

提升大背压柴油机功率的增压系统研究

景国辉

(海军驻七一一研究所军事代表室, 上海 201108)

摘要: 为了使现用柴油机同时适应环境压力下和大背压下的使用需求, 针对现有柴油机和选配的增压器, 利用 AVL-Boost 软件对放气增压系统和相继增压系统进行了分析比较, 结论表明: 通过对现有增压系统的适量改造, 可以较大幅度地提高大背压柴油机功率, 同时适应环境压力下和大背压下的使用需求。

关键词: 柴油机; 大背压; 增压系统

中图分类号: TK421+.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)02-0034-04

Research of Supercharging System for Improving the Power of Big Backing Pressure Diesel Engine

Jing Guohui

(Naval Deputy Office of SMDERI, Shanghai 201108)

Abstract: With the purpose to make the existing diesel engine adapt to both environmental pressure and big backing pressure, AVL-Boost software is employed to study supercharging system with wastegate valve and sequential supercharging system. The analysis results show that by improvement of existing supercharging system, the power of big backing pressure diesel engine is largely enhanced, and may satisfy the application requirements under both environmental pressure and big backing pressure.

Keywords: diesel engine; big backing pressure; supercharging system

1 概述

现国内生产的多型柴油机为引进国外技术或生产线生产, 采用的技术已不能满足进一步提高功率以及同时适应环境压力下和大背压下的使用需求。目前国内柴油机基础研究手段和条件不断完善, 本文针对现有柴油机和选配的增压器, 利用先进的计算软件对几种增压系统进行分析比较, 得出: 通过对现有增压系统的适量改造, 可以较大幅度地提高大背压柴油机功率, 同时适应环境压力下和大背压下的使用需求。

2 采用的软件和分析方法

计算分析中采用了专门的工作过程分析软件

AVL-Boost, 分析采取了以下方法和步骤:

(1) 按分析软件 AVL-Boost 的要求, 先建立计算模型, 并根据已有柴油机试验数据进行计算模型标定, 使得计算结果和试验数据相吻合;

(2) 利用标定完成的计算模型, 通过设定不同压缩比和相配的增压系统, 计算预测提升功率后的柴油机运行参数, 过程中保证最高燃烧压力和排气温度等可靠性指标仍满足现有柴油机的限制条件。

3 增压系统方案介绍及分析

提高柴油机功率有各种方法, 最直接且改动量适中的当属通过增压系统的变化, 这种方法对柴油机本体基本不作改变, 绝大多数零部件可以通用, 在不增加最高燃烧压力和排气温度的情况下, 对可

收稿日期: 2009-09-28

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。

靠性的影响不大。目前,这种方法在开发新柴油机和已有柴油机的改进提高中认为是一种实用技术。

在大背压环境下运行的柴油机可以通过最优负荷点的重新选取和增压器的重新选配,提升柴油机的输出功率;而当柴油机在环境压力下运行时,由于排气能量增加,该增压器输出的增压压力和流量大幅度提高,远远超出柴油机运行的需求,使柴油机无法正常工作。针对这种情况,作者经长期研究后认为,采用放气增压系统和相继增压系统可以即满足柴油机在环境压力下的运行,又可以适应大背压条件下的运行;但对于不同机型和用途,在大背压环境下提升柴油机功率时各有优势和不足。

3.1 放气增压系统

放气增压系统有两种形式,一种为增压空气放气(A),另一种为涡轮前排气放气(B),如图1所示。无论那一种放气形式都是在环境压力下运行时关闭,在环境压力下运行时才根据柴油机负荷作适量的开启,放掉排气多余能量,避免增压压力和流量过高,满足柴油机在环境压力下对增压压力和流量的正常需求。放气增压系统的实质是把柴油机的一部分可用能量通过放气阀排出,会损失这部分排气能量,对经济性产生不利影响,使油耗增加;但换来的是大背压功率提高,还能保证在环境压力下的可靠运行。从热力学角度看,泄放废气比泄放空气更有利,对油耗的影响小些。

