

全国家标准方法,明确该方法的适用范围以及检测对象,保证所选方法与样本基质、待测指标的特性相契合。

方法选择要全面考虑技术指标的合理性,要着重关注方法的检出限和定量限,保证其可契合食品安全标准对指标限量的检测要求,同时还需要评估方法的精密度与准确度,前者反映检测结果的重复性与稳定性,后者体现检测值与真实值的吻合程度,二者都要达到标准规定的技术水平,另外方法的可操作性与实用性也需要纳入考虑范围,要结合实验室设备条件以及人员技术能力来选择合适的方法,避免因操作难度过高而导致操作误差<sup>[4]</sup>。

在方法确定之前,验证工作是非常必要的,这是保障方法科学性的关键程序,验证内容应包括检出限、定量限、线性范围、精密度、准确度等核心参数,可以凭借空白试验来确定检出限,借助标准物质测定与加标回收试验来验证准确度,依靠多次平行测定来计算精密度,对于首次采用或者经过修订的方法,需要进行实验室间验证,保证方法在不同实验室之间的重现性与可靠性。验证过程要形成完整记录,作为方法选用的技术依据。检测方法的动态优化与更新是长期控制误差的关键举措,随着食品安全标准的修订以及检测技术的发展,需要定期对所使用的方法进行评估,当标准方法更新或者检测对象发生变化时,应及时开展新旧方法的比对试验,分析差异点并重新进行验证。同时要关注新型检测技术的应用,在保证方法可靠的前提下,引入灵敏度更高、操作更高效的技术手段,持续提高检测结果的准确性与稳定性。

### 3.4 加强检测人员专业培训和操作管理

检测人员所有的专业能力会对抽样检验的误差控制成效产生直接影响,有必要构建起一套系统化培训以及规范化管理体系,培训内容应当包含食品安全标准、抽样流程、仪器操作以及误差防控知识,并且要依据检验技术更新的动态情况对课程作出调整,以此保证人员可掌握最新的操作要求。培训形式可以进行灵活组合,借助理论授课来夯实基础,借助实操演练提升动手能力,防止理论与实践相互脱节。操作管理需要建立起标准化流程,明确各个环节的操作规范以及责任分工,在抽样之前要核查人员资质,保证参与人员拥有相应的操作权限,在抽样过程中要严格依照操作细则执行,减少人为操作偏差。同时还要制定操作核查制度,定期对人员的操作行为开展监督检查,及时纠正不规范操作。

完善考核机制可以强化培训与管理的效果,需要建立常态化考核体系,把理论知识、实操技能以及误差控制能力

纳入考核范围,将考核结果与岗位调整、培训安排相挂钩,借助持续开展培训以及严格实施管理,提升检测人员的专业素养以及责任意识,从人为因素方面降低检验误差。

### 3.5 定期维护更新管理仪器设备

仪器设备的性能对于检验结果的准确性起着决定性作用,它是控制误差的硬件关键所在,故而需要构建全生命周期管理体系来保障其精度,新购置的设备要经过严格的验收流程,要仔细核查型号以及配件的完整性,并且完成性能测试,只有验收合格之后才可投入使用,以此从源头避免因设备质量问题而导致的系统误差<sup>[5]</sup>。

在日常工作中,需要依据设备的类型来制定标准化的维护计划,定期进行清洁、润滑以及部件检查等工作,及时更换老化的部件,在使用设备前后都要执行基础核查,并且详细记录其运行状态,对于强制检定的设备,需要按照规定的期限完成检定工作,对于非强制检定的设备,则要制定校准计划,在两次校准的间隔期内,针对高频使用的设备开展期间核查,保证量值溯源的准确性。要建立设备专属的档案,完整地留存维护、校准以及故障记录,定期对设备的适用性进行评估,及时更新性能出现衰减或者技术已经落后的设备,按照规定的程序报废无法修复的设备,防止不合格的设备引发检验误差。

## 4 结语

综上所述,食品安全抽样检验所产生的误差是由抽样、样本管理、方法、人员以及设备等多个环节的因素相互交织而引发的,对于控制误差而言,这对于保障检验结果的可靠性以及强化食品安全监管有着意义,需要系统地落实优化抽样、规范样本管理、科学选择方法、加强人员培训以及设备管控等一系列措施,才可精准地降低误差,为食品安全构建起一道技术防线。

## 参考文献

- [1] 朱磊磊.食品安全抽样检验中的误差原因及控制对策[J].食品安全导刊,2025,(19):190-192.
- [2] 刁海燕.食品安全检验检测质量管理面临的挑战与优化措施[J].现代食品,2024(24):140-142.
- [3] 张嘉蕴,王莹,王建惠,等.探析食品质量监督抽样检验中的问题及对策[J].中外食品工业,2024(15):62-64.
- [4] 冯占辉.探讨提升流通环节食品抽样检验工作成效的有效机制[J].中外食品工业,2024(1):120-122.
- [5] 徐强.食品抽样检验方法优化与应用研究[J].现代食品,2024(7):112-114.

