 装置产生的残渣不得排放入海或在船上焚烧，而应排放至岸上接收设施；

⑤洗涤水排放应满足下表所示限值要求：

成分	pH	浊度	多环芳烃 (PAHs)	硝酸盐
排放限值	≥6.5	≤25 FNU	≤2250 μg/L	60 mg/L



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 2) 氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 等排放控制

#### (1) MARPOL 73/78附则VI 对NO<sub>x</sub> 的排放限值要求

- 除应急发电机组、救生艇以及应急装置使用的柴油机外，在2000年1月1日或以后经重大改装的、输出功率超过130 kW的船用柴油机，氮氧化物的排放量（按NO<sub>2</sub>的加权排放总量计算）应符合下表规定的适用排放要求，否则应禁止使用。

船舶建造日期	排放标准	对应的 NO <sub>x</sub> 极限值 (g/kWh) (按 NO <sub>2</sub> 总加权排放量计算)		
		$n < 130 \text{ rpm}$	$130 \text{ rpm} \leq n < 2000 \text{ rpm}$	$n \geq 2000$
2000.1.1~2011.1.1	Tier I	17.0	$45.0 \times n^{(-0.2)}$	9.8
2011.1.1 或以后	Tier II	14.4	$44.0 \times n^{(-0.23)}$	7.7
2016.1.1 或以后①	Tier III	3.4	$9.0 \times n^{(-0.2)}$	2.0

①适于该日期以后建造并在NO<sub>x</sub>排放控制区内航行的船舶，其上安装的柴油机。

- 1990年1月1日或以后但在2000年1月1日以前建造的船上安装输出功率超5000 kW且每缸排量90升或以上的船用柴油机应符合Tier I 排放极限值。

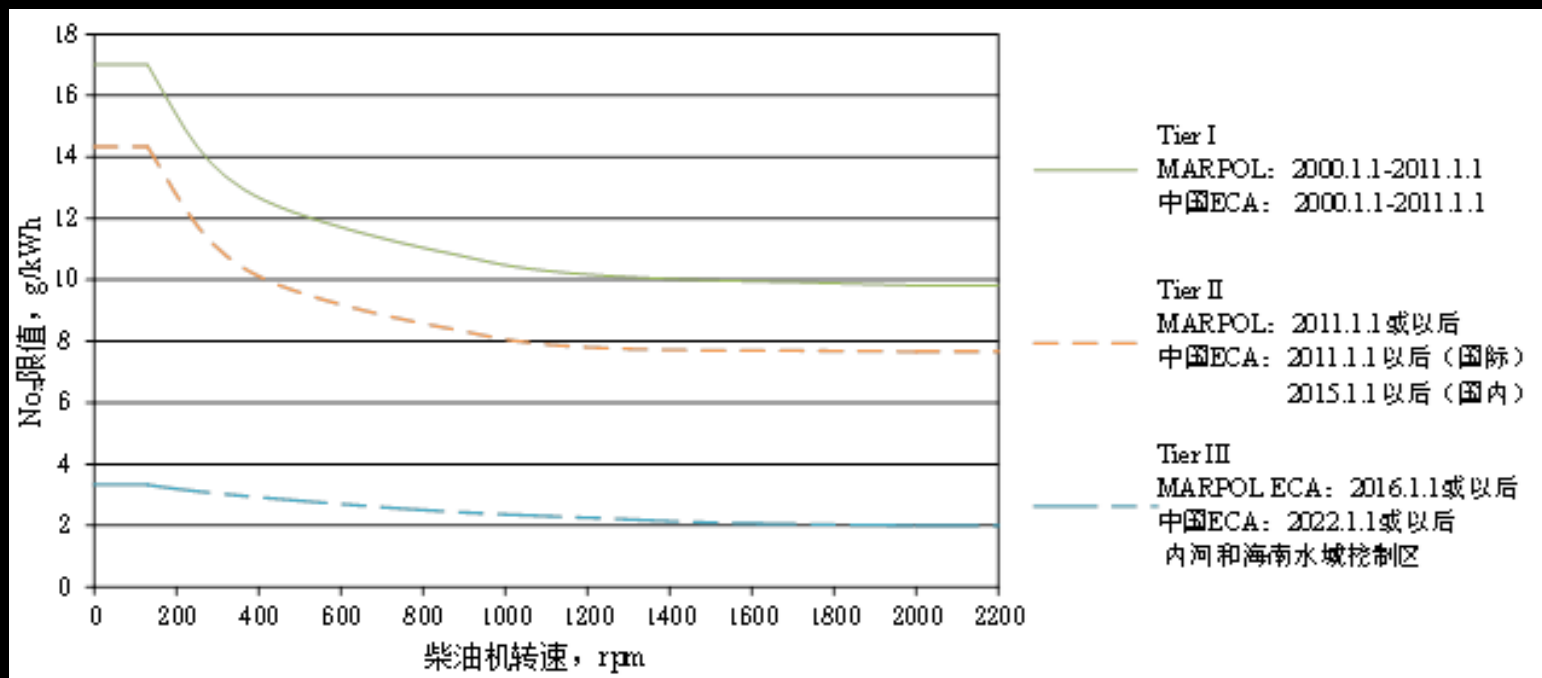


## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 2) 氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 等排放控制

#### (2) 我国船机NO<sub>x</sub>等排气污染物限值要求

- 《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB 15097-2016），详见表8-7、8-8。
- 《船舶大气污染物排放控制区实施方案》



适时评估船舶执行Tier III的限值要求的可行性，确定是否要求2025年1月1日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的中国籍国内航行船舶，单缸 $\geq 30\text{L}$ 。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 四、船舶能效规则

#### 1、公约相关要求

MEPC.203 (62) 决议通过MARPOL公约修正案 (2011 年7 月1 日)，在MARPOL附则 VI 中引入船舶能效规则，增加强制性EEDI 及SEEMP 要求。MEPC.213 (63) 通过《2012船舶能效管理计划制定导则》 (2012年3月2日)。MEPC.1/Circ.684通过了“船舶能效营运指数 (EEOI) 自愿使用指南”。对相关检验和发证等进行了修正。

##### 1) 一般规定

- **新船定义：**  $C \geq 2013$  年1月1日；或  $K \geq 2013$  年7月1日；或  $D \geq 2015$  年7月1日，2013.1.1实施。
- **适用范围：** 所有400GT 及以上的船舶应符合SEEMP；新船和经过重大改建的而被主管机关视为新造船舶的现有船舶应符合EEDI 要求；对小于400 GT的船舶：主管机关可制定相应措施，以确保其符合本规则相关规定。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 2) 获得的能效设计指数 (Attained EEDI)

Attained EEDI 应具体到各船舶，并应显示船舶能效方面的估计性能。Attained EEDI 计算应依据MEPC.308(73)决议通过的《2018年新船达到的能效设计指数 (Attained EEDI) 计算方法导则》，并经主管机关验证。

### 3) 要求的能效设计指数 (Required EEDI)

要求的能效设计指数Required EEDI应：

$$\text{Attained EEDI} \leq \text{Required EEDI} = (1 - X/100) \times \text{基线值}$$

船舶类型	尺度	Phase 0 2013.1.1- 2014.12.31	Phase 1 2015.1.1- 2019.12.31	Phase 2 2020.1.1- 2024.12.31	Phase 3 2025.1.1 及 以后
散货船	20 000 DWT 及以上	0	10	20	30
	10 000-20 000 DWT	n/a	0-10 <sup>a</sup>	0-20 <sup>a</sup>	0-30 <sup>a</sup>
气体运输船	10 000 DWT 及以上	0	10	20	30
	2 000-10 000 DWT	n/a	0-10 <sup>a</sup>	0-20 <sup>a</sup>	0-30 <sup>a</sup>
液货船	20 000 DWT 及以上	0	10	20	30
	4 000-20 000 DWT	n/a	0-10 <sup>a</sup>	0-20 <sup>a</sup>	0-30 <sup>a</sup>

注：a—表示根据船舶尺度由小到大的折减系数这两个值之间取线性插值低的折减系数应用于小的船舶尺度；n/a—表示不适用Required EEDI。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 3) 要求的能效设计指数 (Required EEDI)

基线值应按下式计算:  $\text{基线值} = a \times b^{-c}$

船型	a	b	c
散货船	961.79	船舶载重吨	0.477
气体运输船	1120.00	船舶载重吨	0.456
液货船	1218.80	船舶载重吨	0.488

### 4) 能效管理计划 (SEEMP)

要求每艘船舶应在船上保存一份具体的船舶能效管理计划 (SEEMP)。该计划可为船舶安全管理体系 (SMS) 的一部分。SEEMP 应根据IMO 通过的《2016船舶能效管理计划 (SEEMP) 制订导则》制定。

