

中国数据中心5G减碳潜力与挑战

中国数据中心减碳之路挑战



作者（按章节排序）

叶睿琪、袁媛、魏佳 | 绿色和平

伍盛达、赵怡然 | 工业和信息化部电子第五研究所计量检测中心

马翠梅、柴麒敏 | 国家应对气候变化战略研究与国际合作中心

编辑

王赫、Erin Newport

评审委员（按姓名拼音排序）

柴麒敏 | 国家应对气候变化战略研究与国际合作中心

刘 宇 | 工业和信息化部电子技术标准化研究院

李 秀 | 清华大学

路 远 | 金风科技

马丽芳 | 中国循环经济协会可再生能源专委会

蒋 励 | 西安邮电大学

唐 特 | 国家电力投资集团

吴晓晖 | 中国建筑标准设计研究院

温晓君 | 赛迪电子信息产业研究所

温宗国 | 清华大学

章秀银 | 华南理工大学

周怡琳 | 北京邮电大学

鸣谢

绿色和平 | 袁瑛、吕歆、张文俊、田梦

工业和信息化部电子第五研究所计量检测中心

王景、田宇、陈东、宋绪文、聂聪

发布于 2021 年 5 月

中国数字基建的脱碳之路

数据中心与 5G 减碳潜力与挑战

(2020-2035)

目录

第一章：执行摘要	05
第二章：数字基础设施减碳潜力的背景	09
一、数字技术与基础设施成为应对气候变化与碳中和的关键	09
二、数字技术助力传统行业提升减碳潜力	09
三、数字基础设施能耗和碳排放挑战不容忽视	10
第三章：数字基础设施能耗与碳排放挑战分析与预测	13
一、核心数字产业规模分析及预测	13
二、数字基础设施能耗与碳排放分析及预测	15
三、本章小结	25
第四章：数字基础设施进一步应用可再生能源的潜力	27
一、中国可再生能源发展现状与趋势	27
二、数字基础设施应用可再生能源的方式及案例	33
三、数字基础设施应用可再生能源的挑战及应对	37
第五章：推动数字基础设施绿色低碳化发展的建议	39
一、政策建议	39
二、企业建议	41
附录	43
一、数字基础设施产业规模预测方法论	43
二、数字基础设施能耗测算方法论	44
三、数字基础设施碳排放测算方法论	45
注释	47

图表目录

图 2.1 “十四五”数字基础设施建设的碳排放影响分析	11
图 3.1 2020~2030 年中国 5G 产值规模预测	13
图 3.2 2020~2035 年中国数据量增长规模预测	14

图 3.3 2016~2035 年中国云计算产值规模及预测	14
图 3.4 2020~2035 年中国 5G 基站增长情况	17
图 3.5 5G 基站能耗分布	17
图 3.6 2020~2025 年 5G 单站设备功耗发展趋势	20
图 3.7 2016~2035 年中国数据中心产值增长情况	21
图 3.8 2016~2035 年中国数据中心机架增长情况	21
图 3.9 2020~2035 年中国分地区数据中心机架数增长率	24
图 4.1 2016~2020 年中国清洁能源消费占能源消费总量的比重	27
图 4.2 2020 年中国不同类型电源累计装机量及占比	27
图 4.3 2020 年中国新增发电装机量占比	27
图 4.4 2018~2023 年中国储能新增规模预测	31
图 4.5 2020 年中国不同发电技术的平准化发电成本	31
图 4.6 中国新建光伏与陆上风电平准化发电成本与现有燃煤和燃气电厂运营成本的对比	32
图 4.7 2019~2030 年全球化学储能（四小时电站级）成本预测	32
图 4.8 2020 年全球不同地区 PPA 签署量	35
表 2.1 2020~2030 年全球 ICT 产业能耗预测	10
表 2.2 2015~2017 年中国数据中心能耗规模分析	10
表 3.1 全国及各地区 5G 基站规模	15
表 3.2 全国 4G 基站发展情况	16
表 3.3 全国及各地区 5G 基站建设规划情况	16
表 3.4 5G 主用设备实测功耗	17
表 3.5 5G 主用设备典型功耗	18
表 3.6 2020 年全国及各地区 5G 基站能耗	18
表 3.7 2020 年全国及各地区电网排放因子	18
表 3.8 2020 年全国及各地区 5G 基站碳排放量	19
表 3.9 中国数据中心区域分布情况	22
表 3.10 数据中心能耗计算关键指标	22
表 3.11 2020 年全国及各地数据中心机架数	23
表 3.12 2020 年全国及各地区数据中心碳排放量	23
表 3.13 2035 年中国数据中心机架数区域分布系数	24
表 4.1 主要省份的“十四五”新能源装机规划	28
表 4.2 主要省份的新能源发电配置储能政策	29
表 4.3 数据中心参与电力市场交易政策	30
表 4.4 可再生能源进入电力市场交易省市	35
表 4.5 可再生能源采购方式总结与对比	36



第一章：执行摘要

当下，气候变化的影响正对全人类生存发展带来重大挑战，各国纷纷加速向碳中和转型，其中数字化技术在助力全球应对气候变化进程中承担着重要的角色。数字化技术能够与电力、交通、工业制造与农业等重点排放行业实现深度融合，有效提升能源与资源的使用效率，实现生产效率与碳效率的双提升。

与此同时，新冠疫情严重冲击了全球经济的运行模式与人们的生活方式，让数字化经济生产与生活方式成为后疫情时代的新常态。中国在“十四五”规划中明确指出要加快数字化发展，推动数字经济和实体经济深度融合。可预见的是，大数据、云计算、5G、物联网、人工智能将带来计算量和数据量的激增。

面临业务倍数级增长随之带来的能耗增加，依赖化石能源发电的数字基础设施正在面临严峻的碳排放挑战。在中国力争实现“2030年前碳达峰”、“2060年前碳中和”的背景下，数字基础设施作为数字经济发展的的重要基座，如何实现绿色低碳的高质量发展尤其值得关注。

鉴于此，绿色和平与工业和信息化部电子第五研究所计量检测中心（广州赛宝计量检测中心）共同编写《中国数字基建的脱碳之路：数据中心与5G减碳潜力与挑战（2020-2035）》，希望探讨中国数字基础设施的能耗和碳排放趋势，提升政策制定者及行业对于节能减排挑战的认知，以助力数字基础设施行业尽早实现以100%可再生能源为目标的低碳转型，为数字经济整体迈向“碳中和”提供扎实的基础。

研究对象

本报告选取了新一代数字技术中占主要能耗的设施设备为研究对象，一是作为数据传输驿站的5G基站，二是作为数据计算、储存场所的数据中心。需要明确的是，本文的研究范围仅限于上述基础设施与设备的运行阶段，未考虑相应设备生产制造与建设过程所产生的能耗与碳排放。

研究方法

本报告主要采用文献研究和模型分析两种方法。第二章通过文献综合分析了数字化技术帮助全社会实现减排的积极作用，以及数字基础设施自身面临的能耗和碳排放问题。第三章通过收集中国范围内的最新数据并建立数学模型，全面梳理了2020年以数据中心和5G为代表的数字基础设施的用电量和碳排放现状。结合2035年是中国远景目标纲要编制与建设数字中国的重要时间节点，我们尝试对2035年数字基础设施的能耗和碳排放增长进行远期预测。第四章通过文献研究与专家访谈的方式，提出了中国数字基础设施行业应用可再生能源的重点路线。第五章在此基础上提出了相关政策与企业建议，为该行业迈向碳中和提供可行的解决方案。

主要发现

1. 2030年，中国已全面实现碳达峰的情景下，数字基础设施的碳排放仍将持续增长。对比重点排放行业如钢铁¹、建材²、有色金属³等有望率先在2025年左右实现碳排放达峰并开始下降，数字基础设施的碳排放“锁定效应”将成为中国实现碳达峰以及进一步碳中和的重要挑战。

2035年，中国数据中心和5G总用电量约是2020年的2.5~3倍，将达6,951~7,820亿千瓦时，将占中国全社会用电量5~7%⁴。如何满足这部分新增电力需求将决定数字基础设施行业未来的二氧化碳排放趋势。以中国能源低碳转型速度按照1.5°C和2°C目标推进为例，即2035年非化石电量上升至全国53~61%，到2035年中国数据中心和5G的二氧化碳排放总量将达2.3~3.1亿吨，约占中国二氧化碳排放量的2~4%⁵。同时，也相当于目前两个北京市的二氧化碳排放⁶。2035年数据中心的碳排放将比2020年最高增长103%，5G的碳排放将最高增长321%。

2. 2020年，中国数据中心和5G用电量为2,011亿千瓦时，占中国全社会用电量2.7%⁷。同时，它们的二氧化碳排放总量达1.2亿吨，相当于中国二氧化碳排放量1%⁸。

2020年，河北、江苏、北京、广东和浙江5个地区的数据中心和5G基站二氧化碳排放超过全国数据中心和5G基站的一半（54%）。其中河北、江苏和北京均超过1,000万吨，分别为2,397万吨、1,321万吨和1,058万吨。在有条件的省市率先实现“碳达峰”的背景下，数字基础设施碳排放的持续增长或将是各省市实现“碳达峰”目标的挑战因素。

3. 相较于对节能技术与指标的重视程度，数字基础设施产业整体仍未大规模应用可再生能源，但是已有少数企业开始向100%可再生能源转型。

目前，数据中心和5G应用可再生能源的方式包括：投资建设分布式与大型集中式可再生能源项目、市场化采购可再生能源、以及认购绿色电力证书等。大规模应用可再生能源可以从根本上帮助数字基础设施行业和企业减少碳排放，应当作为迈向碳中和的优先路径。

另外，在政策支持与成本不断下降的基础上，储能与可再生能源的结合潜力正在凸显。目前已有5G或数据中心+光伏+储能的商业项目，预计到2030年，储能成本相比2019年将下降49%，储能成本的持续下降将进一步推动数字基础设施使用可再生能源。

主要政策建议

在中国迈向碳中和的道路上，实现数字基础设施产业的绿色高质量发展至关重要，亟需避免高碳基础设施投资带来的锁定效应以及搁浅资产的风险，以实现发展和环境的共赢。为促进数字基础设施产业向碳中和与100%可再生能源转型，建议相关部门从以下四个方面着手：

