

附件 3

《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）》
（二次征求意见稿）

编 制 说 明

《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）》标准编制组

二〇一五年五月

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 标准制订的必要性分析	2
2.1 船机排气污染物对人体健康和环境的影响分析.....	2
2.2 解决船舶大气环境污染的需要.....	3
2.3 我国对环境保护工作提出了更高的要求.....	6
3 船机行业概况	7
3.1 船舶发动机分类.....	7
3.2 我国船机行业发展概况.....	7
3.3 其它国家和地区船机行业的发展概况.....	12
4 国内相关标准状况	14
4.1 GB/T 15097-2008 标准.....	14
4.2 GB/T 5741-2008 标准.....	15
4.3 GB 8840-2009 标准.....	15
4.4 GB/T 8190.4-1999 标准.....	16
4.5 JB8891-1999 标准.....	16
4.6 GB 20891-2007 标准.....	16
4.7 GB 20891-2014 标准.....	17
4.8 GD01-2011 指导性文件.....	17
4.9 船用燃料标准.....	18
4.10 CB/T 3254.2-94 标准.....	20
5 标准主要技术内容	21
5.1 标准适用范围.....	21
5.2 标准结构框架.....	22
5.3 术语和定义.....	23
5.4 污染项目的选择.....	24

5.5 排放限值的确定及制订依据.....	24
5.6 测量方法.....	26
5.7 关于对船舶使用燃料的规定.....	26
5.8 船机耐久性的规定.....	28
5.9 对船机实施大修的相关规定.....	30
5.10 标准实施时间.....	30
5.11 本标准与国外船机排放标准的比较.....	31
6 试验方法验证.....	33
7 实施本标准的可行性及环境效益分析.....	33
7.1 技术可行性分析.....	33
7.2 测试条件及可行性分析.....	39
7.3 实施本标准的环境效益分析.....	41
8 标准第一次征求意见情况.....	43
8.1 关于排放限值.....	43
8.2 关于排放耐久性.....	44
8.3 关于船机使用的燃料.....	46
8.4 关于标准的协调问题.....	47
参 考 文 献.....	49

1 项目背景

1.1 任务来源

环境保护部（原国家环保总局）在《关于下达2006年度国家环境保护标准制修订项目计划的通知》（环办函〔2006〕371号）中，下达了《船舶发动机大气污染物排放限值及测量方法》制订计划，项目统一编号：485。

本标准制定项目的承担单位为：济南汽车检测中心、中国环境科学研究院、淄博柴油机总公司、潍柴动力股份有限公司、上海内燃机研究所。

以下单位为本标准的编制工作提供了技术支持：康明斯（中国）投资有限公司、卡特彼勒（中国）投资有限公司、济南柴油机股份有限公司和重庆康明斯发动机有限公司。

1.2 工作过程

1.2.1 开题报告起草阶段

任务下达后，济南汽车检测中心迅速开展了船用发动机（简称：船机）排放标准的研制工作，成立标准编制组，落实人员及分工。收集国内、ISO、欧盟及美国EPA相关船舶发动机排放标准。对国内有代表性的船机企业进行调研。起草“开题论证报告”和标准草案。2009年12月，环保部科技标准司在北京市组织召开了《船舶发动机大气污染物排放限值及测量方法》标准开题论证会。

1.2.2 征求意见稿起草阶段

在标准开题论证会上，专家主要提了两方面的意见：（1）进一步调研船舶的分类，确认本标准的适用范围。（2）研究确定本标准污染物控制项目。开题论证会后，针对专家提出的意见，标准编制组认真查阅了船舶分类的相关标准 GB/T 7727.1-2008《船舶通用术语 第1部分：综合》，确认本标准适用的船舶类型，与IMO适用的船舶类型进行区分；针对会上专家提出的是否控制SO₂和CO₂的污染物排放问题进一步调研确认。

为进一步调研船舶发动机污染物排放情况，环保部2010年3月下发环科便函[2010]19号文“关于开展船舶发动机污染物排放情况调查的函”，对相关船机生产企业、检测机构和研究机构进行排放情况调研。

起草《船舶发动机大气污染物排放限值及测量方法》标准“征求意见稿”和

“编制说明”。按照起草的《船舶发动机大气污染物排放限值及测量方法》（征求意见稿），使用重庆康明斯发动机有限公司生产的NTA855船机进行试验方法验证试验。

2011年10月，在环保部召开船舶发动机排放标准讨论会，针对标准征求意见稿（草案）和编制说明的内容进一步征求中国船机社、研究机构和船机生产企业的意见。

2014年7月，环境保护部发布了标准征求意见稿，向国务院有关部门、地方环保部门、科研机构、高等院校、有关企业及其他单位、环境保护部有关业务司局等征求意见。

1.2.3 送审稿起草阶段

针对标准征求意见稿的反馈意见进行汇总处理，对标准文本和编制说明进行修改。2014年12月召开标准技术审查会，针对征求意见稿的主要修改内容，听取船机企业、船机检测机构、油品研究机构等部门的意见。

1.2.4 标准报批阶段

标准审议会后，标准编制组对标准按照审议会专家的意见，进一步进行调研和研究，对标准的相关内容进行了修改完善。完成标准报批稿、编制说明及报批说明。

2 标准制订的必要性分析

2.1 船机排气污染物对人体健康和环境的影响分析

船机排气中含有一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物、二氧化硫、颗粒物等排气污染物。美国国家环保局将柴油机排放的 40 多种化合物列入了“危险空气污染物清单”（HAPs），如：甲醛、乙醛、1,3-丁二烯、苯、多环芳烃类和砷、铅、汞、锰等金属的化合物。

一氧化碳是烃燃料燃烧的中间产物，一氧化碳由呼吸道进入人体的血液后，会和血液里的红血蛋白 Hb 结合，形成碳氧血红蛋白，导致携氧能力下降，使人体出现反应，如听力会因为耳内的耳蜗神经细胞缺氧而受损害等。吸入过量的一氧化碳会使人发生气急、嘴唇发紫、呼吸困难甚至死亡。虽然对人体无副作用的一氧化碳阈值尚未确定，但长期吸收一氧化碳对城市居民身体健康是一个潜在威胁。

氮氧化物是在内燃机气缸内大部分气体中生成的，氮氧化物的排放量取决于燃烧温度、时间和空燃比等因素。从燃烧过程看，排放的氮氧化物 95%以上可能是一氧化氮，其余的是二氧化氮。人受一氧化氮毒害的事例尚未发现，但二氧化氮是一种红棕色呼吸道刺激性气体，对人体影响甚大。NO_x 与有机物起反应形成臭氧，是一种可以损伤呼吸道的氧化物。

碳氢化合物和氮氧化物在大气环境中受强烈太阳光紫外线照射后，产生复杂的光化学反应，生成一种新的污染物形成光化学烟雾，导致支气管炎、冠心病、肺结核和心脏衰弱者死亡等事件会显著增加。

颗粒物对人体健康的危害主要是对心脏和呼吸系统的影响，如：过早死亡、呼吸急促和心血管疾病；肺功能变化和呼吸系统病症增加；肺组织和结构改变；呼吸系统防御机能下降等。细微颗粒物是导致心血管和呼吸疾病的主要原因，会对人体健康产生严重危害。柴油机排出颗粒物（PM）非常小，能够穿透肺泡壁层，含有能够诱导有机体突变的物质和致癌物，根据美国国家毒物学项目报告，柴油发动机排放的颗粒物中，有 98% 直径小于 10 微米（PM₁₀），94% 小于 2.5 微米（PM_{2.5}），92% 小于 1 微米（PM₁）。美国国家环保局的研究结果表明，在职业病研究中，有相当多的证据表明，以往经常使用柴油发动机的各种职业工人的肺癌发病率与和柴油机排放物的接触有显著的相关性。美国对柴油机所排放的细微颗粒的风险评估研究表明，环境空气中每增加 10 微克/m³，由此所引发的癌症死亡率就可能增加 1%。

2.2 解决船舶大气环境污染的需要

2.2.1 船舶发动机污染物排放控制水平

为了调研我国船舶发动机的污染物排放情况，2010 年 3 月 25 日环保部下发环科便函[2010]19 号文“关于开展船舶发动机污染物排放情况调查的函”，调查相关船机企业的基本情况、船机年产量、船机排放检验能力、主要船机机型明细、代表机型及其排放情况等，调研的船机企业有 24 个，其中 11 个单位回复了调查表，占总调研单位的 45.8%。

在 11 个回复单位的调查表中，共有 18 个内河船机代表机型，其中达到 IMO Tier 2 的机型 7 个，占 38.9%；达到 IMO Tier 1 的机型 11 个，占 61.1%。其中 11 个机型只能使用轻柴油，6 个机型既能使用轻柴油，也能使用燃料油，1 个机型

只能使用燃料油。

随着 MARPOL 73/78 公约附则VI第 2 阶段从 2011 年 1 月 1 日开始实施，国内对内河船机的排放要求也参照执行 IMO Tier 2 排放水平的要求，通过对内燃机工业协会的汇编资料《2013 年中国内燃机规格参数汇编》中船机机型排放情况的统计以及对企业排放情况的调研可知，目前绝大多数内河船机机型已能达到 IMO Tier 2 排放水平。但 IMO Tier 2 是国际海事组织对远洋船机的排放控制要求，排放物只控制 NO_x；本标准控制的内河船机，除了要控制 NO_x，还要控制 CO、HC 和 PM，控制要求比 IMO Tier 2 项目多，从 NO_x 限值看，单缸排量小于 20L 的船机，本标准的控制要求比 IMO Tier 2 严格；单缸排量大于 20L 小于 30L 的船机，本标准的控制要求和 IMO Tier 2 的要求大致相当。IMO Tier 2 排放水平与本标准的要求的比较见表 1。

表1 IMO Tier 2排放水平与本标准的要求的比较

IMO Tier2 水平	本标准草案要求			
	功率 P (kW) (单缸排量)	CO (g/kW.h)	HC+NO _x (g/kW.h)	PM (g/kW.h)
8.18~9.75	{2.5L≤SV<5L}	5.0	7.2	0.20
8.98~9.75	{5L≤SV<15L}	5.0	7.8	0.27
8.98~9.75	P<3300 {15L≤SV <20L}	5.0	8.7	0.50
8.98~9.75	{20L≤SV<25L}	5.0	9.8	0.50
10.1~11.1	{25L≤SV<30L}	5.0	11.0	0.50

2.2.2 中国船舶大气污染排放现状

中国是一个内河航运资源比较丰富的国家，拥有大、小天然河流5800多条，河流总长43万公里，其中流域面积在1000平方公里以上的有80多条，还有天然湖泊900多个，2010年底，全国内河航道通航里程已达12.42万公里，其中各水系内河航道通航里程分别为：长江水系64064公里，珠江水系15989公里，黄河水系3477公里，黑龙江水系8211公里，京杭运河1439公里，闽江水系1973公里，淮河水系17246公里，其它水系11800公里。各等级内河航道通航里程分别为：一级航道1385公里，二级航道3008公里，三级航道4887公里，四级航道7802公里，五级航道8177

公里，六级航道18806公里，七级航道18226公里，等外航道61909公里。

内河船舶60%分布在长江流域中下游地区，其它分布在黑龙江、珠江流域。船舶的排放控制技术水平目前采用IMO第1阶段标准，与世界发达国家差距较大；内河船舶使用的燃油质量也与世界发达国家差距较大，船舶污染物排放严重（见图1），造成我国内河及沿岸大气环境质量较差。



图 1 船舶污染现状

根据中国环境科学研究院正在开展的《船舶和港口空气污染防治研究项目》的初步研究成果，内河船舶排入大气的污染物（仅估算柴油机船舶部分），NO_x排放81万吨/年，PM排放6.6万吨/年，SO_x排放约10万吨/年。船舶排放的NO_x和PM占整个非道路移动源的大气污染分担率分别为13.32%和17.63%，见图2。

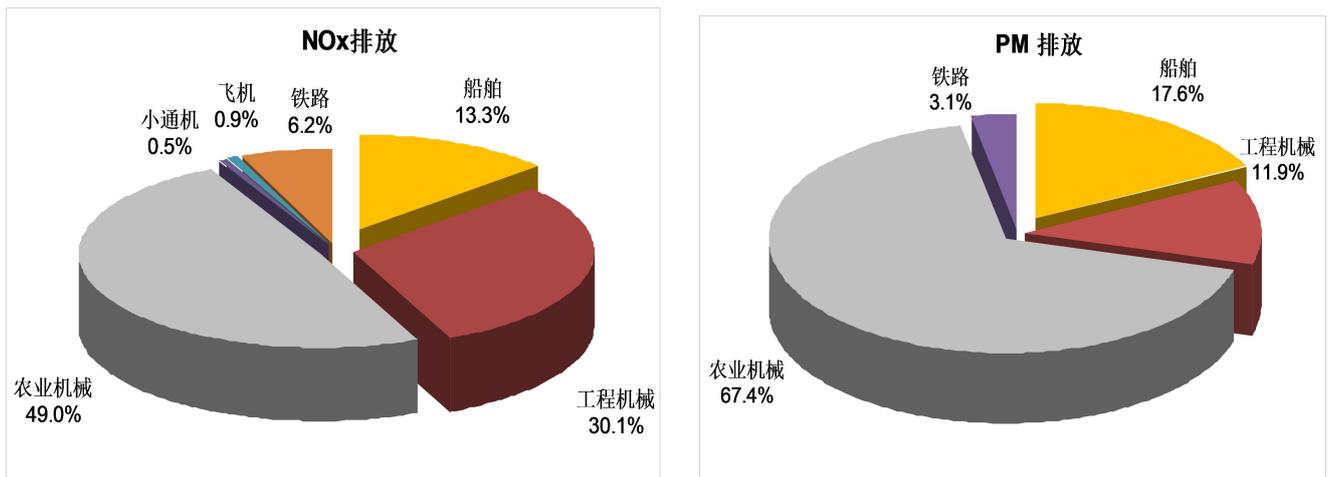


图 2 内河船舶大气污染分担率（NO_x、PM）

2.2.3 中国港口大气污染问题^[1]

