

新能源汽车电磁感应无线充电技术的研究

彭海洋, 郑德圆, 梁贤明, 陈嘉琪, 何培清

北部湾大学, 理学院, 广西 钦州
Email: lxsmx@163.com

收稿日期: 2021年3月9日; 录用日期: 2021年4月23日; 发布日期: 2021年4月30日

摘要

由于我国新能源汽车信息技术在不停的翻新发展, 导致传统的有线充电方式已不能完全满足其充电方式的需求。本文首先通过磁场共振式, 磁耦合谐振式, 电磁感应三种无线充电技术的比较, 然后介绍电磁感应的无线传输技术; 对其电能传输原理进行分析与比较, 最后得出电磁感应式具有可小型化, 造价较便宜, 电能传输效率较高, 无较大辐射等优点, 此技术国内外已开始在社会应用, 可知有良好的发展前景。

关键词

电磁感应充电技术, 无线电能传输, 新能源汽车

Research on Electromagnetic Induction Wireless Charging Technology for New Energy Vehicles

Haiyang Peng, Deyuan Zheng, Xianming Liang, Jiaqi Chen, Peiqing He

College of Science, Beibu Gulf University, Qinzhou Guangxi
Email: lxsmx@163.com

Received: Mar. 9th, 2021; accepted: Apr. 23rd, 2021; published: Apr. 30th, 2021

Abstract

Due to the continuous renovation and development of new energy vehicle information technology in China, the traditional wired charging mode cannot fully meet its charging mode. This paper first compares three kinds of wireless charging technology, magnetic resonance, magnetic coupling resonance and electromagnetic induction, and then introduces the wireless transmis-

sion technology of electromagnetic induction. The principle of power transmission is analyzed and compared, and the conclusion is that the electromagnetic induction has the advantages of miniaturization and low cost, high power transmission efficiency, no large radiation and other advantages, this technology has begun to be applied in society at home and abroad, it has a good development prospect.

Keywords

Electromagnetic Induction Charging Technology, Radio Power Transmission, New Energy Vehicles

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

自 2008 年启动“万城千车”节能新能源汽车示范工程以来,在国家相关政策的扶持和引导下,我国新能源汽车信息技术的产业市场发展迅速,而且这种趋势逐渐形成。因此,无线充电作为新能源汽车的充电技术也将成为市场最重要的一部分。与传统的接触式充电相比,无线充电可通过初级线圈和次级线圈,将能量从输入端到输出端,有效地避免了传统有线充电的充电时间长,还可能会产生触电的危险[1],具备容易操作,灵活性较高,适应性很强的特点。新能源汽车的遍布,使得传统充电桩不能满足市场的需求,由此可见,无线充电技术的安全性和稳定性更加符合未来汽车行业的发展方向[2]。目前,无线充电技术已在国内外得到试验并投放于市场使用,例如,重庆大学开展关于“静态无线充电系统关键技术及应用”的成果展示活动;“即停即充,边走边充”的新型充电方式在河北雄安新区的应用等实例都表明无线充电技术拥有较好的发展前景。本文通过对电磁感应充电传输电能技术与磁场感应共振式,磁耦合谐振式技术的比较与分析,得出其综合优势,但是在新能源汽车电磁感应无线充电技术的进一步研究上还存在一定的技术难题。

2. 常见的无线充电技术

2.1. 磁场共振式

磁场共振式是通过线圈进行能量耦合,通过电磁线圈产生的电流,实现电能的传递。无线充电的关键设备是电力发送器和电力接收器,即感应线圈,其中包括大电流 FPC 线圈和精密金属线圈,FPC 具有一致性好,柔性等优点,而精密线圈则具有电器性能占优,设计简单的特点。电力发送器符合 WPC 标准的设备线圈有到 50% 占空比谐振半桥的作用。电力接收器关键电路是用于接收电力初级线圈,将未稳压的经过稳压调节电路,尤其是负责身份的认证和电源要求的所有通信。但由于所需线圈直径较大,两端频率要求相同,又要防止相同频率电磁波进行干扰,在技术上仍存在极大困难。技术电路图如图 1。

