无人驾驶车辆静/动态协同无线充电系统设计及应用

佟舟　王振涛

（中国第一汽车股份有限公司研发总院，长春 130013）

【欢迎引用】佟舟，王振涛．无人驾驶车辆静/动态协同无线充电系统设计及应用[J]．汽车文摘，2024(10)：43-50.

【Cite this paper】TONG Z, WANG Z T. Design and Application of Autonomous Vehicle Static/Dynamic Collaborative Wireless Charging System[J]. Automotive Digest (Chinese), 2024(10): 43-50.

【摘要】为了深入研究自动化、智能化的汽车智慧电能补给方法，探索无线电传输技术（WPT）在无人驾驶电动汽车领域的应用。首先介绍2种无线充电方式的充电原理，然后分别对相应的充电系统进行设计，通过仿真对单接收线圈和多接收线圈进行对比分析，得出双接收线圈对电动汽车动态无线充电具有更好的功率抑制作用，并给出了合适的线圈尺寸和空间分布，结合工程应用提出了电动汽车主动位置检测策略及静/动态2种充电方式相结合的协同无线充电方案，最后介绍无线电能传输技术在智能化无人驾驶电动汽车领域的实际应用。

关键词：电动汽车无线充电；耦合机构；无人驾驶技术；位置检测

中图分类号：U469.72　　**文献标志码：**A　　**DOI:** 10.19822/j.cnki.1671-6329.20240030

Design and Application of Autonomous Vehicle Static/Dynamic Collaborative Wireless Charging System

Tong Zhou, Wang Zhentao

（Global R&D Center, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013）

【Abstract】 In order to deeply study the automatic and intelligent method of smart electric power supply, this paper explores the application of wireless power transmission(WPT) in the field of driverless electric vehicles. This paper first introduces the charging principles of the 2 wireless charging modes, and then designs the corresponding charging systems respectively. Combined with the simulation, the comparison and analysis of the single receiving coil and the multi-receiving coil are carried out. It is concluded that the double receiving coil has a better power inhibition effect on the dynamic wireless charging of electric vehicles, and the appropriate coil size and spatial distribution are given. Then combined with the engineering application, this paper puts forward the active position detection strategy of electric vehicles and the collaborative wireless charging scheme combining static and dynamic charging modes. Finally, the practical application of radio energy transmission technology in the field of intelligent driverless electric vehicles is introduced.

Key words: Wireless charging for electric vehicles, Coupling mechanism, Driverless technology, Position detection

0　引言

随着载人、物流和搬运等无人驾驶车辆快速发展，传统传导式电能补给方法由于续驶里程短、充电操作较繁琐、易产生积碳等问题[1]已无法满足其自动化、智能化需求，因而探索一种新型的智慧电能补给方法极其必要。为解决上述问题，基于电磁感应耦合原理的无线电能传输技术（Wireless Power Transmission, WPT）近年来迅速发展，已被视为电动汽车、医疗器械、智能家电等用电设备的理想充电方式，成为研究热点[2]。根据充电过程中车辆处于泊车状态或是行驶状态，无线电能传输技术可分为静态无线电能传输（Static Wireless Power Transmission，SWPT）和动态无线电能传输（Dynamic Wireless Power Transmission, DWPT）2种[3]，静态无线充电具有供电稳定、成本低的特点；动态无线充电的

灵活性高、充电方便快捷。本文首先介绍两种无线充电方式的充电原理，然后分别对相应的充电系统进行设计，并结合仿真对单接收线圈和多接收线圈进行对比分析，得出双接收线圈对电动汽车动态无线充电具有更好的功率抑制作用，并给出了合适的线圈尺寸和空间分布，接着结合工程应用旨在提出电动汽车主动位置检测策略及静/动态两种充电方式相结合的协同无线充电方案，为无线电能传输技术在智能化无人驾驶电动汽车领域进行实际应用提供参考。

1　静/动态无线充电原理

1.1　静态无线充电

静态无线充电是以交变磁场作为电能传递的媒介，利用埋于特定地点下方的发射线圈和安装于汽车底盘的接受线圈之间的相互耦合实现对静止负载的无线电能传输。由于磁场在近场区具有能量非辐射特性的优点，使能量在具有相同谐振频率的双边耦合线圈之间进行传递，因此电磁谐振式无线充电可以实现较高功率的无线充电并具有良好的充电稳定性。

1.2　动态无线充电

动态无线充电基于电磁感应原理，利用电磁谐振式无线电能传输技术，以空间电磁场为媒介来实现电-磁-电的能量传递。将一系列的发射线圈及原边所有设备埋藏于地面之下，接收线圈及副边所有设备安装于车载端，当装有接收线圈的电动汽车行驶在此路面上时，电网的电能通过发射线圈与接收线圈之间的耦合关系源源不断地传送给电动汽车的车载电池和驱动电机，从而实现电动汽车的移动式无线充电。这是一种充电和供电双模式相结合的充电方式，既缩减了充电周期又克服了电动汽车携带大体积高质量动力电池的问题，在根本上解决了电动汽车续航时间短的技术难点，促进了电动汽车向着自动化、智能化的方向加速发展。

