

# 利用行驶中供电技术的无线轮毂电动机

邓隐北, 李新成, 夏秀兰 编译

河南大愿力能源科技发展有限公司

## 1 有关电动汽车的研究课题

为削减因运输造成的温室效应气体, 正不断推进EV(电动汽车)的普及。作为电动汽车主要性能的研究课题是延长续驶里程, 提升蓄电池/单电池(Cell)的容量以及可有效利用容量的状态判定、功率控制、充电控制等技术的开发。但蓄电池的能量密度与汽油的比较, 显得格外小, 现采用的方法是: 为实现与内燃机车同等的续驶里程, 须将大量的蓄电池搭载在车辆上。一旦搭载大量蓄电池, 车辆的重量加大, 行驶的阻抗增大, 行驶所需的能量势必增大。

这一增大的能量涉及从发电到行驶的能量效率, 也即影响到“良好行驶”(Well to wheel)的性能。此外, 搭载的大容量蓄电池必将导致车体的高成本。同时, 电池的生产加工需要大量的电能, 制造时所消耗的功率, 发电时所排放的温室效应气体, 这些都是需要解决的课题。而且, 车辆中使用的锂离子电池, 其正极材料为钴, 是昂贵的稀有金属、供给量能否稳定, 这都是大量普及EV时令人担心的问题。

另一方面, 原来对EV充电的计划方案(scenario), 是利用火力发电和原子能发电深夜的剩余电力给车辆充电, 充分利用这些剩余功率不浪费。但这一方案有变化, 目标已转向排放系数为零的电力系统, 力求大量引入光伏发电为中心的可再生能源。这样, 只限于由白天发出的功率, 但白天使用充电的车辆台数很多, 不能抱有过高的期望, 且由于快速充电器的大量引入, 可能对电力系统导致空间上、时间上的负荷集中问题。

为解决上述这些存在的问题, 提出了对行驶中车辆供给电力的方案。所谓行驶中供电(动态无线输送功率, Dynamic wireless power Transfer DWPT), 是对行驶中的车辆、通过连续和断续的供电, 可使车辆上搭载的蓄电池容量削减的系统。行驶中供电有接触式供电法和非接触式供电法(WPT)。对于接触式供电、存在电极的磨损等问题, 但有易于实现大功率化的优点; 对于非接触式供电,

已提出电场谐振耦合方式与磁场谐振耦合方式。电动汽车停车时采用的非接触式供电, 已将磁场谐振耦合方式推向标准化(SAEJ2954)。

由于采用行驶中供电, 可不用人工对EV进行充电而继续行驶。且能大幅度削减蓄电池, 降低行驶中所需的能量, 缓解了有关蓄电池供电的不安与担忧。

采用磁场耦合式的供电系统, 推进了无线轮毂电动机的研制工作。所谓无线轮毂电动机(Wireless in-Wheel Motor), 是将无线的电力传输与轮毂电动机组合一起的驱动系统。作为第1代, 已经开发在车身(body)与轮毂之间用无线输送功率的无线轮毂电动机; 作为第2代, 具有行驶中供电功能的轮毂电动机也正在开发。不仅对设备硬结构件(hardware), 且对没必要追加传感器的线圈检测技术和缩短供电时间的控制, 与自动运转协调的行驶位置的控制等都在进行开发; 有关系统的设计方法也提出了方案。

第1代、第2代无线轮毂电动机的目标是针对小型车辆, 要适用普通汽车以上的规格, 必须具有高功率化的系统。由于第二代无线轮毂电动机中, 组件尺寸(unitsize)导致的悬挂架(suspension)结构复杂, 受构件配置的制约因素大, 故考虑实用化时, 目标应进一步的实现小型化。因此, 以适用普通汽车为目标, 实现高效率、高功率化和小型化的第3代无线轮毂电动机正在积极开发。配置于车辆上的第3代无线轮毂电动机如图1所示, 电动机的结构示于图2。