2.2. 磁耦合谐振式

磁耦合谐振式技术是众多无线电能传输技术中的一种,它包括磁耦合感应式无线电能传输、磁耦合谐振式无线电能传输和磁耦合双模无线电能传输。

磁耦合谐振式技术的理论是耦合模式。首先在发射侧电源变换电路依次由 380 V 交流电整流、斩波和逆变成高频交流电,再通过发射线圈形成电能传输磁场变成电磁场能量,最后经接收线圈作用后形成

电能。其利用两个发生谐振耦合的电路来捕捉电磁场，即相同谐振频率的发射回路和接收回路，发生谐振时，在波长范围内通过近场瞬逝波耦合，使大部分能量发射回路传递到接收回路。

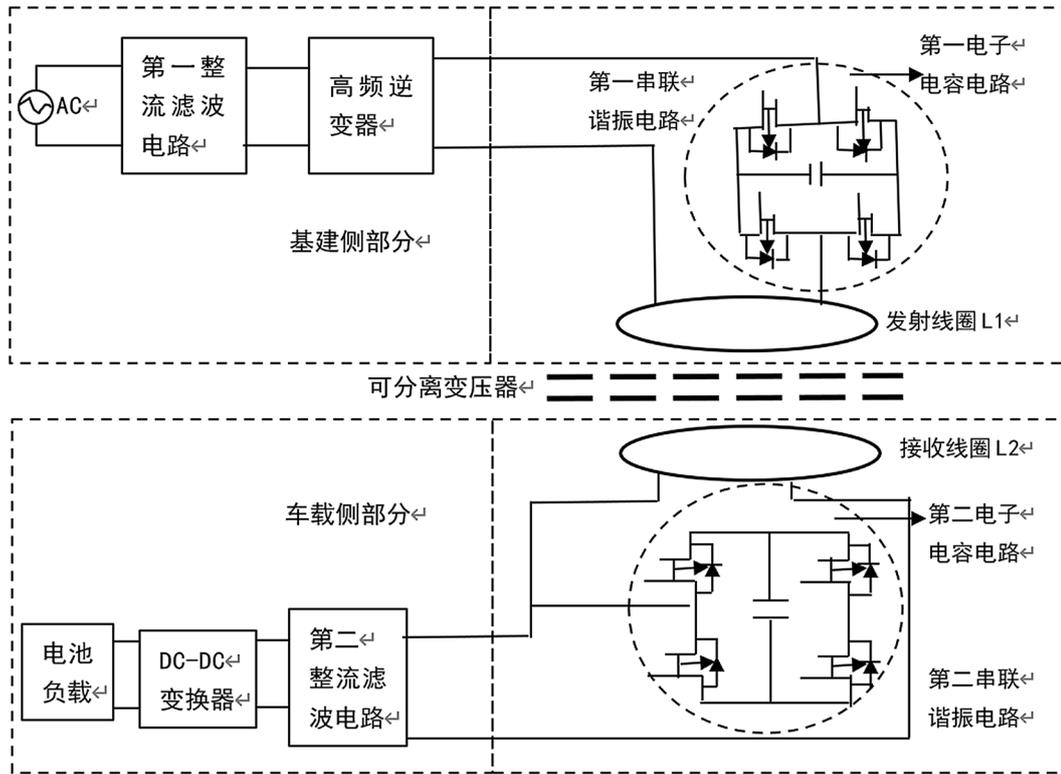


Figure 1. Magnetic resonance circuit diagram
图 1. 磁场共振式电路图

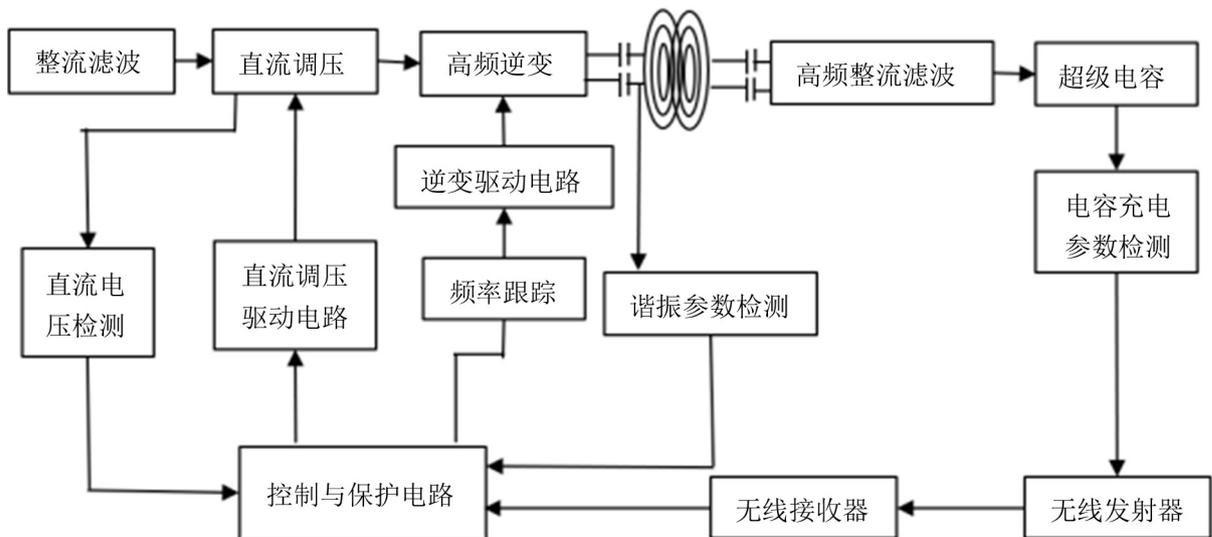


Figure 2. Magnetically coupled resonant
图 2. 磁耦合谐振式

如图 2 此技术可通过线圈与电容的合理计算得出相同的谐振频率，且与周围不同谐振频率的物体之间的相互作用力很弱，几乎不影响，有效解决其兼容性问题，因传输距离远，速度快的特点而被应用，

但因过度依赖谐振腔功能，造成成本高的弊端也不容忽视。

2.3. 电磁感应式

电磁感应式的无线充电技术的基本原理为法拉第电磁感应定律，具体包括电源整流，高频逆变，稳压滤波等几部分[3]，在发射装置和接收装置各有一个线圈，根据磁生电原理，发射装置有电源，通过信号传输，接收装置收到磁信号，进而再把磁信号转成电，实现进行电 - 磁 - 电的转换[4]。即电源经整流滤波和高频逆变进入交变高频磁场的发射线圈，再变压路进行变压，由接收线圈形成感应电流，最后通过整流滤波形成新能源电动汽车可用电气源。技术电路图如图 3。

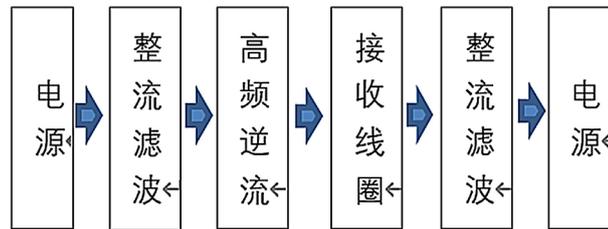