中国港口的大气污染主要是由船舶、在港口的机械设备、运输车辆的排气所造成的。

我国是港口大国，2010年底，全国港口拥有生产用码头泊位31634个。其中，沿海港口生产用码头泊位5453个；内河港口生产用码头泊位26181个。2010年，全国港口完成货物吞吐量89.32亿吨。其中，内河港口完成32.88亿吨，沿海港口完成56.45亿吨。内河运输船舶16.57万艘，船舶功率2423.56万千瓦；沿海运输船舶10473艘，船舶功率1406.02万千瓦；远洋运输船舶2213艘，船舶功率1500.86万千瓦。在2012年，我国港口吞吐量已接近110亿吨，位居全球首位。

中国的港口又是世界上最繁忙的港口，全世界最大的10个集装箱港口中有7个位于中国^[2]。香港最新的排放清单调查表明船舶活动现在已经成为该城市最大的NO_x和PM₁₀排放源，在2010年其NO_x、SO₂和PM₁₀排放贡献率分别达到32%、48%和36%^[3]。船舶和港口机械的相关活动（包括各类运货车辆和货物装卸设备）带来的排放也是上海市的主要污染源，2010年其NO_x、SO₂和PM₁₀排放贡献率分别达到12.4%、11.6%和5.6%^[4]。

2.3 我国对环境保护工作提出了更高的要求

我国环境保护虽然取得积极进展，但环境形势依然严峻，区域性大气污染问题日趋明显，长三角、珠三角和京津冀地区等城市群大气污染呈现明显的区域性特征，二氧化硫、二氧化氮、细颗粒物（PM_{2.5}）污染问题依然严峻。

《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出：主要污染物排放总量显著减少，其中，化学需氧量、二氧化硫排放分别减少8%，氨氮、氮氧化物排放分别减少10%的约束性指标。

2012年9月27日国务院批复的重点区域大气污染防治“十二五”规划中提出：到2015年，重点区域二氧化硫、氮氧化物、工业烟粉尘排放总量分别下降12%、13%、10%，可吸入颗粒物（PM₁₀）、二氧化硫、二氧化氮、细颗粒物（PM_{2.5}）年浓度分别下降10%、10%、7%、5%，京津冀、长三角、珠三角地区细颗粒物年均浓度下降6%。其中也对船用发动机排放控制要求和使用燃料进行了规划：推进非道路移动机械和船舶的排放控制。2013年，实施国家第III阶段非道路移动机械排放标准和国家第I阶段船用发动机排放标准。同时在规划中，对船用燃料的硫含量也提出了要求：“2013年7月1日前，将普通柴油硫含量降低至

350ppm 以下；逐步将远洋船舶用燃料硫含量降低至2000ppm 以下”。

国务院发布的《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37号）文中提出：“开展工程机械等非道路移动机械和船舶的污染控制”。

3 船机行业概况

3.1 船舶发动机分类

船舶发动机按使用燃料种类分有船用柴油机和船用汽油机。

按发动机的燃烧冲程分有二冲程船机和四冲程船机。

按转速分有高速机、中速机和低速机。一般说300r/min以下为低速机，300-1000r/min为中速机，1000r/min以上为高速机。

本标准适用范围的船舶主要安装中、高速船机。

3.2 我国船机行业发展概况

3.2.1 我国船用柴油机的发展历史

1915年，在协同和机器厂（广州柴油机厂前身）生产出第一台船用柴油机。到解放前，我国只能生产200马力以下的较小功率船用柴油机，而且尚未具备自行设计研发的能力，也没有形成具有全国规模的船用柴油机生产企业。

1949年到1980年间，由于国防与民用经济的需要，自行研制了6种低速船用柴油机，但后来仅有E43/82一种机型发展和生产经历了近40年，其它几种机型只生产了几台就不再生产了；引进了前苏联舰用柴油机，如：M50高速机、D39中速机等。一些规模较大的船用柴油机厂，以及有关研究所及高等院校联合研制船用大功率高、中、低速船舶柴油机。这一时期生产厂家有：沪东造船厂、大连造船厂、上海柴油机厂、广州柴油机厂等。

1980年至今，各有关单位根据市场需求自行决定技术引进或研发各种型号的船用大功率柴油机，生产规模不断扩大，如：低速二冲程船用柴油机引进了世界上主要品牌的生产许可证，年产量已占世界第三位。在中、高速船用柴油机方面，引进与自主开发并举，技术水平也不断提高。

3.2.2 我国船机行业现状

(1) 船舶工业发展迅速

在《船舶工业中长期发展规划（2006~2015年）》中提出：到2010年，我国

自主开发、建造的主流船舶将达到国际先进水平，年产量1700万载重吨；船用低、中速柴油机年生产能力分别达到450万千瓦和1100台，基本满足同期国内造船需求；形成一批具有较强国际竞争力的船用设备专业化生产企业，本土生产的船用设备平均装船率达到60%以上。到2015年，形成开发、建造高技术、高附加值船舶的能力，年造船能力达到2800万载重吨，年产量2200万载重吨，使我国成为世界造船强国。船用低、中速柴油机年生产能力分别达到600万千瓦和1200台。重点依托沪东重机股份公司、大连船用柴油机厂和宜昌船舶柴油机厂等三个低速柴油机生产企业，镇江中船设备公司、安庆船用柴油机厂、陕西柴油机厂和新中动力机厂等四个中速柴油机生产企业，进行改造和易地扩建，提高低、中速柴油机生产能力。2010年和2015年前，规划新增船用低速柴油机生产能力分别为290万千瓦和200万千瓦，新增船用中速柴油机生产能力分别为700台和100台。

实际造船完工量。我国在2008年造船完成了2881万载重吨，提前7年完成了“船舶工业中长期发展规划（2006~2015年）”中的2015年2800万载重吨的目标。2009年，完成了4307.3万载重吨，其中出口船舶，占全部造船完工量的74.4%。2010年，完成了6756.6万载重吨，占世界市场份额的40%以上，成为世界造船第一大国，其中大多数为出口船舶，占全部造船完工量的79.5%。

（2）主要船机生产企业及产品、产量情况

2012年我国船舶行业纳入规模以上船用柴油机企业20余家，其中隶属于中国船舶工业集团公司和中国船舶重工集团公司的企业11家。主要分布在我国上海、重庆、辽宁、山东、河南、陕西、湖北、安徽、江苏、浙江、广东等11个省市。2008~2012年历年船用柴油机生产概况如表2。

表2 2008~2012年船用柴油机产量¹⁵⁾。

指 标	单位	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
船用 低速柴油机	台	249	306	320	467	388
	万千瓦	384	378	430	569	472
船用 中速柴油机	台	7488	17413	16258	14619	13381
	万千瓦	489	776	824	808	663
船用 高速柴油机	台	9266	8154	12687	7595	19330
	万千瓦	184	165	223	176	410
总计	台	17003	25873	29265	22681	33099
	万千瓦	1057	1319	1477	1553	1545

各类船机生产情况如下：

(a) 低速船机

低速船机生产企业主要有：沪东重机股份公司、大连船用柴油机厂、宜昌船舶柴油机厂。

沪东重机是我国最早研制大功率船用柴油机的专业化生产企业，公司通过引进船用中、低速大功率柴油机专利技术，先后制造出MAN-B&W、WARTSILA、S.E.M.T.系列等多种机型的专利产品。

大连船用柴油机厂是中船重工所属大型低速柴油机生产厂。主要生产世界名牌瑞士SULZER和丹麦MBD两大系列大功率船用低速柴油机。目前，企业已开发出16代42种机型的产品，经英国LR、中国CCS、美国ABS、德国GL、挪威DNV、法国PRS、日本NK、意大利RINA等著名船机社检验，其技术质量指标全部达到IMO标准要求。

产量情况见表3：

表3 主要低速船机企业船机产量情况^[6]

生产企业	2008年产量		2009年产量		2012年产量	
	台	万千瓦	台	万千瓦	台	万千瓦
沪东重机有限公司	103	131	87	110	140	144.6
大连船用柴油机有限公司	75	124	72	96	85	100
宜昌船舶柴油机有限公司	52	40	52	36	60	46.9

(b) 中速船机

中速船机生产企业主要有：潍柴控股集团有限公司、淄博柴油机总公司、宁波中策动力机电集团有限公司、镇江中船设备有限公司、安庆船用柴油机有限公司。

潍柴控股集团有限公司主要生产WP12C系列船用柴油机。

淄博柴油机总公司主要生产LC9250、6190、6N330、LC8250、LB8250、5210船用柴油机。

宁波中策动力机电集团有限公司主要生产DN340、DN330、DN320船用柴油机；GN320、G300、6300船用柴油机；N210、N170、N160船用柴油机。镇江中船设备有限公司有30年专业生产中速柴油机的历史，先后引进MAN-B&W的

L16/24、L21/31、L23/30、L27/38、L28/32和L32/40系列机型的生产许可证，功率范围430~10000kW，排放指标满足IMO的NO_x排放标准。

安庆船用柴油机厂是船用中速柴油机专业化生产企业，企业的主导产品是DK-20、DK-26和DK-28系列柴油机，具有NO_x排放值低，能满足IMO标准要求，生产的“安庆-大发”牌柴油机满足CCS、LR、GL、ABS、NK、BV、NDV等世界各级船级社的规范要求。

产量情况见表4：

表4 主要中速船机企业船机产量情况^[6]

生产企业	2008年产量		2009年产量		2012年产量		用途
	台	万千瓦	台	万千瓦	台	万千瓦	
潍柴控股集团有限公司	3627	90.68	4127	103.18	7739	278.8	内河船舶配套
淄博柴油机总公司	2047	117.6	4812	225	3836	170.8	内河船舶配套
宁波中策动力机电集团有限公司	--	--	--	--	458	34.3	内河船舶配套
镇江中船设备有限公司	450	45	431	44	401	41.7	远洋、近海、内河航运船舶主机和发电机组
安庆中船柴油机有限公司	402	34	400	33	350	30	内河船舶配套

(c) 高速船机

高速船机生产企业主要有：广西玉柴机器股份有限公司、潍柴动力股份有限公司、淄博柴油机总公司等。

广西玉柴机器股份有限公司主要生产YC4F系列船用柴油机\YC4D系列船用柴油机\YC6J系列船用柴油机\YC6B/YC6J系列船用柴油机YC6A系列船用柴油机。

潍柴动力股份有限公司主要生产WP12、Deutz 226B、WD615系列、WD618系列、R6160系列、X170ZC系列、CW200ZC系列船机。

淄博柴油机总公司主要生产LC9250、6190、6N330、LC8250、LB8250、5210船用柴油机。

产量情况见表5：

表5 主要高速船机企业船机产量情况^[6]

生产企业	2012年产量		用途
	台	万千瓦	
广西玉柴机器股份有限公司	7372	107	内河航运和近海捕捞船舶
潍柴动力股份有限公司	6817	94.6	内河航运和近海捕捞船舶
淄博柴油机总公司	3556	140	内河航运和近海捕捞船舶

(d) 游艇用发动机

游艇用发动机按照安装位置可分为：弦内机、弦内外机、弦外机和喷射引擎；按使用燃料可分为汽油机和柴油机；按最终用途可分为娱乐用和商用。

据统计，目前中国具有游艇建造能力的船厂约120家，年产量3000条左右，年需求主机约4000台，其中：进口机器1300台，国产机器约2700台；柴油机3000台，汽油机1000台。

我国游艇装用的国外知名品牌发动机有，VOLVO PENTA 主要装用在大中型游艇上，功率10~2000hp；美国康明斯发动机；美国水星（MERCURY）；日本雅马哈（YAMAHA）；德国MAN发动机；美国卡特比勒（CATERPILAR）发动机；日本雅马哈发动机（YAMAHA），主要装用在小型游艇上。

3.2.3 主要船机企业^[5]概况

通过对《2007年中国内燃机规格参数汇编》、《2013年中国内燃机规格参数汇编》中有关船机情况的汇总整理，以及2009年对船机企业的问卷、电话和邮件调研，可知目前国内生产内河船机的企业主要有17家左右，共生产近500个机型，见表6，1类船机机型占2/3，2类船机机型占1/3；功率基本在3000kW以下，大约有20%的机型可以同时使用普通柴油和燃料油，有80%的机型只能使用普通柴油。最主要的内河船机生产企业有：淄博柴油机总公司、广州柴油机厂股份有限公司、宁波中策动力机电集团有限公司和潍柴重机股份有限公司四家。

