(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106608201 B
(45)授权公告日 2019.04.19

(21)申请号 201510702999.9

(22)申请日 2015.10.26

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106608201 A

(43)申请公布日 2017.05.03

(73)专利权人 比亚迪股份有限公司
地址 518118 广东省深圳市坪山新区比亚迪路3009号

(72)发明人 廉玉波 罗红斌 张金涛 杨冬生

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事务所(普通合伙) 11201
代理人 张大威

(51)Int.Cl.
B60L 15/20(2006.01)
B60L 7/10(2006.01)

(56)对比文件
CN 104442767 A,2015.03.25,
CN 104276155 A,2015.01.14,
JP 5695957 B2,2015.04.08,
CN 102481930 A,2012.05.30,
CN 102975717 A,2013.03.20,

审查员 周小燕

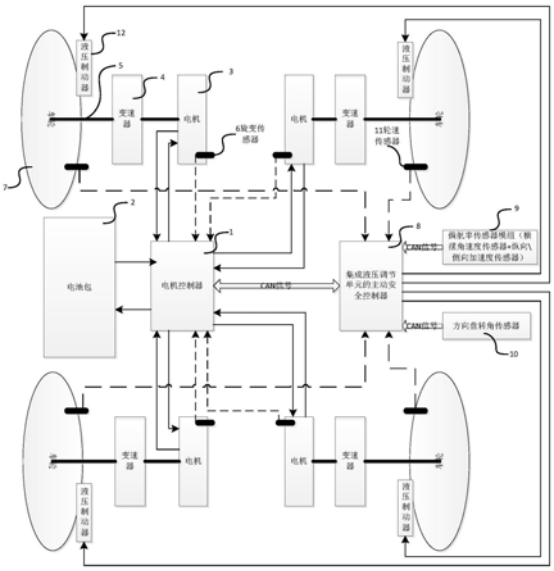
权利要求书5页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

电动车辆及其主动安全控制系统和方法

(57)摘要

本发明公开了一种电动车辆及其主动安全控制系统和方法，其中主动安全控制系统包括：四个车轮；四个变速器；四个独立控制的电机；轮速检测模块；四个液压制动器；方向盘转角传感器；偏航率传感器模组；电池包；电机控制器；主动安全控制器，主动安全控制器在电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用四个电机的驱动力矩对电动车辆进行横摆控制，在电动车辆处于所述侧滑极限区间时同时利用四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器的制动力矩对电动车辆进行横摆控制。该电动车辆的主动安全控制系统可解决全轮驱动电动汽车的车身动态控制问题和液压电子稳定控制系统存在的响应速度慢的问题，并且可大大提升车辆的操稳性和安全性。



CN 106608201 B

1.一种电动车辆的主动安全控制系统，包括：四个车轮、四个液压制动器、电池包和电机控制器，其中，每个所述液压制动器对应每个车轮设置，其特征在于，还包括：

四个独立控制的电机，每个所述电机对应每个所述车轮设置；

轮速检测模块，所述轮速检测模块用于检测所述电动车辆的轮速以生成轮速信号；

方向盘转角传感器；

偏航率传感器模组；

主动安全控制器，所述主动安全控制器与所述电机控制器之间进行相互通信，并与所述方向盘转角传感器和所述偏航率传感器模组进行通信，以及通过制动管路与每个所述液压制动器相连，所述主动安全控制器接收所述轮速检测模块发送的所述轮速信号、所述方向盘转角传感器和所述偏航率传感器模组发送的所述电动车辆的状态信息，并根据所述轮速信号、所述电动车辆的状态信息、所述电池包的状态信息以及所述四个电机的状态信息对所述四个液压制动器进行控制和通过所述电机控制器对所述四个电机进行控制，以在所述电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用所述四个电机的驱动力矩对所述电动车辆进行横摆控制，在所述电动车辆处于所述侧滑极限区间时同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制，

其中，所述电机控制器通过高压线与所述电池包和所述四个电机分别相连。

2.如权利要求1所述的电动车辆的主动安全控制系统，其特征在于，所述轮速检测模块包括四个轮速传感器和/或四个旋变传感器，其中，每个所述轮速传感器对应每个所述车轮设置，每个所述旋变传感器对应每个所述电机设置。

3.如权利要求1或2所述的电动车辆的主动安全控制系统，其特征在于，所述偏航率传感器模组包括横摆角速度传感器、纵向加速度传感器和侧向加速度传感器。

4.如权利要求3所述的电动车辆的主动安全控制系统，其特征在于，在所述电动车辆行驶过程中，所述主动安全控制器根据所述方向盘转角传感器检测的方向盘转角信号、所述纵向加速度传感器检测的纵向加速度和所述轮速信号实时计算所述电动车辆的目标横摆角速度，并将所述目标横摆角速度与所述横摆角速度传感器检测的所述电动车辆的实际横摆角速度进行比较以获得横摆角速度差值△ψ′，同时所述主动安全控制器根据所述轮速信号、所述方向盘转角信号、所述纵向加速度、所述电动车辆的实际横摆角速度和所述侧向加速度传感器检测的所述电动车辆的侧向加速度计算所述电动车辆的后轴侧偏角，以及所述主动安全控制器根据所述目标横摆角速度和所述电动车辆的实际横摆角速度通过利用所述电动车辆的整车转动惯量以实时计算所述电动车辆的目标横摆力矩与实际横摆力矩之间的横摆力矩差值△M，其中，

当所述横摆角速度差值△ψ′大于第一预设角速度且小于等于第二预设角速度或者所述后轴侧偏角大于第一预设角度且小于等于第二预设角度时，所述主动安全控制器判断所述电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前；

当所述横摆角速度差值△ψ′大于所述第二预设角速度或者所述后轴侧偏角大于所述第二预设角度时，所述主动安全控制器判断所述电动车辆处于所述侧滑极限区间。

5.如权利要求4所述的电动车辆的主动安全控制系统，其特征在于，

当所述主动安全控制器利用所述四个电机的驱动力矩对所述电动车辆进行横摆控制时，所述主动安全控制器通过利用整车动力学模型和轮胎模型，根据所述电动车辆在当前

状态下所述四个车轮的驱动力矩计算得到第一反向横摆力矩，并根据所述第一反向横摆力矩对所述电动车辆进行横摆控制以校正所述电动车辆的姿态，其中，所述四个车轮的驱动力矩根据所述四个电机的驱动力矩得到；

当所述主动安全控制器同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制时，所述主动安全控制器通过利用所述整车动力学模型和所述轮胎模型，根据所述电动车辆在当前状态下所述四个车轮的驱动力矩和制动力矩计算得到第二反向横摆力矩以抵消所述横摆力矩差值△M，以使所述电动车辆进入稳定状态，其中，所述四个车轮的制动力矩根据所述四个电机的回馈制动力矩和所述四个液压制动器的制动力矩得到，所述四个车轮的驱动力矩根据所述四个电机的驱动力矩得到。

6.如权利要求5所述的电动车辆的主动安全控制系统，其特征在于，当所述主动安全控制器同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制时，其中，

如果所述主动安全控制器判断横摆控制需求制动力矩小于或等于所述回馈制动力矩，则完全利用所述回馈制动力矩得到所述四个车轮的制动力矩；

如果所述主动安全控制器判断横摆控制需求制动力矩大于所述回馈制动力矩，则同时利用所述回馈制动力矩和所述四个液压制动器的制动力矩得到所述四个车轮的制动力矩。

7.如权利要求4所述的电动车辆的主动安全控制系统，其特征在于，当所述主动安全控制器判断所述电动车辆处于右转向不足状态且所述电动车辆发生前轮侧滑时，其中，

如果所述横摆角速度差值△ψ′大于所述第一预设角速度且小于等于所述第二预设角速度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述四个车轮中左后轮对应的电机增加驱动力矩；

如果所述横摆角速度差值△ψ′大于所述第二预设角速度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述左后轮对应的电机增加驱动力矩，同时对所述四个车轮中右后轮进行制动控制。

8.如权利要求4所述的电动车辆的主动安全控制系统，其特征在于，当所述主动安全控制器判断所述电动车辆处于左转向不足状态且所述电动车辆发生前轮侧滑时，其中，

如果所述横摆角速度差值△ψ′大于所述第一预设角速度且小于等于所述第二预设角速度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述四个车轮中右后轮对应的电机增加驱动力矩；

如果所述横摆角速度差值△ψ′大于所述第二预设角速度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述右后轮对应的电机增加驱动力矩，同时对所述四个车轮中左后轮进行制动控制。

9.如权利要求4所述的电动车辆的主动安全控制系统，其特征在于，当所述主动安全控制器判断所述电动车辆处于右转过度转向状态且所述电动车辆发生后轮侧滑时，其中，

如果所述后轴侧偏角大于所述第一预设角度且小于等于所述第二预设角度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述四个车轮中右前轮对应的电机增加驱动力矩；

如果所述后轴侧偏角大于所述第二预设角度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述右前轮对应的电机增加驱动力，同时对所述四个车轮中左前轮进行制动。

10.如权利要求4所述的电动车辆的主动安全控制系统，其特征在于，当所述主动安全控制器判断所述电动车辆处于左转过度转向状态且所述电动车辆发生后轮侧滑时，其中，

如果所述后轴侧偏角大于所述第一预设角度且小于等于所述第二预设角度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述四个车轮中左前轮对应的电机增加驱动力矩；

如果所述后轴侧偏角大于所述第二预设角度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述左前轮对应的电机增加驱动力，同时对所述四个车轮中右前轮进行制动。

11.一种电动车辆，其特征在于，包括如权利要求1-10中任一项所述的电动车辆的主动安全控制系统。

12.一种如权利要求10所述的电动车辆的主动安全控制方法，其特征在于，包括以下步骤：

检测所述电动车辆的轮速以生成轮速信号，并通过所述方向盘转角传感器和所述偏航率传感器模组检测所述电动车辆的状态信息；

所述主动安全控制器与所述电机控制器之间进行相互通信以获取所述电池包的状态信息以及所述四个电机的状态信息，并接收所述轮速信号和所述电动车辆的状态信息；

所述主动安全控制器根据所述轮速信号、所述电动车辆的状态信息、所述电池包的状态信息以及所述四个电机的状态信息对所述四个液压制动器进行控制和通过所述电机控制器对所述四个电机进行控制，以在所述电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用所述四个电机的驱动力矩对所述电动车辆进行横摆控制，在所述电动车辆处于所述侧滑极限区间时同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制。

