

高原高寒地域中重型车辆发动机预热 起动辅助装置研究

王朔¹, 岳巍强¹, 刘炳均¹, 胡江涛²

(1.军事交通运输研究所, 天津 300161; 2.北京京威汽车设备有限公司, 北京 100022)

摘要: **目的** 提高中重型车辆装备在高原高寒环境下的低温起动性能。**方法** 研制一种适应高原高寒地域低温低气压环境的冷却液加热器, 加热器将燃油燃烧产生的热量传递给冷却液, 通过冷却液的循环对发动机机体进行预热。**结果** 在低温试验室内 $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 常压环境下, 使用冷却液加热器预热25 min后起动发动机, 一次起动成功。在高原进行环境适应性试验, 预热时间在25 min内, 发动机一次起动成功。**结论** 发动机预热可有效提高 $-30\sim-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度地域的发动机低温起动性能。

关键词: 高原高寒环境; 发动机预热; 燃油加热器; 低温起动

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.10.010

中图分类号: TJ810.3; TK427

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)10-0052-06

Engine Starting Auxiliary Device for Engine Preheating of Medium & Heavy Duty Vehicles in Plateau and Cold Area

WANG Shuo¹, YUE Wei-qiang¹, LIU Bing-jun¹, HU Jiang-tao¹

(1. Military Traffic Institute, Tianjin, 300161, China;

2. Beijing Jingwei Vehicle Equipment CO., LTD, Beijing 100022, China)

ABSTRACT: Objective To improve the starting performance of medium duty vehicles & heavy duty vehicles in plateau and severe cold area. **Methods** A type of fuel heater used in plateau and severe cold environment was designed. The heater diffused the heat from combustion of fuel to the coolant to increase the temperature of the engine. **Results** In test room, the engine was started successfully within 25 min at $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ by using the fuel heater. In plateau and severe cold area, the engine was started successfully within 25 min by using the fuel heater. **Conclusion** The engine starting performance can be improved effectively by using the engine preheating equipment at $-30\sim-41\text{ }^{\circ}\text{C}$.

KEY WORDS: plateau and severe cold environment; engine preheating; fuel heater; low-temperature starting

目前,高原高寒地域的车辆装备除采用涡轮增压技术来提高装备的高原环境适应性外^[1],针对发动机低温起动问题,主要采取的辅助措施从预热方法上可分为进气预热起动和发动机预热起动^[2]。进气预热起动通过进气预热装置加热进气气流,改善了可燃混合气的燃烧状态,在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上环境下低温起动效果

明显;在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,尤其是目前最为严苛的 $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 使用环境标准要求,仅靠进气预热则难以实现发动机顺利起动,需要采取发动机预热措施。

发动机的起动过程是指曲轴在外力作用下从开始转动到发动机自动怠速运转的全过程^[3]。起动的开始阶段由起动机带动曲轴转动,压缩气缸内的空气达

到燃料的着火点,可燃混合气体燃烧膨胀做功。当发动机的转速达到一定值时脱开起动机,活塞向下运动使曲轴旋转,工作循环才能自动进行。因此发动机能否顺利起动主要取决于起动转速、压缩终了压力和温度、混合气浓度等因素。

低温环境下,发动机机体温度低,机油黏度大,润滑条件差,形成润滑油膜缓慢,从而导致发动机摩擦阻力矩升高。摩擦阻力矩是发动机起动阻力矩的主要组成部分,温度越低,摩擦阻力矩在起动阻力矩中占比越大。随着环境温度的下降,发动机起动阻力因摩擦阻力矩升高而迅速上升,从而阻碍了发动机的正常起动。同时由于低温环境下机油黏度增大,起动转速降低,导致压缩空气泄漏时间增长,泄漏量明显增加,使压缩终了温度和压力下降。当压缩终了温度和压力下降到一定程度,气缸内可燃混合气达不到最低着火临界温度,混合气将不能着火,发动机就无法起动^[4-7]。

通过发动机预热可使发动机机体、气缸、活塞、活塞环以及各轴承的温度升高,存在于这些摩擦副之间的机油温度也随之升高,降低了起动阻力,增加了起动转速,从而提高了压缩终了时的温度与压力,改善可燃混合气燃烧状态。同时,机油黏度下降,润滑条件得到改善,减少了机件磨损。

