

ADB



ENERGY
SECTOR GROUP



Beijing Energy Club
北京国际能源专家俱乐部



北京大学能源研究院
INSTITUTE OF ENERGY

建言“十四五”能源发展 系列活动

2020 年总结报告汇编

2020 年 12 月 31 日

目录

前言	1
第一场：新使命、新思路	2
第二场：现代能源体系建设的丹麦经验	9
第三场：控制石油消费总量	20
第四场：欧洲能源转型的所见所思及对中国能源发展的启示	29
第五场：建言“十四五”氢能发展	42
第六场：如何实现能源消费总量与强度双控制，能源与环境气候协同治理?	55
第七场：建言农村能源发展	68
第八场：配网改造与改革	82
第九场：如何利用数字技术构建现代能源体系?	95
第十场：节能新思路、新模式、新举措	116
第十一场：中国如何实现 2060 年前碳中和目标?	122
第十二场：国际金融机构如何助力中国能源转型?	140
第十三场：大变局下的国际能源合作新趋势	151
第十四场：中国能源低碳转型的地方实践与政策需求	168
第十五场：未来能源发展新领域新趋势	189

前言

“十四五”期间，世界还将处于百年未有之大变局的初期，全球经济与能源发展将面临着高度不肯定而又错综复杂的局面。面对日新月异的复杂世界，如何制定既符合时代发展趋势又反映中国市场特点，且具有实际落地能力的“十四五”能源发展规划就显得非常重要。

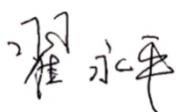
在国家能源“十四五”发展规划专家委员会以及相关部委的大力支持和积极参与下，自2020年6月11日以来，北京国际能源专家俱乐部、亚洲开发银行能源部门和北大能源研究院联合举办了十五场“建言十四五能源发展”线上研讨会，就“十四五”期间国内外能源发展的前沿话题开展深度讨论，为国家能源规划的制订提供建议。

每场讨论会由主办方和专家委商议确定议题，并精心邀请选定领域的专家，或就会议议题相关的问题开展头脑风暴，或先安排一两位专家进行主旨发言，引导与会者进行讨论。研讨会的形式灵便，规模简洁，但讨论的质量和层次很高，形成了对国内外发展态势的精准判断，和对“十四五”及长远未来能源发展的政策建议。百余位来自国内外各大研究机构与各级政府的专家，经验丰富的能源从业者，还有遍布全球的海内外学者都参与了建言献策活动，对此我们表示感谢。

通过这一系列活动，我们充分感受到了集体智慧的力量。通过汇聚基于丰富的实战经验、极富远见和智慧的专家灼见，我们期待形成有价值、可落地的能源转型解决方案。

气候变化和疫情威胁着人类在地球上的生存，中国能源的减碳转型任重道远。在全球能源正在经历巨变的时代，我们希望能有更多的有识之士能够在力所能及的范围内，为中国能源的成功转型贡献自己的才智。

亚洲开发银行首席能源官



北京国际能源专家俱乐部总裁



北京大学能源研究院院长



2020年12月31日

第一场：新使命、新思路

2020年6月11日

总结报告

2020年6月11日，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北京大学能源研究院，以“新使命，新思路”为主题，成功举办了建言“十四五”能源发展系列活动首场线上专家研讨会。

会议邀请了来自不同行业背景、对中国能源问题有长期深入研究的20位资深专家，就新一轮“十四五”能源规划制定过程中面临的复杂国际国内环境和需要回答的一系列宏观重大问题展开了热烈讨论，并提出了许多建设性意见和建议。

本次会议由北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华博士主持，国家能源局原副局长、“十四五”国家能源规划专家委员会专家组长吴吟致辞并对系列活动提出总体要求，亚洲开发银行能源总监翟永平博士和北京大学能源研究院院长金之钧院士进行了总结发言。现将本次建言活动与会专家的重要判断和核心建议总结如下。

一、形势判断

“十四五”期间，全球政治和经济仍处于百年未有之大变局中，而新冠疫情则进一步重创了原本脆弱的世界经济，也使能源发展面临的不确定性大大增加，给“十四五”能源规划工作带来了巨大挑战，本次规划所面临的国内外复杂环境是我国改革开放以来前所未有的。与会专家就“十四五”期间的宏观形势作了以下判断：

1. 做好“十四五”能源规划，首先要分析三方面的不确定性。

第一个不确定性与新冠疫情的发展前景相关，有人认为疫情将长期存在，也有人认为今年冬天还会来第二拨冲击等等。疫情的不确定性带来了GDP的不确定性，有关这个问题的讨论目前还没有一个清晰结论。第二个不确定性，是中美关系到底会坏

到什么严重程度？中美脱钩对我们的经济发展和能源海外投资影响如何？第三个不确定性，是科技发展的不确定性，特别是储能技术发展、清洁能源技术发展等。

2. “十四五”能源发展需要考虑如何平衡好三方面的潜在矛盾。

一是能源安全的长周期与短周期矛盾。能源安全除了大家经常强调的以油气供应为主的能源安全外，还要考虑电力系统的安全，金融风险也不可小视。长周期看，未来油价将处于中低价位，但一定时段的短周期大幅反弹也将是大概率事件。二是全球化和逆全球化的矛盾。我国能源体系建设应该放在全球化大的治理结构中考虑，而与这一趋势相反的就是能源独立问题，需要考虑我们中国有没有必要去能源独立？我们有没有能力实现能源独立？实现能源独立的路径在哪里？这是“十四五”乃至今后中长期我们应该着力回答的一个严肃问题。三是市场经济与计划经济的矛盾。当前，更多的呼声是建立现代化能源市场体系。显然，建立市场体系很有必要，因为没有市场便没有灵活性、也没有活力，但我们必须同时考虑能源的特殊性，即便现在完全自由化或者市场机制比较健全的欧美国家，也不是完全的市场机制。市场经济最大的问题就是无法将能源的普遍公共服务作为首要任务。

3. “十四五”期间我们将面临三方面大冲击。

一是低价均衡的冲击。主要是油气领域低价均衡已然形成，而且可能持续多年。上一次是 1984 年到 2003 年，整个世界石油市场进入了长达 20 年的低价均衡，引发了一系列对经济、金融乃至国际关系的冲击。“十四五”期间全球主要大的经济体经济增长都将较为低迷，经济很难再有 2003 年到 2008 年那样的起色。在这种情况下，国内的石油企业将面临巨大压力，也会影响其海外并购能力，也会导致一系列其他方面的风险和压力。二是全球治理冲击。中美关系恶化和新冠疫情常态化，像是在整个经济运行系统中撒了一把沙子，且沙子颗粒非常大，直接导致经济运行突然停摆，恢复非常缓慢。三是中国经济低速增长的冲击。这一冲击首先是需求冲击，我国经济想恢复到 7%、8% 的增长已不现实。“十四五”规划中至少应对中国经济运行情景设立

两种情景。其中一个为强改革情景，如中央最近关于生产要素市场化改革的决定如果能落地，将对经济增长会有一个非常大的推动。

4. “十四五”能源规划面临 5 个方面的体系性建设问题。

一是能源政策体系的建立。目前的政策分散在各个部门，政策目标缺乏一致性，需要探讨围绕一个大目标（如：能源安全）设计政策体系。二是规划体系中要有限定性目标和任务。三是围绕这些目标要进行技术创新，尤其应提高用于科研创新的资金使用效率。四是要有一个客观独立的统计研究系统，我们需要一个类似美国能源部能源信息署的职能机构，而且数据和分析要有独立性。五是需要建立一个有效的组织体系（如：能源部），加强能源发展的统筹规划，避免规划工作存在分割拼凑，最终导致即使是最好的规划也无法落地。

5. 从能源消费角度看，“十四五”建设现代能源体系面临两大核心问题，一个是安全问题，一个是绿色低碳发展问题，这两者是存在矛盾的。如何解决呢？

一是从终端消费出发。从消费终端看有几个好的趋势，一个是汽车的电动化、智能化是一个大趋势，现在可能还是涓涓溪流，到 2025、2030 年一旦变成滔滔洪水，这个趋势就不可逆，这是一个好趋势。另一个安全就是煤炭的利用问题，煤炭的出路是清洁高效利用，尤其是工业终端的煤炭清洁高效利用，不管是通过气化、高效转化、冶炼，低成本解决工业煤炭的消耗问题对我国非常关键。还有就是我们能不能把能源总量的控制或者化石能源的不增长作为目标。

二是要靠技术创新来解决好安全与绿色低碳之间的矛盾。现在电动汽车发展一个附带的效应就是锂电技术的突飞猛进，锂电储能是一个发展方向，动力电池另外一个方向也可以用到储能，比如特斯拉现在正在做的事情。通过这种技术革命将来与光伏、风电配合起来，可能会对能源结构带来大幅度颠覆性影响，当然也可以考虑氢能技术路线。

三是如何把数字技术与能源系统、能源利用相融合。目前国家电网和阿里巴巴正在联合解决这个问题，研究如何从底层穿透到基层，比如电动车与基层的发电用电设

备，现在技术上只是单向的，一旦实现底层上调度的突破，电网结构、能源互联网、微网等技术可以广泛应用，进而提高终端能效，这不是单纯的节能技术，对整个能源系统效率大幅度提升有非常显著的影响。

6. “十四五”能源规划需要重视与跨界领域规划衔接。

一是经济社会发展规划，要重视规划中的两个平衡，保证能源平衡与经济平衡（投入产出平衡）。二是应对气候变化规划，要使碳排放强度与能源主要宏观指标协调一致，能源相关指标的设定要注意与我国自主减排承诺不矛盾。三是能源规划要与科技规划协调。比如新能源发展中我们可能存在一些“卡脖子”技术（如风机、太阳能发电的控制系统、芯片等软硬件）在“十四五”期间可能成为问题。四是能源规划与水、粮食的规划要衔接，尽管只是在局部区域存在与能源要协调的问题，但类似黄河流域的能源与粮食对水形成的竞争关系及生态环境保护约束问题都需要我们在规划中重视。五是国家能源规划和地方能源规划的关系问题。地方能源规划应该是国家规划的重要组成部分，不能只是围绕着本地发展的规划。国家规划与地方规划的有效衔接可以避免国家规划在空间维度上落空。

二、意见建议

目前，“十四五”能源规划工作还处于起步阶段，面对复杂的国际国内形势，与会专家们在充分讨论的基础上，提出了以下建议：

（1）建议将能源治理体系建设作为“十四五”现代能源体系建设规划的核心工作。从能源革命来讲，体制革命是生产革命、消费革命、技术革命、体制革命、国际合作的核心，体制革命不像生产和消费革命需要投资、需要建设、需要周期，体制革命是纲举目张，实施成本低，只要大家理念通了、认识一致了，下决心以后事情就可能就办成了。

（2）建议“十四五”规划中进一步完善有关能源消费总量和能源消费强度控制问题。应研究如何完善这个制度，用什么更好的办法来替代这个制度？如果取消了能

源消费总量和能源消费强度指标，用什么更好的指标来替代？能不能用引导性指标来完善总量和消费强度控制指标，更好达到经济高质量增长目标。

（3）建议“十四五”能源规划做好国家大平衡和区域小平衡的对接，充分考虑中国不同区域的资源禀赋，产业结构和技术水平差异，在指标分配上不搞一刀切。充分重视黄河流域对中国能源发展的重要性，在核定能源生产（主要是煤炭产量、煤电等）总量指标时，考虑黄河流域的水环境承载能力；使黄河流域涉及省份的煤炭、电力、可再生能源规划对水资源及生态环境保护的需求服从黄河流域总体规划的要求。

（4）建议“十四五”规划在筹划基础设施硬件发展的同时，更加重视软实力的建设，特别是能源信息体系和研究能力的建设，并将此作为现代能源体系建设的重要组成部分。

（5）在能源安全问题上，要解决中央和地方言行不一的问题，即在国家层面强调能源安全而在地方层面却通过大规模石油基地建设扩大石油消费，应充分发挥地方政府和地方企业的积极性。

（6）建议“十四五”期间加大节能潜力开发。研究在新的形势和技术发展下我们节能潜力有多大？节能优先的方针要靠什么样的机制与商业模式来落实？有哪些与节能相关的新思路、新方法和政策需要考虑？如何利用数字技术整合各类现有技术，形成综合性节能解决方案？

（7）建议设立“农村清洁能源发展专题规划”，将农村能源发展提高到国家战略高度，并将相关内容与经济社会发展规划中有关“城乡一体化”发展体系规划的内容衔接，或者作为经济社会发展规划的重要支撑内容。

（8）“十四五”能源规划的重点应从供应侧扩张向以高质量满足客户需求的需求侧、应用侧转变，强调整能和系统优化。从能源发展轨迹看，能源发展已经从 1.0 进入到 2.0 时代，1.0 时代注重数量，重点是保障能源供应安全，2.0 时代则以高质量发展为主题，在环境安全的前提下保障能源安全，环境安全成为高质量发展的最重要组成部分，这是这一转变的缘由。

(9) 要充分利用数字技术，挖掘需求侧的节能潜力，鼓励发展基于用户侧的分布式智慧能源，把节能优先这一基本国策落实到位。另一方面要更加注重存量市场的潜力挖掘，包括存量电厂、存量楼宇、存量工厂、存量基础设施，这些都可以通过数字技术来进行存量挖潜，从增量角度来讲要选择最优，存量挖潜和增量选优，这是“十四五”能源规划很值得考虑的事。

(10) 在改革方面，“十四五”期间要做好三件事：一是在“十四五”期间完成石油管理体制改革，包括原油与成品油进出口、成品油定价和原油储备体系的改革。二是初步建立“气-气”竞争的天然气市场，包括天然气交易枢纽和区域天然气的建设。三是开启真正意义上的第二次电力体制改革，实现电力的输配分开。能源改革应鼓励条件具备的地区或省份进行先行先试。

(11) “十四五”能源规划应该把石油和天然气分开，因为石油和天然气属于不同产品，有着不同的价值链，面临不同的问题，把他们混在一起的规划结果会导致许多问题。比如，国家油气管网公司实际上就应该是天然气管网公司，结果把油的管道也放进去了，这会给炼厂和原油供应造成很多不便，所以应该也建议在“十四五”规划期间把石油与天然气分开。

(12) 建议“十四五”期间加强能源领域数字技术的研发和应用，鼓励用数字技术提高终端能效，加大节能力度；包括建设城镇综合能源服务平台，鼓励通过“能源绿色化”发展，将各部门资源形成合力，促进电力、热力、天然气、可再生能源、余热、废热等因地制宜、多能互补、综合高效利用。

(13) 建议改变能源管理“计划有余，市场不足”的问题。建议“十四五”期间取消能源总量的控制指标、能源消费强度指标、有关发电量计划指标及有关能源价格指标。这些指标以“一刀切”的方式分配给地方的做法对我国许多省市区经济发展造成了极大制约。同时，要加大要素改革力度，推动矿权、水资源的竞价出让和市场流转，借未来几年国际油气市场供大于求的局面，把油气体制改革落实到位。

(14) 到 2025 年将非化石能源比例提高到 19-20%；进一步研究制定 2025 年、2030 年碳排放强度指标，并考虑与我国自主减排承诺相衔接。

(15) 建议把氢能发展列入“十四五”能源规划。明确氢能属性及主管部门，将其明确纳入到能源体系；将氢能作为扩大可再生能源消费的重要手段，将可再生能源制氢作为发展氢能的重要方向。要注意发展氢能过程中市场开放与自主创新的进度相匹配，在自主技术突破之前不宜大规模扩大终端应用，避免通过市场换技术，最终市场丢了、技术也没换来的局面。另外，要通过规划来矫正一窝蜂扎堆造车的现状，要注重氢能等其他非车领域的应用，特别是主要与目前的新基建结合，比如可以与5G结合，实现氢光储的综合能源解决方案，消纳一部分发电冗余并解决并网问题。

(16) 建议开展国内石油工业体制改革。目前，国内石油管理体系中依然是上下游综合一体化的苏联模式，严重制约了效率发挥与企业创新，应该与时俱进大力改革。在石油供给、需求和储存方面，鉴于我国油气资源禀赋条件，不要过分注重石油生产有新突破，而应在需求和储存方面发挥我们的大国地位和作为千万桶俱乐部成员的角色。

(17) 建议加大对长输管线、LNG接收站、储气设施等中游基础设施的建设投资力度，加快项目核准、审批进度，进一步细化储气价格市场化机制，加快城市燃气管网更新改造，将城市智能燃气系统纳入“新基建”范畴。

(18) 建议加大电能替代力度，提高电气化率水平，包括终端生活用能，也包括新能源富集地区（尤其是弃风弃光地区）冬季采暖等。建议“十四五”期间每年可以有1%–2%左右的增长速度，2030年能够接近日本现在的电气化率水平。

(19) 应进一步推动能源领域市场化，促进不同性质企业之间的公平竞争。加强能源监管的法律基础和能源行业法治化建设，建议十四五期间制定出台“石油法”和“天然气法”。

(20) 应充分借鉴国际经验，特别是欧洲各国在节能与绿色能源转型、通过区域能源等技术平台优化城市能源结构，以及在欧盟层面推进电力与天然气市场一体化的经验和做法，充分挖掘我国的节能与能源资源潜力，保障国家能源安全。

第二场：现代能源体系建设的丹麦经验

2020年6月19日

总结报告

欧洲在推动能源转型、建设现代能源体系方面整体走在了世界前面，许多国家的做法各具特色。其中，丹麦在过去近半个世纪里，在气候与能源领域的成功实践被誉为是在开创一个实实在在的“现代版能源童话”。

20世纪70年代，丹麦当时面临着比中国目前更为严峻的能源挑战：能源几乎全靠化石能源，并且99%需要进口，曾遭受了第一次石油危机的严重打击，并且环境污染严重，能源利用效率低下。然而，丹麦经过40多年的努力，目前已成为全球能源领域清洁、安全、高效、低碳国家的典范之一，可再生能源在一次能源需求中占了约33%，综合能效高达72%，几乎比中国（36.8%）高一倍，并且决心到2050年实现100%的可再生能源供应。那么，丹麦这个能源童话是如何实现的，实现的过程对于中国建设现代能源体系有什么启示？

2020年6月19日，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北京大学能源研究院，以“现代能源体系建设—丹麦经验”为题，成功举办了建言“十四五”能源发展第二场线上专家研讨会。会议邀请了丹麦丹佛斯（中国）公司副总裁车巍先生和区域能源国际专家张立鹏博士，从各自角度，分享了丹麦在建设安全、清洁、低碳、高效的现代能源体系及以清洁高效的集中供热为核心的特色能源体系—区域能源开发方面的经验。

“十四五”国家能源规划专家委员会委员吴吟、周大地、杜祥琬、贺佑国、易跃春，秘书长王鹏，专家委成员、北大能源研究院院长金之均、亚洲开发银行能源部门首席执行官翟永平等近30位专家出席了本次交流活动。北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华博士主持了会议。

一、车巍先生主要观点总结

丹麦丹佛斯（中国）公司副总裁车巍先生演讲的题目是“如何建设低碳清洁高效安全的现代能源体系—丹麦绿色转型实践之鉴”，主要观点总结如下。

1. 通过开源节流，丹麦于 1997 年第一次实现了能源自给自足。

丹麦在 1971 年成立全球首个环境部后，于 1976 年出台了首个国家能源规划，开始通过一系列“开源节流”的方法，标本兼治，从源头上解决了能源安全问题。在“开源”方面主要包括四件事：一是幸运地发现了北海油气田，增加了一次能源供应；二是提出放弃发展核电；三是因地制宜通过立法、投资并打通整个产业链，主推风能；四是重视生活垃圾循环回收再利用。在“节流”方面主要包括：重视节能、节水和循环利用各种当地可以利用的资源。丹麦从来都将能效视作第一能源，可再生能源视作第二能源。到 1997 年，丹麦的可再生能源占总能耗的比例达到了 18%，生活垃圾回收率达到 15%，能源供应基本实现了自给。

2. 丹麦把水作为能源规划中的重要要素，有力支撑了其绿色可持续发展。

丹麦于 1987 年制定了首个水务规划，把用水安全与节能、绿色发展紧密关联。以 1980 年为基础，节水率不断提高，从 1985 年的 3% 提高到 1997 年的 30%，2012 年，节水率超过 40%。丹麦通过水务规划在节水上形成的一整套做法，很好地支撑了丹麦绿色可持续发展整体目标的实现，与节能和可再生能源一道成为丹麦保障能源安全、应对气候变化的核心抓手。

3. 绿色发展在丹麦不同政党形成共识，为举国推进能源绿色转型、保障能源安全奠定了基础。

丹麦不但有十年或者更长具有法律约束力的中长期规划，而且每个年度都有行动计划，且由一个朝野各方专家组成的绿色转型委员会来监督落实规划的实施情况。丹麦虽然有不同政党，但不论哪个政党执政，绿色发展的理念在不同政党之间很容易达成共识。2012 年的丹麦能源协议作为有法律约束力的国内法案，使其绿色发展在制度

上得到了保障，该协议设定了 2050 年达到完全摆脱化石能源的目标。2018 年 6 月，丹麦制定了“新丹麦能源协议”，重申了丹麦 2030 年的气候和能源目标、2050 年摆脱化石能源目标及履行联合国可持续发展目标的义务，为继续推动绿色转型氛围奠定了基础。

4. 丹麦以节能和能效提高为核心的能源转型之路催生了一个庞大的绿色产业链。

自 70 年代以来，丹麦社会的幸福指数一直在不断提高，丹麦也被评为世界上幸福指数较高的国家之一。与 1980 年相比，目前丹麦的 GDP 增长约 90%，但总能耗仅增长 4%，碳排放、水耗分别下降了 40%、42%。另外，丹麦的人均电耗低于美国加州的一半，但生活品质高于加州。围绕系统能效提高和节能降耗，丹麦已催生了一个创新发展的绿色产业链，在绿色技术出口中一直是全球领先，其绿色出口占总出口额的比例一直保持在 10%以上。如：风能公司维斯塔斯、节能公司丹佛斯等。丹麦还拥有绿色国度这样公私合营的民间团体作为国际合作的桥梁，专门总结和推广丹麦能源转型经验和绿色技术。

5. 建筑节能是支撑丹麦的实现绿色转型的重要抓手。

丹麦能够实现能源独立和能源转型，一个非常重要的原因是建立了以建筑节能为核心的区域能源系统，有效实现了占全国总能耗 40%的建筑领域节能。虽然丹麦居民多散居在乡镇，但其区域能源覆盖率达到 65%，促进了对各种本地资源的综合利用。自上世纪 80 年代以来全国建筑面积不断增加，但总能耗和单位建筑能耗均在持续下降，单位建筑能耗是目前中国水平的一半。这对我国城镇化高速发展，建筑能耗持续增加的今天，很有启发和参考意义。

6. 丹麦的可再生能源发展独具特色。

丹麦除了将节能和提高能效作为“第一能源”外，也非常重视发展可再生能源。除了大力发展风能、光伏太阳能外，因丹麦是一个农业立国的国家，生物质在丹麦是一个很大的资源。另外，生活垃圾、秸秆、沼气等也是其可再生能源的重要组成部分。目前，丹麦的可再生能源在其一次能源结构中的占比达到了 32.9%，其中与农业相关

的生物质能占全部可再生能源的 73%，仅生物质发电一项就占了 55%。这些可再生能源发展再通过与北欧电力和能源市场一体化，不但解决了弃风、弃光、弃水，而且为能源安全提供了一种长治久安的解决方案。

7. 用热计量的方法鼓励全民节能。

与用水、用电一样，丹麦用热也完全实现热计量，用多少热，花多少钱，有效提高了广大民众杜绝浪费的节能意识。

8. 在推动实现绿色转型中，“全民参与”是丹麦的一大特色。

为了强化丹麦最终实现 2050 年摆脱化石能源的目标，2019 年年底，丹麦推出“国家气候法案”，以“气候合作伙伴”的方式使政府、商界（包括 13 家大企业）、学界等所有行业（包括民众）举国推动绿色转型工作，确保到 2030 年实现在 1990 的基础上减排 70% 的目标。其中，政府起到了非常重要的引领作用（包括财政支持，如：未来绿色基金），而由朝野各界参与构成的绿色转型委员会负责监督目标的实现。

9. 丹麦通过建设“零碳之乡”、“零碳城市”等可持续发展的城镇和社区，做全球绿色转型的先行者。

在国家绿色转型的宏观战略引领下，丹麦绿色转型的重要力量就是地方政府的积极响应，尤其是各地市政府都各自提出更加具体和激进的绿色转型目标，建设智慧宜居绿色的现代化城市。丹佛斯公司总部所在城市森讷堡素有“零碳之乡”之称，自 2007 年起开始打造一个基于 PPP（公私合作伙伴）的“零碳项目”，目标是到 2029 年实现完全摆脱化石能源，而丹麦首都哥本哈根的目标是到 2025 年成为世界上第一个“零排放”首都。事实上，这些城市下属的小城市和社区的目标更为激进。

10. 规划建议：借鉴“全球绿色能源实验室”的成功实践，开源节流，立足本国资源构建适合我国国情的“清洁低碳高效安全”的现代能源体系。

丹麦通过近五十年的努力，实现了从完全依赖化石能源进口为主的能源体系到相对独立自主的能源体系转变。在此基础上，丹麦正在向 2050 年零化石能源的低碳社会稳步迈进。

目前，丹麦的绿色能源转型主要聚焦在探寻未来可持续能源、打造绿色智能宜居城市、确保世界用水安全以及逐步迈向循环经济等方面，做出了许多可圈可点的创新尝试，展示了人类在探求可持续发展过程中的巨大可能性，堪称“全球绿色能源实验室”。

鉴于丹麦经验，车巍先生建议中国在“十四五”期间：1）加大立法力度，推动形成更大更强的能效产业链；2）推广应用成熟的绿色技术体系（如：城市区域能源解决方案）；3）强化用户的节能行为（例如热计量）和能效意识；4）尽快建立全国平衡统一的电力和能源市场体系，把节能与可再生能源作为该市场体系的重要组成部分，重视多方合作。

二、张立鹏博士主要观点总结

丹麦区域能源国际专家张立鹏博士演讲的题目是“区域能源的丹麦经验—对中国建设现代能源体系的启示”，主要观点总结如下。

1. 什么是“区域能源”？

“区域能源”是高效、清洁的集中供热和供冷系统。联合国认为：城市中的现代区域能源系统是减少温室气体排放和使一次能源需求成本降低、效率最高的解决方案之一。世界银行认为：“利用清洁能源技术提高效率和使区域供热现代化，可在能源供应安全与减少空气污染之间发挥最大协同作用”。丹麦实践经验区域能源主要是区域供热帮助丹麦摆脱了 20 世纪 70 年代的能源危机，并在 1997 年成为欧盟唯一一个能源自给自足的国家。

2. 如何理解区域能源？

“区域能源系统”主要包括三个要素“热源、管网、建筑”。区域能源的基本理念是：在热源处最大限度地发挥本地资源禀赋优势，本地有什么用什么，而且这些资源是免费的甚至废弃不用的。这是区域能源相对于其他单体供能系统无法比拟的优势。因此，城市内多种市政服务的废弃能源都可以成为区域供热的热源，如：回收利用各行业部门的余热、废热，通过焚烧市政垃圾提供热量满足热需求、提取污水中的剩余热，由此将废物变成资源，回收利用数据中心服务器散发出来的余热，利用地铁里的余热，利用化工余热，以及电厂余热（即热电联产）等，这种区域能源热源处余热、废热回收再利用的过程中大大减少了一次能源的消费需求，并减少了 CO₂ 和大气污染物的排放。

此外，区域能源系统具有规模优势，集中供能方式减少了单个消费者的花费并使某种对个体消费者不合算的资源利用更为经济；同时可以提供多种市政服务，如：供热，供冷和生活热水等，提高能源利用效率。

区域能源系统还可以通过数字化、智能化控制手段，尽可能把需求和供给进行精准匹配，减少能源浪费。另外，在建筑节能方面不断更新节能标准，并把节能行为与消费者利益挂钩（如：账单）。丹麦的区域供热技术经历了 3 次迭代：第一代是传统的直接燃烧取暖技术，第二代是传统热电厂的余热利用技术，第三代是热电联产与废弃物、生物质、工业余热相结合的技术，第四代也是目前最先进的技术是结合热源低碳化、管网高效化、建筑节能化三个目标，完全依赖低品位能源（废弃物热电联产、工业余热、生物质热电联产、风能、太阳能、生物质制气热电联产、热泵等）完全都达成后的产物。随着代际的交替，供热的温度不断降低，从之前的 100 多度向目前的 50–60 度转变，而供热效率的效率大大提高。

3. 区域能源是如何帮助丹麦从能源危机变为能源自给自足的？

首先，不同时期相关能源政策为丹麦实现能源自给自足起到了重要作用。丹麦政府在 1976 年发布了电力供应法案，要求所有电力必须是热电联产，因为热电联产的

生产方式比单独发电和单独制热能够节省至少 30%的能源，为丹麦大规模发展区域能源奠定了非常好的基础。1979 年颁布了全球第一部热力供应法案，进一步强调对城市规划中的供热基础设施必须做到成本效益最优并保证其舒适性。而且，供热需求的满足要尽量通过本地资源来达到。2000 年，丹麦更新了热力供应法案，国家政府开始把供热计划的仲裁权力下放给地方市政府。目前，丹麦正在采用战略能源规划模型，这是一个考虑了区域能源在内的综合能源系统。丹麦的区域供热规划要求一定是基于本地制定，要找到最具成本效益、最适合本地区的供热方案。

其次，区域供热规划在丹麦能源发展方面起到了穿针引线的作用，为丹麦能源实现自给自足方面发挥了非常大的作用。最初，即上世纪七十年代末期时，充分考虑了能源转换的重要性，即大力发展热电联产，利用电厂余热作为区域供热的热源，以摆脱对进口能源的依赖。80 年代初期，区域供热系统相对于其它单体供热系统的成本优势日益明显，因此丹麦倡导在没有电厂余热的地区同样也建立区域供热系统，这时热源便根据本地情况，灵活选择，即最大限度的利用本地的资源禀赋，如太阳能、地热、生物质、垃圾焚烧等作为热源。后来，丹麦意识到，热电联产存在异步性，即用电和用热并不总同时发生，因此区域能源转而开发储能手段，丹麦几乎所有的电厂都设有储能装置，这为能源系统的灵活性和存储多余热量提供了可能性；由于丹麦电网属于北欧大电网的一部分，波动式的市场电价趋使丹麦需要在竞争中保持优势，因此系统尽量吸收波动性廉价电力，如近些年丹麦大力发展海上风电和太阳能光伏发电，并充分利用发展起来的储能系统。

4. 各利益相关者在丹麦区域供热规划中起到了什么作用？

丹麦区域供热规划的主要利益相关者在规划中的不同角色突出体现了丹麦“全民参与”的特点。

一是欧盟。丹麦在做欧盟轮值主席国时，帮助欧盟评估了热电联产和区域供热状况，制定强制性能源目标以及要求提供本国供热规划，为欧盟国家在构建能源系统方面能够参考丹麦经验提供了经验。

二是丹麦国家政府。在区域供热方面有两个非常重要的机构：丹麦能源署和丹麦能源监管局。丹麦能源署主要负责能源政策制定和执行，并在供热方面主要致力于增加新能源，让所有系统更加灵活。也负责本地供热规划的强制执行。丹麦能源监管局主要监管垄断型能源公司的价格，如天然气公司、电力公司、热力企业等，确保消费者始终得到公平合理和透明的能源价格。

三是丹麦市政当局。他们负责供热规划，批准供热公司活动和项目，监管当地热力公司，有责任确保根据地方计划实施项目，并做到最具成本效益。

四是热力公司。丹麦的热力公司是市政府控制的独立公司，市政府对它的大部分决策都要保持一定的控制权，但供热公司也在市政府充当一部分机构的角色。热力公司对其供热有定价权，但对待热价非常谨慎，定价时既要考虑消费者利益，又要应对严格审查。

五是个人消费者。实际上个人消费者可以以各种各样的形式参与到热力公司，如入股等方式。丹麦的热力公司是没有盈利的公共事业公司，它的利润都会被以其他的形式返还给个人消费者或者热力消费者。个人消费者始终能够得到可靠、可信、合理的价格和当地信息。

5. 稳定的政治环境是如何保障区域能源行业持续发展的？

丹麦的政治体制特点是多党共议，但在能源政策上却出奇的一致。2012年的《丹麦能源协定》确立了丹麦的官方目标，即到2050年100%依赖可再生能源，这也是政治共识的产物。

另外，丹麦区域能源领域发展的合作模式是政府负责提供大的框架，制定目标，促使市场自由发展各种解决方案，彼此之间良性竞争，优胜劣汰。另外大政府、企业、大学三方的合作模式也为区域能源发展提供了保障，即：大学提供科研成果，企业负责科技成果转化，政府通过制定政策框架同时利用税收或者补贴手段调整能源政策的发展方向。

总之，稳定的能源政策和一致的政治共识，确保了区域供热领域的稳健投资和行业的持续发展。

6. 丹麦区域供热规划的经验 and 结论有哪些？

丹麦在区域供热规划中主要经验包括：采用了多方受益的商务模式；在国家层面，强调城市区域供热规划的重要性；国家组织信贷机构为投资者提供低成本贷款；将电力市场和区域供热紧密结合，尤其是提高火电厂的热电联产效率；强调区域能源在整体能源规划的重要性；规划中要考虑国家能源目标的影响和设计。

丹麦在区域供热规划中主要结论包括：利用区域供热能够整合多种热源的优势，充分发掘本地能源潜力，将废弃物转化为资源；丹麦市政供热计划和规划的法律政策长期以来一直被认为提供了支持丹麦能源市场持续成长的政策和法规框架；提高对供热计划的认识，并确定供热计划和综合能源计划如何适应本地城市规划活动；区域供热系统尤其需要进行超局部能源分析并从局部设计中受益，发挥其巨大的经济效益和减排优势。

7. 对中国有哪些建议？

一是要最大限度发挥本地资源禀赋的作用，提高区域能源“本地多能”利用意识。二是“提升能源系统利用效率”与“能源清洁化低碳化使用”同样重要；三是利用专项区域供热规划工具优化本地多能系统，辨识出最经济、技术可行的环保方案；四是成立专门的区域供热规划及机构，负责编制区域供热规划；五是中國需要一个包含供热规划系统，成本效益分析，重视长期投资，以及为所需的解决方案提供经济优惠政策的全盘规划，以实现节能，气候和环境目标；六是能源、建筑和工业部门需要相互配合，利用区域能源系统的带来效益，使中国成为更节能、用能更灵活的国家，尤其要更加重视管网和建筑的节能优化。

三、与会专家主要观点总结

与会专家结合我国能源转型和建设现代能源体系等问题展开了进一步讨论。主要观点总结如下。

1) 在能源转型过程中，丹麦对全球今天面临的诸多挑战做出了成功尝试，堪称“全球绿色能源实验室”不少实践证明是行之有效的，如：把节水与节能结合在一起制定水利利用规划，制定基于本地资源最大化利用的供热规划，对供热按照实际消费收取费用的计量改革，在节能、节水、供热方面的立法实践，建立国家、地方、企业和全民参与绿色发展的有效机制，制定长期国家规划、年度落实计划和监督落实机制，建立基于节能的绿色能源产业链，新兴的第四代集中供热技术等，这些做法无论是对我国“十四五”国家级能源规划，还是具体到地方综合能源利用规划等都有积极的借鉴意义。

2) 丹麦能源童话的精髓在于充分利用本地低品质的能源资源，通过区域能源的方式对其进行高品质利用。从开始的热电厂余热，到现在的生活垃圾、秸秆、沼气、养猪场废弃物等生物质以及通过热泵技术对低品质热源的提取，再结合太阳能储热储电等设施，这样的区域能源技术使得即使在没有余热的地方也可以集中供热，实现低品质能源的高品质利用，特别是废物的循环综合利用，既解决了污染问题，又解决了能源安全和低碳问题。应将这些经验纳入我国的能源规划，成为规划中非常重要的一部分内容。

3) 协调一致且长期稳定的能源政策及自上而下的创新做法，再通过具体项目来集成多项技术，并加上能效价值链的经济有效运营，使丹麦能源转型得到了制度保障，这也很值得我们借鉴。

4) 丹麦到 2050 年要实现 100% 可再生能源，需要解决目前近 70% 的化石能源问题。基于生物质在目前 33% 的可再生能源比例中的主导地位，且几乎已吃干榨尽，再往下走，丹麦的能源转型将面临巨大挑战。丹麦能源童话的核心要素，就是国家制定目标并提供政策，让企业、研究机构和全社会去寻找解决方案。丹麦如何实现这一雄心勃勃的 2050 目标，非常值得我们持续关注。

5) 借鉴丹麦的成功经验要基于我国特殊的国情。丹麦能源转型的成功核心是基于区域能源系统实现的，且其区域能源只是集中供热，我国的大部分地区除了供热还需要制冷，需要基于实际需求和本地资源来量身定制区域供热制冷的解决方案。中国在“十

“十四五”规划过程中，要注意调动地区层面在能源安全与低碳转型方面的积极性。比如：可考虑在华东地区试点建设现代化地区层面的“城市区域能源”发展模式。

第三场：控制石油消费总量

2020年6月26日

总结报告

目前，我国石油对外依存度已经超过 70%。在全球化市场背景下，对外依存度本来不是一个问题，但如果逆全球化愈演愈烈，越来越高的能源对外依存度就意味着越来越大的风险，可能成为被他国或某些利益集团利用的软肋。除了扩大本国石油供应能力，多元化石油进口来源，建设应急战略石油储备等措施外，中国能否在需求侧提高石油使用效率，减少石油消费总量并在交通、石化等领域推动石油替代，并以此作为保障国家能源安全的重要手段？这是“十四五”规划面临的重大问题。

2020年6月26日，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北大能源研究院联合举办了建言“十四五”能源发展系列活动第三场，以“保障国家能源安全的有效途径：控制石油消费总量”为主题，展开了讨论。会上，自然保护协会(NRDC)高级顾问杨富强博士作了题为“中国如何控制与减少石油消费总量？”的报告，中国电动汽车百人会研究部主任朱晋博士作了题为“中国交通电动化前景与节油潜力”的报告。与会专家就降低石油消费的途径和手段，新能源汽车与电网互动，氢能、甲醇及其他替代燃料技术，政府和企业为提高本国石油产量、可再生能源发展、节能提效、能源转型中的作用等议题展开了热烈讨论。

北京国际能源专家俱乐部名誉理事会常务副主席傅成玉、“十四五”国家能源规划专家委员会组长吴吟、副组长周大地、中国工程院原副院长杜祥琬、中国工程院院士黄维和、“十四五”国家能源规划专家委员会委员赵文智、贺佑国及秘书长王鹏、国家发改委气候变化国际合作中心首任主任李俊峰、中国国际经济交流中心特邀研究员范必、北大能源研究院院长、中国工程院院士金之均、亚洲开发银行能源部门首席执行官翟永平等近 40 位专家出席了本次交流活动。北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华博士主持了会议。

一、杨富强博士的主要观点总结

自然保护协会(NRDC)高级顾问杨富强博士演讲的题目是“中国如何控制与减少石油消费总量？”，主要观点总结如下。

1. 油控主要解决能源安全压力、环境压力、气候压力

石油、煤炭、天然气作为化石能源，在消费过程中带来了能源安全、环境保护、气候变化三方面的压力，石油消费总量控制的初衷是要与中国建设安全、清洁、低碳、高效的现代能源体系节奏相一致，即：首先要摆脱对煤炭的依赖，然后要跨越石油时代，最后拥抱以新能源为主体的未来。

2. 油控对经济有拉动作用

油控与煤控不一样，煤控是强制性的，对经济的拉动本身并不强，但油控能够促进电气化，在交通和能源化工领域，以及交通与电力互动领域，都能够推动经济发展，如交通领域的电动化、化工领域的替代技术发展，电动汽车的电池蓄能系统对电网消纳可再生能源能力的提升，充电桩对电力系统的智慧运营等对经济都有拉动作用。所以油控有助于经济增长。

3. 我国“十四五”石油消费有望达到峰值

从这次新冠疫情影响来看，我国“十四五”石油消费总量达峰的可能性在提高，因为疫情导致人们出行的减少极大抑制了交通部门的石油消费。如果“十四五”时期我国石油消费能够达峰，加上我国煤炭在 2013 年就已达峰，那么到 2025 年，我国就有望提前实现巴黎承诺的减排目标。

4. 油控的主要对象是交通和化工两个部门

2017 年，我国交通石油消费占 57.7%，化工占 15.3%，这两个部门占总石油消费量的 73%，其他部门占到 27%。根据情景分析预测，到 2050 年，这两个部门的石油消费占比仍然高达 75.4%，其中：交通石油消费减少到 33%，但化工石油消费会上升到 42.4%。虽然石油消费总量在下降，但化工石油消费绝对量在上升，原因是我国

化工产品的人均消费水平还不到世界的平均值，与发达国家还有较大差距，所以我国的化工产品仍呈增长态势。

5. 油控的三大抓手是禁燃、净塑、定标

禁燃主要是针对交通部门。在交通部门石油消费中，道路、国内水面航运、国内航空分别占 83%、8%、8%，铁路及管道占比非常小，约 1%。从电动汽车禁燃时间表和路线图分析结果看，禁燃可以减少约 1.5 亿吨的石油消费量。**净塑**主要针对化工部门。我国是世界上最大的塑料生产国之一，如果我们能够禁塑、限塑、循环利用塑料，每年可节省 0.19 亿吨的石油消费量。**定标**主要指提高汽柴油发动机的能效标准和排放标准，也可以采用电动化水平作标准。

道路交通作为石油消费的主要方式，是禁燃的主要对象，应分区域、分车型、分时段在一些地区针对某些车型实施燃油持续退出制度。退出进度是：在全国范围内，“十四五”末 2025 年新能源汽车在新车销售中占比达到 25%；到 2050 年全国范围内传统燃油汽车在新车市场上完全退出；公共交通领域燃油车在 2030 年前后先行退出。替代车型主要以新能源汽车（包含纯电汽车、氢燃料电池汽车、插电式混合动力汽车）和混合动力车型为主，同时辅以部分天然气等清洁能源汽车。燃油车可以先在东部沿海地区退出，然后再中部，再西部。

“十四五”时期重点推动公共交通电动化，同时为私人和运营领域电动化应用打下基础。比如在一级城市，在 2020 年左右公交车、出租车、共享车、公务车可以先电动化，然后物流车、环卫车到 2025 年实现电动化，到 2030 年左右，公务车、出租车这些公交系统的燃油车就都退出市场。如果加大燃油车退出力度，我国道路的燃油消费量在 2023 年左右就能达到峰值，这个峰值很可能推动整个石油消费的峰值在 2025 年左右到来。2050 年左右基本实现汽车全面电动化的情况下，全国四个层级（一级城市到四级城市）石油消费量较峰值均下降 80%以上，减油效益非常明显。生命周期内温室气体排放结果显示，在 2050 年增量基本实现全面电动化的情况下，各层级省市的道路交通（主要指汽车）所引起的温室气体达峰时间均不晚于 2025 年。

6. “十四五”应提出油控指标体系

宏观指标方面，石油消费占一次能源的比重在 2025 年应控制在 20%以下，这是一个指导性指标，有望在 2035 年、2050 年分别下降到约 15%和 11%；石油对外依存度建议到 2025 年控制在 72%以内，这是一个预警性指标，有望在 2035 年、2050 年分别控制在 67%和 48%；能源效率应作为约束性指标在 2025 年、2035 年均采用双积分标准。

部门指标方面，交通部门，应制定各省市差异化、约束性的禁燃时间表，2025 年先在部分省市推出，2035 年开始全面推出，一直到 2050 年全国传统燃油车全部退出销售市场。北京、上海等一线城市应该首先制定强制性、有约束力的禁燃时间表。不同地区公共交通首先要实现去油化，然后是私家车及其他传统燃油车。化工部门，2025 年、2035 年应实施禁塑、限塑、塑料回收以及塑料替代，2040 年或 2045 年应实施全面禁塑。其他部门各类汽柴油发动机均执行约束性能效标准和排放标准。

以上两方面的油控指标也是对国家能源局“十四五”源规划的建议。

二、朱晋博士主要观点总结

中国电动汽车百人会研究部主任朱晋博士演讲的题目是“中国交通电动化前景与节油潜力”，主要观点总结如下。

1. 我国交通电动化发展势头迅猛

近五年，在政策的大力支持下，电动汽车在中国发展迅猛，成果显著，在国际范围内起到了引领作用。2019 年，我国新能源汽车的销售渗透率达到 4.67%，远高于全球平均水平的 2.44%，保有量接近 400 万辆，占全球新能源汽车保有量的 53%。尽管因补贴退坡和新冠疫情影响，市场略有波动，然而中国未来交通电动化的驱动力，不完全取决于政策，而重点在于电动汽车产品的竞争力。

2. 市场正成为中国交通电动化发展的驱动力

一是消费者对电动车的接受程度越来越高。原来电动汽车主要靠政策驱动，如：城市燃油车限购政策。近年来，燃油车非限购城市的销量比例在逐步上升，个人用户购买电动车的比例近年来也在显著提升。像特斯拉和蔚来等中高端电动车辆即使在非限购城市，其比例也可以占到 40%、50%多，特别是特斯拉购买者，基本都是个人私家用车。

二是电动车企从供给侧主动发力。近年来，越来越多的各大车企在向电动化转型，特别是 2019 年、2020 年几个主要的车企都加大了电动化领域的产品投放，给消费者提供了更多选择。现在有很多车企把电动车的特性发展的非常好，包括动力性能、智能化等。而且，国产电动车品牌，如蔚来、小鹏、广汽、比亚迪等推出了受到市场欢迎的优秀产品我国自主品牌的新能源汽车在中高端的自主产业发展也逐步取得了市场认可。

三是农村市场电动车需求潜力巨大。中小城市和农村机动化出行需求越来越大。我们 6 亿人月均收入 1000 元这部分市场迫切需要物美价廉、相对清洁的机动车激发。目前，在不放松电动车性能的条件下，某些电动车品牌逐步面向中小城市及农村市场渗透，如：五菱宏光价格最便宜到 2.68 万元，宝骏 300 在市场上也很受欢迎，能够满足中小城市和农村市场的需求。预计未来我国农村家用汽车千人保有量从目前的 85 辆左右增加到 2030 年的 160 辆，总保有量将超过 7000 万辆，乐观估计，其中电动车数量将超过 4000 万辆。未来我国提升千人保有量很大一部分要靠中小城市和农村。

四是供应链和新技术发展为提高电动汽车竞争力奠定了基础。近年来，我国新能源汽车零部件市场正在逐步完善，核心部件动力电池单位成本快速下降，2019 年单体成本下降至 0.7 元/Wh 左右。电池性能指标也在稳步提高，单体能量密度接近 300 瓦时/千克。而且，电池领域的技术创新步伐也在加快，如：无钴动力电池、固态电池、CTP 等技术将进一步降低动力电池的成本，提升续航能力，性价比将进一步提升。

3. 逐步完善的政府政策正在给新能源汽车发展加码

近年来，政府政策对新能源汽车发展也在不断加码，主要是政府掌控力度比较强的几个领域，包括公交车、物流车等，无论是从国家还是从省市层面，都出台了一些政策，如：2020年前重点区域的直辖市、省会城市公交车基本要替换成新能源汽车。目前，我国公交车保有量约70万辆，新能源替换基本完成了一半。虽然现在财政政策在逐步退坡，但非财政政策，包括对新能源物流车给予更多路权和更多通行便利的政策在加强。

4. 电动化的节油潜力巨大

《新能源汽车产业发展规划2021—2035（征求意见稿）》中提出2025年新能源汽车新车销量占比达到25%，中汽中心预测到2035年纯电动乘用车保有量接近1亿辆。汽车保有量中乘用车约占80%左右，新能源车中纯电动车约占80%。根据这个数据分析，到2025年，基准和激进两种情景的保有量预计为2-3亿辆。粗略计算结果是电动化的节油潜力可达2亿吨以上。

5. 电网的支撑作用对电动汽车发展至关重要

电动汽车在电动交通系统只是一个起点，电动车后面是共享化、绿色化、智能化，包括与能源、交通、环境的协同发展关系，能源绿色发展最主要的节点是绿色电网，是电动汽车与电网的协同。

6. 政策建议

一是希望电动汽车也能够参与到电力市场的调峰调频工作中，鼓励电力市场的多主体准入。二是希望建立合理的激励措施，完善车网互动的市场机制。三是在参与电力市场辅助服务方面，希望给予电动汽车分散型负荷去参与辅助服务、二次调频等参与电力市场机会，从而建立一个双方受益的机制。四是希望新建电厂以可再生能源发电为主，以绿色电力支撑电动汽车的发展。

三、与会专家主要观点总结

与会专家围绕控制石油消费总量及相关话题展开了热烈讨论。主要观点总结如下。

1. 中国能源安全需要在需求侧和供给侧同时发力，通过提高电气化水平提高能源自给率。

“十四五”规划重点是提高我国能源自给率，核心是“控煤、减油、发展非化石能源，提高电气化水平”。建议从自给率的角度，设定一个终端用能电气化水平，在目前 30%的基础上再提高几个百分点，用我国在电气领域的强处克服石油领域的短板，建立以电力为核心的现代能源体系。

从需求侧看，控油的主要途径是在交通领域实现电能替代。从供给侧看，涉及的却是电源的清洁化和电网的安全问题。因此，控油需要在电力需求侧开发需求侧响应机制，同时在供给侧部署储能，开发灵活性电源，包括天然气加可再生能源技术，用有限的天然气发电来带动更多的可再生电源开发。建议规划为包括需求侧响应、储能和灵活电源提供良好的应用场景，让市场针对这些应用场景创新解决方案。

