

DOI:10.19344/j. cnki. issn1671-5276.2024.04.017

面向智能驾驶车辆探头清洗的机械式水路分配器设计与研究

陆晓沁¹, 王鲁斌², 芦兆宽², 梁世文²

(1. 宁波华翔汽车技术有限公司, 浙江 宁波 315033; 2. 大连理工大学宁波研究院, 浙江 宁波 315016)

摘要:采用机械旋转式结构代替原有的电磁阀结构,设计一种面向智能汽车车辆探头清洗的水路分配器装置。介绍该装置的工作机理与控制逻辑,论述分水器运行结构和功能实现方法。利用 ABAQUS 仿真软件对分水器的整体结构强度进行校核,结合分析结果对进水阀盖进行设计优化;运用流体仿真软件 Fluent 对出水阀结构进行出口流速仿真计算,结合仿真结果对水路结构进行了优化,优化后结构满足设计要求。

关键词:汽车探头;智能清洗;水路分配器;结构设计

中图分类号:TH122 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2024)04-0093-04

Design and Research of Mechanical Waterway Distributor for Probe
Cleaning of Intelligent Driving VehiclesLU Xiaojin¹, WANG Lubin², LU Zhaokuan², LIANG Shiwen²

(1. Ningbo Huaxiang Automotive Technology Co., Ltd., Ningbo 315033, China;

2. Ningbo Institute of Dalian University of Technology, Ningbo 315016, China)

Abstract: A water distributor device for intelligent vehicle probe cleaning is designed with the adoption of mechanical rotating structure in place of the original magnetic valve structure. The working mechanism and control logic of the device are introduced, and the operation structure and function realization of the water distributor are discussed. ABAQUS simulation software was applied to check the overall structure strength of the water distributor. Combined with the analysis results, the design and optimization of the water inlet valve cover are carried out. The fluid simulation software Fluent is used to simulate the outlet velocity of the outlet valve structure. The waterway structure is optimized by combination of the simulation results, which meets the design requirements.

Keywords: car probe; intelligent cleaning; water dispenser; structural design

0 引言

随着社会的进步和科技的发展,智能无人驾驶汽车已经成为车辆工程领域重要的组成部分和汽车增长的新动力,无人驾驶汽车及其相关的智能技术已经成为研究的热点^[1-3]。汽车在行驶过程中经过泥泞路面或者雨天等情况时,不可避免的会有泥沙、污渍、水滴等覆盖到摄像头和传感器表面。如果没有及时清除这些污垢,就会严重影响摄像头采集图像信息的质量^[4],大大降低雷达等传感器的识别能力^[5],造成驾驶者判断失误或车载计算机识别错误信息,引发意外事故。因此,在车辆行驶环境中保持清晰的视野对于摄像头捕捉行车环境和提供数据至关重要^[6-7]。

目前对于智能驾驶汽车探头清洗装置的研究主要集中在电磁阀式控制的清洗装置上。TANAKA 等^[8]利用车载摄像头采集到的图像信息

来控制清洗装置工作,清洗装置内部设置有电磁阀,通过电磁阀控制喷射清洗液,清洗液流入摄像头清洗模块,清洗完毕控制模块控制电磁阀关闭,阻断清洗液供给。罗小平等^[9]发明了一种车载摄像头清洗装置,该装置在流体管路中加入用于控制流体通断的电磁阀,通过控制开关控制电磁阀向镜头外端面喷射清洁介质以清洗镜头。采用电磁阀式的清洗水路分配方式具有控制方便、空间占用量小、集成化程度较高等优点。但是电磁阀通常只有开、关两种状态,无法对水路进行精准控制^[10]。同时,电磁阀的增多必定会造成系统质量和成本的增加。有研究发现当控制系统中存在多路电磁阀时会出现因电磁阀故障导致装置无法使用的现象,故电磁阀数量与故障率成正比^[11]。同时,电磁阀的增多也会导致耗电量增加,这对于目前主流使用的以电能为动力能源的智能驾驶车辆来说,非常不友好。所以,研究一种不依赖于电磁阀的智能

