

节温器在装甲车辆冷却系统中的应用研究

Research on Application of Thermostat to Cooling System of Armored Vehicle

冉光政¹, 骆清国¹, 尹洪涛¹, 张建春², 李顺达¹

(1. 装甲兵工程学院机械工程系, 北京 100072; 2. 上汽通用五菱汽车股份有限公司, 柳州 545007)

摘要: 简述节温器的功能及分类, 分析其存在的不足及对冷却系统的影响; 结合装甲车辆特点, 探讨在其电控冷却系统中应用节温器的可行性; 基于某型装甲车辆冷却系统建立了有节温器和无节温器的电控冷却系统 GT-cool 模型并进行仿真计算, 结果显示有节温器冷却系统的阻力比无节温器冷却系统阻力高, 小循环阶段温升速率高于无节温器冷却系统, 总的初始温升慢于无节温器冷却系统; 在冷却系统中加装节温器并进行台架试验, 验证了仿真结论。

关键词: 车辆; 电控冷却系统; 节温器

Abstract: The function and the classification of the thermostat are summarized and its shortage and effect to the cooling system are analyzed. Combine with the characteristic of the electric control cooling system of armored vehicle, the differences of with and without a thermostat is discussed. Basic of an armored vehicle, the two different electric control cooling system were established in GT-cool. Simulation results show that the flow resistance of the system with thermostat is higher than the other. The warm-up speed before thermostat opening is quicker but the total warm-up time of the system without thermostat is shorter. A bench test was operated to verify the simulation.

Key words: vehicle; electric control cooling system; thermostat

0 引言

冷却系统是保证发动机正常工作的必要辅助系统, 对发动机的动力性、经济性、排放以及寿命等都有很大影响。在传统的发动机冷却系统中, 节温器扮演着十分重要的角色, 它可以根据发动机冷却液温度对冷却液的循环路径进行调节, 实现发动机快速暖机和冷却液温度的调节。然而, 随着车辆冷却技术的发展, 在装甲车辆发动机电控冷却系统中, 冷却温度的调节由电控风扇和水泵来完成。因此, 研究能否将节温器应用于装甲车辆发动机电控冷却系统具有重要的现实意义, 可以为现有装甲车辆发动机冷却系统的改造或新型冷却系统的设计提供参考。

1 节温器概述

1.1 节温器的功用

图 1 所示为典型发动机冷却系统结构图, 该冷却系统循环中的节温器根据冷却液温度自动调节流经机体后的冷却液进入散热器的流量, 从而实现: (1) 保持一个恒定的, 与大气环境、发动机工况无关的冷却液温度范围; (2) 在初始温升阶段, 限制通向散热器中的冷却液流量, 以便在尽可能短的时间内达到最佳的发动机工作温度^[1]。

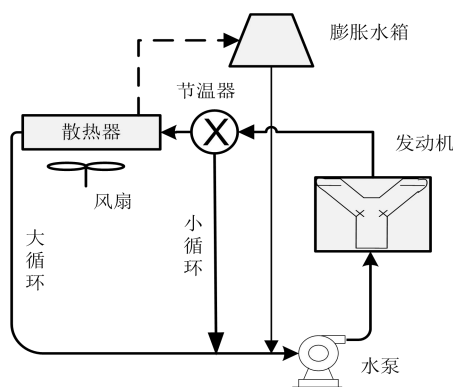


图 1 典型发动机冷却系统结构

1.2 节温器的发展

1.2.1 乙醚式节温器

乙醚式节温器芯体结构如图 2 所示, 其弹性折叠式圆筒内装有易挥发的乙醚。筒内乙醚液体的蒸汽压力随着周围温度变化, 驱动旁通阀门及上阀门开启或关闭, 从而起到调节大小循环开度的目的^[2]。

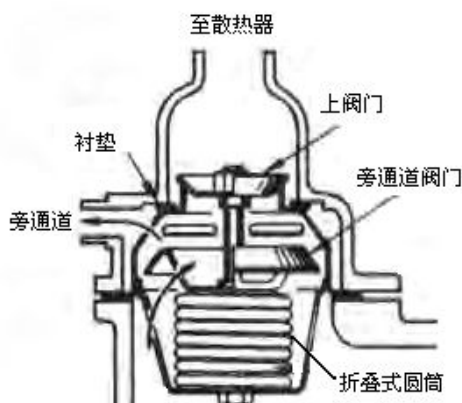


图 2 乙醚式节温器芯体结构图

1.2.2 蜡式节温器

蜡式节温器较乙醚式节温器具有工作可靠、结构简单、制造方便、成本低等优点, 目前已成为最为常用的节温器^[3]。如图 3 所示为蜡式节温器芯体结构图, 该节温器利用石蜡受热膨胀的原理, 当水温低于其开启温度时, 节温器中的石蜡保持固态, 金属片在弹簧弹力作用下将大循环支路封闭, 小循环支路开启, 当温度超过开启温度时, 石蜡膨胀驱动力大于弹簧弹力, 将金属片缓慢顶开, 小循环支路逐渐关闭, 同时大循环支路逐渐开启。

