

# 汽车发动机电子水泵设计与研究

宋海涛

哈尔滨东安汽车动力股份有限公司 黑龙江 哈尔滨 150000

**摘要:** 发动机冷却系统开发时,其目标的冷却效果需要覆盖到其最大功率点及最大扭矩点,但发动机在汽车整体使用时很少会达到相应的工况点,但整车在低速高负荷时时期所需要的冷却性能也在大幅升高。传统发动机冷却系统使用的机械水泵,通过曲轴旋转带动的皮带来驱动水泵工作,其冷却效果与发动机转速成正相关,为满足上述工况,机械水泵在普通负荷时会造成一定的过冷却问题,导致发动机和整车产生一定的机械损耗。本文介绍电子水泵冷却系统的相关特点及设计要点,从而降低发动机的机械损耗提升其热效率。

**关键词:** 汽车; 发动机; 冷却系统; 设计; 电子水泵

## 1 汽车发动机电子水泵的发展现状

对于水泵来说,在通过叶轮的旋转驱动冷却液克服冷却系统零件(包含管路、缸体、缸盖、散热器等)的阻力并在其中不断循环的动力元件,其主要作用就是为冷却系统提供动力,防止因为发动机持续工作过长而出现温度过高的现象。

传统机械水泵通过曲轴皮带来轮旋转带动皮带运动从而驱动水泵叶轮旋转,因机械水泵与曲轴有一定速比,因此在机械水泵设计时主要考虑发动机在低速大负荷时的散热去求来确定了机械水泵的性能指标,在发动机高转速时,机械水泵提供的冷却流量存在一定的浪费。而电子水泵通过电机驱动水泵,脱离了曲轴提供动力,因此设计时直接考虑发动机最大散热需求作为水泵的性能指标,从而避免了发动机的机械损失<sup>[1]</sup>。

因为对于一个发动机来说,需要满足整车紧凑化设计原则,所以对电子水泵的所携带的电机部分的体积大小、与冷却管路的具体布局、叶轮的尺寸等都要严格满足设计要求,很可能因为局部的设计不符合条件就降低了冷却效果,所以发动机整体布置需要充分统筹考虑。

### 1.1 电子水泵的型式

目前而言,根据电子水泵与发动机配合方式来分,普遍的有外挂式和贴合是两种(如图1),总体来说其和普通机械水泵之间存在着相似性也有显著差异。

贴合式电子水泵的进出水通道与机械水泵类似,流道的一半在水泵侧,一半在发动机侧,在电子水泵安装后形成了整体进水流道,在电子水泵流道设计师具有一定的参考意义。贴合式电子水泵的优点是空间紧凑,流道设计具有一定参考性,同时具备了与机械水泵之间具有替代的关系。缺点是需要与发动机同步开发,周期较长。

外挂式电子水泵一般是生产厂家具备一定成功经验

后的量产产品,其布置空间灵活,且其零件单体水力效率及流量模型固化,可以借鉴方式较多。但受限于本身体积及发动机在整车机舱的空间布置,导致在部分发动机或整车上无法布置,需要对发动机其他相关零件甚至水泵的进水管路进行调整更改,代价较大<sup>[2]</sup>。



图1

### 1.2 可靠性

一直以来,发动机作为汽车的动力来源,其是汽车上最为重要的部件之一。电子水泵作为发动机的冷却系统的动力元件,通过节温器及热管理系统对发动机工作温度进行全面控制。所以要求电子水泵寿命长于发动机的寿命。所以说,这也就进一步要求了发动机的电子水泵和其零组件都必须具备极高的可靠性。

由于电子水泵作为发动机的冷却动力元件,随整车及整机的水阻设计能力的关系,其功率一般在200~600W之间,其本体冷却可以使用风冷的方式,通过试验分析和工作经验证明,当水泵处于传统12V电源系统时,其电流在20~40A之间,其本身发热量较大,同时机舱内温度可以达到100℃左右,不利于电子水泵散热,电子水泵内部电路元件温度达到150℃时会触发电子水泵报警,做出降速限扭等保护策略。因此发动机电子水泵设计时考虑本体的采用液冷的冷却方式、其电路元件提升耐温等因素,以进一步地保证发动机在其工作过程中不会因为温度过高而带来严重的不可逆后果,甚至出现意外事故。

所以说,电子水泵只有具备了极高的可靠性,才能够进一步保证发动机运行<sup>[1]</sup>。

目前根据传统机械水泵及电机类零组件的相关试验要求,对于电子水泵的高温全负荷工况耐久,变工况考核及电机电器部分的型式试验均有较高要求,根据行业内现状电子水泵单体型式试验至少需要30余项的单体验证。

