SIEMENS

西门子中国
碳中和白皮书

执行摘要

2020年，中国首次明确了实现碳达峰、碳中和的决心，是迄今为止在国际范围内减排承诺力度最大、面临挑战最艰巨且时间窗口最紧迫的国家之一，彰显了其对全球可持续发展的责任和担当。能源消耗需求巨大、第二产业结构较传统、能源使用效率不高和清洁能源利用率较低皆为中国高碳排放总量的诱因。伴随着中国经济的韧性发展，未来碳排放压力仍将集中于能源及工业领域；交通与建筑领域碳排放在未来人口增长及持续城镇化的背景下占比也将持续保持增长，同样也是“双碳”路径上的重要环节。各行业中的企业则需要在发展壮大自身业务的同时，对深度脱碳进行合理的投资，实现其“双碳”目标；而如何运用好创新的减碳技术，是确保企业市场竞争力并实现碳中和极为重要的抓手。

为实现“双碳”目标，政府与企业应以精准盘查碳排放基线为起点，设立对经济发展具有可持续性的零碳路线图及强落地性的实施抓手；同时须避免“运动式减排“，结合行业和企业内外部实际情况制定科学、系统的“双碳”顶层规划。最后，在“双碳”之旅中根据经济与业务发展情况、政策环境变化以及减碳技术更新，迭代并调整路线图。西门子认为在深度减碳和碳交易中的创新技术应用，是企业在未来碳中和赛道中的核心推动力。

西门子作为全球率先做出碳中和承诺的大型科技企业之一，承诺将于2030年在业务运营中实现碳中和。同时，作为全球数字化创新技术的领军者，西门子致力于以科学的咨询规划为支点，先进的数字化解决方案为杠杆，助力各行业深度减碳。此白皮书陈述了西门子对各行业在碳中和方面的理解，同时也分享了与全球各类企业在碳中和领域的最佳实践，希望对读者在自身相关领域的零碳绿色发展之路有所启发。

EXECUTIVE SUMMARY

In 2020, China announced its national decarbonization target, aiming to reach carbon peaking by 2030 and carbon neutrality by 2060 – the so-called "dual-carbon" target. This is one of the most ambitious and time-constrained emission reduction targets across all countries worldwide that demonstrates China's commitment towards global sustainable development. Siemens believes that China's high carbon emissions can be attributed to several triggering factors: high national-level energy demand, conventional industrial structure, relatively low energy utilization efficiency and limited utilization of renewable energy. In the near future, the main focus areas of emission reduction will lie within industry and energy sectors. In addition, transportation and construction sectors call for close attention in the "dual-carbon" pathway, as emissions from these two sectors could increase in the context of further population growth and rapid urbanization. Besides putting efforts in achieving organic growth, it is suggested that enterprises invest in developing sophisticated decarbonization technologies. The proper application of innovative technologies is a key lever for them to achieve carbon neutrality and remain competitive in the marketplace.

To achieve the "dual-carbon" target, governments and enterprises should start with the precise baselining of the as-is carbon emission, followed by the design of economically sustainable "zero-carbon" roadmaps and implementable measures. A comprehensive emission reduction strategy should factor in both internal and external circumstances to be able to "walk the talk". Last but not least, organizations should consider the iteration and adjustment of their "zero-carbon" roadmaps where necessary, according to business situations, policy developments and advancement of decarbonization technologies. Siemens believes that the ability to apply innovative technologies constitutes the core competence for enterprises in their carbon neutrality journey.

Siemens is one of the very first technology companies globally that announced a firm commitment to carbon neutrality. We promise to become carbon neutral within our business operations by 2030. As a global leader in digitalization and innovative technology, we commit to assisting industries and corporate players in their decarbonizing journey using our consulting expertise as a pivot, and digital solutions as the lever. This white paper shares Siemens' industry know-how in the "dual-carbon" realm and showcases how we have helped our partners and clients in achieving carbon-neutral best practices. We hope that this paper could act as a knowledge base and point of reference for our readers and inspire them in their own "zero-carbon" pursuit.

目录

执行摘要 2

1

碳中和的目标与路径：从遥不可及到日渐清晰 6

2

“双碳”路线图落地：以双碳数字孪生为翘板，避免“运动式”减排 9

- 第一步：精准明确基线
- 第二步：顶层规划
- 第三步：实施方案设计
- 第四步：路线图迭代

3

碳交易：源头-排放-捕捉-交易全生命周期碳排放追踪 10

4

翻越碳排放“重重大山” — 各领域“双碳”挑战、机遇及技术路径 11

- 能源领域既面临着巨大的减排任务，又具备显著的减排空间 11
  能源领域未来减排路径
  能源领域技术赋能减排
- 工业领域排放情景复杂，需构建多维度、全产业链覆盖的工业低碳发展体系 13
  工业领域未来减排路径
  工业领域技术赋能减排
- 交通领域重点关注纯/混动技术及交通数字化技术 14
  交通领域未来减排路径
  交通领域技术赋能减排
- 建筑领域重点关注绿色建筑设计、低碳材料、智慧楼宇管理系统等节能降耗技术 16
  建筑领域未来减排路径
  建筑领域技术赋能减排

目录

5

西门子最佳实践分享 **17**

- “双碳”顶层规划 17
- 能源 17

  国家能源投资集团 — 高集成集装箱式加氢站
  鲁能 — 海西州多能互补 50MW 塔式光热电站
  三一重工 — 数字孪生与 Simcenter
  上海浦东连民村 — 全方位多能互补解决方案
  雄安新区 — 环保气体绝缘开关设备
- 工业 18

  可口可乐 — 漯河工厂能源管理系统
  重庆某水厂 — 基于数字孪生与工业人工智能技术的数字化泵站
  山东某大型炼油化工企业 — 预测性分析系统助力智能运维
  河钢 — 数字化转型
  荷兰皇家帝斯曼集团 DSM — 化工园区数字化解决方案
  济南某重卡厂区 — 智慧能源解决方案
- 交通 19

  上海申通地铁集团 — 轨道交通 18 号线全自动驾驶系统
  德国联邦铁路公司 — 新能源动力列车平台 Mireo Plus
  某地铁公司 — 数字化预测性维护服务平台
  德国汉堡市巴士总站 — 电动汽车充电解决方案
  博众精工 — 智能换电站解决方案
- 建筑 20

  芬兰赫尔辛基赛罗购物中心 — 分布式能源系统与智能楼宇解决方案
  西门子中国北京园区 — 分布式能源系统与智能楼宇解决方案
  青岛中德生态园 — 被动房与绿色建筑体验中心
  宁德新能源科技有限公司 — 厂区能效数字化解决方案
  法国巴黎 Thésée 数据中心 — 数据中心空间冷却优化技术 (WSCO) 解决方案

6

西门子严格按照科学碳目标倡议（SBTi）的标准制定了自身减碳路线图并保障实施与落地 **21**

- 范围一、二减排具体措施
- 范围三（供应链）减排具体措施

结语：西门子中国零碳先锋计划

碳中和的目标与路径：从遥不可及到日渐清晰

全球经过 30 年的不断摸索，碳减排基线、目标与路径逐渐清晰

全球气候变化是人类面临的最重大而紧迫的挑战之一。自 1990 年联合国发表《联合国气候变化框架公约》起，部分发达国家率先提出了自身节能减排的目标与路线图。随后的《京都议定书》、《哥本哈根协议》与《巴黎协定》等一系列国际层面框架协议将对温室气体减排的行动扩展到了更多国家中。

