



聊城大学东昌学院  
DONGCHANG COLLEGE OF LIAOCHENG UNIVERSITY

# 本科毕业设计

题    目      基于磁流变的差速器的设计

姓    名      陈向阳      学号      20190060191

系    部      机电工程系

专    业      机械设计制造及其自动化

指导教师      高德营      职称      副教授

2021 年 5 月 16 日

聊城大学东昌学院教务处制

# 原创性声明

本人郑重声明：所提交的学位论文是本人在导师指导下，独立进行研究取得的成果。除文中已经引用的内容外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得聊城大学东昌学院或其他教育机构的学位证书而使用过的材料。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均在文中以明确的方式表明。本人承担本声明的相应责任。

学位论文作者签名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

指导教师签名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

## 目录

1. 概述.....	1
1.1 差速器的介绍.....	1
1.2 磁流式差速器和磁流变液智能材料的介绍.....	2
1.2.1 磁流式差速器 .....	2
1.2.2 磁流变液智能材料 .....	3
1.3 国内与国外磁流式差速器发展状况.....	3
2. 差速器的工作原理 .....	5
2.1 差速器的工作原理.....	5
2.2 差速器扭矩分配方案 .....	5
3. 磁流变差速器 .....	6
3.1 磁流变阻尼器.....	6
3.1.1 回型式磁流变阻尼器 .....	6
3.1.2 多片式磁流变阻尼器 .....	7
3.1.3 两种磁流变阻尼器的特点 .....	7
3.2 磁流变差速器结构.....	8
3.3 磁流式差速器工作原理.....	9
3.4 磁流式差速器的结构设计.....	10
3.4.1 锁紧系数的调整方法 .....	10
3.4.2 磁流变阻尼器的结构尺寸设计 .....	10
结论.....	14
参考文献.....	15

## 摘 要

磁流式差速器是在一般差速器的基础上增加防滑措施来实现不滑动的一面车轮得到较大的扭矩，合理的分配车轮两侧所需要的扭矩，磁流式差速器较大的提升了车辆的运动性能和平稳性。文中阐述了磁流式差速器的设计过程，通过简单的计算及验证，得到了车辆在直行或者转弯都和一般的差速器工作方式相同，当车辆行驶在过程中或者陷入泥泞，其中一个车轮遇到打滑的状况，此时，磁流式差速器的磁流阻尼装置开始动作(阻尼器处于锁止状态), 阻尼装置会将大多数的动力传送给不滑动的一面车轮，处理了的打滑状态。本文提出了磁流式差速器的工作运行的原理，并且提供了磁流阻尼部分的结构设计方法，而且还通过计算验证了方案的可行的。

**关键词：**阻尼器；扭矩；摩擦；新型差速器

## Abstract

Magnetic flow differential is on the basis of the general differential to increase anti-slip measures to achieve non-sliding wheels to get a larger torque, reasonable distribution of the torque required on both sides of the wheel, magnetic flow differential greatly improve the vehicle's motion performance and smoothness. This paper expounds the design process of magnetic flow differential, through simple calculation and verification, get the vehicle in the straight or turn are the same as the general differential working method, when the vehicle is driving in the process or into the mud, one of the wheels encountered a slippery situation, at this time, the magnetic flow damping device of the magnetic flow differential starts to move (locking device is locked state), damping device will transfer most of the power to the non-sliding side of the wheel, handling the slippery state. This paper puts forward the working principle of magnetic flow differential, and provides the structural design method of magnetic flow damping part, and also verifies the feasibility of the scheme by calculation. components.

**Keywords:** damper; torque; friction; new differential

# 基于磁流变的差速器的设计

## 1. 概述

### 1.1 差速器的介绍

#### (1) 构成

由行星齿轮、轮架等关键构件组成一般的差速器。动力由发动机和相关设备通过对于的轴传输，传递到差速器的齿轮，轮架因此而运行，行星轮开始运行后，两边的半轴装置马上动作，相应车轮会立刻运行。需得满足以下条件后差速器方能运行：左右两边的半轴的转动速度需要和轮架的运行速度一样，当直行的时候，左右两侧转速相同，遇到弯道时，失去平衡状态，外侧轮子变快，内侧轮子变慢。

#### (2) 原理

差速器对左右两轮转速的调整是自然而然形成的，“最小能耗原理”，说的就是地球上的物体会朝能量损失小的情况发展趋势，因此这样调整。

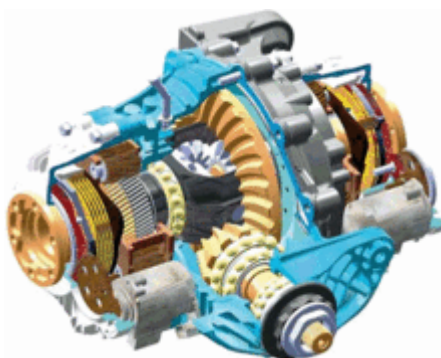


图 1 差速器维效果图

当车辆转弯的时候车轮会朝最小的耗能状态通过，左右车轮的转速会根据转矩来改变。拐弯时，车轮内侧会表现特殊的滑拖情形，此刻车轮内侧也会出现滑转的情形，两边车轮会出现相反作用力，由于“最小能耗原理”，两轮会产生转速差，三个部分间的平衡会被打破，且通过半轴传输到相对应的齿轮中，使行星轮自传，这样就使得两边车轮有了不同的转动速度。

