



中国（德国）研发创新联盟

碳中和白皮书 2022

碳中和与能源转型专业委员会



2022-9-20

中国（德国）研发创新联盟
Stresemann Strasse 123, 10963 Berlin
info@cfeid.de

前言

亲爱的读者们：

我谨代表中国（德国）研发创新联盟，在此为联盟碳中和与能源转型专业委员会白皮书的发布，表示热烈祝贺！

由温室气体排放引起的气候变化，正在成为全人类共同面临的巨大挑战。碳达峰、碳中和目前已得到国际社会的广泛认可，全球已有 50 多个国家实现碳达峰，但未有主要经济体实现碳中和。因此包括中国和德国在内的许多国家都开始积极推动碳中和目标以及能源转型战略。从长远角度来看，这是气候变化背景下的必经之路，也是地球可持续发展的必然选择。而“双碳”的共同目标，在引领能源革命和产业变革的同时，也必将带来更多的机遇和挑战！

联盟作为中德科技领域合作的推进器，本着“德中联合、协同创新、科技转化、合作共赢”的宗旨，始终致力于推动德中两国尖端技术的研发和创新，推动企业、协会和机构的发展。在全球气候变化的时代背景下，联盟成立了碳中和与能源转型专业委员会，为中德两国科技创新与交流合作提供了更加专业化的平台。通过技术交流、资源共享、人才对接等方法，重点聚焦当下的技术短板和应用需求，搭建动态有效的共享信息平台，把握欧洲及全球创新趋势，进一步增强中德两国在碳中和领域的合作共赢，助力两国“双碳”战略的推进。

碳中和白皮书的发布，是专委会搭建的一个重要交流平台。白皮书中涵盖了专委会简介、专委会成员单位简介以及德国就碳中和目标在诸多领域进行的变革与创新。希望通过这份白皮书，能够提升大家的关注度和激发大家的参与意识，同时将专委会的现阶段的工作成果汇报给行业内企业及相关政府机构，为推动中德两国之间在双碳领域内务实的合作。

最后，感谢参与白皮书编撰的各位同仁，感谢你们为联盟和专委会的付出，感谢你们为中德研发创新工作的努力！



雷宪章
德国国家工程院院士
中国(德国)研发创新联盟主席
2022 年 5 月

目录

前言	1
总纲	4
一、碳中和与能源转型	6
（一）背景	6
（二）中国气候变化与碳中和行动	9
（三）机遇与挑战	10
参考文献	12
二、碳中和与能源转型专业委员会	13
（一）意义和目标	13
（二）组织架构	13
三、欧洲（德国）碳中和行动	14
（一）能源	14
1.背景	14
2.德国能源转型实施路径	14
3.能源转型案例	28
（二）工业	33
1.背景	33
2.德国工业转型实施路径	34
3.工业转型案例	47
参考文献	49
（三）交通	50
1.背景	50
2.德国交通行业转型实施路径	51
3.交通行业转型案例	65
参考文献	73
（四）建筑	75
1.背景	75
2.德国建筑行业转型实施路径政策	77
3.建筑行业转型案例	79
参考文献	87
	2

四、专委会委员介绍	89
（一）单位	89
（二）个人	110
五、对中国的启示	122
六、结束语	124

图表

图表 1 全球工业化水平提升，加速二氧化碳排放量的增加（单位：亿吨）[来源：BP，国盛证券研究所]	6
图表 2 全球温度变化情况（对比无人类影响的自然状态）[来源：GLOBALWARMINGINDEX，国盛证券研究所]	7
图表 3 全球各国实现净零排放或碳中和的目标	8
图表 4 每个行业允许年排放量（《联邦气候保护法》，2019 年 12 月）	15
图表 5 德国排放交易市场	25
图表 6 德国氢能战略	28
图表 7 德国能源使用情况	29
图表 8 供能基于物理模型的光能仿真系统	30
图表 9 德国循环经济模型	42
图表 10 能源系统设备和因素复杂关系网	81
图表 11 特定设定条件下模拟结果	82
图表 12 基于物联网技术的室内自动温控系统	83
图表 13 温湿度及阀门开关设定值及实际测量值曲线	84
图表 14 设备运行状态及热计量测量值	84
图表 15 机器学习智能算法控制模型流程	85

总纲

从历史上看，在当代全球碳中和行动启动之前很久，人们就已经提出了从化石燃料转向（从现代角度看）替代能源的分散和集中的各类方法，这些方法从不同的背景中传播开来。

个别一些文件表明，甚至在工业革命之前，人们就知道或在某些情况下怀疑化石原料的有限性。例如，在 16 世纪，英国人担心硬煤的供应可能很快就会枯竭。因此，议会对煤炭出口的禁令进行了辩论，并于 1563 年在苏格兰实际通过。然而，直到 18 世纪，人们仍然普遍认为煤炭储备是取之不尽的。从 18 世纪末开始，又出现了几次关于煤炭储量的有限性及其范围的辩论，其中一些是公开的，这些辩论也从英国传到了欧洲大陆。

200 年过去了，经历了狂奔的科技演变的人类社会终于来到了 2022 年这个前所未有的气候变暖、能源危机的节点。全球来看，很多国家、城市和国际大企业做出了碳中和承诺并展开行动，全球应对气候变化行动取得积极进展。世界各国不约而同的关注“碳中和”，绝不是巧合，有它深层次的含义和战略布局，开启了一个国家力量和国家形象竞争的新领域。在国际关系方面，未来全球主要经济体均会参与到碳中和，在当前贸易摩擦反复的大背景下推动新能源发展和全球合作的意义重大。

实现碳中和的途径主要包括电力生产清洁化，发展智慧城市提高能源利用率，交通和工业的电动化、氢能化等综合能源利用，以及碳捕捉等四个方面。从电源侧来看，新能源主要转化为电能使用，要实现碳达峰，就要大力发展清洁能源的高效利用。从用能侧来看，随着分布式能源系统、电动汽车等交互式能源设施广泛接入，各种新型能源需求不断涌现。此外，储能技术发展迅速，未来也将从源网荷各个环节，深刻影响电力系统运行。这些都是各国碳中和路径中不约而同的共同点，各国资源禀赋不同，出发点也就不同，但是可以有的逻辑链条却是高度类似。因此对于最早提出能源转型的德国的碳中和发展经验进行总结和分析，对于中国未来的碳中和发展应该是非常有借鉴意义的一件事。

破局碳中和需要从能源消费侧和能源供给侧同步入手，建立多种能源、多层级的能源物联网平台；同时充分重视发展并发挥数字技术的优势，优先新能源接入和应用，优先高能效企业和产品的能源分配。

中国采取行动积极应对气候变化，尽早达峰迈向近零碳排放，这不仅是国际责任担当，也是美丽中国建设的需要和保障。2060 年碳中和，是中国融入新时期全球产业链，及构建人类命运共同体的关键决策，将给中国发展带来深刻的变革。为实现 2030 年碳达峰，非化石能源将首次成为能源增量的主力军，能耗“双控”、

碳交易及绿色金融是重要政策抓手。

简单来讲，首要是进一步建立并深化各种能耗物联网系统，将物联网的泛在感知、可靠通信、灵活信息交互和智能控制的先进优秀性能最大化发挥，将能源物联网建设深化到城市、园区、楼宇、企业，实现电力、水务、燃气、供热、用电、充电等城市基础设施进行数字化和低碳运营发展，为企业、园区、城市建立综合分层分级管理的能源能耗在线监测系统，为双碳目标建立数据基础，持续发掘节能空间与实施节能评估，持续提升对能源的最高效利用，以数字化服务碳中和。此外，再通过可再生能源装置大规模生产和规模经济，实现了成本的快速降低。最终，通过碳中和这个目标，用数字化能源作为手段，实现的是零边际生产成本的全新工业社会，从而解决气候变暖问题的同时最优化人类生产过程。

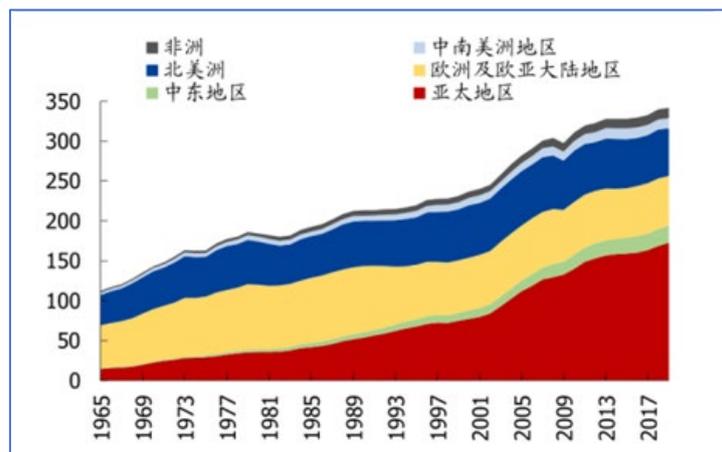
一、碳中和与能源转型

（一）背景

气候变化是我们当今时代的决定性问题，我们正处于一个决定性的时刻。从天气模式转变导致的威胁粮食生产，到海平面上升导致增加灾难性洪水风险，气候变化的影响是全球性的，且规模是前所未有的。如果今天不采取严厉的行动，将来想要改变这些影响将更加困难且成本昂贵。

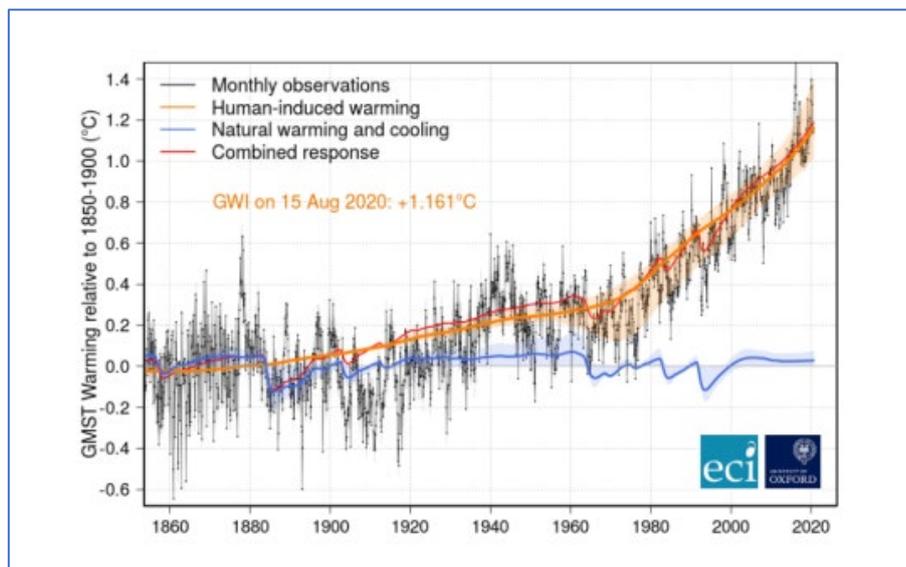
气候变化是今日国际头等大事之一，气候变化不仅引起全球平均地表温度的升高，而且引起全球变暖的现象。实际上，气候变化引起灾难的数量和严重程度都有所增加。

这些灾难包括干旱、沙尘暴、洪水、热浪、飓风、热带风暴、龙卷风和野火。国家灾难监控中心（The Internal Displacement Monitoring Centre）报道，2010-2011年间亚洲和太平洋地区因恶劣环境造成的难民达到了 4200 多万。这些人因为海平面升高、干旱、风暴、洪水、热浪和寒流等而移民。目前，全球的环境难民比政治难民和战争难民加一起的数量还多。



图表 1 全球工业化水平提升，加速二氧化碳排放量的增加（单位：亿吨）[来源：BP，国盛证券研究所]

随着全球工业化的推进，全球温室效应日益突出。随着化石能源的使用和工业化，造成了大量的碳排放，全球气候正在变暖。牛津大学的统计数据显示，1950年，全球二氧化碳排放量仅为 50 亿吨。到 1990 年，随着欧美和亚洲工业化的深入，全球碳排放量超过 210 亿吨，40 年间增加了两倍。工业化进程加速了全球经济的发展，同时也加速了温室效应的凸显。



图表 2 全球温度变化情况（对比无人类影响的自然状态）[来源：globalwarmingindex，国盛证券研究所]

为此在 2015 年的第 21 届联合国气候变化大会上由全世界 178 个缔约方共同签署了在世界纪念具有里程碑意义的《巴黎气候变化协定》。《巴黎协定》的长期目标是将全球平均气温较前工业化时期上升幅度控制在 2 摄氏度以内，并努力将温度上升幅度限制在 1.5 摄氏度以内。[2] 联合国提出这个一个地球变暖的上限——气温比前工业化时代最多高 1.5°C，科学家指出，要达到这个目标，前提是社会生活各个层面发生迅疾的、影响长远的、前所未见的改变。由此引出了当今最受关注的话题——碳中和。

碳中和是指国家、企业、产品、活动或个人在一定时间内直接或间接产生的二氧化碳或温室气体排放总量，通过使用低碳能源取代化石燃料、植树造林、节能减排等形式，以抵消自身产生的二氧化碳或温室气体排放量，实现正负抵消，达到相对“零排放”。碳中和概念不同于气候中和概念，因为它不考虑其他种类的温室气体。

目前已有 127 个国家和地区对碳中和目标做出承诺，其中许多国家和地区已经将达标时间和措施具体化，如欧盟、德国、法国、英国和瑞典。大多数碳中和目标承诺国已通过了政策宣示，但缺乏支撑其具体实施的政策文件；少部分国家和地区采用立法方式，如英国、日本、欧盟、韩国、美国加州通过了应对气候变化的专项法律，但法律实施力度尚未明了。

欧盟在全球可持续发展潮流中一直是引领者，当前欧盟已将碳中和目标写入法律。2020 年 3 月，欧盟委员会发布《欧洲气候法》，以立法的形式确保达成到 2050 年实现气候中性的欧洲愿景，从法律层面为欧洲所有政策设定了目标和努

力方向，并建立法律框架帮助各国实现 2050 年气候中和目标，此目标具有法律约束力，所有欧盟机构和成员国将集体承诺在欧盟和国家层面采取必要措施以实现此目标的义务。德国、法国、瑞典和英国等欧洲主要国家已通过立法方式对温室气体排放进行限制。

美、澳、日等发达国家在面对碳中和目标时，往往采取保守策略。

长期以来，美国在碳中和目标上态度不明继先后退出《京都议定书》《巴黎协定》之后，2021 年 2 月拜登就任总统后美国重新加入《巴黎协定》，加入碳减排行列，积极参与落实《巴黎协定》，承诺 2050 年实现碳中和。在州层面，目前已有 6 个州通过立法设定了到 2045 年或 2050 年实现 100%清洁能源的目标。

自 2018 年起澳大利亚气候政策主要表现：一是《能源保障计划》的废除，意味着澳大利亚寻求改革能源市场以减少温室气体排放的尝试以失败告终；二是 2019 年 2 月 25 日发布的《气候解决方案》，该方案计划投资 35 亿澳元来兑现澳大利亚在《巴黎协定》中做出的 2030 年温室气体减排承诺；三是实行倾向于传统能源产业的政策，在新能源产业上投入不足。

为应对气候变化，日本政府于 2020 年 10 月 25 日公布“绿色增长战略”，确认了到 2050 年实现净零排放的目标，该战略旨在通过技术创新和绿色投资的方式加速向低碳社会转型。[3]

国家/地区	目标日期	承诺性质	减排目标/措施
奥地利	2040 年	政策宣示	2040 年实现气候中立，在 2030 年实现 100%清洁电力
加拿大	2050 年	政策宣示	2050 年净零排放目标，并制定具有法律约束力的五年一次的碳预算
智利	2050 年	政策宣示	2040 年前逐步淘汰煤电，努力实现碳中和
中国	2060 年	政策宣示	2030 年之前达到排放峰值，2050 年实现碳中和
丹麦	2050 年	法律规定	2030 年起禁止销售新的汽油和柴油汽车，并支持电动汽车，2050 年建立“气候中性社会”
法国	2050 年	法律规定	2050 年实现碳中和目标
德国	2050 年	法律规定	2050 年前“追求”温室气体中立
匈牙利	2050 年	法律规定	2050 年实现气候中和
冰岛	2040 年	政策宣示	冰岛已经从地热和水力发电获得了几乎无碳的电力和供暖，未来逐步淘汰运输业的化石燃料、植树和恢复湿地
日本	本世纪后半叶	政策宣示	2030 年，煤炭仍将供应全国四分之一的电力
新西兰	2050 年	法律规定	2050 年，生物甲烷将在 2017 年的基础上减少 24-47%
挪威	2050 年	政策宣示	2050 年在国内实现碳中和
葡萄牙	2050 年	政策宣示	2050 年实现净零排放目标
南非	2050 年	政策宣示	2050 年成为净零经济体
韩国	2050 年	政策宣示	2050 年前使经济脱碳，并结束煤炭融资
西班牙	2050 年	法律草案	立即禁止新的煤炭、石油和天然气勘探许可证
瑞典	2045 年	法律规定	2045 年实现碳中和
瑞士	2050 年	政策宣示	2050 年前实现碳净零排放
英国	2050 年	法律规定	2050 年实现净零排放目标

图表 3 全球各国实现净零排放或碳中和的目标

世界各国积极响应“碳中和”战略，而中国的碳减排压力明显更大。中国承诺在 2030 年前达到碳达峰，2060 年达到碳中和，这体现了中国作为一个大国的

担当。虽然结合目标日期设定，中国 2060 年的目标日期相对晚于其他国家，但结合碳减排压力，中国的碳减排压力无疑是最大的。我们将近五年碳排放的平均变化作为当前的碳减排水平，将当前的碳排放规模在现在和目标年之间平均分摊，作为碳减排的理论平均年规模。相比之下，中国在有限的目标时间内实现“零碳”排放的压力明显高于其他国家。[4]

（二）中国气候变化与碳中和行动

煤炭仍是国内能源供应的主要来源，“煤改气”在我国的性价比较低。从中国的能源消费和供应结构来看，煤炭仍然是中国的主要能源供应。虽然近年来随着国内供方改革和新能源的逐步替代，其比重有所下降，但仍保持主导地位，到 2019 年底仍在 57.7% 左右。虽然我国近年来不断加大“煤改气”的供热改革力度，但天然气能源供应比例仅为 8% 左右，主要是由于我国天然气产量明显不足，对外依存度明显高于其他能源替代品，这也是我国“煤改气”能源改革的重要障碍。

中国的工业领域使用了 48.3% 的能源，其中钢铁行业和化工石化行业又分别占据工业领域 24% 和 21% 的能源使用，这些行业的需求依然持续走高，短期内减排的难度很大。

但是中国在新能源领域的产业发展和技术发展都是全球领先的状态。2019 年中国光伏产业中的硅片、电池片和组件的产量分别占全球总产量的 91%、79% 和 71%，逆变器产量占全球市场的 80% 以上；风电整机制造占全球总产量的 41%；锂电池领域诞生了全球行业巨头——市值超过 1 万亿元的宁德时代；新能源汽车领域也出现了蔚来、小鹏等很受市场欢迎的自主品牌。所以，如果全球都减排去碳的话，对中国从商业上、产业上都是非常巨大的机会。减碳可以帮助中国在能源、汽车等领域做到弯道超车，实现产业竞争力上的跨越。[5]

为此我国大力发展支持新能源的推广和应用。2020 年 10 月以来，国家发改委、生态环境部、交通运输部、工业和信息化部等部委积极响应中央号召，认真讨论制定了《碳中和》实施方案，央行、中国银行业监督管理委员会和中国证监会与各部委联合发布《关于推进应对气候变化投融资的指导意见》，积极推进“碳中和”投融资合作。根据国家发改委的规划意见，未来将向六个方向推进：一是大力调整能源结构；第二，加快产业结构转型；第三，注重提高能源利用效率；第四，加快低碳技术的研发；第五，完善低碳发展的制度和机制；第六，努力增加生态碳汇。

（三）机遇与挑战

中国发掘与抓住“碳中和”重要机遇的必要性体现在以下两个层面。国际关系层面，世界各国积极布局低碳经济将直接影响未来国际政治经济局势走向，世界“碳中和”进程伴随着国际产业格局和金融格局的全面重塑，不断带来全新的投资机遇与合作机遇。国内形势层面，中国减排成效显著，2019年碳排放强度(每单位国民生产总值的增长产生的二氧化碳排放量)比2005年降低48.1%，但自“碳中和”目标提出后，中国的碳减排工作遇到了决定性的转折点，需从产业到部门、从国家到省市重新探索更为安全可靠的方案和路径，挖掘产业升级与绿色转型的潜在机遇，最终实现可持续的高质量发展。

清洁和零碳技术有望重塑新时期中国的全球竞争力。近几年来，中国凭借低成本和规模化创新优势，已经建立了具有较强竞争力的风电、光伏产业链，目前已经是全球可再生能源领域的最大投资国、最大的多晶硅产国、最大的锂电池材料和电池生产基地，也是全球最大的电动车市场之一。如果能够抓住新一轮低碳科技革命的历史机遇，在资源再生利用、提升能效、电气化、清洁发电技术、储能、氢能以及数字化技术等领域取得突破性进展，将极大提升国家核心竞争力。向碳中和经济过渡将给低碳产业带来巨大的投资机遇。提升可再生能源比例，最大限度利用核能、氢、氨等清洁能源，推动工业领域的节能减排，推广零碳交通和绿色建筑，增强碳汇等都是中国产业转型的方向。这一进程中风电、氢能、核能、汽车和蓄电池、船舶、交通物流和基建、航空、建筑和太阳能、资源循环等产业以及相关装备制造、大数据平台、绿色终端产品都将迎来重大发展。[6]

能源转型是实现碳中和的关键因素。全球一半以上的温室气体排放来自能源行业，因此，能源行业是各国最为重视的减排领域，面临的减排任务艰巨。国际能源署发布的《2020 能源技术展望》报告中显示，要实现全球经济与气候可持续发展，全球能源生产和消费模式需发生深刻变革，全球二氧化碳排放需在本世纪中叶前后实现净零排放。[7]能源转型主要包括两个方面内容。一是加大电能替代及电气化改造力度，推行终端用能领域多能协同和能源综合梯级利用，推动各行业节能减排，提升能效水平；二是实现能源结构调整，由化石能源向可再生能源转型，从能源生产、输送、转换和存储全面进行改造或者调整，形成新的能源体系，全面提升可再生能源利用率。

对于企业来说实时的抓住机遇进行能源转型是一个必然的趋势。例如能源类企业，必须科学合理的设计碳中和的路线图，实现存量化石能源和高耗能资产的重新定位和有序退出。比如，未来的电力系统里一定有煤电，那么能够分析判断出哪些煤电资产是必须要留下来的，哪些是需要尽早退出的，就需要有超前的战

略判断。对电力行业而言，清洁低碳转型是未来必然的发展，随着未来风电、光伏、核电等零碳电力装机持续增大，储能技术大规模应用以及火电的逐步退出，电力行业将提前实现碳达峰与近零排放。而相比之下未来钢铁、水泥、电解铝等工业企业的脱碳会比电力企业更加困难，因此，要加强低碳技术的研发和应用，帮助各类高排放产业和居民的生产和生活从源头减碳，以此作为能源服务产业链的延伸，塑造自身在未来能源服务市场的核心竞争力。

德国 TÜV Rheinland 于 2022 年 2 月发布的《探讨中国企业碳中和路径调研报告》显示，72%的受访企业表示了解企业温室气体排放的来源、规模和性质，有近五成的企业或设置了专职的碳资产管理部门，或已与第三方专业机构开展合作。德国 TÜV Rheinland 的这份报告还发现，尽管有 73%的受访企业表示 2060 年碳中和目标对其企业的业务产生了影响，但遗憾的是，仅有 12%的受访企业已经制定了具体的脱碳、净零目标和时间表，仍有 30%的受访企业不了解或没有任何相关计划。[8]

参考文献

- [1] <https://www.un.org/zh/documents/treaty/files/FCCC-CP-2015-L.9-Rev.1.shtml>
- [2] Einträge Climate neutrality und Carbon neutrality.
- [3] 中国环境报
- [4] 股票技巧
- [5] 第一财经
- [6] 《旗帜》2021 年第 6 期
- [7] 国际能源署，2020，《2020 国际能源技术展望》
- [8] 德国 TÜV Rheinland，2022，《探讨中国企业碳中和路径调研报告》

二、碳中和与能源转型专业委员会

（一）意义和目标

为应对气候变化、减少温室气体排放、改善能源结构，中国及欧洲正致力于推动碳中和目标和能源转型战略。2019年12月，欧盟委员会正式发布《欧洲绿色协议》，阐明欧洲迈向气候中性循环经济体的行动路线，提出欧盟2030和2050年气候目标，即2030年温室气体排放量在1990年基础上减少50%~55%，2050年实现净零排放的碳中和目标。2020年9月，中国向世界宣布了2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的目标。在这样的背景下，中欧在碳中和与能源转型领域的技术交流与资源共享日益增多，跨国合作愈发紧密。

为促进中欧碳中和与能源转型领域的交流与合作，促进机构间经验共享，中国（德国）研发创新联盟（以下简称“联盟”）于2021年成立“碳中和与能源转型专业委员会”（以下简称“专委会”）。根据当前世界科技创新、学科交叉融合发展的特点，联盟及专委会紧紧依靠中德两国的科学技术资源，坚持问题需求为导向，解决企业发展瓶颈问题，开展多元化开放式合作，适应国际科技新变化。专委会定期开展各类专属及公众活动，高效整合行业资源，结合中欧相关技术研发能力、路线图、政策法规等，为中欧实现碳中和目标提出建议与制定方案。

- 短期目标：收集和整理欧洲（以德国为主）碳中和相关资料，发布《中国（德国）研发创新联盟碳中和白皮书 2022》，建立碳中和资源数据库，对接中德两国双碳领域的技术和投资合作。
- 中期目标：为中国地方政府、企业以及高校等提供欧洲范围内碳中和政策、发展路线和技术方面的咨询。帮助联盟成员单位实现自身价值，帮助企业开拓更加广泛的市场。促进中德政府、企业以及学术单位进行有效的信息交流和分享，推动两国在碳中和与能源转型方面的合作。
- 长期目标：成为中国在双碳领域对外合作的重要智库。

（二）组织架构

- 专业委员会主任：侯正猛教授
- 专业委员会副主任：李煜、廖宇
- 专业委员会秘书处：郝冠琦、柳毅、蔡颖（陕鼓欧研）、王嘉伟
- 专业委员会委员：碳中和领域相关企业、机构、协会和专家等

三、欧洲（德国）碳中和行动

（一）能源

1. 背景

能源行业包括了几乎来源于公共电力和热力供应的发电厂、管道压缩机、炼油厂的化石燃料燃烧所产生的所有排放物以及具有挥发性的排放物。这其中还包括了由私人家庭、交通、工业（自发电除外）、贸易、商业和服务行业（第三产业）的电力消耗所产生的排放[1]。

对于德国来说，能源行业减少温室气体排放的核心措施是稳步可靠地扩大可再生能源和逐步停止燃煤发电，以及提高能源行业和需求部门的能源效率，尤其是欧洲的排放交易和热电联产有助于减少温室气体的排放。

自 1990 年以来，德国凭借着其雄心勃勃的目标和一系列的监管措施，例如《可再生能源法》、《能源工业法案》第 13 条所谓的褐煤的安全准备、《热电联产法案》等各种为了促进能源效率的措施以及欧洲排放交易体系中限制数量的证书发放，其能源行业的温室气体排放量已经大幅减少了 33%。2018 年，德国的可再生能源在电力消费中的份额已经达到 38% 左右。煤炭（褐煤和硬煤）发电量持续下降，至 2018 年达到了自 1990 年以来的最低值为 299TWh。然而，这些还远远不够，与其他行业一样，能源行业还需要付出更多的努力，以实现其温室气体中和的目标[1]。

小步走的时代已经结束，如今需要一个新的能源秩序。在新的能源系统中，电力是中心能源载体。为了可持续的减少温室气体的排放，未来 15 年里所有行业的能源供应都应 100% 以可再生能源为基础。为了是能源系统很大程度上独立于进口，需要大约 200GW 的陆上风电、50GW 的海上风电和 500GW 的光伏发电能力。

2. 德国能源转型实施路径

2.1 挑战与目标

2050 年的气候行动计划中为能源行业设定了 2030 年的行业目标为 1.75 亿至 1.83 亿吨二氧化碳当量，这是为实现德国国家气候目标允许排放的最大值。与 1990 年相比，温室气体减少了 61% 至 62%，这与德国总排放量的高份额相符。因此，能源行业必须为实现 2030 年气候目标做出迄今为止最大的绝对减排贡献。

为了实现能源行业这一雄心勃勃的行业目标，需要在气候政策方面采取强有力的措施，同时还应保持经济和社会的平衡以及保证供应的安全。因此，主要指

导方针形成了由供应安全、环境兼容和经济效率组成的能源政策标准三角形。同时，也需要考虑社会的接受度。这些标准将在政策制定中被考虑，也将在政策实施中被应用。

衡量能源部门所采取的额外措施的关键变量是总电力消耗的预期发展。目前，一方面供暖和运输部门对电力的需求不断增加，另一方面，由于采取了提高能源效率的措施，因此预计到 2030 年这将略低于今天的水平。

德国联邦议院 2019 年 11 月 15 日通过的《联邦气候保护法》明确了能源、工业、建筑、交通、农林等不同领域所允许的碳排放量，规定联邦政府部门有义务监督有关领域遵守每年的减排目标。其中针对能源明确提出可再生能源发电量占总用电量的比重将逐年上升，该比重将在 2050 年达到 80%。

年排放量/百万吨 CO2 当量	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
能源经济	280		257								175
工业	186	182	177	172	168	163	158	154	149	145	140
建筑	118	113	108	103	99	94	89	84	80	75	70
交通	150	145	139	134	128	123	117	112	106	101	95
农业	70	68	67	66	65	64	63	61	60	59	58
废料管理和其他	9	9	8	8	7	7	7	6	6	5	5

图表 4 每个行业允许年排放量（《联邦气候保护法》，2019 年 12 月）

在能源行业中因此而涉及或受影响的个体或企业因措施而异，除了政府层面，主要受影响的通常是能源供应商和能源消费者，即企业和公民。一方面，他们受制于能源政策的要求和负担，例如《可再生能源法》中的附加费，但另一方面，他们获得了经济和商业政策的激励和支持。

通过在研究、开发和创新领域实施的措施，将会挖掘出在能源领域针对气候保护新的、额外的潜力。除了这些近期提出的措施外，许多其他措施已经在实施中，这些措施对于能源转型的成功至关重要。这尤其适用于电网的优化和扩展或所谓的部门耦合的进一步发展。

随着能源转型，跨区域电力运输需求显著增加。对电网的要求也将发生整体变化。自 2000 年以来，连接到电网的可再生能源发电装机容量从大约 12GW 到 2018 年的 118GW，增加了近十倍。《电网发展计划 2019-2030 草案》假设，到 2030 年，可再生能源发电装机容量将再次翻番，达到 200GW 左右。因此，所有的电网级别都需要新的电力，即使现有电力网络被尽可能优化或加强。传输网络层面所需的扩容将在年底前在当前的《电网发展计划 2019-2030》中确定。随着 2018 年夏季的电力网络行动计划、修订后的网络扩张加速法案 (NABEG 2.0) 以

及 2019 年春季监控网络扩张进度的综合控制系统的建立，德国联邦经济与能源部(BMWi)已经采取了适当的措施以进一步促进可再生能源的系统整合。

此外，还需考虑到配电网日益增长的重要性。最终，需要注意实现网络运营中创建和启用配电网的灵活性的先决条件和提供灵活性的激励措施，同时还要增加数字化的可能性。为了提高公众接受度需要增强信息的宣传，其中包括扩展电网对环境和健康保护等。

为了使能源转型取得长期成功，我们不仅必须将电力部门转换为可再生能源，而且还要促进需求部门之间以及与发电部门之间的联网（部门耦合）。使用可再生能源发电有助于实现在所有部门取代化石燃料，包括在供暖和运输行业。

2.2 能源供应的三大支柱

- 当地能源社区

与集中式的能源生产相比，日益分散的能源生产具有多种优势：更有效地保证了网络的稳定性；避免了长途运输路线，从而提高了公民的参与度和接受度。可再生能源，如太阳能、风能和生物质因其广泛性在全国范围内都可使用（具有不同的强度和成分），可以因地制宜，优化现场能源供应、储存以及部门之间的关联消耗，这些优点决定了其在未来能源供应的重要地位。

现场能源供应模型也是目前迫切需要建立的，为了使能源转型以必要的速度投入使用以补偿迄今为止因关闭统一能源供应的化石燃料发电厂而损失的能源供应缺口。

在公民、商业和工业能源社区实现现场能源供应。相当一部分的能源供应发生在拥有分散系统的能源社区，包括生产、储存以及尽可能使所有部门的能源得到消耗。这也意味着可以灵活调整适用各个部门的消费模式，以便尽可能少的储存能源。

这些能源社区通过网络连接点连接到公共网络，然而，“仪表背后”的电池在配置、能源储存和使用方面有很大的选择自由。在能源社区的框架内，公民和企业可以成为产销者而不是纯粹的消费者。

在电网连接点实现供电和取电。能源社区不需要在整个系统完全自给自足。根据自己的发电量可以在电网连接点馈电或取电。每个能源社区都有一个网络连接点和一个与整个公共网络的数字通信点（“Flex-Box”或“智能电表网关”）。系统参与者之间的这种数字通信能力创造了可再生能源系统的新品质：能源社区“知道”网络状态、电价和可能的瓶颈情况；整个网络反过来“知道”能源社区中能源的普遍可用性。如果能源社区出现本地瓶颈，则从整个网络收取费用，将剩余电

量和灵活性提供给第三方，通常是网络运营商和计量点平衡的负责人。

能源社区的责任和任务。分散式能源供应系统需要各自能源社区的自然人或法人，该自然人或法人对系统的建设和运营负有法律责任，并作为外部联系人。

- 区域可再生能源发电厂

能源社区无法单独管理可再生能源的必要扩张，尤其是对于工业的高能源需求，这需要大型太阳能和风能系统的区域“发电厂”来产生大量电力以补充独立运营和发展的能源社区。

这需要通过招标的形式进行国家协调扩展计划。（预）融资由德国复兴信贷银行（KfW）设立的代际股权基金确保，该基金也向私人投资者开放。作为回报，他还将成为作为扩展计划的一部分而建造的可再生能源系统的所有者。在系统的估计核心寿命中系统产生的全部电量被拍卖。最低价格由规划、建设、运营成本和资本成本组成。

这意味着代际股权基金的预融资将全额偿还，风险低。这也是针对私人投资者的投资激励措施。

建立可再生能源扩张机构。为了实现最迟到 2035 年将可再生能源的消费比重在最终总能源消费中从目前的 20% 提高到 100%，必须大幅增加风能和光伏系统的年度扩张。2018 年和 2019 年平均每年仅增加 6GW。根据发电容量的构成和系统的使用寿命，可能每年需要增加到 40GW 甚至更多。

但是光有速度是不够的，还必须在空间上保持协调一致，以确保稳定、全面的能源供应。此外，如果有足够的可再生能源产能，必须及时减少招标，以避免相关企业的发展受到严重的影响。这些离不开国家的基础设施规划。具体项目规划的最后阶段以招标的形式实现，并有代际股权基金提供资金，作为回报，代际股权基金成为该设备的所有者。同样，可再生能源扩张机构为系统的建设、运营和维护招标。这是一项具有普遍利益的服务，必须有中央机构控制并借助市场机制实施。

通过这种方式确保了可再生能源扩张机构其风能和太阳能产生的能源市场经济一体化。同时，它也为所有的市场参与者创造了弹性和透明的条件，确保了高度的活力，并保证其在快速扩张的情况下成本的稳定。

以需求为导向的能源生产规划。能源转型到目前为止仍然进展缓慢的原因之一是规划层面缺乏具有足够约束力的扩张目标。对于陆上风能设备的区域规划的广泛监管制度目前仍存在不足，不适合满足到 2035 年实现气候中和所需的发展要求。为了成功掌握能源转型，市政当局必须将全国平均 2% 左右的土地用于风能，目前这一比例为 0.9%。

