

# 船舶排染及其控制措施

## Marine pollution and control measures

郭修炎/ By Guo Xiuyan

Marine environment protection becomes imperious worldwide. IMO and various countries have raised strict requirements on the diesel engine emissions day by day. This paper thoroughly describes the policies, rules and regulations as well as the control specifications by IMO and some countries, especially describes the mostly applicable SCR technology at present. At the conclusion, the author also has made some comments on the work of this area in China and made a proposal of his own.

### 1 概述

人类在不断发展、繁荣航运业的同时，也在为自己的生存环境制造出了船艇排放这一日趋严重的污染源。尽管船艇排放发生在广阔的海洋上，且在世界有害物排放中只占不大的一部分，但其绝对数量却很大。据估算，船艇的NOx排放量约为其油耗量的15%，按目前国际市场劣质燃油的销售量1亿吨/年计算，则全世界烧劣质油船舶的NOx排放量多达1500万吨/年。可以设想，一旦陆地达到其所能承受的环境污染极限，那么船艇排放物从海洋向陆地扩散将会骤然使陆地生态环境失衡！人们开始以清醒的头脑去面对这一现实，许多国家和地区都在积极采取各种有效措施，实实在在地把限制船艇排放对大气的污染提到了议事日程。

### 2 法律与政策措施

通过立法，强制性限制船艇排放，并辅以有助于法规有效实施的政策手段，无疑是最有力的措施。在这方面，无论在起动速度，还是在限制广度和严度方面，欧美、日本等工业发达国家走在了前面，并对国际性排放限制法规的制订与实施产生了一定的牵引与推动作用。

1996年开始实行	1999年开始实行
NOx: 9.8g/kWh	NOx: 8.0g/kWh
PT(颗粒物): 0.60g/kWh	PT: 0.25g/kWh
HC: 1.5g/kWh	HC: 1.0g/kWh
CO: 5.0g/kWh	CO: 4.0g/kWh

#### IMO 规定的NOx排放限值(2000年1月1日开始实行)

转速n, r/min	NOx总量, g/kWh
$n \leq 130$	17.0
$130 \leq n \leq 2000$	$45n(-0.2)$
$n > 2000$	9.8

欧洲内燃机制造商协会委员会对船用柴油机排放限量作了如左的规定（分两个阶段实行）。

联合国国际海事组织（UN-IMO）在其分支机构“海洋环境保护委员会”（MEPC）1997年3月召开的第39届会议上，宣布了1992-2000年达到NOx 减少30%、SOx 减少50%、最高硫含量减少4.5%的目标，同时在对MARPOL 73/78协议（有称“条约”）的新附录VI 进行实质性审议的基础上，根据该协议书的有关条款制订了排放限制方案，其中按柴油机转速而定的NOx限值示于下表。

此外，IMO于1996年提出了证书发放方案：船舶申请证书时须经排放检测，指标符合规定者可取得"国际防止大气污染证书"（IAPP），同时规定每5年复查一次。

为了促进先于IMO 制定的更为严格的排放限制法规的实施，瑞典海事管理局于1998年1月率先推出了因环境而异的港口、（泊地内）航道税收制，取消了原低额入港税和以货物重量为基础的航道税；挪威、德国、丹麦、芬兰和法国正在或计划构筑类似的排放税框架，旨在通过进入船旗国船舶的NOx 和SOx 排放量越多，应缴纳的入港税或航道税越高的直接与排放挂钩的办法，促进其地区性法规的实施，净化这些国家力求划定的所谓"特别海区"。

此外，瑞典政府还实行了具有刺激作用的减税政策。例如，对使用低硫燃料的船舶（使用硫含量不大于1%的货船和不大于0.5%的渡轮），给予减收Skr0.9/grt(0.9克朗/登记总吨位)税金优惠；NOx排放量在12-2g/kWh范围内的船舶，其所缴纳的税金按比例递减，最多可以少缴Skr1.6/grt(即NOx为2g/kWh时)。还有，2000年前5年时间里新建或改装船艇为降低NOx排放而装用催化转换装置（SCR）时，政府可另给予船东或使用者40%设备购置、安装费的回扣（即打6折）或补贴，2000年以后逐步将回扣额度微调至30%。该政策规定，回扣的这部分款项必须从船舶缴纳的入港税中支出。据称，这样一种税收、回扣政策，既不增加政府收入，也不使航运业的整体费用提高，"惟肇污染者付钱"。瑞典政府推行这一财政支持机制后，已对1000多艘船的船东或使用者作出使用低硫燃料、装用SCR的承诺，收到了积极效果。

