

# 碳中和的国际视野与中国路径

何继江

应对气候变化的《巴黎协定》代表了全球绿色低碳转型的大方向，是保护地球家园需要采取的最低限度的行动。各国必须迈出决定性的步伐。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。去年中国正式宣布二氧化碳排放要力争于2030年前达到峰值，并争取2060年前实现碳中和。

碳中和这件事现在只是刚刚开始，还有太多的事情要做。中国碳排放的峰值、中国温室气体排放的峰值、开征碳税、碳市场排放限额、停止新建煤电、煤电退出计划、甲烷排放控制计划、中欧美互认的MRV体系建设、中国光伏支持全球碳减排伙伴计划等在未来都将陆续推进和宣布。

国际社会非常关注中国2060年的碳中和只是二氧化碳，还是也包括甲烷等其他温室气体？就此，不久前中国气候问题特使解振华做了正式回应，明确了是包括其他五种温室气体。所以对碳中和的挑战又增加了40吨二氧化碳当量，这是非常大的挑战。

## 欧洲能源转型目标与战略

2019年7月至2020年10月，我在欧洲待了16个月，去了24个国家了解各国的能源转型情况。

2019年12月份，我参加了马德里的联合国气候变化大会，切身感受了欧洲的净零碳愿景。从COP25（第二十五届联合国气候变化大会）的表盘状的图标我们看到，其间显眼的红色是这次会议的主办国智利（会议地点在马德里，但仍由智利主办）的地图。智利是地球上最狭长的国家，用这个形状做了长针。长针的顺时针方向是实的冰块，接下来越来越虚，表示冰川正在慢慢融化，给人类生活造成严重威胁，短针则是Time for action（行动的时刻，COP25的宣传语是“采



何继江，清华大学社科学院能源转型与社会发展研究中心常务副主任。

取行动，为我们星球，现在！”）。



宣传材料不断在强调 Don't call it change, call it climate emergency（别再说气候变化，要说气候紧急状态）：

- 地球的温度已经上升了一度，这不是变化，而是气候紧急状态；
- 40%的北极冰川正在融化，这不是变化，而是气候紧急状态；
- 三分之一的物种有灭绝的风险，这不是变化，而是气候紧急状态；
- 2050年前可能产生1.4亿气候难民，这不是变化，而是气候紧急状态；
- 40%的北极冰川正在融化，这不是变化，而是气候紧急状态

.....



北欧五国共占地 350 万平方公里（格陵兰占其中 60% 的土地），人口大约 2500 万。

今年我们中国人应该尤其能感觉到这种剧烈变化，比如郑州的大雨等极端天气事件，这种降雨规律的变化会给我们带来非常大的挑战。

我对欧洲能源转型的情况做了一个总结，系列考察报告的本三著作将会正式出版。

欧洲国家能源转型的探索对我们很有启发。需要特别说明的一点是，在电和热的领域，怎么样变成清洁电力和清洁热力，欧洲为中国展现了比较清晰的技术路线图。在电力系统方面，德国、英国、丹麦有很多探索；在热力系统方面，北欧国家如瑞典、丹麦和芬兰都做得非常出色。

在欧洲考察我也非常意外地发现，在交通电气化领域，中国进展快于欧洲，德国的充电基础设施明显不如中国，是比中国晚一年到一年半的水平。因为汽车公司卖燃油汽车赚钱多，他们不愿意面对这样的转型，但是现在中国的电动汽车、充电服务以及电池产业都已经明显走在了德国前面。这次碳中和对每个国家都是一次挑战，即使对德国这样的制造业大国也是非常大的挑战，如果不能把挑战转换成机遇，会很麻烦。

在能源转型方面，北欧五国进展得最出色。冰岛

的可再生能源占比达到 90%，他们的电和热全部来自于可再生能源，主要是地热和水电。冰岛现在化石能源占比仅 10%，主要是汽车和轮船在使用。挪威和瑞典的可再生能源分别达到了 73.7% 和 56.4%，北欧五国都走在了全球最前面。

