某飞行器发动机水冷散热系统设计

赵伟
（瀚伦贝尔通用航空器有限公司　江苏　苏州　215000）

摘要：本文针对某飞行器发动机的水冷散热系统设计，研究了活塞发动机散热系统的设计要求，对本设计的水冷散热器系统各部分做了简单介绍，结合飞行器的特点对水冷散热系统相关参数进行计算，确定水冷散热器的具体参数，通过现场试验对设计的水冷散热系统进行验证，最后形成一套设计方法，为后续开发提供技术基础。

关键词：飞行器；发动机；散热系统

0　引言

航空发动机在使用过程中，对发动机的功率需求比较大，一般情况下需要发动机持续输出达到 60% 以上的功率，对这种大功率输出的发动机，发动机的发热量比普通汽车发动机大，而发动机的散热对发动机功率有直接影响。当发动机过热时，发动机会由于过热导致功率下降，这种情况严重影响飞行安全及飞行性能，同时发动机散热系统对发动机的寿命有着直接的影响。为了某型飞行器发动机动力系统在使用过程中更稳定可靠，本文主要研究发动机的水冷散热系统设计，通过计算确定散热系统具体参数，同时通过试验对设计的散热系统进行验证，最后形成一套设计方法，为后续开发提供技术基础。

1　水冷散热系统介绍

目前，市场上适用于小型固定翼飞机用的发动机多数使用风冷发动机，风冷发动机的功重比较水冷发动机更大一些。但是风冷发动机在长时间工作时，功率随着缸头温度的升高会出现下降或不稳定的情况。水冷发动机在使用过程中可以避免功率不稳定的情况，同时，水冷发动机的 TBO 时间一般较水冷发动机更长一些。在使用水冷发动机的过程中，需要设计发动机的水冷散热系统，其原理就是将发动机缸体的外壁做成散热片状安装在密闭的机壳内，通过进水管道与水箱散热器组连接，在循环水泵的作用下进行循环，用循环水流将发动机缸体上的高温带至安装在旋翼气流下发的散热器水箱，利用水箱鳍片式的散热片将热量散发到空气中，冷却后的循环水流再次进入发动机缸体散热部位，以此循环往复，最终达到散热的目的，提高水冷发动机的可靠性。另外水冷发动机适用的飞行器种类更广范一些，对飞行器的飞行状态没有特别的要求。本文主要研究一款垂直起降飞行器使用的发动机水冷散热系统的设计。

水冷散热系统主要包含散热器组件、驱动泵、管路、进风系统、缸头温度传感器、进水温度传感器、回水温度传感器、控制器、膨胀水箱等。水冷散热系统原理图如图 1 所示。

膨胀水箱位于整个水冷散热系统的最高点，主要用于调节压力以及维持系统压力稳定。由于水冷系统是一个闭式系统，系统需要维持一个恒定的压力，也就是系统的定压点，定压点压力的高低要考虑两个因素：一个是系统运行时的任意一点都不超过这个压力；二是系统停止运行时，系统不倒空。膨胀箱在系统缺水时，即压力降低时，膨胀水箱就会自动向系统补水，反之，如系统压力增大时，比如水的体积膨胀时，膨胀水箱可自动排出多余的水量，直至压力达到平衡为止。膨胀水箱由半透明塑料制成，轻便耐用，主要起日常补水和放气排水用，同时在发动机运行时，为冷却水提供膨胀的空间。在膨胀箱上安装有带压力调节阀的一个盖子，平时打开盖子就可以给水箱补水。

在水冷散热系统中设置有一个控制器，主要用来控制冷却泵的转速以及启 / 停。控制器的输入信号主要由发动机缸头温度以及进出水温度传感器触发，当发动机的任意一个缸头温度超过 85℃时，将触发控制器控制冷却泵以最大速度运行，同时，当发动机所有缸头温度低于 65℃，控制器将停止水泵，当有部分缸头温度大于 65℃时，水泵开始运行，水泵的转速由最高缸头温度与 85℃之间的差异决定水泵的转速。差异越小，要求水泵的转速越高。

