

## 北京纳米能源所揭示纳米发电机的理论源头

我们今天用的手机是无线通信的典型代表，而无线通信是基于电磁波来传播信息。那电磁波最初是如何被人们认识到的呢？这可以追溯到1861年伟大的英国科学家麦克斯韦提出的麦克斯韦方程组。由于其简洁、完美和对称性，该方程组在物理学十大方程中被誉为第一大方程组。当麦克斯韦根据当时掌握的实验证据推导这些方程式时，例如高斯定理、法拉第电磁感应定律、安培定律等，他发现电荷的连续性方程没有得到满足，于是他就大胆地在方程组里引进了位移电流的概念。根据这个完全是理论构想出来的“电流”，麦克斯韦预言了电磁波的存在。而在1886年相关实验证明了其理论的正确性，随后英国人提出广播“radio”的概念，并于1901年首次利用无线电波实现了穿越大西洋的通讯。如果要追根溯源的话，现代人类社会快速发展所需的通信和微电子技术其实都来自于麦克斯韦方程组。现在人们普遍所知的电磁波谱，其波段包括X射线、紫外线、可见光、红外线、微波、太赫兹波，以及无线电波，这一切都归功于麦克斯韦方程组给出的理论支撑，我们才会有现代的收音机、电视、雷达和无线通讯等技术。物理学历史上认为牛顿的经典力学打开了机械时代的大门，而麦克斯韦电磁学理论则为信息时代奠定了基石。1931年，爱因斯坦评价麦克斯韦的建树“是牛顿以来，物理学最深刻和最富有成果的工作。”麦克斯韦方程组以完美、对称和准确震撼了世世代代的科学家，它在电磁学中的地位，如同牛顿运动定律在力学中的地位一样。