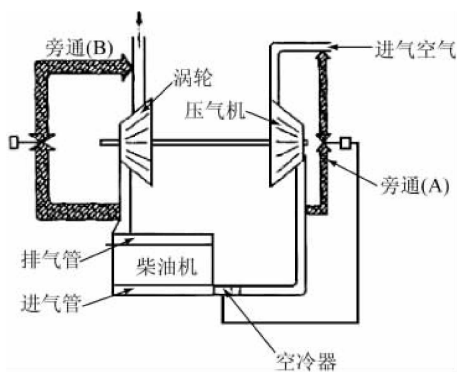


图1 进、排气放气系统示意图

放气增压系统源于在环境压力下提高柴油机功率和为满足车用柴油机在城市运行而发展起来的。从技术角度而言,随着柴油机平均有效压力的不断提高,负荷范围扩大,而受增压器有效工作区间不能含盖全部负荷范围这一固有特性的影响,当有效工作区间选配在柴油机部分负荷区域时,在柴油机全负荷运行状态,增压器提供的增压压力和流量将

超过柴油机的正常运行需要,如不采取放气等技术措施,会导致柴油机无法正常工作。

放气增压系统技术成熟,简单实用,可靠性高,因此,已在国外的高中速商品柴油机和车用增压柴油机上得到广泛应用;不足之处在于部分高品质的排气能量未能利用,经济性不如其他增压系统。

3.2 相继增压系统

相继增压系统是德国 MTU 公司在二十世纪七十年代为解决废气涡轮增压柴油机部分负荷工况下供气不足所提出的一技术措施,基本原理如图2所示。

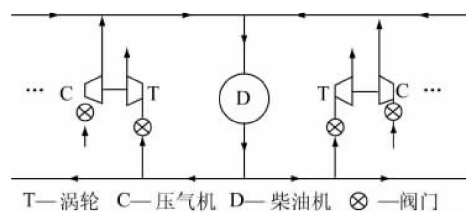


图2 相继增压原理示意图

通过采用两个及以上的增压器,根据柴油机转速和负荷的变化,对所有(或部分)增压器进行起动运行或关闭运行控制,使部分负荷时的排气能量集中通过还在运行的增压器,保证工作着的增压器在高效率区运行,为柴油机提供与整个运行区域相对应的增压压力和流量,使柴油机的燃油消耗率在全部运行区域都较低。

相继增压系统技术成熟,排气能量得到充分利用,运行经济性高,但机械结构复杂,需要增加增压器数量和多个进排气阀等,智能化控制要求高,可靠性不如放气增压系统。因此,相继增压系统比较适用于平均有效压力高的大功率V型柴油机以及特种用途柴油机。德国 MTU 公司、法国 Pielstick 公司、日本 Niigata 公司均在商品柴油机上成功采用了相继增压系统。

4 大背压下的增压系统计算和分析

为满足大背压下提高现有柴油机功率的需要,分别对两种增压系统进行计算和分析比较。

用 AVL-Boost 软件对一台 V 型柴油机建立性能计算模型,如图3所示。由于两列气缸相互独立,因此只需对 V 型机的一排建立模型,整机功率换算到单排对应的参数进行模拟计算。SB1 为进气边界条件,SB2 为增压器后消音器前的排气边界条件。

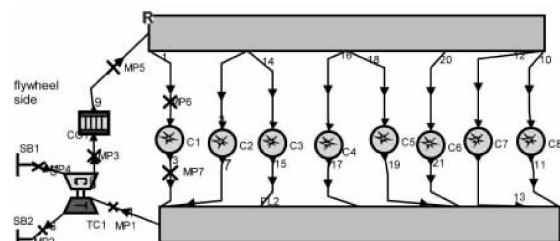


图3 柴油机性能模拟计算模型

4.1 放气增压系统的计算

由于增压空气放气会带来更大的能量损失,对经济性不利,为便于与相继增压系统进行分析比较,对一台现有柴油机取涡轮前排气放气进行计算。

通过降低压缩比,对一台现有柴油机按大背压下提高额定功率 30%,分别计算在环境压力下放气和大背压下不放气情况下柴油机相关运行参数,结果见表 1;运行点和增压器的匹配情况见图 4。

