

无线电能技术综述

微航磁电技术有限公司

摘要：叙述了无线电能传输的概念和发展历程，着重对电磁感应式、电磁共振式和电磁辐射式三种无线电能传输进行了详细分析；电磁感应式传输距离近、效率低且需要补偿；电磁共振式是对感应式的突破。可以在几米的范围内传输中等，其研究前景较好；电磁辐射式传输距离远，功率较大，但传输较远距离时需要高效整流天线和高方向性天线，其研制难度较大。

关键词：无线电能传输；电磁感应；磁谐振；微波

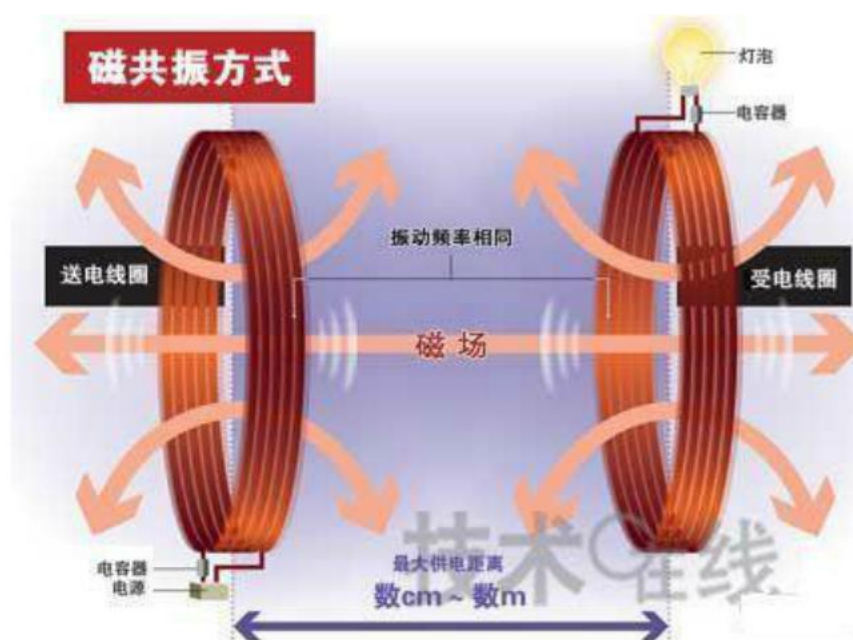
所谓无线电能传输 (Wireless Power Transmission——wPT)就是借助于电磁场或电磁波进行能量传递的一种技术。无线输电分为：电磁感应式、电磁共振式和电磁辐射式。电磁感应可用于低功率、近距离传输；电磁共振适于中等功率、中等距离传输；电磁辐射则可用于大功率、远距离传输。近年来，一些便携式电器如笔记本电脑、手机、音乐播放器等移动设备都需要电池和充电。电源电线频繁地拔插，既不安全，也容易磨损。一些充电器、电线、插座标准也并不完全统一，这样即造成了浪费，也形成了对环境的污染。而在特殊场合下，譬如矿井和石油开采中，传统输电方式在安全上存在隐患。孤立的岛屿、工作于山头的基站，很困难采用架设电线的传统配电方式。在上述情形下，无线输电便愈发显得重要和迫切，因而它被美国《技术评论》杂志评选为未来十大科研方向之一。在无线输电方面，我国的研究才刚刚起步，较欧美落后。在此旨在阐述当前的技术进展，分析无线输电原理，为我国在无线输电方面的深入研究提供参考。