冰岛和挪威这两个国家，基本上已经是零碳电力系统。另外四个国家瑞典、奥地利、法国、瑞士是接近零碳的电力系统，有三个国家有核电，奥

地利没有核电，但是电力系统也接近零碳。

德国 2020 年一二季度电力系统中有一半的电来自可再生能源，风电排名第一，光伏第二，之后分别是生物质能源和水电。德国能源转型如果从电力、供热、交通三个领域来看，电力系统转型最成功，1990 年可再生能源电力的占比还在 5% 以下，去年达到 45.4%，进展非常快。热力系统中可再生能源占比只占 15.2%。德国交通能源中可再生能源占比只有 7.3%，而且还是在去年才有了较大幅度的提升，已经在很多方面落后于中国。德国的交通能源转型进展缓慢，对我们来讲是一个警示。

英国从 2012 年开始到 2020 年短短九年间煤电比重从 43% 降至 1.6%，图中黑色部分代表这一天煤电发电比率超过 50%，白色部分代表 10% 以下，绿色的表明这一天煤电没有发电，我们可以看出过去九年发生了巨大的变化。

丹麦对可再生能源做了一个特别界定，即可变可再生能源，是因为可再生能源中还分为可变的和相对稳定的，水电和生物质能源比较稳定，风电和光伏变化波动较大。可变的可再生能源也就是风电加光伏在

2019年和2020年已经超过50%，这使得丹麦成为电力系统中可变可再生能源所占比重最高的国家。

2000年，丹麦的可变可再生能源电力只有12%，之后迅速过了20%、30%、40%，2019年达到50%。他们过去在电力灵活性改造以及电力联网方面做了很多工作，最近十年在风电和光伏调动预测系统、热力部门和交通部门的协同等方面也做出很大贡献，2020年以后需求侧的灵活性调整，对丹麦

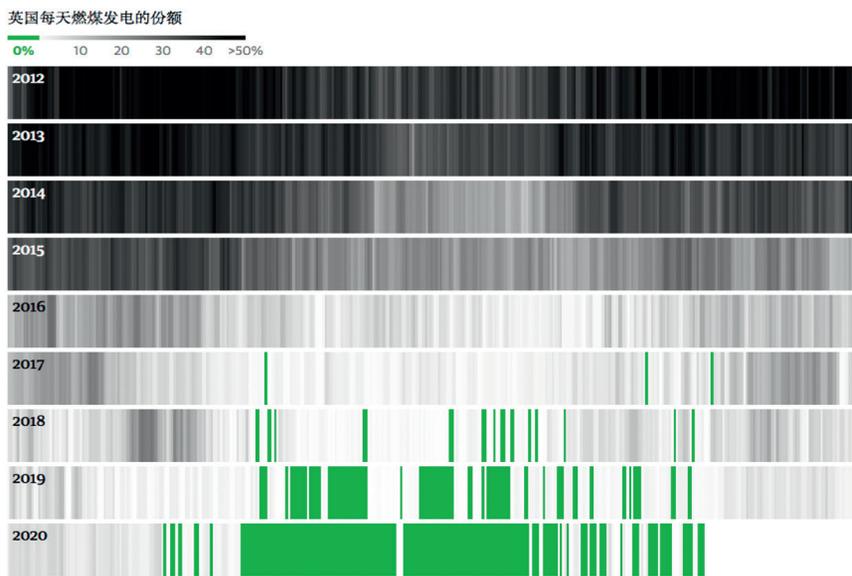
电力系统接纳更多的波动性风电和光伏发电非常重要。

从电力系统角度来讲，我们认为未来我们要建设零碳电力系统，灵活性资源市场建设应纳入十四五规划，这就涉及到灵活性资源的挖掘、管理、调度和交易。

首先，可再生能源的资源量不是问题，特别是风电和光伏。沈阳有13000平方公里土地，这里面拿出1%的土地面积去建设光伏就能产生巨大的电量，130平方公里的土地可以建设13吉瓦的光伏，在沈阳可以发电180亿度左右。

