

综 述

船舶柴油机总能利用系统技术发展概况

景国辉¹, 范建新²

- (1. 海军驻七一一研究所军事代表室, 上海 201108;
2. 船舶动力系统国家工程试验室, 上海 201108)

摘 要: 针对日益严厉的排放法规以及降低船舶运行成本的需要, 介绍了国外总能利用领域的技术发展现状和发展趋势; 同时描述了国内在总能利用领域面临的形势和存在的不足, 给出了在该领域今后研究和发展的主要方向; 指出合理和高效利用船舶动力装置余热将是未来船舶动力技术发展的核心内容。

关键词: 船舶柴油机动力装置; 余热; 利用

中图分类号: TK421 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)06-0001-04

Technology Development of Gross Energy Utilization System for Marine Diesel Engine

Jing Guohui¹, Fan Jianxin²

- (1. Naval Deputy Office of Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108;
2. National Engineering Laboratory of Marine Power System, Shanghai 201108)

Abstract: To meet with the more and more severe emission legislations, and cut down the operation cost of ships, the development of gross energy utilization abroad is introduced both on its status and tendency. The domestic condition of this field is described and our inadequacy is pointed out, as well as the research and developing direction in the future. It is concluded that rational and high-efficient utilization of the waste heat of marine power system is the most important part in future development of marine power technology.

Keywords: marine diesel power system; waste heat; utilization

1 概 述

随着地下能源的日趋消耗和地球环境的日益恶化, 人类的节能环保意识逐渐加强, 节能环保已成为人类共同遵守的准则和共同担负的使命, 并已成为全球最为关注的热点话题。哥本哈根会议的召开和中国政府对全世界做出的慎重承诺, 都使得节能减排成为世界共同关注和未来研究的主题, 也成为我国技术研究和产品开发最为紧迫和最具潜力的发展方向。

随着对环境保护科学研究的日益深入, 控制温室气体排放、保护大气环境问题受到航运界的普遍关注, 二氧化碳(CO₂)是最重要的人为温室气体。据政府间气候变化专门委员会(IPCC)2007 年的气候变化综合报告显示: 在 1970 年至 2004 年期间, CO₂ 年排放量已经增加了大约 80%, 从 210 亿吨增加到 380 亿吨; 在 2004 年已占到人为温室气体排放总量的 77%, 其中超过 50% 的 CO₂ 排放是由于化石燃料燃烧而产生的。绝大部分的船舶是靠燃烧燃料油产生动力来推动船舶前进, 而燃料油燃烧

收稿日期: 2010-05-08

作者简介: 景国辉(1971-), 男, 工程师, 主要研究方向为船舶机电设备。

必然会产生 CO₂ 排入大气。DNV 的研究报告指出, 船舶排放的 CO₂ 量占到总排放量的 2% ~ 3%。为此, 国际海事组织 IMO 的部分成员国(欧盟国家、澳大利亚、新西兰和日本)主张: 在航运界, 不加分区地对所有船舶实行全球一致的温室气体排放强制标准。

2007 年, 海洋环境保护委员会(MEPC)启动了新船能效设计指数(EEDI)的制定, 目前正在抓紧征求各国政府主管部门的意见, 预计从 2012 年年底起将执行 EEDI, 对全船的 CO₂ 排放做出规定。该标准一旦执行, 则将极大改变原有船型设计理念, 我国在国际市场上具有一定优势的成熟船型将面临失去市场空间的危机。

从能量角度来看, 节能和减排是密不可分的, 对船舶柴油机来说, 节省燃油消耗, 会促进减排的执行; 减低排放必然要求较低的燃油消耗。船舶节能的措施主要体现在淘汰老旧船、优化船型减少阻力、优化航运管理, 提高动力源本身的热效率、提高推进器的效率、提高动力装置总能利用等方面, 后者目前仍有很大的潜力可挖。近几年的研究动向表明, 采用总能利用将是未来船舶柴油机动力装置发展的一个重要方向。

众所周知, 当前优良的柴油机热效率一般为 45% ~ 50%, 而排出的冷却水热量约为 20% ~ 25%, 废气带走的热量约在 25% ~ 30%, 输出功率为几万千瓦的大型主柴油机其总能利用的裕度非常广阔, 不仅可以用来加热/制冷、制造淡水, 还可产生蒸汽发电; 大功率柴油机其排气可用热能可发出远远超过船舶电站的电量, 还可作为船舶推进动力。对于物流领域中以消耗能源作为代价的推进动力装置来讲, 如何提高系统能源利用效率、减少燃油消耗, 切实影响到最终航运成本的大小。