# Cooling system design based on the KTM690 engine of the college student formula competition

Hongfu Zhao Yuan Gao Cunyao Zhu\* Hongzhuo Peng Changjiang Xu

School of Automobile and Traffic Engineering, Guangzhou City University of Technology, Guangzhou, Guangdong, 510800, China

## Abstract

The Formula Student China (FSCC) is a high-level college student engineering competition sponsored by the Chinese Society of Automotive Engineering (SAE-China). This article is aimed at the KTM690 single-cylinder engine in the Formula Student China (FSCC) at high temperature and high load. Moreover, it is easy to have problems such as overheating, power drop and bursting, and the cooling system should be optimized and designed. Through the combination of CFD simulation analysis and physical testing, the radiator structure is systematically optimized to achieve the stable operation of the engine in the optimal temperature range of 85–95°C. The research focuses on lightweight radiator design, spatial layout adaptation and reliability verification. The design provides a practical solution for lightweight and efficient heat dissipation for the cooling system of FSCC racing cars.

## Keywords

FSCC; cooling system; radiator

# 基于大学生方程式大赛 KTM690 发动机的冷却系统设计

赵泓富 高远 祝存耀\* 彭弘焯 许长江

广州城市理工学院 汽车与交通工程学院, 中国·广东 广州 510800

## 摘要

中国大学生方程式汽车大赛 (FSCC) 是由中国汽车工程学会 (SAE-China) 主办的一项高水平大学生工程赛事, 本文针对中国大学生方程式汽车大赛 (FSCC) 中 KTM690 单缸发动机在高温、高负荷工况下易出现过热、功率下降及爆震等问题, 进行冷却系统的优化设计。通过 CFD 仿真分析与实物测试相结合的方式, 对散热器结构进行系统优化, 实现发动机在 85–95°C 最佳温度区间的稳定运行。研究重点包括轻量化散热器设计、空间布局适配与可靠性验证。该设计为 FSCC 赛车的冷却系统提供了兼顾轻量化与高效散热实践方案。

## 关键词

FSCC; 冷却系统; 散热器

## 1 引言

中国大学生方程式汽车大赛 (FSCC) 对赛车的动力性、轻量化与可靠性有极高的要求。KTM690 作为高性能单缸发动机, 在赛事中常因冷却系统效率不足导致过热, 从而影响动力输出与比赛成绩。在 24 赛季中冷却系统设计上存在散热效率低、布局不合理、重量大等问题。因此, 本文围绕

KTM690 发动机, 通过对冷却系统的散热面积和内部结构的计算, 结合 CFD 仿真, 开展冷却系统的综合优化设计, 旨在提升其热管理性能并满足赛事规则要求。

## 2 设计目标及设计思路

KTM690 作为高性能单缸发动机, 在激烈赛事中易因过热导致功率下降或爆震。通过改进冷却系统 (如优化散热器布局、进出水口分布以及轻量化), 维持发动机在最佳温度区间 (85–95°C), 确保动力输出稳定性。短时高负荷工况 (如直线加速、耐久赛) 要求快速散热, 避免热衰竭影响成绩。

## 3 散热量的计算

### 3.1 发动机散热量

在设计或选用冷却部件时应以散入冷却系统的热量为

**【基金项目】**“基于大学生方程式大赛 KTM690 发动机的冷却系统设计”(项目编号: 51/J3125233)。

**【作者简介】**赵泓富 (2004-), 男, 中国广东肇庆人, 在读本科, 从事 FSCC 燃油汽车散热器设计研究。

**【通讯作者】**祝存耀 (1994-), 男, 硕士, 中级教师, 从事车辆结构设计。

原始数据, 来计算冷却系统的循环水量和冷却空气量 [2], 殷红敏在关于汽车冷却系统计算方法的研究中提供了一系列汽车冷却系统参数的计算方法 [1], 应用下列经验公式计算:

$$Q_w = \frac{A g_e P_e H_u}{3600} = \frac{0.25 \times 0.25 \times 28 \times 43100}{3600} = 20.951 \text{ kJ/s}$$

式中, A- 燃料热能传给冷却系的分数, 汽油机  $A=0.23 \sim 0.30$ , 取 0.25;  $g_e$ - 有效燃油消耗率  $0.25 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$ ;  $P_e$ - 发动机有效功率, 耐久赛中, 平均转速是  $6000 \text{ r/min}$ , 此时功率为  $27.94 \text{ kW}$ , 取  $28 \text{ kW}$ , 以此作为散热器吸收热量的计算;  $H_u$ - 燃油低热值, 取  $43100 \text{ kJ/kg}$ 。

### 3.2 冷却空气需要量

$$q_w = \frac{Q_w}{\Delta t_a \rho_w C_p} = \frac{20.951}{20 \times 1.01 \times 1.047} = 0.991 \text{ m}^3/\text{s}$$

$\Delta t_a$ - 散热器前后流动空气的温度差, 取  $20^\circ\text{C}$ ;

$\rho_w$  - 空气密度, 一般取  $1.01 \text{ kg/m}^3$ ;