第一作者简介:陆晓沁(1981—),男,浙江宁波人,工程师,本科,研究方向为汽车机械制造与智能化,luxiaoqin@nbhx.com。

驾驶清洗水路分配装置具有重要的意义和价值。

为此设计一种采用机械旋转式的水路集中分配器装置。本文介绍了该装置的系统连接、运行结构和工作逻辑,对工作状态下结构强度进行了仿真分析,并结合出水阀道设计,对水路结构进行了优化。

1 工作机理与控制逻辑

本装置为汽车风窗洗涤系统中的升级模块,整个升级系统由清洗模块(洗涤液罐、洗涤泵、喷嘴)、中央控制模块(智能分水器)及需求模块(摄像头镜片清晰度传感器)三大模块组成。三大模块相互连接,由智能分水器中的中央控制模块负责接收需求模块的需求信息并控制清洗模块工作,形成一个整体清洗系统,如图1所示(1—10为探头位置)。

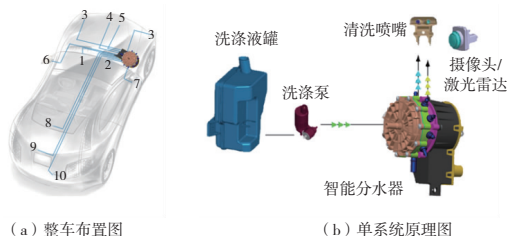


图1 系统连接图

智能分水器是整套清洗系统的核心,不仅作为大脑进行传递信息和管控清洗模块,同时最重要的一点是将洗涤泵输出的洗涤液正确地导入到需要的水路清洗点。其工作流程为:行车计算机 ECU 接收到清洗信息并将信息发送至智能分水器;分水器清洗系统控制单元接收信息后经过编译,通过比较内部程序,确定需打开的对应水路;通过转盘电机转动至所需阀体并顶开阀芯,同时控制压力泵按预设的功率输出合适的水压,清洗液经过已被开启的阀体、水管输送至清洗喷嘴进行喷水清洗;清洗一定时间后分水器控制单元关闭供水,同时按预设程序开启压缩空气罐阀门,将压缩空气经由原先阀门、水管送至喷嘴完成对摄像头的吹风干燥。所有程序执行完毕后系统复位待机,工作流程如图2所示。

2 运行结构与功能实现

智能分水器采用机械式结构设计,其结构布置如图3所示,核心零件包括壳体、安装在壳体上的传动轴、驱动传动轴的调位电机、蜗杆和蜗轮。阀体上设有进水腔和若干周向间隔布置的出水

阀。出水阀包括阀座、阀芯、预紧弹簧如图4所示,阀座上设有阀腔,预紧弹簧、阀芯均安装在阀腔内,阀座上连接进水管,进水管连通在进水腔和阀腔之间,阀芯一端延伸出阀座的一端,阀座另一端设有出液嘴,预紧弹簧抵接在阀芯另一端和阀腔内壁之间。阀芯外壁上设有倾斜设置的活动密封面,阀腔内壁设有固定密封面。固定密封面和活动密封面适配贴合阻隔进水管和出水嘴。转轴连接用于推动阀芯移动使固定密封面和活动密封面分离的推动凸块。

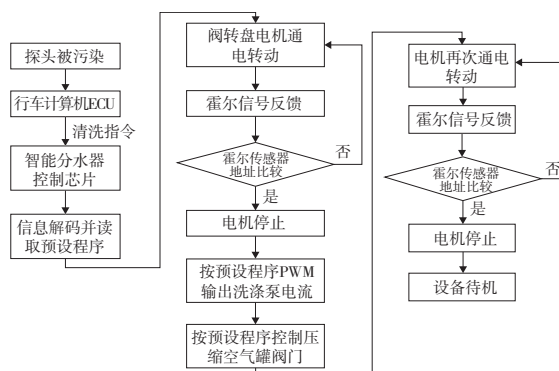
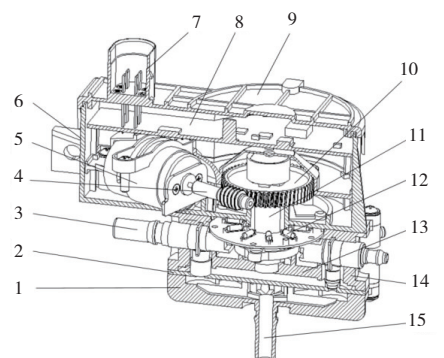
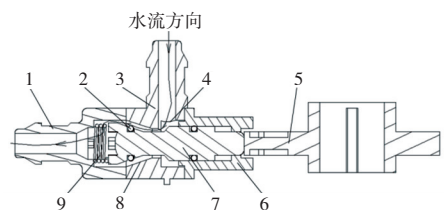