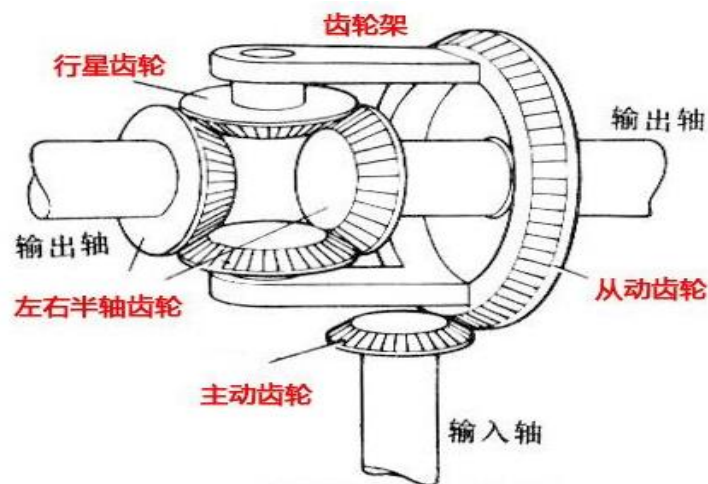


图 2 差速器立体结构图

### （3）作用

汽车通过弯道时，内外轮子所转过的半径不一样，外轮转过的半径要比内轮转过的半径要大，所以说当转弯的时候外轮的速度要大于内轮的速度。差速器就是为了更好的分配转弯时两边车轮转动速度的不同，这是差速器的最初始的功用，改进之后的差速器，基本都是为了提升汽车的性能。

### （4）功能

车辆在通过弯道的时候两边的轮子的转过痕迹是圆弧，汽车在向左转弯时，所运动的轨迹在左边，同时，右边车轮的轨迹比左侧的大，要使行驶足够稳定，就需要两边车轮转动的速度不一样。从而使左右车轮有速度差，这就是差速器的基本特点。

## 1.2 磁流式差速器和磁流变液智能材料的介绍

### 1.2.1 磁流式差速器

通过对一般差速器进行改进就设计了此类装置。磁流变差速器和普通差速器的不同点在于，普通差速器只能平均地分配传动轴的扭矩给车轮，这种新型差速器可以按需要分配扭矩，从而减小车辆动力的消耗，增加通过不确定性路面的可能，提高汽车的适用性，稳定性。其中一侧车轮不需要转矩时会将发动机所输出的转矩全部传递到需要的车轮上，而不造成能量的浪费，通过恰当的扭矩分配可以通过不确定的路面，会使行驶的通过性和稳定性更加好，将会提高汽车的稳定性和车辆的操纵性，完全可以替代普通差速器。

### 1.2.2 磁流变液智能材料

磁流变液材料有两种特性：液体和固体，是一种悬浮液且铁基粒子悬浮在其中。当遇到外部磁场时，会有液体变为固体。由于磁流变液材料的屈服强度可以人为控制，所以在土木工程、航空航天领域、汽车等方面应用广泛，主要用于减振吸能和磁流变抛光等方面。

#### 磁流变液的相关特性

根据其相关特性这种材料在工程应用中有很大的应用价值，屈服应力的变化随着外界磁场的变化使磁流变的程度而变化；如果磁流变液体有很好的磁效应，会使其产品的约束会更少，磁流变阻尼器在设计过程中，通过少量的磁液材料就能满足磁流变阻尼器的小型化，外加磁场的强度就会更小，从而减少能量的消耗。但是，在实际中这种材料许多限制，主要表现在磁感应效果方面，比如无磁场情况下的粘度、材料的成本等因素；因此我们需要考虑很多因素设计最优方案；不一样的使用环境也会使磁流变液材料的参数与指标：屈服强度、零场黏度、工作温度以及其耐腐蚀性等等发生变化；以下将对磁流变液的主要技术指标进行分析，以便在实际设计和制造磁流变液器件中正确选择最材料。

这种材料的稳定性，主要体现在团聚结块程度、沉降速度等等。对于这种材料来说里面的粒子主要为可磁化的粒子，这些粒子主要由铁的氧化物和铁的合金组成，但这种材料的密度较大，可是粒子的大小却在微米级别，因此这种材料很容易受到重力的影响如沉降，在静止时，主要成分会沉入到下面，这会使磁流变材料的均匀性、流动性都是变差。此外，由于分布在磁流变载液之中的粒子较小，通常在 $1\sim 10\mu m$ ，较高的表面能会发生团聚现象，可能导致团结为快，材料的均匀性会受到严重影响。

