



Editorial

先进电池——材料和技术创新推动未来能源发展

屠海令^{a,b}, 彭苏萍^c^a General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing 100088, China^b Key Laboratory of Advanced Materials for Smart Sensing, GRINM Group Co., Ltd., Beijing 100088, China^c Research Center of Solid Oxide Fuel Cells, State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China

屠海令



彭苏萍

21世纪以来,中国的可再生能源装机容量稳步增长,截至2022年6月底,中国的太阳能累计装机容量已攀升至约336 GW。未来,在“双碳”目标下,中国的新能源行业将进入高速发展和高质量发展的新阶段。然而,要真正实现碳的净零排放仍然是一个艰巨的目标[1],能源结构转型依旧是人类社会在未来几十年内面临的巨大挑战之一。其中,能源转换与存储技术的发展处于低碳工程应用的最前沿,为了实现清洁、廉价且丰富的新能源供应,仍然需要加快技术创新,特别是需要不断提升电池的比容量、能量密度和转换效率。近年来,新结构、新材料以及新技术在锂电池、太阳能电池和燃料电池(FC)等先进电池技术领域的创新应用取得了很多令人兴奋的进展。但是,也仍存在诸多科学和工程上的挑战,包括安全、成

本、制造、性能以及使用寿命等多个方面。

本期“先进电池——材料和技术创新推动未来能源发展”专题中收录了9篇来自世界知名教授、工程师以及企业家的文章,他们分享了自己对锂离子电池、钠离子电池、多电子体系电池、液流电池、太阳能电池和燃料电池等先进电池技术未来发展的看法和愿景。正如120年前托马斯·爱迪生发明镍铁电池时,他曾鼓励其他研究人员:“总会有方法做得更好的——找到它!”2019年,在经过50年的不懈发展后,锂离子电池(LIB)的发明被授予诺贝尔化学奖,锂离子电池的发明对于现代信息和低化石燃料社会发展具有划时代的重要意义。当前,多种先进电池技术百花齐放,可以有效地储存以及按需释放间歇性的可再生能源,这是能源体系未来发展的重要方向。

在锂离子电池方面,尽管近年来取得了快速的发展,但也存在着安全性较差这样亟待解决的问题。中国锂离子电池先驱陈立泉院士在本期的专题文章中评价了当前改善锂离子电池安全性的策略,以及在材料、设备、系统层面提升电池安全性的新机会,并探讨了锂离子电池梯次利用等问题[2]。

全固态电池采用不可燃的固态电解质取代易燃、易爆的有机电解液,有望在高能量密度的条件下实现高安全和长循环,是新一代高能量密度电池的重要发展方向。在本专题中,孙学良等介绍了固态电解质的最新进展,评述了界面相关问题,并提出了进一步提高固态电解质性能的未

来研究方向。基于多电子反应机制的电池系统正在成为实现高比能量二次电池的有效方案，吴锋等对新型多电子电池系统的关键技术、实施策略以及未来发展进行了评述。

最近对镁基二次电池的研究展示出通过从单价电池过渡到多价电池来增加能量密度的新策略，目前有几个研究小组在该领域取得重大进展[3-4]。另外，钠离子电池(SIB)作为破解锂资源短缺、制造低成本二次储能电池的代表，正在迎来新的发展机遇，其研发和产业化迈入快车道。在本专题中，宁德时代首席技术官欧阳楚英及其同事认为，相比于锂离子电池，钠离子电池展现出更长的使用期限以及较高的能量密度，可为未来智能汽车发展提供更多空间。大规模储能正在成为可再生能源推广应用的瓶颈，适合用于电网储能的钒液流电池在中国已历经多年的发展，获得了业内广泛关注。在本专题中，李先锋等从能量密度、成本、安全和环境问题等方面分析了液流电池的发展趋势。除了降低成本外，液流电池还需更多的技术突破来支撑其大规模应用。此外，液流电池还有很多新的材料体系出现，比如低成本铁基液流电池[5-6]。

充分利用太阳能是实现碳中和目标的关键环节，全球新增太阳能光伏发电装机容量的年复合增长率约为40%，远远超过了天然气、风能等其他清洁能源。光伏产业强劲的增长势头得益于技术的改进以及大规模应用所带来的平准化电力成本(LCOE)的快速下降。目前，全球大型光伏电站产生的电力成本已降至 1.04×10^{-2} 美元·(kW·h)⁻¹甚至更低。2021年，中国宣布光伏发电将在未来20~30年内成为最大的电力来源，将占总发电量的40%。隆基绿能科技股份有限公司创始人李振国在文章中描绘了促进光伏产业发展的路线图，预测了未来高效光伏电池的演变路径及光伏企业深入参与能源结构转型的可行路线。