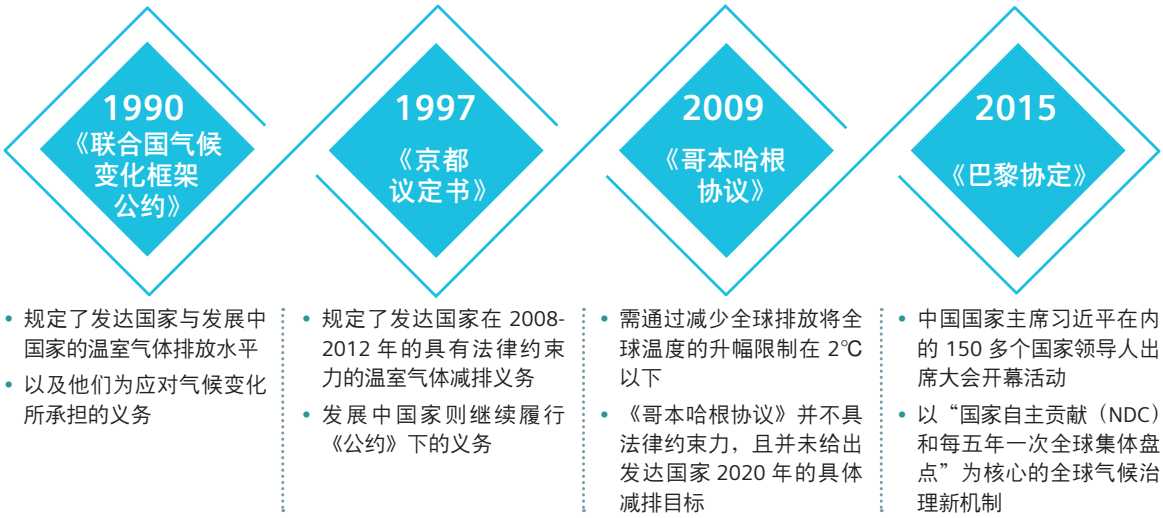

图 1. 国际气候变化框架协议发展过程

中国自 2009 年加入哥本哈根协议后，关键指标逐步向国际贴近

为应对气候变化，中国在过往十余年中分别提出 2020 碳减排，2030 碳达峰和 2060 碳中和三大愿景且随着时间的推移其具体目标愈发清晰，举措逐渐细化，力度逐步加大。2020 年，中国首次向全球明确了实现碳中和目标的时间节点，是迄今为止国际范围内在减排承诺中力度最大、时间最紧迫的国家之一。

2009 年，中国在哥本哈根联合国气候变化峰会上宣布 2020 年前单位 GDP 二氧化碳排放计划较 2005 年下降 40% 至 45%，并将其作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。这是中国首次提出温室气体减排清晰量化目标，且在 2017 年提前超额达成目标，取得了单位 GDP 二氧化碳排放较 2005 年下降了 46%[1] 的傲人成绩。2015 年 6 月，中国进而在巴黎向《联合国气候变化框架公约》秘书处提交了应对气候变化国家自主贡献文件，首次提出碳总量达峰概念：目标在 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现碳中和。2020 年 9 月 22 日，中国国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上强调，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，力争于 2030 年前达到碳峰值，2060 年前实现碳中和。

“双碳”目前最大的挑战为如何在保障经济可持续发展的情况下实现目标

中国碳排放量占全球总量约 30%，年平均增速大于世界平均水平[2]。相比欧美国家四十到七十年的窗口，中国作为发展中国家需要在三十年内由达峰走向中和。在未来“双碳”规划中必须走出具有“中国特色”的减排路径，在保障经济可持续发展的基础上逐步实现碳达峰、碳中和。另一方面，中国人均碳排放虽高于欧盟但仍不到美国人均碳排放量的一半，在碳达峰目标的实现上仍有一定缓冲空间，供政策制定者寻找最优路径。

[1] 中国国家发展和改革委员会
[2] 国际能源署

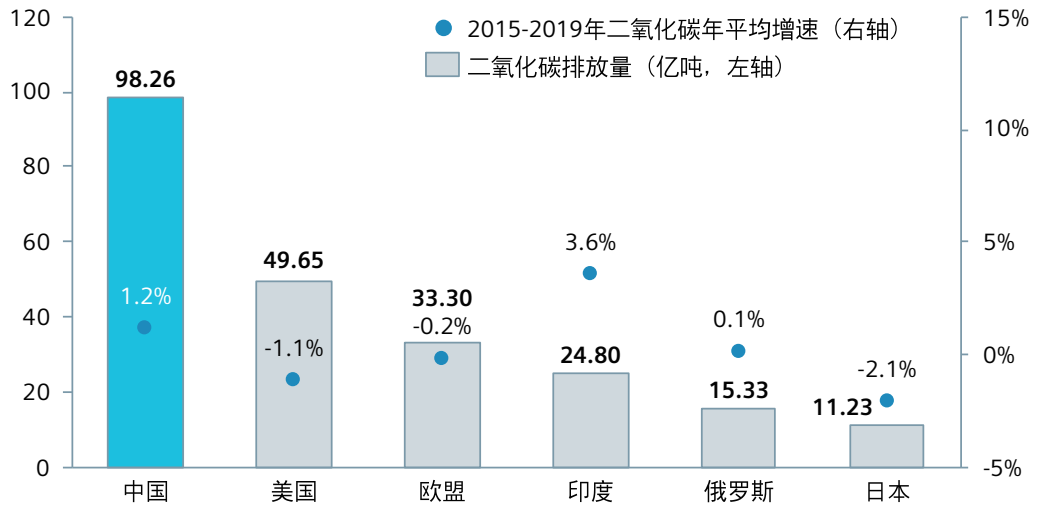

图 2. 全球 2019 年前六大国家或组织的二氧化碳排放量及 2015-2019 年二氧化碳排放年平均增速

从国际与国内行业标准及权威协会角度，计算碳排放主要方式以活动数据与排放因子相乘得出。如果单独聚焦某行业或某企业碳排放对环境的影响，通常需计算其直接排放与外购能源排放（外购电力、蒸汽等）之和得出；

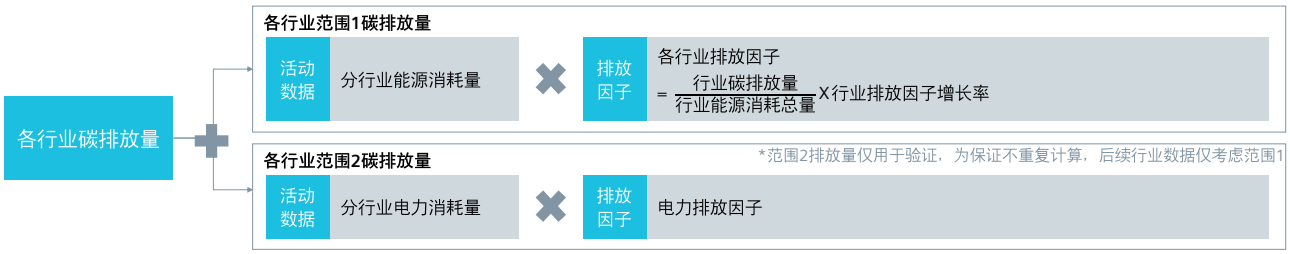

图 3. 各行业碳排放计算方法

西门子艾闻达咨询通过以直接排放为基础，外购能源排放为验证手段的排放模型，分析了各行业碳排放量，并得出 2020 年中国二氧化碳预估总排放量为 113 亿吨[3]。能源消耗需求巨大、经济结构较传统、能源效率较低、清洁能源使用率低都是驱动中国高碳排放总量的诱因。