13.如权利要求12所述的电动车辆的主动安全控制方法，其特征在于，所述电动车辆的状态信息包括方向盘转角信号、所述电动车辆的实际横摆角速度和所述电动车辆的侧向加速度、纵向加速度。

14.如权利要求13所述的电动车辆的主动安全控制方法，其特征在于，在所述电动车辆行驶过程中，所述主动安全控制器根据所述方向盘转角信号、所述纵向加速度和所述轮速信号实时计算所述电动车辆的目标横摆角速度，并将所述目标横摆角速度与所述电动车辆的实际横摆角速度进行比较以获得横摆角速度差值△ψ′，同时所述主动安全控制器根据所述轮速信号、所述方向盘转角信号、所述纵向加速度、所述电动车辆的实际横摆角速度和所述电动车辆的侧向加速度计算所述电动车辆的后轴侧偏角，以及所述主动安全控制器根据所述目标横摆角速度和所述电动车辆的实际横摆角速度通过利用所述电动车辆的整车转动惯量以实时计算所述电动车辆的目标横摆力矩与实际横摆力矩之间的横摆力矩差值△M，其中，

当所述横摆角速度差值△ψ′大于第一预设角速度且小于等于第二预设角速度或者所述后轴侧偏角大于第一预设角度且小于等于第二预设角度时，所述主动安全控制器判断所述电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前；

当所述横摆角速度差值△ψ′大于所述第二预设角速度或者所述后轴侧偏角大于所述第二预设角度时，所述主动安全控制器判断所述电动车辆处于所述侧滑极限区间。

15.如权利要求14所述的电动车辆的主动安全控制方法，其特征在于，

当所述主动安全控制器利用所述四个电机的驱动力矩对所述电动车辆进行横摆控制

时，所述主动安全控制器通过利用整车动力学模型和轮胎模型，根据所述电动车辆在当前状态下所述四个车轮的驱动力矩计算得到第一反向横摆力矩，并根据所述第一反向横摆力矩对所述电动车辆进行横摆控制以校正所述电动车辆的姿态，其中，所述四个车轮的驱动力矩根据所述四个电机的驱动力矩得到；

当所述主动安全控制器同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制时，所述主动安全控制器通过利用所述整车动力学模型和所述轮胎模型，根据所述电动车辆在当前状态下所述四个车轮的驱动力矩和制动力矩计算得到第二反向横摆力矩以抵消所述横摆力矩差值△M，以使所述电动车辆进入稳定状态，其中，所述四个车轮的制动力矩根据所述四个电机的回馈制动力矩和所述四个液压制动器的制动力矩得到，所述四个车轮的驱动力矩根据所述四个电机的驱动力矩得到。

16.如权利要求15所述的电动车辆的主动安全控制方法，其特征在于，当所述主动安全控制器同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制时，其中，

如果所述主动安全控制器判断横摆控制需求制动力矩小于或等于所述回馈制动力矩，则完全利用所述回馈制动力矩得到所述四个车轮的制动力矩；

如果所述主动安全控制器判断横摆控制需求制动力矩大于所述回馈制动力矩，则同时利用所述回馈制动力矩和所述四个液压制动器的制动力矩得到所述四个车轮的制动力矩。

17.如权利要求14所述的电动车辆的主动安全控制方法，其特征在于，当所述主动安全控制器判断所述电动车辆处于右转向不足状态且所述电动车辆发生前轮侧滑时，其中，

如果所述横摆角速度差值△ψ′大于所述第一预设角速度且小于等于所述第二预设角速度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述四个车轮中左后轮对应的电机增加驱动力矩；

如果所述横摆角速度差值△ψ′大于所述第二预设角速度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述左后轮对应的电机增加驱动力矩，同时对所述四个车轮中右后轮进行制动控制。

18.如权利要求14所述的电动车辆的主动安全控制方法，其特征在于，当所述主动安全控制器判断所述电动车辆处于左转向不足状态且所述电动车辆发生前轮侧滑时，其中，

如果所述横摆角速度差值△ψ′大于所述第一预设角速度且小于等于所述第二预设角速度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述四个车轮中右后轮对应的电机增加驱动力矩；

如果所述横摆角速度差值△ψ′大于所述第二预设角速度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述右后轮对应的电机增加驱动力矩，同时对所述四个车轮中左后轮进行制动控制。

19.如权利要求14所述的电动车辆的主动安全控制方法，其特征在于，当所述主动安全控制器判断所述电动车辆处于右转过度转向状态且所述电动车辆发生后轮侧滑时，其中，

如果所述后轴侧偏角大于所述第一预设角度且小于等于所述第二预设角度，所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述四个车轮中右前轮对应的电机增加驱动力矩；

如果所述后轴侧偏角大于所述第二预设角度，所述主动安全控制器通过所述电机控制

器控制所述右前轮对应的电机增加驱动力,同时对所述四个车轮中左前轮进行制动。

20.如权利要求14所述的电动车辆的主动安全控制方法,其特征在于,当所述主动安全控制器判断所述电动车辆处于左转过度转向状态且所述电动车辆发生后轮侧滑时,其中,

如果所述后轴侧偏角大于所述第一预设角度且小于等于所述第二预设角度,所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述四个车轮中左前轮对应的电机增加驱动力矩;

如果所述后轴侧偏角大于所述第二预设角度,所述主动安全控制器通过所述电机控制器控制所述左前轮对应的电机增加驱动力,同时对所述四个车轮中右前轮进行制动。

电动车辆及其主动安全控制系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电动车辆技术领域，特别涉及一种电动车辆的主动安全控制系统、一种电动车辆的主动安全控制方法以及一种电动车辆。

背景技术

[0002] ESP(Electronic Stability Program,电子车辆稳定控制系统)是一种能够在极限工况下帮助驾驶员保持车辆稳定的汽车电子控制系统。通常它由传感器系统(包括方向盘转角传感器、横摆角速度传感器、侧向加速度传感器、轮速传感器)、液压执行系统以及ECU(Electronic Control Unit,电子控制单元)组成。ESP的基本原理是根据驾驶员的操纵意图，通过对处于临界稳定状态的汽车实施纵向动力学控制(间接的侧向力控制)，从而避免车辆进入不可控的非稳定状态，同时也力争保证车辆在极限工况下的操纵特性与日常驾驶线性区工况下相一致，使驾驶员可赖其以往线性区的驾驶经验对车辆进行操作，达到控制车辆的目的。

[0003] 目前在传统车辆上，液压制动系统是必不可少的，因此目前车辆上的ESP是在液压制动的基础上实现对车辆的稳定控制，但是，液压制动系统较为复杂，并且响应较慢，影响车辆驾驶的安全性。

发明内容

[0004] 本申请是基于发明人对以下问题的认识和研究做出的：

[0005] 相关技术中提出了一种汽车电子稳定控制系统，其包括：若干车轮、若干传感器、电源、控制单元，所述的传感器将感应到的信号发送给控制单元，该系统还包括与车轮集成在一起的轮边电机，所述轮边电机与电源通过动力线连接、所述的控制单元发送控制信号给轮边电机。该方案利用轮边电机的制动功能来替代原来的液压制动执行系统，达到ESP的控制效果。

[0006] 由此可知，全轮驱动的电动汽车可以利用电机的制动回馈特性进行横摆力矩控制，可以取代液压ESP的作用。但是，电动汽车的高续航里程、高性能要求导致整车质量、整车转动惯量也越来越大，与车轮集成在一起的轮毂电机由于布置空间的限制，无法提供足够的再生制动力，因而在主动控制横摆力矩的提供上存在天然劣势；并且从整车动力学角度来看，相关技术中的汽车电子稳定控制系统只能从制动的角度对车辆进行横摆控制，车辆的操稳性能并不理想，降低了车辆的安全性。

[0007] 同时，电动汽车在利用电机的制动回馈特性时还有一些限制，例如电池容量过高无法进行制动回馈，或者电机由于自身特性导致低转速和高转速时的回馈能力有限等，这些情况会导致电机无法对车辆的制动要求做出及时、有力的响应，从而导致车辆的行驶状态持续恶化，使车辆进入不可控的非稳定状态，从一定程度上影响车辆驾驶的安全性。

[0008] 本发明的目的旨在至少解决上述的技术缺陷之一。

[0009] 为此，本发明的第一个目的在于提出一种电动车辆的主动安全控制系统，以解决

全轮驱动电动汽车的车身动态控制问题和液压电子稳定控制系统存在的响应速度慢的问题，并且可大大提升车辆的操稳性和安全性。

[0010] 本发明的第二个目的在于提出一种电动车辆。本发明的第三个目的在于提出一种电动车辆的主动安全控制方法。

[0011] 为达到上述目的，本发明第一方面实施例提出的一种电动车辆的主动安全控制系统，包括：四个车轮；四个独立控制的电机，每个所述电机对应每个所述车轮设置；轮速检测模块，所述轮速检测模块用于检测所述电动车辆的轮速以生成轮速信号；四个液压制动器，每个所述液压制动器对应每个所述车轮设置；方向盘转角传感器；偏航率传感器模组；电池包；电机控制器，所述电机控制器通过高压线与所述电池包和所述四个电机分别相连；主动安全控制器，所述主动安全控制器与所述电机控制器之间进行相互通信，并与所述方向盘转角传感器和所述偏航率传感器模组进行通信，以及通过制动管路与每个所述液压制动器相连，所述主动安全控制器接收所述轮速检测模块发送的所述轮速信号、所述方向盘转角传感器和所述偏航率传感器模组发送的所述电动车辆的状态信息，并根据所述轮速信号、所述电动车辆的状态信息、所述电池包的状态信息以及所述四个电机的状态信息对所述四个液压制动器进行控制和通过所述电机控制器对所述四个电机进行控制，以在所述电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用所述四个电机的驱动力矩对所述电动车辆进行横摆控制，在所述电动车辆处于所述侧滑极限区间时同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制。

