

船用 2MW 级天然气发动机及动力系统研发

周炎¹, 张晓晨², 马兴刚², 陈伟¹

(1. 七一一研究所, 上海 201108; 2. 中船重工柴油机动力有限公司, 上海 200090)

摘要: 天然气作为优质高效、绿色清洁的低碳能源, 正逐步成为我国主体能源之一, 具有重要的战略意义和显著的经济效益。介绍了新近推出的自主品牌 M23G 天然气发动机的开发历程、性能及主要技术特点。针对气体发动机的性能特点, 提出了船舶天然气动力系统配置、设计中须关注的关键技术, 以及天然气发动机在陆用能源的应用方向。

关键词: 天然气发动机; 动力系统; 研发

中图分类号: TK431 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2019)04-0001-04

The Development of a 2 MW LNG Marine Engine and Its Power System

Zhou Yan¹, Zhang Xiaochen², Ma Xinggang², Chen Wei¹

(1. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108;

2. China Shipbuilding Industry Corporation Diesel Engine Co., Ltd., Shanghai 200090)

Abstract: As a kind of low carbon energy boasting good performance, high efficiency, and green and clean characteristics, natural gas has come to be one of the main energy sources in China, and is of significant strategic importance and economically beneficial to our country. The self-owned engine brand M23G LNG engine, which was launched recently, is introduced from its development course, performance and main technical characteristics. Considering the performance characteristics of gas engine, the key technical points during the layout and design of marine LNG power system are put forward, as well as the on land application field of natural gas engines.

Key words: LNG engine; power system; development

0 引言

《中国天然气发展报告(2016)》白皮书首次明确了天然气作为我国主体能源的地位。天然气作为低碳清洁能源, 具有重要的战略意义和显著的经济效益^[1]。

2016 年中国天然气表观消费量为 2 058 亿 m³, 同比增长幅度达 6.6%, 增速超过 2015 年, 天然气的一次能源消费占比增至 6.4%, 预计 2017 年占比达 7%^[2]。有关方面指出: “天然气是我国推进能源生产和消费革命, 实现主体能源绿色低碳更替的重要基础。2020 年要实现天然气一次能源占比 10% 的目标依然任重道远”; “为兑现我国天然

气市场的巨大潜力, 要实施城镇燃气工程、天然气发电工程及工业燃料升级工程”。

天然气行业将迎来快速发展的时期。预计至 2020 年, 在“煤改气”顶层政策的推动下, 以及天然气相较于其它替代能源在城市燃气和交通领域已具备经济性的情况下, 城市燃气和工业燃料需求将迎来爆发。2020 ~ 2025 年, 随着天然气价格市场化改革的加速推进, 天然气价格下行, 将带动天然气在发电、城市燃气和工业燃料等诸多应用领域的需求快速增长。

与此同时, 《中国制造 2025》、《船舶配套产业能力提升行动计划 2016 ~ 2020》、供给侧改革、“振兴长江经济带”以及“打赢蓝天保卫战三年行

收稿日期: 2018-10-08

作者简介: 周炎(1967-), 男, 研究员, 主要研究方向为动力装置、振动冲击噪声控制, zhouyan@csic711.com。

动计划”等国家战略及政策法规的实施,为我国船舶柴油机产业转型发展提供了重大机遇和政策支持。在国内天然气发电工程和船舶动力领域,突破依赖于欧美进口天然气发动机的局面;“国轮国造”;开发和使用自主品牌装备已逐步成为政府、企业的共识,市场环境日趋成熟。

目前,国内主要柴油机公司正不断加强自主品牌发动机的研发。例如,中船工业集团公司中船动力研究院于 2016 年 7 月发布了 MV390 中速柴油机;2017 年 3 月安庆柴油机公司推出 A320 型气体发动机;中车大连机车公司、玉柴、维柴、淄柴等也在加紧开发大功率船用柴油机。

“十一五”以来,在工信部等的大力支持下,中船重工集团公司第七一一研究所相继开发了多款自主品牌中速柴油机及气体机,并逐步推向市场应用。2017 年,CS21 系列柴油机已成功应用于上港复兴船务公司的“海港 49”和“海港 711”两艘拖轮(图 1);2017 年 5 月,M23G 本质安全型中速气体发动机发布,并获得 CCS 产品证书,正式推向市场。



图 1 “海港 711”与“海港 49”拖轮

本文主要介绍 M23G 天然气发动机的开发历程、性能、特点等;结合气体发动机的性能特点,提出船舶天然气动力系统配置、设计中须关注的关键技术;以及 M23G 天然气发动机在陆用能源的应用方向。

