



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113459817 B

(45) 授权公告日 2022.06.07

(21) 申请号 202110534034.9

B60L 7/18 (2006.01)

(22) 申请日 2021.05.17

审查员 谢忱

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113459817 A

(43) 申请公布日 2021.10.01

(73) 专利权人 东风汽车集团股份有限公司
地址 430056 湖北省武汉市武汉经济技术
开发区东风大道特1号

(72) 发明人 王念 赵春来 秦博 张泽阳
余珩

(74) 专利代理机构 武汉智权专利代理事务所
(特殊普通合伙) 42225
专利代理师 张凯

(51) Int. Cl.
B60L 7/10 (2006.01)

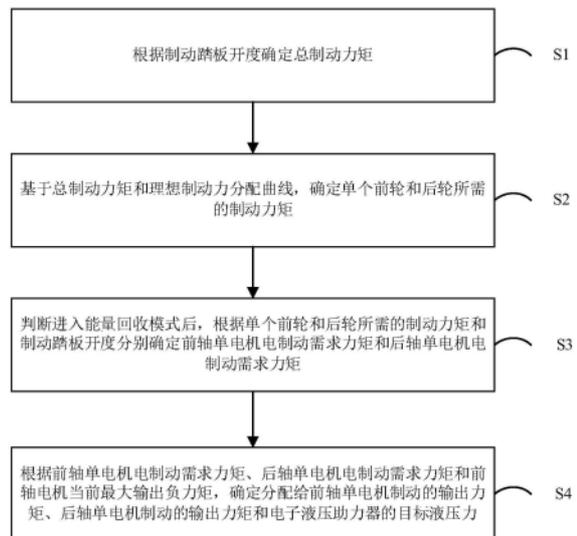
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法及系统,涉及制动能量回收领域,该方法包括以下步骤:根据制动踏板开度确定总制动力矩;基于总制动力矩和理想制动力分配曲线,确定单个前轮和后轮所需的制动力矩;判断进入能量回收模式后,根据单个前轮和后轮所需的制动力矩和制动踏板开度分别确定前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩;根据前轴单电机电制动需求力矩、后轴单电机电制动需求力矩和前轴电机当前最大输出负力矩,确定分配给前轴单电机制动的输出力矩、后轴单电机制动的输出力矩和电子液压助力器的目标液压力。本发明中的基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法可大幅减少能量损耗,提高能量回收利用率。



1. 一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

根据制动踏板开度确定总制动力矩;

基于总制动力矩和理想制动力分配曲线,确定单个前轮和后轮所需的制动力矩;

判断进入能量回收模式后,根据单个前轮和后轮所需的制动力矩和制动踏板开度分别确定前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩;

根据前轴单电机电制动需求力矩、后轴单电机电制动需求力矩和前轴电机当前最大输出负力矩,确定分配给前轴单电机制动的输出力矩、后轴单电机制动的输出力矩和电子液压助力器的目标液压力;

其中,所述判断进入能量回收模式后,根据单个前轮和后轮所需的制动力矩和制动踏板开度分别确定前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩,包括:

当制动踏板开度未超过预设值时,以单个前轮和后轮所需的制动力矩的反力矩,分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩;

当制动踏板开度超过预设值时,以单个前轮和后轮所需的制动力矩去除电子液压助力器溢出压力影响后的反力矩,分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩;

所述根据前轴单电机电制动需求力矩、后轴单电机电制动需求力矩和前轴电机当前最大输出负力矩,确定分配给前轴单电机制动的输出力矩、后轴单电机制动的输出力矩和电子液压助力器的目标液压力,包括:

当前轴电机当前最大输出负力矩小于前轴单电机电制动需求力矩时,所述前轴单电机制动的输出力矩为前轴单电机电制动需求力矩,所述后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩,所述电子液压助力器的目标液压力为电子液压助力器溢出压力;

当前轴电机当前最大输出负力矩大于等于前轴单电机电制动需求力矩时,所述前轴单电机制动的输出力矩为前轴电机当前最大输出负力矩,所述后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩,并基于电子液压助力器溢出压力、前轴电机当前最大输出负力矩和前轴单电机电制动需求力矩确定所述电子液压助力器的目标液压力。

2. 如权利要求1所述的一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法,其特征在于,所述根据制动踏板开度确定总制动力矩,包括:

根据制动踏板开度,确定当前制动踏板开度下的目标减速度;

