

无线电能传输技术在电动汽车 无线充电中的应用

廖承林 李均锋 马中原

(中国科学院电工研究所 电力电子与电气驱动重点实验室 100190)

随着全球能源危机不断加深,环境污染日益加剧,发展节能环保的电动汽车已成为人们的共识。但当前电动汽车的发展和推广应用依然受到许多因素的制约,比如电池技术、成本控制、基础设施建设和安全性等。其中,充电设施的建设、充电的安全与方便性是影响电动汽车普及的关键问题,主要受制于电动汽车充电技术的发展水平。电动汽车无线充电技术相比于传统接触式传导充电技术,在使用安全性、可靠性、灵活性、适应性等方面具有一定优势,可方便用于在车库、停车场、充电站等场所实施电动汽车无人值守智能充电,市场前景良好,将对电动汽车的推广和普及起到重要作用。

1. 无线电能传输技术简介

无线电能传输技术将电源的电能转变为可无线传播的能量发射出去,然后在接收端又将接收到的能量转变回电能,从而实现电能的无线传输并给负载供电。无线电能传输有多种实现方式,一般来说主要有辐射式和近场耦合式两大类。辐射式主要包括基于射频和微波的无线电能传输技术,近场耦合式主要包括基于磁感应和磁谐振的无线电能传输技术。

1.1 基于微波的无线电能传输技术

微波无线电能传输技术以频率在 300 MHz ~ 300 GHz 的微波为载体,实现自由空间无线传输电磁能量。该技术首先通过微波源将电能转变为微波,并由发射端天线发射出去,经过一段距离的传播后再由发射端天线接收,然后通过整流电路将微波转换为直流电,并供给后续电路使用,如图 1。微波无线电能传输技术具有方向性高、可穿透电离层并可实现远距离能量传输等特点,但效率较低、体积较大、成本较高,在现阶段的应用受到限制。

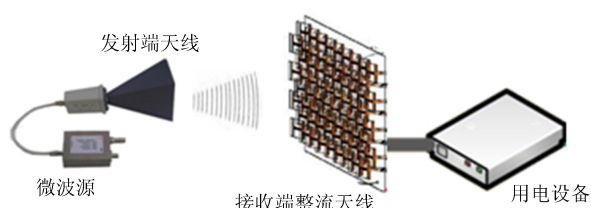


图 1 基于微波的无线电能传输系统示意图

1.2 基于磁感应的无线电能传输技术

基于磁感应的无线电能传输技术是利用电磁感应的原理,大多采用带铁心的可分离变压器结构,通过线圈间的感应耦合作用使能量从原边侧传到副边侧,从而实现短距离的无线电能传输。如图 2,逆变电源产生高频交流电注入原边侧发射线圈从而产生交变磁场,副边侧接收线圈则在交变磁场中感应出高频交流电,然后经过整流调压等变流控制给用电设备供电。基于磁感应的无线电能传输技术工作频率一般为几十 KHz,逆变电源设计较为容易,输出功率大、效率高。磁感应能量耦合机构一般采用铁氧体磁芯,能够大大提高原副边线圈间耦合系数,提高无线传输效率,在有轨电车等轨道交通方面应用较多。但电磁感应耦合式无线充电技术也有一些局限性,比如对位置敏感度特别高,需要原边侧和副边侧距离贴近且位置高度对准,传输距离较近,一般为几 mm 到几 cm 距离。