表6 国内主要的船机企业及生产的主要机型

序号	厂家	主要机型数量（个）
1	淄博柴油机总公司	51
2	广州柴油机厂股份有限公司	18
3	宁波中策动力机电集团有限公司	124
4	潍柴重机股份有限公司	36
5	镇江船用柴油机厂	32
6	河南柴油机重工有限责任公司	30

7	陕西柴油机重工有限公司	32
8	中船动力有限公司	24
9	中高柴油机重工有限公司	8
10	中石油济柴动力总厂	8
11	安庆中船柴油机有限公司	16
12	山西柴油机工业有限责任公司	18
13	南通柴油机股份有限公司	25
14	广西玉柴机器集团	42
15	上海柴油机股份有限公司	22
16	中国重型汽车集团有限公司	6
17	一汽解放汽车有限公司无锡柴油机厂	3
	合计	495

3.3 其它国家和地区船机行业的发展概况

本文所述船机行业指的是本标准适用范围内的船用发动机行业，因此主要包括中速船机和高速船机，不包括远洋船舶装用的低速船机。

3.3.1 国外船机行业现状

(1) 中速柴油机

中速柴油机大多为四冲程，其体积小，重量轻，比低速机更适合船舶使用。近年来，中速机在开发大缸径、提高整机功率方面做了大量工作，并在燃用劣质燃油、降低油耗、提高零部件的可靠性、提高使用寿命及高增压等方面取得显著成效。大功率中速机主要用于客运班轮、作业船、滚装船等，在各类内河航运船舶、近海航运船舶、工程船舶及舰船上，基本采用中速柴油机及中高速柴油机作为主动力。国外中速柴油机生产厂家有 Wartsila-New Sulzer、Mark、MAN B&W、SEMT、Deutz、MWM、MTU、洋马、大发等公司。

(2) 高速柴油机

高速船机一直被 MTU、Deutz、MWM、SACM、Pielstick、Ruston 和 Paxman 等几大公司占有，其产品均为 v 型、四冲程，缸数 12~20、转速 1200~1800 r

/ min、平均有效压力 2.0~3.2 MPa、活塞速度 10.5~13 m / s、最大爆发压力 15~18 MPa、燃油消耗率 198~210 g / (kW · h)。特别是德国 MTU 公司开发的 595 系列、2000 系列、4000 系列以及最新的 8000 系列，代表着高速柴油机的发展方向。

3.3.2 国外船机技术发展趋势

船用柴油机技术现状及发展趋势见表 7。

表 7 船用柴油机技术现状及发展趋势

船机类型	技术现状	发展趋势
中速柴油机	<p>(1) 在开发大缸径、提高整机功率方面做了大量工作</p> <p>(2) 在燃用劣质燃油、降低油耗、提高零部件的可靠性、提高使用寿命及高增压等方面取得显著成效</p>	<p>(1) 不断开发新机型，拓宽功率范围，提高市场竞争力；</p> <p>(2) 调整燃油喷射、雾化过程，采用高压喷射的燃油系统；</p> <p>(3) 改进增压系统；</p> <p>(4) 改进排气阀的驱动方式，调节排气正时；</p> <p>(5) 增装空气中间冷却器，加强水冷却系统的冷却能力，降低零部件的热负荷，提高柴油机的性能，提高工作可靠性，增加零部件的使用寿命；</p> <p>(6) 使用电子技术，控制排气和燃油喷射、燃烧过程；</p> <p>(7) 采用新概念设计，减少整机的零部件等。</p>
高速柴油机		<p>(1) 采用系列化设计，并通过变型满足多用途需要；</p> <p>(2) 不断开发新型的大功率高速柴油机，适应船舶市场供需变化；</p> <p>(3) 严格整机的耐久试验，提高工作的可靠性；</p> <p>(4) 提高强化系数，提高柴油机使用的经济性；</p> <p>(5) 采用各种不同的喷射装置或喷射方式，完善燃烧过程，降低 NO_x 的排放量，适应日益严格的环保要求。</p>

图3为船舶主要使用的NO_x减排技术及减排潜力，其中：IEM（发动机内部改造）的NO_x减排潜力为20%~30%；DWI（直接喷水）的NO_x减排潜力为50%~60%；HAM（湿空气动力系统）的NO_x减排潜力为70%~80%；FWE（水乳化燃料）的NO_x减排潜力为20%~50%；EGR（废气再循环）的NO_x减排潜力为20%~50%；SCR（选择性催化还原）的NO_x减排潜力为80%~97%；LNG（液化天然气）的NO_x减排潜力为70%~90%。

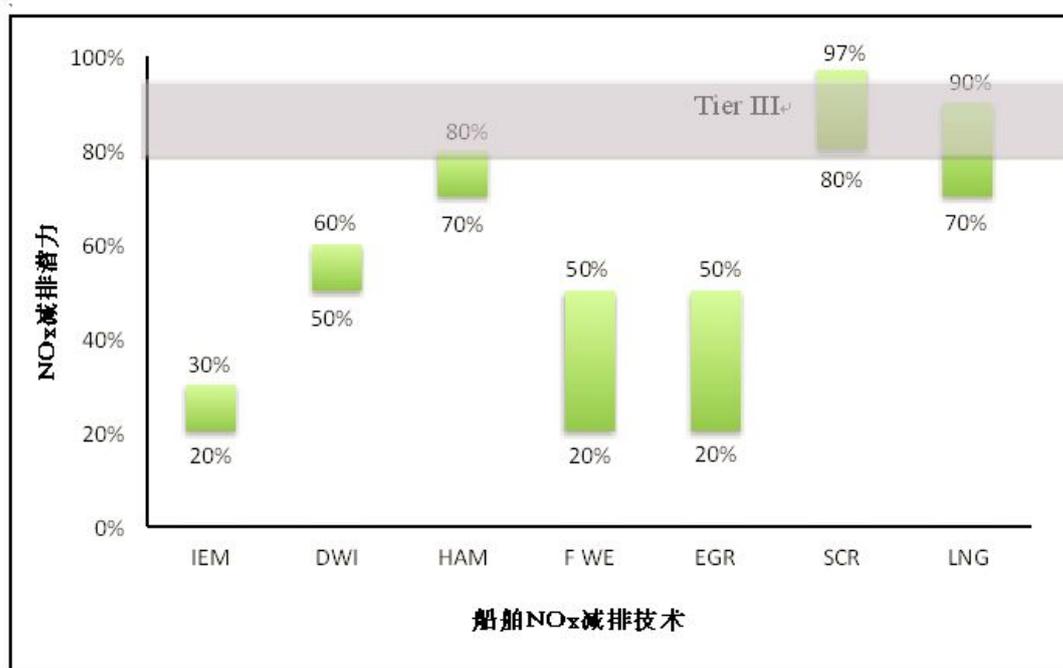


图3 国外船舶主要的减排技术及NO_x减排潜力

4 国内相关标准状况

4.1 GB/T 15097-2008 标准

GB/T 15097-2008 《船用柴油机排气排放污染物测量方法》标准，由国家质量监督检验检疫总局在2008年7月30日发布，2009年2月1日实施；代替GB/T 15097-94《船用柴油机排气排放污染物测量方法》标准。

- a、适用范围：船用柴油机排气污染物的台架测量，船上测量可参照使用
- b、测试循环：

对恒速船用主机，包括柴油机电力驱动和调距桨装置，采用ISO8178-4:1996中E2循环进行排放测试。

对按推进特性运行的船用主机和辅机，采用ISO8178-4:1996中E3循环进行排

放测试。

对恒速运行的船用辅机，采用ISO8178-4:1996中D2循环进行排放测试。

对变速、变负荷运行的船用辅机，采用ISO8178-4:1996中C1循环进行排放测试。

该标准是测试方法推荐性标准，没有给出排放限值要求。

4.2 GB/T 5741-2008 标准

GB/T 5741-2008《船用柴油机排气烟度测量方法》标准，由质量监督检验检疫总局在2008年8月4日发布，2009年2月1日实施；代替“GB/T 5741-85《船用柴油机排气烟度测量方法》”国家标准。

规定了用滤纸式烟度计进行测量，测量结果用滤纸式烟度值（FSN）表示。

4.3 GB 8840-2009 标准

GB 8840-2009《船用柴油机排气烟度限值》标准，由国家质量监督检验检疫总局在2009年3月9日发布，该标准2009年8月1日实施；代替“GB 8840-88《船用柴油机排气烟度限值》”标准。

根据柴油机的不同名义排气流量规定不同的限值（FSN），见表8。

表8 柴油机排气烟度允许限值

名义排气流量 L/s	滤纸烟度 FSN	名义排气流量 L/s	滤纸烟度 FSN
≤45	4.86	>290~350	3.27
>45~55	4.77	>350~400	3.08
>55~65	4.58	>400~500	2.99
>65~75	4.48	>500~600	2.90
>75~85	4.30	>600~700	2.71
>85~95	4.20	>700~900	2.62
>95~110	4.11	>900~1150	2.43
>110~125	4.02	>1150~1500	2.24
>125~140	3.92	>1500~2000	2.05
>140~160	3.83	>2000~3000	1.96
>160~185	3.74	>3000~5000	1.77
>185~210	3.64	>5000~7000	1.59
>210~250	3.46	>7000	1.40
>250~290	3.36		

存在的主要问题：

上述两个烟度标准比较适合船机企业内部对排放状况的控制，和目前国际上采用的测量“不透光烟度”的方法、限值也不一致。

4.4 GB/T 8190.4-1999 标准

GB/T 8190.4-1999《往复式内燃机 排放测量 第4部分：不同用途发动机的试验循环》标准。

该标准等同采用 ISO8178-4:1996，为测试方法标准，规定了不同类型船机适用的 E1~E5 测试循环。

4.5 JB8891-1999 标准

JB8891-1999《中小功率柴油机排气污染物排放限值》标准，其中包含对缸径小于或等于 160mm 的中小功率船用主机的排放限制。限值要求见表 9。

表 9 JB8891 标准排放限值

序号	实施日期	比排放 g/ (kW·h)			
		CO	HC	NO _x	PM
1	2000年1月1日	12.3	2.6	15.8	/
2	2002年1月1日	8.4	2.1	10.8	/
3	待定	4.9	1.2	9.0	0.7 ¹⁾
1) 只作为检查项目					

该标准是机械工业部发布的标准，没有强制执行的效力，一般作为生产许可证检查用。

4.6 GB 20891-2007 标准

GB 20891-2007《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国 I、II 阶段）》标准中有关船机的内容，限值要求见表 10。

若额定净功率不超过 37kW 的非道路移动机械用柴油机用于船舶驱动，可参照本标准执行。

表 10 排放限值

额定净功率 (P) (kW)	阶段	CO (g/kW.h)	HC (g/kW.h)	NO _x (g/kW.h)	HC+ NO _x (g/kW.h)	PM (g/kW.h)
18≤P<37	I	8.4	2.1	10.8	—	1.0
	II	5.5	1.5	8.0	—	0.8
8≤P<18	I	8.4	—	—	12.9	—

	II	6.6	—	—	9.5	0.8
0<P<8	I	12.3	—	—	18.4	—
	II	8.0	—	—	10.5	1.0

在GB 20891-2007中加入P≤37kW船机的部分内容，主要是考虑对运河中挂浆船机的排放控制。

4.7 GB 20891-2014 标准

GB 20891-2014 《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）》标准中有关船机的内容，限值要求见表 11。

标准适用范围中含额定净功率不超过 37kW 的船用柴油机。

表 11 排放限值

额定净功率 (P) (kW)	阶段	CO (g/kW.h)	HC+ NO _x (g/kW.h)	PM (g/kW.h)
P<37	III	5.5	7.5	0.6
	IV	5.5	7.5	0.6

4.8 GD01-2011 指导性文件

GD01-2011 《船用柴油机氮氧化物排放试验及检验指南》（2011），是由中国船级社结合国际海事组织2008年新修订的MARPOL公约附则VI（MEPC.176(58)决议）的第13条、《船用柴油机氮氧化物排放控制技术规则》（MEPC.177(58)决议）、ISO8178-1:2006、GB/T15097-2008及业界反馈，对《船用柴油机氮氧化物排放试验及检验指南》（2000）的修订。

排放限值要求和实施日期和MARPOL73/78相同，如表12。

表12 NO_x限值要求 [g/kWh]

船舶建造日期	阶段	NO _x 排放限值		
		n<130	130≤n<2000	n≥2000
2000年1月1日或以后至 2011年1月1日以前	Tier I	17.0	45*n ^{-0.2}	9.8
2011年1月1日或以后	Tier II	14.4	44*n ^{-0.23}	7.7

2016年1月1日或以后	Tier III	3.4	$9*n^{-0.2}$	2.0
--------------	----------	-----	--------------	-----

检验船机符合NO_x排放标准的方法有：船机装船前的试验台试验方法；船机装船后有：柴油机参数检查法、简化测量法和直接测量和监测法。

试验循环和欧盟、EPA、MARPOL73/78中规定的试验循环均相同，采用E2、E3、D2和C1循环。

试验用燃料应根据试验目的选择，除非船级社同意且适合的参考燃料得不到时，则应使用ISO8217中规定的具有适合柴油机类型的DM级船用燃料。

4.9 船用燃料标准

4.9.1 普通柴油标准

在国务院《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37号）中，“提升燃油品质。加快石油炼制企业升级改造，力争在2013年底前，全国供应符合国家第四阶段标准的欧车用汽油，在2014年底前，全国供应符合国家第四阶段标准的车用柴油，在2015年底前，京津冀、长三角、珠三角等区域内重点城市全面供应符合国家第五阶段标准的车用汽、柴油，在2017年底前，全国供应符合国家第五阶段标准的车用汽、柴油。”