### 5) 船舶能效营运指数 (EEOI)

MEPC.1/Circ.684提请各成员国政府使所有相关方注意到《船舶能效营运指数 (EEOI) 自愿使用指南》并建议其自愿使用该指南。





## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 四、船舶能效规则

#### 2、我国的相关要求

交通运输部2012年发布了《内河运输船舶标准船型指标体系》，自2012年7月1日起生效施行。

##### 1) 强制性指标

- **燃料消耗指标：**柴油机作为主推进动力的适用船舶，其燃料消耗指数应满足交通运输部公布的《营运船舶燃料消耗限值及验证方法》中的燃料消耗量限值要求，燃料消耗指数的计算和验证按《营运船舶燃料消耗限值及验证方法》执行。
- **CO<sub>2</sub>排放指标：**①满足交通运输部公布的《营运船舶CO<sub>2</sub>排放限值及验证方法》中的CO<sub>2</sub>排放指标限值要求，船舶CO<sub>2</sub>排放指数的计算和验证按中国船级社《内河船舶能效设计指数（EEDI）评估指南》执行；②船舶应配有能效管理手册SEEMP。

##### 2) 引导性指标

对船舶的高效性以及先进性提出了相关引导要求。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 五、船载液体货物蒸气排放控制要求

#### 1、公约相关要求

- 当事国须保证在其指定的港口和装卸站配备经该当事国根据本组织制定的《蒸气排放控制系统安全标准》认可的蒸气排放控制系统；
- 液货船须配备主管机关虑及MEPC 制定的《蒸气排放收集系统安全标准》而认可的蒸气排放收集系统，并须在装载有关货物时使用该系统；
- 载运原油的液货船须在船上备有并实施经主管机关认可的挥发性有机化合物（VOCs）管理计划。

#### 2、我国相关要求

- 对于停靠在对VOCs排放有控制要求的港口的油船应配备并使用经认可的蒸气排放收集系统；
- 载运原油的油船尚应备有并实施经批准的VOCs 管理计划；
- 从2020年1月1日起建造的150总吨以上的油船应配备并使用经认可的蒸气排放收集系统。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 六、臭氧层消耗物质排放控制要求

#### 1、公约相关要求

- 《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》：加速淘汰HCFCs。
- MARPOL 73/78 附则VI：

排放控制要求	
1. 禁止消耗臭氧物质的任何故意排放。	
2. 禁止使用含氢化氯氟烃以外的消耗臭氧物质的装置	2005 年 5 月 19 日或以后建造船舶上；
3. 禁止使用含氢化氯氟烃的装置	2020 年 1 月 1 日或以后建造船舶上；
4. 每艘船舶须保存含消耗臭氧物质的设备清单。	
5. 《消耗臭氧物质记录簿》中的登记，须按物质的质量（kg），就下列情况及时记入。	

#### 2、我国相关要求

- 严禁消耗臭氧物质的任何故意排放；
- 除2020年1月1日前允许含有氢化氯氟烃（HCFCs）物质的新装置外，所有船上应禁止使用含有消耗臭氧物质的新装置；
- 上述物质从船上卸下时，应送到合适的接收设备中。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 七、船上焚烧

公约及我国相关要求参见第7章。

### 八、接受设施

要求各当事国保证提供充分的设施以满足：

- 船舶使用其修理港时接收从船上卸下的消耗臭氧物质以及含有这些物质设备的需要；
- 船舶使用其港口、装卸站或修理港时接收废气滤清系统产生的废气清除残余物的需要；而不对船舶造成不当延误；
- 在拆船厂中接收从船上卸下的消耗臭氧物质和含有这些物质设备的需要；
- 当事国应根据IMO发布的相关指南制定本地区接收设施计划。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 九、燃油的供应和质量

#### 1、燃油供应

- 促进各当事国供应的燃油满足公约要求并将相关情况通报IMO;
- 发现船舶不符合公约附则VI 规定, 主管当局有权要求船舶: ①提交为达到符合标准而采取行动的记录; 和②提供其努力根据航次计划购买合格燃油的证据, 及已努力寻找该燃油的替代来源, 并且尽管为获得合格燃油尽了最大努力, 仍不能购得该燃油的证据;
- 船舶不要求为了获得合格燃油而改变其目的港或过分滞留。

#### 2、燃油质量

- 燃油应为从石油精炼产生的烃的混合物, 但并不排除加入少量用于改善某些方面性能的添加剂, 燃油应不含无机酸;
- 以石油精炼之外的方法的用于燃烧的燃油应不: ①超过规定的适用硫含量; ②导致发动机超过规定的适用NO<sub>x</sub> 排放极限; ③含无机酸, 或: 使船舶安全遭受危险或对机械性能有不利影响; 对人员造成伤害; 从总体上增加空气污染;
- 船舶应将船上用于燃烧用途的燃油详细情况记录在燃油记录簿上。



## 第二节 公约及法规关于防止船舶对大气污染的要求

### 十、气体燃料动力船舶

#### 1、《使用气体或低闪点燃料船舶国际安全规则》

IGF规则根据燃料的性质，为使用低闪点燃料的机械、设备和系统的布置、安装、控制和监测制定强制性规定，以尽量降低船舶、船员和环境的风险。目前仅列出船舶使用天然气作为燃料的规定，日后将会扩展到其他低闪点燃料。

#### 2、《天然气燃料动力船舶法定检验暂行规则》

该规则适用于国内航行的船长20 m及以上使用天然气为燃料的钢质船舶。规则共分13章，具体包括：通则、船舶布置、气体燃料管系、气体燃料储存、气体燃料加注、用气设备、防爆、电气装置、控制监测和安全系统、机械通风、消防、工程船采用分体供气的补充规定和操作要求等。



### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

#### 一、概述

船舶动力装置废气排放控制总体可分为机前、机内、机后等控制方法。

- **机前控制：**主要是采用更为清洁的燃料或替代燃料。
- **机内控制：**优化调整发动机燃烧过程，控制废气排放；主要控制方法有废气再循环（EGR）、延迟喷油定时、燃油-水分层喷射处理等。
- **机后控制：**对动力装置排气进行处置；主要控制方法有选择性催化还原（SCR）、干法脱硫、湿法脱硫、混合处理等。

#### **SO<sub>x</sub>和NO<sub>x</sub>排放限值的主要解决方案：**

- 使用低硫燃油；
- 改善燃烧模式；
- 设置排气后处理装置；
- 采用LNG等清洁燃料。





### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

## 二、机前控制技术

### 1、使用替代燃料

#### 1) 使用低硫油

- **原因：**废气中 $\text{SO}_x$ 排放浓度与燃油S含量直接相关，燃烧过程中燃料中的硫份几乎全部转化成废气中的 $\text{SO}_x$ ；使用低硫燃料存在市场供应量不足、价格贵及对燃油系统改造等问题。
- **产量：**据IMO、IEA等统计，目前全球船用油年消费量约2.8 亿吨；2020年将达3.2 亿吨。2020年硫分0.5% 以下低硫重油供应不超过5000 万吨，就算是翻倍达到1.0 亿吨，也只能达到高硫重油的大概1/3。
- **价格：**含硫量0.1% 的低硫油价格（656.24 欧元/t）比普通燃料油（含硫量 1.5%）价格高256.64 欧元/t，即低硫油贵了近65%。现有船舶发动机燃油系统专为使用燃料油而设计的，更换燃油需对相关系统重新进行设计，以匹配低硫燃油特性，否则会导致油泵、喷油嘴等部件磨损增加，对设备、安全等具有一定影响。



### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

#### 2) 使用LNG等替代燃料

- **替代燃料：**主要包括液态的LNG、甲醇、乙醇、生物液体燃料和生物柴油、气态的丙烷和氢气等。
- **LNG：**作为车、船替代燃料，废气CO、HC排放浓度有所增加，但比重油可减少80% 的NO<sub>x</sub> 排放，减少100% 的SO<sub>x</sub> 排放，减少25% 的CO<sub>2</sub> 排放，减少80% 的PM 排放，完全满足IMO有关船舶动力装置废气排放限值。
- **存在的主要问题：**新造船、改造船生产成本增加；设计、生产难度加大；相关配套产业不完善；船舶续航能力较弱。

#### 2、燃油乳化

- **原理：**燃油掺水机前乳化，改善燃烧，降低爆压和燃烧温度。
- **优点：**能较大幅度地减少NO<sub>x</sub>。
- **存在的问题：**需要设置专门的乳化装置，会对柴油机燃油系统造成锈蚀等问题。