2　静/动态无线充电系统设计

2.1　整体结构

2.1.1　静态无线充电

静态无线充电系统以高频电源、电磁耦合器、能量变换模块和静止负载为电能流通主路，集成检测、通信、控制和保护电路，收发端依靠高频电磁场实现为静止负载充电。其应用主要包括电子设备、智能家居、医疗器件、电动车辆、工业机器人等能量传输场景。图1所示为电动汽车静态无线充电系统结构。

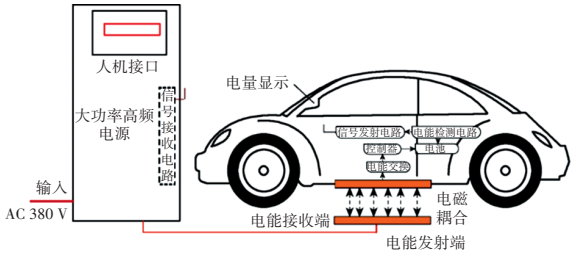


图1　电动汽车静态无线充电系统结构

2.1.2　动态无线充电

动态无线充电系统以高频电源、电磁耦合器、能量变换模块和移动负载为电能流通主路，集成检测、传感、通信、控制和保护电路，收发端依靠高频动态电磁场实现为移动负载实时供电。

其与静态无线电能传输系统相比，原理采用感应耦合与电磁谐振协同工作方式，最大差异在于电磁耦合系统结构设计、补偿拓扑和控制策略方面，并且动态供电系统在系统复杂程度、技术成熟度以及建造经济性等方面均需要进一步提升。

该系统主要应用于高铁列车、有轨电车和电动车辆等场景，其可保证移动受电体实时获取电能，有效避免了电池续航能力弱和充电时间长的弊端，同时也极大地减轻了受电体的质量[4]。电动汽车动态无线供电系统结构见图2。

2.2　配电模式

对于无线充电系统配电模式的选取主要有2种，分别是共交流母线和共直流母线[5]。共交流母线结构是指多个输电线路的中性点通过母线相连，形成一种低压电网的结构。这些输电线路可以介入发电机、变电所或负荷，将电能传输到各个地方，该结构在电网的搭建中发挥着重要作用；共直流母线结构是指多个输电线路通过直流电源相连，形成一种低压直流电网的结构，共直流将输电线路的直流电接入一个升压变压器，再通过母线传输到各个负荷，共直流母线较多应用于高压直流输电线路中。从工程应用的角度看，配电系统的可靠性和稳定性是极其重要的，而共交流母线结构能够将各个负载间的故障隔离开来，当系统中某个环节出现问题时，不会影响到系统的其他环节，提高了供电的可靠性与稳定性，而直流电的传输距离有限，限制了其应用范围。另外，从经济成本上看，共交流母线结构的设备制造和维护成本相较共直流母线低，

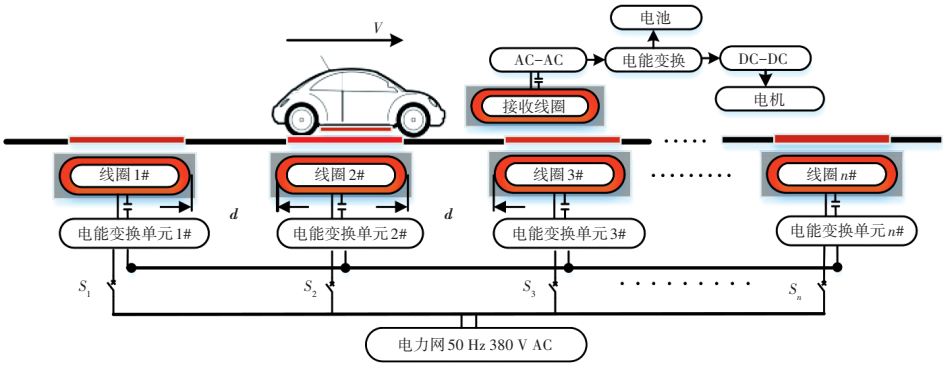


图2　电动汽车动态无线充电系统总体结构

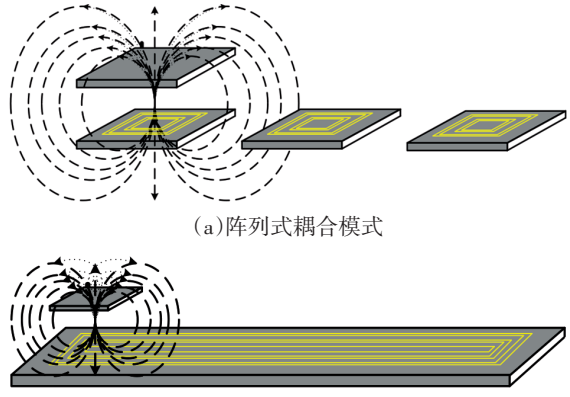
更有利于成本控制。

对于动态无线充电系统发射端电能传输线圈的启停控制，为提高可靠性和可操作性，可针对每个发射线圈设置相应的独立电源，动态无线充电系统的发射线圈以8个为一组，相应的8个电源模块放入一个控制机柜，并配置必要的保护环节，由共交流母线将工频220 V电压输送给各个控制机柜，完成对动态充电系统发射线圈的控制。对于静态无线充电系统，由于静态充电点位较有限可能更为分散，考虑到经济成本和后期维护，可对每个静态发射线圈设置相应的电源控制，将电源模块和信号传输模块等放入控制柜中，由工频交流电为机柜输送能量，完成对静态无线充电发射端的控制。