2. “十四五”规划要基于中美关系全面恶化和疫情加速能源转型这两个基本面，发挥国家的制度优势，立足在 5-10 年内解决大部分能源自给问题。

一是设定能源自给率和清洁化战略目标，没有条件要创造条件，充分发挥各方面力量来实现这个目标。我国的“两弹一星”、大庆油田、后来的高科技发展都是在没有条件的基础上取得的，我们规划工作者不要被惯性思维所约束。

二是我国应以“大庆会战”模式规划开发海相页岩油气资源，重点是我国东部页岩油和西部页岩气资源。东部的页岩油大规模开发有望在稳定全国石油产量每年 2 亿吨的基础上奔向 3 亿吨。这要把市场和国家力量结合好，国家制定统一规划，各个公司分别实施。

三是加大可再生能源的开发力度，力争通过可再生能源解决我国能源需求的增量部分。

四是在更大程度上发挥国家的作用，在提高能效技术开发方面加大支持力度。淘汰各行业早已过时的能耗标准，大幅度提高相关技术标准、环保标准、排放标准，以强制性标准来推动节能降耗工作。国家应通过立法进一步提高燃油车的经济性标准，对高排量燃油车应提高燃油税的征收比例。我国燃油车目前标定的百公里油耗仍然较高，如果每辆车百公里油耗在现有水平上压低 3 升左右，一年每辆车就可以节省近 600–700 公斤的燃油，粗略估算，每年我国可以节省 3–3.5 亿吨石油。

五是强制性开放大型国有企业的内部市场，以立法或条例的形式支持民营企业从事节能环保技术研发和推广，充分发挥民营企业在技术创新方面的活力，加大国有企业的市场竞争意识。

六是在氢能发展技术路线选择上应另辟蹊径，考虑“煤炭直接转化成氢”作为符合我国国情的技术发展路线，支持企业开展工业化试点项目。

七是考虑制定煤制油相关标准。目前煤制油属于煤炭行业，而负责油品的标委会属于中石化系统。标准的缺失使煤制油产品难以进入石化销售系统来替代石油制品。生物柴油也存在同样的问题，需要尽快理顺各方面关系。

八是进一步推动 CCUS 应用。我国有很多煤、油、气共存的地方，可以把利用煤化工排放的 CO₂ 用来提高原油采收率。中石油在吉林等油田试点显示，二氧化碳驱油可以提高油气采收率近 10 个百分点。

3. 规划要防止大出大进的石油化工模式。

一方面我国石油对外依存度较高，另一方面原油加工量不断上升又要出口油品，大型石化基地还在遍地开花。2019 年我国地炼用的原油约为 1.27 亿吨，出口的成品油是 6686 万吨，相当于通过地炼把排放的各种污染物留在国内，而把成品油销售到周边其他国家。适当控制地方炼油企业的盲目发展有助于降低石油对外依存度。

4. 应高度重视国际低碳转型进程以及欧盟提出的 2050 年实现碳中和目标，培育低碳技术领导力。

如果拜登上台，美国很可能重回全球气候变化领导者位置。国际上多数强国都在围绕低碳转型进行各种技术储备，欧盟提出 2050 年实现碳中和目标后，全球已有约 110 多个国家响应和追随。我国的能源规划应该立足超越油气，鼓励非化石能源领域的技术创新和突破，持续发挥在全球低碳技术领域的领导力。

5. 针对中美关系全面恶化是否会导致严重的石油安全问题，有与会专家认为，能源武器是一种双刃剑，鉴于中美贸易战的焦点之一是美国要求中国加大进口美国的油气，我们不必对中美关系全面恶化导致的石油安全问题过渡紧张。

此外，与会专家还就以下几个方面对“十四五”能源规划作出谨慎提示：

一是政策要符合市场经济的发展规律，减少政府干预，让市场在资源配置中起决定性作用，对能源补贴和税收优惠政策保持慎重。

二是充分考虑疫情对整个能源行业产生的长期影响：供应链缩短形成更加短距离的区域性供应链；居民生活和城市布局都向本地化发展，这对航空、船舶、汽车的石油需求产生很大影响，能源规划应适应这种变化。

三是电气化的过程中要重视农村和小村镇分布式能源发展，包括未来农村和城镇电动汽车的发展带来的电源多元化、充电基础设施灵活性、电网安全性、废弃电池的环境污染问题等等。

四是环境与气候问题要结合中国的发展阶段，在城乡差别、东西部差别还很大，人均油量还很低的情况下，不能以牺牲发展为代价，应鼓励技术替代而非强制性地限制消费。

会议还就甲醇、地沟油的替代潜力，电动汽车相关的电池、充电、换电、V2G 技术等问题开展了讨论。

第四场：欧洲能源转型的所见所思及对中国能源发展的启示

2020年7月3日

总结报告

欧洲在能源转型上走在了全球前列。欧盟发布的绿色协定（Green Deal）明确指出，要在2050年成为全球第一个零碳排放地区。英国议会在一个月时间内完成了气候变化法的修订，确认了2050年净零排放目标，丹麦和瑞典更是放出豪言壮语，要在一代人之内实现无化石能源社会。欧洲社会为何能够对能源转型达成如此广泛的社会共识？他们又准备如何实现这些目标？

驱动欧洲能源转型的不只是政府层面的各种规划和指令，更是成千上万个家庭、企业和社区的自觉行动：有用光伏和氢能满足全年能源需求的独栋离网建筑，有利用大型储热罐和空气源热泵的热电厂，有把冷柜余热用于供暖的超市，还有用生物质锅炉替代燃油供暖的农家。这些最基层的行动效果如何？经济性怎样？能否在中国复制？

清华大学的何继江博士花了11个月时间，走访了14个国家，从南边炎热的西班牙马德里到北部寒冷的芬兰北极圈，乘坐飞机，轮船、火车、公交车，自驾电动车，骑自行车，体验了欧洲能源转型的基层行动。每到一处他都详细记录了所见所闻，结合现场调研和文献考证撰写了考察笔记，与国内同行交流，并在自己的微博、快手短视频、微信群里与公众号中分享。

2020年7月3日，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北大能源研究院联合举办了建言“十四五”能源发展系列活动第四场，邀请何继江博士以“欧洲能源转型的所见所思及对中国能源发展的启示”为主题，分享他“欧洲能源转型万里行”的所见所思及对我国“十四五”能源规划的启示。

北京国际能源专家俱乐部名誉理事会常务副主席傅成玉、“十四五”国家能源规划专家委员会组长吴吟、副组长周大地、中国工程院原副院长杜祥琬、北大能源研究院院长金之钧、副院长杨雷、亚洲开发银行能源部门首席执行官翟永平等30多位专

家听取了何继江博士的报告，并就“十四五”能源规划中如何设定能源转型目标和落实机制展开了讨论。俱乐部总裁陈新华博士主持了会议。

一、 何继江博士的主要观点总结

清华大学能源转型与社会发展研究中心常务副主任何继江博士演讲的题目是“欧洲能源转型的所见所思及对中国能源发展的启示”，主要观点总结如下。

1. 欧洲在能源转型方面表现出强大的女性领导力

欧盟的绿色协定宣布到 2030 年欧盟要减排 50–55%，2050 年要实现温室气体净零排放，而且要实现经济增长与资源需求增长脱钩。这个雄心勃勃目标的制定与欧盟在能源转型与气候变化方面的女性领导力是分不开的，包括在欧盟非常有影响力的德国总理默克尔女士和欧盟委员会主席冯德莱恩女士。另外，北欧五国作为能源转型的先锋，目前可再生能源比重都相对较高，冰岛、瑞典、挪威、芬兰、丹麦分别达到了 85%，55%，46%，40%，32.7%。这些国家也都提出了雄心勃勃的能源转型目标，其中，芬兰提出 2029 年弃煤，2035 年实现碳中和；丹麦承诺 2050 年实现碳中和，实现 100% 可再生能源；冰岛承诺 2040 年实现碳中和；挪威要在 2030 年实现碳中和。这 5 个国家除瑞典外其它四国的总理或首相也都是女性。另外，16 岁的瑞典女孩格里塔·桑伯格在气候变化问题上展现了一个让世人惊叹、也产生巨大影响力的年轻女子形象。

2. 欧盟各国在气候变化问题上的广泛共识是实现能源转型的基石

欧盟各国在对待气候问题上很容易达成共识，政府决策效率非常高，尤其表现在 IPCC 全球 1.5 摄氏度温控问题上。以英国为例，其议会在脱欧问题上长时间纠缠不休，但议会成员对《气候变化法》的修改都高度赞成，一个月内就完成了法案的修订，将原来的 2050 年碳减排的目标从 80% 修改为 100%，也即 2050 年实现温室气体净零排放。法国在气候大会的宣传语是“Make Our Planet Great Again”，计划 2022 年关闭所有煤电，且公众餐厅产品 50% 为源自本地的有机产品，2025 年废弃物 100% 得到

回收和再生利用，2040 年停止销售内燃机车辆。法国最具特色的举措之一是将全国普通民众中推选 150 人专门就国家的气候变化和环保主题对国家建言，相当于气候议员，这是一个重大的制度创新。德国也宣布 2050 年实现净零碳排放，2030 年使能源部门的 CO₂ 排放比 1990 年减少 61–62%。这些国家高度认同 IPCC 的 1.5 摄氏度报告，并能够作出快速响应，主要原因包括：一是决策是基于科学和一套完整而熟练的运行机制完成的。二是对 IPCC 报告这种“联合国”科学知识有非常高度的认同，没有异议。三是欧盟各国内部的协调机制非常强大，即使像波兰这样碳排放强度高的国家，也能够跟着欧盟的整体步伐往前走。四是欧盟及欧盟各国内部各党派对气候变化和可持续发展目标能够形成高度共识，各党派可能在政见上有或多或少的不同，但在环保问题上几乎都是共识。五是民众对应对气候变化和可持续发展有广泛的民意基础，所有党派都不会得罪群众。

3. 欧盟能源转型的目标是以气候变化为抓手，建立可持续发展的能源体系

欧盟以气候变化为抓手，以可持续发展为目标，将能源转型作为手段之一与可持续发展密切结合。比如，以温室气体减排为总平衡目标，实现了能源、建筑、工业、交通等部门之间的协同，形成 2050 年净零碳排放协同的指标体系。指标之间的关系是：用可持续目标倒逼气候变化目标和能源转型目标的实现。欧盟的一个基本共识是：环境的可持续性与否是人类文明与安全最大的挑战之一。这是欧盟各国普通民众履行气候与能源转型决心和信心的源泉。

4. 为实现能源转型目标，欧盟各国正在进行一场全球性技术创新与制度创新竞赛

能源转型在各国都没有现成的解决方案，所以它成为了一种全球性技术创新与制度创以及治理体系的新竞赛，目标是为人类社会建立可持续的能源体系。这个可持续的能源体系和我们中国所说的清洁低碳安全高效的现代能源体系高度契合，只是可持续的能源体系表述更简洁一些。在这场全球性竞赛的技术创新领域，比如，CCS 技术自 90 年代以来发展一直非常缓慢，风能、太阳能技术则成功胜出，取得了当初未曾预料到的巨大成功；而在制度创新领域，比如，德国的 FiT (Feed-in-Tariff) 电价制

度、欧洲的碳税制度以及碳市场制度都是重大的创新。另外，全球治理体系也是一种理念上、行为上的社会能力的竞赛，如垃圾分类，对几乎每个人都是举手之劳，并没有技术难度。以吃冰淇淋、酸奶为例，吃完后如果我们能够将包装盒洗干净后放到塑料袋里回收，那么就会为资源节约和低碳转型做出贡献。这个过程完全没有任何技术障碍，但不同的国家和地区体现出明显的社会能力的差异。

5. 欧盟各国在能源转型实践中八仙过海、各显神通

多年来，可再生能源占比不断上升是欧盟能源转型的重要标志。可再生能源最高比例的国家依次是瑞典、芬兰、拉脱维亚、丹麦、奥地利、爱沙尼亚、葡萄牙、克罗地亚等国。各国条件不同，做法也各具特色。

瑞典的可再生能源占比在欧盟排第一，达到了 55-56%，而瑞典曾非常依赖石油，但在 70 年代石油危机后，经历了水电扩容，核电大发展，生物质能源持续增长、近十年风电快速发展，和分布式光伏的发展，目前，电和热领域已经基本不再使用煤炭和石油。瑞典的热电厂主要是燃烧生物质和垃圾的，这些热电厂几乎都配储热罐，有些电厂还配大型热泵，从而很好解决了电价波动时电与热的平衡问题。另外，瑞典的零能耗木制建筑、175 千瓦的直流充电桩、船上光伏、钢铁公司余热利用、生物质离网供热、光伏幕墙、停车场屋顶光伏利用、光伏垃圾桶、光伏与太阳能集热综合利用系统、光伏加氢站、氢能社区、电气化停车场等都各具特色。

芬兰能源转型进程和瑞典看上去有些类似，不过芬兰目前对煤炭和天然气的依赖仍然较高。有一个共同点就是生物质和垃圾在过去 30 多年来都在不断持续稳定增长。比如，最大的能源公司富腾的一个热电厂，政府已明确 2030 年前供热系统必须全部实现碳中和，不能再用煤。同时，这个热电厂目前的热电比是 1.77: 1，比我国很多热电厂高很多，而且，这个热电厂有 15 兆瓦的制冷设备，还有 8 台燃煤锅炉只用于供热，不发电。2015 年还建设了 2 台 25 兆瓦大型的空气源热泵，用来做热源补充。储热系统相对便宜，因热不能远距离输送，则需要有就近热网，然后再建储热装备。基于北欧电力市场实现热电协同的智慧能源系统，值得我们借鉴。此外该公司还积极

向所在城市大型超市、数据中心和污水处理厂等收购废热。同时欧洲电力市场 15 分钟的实时电价机制也推动电厂对影响负荷的数据做精准的预测，智慧调度运行。

挪威号称是欧洲的电池。挪威拥有欧洲一半的水库储存能力，其中 75%左右的水电生产能力是灵活的，所以丹麦和德国在电力系统需要调节的时候挪威做了很大贡献。目前，挪威的电力系统清洁度非常高，98%是清洁电力，且没有核电。挪威的交通能源转型进展也非常快，2025 年要禁售燃油汽车，2018 年 9 月开始电动汽车销量已超过燃油汽车。另外，挪威石油公司更名为 Equinor，将公平、公正和挪威等元素组合在一起，这一更名既反映了公司对传统能源生产的不安，也体现了其转型战略重点是必须开辟石油以外的收入来源，包括风电、光伏、电池、CCS 及有海上平台优势的海上风电等。此外，挪威的交通电动别具一格，除了充电桩、电动汽车、电动自行车作为交通零排放的主要手段外，挪威法律还规定，2026 年前峡湾的游轮和渡轮要实现零排放，氢燃料电池船舶会扮演非常重要的角色。挪威也在利用屋顶太阳能集热板和屋顶光伏实现零能耗建筑方面做出很大努力。

立陶宛独立时间很短，自然资源贫乏，传统上主要从俄罗斯进口能源，现在正在追求能源独立。计划在 2020 年前实现波罗的海三国的联网，将并入欧盟能源系统，准备 2025 年断开与俄罗斯相边的同步电网。立陶宛曾经是世界上核电发电比例最高的国家，但在欧盟有关能源安全的政策要求下放弃了核电。立陶宛的可再生能源比例也较高，2020 年的目标是 23%，主要是生物质能源。到 2030 年，太阳能将占可再生能源总装机的三分之一以上，风能和生物质能分别达到 1.65GW 和 160MW。立陶宛也在现有 900 兆瓦 Kruonis 抽水蓄能水电站基础上开发实验性浮式太阳能光伏电站。2021 年建成第一期 60 千瓦漂浮式光伏，未来将使用整个上部水库，规模可能达 250 兆瓦，结构能够抗冰和波浪，漂浮式光伏太阳能发电厂，设计上也可适应水位变化。未来这样的系统结合电池储能，可以为电网提供可靠的调峰调频服务。

德国能源转型的一个标志园区是欧瑞府零碳园区。这个园区由德国前能源署署长科勒担任首席顾问。从过去的煤气厂转变为零碳园区，走在能源科技的最前沿。传统红砖建筑被保留下来，翻新，改造为宾馆，虽然只有三个房间。煤气厂设备也仍然保

留着。被动房、光伏、充电设施、智慧电力、无线充电等能源转型的前沿要素在这里都有体现。另外，德国化工行业的 H&R GMBH & 汉森和罗森塔尔公司正在努力将自己的生产工艺脱碳，关键产品是绿色二氧化碳，绿色氢。绿色氢来自电解水制氢，绿色二氧化碳是通过当地废物焚化厂的烟道气捕集。然后将二者合成制造甲烷，该实验项目获得德国联邦经济部 BMWi2019 年度能源转型创意竞赛冠军。德国化工企业已在做抛弃石油为原料的战略准备，中国石油化工企业要对此高度重视。此外，德国汽车工业在温室气体减排的技术储备方面做了很多创新。奥迪公司也开展了电转气试点项目，制氢和甲烷。氢是用做车用燃料电池，甲烷可以作为汽车燃料。

爱沙尼亚是世界上唯一用油页岩作为主要能源的国家，油页岩为爱沙尼亚创造了财富，但也带来了巨大的环境问题，包括空气污染、固体废物污染、水污染、温室气体排放、土地占用、水资源过度开发利用等一系列问题。比如，矿山出水和油页岩发电站用冷却水，合起来超过了爱沙尼亚所有用水的 90%。油页岩开发占用了爱沙尼亚约 1%的国土面积，约 400 多平方公里，这个面积可以安装超过 40GW 的光伏，每年可以发电 400 亿度，而爱沙尼亚一年的电力需求还不到 100 亿度，这对爱沙尼亚实现能源独立和能源可持续意义重大。爱沙尼亚的规划是大力发展生物质等可再生能源，到 2045 年实现净零排放。

荷兰能源转型的目标是 2050 年实现净零排放，主要挑战是如何将能源需求中 60% 的天然气（主要用于供暖和发电）替代为零碳能源。荷兰是 Shell 公司总部所在地，天然气管网十分发达，当地正在积极考虑充分利用现有天然气管网，发展可再生天然气和绿氢。荷兰也积极发展光伏，荷兰已在化工污染的土地上建设光伏，同时进行生态修复，生态修复期内顺便产生了光伏电力，可达 25 年。荷兰最大的光伏电站 103 兆瓦是建在由农民租赁出的农业用地上，经济效益和环境效益都很好。二是电动化出行在荷兰非常普及，荷兰 73%的人拥有自行车，包括电踏车；另外，荷兰首都阿姆斯特丹的能源地图，实现了可再生能源城市规划数据库平台的功能，为废热利用、防止建筑物漏热（提高建筑节能水平）、屋顶光伏太阳能高效利用等提供了很好公共平台。

6. 生物质供热在欧盟各国的能源转型实践中扮演重要角色

欧洲能源转型另外值得单独一提的是生物质在可再生能源供热中的作用非常大。欧洲可再生能源供热在供热能源需求总量中占比超过 30%的国家有 10 个，瑞典占比最高，接近 70%，其次是芬兰、拉脱维亚和爱沙尼亚，这三个国家可再生能源份额都占到一半以上。其中生物质能在供热系统中发挥了非常大的作用，拉脱维亚的生物质供热占其终端能源的比重高到 33.1%；芬兰、瑞典、爱沙尼亚、丹麦和立陶宛的占比均超过 20%；克罗地亚、奥地利、罗马尼亚占比在 15%左右；葡萄牙、斯洛文尼亚、保加利亚、捷克和匈牙利占比在 11%左右。欧洲独立建筑使用生物质供暖的供热锅炉和壁炉供热效率较高，主要四个特点：使用生物质燃料、连接水暖系统、有储热水箱、有供热兼热水功能。低温供热功能和智能温控系统大大提高了供热效率。壁炉的发展历史上经历了四个阶段，即：土坯壁炉、铸铁壁炉、蓄热式供热壁炉、节能型安全壁炉，目前，发展到更为先进的第五个阶段是“与现代区域供热协同的作为辅助热源的壁炉”。该系统采用了水暖的区域供热系统，热源可以是电直热、空气源热泵、太阳能集热器、或是燃气锅炉，且系统装有智能温控系统，这使得壁炉能够很好地与主热源协同，当壁炉明显提升了房间的温度时，主热源就可以停止供热，起到降低能源成本的作用。比如，瑞典、丹麦的农庄使用生物质成形颗粒，与热水形成互补效应，用热端可通过智能温控阀进行负荷调节，使燃料器与储热水箱形成智能协同关系。

7. 非能源领域的社会实践对能源转型起着至关重要的作用

从欧洲能源转型中我们可以直接看到很多需要学习的做法，但也有许多非能源领域的社会实践也值得我们深思和重视。一是欧洲的垃圾分类做的很好，塑料、纸和玻璃这些物品的重复利用次数可达 3-5 次或者 7-9 次，这可以极大减少生产环节的碳排放。二是欧洲大规模使用木制建筑，可以减少由生产钢铁、水泥产生的碳排放，比如瑞典的法律规定森林进行可持续采伐，一百年更新一轮。三是瑞典的二手店很普及，这是一种生活方式，而不是因为生活所迫。四是自行车、电踏车等可以减少能源使用、

减少污染和拥堵并达到锻炼身体的目的。五是欧洲各国立法禁止食物浪费，欧洲到2030年要将食物浪费减少50%。

8. 对我国“十四五”能源规划的思考与建议

1) “十四五”能源规划应设立能源转型的宏伟目标，遵循四个基本原则。应设立用15年左右的时间实现能源基本独立的宏伟目标，并在此基础上稳步推进。一是要坚定目标，不要把环境问题留给下一代。二是要博采众长，世界各国做的所有技术创新、制度创新、社会创新等探索工作我们都要学习。三是基于我国多样化的应用场景需求，应开展集成创新，整合现有的各种技术为应用场景提供最佳的解决方案。四是要鼓励全民参与，打一场能源转型的人民战争。总之，我国中长期能源转型目标能否成功取决于我国参与全球能源创新竞赛的决心，只要我们坚定绿水青山的信念，技术难题最终都是能够被攻破的。

2) 应着力解决我国能源转型的五大问题。一是电力系统的灵活性资源市场调配。二是在供热领域的几个难点，农村依然贫穷、大城市太大、供热能效管理水平较低。三是中国的交通电气化与电力系统的互动配合问题。四是空运、海运及工业部门的能源转型需要实质性布局与作为。五是对能效的重视程度远远不够。能效不仅是能源使用环节的效率，还有一些无谓的生产和消费必须减少，比如，塑料回收后就可以减少塑料生产过程中的能源消耗。

3) “十四五”规划中应特别强调发挥好灵活性资源市场的作用。比如，要实现在高比例可再生能源，资源不是问题，价格也不是问题，关键是灵活性资源如何获得；电力市场、热力系统本身都可以提供灵活性，但我国热力系统为电力系统提供灵活性还非常小。交通系统也能提供灵活性，但目前还没有市场方法可让其参与。我国的能源需求侧当然也可以提供更大的灵活性，但还完全没有被激发出来。

4) 建议我国加强四类市场建设。一、电力灵活性资源市场。二、基于热计量的供热市场，精准提供热服务；三、能源项目市场，基于现代化信息平台的市场可以极大降低交易成本，吸引更多的投资者和参与者，同时还能够提供孵化平台和市场平台；四、

能源金融市场，解决好融资问题。利用区块链技术实现分布式光伏与闲散资金的匹配，促进光伏扶贫、光伏养老、光伏理财等有巨大社会意义的创新工作。

5) **应进一步发挥光伏进入平价时代的作用，处理好化石能源在我国能源转型过程中的角色变化。**在光伏进入平价时代后，我国的煤电不应该再增长，应迅速着手研究光伏替代煤电的可能性并制订相应规划。因为光伏与生态修复的结合将带来清洁电力和生态修复的双重效益。继续发展煤电将使我们这一代人成为后人的笑柄，而且太多的煤电资产在当前迅速降低的光伏风电价格下，退出的社会成本会非常高，德国的“退煤计划”仅给煤电厂的补偿就达 400 亿欧元，代价巨大，我们不能走德国的老路。油气企业要全面制定转型战略，至少我国三大石油公司应能够算清自己的温室气体排放量。此外，我国不应在农村地区大规模新建天然气管网。

6) **高度重视供热在现代能源体系中的作用，大幅改进供热系统。**一是我国生物质资源潜力很大，应主要用于供热，而不是发电，如果搞了生物质热电联产，就一定要强调高的热电比，而不是主要为了发电。二是我国各种热泵都有很大的发展空间，长江流域的供暖可主要依靠热泵，再与太阳能集热器和光伏结合形成很好的区域供热解决方案。三是新增天然气直接供热项目要采用高效的天然气取暖系统，如冷凝式燃气壁挂炉。四是加大储热设备在智慧供热系统中的应用。

7) **能源互联网的发展应该在重视突破技术的同时，消除制度方面的约束。**能源互联网在建设过程中，一是在物理层次，应特别鼓励建筑级、社区级、电厂级的储能设施，同时兼顾车辆储能、水蓄能、电化学储能等多种电网储能方法。二是在用能系统的物联网建设与数字化电网建设中，实现电网、热网、交通网的融合发展。三是在体制层面，要实现三方面突破，即实现隔墙售电突破，鼓励分布式电源发展；实现热力产销的突破，鼓励余热入网；实现电动汽车 V2G 的突破，充分利用大规模电动汽车储能对电网的稳定作用。

二、与会专家主要观点总结

与会专家感谢何继江博士的精彩分享，并围绕欧洲能源转型的主要经验及何继江博士的主要观点展开了热烈讨论。主要结论总结如下。

1. “十四五”能源战略规划应全面贯彻“五大发展理念”，坚持目标导向，将“能源革命”作为“构建人类命运共同体”的有力抓手。

“十四五”规划与以往五年规划的一个重大不同在于，“十四五”面临着一个时代转变。面临这样一个几乎与之前完全不同的世界，我们不能依靠过去的思维、经验和知识来筹划未来。我们既要吸收借鉴有益的经验，又要创造我们的特色，全面贯彻创新、绿色、和谐、开放和共享的五大发展理念，其中最重要的就是要实现绿色发展，保障环境安全。

环境安全是“人类命运共同体”的首要问题，而气候变化的核心也是环境安全问题。能源革命是手段，目标是要解决包含气候安全在内的环境安全问题。欧洲为实现以环境安全为目标的可持续发展，在能源转型方面开启了“构建人类命运共同体”的全球竞赛，并且跑在了世界前列，中国作为“人类命运共同体”的创导者不应落后。

欧洲能源转型依靠的是明确的长远目标、强大的民意基础和完善的机制，通过市场机制发挥全民的创新力，来实现目标。无论是 50%，还是 100%；无论是弃核，还是弃煤，目标的设计都不是基于对现有技术的可实现性评估，这些目标的牵引作用非常重要。欧洲在能源转型中的民意基础一直是支撑欧盟及各国政府采取一致行动的基础。欧盟在能源转型中碳税、碳价等市场机制和手段都起了至关重要的作用。

欧洲能源转型的经验告诉我们，自然条件较差的地方也可以实现能源独立，这给了我们实现能源转型、能源独立树立了更大的信心。我国的某些条件较差的小县城也有过成功的探索。比如，三年前发生在河南兰考县的例子充分证明能源革命、能源转型在中国可以推行的很好。兰考县历史上的自发电比例只占 7%，其余都要靠外调煤电。经过三年的努力，自发电比例超过了 60%，靠的是风能、太阳能、生物质能、垃

圾发电，其中生物质能主要是生物沼气。这一事例充分表现出政策导向和地方政府决心的重要性。

2. “十四五”能源规划要重视终端电力、热力（包括制冷）、动力需求协同解决方案。

以往我国能源规划工作主要关注的是供应端，且存在行业竖井、部门分割的情况，导致我国能源规划供应侧和需求侧脱节，无法发挥协同效应。从欧盟能源转型中许多事例表明，上下游互动、供需协同，可极大提高能源系统的整体效率，同时各类数据的统计能力的提升以及可获得性也至关重要。具体而言，我国“十四五”能源规划尤其应关注如下几个方面。

- **电动汽车、绿色建筑、工业负荷与电网、波动电源的互动问题：**随着未来电动交通的普及，我国大规模的废旧动力电池将足以支撑电网储能的需求，可以很好地解决终端可再生能源电力的间歇性、不稳定性问题。另外建筑、工业也可以发挥储热、储冷等作用，消纳波动的风光电。这也将意味着大规模的可再生电力将具有比煤电更高的竞争力，煤电退出将成为可能。

- **煤电退出问题：**我国应该在规划中尽早制订煤电退出时间表，而不是继续大规模规划新的煤电。德国能源转型经验表明，煤电随着竞争优势的丧失，其退出成本将变得越来越高。德国在解决风光电的补偿消纳问题上主要采取了四个手段：建成更大的电网；发挥储能的作用；需求端构建用户侧响应系统；供应侧建设更加灵活、清洁的电源。

- **电热互动问题：**丹麦、瑞典等许多欧洲国家热电厂（包括垃圾热电厂）既是电力公司，又是供热公司，能够把供电和供热很好地协同起来。比如，他们用大型储热罐来进行智能调控电、热供应，调控主要依据是北欧电力市场波动的电价，电价低的时候就少发电，电价高的时候就多发电，用储热罐来保证供热的稳定运行。这种热与电协同控制系统很值得我国借鉴。

- **生物质供热问题：**欧洲在生物质利用方面的一个特别之处是围绕热力，尤其是北欧国家，生物质主要是用来产生热量，而不是发电，而我国生物质利用主要在发电方面比较重视。这一点值得我国重新考虑生物质的利用。
- **氢能的发展问题：**德国在氢能发展的四方面作用定位也值得我国重视。一是氢能用在远程重型机动车较为合适。二是氢能可以做季节性存储，不像抽水蓄能、电池储能等储能周期较短。三是随着燃料电池价格的急剧下降，氢能发电随着燃煤、燃气发电的退出作为灵活的电源有机会进入电力市场。四是氢能有机会进入化工和冶金领域，包括炼铁行业。（编者注：欧盟委员会于 2020 年 7 月 8 日发布了《欧盟氢能战略》）。
- **能源技术集成问题：**欧洲的光伏加储能加热泵的零能耗建筑一体化系统，在分布式能源领域非常典型。我国也应鼓励针对具体应用场景（如楼宇）的能源技术集成解决方案的形成。（编者注：对此，欧盟委员会 7 月 8 日发布的《欧盟能源系统集成战略》很值得我们借鉴。）
- **生活方式与能源转型：**“十四五”重在调整能源的生产关系，发动群众积极参与与能源转型。欧洲重视低碳、清洁的生活、行为及出行方式。比如，房屋的节能化设计与装备，垃圾处理与分类、大规模使用自行车、电动车等等，这些能源领域之外的生活方式改变也推动了能源转型，我国的能源转型也离不开这些方面的支持。

3. 算好能源转型的几笔大账，做好全面宣传与动员工作。

欧洲的经验充分表明，人民是历史的创造者，能源转型只有通过人民的自发行动才能加速落实。因此，“十四五”能源规划应充分发挥人民群众的创造力，在体制机制上为人民利用本地资源，因地制宜地解决自己的能源问题提供可能。

中国的能源转型“非不能也，是不为也”。欧洲能源转型依靠的是强大的民意基础，中国能源转型不仅要在专家层面达成共识，更为重要的是跳出专家的圈子，更为广泛地分享能源转型的理念与经验，让能源转型的紧迫性成为全民共识。

为此，要算好几笔大账，以引起全社会的关注和重视。一是光伏与煤电的大账，今天的投资成本、未来运营成本、碳税以及未来可能提前关闭的成本，通过两者对比，

优劣势一目了然。二是电动汽车储能能力与电网匹配的大账，清晰显示巨大的储能能力在稳定电网运营方面的价值。

第五场：建言“十四五”氢能发展

2020年7月17日

总结报告

氢是宇宙中最普遍的元素。氢能来源丰富，应用广泛，在提供能源服务过程中，可以实现零碳排放，有望成为能源转型的“整合器”（integrator）。然而氢气是稀缺资源，按照其来源有“绿氢”、“蓝氢”、“灰氢”之分，在制取、运输、储存和利用方面存在诸多挑战，其产业链上的核心技术正在成为全球能源技术研发与创新的制高点。

继日本于2017年把氢能发展确定为国家战略后，德国也于2020年6月10日通过了《国家氢能战略》，并成立了有25名成员组成的国家氢能委员会。韩国在2019年初出台了氢能发展路线图，制定了雄心勃勃的发展目标。欧盟在原来氢能路线图的基础上，于2020年7月8日发布了氢能战略，目标是将氢能在能源消费中的占比从目前的不到2%提升到2050年的24%，并创造出至少540万个就业岗位。美国则是最早倡导氢能经济的国家，目前已经是全球最大的氢燃料电池汽车市场。2020年3月，19家美国企业与机构联合发布了《美国氢能经济新路线图》，目标是让氢能在2050年满足美国14%的终端能源需求。在中国，氢能在能源系统中的定位尚未明确，相关技术研发、产业布局都在呼唤着一个明晰的国家战略出台。

2020年7月17日，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北大能源研究院联合举办了建言“十四五”能源发展系列活动第五场，以“建言‘十四五’氢能发展”为主题，讨论了中国氢能发展的相关问题。

会上，北京清华工业开发研究院副院长朱德权博士做了题为“氢能源产业在我国的机遇与挑战及‘十四五’规划建议”的主旨发言。中国国际经济交流中心信息部副部长、研究员景春梅，清华大学教授、国际氢能协会副主席毛宗强、中国神华集团董事局局长黄清做了点评。

“十四五”国家能源规划专家委员会组长吴吟、副组长周大地、中国工程院原副院长杜祥琬、中石化集团董事长张玉卓、北大能源研究院院长金之钧、国家能源局科技装备司司长刘德顺、亚洲开发银行能源部门首席执行官翟永平等专家就我国氢能发展的顶层设计、发展战略、规划与标准、核心技术创新及产业化政策等话题发表见解并展开了热烈讨论。

北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华博士主持了会议并就《欧盟能源系统集成战略》、《欧盟氢能战略》和氢能在未来能源体系中的地位做了开场介绍。来自国家部委、学术机构和相关企业约 40 位专家学者出席了本次会议。

一、陈新华博士的开场要点

为了引导会议主题，陈新华博士首先分享了氢能技术发展的三点体会。

第一点体会：应该将《欧盟氢能战略》和同一时间发布的《欧盟能源系统集成战略》放在一起阅读，后者是核心。大家知道，欧盟一直在推动能源领域改革和能源市场一体化，主要涉及电力和天然气，但发现电力系统做电力的、天然气系统做天然气的，市场规则各自为政，形成了条块分割的多个孤岛，影响整体效率，无法达成 2050 年的碳中和目标。所以，需要一个新的能源系统，把不同的能源载体、基础设施和消费部门整合在一起，从能源系统整体来考虑，因此出台了《欧盟能源系统集成战略》。这一系统集成战略包括三大支柱：一是要以能效为核心建立更易于“能量循环利用”的能源系统，以终端用户需求为基础，更有效利用本地能源，同时最大程度实现当地工厂、数据中心等排放的废热及由生物废物或废水处理厂产生的低品质能源再利用。二是在终端领域大力推进电气化，打造一个百万数量级的电动汽车充电桩网络。三是对于难以实现电气化的领域，则用可再生氢能、可持续生物燃料和沼气来进行深度脱碳。这个能源系统集成战略是欧盟目前正在推进的欧洲绿色协议（European Green Deal）、下一代欧盟计划、新工业战略等更大范畴战略的重要组成部分，有很多内容值得我国“十四五”规划借鉴。

第二个体会：欧盟认为，氢能，特别是从可再生能源电解产生的“绿氢”，可以在能源系统集成中扮演重要的汇聚点（Nodal）或者集成者的作用。氢能可以吸纳大量可再生能源，在电力富余时提供负荷，并可以提供长期的能量储存。在应用端，氢能可以帮助难以脱碳的领域，如交通领域的重型卡车、船舶、火车，工业领域的炼化和钢铁行业。氢能还可以和二氧化碳结合产生合成燃料。在终端使用时，氢能不排放任何污染物。

第三个体会：碳、氢、电子是驱动世界的三个重要元素，而在未来无碳的能源世界里，氢能和电力可以提供驱动世界运转的热力、电力和动力。从长远发展的角度看，今后的世界可能所有的碳元素、碳氢化合物都将被作为化工原料，而不是燃料，而驱动世界运转的热力、电力和动力都可以由氢能和电力来提供，储氢跟储电会扮演越来越重要的角色。欧盟氢能战略也是朝这个方向努力，是帮助其实现 2050 年碳中和最为关键的战略之一。

二、朱德权博士的主要观点总结

北京清华工业开发研究院副院长朱德权博士演讲的题目是“氢能源产业在我国的机遇与挑战及‘十四五’规划建议”，主要观点总结如下。

1. 氢能产业是一个具有核心技术、需多方协作的巨大行业

首先，绿氢在能源供应侧与需求侧都迎来发展机遇。从供应侧，技术进步使得在一些特定地区和特定条件下可再生能源的生产成本开始低于化石能源，这是推动氢能发展的第一个动力。从需求侧，氢能除了符合《巴黎气候协定》绿色发展方向外，非常重要的一点是分布式能源的发展，尤其是燃料电池的技术进步，使氢能应用具备了经济性。氢能是可再生能源和燃料电池链接的一个载体，氢的这个载体克服了电力缺乏缓冲能力，即没有储能功能的问题。另外，天然气管网可以输送氢气，不需要再去建立大规模的氢气输送网络，为氢能未来大规模发展提供了基础设施支撑。

其次，氢能有望为我国步入高质量增长提供具有全球竞争力的增量市场。中美贸易战之后，在一些新技术领域，随着我国价值链往高端进军，必将面临更加残酷的存量竞争，但氢能在整个经济活动中是一个增量市场。我们不存在和发达国家的竞争问题，相反和发达国家是分工和分享的关系。所以，我国氢能产业可以定位为一个在全球价值链中具有分工和分享的产业，而且发展氢能也有利于我国进一步扩大开放。

2. 氢能正成为世界主要发达经济体和国家能源创新与再工业化的焦点

欧盟在今年 7 月 8 日发布《欧洲氢能战略》之前，于 2019 年 6 月公布了《清洁氢能欧洲伙伴计划》。该计划核心内容包括三大共识、三大远景和到 2030 年的七大目标。

- **三大共识：**一是认为发展氢能是欧盟完成《巴黎气候变化协定》所规定的减排目标不可或缺的手段；二是认为欧盟在氢能发展方面在全球处于领先地位，应进一步巩固；三是认为氢能在欧盟再工业化进程中将扮演关键角色，因为发展氢能会带动从材料、机械装备到电力电子等一系列巨大的新兴装备制造产业链。

- **三大愿景：**一是加速交通、供暖、发电和工业领域的全脱碳技术应用；二是实现在无补贴条件下，氢能在价值链关键环节的规模化发展并具竞争力；三是实现氢能的清洁技术集中安全部署和使用。

- **七大目标：**一是实现多种清洁制氢的生产技术路线，特别是零碳路线，即蓝氢（化石能源经过碳捕捉过程后制的氢）和绿氢（可再生能源制的氢），生产成本要达到 1.5—3 欧元/公斤；二是主要发展绿氢，要带动 20—40 个 GW 可再生能源装机增量，即风电和光伏在欧洲可获得进一步发展；三是氢能规模化运输成本要小于 1 欧元/公斤；四是交通领域在免税条件下氢能总成本要低于汽柴油；五是要实现燃料电池动力系统的成本和现在使用的汽柴油动力系统成本相当；六是实现氢能在发电和供暖的规模化利用，建立 50 万个燃料电池装置供家庭和建筑物使用；七是要实现氢能在耗能工业的广泛应用和替代，比如炼钢、石化等领域。

德国 2020 年发布了《国家氢能战略》，计划 2030 年前投入 90 亿欧元发展氢能。规定绿氢在氢能市场中占比要达到 20%，而且把氢能作为保障德国未来能源安全的一个重要措施，同时要通过氢能创新技术研发、技术出口增强其工业竞争力，也就是说德国把氢能装备看成继汽车之后其新兴产业再工业化的一个主要方向。

日本是最早制定氢能战略的国家，在 2014 年通过的《能源基本计划》里就把氢能定为二次能源的核心。2017 年 12 月氢能在这个基本计划中被单列了出来，又制订了《基本氢能战略》，并提出构建氢能社会。2019 年进一步提出了氢能发展路线图，把氢能发展的三大技术领域非常明确地提了出来，即：燃料电池技术、水电解技术、氢能的供应链技术。另外，日本在行业协会和企业层面进行了非常严密部署，比如，以丰田为首的汽车联盟在日本筑波建立了燃料电池汽车测试中心，日本政府又在九州建立了氢能产品测试与研究中心，制定标准；规划了如何将澳大利亚褐煤制的氢运到日本，包括开始了液态氢能运输船的设计和建造。

韩国方面，虽然现代集团是氢能汽车世界先驱企业之一，但韩国在国家层面部署氢能产业较晚。韩国真正重视氢能是从 2018 年开始的，2019 年 1 月制定了《氢能经济发展路线图》后行动迅速，2019 年 10 月其国土、基础设施、交通和旅游部宣布了《氢试点城市推广战略》，目标是 2040 年全国 40% 的城市将使用氢能。

美国氢能主要集中在加州。美国能源部每年做一次技术经济评价指标发布，对氢能发展具有导向性作用。目前，加州的氢能应用场景是全球规模最大、最全的。

3. 中国氢能有机会成为引领全球的新型产业

我国氢能发展具备世界其它国家和地区没有的三大有利条件。

一是我们有全球最廉价的氢资源，尤其是工业副产氢，如高纯的氯碱氢气，还有石化厂、焦化厂的氢气，非常容易构建以地级市为中心的点状应用场景。我国这些工业副产氢不但量大，而且非常便宜。另外，我国目前可再生能源弃风、弃光、弃水等弃电量达 1 千亿度，如果利用弃掉的可再生能源制氢，则成本会非常低。例如，我们在张家口建设了一个风电制氢工厂，现在每小时 2 千方，二期将达到 1 万方，为冬奥会进行氢能供应。实践证明，未来完全可以在每公斤 40 元人民币以内向交通工具提

供便宜的氢气，而欧洲、日本和美国基本上在每公斤 10 美元以上。所以，可再生能源制氢在我国有特别的优势。

二是我国应用场景丰富，有巨大的商用车、船舶和公交车市场，这个市场对加氢站都是单点和双点即可满足要求，克服了加氢站开始必须成网的困难，这是全球其他国家没有的。布一个加氢站，200 辆物流车都可以盈利，在国外很难找到这样的应用场景。比如，目前张家口的 174 辆公交车的加氢站就是盈利的；北京的永丰加氢站现在是 100 辆客车，基本可以实现现金流平衡。目前，我们在北京大兴正建设一个日加氢 3.6 吨的全球最大的加氢站，这个加氢站建好后可为京东亚州一号物流中心一半的车辆提供加氢服务。这样的供应场景是其他国家没有的。

三是我国可以发挥很好的政策支持作用，现在车补后的氢燃料车辆购置成本与传统燃油车辆几乎是相同的。

4. 我国氢能发展还需要补齐产业链、政策等诸多短板

与世界发达经济体和国家相比，我国氢能发展存在以下几方面的短板：

一是我国氢能产业链不配套、不完整，导致成本居高不下，市场以创业公司为引导，大型企业介入不够；二是关键零部件技术和产品的自主能力与其它发达国家差距较大；三是补贴政策有待完善，目前我国的补贴政策主要在汽车领域，而在能源领域没有促进氢能发展的配套政策和措施，仍是“能源围着车转”；四是氢能的制、储、运、加各环节基础设施建设滞后；五是我国没有建立国家级氢能安全测试中心；六是我国氢能安全和技术标准和规范建设滞后；七是氢能发展没有顶层设计，政府各部门职能处于碎片化。

5. 我国燃料电池动力系统及相关零部件的国产化正在加速

我国第四代燃料电池发动机动力系统已经能做到 500 瓦/公斤的功率密度，目前已经国产化；辅助系统的空压机我国企业已经开始规模化制造；质子交换膜处于验证阶段；增湿器和氢气循环泵已经部分国产化，需要进一步验证。最近三年燃料电池动力系统及相关的零部件国产化步伐很快。燃料电池系统 30-50 千瓦、60-80 千瓦的商用

车产品都商业化了，120 千瓦在研中，可能会在 2021 年投入应用。重卡是氢能最好的应用场景，所以大功率燃料电池发展非常重要。燃料电池系统现在国产化率已经达到 80%，氢气和空气的智能控制，以及水、热和电等能量控制，都已进入了世界一流水准。低温启动可以做到负 30 度启动、负 40 度存储，也是世界一流水准。

6. 我国碱性电解槽技术处于全球领先水平，但 PEM 电解槽技术显著落后

碱性电解槽我国整体处于世界领先水平。我们在张家口建的风电制氢工厂，电解槽 1000 方/小时，压力是 5 兆帕，点位制氢能耗低于 4.1 度电，能效 86%，在世界上领先，可以成为我国规模巨大的绿氢制造产业的关键技术支撑。

PEM 是未来电解槽的发展方向，中国目前只有为数不多的单位在实验室开展研究工作，工业化显著落后于美国、日本、德国。

7. 我国氢供应链技术中氢的制、储、运成套装备水平有待提高

首先，我国在液态氢成套装备制造方面，有小规模技术，但能耗高，规模化技术处于空白，目前基本上控制在德国林德公司、法国的法液空公司手上。

其次，在高压和液态的储运方面，技术差别不大，但我国工业化进展较慢，我国的政策和标准滞后是工业化进展缓慢的主因。实际上我国有 LNG 的技术基础，液态氢的储运工业化能够很快能追上发达国家水平。目前我国高压氢储运技术还主要停留在“一型瓶”上，因“二型瓶”是过渡性产品，而“三型瓶”适合车载、不适合运输，故“高压四型瓶”作为先进储运技术，特别是“玻璃纤维四型瓶”技术，我国显著落后，连研发都没有，而欧盟四型瓶已经工业化了，包括一些高压阀门、管件技术等。所以在氢气储运设备的关键零部件方面我们还差的很远。车载四型瓶也差距很大。

另外，在副产氢高纯净化方面，我国具有成套技术装备，处于世界先进水平。

8. 运输领域液态氢将成为未来氢能发展的主流

从运输上讲，液态氢加氢站的投资成本和运营成本远低于高压氢加氢站，虽然液态氢每公斤多增加 10 度电耗，但是 400 公里以上运输与压力氢气相比具有明显的成本优势。目前，我国的关注点还在高压氢上，实际上日本已经从高压氢开始转向液态

氢了，而且有机液态氢储氢等都是适合跨洋运输的。所以我国在液态氢发展上一定要引起高度重视。根据我们的实际测算，从山东滨州工厂运到北京大兴，如果是液态氢只要每公斤 2.3 元，折百公里每公斤运费不到 0.6 元，液化成本只有每公斤 7 元，运输超过 200 公里显然液态氢全供应链成本最低，液态氢运输将会成为未来的主流。

9. 对我国氢能产业发展的建议

建议一：我国应从国际政治高度认识氢能产业发展。

目前，中美脱钩是大概率事件，世界经济有可能变成两个阵营甚至于碎片化。绿色发展现在是我们和欧洲、日本这些发达国家为数不多的共同语言。比如，在《巴黎气候协定》方面，尤其与欧洲我们容易形成共识和互信。所以，氢能源作为清洁能源是我国和欧洲非常好的一个合作分享领域，而且我国有巨大的市场规模优势，我们有机会引领这个行业的发展，这是一个既有共同的价值观、又有共同利益观的领域，相比其它领域更容易推动与欧洲的合作。所以，在当前中美有脱钩倾向的状态下，从构建人类命运共同体的国际政治高度来看待氢能是必要的。

建议二：在国家层面应加强顶层设计支持氢能发展。

德国在氢能发展上既有明确的战略规划，又有发展路线图，还有主管机构落实，在氢能产业的上下游、宏微观方面形成了一个高效、协同的系统。这一点非常值得我国学习。

我国目前缺乏顶层设计，氢能涉及的众多主管部门缺乏统筹，从科技部，到工信部，再到财政部、发改委、能源局、住建部、应急部、国家质检总局、交通部等，都是针对本部门管理职责的一种碎片化管理。无法把涉及氢能的科研、产业、政策深度融合，无法支撑氢能全产业链、产业生态系统的发展。这些问题都急需顶层设计来解决。顶层设计之后还需要加快产品标准和行业标准的制定。因为氢能行业涉及到高压、涉及危化品。如果没有行业标准，就无法构造应用场景；没有产品标准，企业产品就无法商业化规模化。而这两类标准都需要配备测试中心。所以，我国氢能的产品标准、行业标准制定和测试中心建设和检测技术的发展都要加速，否则可能失去优势。

建议三：我国氢能应用场景应从单一的汽车领域向交通、建筑和工业原料多场景转变。

目前，我国氢能发展的“积分制”政策在征求意见期间，这个政策仅集中在汽车领域。而氢能源有三个应用场景，交通、建筑和工业。因为场景越多越容易规模化，越容易把燃料电池系统成本降下来，也越容易把绿氢制作的成本降下来，这样也越容易发展核心技术。另外，政策设计也非常重要。我国在电动车领域的补贴政策在实施过程中虽然出现了“骗补”现象等诸多问题，但总体上电动车补贴政策把新能源汽车的产业链带动起来了，在推动我国新能源汽车产业发展中起到了非常关键的作用。所以，对待氢能发展，如燃料电池，我国应综合运用税收等多种手段，特别是购置权，使用路权等，把多种政策手段整合、协调好，对我国氢能多场景应用和扩展非常重要。在坚持以绿氢为发展方向的同时，推进化工副产氢，不排斥化石能源制氢加上 CCUS 等多种路径，使氢产业链规模化。