主要需要考虑材料的安全性，由材料的主要组成成分来看，具有磁性的粒子主要有：铁氧化物粉，铁粉、铁合金粉和铁粉，承载液体主要有：乙二醇、硅油、水等等，为了提高磁流变性能同时还会添加相应的添加剂。通常情况下，载液如果有涉及汞就必须注意，防止汞的泄露和挥发。

### 1.3 国内与国外磁流式差速器发展状况

磁流式差速器源于赛车运动，为了提高车辆在高速情况下急拐弯的稳定性所创造的，为了在不同路面上提升稳定性，操作性和抓地力。国外一些机构做了很



多的统计，每五年左右变速器方面会有较多的专利出现，从1976-1980有36项发明专利，1981-1985有26项发明专利，1986-1990为80项发明专利，1991-1995发明专利为103项，直到1996-2001到达了111个发明专利。车辆行业在外国发展的比较早，并且在技术上也由相当的优势。由于国外相关技术发展较早，他们在变速器设备领域内有丰富的经验，因此他们的创新技术很完整，例如设计制造了主动控制式设备、转矩感应式设备等等。相较与汽车的性能，此种类型的变速器体现了十分重要的实用价值，不但提高了汽车的操控的稳定性，而且在行车安全方面具有重要的助力。

磁流式变速器产品已经有了相应的应用实现了规模性的生产，70年代初期，英国的一些汽车公司就开发出安装在全轮驱动的汽车上前后传动轴之间的黏性限滑变速器，得到了实际应用。在70年代克莱斯勒汽车公司在其试验车上安装了限滑变速器同时实现了广泛地生产，德国作为汽车行业发展的强国在80年代后期由大众汽车和戴姆勒汽车共同开发制造出了黏性式限滑变速器，使得汽车的性能得到很好的提高，进入到20世纪后期的90年代，应用机械的发展和电子计算机的飞速成长，大型汽车公司对汽车限滑变速器方面的思考也逐渐广泛，这一领域内专利也多了起来，现在伴着新材料技术的快速进步，磁流变液材料技术，这种新型智能材料技术将会和机械密切联系，随着汽车的发展，科学技术的进步，限滑变速器技术也日渐提升，外国的一个公司在磁流变变速器方面也取得了较大的进步，磁流变阻尼器的关键部件，减振器的使用也已经较为完善，主要应用在：凯迪拉克等高端车型。国内在汽车行业到目前已经有了一定的发展，国内汽车产量年年攀升，汽车行业也显露出了欣欣向荣的良好局面，虽然汽车产量在日益蓬勃发展，但是自主品牌的汽车在品质和市场接受程度上与相关合资品牌汽车还是存在相当差距，这就是国内汽车的整体局势。在汽车零部件行业中，国内的情况仍然存在这样的情况，相比于国外的汽车零部件企业有关部门的统计数据显示，目前国内的汽车零部件主要集中在技术密集程度低、附加值低，多为以下附件，如万向节，悬架，同时在手动变速器、发动机等方面，这些产品在我国国内还处于落后水平，生产还构不成一定的规模。我国在限滑变速器这一方面的制造生产还较为落后，其特点主要有研发投入少、产量大、生产企业众多等特点，一些比较高档的限滑变速器还需要进口。

## 2. 差速器的工作原理

### 2.1 差速器的工作原理

从结构上观察，差速器主要被分为两边的齿轮部分、两部分齿轮架构。它的功能有功能，车辆遇到高低不平的路面时或者在拐弯的时候，左右车轮产生转速差，两个车轮转速相同并且都是纯滚动。差速器就是对两个车轮转速的不同加以调整，进而使车辆保持整体的稳定。下图 3 给出了差速器的运行机制。

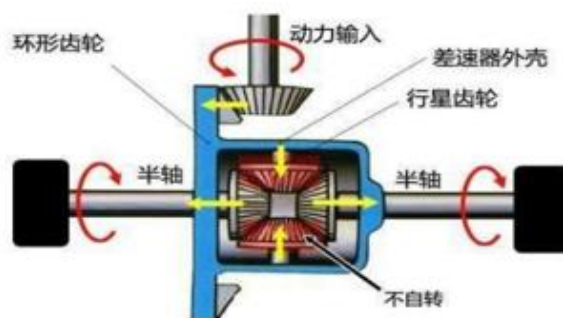


图 3 差速器结构示意图

### 2.2 差速器扭矩分配方案

在汽车直行时，车辆的动力由传动轴通过齿轮部分传递到环齿轮，此时车辆的行进方向与动力保持相关，环齿轮带动相应齿轮运行，现在两边车轮和行星齿轮充分啮合的，相应齿轮驱动侧齿轮保持运行，与行星齿轮相连接的齿轮和两侧半轴相连接，因此，车辆会向前行驶。车辆在直行过程中，每个车轮所受到的阻力是相同的，所以行星齿轮在直行的情况下不会自转。当车辆转弯的时候，两边的车轮会产生阻力差，因此在相应的侧齿轮里会产生不同阻力，此时行星齿轮会以自传的方式来改变两侧的不同阻力，受到阻力大的变小，受到阻力小的增加，使得两边的轮子有不同的转速，方便汽车转弯。