1 原型机——CS21 型柴油机

2008 年起,中船重工柴油机动力公司(由七一一研究所、陕柴重工、重庆红江公司出资组建)依托七一一研究所,组织和实施自主品牌中速发动

机的产品开发与技术服务、生产许可经营等工作。2011 年、2014 年和 2016 年,相继推出 6CS21 共轨版柴油机及发电机组、8CS21 和 6CS21 常规燃油版柴油机等产品。

2015 年年底成功中标上海港复兴船务公司 3600 马力全国产标准化拖轮和 4000 马力全国产油电混合动力拖轮主机项目。2017 年下半年陆续完成拖带与航行试验,并交付使用,打破了国外进口机在高端港作拖轮市场的垄断地位。图 2 为装备拖轮的 6CS21 型柴油机。

2 M23G 型天然气发动机研制

2.1 开发历程

2013 年,七一一研究所以 CS21/32 柴油机为原型机开始研发 M23G 气体发动机(图 3),2016 年 9 月试验样机动车成功,2017 年 3 月完成性能开发试验,2017 年 5 月完成型式认可试验,获得 CCS 证书,2018 年 7 月完成耐久试验。图 4 为 8M23G 气体机试车台及气阀单元。采用柴油微喷引燃技术的 M23DF 双燃料发动机正在开发中。



图 2 装备拖轮的 6CS21 型柴油机

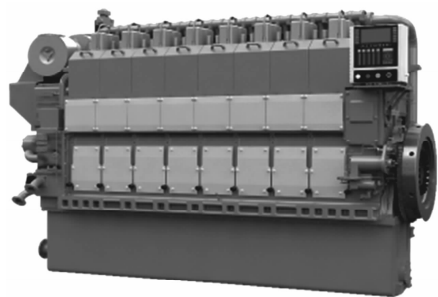


图 3 M23G 气体发动机三维模型图

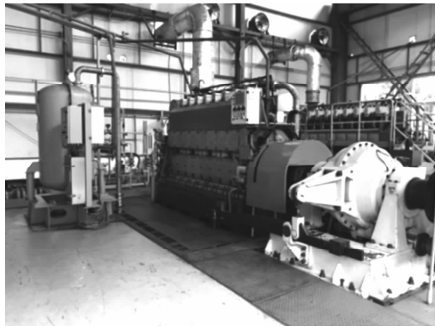


图 4 8M23G 气体机试车台及气阀单元

2.2 总体性能参数

表 1 为 M23G 气体机主要性能参数。

表 1 M23G 气体机性能参数

型号	6M23G	8M23G
型式	直列、四冲程、涡轮增压、中冷、不可逆转、多点喷射、预燃室、火花塞点燃	
天然气甲烷值 MN	>80	
气缸数	6	8
(缸径×行程)/(mm×mm)	230×320	
单缸额定功率/kW	1 200	1 600
额定转速/(r·min ⁻¹)	1 000	
平均有效压力/MPa	1.8	1.8
燃气消耗率/(kJ·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	≤8 750	
机油消耗率/(kJ·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	≤0.6	
NO _x 排放	满足 IMO Tier III	
热效率	42%	42%
外形尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	3 906×1 615×3 157	4 538×1 615×3 157
重量/kg	15 600	18 400

2.3 主要技术特点

(1) 热效率高达 42%

- 采用稀薄燃烧技术，确保燃烧峰值温度低、NO_x 排放低、排气温度低。
- 采用多点顺序喷射技术，逐缸精确控制燃气供应，确保发动机加速性能好。
- 火花塞点燃预燃烧室的浓可燃混合气，再引燃主燃烧室稀薄可燃混合气，火焰传播迅速。
- 进排气重叠角小，减少燃气浪费的同时防止废气涡轮增压器、进气总管燃气爆燃。
- 热效率高达 42%，比肩国外同类型产品。

(2) 本质安全型

- M23G 气体机在防爆、防高温、防泄漏、冗余备份等方面实现本质安全，满足船规要求。
- 防爆：采用防爆阀、油雾浓度探测、轴温检

测、爆震监测等技术；

- 防高温：采用排温监测、排气管隔热罩等技术；
- 防泄漏：采用双层燃气管等技术；
- 冗余备份：转速、电源采用备份等技术。

(3) 低排放

8M23G 发动机的 NO_x 排放为 1.6 (g·kW⁻¹·h⁻¹)，满足 IMO Tier III 排放法规。

(4) 高可靠性

8M23G 发动机与其原型机 CS21 柴油机的零部件通用率达 70%；关键件全球采购，并经过了充分的耐久验证试验，确保了产品的高性能和可靠性。

2.4 LNG 供气系统

LNG 供气系统主要由 LNG 充装站、LNG 储罐、水浴式气化器、换热装置、燃气双层壁管系、监测报警与安全控制系统、通风系统等组成。可确保气体发动机安全可靠运行，并满足船级社相关规范要求。图 5 为典型的 LNG 供气系统示意图。