2.3　耦合机构

在电动汽车动态无线充电过程中，地面端和接收端的水平相对位置是不断变化的，双边耦合线圈位置不能够保证时刻对称，由此会造成漏感加大，耦合程度降低，进而引发功率波动等问题，不利于电动汽车高效可靠地无线充电[6]。磁耦合收发线圈的结构组合主要包括圆-圆型、圆-方型、方-圆型、方-方型4种。文献[7]对这4种耦合结构进行了详细的分析，得出了各结构的互感表达式并进行了仿真对比。经过对比之后发现方-方型耦合结构相比其他三种结构在保证发生相同水平位移时有着更小的波动性，即有更好的抗偏移能力。因此方-方型的耦合结构更适合用于电动汽车动态无线充电系统中。

现阶段对于电动汽车动态无线充电系统双边耦合模式的选取主要有两种，一种为阵列式，另一种为导轨式，如图3所示。由于单一的远距离导轨型线圈回路长时间处于供电状态，回路中会存在较大的空载电流损耗和电磁干扰[8]，且在实际工程应用中成本较大，因此本设计在保证发射与接收线圈间耦合强度处于动态平滑的状态及减少发射端线路损耗的前提下，选择发射侧线圈阵列平铺的模式。

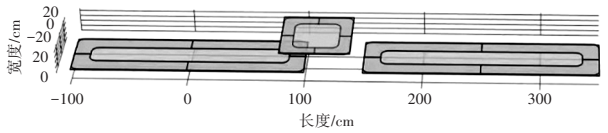


(a)阵列式耦合模式

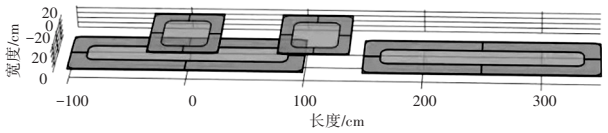
(b)导轨式耦合模式

图3　两种不同耦合模式示意图

在电动汽车动态无线充电通常的耦合结构中，为减少发射线圈的能量损耗，发射端选择阵列式结构，而接受端一般为单线圈接收结构，如图4所示，结合实际工程需求，发射线圈选用长宽为200 cm×50 cm的矩形线圈，接收线圈选用60 cm×60 cm方形线圈，以50 cm为一个移动步长，收发线圈之间的垂直距离为15 cm。单接收线圈在图4a位置时未能与发射线圈正对，会造成双边线圈之间的耦合程度较低，从而使得发射端损耗增加并影响传输性能。而在图4b所示双接收线圈结构中，在发射端线圈排列相同的情况下，接收端在移动的过程中始终至少有一个线圈的面积与发射线圈正对，处于较高的耦合状态，这样就将在一定程度上抑制了电动汽车动态无线充电过程中功率波动的问题，提高了系统输出功率和接收电流的稳定性。通过进一步分析可知在电动汽车动态移动过程中，双接收线圈结构的耦合能力要强于单接收线圈，而且汽车底盘上的接收线圈越多，功率传输将越平稳，但考虑到两个接收线圈的长度加上间隔已经达到170 cm，这已经占用了汽车底盘较大的一部分，且增加过多接收线圈也会增加整车质量，因此不宜继续增加接收端线圈的数量。