图1: 无线轮毂电动机的实验车辆

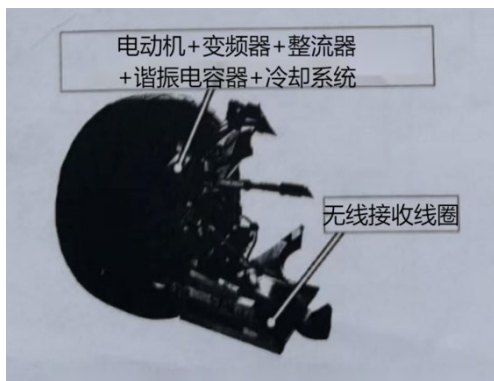


图 2：第三代无线轮毂电动机结构

下面，以第 3 代无线轮毂电动机为例，对有关非接触式行驶中供电技术，以及行驶中供电今后的课题与展望予以介绍。

## 2 无线轮毂电动机

### 2.1 行驶中供电的概念

行驶中供电的理念就是：有效率的充电系统，这里的效率不是充电的效率，而是作为系统的运用效率。行驶中供电即为对社会、系统，能实现有效充电的充电系统。

第一，车辆行驶中的能量效率高。通过大幅削减蓄电池的使用量，“良好行驶”的效率，温室效应气体 (GHG) 可降低，而且，因制造蓄电池产生的 GHG 也能减少。

第二，充电设备的有效利用。行驶中供电也适用于普通汽车，利用实际的行驶数据进行模拟，充电设备仅配置在街道的十字路口前 30m 的区间，在此区间，车辆停留的几率高。据悉，充电量可超过市区街道行驶所使用的能量。不仅城市街道，甚至在高速公路上也可考虑铺设供电设备。日本国内所需的行驶中供电设备估算约 5100 万台，目前日本乘用车的保有台数为 6000 万台，如将这全部实行电动化，必须每 1 台都要配充电器，加上市中心大量引入的快速充电器，故对于行驶中供电，这么多充电设备均可有效利用起来，无疑值得提倡。

第三，白天的充电可充分利用可再生能源。由白天剩余的光伏发电功率，暂时储存于定置的蓄电池中，然后将其对夜间车辆充电，不用说，如直接将此功率用于行驶中车辆的充电，其利用率更高。

总之，行驶中供电，是一个有效的系统，是为实现可

持续发展社会的重要技术。

### 2.2 无线轮毂电动机的概念

无线轮毂电动机，也即高效率的驱动系统。图 3 所示为第 3 代无线轮毂电动机的系统结构。

所谓轮毂电动机，是在轮毂内配置的电动机，因为取消了驱动轴及传动齿轮装置等传动系统部件提高了驱动效率。由于车体重量减轻，又能充分有效的利用能量。

受电线圈应搭载于钢板弹簧下面，行驶中供电时这一点很重要。在非接触式供电中，为有效、稳定的传送功率，要求供电线圈与受电线圈之间的距离小且无变化。但安装车体受电线圈时，为避免路面的凹凸不平，受电线圈与路面的距离必然大，且因乘员的重量变化及路面的不平整，驱动力与制动力的反作用力，导致悬挂架 (suspension) 的弹簧不停的伸缩，受电线圈与路面的距离发生变化。由于受电线圈搭载在弹簧下面，这样就能避免和轮胎 (tyre) 一起的路面不平整以及弹簧伸缩的影响。

此外，受电线圈因与电机驱动用逆变器及电池并联连接，故在行驶中供电时，受电的功率未蓄存于电池，而是直接用于驱动电机，没有电池的充电损耗，功率使用的效率更高。

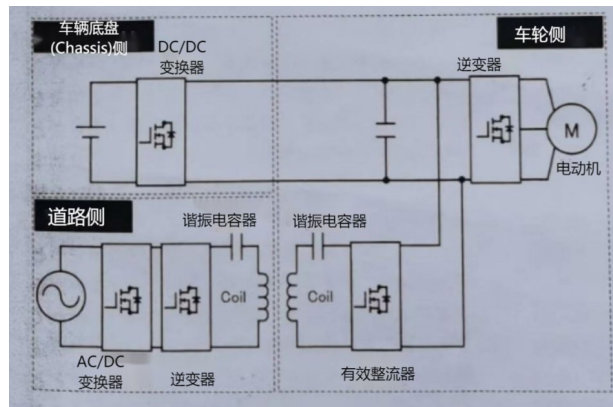


图 3：系统结构

## 3 第 3 代无线轮毂电动机

### 3.1 电动机

因电机的驱动方式为直接驱动，故为高转矩、低转速型电动机。为提高输出的转矩，设计成外转子型 (Outer-rotor) 的表面嵌装式永磁电机 (SPM)。同时，将定子线圈制成成分数槽结构，旨在提高线圈系数，因而提高转矩。为

了有效利用轮毂内的空间,可以制成大直径的电动机。硅钢叠片堆积的厚度能达到扁平电机的9倍直径。电机的结构如图4所示:

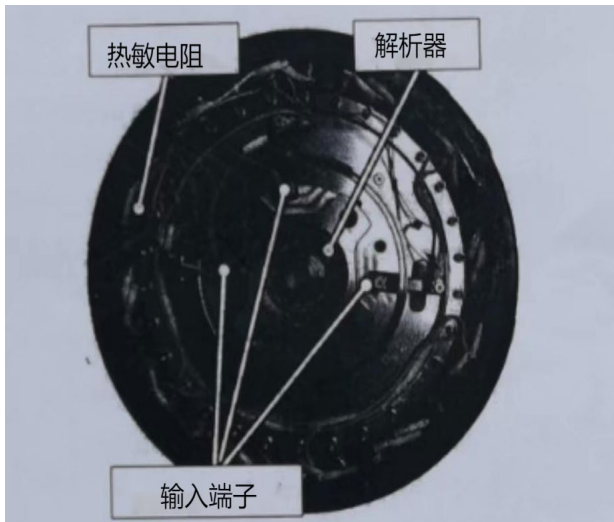


图4: 电动机的内部结构

### 3.2 逆变器、受电回路

逆变器、整流器、谐振电容器、控制回路,均配置在同一园环的园环基板上,园环基板如图5所示。

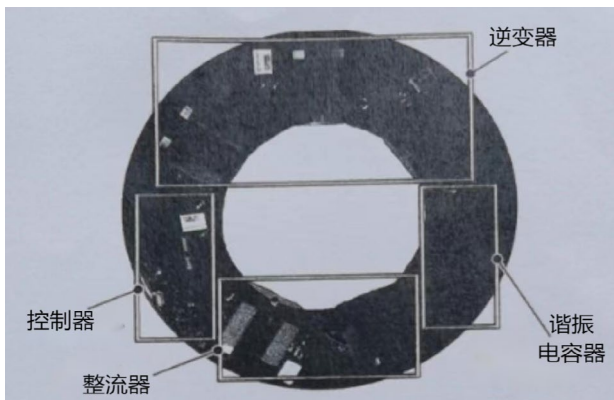


图5: 功率变换器园环基板

受电的功率,通过谐振用电容器,然后再经整流用SiC(碳化硅)功率模块进入DC总线。因整流器是利用功率器件的同步整流器,故必须检知流通电流的调时电路(timing)。但电流传感器原理上存在着相位的迟滞,会产生控制的滞后。故应将谐振电容器配置在控制器的近旁,

借助对电容器电压的检测,以实现同步整流。为了能使电压传感器检测的迟滞非常短,由电压检测达到的同步整流,才能实现高的受电效率。此外,在SiC模块的切换工况下,受电线圈短路、非同步整流、同步整流的模式,均可能发生变化。

将受电部分置于基板下部。逆变器置于基板上部,由此,从受电到驱动的电线路径可以最短。电动机的转速传感器、温度传感器,输出的连接,均从园盘基板中心部分引出并进行配线,因而与电动机的连接线路可在安全防水的机壳中完成。

用于逆变器的功率器件,也是与同步整流器一样的SiC模块。SiC模块全部连接于基板下面,铝合金机壳用螺栓安装。逆变器的壳体内设置有水冷用的水路,以此对功率器件进行冷却。冷却水对逆变器和整流器的功率器件冷却以后,再对电动机的定子(stator)内面冷却,经过定子内面又对线圈进行冷却,但对于磁钢未设水冷结构。

与电动机的部件比较,先冷却的功率器件其耐热性低,故需采用较低温度的冷却水。从电动机出来的冷却水,从逆变器外壳侧面引出后,通过散热器(radiator),水泵,进入储水箱,这一冷却系统也全部配置在轮毂内。

功率器件因配置在园环上,故要求功率器件小型化。本研究中开发的SiC功率器件与原来的比较,已实现大幅度小型化。与批量产品对比,仅为20%的体积。

### 3.3 供电、受电线圈

供电线圈是由铁氧体(ferrite)和绞线(个别由多数绝缘线拧成的电源电缆)构成的。当开发供电、受电线圈时,也开发了新的设计算法(algorithm)。按照线圈的阻抗,所谓自感、互感的线圈参数,以及扭卷的线圈形状,已实现工艺的模型化。利用尺寸和电流、电压等制约条件,达到了高速的优化设计。第3代无线轮毂电动机的线圈与第2代无线轮毂电机的比较,供电线圈的体积削减61%;受电线圈的体积消减54%。

### 3.4 评价结果

利用第3代无线轮毂电动机已开发的供电线圈,进行了功率传送实验,试验结果示于图6。包括逆变器和整流器两个功率变换器的效率在内,进行评价时,实现了18Kw的供电,而且达到了95.2%的功率传输效率。

下转167页