重点区域大气污染防治“十二五”规划规定2013年7月1日起，全国供应国三（350ppm）的燃油；逐步将远洋船用柴油降低到国一（2000ppm）以下。

2015年4月28日，国务院常务会议确定加快成品油质量升级措施，其中重要一点是加快高标准普通柴油供应。2017年7月起，在全国全面供应国四普通柴油（硫含量：50ppm以下）；2018年1月起，在全国全面供应国五普通柴油（硫含量：10ppm以下）。

在内河行驶的船舶绝大部分使用普通柴油。

4.9.2 船用燃料油标准

我国现行的船用燃料油标准GB / T 17411-2012与ISO 8217.2010标准等同，如表13和14所示。目前中国的燃料油都按这个标准在生产。

表13 GB / T 17411-2012对船用馏分油主要指标要求

特性	DMX	DMA	DMZ	DMB
密度 (15℃) (kg/m ³), 不大于	-	890	890	900
或密度 (20℃) (kg/m ³), 不大于	-	886.5	886.5	896.5
运动黏度 (40℃) (mm ² /s)	1.4-5.5	2-6	3-6	2-11
硫含量% (m/m), 不大于	1.0	1.5	1.5	1.5
十六烷指数, 不小于	45	40	40	35

表14 GB / T 17411-2012对船用残渣燃料油的主要指标要求

性能	RMA	RMB	RMD	RME	RMG	RMG	RMG	RMG	RMK	RMK	RMK
	10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700
运动黏度 (50℃) (mm ² /s)	10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700
密度 (15℃) (kg/m ³), 不大于	920	960	975	991	991				1010		
或密度 (20℃) (kg/m ³), 不大于	916.5	956.6	971.6	987.6	987.6				1006.6		
硫含量% (m/m), 不大于	2	2.5	3	3.5	3.5				3.5		

上述表13和表14介绍的两种燃料油：馏分燃料油和残渣燃料油。一般为远洋船舶低速机使用。

馏分燃料油在远洋船舶离港、靠港和在有环保法规要求的海域使用。馏分燃料油牌号的选用，根据航行海域及港口地域环保法规的限制而定。在沿海航行的船舶，特别是远距离航行的集装箱船舶大部分使用馏分燃料油。

远洋船舶离港一定距离后可通过阀门切换为残渣燃料油，使用残渣燃料油时，需要在船舶上加装燃料油的过滤、加热装置。燃油喷射系统的设计也需要根据燃料牌号的选择而不同。

4.9.3 内河船舶使用燃料的情况

我国在生产内河船机机型中，大部分的内河船机机型只能使用普通柴油，有少量的内河船机机型(约20%)也能使用燃料油。内河船机使用的燃料油一般是指馏分燃料油，但为了降低成本，经过技术改造的内河船机可以使用180cst以下的残渣燃料油。在内河船舶中，由于船机的负荷率相对较低，如果使用燃料油，往往还需要购置燃料油的过滤、加热装置，初期购置成本较高，在使用过程中，船机的寿命也较使用普通柴油低，所以在内河行驶的船舶绝大部分使用普通柴油；在沿海航行的船舶，由于船机的负荷率较高，航行距离一般较远，特别是在沿海航行的集装箱船中，大部分使用馏分燃料油，即：能使用燃料油的那部分内河船机机型（约20%）就装用在这类船上。

4.10 CB/T 3254.2-94 标准

CB/T 3254.2-94《船用柴油机台架试验 试验方法》标准，1994年8月22日由中国船舶工业总公司批准发布，1995年5月1日实施。

标准中规定了船用柴油机的整机台架性能和耐久性试验方法，是发动机定型的耐久性考核，主要用于考核船机的性能。标准中规定的耐久性试验时间如表15。

表15 耐久性试验时间

柴油机转速 r/min	单缸功率 kW	试验时间 h	
		四冲程船机	二冲程船机
> 1000	≤35	1000	600
	>35~150	800	480
	>150	600	360

300~1000	≤110	800	480
	>110~370	600	360
	>370	400	240
<300	≤220	400	240
	>220~735	300	180
	>735	200	120

5 标准主要技术内容

5.1 标准适用范围

5.1.1 标准适用范围

本标准规定了船舶装用的压燃式发动机及气体燃料（如：天然气）点燃式发动机排气污染物排放限值及测量方法。

本标准适用于内河船、沿海船、江海直达船和海峡[渡]船装用的额定净功率大于 37kW 的第 1 类和第 2 类船机（包括主机和辅机）的型式核准、生产一致性检查和耐久性要求。本标准也规定了船舶和船机实施大修后的排放要求。

本标准不适用于内河船、沿海船、江海直达船和海峡[渡]船装用的应急船机、安装在救生艇上或只在应急情况下使用的任何设备或装置上的船机。

额定净功率不超过 37kW 的船机执行 GB 20891 标准。

本标准暂不适用于船舶用汽油发动机。

5.1.2 标准适用范围的确定

(1) 适用的船舶类型

根据 GB/T 7727.1-2008《船舶通用术语 第1部分：综合》中船舶的定义，按照航行区域划分，船舶可分为以下几类，见表16。

表16 各类船舶及航行水域

船舶名称	航行区域	是否本标准控制范围
海[洋]船	海洋区域	否，由IMO控制
极区船	北冰洋或南极圈内海区	否，
远洋船	大洋上	否，由IMO控制
沿海船	沿海各港口之间	是
江海直达船	沿海水域和江河航道	是
海峡[渡]船	海峡两岸或岛屿间水域	是

内河船	江河、湖泊	是
-----	-------	---

根据开题会上的专家意见，本标准控制对象为：在内水和领海水域航行的内河船、沿海船、江海直达船和海峡[渡]船上装用的船机。

关于领海水域的范围，不同的国家有不同的界定，中国对于领海水域的界定为距离领海基线12海里内的海域。

内水是指国家领陆内以及领海基线向陆一面的水域。包括港口、河流、湖泊、内海、封闭性海湾和泊船处。

(2) 适用的船机类型

我国的内河、沿海船舶装用的船机按使用的燃料划分大体有三类：柴油船机、汽油船机和 LPG 船机。

柴油船机为我国内河、沿海船舶上主要装用的船机，且均属于 1 类和 2 类船机的范畴，年产量共约 1000 万 kW。

汽油船机为少量游艇装用，全国游艇用发动机大约年需求在 4000 台左右，其中 1000 台左右为汽油机，其余 3000 台为柴油机。

LPG 船机为交通部试点项目，由于散货船使用的柴油船机改造而成，全国大约有 30 艘 LPG 船舶在试运行。

从上述介绍情况看，我国内河、沿海船机污染主要还是船用柴油机的污染问题，因此在本标准中，拟首先控制柴油船机（含气体燃料船机，如：NG 和 LPG）的排气污染物。

(3) 对于小于 37kW 的船机排放控制要求

对于 $P < 37\text{kW}$ 的船机（主要是运河用挂桨船用单缸柴油机，实际上是非道路移动机械用柴油机用于船舶驱动），在 GB 20891-2007 和 GB 20891-2014《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法》中已经进行了相关规定，本标准不再进行重复规定。

5.2 标准结构框架

本标准的正文部分包括：适用范围、规范性引用文件、术语和定义、型式核准的申请与批准、技术要求和试验、船机使用燃料的规定、生产一致性检查、船机标签、确定船机系族的参数、源机的选择、标准的实施共 11 章，与其它移动源排放标准相比较，其中“船机使用燃料的规定”为本标准特有的章节，其主要

内容将在本章做详细的介绍。

本标准的附录部分包括：型式核准申报材料、试验规程、气体和颗粒物取样系统、基准柴油的技术要求、船机净功率测试所需安装的装备和辅件、型式核准证书、生产一致性共 7 个规范性附录和参考文献 1 个资料性附录。其中附录 B“试验规程”中的附件 BD“劣化系数的确定”和附件 BE“船机大修的要求”为本标准特有的章节，其主要内容将在本章做详细的介绍。

5.3 术语和定义

本标准主要对以下术语给出了定义：

(1) 内河船 inland vessel

适宜于在江河、湖泊航行的船。

(2) 沿海船 coaster vessel

适宜于在沿海各港口之间航行的海船。

(3) 江海直达船 river-sea ship

适宜于在沿海水域和江河航道航行的船。

(4) 海峡[渡]船 channel ship

适宜于在海峡两岸或岛屿间水域航行的船。

上述 (1) ~ (4) 中列出的 4 项定义引自 GB/T 7727.1-2008《船舶通用术语 第 1 部分：综合》的定义。

(5) 第 1 类船机 category 1 marine engine

额定净功率大于或等于 37kW 并且单缸排量小于 5L 的船机。

(6) 第 2 类船机 category 2 marine engine

单缸排量大于或等于 5L 且小于 30L 的船机。

(7) 有效寿命 useful life

本标准第 5.2.3 条规定的，保证船舶发动机的排放控制系统的正常运转并符合有关气态污染物和颗粒物排放限值，且已在型式核准时给予确认的使用时间。

上述 (5) ~ (7) 中列出的 3 项定义等效采用了欧盟船机法规 2004/26/EC 中的定义。

(8) 船机大修 rebuilding marine engine

对船机或船机系统的一部分进行拆卸、检查和/或替换掉其中的零部件，重新

组装船机或船机系统，提高船机的寿命。

(8) 中列出定义等效采用了美国船机法规 40 CFR PART 94 中的定义。

其余 12 项定义，如：船舶发动机型式核准、船舶发动机系族、源机、排气污染物、净功率和非道路移动源排放标准 GB20891-2014 中的定义相同。

5.4 污染项目的选择

船舶发动机大气污染物包括：一氧化碳（CO）、碳氢化合物（HC）、氮氧化物（NO_x）、二氧化硫（SO₂）、颗粒物（PM）等排气污染物。

考虑到船机排气污染物对人体健康和环境的影响分析，本标准控制的排气污染物项目和其他类型发动机类似，有CO、HC、NO_x和颗粒物（PM）。**对SO₂的控制通过控制船舶使用的燃料来实现。**

据研究SO₂排放量占船机总排放量的28%，SO₂排放的高低主要与使用燃油的S含量有关，燃料中的硫几乎全部氧化转变成废气中的SO₂，**因此，降低SO₂排放最有效方法就是使用低硫含量的燃油。**

一种削减SO₂的措施是对发动机排放物进行海水清洗。该技术是利用海水呈碱性可以吸收并中和排气中的SO₂，再把溶于海水的SO₂排入海中。实践证明此技术的除硫效果可达到90%以上，如果船舶使用3%的燃料油，采用该技术后，产生的SO₂相当于使用硫含量为0.3%的燃油所产生的SO₂。但这项技术对只在内河、内湖等淡水区域航行的内河船来说应用困难，但对在沿海区域航行的内河船舶可以采用该技术除硫。

5.5 排放限值的确定及制订依据

(1) 第一阶段限值

鉴于目前我国船机排放水平的现状（商用船机IMO第2阶段水平，渔船船机IMO第1阶段水平），在确定我国船机第一阶段排放控制限值要求时，既考虑能有效的削减船机的污染物排放，又考虑了我国的船机企业能在较短的时间达标，参照欧盟对船机第一阶段的排放控制要求和美国EPA对内河（沿海）船机第2阶段的排放控制要求，确定了本标准第一阶段的排放限值要求，如表17。本标准的排放控制要求和IMO的排放控制要求相比较，增加了对CO、HC和PM的限值要求，NO_x的控制要求基本处于同一水平。

表 17 中国内河船机第一阶段排放限值

船机类型	单缸排量 (SV) (L/缸) /额定净功率 (P) (kW)	CO (g/kWh)	HC+NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)
第 1 类	SV<0.9, 且 P≥37	5.0	7.5	0.40
	0.9≤SV<1.2	5.0	7.2	0.30
	1.2≤SV<5	5.0	7.2	0.20
第 2 类	5≤SV<15	5.0	7.8	0.27
	15≤SV<20 且 P<3300	5.0	8.7	0.50
	15≤SV<20 且 P≥3300	5.0	9.8	0.50
	20≤SV<25	5.0	9.8	0.50
	25≤SV<30	5.0	11.0	0.50

(2) 第二阶段限值

为了尽快地削减船舶污染物排放，推动船用发动机行业技术进步，本标准同时给出了第二阶段排放限值，见表 18。

表 18 中国内河船机第二阶段排放限值

船机类型	单缸排量 (SV) (L/缸)	额定净功率 (P) (kW)	CO (g/kWh)	HC+NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)
第 1 类	SV<0.9, 且 P≥37		5.0	5.8	0.3
	0.9≤SV<1.2		5.0	5.8	0.14
	1.2≤SV<5		5.0	5.8	0.12
第 2 类	5≤SV<15	P<2000	5.0	6.2	0.14
		2000≤P<3700	5.0	7.8	0.14
		P≥3700	5.0	7.8	0.27
	15≤SV<20	P<2000	5.0	7.0	0.34
		2000≤P<3300	5.0	8.7	0.50
		P≥3300	5.0	9.8	0.50
	20≤SV<25	P<2000	5.0	9.8	0.27
		P≥2000	5.0	9.8	0.50
	25≤SV<30	P<2000	5.0	11.0	0.27
		P≥2000	5.0	11.0	0.50