总能利用技术就是将燃油燃烧产生的热量通过技术手段最大限度地加以利用, 它是船舶柴油机各种余热利用方法的集成和统称。柴油机余热回收作为船舶总能利用技术的一种, 主要方法有:

(1) 把柴油机高品质的排气能量通过废气余热锅炉产生蒸汽, 高压蒸汽带动蒸汽涡轮发电机组发电, 并入船舶电站, 供全船供电; 此外, 在某些带废气旁通的涡轮增压柴油机上, 还可以使用动力涡轮利用旁通的废气余热发电, 并入船舶电站。

(2) 利用排气余热产生的蒸汽作各种舱、柜、加热器的加热源(如燃油、滑油和货油系统的加热)和取暖、蒸饭等生活热源。

(3) 把柴油机高温冷却水直接或间接作为燃油加热、制淡、制冷和生活杂用等的热源。

在西方国家, 发动机余热 80% 以上已被利用。而在我国, 目前占燃料热值 50% 以上的废气和冷却水余热资源基本上被白白浪费掉, 发动机余热利用技术的开发和应用尚处于起步阶段。随着能源供应日益紧张, 节能减排、提高能源利用率, 越来越引起人们的重视, 余热利用的推广是必然趋势。

因此, 我国需要加快柴油机动力装置总能利用技术研究和产品研制, 节省燃油能源消耗、降低 CO₂ 排放, 使船舶设计满足 EEDI 需求, 冲破欧洲发达国家和日本设置的造船“绿色壁垒”, 提高我国造船工业的市场竞争力。

2 国外总能利用技术发展情况

2.1 国外发展历史回顾

船舶节能技术的开发与应用在很大程度上取决于燃油价格的变化。上世纪七十年代, 世界经历了两次石油危机, 由于油价的上涨, 导致航运成本大幅上升, 使得一些原本运营良好的航运公司陷入亏损境地。因此, 国外大型造船厂、船舶设计科研院所、船舶机电设备供应商很早就开展了船舶总能利用技术的研究。

20 世纪 80 年代初, 西德 KHD 动力设备公司和柏林大学船舶柴油机动力装置研究所合作, 在科隆进行了大型柴油机余热利用试验研究, 并研制了利用柴油机排气余热的全套发电设备, 包括大型柴油机、废气锅炉、蒸汽涡轮等, 可回收利用柴油机余热发电, 减少燃油消耗, 对柴油机动力装置总能利用进行了尝试。

在同时代, 日本三菱重工制成一种新型船用柴油机余热回收装置(STG)。该装置由主推进柴油机、涡轮增压器、径流废气涡轮、余热回收器、汽轮发电机、轴功率发电机和电动机组成, 将经涡轮增压器和径流涡轮的废气通往余热回收器产生蒸汽供汽轮机用, 汽轮机和径流涡轮的输出功被并入减速齿轮, 带动发电机。此外, PTO/PTI 双模式轴带电机与主机动力输出轴连接, 按电网和推进功率之需量差自行调整电流的流向。此产品后在油轮安装并于 1986 年实现首航。该排气热量余热回收装置系统图如图 1 所示。

由于总能利用技术的应用对于船舶航运有着明显的经济效益, 20 世纪 80 年代以后建造的集装箱船等大型船舶, 都采取了部分节能措施。

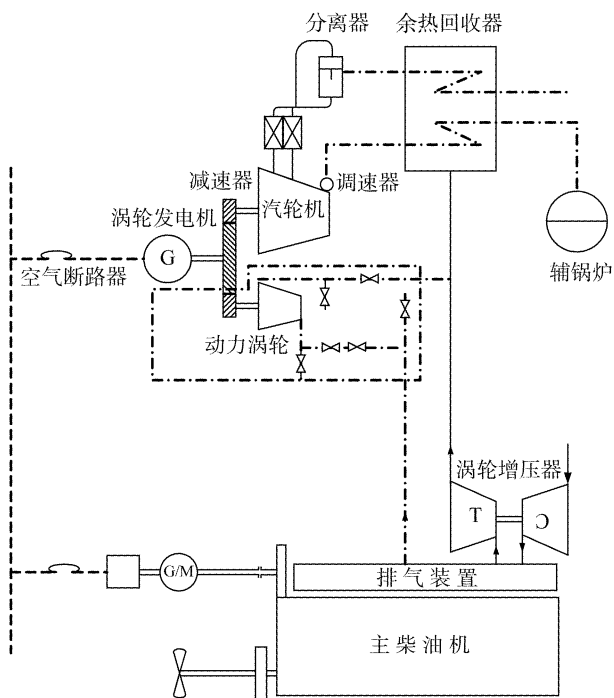


图1 日本三菱重工开发的柴油机排气余热回收装置

2.2 国外船舶配套商开展的总能利用技术研究

MAN、Wartsila、ABB 等世界著名柴油机及动力设备集成配套公司也积极开展柴油机动力系统能源综合利用技术研究，以达到节能减排、提高热效率、符合 EEDI 等排放法规的目的，从而满足客户需求，占得市场先机。

