

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 7 月 9 日 (09.07.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/140603 A1

- (51) 国际专利分类号:
B62D 5/065 (2006.01) *B62D 5/04* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/116095
- (22) 国际申请日: 2019 年 11 月 6 日 (06.11.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910002267.7 2019 年 1 月 2 日 (02.01.2019) CN
201920002471.4 2019 年 1 月 2 日 (02.01.2019) CN
- (71) 申请人: 南京航空航天大学 (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) [CN/CN]; 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋,

Jiangsu 210000 (CN)。南京天航智能装备研究院有限公司 (NANJING TIANHANG INSTITUTE OF INTELLIGENT EQUIPMENT CO., LTD) [CN/CN]; 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。

(72) 发明人: 周小川 (ZHOU, Xiaochuan); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。赵万忠 (ZHAO, Wanzhong); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。王一松 (WANG, Yisong); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。张自宇 (ZHANG, Ziyu); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。

(54) Title: MAGNETO-RHEOLOGICAL FLUID-BASED RACK AND PINION ELECTRO-HYDRAULIC STEERING SYSTEM AND OPTIMIZATION METHOD

(54) 发明名称: 一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统及优化方法

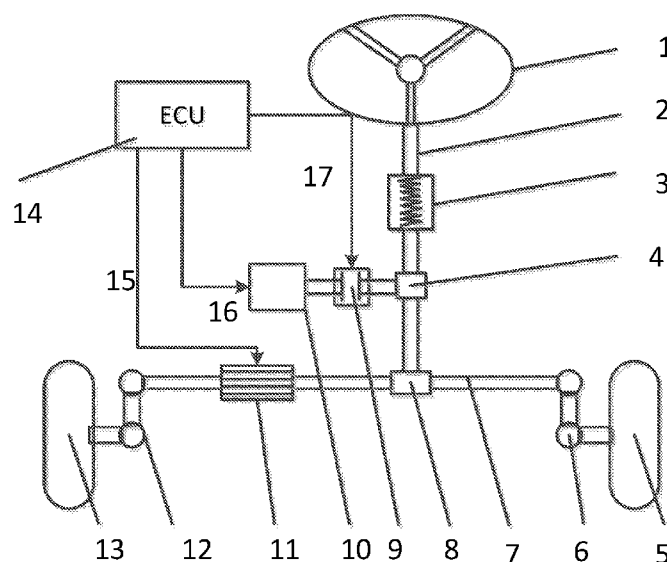


图 1

(57) Abstract: A magneto-rheological fluid-based rack and pinion electro-hydraulic steering system and an optimization method. Said system comprises: a mechanical transmission module, a magneto-rheological fluid power assist module (11), an electric power assist module, and a power assist control module (14). The optimization method comprises the following steps: 1) establishing a rack and pinion electric-hydraulic steering system model, a whole-vehicle model, and a tire model; 2) selecting system optimization targets, and deducting evaluation formulas; 3) selecting parameters, having a large influence on steering performance, as optimization variables; 4) under constraint conditions of value ranges of steering sensitivity and the optimization variables, establishing a system multi-target

汪桢旭(WANG, Anxu); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路10号三才大厦3栋, Jiangsu 210000 (CN)。王春燕(WANG, Chunyan); 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路10号三才大厦3栋, Jiangsu 210000 (CN)。

(74) 代理人: 江苏圣典律师事务所(JIANGSU SUNDY LAW FIRM); 中国江苏省南京市建邺区奥体大街68号4A栋6层杨文晰, Jiangsu 210019 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

— 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

optimization model; and 5) using a reference point-based multi-target evolution algorithm to perform optimization. Two power-assist modes, i.e. an electric motor (10) and magneto-rheological fluid are used, so that the steering response speed is fast, the steering power-assist range is large, and the energy consumption is low, effectively solving the problem of mutual conflict among a plurality of optimization targets such as steering feel, steering energy consumption, and steering power-assist.

(57) 摘要: 一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统及优化方法, 系统包括: 机械传动模块、磁流变液助力模块(11)、电动助力模块、助力控制模块(14); 该优化方法包括以下步骤: (1)建立齿轮齿条式电液转向系统模型、整车模型及轮胎模型, (2)选择系统优化目标, 推导评价公式; (3)选择对转向性能影响大的参数为优化变量, (4)在转向灵敏度和优化变量取值范围的约束条件下, 建立系统多目标优化模型; (5)采用基于参考点的多目标进化算法进行优化。利用电动机(10)与磁流变液两种助力方式, 转向响应速度快, 转向助力范围大, 能量消耗少, 并有效解决了转向路感、转向能耗和转向助力多个优化目标之间相互冲突的问题。

一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统及优化方法

技术领域

本发明属于汽车转向系统技术领域，具体涉及一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统及其多目标优化方法。

背景技术

随着助力转向系统的发展，汽车转向系统的性能在轻便化、节能化、智能化等方面有了极大提高。目前最常见的助力转向系统主要包括液压助力转向系统和电动助力转向系统。其中，液压助力转向系统输出力矩大，操作稳定，但能耗较大，维修不方便；电动助力转向系统可根据实时工况调节辅助动力，且质量小、节省安装空间，但其输出力矩相对较小，很难满足大型车辆助力的需求。受限于液压系统和电气系统固有的特性，无论是液压助力转向系统还是电动助力转向系统，都难以单独实现转向性能的最优化，采用电液助力转向系统则可以将二者优点结合。

磁流变液作为一种新兴材料在许多领域得到了广泛应用，其在零磁场条件下呈现出低粘度的牛顿流体特性，而在强磁场作用下则呈现出高粘度、低流动性的Bingham体特性，且变化过程是瞬时的，并同时具有低能耗的特点，在汽车转向系统得到了一些应用。例如中国专利申请号为CN201410557874.7，名称“一种齿轮齿条式磁流体电控液压助力转向装置及控制方法”中将磁流变液作为液压助力，但由于单独依靠洛伦兹力为动力源，所能提供的助力受限而不能达到理想效果，无法完全替代液压助力转向系统；中国专利申请号为CN201720488038.7，名称“车辆半主动控制转向系统用磁流变阻尼器”，利用磁流变液特性提高汽车转向稳定性，但主要利用的是其阻尼特性而非提供助力。因此，设计一种利用磁流变液进行助力并与电动助力相结合的汽车电液助力转向系统，节约转向过程消耗的能量，加快响应速度，获得更好的转向特性，具有深入研究价值。

电液转向系统涉及多个模块相互配合，结构复杂，需要机械，流体，电子等多门学科协同作用。同时其中涉及众多的性能参数指标，合理科学的参数优化设计对系统性能起到关键性作用。因此，准确建立优化模型，采用合适优化算法对获得电液转向系统的良好综合性能有着不可忽视的作用。

发明内容

针对于上述现有技术的不足，本发明的目的在于提供一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统及优化方法，以克服现有技术中存在的问题。本发明利用磁流变液替代原有液压油提供助力，大大简化了齿轮齿条转向器的液压结构，通过控制电动助力模块和磁流变液助力模块的配合，并提供一种多目标优化方法优化关键参数，使得汽车在获得较好的转向路感

的同时降低系统能量损耗，得到良好的综合转向性能。

为达到上述目的，本发明采用的技术方案如下：

本发明的一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统，包括：机械传动模块、磁流变液助力模块、电动助力模块、助力控制模块；

