

电动车及其电机控制方法、装置和存储介质

技术领域

5 本申请涉及电动车辆领域，尤其涉及一种电动车及其电机控制方法、装置和存储介质。

背景技术

10 随着电动车辆技术的发展，电动车辆的应用范围越来越广泛。对于用户来说，驾驶舒适性是选择电动车辆的主要原因之一。而在电动车辆的驱动过程中，当电机的输出扭矩在正负扭矩改变时，由于电机的齿轮啮合方向发生改变，会导致打齿，从而产生用户能明显感知的震动和噪音，影响驾驶舒适性。另外，打齿还可能对齿轮或花键等传动机构造成损伤。

15 目前，为了解决上述问题，通常是在对电机的输出扭矩进行正负扭矩改变时，通过滤波处理方法（比如，扭矩平滑处理方法）对输出扭矩进行处理来减小震动和噪音。但这种方式下仍存在较大的震动和噪音，从而导致用户的驾驶体验较差。

发明内容

20 本申请实施例提供一种电动车及其电机控制方法、装置和存储介质，用于解决电动车在行驶过程中，电机及其传动系统出现较大的震动和噪音的问题。

25 第一方面，本申请实施例提供一种电动车的电机控制方法，包括：检测所述电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量；在相对形变量为第一阈值时，确定第一主动齿转速与第一轮端换算转速的第一速度差值，相对形变量为第一阈值用于表示主动齿和传动系统的被动齿开始脱离，第一主动齿转速为在主动齿和被动齿的脱离时刻主动齿的转速，第一轮端换算转速为在脱离时刻，电动车的轮端转速经速比换算得到的转速；根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩；根据输出扭矩，控制主动齿相对被动

齿进行靠齿操作。

在一种可能的实施方式中，根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩，包括：确定第一速度差值与第一时长的乘积为第一乘积，第一时长为自脱离时刻到主动齿与被动齿的接触时刻的持续时长；若第一乘积小于预设齿隙值，则确定输出扭矩包括第一扭矩和第二扭矩，其中，第一扭矩和第二扭矩的方向相反，第一扭矩为自脱离时刻至电机进行加减速状态的转变时刻的时间间隔内所需的扭矩，第二扭矩为自转变时刻至接触时刻的时间间隔内所需的扭矩。

在一种可能的实施方式中，第一扭矩和第二扭矩是通过以下方式确定的：
10 在转变时刻，通过预设齿隙值、第一速度差值和第一时长，确定当前的主动齿转速与第二轮端换算转速的第二速度差值，第二轮端换算转速为在转变时刻，电动车的轮端转速经速比换算得到的转速；根据第二速度差值和第二轮端换算转速，确定第二主动齿转速，第二主动齿转速为在转变时刻主动齿的转速；根据第二主动齿转速、第一主动齿转速、脱离时刻与转变时刻的持续
15 时长，以及主动齿在第二主动齿转速下的滑动摩擦力，确定第一扭矩；根据第二主动齿转速、第三主动齿转速、转变时刻与接触时刻的持续时长，以及主动齿在第三主动齿转速下的滑动摩擦力，确定第二扭矩，第三主动齿转速为在接触时刻主动齿的转速。

在一种可能的实施方式中，根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩，
20 还包括：若第一乘积大于或者等于预设齿隙值，则确定第一速度差值与第二时长的乘积为第二乘积，第二时长为自脱离时刻到转变时刻的持续时长；若第二乘积小于预设齿隙值，则确定输出扭矩包括第一扭矩和第二扭矩，其中，第一扭矩和第二扭矩的方向相同。

在一种可能的实施方式中，根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩，
25 还包括：若第二乘积大于或者等于预设齿隙值，则在目标时刻，确定第三轮端换算转速，第三轮端换算转速为在目标时刻，电动车的轮端转速经过速比换算得到的转速，目标时刻为第二时长内主动齿与被动齿再接触的时刻；根据第三轮端换算转速、第一主动齿转速，以及脱离时刻与目标时刻的持续时长，确定第三扭矩，第三扭矩为自脱离时刻至目标时刻的时间间隔内所需的
30 扭矩，输出扭矩包括第三扭矩。

在一种可能的实施方式中，确定电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量，还包括：在检测到电机的输出扭矩发生改变时，确定当前的主动齿转速与被动齿转速的第三速度差值；根据第三速度差值，确定主动齿与被动齿的相对位移；根据相对位移，确定相对形变量。

- 5 第二方面，本申请实施例提供一种电动车的电机控制装置，包括：检测模块，用于检测电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量；确定模块，用于在相对形变量为第一阈值时，确定第一主动齿转速与第一轮端换算转速的第一速度差值，相对形变量为第一阈值用于表示主动齿和传动系统的被动齿开始脱离，第一主动齿转速为在主动齿和被动齿的脱离时刻主动齿的
10 转速，第一轮端换算转速为在脱离时刻，电动车的轮端转速经速比换算得到的转速；处理模块，用于根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩；控制模块，用于根据输出扭矩，控制主动齿相对被动齿进行靠齿操作。

- 第三方面，本申请实施例提供一种电动车，包括：处理器，以及与处理器通信连接的存储器；存储器存储计算机执行指令；处理器执行存储器存储
15 的计算机执行指令，以实现如第一方面的电动车的电机控制方法。

 第四方面，本申请实施例提供一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质中存储有计算机执行指令，计算机执行指令被处理器执行时用于实现第一方面的电动车的电机控制方法。

- 第五方面，本申请实施例提供一种计算机程序产品，包括计算机程序，
20 计算机程序被处理器执行时实现如第一方面的电动车的电机控制方法。

- 本申请实施例提供的电动车及其电机控制方法、装置和存储介质，通过对电机的主动齿在啮合方向发生改变时的动态过程进行分析，结合电机高精度的主动齿位置和转速测量以及电机快速调节扭矩的特点，在检测到电机的输出扭矩的方向将要发生改变时，通过控制主动齿的扭矩进行主动靠齿操作，
25 减小主动齿和被动齿脱离后再接触时的速度差，从而减小甚至消除由于惯性冲击导致的主动齿和被动齿之间的震动和噪音。且本申请不需要对电动车原有硬件进行改变或增加新的传感器，仅通过对轮端转速、电机主动齿转速、齿隙的计算，即可实现靠齿控制。同时本申请可以最大程度的放开电机在输出扭矩的方向将要发生改变时对输出扭矩下降斜率或上升斜率的限制，使电机
30 的输出扭矩可以跟随用户的操作和期望，可避免相关技术中因对电机的输