(1) MAN 公司柴油机总能利用研究现状

MAN 公司开发的柴油机排气能量利用系统主要有柴油机、废气锅炉、动力涡轮、蒸汽涡轮、轴带发电机、PTO/PTI 及辅助发电机组构成。可提高 10% 的热效率，从而减少 10% 的燃油消耗和 CO₂ 排放；系统整体热效率可达 55%，最高可接近 60%。系统示意图如图 2 所示。

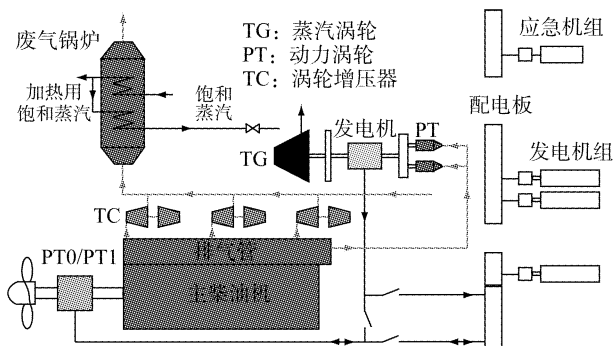


图2 MAN公司排气能量利用系统

(2) Wartsila 公司柴油机总能利用研究现状

Wartsila 公司开发的高效排气能量利用系统主要有双压锅炉、多级双压汽轮机、动力涡轮和轴带

电机等组成，热效率可提高 11.4%。系统示意图如图 3 所示。

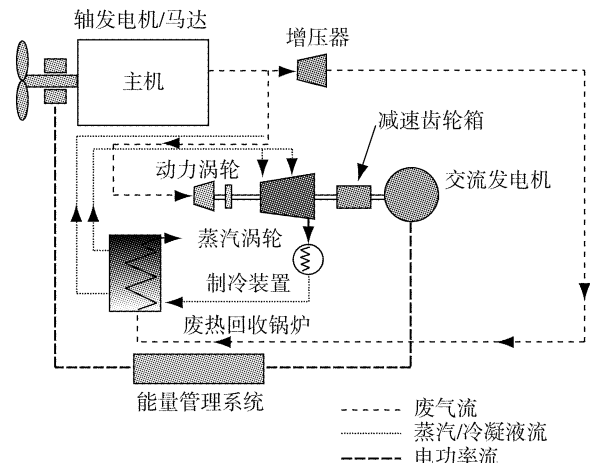
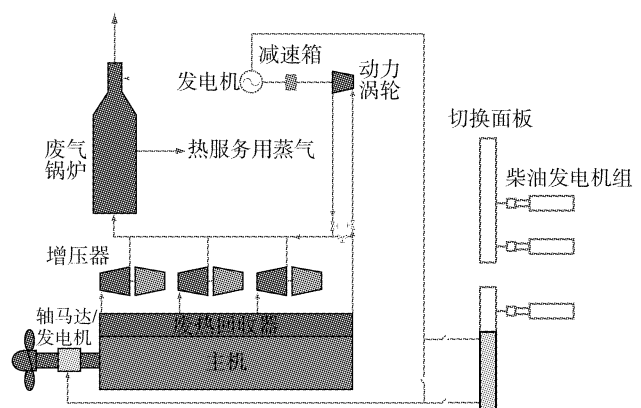