1. 加强顶层设计，强化数字基础设施的绿色低碳导向，出台针对数字基础设施产业的“碳达峰、碳中和”路线图；
2. 完善数字基础设施产业使用可再生能源的考核体系，将双控目标与新建数据中心的审批政策挂钩，将数据中心可再生能源使用比例作为考核指标之一；
3. 进一步完善数字基础设施产业使用可再生能源的市场机制，促进产业与可再生能源的协同发展，扩大产业参与可再生能源市场化交易的范围，并完善绿色电力证书机制；
4. 健全促进数字基础设施产业使用可再生能源的激励机制，引导资本流向，并发挥公共资金对于绿色低碳数字基础设施的撬动作用。

主要企业行动建议

为发挥先进作用，实现负责任碳中和，建议数字基础设施企业从以下三个方面发力：

1. 设立2030年前实现100%可再生能源目标，并进一步提出2030年前实现全范围（范围1、2、3）的碳中和目标；
2. 扩大企业可再生能源采购规模，积极与关键利益相关方沟通，助力市场化可再生能源采购机制的进一步突破；
3. 进一步提升能源信息披露，披露温室气体排放与用能信息。

研究局限性

由于数据获取渠道有限，本报告未能将以下领域纳入研究范围：

1. 智能终端设备，如手机、电脑、平板、智能穿戴等设备的碳排放；
2. 数字基础设施在生产制造，以及建设过程中所涉及的原材料碳排放，如钢铁、水泥、金属等；
3. 数字技术所催生的智能新需求与相应碳排放，如 6G 技术、自动驾驶、虚拟现实、数字货币等。

未来十载是中国加速数字化发展的重要阶段，在中国力争 2030 年前“碳达峰”的背景下，我们亟需了解与应对数字基础设施的能耗和碳排放增长方面存在的不确定性或风险，包括：

1. 人工智能、量子计算、区块链技术等计算密集型应用的普及；
2. 摩尔定律遭遇瓶颈，能效提升速度放缓。

上述这些因素使本报告对未来数据中心和 5G 的能耗及碳排放预测相对保守。为了更全面地评估数字技术与基础设施产业全范畴、全生命周期的能耗与碳排放影响，我们将持续跟踪并拓展相关研究。





第二章：数字基础设施减碳潜力的背景

一、数字技术与基础设施成为应对气候变化与碳中和的关键

在后疫情时代，“数字化”和“绿色化”成为全球经济复苏的主旋律。欧盟、德国、美国、中国⁹等多国的经济刺激与复苏方案均指向数字化技术与基础设施对于实现全球绿色经济增长以及应对气候变化的重要性。

数字化方面，在新基建、双循环、科技自立自强的战略驱动下，近年来中国数字化进程加速，数字经济逐步成为驱动中国经济增长的核心力量。2020年，全国数字经济总量规模和增长速度居世界前列，规模达到39.2万亿元，占GDP比重为38.6%¹⁰。

绿色化方面，中国就应对气候变化提出新目标。2020年9月，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表示，中国将采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和¹¹。2021年3月，“碳达峰、碳中和”被首次写入“两会”政府工作报告¹²。

随着中国提出双碳目标，如何实现“数字化”与“绿色化”相协同，让数字技术与基础设施最大化服务于中国的碳中和转型亟需关注，尤其是数字基础设施是否会如传统基础设施一样产生“锁定效应”并带来长期的生态环境和气候变化影响，亟需辩证分析。

一方面，数字技术与传统产业深度融合将促进产业进行全方位全链条的升级改造，减少能源与资源消耗，实现生产效率与碳效率的双提升。

另一方面，数字基础设施的蓬勃发展将带来能源需求与碳排放的增长。近年来，云计算、大数据、5G、人工智能等数字技术由单点应用向连续协同演进，形成新的数字产业体系。这些数字技术背后的数字基础扩张迅速，能源需求与碳排放问题备受关注，减碳挑战不容忽视。为持续扩张的数字基础设施制定零碳发展路径十分紧迫。

二、数字技术助力传统行业提升减碳潜力

在技术创新视角下，数字技术发展将带来显著的减排效应。当数字技术与重点行业不断渗透融合，数字技术可以有效促进经济增长与碳排增长脱钩，主要体现在三个方面：一是技术进步本身带来的能效提升，5G技术的单位数据传输能耗更低，并有助于降低智能手机、物联网和其他终端设备的电池消耗，深度神经网络通过学习可以促进数据中心节省大量能源消耗；二是带动产业链结构的优化，人工智能、工业互联网等技术对工业、能源、建筑、交通基础设施和上下游体系的改造将大大强化产业链的协同增效，使各行业垂直领域的连接更加紧密、反应更加智能、整体更加高效，从而大幅减少物耗和能耗。三是替代原有生产和消费方式，如高清视频会议可以替代国际差旅以及出行需求，从而减少交通排放。

研究显示，到2030年数字技术或可帮助全球每年减少二氧化碳排放约120亿吨，届时数字技术实现的减碳量将是信息通信行业全生命周期（包括生产、运行和终端处理环节）二氧化碳排放的5-10倍¹³。

全球电子可持续发展倡议组织（GeSI）的研究显示¹⁴，数字技术¹⁵可以帮助中国每年减少二氧化碳排放14亿吨，集中体现在电力、交通、工业和农业四个部门。

- 1. 电力：**智能电网和智能建筑可以提高能源效率，以及通过供给侧与需求侧管理，实现能源本地化，提升可再生能源利用率；
- 2. 交通：**通过实时交通流量管理，公共交通信息预测，以及智能物流和基础设施的维护预测，可以实现人员交通和货物运输方式的低碳化；
- 3. 工业：**在工业4.0时代，数字技术将提升制造流程和工业效率，使工业制造变得更加互联与高效；
- 4. 农业：**数字技术可以实现精准农业，比如提高氮肥肥料的使用效率和进行牲畜管理，以减少农业生产的碳排放。

然而，这些测算仅仅是理论值，真正实现数字技术的减排效应还取决于多重因素，包括政策倾斜力度、技术发展趋势、数字技术与传统行业融合的速度与程度以及投资力度。

同时，数字技术所带来的生产效率提升也将带来不可忽视的反弹效应（rebound effect）。当生产效率提升，成本下降，消费需求受到刺激而增长，导致碳排放总量增长，这一系列的反弹效应在能效领域已有诸多研究论述¹⁶。

三、数字基础设施能耗和碳排放挑战不容忽视

（一）全球数字基础设施的能耗与碳排放挑战

数字基础设施的增耗效应主要体现在三方面：一是数字基础设施的设备生产制造阶段与建设过程的能耗与碳排放；二是运行运营阶段所产生的能耗与碳排放；三是其刺激消费新需求所产生的能耗和碳排放。

国际上关于数字基础设施的能耗与碳排放研究大多围绕信息通信（ICT）产业，通常来说，ICT产业能耗研究的完整范畴包括数据中心、通信网络与终端设备；

根据华为瑞典研究院，2020年全球ICT产业的能耗约20,000亿千瓦时，预计到2030年最高将增长61%至

32,180亿千瓦时（表2.1）¹⁷。同时，加拿大麦克马斯特大学的研究显示，2020年ICT产业占全球温室气体排放约3~3.6%。如果不加控制，到2040年ICT产业的排放将相当于2016年全球温室气体排放14%¹⁸。

美国加州大学的研究指出，2018年全球数据中心的运营能耗约2,050亿千瓦时，相当于全球总用电量的1%；2010~2018年之间，能效水平的提升勉强控制了数据中心的能耗增长（增幅为6%）²⁰，但是未来人工智能等更高密度数字技术的普及将带来不可忽视的风险，能效提升或将难以抵挡未来十年数据中心陡峭的能耗增长。这些研究均显示，在无干预情况下，未来十年ICT产业的能耗与碳排放将呈现快速增长的趋势。

表 2.1 - 2020~2030 年全球 ICT 产业能耗预测¹⁹（亿千瓦时）

年份	数据中心	信息通信网络	终端设备	生产制造
2020	2,990	2,690	10,390	3,810
2030	9,740	8,740	10,730	2,980

（二）中国数字基础设施的能耗与碳排放挑战

关于中国数字基础设施能耗与碳排放的研究主要集中在数据中心与通信基站领域。数据中心在ICT产业耗能中占很大比例，被认为是节能减排关键点。中国电子技术标准化研究院发布的《绿色数据中心白皮书2019》指出，中国的数据中心能耗总量仍在高速增长，明显高于世界的平均水平。一方面是因为中国的数据中心建设规模增速较快，另一方面中国的数据中心存在较大的节能空间（表2.2）²¹。绿色和平与华北电力大学的研究显示，2018年中国数据中心用电量为1,680亿千瓦时，占中国全社会用电量2%²²。

5G也面临能耗与碳排放挑战。目前，中国5G基站数量位列全球第一。根据《5G发展和经济社会影响白皮书》，截至2020年10月，中国已累计建设5G基站超过70万个²³，约占全球的70%²⁴。

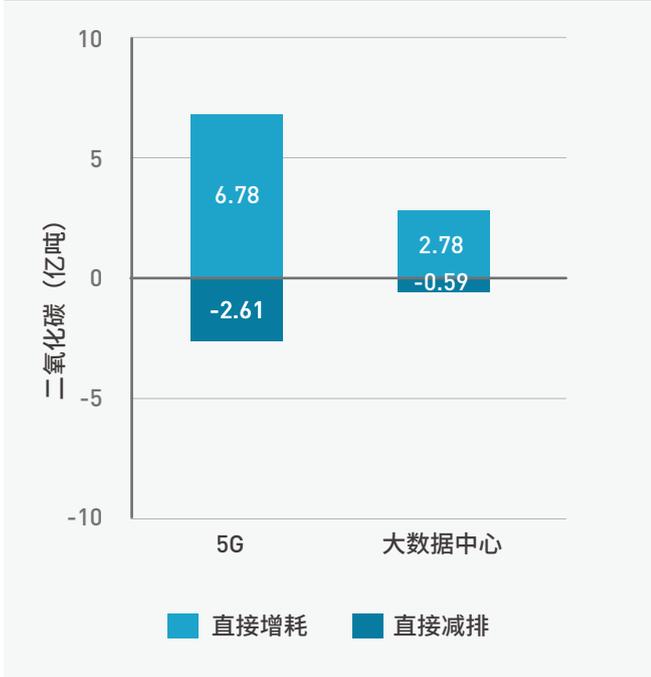
中国铁塔研究院表示，目前5G的单设备功耗是3~5kW，是4G功耗的2~3倍²⁵。根据瑞典电信巨头爱立信公司2020年发布的报告，如果以与3G和4G相同的方式部署5G，能源消耗将急剧增加。虽然5G的能源效率更高，每比特能耗仅为4G的1/10，但由于可预见的数十倍的流量增长，5G网络也将造成一定规模的能耗增加²⁶。在满足不断增长的流量和网络质量的需求下，一些通信服务提供商甚至估计其能耗将增加一倍²⁷，未来巨额用电成本将成为5G运营的最大负担之一²⁸。