第二，可再生能源的价格也不是问题。光伏组件还有降价空间，光伏发电大约六个月就能把生产制造环节的电力赚回来。电力系统中最大的挑战是灵活性资源如何获得。学术界认为，电力系统、热力系统、交通系统特别是电气化交通系统都能够提供灵活性资源。这样一来，未来灵活性资源的获得解决了，价格也不是太大问题。建设零碳电力系统，从国际经验和从学术界看来技术路线图是明晰的。

我认为光伏将成为新型电力系统的主力。有四家机构对于德国2050年碳中和情景之下的光伏发展做了



资料来源：Drax Electric Insights。最后更新时间为10月26日上午6:55

2012年以来快速退煤，绿电的逐日变化图。2017年英国的碳排放基本已经恢复到1900年的水平。

计划，其中最少的认为人均需要3.4千瓦的光伏，最高可能达人均12.5千瓦光伏。使用这样的电力系统再加上风电，可以满足电力需求。类推中国，在达到人均6~8千瓦光伏的情况下，光伏成为零碳电力系统的第一电力来源是非常可能的。

欧洲许多国家的光伏发电应用很广泛。以德国为例，波恩市肯尼迪大桥上装了392块光伏组件，发电功率共90千瓦；波恩学生宿舍楼上装了光伏遮阳板；德国弗莱堡的很多建筑，包括市政厅都装了光伏；柏林火车站的玻璃顶棚也装了大量的光伏，既能发电又可以透光……由此可见德国的光伏普及状态。瑞典ABB体育馆也装了双面双玻的组件；瑞典ETC光伏庄园的电站做得非常漂亮，不但能发电，还是景观和科普基地。希望中国也建设如此美观又多用途的光伏电站。

### 交通能源

欧洲国家在交通能源方面也有多处使用清洁能源或可再生能源。德国柏林欧瑞府零碳园区是由过去的煤气厂转变而成的，被动房、光伏、充电设施、智慧



柏林欧瑞府零碳园区旁的油氢一体站

电力、无人驾驶等能源转型的前沿要素在这里都有体现。智能光伏充电桩还能光伏充电削峰：早晨 8 点半到单位，接上充电桩之后先不充电，等到中午再充电，比如 10 点开始充电到下午 2 点，这样就可以把园区里中午发电最多的时段进行内部利用。柏林已经有油氢一体站在运营。有连锁超市建了充电桩，桩上有三个关键词：清洁电力、快充、免费一小时。

德国大众汽车厂不但生产电动汽车，门口还有风（能）光（能）互补的充电桩——老牌汽车公司也在寻求战略转型。

瑞典停车场的屋顶上装了光伏，使用的是中国浙江龙焱公司的组件。光伏停车场加充电桩构成近零碳排放的停车场，这是未来发展的趋势。

### 供热能源

瑞典现在的供电系统和供热系统堪称“最绿的”。在瑞典，可再生能源的使用占比达到 56%：石油从电力和供暖系

统中被替代；生物质能源稳步增长；煤炭始终占比很低；天然气占比很少；风电近年快速增长。

去年 4 月，瑞典最后一个燃煤电厂关闭，现在瑞典最大的供热来源之一是垃圾热电厂，共有 30 多个；而且瑞典的热电机组采用防涡振的烟囱边条设计，部分电厂做了去工业化设计，以垃圾和生物质作为能源而不是烧煤，很多地方的热电厂有大型的储热水罐。

垃圾供热方面丹麦也做得非常好。丹麦的垃圾电厂离王宫直线距离不到 4 公里，就在著名的小美人鱼雕像对面，而且把垃圾电厂做成了山的形状，可以滑雪，还配有攀岩设施，既生产清洁能源，又能和民众有很好的融合。