各洲虽然已经有自己的区域目标，具有不同程度的约束力，例如黑森州能源未来法案、莱茵兰-普法尔茨州的发展项目中的基本原则、勃兰登堡州的能源战略 2030 等），但是仍缺乏针对整个联邦区域的统一和整合的概念。目前，全国范围内的土地潜力是足够的，即使考虑到安装风力发电厂时需保持与居住区和自然保护区的最小距离也是足够的。包括许多研究机构（RLI、Fraunhofer 等）也提供大量的动态规划所需的数据库，以确定区域潜力并分配合适的区域。为此，联邦政府应该在综合潜力分析的基础上，以需求为导向的专业规划的框架内，为下游规划等级制定具有约束力的扩张目标。

区域优化。在可用于风能或开放空间的光伏发电的区域上，发电的潜力并不是在任何区域都是相同的。另外，在扩张路径中还必须考虑整个网络的稳定性。因此，该可再生能源扩张机构必须在联邦各州的参与下（预先）选择将在后续招标过程中包含的区域。

可再生能源设备规划、建设和运营。为了在可用期内调动必要的市场动态，并从 2022 年起实现每年 40GW 以上的年扩张速度，需提供必要的服务：

- 可再生能源系统的规划；
- 可再生能源系统的建设；
- 可再生能源系统的技术和商业管理。

在这一扩展计划的范围内，他们彼此之间以相互透明独立的方式向公众招标。这创造了一系列与投资方分离的独立的服务，以可计划和可预测的方式管理控制。其目的是，以前所未有的规模快速开发规划服务市场。

- 可再生能源系统电力的销售

计划发电量招标：最低运行 25 年的不同设备将在全国范围内聚集起来，以将风险降低。由这些设备产生的计划发电量由可再生能源机构投标，有利于出价最高的人。可再生能源机构创建了招标条件的标准目录。计划发电量包括能源系统投产后 25 年内的发电量。出价最高的人为可再生能源机构指定一个收支平衡的范围和负责经理，并为其分配发电量。他必须每月按比例支付购买价格。这与它是否实际需要电流无关。这意味着代际股权基金对价值链的预融资完全减少。

招标的最低价格：为确保涵盖成本，可再生能源机构为计划的发电量设定了招标的最低价格。这包括规划、建设和运营管理的成本（以及，如果适用，市政稅的成本）。

新电力市场设计的价格监管。刚刚概述的系统还需要电力市场设计的改变。负电价或不产生利润的电价不会提供建设可再生能源的动力。

当前系统的挑战在于：

到目前为止，发电厂的启动顺序由其运营成本（边际成本）决定。电价主要取决于已投入使用的价格最高的发电厂，以满足其需求，即所谓的优先顺序。风能和太阳能的运营成本最低，每增加一千瓦时价格几乎为零。结果通常是电力的股票市场价格也为零。这意味着不再涵盖设备投资。

当前的电力市场如要完全关闭大型化石燃料发电厂仍然存在挑战，此外还会导致负电价。大型发电厂保证系统的安全性和网络的稳定性。由于技术原因，这些发电机无法关闭或者完全受监管，而是继续以 20%-40% 的功率运行产生无人需要的电力。

这意味着没有为可再生能源系统提供可靠的收入。收益越高，资本市场对其融资的要求就越高。保证收入安全的市场设计降低了资本成本，这是可再生能源投资的最大成本因素。

在当前的电力市场中，电力客户为他们使用的电量付费、工作，然而，真正的挑战不是生产。相反，尽管存在与天气相关的波动性，但必须确保每个个体获得基本的安全能源。因此，未来还需要向终端消费者收取服务费作为底价。这也为可再生能源投资提供了所需的安全收入来源。

此外，还需要有一个由市场机制决定的与工作相关的额外收入来源。

网络费用不再仅取决于于消耗的能源量。它们取决于网络当前是否被大量使用或很少使用。它们取决于对网络稳定性的贡献。在昂贵的短缺情况下，这会产生消耗很少能量或推迟消耗的动力，从而以“电网友好”的方式行事。结果是网络使用或加载越来越多，而需要的扩张越来越少。最小负载得到保障。

市政当局的财政参与。除了程序上的参与机会外，金融参与被证明是促进公民接受的重要工具。全国性的参与提供了“地毯式”弥补不足的优势以及避免了国家之间相关差异竞争。通过向依赖可再生能源系统的个体公民支付费用的做法难以实施，并可能导致社会不公平。取而代之的是，向受影响的市政当局提供强制性和可计划的付费，间接使公民受益。因此，作为市政当局参与的合适工具，应向开发商或风力涡轮机运营商（可能还有大型开放空间光伏系统的运营商）征收特别税。

- 能源进口

德国目前大约 70% 的能源需要进口，主要是石油和天然气，还有电力。未来，德国可能会继续依赖能源进口，尽管程度要小得多。欧盟希望实现 20%（目前为 55%）的进口配额。可再生气体（尤其是氢气和氨气）和其他可再生能源，如生物质和可能在较小程度上的可再生电力，将被进口。可再生气体将通过现有的天然气基础设施从欧盟进口，以尽可能避免较长的运输路线和昂贵的基础设施项目。

2.3. 德国《可再生能源法》

《可再生能源法》于 2000 年 4 月 1 日生效，为德国电力部门可再生能源的大规模扩张创造了框架。该法律于 2020 年 12 月 17 日在德国联邦议院通过，并于 2021 年 1 月 1 日生效。《可再生能源法》引入了招标制度来决定大型太阳能项目（大于 750 千瓦）、海上风电、陆上风电和生物质项目的补贴额度。

2020 年，德国近一半的电力消耗由可再生能源覆盖。《可再生能源法》的目的中：“保护气候和环境的利益，实现能源供应的可持续发展，通过长期外部影响的包容来降低能源供应的经济成本，优化化石能源并进一步促进可持续能源发电技术的发展。”这一条在修正案中保持不变。新的修正法案规定，到 2030 年中期，这一比例应提高到 65%。立法机关也重新定义了长期目标，以便在 2050 年之前实现电力部门气候中和的目标。

主要变化：

- 根据《2030 年气候行动计划》扩大可再生能源

2030 年电力部门使用 65% 可再生能源的目标将在新的修正案中的具体扩展和电量路径（第 4 条和第 4a 条）中以预测的总电力基础消耗为 580 太瓦时首次转化和锚定。这是为了持续审查目标的实现情况，以便在未达目标的情况下及时做出调整。根据第 88c 条，颁布法令的授权为立法机关在目标失败的情况下提供了通过法令采取反制措施的可能性，例如，立法机关可以通过设定新的发展路径、中间目标和最高投标价值，在未经联邦委员会同意的情况下，通过法令采取反制措施。

- 市政当局的财政参与

2021 年对法案的另一项重大更新涉及当地社区的金融参与。新法案第 6 条使陆上风力涡轮机的运营商以及光伏开放空间系统、当地社区能够参与运营收入。为此，电厂运营商可以自愿向正在建设电厂的社区和受电厂直接影响的社区支付每千瓦时最高 0.2 欧分的费用。如果乡镇至少部分不在风力涡轮机塔架中心 2.5 公里半径范围内，则认为不受到影响。在开放空间系统的情况下，没有扩展的周围面积，只有设备本身的占地面积。如果多个乡镇受到影响，每个市政当局提供的付款金额将根据其各自市政区域在风力涡轮机周围区域或开放空间系统所在的相应市政区域中所占的份额进行分配。设备运营商从网络运营商处收到可再生能源法附加费支付给受影响乡镇的全额款项。

新法规旨在确保市政参与风力涡轮机和地面安装系统的附加值的法律安全，确保群众的接受度并鼓励指定新区域。

- 与网络运营商注册的简化

通过对第 8(5)节的补充，小型系统在网络运营商处的注册将会被简化。如果网络运营商在收到连接请求后的一个月未提交时间表，则允许请求连接的系统连接装机容量最高达 10.8 千瓦的系统。

- 可见性和可控性-新系统智能电表的安装是强制性

从联邦信息安全局根据计量点操作法(MsbG)第 30 条确定技术可能性的时间点起，立法者就要求可再生能源和热电联产电厂运营商为容量为 25 千瓦及以上的输出系统配备调出实际馈电技术和分步或无级遥控调节技术（第 9（1）条款）。对于输出功率在 7 到 25 千瓦之间的系统，必须保证仅检索实际馈电（第 9（1a）条款）。对于输出功率小于 7 千瓦的系统，无论是实际馈电还是遥控调节都不必启用。但是，如果根据《能源工业法案》(EnWG) 第 14a 条款的规定，系统在与可控消费设备相同的电网连接后运行，则无论系统输出如何，安装义务都适用。通过相关的过渡条款（第 100（4）条款），新法规还扩展到现有系统。在新的第 10b 条款中，立法者还规定了针对直销商的系统测量和控制的要求。

- 为超过 20 年的旧设备提供后续资金

直到《可再生能源法 2021》获得通过，对于 20 年薪酬期已过的系统，未来的法律框架尚未最终明确。因此，人们迫切期待未来对这些系统的法律处理。为了弥补这一差距，立法者最初针对在 2021 年 1 月 1 日之前投入运行的系统引入了第 3 条第 3a 款，其根据适用于该系统的《可再生能源法》版本终止支付报酬的权利是，术语枯竭工厂并为这些工厂创建新的临时上网电价（§ 21 第 1 段，§ 100 第 5 段）。立法机构区分了高达并包括 100 千瓦的较小系统和陆地风能系统，无论它们的装机容量如何。

陆上风力涡轮机的运营商可以收到法律确定的 2021 年连接费（根据第 21 条第 1 款第 3a 款以及第 23b 条和第 53 条第 1 款）。系统运营商收到每月市场价值减去营销费用以及加上：

- 2021 年 6 月（含）之前产生的电力每千瓦时 1 欧分；
- 2021 年 7 月至 2021 年 9 月期间产生的电力每千瓦时 0.5 欧分；
- 2021 年 10 月至 2021 年 12 月（含）期间产生的电力每千瓦时 0.25 欧分。

2022 年陆上风力涡轮机的后续资金仍计划在《可再生能源法 2021》的第一版中，但未获得欧盟国家援助法批准，并随着更新的修正案再次从法律中删除。

不超过 100 千瓦的非陆上风力涡轮机系统的运营商也可以向网络运营商提供产生的电力，并获得特定技术的年度市场价值扣除掉每千瓦时 0.4 欧分的营销统一费，即安装智能测量系统的一半费用（第 53 条第 2 款）。过渡性规定适用于至 2027 年底（第 25 条第（2）款第 1 号）。此外，该型号还可以实现自供电和过量馈电。适用于所有的现有设备和新设备，还适用现在延长免除为自用电力支付 30 千瓦以下设备的可再生能源附加费的义务（第 61b (2)条）。对于超过 30 千瓦的旧设备，降低的 40%的可再生能源附加费适用于现场消耗的量。

在报酬期限届满后，两组中的系统都会自动分配到新的报酬形式（第 21c (1) 条）。

作为后续资助的替代方案，也可以为已资助的设备选择其他直接营销。在这种情况下，必须遵守第 10b 条的要求，该条款规定在直销情况下使用智能测量系统或其他技术来测量和调节实际馈电。如果所有电力都被馈入，则高达 100 千瓦的设备不受此要求的限制（第 10b 节第 2 段第 2 条第 2 和 3 款）。至 2020 年 12 月 18 日（第 100 条第（5）款）未告知网络运营者销售方式变更为其他直销方式的，适用第 21c 条关于销售方式变更的规定。在上一个日历月开始之前通知网络运营商。陆地上已用完的风力涡轮机的工厂运营商在 2021 年只能在输送电价销售形式和其他直接营销形式之间转换一次（第 21b (1a)条）。

由于馈电管理造成的收入损失全额补偿。第 15 条旨在通过非基于市场的再调度措施来实施欧洲法律对系统运营商补偿的要求。如果根据第 14 条限制或关闭系统，《可再生能源法 2021》现在再次提供对收入损失的全额补偿，加上额外费用并减去节省的费用。

- 创新招标

创新招标将继续进行并扩大数量。为此，“陆上风能系统和太阳能系统联合招标”的招标部分将被删除而不替换，招标量将被整合到创新招标中。在此背景下，《创新招标条例》未来也将发生变化，2022 年将额外考虑 150 兆瓦（其中 100 兆瓦作为特别招标）用于特殊太阳能系统的授予程序——例如水体、停车场或耕地上的太阳能系统。

- 在出现负电价时降低支付要求

所谓的六小时规则，即，如果前一天拍卖的小时合约连续六个小时为负，则报酬减为零，将重新调整适应新设备。未来如果新设备连续四小时负电价后，报酬将减为零（第 51 条第（1）款）。这仅适用于在 2021 年 1 月 1 日之后调试或已授予合同的系统。装机容量低于 500 千瓦的系统和导风系统不包括在规定的范围

内。根据第 100 条第 2 段第 13 条，降价仅适用于连续六个小时出现负价格后的新设备。

作为第 51 条修正案的一部分，立法者引入了第 51a 条，这是一项针对时间定制的无支付要求的补充规则，以提高设备运营商的规划安全性。因此，根据第 51 条，在调试年度和随后的 19 个日历年无支付需求的情况下，报酬期将在此期间延长。延长报酬期限的规定仅适用于价值在投标中确定的设备。

- 自给自足

《可再生能源法 2021》对自供电有重大变化。例如，将基于欧盟可再生能源指令的要求提高小型系统自用电力最低限度的限制从 10 千瓦提高到 30 千瓦，设备用电的可再生能源附加费将被完全免除（61b（2）条）。如果安装了超过 30 千瓦的电力，则整个自用设备需支付 40% 的可再生能源附加费。

根据第 100(2) 条第 14a 款，最低限度的扩展适用于新的和现有的设备。这意味着低于 30 千瓦的电力系统的自供电也完全免除附加费。

- 绿氢

第 93 条规定，联邦政府有权在未经联邦参议院同意的情况下发布法令，以确定生产绿色氢的要求。相应的法令已于 2021 年 5 月 18 日通过。为了在生产过程中尽可能地减少可再生能源附加费，将定义绿色氢的要求。为此，必须使用可靠的可再生能源发电以产生氢气，这些电量无法根据《可再生能源法》获得资金，并且必须保证可再生能源系统和电解系统之间的实际供应关系。不允许仅凭用电量取得绿色电力证书来证明绿色电力属性。可再生能源附加费的豁免仅适用于一个日历年的前 5000 个完整使用小时，以刺激设备的系统运行友好操作。对于超出此范围的任何生产都必须支付全额可再生能源附加费。

- 合作委员会，年度监测和经验报告

根据法案第 97 条，鼓励在联邦州和联邦州之间建立合作委员会。该委员会的任务是记录联邦各州的目标及其实施情况。为此，联邦各州必须每年向合作委员会报告。其中，应提供风能利用面积、陆上风能发电厂的数量和产量以及批准程序（申请批准）的持续时间的报告。根据这些报告，联邦政府在每年年底根据第 4a 条款就中间目标的实现程度表态。

同时，联邦政府将提交一份关于陆地无线电导航和风电主题的年度报告，目的是提高无线电信标和风电系统的兼容性（第 99a 条款）。

在 2023 年底之前，联邦政府将提交一份进度报告，之后每四年提交一份（第 99 条款）。其中包括有关可再生能源扩张对电力系统和温室气体排放发展的影响的信息、租户电力以及可再生能源的市场、电网和系统集成状况以及关联的成本。除此之外，联邦政府还需特别报告未来为可再生能源提供资金的程度。

联邦政府承诺最迟在 2027 年之前提交修改可再生能源法和海上风能法案的提案。联邦政府还在研究在可预见的未来是否可以预期可再生能源市场驱动的扩张性。如果是肯定的，则需要从金融支持转向市场驱动的扩张。

2.4. 德国的国家排放交易体系

《巴黎协定》之后，鉴于气候变化因温室气体排放而给后世后代带来的巨大挑战，德国承诺在欧洲层面实现雄心勃勃的气候保护目标。随着 2019 年 12 月 18 日生效的《联邦气候保护法》，这些气候保护目标首次在德国被写入法律，以将全球平均温度的升高限制在远低于 2 摄氏度，并且，如果可能，与工业化前的水平相比，降至 1.5 摄氏度。

2021 年，德国针对 EU ETS 涵盖的行业以外的排放进行了补充，即国家排放交易体系（nEHS）其中包括供热和运输领域。在这些部门，产生了许多来自化石燃料燃烧的破坏气候的排放。

欧盟和德国的排放交易体系对所有气候保护投资者都具有吸引力。这两个体系都是基于“上限和交易”（Cap and Trade）的工作原则，其中，将从政治的层面上决定所有参与者允许共同排放的温室气体量，即“上限（Cap）”（个人参与者不设置上限）。任何排放温室气体污染空气的企业或个人可以通过购买证书为每吨二氧化碳付费。

这些证书的价格是通过市场交易（“Trade”）而产生的，换句话说，允许的温室气体排放越少，证书就越稀缺，价格也就越高。如果碳价格上涨，那么财政的激励措施也会增加，这样一方面避免了二氧化碳的排放，另一方面用于投资气候保护措施。

那么德国的国家排放交易又与欧盟排放交易体系有何不同呢？欧盟的排放交易体系主要针对工业、发电厂和空中交通中出现排放的地方，也就是说，工厂或航空公司必须为其造成的排放购买证书（即所谓的“下游”排放交易）。德国的国家排放交易的针对点不同，他要求燃料供应商以购买证书的形式获得污染权（即“上游”排放交易），因此，企业需要为未来的燃料燃烧产生的温室气体排放而付费（见图表 2）。



图表 5 德国排放交易市场

两个体系的不同出发点可以用所涉及的部门来解释，德国的国家排放交易体系涉及的运输和供暖部门包括大量排放者，例如供暖系统使用的是化石燃料的驾车者和房屋拥有者等。为了避免这些消费者全部直接参与到国家排放交易体系中，所以将由燃料供应商参与，然后再将额外的成本转嫁到消费者身上。相比之下，欧盟排放交易体系中的直接参与者要少得多。若一些企业因其交易领域而被两种排放交易体系同时覆盖，在这种情况下，有两种机制防止其承担双倍的责任。即当燃料供应商向已经加入 EU ETS 的企业出售燃料时，供应商可以减少他们的应缴纳费用的义务，以消除这些设备产生的CO₂成本。另外一个机制则是企业可以向德国排放交易管理局（DEHSt）申请补偿。《能源税法》的所有燃料都包含在国家排放交易中，其中包括汽油、柴油、取暖油、液化石油气、天然气，以及从 2023 年开始的煤炭。不符合可持续性标准的生物质也受到影响。

为了在国家排放交易的引入阶段确保所有参与者的规划安全，该体系将一开始实行固定价格，即在此期间，证书的价格已经确定。2021 年的固定价格为每个配额 25 欧元/吨二氧化碳当量（意味着每升汽油价格上涨约 7 欧分，每升柴油上涨约 8 欧分）；2022 年为 30 欧元；2023 年为 35 欧元；2024 年为 45 欧元，2025 年为 55 欧元。从 2026 年开始，二氧化碳的价格将设置成固定区间。证书的价格将保持在最低价格（每吨二氧化碳 55 欧元）和最高价格（每吨二氧化碳 65 欧元）之间。在此指定范围内，具体价格以市场需求为准。2025 年将根据评估决定未来的定价类型。

作为消费者，虽然不会直接参与国家排放交易的体系中，但燃料供应商有义务参加，他们将成本转嫁给消费者，不断上涨的价格也会导致消费者考虑更加节

能的方式，例如，通过翻新建筑物、改用电动车或安装节能环保的供暖系统来减少消费。化石燃料、石油等破坏气候的原材料价格的不断上涨使得气候友好型技术的使用越来越具有吸引力。为了鼓励消费者转向节能环保技术，德国联邦政府通过大量的资助计划为其提供支持。例如，电动汽车的购买可通过电池电动或燃料电池汽车的创新奖金获得资助；KfW 的“可再生能源”支持购买光伏系统的贷款；同时，KfW 还对隔热和附加的能源咨询也提供进一步的补贴。

2.5. 德国《氢能战略》

通过《国家氢能战略》，德国联邦政府为氢的未来生产、运输、使用以及相应的创新和投资创建了一个连贯的框架。它定义了有助于实现气候目标、为德国经济创造新的价值链和进一步发展国际能源政策合作所必须的步骤。在此情景下，该战略特别追求以下目标：

- 承担全球责任

联邦政府致力于德国在减少温室气体排放方面的全球责任。随着氢能市场的发展以及建立氢能作为脱碳的目标，德国认为可以为全球气候保护做出重大贡献。

- 使氢具有竞争力

在目前的框架条件下，氢能的生产和使用尚不经济。尤其是化石燃料在没有考虑 CO_2 后续排放成本情况下要便宜的多。为了使氢能更加经济，必须推动其技术进步和规模经济向前发展。未来在工业、交通运输、供热等领域对氢能的需求都将增长。

- 在德国开发氢技术的“本土市场”，为进口铺平道路

作为氢技术市场扩张的第一步，强大且可持续的国内氢生产和使用-“国内市场”-必不可少。强大的国内市场也向国外市场对氢能的使用发出了重要信号。德国联邦政府预计到 2030 年的氢气产量约为 90 至 110TWh。为了满足部分需求，到 2030 年，德国将建造总产量高达 5GW 的发电厂，其中包括必要的海上和陆上能源发电。在 2035 年之前，最迟到 2040 年将再增加 5GW。

- 氢作为替代能源

氢技术和基于氢的替代能源是能源转型不可或缺的一部分。长远来看，在某些领域如航空和海运或与其过程相关的排放的行业，将无法完全或仅靠电力供应。特别是航空领域，部分在重型货物运输中，在用于国家和联邦防御的移动系统中以及在海上运输中，许多航线和应用不能纯依赖于电力供应。

- 氢作为原料使工业可持续发展

氢是德国工业（化学工业、钢铁生产等）的重要原料。目前，德国每年约有 55TWh 的氢用于材料应用，而这主要是基于化石燃料产生的。这些应用必须尽可能转化为基于绿色氢的生产。同时，必须推进使用氢和来自 PtX 工艺的氢基原料的排放密集型工业过程脱碳，必须开辟氢和 PtX 原料的新应用领域。据估计，到 2050 年，国内钢铁生产向温室气体中和生产的转变将需要超过 80TWh 的氢气。德国炼油厂和氨生产向氢气转化需要大约 22TWh 的绿色氢气。

- 运输和配送基础设施的发展

氢及其衍生物的进口和销售市场的发展离不开运输和分销技术设施的发展。德国拥有广泛的天然气网络和相连的储气设施，为了能够最佳的利用氢的潜力，德国将进一步发展运输和配送基础设施，并继续确保使用安全。

- 促进科技发展，培养专业人士

科研是能源和工业政策发展的战略要素。因为只有在长期的研究和创新推动下，氢的整个价值链（从生产到储存、运输和分配到应用）才能在能源转型的关键技术上取得进展。德国企业还将招募、培养和提拔优秀的科学家、有才华的年轻人以及合格的专业人士，同时寻求与其他领先研究国家的密切交流。

- 制定转型过程并提供支持

能源转型和可再生能源的使用需要各个领域的参与者做出适应性调整。德国政府将在经济、科学领域以及在群众中提供帮助，共同寻求氢能在能源转型的成功之路。

- 加强德国经济和确保德国企业的全球市场机会

德国现在有机会在国际竞争中在氢和 PtX 技术的开发和出口方面发挥重要作用。在实施氢战略是，应确保德国所有地区都受益于氢能带来的增值潜力。

- 建立氢的国际市场和合作关系，建立全球合作机会

建立全球氢市场，同时确保合作国家的当地市场和当地能源转型不收到阻碍，但保证其收到氢气生产的支持。氢的国际贸易和其后续产品正在成为重要的工业和地缘政治因素，需要战略目标和决策，但也为各方提供了新的机遇。

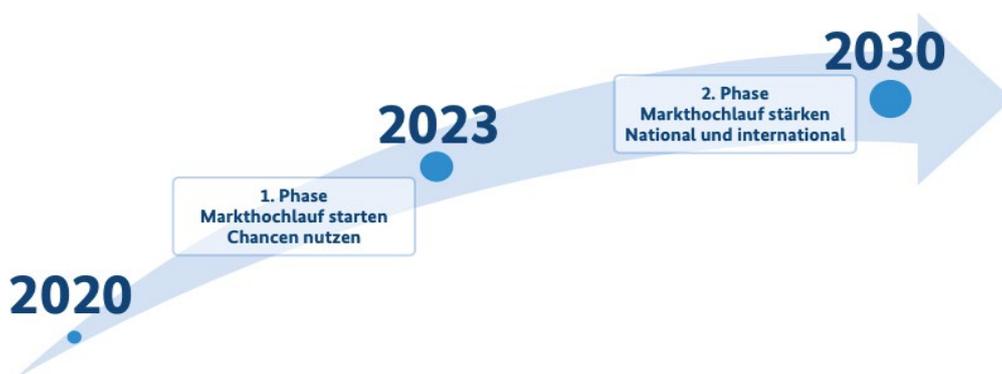
- 进一步扩大、保护和建立对氢气生产、运输、储存和使用的质量控制设施
- 不断完善框架条件，把握当下发展

战略的实施和进一步发展是一个持续的过程。新成立的氢能国务秘书委员会定期监测实施情况和目标的实现情况，相关部门也对战略的进一步制定和实施进行决策。国务秘书委员会由国家氢能委员会中来自科学、商业和民间社会的专家组成的。该氢能战略将在三年后进行首次评估。在此基础上，联邦政府将决定该战略的进一步发展，包括相应的措施。

该战略提出的行动计划包括 2 个阶段：

2020 - 2023 年：逐步扩大市场规模，为良好运作的德国国内氢能市场奠定基础；

2024 - 2030 年：巩固德国国内氢能市场，参与并建立国家和国际层面的氢能市场。



图表 6 德国氢能战略

目前，通过氢能战略，德国在氢能经济方向上取得了坚实的开端。德国能源署首席执行官 Andreas Kuhlmann 评论道：“氢启动网络的过渡性法规是建立可持续运输结构以连接供需的第一个信号。现在的任务是快速创建符合欧洲脱碳计划的国家监管框架。另一个不容忽视的活动领域是制定可持续性标准。氢气的产生和使用需要明确的要求，例如电力来源、二氧化碳的使用或水的使用。这也是接受“绿色氢”的一个重要因素。同时，他指出如果德国要在 2045 年实现气候中和的目标，就必须推进氢经济的发展，并更快地做出决定。将氢与可再生能源和能源效率一起开发成为脱碳的支柱。这也是即将到来的立法时期的核心行动领域。”

3. 能源转型案例

区域综合能源：新能源潜力分析及新型分布式管网技术（郭通，中德可持续建筑协会）

可再生能源技术及新型低温管网技术的出现给现有的城市能源系统带来了新的机遇和挑战。在欧洲，政府和企业的推动下越来越多的城市和地区被改造成智慧绿色城市。一些新型区域在节能减排的同时，还有长久的经济收益。众所周知，新能源技术虽然在环保上有极大的贡献，但经济上一直饱受诟病，大部分技

术对于城市决策者来说也无异于一种奢侈品。那么这些成功的范例是如何在保证环保的同时还能实现正的经济效益？

新能源潜能分析：

一片区域是否有潜力主要取决于两个方面，一个方面是区域能耗情况（即这片区域消耗能耗的总数，能耗越大自然潜力越大）。另一方面是这片区域的新能源潜力有多少（若该区域新能源种类多，能量密度高自然潜力越大）。只有在这两方面都满足的区域才是确实可行的改造区域。新型技术如低温热网及分布式能源系统在该区域才有实现经济性的可能。

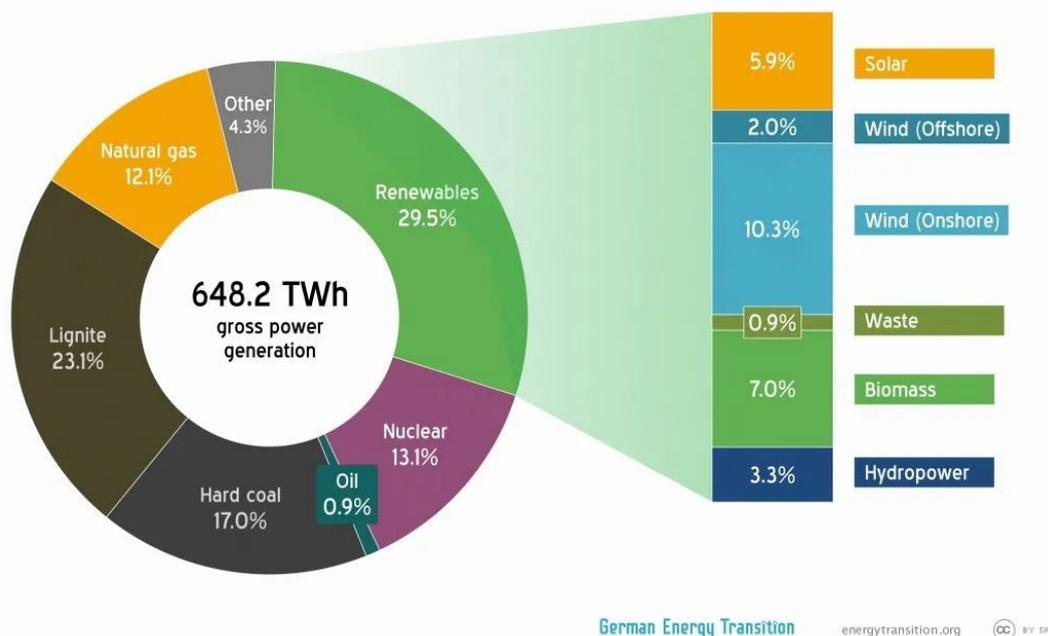
新能源的种类多种多样，可以分为三大类：

1. 自然性能源（如太阳能，风能，潮汐能等等，靠天吃饭的能源）这类能源不稳定，即使潜力巨大也往往无法应用到区域能源中去。
2. 生物质能，这类能源优势是可以向传统能源一样随用随烧，满足需求侧的要求比较稳定。但环保方面都不如第一类。
3. 热能（如工厂废热能，浅表地热等）这类能源主要问题在于潜力有限且受地区限制。下图显示了德国在 2016 年的能源使用情况，主要使用的新能源是风能，太阳能及生物质能。

Germany reaches 29.5 percent renewable power in 2016

Gross power generation mix including exports

Source: AGEB



图表 7 德国能源使用情况

在对一片区域的新能源进行分析时，第一类自然性能源不仅需要预测其储量的大小还要预测变化趋势，以免造成弃风弃光的情况。对光能和风能的预测可以基于两种方法，一种是建立物理模型来导入该区域的天气数据，从而模拟一天中光照的情况，仿真出风能及光能的变化曲线。另一种是用历史数据结合神经网络算法对未来进行合理估测，计算出变化曲线。第一种方法的精度主要取决于模型建立的仔细程度。第二种方法的精度则取决于历史数据可靠程度。



图表 8 供能基于物理模型的光能仿真系统

系统优化：

在得到各种新能源的供给曲线和从区域建筑模型得到的需求曲线后，就可以用优化算法来选取最优系统。目前在系统选择中最常用的是线性优化算法和多线性回归算法。可以针对一个或多个目标进行优化。一般主流的优化目标是：经济性最优，一次能源消耗最少或碳排放最少。目前大部分都采用分步优化，第一步优化出最优的系统，第二步在根据第一步的系统优化出最佳的设备配置方案。

1.选系统。通过对需求侧的拟合，优化出最佳的系统配置方案，如上图所示。

2.系统参数确定。从第一步的结果中再具体优化每个设备的大小及运营时间。从而提供出对该区域最优的能源解决方案。

在确定具体的解决方案后，则会对应用于该区域的系统进行选择，本文以分布式管网技术为案例进一步介绍如何有效连接区域能源的需求侧和供给侧。

随着全球变暖，化石能源枯竭，对新能源的需求越来越高。但新能源始终很难并入热网得以利用，目前主流的供暖技术是第三代的热电联产技术。在欧洲由于政策对节能效果的进一步提高，在 2050 年将达到 50%的新能源使用率。第三代的热电联产技术已经难以达到标准，因此第四代分布式智能能源网应运而生。其中低温热网就是第四代能源网的主要技术之一。

分布式能源系统对应小规模、去中心化、集成利用多品级可再生能源等特点已成为未来绿色城镇能源系统的必然选择。分布式能源系统过了几代更新，最新一代强调去中心化，能源终端用户既是消费者也是生产者，另一方面则是更强调对可再生能源的多能互补应用，而不再仅是小型的天然气热电联产系统。其特点是位于或邻近负荷中心，避免大规模，远距离输送电力及热能，是建立在能源梯级利用概念上的一种先进供能系统。

分布式能源相较传统的集中式能源系统更适于在中国城镇应用，主要表现有以下两个方面：

分布式能源系统布局在用户附近，直接面向当地用户需求，可以简化系统用户能量的输送环节，减少输送过程中的能量损失与成本；

同时由于采用小规模能量供给模式，按需就近设置，设备普遍为中小容量，更加灵活，进而提高用户能量供应的安全、可靠性。

分布式管网技术的规划和设计主要分为两步：

1. 管路布局，拓扑优化

多热源的低温热网的设计和规划往往耗时耗力。但使用大数据集群式算法（cluster algorithm）将大幅减轻设计难度。通过集群算法自动找出满足条件的负荷并与其周边热源进行匹配。一般这个阶段市面上的流行的软件包括 NetSim Termis 及 comsof。这些软件都是基于最小二乘法结合 google map 或 openstreetmap 地图，在找到最优线路的基础上进行管路计算。

2. 管路模型模拟

在初步设计分布式管网之后，还需要用模拟来验证管路在实际情况下的运行状况，以确定管路的稳定性。这个阶段常用的模拟软件是 modelica 和 Trnsys。

参考文献

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), 2019. Klimaschutzprogramm 2030 – Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030.
- [2] Prof. Dr. S. Breidenbach et al., 2021. Maßnahmen für ein 1,5-Grad-Gesetzespaket. German Zero.
- [3] Reiner Lemoine Stiftung, 2020. New Deal für das erneuerbare Energiesystem, S.31.
- [4] Wuppertal Institut, 2020. CO₂-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze.
- [5] UBA, Analyse der kurz- und mittelfristigen Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergienutzung an Land, 2019, S. 24.
- [6] Europäische Kommission, 2018. Ein sauberer Planet für alle. Eine Europäische strategische, langfristige Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft. Mitteilung der Kommission vom 28.11.2018, S.10.
- [7] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2021. EEG2021, https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/index.html
- [8] Lisa Conrads, Jonas Klamka, 2021. Fachbeitrag | EEG 2021: Die wichtigsten Änderungen (Update). <https://www.energieagentur.nrw/blogs/erneuerbare/beitraege/windenergie/fachbeitrag-eeg-2021-die-wichtigsten-aenderungen/>
- [9] EU Commission (2021). EU Emissions Trading System (EU ETS). https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en.
- [10] Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt), 2021. Nationalen Emissionshandel verstehen. https://www.dehst.de/DE/Nationaler-Emissionshandel/nEHS-verstehen/nehs-verstehen_node.html
- [11] Julian Wettengel, 2021. Germany's carbon pricing system for transport and buildings. Journalism for the energy transition, Clean Energy Wire. <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-planned-carbon-pricing-system-transport-and-buildings>
- [12] (1) BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE, 2020. Die Nationale Wasserstoffstrategie. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20
- [13] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2021. Ein Jahr Nationale Wasserstoffstrategie: Gelungener Start – jetzt einen Gang hochschalten und Planungssicherheit schaffen. Berlin. <https://www.dena.de/newsroom/meldungen/ein-jahr-nationale-wasserstoffstrategie/>

（二）工业

1. 背景

2019年12月，欧盟委员会出台了应对气候变化、推动可持续发展《欧洲气候法》，在2050年前实现欧洲地区的“碳中和”，使经济增长与资源消耗脱钩，还提升了欧盟2030年温室气体减排目标，即比1990年水平至少降低50%，力争降低55%。

德国于2015年签署了《巴黎气候协定》，承诺到2050年所有部门的二氧化碳排放量比1990年减少95%。前总理安格拉-默克尔曾承诺，德国将在2050年实现碳中和。2021年，德国对其气候目标进行了收紧，并通过了截至2045年的具有法律约束力的排放目标。2021年6月24日，联邦议院批准了由执政联盟提出的更严格的气候保护法，规定德国在2045年之前实现碳中和。