1 无线电能传输技术的发展历程

最早产生无线输能设想的是尼古拉·特斯拉(Nikola Tesla)，因而有人称之为无线电能传输之父。1890年，特斯拉就做了无线电能传输试验。特斯拉构想的无线电能传输方法是把地球作为内导体，把地球电离层作为外导体，通过放大发射机以径向电磁波振荡模式，在地球与电离层之间建立起大约8 Hz的低频共振，利用环绕地球的表面电磁波来传输能量。最终因财力不足，特斯拉的大胆构想没能实现。其后，古博(Goubau)、施瓦固(Sohweing)等人从理论上推算了自由空间波束导波可达到近100%的传输效率，并随后在反射波束导波系统上得到了验证。20世纪20年代中期，日本的H. Yagi和S. Uda发明了可用于无线电能传输的定向天线，又称为八木一字田天线。20世纪60年代初期雷声公司(Raytheon)的布朗(w. C. Brown)做了大量的无线电能传输研究工作，从而奠定了无线电能传输的实验基础，使这一概念变成了现实。在实验中设计了一种效率高、结构简单的半波电偶极子半导体二极管整流天线，将频率2.45GHz的微波能量转换为了直流电。1977年在实验中使用GaAs—Pt肖特基势垒二极管，用铝条构造半波电偶极子和传输线，输入微波的功率为8W，获得了90.6%的微波——直流电整流效率。后来改用印刷薄膜，在频率2.45GHz时效率达到了85%。自从Brown实验获得成功以后，人们开始对无线电能传输技术产生了兴趣。1975年，在美国宇航局的支持下，开始了无线电能传输地面实验的5a计划。喷气发动机实验室和Lewis科研中心曾将30kW的微波无线输送1.6km，微波——直流的转换效率达83%。1991年，华盛顿ARCO电力技术公司使用频率35GHz的毫米波，整流天线的转换效率为72%。1998年，5.8GHz印刷电偶极子整流天线阵转换效率为82%。前苏联在无线电能传输方面也进行了大量的研究。莫斯科大学与微波公司合作，研制出了一系列无线电能传输器件，其中包括无线电能传输的关键器件——快回旋电子束波微波整流器。近几年，无线电能传输发展更是迅速。Wildcharge、Powercast、SplashPower、东京大学，相继开发出非接触式充电器。MIT在2007年6月宣布，利用电磁共振成功地点亮了一个离电源约2m远的60w电灯泡，这项技术被称为WiTricity。该研究小组在实验中使用了两个直径为50cm的铜线圈，通过调整发射频率使两个线圈在10MHz产生共振，从而成功点亮了距离电力发射端

2 m以外的一盏60 w灯泡。

2 无线电能传输的原理



2. 1 基于变压器的疏松耦合非接触式的无线电力传输非接触电能传输系统利用疏松感应耦合系统和电力电子技术相结合的方法，实现了电能的无物理连接传输。它将系统的变压器紧密型耦合磁路分开，初、次级绕组分别绕在具有不同磁性的结构上，实现在电源和负载单元之间进行能量传递而不需物理连接。其一次侧、二次侧之间通过电磁感应实现电能传输，因气隙导致的耦合系数的降低由提高一次侧输入电源的频率加以补偿。

理论和经验都表明：当原边电流频率、幅值越高，原、副边距离越小，与空气相比，磁心周围介质的相对磁导率越大时，可分离式变压器的传输效率越高。但实际应用当中原副边距离不可能无限小，必须对原副边采取相应的补偿措施，这种无线电能传输效率较低。

2. 2 基于电磁辐射的无线电力传输

对无线电能传输来说，能量传递的效率是最重要的。因此，方向性强、能量集中的激光与具有类似性质的微波束是值得考虑的选择。但激光光束在空间传输易受到空气和尘埃的散射，非线性效应明显，且输出功率小，因此微波输能成为首选。微波输能，就是将微波聚焦后定向发射出去，在接收端通过整流天线(rectenna)把接收到的微波能量转化为直流电能。

(1) 布朗的微波输电系统。上世纪60年代，William C. Brown向世人展示的微波传输电能示意图如图2所示。该微波传输系统包括微波源、发射天线、接受天线3部分。微波源内有磁控管，能控制源在2.45 GHz频段输出5~200 W的功率；微波源输出的能量通过同轴电缆连接至和波导管之间的适配器上；亚