北欧的电厂普遍都配了储热罐，芬兰富腾公司积极收购埃斯波市的各种废热，从附近的污水处理厂取热，将热储存在储热罐里，提高电厂的灵活性，跟电网进行很好的配合。

生物质供热在北欧地区非常普遍。在瑞典，生物质和垃圾燃料占了区域供热的三分之二；固体生物燃料，比如木屑占 2016 年燃料总产量的一半。

垃圾和生物质资源我们没有充分利用起来，还有大量垃圾处在填埋状态，造成土地占用和能源的浪费。

未来的房屋建设，也是超低能耗的趋势。我们在



丹麦哥本哈根的 Amager 垃圾发电厂 (CHP) 效率高达 90% 以上。

挪威考察的零能耗建筑 power house，高处有十层楼，矮处是三层楼，坡面上装满了光伏，一年产生 48 万千瓦时电量，大于整个建筑的用电量。我们国家要实现碳中和，也需要建设超低能耗的建筑。



瑞典北纬 64.5 度的氢能房子：Zero Sun Project

## 欧洲氢能发展

光伏发电的季节差异很大：夏天发电很多，冬天发电很少。如果按照夏天的功率去装光伏的话，冬天不够用；而按照冬天的功率装的话，夏天就太多了。未来的解决方案是氢能，利用夏天多余的绿色发电制氢，作为灵活负载调峰；氢产物可以进入天然气管网，也可以直接供应燃料电池汽车；另外也可以把氢气再制成甲烷，或制成氨和甲醇，便于长距离运输和储存。

欧盟对氢能的观点去年发生很大的变化，他们认为要搞绿氢（可再生能源电解水获得氢气）而非蓝氢或灰氢（以天然气和煤制氢）。德国的化工厂已经尝试用氢制甲烷电解水制氢，二氧化碳是从当地的废物焚化厂的烟道气中捕集，然后化合制造甲烷。类似的技术路线奥迪公司也在使用，每年可以捕集 2800 吨二氧化碳，制造 1000 吨甲烷。

去年 7 月份，欧盟正式通过了《欧盟能源系统集成战略》和《欧盟氢能战略》，我们看出氢能的发展空间非常大。欧洲也开始做大规模的风电制氢，在北海和波罗的海建大规模的风电岛，大规模降低成本。我们觉得沈阳的北部新民县或者是更往北一点的彰武县，可以参考这样的方式来发展装备制造业。

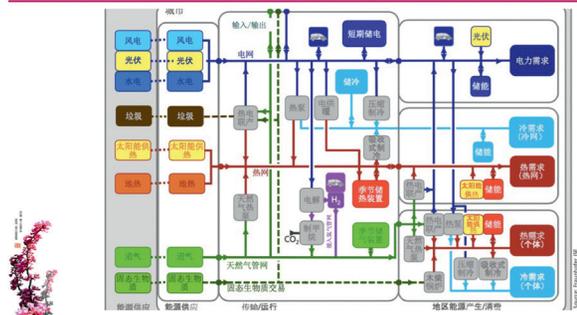
瑞典北纬 64.5 度有座氢能房屋，在夏天储存能量留到冬天，冬天再用五千瓦燃料电池给房子供电供热，这个项目是当地市政府的科技示范项目，委托一家企业实施，这房屋周一到周四归市政府使用，在那里做宣传展示，星期五和星期天归公司使用，当作宾馆出租给客户。房子没有跟电网相连，完全靠氢能和