当前的减排目标（碳排放量对比1990年）：

到2030年：减少65%。

到2035年：减少77%

到2040年：减少88%。

到2045年：减少100%

到2021年，与1990年相比，碳排放量已经下降了40%。

在工业方面，德国联邦政府的政策主要是鼓励工业企业开发气候保护的创新技术，采用气候友好的生产技术降低能源和资源消耗。例如，德国联邦政府通过出台高技术气候保护战略、投入70亿欧元的国家氢能源战略，通过技术创新打造德国在世界范围内有竞争力的可持续性。在诸如碳捕集使用与封存技术、移动和固定式储能系统电池技术、材料节约型和资源节约型的循环经济技术等领域，德国联邦政府通过设立数十亿元产业基金的方式，进一步拉动工业部门投入研发资金。

然而，对于能源密集型产业如钢铁、化工、水泥、造纸、玻璃、有色金属工业来说，要实现碳中和具有很多障碍。这些产业的具有设备场地规模大，投资要求高等特点，生产设施的寿命最高可长达70年，难以在短期内改变生产方式。据估计，德国钢铁工业中53%的高炉、基础化学工业中约59%的蒸汽裂解器和水泥工业中约30%的水泥窑，都需要投资进行技术改造。

在钢铁、化工和水泥行业中，约有三分之一的排放物是工艺排放物，由于原材料的成分及其在生产过程中的化学反应，部分碳排放在生产中无法避免。一旦达到了技术上可行的极限，就没有再减少碳排放的潜力。因此，能源密集型产业很难用常规方法实现2050年的目标。即使使用更高效的生产技术取代现有的技

术,也难以达到 2050 年实现碳中和的目标。因此可能需要采用全新的生产方式,例如使用不产生碳排放的氢气作为能源。

在 2020 年和 2030 年之间,德国工业界将迎来一个重要的再投资阶段。目前,德国正在寻求建立政治层面与法律层面的框架条件以应对这一趋势。

2. 德国工业转型实施路径

2.1. CO₂定价制度

德国的国家排放交易系统 (nEHS) 于 2021 年开始采用固定价格系统,即每吨二氧化碳的价格由政府确定。在这个系统下,配额通过证书的形式被出售给向市场投放供热和汽车燃料的公司。销售取暖用油、液化气、天然气、煤、汽油或柴油的公司需要为这些物质在消费中产生的二氧化碳购买证书,以取得碳排放权。

联邦政府于 2019 年 10 月推出《燃料排放交易法》。在联邦议院于 2019 年 11 月作出决定后,联邦参议院也于 2019 年 11 月批准了该法案。在 2019 年 12 月联邦政府和各州在调解委员会达成协议后,联邦政府于 2020 年 5 月决定修改《燃料排放交易法》,并调整二氧化碳价格水平,从 2021 年 1 月起将二氧化碳价格初步定为 25 欧元。此后,价格将逐渐上升到 2025 年的 55 欧元。2026 年将达到下限 55 欧元和上限 65 欧元的价格区间。德国将二氧化碳价格的收入再投资于气候保护措施,或在其他方面以补贴的形式返还给德国公民。

在关于二氧化碳征税的讨论中,社会可接受度的问题正变得越来越重要。目前对德国环境意识的调查结果显示,社会公正的成本分配和避免社会困难是环境领域改革的接受度和可行性的核心因素。

2.2. 欧盟工业排放指令

欧盟工业排放指令 (IE 指令) 是整个欧盟地区与环境特别相关的工业设施的授权、运行、监测和退役的基础。它以欧洲议会和理事会 2010 年 11 月 24 日关于工业排放 (综合污染预防和控制) 的第 2010/75/EU 号指令的名义发布。IE 指令是 1996 年综合污染防治指令 (IPPC 指令) 和其他六个部门指令 (关于大型燃烧设施、废物焚烧、溶剂使用和二氧化钛生产) 的后续指令。德国立法者通过 2013 年 4 月 8 日的《工业排放指令实施法》 (IndEmissRLU) 和 2013 年 5 月 2 日的两项条款法令,将 IE 指令纳入国家法律。该条例自 2013 年 5 月 2 日起生效。主要对《联邦排放控制法》 (BImSchG)、《循环废物管理法》 (KrwG) 和《联邦水法》 (WHG) 进行了修订。

IE 指令进一步发展了可持续生产的指导原则，其目的是为了实现对整个环境的高度保护。综合性的方法可以达到这个目的：除了向各种介质排放污染物外，还必须考虑到生产过程的其他方面，以减少资源和能源的消耗以及工业工厂运行期间和退役后的其他环境影响。

IE 指令是欧洲对工业工厂的许可和运营最重要的监管依据。它追求的目标是协调欧洲的环境标准，从而创造更公平的竞争条件。该指令的核心是最佳可得技术（BAT），这些技术在最佳可得技术参考文件（BREFs）中描述，构成了工厂环境保护要求的基础。BAT 的结论是由位于塞维利亚的欧洲 IPPC 局协调成员国、相关行业、非政府组织和欧盟委员会之间的信息交流的结果。这一文件为相关行业的参与提供了广泛的机会，它包含高质量的环境保护标准的设计，并在欧洲促进统一的环境标准。

IE 指令使 BREF 具有法律约束力。在最佳可得技术结论中总结的排放规范，必须在包括德国的成员国中得到遵守，从而对工业工厂的环境标准产生直接影响。

此外，IE 指令的目的是为减少事故做出贡献。欧洲约有 52,000 家工业工厂，包括德国的约 9,000 家工厂，都在 IE 指令的监管制度之下。特别是排放量大的工业部门，如化学工业、燃烧厂、食品工业、原材料加工工业（矿物原料、黑色和有色金属、木材）、废物处理和焚烧以及纺织和皮革工业都被考虑在内。工业部门及其工厂规模的选择与联邦排放控制条例（BImSchV）关于需要许可证的工厂的规定相协调。

根据新的法律，工厂经营者有义务向政府更全面地报告遵守许可证要求的情况。对监测的要求普遍得到加强（进行环境检查，由当局编制环境检查计划）。为了提高透明度，还扩大了公开披露的义务。在某些条件下，工厂经营者必须为工厂现场准备一份基准报告，当工厂退役时，可能有义务将其恢复到基准状态。

2.3. 代表性工业实施路径介绍

在保证能够实现碳中和目标的前提下，应该如何进行工业生产是关键性问题。德国有目的地将工业向碳中和转变，走向可持续经济。

工业界在工业生产过程中的能源供应逐步开始由化石能源过渡为氢能等新能源，以期实现工业和其产品的整个生命周期不产生碳排放。同时，扩大可再生能源的战略考虑到了能源密集型基础工业对有利的能源价格的需求。德国的工业政策立足于工业去碳化的同时防止“碳泄漏”，即工业企业由于气候政策导致碳成本增加，将生产转移到排放限制更宽松的其他国家，导致其他国家的总排放量增加。碳泄漏的原因是不同国家对于碳约束、碳成本的标准不一致。从全球角度

而言，企业的迁移导致的碳泄漏并未减少碳排放总量，而从德国自身角度而言，企业迁移以后也会影响自身的产业竞争力。因此德国寻求通过确保供应廉价可再生能源来避免碳泄漏，这些能源对能源密集型生产来说在可承受范围内，这确保了德国仍然是世界上最成功的钢铁和化工国家之一。

尽管在大型主导产业，如钢铁、化工和制药或机械工程的整体中，就业岗位没有明显减少，但转型对于中小型企业来说仍然是一个巨大的挑战。部分企业的商业模式受到了冲击，同时各企业也在探索新的商业模式和实现碳中和的路径。

- 化工

对于化工这一能源密集型行业，扩大可再生能源使用至关重要。德国化工行业在进行可再生能源的转型来应对气候变化，以实现 2045 年达到碳中和的目标。德国化工企业意识到，绿色且低价的能源支撑是帮助德国制造商有能力参与国际竞争的关键因素。德国最大的化工企业巴斯夫（BASF）提出，到 2030 年，二氧化碳排放量比 2018 年减少四分之一；至 2050 年，这个全球最大化工企业实现碳中和。巴斯夫计划投资 40 亿欧元，其中四分之一用于在荷兰海岸的一近海风电场项目，以获得绿色能源支撑。

在去碳化方面，化学工业面临着生产过程电气化的挑战。关闭碳循环，用可再生原料替代化石燃料是关键。这需要跨行业的解决方案，例如关于绿色电力和可持续原材料和基本材料的供应、电网扩展和接受问题，如绿色氢气的生产和使用或化学生产过程的电气化。德国化学工业协会（VCI）创建了跨部门的对话平台（Chemistry4Climate），促进化工行业、能源行业、电网运营商、废物处理和回收行业、机械和设备工程、研究机构和民间社会之间的知识和经验交流，旨在支持化学工业在 2050 年实现碳中和。该平台能够串联不同部门的相关行业者，共同寻找转型的解决方案，并制定具体的去碳化项目。

- 钢铁

钢铁工业的转型将是一项长期任务。德国将投入至少 50 亿欧元用于 2022 年至 2024 年钢铁行业的转型补贴。在经历了多年的亏损和新冠疫情危机中的萧条之后，2021 年全球激增的需求和钢铁产品高昂的价格让德国钢铁行业再度获利，但钢铁行业依然面临着严峻的转型挑战。德国大型钢铁企业尝试用氢代替煤作为能源，但高昂的投资成本是转型的最大阻碍。

根据欧盟制定的气候目标，到 2030 年，欧盟国家二氧化碳排放量将比 1990 年减少 55%；到 2050 年完全实现碳中和，钢铁行业是实现该目标的重点。根据德国环境部的数据，高炉和钢铁厂每年排放的二氧化碳约为 5800 万吨，占工业排放量的 30% 以上，约占德国总排放量的 8%。

2020 年，德国政府通过了氢能发展战略，这对于钢铁产业的转型起着核心作用。

2020 年 5 月，德国五大钢铁集团的代表要求政府在第一阶段提供 150 亿至 300 亿欧元的投资和补贴承诺，为此，他们将在 2030 年之前将三分之一的钢铁生产转为绿色生产，每年降低 1700 万吨的二氧化碳排放量。作为德国钢铁巨头之一蒂森克虏伯（Thyssenkrupp）占德国二氧化碳排放量的 2.5%。提出十年内减少 30% 的二氧化碳排放量。该公司已经提出了这方面的具体计划：从 2025 年起，四座炼铁高炉将逐渐被以绿色氢气为动力的直接还原装置所取代，新型的熔化装置能将固体原料变成液体生铁。到 2030 年需要花费 20 亿欧元，而完全转变则需 80 亿欧元。

- 汽车

根据联合国气候变化政府间专家委员会（IPCC）数据，交通运输业约占全球温室气体排放的 14%，因此交通运输业也成为德国碳排放管理的核心路径，同时也加强了汽车行业巨头们对于碳排放强监管时代的到来。

汽车工业是德国的支柱产业之一。推进电动化、可再生能源的利用、循环经济是德国三大汽车巨头实现碳中和的共识，而前两项是关键途径。

电动汽车的主要碳排放来源是高压电池包原材料的提取、能源密集的生产过程，以及车身铝材使用。在使用可再生能源生产电池包和充电之后，电动汽车的生命周期碳排放将显著低于燃油车，所以可再生能源基础设施建设与使用决定了电动汽车的碳排放量，这也是德国汽车工业发展可再生能源降低碳排放的内在动力之一。

德国的代表性车企大众提出了较为激进的纯电动路线。在大众最新的 2030 战略中，以 2030 年为时间节点，集团纯电动车型的份额计划上升到 50%。大众计划至 2025 年计划售出 100 万台电动车，其中纯电动车的占比至少达到 25% 到 35%，再次提速电动化进程。

大众公司碳中和阶段性目标：

1. 2025 年汽车生产和使用阶段碳排放量减少 30%（对比 2015 年）
2. 2030 年汽车生产和使用阶段碳排放量减少 30%（对比 2018 年）
3. 2050 年达成全价值链碳中和目标

大众集团目前总体的可再生能源使用比例为 45.6%，其中 53 个生产基地已经全部使用可再生能源电力。生产大众 ID3 的茨维考工厂已经完全实现碳中和。后续大众集团将继续推动其他工厂的可再生能源使用，提高生产制造环节的能源利用效率，同时致力于提高下游供应链再生能源使用比例，使用更加环境友好的

电池生产方式。充电网络方面，大众继续与欧洲的清洁充电伙伴合作，改善新能源车使用过程中补能导致的碳排放，铺设和接入更多的可再生能源充电站。循环经济方面，大众将采用可再生材料的方式降低一次原材料开发导致的碳排放，如车身铝材等可再生材料的回收与循环使用。此外，大众集团内部还有减排的环保活动，如内部的CO₂基金，每年有约 2500 万欧元用于投资世界范围内的温室气体减排项目。

- 水泥

大型水泥企业近年来投资节能窑，从而减少了二氧化碳的排放以及能源成本，消除或至少部分替代用于加热燃烧过程的化石燃料，有助于气候保护。然而，这些措施所节省的排放量实际上在同时高速增长的水泥需求中被抵消了。在过去 30 年里，全世界的水泥年产量从 10 亿吨增加到 40 多亿吨。

德国的大型水泥生产企业海德堡水泥公司为自己设定的目标是：到 2025 年，每吨水泥的净二氧化碳排放量比 1990 年减少 30%，最迟在 2050 年提供气候中立的混凝土。为了实现这一目标，海德堡公司已经为全球所有工厂确定了具体的二氧化碳减排措施。在碳捕捉方面，海德堡水泥已经在德国开始了由欧盟资金资助的二氧化碳分离实验性项目，项目可捕捉 95% 纯度的二氧化碳。2020 年 12 月，海德堡水泥公司于挪威的一家水泥厂投资建设碳捕集与封存（CCS）工厂。通过这个 CCS 项目，每年可以捕获 40 万吨二氧化碳。这将是世界上第一个水泥厂的工业规模的 CCS 项目。新工厂计划于 2024 年开始对水泥生产过程中的二氧化碳进行捕获。目标是将该厂生产的水泥的二氧化碳排放量减少 50%。

2.4. CCS/CCU

碳捕集与储存，是指收集从点源污染（如火力发电厂）产生的二氧化碳，将它们运输至储存地点并长期与空气隔离的技术过程。此项技术的主要目的是防止在发电过程中或其他行业使用化石燃料而释放大量二氧化碳至大气层，同时是一种潜在手段以减轻因为使用化石燃料时所释出的排放物而造成的全球暖化及海洋酸化。在枯竭的天然气或石油储层、含盐的含水层或海洋的地下，都有可能进行储存。国际条约排除了在海洋水柱中的储存。

科学家们认为，通过在化石燃料燃烧过程中捕获二氧化碳，然后将其储存在地下，可以将 65%至 80%的二氧化碳永久地挡在大气之外。目前的主要问题是捕获、运输和储存所需的巨大额外能量。使用 CCS 技术使现有的有限的化石原料的消耗增加了 40%。只有当储存的二氧化碳永久地、完全地留在储存设施中，才能为应对气候变化做出有效贡献。这一要求也是由《二氧化碳储存法》规定的。

联邦环境局的 RESCUE 研究（Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität - 通往资源节约型温室气体中和的途径）通过各种设想展示了德国到 2050 年实现温室气体中和的途径。基于上述前提以及根据目前的知识，温室气体排放仍然重点存在于农业和工业，主要是水泥、石灰和玻璃工业。这些不可避免的温室气体排放只能通过从大气中清除并将其安全地捆绑或长期储存来补偿。RESCUE 研究表明，通过自然汇（如森林）和可持续的木材管理，在德国完全可以实现上述补偿，因此根据目前的知识，CCS 对于在德国实现温室气体中和没有必要。

但是为了对各种发展做好准备，联邦环境局依然建议对 CCS 技术进行研究，以便在证明绝对有必要使用 CCS 技术时可以使用。特别是，必须确保能够保证二氧化碳在储存综合体中的完全和永久的命运。

德国法律对 CCS 产业链中的所有环节进行监管。二氧化碳的捕获主要由《联邦排放控制法》管理，而运输和储存则由《二氧化碳储存法》（KSpG）管理。自 2012 年以来，KSpG 已经允许在有限的规模上进行二氧化碳储存的研究、测试和示范。它限制了整个德国和单个储存项目每年储存的二氧化碳数量。此外，KSpG 允许各州通过法律决定在哪些领域应允许进行测试和演示，在哪些领域不应允许。根据 KSpG 的规定，在批准具体的存储项目时，需要获得规划批准。这是由当局决定的，并且要符合严格的环境要求。除其他事项外，必须按照要求的 "科学和技术水平 " 采取预防措施，防止对人类和环境造成不利影响。二氧化碳储存设施的运营商有义务制定和应用全面的措施和监测概念。KSpG 下的许可决定是由土地当局做出的。

KSpG 执行欧盟（EU）关于二氧化碳地质储存的指令。通过该指令，欧盟为各成员国的二氧化碳捕获、运输和储存制定了统一的最低要求。除其他事项外，二氧化碳储存设施必须得到许可。对它们的选择和操作以及善后措施也有材料要求。在国际层面上，是海洋公约 OSPAR（保护东北大西洋海洋环境公约）和伦敦议定书（防止倾倒废物和其他物质污染海洋的伦敦公约议定书）制定了二氧化碳储存的法规。这些都禁止在水体中储存二氧化碳。它们原则上允许在海床上储存，但对海洋环境的保护提出了很高的要求。

《二氧化碳储存法》委托联邦环境局（UBA）负责与二氧化碳储存有关的任务。这里的重点是它的环境影响。根据 KSpG 第 5 条，UBA 的任务是为有效的环境预防措施制定基础，作为联邦政府潜在分析和评估的一部分。潜力分析是由联邦经济部与联邦环境部商定后编写的。地下调查、存储项目和存储关闭的许可机构是土地管理局。联邦环境局可以在土地管理局的程序框架内提交意见。这使它有机会在环境影响方面为审批项目做出贡献，并向各州当局提供技术建议。

UBA 还参与了 CCS 法案中规定的二氧化碳捕集与封存项目的知识交流，并可以将这些知识用于其 CCS 的科学工作。UBA 是联邦地球科学和自然资源研究所维护二氧化碳管道和储存设施登记册的共识机构。

根据《温室气体排放交易法》(TEHG)，将欧共体排放交易指令转化为国家法律，CCS 产业链中的设施也被纳入排放交易范围。这是由 TEHG 第 2(1)条的适用范围决定的，这里提到的是附件 1 第 2 部分。CCS 链中的装置在第 29 至 31 号中有更详细的名称，据此，在 TEHG 下的活动中，必须区分温室气体的捕获装置（第 29 号）、运输的管道装置（第 30 号）和地质储存的储存场所（第 31 号）。所有这三项活动都要完全遵守监测二氧化碳排放的要求。由此，欧盟委员会的监测条例（MVO，第 601/2012 号）也完全适用于这三种活动。MVO 的附件四对特定活动的监测方法提出了额外的要求。MVO 附件四中的第 21 至 23 条也涵盖了 CCS 链中的三个环节，但在审议 KSpG 时，只有根据 MVO 附件四中的第 23 条进行储存才是相关的。二氧化碳捕获和运输的地上部分不属于 KSpG 的范畴，其监测方法也没有那么复杂。

然而，对于二氧化碳的地质储存，必须满足监测要求。为此，这种需要进行排放交易的（储存）设施的经营者必须建立一个两阶段的监测系统。根据 MVO 附件四第 23A 条，运营商必须提出一个定性的监测方法。这必须适合于可靠地识别来自存储综合体的泄漏。到目前为止，对可能的泄漏进行连续监测似乎很难实现。如果发生泄漏，操作员必须在定量监测中考虑到这些二氧化碳的数量。根据 MVO 的措辞，可以考虑“排放”或“渗入水体”。如果是排放（释放到空气中），需要进行全面的地面监测，包括上游基线监测。在向水体泄漏的情况下，必须确定如何对其进行量化；MVO 要求对每个日历日的二氧化碳泄漏进行量化。在量化二氧化碳泄漏时，还必须考虑到附件四第 23 B.3.要求遵守 7.5%的总体不确定性。到目前为止，联邦环境局还不知道这些监测要求是否得到了研究、调查或实践的证明。这既适用于连续的质量监测，也适用于考虑到允许的总不确定性为 7.5%的定量监测。

迄今为止，德国唯一的二氧化碳储存项目是柏林以西的小型二氧化碳储存项目 Ketzin 的试点储存设施，也是世界上第一个退役的二氧化碳储存设施。从 2008 年 6 月到 2013 年 8 月，大约 6.7 万吨 CO_2 储存在 630-650 m 深度的含盐含水层中。欧洲的大型存储容量位于北海和挪威海以下。德国目前不考虑永久陆上存储。

“碳捕获和利用 (CCU)”是指碳化合物的分离、运输和后续使用，主要以二氧化碳 (CO_2) 或一氧化碳 (CO) 的形式存在，其中碳被送入至少一个进一步

的利用循环。根据碳的来源和用途，这需要结合不同的工艺和工艺步骤，每一个都与能源或资源消耗和环境影响有关。

在 CCU 技术中使用的碳可以有不同的形式和不同的来源。在工业中，可以区分三种类型的二氧化碳排放：直接能源相关排放、间接能源相关排放和过程相关排放。因此，必须从一开始就检查是否可以完全避免二氧化碳排放。例如，通过提高效率、使过程电气化、使用基于可再生能源的氢或替代材料。避免排放总是比使用或储存捕获的二氧化碳更可取。CCU 通常被理解是指使用气态的二氧化碳。这可以是化石来源（来自化石能源或原材料，如石灰石）或来自大气。

经过加工和可能的运输，碳可以直接或间接地用于提供含碳的产品。二氧化碳的一个直接用途是，例如，它在灭火系统中的使用。间接的，原料使用包括基本化学品的合成或化学工业的（中间）产品，以及可用于运输、工业和供热的最终能源载体。这被称为对气体/液体/固体的动力。

使用捕获的二氧化碳提供了一种减少工业来源过程排放和关闭碳循环的选择。例如，二氧化碳将在化学工业中作为碳源发挥关键作用，最迟在不再使用化石碳源时。随着能量的供应，二氧化碳可以转化为甲醇等基本化学物质。然而，在使用过程中，产品中结合的二氧化碳会——只要存在技术性（或可能还平衡）二氧化碳周期尚未创建 - 在产品生命周期结束时再次发布。根据相应产品的使用寿命，二氧化碳可以持续数天或数周（例如合成燃料），长达数年（例如聚合物）或数十年或受约束几个世纪（例如在建筑材料中）。

德国的目标是到 2045 年实现温室气体中和，到 2050 年实现欧洲温室气体中和。因此，就预防原则而言，首要任务是首先避免形成二氧化碳和其他温室气体排放。这需要在需求和生产方面对经济和社会进行许多变革。需要技术创新，特别是在能源供应和工业生产领域。许多有待开发的知名技术和新技术的进一步发展都是必要的。改用可再生能源可以完全避免与能源相关的温室气体排放。为了有效利用能源和自然资源，只要技术上可行，就必须直接使用可再生电力。工业过程必须完全转变为可再生能源和低温室气体原料并进一步发展。这里的首要任务是完全避免二氧化碳的形成。

如果化石碳通过 CCU 分离并在其他地方使用，则无论后续使用的次数如何，该二氧化碳总是会在使用链的末端进入大气。例如，这适用于水泥、石灰和玻璃生产等工业生产过程的碳排放，根据目前的知识，这些在技术上是不可避免的。在这方面，持续推动创新也很重要，目的是通过不断的发展和知识的进步最终避免或至少减少目前不可避免的温室气体排放。

因此，在某些条件下，CCU 技术有助于减少温室气体排放，从而保护气候。事实上，它们都需要大量的电力和热量。这种能量必须无排放地产生，否则存在

使用 CCU 比不使用 CCU 排放更多 CO₂ 的风险。此外，应该指出的是，某些应用的直接电气化可以更有效地利用可再生能源。举个例子：驱动电动汽车所需的电力仅是使用电力到液体技术生产相同距离的合成燃料所需电力的五分之一。为了评估 CCU 技术的可持续性，重要的是在哪些过程和条件下使用 CCU。例如，这些包括 CO₂ 的来源（化石、生物、大气）、使用类型（合成燃料、塑料、建筑材料）和使用的可再生能源。然而，对于某些能源密集型行业（尤其是水泥、石灰和玻璃），CCU 目前可以成为减少其难以避免的与工艺相关的温室气体排放的一种方式，直到开发出进一步的减排方案。对于化学工业而言，CCU 技术在长期内也很重要，以使 CO₂ 可用作原材料。

2.5. 循环经济

循环经济是一种再生系统，其中通过减慢、减少和关闭能源和材料循环，最大限度地减少资源使用和废物产生、排放和能源浪费；这可以通过耐用的建造、维护、修理、再利用、再制造、翻新和回收来实现。回收通常是最后的手段。

循环经济是一种生产和消费模式，现有材料和产品尽可能长时间地共享、租赁、再利用、修理、翻新和回收。这样就延长了产品的生命周期。在实践中，这意味着浪费减少到最低限度。在产品达到其使用寿命后，资源和材料尽可能地保留在经济中。因此，它们一次又一次地被有效地使用，以继续产生附加值。循环经济与传统的线性经济模式（“丢弃经济”）形成鲜明对比。这种模式依赖于大量廉价、现成的材料和能源。“计划报废”是另一个特点。欧洲议会呼吁采取措施防止设备过早损坏。



图表 9 德国循环经济模型

作为一个人口稠密的工业国家，德国尤其依赖可靠的资源供应。资源的保护、经济利用和循环利用对于该行业来说非常重要，同时通过现代技术的开发和使用为实现这些目标做出了决定性的贡献。在这方面，基于可持续性标准的废物处置很重要。通过对物质流的收集、分类和物质或能量回收，循环经济发挥着重要的生态功能，同时对经济的原材料供应做出了重要贡献。过去，从“一次性社会”到负责的循环经济的转变，主要是通过严格的监管要求来实现的。重点通常是生态问题，从收集和分类到材料流的回收。可持续管理的一个核心要素是对生态和经济问题的平等考虑。必须设定框架条件，以加强废物管理行业的竞争，保护废物生产者和所有者，即经济和消费者，免受过度官僚主义和过度成本的影响。德国的目标是在废物管理领域保持国际竞争力，同时改善回收产品和二次原材料的框架条件。

1994 年 9 月，德国通过了促进回收管理和确保对废物进行环境友好处理的法律，简称《回收管理和废物法》(KrW-/AbfG)，该法制定了明确规定的回收管理原则。目标是：“首先，应避免浪费，特别是通过减少其数量和危害性，其次是物质使用或产生能源（能量回收）”。即使那里没有提到该术语，其基本思想已经可以在欧洲共同体理事会的指令中找到 1975 年 7 月 15 日关于废物的法令，其中规定了限制废物产生以及再利用和回收废物以保护原材料和能源的需要。德国法律也对循环经济进行了理解，此后该法律得到了进一步发展，根据理想及其重点转移，简称为《循环经济法》(KrWG)，主要是作为保护自然资源的一种手段。与此同时，欧盟废物框架指令将向循环经济的过渡制定为目标。它明确要求成员国促进更可持续的生产和消费模式以及电子设备的耐用设计和可修复性、针对食物浪费和计划过时的措施和信息宣传活动。同时，在 2020 年 7 月 5 日之前通过指令 (EU) 2018/851 实施的变更中对这些方面的强调可以看作是一种政治洞察力的反映，即现实中的一次性用品趋势，寿命短周期、全球物质流动的极端运输路线以及与市场参与者口头上的相反，一次性的心态似乎没有被打破。废物管理的法律依据是 2012 年 6 月 1 日生效的封闭物质循环废物管理法 (KrWG)。前身是 1996 年的循环经济和废物管理法 (KrW-/AbfG)。KrWG 在德国法律中实施了欧盟废物框架指令 2008/98/EC。随着 2008 年修订的欧盟废物框架指令的实施，德国的回收行业通过对废物状态和副产品结束的明确定义和规定得到进一步加强。

新 KrWG 的一个基本要素是五级废物等级（废物预防，再利用，再循环，再利用，再处置），始终优先考虑生态上最有利的废物管理方式，但也适当考虑经济和社会方面考虑到。

这项法律是德国发展循环经济的总的“纲领”，它把资源闭路循环的循环经济思想推广到所有生产部门，其重点在于强调生产者的责任是对产品的整个生命周期负责，规定对废物问题的优先顺序是避免产生、循环使用、最终处置。具体地说，首先是减少污染物的产生量，在生产和消费过程中尽量减少各种废物的产生；其次是对不能避免产生又可利用的废弃物要加以回收利用，使之回到经济循环中去；只有那些不能利用的废弃物，才被允许进行最终的无害化处置。

该法的目的是使德国垃圾管理适应可持续发展的要求，垃圾管理应当以一种封闭的方式进行，垃圾不应被废弃，而是进行重新利用或用来生产能量。垃圾的重复利用不再被看作一种减少垃圾的方法，而是一种节省原生原材料和保护环境、气候的积极措施。

该法的重要原则和思想主要体现在以下九个方面：

- (1) 将垃圾管理在本国独立处理的基础上扩大到欧洲范围；
- (2) 以封闭的方式进行垃圾处理；
- (3) 垃圾只有在由于技术、生态或经济原因无法进行重复利用的情况下才可以废弃；
- (4) 重复利用的主要目的应当是节约自然资源和保护气候、环境；
- (5) 在特定情况下使物质的和能量的重复利用相等；
- (6) 促进私营企业参与管理（产品回收/二元化体系）；
- (7) 使生产者通过分类收集体系或现有公共体系承担回收责任；
- (8) 包括废油、包装废弃物、废电池、报废汽车，及电子垃圾；
- (9) 建立工业社会生态变化的新模式。

在此法的框架下，德国政府根据各部门各行业的不同情况，制定了促进各部门各行业垃圾再利用的法规。使饮料包装、废铁、矿渣、废汽车、废旧电子商品等“变废为宝”。2000年，德国政府制定并颁布了《可再生能源促进法》。根据该法，开发可再生能源的公司企业可以获得政府的经济补助。在这一法律的鼓励下，许多可再生能源的开发和利用取得了明显成效。同时，德国政府还制定了相关的法律法规，例如《可再生能源市场化促进方案》、促进新能源技术开发的《未来投资计划》、《家庭使用再生资源补助计划》等等。为了促进生物资源技术的开发和市场化，德国政府还制定了《再生资源发展法规》等法律法规，促进了循环经济的发展，规范了政府、社会、企业和国民的行为。

德国废弃物管理的法律法规可分为三个层次：法律、条例和指南。相关的法律有《循环经济于废物管理法》、《德国废弃物法》、《环境义务法》、《关于避免和回收利用废弃物法》等，相关的条例有《有毒废弃物以及残余废弃物的分类条例》、

《包装以及包装废弃物管理条例》、《污水污泥管理条例》，相关的指南有“废弃物管理技术指南”、“城市固体废弃物管理技术指南”等。

德国成功循环经济的另一个标志是私人 and 公共废物处理的双重共存。一方面，废物的商业生产者和所有者根据污染者付费原则对自己的废物基本上负责处置，而作为公共废物管理机构的市政当局则负责处理私人家庭的废物和处置的废物。根据来自其他原产地的普遍利益服务原则。此外，某些废物流的产品责任原则要求制造商和分销商在其使用寿命结束时收回和回收其产品。这种任务划分已经证明了自己，并将在封闭物质循环法中继续下去。

德国循环经济法律法规体系有如下主要特点：

(1) 德国循环经济法律法规体系是以生活和工业废弃物的处置、再利用问题为主线制定的，同时也涉及了可再生能源的开发与使用；

(2) 《循环经济与废物管理法》是德国循环经济法律法规体系的总的指导性法律，其他法律法规是在该法框架下制定和实施的；

(3) 《循环经济于废物管理法》立法初期是指“物质封闭型的垃圾经济”，后来通过生产者延伸制度，将循环经济原则扩展到了生产领域。

在全球范围内原材料消费量不断增加以及众多初级原材料的有限性的背景下，人们越来越关注次级原材料。德国在开发这种原材料来源方面发挥着先锋作用。例如，德国钢包装的回收率超过 90%。二次原材料的使用也达到了显著的价值，在钢铁中超过 45%，在纸张中约为 74%，在玻璃生产中高达 90%。

在德国，废弃电气和电子设备 (WEEE) 的处理受到《电气和电子设备法》(ElektroG) 的监管，该法特别组织了制造商和分销商对废物管理产品责任的认识，并定义了回收的材料要求 WEEE。

ElektroG 将欧洲废弃电气和电子设备指令（所谓的 WEEE 指令）纳入国家法律。ElektroG 于 2015 年 10 月根据欧盟法律要求的变化进行了修订。修正案的核心内容之一是零售商在特定条件下从消费者手中收回 WEEE。这种收集网络的整合旨在确保以环保的方式妥善处理更多的 WEEE。此外，确保生产者责任和扩大针对非法 WEEE 的申请表措施的范围-出口和指定收集数量的增加以及回收和回收配额是修改后的 ElektroG 的重要组成部分。此外，基于封闭物质循环法 (KrWG) 颁布的物质禁止条例 (ElektroStoffV) 规定在制造新设备时使用某些有害物质如阻燃剂、铅或镉，以利于后续回收利用。结合起来，这两项法规都追求以环保方式回收旧电气和电子设备的目标，并通过减少有价值材料的损失和减少污染物负荷来加强循环经济。

封闭物质循环废物管理法 (KrW) 构成了许多法规的基础，这些法规规范了制造商和分销商对废物管理产品责任的认识。这些法规中最古老的法规是《包装

条例》(VerpackV)，它特别规定了使用所谓的双系统（黄色垃圾箱/黄色袋子、玻璃容器等）的家庭、单独收集包装废物。

自 1991 年以来，德国一直以私人方式处理包装废物。处置载体是现在的十个所谓的“双系统”。《包装条例》要求那些首先将销售包装投放市场的人有义务根据投放市场的包装数量和类型参与其中。因此，您为私人家庭和可比消费点产生的包装废物的收集和回收提供了间接资金。《包装条例》将进一步发展为可回收物法案，该法案将处理可回收废物的单独收集以及从生活垃圾中回收所有产品的二次原材料。

循环经济不仅可以显著改善环境，还可以带来经济效益。只要有可能保持有价值的原材料流通，公司对日益昂贵且经常波动的原材料进口的依赖就会减少。新的商业模式、产品、服务和就业机会被创造出来。

在德国，循环经济的实施手段主要有以下几个方面：

（1）产品责任制

产品责任制是德国推进循环经济的重要经济政策手段之一。按照《循环经济与废物管理法》之规定，谁开发、生产、加工和经营的产品，谁就要承担满足循环经济目的的产品责任。为了履行产品责任，产品生产者应最大可能地在生产过程中避免产生废物，保证有利于环境的利用，确保在利用中产生的废物得到处置。

产品责任特别包括：

产品包括多次利用的、技术寿命长的产品开发、生产和使用，按规定无害化利用后，采取对环境有利的处置；

在产品生产过程中优先采用可利用的废物或二级原材料；

含有有害物质的产品要有标志，以确保产品使用后产生的废物能够采取有利于环境保护的方式利用或处置；

产品标志上要标有回收、再利用的可能性和义务的说明，以及抵押规定；

产品和产品使用后产生的废物的回收、以及以后的利用和处置；

（2）双回收系统

德国包装废弃物收集和处理的“双系统”模式是循环经济实践和运行机制的典型模式。其背景是 1991 年生效的《包装条例》，该条例首次要求工业界收回使用后投入流通的包装并进行回收利用。在此之前，只有市政当局负责垃圾处。Duales System 是一个专门负责对包装废弃物进行回收利用的非政府组织，它接受企业的委托，组织收运者对企业的包装废弃物进行回收和分类，然后分送到相应的资源再利用厂家进行循环利用，能直接回收的则送返制造商。目前有 11 个私人组织的双重系统正在向消费者宣传包装废物单独收集的意义和目的、为此目的设立的收集系统以及通过“废物分类工作”倡议正确收集用过的包装。