冷却液加热器是目前常用的发动机预热装置,加热器将燃油燃烧产生的热量传递给冷却液,通过冷却液的循环对发动机机体进行预热,不仅可有效提高发动机低温起动性能,而且还具有减少机件磨损、节约燃料、减少排气污染等优点。

1 冷却液加热器的研究现状

冷却液加热器在国外一些发达国家的应用十分普及,在欧美等发达国家,冷却液加热器已成为汽车的标准配置。目前,世界各汽车工业技术比较先进的国家,如德国、美国、日本和意大利等国的汽车加热器研发和应用已经比较成熟。其中比较著名的有德国

Webasto 和 Eberspacher 公司,日本的三国等^[8]。这些公司作为世界车用加热器的领跑者,除已经开发出一系列技术成熟的加热器产品外,都建有专门的研究中心,在燃烧技术,加热器控制及排放水平等方面具有很多成熟的经验和成果。

国内冷却液加热器设计与研究起步较晚,目前国内生产的车用冷却液加热器产品主要采用离心式和喷雾式,热功率都比较大。如北京京威、河北南风、河北宏业等企业生产的此类加热器,主要应用于货车、军用车及公交车等大型车辆。近年来,这些国内加热器企业也与山东大学、吉林大学、长安大学等国内高校广泛开展合作,共同进行冷却液加热器的开发与研究^[9-10]。随着汽车冷却液加热器相关技术和产品的引进,国内一些高校也陆续对冷却液加热器的功率匹配、点火性能、燃烧特性、换热特性以及排放对环境的影响等进行了深入的研究与分析^[11-14]。

目前国内外设计的冷却液加热器大多是仅针对低温条件设计的,在高海拔低气压条件下,这种冷却液加热器自身点燃效果变差,导致发挥的作用也很受限。针对低温低气压使用环境,由军事交通学院和中国兵器装备集团公司 394 厂联合研制生产的某型燃油加热器,分别在高海拔低气压模拟试验台和海拔 2000 m、23 ℃ 的新疆拜城进行了试验,取得了良好的试验效果^[15]。

2 冷却液加热器的结构与工作原理

冷却液加热器由燃烧头总成、电磁油泵单元、燃烧系统、热交换器和独立循环水泵等 5 部分组成,其中燃烧头总成主要包括主电机和助燃风轮,主电机和助燃风轮同轴安装,负责提供助燃空气。电磁油泵单元连接油箱与冷却液燃油加热器单元进油管,提供加热器所需燃料。燃烧部件组合主要包括点火塞、挥发网、燃烧室等,此部分保证助燃空气和供应的燃油良好配合并稳定燃烧。独立循环水泵强制水路中冷却液的流动。热交换器总成将燃烧热量传递给冷却液。