根据整车质量、重力加速度、车轮滚动半径和所述目标减速度,计算总制动力矩。

3. 如权利要求1所述的一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法,其特征在于,所述基于总制动力矩和理想制动力分配曲线,确定单个前轮和后轮所需的制动力矩,包括:

基于所述总制动力矩和理想制动力分配曲线,分别确定前轴轴荷和后轴轴荷;

根据所述前轴轴荷和后轴轴荷计算前后轴制动力矩分配比;

根据所述总制动力矩和前后轴制动力矩分配比,计算单个前轮和后轮所需的制动力矩。

4. 一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制系统,其特征在于,包括:

制动力计算模块,其用于根据制动踏板开度确定总制动力矩;

制动力分配模块,其用于基于总制动力矩和理想制动力分配曲线,确定单个前轮和后

轮所需的制动力矩；

电液制动分配模块,其用于判断进入能量回收模式后,根据单个前轮和后轮所需的制动力矩和制动踏板开度分别确定前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩;

并根据前轴单电机电制动需求力矩、后轴单电机电制动需求力矩和前轴电机当前最大输出负力矩,确定分配给前轴单电机制动的输出力矩、后轴单电机制动的输出力矩和电子液压助力器的目标液压力;

其中,所述电液制动分配模块用于:

当制动踏板开度未超过预设值时,以单个前轮和后轮所需的制动力矩的反力矩,分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩;

当制动踏板开度超过预设值时,以单个前轮和后轮所需的制动力矩去除电子液压助力器溢出压力影响后的反力矩,分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩;

所述电液制动分配模块还用于:

当前轴电机当前最大输出负力矩小于前轴单电机电制动需求力矩时,所述前轴单电机制动的输出力矩为前轴单电机电制动需求力矩,所述后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩,所述电子液压助力器的目标液压力为电子液压助力器溢出压力;

当前轴电机当前最大输出负力矩大于等于前轴单电机电制动需求力矩时,所述前轴单电机制动的输出力矩为前轴电机当前最大输出负力矩,所述后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩,并基于电子液压助力器溢出压力、前轴电机当前最大输出负力矩和前轴单电机电制动需求力矩确定所述电子液压助力器的目标液压力。

5. 如权利要求4所述的一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制系统,其特征在于,所述制动力计算模块用于:

根据制动踏板开度,确定当前制动踏板开度下的目标减速度;

根据整车质量、重力加速度、车轮滚动半径和所述目标减速度,计算总制动力矩。

6. 如权利要求4所述的一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制系统,其特征在于,所述制动力分配模块用于:

基于所述总制动力矩和理想制动力分配曲线,分别确定前轴轴荷和后轴轴荷;

根据所述前轴轴荷和后轴轴荷计算前后轴制动力矩分配比;

根据所述总制动力矩和前后轴制动力矩分配比,计算单个前轮和后轮所需的制动力矩。

一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及制动能量回收领域,具体涉及一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法及系统。

背景技术

[0002] 轮毂电机是将车辆的动力系统、传动系统、刹车系统集成到一起而设计出来的电机。轮毂电机驱动是将驱动电机直接安装在驱动轮内,是汽车解决动力和动力效率的一种新型驱动布置形式,其具有驱动传动链短、传动高效、结构紧凑、响应快等突出优点,是未来电动车发展的一个重要方向。

[0003] 电动汽车在节能、环保、改善车辆性能等方面具有诸多优势,但其一次充电续航里程普遍较短,单次充电续航里程不足是制约电动汽车进一步发展的主要难题。采用轮毂电机的四驱电动汽车,在驱动和制动能量回收时均可减少能量损耗。

[0004] 制动能量通常在整车驱动总能量中占有较大的比例,在加速、制动和停车频繁的城市道路工况下,这一比例甚至高达50%,采用合理的制动能量回收策略可以增加整车20%~30%续航里程。通过再生制动回收制动能量,对电动汽车提高能量利用率及增加续航里程意义非常重要,是提升电动汽车性能的重要技术手段。但是目前缺乏一种高效的制动能量回收控制策略来提升车辆的续航里程。

发明内容

[0005] 针对现有技术中存在的缺陷,本发明第一方面提供一种可大幅减少能量损耗,提高能量回收利用率的基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法。

[0006] 为达到以上目的,本发明采取的技术方案是:

[0007] 一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法,方法包括以下步骤:

[0008] 根据制动踏板开度确定总制动力矩;

[0009] 基于总制动力矩和理想制动力分配曲线,确定单个前轮和后轮所需的制动力矩;