表 2.2 - 2015~2017 年中国数据中心能耗规模分析

	2015年	2016年	2017年
耗电量（亿千瓦时）	987.0	1,102.1	1,221.5
增长	12.6%	11.7%	10.8%

数据来源：中国电子技术标准化研究院《绿色数据中心白皮书2019》

图 2.1 - “十四五”数字基础设施建设的碳排放影响分析（五年累计）



根据国家应对气候变化战略研究和国际合作中心的分析，综合考虑增耗和减排的直接效应，数字基础设施建设对部门和行业碳排放达峰将产生短期和中长期不同的影响。短期而言，因为“十四五”规模建设投产加速，但能源结构调整幅度并不能快速提升，增耗效应可能占据主导（图 2.1）；“十四五”期间数据中心和 5G 累计将直接增加二氧化碳排放约 6,360 万吨；长期来看，信息技术和能源技术的“双重革命”的叠加效应会进一步显现，数字基础设施对行业智能化升级改造、绿色化要素协同的减排效应将充分发挥。

（三）积极应对数字基础设施能耗与碳排放挑战

在数字经济时代全面到来之际，面对数字基础设施的能耗与碳排放挑战，各国政府、信息通信行业以及头部企业已经开始筹备应对措施。

- 应《巴黎协定》的要求，2020 年欧盟委员会提出支持绿色化和数字化转型的战略，并将在 2030 年前实现数据中心和信息通信产业的“气候中性”²⁹。
- 全球移动通信协会（GSMA）、国际电信联盟（ITU）、全球电子可持续发展倡议组织（GeSI）和科学碳目标倡议组织（SBTi）于 2020 年发布了 ICT 行业基于科学的减排目标，具体为 2020 年至 2030 年期间，ICT 行业需要减少温室气体排放量 45%。目前，代表全球 30% 移动连接的 29 家运营商集团已经承诺致力于实现该减排目标³⁰。
- 截至 2021 年 1 月，全球包括 Google、Apple、Facebook 在内的 41 家科技企业已率先设立 100% 可再生能源目标，其中约 20% 已经实现了 100% 可再生能源目标，另外约 50% 的企业将在 2030 年前实现³¹。

在中国迈向碳中和的道路上，实现数字基础设施行业的绿色高质量发展至关重要。为了使数字技术对于中国全社会各行业的减排效应发挥到最大，数字基础设施行业应率先开始绿色化转型，其自身的高耗能和高碳排放问题需要被重视和思考，亟需避免高碳基础设施投资带来的锁定效应以及巨额搁浅资产的风险，以实现发展和环境的共赢。



第三章：数字基础设施能耗与碳排放挑战分析与预测

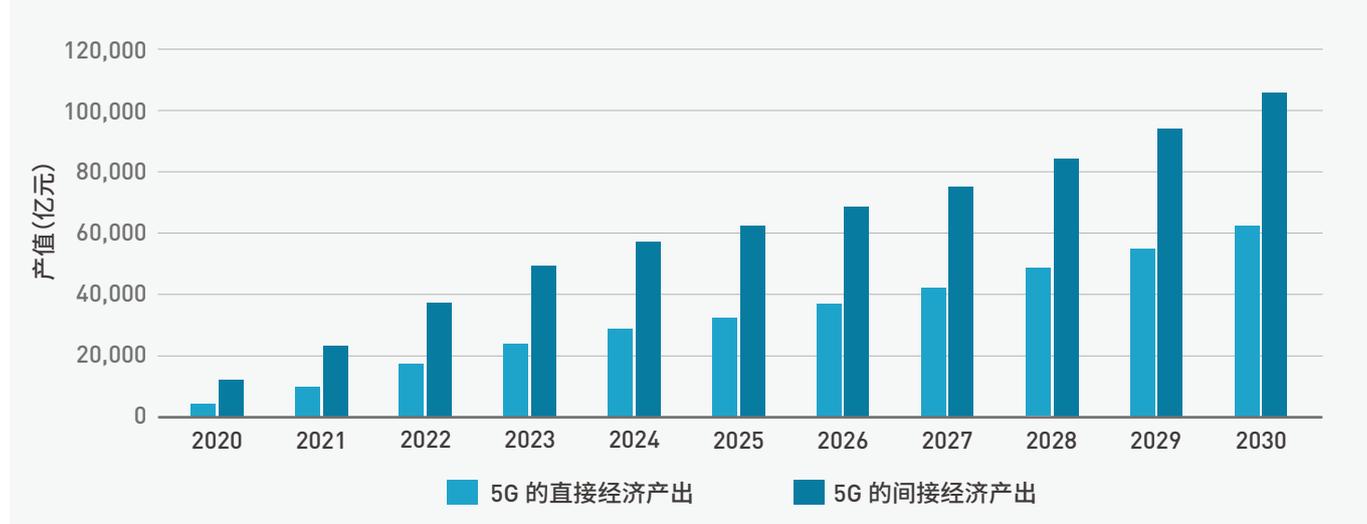
一、核心数字产业规模分析及预测

(一) 5G

2019年，随着5G牌照的发放，中国正式迈入5G时代。5G通讯技术相比于4G，连接速度快10倍，时延缩减至1ms，最大连接数扩充至千亿级³²。正因为5G技术拥有高速率、低时延、大流量等特点，在5G时代，不再局限于人与人之间连接，而是升级至物与物之间、人与物之间互联互通。“5G+高清视频”、“5G+智慧工厂”、“5G+智能驾驶”、“5G+远程医疗”、“5G+智慧矿山”等一系列典型应用场景正在不断深化探索、加速落地推广。

根据信通院的预测，从产出规模看，2030年5G带动的直接产出和间接产出将分别达到6.3万亿和10.6万亿元。在直接产出方面，按照2020年5G正式商用算起，预计当年将带动约4,840亿元的直接产出，2025年、2030年将分别增长到3.3万亿、6.3万亿元，十年间的年均复合增长率为29%。在间接产出方面，2020年、2025年和2030年，5G将分别带动1.2万亿、6.3万亿和10.6万亿元，年均复合增长率为24%。

图 3.1 - 2020~2030 年中国 5G 产值规模预测

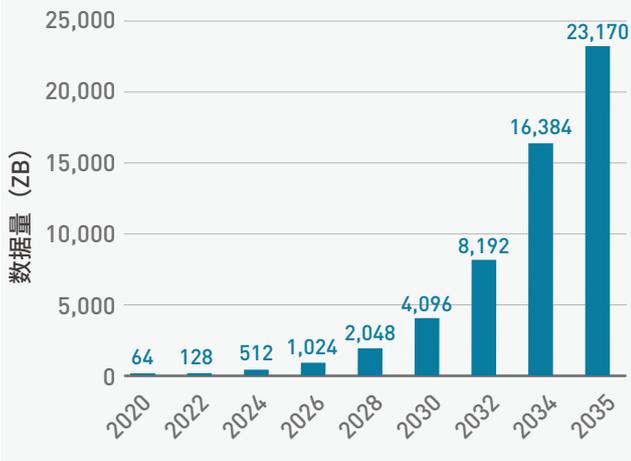


(二) 大数据与云计算

随着互联网的大规模普及和传感器技术、通信技术、信息处理技术的发展，中国已成为“数据大国”。数据显示，2019年全国大数据产业规模达到5,397亿元³³。根据赛

迪顾问统计和预测，2020年全国数据规模达到64 ZB，2030年将达到4,096 ZB³⁴，约每两年倍增一次。若按此趋势增长，2035年数据规模将超过23 YB（图 3.2）。

图 3.2 - 2020~2035 年中国数据量增长规模预测



数据来源：2020~2030 年数据源于赛迪顾问

云计算作为大数据的孪生兄弟，市场规模同样一路上涨。据统计，2019 年全国云计算产值为 1,290.7 亿元，增长率达 34.1%³⁵。

从需求上看，云计算作为一种弹性的计算方式，解决了算力部署与业务需求的矛盾。此外，ICT 设备部署量少的中小型企业通过上云，享受到容错架构，容灾备份的高可靠性基础设施，无需专门组建基础设施运维队伍，缩减了运营成本，因此云计算服务广受青睐。

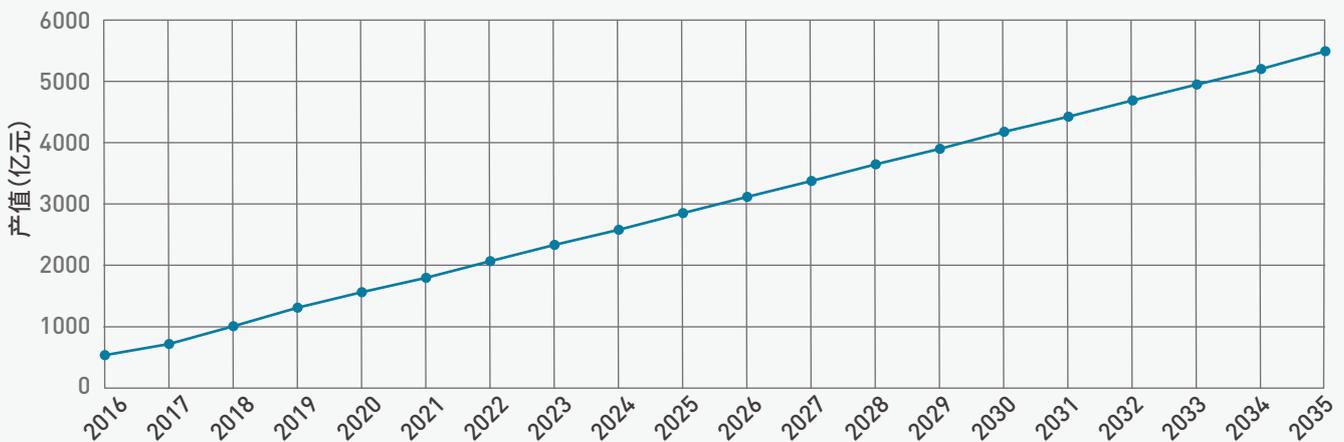
从供给上看，国内几大云计算服务供应商纷纷宣布继续加大投资力度，建设云计算基础设施，加快传统互联网数据中心（IDC）向新型云计算数据中心转型的步伐。