建议四：我国应用好各类金融工具加快氢能产业的发展。

建议我国充分利用好金融手段支持氢能产业链的快速形成。一是可以考虑投资基金，类似我国在集成电路方面的国家投资基金，比如：以建立一个国家母基金的形式来支持氢能产业的发展。鼓励和完善碳排放交易，依照挪威的做法，碳价在每吨 67 欧元时，绿氢生产成本就可以用来合成氨、合成甲醇，那么这时可再生能源制氢用于工业和二氧化碳捕集就具备竞争力了。二是可以考虑绿色信贷，因为绿色信贷往往是长周期、低利率，作为金融手段可以大力支持氢能的发展。三是利用证券市场支持氢能发展。随着氢能公司上市，大家对氢能产业发展前景越来越有信心。投资人对氢能在证券市场的关注度会不断升温，未来氢能行业会受到一级市场、二级市场支持。

三、与会专家主要观点总结

与会专家感谢朱德权教授的精彩分享，并围绕我国氢能发展战略规划、技术创新、工业布局、产业政策等展开了热烈讨论。主要观点总结如下。

1. 要做好氢能这篇大文章，必须正视我国氢能发展目前面临的问题。

一是在核心技术如电堆领域，我国在技术、性能、成本上与国际先进水平还有很大差距，而在一些装备制造方面，比如储氢罐，核心材料主要依赖进口，替代难度非常大。二是各地的氢能发展同质化严重。目前全国 30 多个地方政府出台的氢能规划、氢能指导意见等基本都是一个模子出来的，没有考虑到当地是否具备发展氢能的優勢，没有做到因地制宜。三是氢能产业链发展不均衡，过分重视氢能应用领域，忽视上游供应链建设，忽视了相应的配套准备工作，导致目前很多项目的质量良莠不齐，推进困难。四是氢能发展的商业模式尚未明确，目前许多项目都依托补贴来推动相关的示范和应用。五是在国家层面，在要不要发展氢能、如何发展、现在是不是发展氢能产业良好的时机、氢能经济的竞争力、技术发展与市场开拓之间的关系、氢气能否成为一个独立的能源商品、哪个部委牵头编制氢能规划等诸多方面还没有达成统一的认识。

2. 应做好顶层设计，将氢能纳入我国“十四五”能源战略规划，从宏观政策层面给出氢能的战略定位。

首先，要立足国情，谋划氢能发展的初心和定位。国际上氢能备受关注，但每个国家发展氢能的初衷并不相同，比如，日本主要是解决能源短缺问题；韩国与日本的初衷类似，通过扶持氢能产业提振韩国经济；欧洲则更多是从解决气候变化和扩大新能源应用的角度发展氢能；美国更多考虑的是未来实现制造业回归，重新获取全球能源技术主导权。我国一方面可以把氢能作为促进可再生能源规模化高效利用的手段。另一方面，从储能角度可以把氢能作为加快交通与建筑领域绿色低碳发展，同时带动能源技术装备自主创新的重要路径。

其次，我国应该在技术自主可控的前提下发展氢能产业。燃料电池的利润大多是在上游电堆环节，核心技术在国外，而掌握核心技术的这些国家面临扩大下游市场摊薄研发成本的困境。在不掌握核心技术的情况下大规模敞开市场，就会导致产业链利润大幅外流，出现花自己的钱帮别人开拓市场的尴尬局面，并在国际关系恶化时很容

易受制于人。在这种情况下，我国发展氢能应把自己的市场开放与自主创新进度相匹配，在掌握核心技术前不应该大规模推广终端应用。

第三，应发挥举国体制优势，攻克氢能核心技术。日本在发挥国家整体优势方面做的很好，日本经产省有一个新能源产业技术开发机构，它通过组织产业链龙头企业参加，汇聚政、产、学、研、用各方面力量集中进行科研攻关。即：经产省出钱，各个大企业、产业链的龙头企业、科研机构、金融组织都参与投入，直接进行技术攻关，很快实现了核心技术的突破，并避免了分散研发带来的资源浪费和恶性竞争。而我国目前在氢能发展方面，人才缺乏，抢人大战非常激烈。很多企业挖了很多技术人才组织科研和技术公关。但我们现在看到很多省都在搞氢能，都盯准核心技术，进行科研攻关，很多地方或者企业都说自己掌握了核心技术，实际上处于分散研发、恶性竞争状态。为此，国家层面需要成立一个高层次的协调机构，统筹各方面的资金和研发力量集中攻关，发挥我们举国体制的优势。

3. 应研究制定我国氢能发展的技术路线图，明确氢能在各领域的定位。

首先，我国应明确以非化石能源电解水生产“绿氢”作为主要原料来源的发展方向。我国风电、光伏成本下降很快，未来的增长潜力还很大，应主要发展以风电、光伏为主的可再生能源制氢作为支持氢能发展的基本方向。同时，要注意氢能的规模化发展不能依靠弃风、弃电，而是要考虑专门用来制氢的电厂，从可再生能源发展的规划上考虑将大规模可再生能源变成氢。此外，在重视氢气压缩运输、液态输氢技术的基础上，重视固态运输的发展。对国外某些技术路线要谨慎对待，不盲目跟风，比如欧盟把氢气与天然气混合运输后再分离的做法。

其次，要认真研究氢能与蓄电池两种技术路线的选择与定位。氢能作为未来具有商业化潜力的一种低碳技术路线，在交通领域与蓄电池系统形成竞争。应从能源全系统角度评估各自最合适的应用场景及其经济性。

第三，进一步评估认证灰氢和绿氢发展的不确定性。目前，我国制氢的技术选择较多，有煤制氢加 CCUS、工业副产氢、可再生能源制氢等。每种制氢都存在不确定性。比如，煤制氢可能涉及到碳排放问题和煤炭消费总量上升的问题；天然气制氢则

可能涉及到我国天然气对外依存度增长导致能源安全问题；工业副产氢则是总量还有限，能不能满足未来整个氢能规模化发展的需求并不确定。就绿氢而言，尽管可再生能源成本在下降，但是如果大家都希望在低谷用电，且可再生能源的间歇性特征，这些都会对电网造成很大冲击。这些不确定性问题需要在确定技术路线和政策设计前进行很好论证。

第四，要探索利用氢能解决我国钢铁和化工领域的低碳发展技术路线。我国钢铁行业的低碳清洁化路线是否可以靠氢还原来解决，这是一个对我国来说至关重要的问题。我国是第一钢铁生产大国，未来即使钢铁产量有所下降，仍然会保持第一钢铁生产大国的位置，这项技术能否用得上，能否实现解决行业碳排放问题，应该提到议事日程考虑。在化工领域，我国是世界上化工原料最多的国家，不管是煤化工还是石油化工，原材料制备是否可以由氢来制造碳氢化合物，这方面也有大量工作要做。

第五，要在“十四五”期间，在各应用领域开展系统性示范，积极探索氢能大规模发展的商业模式。要避免各地氢能发展同质化而造成大量资金浪费的现象，改变电动汽车发展初期盲目补贴的做法。应选择一些有条件的城市或项目，先行先试，以点带面稳步推动产业化。示范的应用场景应突出差异化，防范产业盲目跟进和低水平重复建设，鼓励示范应用具有自主知识产权的氢能及燃料电池装备制造，发挥强大的国内市场的战略优势，加快自主升级迭代步伐。在商业模式方面，应把融资租赁、产业基金等金融工具与下一步电力交易机制改革相结合，一起考虑氢能产业生态的创新。借鉴国际经验，在国内制氢、用电交易机制上取得突破，降低制氢的用电成本，在一定区域内推动自循环的氢能运营生态模式。

4. 相关政府部门和行业组织应为氢能产业的健康发展创造良好条件。具体包括：

一是在国家层面，强化针对氢能的公共服务。应加强氢能相关的科技攻关和国家重点实验室建设，优先鼓励基础技术研发而不是终端应用，重视人才培养和社会大众普及教育，进一步支持中国氢能联盟等机构做好相关公共服务工作。

二是要重视氢能国际合作。国际上氢能备受关注，尽管我国在氢能发展上要做到自主可控，但介于氢能产业链太长，涉及众多行业领域，我国应该积极开展合作，在增量市场上实现共赢。

三要充分考虑到氢气的危化品属性，高度重视氢能的安全问题。通过建立氢能测试中心，制定安全监管制度和技术标准规范，强化对氢能制取、储运、加注、利用等全产业链的风险管控，提升全过程安全管理水平。目前，我国很多标准还处于跟随状态，急需通过国际合作，找到我们能够引领国际在氢能行业发展的位置。

四要关注绿氢与碳交易市场、绿氢贸易、绿氢认证。绿氢发展会影响未来的碳交易市场与碳定价，而且，绿氢贸易也会随着氢能市场发展起来，其中对绿氢的认证将成为整体氢价值链上的关键环节，值得关注。

第六场：如何实现能源消费总量与强度双控制，能源与环境气候协同治理？

2020年7月24日

总结报告

“十一五”开始，中国政府陆续对能源消费强度（单位 GDP 能耗）和总量实行了双控制，并形成了全国各省之间的分配落实机制。该机制对遏制能源消费过快增长起到了一定作用，但也引发了分配“一刀切”、影响地方经济发展等诸多问题。

“十四五”中国将进入“世界大变局”时代，单纯依靠过去的思维、经验和知识很难谋划未来，但节能减排、绿色发展、应对气候变化仍是构建“人类命运共同体”的主题。在这一背景下，我们需要思考：中国是否继续执行能源“双控”目标？如何在总结过去 15 年经验教训的基础上完善这一机制？

2020年7月24日，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北大能源研究院联合举办了建言“十四五”能源发展系列活动第六场，以“如何实现能源消费总量与强度双控制，环境与气候双治理？”为主题，开展了讨论。

会上，国家气候变化战略与国际合作中心原主任李俊峰做了主旨发言。中国国际经济交流中心特邀研究员范必、自然保护协会高级顾问杨富强、亚洲开发银行气候变化首席专家吕学都、发改委能源所原所长韩文科、中国工业节能和清洁生产协会副会长白荣春做了点评。

北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华博士主持了会议，并在开场介绍了他本人对降低单位 GDP 能耗途径与方法的研究。“十四五”国家能源规划专家委员会组长吴吟、中国工程院院士、原副院长杜祥琬、煤炭信息研究院院长贺佑国、北大能源研究院副院长杨雷、亚洲开发银行能源部门首席执行官翟永平等共 30 多名能源行业专家学者出席了本次会议。

一、陈新华博士的开场要点

为了引导会议主题，陈新华博士首先围绕如何降低单位 GDP 能耗，从概念上进行了辨析。主要强调了以下两方面：

1. 单位 GDP 能耗传统定义方法的局限性：无法从结构上反映全社会能源强度。

在讨论如何降低一个国家或地区单位 GDP 能耗时，一般把单位 GDP 能耗（又称能源强度）表示为：

$$\frac{E}{GDP} = \sum \frac{VA_i}{GDP} \times \frac{E_i}{VA_i}$$

这个公式右边第一项为某一产业部门在 GDP 中所占的比例，代表产业结构，后一项是该产业部门单位产值能耗（改产业部门的能源强度）。该公式可以理解为 GDP 能源强度是由一个国家的产业结构和各产业部门的能源强度决定。

通过分解，可以把 GDP 单位能耗的变化分解为两部分，即产业结构的变化和各产业部门能源强度的变化：

$$\Delta \frac{E}{GDP} = \sum \frac{E_i}{VA_i} \times \Delta \left(\frac{VA_i}{GDP} \right) + \sum \Delta \left(\frac{E_i}{VA_i} \right) \times \frac{VA_i}{GDP}$$

依据上述定义，节能方法可以归纳为两种：一是通过产业结构调整降低高能耗低附加值产业在国民经济中所占的比例，即结构节能；二是通过技术途径降低各产业部门的能源强度，即技术节能。但这种思路有很大的局限性：

首先，它只考虑了产业部门，而没有考虑到非产业部门（如消费部门）对一个国家单位 GDP 能耗的影响。一个国家的单位 GDP 能耗，是指当年消耗的所有能源除以该年的 GDP 总量，该国家的所有活动都会影响这一指标。包括：国土面积的大小（例如国家大，活动路程就长，日本和欧洲的单位能耗比美国低就与国土面积的大小有关），资源禀赋、气候环境（气候寒冷的国家能源消耗高）、产业结构、消费结构、购买力水平、技术结构、能源供应结构、生活习惯、人居设施与组织、能源价格、管理体制等。这些影响因素提醒我们，不能不考虑国情差别而简单地将单位 GDP 能耗进行国际比较。所以，对于一个国家来说，过分依靠产业结构调整降低单位 GDP 能

耗是不现实的。一个国家的产业结构是全球劳动分工的结果，同样，一个省、市的产业结构也是全国产业分工的结果。一般而言，产业结构调整需要漫长的时间，很难在短期内取得效果。

其次，单位 GDP 能耗的分解是按照 GDP 的生产来源进行分解（各大产业创造的附加值），而不是按照能源的主要消耗领域来分解，这就使我们的注意力不能集中到能源的主要消耗部门来采取行动。

其三，强调产业调整和技术节能使大多数的能源消费者认为节能降耗工作是政府宏观决策之事，与老百姓无关，而实际上，节能降耗工作需要所有人共同努力。

2. 改进后的单位 GDP 能耗定义方法：从全社会能源消费角度重新考虑。

为了解决以上定义的局限性，应该考虑从全社会能源消费的角度分析，将能源强度定义为：

$$\frac{E}{GDP} = \sum_i \frac{A_i}{GDP} \times \sum_j \frac{A_{ij}}{A_i} \times \frac{E_{ij}}{A_{ij}}$$

其中： A_i 是部门活动量，如家庭消费、客运交通、货运交通、制造业产值等； A_{ij} 是某一子部门的活动量，如客运交通中的小汽车客运量，公共汽车客运量，空运客运量等； E_{ij} 是某一子部门活动中消耗的能源量。通过代数分解，可以将以上公式分解成三个维度的变量。即：

GDP 能源强度 = 单位 GDP 部门活动强度 × 部门活动结构 × 子部门活动能源强度

通过这一新的公式表达可以看出，降低单位 GDP 能耗有 3 种途径：

一是降低单位 GDP 的部门活动强度，如降低客运量，降低制造业产值等；

二是调整部门活动的结构，如客运中少用私家车而多用公交车，降低制造业中高能耗产业比例等；

三是降低经济活动的单位能耗，如客运部门中私家车的每人每公里能耗，货运部门卡车运输的吨公里能耗，制造业中水泥生产的单位能耗等。

也就是说，降低单位 GDP 的能耗起码需要从三方面着手。第一个方面就是降低单位 GDP 的部门活动量。第二个是在所有的部门，包括消费部门、交通部门、制造业部门，推动产业结构调整。第三个还是技术节能，降低单位活动量的能耗。

这个描述最核心的是把人的因素考虑进来了。公式是：

$$A_i = \sum_{ij} \frac{A_{ij}}{Pop} \times Pop$$

即：一个国家的部门活动量 A_i 是按照人均活动量乘以人口而得，降低人均活动量就可以降低单位 GDP 能耗，因此引入了“以人为本”的概念。

总体观点是，降低单位 GDP 能耗不能仅注重产业而忽视国民经济的其他部门，不能只强调产业结构调整，而要注重整体经济结构的调整，特别是消费结构。而且，我们每个人都可以为降低全国的单位 GDP 能耗做出贡献。

二、李俊峰主任的主要观点总结

国家气候变化战略与国际合作中心首任主任李俊峰的演讲的题目是“实施能源双控是能源治理现代化的重要内容”，主要观点总结如下。

1. 能源双控是落实我国“环境保护”与“节能优先”两大基本国策、推动能源转型和应对气候变化的重要抓手。

从 1972 年斯德哥尔摩会人类环境会议到 1992 年里的约热内卢环境与发展大会，控制因化石能源消费导致的二氧化碳等温室气体排放的《联合国气候变化框架》已成为国际社会一项重要政治共识。此后世界上多数国家进入控制温室气体排放，进而控制化石能源消费，特别是控制煤炭消费的发展轨道。现在大部分发达国家已提交了面向本世纪中叶的低碳排放发展战略，包括欧盟、日本、美国、加拿大等一批发达国家，也包括韩国、墨西哥等一批发展中国家。

我国自 1978 年改革开放以来，特别是 1992 年小平同志南巡讲话以来，经济迅猛发展，能源消费快速增长，当时提出了“一翻保两番”的思想，实际上也是能源消费总量的控制的一种方法。但 2000 年以后，能源消费管理有所放松，“十五”期间，

我国的能源消费出现了超常规增长，5 年增加了 11.3 亿吨标准煤，相当于 1949–2000 期间 50 年能源消费总增量的 80%，煤炭 5 年增加了 12.8 亿吨，几乎相当于 1949–2000 年 50 年增量的总和。因此从 2005 年讨论实施控制能源消费总量和能源强度（即“能源双控”），特别要求将能源强度在“十一五”期间降低 20%，并分配给各省市。此后，“十二五”、“十三五”，连续 2 个五年能源规划纲要都提了“双控”指标。尤其是 2014 年，我国提出了 2030 年左右二氧化碳排放达峰并争取早日实现。这些都直接或间接对能源消费总量控制提出了明确要求。加上我们对外承诺要在 2020 和 2030，GDP 的碳排放强度和 2005 年相比要分别下降 40–45%、60–65%，以及非化石能源占比提高到 15%、20%等自主贡献承诺目标，相当于对 2020、2030 年的能源强度提出了实质性限制和要求。

首先，双控制度的目标有两个：一是通过控制能源消费总量和强度来落实我国的两项基本国策，即“环境保护”和“节约优先”。二是通过能源双控制度推进能源转型，抑制化石能源消费，特别是抑制煤炭消费，为增加非化石能源消费留出发展空间。《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》中有关“能源生产革命”、“能源消费革命”也提出 2020、2030 能源消费总量分别控制在 50 和 60 亿吨标煤以内，提高非化石能源占比到 15%和 20%的目标，并加大力度，推动能源转型。现在大家开始讨论 2035 和 2050 年的能源消费总量，希望 2035–2040 期间，能源消费总量可以达峰，非化石能源占比分别是 30%和 50%左右。此外，我国也在准备着手制定自己面向本世纪中叶的国家低排放战略，能源双控可以持续到 2050 年，也就是到本世纪中叶，“双控”仍将是能源治理一项重要措施。

其次，我国双控制度执行情况一直是良好且持续的。自 2006 年开始我国把能源强度控制纳入“十一五”国民经济和社会发展规划纲要以来，以后的两个规划期，都把“双控”纳入规划纲要。2014 年，习总书记在主持财经领导小组会议的时候倡导能源革命，明确提出要逐步减少对化石能源消费的依赖，坚决控制能源消费总量，抑制不合理的能源消费，有效落实节能优先方针。2015 年《生态文明建设改革总体方案》明确提出建立能源消费总量管理和节约优先制度。习总书记明确指出“坚决控制能源

消费总量，有效落实节能优先方案，把节能贯穿到经济社会发展全过程和各领域，坚定调整产业结构，高度重视城镇化节能，树立勤俭节约的消费观，加快形成能源节约型社会”。2016 年国家颁布了《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》，对 2020 和 2030 的能源消费总量和能源强度提出了明确要求，也对建立能源双控制度提出了部署安排。2019 年底，习总书记在《求是》杂志上撰文，对“能源双控”谈了他的看法：能源消费总量和强度双控制度对节约能源资源、打好污染防治攻坚战发挥了积极作用，需要完善这一制度。但是，目前有 10 多个省份提出难以完成“十三五”能耗总量指标。这个问题要认真研究，既要尽力而为，又要实事求是。对于能耗强度达标而发展较快的地区，能源消费总量控制要有适当弹性。这些都对我国坚持实施和逐步完善“能源双控”提出了很好的思路。

2. 能源双控极大推动了我国能源与经济的高质量转型。

我国连续实施了三个五年规划期的“能源双控”，取得了突出成就，在控制能源消费总量、提高能源效率、减少污染和抑制二氧化碳排放过快增长等多个方面效果显著，也为经济的高质量转型作出了贡献。“十五”期间，能源消费增量是 11.3 亿吨标煤，“十一五”时期的增量降到了 9.8 亿吨标煤，“十二五”期间降到了 7.4 亿吨标煤，“十三五”期间降到了 5.6 亿吨标煤。另外，“十五”时期我国每增加 1 吨标准煤只能产生 8000 元 GDP，“十一五”时期达到 2.3 万，“十二五”时期增加到 3.7 万，“十三五”约为 5.4 万，“能源双控”为推动经济高质量转型作出了巨大贡献。

首先，能源双控推动了能源的高质量转型。我们“十五”、“十一五”、“十二五”以及“十三五”的前四年，电力在能源消费增量中的比重在逐步提高，从“十五”时的 35% 增加到“十一五”时的 45%，“十二五”时提高到 63%。而“十三五”时期能源消费新增部分 85% 是电力消费，所以“能源双控”对能源自身转型，或能源的高质量发展起到了很重要的作用。而且，我国的生态环境质量也因能源转型发生了好的转变。在环境保护方面，“十三五”后三年煤炭消费不减反升，为什么环境却改善了？原因是大部分新增煤炭都用于发电了，这是大气质量改善的重要原因之一。

其次，煤炭对能源消费增量的贡献率不断下降。“十五”期间煤炭对能源消费增量的贡献率是 55%，“十一五”时期降到 43%，“十二五”时期降到 22%，“十三五”只有 9%，煤炭总量只增加了 1 亿吨。甚至在疫情期间，我国非化石能源发展速度超过了化石能源。另外，自“十五”时期以来煤电对全社会用电增量的贡献率也不断下降，“十五”是 80%，“十一五”是 74%，“十二五”是 50%，“十三五”前四年只占 35%，这些变化都是我国通过煤控实现绿色转型的有力证据，“能源双控”扭转了煤炭消费过快增长的势头。

第三，“能源双控”助推了我国非化石能源增长。在《可再生能源法》和双控制度的推动下，我国非化石能源占比出现了转折性的开始，2005 年之前我国无论是非化石能源占一次能源的比重还是非化石能源发电占电力的比重，都停留在 8%左右的水平止步不前。2006 年之后占比开始大幅度上升，发电占比中非化石能源发电已经超过 31%，比 2005 年提高了 10 多个百分点；而非化石能源占一次能源的消费比例已经达到 15.3%，也有大幅上升。

最后，“能源双控”可以促进能源、环境和气候的协同治理，是能源治理现代化的重要内容。近年来，我国能源、环境、气候实际已开始协同治理，国际上也有不少成功案例。我国二氧化碳排放自 2013 年出现拐点以来，开始显著下降，大气环境质量也持续得到改善。虽然 2017、2018、2019 年，特别是 2018、2019 年二氧化碳排放有所反弹，但也没有超过 2013 年。从能源环境协同治理角度，1997 年的《京都议定书》开始，发达国家把化石能源消费控制作为控制温室气体的重要手段，同时也实现了环境质量的持续改善。如：美国从 2005 年开始煤炭占比，特别是煤电占比都在大幅度下降；而欧盟更是如此。低排放已经成为全球共同追求的目标，今年联合国要求所有缔约方国家提交低排放国家发展战略。为了实现温室气体排放控制的目标，许多国家已开始控煤、控油，甚至控制天然气消费。除了温室气体减排，我国在环境改善方面尤其是大气治理上取得了初步的成效。区域协同治理包括京津冀、长三角等，尤其是广东和北京通过双控推动能源结构优化、大气污染治理和排放控制取得了很好的效果。北京 PM2.5 下降非常明显，率先在温室气体实现了达峰。广东的煤炭占比在

全国各经济大省里是最低的，已经低于 37%，今年有可能降到 35%以下，同时环境质量在经济大省里也是最好的，全省范围内降 PM2.5 降到了 30 微克/立方米。

3. 对“十四五”规划的建议

第一，建议把“能源双控”作为促进能源、环境、气候协同管理制度，写入“十四五”规划。

国内外经验表明，能源、环境、气候协同治理可以达到事半功倍的效果。在欧洲大部分国家是能源环境气候协同管理，所以职能部门多数叫能源气候部，有的叫环境气候部，都是在协同管理能源环境和气候。我国广东的协同管理意义巨大，也值得去认真总结。在“十四五”能源规划方面，国家能源治理现代化的目标最重要的核心是要确保能源安全，能源安全包括战略安全、商业安全、技术安全、环境安全等。

总量控制是很重要的措施，也是能源环境气候协同治理的重要内容，我们能不能坚持双控，把双控作为一个制度放在规划中，控制能源消费总量，特别是控制化石能源的消费总量，尤其是控制煤炭消费总量，并不断的完善这个制度。这样既可以提高能源效率，又可以推动能源转型，还可以提高能源供给的安全保障程度。化石能源消费控制住了，非化石能源的比重就会越来越高，我们能源安全保障程度也就高了。比如，我国京津冀协同治理效果很好，可以考虑把京津冀扩大到京津冀和长三角来协同治理，因为这两个区域的经济、环境是连在一起的，包括江苏、山东、安徽，都无法与京津冀分开。长三角和京津冀两个区域煤炭消费接近 20 亿吨，如果实施协同治理，将对“十四五”的能源转型将有很大的推动作用。

第二，以“能源双控”为抓手，进一步提高能效并促进可再生能源发展。

把“能源双控”作为抓手，提高能效和节能相当于增加了清洁能源。德国到 2050 年要实现碳中和目标，其前提也是能源效率提高一倍。所以“十四五”期间能源强度一定要作为一个很重要的抓手。另外，“十四五”规划应提出优先发展非化石能源制度，推动能源转型，尤其是优先发展可再生能源。

第三，能源高质量转型应不受疫情的影响，要继续严格控制高排放行业的扩展。

对煤电、煤化工（包括煤制油、煤制气和煤制氢）、石化行业、钢铁等行业而言，在“十四五”期间要避免一边淘汰落后产能，一边还进行产能扩张。尤其是在疫情条件下，为了经济复苏，有的地方打着设备改造、产能置换的旗号进行产能扩张，对环境的影响特别大，必须引起重视。比如，浙江要在宁波舟山规划部署年产能 2 亿多吨的石化产业，那么大气质量如何才能持续改善？全国 2030 年左右二氧化碳达峰，浙江什么时候达峰？

第四，建议把能源消费总量、强度及非化石能源占比作为“十四五”能源规划的基本指标。

从总量、强度和非化石能源占比几个指标来看，“十四五”，能源消费总量基本控制到 53 亿吨就够了，即新增 5 亿吨标煤，这个估算考虑了疫情后的经济反弹，如果不考虑反弹，是 50–52 亿吨标煤。如果今年是 48 亿吨，53 亿吨足够了。从发电量来说，每一个五年规划期，增加 1.5 万亿千瓦时的电量足够了，因为我们过去的四个五年计划期间，总电量增量平均是 1.4 万亿千瓦时，“十四五”不可能超过 1.5 万亿，按照 2019 年 7.3 万亿千瓦时，到 2025 年 8.8 万亿千瓦时就足够了，不论是软约束还是硬约束，总量需要有一个控制的说法。

第五，“十四五”需要考虑将二氧化碳排放总量控制纳入规划。

从生态环境全面改善和控制温室气体两个方面，我国到 2020 年的任务是打赢污染防治攻坚战，“十四五”开始要进入打响生态环境质量全面改善的持久战。这需要能源的协同，没有能源总量管理、没有能源高质量转型，环境质量持续改善几乎是不可能的。从温室气体排放来看，因为从 1990 年以来到现在，全球二氧化碳排放增加了 130 亿吨，中国一家占了 56%，大概是 77 亿吨，从 2018 年后全球基本稳定，略有下降，只有我国在增长。人均二氧化碳排放量，我国从 1990 年的不到 2 吨，已经增长到 2019 年超过 7 吨了，煤炭消费我国占全球的 52% 以上，煤电装机和发电量占全球的 55% 以上。虽然低碳经济不能一蹴而就，但不能止步不前，所以“十四五”需要考虑将二氧化碳排放总量控制纳入规划。

三、 不同观点

中国国际经济交流中心特邀研究员范必认为，在“能源双控”和“能源、环境、气候协同治理”方面，并不存在国际惯例。他列举了下列理由对“能源双控”提出不同意见：

1. 国际气候治理不能成为支持能源双控的理由。

目前除了欧盟以外，其他国家基本上不再将应对气候变化问题作为主要的政策目标。《京都议定书》是对发达国家减排具有约束力的国际协议，而 2015 年达成的《巴黎协定》则是自主贡献文件，对签约国的约束力明显减弱。随着美国退出《巴黎协定》，气候变化问题已淡出国际政治和舆论的核心我国在减排方面的压力较 2012 年前已经明显下降。

2. 历史上没有任何其他国家能源消费总量和消费强度设定过控制目标。

一些环保比较激进的国家如欧洲各国，设定的减排目标都与温室气体排放有关，并没有涉及能源消费总量和强度目标。

3. 无法用数据验证“双控”对提高能源效率和减少碳排放产生的正面影响。

从统计上可以证明，“十一五”之前我国在没有“双控”的情况下，单位 GDP 能耗也在下降，而且下降的速度非常快，主要得益于技术进步和劳动生产率的提升。但是目前我们还无法用数据来验证“双控”对提高能源效率和减少碳排放产生的正面影响。

4. 能源“双控”对我国“稳增长、稳就业”产生了负面作用。

“十三五”期间，有关部门通过《节能减排工作方案》将能源消费总量的指标分配到各省级行政区。各地又层层分解下达，造成很多地方因用能指标不足无法新上项目。上不了项目就无法“稳投资”，不能“稳投资”就无法“稳增长”，没有“稳增长”就无法消化新增就业人口。用能指标与用地指标、贷款规模指标等一系列计划指

标，已经人为地影响了我国“十三五”的增长。后疫情时代的“十四五”，增长和就业将是重中之重，继续过往的消费总量控制做法将不利于经济复苏。

5. 我国的改革方向是要减少政府对能源市场的干预。

目前，除了能源消费总量和强度控制，还有煤炭去产能、部分地区煤炭消费总量控制、新增耗煤项目实行煤炭消耗等量或减量替代、发用电计划、能源定价、能源项目审批、区域限批、产业政策与规划控制等一系列控制措施。能源“双控”仅仅是能源计划管理的一个组成部分，实际工作中政府部门对能源企业的干预和管控程度远远超过“双控”。

我国作为发展中的大国，人均能源消费水平不仅低于欧美发达国家，也低于OECD国家和同属东亚的日本、韩国和台湾地区。我们要在本世纪中叶建成社会主义现代化强国，必须有充足的能源保障，切不可因一些查无实据的所谓国际惯例和极端环保主义的影响自限能源消费。“十四五”应改变国家能源管理“计划有余，市场不足”的问题，解除能源“双控”和其他一切强加在能源生产者消费者身上的计划管理方式。充分尊重能源生产者的发展权和能源消费者的选择权，使市场对能源配置起决定性作用，真正让能源回归商品属性

四、 其他与会专家主要观点总结

其他与会专家围绕我国实施能源双控政策及与“十四五”相关话题展开了热烈讨论。主要观点总结如下。

1. “能源双控”在“十四五”的政策定位应充分考虑国际形势的巨变。

一是疫情影响可能长期化，这不但会直接影响全球能源贸易和市场的稳定性、安全性，而且会影响到各国环境和气候变化政策及其实施，会打乱原来全球能源转型和减缓气候变化的节奏，甚至进程。这将影响到我国“能源双控”政策定位和走向。作为疫情后经济最早恢复正常的国家之一，中国如何选择经济复苏模式，如何兼顾发展和绿色低碳转型，受到全球的高度关注。

二是美国总统大选，如果民主党拜登上台，美国重新回归《巴黎气候协定》的可能性非常大，这将为美欧恢复和愈合正在破裂的同盟关系创造条件，对中国会构成新的挑战。气候变化仍是国际治理的重要议题，中国需要积极在气候行动方面占领国际道义和大国担当的制高点，做好新形势下应对国际气候谈判的各种准备。

2. “能源双控”应按照能源改革的总体方向进行优化调整，尽量减少政府对市场的直接干预。

“十四五”期间，我国坚持以市场配置资源为基础，走进一步改革开放道路的市场化改革总体方向不会变。在这一宏观背景下，无论是“能源双控”，还是“环境双控”都应该充分考虑发挥市场的作用，尽量减少具有计划经济色彩的行政干预，约束性指标的设置应该更加谨慎，应该以目标与结果为导向，加强能效与排放标准及奖惩措施等方面的制度性建设，充分利用市场手段加速我国的能源转型，使能源、环境、气候的协同效益最大化。

3. “十四五”时期应以生态环境安全的最终目标为导向，变“能源双控”为“环境双控”，以“环境双控”倒逼和牵引能源转型。

一方面，以往“五年规划”的能源双控经验表明，虽然总体上在节能、提高能效、改善环境、降低碳排放和改变我国长期以来“敞口式能源消费和粗放式发展方式”方面起到了积极的作用，但随着国内外经济形势的变化，无论是实施能源消费总量控制、化石能源消费总量控制，还是煤炭消费总量控制，在实际中实施难度非常大，存在与地方经济发展冲突、地区间因“一刀切”导致不公平、行业发展受限等问题。

另一方面，能源双控只是手段，其目标是要提高生态环境质量。双控的目的是控制能源领域的污染物排放，推进能源经济的清洁化转型。

所以，“十四五”我国应该基于目标导向，考虑用“环境双控”即环境排放总量或环境质量和碳排放强度，来代替原来的“能源双控”。一方面设定包含碳排放总量在内的环境排放总量或环境质量目标如 PM2.5 水平。另一方面设定碳排放强度，即单位 GDP 二氧化碳排放量目标，并以此作为“十四五”规划的指导性指标。在节能方

面，可以考虑在原来的单位 GDP 能耗的基础上，引入国家和区域节能总量作为指导性目标，并且加强在各耗能领域的标准制定，出台更加严格的奖惩措施，来进一步体现“节能优先”政策。

这样我们可以更好落实“环保”和“节能”两项基本国策。

4. 关于“十四五”时期如何落实“能源双控”或者“环境双控”，与会专家还提出以下建议。

一是要结合我国新一轮城镇化，把中小城镇和农村的低碳建设作为实施双控的重要抓手。我国中小城镇和农村能源消费升级空间大、环境卫生改善迫切、节能降耗潜力巨大，设计并规划符合我国中小城镇和农村特色的低碳化发展道路在“十四五”期间应该提到议事日程。

二是把“人均活动量”作为促进节能、提高能效、改善环境、降低碳排放的重要指标，引导“人人参与节能减排”，把双控的实施从政府机关拓展到全社会，且不局限于生产领域。

三是全面推行气候金融制度，鼓励绿色投资，引导全社会走绿色发展之路，降低环境污染和碳排放。

四是通过长期碳定价，积极推动碳市场的进一步发育，完善有关碳市场的法律法规，研究制定跨区域、跨地区碳交易规则。

五是加大清洁能源技术创新领域，特别是 CCUS、绿氢等战略性技术领域的研发投入。

六是加强数据统计能力，提高气候变化和环境治理行动的检测和评估能力。

第七场：建言农村能源发展

2020年8月7日

总结报告

农村、农业、农民，即“三农”问题，一直是中央高度关注的话题，连续多年成为中央一号文件的“主角”。得益于电气化的快速推进，中国农村能源发展曾经是令众多发展中国家羡慕的榜样。可是在随后的发展过程中，农村能源发展被忽视，农村成为中国能源转型过程中一个被遗忘的角落，直到近年来因散煤燃烧问题才引起重视。

中国现代能源体系建设离不开广袤的农村。不仅农村居民的炊事、取暖、热水和出行需要清洁、可靠、经济可承受的能源供应，农村地区可再生能源资源的就地开发利用亦是现代能源供应与环境治理体系的重要组成部分。没有现代农村能源生产与消费体系，国家层面的现代能源体系将是不完整的。

“十四五”期间，中国如何规划农村的能源发展？如何给农民提供用得起、用的上，用着方便、没有污染、关键时刻不断供的能源解决方案？中国农村又如何因地制宜充分利用好本地资源发展灵活、经济的分布式能源系统？而且，随着我国农村地区机动车辆的普及和电动化推广，如何加强或更新农网？如何才能让中国的农村能源再次伟大？

2020年8月7日，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北大能源研究院联合举办了建言“十四五”能源发展系列活动第七场，以“建言农村能源发展”为主题举办了专家研讨会。

会上，清华大学教授、中国城镇供热协会农村清洁供热工作委员会主任杨旭东以“构建未来农村清洁能源体系”为主题做了主旨发言。山西长治能源革命研究院院长吕彤以“农村清洁能源可持续研究”为主题结合在山西推进农村能源清洁化实例做了详实的调研报告。中国电动汽车百人会研究部主任朱晋以“中国农村地区电动汽车出行研究”为主题分享了农村车辆电动化方面的体会。清华大学能源转型与社会发展研究中心常务副主任何继江以“每人十千瓦村镇”为主题结合他在欧洲的走访纪实分享

了欧洲农村能源发展的经验。农村农业部农业生态与资源保护总站首席专家、中国沼气学会副理事长李景明也分享了自己对中国农村能源发展的思考。

“十四五”国家能源规划专家委员会组长吴吟、副组长周大地、中国工程院原副院长杜祥琬院士、北大能源研究院副院长杨雷等专家做了点评。来自国家部委、学术机构和相关企业约 30 位能源行业专家学者出席了本次会议。

亚洲开发银行能源部门首席执行官翟永平与北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华共同主持了本次会议。

一、杨旭东教授的主要观点总结

清华大学教授、中国城镇供热协会农村清洁供热工作委员会主任杨旭东的演讲的题目是“构建未来农村清洁能源体系”，主要观点总结如下。

1. 农村生活用能量大、面广、清洁度低，引发的环境问题严重。

根据最新全国调研数据显示，2014 年全国农村生活总能耗约 3.27 亿吨标准煤，其中散煤约 1.41 亿吨标准煤，电约 2140 亿千瓦时（约 0.7 亿吨标煤），LPG 为 831 万吨，生物质燃料 1.8 亿吨（约 1.03 亿吨标煤）。其中北方采暖和北方炊事占总用能量的 60%以上，是生活能耗大头。2018 年，我国农村建筑用能约 3.1 亿吨标准煤，占全国建筑总用能的 30%。其中包括 1.3 亿吨标准煤的散煤、0.9 亿吨标准煤的生物质直接燃烧，这些都属于典型的非清洁用能，产生了大量的污染物。

近年来，农村清洁用能一直是北方清洁取暖工作的重点和难点，也是大气环境治理的难点。自 2017 年国家启动了北方冬季清洁取暖试点工作后，前后三批 43 个城市作为试点城市，提出到 2021 年城区的清洁取暖率要达到 80%以上、农村达到 60%以上。由于国家强力推进，我国农村清洁用能取得明显成效。截止 2018 年底，京津冀和周边地区进行了清洁取暖改造 1372 万户，理论减少散煤 3000 万吨，其中北京全市平原地区基本实现了“无煤化”，试点城市清洁取暖率达到 72%，其中城区基本上达到 100%，城乡结合部和县城达到 75%，主要农村地区是 43%。

虽然清洁取暖改造取得了不错的成效，但仍存在“煤改气”或“煤改电直热”的技术路线没有得到很好优化，造成成本高（初装费、运行费高）、大量的政府补贴无法持续，大面积“气荒”、用能设备存在安全隐患、市场化机制不健全、推广模式和路径不明确等问题。

2. “四一模式”是解决北方农村取暖的根本途径。

目前农村地区的清洁取暖技术有很多，这些技术在类型（包括燃气、生物质燃烧、燃煤、电直接制热、电热泵、太阳能等）、成本、使用便利性等方面差别非常大。即使是同一种技术，具体应用条件差别也非常大。基于以上考虑，解决北方农村取暖必须同时以清洁、节能、低碳、舒适为目标，并要使百姓、政府和当地资源三方面都能承受。这样在实际工作中总结出“四一模式”，核心是“四一”的谐音“适宜”。

“四一”的含义包括：第一个“一”是指每一户建筑节能的改造加上热源侧改造的初投资尽量不要超过1万元，即成本要低；第二个“一”是指每年的运行费最好不要超过1千元，既高效且运行费又低；第三个“一”是“一键式”操作，做到好运行、易维护；第四个“一”是指要有一个规划，要做到易推广、好复制。

现实中，真正实现四个“一”并不简单，因为很多技术无法同时满足“四一”要求，对技术选择或创新要求较高。“四一模式”不仅是国家、地方政府和农民的承受力问题，还要在实际中尊重客观规律、尊重农民意愿、尊重农村现实。通过大量实践表明，同时满足“四一”要求的技术是存在的，如经济型保温（北墙内保温+屋顶吊顶保温）、清洁生物质取暖炉、低温空气源热泵热风机以及它们的组合，需要在更多的地区进行农村建筑节能和新能源技术创新与示范来对这样的技术进行筛选与论证。

3. 我国农村建筑节能及新能源技术创新与示范已有一定的推广基础。

目前，农村建筑节能及新能源技术创新与示范总体进展缓慢，主要原因是各地还没有形成适宜的技术路径，尤其是要考虑经济性及在农村大规模实施的可承受性。但在实践中，有些成功经验已经涌现，也具备了进一步推广的基础。

比如，“靶向按需保温”的技术创新模式，即：主要遵循“大用大保、小用小保、不用不保”原则，对经常用的房间加大保温力度，对不用的房间不做保温，来提升建筑节能改造和保温效果的经济性，把有限的资源用在刀刃上，真正实现经济性保温。

再比如，在煤改电技术选择方面，选择“低温空气源热泵热风机”，可以解决常规冷暖空调运行范围窄，尤其是冬季低温环境下没法启动或者制热效果特别差的问题，可以在非常低的室外环境温度下正常制热，而且设备很容易安装，维护简单。该热风机可以随开随关，根据需要设定室内温度，非常有利于节能，而且单台容量对电网负荷需求小。

此外，在利用生物质颗粒燃料和新型炉具方面也已有经验。解决方案的关键环节是“创新燃料加工模式”（包括一村一厂的分布式代加工、把加工厂建在村子边上的就近加工、消除中间环节的代加工模式）和“清洁高效低成本炉具”。对于生物质资源比较丰富的像内蒙古、东北等地，还可以尝试把大量的生物质聚集起来，变成生物天然气，经过提纯后变成纯天然气，这些技术现在也已有许多示范项目。

4. 对“十四五”规划的建议

第一，将生物质作为唯一的零碳燃料，给予更加重要的地位。应该考虑按照当年发展煤、油、气等重要能源资源的战略思路，顶层规划好生物质未来，培育新型能源生态体系。将生物质发展为战略新能源，使其具备在使用总量上基本替代现有农村散煤劣质煤，并适当向外部输出绿色能源的能力。

第二，更加重视农村能源发展，尽快出台政策，建立试点示范，利用农村广阔的空间资源，建立像粮食一样的能源供应与服务保障体系，鼓励生物质燃料、风电和光伏的发展。将应用范围从农村延伸到城镇，使其逐渐形成国家级公共基础服务行业。在这一行业，农民既是能源消费者，又是生产者。农村既是资源利用者，又是资源提供者。农民通过粮食与能源双生产、双输出可以进一步增加收入。建议十四五期间在农村地区先行建成与粮食生产等同的生物质新能源利用示范县 100 个、示范镇 1000 个、示范村 10000 个，彻底改变生物质消纳的被动局面。

第三，继续大力推进农村地区建筑节能和清洁取暖工作，扩大试点范围，引导农房建设向绿色生态化发展，继续推动更大范围的试点工作。作为农村能源革命的前奏，推广建设新型零碳村镇。

第四，加快以自然村为单元的直流微网技术创新和试点建设，推动未来直流、柔性农村产、储、用、供新的用电模式。力争形成良好的市场化、规范化机制和农村能源建设的长效投融资模式。

二、吕彤研究员的主要观点总结

山西长治能源革命研究院院长吕彤的演讲题目是“清洁取暖可持续研究与农村“十四五”清洁用能建议”，主要观点总结如下。

1. 解决中国农村能源问题必须把握好各种差异性与共性。

差异性主要体现在：1) 同样的地区，不一样的农村。华北及西北区域内共有数以万计村落，每个村户籍人口规模从 100-4000 人不等。大小不一的村庄给清洁取暖的解决方式选择带来困难，体量大的村庄由于规模化效益，解决清洁取暖的方式可涵盖电、气、热等多种能源形式。体量小的村庄选择则十分受限。2) 同样的农村，不一样的房屋。各地区房屋建设受历史文化、居住习惯、土地面积、村庄规划等多方面影响，不同房屋结构同样影响农村清洁取暖工作的开展。3) 同样的房屋，不一样的供暖形式。淮南为橘淮北为枳，供暖形式也会以地形、风俗、生活习惯、地区能源供应情况、种植作物不同等出现较大差异。以种植作物比较多样的渭南市为例，种植果树地区传统倾向于柴火灶台联通火炕的供暖模式，而玉米小麦种植地区则倾向于煤炉独立取暖。为更好推广清洁取暖，就必须考虑地方居民生活现状，一刀切的结果就是农民无法习惯差异极大的新型方式，造成散煤复烧。4) 同样的房屋，不一样的能耗。青壮年更能接受清洁取暖，但人口流失较大。留守老人节省习惯根深蒂固，大部分认为只要比煤便宜才能接受。此外，是否穿厚衣服决定室内温度的舒适度，屋门出入频率也决定热量流失程度。

共性体现在：1) 农村房屋保温效果差。以山西地区为例，农村以 2 层楼房、老土坯房、砖瓦房三种结构为主。三种结构虽然存在一定程度的保温差异，但三种房屋均未做外墙及门窗保温，热负荷每平米约 60-70 瓦，远远高于相同地区城市房屋。在城市适用的清洁取暖技术农村未必适合。2) 空心化、老龄化严重。随着青壮年进城镇打工和学生进城上学，农村空心化对清洁取暖来说是一个挑战。3) 农村人均收入较低。采暖支出意愿不高，设备价格超出居民预期、设备易损坏难维修、使用成本高昂等问题影响农村居民取暖选择。农村房屋保温较差等因素导致同样的技术，农村采暖费用远高于城市。中国作为富煤国家，任何清洁取暖方式都不可避免地会与煤进行比较，并且导致散煤复烧的情况出现。

2. 农村地区清洁取暖主要问题是选择供暖方式难、运维保障难、居民接受难。

农村地区清洁取暖改造量大面广，人口分散，房屋保温效果差。导致多策不宜、择策不易。农村地区清洁取暖改造量大面广，大部分农户对新型采暖设备不熟悉导致的各种故障频发，一次性采购使得厂商后续运维不力，缺乏监督手段和长效机制。通过对山西省长治市长子县冬季清洁取暖试点项目中农民使用意愿与方式的追踪调研发现，农村地区取暖应用形式改造前较为单一，即常年使用燃煤作为供暖能源，由于信息相对闭塞，对新型供暖方式接受度较低，且与燃煤相比，大部分清洁取暖改造方式无法解决炊事问题。经常遇到的问题包括：1) 低效改造的投资低、使用费用高、居民弃置率高，前脚换设备，后脚散煤复烧；2) 改造高效但初投资过高，仅经济条件较好的居民能够负担，使用效果虽好但“叫好不叫座”；3) 除生物质锅炉外，大部分清洁取暖设备均无法提供炊事功能，“燃煤炊事、清洁取暖”现象时有发生。

3. 在资源有限、投资受限和环保可接受的条件下，没有最好的技术，只有最适合的解决方案。

山西长子县冬季清洁取暖试点经验显示，农村清洁能源改造在结合资源条件、经济性和环保要求的基础上，可按照以下方式推进：一是多能互补，因地制宜：摸清实际情况，多种能源互补，多种技术结合，因地制宜地进行清洁取暖改造。二是整村推

进，设备自选：按“煤改电”、“煤改气”、“煤改生物质”、“煤改集中供热”等大类整村推进，具体采暖设备由居民自选。三是技术成熟，本地试点：改造技术首先要符合环保要求，其次要经过市场考验，最后要在本地试点成功。四是每年更新，与时俱进：改造方式和技术发展迅猛，清洁取暖市场竞争激烈，应该编写相关的技术引导目录，并且每年更新，与时俱进。

针对农村清洁取暖兼顾炊事等问题，长子县的试点也提供了以下需要继续探索的做法：一是利用光伏系统发电解决取暖问题的同时，对炊事进行电能替代，促进可再生能源在非采暖季的就近消纳，促进农村电气化进程。二是鼓励优先使用符合环保标准的生物质炊事采暖一体炉，利用生物质成型燃料或秸秆同时实现农村采暖和炊事清洁化。三是对于单纯使用空气源热泵（热风、热水）的改造用户，利用天然气和非常规天然气作为农村炊事替代燃煤。

4. “十四五”农村清洁取暖应建立一个市场化、技术经济化并有金融支撑的体系。

要调动政府、企业、金融机构和居民等多方面的积极性，建立“政府有作为、企业能盈利、居民可承受、金融机构积极参与”的农村能源清洁发展机制。具体来说，就是需要：1) 政府推动。政府的作用在于顶层设计有效的市场监管机制，制定长期化、有效化的补贴政策，通过合理规划引导，建立技术引导目录，制定与环保挂钩的监督考核机制，并通过适度开放经营许可，形成特许经营与市场竞争相结合的推广机制。2) 企业为主。让企业成为推动清洁能源技术的主体，提供解决方案让市场和用户选择。通过企业获取利润、服务客户的自然动机，推动清洁取暖技术进步和产品创新。在这个过程中，政府应对各种技术提供相对公平的、相对确定的补贴政策。3) 居民可承受。在对农村情况进行摸底的前提下，统筹设计，在改造方式上让农民有自主选择权，在居民可承受的基础上明确政府补贴不是“采暖费”，要让农民出钱才能受益。改革补贴政策，明确政府补贴在改造后使用过程中才补，建立补贴退坡制度，早改早用，早受益，多受益，同时制定强制性措施和兜底方案。4) 金融参与。银行等金融机构应制定直接针对农户的鼓励政策，支持农户清洁取暖、房屋保温改造、绿色炊事改造等，发挥金融杠杆作用，完善融资渠道，积极与地方政府探索解决担保、贴息等问题。

