

一种发动机清洗装置设计研究

王新平 张浙波

中国航发湖南动力机械研究所, 湖南 株洲 412002

[摘要] 依据发动机整机试车台实际条件及发动机试验的技术要求, 设计了某型涡桨发动机清洗装置。通过清洗装置罐体容积压力、喷射速度、流量等参数的计算分析, 提出了清洗装置的压力罐体、进气组件、出水组件的设计方法。清洗装置用于发动机性能恢复, 满足发动机试验要求。

[关键词] 涡桨发动机; 清洗装置; 设计; 清洗效果

DOI: 10.33142/aem.v3i3.3900

中图分类号: TQ0;TP2

文献标识码: A

Research on Design of an Engine Cleaning Device

WANG Xinping, ZHANG Zhebo

AECC Hunan Aviation Powerplant Research Institute, Zhuzhou, Hunan, 412002, China

Abstract: According to the actual conditions of engine test bench and the technical requirements of engine test, a cleaning device for turboprop engine is designed. Through the calculation and analysis of tank volume pressure, injection speed, flow rate and other parameters of cleaning device, the design method of pressure tank, air inlet component and water outlet component of cleaning device is proposed. The cleaning device is used for engine performance recovery and meets the requirements of engine test.

Keywords: turboprop engine; cleaning device; design; cleaning effect

航空发动机是一种高温、高压、高转速的热力机械; 其工作条件极其恶劣。不仅受自然界的风沙、日晒雨淋、温度骤变的影响; 还受到空气中大量的盐碱气液和有害气体^[1]的电化学腐蚀; 这些都导致压气机和涡轮叶片上形成油垢以及腐蚀; 影响叶片刚度和强度及气动性能、部件的效率、发动机性能及安全^[2]。因此必须定期对发动机进行清洗; 发动机清洗技术已成为一种必须的维护手段; 发动机的清洗设备已成为发动机试验中必不可少的装备^[3]。

1 清洗环境

发动机试验时, 外部大气环境及内部燃烧条件对其性能有很大影响。外部环境包括灰尘条件、湿度和盐雾环境^[4], 灰尘容易使进气道和叶片表面粗糙, 几何形状发生改变, 湿度和盐雾容易导致发动机部件腐蚀, 叶片强度降低, 影响发动机寿命^[5]。

本文根据试车台的技术状况与发动机试验情况, 提出了某发动机清洗装置的设计方法, 所研制的清洗装置可用于发动机的性能恢复。

2 清洗装置设计原理及组成

试车台一般采用冷清洗(发动机冷运转状态)来进行清洗装置整体方案设计, 清洗装置清洗原理如图1。

清洗装置具有两个独立的带有液位计的压力罐, 一个用来装清水, 一个用来装清洗液, 盛装清洗液的压力罐底部装有一只2.5kW的电加热器, 带220V交流电源插头, 用来加热清洗液; 清洗装置的一端连接车台压缩空气, 另一端连接发动机, 中间通过减压阀调节气压, 在发动机冷运转时, 将压力罐中的清水和清洗液分别喷入发动机内, 对发动机进行清洗。

清洗装置主要包括移动车架、左右压力罐、加热器、进气管路、出水管路等部件。清洗装置总体结构如图2所示。

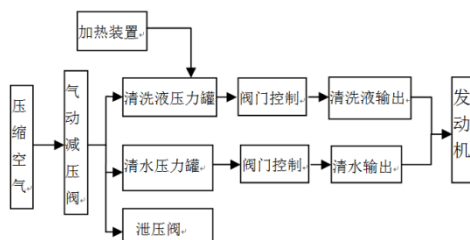


图1 清洗装置原理图



图2 清洗装置三维结构图

3 清洗装置部件结构设计

选材方面：由于清洗装置功能是通过清洗液与清水注入发动机实现的，主体部件选用 0Cr18Ni9 材料，防止装置生锈腐蚀、清洗液形成杂质，从而影响清洗效果。

下面分别对清洗装置部件进行设计计算。

3.1 进气管路设计

清洗装置进气管路包括连接车台压缩空气的进气接头，进气减压阀、进气软管、压力罐进气管等。其工作原理是：通过接头连接车台压缩空气，压缩空气进入进气管路，经过减压阀减压，进入左右压力罐体，为压力罐体提供压力。

车台压缩空气压力约为1.0MPa，压力罐体压力不超过0.5MPa，减压阀调节压力，调节范围（0.2~0.5）MPa，因此，通过选择合适的减压阀，确保压力平稳。

3.2 压力罐体设计

清洗装置包含左右压力罐体，左压力罐体装清洗液，右压力罐体装清水。以左压力罐体为例，压力罐组件包括压力罐体、进气口、出水口、排污口、液位计、加热器等，主要功能是通过进水口加清洗液，通过进气口给罐体加压，出水口喷射清洗液或清水，加热器对清洗液加热，排污口排掉清洗发动机后的剩余液体，或者排掉清洗压力罐体的废水。