就碳排放结构而言，中国的碳排放主要集中于工业（41%）及能源（46%）。下游消费端的交通（7%）与建筑（6%）虽然目前占比较小，但在未来人口增长及深度城镇化的背景下其占比将逐步提高，因此同样也是“双碳”路径上的重要一环。

[3] 其中不包括林业碳汇抵扣的 5.8 亿吨排放

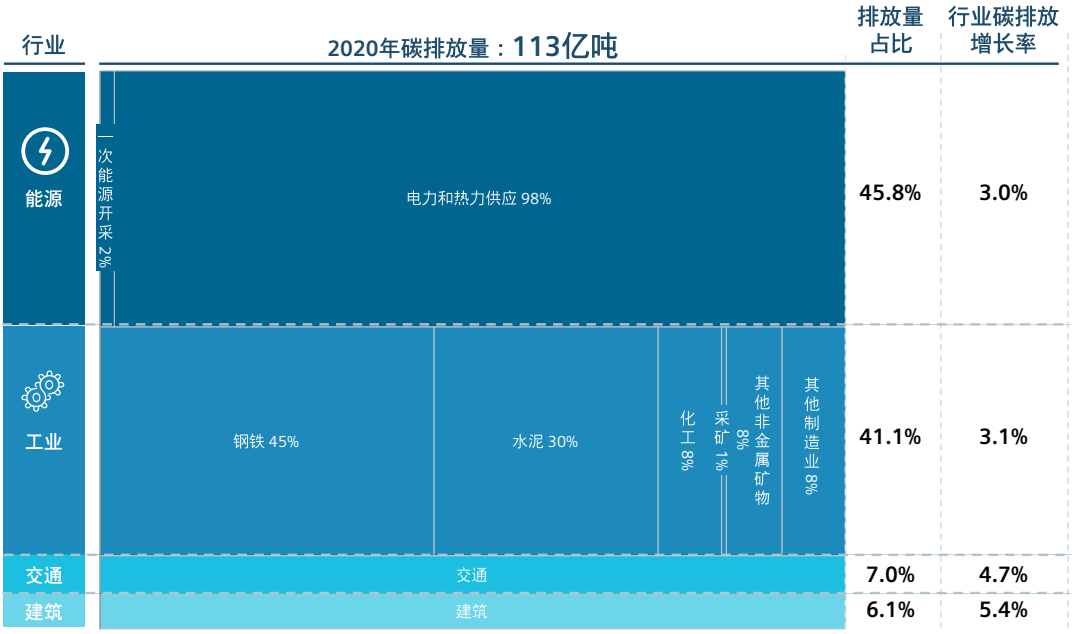

图 4. 2020 年中国碳排放总量分行业占比（除林业碳汇）

从中国整体能耗角度看，预计在 2030 年与 2050 年节点将较 2020 年分别增长 14% 与 2%，2050 年节点预计将较 2020 年增长 2%[4]；如果中国按照《巴黎协定》下提出的一系列计划与政策为行动指导，最后十年（2050-2060）将面临巨大的减排压力。由此可见，在实现碳中和的各路径中，中国至少需要以 2°C 情景为基础来制定相关路线图。目前中国目前超过 90% 的碳排放来源于一次能源消耗[5]，如需减少此类碳排放，则一次能源结构需从以化石能源为主大幅转型至以非化石能源为主，对中国整体能源、经济结构的挑战尤为巨大。

在执行层面，“双碳”目标也同样将面临来自多方的挑战，包括社会碳中和意识有限，参与度不高；地方政府对碳中和整体把控能力仍在起步阶段，行业耦合规划亟需加强；企业需要自主负担相对较高脱碳的成本，导致减排动力不足等。

[4] 清华大学气候变化与可持续发展研究院
[5] 国家统计局

“双碳”路线图落地：以双碳数字孪生为翘板，避免“运动式”减排

为实现双碳目标，政府与企业应从确定碳排放现状为起点，设立可实现、可执行的零碳路线图及强有力的实施抓手。由于“双碳”仍在起步阶段，最大的挑战在于如何避免“口号式”、“运动式”减碳。在双碳路线图落地的过程中，政府与企业首先需做到精确碳排查，确定整体排放基线。基于此基线进而设立“双碳”时间线，并进一步识别实施路径，寻找可行的落地方案。最终，通过周期性的路线图迭代，寻找并执行最适合自身的实施方案。

第一步：精准明确基线

对于政府与企业而言，减碳的首要工作是明确当下自身碳排放的情况，预测碳排放趋势并挖掘碳中和潜在提升领域。目前在各地方政府及企业的碳基线确定过程中依然存在大量挑战，例如，企业普遍存在三级能耗计量设备覆盖面不全、测量不准确的现象，继而无法得出现有设备、产线颗粒度的碳基线，导致最终无法对碳基线进行有效的解读。针对此痛点，设备数字孪生可以通过基于大数据与丰富行业经验形成的算法模型帮助企业迅速准确地计算碳基线，提升其有效性及即时性。

第二步：顶层规划

测定碳排放基线后，应制定“双碳”顶层规划，明确目标与路径。政府及企业需对未来外部行业趋势与自身业务及经济发展预期有充分认识与积累，结合内外部实际情况并参考专业减排技术库制定中长期“双碳”顶层规划。只有在基于自身禀赋及市场环境的规划形成后，地方政府、企业才能继续深挖，寻找出可落地、可持续且对业务、经济发展影响最小化的落地方案。

第三步：实施方案设计

政府

为实现“双碳”目标，政府在实施方案设计及推广阶段应明确碳排放准则，框定启动资金以及建立可落地的补贴政策：

- 建立区域 / 城市补贴政策及机制
- 制定绿色金融配套激励政策

企业

为实现“双碳”目标，企业在实施方案设计及推广阶段可以从四个层面寻找适合自身的减排路径：

- 战略部署层面
- 运营管理层面
- 技术升级层面
- 组织变革层面

以企业数字孪生为翘板，可以模拟仿真潜在技术库及减碳路线图的效果并基于结果灵活调整。

第四步：路线图迭代

企业实现并保持碳中和目标是一个长期持续的过程，随着企业的实施情况和政策环境的变化，需要引入具有实时跟踪与分析碳排放能力的数字化解决方案，并以此为输入迭代并调整路线图。

碳交易：
源头-排放-捕捉-交易
全生命周期碳排放追踪

作为“双碳”目标的重要抓手之一，碳交易旨在通过将环境“成本化”，促使企业从盈亏角度来提升能源使用效率、减少碳排放。经历十年试点，全国碳排放市场于 2021 年 7 月 16 日上线交易，成为全球覆盖温室气体排放量规模最大的碳市场。

