



内河船舶柴油机发展思路

时志刚¹, 范建新²

(1. 中国船舶重工集团公司, 北京 100097; 2. 七一一研究所, 上海 201108)

摘 要: 介绍了我国内河船舶柴油机当前的现状, 分析了其技术水平和面临的排放法规情况, 对我国内河船舶柴油机提出了总的发展要求, 以期不断提升我国船舶柴油机制造业的能力。

关键词: 船舶柴油机; 内河航运; 排放; 法规

中图分类号: TK421 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2012)01-0004-03

The Development of Marine Diesel Engines for River Operation

Shi Zhigang¹, Fan Jianxin²

(1. China Shipbuilding Industry Corporation, Beijing100097;
2. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai201108)

Abstract: The status of marine diesel engines for river operation in our country are introduced. Its technical level, as well as the emissions legislations are studied. The general development goal is put forward, with the hope to improve the domestic manufacturing capability of marine diesel engines.

Keywords: marine diesel engine; river shipping, emission; legislation

1 基本情况

长江等内河是我国国民经济最重要的货物和人员运输通道, 除个别几十吨以下的小型船舶, 航行的大小船舶所使用的动力设备和装置绝大多数采用以柴油为燃料的船舶柴油机。

我国是内河航运资源比较丰富的国家之一, 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 平方公里以上的河流有 80 多条, 还有天然湖泊 900 多个, 目前通航里程超过 12 万公里。随着航道整治工作的开展, 西部大开发和振兴东北规划的落实, 东西、南北、国内国外之间的物资和人员交往必将更加频繁, 通航里程还将进一步提升。

内河/沿海船舶约 22 万艘, 3000 万载重吨, 千吨级以上中型船 1 万多艘。我国内河运输船舶主要集中在长江沿线, 约占 70%, 分布于上海、南京、武汉和重庆等几个大港, 其他分布于黑龙江

和珠江等流域。前五年货物运输量年均增长 13%。“十一五”期间, 加强了河道清淤和整治, 通航里程增幅保持与国家 GDP 发展同步。根据交通部“十二五”规划, 为配合西部大开发和振兴东北国家战略, 通航里程将继续保持增幅。

根据中国内燃机行业统计, 几十到几百吨小船需要的几千瓦到几百千瓦的小功率船舶柴油机年产量几万台, 主要由机械、农业、渔业系统和省市地方小企业完成制造。其中 95% 以上为高速柴油机, 主要技术指标, 如油耗、强化系数、噪声、排放、智能化程度仍停留在二十世纪七八十年代。由于缺乏技术、资金、需求、法规约束, 这类船舶动力中最主要的船舶柴油机的发展空间很大, “十二五”期间, 随着内河排放法规的出台, 可以肯定船舶柴油机相关新技术会在内河船舶柴油机上得到应用, 以满足节能减排的发展趋势。几百千瓦到数万千瓦的船舶柴油机早期主要使用当时欧洲国家的产品, 二十世纪九十年代后, 随着国内柴油机企业的技术

进步以及引进国外许可证生产技术，目前内河船舶柴油机主要是国内自主开发的产品和许可证生产的产品，但其总体技术水平仍处于二十世纪九十年代的水平。

在现有运输船舶中，1 万余艘中型以上船舶主要采用了主机为中速柴油机及双机双桨的配置。辅机有高速机(千吨级)或中速机(几千吨级)。目前长江沿线纯内河船 5000 吨级最多，最大到 8000 吨级。为了提高船舶运输效率，近几年出现了一种全新的运输模式，即江海联运，从长江沿线不经过转运，使用同一艘船，将货物或人员直接运抵沿海和跨海各个港口。江海联运船已从开始的万吨级，逐步发展到几万吨级，最大已发展到 10 万吨级，以船舶柴油机为动力，主要采用小功率低速机和大功率中速机作为主机的配置模式。目前使用较多的柴油机，国外品牌机有 DK 系列和 Yanmar 系列柴油机，国内品牌有广州柴油机厂的 G32 柴油机、淄博柴油机厂的 170 和 210 柴油机、潍坊柴油机厂(重庆)200 柴油机。其中，淄博柴油机厂近几年每年为内河和沿海提供了近 5000 台，潍坊柴油机厂(重庆)近几年每年为内河和沿海提供了近 2000 台，这些产品的 NO_x 排放达到 Tier I，部分能达到 Tier II。

