

专家观点：

北京大学倪晋仁院士重点介绍了面向生态的水资源利用模式。其中，面向生态的核心是以最小的水资源消耗获得最大的生态服务。在明确了碳中和与碳达峰时间的背景下，水资源利用效率的提高也应该明确时段。需要设定面向生态的水利用效率提升目标，即使得单位服务的水资源消耗量 WIPS 最小。计划分阶段提高资源效率，并于 2060 年实现四倍跃进。倪院士从目标设置的必要性、科学性、系统性和可能性多个角度对该目标进行了详细介绍。

北京大学刘永研究员主要关注在碳中和政策下的碳-水复合效应，并讨论了多重目标与约束下的农业时空优化。针对现状分析的结果显示在碳中和情景下主要的减碳行业集中在能源相关产业及第三产业。空间分布上，在中国的东部和北部省份，电力部分是主要的减碳部门；在中国中部和西南省份，第三产业是主要的减碳产业。从企业类型上，高碳（能源密集型）企业产值损失较大，低碳转型迫在眉睫。在考虑碳中和政策实施背景下，全国总用水量降低了 24%，用水强度略微下降，南方和北方主要的节水部门都体现在电力相关行业。在部分省份，由于轻工业和电子信息业的发展，也出现了局部风险。刘研究员提出需要更严格的全国工业用水目标与更精准的省级工业用水目标，基于水资源禀赋和碳排放限额，因地制宜的进行产业转型和发展。

清华大学龙笛研究员对华北平原地下水储量的变化驱动因素进行了分析，并评估相关政策实施对华北平原地下水储量恢复的作用。研究表明华北平原地下水储量亏损速率在 2016 年之后有所减缓，并预测 2019-2050 年用水减少、调水和稳定降水对于华北平原地下水储量稳定性的分别贡献为 77%、39%和 8%。调水、地下水开采减少和降水增加对 2006-2018 年北京地下水储量恢复的贡献分别为 40%、30%和 30%，预计到 2030 年，北京平原地下水位最多可回升约 13m。这将为我国南水北调中线工程的运行及未来华北地区的水资源管理的相关政策制定提供了参考。

北京大学周丰研究员和王旭辉研究员指出当前中国用水增速变缓是确凿和广泛的。灌溉和工业用水强度下降抵消了规模和挑战的影响，是中国用水增速变缓的主要驱动因素。节水灌溉是拯救中国资源性和水质性缺水的有效措施。以稻田为例，浅湿灌溉是适应性最广的节水灌溉措施，可增产 5-6%，节水 22-26%，减排 32-39%。从全球综合效益评估来看，76%面积适合间歇性灌溉，可减少 45%的甲烷排放，25%的灌溉用水、45%的氮损失，并维持了作物产量，其中东南亚和南亚地区潜力最大。通过再分析综合“自下而上”与过程模型的估计，可以更准确的评估灌溉对全球小麦和玉米产量的贡献。灌溉增产效益的空间格局主要有降水格局所驱动。最后，周老师认为我们需要进一步加强中国用水预测，缩小中国节水技术推广差距，完善中国节水潜力、路径及综合效益评估，探索农业绿色发展的管理、技术和生物改良途径，以及建设中国和全球用水、缺水、节水等相关数据库。

世界资源研究所付晓天主任针对可持续水资源管理推动能源系统转型主题，从三个方面进行了分析：第一、立足水和能源总体规划，关注资源承载力；第二、基于资源价格的市场手段；第三、推动金融体系的机构变革。还以蒙西为案例，详细分析了抽水蓄能的发展情况。WRI 下一步的工作计划主要未来关注水资源推动能源系统转型；加强水资源约束，推动高耗水行业转型；关注水资源-能源和农业之间的关联。