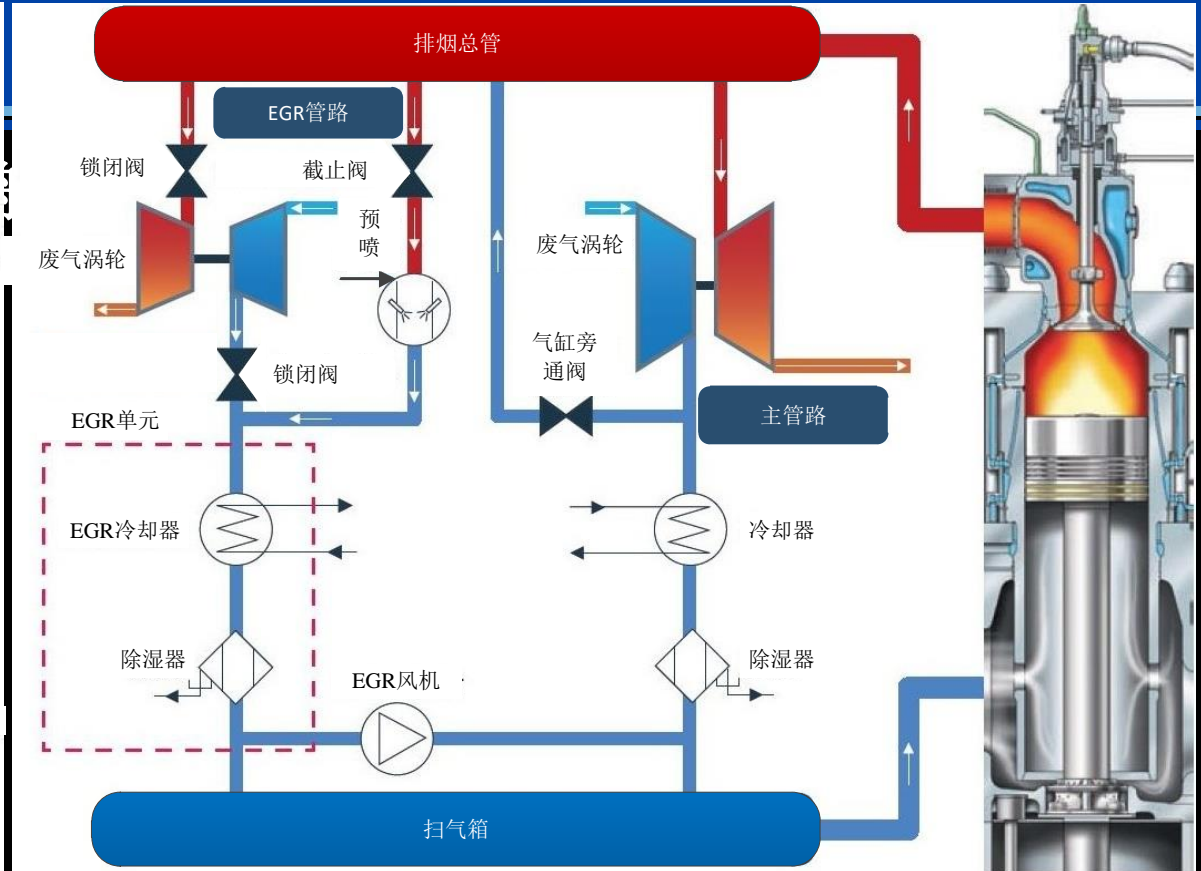


### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

## 三、机内控制技术

### 1、废气再循环（Exhaust gas re-circulation，简称EGR）

- **工作过程：**让发动机部分排气（ $\leq 40\%$ ）引回进气管，与新鲜空气混合后作为工质参加气缸内热循环，从而大幅度降低 $\text{NO}_x$  的生成量，达到 Tier III 排放限值要求。
- **降低 $\text{NO}_x$ 排放的原理：**
  - ① 排出废气含氧量低，部分再循环回缸内后，使燃烧反应混合物中氧含量与不循环时相比显著降低。燃烧和爆炸过程中 $\text{NO}$  的生成反应速度与氧浓度的平方根成正比，于是废气中的 $\text{NO}_x$  浓度也相应下降；
  - ② 废气中含有较多的水蒸气和 $\text{CO}_2$ ，其比热比空气大得多，使燃烧过程所达到的火焰温度低， $\text{NO}$  的生成速度与燃烧绝对温度成指数关系，因此导致废气中 $\text{NO}_x$  的浓度降低。



Tier II 模式				TierII 模式/TC 切出模式			Tier III 模式		
MCR	EGR	CBV	T/C	EGR	CBV	T/C	EGR	CBV	T/C
100	关闭	关闭	切入	不用			开启	关闭	切出
75								部分 开启	
65				关闭	关闭	切出			
50									
25									



### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

## 三、机内控制技术

### 2、延迟喷油定时

通过调整喷油规律，减少上止点前喷入气缸的燃油量；或者调整气阀正时，降低最高燃烧温度和压力，均可减少 $\text{NO}_x$  的发生量。另外，改进喷油器结构、采用电子控制或智能喷射系统等，也是控制 $\text{NO}_x$  排放的有效措施之。

### 3、燃油——水分层喷射

与燃油掺水乳化的方法不同，在柴油机的喷油阶段，该系统将水送至喷油器，使油和水分层喷入气缸，以降低火焰温度。借助该系统， $\text{NO}_x$ 排放的减少量几乎与水、油的相对比率成线性关系。