[0012] 根据本发明实施例的电动车辆的主动安全控制系统，在电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用四个电机的驱动力矩对电动车辆进行横摆控制，纠正电动车辆的姿态，提高电动车辆过弯速度，避免制动带来的车速下降，提升电动车辆的操稳性；在电动车辆处于侧滑极限区间时同时利用四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器的制动力矩对电动车辆进行横摆控制，使得电动车辆更迅速地进入稳定状态，提升电动车辆的安全性，并且在电机回馈制动能力有限时，可通过液压制动器的制动力矩和电机的回馈制动力矩联合控制，以快速进行液压制动力矩补充，实现主动安全控制器的联合控制功能，扩大系统的适用范围，因此不仅解决了全轮驱动电动汽车的车身动态控制问题和液压电子稳定控制系统存在的响应速度慢的问题，还可大大提升车辆的操稳性和安全性。此外，本发明实施例的电动车辆的主动安全控制系统设置了全轮轮边电机加传动轴的驱动架构，不仅有利于空间布置，还能显著提高电动车辆的驱动、制动回馈能力。

[0013] 为达到上述目的，本发明第二方面实施例提出了一种电动车辆，其包括上述的电动车辆的主动安全控制系统。

[0014] 根据本发明实施例的电动车辆，在发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用四个电机的驱动力矩进行横摆控制，纠正电动车辆的姿态，提高电动车辆过弯速度，避免制动带来的车速下降，提升操稳性；在处于侧滑极限区间时同时利用四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器的制动力矩进行横摆控制，更迅速地进入稳定状态，提升了安全性，并且在电机回馈制动能力有限时，可通过液压制动器的制动力矩和电机的回馈制动力矩联合控制，以快速进行液压制动力矩补充，实现主动安全控制器的联合控制功能，适用范围广，安全性更高。

[0015] 为达到上述目的，本发明第三方面实施例提出的一种电动车辆的主动安全控制方

法，包括以下步骤：检测所述电动车辆的轮速以生成轮速信号，并通过所述方向盘转角传感器和所述偏航率传感器模组检测所述电动车辆的状态信息；所述主动安全控制器与所述电机控制器之间进行相互通信以获取所述电池包的状态信息以及所述四个电机的状态信息，并接收所述轮速信号和所述电动车辆的状态信息；所述主动安全控制器根据所述轮速信号、所述电动车辆的状态信息、所述电池包的状态信息以及所述四个电机的状态信息对所述四个液压制动器进行控制和通过所述电机控制器对所述四个电机进行控制，以在所述电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用所述四个电机的驱动力矩对所述电动车辆进行横摆控制，在所述电动车辆处于所述侧滑极限区间时同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制。

[0016] 根据本发明实施例的电动车辆的主动安全控制方法，在电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用四个电机的驱动力矩对电动车辆进行横摆控制，纠正电动车辆的姿态，提高电动车辆过弯速度，避免制动带来的车速下降，提升电动车辆的操稳性；在电动车辆处于侧滑极限区间时同时利用四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器的制动力矩对电动车辆进行横摆控制，使得电动车辆更迅速地进入稳定状态，提升电动车辆的安全性，并且在电机回馈制动能力有限时，可通过液压制动器的制动力矩和电机的回馈制动力矩联合控制，以快速进行液压制动力矩补充，实现主动安全控制器的联合控制功能，扩大系统的适用范围，因此不仅解决了全轮驱动电动汽车的车身动态控制问题和液压电子稳定控制系统存在的响应速度慢的问题，还可大大提升电动车辆的操稳性和安全性。

[0017] 本发明附加的方面和优点将在下面的描述中部分给出，部分将从下面的描述中变得明显，或通过本发明的实践了解到。

附图说明

[0018] 本发明上述的和/或附加的方面和优点从下面结合附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解，其中：

[0019] 图1为根据本发明实施例的电动车辆的主动安全控制系统的结构框图；

[0020] 图2为根据本发明一个实施例的电动车辆右转向不足时主动安全控制系统对电动车辆进行主动安全控制的示意图；

[0021] 图3为根据本发明一个实施例的电动车辆左转向不足时主动安全控制系统对电动车辆进行主动安全控制的示意图；

[0022] 图4为根据本发明另一个实施例的电动车辆右转过度时主动安全控制系统对电动车辆进行主动安全控制的示意图；

[0023] 图5为根据本发明另一个实施例的电动车辆左转过度时主动安全控制系统对电动车辆进行主动安全控制的示意图；以及

[0024] 图6为根据本发明实施例的电动车辆的主动安全控制方法的流程图。

具体实施方式

[0025] 下面详细描述本发明的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，仅用于解释本发明，而不能解释为对本发明的限制。

[0026] 下文的公开提供了许多不同的实施例或例子用来实现本发明的不同结构。为了简化本发明的公开，下文中对特定例子的部件和设置进行描述。当然，它们仅仅为示例，并且目的不在于限制本发明。此外，本发明可以在不同例子中重复参考数字和/或字母。这种重复是为了简化和清楚的目的，其本身不指示所讨论各种实施例和/或设置之间的关系。此外，本发明提供了的各种特定的工艺和材料的例子，但是本领域普通技术人员可以意识到其他工艺的可应用于性和/或其他材料的使用。另外，以下描述的第一特征在第二特征之“上”的结构可以包括第一和第二特征形成为直接接触的实施例，也可以包括另外的特征形成在第一和第二特征之间的实施例，这样第一和第二特征可能不是直接接触。

[0027] 在本发明的描述中，需要说明的是，除非另有规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是机械连接或电连接，也可以是两个元件内部的连通，可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。

[0028] 下面参照附图来描述根据本发明实施例提出的电动车辆的主动安全控制系统、电动车辆的主动安全控制方法以及具有该主动安全控制系统的电动车辆。

[0029] 图1为根据本发明实施例的电动车辆的主动安全控制系统的结构框图。如图1所示，该电动车辆的主动安全控制系统包括：电机控制器1、电池包2、四个独立控制的电机3、四个变速器4、四根传动轴5、四个车轮7、轮速检测模块100、集成液压调节单元的主动安全控制器8、偏航率传感器模组9、方向盘转角传感器10和四个液压制动器12。

[0030] 其中，每个变速器4通过传动轴5与每个车轮7连接，每个电机3对应每个车轮设置，且与每个变速4器相连。轮速检测模块100用于检测电动车辆的轮速以生成轮速信号，每个液压制动器12对应每个车轮7设置，电机控制器1通过高压线与电池包2和四个电机3分别相连。主动安全控制器8与电机控制器1之间进行相互通信，并与方向盘转角传感器10和偏航率传感器模组9进行通信，以及通过制动管路与每个液压制动器12相连，主动安全控制器8接收轮速检测模块100发送的所述轮速信号、方向盘转角传感器10和偏航率传感器模组9发送的所述电动车辆的状态信息，并根据所述轮速信号、所述电动车辆的状态信息、所述电池包的状态信息以及四个电机3的状态信息对四个液压制动器12进行控制和通过电机控制器1对四个电机3进行控制，以在电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用四个电机3的驱动力矩对电动车辆进行横摆控制，在电动车辆处于侧滑极限区间时同时利用四个电机3的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器12的制动力矩对电动车辆进行横摆控制。

[0031] 因此说，本发明实施例的电动车辆的主动安全控制系统在电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前即电动车辆侧滑初期未处在极限附着侧滑工况下利用四个轮边电机的驱动功能来提升电动车辆操稳能力，同时在电动车辆处于侧滑极限区间即电动车辆在侧滑极限附着工况下利用电机驱动、电机制动和液压制动的功能来替代原有的液压电子控制系统，具有响应速度快、调节范围大的优点，并更好地提升电动车辆主动安全性能。其中，侧滑极限区间是指电动车辆发生侧滑且还能够处于可控制的极限工况，可通过电动车辆的横摆角速度差值或后轴侧偏角进行判断。

[0032] 具体而言，如图1所示，方向盘转角传感器10和偏航率传感器模组9通过CAN网络将感应到电动车辆的状态信息发送给主动安全控制器8。轮速检测模块100可包括四个轮速传感器11和/或四个旋变传感器6，其中，每个所述轮速传感器对应每个所述车轮设置，每个所

述旋变传感器对应每个所述电机设置。四个旋变传感器6可通过硬线连接至电机控制器1，为四个电机的力矩精确控制提供输入信息，四个轮速传感器11可通过硬线连接至主动安全控制器8，用以提供四个车轮的运动状态信息，并且两者均能提供测量轮速功能，并且可以选择任意一套轮速测量系统，也可以同时使用两套轮速测量系统，相互校验，这样如出现一套轮速传感器失效时，则以另一套测量的轮速作为判断依据。如图1所示，本发明实施例的电动车辆的主动安全控制系统就是采用四个旋变传感器6和四个轮速传感器11分别组成的两套轮速测量系统，其中，四个旋变传感器6将测量信息发送给电机控制器1，电机控制器1可将四个旋变传感器6的测量信息发送给主动安全控制器8，以供主动安全控制器8进行测量轮速使用，四个轮速传感器11可将检测的四个车轮的运动状态信息直接发送给主动安全控制器8，以供主动安全控制器8进行测量轮速使用。四个电机3独立控制，互不影响，每个电机3与每个变速器4固连在一起，每个变速器4与每个车轮7通过传动轴5进行连接。

[0033] 并且，集成液压调节单元的主动安全控制器8通过制动管路分别与四个液压制动器12连接在一起，传播介质为制动液，可以实现单个车轮的液压制动力精确控制；液压制动器12固定在车轮7上，通过液压对摩擦片的压缩提供制动力；电池包2通过高压线与电机控制器1连接，可以实现充电、放电过程；电机控制器1通过高压线与四个电机3连接，四个电机3独立控制互不影响，四个电机3均可以独立提供驱动或制动功能；集成液压调节单元的主动安全控制器8与电机控制器1可通过CAN网络进行连接以进行信息交互，集成液压调节单元的主动安全控制器8通过CAN网络发指令给电机控制器1，要求电机控制器1对四个车轮的电机进行力矩控制，以提供合适的驱动力矩或制动力矩，同时集成液压调节单元的主动安全控制器8可以根据电机控制器1提供的电机回馈制动力矩及时调整对应车轮的液压制动力矩，进行两种制动力矩的联合控制。

