

某航空活塞发动机气缸盖冷却分析

The Analysis of Aeroengine cylinder head cooling system

郭冬冬 徐宇工

(北京交通大学机电学院)

摘要：本文对某航空活塞发动机冷却系统用 GT-COOL 软件建立了仿真计算模型，并对冷却系统中的换热和流动过程进行了模拟运算，建立的模型可以预测发动机冷却系统的压力、温度分布和压力损失等。

关键词：航空活塞发动机；气缸盖；冷却系统；GT-COOL；模拟仿真

Abstract：In this paper, a numerical water cooling system model of the aeroengine is established in the GT-COOL environment. Simulation calculation of the heat exchange and fluid flow in the cooling system is performed by means of computer. The model provides a good predication of the pressure field, temperature field and pressure losses in the cooling system.

Keyword：aeroplane; cylinder head; cooling system; GT-COOL; simulation

1. 引言

随着我国国民经济和旅游业的发展，国内的轻型机及超轻型机也在发展。在这类飞机中，采用活塞式发动机作为动力的，在无人机中占 80%，在轻型机中占 60%，在超轻型机中几乎占 100%。目前，国内选用做多的有奥地利的庞巴迪公司生产的 Rotax 系列活塞发动机，其次就是美国的莱康明公司生产的 IO 系列活塞发动机。虽然二冲程活塞发动机升功率高，相对于四冲程的功重比高，但是燃烧不完全、油耗高等，所以目前四冲程发动机得到广泛地发展。

Rota 航空活塞发动机广泛应用于无人机领域。Rotax 发动机制造公司于 1988 年开始研制某型发动机，用于“奥塔斯”、“赫尔墨斯”1500、“苍鹭”、“蚊蚋”和“捕食者”等无人机，寿命 1200h。水平对置四缸四冲程活塞式发动机，额定功率 73.5kW，巡航耗油量 27.2L/h，排量 1211.2cm³，干质量（包括汽化器、进气消声器、排气系统和减速箱）为 68.2kg。

本文基于热力学、传热学和流体力学的基本理论，应用 GT-COOL 仿真环境，建立了发动机气缸

体冷却系统的一维仿真模型，通过分析计算来研究气缸盖冷却系统的流动和传热状况，可以预测气缸盖的冷却技术参数，以期对我国无人机用活塞发动机的冷却研究提供参考。

2. 航空发动机冷却系统结构

发动机的冷却传热直接影响发动机动力性和经济性，它的主要任务是保障发动机在最适宜的温度状态下工作，维持在最佳的冷却水温。某型发动机采用的是一种混合冷却方式，其中，气缸盖采用强制水冷，采用乙二醇水溶液作为冷却介质；气缸体采用强制风冷。采用混合冷却方式，可以使气缸盖和气缸体在最优的温度设定下工作，同时，由于飞机在高空飞行，可以有效的利用风的冷却资源，较少对发动机功率的消耗，对于航空发动机来言有着至关重要的意义。本文应用 GT-COOL 软件主要研究其气缸盖的冷却状况，所指的冷却系统为气缸盖水冷却系统。

活塞航空发动机冷却系统如图 1 所示。系统包括膨胀水箱，散热器，水泵，补偿水箱，软管等。膨胀水箱采用水泵强制循环，水泵由凸轮轴带轮驱动，冷却液由水泵从散热器泵到气缸盖，然后流向膨胀水箱，通过补偿水箱的压力调节后再回流至散热器进行冷却。膨胀水箱联接着一个过压阀和一个回流阀，当冷却液温度过高时，过压阀打开，冷却液通过软管流入补偿水箱(储水箱)中；当温度恢复后，冷却液在大气压力下被吸回膨胀水箱。