Figure 3. Electromagnetic induction circuit diagram
图 3. 电磁感应式电路图

同时，可通过 Ossa 技术，在 Cota 中集成 RF，实现充电的同时，减少对人体的辐射影响(RF 脉中信号影响小于 wifi 蓝牙)。CISR22 规定表明，在电源线底部可插入共模拆扼流圈，减少辐射量解决传统充电方式的漏电和其他交无线充电高辐射的安全隐患。电磁感应技术原理简单，技术成熟，制作成本低，在电磁感应技术无线充电的系统中，初级线圈与次级线圈的距离越近，传输电能的效率越大，在电表、电磁炉、微波炉、电动牙刷方面相继被应用，同时也广泛应用于手机。电动汽车领域。

2.4. 三种无线充电技术的优劣

Table 1. Overview and comparison of three wireless charging technologies

表 1. 三种无线充电技术的总述与比较

无线充电技术	传输距离	传输功率	优缺点及应用
磁场共振式	数厘米 - 数米	数瓦 - 千瓦	优点：传递效率高；传输距离远；电器性能优；一致性好，柔性强，可靠性高；电路结构简单，成本较低；支持多个设备充电。 缺点：技术要求高，需设计精密优良；充电效率低，损耗大；传输距离短，接触位置要求严格；会受到相同频率的电磁波干扰，技术上仍有困难。 应用：远距离电能无线传输设备应用。
磁耦合谐振式	数毫米 - 数厘米	数瓦 - 数百瓦	优点：传输速度快，可有效解决兼容性。 缺点：过度依赖谐振腔功能，设备技术成本要求高；发射和接受装置须在同轴或圆心偏差在一定个范围内，否则会导致传输效率低或失谐。 应用：电动车无线充电，手机无线充电。
电磁感应式	数毫米 - 数厘米	数瓦	优点：技术简单；电能利用高，成本低，节能环保；易操作，安全可靠；电能转化效率高，技术应用成熟。 缺点：远距离传输会降低传输电能效率，只能在短距离的范围里传输；设备体积大，充电范围和位置都要固定，金属感应接触器发热快。 应用：电磁炉，电动牙刷，手机，电动汽车等。