[0034] 因此说，在本发明的实施例中，主动安全控制器8接收到方向盘转角传感器10、偏航率传感器模组9、轮速传感器11、电池包2、四个电机3等各个部件的状态信号后，判断电动车辆的整车姿态及路面状况。在需要对电动车辆进行姿态调整时，主动安全控制器8依据方向盘转角传感器10、偏航率传感器模组9、轮速传感器11检测的数据，通过计算获得相应的控制信息，同时根据电池包2的状态，四个电机3的能力，发出控制指令，通过电机控制器1让四个电机3发出驱动力矩或制动力矩，并控制四个液压控制器12以及时调整对应车轮的液压制动力矩，从而改变车轮端的力矩，达到主动安全控制器8制定的目标数据，同时使电动车辆达到稳定状态。在执行过程中，主动安全控制器8实时监控方向盘转角传感器10、偏航率传感器模组9、旋变传感器6、轮速传感器11、电池包2、四个电机3等部件的状态，通过接收到的参数进行判断，并实时调整目标参数，同时控制四个电机和四个液压制动器。

[0035] 根据本发明的一个实施例，偏航率传感器模组包括横摆角速度传感器、纵向加速度传感器和侧向加速度传感器。

[0036] 并且，在电动车辆行驶过程中，主动安全控制器8根据方向盘转角传感器10检测的方向盘转角信号、纵向加速度传感器检测的纵向加速度和轮速信号实时计算电动车辆的目标横摆角速度 $\Psi'_{target}=\frac{V_x\times\delta}{L\times(1+(\frac{V_x}{V_{ch}})^2)}$ (V_x为纵向车速，V_x根据电动车辆的四个车轮的轮速信号和纵向加速度估算得到，δ为前轮转角，δ根据方向盘转角信号得到，其中，电动车辆的方

向盘转角与前轮转角之间的比值固定，因此可通过方向盘转角信号计算得到前轮转角，L为轴距，V_{ch}为特征车速)，并将目标横摆角速度与横摆角速度传感器检测的电动车辆的实际横摆角速度Ψ'_{actual}进行比较以获得横摆角速度差值$\Delta\Psi'=\Psi'_{target}-\Psi'_{actual}$，同时主动安全控制器8根据轮速信号、方向盘转角信号、纵向加速度、电动车辆的实际横摆角速度和侧向加速度传感器检测的电动车辆的侧向加速度计算电动车辆的后轴侧偏角$\alpha_r=-\beta+\frac{L_r\Psi'}{V_x}$($\alpha_r$为后轴侧偏角，β质心侧偏角，β约等于纵向车速除以侧向车速，纵向车速V_x根据电动车辆的四个车轮的轮速信号和纵向加速度估算得到，侧向车速通过侧向加速度进行积分求得，L_r为质心与后轴的距离，是一个预设值，Ψ′为实际横摆角速度)，以及主动安全控制器8根据目标横摆角速度和电动车辆的实际横摆角速度通过利用电动车辆的整车转动惯量I以实时计算电动车辆的目标横摆力矩与实际横摆力矩之间的横摆力矩差值$\Delta M=I\times(\Psi'_{target}-\Psi'_{actual})$。其中，在主动安全控制器8中还设有横摆角速度差值门限$\Delta\Psi'_1$即第一预设角速度、后轴侧偏角门限值α_{r1}即第一预设角度(电机驱动介入横摆控制门限)以及横摆角速度差值门限$\Delta\Psi'_2$即第二预设角速度、后轴侧偏角门限值α_{r2}即第二预设角度(电机制动和液压制动介入横摆控制门限)。

[0037] 需要说明的是，在本发明的实施例中，如果横摆角速度差值△ψ′小于第一预设角速度或者后轴侧偏角小于第一预设角度，说明电动车辆未发生侧滑，整车运行稳定，无需主动安全控制系统介入控制；如果横摆角速度差值△ψ′大于第一预设角速度且小于等于第二预设角速度或者后轴侧偏角大于第一预设角度且小于等于第二预设角度，说明电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前，需要控制主动安全控制系统进入驱动力横摆控制模式，以利用所述四个电机的驱动力矩对所述电动车辆进行横摆控制；如果横摆角速度差值△ψ′大于第二预设角速度或者后轴侧偏角大于第二预设角度，说明电动车辆发生处于侧滑极限区间，需要控制主动安全控制系统同时进入驱动力横摆控制模式和制动力横摆控制模式，以同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制。

[0038] 其中，当横摆角速度差值△ψ′大于第一预设角速度且小于等于第二预设角速度或者后轴侧偏角大于第一预设角度且小于等于第二预设角度时，主动安全控制器8判断电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前，并控制主动安全控制系统进入驱动力横摆控制模式。并且当主动安全控制系统进入驱动力横摆控制模式后，即当所述主动安全控制器利用所述四个电机的驱动力矩对所述电动车辆进行横摆控制时，主动安全控制器8通过利用整车动力学模型和轮胎模型，根据电动车辆在当前状态下四个车轮的驱动力矩计算得到第一反向横摆力矩(与△M方向相反)，并根据第一反向横摆力矩对电动车辆进行横摆控制以校正电动车辆的姿态，其中，所述四个车轮的驱动力矩根据所述四个电机的驱动力矩得到。即言，主动安全控制器8计算得到每个车轮对应的可利用的主动控制横摆力矩值，并根据计算得到的四个可利用的主动控制横摆力矩值选择对最大的一个或两个可利用的主动控制横摆力矩值对应的车轮增加驱动力以进行横摆力矩控制，从而可提升电动车辆的过弯速度，纠正电动车辆的姿态，提升电动车辆的操稳性。其中，需要说明的是，同一个车轮的力矩方向会随着车辆姿态变化，例如某一时刻即T1时刻的左前轮力矩可用，某另一时刻即T2时刻左前轮力矩可能起反作用，就不能使用，因此，四个车轮的反向横摆力矩是瞬态的，简单概

括为可利用的主动控制横摆力矩。

[0039] 当横摆角速度差值△ψ′大于第二预设角速度或者后轴侧偏角大于第二预设角度时，主动安全控制器8判断电动车辆进入了极限附着侧滑工况即处于侧滑极限区间，并控制主动安全控制系统同时进入驱动力横摆控制模式和制动力横摆控制模式。并且当主动安全控制系统同时进入驱动力横摆控制模式和制动力横摆控制模式后，即当所述主动安全控制器同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制时，主动安全控制器8通过利用整车动力学模型和轮胎模型，根据电动车辆在当前状态下四个车轮的驱动力矩和制动力矩计算得到第二反向横摆力矩以抵消横摆力矩差值△M，以使电动车辆进入稳定状态，其中，四个车轮的制动力矩根据四个电机的回馈制动力矩和四个液压制动器的制动力矩得到，所述四个车轮的驱动力矩根据所述四个电机的驱动力矩得到。需要说明的是，制动力是通过集成液压调节单元的主动安全控制器8对电机回馈制动和液压制动器的联合控制实现，当电机回馈制动能力受限时，液压制动器及时进行液压制动力补充，相比于传统ESP，可充分利用电机响应迅速的特点，可以使车辆更快地进入稳定状态。

[0040] 根据本发明的一个实施例，当主动安全控制器8同时利用四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器的制动力矩对电动车辆进行横摆控制时，其中，如果主动安全控制器8判断横摆控制需求制动力矩小于或等于回馈制动力矩，则完全利用回馈制动力矩得到四个车轮的制动力矩；如果主动安全控制器8判断横摆控制需求制动力矩大于回馈制动力矩，则同时利用回馈制动力矩和四个液压制动器的制动力矩得到四个车轮的制动力矩。

[0041] 也就是说，主动安全控制系统同时进入驱动力横摆控制模式和制动力横摆控制模式后，当横摆控制需求制动力矩$T_{request}$小于等于电机能够提供的回馈制动力矩$T_{brake\text{-}motor}$时，完全利用电机的回馈制动力矩进行控制；当横摆控制需求制动力矩$T_{request}$大于电机能够提供的回馈制动力矩$T_{brake\text{-}motor}$时，首先利用电机的回馈制动力矩$T_{brake\text{-}motor}$进行控制，同时计算出需求的液压制动力矩$T_{brake\text{-}hydraulic}=T_{request}-T_{brake\text{-}motor}$，集成液压调节单元的主动安全控制器8快速进行液压的主动增压介入横摆力矩控制。因此，在本发明的实施例中，针对电机回馈制动能力不足的情况可以及时地利用液压制动力进行补充控制，以解决全轮驱动电动车辆电机回馈方面存在的问题。

[0042] 具体地，根据本发明的一个实施例，如图2所示，当主动安全控制器8判断电动车辆处于右转向不足状态且电动车辆发生前轮侧滑时，其中，如果横摆角速度差值△ψ′大于第一预设角速度且小于等于第二预设角速度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制四个车轮中左后轮对应的电机增加驱动力矩，保证额外增加的驱动力矩产生的主动横摆力矩M＝-△M，提升电动车辆的过弯速度，提升电动车辆的操稳特性；如果横摆角速度差值△ψ′大于第二预设角速度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制左后轮对应的电机增加驱动力矩，同时对四个车轮中右后轮进行制动控制，并同时进行$T_{request}$和$T_{brake\text{-}motor}$的判断，保证驱动和制动共同产生的主动横摆力矩M＝-△M，使电动车辆尽快进入稳定状态。

[0043] 根据本发明的一个实施例，如图3所示，当主动安全控制器8判断电动车辆处于左转向不足状态且电动车辆发生前轮侧滑时，其中，如果横摆角速度差值△ψ′大于第一预设角速度且小于等于第二预设角速度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制四个车轮中右

后轮对应的电机增加驱动力矩，保证额外增加的驱动力矩产生的主动横摆力矩M＝-△M，提升电动车辆的过弯速度，提升电动车辆的操稳特性；如果横摆角速度差值△ψ′大于第二预设角速度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制右后轮对应的电机增加驱动力矩，同时对四个车轮中左后轮进行制动控制，并同时进行$T_{request}$和$T_{brake-motor}$的判断，保证驱动和制动共同产生的主动横摆力矩M＝-△M，使电动车辆尽快进入稳定状态。