光伏满足了能源需求。在瑞典的哥德堡也有同样技术方案的房子。

德国和瑞典都在做氢气炼钢，这是装备制造业中非常大的突破。瑞典吕勒奥已生产了无碳钢铁。这两个项目值得我们探讨，因为鞍钢有大量的钢铁产业需要减排。

这张图是德国人为法兰克福这样的较大城市做的 100% 可再生智慧能源系统，目的是达到零碳城市，这个成本比较高。荷兰也做了这样的能源地图，把光伏房屋建筑，热能损失等全部集成在一张图中，这需要住建局来和相关部门配合，把所有的用能和产生的能源的潜力都匹配起来，在城市里面做综合规划和布局。

## 零碳城市：100%可再生智慧能源系统



## 碳中和的中国路径

2021 年 3 月，中央财经委员会第九次会议指出，构建以新能源为主体的新型电力系统。这里面的主角第一是光伏，第二是风电，其次是水电。国务院副

理韩正强调要推广低碳零碳负碳技术。国家发展改革委副主任连维良讲，整县推动分布式光伏规模化开发，在乡村在城市要做到宜建尽建，光储一体。适合装光伏的地方都装上光伏，同时配上储能，建设光储一体化的项目。这是当前关于碳中和重要的技术路线。

未来十年内我们要做的事很多，2021年4月18日，中美应对气候危机联合声明明确了八个方面的举措：

（一）工业和电力领域脱碳的政策、措施与技术，包括通过循环经济、储能和电网可靠性、碳捕集利用和封存、绿色氢能；

（二）增加部署可再生能源；

（三）绿色和气候韧性农业；

（四）节能建筑；

（五）绿色低碳交通；

（六）关于甲烷等非二氧化碳温室气体排放合作；

（七）关于国际航空和航海活动排放合作；

（八）其他近期政策和措施，包括减少煤、油、气排放。

下面这张图是我的思考，图里这四个领域的用能和生产能源的设施，通过互联网平台，就是电碳交易的平台，把生产和使用设备协同到一起，可以做社区和村镇以及园区试点，甚至未来做区县和沈阳的碳中和。



沈阳的双碳我有几点建议：

首先是要减碳增绿。

一，特别重要的是煤电灵活性改造。沈阳现在很大比例碳排放来源是煤电，煤电做灵活性改造可通过配套大型储热罐提高灵活性。

二，大幅度提升分布式光伏渗透率，还要提高接纳外部绿电的能力。

三，燃煤锅炉改电，借鉴北欧区域供热和德国经验，逐步淘汰燃煤锅炉、腾出碳指标。

四，整县整区光伏的模式扩展至清洁供热和电动交通领域。

五，辽宁中部生态屏障区（科尔沁沙地南缘）光伏治沙基地和氢能基地。沈阳民众和企业可以去投资新能源或购买绿电，发展氢能装备制造业，发展氢气炼钢技术。

其次是要科技创新。

一，清华大学沈阳碳中和双创活动采取揭榜挂帅方式，围绕重点碳排放项目和碳中和先锋项目，征集减碳方案。以双碳项目为应用情景，组织低碳零碳负碳技术大赛。

二，清华校友总会和沈阳校友会组织碳中和的三创大赛及产业孵化。

三，清华院系组成沈阳市双碳专家委员会，电机系、能动系、建筑学院、大数据研究院、环境学院等多个院系跟碳中和有关，我们可以结合清华的力量，为沈阳设计碳中和路线图，以及参与到揭榜挂帅的评审等相关活动中来。

四，这些方案要落到实处，一定需要产业资金的介入，可以考虑设计碳中和的产业基金和创投基金。清华有经管学院和五道口金融学院，也可以给沈阳带来支撑。我们可以用这样的资金力量来把沈阳的碳中和项目以及下一步的产业孵化做好。

五，沈阳跟德国已经有比较好的合作关系，可以借鉴德国欧瑞府零碳园区经验，建设沈阳零碳科创园区。

当前我们正在从工业文明时代走进生态文明时代，这是人类文明的赶考，我们一定要考出好成绩。📌

【本文为作者在清华校友助力沈阳高质量发展大会暨第三届清华校友创新论坛上的发言，略有删改。】