

# 船舶 SCR 常见故障原因分析与处理

王植富, 张志镭, 朱世伟

(山东海运股份有限公司, 山东 青岛 266034)

**摘要:** 船舶 SCR 系统是当前降低船舶 NO<sub>x</sub> 排放, 满足 IMO TIER III 标准要求的主流技术设施。为了保障远洋船舶 SCR 系统的平稳运行, 基于船舶 SCR 系统原理结构, 分析总结了实船管理中遇到的 SCR 系统故障现象、原因与应急处理办法。

**关键词:** 船舶; NO<sub>x</sub> 排放控制; 脱硝塔; 故障; 原因; 措施

**中图分类号:** U664 **文献标识码:** A

船舶货运是当前世界各国之间贸易往来的主要方式, 以燃烧低品质燃油为主的船舶排放已成为全球大气污染的重要因素之一。为降低全球大

气污染程度, 国际海事组织 (IMO) 在先后提出了关于船舶柴油机 NO<sub>x</sub> 排放的 TIER I、TIER II、TIER III 标准要求, 如表 1。

表 1 IMO TIER I、TIER II、TIER III 排放标准要求

阶段	要求	实施时间	实施区域	与 TIER I 相比
TIER I	17 g/kw.h,	2000.1.1-2011.1.1	全球	
TIER II	14.4 g/kw.h	2011.1.1 起	全球	降低 20%
TIER III	3.4 g/kw.h	2016.1.1 起	ECA 区域内	降低 80%

TIER III 排放标准已从 2021 年 1 月 1 日开始强制执行, 在 NO<sub>x</sub> 排放控制区航行的船舶必须符合此标准要求。目前全球的 NO<sub>x</sub> 排放控制区有: 北美、加勒比海、北海、波罗的海等区域。为了有效控制船舶 NO<sub>x</sub> 排放, 研究人员已经提出多种理论, 其中最为广泛、且已经在实船上投入使用的是船舶 SCR 系统。

## 1 船用 SCR 系统原理与结构

根据船用柴油机燃烧及排放过程, 满足 TIER II 标准可以通过改变柴油机具体设计参数, 从而改变燃烧过程来实现, 如: 改变喷油定时、排气定时、燃油压力、气缸压缩体积等参数; 满足 TIER III 标准则可以采用汽缸喷水、燃气回流、SCR 脱硝技术等实现。SCR 脱硝技术是当前大多数远洋货轮采用的主流脱硝技术。

SCR (selective catalytic reduction reaction) 是在高温条件下, 在设备反应塔内借助催化剂的催化作用, 将尿素溶液热解产生的 NH<sub>3</sub> 与排气中的 NO<sub>x</sub> 发生催化还原反应, 生成无污染的氮气 (N<sub>2</sub>) 和水 (H<sub>2</sub>O) 排放至大气中, 从而降低 NO<sub>x</sub> 对大气的污染。SCR 系统根据反应器与增压器安装位置分为: HP-SCR (增压器前) 和 LP-SCR (增压器后) 两种类型。无论是 HP-SCR 还是 LP-SCR, 其主要组成部件基本相同, 包括: 反应塔、泵站单元、计量单元、混合管、尿素存储柜、喷射装置、控制单元等。具体配置如图 1 所示。

1) 反应塔: 由反应塔体、催化剂、混合导流装置、吹灰器、伴热器等组成, 是 NO<sub>x</sub> 在催化剂的作用下和 NH<sub>3</sub> 发生反应的场所。