5. “十四五”农村能源可持续发展应关注五个着眼点，把有限的投资化作长期发展动力。

一是改建设补贴为运营补贴。延长运营补贴，减少设备补贴，完善补贴发放与设备运营监测，可以通过远程智能平台进行监测，根据居民使用情况按比例进行补贴，并设定补贴上限，即用才补，人少多补，人多少补。二是实现技术公平与居民公平的动态平衡。以技术公平为主，通过补贴政策引导规范市场，约束改造方式，鼓励技术进步，规范行业发展，推动建立行业标准，兼顾居民公平，实现两者动态平衡。三是实现市场化与公益化的平衡。坚持市场化原则，谁出钱谁受益，农户出钱是主体，政府角色是推动和奖励，钱不够银行贷，不搞一刀切，同时推动环保微站建设，形成环境约束。奖励资金政府推动下的社会化、公益化、基金化。四是统筹城镇化与新农村建设。北方地区农村普遍存在的空心化、老龄化、贫困化，以及普遍存在的并村运动和土地确权，导致农村基础设施建设普遍带有盲目性，先建后拆、昨建今拆、浪费严重，需要高层统筹，规划先行。五是变补贴为贷款。补贴是药引子，金融才是药，因为银行要遵循市场原则，要合规，要贴近企业服务，金融手段也相对丰富、创新，呼吁积极扩大绿色金融，支持清洁取暖试点范围和力度。

6. “十四五”农村清洁用能应该重视三个背景视角：转型、城镇化与美丽乡村、内循环。

“十四五”解决农村清洁用能离不开面临的新形势，应将农村能源问题放到相关的国际国内能源与经济社会发展大背景下考虑，其中主要涉及三个方面，一是国家能源与经济转型；二是我国新一轮城镇化和美丽乡村建设；三是在新冠疫情和逆全球化、中美贸易战背景下的经济内循环，可以清洁供暖改造为起点全面推动农村用能的清洁、可持续化发展。

三、朱晋主任的主要观点总结

中国电动汽车百人会研究部主任朱晋的演讲题目是“中国农村地区电动汽车出行研究”，主要观点总结如下。

1. 农村地区电动汽车市场需求和增长潜力大。

总体来讲，未来大型城市汽车是以存量市场为基础，增量主要在农村或中小城市及中西部地区。农村的电动汽车可以同时满足出行和农货两用。另外，农村发展电动汽车和整个国家发展电动汽车目标是相同的，比如有利于节油及产业升级等。农村对电动汽车的续航里程要求低，更有条件推广普及多种车型满足不同类型的服务和需求。

2. 农村地区电动汽车发展需要改进充电基础设施。

交流慢充是可以满足农村居民电动车推广的一个基础支撑。但农村往往不像城市为电动汽车单独安装充电桩，有些家庭用空调接口去引线直充，很容易引起用电安全问题，需要改进成为智能插座或更加稳固的基础设施。

3. 农村地区电动汽车发展存在诸多独特优势。

一是充电比加油方便，尤其是未来基础设施智能化改造后优势非常明显；二是在电池换电和充电选择上更加灵活方便，换电模式有助于推广电池标准统一以及梯级利用；三是农村地区电动汽车相对来说对行驶里程不敏感，对成本更敏感，可根据需求灵活进行续航里程配置和电池选择。四是与新能源发展匹配，如与光伏配储能可以形成一个比较完好的直流微网，缓解因农村电动车增长而对电网扩容形成的压力。

四、何继江博士的主要观点总结

清华大学能源转型与社会发展研究中心常务副任何继江博士的演讲题目是“每人十千瓦村镇”，主要观点总结如下。

1. 建设人均 10 千瓦村镇，使农村成为清洁电力电源点。

将农村光伏发展、土地规划、售电、配网、养老通盘考虑，村里统筹出一部分土地用于光伏（人均 60 平米即够），将农村规划建设成人均 10 千瓦的清洁电力电源点，农村不再是配网的末端，而是配网电源，既解决农村的能源问题又可实现反向供电。每人 10 千瓦，每年发电 1000 小时即可实现年产一万千瓦时的电量和每年 5000 元的收入，可以起到相当强的光伏养老作用。为此，建议要提高农村电价，用贷款等优惠政策鼓励发展光伏太阳能，鼓励发展农村能源合作社，解决土地、投资与运维等问题。

2. 启动农村绿色新基建。

建议启动农村绿色新基建，把农村建筑的保温改造、供暖系统改造、光伏、电动汽车充电桩以及相关的配电网改造等作为重要内容，提供优惠扶持政策。

3. 推动生物质在农村清洁供热的核心作用。

欧洲经验表明，配有高效燃烧器、低温水热系统、储热水箱和智能温控系统的生物质供热技术，可以很好解决农村地区清洁供暖问题。该系统加上光伏和保温技术，即可在农村地区建成舒适度很高的房屋。

为进一步推广生物质供暖，建议：1）将房间供暖与炊事分开，卧室采用水热供暖系统，厨房则当锅炉房用，可以解决安全问题。2）推广先进的壁炉技术。炕作为传统的蓄热炉具已经渐渐被淘汰，新的炉具应该是具有蓄热功能的大炉膛的安全炉具。3）加强建筑保温改造。如果住房围护结构不升级，保温性能很差，不可能真正实现清洁供暖。

五、李景明首席专家的主要观点总结

农村农业部生态总站首席专家李景明分享的主要观点总结如下。

1. 农村能源问题不能以“一刀切”方式解决，解决方案应“因地制宜、因时制宜、因事制宜、因人制宜”。

以往的能源规划和能源政策制定中，更多关注的是城市和工业领域，主要原因是农村能源，特别是生物质能，长期处于分散而小型化状态，难以盈利。过去农村能源一直被定位为一个单纯的能源问题，但是实际上农村能源从来都是伴随着我国农村经济社会发展和国家乡村振兴过程。比如，在解决农村能源（如：供热）问题时，要在考虑农民关心的便宜、方便、清洁的过程中，还要同时解决产业兴旺、生态宜居、治理有效等问题等。而且因各地存在多方面差异，农村能源问题就不是“一刀切”的方式可以解决的，在贯彻“因地制宜、综合利用、多能互补、讲求效益”方针时，对“因地制宜”还要讲求“因时制宜、因事制宜、因人制宜”。

2. 建议“十四五”规划应研究如何综合解决农村生物质能利用、供热（供暖）、住宅节能问题。

农村生物质能利用、农村供热（供暖）、农村住宅节能是中国农村面临的主要能源问题，应在“十四五”规划当中重点研究如何综合解决，不能像以前把所有思路全部投放到发电上，把所有支持手段都放到风电、光电上。未来希望通过开发利用农村地区丰富的自然资源，将农业农村部门由过去的能源消费大户变成一个能源提供者，在推广风电、太阳能利用的同时，要重视利用好生物质能。目前，我国农村有近 10 亿吨农作物秸秆、38 亿吨畜禽粪污以及其它农业生产过程中可以转变成生物质能源的副产品，加上丰富的土地、屋顶开发的光热、光电、风能等。这些资源可以形成一个庞大的“能源农业”产业。农村将既是能源消费者，同时也是能源供应者。

3. “零碳村镇”模式是引导我国解决农村能源问题，实现农村能源革命的根本路径。

希望把现有若干成熟的单项技术进行组装和整合，根据当地的用能习惯、用能规模、资源禀赋，在部分有条件的地区将生物质能利用、光伏、太阳能热水器、被动式太阳房，地源热风机、储能设施和建筑节能等技术有机规划组合，在农村地区引导大

家首先从生活能源消费领域建设“零碳村镇”。这是解决我国农村能源问题，实现农村能源革命的根本路径之一。

六、其他与会专家主要观点总结

其他与会专家围绕我国农村能源发展问题及与“十四五”相关话题展开了热烈讨论。主要观点总结如下。

1. 把农村能源革命提升到战略高度，制定“中长期农村能源专项规划”并在“十四五”能源规划中设立专门的“农村能源问题”章节。

习近平总书记在 2016 年 12 月 21 日主持召开的中央财经领导小组第十四次会议上首次提及农村能源革命，指出“加快推进畜禽养殖废弃物处理和资源化，关系 6 亿多农村居民生产生活环境，关系农村能源革命，关系能不能不断改善土壤地力、治理好农业面源污染，是一件长期利国利民的大好事”。显然，农村能源问题已经成为中国能源革命的重要组成部分。能源问题应该成为农村现代化和高质量发展的重要内容，作为农村发展重要问题来规划引导。建议国家制定“农村能源发展中长期规划”，在“十四五”能源规划中有专门章节谈“农村能源发展战略”。

2. 改变农村能源的发展思路，因地制宜、因县施策、城乡统筹，综合推动农村能源革命。

一是要改变农村长期处于能源供应末端，以集中式能源供应系统为主向农村供能的发展思路。农村不仅是能源的需求方，更有可能成为能源的供应方，一方面解决农村自己的能源问题和各类有机废弃物（农林剩余物、生活垃圾、畜禽粪便、果蔬垃圾、生活污水等）的无害化、减量化、资源化问题，另一方面也可以通过分布式发电、生物质制气和生物质颗粒物的提供，在大幅度改善农村能源环境的同时，加固农村配网基础设施并给附近的城镇提供能源。

二是要坚持“因地制宜、因县施策、城乡统筹”思路发展农村能源。要因各地农村的生活习惯、农业生产、交通出行、气候特征、资源禀赋、百姓文化水平等诸多差

异性因素，为农村提供多元化、综合性用能解决方案。要确保技术成熟、安全可靠、简单易用、易维护的终端供能设施在适合的农村地区推广。

三是在构建绿色清洁低碳环保的农村能源供给体系中，要充分考虑老百姓的经济承受能力，以农民切实需求为目标，激发农民参与现代农村能源体系建设和振兴乡村的积极性。没有农民的积极性，外加的东西难以在农村生存。

四是优先发展农村各类有机废弃物（农林剩余物、生活垃圾、畜禽粪便、果蔬垃圾、生活污水等）无害化、减量化处理过程中的能源资源化利用，综合考虑农村能源、废弃物资源利用、环保、交通等，把农村能源或者农业能源作为产业发展，催生产业新业态，促进农村就业和养老。

五是农村建筑节能需与农村能源发展同步推进。建筑保温节能是清洁取暖的基础，没有这个基础，能耗降不下来，舒适性也上不去，运行成本就很难降低。建议科技部和住建部组织设计竞赛，征集适合中国农村住宅建筑节能改造方案，用科技创新推动农村冬季采暖污染减排。

3. 应培育专业化服务业务，统筹解决农村能源的核心需求：供热、节能、再电气化。

农村的需求主要集中在三个方面：一是热的供应，包括取暖、炊事等；二是节能，特别是建筑节能改造，推广成本低廉，节能效果好的技术如靶向建筑节能技术。三是农村电力系统再电气化，也就是在现有农网基础上大幅度加强农村的配网系统，将电力反哺到城市。在取暖、节能和电力供应方面很多技术都已成熟，都已经过检验，关键是选择最合适的解决方案。城乡一体化发展，重点是农村在电、冷、热方面也能享受到与城市一样的能源服务。为此，农村能源专业化服务则是不可缺少的。

4. 农村能源发展离不开机制创新与政策支持。

农村能源发展由于长期没有受到重视，能源消费、供应和服务基础设施严重落后甚至缺失，纯市场化的商业模式尚未建立起来，社会融资风险较大。因此，要在政策机制上创新，要改变传统的补贴模式，注重市场与政府结合。金融机构应提供灵活便

利的金融服务，如借鉴欧洲经验开展“每人 10 千万”光伏示范村，开展“零碳村镇”试点，提供优惠融资与贷款，开展农村能源合作社等多种模式，为各地农村能源发展路径提供多项选择。

5. 着眼长远，稳步推进农村能源现代化，让中国农村能源“再次伟大”。

农村能源发展是一个长期战略问题，不可能一蹴而就，不能要求短时间内就解决问题，否则欲速不达，反复投入，浪费巨大。农村能源又是一个跨部门、跨行业、跨领域的事情，单靠一个部门不可能做好。“中长期农村能源发展战略规划”应统筹国家能源发展、城乡一体化发展、美丽乡村建设、乡村振兴等国家战略，并充分调动各部门，各层级、社会各方面的积极性和创造力。

第八场：配网改造与改革

2020年8月21日

总结报告

“十四五”期间，中国电力配网系统将面临诸多新挑战。一方面，“数字新基建”、电动汽车充电桩、电能清洁取暖等将引发电力需求剧增，需要配网系统提供足够的容量和高可靠性电力。另一方面，光伏“产能楼宇”、低速风电、其他分布式电源的接入需要配网系统能够更加有效地吸纳这些不稳定的分布式电源。在电网运营上，储能技术和包括电动汽车电池在内的储能设施，需要与配电网产生充放电互动，而综合能源服务、需求侧响应和基于数字技术的“虚拟电厂”都在呼唤着更加灵活互动的配网系统。

配网强则电力强。中国配网系统如何应对上述挑战？农村配网又面临哪些特殊问题？配网改造有哪些可行的技术方案？在体制机制上，哪方面需要通过改革进行完善？如何充分利用数字技术和可再生能源技术实现配网系统的更新改造？

2020年8月21日，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北大能源研究院联合举办了建言“十四五”能源发展系列活动第八场线上研讨会，主题是“配网系统改造与改革”。

俱乐部总裁陈新华博士做了开场发言，分享了他对未来配电系统面临挑战的观点。

来自国家电网公司经济技术研究院、重庆市能源局、北京智中能源互联网研究院、以及原西南电力设计院的四位专家围绕我国配电网面临的问题与挑战、改造与改革方向，从不同角度作了分析论证。中国能源研究会副理事长周大地、中电联专职常务副理事长王志轩、国家电网总法律顾问欧阳昌裕、国网能源研究院副院长蒋丽萍、清华大学能源转型与社会发展研究中心常务副主任何继江等进行了点评。

“十四五”国家能源规划专家委员会组长吴吟、中国工程院原副院长杜祥琬等来自国家部委、学术机构和相关企业约30多位能源行业专家出席了会议。

会议由北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华博士和亚洲开发银行能源部门首席执行官翟永平博士共同主持，现将会议主要观点总结如下。

一、配电网是能源革命的重要抓手，急需升级改造。

配电网是指 110 千伏及以下，直至用户的电网，分为高压配电网（110~35 千伏）、中压配电网(10 kV)、和低压配电网(380/220 V)，覆盖范围小到楼宇、社区、园区，大到城市和县乡镇电力供应范畴。

在能源革命大背景下，我国能源系统正在发生重大变化。一是能源消费的清洁低碳化，非化石能源 2050 年占一次能源消费的比重将超过 50%；二是电力在能源体系中占据主导地位，2050 年，电能占终端能源消费比例超过 50%；三是新能源（如水能、核能、风能、太阳能等）在电力生产中占据主导地位。这些新趋势和新变化要求电网进行革命性升级换代，一半以上能源的生产和消费都将依靠电网来完成。电网将从传统的电力输、配、送枢纽转变成需要为各类能源转换利用和资源优化配置的平台，功能也将逐渐向能源互联网方向演进。

配电网作为连接能源生产、转换、消费的关键环节，在能源革命的新要求下其功能也将升级。配电网将承接、配送上级电网的大规模电力，灵活接入各类分布式能源，并通过电网、气网、热网间能量流的交互实现多种能源形式的互联互通互补。在未来区域能源互联网中，配电网不仅涉及能源生产、分配、消费、存储等环节，而且可以在不同电压等级，通过分布式冷热电三联供及电热耦合等环节实现能源转换，实现电热气网的互联互通。如前所述，小到楼宇，大到社区及园区，再大到城市、县乡镇，都在配电网的整个不同电压等级覆盖和供应范畴内。未来区域能源互联网的所有要素，包括智能楼宇、智能园区、智慧工厂、智慧城市等都和配电网的建设密切相关。

二、配电网正成为电力系统建设的核心。

电网发展重心由输电网向配电网转移，是加快能源转型的需要，也是体现电力发展从“电从远方来”向“电从身边取”这一观念的转变。配电网正成为电力系统的核心，主要原因包括：

一是可再生能源的充分开发利用，使越来越多的分布式电源直接接入配电网，使配电网成为“有源”网，具备了供电功能和平衡部分电力需求的能力。其中，可再生能源开发应遵循“集中开发与分布式开发相结合，以分布式开发为主，就近开发优先”的方针，积极开发可以就近接入配电网的分布式可再生能源。德国有 80%的可再生能源发电都是在配网系统里面接入的。

二是以电力为核心的能源互联网将催生能源利用的新模式和新业态，使配电网由单一电力配给网变为一个协同多类能源，承接、配送上级电网大规模电力，灵活接入各类分布式能源，并通过电网、气网、热网间能量流交互实现多种能源形式的互联、互通、互补，为用户提供最佳能源服务的智慧平台。

三是利用先进的数字信息支撑技术，配电网可以实现新能源汽车、储能、多类型负荷等多元主体的灵活便捷接入与互动，提升可再生能源消纳能力和终端用户的能源市场价值，确保配电网与输电网的良性互动（即互相配合、互相支持），为用户提供最优质的综合能源服务和价值创造。

四是随着越来越多的可再生电源从配电网接入，电网正在向扁平化、分布式方向发展，对配电网提出更高质量的要求。

三、配电网的形态正在发生巨变。

配电网的“源端”、“荷端”、“网端”都在发生巨大变化。

1. “源端”正在向能源清洁化、多元化方向转变。

从源端来看，综合能源技术，冷热电联产、余热发电、燃料电池等以及不断加大推广应用的储能电池，储能技术和大量的分布式发电技术，使得整个电源侧（“源端”）的清洁化和多元化特点将日趋显著。

2. “荷端”正在向复杂化、互动化方向发展。

从负荷侧来看，多元化负荷，包括交流负荷、直流负荷，常规的冷负荷、热负荷等需求形态需要统筹考虑；可调度负荷，包括智能楼宇、智能家居，电热锅炉、中央空调、热水器等都是未来荷端形态；数字新基建，可移动的电动汽车负荷，包括电动汽车、充电桩、换电站、流动性充放电等，甚至煤改电过程当中特别推荐的储热式供热、供暖设备等，这些形态和模式在用户侧将呈现更加复杂化和互动化的特征。

3. “网端”正在向电力电子化、信息化方向发展。

从电网看，首先是作为电力传输网络，越来越多的新技术得到了应用，包括柔性配电网、软开关、固态变压器、有源滤波器等；其次是作为信息网络，包括高级量测、高级信息通信、高性能计算、大数据分析等；最后是作为交易网络，包括现在考虑到的市场化需求的分时电价、峰谷电价，甚至后期提到的新业态下的一些综合能源服务等也表现在电网侧，显示出了一些电子化、信息化的特征。未来电网发展中，智能电网中的新元素的融合程度将越来越多，也会呈现出各种新技术。

“源、荷、网”的这些变化使得配电网从不可控的传统配电网向部分可控的现代配电网和全面可控的未来配电网转变，配电网的发展目标也从用户负荷的地理全覆盖，到可靠、高效、优质的供电服务，向绿色、智能、可定制的供电服务逐步进化。这一转变过程中，配电网将成为可再生能源消纳的支撑平台、多元海量信息集成的数据平台、多利益主体参与的交易平台和智慧城市、智慧交通等发展的支撑与服务平台。

四、我国配电网系统升级改造力度在持续加大。

我国在配电网领域取得了巨大成就，我国是联合国千年发展目标 2015 年实现全面电气化唯一的一个发展中国家。

“十三五”期间，配电网系统的升级改造力度加大。具体表现在：1) 配网的投资力度继续加大，规模大幅提升；2) 供电可靠性和供电质量持续提高，智能化建设成效显著；3) 配网侧接入电源中，新能源占比进一步提高；4) 充电服务网络逐步完善，充换电设施体系初步形成；5) 随着配电网发展重点向农村地区倾斜，农村地区供电保障水平持续提升。

五、我国“十四五”要基本建成“安全可靠、绿色智能、友好互动、高效普惠”的智慧配电网。

配电网作为能源互联网建设的核心环节，需要进一步提升配电网数字化、智能化水平，引领多能耦合互补、多源聚合互动，培育新业态、创造新价值，从技术、功能、形态上推动配电网向能源互联网转型升级。

“十四五”期间，预计我国全社会用电量年均增速为 5.6%–5.9%，2025 年用电量约 7.3–7.6 万亿，电能占终端能源消费比重将达到 34%。能源行业的高质量发展要求配电网保障分布式电源、储能设施、电动汽车、数据中心等多元化负荷广泛接入，推进现代能源体系建设。“十四五”的发展目标是：到 2025 年，我国基本建成安全可靠、绿色智能、友好互动、高效普惠的智慧配电网，实现传统配电网向能源互联网转型升级，迈入智慧发展新阶段。到 2035 年，全面建成安全可靠、绿色智能、友好互动、高效普惠的智慧配电网，打造配电网发展的中国特色、国际样板。

为此，配电网建设将重点放在以下五个方面。

1. 强化电网安全。

全面消除四级以上电网安全事故隐患，优化网架结构，满足重大活动保电需求，因地制宜差异化开展建设，构建局部坚强电网，强化供电安全，持续保障可靠供电。

2. 服务民生改善。

持续提升原贫困地区供电服务水平，加强新上划电网基础设施建设，提升行政村大电网延伸覆盖能力，逐步消除县域电网联系薄弱问题，提升普遍服务水平。

3. 满足新增需求。

充分考虑“新基建”发展形势，适当超前开展区域电网布局，预留发展空间；加强中心城市和城市群配电网建设，新增布点满足新增长点用电需求；推进新型城镇化和美丽乡村建设，加强县城及老旧小区电网升级改造，满足农业、农村、生活用电。

4. 服务清洁能源。

紧密跟踪新能源发展态势，开展区域资源禀赋、能源可开发潜力和电网承载力分析，科学引导新能源有序开发，做好配套电网建设，促进电网与电源协调发展。

5. 提升智慧水平。

统筹终端通信接入网，加大智能终端建设，深度提升配电自动化主站应用水平和配电网智能互动水平，满足分布式电源、储能、各类负荷等多元主体的耦合互补和灵活互动。

六、配电网进一步发展需消除技术、管理、体制等多方面存在的瓶颈。

1. 配电网仍然是我国电网系统的主要薄弱环节。

在供电保障方面，部分地区电网发展不充分问题依然存在，城市中心区新增布点、线路廊道困难，局部地区供电紧张；原来由地方管理新并入国网系统（新上划）的区域电网长期投入低、电网薄弱、设备质量差。

在装备水平方面，配电设备生产厂家众多，执行标准不一致，通用性差、互换性差；部分设备选型不能满足长远发展要求，一次容量预留不足、二次扩展需求考虑不充分。

在配电自动化方面，目前主要集中在城市核心区，规模效应尚未体现，实用化水平不高，信息安全问题相对突出，安全防护体系不够完善。

2. 在支撑能源互联网的智能化和互动化发展方面，配网端的基础工作还需加强。

在配电信息感知方面，目前配电网仍存在大量的感知空白，终端采集监测覆盖不足，且采集频度和在线率较低，实时性难以保障。

在配电通信网方面，随着各类终端接入需求不断增多，交互数据量增大，对通信的需求明显增加，受制于通信接入网覆盖深度不够、带宽不足，大量分布分散的智能终端和用户终端连接困难，打通通信“最后一公里”势在必行。

在配电网与用户交互方面，现有配电网量测体系大多仅监测配电网自身设备，量测范围未扩展至用户端，配电侧与用电侧信息交互不畅，且各应用系统间缺乏互联互通和数据共享。

在配电网大数据应用方面，配电网中设备种类、数量众多，数据台账复杂繁琐，信息系统未能做到全面覆盖，目前还存在大量的数据空白，且缺少数据分析和挖掘的高效智能方法，极大限制了配电网数据内在价值的充分发挥。

3. 为满足分布式电源接入和多元化负荷的新要求，配电网的承载能力和灵活性有待改善。

首先，以分布式光伏、微型燃气轮机为代表的分布式发电技术，以蓄电池、超级电容为代表的储能技术，以冷热电联产、余热发电为代表的综合能源技术与配电网高度融合，要求实现多种能源综合效率的提升，提高配电网承载能力。

其次，配电侧用电负荷呈现互动式发展，包括以 5G 基站和数据中心为代表的新基建负荷，储能、电动汽车充电桩、换电站为代表的互动式负荷；以智能楼宇、智能家居为代表的柔性负荷，需要电网实现可观、可测、可控，满足多元化负荷灵活接入、实时监测和柔性控制，需要显著提升配电网的灵活性。

4. 配电网在电力规划中没有得到足够重视。

我国电网规划建设一直存在着“重输轻配”的倾向，过分强调能源资源与经济发展逆向分布的情况，过度求“高”（高电压）、求“大”（大容量）、求“远”（远距离），忽视或消极对待本地可再生能源的开发和配电网的发展。尽管近年来情况有所好转，但由于我国配电网覆盖面广，各地的发展不平衡，累积的问题多，故整体而言，对配电网的重视程度与输电网相比还是有较大差距。

5. 配电网市场过于封闭，无法支撑新的业务形态，为用户创造价值。

作为区域能源互联网、智慧城市和智慧交通的支撑平台，配电网可以支持许多新的业态，就如电信行业在提供电话通信的基础上，开发了许多新兴的业态，提供各种增值服务一样。配网领域蕴藏着巨大的新技术应用与商业模式创新潜力。众多专业化服务主体愿意进入，许多创新的商务模式可以引入，许多新技术（尤其是数字技术、5G 通讯等）可以得到应用。

然而，由于配网的垄断属性和封闭性，这些创新性的业务无法展开。配电领域的改革举步维艰。重庆市在 2018 年对 170 家中小企业单位用电成本的调查表明，对于年用电量在 100 万千瓦时以下的企业来说，在电价基础上叠加的各类成本使得这些企业的用电成本普遍偏高，最高“度电成本”超过了 10 元。因此，降电价不等于降用电成本，用户急需能够给他们降低成本的增值服务。而从制度和机制看，垄断企业没有这种内在激励和积极性，无法在源、荷、网端为用户提供更加灵活和基于市场竞争的各类增值服务，且大多数电力用户事实上也没有市场选择权。

6. 电力监管体系缺少考虑用户侧权益。

我国的电力行业正处在从“计划”走向“市场”的过程当中，人们对电力行业的认识还没有走出工程管理思维模式。传统的电力行业主体单一，利益诉求通过计划统一，而现代的电力行业主体多元，利益多元，需要通过市场和监管实现均衡。

我国目前的电力监管体系大多是基于电力行业内部运营来设计，关注的是如何让电力行业系统安全高效运营。未来应该基于现代产业组织理论来考量全过程，从中立的角度看待用电侧权益，考虑如何让用户有选择权，实现电力生产与使用的双向互动。

7. 配电网监管不到位，自然垄断的权力还没有被关进制度的笼子。

目前，我国配电网由不同部门监管，并且存在地方与中央分权问题，很多方面没有理顺。电网监管需要在投资、运营、价格三者有效形成一个闭环监管体系。我国目前这个体系，不管是国家层面，还是地方层面，监管都比较分散。监管的缺失导致配电网改革面临的阻力远远大于之前电信行业改革开放面临的阻力，并在行业治理层面，无法把电网的垄断权力关到制度和监管的笼子里。

七、“十四五”规划建议

1. 配电网亟需一场革命。

电力系统结构和配电网形态的变化呼唤着配电网革命。一方面，面对有源配电网、复杂多元用户、柔性可调互动端口，配电网进入了一个前所未有的新格局，需要一个迎接未来挑战的新思路。另一方面，作为可再生能源的接入平台，对于能源大数据平台、能源交易平台及智慧城市、智慧交通等，配电网是电力行业最能产生新价值的部分。此外，配网和大电网的关系也在变化，未来配网可为大电网提供更多辅助和消纳补偿服务。这就要求配电网应更加开放包容，允许新的市场主体参与，支持新技术应用与商业模式创新。

配电革命要求我们不能用原来简单的电力规划思路来制订配电网规划，而是要用综合能源思路、能源互联网思路，充分挖掘系统间所有要素之间的互联互动，包括灵活调节能力，规划出最合理、最高效、投资成本和运行成本最低的能源互联网系统。

2. 配电网规划应成为电力规划的基础和主要内容。

传统配电网只承担单一配电功能，其规划的主要任务是核实受端的负荷水平，对其它方面的要求很低。但现在配电网已成为或正在成为有源配电网，平衡部分电力需求已成为其一项重要功能。国家“十四五”电力发展规划的编制，要把配电网的地位和作用提升到枢纽和平台的角色。

电网规划不能将远距离输电当做追求的目标，如果远方来电与身边来电发生矛盾，远方来电无疑应让位于身边来电。中东部地区作为负荷中心应该是有源配电网的规划重点。有源配电网的规划研究实质上是受端电网自身的供需平衡研究，也是分布式可再生能源的开发利用研究，它的成果既是电力发展规划的主要组成部分，也是远方来电规划的依据。

没有各地深入、完整的配电网规划研究，就不可能产生符合国情又具有前瞻性的全国电力发展规划。建议国家能源局统一提出相关要求，由各省能源局主持并委托有相应资质的咨询机构完成本省“十四五”配电网规划研究。

3. 深化配电与售电改革，培育能够为用户提供增值服务的市场主体

增量配电业务改革，不是在国网和南网之外搞一些新配网，而是应该推动在现有配网的基础上做一些增值服务，如帮助用户减少能耗，降低用电成本如容量费用，鼓励用户开发使用各种廉价过剩电力的新方法和新工艺，以消纳更多的波动性风光电。售电侧改革，也不是靠从电厂买电给用户赚价差来实现售电侧改革，而应该是在配网范围内，允许新的售电公司（即使不拥有配电资产）或综合能源服务商等市场新主体，给用户提供增值服务，解决垄断企业没有办法通过激励去进行增值服务的问题，打破条条框框的约束，鼓励各种创新。

4. 理顺自然垄断与竞争的关系，推进电力行业治理现代化

电力行业治理现代化需要考虑以下 4 个问题：1) 配电网自然垄断的特性是不是意味着一个企业来经营最为经济？其规模经济有没有边界？2) 自然垄断领域能不能引

入竞争？ 3）在自然垄断领域，所有权和经营权能否分离？ 4）中央事权和地方事权如何划分？

我国配电网领域具备引入标尺竞争的特许经营制度，前提条件是对配电网的经营权和所有权进行分离。通过特许经营制度，配电企业之间不仅有比较竞争，可以进行优胜劣汰，部分经营不善的配电企业会被提前收回特许经营权，或让位于新业主，或被其它优秀的配电企业兼并。竞争将促使每个配电企业变压力为动力，不断推动配电网的变革重塑，并向更高水平发展。

5. 研究输配分开、特许经营、配售分开等改革方案的利弊，为配电网变革提供制度保障。

配电领域生产力的发展需要生产关系作出及时调整，找到能让配电网充分发挥多元平台作用的体制机制。

有专家提议，我国电力体制改革的重点在于**输配分开**，将输电业务与配电业务在产权上进行分离。该专家认为，与输电网的统一性、整体性、枢纽性特点相反，配电网具有分散性、局域性、终端性特点，因此，在配电领域更容易引入竞争。尽管配电网有一定的特殊性，比如只能在规定的地域内经营，但这并不改变其竞争性本质，正如城市燃气一样。输配分开后，配电网可交由地方政府主管，发挥地方政府在本地资源开发优化、保障电力供应安全、降低电价和用户增值服务等方面的作用。

另有专家提出，在配电领域应实行**特许经营**制度，即在一定区域范围内，将配电业务当作由地方政府通过竞争性筛选而给予配电企业在一定时间段内的经营权。配电企业应按照地方监管机构的要求，达到特许经营许可内所规定的义务。

还有专家认为，在配电领域进行**配售分开**或者更为现实可行，即将垄断性配电业务与竞争性售电业务分开，售电业务应由多个市场主体竞争完成。

以上三种方式虽然不同，但核心是充分调动社会各方特别是地方的积极性，允许新的市场主体参与，支持新技术应用与商业模式创新，尊重用电侧权益，给用户参与权与选择权。建议“十四五”期间，应就这三种不同方式开展深入研究，并选择条件具备的区域进行试点。

此外，我国的配网改革要基于发展中人口大国的基本国情，一个省的电力情况都比许多国家复杂，我们在吸取国外经验的同时，更重要是要充分考虑系统的复杂性，根据我国电力的特点寻求解决方案。

6. 与时俱进，调整电力监管思路，加强监管手段。

随着能源转型实践的深入，生产力已经发生且还在发生着重大变化。电力市场在 2015 年 9 号文件后短短几年内，发、输、变、配、用、储之间的关系更为复杂，不是简单的“两头”及“中间”三部分的关系，且能源、交通、城市、数字化融合日趋加深，对于“中间”的物理界定和功能界定与 9 号文件颁布时的情况有了重大变化，所以改革本身也应审视已经发生的变化和未来趋势，做一些与时俱进的调整。

在新的环境下，电力体制改革要有新思路，可考虑在“管住中间，放开两头”的总框架下，营造法制化市场环境，进一步激活配电业务，吸引专业人才和社会资本，使得配电业务成为新的创新创业平台。同时促进“源、网、荷、储”或“发、输、变、配、用、储”之间的高效互动，使得配电网能够在推动区域能源互联网建设，加速国家能源转型等方面发挥更好的作用。

7. 打破行业竖井，优化配网端综合效益。

配电网改革的核心内容，一方面要考虑电与其它能源的高度融合、供电与供水的融合、配电网与通信、数字化、信息化的深度融合，打破能源系统中各要素之间存在行业竖井，充分发掘综合能源系统中柔性和可调度资源，实现融合效率。另一方面，配电网要与智能交通、智慧家庭、智慧园区，智慧城市、智慧农村等实现多方协同，创造协同效益。配电侧可探索多站合一（如变电站+数据中心，变电站+光伏+储能等）、共享杆塔（杆塔+通信+基站）、多表合一（电表+水表+气表）、智慧路灯（路灯+充电桩+光伏）等新模式新业态。这些模式需要打破行业壁垒，为各参与方确定合理价格。对此，政府各部门的协同组织推动作用极其重要，仅靠配电企业是不可能完成的。

8. 整合配网规划与城市规划，为新技术应用留下空间。

随着数字新基建以及电动汽车的普及，我国城市中心区域一方面面临供电紧张问题，另一方面面临布点落点困难和廊道建设困难。配电网不能独立于当地市政基础设施的发展来规划落实。建议将配网发展所需的电力设施布局纳入市政国土空间资源发展规划体系中，实现统一规划，并把电网工程建设纳入到政府重点工程，保证规划能够落实到位。同时合理部署数据中心、5G 基站、充电桩等发展布局。这需要通过政府统筹协调安排，保证习总书记说的“一张蓝图绘到底”，充分发挥规划的作用。

此外，当前处于百年大变局中，各类技术（尤其是数字技术等）日新月异，处于技术突破和创新的前夜，在配电网改造改革中我们不能模式化、固定化、局限化我们的思维，要在系统规划和涉及中留有空间和余地。

9. 把配电网的数字基础设施提升到与其物理系统同样重要的高度。

配电网是区域能源互联网建设的核心环节，需要进一步提升配电网数字化、智能化水平，引领多能耦合互补、多源聚合互动，培育新业态、创造新价值，从技术、功能、形态上推动配电网向能源互联网转型升级。

为此，要将相关数字基础设施提升到和物理配网系统同样重要的位置，打造物理世界与数字世界相融合的能源互联网基础设施，开发适用与电力领域的专业操作系统，包括高效预测性运维系统、需求侧响应和能效管理系统等，为配网系统的更多价值创造提供技术手段和相关服务，支持更大区域范围内的优化。

第九场：如何利用数字技术构建现代能源体系？

2020年9月4日

总结报告

数字化洪流势不可挡。以数字化为核心的第四次工业革命已经颠覆了许多行业（银行、餐饮、交通、出行、酒店、旅游、会议会展等等）的商业模式，消灭了许多无法适应的百年老店，培育了很多新型企业，正在催生着更多全新的商业模式。数字技术作为新的生产力，正在重构生产关系，正在推动迄今为止最大规模的企业与市场转型。数字技术正在以“互联网+”为主要手段的第一阶段向以物联网、大数据、人工智能和区块链等为主要手段的第二阶段进军，更多的行业将被新的数字化浪潮重塑。

能源行业是数字信息技术应用最早也是最为广泛的行业之一。在能源行业逐步数字化的基础上，新一轮数字化浪潮如何进一步改变甚至颠覆能源行业？能源企业及从业者应该关注哪方面的数字技术？数字技术在消除能源行业痛点方面有哪些潜力？中国如何利用数字技术构建现代能源体系？

2020年9月4日，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北大能源研究院联合举办了建言“十四五”能源发展系列活动第九场，以“如何利用数字技术构建现代能源体系？”为主题举办了专家研讨会。

会上，华北电力大学教授、能源互联网研究中心主任曾鸣以“数字革命与能源革命”为主题做了主旨发言，北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华以“如何利用数字技术构建现代能源体系？”为主题谈了在构建现代能源体系方面的体会，华为全球能源行业首席数字化转型官夏文波以“数字化转型构建新一代智慧能源体系”为主题，就华为在能源数字化转型方面的思考与贡献做了详实的分享，上海慧著公司的总经理李艳兵以“基于物联网和人工智能的能源化工企业智能工厂解决方案”为主题分享了在智能工厂建设的经验。

“十四五”国家能源规划专家委员会组长吴吟，专家委副组长周大地，专家委成员、中国工程院原副院长杜祥琬，专家委成员、北大能源研究院院长、中国科学院院

士金之钧，中国工程院院士刘合等专家做了点评发言。来自国家部委、学术机构和相关企业约 40 位能源行业专家学者出席了本次会议。

北大能源研究院副院长杨雷与北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华共同主持了本次会议。

一、曾鸣教授的主要观点总结

华北电力大学教授、能源互联网研究中心主任曾鸣的演讲题目是“数字革命与能源革命”，主要观点总结如下。

1. 数字革命为能源生产、消费、技术、体制领域革命带来新动能。

自 2014 年 6 月 13 日，习总书记在中央财经领导小组第六次会议上提出有关能源革命要求以来，我国能源发展仍面临诸多挑战。一是在生产领域，受可再生能源占比增多影响，供需双侧随机特性突出，同时可再生能源发展也面临瓶颈；二是在消费领域，目前能源消费模式单一刚性，有待创新，整体能源使用效率仍然偏低；三是在技术创新领域，数字革命、工业互联网、中国制造 2025 等技术研发与能源电力系统的深度融合难度较大；四是在体制改革方面，需进一步深化体制机制改革，能源电力带动周边产业协同发展能力亟待提高。

数字革命（Digital Revolution）依托先进的信息化技术，通过挖掘数字信息的内在价值，推动数字信息向要素化、商品化、产业化发展，是新一轮工业革命的重要组成部分。数字革命可为能源革命提供新动能，加速信息技术与能源电力产业的深度融合，引导能源电力行业向数字化、智能化及网络化转型，为传统能源电力行业产业升级、业态创新、服务拓展及生态构建提供全新可能性。数字革命可在生产、消费、科技、体制领域全方位推进能源革命：

基于数据驱动，通过构建模型算法平台实现新能源电力预测，提升系统运行智能决策水平，通过支撑电力安全与智能、高效传输，有效提高清洁能源占比，推动能源供应模式多元化，助力能源生产革命；

基于用户画像提供精准服务，灵活汇聚需求侧资源，结合供应侧资源提高能效，通过支撑综合能源服务等新业态、新模式发展，赋予用户更广泛的消费选择权，提升用户对自身能效水平的全面感知，助力能源消费革命；

基于“云大物移智链”创新应用，利用能源大数据、能量路由器、数据中台等，推动工业互联网与能源电力系统融合，实现智能化、精确化和标准化转变，通过能源与电力信息数据的挖掘和应用，助力能源技术革命；

基于区块链进行点对点能量交易、绿证交易，实现电力市场交易模式创新，通过打造互惠共赢的能源互联网生态圈，推动共享经济和平台经济建设，进而带动上下游及周边产业协调发展，助力能源体制革命。

2. 能源互联网将朝着“提质增效、互联共享、技术创新及生态共建”方向发展。

能源互联网是一种将互联网与能源生产、传输、存储、消费以及能源市场深度融合的能源产业发展新形态。它能打破原有相对独立的不同类型能源界限，在先进信息技术的基础上形成以电力系统为核心、多种类型能源网络和多种形式交通运输网络高度整合的新型能源供给利用体系。在横向上，它能够实现不同类型能源相互补充；在纵向上，它能够实现能源开发、生产、运输、存储和消费全过程“源—网—荷—储”的协调。

能源互联网是通过数字化技术推动能源革命的主要平台。随着“云大物移智链”等信息通信技术的应用，能源互联网的内涵不断延伸。整体上看，能源互联网将朝着提质增效、互联共享、技术创新及生态共建方向发展。

在提质增效方面，可以通过部署智能监测终端，故障实时定位、及时报修，提升系统运行安全水平；通过源网荷储协同优化，运行方案及时校正，提升系统运行经济水平；通过节能潜力深度挖掘的能效服务，提升用能效率。

在互联共享方面，源网荷储数据统一采集、管理，打造数据共享平台，开展信息共享服务；利用技术、装备领域优势，打造学术交流平台，开展技术共享服务；与行业其他主体互通合作，打造业务融合平台，开展价值共享服务。

在技术创新方面，智能电网可有效接纳大规模波动性可再生能源接入，提升系统泛在感知、实时与智能控制能力，提升能源生产、存储效率，降低成本。

在生态共建方面，能源产业链上、中、下游各主体的能量流、信息流和业务流间的交互作用，加大了各类主体共建互惠共赢能源互联网生态圈的潜能，带动了相关产业的协同发展。

3. “十四五”能源互联网发展需构建互惠共赢的生态圈

一是推动能源电力数字化转型。首先推进数字技术与能源电力业务融合，加速“云大物移智链”等先进技术在能源行业生产、管理、经营等多种场景中应用，深化数字技术与经营风险规制、业务体系拓展等多种业务的融合，推动运营模式数字化、智能化转型。其次打造数字转型示范应用项目，持续推进智慧能源云、数据中台建设，加快数据发展战略，提升能源电力行业数据资产治理与应用的能力，形成常态化的数据治理与价值挖掘。

二是构建能源互联网生态圈。构建创新管理体制，利用能源互联网“开放互联、智能开放”的技术特性，推进“平台+生态”建设，打破由于技术、机制等原因造成的异质能系统间及多元主体间行业壁垒与技术壁垒，推动实现更大范围内的资源优化配置，引导与推动电力、天然气、热力与互联网运营商构建互惠共赢能源互联网生态圈，以共享经济、平台经济的发展模式创新能源系统运营机制，推动“物理能源消费”向“能源、信息、服务”综合消费过渡。

4. “十四五”能源互联网发展需建设综合能源系统开展综合能源服务

一是建设综合能源系统。首先围绕“两高三低”目标，“两高”即能效提高、综合可靠性提高，“三低”即全寿命周期成本降低、碳排放降低、有害物排放降低，考虑电、气、热异质能耦合特性与物理约束，开发与搭建涵盖设备画像、系统规划、系统运行、市场交易及综合评估的综合能源系统仿真平台，实现优化调度、多品种能源交易、各类能源效率评估等功能，为综合能源系统落地提供重要基础性理论支撑与方

向指导。建设综合能源系统试点示范，选取典型区域，实现对区域内冷热电三联供、分布式光伏、储能、用能负荷的协同优化，形成试点示范经验。

二是开展综合能源服务。首先要创新综合能源服务商业模式，准确把握不同客户对于电、热、气等异质能的服务需求，因地制宜使用能源托管、多能互补等商业模式，促进供需精准对接，为客户提供定制化综合能源解决方案。其次要紧盯潜在市场，发挥能源互联网信息资源效用，开展多维度分析，深入挖掘数据价值，建设一批规模较大、效益良好、技术先进的综合能源服务示范项目，提炼项目运营经验以形成具有可推广性和可复制性的模式。

5. 能源互联网发展需构建全生命周期数据管护体系

在能源互联网数据生态中引入数据管理论（Data Curation），构建能源互联网全生命周期数据管护体系，为能源互联网数据资产的有效管理提供重要参考与指导。

战略规划中，以电网、用户、政府等能源互联网多元主体业务需求为导向，从数据种类、规模、采样频率、格式标准等维度明确数据管护的边界，制定在时间和管护策略架构上不断动态滚动的数据管护目标与规划，为合理控制设备成本、信息化成本与人工成本等提供支撑。

整合管理中，首先针对所采集的结构化、半结构化及非结构化数据进行数据融合操作以屏蔽底层数据源差异并提升数据价值密度，其次构建“逻辑统一，物理分布”的大规模分布式存储模式，构建统一管理的数据资产库，在压缩数据存储成本的同时，有效满足对不同节点、不同数据访问、查询与调用需求。

数据应用中，一是对能源互联网中导入的原始数据，利用数理统计、可视化等处理形成可发布与可共享的信息，利用价值挖掘形成脱敏的“二次数据”以供发布或共享；二是在明确能源互联网中数据资产的财产权及价值的基础上，构建可持续的数据交易环境与市场，明确交易平台、交易周期、交易方法及定价机制等以推动数据的大规模复用。

质量评价中，应从数据的数值、格式、结构等维度开展数据质量评估，保证数据的准确性、完整性和可访问性，从时效性、合理性、响应度等维度进行数据效用评估，

根据结果，进行数据的更新、替换及拓展。对于生命周期完结的数据，应销毁用户应用程序、平台服务器及云端的数据。

二、陈新华博士的主要观点总结

北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华博士的演讲题目是“如何利用数字技术构建现代能源体系？”，主要观点总结如下。

1. 数字信息技术已经成为驱动人类发展进程的最大科技力量

能源技术、材料技术、生物/医疗技术、信息技术等四大核心技术驱动了人类社会的发展。然而，自 70 年代以来，信息技术突飞猛进，已经成为驱动人类社会发展最大的科技力量。

数字信息领域有着三个广为人知的定律。第一是摩尔定律，讲的是在单位面积上晶体管的数量每隔 18 个月翻一番。第二是梅特卡夫定律。揭示了网络的价值：一台电话没有价值，两台电话有价值，电话链接的数量越来越多，对任何使用者来讲电话网络的价值就越大，这就解释了为什么互联网平台花很多钱把各方链接数量增加上去的原因。第三是库兹韦尔定律。讲的是信息技术正在以指数级速度增长，并且在不断扩充，越往后，变化速度越快。库兹韦尔有一个很重要的理论叫奇点（Singularity）马上就要来临，并在 2009 年创建了一个奇点大学。“奇点”从数学角度来讲，就是要除以 0，任何东西一除以 0 就变成无穷大。从物理学角度来讲奇点就是靠近黑洞，任何东西一靠近黑洞，所有的自然规律都失灵。因为信息技术的大爆炸，库兹韦尔认为奇点马上就要来临。中海油原董事长杨华在 2018 年给员工写过一封公开信，提到了库兹韦尔定律，指出油气行业必须要适应数字时代，实现数字化转型，否则就没有未来。

这三大定律都是基于对被观察现象的总结，没有揭示事物的本质。数字技术快速发展并且具有颠覆性威力的原因还在于它所处理的信息有几个重要的属性。第一是信息的非物质属性，使信息可以非常低的成本或者零成本复制。第二是信息的负熵属性，

信息可以减少不确定性，减少人类活动中的不确定性就可以产生很大的价值。第三是信息的链接属性，信息可以连接两个或多个实体，而连接可以产生很大的价值。第四是信息的科技属性。我们人类科技进步就是通过对自然规律的观察形成对自然规律认识，然后再提炼出来，反作用于自然。这样源自自然而又反作用于自然的信息获取与提炼过程实际上就是科学研究的过程，所以信息具有科技属性。

正因为这四大属性和它们之间的相互结合，使得数字信息技术能够突飞猛进，成为驱动人类发展最大的科技力量。

2. 随着数字技术从“互联网”向“物联网”发展，下一轮被冲击的对象是将是产业（Industry）和区域（Territory）

被“互联网+”为核心的数字化洪流冲垮的第一批行业具有的共同特征包括：产业链长、依靠规模化生产和规模化销售，如服装行业、家电行业；信息获取难或者获取成本高，依靠信息不对称而生存的行业，如传统旅行社、商贸业等；没进行及时调整而被新的业态颠覆的行业：包括出版行业、餐饮、酒店、银行、保险、出租车、广告等。

随着互联网技术从人-人互联、人-机互联向万物互联的物联网发展，下一轮被数字技术冲击的是将是产业（Industry）和区域（Territory）。

产业方面，在工厂智能化和企业运营管理数字化的基础上，数字技术必将进一步推动各产业的纵向整合，打破传统产业链，在解决行业痛点的同时推动优化整个产业的生态化运营。

区域方面，在一定的区域范围内（一个园区、城市、局域，乃至一个国家），利用数字技术，对基础设施进行互联互通，对产业布局进行集群优化、横向整合，对能源和环境问题进行综合治理，创造安全、清洁、高效和舒适的宜产宜居区域环境。