[0010] 判断进入能量回收模式后,根据单个前轮和后轮所需的制动力矩和制动踏板开度分别确定前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩;

[0011] 根据前轴单电机电制动需求力矩、后轴单电机电制动需求力矩和前轴电机当前最大输出负力矩,确定分配给前轴单电机制动的输出力矩、后轴单电机制动的输出力矩和电子液压助力器的目标液压力。

[0012] 一些实施例中,所述根据制动踏板开度确定总制动力矩,包括:

[0013] 根据制动踏板开度,确定当前制动踏板开度下的目标减速度;

[0014] 根据整车质量、重力加速度、车轮滚动半径和所述目标减速度,计算总制动力矩。

[0015] 一些实施例中,所述基于总制动力矩和理想制动力分配曲线,确定单个前轮和后轮所需的制动力矩,包括:

[0016] 基于所述总制动力矩和理想制动力分配曲线,分别确定前轴轴荷和后轴轴荷;

- [0017] 根据所述前轴轴荷和后轴轴荷计算前后轴制动力矩分配比；
- [0018] 根据所述总制动力矩和前后轴制动力矩分配比，计算单个前轮和后轮所需的制动力矩。
- [0019] 一些实施例中，所述判断进入能量回收模式后，根据单个前轮和后轮所需的制动力矩和制动踏板开度分别确定前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩，包括：
- [0020] 当制动踏板开度未超过预设值时，以单个前轮和后轮所需的制动力矩的反力矩，分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩；
- [0021] 当制动踏板开度超过预设值时，以单个前轮和后轮所需的制动力矩去除电子液压助力器溢出压力影响后的反力矩，分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩。
- [0022] 一些实施例中，所述根据前轴单电机电制动需求力矩、后轴单电机电制动需求力矩和前轴电机当前最大输出负力矩，确定分配给前轴单电机制动的输出力矩、后轴单电机制动的输出力矩和电子液压助力器的目标液压力，包括：
- [0023] 当前轴电机当前最大输出负力矩小于前轴单电机电制动需求力矩时，所述前轴单电机制动的输出力矩为前轴单电机电制动需求力矩，所述后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩，所述电子液压助力器的目标液压力为电子液压助力器溢出压力；
- [0024] 当前轴电机当前最大输出负力矩大于等于前轴单电机电制动需求力矩时，所述前轴单电机制动的输出力矩为前轴电机当前最大输出负力矩，所述后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩，并基于电子液压助力器溢出压力、前轴电机当前最大输出负力矩和前轴单电机电制动需求力矩确定所述电子液压助力器的目标液压力。
- [0025] 与此同时，本发明第二方面提供一种可大幅减少能量损耗，提高能量回收利用率的基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制系统。
- [0026] 为达到以上目的，本发明采取的技术方案是：
- [0027] 一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制系统，包括：
- [0028] 制动力计算模块，其用于根据制动踏板开度确定总制动力矩；
- [0029] 制动力分配模块，其用于基于总制动力矩和理想制动力分配曲线，确定单个前轮和后轮所需的制动力矩；
- [0030] 电液制动分配模块，其用于判断进入能量回收模式后，根据单个前轮和后轮所需的制动力矩和制动踏板开度分别确定前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩；
- [0031] 并根据前轴单电机电制动需求力矩、后轴单电机电制动需求力矩和前轴电机当前最大输出负力矩，确定分配给前轴单电机制动的输出力矩、后轴单电机制动的输出力矩和电子液压助力器的目标液压力。
- [0032] 一些实施例中，所述制动力计算模块用于：
- [0033] 根据制动踏板开度，确定当前制动踏板开度下的目标减速度；
- [0034] 根据整车质量、重力加速度、车轮滚动半径和所述目标减速度，计算总制动力矩。
- [0035] 一些实施例中，所述制动力分配模块用于：