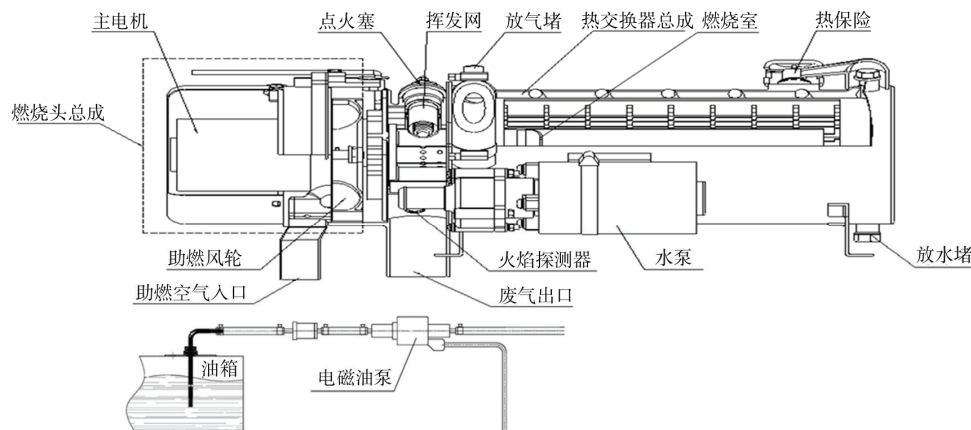


图1 冷却液加热器结构

其工作原理是：工作时点火塞通电预热，当其达到额定温度后电磁泵和电机通电工作，燃油被电磁油泵吸入并送到挥发网上，燃油立即挥发并与助燃风轮送入的助燃空气混合，油气混合物在点火塞高温作用下迅速在燃烧室中燃烧。随着换热器温度的上升，火焰探测器动作，控制电路切断点火塞供电，加热器正常燃烧。冷却液加热器水路与发动机冷却系统连接形成循环通路，燃油燃烧产生的热量通过热交换器传递给发动机冷却液，经加热的冷却液由独立循环水泵强制在发动机冷却系统中循环流动，从而实现对发动机机体的预热^[16]。工作原理见图2。

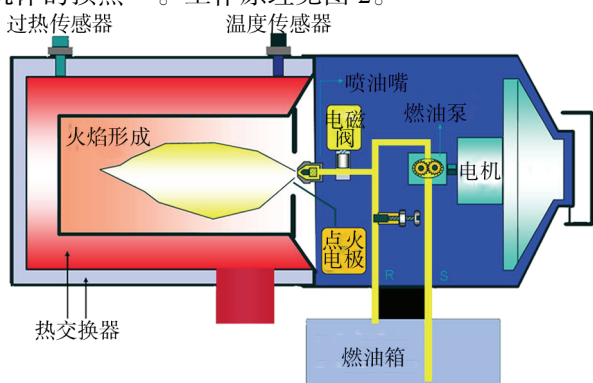


图2 冷却液加热器工作原理

3 新型冷却液加热器的设计研发

3.1 结构优化设计

为了适应高原高寒地域低温低气压环境使用需要，对冷却液加热器的结构进行了必要的优化设计。

1) 提高加热器低温点火性能。采用先进的高压雾化挥发点火技术，相比传统的旋转雾化技术，有效提高了点火性能。优化设计进气结构，将助燃风轮叶片由直叶式改为斜叶式，保证了足够的助燃风量。科学设计内部结构，在控制加热器整体尺寸的同时，加长燃烧室内部空间，并增加二次挥发网以增强燃油的雾化效果，使燃油和空气混合更为均匀。通过以上设计，有效提高了加热器自身低温点火性能和燃料燃烧效能。

2) 提高加热器传热效能。通过燃烧室内部空间的加长，增大了传热面积，同时对加热器散热片、导水环进行了优化设计，改变导水环的形状与间隙，使其分割流体，强化传热，在提高了加热效能的同时，有效控制了外形尺寸，热交换器结构见图3。

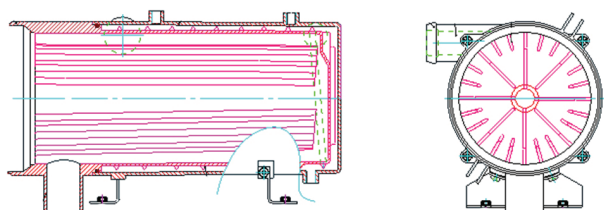


图3 热交换器结构

3) 提高加热器低气压环境工作性能。优化设计控制系统，实现对冷却液加热器工作过程的智能控制。冷却液加热器控制系统流程如图4所示。同时在控制系统内配置大气压力传感器，根据气压自动调节供油量，可满足发动机在高原低温低气压条件下可靠工作的要求。

3.2 功率设计

以某中型和重型越野车为主要研究对象，考虑到加热器的通用性及减少型号的需要，以重型越野车发动机为基础进行加热器功率设计，两型车发动机主要技术参数见表1。

表1 发动机技术参数表

车型	重型	中型
发动机型号	WD615.77	6BT5.9
发动机型式	六缸，直列，水冷，四冲程，直喷增压中冷柴油机	六缸，直列，水冷，四冲程，增压柴油机
气缸直径/mm	126	102
活塞行程/mm	130	120
排量/L	9.726	5.88
压缩比	16:1	17.5:1
额定功率/(kW·r ⁻¹ ·min ⁻¹)	206/2400	118/2800
最大扭矩/(Nm·r ⁻¹ ·min ⁻¹)	1070/1400~1500	546/1700
质量/kg	850	490