（3）垃圾分类与“绿点”系统

混合垃圾处理成本高，污染大，利用率低。德国自 1985 年开始就实行垃圾分类，即根据垃圾的性质和用途（如有机垃圾、无机垃圾、废旧电池、玻璃、纸质制品等），分置多个垃圾箱，再在垃圾箱上用文字和图示提醒消费者将各种不同的垃圾分别投入不同的垃圾箱中。垃圾分类有利于垃圾的处理、加工和再利用，同时降低了处理成本。

德国自 1991 年开始对包装进行分类，在日常生活中，大凡食品、化妆品、各种日用塑料、玻璃、纸类外包装袋上都印有一个圆圈和箭头组成的圆形图案，这就是“绿点”。有此标志的商品，表示它的包装可以回收，也就是要求消费者把它放入盛包装物的分类垃圾箱。

若制造商或经销商欲用“绿点”标志，则必须支付一定的注册使用费用，费用多少视包装材料、重量、容积而定，收取的费用作为对包装废弃物的回收和分类的经费。例如，每公斤玻璃的收费标准是 7.6 欧分，每公斤塑料包装物的收费标准是 140.3 欧分。收集的资金用来与废弃物回收公司合作，对废弃物进行收集和分类处理。“绿点”的实行是本着谁污染谁治理的原则进行的，因此消费者也负有一定的责任，在商品价格里也包含了一些回收费用。目前，德国大约有 19,000 个许可证持有者在使用“绿点”标志。从 1985 年开始的垃圾分类到 1991 年的“绿点”系统，使得垃圾的回收利用形成了良性循环。

（4）押金制度

为了提高包装品回收率，德国环境保护部制定了押金制度。德国包装法明确规定，如果一次性饮料包装的回收率低于 72%，则必须实行强制性押金制度。自实行此制度以来，顾客在购买所有用塑料瓶和易拉罐包装的矿泉水、啤酒、可乐、汽水等饮料时，均须支付相应的押金，1.5 升以下为 0.25 欧分，顾客在退还空瓶时，领回押金。

押金制度不仅提高了包装品的回收率，更让消费者改变了使用一次性饮料包装的消费习惯，转向使用更有利于环保的可多次利用的包装品，于节能降耗和环境保护大有裨益。

3. 工业转型案例

双碳目标下核能综合利用的发展方向与意义（余大利，中国科学院合肥物质科学研究院）

“双碳”目标下，推动核能在发电、制氢、区域供热、海水淡化等领域的发展应用，是构建我国以新能源为主体的低碳能源结构的根本手段。当前我国具备四代核电特征的高温气冷堆顺利发电，具有完全自主知识产权的三代核电“华龙一号”示范工程全面建成，全超导托卡马克核聚变实验装置 EAST 先后实现 1 兆安、

1.6 亿度、1056 秒的等离子体运行，先进核能技术在保障安全的前提下正在积极有序地高质量发展。

以超高温气冷堆、热管堆、锂冷堆、熔盐堆等为代表的先进裂变核能系统，均可具有超过 800 °C 的堆芯出口温度，作为热源可以满足热化学循环制氢和高温电解制氢的需求。国际原子能机构（IAEA）专门设置了核能制氢相关的协调项目，并认为大型核反应堆适用于氢电联产，小型核反应堆适用于专门制氢。目前日本原子能机构（JAEA）完成 I-S 循环制氢中试，制氢速率达到 150 NL/h；清华大学建立了实验室规模 I-S 循环实验系统（60 NL/h），并已实现系统的长期运行。为了提高核能制氢的竞争性，发展适用于高温堆的绿氢制备技术是我国急需发展的方向。目前德国、日本和中国等国家都在积极开展高温电解水蒸气制氢气（HTSE）的研究。德国 Sunfire 公司和美国波音公司合作，建成了国际规模最大的 150 kW 高温电解制氢示范装置，其制氢速率达到 40 Nm³/h；清华大学完成了实验室规模的高温水蒸气电解制氢实验系统的设计、建造和运行调试，产氢速率为 105 NL/h；中国科学院上海应用物理研究所基于熔盐堆探索高温电解制氢技术，拟建成设计制氢速率为 50 Nm³/h 的验证装置。当前核能制氢的成本较高，最佳技术路线不明晰，需要针对高温制氢工艺进行优化与改进，并提高反应堆与制氢系统的耦合部件研发，此外需要重点关注核反应堆和制氢系统耦合的安全问题。

为了解决冬季供暖导致的雾霾问题，采用商用核电机组进行区域供热是一种有效的解决方案。2019 年 11 月，海阳核电核能供热项目正式投用，成为国内第一个核能商业供热的范例，服务于 7000 多户居民，海阳市也因此被授予“山东省核能综合开发利用示范市”。2021 年 11 月，海阳核能供热二期项目投运，为整个海阳市城区 20 万居民供暖，海阳市成为全国首个“零碳”供暖城市。同期，秦山核电站开始为 4000 多户居民供暖，覆盖面积 46 万平方米，给南方核能供热起到示范作用。根据 IAEA 统计，目前全球有近 60 台商用核电机组（占总数的 13.3%）在发电的同时产生热水或蒸汽用进行区域供热，主要分布在俄罗斯、乌克兰、瑞典等天气严寒、供暖需求较大的国家，积累的运行时长超过 1000 堆年，核能供热的安全性及可靠性已经得到验证。

核能制氢和供暖是核能综合利用的发展前沿，加快发展先进核能技术是实现我国低碳能源替代、提高能源供应安全、实现能源结构高质量发展的必然选择，是完成“碳达峰、碳中和”任务的核心手段。

参考文献

- [1] Klimaneutralität wird für die deutsche Industrie zur Überlebensfrage. Klaus Stratmann.
Die neuen Klimaziele für Deutschland. Georg Ehring.
- [2] CO_2 -Preis: Anreiz für einen Umstieg auf klimafreundliche Alternativen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.
- [3] Industrieemissionsrichtlinie. Umweltbundesamt.
- [4] Bundesumweltministerium unterstützt Chemische Industrie auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.
- [5] Transformation der Stahlindustrie kann Erfolgsmodell für den Umstieg zur Klimaneutralität werden. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.
- [6] The Volkswagen Group Sustainability Report 2021. Nicole Richter, Hans Georg Welz.
- [7] HeidelbergCement baut weltweit erste CO_2 -Abscheideanlage im industriellen Maßstab in einem Zementwerk. Christoph Beumelburg.
- [8] Ad hoc Beratung bei der Umsetzung der Monitoring Verordnung für die 4. Phase des EU-Emissionshandels. Javier Castro, Michael Landspersky et. al.
- [9] Diskussionsbeitrag zur Bewertung von Carbon Capture and Utilization. Katja Purr, Hans-Jürgen Garvens et.al.
- [10] CCU/CCS: Baustein für eine klimaneutrale und wettbewerbsfähige Industrie.
- [11] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
- [12] Entsorgungs- und Kreislaufwirtschaft. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
- [13] Kreislaufwirtschaft in Deutschland. Michael Jedelhauser.
- [14] Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2020. Eric Rehbock.

（三）交通

1. 背景

欧洲的交通运输部门 是其二氧化碳重要的排放源，其占比在近年来逐步提升，2017 年占欧洲碳排放 总量的比例已达到 18.24%；此外，根据 EEA（即欧洲环境署）统计数据，2016 年乘用车碳排放占比达 61%（汽车+轻型卡车+摩托车），其中汽车的碳排放占比已达到 50%。在此背景下，切实降低汽车碳排放，成为欧盟应对气候变暖、减少温室气体排放最为重要的途径之一。

在德国，交通是仅次于能源部门和工业的第三大温室气体排放源，所占比例约为 20%。2019 年交通部门的排放量为 1.64 亿吨二氧化碳当量（CO₂-eq），与 1990 年的水平完全相同。交通部门二氧化碳排放量居高不下的主要原因是化石燃料的主导地位、乘用车数量的增加、客运中更重的车型以及客运和货运量的上升。

由于运输部门 99%的温室气体排放是以二氧化碳的形式出现的，因此该部门的去碳化战略与二氧化碳定价的概念相协调。后者的目的为进一步发展 2020 年生效的运输部门的国家碳配额交易系统（BEH）。

在目前的形式下，BEH 将在未来五年内起到类似二氧化碳税的作用，因为证书将以法定的固定价格出售：25 欧元/吨二氧化碳（2021 年）至 55 欧元/吨二氧化碳（2025 年），这些价格太低，无法产生有效的引导作用，甚至无法将全部环境成本内部化。这些固定价格或价格走廊将从 2026 年起取消，这样一个真正的交易系统就会生效，但是否会如此，目前还不清楚。

为了确保运输部门在 2035 年之前实现脱碳，并为公司提供快速规划的确定性，应改革 BEH，立即废除固定价格和价格走廊，并为配额数量提供一个固定的上限。到 2035 年，所有的津贴必须被逐步淘汰。由于二氧化碳定价概念也规定了电力和能源税法的改革，根据能源的二氧化碳含量进行评估，通过能源税对这些能源实施事实上的最低价格。

从中期来看，德国应该尝试将运输部门纳入欧洲排放交易系统（与工业和能源部门的排放交易系统分开），因为国际定价系统可以产生更大的气候保护效果，也可以减少潜在的碳泄漏效应的风险。

然而，仅仅引入二氧化碳价格并不足以在 2035 年之前实现交通部门的脱碳，这也是由于交通部门的二氧化碳排放成本很高。因此，它必须有支持措施和对现有征收制度的调整。

2. 德国交通行业转型实施路径

2.1. 陆地客运

对德国各个客运工具的平均排放量的比较表明，使用每公里 29-80 克温室气体的公共交通工具（取决于距离和推进力）对环境的危害明显低于私人汽车（每公里 143 克温室气体）或国内航班（每公里 214 克温室气体）。因此，除了避免使用交通之外，必须高度重视交通向公共或非机动化交通工具的转变。

- 机动化私人交通工具的转型

尽管由于效率的提高和更严格的气候保护要求，1995 年至 2018 年期间，乘用车交通的具体排放量，即单位运输量的排放量下降了约 9%，但这一进展被个人交通的增加和车辆的大型化和重型化趋势所抵消。总的来说，同期私家车交通的二氧化碳排放量增加了 3.7%。由于私家车约占德国交通温室气体排放的 59%，因此，交通部门转型的主要任务是减少机动化个人交通的最终能源消耗，并以碳中和的驱动能源来覆盖剩余的能源需求。

- ① 向碳中和能源技术转变

从 2025 年起禁止首次登记带内燃机的乘用车。为了达到 1.5°C 的目标，乘用车也必须最迟从 2035 年开始以碳中和的方式运行。根据这一要求，理论上可以禁止乘用车的内燃机技术或使用化石燃料。由于生态安全的生物燃料供应有限，后一种解决方案将主要使用合成燃料取代化石燃料。由于这些产品在所有经过测试的生产过程中都会结合二氧化碳，在运行过程中再次排放，因此它们被广泛认为是碳中和的。然而，这忽略了一个重要的问题，即从长远来看，这些二氧化碳究竟来自哪里。在目前的技术水平下，合成燃料生产的排放事实上只会被转移。而这些排放物必须在 2035 年之前被气候中和技术完全取代，以实现气候中立，或者在不可避免的过程排放的情况下，通过 CCS 储存。通过这种方式，工业排放将被“回收”，但不会产生封闭的碳循环。事实上，如果合成燃料的生产所需的二氧化碳来自沼气厂或直接来自大气（DAC），那么合成燃料的生产将是气候中立的。然而，相应的可持续性以及成本和能源效率的过程的可用性是无法预见的，因此不应作为到 2030 年实现气候中立的转型路径的基础。

除此之外，还必须考虑到合成燃料生产的高电力需求。由于来自可再生能源的电力也不是无限量的，除了气候中立的目标外，还有一个能源政策需要确保电力需求不会增加太多。因此，通过禁止内燃机技术可以最安全地实现这两个目标，因为与其他驱动技术相比，电池电动汽车（BEV）的整体能源效率要高得多：用同样的电量行驶的距离是使用电力燃料的汽车的 6 倍多（是使用燃料电池的汽车

的 2 倍)。此外，由于该技术早已准备好进入市场，关于交通脱碳的科学设想几乎一致认为，在中短期内，电池电力驱动将在乘用车运输中发挥核心作用，合成燃料充其量只是一种补偿技术。法律规定的淘汰日期对汽车行业来说也意味着规划的确定性，无论如何，汽车行业的生产正越来越多地转向电动汽车，并将有助于加速这一领域的技术发展。

鉴于目前在德国注册的乘用车的平均车龄为 9.8 年，最迟必须在 2025 年之前禁止首次注册内燃机乘用车，以便在 2035 年之前实现乘用车的基本气候中立化。由于在 2020 年，德国所有新注册的乘用车中只有约 6.7% 是电池电力驱动的，这个目标是雄心勃勃的。但就气候政策而言，它是必要的。

必要的法规：

欧洲层面：从 2025 年起，在欧洲层面禁止内燃机乘用车的首次注册是比较好的，因为它对气候政策的影响更大，而且德国作为欧洲的过境国，将来也必须为外国车辆储存较少的合成燃料。

此外，一些欧洲国家已经制定了自己的年度目标，并在最近致函欧盟委员会，要求其销售内燃机汽车设定一个淘汰日期。作为澄清，还应该包括禁止带内燃机的混合动力汽车的首次登记，因为这些车辆经常有极差的气候平衡。

国家层面：德国应该颁布国家禁令，禁止首次登记使用内燃机的乘用车（可能作为一项过渡措施）。根据宪法，这是有可能的；但是，根据欧洲法律的可接受性是有争议的，根据联邦法律，该禁令必须通过修订《车辆登记条例》和《联邦道路交通许可条例》来实施。

电动车补贴：由于燃料价格将因二氧化碳定价与温室气体减排配额而急剧上升，而电动车仍然非常昂贵，该措施应同时为购买电动车或电动自行车提供电动补贴。为了避免自重效应，只有那些收入低且没有良好的公共交通连接的人，才有资格申请。

逐步淘汰化石燃料的使用。只有从 2035 年起不再使用化石燃料，才能实现气候中立的目标。

必要的法规措施：

欧洲层面：提高欧洲运输部门的目标，德国应倡导收紧不切实际的 RED II 目标，即到 2030 年将所有成员国的运输部门的可再生能源比例提高到 14%。这决不能导致替代燃料生产的可持续性标准被削弱。

国家层面：

到 2035 年，引入 100% 的可再生能源燃料配额：只有当化石燃料的比例下降到 0% 时，才能在 2035 年实现该部门的气候中立性。为了不损害目标值，应该排除目前可能的电动汽车的多重信用。

确定 2025 年和 2030 年的温室气体减排配额：这些临时目标应确保有效实施。配额不应线性增长，而应按指数增长，以考虑到合成燃料的气候平衡只比可再生能源在电力中的比例约为 80% 的化石燃料好。

限制来自生物质的有争议的燃料的份额：为了不助长与粮食生产的土地竞争和加剧（全球）ILUC 问题，生物质份额也应通过配额的方式加以限制。目前的草案设想将来自粮食和饲料作物的第一代生物燃料的份额冻结在目前的水平，并从 2026 年起禁止特别有问题的生物燃料，这是朝着正确方向迈出的一步。来自废物的生物燃料应归入问题较少的类别，但这些生物燃料还不能大规模地使用。

欧洲监管尺度的改革：从二氧化碳限制到能源效率标准。为乘用车生产设定环境标准的最重要的现有法律文书之一是《欧洲二氧化碳车组限制条例》。它在 2019 年 4 月进行了修订，为乘用车和轻型商用车设定了限制（单位：克二氧化碳/公里）。在欧盟注册的所有车辆必须平均达到这些数值，但制造商会根据其车队的重量单独分配数值。从 2021 年到 2024 年，将适用 95 克二氧化碳/公里的限制值。到 2025 年和 2030 年，与 2021 年相比，排放量将分别减少 15% 和 37.5%。目前，由于所谓的“超级折扣”，零排放和低排放车辆（所谓的“ZLEVs”--排放量低于 50 克二氧化碳/公里的电动汽车和（插电式）车辆）在实现车队限制方面被多次计算。到目前为止，还不存在对小型、轻型和节能电动汽车的引导效应。2020 年，在德国，每五辆新注册的电动乘用车中就有一辆是 SUV。

于 2021 年第二季度进行的法规修订，为进行引领潮流的变革提供了重要机会。这些规定应根据推进技术将车队分为不同的组别，并为每个组别规定单独的、特定技术的限制值。因此，在禁止首次注册之前（如果可能的话，从 2025 年开始），二氧化碳限值可以作为减少内燃机乘用车排放的重要控制手段来使用。该法规应辅以电动驱动的乘用车的效率标准，以便为购买小型、轻型和节能的乘用车提供激励。这是必要的，因为即使在气候中立的目标系统中，来自可再生能源的电力也不会是无限量的，而且大型电池的生产不仅与高原料消耗有关，而且还与较高的温室气体排放有关。

能源消耗标签的改变。乘用车的能源标签应提供关于具体燃料消耗和二氧化碳排放的准确、相关和可比较的信息，从而影响消费者的购买决定，使其倾向于更经济、减少二氧化碳的车辆。同时，将为汽车制造商提供激励措施，以减少其生产的车辆的燃料消耗。然而，在德国的指令执行中，这些陈述被削弱了，因为排放值仍然是基于 NEDC 方法，这与现实相去甚远，而且是相对而非绝对的评估。

标签的改革--如果可能的话，在全欧洲范围内统一--应该把重点放在道路运输去碳化的目标上。因此，不再将二氧化碳排放作为监管的中心，而是将能源消

耗作为监管的中心，是有意义的。然而，对内燃机车辆的评估也应在过渡期内改变。

② 减少机动化通勤

几乎一半的汽车交通是在上下班途中或在商业活动中进行的。

促进家庭办公和视频会议的发展。在 2020 年春季的新冠危机期间，家庭办公人员的比例从 5%-13% 上升到 25%-37%，这表明至少从广义上讲，基础设施已经具备。这一假设得到了早期研究的支持，这些研究表明，40% 的远程工作份额对雇员和雇主都是可行的。在新冠大流行期间，商务旅行也急剧下降，商务会议被视频会议取代。如果旅行行为的改变按比例保持下去，铁路旅行可以永久减少 28%，汽车旅行减少 35%，航空旅行减少 22%。一项代表性的调查表明，受影响的人特别重视因通勤和商务旅行减少而节省的额外时间和更灵活的工作时间。

总的来说，通过增加使用家庭办公和视频会议减少二氧化碳的潜力很难估计，因为从长远来看，既要考虑到气候政策的理想后果，如减少对公司汽车和（加热）办公空间的需求，也要考虑到可能的负面反弹效应，如选择离工作地点更远的居住地/更大的公寓，或在通勤时照顾到额外的必要行程。因此，各种研究认为，通过此方式，每年有可能节约 300 万至 500 万吨二氧化碳。

废除通勤津贴。雇员有可能从他们的所得税中扣除上下班的费用，计算方式为以居住地和工地之间每公里 30 美分的简单距离，作为与收入有关的费用，从而在超过与收入有关的费用的一次性总额时，减少他们的税收负担（《欧洲国家公报》第 9（1）号）。作为气候保护计划的一部分，联邦政府提高了距离超过 20 公里的通勤津贴，将通勤与不足的二氧化碳价格结合起来，使其总体上比以前便宜很多，从而加剧了这个问题。高收入家庭尤其受益于这 55 亿-65 亿欧元的税收优惠，首先是因为他们往往还有其他可扣除的收入相关费用，使他们更容易超过统一的收入相关费用补贴，其次是因为累进所得税率导致高收入者的绝对税收减免更大。

改革公司汽车税。在德国，大约三分之二的乘用车都是首先商业注册的，公司用车的高比例也对车队和二手车市场产生了决定性的影响。收入和营业额税法鼓励雇主和雇员私人使用公司用车。对于雇员来说，每月的应税收入只增加了车辆清单价格的 1%（另外，推算的收入也可以记录在日志中），而所有后续的使用费用（燃料消耗、维修、税收、保险等）也都包括在内。另一方面，雇主可以免交增值税，可以在头六年内注销业务费用，并且不必为非现金福利的转移支付社会保险费。这种“双赢”的局面在欧洲是独一无二的，导致了一些生态、经济和社会的不平衡。

因此可采取以下措施：

雇主方面的购置费和损耗费可予扣除；改革雇员方面的非现金福利的纳税机制；建立流动性管理机制。

流动性管理是一个促进高效、环境和社会兼容的客运交通的概念。它的目的是通过信息、沟通、组织服务和协调不同参与者的活动来改变交通使用者的态度和行为。因此，它是一个重要的工具，特别是对于减少机动化通勤，对交通使用者的干预强度相对较低。

③ 成本的内部化

汽车交通的外部成本（即由交通产生但不由道路使用者自己承担的间接成本，如事故、健康、气候和基础设施成本）每年约为 1040 亿欧元；这略低于 16 欧分/公里（相比之下，铁路客运约为 3 欧分/公里）。由于缺乏内部化工具，这些成本由公众或后代以生活质量损失、更高的税收或健康保险费的形式承担。

对拥有和购买汽车征收气候税。对私家车征税的改革是必要的，因为目前的税收制度在生态上和经济上都是不可持续的，在社会上也是不公正的。征税的主要出发点是所有权和购买。德国目前还没有征收门票税。同样引人注目的是，德国是欧洲的低税率国家之一，每辆车每年的车辆税为 217 欧元（排名第一的国家丹麦：1,787 欧元）。法国政府迄今为止一直保持着类似的低税率，在法国公民委员会的压力下，现在正计划将注册税提高到最高 50,000 欧元，根据二氧化碳排放值进行分级。

德国的车主系统性地低估了他们的汽车总成本达 50%，这也是为什么引入根据排放量分级的登记税是有意义的另一个原因。一项国际比较也表明，在购买时引入登记税对消费者行为的影响更大，因此比基于所有权的年度车辆税具有更强的环境激励效果--但它们也不能产生可靠的可预测现金流。出于这个原因，有必要与基于二氧化碳的车辆税相结合，其价格信号反过来不那么有效，但更适合于确保财政目标。

改革燃料的能源税。根据 EnergieStG 第 2 条，目前柴油（47.04 ct/l）的税率比汽油（65.45ct/l）低 18.4ct/l。这一税收优惠导致每年减少 74 亿欧元的税收。即使扣除柴油乘用车较高的机动车税，每年仍有约 15 亿欧元的补贴。对柴油燃料的税收优惠是为了保护商业车辆和商业卡车交通免受国际成本竞争的影响；但是，由于柴油车目前占有首次登记的三分之一，私人商业车主也从中大大受益。无论是从健康政策的角度（空气污染物的排放量明显高于同类汽油车），还是从气候政策的角度，这种补贴都是不合理的（至少在完全转用合成燃料之前）。

应该记住，二氧化碳定价主要是基于能源的二氧化碳含量，根据证书价格，可能会导致汽油和柴油的价格下降。应该研究是否有必要纠正这种潜在的抑制因素，以及哪种手段（能源税的附加费，通过机动车税或类似手段进行纠正）最适合。

引入基于里程的小客车收费标准：

全国范围内的全国乘用车收费。例如，像法国那样引入基于里程的汽车收费，可以用来收取维护和更新道路的基础设施费用。因此，与上述主要以气候和环境成本内部化为目的的工具不会有重叠。原则上，基础设施成本的内部化也可以通过增加能源税来实现。然而，这个方案的缺点是收入将随着电动汽车份额的增加而逐渐减少（然而，在建立收费的基础设施之前，它可能代表一个短期的转型路径）。联邦政府对各州和各市的道路征收公路费的立法权将得到确认，条件是征收的公路费将主要用于噪音保护和空气污染控制。

城市范围内的乘用车收费。作为一项过渡性措施，让市政当局选择征收交通拥堵费是有意义的。支持这一观点的是城市中更好的公共交通基础设施（从而使汽车的使用成为不必要的移动选择），先锋和试点项目的促进，以及这将为市政当局开辟的额外收入来源。因此，引入不仅是环保协会的主张，也是经济机构的主张。国际案例也显示了对城市生活质量的积极副作用。在斯德哥尔摩，拥堵费导致了交通流量的改善，城市内部交通的整体减少，公共交通工具的使用增加，以及道路安全和空气质量的改善。市政当局引入拥堵费不能仅仅基于《基本法》第 28 条第 2 款第 1 句规定的法规自主权，而且目前还没有法定授权。然而，这种授权可以由联邦立法机构根据《基本法》第 74（1）条第 24 款第 2 和第 3 项来制定，因为空气污染控制也包括对有害排放的保护。

速度限制。德国是欧盟内唯一没有对高速公路进行限速的国家，尽管有许多理由反对德国的做法：限速为节省温室气体排放提供了一个可迅速实施的、具有成本效益的工具（限速 130 和 100 公里/小时，分别有 190 万和 540 万吨二氧化碳）。因此，荷兰决定在 2020 年将高速公路的速度限制在 100 公里/小时，以减少氮氧化物和温室气体排放。在城市地区，降低速度限制将通过提高骑车人和行人的安全以及向公共交通的模式转变而产生间接的气候保护效果。如果限速为 100 公里/小时，噪音污染将减少 1.5 分贝。高速公路上的稳定车速还可以改善交通流量，提高现有路面的容量和电动汽车的续航能力，不仅可以减少空气中的污染物，还可以减少事故和交通堵塞的风险。因此，限速不仅得到了一个由协会、专家机构、政党和国家机构组成的广泛联盟的支持，而且现在也得到了一半以上人口的支持。

必要的法规措施：

在高速公路上，白天的速度限制为 100 公里/小时。

在建筑密集区外，最高速度降至 80 公里/小时；

在建筑密集区，该规则与之相反，即最高速度一般降至 30 公里/小时；

在合理的特殊情况下，允许提高到 50 公里/小时。

暂停新的道路建设和扩建。尽管《2030 年联邦交通基础设施计划》设想将现有 2700 亿欧元中的约 70% 投资于现有基础设施的维护和更新，但 2019 年共有 233 公里的联邦干线公路得到新建或升级改造。另一方面，铁路网只增长了 6 公里。联邦交通基础设施计划中计划用于公路建设的总投资仍然高于铁路网的投资。由于与道路扩建或新建相关的吸引力增加，预计的道路交通增长--也就是排放增长。暂停新的道路建设和扩建有助于扭转这一趋势。

- 促进非机动式私人交通

- ① 城市停车位的拆除

汽车占据了相当一部分的公共空间。就柏林而言，经计算，所有汽车占用的面积约为 17 平方公里--这相当于亚历山大广场面积的 214 倍，几乎是柏林交通面积的 13%；在慕尼黑，甚至几乎是交通面积的 19%。这只是所有汽车占用的最小面积。在现实中，每辆车可能不止一个停车位，因此，现实中停车位的比例可能要高很多。城市路边停车位的生产成本约为 1500 欧元，以柏林为例，每年的维护成本约为 60 欧元。停车费和违章停车的罚款不仅明显低于国际平均，而且与公共交通的票价或在没有有效票据的情况下使用公共交通工具相比也是如此。

为了重新分配这些地区的部分区域，以便将更多的私人机动车交通转移到替代的公共交通方式上，以下措施是必要的。

不允许公共使用。根据道路法，在授权停车的公共路面上停放已登记并可运行的车辆，构成公共使用。由于该道路是专门用于交通的，所以一般允许停车。这种观点需要重新考虑。以瑞士为例，各州可以重新定义公共使用、增加的公共使用和特殊使用，并将公共空间的停车位排除在公共使用之外（可能对电动汽车充电的短期停车位有例外）。这可能会导致只允许在特别指定的区域停车，而不是必须定义禁止停车区。

废除停车位义务。土地法：日益增长的汽车交通导致几乎所有的土地建筑条例中都规定了所谓的建筑地块停车位义务，以减轻公共空间的停车区域。然而，这项义务是有问题的，因为（1）特别是在建筑密集、地块较小的地区，从生态角度看有问题的地下停车场可能是履行这项义务的唯一途径，（2）提供停车位的义务不一定符合需求，但（3）尽管如此，往往必须支付（间接地通过因停车位而增加的公寓价格或租金）。（4）实现无车住房项目更加困难，（5）在建造公共资

助的建筑物（如社会住房）时，停车位的费用由公共部门（从而由纳税人）承担。柏林是第一个，也是近二十年来唯一一个在 90 年代中期取消一般停车位要求的州。

废除提供停车位的义务。联邦法律规定出于城市发展的考虑，可以在开发计划中规定“停车位和车库及其车道的区域”，并使市政当局能够在开发计划中规定，只允许在某些楼层提供停车位或车库及相关附属设施（车库楼层）。

② 提高非机动车及非机动交通出行方式的安全保障

设计自行车友好型城市。根据“Fahrrad Monitor 2019”，农村地区 80% 的自行车用户感到不安全（特别是由于缺乏自行车道和认为机动车司机缺乏考虑）；在城市，34% 的人感到不安全；最大的问题因素是机动车交通太多。因此，扩大自行车道是提高骑自行车者安全感的重要措施，并创造激励措施，以转向非机动车个人交通。应该注意的是，道路空间使用的实际规划、实施或设计是由各主管部门进行的。然而，立法可以在所有监管层面创造最佳的框架条件，以实现自行车友好的交通设计。

建立步行友好型城市。应当设立更多相关保护措施来保障道路中步行的安全。例如在密集的道路上保持 2.50 米的最小宽度的人行道；设立方便行人的交通信号标志，规定机动车在行人旁的最高行驶速度等。

③ 强制要求货运车辆安装转弯辅助装置

如果在右转弯时有一个道路使用者在盲区内，转弯辅助装置会通知司机，从而提高骑自行车的人或行人的安全，并使非机动车私人运输更具吸引力。

• 促进公共交通发展

① 促进长途交通发展（铁路）

创建一个目标网络计划和一个目标时间表。只有在制定了系统路线层面的目标网络计划，并与铁路运输的供需规划相结合，才能实施德国技术方案。

建立一个全国性的协调机构。为此，必须在联邦交通和数字基础设施部的下游建立一个联邦协调机构。德国是唯一一个在国家层面上没有铁路运输协调机构的欧盟成员国，尽管各州已经多次要求这样做。因此，从中期来看，建立这样一个协调机构可以被视为对欧洲标准的适应。

联邦政府的具体服务设计。当局也将负责确定服务的范围（频率、路线网络），从而保证全面的铁路连接，而不考虑路线的盈利能力。特许权最初可能仅限于填补服务的空白。特别是，在这种情况下，迅速发展定期的夜间火车服务，作为中短途航班的替代，是有意义的。然而，从中期来看，全国性长途服务的特许权也

符合联邦政府的预算利益，因为它不仅可以参与财务风险，还可以参与使用量大的线路的利润--总的来说，如果乘客人数实际增加一倍，收入甚至可以超过支出。由于 DB Fernverkehr AG 也必须参与投标，特许权模式甚至会促进竞争。从这个意义上说，将网络分成不同的子网络也比整个联邦领土的单一特许权要好。国际上的例子表明，特许经营模式并不一定意味着没有自有经济的运输服务可以与之并存。然而为了在财务上可行，所发布的路线的潜力必须大到尽管有竞争，仍有足够的盈余用于特许经营中设想的交叉融资。

另外，也可以通过有针对性地制定火车路径和车站价格来引导和促进长途交通。目前，火车路径价格根据不同的组成部分进行区分，但不是为了提高长途交通的密度，而只是根据市场分析的标准。

② 促进市内短距离公共交通发展

加强市政当局的财政资源。城市和区域交通的规划、组织和融资主要由各州和市镇负责；但是，他们已经从联邦政府获得了财政支持。通过在 2020 年修订《城市交通融资法》（GVFG），联邦计划的资金从每年 3.326 亿欧元（2019 年）翻了一番，在《2030 年气候保护计划》中达到 6.65 亿欧元，并从 2021 年起增加到 10 亿欧元。从 2025 年起，资金将再翻一番，达到 20 亿欧元，并从 2026 年起每年增加 1.8%。

然而，收入将逐年减少（或者在汽车收费的情况下，可以根据设计的不同而专款专用）。此外，现有产品的维护已经带来了财政问题，公共资金可能不足以实现交通转轨。因此，为了确保交通转轨不因弱市的经济状况而失败，必须找到新的融资方式。

通过大规模提高票价来筹资是不可能的，因为这将减缓向公共交通的转变，从社会参与的角度来看是有问题的，而且在国际比较中，德国的乘客已经承担了很高比例的费用。要解决这个问题，可以采取以下思路。

引入雇主征税。雇主间接受益于良好的公共交通基础设施，因为如果他们有良好的公共交通连接，他们更容易接触到客户和雇员，有更少的停车位，并且可以节省对分支机构的投资。征税的数额应基于城市的规模。此外，这还应额外考虑到各自的地方或区域特点。在法国，首都大区法兰西岛的公司最多只能支付工资总额的 2.6%；而拥有 1 万至 10 万居民的城市则只能支付工资总额的 0.55%。由于征收的依据是与发达的公共交通系统相连的优势（基础设施和运营），应向游客数量多的企业征收更多的缴费（因为他们通过公共交通的可达性享有更大的优势）。征收应只适用于拥有 10 名或以上雇员的企业，而且企业在成立后的前三年应被豁免，以避免对新企业造成阻碍增长的后果。

2.2. 陆地货运

- 公路货运向铁路运输的转变。

2017 年，71.6%的货物通过公路运输，而其他方式的比例为：铁路（19%）、内河航道（6.7%）和航空货物运输（0.2%）。转向铁路非常重要，因为运输货物的温室气体排放量将从 111 克/吨公里下降到 17 克/吨公里。但即使不在碳中和的目标下，铁路运输也优于公路运输，因为物理特性（如较低的空气阻力和较低的摩擦）导致较高的能源效率。

联邦交通和数字基础设施部为自己设定了一个目标：到 2030 年，铁路的市场份额应增加到 25%。到 2035 年，这一目标应扩大到至少 35%。

促进铁路基础设施的发展。扩大铁路基础设施以及消除铁路与公路货运相比因“铁路收费”而产生的劣势，也是货物运输向铁路转移的核心。

促进混合货物运输。混合运输是用来描述涉及多种运输方式的货物运输。实际要运输的货物不会被重新装载，但运输方式在运输链中会产生变化。不同运输方式的系统优势可以结合起来。例如，铁路为大量货物的中长距离运输提供了最有效的能源，因此也是最有利于气候的方式；然后，卡车可以在当地灵活精细地分配装载单位（“最后一英里”）。这样一来，与直接公路运输相比，运输链的二氧化碳排放量平均可减少 55%，初级能源的使用可减少三分之一。因此：

统一欧洲标准。欧洲的跨境合作在这里很重要，因为路线越长，装载的利润就越高。因此，德国应该在欧洲层面上游说改革已有 30 年历史的欧盟第 92/106/EEC 号指令。例如，需要对“混合运输”或“最近的终点站”进行统一定义，以确保顺利运营和公平竞争。

促进转运基础设施：必须建立转运站，特别是在重要的枢纽站，这样可以快速和低成本地改变运输模式。目前，德国的资助准则已经支持对转运站的建设和扩建进行投资，但到目前为止还没有对每个装载单位进行投资，而且运营成本也只得到了少量的补贴。此外，可以通过扩大资助计划，将购买和改装成可起吊的半挂车纳入其中，从而提高非起吊半挂车的低比例。瑞士和奥地利可以作为在该领域成功利用财政支持的典范。

2.3. 空运

飞行是对气候破坏最大的出行方式。例如，从德国到旅游胜地马耳他的往返飞行（距离：2 x 8,000 公里）对气候的影响超过每人 5 吨二氧化碳，因此，其影响与乘坐中级汽车 25,000 公里的旅行相当。乍一看，考虑到国际航空运输只占

全球二氧化碳排放量的 2.5%，这个问题似乎并不像气候保护那样紧迫。然而，这种观点忽视了以下事实：

石蜡的燃烧也会产生氮氧化物，当暴露在阳光下时，会形成臭氧，而臭氧在巡航高度上是一种强大的温室气体。此外，气溶胶和水蒸气的排放导致云层（所谓的卷云）的自然形成发生变化，这些云层吸收长波热辐射并向地球表面排放。因此，国际航空运输对人为气候变化的贡献估计为 3.5%。