2) 泵站单元、计量单元: 完成 SCR 系统所需尿素溶液的供给、计量。

3) 混合管: 尿素溶液热解生成  $\text{NH}_3$  并与柴油机油废气在管中混合, 为后续反应做准备。

4) 尿素存储柜: 存储、提供 SCR 系统运行所需的尿素溶液。

5) 喷射装置: 完成尿素溶液的雾化、喷射, 使尿素溶液与燃气充分混合。

6) 控制单元: 通过网络系统实现主机工况的监测并控制 SCR 系统的运行。

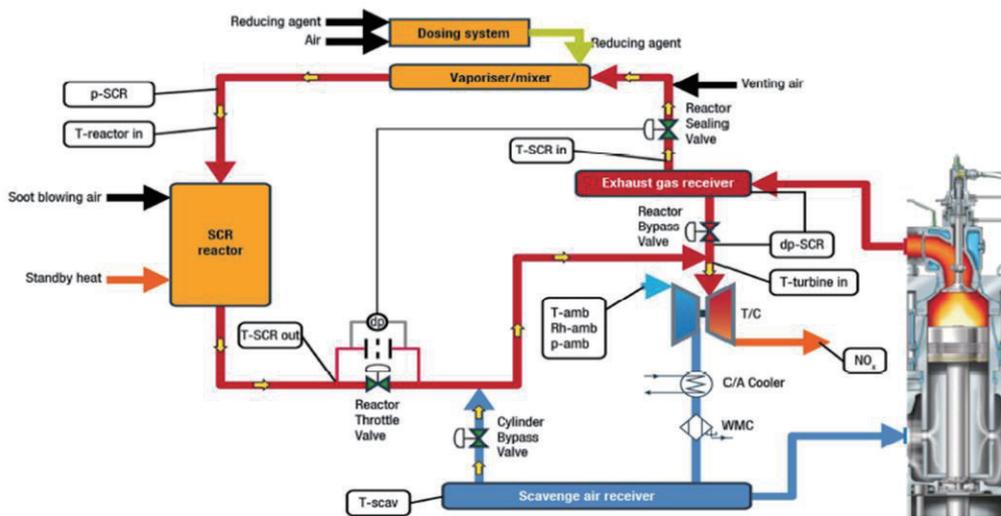


Figure 6.4 HP SCR System in Tier III Mode with CBV Open

图 1 SCR 系统配置

当 SCR 系统运行时, SCR 控制单元接受主机控制单元输出的主机运行工况参数, 测算出该工况下排气中  $\text{NO}_x$  浓度, 并根据此数值向 SCR 控制装置发出尿素溶液喷射量数值; SCR 控制装置给出控制信号控制尿素阀的开度, 来控制参与反应的尿素溶液量; 同时安装于全系统内的各种传感器对 SCR 系统中的参数 (压差、温度、 $\text{NO}_x$  浓度等) 进行测量并把信号反馈到控制单元, 形成闭环控制, 最终使反应后排入大气的  $\text{NO}_x$  浓度达到排放要求。

## 2 SCR 系统故障分析处理

### 2.1 故障案例

某轮主机型号: 6G70MEC-HPSCR-2#; SCR 系统型号: HP-SCR VII。

该轮 xx 航次收到航次指令由某国某港装煤去印度。按照航次指示, 本航次该轮需要在  $\text{NO}_x$  排放控制区域内航行, 因此船舶需要使用 LSMGO (硫含量小于 0.1%PPM) 并且开启 SCR 对废气进行脱硝处理。在本次主机 SCR 运行过程中, 遇到两次故障:

当完成换油等 SCR 启动准备工作后, 主管人员按下启动按钮, 此时系统控制程序首先将 RSV (Reactor Sealing Valve 反应器密封阀) 由全关状态变为全开状态, RTV (Reactor Throttle

Valve 反应器节流阀) 阀缓慢开启直至全部打开状态, RBV (Reactor Bypass Valve 反应器旁通阀) 阀逐渐关闭, 最终实现主机排气全部通过 SCR 反应器。当系统完成阀件转换后, 出现了 RTV、RBV 阀的压差故障报警, 随即系统启动失败。

故障原因分析: 这种故障一般是因压差传感器故障或者压力取样管路堵塞造成的。由于压差传感器取样管路直接从排烟总管上获取压力信号, 排烟中含有的烟灰杂质和潮湿空气容易在取样管路堆积, 也容易对管路及压差传感器造成腐蚀, 因此取样管路及压差传感器故障率比较高。

对上述两压差传感器拆检后发现, 果然压差传感器状况正常, 没有发现腐蚀现象, 只是压差传感器取样管路被烟灰与杂质堵塞。船方人员对管路进行拆解疏通装复后再次启动主机 SCR 系统, 系统运行正常。

排除上述故障, 再次启动 SCR 系统运行约 20 分钟左右, 主机各缸排温迅速上升至  $420^\circ\text{C}$ , 同时主机扫气压力下降; 而停止 SCR 系统运行后, 主机各工况立刻恢复正常。

