

柴油机注汽涡轮增压系统

闻雪友¹, 陆 犇¹, 夏军宏¹, 张玉龙²

(1. 哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

2. 哈尔滨汽轮机有限责任公司军代表室, 黑龙江 哈尔滨 150041)

摘要: 针对涡轮增压柴油机在低工况运行时, 出现增压压力不足、燃烧过量空气系数小和废气排温较高等固有特性, 提出了一种利用增压器废气余热产生水蒸气, 并注入涡轮来提高增压器的压比和空气量新方法, 以改善涡轮增压器与柴油机的匹配, 提高柴油机性能。

关键词: 涡轮增压; 注蒸汽

中图分类号: TK442 文献标识码: A

1 前言

由于涡轮增压技术的进展, 柴油机的功率、经济性、重量和体积等各项性能指标都获得了明显的改善。现代大功率柴油机几乎全部采用了涡轮增压装置, 而其中应用最广泛的是废气涡轮增压装置。

涡轮增压柴油机是柴油机与涡轮增压器所组成的复合式发动机, 在各种工况下, 涡轮增压装置应该向柴油机提供足够的空气量, 如果涡轮增压器的供气量不足, 就会引起工作过程的恶化。然而, 当柴油机工况变化时, 废气流量和参数也都发生变化, 往复式的柴油机与回转式涡轮增压器两者特性匹配的结果通常是涡轮增压柴油机在低工况运行时会出现增

压压力不足, 燃烧过量空气系数小和废气排温较高等固有特性, 其直接表现就是涡轮增压器不能提供运行条件所要求的压比, 以满足对空气量的要求。

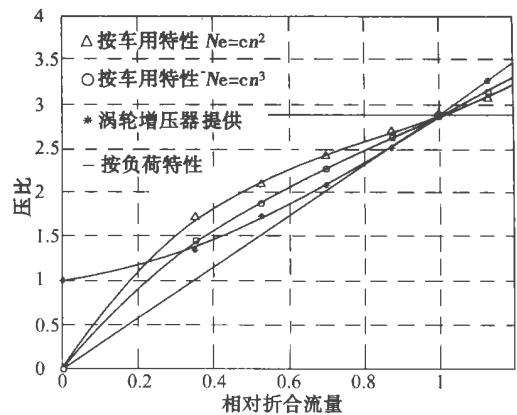


图1 涡轮增压器配合性能

图1表示涡轮增压柴油机在不同运行条件下的涡轮增压器的运行特性(一个特定的涡轮增压器的运行特性), 即在不同的涡轮进口折合流量下所能提供的压比。由图可见, 在标定工况(即设计点), 增压器提供的压比与柴油机要求的相符; 在低工况时, 运

收稿日期: 2002-10-08

作者简介: 闻雪友(1940-), 男, 浙江慈溪人, 哈尔滨·第七〇三研究所研究员。

(2) 旋压道次间距对起皱和壁厚变薄的影响很大, 文中给出了选择道次序列来合理分配变形量的方法(计算程序略);

(3) 本文所阐述的仿形控制参数的确定方法也可作为复杂形状回转体旋压件的工艺制定、仿形模板设计以及数控旋压轨迹的确定提供参考。

参考文献:

[1] WANG Z R, KANG DACHANG, WANG TAO. Classification and de-

veloping tendency of the rotary forming technology [J]. ICPR, 1989 (10): 1-5.

[2] 刘兴家. 承压椭圆封头旋压轮三目标优化的研究[J]. 塑性工程学报, 2001, 8(3): 80-84.

[3] 叶山益次郎. 数值制御フビニング機械にすローベスプラミコタ[J]. 塑性と加工, 1986, 27(9): 34-38.

[4] 刘兴家. 封头旋压成形旋压运动轨迹的研究[J]. 塑性工程学报, 1997, 4(4): 84-89.