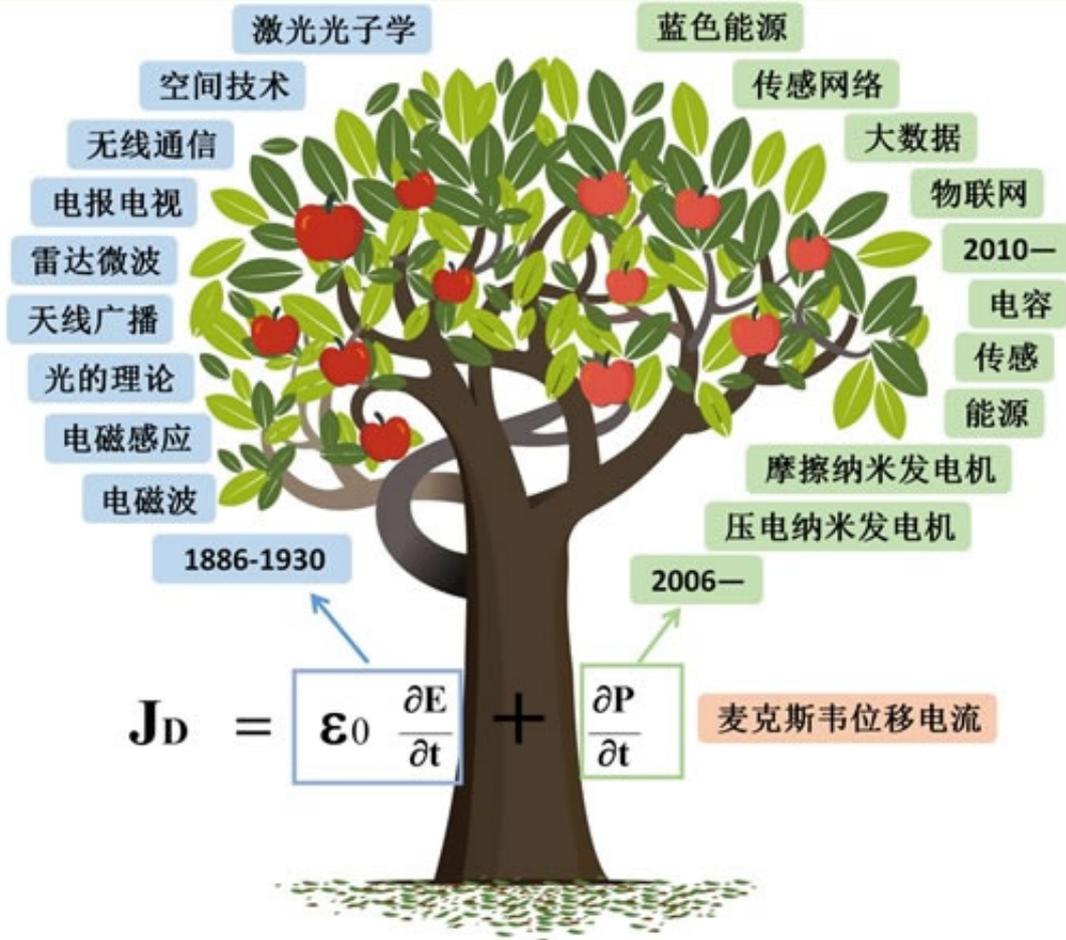
麦克斯韦的位移电流由两项组成：

$$J_D = \partial D / \partial t = \epsilon_0 \partial E / \partial t + \partial P / \partial t$$

位移电流不同于常规观察到的自由电子传导的电流，而是由于时间变化的电场（上式第一项）再加上随时间变化的原子束缚电荷的微小运动和材料中的电介质极化（上式第二项）。位移电流的第一项不但统一了电场和磁场，同时预言了电磁波的存在，奠定了无线通讯的物理基础。在一般各向同性的介质中，第二项和第一项合并起来，位移电流就变为  $J_D = \epsilon \partial E / \partial t$ ，因此，一般人就把第二项给忘记了，而且教科书中也不再讨论由极化引起的电流。然而在具有表面极化电荷存在的介质，例如压电材料和摩擦起电中，第二项最近被发现是纳米发电机的根本理论基础和来源，展现了这个被“遗忘”的经典物理学中的一个重大概念在新时代的辉煌应用。

压电纳米发电机和摩擦纳米发电机是中国科学院北京纳米能源与系统研究所首席科学家、佐治亚理工学院教授王中林分别于2006年和2012年所发明的，它们可以实现从机械能到电能的转换。压电纳米发电机是利用压电极化电荷和所产生的随时间变化的电场来驱动电子在电路中的流动，而摩擦纳米发电机是利用两种不同材料接触所产生的表面静电荷所导致的随时间变化的电场来驱动电子的流动。近日，王中林撰文，首次揭示了纳米发电机的理论源头来自于麦克斯韦的位移电流的第二项，并由此推导出压电纳米发电机和摩擦纳米发电机的基本输运方程。相关综述文章《论麦克斯韦位移电流在能源与传感中的应用：纳米发电机的源头》发表于最新一期的《今日材料》（Materials Today, DOI: 10.1016/j.mattod.2016.12.001）。王中林的论文找到了纳米发电机的根源，使得它和经典物理的“神方程”联系在一起，贯通了原始的理论、现在的技术和未来的应用。

在过去的20世纪里，现代社会通过广播和通讯卫星建立起来的经济、文化和政治上的广泛联系都直接产生于麦克斯韦方程组中包含位移电流的判断。这个著名且天才的方程组就像根基稳固的大树，孕育出了枝繁叶茂硕果累累的现代人类社会。从1886到1930年代，位移电流第一项推导出的电磁波理论、电磁感应现象催生出了天线广播、电视电报、雷达微波、无线通信和空间技术。在1960年代，电磁统一产生光的理论，又给激光的发明和光子学的发展提供了重要的物理理论基础。此外，飞机、船舶和宇宙飞船的控制与导航，电力和微电子工业的技术进步都离不开麦克斯韦。而从2006年至今，位移电流第二分量基于媒介极化的特点催生出了压电纳米发电机和摩擦纳米发电机的兴起，将极大地推动新能源技术和自供电传感器技术的发展，使纳米发电机能源系统在物联网、传感器网络、蓝色能源甚至大数据等影响未来人类发展的重大方面得到广泛的应用。经过150余年的时空印记，追本溯源，纳米发电机是麦克斯韦位移电流继电磁波理论和技术后在能源与传感方面的另一重大应用。在可以预见的未来，这棵汲取物理学第一大方程组营养的大树，将愈发茁壮成长，引领技术革新，深刻改变人类社会。



图：从麦克斯韦位移电流的两个分量导出的主要基础科学、技术和工业影响。左侧是衍生的电磁波理论影响了上世纪通讯技术的发展；右侧是位移电流衍生的新技术用于能源和传感器，极大可能会影响未来世界的发展。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/103804.html>