3. 能源行业的特点决定了消费互联网平台商业模式无法在能源领域复制

能源行业特点包括：1）能源是一个实体产业，从生产到消费都涉及到物理连接和能量的转移，整个过程需遵守物质不灭定律和能量守恒定律；2）能源是一个重资产产

业，产业链长且复杂，涉及到一个国家的基础设施，具有很强的刚性；3) 能源网络具有自然垄断特征，在中国已经形成了集自然垄断和行政垄断于一身的多家大型国有企业；4) 能源不同于粮食或其他可以直接消费的原材料，能源的消费都是通过技术设备来完成的；5) 能源消费具有一定的惰性与“路径依赖”。在能源成本占比不高的企业，经营者往往不太关注能源消费情况，而一旦接受能源供应并形成了消费习惯，惰性很难改变；6) 化石能源消费带来的污染和温室气体排放具有强烈的外部性。

能源行业的这些特性决定了在消费与服务领域非常成功的互联网平台模式无法在能源领域复制。能源行业加工处理的是能量，而不是信息，而能量只能通过物理连接才能传输，通过改变应用场景的物理状态才能体现价值。消费互联网平台的“少场景、大流量”模式很难适用于“多场景、少流量”的能源行业。在能源领域，无法建立普遍适用、通过流量效应而成为一家独大的互联网平台。

4. 数字技术可优化能源系统运营，推动能源行业重构，解决中国能源行业的痛点。

数字技术无法从根本上颠覆能源行业，但可以通过大幅度优化能源系统的运营，进而推动能源行业重构。如果能源领域的改革到位，将具有自然垄断性质的基础设施运营与竞争性销售业务分开，数字技术还有可能重塑能源行业的运营模式。

数字技术作为新工具，可以帮助解决能源行业在节能、能源系统整合优化、可再生能源与电力系统的整合等方面的痛点，并为市场预测与供应匹配提供精准的工具，为政府规划与监管赋予严谨有效的手段，同时挖掘能源设施的运维、采购与共享方面的潜力。然而，让数字技术能够真正发挥作用还需要配套的能源体制改革。

5. 数字技术可以帮助构建广泛互联、智能互动、灵活柔性、安全可控和开放共享的新一代电力系统。

21 世纪将是电力为核心的能源体系，由于电力是数字技术最容易整合的能源行业，数字技术对电力行业今后的影响也会越来越大。可以通过数字技术整合分布式能源，削减能源消费端存在的水分，大幅度提高终端能效，实现电力流、信息流间的交互融合，推动信息流、现金流和电力流精准流入生产端和消费端，实现高效匹配。

“配电”领域是数字技术最能发挥作用的环节。未来几年，我国的配电系统应对诸多新挑战。一方面，“数字新基建”、电动汽车充电桩、电能清洁取暖等将引发电力需求剧增，需要配网系统提供足够的容量和高可靠性电力。另一方面，光伏“产能楼宇”、低速风电、其他分布式电源的接入需要配网系统能够更加有效地吸纳这些不稳定的分布式电源。在电网运营上，储能技术和包括电动汽车电池在内的储能设施，需要与配电网产生充放电互动，而综合能源服务、需求侧响应和基于数字技术的“虚拟电厂”都在呼唤着更加灵活互动的配网系统。数字技术可以协助配电网实现新能源汽车、储能、多类型负荷等多元主体的灵活便捷接入与互动，提升可再生能源消纳能力和终端用户的能源市场价值，确保配电网与输电网的良性互动，把配电网打造成为实现区域能源互联网的主要抓手。

6. 能源领域应关注 6 方面的数字化应用

一是能源物联网，主要关注工业物联网在能源领域的应用。

二是区域能源优化，对工业园区、校区、城区各种各样的能源进行整合优化，由此产生综合能源服务。

三是用户侧围绕工厂、楼宇、家庭提供智能化解决方案，例如 ENGIE 集团，已经从原天然气分销商和电力发电商整合的能源供应商转型为用户侧解决方案提供商。BP 也在近期通过新的战略，为客户提供最终的智能化的解决方案。

四是虚拟电厂技术，可以利用该技术将一些可调度需求、储能及可再生能源、电动汽车等通过数字技术进行整合，在没有实体电厂的情况下变成一个可以参与电力市场交易调峰手段的实体。

五是区块链技术在节能、贸易、绿证方面的应用，中石化、上海交易中心已经开始了贸易方面的试点，区块链应用在可再生能源领域产生的绿证方面也大有前景。

六是数字治理与安全技术。数字治理及数字安全应重点关注两个方面：一方面，数据采集后的所有权归属问题，数据治理必须要考虑数据主权的相关问题。另一方面，能源行业在信息安全方面较为脆弱，特别是电力行业经常受到黑客的入侵，今后一定要关注电力领域虚拟空间的安全，这也是能源安全的重要组成部分。

7. 基于单个项目的智能物联网技术已获成效，但通用平台型数字能源商业模式还有待验证。

目前我国已经开展“互联网+智慧能源”试点，2016年起共推进55个相关项目，但最后只有14个项目通过验收。试点过程中发现的主要问题包括：一是受到电力体制的约束，售电的局限性导致终端优化受到影响。二是很多试点项目内容过于表面，智能技术及成分较少。“互联网+智慧能源”今后的发展方向将围绕着提高终端能效和能源系统的综合可靠性，帮助可再生能源的高比例接入，降低能源使用成本，碳及其他污染物的排放。

从目前中国在数字能源方面所做的努力和尝试来看，基于单个项目的智能物联网技术已经取得了比较好的成效，特别是大型油气企业围绕着“智慧油田”、“智慧管道”和“智慧炼厂”等方面的项目。比如中石油一直以来都非常关注、重视数字化平台的建设，特别是在油田能源物联网建设方面获得了较为可观的效益，大幅度降低了人工成本、提高了产出、降低了能耗。

目前，有几家企业在建设能源领域的通用型物联网服务平台。这类平台的商业模式还有待验证。

8. “十四五”核心问题及建议。

“十四五”的核心问题是：随着数字技术的发展，我国生产关系如何适应并充分利用好生产力。数字技术可以为新常态提供新动能，应充分利用好这一新动能并推动生产关系变革：

第一，能源领域要创新体制机制，打破行业竖井，加速数字技术在能源领域的应用推广。

第二，调整监管思路。随着电力系统结构变化，电力领域中“管住中间、放开两头”中，要厘清“中间”和“两头”的具体涵义。在可再生分布式能源和数字技术快速改变电力行业格局的情况下，要改变电力监管的思路，激活配电领域，使得配电领域成为真正的互联网创新平台。

第三，开放国企内部市场，吸纳全社会的创新技术，并且通过创新技术在市场中的应用锤炼创新的商业模式。“十四五”期间，首先要认识数字技术对能源行业变革的重要性。要在国家大的层面创造条件进行体制机制上的调整，使数字技术能够发挥作用。要充分鼓励这些民营创新的企业为他们找到应用场景，并且与提供应用场景的企业进行合作，使他们能够产生共赢，一方面帮助国有企业升级改造，使其产业更加高效、更加有活力；另一方面，给这些有创新的企业提供应用场景，使其成为改变行业的独角兽。

三、夏文波博士的主要观点总结

华为企业业务全球能源行业首席数字化转型官夏文波的演讲题目是“数字化转型构建新一代智慧能源体系”，主要观点如下：

1. 数字技术可以帮助建设低碳多元、安全高效、智慧柔性、友好互动的“新一代智慧能源体系”。

全球能源转型发展面临去碳化、去中心化、再电气化和资产变现等四大趋势，而我国的强国战略也对能源转型提出新要求。在国家能源革命、电力体制改革、城市组团化的大背景下，电力系统的运作形态发生了深刻变化。为了实现安全、绿色、高效、高质量发展的目标，未来电力系统必须解决高比例、分布式新能源系统接入，以及波动性、间歇性新能源带来的高比例消纳、高效运行、电网安全和应对市场变革进行体制机制改革的三方面挑战。

能源行业从业者也面临着 6 大痛点：1) 客户体验：能源、电力、用户三者之间的关系日益紧密，如何迎合客户期望是企业提高自身竞争力的关键。2) 安全可靠：面对变化，电力企业应始终确保业务的可靠性、安全性和弹性运行。3) 创新变革：将 IT/数据管理/数据科学等方面的能力与业务结合，培养数字化能力。4) 增值运营：多变多元的能源结构、数字电网的发展等将带来商业模式的变化；5) 降本增效：节约成

本、提高效率是全球电力企业的首要任务和挑战。6) 政策监管：来自政策、环境监管和电力市场发展的约束。

2. 数字技术可以支撑能源行业适应气候变化、抵御自然灾害。

国际能源署指出，数字技术可以提高能源系统的韧性、安全性、可靠性和稳定性，对实现能源安全必不可少。

能源行业面临着战争、风灾、飓风等多种物理安全风险，包括 2008 年的冰灾，包括现在的疫情、网络攻击等等。随着气候变化的加剧和极端气候事件的频发，能源行业的抗风险能力亟待加强。

围绕人、设备、系统三要素，从电源、供电、运营、信息安全四维度考虑，数字技术可以在强化基础设施的基础上，增强能源系统的“软”实力，满足能源系统对安全问题的新要求。以应对自然灾害为例，数字技术可以从能源系统规划、建设、应急、评估再提升的各个环节实现闭环，建设基于 ICT 技术的应急指挥平台，形成政府和各个行业的高效互动，以提升能源行业抵御自然灾害的能力。

3. 数字技术可以在“源、储、网、变、输、配、荷、贸易”等方面大幅度改善电力系统的运营模式与互动效率。

在“电源”端，无论是传统燃煤电厂还是风光电站，数字技术可以赋能智慧发电，降低运行成本和运检成本，提升转换效率，增加电厂出力，尤其是增加可再生能源的出力和消纳，通过实时感知和全生命周期管理提升安全水平，预防事故。

在“储能”领域，数字技术可以将储能设施高效地融入到电网中，高效管理储能电池的“储-放”周期，提高电池的利用率和系统效率，降低运维成本，解决储能设施的安全问题。

在“电网”运营方面，随着电网的规模越来越大，运行成本越来越高，高效运维非常重要。在线路巡检方面面对四个方面的问题：一个是本身设备的缺陷、外部环境，比如台风自然灾害的影响、定期巡检并不能实时掌握所有动态，设备规模越来越大、人员规模也不可能无限去增长，通过 ICT 的技术解决，实现电网的运维效率更高、成

本更低，要做到对设备的状况、对风险的管控、对生产的操作、对决策的指挥要实现“四个一”：一目了然、一线贯穿、一键可达、一体作战。数字技术可以让电网变得“可视、可控、可管”的“数字电网”，推动电网从刚性向智慧、柔性转变，降低线损和运营成本，减少电网瘫痪的概率，提高抵抗自然灾害等外部风险能力，构建电网与用户在电力流、信息流、业务流方面实时互动的新型关系。

在“**变电站**”智能管理方面，数字技术可以实现变压器声音异常检测、变电站智能巡检等功能，降低事故发生率和运营成本。

在“**输电**”领域，数字技术可以降低运行成本，提升可靠性，包括及时发现输电线路线夹或接续管发热、导线断股或散股等线路缺陷，对线路跳闸故障进行定位和判断；预防台风、雷电、山火、污秽、滑坡、树障、覆冰等外部恶劣造成的大面积停电；对线路进行定期巡视，及时掌握线路运行状态和缺陷发展；减少输电线路对运维人员的需求，并把很多问题“边缘化”就地解决，而不是全部在数据中心进行处理，可以减少网络带宽的压力，并将处理故障时间降低。

在“**配电**”领域，结合“5可（可观、可测、可控、可追溯、可考核）、5遥（遥测、遥信、遥控、遥调、遥视）、5自（自感、自测、自控、自检、自愈）”解决配电存在的问题。华为给土耳其做智能配电网的时候，土耳其提出了三个核心问题：第一是防御网络攻击，必须实现安全可控；第二是解决供电可靠性的问题；第三是降低线损。

在“**负荷**”端，数字技术可以满足用户与电网、电源、售电公司进行“双向互动”，提升客户对峰谷电价及动态实时电价的体验，将用户端可调控负荷变成资源，通过虚拟电厂的形式参与电力市场交易，利用5G技术构建调度交易和需求侧管理一体化系统，支撑削峰填谷、双向互动。另外，随着电气化，特别是车联网的应用，从ICT的角度，运用云大物移智链技术，把充电桩、车和运营平台管理起来。

在“**电力交易**”领域，随着电力现货市场的开展，无论对发电商来说还是对用能单位来说，电力交易规模增长、参与方持续增加、交易机制更灵活、实时性要求更高，涉及的海量数据已经无法通过人工处理，必须依托先进的数字技术对用户需求、电网

负荷、各个电源的出力能力进行预测，并以此为基础，制定交易策略，提升交易的自动化水平，支撑电力交易的多元融合发展。

4. 对能源行业发展的五点建议。

第一，加快培育能源行业的高端国际咨询能力。即便像华为这样国际领先的咨询能力和设计能力企业走到海外去，发现还有很多地方需要改进提升，我们需要培养具有解决问题的国际咨询能力企业，创新服务产业，把我国领先的互联网技术和丰富的数字化转型实践与所在国实际情况相结合，而不是简单地把在中国的经验直接搬到另外一个国土上进行实践。这一能力如果不加培养，“走出去”会变得非常困难。

第二，提升软实力。我国在能源行业的硬实力不差，但是软实力，与欧洲国家特别是美国的差距是非常巨大的。从软件+服务业来说，美国的市场空间是我们的 75 倍，美国的软件业是中国的 15 倍。软实力建设亟待加强。

第三，加强数字产业与电力装备产业融合。中国电力装备水平经过 40 年发展，已经具备和国际知名厂家竞争的能力，比如特高压，但是大多数还是在低端低价竞争，我们的 ICT 技术在全球领先，结合能源互联网发展，把领先的 ICT 技术与成熟的电力装备和技术融合是实现弯道超车的有效手段。

第四，在全球化基础上加强自主可控。要分析能源产业在核心技术哪些必须要掌握在自己手里，哪些有备胎就行，要找准自主可控的核心，比如 DCS、SCADA，芯片、数字孪生等，也不能简单的 100%国产化。

第五，制定数据相关政策，提升数据资产利用水平。既然数据资产非常重要，电力企业和生态各方都非常关注，对于数据的利用、保护、产权、隐私、安全、跨境流动，怎么去管理，是我们“十四五”需要关注的问题。建议结合边缘计算，建立布局合理、多层机构的国家级能源数据中心，实现数据公平共享。

四、李艳兵总经理的主要观点总结

上海慧著公司的总经理李艳兵的演讲题目是“基于物联网和人工智能的能源化工企业智能化的解决方案”，主要观点总结如下：

1. 智能工厂建设要转换思维通道，以系统论的视角抓住“有效能”这个主线，大道至简来完成。

目前智能工厂都是按照五层架构来构建的，即传感与执行层（Sensors/Activators）、现场控制层(PLC)、数据分析与监控层（SCADA）、生产执行系统层（MES）和企业资源规划（ERP）层。由于没有用系统论的视角来抓住主线，这个五层架构中的传感与执行层（Sensors/Activators）和现场控制层(PLC)配置不科学，智能工厂的建设流程复杂，需要采集与处理的数据繁多，集中处理和运算的成本高昂。而在数字技术高度发达、信息物理系统充分融合的今天，智能工厂可以有更简单的办法来建设。

核心是转换思维通道，基于工厂的工艺流程进行反推，以系统性的视角，跳出目前架构的约束，用全新的思维逻辑来建设智慧工厂的数字化控制系统，使工厂的运营变得非常简单，最终达成无人化操作。

能源化工系统的本质是耗能系统，即消耗了一定数量的能量，完成从原料到产品的高效、安全、环保与高质量转换。从系统分析角度，发现这个系统里主导的因素是有效能，即有效的能量在系统里的流动。抓住了这个主要矛盾，我们就可以结合工厂的安全、环保、产能、品质、单耗等方面的诉求，利用物联网和人工智能技术，更简单地完成智能工厂的建设。具体来说，就是做好四件事：一是配置合理，二是运行协调，三是整体优化，四是花最小的代价。

如果达到“配置合理、运行协调、整体优化”的境界，那么智慧工厂便有能力在整体上展现简约、自适应、最低能耗、透明可控等一系列外在健康属性。

2. 基于“有效能”的“冷、热、物料”三元控制系统是能源化工行业智能化建设的核心。

自动驾驶系统是由信息采集与处理、车速变换、车辆启停与转向等多个系统组成的有机整体，而对于汽车本身来说，其所能管控与调节的也只有油门、刹车和方向盘。同理，不管是多么复杂的炼油厂还是化工厂，能动的设备也只有电机和阀门。因此，对于能源化工行业来说，智慧工厂建设的核心是如何精准地控制电机与阀门。

根据有效能的流动，由原料加工成产品的生产过程中，所有的设备，按其功用不同，分为供料设备（如各级物料泵等，合并为物料系统）、供热设备（如加热炉系统、蒸汽系统等，合并为热源系统）、冷却设备（如循环水系统各设备、空冷器、深冷设备、换热器等，合并为冷源系统），供热与冷却的稳定、均衡与精准，即为生产工艺及产品品质的保障。任何炼油化工工厂实际上是由冷系统、热系统和物料系统三大相对独立的系统组成，它们可以从炼化系统中独立剥离出来，各自形成自我适应、自我调控的独立系统，做到阀门与电机相对于工艺要求的自适应，就像人体细胞一样，对环境变化和病毒入侵进行自适应调节，在本地解决问题而不是事事都向大脑汇报，等到大脑下指令后再采取行动。

这样建设起来的智能工厂将由一个物联网络、两个可调控设备、三个能量流系统组成，形成智慧工厂的 123 体系，非常简单好用。

相对于传统五层智慧工厂架构体系，基于“有效能”的三元控制系统是革命性的变革。它将会用很多数字仪表来代替现在的物理仪表，增强对设备的信息化和可视化管理，并且在物料、冷源和热源每个子系统里，将有效能管控、设备管理和设备安全等因素全部整合到生产调度里。

冷源系统做完以后，工厂运营就可以对天气变化自我适应，不再受天气因素的任何干扰，并且可以数字化配送冷量，同时自我管理，形成一个自我调节的机器人。同样的建设逻辑适用于热源和物料系统。这样最后的结果是，在工厂下面形成 3 个自我适应、自我调节的机器人，高效地完成智慧工厂的建设。

3. 三元智能工厂理论已经在实践中得到验证。

经过 14 年的努力，上海慧著这套自主开发的能源化工行业智慧工厂建设体系已经逐步成熟，并已经应用到中石油、中石化、茂名实华、湖北宜化、上海大屯等十几家企业的冷源数字化改造上，平均节水 20%，节电 25%，并且提高了劳动生产率和产品的纯度和质量，投资回报率一般不会超过三年，炼油、化工板块收益更高，有的不超过一年就回本。

这套系统也可以在电厂里得到应用，可以将电厂里边的输煤系统、一次风机、二次风机送风系统、冷却系统与补水系统全部模块化，并与发电量直接建立数学模型，把火电厂变成一个自我适应自我调节的机器人。

4. 中国智能工厂建设需要克服的问题和“十四五”规划建议。

首先，工程设计软件对外依赖的问题。目前我国的石油化工领域基本上全部用美国鹰图(Intergraph)公司可自动生成的设计软件，该公司已经被瑞典海克斯康(Hexagon)公司兼并。这一软件自动生成和预设的内容无法支持创新的智能改造设计，导致国内的设计院也无法积极参与并支持工厂的智能化改造项目。设计软件严重依赖国外特别是美国，成为了智能工厂建设的卡脖子技术。

其次，数字化改造项目立项问题。数字化改造涉及工厂的工艺、仪表、水务、热动力、自备电厂等多个部门，由于体制上的鸿沟，项目立项非常困难，很多初创企业可能会因此望而却步。

第三，国有企业的市场准入问题。能源化工行业大多掌握在国有企业手中，但国有企业的市场准入门槛很高，大多倾向于自己控股的公司来进行数字化改造，很难让社会上的企业单独完成。

对于“十四五”规划的三个建议：

第一，建议政府就智慧工厂、智慧能源的建设做好框架设计。这一框架不应满足于目前的信息化工作，而是要基于对工艺流程的透彻理解，才可能完成基于物联网的智能工厂改造。

第二，建议国家将智能工厂的设计软件开发列为“卡脖子”重点技术来进行扶持，尽快形成有自主创新的智能工厂建设理论为支撑的高效工具，为我国的智能工厂建设奠定坚实基础。

第三，希望政府相关部门降低民营企业进入国有企业智慧工厂、智慧能源建设的市场门槛，让一些有独特能力和创新技术的民营企业在推进我国能源化工行业的数字化建设中发挥有益作用。

五、其他与会专家主要观点总结

其他与会专家围绕如何利用数字技术构建现代能源体系这一话题展开了热烈讨论。主要观点总结如下。

1. 要高度重视数字技术在推动中国能源转型方面可以发挥的巨大作用。

经过过去几十年的努力，中国建立起了世界上最庞大的能源体系。这是一个以化石能源为主的能源体系，在化石能源基础上，形成了资源集中供应、集中转换、大规模输送、大设备运营的模式。这样的体系要在未来三四十年时间内转化成以非化石能源为主的新体系，转型的任务繁重，压力巨大。在转型过程中，利用数字技术、信息技术、互联技术、人工智能、大型计算等现代技术，加速能源转型，是一个非常紧迫而且是一个非常有潜力加快发展的领域。

数字技术可以推动能源结构转向高比例可再生能源，推动能源模式向分布式能源发展，推动不同品质能源系统之间融合发展与综合能源服务，推动中国中东部能源负荷较重的地区开发更多基于本地分布式、可再生能源的供应格局。同时要兼顾公平，应该确保数字技术能够惠及农村能源发展与转型。

建议在“十四五”规划中高度重视数字技术对能源转型的巨大推动力，鼓励能源企业进行数字化转型，在电力系统已经有了“能源互联网”的整体架构的基础上，筹划能源化工领域数字化发展的整体架构，明确重点应用领域与试点项目。

2. 能源企业数字化转型目前处于只见树木不见森林的初级阶段，全面推进需要实施一把手工程。

数字化构建现代能源新体系，目标非常宏大，但在现阶段，数字化转型五花八门，基本上还是在单个行业之内进行，还看不到整个能源体系如何去进行数字化转型，有点只见树木不见林的状态。所以要真正做到通过数字化来构建现代能源体系还有相当一段路要走。

数字化转型对传统的国有企业来说，道路还很漫长，在短期之内一下子解决问题不太现实。数字化转型需要和国企的管理机构的变革相适应，生产关系必须变革。

绝大多数企业已经意识到数字化的重要性，但目前我国企业的主要领导人还比较缺乏将数字化转型提高到一把手工程的高度，建议把数字化转型变为企业一把手工程。

3. 数字技术生产力的大幅提升，呼唤通过体制机制改革来调整生产关系，释放数字技术可能发挥的潜力。

宏观层面看，第四次工业革命是以数字技术为核心的智能化革命。以前几次工业革命的经验表明，主动实现开放变革的国家大都能把工业革命的成果率先用起来，使国家变得强大。我国的改革开放使我们抓住了第三次工业革命的尾巴，现在正在与其他国家一起引领第四次工业革命。要继续引领本轮科技与工业革命，我国需要在生产力大幅度提升的同时，对生产关系做出及时调整。

中国在数字技术开发应用方面发展较快，但可以做得更好。技术本身应该不是问题，体制机制的制约可能是导致应用发展缓慢的主要原因。数字技术已经在中国的服务行业和消费行业产生了非常大的变革，这方面的红利可能已接近用尽，现在进入了一个实体产业变革时期，涉及的问题更加复杂，更需要在体制机制上做出调整，只有这样我们才能拥抱新一轮技术革命，进行产业升级，实现高质量发展。

电力是数字技术与能源产业融合的先导行业。正如建言献策第八场讨论所指出的，配电领域亟需改革，使其发挥区域能源互联网、智慧城市和智慧交通支撑平台的作用，而配网改革需要调动电网企业的积极性。此外，地方政府在推进数字技术与能源产业

融合方面也可以发挥积极作用，应充分调动地方的积极性，结合各地的情况，在基层把能源领域数字化项目一个个做起来。

所以，“十四五”规划要认识到数字技术对能源行业变革的重要性，在国家大的层面创造条件，进行必要的体制机制改革，调动各方的积极性，使数字技术能够发挥应有的作用。

4. 能源行业的数字化转型可以由能源企业和数字技术企业共同推进。

实现能源数字化转型需要安排好各方面的角色定位，其中最为关键的问题是，能源数字化转型是由能源企业还是由数字技术企业来主导？即是由能源企业通过培育自己的数字化能力（包括招聘技术人才）开发自己的数字化系统？还是购买数字技术企业的服务来落实？不管以何种方式，能源企业作为业主的地位无法撼动，能源央企、国企和民营企业可以充分利用数字技术企业的优势落实自己的数字化转型战略，并在合作过程中探索不同的商务模式。

建议“十四五”规划明晰国家推进能源领域数字化的工作方向、总体目标与相关政策，鼓励不同市场主体在大的政策框架下各显身手，利用各自的优势与专长，携手推进能源数字经济建设。

5. 数字化转型要注意做好三个方面的结合。

第一，投入和产出结合。数字化转型需要很大的投入，需要注意投入与产出的比例，从能够产生实际效果的领域着手。

第二，上下结合。注意顶层设计、领导决策和基层具体贯彻落地的结合，对此，员工的观念和业务素质需要跟进。

第三，软硬结合。要注意数字化交钥匙工程以后的运营维护能力、维护成本和后期执行过程中管理成本的问题。

6. 数字化转型需要在数据领域加强政府监管，制定相关政策。

数据很重要，但数据管理更重要。在数据产权、数据开放分享等方面，政府的很多监管职能还不到位，缺乏有效的法律监管体系、缺少专门的机构等。比如国企掌握

的油田数据能不能开放？怎么开放？如果民营企业参与油田的数字化转型工作，这些数据能不能共享？国家应在数据管理的法律与监管体系方面做出制度安排。

此外，数字技术的优势在于打破能源行业的竖井，实现整体优化。不同行业之间要避免形成数据孤岛，形成互联共享、便利安全的全行业数据共享解决方案。

建议“十四五”期间，要以问题为导向就数据分享与共建问题开展示范，在实践中逐渐发现和解决问题，明晰各方的权利与责任，逐步形成相关监管框架。

7. 数字化建设要注意培育能源企业员工的接受能力。

数字化转型是流程再造。获取数据并提供解决方案相对容易，但要改变每个人已经形成的传统观念是极其困难的，因为对新事物的接受往往需要一个过程。

建议能源企业培育员工的数字化意识，培育在新的环境下，利用数字技术解决传统问题，开辟新兴业务的能力。

8. 开放国有企业的内部市场，发挥民营企业在推动能源数字化进程中的作用。

能源领域的智能化建设需求巨大，如国家发改委、能源局等部门发文，推进智能化示范煤矿建设，利用无人工作面实现智能化开采，提质增效且安全性更高。但目前存在技术欠缺和体制限制等问题，阻碍了项目加速建设。

在能源行业的转型数字化中，像华为这样的民营企业可以发挥重要的作用，应从国家角度考虑如何支持民营企业和国企结合，共同推进行业转型。

建议政府出台文件积极并鼓励支持民企进入国企市场，为民营企业的技术提供应用场景，使其与央企国企实现共赢。一方面帮助央企国企实现数字技术升级改造，使其更加高效、更有活力；另一方面，给有创新型活力的民营企业提供应用场景，使其成为改变行业的独角兽。

建议“十四五”考虑从节能规划方面入手，把先进的数字化节能技术应用到能源管理中进行推广。

第十场：节能新思路、新模式、新举措

2020年9月25日

总结报告

节能是我国落实节约资源与保护环境两项基本国策的重要抓手，也一直是我国能源发展战略的核心内容。我国节能潜力巨大，有多个堪比“沙特大油田”的节能“矿藏”有待开发。然而，在具体实施过程中，节能工作存在量大面广、交易成本高、融资难、能力短缺等问题。节能公司大多涉及单项技术应用，缺少业主所需的综合解决方案。以节能为核心的能源服务模式（ESCO）推广阻力大，尚未形成可持续的商业模式。

“十四五”期间，节能优先的方针要靠什么样的机制与商业模式来落实？如何利用数字技术整合各类节能技术，形成综合性解决方案，挖掘巨大的存量市场节能潜力？如何在节能领域形成新业态、新模式来引领新投资、新消费？政府主管部门应该有哪些新作为？

2020年9月25日，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北大能源研究院联合举办了建言“十四五”能源发展系列活动第10场，探讨节能工作的新思路、新模式、新举措。

会议以头脑风暴的形式展开，18位从事节能相关行业的专家、学者和从业人员结合自己的工作经验与感悟做了分享并提出了建议。

“十四五”国家能源规划专家委员会组长吴吟、副组长周大地、专家委成员杜祥琬、贺佑国、北大能源研究院副院长杨雷、亚洲开发银行能源部门首席执行官翟永平等做了会议点评。俱乐部总裁陈新华博士主持了本次会议并对会议做了总结发言。现将会议主要观点总结如下。

一、节能将是我国实现“碳中和”目标最重要、最经济的手段。

9月22日，国家主席习近平在75届联合国大会一般性辩论上，郑重向国际社会宣布，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争在2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。该重要宣示立即获得了联合国秘书长及主要国家政要、国际舆论的一致赞誉，被认为是全球气候治理史上的里程碑。

努力争取在2060年前实现碳中和，意味着从2020年到2060年这40年间，我国各行业温室气体排放的总量从2018年的每年约134.4亿吨¹二氧化碳当量减少到接近零，无法减排的部分通过包括增加再造林、碳捕获利用与封存（CCUS）等在内的各种碳汇措施来中和。能源行业的碳中和任务（包括碳汇抵消量）约为每年100亿吨²二氧化碳。按照欧盟实现2050年碳中和目标50%需要依靠节能完成的基准情景，节能也将成为我国实现能源领域碳中和目标最重要手段。与可再生能源、核能、以及CCUS等减排技术相比，节能也是最经济的，并且可以在国家能源安全、环境治理、促进就业等方面产生正面效应，形成以减量化服务为目标的节能减排产业新业态、新模式，充分落实国务院最近出台的“关于以新业态新模式引领新型消费加快发展的意见”。

二、节能工作的两大悖论：优秀的技术无法推广，节能优先战略缺少可持续、可复制的商业模式支撑。

悖论一：很多节能潜力大、回收期短的技术无法大规模推广。相关企业需要化大量的时间和精力去找项目，推销自己的技术，完成一项节能改造工作需要与企业多个部门沟通，交易成本巨大。节能市场存在量大面广、专业技能缺乏、综合服务能力有限、融资难、恶性竞争严重等问题。

¹ 数据源于气候行动跟踪组织（Climate Action Tracker） <https://climateactiontracker.org/>，不包括土地利用、土地用途变化以及造林活动所产生的碳汇。

² 按照BP世界能源统计年鉴，2019年中国化石能源消耗排放的CO₂为98.26亿吨。

悖论二：节能优先的国家战略因为没有好的商业模式而贯彻不到位。2018 年底我国已有 6439 家节能服务公司，但普遍规模较小，没有形成龙头企业。大多数节能服务公司只提供单一的产品或服务，没有能力形成用能企业希望看到的整体解决方案。传统的能源服务公司（ESCO）模式不成熟、节能量不能准确计量也给节能服务合同的兑现带来困难。此外，节能工作面临许多实际问题，如行业过度分工使得利益固化、能源价格波动导致节能决策摇摆、跨行业复合型人才短缺、企业内部各业务板块缺乏协同、集中式供暖按面积收费而不是按照实际耗能收费、节能技术及装备被当作工厂建成后技改的附属品而没能进入工厂设计的主流通道，企业之间相关数据无法分享等。这些问题大大制约了节能工作的全面展开。

在制度层面，虽然各相关部委（发改、工信、城乡建设、交通、能源）都设有司局负责节能相关工作，但节能工作相比于其主要负责的领域来说比较边缘，因此也缺少应有的重视。国家能源局负责制定的能源规划传统上只关注能源供应侧发展，在国家层面，没有主管部门统筹全国的节能工作。

三、“十四五”节能工作需要改变思路，核心是变节能公司推销产品为耗能企业主动寻找解决方案。

针对上述问题，与会专家提出了以下具体建议：

- 1) **节能与“碳中和”**：充分认识到节能工作对于实现 2060 年实现碳中和目标的重要性，把节能作为“第一能源”纳入“十四五”能源规划，全面部署节能减排（减碳）工作，并在国家层面，设立相应的主管部门（能源总局、能源部，或至少在国家能源局设立节能与气候变化司），统筹能源需求侧治理与供应侧管理，以及各行各业的节能工作，对节能减排工作负起全面的责任。
- 2) **改变节能推广思路**：节能工作的推广要实现两个转变，一是实现从节能公司推销节能产品到耗能企业主动寻找解决方案的转变。这一方面需要通过政策法规和财政激励给耗能企业一定的压力和动力，使企业有积极性和主动性。另一方面需要给耗能企业能够自我发现潜在问题的工具。在这方面，上海市能效中心借鉴国内外节能诊

断方法提炼总结出来的 TERR (Time, Efficiency, Requirement and Recycle, 分别代表能耗的时序控制、能效等级、需求分析和废能再用) 方法具有一定的推广价值。该方法为用能企业对标行业最好水平, 开展节能诊断, 挖掘节能潜力提供了工具。

二是实现节能服务公司从卖产品到提供客户整体解决方案的转变。要改变为了节能而节能的做法, 回归到客户的需求并以此为导向, 让节能成为客户综合能源服务解决方案的一部分, 为客户提供方便, 节约成本, 创造价值。

- 3) **经济驱动力:** 能源产品的市场化定价是节能工作的重要基础, 然而, 能源价格大起大落必将对节能工作产生影响。要降低价格波动的影响并使节能减碳成为一个可盈利的业务, 碳价将是一个不可或缺的重要工具。中国的 2060 碳中和目标需要一定水平的碳价来支撑。因此, “十四五”期间要研究能源价格改革、节能和碳价之间的互动关系, 为节能减碳提供市场驱动力。
- 4) **政府压力:** 要改变目前节能工作面临的尴尬局面, 政府部门的一个重要工作就是要设法让耗能企业找节能公司, 而不是节能公司到处找企业。这需要设立高的能效标准和节能标杆, 达不到标准就要上“大棒”, 达到标准就可以获得“胡萝卜”奖励。在一些节能潜力巨大的领域与行业, 如钢铁、石化与数据中心, 政府可以利用“可见的手”推动量大面广、有重大效果的节能工程。此外, 政府还可以建设全国性的节能信息化平台, 成为国家层面的节能“淘宝网”。该平台在科学评估的基础上, 优选出实用的节能技术、产品及解决方案数据库, 建立节能改造案例库, 为有节能需求的企业提供最新的节能政策和节能技术信息, 并为拟实施的节能项目提供形象化、显形化的模拟效果。
- 5) **文化节能:** 资源节约与环境友好型社会国家的建设离不开 14 亿人的努力。应在传统的结构节能、技术节能、管理节能的基础上, 高度重视“文化节能”, 即社会氛围和每个人素养对节能工作的重要性。建议在“十四五”期间, 把节能文化渗透到全社会的每个角落, 渗透到生产部门、制造单位、设计院、物业公司, 渗透到每个用能单位、每个人, 使节能工作成为大众的潜意识行为, 利用社会监督机制杜绝资源浪费, 并通过激励机制, 加强节能减排的荣誉感。

- 6) **数字技术节能：**“十四五”期间，应充分利用数字技术推进节能工作。数字技术可以更加精准地把握用能方的能源需求，鉴别可能挖掘的节能潜力，实时对接能源供应侧而形成需供互动。区块链技术可以为节能工作留下不可篡改的量化痕迹，大幅降低节能项目的交易成本，解决长期以来在节能提效方面的行业痛点。具体可参照建言献策第九场“如何利用数字技术构建现代能源体系”会议总结报告。
- 7) **系统优化节能：**一是打破行业竖井，实现能量的梯级利用，能尽其用，在系统层面达到优化。二是持续推动能源系统的数字化、去集中化和去碳化（3D），由此产生巨大的节能效果。三是充分利用好需求侧资源，并在大能源的层面，把可再生能源和提高能效有机结合起来，避免弃风弃光，使高比例的可再生能源成为可能，并让可控的需求侧资源参与能源系统的调峰工作。四是在城镇化方面，加强建筑和交通领域的协同，考虑到这些基础设施的长期性，采纳最高能效的技术设备。五是在能源系统层面出发创新节能理论，总结各节能细分领域的共性，培养从业人员系统思考的能力。六是以技术进步的角度推进节能工作，超前大胆启用创新技术，提前淘汰落后技术。
- 8) **区域节能：**在区域层面，将节能工作与当地的支柱产业结合，以获取足够的地方政府支持。同时，结合正在进行的区域绿色低碳发展规划（绿色制造体系，有绿色产品、绿色工厂、绿色园区、绿色供应链），把节能工作融入到绿色低碳发展中，选择试点做出有亮点的、比较好的节能样板，推动整个区域能效的综合提升。
- 9) **设计节能：**工业与建筑节能的最大时机是在设计环节采用最高效的节能技术及装备，而不是在建成后再去改造。因此，要将节能的理念全面贯彻到工业与建筑设计院，把节能纳入整个工厂或楼宇的管理体系主通道。
- 10) **楼宇节能：**一是在居民及商业楼宇推广热计量（尤其是北方采暖），引导用户节能行为，倡导人人参与节能的氛围。如果在采暖季能够像用水、用电一样按量收费，全面推行普及热计量，我国北方的建筑能耗可以降低 30%。二是在用户热计量尚未普及的楼宇，对所有的楼宇进行热效率评估，公开房屋热运行数据，建立能源地图，参照家电的能效标识做法，给每栋楼贴上一个能效标识和能效系数，并对效率低的

集中供热楼宇按照其能效系数多收取取暖费，使能效成为衡量楼房价格的一个重要参照因素。三是赋能物业公司，让小区的物业公司具备为用户提供节能改造的基本能力。四是要重视建筑物实际运行中全生命周期的用能情况，使其达到最初设计的节能效果。

11) **余热利用：**一是充分利用数据中心的余热，为附近社区提供供热、制冷和生活热水；二是充分利用工业余热。德国的目标是将工业余热的 50% 利用起来，中国北方的工业余热，如果能够全部利用起来，基本上能满足北方城镇的供暖需求。在目前热力管道可以铺到 90 公里的技术条件下，工业余热利用具有巨大的市场潜力，需要工信、城乡等部门来协调落实。

12) **国际合作：**随着中国、欧盟以及更多的国家宣布碳中和目标，“节能减碳”有可能代替能源资源成为国际能源合作的主要领域和重点方向。基于我国在节能减排技术研发、产品生产、解决方案设计、工程建设等方面积累的优势，可以将“节能减碳”和可再生能源装备一起，列为能源走出去的重要领域，利用我国的比较优势，为世界其他各国的减排工作做出贡献，同时提升我国的软实力。

第十一场：中国如何实现 2060 年前碳中和目标？

2020 年 10 月 16 日

总结报告

9 月 22 日，国家主席习近平在第 75 届联合国大会一般性辩论上宣布，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。这是一个伟大而及有远见的宣言，在全世界引起了巨大的正能量反响。

中国如何实现这个雄心勃勃的目标？应该遵从什么样的路线图？中国的碳中和目标对于全球实现到本世纪中叶打造繁荣的净零碳排放经济意味着什么？围绕着 2060 碳中和目标，国际社会对中国“十四五”期间的能源发展有什么期待和建议？

今年 9 月 16 日，总部在伦敦的能源转型委员会(Energy Transitions Commission)发布了最新报告《践行使命——打造全球零碳经济》。报告指出，到本世纪中叶打造繁荣的净零碳排放经济是一项可完成的使命，实现净零碳排放不仅技术可行，在经济上也是划算的。该报告列举了要实现这一目标所需要的当前行动和未来十年的行动步骤。去年 11 月，能源转型委员会联合落基山研究所，联合发布了《中国 2050：一个全面实现现代化国家的零碳图景》报告。该报告描绘了中国在本世纪中叶经济发展达到中等发达国家水平，同时实现净零碳排放的图景，并通过详实的分部门分析，阐明了实现这一蓝图的经济和技术可行性。

2020 年 10 月 16 日，北京国际能源专家俱乐部、亚洲开发银行、北京大学能源研究院联合举办了“建言‘十四五’能源发展”系列活动的第 11 场，邀请了能源转型委员会和落基山研究所主要负责人，分享其研究成果，并就“十四五”期间为落实 2060 碳中和目标应该采取的行动进行了研讨。

会上，落基山研究所常务董事兼北京代表处首席代表李婷进行开场致辞，对习主席提出的 2060 年前实现碳中和目标表示备受鼓舞。此后，能源转型委员会主席 Adair Turner 勋爵以“全球打造零碳经济的可行性和中国实现 2060 年前碳中和的重要意义”

为题做了主旨发言。落基山研究所资深董事 Carla Frisch 女士就“美国在零碳目标方面的立场和动向”进行了分享。落基山研究所董事陈济博士就“中国 2060 碳中和目标下的零碳图景”为题做了主旨发言。美国能源部原副部长、哥伦比亚大学全球能源政策中心创始研究员 David Sandalow 先生做了评论。

“十四五”国家能源规划专家委员会专家委副组长周大地，中石化集团原董事长傅成玉，亚行首席能源官翟永平博士，北大能源研究院副院长杨雷、帝国理工学院荣誉研究员杨玉峰等做了点评发言。来自国家部委、学术机构和相关企业约 40 位能源行业专家学者出席了本次会议。

北京国际能源专家俱乐部总裁陈新华主持了本次会议。

一、 Adair Turner 勋爵的主要观点总结

能源转型委员会主席 Adair Turner 勋爵的演讲题目是“全球打造零碳经济的可行性和中国实现 2060 年前碳中和的重要意义”，主要观点总结如下。

1. 全球经济到 2050/60 年实现能源和工业系统的零碳排放是技术可行和经济可行的。

从全球看，发达国家在 2050 年前、发展中国家在 2060 年前实现能源和工业系统的零碳排放，而不依赖永久性、大规模、基于自然的碳汇解决方案在技术和经济上是可行的。该结论有以下几个方面的事实来支撑：

首先，来自可再生能源的电力成本及其系统成本大幅下降。例如，光伏的成本在过去十年内下降了 90%，风电的成本下降了 50%~60%。规模经济和学习曲线效应是成本快速下降的一大驱动力，尤其当全社会举力发展可再生能源电力时，相应的成本还有进一步下降的空间。除了平准化成本外，可再生能源电力的实际拍卖的价格也体现了成本大幅下降的特征。比如，对于太阳能光伏，很多地方的拍卖价低至约 20 美元每兆瓦时。此外，储能的成本大幅下降，为大规模可再生能源供应的间歇性提供了具有成本竞争力的解决方案。在过去十年中，电池的成本下降了 85%，还有进一步下

降的空间。从 2010 到 2019 年，电池价格平均每年下降 18%。2017 年，彭博新能源财经预测，电池价格在 2025 年将低至 100 美元/千瓦时，但这一水平已极有可能在 2023 年达到。针对全球不同区域的气候条件和日间/季节性负荷的变化，可行且具有经济竞争力的解决方案也已经存在。能源转型委员会《践行使命，打造全球零碳经济》报告指出，到 2035 年，在可再生能源占比大于 80% 的电力系统，即使在空间受限的地区，全系统的总成本（发电，日内调峰、季节性平衡和备用成本）也只有 80 美元/MWh，接近传统燃气发电相的水平（约 65 美元/MWh），在条件优异的地区，系统总成本甚至可低至 31 美元/MWh。

从需求侧看，一方面，电气化的发展将大幅提升能源利用效率。在交通领域，到 2025 年左右，购买和使用电动车的成本将低于燃油车。从百公里等效油耗看，电动汽车的能源消耗量仅为燃油车的 1/4。实际上，电动车的渗透率正逐年上升，且发展速度持续加快，内燃机技术恐怕很快会被淘汰。在建筑供暖领域，以获取每千瓦时热量所需的终端能源计算，电热泵所需的能耗只有标准燃气锅炉的 12%。另一方面，即使在重工业、长距离和重型交通等难以减排的领域，也有可行的脱碳方案。在重工业方面，水泥的生产可结合碳捕集、封存和利用（CCUS），以及零碳电力、生物质等能源用于供热，新型水泥化学也将是可行的方案。在钢铁生产中，传统的焦炭还原路径可结合 CCUS，还可采用氢气直接还原铁、直接电解等新型路径。在塑料生产方面，除了 CCUS 的运用外，电气化供热、以生物质作为原料和新型的电化学过程都是可行的脱碳方案。对于长距离重型交通，直接电气化以及以氢、氨、合成燃料为载体的间接电气化和生物燃料的应用都是可行的方案。

从供给侧看，除了以上已提到的零碳电力外，零碳氢能的成本竞争力也将大幅提升。一方面，零碳电力价格的大幅下降会使绿氢的成本具有经济性；另一方面，制氢设备成本的还将持续降低。中国在制氢设备的成本优势尤为突出，在彭博新能源财经给出的乐观情景下，中国的大型电解水项目的系统设备成本的目前水平已低至 200 美元/千瓦，是欧美国家的 1/6，到 2050 年，中国的成本还能进一步降低到 80 美元/千瓦，即便在保守情景下，中国 2050 年电解水设备成本也将低至 98 美元/千瓦。可见，中

国的电解制氢设备成本下降还有很大的空间，尤其是在未来几十年内对氢的需求大幅上涨的情况下，规模效应将得到充分的发挥。

总的来说，在零碳图景中，能源供给和消费方式将发生较大改变。在全世界终端能源消费总量中，电的占比将由 2018 年的 19% 增长到 2050 年的 70% 左右，电力需求将从目前的 27 万亿度/年增长到 2050 年的 90~120 万亿度/年。电力除了用于直接电气化，还将用于氢的生产。与此同时，零碳转型也将使化石能源的需求大幅下降。和目前水平相比，2050 年煤炭和石油的消费量均将下降 90% 以上，天然气消费量下降 30% 以上。

2. 未来十年对于中国实现 2060 碳中和目标尤为重要，需要将碳排放量降低一半。

从全球层面看，如果要将温升控制在 1.5°C 内，就要在未来十年将碳排放量降低一半，这一阶段性目标的实现对于 2060 甚至 2050 年实现零碳排放非常重要。在前 10 年减排一半的基础上再接下来的 30 年，则要完成新技术的应用，还要实现存量资产的重新构建。这一挑战，对于具有极强执行力的中国来说，既是使命必达，又是重大的机遇。在短期内，必须有快速和实际的行动。

3. 电力系统的脱碳是全社会零碳发展的关键

在未来电气化的趋势下，电力系统的脱碳是全社会零碳发展的关键。需求侧大规模电气化没有碳排放的前提是，其所使用的电力都来自零碳能源。到 2050 年，中国将会需要 15 万亿度零碳电力，其来源包括 2400GW 风电、2500GW 光伏、230GW 的核电等，这些装机规模都需要逐步建立，而不是短期内就能实现的。实际上，从各国经验看，承诺电力系统实现零碳排放的时间节点均会早于整个经济的零碳化。例如，英国承诺到 2050 年实现零碳排放，但电力系统需要在 2035 年实现零碳。清华大学气候变化与可持续发展研究院的研究也指出，中国要在 2060 年实现碳中和，其电力系统实现零碳排放的节点将在 2040 年左右。除了电力本身，要保证氢能的零碳排放也将依赖于电的零碳化，否则，大规模的氢能利用也会失去服务于零碳目标的意义。

4. “十四五”期间中国的投资应转向零碳领域。

建议中国将宏观经济的复苏刺激计划与“碳中和”的长远目标挂钩，与 2030 年的达峰挂钩，不能再继续大规模新建煤电，而应加大零碳电力的投资力度。

从投资的角度看，应从基础设施和房地产等领域向更加绿色的服务业和高科技领域转变。目前，在中国大部分的增长来自于基础设施和房地产的投入。尤其是在 2008 年金融危机后，这两个领域的投资成为拉动中国经济复苏的重要力量。然而，这样的投资模式存在一定弊端。首先，过度投资会造成资金的浪费。目前，48% 的中国城镇居民拥有一套以上的住房，不乏投机性质的投资，这也带来了较高的住房空置率。此外，中国的二、三、四线城市的基础设施以及重工业都存在较严重的产能过剩问题。此外，目前的投资和相关的建设碳强度较高，给碳排放总量的减量化工作增加了压力。在未来，尤其是在后疫情阶段，中国在投资应更多地考虑应对气候变化的议程，践行绿色复苏。

可再生能源等零碳领域是“十四五”期间投资的理想标的。当前，中国提出的包括 5G、特高压输电线路、高铁、电动车充电站、大数据中心、人工智能相关基础设施和工业物联网等在内的“新基建”领域，其在 2020 到 2025 年间的直接投资规模总计 9.31 万亿元，带动的总投资达到 16 万亿元。但与此相比，进入到基础设施、房地产等传统领域的投资规模远远不止于此，占到了中国固定资产投资的 25% 以上。尽管中国已将重点逐渐转向科技含量更高的“新基建”投资，但更理想的方式是加大对可再生能源的投资。一方面，可再生能源投资的潜力更大，具备传统基建经济刺激效果好，创造就业机会较多的优点，另一方面，它更能推动中国长期的高质量、绿色和可持续发展，兼具新基建优势。因此，投资可再生能源等零碳领域，绿色和高能效城镇化的基础设施领域以及终端用能电气化应成为中国绿色复苏的优先选项。

二、Carla Frisch 女士主要观点总结

落基山研究所资深董事 Carla Frisch 女士的演讲题目是“美国在零碳目标方面的立场和动向”。该演讲主要基于落基山研究所的“美国承诺”（America's Pledge）