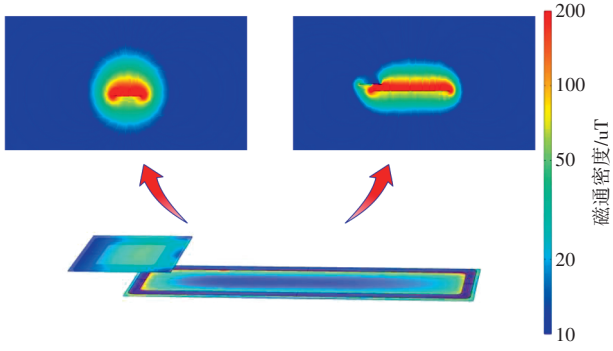
（a）单接收线圈的动态耦合模型



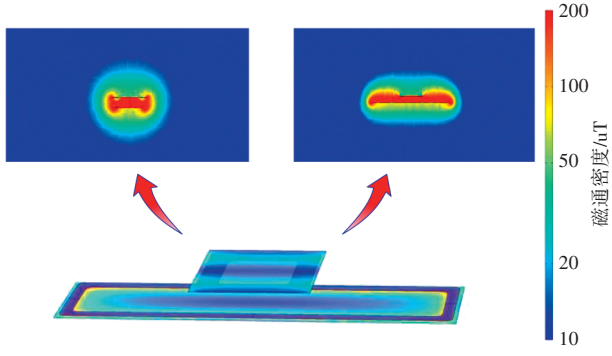
（b）双接收线圈的动态耦合模型

图4　不同接受线圈的动态耦合模型

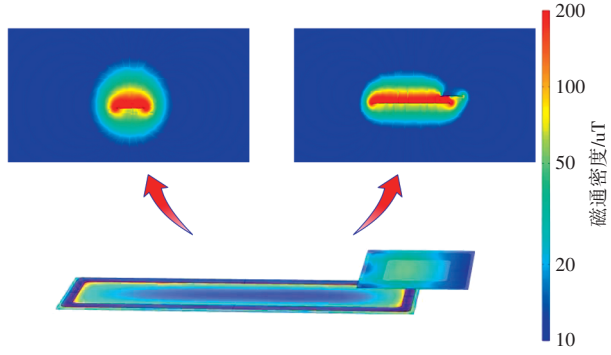
以单发射-单接收线圈为例，搭建如图5所示的耦合机构分别处于三种不同情况下运行的磁场仿真模型。其中，图5a、图5b、图5c分别为车辆底盘装载的电能接收线圈进去发射线圈、处于发射线圈中心再到驶离发射线圈时不同情况下耦合机构的磁场强度及磁力线分布情况。



（a）发射线圈进入接收线圈时磁场分布



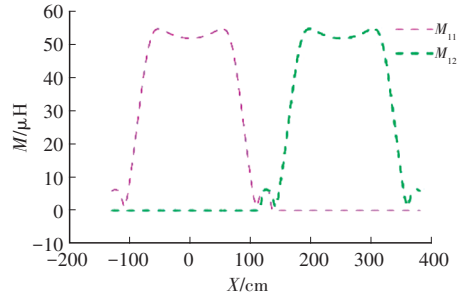
（b）发射线圈处于接收线圈中心时磁场分布



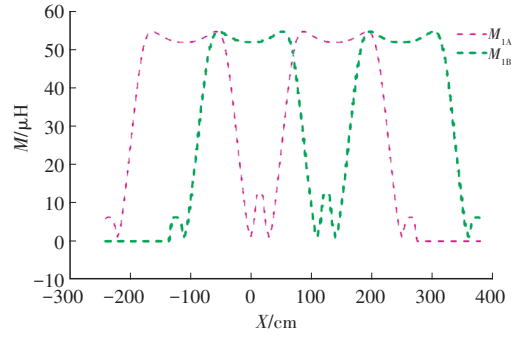
（c）发射线圈离开接收线圈时磁场分布

图5　三种不同情况下耦合机构磁场仿真模型

在单接收线圈模式下，令发射接收线圈与第一个、第二个发射线圈之间的互感分别为M_{11}、M_{12}；在双接收模式下，令发射线圈与第一个、第二个发射线圈之间的互感分别为M_{1A}、M_{1B}，建立如图6所示的不同模式下接收侧随位移变化与发射线圈之间的互感变化曲线。



（a）单接收线圈互感随位移变化曲线



（b）双接收线圈互感随位移变化曲线

图6　线圈间的互感随位移变化曲线图

根据仿真结果可知，与单接收线圈相比，双接收线圈在减少发射线圈电能损耗、提高车载端输入功率的同时，还减小了动态无线充电过程中耦合机构互感的变化，即对系统的传输功率以及传输效率的波动起到一定的抑制作用，可大大提升系统的输出性能。

2.4　补偿拓扑

无线电能传输系统在传能过程中，由于双边线圈的耦合系数很小，会产生较多的无功功率，这将会严重影响系统的传输性能[9]。通过在电路中附加无功补偿网络可有效降低对无功功率的依赖，减少线路的无功损耗。根据一次侧和二次侧添加无源元件个数的不同，将补偿拓扑分为基本补偿和复合补偿。

基本补偿网络可归纳为4种：串串（Series-Series，SS）、串并（Series-Parallel，SP）、并串（Parallel-Series，PS）、并并（Parallel-Parallel，PP），这4种补偿网络结构相对简单，所用元器件较少，易于分析，但同时也存在着较多问题，如抗偏移性能差、过流问题、输出功率都随着负载电阻的变化而变化，而且受耦合系数的影响也较大，且呈指数性关系，因此这4种基本拓扑并不适

用于系统参数变化较为频繁的电动汽车动态无线充电系统[10-12]。

为了对电动汽车传输更加可靠稳定的电能，可采用复合补偿网络对原副边进行无功补偿，现提出在WPT系统中使用LCC-LCC补偿拓扑，即在基本补偿网络SS拓扑两边各增加一个补偿电容和一个补偿电感，形成T型补偿网络。电动汽车WPT系统LCC-LCC电路原理图如7所示[7]。