由表 1 和图 4 可知,柴油机降低压缩比,在环境压力下涡前排气放气,能有效降低高工况运行的柴油机增压压力和空气流量,避免最高燃烧压力的大幅提高,即采用原涡轮增压器,降低压缩比并采用环境压力下涡前排气放气,能实现在大背压下将柴油机功率提高 30%,同时保证在环境压力下按原额定功率可靠运行。

表 1 环境压力下放气、大背压下不放气的计算结果

项目	额定功率提高 30%	
	大背压	环境压力
压缩比	12. 3	12. 3
转速/(r/min)	额定转速	额定转速
排气背压/kPa	65	16. 5
出机排气温度/℃	380	258
进气温度/℃	36	36
进气压力/MPa	0. 094	0. 093 9
进机前压力/MPa	0. 243	0. 238
燃油消耗率/(g/kWh)	231. 7	222
最高燃烧压力/MPa	11. 1	10. 9
燃烧过量空气系数	1. 72	1. 86
单缸排温(1缸)/℃	651	577
涡前排温/℃	711	649
涡后排温/℃	608	544
压比	2. 56	2. 5
空气流量/(m ³ /s)	0. 932	0. 97
流通系数	0. 2202	0. 2339
冷却水散热比重/%	11. 6	12. 04
旁通系数/%	—	14. 9

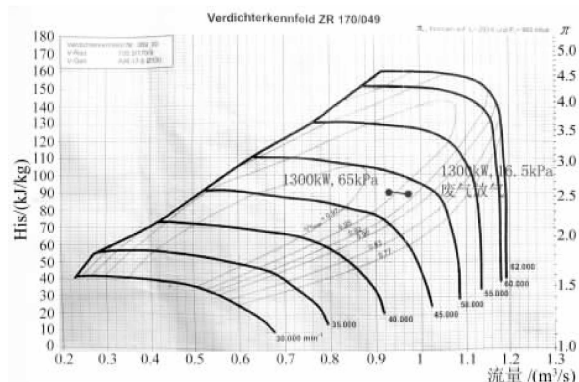


图4 柴油机放气工况点与增压器的匹配情况

4.2 相继增压方案的计算研究

为便于比较,用同一台柴油机,采用 AVL-Boost 软件对相继增压系统进行计算分析。根据相继增压系统与柴油机配合运行的需要,在原柴油机已有两台增压器的基础上只需再增加一台,在环境压力下三台增压器全部运行,在大背压下关闭其中的一台。由此也可以看出相继增压系统结构相对复杂。

在大背压下能否通过采用相继增压系统提高功率,关键是能否选取到合适的增压器开或关的切换点,在该切换点两台或三台增压器均能正常工作。从三台增压器正常工作的角度考虑,切换到三台增压器同时运行的切换点的背压要低,这样不会使得切换后的增压压力过分降低,导致燃烧恶化。而从两台增压器正常工作的角度考虑,希望切换点的背压较高,否则会使增压器的压比—流量过大。

经过计算分析,该柴油机在背压 40 kPa 时,两台增压器的压比、流量已接近上限,背压如继续降低,增压器难以正常工作。因此,由三台增压器运行切换到两台增压器运行的最低背压为 40 kPa,以该背压值作为三台增压器同时运行的限制条件,计算其增压压力和流量,结果见表 2,工况点与增压器匹配情况见图 5。

由表 2 和图 5 可知,采用相继增压系统,在环境压力下,柴油机按大背压下提高 30% 功率后的增压压力和流量得到很好的控制,燃烧过量空气系数较为合理,但是从大背压到环境压力的过渡过程中,增压器必须由两台同时运行切换到三台同时运行时,受背压过高的限制,三台涡轮增压器的增压压力偏低,过量空气系数远低于正常值,难以满足柴油机燃烧的要求。