所述的机械传动模块包括方向盘、转角传感器、转矩传感器、转向轴、齿轮齿条式转向器、横拉杆、左侧转向梯形、右侧转向梯形、左侧车轮及右侧车轮；转向轴的上端与方向盘相连，方向盘上安装转角传感器；转向轴的下端与齿轮齿条转向器的输入端连接，转向轴下端安装有转矩传感器；齿轮齿条式转向器包括转向齿轮，向心球轴承，转向齿条，弹簧，压块，调整螺母，转向器壳体；转向齿轮通过向心球轴承支承在转向器壳体内，转向齿轮的上端与转向轴连接，下端与水平布置的转向齿条相啮合，形成一对传动副；弹簧通过压块将转向齿条压靠在转向齿轮上，使转向齿条和转向齿轮无间隙啮合；调整螺母通过转向器壳体与弹簧相连，提供弹簧预紧力；转向齿条两端连接横拉杆，横拉杆右端通过右侧转向梯形与右侧车轮连接，横拉杆左端通过磁流变液助力模块连接左侧转向梯形及左侧车轮；

所述的磁流变液助力模块包括磁流变液外壳、上金属板、下金属板、左圆锥滚子轴承、右圆锥滚子轴承、左受力板、右受力板、输入轴、输出轴、磁流变液材料、励磁线圈、供电单元；

所述横拉杆被磁流变液助力模块打断分为左右两端打断处，横拉杆的左端打断处与输出轴连接，横拉杆的右端打断处与输入轴连接；输入轴依靠右圆锥滚子轴承支撑在磁流变液外壳上，通过右受力板与下金属板连接；输出轴依靠左圆锥滚子轴承支撑在磁流变液外壳上，通过左受力板与上金属板相连；磁流变液外壳包围了上下错开设置的上、下金属板及输入轴、输出轴；磁流变液外壳内部充满磁流变液材料；磁流变液外壳外部水平缠绕励磁线圈，供电单元与励磁线圈电气连接，供电单元通电时励磁线圈产生可变磁场，磁流变液材料在磁场的作用特性下发生变化，产生剪切力作用在上、下金属板上，转化为左右受力板的输出力，并通过输出轴和输入轴向横拉杆传递，输出磁流变液助力模块提供的转向助力；

所述的电动助力模块包括电动机，离合器，减速机构；电动机固定在转向轴一侧，并通过减速机构与转向轴连接，减速机构与电动机间设有离合器；

所述的助力控制模块输入端分别与转矩传感器，转角传感器及车速传感器相连，接收驾驶员输入的方向盘转角信号、转矩信号、车速信号，其输出端与电动机、离合器、供电单元相连，通过输出磁流变液控制信号改变供电单元提供的电流，输出电机控制信号控制电动机提供的电磁转矩，输出离合器控制信号调整离合器的工作状态。

本发明的一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统的多目标优化方法，基于上述系统，包括步骤如下：

(1) 建立齿轮齿条式电液转向系统模型、整车模型及轮胎模型；

(2) 选择齿轮齿条式电液转向系统优化目标, 并根据步骤(1)建立的模型, 推导对应优化目标的评价公式;

(3) 以步骤(2)选择的系统优化目标为基础, 进行性能分析; 根据性能分析结果, 选择对转向性能影响大的机械参数和磁流变液参数为优化变量;

(4) 在转向灵敏度和优化变量取值范围的约束条件下, 建立齿轮齿条式电液转向系统多目标优化模型;

(5) 根据齿轮齿条式电液转向系统多目标优化模型, 采用基于参考点的多目标进化算法, 进行多目标参数优化。

进一步地, 所述齿轮齿条式电液转向系统模型包括: 转向盘-转向轴模型、齿轮齿条转向器模型、磁流变液助力模块模型及电动助力模块模型。

进一步地, 所述步骤(1)中的齿轮齿条式电液转向系统模型为:

$$\begin{cases} J_s \ddot{\theta}_s + B_s \dot{\theta}_s = T_{dri} - k_s (\theta_s - \theta_e) \\ J_{ds} \ddot{\theta}_e + B_{ds} \dot{\theta}_e = GT_{eps} + T_{sen} - T_w \\ J_{m1} \ddot{\theta}_{m1} + B_{m1} \dot{\theta}_{m1} = T_{em1} - T_{eps} \\ m_r \ddot{x}_r + B_r \dot{x}_r = T_w / r_p + F_{MRF} - F_z \end{cases}$$

式中: J_s 为方向盘转动惯量, θ_s 为驾驶员输入转角; T_{dri} 为驾驶员输入力矩, B_s 为转向轴阻尼系数, k_s 为转向传感器刚度, θ_e 为转向齿轮转角, J_{ds} 为转向轴与减速机构的转动惯量, B_{ds} 为减速机构阻尼系数, G 为减速机构减速比, T_{eps} 为电动机助力转矩, T_{sen} 为转矩传感器输出力矩, T_w 为齿轮齿条作用力, J_{m1} 为电动机转动惯量, θ_{m1} 为电动机转角, B_{m1} 为电动机阻尼系数, T_{em1} 为助力电机电磁转矩, m_r 为齿条质量, x_r 为转向齿条位移, B_r 为转向齿条阻尼系数, r_p 为转向齿轮半径, F_{hyd} 为磁流变液助力模块提供的助力, F_z 为转向齿条上的阻力;

整车模型为:

$$\begin{cases} I_z \dot{\omega}_r - I_{xz} \ddot{\phi} = N_r \omega_r + N_\beta \beta + N_\phi \phi + N_\delta \delta \\ mu(\omega_r + \dot{\beta}) - m_s h \ddot{\phi} = Y_r \omega_r + Y_\beta \beta + Y_\phi \phi + Y_\delta \delta \\ I_x \ddot{\phi} - m_s u(\omega_r + \dot{\beta})h - I_{xz} \dot{\omega}_r = L_p \dot{\phi} + L_\phi \phi \end{cases}$$

轮胎模型为:

$$T_r = \frac{2dk_1}{G_p} \left(\beta + \frac{a\gamma}{u} + E_1 \phi - \delta \right)$$

式中, I_z 为汽车质量对 z 轴的转动惯量, ω_r 为横摆角速度, ϕ 为车身侧倾角, N_r 、 N_β 、 N_ϕ 、 N_δ 分别为单位横摆角速度、单位质心侧偏角、单位侧倾角速度、单位前轮转角对 z 轴

的力矩, u 为纵向速度, m 为整车质量, I_x 为悬挂质量对 x 轴的转动惯量, β 为质心侧偏角, α 为前轮侧偏角, δ 为前轮转向角, I_{xz} 为悬挂质量对 x 、 z 轴的惯性积, d 为轮距, G_p 为转向轴到前轮传动比, h 为悬挂质心至侧倾轴线的距离, L_p 、 L_ϕ 分别为单位侧倾角速度、单位侧倾角对 x 轴的外力矩, Y_r 、 Y_β 、 Y_ϕ 、 Y_δ 分别为单位横摆角速度、单位整车侧偏角、单位侧倾角、单位前轮转角引起的地面侧向反作用力, k_l 为前轮侧偏刚度, E_l 为弧度因子。

进一步地, 所述步骤 (2) 中的优化目标包括: 转向路感、转向助力、转向能耗; 其中, 转向路感公式为:

$$F_{road} = r_p F_{MRF} - r_p F_z - (J_{ds} + R_p^2 m_r) \ddot{\theta}_e + (B_{ds} + r_p^2 B_r) \dot{\theta}_e + G T_{eps}$$

转向助力公式为:

$$F_{force} = T_w / r_p + F_{MRF}$$

转向能耗公式为:

$$F_{energy} = E_m + E_{MRF} + E_{motor} + E_{ecu}$$

式中, E_m 表示机械传动模块能耗, E_{MRF} 表示磁流变液助力模块能耗, E_{motor} 表示电动机能耗, E_{ecu} 表示 ECU 能耗。

进一步地, 所述步骤 (3) 中的优化变量包括: 电动机转动惯量 J_{m1} , 转矩传感器刚度 K_s , 金属板间隙 L , 磁流变液剪切面积 A , 励磁线圈匝数 Z , 减速机构减速比 G 。