同济大学张超教授重点介绍了碳中和与水约束下的中国电力中长期转型，讨论了双重政策约束对电力工业转型产生多层次的影响。主要包括三个方面的影响：电源结构调整、电力空间布局的变化和电厂技术选择的变化。重点关注 CCS 技术的选择和空间配置，兼顾考虑中长期投资规划与日间调度策略，已有研究结果显示大幅降低可再生能源成本能够有助于实现低成本减排和水资源节约的协同效益，可对政策实施和制定产生影响。他提出未来可重点关注能源结构的优化，尤其是由其引发的双碳政策和用水政策两者的协同效益与权衡关系，需要着重提升研究分析的空间精度和技术精度。此外，间接用水和水污染问题也值得被关注，尤其与新的可再生能源相关的部分。

清华大学喻朝庆副教授介绍了中国粮食生产与水资源的南北失衡方面的研究基础，提出了重点关注水肥管理和碳中和的初步建议，指出需要在优化农田氮管理的基础上，重构城乡水肥循环体系。优化农田氮管理（提高氮肥利用效率），提高城乡养分还田率（关注污水除氮）。从空间格局上，种植结构的南移调整有助于建立实现美丽中国和粮食安全双重目标。

天津大学童银栋副教授对相关研究内容提出了三点讨论：1) 提出在双碳减排的背景之下，除了考虑经济社会系统，还要强化自然生态系统管理在减排计划中所能起到的作用。譬如，已有研究显示全球一半以上的甲烷排放来自于水体。关注人类活动与自然系统对于全球碳排放相关的贡献率；2) 关注气候变化对于水质的影响，已有研究主要关注气候变化对于水资源量的影响，但由于气候变化导致的藻类爆发等，会对水质也产生相应影响；3) 建议构建全行业的社会经济影响模型，对碳减排和碳中和导致的社会经济成本进行全面的评估分析，突破行业与专业局限。

北京大学王旭辉研究员提出当前研究重点需要在整体系统视角下，着力提升模型的可靠性，否则预测的结果可能出现分歧。作物模型预测的不确定性相较于水文模型是较小的，未来可将作物模型的预测结果进一步整合到综合评估模型当中，进一步讨论其社会经济影响，指导政策制定与实施。

中国标准化研究院的白雪研究员提出从节水标准来看，双碳政策的节水模型和方法还不充分，如农业节水，且水和碳管理内容脱节。水碳政策耦合设计应考虑不同目标的优先度，其中水和粮食安全的最重要的，其次才是节能减排。我国还需指定更严格的水处理行业标准和用水定额标准。最后，我们需要加强基础研究，构建相应数据库和监控网络。

北京大学覃栋研究员基于已有的研究基础介绍了“用水灵活性”概念，关注不同行业面临缺水问题时，所造成的经济损失的差异性，气候变化所引发的全球水资源在时空格局上的

变化，会导致水资源供给端与消费端的协同压力，进而对未来全球粮食系统和能源系统所造成的脆弱性，而这种跨行业的竞争造成级联效应也值得被关注。覃研究员提出应考虑关注在碳中和背景及相关技术进步的条件下，未来不同行业的用水权衡导致用水的变化情况，也应考虑到不同地区的水和能源等资源禀赋不同，水碳政策或资源优化的实施应减少不同系统间的权衡，并加强协同。最后覃研究员强调相关的数据基础工作（包括历史数据和未来数据）和相关的模型模拟与实验工作对于相关研究是非常重要的，非常值得投入人力物力。

生态环境部对外合作与交流中心主任专家张晓岚表示为支撑流域水资源水环境管理，需要提供流域管理方法创新和实践案例，并为管理和实践设置明确可行的目标，如 WIPS。基于已有的小流域案例探究水碳协同效应，强调流域水治理时设定目标的重要性。对于工业园区尺度的水资源管理主要注重水污染相关问题。

生态环境部对外合作与交流中心李宣瑾项目主管提出后期在项目设立时，需要考虑示范相关问题。水碳管理可以从工业园区入手，并以此为抓手，提升水碳管理协同。因为钢铁行业属于能源消费大户，也是碳排放大户，两者结合可以考虑建设钢铁工业园区相关的水资源水环境综合管理项目，并作为降碳相关研究的示范。