出扭矩下降斜率或上升斜率的限制导致的松油门后有加速感或踩油门电动车响应差的问题。

附图说明

5 为了更清楚地说明本申请实施例或相关技术中的技术方案，下面将对实施例或相关技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为相关技术提供的扭矩滤波方法的一种曲线示意图；

10 图 2 为本申请实施例提供的电动车的结构示意图；

图 3 为本申请实施例提供的电动车的电机控制方法的流程图；

图 4 为本申请实施例提供的主动齿和被动齿的运动过程示意图；

图 5 为本申请实施例提供的控制主动齿靠齿的曲线示意图；

15 图 6 为本申请实施例提供的对图 5 中的阴影面积进行几何模型简化处理实施例一的示意图；

图 7 为本申请实施例提供的对图 5 中的阴影面积进行几何模型简化处理实施例二的示意图；

图 8 为本申请实施例提供的与图 7 对应的电机输出扭矩的曲线示意图；

20 图 9 为本申请实施例提供的对图 5 中的阴影面积进行几何模型简化处理实施例三的示意图；

图 10 为本申请实施例提供的与图 9 对应的电机输出扭矩的曲线示意图；

图 11 为本申请实施例提供的电动车的电机控制装置的结构示意图；

图 12 是根据一示例性实施例示出的一种电动车的框图。

25 具体实施方式

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根据本实施例的启示下做出的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

30

本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”“第四”等（如果存在）是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本申请的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外，术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，例如，包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元，而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

下面首先对本申请中涉及的名词进行解释。

10 扭矩：是使物体发生转动的一种特殊的力矩。电机扭矩即为电机的输出扭矩。

齿隙：是一对齿轮啮合时，齿面间的间隙。齿隙是齿轮啮合圆滑运转所必须的参数。

15 相对形变：非刚性材料发生受力时产生的形变，包括但不限于扭转、偏置等。

背景技术中提供的相关技术中，至少存在以下技术问题：

随着世界各国对碳排放日益严苛的控制，以及提出碳达峰和碳中和日期表，并有计划的提出燃油车禁售时间表，同时大力鼓励和扶持新能源汽车，也即电动车。以当前的新能源应用范围的扩增趋势来看，电动车的研发、生
20 产和应用规模都会以高速增长。而电动车的驱动过程是通过根据整车控制器或电机控制器确定的目标扭矩，来控制电机的输出扭矩来实现的。当电机在正负扭矩改变，也即电机的输出扭矩方向发生变化时，由于电机的齿轮啮合方向发生改变，受力方向不一致，会导致打齿，从而产生用户能明显感知的震动和噪音，影响驾驶舒适性。另外，打齿还可能对齿轮或花键等传动机构
25 造成损伤。

针对上述的问题，相关技术中是在对电机的输出扭矩进行正负扭矩改变时，通过滤波处理方法对输出扭矩进行处理来减小震动和噪音，该滤波方法可以是扭矩平滑处理方法。如图 1 所示，以电机的输出扭矩从正扭矩改变至负扭矩的过程为例，对主动齿在穿越齿隙过程中主动齿转速与被动齿转速的
30 速度差在时间上进行积分，即为图中的阴影面积，该阴影面积为齿隙值。在

图 1 中, 主动齿和被动齿的相对运动可以分为四个阶段, 分别为图 1 中的①、②、③和④, 其中, ①阶段为正扭矩下降及弹性压力释放阶段; ②阶段为主动齿的靠齿过程; ③阶段为主动齿和被动齿发生接触及压缩的过程; ④阶段为电机的负扭矩增大及弹性压力压缩阶段。图 1 中的 ΔN_1 可以用于表示主动齿和被动齿在脱离时刻时, 轮端换算转速和主动齿转速的速度差值。

上述相关技术存在以下问题: 1) 通过对输出扭矩进行平滑处理, 以小扭矩或零扭矩输出的方式使主动齿缓慢通过齿间隙, 导致主动齿穿过齿隙耗时长, 正负扭矩改变用时长, 用户在驾驶感受上存在电机的输出扭矩响应不连续及中断, 从而感知到动力输出延迟, 驾驶性体验差; 2) 主动齿与被动齿在转速差最大值处接触, 依然会产生惯性冲击和碰撞噪音, 对震动和噪音的改善不明显; 3) 主动齿和被动齿在弹性压力释放阶段的扭矩斜率过大, 因此 ΔN_1 较大, 导致主动齿穿越齿隙时初速度过大, 从而导致主动齿与被动齿再接触时速度差过大, 从而导致电动车出现严重的冲击及连续的抖动, 因此, 限制了弹性压力释放阶段扭矩斜率下降或上升, 导致用户松油门后电动车依然存在加速度, 或用户踩油门电动车不加速, 因此, 导致电动车的动态响应差。

本申请提出一种电动车的电机控制方法, 通过对传动系统中电机的主动齿在啮合方向发生改变时的动态过程进行分析, 结合电机高精度的主动齿位置和转速测量以及电机快速调节扭矩的特点, 在检测到电机的输出扭矩的方向发生改变时, 通过控制主动齿进行靠齿操作, 减小主动齿和被动齿脱离后再接触时的速度差, 从而减小甚至消除由于惯性冲击导致的主动齿和被动齿之间的震动和噪音。

在一种实施例中, 可以在一种应用场景中应用该电动车的电机控制方法。图 2 为本申请实施例提供的电动车的结构示意图, 如图 2 所示, 该电动车可以包括电子控制单元 (Electronic Control Unit, 简称: ECU)、左前车轮、左前轮速传感器、左前传动轴、前电机旋变、前电机、前电机控制与驱动器、前电机减速差速器、右前传动轴、右前轮速传感器、右前车轮、高压电池、左后车轮、左后轮速传感器、后电机旋变、后电机、后电机控制与驱动器、后电机减速差速器、左后传动轴、右后传动轴、右后轮速传感器、右后车轮。

在上述场景中, 前电机的输出扭矩通过前电机减速差速器传递至左前车

轮和右前车轮；后电机的输出扭矩通过后电机减速差速器传递至左后车轮和右后车轮，然后通过左前轮速传感器、右前轮速传感器、左后轮速传感器和右后轮速传感器分别收集对应车轮的轮速。左前轮速传感器、右前轮速传感器、左后轮速传感器和右后轮速传感器检测到的速度值均由 ECU 收集并处理，