[0044] 具体地，根据本发明的另一个实施例，如图4所示，当主动安全控制器8判断电动车辆处于右转过度转向状态且电动车辆发生后轮侧滑时，其中，如果后轴侧偏角大于第一预设角度且小于等于第二预设角度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制四个车轮中右前轮对应的电机增加驱动力矩，保证驱动力矩产生的主动横摆力矩M＝-△M，提升电动车辆的过弯速度，提升电动车辆的操稳特性；如果后轴侧偏角大于第二预设角度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制右前轮对应的电机增加驱动力矩，同时对四个车轮中左前轮进行制动控制，并同时进行$T_{request}$和$T_{brake-motor}$的判断，保证驱动和制动共同产生的主动横摆力矩M＝-△M，使电动车辆尽快进入稳定状态。

[0045] 根据本发明的另一个实施例，如图5所示，当主动安全控制器8判断电动车辆处于左转过度转向状态且电动车辆发生后轮侧滑时，其中，如果后轴侧偏角大于第一预设角度且小于等于第二预设角度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制四个车轮中左前轮对应的电机增加驱动力矩，保证驱动力矩产生的主动横摆力矩M＝-△M，提升电动车辆的过弯速度，提升电动车辆的操稳特性；如果后轴侧偏角大于第二预设角度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制左前轮对应的电机增加驱动力矩，同时对四个车轮中右前轮进行制动控制，并同时进行$T_{request}$和$T_{brake-motor}$的判断，保证驱动和制动共同产生的主动横摆力矩M＝-△M，使电动车辆尽快进入稳定状态。

[0046] 其中，当电动车辆实际横摆角速度与目标横摆角速度的偏差大于设定的门限值，但后轴侧偏角没有达到设定的门限值，说明前轮转向不足；当后轴侧偏角达到设定的门限值，但电动车辆的实际横摆角速度与目标横摆角速度的偏差没有达到设定的门限值，说明后轮转向过度。而电动车辆的左右转向可通过方向盘转角信号的正负值进行判断得到。由此，在本发明的实施例中，主动安全控制器可判断电动车辆的当前转向状态，例如右转向不足、左转向不足、右转向过度、左转向过度等。

[0047] 根据本发明实施例的电动车辆的主动安全控制系统，在电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用四个电机的驱动力矩对电动车辆进行横摆控制，纠正电动车辆的姿态，提高电动车辆过弯速度，避免制动带来的车速下降，提升电动车辆的操稳性；在电动车辆处于侧滑极限区间时同时利用四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器的制动力矩对电动车辆进行横摆控制，使得电动车辆更迅速地进入稳定状态，提升电动车辆的安全性，并且在电机回馈制动能力有限时，可通过液压制动器的制动力矩和电机的回馈制动力矩联合控制，以快速进行液压制动力矩补充，实现主动安全控制器的联合控制功能，扩大系统的适用范围，因此不仅解决了全轮驱动电动汽车的车身动态控制问题和液压电子稳定控制系统存在的响应速度慢的问题，还可大大提升车辆的操稳性和安全性。此外，本发明实施例的电动车辆的主动安全控制系统设置了全轮轮边电机加变速器加传动轴的驱动架构，不仅有利于空间布置，还能显著提高电动车辆的驱动、制动回馈能力。

[0048] 并且，本发明的实施例还提出了一种电动车辆，其包括上述的电动车辆的主动安

全控制系统。

[0049] 根据本发明实施例的电动车辆，在发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用四个电机的驱动力矩进行横摆控制，纠正电动车辆的姿态，提高电动车辆过弯速度，避免制动带来的车速下降，提升操稳性；在处于侧滑极限区间时同时利用四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器的制动力矩进行横摆控制，更迅速地进入稳定状态，提升了安全性，并且在电机回馈制动能力有限时，可通过液压制动器的制动力矩和电机的回馈制动力矩联合控制，以快速进行液压制动力矩补充，实现主动安全控制器的联合控制功能，适用范围广，安全性更高。

[0050] 图6为根据本发明实施例的电动车辆的主动安全控制方法的流程图。其中，该电动车辆采用上述实施例描述的电动车辆的主动安全控制系统。如图6所示，该电动车辆的主动安全控制方法包括以下步骤：

[0051] S1，检测电动车辆的轮速以生成轮速信号，并通过方向盘转角传感器和偏航率传感器模组检测电动车辆的状态信息。

[0052] 其中，电动车辆的状态信息括方向盘转角信号、电动车辆的实际横摆角速度和电动车辆的侧向加速度、纵向加速度。方向盘转角信号可通过方向盘转角传感器检测得到，电动车辆的实际横摆角速度和电动车辆的侧向加速度、纵向加速度可通过偏航率传感器模组检测得到。

[0053] S2，主动安全控制器与电机控制器之间进行相互通信以获取电池包的状态信息以及四个电机的状态信息，并接收轮速信号和电动车辆的状态信息。

[0054] S3，主动安全控制器根据轮速信号、电动车辆的状态信息、电池包的状态信息以及四个电机的状态信息对四个液压制动器进行控制和通过电机控制器对四个电机进行控制，以在电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用四个电机的驱动力矩对电动车辆进行横摆控制，在电动车辆处于侧滑极限区间时同时利用四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器的制动力矩对电动车辆进行横摆控制。

[0055] 根据本发明的一个实施例，在电动车辆行驶过程中，主动安全控制器根据方向盘转角信号、纵向加速度和轮速信号实时计算电动车辆的目标横摆角速度，并将目标横摆角速度与电动车辆的实际横摆角速度进行比较以获得横摆角速度差值△ψ′，同时主动安全控制器还根据轮速信号、方向盘转角信号、纵向加速度、电动车辆的实际横摆角速度和电动车辆的侧向加速度计算电动车辆的后轴侧偏角，以及主动安全控制器根据目标横摆角速度和电动车辆的实际横摆角速度通过利用电动车辆的整车转动惯量以实时计算电动车辆的目标横摆力矩与实际横摆力矩之间的横摆力矩差值△M，其中，当横摆角速度差值△ψ′大于第一预设角速度且小于等于第二预设角速度或者后轴侧偏角大于第一预设角度且小于等于第二预设角度时，主动安全控制器判断电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前，并控制主动安全控制系统进入驱动力横摆控制模式，以利用所述四个电机的驱动力矩对所述电动车辆进行横摆控制；当横摆角速度差值△ψ′大于第二预设角速度或者后轴侧偏角大于第二预设角度时，主动安全控制器判断电动车辆进入了极限附着侧滑工况即处于侧滑极限区间，并控制主动安全控制系统同时进入驱动力横摆控制模式和制动力横摆控制模式，以同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制。

[0056] 并且，当主动安全控制系统进入驱动力横摆控制模式后，即当主动安全控制器利用四个电机的驱动力矩对电动车辆进行横摆控制时，主动安全控制器通过利用整车动力学模型和轮胎模型，根据电动车辆在当前状态下所述四个车轮的驱动力矩计算得到第一反向横摆力矩，并根据所述第一反向横摆力矩对所述电动车辆进行横摆控制以校正所述电动车辆的姿态，其中，所述四个车轮的驱动力矩根据所述四个电机的驱动力矩得到；当主动安全控制系统同时进入驱动力横摆控制模式和制动力横摆控制模式后，即当所述主动安全控制器同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制时，所述主动安全控制器通过利用所述整车动力学模型和所述轮胎模型，根据所述电动车辆在当前状态下所述四个车轮的驱动力矩和制动力矩计算得到第二反向横摆力矩以抵消所述横摆力矩差值△M，以使所述电动车辆进入稳定状态，其中，所述四个车轮的制动力矩根据所述四个电机的回馈制动力矩和所述四个液压制动器的制动力矩得到，所述四个车轮的驱动力矩根据所述四个电机的驱动力矩得到。

[0057] 根据本发明的一个实施例，当所述主动安全控制器同时利用所述四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、所述四个液压制动器的制动力矩对所述电动车辆进行横摆控制时，其中，如果所述主动安全控制器判断横摆控制需求制动力矩小于或等于所述回馈制动力矩，则完全利用所述回馈制动力矩得到所述四个车轮的制动力矩；如果所述主动安全控制器判断横摆控制需求制动力矩大于所述回馈制动力矩，则同时利用所述回馈制动力矩和所述四个液压制动器的制动力矩得到所述四个车轮的制动力矩。

[0058] 也就是说，主动安全控制系统同时进入驱动力横摆控制模式和制动力横摆控制模式后，当横摆控制需求制动力矩$T_{request}$小于等于电机能够提供的回馈制动力矩$T_{brake-motor}$时，完全利用电机的回馈制动力矩进行控制；当横摆控制需求制动力矩$T_{request}$大于电机能够提供的回馈制动力矩$T_{brake-motor}$时，首先利用电机的回馈制动力矩$T_{brake-motor}$进行控制，同时计算出需求的液压制动力矩$T_{brake-hydraulic}=T_{request}-T_{brake-motor}$，集成液压调节单元的主动安全控制器8快速进行液压的主动增压介入横摆力矩控制。因此，在本发明的实施例中，针对电机回馈制动能力不足的情况可以及时地利用液压制动力进行补充控制，以解决全轮驱动电动车辆电机回馈方面存在的问题。

[0059] 具体地，根据本发明的一个实施例，如图2所示，当主动安全控制器8判断电动车辆处于右转向不足状态且电动车辆发生前轮侧滑时，其中，如果横摆角速度差值△ψ′大于第一预设角速度且小于等于第二预设角速度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制四个车轮中左后轮对应的电机增加驱动力矩，保证额外增加的驱动力矩产生的主动横摆力矩M=-△M，提升电动车辆的过弯速度，提升电动车辆的操稳特性；如果横摆角速度差值△ψ′大于第二预设角速度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制左后轮对应的电机增加驱动力矩，同时对四个车轮中右后轮进行制动控制，并同时进行$T_{request}$和$T_{brake-motor}$的判断，保证驱动和制动共同产生的主动横摆力矩M=-△M，使电动车辆尽快进入稳定状态。

[0060] 根据本发明的一个实施例，如图3所示，当主动安全控制器8判断电动车辆处于左转向不足状态且电动车辆发生前轮侧滑时，其中，如果横摆角速度差值△ψ′大于第一预设角速度且小于等于第二预设角速度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制四个车轮中右后轮对应的电机增加驱动力矩，保证额外增加的驱动力矩产生的主动横摆力矩M=-△M，提升电动车辆的过弯速度，提升电动车辆的操稳特性；如果横摆角速度差值△ψ′大于第二预