下面对LCC-LCC的电路拓扑图进行分析，如图8所示为该拓扑的电路网孔分析原理图。

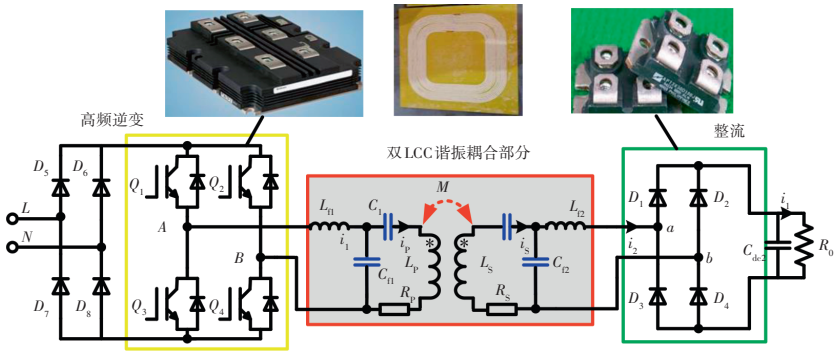


图7　电动汽车动态无线充电电路原理

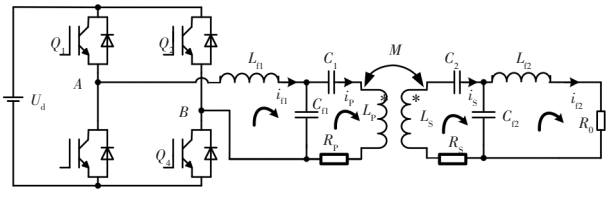


图8　LCC-LCC电路分析原理

在图8中，现用网孔电流法对以上电路进行分析，U_d表示直流输入电压源；Q_1-Q_4为构成全桥逆变电路的4个MOSFET管；C_1、C_{f1}、C_2、C_{f2}为双边补偿电容；L_{f1}、L_{f2}为双边的补偿电感；L_p、L_s为原副边耦合线圈电感，其内阻分别为R_p、R_s；M为互感；U_{AB}表示逆变输出电压；i_{f1}、i_{f2}、i_p、i_s分别表示流过电感L_{f1}、L_{f2}、L_p、L_s的电流。

根据基尔霍夫电压定律可得LCC-LCC补偿电路的表达式为：

$$\begin{cases} \left(j\omega L_{f1}+\dfrac{1}{j\omega C_{f1}}\right)i_{f1}-\dfrac{1}{j\omega C_{f1}}i_p=U_{AB} \\ \left(j\omega L_p+\dfrac{1}{j\omega C_1}+\dfrac{1}{j\omega C_{f1}}+R_p\right)i_p-\dfrac{1}{j\omega C_{f1}}i_{f1}-j\omega Mi_s=0 \\ \left(j\omega L_s+\dfrac{1}{j\omega C_2}+\dfrac{1}{j\omega C_{f2}}+R_s\right)i_s-\dfrac{1}{j\omega C_{f2}}i_{f2}-j\omega Mi_p=0 \\ \left(j\omega L_{f2}+\dfrac{1}{j\omega C_{f2}}+R_0\right)i_{f2}-\dfrac{1}{j\omega C_{f2}}i_s=0 \end{cases} \tag{1}$$

为了提升电能传输效率，需让系统工作在谐振频率下，谐振网络参数满足：

$$\begin{cases} \omega_0 L_{f1}=\dfrac{1}{\omega_0 C_{f1}}=\omega_0 L_p-\dfrac{1}{\omega_0 C_1} \\ \omega_0 L_{f2}=\dfrac{1}{\omega_0 C_{f2}}=\omega_0 L_s-\dfrac{1}{\omega_0 C_2} \end{cases} \tag{2}$$

式中：ω_0为谐振角频率，当系统工作在谐振状态下时，为进一步简化计算，可忽略线圈内阻，则原边和复边的输入、输出电流分别求得：

$$\begin{cases} i_{f1}=U_{AB}R_0\omega_0^6M^2C_{f1}^2C_{f2}^2=\dfrac{U_{AB}R_0M^2}{\omega_0^2L_{f1}^2L_{f2}^2} \\ i_p=-jU_{AB}\omega_0C_{f1}=\dfrac{U_{AB}}{j\omega_0L_{f1}} \\ i_s=U_{AB}R_0\omega_0^4MC_{f1}C_{f2}^2=\dfrac{U_{AB}R_0M}{\omega_0^2L_{f1}L_{f2}} \\ i_{f2}=-jU_{AB}\omega_0^3MC_{f1}C_{f2}=\dfrac{U_{AB}M}{j\omega_0L_{f1}L_{f2}} \end{cases} \tag{3}$$