5 ECU 通过获取到的轮速，确定前电机和后电机的输出扭矩的扭矩方向是否发生改变，并在扭矩方向发生改变时，控制主动齿进行靠齿操作，从而实现主动控制主动齿的转速，这样就可以降低甚至避免主动齿穿越齿隙时初速度较大、耗时长的问题，因此，可以降低甚至避免动力输出延迟、震动和噪音的问题，

10 结合上述场景，下面通过几个具体实施例对本申请提供的电动车的电机控制方法的技术方案进行详细说明。

本申请提供了一种电动车的电机控制方法。图 3 为本申请实施例提供的电动车的电机控制方法的流程图，如图 3 所示，该方法包括以下步骤：

S301：检测电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量。

15 在本步骤中，可以在电机的输出扭矩的方向将要发生改变时，确定电机主动齿和传动系统的被动齿的啮合方向是否将要发生改变，也即电机的输出扭矩的方向改变时，说明主动齿和被动齿之间将要脱离，也即主动齿和被动齿之间的弹性力会释放，使弹性力减小，主动齿和轮端之间的传动系统的相对形变量也在减小。

20 可选地，可以在电机运行过程中持续检测电机的主动齿与被动齿的啮合方向，持续计算主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量，从而在检测到电机的输出扭矩的方向即将发生改变时，确定主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量。

25 可选地，主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变可以包括齿轮形变及轴形变。

S302：在相对形变量为第一阈值时，确定第一主动齿转速与第一轮端换算转速的第一速度差值。

在本步骤中，相对形变量为第一阈值用于表示主动齿和传动系统的被动齿开始脱离，第一主动齿转速为在主动齿和被动齿的脱离时刻主动齿的转速，

30 第一轮端换算转速为在脱离时刻，电动车的轮端转速经速比换算得到的转速。

相对形变量为第一阈值可以为相对形变量等于零，该时刻即为主动齿和被动齿之间开始脱离的脱离时刻。主动齿和被动齿脱离与再接触的过程可以如图 4 所示，图 4 为本申请实施例提供的主动齿和被动齿的运动过程示意图，在图 4 中，该运动过程可以为将固定坐标系经过坐标（park）变换转换至旋转坐标系后，主动齿和被动齿之间的运动分解过程，其中，旋转坐标系的频率由轮速换算（轮速相对稳定，可以获得相对稳定的坐标系频率）得到，主动齿和被动齿之间的相对运动可以等效为以下 6 个阶段或时刻：释放弹性阶段、主动齿与被动齿开始脱离时刻、主动齿自由旋转阶段、主动齿与被动齿开始重新啮合时刻、主动齿与被动齿开始接触时刻及弹性压缩阶段。

10 可选地，主动齿和被动齿开始脱离还可以通过以下方式确定：主动齿和被动齿之间的弹性形变在恢复过程中，相对形变恢复量等于弹性形变量。

可选地，在相对形变量为第一阈值，也即主动齿与被动齿开始脱离时，就可以确定这一时刻的第一主动齿转速与第一轮端换算转速的速度差值，将该速度差值记为第一速度差值。以便于根据该第一速度差值确定出电机所需的输出扭矩。

S303：根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩。

在本步骤中，在确定了第一速度差值以后，就可以通过第一速度差值计算得到电机的输出扭矩，如图 5 所示，图 5 为本申请实施例提供的控制主动齿靠齿的曲线示意图。在图 5 中，以电机的输出扭矩从正扭矩改变至负扭矩为例，主动齿和被动齿的相对运动可以分解为三个阶段，其中，①阶段可以为正扭矩下降及弹性释放阶段，②阶段可以为主动齿靠齿阶段，③阶段可以为负扭矩增大及弹性压缩阶段。在图 5 中：

T_{12} 可以用于表示主动控制主动齿进行靠齿所需的第一扭矩，其作用为：加速电机转子（主动齿），使电机轴快速穿越齿轮间隙区；

25 T_{12} 可以用于表示主动控制主动齿进行靠齿所需的第二扭矩，其作用为：减小齿轮啮合面接触时的转速差，进而降低转速差带来的惯性冲击；

t_0 可以用于表示用户松油门时，电机的输出扭矩开始下降的时刻；

t_1 可以用于表示主动齿与被动齿开始脱离的时刻；

30 t_2 可以用于表示 T_{12} 第一扭矩作用截至时刻，在该时刻主动齿的转速从加速变为减速，可以为预设时间点；

t_3 可以用于表示 T_{23} 第二扭矩作用截至时刻，也即主动齿和被动齿再接触的时刻；

t_{01} 可以用于表示从用户松油门开始到主动齿与被动齿开始脱离的持续时长；

5 t_{12} 可以用于表示 T_{12} 第一扭矩作用时长；

t_{23} 可以用于表示 T_{23} 第二扭矩作用时长；

t_{13} 可以用于表示 $t_{12}+t_{23}$ 的总时间，即主动控制主动齿靠齿的作用时长；

N_O 可以用于表示由轮端转速经速比换算的转速，简称轮端换算转速；

N_{O1} 可以用于表示 t_1 时刻的轮端换算转速；

10 N_{O2} 可以用于表示 t_2 时刻的轮端换算转速；

N_{O3} 可以用于表示 t_3 时刻的轮端换算转速；

N_R 可以用于表示电机转子转速，即主动齿转速；

N_{R1} 可以用于表示 t_{01} 结束时，主动齿转速，也即 t_1 时刻的主动齿转速；

N_{R2} 可以用于表示 t_{12} 结束时，主动齿转速，也即 t_2 时刻的主动齿转速；

15 ΔN_1 可以用于表示 t_1 时刻的 N_{O1} 与 N_{R1} 的速度差，即主动齿与被动齿脱离时刻的轮端换算转速与主动齿转速的转速差；

ΔN_2 可以用于表示 t_2 时刻的 N_{O2} 与 N_{R2} 的速度差，即 T_{12} 第一扭矩作用截至时刻的轮端换算转速与主动齿转速的转速差。

20 可选地，可以对主动齿在穿越齿隙过程中主动齿与被动齿的速度差在时间上进行积分，即为图 5 中的阴影面积，该阴影面积为齿隙值。通过确定第一速度差值，也即 ΔN_1 ，计算得到电机的输出扭矩，也即 T_{12} 和 T_{23} 。