由表 1 可知，虽然电磁感应式的传输距离不是很远，传输功率也不是很大，但可结合 Cota 无线充电的发射器后，传输距离可达到数米，兼并电磁感应技术成熟，成本低，易操作的特点，此技术将成为日后新能源汽车无线充电的方式。

3. 电磁感应无线充电技术的设计原理

无线充电技术是一种新型的能量传输技术，该技术摆脱线路的限制，是的电器电源不用接触便可充电，在安全性、可靠性、便捷灵活性显示出比传统接触式充电器具有更高的优势。如今，无线充电技术已从梦想变成了现实，从科技研究转移到了实际的生活应用领域。

电磁感应无线充电技术电能传输原理是要在闭合回路中穿过闭合电路的磁通量发生变化，是整个系统原理是法拉第电磁感应和奥斯特的电流磁效应的物理原理相结合。在系统流程设备中，初始电源通过整流滤波和高频逆变后被运输到发射线圈，在电磁感应作用下，电流重新在与发射圈在物理空间零接触的接收线圈中形成并持续传输，接收端的整流器是决定系统效率又一个关键器材[4]，接着通过再整流滤波形成新能源电动汽车所需的电压。能量拾取端包括能量拾取线圈、谐振补偿网络和次级电能变换装置，最终将稳定的电能传送到负载设备上[5]。

其中在发射模块与接收模块中更为详细原理如图 4:

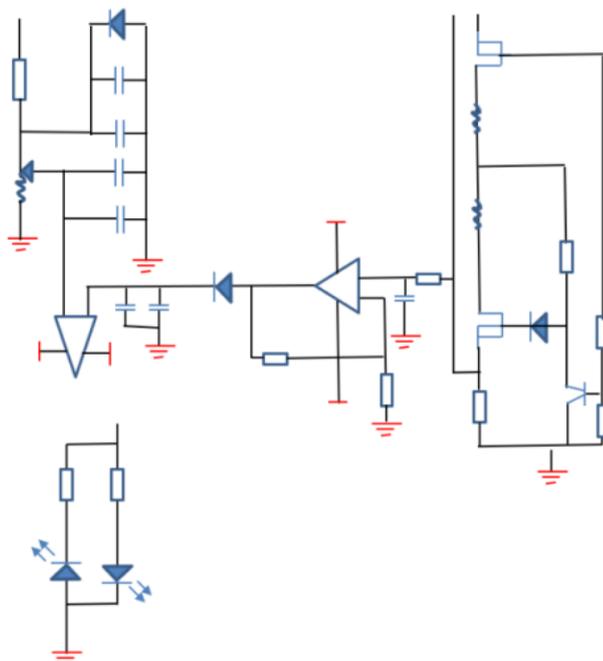


Figure 4. Electromagnetic induction wireless charging technology
图 4. 电磁感应无线充电技术

初级线圈的电压为 U_0 ，两端线圈的电路谐振频率为 ω 。初级线圈和次级线圈的电路电流分别为 I_1 ， I_2 ； Z_1 和 Z_2 发送线圈和接收线圈阻抗[6]等效电阻为 R_1 ， R_2 ；共振电容分别为 C_1 ， C_2 ；电感分别为 L_1 ， L_2 ，互感为 M 。次级线圈端的负载为 R_L ，其运输功率计算公式如下：

$$\eta = \frac{P_L}{P} = \frac{(wM)^2 R_L}{z_2 [z_1 z_2 + (wM)^2]} = \frac{(wM)^2 R_L}{(R_2 + R_L) [R_1 (R_2 + R_L) + (wM)^2]}$$