航空交通正在稳步增长：2015 年，Öko 研究所在一项研究中警告说，到 2050 年，航空交通的二氧化碳排放量在全球排放量中的比例可能上升到 22%。

飞行说明了极端形式的气候问题。运输部门的人类活动没有在如此短的时间内消耗如此多的能源。一个小的富裕群体对气候的负面影响负有责任，而全世界十个人中有九个人从未登上过飞机。一些名人的飞行行为甚至导致他们的温室气体排放量是普通人的 1 万倍。1%的英国人使用了大约 20%的国际航班；10%的航空旅客乘坐了一半以上的国际航班。这种全球和社会的不平等对国际气候变化减缓努力有着巨大的爆炸性影响，并使全球北方国家的可信度受到质疑。

由于这些原因，必须减少航班数量，将客流转向铁路，并将空中交通转向可再生能源。

- 逐步淘汰化石燃料的使用

近年来，石蜡消费的效率提高只达到 2%左右，因此大大低于乘客人数的增长。即使假设航空交通有更多的适度增长，最多也只能预期能源消耗略有下降。到 2030 年，迅速大规模地引进新的推进系统是不可预见的。挪威计划到 2040 年在短途飞行中使用纯电池-电力推进系统，但根据目前的技术水平，至少在未来十年内不可能将其用于大型客机的长途飞行。航空业在某些情况下也越来越依赖氢气，但这种技术也仍有一些障碍。BCG 的一项研究假设，到 2050 年，燃料电池的使用将只考虑用于替代辅助动力装置或用于较小的飞机。另一方面，电基燃料在中短期内已经在技术上可用，并且具有良好的储存和运输能力以及较高的能量密度。然而，在使用合成燃料时，飞行高度的石蜡燃烧产生的非二氧化碳效应仍然没有改变。只有在能够证明在生产合成石蜡的过程中从大气中去除的二氧化碳多于在燃烧过程中再次释放的二氧化碳的情况下，使用合成燃料才有可能实现气候中和。这将大大增加合成石蜡的价格。然而，与传统石蜡和“生物煤油”相比，合成石蜡的使用具有更高的资源效率和更低的排放。

ETS 的改革。根据第 2008/101/EC 号指令，航空业从 2012 年 1 月 1 日起被纳入欧盟排放交易计划。由于国际（因此也包括欧洲内部）航空业的排放不在《京都议定书》的国家温室气体减排承诺范围内，因此除了固定排放交易的配额（所

谓的欧洲配额（EUA）之外，还引入了单独的航空交易配额（所谓的欧洲航空配额（EUAA））。原则上，ETS 适用于欧洲经济区（EEA）内以及进出欧洲经济区的所有航班；但是，为了支持国际计划 CORSIA（国际航空碳抵消和减排计划），并由于一些第三国的压力，在 2023 年之前，交出的义务仅限于欧洲经济区内航班的排放量。为了设定航空业的排放上限，选择 2004 年至 2006 年基本范围内所有航班的平均排放量作为基准线，2013 年至 2020 年的上限被设定为该基准线的 95%。从 2021 年 1 月 1 日起，每年将对 EUAA 配额的分配适用 2.2% 的线性削减系数，就像固定的 ETS 一样。然而，预计这对航空业的影响不大，因为整个欧洲有 500 多个飞机运营商被纳入 ETS 的范围，他们也可以选择通过购买 EUA 配额来履行其交出义务。

增加合成石蜡的燃料配额。尽管对使用合成石蜡有种种反对意见，但它目前提供了在现有飞机上替代化石石蜡的唯一市场可能性，因此至少对环境的危害较小--只要生产石蜡所需的电力来自于可再生能源。在修订温室气体减排配额的背景下，德国政府首次决定对以可再生电力为基础的喷气燃料的销售实行强制性最低份额，根据 RED II（可再生能源），这将被计入可再生能源在运输部门最终能源消费中的强制性国家份额。

CORSIA（国际航空碳抵消和减排计划）的改革。经过艰难的谈判，国际民用航空组织（ICAO）的成员国已经同意从 2020 年起实现国际航空交通的二氧化碳中性增长的目标。由于通过技术和运营效率的提高所能实现的减排无法弥补航空交通的增长，而可持续的替代燃料在短期内也无法充分获得，因此，所有高于基线排放量（2019 年和 2020 年的平均值）的未来排放都将通过获得项目信用额度来抵消（所谓的碳抵消和减排计划）。在 2019 年至 2020 年的两年时间里，确定基线排放量，计划分两个三年阶段，在第三阶段（2027 年至 2035 年）具有约束力之前，各国可以自愿决定是否参与抵消机制。截至 2019 年 7 月，81 个国家（包括所有欧洲国家），占全球国际航空绩效的 77%，已同意在 2021 年至 2026 年期间自愿参与。CORSIA 作为稳定二氧化碳的工具，其有效性主要取决于排除对减排绩效的重复计算，出现长期的减排效果，以及证明它们实际上可以归因于抵消方案的能力。尽管国际民航组织为此制定了可持续性标准，但经验表明，准确地说，这些抵消计算被证明是困难的：在《京都议定书》的联合国清洁发展机制下，85% 的抵消方案（本应涵盖 73% 的减排量）只对所谓的排放抵消做出了部分贡献或根本没有。根据计算，在 2021 年至 2030 年期间，抵消而不是减少的义务可能会使欧洲航空排放增加 6.838 亿吨二氧化碳（相当于波兰和法国 2017 年的排放量）。无论如何，该义务将只适用于国际航班上约 1/5 的温室气体排放，因为达到基线水平的排放（每年约 7 亿吨二氧化碳）不需要被抵消。

在目前的形式下，CORSA 显然是一个不适合实现 1.5°C 目标的工具，考虑到过去艰难的谈判，通过 CORSA 的新规定在近期内实现 2035 年气候中立航空的目标似乎是不现实的。然而，由于监管制度的适用范围广泛，不应忽视它。因此，德国应该倡导改进 CORSA，但不能因此而停止在欧洲和国家层面实施更严格的规定。一个有效的航空排放交易计划可以作为国际排放交易的典范，并在中期内纳入其中。

- 减少空中交通的措施

正如已经表明的那样，目前还没有任何技术可以在市场上全面推广，使空中交通实现气候中立化。即使在经典的内燃机中 100% 使用合成燃料，也不能完全避免破坏气候的非二氧化碳效应。此外，由于合成石蜡的效率较低，它的生产将消耗大量的（可再生的）电力，而这些电力并不是可以无限使用的。因此，可持续的航空运输将必然要求减少航班。

除了以下措施外，由于合成石蜡的生产成本较高，拟议的排放交易计划改革导致的价格上涨也将有助于减少航班。

禁止短途飞行。短途航班主要对商务旅行和支线交通很重要。然而，少于 500 公里的航班的二氧化碳强度几乎是中程或长途航班的两倍，因为相比之下，起飞所需的额外燃料占总燃料量的比例更高，而且区域航班通常使用效率较低的飞机。将所有 600 公里以下的德国国内航班转为铁路运输在经济上具有成本效益，每年可消除约 20 万个航班，并将使德国境内的长途铁路客运增加 37%。每年可减少 160 万吨二氧化碳排放，但每位乘客和路线的平均旅行时间将增加 90 分钟。与涨价相比，禁止 600 公里以下航线的国内航班也是一项更加公正的社会措施，因为所有旅客，无论其经济背景如何，都需要改变行为。

航空交通税的改革。《航空交通税法》（LuftVStG）规定征收机票税，目前根据航线长度分为三类（13.03 欧元、33.01 欧元和 59.43 欧元）。划分不同类别是第一个明智的步骤，但通过引入所谓的飞行常客税可以达到更有效的引导效果。

减少商务（航空）旅行。虽然可以假设，由于对气候破坏作用的定价以及禁止短途飞行（尤其是商务旅客使用的短途飞行）而提高机票价格可以减少这一比例，但仍应要求公司负责在其责任范围内充分挖掘减排潜力。

- 结束对航空运输的补贴

根据计算，德国航空运输的外部气候成本在 2014 年约为 35 亿欧元，2030 年约为 45 亿欧元。为了使这些成本内部化，应该立即取消对航空运输的所有（内部）直接补贴，因为除了对破坏气候的流动产生激励作用外，它们还导致了与其他运输方式相比的竞争扭曲。

2.4. 船运

内陆和沿海航行产生的温室气体排放仅占德国运输部门的 1%，因此是微不足道的。鉴于内河航运的良好气候平衡，德国政府计划将内河航运在货物运输量中的份额提高，这从根本上说是值得欢迎的。然而，鉴于水位越来越低，从卡车转向船舶的运输在多大程度上是现实的，这是值得怀疑的；事实上，近年来内陆水路的货物运输已经经历了轻微的下降。

国际航运的情况则不同。如果它是一个国家，它将是全球第六大排放者。海运每年排放约 10.76 亿吨二氧化碳；这相当于全球温室气体排放量的 2-3%。如果框架条件不改变，到 2050 年，排放量将至少增加 50%。目前，无论是国家还是国际，都没有监管制度来减少国际航运的排放，这是一个问题。《巴黎气候协定》没有提到这个部门，它还没有被纳入欧盟排放交易计划。

- 转向气候中立的能源

为了避免分歧效应和竞争劣势，所有为在 2035 年之前实现气候中立的海运而提出的改革建议，最好是在国际一级的 IMO（国际海事组织）框架内决定。然而，鉴于 IMO 的目标并不雄心勃勃，即在 2050 年之前将海运的温室气体排放至少减少 50%（与 2008 年水平相比），这似乎相当不现实。因此，德国应同时努力寻找全欧洲的解决方案。

短途运输的电池推进：目前已经有了为不长距离行驶的船舶提供动力的技术，在挪威，到 2020 年将会有大约 80 艘渡船使用纯电动电池推进。592 这种推进技术应尽快被宣布为所有短途运输的强制性标准。

到 2035 年将替代燃料的配额提高到 100%：目标必须是到 2035 年将不能直接电气化的那部分航运交通转换为气候中立的替代品。然而，事实上，在这里使用氢气驱动的问题比在航空领域要少，因为适当固定的油箱的重量起到的作用不大。然而，鉴于国际航运的高份额，对化石燃料的销售或购买的国家禁令不会非常有效。

不投资液化天然气基础设施：应避免投资建设使用液化天然气的燃料基础设施，因为即使是使用合成甲烷也不太具有可持续性，因为一次能源消耗大，而且有甲烷从船上漏出的危险。

根据现实的消耗值证明运行期间的减排量的义务。

在国家和欧洲的温室气体平衡中考虑海运的排放：将国际海运的温室气体排放纳入欧盟和成员国的减排目标是一个重要步骤。

3. 交通行业转型案例

面向全生命周期碳中和汽车行业减碳路径研究（孙铎博士，高级工程师，中国汽车技术研究中心有限公司）

汽车行业实现碳中和，不应只关注汽车行驶过程中的碳排放，还应关注燃料上游、车辆上游的碳排放，即汽车产品全生命周期、全产业链的碳排放。基于此，本文提出汽车行业实现全生命周期碳中和的八大路径，并指出我国应进一步加强汽车产业链碳中和解决方案的上下游联动与系统集成。

汽车行业的碳排放来自哪里？

IEA 数据显示，全球交通行业的二氧化碳排放量逐年增加，是碳排放是全球第二大排放部门，占 24%。具体到交通行业内，道路运输占行业碳排放量的 75%，航运和水运占 11%，铁路占 3%。可见道路运输是行业碳排放的“大头”，而在其中，包括乘用车在内的轻型车的碳排放所占比例最大，占交通行业碳排放量的 45%。

同时，我国历年交通行业碳排放数据显示，乘用车的碳排放逐年增加，其增长也最快，2020 年我国乘用车保有量达到 2.28 亿辆，其中汽油车仍然为最主要的燃料类型，保有量占比达 96% 以上。因此，包括乘用车在内的轻型车碳排放是交通行业碳排放管理的重点。

但是，汽车行驶过程中直接排放的二氧化碳并不代表整个行业碳排放的全貌，如果拿一座冰山举例，其实车辆使用直接的碳排放只是冰山一角，在冰山下面还应关注燃料上游、车辆上游的碳排放，即汽车行业全生命周期的碳排放。一方面是燃料生产的碳排放，包括汽油、柴油的生产，火电、水电、风电、光伏等发电的碳排放，氢燃料、e-fuel 等替代燃料的碳排放等；另一方面是汽车材料和零部件的碳排放，包括钢、铝、铜等金属材料的碳排放，橡胶、塑料、织物等非金属材料生产的碳排放，动力蓄电池及其材料生产的碳排放。

汽车全生命周期的碳排放不容忽视。汽车生命周期系统边界=燃料周期（燃料生产+燃料使用）+车辆周期（材料、零部件和整车生产、维修保养及报废回收等）。以纯电动车为例，电动车并非为零排放，而是排放的转移。目前，在纯电动乘用车的全生命周期中车辆周期与燃料周期的碳排放约各占一半，未来，车辆周期的占比将进一步提升，其占比预计到 2030 年将超过 60%，到 2050 年将接近 90%，到 2060 年将超过 90%。由此可见，汽车生命周期碳排放正在由燃料周期转移到车辆周期，这也是为什么目前欧盟等国外汽车碳排放管理的重点在车辆周期的原因所在。

2021 年，中国汽车技术研究中心中汽数据有限公司（简称“中汽数据”）发布的《中国汽车低碳行动计划报告（2021）》（以下简称《报告》），公布了我国 2020

年在售乘用车的全生命周期碳排放量。《报告》统计了 580 款车型的碳排放量，其中包含汽油车 392 款，纯电动车 112 款。研究显示，2020 年，我国乘用车车队生命周期碳排放总量约为 6.7 亿 t CO_2e ，其中燃料周期占比 74%。在燃料周期所产生的碳排放中，绝大部分碳排放来自汽油车，占 98%。

在 2020 年，通过 CALCM 模型计算得到五种不同燃料类型乘用车的生命周期碳排放结果，其中柴油车平均碳排放最高，为 331.3g CO_2e/km ，汽油车平均碳排放次之，为 241.9g CO_2e/km ，新能源车相较于汽油车，其生命周期碳排放均有降低，插电式混合动力车和纯电动车的降幅分别为 12.7%、39.4%。另外，随着车型电动化程度的增加，车辆周期碳排放占比逐渐增大，而燃料周期逐渐减小。

国际上，包括戴姆勒、沃尔沃、丰田、大众、日产、宝马等在内的车企都十分强调全生命周期实现净零排放。例如，丰田在 2015 年发布了《丰田环境挑战 2050》，提出了三个二氧化碳零排放的挑战，即挑战新车、工厂、生命周期二氧化碳零排放，丰田承诺在 2030 年将生命周期二氧化碳排放量较 2013 年削减 25% 以上，到 2050 年力求在汽车的整个生命周期内实现零排放。事实上，国际车企已经发起了全生命周期碳中和竞赛，很多车企将实现全生命周期净零排放的期限定在 2050 年之前。

汽车行业碳减排路径在哪？

基于以上背景，本文提出汽车行业面向全生命周期碳中和的八大路径，主要包括：电网清洁化、车辆电动化、替代燃料使用、材料效率提升、车辆生产能效提升、动力电池碳排放降低、车辆使用能效提升和出行距离降低。下面以《报告》中强化减排情景为例，对具体路径做相关说明。

一是电网清洁化。中汽数据和国家应对气候变化战略研究和国际合作中心、中国电力企业联合会等机构联合预测，2050 年以后，我国电网中的光伏和风电占比会大幅提升，均占 30% 以上，水电和核电比例保持在 10% 左右，火电占比降低在 9% 以下。整个发电碳排放因子到 2060 年会比现在降低 97%。

二是车辆电动化。上述提到的《报告》预计，乘用车车队中的传统汽油车将在 2045 年左右被淘汰；包括常规混合动力车在内的传统能源车在 2050 年左右被淘汰；2060 年纯电动车占比约 81%，氢燃料电池车占比接近 10%。

三是替代燃料的使用。合理配置蒸汽甲烷重组制氢、煤气化制氢、氯碱制氢、焦炉气制氢、生物质制氢以及可再生发电电解水制氢等制氢工艺的结构占比，考虑未来以可再生发电电解水制氢为主，氢燃料生产碳排放因子比现在降低 61%。

四是很多企业关注的材料效率提升问题。包括钢铁、铝合金、铜和塑料等，随着材料用能结构变化，生产技术创新以及循环材料使用比例的提升，兼顾电网清洁化，2050 年和 2060 年车用材料的碳排放将比现在降低 95% 以上。

五是车辆本身生产制造阶段的能效的提升。提升整车生产能效、兼顾电网清洁化，2050年和2060年单车生产碳排放将分别降低45%和55%。

六是动力蓄电池碳排放降低。随着未来电池技术革新、能效提升和电网清洁化，预计2050年和2060年动力蓄电池生产碳排放将分别降低50%和80%。

七是车辆使用阶段能效的提升。一方面提升传统能源车的燃油经济性，另一方面提升替代燃料包括电动车和氢燃料电池车的使用能效，从而降低使用阶段的碳排放。

八是出行距离降低，一方面未来随着智能网联和共享出行的普及，消费者的出行距离会逐渐降低，年行驶里程将变低；另一方面随着充电基础设施的不断完善，燃油车和电动车的行驶里程将达到趋同，大概每年里程10万公里左右。

基于以上面向汽车面向全生命周期碳中和的八大路径，研究得到，未来电动乘用车最具生命周期碳排放降低优势。就强化减排情景而言，纯电动车的碳排下降通道最宽、幅度最明显（2050年83%，2060年90%），传统能源车碳排降幅有限并将在2050年后锁定在40%左右。

《报告》还指出了不同减排措施在未来的贡献，以2050年纯电动车碳足迹变化趋势为例，在强化减排情景中，电网清洁化的减排贡献最大，贡献28%的碳减排；使用能效提升次之，预计降低24%的碳减排；材料效率提升和动力蓄电池碳排放的降低也不容忽视，碳减排的潜力分别为15%和10%。

未来汽车行业总体碳排放趋势如何？《报告》认为，乘用车车队生命周期碳排放的达峰时间在2025~2028年之间。在强化减排情境下，乘用车车队生命周期碳排放达峰时间在2025年左右，碳排放峰值在7.5亿t CO₂e左右。随着车辆电动化进程的加快，在2040年左右车辆周期碳排放占比将超过燃料周期，并主导之后的碳排放总量随着车队电动化程度越高，车队车辆周期的排放占比越高，减排重点将从燃料周期转移到车辆周期上。面向全生命周期，仅依靠车辆电动化及使用能效的提升不足以使汽车行业实现碳中和，需要探寻汽车全生命周期的碳减排措施及负碳技术。

基于以上分析，《报告》就汽车行业不同发展阶段提出了针对性的政策建议：近期（至2025年），应着力于建立健全汽车行业碳排放标准体系、建立完善汽车行业碳排放管理制度、加快推动汽车行业的消费新型模式；中期（至2030年），应促进低碳材料的应用、推动低碳技术的研发、提高汽车电动化比率、促进出行方式的转变；远期（至2060年），应加快我国电网清洁化转型、推动电动时代的平稳过渡、促进零碳燃料电池车研发、加快推进负碳技术的研发。

下一步，建议通过汽车倒逼和牵引整个产业链的碳中和。本文主要结论包括：

针对未来汽车行业的低碳化发展，汽车行业碳中和的关注点需要从燃料周期过渡到车辆周期；

电动车的碳减排效果明显，是面向碳中和的最佳解决方案；但仅依靠车辆电动化及使用能效的提升不足以使汽车行业实现碳中和，需要探寻汽车全生命周期的碳减排措施及负碳技术；

我国应进一步加强汽车产业链碳中和解决方案的上下游联动与系统集成，特别是电力、电池和材料供应商；

通过汽车行业全生命周期的碳中和倒逼和牵引整个产业链的碳中和、由汽车行业全生命周期的碳中和引领各行业向净零排放迈进。

欧盟碳边境调节机制跟踪研究及应对建议（石红，陈宜霖，郝冠琦，刘斌）

2021年3月10日，欧洲议会高票决议通过“碳边境调节机制”，决定对部分进口产品加征碳排放费用。2021年7月14日，欧盟委员会正式提出碳边境调节机制实施细则提案(简称“提案”)。欧洲议会及欧盟理事会将对提案进一步审议，并提出修改意见，待各方意见达成一致后，欧盟碳边境调节机制才能正式生效。

何为欧盟碳边境调节机制？

碳边境调节机制是欧盟碳交易及碳税制度的延伸和补充。欧盟目前对成员国内部分高碳排放能源及原材料行业实施碳排放权配额及交易管理，对欧盟进口商并无管制要求。欧盟碳交易市场(EU-ETS) CO_2 交易价格已超过 50 欧元/t，是全球碳价最高、碳排放合规成本最高的市场。碳边境调节机制实际上是为使进口产品与本地产品生产商负担相同的碳排放成本而实施的措施。

进口商承担碳排放费用，这一规定自 2026 年起正式实施。根据提案，欧盟将要求进口商根据进口商品的碳排放量向指定机构购买相应的“碳边境调节机制证书”，证书价格将根据 EU-ETS 下的碳配额拍卖价格每周动态调整。同时，为避免碳排放费用的双重征收，如果非欧盟出口商能够证明其商品已在本国支付碳排放费用，欧盟进口商可以从碳边境调节机制中扣减相应成本。提案提出，碳边境调节机制最终措施将于 2026 年起正式实施，在此之前的 3 年为过渡期。在 3 年的过渡期内，进口商需要向欧盟提供进口商品的碳排放量报告，但无需支付费用。

征收范围仅覆盖部分原材料直接排放，尚未覆盖汽车产品等由多种材料制成的高集成度商品。过渡期内，欧盟碳边境调节机制将覆盖钢铁、铝、水泥、化肥及电力 5 个行业，且仅覆盖以上产品生产过程中的直接排放。从提案中给出的产品清单来看，产品征收范围依据欧盟关税税则编号识别，目前仅包含钢铁、铝、

水泥、化肥及电力等能源、原材料及其直接制成品(例如钢轨、 钢管、铝箔、铝片等)，尚未将汽车整车等由多种材料制成的高集成度产品纳入管理。

过渡期结束前，欧盟委员会将再次对政策进行评估，以决定是否将产品征收范围及核算范围进一步扩大，包括是否将原材料制品及间接排放纳入覆盖范围。

碳排放量核算包含商品生产过程及原材料生产过程碳排放。提案将进口商品分为“简单商品”及“复杂商品”。“简单商品”指在生产过程中仅需要投入基础材料的商品(例如生铁);“复杂商品”指在生产过程中需要投入其它简单商品的商品(例如铁管)。其中，复杂商品的碳排放量不仅包含其生产过程产生的碳排放，还包含其上游原材料(即简单商品)生产过程产生的碳排放。

碳排放数据由欧盟指定机构认证，若数据不可得或未通过认证，则按照行业最差标准进行核算。提案提出，进口商品的碳排放量应根据实际监测数据确定。碳排放量监测数据由进口商提供并由欧盟指定机构进行认证。如果碳排放量实际监测数据不可得或未通过认证，则参考欧盟同类商品碳排放量最高的 10%生产过程的平均排放强度进行认定。

实施背景和目的

任何国家和经济体制定规则和政策时，都离不开其社会文化、政治诉求、经济发展和产业需求，欧盟实施碳边境调节机制的背景和目的可概括为“一转移，三重塑”。

转移气候治理成本:扩大财政收入来源，降低欧盟气候治理 财政压力。经济社会完成低碳化转型需要政府和社会投入巨额资金，政府财政面临巨大压力，而实施碳边境调节机制可将气候治理成本转移到全球，尤其是发展中国家。据欧盟估计，实施该机制可每年为欧盟增加 5 亿-140 亿欧元的财政收入，用以投资欧盟绿色环保产业，降低财政压力。

重塑市场竞争环境:为本地企业营造更公平的竞争环境，提高本地产品竞争力。由于碳交易价格高昂，欧盟相关行业本地企业的碳排放合规成本高于其它国家，一定程度上导致本地产品竞争力不足，相关行业也一直借此反对欧盟实施更严苛的气候法规。实施碳边境调节机制可直接拉平进口产品和本地产品的碳排放合规成本。

重塑产业链供应链:防止本地企业外流，促使制造业回流。欧盟法规目前仅约束本地企业，易使本地企业将碳排放较高的生产制造环节转移至碳排放管制较宽松的国家，造成“碳泄露”。表面上实施碳边境调节机制可减少“碳泄露”，实际上是减少资本外流和岗位流失。此外，欧盟碳交易价格是体现欧盟地区技术、能源、人力、治理的综合成本指标。对进口商按欧盟碳交易价格征收，变相削弱了其它国家的人力、能源、监管等成本优势，倒逼企业回流欧盟，尤其是制造业企业。

重塑国际经贸规则:通过气候治理优势换道超车, 抢占国际话语权。欧盟等发达国家长期以来通过占据全球高端价值链, 向全球攫取高额利润。但在全球价值链转型升级趋势下, 以我国为代表的新兴国家正在快速崛起。我国在动力电池、新能源汽车、新一代信息技术等领域已具备全球领先优势, 正在向全球价值链中高端攀升, 欧盟在全球价值链中的优势地位面临挑战。在此背景下, 欧盟试图利用气候治理优势换道超车, 通过主导全球气候治理格局重塑国际经贸规则, 借此重新抢夺国际话语权。

欧盟面临的争议和压力

国际争端压力:碳边境调节机制仅针对进口产品征收, 对本地产品和同类进口产品采取差异化待遇, 涉嫌违反 WTO 非歧视性原则。目前澳大利亚、印度等原材料出口国已明确反对欧盟实施碳边境调节机制。即便欧盟援引《关税及贸易总协定》第二十条“为保障人民、动植物的生命或健康所必要的措施”、“与保护可用竭的自然资源有关”等条款作为支撑, 但仍违背《联合国气候变化框架公约》规定的“共同但有区别的责任”原则, 涉嫌强迫发展中国家承担与发达国家一样的责任。

内部的不同声音:欧盟本地钢铁、水泥等行业, 虽受碳配额及交易机制管理, 但实际可享受大量免费配额, 合规成本并不高, 甚至可从中盈利。碳边境调节机制实施后, 免费配额也将逐渐取消, 企业利益即将受损。因此, 钢铁、水泥等行业纷纷发声表示不愿成为碳边境调节机制覆盖的行业。此外, 这些行业还呼吁建立出口退税配套机制, 否则欧盟产原材料将失去出口国外市场的竞争力。

对我国汽车产业的影响分析

据欧洲改革中心分析预估, 在受碳边境调节机制影响最大的 15 个经济体中, 俄罗斯位列第一, 中国位列第三, 而美国作为欧盟的第二大进口国, 受影响较小, 仅位列十二。中国受影响的产品主要是钢铁和铝。碳边境调节机制将直接引起我国向欧盟出口的钢铁和铝相关制品成本上升, 在欧市场竞争力下降。但碳边境调节机制的影响并不局限于钢铁和铝制品行业, 还将影响包括汽车在内的我国所有行业企业国际化发展进程。

一是所有对欧出口企业均将面临隐性合规成本, “走出去”进程面临阻碍。所有对欧出口企业在与欧盟进行商品贸易前均需密切跟踪碳边境调节机制政策动向, 并对于政策造成的影响进行研究评估。相关行业企业更需实施碳排放管理, 并获取欧盟指定认证机构的碳排放认证, 投入的时间和资金无法估量, 从而形成巨额“隐性成本”。碳边境调节机制的存在将使企业对欧贸易有所顾虑, 放缓“走向”欧盟进程。

二是虽然国内汽车出口企业短期内不会面临碳边境调节机制带来的直接成本，但我国在欧投资建厂企业将面临铁、铝等相关行业原材料进口成本的上升。碳边境调节机制初期并未覆盖整车产品，且进口汽车带给欧盟的碳排放量较小，而整车产品涉及的原材料、零部件较多，碳排放核算十分复杂，预计短期内欧盟不会将整车产品纳入碳边境调节机制管控范围。但碳边境调节机制要求进口商支付碳排放费用，即我国在欧投资建厂企业如果选择从欧盟外进口铁、铝等原材料，则需承担该部分进口原材料的碳排放成本，企业将面临更高的经营成本。

三是长远来看，碳边境调节机制或将成为欧盟保护本地汽车企业的重要抓手。汽车工业是欧盟重要的支柱性产业，总产值占 GDP 比重超过 7%。长期以来，欧盟凭借不断高垒的技术门槛变相保护本地汽车市场。然而电动化、低碳化浪潮下，特斯拉、比亚迪、蔚来等企业的技术水平及品牌美誉度显著提升，技术门槛已不足以形成壁垒。欧洲本地汽车企业正面临前所未有的国际竞争。长期来看，欧盟未来可通过精确调整碳边境调节机制征收范围，来保护欧洲引以为傲的汽车产业。

欧盟碳边境调节机制的实施总体上将对我国汽车产业发展造成不利影响，但也将产生一定的积极作用，或将成为促使我国企业提升碳管理能力的契机。我国虽已宣布“双碳”目标，但碳排放管理体系尚不成熟，企业碳管理能力亟待提升。欧盟严苛的碳排放管理将促使“走出去”的企业提升碳管理能力，尤其是已在欧洲投资建厂的宁德时代、蜂巢能源等企业，进而带动国内上下游企业低碳发展。

应对措施建议：

欧盟碳边境调节机制对全球碳减排的促进作用十分有限，其深层次作用是向发展中国家转移气候治理成本、重塑经贸规则、树立绿色壁垒。为此，基于国情现状，建议我国从内外两侧同时发力、积极应对，笔者提出以下具体建议：

一是完善我国碳控排政策体系。充分学习国际碳减排及碳管理经验，构建基于我国国情的碳控排政策体系；加强规划战略引领，健全行业管理机制，强化标准体系建设，提升技术创新能力，完善产业发展环境，从战略、财税、金融、标准、评估、认证、监管等各方面形成一整套激励约束机制，促使全社会加快向低碳发展转型。

二是鼓励企业绿色低碳发展。支持企业建立可实施的碳排放管理制度，及时监控核查生产过程及供应链环节碳排放；引导企业在综合考虑生产成本的情况下加大与低碳供应链供应商的合作，促进企业低碳生产闭环管理，推进产业链供应链低碳发展；支持企业绿色低碳转型，推动绿色制造技术创新和产业应用示范。

三是持续关注并努力影响欧盟碳边境调节机制规则制定以避免陷入被动。欧盟高度依赖国际贸易，目前已有欧盟学者建议欧盟政府积极邀请贸易伙伴加入碳

边境调节机制的制定，成立“气候俱乐部”，就碳排放管理规则达成共识，减小国际阻力。欧盟在碳边境调节机制提案中设置 3 年过渡期，也为各大贸易伙伴走到谈判桌前留足时间。中国已超越美国成为欧盟第一大贸易伙伴，在充分掌握行业实际碳排放情况后，应及时与欧盟及国际贸易组织进行深层次沟通，通过多种形式展开双边对话，努力影响规则制定，系统评估其对我国经贸活动的影响，尽力避免陷入被动。

四是提早研究应对措施，加强政策储备。目前，我国全国碳排放交易市场仅将发电行业纳入管理，钢铁、铝、水泥、化肥等行业尚未纳入碳市场，在直接碳排放管控政策方面不占优势，暂时无法利用相同规则直接反制。建议我国通过其它途径研究制定应对措施，对欧盟出口产品及出口商形成对等约束关系。

参考文献

- [1] BMI – Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Beitrag zum Klimaschutz: Mehr Dienstreisen mit der Bahn (Stand: 28.01.2020), <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/kurzmeldungen/DE/2020/01/brkg-bahn.html> (zuletzt aufgerufen am 27.05.2021).
- [2] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Klimaschutz in Zahlen: Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. 2020. <https://www.bmu.de/publikation/klimaschutz-in-zahlen-2020/> (zuletzt aufgerufen am 21.05.2021).
- [3] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Wie umweltfreundlich sind Elektroautos? 2021. <https://www.bmu.de/publikation/wie-umweltfreundlich-sind-elektroautos/> (zuletzt aufgerufen am 23.05.2021).
- [4] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Auf dem Weg zur nachhaltigen Mobilität (Stand: 28.04.2020) <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/nachhaltige-mobilitaet/> (zuletzt aufgerufen am 22.05.2021).
- [5] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, https://www.focus.de/finanzen/bo-erse/kampf-gegen-klimawandel-50-000-euro-sonder-steuer-frankreichs-fiskus-will-sportwagenfahrer-gehoerig-blechen-lassen_id_12525822.html (Stand: 04.05.2020), https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/zusammenfassung_co2_flottengrenzwerte.pdf (zuletzt aufgerufen am 23.05.2021).
- [6] BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Präsentation Deutschlandtakt (Stand: 01.07.2020), <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/presentation-deutschlandtakt.pdf> (zuletzt aufgerufen am 26.05.2021).
- [7] BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Abbiegeassistent, <https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Dossier/Abbiegeassistent/abbiegeassistent.html> (zuletzt aufgerufen am 24.05.2021).
- [8] BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge. 2020. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/gesamtkonzept-klimafreundliche-nutzfahrzeuge.pdf?__blob=publicationFile (zuletzt aufgerufen am 26.05.2021).
- [9] BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Verflechtungsprognose 2030. 2014. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehrsverflechtungsprognose-2030.html> (zuletzt aufgerufen am 26.05.2021).
- [10] BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Fahrrad-Monitor Deutschland 2019 – Ausgewählte Ergebnisse. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/fahrradmonitor-2019-ausgewaehlte-ergebnisse.pdf> (zuletzt aufgerufen am 30.05.2021).

- [11] BUND – Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland: BUND-Konzept zur Einhaltung der Klimaziele 2030 im Verkehr. 2019.
https://www.bund.net/service/publikationen/detail/publication/bund-konzept-zur-einhaltung-der-klimaziele-2030-im-verkehr/?utm_term=%20bund%20%20ev&wc=25098 (zuletzt aufgerufen am 26.05.2021).
- [12] BUND – Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland: Grünbuch nachhaltige Planung der Verkehrsinfrastruktur. 2018.
<https://www.bund.net/service/publikationen/detail/publication/gruenbuch-nachhaltige-planung-der-verkehrsinfrastruktur/> (zuletzt aufgerufen am 24.05.2021).
- [13] BUND – Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland: Tempolimit auf Autobahnen. 2019.
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/mobilitaet/mobilitaet_kurzinfo_tempolimit_auf_autobahnen.pdf (zuletzt aufgerufen am 24.05.2021)
- [14] DUH – Deutsche Umwelthilfe e.V., Konsultation zur Richtlinie 1999/94/EG über die Bereitstellung von Verbraucherinformationen über den Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen beim Marketing für neue Personenkraftwagen (Stand: 15.01.2016),
https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/EnVKV/Stellungnahme_EU-Richtlinie_PKW-Kennzeichnung.pdf (zuletzt aufgerufen am 23.05.2021).
- [15] DUH – Deutsche Umwelthilfe e.V.: DUH-Positionspapier „Biokraftstoffe und Klimaschutz im Verkehr“. 2020.
https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Pressemitteilungen/Naturschutz/DUH_Positionspapier_Biokraftstoffe.pdf (zuletzt aufgerufen am 23.05.2021):
- [16] DUH – Deutsche Umwelthilfe e.V.: Hintergrundpapier Plug-in-Hybride. 2020.
https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Pressemitteilungen/Verkehr/200902_PK_EKI_Get_Real/Hintergrundpapier_Plug-in-Hybride_final.pdf (zuletzt aufgerufen am 24.05.2021).