要求造水机容量要大，须对供水防锈。



### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

#### 四、机后控制技术

##### 1、船舶动力装置废气单一污染物处理技术

###### 1) 废气脱硫技术

主要为湿法脱硫和干法脱硫，其中湿法脱硫又分开环湿法脱硫、闭环湿法脱硫以及混合式湿法脱硫。

传统脱硫主要采用湿法脱硫，基于酸、碱中和反应进行脱硫处理。

常用的脱硫吸收剂有海水、钠基、钙基、镁基、镁基-海水等碱性溶液等。这些方法都以吸收为主导，再经空气氧化实现尾气的脱硫处理。



### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

#### 四、机后控制技术

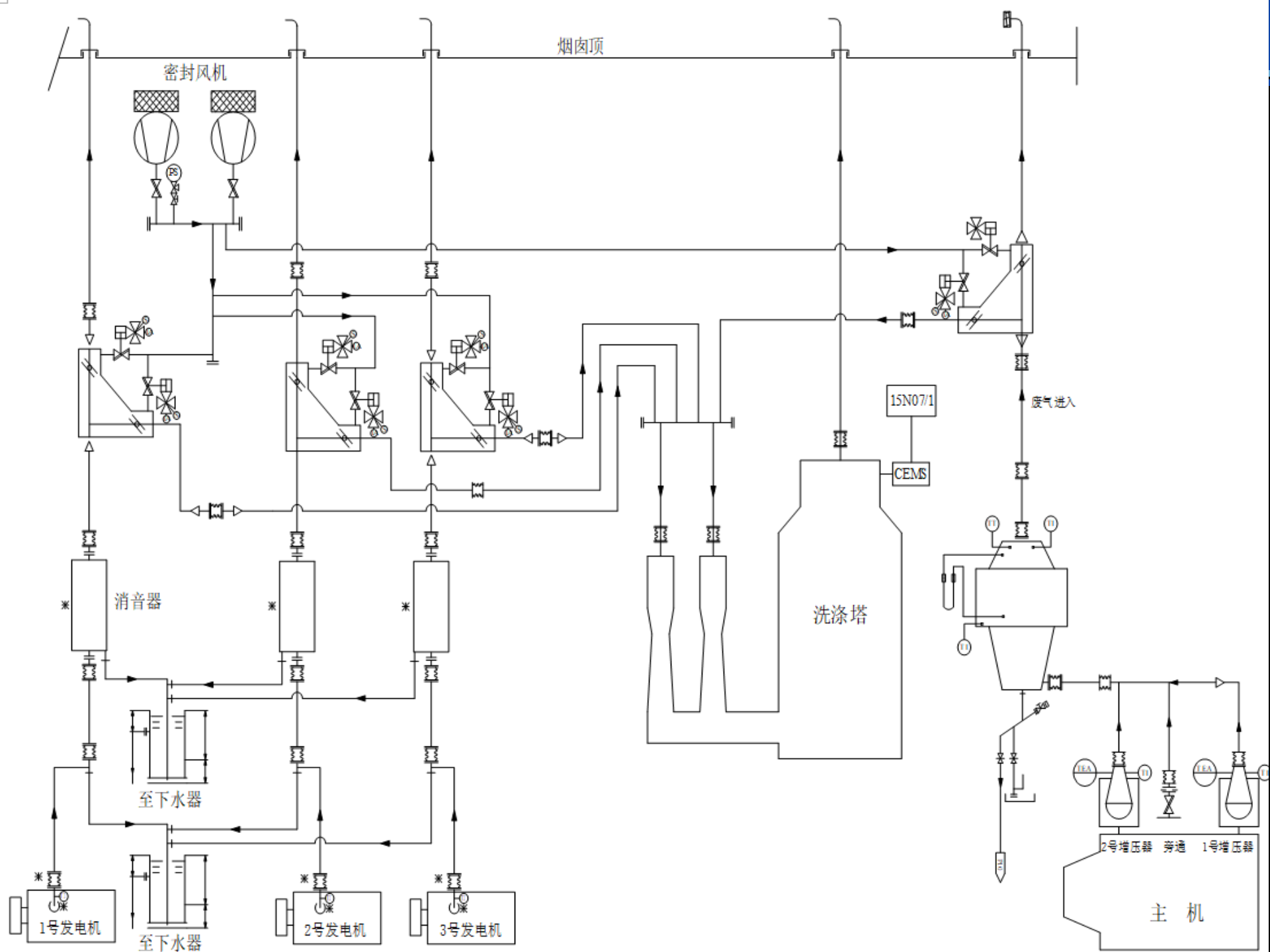
##### 1、船舶动力装置废气单一污染物处理技术

###### 1) 废气脱硫技术

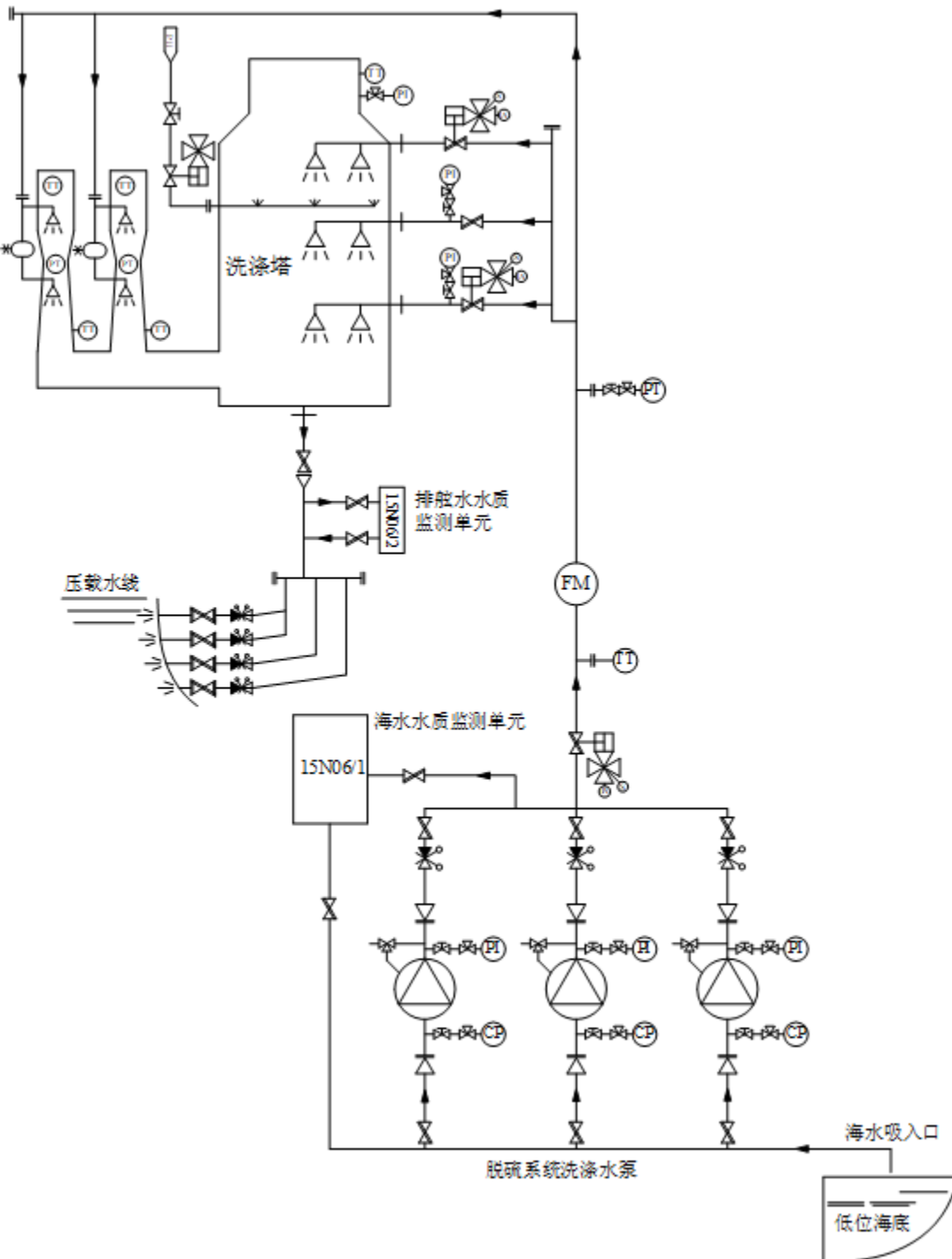
###### (1) 开环湿法脱硫 (Open Loop)

- 利用天然海水的碱度实现脱除烟气中 $\text{SO}_2$ 。海水呈碱性，自然碱度约为 $1.2 \sim 2.5 \text{ mmol/L}$ ，主要成分有氯化物、硫酸盐、可溶性碳酸盐等，海水中的大量 $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$  是海水可以吸收二氧化硫的主要原因。
- 洗涤塔内废气中 $\text{SO}_2$ 与海水混合发生酸碱中和反应，脱硫处理后的废气排空，从洗涤塔底部排出的洗涤废水经曝气处理，使废水中的亚硫酸盐转化成稳定的硫酸盐，然后废水在水处理设备中进行深度处理，处理过程中产生的污泥将存储在污泥箱内，废水在最后通过调节使pH 值高于6.5 后排放入海。





## 气排放控制技术



**优点：**不需要任何额外化学添加剂，系统简单，维护方便，降低运行成本。

**缺点：**1) 需大量海水，循环水泵功耗较高，额外消耗2%~3%的燃油；2) 洗涤脱硫废水中含有悬浮物、多环芳烃（PAHS）和COD（主要是亚硫酸盐）等污染物，对海洋生物有毒性，COD物质会大量消耗水中溶解氧；3) 废水如pH值过低，会破坏海水碱性 $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ 平衡体系，导致释放大量的 $\text{CO}_2$ ，影响生态环境。