钙钛矿太阳能电池具有优越的光伏性能、低廉的制造成本和简单的制备工艺，其巨大的应用前景引起了光伏产业越来越多的关注。作为该领域内的世界顶级科学家，黄维等在本专题中讨论了钙钛矿太阳能电池的未来发展机会及应用场景。太阳能电池领域每年都会取得令人振奋的重大进展，让我们对这一领域的未来无比期待。

燃料电池是一种可以将氢气、天然气、甲醇、乙醇以及碳氢化合物等燃料的化学能转化为电能的装置，具有效率高、温室气体排放率低的优点。燃料电池可为运输、工业/商业建筑和城市系统等在内的多种应用场景提供电力支撑。目前的燃料电池技术仍面临成本、催化剂、性能以及耐久性等方面的挑战。本专题中，彭苏萍等梳理了国内外质子交换膜燃料电池(PEMFC)以及固体氧化物燃料电池(SOFC)的发展现状，并指出了中国发展燃料电池存在的

问题。他们还总结了质子交换膜燃料电池和固体氧化物燃料电池供应链管理中存在的关键问题，提出了保障措施和政策建议，这些建议将对燃料电池大规模商业发展产生积极影响。近年来，彭苏萍团队发展了整体煤气化燃料电池联合发电(IGFC)技术，可以在进一步提高煤气化发电效率的同时，实现二氧化碳和污染物的近零排放。提高燃料电池的耐久性和可靠性依然是燃料电池发展的关键，最近，来自麻省理工学院(MIT)材料研究中心的研究表明，通过将氧化锂涂覆在燃料/电解池阴极上，可改善表面的相对酸度，大幅提升固体氧化物燃料电池的寿命[7]。

Kevin Kendall等的文章中系统分析了氢燃料电池取代重型车辆内燃机的可能性以及面临的挑战，他们预测，到2030年，全球氢燃料电池汽车的数量将会激增。实际上，河北省唐山市海港经济开发区已经引进氢燃料电池重卡进行港口物流和大宗物资短途运输，这对进一步加速“柴改氢”进程，推动当地产业结构和能源结构优化双调整具有重要意义。此外，近年来微生物燃料电池也吸引了许多科学家的注意，这种电池可以通过组成微生物的新陈代谢将潮湿的有机废物直接转化为电能[8]。

人类社会净零碳排放目标的实现，不仅需要不断向前发展能源转换和存储技术，也需要政策和资本的支持。我们相信，本专题的文章中前沿的，甚至颠覆性的观点，可以为先进电池领域的读者提供独到、深刻的见解，并能够鼓励更多的科学家和研究人员投身于未来新能源研发，进而创造出一个更加绿色、可持续的世界。

References

- [1] International Energy Agency (IEA). World energy outlook 2021—part of world energy outlook. Report. Paris: IEA; 2021.
- [2] Fan E, Li L, Wang Z, Lin J, Huang Y, Yao Y, et al. Sustainable recycling technology for Li-ion batteries and beyond: challenges and future prospects. *Chem Rev* 2020;120(14):7020–63.
- [3] Dong H, Tutusaus O, Liang YL, Zhang Y, Lebens-Higgins Z, Yang WL, et al. High-power Mg batteries enabled by heterogeneous enolization redox chemistry and weakly coordinating electrolytes. *Nat Energy* 2020; 5(12): 1043–50.
- [4] Li D, Yuan Y, Liu J, Fichtner M, Pan F. A review on current anode materials for rechargeable Mg batteries. *J Magn Alloy* 2020;8(4):963–79.
- [5] Yang M, Xu Z, Xiang W, Xu H, Ding M, Li L, et al. High performance and long cycle life neutral zinc – iron flow batteries enabled by zinc-bromide complexation. *Energy Storage Mater* 2022;44:433–40.
- [6] Gong K, Ma X, Conforti KM, Kuttler KJ, Grunewald JB, Yeager KL, et al. A zinc – iron redox-flow battery under \$100 per kW·h of system capital cost. *Energy Environ Sci* 2015;8(10):2941–5.
- [7] Seo HG, Staerz A, Kim DS, Klotz D, Nicolle C, Xu M, et al. Reactivation of chromia poisoned oxygen exchange kinetics in mixed conducting solid oxide fuel cell electrodes by serial infiltration of lithia. *Energy Environ Sci* 2022; 15(10):4038–47.
- [8] Cao B, Zhao Z, Peng L, Shiu HY, Ding M, Song F, et al. Silver nanoparticles boost charge-extraction efficiency in *Shewanella* microbial fuel cells. *Science* 2021;373(6561):1336–40.