系列研究，主要观点为，美国各州、城市、企业和其他实体自下而上的行动为美国推动碳减排进程发挥了重要作用。

“美国承诺”是一个美国各州、城市、企业和地方领导人的联盟，在特朗普政府宣布退出《巴黎协定》后的 2017 年 7 月发起，致力于填补由于特朗普政府短视的决定而使美国拒绝承担其气候义务所造成的空白。在过去的三年里，“美国承诺”跟踪、鼓励和记录了美国极具活力的自下而上的应对气候变化行动以及相关成效。Carla Frisch 女士的演讲主要内容总结如下。

1. 在联盟政府退出《巴黎协议》的情况下，美国自下而上的应对气候变化行动依旧活跃。

特朗普政府于 2017 年宣布并于 2019 年正式退出《巴黎协定》后，美国民间的应对气候变化力量依旧强劲。美国至今有超过 25 个州、500 个以上城市和郡、2275 个大型企业、350 个以上的大学以及宗教文化团体、医疗机构等等，依然积极致力于应对气候变化行动。截至 2019 年底，这一应对气候变化力量占到了美国 GDP 的 68%，占全国总人口的 65%，涉及的温室气体排放量占全国总量的 51%，是美国温室气体减排的重要力量。

2. 美国自下而上的行动主要集中在零碳电力供给、终端能耗零碳化和生态系统的碳汇潜力三大领域，已取得较为理想的进展。

美国自下而上的应对气候变化行动主要集中在三大领域，即：加速实现 100% 零碳电力供给、终端能源消费零碳化（包括工业、建筑、交通领域，主要通过电气化和提高能源利用效率实现）以及提升生态系统的碳汇潜力（包括对森林、农田、湿地等的保护）。目前，美国已在这些方面取得了可圈可点的进展。例如，在过去三年内，美国的电动汽车数量已实现翻倍，16 个州已承诺逐渐减少并最终摒弃氢氟碳化合物（HFCs）的使用，79% 的美国民众认为国家应大力发展可再生能源并使其成为能源供给的主要来源。此外，已有 13 个州提出了清洁电力承诺，其中的城市数量从 33 个增长到了 165 个，已经有 30 多个城市达到了 100% 的清洁电力。7 个州和 27 个油气企

业承诺降低甲烷泄漏。从全国看，新建建筑全面实现电气化的城市规模覆盖 600 万人口。

3. 尽管在疫情冲击下美国经济出现下行，各州、城市、企业和其他主体的气候行动仍将进一步加快和深入。

落基山研究所 2019 年发布的《加速美国承诺》报告指出，美国各州、城市、企业和其他主体的气候行动可在 2030 年实现碳排放量比 2005 年水平低 37%。如果拜登在本轮竞选中成功胜出，在联邦政府的推动下，2030 年的碳排放量还可进一步降到比 2005 年低 49%的水平。在这一情景下，美国有望在本世纪中叶实现零碳排放的目标。

“美国承诺”的行动主要集中在电力、交通、建筑、减少甲烷泄漏和减少 HFCs 使用五个领域，参与者对于美国经济实现低碳化甚至脱碳化的信心也并未受疫情的影响。尽管面临巨大挑战，各州、城市、企业等加快了应对气候变化和发展清洁能源的进展，这也成为了后疫情时期刺激经济的重要手段。在整个疫情高峰期，一些城市做出了新的实现 100%清洁能源的承诺，例如弗吉尼亚。最近，加州宣布到 2035 年全面禁止内燃机汽车，这也是交通领域电气化转型的重要举措。

实际上，很多清洁技术已到达了成本经济性快速显现、渗透率大幅上涨的临界点。近期的一项民意调查显示，70%的美国人都支持到 2050 年实现 100%清洁能源，清洁能源将取代化石能源成为能源供给的主要力量，尤其在疫情后的经济复苏时期，大部分美国民众也支持将发展清洁能源产业作为重点。同时，他们也希望保护有色人种社区免受气候变化影响。在清洁电力方面，民众呼吁在 2040 年前实现 100%电力来自清洁能源，在交通领域，则呼吁实行更严格的能效标准。

三、陈济博士主要观点总结

落基山研究所董事陈济博士的演讲题目是“中国 2060 碳中和目标下的零碳图景”，主要观点总结如下。

1. 中国碳中和目标为全球应对气候变化和能源转型注入了最强动力，确定了中国零碳发展的大方向。

9月22日，习主席在第75届联大会议上提出了中国实现2060年前实现碳中和，在各界引起了强烈反响，认为这是在全球疫情仍在蔓延，全球化和全球合作受到前所未有的挑战的关键时期，中国发挥全球领导力的重要标志。碳中和目标的提出更是对全球应对气候变化和能源转型注入了最强动力。回顾中国近年来在应对气候变化方面的进程，从十八大报告确定低碳发展作为生态文明的三大特征之一，到《巴黎协定》的国家自主贡献中明确提出2030年左右达峰，再到刚刚提出的碳中和目标，可以看到，中国政府在逐步提高气候行动的力度，加速推动中国经济和能源结构朝零碳排放目标转型。

中国的零碳转型是技术可行且经济可行的。落基山研究所和能源转型委员会的研究表明，中国经济的全面脱碳的成本仅为中国GDP的不到1%，且消费者需要负担的成本很低，同时，还将带来多方面的社会效益，比如技术优势和竞争优势的树立、创造就业和推动经济结构转型、改善空气质量等。

2. 从能源消费侧看，中国的工业、交通和建筑领域均有技术可行且经济可行的零碳转型路径。

落基山研究所于去年11月联合能源转型委员会发布了《中国2050：一个全面实现现代化国家的零碳图景》分析报告，全面分析了当中国到2050年发展完成现代化、成为一个中等收入发达经济体的同时，中国也可以完成全面脱碳，实现零碳转型。分析认为，中国在2050年实现零碳是经济和技术上可行的。

从整体经济看，2050年，零碳中国的终端能源消费量将比2016年低30%，从30亿吨标准煤下降到22亿吨标准煤；一次能源消费降低45%，从2016年的45亿吨标准煤降低到25亿吨。化石能源需求下降90%，太阳能、风能、生物质等成为主要能源。终端能源消费的下降主要靠需求减量和节能来完成。节能和提高能效在近期将

仍然是经济性最高的手段。而一次能源结构的变化，主要归功于能源消费和供给端脱碳技术的部署。而分部门看，工业、交通和建筑领域均有清晰且可行的零碳转型路径。

在工业领域，中国钢铁行业碳排放 2016 年占总排放的 15%，钢铁产量预计从 2016 年的 10 亿吨左右减少到 2050 年的 4.75 亿吨，这主要是由于城镇化的完成。生产结构上，短流程电炉钢将成为主流，到 2050 年占到总产量的 70%。从技术角度看，高炉炼钢的效率还会有一定的提升，但考虑到已经达到的相当高的效率水平，进一步提高能效不太可能使每吨钢的能耗和排放降低超过 15–20%左右。因此，钢铁行业要实现零排放，中国还需要将更彻底的低碳化技术应用到钢铁初级生产中，如以氢为原料的直接还原铁技术，加上 CCS 技术。水泥行业方面，中国的人均水泥存量和消费量已经远远高于其他国家，中国未来的水泥产量很可能出现显著下降，这是对其建设热潮结束的回音。根据预测，中国的水泥产量将从现在的 24 亿吨下降到 2050 年的 8 亿吨。这将主要归功于更长的建筑使用寿命以及更高的水泥质量。此外，能效的进一步提升、过程热生产的燃料替代、部署 CCS 技术以及原料的替代都将为水泥行业零碳转型做贡献。具体而言，需要进一步提升水泥窑余热发电的效率，利用生物质、氢气（高温热力）和电力提供熟料生产过程中的热量，捕集水泥生产反应过程中的二氧化碳并就近封存，使用氧化镁等替代石灰石或熟料。在石化和化工行业，通过提高化肥和塑料等终端产品的利用效率、加大循环利用水平，中国 2050 年的初级化工产品产量与 IEA 的照常情景相比，可以减少 30%。从生产路径看，尽管中国的化工行业还需要少部分煤炭、石油和天然气作为化工原料，工业过程用能则可基本替代掉煤炭、石油，仅用少部分天然气。电力、氢和生物质将发挥更重要的角色，其中绿氢需要成为主力燃料和原料。实现零碳化工的主要路径，包括了大力发展 Power-to-X 技术（即以电解水制取绿氢，再以氢气、一氧化碳和二氧化碳为原料进行的合成反应，可形成化工行业价值链中的众多主要产品），推动生物质在化工生产过程的应用以及部署 CCS。当然，在采取这些颠覆性技术之前，我们必须再进一步挖掘能效提升的潜力。

在交通领域，尽管考虑到中国经济的持续发展且向服务业转型，中国到 2050 年交通活动水平还将大幅度上升 3–3.5 倍，交通领域特别是路面交通的脱碳非常值得期

待。落基山研究所研究预计，中国届时的轻载路面交通将全面实现电气化，这主要归功于电动汽车和氢燃料电池汽车的大范围普及。另外，考虑到中国高铁的快速发展，1000 公里以内的远距离交通也将较为容易实现高比例电气化（可以替代一部分短途航空出行）。航空和船舶运输脱碳较为困难，但也有现成的技术解决方案。航空领域可用生物燃料和合成燃油以及在短途航线应用电动飞机或燃料电池飞机。在航运领域通过改造现有发动机，使用氢气、氨和生物燃料。

与交通部门一样，由于城市化进程的进一步推进以及人们对生活水平要求的提升，在建筑领域，中国 2050 年的人均住宅面积和建筑服务水平都将进一步提高。但是建筑部门的脱碳仍然可以通过大规模推广热泵、改善建筑围护结构、更大范围的依靠大温差远距离（200km）输热技术利用工业余热。到 2050 年，中国的建筑部门将实现 75%的电气化率。

总体来讲，消费侧脱碳成本预估不会超过 GDP 的 1%，对消费者最终产品（如汽车、房子）的价格影响更小。

3. 从能源供给侧看，零碳电力、氢能、生物质能等清洁能源将取代化石能源成为主流，碳捕集也将发挥重要作用。

在零碳中国图景下，从能源供给侧看，到 2050 年，中国电力需求将达到 15 万亿度，绿氢需求将达到 8100 万吨，每年将需要捕集 10 亿吨二氧化碳。从电力的使用看，除了工业、建筑和交通的大规模电气化以外，18%的电力消耗来自于制氢；氢气的消费，主要来自于化工原料、交通、钢铁、水泥以及合成氨等部门；碳捕集将主要用于工业原料、煤制氢、工业过程以及火电所产生的碳排放。

具体地，在零碳电力方面，到 2030 年，风电和光伏占中国发电装机量的近 50%，风电装机 870GW，光伏 854GW；到 2050 年风电和光伏共计近 70%，其中风电装机 2400GW，光伏 2460GW。风电和光伏未来成本大幅下降为这种情景提供了可能性。从资源可行性看，到 2050 年，2460GW 的光伏将仅占中国国土面积的 0.8%，2400GW 的风电装机量占目前陆上可用总储量的 70%。

从经济可行性看，中国在未来 30 年新增光伏和风电装机所需的总投资额仅占到同期 GDP 的 0.4% 左右，即使考虑到配电网和储能的投资，也不会超过 GDP 的 0.7%。一系列电网灵活性措施也将为这一高比例可再生能源电力系统提供电力供需平衡的技术支撑。这些灵活性的资源主要是包括抽水蓄能、电池的储能、氢能、需求响应，以及非常少部分的天然气的调峰机组。根据落基山研究所和能源转型委员会的模型研究，抽水蓄能的容量将从现在的 30GW 增长到 2050 年的 140GW，电池储能将增长到 510GW，用于灵活性调节的氢能达到 100GW 的水平。

在氢能方面，随着零碳电力和制氢设备成本下降带来的绿氢成本快速降低，绿氢将在交通、工业等多个领域得到大规模应用，到 2050 年，中国的氢气需求量将达到 8100 万吨。到 2050 年，当电解槽成本在 100 美元/千瓦，零碳电价 30 美元/兆瓦的情况下，绿氢成本将低至 10~15 元/公斤的水平，比煤制氢的成本还要低。此外，到 2050 年，氢的用途将大大扩展，这也将极大地带来规模效应。在未来，氢的应用场景包括钢铁、水泥、化工等工业过程，重型交通、轻型交通、航空航运等交通领域等等。根据不同领域氢能利用的技术成熟度、成本经济性、产业配套情况等不同，氢能将从路面交通领域开始渗透，并逐渐发展到合成氨、直接还原铁等工业领域，以及较为后期的船舶、航空燃料应用以及电转气（Power-to-X）等领域的应用。

在生物质方面，2050 年，中国的潜在生物质资源达到 6 亿吨标煤，足够满足零碳情景下 4.4 亿吨标煤的需求。然而，由于生物质资源区域分布不均、运输成本较高等原因，生物质资源将优先用于航空和化工原料等其他零碳解决方案有限或成本较高的领域，另有一大部分的生物质资源可能会应用于发电领域。在碳捕集方面，中国的碳捕集和封存容量大大多于 10 亿吨/年，且鉴于中国的规模经济和学习曲线效应带来的成本优势，碳捕集和封存也将在中国的零碳转型过程中扮演重要角色。

4. 中国零碳能源转型需多个领域多项技术驱动，其技术成熟度和市场预期度处于不同阶段，可有效指导政策和投资决策。

中国的零碳转型需要多个领域多项技术驱动，从投资的角度看，主要集中在七大领域，分别为循环经济、能效提升、零碳发电、储能、氢能、终端消费电气化和数字

化。从发展阶段看，这些领域中的细分技术分布在技术萌芽期比如工业电加热、动力电池回收，期望膨胀期比如氢燃料电池、电动汽车，泡沫破例期比如铅炭电池、稳步复苏期比如锂电池和产业成熟期比如风光发电五个不同阶段。每个阶段的市场期望度存在差异，发展的主要任务以及驱动因素不同。未来，到 2050 年，中国要实现零碳图景，这七大领域的各项细分技术领域都能够走过产业成熟度曲线的五个阶段，达到商业可行的最终方向。这七大领域可形成潜力非常巨大的市场空间，至少在十几万亿级别，投资零碳中国的回报也将非常可观。

5. 严格限制新增煤电装机和大力推动绿氢发展应成为“十四五”以及随后的中短期内中国零碳转型的重要举措。

在“十四五”期间，中国无需新增煤电装机，即可满足 2030 年前电力需求增加和电力系统灵活性的要求。这是落基山研究所和能源转型委员会近期即将发布的报告结论。从全国的层面看，通过对预测的 2030 年全国夏季和冬季典型日的负荷曲线和各来源的发电出力的分析表明，尽管不计入水电、抽水蓄能、电化学储能、需求响应等一系列的灵活性资源，中国已有的煤电装机已完全可以满足电力系统灵活性的要求。进一步从区域和省的层面看，该研究模型对电力输入省和电力输出省的情况进行模拟，结果表明，通过技术手段和电力系统市场机制的完善来实现系统优化和灵活性资源的充分释放，也可平衡电力供需，而无需额外的煤电装机投入。其中，系统平衡的主要措施包括：适应可再生能源出力情况的灵活的省间调度、煤电灵活性改造和辅助服务市场机制的完善、水电灵活性潜力的充分发挥（仍有 30%可挖掘）、工商民用电以及电动车等的需求响应、发展和采用电化学储能等其他形式灵活性手段等等。

从所需行动看，中国要在不新增煤电装机的情况下满足电力系统灵活性要求，需要清晰的目标设定、完善的市场机制、系统的规划部署和匹配的政策支持。具体在目标设定方面，一方面需要设立与中国 2060 年前实现碳中和乃至 2050 年实现零碳排放的整体目标相适应的分行业目标，另一方面，还应分阶段设立短期、中期、长期目标，且这些目标间应具有连续性。在市场机制方面，应实行可更好反映可再生能源间歇性出力和体现价格信号的短期市场和实时市场机制，协调跨省电力调度，并通过建立开

放的市场激励新商业模式的出现。在规划部署方面，所需措施包括进行全面且尽可能精确的负荷预测，放开技术资源采购限制，以及保证输电网的升级、规划和建设应与可再生能源长期发展目标相一致等。在政策支持方面，应透明化负荷曲线、预测等数据和信息的披露，以创造开放的市场竞争环境，此外，应进一步规范行业标准，以及在电力调度中充分量化和评价系统惯量等。

在“十四五”期间的另一个关键行动是大力支持绿氢的发展。建议将绿氢的发展纳入能源的总体规划，涉及的内容包括鼓励绿氢的消费和制取等。随着产业热度的提升和市场的发展，“十四五”是绿氢发展的重要机会窗口。一些地方和行业部门已具备较为成熟的条件来进行示范，特别是在可再生能源电力成本比较低的地方以及弃风、弃光、弃水的区域，建议给予一些包括电价政策的优惠（包括输电成本减免等），鼓励绿氢的示范。此外，还可支持建立绿氢示范的工业园区，实现可再生能源和绿氢的就地消纳。

四、 David Sandalow 的发言要点

美国能源部原副部长、哥伦比亚大学全球能源政策中心创始研究员 David Sandalow 先生认为，习主席宣布的“中国 2060 年前实现碳中和”目标非常重要，非常令人鼓舞，对实现巴黎协定目标，避免气候变化带来的不利影响都是非常积极的。

从全球反应看，大家一方面非常欢迎习主席所做的承诺，但同时也十分关心中国在近期将采取的行动，看这些行动是否与长期目标相匹配。正如中国的老子所说：“千里之行，始于足下”。要实现 2060 碳中和的承诺，中国应抓紧时间配合一些切实的近期行动措施，以增强承诺的可信度。为此，Sandalow 先生提出了 5 点建议。

（1）控制煤电总装机容量不超过 1100GW。“十四五”规划中如果继续增加煤电装机容量，会引起全球关注和担忧，影响他们对中国实现碳中和目标的信心。

（2）可再生能源发展应该从部署更多的装机容量转向发出更多电量的目标转变，也就是说从 MW(兆瓦)向 MWh(兆瓦时)转变，设立可再生能源发电量目标。

(3) 部署绿氢发展。“十四五”期间，中国及时部署绿氢对能源转型和完成气候变化目标都非常重要。氢能的发展一定要以绿色氢能为目标，如果氢的生产是来自于化石燃料，没有进行碳捕集，那就适得其反了。

(4) 加大 CCS 研究与试点。中国实现气候变化目标需要碳捕集与封存技术。在这方面，中国企业有很好的机会，未来可以从 CCS 或者 CCUS 中获利，对全球减排也可带来好处。

(5) 节约“粮食”和减少粮食消耗对中国实现碳减排目标至关重要。粮食生产与消费的产业链贡献了约 25%的温室气体排放，这个问题很少在能源圈里谈及，但从粮食的全产业链来讲，粮食从农场生产和包装，粮食加工、运输与最终消费等过程都与能源相关。从应对气候变化角度看，这里有很大的机会，包括新技术的开发应用以及消费者行为方式的改变，可以降低粮食体系中的碳排放，同时提高公共健康，更好地保护生物多样性，并提升动物的福祉。习近平主席已经推动了杜绝食物浪费的倡议，这可以很大程度上降低温室气体排放。建议把这一倡议纳入到国家自主减排贡献计划中。

五、 其他专家意见总结：

与会人士感谢三位家的精彩演讲和 David Sandalow 的评论和价值建议，并在此基础上提出了以下建议：

1. 中国“2060 年前实现碳中和目标”困难与挑战巨大，需提高和统一认识、树立坚定信心。

相比于欧洲从 1990 年达峰到 2050 年实现碳中和所需的 60 年时间，中国在 2030 年前达峰到 2060 年前实现碳中和，时间只有欧盟的一半，要在这么短的时间内，在能源需求还在上升，全社会在气候变化方面的民意基础、企业认同、技术储备、市场机制、法律法规等方面严重滞后的情况下，将目前化石能源占 80%以上的能源系统变成零碳能源系统，所面临的挑战是史无前例的。

此外，受新冠疫情的冲击，世界各国的企业步履维艰，包括中国在内的许多国家可能为了经济复苏供应而减缓对化石能源尽快淘汰的决心，在低碳、零碳政策的执行方面可能出现松动，这将直接影响到未来碳中和目标的实现。

对此，各行各业人士，尤其是对能源界人士包括能源企业的领导和负责国家能源管理和规划的同志，首先要登高望远，进行思想解放和思想革命，对“碳中和目标”有紧迫感。习主席提出的“2030 年前达峰和 2060 年前碳中和”不仅仅是两个具体目标，还与贯彻五大发展理念中的“绿色发展”、落实全球温升小于 2 度并争取控制在 1.5 度的“巴黎协定”、应对人类面临共同挑战而“构建人类命运共同体”等重大问题互为一体、交相呼应。在这样的伟大愿景下，能源规划者应该思考“碳中和”和“碳达峰”两个目标对于目前的能源发展意味着什么，积极研究规划“十四五”期间在能源领域应该采取的行动，而不是悲观无为。

其次，要从发展的眼光看待碳中和目标的实现途径。正如能源转型委员会和落基山研究所报告所展示的，清洁能源技术的发展即将到达拐点，成为最有竞争力的电力来源。能源规划者要思考如何进行合理布局，及时改革阻碍技术推广和利用的体制机制，让这些技术发挥应有的作用。

第三，我国以化石能源为主的能源结构与全球平均水平来说相差无几，涉及的也是工业、交通和建筑领域，与其他主要国家有着许多共性，一样也面临着用 30 年左右的时间将 80%化石能源系统变成零碳能源系统的挑战，难度不一定比其他国家大。我们应加强国际合作，互相借鉴，学习先进技术，与世界各国一道推动全球的低碳进程，尤其是中美之间的合作仍然很重要。

2. 要把行业层面分析的解决方案变为企业的具体执行方案，同时鼓励地方政府先试先行。

企业是落实减排任务的主体。目前很多研究都集中在全球或国家或行业的宏观层面，前景都很乐观，但这些乐观的解决方案如果无法变成企业的执行方案，其结果就会落空。为此，要把国家的宏伟目标变成企业的行动。建议：一是要进行行业与企业碳普查，让各企业摸清自己碳排放的“家底”，使其碳减排工作更为精准有效；二是

要从国家层面，要重新评估和提高我国各行各业的能效和碳排放标准，以标准来推动企业的减排工作。三是要让企业通过碳减排获得效益，加快推动碳交易市场建设，把碳交易从电力、钢铁等试点行业扩展到所有行业。四是要重视产品含碳的计量，特别是对外贸易产品中的含碳量计量，因为未来国际贸易将有可能按照产品的“碳足迹”来征收关税，如欧盟正在酝酿的“边境调节税”。五是要把一个地区碳排放总量像之前的能源消费总量和企业能耗通过单位 GDP 能耗和单位产出能耗两个指标一起作为抓手落实，让碳减排工作落到实处。

此外，应鼓励地方（省、市）层面，在“碳达峰”（如湘潭市在 2025 年实现碳达峰）“碳中和”（如苏州市 2050 碳中和）规划，形成中央、省、市及企业层面，上下统一、多条腿同时走路局面，把国家层面面临的挑战和紧迫感落实到地方政府和企业的行动中。

3. 国家需制订零碳电力发展战略规划，加速构建以绿色低碳电力为支撑电源的电力系统，这是实现“碳中和”目标的关键抓手。

在中国能源转型过程中，一个极为重要的问题是如何实现电力负荷中心的支撑电源由化石能源向绿色低碳电力转变，并实现全国绿色电力负荷中心（如省级、区域级负荷中心）之间的互联互通，形成最高安全等级的绿色电网系统。这是未来中国能源系统升级改造最为庞大和具有挑战性、最为专业化的能源工作。

首先，建议国家制订一个“零碳电力发展战略规划”，这是我国实现“碳中和”的核心。需要在重新认识我国电力系统的基础上，对我国电源、电网、负荷中心、跨省电力调度、输配等等进行重新评估，要以实现“零碳电力”为目标导向，充分利用能源与数字技术进步，重新思考我国的电力供、需、输、配、调以及管理机制和体制问题。

其次，近期新建的煤电机组将增加我国电力系统能源转型的难度和未来减排的成本，应引导煤电投资从基荷为主向调峰电源转变。从电力系统角度看，一方面，目前部分基荷煤电退役机组需要补充时，许多具体电力负荷中心在没有新增可再生能源的条件下，需要煤电机组顶上；另一方面，在逐步布局高比例可再生能源过程中，局部

市场一定时段内需要更多煤电机组充当备用装机为更多间歇性可再生电力削峰填谷提供灵活性电源，适当增加电机组并不一定意味着增加煤炭发电，相反是为了增加可再生电力出力小时数。

再次，目前的技术进步已经让我们看到希望，有条件对未来以电力为主导的能源系统进行重新规划布局。正如能源转型委员会报告所指出的，风电、光伏太阳能等各类可再生能源成本仍在大幅下降，已经具备了足够的竞争力，通过电气化实现的能源利用效率在急剧提升，锂电池为代表的储能成本和电动车动力电池成本也在急速下降。这些技术对未来电力系统灵活性至关重要，加上绿氢、电力系统优化、动力电池回收等技术的快速发展并走向成熟，再通过数字化、人工智能等技术的助推，“绿色低碳电力为支撑电源的负荷中心”替代当前的“化石能源为支撑电源的负荷中心”一定会很快到来。

最后，实现“碳中和”目标、加速构建以绿色低碳电力负荷中心网络为核心的电力系统，电力体制的改革，特别是配网侧的改革变得尤为重要。当前的电力系统运行机制是几十年前逐步形成的，已经远远不能适应当前和未来我国发展清洁、低碳、零碳电力的需要，也会成为电力及能源技术进步及先进技术、产品、系统解决方案应用的障碍，应下定决心，加大改革力度，加快改革进程。

4. 通过碳税，设立国家“碳中和”基金，在支持技术研发和推广的同时，帮助经济欠发达的地区共同转型。

要让碳减排成为一种可持续业务，对减排量的合理定价（碳税）应成为不可或缺的手段。可考虑设立源于碳税的碳中和国家基金，一方面用于低碳能源转型和实现“碳中和目标”的技术研发、技术示范、市场推广及国际合作。

另一方面，参照欧盟通过专项资金来确保经济落后国家实现低碳转型的公平性，我国也可以通过“国家碳中和基金”对困难多、发展任务更重的地方提供帮助，并鼓励投资能够往这些地区倾斜。

5. 完善市场机制，通过系统解决方案和可持续的商业模式，凝聚全社会力量，赢得全球零碳经济建设这场创新竞赛

实现“碳中和目标”需要一个以高比例可再生能源、节能和储能为核心的系统性解决方案，更需要一个以市场化为基础可持续运营模式，灵活性电力资源市场的建设尤为重要。

应通过改革，把实现二氧化碳减排的业务变为新的商业模式，给从业者合理回报，彻底改变过去多卖能源、多排放可以多赚钱的发展模式。

以碳中和为目标的全球能源转型已成为世界各国之间在技术创新和制度创新的国际竞赛，竞赛的号角已经吹响。我们不但不能落后，还应领跑世界，这需要凝聚全社会力量共同实现。

第十二场：国际金融机构如何助力中国能源转型？

2020年10月23日

总结报告

国际金融机构（亚洲开发银行（简称“亚行”）、世界银行、欧洲投资银行、亚洲基础设施投资银行等）对中国等发展中国家的能源发展起到了非常重要的作用，其严密的投资审查过程和项目所在国主权担保会吸引其他资金的投入，往往使其贷款数额起到乘数效应。随着国力的增强，中国在相关国际金融机构的投资力度和话语权也在扩大，对这些机构的未来走向有着很大的影响力。

在全球能源转型的大背景下，这些机构的能源贷款政策正在发生变化。继 2013 年决定退出煤炭领域之后，欧洲投资银行（EIB）于 2019 年 11 月通过了新的能源贷款政策，决定在 2021 年后，不再对所有化石能源项目提供贷款（除非它们是在欧盟委员会的“共同利益项目”清单上或者每千瓦时碳排放低于 250 克的发电项目），而将投资转向能效、可再生能源、新型能源基础设施和能源创新领域。总部设在亚洲且目标客户大多在发展中国家的多边金融机构（ADB, AIIB）是否要步 EIB 的后尘？这些机构如何在能源可及性、低碳转型和贷款风险等方面取得平衡？中国如何利用这些机构的力量推动能源转型和碳中和目标的实现？

2020 年 10 月 23 日，北京国际能源专家俱乐部、亚洲开发银行能源部门、北京大学能源研究院联合举办了“建言‘十四五’能源发展”系列活动第 12 场线上讨论会，讨论了多边国际金融机构在中国与全球能源转型过程中的作用，也给本系列活动的主办方之一，亚洲开发银行，以及其他类似的多边金融机构在能源贷款政策方面提供了建议。

俱乐部总裁陈新华博士主持并做了开场发言。亚洲开发银行首席能源官翟永平博士做了题为“亚洲开发银行能源政策评估：过往成就和未来挑战”的主旨演讲。国家能源“十四五”发展规划专家委员会组长吴吟、副组长周大地、北京燃气集团董事长兼国际燃气联盟候任主席李雅兰、新能源领域知名企业家施正荣、能源基础设施

REITs 专家委员会副主任委员兼秘书长彭立斌、山西长治能源革命研究院院长吕彤、联合国亚太能源司司长刘洪鹏、亚洲基础设施投资银行及金砖银行环境问题高级顾问唐丁丁、北大能源研究院副院长杨雷、国务院发展研究中心研究员洪涛、国际可再生能源署陈勇等专家进行了点评并就亚行及其他多边金融机构在贷款政策和协助发展中国家能力建设方面提出了许多建设性意见。来自国家部委、学术机构，相关企业以及国际机构约 40 多位能源行业专家出席了本次会议。

一、翟永平博士发言内容要点：

1. 国际金融机构的贷款资金为发展中国家的能源投资发挥了乘数效应。

亚行每年在能源领域的贷款额约为 50 亿美元，加上其它开发银行的资金，国际多边金融机构每年给亚洲发展中国家能源领域的优惠贷款总额约为 300 亿美元左右。这个额度看上去不大，但因其带动其它资金更大的投入，具有乘数效应，为发展中国家的能源发展做出了积极的贡献。

2. 亚行不同阶段的能源贷款政策都与亚洲及世界经济社会发展重点相呼应。

亚行的能源贷款政策自 1981 年首次发布以来，已经在 1985，2000 和 2009 年经过了 3 轮修改，每次更新都体现了这些时代关注的重点。

- 1980–1990 年代：亚洲与世界的发展都以经济建设为纲，能源项目融资以推动经济发展（GDP 增速每年 7% 以上）为唯一标准。这一阶段能源项目评价的主要方法是最低成本分析法（Least Cost Analysis），通过数学优化模型来确保所投资的项目是满足能源需求的最低成本解决方案（规模效应，大型常规电厂、高压输电等），投资对象往往是国有、纵向一体化的电力公司，支持他们做大做强。
- 2000–2010 年代：围绕联合国千年发展目标，重点是包容性的社会与经济增长，扶贫成为能源项目融资评估的核心因素。1997–98 年的亚洲金融危机表

明，单纯的经济增长不能解决贫富差距拉大问题。亚行率先提出了“包容性增长”的概念（inclusive growth），主张公平合理地分享经济增长的收益和“机会平等的增长”。能源投资项目要助力经济增长，也要直接为扶贫服务。贷款项目的社会、环境保障标准得以提高，每个能源项目要有能够让多少穷人受益等相关考量。

- 2010–2020 年：围绕联合国 2030 年可持续发展议程，在包容性的基础上，环境可持续发展问题成为要点，减缓气候变化成为能源项目评估的重心。能源项目需要为经济增长提供动力，保障能源供应安全，需要提供能源的可及性，为消除贫富差别做贡献，同时还要治理污染、减缓气候变化，为人类社会的可持续性做贡献。减缓气候变化成为重中之重，能源项目评估要求量化每个项目能减少多少吨温室气体排放。
- 2020 年后的政策更新正在进行中，能源发展的“韧性”，即能源系统抵抗气候变化等各类风险的能力将成为新的衡量标准。

值得指出的是，以上这些项目评价标准不是替代关系，而是叠加关系，即今天的能源贷款项目既要促进经济增长，消除贫困，又要包含环境，减缓气候变化，提高项目所在国抵抗气候变化的风险能力。

3. 亚行对中国能源发展的贷款支持与能力建设并重。

亚行自 1986 年与中国建立合作关系以来，在中国的能源贷款和技术援助大体可以分为三个阶段：

- 第一阶段（1986–1999 年），以推动经济高速发展为主要目的达到减贫，寻找最低成本解决方案，项目大多数是大规模常规能源基础设施建设，如大型火电厂和高压输电项目。这一阶段，亚行在华共有 15 个政府主权担保项目（18.74 亿美元），9 个与煤电相关的项目（包括吉林长山、山西柳林、河南禹州、黑龙江七台河等火电厂），3 个水电项目（广州抽水蓄能、湖南凌津滩、福建棉花滩），还有 2 个非主权担保项目（2.25 亿美元），分别涉及广州珠江和福建

渭洲湾的火电厂。在同一阶段，亚行向中国提供了 56 个技术援助、研究项目（2500 万美元）。典型项目包括中国能源电力需求与供应分析（1991 年）、中国电力部门电价形成机制和财务改革（1993）、加强中国省级电力公司的管理（1995）、中国电力部门吸引外国直接投资、监管机制研究（1995）和中国电力部门的体制改革（1997）。

- 第二阶段（2000–2010 年），亚行在华贷款项目开始考虑推动包容性增长，除了经济指标外也关心社会环境效益。政策转向支持清洁能源（包括燃气）和能效项目，逐渐减少对化石能源项目的支持。这一阶段，亚行在华有 13 个主权担保的贷款项目（9.94 亿美元），包括清洁能源发电项目（4 个水电、1 个风电）、通过提高能效减少污染的项目、输电线项目（沈阳–大连）、1 个煤层气项目（山西）。此外，还有 5 个非主权担保项目（8.55 亿美元），涉及城市燃气、区域供热项目，商业银行支持节能和能效项目。在同一阶段，亚行向中国提供了 37 个技术援助、研究项目（2194 万美元），典型项目包括区域间电力联网战略（2000）、国家电力监管机制（2002）、电价的形成和监管机制（2003）、电力规划能力建设（2004）、能源节约和资源管理（2005）和清洁能源发展机制能力建设（2008）。
- 第三阶段，2011–现在，除包容性增长外，应对气候变化也成为工作重点，中国项目多为节能减排和污染治理方向，也包括支持新的可再生能源技术应用。这一阶段，亚行在华有 16 个主权担保贷款项目（33 亿美元），包括 7 个地区性能效和节能项目（河北、广东、山东、黑龙江、陕西等）、4 个京津冀地区空气污染治理项目、6 个新技术应用项目（区域供热、生物质利用、光热发电、煤气化联合循环）。此外，还有 9 个非主权担保项目（13.30 亿美元），涉及城市燃气、风电、生物质、地热（雄安）、垃圾发电等领域。在同一阶段，亚行向中国提供了 47 个技术援助、研究项目（3300 万美元）。典型项目包括天津碳交易系统（2011）、健全低碳能源监管机制（2012）、实现 2020 年减排目标

的战略评估 (2013)、制造业能效、低碳控制和合规管理 (2014)、国家生物质能源战略 (2016)和广东绿色产业的绿色发展指标体系 (2018)。

4. “亚行 2030 战略”反映了能源政策的演变过程，能源将是支持亚行新战略目标的基础业务。

2018 年 7 月，亚行发布了“2030 战略”，副标题是“实现繁荣、包容、韧性、可持续发展的亚太发展”。副标题反映的四大目标，即经济繁荣、包容发展、环境可持续、应对冲击的韧性，正好体现了亚行能源政策的演变过程，说明这一总体战略也适用于能源部门。

不同于“亚行 2020 战略”把能源、交通等基础设施作为单独的部门设立量化指标的做法，“亚行 2030 战略”将这些基础性业务作为支撑亚行所关注的所有七大重点领域（包括消除贫困、性别平等、环境与气候变化、宜居城市、农村发展与粮食安全、机构治理与能力建设、区域合作与一体化进程）的手段，能源业务将支持所有这些重点领域。

5. 全球能源新格局正在推动亚行进行新一轮能源政策更新。

亚行目前正在广泛征求意见进行新一轮的能源政策更新，目的是为了更好适应和支撑亚洲各成员国经济社会发展的需要。

一方面，自 2009 年能源政策出台以来，全球能源格局已经发生了深刻变化。可再生能源成本大幅下降，新兴的创新能源技术不断涌现。联合国可持续发展相关目标对亚行能源政策更新影响巨大，尤其是在有关气候行动方面。明年即在英国举行的第 26 届气候峰会秘书处呼吁多边金融机构退出煤炭融资，集中支持可再生能源，非政府组织也呼吁亚洲开发银行和其他多边金融机构停止对包括煤炭、石油、天然气在内的化石能源融资。欧洲投资银行为代表的个别多边金融机构开始对化石能源融资说“不”。在许多成员国做出了温室气体自主减排贡献承诺的背景下，亚行也需要提高其援助项目的相关性和有效性。

另一方面，今年 8 月，亚行内部的独立评估局发布了《2009–2019 亚行能源政策与项目评估报告》。《报告》建议亚行重新审视和更新能源政策，强调减缓、适应气候变化；正式退出新增燃煤发电（热）厂融资；助力发展中国家逐步淘汰现有煤基能源并缓解现有环境和健康影响；对天然气等其他化石燃料发电项目，引入一个合理的筛选标准并使能源政策与整亚行体战略相一致。

基于以上两方面的考量，亚行将在 2021 年底前发布更新后的能源政策。

6. 亚行能源政策更新的关键是需要“是否支持和如何支持各类化石、水电、核电”问题上做出选择。

本次能源政策更新的核心问题是：亚行是否继续支持煤电，包括新建煤电，现有煤电厂改造，以及煤电领域的碳捕获与封存（CCUS）？是否继续支持天然气？在什么条件下支持天然气？如何看待大水电、核电等有争议的能源投资项目？

在当下全球能源转型与应对气候变化的大背景下，面对亚洲众多发展中国家，亚行如何在能源领域兼顾经济发展，支持韧性发展，消除能源贫穷，应对气候变化，需要在新的能源政策中得到体现。为此，亚行正在广泛征求意见。

二、与会专家主要观点总结：

与会专家高度评价翟永平博士非常清晰的介绍，对亚行在本轮能源政策更新过程中开门问策的做法表示赞赏。主要观点和建议如下：

1. 能源仍是亚行等多边金融机构非常重要的投资领域，应有更加突出的地位。

能源作为基础设施，应该是亚行的重要投资领域和基础产业，仍应大量投入。亚行 2030 战略的七大重点领域都需要通过发展经济来实现。能源投资不应躲在这些领域后面。比如，有了高品质能源供应就能把妇女从烹饪中解放出来，让更多妇女有机会参与更高级的社会活动，实现联合国倡导的性别平等。所以能源的发展除了解决基

本供应外，也能够解决大量的社会问题。普及能源就是非常重要的扶贫。中国也是这样，在农村解决村村通电，做到电力下乡就投入了上万亿投入。

此外，能源领域 CO₂ 排放量约占 CO₂ 总排放量的 80%，是亚行成员国应对气候变化的主战场。在未来几十年，亚行仍然要充分重视能源业务。

由于亚行投资的引领作用和乘数效应，即使在中国这样资金总体比较充足的国家，也需要亚行的继续投资。多边开发银行尽管资金有限，但对发展中国家了解世界、选择正确的技术路线、把握正确的投资方向作用很大。除了贷款资金之外，亚行及其他多边机构致力于能力建设的技术援助项目也十分重要。

2. 建议亚行从发展中国家各成员国的实际需要出发，在是否继续投资煤电、水电、天然气、核电等传统能源问题上不能采取“一刀切”的做法，全盘否定。

历史上看，所有工业化国家在发展过程中都经历了化石燃料阶段。中国的发展就是一个例证。在技术方面，对许多国家来说，能否完全依赖可再生能源满足能源需求还是一个问题。各国国情不同，发展水平差异较大，需要区别对待。中国已经到了可以控制和减少煤炭发展的时候，而对许多其他发展中国家来说，由于尚未建成满足自身高速发展的能源供应体系，直接跨越到绿色能源体系很不现实。亚行如果在未来完全不支持煤电则显得政策太过激进。

各多边开发银行都有不同的服务对象，亚行的服务对象是亚洲的发展中国家。因此，亚行的投资政策必须基于亚洲各国人民的基本需求，满足不同服务对象的多种需要。不同于把绿色低碳作为唯一标准的环保组织，亚行应在多目标和多标准之间取得平衡，科学决策，不应“人云亦云”，不能采取简单的“一刀切”办法否定煤电，水电，天然气，核电等传统能源。

3. 建议亚行坚持“减碳、低碳、用碳、固碳”的投资方向，以结果为导向，关注末端治理。

能源转型低碳发展是全球大方向，但能源系统从品类相对少、技术相对集中向多能源品类、多种技术类型的转变过程中存在很大的不确定性。在这个过程中，亚行应坚持“低碳、减碳、用碳和固碳”的投资方向。

在具体手段方面，应避免“贴标签”，“源头论”，不要因为源头是煤炭，就贴上高碳污染的标签。应以结果为导向，看末端治理的效果，并以此推动供应侧的技术进步，而“源头论”可能限制技术创新。比如，大连化物所在兰州新区建设了年产1千万吨的煤制甲醇项目，用太阳能发电、电解水制氢，氢再和煤化工项目的CO₂结合制成甲醇。该项目可以把2/3的CO₂循环利用生成甲醇，减少2/3的碳排放。亚行应大力支持此类示范项目，虽然其源头是煤炭。

4. 建议亚行在能源需求和供应双侧发力，支持用能侧节能减排和供应侧技术创新与进步。

过去30年，亚行、世行等机构助力中国建立了非常庞大的以化石能源为基础的能源体系。在未来能源供应总量增加不是主要矛盾，而是要把这么庞大的能源体系在30年之内改造成一个以可再生能源或非化石能源为主的体系，需要的投入可能比前30年还要多。在这个改造过程中，政策性、技术性、机制性、市场性的障碍仍然繁多，仅仅支持可再生能源技术是不够的。真正做好能源转型，不但要在供应侧进行重大投资来实现零碳供应，在需求侧也要进行大规模投资，比如工业锅炉从烧煤改成用电、或者用非碳燃料等。未来30年，在需求侧减碳、去碳、用碳方面的投资可能大于前30年供应侧方面的投资。

建议亚行投资重点放在支持节能减排，支持跨越式储能技术和可再生能源的应用，支持如利用可再生电力制氢并结合CCS技术制造甲醇等科技进步和创新。除了新技术外，新模式、新市场开拓都需要大量投入，亚行资金的引导就变得非常重要。

此外，如果能源体制跟不上技术创新，可再生能源走的路也不会太远。建议亚行重点支持发展中成员国的能源体制改革以适应低碳发展要求。

5. 建议亚行停止投资低效煤电，支持现有煤电升级改造，继续对天然气领域投资。

中国目前还有 10 亿千瓦的煤电在运装机容量，在未来 10 年之内全部关掉并不现实，即使到 2050 年全部关掉仍有 30 年时间。在逐步关停煤电这一过程中，如何使现有煤电更加高效、更低排放，如何使得以化石能源为主的能源系统适应不断增加的非化石能源，将是一个重大挑战。其他发展中国家不仅在现存煤电机组方面面临同样的问题，在满足新增电力需求方面也缺少技术可行、经济具有竞争力的替代方案。

建议亚行在煤电领域设定一个排放标准和时间表，在引领煤电投资的技术发展的同时，允许发展中成员国一定的时间做好替代技术的准备工作。同时建议亚行支持现有煤电去碳化过程中的成本分担机制研究，使得煤电能够更公平、更优雅地退出历史的舞台。

天然气方面，从全球能源结构看，用天然气和可再生能源替代煤炭是大势所趋，大部分发展中国家天然气需求还在增加，远远没有达到峰值。作为相对清洁的化石燃料，天然气在去煤化的大背景下是保障国家能源供应安全的主要手段，并在未来相当长时间将作为可再生能源的伴侣，与可再生能源共存，发展中国家不太可能跨越天然气发展阶段。有鉴于此，AIIB 和金砖银行（NDB）都在继续支持天然气发展，最近分别给北京燃气 5 亿美元的天然气项目贷款。

建议亚行继续支持天然气业务。

6. 建议亚行重点关注项目所在国的薄弱环节，补齐现存能源系统的短板。

在国内融资能力相对发达的国家，多边国际金融机构的作用是从第三方的角度，甄别成员国能源系统的薄弱环节和存在的短板，并通过引领式投资，弥补这些短板。

就中国而言，能源领域的薄弱环节包括：用能侧的节能减碳、冷热气电不同能源系统之间的互联互通和系统整合（借鉴欧盟的能源系统整合战略）、综合能源服务平台建设、以及能源系统抵抗风险的韧性。此外，围绕着碳中和目标的行业碳排放普查、

企业与机构碳足迹评估、碳市场建设、“零碳园区”、“零碳城市”技术解决方案设计等方面也是急需补齐的短板。

7. 建议亚行进一步优化、细化能源贷款项目的评价方法。

今后一段时期内，未来实现碳中和目标，温室气体减量化将是衡量所有投资项的主要指标。建议亚行加强与减量化相关的项目投资，用单位投资减碳绩效作为主要指标，对投资和技术援助项目进行排序，优先支持节能、CCUS 碳循环等负排放技术项目。以单位投资减碳绩效来衡量，许多高碳能源减量化（如煤电改造与替代）项目可能比风、光等零碳项目的贡献更大，核能项目得分也会增加。

此外，鉴于风光等零碳项目成本下降的速度快速发展并在许多地区已经具备竞争优势，建议亚行加强对目前成本较高且下降速度慢但单位投资减碳量大的项目（如燃气发电）的支持力度。

8. 建议亚行加大能源贷款方式的创新，使更多市场主体受益。

建议亚行在提供债权融资之外，更多关注投融资领域的创新机制，比如不动产投资信托基金（REITs，全称 Real Estate Infrastructure Trust）³在能源基础设施领域的应用。

此外，建议在主权担保形式之外，积极探索风险可控的贷款途径（如泛京津冀大区的大气污染治理基金）上，让更多的市场主体，特别是中小企业受益。应该提供持续的引导、支持和跟踪，支持中小企业在成员国能源转型中发挥作用。

³ REITs 是通过募集投资人资金，以能够产生稳定现金流的不动产作为基础资产的投资计划、信托基金或上市证券，投资标的包括商业地产、基础设施等。其中，主要投资于基础设施的产品，被称为基础设施类 REITs。REITs 是一种权益性的融资，是金融和实体经济紧密结合的一种融资制度创新。跟贷款不同的是这种权益性融资不构成企业的负债，因此不会为公司的运营带来过多的债务和现金流压力。通过一个公开交易、公开上市的 REITs 的安排，基础设施企业最多可以募集到 80% 的资本金来降低银行贷款，改善现金流。中国发展了 40 年，沉淀了总额超过 100 万亿的大量基础设施资产。为了盘活这些资产，2020 年 4 月 30 日，中国证监会、国家发改委联合发布了《关于推进基础设施领域不动产投资信托基金（REITs）试点相关工作的通知》，并出台配套指引。根据《通知》，此次基础设施 REITs 聚焦于新基建、交通、能源、仓储物流、环境保护、信息网络、园区开发七大领域。

9. 建议亚行等多边金融机构加大中国能源领域能力建设的支持力度

对中国来说，亚行等多边金融机构的资金固然重要，但更加重要的是多边机构通过技术支持所提供的创新思维和创新机制。

20 多年前，世行、亚行等多边机构建议这个用市场机制促进可再生能源的发展。全球环境基金(GEF)和世界银行就此话题开展了全球最大的可再生能源商业化发展与市场环境课题研究。这些支持改变了可再生能源在中国的发展模式，加速了中国可再生能源的发展进程。

在未来相当长一段时间内，包括亚行在内的多边金融机构在支持发展中国家应对气候变化，实现能源转型的能力建设方面可以继续发挥巨大作用。

宏观层面，能力建设主要涉及国家层面的制度和机制设计，包括如何对能源及电力体制进行符合时代发展要求的改革、如何加强能源系统灵活性和抗风险韧性、如何分担能源转型过程中的减碳成本、节能减碳的商业模式及推广机制、数字技术与能源技术的融合、能源基础设施与其他城市基础设施的共建共享机制、能源交易与碳排放交易平台的数据化、标准化和监管机制设计、可再生能源利用占比考核制度等。

中微观层面，能力建设包括以城市为单位的零碳能源发展规划、为分布式能源为主的“零碳”园区技术方案与赋能平台、新技术项目的孵化支持、基层政策制定者、公众、中小学生对“低碳、减碳、用碳和固碳”等可持续发展问题的认识等。

第十三场：大变局下的国际能源合作新趋势

2020年11月13日

总结报告

“十四五”仍将处于百年未有之大变局中，国际局势快速变化且日趋复杂，呈现出高度的不稳定性和不确定性，能源领域首当其冲。一方面，新冠疫情重创了原本脆弱的世界经济，也使油气市场陷入一段较长的低迷时间。另一方面，随着日本在欧盟和中国之后宣布 2050 碳中和目标，加上美国在州、城市和企业“自下而上”的减排承诺与行动，世界各国将围绕“减碳、低碳、封碳以及碳循环利用”而展开一场技术创新、制度创新及商业模式创新大赛。能源领域的国际合作将在以传统油气为主的化石能源项目基础上，将把更多投资转向节能减碳和清洁能源技术领域。

“十四五”期间，包括油气价格在内的国际油气市场将呈现哪些新态势？中国国际能源合作应该在哪些领域有更大作为？重点抓哪些事？会取得哪些新突破？应如何推动落实“一带一路”倡议并使及沿线国家的能源互联互通取得新进展？