美国联邦环保局制订了减少船艇大气污染的排放税收政策，其中规定2001年起征收10000美元/吨NOx的排放税，并同样实行对低NOx排放船艇依降低效果减收排放税、将所收税金用于贴补采取降低排染措施所增加的费用。

有关船艇排放的测定方法、检验标准等，IMO和许多国家都相应作了规定，以作为法规、政策实施的依据。

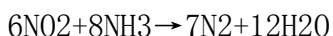
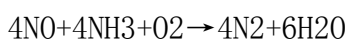
### 3 技术措施

控制排染，必须有技术措施作保证。减少排放的技术措施，不外乎通过发动机燃烧过程诸参数的调整（基本措施）和对尾气进行后处理（辅助措施）。前者主要包括延迟喷油定时、提高喷射压力、提高压缩比、排气再循环、使用乳化油、进气增湿、减小油泵柱塞直径、减小扫气压力等。这些基本措施都可不同程度地减少有害物排放，但往往会产生相互矛盾的结果，例如降低了某特定排放指标，却又生成新的污染物，或伴随着油耗的增加；因此必须寻求各参数的优化组合，可是组合的效果只能是部分的叠加，而所需的成本却是连加。问题的关键还在于，这些基本技术几乎已经接近其功效的极限，无法满足日益严格的排放要求。例如在减少NOx排放方面，使用乳化油可使NOx排放减少50%，通过进气增湿可使其降低70%，但达不到特别海区等所规定的2g/kWh排放限值，而可以满足此要求的最有效办法是使用后处理装置。

在受限制的船艇有害物排放中，最引人关注的是NOx和SOx。对于SOx，减少其排放的办法要么控制燃油中的硫含量，要么实施尾气后处理（如使用脱硫装置或用海水冲洗）。根据目前的技术发展水平，把燃油硫含量降低至1.5%-2%应不成问题，对排气中硫氧化物的处理也相对简单易行。而如何减少NOx排放，则是比较棘手的难题。可以解决这一难题实现船艇NOx排放达标的，目前只有SCR。因此，下面就SCR的特点与应用情况作较详细的介绍。

#### SCR的特点

SCR是一种运用化学反应原理，即利用氨（NH<sub>3</sub>）有选择地对氮氧化物反应将有害的排放物NOx转化成无害的氮气和水蒸汽的后处理装置。其基本反应式为：



使用SCR实现NOx的快速、高效还原主要取决于如下几个要素：

**还原剂：**迄今为止，可以在氧元素存在情况下有选择地还原NOx的唯有氨类物质，包括氨气（纯氨）、尿素、氰尿酸、密胺等。但最近有报道说，无毒且易操作的碳氢类化合物（烃）也可用于有选择的NOx还原反应。由于氨气有毒、容易逸漏、贮带不便等原因，所以目前普遍采用NH<sub>3</sub>的载体尿素。在反应器前把按一定比例配制的尿素溶液喷入排气，产生的NH<sub>3</sub>经过反应器在催化剂作用下快速对NOx进行反应，使之还原。用氨气

作还原剂时，则把通过管道引入的一定量的NH<sub>3</sub>在反应器前与排气预混合后使之通过反应器。还原剂的用量必须根据NO<sub>x</sub>的浓度确定，即必须事先测定排气的NO<sub>x</sub>浓度，根据NO<sub>x</sub>浓度，控制NH<sub>3</sub>的供给量或尿素溶液的浓度。还原剂的量太少，不会引起反应，太多，则会生成别的有害物质，所以还原剂与排气的混合质量至关重要。虽然NH<sub>3</sub>与NO<sub>x</sub>理论上是等摩尔反应，但研究表明，为取得最佳反应效果，供入的NH<sub>3</sub>量至少须是实际用于反应的NH<sub>3</sub>量的15倍。