进一步地, 所述步骤 (4) 中的齿轮齿条式电液转向系统多目标优化模型为:

$$\begin{cases} \min [F_{road}(X), 1/F_{force}(X), 1/F_{energy}(X)] \\ \text{where } X = [K_s, J_{m1}, L, A, Z, G] \\ \text{s.t. } 0.05 < L < 0.25, 550 < A < 1100, 1e-5 < J_{m1} < 5e-4 \\ 300 < A < 850, 3 < K_s < 15, 700 < Z < 1300 \\ g_1(X) > 0.005 \end{cases}$$

式中, $F_{energy}(X)$ 为转向能耗函数, $F_{road}(X)$ 为转向路感函数, $F_{force}(X)$ 为转向助力函数, $g_1(X)$ 为转向灵敏度。

进一步地, 所述步骤 (5) 中的基于参考点的多目标进化算法, 具体步骤如下:

51) 随机生成规模为 N 的初始父种群 P_t (J_{m1} , K_s , L , A , Z , G), 设置进化代数计数 $t=1$, 根据电液转向系统优化变量的初值对种群进行初始化;

52) 对父代种群 P_t 进行交叉、变异、选择等操作, 生成子代种群 Q_t ;

53) 将 P_t 与子代种群 Q_t 合并到一个集合中, 对集合里的个体进行非支配排序, 将所有非支配个体保存到集合 U_t 中;

54) 对集合 U_t 进行非支配排序并保存所有非支配个体, 根据公式 (1) 计算最优目标函数值, 通过选择最优目标值生成候选参考点, 保存到集合 R_m 中;

$$r_l^m = \min f_m(x) - \varepsilon_m, m=1, 2, 3; \quad (1)$$

式中, $f_m(x)$ 为所选优化变量对转向路感、转向助力、转向能耗的期望目标函数值, $m=1$ 时目标函数为转向路感, $m=2$ 时目标函数为转向助力, $m=3$ 时目标函数为转向能耗, r_i^m 为最优目标函数值, ε_m 为零或任意小的正数;

55) 根据公式 (2) 计算 R_m 中候选参考点的拥挤距离, 选取前 N 个拥挤距离较大的候选参考点, 保存到最终参考点集合 R 中;

$$id = \sum_{m=1}^M (f_{i+1}^m - f_{i-1}^m) \quad (2)$$

式中, id 为个体间的拥挤距离; f_{i+1}^m 为 $i+1$ 个个体在第 m 个优化目标函数上的值; f_{i-1}^m 为 $i-1$ 个个体在第 m 个优化目标函数上的值;

56) 对集合 R 中的每个参考点, 根据公式 (3) 计算集合 U_t 中所有个体的加权欧几里得距离 d_{ij}^e ;

$$d_{ij}^e = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^M (f_m(x_i) - r_j^m)^2}{M}} \quad (3)$$

式中, x_i 为上述所选的非支配个体, $i=6$; $f_m(x_i)$ 为个体 x_i 在第 m 目标上的值;

57) 找出最小的加权欧几里得距离值对应的集合 U_t 中非支配个体和 R_m 中的候选参考点, 将所找出的非支配个体保存到下一代种群 P_{t+1} 中, 循环操作直到得到 N 个个体作为下一代父种群 P_{t+1} ;

58) 判断 t 是否等于设置的最大进化代数 gen , 若 $t=gen$, 则算法结束退出优化, 得到电液转向系统最优解; 否则 $t=t+1$, 转到步骤 52) 继续执行优化。

本发明的有益效果:

本发明利用电动机与磁流变液两种助力方式结合, 既加快了转向响应速度, 又可根据不同工况提供可变转向助力, 能量消耗少。

本发明采用磁流变液代替现有液压助力, 不需要安装液压泵, 液压阀、液压管路、储液罐, 结构简单且减轻了系统质量, 同时为电动转向提供额外的转向助力。

本发明利用基于参考点的多目标进化算法对电液转向系统进行优化, 有效解决转向路感、转向能耗和转向助力多个优化目标之间相互冲突的问题, 得到综合转向性能较好的一组解集。

附图说明

图 1 为本发明基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统的原理结构图;

图 2 为本发明齿轮齿条转向器结构图;

图 3 为本发明磁流变液助力模块结构图;

图 4 为本发明优化方法流程图；

图 5 为本发明的基于参考点的多目标进化算法流程图；

图中，1-方向盘；2-转向轴；3-转矩传感器；4-减速机构；5-右侧车轮；6-右侧转向梯形；7-横拉杆；8-齿轮齿条转向器；9-离合器；10-电动机；11-磁流变液助力模块；12-左侧转向梯形；13-左侧车轮；14-助力控制模块；15-磁流变液控制信号；16-电机控制信号；17-离合器控制信号；18-向心球轴承；19-转向齿轮；20-转向齿条；21-压块；22-弹簧；23-调整螺母；24-转向器壳体；25-左圆锥滚子轴承；26-输出轴；27-左受力板；28-磁流变液外壳；29-上金属板；30-磁流变液材料；31-下金属板；32-励磁线圈；33 右受力板；34-输入轴；35-右圆锥滚子轴承；36-供电单元。

具体实施方式

为了便于本领域技术人员的理解，下面结合实施例与附图对本发明作进一步的说明，实施方式提及的内容并非对本发明的限定。

参照图 1 至图 3 所示，本发明的一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统，包括：机械传动模块、磁流变液助力模块 11、电动助力模块、助力控制模块 14（ECU）；

所述的机械传动模块包括方向盘 1、转角传感器、转矩传感器 3、转向轴 2、齿轮齿条式转向器 8、横拉杆 7、右侧转向梯形 6、左侧转向梯形 12、右侧车轮 5 及左侧车轮 13；转向轴 2 的上端与方向盘 1 相连，方向盘 1 上安装转角传感器；转向轴 2 的下端与齿轮齿条转向器 8 的输入端连接，转向轴 2 下端安装有转矩传感器 3；齿轮齿条式转向器包括转向齿轮 19，向心球轴承 18，转向齿条 20，弹簧 22，压块 21，调整螺母 23，转向器壳体 24；转向齿轮 19 通过向心球轴承 18 支承在转向器壳体 24 内，转向齿轮 19 的上端与转向轴 2 连接，下端与水平布置的转向齿条 20 相啮合，形成一对传动副；弹簧 22 通过压块 21 将转向齿条 20 压靠在转向齿轮 19 上，使转向齿条 20 和转向齿轮 19 无间隙啮合；调整螺母 23 通过转向器壳体 24 与弹簧 22 相连，提供弹簧预紧力；转向齿条两端连接横拉杆 7，横拉杆 7 右端通过右侧转向梯形 6 与右侧车轮 5 连接，横拉杆左端通过磁流变液助力模块连接左侧转向梯形 12 及左侧车轮 13；

所述的磁流变液助力模块包括磁流变液外壳 28、上金属板 29、下金属板 31、左圆锥滚子轴承 25、右圆锥滚子轴承 35、左受力板 27、右受力板 33、输入轴 34、输出轴 26、磁流变液材料 30、励磁线圈 32、供电单元 36；

所述横拉杆 7 被磁流变液助力模块打断分为左右两端打断处，横拉杆的左端打断处与输出轴连接，横拉杆的右端打断处与输入轴连接；输入轴依靠右圆锥滚子轴承支撑在磁流变液外壳上，通过右受力板与下金属板连接；输出轴依靠左圆锥滚子轴承支撑在磁流变液外壳上，通过左受力板与上金属板相连；磁流变液外壳包围了上下错开设置的上、下金属板及输入轴、

输出轴；磁流变液外壳内部充满磁流变液材料；磁流变液外壳外部水平缠绕励磁线圈，供电单元与励磁线圈电气连接，供电单元通电时励磁线圈产生可变磁场，磁流变液材料在磁场的作用特性下发生变化，产生剪切力作用在上、下金属板上，转化为左右受力板的输出力，并通过输出轴和输入轴向横拉杆传递，输出磁流变液助力模块提供的转向助力；