25 可选地，图 5 中的①阶段，弹性释放形变的积分范围可以为：从用户松油门后被动齿跟随脱离开始，至电机的输出扭矩为 0 或弹性释放形变的积分值等于弹性形变预设值为止。其中，弹性形变预设值可以用输出扭矩和弹性释放形变的映射表表示，当弹性释放形变的累计积分值到达弹性形变预设值时，认为弹性释放形变结束。映射表的预设方法可以为：静态下在整车或传动系统总成上给定电机不同的堵转扭矩，测量此堵转扭矩下电机轴旋转的角度。

30 图 5 中的②阶段，齿隙积分范围可以为：从弹性释放形变结束，至齿隙积分值达到预设齿隙值 S 或自学习齿隙值 S 为止。

图 5 中的③阶段，弹性压缩形变的积分范围可以为：从齿隙积分结束，至主动齿和被动齿重新啮合为止。

可选地，积分计算公式可以如下表示：

$$L = \Sigma \Delta \omega$$

$$\Delta \omega = \Delta N \times 2\pi/60$$

当采样频率为 Δt 时

$$L_t = L_{t-1} + \Delta \omega \times \Delta t$$

- 5 其中，L可以用于表示主动齿与被动齿的相对位置差的积分，弹性形变积分与齿隙积分都可用该值表示，单位为弧度 rad； ΔN 可以用于表示主动齿与被动齿的速度差，单位为转/分 rpm； ω 可以用于表示经单位换算后的主动齿与被动齿的速度差，单位 rad/s。

S304：根据输出扭矩，控制主动齿相对被动齿进行靠齿操作。

- 10 在本步骤中，由于对主动齿转速的主动控制是通过电机的输出扭矩进行控制来实现的，因此，通过控制电机的输出扭矩，就可以控制主动齿相对被动齿进行靠齿操作，从而实现减小齿接触时主动齿和被动齿的速度差，以减小齿接触时的惯性冲击，从而消除震动和噪音。

- 15 本实施例提供的电动车的电机控制方法，通过引入电机输出扭矩改变时的弹性形变，对弹性形变进行计算，并对弹性形变引起的相对初速度进行识别，从而根据初速度实施对应的电机输出扭矩的控制策略，以控制主动齿主动进行靠齿操作，因此，能有效降低甚至避免或解决齿接触时的惯性冲击，从而消除震动和噪音。另外，由于主动控制主动齿靠齿，可以消除扭矩平滑处理方案中的接触及压缩阶段，减小主动齿穿过齿隙的时间，缩短齿啮合面改变过程，即减小了正扭矩和负扭矩的改变时间，提升了扭矩响应，有更优秀
- 20 的驾驶性能。

- 25 在一种实施例中，根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩，包括：确定第一速度差值与第一时长的乘积为第一乘积，第一时长为自脱离时刻到主动齿与被动齿的接触时刻的持续时长；若第一乘积小于预设齿隙值，则确定输出扭矩包括第一扭矩和第二扭矩，其中，第一扭矩和第二扭矩的方向相反，第一扭矩为自脱离时刻至电机进行加减速状态的转变时刻的时间间隔内所需的扭矩，第二扭矩为自转变时刻至接触时刻的时间间隔内所需的扭矩。

在该方案中，在根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩时，可以先确定第一速度差值与第一时长的乘积，也即 $\Delta N_1 \times (t_{12} + t_{23})$ ，当 $\Delta N_1 \times (t_{12} + t_{23}) < 2S$ 时（其中，S可以用于表示默认齿隙值，在预设齿隙值取 2S 时，为最优方案），通过第一速度差值计算得到的第一扭矩 T_{12} 和第二扭矩 T_{23} 的方向相反，此时输出扭矩曲线可以如图 5 所示。

可选地，通过确定出电机的输出扭矩，可以对主动齿的转速进行主动控制，即先减速再加速（或先加速后减速，取决于电机的输出扭矩的改变方向）的扭矩控制，减少主动齿穿越齿隙时所耗时长，降低甚至避免动力响应较慢的问题；通过控制主动齿的转速，减小主动齿与被动齿在再接触时的转速差，在理想情况下，转速差可减小至零，可完全消除震动和噪音。

在一种实施例中，第一扭矩和第二扭矩是通过以下方式确定的：在转变时刻，通过预设齿隙值、第一速度差值和第一时长，确定当前的主动齿转速与第二轮端换算转速的第二速度差值，第二轮端换算转速为在转变时刻，电动车的轮端转速经速比换算得到的转速；根据第二速度差值和第二轮端换算转速，确定第二主动齿转速，第二主动齿转速为在转变时刻主动齿的转速；根据第二主动齿转速、第一主动齿转速、脱离时刻与转变时刻的持续时长，以及主动齿在第二主动齿转速下的滑动摩擦力，确定第一扭矩；根据第二主动齿转速、第三主动齿转速、转变时刻与接触时刻的持续时长，以及主动齿在第三主动齿转速下的滑动摩擦力，确定第二扭矩，第三主动齿转速为在接触时刻主动齿的转速。

在该方案中，可以将图 5 中的阴影面积进行几何模型简化处理，如图 6 所示，通过图 6 所示的简化模型，可以确定电机的输出扭矩：

由简化模型可知，当 N_{O1} 、 N_{R1} 、 t_{12} 、 t_{23} 确定时， N_{O2} 、 N_{O3} 为确定值， N_{R2} 的时间分量为确定值。且 N_{O1} 、 N_{O3} 、 N_{R1} 、 N_{R2} 的合围面积齿隙值 S，也为确定值。

根据以上条件可求出 ΔN_2 、 N_{R2} 的速度分量；然后对线段 $N_{R1}N_{R2}$ 求导可得速度变化率 a_{12} ，对线段 $N_{R2}N_{O3}$ 求导可得速度变化率 a_{23} ，根据速度变化率 a_{12} 和 a_{23} ，可确定第一扭矩 T_{12} 以及第二扭矩 T_{23} 。用公式表示可以如下所示：

$$2S = \Delta N_1 \times t_{12} + \Delta N_2 \times (t_{12} + t_{23})$$

$$\Delta N_2 = (2S - \Delta N_1 \times t_{12}) / (t_{12} + t_{23})$$

$$N_{R2} = N_{O2} - \Delta N_2 = N_{O2} - (2S - \Delta N_1 \times t_{12}) / (t_{12} + t_{23})$$

$$a_{12} = (N_{R2} - N_{R1}) / t_{12}$$

$$a_{23} = (N_{O3} - N_{R2}) / t_{23}$$

已知电机转子的转动惯量,可根据电机转子的转动惯量 I 求出第一扭矩 T_{12} 以及第二扭矩 T_{23} ,用公式表示可以如下所示:

$$T_{12} = I \times a_{12} + T_F$$

$$T_{23} = I \times a_{23} + T_F$$

其中,可根据电动车不同的驾驶模式确定一张或多张表格,表格内可以存储主动齿转速(或车速)与 t_{12} 、 t_{23} 的映射关系,因此, t_{12} 、 t_{23} 可以通过查询表格获取到; T_F 可以用于表示当前主动齿转速和温度下,主动齿旋转的滑动摩擦力,可通过台架测试获得。