在排放增长的同时，碳交易的健康、稳步发展也面临着挑战：

- 行业覆盖范围需进一步扩大，且配额分配方法需进一步优化
- 数据质量保障体系需进一步提高，对数据质量控制环节建立完善制度，降低数据作假风险
- 碳市场金融创新、碳金融衍生品对于市场的影响仍不明确
- 目前碳定价机制的潜力仍未得到充分挖掘

目前，由于中国碳排放交易市场是由政府主导的基于市场机制的特殊贸易，其主体交易架构仍旧基于传统的交易模式。西门子认为区块链技术由于其去中心化、可追溯、公开透明等特点，能有效聚合低碳产业链上下游碳配额交易信息。另一方面，通过结合工业边缘计算技术，跟踪记录从原材料到工业成品的累积碳足迹，可以为上下游玩家提供一个开放的、受保护的、可信任的碳足迹数据协作网络。未来，碳交易行业将迎来更多数字化变革的机遇。

翻越碳排放“重重大山”
— 各领域“双碳”挑战、机遇及技术路径

能源领域既面临着巨大的减排任务，又具备显著的减排空间

能源领域作为中国国民经济中最大的二氧化碳排放部门，2020 年碳排放占全社会排放总量的 45.8%。尽管过去十几年国家在推动清洁能源发展已经取得不少成就，但是在未来，中国在能源领域减碳进程上依然面对不同阻力：

化石能源发电：**煤电仍为电力结构中的主力军**

- 富煤、贫油、少气的资源禀赋决定燃煤电厂为发电主力，煤炭消费量大，部分机组发电效率较低
- 可再生能源发电占比较低，成本仍然较高，其发电功率的不稳定性给电网调峰带来压力

清洁能源：**生产与消纳不匹配**

- 风光水发电集中区域与高用电负荷地区不匹配，销纳能力不足，造成弃光、弃风现象

输配电：**输配电网中绿色产品普及率低**

- 输配电设备使用的六氟化硫气体具有很强的温室气体效应，且存在气体泄漏和回收等问题
- 输配电设备元器件材料及加工过程中的碳排放亟需引起重视，当前绿色产品普及率有待提高，智能化应用尚待推广

能源领域未来减排路径

从政策和市场两方面进一步推进能源电力体制改革

- 政策端：对电网企业消纳清洁能源出台激励政策，完善相关技术标准。
- 市场端：提高能源规划配置能力，平衡清洁能源与灵活电源的比例，传导销纳成本，引导相应的市场机制、价格机制向市场化并轨，建立清洁能源电力超额消纳量市场化交易体系。

从煤炭为主的高碳能源发电结构转向以清洁能源为主的低碳能源结构

- 调整合理的煤炭占比：
  需平衡煤电机组灵活性和保障可再生能源消纳的关系，逐渐使煤电从单纯保障电量供应，向提供辅助服务转变，并通过优化电力市场价格机制提升煤炭发电的经济效益。
- 合理利用气电：
  天然气发电虽仍属于化石能源发电，但气电在灵活性、稳定性以及节能减排等维度优势凸显。在煤电排放高、清洁能源不稳定的背景下起到承上启下的作用。通过对部分机型改造，未来燃气轮机同样有燃烧 100% 氢能的潜力，进而实现零排放。

- 推进碳捕集、利用与封存（CCUS）在电力行业的应用：
  CCUS 技术对控制其碳排放至关重要；中国 CCUS 应用尚处示范阶段，存在巨大发展空间；随着示范项目落地，需完善产业补贴政策，培育龙头企业，引导社会资本投入，形成合理收益模式以实现 CCUS 技术的广泛应用。
- 长远规划清洁能源发电：
  中国电力行业能源结构从煤电向清洁能源转型过程中，核心是解决经济性问题。未来各类清洁能源技术投资成本仍有大幅下降空间，在破除成本因素的障碍后，具备更大规模的应用空间。

能源领域技术赋能减排

短期内采取可以进一步减少温室气体排放量的产品与技术

推进可掺氢燃气轮机的示范项目落地，进一步减少燃气轮机的二氧化碳和氮氧化物等温室气体排放，并着眼于 100% 燃氢的终极目标，担起未来清洁能源体系中调峰的重任。

有针对性地对配电产品进行全生命周期低碳设计，降低传统输配电设备生产和使用过程中的污染，提升设备退役后的回收利用比例。同时，需增加绿色技术和产品的市场渗透率，如针对输配电开关设备，特别是在配电领域中常见的六氟化硫气体泄漏和回收问题。其根本的解决方案只有通过绿色技术，使用完全环保无毒无污染的环境友好气体作为绝缘介质，替代现有传统输配电开关设备六氟化硫技术路线，实现碳中和目标。

中长期应大力发展为大量新能源接入保驾护航的产品与数字化解决方案

- 推广多能互补的综合能源系统

  推广应用于各类园区、大型楼宇的综合能源解决方案。在项目规划设计阶段，基于当地资源条件对能源系统进行针对性设计，评估符合项目所在地资源禀赋的分布式能源技术路线，实现多能互补。在项目运行阶段，通过机器学习与数据 / 机理模型充分挖掘能源数据价值，在系统级别进行基于最优功率计划的优化调度，降低碳排放。

- 发展分布式能源系统与微网系统

  建设分布式能源系统与微网，鼓励以屋顶光伏为代表的分布式能源系统发展，并且通过数字化手段对分布式能源资产进行高效管理，保证系统的高可靠性和高效率运行。

  同时，采用先进的微网控制技术，灵活控制微网内各类可控设备，并将分布式能源系统自身及与大电网的互联互动进行有效的管理，从而提升整体城市能源网络的可靠性和效率，缩短能源供给和需求侧距离，减少输电损耗。

- 采用新型储能技术

  因地制宜发展抽水蓄能与电池储能系统，推广氢能等新型储能技术的大规模经济性使用；同时降低现有储能电池技术成本，为中长期大规模利用可再生能源作充分的技术准备。

- 应用智能电网解决方案

  通过应用智能化硬件设备、数字化产品，实现设备传感器化、数字化智能维护和数据采集，应用统一的数据管理平台和能耗分析系统，通过数学模型和数据分析，提供能源诊断报告和合理化建议，并且服务于资产和运维管理，为用电侧用户提供智慧能源服务，实现经济效益。同时为能源供给侧其他智慧能源方案的落地提供技术支撑。从而降低碳排放，助力电网高效、安全运行。

工业领域排放情景复杂，需构建多维度、全产业链覆盖的工业低碳发展体系

工业生产中，钢铁、石化、水泥等传统能源密集型产业的碳排放较高，其过程复杂且减碳成本高，因此一直以来被广泛认为是减碳高难领域。工业领域的碳中和之路存在诸多挑战。

首先，当前中国仍处于工业化发展阶段，能源消耗量仍在上升，针对能源的需求短期仍会持续增长。其次，中国工业结构以重工业为主，有大量使用煤炭与石油等化石能源的环节。另外，由于工业过程的复杂性，单一领域或单一工业过程的碳减排往往收效甚微。更紧迫的是，仅凭现有的可再生能源电气化手段，只能降低高耗能产业中少量低位热能部分的碳排放，无法解决因原料和高位热能而产生的绝大多数碳排放。

- **钢铁：**
  目前中国钢铁生产以长流程为主，烧结和高炉 - 转炉生产是碳排放核心环节；短流程电炉炼钢虽有明显碳排优势，但生产成本差距较大。
- **石油化工：**
  碳排放量比较集中且单个排放源排放量大且强度较高。
- **水泥：**
  主要碳排放来源于原料在煅烧过程中分解产生的大量二氧化碳排放以及生产能耗排放。