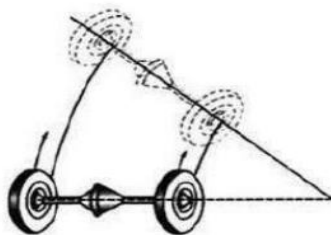


图 4 转弯车轮状态图

### (1) 左右驱动车轮不存在差速状况

转矩由从变速器传递过来，从相关联的齿轮轴和齿轮在到半轴齿轮等部分，这种结构酷似等臂杠杆，此时半轴齿轮的中尺寸相同，因此，相应的齿轮部分没有自转时，左右两侧车轮的半轴部分会被平均分配转矩。所以说总转矩会被平均的分成两部分，左侧和右侧各占一半。

### (2) 左右驱动车轮有差速状况

当转矩比  $S$  偏大时，此时转矩一边侧半轴的转矩  $M_b$  和相干的半轴转矩  $M_s$ ，两者间构成的数值比为转矩比  $S$ ，有： $S = M_b / M_s$ ， $M_b + M_s = M_0$

## 3. 磁流变差速器

### 3.1 磁流变阻尼器

阻尼是可以使震动的物体或者摩擦产生衰减或阻碍的作用，那些产生运动阻力的“特殊”构件，在结构系统上的会消耗运动能量的部件，通常被称为阻尼器，而阻尼器只是一个普通的构件，在不同的使用环境或者不同的工作环境之中会产生不同的阻尼性能，缓冲器：主要用在防震方面，在速度较低的时候可以移动，在加速度或者速度很大并且超过限定值时产生锁死，达到刚性支撑，以达到安全可靠的缓冲作用。震器：主要用在减震。

#### 3.1.1 回型式磁流变阻尼器

回型式磁流变阻尼器的结构如下图：

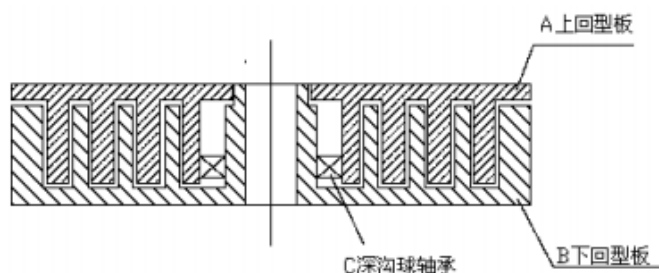


图 5 回型式截面图

该结构中，A、B 两回型板之间通过 C 深沟球轴承连接，A、B 板之间就可以相互自由旋转，它们之间充满了适量的磁流变液材料，通过改变励磁磁场的大

小来使得磁流变液产生不同的屈服应力，屈服应力大小的改变就可以使旋转阻尼力的发生改变。

### 3.1.2 多片式磁流变阻尼器

多片式磁流变阻尼器在功能效果上与回型式阻尼器相同，但是其结构存在差异，通常来说，与普通硅油式黏性联轴器的结构大致相同，如图所示。

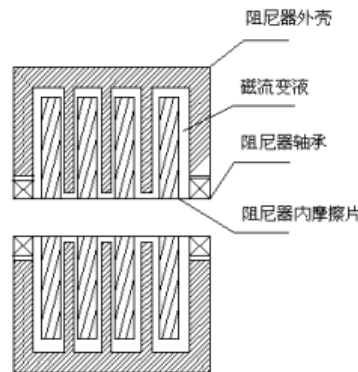


图6 多片式结构模型

多片式结构中在一般工况下，靠阻尼器内外壳之间的转速差对该模型内部的磁流变材料进行摩擦剪切，从而产生相应的阻尼力矩。

### 3.1.3 两种磁流变阻尼器的特点

以上两种磁流变阻尼器的结构都是通过剪切磁流变材料产生阻尼力，由阻尼力而产生相应的阻尼力矩，相比于摩擦力矩，磁流变产生的阻尼力矩有更多的优点：

- (1) 能够极大的减小摩擦，延长产品的寿命。
- (2) 旋转阻尼力矩的不同可以通过适当调整外加激励磁场的强度来改变。

可磁流变液旋转阻尼器也存在其弊端，当在长时间工作之后，会使磁流变材料的温度升高而使磁流变材料性能受到影响，所以磁流变液的载液必须满足能承受高温的要求。下面分别介绍两种阻尼器的缺点。

#### (1) 回型式磁流变阻尼器

为了获得更大的阻尼力矩，通常采用更大的径向尺寸，应用在汽车差速器上会增大差速器的径向尺寸，较大的差速器尺寸对汽车通过性是不利的。同时，由于磁流变的工作原理所致，在工作的过程中也会产生相应的热量，其内部压力也

