

【制造技术】

小排量汽车 AMT 离合器执行机构的效率设计

王海兵¹, 张向奎¹, 罗通云¹, 姚文博¹, 郝建军², 卫建伟²

(1. 中国长安汽车集团 重庆青山变速器分公司, 重庆 402761;

2. 重庆理工大学, 重庆 400050)

摘要: 设计了 AMT 自动变速器离合器执行机构, 计算了此机构的传动效率, 针对该执行机构搭建传动效率测试试验台。在不同的工况下测试了机构的传动效率, 试验结果与理论计算结果较为接近。证明了此执行机构满足设计要求。

关键词: AMT; 离合器执行机构; 传动效率

中图分类号: U463.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2011)05-0072-03

随着汽车技术的发展, 世界能源问题越来越严重, 研究小排量轿车是汽车行业都热衷的课题, 为了使小排量轿车实现自动档, 研究与小排量轿车匹配的自动变速器也成为汽车行业亟待解决的问题。

常见的自动变速器有 4 种型式: 分别是电控机械自动变速器 (AMT)、液力自动变速器 (AT)、机械无级自动变速器 (CVT)、双离合自动变速器 (DCT)。电控机械自动变速器 (AMT) 与其他类型自动变速器相比, 具有结构简单、体积小、成本低等优点; 与传统的机械变速器 (MT) 相比有能耗低、反应快等优点。电控机械式自动变速器 (AMT) 不仅实现了车辆的自动变速, 而且保留了传统手动变速器传动效率高、成本低的优点, AMT 具有广阔的市场发展前景。

发展 AMT 技术对于节约能源、减少污染、提高行车安全等具有重大的现实意义, 而且 AMT 特别适合我国手动变速器占主导地位的国情。国内外对 AMT 的研究逐年升温, 市场潜力巨大。研究并掌握 AMT 核心技术, 突破国外技术壁垒, 有利于民族汽车工业的发展, 对推动我国车辆自动变速系统的开发和产业化具有巨大的现实意义和实际应用价值。此外, 对手动机械式变速器进行改造, 实现车辆的自动换档, 能够提升车辆档次, 因而我国今后的汽车自动变速器国产化方向的重点在于 AMT 的研究发展^[1-2]。

执行机构是 AMT 系统的重要组成部分之一, AMT 的执行机构包括选档执行机构、换档执行机构和离合器分离执行机构。离合器执行机构是 AMT 的核心部件, 它是在原有的机械式离合器的基础上加装微机控制的执行机构, 取代原来由驾驶员人工完成的离合器分离与接合过程, 大大降低了驾驶的疲劳强度, 有利于节能、环保和提高安全性能。因此本文只对离合器执行机构的设计以及离合器执行机构的传动效率进行讨论。

1 离合器执行机构的设计

1.1 工作原理

现有的 AMT 自动变速器离合器执行机构一般采用的是液压控制和电机控制 2 种方式, 其中液压控制主要是采用电机-曲柄连杆结构, 通过电机驱动曲柄连杆机构的移动, 带动液压油缸活塞的往复运动, 从而实现离合器的分离和结合; 而电机控制主要是采用电机-丝杠螺母结构, 通过电机的转动带动丝杠转动, 丝杠的转动再驱动螺母做往复运动, 从而实现离合器的分离和结合。虽然这 2 种方式都能够使得离合器分离和结合, 但是这 2 种方式所采用的传动结构都比较复杂, 其传动结构的零部件较多, 加工难度大, 同时, 由于传动结构比较复杂, 导致传动的平稳性较差。因此设计一种结构简单、传动稳定的离合器执行机构是 AMT 发展过程中的一个关键问题^[3]。作者针对此问题设计出了一种机械式二级传动的离合器执行机构, 如图 1 所示。

