

文章编号:1000-8055(2012)03-0496-05

航空活塞发动机两级增压匹配方法

徐 斌, 夏绍军, 杨世春, 姬芬竹, 胡延领
(北京航空航天大学 交通科学与工程学院, 北京 100191)

摘 要: 通过对某单级增压活塞发动机的研究, 将两级增压应用于该机型, 采用压气机串联、涡轮并联的布置方案, 并用 GT-Power 对发动机进行建模. 按等流量模式对两级涡轮增压进行匹配, 并对地面至高空 10 km 飞机全飞行高度的运行工况进行了预测. 对废气放气阀调节流量进行了计算. 结果显示涡轮和压气机在全高度都运行在高效率区内, 为两级增压系统的研制提供了良好的基础.

关 键 词: 航空活塞发动机; 两级增压; 全高度匹配; 等涡轮流量; 调节
中图分类号: V234 **文献标志码:** A

Matching of two-stage supercharging aircraft piston engines

XU Bin, XIA Shao-jun, YANG Shi-chun, JI Fen-zhu, HU Yan-ling
(School of Transportation Science and Engineering,
Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Through the single stage supercharging piston engine's research, two-stage supercharging applications in this type were applied. The air compressor series and the turbine wheel parallel scheme of arrangement were used to establish the modeling of the engine with GT-Power. According to same-flow method, two-stage supercharger matching was conducted and the waste gate valve flow regulation was calculated. The result demonstrates the turbine wheel and the air compressor in the overall height moves in the high efficiency area, and two levels of supercharging system's developments have provided the good foundation.

Key words: aircraft piston engines; two-stage supercharging; full-height matching; same-flow turbines; regulation

航空活塞发动机具有油耗低、可靠性高、噪声小、质量轻的特点, 故常被用于高空飞机的动力装置^[1]. 为满足更高的飞行高度, 更经济的运行工况, 需要提高发动机的功质比, 而采用涡轮增压是最有效的方法之一. 活塞发动机增压匹配是活塞发动机涡轮增压的关键技术之一^[2-3]. 多级增压技术由于军事上的应用背景, 各国均通过自主研究解决相关问题. 目前, 美国已将多级增压技术成功的应用到航空活塞发动机上. 国内对于柴油机增压研究较多, 汽油机增压方面则几乎是空白^[4].

为了提升单级增压发动机的飞行高度, 本文

将两级增压应用于该机型上, 确定了压气机串联、涡轮并联的布置方案. 建立两级增压系统仿真模型, 通过对两级增压的匹配方法分析和仿真计算, 在全飞行高度上分析了两级涡轮、压气机的工作情况.

1 仿真分析模型的建立及验证

研究选取的发动机尺寸参数如表 1 所示.

若要求发动机能满足高空 10 000 m 的功率恢复特性, 一级增压已远达不到要求, 二级增压系统是发动机恢复更高功率的保障^[5-6].

收稿日期: 2011-04-07; 修订日期: 2011-09-08

基金项目: 国家自然科学基金(50606014)

作者简介: 徐斌(1962—), 男, 河北博野人, 教授, 硕士, 主要研究方向为航空发动机气体流动.

表 1 发动机参数
Table 1 Engine parameters

参数	数值
工作形式	四缸四冲程航空汽油机
气缸布置	四缸水平对置
缸径/mm	79.5
冲程/mm	61
压缩比	9 : 1
最大扭矩/(N · m)	142
最大扭矩转速/(r/min)	3 500~4 500
额定功率/kW	73.5
额定转速/(r/min)	5 500
增压方式	废气涡轮增压