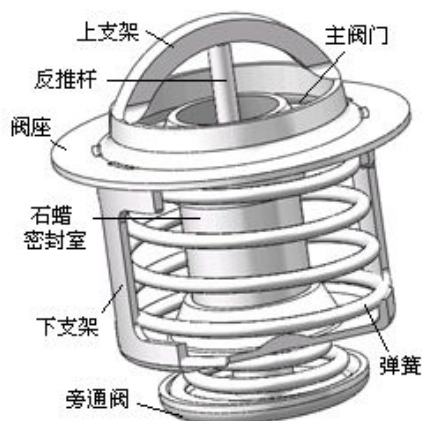


图 3 蜡式节温器芯体结构图

1.2.3 记忆合金节温器

针对石蜡式节温器存在因石蜡泄漏而影响使用寿命的问题，2002 年黑龙江省木材采运研究所战廷文等采用记忆合金（Ni-Ti-Cu）取代石蜡密封室，以感温材料为执行元件，提高了节温器的工作可靠性，制造工艺更为简单且成本降低^[4]；2004 年装甲兵工程学院李运良等人利用形状记忆合金的耐腐蚀、感温灵敏度高的特性，研发了石蜡-记忆合金（Ni-Ti）双重驱动节温器，提高了节温器的工作可靠性和使用寿命，满足军用装备可靠性高的特殊要求^[5]。

1.2.4 电控节温器

尽管乙醚式节温器、蜡式节温器与记忆合金节温器各自驱动方式不同，但其结构相近，都存在节流阻力大、反应滞后和控制精度低等缺点。针对该问题，国内外相关学者展开了一系列研究。1988 年美国 Eaton 公司的 Andrew 等人提出了汽车发动机电子节温器系统的概念^[6]；其后英国 Bath 大学的 S.P. Tomlinson 等人与美国 Oakland 大学的 X. ZHOU 等人进行了相应的理论和仿真研究^[7-8]；2006 年美国 Clemson 大学 John R 等人研发了发动机冷却系统智能节温器，采用伺服电机驱动齿轮和螺杆，带动活塞（阀芯）运动，实现对冷却液大小循环通道的切换^[9-12]。2000 年山东农业大学袁燕利等人改变了节温器结构，采用带电热丝的双金属片作为驱动，改善了节温器性能^[13]；2011 年浙江大学王帅采用电动三通比例阀作为执行器研发了电子节温器，并对节温器进行模糊智能控制^[14]。

1.3 节温器仍存在的不足

尽管节温器技术及工艺不断提高，节温器仍然给冷却系统带来如下问题：

（1）乙醚式节温器、蜡式节温器以及记忆合金节温器受制于其结构形式而带来不可消除的节流阻力大、迟滞效应明显等不足。节流阻力大会导致整个冷却液循环压力损失大，水泵功耗浪费明显。尤其是当节温器处于半开或全关闭状态，冷却液流经节温器时流动方向和流动速率都发生了急剧的变化，形成涡流，加剧了液流的内摩擦，从而造成压力损失严重^[15]。迟滞效应会导致冷却液时间延迟、温度偏移等不良问题^[16]，并引起冷却系统喘振和噪声增大，温度控制精度低，冷却系统可靠性降低。

（2）尽管电控节温器解决了部分节流阻力大和延迟时间长的问題，但目前尚处于研发阶段。由

于引入了温度信号采集、电机驱动以及自动控制等技术,导致了成本高,体积大,故障率增大等问题。

2 节温器在电控冷却系统中的应用

电控冷却系统已经在民用汽车领域得到应用和推广,在军用装甲车辆方面,相关的研究和应用都尚在进行。国内方面,2006年起笔者进行装甲车辆发动机智能化控制冷却系统研究^[17],台架试验中发动机和中冷器的出口水温控制精度可达 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

装甲车辆冷却系统较其他车辆冷却系统有明显的区别,且电控冷却系统与传统的冷却系统又有很大的差异,因此需要研究节温器在装甲车辆电控冷却系统中应用的可行性。

2.1 装甲车辆电控冷却系统主要特点

装甲车辆电控冷却系统除了具有散热量大、可靠性要求高等特点外,还有如下特点:

(1) 冷却空气从车顶百叶窗进入,难以利用车辆行驶时的迎面风。同时也说明只要百叶窗关闭且风扇不转就不会有冷却空气经过散热器。

(2) 电控冷却系统能根据车辆的冷却需求,通过实时控制风扇和水泵转速来实现冷却强度的调节,从而实现按需冷却、精确冷却和降低功耗。

2.2 加装节温器的利弊

装甲车辆电控冷却系统对冷却系统的低阻高效具有很高的要求,如果没有节温器,无疑会减小冷却液循环阻力,降低水泵功耗。

传动的装甲车辆冷却系统风扇和水泵都由发动机以固定传动比驱动,冷却强度的调节只能由百叶窗来执行,加装节温器可以增加控制途径。在电控冷却系统中,冷却强度可由风扇和水泵调节,其灵活性和精度都远高于节温器的调节,因而可以不需要节温器的调节作用。

在车辆低温启动时,使冷却液温升加快,可以使风扇停转,水泵低转速运行。同时,加装节温器的冷却系统可以只加热小循环内的冷却液,不加热散热器腔内的水,因此在节温器开启前能加快温升。在节温器开启时,随着散热器腔内的水加入循环,会引起温度波动,减缓温升过程。

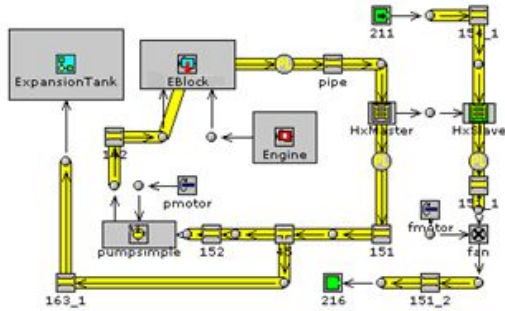
由此可见,节温器无疑会增大流动阻力,电控冷却系统中已不需要节温器的调节作用,其加快初始温升的效果有待进一步明确。

3 装甲车辆冷却系统仿真研究

以某型装甲车辆柴油机冷却系统为原型,建立无节温器冷却系统和有节温器冷却系统 GT-cool 仿真模型,并通过台架试验对模型进行了验证^[18]。通过仿真计算,比较冷却系统中反映节温器影响的参数来研究节温器对冷却系统的利弊。

图 4 所示为无节温器的装甲车辆电控冷却系统 GT-cool 模型,其中水泵与风扇采用电控调节。图

5 所示为有节温器的装甲车辆电控冷却系统 GT-cool 模型。该模型在无节温器的冷却系统模型的基础上加装了节温器，其他零部件不改变。系统中节温器主阀其开启温度为 $62^{\circ}\text{C}\sim 72^{\circ}\text{C}$ ，关闭温度为 $70^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，有 2°C 的迟滞效应。



(2) 节温器的存在导致冷却液温度持续波动约 150 秒，波动范围约为 4℃，不利于水温继续上升，且其持续波动引起的振动会影响冷却系统效率和可靠性。

(3) 节温器全开后，冷却液在大循环内流动，温升速率减缓至 0.078℃/s，比无节温器冷却系统温升速率低约 15.2%。冷却液温度从 15℃到达 72℃的时间反而比电控冷却系统慢 80 秒，其直接原因是节温器的波动。

仿真结果说明，对于装甲车辆电控冷却系统，加装节温器会增加冷却系统的流动阻力，能在节温器开启前加快初始温升，但在节温器开启过程温升有波动，减缓了后期的温升过程。

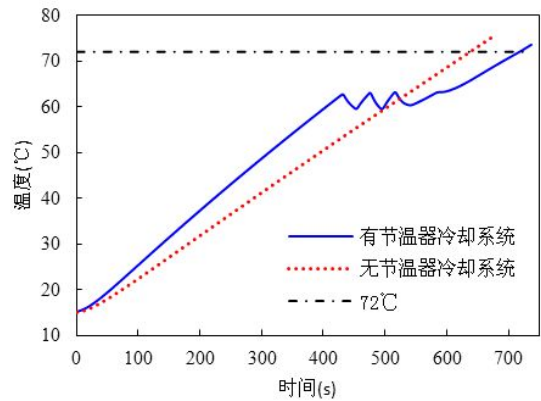


图 7 发动机出口冷却液温度变化比较

4 节温器台架应用试验

为进一步研究节温器在实际中的应用情况，在上文提到的装甲车辆柴油机冷却系统中加装节温器并进行台架试验。

表 1 所示为节温器大循环流道阻力特性，从表中可以看到节温器的阻力随流量的升高而增大，其占系统总阻力的比重在水泵额定转速（2900r/min）时达 25.22%，该结果试验了仿真模型及计算结果的准确性，同时说明了节温器会给冷却液循环增加较大的流动阻力，不加装节温器将能节省约 20% 的水泵功耗，可提高冷却系统的效能。