可选地,轮端换算转速 N_O 可通过以下公式确定:

$$N_O = N \times i$$

车速预测公式可通过以下公式确定:

$$\begin{aligned} V &= V_1 + a \times \Delta t = V_1 + a_F \times \Delta t - \sin\theta \times g \times \Delta t + F/m \times \Delta t \\ &= (N_{O1} + a_O \times \Delta t) \times 2\pi r / K / i \\ K &= N_1 \times 2\pi r / V_1 \end{aligned}$$

车速加速度公式可通过以下公式确定:

$$a = a_F - \sin\theta \times g + F/m$$

10 则 $a_F \times \Delta t - \sin\theta \times g \times \Delta t + F/m \times \Delta t = a_O \times \Delta t \times 2\pi r / K / i$
轮速加速度公式:

$$a_O = a / (\Delta t \times 2\pi r \times K) = (-a_F - \sin\theta \times g + F/m) / (2\pi r / K / i)$$

轮速预测公式:

$$N_{O\Delta t} = N_{O1} + a_O \times \Delta t = N_{O1} + (-a_F - \sin\theta \times g + F/m) \times \Delta t / (2\pi r / K / i)$$

15 其中, K 可以用于表示轮胎滑移系数; N 可以用于表示车轮轮速; N_1 可以用于表示某时刻车轮轮速; N_O 可以用于表示轮端换算转速; V 可以用于表示电动车车速; V_1 可以用于表示电动车某时刻的车速; a 可以用于表示车速的加速度; F 可以用于表示轮端扭矩,主动齿穿越齿隙过程中, $F=0$; a_F 可以用于表示整车滑行阻力(风阻+轮端摩擦力+传动系统机械摩擦力)导致的减速度,可通过滑行曲线获得; a_O 可以用于表示轮速的加速度; r 可以用于表示车

轮的半径； θ 可以用于表示坡度； i 可以用于表示车轮与电机转子之间的速比； Δt 可以用于表示某一时段的时长； g 可以用于表示重力加速度； m 可以用于表示电动车的质量。

- 5 可选地，除了通过确定 t_{12} 、 t_{23} 来确定电机的输出扭矩控制主动齿完成靠齿操作以外，还可以通过给定的 T_{12} 和 T_{23} 的值来完成主动齿的靠齿动作，可以根据不同的驾驶模式确定一张或多张表格，表格内存储为主动齿转速（或车速）与 T_{12} 、 T_{23} 的映射关系，也即， T_{12} 、 T_{23} 可以通过查询表格获取到，则确定出 T_{12} 、 T_{23} 对应的时间即可完成主动齿的靠齿动作，用公式可以表示如下：

$$a_{12} = I / T_{12}$$

$$a_{23} = I / T_{23}$$

$$2S = \Delta N_1 \times t_{12} + \Delta N_2 \times (t_{12} + t_{23})$$

$$\Delta N_2 = \Delta N_1 - a_{13} \times t_{12} + a_{12} \times t_{12}$$

$$\Delta N_1 + a_{12} \times t_{12} = a_{23} \times t_{23} + a_{13} \times (t_{12} + t_{23})$$

$$t_{23} = (\Delta N_1 + a_{12} \times t_{12} - a_{13} \times t_{12}) / (a_{13} + a_{23})$$

$$2S = \Delta N_1 \times t_{12} + (\Delta N_1 - a_{13} \times t_{12} + a_{12} \times t_{12}) \times (t_{12} + (\Delta N_1 + a_{12} \times t_{12} - a_{13} \times t_{12}) / (a_{13} + a_{23}))$$

其中， a_{13} 可以用于表示对线段 $N_{O1}N_{O3}$ 求导得到的速度变化率。

- 10 通过上述公式可确定第一扭矩 T_{12} 对应的时间 t_{12} 和第二扭矩 T_{23} 对应的时间 t_{23} ，即确定整个靠齿过程。

可选地，在 N_{O1} 、 N_{O3} 、 N_{R1} 、 N_{R2} 的合围面积为齿隙 S 确定时， N_{O1} 和 N_{R1} 确定，还可以通过确定 T_{12} 、 T_{23} 、 t_{12} 、 t_{23} 、 t_{13} 中的任意两个量来确定整个靠齿过程。

- 15 可选地，通过对主动齿的转速主动控制，即先减速再加速（或先加速后减速，取决于电机的输出扭矩将要改变的方向）的扭矩控制，减少主动齿穿越齿隙时所耗时长，降低甚至避免动力响应较慢的问题；通过控制主动齿的转速，减小主动齿与被动齿在再接触时的转速差，在理想情况下，转速差可减小至零，可完全消除震动和噪音。

- 20 在一种实施例中，根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩，还包括：若第一乘积大于或者等于预设齿隙值，则确定第一速度差值与第二时长的乘积为第二乘积，第二时长为自脱离时刻到转变时刻的持续时长；若第二乘积

小于预设齿隙值，则确定输出扭矩包括第一扭矩和第二扭矩，其中，第一扭矩和第二扭矩的方向相同。

在该方案中，当计算出的第一乘积大于或者等于预设齿隙值 $2S$ 时，则需要确定第一速度差值与第二时长的乘积，也即当 $\Delta N_1 \times (t_{12} + t_{23}) \geq 2S$ 时，

5 需要计算 $\Delta N_1 \times t_{12}$ 。

可选地，若 $\Delta N_1 \times t_{12} < 2S$ ，则此时可以将图 5 中的阴影面积进行几何模型简化处理，得到如图 7 所示的简化模型，此时确定第一扭矩 T_{12} 和第二扭矩 T_{23} 的公式与前述 $\Delta N_1 \times (t_{12} + t_{23}) < 2S$ 时相同，但是在 $\Delta N_1 \times t_{12} < 2S$ 时，第一扭矩 T_{12} 和第二扭矩 T_{23} 的方向相同，输出扭矩曲线可以如图 8 所示。