例如，阿里云宣布未来 3 年将再投资 2,000 亿元，用于云基础设施投资，包括数据中心建设、服务器、芯片、网络、云操作系统等³⁶。中国电信把“5G+ 天翼云 +AI”作为重要的发展战略，创造性地提出“云网融合”的概念，构建了“2+4+31+X”的云计算算力资源布局体系³⁷。华为也加快云计算基地布局速度，在内蒙古、江苏、贵州等地建设云计算数据中心，并首次提出以应用为中心的云原生 2.0 概念³⁸，预计未来云计算服务商仍会保证充足的供给能力来满足旺盛的市场需求。

从政策上看，国家在《关于推荐上云用数赋智行动培育新经济发展实施方案》中指出“加快数字化转型共性技术、关键技术研发应用，支持在具备条件的行业领域和企业范围探索大数据、人工智能、云计算、数字孪生、5G、物联网和区块链等新一代数字技术应用和集成创新”。各地政府应制定了相应的规划，例如北京市指出要“落实北京大数据行动计划，加强物联网、云计算、大数据、人工智能等技术在城市管理中的应用，提升城市管理智能化水平”³⁹。上海市指出要“推动大型展览展示企业和知名云服务企业共建云展服务实体，打造云会议、云展览、云走秀、云体验等系列活动”⁴⁰。广东省指出要“以构建泛在互联一体化网络为主体，加快推进信息基础设施建设。带动超过 5 万家工业企业上云上平台”⁴¹。预计在政策的鼓励下，各行各业上云积极性将提高，有利于云计算规模的增长。

在多方利好因素的影响下，全国云计算的市场产值规模将不断攀升，预计 2035 年达 5,439 亿元。

图 3.3 - 2016~2035 年中国云计算产值规模及预测



（三）小结

5G、大数据、云计算和人工智能将进一步融合，聚变效应更加明显。在新一代数字经济产业体系里，大数据是云计算的输入原料，是人工智能的学习素材。云计算是加工处理仓库，利用分布式计算高效处理海量数据，挖掘数据背后的价值，同时也是人工智能网络模型主要的学习训练场所。5G 是传送带，利用高速率、低时延、大流量的连接方式使万物互联，缩短数据的传输时间，

打破空间的限制，连接云端与边缘端，拓展了人工智能的应用场景。人工智能则是上述技术其中一个应用出口，利用大数据、云计算技术进行网络模型训练，利用 5G 技术进行数据实时互传，以云边协同的工作模式，优化网络模型，快速输出推理结果。可以说，人工智能是一个充满想象的未来。人工智能应用场景的拓展，又进一步刺激了其余数字技术的发展，形成一个良性循环。5G、大数据、云计算和人工智能等数字技术产业将相互促进、相互刺激，继续保持强劲的发展势头。

二、数字基础设施能耗与碳排放分析及预测

通过对 5G、大数据、云计算和人工智能等数字经济产业间关系的梳理，我们归纳出新一代数字技术主要的能耗设施设备，一是作为数据传输驿站的 5G 基站；二是作为数据计算、储存的场所的数据中心。

（一）5G

1. 基站规模分析预测

目前，全国 5G 基站的建设正按计划有序进行。截止至 2020 年底，全国 5G 基站约 71.8 万个⁴²，新建基站 58.8 万个，超额完成了 2020 年底建设 55 万个基站的目标⁴³。

为了能更准确地得出 2020 年全国 5G 基站的规模，本文统计出 2020 年全国各地 5G 基站的数量。

表 3.1 - 全国及各地区 5G 基站规模

地区	累计已建成（万个）	统计截止时间
广东	12.4	2020 年 11 月
江苏	7.1	2020 年 11 月
浙江	6.26	2020 年 10 月
山东	5.1	2020 年 12 月
重庆	4.9	2020 年 10 月
河南	4.54	2020 年 12 月
四川	3.9	2021 年 1 月
北京	3.7	2020 年 12 月
江西	3.1	2020 年 11 月

地区	累计已建成（万个）	统计截止时间
上海	3	计划
湖南	2.9	2020 年 12 月
湖北	2.61	2020 年 12 月
天津	2.4	2020 年 12 月
福建	2.25	2020 年 12 月
安徽	2.14	2020 年 8 月
广西	2.1	2020 年 12 月
河北	2.1	2020 年 12 月
辽宁	2	2020 年 9 月
贵州	2	2020 年 12 月
黑龙江	1.98	2020 年 12 月
云南	1.85	2020 年 12 月
山西	1.8	2020 年 12 月
陕西	1.8	2020 年 12 月
甘肃	0.81	2020 年 11 月
吉林	0.8	2020 年 12 月
新疆	0.53	2020 年 10 月
内蒙古	0.45	2020 年 10 月
宁夏	0.4	计划
西藏	0.36	2020 年 12 月
海南	0.21	2020 年 9 月
青海	0.19	2020 年 9 月
全国	85.7	/

数据来源：各地政府部门公布的数据。

从发展规律看，自从 20 世纪 80 年代初引入 1G 技术以来，通讯技术大约每 10 年发生一次更新迭代。4G 通讯技术自 2010 年海外运营商建设启动至今已逾 10 年。中国从 2013 年开始，历经七年时间，4G 基站建设进度基本完成。截止至 2019 年底，4G 基站建成数量达 544 万个⁴⁴，详见表 3.2。据此估计，全国 5G 基站建设数量将在 2021~2025 年间将稳步上涨，在 2025 年前后基本布局完成。

表 3.2 - 全国 4G 基站发展情况

年份	基站总量 (万个)	增量 (万个)
2014	85	/
2015	177	88
2016	263	86
2017	328	65
2018	372	34
2019	544	172

数据来源：工信部发布的《2019 年通信业统计公报》

从通讯频段看，中国移动得到 2515 MHz~2675 MHz 及 4800 MHz~4900 MHz 频段、中国电信得到 3400 MHz~3500 MHz 频段、中国联通得到 3500 MHz~3600 MHz 频段⁴⁵。而 4G 工作频段为 1880 MHz~1900 MHz、2320 MHz~2370 MHz 及 2575 MHz~2635 MHz⁴⁶。显然，5G 传输频率比 4G 高，虽然在传输速度上更快，但根据电磁波传播模型可知，传输频率与传输距离成反比。换言之，要达到同样的覆盖效果，需建设更多 5G 基站。考虑到 5G 宏基站与微基站、皮基站、飞基站的协同工作方式，初步估计 5G 宏基站总数量约为 4G 基站的 1.2~1.5 倍。

从政策上看，为保障 5G 基站建设行动有序实施，各地政府相继提出了 5G 建设的规划方案。如广东省提出了“到 2025 年底 5G 基站累计达 29 万个”⁴⁷、江苏省提出“到 2022 年，5G 基站达到 16.9 万个”⁴⁸、河南省提出“到 2022 年，5G 基站数量达到 16.8 万个”⁴⁹。各地规划情况详见表 3.3。对比各地 2020 年 5G 基站计划累计建成数量和 2022 年计划累计建成数量可得出平均复合增长

率约 63.6%。按此增长率计算，2025 年全国 5G 基站约 800 万个，为 4G 基站总量的 1.4 倍左右，与上述推测结果基本吻合。

表 3.3 - 全国及各地区 5G 基站建设规划情况

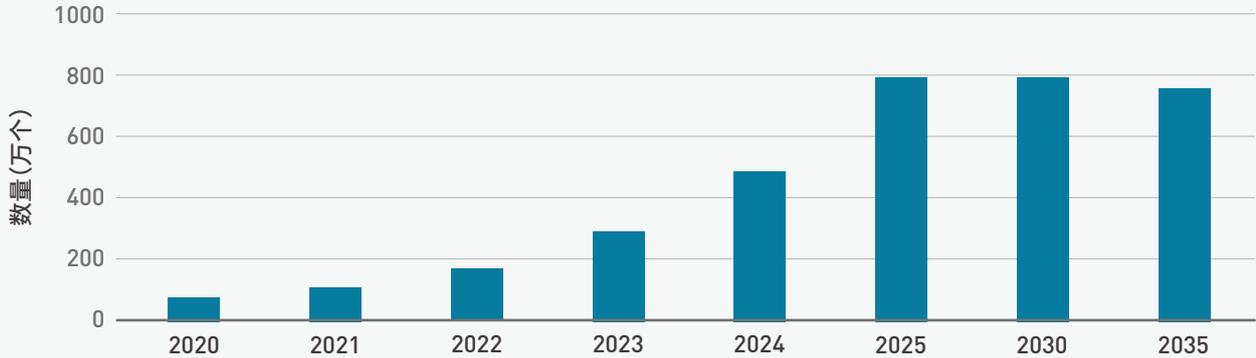
地区	计划累计建成数量 (万个)		复合增长率 (%)
	2020 年	2022 年	
广东	10	22	48.3
江苏	5.2	16.9	80.3
河南	4	16.8	104.9
浙江	6	12	41.4
四川	3	12	100.0
山东	3	11.2	93.2
重庆	4	10	58.1
福建	4	8	41.4
河北	1.5	7	116.0
上海	3	5	11.8
山西	1.5	5	82.6
安徽	2	4.5	50.0
天津	2	4	41.4
江西	2	4	41.4
贵州	2	3.2	26.5

数据来源：各地政府政策

综上所述，推测 5G 通讯技术周期为 10 年，基站建设在 2025 年基本完成，基站数量在 2021~2025 年间按 63.6% 复合增长率的上涨，在 2030 年开始逐步回落。采用以下模型进行拟合，预测出 2035 年全国 5G 基站数量约 758 万架。

$$\begin{cases} 68 \times 1.636^{x-2020}, & 2021 \leq x \leq 2025 \\ 797, & 2025 < x \leq 2030 \\ 797 \times 0.99^{x-2030}, & x > 2030 \end{cases}$$

图 3.4 - 2020~2035 年中国 5G 基站增长情况



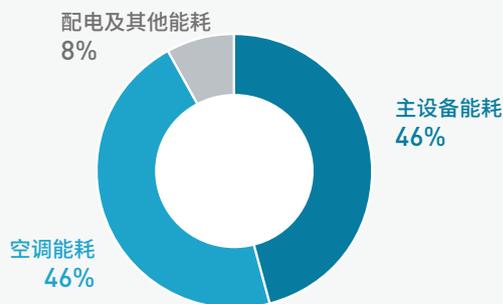
2. 能耗及碳排放现状分析

① 能耗结构

目前，受限于公众对辐射的担忧及运维难度大等因素影响，5G 微基站、皮基站和飞基站尚未大规模部署，各地政府公布的 5G 基站建设数据也以宏基站为主，微基站、皮基站、飞基站较少提及。另一方面，就目前情况来看，宏基站数量和单站功率均远大于微基站、皮基站和飞基站。