（四）建筑

1. 背景

中国建筑行业规模位居世界第一，现有城镇总建筑存量约 650 亿平方米，每年新增建筑面积约 20 亿平方米，相当于全球新增建筑总量(61.3 亿平方米)的近三分之一。现有建筑主要存在老旧建筑隔热性能差、能源管理系统能效低、建筑设计不合理、居民生活供暖对化石能源需求量大等问题。

建筑作为耗能大户，其运营阶段碳排放占全社会碳排放总量的四分之一到三分之一，如果算上建造阶段，材料、运输、建造等引起的碳排放，建筑总的碳排放可以占到全社会总碳排放量的 50%以上。因此，建筑行业的节能减排一直都被视为是实现能源转型及气候中和的核心手段。德国能源署作为德国实施能源转型的职能机构，每年都会对德国建筑行业的能效现状、节能措施、建筑翻新率、建筑技术等进行一次全面地分析总结，对德国建筑行业能源转型的现状进行“把脉”，进而开出“药方”。

2021 年 5 月，德国能源署发布了最新的一期“2021 德国建筑行业报告”。此次行业报告将“建筑行业在能源转型的过程中的潜力、机会和行动需求”作为核心议题，并再次强调大范围推广高效建筑，即超低能耗建筑，对于实现德国气候目标的重要性。

1.1. 德国住宅建筑的数量及面积

截至 2020 年，德国住宅建筑的总量达到了 19053216 栋，其中独栋别墅和双拼别墅为 15837211 栋，多层及高层住宅为 3216005 栋。德国住宅的供暖面积超过了 37 亿 5 千万平方米，其中住宅建筑的能耗需求占建筑领域总能耗的 66%。

1.2. 德国非住宅建筑的数量和面积

根据德国住房与环境研究所的推测，德国非住宅建筑的数量达到 198 万栋，相对应的供暖面积达到了 35 亿平方米，其能耗需求占建筑总能耗的 34%。

1.3. 德国各个行业的终端能源消耗及能源载体类型

2019 年，德国交通领域消耗了全社会 31%的能源，居首位，其次是工业领域和私人住宅领域，分别占了 28%和 27%，商业领域消耗了 15%的能源。

动力燃料（交通领域）和天然气（用于建筑供暖）依然占据主导地位，其中值得注意的是，在电力的生产过程中，可再生电力的比例首次超过了煤炭位居第

一位，达到了全社会终端能源消耗的 8%。

1.4. 建筑终端能耗

2019 年，德国建筑领域的终端能耗总量为 865TWh，其中 76%用于建筑供暖，即 658TWh，用于热水的能源消耗也达到了 130TWh，而用于照明和制冷的比例相对来讲则比较低。

1.5. 德国用于供暖和热水的终端能源消耗（1996–2019）

2002 到 2011 年，德国用于供暖和热水的终端能源消耗总体处于下降趋势，而从 2012 到 2019 年，终端能源消耗总量总体比较稳定，变化不大。2019 年相比 2018 年，有轻微的上升。

1.6. 供暖设备的销售量概览

德国 2020 年共交易了接近 100 万套供暖设备，相比 2019 年增幅超过 10%。燃气供暖设备仍占市场主导地位，2020 年占到了 60%。值得注意的是，相比 2019 年，供暖设备交易量增幅比例最大的来自生物质供暖设备（140%）和热泵（40%）。

1.7. 2020 年申请获得资助的供暖设备量

申请获得资助的供暖设备中热泵居首位，达到了 143638 套，这得益于德国在 2020 年初重新调整了对于环境友好型供暖设备的补贴力度，如果是用热泵来替换老的燃油供暖设备，最多可获得总价 45% 的政府补贴。与此同时，用户申请对建筑进行能源咨询的数量也大幅增加，从 2019 年的 10222 例上升到 2020 年的 24559 例，其中能源咨询费用的 50% 可由政府买单。

1.8. 德国能效房补贴申请量大幅上升

德国复兴信贷银行作为支持德国绿色发展的政策性银行，按照房屋的节能级别给与相应的补贴，从图中可以看出，2020 年申请该补贴项目的新建住房数量大幅增加，达到 90000 多栋，可见德国节能房的建设也正迎来爆炸式地增长。

2. 德国建筑行业转型实施路径政策

2.1. 提高建筑能源状况的记录完整性和透明性

现有建筑的能源状况只有非常不完整的记录。由于缺乏可比较的能源性能证书，目前还没有有效的方法来评估和比较建筑的能源性能。目前，能源绩效证书包含一次能源和最终能源的信息。这使人们难以比较建筑物，并限制了对消费者的透明度。建立透明独立的相关法规以规范建筑能源状况的记录和监管是必要的。

以最终能源而不是一次能源作为控制变量。建筑的能源状况应该根据最终能源的消耗或需求来评估，而不是一次能源。此外，这将使计算（需求）值与测量或账单值的直接比较变得容易。这将为发现计算的能源需求和确定的消费之间的差异是否过大，以及这些差异是否是由于消费行为或系统技术造成提供一个良好的基础。作为控制变量的“最终能源”的主要缺点，即“挪用”在各自最终能源载体的提取/加工和运输过程中损失的能源数量，在转换为可再生能源供应的过程中基本被消除了，而不会与所用能源载体的来源问题相混淆。

基于需求的能源性能证书与消费。为了确保能源性能证书的可比性，最终能源需求的规范应该成为标准。还应显示消费情况。需求对于评估建筑物的状况更有意义。在翻新和更换暖气的情况下，必须更新这些数值。

建筑物登记册。能源证书的特征值必须报告给 2022 年底之前建立的新的建筑物登记册。

2.2. 翻新义务的扩大

在德国，大约 30%的住宅面积属于 G 级和 H 级。62%的住宅建筑是在 1919 年到 1978 年之间建造的，也就是在第一部《隔热条例》之前，这是存在最大节能潜力的地方。到目前为止，这些障碍阻碍了全面的改造，尽管目前仍有为改造创造市场激励的空间--特别是通过提议的二氧化碳定价--仍有改进的余地。然而，不能假设有足够数量的自用者将实际采取足够的翻新措施，以实现 2035 年气候中立的目标。因此，监管是必要的。此外，拟议的改造义务只规定了一个能源目标，而实现目标的路径是可选的，也就是说，它留下了尽可能大的自由。比如可以通过安装光伏系统（PV）来减少最终能源需求。然而，不可能完全放弃对建筑围护结构的能源相关改造措施，而只安装一个大型光伏系统，因为在冬季不能生产足够的电力。

低能效建筑的翻新义务。由于能效等级“低”而需要制定单独翻新路线图的建筑必须在 5 年内进行翻新，使其最终能耗降低到能效等级 A 的标准（即≤50

kWh/m²/a)，只要这在法律上（保护历史遗迹）和技术上是可行的。能源效率等级为 E、D 和 C 的建筑必须在 2032 年之前进行改造。如何实现这一目标，由业主决定。馈入电网的自发光伏电力可以从最终的能源消耗中扣除 0.5 的系数。一方面，这鼓励了光伏发电的进一步扩大；同时，它创造了一个激励机制，使建筑中的自发电力首先得到使用。

监测和制裁。可以根据建筑登记册来确定有问题的建筑，在登记册上必须登记能源性能证书的特征值。改造的进展也必须定期报告。如果最终的能源消耗没有减少，就必须支付罚款，罚款是根据建筑物的二氧化碳排放量计算的，并回流到建筑群的改造中。对于非住宅建筑，除非有特殊情况，否则主管部门应禁止继续使用该建筑。

2.3. 翻修深度的衡量

由于建筑物的投资周期较长，翻新措施很少进行。因此，利用翻新的机会使建筑物达到苛刻的能源标准，这一点特别重要。否则就会有锁定效应的风险。实际需要的措施没有得到执行，因为这将再次引起同样的费用。

目前法规规定的改造措施，许多人认为不足以实现气候目标。然而，对于要求更高的绝缘措施，成本与收益相比上升得不成比例。同时，必须考虑到生态保温材料只有有限的数量，而且随着厚度的增加，节能效果也会下降。GEG 中关于建筑围护结构的改造深度应至少符合 EH55 标准的指导值，即外墙 U 值 ≤ 0.20 W/(m² K)（而不是目前的 0.3 W/(m² K)），顶层天花板 U ≤ 0.14 W/(m² K)（而不是目前的 0.24 W/(m² K)）。

2.4. 对业主的补贴进行调整

对与能源有关的改造措施进行适当的补贴是必要的，一方面可以确保改造义务符合宪法，另一方面可以使业主接受。在许多情况下，补贴使业主有可能为翻新措施筹集资金。此外，补贴为自愿采取气候保护措施提供激励。

- 收紧筹资条件

目前，联邦对高效建筑的补贴（BEG）促进的措施远远没有达到实现气候中立建筑的要求。在对高效房屋进行改造的情况下，甚至可以促进达到 EH100 标准，尽管在改造中至少要达到 EH55 标准。在促进新的供暖系统方面，应该结束对燃气供暖系统和非可持续生物质供暖系统的推广。

只对可持续改造措施提供补贴。只有适合将建筑物的最终能源需求降低到 50 千瓦时/平方米/年以下的改造才会得到补贴。在这里，重点也不应再是一次能源，

而是最终的能源需求。如果使用可再生的原材料和选择可回收的建筑方法，可以获得更高的补贴。对这种有法律义务的措施的资助，可以通过专门的立法者来实现。

结束对化石燃料和生物质的补贴。对燃气供暖系统和非可持续生物质供暖系统的补贴将被终止。

- 改善补贴条件

随着新的联邦高效建筑补贴（BEG）的出台，节能翻新和供热系统更换的补贴选项被增加、简化和合并。到目前为止，这些补贴，特别是用于更换供暖系统的补贴，得到了很好的回应。BAFA 报告说，在 2021 年的头几个月，每周有 5000 份资金申请。2020 年，资金申请的数量与 2019 年相比几乎翻了一番（从 32.6 万份到 60 万份），这可以归因于资金条件的改善。在申请更换供暖系统的情况下，甚至从约 76,000 份申请增加到 2020 年的 280,000 多份申请。

补贴水平在原则上似乎很有吸引力。更换供暖系统可获得高达 50% 的费用补贴，作为还款补贴或直接补贴。改造为高效住宅可获得最高 150,000 欧元的 50% 补贴（EH40 至少使用 55% 的可再生能源）。一个积极的方面是，架设脚手架等准备措施也有资格获得资助。此外，赠款的可能性总是与有还款补贴的贷款同时存在。这是对低利率使德国复兴信贷银行贷款失去吸引力这一事实的回应。

银行提供信息的义务。银行应该有义务在关于融资方案的咨询讨论中提供有关德国复兴信贷银行供资可能性的信息，并记录这一建议。

积累各种补贴。应该可以积累各种补贴，如来自欧盟、联邦政府、各州和各市市的补贴，但要达到一定的配额（如 70%）。

用于自身工作的材料费用。用于自身工作的材料费用应该再次有资格获得资助，只要它们经过专家机构，如能源顾问的检查和 "批准"。工匠的服务质量通过专家机构的检查得到了充分的保证。

3. 建筑行业转型案例

建筑如何化身虚拟电厂（陈玉升，中德可持续建筑协会）

虚拟电厂是一种通过先进信息通信技术和软件系统，实现分布式发电系统、储能系统、可控负荷的聚合和协调优化，以作为一个特殊电厂参与电力市场和电网运行的电源协调管理系统。虚拟电厂本质上是个基于各类分布式能源设备的协调系统，是连接各个生产设备和用能储能设备的桥梁，和控制他们的中枢。虚拟电厂的三个关键基础资源便是分布式电源、储能设备、及可调控的负荷。

建筑如何作为虚拟电厂？

杰里米·里金夫在《第三次工业革命》一书中曾指出，建筑业在第三次工业革命中的作用不容忽视，每一栋楼都是一个潜在的发电厂。随着可再生能源技术的发展，能源系统愈发多元化，为提高供能的可靠性，越来越多的建筑也会配备自身的备用电源，在此基础上任何一栋独立的建筑都有可能是一座小型的电厂，要有效地提升能源利用效率，促进能源的有效利用。一方面可以用储能技术将自身光伏电力存储起来，能源负荷较高时，转换成电或其他形式能源；另一方面可以直接与其他建筑主体交互供能，有效提高系统的资源利用率。

此外，还可利用建筑自身产能设备充分参与电力市场，电价较高时建筑运营者可以采用自备电源产能，自发自用余电上网或直接参与到电力市场中，实现盈利；电费较低时，关闭自身的产能设备，开启用能设备的同时，开启储能设备，以备建筑负荷高峰时使用，这样可以达到与外界市场交互，充分利用市场调节机制，实现盈利的同时，有效提高宏观系统的能源利用效率，这时候建筑便化身成为我们所说的虚拟电厂。

虚拟电厂的基本思路是化零为整，即把一定范围内所有可控能源设备看做一个电厂来管理，可以通过中央控制器的方式集中控制每个电源，实现协调控制，也可以通过需求响应等手段，调控各个独立控制的分布式电源及储能。随着分布式能源技术的发展，将有越来越多的建筑成为产销一体化的角色，伴随着电力市场与信息技术的逐渐成熟，未来每一栋建筑都有可能成为虚拟电厂的潜在资源。智能电表的普及，为虚拟电厂的实现提供了良好的技术支持。虚拟电厂有望筑建起不同建筑能源系统的桥梁，构建的建筑之间、建筑与电网直接的信息通道，作为智能决策中枢，使得工商业建筑电力用户甚至居民建筑用户直接可以互利共赢，同时直接从电力市场的价格信号中受益，在充分利用当地资源的同时，大大降低建筑能源成本。

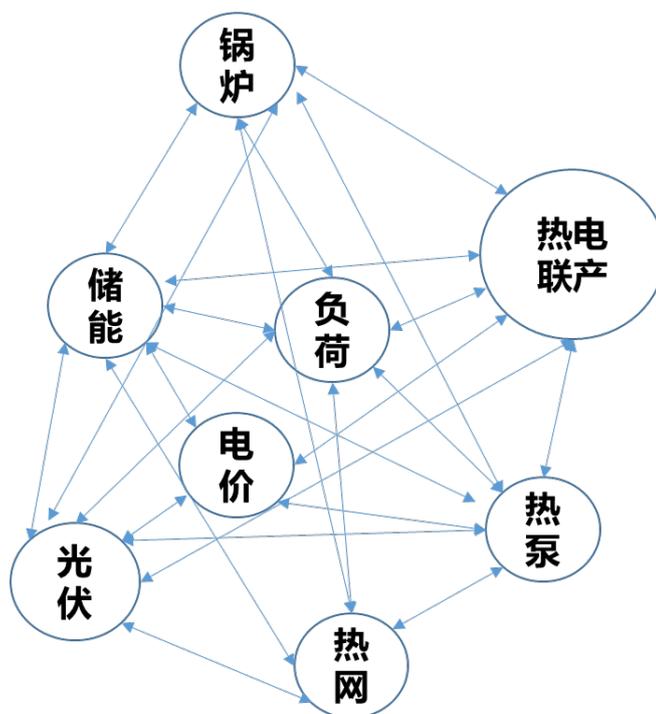
项目案例：德国 IKWK 创新虚拟电厂

项目背景：随着德国电力和热力的价格提升，越来越多的大型建筑除了会安装屋顶光伏以外，还会配备用于自身的小型或者微型热电联产；此外随着德国供热网络 4.0 的兴起，不少建筑也配备了热泵作为供热设备。热泵和热电联产在能源系统中能效很高，这个优势在所有项目中都有所体现，但是他们有个更重要的优势，其实并没有被充分利用，就是两种设备的灵活性。目前，在的很多实际运行中的小型热电联产都是以热定电，用电和发电都只作为为了产热和用热的一些附加产品；而热泵作为用能设备，大多消耗的是电力，电价对热泵的经济性起了决定性的作用。目前的实际情况是，这两种建筑产能用能设备的灵活性优势都没有得到充分的利用。

解决方案：在一个区域或建筑能源系统中，如果电力主要供给还是从电网获取，电力现货市场的实时价格能够有效反应电力的供需情况，当电价高的时候就说明市场电力需求较大，而产能相对不足，我们这时候就可以开启热电联产来产电，来平衡电力需求；然后等电价较低的时候，就说明电力需求较小，产能相对过剩，这时建筑运营者可以开启视设备的情况，开启用能设备，如开启热泵，用电来产热，储存起来，待需要时使用（或开启电力储能设备，储存电力），这样便可以充分利用市场调节机制，有效提高宏观系统的能源利用效率，同时节省能源开支。

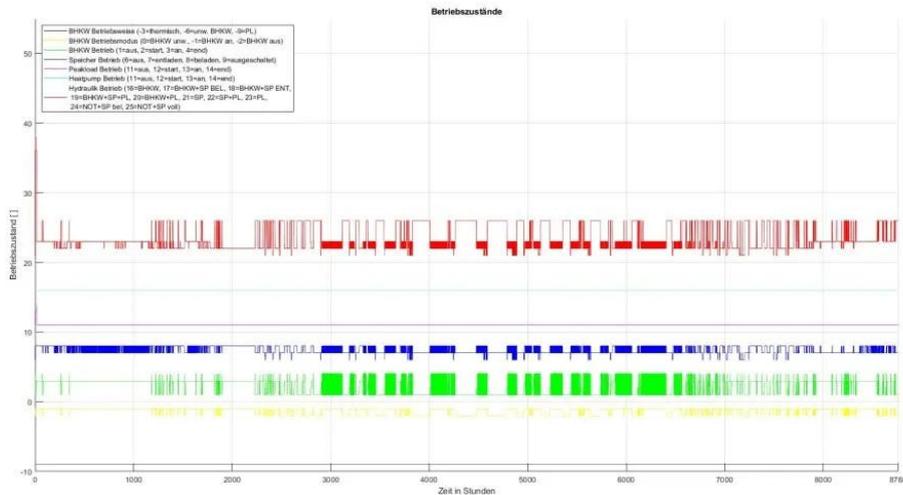
项目目标：这个项目想要解决的问题就是如何充分发挥热电联产和热泵的灵活性，提高本地资源利用效率，研究热电联产与热泵参与电力市场的业务模型，实现设备的智能启停，把一个建筑区域能源系统变成一个虚拟电厂。

项目重点：这个项目的重点在于同时考虑到各个建筑设备与供热管网以及电网之间的物理联系，即能源系统的复杂性，也需要考虑到电力市场与设备启停控制的经济性策略，而且电力市场价格波动也比较剧烈预测相对比较困难。鉴于能源系统的复杂性，各个设备和因素都互联有管理，构成了一张复杂的关系网，整个系统的复杂度也是随着设备的增加成指数形式增加，为了找出每个时刻设备在物理局限条件下的状态最优解，需要用到很多复杂的优化算法，来求出某时刻下的设备状态的最优解。



图表 10 能源系统设备和因素复杂关系网

下图为某一设定条件下的模拟结果，从模拟结果中设备运营者可以看出，在最优化的情况下，各个设备之间的启停应该如何互相关联，作为实际运行的决策参考结果。



图表 11 特定设定条件下模拟结果

如何通过人工智能实现建筑节能（陈玉升，中德可持续建筑协会）

随着碳中和目标的提出，建筑节能的意义也愈发重要。而另一方面，建筑能耗比例却是在不断的增加。建筑能耗是一个跨学科的研究方向，由多种影响因素组成。各种因素之间存在着复杂的关联性，随着建筑能耗的比例越来越大，合理、有效的建筑能耗预测逐渐受到关注。随着人们对室内生活和活动的满意度不断提高，如何提高建筑使用者的生活质量，室内热环境的智能化也得到了越来越多的关注。在新一代信息技术，特别是物联网技术的发展趋势的影响下，利用智能方法预测并控制建筑能耗得到越来越多的重视。基于云计算、机器学习、人工智能算法等前沿技术与传统建筑控制理论相结合，能够有效降低建筑能耗，从而从源头降低建筑的碳排放。

目前智能家居已经兴起了好几年，然而智能办公领域依然有着的巨大潜力，目前公共建筑的能源利用率仍然较低。主要原因是建筑的各类能源费用是由公司而不是员工承担，导致员工往往缺少节能意识，下班时往往不会主动关闭用能设备。随着公共建筑的减排目标越来越迫切，基于物联网的建筑智能化系统就显得更为必要。通过物联网技术，可以通过各类信息传感器，将室内信息如：温湿度、照度、人数、 CO_2 浓度等舒适性相关参数，以及各类用能及供能设备，比如：

空调、暖气/灯管、泵、锅炉或其他供能设备的运行参数收集起来，然后上传至本地服务器或云端，再结合可视化技术，实现建筑能耗的全面可视化管理。对用能数据进行分析处理，也可以有效发掘建筑运行过程中的节能潜力，结合建筑自动化技术，可实现建筑各类用能及供能设备的自控控制的同时，为用户提供安全、舒适、便捷高效的工作与生活环境，并使整个系统和其中的各种设备处在最佳的工作状态，从而延长能耗设备寿命、减少管理成本、降低建筑物整体能耗。传统的建筑自控系统一般有以下两种模式：

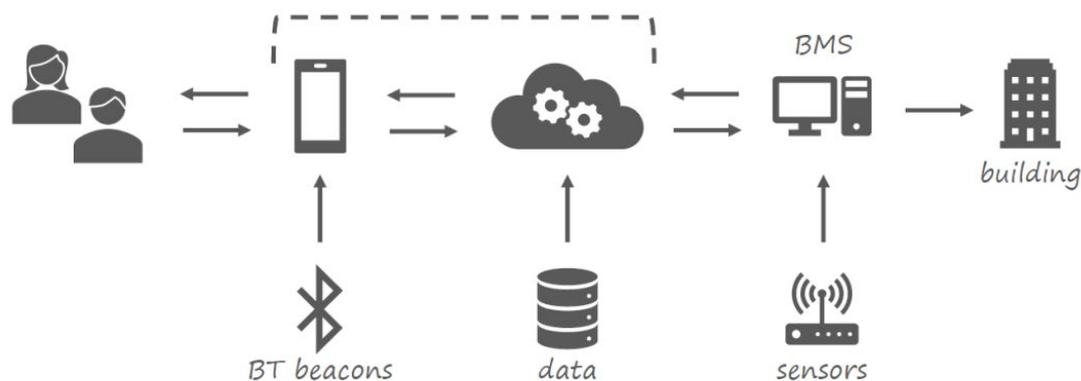
按日程表控制，例如空调、暖气的定时开关。

按参数控制，事先设定各类设备参数的阈值，当参数达到某种阈值时自动启停设备。

建筑能耗监控系统和自控系统的联结，需要有个信息的传递和发号施令的角色，即我们所说的算法。以上两种控制模式，即是通过简单的算法实现。

物联网的兴起和人工智能的火热，另一种按需控制的模式愈发受到关注。通过人工智能算法，可以对大量历史和实时数据进行分析，从而判断或预测出用户的实时需求和设备的最佳运行状态。这种新兴技术，能真正实现能源管理系统的“智能”。根据实现根据实际操作经验，节能潜力可达 20-40%不等。

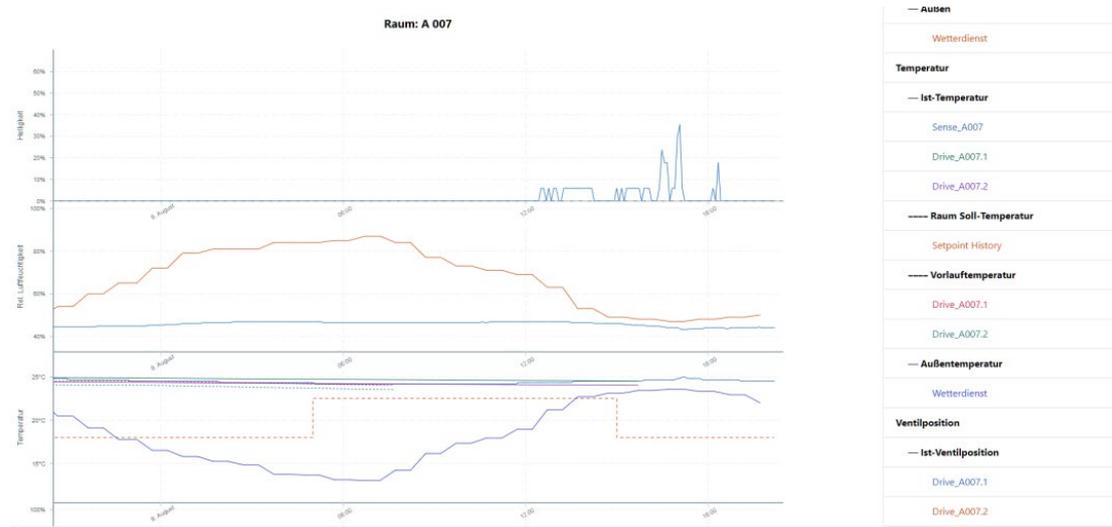
案例介绍：为实现柏林市政建筑及园区的 2050 年之前碳中和的目标，柏林参议院于 2016 年成立了其下属全资子公司，柏林市政能源管理有限公司(B.E.M)。为了保证柏林公共建筑舒适度的情况下，实现节能减排，柏林市政能源管理有限公司于 2019 年在其所管理的一些公共建筑，如警察局，学校等建筑，投入使用了基于物联网技术的室内自动温控系统。该系统的核心是自学型温控器，由于集成了传感器，可以识别各个房间的使用时间和方式，控制阀，网关，云平台处理器及可视化与平台等。该系统主要组成部分包括建筑智能化监控系统，人工智能控制系统及建筑自动化系统。



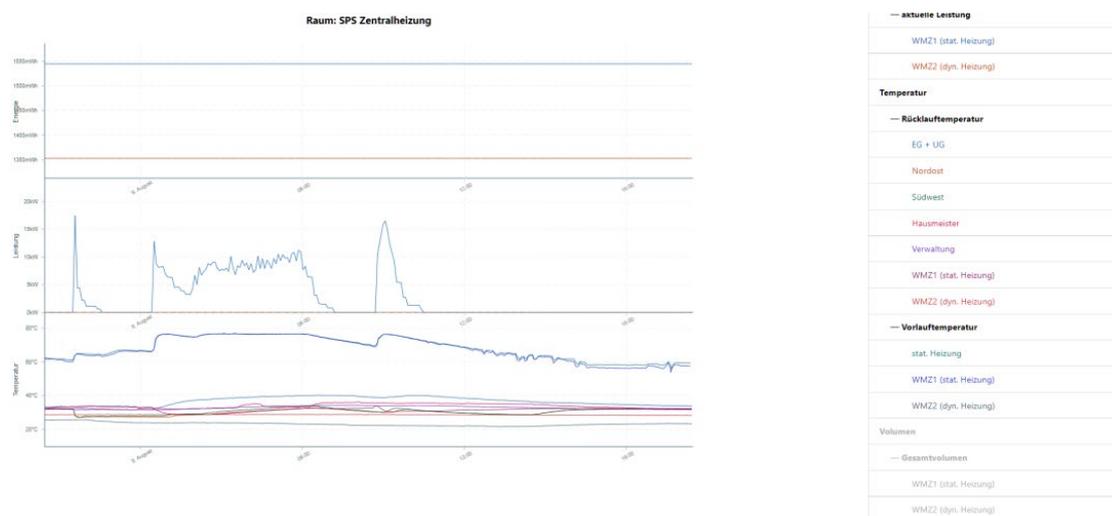
图表 12 基于物联网技术的室内自动温控系统

其中建筑智能监控系统，主要是基于信息传感器，实时采集室内温湿度、人数、CO₂浓度、窗户开关状态等舒适性相关参数，及供能设备，如泵、锅炉的运行参数收集起来，通过智能网关，上传至云端服务器，并在云平台上实现可视化。

图 13 为某日某房间的温湿度及阀门开关设定值及实际测量值曲线，图 14 为某日设备中心各个设备的运行状态及热计量测量值：



图表 13 温湿度及阀门开关设定值及实际测量值曲线



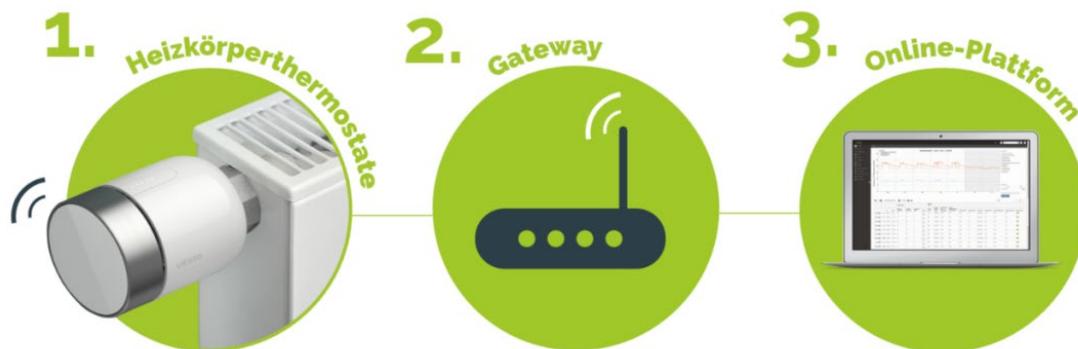
图表 14 设备运行状态及热计量测量值

为了实现系统真正意义上的智能化，该系统采用了机器学习算法控制模型，基于系统投入使用前采集到的以往室内人员流动和温度数据，以及房间物理参数，

对建筑不同房间的使用情况加以建模预测接下来一个小时的负荷，以及某时刻所需的阀门开度，自动调节阀门开关，而新采集的数据也又可作为训练数据，强化学习系统的控制算法。其中温度控制的难点除了预测其负荷以外，还有预测所需的阀门开度，以及房间温度的变化，由于温度变化具有延迟性，需要在房间人员到达之前，便开启阀门，以便在工作人员或学生到达之前，便能到达设定的舒适温度。

该整个系统的基本控制流程是，室内温湿度传感器及温控器上的传感器会收集室内人员及设备的各种信息，并上传云端，在算法的帮助下，结合供能设备的使用情况以及天气数据，最终计算出一个动态控制测量，温控阀则会根据这个策略调节室内温度。利用在阀门集成的传感器及室内温度传感器，结合人工智能，恒温调节阀只在需要的时候开启，并自动调节到所需的开度，在没有人的时候自动以节能的方式降低温度。建筑的管理人员，可以通过手机或者网页端对房间直接进行控制，而最终的用户也可以直接在恒温器上设置个人所需的温度，很好的适应每个房间人员的需求。在寻求用户许可的情况下，我们一般会将房间温度设定值降低一些，理论上，如果室温降低 1 度，则节省约 6% 的热能。此外，系统可以自动根据天气情况调节，例如：在天气好的时候，房间内日照充足的时候，阀门会提前关闭。

设定之后，系统就开始自行学习，理论上可以完全自动运作。目前的话，智能恒温阀在“智能家居”领域已经有了一定程度的应用，能够达到准确和远程调节温度的效果，有效减少建筑的使用能耗。



图表 15 机器学习智能算法控制模型流程

项目结果：该项目主要的主要优点是以单个房间的需求为导向自动控制，一方面满足了人员的舒适度需求，另一方面又减少了物业管理的时间成本，同时还实现了建筑的节能。同时各个房间的实时数据在在线平台上是可视化的，各个房间温湿度、温控阀位置、整体能耗和许多其他数值都实时显示，可以快速、方便地访问单个数字温控器或整个系统，能够实现快速有效的热管理和监测。项

目投入试用前，预期的节能是 24%，在实际的运行过程当中，根据实际的能耗监控，实际节能效果有 13.8%，比预期的 24%要少了不少，但是效果也依然不错。此外该项目的投资相对供能侧的改造也比较小、回报期相对较短。但是这里有个十分重要的问题，就是数据隐私问题，尤其是在警察局和监狱这样的地方，目前这个系统，只在一些柏林市政建筑的一些不敏感建筑里投入使用。

参考文献

- [1] Bundesagentur für Arbeit, Statistik/Arbeitsmarktberichterstattung, Berichte: Blickpunkt Arbeitsmarkt – Fachkräfteeng- passanalyse 2020, Nürnberg Mai 2021.
- [2] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden und Liegenschaften. Anlage 6, Januar 2001, https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/PDF_Leitfaden_Nachhaltiges_Bauen/Anlage_6.pdf.
- [3] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Infoblatt zu den förderfähigen Kosten, Bundesförderung für effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen (BEG EM) - Zuschuss, 20.1.2021.
- [4] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Bundesförderprogramm Energieberatung für Wohngebäude, Gegenüber- stellung der Richtlinien 2017 und 2020, https://www.bafa.de/SharedDocs/Standardartikel/Blogartikel/energie_ebw_synopse_richtlinie2017.html?nn=8063990.
- [5] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Evaluation der Energieberatung für Wohngebäude, https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ebw_evaluierungsbericht_kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- [6] Bundesarchitektenkammer/Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen/Deutsche Umwelthilfe, Gemeinsame Posi- tion BAK, DGNB, DUH: Formel 1-1-100-100, Was die nächste
- [7] Bundesregierung im Gebäudebereich erreichen muss: 1 Million klimaneutrale Sanierungen, 1 Million Sanierungsfahrpläne, 100 Prozent Transparenz, 100 Tage für Weichenstellungen, 16.03.2021.
- [8] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Datenbasis zum Gebäudebestand, Zur Notwendigkeit eines besseren Informationsstandes über die Wohn- und Nichtwohngebäude in Deutschland, 2016, https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2016/ak-09-2016-dl.pdf;jsessionid=ECC7432112B9C4E5AFF6743E9D26F33A.live11292?__blob=publicationFile&v=1.
- [9] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Integration energetischer Differenzierungsmerkmale im Mietspiegel, Bonn 2010.
- [10] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Künftige Wohnungsleerstände in Deutschland, Regionale Besonder- heiten und Auswirkungen 2019 (zit. als Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2019).
- [11] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Mietrecht und energetische Sanierung im europäischen Vergleich, Bonn November 2016.
- [12] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Nutzungsmischung und die Bewältigung von Nutzungskonflikten in Innenstädten, Stadt- und Ortsteilzentren – Chancen und Hemmnisse, BBSR-Online-Publikation Nr. 23/201, 2017, <https://cdn.iz.de/media/report/reading-rehearsal/50804-bbsr-online-23-2017-dl.pdf>.

- [13] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Langfristige Renovierungsstrategie der Bundesregierung, Gemäß Artikel 2a der Richtlinie 2018/844/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy performance of buildings directive, EPBD 2018), August 2020.
- [14] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Mieterstrombericht nach § 99 Erneuerbare-Energien-Gesetz 2017, 2019, https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Berichte/mieterstrombericht-eeg-2017.pdf;jsessionid=3AB60526785FC29BAD6F4291AF4116F8?__blob=publicationFile&v=9.
- [15] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Sanierungsbedarf im Gebäudebestand, Ein Beitrag zur Energieeffizienz- strategie Gebäude, Dezember 2014.
- [16] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Schlaglichter der Wirtschaftspolitik, Monatsbericht September 2018, 2018. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Was ist eigentlich Mieterstrom? 26.1.2021, <https://www.bmwi-energie-wende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2021/01/Meldung/direkt-erklaert.html> (zugegriffen am 7.4.2021).
- [17] Bundesnetzagentur, Mieterstrom 07.04.2021, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/Vertragsarten/Mieterstrom/Mieterstrom_node.html (zugegriffen am 7.4.2021).
- [18] Bundesregierung, Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Grundlagen - Evaluationen - Empfehlungen, Wiesbaden, <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeits-strategie-neuaufgabe-2016-download-bpa-data.pdf> (zugegriffen am 27.5.2021).
- [19] Bundesregierung, Klimafreundlich Bauen und Wohnen 16.02.2021, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klima-schutz/klimafreundlich-wohnen-1672900> (zugegriffen am 16.2.2021).
- [20] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Steuerliche Hindernisse für Investitionen in die energetische Ertüchtigung des Gebäudebestands beseitigen. Diskussionspapier, Stuttgart 5.3.2020.
- [21] Deutsche Umwelthilfe, Auch kleine Maßnahmen im Gebäudebestand haben große Wirkung für den Klimaschutz - Deutsche Umwelthilfe 28.8.2019, <https://www.presseportal.de/pm/22521/4360362> (zugegriffen am 24.3.2021).
- [22] Fraunhofer-Gesellschaft, Pilze als Schallabsorber 2021, <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/januar-2021/pilze-als-schallabsorber.html> (zugegriffen am 31.5.2021).
- [23] Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Ökobilanzierung 31.05.2021, <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/ganz-heitliche-bilanzierung/methoden-ganzheitliche-bilanzierung/oekobilanzierung.html> (zugegriffen am 31.5.2021).