电磁感应无线充电技术的运输功率受线圈之间的耦合系数和线圈的品质因素影响，由实验研究表明串联谐振电容方式使电路运输电能的功率最高。由运输功率的表达式可知运输功率的高低取决于导数宽度，初级线圈与次级线圈的线圈外径、匝数、相对位置以及缠绕方向。

电磁感应无线电能传输技术已被广泛应用于社会生活中，传导电能的距离越短，传输功率越大，在

对新能源电动汽车进行此技术充电时，可通过抬升拉近发射设备和接收设备之间距离，可达到低成本、高效率的成效。

4. 无线充电技术的发展前景分析

对于磁场共振式技术，如表 2 在用小功率实验时，发射功率保持不变的时候，无线电能传输系统的接收功率会随着距离的增加而不断地降低，其下降的快慢也与距离的远近有关，在距离超过某个临界值后其效率会急剧下降，这在未来需要进行更深入的分析以针对强电领域及大功率器件的无线供电进行应用[7]。

Table 2. Experimental data sheet of low power electrical apparatus with magnetic resonance technology

表 2. 磁场共振式技术小功率电器实验数据表

传输功率(cm)	发射功率(w)	接收功率(w)	传输效率(%)
1	10.2	8.7	85.6
3	10.4	8.3	80.3
5	10.0	7.3	73.3
7	9.6	6.6	68.8
10	10.2	6.3	62.5
13	10.1	5.6	55.6
17	10.0	3.2	30.15
25	10.6	1.33	12.6

对于磁耦合谐振式技术，如图 5，电源电压于输出功率的曲线关系图，在其余条件不变的情况下，在一定范围内输出功率随着电源电压的增大而增大，但在实际情况中如果只靠增加电源电压来提高输出功率的话，成本就会很高，在未来，磁耦合谐振式技术可通过线圈与电容的合理计算得出相同的谐振频率，且与周围不同谐振频率的物体之间的相互作用力很弱，几乎不影响，有效解决其兼容性问题，因传输距离远，速度快的特点而被应用，但因过度依赖谐振腔功能，造成成本高的弊端也不容忽视。其内部结构原理标明了 WPT 系统的双频特性、负载隔离特性以及磁场均匀性[8]。

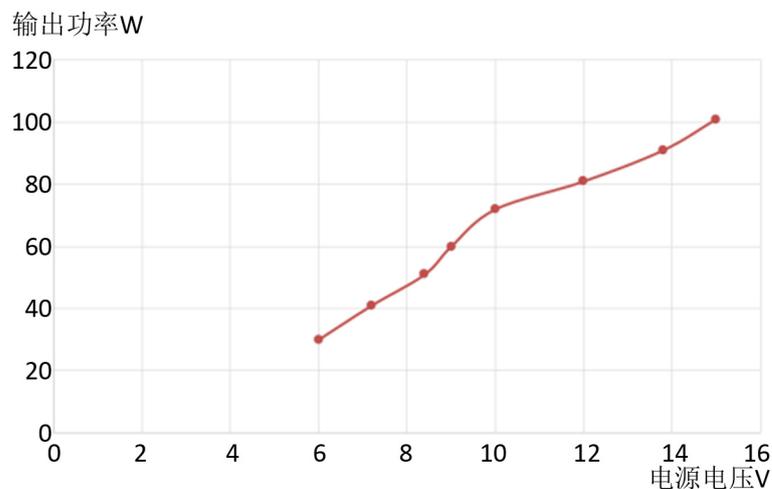


Figure 5. Curve of power supply voltage vs. output power of magnetic coupling resonant Technology

图 5. 磁耦合谐振式技术电源电压于输出功率的曲线关系图

对于电磁感应式技术当负载电阻 $R_{load} = 5 \Omega$ ，线圈距离 $D = 3.5 \text{ mm}$ ，线圈偏移距离 $S = 0 \text{ mm}$ 时，谐振频率取 69.4 kHz ，此时输出功率为 13 W ，传输效率为 82.99% ，符合目前市场上大部分手机无线充电器的参数要求，因此后续的仿真将在这些参数下进行[9]。