设角速度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制右后轮对应的电机增加驱动力矩，同时对四个车轮中左后轮进行制动控制，并同时进行$T_{request}$和$T_{brake-motor}$的判断，保证驱动和制动共同产生的主动横摆力矩M＝-△M，使电动车辆尽快进入稳定状态。

[0061] 具体地，根据本发明的另一个实施例，如图4所示，当主动安全控制器8判断电动车辆处于右转过度转向状态且电动车辆发生后轮侧滑时，其中，如果后轴侧偏角大于第一预设角度且小于等于第二预设角度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制四个车轮中右前轮对应的电机增加驱动力矩，保证驱动力矩产生的主动横摆力矩M＝-△M，提升电动车辆的过弯速度，提升电动车辆的操稳特性；如果后轴侧偏角大于第二预设角度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制右前轮对应的电机增加驱动力矩，同时对四个车轮中左前轮进行制动控制，并同时进行$T_{request}$和$T_{brake-motor}$的判断，保证驱动和制动共同产生的主动横摆力矩M＝-△M，使电动车辆尽快进入稳定状态。

[0062] 根据本发明的另一个实施例，如图5所示，当主动安全控制器8判断电动车辆处于左转过度转向状态且电动车辆发生后轮侧滑时，其中，如果后轴侧偏角大于第一预设角度且小于等于第二预设角度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制四个车轮中左前轮对应的电机增加驱动力矩，保证驱动力矩产生的主动横摆力矩M＝-△M，提升电动车辆的过弯速度，提升电动车辆的操稳特性；如果后轴侧偏角大于第二预设角度，主动安全控制器8通过电机控制器1控制左前轮对应的电机增加驱动力矩，同时对四个车轮中右前轮进行制动控制，并同时进行$T_{request}$和$T_{brake-motor}$的判断，保证驱动和制动共同产生的主动横摆力矩M＝-△M，使电动车辆尽快进入稳定状态。

[0063] 其中，当电动车辆实际横摆角速度与目标横摆角速度的偏差大于设定的门限值，但后轴侧偏角没有达到设定的门限值，说明前轮转向不足；当后轴侧偏角达到设定的门限值，但电动车辆的实际横摆角速度与目标横摆角速度的偏差没有达到设定的门限值，说明后轮转向过度。而电动车辆的左右转向可通过方向盘转角信号的正负值进行判断得到。由此，在本发明的实施例中，主动安全控制器可判断电动车辆的当前转向状态，例如右转向不足、左转向不足、右转向过度、左转向过度等。

[0064] 根据本发明实施例的电动车辆的主动安全控制方法，在电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用四个电机的驱动力矩对电动车辆进行横摆控制，纠正电动车辆的姿态，提高电动车辆过弯速度，避免制动带来的车速下降，提升电动车辆的操稳性；在电动车辆处于侧滑极限区间时同时利用四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器的制动力矩对电动车辆进行横摆控制，使得电动车辆更迅速地进入稳定状态，提升电动车辆的安全性，并且在电机回馈制动能力有限时，可通过液压制动器的制动力矩和电机的回馈制动力矩联合控制，以快速进行液压制动力矩补充，实现主动安全控制器的联合控制功能，扩大系统的适用范围，因此不仅解决了全轮驱动电动汽车的车身动态控制问题和液压电子稳定控制系统存在的响应速度慢的问题，还可大大提升电动车辆的操稳性和安全性。

[0065] 流程图中或在此以其他方式描述的任何过程或方法描述可以被理解为，表示包括一个或更多个用于实现特定逻辑功能或过程的步骤的可执行指令的代码的模块、片段或部分，并且本发明的优选实施方式的范围包括另外的实现，其中可以不按所示出或讨论的顺序，包括根据所涉及的功能按基本同时的方式或按相反的顺序，来执行功能，这应被本发明的实施例所属技术领域的技术人员所理解。

[0066] 在流程图中表示或在此以其他方式描述的逻辑和/或步骤，例如，可以被认为是用于实现逻辑功能的可执行指令的定序列表，可以具体实现在任何计算机可读介质中，以供指令执行系统、装置或设备(如基于计算机的系统、包括处理器的系统或其他可以从指令执行系统、装置或设备取指令并执行指令的系统)使用，或结合这些指令执行系统、装置或设备而使用。就本说明书而言，"计算机可读介质"可以是任何可以包含、存储、通信、传播或传输程序以供指令执行系统、装置或设备或结合这些指令执行系统、装置或设备而使用的装置。计算机可读介质的更具体的示例(非穷尽性列表)包括以下：具有一个或多个布线的电连接部(电子装置)，便携式计算机盘盒(磁装置)，随机存取存储器(RAM)，只读存储器(ROM)，可擦除可编辑只读存储器(EPROM或闪速存储器)，光纤装置，以及便携式光盘只读存储器(CDROM)。另外，计算机可读介质甚至可以是可在其上打印所述程序的纸或其他合适的介质，因为可以例如通过对纸或其他介质进行光学扫描，接着进行编辑、解译或必要时以其他合适方式进行处理来以电子方式获得所述程序，然后将其存储在计算机存储器中。

[0067] 应当理解，本发明的各部分可以用硬件、软件、固件或它们的组合来实现。在上述实施方式中，多个步骤或方法可以用存储在存储器中且由合适的指令执行系统执行的软件或固件来实现。例如，如果用硬件来实现，和在另一实施方式中一样，可用本领域公知的下列技术中的任一项或他们的组合来实现：具有用于对数据信号实现逻辑功能的逻辑门电路的离散逻辑电路，具有合适的组合逻辑门电路的专用集成电路，可编程门阵列(PGA)，现场可编程门阵列(FPGA)等。

[0068] 本技术领域的普通技术人员可以理解实现上述实施例方法携带的全部或部分步骤是可以通过程序来指令相关的硬件完成，所述的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中，该程序在执行时，包括方法实施例的步骤之一或其组合。

[0069] 此外，在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理模块中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个模块中。上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能模块的形式实现。所述集成的模块如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用时，也可以存储在一个计算机可读取存储介质中。

[0070] 上述提到的存储介质可以是只读存储器，磁盘或光盘等。

[0071] 在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何的一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0072] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例，对于本领域的普通技术人员而言，可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型，本发明的范围由所附权利要求及其等同限定。

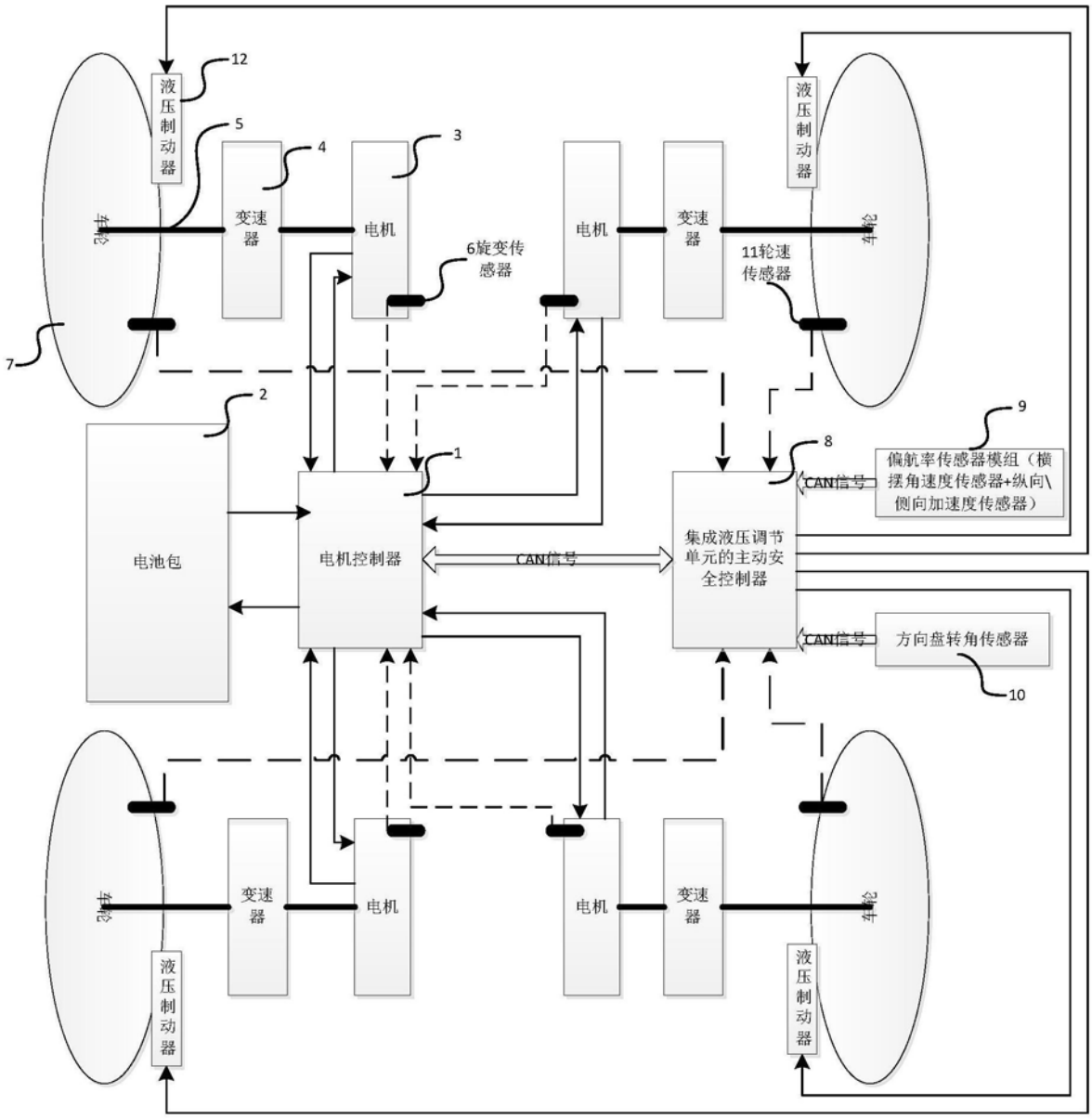

液压制动器
12
5
4
3
变速器
电机
6旋变传感器
电机
变速器
液压制动器
11轮速传感器
车轮
7
2
9
8
偏航率传感器模组（横摆角速度传感器+纵向\侧向加速度传感器）
CAN信号
1
电池包
电机控制器
CAN信号
集成液压调节单元的主动安全控制器
CAN信号
方向盘转角传感器
10
车轮
变速器
电机
电机
变速器
液压制动器
液压制动器

