

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.11.009

# 小型柴油机电动临时增压系统性能试验\*

张军昌 师帅兵 郭康权 党革荣 景煜江 张 扬

(西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100)

**【摘要】** 为解决小型柴油机在短时间超负荷工作时动力不足和冒黑烟的问题,设计了一种电动临时增压系统。该系统由压气机、直流无刷电动机、车载电源和开关组成,采用24 V车载蓄电池供电,在发动机超负荷工作时在短时间内进行电动增压,蓄电池能量消耗少。台架试验表明,该增压系统增压比在1.014~1.020之间时,柴油机功率提升5.0%~9.1%,燃油消耗率下降8.5%~14.0%,增压效果明显,排气烟度有所改善,压气机的启动瞬态响应时间在6 s之内,满足小型柴油机克服临时动力不足的需要。

**关键词:** 小型柴油机 临时增压 设计 性能试验

**中图分类号:** TK4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)11-0041-04

## Experiment on Electric Temporary Turbocharger for Small Diesel Engines

Zhang Junchang Shi Shuaibing Guo Kangquan Dang Gerong Jing Yujiang Zhang Yang

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&amp;F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

### Abstract

Small diesel engines have weak dynamic performance and emit black smoke when working overload in a short time. With the aim to solve that problem, a kind of electric temporary turbocharger was designed. The system includes a supercharger driven by DC brushless motor, power supply system on board and a switch. The system is powered by a 24 V battery and does not consume too much power due to its short running time. Bench test showed that the supercharging ratio of the electric temporary turbocharger was between 1.014 and 1.020. The power of diesel engine increased by 5.0%~9.1%. The fuel consumption decreased by 8.5%~14.0%. The smoke exhaust problem was improved. Test results indicated that the electric temporary turbocharger could meet requirement when the small diesel engines were weak dynamic performance temporarily.

**Key words** Small diesel engine, Temporary super charge, Design, Performance experiment

### 引言

增压技术在大中型柴油机上的使用,有效地提高了柴油机的功率,降低了油耗和排放<sup>[1-2]</sup>。但由于增压设备结构复杂,制造成本高,且对柴油机本身材料和设计强度有额外的要求<sup>[3]</sup>,因此针对小功率柴油机的增压技术研究很少。小型柴油机广泛应用于拖拉机和农用运输车上,当其在爬坡和重负荷作业时易出现短时间超负荷工作、功率不足和冒黑烟

等现象<sup>[4]</sup>。本文针对小型柴油机的结构和工作特点,设计一种临时电动增压系统<sup>[5-6]</sup>,并进行台架试验<sup>[7]</sup>,以解决小型非增压柴油机在短时间超负荷工作时动力不足和排放污染等问题。

### 1 电动临时增压器设计

电动临时增压器由压气机、直流无刷电动机、电源和开关等组成。电动临时增压器由直流无刷电动机驱动,电动机主轴与压气机叶轮转子刚性联接,

收稿日期:2012-05-28 修回日期:2012-07-12

\* 公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203016)

作者简介:张军昌,博士生,主要从事发动机性能研究,E-mail: zhangjunchang@126.com

通讯作者:师帅兵,教授,主要从事车辆性能研究,E-mail: ngxssb@163.com

直接驱动压气机叶轮。拖拉机或车辆超负荷工作时,手动打开电源开关,电动增压器工作,向柴油机进气管补气,达到临时增压的目的,而在动力充足时关掉增压器。

### 1.1 压气机设计

由于是对现有非增压柴油机进行临时增压,增压比不能太高,否则影响原有柴油机设计强度和使用寿命<sup>[8]</sup>,通过课题组的反复试验研究与分析,增压比为1.015左右、压气机的转速10 000 r/min较为合适<sup>[9]</sup>。考虑到压气机与试验用发动机的尺寸匹配等因素,采用效率较高、制造技术成熟、成本低、使用广泛的单级离心式轴向进气道压气机。

叶轮是压气机的最主要部件,选用长短叶、半开后弯式叶片,以更好地满足宽流量、宽功率适用范围的要求。一般后弯叶片数目 $Z$ 为12~16,取叶片数 $Z=16$ ,长短叶片数各为8且两种叶片形状相同。根据风机设计的经验,为获得较高效率,一般后弯叶片的出口安装角 $\beta_{2A}$ 取 $30^\circ\sim 50^\circ$ ,本次设计取 $\beta_{2A}=40^\circ$ ,根据拟定的增压比、压气的转速及空气流量等参数,查文献<sup>[10]</sup>中的全压系数 $\Psi$ 与叶片出口角的关系曲线,确定 $\Psi=0.9$ ,计算出叶轮径向尺寸 $D_2=110\text{ mm}$ , $D_1=57.86\text{ mm}$ ,压气机所需功率为77.5 W,压气机蜗壳选用蜗牛型圆形等截面蜗壳,压气机整体结构简单紧凑,有较高的效率。