我国自2020年1月1日起，限制在船舶大气污染物排放控制区内排放开式EGC洗涤水。



### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

#### (2) 闭环湿法脱硫 (Closed Loop)

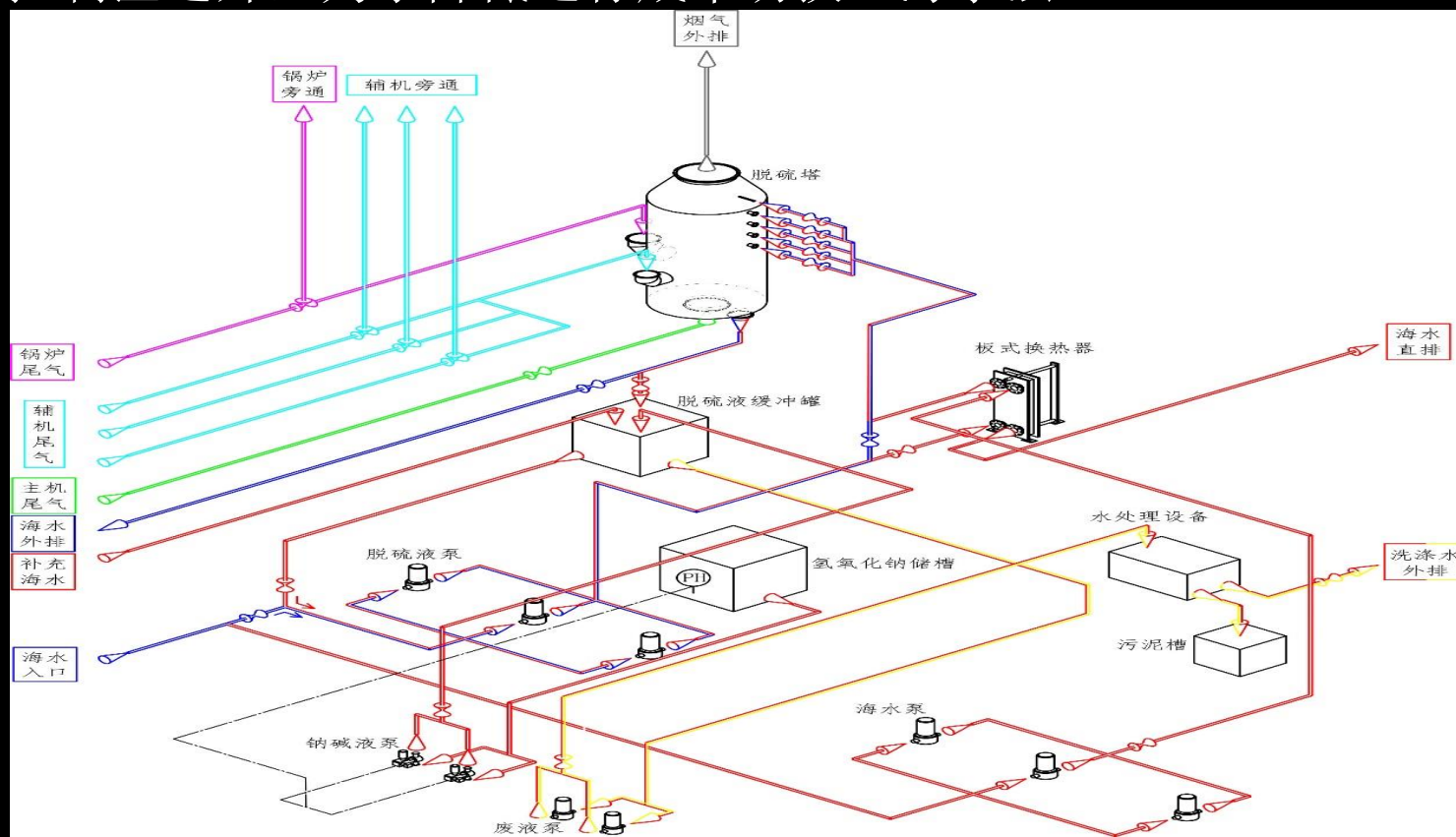
- **工作原理：**淡水加碱性物质（ $\text{NaOH}$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgO}$ 等）得到碱性洗涤液，与船舶废气中的 $\text{SO}_x$  发生酸碱中和反应达到废气脱硫的目的。
- **洗涤废液：**不直接排入海水中，经一定处理达到排放要求后排放入海，另一种洗涤废液处理方式存储为存储在船上等待进一步的处理。
- **钠法脱硫：**淡水+氢氧化钠法，以氢氧化钠为脱硫剂，吸收并中和 $\text{SO}_x$ ，以达到脱硫目的。
- **优点：**脱硫效率高、能耗低、废水量少、不排放的优势。
- **缺点：**①需要加药系统，为减少淡水蒸发，需洗涤液海水冷却装置。购置成本较高，使用昂贵的氢氧化钠作脱硫剂，运行成本提高；②脱硫过程中需要消耗大量的淡水资源，加重了船上造水机的工作负担；③氢氧化钠为强碱物质，腐蚀性极强，对设备和人员要求较高；④碱液和淡水需要设置专门的存储舱室，减少了船舶可用空间，降低了利润。。



## 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

## (3) 混合系统 (Hybrid system)

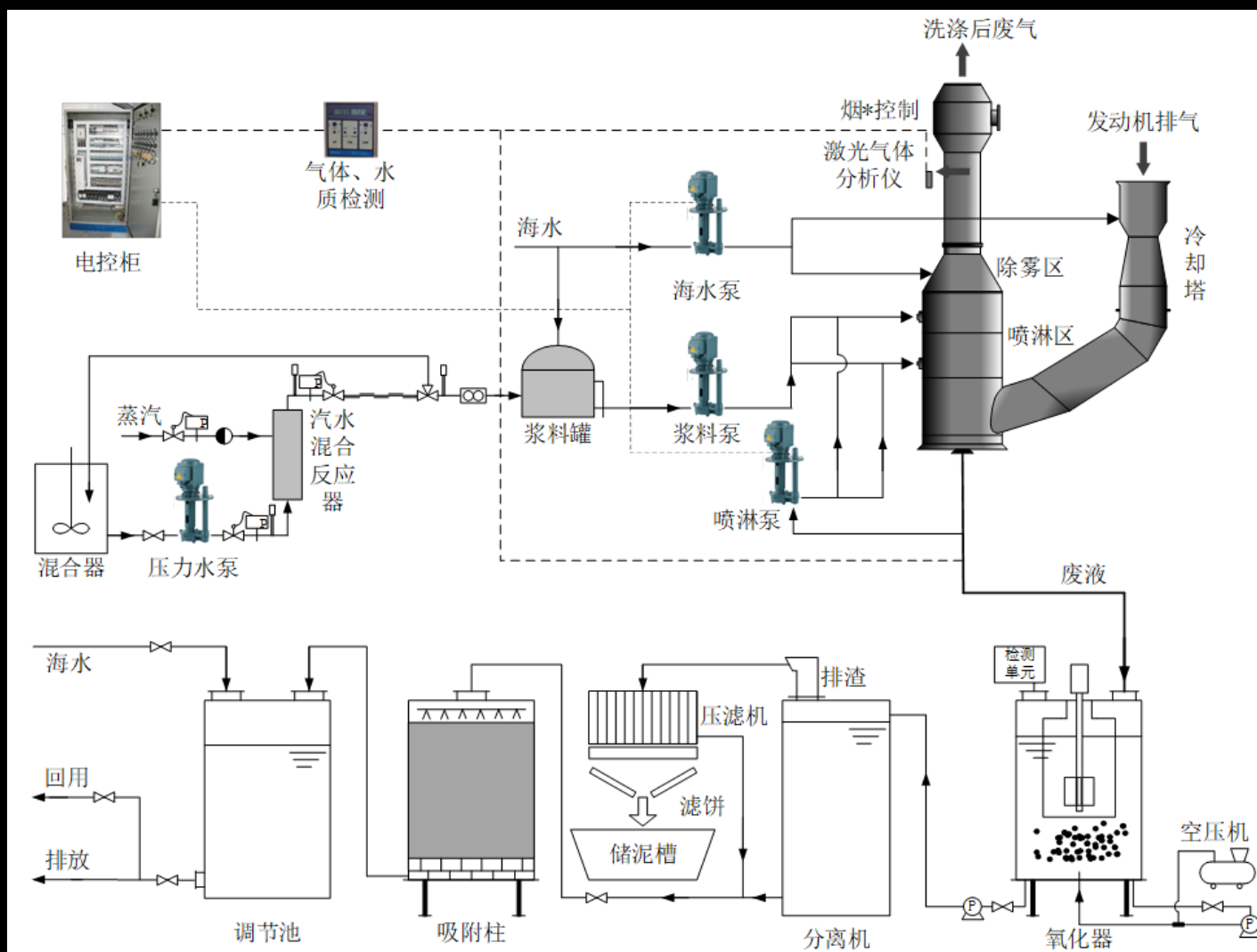
- **工作原理：**根据海水、淡水+氢氧化钠法各自特点开发的合成控制技术。在排放控制区，为了达到较高的脱硫效率切换至淡水+氢氧化钠法；排放控制区之外，为了降低运行成本切换至海水法。





## 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

## (3) 混合系统 (Hybrid system)





### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

#### (4) 干法脱硫

- **工作原理：**将生石灰（ $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{CaO}$ ）或者氢氧化钙（ $\text{Ca(OH)}_2$ ）等碱性固体颗粒当做吸附剂，与船舶废气中的 $\text{SO}_x$  反应进行脱硫。废气与脱硫剂填料床直接接触并反应，反应过程中没有液体介入，因此称为干法。
- **优点：**①脱硫效率能够达到95%以上；②不消耗水也不产生废水，不会造成二次海洋环境污染；③装置十分简单，能耗较湿法低；④脱硫处理后的废气温度降低较少，可直接进入SCR脱硝系统。
- **缺点：**①气固反应速率较低，因此需要更长的停留时间，这也导致了干法装置的体积更大，约为湿法的2 倍；②需要大量的生石灰或氢氧化钙脱硫剂；③副产物为亚硫酸钙和硫酸钙，堆积副产物也需要占用较大的空间。



### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

#### 四、机后控制技术

##### 1、船舶动力装置废气单一污染物处理技术

##### 2) 废气脱硝技术

##### (1) 选择性催化还原技术 (**Selective catalytic reduction, SCR**)

- **原理：**以 $\text{NH}_3$ 或尿素为还原剂，在催化剂存在且温度为 $250\sim 600^\circ\text{C}$ 的条件下将 $\text{NO}_x$ 直接还原为 $\text{N}_2$



- **优点：**技术成熟；只产生氮气和水，无二次污染；初投资成本较低。
- **缺点：**催化剂易失活；氨的储存和泄露存在一定风险。





### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

#### 四、机后控制技术

##### 1、船舶动力装置废气单一污染物处理技术

##### 2) 废气脱硝技术

##### (1) 选择性催化还原技术 (**Selective catalytic reduction, SCR**)

##### (2) 液体吸收法

- **原理：**气体通过液体介质时被溶解吸收或与其发生化学反应，从而净化气体的方法，包括水吸收法、酸液吸收法、碱液吸收法。
- **特点：**常压时的NO不易溶于水，也不会与水发生化学反应，因此，在常压下，液体吸收法的效果非常不理想；酸液的吸收法，通常采用的是以稀硝酸作为废气的吸收液。整体液体吸收法去除NO<sub>x</sub>效率低，使用受限，一直没有被广泛采用。



### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

## 四、机后控制技术

### 2、船舶动力装置废气一体化处理技术

#### 1) 氧化-吸收法

- **原理：**针对难以被吸收剂直接去除的NO，需将其先氧化为易被吸收的NO<sub>2</sub>，再利用吸收剂去除。吸收剂以碱性溶液和亚硫酸盐溶液为主，主要有ClO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>等。
- **试验：**ClO<sub>2</sub>浓溶液与天然海水混合对船舶尾气进行喷淋，脱硫率和脱硝率分别能达到90% 和80% 以上；H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的氧化能力有限，但将H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>与紫外光结合，产生的强氧化性自由基OH• 能大大提高了H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的氧化能力，脱硫脱硝率均提高到95% 以上；O<sub>3</sub>具有极强的氧化性，其对NO的氧化效率能达到90% 以上。



### 第三节 船舶动力装置废气排放控制技术

#### 2) 低温等离子体技术

- **原理：**利用高能带电离子与尾气中 $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等发生碰撞使之被激发和解离，生成具有强活性的 $\text{OH}\cdot$ 、 $\text{HO}_2\cdot$ 、 $\text{O}\cdot$ 、 $\text{N}\cdot$  和 $\text{H}\cdot$  自由基，将尾气中 $\text{SO}_2$  和 $\text{NO}$  氧化转化为 $\text{SO}_3$ 和 $\text{NO}_2$ ，最终生成 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 和 $\text{HNO}_3$ 。

#### 3) 光催化技术

- **原理：**利用紫外光照射 $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ ，使之在催化剂表面发生氧化还原反应。目前较多以 $\text{TiO}_2$  半导体为基底的纳米催化剂，经光激发后产生空穴和光生电子，光生空穴被表面吸附水或氢氧根离子捕获生成 $\text{OH}\cdot$  自由基，光生电子则与 $\text{O}_2$ 等反应在催化剂表面生成 $\text{O}_2^-$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  等氧化剂。

#### 4) 改性海水法

- **原理：**海水通过电解改性，生成碱性氢氧化钠溶液作为洗涤剂对尾气进行净化，可减小洗涤塔体积和减少海水用量。





## 第四节 船载液体货物蒸气污染控制技术

---

### 一、船载液货蒸气泄漏源

- **大呼吸：**液货船在装卸货时，货舱（储罐）中的货物蒸气被液货置换出舱（罐）外。
- **小呼吸：**因环境温度变化、货舱晃动等，使舱内货物蒸气排出舱外。
- **泄漏：**因密封不严或管理不善而造成的跑、冒、滴、漏。



## 第四节 船载液体货物蒸气污染控制技术

### 二、VOCs 处理技术

#### 1、VOCs 回收技术

##### 1) 吸附法

- **原理：**利用多孔材料使VOCs 分子吸附在孔道内，以实现VOCs 的去除。分物理和化学吸附，物理吸附作用力主要为范德华力，吸收速率较快，也是原油码头油气回收处理最常用的一种方法；化学吸附多由吸附剂活性表面对VOCs 分子所产生的化学结合力为主导。常用活性炭，解吸采用真空方式。

##### 2) 吸收法

- **原理：**利用VOCs 在特定液体吸收剂中具有较高的溶解度，从而将VOCs从气流中溶解而分离。常采用高沸点、低蒸汽压的油类等有机溶剂作为吸收剂分离含浓度较高、压力较高的有机物废气，去除率可达到90~98%。工艺流程简单，成本低，但吸收容量小，回收经济性低。



## 第四节 船载液体货物蒸气污染控制技术

### 二、VOCs 处理技术

#### 1、VOCs 回收技术

##### 3) 冷凝法

- **原理：**利用VOCs 在不同温度下饱和蒸汽压的差异，通过降温、增压的方式使VOCs废气达到过饱和状态从而液化分离的技术。一般有两种方法：一是机械降温，即通过电力压缩机作用下使得油气冷却至凝点液化；二是液氮降温，即通过液氮汽化吸收热量使得油气冷却至凝点液化达到油气回收。主要适用于处理浓度高（一般大于 $10\,000\text{ mg/m}^3$ ）、流量不高于 $3\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 并且具有回收价值的有机废气。

##### 4) 膜分离法

- **原理：**利用气体组分在高分子膜中渗透速率的不同，通过在一侧产生气压差使废气穿过具有选择透过性的分离膜，从而实现将VOCs从废气中分离回收的技术。



## 第四节 船载液体货物蒸气污染控制技术

### 二、VOCs 处理技术

#### 2、VOCs 降解技术

##### 1) 燃烧法

- **原理：**通过燃烧和高温对VOCs 分子进行完全氧化。根据燃烧方式可将其细分为直接燃烧、热力燃烧和催化燃烧。

##### 2) 光催法

- **原理：**在一定波长光照下在催化剂表面生成强氧化性羟基自由基，将吸附在其表面的VOCs分子在常温常压下氧化分解为 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 。

##### 3) 低温等离子体法

- **原理：**通过电晕、射频放电等方式得到大量活性物种（自由基、激发态分子等），常温常压下与VOCs反应，将其迅速转化为 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 等。

##### 4) 生物处理法

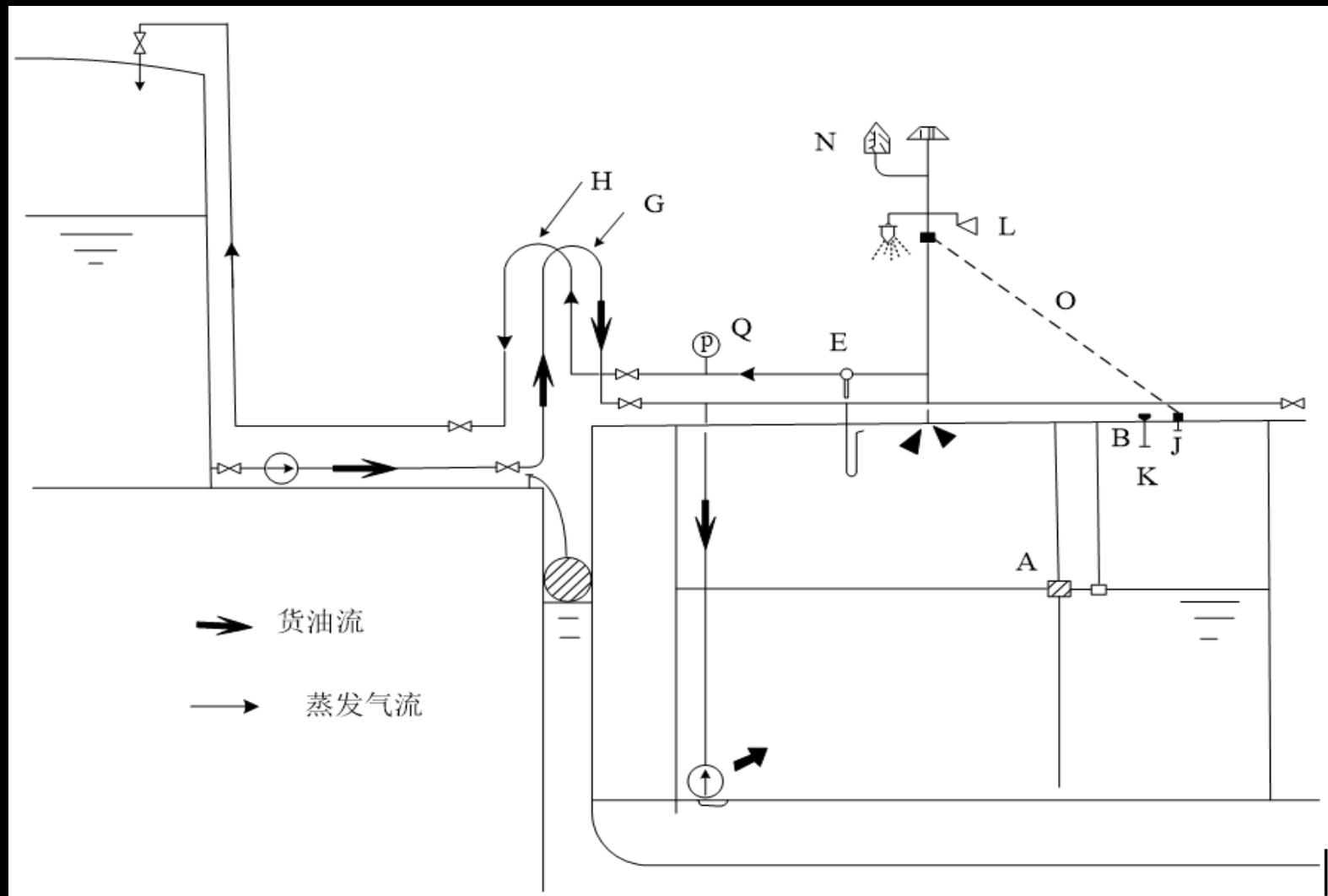
- **原理：**将VOCs 与一定条件下驯化得到的微生物进行接触，从而被吸收进入到微生物体内参与新陈代谢过程，微生物将其分解为 $\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CO}_2$ 。