- [0036] 基于所述总制动力矩和理想制动力分配曲线,分别确定前轴轴荷和后轴轴荷;
- [0037] 根据所述前轴轴荷和后轴轴荷计算前后轴制动力矩分配比;
- [0038] 根据所述总制动力矩和前后轴制动力矩分配比,计算单个前轮和后轮所需的制动力矩。
- [0039] 一些实施例中,所述电液制动分配模块用于:
- [0040] 当制动踏板开度未超过预设值时,以单个前轮和后轮所需的制动力矩的反力矩,分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩;
- [0041] 当制动踏板开度超过预设值时,以单个前轮和后轮所需的制动力矩去除电子液压助力器溢出压力影响后的反力矩,分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩。
- [0042] 一些实施例中,所述电液制动分配模块还用于:
- [0043] 当前轴电机当前最大输出负力矩小于前轴单电机电制动需求力矩时,所述前轴单电机制动的输出力矩为前轴单电机电制动需求力矩,所述后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩,所述电子液压助力器的目标液压力为电子液压助力器溢出压力;
- [0044] 当前轴电机当前最大输出负力矩大于等于前轴单电机电制动需求力矩时,所述前轴单电机制动的输出力矩为前轴电机当前最大输出负力矩,所述后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩,并基于电子液压助力器溢出压力、前轴电机当前最大输出负力矩和前轴单电机电制动需求力矩确定所述电子液压助力器的目标液压力。
- [0045] 与现有技术相比,本发明的优点在于:
- [0046] 本发明中的基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法采用理想制动力分配方式进行制动时前后轴制动力的分配,大大提高了车辆制动的稳定性;同时制动时再生制动优先,在能够满足制动要求的前提下优先利用电机制动进行能量回收,大大提高了车辆的续驶里程;并且制动感受可根据驾驶员不同进行个性可调节;此外,该方案基于轮毂电机平台,由于轮毂电机没有传动轴且响应迅速,在电制动时可大幅减少能量损耗,提高能量回收利用率。

附图说明

- [0047] 图1为本发明实施例中基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法的流程图;
- [0048] 图2为本发明实施例中基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制系统的框架图。

具体实施方式

[0049] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本申请的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0050] 参见图1所示,本发明实施例提供一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法,该方法包括以下步骤:

- [0051] S1. 根据制动踏板开度确定总制动力矩。

[0052] 具体实现中,步骤S1包括:

[0053] S11.根据制动踏板开度,确定当前制动踏板开度下的目标减速度。

[0054] S12.根据整车质量、重力加速度、车轮滚动半径和目标减速度,计算总制动力矩。

[0055] 具体而言,在行驶过程中,当驾驶员踩下制动踏板时,整车控制器根据获得的驾驶员开度百分比进行查表(制动踏板百分比-目标减速度表)得出驾驶员期望的目标减速度 A_x ,值得说明的是,该制动踏板百分比-目标减速度表可以根据驾驶员需求来合理设置。随后按如下公式即可计算出总制动力矩 T_{tot} :

$$[0056] \quad T_{tot} = A_x * M * g * R$$

[0057] 其中,M为整车质量,g为重力加速度,R为车轮滚动半径。

[0058] S2.基于总制动力矩和理想制动力分配曲线,确定单个前轮和后轮所需的制动力矩。

[0059] 当确定了总制动力矩后,便可以采用理想制动力分配方式对总制动力矩进行前后轴制动力分配。

[0060] 具体实现中,步骤S2包括:

[0061] S21.基于总制动力矩和理想制动力分配曲线,分别确定前轴轴荷和后轴轴荷。

[0062] 为保证制动时的稳定性,按照理想制动力分配曲线进行前后轴的制动力分配,制动时前轴轴荷和后轴轴荷可表示为:

$$[0063] \quad F_{zj1} = M * g * \frac{b}{L} + M * a_x * \frac{h}{L}$$

$$[0064] \quad F_{zj2} = M * g * \frac{a}{L} - M * a_x * \frac{h}{L}$$

[0065] 其中,M为整车质量,g为重力加速度,a为质心到前轴距离,b为质心到后轴距离,L为轴距,h为质心高度, a_x 为车辆实时制动减速度(由整车控制器自带陀螺仪芯片测出)。

[0066] S22.根据前轴轴荷和后轴轴荷计算前后轴制动力矩分配比。

[0067] 基于上述确定的前轴轴荷和后轴轴荷,可以知道前后轴制动力矩分配比为:

$$[0068] \quad \beta = \frac{F_{zj1}}{F_{zj2}} = \frac{M * g * \frac{b}{L} + M * a_x * \frac{h}{L}}{M * g * \frac{a}{L} - M * a_x * \frac{h}{L}}$$

[0069] S23.根据总制动力矩和前后轴制动力矩分配比,计算单个前轮和后轮所需的制动力矩。

[0070] 根据步骤S22得到的前后轴制动力矩分配比 β ,可以算出前后轴分别分配的制动力矩分别为:

$$[0071] \quad T_{f_tot} = T_{tot} * \frac{\beta}{\beta + 1} \quad T_{r_tot} = T_{tot} * \frac{1}{\beta + 1}$$