所述的电动助力模块包括电动机 10，离合器 9，减速机构 4；电动机 10 固定在转向轴 2 一侧，并通过减速机构 4 与转向轴 2 连接，减速机构 4 与电动机 10 间设有离合器 9；

所述的助力控制模块输入端分别与转矩传感器，转角传感器及车速传感器相连，接收驾驶员输入的方向盘转角信号、转矩信号、车速信号，其输出端与电动机、离合器、供电单元相连；转向时，助力控制模块根据各传感器信号进行计算，输出电机控制信号 16、离合器控制信号 17、磁流变液控制信号 15，分别控制电动机电流大小、离合器开关状态、供电单元电流大小，从而调整电动机输出的电磁转矩大小，并通过供电单元输入励磁线圈的电流在两金属板间产生相应磁场，使磁流变液材料输出相应的转向助力。

参照图 4 所示，本发明的一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统的多目标优化方法，基于上述系统，包括步骤如下：

(1) 建立齿轮齿条式电液转向系统模型、整车模型及轮胎模型；

其中，所述齿轮齿条式电液转向系统模型包括：转向盘-转向轴模型、齿轮齿条转向器模型、磁流变液助力模块模型及电动助力模块模型。

齿轮齿条式电液转向系统模型为：

$$\begin{cases} J_s \ddot{\theta}_s + B_s \dot{\theta}_s = T_{dri} - k_s (\theta_s - \theta_e) \\ J_{ds} \ddot{\theta}_e + B_{ds} \dot{\theta}_e = GT_{eps} + T_{sen} - T_w \\ J_{m1} \ddot{\theta}_{m1} + B_{m1} \dot{\theta}_{m1} = T_{em1} - T_{eps} \\ m_r \ddot{x}_r + B_r \dot{x}_r = T_w / r_p + F_{MRF} - F_z \end{cases}$$

式中： J_s 为方向盘转动惯量， θ_s 为驾驶员输入转角； T_{dri} 为驾驶员输入力矩， B_s 为转向轴阻尼系数， k_s 为转向传感器刚度， θ_e 为转向齿轮转角， J_{ds} 为转向轴与减速机构的转动惯量， B_{ds} 为减速机构阻尼系数， G 为减速机构减速比， T_{eps} 为电动机助力转矩， T_{sen} 为转矩传感器输出力矩， T_w 为齿轮齿条作用力， J_{m1} 为电动机转动惯量， θ_{m1} 为电动机转角， B_{m1} 为电动机阻尼系数， T_{em1} 为助力电机电磁转矩， m_r 为齿条质量， x_r 为转向齿条位移， B_r 为转向齿条阻尼系数， r_p 为转向齿轮半径， F_{hyd} 为磁流变液助力模块提供的助力， F_z 为转向齿条上的阻力；

整车模型为：

$$\begin{cases} I_z \dot{\omega}_r - I_{xz} \ddot{\phi} = N_r \omega_r + N_\beta \beta + N_\phi \dot{\phi} + N_\delta \delta \\ m u (\omega_r + \dot{\beta}) - m_s h \ddot{\phi} = Y_r \omega_r + Y_\beta \beta + Y_\phi \dot{\phi} + Y_\delta \delta \\ I_x \ddot{\phi} - m_s u (\omega_r + \dot{\beta}) h - I_{xz} \dot{\omega}_r = L_p \dot{\phi} + L_\phi \phi \end{cases}$$

轮胎模型为:

$$T_r = \frac{2dk_1}{G_p} (\beta + \frac{a\gamma}{u} + E_1 \phi - \delta)$$

式中, I_z 为汽车质量对 z 轴的转动惯量, ω_r 为横摆角速度, ϕ 为车身侧倾角, N_r 、 N_β 、 N_ϕ 、 N_δ 分别为单位横摆角速度、单位质心侧偏角、单位侧倾角速度、单位前轮转角对 z 轴的力矩, u 为纵向速度, m 为整车质量, I_x 为悬挂质量对 x 轴的转动惯量, β 为质心侧偏角, α 为前轮侧偏角, δ 为前轮转向角, I_{xz} 为悬挂质量对 x 、 z 轴的惯性积, d 为轮距, G_p 为转向轴到前轮传动比, h 为悬挂质心至侧倾轴线的距离, L_p 、 L_ϕ 分别为单位侧倾角速度、单位侧倾角对 x 轴的外力矩, Y_r 、 Y_β 、 Y_ϕ 、 Y_δ 分别为单位横摆角速度、单位整车侧偏角、单位侧倾角、单位前轮转角引起的地面侧向反作用力, k_1 为前轮侧偏刚度, E_1 为弧度因子。

(2) 选择齿轮齿条式电液转向系统优化目标, 并根据步骤 (1) 建立的模型, 推导对应优化目标的评价公式; 其中,

所述的优化目标包括: 转向路感、转向助力、转向能耗;

其中, 转向路感公式为:

$$F_{road} = r_p F_{MRF} - r_p F_z - (J_{ds} + R_p^2 m_r) \ddot{\theta}_e + (B_{ds} + r_p^2 B_r) \dot{\theta}_e + G T_{eps}$$

转向助力公式为:

$$F_{force} = T_w / r_p + F_{MRF}$$

转向能耗公式为:

$$F_{energy} = E_m + E_{MRF} + E_{motor} + E_{ecu}$$

式中, E_m 表示机械传动模块能耗, E_{MRF} 表示磁流变液助力模块能耗, E_{motor} 表示电动机能耗, E_{ecu} 表示 ECU 能耗。

(3) 以步骤 (2) 选择的系统优化目标为基础, 进行性能分析; 根据性能分析结果, 选择对转向性能影响大的机械参数和磁流变液参数为优化变量; 优化变量包括: 电动机转动惯量 J_{m1} , 转矩传感器刚度 K_s , 金属板间隙 L , 磁流变液剪切面积 A , 励磁线圈匝数 Z , 减速机构减速比 G 。

(4) 在转向灵敏度和优化变量取值范围的约束条件下, 建立齿轮齿条式电液转向系统多目标优化模型;

其中, 齿轮齿条式电液转向系统多目标优化模型为:

$$\begin{cases} \min [F_{\text{road}}(\mathbf{X}), 1/F_{\text{force}}(\mathbf{X}), 1/F_{\text{energy}}(\mathbf{X})] \\ \text{where } \mathbf{X} = [K_s, J_{m1}, L, A, Z, G] \\ \text{s.t. } 0.05 < L < 0.25, 550 < A < 1100, 1e-5 < J_{m1} < 5e-4 \\ 300 < A < 850, 3 < K_s < 15, 700 < Z < 1300 \\ g_1(\mathbf{X}) > 0.005 \end{cases}$$

式中, $F_{\text{energy}}(\mathbf{X})$ 为转向能耗函数, $F_{\text{road}}(\mathbf{X})$ 为转向路感函数, $F_{\text{force}}(\mathbf{X})$ 为转向助力函数, $g_1(\mathbf{X})$ 为转向灵敏度。

(5) 根据齿轮齿条式电液转向系统多目标优化模型, 采用基于参考点的多目标进化算法, 进行多目标参数优化。

参照图 5 所示, 所述的基于参考点的多目标进化算法, 具体步骤如下:

51) 随机生成规模为 N 的初始父种群 P_t (J_{m1}, K_s, L, A, Z, G), 设置进化代数计数 $t=1$, 根据电液转向系统优化变量的初值对种群进行初始化;

52) 对父代种群 P_t 进行交叉、变异、选择等操作, 生成子代种群 Q_t ;

