纯电动汽车动力传动系统参数的匹配设计

□ 天津天海同步科技有限公司/刘江红

为了提高电动汽车动力性及经济性要求，在原车采用固定传动比变速器的基础上采用两档变速器设计。通过对驱动电动机与传动系统参数的理论分析计算，确定了驱动电动机、动力电池及变速器的相关重要参数，并对动力传动系统参数进行了合理地匹配。匹配结果证明，该系统能很好地满足汽车动力性能要求。

随着汽车工业的飞速发展，石油资源危机和环境污染也日益严重，降低汽车有害气体污染物排放量、开发新能源汽车是未来的主要发展趋势，是解决能源危机和环境污染的重要途径。

近年来，关于纯电动汽车的研究主要集中在能量存储系统（如动力电池）、电驱动系统和控制策略的开发研究方面，然而，在动力电池和其他技术取得有效突破之前，对动力传动系部件的设计参数进行研究是提高电动汽车性能的重要手段之一。纯电动汽车动力传动系部件的设计参数，如电动机功率和转矩、传动系传动比以及它们之间的合理匹配等，对电动汽车的动力性、经济性、续驶里程等都有显著的影响。如果这些参数选择或匹配不当，有可能使得电动汽车的最高车速不在最高挡上。

而作为纯电动汽车动力传动系的关键部件——变速器的发展也直接推动新能源汽车的发展。纯电动汽车变速器在影响电动汽车发展的关键点——续航里程和车辆性能上，能够起到关键的辅助作用。因此，对新能源汽车变速器的开发进行研究具有重大的现实意义。

本文结合某款电动汽车动力传动系统的开发，较为全面地考虑了匹配过程中各参数的耦合关系，从满足动力性需求的角度对动力传动系统重要参数进行设计和选择，并从经济性的角度对变速器的传动比进行了匹配。相比于原车采用的固定传动比变速器，两挡变速器使整车的动力性能有所提高，经济性能更为优越。

动力系统设计要求及结构选型

电动汽车动力性主要由3个指标来评定：汽车的最高车速、加速时间和最大爬坡度。纯电动汽车的动力性能主要取决于动力系统参数匹配（包括动力源、驱动电动机、控制器、变速器等）以及控制策略和各部件的特性等。根据要求，本文设计的电动汽车整车动力性能及相关参数见表1。

表1　整车动力性能等相关参数

参数名称	参数值
满载质量	1 350kg
整备质量	1 050kg
最高车速	110km/h
最大爬坡度（满载）	20%
0-50km/h加速时间	≤10s
迎风面	1.98m^2
车轮滚动半径	0.273m

动力系统采用三元锂离子电池作为动力源，采用永磁同步电动机作为驱动电动机，该电动机具有高功率密度、高效率、易散热、高可靠性和较好的动态性能等优点。动力系统结构如图1所示。

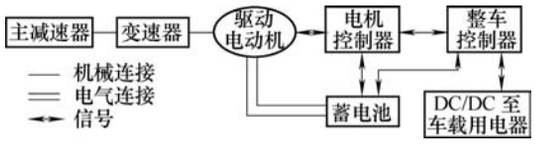

图1　动力系统结构

动力系统参数匹配

1. 驱动电动机参数确定

与传统内燃机汽车不同，纯电动汽车由蓄电池供电，电动机驱动车轮行驶。驱动电动机的特性参数主要有额定功率、峰值功率、额定转速、最大转矩等，驱动电动机的类型对纯电动汽车的性能也有一定程度的影响。

设计中一般以保证纯电动汽车预期的最高稳定车速来初步选择电动机的驱动功率，即驱动电动机的额定功率应大于等于纯电动汽车在水平良好路面上以最高稳定车速匀速行驶的阻力功率。

纯电动汽车需在某一恒定速度下的爬坡性能要求，驱动电动机的最大爬坡度行驶功率p_a；在水平道路上，电动汽车在整车加速过程的末时刻输出最大功率p_c。

根据动力系统控制策略，驱动电动机的最大功率p_{max}必须满足最高车速、爬坡和加速时的功率要求，根据p_{max}选择驱动电动机的峰值功率。

此外，峰值功率和额定功率之间还存在如下关系：

$$p_{max}=\lambda p_e$$

式中，λ为过载系数，一般取1～3，此处取λ=3。

驱动电动机的最大转矩由汽车实现最低稳定车速来达到最大爬坡度所克服的阻力转矩决定。

电动机根据转速可分为：低速电动机（转速3 000～6 000r/min）、中速电动机（转速6 000～10 000 r/min）和高速电动机（转速10 000～15 000r/min）等。高速电动机可以在一定程度上进一步提高汽车最高车速。但高速电动机在生产工艺上要求更为严格，且对汽车传动系统齿轮和轴承等部件的抗冲击度和抗疲劳能力都有更高要求。因此，在满足要求的情况下选用最高转速7 000r/min的中速永磁同步电动机为研究对象。

综合以上分析和计算结果，调查市场现有电动机产品参数，最终选取的驱动电动机参数如表2所示。电动机外特性如图2所示。

2. 动力电池参数确定

动力电池的参数匹配主要考虑电池组的容量、电压、能量密度及电池的类型等。确定电池组最大数目的方法是使电池组最大输出功率大于等于驱动电动机的最大功率，电池组最小数目由电池组最低工作电压大于等于电动机最小工作电压的约束条件来确定。而电池组的容量主要是由车辆行驶时的最大输出功率和电动汽车最大续驶里程所消耗的能量所限制的。