考虑到数据可获得性和对整体能耗的影响权重，本文在分析 5G 基站能耗时仅考虑宏基站的能耗。一般来说，5G 宏基站由 1 套基带单元 BBU 和 3 个有源天线单元 AAU 构成。5G 基站功耗包含主设备能耗（BBU 和 AAU）、空调能耗、配电和其他能耗，各项占比如图 3.5⁵⁰。

图 3.5 - 5G 基站能耗分布



② 影响因素

主设备和空调配电等辅助设备的能效、业务负载量均影响着 5G 基站的能耗。随着业务负载率的变化，5G 基站主设备功率也产生变化。一般来说，BBU 功耗受负载变化的影响小，基本维持稳定。AAU 随负载的变化较大，详见表 3.4⁵¹。

表 3.4 - 5G 主用设备实测功耗

业务负荷	品牌 1		品牌 2	
	AAU 平均功耗 (W)	BBU 平均功耗 (W)	AAU 平均功耗 (W)	BBU 平均功耗 (W)
100%	1127.8	293.012	1175.4	325.8
50%	892.32	293.012	956.8	325.8
30%	762.43	292.537	856.9	319
20%	733.92	293.233	797.5	319
10%	699.36	293.416	738.6	319
空载	633	293.568	663.0	330

数据来源：5G 基站建设服务商公布的实测数据。

③ 能耗测算

各品牌设备典型功耗见表 3.5。对比典型功耗和不同业务负载下的实测功耗可知，典型功耗标称值落在 50%~100% 区间内。

表 3.5 - 5G 主用设备典型功耗

厂商	BBU		AAU	
	峰值功耗 (W)	典型功耗 (W)	峰值功耗 (W)	典型功耗 (W)
华为	/	250	1200	800
中兴	/	315	1300	1080
爱立信	180	120	1420	980

数据来源：厂商技术指标

从中国三大运营商 5G 基站设备的招标中标结果得知，华为、中兴、爱立信三家厂商的市场份额达 90% 以上。通过对三家厂商设备参数分析，目前 BBU 典型功耗平均值为 228W，AAU 典型功耗平均值 953W。为计算简便，本文选取各主设备的典型功耗平均值作为计算参考值，单基站按 S111 配置，即 1 个 BBU 和 3 个 AAU，则主设备功耗为 3,087W。外加考虑空调、配电及其他能耗时，5G 基站单站功耗为 6,711W。

目前，根据各地政府公布的数据显示，2020 年全国 5G 基站已建成约 85.7 万个，假设建成的基站全部开通且不间断运行，则 2020 年的能耗约为 504 亿千瓦时。

表 3.6 - 2020 年全国及各地区 5G 基站能耗

地区	能耗 (万千瓦时)	地区	能耗 (万千瓦时)
广东	728,976	湖南	170,486
江苏	417,397	湖北	153,438
浙江	368,015	天津	141,092
山东	299,821	福建	132,274
重庆	288,063	安徽	125,807
河南	266,899	广西	123,456
四川	229,275	河北	123,456
北京	217,517	辽宁	117,577
江西	182,244	贵州	117,577
上海	176,365	黑龙江	116,401

地区	能耗 (万千瓦时)	地区	能耗 (万千瓦时)
云南	108,758	内蒙古	26,455
山西	105,819	宁夏	23,515
陕西	105,819	西藏	21,164
甘肃	47,619	海南	12,346
吉林	47,031	青海	11,170
新疆	31,158		

④ 碳排放测算

5G 基站碳排放量的测算方法采用碳排放因子法，将能耗值乘上该地区的碳排放因子，估算出当前碳排放量。

根据统计数据的可获得性，最新可计算得出 2018 年不同层级的电网排放因子。基于 2015~2018 年全国及各地区电网因子的变化趋势外推 2020 年全国及各地区排放因子如表 3.7 所示。

表 3.7 - 2020 年全国及各地区电网排放因子 (kgCO₂/kWh)

地区	电网排放因子	地区	电网排放因子
全国	0.560	河南	0.728
北京	0.649	湖北	0.373
天津	0.794	湖南	0.603
河北	0.992	广东	0.442
山西	0.810	广西	0.550
内蒙古	0.713	海南	0.415
辽宁	0.660	重庆	0.419
吉林	0.526	四川	0.071
黑龙江	0.288	贵州	0.497
上海	0.537	云南	0.124
江苏	0.666	陕西	0.461
浙江	0.543	甘肃	0.450
安徽	0.735	青海	0.034
福建	0.475	宁夏	0.657
江西	0.689	新疆	0.967
山东	0.846		

基于全国及各地区 2020 年 5G 基站电力消费量(表 3.6)，以及表 3.7 所示的 2020 年全国及各地区排放因子，计算得出 2020 年全国及各地区 5G 基站碳排放量如表 3.8 所示。

2020 年全国 5G 基站排放量高达 2,799 万吨，全国 31 个省市自治区均有分布，其中广东、江苏、山东、浙江和河南排放量最大，分别为 322 万吨、278 万吨、254 万吨、200 万吨和 194 万吨，五个地区占全国排放量的 45%。

表 3.8 - 2020 年全国及各地区 5G 基站碳排放量
(万吨 CO₂)

地区	排放量	地区	排放量
全国	2799	广西	68
广东	322	河北	122
江苏	278	辽宁	78
浙江	200	贵州	58
山东	254	黑龙江	34
重庆	121	云南	13
河南	194	山西	86
四川	16	陕西	49
北京	141	甘肃	21
江西	126	吉林	25
上海	95	新疆	30
湖南	103	内蒙古	19
湖北	57	宁夏	15
天津	112	西藏	1
福建	63	海南	5
安徽	92	青海	0

3. 能耗及碳排放预测

① 能耗预测

为了降低基站功耗，设备厂商和运营商不断探索基站绿色技术，从设备级、站点级、网络级三个维度提出了节能降耗的解决方案。

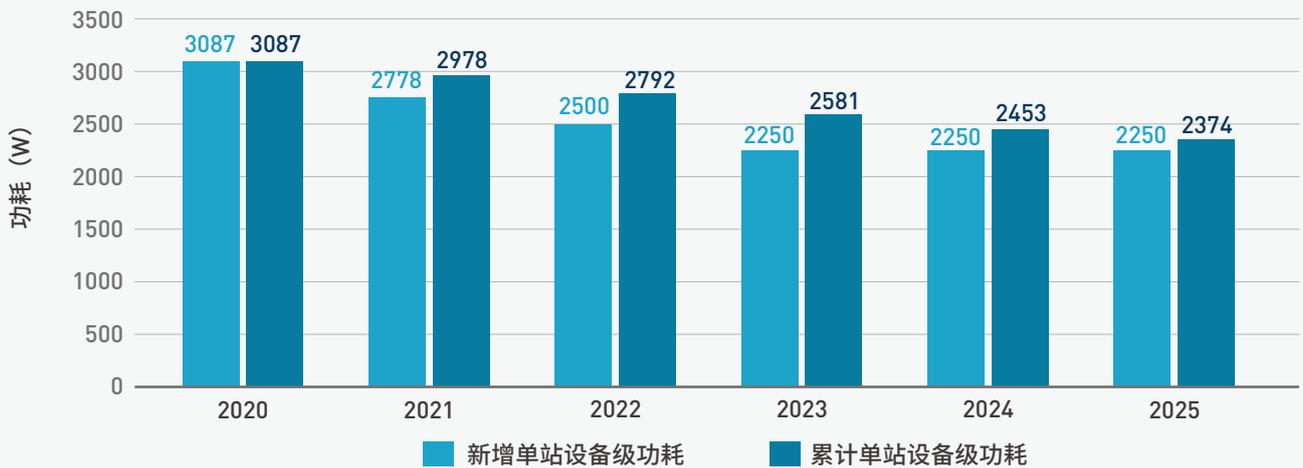
设备级方面，7nm 制程芯片已成为主流，制程的下降加上算法的优化，芯片功耗持续降低。此外，GaN 技术在射频器件上得到广泛应用，2020 年 GaN 功放应用比例已达 80%。GaN 技术相比 GaAs 和基于 Si 的 LDMOS 技术拥有更高功率限值和更出色的效率，更好地匹配绿色高效的要求。得益于上述技术的应用，中国移动预计设备级功耗平均每年可降低 10% 左右⁵²。

站点级方面，亚帧关断、通道关断、深度休眠等功能逐步实现，下行功率优化、4G/5G 共模基站协作关断、自适应启动 / 关闭等功能持续探索，将有效降低了基站的静态功耗和低载功耗。此外，相变液冷技术利用低沸点液体在 AAU 内部进行相变热交换，靠近热源，精准制冷，提升散热效率，功耗比传统空调制冷的基站下降 30%⁵³。

网络级方面，多网协作节能技术和 C-RAN 架构即将进入小规模试点部署阶段。二者分别通过算法优化和架构改进提升资源利用率，实现降低能耗的目标。据中国移动测算，C-RAN 将使得包括能耗在内的单站维护成本下降 17.1%~23.7%。

据中国移动估计，2021~2023 年间设备级功耗平均每年下降 10%。假设设备级功耗在此后保持稳定，结合 2021~2025 年的基站增长数量，预测 2025 年单站设备级功耗 2,374W，如图 3.6。

图 3.6 - 2020~2025 年 5G 单站设备功耗发展趋势



综合来看，2035 年全国 5G 基站能耗为 2,446~2,965 亿千瓦时。

在情景一下，节能技术高速发展，全国大规模普及。AAU 深度休眠、站点自适应控制、绿色制冷及配电、网络级算法及架构优化等技术发展迅猛，大规模应用，2035 年主设备功耗可在 2025 年基础上下降 2%。空调、配电和其他能耗占比可缩减至 50%，单站功耗约 3,878W，整体能耗在此基础上下降 5%。则 2035 年全国 5G 基站能耗约 2,446 亿千瓦时。

在情景二下，节能技术发展放缓，局部地区落地应用。AAU 深度休眠、站点自适应控制、绿色制冷及配电、网络级算法及架构优化等技术发展速度放缓，应用范围较为局限。2035 年主设备功耗在 2025 年基础上下降 1%。空调、配电和其他能耗占比可缩减至 40%，单站功耗约 4,701W，整体能耗在此基础上下降 2%。则 2035 年全国 5G 基站能耗约 2,965 亿千瓦时。

② 碳排放预测

基于未来的经济、社会以及低碳约束条件，对 2020~2035 年中国电力行业发展进行了预测，得出了不同情景下 2035 年煤电发电量占比分布在 35~42%、气电发电量占比分布在 4~5%、非化石电力发电量占比分布在 53~61%。由于未来各地区 5G 和数据中心以及电力结构预测等存在较大不确定性，本研究仅对未来全国排放情况开展预测，不