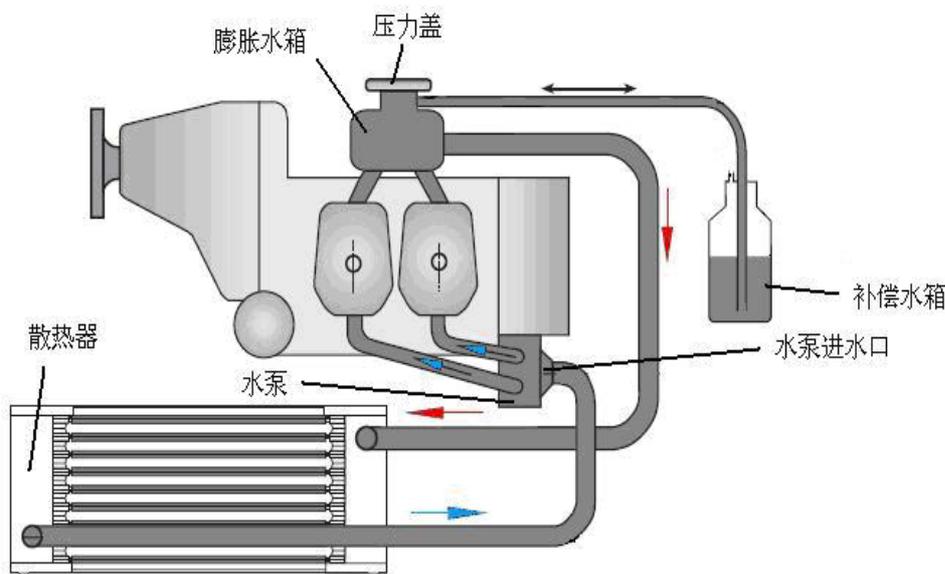


图 1 发动机气缸盖水冷却系统原理图

3. 发动机冷却系统仿真计算

通过试验设计发动机的冷却系统，使之满足规定的要求，耗时、耗力、耗材，并非易事。作为替代方案，数值仿真的方法，在计算机技术高速发展的今天，已被越来越多的人所采用。这种数值试验的方法，不但可以节省大量的试验费用，而且还可以进行大量的预测研究。

3.2 模拟计算结果

应用软件可以方便的计算出该冷却系统中各个部件的集总参数以及整个系统的温度、压力、流量等分布图，起飞工况下其主要计算结果见下表 1。

表 1 各部件主要计算结果

部件 参数	发动机	管路	散热器
散热量 (kW)	-29.68	0.03	29.88
阻力 (bar)	0.08	0.21	0.02

通过热量平衡方程、压力平衡方程和质量守恒方程来验证模拟计算结果的合理性。

能量平衡方程：

$$\Delta Q_{\text{散热器}} = \Delta Q_{\text{发动机}} - \Delta Q_{\text{管路}} + \Delta Q_{\text{水泵}} \approx 29.88 \text{ kW}$$

从上面方程可以看出，散热器的散热量大于高温回路各部件散热量之和，产生这种现象的原因，考虑是由于水泵的部分功率转化成热量，增加了散热器散热负荷，加上水泵功率转化的热量，系统能量正好平衡。

压力平衡方程：

$$\Delta p_{\text{水泵}} = \Delta p_{\text{发动机}} + \Delta p_{\text{散热器}} + \Delta p_{\text{管路}} = 0.08 + 0.02 + 0.21 = 0.31 \text{ bar}$$

从上分析可以看出，系统的压力和能量方程均守恒，说明所搭建的一维仿真计算模型是合理的。

3.3 冷却系统参数的优化方法

GT—Suite 软件带有优化工具，对一些参数我们可以用优化工具箱来进行确定。如对管路直径的优化，优化后的结果应使冷却系统管路内流速在合理的范围内。发动机冷却系统管路中水流速度一般在 4~6m/s。影响水流速度的因素有冷却水流量和冷却系统的管路直径，在发动机冷却系统散热量确定的情况下，冷却水的流量也基本确定，因此，可以将管路直径设为变量，将水流速度设为目标值，这样就可以找到合适的管路直径。在优化计算中，我们取管内水流速度为 5m/s，通过计算可以确定冷却系统各段管路的具体尺寸。同理，我们可以用同样的方法来确定其它的参数。

3.4 发动机冷却系统多参数多方案优化匹配与分析

对于飞机飞行的不同环境条件下，飞行高度不同，压力不同，环境温度也不同，冷却系统散热器的空气流量也是不同的。

在飞机起飞阶段，由于国内各地海拔高度的不同，地表温度从 -68 ~ 58 变化，由于发动机技术性能的限制，启动温度范围为 -25 ~ 50，所以模拟发动机冷却系统在此温度范围内的工作状况。在高空巡航阶段，油耗发生变化，输出功率发生变化，环境温度从 -51 ~ 19 变化，所以模拟发动

机冷却系统在此多参数变化条件下的工作状况。

以起飞工况为例，图 3 为发动机出口水温随着环境温度变化的情况，从图中可以看出，在环境温度在最高时，即为 50℃，发动机的出口水温控制在 90℃ 以下，这样能够保证气缸盖内局部温度不会超过冷却液的沸点，不会产生气泡，保证发动机的正常工作；图 4 为随着环境温度的变化冷却空气流速的变化情况。随着环境温度的降低，冷却风量呈降低的趋势，主要是因为环境温度降低，温差增大，在面积一定的情况下，散热器的传热系数应该降低，传热系数和冷却风量呈相同的变化趋势，风速降低，传热系统也相应的减小。