为了保证-41℃环境下发动机在30min内能够成功起动，冷却液加热器需在25min时间内将发动机机体温度由-41℃升至-20℃。

冷却液加热器产生的热量主要由三部分受热介质吸收：发动机机体、冷却液和润滑油。将润滑油视为同量冷却液以简化计算：

$$Q_1 = K_1 m + h_c A \Delta T \quad (1)$$

$$Q_2 = \alpha' C_1 \rho V \Delta T \quad (2)$$

$$P = (Q_1 + Q_2) / 60t \quad (3)$$

式中： K_1 为计算系数； m 为发动机质量，kg； h_c 为换热系数，20W/m²·K； A 为发动机总散热面积，m²； C_1 为加温介质的比热，kJ/(kg·K)； ρ 为加温介质的质量流量，kg/m³； V 为加温介质的体积，m³； ΔT 为温差，K； α' 为修正系数； Q_1 为发动机缸体所需热功率，kW； Q_2 为液体升温所需热量，kJ； P 为加热器功率，kW； t 为加热器加温时间，min；

计算系数 K_1 取值见表2。重型车发动机质量为850kg，外形尺寸为1542mm×675mm×965mm，发



表 2 发动机机体温升计算系数表

序号	温差/K	计算系数 $K_1/(W \cdot kg^{-1})$
1	20	2.9
2	30	4.3
3	40	5.8
4	50	7.3
5	60	8.7

动机简化为规则长方体计算散热面积, 散热面积 A 约为 6.36 m^2 , 代入式(3), 得发动机机体所需热功率 $Q_1 \approx 5.1\text{ kW}$ 。

加温介质比热为 $3.2\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 加温介质的体积

为 0.072 m^3 , 由德国埃贝公司的技术经验参数: α' 取 1.2 , 代入式(2), 可得液体升温所需热量 $Q_2 \approx 6270\text{ kJ}$ 。因此, 在加热时间 $t=25\text{ min}$ 内, 将发动机机体温度由 $-41\text{ }^\circ\text{C}$ 升至 $-20\text{ }^\circ\text{C}$, 所需的冷却液加热器功率 $P=Q_1+Q_2/60t=9.28\text{ kW}$ 。

考虑一定的设计裕量, 确定冷却液加热器功率为 10 kW , 可以满足该重型越野车和中型越野车的低温起动需求。

3.3 外形尺寸

冷却液燃油加热器外形如图 5 所示。根据两型车底盘下部空余空间实际情况, 设计冷却液燃油加热器尺寸(长×宽×高)为: $435.5\text{ mm} \times 210\text{ mm} \times 180\text{ mm}$ 。

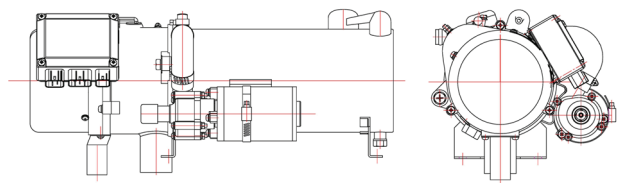


图5 冷却液加热器外形

4 高原低温起动试验

4.1 低温试验室内试验

对两型测试车辆更换低温用燃油、润滑油和齿轮油,分别加装研制的10 kW冷却液加热器。加热器通过支架固定在车辆底盘下部,外接管路与发动机冷却系统连接,形成循环通路,加热器所需燃料直接从汽车油箱获取。该加热器安装简便,不会对及车辆和发动机的结构及性能造成影响。安装如图6所示。

试验方案为:依据GJB 150.4A—2009《军用装备实验室环境试验方法—低温试验》相关要求,将低温试验室内环境温度降至 -41°C 。在此环境下,对

两型车保温8 h后进行试验,首先启动冷却液加热器对发动机进行预热(中型车辆预热20 min,重型车辆预热25 min),预热结束后进行发动机起动测试。经测试,两型车辆发动机经冷却液加热器预热后,均一次起动成功。