53) 将 P_t 与子代种群 Q_t 合并到一个集合中, 对集合里的个体进行非支配排序, 将所有非支配个体保存到集合 U_t 中;

54) 对集合 U_t 进行非支配排序并保存所有非支配个体, 根据公式 (1) 计算最优目标函数值, 通过选择最优目标值生成候选参考点, 保存到集合 R_m 中;

$$r_l^m = \min f_m(x) - \epsilon_m, m=1,2,3; \quad (1)$$

式中, $f_m(x)$ 为所选优化变量对转向路感、转向助力、转向能耗的期望目标函数值, $m=1$ 时目标函数为转向路感, $m=2$ 时目标函数为转向助力, $m=3$ 时目标函数为转向能耗, r_l^m 为最优目标函数值, ϵ_m 为零或任意小的正数;

55) 根据公式 (2) 计算 R_m 中候选参考点的拥挤距离, 选取前 N 个拥挤距离较大的候选参考点, 保存到最终参考点集合 R 中;

$$id = \sum_{m=1}^M (f_{i+1}^m - f_{i-1}^m) \quad (2)$$

式中, id 为个体间的拥挤距离; f_{i+1}^m 为 $i+1$ 个个体在第 m 个优化目标函数上的值; f_{i-1}^m 为 $i-1$ 个个体在第 m 个优化目标函数上的值;

56) 对集合 R 中的每个参考点, 根据公式 (3) 计算集合 U_t 中所有个体的加权欧几里得距离 d_{ij}^e ;

$$d_{ij}^e = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^M (f_m(x_i) - r_j^m)^2}{M}} \quad (3)$$

式中, x_i 为上述所选的非支配个体, $i=6$; $f_m(x_i)$ 为个体 x_i 在第 m 目标上的值;

57) 找出最小的加权欧几里得距离值对应的集合 U_t 中非支配个体和 R_m 中的候选参考点, 将所找出的非支配个体保存到下一代种群 P_{t+1} 中, 循环操作直到得到 N 个个体作为下一代父种群 P_{t+1} ;

58) 判断 t 是否等于设置的最大进化代数 gen , 若 $t=gen$, 则算法结束退出优化, 得到电解转向系统最优解; 否则 $t=t+1$, 转到步骤 52) 继续执行优化。

本发明具体应用途径很多, 以上所述仅是本发明的优选实施方式, 应当指出, 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明原理的前提下, 还可以作出若干改进, 这些改进也应视为本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统，其特征在于，包括：机械传动模块、磁流变液助力模块、电动助力模块、助力控制模块；

所述的机械传动模块包括方向盘、转角传感器、转矩传感器、转向轴、齿轮齿条式转向器、横拉杆、左侧转向梯形、右侧转向梯形、左侧车轮及右侧车轮；转向轴的上端与方向盘相连，方向盘上安装转角传感器；转向轴的下端与齿轮齿条转向器的输入端连接，转向轴下端安装有转矩传感器；齿轮齿条式转向器包括转向齿轮，向心球轴承，转向齿条，弹簧，压块，调整螺母，转向器壳体；转向齿轮通过向心球轴承支承在转向器壳体内，转向齿轮的上端与转向轴连接，下端与水平布置的转向齿条相啮合，形成一对传动副；弹簧通过压块将转向齿条压靠在转向齿轮上，使转向齿条和转向齿轮无间隙啮合；调整螺母通过转向器壳体与弹簧相连，提供弹簧预紧力；转向齿条两端连接横拉杆，横拉杆右端通过右侧转向梯形与右侧车轮连接，横拉杆左端通过磁流变液助力模块连接左侧转向梯形及左侧车轮；

所述的磁流变液助力模块包括磁流变液外壳、上金属板、下金属板、左圆锥滚子轴承、右圆锥滚子轴承、左受力板、右受力板、输入轴、输出轴、磁流变液材料、励磁线圈、供电单元；

所述横拉杆被磁流变液助力模块打断分为左右两端打断处，横拉杆的左端打断处与输出轴连接，横拉杆的右端打断处与输入轴连接；输入轴依靠右圆锥滚子轴承支撑在磁流变液外壳上，通过右受力板与下金属板连接；输出轴依靠左圆锥滚子轴承支撑在磁流变液外壳上，通过左受力板与上金属板相连；磁流变液外壳包围了上下错开设置的上、下金属板及输入轴、输出轴；磁流变液外壳内部充满磁流变液材料；磁流变液外壳外部水平缠绕励磁线圈，供电单元与励磁线圈电气连接；

所述的电动助力模块包括电动机，离合器，减速机构；电动机固定在转向轴一侧，并通过减速机构与转向轴连接，减速机构与电动机间设有离合器；

所述的助力控制模块输入端分别与转矩传感器，转角传感器及车速传感器相连，其输出端与电动机、离合器、供电单元相连。

2. 一种基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统的多目标优化方法，基于上述权利要求1所述的系统，其特征在于，包括步骤如下：

(1) 建立齿轮齿条式电液转向系统模型、整车模型及轮胎模型；

(2) 选择齿轮齿条式电液转向系统优化目标，并根据步骤(1)建立的模型，推导对应优化目标的评价公式；

(3) 以步骤(2)选择的系统优化目标为基础，进行性能分析；根据性能分析结果，选择对转向性能影响大的机械参数和磁流变液参数为优化变量；

(4) 在转向灵敏度和优化变量取值范围的约束条件下，建立齿轮齿条式电液转向系统多目标优化模型；

(5)根据齿轮齿条式电液转向系统多目标优化模型,采用基于参考点的多目标进化算法,进行多目标参数优化。

3. 根据权利要求 2 所述的基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统的多目标优化方法,其特征在于,所述齿轮齿条式电液转向系统模型包括:转向盘-转向轴模型、齿轮齿条转向器模型、磁流变液助力模块模型及电动助力模块模型。

4. 根据权利要求 3 所述的基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统的多目标优化方法,其特征在于,所述步骤(1)中的齿轮齿条式电液转向系统模型为:

$$\begin{cases} J_s \ddot{\theta}_s + B_s \dot{\theta}_s = T_{dri} - k_s (\theta_s - \theta_e) \\ J_{ds} \ddot{\theta}_e + B_{ds} \dot{\theta}_e = GT_{eps} + T_{sen} - T_w \\ J_{m1} \ddot{\theta}_{m1} + B_{m1} \dot{\theta}_{m1} = T_{em1} - T_{eps} \\ m_r \ddot{x}_r + B_r \dot{x}_r = T_w / r_p + F_{MRF} - F_z \end{cases}$$

式中: J_s 为方向盘转动惯量, θ_s 为驾驶员输入转角; T_{dri} 为驾驶员输入力矩, B_s 为转向轴阻尼系数, k_s 为转向传感器刚度, θ_e 为转向齿轮转角, J_{ds} 为转向轴与减速机构的转动惯量, B_{ds} 为减速机构阻尼系数, G 为减速机构减速比, T_{eps} 为电动机助力转矩, T_{sen} 为转矩传感器输出力矩, T_w 为齿轮齿条作用力, J_{m1} 为电动机转动惯量, θ_{m1} 为电动机转角, B_{m1} 为电动机阻尼系数, T_{em1} 为助力电机电磁转矩, m_r 为齿条质量, x_r 为转向齿条位移, B_r 为转向齿条阻尼系数, r_p 为转向齿轮半径, F_{hyd} 为磁流变液助力模块提供的助力, F_z 为转向齿条上的阻力;

整车模型为:

$$\begin{cases} I_z \dot{\omega}_r - I_{xz} \ddot{\phi} = N_r \omega_r + N_\beta \beta + N_\phi \phi + N_\delta \delta \\ mu(\omega_r + \dot{\beta}) - m_s h \ddot{\phi} = Y_r \omega_r + Y_\beta \beta + Y_\phi \phi + Y_\delta \delta \\ I_x \ddot{\phi} - m_s u(\omega_r + \dot{\beta})h - I_{xz} \dot{\omega}_r = L_p \dot{\phi} + L_\phi \phi \end{cases}$$