进而可以求得系统的输入、输出功率分别为：

$$\begin{cases} P_{in}=\dfrac{\omega_0^2M^2R_0+R_pZ_T^2}{Z_T^4+R_SR_0Z_T^2}U_{AB}^2\approx\dfrac{U_{AB}^2R_0M^2}{\omega_0^2L_{f1}^2L_{f2}^2} \\ P_{out}=\dfrac{\omega_0^2M^2Z_T^4R_0}{(Z_T^4+R_SR_0Z_T^2)^2}U_{AB}^2\approx\dfrac{U_{AB}^2M^2R_0}{\omega_0^2L_{f1}^2L_{f2}^2} \end{cases} \tag{4}$$

根据上述分析计算，系统的效率为：

$$\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}=\frac{1}{R_0+\dfrac{R_pZ_T^2}{\omega_0^2M^2}+\dfrac{R_SR_0^2}{Z_T^2}}R_0\approx1 \tag{5}$$

式(4)、式(5)中，R_0约等于号前为仅忽略内阻乘积项的结果，主要用于灵敏度分析的计算，约等于号后为忽略所有线圈内阻的计算结果，更直观地观察功率与效率的计算结果。

式(3)中i_{f2}为该系统的输出电流表达式，可以看出LCC-LCC补偿拓扑中输出电流与负载是无关的，即具有恒流输出的特性。此外，当该动态无线充电系统工作在谐振频率点时，系统的等效电阻为纯阻性，可实现单位功率因数运行，且LCC-LCC补

偿拓扑有着更高的自由度，这有利于后续对系统的分析和优化设计，因此本设计中采用LCC-LCC补偿拓扑。

2.5 位置检测及控制策略

动态无线充电系统实施阵列式耦合机构的主要障碍之一是在电动汽车在道路上行驶时对电能接收线圈的实时位置检测，在电动汽车行驶过程中对阵列式发射线圈的启/停进行实时控制不仅可以提高电能利用率，同时避免发射线圈空载时谐振电路承受较大电流冲击[13]。位置检测方式主要包括主动位置检测和被动位置检测两种，其中被动位置检测指车辆在充电时被地面端被动辨识，通常是通过车辆上搭载的一些被动标记，如磁性标签、射频识别技术（Radio Frequency Identification，RFID）标签或者特殊的形状结构，充电设备通过检测这些标记来确定正确的充电位置，这种检测方式由于依赖被动标记且对环境变化敏感，在精度定位方面受到限制；主动位置检测即充电设备通过一些传感器、摄像头或其他技术主动检测车辆的位置，然后根据检测到的信息调整充电板或传输能量的设备的位置，由于主动位置检测中信号传输独立于电能传输特性，弥补了被动检测的缺陷[14]，所以该方式更适合于本系统。

为了在满足工程实用性要求的前提下降低位置检测系统的成本，本文提出了一种基于磁场定位的附加线圈定位方案与切换控制策略。其中位置检测线圈包括置于电动汽车底盘前端的高频信号发射线圈和埋于地面下的信号检测线圈两部分，电能收/发线圈及位置检测线圈的相对位置如图9所示。

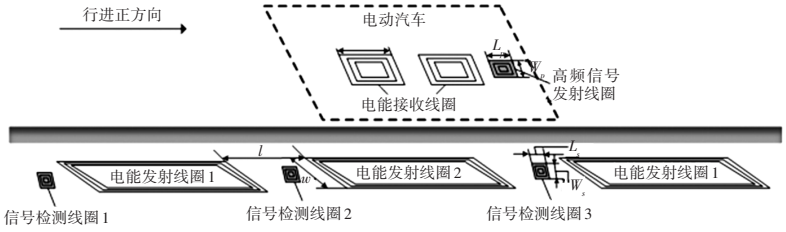


图9 位置检测线圈安放示意

为使位置检测线圈对高频信号发射线圈有相对较高的灵敏度，工程应用中通常需要保证高频信号发射线圈的长、宽（分别为L_p、W_p）分别大于位置检测线圈的长和宽（分别为L_s、W_s），且高频信号发射线圈的匝数与信号检测线圈的匝数应满足$N_p=(0.6\sim0.8)N_s$[15]，若位置检测线圈面积过大，会导致其与电能传输线圈之间距离过近，产生电磁干扰，对系统性能造成不利影响。因此，基于理论和实际应用分析，本系统中高频信号发射线圈尺寸采用30 cm×30 cm，信号检测线圈为20 cm×20 cm。

为了实现动态无线充电系统发射端自动、高效地为电动汽车传输能量，本文基于以上提出磁场式附加线圈定位方案，提出一种可靠的独立闭环发射端切换控制策略，切换流程如图10所示。