01-21 工业设计 22年6月下 第18期.indd 9　2022/8/30 9:37:18

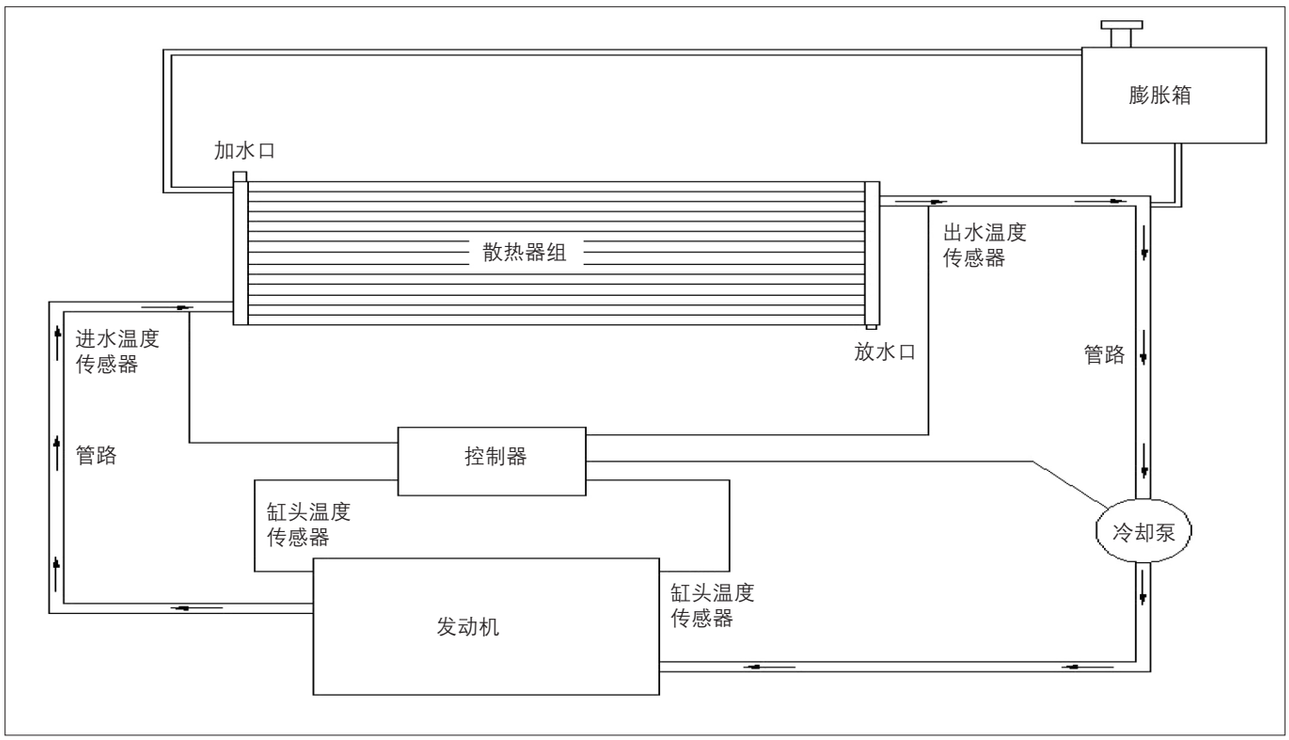

图 1　水冷散热系统原理图

散热器的基本性能时由低温液体的空气和高温流体的水进行热交换前后的各种温度和热量而表征的。它是由散热器入口的空气和水的温度，散热器的整个散热面积，热通过率、各流体（空气和水）受到热量时空气吸热后的温度、水放热后的温度以及水的放热量（空气的吸热量）来决定的。放热量与所需的目标温度是否一致，是决定散热基本性能的基础。散热器组是利用冷却水损失热能进行工作的，为了维持发动机的正常工作温度，一般由冷却泵来使冷却水在发动机缸头强制循环，冷却水吸收发动机产生的热量然后利用散热器将热量散发到空气中。散热器组由进水室、出水室、散热器芯等组成。散热器组进水室有加水口，冷却水由此进入整个冷却系统。在进水室和出水室分别装有进水管和出水管，进水管与发动机缸头的出水管相连，出水管与冷却泵的进水管相连，整个散热系统的管路均采用橡胶软管相连接。这样既便于安装，也便于隔振，在散热器组的出水管上还有放水开关，必要时可将散热器组内的冷却水放掉。

进风系统是飞行器发动机散热系统与汽车发动机散热系统不一样的地方，本文中的进风系统是利用旋翼下气流，可以保证飞行器在各个飞行状态下都能满足散热要求。这样可以去除冷却风扇，为整个飞行器降低电能功耗，同时减轻飞行器的质量，提高了飞行器的稳定性。同时，由于旋翼下气流的速度比常规冷却风扇的风速更快，散热器组的散热效果更优。