会明显增大，在回型旋转阻尼器内部轴向会有更大的压力，这样对阻尼器的防泄漏和正常工作都是不利的，所以回型旋转阻尼器在结构上的特点，需要我们更好的去解决其密封和发热的问题，应用在车用差速器上还不能很好地实现。

## （2）多片式磁流变阻尼器

对于多片式旋转阻尼器，在工作的过程中，随着温度升高会造成其内部温度升高，从而就造成了磁流变液的体积膨胀，体积的膨胀会造成阻尼器内部的压力过高，这时磁流变的旋转叶片在磁流变液压力的作用会发生相互摩擦，所以其内摩擦力矩会增加，磁流变液的剪切率有所降低，就会使得磁流变阻尼器的内部温度有所下降，这对阻尼器内部的磁流变液的寿命起到了一定的保护作用，整个过程与粘性联轴器的“驼峰现象”有一定的类似。在结构尺寸上来讲，多片旋转阻尼器的轴向尺寸可以较大，径向尺寸可以变得较小，这样更加利于提高汽车的离地间隙，提高汽车的通过性。

综上所述，为了将磁流变液应用在汽车差速器上，结合工作环境和相应的特性要求，多片式旋转阻尼器更适合于汽车差速器的应用。

## 3.2 磁流变差速器结构

磁流变后的差速器结构图

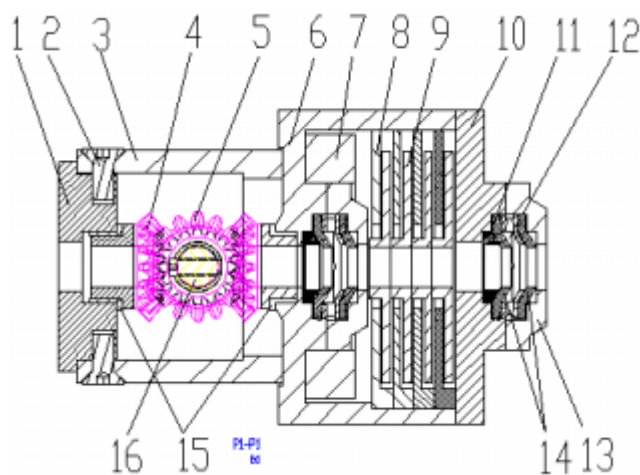


图7 新型磁流变差速器结构图

1-差速器壳左盖 2-差速器壳连接螺钉 3-差速器壳 4-左半轴齿轮 5-差速器行星齿轮 6-磁流变液阻尼器壳 7-励磁线圈 8-磁流变阻尼器外板 9-磁流变阻尼器内板 10-阻尼器右盖 11-J型密封垫 12-J型橡胶密封圈 13-J型密封盖 14-J型橡胶密封圈 15-半轴齿轮黄铜衬套 16-行星齿轮轴

如图，由于差速器壳外还需安装主减速器的大齿圈，所以差速器与驱动车桥必须通过圆锥滚子轴承装配。在差速器壳里面，行星齿轮（5）与行星齿轮轴（16）通过黄铜衬套和黄铜衬垫装配，半轴齿轮（15）通过黄铜衬套与差速器壳（3）装配，同时半轴齿轮还要加工出内花键与半轴装配。磁流变阻尼器壳（6）与差速器壳（3）通过螺栓连接，阻尼器与差速器壳之间通过 J 型密封隔开，这样就解决了磁流变液材料泄露的问题

### 3.3 磁流式差速器工作原理

磁流变差速器，在结构上与普通差速器之间增加了额外的磁流变阻尼器，这样当差速器发生打滑的时候其摩擦力矩就可以分成两部分 $T_f$ ：一部分是通过半轴齿轮和行星齿轮与差速器壳之间的库伦摩擦 $T_c$ ，另一部分就可以为磁流变阻尼器之间相对转动而产生的阻力力矩 $T_m$ ，由于库伦摩擦和磁流变液的剪切表现出来的都是耗散力，所以差速器摩擦力矩可以有以下表示：

$$T_f = T_c + T_m \quad (1)$$

汽车在普通的马路上直行时，车轮的角速度相同，车辆两边车轮无相对运动，左右半轴齿轮的转速相等，同时与主减速器的转速相同即：

$$\omega = \omega_1 = \omega_2 \quad (2)$$

由于左右两侧车轮没有相对转动，所以差速器没有发生打滑，差速器内部的行星齿轮没有自转，即 $\omega_0 = 0$ ，仅仅做角速度大小与差速器壳相等的转动。这样的话，与半轴径向固定的磁流变阻尼器外板与磁流变阻尼器内板直接就不会发生剪切，这样实现了与普通差速器相同的功能。