表 2 相继增压系统方案计算结果

项目	额定功率提高 30%			
涡轮增压器/台	2	2	3	3
压缩比	12.3	12.3	12.3	12.3
转速/(r/min)	额定转速	额定转速	额定转速	额定转速
排气背压/kPa	65	40	40	16.5
出机排气温度/℃	380	317	317	258
进气温度/℃	36	35	37	36
进气压力/MPa	0.094	0.093	0.095	0.094 3
进机前压力/MPa	0.243	0.275	0.198	0.216
燃油消耗率/(g/kWh)	231.7	223	229	216
最高燃烧压力/MPa	11.1	11.9	9.9	10.24
燃烧过量空气系数	1.72	2.1	1.48	1.78
压比	2.56	2.9	2.08	2.28
空气流量/(m ³ /s)	0.932	1.09	0.54	0.611
流通系数	0.220 2	0.236 9	0.195 5	0.213
冷却水散热比重/%	11.6	10.4	11.6	10

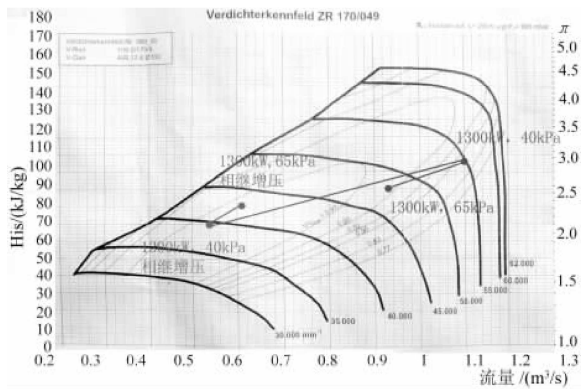


图 5 相继增压系统的压气机匹配点

针对该柴油机使用三台增压器的相继增压方案，由于单台涡轮增压能力过大，无法满足提高 30% 功率的要求。从理论上分析，可以通过减小单台流通能力，继续增加增压器台数能解决切换问题，但结构过于复杂，经济性和可靠性都降低，已无实现的可能性，本文不再继续这种方案的计算和

分析。

5 结 论

大背压下运行的现有柴油机可以通过选用合适的增压系统提高额定功率，特别是采用放气增压系统，即能满足大背压下柴油机运行需要，还能确保在环境压力下最高燃烧压力和排气温度在原有设计指标内，而且对现有柴油机基本不作改变，只需要在排气管上安装一个与柴油机负荷相关联的智能控制阀和少量的管道，简单易行。

相继增压系统由于切换点排气压力低难以简单解决，不宜在对现有柴油机改造上应用，但可以在全新设计的柴油机上进行增压器匹配研究和分析，如能解决切换点排气压力低的问题，以及提高机械部件和控制元器件的可靠性问题，相继增压系统由于排气能量利用率更高，应该比放气增压系统更有优势。

(上接第 28 页)

(3) 由于 FE-SAFE 软件对粗糙度的分类是按照分段的方式，所以无法单从软件计算得到某一粗糙度时的疲劳寿命及安全系数；因此，对于某一具体粗糙度时，可以根据所生成的曲线(图 6~8)插值计算零件的疲劳寿命和疲劳安全系数。

综上所述，由本文算例中采用的分析方法得到的计算结果与试验结果基本一致，故可将该方法推广应用于柴油机各类零部件疲劳寿命受表面粗糙度影响程度的预测评估，从而为表面设计及加工工艺改进提供参考依据。此外，FE-SAFE 软件没有考

虑其它表面处理方式，如热处理、表面渗碳、渗氮、表面淬火以及表面冷作变形等对构件疲劳寿命的影响，尚需进一步深入研究。

参考文献

[1] 姚卫星. 结构疲劳分析[M]. 北京:国防工业出版社, 2003.
[2] 安世亚太. Fe-Safe 疲劳分析培训讲稿[R]. 2007.
[3] Fe-Safe v5.3 User Manual[R]. 2006.