## 2 当前汽车发动机电子水泵的研究进展

### 2.1 水力性能的研究进展

因为受限于现有整车冷却系统阻力无法降低,部分日系车辆其电子水泵功率仅需200~250W既可以满足整车的冷却要求,但国内自主品牌的电子水泵功率主要集中在400W以上。为对这样一个相较不利的局面进行扭转,大量技术人员和该领域高端人才都为其付出了心血展开相关的探究工作。在电子水泵开发来说,前期模拟仿真计算尤为重要,水力、电器仿真计算结果对电子水泵的水力效率、水力流体,电机等零组件的设计有直接的影响。负责进行模拟仿真计算工作的工程师,需要在CFD软件的对流体网格精细优化,云流图等参数进行细致的模拟计算。这样一来,一方面可以显著提高电子水泵的工作效率,另一方面也验证的工作量可以节约后期的验证成本。

### 2.2 系统可靠性的研究进展

对于使用电子水泵的发动机来冷却系统说,在其中之一最为重要部件的也就是电子水泵,在发动机工作的状态下,冷却系统的正常运行并具备着足够的可靠性可以直接对发动机自身运行可靠性产生影响。参考机械水泵常见失效模式,对于电子水泵进行相关的设计规避也是重中之重。

例如水封漏水问题是机械水泵最常见也是最为主要的问题之一,机械水泵的受皮带轮驱动,其轴承结构与叶轮中间必然有水封零件,而水封对于冷却液成分有一定要求,当冷却液中含有与水封产生化学反映的元素时,机械水泵水封密封失效产生漏水现象。而电子水泵使用电机驱动,取消了水封,因此电子水泵对于冷却液成分相对来说没有苛刻要求,同时电子水泵可以采用橡胶密封圈密封,进一步提升电子水泵的可靠性。

## 3 汽车发动机冷却电子水泵控制方式及开发过程

### 3.1 电子水泵控制方式

电子水泵分开关控制定速式、PWM或LIN通讯控制调速式。

定速式电子水泵仅通过开、关来控制水泵介入冷却,其恒定转速、流量,一般用于停机冷却增压器总成(保证发动机停机后,增压器冷却液继续循环,防止

回热高温导致增压器内机油加速老化变质或损坏零组件)。此种水泵,无法实现调速、防护及故障反馈,并且功率较低,使用受限。

调速式电子水泵可通过PWM或LIN信号,适时、精确控制冷却液流量、温度,保持发动机处于最佳工作状态。

PWM控制是将水泵不同转速、故障模式编制成0-100%高低电平占空比的模拟脉冲信号,通过界定不同占空比区间与转速的关系,ECU根据发动机水温等参数,控制不同的占空比大小,调节水泵功率输出,PWM只能实现单向通讯。

LIN通讯通过“十进制”或“十六进制”编码将不同工作模式及零件异常状态等编制成不同编码(通常水泵转速的控制是通过LIN数据的0-255区间对水泵转速进行的一个覆盖),并加入帧ID形成数字信号以不同波特率发送到ECU水泵接收器,数字信号接收水泵实际工作状态,与规定状态对比后发出控制指令,响应更快,控制更精准,可实现电子水泵与ECU之间的双向通讯。同时LIN控制可以在一根通讯线上实现不同零部件的控制(如发电机、EGR、增压器等)。

目前市场上的电子水泵控制方式,多数以为LIN信号为主,PWM为辅的方式,ECU接受LIN和PWM的给定的转速信号,若判断LIN信号丢失后,迅速使用PWM信号计算给定转速。

### 3.2 电子水泵开发过程简述

首先整车及发动机开发过程直出,根据其使用工况:最大功率及对应转速、冷却系统通过Flowmaster模拟计算,综合热平衡状态下,散热器、油冷器、EGR冷却器、小循环、补液壶等流量需求、冷却系统内部阻力及极限工况冷却需求,对电子水泵的性能要求为:散热器温差 $\Delta t$ 情况下,可以算出电子水泵的目标流量和扬程既水泵的水力功率。

电子水泵流量、扬程及对应发动机转速、系统阻力等参数仿真计算水力输出功率,再综合考虑水力效率、电机效率、电控效率等参数,计算所得电子水泵总效率,然后根据总效率计算电子水泵总功率。如某项目水力输出功率190W,根据经验保守估计水泵效率45%(行业内最大效率约50%~水力效率60~63%×电机效率80~90%×电控效率90%),计算水泵总功率约422W,考虑耐久5%的性能衰减,推荐450W电子水泵方案能够满足性能需求。

同时我们可以通过行业内公认的电子水泵总功率理论计算公式,计算水泵总功率与仿真计算结果加以对照,校验推荐方案的合理性。电子水泵功率计算公式如下:

$$P = (Q\rho)gh/\eta$$

其中：P：水泵功率；Q：冷却液流量；P：冷却液密度；H：水泵扬程； $\eta$ ：水泵综合效率

其次根据项目的空间布置、零件通用化等原则确认

电子水泵的型式选择，水力效率与流道型式（顺时针、逆时针）、流道形状、叶轮直径、电控软件等相关，发动机上进行空间布置，必须通过流道模拟计算，反复调整流道，降低流道及系统阻力（如下图）。