靠泊某港后, 轮机人员对主机 SCR 反应器进行了内部检查。反应器内部共 3 面催化模块, 每面分别由 32 块  $2 \times 2$  催化块及 8 块  $2 \times 1$  催化块组成, 共计 96 块  $2 \times 2$  和 24 块  $2 \times 1$  催化模块, 如图 2 所示。

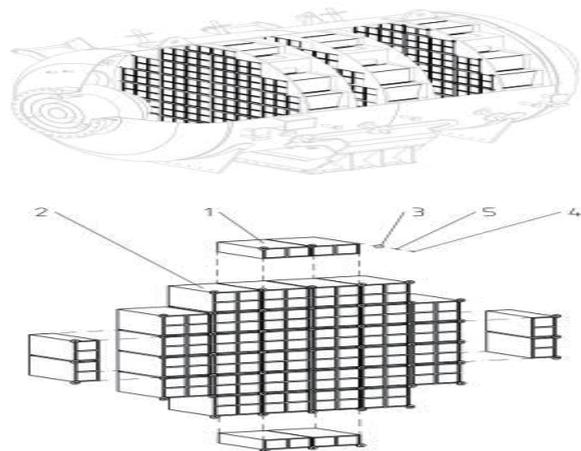


图2 反应器内部模块结构

检查后发现：反应器进口侧，第一面催化模块（烟气进入侧）腐蚀并脏堵严重且变形开裂，部分区域已经破损脱落；第二面、第三面催化块未发现变形、开裂情况，状况基本正常。如图3。



图3 模块腐蚀情况

故障原因分析：由于空气系统含水较多，SCR反应器内部水汽与烟灰发生酸腐蚀，造成催化剂填料损坏、脏堵，降低了主机排烟流速，从而降低了增压器压气机效率，引起扫气压力下降，使主机排烟温度升高。

发现以上状况后，船方紧急更换了SCR反应器内的催化剂填料模块。船舶开航后运行主机SCR时，主机扫气压力、排烟温度均恢复正常，SCR系统运行也恢复正常状态。

## 2.2 SCR 常见故障分析

通过搜集系列船舶SCR系统实际运行中产生的故障并进行归类总结，发现以下几种最为普遍：

### 2.2.1 残存尿素造成机械系统方面故障

SCR (selective catalytic reduction reaction) 是利用尿素溶液热解产生的  $\text{NH}_3$  与排气中的  $\text{NO}_x$

发生催化还原反应，降低  $\text{NO}_x$  对大气的污染。但每次SCR系统运行并不能保证尿素还原剂完全反应，均会留下部分尿素残存，这些残存尿素容易造成SCR机械系统方面的故障。一是残存尿素结晶容易造成反应塔脏堵并腐蚀SCR反应塔。在脱硝塔出厂测试或者上次运行完成后，尿素还原剂反应不充分，剩余尿素残存在催化剂填料表面，造成填料脏堵；长时间后还会对催化剂填料造成一定程度腐蚀，填料腐蚀处变得松软，形成像“风化岩石”一样的粉末状物质。这种粉末状物质聚集在催化剂填料表面，轻则造成主机排温上升、燃烧粗暴；重则导致SCR系统故障停机。

二是残存尿素溶液腐蚀系统膨胀节。系统停止运行后，在反应器进口的导流器处容易残存大量的尿素，造成反应塔进出口的膨胀节腐蚀烂穿，烟气外漏。如果船舶航行期间船上没有备件，应用焊补或者高温填补材料对膨胀节进行临时性修理；若备件充足则应及时更换损坏膨胀节，因此船方人员切要定期检查膨胀节处漏烟状况，确保船舶安全。

三是在停用SCR后，该设备尿素系统的管路尤其是喷头中残存尿素较多，长时间后容易结晶脏堵，造成下次喷射不畅。

### 2.2.2 电气元件故障

远洋船舶处于特殊的工作环境中：如震动、潮湿空气、海水腐蚀、高温、季节变化快等等。这些因素会对SCR系统电气方面及其他部件造成一定程度的损坏。通过对多条船舶的电气元件统计，在SCR系统中最容易损坏的是各个烟气的控制装置，即IP转换器（品牌：西门子），也叫电气转换器。该转换器能够接收SCR控制系统信号并将其转换成气压信号，从而按照系统指令相应地控制阀的开关或者开关比例，并显示所控制阀的当前位置。