10 可选地，在图 8 中，虚线 T_1 可以用于表示输出扭矩下降阶段可能的扭矩曲线，扭矩曲线取决于扭矩下降斜率 u 、主动齿与被动齿脱离时刻 t_1 、主动齿与被动齿脱离时的初速度差 ΔN_1 ，其中， u 可以用于表示从用户松油门输出扭矩开始下降的时刻至主动齿与被动齿开始脱离的时刻（ t_0 至 t_1 ），扭矩下降的平均斜率，也即扭矩下降斜率。

15 可选地，通过对主动齿的转速主动控制，即先减速再加速（或先加速后减速，取决于电机的输出扭矩的改变方向）的扭矩控制，减少主动齿穿越齿隙时所耗时长，降低甚至避免动力响应较慢的问题；通过控制主动齿的转速，减小主动齿与被动齿在再接触时的转速差，在理想情况下，转速差可减小至零，可完全消除震动和噪音。

20 在一种实施例，根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩，还包括：若第二乘积大于或者等于预设齿隙值，则在目标时刻，确定第三轮端换算转速，第三轮端换算转速为在目标时刻，电动车的轮端转速经过速比换算得到的转速，目标时刻为第二时长内主动齿与被动齿再接触的时刻；根据第三轮端换算转速、第一主动齿转速，以及脱离时刻与目标时刻的持续时长，确定
25 第三扭矩，第三扭矩为自脱离时刻至目标时刻的时间间隔内所需的扭矩，输出扭矩包括第三扭矩。

在该方案中，若第二乘积大于或者等于预设齿隙值，也即 $\Delta N_1 \times t_{12} \geq 2S$ ，则可以将图 5 中的阴影面积进行几何模型简化处理，得到如图 9 所示的简化模型，则此时，只需要计算 t_1 至 $t_{2'}$ 的时长内所需的扭矩即可， $t_{2'}$ 即为目标
30 时刻，也为 t_1 至 t_2 的时长内主动齿与被动齿再接触的时刻。

可选地， $\Delta N_1 \times t_{12} \geq 2S$ 时确定电机的输出扭矩（第三扭矩）可以通过以下公式表示：

$$\Delta N_1 \times t_{12}' = 2S$$

$$t_{12}' = 2S/\Delta N_1$$

$$N_{02}' = N_{01} - a_{13} \times t_{12}'$$

$$a_{12}' = (N_{02}' - N_{R1})/t_{12}'$$

$$T_{12}' = I \times a_{12}'$$

其中， t_{12}' 可以用于表示 t_1 至 t_2 的时长； N_{02}' 可以用于表示 t_2 时刻主动齿与被动齿再接触时的轮速换算转速； a_{12}' 可以用于表示线段 $N_{01}N_{02}'$ 求得得到的速度变化率； T_{12}' 可以用于表示第三扭矩。

可选地，在 $\Delta N_1 \times t_{12} \geq 2S$ 时，输出扭矩曲线可以如图 10 所示。在图 10 中，虚线 T_1 可以用于表示输出扭矩下降阶段可能的扭矩曲线，扭矩曲线取决于扭矩下降斜率 u 、主动齿与被动齿脱离时刻 t_1 、主动齿与被动齿脱离时的初速度差 ΔN_1 ，虚线 T_2 可以用于表示在 t_{12}' 时长后，可选择的扭矩曲线。

可选地，通过对主动齿的转速主动控制，即先减速再加速（或先加速后减速，取决于电机的输出扭矩的改变方向）的扭矩控制，减少主动齿穿越齿隙时所耗时长，降低甚至避免动力响应较慢的问题；通过控制主动齿的转速，减小主动齿与被动齿在再接触时的转速差，在理想情况下，转速差可减小至零，可完全消除震动和噪音。

在一种实施例中，检测电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量，包括：确定电机的输出扭矩的方向是否将要发生改变；在输出扭矩的方向将要发生改变时，确定电机主动齿与被动齿的啮合方向是否将要发生改变；在主动齿与被动齿的啮合方向将要发生改变时，确定相对形变量。

在该方案中，主动齿至车轮之间的传动系统传递的扭矩会导致主动齿与轮端之间的传动系统发生相对形变，而在主动齿与轮端之间的传动系统的形变产生的弹性力在输出扭矩变化过程中会导致主动齿转速和轮端换算转速产生相对速度差，通过对相对速度差进行识别，对不同的相对速度差实施不同的输出扭矩控制策略，能有效降低甚至避免相关技术中存在的“导致松油门后车辆依然存在加速度或踩油门车辆不加速，车辆动态响应差”的问题，由于该方案允许弹性释放阶段较大的扭矩斜率，因此，可以实现正负扭矩的快

速改变，从而优化电动车的动态响应。

可选地，可以确定电机的输出扭矩的方向是否将要发生改变，输出扭矩的方向将要发生改变，可以包括输出扭矩的方向由正变为负、由负变为正、零正、零负等多种情况；在输出扭矩的方向将要发生改变时，可以确定电机主动齿和被动齿的啮合方向是否将要发生改变，并在主动齿和被动齿的啮合方向将要发生改变时，确定电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量。

在一种实施例中，确定电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量，还包括：在检测到电机的输出扭矩的方向发生改变时，确定当前的主动齿转速与被动齿转速的第三速度差值；根据第三速度差值，确定主动齿与被动齿的相对位移；根据相对位移，确定相对形变量。

在该方案中，若输出扭矩发生改变，则可以在后续主动齿和被动齿的运动过程中，实时计算主动齿转速与被动齿转速的第三速度差值，可以确定多个连续时间段内每个时间段内的速度差值，然后通过每个时间段内的速度差值和对应时间段的时长，计算得到主动齿和被动齿的相对位移，从而得到主动齿和被动齿的相对形变量。