[0072] 其中 T_{f_tot} 为前轴分配的制动力矩, T_{r_tot} 为后轴分配的制动力矩。

[0073] 进而推算出单个前轮所需的制动力矩为: $T_{f_one} = 0.5 * T_{tot} * \frac{\beta}{\beta + 1}$

[0074] 单个后轮所需的制动力矩为： $T_{r_one} = 0.5 * T_{tot} * \frac{1}{\beta + 1}$ ，因为前轴上有两个前轮、后

轴上有两个后轮，可以理解的是，基于上述表达式确定两个前轮所需的制动力矩是相同的、两个后轮所需的制动力矩也是相同的，当然也可以根据实际情况合理分配，使得两个前轮之间、两个后轮之间所需要的制动力矩不同。

[0075] S3. 判断进入能量回收模式后，根据单个前轮和后轮所需的制动力矩和制动踏板开度分别确定前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩。

[0076] 具体实现中，步骤S3包括：

[0077] S31. 当制动踏板开度未超过预设值时，以单个前轮和后轮所需的制动力矩的反力矩，分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩。

[0078] S32. 当制动踏板开度超过预设值时，以单个前轮和后轮所需的制动力矩去除电子液压助力器溢出压力影响后的反力矩，分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩。

[0079] 具体而言，当确定了单个前轮和后轮所需的制动力矩后，便可对电液制动进行分配。首先对车速和电池SOC进行判断，如果电池SOC大于95%或者车速低于10km/h，则进入纯液压制动模式，通过查表（制动踏板百分比-目标液压力表）获得目标液压力，并将目标液压力发送给电子液压助力器实现制动；仅当SOC小于95%且车速高于10km/h时，则进入能量回收模式。

[0080] 进入能量回收模式后，基于电子液压助力器的硬件特性，制动主缸会存在一个解耦间隙，当制动踏板行程超过预设值时，比如超过0.23时，会有液压力溢出。因此当制动踏板开度小于0.23时， $T_{f1} = -T_{f_one}$ ， $T_{f2} = -T_{r_one}$ ；当制动踏板开度大于0.23时， $T_{f1} = -(T_{f_one} - a * P_{min})$ ， $T_{f2} = -(T_{r_one} - a * P_{min})$ ；式中 T_{f1} 为前轴单电机电制动需求力矩， T_{f2} 为后轴单电机电制动需求力矩， a 为目标液压力与轮胎制动力之间的转换系数， P_{min} 为电子液压助力器溢出压力。

[0081] S4. 根据前轴单电机电制动需求力矩、后轴单电机电制动需求力矩和前轴电机当前最大输出负力矩，确定分配给前轴单电机制动的输出力矩、后轴单电机制动的输出力矩和电子液压助力器的目标液压力。

[0082] 具体实现中，步骤S4包括：

[0083] S41. 当前轴电机当前最大输出负力矩小于前轴单电机电制动需求力矩时，前轴单电机制动的输出力矩为前轴单电机电制动需求力矩，后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩，电子液压助力器的目标液压力为电子液压助力器溢出压力。

[0084] S42. 当前轴电机当前最大输出负力矩大于等于前轴单电机电制动需求力矩时，前轴单电机制动的输出力矩为前轴电机当前最大输出负力矩，后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩，并基于电子液压助力器溢出压力、前轴电机当前最大输出负力矩和前轴单电机电制动需求力矩确定电子液压助力器的目标液压力。

[0085] 具体而言，经过步骤S3决策获得的前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩需要分配到四个电机上去，会受到电机力矩输出能力的制约。电机受外特性限制在一定转速度下只能发出固定最大反向扭矩，因此制动能量回收要根据电机所处工作点动态调整。

[0086] 首先根据电机当前转速查表（电机外特性曲线表）获得前轴电机当前最大输出负

力矩 T_{f_max} (制动时,前轴需求力矩较大,同样转速下,只需校核前轴电机能力是否足够),如果 $T_{f_max} < T_{f1}$, $T_{f_out} = T_{f1}$, $T_{r_out} = T_{f2}$, $P_{out} = P_{min}$; 如果 $T_{f_max} \geq T_{f1}$, $T_{f_out} = T_{f_max}$, $T_{r_out} = T_{f2}$,

$$P_{out} = P_{min} + \frac{T_{f1} - T_{f_max}}{a}。$$

[0087] 式中 T_{f_out} 为前轴单电机制动输出力矩; T_{r_out} 为后轴单电机制动输出力矩。 P_{out} 为发送给电子液压助力器的实际目标液压力。最后,整车控制器分别将决策出的目标液压力和电制动输出力矩分配给电子液压助力器和相应的轮毂电机控制器,从而实现制动能量回收。