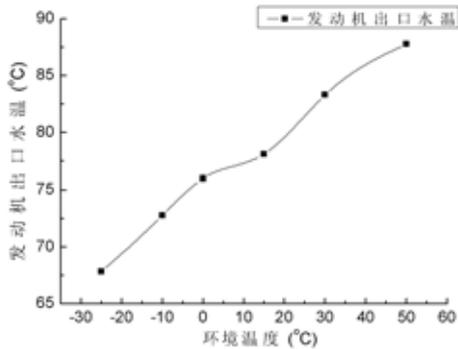


图 3 环境温度对发动机出口水温的影响

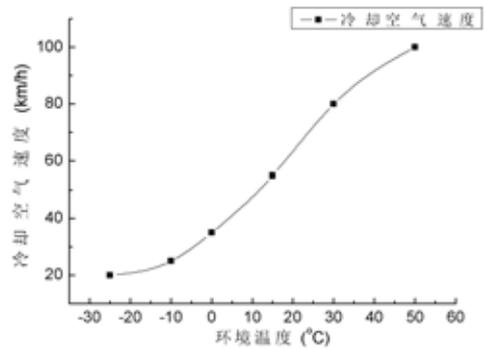


图 4 环境温度对冷却空气流速的影响

4、利用模拟计算结果进行工程选型

选型设计不同于它的工程设计，选型设计注重的是部件参数与冷却系统的总体匹配；工程设计则要使部件的具体结构、性能及其可靠性乃至工艺等满足多方面的工程要求。选型设计时，冷却系统对部件设计要求或称设计输入都已经确定。利用GT-COOL软件的计算结果可以方便的进行选型设计，以水泵为例，根据计算结果，软件能自动生成水泵的流量特性曲线，如图5所示，根据图5，我们可以很方便的选择与冷却系统相匹配的水泵。

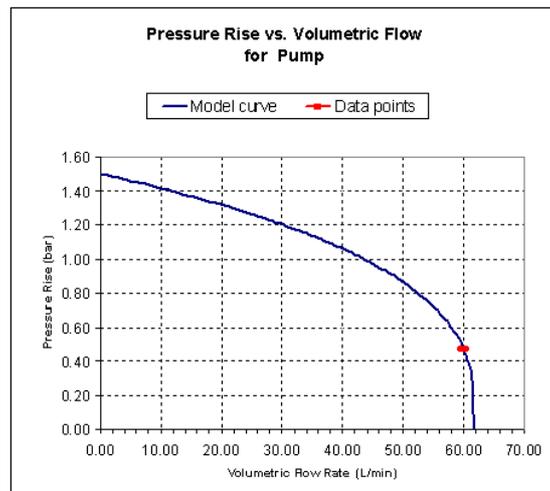


图5 水泵特性曲

5、结论

本文利用GT-COOL软件搭建了活塞航空发动机气缸盖冷却系统的一维仿真模型，并进行模拟计算

与分析。通过计算分析可以得到以下结论：

- (1) 该研究工作可以为发动机冷却系统的研制提供方便快捷的模拟计算平台；
- (2) 可以为发动机冷却系统具体方案的确定提供参考；
- (3) 可以为发动机冷却系统的设计提供合理的技术数据；
- (4) 可以为发动机冷却系统的部件选型提供依据和帮助。

需要改进之处：

(1) 在建模过程中作了较多的简化，比如忽略了管路的摩擦，管路的转弯、接头的设置与真实循环水路的结构不同，忽略了冷却风道对空气流速的影响。

(2) 由于软件只是进行一维模拟计算，冷却系统各元件采用集总参数，不能对冷却系统的流动与传热进行三维数值模拟，无法了解冷却系统各元件冷却液的流场、换热系数及压力场、温度场等的分布情况。

6、参考文献

- [1] 肖成永,李健,张建武.发动机冷却系统的建模与仿真[J].计算机仿真,2003,Vol.20(9):39-42
- [2] 姚仲鹏,王新国.车辆冷却传热[M].北京:北京理工大学出版社,2001
- [3] 俞小莉,李婷.发动机热平衡仿真研究现状与发展趋势[J].车用发动机,2005.10 1-5
- [4] 张学平.小型无人机活塞式发动机高度特性[D].西北工业大学,2001,10
- [5] 李绳正.小型飞机动力发展前景[J].航空制造工程,1995,10:34-35
- [6] 胡晓煜.世界中小型航空发动机手册[M].北京:航空工业出版社,2006