随着新能源汽车慢慢进入大众视野，与之相匹配的无线充电技术因精度高、抗干扰能力强，无需使用线，方便、简单，同时节省了人力资源[10]，越来越得到市场的青睐。相较于磁场共振式技术要求高，设计精密优，但充电效率低、损耗大，且传输距离短，接触位置要求严格，还会受到相同频率的电磁波干扰及磁耦合谐振式不仅过度依赖谐振腔功能，且设备技术成本要求高，还容易因为圆心偏差等问题导致传输效率低或失谐等问题。电磁感应式充电不仅技术简单、电能利用高、成本低，节能环保，避免了一定程度上的资源浪费的优点满足了人们当下的要求。易操作，安全可靠，在一定程度上保证了其打开市场的基本条件，让人们在接受时不必担忧安全问题，能更快打开市场。

电能转化效率高，在一定程度上降低了电源消耗，使充电成本降低，能更好的让电磁感应式充电拓宽市场，成为新趋势。技术应用的成熟，能较好的解决厂家及承包单位的生产和事后维修难的困难。新技术的应用与推广，离不开安全及性价比问题，若能很好的解决这两个问题，在很大程度上就能迎合广大群众的心理需求，对打开及拓宽新市场有着举足轻重的电能转化效率高作用，而电磁感应式充电因电磁底应技术原理简单、技术成熟、制作成本低，解决了性价比的问题。电磁感应式的无线充电技术的基本原理为法拉第电磁感应定律，安全隐患小，对人体辐射问题也小于其他产品，在电能表、电磁炉、微波炉、电动牙刷方面应用，打下了较好的群众基础，让人们能更好的接受这项新技术的应用与了解。就目前来看，无线充电技术的应用市场的发展趋势可谓是非常可观，但只有研发团队不断深入研究，掌握核心技术，不断创新，若要普及，总用电量非常大，因此有必要保持系统高效率充电，降低充电系统电能损耗[11]。才会促进无线充电技术的更进一步发展。

5. 总结

如今，随着科技的日益发展和进步，形成了集技术、装备、应用于一体的系列新科技产品，其不断应用于人们的日常生活当中，电动汽车无线充电比有线充电更加方便、安全和可靠，没有机械损害，更容易维护[12]，并且随着人们环保意识的增强和我国国策的基本要求，这也正说明了新能源汽车无线充电技术在未来会有更大的发展空间。

基金项目

2020 年国家区级大学生创新创业训练计划立项项目“5G + 新能源汽车 + 无线充电”(项目编号: 202011607008)。

参考文献

- [1] 杨儒龙, 刘述喜, 李科娜, 等. 电动汽车无线充电系统的研究[J]. 汽车电器, 2018(11): 10-14.
- [2] 焦欣宇, 侯明心, 朱向冰. 新能源汽车无线充电技术的发展研究[J]. 信息化研究, 2019, 45(5): 74-78.
- [3] 熊承龙, 沈兵, 赵宁. 基于电磁感应的无线充电技术传输效率的仿真研究[J]. 电子器件, 2014(1): 131-133. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-9490.2014.01.031>
- [4] 郭言平. 无线充电的关键技术和研究[C]//安徽省汽车工程学会, 安徽省汽车行业协会. 第七届中国国际徽商大会, 第十一届中国(合肥)自主创新要素对接会, 节能与新能源汽车产业发展论坛论文集. 2011: 112-114.
- [5] 杨光伟. 电动汽车无线供电系统的逆变器软开关控制技术[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- [6] 施建喆. 电磁感应与无线充电[J]. 科技风, 2016(21): 125. <https://doi.org/10.19392/j.cnki.1671-7341.201621114>
- [7] 刘禹岑. 磁共振无线电能传输系统的优化研究及充电公路的探索[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学,

- 2017.
- [8] 胡瑶. 磁耦合谐振式多频多负载无线电能传输系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2018.
 - [9] 魏岳锐, 董亮, 杨威, 唐银池, 邹晓伟. 电磁感应式无线充电发热与电磁辐射仿真研究[J]. 电波科学学报, 2020: 1-7.
 - [10] 臧红岩, 付海燕. 智能无线电动汽车充电桩研究[J]. 无线互联科技, 2016(22): 13-14.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-6944.2016.22.006>
 - [11] 熊炜, 黎安铭, 任乔林, 等. 无线充电装置在电动汽车上的应用研究综述[J]. 通信电源技术, 2016, 33(3): 26-28, 32. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-3664.2016.03.010>
 - [12] 高大威, 王硕, 杨福源. 电动汽车无线充电技术的研究进展[J]. 汽车安全与节能学报, 2015(4): 314-327.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8484.2015.04.002>