1.3 基于磁谐振的无线电能传输技术

基于磁谐振的无线电能传输技术同样利用电磁感

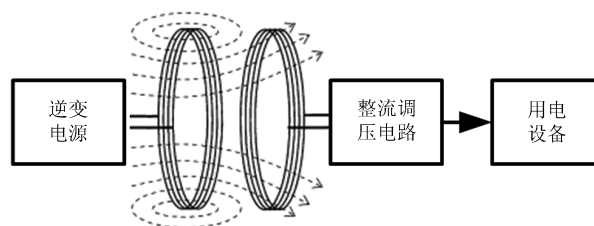


图 2 基于磁感应的无线电能传输系统示意图

应原理，并在此基础上通过线圈磁谐振实现电能的中距离无线传输。磁谐振技术不同于磁感应技术之处在于线圈采用谐振方式工作，当原边侧发射线圈的工作频率与副边侧接收端线圈的谐振频率一致时，可在副边侧线圈产生较大的电流，从而实现中远距离的无线电能传输。如图3，从电源出来的高频交流电注入驱动线圈，驱动线圈与相距很近的发射端谐振线圈之前通过磁感应技术传递能量，发射端谐振线圈与接收端谐振线圈之间通过磁谐振技术传递能量，接收端谐振线圈与相距很近的负载线圈之间也通过磁感应技术传递能量，最后由负载线圈给负载供电。

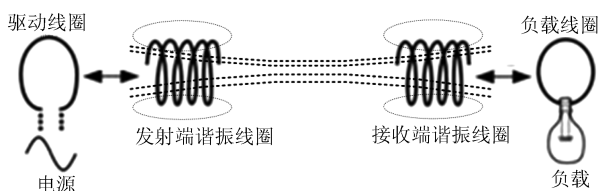


图3 基于磁谐振的无线电能传输系统示意图

基于磁谐振的无线电能传输技术最早于2006年由麻省理工学院的学者提出，并得到了众多学者的深入研究，使得系统工作频率由早期的几十MHz逐渐向下拓展到几十KHz，系统传输效率和传输功率也得到了较大的提高。该技术对位置误差容忍度相对较高，使用更加灵活方便。磁谐振无线充电技术具有一些优点，比如：电能传输距离远，使得磁谐振无线充电系统的发射端装置可安装在地面以下，对地面安装使用空间需求较小；工作过程几乎不需要人工参与，使用更加简单，有助于智能化设计；发射装置和接收装置可采用密封结构，可工作与潮湿、阴雨天气，工作可靠性和适应性更高。

1.4 无线电能传输技术对比

除了上述基于微波、磁感应和磁谐振的无线电能传输技术以外，还有一些其他种类的无线电能传输技术，比如基于电场耦合、声波以及激光的无线电能传输技术，也各有自身的特点和适用的场合。从传输功率、效率、传输距离、成本和实用性等角度来看，基于磁感应和磁谐振的无线电能传输技术目前最适合电

动汽车无线充电应用，有可能随着电动汽车的发展得到大规模推广应用。随着无线电能传输技术研究的不断深入，磁感应和磁谐振技术相互借鉴，使得它们优点得到了充分的运用和发挥，也使得两者之间的区别越来越不明显。

2. 电动汽车无线充电技术介绍

2.1 电动汽车充电技术

电动汽车充电方式主要包括接触式（插电式）和非接触式（无线充电）充电方式。目前的电动汽车充电以接触传导式为主，该方式采用电缆，将工频电源、充电器与电动汽车动力电池直接相连。接触式充电技术效率高，但在安全性、便利性等方面存在一些不足，比如由于电动汽车充电电压较高、电流较大，且在使用过程中存在接触点摩擦老化、接触不良等潜在问题；在人工操作时可能会存在潜在的危险或意外；另外，该方式不能在潮湿、雨水等环境中使用。

随着无线电能传输等技术的发展，基于电磁感应原理的电动汽车无线充电技术得到了应用。电动汽车进行无线充电时，车载充电器与地面电源无直接电气连接，操作安全性较高，可用于阴雨、潮湿等环境，且无机械接触，磨损老化问题较小。相比于传统接触传导充电方式，无线充电技术在使用安全性、可靠性、灵活性、适应性等方面具有一定优势，用户体验较好。

2.2 电动汽车无线充电技术

如图4，电动汽车无线充电系统由地面端装置电源和地面发射装置、车载接收装置和车载充电器，以及车载终端系统组成。系统工作时，由车载终端负责车辆信息的识别，并与地面端充电设备进行信息交互，确认具体充电需求；由地面端电源装置将220VAC/50Hz市电转换为高频电流注入地面发射装置，然后由地面发射装置将高频电流转化为高频磁场