2 柴油机排放物对港口的影响

柴油机排出的尾气中含有大量的有毒物和致癌物，美国国家环保局将柴油机排放中的 40 余种化合物列为危险空气污染物。这些污染物绝大多数以吸附于柴油机排放出的颗粒(PM，直径 2.5 μm 以下)对人体和环境产生危害。PM2.5 可以通过人体

呼吸沉积到肺的最深部位；可以影响港口及城市环境大气质量，形成各种程度的酸雨。

国内外的研究表明，除吸附有害化合物的颗粒(PM)外，柴油机排放中对人体和环境最有影响的还有气态形式的 CO(一氧化碳)、HC(碳氢化合物)、NO_x(氮氧化物)和 SO_x(硫化物)，其中 HC、NO_x 和颗粒在影响空气质量的同时，会对人体心脏和呼吸系统产生致命影响，是心血管和呼吸系统疾病的主要原因，且是重要的致癌物，短时接触就可以引起流泪、喉咙和支气管发痒、咳嗽、多痰、头晕、恶心，过敏性反应加剧，较长时间接触就可以造成肺组织病变，呼吸防御机能下降，形成肺癌，过早死亡等；而 SO_x 随雨水回到地面，形成酸雨，造成土地酸化并对建筑物等产生腐蚀。

美国科学家通过对老鼠和猴子的动物实验得出，空气中柴油机有害排放物每增加 10 (μg·m⁻³)，会增加 1% 的癌症发病率。

美国和欧盟在二十世纪九十年代后陆续推出了内河船舶柴油机排放限制标准。以欧盟为例，目前有《商用内河船舶发动机排放控制标准》(2004/26/EC)，适用于欧盟境内所有内河；有《莱茵河条例》(CCNR)、《博登湖条例》(BR) 和《勃兰登堡航运条例》(BSO)，分别适用于特定河流的排放限制法规。欧盟《商用内河船舶发动机排放控制标准》(2004/26/EC)，规定了船长不小于 20 m，排水量不少于 100 m³ 的内河船舶（不包括乘员不超过 12 人的客船、船长小于 24 m 的娱乐船、隶属于海监的服务船、消防船、海军舰船、远洋船）的排放物控制种类和限值，见表 1。

表 1 欧盟《商用内河船舶发动机排放控制标准》排放物控制种类和限值

类型	功率/kW（单缸排量/L）	实施日期	排放限值/(g·(kW·h) ⁻¹)		
			CO	HC + NO _x	PM
V1：1	$P = 37 \text{ (} SV < 0.9 \text{)}$	2006. 12. 31	5. 0	7. 5	0. 40
V1：2	$(0.9 = SV < 1.2)$	2006. 6. 30	5. 0	7. 2	0. 30
V1：3	$37 = P < 75 \text{ (} 1.2 = SV < 2.5 \text{)}$	2006. 6. 30	5. 0	7. 2	0. 20
V1：4	$(2.5 = SV < 5)$	2007. 12. 31	5. 0	7. 2	0. 20
V2：1	$(5 = SV < 15)$	2008. 12. 31	5. 0	7. 8	0. 27
V2：2	$P < 3300 \text{ (} 15 = SV < 20 \text{)}$	2008. 12. 31	5. 0	8. 7	0. 50
V2：3	$P = 3300 \text{ (} 15 = SV < 20 \text{)}$	2008. 12. 31	5. 0	9. 8	0. 50
V2：4	$(20 = SV < 25)$	2007. 12. 31	5. 0	9. 8	0. 50
V2：5	$(25 = SV < 30)$	2007. 12. 31	5. 0	11. 0	0. 50

在我国移动污染源中，目前只有内河船舶、铁路机车和飞机没有专门的国家级排放限制法规，导致内河船舶柴油机的排放处于失控状态，使得内河港口及城市的空气质量每况愈下。

我国内河运输船舶约有 70% 集中在长江沿线，分布于上海、南京、武汉和重庆等几个大港，其他分布于黑龙江和珠江流域等。由于船舶在停靠码头、转向和过船闸时，柴油机处于低负荷和变负荷