通过综合考虑各种电池的性能并借鉴国内外各汽车公司的使用经验，选用三元锂离子电池，电池额定电压146V，电池容量136Ah。

表2　驱动电动机主要参数

参数名称	参数值
额定功率	10kW
最大功率	30 kW
额定扭矩	27 N·m
峰值扭矩	110 N·m
额定转速	3600 r/min
最高转速	7000 r/min

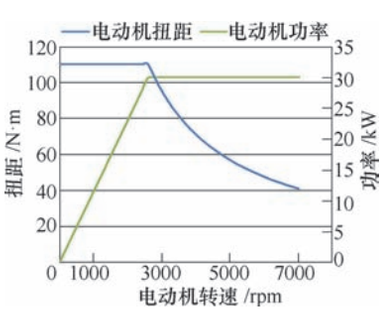

图2　电动机外特性曲线

传动系统参数匹配

传动系统设计前要对传动比进行匹配。电动机在输出性能一定的前提下，传动比的选择主要取决于汽车的动力性。对于传统的内燃机汽车，在一定程度上挡位数越多，发动机工作在高性能区域的可能性越大，进而提高了汽车的行驶经济性。相比之下，电动汽车的动力来自驱动电动机，电动机具有较宽的工作范围。电动机低速恒转矩，高速恒功率的特性使汽车的运行不需要过多挡位，过多的挡位会增加变速器结构的复杂性。

纯电动汽车传动系统通常分为固定速比和可变速比齿轮减速。固定速比的变速器并不能满足电动机常工作于高效率区，可变速比变速器可以在低挡位得到较高启动转矩，高挡位得到较高行驶速度。所以本车传动系统选择两挡速比设计，不仅可以使结构简单，成本低，控制容易，同时又能满足汽车经济性的要求。

（下转第61页）

30km/h时才会起作用（在客车一般设定20km/h），车速超过30km/h后，都会自动恢复到正常高度。操作提升桥时，需要将整车恢复到正常高度，然后再进行后桥提升。车辆只有在空载和半载的情况下，可以提升后桥，一旦驱动桥轴核超过标定的重量时，后桥就无法提升。

ECAS系统由ECAS电控单元（ECU）、电磁阀、高度传感器及气囊等部件组成，如图6所示。

它的基本工作原理是：高度传感器负责检测车辆高度（车架和车桥间的距离）的变化，并把这一信息传递给ECU，除高度信息外，ECU还接受其他输入信息，如车速信息、制动信息、车门信息和供气压力信息等，然后ECU综合所有的输入信息，判断当前车辆状态按照其内部的控制逻辑，激发电磁阀工作。

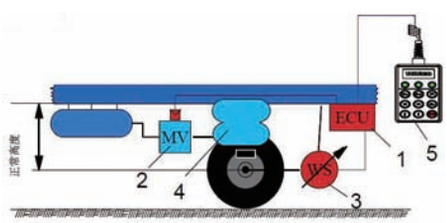

图6　WABCO ECAS系统组成

1.电磁阀 2.气囊 3.高度传感器 4.电子控制器ECU 5.遥控器

结语

电子控制空气悬架被认为是重型货车的发展趋势之一，目前国内客车市场已经大面积推广。随着国内重型载货汽车技术的提升，以及甩挂运输的发展，空气悬架重型货车已经在国内逐步发展，投放量逐年上升。伴随着国家法规越来越有利于空气悬架车型的发展，如交通部GB1589法规修订中置轴轿运车样板车规范，未来5～10年，空气悬架车型必将会迎来一个快速发展期。

国内主流重型货车制造部商也把空气悬架作为自己的核心技术发展，全气囊悬架车型和具备转向功能的空气悬架是未来发展的另一方向。

（上接第58页）

其挡位的选择应该满足如下原则：一挡传动比应该满足汽车的爬坡性能，同时要兼顾电动机低速区工作的效率；二挡的传动比应该满足汽车行驶的最高车速，同时尽量降低电动机输入轴的转速，兼顾电动机高转速工况下的效率。

最低挡速比的下限应满足汽车在电动机最大输出扭矩下的爬坡度，最低挡速比的上限应满足汽车在爬坡时以最低稳定车速行驶；最高挡速比的下限由汽车按最高车速行驶时的阻力限定，最高挡速比的上限由汽车最高车速和电动机最高转速决定。

此外，在汽车爬坡与加速过程中，传动系传动比应满足驱动电动机在最大转矩输出时，驱动轮驱动力需满足驱动轮与路面之间的附着条件。

对于只有两个挡位的变速器，两挡位之间的传动比应该合理分配，否则可能由于两个挡位之间的驱动力不连续导致换挡时动力中断，进而影响驾驶体验。此外，两挡传动比的匹配不仅要考虑在理论上满足整车的动力性和经济性要求，也要考虑实际工程的约束条件，如变速器尺寸及主减速器离地间隙、齿数配比等等，进一步缩小两挡传动比的合理取值范围。

综合上述分析和计算，最终确定主减速器传动比为4.105，一挡传动比为2.238，二挡传动比为1.029。

结语

通过对某电动汽车动力传动系统相关参数的理论分析计算，并考虑实际工程约束，合理地对动力传动系统参数进行了匹配。由于采用了两挡设计，该变速器可以让驱动电动机始终工作在高效区域，系统效率更高，可以使整车获得更长的续驶里程。与此同时，两挡设计还可以在高车速时降低电动机的工作转速。此外，该变速器外形尺寸较小，大大减少了设计空间，同时提高了整车的承载能力。

匹配结果证明该系统能很好地满足汽车动力性能要求，相较于原车采用的固定传动比变速器，采用两挡变速器后最高车速、百公里加速时间、爬坡度等均有所提高，该匹配方法结合了理论和实际要求，具有普遍适用性和工程应用价值。