2020年11月13日晚，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北京大学能源研究院，以“大变局下的国际能源合作新趋势”为主题，联合举办了“建言‘十四五’能源发展”系列活动第十三场，就以上问题展开了讨论。

三位资深俱乐部成员专家应邀在会上做了主旨发言。国际能源论坛原秘书长孙贤胜以“新格局下国际油气合作的前景、机遇与挑战”为题做了报告，国家气候变化战略与国际合作中心首任主任李俊峰以“碳中和背景下的国际能源合作新趋势”为题做了报告，北大能源研究院副院长杨雷以“国际大变局下中国如何更加有效参与全球能源治理”为题做了报告。

“十四五”国家能源规划专家委员会副组长、中国能源研究会副会长周大地，“十四五”国家能源规划专家委员会委员、中国煤炭信息研究院院长贺佑国，中石油经济技术研究院副院长刘朝全，北京大学国际关系学院教授查道炯，中海油原首席研究员、明德研究院院长陈卫东，国际能源署原中国合作部主任、法国国际关系学院及

哥伦比亚大学兼职研究员涂建军，清华大学能源转型与社会变革研究中心常务副主任何继江等专家参加了讨论。

会议由俱乐部总裁陈新华博士主持，来自能源领域约 30 位专家学者参加了本次线上会议。

一、孙贤胜博士的主要观点总结

国际能源论坛原秘书长孙贤胜的演讲的题目是“新格局下国际油气合作的前景、机遇与挑战”，主要观点总结如下。

1. 美国新一届总统及各部门领导人的更替将对全球产生巨大影响。

一是对中美关系而言，短期中美关系会有一些缓和，但长远看，中美关系依然是竞争与对抗并存，只是不同领导人或党派，其斗争的策略和方法不同而已；二是拜登政府执政的国会回归全球治理的多边框架，包括重新回归巴黎协议、WTO、WHO 等国际组织。三是在抗疫方面，拜登政府与特朗普政府的做法也不会一样，在目前美国 1200 多万人感染，26 万多人死亡的严峻形势下，拜登政府会更加务实并在国际合作方面会更加积极。四是拜登政府会重构和修复美国的盟友关系，特别是与其传统的欧盟各国及与英国的关系。五是拜登政府会更加支持绿色能源发展和应对气候变化，会积极推动碳减排国际合作。六是拜登政府的美国外交政策会趋于更为理性，包括移民政策、限制穆斯林的政策、俄罗斯政策等。

2. 疫情加速了世界能源行业新变化。

首先，疫情进一步加剧了全球能源供大于求的局面。2014 年以来，全球能源行业持续宽松，2014 年到 2016 年的油价从每桶最高 100 多美元降到了最低 27 美元，这样大的油价波动、降幅是世界石油需求增长疲软、经济复苏缓慢、OPEC 石油供应增加（包括美国页岩油气井喷式增产）共同导致的结果。2016 年 9 月召开的第十五届 OPEC 部长级大会形成的 OPEC+ 就是这一大势所趋的结果，也看得出 OPEC 与主要油气生产大国俄罗斯、美国在稳定石油市场方面所尽的最大努力。今年初疫情导致石

油需求大幅下滑，沙特和俄罗斯的价格战导致油价暴跌，使石油市场一度陷入混乱。之后，美国的介入并通过多方合作才稳住了石油市场。有机构预测全球石油需求将需要两到三年时间才能恢复到疫情大流行前的水平。

其次，疫情加快了能源转型步伐。疫情让世界经济和能源需求增长按下了暂停键，促使各国深入思考能源转型路径，也使实现疫后经济绿色复苏成为国际社会共识。习近平主席在第 75 届联大会议上提出，中国力争在 2030 年前达到二氧化碳排放峰值，2060 年前实现碳中和。这一愿景充分展示了中国应对气候变化，建设生态文明，捍卫人类命运共同体的决心。欧洲、日本、韩国等许多国家和经济体也陆续提出了各自目标，充分说明这次疫情正在加快全球化石能源向绿色能源转变的速度。

再次，疫情加速了能源公司的战略转型。2020 年 3 月初油价暴跌以来，国际大石油公司迅速做出反应，除了采取大幅削减投资、降低运营成本、裁员、资产出售、压减供应链成本等常规手段外，也采取了一些新措施，在投资方向上更加集中于短周期、低风险、高回报的项目以及延迟削减产量或者退出大型资本密集型投资，同时采取了进一步优化资产组合、保留核心资产、剥离非核心资产等措施。未来 10 年，国际大石油公司在资产结构上会发生较大变化。常规陆上和浅水资产的产量，占国际大石油公司油气总产量的比重在持续下降。这个比例从 2009 年的 72%，降到了 2019 年的 52%，预计到 2030 年，这个比例将下降到 40% 以下，可以看出，这些公司也在加速转型。

最后，疫情加速了油服行业的重新调整。疫情导致油服行业与其上游油气企业的订单骤减，低油价对其间接的冲击巨大。以欧洲油服公司市场为例，疫情发生前，市场规模大概是每年 470 亿美元的工作量，随着疫情蔓延，油价暴跌，欧洲油服公司估计失去了 10-15% 的订单，订单减少导致收入锐减，公司大幅亏损，小公司被迫倒闭。如：斯伦贝谢、贝克休斯、哈里伯顿，今年第三季度合计亏损约 1.48 亿美元。石油公司预计全球油服行业到 2024 年才能逐步恢复到 2019 年的市场规模。所以，这次疫情正在推动油气行业重新调整。

3. 新格局下油气行业面临的挑战与机遇并存。

在全球新的能源格局与经济形势下，在受到新冠疫情的严重影响下，油气行业受到的挑战巨大，但也存在机遇。

第一，油价低位运行，项目盈利能力受到巨大挑战。因低油价运行，导致项目盈利能力持续下降，而石油消费需求大减，使许多公司不得不减产，油田中尤其是那些老的、边际产量低的区块无法赚钱，面临不得不关闭的窘境。

第二，美国页岩油产业在艰难困境中挣扎。因预计美国页岩油产业仍有复苏可能，许多企业抱团取暖，合并重组，互相帮助，共用设备，尤其是尽可能互用、共用闲置资产，政府也对油公司采取多种措施，银行也在资金支持上给予帮助，千方百计避免企业破产。

第三，以石油收益为主的 OPEC 国家压力巨大，对国际石油公司的海外营收影响巨大。低油价运行的情况下，尽管 OPEC+在许多方面合作多于不合作，但各国都有各自的实际情况，对那些以石油作为主要财政收入的国家来说，压力更大。这种压力会导致一些资源国政府为了加大财政收入，可能加强对外国公司的税收，使海外作业的石油公司面临巨大的财务风险。例如，中石油的海外项目主要分布在 35 个国家，加上其他的服务及联络处共涉及 70 多个国家，共 90 多个项目。目前形势下，像委内瑞拉、伊朗、伊拉克、乍得、苏丹等国家，由于财政收入减少，这些国家的税收会加强，同时由于这些国家财政收入能力较弱，加上其货币贬值的可能性较大，都会给中石油带来潜在的风险。

第四，新冠疫情给海外油气公司的生产经营和管理带来许多挑战。疫情促使海外油气公司不得不改变经营和管理制度、流程、规定，在公司的精细化管理上要求更高。疫情常态化后，人力管理难度加大，成本升高，不得不改变换岗、倒班制度。疫情也加快了海外公司的信息化建设步伐，升级了数字化、信息化等通讯联络方法。

第五，油气行业在新的全球形势和格局下也在多方面催生了一定的市场机会。如：新能源发展正在全方位加快化石能源被淘汰的速度，著名的车企戴姆勒奔驰近日宣布 2030 年将不再生产燃油车，这会给新能源汽车上下游产业带来更多的市场机会；低油

价下 BP 整体出让了其下游炼油和化工产业，为其它公司提供了市场机会。低油价下，一些运营困难的公司为了降低成本不得不考虑裁员，但裁员也存在成本和风险，这些公司从战略上采取了出让某些项目的办法，也为其他公司提供了机会。

4. 对“十四五”规划的建议。

在“十四五”期间，在低油价、疫情常态化以及地缘政治不确定性，特别是在双循环的大背景下，应积极坚持走出去的国际化合作道路。应把握住低油价下的市场机会，拿到好的项目。选择好的项目，特别是在天然气和 LNG、光伏及其他可再生能源领域，尤为重要。

另外，在对外合作中，在新能源，氢能，能源效率，装备制造等技术合作上，还有很大空间，应该发挥我国大公司的优势，把装备制造、电气制造和 5G、大数据等配套运作，可为今后项目“走出去”创造新模式。

二、李俊峰主任的主要观点总结

国家气候变化战略与国际合作中心首任主任李俊峰的演讲题目是“碳中和背景下的国际能源合作新趋势”，主要观点总结如下。

1. 我国经历了多层面、多种方式的国际能源合作。

首先，在多边能源合作方面。一是通过联合国及其附属机构实现多边能源合作，其中最多的是 UNDP 和 GEF，主要集中在扶贫、环境保护、能源效率和可再生能源领域。从上世纪 60 年代初开始，联合国及其附属机构大约提供了十几亿美元的资金，支持我国的能源及其相关领域的国际合作。最大的单项合作是实施臭氧层保护的《蒙特利尔议定书》的相关行动。另外，在可再生能源和能源效率实施计划领域，主要是 GEF 基金项目，包括在节能和能源效率机制创新、可再生能源规模化等。在清洁发展机制方面，主要集中在能源效率、可再生能源、氧化亚氮、氟利昂替代等领域。在机构能力建设方面，主要是联合国系统推荐的小水电、沼气、太阳能中心等。二是在国际金融机构主导的多边合作，比较典型的是世界银行主导的领域，包括 80 年代的农

村能源项目、90 年代的水电项目、环保项目以及进入 21 世纪后在能源效率和可再生能源领域的项目。其中最为成功的项目包括二滩等大型水电项目、风电规模化项目、光伏发电能力建设项目、环保领域的碧水蓝天报告等。另外，亚洲开发银行在中国的合作领域和项目与世界银行基本一致。三是通过多边合作机制进行的国际能源合作，其中最大的合作机制是中欧能源合作，代表性的项目包括 90 年代初期的能源综合培训项目、能源效率管理项目、可再生能源创新项目、碳市场能力建设项目，也包括近期推动的碳中和等。其它的多边合作机制包括与国际能源署（IEA）、国际可再生能源署（IRENA）的合作、G20 机制下的能源合作、APEC 机制下的能源合作等。

其次，在双边能源合作方面。我国的双边能源合作更多，较早期 50 年代苏联主导的社会主义大家庭合作，在 156 个大项目里有 52 个能源项目，涉及水电，煤电、石油化工等领域。其它有成效的双边合作包括：日本的绿色援助计划，与挪威的能源合作，与德国、丹麦、荷兰在能效和可再生能源方面的合作，中美在核电、可再生能源、清洁煤、能源效率方面的合作，英国能力建设项目，包括在中英繁荣基金中的“志奋领”奖学金计划等。

再次，在 NGO 主导的国际能源合作。主要合作的基金会包括洛克菲勒基金会、福特基金会、能源基金会、琼斯基金会、洪保基金会等。主要合作的 NGO 包括 WWF、NRDC、绿色和平、美国环保协会，大自然保护协会（TNC）等。主要的合作内容有洛克菲勒基金的领导人计划、WWF 和琼斯基金会的能力建设、能源基金会的政策研究、NRDC 的煤控和油控项目、洪保基金会的人才培养计划等。

最后，在企业层面的国际能源合作。企业层面的国际能源合作主要包括装备制造、咨询服务、标准、检测、认证、技术研发等领域。中国技术发展约 75% 得益于国际合作，能源技术项目也是如此。典型的合作企业和机构包括：在装备制造领域，有 GE、西门子、三菱、东芝、ABB 等；在咨询服务领域，有麦肯锡、IBM、四大会计事务所等；在标准、检测、认证领域，有挪威船级社、TUV 和 GL 等；在技术研发领域，有美国能源部下属的各大实验室、德国的弗朗霍夫等。随着我国经济实力和技术水平的提高，我国的国际能源合作从以输入为主，开始向有进有出转变。在某些领域也出现

了引领的迹象。以光伏为例，接近每千瓦时 1 美分的项目，基本上都是中国企业创造的，包括中国的光伏装备制造业、设备集成商，也包括中国电建，中国能建，中国电气等做了一批上百万千瓦的光伏项目，也在中东、南美（阿根廷等）做了许多项目。另外，我国在电网建设和三代核电建设方面有可能成为国际合作的新领域。

2. 国际能源合作在推动我国能源转型发展中发挥了十分重要的作用。

通过国际能源合作，我国学习到了国际先进的管理经验、先进的技术、先进的机制和先进的理念，也培养了各类各样的人才，对推动我国能源转型发展起到了十分重要的作用。

首先，通过国际合作，我们吸取了先进的管理经验并学习到了先进的技术。在节能和能效管理方面，80 年代初建立的北京能源效率中心及随后遍布全国的节能中心，与欧盟的支持有很大关系。在能效标识制度及合同能源管理方面也都获得了经验和做法。在投资项目管理方面，许多经验源于世界银行的水电项目，后来总结为“四制”即：业主负责制、招投标制、质量监理制、合同管理制和环境评价制度。这些制度在 80 年代、90 年代对中国能源投资管理提供了很多帮助。在战略规划与法规建设方面，如：当时环保局的碧水蓝天报告，在 90 年代对中国防治大气污染很有帮助。1992 年完成的中国温室气体排放战略研究报告，到现在都不过时，当时就提出了应大力发展可再生能源、着力提高能效并推动煤炭的清洁利用等。另外，在能源转型与改革方面，在电力体制改革、油气改革、可再生能源立法及商业化开发能力建设等方面都得益于许多国际上好的做法和经验。在技术和装备制造方面，我们学习和掌握了许多先进的工艺及流程，如：钢铁的短流程工艺、集中供热技术等。许多先进产品在我国逐渐普及，如绿色照明系统中的节能灯、LED，机电领域的高效电机等。许多发电设备、输变电设备及可再生能源方面的装备（如：从风机制造到光伏发电及太阳能热发电等）都在我国发展成为重要产业并逐步增强了国际竞争力。

其次，国际合作为我国提供了先进的发展理念并培养了各类人才。从绿色、低碳、循环发展，到现在的碳中和，这些发展理念都源于国际合作，一直在推动我国的转型发展。国际合作也为我国人才培养做出了巨大贡献。其中包括复合型管理人才，如：

在中石油、中石化、中海油、核电公司、可再生公司等的高级管理人员，在大多数装备制造企业有国际化背景的技术总监，在研发领域有国际合作背景的一批批院士和高级领军人物等都在不同场合接受过国际项目的熏陶和培训，大多数都有国际合作的背景和在国外深造的经历。

3. 中欧 CO2 排放达峰与碳中和差异巨大，中国需要付出艰苦努力。

首先，欧盟 CO2 排放达峰是一个自然过程，而中国 CO2 排放达峰时间表是人为设定的。欧盟大部分国家是在 90 年代初，甚至有些国家是在 70 年代后期或 80 年代时就已达峰，平均达峰时间是在 90 年代，并且是通过事后计算才知道的。达峰后，欧盟的 CO2 排放有漫长的平台期，是从 90 年代开始一直到 2000 年左右，接近 20 多年，有些国家的平台期达到 30 年，之后才开始快速下降，这一趋势下欧盟提出了 2050 年实现碳中和。中国的 CO2 排放达峰时间表是人为设定的，目前 CO2 排放仍在爬坡，没有看到峰顶。各地对达峰概念的理解不一，现在仍处于研究阶段，很多地方把达峰安排为努力爬坡，而不是尽早达峰，尽可能把排放量基础做大，利用所谓的发展空间。显然我国 CO2 达峰还需付出艰苦努力。

其次，在碳中和问题上，欧盟承诺的碳中和时间和达峰时间间隔约为 65-70 年，个别国家是 80 年左右，而我们只有约 30 多年的时间。达峰后，我们几乎没有平台缓冲期，就要快速下降。如：五中全会确定了 2030 年前 CO2 排放达峰，2035 年就需要稳中有降，2035 年到 2060 年只剩 25 年，要在这 25 年的时间实现碳中和。我们没有平台期的缓冲就需要下降，而且是快速下降。在缺乏足够时间的条件下我们如何实现碳中和，这是我们未来国际合作应该考虑的重要话题。

4. 欧盟采取循序渐进式的气候中和进程的经验值得学习。

欧盟的气候中和进程是循序渐进的，最早从 70 年代挪威首相提出可持续发展理念和斯德哥尔摩召开“人类环境会议”开始，环境保护的思想、一个地球的思想开始逐渐在欧洲深入人心。直到 90 年代提出发展可再生能源的时候，特别是在 1997 年提出到 2050 年实现 50% 可再生能源供应的时候，当时在国内虽有争议，但大部分人是

支持的。到 2010 年京都议定书生效后进入第二减排期的时候，欧盟又提出了三个 20% 的目标（可再生能源电力占比提高到 20%、能效提高 20%、碳排放量相比 1990 年水平减少 20%），2016 年时把减排指标修正为到 2030 年减少 40%，现在又提出到 2030 减少 60%，进而提出了 2050 年实现要求高于碳中和的气候中和目标。这是一个随着技术、机制和民心逐渐成熟、循序渐进的过程。有几点经验值得总结。一是**通过立法，广泛动员民众参与**。经过长期讨论，逐渐形成共识，虽然有人反对，但是大部分人是赞成的。在欧洲，能源绿色转型、气候行动、实现气候中和已确实实深入人心。二是**明确目标，推动企业积极参与**。包括 BP、大众等一批大型能源装备制造企业、大的汽车厂商，跨国石油公司基本上都行动起来了。BP 提出 2045 年要实现碳中和，我们虽然不知道其实现碳中和的具体路径，但 BP 已经开始行动了，大众也提出了碳中和目标。相信欧盟所有企业都会逐步提出 2050 年之前实现碳中和的目标、路线图、技术方案。特别是德国企业，比如煤炭早些时候确定 2047 年全部退出，但现在提出 2038 年就要全部退出煤电。三是**实施协同治理，推动部门之间合作并形成协力**。欧盟所有国家在能源环境与气候方面都是协同治理的，比如德国环境部长来华访问时骄傲地说，德国每一个部门都是气候部，都在为气候中和贡献一份力量。四是**为一些拟淘汰的行业设立公平退出机制**。为了实现气候中和目标，欧盟为某些行业、企业设立的公平退出机制也值得我们学习。比如，欧盟设立了煤炭公平退出委员会，德国设立了 400 多亿欧元的煤炭公平退出基金，详细规定早退出与晚退出所得的援助细节，这是一个很好的机制。显然我国实现碳中和目标也需要类似的机制，将目标变为各省市、各行业、各企业的实际行动。

5. 中国实现碳中和目标亟需学习国际先进经验。

以下四个问题值得思考，相关的国际经验值得借鉴。

一是**如何形成上下一致的共识**。在形成上下一致的共识过程中，欧盟的立法进程是通过广泛讨论，通过与议会、选民的长时间沟通取得共识，再将共识化为一致的行动。

二是如何形成各部门协作的合力。德国的经验是每个部门都是气候部，都有气候行动的积极性，各部门可以做到齐心协力。我国目前各部门在协调“十四五”规划目标、2030年达峰目标，2035年如何实现碳排放稳中有降等方面协调工作相对困难。

三是如何形成不同行业的碳中和路线图。德国也好，欧洲也好，每一个行业都在讨论如何实现碳中和，包括钢铁、冶金、交通等行业。冶金行业的技术路线基本上是氢能支持下的氢冶金，直接提了出来。交通行业的技术路线基本是围绕电动汽车，欧洲大部分国家都已经形成共识，基本上是在2040年之前，最早有的是在2030年之前，也有的城市要更早一些实现电动化，这些经验和做法非常值得我们各行业学习。

四是如何实现高碳行业的有序、公平退出。我国未来主要应考虑煤炭、石油和天然气的退出时间表，如何退出？2013年以后国内碳排放增量部分主要来自石油天然气，油气消费将是减排的重要领域。煤炭、石油和天然气在CO₂达峰及碳中和前后要承担什么角色？欧盟已对煤炭、石油、天然气的退出设计了很好的路线图，荷兰也已提出了天然气退出日程表，过程中会涉及哪些替代技术，包括储能、氢能、碳捕集和封存等技术，这些都值得中国学习、借鉴。

6. 在实现碳中和这场艰巨而伟大的任务中，我国需进一步深化国际合作，从过去以单向输入型合作为主向今后的双向互动模式发展。

我们应清醒认识到，碳中和是一场发展转型和能源转型的国际竞赛，积极主动应对至关重要。主动应对是欧洲和美国一批企业目前正在做的事情。不但欧洲企业已在积极应对，美国企业也已在下届总统及国会在减排政策上存在不确定的前提下，已开始坚定不移积极走低碳减排之路。例如，苹果公司已基本实现了碳中和，而且还实现了碳追溯，促使其产品全产业链上所有企业都向碳中和目标靠拢。再如，大众汽车也提出了碳中和方案，要求其所有零部件供应商也要实现碳中和，例如，其使用的钢板，要求钢板供应商今后必须制定碳中和路线图和日程表、技术方案，并要执行《联合国气候变化公约》第13次缔约方会议通过的“巴厘岛路线图”中提出的所有发达国家缔约方都须遵守温室气体排放量要可测量、可报告、可核查的减排原则（“三可”原则）。可以说，今后产业链上所有产品的碳行为、碳踪迹将成为企业的核心竞争力。

另外，我们需要在下一步的国际能源合作中找到一些新机制、新观念、新理念、新思想来改变我们被动式的思维程式，在 CO2 达峰和实现碳中和行动中坚定信心。在继续延续传统合作，继续学习国外成熟经验，继续培养国际化人才的同时，创新发展我们的理念，扩大影响。比如，在光伏领域，我们可以通过国际合作经验，真正实现光伏产业国际化，在全球实现碳中和上贡献中国力量。

7. 对“十四五”规划的建议。

建议认真研究 CO2 达峰与碳中和之间的关系。在达峰的问题上，尤其要考虑目前的能源基础设施建设，包括新基建，5G 之类等是否与未来的“碳中和”目标匹配，应该吸收国际的经验和教训，研究采取什么样的机制，在学习其他国家经验的同时，找出自己的解决方案。

三、杨雷博士的主要观点总结

北大能源研究院副院长杨雷的演讲题目是“国际大变局下中国如何更加有效参与全球能源治理”，主要观点总结如下。

1. 新冠疫情、碳中和、中美关系已成为当前全球能源大变局的核心变量。

一是新冠疫情成为能源大变局的重要因素，史无前例地改变了能源发展态势。根据 IEA 最新预测，2020 年能源需求负增长 5%，包括煤炭、石油、天然气，所有化石能源都大幅下降，石油需求降幅达 8%，对整个产业影响巨大。新能源一枝独秀，可再生能源仍保持了增长态势，预示着如果把疫情应对和促进能源低碳转型结合好，则可能会发现新的市场机会。

二是从国际上，欧盟为主推行的碳足迹、碳价和正在酝酿期的碳边境调节税对未来的全球贸易和投资格局影响巨大，尽管其有效性、合法性和公正性都有待商榷，但未来一旦全球大部分主要经济体都能接受，则主动而积极提早应对就显得尤为重要。所以这次我国提出“碳中和愿景”是非常英明的决策。也显示出能源的一个重大变局是从过去的能源要“保障供应”变为现在的能源要同时“保障环境和减排需要”。

三是中美关系的变化，包括全球国际关系的变化，对全球治理影响巨大。传统上以西方国家为主的治理格局和模式需要改革，应更充分考虑中国等新兴经济体的诉求，下一步随着中美关系的变化全球治理怎么演变，全球能源治理如何变革，我们如何化危为机，都非常值得关注。

2. 近年来我国在参与全球能源治理上取得了很好的成绩。

全球能源治理是要靠人来完成的，中国能源界的领导们正在全球能源治理的舞台上发挥越来越大的作用，几个标志性的事件包括孙贤胜当选并履职国际能源论坛秘书长、李雅兰成功当选国际天然气联盟候任主席、舒印彪当选国际电工委员会主席等，这些事件令人振奋。北京国际能源专家俱乐部在有些过程中做了很多参与和支持工作。

3. 全球能源治理涉及多个维度。

第一条，投资贸易框架与基本规则，如：《联合国气候变化框架公约》，WTO 规定的有关贸易自由、降低关税、贸易便利化等规则，都适应于能源，也为能源的贸易投资提供了保障。此外区域性的也包括《能源宪章》的一些内容，以及相关行业性的如亚行等投融资机构在能源投融资方面的规定、国际原子能机构的核能和平利用的基本规则和规定等。这些都是比较硬性的规定，因为不是能源行业自己制定的就容易被忽视，没有这些规定的话，我们能源的贸易和国际投资就没有依据，也没有办法保护，这是能源治理的一个重要方面。

第二条，能源政策协调、研究与分享。以天然气政策研究为例，IEA 在 2002 年发布的《中国天然气市场和政策研究》、2012 年发布的“天然气价格改革研究”和 2019 年发布的“天然气市场化改革政策研究”就是一个国际组织与中国政府在能源政策协调、研究、分享方面的典型案例，为推动国内相关领域改革提供了宝贵经验。许多研究及政策建议与中国能源发展和改革的进程高度吻合。通过这一本本的能源政策协调、研究与分享报告，为我国能源政策制定与改革起到了重要作用，值得一提的是《世界能源展望》的中国特别报告，当时得到主管副总理张高丽同志的特别重视。通

过第三方角度，观察能源政策进展，发现存在的问题，往往可以取得的良好效果，不光是对中国，其实对于能源国际政策的推动也有很大帮助。

三是能源数据统计与共享，这一领域是薄弱环节，各国也意识到这一点，都希望能有更加公开透明的数据来支撑决策和形势判断。目前，在 IEF 的框架下联合数据分享倡议（JODI）做了大量工作，IEA 作为历史更长的机构，研究能力更强，也做了大量的数据统计工作，很多情况下，数据来源于政府官方，数据质量差异巨大。BP 几十年如一日也在提供统计分析数据，对行业影响也很大。今后在更加深入进行能源转型分析时，数据的分享非常重要，离开了国际组织的数据支持，任何国家政府都很难全面完成能源决策与判断，即使美国能源信息署也无法独自做到。

四是清洁能源技术推广，包括可再生能源署、清洁能源部长会议机制、全球能源互联网组织，也包括 IEA 的技术合作计划（TCP）等，中国在 APEC 下还推动成立了一个可持续能源中心。在多边框架下，共同进行技术研发和推广，都非常有意义。

五是在能源安全与应急方面，IEA 是通过管理石油储备，应对国际石油市场波动，包括 OPEC 也是这样防止油价大起大落的组织，他们都有约束力和协调能力，这一点非常重要，包括在紧急状态下成员国之间的互相帮助。因为美国已成为石油出口国，中国的能源安全问题是所有大国中显得最为迫切的，怎样通过国际机制，而不要自己单打独斗，发挥更大的协同优势，这一点也非常重要。

六是通过对话与交流，推动能源转型。有很多机制，包括 IEF 是作为专门进行对话的组织，对话的目的是增进理解、消除误会，了解各国家不同的情况，尤其是在国际会议上，有时存在很多误解，通过对话和交流能够形成共识，找到适合自身的解决方案，推进能源清洁转型，这也是国际共识。

另外，还有很多专业性与区域性能源组织，包括国际燃气联盟（IGU）、世界石油大会等影响力都很大，有影响的全球能源组织有 20 多个，如何使这些组织发挥协同优势，避免重复工作，共同推进全球清洁能源转型，是极为现实的考量。

4. 中国参与全球能源治理的建议。

这里是对中国参与全球能源治理的建议，也是为“十四五”规划提出的有关国际合作建议，重点是要进一步加强软实力建设。

一是我国参与全球能源治理的原则，习近平主席对此有明确的指示，即：“完善全球治理体系，不是要推倒重来，也不是另起炉灶，而是要在共商共建共享中不断完善”，这是一个非常具有可操作性的指导原则。现阶段我们还是应学习为主，在某些领域，在硬实力足够强，软实力也具备的条件下可以发挥更好的引领作用。在规则制订、知识、思想分享等方面我们还需努力，这需要一个过程。

二是根据我国的能源安全诉求，包括石油储备规模和面临的石油安全问题，建议我国认真考虑“十四五”期间启动加入 IEA 的进程。印度已经提出了这样的要求。我们作为最大的能源消费国、最大的石油进口国，但不是全球最大消费国组织的正式成员，今后问题会越来越大。目前的联盟国地位已经不能使我们充分利用这一组织为我服务。

三是在应对气候变化中，我国应秉持更加开放、合作和主动的态度。尤其应该针对如何实现碳中和目标，提高公众宣传，让大家凝聚共识，让企业理解，发挥行业、企业的积极性。在一场新的国际竞赛中，我们能不能占据制高点、是否在主动位置，直接关系到我们能不能实现伟大复兴的愿景。

四是我们要强化软实力，通过强化软实力支撑我国硬实力。在硬件装备制造的全产业链上我国往往有特别大的优势，比如，在清洁能源技术方面，72%的光伏组件是中国制造，49%的锂电池是中国制造，45%的风机是中国制造，有非常强的清洁能源技术能力，但却被人指责我们在“一带一路”上输出的主要是化石能源，我们有如此强大的清洁能源生产能力，为什么不能把故事讲好，让大家接受，为我们清洁能源发展创造更好的国际环境，这些都很值得思考。在应对气候变化中应该更加开放和主动，不能再有把减排看作是西方国家限制我们发展的论调。没有软实力的支撑，硬实力是走不远的，这一点无数国家的历史发展都证明了这一点。

五是我国的能源数据统计确实应该与国际接轨。我们一直缺乏有质量的能源数据，这一点确实有历史原因。我们原来是生产计划统计，与苏联做法接近，不是能源商品的统计，还在用煤电的转换效率来将可再生能源转换成标准煤，与可再生能源今后的主导地位不相匹配，需要认真研究修改完善。多年来国际上对我们的数据不满意，我们自己也不满意。建议“十四五”时期，认真对如何提高能源数据统计质量做出改进，甚至是改革，应该要对此事提到议事日程。

六是要多层次参与全球能源对话和交流。一方面包括高层要重视参与全球能源治理，能源合作应该有更广泛、更高层次的合作交流，与能源组织、国际多边组织保持高层交流非常重要，因为高层领导会有更宏观的视野、更深度的理解，容易达成共识，有助于推进相关国际议程。

另外，应该强化民间能源外交，包括企业、智库、学者等等这样的民间外交。二轨对话更有助于加深彼此的理解和信任，消除误解。从民间角度，合作共赢和发展是永恒的主题。

四、 其他与会专家主要观点总结

其他与会专家围绕国际能源合作及我国参与全球能源治理相关问题展开了热烈讨论。主要观点总结如下。

1. 在全球低碳转型的大背景下，中国仍需高度重视能源安全方面的挑战。

油气产业在新冠疫情和低油价的双重打击下，投资出现大幅下滑，这将给国际油气市场的动荡埋下隐患。全球低碳转型和碳中和目标加大了油气投资的不确定性，但疫情后全球油气需求还将增长，投资短缺造成的供应紧张局面或将再现。需要明确低碳转型是在保障能源供应安全的前提下进行。油气安全既要放眼长远，又要服务于现实。油气工业要坚持走出去路线，但要淡化油气的战略属性，回归其商品属性与角色定位，同时充分考虑各方面风险，包括项目长期的碳排放风险。

2. 中国应充分利用自己的优势，为全球“碳中和”提供“低碳/零碳解决方案”。

随着欧盟、英国、挪威、韩国、中国和日本相继宣布碳中和或气候中和目标，全球已经开始了一场围绕着“碳中和”目标的技术、体制与商业模式竞赛。美国也一直在城市层面、州层面、企业层面行动，68%的美国 GDP 要在 2050 年或之前实现某种形式的碳中和，这种趋势与谁当总统没有关系。要实现全球碳中和，没有中国的参与是不可能的。从技术解决方案看，因为中国太阳能光伏电池产能已占全球 70%多，风机产能占 45%，储能与氢气电解槽等成本目前都是全世界最低，中国的低碳装备制造将成为全球低碳解决方案的一个重要组成部分，如果能结合软件技术，中国有望为其他国家的碳中和目标提供全方位系统解决方案，帮助应对发展中国家既要发展，又要减排的挑战。

3. “碳中和”有望成为修复中美关系的重要抓手，中国应加强与欧美各国低碳转型的经验交流与分享。

拜登在竞选时承诺，一旦当选，将会在第一时间让美国回到巴黎协定中，并宣布美国到 2050 年实现碳中和。应对气候变化是拜登候任政府的重点工作领域，原国务卿克里有望出任美国气候变化特使。在气候变化问题上，我国与拜登政府有着共同的目标，可以加强合作交流，并以此为抓手，修复中美关系。

同时，我们也要加强与欧洲各国的合作，尤其是在企业层面的交流，学习欧洲在凝聚全社会共识，在各部门，各行业、各企业间形成合力，制订行业技术路线图精细化方案，让落后地区参与低碳转型，让高排放行业（如：煤炭）体面退出历史舞台等做法。

在学习欧洲经验的同时，要培育中国在低碳解决方案方面走出去的能力，培养国际咨询能力，讲好中国绿色发展的国际故事。尤其在“一带一路”方面，更多地宣传和推广在低碳技术的使用和落地，并积极联手欧美公司，在第三方（如：非洲）开展低碳投资合作，培养当地人才与能力。

4. 重视“‘十四五’期间中国启动加入 IEA 程序”的建议。

中国很有必要启动加入国际能源署的程序。原因主要有以下几方面：

一是 IEA 已经实现了从最初围绕维护和保障石油为主的能源安全向能源安全保障机制加上全球低碳转型智库的转变。二是 IEA 正式成员虽然一直受限于经合组织国家，但 IEA 已经取得了第一步的突破，把中国、巴西、印度等大的发展中国家变为协约国。已经在机制体制方面有所突破。三是我国目前作为全球能源消费最大、碳排放最多的国家，在能源安全、绿色低碳转型等方面面临着很大的挑战，需要一个国际舞台来获取资源并发挥话语权。在全面落实“四个革命”的同时，“一个合作”也显得十分重要。四是作为正式成员国参与 IEA 工作，有助于我国更加积极地参与全球能源、气候及相关领域的事务，如：能源与气候基础数据信息分享、应急机制响应、政策研究与协调、对话与沟通、能效提高与能源技术产业化等。

5. 把“消除能源贫穷”作为中国参与全球能源治理的新领域。

在基础设施建设方面，中国倡议成立的“亚洲基础设施投资银行”（AIIB）得到了许多国家的响应，并已经正常运营。在此基础上，在重要且容易达成共识的领域，中国可以考虑倡议在“消除能源贫穷”领域设立专门的国际机构，进一步落实联合国可持续发展目标，占领道德制高点，并以此配合“一带一路”和“南南合作”，可以在非洲及东南亚国家尝试试点，也可以和 AIIB、亚开行等金融机构合作。

另外，与会专家还建议专门组织一次题为“‘碳中和’背景下煤炭行业路在何方？”的研讨会。

第十四场：中国能源低碳转型的地方实践与政策需求

2020年11月27日

总结报告

国家的低碳转型离不开地方的行动，城市与城市群首当其冲。中国的能源消费和碳排放高度集中在城市，尤其是在以长三角、珠三角、京津冀、川渝地区等城市群。高碳发展为城市带来了严重的空气污染和大量的温室气体排放，也让城市面临着气候变化造成的极端气候事件威胁。

“十四五”期间，随着中国城镇化率的继续提高，城市能源系统也将面临越来越大的压力。国家的2030碳排放达峰与2060碳中和目标对于地方来说意味着什么？中国城市在能源转型和零碳发展方面面临哪些挑战？如何借鉴国际同行的经验实现中国城市的低碳转型？对于国家“十四五”规划来说，地方有哪些政策需求和规划建议？

2020年11月27日晚，北京国际能源专家俱乐部携手亚洲开发银行、北京大学能源研究院，联合举办了“建言‘十四五’能源发展”系列活动第十四场。会议讨论了粤港澳大湾区、湖南省湘潭市和江苏省苏州市的低碳转型规划实践，

负责三个城市和城市群低碳发展规划项目的代表应邀在会上做了主旨发言。

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司高级工程师卢赓以“粤港澳大湾区低碳能源发展”为题做了报告，湖南联创低碳经济发展中心理事长张繁以“气候投融资实践的湘潭模式——城市低碳转型的‘额外性’”为题做了报告，北京昆仑绿色科技发展有限公司国际顾问罗锐、国网（苏州）城市能源研究院城市能源战略研究中心主任霍沫霖和北京昆仑绿色科技发展有限公司总协调人蒋卫平三位代表繁荣基金支持的苏州净零碳排放路径研究项目介绍了苏州2050碳减排展望、项目执行初期的挑战以及对“十四五”城市能源规划的建议。

“十四五”国家能源规划专家委员会组长吴吟，中国工程院院士、原副院长、专家委成员杜祥琬院士，中国煤炭信息研究院院长贺佑国，华北电力大学国家能源发展战略研究院执行院长王鹏，未来创新中心首席执行官吴昌华，国网能源研究院副院长

蒋莉萍，中德可再生能源中心的主任陶光远，清华大学能源转型与社会变革研究中心常务副主任何继江，丹麦科技大学区域能源专家张立鹏，丹麦丹佛斯（中国）公司副总裁车巍等专家参加了讨论。

一、粤港澳大湾区的能源转型规划要点

卢赓介绍了“粤港澳大湾区低碳能源发展”，要点如下。

1. 清洁低碳绿色发展是粤港澳大湾区能源发展规划的首要原则，也是大湾区未来实现能源可持续发展的必然选择。

粤港澳大湾区是中国开放程度最高、经济活力最强的区域之一，在国家发展大局中具有重要战略地位。推进粤港澳大湾区建设是以习近平同志为核心的党中央作出的重大决策，有利于深化内地和港澳交流合作，对保持三地的长期繁荣稳定具有重要意义。《粤港澳大湾区发展规划纲要》于2019年2月18日经党中央、国务院同意正式公开发布，对粤港澳大湾区战略定位、发展目标、空间布局等方面作了全面规划。加快基础设施互联互通，实现粤港澳大湾区的能源的可持续发展是实现这一战略的重要组成部分。

在粤港澳大湾区能源发展规划的五个基本原则中，确立的首要原则就是清洁低碳绿色发展。这是大湾区未来实现习总书记2020年9月22日提出的中国低碳发展“30、60”目标和能源可持续发展的最根本原则。这五个基本原则包括：第一，打造世界级的清洁低碳能源消费新模式；第二，构建国际一流的湾区能源安全供应保障体系；第三，通过培养绿色智慧能源产业集群，实现创新发展；第四，统筹兼顾各方利益，实现协调发展，第五，实现粤港澳三地之间优势互补，创新能源合作机制。大湾区总体能源发展目标是“清洁低碳，安全高效，智慧创新，共享互融”。为实现这一目标，规划提出了以下五项主要任务。

1) **优化能源结构。**在能源供应结构方面，一方面通过有计划的退煤、压油，逐步压缩化石能源的总体消费量，适度提高天然气的占比，以保障基础能源供应；另一方

面，也是更为关键的是，加快非化石能源、可再生能源的发展，逐步提高非化石能源比重，使大湾区的能源供应由目前以化石能源为主逐步过渡到化石能源和可再生能源共同支撑，最终实现以非化石能源为主的发展路径。按照目前测算，单独依靠发展太阳能和风能很难保障大湾区高强度的基础能源供应，所以核电作为一种清洁能源选项也将发挥重要作用，同时有序开发风能、太阳能和生物质能源。此外，更多的区域外清洁能源输入，如西部地区水电、风电也将成为实现大湾区低碳能源供应的重要组成部分。

2) **强化安全传输**，在能源传输方面，大湾区需要构建一个坚强的能源网架，能够接收大容量区域外可再生能源的稳定接入，实现区域内能源的稳定调度。电力供应主要以提高可靠性为目标，逐步实现电力分布式供应；通过建设智能的输配电网，提升需求侧响应水平，提高清洁能源渗透率和调度灵活性；开展主动配电网的示范工程建设和城市智慧用能项目，提升清洁能源的消纳。

3) **加速能源互联互通**。港澳地区能源供应很大程度依赖内陆，能源互通将通过天然气管道和电力网架融合实现。香港、澳门对电力和能源的需求刚性很强，能源规划的重点是保障清洁和安全。目前的工作重点是对现有能源基础设施进行升级改造，实现互联互通，并在此基础上建设新的能源供应通道。

4) **提高大湾区能源系统韧性和抵御风险能力**。气候变化和自然灾害频发使得能源设施的抗风险能力变得尤为重要。新的能源规划要对大湾区现有能源设施的抗风险能力进行评估，制定应急预案，保障在紧急情况下的能源供应。在突发的情况下，优先考虑保障天然气供应能力，通过建设一定数量的储气站和保障电源，在大电网停电情况下仍能保障重要设施和机构的能源供应。主要工作包括对电网在不同自然灾害条件下的风险评估，开展对台风区、重冰区电网差异化建设，变电站改造、架空线的入地等，同时建设应急指挥中心，保障即使在极端灾害下核心基础设施停电时间不超过 2 个小时。

5) **推进技术创新、金融创新与实体产业的良性互动**。低碳发展必须依赖技术进步来实现，但目前一些低碳技术仍处于起步阶段。大湾区对未来能源技术创新有很多设

想，其中包括开采可燃冰、发展海上风电产业、建设光伏产业示范区、新能源汽车等，同时关注未来低碳产业，比如氢能与燃料电池技术，探索利用海上风电等可再生能源制氢。研究低成本的碳捕捉 CCUS 技术、大容量储能技术以及以 ICT 技术为基础的能源互联网技术。围绕能源产业发展，全面引入产业创新和金融创新，拓展新型的综合能源服务，进而实现绿色经济的良性互动。

2. “三减三增两拓”是大湾区低碳能源发展的核心

《粤港澳大湾区低碳能源发展规划》可以总结为“三减三增两拓”，“三减”是减煤、减油、减碳，“三增”是增加风电、增加天然气、增加氢能，“两拓”包括继续拓展核电、继续拓展新能源产业，从清洁能源、智能装备、能源服务和能源金融四个方面去构建新能源产业。支撑体系包括“两个中心”和“两个平台”：电力交易中心，天然气交易中心；能源互联网综合应用平台和能源科技创新平台。目标是到 2035 年，大湾区要实现能源供应的清洁化、能源传输智能化、能源利用高效化，在粤港澳三地实现低碳能源协同发展。

3. 构建多元供应的大湾区能源低碳发展体系

“30、60”发展目标坚定了广东走低碳发展的决心，未来广东将构建风、光、储以及区外清洁水电的多元能源低碳发展体系。而广东的资源禀赋决定了海上风电将成为发展的重点，大湾区能源低碳目标的实现很大程度依赖海上风电的发展。2017 年广东省提出了总容量达 6685 万千瓦的海上风电规划。结合“30、60”发展目标，新规划通过调整优化增加了 3000 万千瓦，使总规划装机容量达到 1 亿千瓦。到 2030 年广东全省将建成 3000 万千瓦海上风电，为此，海上风电相关研发、设计咨询、装备制造、施工和服务业的全产业链正在逐步形成。

氢能是新能源发展的另一个重要方向，中国氢能产业发展目标提出到 2030 年左右要有 200 万辆氢燃料电池汽车。大湾区计划培育氢能源汽车产业链，支持氢燃料技术研发创新，推广加氢站的建设，增加氢能供应渠道，着力完善产业配套。以广州为

例，结合氢能与汽车制造业，广州在南沙建立氢能基地，把氢燃料电池配送到黄埔、番禺和白云三个乘用车制造基地。

4. 培育新能源战略性新兴产业集群

围绕新能源产业，广东省制订了《广东省培育新能源战略性新兴产业集群计划（2021-2025）》等一些列计划，涵盖核能、风能、天然气、可燃冰、太阳能、氢能、生物质能、地热能、智能电网、储能等领域，通过清洁能源、智能装备、能源服务和能源金融四个方面构建新兴能源产业，并扩大产业规模、提升创新能力、强化产业协同等方面稳步推进。

与之相对应，《粤港澳大湾区低碳能源发展规划》提出到 2025 年，广东新能源发电装机规模要达到 1025 万千瓦，天然气的供应能力要超过 700 亿立方米，制氢规模要达到 8 万吨，氢燃料电池要有 500 万千瓦，储能规模约 200 万千瓦时，全省新能源的产业营收超过 7000 亿。到 2025 年，初步建成安全、可靠、绿色、高效的智能电网体系，储能实现规模化发展，形成源网荷储全面布局，建成一批在国内外具有影响力的新能源装备制造基地。总体思路是，有序推动新能源开发应用，通过加强技术攻关、建设创新平台、推动产业聚集发展，最后反哺新能源基地的建设。规划也提出了一系列技术攻关领域和产业支撑平台，重点还是把海上风电做一个领跑工程，推进先进核能技术应用、提升天然气比重、实现可燃冰商业化开发，扩大太阳能、氢能、生物质、智能电网和储能技术的应用。

二、湘潭低碳转型规划要点

湖南联创低碳经济发展中心理事长张繁介绍了湘潭市低碳城市发展亚行项目以及气候投融资实践的湘潭模式，主要内容如下。

1. 项目是亚行第一个城市级别低碳转型贷款项目。

今年 10 月 13 日，湘潭低碳城市转型亚行贷款项目获得亚行董事会的正式批准，这是我国第一个城市级别的气候投融资案例，也是亚行的第一个城市级别低碳转型贷款项目。项目的设计和实施为气候投融资工作开创了全新路径。

10 月 21 日，生态环境部和发改委，央行、银保监会、证监会，联合发布了《关于促进应对气候变化投融资的指导意见》，明确提出以实现国家自主贡献目标和低碳发展目标为导向，以政策标准体系为支撑，以模式创新和地方实践为路径，大力推进应对气候变化投融资发展，引导和撬动更多社会资金进入应对气候变化领域。明确提出选择地区开展气候投融资试点，为下一步达峰、实现碳中和的目标提供提供经验。

2. 项目模式机制内容均具有创新性。

首先，模式创新。该项目的核心，亚行的 2 亿美元的主权贷款并非单纯的项目贷款，而是由 1.5 亿美元的项目贷款和 0.5 亿美元的政策贷款组成。项目贷款用来具体项目建设，政策贷款则用于低碳城市建设政策的研究制订和实施，两者高度融合，相辅相成，并能有效撬动私营资本的投入。两种贷款的期限略有不同，项目贷款是 25 年、政策贷款是 15 年，宽限期也不同，利率统一，年化利率在 3% 以下。项目总的投资是 24 亿 6 千万人民币，工程投资是 21 亿 1500 万人民币，湘潭市投 10 亿 6 千多万，其余为亚行贷款。

其次，内容创新。项目贷款涵盖 15 个实体项目和一批城市建设的软平台，政策贷款涉及 6 大方面 20 项低碳发展转型政策的出台，整体形成一个完整的城市低碳发展体系，包括：

- 低碳交通体系建设（5 个子项目）
- 增强城市的气候适应能力（3 个子项目）
- 绿色低碳建筑示范（2 个子项目）
- 低碳社区改造（1 个子项目）
- 支撑低碳生活的管理体系建设（3 个平台和 1 个评估系统）

- 低碳发展政策体系（20 项政策）

低碳交通体系建设包括首个围绕公交优先的道路系统改造项目和以人为本的智慧交通系统。增强城市气候适应能力包括首个基于生态系统的适应气候变化海绵设施道路示范项目以及内涝预警系统。绿色低碳建筑示范包括首个获得世行逸居（EDGE）认证的新建及改造建筑项目。

第三，机制创新。该项目支持建设亚太低碳发展能力建设中心，将会议、培训与湘潭现场项目考察相结合，向整个亚太地区推广湘潭低碳转型示范项目创新经验，打造更加开放的绿色、低碳国际合作平台。

3. 湘潭模式符合气候投融资准则，其核心是“额外性”。

额外性常用于碳减排的项目，对比基准情景所产生的减排效果。

首先，目标额外性。湘潭模式有明确的符合自主贡献要求的达峰目标。项目明确湘潭市要在 2028 年实现碳排放达峰。作为国家级的试点城市，并且是老工业城市，这个目标极具挑战。2015 年作为项目基准年，湘潭 GDP 1700 亿元人民币，人口 280 万，湘潭的人均碳排放是 13.5 吨二氧化碳当量，是欧盟的 1.9 倍，全国的 1.8 倍，省会城市长沙的 1.4 倍，接近武汉，但是湘潭的经济总量、发展规模远低于武汉，在全国的达峰先锋城市中，湘潭人均碳排放量也是排的非常靠前。因此目标 2028 达峰目标极具挑战性。该达峰目标是基于能源基金会、国家气候战略中心、和美国可持续社区研究院的联合支持下，由湖南低碳中心的团队所做的模拟结果。模拟包括四个情景：1、基准情景（business as usual）。2、优化情景：大力推动在能源部门、产业部门做一些优化。3、达峰情景：倒逼在 2030 年前达峰的情景。4、理想情景：完全不走能耗发展的老路。模拟结果显示：在基准情景下，湘潭 2035 年都不能达峰；在达峰情景下，2028 年湘潭的二氧化碳排放峰值达到 3429 万吨，比基准情景减排 10.9%，2028 年当年可避免排放约 421 万吨。

其次，项目额外性。融资所支持的项目对于基准线可核算减排量。亚行聘请的国际技术援助专家，采用国际上的通用的碳减排的核算方法，计算出该项目总体预计实

现年减排温室气体 102 万吨二氧化碳当量，其中项目贷款部分可实现年减排 55 万吨，政策贷款部分可实现年减排 47 万吨，即在 5 年建设周期后，如果所有项目均能圆满完成，2025 年当年就能够实现 102 万吨左右的减排量。这个数量离 2028 年达峰情景要达到减排 421 万吨的规模还有一定差距。希望该贷款融资的项目作为一个典范，能够推动更多的减排项目的实施。