通过对两级涡轮增压器串联和并联的分析研究,采用压气机串联,涡轮并联的两级增压系统方案,如图 1 所示。

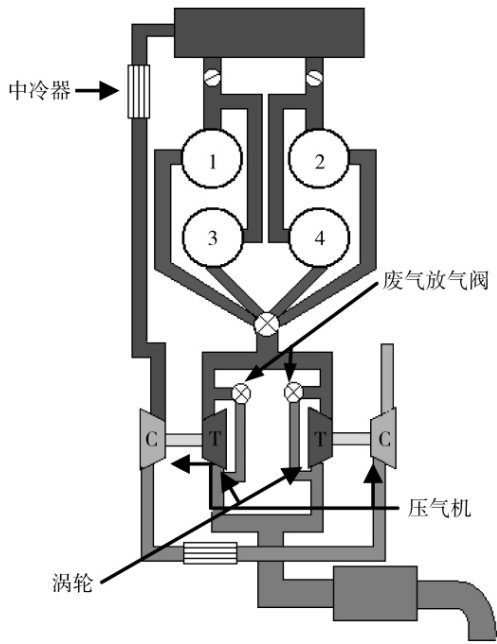


图 1 两级增压系统布置方案

Fig. 1 Layout of two-stage supercharging system

图 1 中两级的压气机串联,涡轮并联,采用中冷器后置冷却,两级涡轮相同并带有废气放气阀的调节装置。通过对两级涡轮废气放气阀开度的调节可满足发动机不同工况下的进气压力要求,确保发动机的各工作状态安全运行^[7-8]。

根据设计方案进行了两级增压建模如图 2 所示。计算时,作如下假设:缸内工质状态均匀,工质为理想气体,气体流入和流出气缸的流动过程为

准稳态流动过程,工质进、出口处的流动动能忽略不计。假定系统边界内同一瞬时各点热力状态,化学成分完全相同。大气温度、压力按国际大气标准确定。

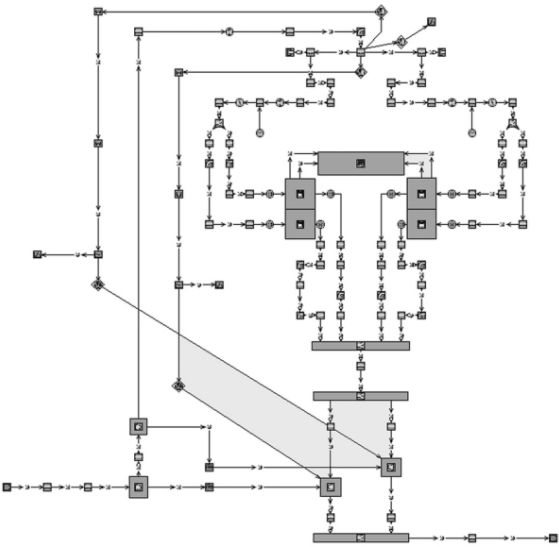


图 2 两级增压系统仿真模型

Fig. 2 Two-stage supercharging system model

采用发动机试验的结果和手册数据来验证两级增压的模型的可靠性。发动机功率、转矩的计算结果与原机的手册数据和试验数据对比表明仿真的结果与手册和试验值是一致的^[4]。图 3 给出了在节气门 100 %开度,发动机转速 5 500 r/min 的工况下,仿真计算的缸内压力与试验测得的缸内压力的对比。

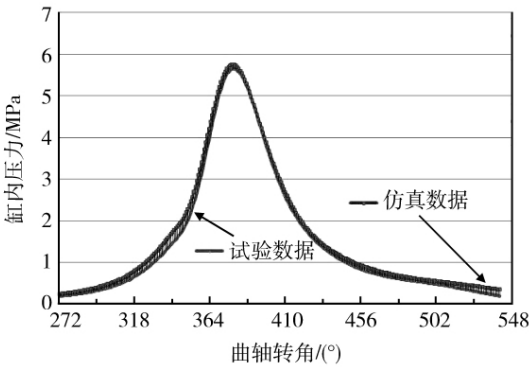


图 3 缸内压力的对比

Fig. 3 Comparison of cylinder pressure

从图 3 中可以看出,仿真计算的缸内压力与试验测得的缸内压力是准确一致的,最大的误差不超过 2.5 %,证明了建立的仿真模型与原机的实际情况的一致性,仿真模型是可靠的。

2 二级增压的匹配分析

为了提高发动机可靠性、易于调节控制要求和减少质量,两级增压涡轮的匹配采用并联等涡轮流量设计,即两级涡轮的流量相等.两级增压系统总压比随海拔高度的计算结果如图 4 所示^[9-12].在全工况范围内,增压系统最大压比为 5.2.