行特性不同, 提供与要求的压比差别不同, 按车用特性, $Ne = cn^2$ 、 $Ne = cn^3$ (Ne —功率, n —转速) 特性运行时增压器所能提供的压比均不能满足要求。

为了改善涡轮增压柴油机的低工况性能, 当前在涡轮增压系统上采用了多种措施, 各种改进方案也均有其各自的优缺点。

2 系统简介

文中提出一种新型涡轮增压器系统, 它能大幅度提高涡轮增压器的压比, 尤其是低工况下的压比, 从而改善低工况的性能, 提高涡轮增压内燃机的功率, 降低涡轮增压内燃机的耗油率。

本系统是在涡轮增压器的基础上, 利用涡轮增压器的排气余热, 设置一个朗肯回热循环, 构成一种新颖的注汽涡轮增压系统。藉余热所产生的蒸汽注入涡轮中将大幅度地提高涡轮功率, 使其驱动的压气机的压比及流量增加, 从而达到提高涡轮增压柴油机的功率, 降低其耗油率, 明显改善低工况性能的目的。

本系统原理图见图 2。其主要流程是: 工质空气经压气机 1 增压进入内燃机气缸 2, 压缩燃烧做功后排气进入涡轮 3。水作为第二种工质进入余热锅炉 4, 在余热锅炉 4 内从涡轮排气余热中吸收热量变为过热蒸汽, 通过专门的注汽系统注入到涡轮前。在涡轮 3 中由两种工质 (燃气、蒸汽) 组成的混合工质膨胀做功驱动压气机, 最后经余热锅炉 4 排入大气。回注的蒸汽量可由调节阀 5 控制, 来满足涡轮增压内燃机的需要。多余蒸汽可由旁路系统 6 引作它用或排放。系统 8 为涡轮排气旁路调节系统。

2.1 注汽涡轮增压器

涡轮增压器中有两个独立变量: 涡轮进口 (内燃机废气出口) 的燃气温度和压力。但是在注汽涡轮增压器中还有一个独立变量: 蒸汽质量流量与燃气质量流量之比, 即汽/气比。汽/气比的大小对涡轮增压器的压比、转速的变化影响较大, 因为在等压下蒸汽比热至少要比空气——燃料燃烧产物的比热高一倍, 因此蒸汽的做功能力更大。注汽温度对压比、转速的影响则相对较小。图 3 示出一特定增压器注汽后特性的变化, 随着汽/气比增大, 涡轮增压器的压比增加。

当选择汽/气比时应综合考虑如下因素作出最佳选择:

- (1) 内燃机对增压器压比、流量的要求;
- (2) 压气机的喘振裕度;
- (3) 涡轮增压器的转速极限;
- (4) 涡轮的通流能力;
- (5) 余热锅炉的紧凑性 (尺寸、重量);
- (6) 兼顾全回注与零回注。

