

商用车混合动力变速箱湿式离合器设计

张磊

(陕西法士特汽车传动集团有限责任公司 陕西省西安市 710000)

摘要: 商用车在行驶中工作负载大,易造成驾驶员工作量繁重影响车辆行驶安全。湿式离合器在车辆自动变速器中得到广泛应用,研究湿式离合器设计对促进自动变速器行业发展具有重要意义。介绍变速箱湿式离合器结构原理,论述商用车应用混合动力变速箱湿式离合器的特点优势;探讨商用车混合动力变速箱湿式离合器设计,针对商用车行星排式混合动力变速箱,完成湿式离合器结构尺寸参数设计,通过离合器台架实验验证设计可行性。

关键词: 商用车;混合动力;变速箱;湿式离合器

随着国民经济的发展,汽车工业得到快速发展,自动变速系统成为汽车技术发展的重要方向,欧美出售大部分轿车装备自动变速装置。我国汽车自动变速装置运用率较低,汽车传动系统配置以 MT 为主,机械式手动变速器价格便宜,但存在车辆动力性与燃油经济性差等缺点。自动变速器是在手动机械变速器上安装电子控制单元,简化驾驶员的操作动作,具有提高汽车行驶安全性舒适性等系列优点。随着车辆传动技术的发展,对湿式离合器摩擦元件提出更高的技术要求。目前商用车电动化受限,采用传统离合器混合动力技术优势明显,目前我国湿式离合器研究处于起步阶段,深入研究商用车混合动力变速箱湿式离合器设计有助于改进提高变速系统性能,对研制我国自主知识产权新型湿式离合器具有重要现实意义。

1. 湿式离合器结构与原理

目前投入使用离合器种类繁多,主要功能包括根据汽车工况实现动力传递断开与结合,档位切换中通过分离摩擦片控制主从部分断开连接,可以通过控制摩擦片的缓和接合使新档位主从部件速度趋于同步^[1];将发动机输出转矩传递至变速器,传动荷载过大时切断动力传输。湿式离合器是车辆传动系统的关键环节,凭借其换挡速度快等特点得到广泛应用,湿式离合器摩擦片工作环境相对吻合,工作产生热量可通过油液不断冷却,湿式离合器多采用片式结构,其关键技术是对压力的精确控制。

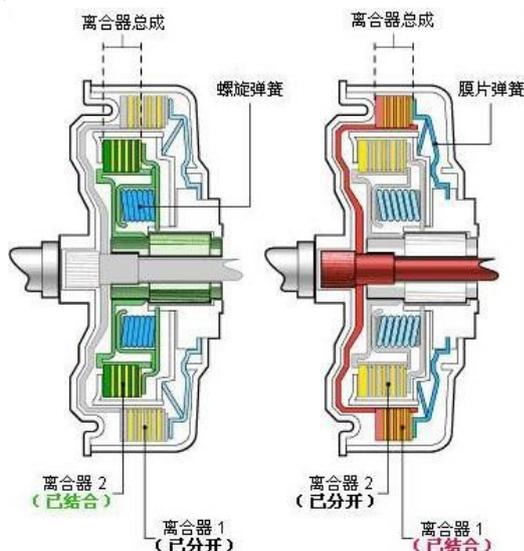


图1 湿式离合器结构示意图

湿式离合器需要接合时系统控制电磁阀打开油路,活塞受

到液压油压力作用向摩擦片接合方向移动,摩擦力作用下离合器主从动盘转速较高部分减速,主从动盘转速差不断减小实现完全接合。离合器分离中作用在活塞的油压消除,主从动盘断开连接完成动力切断。图1湿式离合器结构示意图^[2]。湿式离合器具有稳定性高、接合过程平顺,动力传递能力强等优点。湿式双离合自动变速器采用密封多片湿式离合器,外离合器对应偶数挡和倒挡。湿式双离合主要零部件包括外离合器内罩,钢片和摩擦片等。内外离合器各自具有液压缸与油路,双离合可以同时分离但不能同时接合。双离合变速器采用湿式离合器相连接油轴,布置在换挡同步器及相应自动换挡控制系统等,主要特点是主动车轮按奇偶数档位与输入轴设置湿式离合器连接。