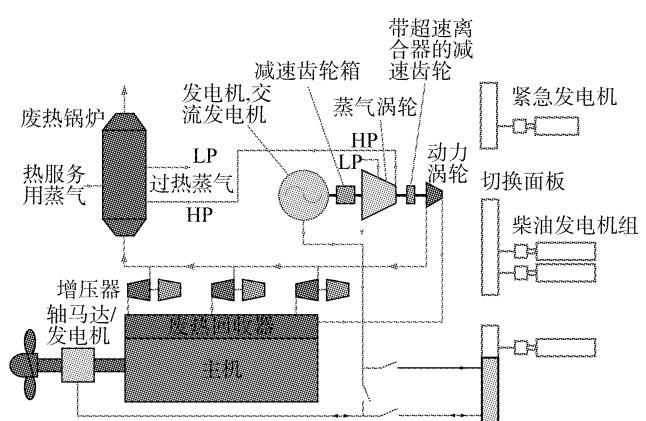
图3 Wärtsilä公司排气能量利用系统

(3) ABB 公司柴油机总能利用研究现状

ABB 公司作为柴油机零部件供应商也积极投入总能利用技术的研究。根据不同功率的柴油机，ABB 公司开发出两种不同的总能利用系统，有效利用排气余热，总能利用率达到 14%。两种系统示意图如图 4 所示。



(a) 带ABB动力涡轮的废热回收系统



(b) 带ABB动力涡轮和蒸汽涡轮的废热回收系统

图3 ABB公司两种排气能量利用系统

3 国内总能利用技术发展情况

国内受限于船舶配套设备研发的落后现状,大型船用柴油机主机还没有自己的产品,国内主机、动力装置市场也完全被国外厂商垄断,对船舶柴油机动力装置总能利用的研究很少。

20 世纪 90 年代以来,由于能源危机导致燃油价格的不断攀升,我国在部分远洋船舶中采用废气锅炉对排气能量进行利用,但这些应用受当时技术发展水平的限制,存在以下三方面问题:一是当时采用的这些技术大多是国外淘汰的技术,能量利用的设备效率不高,导致总能利用率不高;二是能量利用的途经和措施单一,没有根据柴油机排气能量过剩等新能量分布现状,对柴油机动力装置能量进行废气动力涡轮发电、蒸汽动力涡轮发电、多余电能助推等多途经综合利用,没有掌握多途经总能利用技术;三是能量匹配仅根据经验公式的简单计算,没有现代先进的仿真匹配设计方法,能量利用匹配效率不高。

20 世纪 90 年代初,广东较早开展了陆用柴油机余热发电综合改造,余热锅炉产生的蒸汽除供重油加热和生活用汽外,其余蒸汽用于发电。工程完工后,余热发电功率约为柴油发电机组功率的 4% 左右。此外,还利用柴油机余热锅炉产生的蒸汽,采用溴化锂吸收式制冷机组进行集中空调工程,可满足办公楼、餐厅、酒楼、超级市场等集中空调的需求。实现了利用柴油机余热进行发电、供热、制冷的三联供。

柴油机余热利用在国内陆用电站的进展,为船舶柴油机动力装置总能利用提供了一些经验,但由于应用环境及系统要求相差较大,总体来说,国内在船舶总能利用技术方面的研究基础十分薄弱。

4 总能利用技术未来研究方向

以提高船舶柴油机动力装置总能利用效率,应对

即将执行的新船能效设计指数(EEDI)为目标,根据余热的品质、船舶类型、动力配置方案,选用相适应的余热利用技术,将是下一步技术发展的总方向。

(1) 总能利用系统总体技术

总体技术是总能利用系统的基础性研究,很大程度上决定了系统采用的主要废热回收技术措施、能取得的总能利用的效率以及 EEDI 能效设计指数的改善程度等。

(2) 热能动力设备技术进步

针对总能利用需要的余热锅炉、动力涡轮、蒸汽涡轮、轴带发电机、热泵和吸收式制冷机等主要设备开展专项研究,形成高效利用余热、满足各种工况的动力设备。

(3) 总能利用系统控制技术

总能利用系统的正常、高效运行必须基于各工况分系统间能量及运行状态的良好匹配。自动控制是对分系统在各种工况变化时能量平衡和设备合理运行的高效控制,提高系统运行稳定性以及总能利用效率。

(4) 总能利用系统优化技术

是将最优化方法应用于船用柴油机动力装置总能利用系统的设计。通过优化,分级利用不同压力和温度的排气废热和冷却水热量,使废热得到充分利用,提高装置运行效率。

5 结 论

随着石油资源的日益紧张、价格不断上涨以及国际海事组织推出新船能效设计指数(EEDI)步伐的加快,与总能利用相关的技术和设备已开始从研究阶段向实用化转变,目前已有多种船舶将总能利用系统作为动力装置的重要组成部分,利用余热发电、取暖、制冷。实际运行效果证明,船舶柴油机总能利用技术不仅可以节省燃油,减少运行成本,同时可以降低二氧化碳排放,是一项节约资源,环境友好的实用新型技术。

欢迎订阅 2011 年《柴油机》杂志

欢迎惠登广告