[0088] 综上所述,本发明中的基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制方法采用理想制动力分配方式进行制动时前后轴制动力的分配,大大提高了车辆制动的稳定性;同时制动时再生制动优先,在能够满足制动要求的前提下优先利用电机制动进行能量回收,大大提高了车辆的续驶里程;并且制动感受可根据驾驶员不同进行个性可调节;此外,该方案基于轮毂电机平台,由于轮毂电机没有传动轴且响应迅速,在电制动时可大幅减少能量损耗,提高能量回收利用率。

[0089] 与此同时,本发明实施例还提供一种基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制系统,其包括制动力计算模块、制动力分配模块和电液制动分配模块。

[0090] 其中,制动力计算模块用于根据制动踏板开度确定总制动力矩。制动力分配模块用于基于总制动力矩和理想制动力分配曲线,确定单个前轮和后轮所需的制动力矩。电液制动分配模块用于判断进入能量回收模式后,根据单个前轮和后轮所需的制动力矩和制动踏板开度分别确定前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩。并根据前轴单电机电制动需求力矩、后轴单电机电制动需求力矩和前轴电机当前最大输出负力矩,确定分配给前轴单电机制动的输出力矩、后轴单电机制动的输出力矩和电子液压助力器的目标液压力。

[0091] 进一步地,制动力计算模块用于:根据制动踏板开度,确定当前制动踏板开度下的目标减速度。根据整车质量、重力加速度、车轮滚动半径和目标减速度,计算总制动力矩。

[0092] 进一步地,制动力分配模块用于:基于总制动力矩和理想制动力分配曲线,分别确定前轴轴荷和后轴轴荷。根据前轴轴荷和后轴轴荷计算前后轴制动力矩分配比。根据总制动力矩和前后轴制动力矩分配比,计算单个前轮和后轮所需的制动力矩。

[0093] 进一步地,电液制动分配模块用于:

[0094] 当制动踏板开度未超过预设值时,以单个前轮和后轮所需的制动力矩的反力矩,分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩。

[0095] 当制动踏板开度超过预设值时,以单个前轮和后轮所需的制动力矩去除电子液压助力器溢出压力影响后的反力矩,分别作为前轴单电机电制动需求力矩和后轴单电机电制动需求力矩。

[0096] 进一步地,电液制动分配模块还用于:

[0097] 当前轴电机当前最大输出负力矩小于前轴单电机电制动需求力矩时,前轴单电机制动的输出力矩为前轴单电机电制动需求力矩,后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩,电子液压助力器的目标液压力为电子液压助力器溢出压力;

[0098] 当前轴电机当前最大输出负力矩大于等于前轴单电机电制动需求力矩时,前轴单

电机制动的输出力矩为前轴电机当前最大输出负力矩,后轴单电机制动的输出力矩为后轴单电机电制动需求力矩,并基于电子液压助力器溢出压力、前轴电机当前最大输出负力矩和前轴单电机电制动需求力矩确定电子液压助力器的目标液压力。

[0099] 参见图2所示,下面对基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制系统的原理做出介绍:

[0100] 当驾驶员踩下制动踏板时,整车控制器获得驾驶员开度百分比 α 进行查表(制动踏板百分比-目标减速度表)得出驾驶员期望的目标减速度 A_x ,然后制动力计算模块根据公式 $T_{tot} = A_x * M * g * R$ 即可计算出总制动力矩 T_{tot} ,其中, M 为整车质量, g 为重力加速度, R 为车轮滚动半径。

[0101] 随后制动力分配模块按照理想制动力分配曲线进行前后轴的制动力分配,得到制动时前轴轴荷 $F_{zj1} = M * g * \frac{b}{L} + M * a_x * \frac{h}{L}$ 以及后轴轴荷 $F_{zj2} = M * g * \frac{a}{L} - M * a_x * \frac{h}{L}$,其中, M 为整车质量, g 为重力加速度, a 为质心到前轴距离, b 为质心到后轴距离, L 为轴距, h 为质心高度, a_x 为车辆实时制动减速度(由整车控制器自带陀螺仪芯片测出)。然后制动力分配模块即可算出前后轴制动力矩分配比 β 。接着制动力分配模块基于制动力计算模块计算出的总制动力矩 T_{tot} 以及前后轴制动力矩分配比 β 即可进行前后制动力分配得到前轴分配的制动力矩 T_{f_tot} 以及后轴分配的制动力矩 T_{r_tot} 。