本标准第二阶段的控制重点是颗粒物 (PM)，第二阶段 PM 有较为显著的下降，和第一阶段相比，PM 下降了 40~60%，HC+NO_x 总体降低了 20%以上。由于目前欧盟的船机排放法规只有第一阶段，本标准第二阶段限值参考了美国 and IMO 的第 3 阶段排放限值，使我国第二阶段标准限值基本达到美国 and IMO 的第

3 阶段的排放控制水平。由于美国法规相对复杂，本标准对其进行了适当调整。

1) 对 1 类船机去掉了 37kW 以下的船机的排放控制要求。37kW 以下船机的排放控制要求已经在非道路发动机排放标准 GB20891-2007 和 GB20891-2014 中进行了规定。

2) 对美国法规中标准功率密度和高功率密度的不同排放要求进行了合并和简化，以尽量保持与本标准第一阶段的发动机分类一致，取了较为宽松的限值。

3) 单缸排量段的划分和第一阶段一致。美国法规中 3 阶段单缸排量段的划分和第 2 阶段不一致。考虑到船机核准的功率段的一致性，本标准中第二阶段对单缸排量段的划分和第一阶段保持一致。

5.6 测量方法

本标准规定了船机排放试验的测量循环，和欧盟船机排放法规、美国 EPA 的船机标准、MARPOL73/78 公约中规定的船机排放试验测量循环保持一致，等同于 ISO8178-4 标准的 C1、D2、E2 和 E3 循环。

本标准中同时规定了船机排气污染物（包括气态污染物 HC、NO_x、CO 和颗粒物 PM）的测量分析方法。等效采用了欧盟船机排放法规 2004/26/EC 中的排气污染物测量分析方法，和美国 EPA 的船机法规、ISO8178-1 标准协调一致。

5.7 关于对船舶使用燃料的规定

5.7.1 本标准对船用燃料的规定

目前，我国船用燃料消耗中有 60-65%为船用燃料油，少量用轻柴油（普通柴油）。船用燃料油中，馏分油硫含量 1%-1.5%，残渣油硫含量 2%-3.5%，造成很高的 SO₂ 和 PM 排放。

根据国际经验，排放标准中都没有规定 SO₂ 排放限值，而是通过限制船舶使用的燃料类型和燃料品质，来同时达到控制船舶的 SO₂ 和 PM 排放的目的。因此，本标准中对船舶使用燃料作出了规定：

“本标准适用范围内的内河船和江海直达船装用的柴油船机，应使用符合 GB 252 标准的柴油。本标准适用范围内的船舶，不允许使用船用残渣油。若船机设计能使用船用馏分油，应使用硫含量不超过 1000 mg/kg 的船用馏分油。

“如果沿海船和海峡[渡]船安装了污染控制装置，使二氧化硫（SO₂）排放不超过使用低硫船用燃料，可豁免使用本标准规定的燃料”。

这一规定，适用于所有船舶（包括新船和正在使用的船舶），因此会获得明显的环境效益。目前存在的问题是，我国的《船用燃料油》（GB/T 17411-2012）标准远远不能达到该项规定的要求（现行规定是：馏分油硫含量 1%-1.5%），建议国家尽快修订 GB/T 17411-2012 标准，使其中馏分油的硫含量要求降低到 1000ppm 以下。

5.7.2 国际上对船舶使用燃料的规定

为了更好的控制船机的SO₂和PM的排放，美国、欧盟对内河（沿海）船舶，IMO、美国加州对远洋船舶使用的燃料硫含量也都进行了规定。

5.7.2.1 对内河（沿海）船舶使用燃料的规定

（1）美国对船舶使用燃料的规定

美国市售燃料标准40 CFR PART 80中规定了内河船舶应使用的燃油，自2012年6月1日起，内河船舶使用的燃油硫含量应不超过15ppm。

（2）美国对在ECA区域航行船舶使用燃料的规定

美国船机排放标准40 CFR 1043中规定了美国旗船只和外国旗船只在北美ECA区域(ECA区域是指Marpol 73/78附则VI中规定的世界上5个有特殊排放要求的水域；北美ECA区域是指距离美国海岸线200海里的排放控制区,即图4中绿线范围内的水域)航行的技术要求。自2015年1月1日起，应使用硫含量不超过1000ppm（0.1% m/m）的燃油。



图4 北美ECA排放区

(3) 欧盟对船机使用燃料的规定

欧盟市售燃油标准2005/33/EC、2009/30/EC和2012/33/EU规定了内河船舶使用的燃料，对在内河航行的船舶和在港口泊停的船舶的燃油要求不同。

对在内河航行的船舶，自2008年1月1日起，硫含量不得超过1000mg/kg，从2011年1月1日起，硫含量不得超过10mg/kg。

对在港口泊停的船舶，从2010年1月1日起，使用燃油硫含量不得超过1000mg/kg。

5.7.2.2 对远洋船舶使用燃料的规定

(1) IMO MARPOL73/78附则VI中对远洋船舶使用燃料的规定

国际海事组织在MARPOL73/78附则VI中规定，到2012年在全球范围内将远洋船舶使用燃料的硫含量降到3.5%，到2020年降到0.5%。

在排放控制区内（ECA）（如：波罗的海、黑海等），自2010年7月1日将燃料硫含量降到1.0%，或者船舶配有被认可的废气滤清系统并使SO_x 排放量小于或等于6.0g/kWh，同时该种滤清设备的废液不得在港内排放；自2015年1月1日将燃料硫含量降到0.1%。

(2) 美国加州对远洋船舶使用燃料的规定

美国加州船机排放标准中对行驶在加州海岸线24 mile范围内的远洋船舶的主机、辅机和锅炉中使用的燃料作出苛刻规定，要求使用低硫馏分油取代重质燃油，2012年开始燃油硫含量要求低于0.1%。

5.8 船机耐久性的规定

船舶服役年限较长（25~30年左右），因此，确保船机在“有效寿命期”内持续达标非常重要。为了保证船机及其后处理装置在正常的工作条件下、在正常的使用寿命期内能够发挥作用。标准中规定了“有效寿命期”，即排放耐久性要求，具体见表19。

表19 耐久性时间要求

船机类型	有效寿命		允许最短试验时间(小时)
	时间(小时)	年限(年)	

第 1 类和第 2 类	10000	10	2500
第 1 类（娱乐用）	1000	10	500
注 1：有效寿命小时数和年限，以先到者为准。			

为了证明持续达标，需进行有效寿命期约 1/4 时间的排放耐久试验确定劣化系数，并规定了耐久试验方法。

本标准耐久性部分修改采用了欧盟指令 2004/26/EC 中有关船机耐久性的相关内容，同时参考了欧盟指令实际实施中所采用的具体措施。

其中，和欧盟 2004/26/EC 法规规定相同的有：

- 标准正文第 5.2.3 条“耐久性要求”规定了有效寿命的要求；
- 制造企业可以采用加速劣化的方法（等油耗法或等功法）进行耐久性试验；
- 排放劣化特性相同的多个系族可以采用相同的劣化系数；
- 在合理的技术分析基础上，并经型式核准机构批准，生产企业可以将已核准的重型车用或非道路机械用压燃式发动机确立的劣化系数或劣化修正值应用到相同的船机上；
- 在型式核准机构允许的情况下，可以采用良好的工程方法来代替耐久性试验方法。

和欧盟 2004/26/EC 法规规定不同的有：

(1) 关于使用另一个企业的 DF 值。欧盟指令规定，如果有一个合理的基础，如：考虑到与排放劣化相关的技术相同，并根据特定的要求进行试验来证明，可以使用另外一个生产商的 DF 值。但是，就我国情况而言，虽然不同企业的发动机可能会使用相同的技术，如使用相同的燃油喷射系统、增压器和后处理系统等，但不同的发动机生产企业仍然会存在很多的不同点，比如其发动机生产工艺会有差异，生产质量管理水平和生产一致性的保证措施等都可能会显著不同，这些因素同样会导致其产品最终的排放水平存在很大差异，中国目前的发动机生产行业发展并不均衡。因此，鉴于我国行业发展的实际情况，本标准没有采用这条规定。

(2) 关于耐久性试验累积时间。欧盟指令中规定，耐久性试验累积小时数可以通过在试验台架上运行或者实际使用中的累积时间来获得，即耐久性试验可以在船上进行，但在实际情况下，这样做是非常困难的，在船机型式核准的时候，

只有样品，还没有正式产品；并且在大型船上检测排放的可操作性不太好，排放采样测量会非常困难。所以，本标准没有采纳欧盟的该条规定。

5.9 对船机实施大修的相关规定

船舶服役年限较长（25~30 年左右），船机在整个船舶服役周期内，可能需要一次或几次大修。

为了控制在整个船舶服役期内的船机的排放水平，参照美国 EPA 船机排放标准 40 CFR PART 94 中对船机大修的要求，在本标准中增加了对船机大修后的有关排放要求的相关规定。

对船机大修的要求在标准 BE2.3 条规定：“当船机大修后仍然安装到相同的船上时，大修过的船机的排放水平应不低于型式核准批准的原机的排放水平。或当船机被替换时，替换船机应是一种型式核准批准的发动机，且替换船机的排放水平应不低于被替换船机的排放水平。”以控制船机大修后的排放状况和性能指标。

5.10 标准实施时间

本标准规定了船机型式核准的实施日期，同时也规定了船机的销售、进口和投入使用的日期，船舶的销售、进口和登记日期，以及燃油规定的实施日期。

型式核准执行日期

第一阶段	第二阶段
2017 年 1 月 1 日	2020 年 1 月 1 日

自规定的型式核准执行日期之后 12 个月起，所有销售、进口和投入使用的船机（含作为配件的船机），其排气污染物排放应符合本标准要求。凡不满足本标准相应阶段要求的船机不得销售、进口和投入使用。

自规定的型式核准执行日期之后 18 个月起，所有销售、进口和登记的船舶应装用符合本标准要求的船机。凡装用不满足本标准相应阶段要求船机的船舶不得销售、进口和登记。

自规定的第一阶段型式核准执行日期之后 18 个月起，船舶使用燃料应满足本标准第 6 章的规定。

5.11 本标准与国外船机排放标准的比较

5.11.1 排放限值及实施日期的比较

以美国EPA和欧盟为首的各国船机标准，尽管阶段名称可能不同，但阶段性的限值要求基本还是一致的。比如，欧盟的现阶段（第一阶段）船机标准和美国的第二阶段标准基本一致，我国的第一阶段标准和欧盟的第一阶段、美国的第二阶段基本一致；我国的第二阶段和美国的第三阶段基本一致，只是阶段名称和实施日期不一样。从标准的实施时间上看，我们和欧美大概有8-10年的差距。