四、专委会委员介绍

（一）单位（排名不分先后，按首字母拼音排序）



北京鸿杉投资管理有限公司

北京鸿杉投资管理有限公司创立于 2015 年，是一家具有国际视野和专业优势的投资咨询和投资管理公司，服务于中国企业“走出去、引进来”，帮助企业开拓国际市场、引进海外先进技术加速企业转型升级，致力于成为提高中国企业全球竞争优势的受人尊敬的好伙伴。

与矿山冶金、建筑建材、节能环保、新能源、新一代信息技术等领域的多家大型企业集团、上市公司建立了紧密的合作关系，业务覆盖以色列、瑞典、德国、俄罗斯、马来西亚、老挝、津巴布韦等多个国家和地区。

为多家大型企业集团、地方政府、著名高校等提供了国际标杆考察、国际技术交流等服务；为多家大型国际建筑工程公司、矿业公司、新能源公司，提供海外项目开发与投资咨询服务，取得了多个成功案例；为多家大型企业集团、地方政府提供新一代信息技术、可再生能源等海外原创先进技术的引进和转化服务，亦取得多个成功案例。

作为中国企业全球化发展的服务提供商，公司曾受邀担任中国科技部中以创新创业大赛特拉维夫赛区和北京赛区评委、工信部人才交流中心集成电路创业大赛成都赛区评委；受邀为中国国际贸易促进委员会企业权益中心建言献策，提出中国企业开展“一带一路”国际业务的报告及提供相关培训；受邀参与中国国际贸易促进委员会建设行业分会的“促进民营企业一带一路走出去”调研课题，并提出调研报告。

北京鸿杉投资管理有担任中德研发创新联盟会员单位及碳中和专委会委员、轻量化专委会委员；担任北京中以创新生态联盟理事单位、北京发明协会发明创新大赛优秀项目创新创业指导单位、北京高创天成国际企业孵化器创业指导单位等。

目前，公司围绕中国“碳达峰、碳中和”目标，重点针对可再生能源、工业数字化、材料轻量化等产业领域，积极寻求国际一流技术和产品，在中国进行商业化和产业化，推动中国制造产业的转型升级，以及“一带一路”国家的建设和发展。



诚通高科投资控股（上海）有限公司简介

中国诚通总资产规模近 5000 亿,基金管理规模近万亿。目前控股中储发展、诚通发展、山东鲁能、中国纸业、中国物流等 8 家境内外上市公司,参股中国远洋、中海科技、中国国际金融等 16 家境内外上市公司,托管及划转经营多家央企或央企子企业。先后设立中国国有企业结构调整基金(3500 亿)和中国国有企业混合所有制改革基金(2000 亿)。

诚通高科隶属于中国诚通控股集团有限公司,是央企诚通响应国家科技战略号召,发挥央企主体优势、打破区域资源壁垒、跨区域整合产业链所构建的新型全球科技生态产融平台,也是中国诚通体系重要的高科技产业平台公司。是于 2020 年 6 月 6 日设立于上海的央企三级平台公司,是中国诚通布局原创技术和现代产业链的结构化赋能投资运营平台。

诚通高科立足上海,引导全球资源汇聚长三角,进而赋能全中国。优先布局中国城市群核心城市及重点产业城市包括上海、苏州、南通、武汉、福州、临沂、昆明作为第一阶段,宁波、杭州、成都、三亚、海口作为第二阶段。目前,正积极落地,主动谋划。

诚通高科资本及技术平台遍及日本、中东、欧美各个细分领域领衔板块。主要集中在投资、节能环保、生物产业、新能源、新材料、高端装备、信息技术、生物制药以及人才回流。并在生命医学、新能源汽车、智慧物流、数字孪生、新材料等五大高科技产业布局产业链集聚及全生态投资运营平台型产业园。



数字孪生
产业链谷



国际新材料
产业链谷



国际生命医学
产业链谷



新能源汽车
产业链谷



国际智慧物流
链港



德国科林工业技术有限公司（CHOREN Industrietechnik GmbH）

德国科林工业技术有限公司（CHOREN Industrietechnik GmbH）作为世界著名的高效洁净煤技术的研发者、拥有者及工业解决方案供货商，拥有 CHOREN Clean Coal Gasification (CCG®) 多烧嘴粉煤气化技术，该技术具有煤种适应性广、碳转化率高、节能环保、整体投资低、和运行维护费用低等一系列的优势。

科林公司的前身是欧洲洁净煤技术领域的先驱——前德国燃料研究所。创始人是前德国燃料研究所研发部部长 Wolf 博士，其核心技术团队来自于前德国燃料研究所及黑水泵气化厂。科林工业除了成功开发 CCG 多烧嘴粉煤气化技术以外，还成功开发了 Sun Diesel 生物质柴油气化技术。

科林公司在 2012 年成功被中资收购，由此成为中德煤化工领域科技创新合作的中坚力量。为德国煤化工技术创新、相关技术在中国的应用做出了重要的贡献。迄今为止，科林在中国建设实施了一系列大型高效洁净煤利用的煤化工项目。公司技术团队主要来自于德国前燃料研究所、德国前黑水泵气化厂、德国西门子集团、德国伍德集团、荷兰皇家壳牌集团等国际优秀的专业人士组成。公司拥有国内外专利 96 项。公司拥有 50 多年气流床气化技术的研发设计经验，可为客户提供技术许可、工艺包设计等综合服务。

科林公司近年正致力于运用欧洲的最新技术，结合中国能源发展的实际情况，不断在能源、新材料、轻量化技术等领域寻求升级与创新，比如碳回收和碳转化、二氧化碳吸收和分解至化学品技术、轻量化气态和固态储氢技术、高压 IV 型碳纤维和玻璃纤维氢气存储罐技术、电解生产氢气或合成气的能源转化技术等。科林公司力争为客户开发高效新能源和清洁能源的完整方案，并为保障国家和国际能源安全提供可靠的技术支撑。

科林公司总部位于德国萨克森州的首府德累斯顿市，前德国燃料研究所及黑水泵工业园区附近，并且在欧洲及亚洲均设有分部和办公室。

地址：Glacisstraße 2, 01099 Dresden, Deutschland

电子邮箱：info@choren.com



德国 TÜV 莱茵公司（TÜV Rheinland）

自 1872 年以来，德国莱茵 TÜV 的使命是确保技术对于人类和环境的安全性。从蒸汽机到数字化，从地区蒸汽锅炉监督协会开始，发展成为全球测试服务提供商。时至今日，德国莱茵 TÜV 代表着安全与品质的保证，无论是商业还是生活领域，几乎无处不在。

德国莱茵 TÜV 全球员工超过 20,000 人，其中大中华区员工超过 4,000 人，共有五大事业群：工业服务与信息安全、交通服务、产品服务、管理体系服务、培训与咨询服务。业务涉及能源行业、消费品行业、汽车行业、基本材料和投资产品、环保技术、贸易、建筑、航空、铁路技术、IT 行业、信息安全和数据保护、以及教育和医疗行业等。德国莱茵 TÜV 向来以严谨高质量的测试认证服务著称，从公正独立的角度提供各项专业评估，为当地企业提供符合安全、质量以及环保的一站式解决方案。

近年来，欧盟多国和中国陆续宣布实现碳中和的明确计划，在此大背景下，许多头部企业已制定零碳战略与实施路径。在检测认证领域，德国莱茵 TÜV 成为了他们实现“零碳”足迹之旅的伙伴。针对企业的实际需求，德国莱茵 TÜV 在众多方面建立了可持续性标准规范，通过行业标准的制定和检测检验认证等手段，推动企业专业合理地进行低碳实践，规避风险，完成可持续发展的使命。

2021 年，德国莱茵 TÜV 整合在低碳方面的服务能力，推出了企业低碳转型解决方案——赋能“净零”未来。这一系列解决方案涵盖整车及零部件、消费电子、光伏、电池、化工、纺织等各行各业，贯穿产品全生命周期，致力于从生产源头开始帮助企业减少碳足迹，并在价值链的所有相关环节为企业提供全方位的支持。

同时，德国莱茵 TÜV 积极与中德各级政府、行业协会、科研院所、非政府组织密切合作，顺应能源转型大势，深耕绿色能源领域，不遗余力地把自己在低碳减排方面的专业智慧赋能给整个生态圈的行业伙伴。



第十风电场两合有限公司（Zehnte Windpark Support GmbH & Co.KG）

第十风电场两合有限公司（Zehnte Windpark Support GmbH & Co. KG）是中国电力清洁能源发展有限公司(前中国电力新能源发展有限公司)的德国子公司，中国电力清洁能源发展有限公司隶属于中电国际集团/国家电力投资集团。

Zehnte Windpark Support GmbH & Co. KG 拥有并运营一个位于德国 Bönen 的风电场，此风电场由 4 台维斯塔斯 V80 型 2MW 风力发电机组成，总装机容量为 8 兆瓦，平均年发电在 14000 MWh 以上。风场公司与维斯塔斯风机公司签署了全维护合同，并由德意志风电集团进行技术运营。风场的贷款银行德国商业银行评估此风场资产为“AA+非常好级别”，相对应的停运风险指数仅为 0,01%。

Zehnte Windpark Support GmbH & Co. KG 的公司形式是两合有限公司，在德国的无限责任股东即管理公司是 GEE Management GmbH (GEE 管理有限公司)，这样的组合同时体现了中国与德国双边之间合作平等互利双赢的原则，也为未来成功地推进全球化的能源转型事业打造公平合理的中德合作模式。风场公司还继续积极参与“德国中国商会 CHKD”及“德国中国研发创新联盟 CFEID”的相关重要事务，与其它在德中国央企、国企和民营企业一起为中德经济科技合作发展发挥着重要作用。

风场项目同时也是后续发展项目的战略性样板项目。通过打造此风电场的运营和管理，可以在德国为更多的来自中国的专业投资人积累包括政策方面，法律法规方面，以及官方和政府层面的框架结构条件等各方面的经验，而且这些经验是从实际的运营工作中最直接获得的，可以进行评估总结并服务于未来的项目中去，以便更优化地推进国际化合作战略。

下一步公司的创新思路是正在建议和规划与德国当地的公共事业单位和创新企业合作，打造中德共同合作的能源系统解决方案，实现虚拟电网和综合能源优化管理。可以将新能源法 EEG 补贴到期后产生的电力能源通过自由市场化操作，进行储存供应电动汽车的充换电站中，供给当地的一套电动汽车共享出行或当地公共事业单位的自有电动汽车用车使用，从而实现从发电端，到配电端，到应用的全能源系统可持续解决方案。并且作为标准能源系统解决方案服务未来中国的合作需求。



Energieberatung Sun（阳光能源）

一、公司概况

Energieberatung Sun 是德国能源经济署指定的能源咨询机构之一。公司于 2014 年由德国国家认证的能源咨询顾问师孙英创办成立,位于德国慕尼黑的西部。公司主要为客户提供能源和经济可持续发展研究和技术解决方案。为中德客户提供技术咨询和精准对接的支持和服务等等。

二、研究和服务的领域

- 能源、环保和资源循环利用方面的技术研究。为中德两国的政府和企业提供生态和经济可持续发展研究和解决方案。

- 能效提高和资源循环利用的技术研究。

- 生态环境改善的可行性解决方案和实施方法。

- 企业技术和经济可持续发展的战略建设和优化服务。

- 能源和环境系统性专业协同的联合研究和合作研发。

- 为企业提供能源和环境技术、先进材料和工程设备等优化的研究及应用技术或装备的精准选择服务等等。

三、特别的技能和经验

- 氢能技术战略规划及综合研究——制氢、储氢、运氢、用氢的技术及经济性应用研究。

- 燃气高效发电、发热和制冷三联发技术装备高集成研究。

- 工业自动化和智能化的安全融合。

- 太阳能区域互联的综合能源智能技术应用研究。

- 智能建筑和智能工厂及能源智慧管理。

- 农业生产的效率优化和植物智能健康生长技术。

- 电动汽车充电安全管理和能源管理的核心技术应用研究。

- 汽车材料的轻量化和精益设计、动能优化配置及智能互联。

- 能源系统优化、能效评估和创新技术运用研究---最佳能效及经济成本关系。

- 资源回收分类利用研究,生物质资源创新利用研究和沼气技术的优化利用研究。

- 可再生能源的技术应用开发和氢能技术综合一体化应用研究等。

- 能源和环境技术的数字化智能控制技术应用研究,如废水回收处理。

- 余能回收利用及排放控制处理技术、低热发电等。

四、联系方式

地址: Altenburgstr D-81243 München

电话: +49 89 89137028

传真: +49 89 89137027

电子邮箱: energieberatung.sun@web.de



吉林省通用机械（集团）有限责任公司

吉林省通用机械（集团）有限责任公司始建于 1965 年。现在国内拥有 8 个工业园区，总占地面积 150 万 m²，员工人数 2176 人。拥有 20 家分（子）、合资公司，在欧洲控股 2 家企业，在德国独资 1 家研发中心。公司以汽车零部件为主导产品，为奥迪、大众、宝马、奔驰，保时捷、凯迪拉克、捷豹、路虎、日产等品牌主机厂服务。是全球铝汽车轻量化零部件知名供应商，是吉林省汽车零部件支柱产业，是全国产教融合型企业。

企业以打造全球最大汽车零部件研发生产基地、打造中国智能制造示范园、打造完整汽车零部件工业体系为目标。规划到十四五末实现销售收入 100 亿元。

吉林通用欧洲研发中心筹建于 2013 年，2015 年 9 月正式在德国慕尼黑法院以有限责任公司的形式完成注册，坐落于德国南部的巴伐利亚州慕尼黑市加兴区里希腾大街 8 号（Lichtenstrasse 8, 85748 Garching bei München）。交通便利，距离机场 30 分钟路程，多个世界最顶尖的汽车主机厂的总部都坐落于其周边城市。如距离位于德国因戈尔施塔特的奥迪总部半小时车程，距离位于慕尼黑的宝马总部半小时车程，距离位于斯图加特的梅赛德斯奔驰和保时捷两个半小时车程，同样也方便和德国大众等其他厂商保持紧密联系。

研发中心总投资 1000 万欧元，现有欧洲员工 5 人，国内工作团队 70 人。研发中心成立以来，先后与主机厂同步开放了多个项目，比如保时捷帕拉梅拉 E2 转向节项目，此项目是德国大众汽车集团保时捷帕拉梅拉的第四种车型，在纯正跑车的基础上兼具了商务轿车的舒适，实现了商务、家庭和操控三者的完美统一，广受世界豪车爱好者的追捧。预计年产量 22 万件，年出口额可达到 5000 万元人民币。

现在正在同步开发的项目还有奥迪 B9、Q5 转向节、奔驰上盖等项目。



能源储备与 CCUS 国际合作研究基地

一、概述

为积极推动国家新能源和低碳技术的发展，四川大学发挥多学科交叉融合和高水平科研平台优势，由谢和平院士倡议，依托四川大学新能源与低碳技术研究院、深地科学与工程教育部重点实验室、水力学与山区河流开发保护国家重点实验室等高水平研究平台，于 2011 年 4 月 29 日由科技部批准成立能源储备与 CCUS 国际合作研究基地。基地基于国家在能源和节能环保低碳技术的重大需求，对全球能源的清洁高效开发、存储和利用以及能源使用带来的环境问题开展国际合作研究，涵盖以下八个领域：页岩气煤层气等非常规天然气开采，太阳能，生物质能，新型储能材料，低碳城市，低碳经济与管理，二氧化碳捕集、利用与封存，节能减排与催化燃烧。旨在为我国的能源储备、CCUS 技术发展发挥核心作用，为国家能源安全、环保、碳达峰碳中和做出显著贡献。

二、建设成效

以基地为依托，以项目为核心，以人才培养和高水平研究成果为目标，通过德国、美国、英国、加拿大、日本等 10 余个国家开展了科研项目、学术交流和人才联合培养等多种形式的合作，建立了能源储备和 CCUS 的国际前沿水平的开放式国际合作平台。自成立以来，基地承担了国家 973 项目、863 项目、科技部支撑计划、科技部国际科技合作专项、基金委重大仪器研制、基金委重点项目等各类项目 331 项，总经费 51580.82 万元；在国内外知名期刊上发表 SCI、EI 等高水平论文 464 篇，授权专利 300 余项，出版专著 29 部，获得国家级或省部级奖励 50 余项，培养学生 1200 余人，在能源储备和 CCUS 技术领域取得了突破进展，并达到领域一流水平，有效提升我国在能源储备、CCUS 技术研发和 CO_2 节能减排等领域的研究水平和国际影响力。

三、典型成果

基地负责人谢和平院士提出碳中和目标下煤炭行业发展战略，发展了“少碳（ CO_2 捕集新原理与新技术）、用碳（ CO_2 驱油气利用原理与技术）、无碳（零碳排放的直接煤固体燃料电池发电新技术）”技术。

中德 CO_2 地质封存及 CO_2 资源化、能源化利用合作研究项目：形成了一套高效先进的 CO_2 地质封存和有机垃圾制生物煤的关键技术，合作研发了世界首套千瓦级 CO_2 矿化发电工程示范。

普光气田 CO_2 矿化利用产业化合作项目：创新提出了 CO_2 的捕捉-矿化反应一体化耦合方法，建成了 100Nm³/h 规模的全球首套 CO_2 矿化磷石膏一体化反应中试装置。

中美页岩气开采中技术和环境问题合作研究项目：为页岩气储层压裂改造模拟提供了理论基础，并且首次提出了页岩气开采废水膜生物处理技术，极大地推动了页岩气开发和环保问题解决。



四、联系方式

联系人：张茹 教授

地址：四川省成都市一环路南一段 24 号四川大学

电话：028-85465866；13880009601

电子邮箱：zhangru@scu.edu.cn

INFRA**Dian**ba

欧亚电巴国际

欧亚电巴国际有限公司是一家于 2019 年在柏林成立的合资企业，由德国基础设施专家与中国奥动电巴各自出资 50% 成立的。奥动电巴是来自中国的汽车电池快速更换解决方案全球市场领导者（为汽车换电全程所需时间为 1 到 1.5 分钟，其中换电环节仅需 20 秒）。

欧亚电巴国际为 3.5 吨以下的电动轿车和小型货车，以及电动大巴车、电动卡车和商用车提供可靠的换电解决方案（通过车辆底盘更换电池），司机不用下车就可以享受换电服务，从而最大程度缩短过站时间，对于电动车队而言尤其有利。

换电模式是商业电动车队的理想基础模式，是出租车快速实现电动化的解决方案，因此可以成为“零碳交通”稳定的第四支柱，同时它还能辅助服务于基于光伏分布式发电的居民社区，以及自动驾驶系统等。这种快速、全自动的电池更换方式不仅可以实现快速补能和高处理量，还能以一种对电池和电网友好的方式将电池的装配和充电最优化结合，大大增加了电池的使用寿命（目标：4 倍）。此外，该换电方式还能为电动出行发展必要的电网建设投资节省大量成本（通过集中建设充换储一体化能源站等方式，缓解本地电网压力）。

欧亚电巴国际的换电站每天最多可服务换电 1000 名客户，流过的电量达到 50 兆瓦时，换电站拥有充足的储能资源，再配以小型补充储能设备，就可以确保实现一个完整电池电站的正常运行。此能源站“SWAPTOPUS”是介于电动汽车出行和智能电网之间的枢纽，技术上由一套专有的电力平衡结算系统“换电一购电”供给，在传统电网供应以外更好地采用绿色清洁能源的直接利用，例如结合来自农业光伏的电力、来自建筑光伏一体化系统电力和当地风电场过余风电等资源的低成本利用。未来如果建成 10000 到 12000 座上述以“电动车快速换电系统”为基础的“SWAPTOPUS”能源站，就可以完全满足德国全国的电力存储需求（2050 年德国电力储能需求达到 100 吉瓦，每年电力需求超过 1000 太瓦时）。

目标是使欧洲可以起到全球综合交通和能源转型的榜样作用，欧亚电巴国际有限公司将为此做出努力和贡献。

地址：Fürstenbrunner Weg 99, 14050 Berlin

联系人：李煜；凯瑟琳·弗拉米格 博士

电话：+49 (0)30 2309784-46

电子邮箱: info@infradianba.com

网址: www.infradianba.com

四川大学新能源与低碳技术研究院

能源来自人类栖息的环境，是人类生活、生产的血液，它的使用又严重影响着环境，从而影响着人类的生存和发展。能源开发和环境变化给人类社会带来的严峻挑战，引起世界各国的广泛关注和积极响应。为积极参与全球的能源变革和应对气候变化，推动我国新能源与低碳经济发展，为我国建设资源节约型和环境友好型社会做出贡献，四川大学发挥其综合性大学多学科深度融合的优势，由谢和平院士倡议，整合环境科学与工程、化学工程、化学科学、材料科学与工程、生命科学、水利水电工程、土木工程、经济与管理等学科的科研资源、学科资源及人才资源，于 2011 年 11 月创建四川大学新能源与低碳技术研究院。

研究院目前重点开展页岩气等非常规地下能源开采，太阳能，生物质能，新型储能材料，节能减排与催化燃烧，二氧化碳矿化利用与封存，低碳城乡建设，低碳经济、政策与管理等研究，形成了一批在国际和国内具有领先优势的研究成果。

研究院与中石化、中石油、国家能源集团、贵州瓮福等多家企业单位建立重要的合作关系，促进新能源和低碳技术基础研究成果的工程化、产业化，同时依托国家和省级国家科技合作基地，与德、英、法、美、日、瑞典等国家与地区开展国际科技合作，获得了一系列具有国际影响力的产学研研究成果，如：与中石化合作开展的“普光气田 CO_2 矿化转化磷石膏工业示范工程”；与中国石化、攀钢集团和西昌市蓝鼎环保科技有限公司合作，建立了万吨级 CO_2 矿化脱硫渣工业试验装置；高效率碲化镉太阳能电池技术；低温钒钛固态储氢技术；低压氢镍电池储能技术；机动车尾气催化净化技术等等。

研究院谨遵四川大学“海纳百川，有容乃大”的校训，“原始创新”和“引进吸收”并举，在理论、技术和产业三个方面构建具有鲜明特色的低碳经济与技术综合集成体系，将逐步发展成为具有重要国际影响、与国际前沿同步的低碳技术与经济的研究基地，促进人类、社会和自然的协调发展，实现生态文明，推动社会的全面进步。

地址：成都市一环路南一段 24 号（望江校区）

成都市双流县川大路（江安校区）

电话：028-62138375

网址：<http://inelt.scu.edu.cn>

陕鼓集团

陕鼓集团成立于 1968 年，是分布式能源领域的系统解决方案和服务商。陕鼓的高效节能设备和智慧绿色系统解决方案及服务广泛应用于石油、化工、能源、冶金、空分等国民经济重要支柱产业领域。目前，集团旗下拥有陕鼓动力和标准股份两家上市公司，以及多家全资及控股子公司；已在海外布局了 20 多个海外公司和服务机构，包括位于德国杜塞尔多夫的陕鼓欧洲研究发展有限公司、以及捷克 EKOL 公司、印度分公司、印尼工程代表处、莫斯科代表处等，还有 30 多个运营团队；在海外营销和系统服务体系方面，陕鼓已覆盖 100 多个国家和地区，包括俄罗斯、印度、印尼、土耳其等地。

陕鼓欧洲研究发展有限公司是陕鼓集团的全资子公司。2017 年 4 月在德国杜塞尔多夫注册成立。为集团各公司发展提供技术支持和国际合作资源。其主要任务是对各工业领域分布式能源的系统方案、流程工艺、装置设计、优化配置、装备设计与智能制造、装置的能效分析与运行优化控制、系统服务方案等方面重大关键技术进行创新研究，发展突破；同时也开展投融资等金融服务，强化分布式能源全产业链上下游的深入合作。欧研的发展目标是成为陕鼓集团在欧洲的资源中心、研发中心、国际合作中心和人才培训中心。



徐工欧洲研发中心

徐工成立于 1989 年，公司前身追溯于 1943 年。经过 80 年发展，徐工已经成为中国工程机械行业规模宏大、产品品种与系列齐全、独具竞争力和影响力的大型企业集团。徐工为全球超过 190 个国家和地区提供包括起重机械、挖掘机械、道路机械、铲运机械、混凝土机械、矿业机械等多种机械和服务。徐工目前位居国内工程机械行业第 1 位，世界工程机械行业第 3 位。

徐工基于自身技术发展和欧洲市场拓展需要，通过绿地投资形式，在德国建立了徐工欧洲研发中心，作为开展关键核心技术研发和面向欧洲市场开展产品研发的创新平台。从 2012 年以来，徐工始终坚持“Investment, Integration, Innovation”的理念，持续加大技术创新和市场开发的投资，持续推动中欧团队的跨文化沟通交流和业务流程融合，持续提升公司国际化经营能力和成效。

在机械设备制造业，欧洲具有全球领先的创新资源。徐工在德国投资建立了一个国际一流的研发平台，这里具有高品质的办公室条件和国际一流的实验室，这对于那些希望真正开展创新性工作的人才是非常必要的条件。徐工欧洲研发中心聘用了很多国际专家，针对起重机、挖掘机、装载机、高空作业平台等产品的应用需求，围绕液压、传动、电气与软件、控制等关键核心技术，开展了多项研发创新项目。累计申请发明专利授权 50 多项。在功能安全技术领域，获得德国 TÜV 认证 10 余项。通过持续研发创新，在产品智能化、绿色化、安全性、合规性等方面有力地推动了徐工产品更好服务欧洲和全球用户。

徐工德国的投资促进了中德、中欧的经济、技术以及教育方面的交流合作。徐工欧洲研发中心在 2016 年成为北威州经济部长和中国驻杜塞总领事“走进企业的活动”中受访中资企业之一。徐工欧洲于 2013 年荣获北威州最佳投资奖，2019 年荣获在德中资企业优秀投资奖。徐工将进一步扩大和欧洲合作伙伴的商业合作；进一步提升欧洲业务的规模和效益；进一步践行“Investment, Integration, Innovation”理念并创造最佳商业实践。



中德能源研究中心

一、概述

为积极参与全球能源变革和应对气候变化，推动全球新能源与低碳技术发展，中德双方充分发挥在能源领域的互补优势，由谢和平院士和侯正猛教授倡议，中德双边 20 多所高校和科研机构（中方单位：四川大学、中科院武汉岩土力学研究所和雅砻江流域水电开发有限公司等；德方单位：克劳斯塔尔工业大学、下萨克森州能源研究中心和哥廷根大学等）共同合作参与，并在中国科技部和德国下萨克森州的支持下，中德能源研究中心于 2006 年正式成立，为中德双方搭建了一个长期性和持续性的项目合作、论坛交流和人才培养的综合性创新平台。主要致力于中德双方在能源方面的合作，特别是能源地下储存、 CO_2 地下封存和清洁能源等方面的国际合作研究，旨在为我国能源储存、 CO_2 地下封存技术发展发挥核心作用，为国家能源安全以及环境保护做出显著贡献。

二、合作成果

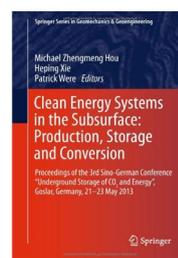
成立“中德能源地下储存和 CO_2 地下封存合作小组”。中德合作小组（Sino-german Cooperationsgroup）是由中德科学中心批准的，由中国国家自然科学基金委（NSFC）与德国国家基金研究会（DFG）共同出资资助的重大国际合作项目，是培养中德科技合作与交流人才的基地。

成功召开多次中德能源国际会议（论坛）

(1) 第一届中德能源国际会议：关于“天然气地下储存和 CO_2 地下封存”的主题，于 2007 年 9 月 18-22 日在德国高斯拉成功召开；

(2) 第二届中德能源国际会议：关于“ CO_2 和能源地下储存与利用”的主题，于 2010 年 7 月 6-7 日在中国北京成功召开，73 名中德学者和工程师参会，组织出版会议主题刊物（50 篇论文）；

(3) 第三届中德能源国际会议：关于“ CO_2 和能源地下储存与利用”的主题，于 2013 年 5 月 21-22 日在德国高斯拉成功召开，100 名中德学者和工程师参会，



组织出版会议主题刊物（35 篇论文）；

(4)第四届中德能源国际会议：关于“地下清洁能源系统和 CCUS”的主题，于 2015 年 5 月 30-31 日在中国成都成功举办，100 余名中外学者和工程师参会，出版了 SCI 杂志 *Environ. Earth Sci.* 的会议主题刊物（30 篇论文）；

(5)第五届中德能源国际会议：关于“能源、环境和人工智能”的主题，于 2018 年 3 月 30 日至 4 月 1 日在中国成都成功召开。

搭建中德清洁能源创新平台。中德清洁能源创新平台是一个中德科研合作的开放平台。既有大学和科研院所，又有企业参与，在清洁能源、可再生能源等研究领域发挥了示范作用。



有效建立了中德“2+2”联合培养项目和长效交流机制。总计联合培养 150 多名本硕博学生，有效促进了能源储存和环保领域的人才发展。



三、联系方式

联系人：张茹 教授

地址：四川省成都市一环路南一段 24 号四川大学

电话：028-85465866

电子邮箱：zhangru@scu.edu.cn



中德碳中和与绿色发展研究院

一、概述

为贯彻习近平总书记重要讲话精神，推动双碳目标实现，2021年4月26日，由郑州大学和德国克劳斯塔尔工业大学合作共建的中德碳中和与绿色发展研究院举行揭牌仪式。研究院将充分发挥双方在绿色能源、低碳产业、生态环境、循环经济等多学科的研究基础和优势，聚焦河南能源革命和产业革命、围绕三大任务开展研究：一是战略研究与咨询，二是开展关键技术攻关助力产业变革、以工程技术突破示范引领低碳绿色发展，三是探索创新国际国内政产学研合作的体制机制，为构建绿色发展技术体系，服务政府、行业与企业碳中和与绿色低碳循环发展提供科技支撑，为生态环境高水平保护和经济社会高质量发展做出积极贡献。



二、合作成果

提出“河南省碳达峰与碳中和战略、技术路线和行动方案”

针对河南省碳排放基数大、生态治理形势严峻、能源对外依存度持续增长、可再生能源开发程度低等关键问题，梳理河南省当前的能源供需结构、二氧化碳排放与林业碳汇等情况，归纳出河南省碳中和目标导向下的七大行动方案，进而分析和预测能源发展多情景下的重点行业碳排放趋势，提出了河南省碳中和的实现路径，以期对推动区域经济绿色低碳高质量发展、促进 2060 年碳中和愿景的实现做出重要贡献。

立项中国工程科技发展研究院重大咨询项目“河南省双碳战略与技术路线”。

开展河南省碳达峰碳中和战略方案和技术路线相关的能源转型模式和产业

结构调整的调研、咨询工作，着重针对河南省相对薄弱的绿氢制-储-运-用一体化建设、地下空间大规模储能、二氧化碳封存和转化利用三个方面进行深入剖析和发展潜力评估，以期为河南省中长期能源转型规划与双碳政策制定提供参考。

成功召开多次中德碳中和及低碳发展相关会议（论坛）：

(1)中德低碳绿色发展高峰论坛，于 2021 年 4 月 26 日在郑州大学召开，杜祥琬院士、侯正猛院士、王金南院士、清华大学李政教授、克劳斯塔尔工业大学 Hans-Peter Beck 院士、郑州大学张瑞芹教授等学者做了专题报告；



(2)第四届中国周中德研讨会——“碳中和与绿色能源”，于 2021 年 12 月 9 日在克劳斯塔尔工业大学及线上召开，中德碳中和与绿色发展研究院、德国大众汽车公司、德国航空航天中心工程热力学研究所、中国科学院武汉岩土力学研究所、克劳斯塔尔工业大学地下能源系统研究所等机构的相关学者做了专题报告。

建立了中德联合培养项目和长效交流机制

自研究院成立以来，联合培养 3 名博士研究生（在读），积极推进研究生双学位培养项目，后续将与郑州大学中德学院深度合作促进人才联合培养，为能源储存和环保领域的人才发展做出贡献。

三、联系方式

联系人：刘建华 教授（常务副院长）

地址：河南省郑州市高新区科学大道 100 号郑州大学

电话：0371-67780023

电子邮箱：ljh@zzu.edu.cn



中德可持续建筑协会

中德可持续建筑协会简称 CINB，是 2018 年在科隆注册的专业协会。协会以在中德两国从事节能建筑和暖通专业的专业人员为基础，联合中德能源与建筑业上下游的相关企业和高校资源，通过平台、自媒体和活动论坛等方式促进中德两国相关行业的学术、商业及人文交流。截止至 2022 年 4 月，注册会员数量达到 560 人。

CINB 和同济大学有着深厚的渊源和紧密的关联，协会的初创人员大多都是同济大学中德工程学院 CDHAW 建筑设施智能技术专业（建智）的毕业生。自 2004 年起每年中德工程学院都向德国输送 30-50 名留学生进行建筑机电技术的学习。经过将近 15 年的积累，建智毕业生有一部分留在德国建筑业工作、也有回国的同学在国内的建筑业大展宏图。同济中德工程学院建智专业的毕业生不仅在中国，在德国的建筑业里也享有很好的名誉。学院内庞大且联系紧密的人脉具有先天的优势，随着众院友的共同成长我们也看到了一些缺口和需求：目前碳中和以及环保节能是我国未来的重要的发展战略，建筑业的低碳节能在此尤其重要！德国是全球在低碳环保发展最领先的国家之一，无论是政策、规范和技术产品都值得学习和交流。加之中德快速增长的贸易关系，在未来的几十年里节能建筑都是一个很有前景的产业。因此身处德国行业第一线的、作为受过专业教育和德语训练的同济毕业生，组成了协会的核心团队（12 人，由在德工作、德国高校在读博士和在读硕士组成），当仁不让架起一座中德碳中和节能建筑的桥梁，是目前行业内最好的中德建筑交流平台之一。

目前 CINB 的主要活跃在：

1. 自媒体（微信公众号）
2. 活动举办（线上、线下论坛）
3. 中德参访项目

（二）个人（排名不分先后，按首字母拼音排序）

补鸿杉 北京鸿杉投资管理公司

湖南大学工商管理硕士，国防科技大学计算机应用本科，美国 SBTI 六西格玛黑带，美国乔治亚理工学院创新和技术商业化专业人士(ITCP)认证。基金投资从业资格，独立董事执业资格，并购交易师执业资格。北京鸿杉投资管理公司创始人、执行董事，长期从事科技成果引进、转化等相关咨询及投融资服务。

担任中国民主建国会北京市海淀区委员会金融专业委员会委员；担任中德研发创新联盟碳中和专业委员会委员、轻量化专业委员会委员；担任北京市中以创新生态联盟理事；担任北京市发明协会发明创新大赛优秀项目创新创业导师、北京高创天成国际企业孵化器创业导师。

曾受邀担任中国科技部中以创新创业大赛评委、工信部人才交流中心集成电路创业大赛评委。曾任星晖国际投资管理有限公司（香港）合伙人，参与某央企集团并购德国汽车核心零部件项目；曾任 IPG 资本合伙人，参与多个创业项目的投融资及创业辅导。曾任美国 SBTI 六西格玛管理咨询公司咨询顾问、合伙人，担任国务院国资委某央企精细化管理试点项目的项目经理，项目成功经验在央企管理升级活动中全面推广。曾任湖南岳阳纸业集团自动化控制工程师，ERP 项目经理，培训中心主管；曾任湖南省岳阳市岳阳楼区政协委员。

具有丰富的大型企业集团变革管理经验、跨境项目管理经验、跨文化冲突管理能力，以及关键资源整合能力。具有对企业变革重组、商业模式构建、卓越运营管理等具有深刻的认识和丰富的实操经验，擅长微观开拓和宏观驾驭，富有敏锐洞察力、出色创新力和卓越领导力。

曹成 西南石油大学 副教授

主要从事二氧化碳利用与封存 (CCUS)、油气井工作液理论与技术等方面的研究工作。主持中国博士后科学基金一等资助项目（全国资助率 0.7%）、四川省科技计划项目、油田科研攻关项目等 5 项，主研国家重点基础研究发展计划 (973 计划)、国家科技重大专项、德国石油与煤科学技术协会项目等科研项目 10 余项。主要代表性成果：

(1) 合作研发多场耦合数值模拟软件 TOUGH (TMVOC) - FLAC3D，丰富了 CO_2 封存数值模拟技术。

(2) 提出以蒙特卡洛实验设计为基础，结合距离相关系数及支持向量机，建立了 CO_2 封存不确定性评价方法。

(3) 探索了 CO_2 在储气库、驱气提高采收率、以及地热开发等领域的应用情况，为 CO_2 的资源化利用提供了理论基础。

(4) 揭示了龙马溪组页岩易发生坍塌失稳的原因，提出了封堵为主、兼顾抑制的钻井液技术对策，并建立了页岩封堵评价新方法。

出版英文专著 1 部，合作编写《中国二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）年度报告（2021）》。发表学术论文 20 余篇，其中 SCI 论文 14 篇，授权发明专利 3 项。目前与西南油气田等单位紧密合作开展科研攻关及技术试验，推动四川盆地天然气藏提高采收率及 CCUS 应用示范。