当其中在转弯的时候，由于车身发生转向的缘故，会产生相应的转向力矩，来自路面的转向力会使驱动轮左右两侧受到的力大小不同，这样就会作用到左右半轴上，由于左右两侧受到的力大小不等，因此就在行星齿轮上面形成了一个使其旋转的力矩 $T_0$ ，该力矩就会使行星齿轮由静止发生转动，转动的过程中左右半轴齿轮和行星齿轮都会与差速器壳上的黄铜衬套发生摩擦这样就构成了 $T_c$ ，同时由于差速器右侧的半轴与磁流变阻尼器在径向是固定装配的，由于行星齿轮发生转动时候，左右半轴齿轮与差速器壳之间的速度大小各不相同，所以这样阻尼器内外板之间就会发生相应的剪切，就会产生阻尼力矩 $T_m$ ，当稳定的时候就可以与来自路面的力矩与摩擦力矩 $T_c$ 和阻尼力矩 $T_m$ 平衡。

对于一般情况下的正常转弯行驶，磁流变差速器就可以有以上的工作情况，但是当汽车行驶在泥泞打滑的路面行驶的时候，会存在不同路面的附着系数大小不同，这样就会造成左右侧车轮受到的驱动力大小不等，所以就会使汽车差速器打滑，这样的打滑对汽车的通过性是不利的。对于这样的情况下，由于左右车轮的附着系数不一样，为了更好地利用附着系数大的一侧车轮的附着力，就必须提高差速器的摩擦阻力矩 $T_f$ 来获得较高的转矩比，这时就可以让励磁线圈通电，来改变磁流变液的物理特性。

### 3.4 磁流式差速器的结构设计

#### 3.4.1 锁紧系数的调整方法

磁流变差速器不同于普通汽车差速器的之处在于它能够实现不同工况下有不同的摩擦力矩，实现摩擦阻尼力矩的变化，特别是在差速器防滑这一点比普通差速器性能更好，普通圆锥行星齿轮差速器为了获得相应的摩擦力矩，通常普通差速器靠左右半轴齿轮与其装配的黄铜衬套的摩擦和行星齿轮与差速器壳之间的摩擦来构成差速器的摩擦力矩 $T_f$ 防滑系数即锁紧系数一般在 $K = 1.1 \sim 1.5$ 转矩分配系数一般 $\xi = 0.55 \sim 0.6$ 这样的差速器在兼顾汽车操作性和通过性的时候是可以满足的。

查阅资料得出磁流变差速器内部的摩擦力矩的计算表达式：

$$T = \frac{2}{3} n \pi r (H) \cdot (R^3 - r^3) + n \int 2\pi \cdot \eta(r) \cdot \gamma \cdot r^2 dr + F_b \cdot r \cdot \left( \frac{\pi f}{2} \right) + \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \cdot \frac{F_a f}{3} \quad (3)$$

锁紧系数的表达式：

$$K = \frac{T_0 + T_f}{T_0 - T_f} \quad (4)$$

普通差速器的锁紧系数和转矩分配系数都是受摩擦力矩的限制而不能变化的，但是磁流变差速器的摩擦力矩可以由半轴齿轮的摩擦及磁流变阻尼器的阻尼力矩构成，磁流变液材料会使磁流变阻尼器改变磁场强度，从而改变材料的特性，这能够改变磁流变阻尼器的阻尼力矩，相应的就改变了锁紧系数，这样与普通机械式锁止差速器的区别在于磁流变差速器的锁紧系数可以在一定范围内通过改变磁场强度来变化，这样就成为了一种可变锁紧系数的差速器。

#### 3.4.2 磁流变阻尼器的结构尺寸设计

磁流变阻尼器的内摩擦片的结构图如下：

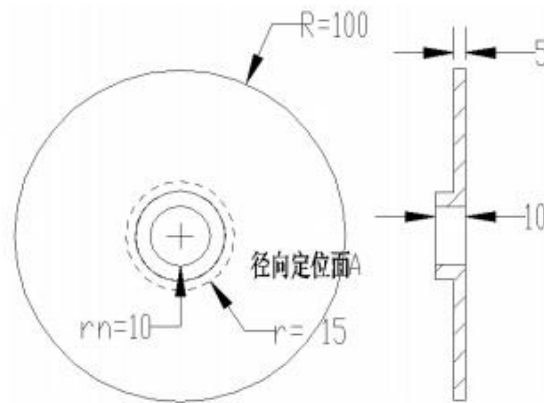


图 8 阻尼器内摩擦盘结构图

因为内摩擦盘与外摩擦盘之间充满了磁流变液材料，所以圆盘左右两面都会与磁流变材料发生摩擦。由磁流变差速器原理图可以看出，径向定位 A 面主要承担着由两个摩擦面与磁流变之间产生的摩擦力矩。所以初步选取摩擦片与半轴之间采取平键连接，根据相关文献《机械设计手册》，由于原先选取的差速器样机的轴颈大小为  $d_0=20$ ，我们选取 B 型平键，其尺寸大小和相关参数如下表所示：