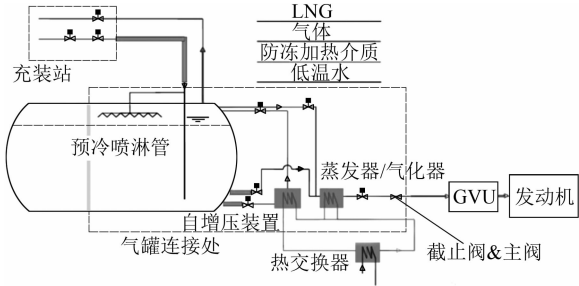


图 5 典型 LNG 供气系统示意图

2.5 气体阀件单元 GVU

气体阀件单元为气体发动机供气系统的关键部件，M23G 气体机的气体阀件单元 GVU800 具有燃气压力自动调节功能，其主要参数见表 2。表中示出的参数适用于功率≤3 000 kW 的天然气发动机（含双燃料发动机）。

表 2 GVU800 气体阀件单元主要参数

进口压力/MPa	0.6~0.8
出口压力/MPa	0.15~0.45
进气温度/℃	0~60
额定流量/(Nm ³ ·h ⁻¹)	800
外形尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	2.15×1.56×3.0

2.6 型式认可

M23G 气体发动机与 2017 年 5 月获得 CCS 的型式认可证书。

3 产品市场定位及应用

M23G 气体发动机可用作主机或发电机组,由其组成的动力装置系统可应用于:港作拖轮、江海联运船舶(集装箱船等)、LNG 加注储运船、汽车客渡船、三用工作船及海上浮式生产储油船(FP-SO)等海工船舶;以及陆用电站、分布式能源、备用电源等。

3.1 船用动力系统应用

使用天然气发动机的船舶具有较好的绿色环保性能,其动力系统可以采用直接驱动、综合电力推进或气电混合推进等方式。

(1) 直接驱动型动力系统

由于气体机的动态响应特性逊于柴油机,因此最好与可调桨匹配使用。如果采用定距桨,最好配置液粘调速离合器,以满足柔顺合排、低速/微速航行等工况。

(2) 综合电力推进动力系统

综合电力推进系统具有较好的可靠性、操纵性以及经济性,是天然气燃料船舶比较好的选择。在电站中配置气体发电机组的同时,还可以配置柴油发电机组作为常用机组或应急机组,以提高动力系统的适用性和安全性。

(3) 气电混合推进系统

气电混合动力系统结合了直驱推进和电力推进的优势,采用气体机主机、轴带 PTO/PTI 电动机、齿轮箱、可调桨/定距桨等。在电站中配置天然气发电机组以及应急柴油发电机组,具有气体机推进、电机推进、气体机与电机联合推进等多种组合模式,可实现较低的初投资、较好的经济性,同时弥补了气体机动态响应较差的缺点。

在低负荷时采用电机推进,高负荷时仍采用联合推进,可有效提高船舶能效;且与综合电力推进系统相比,其初投资较少,特别适合低/高工况长期运行的船舶。

3.2 陆用分布式能源应用

针对城市楼宇、工业园等中小型分布式能源应用,采用 8M23G 气体机作为原动机实现发电、供热和制冷功能,可提升能源综合利用效率至 70% ~ 90%,且有效降低有害排放。相对于选用高速发动机,虽然初投资有所增加,但优点是:发电效率较高;大修期较长,且无须返厂大修;长期稳定运行,高效可靠。

4 总结

(1) 天然气作为低碳清洁能源的战略意义和经济效益日益凸显,已明确成为我国主体能源,其快速发展时期已到来。

(2) M23G 天然气发动机产品具有热效率高、本质安全、排放低、可靠性高等特点,以逐步推广应用于分布式能源、加气运输船舶等领域。

(3) 针对不同的船舶动力需求,选用合适的动力推进方式可提升船舶的操纵性、经济性和安全性,同时降低排放。

(4) 我国自主品牌发动机装备产业的发展,离不开国家政策扶持;离不开用户、设计、制造单位的大力协同、开拓及创新。

参考文献

- [1] 国家能源局石油天然气司. 中国天然气发展报告(2016) [M]. 北京:石油工业出版社,2016,12.
- [2] 国家能源局石油天然气司. 中国天然气发展报告(2017) [M]. 北京:石油工业出版社,2017,8.
- [3] 智研咨询集团. 2018-2024 年中国天然气行业市场深度调研及未来发展趋势报告 [R]. 2018,5.
- [4] 李伟彪. 小型 LNG 船舶发动机总体性能研究 [R]. 2013,9.
- [5] 高晓敏,王晓明. 现代船用离合器技术的发展 [J]. 机械技术史,2000.