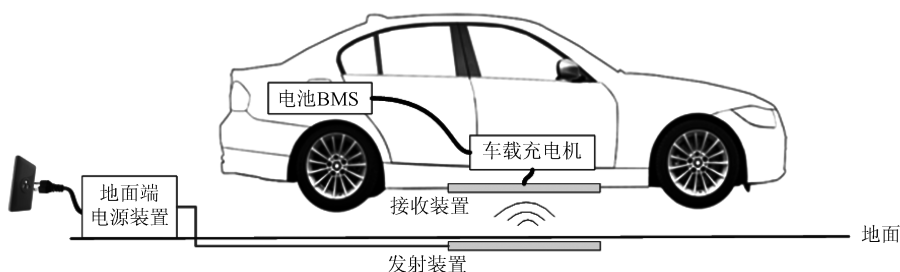


图4 电动汽车无线充电系统示意图



图5 中国科学院电工研究所研制的电动汽车无线充电系统（左图：实车图片，右上图：车载终端，右中图：车载充电机，右下图：地面高频电源图）

并发射出去；车载端接收装置通过电磁感应耦合原理接收高频磁场信号，并将其转化为高频电流，然后经车载充电机转化为直流电供给动力电池充电；这个过程中，车载充电机还需要负责电池充电信息的检测和收集，并将数据信息发送到车载充电系统进行显示。

国内外有不少研究团队开展了电动汽车无线充电技术研究，其中中国科学院电工研究所研制的电动汽车无线充电系统主要参数指标为：输出功率 3.3 kW，传输距离 20 cm，整机最大效率 90.5%。图 5 的无线充电系统搭载在北汽 E150EV 纯电动汽车上，由地面高频电源、地面发射装置、车载接收装置、车载充电机和车载终端构成。

与有线充电方式需要用户手动插拔充电电缆不同，无线充电方式具有更高的自动化程度，可实现充电过程的自动执行。地面端电源和发射装置一般安装在停车场或车库中停车位的下方，埋在地面以下，不占用地面空间。当用户泊车时，系统会在车载终端中显示车辆与地面端发射装置的相对位置信息，指示用户将车辆停在最佳充电位置；当车辆正确入位后，用户可通过车载终端进行车辆信息确认和充电需求设置，无线充电系统便可自动开始充电。

3. 电动汽车无线充电技术前景

电动汽车无线充电技术具有使用方便、安全性高

和自动化程度高等特点，具有较为广阔的应用前景，可望广泛应用于驻车无线充电（也称为静态无线充电）、公交站台无线充电（也称为拟动态无线充电）和行车无线充电（也称为动态无线充电）等场合，亦可融入智能电网当中，实现电动汽车充电的自动调节。

(1) 驻车充电，是一种常规的充电方式，指电动汽车停放在充电位置上进行静态充电，可用于家庭慢充充电、充电站快速充电，以及车库（立体车库）的充电当中。驻车充电是电动汽车无线充电技术主要的应用场景。

(2) 公交站台无线充电，指电动公交车在站台的停靠时间内，利用站台处地面铺设的无线充电系统发送装置，为公交车补充电量。该方法能够有效减少电动公交车的电池容量，降低公交车的成本和重量。

(3) 行车充电，指电动汽车在行驶时进行充电。该方式在特定的道路上铺设无线充电系统发送装置，当车辆经过时，无线充电系统工作并为其补充电能。

(4) 智能电网充电，指电动汽车充电装置纳入智能电网运行控制中，可根据区域内电网负荷情况，对电动汽车无线充电进行智能控制，改善电网负荷状况。

总的来看，由于无线充电系统具有安全、便捷、自动化程度高等诸多优点，目前已成为电动汽车充电设施中的热点技术，也具有较大的潜在商机，得到了国内外的广泛关注，有望成为电动汽车充电技术中极为重要的组成部分而得到广泛推广使用。

作者简介

廖承林，男，工学博士，中国科学院电工研究所研究员，主要研究方向为电动汽车无线充电技术。