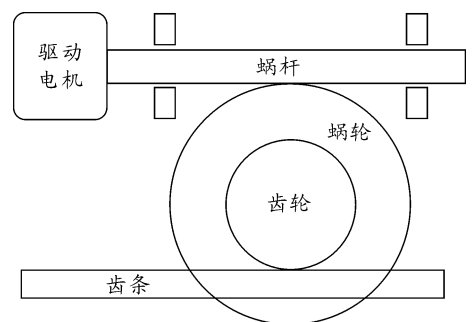


图 1 离合器执行机构原理示意图

图 1 工作原理为, 蜗杆蜗轮组成此执行机构的一级传

收稿日期: 2011-03-17

作者简介: 王海兵 (1978—), 男, 工程师, 主要从事自动变速器研究。

动,由驱动电机带动进行旋转运动,而齿轮与齿条组成此执行机构的二级传动,把旋转运动转变成直线运动。因此通过二级传动把驱动电机的旋转运动转变成了齿条的直线运动。把齿条与离合器拨叉相连,这样此执行机构就可以代替离合器脚踏板实现离合器的分离与接合。譬如,在车辆进行换挡时,控制程序只需要给离合器执行机构驱动电机一个启动电流,驱动电机启动,通过二级传动,把旋转运动转变成齿条的直线运动,齿条带动离合器拨叉实现离合器的分离与接合。

1.2 参数设计

从图 1 可知,此离合器执行机构主要包括驱动电机、蜗杆、蜗轮、齿轮、齿条,下面分别对其参数进行分析设计。电机选用的 700 MA、12 V 直流电机,齿轮齿条与普通齿轮啮合相似,因此影响离合器执行机构性能以及效率的主要结构就是蜗杆蜗轮,这里主要针对蜗杆蜗轮的参数作分析设计。

1) 蜗杆蜗轮

蜗杆传动分为普通圆柱蜗杆传动和环面蜗杆传动,普通圆柱蜗杆传动又分为阿基米德圆柱蜗杆(ZA型)、圆弧圆柱蜗杆(ZC型)、法向直廓蜗杆(ZN型)等^[4]。

阿基米德圆柱蜗杆传动适合于载荷较小、速度较低、精度要求不高或不太重要的传动。圆弧圆柱蜗杆传动适合于重载、高速、要求效率高、精度重要的重要传动。法向直廓蜗杆传动适合于速度高、要求较高精密的传动,并且要求加工工艺简单。在车辆换挡过程中,离合器执行机构在 100 ms 左右就要完成其动作^[5],因此要求使用的蜗杆蜗轮具有转速高、精度高以及自锁性等特点,并且要求其加工简单,以便实现产业化。本文采用的是法向直廓蜗杆(ZN型)。

影响蜗杆蜗轮传动性能的主要参数有:模数 m 、蜗杆分度圆直径 d 、蜗杆导程角 γ 、蜗杆头数 z_1 和蜗轮齿数 z_2 、中心距 α 、传动比 i 以及蜗轮的变位系数 x_2 等。

模数 m 、蜗杆分度圆直径 d 、蜗杆导程角 γ 和蜗杆头数 z_1 四者之间有下列的关系:

$$\tan\gamma = \frac{z_1 m}{d_1} \quad (1)$$

$$q = \frac{z_1}{\tan\gamma} = \frac{d_1}{m} \quad (2)$$

式中 q 为蜗杆直径系数。

在动力传动中,为提高传动的效率,蜗杆导程角 γ 应尽量取大值,即选用多头数、小分度圆直径 d_1 的蜗杆;但是对于离合器执行机构中蜗杆蜗轮传动时要求其具有自锁性能,因此采用的是 $z_1 = 1, \gamma < 3^\circ 30'$ 的蜗杆传动。由式(2)可以得出蜗杆模数 m 和蜗杆分度圆直径 d 的匹配关系,即 $q > 16.35$ 。常用的模数 m 和蜗杆分度圆直径 d 的匹配组如表 1 所示。因此选用模数为 1 mm,分度圆直径为 18 mm。

表 1 蜗杆模数 m 和蜗杆分度圆直径 d 的匹配

m/mm	1	1.25	1.6	2			
d_1/mm	18	20	22.4	20	28	22.4	35.5

蜗杆传动的变位方法与齿轮传动相同,也是在切削时,将刀具相对于蜗轮移位。普通圆柱蜗杆的变位的主要目的

是配凑中心距和凑传动比,使之符合标准或推荐值。蜗轮的变位系数 x_2 取的过大会产生蜗轮齿顶变尖,过小又会产生蜗轮轮齿根切。变位系数与中心距和传动比(或者蜗轮齿数)有下列的关系:

$$\begin{cases} x_2 = \frac{a' - a}{m} \\ x_2 = \frac{z'_2 - z_2}{2} \end{cases} \quad (3)$$