图2 分水器程序工作原理图



1—进水阀盖;2—密封圈;3—出水口;4—蜗杆;
5—电机;6—壳体;7—线束接头;8—总控电路板;
9—端盖;10—蜗轮;11—传动轴;12—磁传感器;
13—阀体上支架;14—阀体下支架;15—进水腔。

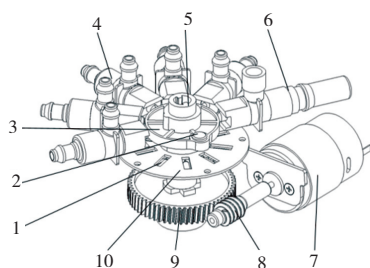
图3 智能分水器内部结构图



1—出水嘴;2—密封圈;3—进水管;4—扩增面;
5—凸块;6—阀座;7—阀芯;8—固定密封面;9—预紧弹簧。

图4 出水阀内部结构图

机械式的分水器采用圆盘结构,利用凸轮和预紧弹簧对水路进行选择 and 限位。水泵将水流输送到进水腔内,调位电机工作带动转轴转动,与转轴连接的凸块结构推动阀芯移动使被预紧弹簧弹压的密封圈和密封面分离,从而开启出水阀,出水阀导通后即可实现水路的导通,进而通过该水路对相应的摄像头进行清洗。清洗完成后,电机转动推动凸块回位待机。转轴转过不同的角度,使凸块移动到不同的出水阀阀芯,进而开启不同位置的出水阀,实现对不同探头的清洗,如图 5 所示。在预紧弹簧作用下,固定密封面和活动密封面适配贴合,由两者之间的密封圈形成密封。出水阀开启时,凸轮将旋转力转换成阀芯的轴向力,从而推动阀芯使固定密封面和活动密封面分离。



1—磁传感器;2—磁铁;3—凸轮盘;4—低压出水阀总成;
5—传动轴;6—高压出水阀总成;7—电机;
8—蜗杆;9—蜗轮;10—磁传感器电路板。

图 5 出水阀布局图

3 结构强度分析

对模型进行适当简化,去除一些不必要的零件后利用商用有限元分析软件 ABAQUS 对几何模型进行网格划分,得到有限元计算模型。分水器结构整体采用 3D 实体建模,其中螺栓紧固件采用六面网格建模,单元类型为 C3D8I,其余结构采用四面体网格建模,单元类型为 C3D10M。分水器部件整体采用聚甲醛材料(POM),该材料具有耐疲劳、耐蠕变、耐磨、耐冲击等优良性能,常用于制作泵壳体、齿轮和轴承。具体材料参数为:密度 1.41 g/cm^3 ,弹性模量 $2\ 500 \text{ MPa}$,泊松比 0.39,屈服强度 59 MPa 。将材料的屈服应力 σ_s 除以安全系数 γ (取 1.1) 便得到材料的许用应力 $[\sigma_s]$, $[\sigma_s] = 53.6 \text{ MPa}$ 。

为了达到清洗效果,经过测试可知,清洗喷嘴处需要有最高 0.5 MPa 的水压才能将摄像头等镜面干燥的污渍冲洗掉,为此在设定智能分水器工作时内部流道需要承受最高的水压为 0.5 MPa ,有