综合考虑不锈钢罐体质量及罐体开孔焊接情况，选择罐体厚度为 3mm。

按下式对罐体最大承受压力进行验证计算：

$$P = \frac{2\delta[\sigma]t}{D} = \frac{2 \times 0.003 \times 520 \times 0.4}{0.24} = 5.2 \text{MPa} \quad (1)$$

其耐压超过车台供气压力，满足要求。

压力罐体三维模型如图 3 所示。



图3 压力罐体三维模型

3.3 冲水管路设计

冲水管路由出水接头，扩口接头管套、扩口接头螺母、焊接式阀门、三通阀、不锈钢管道、发动机安装接头等组成。工作原理是：清洗前压力罐装好液体、进气管路连接好压缩空气之后，关闭阀门，清洗时分步打开清洗液阀门，喷出清洗液；打开清水阀门，喷射清水。

发动机在冷运转状态下进行清洗时，通过起动电机带动高压压气机转动，时间持续（25~35）s，当高压转速大于5%时，喷出清洗液，高压转速最大达到20%后，冷运转结束，高压转速降低到零。

考虑管道安装以及焊接情况，选择 $\varnothing 12 \times 1$ 的不锈钢管。不考虑水头损失，计算出水流速及流量，由伯努利方程：

$$P_1 + \frac{\rho}{2} V_1^2 + \rho g Z_1 = P_2 + \frac{\rho}{2} V_2^2 + \rho g Z_2 \quad (2)$$

式中： P_1 ——为罐体内压力，0.5MPa；

Z_2 ——为出水管离地高度，0.6m；

P_2 ——为出水口大气压力，0.1MPa。

$$\text{流速为 } V = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} = 28.07 \text{ m/s,}$$

$$\text{流量为 } W = S \times V = \pi \times R^2 \times V = 0.219 \text{ L/s.}$$

根据喷水流量和流速计算结果，罐体内清洗液和清水分别可以清洗两次，每次一分钟。

图4为冲水管路三维模型。

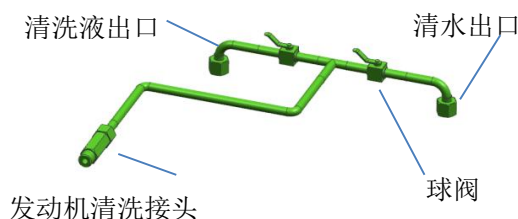


图4 冲水管路三维模型

4 试验验证

通过此方案设计加工一套清洗装置，以车台某型涡桨发动机的清洗为例，验证清洗装置对发动机的性能参数的影响。

该涡桨发动机在工作超过200小时后，性能有一定程度衰减。在清洗前35℃大气环境下对发动机进行性能录取，然后按照发动机清洗程序，对发动机进行清洗，在清洗后再次在35℃大气环境下对发动机进行性能录取，试验后对发动机性能参数进行分析。如表1所示，发动机清洗前后不同状态的功率和耗油率及其相对变化量。

表1 35℃清洗前后发动机性能对比

性能 \ 状态	空慢	正常起飞	最大起飞	最大爬升	最大巡航
功率 ΔP (%)	-3%	0.6%	0.4%	0.5%	0.27%
耗油率 ΔSFC (%)	-2%	-1.7%	-1%	-1.3%	-1.6%

从表1试验数据分析得知，在35℃大气环境下，发动机功率清洗后比清洗前有所提高，耗油率有所下降。这表明此清洗装置工作可靠，满足设计要求，对发动机的性能有一定的恢复作用。

5 总结

本文根据发动机清洗要求，结合车台现有能力，对清洗装置的结构进行合理设计。对罐体容积压力、喷射速度、流量进行计算分析，清洗装置结构设计和材料选用符合使用要求，总体设计简单、清洗方便、易操作，使用效果好，工作可靠，能满足发动机试验要求，能为其他型号发动机试验提供清洗条件。

[参考文献]

- [1] 杜来林, 杨超. Z9FDQX型发动机清洗车的设计与使用[J]. 液压气动与密封, 2012(7): 65-67.
- [2] 袁长波, 苗禾状, 黄兴. 军用直升机涡轴发动机清洗技术[J]. 航空维修与工程, 2010(5): 36-38.
- [3] 刘运华. 特殊环境飞行后发动机清洗技术的改进[J]. 民航飞行与安全, 1998(4): 9-10.
- [4] 李本威, 王秀霞, 胡国才, 陈芳雄, 徐德宝. 涡喷发动机清洗技术研究[J]. 航空发动机, 2000(1): 12-16.
- [5] 蒋科艺, 沈伟, 李本威, 刘海峰, 马力. 基于流场仿真的涡扇发动机清洗系统参数优化设计[J]. 航空动力学报, 2011(3): 481-488.

作者简介：王新平，男，(1988.5-)，西北工业大学，航空工程，中国航发湖南动力机械研究所，主管设计师，工程师；张浙波，男，(1982.3-)，西北工业大学，飞行器动力工程，中国航发湖南动力机械研究所，主任设计师，高级工程师。