**催化剂：**催化剂由蜂窝状催化剂载体和触发成份（活性部分）构成。目前使用的载体结构材料有堇青石、陶瓷和不锈钢，以钛基氧化物（如TiO<sub>2</sub>）居多。触发成分即催化剂层大都采用金属氧化物，如V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>与部分WO<sub>3</sub>及M<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的混合物。SCR的转化效率尤其是使用寿命在一定程度上取决于催化剂，而水蒸汽、颗粒等反应生成物、船体振动等都会对催化剂的性能和使用期限产生重大影响。

**反应温度：**虽然SCR中的还原反应是在催化剂的触发作用下进行，但仍然对工作温度（主要是排气温度）有一定要求。在较低工作温度区，容易生成硫酸胺吸附在催化剂载体表面，致使催化剂性能下降；温度过高，则生成NO。因此，要求的工作温度范围通常在300℃-500℃之间。

## SCR的应用情况

在后处理技术中，最成熟、最有效的公认为SCR，因此它在减少船艇NO<sub>x</sub>排放中逐步得到了推广应用。瑞典至今已有24艘船（主要是在波罗的海运营的渡轮）的船东为其船用主、辅机装用或订购了SCR。在实际应用的这种新技术中，比较成功的有德国的SI NO<sub>x</sub>。这是德国在实施净化船艇排放研究计划中由联邦政府资助、西门子公司与用户及制造厂合作研究开发的船用型降低NO<sub>x</sub>排放装置。首套SI NO<sub>x</sub>于1995年装用在德国的烧重油的滚装船NILS DACKE号客轮的一台主机（共4台主机）上。使用后可将NO<sub>x</sub>排放量从15g/kWh降到2g/kWh。

自那以后，SI NO<sub>x</sub>被指定用于改装或新建的船艇。其最新的用途包括瑞典"考塞尔"号单体高速渡轮以及"泰比杰瓦"和"韦斯拜"号常规渡轮、德国的载重量6350吨"塞勒斯"号近海货轮（1998年服役）和芬兰"伯卡公主"号游船。至1999年初，共有8艘在波罗的海运营的渡轮装用了SI NO<sub>x</sub>，计算的降低NO<sub>x</sub>效果可达100吨/小时。此外，定于1999年交付使用的"奥特韦肯"号滚装运纸船（总登记吨位18265吨）也计划安装该装置。根据意向书，另有2艘"奥特韦肯"姐妹船也计划在1999年底或2000年初装用这种除氮装置。还有，2艘芬兰和3艘瑞典的滚装运纸船以及数艘其它类型的船舶都计划在近期的两年一度坞修时改装SI NO<sub>x</sub>。

现重点介绍SI NO<sub>x</sub>在"伯卡公主"号游船上的应用。西门子公司分别为该艇4台Wartsila 12V32D型主机和3台辅机（2台6R32型、1台4R32型）配装SI NO<sub>x</sub>，安装在烟道内。据报道，其转化效率达95%。所需费用为1.4亿马克。装用后可使NO<sub>x</sub>排放量降到2g/kWh以下（最低至1.1g/kWh），并起到减低35dB（A）的降噪作用。该装置的设计工作温度为250℃-530℃，为此将其装置在余热锅炉的上游，并将锅炉再往下游挪动，但原有的消声器位置不变。柴油机排气从反应器内的陶瓷材料蜂窝状催化剂载体微孔通过；催化剂为二氧化钛和氧化钒的混合物。巢孔直径大小视所用燃油种类而定-燃油品质越差即越稠粘，孔径越大，以防堵塞。该装置适用于最高硫含量3%的燃油，超过3%，会使巢孔堵塞。同样，装置的工作温度须随燃油硫含量的增加而提高，以免生成物吸附粘污。对于烧重油的二冲程机（排温较低），SCR应装在增压器前，以达到要求的工作温度。工作温度越低，催化剂层表面积须越大，以还原一定量的NO<sub>x</sub>。该船燃用重油，但燃油的硫含量低。还原剂为浓度40%的尿素溶液，贮于70立方米的贮罐中。（"奥特韦肯"号船使用的尿素溶液贮罐为73立方米，材料为不锈钢，外部加筋，以便于内部清洗；压力为0.214MPa；尿素液泵站与进口段和控制装置之间的连接管均用无缝不锈钢制成）。喷入的还原剂根据发动机负荷大小加以定量，并在反应器前与排气混合。投资费（含安装费）在40-70美元/kW之间，使用费为3-4美元/MWh，保证的使用寿命为3年或16000工作小时，预计还可延长，这样，5年之后须作试验室检查；假定使用寿命为10年，则反应器元件的更新费用为1.2美元/MWh或6.8美元/kW。