社会职务：欧美同学会会员，《Energies》特刊副主编、《油气藏评价与开发》、《非常规油气》等期刊青年编委、以及《Journal of Petroleum Science and Engineering》、《Journal of Natural Gas Science and Engineering》、《Journal of Porous Media》、《工程科学与技术》、《石油钻探技术》等 10 余个期刊和会议审稿专家。

陈迪 悉尼科技大学 研究助理

研究领域：甲烷/氢气爆炸灾害演化及控制、燃气爆炸荷载下结构响应及防灾减灾设计

主要贡献：参与编写《并行油气管道检测维护规程》（国家石油天然气管网集团西南管道分公司企业规范）；全球范围内首次开展了三管并行隧道燃爆全尺寸实验，揭示了真实场景隧道空间全过程动态响应规律；建立了天然气管道泄漏-爆炸-结构损伤全链条数值模型，提出了燃气爆炸下相邻油气管道、隧道等结构的损伤评价模型；建立了甲烷-氢气混合气体爆炸瞬态数值模型，提出了不同掺氢比例下甲烷-氢气爆炸荷载经验公式。

冯文韬 四川大学 助理研究员

研究领域主要集中在人工智能方法在能源领域的应用、地球深部油气及地热资源的安全高效开发(包括水力压裂方案的优化及工程微地震、诱发地震的避免和应对策略等)、基于多能互补和大规模地下储能的智慧能源系统等,在德任下萨克森能源研究中心全职研究人员期间作为主要成员参与了由德国联邦经济事务和能源部(BMWi)资助的大型联合地热研究项目 MAGS2(研究对象为 Landau、Insheim 及 GeneSys 等德国知名的增强地热系统设施)及由德国石油与煤技术协会(DGMK)资助的 DGMK680 系列项目(研究目标为对发生在致密油气藏中的压裂作业进行工程尺度的高性能、高精度仿真并对压裂方案进行优化)。回国后与原德国团队合作针对导师侯正猛教授所提出的 ENSYSCO 智慧能源系统及相关

的可再生增强地热系统进行了系统研究,并在 renewable energy 等国际顶级学术刊物上发表研究成果。

干毕成 东北石油大学

致力于油藏评价开发一体化、天然气水合物高效开发和 CCUS 二氧化碳注入井流动保障方向的研究,参与中国石油工程设计大赛获国家三等奖 1 项,中国海洋工程设计大赛国家三等奖 2 项,第七届黑龙江“互联网+”大学生创新创业大赛黑龙江省金奖,作为主持人完成“互联网+”国家级大学生创新创业课题 1 项,参与完成天然气水合物国家科研课题 1 项、中海油南海西部专项课题研究 1 项、中石化勘探开发研究院专项课题研究 1 项、国家工信部重大课题 1 项,参与中国第三次水合物试采和国家重大科技专项“十四五”申报 2 项。发表学术论文 5 篇,授权发明专利 1 项,授权软件著作权 4 项,主要负责能够独立油藏描述、油气藏开发、天然气水合物高效开发和 CCUS 二氧化碳注入井流动保障等方向的研究工作。

胡静文 某智能电动新势力车企欧洲分公司

现就职于某智能电动新势力车企欧洲分公司,负责集团出海相关技术开发,市场需求管理和海外车型开发适配工作。中国(德国)研发创新联盟碳中和与能源转型专业委员会委员专家,全德华人机电工程学会副主席及特聘专家,碳中和及新能源转型战略咨询部部长。曾就职于某德国国际顶尖知名一级汽车供应商动力总成前瞻研发中心新能源(电动,混动,氢燃料电池,碳中和等)技术战略和政策规划高级专家。欧洲汽车工程技术咨询领域资深技术专家,参与并负责德国戴姆勒,保时捷,大众,奥迪,宝马等多家德国顶尖车企的研发项目。曾担任德国某技术工程咨询集团中国市场总负责人,曾受德国某集团的委托负责中国分公司的筹建和商业拓展,跟长城,吉利等众多国内自主车企积累了相关项目合作经验。



毕业于德国斯图加特大学汽车专业,来德 21 年,从业 15 年,在汽车仿真,动力总成,多体动力,耐久可靠,轻量化,油耗性能,新能源转型,混动电动,氢燃料电池,氢内燃机,节能减排,汽车行业碳中和及能源转型领域积攒了丰富的项目管理和研发经验。

业余社会活动:汽车专业自媒体及专家科技智库「几何四驱」联合创始人,think tank talk 思维库讲堂市场推广人。

近年来坚持汽车行业技术趋势与市场调研和写作，业余在几何四驱专业自媒体和其他行业期刊发表汽车行业和技术趋势研究文章数十篇，代表作有：

1. 十二问十二答：深入解读欧盟全新碳排放政策
2. 《德国国家氢能战略》及《欧盟氢能战略》深入解读
3. “电动化”变革下纠结的德国！
4. 充电桩：终结德国电动汽车反攻浪潮的“猪队友”？

此外作为编委代表全德华人机电工程学会协调全欧相关领域专家参与《欧洲汽车行业现状与发展趋势暨欧洲汽车蓝皮书》的编撰工作。与几何四驱主创团队一起成功举办 2019 上海中德汽车耕耘者论坛，发表主旨演讲《新四化背景下欧洲汽车行业的机遇与挑战》。

黄亮朝 克劳斯塔尔工业大学 博士研究生

郑州大学/克劳斯塔尔工业大学博士研究生。

研究领域：储能安全管理，储能政策分析，储能经济性分析。

主要贡献：参与撰写政策建议报告，被国家发改委地区司采纳 1 次，被省级政府部门采用 4 次。累计参与十余项课题研究，发表核心及以上论文 4 篇，SCI 1 篇，EI 1 篇。获国家级奖项 1 次，省级奖项 5 次，校级奖项若干。

刘贺娟 中国科学院武汉岩土力学研究所 研究员

研究领域：碳封存与能源（天然气、热能等）地下储备体系地质体完整性与高效性。

主要贡献包括：（1）提出多数据约束的复杂地质结构储层表征方法，建立了含天然裂缝岩体裂缝扩展和流动传热的热-流-固耦合数学模型，形成了复合型的热刺激-化学刺激-水力压裂热储改造技术；（2）建立了 CO_2 增渗-增压驱热-换热的强化采热技术以及 CO_2 协助地热开采的选址评价指标体系；（3）形成了圈闭地质体动态密封性渗流-应力-损伤耦合理论和评价方法，明确了气体在复杂地质体内渗流运移规律、岩体损伤、应力应变响应。

社会职务：担任中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会委员，《古地理学报》编委、《Advances in Geo-Energy Research》青年编委、《工程科学与技术》青年编委、《岩土力学》英文版科技编辑，国际女性地热组织 WING 成员、国际地热协会(IGA)会员等，担任多个国际 SCI 期刊 JRMGE, Geothermics, Geothermal Energy, Hydrogeology, Journal of Structural Geology, Environmental Earth Sciences, Mathematical Geosciences, Renew and Sustainable Energy 等的审稿专家。

廖建兴 贵州大学土木工程学院 讲师

地热开发、热储改造、热生产优化、超临界 CO_2 增强型地热、流固热耦合非常规油气开发、水力压裂、支撑剂铺设、页岩气储增渗改造、 CO_2 地质封存、生产优化。

主要贡献：开发了超临界 CO_2 深部地热改造开采的系列数值仿真技术；研发了非常规油气压裂、支撑剂铺设、反排、生产全过程数值仿真方法，并将上述方法用于非常规油气藏改造和深部地热开发研究，取得一些研究成果。

李孔斋 昆明理工大学 教授、博士生导师

李孔斋，男，1981年生，教授，博士生导师。教育部“长江学者奖励计划”青年学者、云南省中青年学术带头人和首批省万人计划青年拔尖人才，获云南省政府特殊津贴、云南省青年科技奖、云南青年五四奖章和云南省杰出青年基金等，入选全球顶尖科学家数据库。获云南省自然科学特等奖1项（2020，排名2）、二等奖1项（2008，排名7）、作为核心成员支撑“昆明理工大学冶金节能减排创新团队”获云南省科技进步一等奖（创新团队类）1项，获云南省教学成果一等奖1项和中国有色金属学会高等教育教学成果一等奖1项。主持国家和省部级科研项目17项，含国家自然科学基金面上项目3项和云南省重大研发计划及省杰青项目2项。在Chem、Nat. Commun.、Chem. Soc. Rev.等著名期刊发表SCI论文153篇，第一或通讯作者95篇，一区论文56篇，他引3600余次，5篇入选ESI高被引，H因子36；出版学术专著1部；第一发明人授权中国发明专利16件，7件实现应用。兼任中国有色金属学会节能减排专业委员会委员、中国能源学会专家委员会委员、Chinese Chemical Letters青年编委会委员、International Journal of Coal Science & Technology编委会委员和中国稀土学会催化专业委员会委员等。



面向冶金节能减排重大战略需求，研发了 CO_2 -CO共氢化制甲醇新技术，解决了高炉煤气多碳源分离碳捕集能耗高且转化效率低的难题，设计了年产30000吨甲醇的高炉煤气制甲醇装置，推动了钢铁企业碳减排技术进步。研发的新型稀土储氧材料，突破了高温储氧材料制备的“卡脖子”技术，被孙传尧、何季麟和张文海院士等著名专家评价为“国际领先”。发明的蓄热型催化剂在冶金烟气净化实现应用，创造经济价值1.13亿元，年均降低有害气体排放数万吨。成果两次在国家自然科学基金委网站首页报道，科技日报亦进行了深度报道，成果获云南省自然科学特等奖。

作为指导教师，带领学生获“全国大学生节能减排社会实践科技竞赛”与“全国大学生冶金科技竞赛”一等奖 4 项、二等奖 4 项、三等奖 5 项，获全国“互联网+”大学生创新创业大赛云南省金奖 3 项（其中亚军 1 项）、银奖 2 项，获第一届云南省大学生节能减排社会实践与科技竞赛省级一等奖 1 项和优秀指导教师奖 1 项。指导研究生获省研究生优秀成果奖、优秀毕业论文、优秀毕业生，多人获国家和省政府奖学金，为西部边疆地区培养了一批优秀国际前沿科技人才。

刘鹏飞 郑州大学 助理研究员

博士毕业于中国科学院过程工程研究所。

研究领域：

(1) 磷资源加工与高效利用：对中低品位磷矿、湿法磷酸、萃余酸、含磷废水的梯级全量化利用开展研究；

(2) 固废资源化利用：围绕磷尾矿、磷石膏、镍钴渣、黄钾铁矾渣、高炉渣等固废的资源化开展工作；

(3) 矿产资源高效利用：对中低品位有色金属矿物开发利用；

主要贡献：

(1) 申请发明专利 3 项，发表学术论文 10 余篇；

(2) 开发了生物基聚氨酯包膜肥料；以湿法磷酸为原料制备了肥料级大颗粒磷酸二氢钾产品；对高炉渣中的镁、铁、硅资源实现了梯级利用；分离回收了镍钴渣中的锌、钴资源； $ZnO - Na_2O - H_2O$ 体系的结晶动力学研究，为中低品位氧化锌矿或含锌固废的利用奠定了理论基础。

(3) 主持了横向项目“镍钴渣资源化利用研究”；作为项目骨干参与了“十四五”国家重点研发计划“氮高效氮长效绿色智能肥料产品研发及施用技术”子课题、“十三五”国家重点研发计划“适用于水肥耦合和机械施用技术的产品研制”子课题，横向项目“新型高聚合率高水溶聚磷酸铵产品特性技术研究”和“预处理磷酸制备磷酸二氢钾技术研究”等。



刘涛 四川大学新能源与低碳技术研究院 副研究员

主要从事电化学制氢与 CO_2 减排利用等相关研究。在 CO_2 减排利用方面，创新将前沿电化学技术与 CO_2 矿化过程相结合，开展了 CO_2 矿化发电、 CO_2 矿化处理高矿化度地下咸水等多项 CO_2 减排利用新方法，在 CO_2 资源化、能源化利用方面做出了一定贡献。近两年，开展了海水直接制氢和空气直接制氢等前沿技术的探索。主持国家重大科研仪器项目课题 1 项、基金委重大研究计划集成项目课题

1 项、自然科学基金 1 项、四川省国际合作项目 1 项，2020 年获得四川省技术发明一等奖(排名第二)，发表论文 10 余篇。

任利 四川大学 副教授

瞄准国家双碳战略，长期从事深层非常规低碳能源开发与深地科学方面的研究工作。承担国家级、省部级及工程科技攻关项目 12 项(国家级经费 581.7 万)，发表 SCI/EI 论文 62 篇，申请/授权发明专利和软著 43 项，获河南省科技进步二等奖。聚焦深部储层压裂改造关键力学过程，突破了经典岩石断裂力学的裂尖圆形非线性区假定，构建了从二维到三维、各向同性到各向异性的深部岩石裂缝扩展理论体系，为深部储层裂缝扩展分析提供了关键理论基础;发现了储层岩石裂缝扩展阻力随埋深非线性增加的新现象，揭示了不同深度储层压裂响应差异及其地质-力学控制机理，突破传统储层压裂增透评价技术的裂缝扩展参数和模型都与深度无关的技术瓶颈，开发了适应深部原位环境的储层压裂模拟与评价技术，为保障深层非常规油气开发提供了可靠的增透评价与压裂工艺优化手段。研究成果为深层非常规油气开发技术创新提供了依据，科学指导了涪陵区块、丁山区块、四川盆地沙溪庙组致密气等 10 余口水平井压裂工艺优化，包括实现了龙马溪组深层页岩气储层可压性评价、稳产关键影响因素分析与压裂工艺优化、沙溪庙组致密砂岩气储层密切割工艺优化等，获中石化勘探分公司高度评价并获评优秀科研项目，为深层非常规清洁能源开发技术创新、保障国家能源安全贡献力量。

社会职务：担任深地科学领域第一本国际期刊 *Deep Underground Science and Engineering* 青年编委、中国科技精品期刊《工程科学与技术》青年编委。

宋东华 石家庄众易核芯互联网科技有限公司 总经理

个人履历：2008 年 6 月-2009 年 6 月中国第一汽车集团有限公司红旗研发中心、项目主管；2009 年 6 月-2012 年 6 月在北京航空航天大学机器人研究所张玉茹教授团队；2012 年 6 月-2015 年 9 月在北京航空航天大学第七实验室贾英民教授团队；2015 年 9 月-2020 年 6 月，长城汽车股份有限公司保定技术研发分公司从事研发工作，任职项目经理。从事车联网及线控底盘研发工作。2020 年 6 月至今山西省自动化研究所。2019 年 1 月至今石家庄众易核芯互联网科技有限公司总经理。



研究方向：智能车联网、触觉人机交互技术、数字化产品设计技术、医用机器人、机器人灵巧操作、机器视觉测量技术。从事不确定系统的鲁棒控制理论及应用研究，获得了多项具有国际水平的成果。发现了多个对象同时镇定问题的分

组镇定规律并给出了控制器的设计算法。

2019 年入选国家百千万人才工程，授予“有突出贡献中青年专家”荣誉称号。2020 年 1 月取得了技术经纪人（经理人）资格证书。从事“京津冀”科技成果转移转化工作。2020 年 12 月获得高级工程师资格。2021 年任中德碳中和能源与创新委员会委员。科技部中信所入库专家。河北省政府采购评标专家等。石家庄中海创新博士研究院博士团特聘专家。藁城区青创协特聘人才顾问。

2015 年 11 月至 2019 年 11 月 973 计划、重大科学研究成果 2 项,2019 年 973 计划、重大科学研究计划顺利结题通过验收；成果已成功转化应用“天问一号”火星探测器，压电精密驱动功能部件评价优异；发明专利 6 项；实用新型专利 20 余项。

孙伟 昆明理工大学 教授、博士生导师

孙伟，教授、博士生导师。云南省“万人计划”青年拔尖人才，昆明理工大学国土资源工程学院资源开发工程系主任，云南省中-德蓝色矿山与特殊地下空间开发利用重点实验室研究成员，兼任中国有色金属学会第八届采矿学术委员会委员、中国（德国）研发创新联盟-碳中和与能源转型专业委员会委员、云南省应急管理厅专家等。长期从事金属矿绿色开采、矿山废弃空间综合利用相关的教学科研工作，曾赴德国、赞比亚等国家从事访学、科研工作。主持并参与了包括中国有色矿业集团、中国铝业、云南锡业、中国黄金集团等企业横向科研项目 36 余项，国家自然科学基金、国家重点研发计划等项目 5 项。发表学术论文 60 余篇，其中 SCI/EI 收录 20 篇。获中国有色金属工业科学技术奖一等奖、中国黄金协会科学技术奖二等奖等奖励。



云南省中德蓝色矿山与特殊地下空间开发利用重点实验室：云南省矿产资源丰富，矿业在云南省年工业总产值中的比例已达到 30%~40%。目前云南省大量的矿山资源逐渐枯竭，已进入了开采末期，人、社会、经济、环境的协调发展已成为制约云南省循环经济建设亟需解决的关键问题。云南省水能等清洁能源发电量比重超过 85%，在大规模建设清洁能源基地的同时又存在着严重的弃能现象，已成为制约云南省清洁能源开发的瓶颈。蓝色矿山是以降低资源消耗、追求循环经济、保护生态环境为目标，将传统的绿色生态理念与实践贯穿于矿产资源开发利用的全过程。矿井储能技术是利用采矿形成的巷道与空区来蓄水发电，实现清洁能源的稳定供给。因此，采用矿井抽水蓄能发电一体化技术，可以利用矿山开采形成的巨大地下空间，实现可再生能源开发和矿产资源绿色开采的协同发展。为此，昆明理工大学和德国克劳斯塔尔工业大学侯正猛教授合作创建基础

性、跨学科和开放式的云南省中-德蓝色矿山与特殊地下空间开发利用重点实验室，为蓝色矿山建设、矿井水循环利用与抽水蓄能发电一体化技术的应用提供技术保障。

孙铤 中国汽车技术研究中心有限公司 中汽数据有限公司

生态业务部绿色低碳研究室研发专家，中德应对气候变化项目组中方专家，生态环境部、工信部等汽车行业碳达峰碳中和研究专家，中国科学院生态中心硕士行业导师，阿岗实验室、柏林理工大学访问学者，清华大学环境学院客座讲师，The International Journal of Life Cycle Assessment 编委，Applied Energy、Journal of Cleaner Production 等审稿人。研究方向包括生命周期评价方法与应用、碳足迹分析、碳排放标准政策研究、低碳技术、碳中和路径分析、资源效率和生态价值研究等。



王殿举 东北石油大学 讲师

2019 年获北京大学博士学位。黑龙江省天然气水合物高效开发重点实验室成员。研究方向主要为地球动力学、含油气盆地分析、天然气水合物高效开发和 CCUS 二氧化碳注入井流动保障方向的研究。指导学生参加各类大赛获得中国石油工程设计大赛国家三等奖 3 项、中国海洋油气工程设计大赛国家三等奖 1 项、中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛国际铜奖 1 项。相关研究成果已在地学前缘、石油勘探与开发、地质学报、大地构造与成矿学、石油学报等期刊发表论文 10 余篇，其中第一作者 5 篇，通讯作者 2 篇。获教学成果奖 2 项，主持科研课题 6 项，其中教育部产学研项目 4 项，市厅级项目 2 项。参与完成国家科技重大专项 2 项，省级重点研发项目 1 项。

王莉 郑州大学 教授级高工

国家首批注册环境影响评价工程师，现任郑州大学环境政策规划评价研究中心副主任、郑州大学环境管理与修复研究所副所长、郑州大学环境技术咨询工程有限公司总工、河南省健康科技学会理事、河南科技智库能源与环境管理研究基地专家、中英创新促进会专家委员会。主要研究领域：环境政策规划、环境评价、减污降碳、生态修复理论与技术。

主持完成国家科技重大专项子课题、任务各 1 项，参与国家科技重大专项课题 3 项和国家自然科学基金 2 项，主持或参与省科技攻关、省高校重点项目 6 项。获省部级科技进步奖 3 项，国家发明专利 8 项。

社会职务：河南省健康科技学会理事、河南科技智库能源与环境管理研究基地专家、中英创新促进会专家委员会。

王琪琛 克劳斯塔尔工业大学 博士研究生

郑州大学/克劳斯塔尔工业大学石油工程博士研究生一年级。

研究领域：碳中和与绿色能源，人工智能在综合能源系统中的应用，智能多板块耦合的清洁能源系统，能源系统管理自动化等。

吴林 德国克劳斯塔尔工业大学 研究助理

研究领域：二氧化碳压裂、二氧化碳强化采气、二氧化碳封存。

主要贡献：建立了非常规气藏热流固化耦合的二氧化碳压裂-焖井-返排-驱替一体化模型，开发了 COMSOL-MATLAB-PHREEQC(CMP)耦合模拟器，明确了二氧化碳在非常规气藏资源化利用过程中的增产机理及封存机理。此外，所开发的 CMP 模拟器还可用于研究二氧化碳增强地热系统、二氧化碳地下甲烷化等过程中的热流固化耦合过程。

吴旭宁 德国克劳斯塔尔工业大学 研究助理

研究领域：固井水泥环密封完整性评价，改性水泥浆体系。

主要贡献：搭建复杂服役载荷下水泥环密封完整性评价实验平台，可分别模拟控制水泥环组合体的套管内压和地层围压，实现水泥环在井下所处的温压环境。研究了油、气井及储气库井典型水泥浆体系的密封完整性，探明了水泥环暂封完整性失效机理及主控因素。

谢凌志 四川大学新能源与低碳技术研究院 教授

主要研究领域为：1. 页岩油气等非常规油气开发、CO₂地质封存和利用、地下能源（天然气、压缩空气、氢气）储备库中的岩石力学；2. 太阳能建筑一体化与建筑中的多能互补。主持国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”重点专项一项，国家自然科学基金二项，四川省重大前沿应用基础研究项目一项，四川省国际科技创新合作重点项目一项；主研国家自然科学基金和科技部重大国家科技合作项目五项；主持主研横向科研项目 20 余项。探索了盐穴二氧化碳封存库闭库后的长期性能；建立了基于页岩微细观结构特征的各向异性跨尺度力学模型，开发了一套模拟页岩水力压裂三维缝网的计算软件；结合国家西部地区的分布式能源开发利用需求，与英国埃克塞特大学/诺丁汉大学等高校企业开展国际科技合作，形成一套完整的西部村镇民居光伏建筑一体化设计、施工和能效评价

技术。相关研究成果在《International Journal of Rock Mechanics and Mining Science》、《Rock mechanics and Rock Engineering》、《Journal of Petroleum Science and Engineering》、《Renewable Energy》、《Engineering Structures》、《中国科学：物理学 力学 天文学》、《土木工程学报》、《岩石力学与工程学报》《岩土力学》等国内外权威刊物上发表论文 80 多篇，授权/申请发明专利 19 项，2015 年获四川省青年科技奖。

社会职务：四川省新型能源系统与工程安全国际科技合作基地主任；四川省科技协同创新促进会碳中和专委会副主任委员；四川省土木工程学会青年科技人才专业会主任委员；民革四川大学委员会主委；成都市政协委员。

谢亚辰 克劳斯塔尔工业大学 博士

主要研究领域包括：

（1） 碳中和目标下的可持续发展

使用碳-能-水、水-食品-能源等多学科耦合模型，综合分析，检验各种碳中和努力的可持续性，以及能源、水、碳排放、食品生产之间的协同效应以及平衡作用。对中国能源系统和煤炭生产的转型方案以及湄公河流域水电系统等的可持续性发展提出了建设性的意见。

（2） 人类行为对周边土地利用以及可持续发展情况的改变

使用卫星遥感图像分析方法，系统性的检验一些政策对土地利用与其涉及的资源可持续发展状态的改变。对中国的退耕还林政策，湄公河流域水坝建设等人类行为所造成的土地利用变化和水-能源-食品系统的影响进行了系统性的分析。

张茹 四川大学水利水电学院 教授

着眼于国家深地探索的重大战略需求和科学前沿，紧密结合国家双碳目标，长期从事深部岩石力学基础探索和深部固态资源开采、地下储能技术及地下空间工程利用等应用创新研究，相关成果服务于千米级煤炭资源开采基地及世界埋深最深 2400m 锦屏地下实验室等深部工程实践，有效提升了深地资源开发及深地空间利用的经济社会效益。担任深地科学与工程教育部重点实验室执行主任。国家自然科学基金委杰出青年科学基金、优秀青年科学基金获得者，四川省青年科技创新研究团队带头人，四川大学二级教授及“双百人才工程”A 类资助、孙越崎青年科技奖、四川省青年科技奖获得者，四川省有突出贡献优秀专家。负责了国家自然科学基金委杰青、优青和重点基金、省青年科技创新团队、省应用基础研究计划、国家重点研发计划等项目 20 余项；发表学术论文 168 篇（SCI/EI 收录 146 篇），出版著作 4 部，申请发明专利 103 项（授权 43 项）、软件著作权 15 项，获得教

育部科技进步一等奖(第 1)、河南省科技进步二等奖(第 1)等 9 项省部级科技奖励。

社会职务：深地科学与工程教育部重点实验室执行主任，中国岩石力学与工程学会理事，中国岩石力学与工程学会工程设计方法分会常务理事，四川省岩石力学与工程学会理事，中国岩石力学与工程学会教育工作委员会委员，成渝科创联盟项目评估咨询专家，四川省减灾委员会专家，德国克劳斯塔尔工业大学中国校友会西南分会副理事长，《Rock Mechanics and Rock Engineering》、《工程科学与技术》等期刊编委，《Deep Underground Science and Engineering》期刊青年编委主任。

张海翔 东北石油大学 副教授

博士研究生阶段为东北石油大学与德国克劳斯塔尔工业大学联合培养博士研究生，国内外攻读博士期间致力于油藏评价开发一体化、天然气水合物高效开发和 CCUS 二氧化碳注入井流动保障方向的研究，指导学生参加各类大赛获得中国石油工程设计大赛国家一等奖 1 项、中国石油工程设计大赛国家二等奖 4 项、中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛国际铜奖 2 项；指导学生参加省级创新创业训练项目 1 项目、校级创新创业训练项目 1 项；主持省级教改项目 1 项目；获得黑龙江省教学成果一等奖 1 项目；发表学术论文 30 余篇；申请发明专利 12 项，实用新型 3 项；参编论著 4 部；授权软件著作权 4 项；获批教育部产学研项目 2 项；主持省级基金项目 1 项、厅局级基金项目 3 项、油田科研项目 10 项，参与国家工信部重大课题 1 项、国家十三五重大专项 2 项、省部级项目 5 项、油田科研课题 80 余项，主要负责能够独立油藏描述、油气藏开发、天然气水合物高效开发和 CCUS 二氧化碳注入井流动保障等方向的研究工作。

社会职务：东北大学海洋油气工程专业副主任；国家教育部“互联网+”大学生创新创业大赛专家库成员；黑龙江省天然气水合物高效开发重点实验室成员。

张灿 四川大学

研究领域主要集中在面向地理信息系统的程序二次开发、针对合成孔径雷达干涉(InSAR)数据的异常值检测及地下矿井抽水蓄能系统的设计及仿真验证。在德期间参与了由德国石油与煤技术协会(DGMK)资助的 DGMK680-3 项目,后担任由德国联邦教育与研究部(BMBF)资助的克劳斯塔尔工业大学中国能力中心项目主管。回国后参与了由中华人民共和国教育部批准的四川大学与德国克劳斯塔尔工业大学合作举办电气工程及其自动化专业本科教育项目,继续助力中德能源及碳中和工程技术领域的联合人才培养及科技创新合作。

五、对中国的启示

应该说德国的能源转型是一个非常复杂的超大型项目，里面有许多包含了电力系统、可再生能源、电动汽车和智能建筑甚至金融通讯诸多领域的概念，即使是很多官员和专业人士也未必搞得清楚，但是对于广大民众而言，简单起来综合成一句话理解就可以了：所谓能源转型，就是要先在能源消耗中大大提高电的使用比例，再在电的生产中大大提高可再生能源的比例。

德国实施能源转型和碳中和战略过程中更为关键的是在政策、技术和市场模式三个维度中充分实现和发挥三者之间的匹配和互动，并稳步推进从技术创新和验证、模式创新及验证、再到市场落地和复制的过程，从而实现可持续性发展。

技术上我们必须明确，由于可再生能源的潜力是有限的，因此全面供应目标也必须包括能源节约和有效利用，即现在非常流行提到的需求侧管理和能效管理。无论如何，能源节约并不仅涉及技术措施，也包括建立节能的生活方式和消费模式。而这，已经足够让政府管理者明白确定一个衡量某地区是否达到 100% 可再生能源的体系，必然已经超越自然科学的范畴而到达社会学领域。

对中国来说，以用户侧为中心构建以气候中和为最高目标的转型终局，以终为始来搭建实施路径。温室气体除了二氧化碳还有其他六种气体，所以温室气体净零排放是比碳中和更加严苛的目标。而德国正是从一开始就选取是温室气体净零排放这个气候中和最高目标，并且在能源、交通、建筑等社会生产生活主要领域和行业推进合作协调齐头并进，从而也让城市能源系统为主要场景单元的改造成为重中之重。这种顶层设计和综合体系打造更加适合严苛的目标管理。因此，中国的碳中和发展最终要引领全球发展，而不只是完成十四五或者某一阶段的发展纲要，也可借鉴推高目标以终为始的改造之路。

在碳中和实现方式上，节能降耗、提高效率是中国企业首选的减碳方式。除此之外，能源替代、节省原材料或原料替代等循环性技术路径、建立一套可持续的能源管理及温室气体管理体系的长期规划亦将成为越来越多中国企业青睐的减排方式。

德国在碳中和的道路上不仅要快速实现能源、交通、建筑转型，还要完成放弃煤和核能甚至天然气，对于这个 8000 多万人口，东西南北拓展不过近千公里的国家来说，在这个计划里已经实现的和将要实现的，并不简单。但这恰恰反映了德国人最朴素的科学发展观：确立一个目标，制定一项政策，其目的不是为了确定文字和数字的表达。任重道远的改革者，不仅要冷静的制定出长期的整体能源发展战略并对全社会经济生产各环节作出通盘考虑，更重要的是必须结合自身资源配置和新技术发展的趋势找到最切实的突破点。

德国碳中和技术和产品从示范项目到产业落地推广形成了联邦和地方政府各自补贴，大公司小公司各有贡献的共享型协作体系。特别是除了大城市级别的各种智慧综合能源示范，特别针对很多中小城市、乡村振兴型新城等地区，并不集中在首都金融中心，也不依赖于西门子奔驰等超大型公司，而是因地制宜和有意识的让很多地方研究机构和中小创新公司加入，提升整个行业的零碳意识和人人有为的参与意识。

如果要做一件长期多方有益的事情，就必须从小到大不断传输对能源转型的理念，培养基层尤其是创新公司认真对待的热情和态度。看准民众关心的要点，让普通民众也能分享能源转型的红利，是很多政策最原始的初衷。经过一段时间的发展，正是因为利益的均享才使得民众们怀有了更渴望了解和参与能源转型的态度，更重要的是提高居民们对碳中和的认同度----而要做到这一点，政府能够大胆创新并树立可以让多方得利的指导精神非常重要。

从单纯的利益上讲，碳中和实际上不是一件赚钱的事情，而是用额外的花费换取更加绿色和高端的生活生产质量。因此，德国允许能源价格的上升但注重能源市场、碳交易市场的建设。从早期就非常注意引导金融系统对建筑能效改造、风电光伏储能电站等项目的投入和收益测算保证了金融系统足够的支撑和风险意识。同时通过交易市场建设为碳中和技术和落地新型商业模式提供基础。

因为能源转型，其实也是社会转型、行为转型，它在今后几十年对整个国家和社会的影响，实在是会超乎所有人的想象。而德国的能源转型经验可以带给我们最好的影响，也许不在于最后的技术模式和实施轨迹示范，而恰恰在于那种道路自信所带来的社会凝聚力。在这一点上，中国的工业体系更加完备，产品出口量更大，理论上应该比德国在碳中和领域产生的影响更加深远和有确实的综合性收益。

廖宇

中国（德国）研发创新联盟
碳中和与能源转型专业委员会副主任委员

2022年6月

六、结束语

中国（德国）研发创新联盟，碳中和与能源转型专业委员会的 2022 年白皮书到这里就要收尾了，我们从能源，工业，交通以及建筑等四大领域为主总结了欧洲特别是德国在碳中和及能源转型方面的行动和未来计划，简单概括了对于中国的启示。

未来 30 年到 2050 年是人类关键的 30 年，也恰恰是我们这代人的历史使命。全球化给人类，环境及资源带来的影响，气候变化所带来的负担，人口过剩及城市越发的重要性是 21 世纪面临的重大问题，因此必须找到建设性的解决方案。到 2030 年，大约 60% 的世界人口将居住在城市中，他们大约将消耗全球 85% 的总资源。目前，全球二氧化碳排放近 80% 来自城市，同时世界自然基金会 (WWF) 也估计，在未来几年里，将会投放在城市基础建设的资金约为 350 万亿(兆)美元。未来 30 年的基础建设特别是能源投资对于我们的星球至关重要，选择错的方向会带来几乎不可逆转的生态以及经济后果。因此，我们每个在这个行业里工作的人们，都应看到我们将面对的是什么，我们身上的历史责任是什么，我们要给我们的子孙后代留下一片碧海蓝天！

而且我们越来越清晰的感受到，无论在欧洲还是在中国，碳中和与能源转型问题已经不仅仅是一个专业性的技术问题，而已经发展成为一个社会问题甚至是哲学问题，正如《道德经》中提到：“人法地、地法天、天法道、道法自然。”我们需要怀着“同一个地球”的生活理念去生活和工作。此次低碳和绿色经济和科技的大发展，其深远意义必将写入人类发展的史册，其意义和贡献将不亚于人类历史上的其他创新，与类如铁路的发明，内燃机，现代石化，和飞机学的发明等等一样将对人类社会有着及其深远的影响。这场绿色革命必将影响到人类生活的各个方面。

2022 年是一个不平凡的一年，是一个写入历史的一年，全球正经历着无论是政治领域，还是经济方面极大的挑战，能源危机逐渐显现，全球化遇到瓶颈，人类共同体前方的道路任重道远。今年也正值中德建交 50 周年，作为中国（德国）研发创新联盟成立的第一个专业委员会，我们也想借此机会，向中德建交 50 周年送上一份礼物和祝福，中国和德国在低碳能源领域是世界上两个重要的大国，对全球的健康发展肩负着重要的责任，我们已经为下一个 50 年实现共同远景做好了准备。

碳中和与能源转型专业委员会的 2022 年白皮书正是在上面的思路和历史背景下书写总结出来的，特别感谢中德两国相关政策指导机构，以及很多领导和专家的支持，感谢中国（德国）研发创新联盟主席团和各个会员单位的支持，特别

要提及的是，感谢碳中和与能源转型专业委员会主任委员侯正猛教授对于整个白皮书的策划和牵头，以及侯教授的学生杨云浩和赵旭积极参与到工作中，还要感谢中国（德国）研发创新联盟秘书处郝冠琦秘书长，以及柳毅，还有邢丹、郭行智、王嘉伟等参与的撰写和编辑工作，包括碳中和与能源转型专业委员会副主任委员廖宇和我在内，都希望尽可能地把一份有价值的专业资料展现给大家。感谢大家在百忙之中的阅读并希望您可以提出宝贵的意见，让我们更好地在下面的工作中发挥力量。

李煜

中国（德国）研发创新联盟副主席
碳中和与能源转型专业委员会副主任委员

2022年9月

碳中和白皮书 2022 编委会

主 编：

侯正猛

副主编：

（姓氏拼音）

郝冠琦

李 煜

廖 宇

柳 毅

编 委：

（姓氏拼音）

郭行智

王嘉伟

邢 丹

杨云浩

赵 旭