[0102] 此后,电液制动分配模块工作,当进入能量回收模式后,基于电子液压助力器的硬件特性,制动主缸会存在一个解耦间隙,当制动踏板行程超过预设值时,比如超过0.23时,会有液压力溢出。因此当制动踏板开度小于0.23时,电液制动分配模块进行分配,使得 $T_{f1} = -T_{f_one}$, $T_{f2} = -T_{r_one}$;当制动踏板开度大于0.23时, $T_{f1} = -(T_{f_one} - a * P_{min})$, $T_{f2} = -(T_{r_one} - a * P_{min})$;式中 T_{f1} 为前轴单电机电制动需求力矩, T_{f2} 为后轴单电机电制动需求力矩, a 为目标液压力与轮胎制动力之间的转换系数, P_{min} 为电子液压助力器溢出压力。

[0103] 经过上面决策获得的电制动力矩需要分配到四个电机上去,会受到电机力矩输出能力的制约。电机受外特性限制在一定转速下只能发出固定最大反向扭矩,因此制动能量回收要根据电机所处工作点动态调整。

[0104] 根据电机当前转速查表(电机外特性曲线表)获得前轴电机当前最大输出负力矩 T_{f_max} ,如果 $T_{f_max} < T_{f1}$, $T_{f_out} = T_{f1}$, $T_{r_out} = T_{f2}$, $P_{out} = P_{min}$;如果 $T_{f_max} \geq T_{f1}$, $T_{f_out} = T_{f_max}$, $T_{r_out} = T_{f2}$, $P_{out} = P_{min} + \frac{T_{f1} - T_{f_max}}{a}$ 。

[0105] 式中 T_{f_out} 为前轴单电机制动输出力矩; T_{r_out} 为后轴单电机制动输出力矩。 P_{out} 为发送给电子液压助力器的实际目标液压力。最后,整车控制器分别将决策出的目标液压力和电制动输出力矩分配给电子液压助力器和相应的轮毂电机控制器,从而实现制动能量回收。

[0106] 综上所述,本发明中的基于轮毂电机车辆的制动能量回收控制系统采用理想制动力分配方式进行制动时前后轴制动力的分配,大大提高了车辆制动的稳定性;同时制动时再生制动优先,在能够满足制动要求的前提下优先利用电机制动进行能量回收,大大提高了车辆的续驶里程;并且制动感受可根据驾驶员不同进行个性可调节;此外,该方案基于轮毂电机平台,由于轮毂电机没有传动轴且响应迅速,在电制动时可大幅减少能量损耗,提高

能量回收利用率。

[0107] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0108] 除非另外具体说明,否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限制本申请的范围。同时,应当明白,为了便于描述,附图中所示出的各个部分的尺寸并不是按照实际的比例关系绘制的。对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论,但在适当情况下,所述技术、方法和设备应当被视为说明书的一部分。在这里示出和讨论的所有示例中,任何具体值应被解释为仅仅是示例性的,而不是作为限制。因此,示例性实施例的其它示例可以具有不同的值。应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

[0109] 本发明不局限于上述实施方式,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,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也视为本发明的保护范围之内。本说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员公知的现有技术。