双离合工作性能关系到车辆的正常起步,为确保传动力可靠结合柔顺质量轻寿命长,从结构性能及操作控制等方面对双离合提出较高要求,目前 DCT 系统常用干式单片与湿式多片结构形式。干式离合器特点是结构简单价格便宜,操纵机构布置困难,摩擦系数不稳定。湿式离合器具有摩擦系数稳定磨损小,换挡冲击小品质好等特点。湿式双离合是自动变速器中的重要部分,湿式离合器按布置方式分为轴向平行与径向嵌套式。湿式离合器从动部分结构简单,包括内摩擦片与内摩擦片支撑。湿式离合器轮流接合分离,切换档是离合器开始滑磨分离的过程。湿式离合器采用多片摩擦片,可承受很大压力长时间摩擦不被烧坏,从动部分结构简单布置只需很小的空间可传递发动机动力。

2. 混合动力变速箱动力系统

汽车尾气排放有害气体是大气污染的主要来源,全球汽车保有量上升加剧环境污染,随着石油资源日益枯竭使得环保受到人们的关注,研发新能源汽车成为汽车领域研究重点,燃料电池与混合动力技术等应运而生,纯电动汽车可实现零排放节约能源,但目前电池能量密度未达到实用化程度影响电动汽车的续航里程^[3]。混合动力可以充分发挥传统汽车动力性能的优势,目前混合动力源为发动机与电动机,通过电动机辅助驱动可以有效调节发动机工作在最佳区间,发动机可以解决传统电动汽车续航里程短的问题。

混合动力汽车研究核心是动力系统,目前混合动力系统向发动机,变速箱与离合器细化集成化控制结构进化,常规混合动力系统分为串联时与并联式。双离合中气动摩擦离合器与电磁离合器是串联节点,任意端断开解耦发动机与主驱动电机的动力连接,主驱动电机功能可以气动发动机,协助智能变速箱换挡^[4]。混合式控制系统包含整车控制器、主驱动电机控制器及发动机控制器等。VMS 功能是根据车辆运行状况实时发布

指令,动力系统各部分当前运行情况可通过 CAN 网络实时共享。智能变速箱机械执行机构包括换挡电机及选档电磁铁等部分,输入轴与输出轴建立动力连接关键是齿合套档位传动齿轮结合,齿合套对应档位传动齿轮,与不同档位传动齿轮结合表示变速箱处于不同档位。齿轮传动比最高倒挡可以提供最大传动扭矩,齿合套不与档位传动齿轮结合为空挡。转速传感器测量输出轴实际转速,与 CNA 网络获取主驱动电机转速比较判断同步进行智能变速同步换挡。

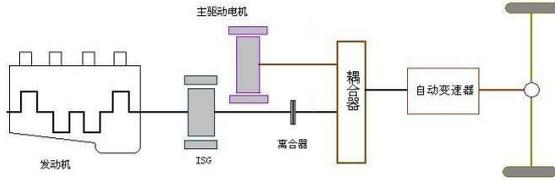


图2 基于AMT的混合动力系统结构图

混合动力系统有两种能源与能量转换装置,机械传递耦合与输出动力系统有多种方案,混合动力汽车动力系统结构设计是开发重点,车辆负载功率随机变化,包括稳定的平均功率与零平均功率的动态功率,混合动力系统动力分配由发动机满足稳态需求功率,混合动力汽车动力系统匹配关键是确定合理的发动机功率。功率合成混合动力系统可实现输入输出动力解耦,高速时可通过电机调节发动机工作在最佳区间。图2 基于AMT的混合动力系统结构图,设计基于AMT采用功率合成式混动动力系统,混合动力样车动力源包括发动机与主驱动电机等,通过电控离合器实现混合驱动与纯电动模式切换,通过设计选择发动机和主驱动电机合理连接实现输入输出转速解耦。

3. 商用车动力变速箱湿式离合器设计实现

随着社会的不断进步,对汽车质量与性能提出更高的要求,人们更加追求高燃油经济性。双离合继电器电控机械式变速器效率高质量轻等优点,提高汽车的舒适性与操纵性。我国汽车生产以平行轴式变速器为主,生产双离合自动变速器可以减小成本,研发双离合自动变速器是实现汽车自主创新的重要方向。ACS 通过传统机械变速器安装离合器电子控制系统控制驱动机构接合,具有操作简单易安装等优点,混合动力变速箱纯电与油电模式切换需要离合器,应用湿式离合器具有工作稳定性等优势。