再细分到地区。根据《省级二氧化碳排放达峰行动方案编制指南（环办气候函〔2021〕85 号）》，中国 2020 年煤电和气电排放因子分别为 0.853kg CO₂/kWh 和 0.405kg CO₂/kWh，结合 2020 年全国电网排放因子以及 2035 年电力结构预测，分析得出 2035 年中国电力排放因子范围为 0.334~0.397 kg CO₂/kWh。

综合来看，2035 年全国 5G 基站碳排放量约合二氧化碳 8,170 ~11,771 万吨。

在上述情景一下，全国 5G 基站能耗 2,446 亿千瓦时，2035 年全国碳排放因子范围为 0.334~0.397 kg CO₂/kWh，相应地 2035 年全国 5G 基站碳排放量约合二氧化碳 8,170 ~9,711 万吨。在上述情景二下全国 5G 基站能耗 2,965 亿千瓦时，2035 年全国碳排放因子范围为 0.334~0.397 kg CO₂/kWh，相应地 2035 年全国 5G 基站碳排放量约合二氧化碳 9,903~11,771 万吨。

4. 小结

从 5G 基站建设周期可以看出，2030 年基站规模、能耗及碳排放量将达到顶峰。尽管 2035 年 5G 基站能耗相比 2020 年翻了两翻多，假如中国发电能源结构持续优化，非化石电力比重不断上升，5G 基站碳排放量增速将低于能耗增速。

（二）数据中心

1. 数据中心机架规模分析预测

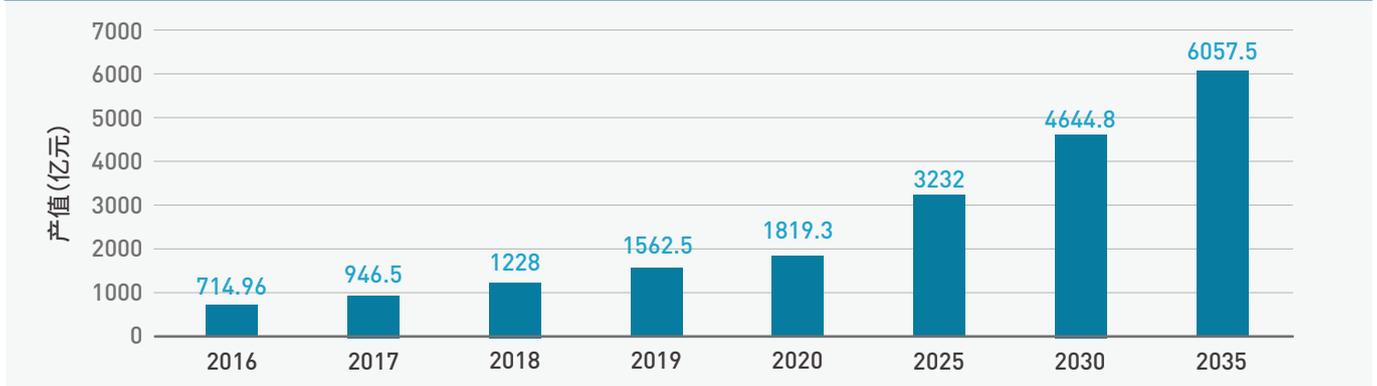
随着数字经济高速发展，数据量与日俱增，海量的数据处理、存储、传输的过程都离不开数据中心。数据中心作为新基建的重要组成部分，数字经济的坚实基础，其重要性已上升到国家战略层面。

从需求量上看，在数字经济时代，全国的数据量平均每两年翻一番，数据处理刚需依然存在，可预见数据中心规模也将相应地增长。此外，目前北京、上海、广州等一线城市仍存在供不应求的现象。以上海为例，2019年上海市在用数据中心机架数为34.8万架，但需求规模已超过41万架，仍存在一定供需缺口⁵⁴。这促使其周边地区数据中心的建设脚步加快，以缓解资源紧缺的局面。

从政策层面上看，国家在“十四五规划”中明确提出了要加快数据中心建设。各地亦根据自身的特点制定了数据中心建设规划。北京市、上海市、广东省等地受限于能源资源紧张，提出了比较严格的能效控制指标，一定程度上使该地区的建设速度有所放缓。河北省、内蒙古自治区、贵州省、四川省、甘肃省、山西省等地均指出要打造大数据中心基地、扩大产业规模化。总的来说，在政策引导下，数据中心布局日渐合理、增长量趋向平稳，预计不会出现指数级大规模增长。

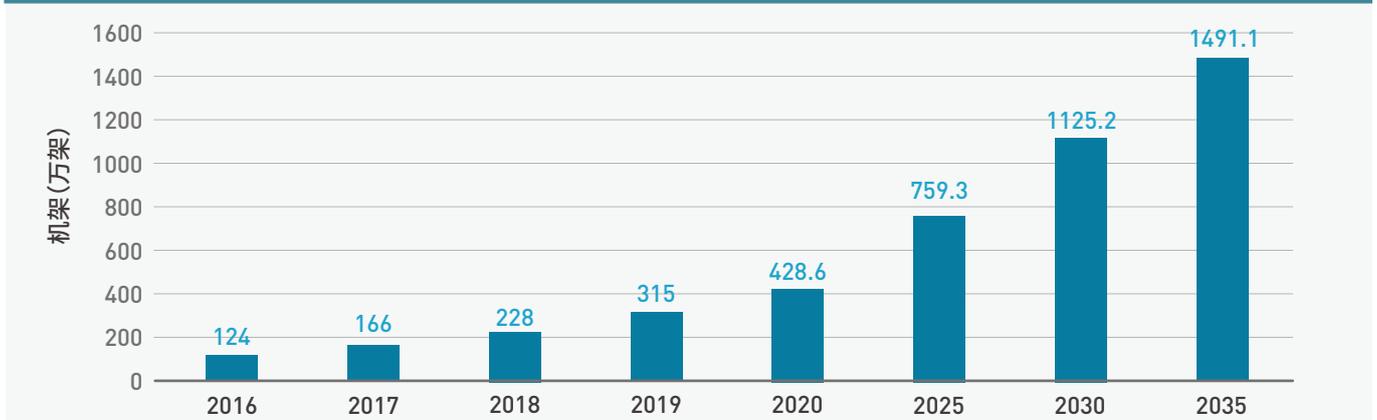
在数字经济需求和政策红利双重刺激下，数据中心的市场规模持续稳步扩大。截止至2019年，全国数据中心产值已达1,562.5亿元，与2018年相比，增长27.2%⁵⁵。预计2035年产值将达6,057.5亿元。

图 3.7 - 2016~2035 年中国数据中心产值增长情况



经测算，截止至2020年，全国数据中心总机架数约428.6万架⁵⁶。数据中心总机架数增长规律与总产值相似，均以相对稳定地增幅逐步上涨，预计至2035年全国数据中心总机架数约1,491.1万架。

图 3.8 - 2016~2035 年中国数据中心机架增长情况



数据来源：2016年-2020年数据源于《全国数据中心应用发展指引》

2. 能耗及碳排放现状分析

① 能耗结构

数据中心能耗可分解为电子信息设备、空调系统、供配电系统及其他能耗四大部分。电子信息设备能耗包括机房中的服务器、存储、通信等设备能耗；空调系统能耗包括冷源子系统、空调水系统、空调风系统中的设备能耗；供配电系统能耗包括变压器空载、负载损耗、不间断电源转换损耗和线路损耗。

② 影响因素

业务负载直接影响着电子信息设备的运行功率。显然，业务负载量升高，不仅直接增加了电子信息设备能耗，而且还间接增大了制冷能耗。但另一方面，足够高的负载率又能提升数据中心基础设施的运行效率，有利于降低 PUE，对节能有一定的积极意义。

基础设施的系统架构、能效水平、运维人员的能源管理水平直接影响着空调、供配电能耗。随着设计理念、制造工艺、运维水平的进步，未来空调和供配电的能耗占比将缩减，数据中心将朝绿色、高效的方向发展。

气候条件影响着数据中心利用自然冷源的时间长短。中国国土辽阔，包含严寒、寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖和温和五大气候区，各气候区数据中心的空调能耗占比呈现不同特点。

③ 能耗测算

为了相对客观的测算出全国数据中心当前能耗总量，综合考虑各种能耗影响因素，将全国分为北京市及其周边地区、上海市及其周边地区、广州市、深圳市及其周边地区、中部地区、西部地区和东北地区六大区域。各区域包含具体地区如下：

表 3.9 - 中国数据中心区域分布情况

区域	地区
北京市及其周边地区	北京市、河北省、天津市、内蒙古自治区
上海市及其周边地区	上海市、浙江省、江苏省
广州市、深圳市及其周边地区	广东省、福建省、海南省
中部地区	安徽省、河南省、湖北省、湖南省、江西省、山西省、山东省
西部地区	贵州省、甘肃省、四川省、重庆市、陕西省、云南省、青海省、新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区、广西壮族自治区、西藏自治区
东北地区	黑龙江省、吉林省、辽宁省

通过现场调研，研究团队获得了 IT 负荷使用率、单机架设计功率、PUE 等能耗影响因素指标，经汇总分析，结果详见表 3.10。全国各个地区在用机架数见表 3.11。

表 3.10 - 数据中心能耗计算关键指标

地区	平均 IT 负荷使用率 (%)	平均单机架设计功率 (kW)	平均 PUE
北京市及其周边地区	64	6.7	1.43
上海市及其周边地区	53	5.4	1.47
广州市、深圳市及其周边地区	45	5.6	1.58
中部地区	32	4.9	1.62
西部地区	38	5	1.51
东北地区	43	4.2	1.47

注：中部地区样本较小且负荷率与其余地区差异大，因此根据西部地区和东北地区平均负荷率作修正。

表 3.11 - 2020 年全国及各地区数据中心机架数

地区	省（自治区、直辖市）	机架数（万架）
北京及周边地区	北京市	26.3
	河北省	42.7
	天津市	9.8
	内蒙古自治区	14.9
上海及周边地区	上海市	35.9
	浙江省	30.5
	江苏省	42.5
广州、深圳及周边地区	广东省	43.2
	福建省	13.2
	海南省	1.6
中部地区	安徽省	3.2
	河南省	7.3
	湖北省	15.9
	湖南省	8.2
	江西省	7
	山西省	12.5
	山东省	13
西部地区	甘肃省	11.4
	广西壮族自治区	6.1
	贵州省	22.4
	宁夏回族自治区	3.3
	青海省	1.5
	陕西省	6.3
	四川省	12.7
	西藏自治区	3.2
	新疆维吾尔自治区	5
	云南省	4.3
	重庆市	11.9
	东北地区	黑龙江省
吉林省		2.8
辽宁省		3.7
全国		428.6