限元强度校核时边界条件为固定分水器壳体底部,在管道内部施加 0.5 MPa 的表面压强,分析结果如图 6 所示。计算结果显示,分水器最大位移处为进水口端部,约为 3.0 mm ,在反复加压清洗的情况下此处容易疲劳开裂。另外分水器最大 Mises 应力为 74.8 MPa ,最大 Mises 应力发生在进水阀盖螺栓孔附件,其余零件应力较小。进水嘴根部周边及阀盖内侧部分位置应力也超出材料许用应力,如图 7 所示。

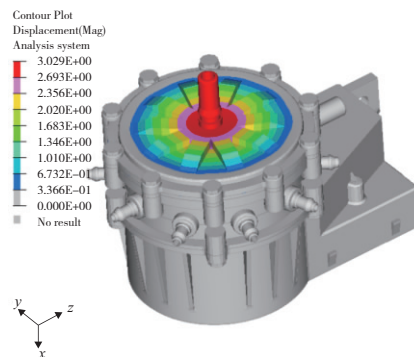


图 6 分水器位移云图

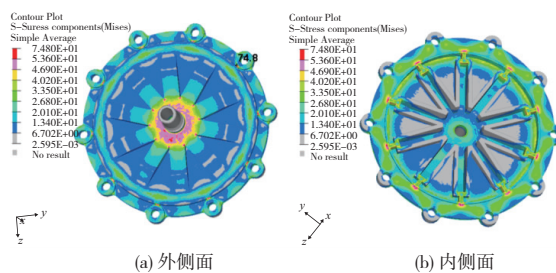


图 7 分水器进水阀盖应力云图

进水阀盖外侧压紧密封螺栓孔周边和进水嘴根部周边的应力较大,其原因因为进水阀盖外侧面的刚度较弱,可通过加筋的方式对外侧结构进行补强,补强后结构如图 8(a) 所示。阀盖内侧面的应力较大位置主要为封水圈与水槽的延伸处,可通过增加水与壁面的接触面积来减少应力,更改后的结构如图 8(b) 所示。

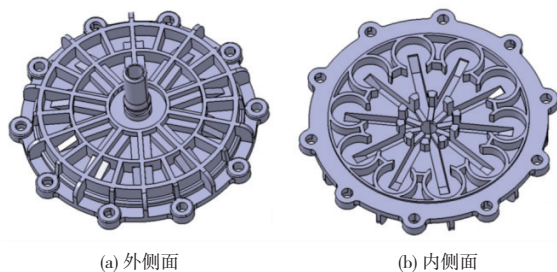


图 8 分水器进水阀盖优化后结构

对优化后的结构进行校核,校核后整体变形量由 3.0 mm 降为 1.0 mm,最大 Mises 应力由 74.8 MPa 降至 43.2 MPa,应力值小于材料许用应力 $[\sigma_s]$ 。优化后出水阀盖应力如图 9 所示。

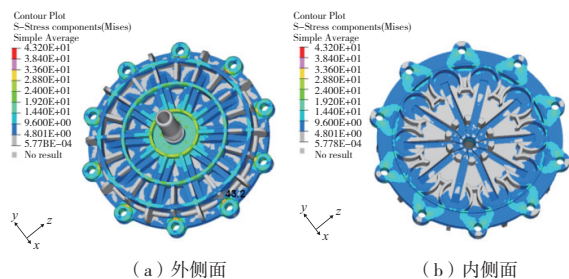


图 9 优化后进水阀盖应力云图

4 出水阀流道设计及 CFD 模拟分析

运用三维建模软件建立出水阀流体流动的三维模型,模型整体尺寸约为 $29.7\text{ mm} \times 8\text{ mm} \times 21.5\text{ mm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)。进口流道直径为 $\phi 3\text{ mm}$,进口流道长度为 13.5 mm ;出口喇叭宽度为 0.57 mm ,喇叭长度约为 11 mm ;出口流道直径为 $\phi 3.5\text{ mm}$,出口流道长度为 10.5 mm 。考虑到流动区域结构较复杂,故以四面体网格划分单元,划分后共有 835 158 个单元,1 238 555 个节点,出水阀流道结构如图 10 所示。