运行, 将比正常运行排出更多的有害物。我国内河船舶柴油机每年有害物排放量是巨大的, 其中排放的 NO_x 、 SO_x 和颗粒约为 100 万吨。上海市环境监测中心提供的上海港 2005 年排放数据显示, NO_x 排放 4.4 万吨, SO_x 排放 3.9 万吨, 颗粒排放 0.6 万吨。据国家环保局统计, 长江沿线各个港口城市 NO_x 浓度在 $0.05 \sim 0.15 \text{ (mg} \cdot \text{m}^{-3})$ 之间, SO_x 浓度在 $0.04 \sim 0.10 \text{ (mg} \cdot \text{m}^{-3})$ 之间, 导致这些城市的中心城区大气环境指标接近或超过国家规定的大气质量二级标准, 部分城区已超过三级标准。其中, 船舶柴油机排出的 NO_x 和 SO_x 占中心城区总量的 5% 到 7%, 占港口区域总量的 50%。

3 内河船舶检验要求

目前船舶检验分为三种基本形式, 即渔检证书、中国船检证书简称 ZC 证书、CCS 等船级社证书, 分别用于不同用途的航行区域。渔检证书是按特种行业标准检验并颁发的证书, 属于所有沿海/内河船舶柴油机最低级别的出厂检验标准, 几乎在中国境内柴油机制造厂生产的产品只要按图生产, 不出现大的质量问题, 即可获得渔检证书, 船舶被许可在江河/沿海运行。中国船检证书是介于渔检和船级社证书之间, 注重安全性和可靠性检验, 据此证书可向船舶管理机构申请船舶在内河/沿海航行, 在有限航线区域内从事货物和人员运输。船级社证书是遵照国际海事组织 (IMO) 或/和等效规范对柴油机进行检验, 船舶可航行于内河、沿海和世界各航区, 即无限航区, 由于需要保证船舶在远离陆地的海上安全航行, 属于船舶柴油机许可检验中的最高要求。

除安全性和可靠性外, 对其他特性如排放, 内河/沿海船舶柴油机主要执行建议和推荐标准, 如: JB8891-1999《中小功率柴油机排气污染物排放限值》, 规定了 160 mm 缸径以下的 NO_x 排放值为 $10.8 \text{ (g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$, 不仅没有强制执行, 且比排放值与转速脱钩, 该标准操作性差; GB/T15097-2008、GB/T5741-2008 等国家标准, 只规定了测量方法或建议达到的排放值, 都属非强制检验标准。因此, 这些正在执行的标准难以起到推动船舶柴油机技术进步的作用。

反观欧美发达国家, 他们非常重视内河排放标准, 并用标准作为推动技术进步的重要手段, 当前正在执行的标准要比海洋船舶更严厉。美国有 EAP、欧洲有《商用内河船舶发动机排放控制标准》(2004/26/EC)、《莱茵河条例》(CCNR)、

《博登湖条例》(BR)、《勃兰登堡航运条例》(BSO) 等高于国际海事组织 IMO 要求的内河船舶排放标准。

总体而言, 中国内河/沿海正在使用的船舶柴油机整体技术水平低于远洋船舶, 排放值高于远洋船舶, 导致内河沿线城市的空气质量变差。

4 对内河船舶柴油机的总要求

对于内河/沿海船舶来讲, 价格比技术先进性更重要, 初投资低比运行成本低更重要。对于几千吨到 8000 吨的内河/沿海船舶, 追求低价格, 技术上只要具备运行许可是内河/沿海船舶柴油机的最主要特征。大量简单化设计技术在内河船舶柴油机设计中得到应用, 如取消部分曲轴箱盖以简化机体、取消单体泵采用汽车用组合泵、改订单生产为仓储式批量化生产、全部零部件国内采购等大量陆用发动机技术和生产手段得到应用, 制造成本大幅度降低。不刻意要求自动化程度、低油耗、外观整洁、低噪低振低排放、部分负荷性能。三年前, 500 kW 中速机只卖到 40 万左右, 最低出价 30 余万, 将船用柴油机价格拖入不足千元/kW 时代。

根据国内各个船舶设计单位得到的船舶设计信息, 未来几年内河/沿海运输船、海监船、工程船、拖船等, 采用单机 300 ~ 4 000 kW 中速机比较普遍, 在几千吨级内河/沿海船舶中, 其动力配置模式是以大功率中速柴油机 + 小功率中速发电机组的配置模式, 并已成为最主要的主流配置。例如: 3 300 t 运输船配 1 320 kW 中速柴油机, 4 800 t 配 2 200 kW 中速柴油机, 3 700 t 配 2 640 kW 中速柴油机作为主机, 再配置 2 到 3 台几百千瓦的中速发电机组。与远洋船舶大型化趋势一样, 特别是江海联运模式的出现, 万吨和几万吨级船舶的需求量逐年增大, 动力配置也出现了小功率低速机主机 + 中速发电机组的配置。