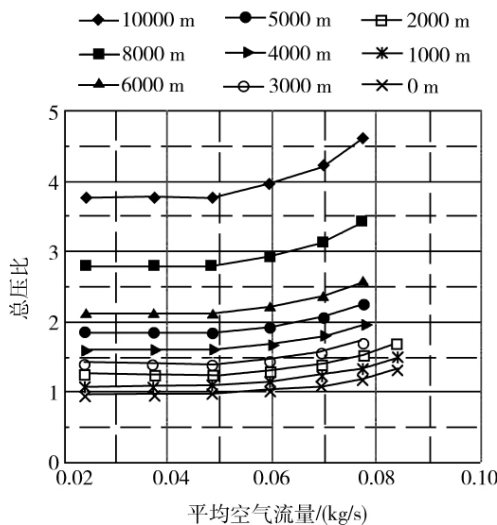


图 4 二级增压系统总压比
Fig. 4 Pressure ratio of two-stage supercharging system

对航空发动机进行高度功率特性恢复,为防止爆燃和发动机过载等问题,其进气压力随节气门位置通过废气放气阀进行调节.在地面或低空,

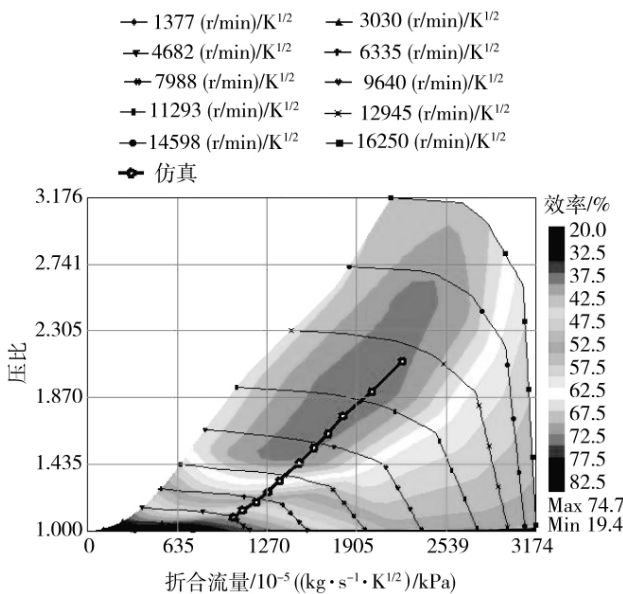


图 6 高压级压气机
Fig. 6 High-level compressor

其总压比与原机一级增压相近,超过原机飞行高度后两级增压总压比大于原机,以满足更高高度飞行的要求.因此,在低空增压系统的压比较低.二级增压系统压比的分配如图 5 所示.

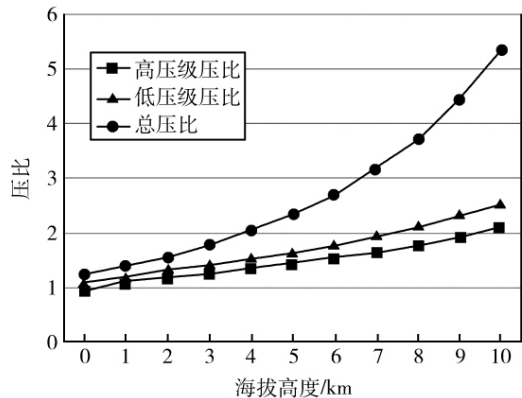


图 5 高、低压级压气机压比分配图
Fig. 5 Distribution map of high-level and low-level compressor

从图 5 中可以看出,按等流量的调节方式,其高、低压级压气机不是等压比分配的,低压级压气机的压比高于高压级压气机的压比,所以对高、低压级的压气机匹配设计有所不同,低压级应比高压级有更宽的流量范围和压比.