图1

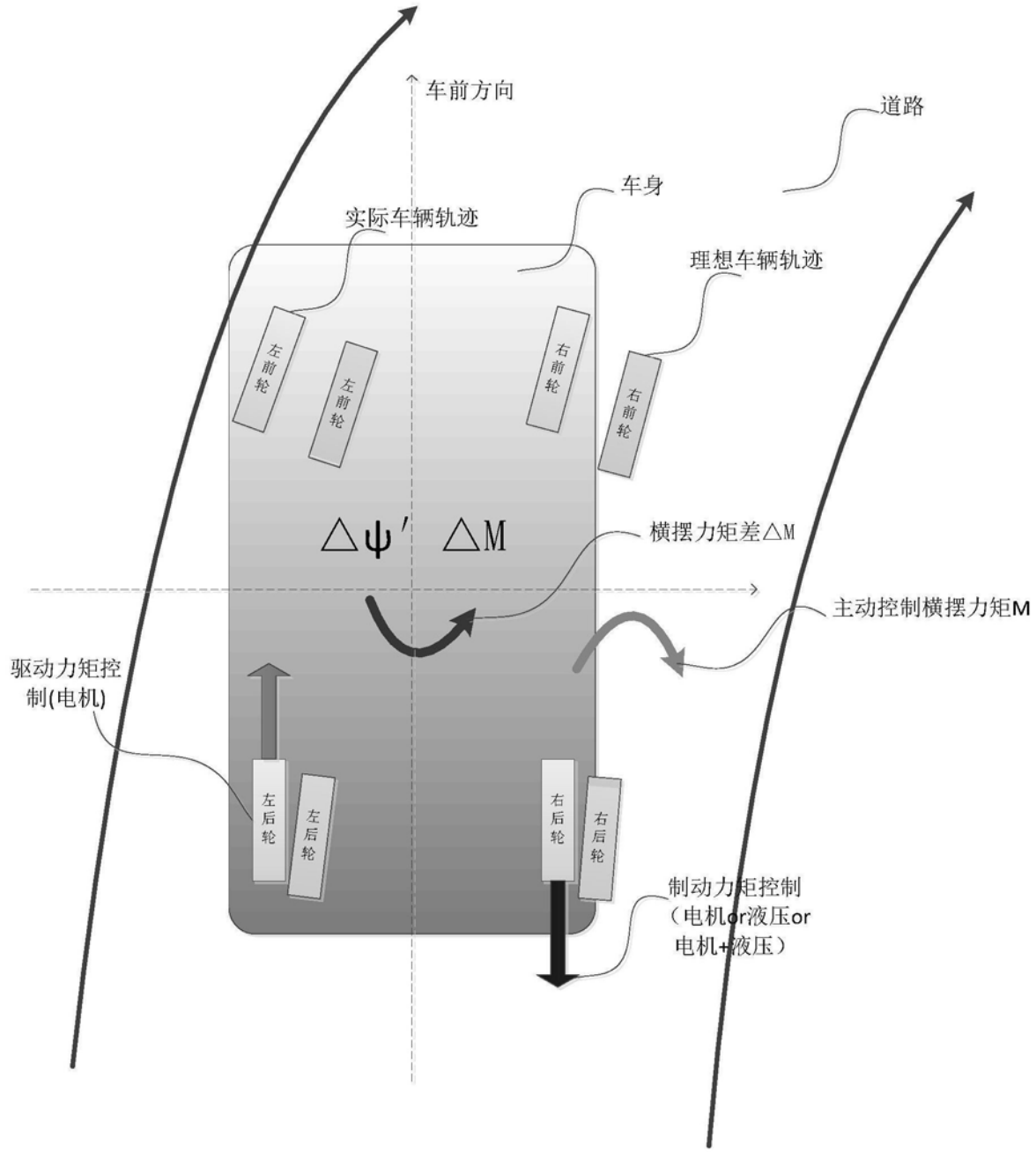

车前方向
道路
车身
实际车辆轨迹
理想车辆轨迹
左前轮
左前轮
右前轮
右前轮
△ψ′
△M
横摆力矩差△M
主动控制横摆力矩M
驱动力矩控制(电机)
左后轮
左后轮
右后轮
右后轮
制动力矩控制
（电机or液压or
电机+液压）

图2

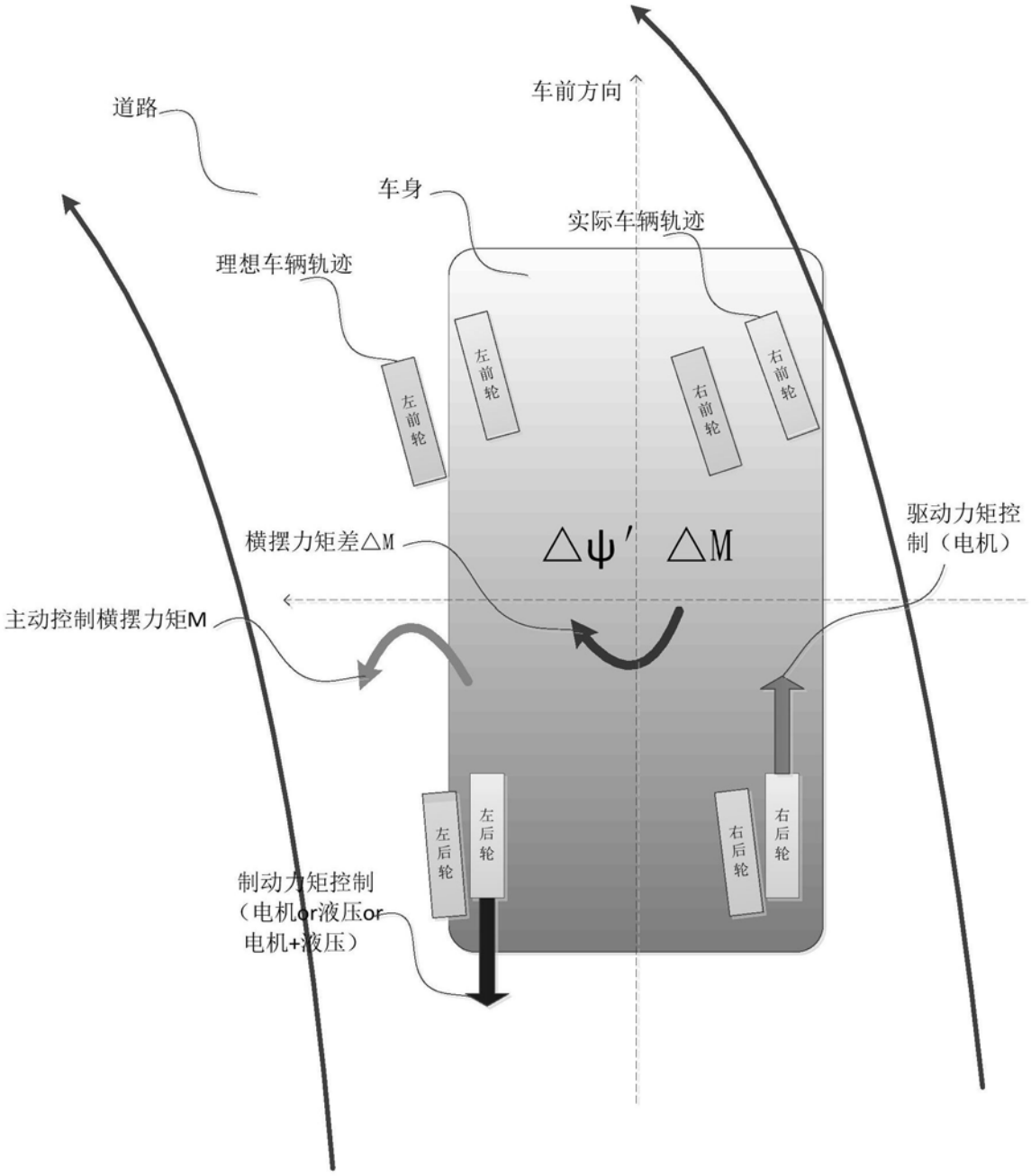

道路
车前方向
车身
实际车辆轨迹
理想车辆轨迹
左前轮
左前轮
右前轮
右前轮
△ψ′ △M
横摆力矩差△M
驱动力矩控制（电机）
主动控制横摆力矩M
左后轮
左后轮
右后轮
右后轮
制动力矩控制
（电机or液压or
电机+液压）