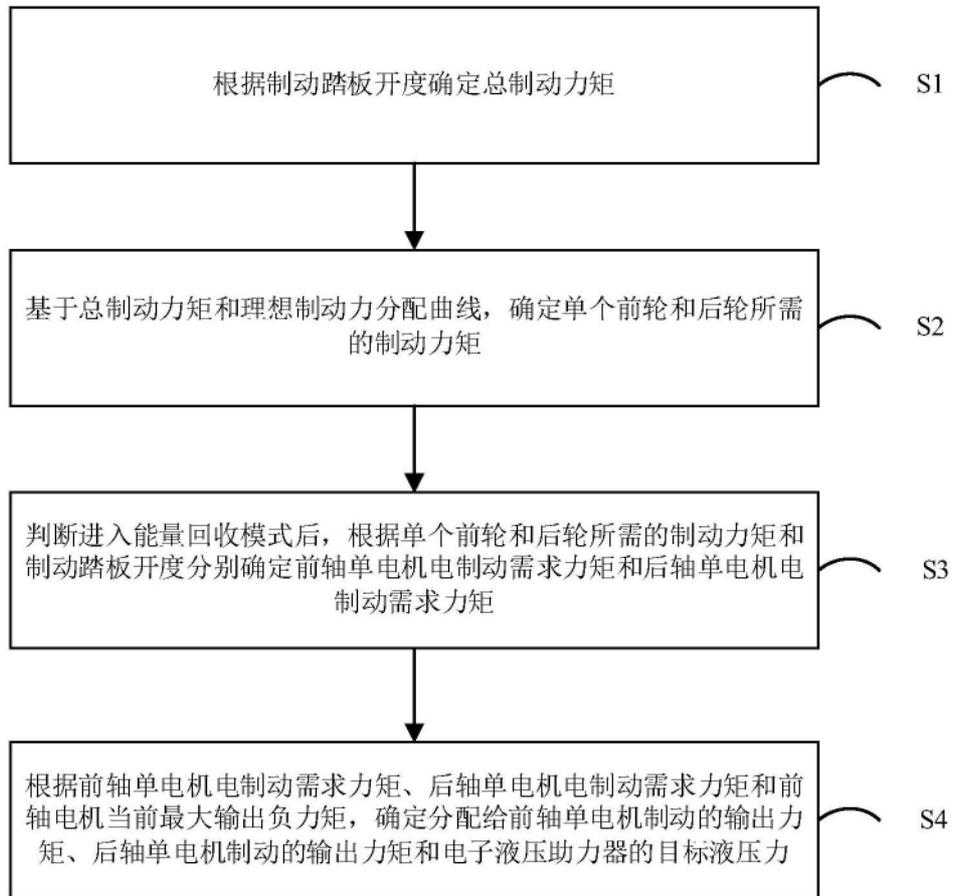


图1

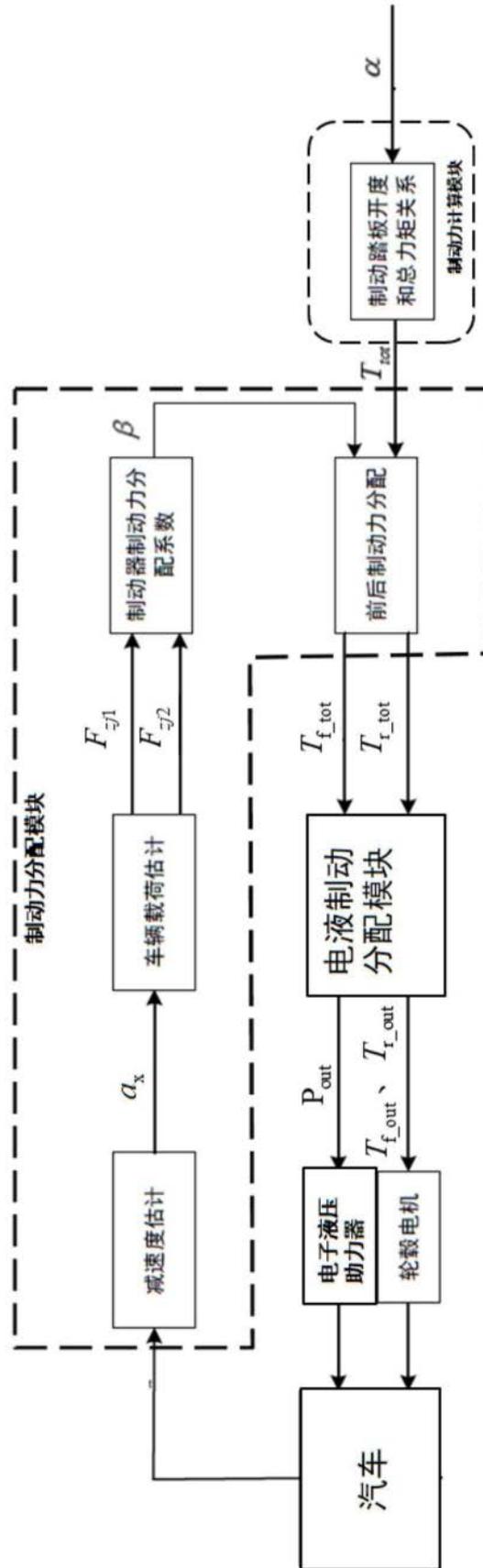


图2