在满足高空 10 000 m 功率特性的基础上,对全飞行高度飞机的运行工况进行了计算预测,如图 6~图 9 是发动机 5 500 r/min,节气门 100 %开

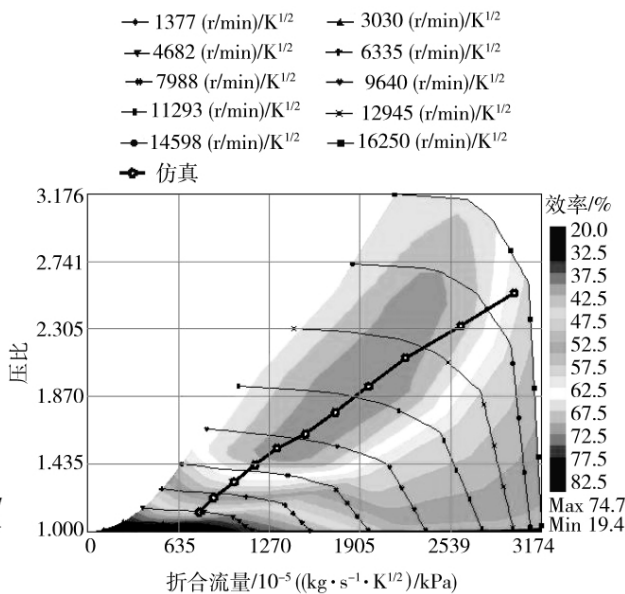


图 7 低压级压气机
Fig. 7 Low-level compressor

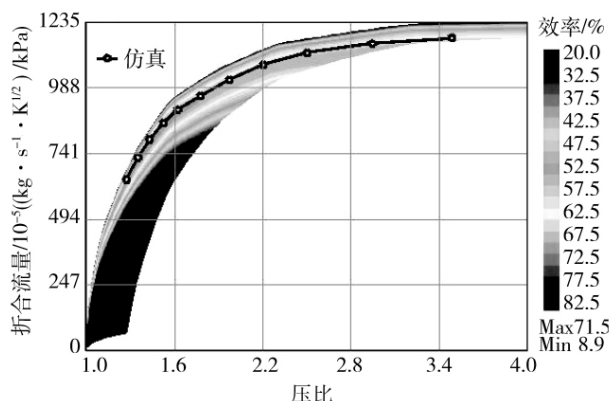


图 8 高压级涡轮

Fig. 8 High-level turbine

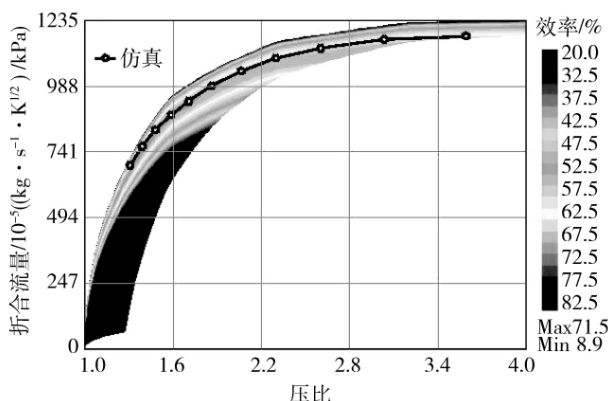


图 9 低压级涡轮

Fig. 9 Low-level turbine

度,从地面到高空 10 km 两级涡轮增压器和发动机联合运行的计算结果。

由以上的计算结果显示,在各海拔高度下,压气机和涡轮的运行曲线都穿过高效率区域,处在较好的运行范围内。

在涡轮的废气放气阀流量特性的研究中,本文在 Boost 模型中进行了预测,运行结果如下。

从图 10 中可以看出,在高空和低空时放气阀的废气流量变化比较急速,而在中间的海拔高度时废气流量变化比较平缓。由于中间段增压器的效率要高于两端的运行效率,所以在中间段时,即对应的海拔高度中间段,放气阀的流量变化比较平缓,而在两端即低空和高空状态时放气阀的流量变化比较急速。