(表 1) B 型键的相关参数

平键类型	B	H	L	许用应力 $[\sigma_p]$
B	6	6	43	120Mpa

根据上面里面的结构图可以确定键长  $L=43$ ，根据差速器的工作情况选取轻微冲击时许用应力  $[\sigma_p]$  选取键、轴、毂三者中许用应力的最小值。因为摩擦片材料初步选取 20 钢，所以其许用应力  $[\sigma_p]=120\text{Mpa}$ ，取磁流变阻尼器在工作极限时传递的总的矩大小为  $T_f = 840\text{N}\cdot\text{M}$ ，经过相应计算后得到的结果其应力大小大于许用应力  $[\sigma_p]$ ，所以不能许用 B 型平键作为传动，所以采用花键连接的连接方式。

根据相关标准选取小径大小为  $d=23$ ，花键规格为  $6\times 23\times 26\times 6$  的 A 型花键作为初选型号，由这样的型号标准，对其进行强度校核，校核过程及结果如下：

按公式  $\frac{T}{\phi z r_m h L} \leq [\sigma_p]$  进行校核，计算转矩  $T = \eta \cdot T_f = 720\text{NM}$

$\phi$  是每个齿载荷分配不均匀系数，取 0.8；



$Z$  是花键的齿数，数值取 6；

$L$  是键齿的工作长度，暂定大小  $L = 80$ ；

$H$  是花键齿侧的高度， $h = \frac{D-d}{2} - 2C$ ,  $C$  为倒角，所以  $h$  的大小为 1.1；

$r_m$  为花键平均半径， $r_m = \frac{D+d}{4}$  为 12.25；

代入公式计算  $\frac{T}{\phi z r_m h L} = 139 \text{ Mpa}$

由于磁流变阻尼器工作环境良好，同时花键表面经过齿面处理后其许用应力  $[\sigma_p]$  取 200Mpa，磁流变阻尼器内摩擦片同样也采用 20CrMnTi 的合金钢材料，所以这样的设计是可以满足极限情况下的摩擦转矩的扭转条件的，其结构尺寸模型可见下图

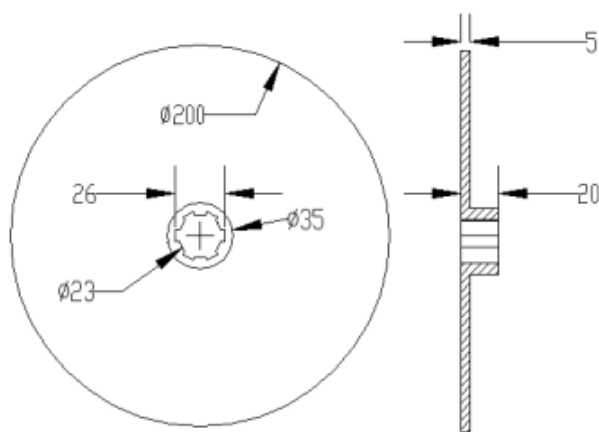


图 9 内摩擦板结构尺寸模型

对于磁流变阻尼器外摩擦片的设计可以依据内摩擦片结构进行设计，首先选其材料为 20CrMnTi 的合金材料，磁流变阻尼器的外摩擦片与阻尼器外壳镶嵌安装其结构如图

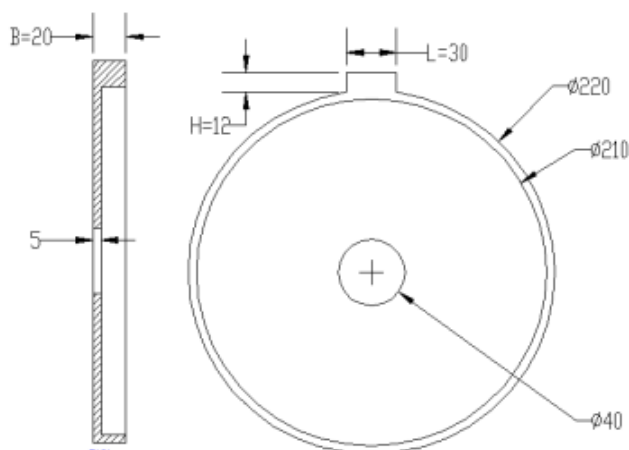


图 10 阻尼器外摩擦片结构图

当差速器工作时即内外盘之间存在剪切，外盘也会受到相应的与磁流变材料发生摩擦产生的力矩，由上述所得到的计算转矩  $T = \eta \cdot T_f = 720\text{NM}$ ，所以单个外摩擦片受到的摩擦力矩为  $T_w = T/n$ ，大小为 180NM, 对外摩擦片周向定位进行校核，仍然按照以上公式校核，其过程结果如下：

