

水伏科学技术的发展、挑战与未来

近年来国际上的一系列研究发现功能材料与雨滴、水波、自然水蒸发和大气湿度等相互作用能直接输出电能,类比于光伏(photovoltaic)效应,这类生电现象被称为水伏(hydrovoltaic)效应。

水伏效应现象最初发现于碳纳米材料与液体的相互作用体系,如2014年发现的石墨烯表面拖曳水滴发电的“拖曳势”、水面波动在石墨烯表面产生的“波动势”,可以将雨滴、水波能转化为电能,并实现书画等无源传感功能。2017年,在廉价、可量产的碳黑薄膜中实现了水的自然蒸发产生持续的伏级电压,数平方厘米薄膜产生的电能已能够直接驱动液晶显示模块。在此基础上,2018年提出功能材料与水相互作用生电的水伏效应概念。据此,进一步将水伏学总结为:从水获电的新方法。

此后,对水伏效应的国际研究日益广泛,进展迅猛,发电方式包括水滴生电、蒸发发电、空气中水汽发电等多种形式。在水滴生电方面,韩国成均馆大学 Kim、复旦大学田传山等研究组通过调整基底材料、注入电荷等使一滴落水所产生的电压达到伏级;香港城市大学王钻开等利用静电效应将输出电压提高到百伏级。中国海洋大学唐群委等还将雨滴能捕获技术与传统太阳能电池技术结合,提出全天候电池概念。然而,这类水滴发电产生的都是脉冲电信号,持续功率依然很低。蒸发发电方面,韩国科学技术院 Kim 和印度理工大学 Chakraborty 等组发现在布类织物中亦存在显著的蒸发发电现象;日本早稻田大学 Maeda



郭万林,中国科学院院士,教授,南京航空航天大学纳米科学研究所所长,研究方向为飞行器结构安全和智能化方面的力学理论和关键技术。

和电子科技大学邓旭等利用天然木材的微通道结构实现了水自然蒸发发电;钱学森实验室利用氧化石墨烯,清华大学曲良体等利用氧化物材料实现了蒸发产生伏级、微安的电输出。这些发展极大地拓宽了蒸发发电的材料体系和能量输出。利用空气中水汽发电方面,曲良体研究组率先利用湿度变化驱动氧化石墨烯膜和离子导电聚合物膜发电,得到伏级、亚毫安的电输出,但会逐渐衰减;新近美国麻省大学发现一种导电蛋白质纳米线膜在大气中能维持约0.5 V的膜电压达2个月以上。与利用水滴、水流机械能生电相比,利用水蒸发和空气中水汽发电可以产生持续的电输出,而不需要机械能输入,是理想的绿色能量来源。

虽然水伏效应的理论与技术研究目前还处于萌芽期,主要限于不同材料器件形式的尝试和各种现象的揭示,需要向深度和广度发展,显著提高持续发电功率和效率。但其发展势头、巨大潜力和应用前景足以引起重视。当前广泛推广的可再生能源,如太阳能、风能,都

是间歇性的,且需要特种材料和专门装置。与之相比,水蒸发和水汽无时无处不在,尤其是每年仅水蒸发转化能量的功率就超过34 PW,这比人类年均一次能源的消耗功率18 TW高3个量级。

如能突破发电功率,水伏能量捕获将成为现有绿色能源体系的有力补充。可以设想这样的基于水伏原理的能量综合利用系统:在广阔的浪涌海域利用“波动势”发电,或在江河湖海等蒸发旺盛地区安装膜状或网状的蒸发发电“渔场”。当蒸汽经过大气输运形成降雨时,可以利用“拖曳势”发电装置直接收集雨滴能量;降雨在地面汇集过程中可以利用“流动势”装置发电。水伏效应为全链条式捕获地球水循环的水能提供了全新的方向,其全面发展有望形成的完整的“水伏能源”系统。水蒸发发电还可结合风能、太阳能、废热等显著提高蒸发发电量,使得水伏利用具有更大的空间。水伏技术的大规模应用将能减缓大气升温,是真正的绿色能源,在“水伏生态”方面极具发展潜力。

水伏效应的研究还可进一步启发我们认识人类智慧的起源——大脑。人的大脑、神经元都是含水70%以上的复杂系统,脑电如何产生、大脑如何工作,在微观层面上都有类似水伏效应的基本问题。水伏科学基本问题的研究和突破,有望在仿生智能领域引发革命性的变化,开启“水伏智能”研究。

让我们共同努力,促进“水伏能源”“水伏生态”和“水伏智能”科学和技术的发展!

郭万林

(南京航空航天大学,南京 210016)