统计发现，此控制器易损件大多集中在控制功能上，对于阀件的监测显示功能还是正常的。此种情况下有两种应急处理方式，保证SCR的正常运行。方法一，此阀配有专用扳手，在应急情况下，可以选择用专用扳手手动开启或关闭气阀；方法二，在应急情况下可按照SCR运行步骤程序，用外接气源控制阀的每一步开关或开关比例，从而保证SCR系统按步骤连续运行。这要求一线设备管理人员平时要对SCR系统的运

行程序有足够的了解,

### 3 SCR 系统中管理与维护保养措施

SCR 系统组成部件较多,且工作环境比较恶劣,同时尿素溶液还具有特殊的物理、化学性质,为减少故障,保障 SCR 系统正常运行,基于上述故障分析,在系统的日常管理与运行过程中应注意以下事项:

#### 3.1 尽量减少尿素溶液的残存

残存尿素造成的机械系统故障是 SCR 系统最常见的故障。在日常管理中管理人员要充分了解此系统的运行步骤与设计理念,能够把握系统运行的每个时间节点。当每次船舶驶出 NECA 要停用 SCR 时,在系统运行到“停止喷射尿素”这一时间节点,除了控制系统正常的吹灰程序外(系统自动设置,对反应塔内进行清洁),还要将系统置于手动位置,让系统再运行一段时间,充分消耗反应塔内部的尿素,尽量减少尿素溶液的残存,避免尿素溶液对催化剂填料及膨胀节的腐蚀。

#### 3.2 加大反应塔内部检查频率

在系统全生命周期内,加大对脱硝塔系统的反应塔内部检查频率,定期用压缩空气等对其清洁,降低反应塔内填料的脏堵程度;如果发现类似上述脏堵情况,船方人员可进入 SCR 反应塔内部,先用铜制毛刷清洁催化剂填料表面,再用压缩空气对表面进行清洁,然后用吸尘器吸掉表面残存粉末物质。

#### 3.3 定期手动测试尿素喷射系统运行状况

为保证尿素喷射系统功能正常,每六个月手动测试系统运行状况:当尿素喷射压力过高时,检查喷头是否由于尿素结晶堵塞;当尿素供给泵流量低时,检查泵前过滤器是否脏堵。

#### 3.4 定期清洁混合器

喷射装置后的混合器,用于形成气旋,保证  $\text{NH}_3$  与  $\text{NO}_x$  充分混合。应定期清洁混合器,防止烟灰堆积,混合不均匀。

#### 3.5 加强 SCR 空气系统参数日常监控

SCR 空气系统用来将压缩空气通过空气管路输送到 SCR 系统上设置的主要烟气阀(RTV\RBV\RSV)阀后,并在该阀后形成高压空气密封区间,防止烟气泄漏;同时在主机运行过程中,为吹灰装置提供压缩空气气源,防止反应塔内催

化剂模块被烟灰堵塞。

SCR 空气系统由杂用空压机和干燥器组成。日常管理中多关注控制单元显示屏上温度、压力等参数值,保证密封空气供给量正常,从而保证吹扫效果与密封效果;同时监控空气温度,检查空压机及空气干燥器的运行状况,保证空气干燥,防止当有高硫燃油废气泄露至反应器时,空气含水量过多,造成酸腐蚀。

#### 3.6 定期测试系统阀件功能

SCR 停用状态时,每月测试 SCR 系统阀件控制功能与密封功能,确保各阀控制状态正常,以防止由于阀件误动作,造成排烟总管中废气进入到 SCR 反应塔中。

#### 3.7 定期检查疏通吹灰装置

反应塔内的吹灰装置是为防止反应器内部原件受到污染而安装的。由于反应塔内部是网状结构,在系统运行一段时间后,该网状结构上会粘着积碳、尿素结晶等固体物质。吹灰装置利用高压空气可将固态物质吹走,以保证塔体内部催化剂表面清洁,保证催化反应效率。因此需要定期检查反应塔内部清洁状况,疏通吹灰器喷嘴。船舶航行时吹灰器应置于自动位置。

