

# 无线输电技术发展及应用

张翼

(江苏省电力公司电力科学研究院,江苏南京 211103)

**摘要:**综述了无线输电技术在国内外的发展及研究现状,简述了无线输电技术的三大类技术,包括电磁感应方式、电磁耦合共振方式以及微波或激光方式。简要指出了无线输电技术的应用前景以及开展无线输电技术研究的重要意义。

**关键词:**无线输电;电磁感应;电磁耦合共振;微波;激光

**中图分类号:** TN92

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2013)02-0082-03

从2007年美国麻省理工学院成功完成无线电力传输实验开始,人类更加深刻地认识到了无线输电已不再是梦想。无线输电这项前沿技术被认为是今后电力科技的发展方向,必将带来人类生活和生产方式的重大变革,有着巨大的市场和发展前景。其中一个重要应用领域是电动汽车无线充电,短期内,静态无线充电技术有望应用于泊车自动充电。从长期来说,动态无线充电可以为电动汽车在行驶途中进行充电,使得电动汽车可以边行驶边充电。这将从根本上解决电动汽车充电难题,加速电动汽车普及。另外无线输电技术还有许多其他应用领域,如家用电器、工业机器人、医疗器械、航空航天、油田矿井、水下作业、无线传感器网络及RFID等方面。

## 1 国内外无线输电技术研究现状

### 1.1 国外研究现状

19世纪末被誉为“迎来电力时代的天才”的尼古拉·特斯拉,在电气与无线电技术方面做出了突出贡献,他也曾致力于研究无线传输信号及能量的可能性,早在1899年,特斯拉在纽约长岛建造了无线电能发射塔(沃登克里弗塔),设想利用地球本身和大气电离层为导体来实现大功率长距离的无线电能传输,该塔矗立在纽约长岛的特斯拉无线电力传输实验室内,塔高57 m,球形塔顶直径为21 m<sup>[1]</sup>。特斯拉想用它来实现全球无线电力传输,可惜由于资金缺乏,这个塔最终并未建成。

2001年5月,国际无线电力传输技术会议在法属留尼汪岛召开期间,法国国家科学研究中心的皮格努莱特,利用微波无线传输电能点亮40 m外一个200 W的灯泡。其后,2003年在岛上建造的10 kW试验型微波输电装置,已开始以2.45 GHz频率向接近1 km的格朗巴桑村进行点对点无线供电<sup>[2]</sup>。

2007年6月,美国麻省理工学院宣布利用电磁共振技术成功地点亮了一个离电源约2 m远的60 W

电灯泡,该研究小组在实验中使用了2个直径为60 cm的铜线圈,铜线半径为3 mm,通过调整发射频率使2个线圈在10.56±0.3 MHz产生共振,效率达到40%<sup>[3]</sup>。该项技术的发布引起了世界范围内谐振耦合式无线输电装置的研发热潮。

2008年9月,北美电力研讨会发布的论文显示,美国内华达州雷电实验室的G.E.Leyh等继承了Tesla的衣钵,成功研制电场耦合谐振无线能量传输实验装置,利用2个空心变压器作为无线能量传输的发射与接收端,变压器与电极连接,成功地将800 W电力用无线的方式传输到5 m远的距离<sup>[4]</sup>。在日本,“非接触充电”方式的巴士已于2008年2月在羽田机场、2009年10月在奈良分别进行了试行驶。供电线圈埋入充电台的混凝土中,汽车驶上充电台,将车载线圈对准供电线圈就能开始充电。充电方式采用了基于电磁感应的方式。

2012年,美国斯坦福大学首次提出了“驾驶充电”这一概念,为电动汽车充电提出了新的解决方案,这意味着电动汽车可以不必停下来充电而无限地跑下去。据项目组人员介绍,“当你到达目的地时,可能电池里的电比你出发时还要多。”,斯坦福大学正在设计的无线充电系统有望解决电动汽车接线充电的难题,其长期目标是开发出一种纯电动高速公路,能给行驶在路面上的汽车和货车无线充电,只要在路面下每隔几英尺埋一段金属线圈,就能利用磁场以无线方式传输大量电力。

### 1.2 国内研究现状

国内在无线输电技术方面研究还处于起步阶段,主要进行一些基础性研究工作,还未曾开展大规模的研究。哈尔滨工业大学朱春波教授采用直径50 cm螺旋铜线圈串接电容的方式构成谐振器,实现在0.7 m距离传输23 W的能量,在传输距离为55 cm时负载电压获得最大值,其最高传输效率接近50%。重庆大学自动化学院孙跃教授带领的课题组,攻克了无线电力传输的关键技术难题,建立了完整的理论体系,研制出的无线电能传输装置能够输出600 W到1 000 W的电能,