工业领域未来减排路径

政策规划端实现高排放行业产业升级

一方面，须严格控制传统高耗能行业新增产能，调整产品和产业结构；另一方面，通过政策鼓励并支持现代高技术产业和先进制造业、数字工业等新兴产业发展。

产品全生命周期能耗需求减量

鼓励探索在工业部门价值链的不同节点减少能源需求的可行性，为重工业领域原料和生产过程的碳减排提供更大的潜力。同时，工业（尤其是制造业）拥有大量原始数据，行业整体应逐步转型，以数据驱动生产制造，通过人工智能、数字孪生等技术联通全局，找到非传统、高潜力的减碳环节。

- 开发设计阶段：鼓励企业选择量大面广、与消费者紧密相关、条件成熟的产品进行绿色设计开发，针对需要高碳排放生产路径的产品寻求替代解决方案，从源头减少碳排放。引导并支持发展循环经济，通过提高钢铁、塑料等关键材料的利用率和回收率来减少用能需求。
- 生产制造阶段：通过优化现有产能、升级通用设备、优化工艺流程以及应用数字化能效管理平台等节能改造手段，提高综合能源利用效率，释放工业节能潜力。

工业领域技术赋能减排

全生命周期的低碳设计

基于产品全生命周期低碳化的理念，借助相应设计平台和管理系统，从设计层面减少产品原材料消耗，实现产品轻量化，提高其生产运输效率，简化产品回收或报废流程，减少工业产品在全生命周期内的能源消耗和碳排放量。

低碳替代材料和增材制造

寻求合适的低碳材料进行替换，提高产品及原材料的回收利用率；发展增材制造技术，减少产品在生产制造过程中的原材料浪费；对高度定制化、非批量、不继续生产的产品部件采用增材制造，避免开模等流程的能耗浪费。

生产流程仿真优化与管理

利用基于数字孪生的生产流程建模与仿真技术，针对完整工艺流程建立精准的稳态及动态机理模型，实现虚拟世界和现实世界的互联互通，打破软件、服务和应用开发之间的壁垒，最终对现有生产工艺流程提供优化决策建议，减少产品在生产过程中的原材料和能源消耗。借助仿真优化，可以实现：

- 在设备综合效率（Overall Equipment Effectiveness，OEE）层面能够帮助企业减少设备空置时间，提高良品率，间接达到减排目的
- 在流程行业中，通过预测性维护可以减少关键设备非计划性启停，降低维护成本且能够避免造成严重的资源浪费与碳排放
- 通过对能源数据进行采集、分析、处理，实现对能源绩效、能源计划、能源平衡、能源 KPI 考核等方面的管理和优化，提高能源使用效率

高自动化的驱动链节能减排

采用高度自动化的先进设备零部件，提高设备整体能源利用效率。如通过高性能变频及伺服驱动随时调节速度和扭矩，确保传动系统即使在部分负载运行时也能高效运行；通过伺服驱动系统在设备工艺生产中实现精准控制与高阶动态响应，提高整体生产效率的同时减少能源消耗；运用具有能量回馈功能的变频器将工艺生产中的部分能量做反向传输，例如将制动能量转换为传动系统需要的动能。

另外，驱动链数字化可以利用虚拟仿真优化设计，识别错误的规划或过度设计；也可以通过云或边缘计算能力，高效采集并分析运行数据，实现故障预维护及能耗分析，最终达到有效减少整个传动系统碳排放的效果。

交通领域重点关注纯 / 混动技术及交通数字化技术

交通领域碳排放约占总量的 7%，主要来源为化石能源直接燃烧产生的排放。随着中国城市化的持续推进，交通领域的能源需求和碳排放将呈现出显著的增长趋势。

交通 - 汽车

- 中国人均汽车保有量与发达国家现状有明显差距，未来乘用车需求将会逐年上升
- 新能源乘用车占比仅 1.75%，新能源载货车占比仅 0.9%[6]，将成为未来发展重点
- 整体交通规划与调度层面仍有较大优化空间

交通 - 其他（铁路、空运、水运）

- 空运、水运仍以专用燃油为主要燃料，燃料替代技术尚未成熟
- 飞机优化复杂度较高，目前仍依靠运营手段优化路线
- 船只电气化技术环境受限，仅支持短途轻量运输，长途货运采用液化天然气是目前主流减碳举措，氨氢等替代燃料尚未成熟

[6] 国家统计局，中国汽车工业协会

交通领域未来减排路径

政策引导并优化交通产业结构转型

优化交通运输规划设计，引导交通服务需求，倡导共享公共交通，减少汽车保有量，降低交通拥堵，提高城市交通效率，通过数字化手段扩大交通管理系统范围，降低运输时间、成本和排放量。

提高车辆效率，降低传统燃油车油耗

- 使用混合动力技术及车辆轻量化技术，降低整体油耗，提高汽车动能效果
- 提升轨道交通系统的能耗效率，减少轨道交通系统碳足迹

使用清洁燃料

交通用能长远来看应转向电气化、多元化、清洁化，摆脱对油品的依赖，实现与油品、碳排放脱钩。应继续提升燃料电池的稳定性并降低成本，并进一步加强对生物质燃料、氢能等相关技术的开发与商业化，加强清洁能源的行业耦合。

交通领域技术赋能减排

改造升级现有轨道车辆及系统

通过应用最新材料技术，对原有车体进行轻量化改造，降低能源消耗水平；同搭建预测性维护系统，提升列车运行可靠性、安全性以及交通机电设备全生命周期效能；运用先进的数字化技术，节约列车运维过程的资源消耗，促进低碳发展。

引入氢能及列车电池技术，利用新能源动力替代传统内燃机车，促进轨道交通节能减排。建立供电系统数字仿真、监测应用，模拟、优化轨道交通供电系统设计，推动提升轨道交通能源效率，降低碳排放水平。

引入数字化解决方案提高用户体验，吸引用户使用公共交通，降低整体交通碳排放

应用智能化技术手段，优化轨道交通驾驶牵引与信号系统，提高城市轨道交通运营效率及准点率。通过打造智能应用程序，将行程规划、订票、支付等功能结合大数据分析整合至一个灵活可靠的平台，将公共交通和共享移动服务无缝结合，提升乘客体验与交通整体系统效率，减少相关碳排放。

建筑领域重点关注绿色建筑设计、低碳材料、智慧楼宇管理系统等节能降耗技术

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[7]。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。

建筑领域未来减排路径

政策指引提升现有建筑利用率

应逐渐完善绿色建筑相关标准体系，加强对新建建筑在节能减排方面的要求和监管，并为提高建筑利用率、降低空置率制定相关激励政策。在后疫情时代，随着越来越多的企业接受并习惯远程工作，未来的商业空间将更为分散，对建筑空间设计与基础设施规划提出了更高的要求，以实现灵活智能的管理运营模式。

技术创新提高建筑能效

以打造绿色建筑为目标，发展新型建筑工业化，以装配化作业取代手工砌筑作业，减少施工失误，解决系统性质量问题，延长建筑使用寿命。另外，应大规模应用新兴建筑数字化技术，有效提高未来新建筑能效。