(1) 对于 $2.5 \leq SV < 5$ 的C1类船机，一般为高速船机。排放限值要求和实施日期的比较见图5。

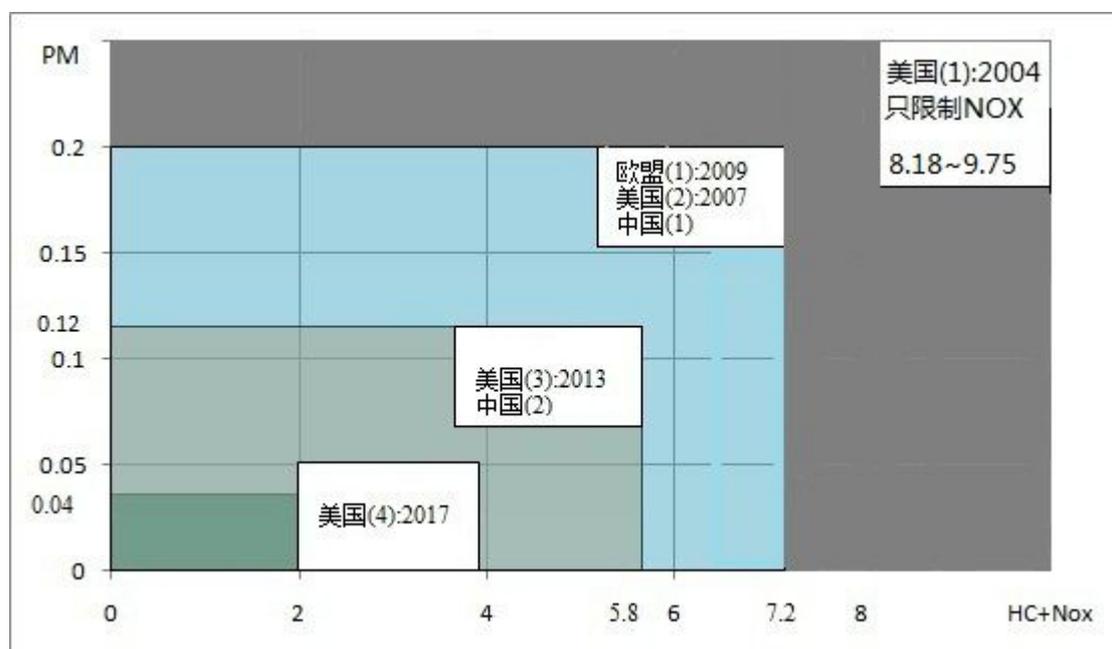


图5 C1类船机 ($2.5 \leq SV < 5$) 的排放限值要求和实施日期比较

(2) 对于 $5 \leq SV < 15$ 的C2类船机，一般为中速船机。排放限值要求和实施日期的比较见图6。

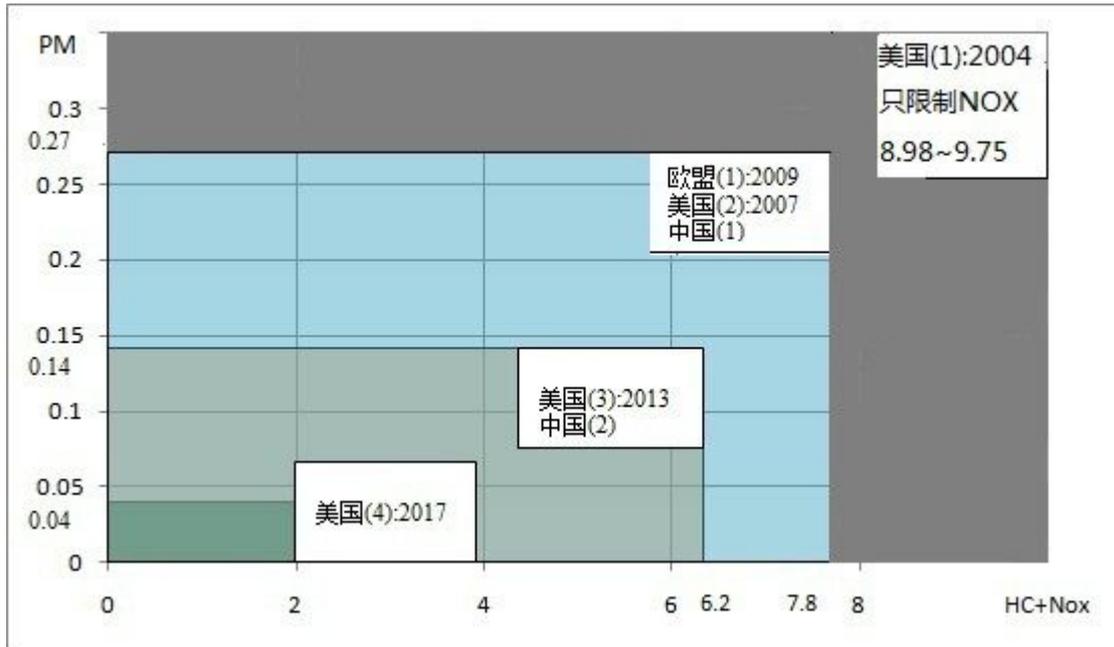


图6 C2类船机 ($5 \leq SV < 15$) 的排放限值要求和实施日期比较

5.11.2 国际上主要船机排放法规的适用范围、功率范围和测试循环的比较

表 20 国际上主要船机排放法规的适用范围、功率范围和测试循环

指令（标准）	适用范围	功率范围	测试循环
MARPOL 73/78 公约附则VI	远洋船舶	$P > 130\text{kW}$	ISO8178-4 中规定的 C1、D2、E2 和 E3 测试循环
欧盟 2004/26/EC	船长不小于 20m 并且排水量不小于 100m ³ 的内河船机	$P \geq 37\text{ kW}$ $SV < 30\text{L}$	ISO8178-4 中规定的 C1、D2、E2 和 E3 测试循环
美国 40 CFR PART 94 (3/4 阶段 法规 1042)	压燃式船机(3 ¹ 类船机、额定功率小于 37kW 的船机和国外船只上的船机除外。)	$P \geq 37\text{ kW}$ $SV < 30\text{L}$	ISO8178-4 中规定的 C1、D2、E2 和 E3 测试循环
美国 40 CFR PART 89	额定功率小于 37kW 的压燃式船机	$P < 37\text{ kW}$	ISO8178-4 中规定的 C1、D2、G1 测试循环
中国 GB20891	额定净功率不超过 37kW 的压燃式船机。	$P \leq 37\text{ kW}$	ISO8178-4 中规定的 C1、D2、G1 测试循环
本标准	内河船、沿海船、江海直达船和海峡船上装用的 1 类和 2 类船机	$P \geq 37\text{ kW}$ $SV < 30\text{L}$	ISO8178-4 中规定的 C1、D2、E2 和 E3 测试循环

从表 64 可知，中国船机标准所采用的排放测试循环和国际上主要船机排放法规都是一致的。对于 $P \leq 37\text{ kW}$ 的船机，采用 ISO8178-4 中规定的 C1、D2、G1

¹ 单缸排量不小于 30L 的船机。

测试循环；对于 $P \geq 37 \text{ kW}$ 的船机，采用 ISO8178-4 中规定的 C1、D2、E2 和 E3 测试循环。对于适用范围，中国的船机标准只适用在中国的内水和领海航行的船舶，在公海航行的船舶按照 MARPOL 73/78 公约附则 VI 的要求，这也和欧盟、美国对船舶的排放控制是相一致的。

6 试验方法验证

排放验证试验采用图 7 的推进特性船机，按照标准（征求意见稿）中的试验规程进行排放验证试验，证明“征求意见稿”中制订的试验规程是切实可行的。

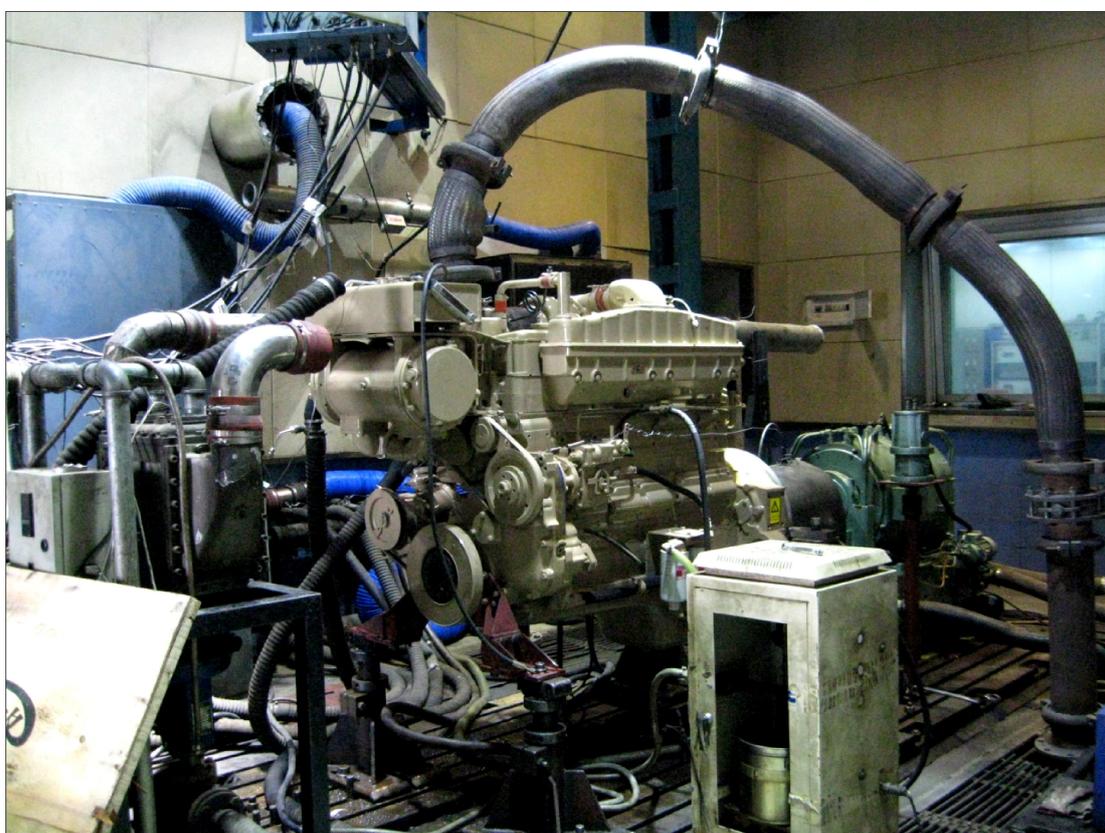


图 7 NTA855 推进特性船机排放试验图片

7 实施本标准的可行性及环境效益分析

7.1 技术可行性分析

7.1.1 满足第一阶段排放限值要求达标技术可行性分析

(1) 本标准第一阶段的排放控制水平

本标准第一阶段的排放控制水平相当于非道路发动机排放控制标准 GB 20891-2007 第 II 阶段（已于 2009 年 10 月 1 日实施）的排放控制水平，见表 21。船用发动机和非道路机械用发动机虽用途不同，但同属内燃机，所采用的排放控制技术措施，不管是机内的措施还是机外的后处理净化措施都类似。

表 21 排放控制水平的比较 [g/Kw.h]

排放标准		CO	HC+NO _x	PM
本标准征求意见稿第 1 阶段排放控制要求	1.2≤SV<5	5.0	7.2	0.2
	5≤SV<15	5.0	7.8	0.27
GB20891-2007 第 II 阶段		3.5	7.0	0.2

(2) 对于额定功率小于 560kW 的船机（单缸排量 SV 在 1.2~2.5）。主要由车用发动机生产企业同时在生产，如：玉柴、潍柴等，船机的设计、制造适应了船舶上工作的特性：

1) 冷却系统：由于船机大部分是放置在密封的船舱内，没有车的迎面风降温，需要用水进行冷却，由此带来发动机冷却系统的改变包括：带水套的涡轮增压器、水冷的排气歧管、热交换器、海水泵及必要的连接管路和过滤器、机油冷却器等。

2) 其他设计更改主要是为了提高船机的性能，提高船机的功率—重量比，提高升功率，主要是对燃油喷射系统进行改造，措施包括：改变凸轮轴、缸盖、喷射正时和喷射压力以及对活塞、缸盖部件及润滑系统的改进。

技术升级方案：根据原机型的不同技术状况，发动机从现有排放控制水平升级到本标准的排放控制要求，可选择以下几种或组合方案技术改进措施：

1) 进气方式从自然吸气升级到废气涡轮增压器（单级或双级增压）或增压中冷技术。

2) 进气方式从废气涡轮增压器（单级或双级增压）升级到增压中冷技术。

3) 采用废气再循环（EGR）技术，采用 EGR 技术会降低 NOX 排放，但会造成油耗和颗粒物的增加，采用该项技术，通常会调整供油提前角，EGR 率也应根据情况选择高或低。

4) 燃油喷射系统优化。提高喷射压力，是降低颗粒物的主要措施

5) 喷射系统与燃烧室、涡流之间的匹配，进气流动、混合气在缸内的混合

和燃烧过程之间是相互作用的复杂体系，特别在燃烧后期，将这些作用关系通过喷射系统与燃烧室、涡流之间的匹配进行优化，对柴油机的经济性和排放，将起到重要作用。

成本增加：根据上面选择的几种或组合方案技术改进措施，成本增加如下：

- 1) 对于采用单级废气涡轮增压技术，成本增加约 13 元/kW 左右；
- 2) 对于采用双级废气涡轮增压技术，成本增加约 17 元/kW 左右；
- 3) 对于采用中冷器技术，成本增加约 12 元/kW 左右。

例：对于 300kW 自然吸气船机，若采用单级废气涡轮增压技术，需要增加 3900 元，大约占船机成本的 7~9%；若采用增压中冷技术措施，需要增加 7500 元，大约占船机成本的 14~16%。

技术可行性分析：高速船机生产企业基本都同时生产车用发动机和非道路发动机，而车用发动机的排放标准是 4 阶段，非道路发动机即将实施 3 阶段，都比船机的要求高，高速船机可以直接使用车机和非道路发动机的一些技术，某些机型也比较相近，技术储备都有，有些高速船机，由于出口的需要，已经达到欧盟船机标准（即本标准）的排放控制要求。

(3)对于额定功率大于 560kW 小于 1000kW 的船机，主要为单缸排量(SV)小于 5L 的一类船机，内河船舶装用。

现通常配置为进气采用增压(国内基本采用一级增压，国外有采用二级增压)中冷(水冷)技术，机械泵燃油供给系统。

技术升级方案：发动机从现有排放控制水平升级到本标准的排放控制要求，可选择以下几种或组合方案技术改进措施：

- 1) 增加热交换器的散热面积，提高进气量，优化燃料，降低颗粒物排放。
- 2) 改进增压器，提高增压压力。

3) 采用废气再循环(EGR)技术，采用 EGR 技术会降低 NOX 排放，但会造成油耗和颗粒物的增加，采用该项技术，通常会调整供油提前角，EGR 率也应根据情况选择高或低。

4) 燃油喷射系统优化。提高喷射压力，是降低颗粒物的主要措施

5) 喷射系统与燃烧室、涡流之间的匹配，进气流动、混合气在缸内的混合和燃烧过程之间是相互作用的复杂体系，特别在燃烧后期，将这些作用关系通过喷射系统与燃烧室、涡流之间的匹配进行优化，对柴油机的经济性和排放，将起

到重要作用。

成本增加：根据上面选择的几种或组合方案技术改进措施，成本增加如下：

1) 中冷器的散热面积增加造成的成本增加约为 1000 元/m²，如：800kW 的船机，中冷器的散热面积由 30m² 增加到 40 m²，成本增加 10000 元左右。

