

构建新型电力系统 推动能源清洁低碳转型 助力碳达峰碳中和目标
——“碳中和技术论坛”启动仪式暨第一期论坛“新型电力系统与碳中和”观点精华

2022年4月18日，在能源基金会支持下，清华大学碳中和研究院主办、清华大学电机工程与应用电子技术系协办的“碳中和技术论坛”启动仪式暨第一期论坛“新型电力系统与碳中和”顺利召开。来自电力、能源和电机领域的院士专家围绕新型电力系统建设的机遇与挑战，多角度多方面讨论了如何探索建立适合中国国情、具有更强新能源消纳能力的新型电力系统，以推动中国能源清洁低碳转型，助力实现碳达峰碳中和目标。



图片来源：清华大学碳中和研究院

致辞

能源基金会首席执行官兼中国区总裁 邹骥

邹骥总裁指出，清华大学碳中和研究院是一个多学科交叉融合平台，其成立和发展对解决实现碳中和目标面临的综合性、系统性难题具有重要意义。自我国碳中和目标提出后，社会各界关于碳减排的讨论十分热烈，但短期内尚未对相关科学技术的重要性及其产业基础、发展方向、重要任务识别等方面形成深刻认知与广泛共识。当今社会，科学技术依然是第一生产力。实现碳中和目标需要依靠大量技术创新及快速产业发展，包括电力系统深度低碳化和用能终端高度电气化两大核心领域，以及节能与能效提升、非电力能源燃料替代、CCUS、非二氧化碳温室气体减排等众多技术齐头并进。期待清华大学碳中和研究院发挥多学科优势，结合“自下而上”和“自上而下”的双向研究方法，通过具体技术领域的深入挖掘和跨领域的综合集成等研究成果，引领碳中和科技研发和产业示范，引导投资和金融决策，带动国民经济发展路径创新与优化，助力中国实现碳中和目标。

近年来，能源基金会已与清华大学多院系开展广泛深入合作，取得众多重要进展。下一步，能源基金会将继续做好筹资工作、整合多方资源，搭建国内外交流平台，聚集多类优势，将与清华大学的合作关系提高到更高水平。



邹骥致辞图片

致辞

清华大学副校长 曾嵘

曾嵘校长指出，实现碳达峰碳中和是以习近平总书记为核心的党中央经过深思熟虑做出的重大战略决策，是着力解决资源环境约束的突出问题，实现中华民族永续发展的必然选择。清华大学立足实现碳中和目标，面向国家重大战略规划和国际学术前沿，充分发挥工科优势，于2021年9月成立清华大学碳中和研究院，以期推动低碳、零碳、负碳等颠覆性共性核心技术进步，及碳中和相关学科建设和高端人才培养。

清华大学碳中和技术论坛是科技传播的主要平台，也是打造关键核心技术的战略科技力量，聚焦碳中和技术创新、工程布局与发展战略等前沿问题。第一期技术论坛关注新型电力系统建设，通过研讨、交流及研

究报告的形式，明确新型电力系统的核心内涵和特征，并讨论需要集中突破的一系列关键核心技术的可行性和必要性，共同为中国新型电力系统建设提供决策参考。



曾嵘致辞图片

致辞

清华大学碳中和研究院院长 贺克斌

贺克斌院士提到，清华大学碳中和研究院将围绕“提出战略思想、研发关键技术、开展综合示范三方面持续开展工作，支撑中国碳中和目标实现。突破关键技术对实现碳中和目标至关重要，但目前各类技术仍有较大缺口，亟需开展科学研究工作。

清华大学碳中和研究院已发布《中国碳中和与清洁空气协同路径（2021）》《全球能源基础设施碳排放及锁定效应》《新兴经济体二氧化碳排放报告 2021》三份报告，本次碳中和技术论坛将开启关于中国新

型电力系统技术路线展望报告的相关工作，预计于 2022 年年底完成并发布。下一步，碳中和研究院还将继续聚焦储能、风能、光能、交通、建筑等实现碳中和目标的革命性技术领域，开展深入研究及分析，以尽快突破关键技术并推广应用，助力中国和全球实现碳中和目标。



贺克斌致辞图片

特邀报告：超临界二氧化碳太阳能热发电技术

中国科学院电工研究所研究员 王志峰

中国拥有丰富太阳能资源，它是支撑实现可持续发展的重要战略性能源。太阳能热发电技术是通过搜集太阳能，将其转化为热能再发电的技术，目前已更替到第四代技术，集热系统传热流体达到 800℃。超临界二氧化碳作为重要吸热传感介质，因其具有密度接近液体，传热效率高、

做功能力强；粘性接近气体，粘性力小、压降低、 \AA ；超临界状态下压力低等特点，具有较高热电效率，可广泛推广使用。

科研团队自“十一五”以来开展太阳能热发电及吸热器的研究，目前承担国家重点研发计划，针对超临界二氧化碳太阳能热发电关键基础问题开展研究。研究团队已研究开发了三种应用于超临界二氧化碳太阳能热发电设备的太阳能固体介质吸热器，分别为颗粒吸热体、球热吸热器和柱体吸热器，并且已在北京市延庆区建成超临界二氧化碳太阳能热发电示范工程。