轮胎模型为:

$$T_r = \frac{2dk_1}{G_p} \left(\beta + \frac{\alpha\gamma}{u} + E_1 \phi - \delta \right)$$

式中, I_z 为汽车质量对 z 轴的转动惯量, ω_r 为横摆角速度, ϕ 为车身侧倾角, N_r 、 N_β 、 N_ϕ 、 N_δ 分别为单位横摆角速度、单位质心侧偏角、单位侧倾角速度、单位前轮转角对 z 轴的力矩, u 为纵向速度, m 为整车质量, I_x 为悬挂质量对 x 轴的转动惯量, β 为质心侧偏角, α 为前轮侧偏角, δ 为前轮转向角, I_{xz} 为悬挂质量对 x、z 轴的惯性积, d 为轮距, G_p 为转向轴到前轮传动比, h 为悬挂质心至侧倾轴线的距离, L_p 、 L_ϕ 分别为单位侧倾角速度、单位侧倾角对 x 轴的外力矩, Y_r 、 Y_β 、 Y_ϕ 、 Y_δ 分别为单位横摆角速度、单位整车侧偏角、单位侧倾

角、单位前轮转角引起的地面侧向反作用力， k_l 为前轮侧偏刚度， E_l 为弧度因子。

5. 根据权利要求 2 所述的基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统的多目标优化方法，其特征在于，所述步骤（2）中的优化目标包括：转向路感、转向助力、转向能耗；其中，转向路感公式为：

$$F_{road} = r_p F_{MRF} - r_p F_z - (J_{ds} + R_p^2 m_r) \ddot{\theta}_e + (B_{ds} + r_p^2 B_r) \dot{\theta}_e + G T_{eps}$$

转向助力公式为：

$$F_{force} = T_w / r_p + F_{MRF}$$

转向能耗公式为：

$$F_{energy} = E_m + E_{MRF} + E_{motor} + E_{ecu}$$

式中， E_m 表示机械传动模块能耗， E_{MRF} 表示磁流变液助力模块能耗， E_{motor} 表示电动机能耗， E_{ecu} 表示 ECU 能耗。

6. 根据权利要求 2 所述的基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统的多目标优化方法，其特征在于，所述步骤（3）中的优化变量包括：电动机转动惯量 J_{m1} ，转矩传感器刚度 K_s ，金属板间隙 L ，磁流变液剪切面积 A ，励磁线圈匝数 Z ，减速机构减速比 G 。

7. 根据权利要求 2 所述的基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统的多目标优化方法，其特征在于，所述步骤（4）中的齿轮齿条式电液转向系统多目标优化模型为：

$$\begin{cases} \min [F_{road}(X), 1/F_{force}(X), 1/F_{energy}(X)] \\ \text{where } X = [K_s, J_{m1}, L, A, Z, G] \\ \text{s.t. } 0.05 < L < 0.25, 550 < A < 1100, 1e-5 < J_{m1} < 5e-4 \\ 300 < A < 850, 3 < K_s < 15, 700 < Z < 1300 \\ g_1(X) > 0.005 \end{cases}$$

式中， $F_{energy}(X)$ 为转向能耗函数， $F_{road}(X)$ 为转向路感函数， $F_{force}(X)$ 为转向助力函数， $g_1(X)$ 为转向灵敏度。

8. 根据权利要求 2 所述的基于磁流变液的齿轮齿条式电液转向系统的多目标优化方法，其特征在于，所述步骤（5）中的基于参考点的多目标进化算法，具体步骤如下：

51) 随机生成规模为 N 的初始父种群 P_t (J_{m1} , K_s , L , A , Z , G)，设置进化代数计数 $t=1$ ，根据电液转向系统优化变量的初值对种群进行初始化；

52) 对父代种群 P_t 进行交叉、变异、选择等操作，生成子代种群 Q_t ；

53) 将 P_t 与子代种群 Q_t 合并到一个集合中，对集合里的个体进行非支配排序，将所有非支配个体保存到集合 U_t 中；

54) 对集合 U_t 进行非支配排序并保存所有非支配个体，根据公式（1）计算最优目标函数值，通过选择最优目标值生成候选参考点，保存到集合 R_m 中；

$$r_l^m = \min f_m(x) - \varepsilon_m, m=1,2,3; \quad (1)$$

式中, $f_m(x)$ 为所选优化变量对转向路感、转向助力、转向能耗的期望目标函数值, $m=1$ 时目标函数为转向路感, $m=2$ 时目标函数为转向助力, $m=3$ 时目标函数为转向能耗, r_i^m 为最优目标函数值, ϵ_m 为零或任意小的正数;

55) 根据公式 (2) 计算 R_m 中候选参考点的拥挤距离, 选取前 N 个拥挤距离较大的候选参考点, 保存到最终参考点集合 R 中;

$$i_d = \sum_{m=1}^M (f_{i+1}^m - f_{i-1}^m) \quad (2)$$

式中, i_d 为个体间的拥挤距离; f_{i+1}^m 为 $i+1$ 个个体在第 m 个优化目标函数上的值; f_{i-1}^m 为 $i-1$ 个个体在第 m 个优化目标函数上的值;

56) 对集合 R 中的每个参考点, 根据公式 (3) 计算集合 U_t 中所有个体的加权欧几里得距离 d_{ij}^e ;

$$d_{ij}^e = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^M (f_m(x_i) - r_j^m)^2}{M}} \quad (3)$$

式中, x_i 为上述所选的非支配个体, $i=6$; $f_m(x_i)$ 为个体 x_i 在第 m 目标上的值;

57) 找出最小的加权欧几里得距离值对应的集合 U_t 中非支配个体和 R_m 中的候选参考点, 将所找出的非支配个体保存到下一代种群 P_{t+1} 中, 循环操作直到得到 N 个个体作为下一代父种群 P_{t+1} ;

58) 判断 t 是否等于设置的最大进化代数 gen , 若 $t=gen$, 则算法结束退出优化, 得到电液转向系统最优解; 否则 $t=t+1$, 转到步骤 52) 继续执行优化。