2) 改动增压器的元器件，提高增压压力。

3) 其他改进措施。

例：对于一台 800kW 的船机，从现有排放控制水平升级到满足本标准的排放控制水平，成本约增加 3~12 万元，约占发动机成本的 5~20%。

(4)对于额定功率大于 1000kW 小于 2000kW 的船机,主要为单缸排量(SV)大于 5L 小于 15L 二类船机,内河船舶装用。

现通常配置为进气采用增压(国内基本采用一级增压,国外有采用二级增压)中冷(水冷)技术,机械泵燃油供给系统。

技术升级方案：发动机从现有排放控制水平升级到本标准的排放控制要求，可选择以下几种或组合方案技术改进措施：

1) 增加热交换器的散热面积，提高进气量，优化燃料，降低颗粒物排放。

2) 改进增压器，提高增压压力。

3) 采用废气再循环(EGR)技术，采用 EGR 技术会降低 NOX 排放，但会造成油耗和颗粒物的增加，采用该项技术，通常会调整供油提前角，EGR 率也应根据情况选择高或低。

4) 燃油喷射系统优化

— 提高喷射压力，是降低颗粒物的主要措施

5) 喷射系统与燃烧室、涡流之间的匹配，进气流动、混合气在缸内的混合和燃烧过程之间是相互作用的复杂体系，特别在燃烧后期，将这些作用关系通过喷射系统与燃烧室、涡流之间的匹配进行优化，对柴油机的经济性和排放，将起到重要作用。

成本增加：根据上面选择的几种或组合方案技术改进措施，成本增加如下：

1) 中冷器的散热面积增加造成的成本增加约为 1000 元/m²，如：1500kW 的船机，中冷器的散热面积由 60m² 增加到 90 m²，成本增加 30000 元左右。

2) 改动增压器的元器件，提高增压压力。

3) 其他改进措施。

例：对于一台 1500kW 的船机，从现有排放控制水平升级到满足本标准的排放控制水平，成本约增加 6~24 万元，约占发动机成本的 5~20%。

要达到本标准第一阶段要求，若船机燃油系统改变，由机械泵改为电控燃油喷射，则成本增加约占船机成本的 40~50%。其优点是，由于采用了先进供油技术，为满足第二阶段排放法规打下了较好基础，会降低下一阶段的排放达标成本。

技术可行性分析：560kW~2000kW的船机基本属于中速船机，中速船机基本都是引进国外知名船机企业生产许可证生产的机型，目前这些公司也正在通过技术引进和合作，提高产品技术和排放水平。

7.1.2 满足本标准第二阶段排放限值要求的达标技术可行性分析

(1) 本标准第二阶段的排放控制水平

第二阶段的排放控制要求和第一阶段的排放控制要求相比较，HC+NO_x 总体加严了 20% 以上，PM 加严了 40%，相当于车用发动机排放控制标准 GB17691-2005 第III阶段（已于 2007 年 1 月 1 日实施）的排放控制要求，见表 22。

表 22 排放控制水平的比较 [g/kWh]

		CO	HC+NO _x	PM
本标准第二阶段排放控制要求	1.2<SV<5	5.0	5.8	0.12
	5<SV<15	5.0	6.2	0.14
本标准第一阶段排放控制要求	1.2≤SV<5	5.0	7.2	0.20
	5≤SV<15	5.0	7.8	0.27
第二阶段比第一阶段限值加严 %		0	20	40~48
GB20891-2014 第三阶段标准排放要求		3.5	4.0	0.2
GB17691-2005 第III阶段		2.1	5.66	0.1

(2) 技术可行性分析

1) 高速船机 (SV<5)

为达到本标准第二阶段的排放限值要求，可以采用的控制技术仍然是以改进发动机燃烧为主的机内净化技术。实际中所采用的方案是根据其发动机的基础技术水平不同而多种多样的。比较典型可供选择的控制技术有：

- (a) 电控燃油高压喷射；
- 如：电控单体泵、电控高压共轨、电控泵喷嘴等；
- (b) 增压中冷（更高增压压力和更高效水-空中冷）；
- (c) 发动机燃烧系统、进气系统的结构改进；
- (d) 发动机喷油正时调整。
- (e) 废气再循环装置（EGR）；
- (f) 选择性催化还原后处理系统（SCR）；

上述控制技术并非全部采用，其中电控燃油喷射和增压中冷是必须的，其他技术可根据情况选择采用。

高速船机生产企业基本都同时生产车用发动机和非道路发动机，而车用发动机的已实施第4阶段的排放要求，非道路发动机即将实施第3阶段排放要求，都比船机的要求高，高速船机可以直接使用车机和非道路发动机的一些技术。

对燃油的要求：

从本标准第二阶段的排放限值情况看，若船机排放达标，主要应采取电控燃油喷射和排放机内净化措施，若需要，附加SCR排放后处理措施，这些措施对燃油的硫含量要求不是特别苛刻，用硫含量350ppm的燃油就能符合要求。

成本分析：

对于高速船机，第二阶段的HC+NO_x排放限值要求比第一阶段加严了20%左右，PM排放限值要求比第一阶段加严了40%左右。成本增加的主要来源可能是由于排放限值的加严，需要加装后处理系统。对于大型的船机，一般需要加装SCR后处理系统使NO_x排放达标。对于300kW的船机，SCR后处理系统的成本约为1~1.5万元，约占船机成本的20~30%。

2) 中速船机（5<SV<30）

为达到本标准第二阶段的排放限值要求，可以采用的控制技术仍然是以改进发动机燃烧为主的机内净化技术。实际中所采用的方案是根据其发动机的基础技术水平不同而多种多样的。比较典型可供选择的控制技术有：

- (a) 电控燃油高压喷射；
- 如：电控单体泵、电控高压共轨、电控泵喷嘴等。
- (b) 增压中冷（更高增压压力和更高效水-空中冷）；
- (c) 发动机燃烧系统、进气系统的结构改进；

- (d) 废气再循环装置 (EGR);
- (e) 发动机喷油正时调整;
- (f) 选择性催化还原后处理系统 (SCR);

上述控制技术并非全部采用,其中电控燃油喷射和增压中冷是必须的,其他技术可根据情况选择采用。

中速船机生产企业基本都是引进国外知名船机的企业生产许可证生产的机型,目前这些公司也正在通过技术引进和合作,提高产品技术和排放水平。

对燃油的要求:

从本标准第二阶段的排放限值情况看,若船机排放达标,主要应采取电控燃油喷射和排放机内净化措施,若需要,附加 SCR 排放后处理措施,这些措施对燃油的硫含量要求不是特别苛刻,用硫含量 350ppm 的燃油就能符合要求。

成本分析:

对于中速船机,第二阶段的 HC+NO_x 排放限值要求比第一阶段加严了 20% 左右,PM 排放限值要求比第一阶段加严了 48%左右。成本增加的主要来源可能是由于排放限值的加严,需要加装后处理系统。对于大型的船机,一般需要加装 SCR 后处理系统使 NO_x 排放达标。对于该功率段的船机,SCR 后处理系统的成本约为 7~20 万元,约占船机成本的 6~20%。

要达到本标准第二阶段要求,若船机燃油系统改变,由机械泵改为电控燃油喷射,则成本增加约占船机成本的 40~50%。

7.2 测试条件及可行性分析

7.2.1 国内主要内河船机生产企业的排放测试条件

环保部 2010 年 3 月 25 日下发环科便函[2010]19 号文“关于开展船舶发动机污染物排放情况调查的函”,对相关船机生产企业、检测机构和研究机构进行排放情况调研。从调研情况看,大部分的内河船机生产企业都有测功机;几家同时生产车用发动机和船机的生产企业,如:上柴、玉柴、潍柴、重汽,拥有气体分析仪和颗粒物取样系统。为满足本标准的认证要求和生产一致性保证的要求,需要购置气体分析仪和颗粒物测量设备,购置费用约 200 万元。

7.2.2 各检测机构的船机排放测试条件

对于船机的排放检测,目前有两类检测机构可以使用,一类是环保部定点的排放检测机构,另一类是船机社定点的排放检测机构。

7.2.2.1 环保部定点的排放检测机构

由于车用和非道路用发动机排放实施控制在先,环保部定点委托的各个排放检测机构:如:济南汽车检测中心、国家汽车质量监督检验中心(长春)、国家机动车质量监督检验中心(重庆)、国家机动车产品质量监督检验中心(上海)、中国汽车技术研究中心、国家汽车质量监督检验中心(襄樊)等检测机构都有完善的排放测量设备,如:560kW以下的测功机,测量颗粒物的部分流系统,测量气体排放的系统。对于额定功率560kW以下的船机,可以根据“情况”送检到各个检测机构进行排放检测,对于更大功率的船机,检测机构需要利用船机生产企业的测功机,使用自己的“可移动式”排放设备到船机生产企业进行排放检测;若到船机生产企业检测,检测机构需要购置可移动式的排气测量设备,购置费用约100万元/套。

7.2.2.2 船级社定点的排放检测机构

目前船级社定点的排放检测机构有:大连海事大学排放测试中心、大连理工大学、上海沪江柴油机排放检测科技有限公司、武汉理工大学、广西玉柴机器股份有限公司排放实验室等检测机构。由于目前船级社定点的检测机构只是按照IMO标准对船机实施检测,标准要求只检测气体排放物,不检测颗粒物。因此,大多数检测机构只是配置气体排放物的检测设备,把检测设备全部集成到一个集装箱中,需要进行船机检测时,把设备运到船机生产企业,利用企业的测功机设备进行检测。若按照本标准的要求检测颗粒物,需要购置颗粒物检测设备,费用大约70万元人民币/套。

小结:若实施本标准,从测试设备准备情况来看,船机生产企业需要购置排气检测设备和颗粒物测量设备,费用约200万元/套;环保部定点的排放检测机构可能需要购买可移动式的排气测量设备,购置费用约100万元/套。船级社定点的排放检测机构需要购置颗粒物检测设备,费用大约70万元人民币/套。

7.3 实施本标准的环境效益分析

实施本标准后，对内河船机的排气污染物排放控制从 IMO 第一阶段水平到和世界先进国家和地区（如欧盟、美国）的排放控制水平相同，将会减少船机大气污染物排放，改善港口和内河航线区域的大气环境质量。

7.3.1 实施本标准第一、二阶段排放限值要求的环境效益分析

按照本编制说明表2，2012年生产中速船机663万kW，高速船机410万kW，合计共约1000万kW，主要装用在内河（沿海）船舶。

第一阶段标准实施后，在标准实施的三年时间内生产的所有船机，在其船舶的寿命期内 NO_x 和 PM 的排放削减量，如表 23。

表 23 实施本标准第一阶段的环境效益（NO_x、PM）

	NO _x	PM
目前状态单台船机排放（g/kWh）	9	0.74
第 I 阶段单台船机排放（g/kWh）	7	0.2
排放下降率 %	22.2	73
船舶寿命期内排放削减量（万吨）	144	38.9

实施第二阶段标准后，在第二阶段标准实施的三年内生产的所有船机，在其船舶的寿命期内（按 25 年计算），NO_x 和 PM 的排放削减量如表 24。

表 24 实施本标准第二阶段的环境效益（NO_x、PM）

	NO _x	PM
第 I 阶段单台船机排放（g/kWh）	7	0.2
第 II 阶段单台船机排放（g/kWh）	5.4	0.12
排放下降率 %	22.9	40
船舶寿命期内排放削减量（万吨）	115	5.8

7.3.2 船用燃油品质提高所带来的环境效益

本标准对船舶使用燃料作出了规定，规定所有内河船和沿海船不能使用残渣油，内河船和江海直达船只能使用普通柴油，沿海船和海峡渡船可以使用船用燃

料油中的馏分油，但其硫含量不得超过 0.1%（1000ppm）。这一规定将对减少船舶 SO₂ 和颗粒物的排放起到重要的作用。

目前我国船舶所用燃料主要有普通柴油和燃料油两种，如前所述，目前我国船用燃料油中的含硫量是非常高的（1~3.5%）。燃油中的硫在燃烧后，主要以 SO₂ 的形态排出，同时还将会有一部分 SO₂ 转化为硫酸盐，以颗粒物的形态排出。我们按照与 2012 年相同的各类船用燃油消耗数量来进行估算。

根据文献^[7]，获得 2012 年我国船用柴油消耗量，根据中国统计年鉴^[8]，获得 2012 年我国船用燃料油消耗量，具体油耗数据、相应的硫含量情况，以及本标准对燃油硫含量的要求见表 25。

表 25 船用燃油消耗量及其硫含量情况

燃油种类	年消耗量（万吨）	燃油硫含量（ppm）	
		2012 年	本标准要求
柴油	890	2000	350
燃料油	1384	35000 ^a	1000

注 a：据调研^[9]，目前船用燃料油，主要为 180（CST）型号，根据 GB/T14711-2012，对应 RME180 和 RMG180 残渣油，其硫含量上限为 3.5%（35000ppm）。

根据相关文献^[10]，计算出与燃油硫含量相关的 SO₂ 和硫酸盐形态的 PM 的排放因子，并按 2012 年消耗的燃油量计算船舶的年污染物排放量。通过计算，得到燃油硫含量变化前后，每年水运船舶 SO₂ 和 PM 的减排量分别为 94.87 万吨和 7.63 万吨。