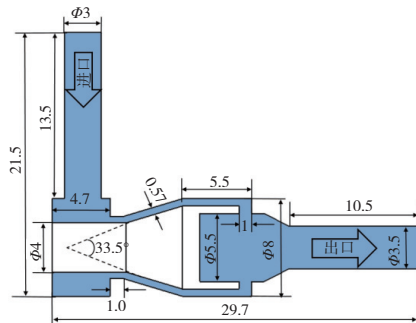


图 10 出水阀流道结构

采用计算流体力学 (computational fluid dynamics, CFD) 方法对出水阀内水流运动进行模拟。用 Fluent 前处理软件 ICEMCFD 对模型进行网格划分,整体网格采用四面体混合单元 (Tetra/Mixed),壁面采用五面体棱镜单元 (Prism) 进行局部加密,增加结果的准确性和减少计算发散的可能性,同时在原理壁面处采用较大的网格尺寸来加快计算的收敛速度。分析时假定水是不可压缩的流体,选用 $k-\omega$ SST 湍流模型,运用 simple 算法求解。进口边界为压强进口,压强值为

0.5 MPa;出口边界也为压强出口,出口压强为一个大气压;其他边界定义为黏性壁面,速度为 0,压力梯度为 0,假定流动过程全部在常温下进行。分析中使用 Continuity,用 V_x 、 V_y 、 V_z 、 k 、energy、omega 等参数对计算收敛进行监控,采用二阶迎风离散格式对各控制方程进行数值求解,设置时间步长为 0.000 1 s,迭代周期次数为 5 000 次,每个迭代周期内最大迭代次数为 100 次。

图 11(a) 给出了出水阀 zx 平面及出口平面流体速度云图。流体在 zx 平面最大流速为 26.4 m/s ,最大流速出现在流体从进水腔流入阀体腔的初始段,流体在腔体内流速较大的另一处位置为阀体腔与出水腔过渡段,该处最大流体速度为 23.8 m/s ,流体在出口处出现了涡流现象,其主要原因为过渡段的通道太过狭窄,导致进入出水腔的水流速度太大从而产生漩涡。对过渡段结构进行优化,出口喇叭宽度从 0.57 mm 增加到 1.04 mm ,改进后的结果如图 11(b) 所示。随着通道的变宽,最高流速由原来的 26.4 m/s 下降到 21.9 m/s 。优化后出水口的涡流消失,受壁面效应的影响,水流在壁面附近的压力较小,阀口中心处的水流流速最大为 12.3 m/s ,阀口平面平均流速为 10.2 m/s ,满足喷射速度大于 4 m/s 的设计要求^[12]。

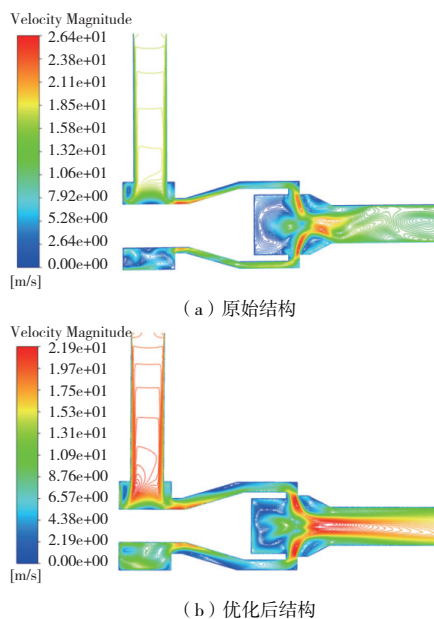


图 11 出水阀 zx 平面流速云图

5 结语

本文对采用机械旋转式结构的新型智能水路分配器装置的工作原理及结构组成进行了详细说 (下转第 160 页)