表 1 节温器大循环流道阻力特性

电控水泵转速 (r/min)	系统总阻力 (kPa)	节温器		
		流量(m³/h)	阻力(kPa)	占总阻力比重(%)
1400	71.02	15.31	14.42	20.31
1900	121.16	20.61	27.55	22.74
2400	195.91	26.73	47.51	24.25
2900	275.55	31.83	69.49	25.22

5 结论

(1) 在分析不同节温器的特性的基础上，研究了节温器在装甲车辆电控冷却系统中的应用，并认为在电控冷却系统中可不必要加装节温器。

(2) 基于某型装甲车辆冷却系统加装节温器进行建模仿真。结果显示: 加装节温器冷却系统的流动阻力比无节温器的冷却系统高约 25%; 冷却液温度在节温器开启前初始温升比无节温器冷却系统快, 冷却液温度在开启时有约 150s 的波动, 全开后温升速率慢于无节温器冷却系统, 总的温升时间反而慢了 80s。

(3) 对冷却系统进行的台架试验显示: 节温器阻力占系统总阻力的百分比随流量增加有所增加, 在水泵额定转速时达 25.2%, 该结果验证了节温器会导致系统流动阻力较大幅度的上升。

6 参考文献

- [1] 章慧锦, 李仁业译. 车辆冷却系统设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- [2] 黄余平. 发动机和底盘[M]. 北京, 人民交通出版社, 2005.
- [3] 郭新华. 汽车构造[M]. 北京, 高等教育出版社, 2004.
- [4] 战廷文, 米桂云等. 新型记忆合金节温器的研究[J]. 应用能源技术, 2002 (2): 41~42.
- [5] 李运良, 陈威等. Ni-Ti 形状记忆合金在装甲车辆冷却系统上的应用[J]. 机械工程师, 2004 (12): 42~45.
- [6] Andrew A. Kenny, C.F.B., Brain T. Creed, Electronic Thermostat System for Automotive Engines[J]. SAE Paper, 880265.
- [7] S.P. Tomlinson, C.R.B., Design of a Feedback Controlled Thermostat for a Vehicle Cooling System[J]. SAE Paper, 961823.
- [8] B. CAHLON, D. S., M. SHILLOR and X. ZOU, Analysis of thermostat models[J]. Euro. Journal of Applied Mathematics, 1997: 437-456.
- [9] John R. Wagner, V.S.a.D.M.D., Smart Thermostat and Coolant Pump Control for Engine Thermal Management Systems[J]. SAE Paper, 2003-01-0272.
- [10] J. Wagner, LP., E. Marotta, D.Dawson, Enhanced Automotive Engine Cooling System: A Mechatronics Approach (OCR). Journal of Vehicle Design[J], 2002. Vol. 28, Nos.1 /2/3, 2002.
- [11] John R. Wagner, M.C.G.a.D.W.D., Coolant Flow Control Strategies for Automotive[J]. SAE Paper, 2002-01-0713.
- [12] John H. Chastain, J.R.W., Advanced Thermal, Management for Internal[J]. SAE Paper, 2006-01-1232.
- [13] 袁燕利, 邢娟等. 新型电控节温器的研究设计[J]. 农机化研究, 2001.2 (1): 51~53.
- [14] 王帅. 内燃机电控节温器的设计开发与试验验证[D]. 浙江大学硕士学位论文, 2011.
- [15] 郭新民, 丁健鲁等. 节温器对车用发动机冷却能力的影响[J]. 车用发动机, 1994 (2): 24-27.
- [16] 罗建曦, 张扬军. 节温器对发动机热系统动态性能的影响[J]. 清华大学学报, 2004. 44 (5): 701-704.
- [17] 骆清国, 桂勇. 装甲车辆发动机智能化控制冷却系统发展[J]. 装甲兵工程学院学报, 2001, 25 (4): 25-29.
- [18] 冯建涛, 骆清国等. 柴油机电控冷却系统性能仿真研究[J]. 装甲兵工程学院学报, 2009, 23 (2): 33-37.