离合器主要参数包括摩擦副,转矩容量与回位弹簧力值等,离合器设计输入条件,最高转速 $n_{max}=3600r/min$, $T_c=S_r \cdot T_{max}=440Nm$,转矩摩擦系数 S_r 取值 1.1。摩擦副是离合器传递转矩的重要部分,要求摩擦系数大稳定,传热性好可承受高线速度等,选取纸基类摩擦衬面,根据反验算不准摩擦系数 $\mu=0.11$,许用线速度 $V_{lim}=100m/s$ 。摩擦接合元件选择满足传递转矩功能,摩擦副数多活塞行程大,摩擦片外径大径向尺寸加大, c 值过小说明内外径尺寸相差较大,滑磨时温升不同导致磨损不同,根据转矩容量计算公式确定摩擦片内半径 $r_i=59mm$ 。等效摩擦转

矩半径 $r_m=2(r_o^3-r_i^3)/[3(r_o^2-r_i^2)]=63.87mm$,最大线速度 $V_{max}=2\pi r_o n_{max}/60 \times 1000=25m/s$,摩擦片净面积为 $A=0.825 \times \pi \times (r_o^2-r_i^2)=3139$,线速度安全系数 $Z_v=V_{lim}/V_{max}=4$ 。摩擦片数 $Z_n=F_n/A \cdot Plim=4.89$,摩擦副面压 $F_{clamp}=F_n/Z=6910.63N/m^2$,总面压 $F_n=T_c S_r \times 100/\mu$, $r_m=69106.3N/m^2$,摩擦副数 $Z=2 \times Z_n=10$ 。最大免押 $P_{max}=F_{clamp}/A=2.2N/m^2$ 。

变速箱液压系统允许最高油压 $Phy_{max}=2MPa$,外半径 $r_{po}=\sqrt{\frac{F_n+2F_{seal}}{\pi Phy_{max}}+r_{pi}^2}$, $r_{po}=48mm+r_{pi}$, $r_{po}=48mm$,密封圈摩擦阻力 F_{seal} 取值 75N。活塞面积 $A_p=\pi(r_{po}^2-r_{pi}^2)=5648m^2$ 。回位弹簧需要提供足够弹簧力时活塞回到原位,设计选取蝶形弹簧具有负荷大等优点,最大弹簧力设为 $F_{spring}=1000N$ 。活塞初始行程根据摩擦单边间隙 0.15-0.25mm,设计取值为 0.2。工作油压 $P_{kmax}=F_{clamp}+F_{seal}+F_{spring}/A_p \times 10=1.278$ 。油缸中油产生离心力压力导致摩擦片分离不彻底,研究采用平衡活塞方法可消除离心压力。活塞受两侧离心压力保持平衡,80℃下高压油密度为 $\rho=810kg/m^3$,油压沿半径方向产生离心压力为 $dpc=\int_{r_{api}}^r p(2\pi n_{max})^2 r dr=1/2p(2\pi n_{max})^2(r^2-r_{api}^2)$,环形活塞左侧受平衡腔离心压力 $Pc_2=\int_{r_{co}}^{r_{ci}} 2\pi dp_r dr=335N$ 。验证平衡率达到 80%以上满足设计要求。基于UG10.0绘制3D数模,综合考虑加工工艺、设计平衡活塞冲压骨架,设计卡环选型等完成3D数模绘制。

结语

本文研究设计空间及理论计算确定摩擦片、摩擦副数量等参数,确定回位弹簧形式,通过计算安全系数验证离合器的设计可行性。实验表明压力转矩相应正常,转矩容量400Nm以上满足使用需求;油压在 K_p 点一下活塞未移动无转矩传递。设定油温 80℃,主动端恒转速 2000r/min,滑磨时间 0.6s,转矩波动 <5Nm,满足换挡使用需求。设定油温 80℃,主动端转速 1500r/min,采集对偶片温度为 326℃。摩擦副表面无烧蚀,摩擦时间增加至 1.8s,采集对偶片温度 360℃,温度控制在 300℃以下,为后续控制策略制定提供参考依据。

参考文献:

- [1]苗琪. 换挡辅助AMT模式切换鲁棒控制器设计[D].沈阳工业大学,2022.
- [2]王娜娜,郭永明,张彤. 商用车混合动力变速箱湿式离合器设计[J]. 机械制造与自动化,2020,49(06):82-84.
- [3]蔡小亮. 矿用装载机换挡变速箱湿式离合器波形弹簧的设计[J]. 煤矿机电,2020,41(05):26-28.
- [4]白建勇,徐章禄,张彤. 混动变速箱湿式多片离合器结构优化研究[J]. 汽车零部件,2019,(06):48-52.