$C_p$  - 空气的比定压热容, 可取  $=1.047 \text{ kJ/(kg} \cdot {}^\circ\text{C)}$ ;

最终算得  $q_w$  为  $0.991 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

### 3.3 所需散热面积

散热器散发的热量就等于发动机传给冷却液  $\varphi$  的热量。

已知散热器散发的热量后, 所需散热面积  $F$  可由下式计算:

$$F = \frac{Q_w \varphi}{K_R \Delta t} = \frac{20.951 \times 1.05}{0.11 \times 52.5} = 3.809 \text{ m}^2$$

式中,  $K_R$  - 散热器的传热系数, 取 0.11;

$\Delta t$  - 冷却水与空气的平均温差, 取  $52.5^\circ\text{C}$ ;

$\varphi$  - 散热器贮备系数, 水垢及油泥影响等, 取 1.05;

最终算得散热面积为  $3.809 \text{ m}^2$ 。

### 3.4 确定散热器尺寸

在计算出散热面积后, 就是散热器芯部的选择, FSC 赛车对重量和空间限制严格, 需平衡冷却效率与整车布局。选用管带式散热器, 结合前文公式算出的理论数据与综合加工成本及整车位置和重量配合考虑, 选用  $240 \text{ mm} \times 160 \text{ mm} \times 56 \text{ mm}$  的水箱。

### 3.5 验证水箱尺寸能否满足散热要求 [4]

散热器结构参数: 芯厚  $T=46 \text{ mm}$ ; 芯宽  $W=128 \text{ mm}$ ; 和芯高  $H=180 \text{ mm}$ ; 冷却管排布形式  $1*15$ ; 冷却管尺寸  $b \times L=2 \times 23$ ; 翅片波距  $t=3 \text{ mm}$ ; 翅片波高  $b=8 \text{ mm}$ ; 散热器数量为 2。

散热器正面积 (迎风面积) 为  $W \times H=0.023 \text{ m}^2$

每片散热带的散热面积:

$$s_0 = 4\sqrt{t^2 + b^2} \times \frac{H}{t} \times T = 94325.8 \text{ mm}^2$$

散热带总散热面积为散热带总散热面积:

$$s_1 = 16 \times s_0 = 1509212.8 \text{ mm}^2$$

冷却管总表面积:

$$s_2 = 42W \times H = 347760 \text{ mm}^2$$

总散热面积:

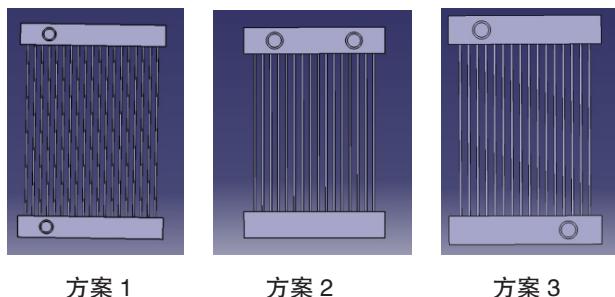
$$s_3 = s_1 + s_2 = 3.714 \text{ m}^2$$

$714 \text{ m}^2$  与  $3.809 \text{ m}^2$  相近, 基本满足散热面积要求。

### 4 进出水口的选择

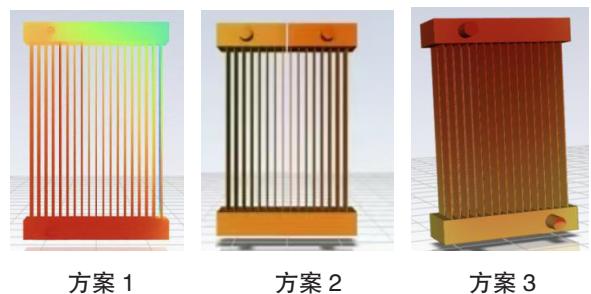
散热器的进出水口的位置布置直接决定了冷却液在散热器内部的流动路径与分布状态, 从而对散热效率、流动阻力及热量分布产生决定性影响 [5], 并且需要适配整车的空间布局与管路走向。

为此有三种分布方案:



采用计算流体动力学 (CFD) 方法对散热器内部流场与温度场进行了系统仿真分析。

分析结果:



通过对比三种方案进行仿真分析的温度分布云图可知, 方案一的进、出水口分布相较于方案二和方案三会使得散热器内流场和温度分布不均匀, 故不采用方案一。结合整车的空间布局与管路走向, 参考 KTM690 发动机的原厂设计, 并且与车上空气动力学套件协调, 最终选择方案二类型的进出水口布局。由于该进出水口布局的冷却液流动阻力较大, 因此散热器之间采用并联的方式连接。

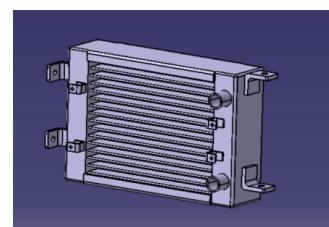


图 1 散热器建模