法规建设和技术进步是船东、船厂、设计院采用先进船舶产品的主要推动力之一。国内众多柴油机研发、设计和生产企业通过长期的投入和研发, 紧跟世界技术发展潮流, 已在高压共轨、高增压、高压喷射、尾气后处理等新技术领域取得了重大进展, 部分产品已在海洋船舶柴油机上得到了应用和验证, 为内河船舶柴油机采用最新的节能减排技术和提高产品整体水平奠定了可靠的技术基础。

(下转第 12 页)

放来降油耗，但是也有额外的运行成本。综合评价 EGR 还是 SCR 目前还难有定论，尚需时日。

4 小 结

在环保要求的促进下，船用低速主机的发展走过了一条从主机自身工况强化，到电喷技术应用、米勒循环改进、增压器可变喷嘴环应用等新技术应用之路，通过不断的发展不断地追求效率。同样，在面向未来的一系列新法规如 EEDI、NO_x Tie III 和余热回收要求，有利于提高船舶航行效率的 G 型机也已经出现。未来的船舶业将继续在高效率，低排放、低油耗、低成本的道路上迎风前行。

参考文献

[1] 梅春. 超大功率主机、大容量电站及相关动力系统设计技术研究报告/大型设备系统设计关键技术[R]. 国防科技工业民用专项科研技术研究项目《8000 ~

10000TEU 超大型集装箱船开发关键技术研究》,2008.
[2] Diesel Technology Seminar 2011 [R]. MAN Diesel & Turbo.
[3] Green Ship Technology Seminar 2010 [R]. Aalborg + MAN Diesel & Turbo.
[4] Thermo efficiency system (TES) for reduction of fuel consumption and CO₂ emission[R]. MAN B&W Diesel A/S.
[5] Waste heat recovery system for saving fuel and protecting the environment [R]. November 2005, Wärtsilä Switzerland.
[6] Marine engine technologies for reduced emissions waste heat recovery[R]. 2006, Wärtsilä Switzerland.
[7] ABB 动力涡轮领导新一代余热回收[J]. 船舶推进与辅助机械,2006(8/9).
[8] Assessment of IMO mandated energy efficiency measures for internationall shipping, Zabi Bazari 英国 LR 船级社, Tore Longva 挪威 Oslo DNV 船级社, 2011.
[9] Classification news No. 15/2011 ,英国 LR 船级社.

(上接第 3 页)

未来大功率柴油机仍然是船舶最主要动力来源,国内在设计、生产环节通过近几年的持续投入,将在未来的五年体现出强劲的技术开发水平和生产制造能力。

环境要求和能耗新政对我国船舶柴油机带来的不只是冲击,还带来了机遇。政府、业界和专业人士从政策、资金、技术和与国外合作等各个方面已采取

措施,积极面对。可以确信,我国船舶柴油机制造业一定会同世界同行一起,共同承担起节能减排的重任,为人类作出应有的贡献。

参考文献

[1] 2010 - 2014 年中国船用柴油机市场调查及投资发展前景战略研究报告[R]. 北京中研纵横经济信息中心.

(上接第 6 页)

同时针对内河船舶的法规建设也正在步入快车道,2006 年原国家环保总局已正式下达了编制内河/沿海《船舶柴油机大气污染物排放限值及测量方法》,由济南汽车检测中心承担编制,至 2009 年底,完成了开题论证报告,2011 年已通过了专家评审,正在征求各方意见和建议,不久即将发布。该法规的总体编制思路是参照国际海事组织 IMO 的排放限值,要求船舶柴油机按照两个时间段达到逐步严厉的排放限制指标。以 NO_x 排放为例,第一阶段等效 IMO Tier I,第二阶段比 IMO Tier II 略低。这些法规建设和技术进步必将促进我国内河船舶柴油机从低层次扩张向更高技术水平发展,大幅度提升我国内河船舶设计、制造的整体水平和能力。

5 结 论

我国内河船舶柴油机年需求量和保有量巨大,但总体技术水平、燃油消耗率、排放水平、自动化程度等与海洋船舶相比仍有不小的差距。随着国家在内河航运中的节能减排政策的推进以及相关技术的发展,内河船舶柴油机必将面临技术升级和产品更新换代的考验。

参考文献

[1] 济南汽车检测中心,《船舶柴油机大气污染物排放限值及测量方法》。