可选地，不同的相对形变量引起的主动齿的相对初速度不同，因此，可以对不同的初速度实施不同的输出扭矩控制策略，从而实现正负扭矩的快速改变，优化电动车的动态响应。

本申请提供的电动车的电机控制方法，通过在主动齿与被动齿啮合方向改变时对电机的输出扭矩进行主动控制，减小主动齿与被动齿再接触所耗时长，加快正负扭矩改变，缩短动力输出延迟，优化驾驶性；并且，通过在主动齿与被动齿啮合方向改变时对电机的输出扭矩进行主动控制，实现消除主动齿与被动齿接触时的速度差，消除惯性撞击带来的噪音和冲击；另外，通过施加减速扭矩降低或消除主动齿与被动齿接触时的速度差，能增大弹性释放阶段扭矩斜率，实现正负扭矩的快速改变，降低甚至避免导致松油门后车辆依然存在加速度或踩油门车辆不加速问题，优化车辆动态响应。

从总体上来说，本申请提供的技术方案，是一种既可以实现优化电动车的驾驶性能，又可以实现消除惯性撞击带来的噪音和冲击的技术方法。

本申请还提供了一种电动车的电机控制装置。图 11 为本申请实施例提供

的电动车的电机控制装置的结构示意图，如图 11 所示，该电动车的电机控制装置 1100 包括：

检测模块 1101，用于检测电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量；

5 确定模块 1102，用于在相对形变量为第一阈值时，确定第一主动齿转速与第一轮端换算转速的第一速度差值，相对形变量为第一阈值用于表示主动齿和传动系统的被动齿开始脱离，第一主动齿转速为在主动齿和被动齿的脱离时刻主动齿的转速，第一轮端换算转速为在脱离时刻，电动车的轮端转速经速比换算得到的转速；

10 处理模块 1103，用于根据第一速度差值，确定电机的输出扭矩；

控制模块 1104，用于根据输出扭矩，控制主动齿相对被动齿进行靠齿操作。

可选的，处理模块 1103 在根据第一速度差值确定电机的输出扭矩时，具体用于：确定第一速度差值与第一时长的乘积为第一乘积，第一时长为自脱离时刻到主动齿与被动齿的接触时刻的持续时长；若第一乘积小于预设齿隙值，则确定输出扭矩包括第一扭矩和第二扭矩，其中，第一扭矩和第二扭矩的方向相反，第一扭矩为自脱离时刻至电机进行加减速状态的转变时刻的时间间隔内所需的扭矩，第二扭矩为自转变时刻至接触时刻的时间间隔内所需的扭矩。

20 可选的，该电动车的电机控制装置 1100 还可以包括第三确定模块（未示出），该第三确定模块可以具体用于通过以下方式确定第一扭矩和第二扭矩：在转变时刻，通过预设齿隙值、第一速度差值和第一时长，确定当前的主动齿转速与第二轮端换算转速的第二速度差值，第二轮端换算转速为在转变时刻，电动车的轮端转速经速比换算得到的转速；根据第二速度差值和第二轮端换算转速，确定第二主动齿转速，第二主动齿转速为在转变时刻主动齿的转速；根据第二主动齿转速、第一主动齿转速、脱离时刻与转变时刻的持续时长，以及主动齿在第二主动齿转速下的滑动摩擦力，确定第一扭矩；根据第二主动齿转速、第三主动齿转速、转变时刻与接触时刻的持续时长，以及主动齿在第三主动齿转速下的滑动摩擦力，确定第二扭矩，第三主动齿转速为在接触时刻主动齿的转速。

30

可选的，处理模块 1103 在根据第一速度差值确定电机的输出扭矩时，还具体用于：若第一乘积大于或者等于预设齿隙值，则确定第一速度差值与第二时长的乘积为第二乘积，第二时长为自脱离时刻到转变时刻的持续时长；若第二乘积小于预设齿隙值，则确定输出扭矩包括第一扭矩和第二扭矩，其中，第一扭矩和第二扭矩的方向相同。

可选的，处理模块 1103 在根据第一速度差值确定电机的输出扭矩时，还具体用于：若第二乘积大于或者等于预设齿隙值，则在目标时刻，确定第三轮端换算转速，第三轮端换算转速为在目标时刻，电动车的轮端转速经过速比换算得到的转速，目标时刻为第二时长内主动齿与被动齿再接触的时刻；根据第三轮端换算转速、第一主动齿转速，以及脱离时刻与目标时刻的持续时长，确定第三扭矩，第三扭矩为自脱离时刻至目标时刻的时间间隔内所需的扭矩，输出扭矩包括第三扭矩。

可选的，第一确定模块 1101 在确定电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量时，还可以具体用于：在检测到电机的输出扭矩发生改变时，确定当前的主动齿转速与被动齿转速的第三速度差值；根据第三速度差值，确定主动齿与被动齿的相对位移；根据相对位移，确定相对形变量。

本实施例提供的电动车的电机控制装置，用于执行前述方法实施例中的电动车的电机控制方法的技术方案，其实现原理和技术效果类似，在此不再赘述。

本申请实施例还提供了一种电动车。图 12 是根据一示例性实施例示出的一种电动车的结构示意图。如图 12 所示，该电动车 1200 包括：

处理器 1211，存储器 1212，以及交互接口 1213；

其中，处理器 1211 与存储器 1212 通信连接；存储器 1212 用于存储处理器 1211 可执行的计算机执行指令；

其中，处理器 1211 配置为经由执行计算机可执行指令来执行前述电动车的电机控制方法中的技术方案。

可选的，存储器 1212 既可以是独立的，也可以跟处理器 1211 集成在一起。

可选的，当存储器 1212 是独立于处理器 1211 之外的器件时，电子设备 1200 还可以包括：总线，用于将上述器件连接起来。

可选地，存储器可以是，但不限于，随机存取存储器(Random Access Memory，简称：RAM)，只读存储器(Read Only Memory，简称：ROM)，可编程只读存储器(Programmable Read-Only Memory，简称：PROM)，可擦除只读存储器(Erasable Programmable Read-Only Memory，简称：EPROM)，电
5 可擦除只读存储器(Electric Erasable Programmable Read-Only Memory，简称：EEPROM)等。其中，存储器用于存储程序，处理器在接收到执行指令后，执行程序。进一步地，上述存储器内的软件程序以及模块还可包括操作系统，其可包括各种用于管理系统任务(例如内存管理、存储设备控制、电源管理等)的软件组件和/或驱动，并可与各种硬件或软件组件相互通信，从而提供其他
10 软件组件的运行环境。

可选地，处理器可以是一种集成电路芯片，具有信号的处理能力。上述的处理器可以是通用处理器，包括中央处理器(Central Processing Unit，简称：CPU)、网络处理器(Network Processor，简称：NP)等。可以实现或者执行本
15 申请实施例中的公开的各方法、步骤及逻辑框图。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