### 1.2 电动机系统选择

直流无刷电动机由电动机主体和控制电路组成,具有体积小、响应快速、起动转矩大、效率高、性能可靠和故障率低等特点,其电源可以直接以直流电输入(一般为24 V)或以交流电输入。本装置选用80WGD直流无刷电动机驱动,其技术参数为:额定电流为28 A、最高转速为20 000 r/min、功率为480 W、转矩为 $0.23\text{ N}\cdot\text{m}$ 、极对数为1,降温方式为自带风冷,电源为车载24 V蓄电池。

## 2 台架试验

### 2.1 台架试验装置

试验用柴油机为单缸自然吸气式涡流室S195型柴油机,其缸径为95 mm,行程为115 mm,标定功率为8.8 kW(2 000 r/min),最大功率为9.98 kW(2 000 r/min),压缩比为20。试验系统如图1所示,在空气滤清器到柴油机进气管之间串联一个电动增压器。当需要增压时开启增压器无刷直流电动机电源开关,发动机进入临时增压状态,在试验中通过控制器改变PWM信号频率来实现电动机调速,进而实现压气机转速的调节。当不需要增压时,关闭增压器,柴油机进入自然吸气状态。

试验设备包括:WYK-3020-J直流稳压稳流电源;D150型水力测功器;TCY-69型发动机油耗自动测量仪;SZG-20晶体管数字式转速表;XCZ-101型排气温度传感器;FOD-102型波许滤纸型烟度计;U形管压力计。

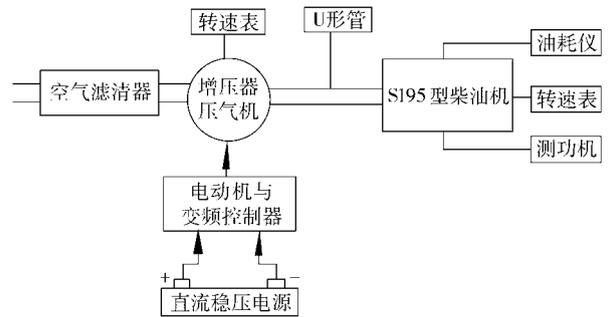


图1 柴油机电动临时增压系统试验装置原理图

Fig.1 Experimental device for diesel engine electric temporary turbocharger system

### 2.2 试验方法及目的

进行不同增压比下的柴油机调速特性试验,研究电动增压器在不同增压比下柴油机功率、油耗和排气烟度的变化情况,与柴油机未增压时进行对比,确定对非增压小型柴油机进行临时增压时合理的增压比范围,并检测所设计的临时电动增压器的工作性能。

## 3 试验结果与分析

试验中选择5种电动机(压气机)转速:8 000、9 000、10 000、11 000、12 000 r/min,测取在各转速下柴油机功率、油耗、增压器消耗的功率、压气机的平均进出口压力、响应时间等参数,绘制柴油机调速特性曲线如图2、3所示,试验结果分析见表1。

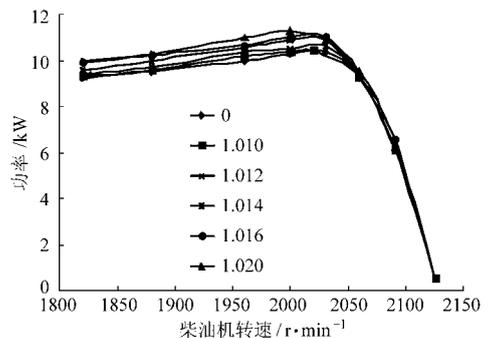


图2 不同增压比下柴油机功率调速特性曲线

Fig.2 Diesel engines' governor speed characteristics curves for power under different supercharging ratios

### 3.1 增压比对柴油机性能的影响

(1)当柴油机在标定功率以下处于中低负荷区时,由图2、3中可以看出增压和未增压柴油机功率和燃油消耗率变化不大。这是因为在中低负荷区,柴油机在不增压的情况下供气量已经完全满足柴油

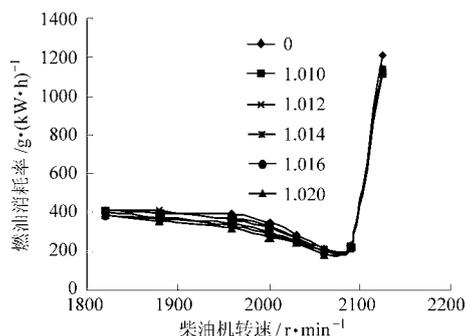


图 3 不同增压比下柴油机耗油率调速特性曲线

Fig. 3 Diesel engines' governor speed characteristics curves for fuel consumption rate under different supercharging ratios