#### 3.8 HP-SCR 系统注意提前换油操作

船用 SCR 系统按照 SCR 与主机透平的安装位置可以分为:HP-SCR 系统与 LP-SCR 系统。当为 HP-SCR 系统时,主、副机既可以使用高硫燃油也可以使用低硫燃油;当为 LP-SCR 系统时,主、副机则只能使用低硫燃油。若 SCR 系统为 HP-SCR 系统,在船舶进入 NECA 区域之前,需要按照船舶主、副机换油操作程序提前对主、副机进行换油操作,更换为含硫量为 0.1% 以下的 LSMGO。

#### 3.9 系统运行前注意提前预热

为保证催化还原反应运行的最小温度,在 SCR 温度低于此温度时,SCR 系统中的 Dosing 系统不会启动喷射,因此需要提前对设备进行预热。该温度是随主机负荷变化而变化的,预热时间也不是定值。

#### 3.10 注意关注催化剂有效期

现今船舶上 SCR 系统所使用的催化剂为五氧化二钒。在反应塔内无腐蚀的情况下,催化剂的使用寿命为 12000 小时或 5 年。在设备营运期间,要按照设备运行时间与催化剂自身状况及时

(下转第 29 页)

# Tea Plantation Recognition Based on Gaofen-1 Remote Sensing Image

—A Case Study of an Area of Meitan County, Guizhou Province

WANG Xiao—qin<sup>1</sup>, ZHANG Shi—chao<sup>2</sup>, LIU Chun—qiang<sup>1</sup>,  
ZHANG Yuan—yuan<sup>1</sup>

(1. Qingdao Binhai University, Qingdao 266555, China; 2. Qingdao University, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy of tea plantation recognition, an improved ShuffleNetV2 model was proposed based on Gaofen-1 remote sensing image in Meitan County, Guizhou Province. The research results show that compared with the traditional hLDA model, the improved ShuffleNetV2 model has a better effect in tea garden identification, and the overall classification accuracy and Kappa coefficient are increased by 4.2% and 0.09. The effectiveness of the improved ShuffleNetV2 model in improving the accuracy of tea plantation recognition was verified.

**Keywords:** Gaofen-1; shuffleNetV2; tea plantation recognition

(上接第 25 页)

进行更换。

### 3.11 做好尿素储存

基于尿素的物理、化学性质, 尿素存储的适宜温度为 5℃ -30℃。在尿素存储期间, 注意根据尿素存储舱的温度相应调节储存柜冷却管路上冷却水阀的开度, 从而延长尿素的保质期。

### 3.12 关注 NO<sub>x</sub> 浓度传感器使用寿命

在主机运行状态下, 安装于主机排烟管上的 NO<sub>x</sub> 浓度传感器 (NO<sub>x</sub> concentration sensors) 的使用寿命为 2000 小时, 在超出使用期限时, 需要定期更换。为了延长传感器使用寿命, 在系统停用或船舶驶出 ECA 区后可以将探头拆下存放。

### 3.13 定期拆检压差传感器取样管

由于系统各压力传感器取样管安装于主机排烟管路上, 在主机运行过程中, 排烟中的杂质、

烟灰会将管路堵塞, 影响数据采集从而造成系统故障, 如上例 SCR 启动所遇故障。因此在设备运行过程中, 需要定期拆检取样管路, 保证设备运行正常。

## 4 小结

鉴于船舶远离陆地的特点且 SCR 设备工作环境的特殊性, 要求设备各个配件要具有极高的可靠性、稳定性, 也因此对公司与船舶一线管理人员的专业知识提出了更高要求。在 SCR 系统管理过程中, 管理人员应加强对系统的研究与各种状况下应对措施总结, 努力让设备平稳运行, 为船舶的安全营运打下坚实基础, 也为后期船舶 NO<sub>x</sub> 排放控制设备的设计与研究提供最有利的实践经验。

# Analysis and Handling of Common Fault Causes of Ship SCR

WANG Zhi—fu, ZHANG Zhi—lei, ZHU Shi—wei

(Shandong Marine Shipping Co., Ltd., Qingdao266034, China)

**Abstract:** Ship SCR system is the mainstream technical facility to reduce the NO<sub>x</sub> emission of ships and meet the requirements of IMO TIER III standard. In order to ensure the smooth operation of SCR system, the phenomenon of SCR system, causes and emergency treatment of the SCR system.

**Key words:** ship; NO<sub>x</sub> emission control; denitration tower; fault; cause; measures