$$\tau = \frac{T_w}{rBL} \leq [\tau] \quad (5)$$

$$T_w = 180\text{N} \cdot \text{M}, r = 220 + H/2, B = 20, L = 30 \quad (6)$$

经过计算后，其应力大小满足相应的许用应力，因此该设计是可行的。

## 结论

本文对磁流变差速器进行了研究。了解了普通差速器的发展历程以及不足之处，在深入的学习了差速器实现差速的工作原理和扭矩的分配情况之后，提出了磁流变差速器的简单构想，参考了国内与国外磁流式差速器的发展情况。查阅了磁流变液智能材料的相关特性和差速器的结构。计划在传动轴上加装磁流变阻尼器，从而使汽车在现有功能不变的基础上实现不打滑的设想。在此基础上引入了两种磁流式阻尼器，回型式磁流变阻尼器和多片式磁流变阻尼器，了解了两种磁流变阻尼器的都是通过剪切磁流变材料产生阻尼力，由阻尼力而产生相应的阻尼力矩。之所以选择阻尼力矩而不选择摩擦力矩，主要是因为阻尼力矩能够极大的减小摩擦，延长产品的寿命。考虑到两种磁流变阻尼器的结构特点及工作环境选用了多片式磁流变阻尼器，继而设计了磁流变差速器的结构并且阐述了其工作原理，通过计算锁紧系数和转矩分配系数实现了可变锁紧系数的差速器。现场观察了汽车差速器在汽车上的结构之后，查阅了机械设计手册之后设计了磁流变阻尼器的结构尺寸。经过简单计算确定此方案是可行的。

## 参考文献

- [1] 盛德号 封素敏 李洪 王志 . 摩擦片式防滑差速器转矩特性对汽车操纵稳定性的影响研究[J]. 汽车技术 , 2012, 04:29-32.
- [2] 盛德号 王志. 硅油式防滑差速器特性对汽车操纵性能的影响研究 [J]. 机械传动 , 2012, 08:96-100.
- [3] 毛啸滇. 防滑差速器的应用研究 [D]. 合肥工业大学. 2006.
- [4] 范仲伟. 制动介入式防滑差速系统控制策略研究 [ D]. 武汉理工大学. 2008.
- [5] 韩伟. 基于限滑差速器的汽车性能仿真与试验研究 [ D]. 吉林大学. 2013.
- [6] 盛阳. 半开放式差速器的原理及结构优势的探讨[J]. 时代汽车, 2021 (03) :142-144.
- [7] 武楠楠. 新型差速器结构分析和动态仿真的研究[D]. 太原科技大学, 2013.
- [8] 吴明. 自适应机械锁式防滑差速器的仿真与研究[D]. 湖南大学, 2014.
- [9] 王秋平. 汽车差速器的建模与强度分析[D]. 东北大学, 2014.
- [10] 王晓怡. 车用直齿圆柱齿轮轮间差速器设计与性能分析[D]. 辽宁工业大学, 2015.
- [11] 韩兆东. 托森型差速器的设计与性能分析[D]. 辽宁工业大学, 2015.
- [12] 赵宁, 孙向轩, 蔺彦虎, 郭志强. 直齿圆柱齿轮差速器运动学与动力学分析仿真[J]. 计算机仿真, 2012, 29 (08) :344-348.
- [13] 陈作炳, 柳刚, 程海斌, 汤帅. 磁流变限滑差速器摩擦片组的性能分析[J]. 汽车工程师, 2016 (04) :31-34.
- [14] 柳刚. 磁流变限滑差速器的研究与开发[D]. 武汉理工大学, 2016.
- [15] 陈明. 自适应离心式机械摩擦阻尼传动系统设计[D]. 机械传动, 2012.
- [16] 孙娜娜. 矿用磁流变阻尼器的设计与研究[D]. 中国矿业大学, 2018.
- [17] 叶碧锋 张倩. 核电厂阻尼器的选型及应用[D]. 中国核电工程有限公司郑州分公司, 2010.
- [18] 程海斌. 磁流变液的稳定性调控及其在重大工程中应用[D]. 武汉理工大学, 2012.
- [19] 周峰. 磁流变液的制备及其稳定性研究[D]. 上海工程技术大学, 2016.
- [20] 胡国良 张佳伟. 磁流变阻尼器结构优化设计研究现状[D]. 机床与液压, 2019.

## 致谢

我要感谢高德营老师对我的教导。从选题、构思、总体方案设计、寻找相关资料、写作到最后稿，高老师给予了我细致的指导和热情的帮助。当我在写论文的过程中遇到问题时，高老师耐心地对我进行了解释和指导，对我的需求做出了更好的反应。高老师卓越的工作作风和坚实的理论基础使我受益匪浅。

此外，我还要感谢我的朋友和同学们在准备论文方面的大力支持和帮助，这给我带来了很大的启发。我还要感谢参考文献中的作者。通过他们的研究文章，我对这个研究课题有了一个很好的起点。

最后，谢谢你的辛勤工作。我衷心感谢我的家人、朋友和同学们的鼓励和支持，使我能够顺利完成这篇论文。祝老师身体健康，工作顺利。