注汽涡轮增压器的背压因涡轮出口装有余热锅炉而升高, 但是注汽后获得的功率增益远大于背压升高而带来的损失。

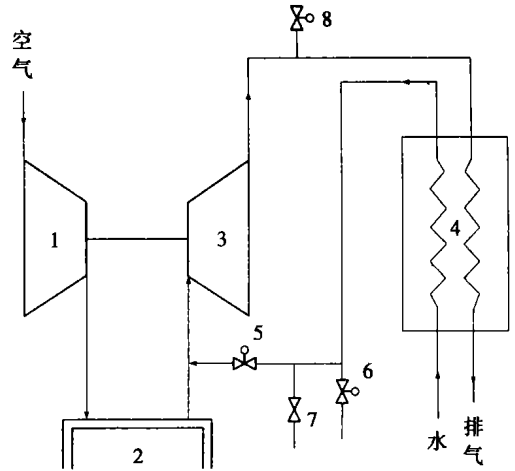


图 2 注蒸汽的涡轮增压柴油机示意图

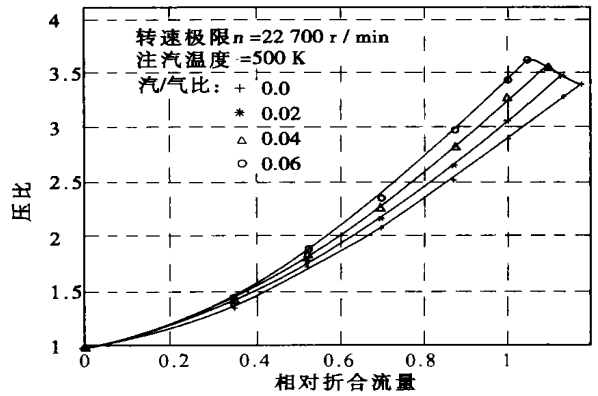


图 3 汽/气比对增压器压比的影响

2.2 余热锅炉

余热锅炉吸收涡轮增压器排气的热量产生蒸汽。在涡轮增压器以非回流方式运行时, 涡轮排气的成分是燃气; 在以回注方式运行时, 涡轮排气的成分是燃气加蒸汽。

涡轮增压柴油机系统要求余热锅炉结构高度紧凑、重量轻、热惯量小。其设计思想不是最大限度地利用排气余热多产蒸汽, 而是根据涡轮增压器的要

求,在蒸汽产量和余热锅炉尺寸、重量间作折衷。余热锅炉结构宜选择直流锅炉或强制循环型式,采用强化传热元件,或高度紧凑的特种结构。余热锅炉应设计成允许“干烧”,当余热锅炉某些部件发生故障或要求作“零”注汽运行时,余热锅炉可以作干式运行。

2.3 注汽系统

为了将过热蒸汽从余热锅炉导入涡轮增压器,需设置回注系统。

系统主要包括注汽流量调节阀、注汽喷嘴、吹扫系统、蒸汽分路系统。吹扫系统7是为注汽管系在工作前预热,防止有凝水进入增压涡轮。旁路系统6是为排放可能的多余蒸汽以及在柴油机停机,而余热锅炉因热惯量较大,继续产生蒸汽的排放之用。

3 系统性能

为了进一步说明注汽涡轮增压系统的优越性,引入一个示例。

某涡轮增压柴油机的标定参数见表1。

表1 涡轮增压柴油机的标定参数

数量		数量	
气缸数	12	气缸排气温度/℃	450
活塞行程/mm	460	涡轮增压器后燃气温度/℃	380
气缸直径/mm	400	标定压气机效率	0.72
单缸工作容积/ dm^3	57.81	标定压气机压比	2.88
额定转速/ $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	520	标定涡轮膨胀比	2.45
额定功率/kW	5736	最大爆发压力/MPa	12.35
涡轮进口燃气温度/℃	≤ 380	平均有效压力/MPa	1.91
涡轮排气背压/MPa	1~1.5	标定燃油消耗率/ $\text{g}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$	210
总过量空气系数	2.32	标定进空气流量/ $\text{kg}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$	7.14
空气利用系数	0.48	进空气温度/℃	≤ 45
涡轮增压器总效率	0.55	喷嘴环当量面积/ cm^2	177

图1已示出该涡轮增压柴油机在不同运行条件下的涡轮增压器配合性能,并已指出,在中、低工况时,增压器所能提供的压比并不能满足按车用特性 $Ne = cn^2$ 、 $Ne = cn^3$ 特性运行对压比的要求,现采用注汽涡轮增压柴油机系统作为改善措施。

图3表示采用注汽涡轮增压系统后,该增压器在不同的汽/气比下所能获得的压比增加值。

图4表示采用注汽涡轮增压系统后涡轮增压器的运行特性,该特性是在汽气比为0.06下获得的。由图4可见,注蒸汽后的涡轮增压器已能满足 $Ne = cn^2$ 、 $Ne = cn^3$ 对压比的要求,即使按车用特性运行时,其性能也大为改善,并且在标定工况和高工况

时,在涡轮增压器许用转速内,也可使压比有较大升高。

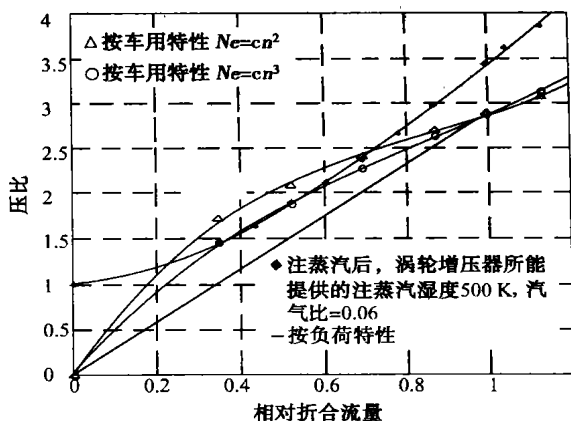


图4 注蒸汽后的涡轮增压器配合性能

图5则最终反映了注汽涡轮增压柴油机系统的效果,柴油机的功率平均增加约16% (见图5(b)),耗油率平均下降约1.8% (见图5(a))。注汽前后涡轮增压柴油机的功率和耗油率的改进是明显的。