传输效率为 70%，并且能够向多个用电设备同时供电，即使用电设备频繁增加，也不会影响其供电的稳定性。香港理工大学傅为农教授带领的课题组对感应耦合无线电能传输技术和磁谐振耦合无线电能传输技术进行了深入研究，并对 2 种无线输电方式进行了比较。他们采用平面薄膜谐振器，实验中，在发射谐振器和接收谐振器相距 20 cm 时，传输效率为 46%，谐振频率为 5.5 MHz。华南理工大学张波教授带领的课题组从电路角度分析谐振耦合无线输电系统传输效率与距离、线圈尺寸等之间的关系，设计制作了多种不同线圈参数的谐振耦合无线输电装置，进行比较实验，以实现系统优化目标，设计频率跟踪系统，解决了由于谐振效率失谐带来的传输效率低下问题。另外，南京航空航天大学航天电源实验室也对电动汽车的无线能量传输技术的几种模式进行了研究。

## 2 无线输电技术简介

无线电力传输是一种无需通过插座和电线提供电能的技术。根据无线输电在空间不同的传输距离，有 3 种基本的传输形式：电磁感应短程传输、电磁耦合共振中程传输和微波激光远程传输。

### 2.1 电磁感应

利用电磁感应可以进行短程的电力传输，其基本工作原理如图 1 所示，发射线圈  $L_1$  和接收线圈  $L_2$  之间利用磁耦合来传递能量。根据电磁感应原理，若在线圈  $L_1$  中通以交变电流，该电流将在周围介质中产生一个交变磁场，线圈  $L_2$  中将产生感应电动势，可供电给外部用电设备。

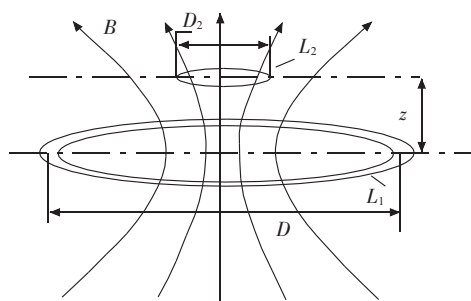


图 1 电磁耦合电力传输系统原理

最早使用电磁感应原理传输能量的是电动牙刷。由于经常和水接触，直接充电比较危险，所以电动牙刷一般使用的是感应式充电。发射线圈位于充电底座，接收线圈在牙刷内部，整个电路消耗的功率约 3 W。目前该技术可用于多种电子产品，如对手机、相机、MP3 等进行无线充电，由于充电垫产生的磁场很弱，所以不会对附近的信用卡、录像带等利用磁性记录数据的物品造成不良影响。该解决方案提供商包括英国 Splash power、美国 wild Charge 等公司。这种接触式无线电力

传输方式的优点是制造成本较低、结构简单、技术可靠，但是传输功率较小、传送距离短，一般只适用于为小型便携式电子设备供电<sup>[4]</sup>。

### 2.2 电磁耦合共振

基于电磁共振耦合原理的整个装置必须包含 2 个线圈，每一个线圈都是一个自振系统。其中一个为发射装置，与能量源相连，它利用振荡器产生高频振荡电流，通过发射线圈向外发射电磁波，在周围形成了一个非辐射磁场，即将电能转换成磁场；当接收装置的固有频率与收到的电磁波频率相同时，接收电路中产生的振荡电流最强，完成磁场到电能的转换，从而实现电能的高效传输。在日本，2009 年 8 月长野日本无线也宣布开发出基于磁共振的送电系统，如图 2 所示。当送电受电部之间的传输距离为 40 cm 时，传输的效率达到了 95%。



图 2 基于磁共振的电力传输系统

在美国举行的 2010 年国际消费电子产品展 (CES) 上，海尔展出了利用无线供电技术的高清电视，该电视采用美国无线电力公司 (Witricity) 的电磁共振耦合技术，电视的背面内置有约 1 英尺 (30.48 cm) 的线圈，可在距离 1 m 之外的地方供应 100 W 的电力。可供电的距离取决于线圈的大小，最远能以线圈直径的 3 至 5 倍距离供电。另外，Powercast, Fulton, Visteon 等公司也利用该技术为手机、MP3、汽车配件、体温表、助听器及人体植入仪器、电动汽车等厂商提供无线输电的解决方案<sup>[5]</sup>。