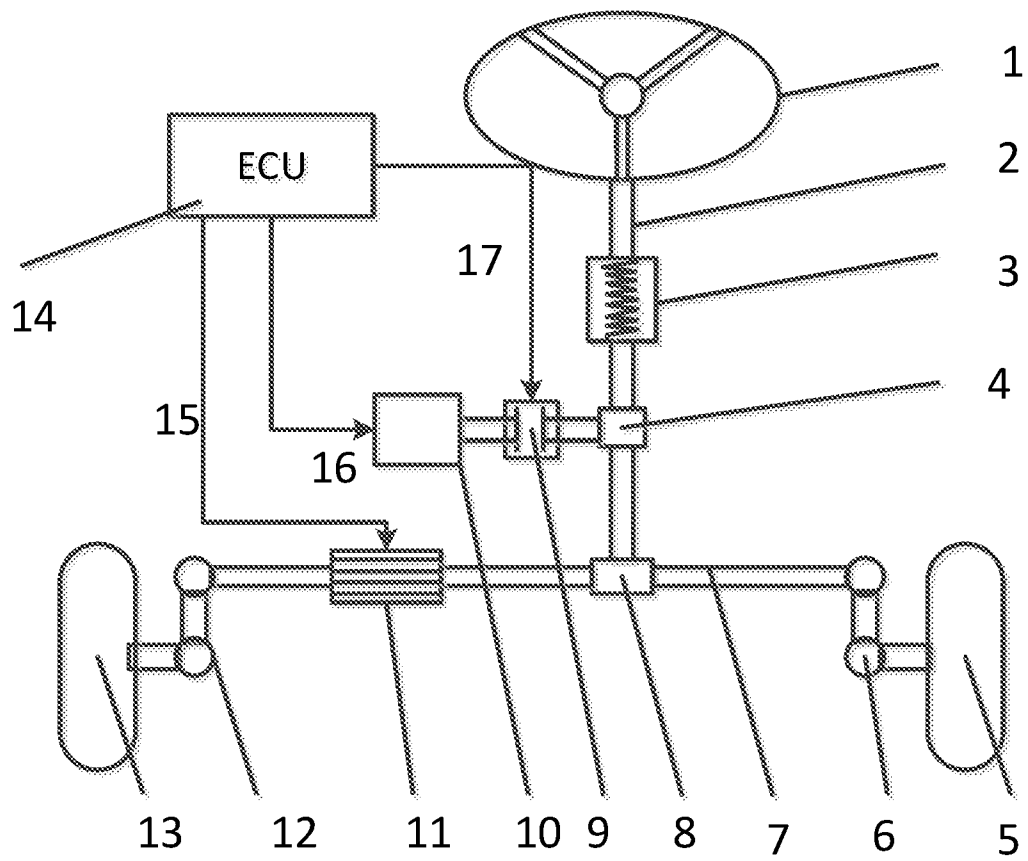


图 1

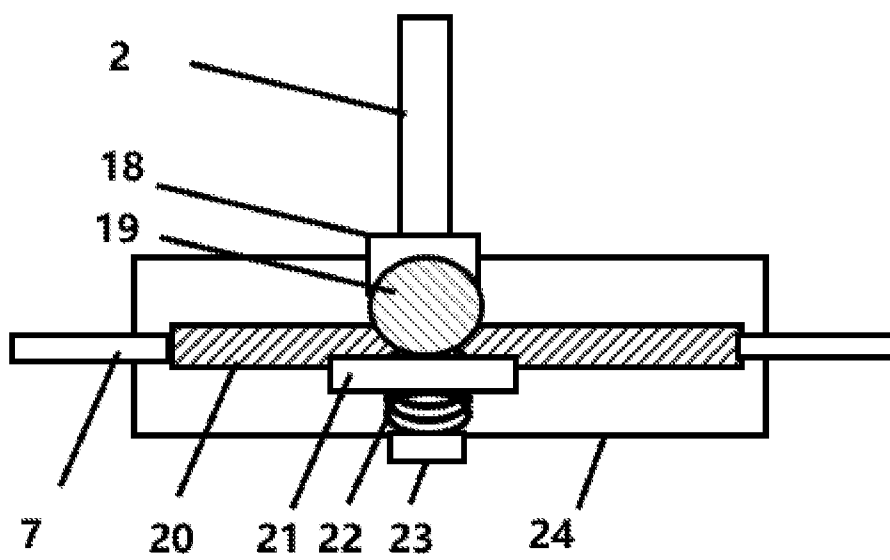


图 2

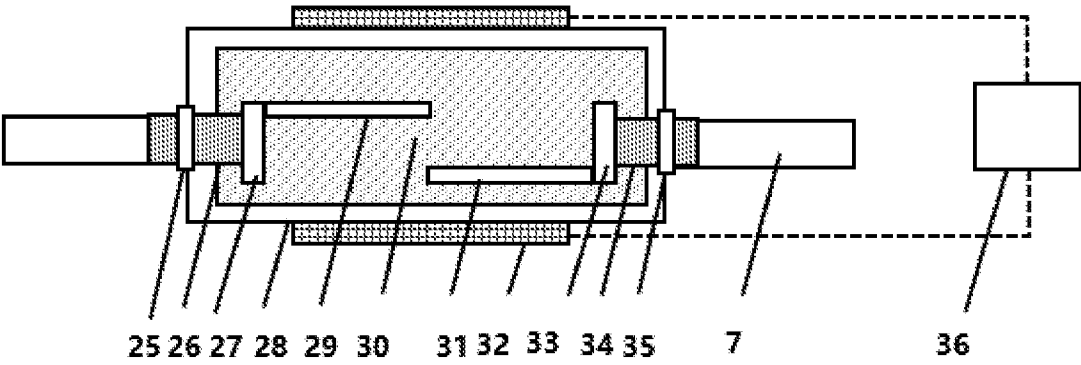


图 3

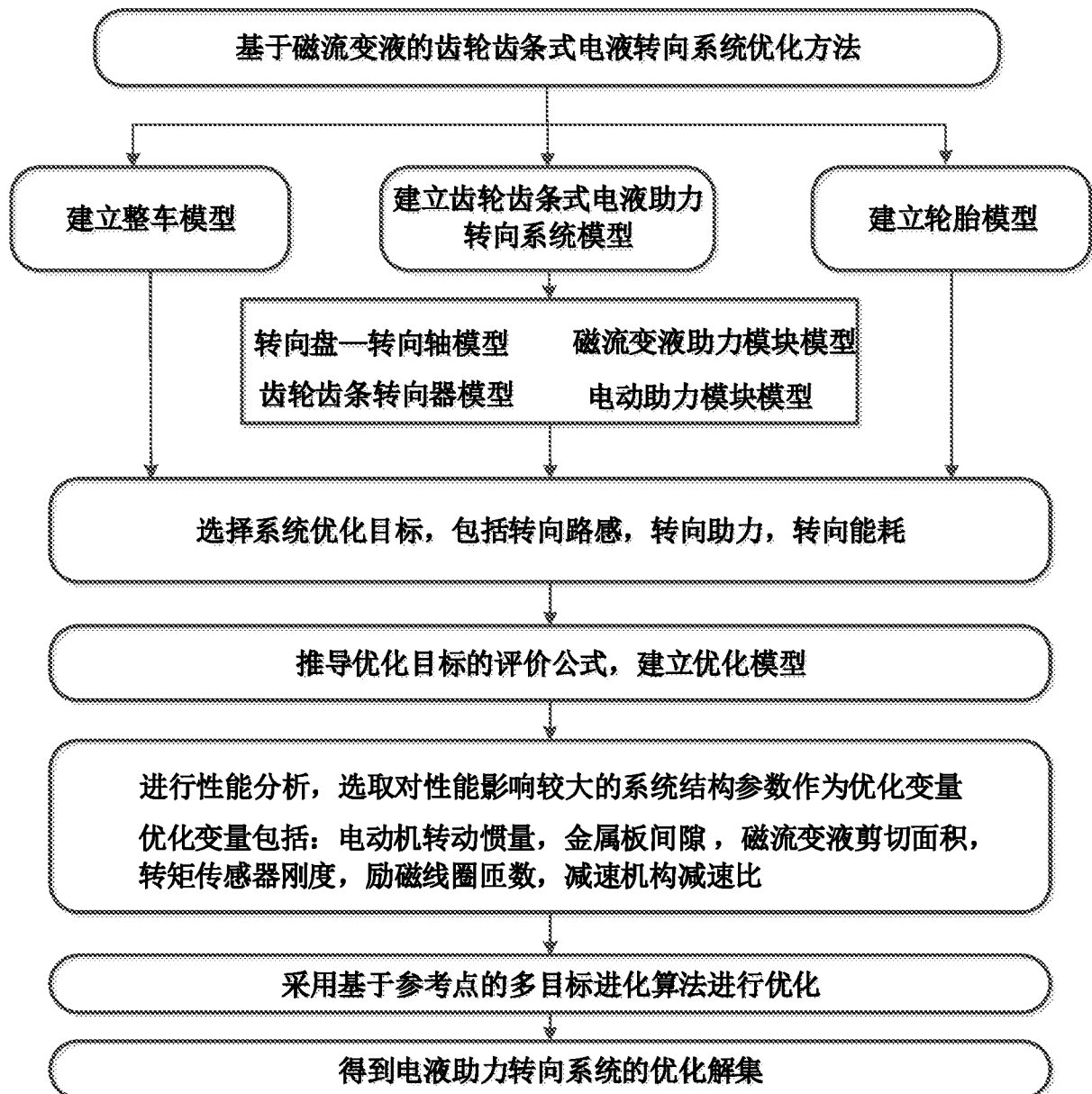


图 4

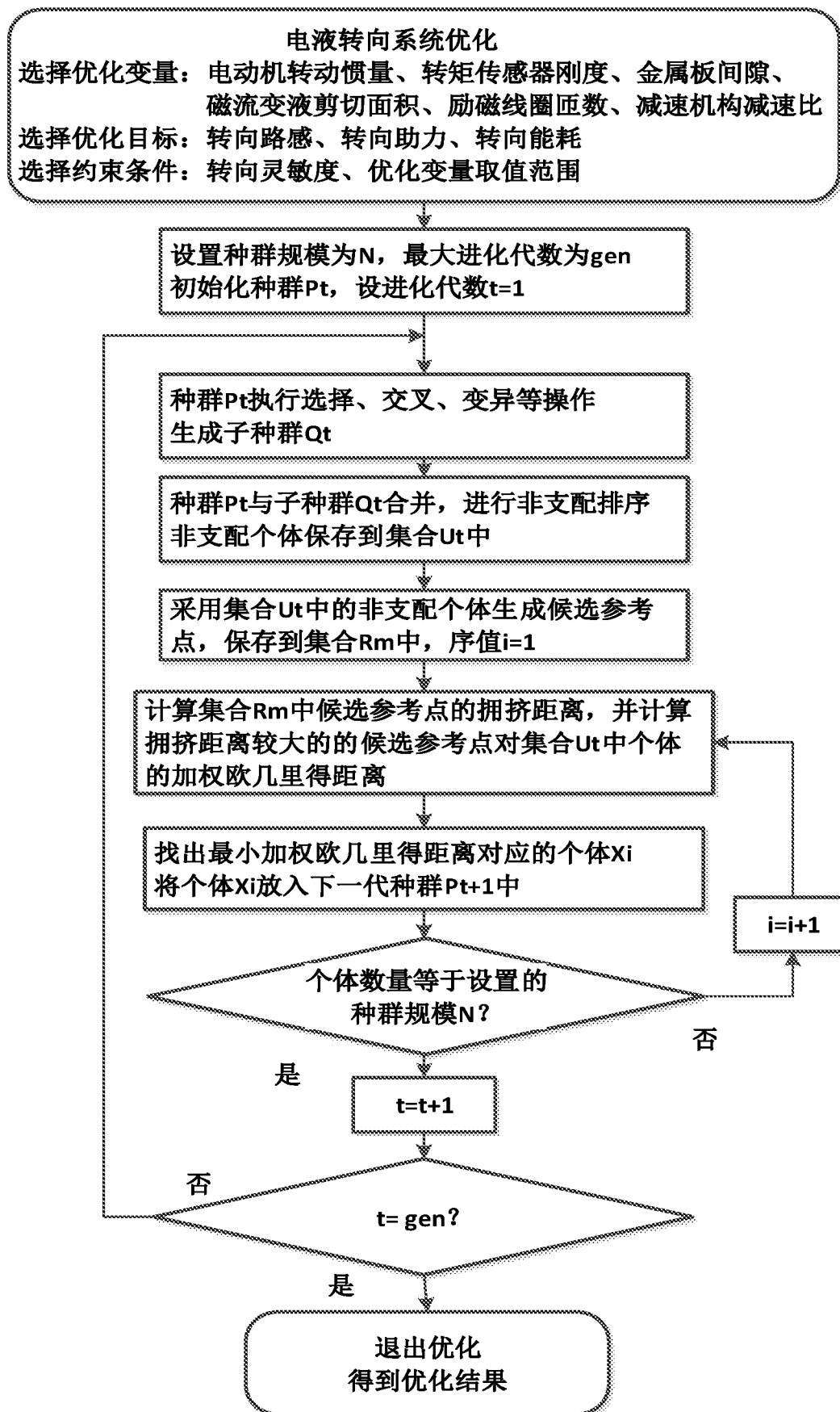


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/116095

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B62D 5/065(2006.01)i; B62D 5/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B62D; F16D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 转向, 磁流变, 齿轮, 齿条, 电机, 离合器, 传感器, steer+, magnet+, rheolog+, gear, rack, motor, clutch, sensor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109774785 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 21 May 2019 (2019-05-21) claims 1-8	1-8
A	CN 107531272 A (DELPHI TECHNOLOGIES INC.) 02 January 2018 (2018-01-02) description, paragraphs 17 and 71-143, and figures 1-11	1-8
A	US 5598908 A (GSE INC.) 04 February 1997 (1997-02-04) description, column 3, line 28 to column 7, line 30, and figures 1-3	1-8
A	CN 204037656 U (SHANDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 24 December 2014 (2014-12-24) entire document	1-8
A	US 2003062214 A1 (DELPHI TECH. INC.) 03 April 2003 (2003-04-03) entire document	1-8
A	KR 20180056025 A (HYUNDAI MOTOR CO., LTD.) 28 May 2018 (2018-05-28) entire document	1-8
A	KR 20040038434 A (MANDO CORP.) 08 May 2004 (2004-05-08) entire document	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 January 2020

Date of mailing of the international search report

23 January 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/116095

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109774785	A	21 May 2019	None			
CN	107531272	A	02 January 2018	US	2016304123	A1	20 October 2016