项目的额外性还包括在项目设计过程中的额外性，所有列入的子项目，大量来自达峰研究和亚行专家团队的知识贡献，并没有列入地方城市之前的既有规划中。亚行是贡献资金和知识的合作伙伴，亚行的团队为湘潭城市带来了全新的项目概念和建议，使得项目的设计具有整体性。同时，项目聚焦如何让公众改变出行行为、居住行为、和消费行为，有一定的低碳行为的引导性。

再次，成本额外性。采用外贷工具，获得区别于市场的融资成本优惠。因为亚行贷款是主权贷款，所以有利率和贷款年限优惠。项目贷款使用要按亚行的监管程序进行进行招投标，采购、请款报账。放款方式是后端放贷，而不是把资金先拨付给湘潭市政府。政策贷款的资金是在湘潭市政府出台相关政策后直接注入给湘潭市财政，纳入到一般性预算。这有助于湘潭政府作出决策，有助于推动具有挑战性项目的真正落地。

最后，政策额外性。湘潭政府积极配套出台了 20 项低碳转型政策，都和 15 个项目息息相关、紧密匹配。政策条款是通过示范项目总结提炼的，而这些项目是通过政策来实现的。根据亚行的意见，出台的政策并非是宽泛的管理办法、指导意见或者工作方案，而是很细致具体的规则标准，包括湘潭市绿色建筑的实施细则、自行车公交系统的规划等，这样就具备更高的强制执行效力。同时计划将部分政策贷款，约 2.5 亿元人民币，用于由湘潭市政府发起、亚行和专业基金管理团队联合管理的一个低碳发展引导基金，以撬动市场化资本与资金的投入，实现湘潭气候投融资。该方案已列入整个项目的可行性研究报告，并写入外资利用计划报告给国家发改委。国家发改委已明确批复资金的用途。

4. 亚行对于该项目的贡献。

亚行帮助湘潭开展真正意义上的项目额外性的设计，利用创新工具，即项目贷款结合政策贷款，说服湘潭政府的核心决策层，在国家还没有提出碳达峰和碳中和两个重大宣誓的背景下，接受了低碳转型与改革的一揽子建议，实属不易。同时，亚行对于项目的实施、后期的监督还在发挥持续的作用。

亚行给行长的推荐报告对湘潭的项目评价非常高，认为设计有系统性，一揽子建议系统贴合了湘潭的需求，并且对所有项目在环境、设计和财务三个角度进行了非常详细的尽职调查和综合评价，认为贷款的创新能够极大的帮助湘潭市实现碳达峰。

5. 对于“十四五”城市碳达峰的思考和建议。

首先，所面临的四个挑战和问题：

- 认识问题。气候投融资与其他融资方式具备较大差异，融资方、贷款方的关注点与大部分地方政府存在差异，所以能力建设和认知程度的提高非常重要，希望作为“十四五”一个重点解决的问题。
- 周期问题。项目准备周期太长。2018年该项目列入滚动计划，2020年10月份才正式获批，期间遭遇湘潭的主要领导调整和2020年新冠疫情等挑战。
- 监管问题。地方政府一定程度上对亚行的严格监管，如请款报账制与详尽的后期绩效评估和审计，缺乏应对经验。
- 沟通问题。亚行方面由国际专家团队在本地开展工作时需要大量的沟通能力支持。

其次，所获得的四个经验：

- 决策者的顶层设计和前瞻的创新决心非常重要。该项目受到了财政部、国家发改委、湖南省领导高度的关注和支持。
- 稳定的本地专业技术力量支撑非常必要。
- 尽早成立项目办推动日常工作，协调各利益相关方。

- 以温室气体排放清单、达峰的研究、“十四五”及中长期低碳发展规划研究为基础，做好城市低碳转型规划。

最后，对十四五能源规划的四个建议：

- 搭建平台。国家或省应该创建增信的金融创新平台，比如亚行的山东绿色发展基金，以及未来的湖南气候投融资基金等，作为资金的通道联接资方和项目，推动城市出台更多政策和转型。
- 规范试点。气候投融资试点不要像碳市场的试点，各自摸着石头过河，盲人摸象。建议气候投融资试点有明确的指导意见出台，借鉴好的政策经验和城市经验。
- 优化程序。所有的政府部门、融资方、合规机构应优化尽职调查、前期的设计和准备程序，提高效率，应对碳达峰的时间压力。
- 分批实施。城市、央企以及行业龙头企业有一定的信用可做气候投融资。建议推动这三类机构尽早达峰，并且由他们的行动来带动整个行业的达峰和碳中和。
- 建立机制。在地方层面落实 5 个机制:1) 倒逼机制；2) 碳市场机制；3) 协调机制，这是湖南正在做的最困难的。需要和其他部门以及主体联合推进；4) 资金机制，包括技术研发投入的支持；5) 推动宣传机制，提高公众、消费者特别是年轻人的意识。

三、苏州净零碳排放路径研究项目要点

罗锐、霍沫霖和蒋卫平分别就英国繁荣基金支持的苏州净零碳排放路径研究项目作了介绍。主要观点总结：

1. 苏州项目背景

北京昆仑绿色科技发展有限公司国际顾问罗锐介绍苏州项目背景。

净零城市净零排放路径项目的国际背景（1）2019 年末新冠肺炎疫情前，能源行业的温室气体排放首次出现了下降。新冠肺炎疫情这样的“黑天鹅”出现后，中国 2020 年温室气体排放可能比 2019 年还有微弱上升，证明之前温室气体下降的确实是不可持续的。（2）2020 年初，各国都在更新国家自主贡献方案和提交中长期温室气体排放发展战略。地方城市需要从“十四五”和低碳发展这个角度来支持国家层面的气候承诺。（3）过去 10 年，光电、风能为主的可再生能源以及电动汽车得到加速发展。展望未来 10 年地方政府需要提前布局哪些产业和技术，以继续吸引对外投资？到 2050 年围绕净零排放目标，在欧洲国家纷纷将绿色能源发展定位为产业和商业战略，将净零排放作为能源转型的远期目标的背景下，地方政府要如何制定产业政策、引进哪些技术或者如何“走出去”投资，以促进经济高质量发展，探索新经济增长点？这些问题都值得研究。（4）2020 年之后气候和低碳肯定会成为国际合作的核心支柱之一，地方城市要提前做好准备，借鉴国际经验，探索一条中长期的净零排放发展道路。

苏州将是一个探索 2050 净零排放一个非常好的样本。苏州是中国制造之城，苏州的民营经济占整个 GDP 的 90%以上，是中东部地区人均碳排最高而且高能耗的城市，面临巨大的节能减排压力，具有产业转型升级的代表性。苏州政府把清洁能源作为长期的战略和支柱产业之一；当地政府长期和外资企业、国际机构交流合作，理念先进、态度鲜明、政府效率高，为项目实施提供了很好的基础。

2. 苏州 2050 碳减排展望

国网（苏州）城市能源研究院城市能源战略研究中心主任霍沫霖介绍了《苏州 2050 碳减排展望以及对“十四五”能源规划的建议》，主要观点总结如下：

（1）苏州能源发展与碳排放的六大特点

1) 大城大能：苏州的突出特点是经济体量大、能源消费量高、装机容量多、碳排放总量大。目前苏州 GDP 占江苏省总量的 1/5，在全国排名第六；2018 年一次能

源消费总量超过 7300 万吨标煤，超过深圳、广州等城市能源消费量，比有的西部全省还更高；本地发电装机容量约 2300 万千瓦，占全省的 1/5，占全国比例约为 1.2%。

2) 工业大市：苏州是一个工业大市，第二产业和高耗能产业占全社会能源消费的比重居高不下，其中工业用能的比例高达 80%，远超于全国平均水平 68%。苏州的终端工业部门和电力热力生产部门是碳排放的主要来源，占比超过 85%。未来它们在较长时间内均是苏州碳减排的主要对象。因此苏州的能源转型与碳减排经验可以为许多工业城市、普通地级市所借鉴。

3) 效率领先：苏州能源技术效率高，主要工业产品综合能效国内领先。进一步提升技术效率的空间有限。未来城市能源消费强度的降低离不开城市产业结构转型升级。

4) 管网坚强：苏州一次能源供应长期的依靠于外部购入，例如煤、油、气全部依赖外部输入，同时电力也是大量购入。在外部能源供给中，煤炭长期占据绝对主体地位，近十年来其占比缓慢下降。外来电、天然气的供应呈现量比稳步提升的趋势。苏州电网电压等级全、电网结构强、供电可靠性高。苏州是北方港煤炭海进江的重要中转储运基地，是长三角地区的大型现代化成品油物流中心枢纽，是西气东输一线和二线城市、中石化川气东送工程贯穿地。

5) 区域各异：伴随着苏州的高耗能产业的搬迁转移，苏州的煤炭和天然气的消费重点区域呈现出从市区向县级市转移的特点。苏州的减排重点区域也从市区转向工业比例比较高的一些县级市，例如常熟、太仓和张家港等。

6) 力争典范：苏州在能源转型和碳减排方面表现积极，2012 年成功入选第二批低碳试点城市，发布了《苏州市低碳发展规划》，“十三五”期间推动了国际能源变革典范城市的建设和一系列的示范工程的建设。

(2) 苏州未来中长期碳减排展望

项目组在今年年初利用 LEAP 模型软件进行了苏州 2050 碳减排情景分析。基准情景是既有政策措施延续的情景。新政策情景是进一步出台加强减排政策的情景，主要考虑三方面因素：一是实现省里可能分解下达的目标，例如能源消费总量在 2025

年左右达峰；二是实现苏州市相关中长期规划目标，包括煤炭需求量和碳排放量逐步下降等；三是在 2050 年的时候非化石能源占一次能源消费比重超过 50%、电气化水平超过 50%。未来我们项目组将重新开展情景分析，考虑 2050 净零排放发展目标。

项目组已经完成的情景分析结果。

- 碳排放总量方面，基准情景预计 2025 年左右碳排放达峰，新政策情景预计 2018 至 2022 年处于一个峰值平台期，2022 年之后逐年降低。
- 碳排放强度方面，未来 30 年在新政策情景中预计单位 GDP 排放将下降 82%，到 2050 年降至 0.13 吨/万元的水平。
- 人均碳排放量方面，人口峰值将于 2040 年达到，约为 1300 万人口，新政策情景下 2050 年人均碳排放量将降到 8.38 吨/人的水平。
- 对于工业部门的碳排放，苏州工业部门碳减排潜力最大的行业将是电力热力加工业以及冶炼业。新政策情景预计 2050 年这三个部门的碳排放量将会相较于 2020 年下降 18%。纺织业和造纸行业的脱碳速度有望是最快的，预计下降会达到 69%和 54%。快速发展的计算机通信及其他电子制造行业的碳减排也应该引起重视。

如果考虑 2050 净零排放发展目标的实现，预计在高耗能产业转移、工业产品结构加速调整、CCS 技术应用、林业碳汇、电气化、可再生能源、氢能、循环经济等方面还需要更多的政策支持和技术应用。

（3）对苏州市“十四五”能源规划的建议

为了实现“十四五”的能源转型目标和碳减排目标，我们研究提出了重点措施建议。由于篇幅有限，这里仅列举部分内容。

一是建立安全韧性的能源供应体系。加强白鹤滩水电入苏、东吴变电特高压重点工程的建设，来加强区外清洁电力的购入，区外电力将会从 1400 万千瓦提升到 2500 万千瓦，同时抓住中俄东线江苏段建设以及沿海 LNG 码头、长三角重大基础设施互联互通的重大发展机遇，来加强与上海互通、浙江互通的燃气管道的建设。提升能源系

统的运行韧性，例如将储能、充电桩等多元负荷纳入电网的调节范围，毫秒级的响应负荷由 70 万千瓦提升到 130 万千瓦，在有效提升受端电网的运行韧性。

二是打造清洁低碳的能源生产格局。建议在全市禁燃区不再新建、扩建燃煤的热电联产的机组。提升清洁能源利用水平、新增白鹤滩 800 万千瓦水电。燃气装机由 440 万千瓦提升到 710 万千瓦。推动清洁电力占比由 30%提升到 50%。同时加快本地可再生能源的利用，包括太阳能、生物质能、浅层地热能，重点建设一批垃圾发电项目，使得城市的生活垃圾焚烧处理能力达到国际先进水平。

三是形成绿色高效的能源消费方式。积极推广先进节能环保技术，系统推动工业节能，加强建筑和交通领域节能管理。多领域推进清洁替代。统筹开展全域热力系统规划，完成大机组供热半径范围内的燃煤小热电和分散锅炉关停整合，构建以集中供热为主、分散供热为辅的协同优化供热体系。加强园区冷、热、电综合能源规划，开展园区的能源互联网建设。

四是开创智慧创新的能源治理模式。建立城市能源信息管理平台，探索构建完善的能源基础数据库。研究构建能源指标的区域间调剂和用能权转让、交易机制，健全全市能源预算管理体系，保障优势区域和高端产业的优先发展权。

五是深化示范引领的典范城市建设。打造能源技术创新典范、能源治理智慧典范、能源消费绿色典范、能源合作开放典范等。

六是塑造多元共享的能源服务品质。创建世界一流的电力营商环境，降低用户的接电成本，降低停电的时间。促进能源基础设施资源的共享利用，支持电力杆塔、通信光纤网络、电力管廊沟道、多站融合等电力基础资源共享运营。

3. 苏州项目展现了地方低碳发展所面临的困难和挑战

苏州项目总负责人、北京昆仑绿色科技发展有限公司总协调人蒋卫平结合该项目的落地情况，反映了地方政府在低碳转型方面面临的挑战。主要观点总结如下：

（1） 项目执行过程中面临的困难与挑战

1) **绿色低碳发展没有成为地方政府的主要考核指标。**地方政府目前肩负沉重的 KPI 考核压力，各个部门、各个板块大约有 200 多个考核指标，各个部门工作负担都很沉重，与环保或者是能耗相关的考核指标一共有三个：一是市工信局的单位 GDP 能耗，二是生态环境局的主要污染物排放的统计量，三是市住建局的城市绿色建筑占新建筑的比例。作为一个高质量发展的监控考核体系，里面具体涉及绿色的或者是直接与低碳相关的指标还没有出现在目前政府的 KPI 考核体系里面。整个地方政府的考核指标体系里，发展指标的重要性大大高过绿色指标或者低碳指标。这就是为什么在跟政府沟通繁荣基金这个项目的时候，他们一开始在形式上非常欢迎的，但真正涉及到一些具体推进的时候，政府其实是有难度的，没有纳入 KPI 就是一个原因。

2) **城市的定位和历史发展轨迹决定了地方政府首先关注引领外资引进、产业结构调整等任务。**在中国行政布局当中，每个城市担任各自侧重点不同的角色。作为外向型经济城市，苏州市肩负引进外资，实行制造业转型升级的重要任务，所以在落实到考核上，就离不开是外资引进。同时苏州也是国家的税收大户正是因为这样一个角色定位，就决定了地方首长关注点首先会放到引进外资、产业结构调整，高科技部分跟国际水平对标，抢夺国际人才。因此，所有的精力都会放在那里。我们这样一个低碳项目规划要做出来以后，扎扎实实的引起领导的足够重视，愿意花时间去推动落实，而不是出于礼节性的关注，需要考虑将项目的实施与领导心中那个最重视的考核指标相联系。我们这个项目在设计阶段，就要去跟外资引进挂钩、去跟外贸出口挂钩、与高科技挂钩。

3) **低碳绿色转型成本承担问题：谁来买单不清晰，缺乏动力。**苏州是一个民营经济主导的城市，民营经济占 90%以上。在改革开放 40 年中，民营经济活跃了当地经济发展，解决了百姓就业问题，学习了很多国外先进的管理技术和制造技术。但是，民营经济的特点是追逐利润、考虑眼前成本效益。没有利润不会去做这个事。目前有一部分民营企业能够主动去做绿色改造、节能降耗，主要是参与到国际产业链的分工之中，比如像苹果、爱马仕这些国际品牌，要求下游的生产企业必须符合绿色标准。

另外一类企业，没有这样的外部的要求，但因为能耗指标直接影响了这些工厂的盈利水平，所以有动力进行改造。但对于大部分企业来讲，如果逼急了的话，可能会关门裁员，而这些厂都是过去 40 年地方政府培养出来的纳税大户，这就是导致转型成本由谁来承担这样一个问题。

4) 现有的经济增长放缓的背景增加了主动承担转型任务的难度。中国整体经济活力下降，负担加重，如果宏观去杠杆会导致四个问题：1) 民营企业在宏观经济下行过程中资金获得能力与国企遇到的难度是非对称性的，增加了新增投资的难度，逐渐对以民营经济为主体的城市起到了负面的效果。2) 国有企业的管理趋紧，不像以前有比较宽泛的容错区间，有一种不做不错现象，特别是在一些需要长期投资，时间较长才能出效果的绿色项目、绿色技术，在技术上没有十足把握但是对未来又非常重要的投资项目上都显得过于谨慎。3) 由于成本的提升和地缘政治、产业链安全战略的考虑，跨国公司目前都在外迁到东南亚、台湾、新加坡，与前三四十年的经验相反，他们持观望态度，不愿意进入中国市场。4) 国内财政收入也在逐渐的放缓，社会支出部分在增大。在各个主体都没有钱的情况下要让政府去主动再承担一下转型成本，面临非常大的困难，很难有积极性。另外，外部需求降低以及国际贸易环境的多变和不友好对苏州这种外向型经济为主的地区冲击较大。

基于调研，项目组认为难点的核心是谁为绿色低碳发展买单，并且买单人要有真实的支付能力，项目要能够有利润的，具有可持续性。

(2) 政府关心的问题与难点

1) 如何把低碳和经济发展统一起来？把政府关注的核心指标与低碳指标挂钩，并且形成一个真实的需求，而不是去做花瓶式、没有生命力、没有可持续性的一个项目？

2) 如何来挑选样本城市？是否能够做出因地制宜不同类型的转型路径？因为每个样本城市历史使命或者是一个定位是不一样的。比如苏州需要去完成招商引资方面的或者制造业出口的完成考核。

3) 怎么来平衡行政的手段和市场的机制？靠原来的 KPI 指标分解强行摊派，下面各级会有很多方法来去规避绿色低碳指标。历史的经验证明二氧化碳减排和其他的 KPI 指标相比，计量和检查困难更大。所以到底是行政的还是市场的，这个对于政府是一个大的考验。

4) 如何实现角色分工和利益平衡？这可能对地方政府在落实低碳绿色发展里面最重要的问题。需要一个角色分工和利益平衡的新结构，发动一部分行业、机构、企业能够参与，通过合理分工让各自能够得到利益。

5) 如何更新思想不断学习进步谋发展？经过了三四十年的发展，特别是在过去取得比较大成绩、经济情况、科技水平、科技含量还可以的城市，地方政府的自满情绪也是有一点点的。这类地方政府可能由于绿色或者低碳指标的定义不十分清晰，或者理解不透彻，包括净零碳排放对他们来讲是比较新的概念，认为本地区的碳排放方面超过英赶美不需要学习了，这也是推动项目落地过程中比较明显的感觉。

(3) 繁荣基金项目做的探索

针对这些实践当中遇到的问题，繁荣基金项目考虑到各个方面的因素，最终定位在以市场化手段为主，真正的去激发各个主体的积极性，让各方都得到好处，不增加额外负担的情况下探索中国地方低碳转型之路。具体有以下三个探索点。

1) 市场化的基金。打造中欧合作、中英合作的绿色投资基金，把招商引资、外资投资、绿色标准、市场共享、技术升级去融合在一起，去解决地方政府最为关切的外资撤走以后真空谁来填补的问题。像在欧洲和美国目前看来，由于他们的货币政策导致资金负利率，这些资金在寻找经济环境稳定、正向收益率的市场，在这个时候中国是非常有机会的。

2) 绿色指标融入项目，不再增加 KPI 考核负担。在政策性基金里面希望将地方政府的绿色标准逐渐实现国际趋同，把低碳指标分解到政府现有的 KPI 体系里面，不把这个指标放到部门考核里，而是直接贯穿到政府类投资项目。

3) 探索碳交易平台的建立，促进国际合作。以伦敦为例，碳交易团队帮助欧洲高能耗企业免费减碳改造，完成之后获得碳指标进行交易。目前，国内碳交易的体系、

制度、规则还不明确，一旦这个方面有所突破的话，可以将国内的碳市场与国际市场对接，打通国内国际两个市场，引进先进经验，促进低碳转型发展。

四、与会专家观点

其他与会专家围绕中国能源低碳转型的地方实践与政策需求等相关问题展开了热烈讨论。主要观点总结如下。

(1) 地方低碳转型要调整思维方式和工作思路，准确理解和掌握能源低碳转型和实现“碳中和目标”的本质。随着全球 100 多个国家相继宣布要在本世纪中叶实现碳中和，各国之间围绕着“减碳、低碳、零碳、碳素利用和碳资产管理”已经开始了一场按照新的游戏规则而进行的技术、资本、产业和商业模式竞赛。我国也已进入了一个以生态环保和低碳转型为发展驱动力的全新时代，这既是我国高质量发展的需要，也是应对气候变化国际合作、构建人类命运共同体的要求。要正确理解“碳中和”不只是简单的减碳问题，而是经济、产业、基础设施、科技重塑的机会，创造新的就业机会，也是体现未来国家竞争力的重要领域。

在此背景下，地方政府相关机构、企业要调整“十四五”规划思路，从“碳强度减排”的工作思路转向减少总排放量的“碳中和目标”，把围绕“碳中和”的产业结构调整 and 当地竞争力重塑纳入“十四五”规划，重视发展和培养低碳转型方面的人才，积极学习如何利用各种新技术、新的商业模式把规划落到实处，成为政府部门、企业、各类机构的自觉行动。

(2) 应更加重视需求侧节能减碳。从三个城市低碳规划研究的内容上看，地方低碳转型方案对需求侧重视不够。应在重视供应侧的同时，强化需求侧工作，包括工业、交通、建筑、商业、居民等终端用能领域的低碳解决方案研究，也包括城区和园区的零碳解决方案设计。在这些解决方案中，要对不同细分行业的节能和转型潜力、可以采用的技术、可以盈利的商业模式进行分析研究，有利于企业把这些行业解决方案变成自己可以执行的方案。能源基金会的可持续能源项目和自然资源保护协会的煤控、油控项目有许多研究和具体地方案例可以参考。

(3) 要改变过去“大电厂、远距离运输”的做法，充分挖掘本地可以利用的清洁能源资源，对这些资源的利用潜力进行大胆假设，仔细求证。在许多地区，太阳能、风能、地热能、生物质能等资源丰富，应对这些资源（如可用于建设光伏项目的屋顶资源）进行详细的摸底调查，评估其开发利用潜力。对于粤港澳大湾区的海上风电规划，还需要继续就资源潜力、技术能力、抗台风能力、以及经济可行性等进一步论证研究。

(4) 应充分把握新能源技术和数字技术的发展趋势，结合数字技术为代表的科技“奇点”力量和光伏、风电和储能技术效率提升成本下降的“拐点”力量，创新“减碳、低碳和零碳”技术解决方案，开发本地可再生能源资源，结合储能、需求侧响应、虚拟电厂等技术，为工业园区、城市楼宇和交通物流提供全新的低碳能源服务方案，并整合智能电网、储能技术、新能源技术、以及通信、交通与物流等城市基础设施，形成区域内系统性综合解决方案，实现系统最优，节能减排最大化。

(5) 应高度重视清洁热源规划。热力、电力和交通移动力是人类社会三大主要能源服务需求，我国能源规划传统重视电力和交通驱动力，忽略热力规划，包括高难度减排行业的中、高温热力供应和民用建筑冷热需求。随着经济水平的提高，中国城市的冷热需求都在快速增长，应充分借鉴国外经验，把城市废热（如丹麦的一个数据中心已经给 1 万户人家每年的供热和生活用水）、工业废热（如污水处理厂的废热利用，使得污水处理从市政负担变成可盈利的业务）和城市垃圾的利用提升到战略高度，作为地方新基建的一个重要组成部分大力推进。城市低碳规划者要高度重视清洁供热在城市低碳能源体系中的作用，大幅改进供热系统，改革供热计量与收费系统；充分利用各种热泵技术满足民用供暖制冷，特别是长江流域的供暖，再与太阳能集热器和光伏结合，形成基于本地资源经济实惠的区域供热解决方案。加大储热设备在智慧供热系统中的应用。充分挖掘生物质清洁供热的潜力。

(6) 要重视区域能源优化发展。“区域能源”是指在一定区域内，最大限度地利用本地可以开发利用供应侧和需求侧的热源和电源，通过数字化、智能化控制手段，尽可能把需求和供给进行精准匹配，通过多种能源耦合，提高系统灵活性，减少能源

浪费，高效清洁地满足区域内的冷热和电力需求。丹麦依靠区域能源，摆脱了对石油进口的严重依赖，实现了清洁低碳转型（详见“现代能源体系建设的丹麦经验”报告），哥本哈根也要在 2025 年实现碳中和。德国柏林的欧瑞府（EUREF）园区也在这么一个高纬度地区光照条件并不好的地方基本实现了能源的自给自足。中国城市低碳发展规划者应以开放思维，充分了解学习国外各大城市的低碳发展案例。

（7）要利用好国际技术与金融资源。中国是全球最大的清洁能源技术应用市场，为国外技术拥有者所向往。此外，欧美日等发达国家的资金成本很低，很多国家银行存款是负利率，而中国又是受疫情影响最少，疫后恢复最快的大型经济体，资金回报率高。为此，应搭建技术引进和资金（包括绿色金融）引进双平台，借助国际资源，助力地方低碳发展。

（8）要加强地方能力建设和低碳规划工具的开发。从三个案例可以看出，地方政府在低碳转型方面的领导力急需提高，新的规划方法论及工具急需开发，两者对地方碳中和发展至关重要。应通过新的工具，帮助城市以及产业园区开展各种可能性分析，包括环境评估、经济社会影响评估、技术可行性评估，形成一个综合性的城市碳中和发展评估体系，立体地展示城市未来发展。在这方面，可以借鉴丹麦的经验。丹麦有一个能够把电厂、其他热源资源、供热和制冷网络、交通系统都耦合在一起的城市规划工具，指导城市低碳发展规划。

（9）改革地方考核机制。为真正推动本地区的低碳转型，地方政府要建立能够把减碳、低碳、用碳、固碳、碳循环变成各级官员工作重要组成部分的体制机制，使其具有内生动力，而不是光靠行政手段“逐层下压”。同时，要建立一个让民营企业在低碳转型中发现商业价值的机制。“十四五”规划中，在国家层面推出碳交易市场并为碳资产定价的情况下，地方政府和企业的碳资产管理变得尤为重要。应围绕碳资产，设计全新的商业模式，用市场激励的手段实现碳减排。

（10）在地方力所能及的范围内，推进能源领域改革，特别是配网侧改革非常重要。电网改革要跟得上太阳能、风能成本下降经济性越来越强的步伐，充分利用好这些资源的竞争优势，尽快消除诸如禁止“隔墙售电”等现存的体制性障碍。

(11) 开展低碳转型领导力培训。鉴于地方与企业能力在低碳转型领域能力培养的紧急需求，有与会专家建议本系列活动的三家主办单位携手其他合作伙伴，在中国系统开展低碳转型领导力培训。

(12) 成立城市低碳转型联盟。与会专家建议成立“城市碳中和规划联盟”，在中国城市之间分享经验、相互学习，指导城市和企业如何开展和落实“碳中和”工作，提供规划编制技术支持、培训与规划指南、低碳投融资机制规划等服务，同时在“碳中和”和“碳达峰”方面，开展与主要减排国家（欧洲、美国、日本、英国等）的领先城市结成伙伴关系。国际开发性金融机构在提供资金支持的同时，也可以加强对地方的知识支持和经验分享。

此外，有与会专家还提醒，要警惕目前许多地方在达峰之前快上项目，做大排放基础的冲动。

第十五场：未来能源发展新领域新趋势

2020年12月18日

总结报告

“十四五”期间，世界正值百年未有之大变局的初期，在短期控制疫情并恢复经济的巨大挑战面前，实现中长期能源低碳转型，应对气候变化，到本世纪中叶实现碳中和成为全球共识和定势。在这场大变局中，中国的崛起和与时俱进的新一轮科技、产业和能源革命，必将与新时代发展的趋势和需求高度一致协同；中国需要牢牢把握住重塑国内和国际新经济模式的大机遇，从“十四五”规划着手，制定切实可行又具备前瞻引领的发展规划，为实现2060年前的“碳中和”目标奠定牢固的基础。

自2020年6月11日起，北京国际能源专家俱乐部联合亚洲开发银行和北大能源研究院，共同组织了“建言十四五能源发展”系列活动。来自国家能源“十四五”规划专家委员会、国家能源局、工信部、国务院其他部委、国内外能源企业、学术机构、NGO共200多位能源相关领域专家分别应邀出席了会议，给出了很多有价值的建议。本次会议是该系列活动的第十五场，也是本年度最后一场。

改革开放以来，几千万中华学子到海外求学，其中很多人在海外继续发展并取得了骄人成就，能源领域也不例外。为了广纳群贤，避免规划盲角，全面了解未来能源发展与应对气候变化的新领域、新趋势，12月18日，“建言十四五能源发展”系列活动以“未来能源发展的新领域新趋势”为主题，邀请十六位来自世界各地的能源与气候领域知名华人学者连线研讨，听取了他们对“十四五”及中长期全球能源发展与应对气候变化的真知灼见。

俱乐部总裁陈新华博士主持了会议，并在开场发言中回顾了今年已完成的系列活动和主要成果。国家能源“十四五”规划专家委员会组长、国家能源局原副局长吴吟致欢迎词，对海外专家学者参与本次活动表示感谢。

发言的国际专家包括：

施训鹏，悉尼科技大学澳中关系研究院首席研究员、国际能源转型研究会秘书长。

梁希，英国爱丁堡大学能源金融副教授、商业与气候变化中心主任。

王笑楠，新加坡国立大学助理教授，博士生导师，智慧系统工程中心主任，能源研究所研究员。

薛进军，日本名古屋大学国际经济政策研究中心教授，瑞典梅拉达琳大学未来能源中心客座教授，中国国际低碳经济研究所联席所长，国家发改委能源研究所客座研究员，清华大学能源环境经济研究所客座研究员。

吴昌华，气候组织原中国区总裁，里夫金办公室中国主任，未来创新中心首席执行官。

严晋跃，欧洲科学与艺术院院士、《应用能源》杂志主编、瑞典皇家理工学院和梅拉达伦大学教授、国际应用能源创新研究院院长。

李献国，加拿大工程院院士、滑铁卢大学机械和机电工程系教授、滑铁卢大学研究讲席教授、国际氢能协会燃料电池分会主席、《国际绿色能源》刊物主编。

吴建中，英国卡迪夫大学多能源系统教授，工程学院院长，英国能源研究中心联合主任。

郭欣，德国 PSI 软件公司高级业务发展经理，综合能源网络控制系统开拓者之一。

夏晓华，南非工程院院士、南非 Pretoria 比勒陀利亚大学电气电子与计算机工程学院教授、新能源系统中心主任。

张志成，能源领域人工智能科学家、法中能源协会主席。

杨汉新，核电领域专家、核能源首席科学家。

陈小宝，牛津能源研究院资深客座研究员

中石化集团原董事长、俱乐部常务副主席傅成玉，中国工程院原副院长、院士杜祥琬，亚洲开发银行首席能源官翟永平，中国工程院院士、北大能源研究院院长金之钧等进行了点评发言和讨论。陈新华博士对会议形成的新领域新趋势要点进行了总结。来自国家能源“十四五”规划专家委员会、能源相关国家部委、海内外学术机构和相关企业约 40 位资深专家学者出席了本次线上会议。

本次会议形成的主要观点总结如下：

1. 重视耦合体系协同转型：能源转型是一个复杂的系统工程，要以大能源观来谋划，开发决策支持工具，做好与资金支持有机衔接的各项准备工作。

能源与水、粮食、废弃物、气候变化、生态系统形成相互影响、相互依存的大耦合体系，与城市基础设施的建设发展也紧密相关，因此，能源转型和“碳中和”目标的实现需要全盘系统化设计，需要在更大的范畴谋划能源系统的转型。低碳转型不仅涉及能源生产系统，更涉及能源消费系统，要做到能源系统链条中的诸多节点上的耦合设计，要求经济社会各行业、各产业、各层面同步调整。只有做到同步、同频、相互支撑，才可能实现全社会范围的成功转型。同时，成功转型需要相应的决策支撑工具和方法学的选择，需要完善的决策体系和行动计划，做到从目标到行动，从具化的里程碑和时间表到切实的预算和资金规划，脚踏实地地推进实施和执行落地。应根据长期碳中和目标，制定可度量实施的阶段性“里程碑”及其行动计划，并有与之相匹配的预算。

2. 推进电力之外的能源转型。

目前，全球能源转型的讨论大多聚焦在电力和交通系统，对电力之外的供热系统重视不够。比如，英国三分之一的碳排放来自热能的生产和使用，供热系统的低碳化策略非常重要。针对不同场景，电能替代未必是唯一的或永远最佳的解决方案。“十四五”期间，需要在不同用能部门之间制定一系列互相协调配合的低碳/零碳策略，包括供热制冷系统、交通系统、工业和农业领域的潜力和机遇，并加以落地实施。城市内部，特别是人口高密度聚集区域，应考虑实施“区域能源自产自销”战略，最大化能源生产、输送和转换过程的效率，例如通过实施冷热电三联供，将发电伴生的热能用最短的路径直接供应用户，以大幅度提高一次能源转换效率。

3. 开发支撑低碳能源的智慧能源系统。

数字科技的发展赋能能源去碳转型已经是大势所趋。建立在现代通讯技术、可再生能源技术和清洁交通/物流技术三者高度融合的现代基础设施体系之上，通过互联网、大数据和人工智能等技术能力和手段，实现能源系统和各用能系统的互联优化，创造

巨大的碳减排潜力。基于区块链技术的智慧城市能源系统管理平台可以在用户侧和发电侧之间实现点对点的能源交易，保证交易的高效和透明，以及信息和价值的可信流转，对智慧小镇、智慧园区的发展起着重要的支持作用。

4. 实现公平公正的能源转型。

中国能源转型的一个重点是要将煤炭产量从目前的 40 多亿吨降到未来的近 10 亿吨。如此大规模缩减涉及的是数字背后的煤炭企业、矿区、成千上万的家庭和个人的生计，需要缜密规划，避免转型过程中的社会动荡。转型过程要考虑让煤炭、石油等高碳行业有体面、有尊严地退出，需要研究制定一个综合性“退出路线图”。矿区煤炭企业如何转型，如何培育和提高了煤矿职工的再就业能力，煤炭资源型城市和省份如何实现转型，如何寻找和创造新的经济增长点，如何处理煤矿企业与金融系统的债务履约问题，如何利用好产能交易等市场化手段，这些问题都值得深入研究。

5. 培育低碳转型的领军企业。

企业是经济增长的主体和引擎，也是落实碳减排任务的市场主体。中国与欧美国家在应对气候变化方面的重要差距，不仅在于企业与时俱进的不断创新能力，还在于围绕可持续发展和应对气候变化的战略定力与经营管理能力。诸多总部在欧洲或美国的国际知名企业，近十年来都在积极探索碳减排、碳中和的方案，通过设定具体可行的商业和财务目标和行动计划，包括企业内部碳价，把行动目标落实的表现与管理者的年度奖金积极挂钩，苦苦经营，砥砺前行，做好气候变化和碳排放的风险管理，同时有效捕捉新科技和新市场机遇，实现企业的可持续发展。与此相比，大多中国企业显得有些落后，需要迎头赶上，尤其是借力国家“碳中和”目标确立带来的契机，借力科技创新和资本市场的要求，跻身并引领这场深度去碳的全球经济社会大转型。

6. 讲好中国低碳转型能力输出新故事。

中国一直积极倡导能源国际合作，特别是围绕“一带一路”的能源国际合作。在今后的净零碳转型领跑时代，中国要讲好自己追求低碳转型、低碳能力输出和低碳合

作的新故事，与中国在国际合作上引领的其他领域（比如生物多样性）相结合，这对提高中国的国际形象、重振国际社会对中国的信任和信心至关重要。

非洲是未来“一带一路”国际合作的重点区域，要研究如何用中国的资金和技术解决非洲的现实问题。可以考虑以下几个方面：一是要抓住机会，走进非洲，充分利用我国在非洲的良好政治经济关系；二是要合作研究非洲问题，因为非洲的问题存在许多独特性，需要紧密结合当地的实际和特殊需求提供产品和服务和解决方案；三是要了解非洲，把握合作重点。非洲地区发展极不平衡，技术和产品需求呈现多样化，在具体的合作项目中要抓住重点；四是要借鉴德国通过其国际合作机构（GIZ）和复兴信贷银行（KfW）在非洲成功开展务实合作的成功经验，同时，积极探索与其他国家合作共同支持这些国家和地区应对气候变化的能力。

另外，建议考虑在非洲设立一个以能源研究为中心的机构或者组织，进行人员的培训，培养非洲学生，同时也培养中国到非洲的留学生。也可考虑在“一带一路”的框架下在非洲成立一个低碳能源培训中心。

7. 制定气候投融资标准，将碳价作为企业和银行系统项目评估的核心参数。

无论是从风险控制角度，还是从投资回报角度，未来碳价对项目影响非常大。内部碳价格的高低直接影响能源项目的可行性，欧美企业和金融机构都有自己设定的内部碳价或影子碳价，如花旗银行就用每吨 60 美元的碳价对其投资的 39 家美国能源与电力企业进行财务状况的预判，掌握相关的气候风险和投资回报的预期。中国企业、银行和投资机构应借鉴欧美同行的经验，在项目可行性研究时，采用一个合理的内部碳价，作为投资评估的主要参数。在气候投融资方面，建议国家设立“气候投融资项目库”，用来支持具有示范意义的技术创新精品项目；参与制定气候投融资国际标准，包括气候资金统计标准、间接排放计算标准；开展气候投融资地方试点，成立气候基金，开发气候友好碳金融产品，促进气候技术创新。

8. 高度关注负排放技术开发。

近年来各国都在关注“负排放技术”，主要包括再造林、生态修复、新型建筑材料、土壤固碳、碳捕集、利用与封存（CCUS）、直接空气碳捕捉与封存（DACCS）、生物质能源碳捕捉与封存（BECCS）、生物质炭（Biochar）等。作为碳减排的重要手段，许多国家已经就负排放技术进行了积极的研发、示范和商业化运营。我国在这一领域也有试点示范，如油气开采和发电领域的 CCS 或 CCUS 项目，但总体关注不够。这些技术中，BECCS 具有广阔的前景，被许多国家的专家学者看好。中国应就大规模 BECCS 的碳源以及对应的环境、土壤，包括粮食生产等一系列关联问题开展研究，作好资源评估与影响评价，并开展示范推广工作。

9. 利用现有基础设施的屋顶与土地资源，增加光伏的普及率。

现有基础设施有大量空置土地产权，可通过光伏+工程的方法，利用好这些空间资源，做大光伏产业，实现 2030 年风光 12 亿千瓦的目标。比如，可以利用众多现有的燃煤电站厂房的屋顶和空地灵活布局光伏，每个电站可布局 4-8MW，1000 个燃煤电站的光伏规模就可以达到 4-8 个 GW。此外，利用高速公路的隔音板、高铁沿途两边的空地、其他工业企业的空地等布局这样的光伏系统，可以更加接近用户，方便就地使用，也可以有效避免弃光问题。

10. 做好氢能发展的顶层设计，开展氢能的碳足迹评估，重视交通之外的氢能应用，通过甲醇等载体，实现氢能与传统能源、化工的耦合发展。

目前，很多国家对氢能作了战略定位，如美国提出的“氢能经济”，欧盟提出的“氢能革命”，日本提出的“氢能社会”，德国把氢能称作“未来的石油”等等。利用氢能做好“碳中和”工作需要考虑四个方面，一是做好氢能的顶层设计；二是要制定氢能清洁制氢的路线图，因为现在中国 62%的氢气来自于煤炭，制氢还存在高污染、高排放、高成本（三高）的情况；三是要完善氢能管理体制；四是要制定氢能产业的碳排放标准（碳足迹）；五是要加快低污染、低碳排放、低成本的氢能技术开发。

氢能作为未来能源发展的一个重要方向，可与电力共同构成终端能源载体，重塑现代能源体系。许多国家纷纷出台氢能战略，将氢能分成“蓝氢”、“灰氢”、“绿氢”等不同类别。建议对氢能生产、储存、运输、利用开展全过程碳足迹评估和标准指定，鼓励低碳氢发展和国际贸易合作。

此外，要开发交通领域之外的氢能利用，鼓励氢能在电力和热力系统融合应用。氢能经济和甲醇经济是近年来来的一个研究热点。可以考虑结合可再生能源制氢和能源化工系统的碳捕集技术，将氢气和 CO₂ 合成为甲醇或者氨，在能源系统中推广应用，实现氢能与能源化工的耦合发展，有效降低弃光弃风率，提高 CO₂ 再利用效率。

11. 重塑能源统计计量体系。

随着可再生能源在能源系统中的不断增加，能源转换系统、转换效率计算需要重新评估。中国需要深入探讨以“标准煤”为基础的能源统计体系改革，在过程中引入碳计量体系，以便更好与国际能源以及碳排放统计体系接轨。

12. 建立“产学研”相结合的创新体系，开发新一代低碳技术。

创新是产学研相结合的动力，能源和低碳发展的“产学研”模式需要不断创新，这方面日本、挪威、德国等国的模式值得借鉴，以产为主起引领作用，让政府部门与研究机构、学术机构、金融机构参与，是这些国家成功创新的主要模式。日本名古屋大学六位诺贝尔奖获得者正在研发的新一代技术都与节能减碳可持续发展有关，包括低成本 LED 灯、零能耗建筑、利用比铁轻五倍强度高五倍的纳米纤维生产轻量化汽车技术、使用蓝光 LED 材料“氮化镓 (GaN)”的“大功率半导体”电动汽车技术、以及微波无线电力传输技术等，这些研发项目的背后都有日本企业的支持，以便取得突破后快速得到应用。

13. 加固能源与电力系统的网络安全与气候韧性。

气候变化和数字化科技赋能对构建未来能源系统带来前所未有的安全风险，气候韧性和能源互联网韧性是在能源转型过程中必须要从设计端就充分考虑的要素。极端天气挑战电力系统的韧性，网络安全风险在于数字技术大规模应用将暴露电力系统在

虚拟空间的脆弱性，可再生能源大规模接入也会引发电力系统的稳定性问题。美国当选总统拜登的经济计划中就包含把横跨美国大陆的超高压智慧电网系统的光纤和电缆全部埋在地下的设计，从而可以更好应对飓风和森林大火等风险。能源系统韧性是国家能源转型规划中必须高度重视的一个要素，也是确保国家能源安全的重要保障。

14. 重新设计城市垃圾收集和处理系统，建立收费体系。

我国现在城市垃圾已开始分类，但离发达国家的垃圾分类、收集、处理水平还相差甚远，其中一个非常重要的原因是垃圾的收集分类过程中没有体现真正的成本。应该提高垃圾、废弃物的回收成本，提高每个公民的责任意识，并逐步探索出垃圾及废弃物收集、分类、处理和热能利用的产业化道路，用市场经济手段提高和完善这一系统。在这些方面，北欧国家的成熟经验值得参考。

15. 推动能源系统向以电力和氢能等二次能源为主导的“能源 4.0”系统转变，创新商业模式。

人类社会从利用薪柴做饭取暖，利用煤炭产生蒸汽，到利用石油提供动力，已经经历了能源发展的 1.0、2.0 和 3.0 过程，驱动能源系统演变进程的是人类活动对高密度、高响应能力、高效率、高便利性、高灵活度、高可靠性、高互联度和高清洁度的能源需求。目前全球驱动经济的能源 3.0 系统仍然是以一次能源为主导，其最大问题在于资源的有限性和环境污染，而未来的能源 4.0 将是以电力和氢能等二次能源为主要能量载体、多能互补、清洁安全高效的零碳系统。在这个系统中，氢能将在一次能源与终端需求之间扮演重要角色。氢既可以和电互通，也可以和交通、工业、农业相关联，实现能源系统中能量与物质的无污染互联互通。在氢能的推广应用过程中，人工合成燃料（比如甲醇、乙醇、氨等）可以作为能量载体扮演一个重要的过渡角色。为了尽快解决经济性，氢能可以像电力一样按不同的时间段和应用场景浮动定价。

16. 碳中和目标的落实既需要充分利用好现有技术，又要尽快开发利用未来新技术，应以 2060 年“碳中和”目标为起点，倒推未来的技术需求，集中力量开发。

技术是实现能源转型的关键手段和能力。由于能源基础设施建设需要提前很多年进行规划、设计、审批、征地、生产、施工，实现 2050 或 2060 “碳中和”目标来不及等待那些不成熟、具有很大不确定性的技术的大规模商业化推广来实现，而是需要依赖目前市场上已有的技术和产品。因此，技术工作的重点是如何开发新的应用模式，挖掘其潜力。

但在另一方面，目前技术发展日新月异，很多领域也存在重大技术突破的可能，而且很有可能发生在基础设施的某些领域，所以基础设施相关的技术和解决方案值得格外关注。国家需要从 2060 年“碳中和”目标年开始倒推，为实现这个目标考虑能源系统的形态，识别哪些关键技术在什么时间节点存在机会。这样倒推回来，就更清楚“十四五”期间我们需要从技术、研发、示范和应用的角度必须做什么，从而有针对性地、有计划性地推进科研、开发和示范项目投资。比如：高效经济的可再生能源转换技术还有很大的发展空间；小型模块化反应堆、微型反应堆技术、制氢和储氢技术、碳捕集封存和利用技术、储能技术、节能增效技术、综合能源网络技术、新型能源服务和能源共享技术等等，这些在 2060 年“碳中和”目标引领下，可以利用中国的体制和规模优势，集中力量办大事，把资金用到刀刃上，系统及时地解决核心关键技术问题，并对制约技术研发和应用的体制机制做出与时俱进的改革。

17. 重视精细化区域能源系统，走集中与分布相结合的能源发展模式。

目前国际能源系统的发展有两大趋势，一是特高压为基础的全球能源互联网为代表的大型能源系统互联互通，虽然技术优势明显，但地缘政治影响巨大，投资也非常大，需要谨慎。另外一个趋势在欧美比较明显，发展精细化、智能化区域能源系统，充分利用本地能源，尤其是可再生能源，通过配电网升级改造、多能互补、提供综合能源管理服务、创造新型能源供需模式，利用点对点的共享和共赢，实现低碳能源供需的本地平衡。美国非常明显是两大趋势的有机结合。我国国土面积大，不同地区能

源生产和使用情况差异大，需要大型的能源（电力）功能网络与本地灵活的智慧能源相结合，即集中与分布相结合，的能源系统形态和发展模式。在分布式能源研发方面，一方面要鼓励“百花齐放”；另一方面，要集中精力针对这一模式找到一些能够马上在市场上起作用的新技术，利用国家的力量在应用领域实现突破。

18. 能源转型和“碳中和”目标的实现需要强大的“领导力”。

我国政府目前的架构是将气候变化业务与生态环境保护合并在一起，但气候变化与能源紧密相关，而能源业务依然在国家发改委、国家能源局。在新一任政府组建过程中，是否可以考虑把气候变化和能源更加有效的结合在一起，是否有必要建立新的部门来协调国家发改委、生态环保部、国家能源局等部门，加强气候方面的领导力，来统筹需要全社会参与的“碳中和”工作。这个顶层设计问题对于“碳中和”目标的实现非常重要。

19. 重塑能源市场设计。

可再生能源发展，在不同的发展阶段，会出现不同的问题，需要重塑能源市场设计。能源转型的典型问题，首先是电力系统的平衡问题，尤其是在风电、光伏等可再生能源引起整个电力系统出现严重的峰谷现象时，平衡的成本往往随着可再生能源比例的提高而增加。德国的经验表明，具有自平衡机制的能源市场，加上对可再生能源发电量的精准预测能有效降低平衡成本。其次是能源转型在进入中期后会出现日益频繁的负电价，增加能源系统的总成本，需要对系统内各类能源系统进行进一步优化设计。尤其要进一步提高能源系统的灵活性。随着我国热电联产在各类能源系统的普及，可以借鉴德国的经验，通过热电解耦，加上补贴的调整，尽可能避免负电价的出现，降低能源系统的总成本。持续提高能源系统的灵活性是能源转型成功的关键措施之一。

20. 关注小型堆和微型堆核电技术，开发核能发电、供热、海水淡化、制氢多应用系统。

目前，作为比常规能源碳排放低得多的能源形式，全球核电发展面临许多困境。一是成本居高不下；二是投资大、融资难；三是尽管风险概率很低，但是事故后果却是难以预料。目前核电发展遇到的主要瓶颈是：需要电的发展中国家资金短缺、融资困难，已成为阻碍核电发展最为严重的问题。核电要想发展，传统的资金密集型、投资大的反应堆受到了很大限制。而小堆、微堆因投入小、周期短，还可以滚动发展，将成为未来核电的一个发展趋势。可以学习高铁模式，整合供应链统筹发展以降低成本，并且做好长期发展规划，为未来的核电技术预留空间。另外，未来核能发电与供热、海水淡化、制氢等可以形成一个多用户系统，可以与煤炭等高碳能源系统形成竞争与替代的关系，将各种可再生能源与氢气等气态能源进行协同融合，而反应堆可以是集中式的、分散式的，也可以是大堆、小堆，在沿海、内陆等地灵活布局。