4.2 高原环境适应性试验

对两台测试车辆加装研制的10 kW冷却液加热器,在青藏高原某地进行环境适应性试验,试验时间为每天凌晨5:00—6:00气温最低时段(由于地域及季节所限,未找到 -41°C 环境)。试验方案为:测试车辆停放于野外测试场地至少24 h后进行试验,试验时首先启动冷却液加热器对发动机进行预热(中型车辆预热20 min以内,重型车辆预热25 min以内),预热结束后进行发动机起动测试。测试完毕后,车辆继续在测试场地保持静置状态24 h,再进行下一轮测试。共进行10轮测试,具体测试记录见表3(其中发动机起动时间包括:从冷却液加热器点火开始直到发动机起动成功并运转正常经历的时间)。



图6 冷却液加热器实车安装

表3 高原环境实车试用记录

序号	环境温度/ $^{\circ}\text{C}$	重型		中型			
		冷却液加热器		发动机	冷却液加热器		发动机
		点火时间/s	一次成功	起动时间/min	点火时间/s	一次成功	起动时间/min
1	-30.2	76	是	23	75	是	18
2	-30.9	78	是	24	72	是	18
3	-31.5	79	是	24	76	是	19
4	-31.4	77	是	24	69	是	19
5	-30.2	81	是	24	71	是	18
6	-30.5	82	是	23	74	是	18
7	-31.1	80	是	23	73	是	18
8	-30.7	79	是	24	72	是	18
9	-31.7	76	是	24	75	是	19
10	-31.1	65	是	24	80	是	19

5 结论

1) 发动机预热可有效提高发动机低温起动性能。

2) 研制的 10 kW 冷却液加热器, 适用于重型越野车和中型越野车, 可在 $-30\sim-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 极端低温环境下, 预热时间在 25 min 以内, 实现车辆的顺利起动。

3) 通过采用先进的冷却液加热器点火技术, 优化设计点火部件、进气结构、燃烧室形状和传热系统等结构, 同时在控制系统内配置大气压力传感器, 根据气压自动调节供油量, 可使发动机在不同海拔条件下可靠工作。

参考文献:

- [1] 董素荣, 熊春友, 刘瑞林, 等. 高原环境下发动机增压技术研究与应用[J]. 军事交通学院学报, 2015, 17(5): 44-48.
- [2] 金正兴, 王跃新. 热态启动与预热启动技术研究[J]. 黑龙江工程学院学报, 2001, 15(1): 62-64.
- [3] 陈家瑞, 马天飞. 汽车构造[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [4] 刘瑞林. 柴油机高原环境适应性研究[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2013.
- [5] 张志强, 何勇灵, 韩志强, 等. 高原环境对车用发动机的影响分析及对策[J]. 装备环境工程, 2009, 6(2): 28-31.
- [6] 何西常, 周磊, 迟森, 等. 高原环境对发动机起动过程影响分析[J]. 内燃机, 2013(4): 17-21.
- [7] ZAHDEH A R, HENEIN N. Diesel Engine Cold Starting White Smoke[J]. SAE paper, 2008, 32(10): 1-12.
- [8] 张巍. 基于神经网络模型的燃油加热器控制算法研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2012.
- [9] 朱贺. YJP-Q30 车用液体燃油加热器的试验研究[D]. 济南: 山东大学, 2010.
- [10] 邵元征. 重型发动机预热器优化分析[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [11] 王天利, 刘野, 高攀, 等. 车用柴油机燃油加热器的匹配分析[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(3): 138-141.
- [12] 毛华永, 李国祥, 王伟, 等. 车用燃油加热器燃烧性能的试验研究[J]. 汽车工程, 2006, 28(12): 1136-1138.
- [13] 王桂华, 靳忠伟, 李国祥, 等. 蒸发混合式汽车燃油加热器燃烧室配风模拟计算及改进设计[J]. 内燃机工程, 2006, 27(4): 35-38.
- [14] 张勇. 汽车空气燃油加热器燃烧排放控制研究[D]. 西安: 长安大学, 2002.
- [15] 刘瑞林, 靳尚杰, 孙武全, 等. 提高发动机低温起动性能的冷起动辅助措施[J]. 汽车技术, 2007(6): 5-8.
- [16] 方志刚, 李跃平, 侯东, 等. 浅议 YJH-Q10A 燃油液体加热器在发动机低温启动时的应用[J]. 现代制造技术与装备, 2009(5): 13-14.