另外，因为标准要求燃料油的硫含量为 1000ppm 以下，所有船舶不得使用残渣油，只能使用馏分油。由于馏分油的质量比残渣油要提高很多，使得发动机燃烧更为充分，因此，除了降低燃油硫含量会减少硫酸盐形态的 PM 之外，还会显著减少由于不完全燃烧导致的 PM 排放。根据理论估算，这部分 PM 减排量约为 **2.92 万吨**。

因此，按照本标准对船用燃油的规定，船用燃油品质的提高将对减少船舶 SO₂ 和颗粒物的排放起到重要的作用，尤其是对现有在用的船舶，即使不做任何技术

改进，只要使用符合标准规定的燃油，每年仅全国运输船舶（不包括渔船），就将会减少SO₂排放约95万吨，减少PM排放约11万吨。

8 标准第一次征求意见情况

2014年7月7日，环境保护部发布了标准征求意见稿，共发出征求意见函102份，包括国务院有关部门、地方环保部门、科研机构、高等院校、有关企业及其他单位、环境保护部有关业务司局等。其中，回函单位有41家，提出书面修改意见的单位有23家，未提出书面修改意见的单位有18家。返回修改意见共156条，其中：采纳75条，占48.1%；部分采纳8条，占5.1%；未采纳40条，占25.6%；其他（问题和不涉及《标准》本身修改的建议）33条，占21.1%。主要意见及处理情况如下：

8.1 关于排放限值

8.1.1 制订的排放限值过于严格

部分船机生产企业和研究机构认为标准中制订的排放限值太严格，应以IMO为主要依据，制订本标准的排放限值要求。

标准编制组没有采纳上述意见。主要有以下考虑：

首先，IMO的Marpol 73/78公约附则VI适用于海洋船舶和远洋船舶装用的船机的排放控制要求，大气污染物中只控制NO_x。本标准控制的是我国境内的内河、沿海船舶的污染物排放。根据我国严峻的大气污染形势及环境减排需求，以及国际上对内河船舶的污染防治经验，其排放控制要求都远比IMO的要求严格，大气污染物不只要控制NO_x，还应对HC、CO和PM等其他主要污染物提出排放控制要求，因此，不能以IMO为主要依据制订本标准的排放限值要求。

其次，从目前国内船机的排放水平看，目前的船机已普遍达到IMO的第二阶段的排放要求，和本标准的第一阶段排放限值控制水平相接近；本标准的第二阶段要求借鉴美国EPA标准第3阶段的要求，其中的NO_x控制要求比IMO的第3阶段要求略宽松，并且距标准正式实施至少还有4年多的时间，已经给企业留出了开发准备的时间，企业经过努力是可以达到要求的。

8.1.2 尽快实施第二阶段排放限值

部分环保主管部门和研究机构认为应进一步加严本标准的限值要求，第二阶段排放限值的实施时间应该提前，甚至跨过第一阶段，直接实施第二阶段排放限值要求。

经过认真研究和调研，上述意见没有被采纳，主要有以下考虑：

要达到本标准第二阶段的排放要求，需要船用发动机采用电控、高压共轨，甚至SCR后处理技术，对大多数的国内船机企业，从技术和经济成本来说，都是很大的提升，至少需要3-5年的准备时间，不宜再将第二阶段的实施时间提前。

和非道路发动机排放标准相比，本标准是相对滞后，但船机行业和非道路移动机械用发动机行业并非一个行业，其发展状况和技术水平并不相同，从目前来讲，不能用同样的排放标准来要求。

8.1.3 关于第2阶段排放限值和美国EPA标准的协调

部门单位提出本标准第2阶段的排放限值要求应与美国EPA第3阶段标准限值相协调。标准编制组经过进一步研究和分析，采纳了上述意见，对第二阶段排放限值进行了修改，修改后的排放限值与美国EPA标准排放限值进行了充分协调。

8.2 关于排放耐久性

8.2.1 关于耐久性试验

针对耐久性试验的主要意见是：（1）参照 CB3254.2 标准要求，进行耐久性试验”；（2）取消耐久性试验；（3）认为排放耐久性的时间太长，费用太高。

标准编制组没有采纳上述意见。主要有以下考虑：

首先，CB3254.2《船用柴油机台架试验 试验方法》标准中提出的耐久性试验，是发动机定型的耐久性考核，主要用于考核船机的性能。该标准中规定的耐久性考核时间随船机功率的增加，考核时间缩短，这和船机实际使用的情况并不相符，一般来说，随船机功率的增加，船机的使用寿命也会相应增长。

本标准规定的排放耐久性要求是为了确保船机及其排放控制装置在有效寿命期内功能完好，排放持续达标。确定船机及其排放控制装置的排放劣化系数是国际上的通行做法，欧盟船机标准 2004/26/EC 和美国 EPA 船机标准中均规定了船机的排放耐久性要求。并且，随着发动机功率和排量的加大，即发动机使用寿命的延长，耐久性试验考核的时间也会加长。如：欧盟非道路排放法规

2004/26/EC 中规定的耐久性考核时间如表 26:

表 26 耐久性时间要求

柴油机功率段 (kW)	转速	有效寿命 (h)	允许最短试验时 间 (h)
$P_{max} \geq 37$	任何转速	8000	2000
$19 \leq P_{max} < 37$	非恒速	5000	1250
	恒速 < 3000		
	恒速 ≥ 3000	3000	750
$P_{max} < 19$	任何转速		

从上表可以看出，随着发动机功率和排量的加大，即发动机使用寿命的延长，耐久性试验考核的时间也会加长。从 $P_{max} < 19$ 的 750 小时，到 $19 \leq P_{max} < 37$ 的 1250 小时，再到 $P_{max} \geq 37$ 的 2000 小时。

其次，关于排放耐久性的考核时间，除了标准正文中规定的最短排放耐久时间外，在附录 H 中还规定了若干条可以灵活处理耐久性试验的规定：

(1) 加速劣化的试验方法。排放耐久性通常采用等功率法或等油耗法确定加速劣化因子，通常以排放试验循环做为考核排放耐久性的基准试验循环，将选用循环的加权功率或油耗和基准循环的相比较，得到加速劣化因子。

(2) 在型式核准部门批准的情况下，可以把其他用途发动机（非道路、车用）的已批准的劣化系数应用到船机上。如果船机企业还生产非道路和车用发动机，这些机型已做过耐久性试验，已确立了排放耐久性劣化系数，则这些已批准的劣化系数可以应用到同类型的船机上。

(3) 其他替代耐久性试验的方法。如：对于采用已经经过验证的排放控制技术的船机，可以采用基于良好的工程实践的分析，替代耐久性试验来确定劣化系数或劣化修正值。经过验证的排放控制技术指这种排放控制技术的排放劣化是经过验证的（如：采用 SCR 技术的船机的劣化系数一般为 1.05 等）。

按照这些规定要求，真正需要进行试验的情况就会很少了。

8.2.2 建议允许使用已测得的耐久性劣化系数

部分国外相关的行业协会建议：对于单台生产的船机，是否允许提交并沿用根据欧盟和 EPA 船机规定测得的劣化系数数据？

对于该意见，标准编制组部分进行了采纳，主要考虑如下：

本标准实施时，对于单台生产的船机，型式核准主管部门会根据“小批量”的要求，对这样的船机类型免于耐久性试验，另外，在标准中也提出了替代耐久性试验的方法，船机生产企业也可以根据实际情况应用。

8.3 关于船机使用的燃料

多家发动机生产企业和行业协会等对标准征求意见稿中提出的标准适用范围船舶只能使用轻柴油的要求提出了反对意见，认为对所有的船机都要求只能使用普通柴油的规定，不符合船机的用油实际情况，拟订标准中应允许船机使用其他船用燃料，尤其建议推广天然气燃料。

经过认真研究和调研，本标准采纳了上述意见，对标准中的船机使用燃油的规定进行了调整。

(1) 放宽了船舶使用燃油的种类和范围

1) 对于出入内河或仅在内河航行的内河船舶和江海直达船，要求其使用目前硫含量已经较低（350ppm）的普通柴油，以减少 SO₂ 和 PM 的排放。

2) 对于主要在海上运行的沿海船舶和海峡渡船，则根据其实际使用燃料情况允许使用船用燃料油（馏分油），但为减少污染物排放，不允许其使用含硫量过高的残渣油，并对燃料油的硫含量提出了要求，不能超过 1000 ppm。

3) 如果沿海船和海峡[渡]船安装了污染控制装置，使二氧化硫（SO₂）排放不超过使用低硫船用燃料，可豁免使用本标准规定的燃料。

4) 船用燃料中也包含了天然气（NG），并对排放量计算的相应公式进行了调整。

(2) 关于试验用燃料

本标准的试验用基准燃油只规定了普通柴油，因此，在扩大使用燃料种类后，对于试验用燃料也出现了比较复杂的情况。为了使试验用燃料能够代表实际使用的情况，标准送审稿对于型式核准试验和生产一致性检查的试验燃料作出了明确的规定，这些规定的主要原则是：

- 1) 实际中船机使用什么燃料，试验就要用什么燃料；
- 2) 如果可用多种燃料时，要用各种燃料分别进行试验；
- 3) 如果可以用多种混合燃料时，应选用可能产生最恶劣排放的混合燃料比

例进行试验；

4) 无论使用何种燃料，排放均应该达到本标准限值要求。

本标准包含了对 NG 类船机的排放控制，已对排放量计算的相应公式进行了调整。在排放限值的要求中，对于 NG 船机，制造厂可以选择测量非甲烷碳氢化合物（NMHC）代替测量碳氢化合物（HC）。

8.4 关于标准的协调问题

部分单位提出应明确本标准与其他现行船机排放标准的关系，编制组经过认真研究，采纳该意见，在此对本标准和 GB/T 5741-2008、GB 8840-2009、GB/T 15097-2008、GD 01-2011 的关系进行说明。

8.4.1 本标准和GB/T 5741-2008、GB 8840-2009标准的关系

GB/T 5741-2008《船用柴油机排气烟度测量方法》和 GB 8840-2009《船用柴油机排气烟度限值》标准分别是船机排气烟度测量方法和烟度限值标准，规定了船机的滤纸烟度（FSN）的测量方法和限值要求。

从柴油机污染控制来说，早期对烟度进行控制是有必要的，能够促进用户及时对发动机进行维护保养，提高燃烧效率，减少黑烟排放。随着排放污染控制的升级，更严格的排放法规将对颗粒物（PM）以及其他主要气体污染物 NO_x、CO、HC 等全面进行控制。随着 PM 的削减，排烟也会减少。

从现阶段来讲，烟度标准对在用船舶污染排放的监测还是有必要的。但滤纸烟度（FSN）检测已经比较落后，在国内外的排放监测中已经很少采用，且 GB 8840-2009 的 FSN 烟度限值要求也相对宽松，相当于 GB 9486-1988《柴油机稳态排气烟度及测定方法》的限值要求，有必要尽早修订。

8.4.2 本标准和GB/T 15097-2008标准的关系

GB/T 15097-2008《船用柴油机排气排放污染物测量方法》是船用柴油机排气排放污染物测量方法标准，引用了 ISO 8178.1:1996 和 ISO 8178.4:1996 中的部分内容。规定了船机排放检测所采用的实验循环，以及气态污染物（CO、HC 和 NO_x）的测量和取样规程及排放量计算等。该标准是船机排气排放污染物测量的推荐测量方法标准。

本标准的内容涵盖了 GB/T 15097-2008 标准中规定的所有内容，同时还增加了颗粒物的测量和取样规程、排放计算，NG 船机的排放污染物的排放量计算，

以及设备的检查标定要求、气体和颗粒物取样系统、排放限值要求、型式核准和基准燃料的相关内容等。

建议本标准发布后，代替GB/T 15097-2008标准。

8.4.3 本标准 and GD 01-2011 指导性文件的关系

GD 01-2011 《船用柴油机氮氧化物排放试验及检验指南》(2011)，适用于对远洋船舶用船机的EIAPP证书（或符合证明）的船机检验发证，目前船级社对内河船机的排放要求也按照GD 01-2011执行。

本标准的第一阶段排放要求和欧盟船机法规2004/26/EC的要求相同，第二阶段排放要求借鉴美国EPA船机标准40 CFR PART 1042 Tier 3的要求。与GD01-2011相比，污染物控制项目增加了PM、HC和CO等柴油机的主要污染物，排放控制要求也提高了。本标准仅适用于在我国使用的船舶，不包括远洋船舶。作为强制性标准发布后，适用范围内的船机认可应以本标准为依据，提高对我国船舶的排放污染控制要求。

参 考 文 献

【1】 交通运输部综合规划司 “2010年公路水路交通运输行业发展统计公报” 2011年04月28日。

【2】 经济学家。2010。贸易区域-世界上最大的集装箱港口[2012年5月2日引用]; 参见<http://www.economist.com/node/16881727>。

【3】 香港环保署。2012。香港空气污染物排放清单
(http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/data/emission_inve.html, accessed Nov.16,2012)。

【4】 上海环境监测中心,上海港和船舶排放情况以及控制措施研究(Study of shanghai city port and vessel pollutant emission status and control measures), 2012。

【5】 来源中国船舶工业行业协会统计数据。

【6】 来源《中国内燃机工业年鉴》统计数据。

【7】 王庆一, 2013能源数据, 能源基金会, 2013年12月

【8】 中国统计年鉴2014, 表9-9, 中国统计出版社

【9】 生意社, <http://cyy.100ppi.com/>。

【10】 [Worldwide Fuel Charter, Fourth Edition, September 2006.](#)