机的需求,燃油燃烧充分,所以虽然增压器额外地增加了空气供给量,但对柴油机功率和燃油消耗率影响不大,增压器工作效果不明显。这说明当柴油机在中低负荷区间工作时,低增压比对柴油机动力性、经济性改善作用不大。

表 1 高负荷区柴油机不同增压比下性能对比

Tab. 1 Comparison of diesel engines' performance under different supercharging ratios when working in high load

增压比	0	1.010	1.012	1.014	1.016	1.020
压气机消耗功率/kW	0	0.072	0.096	0.120	0.144	0.192
功率						
平均值/kW	9.75	9.89	10.00	10.30	10.44	10.63
平均增量/kW		0.14	0.25	0.51	0.70	0.88
增量比/%		1.4	2.6	5.0	7.0	9.1
耗油率						
平均值/ $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$	308.3	301.5	300.1	282.1	273.2	265.5
平均增量/ $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$		-6.78	-8.17	-26.2	-35.1	-42.8
增量比/%		-2.0	-2.7	-8.5	-11.4	-14.0

(4)由图 4 可知,从小负荷、中负荷到超负荷,增压可降低排气烟度,且随着增压比的增大,排气烟度降低越加明显,但当严重超负荷时,增压比对排气烟度影响较小。

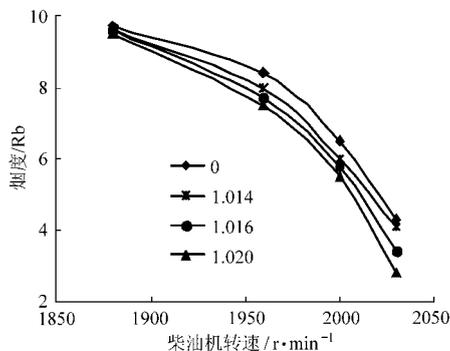


图 4 不同增压比下柴油机排气烟度对比曲线

Fig. 4 Comparison curve of diesel engines' exhaust smoke under different supercharging ratios

## 3.2 压气机性能特性测试与分析

### 3.2.1 压气机功率消耗、增压比与转速的关系

通过试验测取压气机进出口压力,计算压气机

(2)当柴油机在超负荷工作区时,从图 2、3 和表 1 可以看出,增压可提高柴油机的功率,降低油耗,且增压比越大,柴油机的功率提升越大,耗油率下降越大。这是因为在超负荷时,循环供油量增加,柴油机转速下降,进入柴油机的空气量下降,过量空气系数下降,燃油燃烧不完全,燃烧效率变差,导致柴油机功率下降,燃油消耗率上升。增压可增加空气供给量,使得燃料燃烧趋于完全,从而使柴油机的功率提升,燃油消耗率下降。

(3)增压比低于 1.014 时,效果不明显,当增压比为 1.014 ~ 1.020 时,柴油机功率平均增加 5.0% ~ 9.1%,相应的燃油消耗率平均下降 8.5% ~ 14.0%,可解决柴油机短时间动力性不足的问题,同时提高了柴油机的经济性。提高增压比,柴油机动力性、经济性均提高,但同时压气机消耗功率也增加,综合考虑柴油机功率的增加以及对柴油机使用寿命的影响,增压比不能太大,在 1.014 ~ 1.020 之间较为合适。

增压比

$$\pi_c = \frac{p_c}{p_0}$$

式中  $p_c$ ——压气机进口压力,即环境压力

$p_0$ ——压气机出口平均压力

从图 5 可以看出,随着压气机转速的增加,增压比提高,压气机消耗的功率增加。当转速小于 10 000 r/min 时,增压比、压气机消耗功率与转速近似呈线性关系。当转速超过 10 000 r/min 时,随着转速的增加,增压比和压气机消耗功率迅速增加。

### 3.2.2 压气机启动响应特性测试与分析

由于压气机采用直流无刷电动机驱动,压气机的启动瞬态响应时间直接影响着电动临时增压的效果,所以对压气机的启动瞬态响应特性加以研究是很重要的。试验中设定压气机 5 种不同转速,然后让柴油机稳定运转,逐渐增加载荷直到发动机转速降至 2 000 r/min,立即打开电动增压器的电源开关,启动电动增压器,测定压气机达到设定转速时的响应时间,试验结果如图 6 所示。

