



张承慧，山东大学讲席教授、控制科学与工程学院院长，新能源控制国家级工程研究中心主任，国务院学位委员会第八届学科评议组成员，教育部科技委信息学部委员，中国自动化学会副理事长。主要从事新能源与储能系统优化控制领域的科学研究和教学工作。先后当选国家级高层次人才、国家教学名师、全国先进工作者、IEEE Fellow，获全国创新争先奖、齐鲁最美科技工作者等，带领团队入选全国黄大年式教师团队、国家基金委创新研究群体。以第一完成人获国家科技进步二等奖3项、国家教学成果二等奖2项、光华工程科技奖、何梁何利科技进步奖、山东省科学技术最高奖、中国专利优秀奖4项。

卷首语

Foreword

元能源系统——能源网络与元宇宙的碰撞

张承慧

能源是人类文明发展的基石，也是推动全球经济和社会进步的核心驱动力，涉及世界各国的根本安全和万物众生的福祉昌延。回溯历史，跨越时空，我们见证了人类如何通过掌控能源种类形式，一次次地推动社会变革与文明进步。从起初依赖自然的“钻木取火”，跃进到“煤炭与蒸汽机结合”开启工业革命的序幕，再到现代化的“石油与内燃机”带来产业革命。能源利用的演进经历了天翻地覆的变化，塑造了以化石能源为主导的传统能源体系。然而，过度依赖化石能源和传统能源运营的固有时空限制，导致供能的脆弱性和不稳定性，导致能源浪费、环境污染和生态危机等严重问题。因此，以“双碳战略”为引领，探索新路径、转变能源模式，构建“清洁、低碳、安全、高效”的现代能源体系，已成时代亟需，也将是未来的必然选择！

“能源互联网”是现代能源体系的核心发展方向，通过先进的信息技术实现能源物理网络深度融合，打破异质能源贯通分析壁垒，统一高效管理各类能源，有望成为破解世界能源问题的关键手段。能源互联网依赖于运营商之间实时准确数据，通过安全稳定信息网络，实现智能管理等强大功能，但目前存在复杂的信息壁垒。

近年来，人工智能、物联网、区块链、虚拟现实等新兴技术迅猛发展催生了“元宇宙”概念，推动形成基于新一代信息技术集成创新和应用的未来产业，将是数字经济与实体经济融合的高级形态。元宇宙和能源系统深度融合，将为解决能源危机、推进能源系统发展提供崭新模式，也将深刻地影响未来能源的开发和利用。我们畅想，将能源网络物理系统映射到虚拟世界来开发元宇宙，产生一个称之为“元能源”系统的全新平台。元能源系统是一个多学科前沿技术交叉驱动的虚实融合的能源体系，将虚拟能源与实际能源在系统架构、运行管理、控制方式上深度融合，具有虚实结合、分布管理、需用自洽的典型特征。为原有的A(Artificial Intelligence, 人工智能)、B(Blockchain, 区块链)、C(Cloud Computing, 云计算)、D(Big Data, 大数据)体系，添加E(Meta-Energy 元能源)拼图。在该平台中，不同形式的能量在公平可靠的交易机制下被高效分配，协同优化与交易的过程只需运营商、用户通过互联网与元能源系统虚实交互，不依赖现实世界中的昂贵设备。同时，元宇宙可通过内置算法自主整合虚实交互后的信息要素，不会导致隐私数据泄露。

展望未来，我们致力于打造元能源系统，推动能源系统的信息化、数字化、智能化。首先，在元能源系统中构建虚拟传感器，将稀疏的真实数据纳入大数据集合，提高模型感知预测性能，从而有效增强对真实能源系统的实时监控和感知能力，保证应对外部环境变化的快速响应。其次，通过边缘计算和人工智能技术，在保护隐私的同时及时处理和分析数据，进而基于以分布式智能合约、可追溯和身份管理为特征的区块链技术，保障数据共享的安全性并提升网络攻击的抵御能力。再次，通过通用的建模和仿真技术来建立元能源系统中虚拟对象的数字模型，并经数据和知识不断迭代完善模型，确保实时、准确地反映能源系统的运行状态。最终，开发可扩展和可迁移的智能协同算法，规避了传统方法受限于规模、可变维度和物理模型精度的难题。

在未来全球能源互联的时代，若能深入探索与解决元能源相关科学技术问题，不但能实现能源系统各组成部分的互联互通，促进多能流管理机构间的合作，还能通过“信息和能量”通道，使数字世界和物理世界之间产生更加紧密的相互作用，从而真正构建一个“绿色、低碳、安全、高效”的能源体系，为实现“碳达峰、碳中和”目标贡献力量。