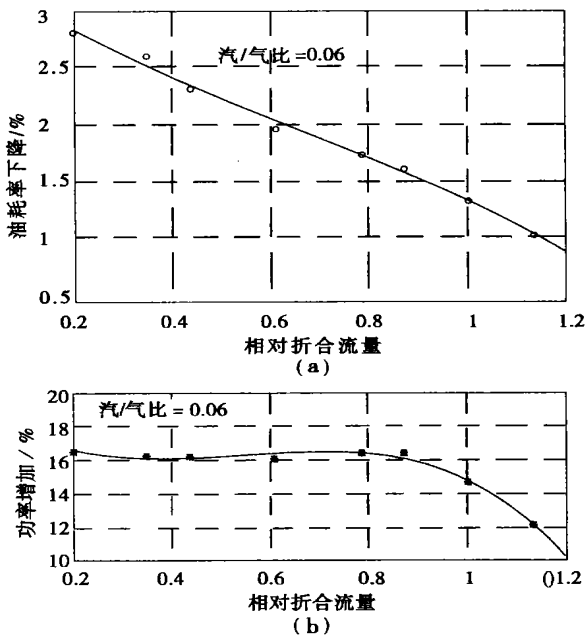


图5 汽/气比0.06时,相对折合流量对涡轮增压柴油机的性能变化的影响

4 系统特点

4.1 显著提高柴油机功率

由于第二工质为水,在等压下的蒸汽比热至少要比空气—燃料燃烧产物的比热高一倍。换言之,蒸汽作为主工质能比内燃机排气(空气—燃料燃烧

产物)做更大的机械功。随着汽/气比的增加, 增压涡轮的功率随之增大, 从而使压气机的流量、压比增加, 最终使内燃机的功率大幅度增加。

4.2 提高柴油机效率

相对于原增压系统而言, 新系统增加了余热锅炉以产生蒸汽, 这增加了泵水的功耗。其实, 泵水加压的功耗不大, 但将水变为蒸汽则需大量的能, 而这在本系统中是利用排气余热, 这就改善了注汽涡轮增压系统的效率, 从而提高了柴油机的效率。

4.3 独特的参数匹配和调节方式

通常的涡轮增压器设计中有两个独立变量: 涡轮进口温度和压比。注汽涡轮增压系统设计中有三个独立变量: 涡轮进口温度、压力和汽/气比。对于一个已与柴油机配装的涡轮增压器而言, 涡轮的进口参数即是由柴油机的排气参数所确定; 而对于一个与柴油机配装的注汽涡轮增压器而言, 其涡轮进口参数仍可通过汽/气比的变化来加以调节。采用注汽涡轮增压器后, 增压器出口的空气压力、流量在各工况下都有大幅度提高, 加之有注汽调节系统和涡轮排气旁路调节系统, 综合运用, 可以获得一个与运行规律所要求的涡轮增压器特性相逼近的特性。

4.4 部分负荷性能良好

通常的涡轮增压器在部分负荷时因涡轮驱动功率不足, 而使增压器的压比和流量未能达到内燃机在此工况下的期望值。在注汽涡轮增压系统中, 涡轮的质量流量可用改变蒸汽流量的简单方法来增加涡轮的输出, 提高增压器的空气流量和压比, 因而使部分负荷性能良好。

4.5 现实可行性

注汽涡轮增压系统可以在原有的涡轮增压器上改装实施, 主要是附加了一些设备、系统, 而对原涡轮增压器的改动较小, 所获得的内燃机功率和耗油率的改善又很明显, 是一个现实可行的方案。

实际上, 注汽后增压涡轮进口的混合工质的工作温度明显低于原来未注汽的工作温度, 因此这也使增压涡轮的工作寿命延长。

参考文献:

- [1] 闻雪友, 陆 犇. 内燃机注汽涡轮增压系统 [P]. 发明专利公报 2003, 18(33).
- [2] 闻雪友. 双工质平行一复合循环热机(一)、(二) [J]. 热能动力工程, 1986(4/5): 2~7.
- [3] 顾宏中. 涡轮增压柴油机性能研究 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1998.