建筑领域技术赋能减排

新建建筑在设计阶段要增加对于低碳维度的考量，将被动式节能技术与主动式节能相结合，通过引入绿色技术降低建筑碳排放，并通过可再生能源，进一步降低化石能源消耗及碳排放。

同时，利用数字化技术优化建筑施工到运行阶段能效，通过建筑信息模型（Building Information Modeling，BIM）将建筑从设计施工到运行退役的全生命周期信息整合。利用建筑信息模型，管理设计建设中的相关环节，并进行协同工作提升建设效率，助力节能减排。建筑信息模型不仅可以改善建设过程，同时也为建筑运行阶段的智慧运维和数据挖掘打下基础，进一步优化能效。技术推动楼宇在运营与维护环节提效减排。

- 智能楼宇管理系统
  智能楼宇管理系统能促进建筑内部的互联互通，提升楼宇能源和设施的使用效率。管理系统作为上层平台，应当拥有较高的灵活性和对于不同底层控制设备的兼容性，从而集成其他减碳技术（被动房、分布式能源、电网边缘侧配电设备等），打造一体化的绿色建筑数字化解决方案。通过楼宇能源管理平台对能耗进行监控及能源分项管理，进一步挖掘数据价值，提升能效优化潜力。结合 BIM、AI 等技术，实现数据驱动的智慧运维。
- 楼宇能效提升解决方案
  优化楼宇机组运行效率，按需制冷供热，有效提升楼宇能效。同时，通过控制供暖、通风、空调、照明等系统之间的功能联动和相互作用，对房间的微观环境进行精准调控，确保舒适的同时，主动降耗，减少碳排。
- 高耗能领域数字化节能减碳技术
  对于新兴高能耗行业领域的楼宇，需要研发针对性的能耗优化技术，例如在数据中心行业中，应用人工智能算法及动态气流平衡技术对数据中心空调设备进行精准控制，通过传感器监测各区域温度，按需制冷，保证服务器散热需求的同时，降低数据中心整体能耗。

[7] 联合国环境规划署

西门子最佳实践分享

“双碳”顶层规划

西门子艾闻达咨询正在为西门子全球及西门子中国制定整体“双碳”顶层规划并创造最佳实践

针对外部企业及地方政府对“双碳”路线图制定的需求，艾闻达咨询为某制造业企业提供了由基线确立到顶层规划，路线图制定直到具体减排技术库的分析及排序的咨询服务；并帮助其实现绿色工厂、产品碳足迹等认证工作。结合西门子在各垂直领域的行业洞见，从资产部署、运营管理、技术升级及组织变革四个层面，艾闻达咨询可为客户制定可落地执行、非“口号式”的一系列“双碳”战略规划及实施方案。

能源

国家能源投资集团 — 高集成集装箱式加氢站

针对北京对绿色、低碳能源的重大需求，国家能源投资集团展开风光互补制氢系统关键技术的研究和示范，打造具有国际领先水平的高效率、高安全性和高可靠性的大规模风光耦合制、储、 输、用氢系统综合示范工程。项目应用国内首座高集成集装箱式加氢站：将压缩机、冷却机、泄压机、加氢机、控制系统、仪表、电机、储氢和火气系统全集成在集装箱中。该移动式加氢站，能有效满足多功能整站控制和实现远传功能。该加氢站项目选用西门子分布式控制系统 SIMATIC PCS 7，为其控制系统的安全性和稳定性提供了保障。

鲁能 — 海西州多能互补 50MW 塔式光热电站

鲁能海西州多能互补光热电站是一个包含 400MW 风电、200MW 光伏、50MW 光热和 50MW 储能的 700MW 风光热储多能互补示范项目。该项目中，西门子提供了精准追日控制功能的解决方案改善了风电和光伏不稳定、不可调的缺陷，提高电能稳定性，提升电网对新能源的接纳能力。

项目建成后，年发电量约 12.625 亿千瓦时，能够有效减少煤炭消耗，降低大气污染，每年可节约标准煤约 40.15 万吨，减少烟尘排放量约 5,431.96 吨。该项目将风电、光伏、光热、储能深度融合，达到“1+1 > 2”的效果。

三一重能 — 数字孪生与 Simcenter

数字孪生智能技术是三一重能在巨头林立的市场中取得成功的关键，能够提升企业的研发效率和产品可靠性。对全行业来说，平准化发电成本（LCOE）是全行业公认的能源经济性衡量指标，为了降低该成本，三一重能利用西门子 Simcenter 导入真实的风场载荷，优化了风机结构和控制系统的设计最终将风机和风场效率提升了 50%，并将 LCOE 降低了超过 10%。

上海浦东连民村 — 全方位多能互补解决方案

连民村地处上海浦东，西门子携手国家电网将上海连民村打造为“智慧能源第一村”，并提供从规划咨询到核心能源管控平台的一体化解决方案。西门子能源管控平台融合人工智能等技术，对光伏、风电、地热、储能以及综合能源供应进行智能管理，协调供需、优化运行，实现最大效益，是“能源流、信息流与价值流“三流合一”的乡镇能源互联网典型应用示范。借助西门子全方位多能互补的解决方案，连民村能耗预计将减少 10%，碳排放预计将减少 50%。

能源

雄安新区 — 环保气体绝缘开关设备

在雄安新区基础设施建设项目中，西门子为客户的变电站提供 300 余台环保气体绝缘开关设备 blue GIS，采用洁净空气作为绝缘介质，替代了传统六氟化硫气体绝缘开关柜，节约的六氟化硫气体相当于减少约 14,100 吨二氧化碳排放量。blue GIS 环保气体绝缘开关设备采用无氟解决方案，在杜绝温室气体排放的同时还可大大减少维护成本，无低温液化之忧，显著提高资源再利用率，既满足客户对开关柜的要求，也实现了环保和可持续发展的目标。

工业

可口可乐 — 漯河工厂能源管理系统

可口可乐漯河工厂与西门子密切合作，推行能源管理体系，建立自动、实时的能源数据采集系统，具备强大、灵活的能源数据分析，如班组、批次、时间区间； 实现能源消耗与能源成本透明化，为成本分摊、绩效考核提供了一个公开、公平、公正的数据支撑平台。应用西门子能源管理体系后，可口可乐漯河工厂水利用率提升 20%，年节水量达 8.2 万吨，二氧化碳年排放量减少 3,149 吨，成为第一个通过 LEED 铂金级认证的快速消费品行业企业。

重庆某水厂 — 基于数字孪生与工业人工智能技术的数字化泵站

西门子数字化泵站（Digital Pump Station，DPS）系统成功落地于重庆某水厂的送水泵站，系统根据实时需求信息，监控泵组状态，挖掘泵站的节能潜力，推荐最优的泵组运行策略，为十三个街区城镇的供水保驾护航。DPS 系统基于数字孪生与人工智能技术，助力泵站在节能优化与健康运维两个方面提高运维的可靠性，保障供水安全与节能减排，能帮助泵站提高至少 3% 的能效 — 以 50 万吨水厂为例，平均每年能够节省能耗达到 100 万千瓦时。