图3

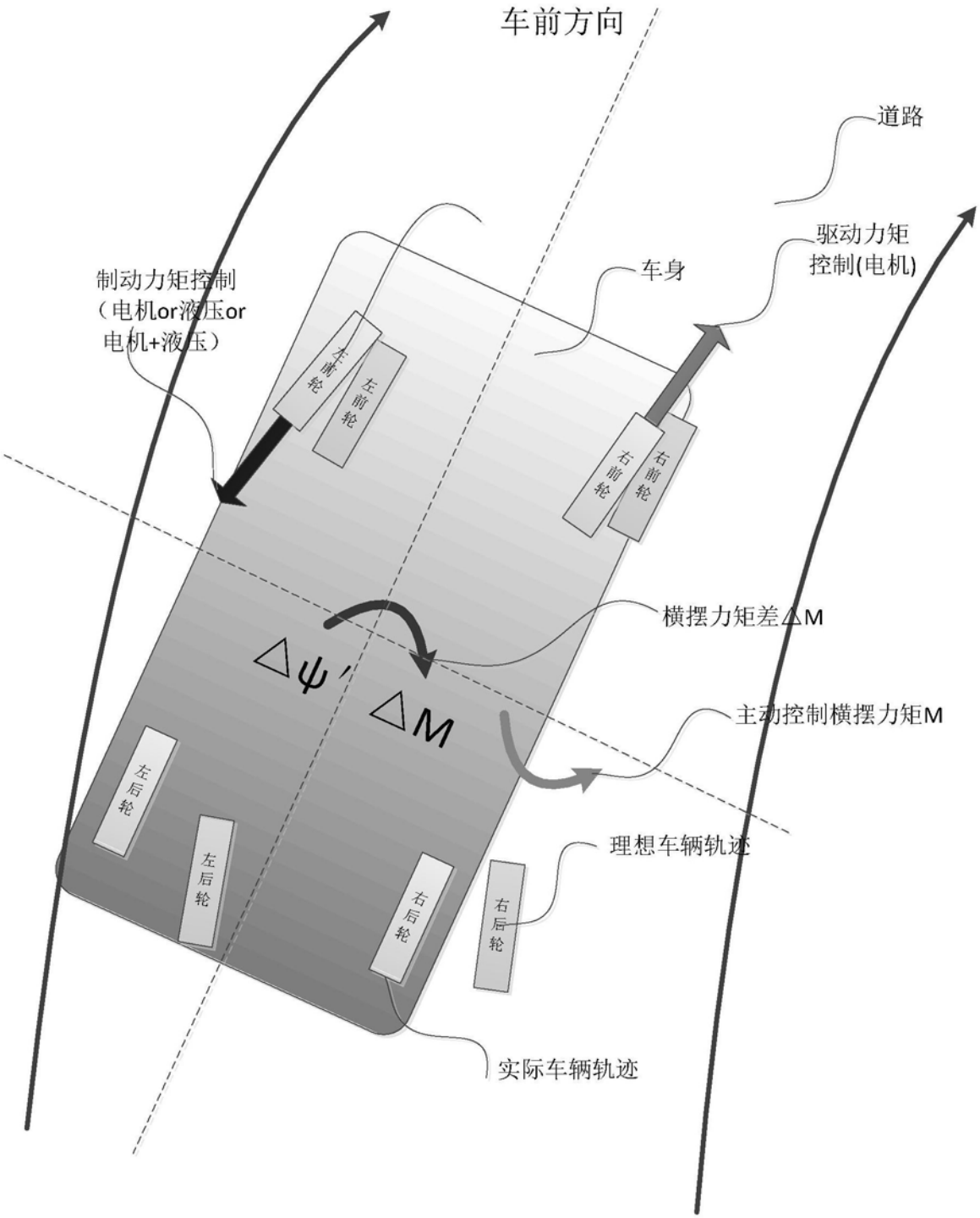

车前方向
道路
驱动力矩
控制(电机)
车身
制动力矩控制
（电机or液压or
电机+液压）
左前轮
左前轮
右前轮
右前轮
横摆力矩差ΔM
Δψ'
ΔM
主动控制横摆力矩M
左后轮
左后轮
右后轮
右后轮
理想车辆轨迹
实际车辆轨迹

图4

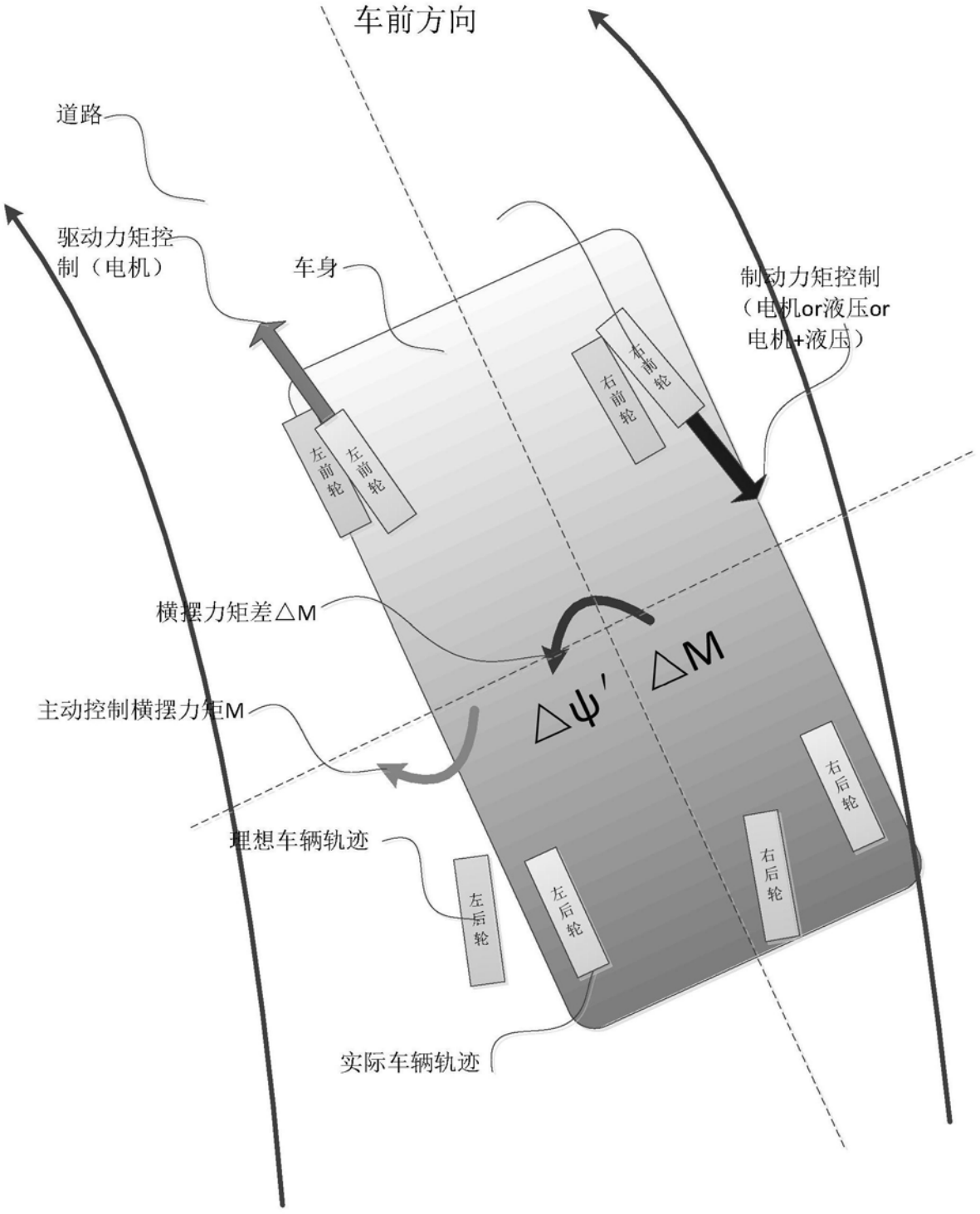

车前方向
道路
驱动力矩控制（电机）
车身
制动力矩控制（电机or液压or电机+液压）
左前轮
左前轮
右前轮
右前轮
横摆力矩差△M
△ψ′ △M
主动控制横摆力矩M
理想车辆轨迹
左后轮
左后轮
右后轮
右后轮
实际车辆轨迹

图5

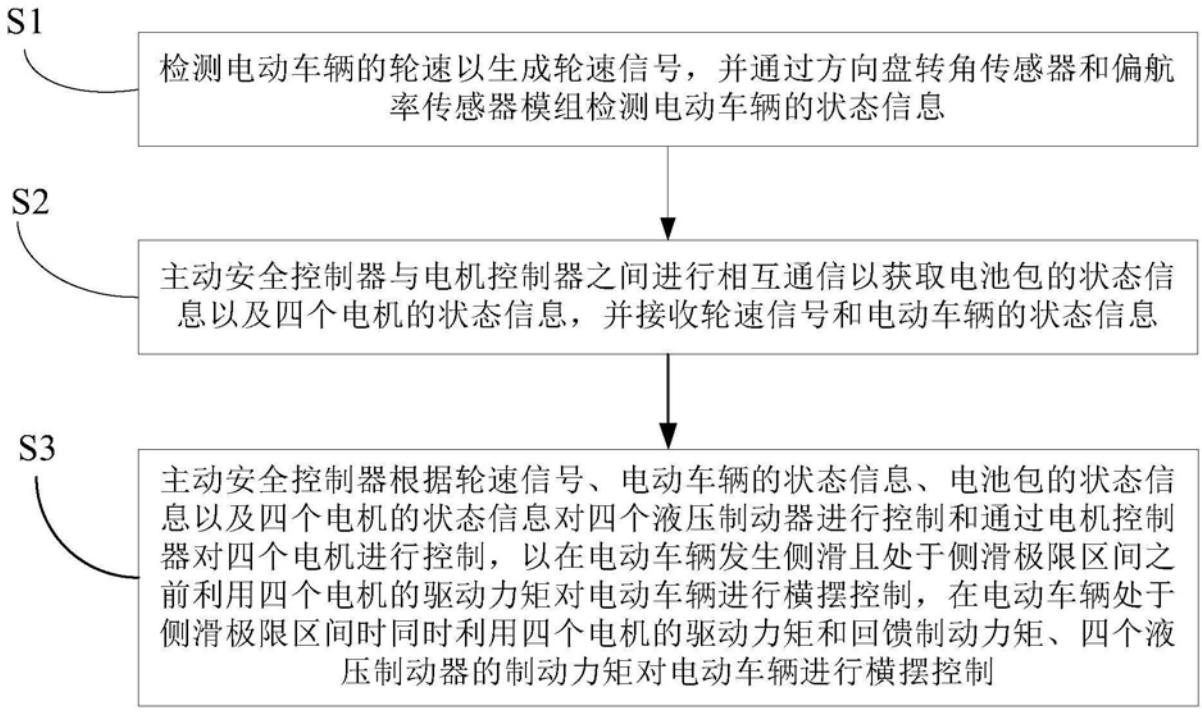

S1
检测电动车辆的轮速以生成轮速信号，并通过方向盘转角传感器和偏航率传感器模组检测电动车辆的状态信息
S2
主动安全控制器与电机控制器之间进行相互通信以获取电池包的状态信息以及四个电机的状态信息，并接收轮速信号和电动车辆的状态信息
S3
主动安全控制器根据轮速信号、电动车辆的状态信息、电池包的状态信息以及四个电机的状态信息对四个液压制动器进行控制和通过电机控制器对四个电机进行控制，以在电动车辆发生侧滑且处于侧滑极限区间之前利用四个电机的驱动力矩对电动车辆进行横摆控制，在电动车辆处于侧滑极限区间时同时利用四个电机的驱动力矩和回馈制动力矩、四个液压制动器的制动力矩对电动车辆进行横摆控制

图6