显而易见，发动机制造厂、造船业十分看好SCR，这是因为它可以使船艇排放满足规定要求。然而，它同时存在许多缺点。

## SCR的优缺点

SCR的最大优点是可以减少80%-95%的NO<sub>x</sub>，甚至更多，从而满足有关排放法规的NO<sub>x</sub>限值要求。此外，使用这种装置不会造成油耗和排气黑烟增加；不存在最终排放物的清除问题，还具有消声降噪效果。

然而，以陆用三元转换装置为基础发展起来、尚缺乏足够研制、使用经验的SCR也存在不少问题。最大的问题是尺寸大、投资大。基础型SCR的体积与发动机的相当，其投资费是船价的5%-8%，是发动机的50%。尺寸大对于本来空间十分有限的船艇自然有不堪拥挤之患；高额的投资难免令船东或使用者重负难担。SCR的使用费（主要是还原剂消耗）也高；因氨的逸漏和新的反应生成物的产生而使SCR有潜在的污染、毒性危险；碱

性物质、蒸汽、重金属等会破坏、降低催化剂的效能，从而限制了SCR的使用寿命。无疑，这些问题或缺点的存在，是影响SCR技术真正步入普遍推广应用阶段的严重障碍。为解决这些问题，西门子公司、新苏尔寿公司和日本的有关研究机构做了大量研究发展工作，并取得了显著成果，不同程度地克服了上述缺点，大大提高了SCR的实用性。

#### 4 结束语

面对急速发展的世界性限制船艇排放形势，笔者感触至深，谨此谈以下几点体会，作为本文的结束。

a. 世界各国的地理、气候、文化、风土人情各自有别，经济发展的程度各异，但保护人类生存环境是共同关心的一致性主题，必须限制船艇排染，是世界各国已逐步达成的共识。许多国家在IMO法规出台之前就已经制订了更为严格的限制标准和相关的计划措施，充分反映出了强烈的环保意识。我国的有关立法工作至今尚处酝酿、舆论阶段，反映出了我们对环保和形势的认识还很粗浅。

b. 降低30%NO<sub>x</sub>、50%SO<sub>x</sub>是IMO的第1个目标，以后每5年修订一次，限制将愈加严格的趋势是明朗的。这就要求我们在法规、标准的制订和技术研究开发方面应提高起点，努力与国际保持同步。

c. 限制船艇排染的发展必须与造机、造船、航运的发展保持同步。如果我们偏废或忽视排染这一重要方面，那么难免迟早会由于排放超标而受重罚之苦，因拿不到AIPP证书而遭被拒于港外之苦。

d. 在船艇排放中，SO<sub>x</sub>和NO<sub>x</sub>是主要的限制对象。在减少SO<sub>x</sub>的技术措施中，降低燃油硫量、使用低硫燃油，辅以脱硫装置或海水冲洗法不失为相对省钱、简单而有效的技术对象。在降低NO<sub>x</sub>方面，SCR为首选的技术方案，我国应致力于这种新技术的研究发展，并且应将小型化、减少投资作为发展的主攻方向。

e. 要达到船艇排放的国际限制要求，我们所面临的任务十分艰巨，困难很大。面对严峻的形势，我们必须加强领导与组织管理，加大资金和技术力量的投入，使我们控制船艇排染的研究发展工作能在短期内有一个大的突破，为提高我国造船业、航运业参与国际竞争的能力创造必备的条件。

[返回主页](#)

---

© 版权所有：北京国际船艇杂志社

电话：8610 62180737 传真：62182171 E-mail: [gjct@public.bta.net.cn](mailto:gjct@public.bta.net.cn)

制作：中国船舶工业综合技术经济研究院信息网络中心

技术支持： [webmaster@shipchina.com](mailto:webmaster@shipchina.com)