山东某大型炼油化工企业 — 预测性分析系统助力智能运维

西门子预测性分析（Siemens Predictive Analytics，SiePA）系统成功落地于山东某大型炼油化工企业，根据项目初步统计，工厂应用西门子 SiePA 预测性分析系统后，转动设备的有效工作时长提高了 23%，泵类的维修率降低了 15%，紧急设备维修率降低了 39%，运维的工作负荷下降了 20%。SiePA 系统基于工业大数据分析与人工智能技术，为工厂提供预测性维护服务，帮助工厂有效降低非计划性停车风险，节约设备管理与维护上的成本，提高管理效率，降低碳排放。

河钢 — 数字化转型

河钢唐钢新区在建设过程中推动装备大型化、智能化和绿色化，达到全流程工艺的碳减排。西门子智能无人化料场（世界首座大规模的钢铁企业数字化料场）解决方案助力河钢唐钢新区实现绿色低碳无人化物流。河钢衡板冷轧轧钢生产的主要能源介质有电、水、压缩空气、乳化液等。西门子基于 MindSphere 的智慧轧机解决方案助力河钢衡板实现对生产过程的实时能源消耗信息的检测，进一步发现可利用的节能点，减少能源浪费，从而降低能源成本，提高企业效益。

荷兰皇家帝斯曼集团 DSM — 化工园区数字化解决方案

西门子工艺系统工程（SPSE）与荷兰 DSM 化工园区公用工程公司深度合作，西门子使用高保真流程模拟软件对公用工程工艺流程进行精细化建模，提供整个公用工程网的在线解决方案。该方案既可为用户提供沙盘推演，提供决策支持，也可在线实时优化，减少生产波动。针对客户端的复杂需求和节能减排的要求，一方面降低生产成本，另一方面严控排放，达到 8% 年经济收益的提升。该项目的投资回报周期小于 6 个月。

工业

济南某重卡厂区 — 智慧能源解决方案

西门子整体化智慧能源解决方案涵盖了基础的能耗监测，并依托可复用的模型和算法，通过机器学习和大数据分析，为客户提供包括设备能效建模、能效分析、性能诊断和参数优化等高级功能。项目建成后可以成为工厂的智慧大脑和优化调度中心，负责厂区内综合站房多能互补系统的优化策略计算和自动化调度，分析工厂能耗；并根据不同目标采用优化算法，削减工厂尖峰负荷，平滑负荷曲线，优化工厂能源应用，最终达到降低能耗、提升能源利用效率、降低能源成本的目的，同时充分挖掘智慧能源的增值服务。

交通

上海申通地铁集团 — 轨道交通 18 号线全自动驾驶系统

西门子交通与上海申通地铁集团有限公司深度合作，为其轨道交通 18 号线提供全自动驾驶车辆的牵引系统相关部件及服务、全自动驾驶功能设计、接口设计、整车电路设计、安全综合性等级（SIL）的定义等。西门子成熟的全自动驾驶系统，提升并保障运营准点率的同时可降低约 15% 的运营能耗，确保更加高效的城市轨道交通运营。

德国联邦铁路公司 — 新能源动力列车平台 Mireo Plus

西门子交通加速开发并向客户提供下一代氢动力列车平台 Mireo Plus H 以及电池驱动列车平台 Mireo Plus B，利用新能源动力替代传统内燃机车，促进轨道交通节能减排。同时，该系列列车平台在生命周期末期的可回收率达 95%。目前，西门子交通也正在与德国联邦铁路公司（Deutsche Bahn）积极测试新开发的下一代氢动力列车 Mireo Plus H 和加氢站，预计于 2024 年在德国进行试运营。

某地铁公司 — 数字化预测性维护服务平台

西门子交通开放式数字化平台 Railigent®，涵盖整个价值链 — 从数据抓取到分析和提供行动建议，帮助客户更加智能地利用数据、创造附加值。Railigent® 可助力交通设施可达到 100% 的可用性，并将维护成本和能耗降低 10-15%，有效推动低碳运营。由西门子交通中国数字应用团队开发的 Railigent® on Premise 平台已于 2020 年 5 月获得了中国国家版权局颁发的软件版权证书，并应用于深圳地铁 4 号线，为其信号系统及轨旁设备提供状态检测和预防性维护服务，并可根据客户需求不断优化。

德国汉堡市巴士总站 — 电动汽车充电解决方案

西门子为汉堡市巴士总站提供了从中低压配电设备到智能充电基础设施的全套解决方案，该方案包括 48 个 Sicharge UC 200 充电站、中低压配电设备以及一份为期五年的服务合同。每个充电站的充电容量为 150 千瓦，在公交车在站停车时为其进行充电。西门子灵活的利用停车场屋顶布置相关设备，在完成配电、充电设备集成的同时，以最佳方式节省车站的空间用于巴士停车，满足客户需求。

博众精工 — 智能换电站解决方案

电动汽车环保节能、驾乘舒适，但是里程焦虑长期以来是消费者选择的一大顾虑，影响新能源汽车的发展。博众精工和西门子携手打造全集成自动化系统和数字化的智能换电站，整个过程只需 2 分钟。创新的远程调试平台有效解决换电站数量快速增长、位置分散的维护难题。截至 2021 年年中，博众交付的换电站已经遍布全国 21 个省市直辖市，累计全年可节约碳排放 1,500 万吨。

建筑

芬兰赫尔辛基赛罗购物中心 — 分布式能源系统与智能楼宇解决方案

赫尔辛基赛罗购物中心（Sello）是芬兰到访者最多、最生态环保的购物中心，西门子为其提供了多种数字化节能减排技术，包括智能楼宇控制系统、分布式光伏及储能系统、虚拟电厂和微电网控制等技术。利用供暖通风与空气调节系统（HVAC）及环境数据，西门子为 Sello 的楼宇建筑系统提供了能源消耗和空气质量的综合优化方案；每年通过能效提升以及运维优化节约相关开支 118,000 欧元，年均二氧化碳减排量 281 吨。

西门子中国北京园区 — 分布式能源系统与智能楼宇解决方案

为实现减碳目标，西门子对其全球多个办公楼及工厂实施能效提升改造。位于北京望京的西门子北京中心园区，不但进行了暖通空调系统的改造，还加装了峰值功率为 340 kWp 的光伏发电系统。同时，西门子北京中心大楼应用了综合能效提升解决方案，包括制冷系统、新风系统优化以及照明系统改造等，对楼内整体能耗进行持续性优化，每年可减少二氧化碳排放量约 800 吨。另外，园区还应用了数字化光伏资产管理平台，实现光伏发电系统的高效、精准运维，使园区每年二氧化碳排放量减少 211 吨。

青岛中德生态园 — 被动房与绿色建筑体验中心

青岛中德生态园是中德两国政府建设的首个可持续发展示范合作项目，被动房体验中心是一座集被动式超低能耗绿色建筑技术研发、体验、展览展示、会议交流、居住等多功能于一体的综合性建筑体。西门子为该项目提供了全方位的智能化楼宇节能解决方案。

该项目采用了包括多种智能楼宇控制系统，实现被动优先、主动优化的理念。在满足节能减排目标的同时，提升了楼宇设施管理的灵活性和效率。每年节约能耗 130 万千瓦时，节省能源费用 50 万元。

宁德新能源科技有限公司 — 厂区能效数字化解决方案

西门子向宁德新能源科技有限公司提供了包含 Decigo CC 楼宇自控平台以及多种暖通空调系统现场设备的全套楼宇自控系统，并搭建了一套基于数字孪生、模拟仿真等技术的能源管理平台，利用供暖通风与空气调节系统（HVAC）系统高精度性能模型及寻优、预测算法对能耗进行模拟，并形成节能优化控制策略。