式中: a' 为变位后的中心距; z'_2 为变位后的蜗轮齿数。变位系数一般取 $x_2 = -1 \sim +1$,常用 $x_2 = -0.7 \sim +0.7$ 。

2) 齿轮齿条

齿轮齿条传动是此离合器执行机构的二级传动,与普通的齿轮齿条传动相似。如图 2 所示为离合器执行机构的结构。在此结构中齿轮齿条的主要作用就是把电机的旋转运动转变成直线运动,把电机的输出扭矩转变成齿条作用在离合器拨叉上的力。

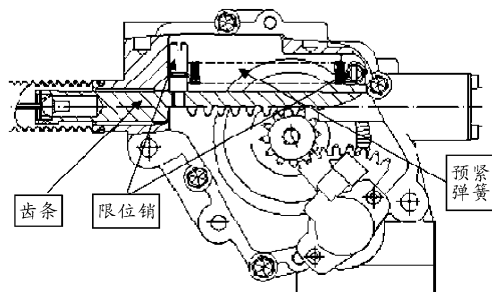


图 2 离合器执行机构结构

3) 预紧弹簧

如图 2 所示预紧弹簧作用在 2 个限位销上。离合器执行机构在开始工作,预紧弹簧给予执行机构驱动电机一个启动动力——即启动加速度,使驱动电机在较短的时间内达到匀速转动,因此预紧弹簧克服电动机启动时输出转矩不足的缺陷和消除了电机启动时不稳定而导致传递效率低的问题,这样可以使离合器快速平稳的分离。在此离合器执行机构中选用的预紧弹簧为圆柱拉伸弹簧。在图 2 中 2 个限位销的极限距离为预紧弹簧的最长长度。

2 试验验证

对整车而言,影响离合器执行机构性能的主要因素是离合器执行机构的传动效率,因此对图 2 的离合器执行机构进行效率试验。

1) 理论效率

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \quad (4)$$

式中: η 为离合器整体效率; η_1 为蜗杆蜗轮传动的效率; η_2 为齿轮齿条传动的效率; η_3 为轴承损耗的效率,一般为 $\eta_3 = 0.97 \sim 0.99$; η_4 为润滑油损耗的效率,一般为 $\eta_4 = 0.94 \sim 0.99$; η_5 为温度损耗的效率,一般为 $\eta_5 = 0.98 \sim 0.99$ 。

蜗杆蜗轮传动的效率 η_1 为:

$$\eta_1 = \frac{\tan\gamma}{\tan(\gamma + \rho_v)} \quad (5)$$

$$\rho_v = \arctan f_v \quad (6)$$

式中: γ 为蜗杆导程角; ρ_v 为当量摩擦角; f_v 为当量摩擦系数。

因为离合器执行机构要求具有自锁性,采用单头小导程角的蜗杆,因此其传动效率就会较低,把蜗杆蜗轮的设计参数导入式(5)计算得出,此执行机构蜗杆蜗轮的理論效率为35.5%。

2) 实际效率

离合器执行机构在实际工作中传动的效率由式(7)计算:

$$\eta = \frac{F \times r}{T_{in} \times i} \quad (7)$$

式中: η 为离合器执行机构传动的效率; F 为离合器齿条输出的力; r 为离合器执行机构中与齿条相啮合的齿轮节圆半径; T_{in} 为离合器执行机构的驱动电机输出扭矩(即蜗杆输入扭矩); i 为蜗杆蜗轮传动比。

3) 效率试验

利用一个直流电机代替离合器执行机构的驱动电机,电机匹配参数尽量与驱动电机相同,电机和离合器执行机构蜗杆之间利用一个扭矩传感器测量蜗杆输入扭矩;把力传感器与齿条相连,测量出齿条输出的力,最后利用式(7)计算出此离合器执行机构的传动效率,如图3所示为效率试验台的示意图。