## 第四节 船载液体货物蒸气污染控制技术

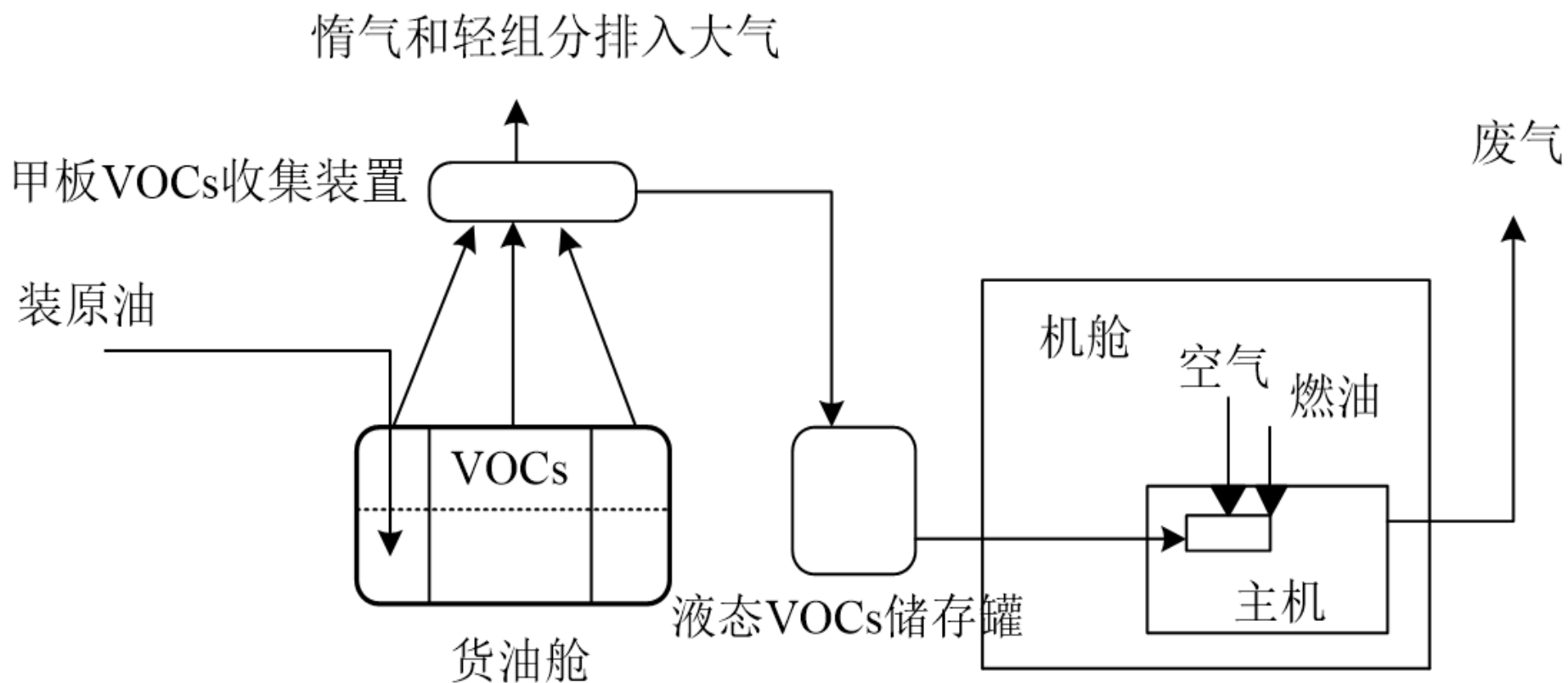
## 三、港口液货蒸气排放控制系统





## 第四节 船载液体货物蒸气污染控制技术

## 四、船舶燃用VOCs系统





## 第五节 船舶CFCs对大气污染控制技术

### 一、船舶泄漏的CFCs对臭氧层的影响

#### 1、氟利昂物质简介

氟利昂是甲烷或乙烷等饱和烃中的氢原子被卤化物Cl 或者F 等置换后形成的卤代碳氢化合物的总称。

- **氯氟烃类：**简称CFC，主要包括 $R_{11}$ 、 $R_{12}$ 、 $R_{113}$ 、 $R_{114}$ 、 $R_{115}$ 、 $R_{500}$ 、 $R_{502}$ 等，对臭氧层的破坏作用最大，《蒙特利尔议定书》列为一类受控公害物质，目前已禁止使用。
- **氢氯氟烃类：**简称HCFC，主要包括 $R_{22}$ 、 $R_{123}$ 、 $R_{141b}$ 、 $R_{142b}$ 等。其臭氧层破坏系数仅为 $R_{11}$ 的百分之几，此类物质是低公害物质，被视为CFC类最重要的过渡性替代物质。
- **氢氟烃类：**简称HFC，主要包括 $R_{134a}$ 、 $R_{125}$ 、 $R_{32}$ 、 $R_{407C}$ 、 $R_{410A}$ 、 $R_{152}$ 等。其臭氧层破坏系数为0，但气候变暖潜能值高。此类物质是无公害物质，在《蒙特利尔议定书》没有规定其使用期限，但在《联合国气候变化框架公约》京都议定书中定性为温室气体。

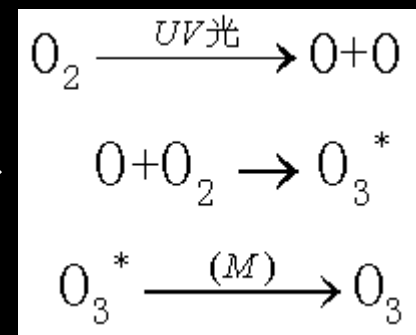
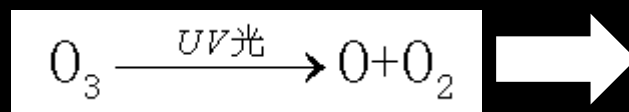


## 第五节 船舶CFCs对大气污染控制技术

## 一、船舶泄漏的CFCs对臭氧层的影响

## 2、氟利昂(FREON)对臭氧层的影响

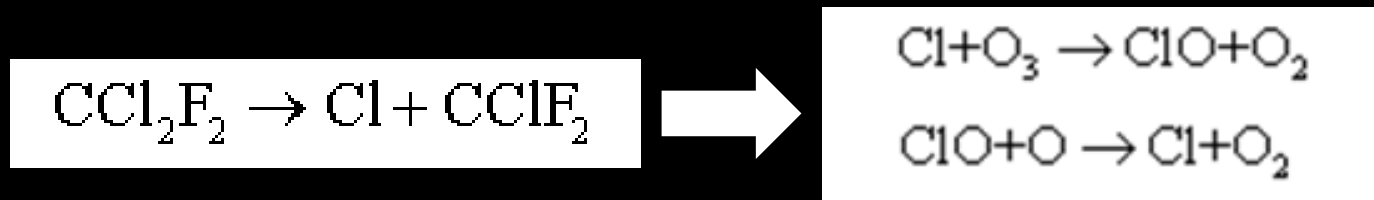
## 1) 臭氧的生成与分解



## 2) 氟利昂对臭氧层的影响

氟利昂泄漏到大气中后比较稳定，在对流层几乎不分解，但进入平流层以后，受太阳紫外光的作用就会发生分解反应。

## 平流层分解：



## 影响：

氟利昂在平流层分解产生的Cl 离子，会在平流层滞留几个月，期间发生上式反应，一个Cl 离子大概会造成数万个臭氧分子的分解。



## 第五节 船舶CFCs对大气污染控制技术

### 二、氟利昂替代品的开发

#### 1、制冷剂发展简史

时期	选择标准	所用制冷剂
第一代（1830s-1930s）	可工作性	无氟：醚、SO <sub>2</sub> 、甲酸甲酯、CCl <sub>4</sub> 、碳氢、CO <sub>2</sub> 、NH <sub>3</sub> 、H <sub>2</sub> O
第二代（1931s-2010s）	安全性和毒性	CFCs: R11、R12、R113、R114、R115
第三代（1987s-2030s）	臭氧层破坏 (零 ODP)	HCFCs: R22、R141b、r142b、R123、R124 HFCs: R134a、R152a、R125、R32、RR143a、R227ea、R236fa、R245fa
第四代（2000s-）	全球变暖 (零 ODP, 低 GWP)	HFCs: R32、R152a、R161、R41 HFOs: R1234yf、R1234ze(E)、R1233zd(E) 天然工质: CO <sub>2</sub> (R744)、碳氢 (R290、R600a)、氨 (R717)