数据来源：《全国数据中心应用发展指引（2020）》

2020 年全国数据中心机架数为 428.6 万架⁵⁷，通过对各分区的关键能耗影响指标分析计算得到单一地区的能耗值，根据各区域分布系数进行合理加权外推，估算出 2020 年全国数据中心能耗总量约为 1,507 亿千瓦时。

④ 碳排放测算

基于全国及各地区 2020 年数据中心电力消费量，以及表 3.7 所示的 2020 年全国及各地区排放因子，计算得出 2020 年全国及各地区数据中心碳排放量如表 3.12 所示。

2020 年全国数据中心碳排放量高达 9,485 万吨，全国 31 个省市均有分布，其中河北和江苏省均超 1,000 万吨，分别为 2,275 万吨和 1,043 万吨，上述两个地区排放量占全国的 35%，北京、上海、广东、浙江和内蒙古排放量超过 500 万吨，分别为 917 万吨、710 万吨、666 万吨、611 万吨和 570 万吨，7 个地区占全国排放量的 72%。

表 3.12 - 2020 年全国及各地区数据中心碳排放量（万吨 CO₂）

地区	排放量	地区	排放量
全国	9485	山西	225
北京	917	山东	245
河北	2275	甘肃	129
天津	418	广西	84
内蒙古	570	贵州	280
上海	710	宁夏	54
浙江	611	青海	1
江苏	1043	陕西	73
广东	666	四川	23
福建	219	西藏	6
海南	23	新疆	122
安徽	52	云南	13
河南	118	重庆	125
湖北	132	黑龙江	42
湖南	110	吉林	34
江西	107	辽宁	57

3. 能耗及碳排放预测

① 能耗预测

未来的业务需求量、数据中心分布趋势和节能技术的发展情况均影响着中长期数据中心能耗和碳排放量的预测结果。业务需求量在上述的数据中心市场规模预测中已分析，此处不再赘述。

从近年数据中心分布趋势看，区域分布以市场导向和资源导向为主。因市场需求旺盛，北京市、上海

市其周边地区的机架数仍将稳定增长。广州市、深圳市因能源资源紧张，且地处夏热冬暖地区，能源运维成本高，故部分对时延要求不高的业务将外移至周边地区，甚至中西部地区；西部地区电力、能源资源丰富，可承接数据备份及部分高延时业务。中部地区因自身业务需求量增加，今年建设速度加快。总的来说，全国数据中心布局日趋均衡，呈现东中西协同发展的局面。预测广州市、深圳市及其周边地区区域分布系数有所下降，转化为中西部的增量。初步预估 2035 年区域分布系数见表 3.13。

图 3.9 - 2020~2035 年中国分地区数据中心机架数增长率

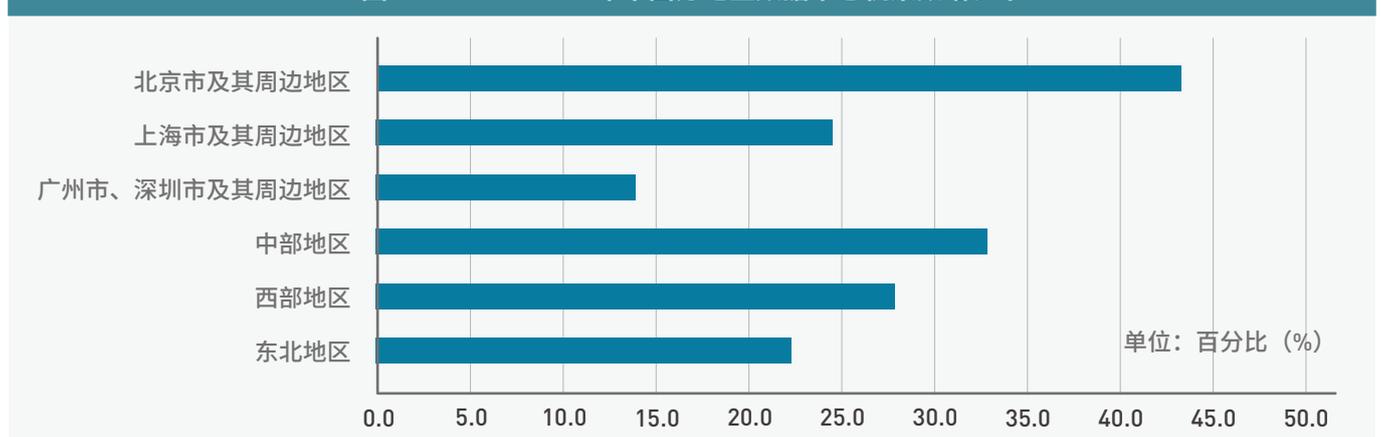


表 3.13 - 2035 年中国数据中心机架数区域分布系数

地区	区域分布系数
北京市及其周边地区	0.24
上海市及其周边地区	0.23
广州市、深圳市及其周边地区	0.09
中部地区	0.21
西部地区	0.20
东北地区	0.03

从节能技术发展应用情况来看，供配电系统方面，变压器除了铁芯带材工艺的改进之外，尚未有特破性的技术革新。市电直供受限于用户对可靠性的担忧只停留在小规模应用阶段。模块化不间断电源已广泛应用，明显提高了设备在低载区间的效率，目前启用休眠功能时，效率可在 90~95% 之间。巴拿马电源简化了配电架构，功率模块理论可达

98.5%⁵⁹，但从整体角度考虑，供配电系统能耗与传统架构相比，虽有所下降，但降幅不大。因此，供配电系统节能提升空间不大。空调系统方面，磁悬浮离心变频冷水机组已广泛应用于新建的数据中心，部分机组 COP 超过 10，远优于国标一级能效限值 6.3。此外，冷板式、浸没式、喷淋式等一系列液冷技术已开始试点应用，据厂商公布，PUE 可低至 1.07~1.20⁵⁹。可见未来空调系统节能潜力较大。目前，为了推动数据中心向绿色、低碳、集约发展，北京市、上海市、广东省等各地政府已发布了 PUE 限值：北京市要求新建云数据中心 PUE 不应高于 1.3⁶⁰。上海市要求新建互联网数据中心 PUE 值严格控制在 1.3 以下，改建互联网数据中心 PUE 值严格控制在 1.4 以下⁶¹。广东省宣布 PUE ≤ 1.25 的数据中心优先支持新建和扩建；1.25 < PUE ≤ 1.3 的支持新建和扩建；1.3 < PUE ≤ 1.5 的严控改建，不支持新建、扩建；PUE > 1.5 的禁止新建、扩建和改建⁶²。这也促使数据中心绿色节能技术的进一步推广。

综合考虑各种因素的影响，预计 2035 年全国数据中心能耗约 4,505~4,855 亿千瓦时。

情景一：节能技术高速发展，全国大规模普及。配电架构优化、冷板式、浸没式、喷淋式等一系列液冷技术发展迅猛，大规模应用，假设平均单机架设计功率和平均 IT 负荷使用率保持稳定，仅考虑节能技术对 PUE 的影响的情况下，2035 年全国数据中心 PUE 可在 2020 年基础上下降约 0.2。则 2035 年全国数据中心能耗为 4,505 亿千瓦时。

情景二：节能技术发展放缓，局部地区落地应用。配电架构优化、冷板式、浸没式、喷淋式等一系列液冷技术发展放缓，未得到广泛应用，假设平均单机架设计功率和平均 IT 负荷使用率保持稳定，仅考虑节能技术对 PUE 的影响的情况下，2035 年全国数据中心 PUE 可在 2020 年基础上下降约 0.1。则 2035 年全国数据中心能耗为 4,855 亿千瓦时。

② 碳排放预测

综合来看，2035 年全国数据中心碳排放量约合二氧化碳排放量 15,047~19,274 万吨。

根据前述章节的推测结果 (p.20)，2035 年全国碳排放因子为 0.334~0.397 kgCO₂/kWh，在上述情景一下，2035 年全国数据中心碳排放量为 15,047~17,885 万吨。在上述情景二下，2035 年全国数据中心碳排放量为 16,216~19,274 万吨。

4. 小结

2020 年全国数据中心能耗约为 1,507 亿千瓦时，约合二氧化碳排放量高达 9,485 万吨。据上文分析，数据中心机架规模仍将稳定增长，考虑绿色技术对节能的贡献，预计 2035 年全国数据中心能耗约 4,505~4,855 亿千瓦时，约合二氧化碳排放量 15,047~19,274 万吨，即届时全国数据中心的碳排放量将超过亿吨量级。

三、本章小结

根据 2020 年的能耗及碳排放测算值来看，数据中心以 1,507 亿千瓦时的耗电量及 9,485 万吨的碳排放量位居首位。5G 基站以 504 亿千瓦时的耗电量及 2,799 万吨的碳排放量位居次席。

从 2035 年中长期的预测结果来看，数据中心仍以 4,505~4,855 亿千瓦时的耗电量及 15,047~19,274 万吨的碳排放量位居首位。5G 基站以 2,446~2,965 亿千瓦时的耗电量及 8,170~11,771 万吨的碳排放量位居次席。由于 5G 基站的建设速度比数据中心机架数的增长规模快，因此 5G 基站与数据中心的能耗及碳排放量的差距在不断缩小。

需要指出的是，本报告的研究范围仅限于上述基础设施与设备的运行阶段，未考虑相应设备生产过程阶段与建设过程的能源与碳排放。目前物联网、工业互联网、人工智能等新兴技术尚处于发展初期，在实际应用中渗透率较低。未来，随着数字技术垂直应用领域不断拓展，智能化水平不断提高，智能终端的能耗及碳排放将是一个不容忽视的因素。



第四章：数字基础设施进一步应用可再生能源的潜力

长远来看，对于数字基础设施而言，持续提升能效与向 100% 可再生能源转型是迈向碳中和的重要路径。由于数字基础设施的能效提升在业内的关注与讨论已经十分深入，而且未来节能技术将不可避免地遇到瓶颈，因此本章节将重点讨论数字基础设施与可再生能源的结合潜力。应用可再生能源能从根本上帮助数字基础设施产业减少碳排放，应当作为迈向碳中和的优先路径。