### 2.3 微波/激光

理论上，无线电波波长越短，其定向性越好，弥散越小，所以，可利用微波或激光形式来实现电能的远程传输，这对于新能源的开发和利用，解决未来能源短缺等问题也有着重要意义。因此，许多国家都没有放弃这方面的研究。1968 年美国学者 Glaser 提出了无线传输空间利用太阳能的“Powerbeaming”的概念，利用电磁波接收装置将太阳能转换成电能<sup>[6]</sup>。1979 年，美国航空航天局 NASA 和美国能源部联合提出太阳能计划，建立“SPS 太阳能卫星基准系统”，SPS (Solar Power satellite) 是太阳能发电卫星，处在地球约 36 000 km 的

静止轨道上,那里太阳的能量约为地球上的 1.4 倍。据预测,一个 SPS 所装载的太阳电池的直流输出功率为 10 GW,电池输出的电力通过振荡器转换成微波电力,从送电的天线向地球表面以微波(2.45 GHz)形式无线送电。地球上的接收天线由半波长的偶极天线、整流二极管、低通滤波器及旁路电容组成,可接收到 5 GW 的电力<sup>[5]</sup>。

目前,SPS 的建设方法、天线的放射特性、微波发送装置的姿态控制、宇宙空间的微波传播特性、为确保故障时安全的保安系统等都是亟待解决的技术问题。日本拟于 2020 年建造试验型太空太阳能发电站 SPS2000,2050 年进入规模运行<sup>[6]</sup>。

### 3 结束语

无线电力传输作为最前沿的电力传输技术,会给人们的生活带来巨大的便利,并将带来电力工业的创新和重大变革,具有广泛的应用前景。未来无线输电技术有望解决电动汽车充电难题,可以给一些难以架设线路或危险的地区供应电能,并且解决新能源电站的

电能输送问题。目前在国内,无线输电研究还处于起步阶段,应该认清形势,总结国内外一些已取得的研究成果,在此基础上开展更为深入的研究工作。

#### 参考文献:

- [1] 李 照. 无线电力传输技术的基本原理与应用前景[J]. 信息技术教学与研究,2011(57):148-150.
- [2] KARALIS A, JOANNOPOULOS J D, SOLJACIC M. Efficient Wireless Non-radiative Mid-range Energy Rransfer [J].Annals of Physics, 2008,03 (23):34-48.
- [3] LEYH G, KENNAN M. Efficient Wireless Transmission of Power Using Resonators with Coupled Electric Fields [J].Power Symposium,2008.NAPS '08.40th North Amercian.2008 September:1-4.
- [4] 曾 翔. 无线电力传输技术研究[J]. 硅谷,2010(10):82,162.
- [5] GLASER P E. Power From the Sun ;Its Future [J]. Science , 1968 (62):857-861.
- [6] 松浦虔士. 电力传输工程[M].曹广益译.北京:科学出版社, 2001.

#### 作者简介:

张 翼(1981),男,天津市人,工程师,从事特高压电网、电网智能化、新能源并网的情报分析研究工作。

## The Development and Application of Wireless Power Transmission Technology

ZHANG Yi

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The development and study status of wireless power transmission technology are summarized in this paper. Three main technologies of wireless power transmission, including electromagnetic induction method, electromagnetic resonant coupling method, and microwave or laser method, are described briefly. The prospect for application of wireless power transmission technology and the important role of the study of wireless power transmission technology is pointed out.

**Key words:** wireless power transmission; electromagnetic induction; electromagnetic resonant coupling; microwave; laser

### 下 期 要 目

- 某 660 MW 机组一次调频试验控制逻辑分析
- 电网主接线图自动生成与校核系统研究
- 江苏电网非晶合金变压器综合评估
- 基于 G 语言的智能变电站五防规则生成方法
- 电动汽车电池更换服务收费标准研究
- 基于区域策略寻优的地区电网 AVC 系统
- 基于无线通信技术的电缆温度实时监测系统
- PQDIF 和 IEC 61850 标准在电能质量数据传输中的应用
- 220/110 kV 混压四回路新型窄基四柱钢管塔的优化设计
- 励磁系统整流装置均流不佳问题解决方法
- 一起 220 kV 变压器局部放电试验异常情况分析