2　散热器设计计算

散热器面积是冷却系统的基本参数，通常单位功率所需散热面积约为 0.2 ～ 0.28m^2/kW。在设计或选用冷却部件时应以冷却系统的散热量为原始数据来计算冷却系统的循环水量及冷却空气量。经验公式：

$$Q_w = \frac{A g_e P_e h_u}{3600} \tag{1}$$

式中：A －燃料热能传递给冷却系统的百分比，根据同类型机型的统计量，汽油机 A 一般取 0.23 ～ 0.3，本文取 0.25；

g_e －燃料消耗率（kg/kwh），取 0.4；

p_e －发动机有效功率，本文取最大功率 100kW；

h_u －燃料热值，汽油一般取 46000 kJ/kg。

在算出散热系统需要散走的热量后可计算冷却水循环量：

$$V_w = \frac{Q_w}{\Delta T_w \gamma_w C_w} \tag{2}$$

式中：ΔT_w －冷却水循环的容许温升（6 ～ 12℃），取

01-21 工业设计 22年6月下 第18期.indd 10　　2022/8/30 9:37:18

12℃；

γ_w －水的密度，取 1000 kg/m^3；

C_w －水比热，取 4.187 kJ/kg · ℃。

考虑到冷却液在各管道中的沿程阻力，实际冷却水循环量为：

$$V_p = 1.2V_w = 0.00288\text{m}^3$$

冷却空气需要量：

$$V_a = \frac{Q_w}{\Delta T_a \gamma_a C_{pa}} \tag{3}$$

式中：ΔT_a －散热器前后流动空气的温度差，取 20℃；

γ_a －空气密度，一般取 1.01kg/m³；

C_{pa} －空气的定压比热，可取 C_{pa}=1.047kJ/kg · ℃。

散热器总散热面积：

$$F_w = \frac{Q_w}{K_a \Delta T} = 4F_a \tag{4}$$

式中：K_a －传热系数，汽车行业一般取 80 ～ 100，这里取 90；

ΔT －散热器中冷却水与冷却空气的平均温差；

F_a －单个管带式散热器散热面积。

其中：

$$\Delta T = (T_{w1} + T_{w2})/2 - (T_{a1} + T_{a2})/2 \tag{5}$$

式中：T_{w1} －散热器进水温度，本发动机取 95℃；

T_{w2} －散热器出水温度，冷却水在散热器中的最大温降 $\Delta T_w = T_{w1} - T_{w2}$，对强制系统一般取 6 ～ 12℃，本文取 12℃；

T_{a1} －进入散热器的空气温度 20℃；

T_{a2} －流出散热器的空气温度。

空气流过散热器的温升：

$$\Delta T_a = T_{a1} - T_{a2} \tag{6}$$

$$\Delta T_a = Q_w/360 \times 4S_z C_{pa} V_z \gamma_z \tag{7}$$

式中：γ_z －空气密度，在 40℃时 γ_z 一般取 1.04kg/m³；

C_{pa} －空气的定压比热，可取 C_{pa}=1.047kJ/kg· ℃；

S_z －单个散热器芯子的迎风面积。

$$S_z = 4LB \tag{8}$$

式中：L －单个散热器两主片的距离（m）；

B －单个散热器最外侧两散热带的距离（m）；

V_z －散热器前空气流速。

由于本散热器安装在旋翼下方，故

$$V_z = \sqrt{\frac{2F_1}{\gamma_a C_1 \pi R^2}} \tag{9}$$

式中：F_1 －旋翼的气动升力；

C_1 －旋翼升力系数；

R_1 －散热器中心距桨毂中心的距离。

$$V_z = \frac{V_a}{4F_a} \tag{10}$$

单个管带式散热器散热面积 F_a 按下式计算：

$$F_2 = 2nHl + 2(t=h)NL \tag{11}$$

式中：n －散热带条数；

N －散热管根数；

H －散热带宽度（m）；

l －散热带转开长度（m）。

单个散热器水通道面积 S_W：

$$S_w = htN \tag{12}$$

式中：h －散热管横截面内侧长边直线段长度（m）；

t －散热管横截面内侧宽度（m）；

N －散热管根数。

综合公式（1）～（12），通过 MATLAB 编程，结合飞行器的安装空间结构，计算确定出一组完全满足要求的散热器基本尺寸，本文设计的散热器采用旋翼下方气流进行冷却，悬停时旋翼下气流流速约为 25m/s。发动机的一个缸头采用一个散热器片进行散热，结合飞行器的安装结构，最终计算设计的单个散热器基本外形尺寸具体参数为：L 为 1.2m，B 为 0.12m，H 为 56mm，采用三层铝合金管散热水排，N 为 33，n 为 12，l 近似为 36.8m，单个水排的尺寸 t 为 2mm，h 为 10mm，一台发动机配 4 个散热器安装在大梁管的两侧。散热器的几何外形图如图 2 所示。

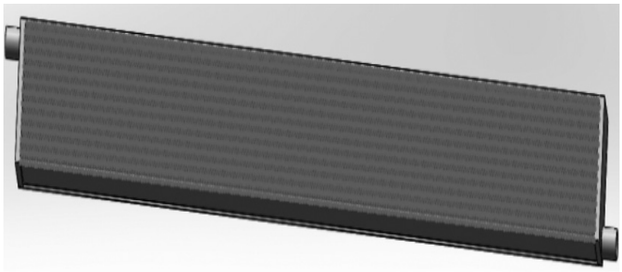

图 2　单个散热器外形图

3　散热系统实验验证

在实验测试过程中，对散热系统的各部件均进行了测试，本文主要列举了某一个缸头的主要数据，对某次悬停飞行试验散热器进出水温度进行单独提取并进行曲线拟合，得到如图 3 所示的曲线。