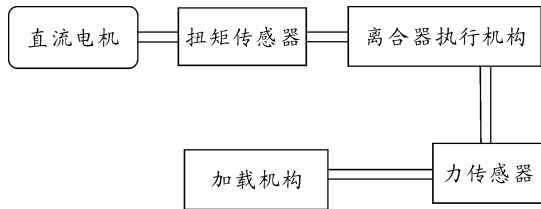


图3 效率试验台示意图

为了充分找到影响执行机构传动效率的因素,进行了不同状态下的效率试验,例如:不同润滑油状态下的效率、不同负载状态下的效率等。试验数据如图4所示。

图4中第①条曲线为执行机构的效率,第②条曲线为蜗杆输入扭矩,第③条曲线为齿条输出力。图3(a)和(b)为相同润滑油不同负载状态下的效率,图3(a)使用的蜗杆蜗轮专用润滑油下的效率,平均效率为28.6%;图3(b)使用的普通润滑油下的效率,平均效率为26.2%。图3(a)和(c)为相同负载不同润滑油状态下的效率,图3(c)的平均效率为27.2%。

从图3的数据对比可以看出,不同负载对执行机构的效率有着较大影响,不同润滑油对执行机构的效率影响相对较小。从图3(a)和(c)可以看出,执行机构电机启动时是一个不稳定状态,因此应对预紧弹簧做进一步优化,使这种不稳定状态时间尽量缩短。

从执行机构的理论效率和实际效率对比可以看出,实际效率已经很接近理论效率,说明此执行机构实现了设计者的设计思想。并且效率试验的复现性较好,说明此执行机构有较好的稳定性。此执行机构已经在小排量汽车奔驰MINI和悦翔上量产使用,实际证明此执行机构性能稳定。

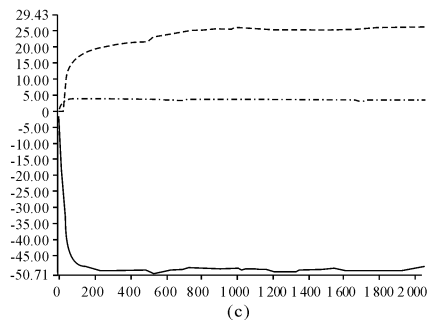
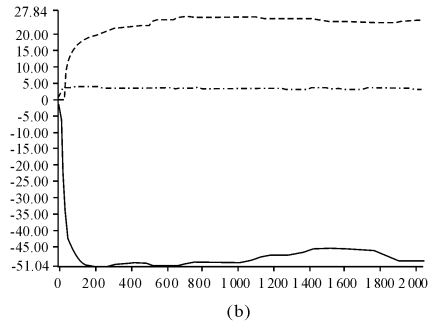
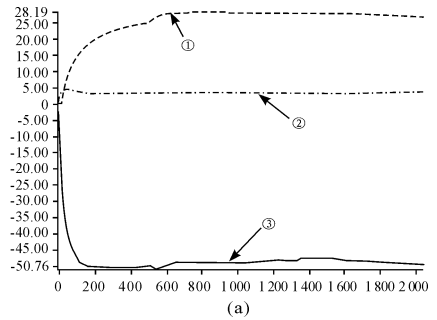


图4 不同状态下的效率

3 结论

1) 离合器执行机构是AMT自动变速器的核心部件之一,其性能优劣直接影响AMT的性能,影响整车的性能。

2) 评价离合器执行机构性能的一个直接因素是其传动效率。

3) 不同润滑状态对离合器执行机构的传动效率影响较大,不同负载状态对离合器执行机构的传动效率影响较小。

参考文献:

- [1] 徐旭. 动离合器执行机构的设计与开发[D]. 上海: 上海交通大学, 2006.
- [2] 葛安林. 车辆自动变速理论与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [3] 重庆青山工业有限责任公司. 机械式自动变速器离合器执行机构[P]. 中国专利, 申请号: 200810232885.2
- [4] 《机械设计手册》编委会. 机械设计手册[M]. 3版. 北京: 机械出版社, 2004.
- [5] 申水文. AMT控制技术的研究[D]. 长春: 吉林大学, 1996.