下一步，研究团队将研发第五代太阳能热发电技术，即太阳能集热+PV 电储热形式。配备大容量储热的光热发电是集光电连续转换和电网同步机特性于一身的可再生能源发电方式，可承担基础电力负荷，其高温储热系统又可接纳弃风弃光作为电网灵活调峰电源，其与风电光伏组合“风光热储电”可作为替代火电的电源。



王志峰报告图片

特邀报告：支撑新型电力系统建设的需求响应与虚拟电厂关键技术

华北电力大学电力系统自动化研究所所长、教授 王飞

中央财经委员会第九次会议指出，“十四五”是碳达峰的关键期、窗口期，要构建以新能源为主体的新型电力系统。为更好建设新型电力系统，需了解其新特征，摸清新型电力系统建设的关键技术难点，进而寻求破解电力电量平衡问题的新方法。

新型电力系统的新特征体现在三个方面，一是电源侧的新结构：清洁低碳电源成为电力供应主体，常规电源逐步转向调节与支撑，化石能源成为压舱石。此外，电力电量平衡由单侧随机问题向双侧随机问题转变。二是负荷侧的新形态：大规模分布式光伏接入显著改变了电网负荷曲线的整体形态，峰谷差显著增大，净负荷短时波动明显。三是其所带来的新问题：“源随荷

动”的传统调控模式面临“高峰供应紧张、低谷消纳困难”的问题，可能引发大面积停电与大规模弃风弃光，威胁供电安全并造成巨大经济损失，严重制约新型电力系统建设发展。

新型电力系统建设主要有三方面关键技术难点：一是需求响应的基线：基线估计结果验证困难、估计方法普适性难。二是电力电量的预测：新能源电力电量预测有着不同的时间和空间尺度要求，风光功率预测难、电力负荷预测难。三是虚拟电厂的运营：分布式资源均具有较强的不确定性，需要精确计算 VPP 的动态可调边界，决策受分布式资源时变状态的约束。未来，新型电力系统建设可考虑从这三方面开展技术攻关与技术突破。

破解新型电力系统电力电量平衡问题主要有三个方法：一是用户侧需求响应：通过需求侧主动响应来拓展可调节资源，以满足系统灵活调节资源供给。二是市场化虚拟电厂：利用先进的通信、量测、控制技术和软件系统，对分布式电源、储能、可控负荷、电动汽车等的集群聚合与优化控制，将虚拟电厂作为整体参与电力市场交易和电网调度运行。三是以实现碳中和为目标：加快需求响应和虚拟电厂的推广应用。



王飞报告图片

特邀报告：数字能量计算与碳中和

清华大学电机工程与应用电子技术系研究员 慈松

经济社会正发生快速数字化转型，信息通信技术（ICT）产业的碳排放将持续增加。随着碳达峰碳中和目标的提出，以新能源为主体的新型电力系统将成为 ICT 系统的主要供电来源。但 ICT 系统的垂直行业对供电质量和模式要求高，特别是供电可靠性、备用电源及供电容量。相较传统电力系统，采用目前的新型电力系统为 ICT 供电，存在荷源不匹配、能量不确定、行业条块分割等问题。

科研团队从能量信息本质互换关系出发，将能量转变为一种可计算的新型网络资源，研发基于能量信息化的数字能量计算理论与装置、基于能量流与信息流融合的网络资源优化理论，以及电力-算力联合优化调度系统，从而

构建能量中和网络资源优化框架，进而支撑 ICT 系统与能源系统的细粒度联合优化运行。

科研团队还将进一步开展工作，构建基于数字能量计算装置的新型信息能源系统。将基于数字能量计算装置，构建广域“数字能量 Overlay 网络（能量互联网）”，并与大电网的协同调度，实现“随发随用”的新型电力调度模式，支撑大电网的稳定性，同时实现用户侧配电资产的高效利用，赋能通信运营商向能源互联网能量运营商的转变。



慈松报告图片

特邀报告：基于大容量功率半导体的直流电网技术

清华大学电机工程与应用电子技术系副主任、副教授 余占清

碳达峰碳中和目标背景下，中国将建立以新能源为主体的新型电力系统。但电源侧面临新能源渗透率高、波动性强等问题；电网侧面临结构复

杂、短路容量大、线损高等问题；负荷侧面临变流环节多、损耗高以及缺乏源荷双向互动等问题。

直流电网建设是支撑高比例新能源接入与灵活高效用能的重要方向，具有高可靠性、高灵活性、经济性等优势，可有效解决上述问题。直流系统和柔性技术将为新型电力系统建设提供关键支撑。直流电网是近年来的研究热点，在理论体系和工程实践方面都取得了显著进步。科研团队正开展工作，突破核心技术，特别是加快研发高压大功率半导体器件—集成门极换流晶闸管 IGCT 等核心器件和大容量换流器、直流断路器、直流变压器等关键装备，以构建大规模柔性直流系统。

目前，直流电网的“源网荷储”四方面均已开展应用，例如源侧的海上风电直流汇集工程；网侧的张北可再生能源柔直电网工程；荷侧的光储直柔能楼宇工程、全直流数据中心工程；储侧的新一代友好绿色电站示范工程等。



余占清报告图片