通过这套方案实现了能源系统数据透明可追踪，提高了运维效率，同时自动优化冷热系统设备运行时间，延长机组寿命，保证生产环境的稳定和生产安全。

法国巴黎 Thésée 数据中心 — 数据中心空间冷却优化技术（WSCO）解决方案

法国 Thésée 数据中心作为高耗能设施，西门子应用数据中心空间冷却优化技术（White Space Cooling Optimization，简称 WSCO），将专业软件与温度传感器相结合，对数据中心的冷却系统进行优化，同时利用基于人工智能的动态调节技术，对于机房温度条件的变化进行自主响应，保证制冷系统始终在最佳工况运行，满足数据中心较高的散热要求。这一解决方案助力客户可以达到 1.2 的能效指标 (PUE)。

西门子严格按照科学碳目标倡议(SBTI)的标准制定了自身减碳路线图并保障实施与落地

西门子作为全球领先的科技公司，一直将承担社会责任放在公司发展的核心位置。早在 2015 年，西门子便开始了自己的碳中和之路。根据科学碳目标倡议（SBTi），企业碳排放分为三个范围，分别是企业运营产生的直接排放（范围一）、企业外购能源产生的间接排放（范围二）以及来自企业价值链上下游的其他间接排放（范围三）。

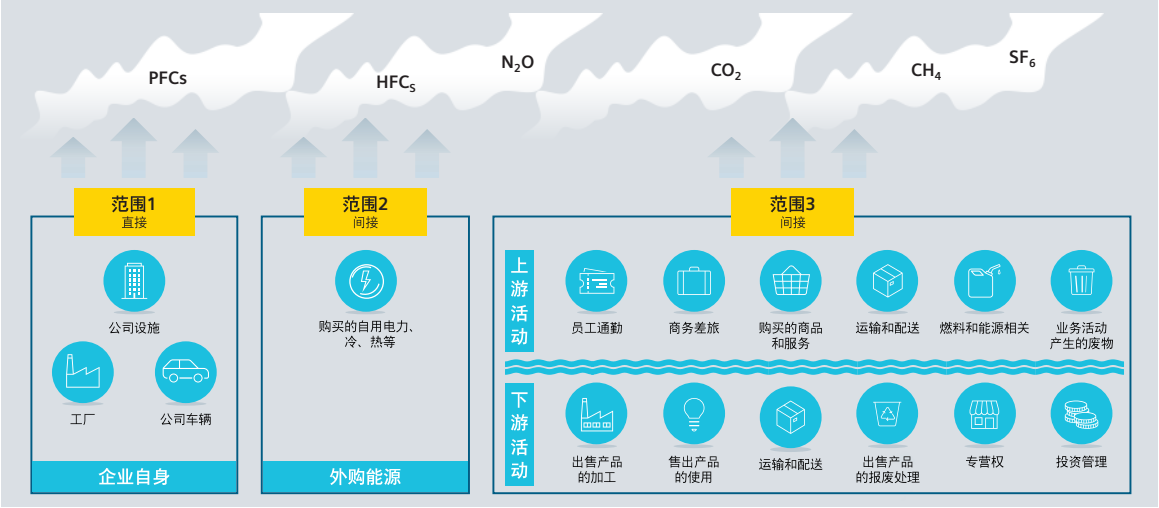

图 5. 温室气体核算体系定义的范围一、范围二、范围三排放

西门子严格按照SBTi标准制定了自身的减碳目标并承诺至2030年将实现业务运营碳中和，以及范围三排放减少15%的目标。截至2020财年，在范围一及范围二内，西门子已实现减碳54%；在范围三内，西门子为各行各业提供的节能环保业务组合已帮助全球客户减少约1.5亿吨碳排放。

范围一、二减排具体措施

西门子中国的节能减排举措主要体现在提高能效和发展可再生能源两大方面：在提高能效方面，西门子中国已在 12 个办公园区和制造工厂进行了能效改造项目；在发展可再生能源方面，西门子中国将光伏发电系统广泛应用至办公楼与工厂，已在 14 个园区和制造工厂实施了分布式屋顶光伏系统，并计划至 2023 年在另外至少 3 家制造工厂安装此系统。此外，西门子在北京和上海的办公园区以及 31 家运营企业已采购并使用绿证电力，公司将持续深入贯彻这一减排举措。

范围三（供应链）减排具体措施

西门子承诺，至 2030 年实现供应链（范围三，上游）碳减排 20%，为此西门子采取了一些列措施帮助广大供应商为实现可持续发展确立战略方向与实施路径。面向供应链，西门子加强对供应商在可持续发展方面的评估，并对供应商实行严格的准入机制。目前，公司已建立起覆盖近 9000 家在华供应商的减排信息管理系统，并在提高能源效率、现场发热和供电、购买绿色电力、实施节能流程、优化物流、减少商务出行，以及应用再生 / 可回收材料等 7 大领域帮助重点供应商推进绿色转型。同时，西门子还面向重点供应商启动了碳减排自我评估调研。一方面，供应商能够了解自身在重点领域的减碳潜力，从而有的放矢地推进绿色转型；另一方面，线上调研的结果也为西门子与合作伙伴一起共同打造绿色低碳的供应链提供了强大的数据基础。

结语：
西门子中国零碳先锋计划

从 2014 至 2020 年，西门子中国为西门子全球自身运营碳足迹减少 54% 作出了突出贡献。在供应链方面，西门子自 2022 财年开始正式在中国将低碳相关指标纳入采购决策过程。通过全方位的努力，西门子力争至 2025 年在中国帮助超过 500 家重点供应商加速减碳步伐。对于众多客户，西门子力争至 2025 年助力数十个行业的上万家客户节能增效，推动产业绿色低碳转型。从前期评估诊断，到总体规划设计，再到落地实施、优化，西门子为不同行业、不同发展阶段的企业、政府及机构迈向碳中和提供端到端的深度减碳数字化解决方案。不仅如此，西门子还能够以金融服务支持工业、基础设施、交通和能源等领域的客户与合作伙伴，并把可持续发展作为融资决策的考量因素之一，优先支持节能减排等可持续发展项目。

2021 年 9 月，西门子在中国正式启动“零碳先锋计划”，宣布了在低碳发展领域的清晰目标和行动计划，这标志着公司在可持续发展的道路上翻开了新的篇章。通过“零碳先锋计划”的落地实施，西门子将以数字化创新和跨领域行业洞见，在中国携手各方伙伴共创绿色生态，赋能打造端到端的零碳产业链，助力中国实现“双碳”目标。

关于作者

姚杨

是西门子艾闻达咨询 - 管理咨询项目经理，负责能源、可持续发展及“双碳”等相关话题。欲了解详情，请致信 yang.yao@siemens.com。

张正

是西门子艾闻达咨询 - 管理咨询业务合伙人，负责能源、数字化、可持续发展、“双碳”等相关话题。欲了解详情，请致信 zhang.zheng@siemens.com。

亦感谢其他西门子同事为撰写本文所做的贡献：

安晓杰　海　玲　吉海娇　林　斌　刘长智　马　清　Juergen Model

欧阳波　单小童　王海滨　肖　松　姚　弛　叶　磊　朱骁洵

2021 年 11 月

版权所有 © 西门子（中国）有限公司