(辉 编辑)

船机应用

CODAG 驱动的 F310 级护卫舰

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2001 年 12 月号报道, GE Marine Engines 声称, 它的 LM2500 航改型燃气轮机将驱动挪威海军的 5 艘新型 F310 级护卫舰。西班牙的 IZAR 公司将在其位于西班牙埃尔费罗尔的海军船厂建造这些护卫舰。这是由 IZAR 安装的第一型船用 CODAG (柴燃并车使用) 装置, 并且挪威海军是世界上仅有的第二个采用这种布置的海军。早先, 德国海军在其新型的 F124 级护卫舰上采用了基于 LM2500 的 CODAG 装置。

每艘护卫舰上的 CODAG 装置将由额定功率为 21.5 MW 的 1 台 GE LM2500 燃气轮机结合两台 Caterpillar 的柴油机组成, 推进系统总的额定功率为 30.5 MW。

合同规定, GE 将在 2002 年 12 月份开始把 1 台 LM2500 交付给 IZAR, 其余的燃气轮机将在每年的 12 月份交付一台, 一直到 2006 年。

(思娟 供稿)

optimum range of variable offset functions being eventually identified. **Key words:** marine main boiler, variable offset, double-crisscross amplitude limit, control system

椭圆封头旋压控制参数确定的研究 = **An Investigation Concerning the Determination of Spinning Control Parameters for an Elliptical Boiler Head** [刊, 汉] / LIU Xing-jia, WANG Zuo-min, SUN Ming-qi, et al (Thermal Energy Engineering Department, Harbin University of Science & Technology, Harbin, China, Post Code: 150080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 187—189

The technical difficulty of a profile spinning method for making elliptical boiler heads consists in the determination of relevant technological control parameters. On the basis of analyzing the forming mechanism of elliptical-head profile spinning a locus equation for the spinning process has been worked out. Then, proposed in a relatively systematic way is a method for the determination of the following: the parameters of the involute profile form-plate for the control of a boiler head spinning, and the spacing and sequence of the spinning process. This was followed by a successful technological test. The above information can serve as a guide during the determination of profile (or numerical control) spinning control parameters for other similar rotating bodies. **Key words:** boiler head, spinning, control parameters, profile form plate

柴油机注汽涡轮增压系统 = **Steam-injected Turbocharged System of a Diesel Engine** [刊, 汉] / WEN Xue-you, LU Ben, XIA Jun-hong (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 190—193

During the low load operation of a turbocharged diesel engine there may emerge a series of inherent characteristics, such as insufficient supercharged pressure, a small excess air factor for combustion and high exhaust-gas temperature, etc. To deal with the above deficiencies, a new method has been proposed. It involves the use of exhaust waste heat of a supercharger to produce water steam, which is to be injected into a turbine to enhance the pressure ratio and airflow rate of the supercharger. This will result in an improved matching of the turbocharger and diesel and a better diesel performance. **Key words:** turbocharging, steam injection

废旧含氯塑料热解及其能源利用研究 = **A Study of the Pyrolysis of Chlorine-containing Scrap Plastics and Their Waste Energy Utilization** [刊, 汉] / XIAO Rui, JIN Bao-sheng, ZHANG Ming-yao (Education Ministry Key Lab on Clean Coal Combustion and Power Generation under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 194—196

Chlorine-containing plastics (polyvinyl chloride) in municipal waste are a major source of corrosion and secondary pollution in municipal solid-waste incinerators. With the use of a thermogravimetric-differential analyzer the pyrolytic characteristics are studied of PVC (polyvinyl chloride) and HDPE (high density polyethylene) both with a chlorine content of 53.8%, and CPE (chlorinated polyethylene) with a chlorine content varying from 10% to 46%. Based on the test results of the graded pyrolysis of chlorine-containing plastics the authors have proposed a technological process for the pyrolysis of the chlorine-containing plastics and the combustion of their residue. Furthermore, the performance of a power plant based on the above-cited process is calculated and analyzed. **Key words:** chlorine-containing plastics waste, pyrolysis, combustion, waste-energy recovery

一种新颖的高温高压静电除尘技术 = **An Innovative Technology of High-temperature and High-pressure Electrostatic Precipitation** [刊, 汉] / GU Zhong-zhu (College of Power Engineering under the Nanjing Normal University, Nanjing, China, Post Code: 210092), CAI Song, WEI Qi-dong (Research Institute of Thermal Energy Engineering under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 197—199