				WO	2016168052	A1	20 October 2016
				EP	3283349	A1	21 February 2018
US	5598908	A	04 February 1997	None			
CN	204037656	U	24 December 2014	None			
US	2003062214	A1	03 April 2003	None			
KR	20180056025	A	28 May 2018	None			
KR	20040038434	A	08 May 2004	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/116095

A. 主题的分类

B62D 5/065 (2006.01) i; B62D 5/04 (2006.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

B62D; F16D

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 转向, 磁流变, 齿轮, 齿条, 电机, 离合器, 传感器, steer+, magnet+, rheolog+, gear, rack, motor, clutch, sensor

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 109774785 A (南京航空航天大学) 2019年 5月 21日 (2019 - 05 - 21) 权利要求1-8	1-8
A	CN 107531272 A (德尔福技术有限公司) 2018年 1月 2日 (2018 - 01 - 02) 说明书第17, 71-143段、图1-11	1-8
A	US 5598908 A (GSE INC.) 1997年 2月 4日 (1997 - 02 - 04) 说明书第3栏第28行至第7栏第30行、图1-3	1-8
A	CN 204037656 U (山东理工大学) 2014年 12月 24日 (2014 - 12 - 24) 全文	1-8
A	US 2003062214 A1 (DELPHI TECH. INC.) 2003年 4月 3日 (2003 - 04 - 03) 全文	1-8
A	KR 20180056025 A (HYUNDAI MOTOR CO., LTD.) 2018年 5月 28日 (2018 - 05 - 28) 全文	1-8
A	KR 20040038434 A (MANDO CORP.) 2004年 5月 8日 (2004 - 05 - 08) 全文	1-8

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2020年 1月 16日

国际检索报告邮寄日期

2020年 1月 23日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

柳玲

电话号码 86-10-53960905

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/116095

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109774785	A	2019年 5月 21日	无	
CN	107531272	A	2018年 1月 2日	US 2016304123 A1	2016年 10月 20日
				WO 2016168052 A1	2016年 10月 20日
				EP 3283349 A1	2018年 2月 21日
US	5598908	A	1997年 2月 4日	无	
CN	204037656	U	2014年 12月 24日	无	
US	2003062214	A1	2003年 4月 3日	无	
KR	20180056025	A	2018年 5月 28日	无	
KR	20040038434	A	2004年 5月 8日	无	