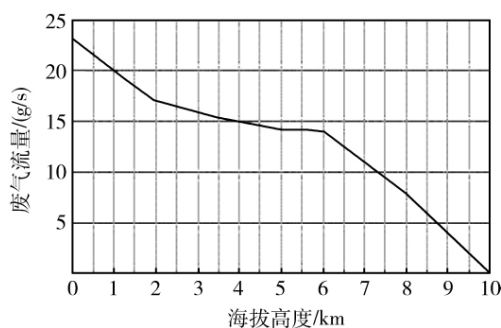


图 10 涡轮等流量设计

Fig. 10 Same-flow designed turbine

3 结 论

1) 本文通过试验研究和分析,确定并建立了二级增压系统的模型。对二级增压系统进行的仿真预测显示了二级增压系统设计方案的可行性。

2) 对匹配的增压发动机在全飞行高度和工

况进行了仿真计算,得到了二级增压涡轮废气放气阀调节的流量特性。在整个飞行高度,二级增压器的高、低压级压气机均运行在高效率区,实现了发动机的高空功率恢复的要求。

3) 研究方法为航空活塞发动机二级增压系统涡轮、压气机的设计奠定了基础。

参考文献:

- [1] 尹泽勇,李上福,李概奇. 无人机动力装置的现状与发展[J]. 航空发动机,2007,33(1):10-15.
YIN Zeyong, LI Shangfu, LI Gaiqi. Current state and development of the unmanned aerial vehicle powerplants[J]. Aeroengine, 2007, 33(1):10-15. (in Chinese)
- [2] 刘艳华. 活塞发动机与无人机性能匹配分析[C]// 尖兵之翼—2006 中国无人机大会论文集. 北京: 中国航空学会, 2006:518-522.
- [3] 刘艳华,孙颖,孙智孝. 活塞发动机与无人机性能匹配分析[J]. 飞机设计,2007,27(4):10-12.
LIU Yanhua, SUN Ying, SUN Zhixiao. Performance matching of piston engine to unmanned aerial vehicle[J]. Aircraft Design, 2007, 27(4):10-12. (in Chinese)
- [4] 胡延领. 基于螺旋桨特性的增压系统匹配研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2010.
HU Yanling. Research of turbocharging system based on the propeller characteristics[D]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2010. (in Chinese)
- [5] BRP-Rotax GmbH. Maintenance manual for ROTAX engine type 914F[M]. Austria: BRP-Rotax GmbH, 2007.
- [6] 何义团,马朝臣,吕伟,等. 径流式二级增压系统的喘振分析与试验研究[J]. 船舶工业,2007,29(S2):38-40.
HE Yituan, MA Chaochen, LÜ Wei, et al. Surge analysis and experimental study of centrifugal two stage turbocharging system[J]. Ship Engineering, 2007, 29(S2):38-40. (in Chinese)
- [7] 徐斌,梁郑岳. 活塞发动机高空动力恢复方法的探索[J]. 航空动力学报,2009,24(8):1736-1740.

- XU Bin, LIANG Zhengyue. Research into the restoration method for high altitude piston engine[J]. Journal of Aerospace Power, 2009, 24(8): 1736-1740. (in Chinese)
- [8] 徐斌, 魏玲, 赵鹏. 活塞式航空发动机二级涡轮增压系统匹配分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(5): 551-554.
- XU Bin, WEI Ling, ZHAO Peng. Match analysis on two stage turbo charging system of piston aero-engine [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(5): 551-554. (in Chinese)
- [9] Al-Hamdan Q Z, Ebaid M S Y. Modeling and simulation of a gas turbine engine for power generation[J]. Transactions of the ASME, 2006, 128(2): 302-311.
- [10] Westin F. Simulation of turbocharged SI-engines with focus on the turbine[D]. Sweden: Royal Institute of Technology KTH, 2005.
- [11] Winkler N. Transient simulations of heavy-duty diesel engines with focus on the turbine[R]. Sweden: Royal Institute of Technology KTH, 2008.
- [12] Renberg U. 1D engine simulation of a turbocharged SI engine with CFD computation on components[D]. Sweden: Royal Institute of Technology, 2008.