主要控制步骤如下：

a. 系统开机，向高频信号发射线圈施加激励U_a，设信号检测线圈为n_i，电能发射线圈为n_j，判断电动汽车当前位置并将前方距离最近的信号检测线圈定义为n_i，令$j=i$。

b. 判断是否执行关机操作，若汽车无需继续充电或走出无线充电轨道，可主动令系统关机，否则执行下一步操作。

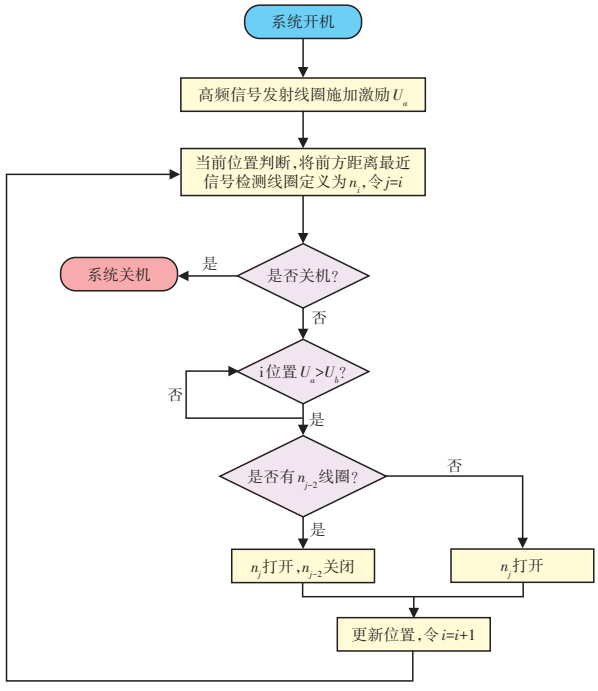


图10 切换控制流程

c. 判断i位置处的激励U_a是否大于提前设定的阈值电压U_b，若满足条件，则进行下一步操作，否则重新执行此操作。

d. 判断是否有汽车已经经过的电能发射线圈n_j-2，若有n_j-2线圈，则将线圈n_i打开，将n_j-2关闭，

否则只打开线圈 n_i。

e. 更新位置，令 $i=i+1$ 并重新判断汽车当前位置，继续循环整个控制过程。

3 静/动态协同无线充电策略

无人驾驶车辆在运行过程中，会面临驶出动态无线充电区域的情况或在动态无线充点区域用电负荷过大导致车辆电量过低无法继续工作，因此为保证车辆时刻处于正常状态，可以10%电量为最低限值，当车辆电量低于此限值时，自动巡航至静态无线充电点位进行静态高效快速充电，当电量充到90%时，返回正常路段或动态无线充电路段继续工作，以始终维持电动汽车电量处于正常范围。

4 静/动态无线充电技术应用

2023年7月，中国一汽科技创新基地园区内建设完成国内首条搭载5G+自动驾驶高性能、大功率智慧系统的动态无线充电道路，全长120 m，集车网互联、自动驾驶和动态无线充电功能于一体，可为行驶中的新能源电动车实时无线充电，如图11所示。



图11 自动驾驶巴士动态无线充电

创新基地还设有5个静态无线充电点位，如图12所示，可实现无人驾驶车辆动/静态协同无线充电，功率等级30 kW。电动汽车在固定导轨路径上实现在线无线充电的同时，可实时监控电动汽车的上的电压、电流、功率等参数并上传数据到总控制台，通过监控电池的状态自动调节电池充电功率，并在过流、过压、过充等情况下切断对电池的充电。



图12 自动驾驶巴士静态无线充电

5 结束语

本文结合电动汽车发展趋势，提出了无人驾驶汽车静/动态协同无线充电系统设计方案，首先介绍了基于电磁感应原理的动/静态无线充电技术，然后对两种配电模式进行对比分析，指出共交流母线更适合于本系统的工程应用中；接着结合仿真分析对电能收/发线圈耦合机构进行了研究，得出双接收线圈不仅在动态无线充电过程中不仅可以减少发射线圈的电能损耗，而且在动态无线充电过程中有一定的功率波动抑制作用；选择双边LCC作为本系统的补偿拓扑，对输出性能进行了计算；结合工程应用提出了电动汽车主动位置检测策略及静/动态两种充电方式相结合的协同无线充电方案，最后介绍动/静态协同无线充电技术在智能化无人驾驶电动汽车领域的实际应用。

参 考 文 献

[1] 朱春波, 姜金海, 宋凯, 等. 电动汽车动态无线充电关键技术研究进展[J]. 电力系统自动化, 2017,41(2): 60-65.

[2] 李阳, 石少博, 刘雪莉, 等. 磁场耦合式无线电能传输耦合机构综述[J]. 电工技术学报, 2021,36(S2): 389-403.

[3] 田勇, 朱泽, 田劲东, 等. 基于LCC-S补偿的电动汽车动态无线充电系统拓扑参数优化[J]. 机械工程学报, 2021, 57(14): 150-159.

[4] 薛明, 杨庆新, 章鹏程, 等. 无线电能传输技术应用研究现状与关键问题[J]. 电工技术学报, 2021,36(8): 1547-1568.

[5] 刘可人, 罗华, 李鸿. 电动汽车用驱动电机测试平台多功能电源系统[J]. 计算技术与自动化, 2023,42(2): 57-63.

[6] 王杰. 电动汽车动态无线充电功率波动性研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2020.

[7] 任年振. 电动汽车动态无线充电快速响应方法研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2021.