从散热器进出水口温度曲线可以看出，在发动机启动运行起飞后，进水温度开始会随着发动机的运行逐渐

01-21 工业设计 22年6月下 第18期.indd 11　2022/8/30 9:37:19

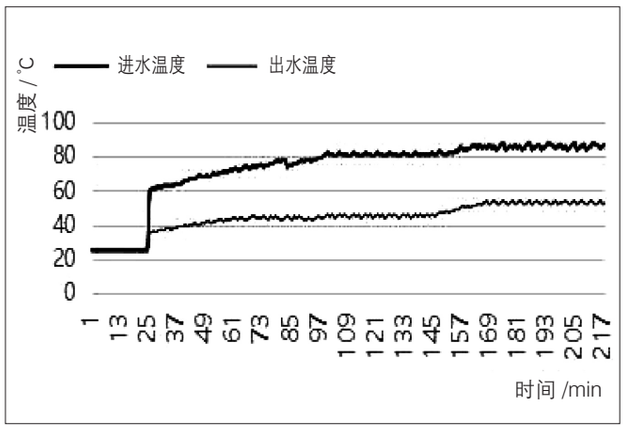

图 3　散热器进出水口温度关系图

升高，进水温度达到 65℃时，散热器开始起作用，即驱动泵开始运行，随着发动机功率进一步的增加，进水温度进一步逐渐升高，出水温度也随之增高，但出水温度升高的比较缓慢，到最后当达到稳定后，进水口温度维持在 90℃左右，回水温度维持在低于 60℃。由实验数据可以得出，设计的散热器性能非常好，从起飞，悬停，着陆这几个飞行状态来看，散热系统性能稳定可靠，完全满足飞行器的使用要求，可以保证发动机的正常工作。

4　结语

本文主要对发动机的水冷散热系统进行简单介绍，结合飞行器结构，通过计算确定散热系统具体参数，同时，根据的设计的结构制作了一套完整的设备进行测试，经过试验测试验证确定了本设计的散热系统性能良好。本设计的计算方法通过 MATLAB 编程，形成了一套设计方法，便于后期类似的项目的使用，为后续开发提供了技术基础。

参考文献：

[1] 王鹏．发动机散热器的设计 [J]. 农村实用科技信息 ,2015(2):52.
[2] 曹东冬，万玉丽．发动机冷却系统散热性动态分析 [J]. 内燃机与配件 ,2017(6):25-27.
[3]JB/T 8577-1997, 内燃机水散热器技术条件 [S].
[4] 黄新明，华文林．汽车发动机散热器散热面积的计算 [J]. 黄石高等专科学校学报 ,2004,20(4):37-39.

作者简介：赵伟（1986.12-），男，湖北咸宁人，硕士研究生，工程师，研究方向：飞行器结构设计。

（上接第 8 页）

置的结构设计方式，可顺应用户的各类清洁需求，保证车辆运维工具的清洁质量。

从刷头、海绵、手柄各个角度，有序落实结构设计，以此保障超声波清洁系统研发的创新性，顺应车辆运维工具的各项清洁需求，积极发挥超声波技术的清洁作用。实践中，一家车辆汽配单位，使用此种清洁装置，运维工具的清洁时间有效缩短了 80%，切实提升了汽配厂内运维工具管理的有序性，获得了汽车用户的一致好评。

4　结语

综上所述，车辆运维工具的清洁装置研发活动，是以人的身体健康为出发点，有效去除工具表层的油污，提升车辆运维单位的设备清洁管理质量。系统设计期间，有效融合超声波技术，保证运维工具的清洁质量，分别从设备外观、手柄工学、手柄角度等视角，有序开展系统设计，最大程度地发挥超声波清洁功能。此系统设计简单、成本适宜，实践应用效果极佳。

参考文献：

[1] 滕俊杰．基于 PLC 控制的汽车自动清洗机 [J]. 电声技术 ,2019,43(03):60-62.
[2] 孙得成，秦向峰．基于 PLC 控制的汽车自动清洗装置设计 [J]. 科技风 ,2019(02):10.
[3] 张燕．一种智能汽车清洗装置设计 [J]. 淮海工学院学报（自然科学版）,2018,27(04):16-19.
[4] 赵明理．汽车全自动清洗机的设计研究 [J]. 清洗世界 ,2017,33(02):34-38.

01-21 工业设计 22年6月下 第18期.indd 12　　2022/8/30 9:37:19