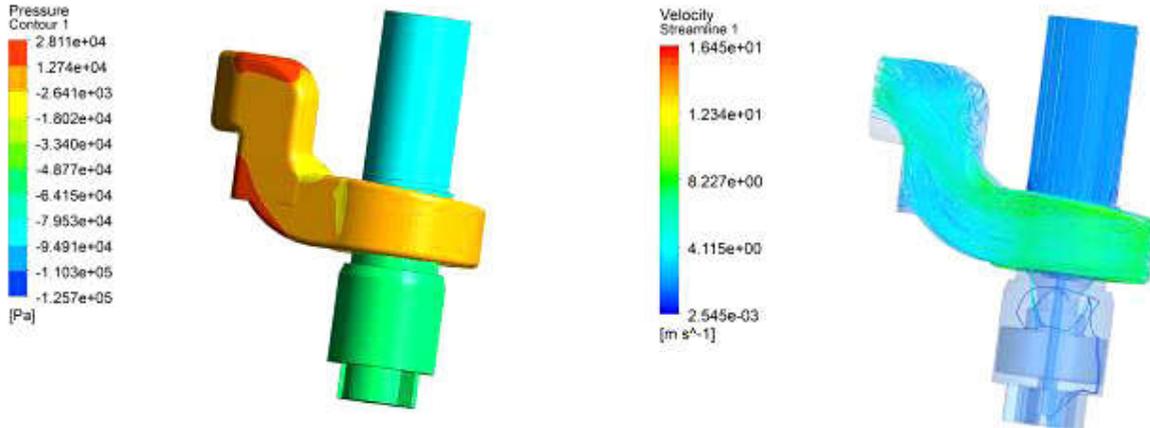


图2 某项目电子水泵流道优化前的压力和流速云图

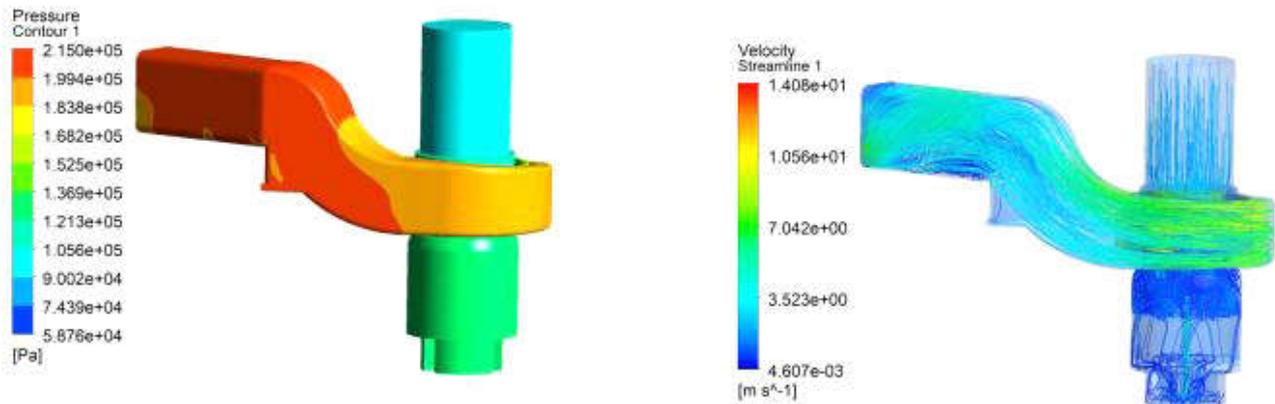


图3 某项目电子水泵流道优化后的压力和流速云图

最后考虑电子水泵自身电机的定转子体积，水泵本体冷却方式等确认最终的电子水泵外形并最终做出相应产品并进行后续试验。

### 结语

随着新能源汽车快速发展，整车对减小机械损失提出了更高的要求，整车电气化程度越来越高，为降低发动机机械损失，提升发动机热效率，电子水泵作为关键技术被广泛使用。我司首次在搭载新能源车型的增程动力上应用电子水泵，为充分发挥其适时、适温、精准控制的优势，电子水泵的性能和控制策略研究成为关键。同时电子水泵发展需要在从技术、产品、能力层面建立

电子水泵性能数据库，流道模型库，CAE、疲劳、CFD及Flowmaster联合仿真体系，开发完善的标定控制策略；进行相应的技术储备、能力建设及人才培养，为后续发动机拓展应用奠定坚实的基础。

### 参考文献

- [1]任家潮.关于汽车发动机冷却水泵研究进展分析[J].内燃机与配件, 2018 (17): 107-108.
- [2]齐昌杰, 张祎.汽车发动机冷却水泵的研究进展[J].内燃机与配件, 2018 (12): 102-103.
- [3]张媛.汽车发动机冷却水泵的研究进展[J].内燃机与配件, 2018 (06): 78-79.