- excavator[J]. Journal of Terramechanics, 2010, 47(4): 201-207.
- [2] HUAH Y, LIN S W. New knowledge - based genetic algorithm for excavator boom structural optimization[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2014, 27: 392-401.
- [3] 杨铁明. 基于知识的综合多工况挖掘机斗杆结构优化设计关键技术研究[D]. 福州: 福州大学, 2012.
- [4] 张洋梅. 知识引导的挖掘机斗杆结构智能优化设计关键技术研究[D]. 福州: 福州大学, 2014.
- [5] 唐竞, 宋超, 刘夫云, 等. 基于结构参数灵敏度分析的商用车驾驶室轻量化方法研究[J]. 机械设计, 2021, 38(11): 97-101.
- [6] 张焕梅, 杨瑞刚. 基于响应面法的起重机结构可靠性灵敏度分析[J]. 中国工程机械学报, 2020, 18(2): 131-136.
- [7] PENG Z S, JI H C, PEI W C, et al. Constitutive relationship of TC4 titanium alloy based on back propagating (BP) neural network (NN) [J]. Metalurgija, 2021 (3/4): 60.
- [8] LI Y, LI J, HUANG J, et al. Fitting analysis and research of measured data of SAW micro - pressure sensor based on BP neural network[J]. Measurement, 2020, 155: 107533.

收稿日期: 2023 - 01 - 13

(上接第 96 页)

明, 并通过有限元仿真方法对分水器的结构强度和出水口流速进行了校核, 通过仿真结果对出水阀盖和出水阀道进行了设计优化, 优化后的结构通过验证初步满足了设计要求。

1) 分水器采用机械式结构设计, 内嵌有集成电路可控制配套高压水泵和空气压缩机协调运作。该集成电路可与整车网络相连, 接收网络信息, 过滤需求信号并发出的指令, 实现驾驶模型下的自动清洗工作。

2) 进水阀盖为工作状态下分水器应力最大位置, 进水阀盖外侧应具有足够的刚度来抵抗内部水压引起的变形。另外水路设计时应尽量采用圆弧过渡避免造成结构的应力集中。

3) 出水阀吼道设计应具有一定的宽度, 避免由于通道狭窄造成的涡流现象。

本文所设计的装置对各个水路进行充分整合, 可以有效简化清洗系统, 降低能耗和成本, 为车辆探头清洗系统的应用推广提供高效率的解决方案, 可推动汽车智能清洗市场的发展。

参考文献:

- [1] ARROYO-FIGUEROA G, SUCAR L E, VILLAVICENCIO A. Fuzzy intelligent system for the operation of fossil power plants [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2000, 13(4): 431-439.
- [2] BISHOP R. Intelligent vehicle applications worldwide[J]. IEEE Intelligent Systems and Their Applications, 2000, 15(1): 78-81.
- [3] NAZMUL H M, DIDAR-AL- ALAM S M, REZWANUL H S. Intelligent car control for a smart car [J]. International Journal of Computer Applications, 2011, 14(3): 15-19.
- [4] 常江. 面向智能驾驶的摄像头自动清洗系统及性能评价标准研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- [5] WENGER J. Automotive radar - status and perspectives[C]// IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium, 2005. CSIC '05. Palm Springs, CA, USA: IEEE, 2006.
- [6] 翁莎. 大陆集团摄像头清洗系统: 离“零愿景”更进一步[J]. 汽车与配件, 2017(18): 73.
- [7] 王维华. 基于机器视觉的轨道车辆侧向盲区障碍物识别[J]. 机械制造与自动化, 2022, 51(6): 212-214.
- [8] TANAKA H, MATSUMOTO M. Cleaning apparatus for in-vehicle optical sensor: US, US9663073 [P]. 2017-05-30.
- [9] 罗小平, 曾峰, 谢涌铁, 等. 车载摄像头清洁装置及车载摄像头模块: 中国, CN213559009U [P]. 2021-06-29.
- [10] 代祥, 肖静, 徐幼林等. 动态下电磁阀控对靶喷雾流量特性及控制方法[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(2): 476-483.
- [11] 姜伟. 多路电磁阀控制系统的故障检测与容错控制研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [12] 薛飞, 张晓峰. 车灯清洗器新型喷嘴的数值研究[J]. 机械设计与制造, 2011(11): 250-252.

收稿日期: 2023 - 01 - 13