本申请实施例还提供一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质中存储有计算机执行指令，计算机执行指令被处理器执行时用于实现前述方法
实施例中提供的电动车的电机控制方法的技术方案。

本申请实施例还提供一种计算机程序产品，包括计算机程序，计算机程
20 序被处理器执行时实现方法实施例中提供的电动车的电机控制方法的技术方案。

本领域普通技术人员可以理解：实现上述各方法实施例的全部或部分步骤可以通过程序指令相关的硬件来完成。前述的程序可以存储于一计算机可
25 读取存储介质中。该程序在执行时，执行包括上述各方法实施例的步骤；而前述的存储介质包括：ROM、RAM、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

最后应说明的是：以上各实施例仅用以说明本申请的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述各实施例对本申请进行了详细的说明，本领域的普通
30 技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并

不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的范围。

权 利 要 求 书

1、一种电动车的电机控制方法，其特征在于，包括：

检测电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量；

5 在所述相对形变量为第一阈值时，确定第一主动齿转速与第一轮端换算转速的第一速度差值，所述相对形变量为第一阈值用于表示所述主动齿和所述传动系统的被动齿开始脱离，所述第一主动齿转速为在所述主动齿和所述被动齿的脱离时刻所述主动齿的转速，所述第一轮端换算转速为在所述脱离时刻，所述电动车的轮端转速经速比换算得到的转速；

根据所述第一速度差值，确定所述电机的输出扭矩；

10 根据所述输出扭矩，控制所述主动齿相对所述被动齿进行靠齿操作。

2、根据权利要求 1 所述的电机控制方法，其特征在于，所述根据所述第一速度差值，确定所述电机的输出扭矩，包括：

确定所述第一速度差值与第一时长的乘积为第一乘积，所述第一时长为自所述脱离时刻到所述主动齿与所述被动齿的接触时刻的持续时长；

15 若所述第一乘积小于预设齿隙值，则确定所述输出扭矩包括第一扭矩和第二扭矩，其中，所述第一扭矩和所述第二扭矩的方向相反，所述第一扭矩为自所述脱离时刻至所述电机进行加减速状态的转变时刻的时间间隔内所需的扭矩，所述第二扭矩为自所述转变时刻至所述接触时刻的时间间隔内所需的扭矩。

20 3、根据权利要求 2 所述的电机控制方法，其特征在于，所述第一扭矩和所述第二扭矩是通过以下方式确定的：

25 在所述转变时刻，通过所述预设齿隙值、所述第一速度差值和所述第一时长，确定当前的主动齿转速与第二轮端换算转速的第二速度差值，所述第二轮端换算转速为在所述转变时刻，所述电动车的轮端转速经速比换算得到的转速；

根据所述第二速度差值和所述第二轮端换算转速，确定第二主动齿转速，所述第二主动齿转速为在所述转变时刻所述主动齿的转速；

30 根据所述第二主动齿转速、所述第一主动齿转速、所述脱离时刻与所述转变时刻的持续时长，以及所述主动齿在所述第二主动齿转速下的滑动摩擦力，确定所述第一扭矩；

根据所述第二主动齿转速、第三主动齿转速、所述转变时刻与所述接触时刻的持续时长，以及所述主动齿在所述第三主动齿转速下的滑动摩擦力，确定所述第二扭矩，所述第三主动齿转速为在所述接触时刻所述主动齿的转速。

- 5 4、根据权利要求2所述的电机控制方法，其特征在于，所述根据所述第一速度差值，确定所述电机的输出扭矩，还包括：

若所述第一乘积大于或者等于所述预设齿隙值，则确定所述第一速度差值与第二时长的乘积为第二乘积，所述第二时长为自所述脱离时刻到所述转变时刻的持续时长；

- 10 若所述第二乘积小于所述预设齿隙值，则确定所述输出扭矩包括所述第一扭矩和所述第二扭矩，其中，所述第一扭矩和所述第二扭矩的方向相同。

5、根据权利要求4所述的电机控制方法，其特征在于，所述根据所述第一速度差值，确定所述电机的输出扭矩，还包括：

- 15 若所述第二乘积大于或者等于所述预设齿隙值，则在目标时刻，确定第三轮端换算转速，所述第三轮端换算转速为在所述目标时刻，所述电动车的轮端转速经过速比换算得到的转速，所述目标时刻为所述第二时长内所述主动齿与所述被动齿再接触的时刻；

- 20 根据所述第三轮端换算转速、所述第一主动齿转速，以及所述脱离时刻与所述目标时刻的持续时长，确定第三扭矩，所述第三扭矩为自所述脱离时刻至所述目标时刻的时间间隔内所需的扭矩，所述输出扭矩包括所述第三扭矩。

6、根据权利要求1至5中任一项所述的电机控制方法，其特征在于，所述确定所述电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量，还包括：

- 25 确定当前的主动齿转速与被动齿转速的第三速度差值；
根据所述第三速度差值，确定所述主动齿与所述被动齿的相对位移；
根据所述相对位移，确定所述相对形变量。

7、一种电动车的电机控制装置，其特征在于，包括：

- 30 检测模块，用于检测电机的主动齿与轮端之间的传动系统的相对形变量；
确定模块，用于在所述相对形变量为第一阈值时，确定第一主动齿转速与第一轮端换算转速的第一速度差值，所述相对形变量为第一阈值用于表示

所述主动齿和所述传动系统的被动齿开始脱离，所述第一主动齿转速为在所述主动齿和所述被动齿的脱离时刻所述主动齿的转速，所述第一轮端换算转速为在所述脱离时刻，所述电动车的轮端转速经速比换算得到的转速；

处理模块，用于根据所述第一速度差值，确定所述电机的输出扭矩；

- 5 控制模块，用于根据所述输出扭矩，控制所述主动齿相对所述被动齿进行靠齿操作。

8、一种电动车，其特征在于，包括：处理器，以及与所述处理器通信连接的存储器；

所述存储器存储计算机执行指令；

- 10 所述处理器执行所述存储器存储的计算机执行指令，以实现如权利要求1至6任一项所述的电动车的电机控制方法。

9、一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质中存储有计算机执行指令，其特征在于，所述计算机执行指令被处理器执行时用于实现权利要求1至6任一项所述的电动车的电机控制方法。

- 15 10、一种计算机程序产品，包括计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时用于实现权利要求1至6任一项所述的电动车的电机控制方法。