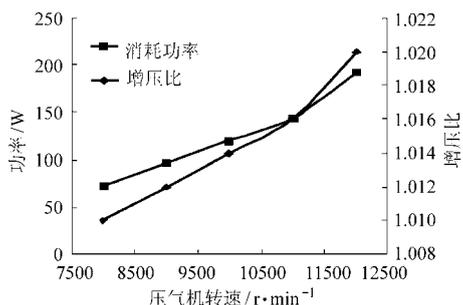


图5 压气机的增压比、功耗随转速的变化曲线

Fig.5 Change curve of the compressors' supercharging ratio and power consumption following with rotation rate

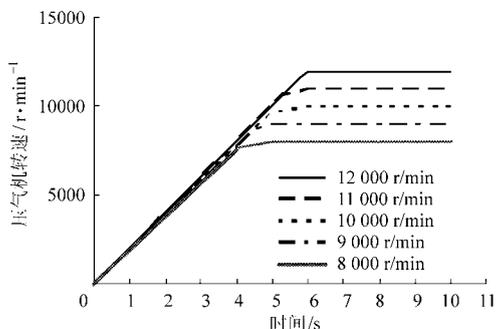


图6 压气机启动响应速度特性曲线

Fig.6 Characteristics curve of compressor start response speed

压气机的启动瞬态响应时间随着压气机转速的

增加而增大,在4~6s之间达到设定转速稳定运转。由图6可以看出,当压气机转速在设定的11000 r/min时,当柴油机在超负荷工作时,启动电动临时增压器后,压气机在6s之内由静止达到该转速而进行有效增压,以克服柴油机短时间内功率不足及冒黑烟等问题。

## 4 结论

(1)利用车载蓄电池对小型柴油机进行临时电动增压,可提高柴油机的动力性、经济性,可改善柴油机的排放污染,可解决柴油机短时间内功率不足及冒黑烟等问题。

(2)增压器的增压比为1.014~1.020时,柴油机功率平均增加5.0%~9.1%,相应燃油消耗率平均下降8.5%~14.0%,动力性和经济性都有明显提高,满足柴油机克服临时功率不足的需要,且压气机消耗的功率不超过0.2 kW,故增压比选择在这个区间较为理想。

(3)在8000~12000 r/min范围内选择了5种压气机的转速,测得了压气机启动瞬态响应速度特性,压气机在6s内由静止达到设定转速而进行有效增压,满足电动增压器对柴油机在短时间超负荷工作过程中进行瞬时补气的要求。

## 参 考 文 献

- 1 Knecht W. Diesel engine development in view of reduced emission standards[J]. Energy,2008,33(2):264~271.
- 2 Katrasnik T,Rodman S,Trenc F. Improvement of the dynamic characteristic of an automotive engine by a turbocharger assisted by an electric motor[J]. ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power,2003,125(2):590~595.
- 3 梁振杰,陈冬梅.提高车用增压柴油机的产品可靠性[J].车用发动机,1999(5):21~22.
- 4 孙万臣,刘巽俊,宫本登,等.小型柴油机突增负荷工况下的HC排放特性[J].农业机械学报,2005,36(6):21~23.  
Sun Wanchen,Liu Xunjun,Noboru Miyamoto,et al. Study on HC emission behavior of small diesel engines at sudden load-up condition[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2005,36(6):21~23. (in Chinese)
- 5 姚春德,周红秀.柴油机加速过程快速补气的电动增压器设计及其特性[J].机械工程学报,2006,42(6):184~187.  
Yao Chunde,Zhou Hongxiu. Design and characteristics on ES for diesel engine acceleration by additional air rapid injection [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,2006,42(6):184~187. (in Chinese)
- 6 杨建军,徐元利,刘小平,等.消除柴油机冒黑烟的电动增压器的设计[J].天津大学学报,2008,41(10):1219~1224.  
Yang Jianjun,Xu Yuanli,Liu Xiaoping,et al. Design of electric supercharger for reducing black smoke emission from diesel engine[J]. Journal of Tianjin University,2008,41(10):1219~1224. (in Chinese)
- 7 许绮川,鲁植雄.汽车拖拉机学:第一册[M].北京:中国农业出版社,2006.
- 8 楼狄明,于伟峥,胡志远.增压对非道路柴油机主要零部件的影响[J].拖拉机与农用运输车,2007,34(6):43~48.  
Lou Diming,Yu Weizheng, Hu Zhiyuan. Influence of supercharging on main parts of off-road diesel engine[J]. Tractor & Farm Transporter,2007,34(6):43~48. (in Chinese)
- 9 景煜江,师帅兵,王耀成,等.小型柴油机增压试验研究[J].农机化研究,2011,25(8):208~211.  
Jing Yujiang, Shi Shuaibing, Wang Yaocheng, et al. Research for small diesel pressurization experiment[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2011,25(8):208~211. (in Chinese)
- 10 孔熠.新编风机选型设计实用手册[M].北京:中国知识出版社,2006.