[8] LIU S P, LI Y, WU Y H, et al. An Output Power Fluctuation Suppression Method of DWPT Systems Based on Dual-Receiver Coils and Voltage Doubler Rectifier[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2023. 70(10): 10167-10179.

[9] DENG J J, MAO Q N, WANG W B, et al. Frequency and Parameter Combined Tuning Method of LCC-LCC Compensated Resonant Converter with Wide Coupling Variation for EV Wireless Charger[J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2022, 10(1): 956-968.

[10] 王泽伦. 电动汽车DWPT系统输出稳定性控制方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022.

[11] VUVB D H, TRAN D H, CHOI W J. Implementation of the Constant Current and Constant Voltage Charge of Inductive Power Transfer Systems with the Double-Sided LCC Compensation Topology for Electric Vehicle Battery Charge Applications[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2018, 33(9): 7398-7410.

[12] 孟涛. 电动汽车动态无线充电系统磁耦合机构设计与优化研究[D]. 南京: 东南大学, 2022.

[13] PATIL D MILLER J M, FAHIMI B, et al. A Coil Detection System for Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicle [J]. IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2019. 5(4): 988-1003.

[14] 张献, 徐伟达, 王奉献, 等. 动态无线充电系统自解耦型分段导轨及其双模切换策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2023.

[15] 苏玉刚, 张帅, 徐勇, 等. 电动汽车无线供电系统电能发射线圈设计与切换控制[J]. 西南交通大学学报, 2016, 51(1): 168-176.

（责任编辑　**明慧**）

《汽车文摘》征文

《汽车文摘》（月刊）于1963年7月3日创刊，由国务院国有资产监督管理委员会主管、中国第一汽车集团有限公司主办，为中国汽车工程学会会刊。《汽车文摘》以“览全球汽车技术文献，指中国汽车技术之道”为使命，以打造“中国汽车前沿与创新技术传播与交流的重要平台”为愿景，致力于成为汽车领域最具影响力的综述类期刊。

2023年11月，《汽车文摘》复合影响因子达1.187，这反映《汽车文摘》自2019年启动转型升级以来，期刊学术影响力稳步提升。

《汽车文摘》深耕电动化、智能化、网联化、共享化和智能制造5大方向和10大领域，聚焦新能源、燃料电池与混合动力汽车、智能网联汽车、氨氢融合零碳和碳中性燃料、汽车安全、健康与舒适、碳达峰与碳中和、生命周期评价（LCA）与技术经济分析、智能制造、材料轻量化与一体化压铸、飞行汽车前沿与创新技术综述论文，揭示相关领域的新动态、新趋势、新技术和新进展，为广大科研和工程技术人员进一步发展这一领域提供新突破口、新出发点和新基准。

欢迎高等院校师生、研发工程技术人员、技术管理人员，充分发挥专业领域优势，深度挖掘国内外高影响力学术期刊与其它文献，形成某个技术领域前沿综述。

《汽车文摘》选题范围：

电动化：混合动力关键技术；动力电池关键技术；先进充电技术；电驱动系统及电力电子技术；智能底盘及子系统线控关键技术；燃料电池动力系统设计与优化。

智能化：新型电子电气架构；自动驾驶感知、决策与运动控制；智能新能源汽车测试评价方法与工具链；车辆智能安全技术。

网联化：智能网联云控技术；车用通信及网络技术；车路协同技术；汽车人因、人机交互与智慧座舱；信息安全与预期功能安全；车网融合（V2G）及应用。

低碳化：汽车节能与排放技术；清洁能源动力系统技术；碳达峰、碳中和；氢燃料制、储、运、加及安全管控技术；生命周期评价（LCA）、标准法规与技术经济分析；氨氢融合零碳和碳中性燃料。

轻量化：新能源汽车新材料技术；混合材料轻量化设计；一体化压铸。

共享化：区块链技术与移动出行；车辆大数据挖掘方法与应用案例。

燃料电池：电池堆、电池系统与基础设施。

智能制造：机器人与自动化控制、四大工艺、物流技术、设计-制造-服务。

颠覆式出行：飞行汽车；未来低空智能交通体系及其关键技术。

汽车安全：主被动安全与融合；智能安全；健康与舒适。

《汽车文摘》发表论文的独特优势：

《汽车文摘》是国家级刊物、中国汽车工程学会会刊、汽车领域唯一的综述期刊。《汽车文摘》不收版面费、4个月左右可发稿。

投稿要求：

1. 综述篇幅在10 000～15 000字（6~10页），图文并茂，图、表和公式非原创要求标注引用文献；

2. 请按科技论文要求撰写文章摘要，摘要中文字数在200±10字；

3. 文章必须附有公开发表、体现本领域最新研究成果和高影响力出版物作为参考文献，一般要求参考文献在20篇以上，一半左右为外文参考文献，且在文中标注所引用文献；

4. 来稿保密审查工作由作者单位负责，确保署名无争议，文责自负；

5. 切勿一稿多投。

《汽车文摘》投稿网址：http://www.qcwz.cbpt.cnki.net

邮箱：autodigest@faw.com.cn

《汽车文摘》编辑部