#### 2、氟利昂物质的使用趋势



## 第五节 船舶CFCs对大气污染控制技术

### 二、氟利昂替代品的开发

#### 3、氟利昂替代品

##### 1) 合成工质替代品

- HFCs类制冷剂：R134a、R410a、R32、R404a。
- HFOs类制冷剂：R<sub>1234yf</sub>和R<sub>1234ze(E)</sub>等，氢氟烯烃的简称，温室效应很小，GWP值超低，而且ODP为0，低毒不可燃。

##### 2) 天然工质替代品

- 碳氢制冷剂（HCs）：天然环保的制冷剂，ODP为0、GWP为3，环保性能优越。
- 二氧化碳制冷剂（R<sub>744</sub>，CO<sub>2</sub>）：ODP为0、GWP为1，高密度和低黏度，传热效果良好。
- 氨制冷剂（R<sub>717</sub>，NH<sub>3</sub>）：ODP、GWP均为0，易获取、价格低，具有良好的热力学性能，但有一定的毒性和可燃性。。



## 第六节 船舶温室气体

## 一、技术性措施

## 1、船舶能效设计指数 (EEDI)

## 1) Attained EEDI计算公式

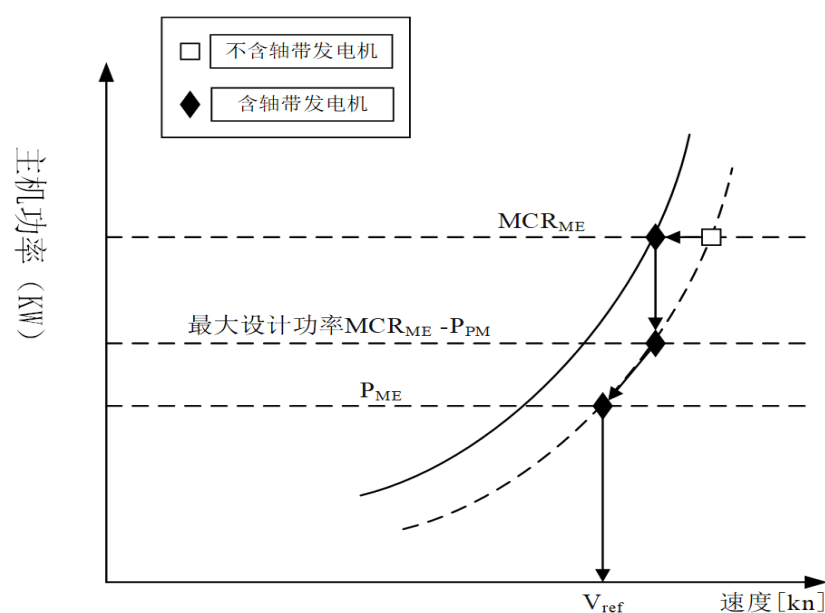
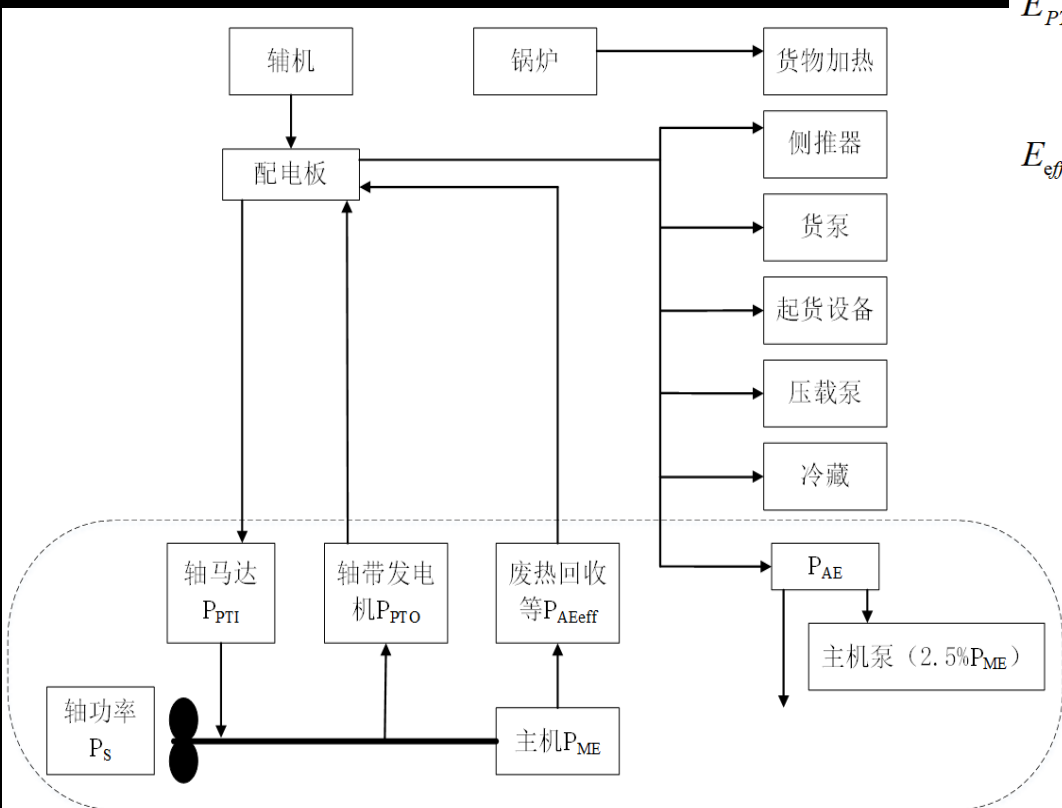
$$EEDI = \frac{E_{ME} + E_{AE} + E_{PTI} - E_{eff}}{f_i \cdot f_c \cdot capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

$$E_{ME} = \left( \prod_{j=1}^n f_j \right) \left( \prod_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME}(i) \cdot SFC_{ME}(i) \right)$$

$$E_{AE} = (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*)$$

$$E_{PTI} = \left( \prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI}(i) - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff}(i) \cdot P_{AEeff}(i) \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE}$$

$$E_{eff} = \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff}(i) \cdot P_{eff}(i) \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}^{**}$$







## 第六节 船舶温室气体排放控制技术

### 一、技术性措施

#### 1、船舶能效设计指数（EEDI）

#### 2、技术性措施

船舶空船质量优化、船舶型线优化、船舶主机选型优化、船舶螺旋桨型线优化、其他减排措施。

### 二、营运性措施

#### 1、船舶能效管理计划（SEEMP）

一般要求，SEEMP 的策划（能效因素、能效措施、能效的基准和标杆、能效目标和指标），SEEMP 的实施，能效检测，SEEMP 的评估改进。



## 第六节 船舶温室气体排放控制技术

### 二、营运性措施

#### 2、船舶能效营运指数（EEOI）

《船舶能效营运指数（EEOI）自愿使用指南》

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargo} \times D}$$

$$AverageEEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i m_{cargo,i} \times D}$$

#### 3、营运管理措施

航速优化，航线优化，提高船舶装载利用率，最佳纵倾，优化船舶到港时间，保持船体清洁，废热回收。



## 第七节 港口粉尘等污染控制技术

### 一、港口粉尘污染及其控制技术

#### 1、港口粉尘污染

煤炭、散粮、矿石、散盐、散化肥、砂石、散木材等散装货物在港口储存和转运过程中产生粉尘污染。





## 第七节 港口粉尘等污染控制技术

### 一、港口粉尘污染及其控制技术

#### 1、港口粉尘污染

#### 2、港口粉尘污染控制技术

粉尘扩散的影响因素：粒径大小、湿度、比重、悬浮高度；  
空气速度、湿度、地表状况；  
装卸工艺设备、作业方式。

- 1) 湿式防尘：喷水、磁化水除尘、湿润剂除尘、泡沫除尘；
- 2) 干式除尘：密封尘源、集尘装置、粘结剂；
- 3) 综合防尘技术：喷水+防尘网+绿化。

### 二、港口污染综合防治技术

综合采用岸电技术、VOCs回收处理技术、船舶污水及垃圾接收处理、港机“油改电”技术、LNG为动力燃料的港作车辆等。



## 第七节 港口粉尘等污染控制技术

---

*Thanks*

---

**The end of Chapter 8**

---