一、中国可再生能源发展现状与趋势

（一）中国可再生能源发展现状

十三五期间，中国可再生能源实现了快速发展，可再生能源在一次能源中的占比不断提升。截止 2020 年底，全年一次能源消费总量 49.8 亿吨标准煤，煤炭消费占比为 56.8%，天然气、水电、核电、风电等清洁能源消费量占能源消费总量的 24.3%，上升 1.0 个百分点（图 4.1）。

图 4.1 - 2016~2020 年中国清洁能源消费占能源消费总量的比重⁶³



电力方面，2020 年底，中国非水可再生能源发电累计装机量占比已经达到 25.6%，其中风电装机量 2.81 亿千瓦、光伏发电装机量 2.53 亿千瓦，风电已成为第三大电源（图 4.2）。2020 年中国风电、光伏依然保持快速增长，风电新增装机量 7,167 万千瓦，光伏新增装机量 4,820 万千瓦，分别占 2020 年中国新增发电装机量的 38% 与 25%（图 4.3）。

图 4.2 - 2020 年中国不同类型电源累计装机量及占比⁶⁴

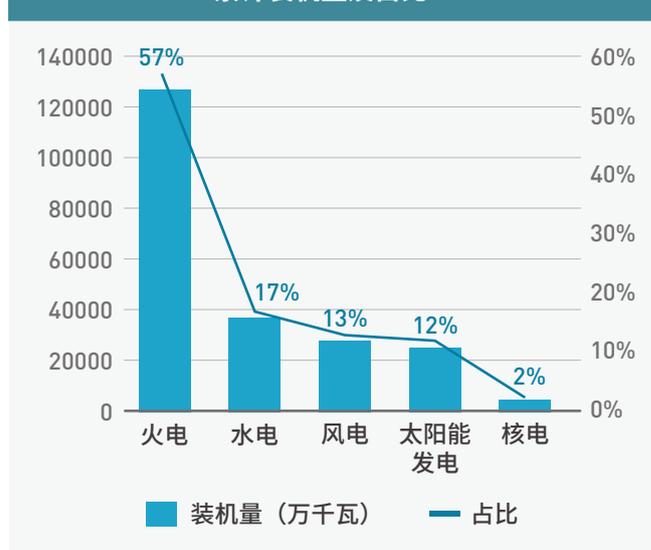
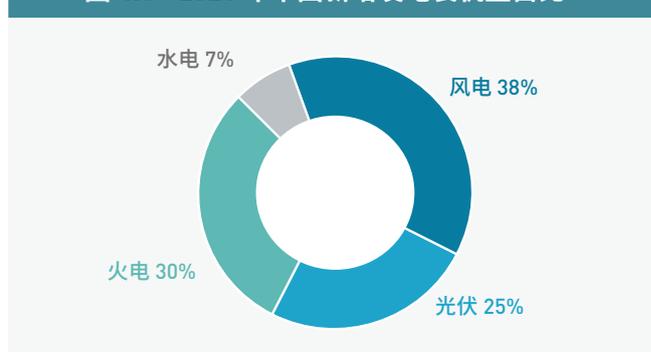


图 4.3 - 2020 年中国新增发电装机量占比⁶⁵



（二）中国可再生能源发展趋势

1. 政策环境

毫无疑问，“十四五”期间，中央和地方政府将出台更多支持政策以推动可再生能源的健康发展。近期政策主要集中在出台“十四五”新能源相关产业规划、促进可再生能源配套储能以及推动可再生能源消纳与市场化采购等三个方面。

① 各省市“十四五”新能源规划相继出台

2020年4月，国家能源局在《关于做好可再生能源发展“十四五”规划编制工作有关事项的通知》中提出，“十四五”是推动能源转型和绿色发展的重

要窗口期。通知明确了可再生能源发展的规划重点，包括优先开发当地分散式和分布式可再生能源资源，大力推进分布式可再生电力等在用户侧直接就近利用，结合储能、氢能等新技术，提升可再生能源在区域能源供应中的比重等⁶⁶。

2021年年初，省级“十四五”规划（含征求意见稿）陆续出台，截至到四月底，已至少有17个省份发布了新能源装机规划，其中，西藏、陕西、甘肃等西北省份将重点布局风光储等新能源；广东、浙江、江西、云南等南方省份将着重发展风电、光伏等新能源；浙江、江苏、山东、江西等地将大力推广“光伏+”模式。

表 4.1 - 主要省份的“十四五”新能源装机规划

省份	“十四五”新能源规划内容
黑龙江	到2025年可再生能源装机达到3,000万千瓦，占总装机比例50%以上，风电新增装机1,000万千瓦，光伏新增装机550万千瓦。
陕西	按照风光火储一体化和源网荷储一体化开发模式，优化各类电源规模配比，扩大电力外送规模。到2025年，电力总装机超过13,600万千瓦，其中可再生能源装机6,500万千瓦。
甘肃	到2025年，全省风光电装机达到5,000万千瓦以上，可再生能源装机占电源总装机比例接近65%，非化石能源占一次能源消费比重超过30%，外送电新能源占比达到30%以上。
浙江	大力发展生态友好型非水可再生能源，实施“风光倍增工程”。到2025年，力争全省光伏装机容量达到2,800万千瓦，力争全省风电装机容量达到630万千瓦，其中海上风电500万千瓦。
江西	积极稳妥发展光伏、风电、生物质能等新能源，力争装机量达到1,900万千瓦以上。全省发电装机容量力争达到7,000万千瓦，2025年风电、光伏、生物质装机分别达到700、1,100、100万千瓦以上。
贵州	到2025年，发电装机突破1亿千瓦，发电量超过3,000亿千瓦时，清洁高效电力产业产值超过2,000亿元。到2025年，非化石能源占一次能源消费比重达到17.4%。
云南	到2025年，全省电力装机达到1.3亿千瓦左右，绿色电源装机比重达到86%以上。在具体项目方面，“十四五”期间，云南将规划建设31个新能源基地，装机规模为1,090万千瓦，建设金沙江下游、澜沧江中下游、红河流域“风光水储一体化”基地以及“风光火储一体化”示范项目新能源装机共1,500万千瓦。
江苏	大力发展海上风电和“光伏+”产业。到2025年，全省光伏发电装机达到26吉瓦。其中，分布式与集中式分别达到12吉瓦、14吉瓦。
西藏	加快推进“光伏+储能”研究和试点，大力推动“水风光互补”，到2025年光伏装机容量突破10吉瓦。
甘肃	酒泉市：加快建设风光水火核多能互补、源网氢储为一体的绿色能源体系，主攻千万千瓦级风电、光伏光热、电网升级、调峰电源、储能装置等八类工程。力争新增电力装机20吉瓦以上，建成千亿级规模的清洁能源产业链。
广东	到2025年，新能源发电装机规模约10,250万千瓦，其中核电装机约1,850万千瓦，风电、光伏和生物质发电装机约42吉瓦。制氢规模约8万吨，氢燃料电池约500万千瓦，储能规模约200万千瓦；全省新能源产业营业收入达到7,300亿元，新能源产业增加值达到1,800亿元。
四川	“三州一市”光伏基地“十四五”规划总装机容量预计20吉瓦，新能源产业增加值达到1,800亿元。
山西	全力培育光伏、智能网联新能源汽车等潜力型新兴产业，打造一批全国重要的新兴产业制造基地。深化能源革命综合改革，巩固电力外送基地国家定位，加快外送通道建设，提升跨区域配置电力资源能力。
河北	建设张家口国家可再生能源示范区、国家级氢能产业示范城市，构建综合能源体系，加快清洁能源设施建设，推进坚强智能安全电网建设。“十四五”新增光伏将超过22吉瓦。

青海	支持建立动力电池、光伏组件等综合利用和无害化处置系统，发展光伏、风电、光热、地热等新能源。建设多能互补清洁能源示范基地，促进更多实现就地就近消纳转化。发展储能产业，贯通新能源装备制造全产业链。
山东	在“十四五”期间，新增光伏发电 1,300 万千瓦，2021 年山东新增可再生能源发电装机将达到 409 万千瓦以上。
内蒙古	推进风光等可再生能源高比例发展，壮大绿氢经济，推进大规模储能示范应用，打造风光氢储产业集群。“十四五”期间，新能源项目新增并网规模达到 5,000 万千瓦以上。到“十四五”末，自治区可再生能源发电装机力争超过 1 亿千瓦。

② “新能源 + 储能”成为高频关键词

在“十四五”开局首年，“新能源 + 储能”成为高频关键词。随着可再生能源电站的快速建设，进一步保障电网对可再生能源的消纳显得尤为重要，储能被认为是构建以新能源为主体的新型电力系统，实现“碳达峰、碳中和”目标的重要基础设施和关键技术。

2021 年 4 月，国家发改委、国家能源局发布了《关于加快推动新型储能发展的指导意见（征求意见稿）》⁶⁷。政策明确，到 2025 年，实现新型储能从商业化初期向规模化发展转变，装机规模达 3,000 万千瓦以上。到 2030 年，实现新型储能全面市场化发展。同时，政策指出要大力推进电源侧储能项

目建设和积极推动电网侧储能合理化布局。此外，政策还强调了用户侧储能的多元化发展，其中重点提到了鼓励围绕分布式新能源、微电网、大数据中心、5G 基站、充电设施、工业园区等其他终端用户，探索储能融合发展新场景。该政策将有力推动储能在源网荷的平衡发展。

地方层面上，越来越多的省份鼓励新建风电或光伏发电项目配套储能⁶⁸，以度电补贴和优先批准新能源发电项目为主。如下表所示，度电补贴以储能电量为基准，分别给予 0.3~1 元/千瓦时的补贴不等⁶⁹。优先支持政策则在对新能源发电项目进行批准时，优先考虑带有储能系统的新能源发电项目。

表 4.2 - 主要省份的新能源发电配置储能政策

省份	核心要求
宁夏	储能设施按照容量不低于新能源装机容量的 10%，连续储能时长 2 小时以上的原则逐年配置。
山西	大同市：新增新能源项目全部配置储能设施，配置比例不低于 5%，存量新能源项目鼓励企业分期适量配置。
青海	新建新能源项目原则上储能容量不低于新能源项目的 10%，储能时长 2 小时以上，对储能配比高、时间长的一体化项目给予优先支持。
山东	新能源场站原则上配置不低于 10% 的储能设施。
贵州	储能具体配置比例按照电网调度需要、项目年可利用小时数和建设时序而定。
陕西	2021 年起，关中、陕北新增 10 万千瓦（含）以上集中式风电、光伏项目按照不低于装机容量 10% 配置储能设施，其中榆林地区不低于 20%，储能时长 2 小时以上。 西安市：光储系统按实际充电量给予投资人 1 元/千瓦时补贴，年度补贴不超过 50 万元。
新疆	阿克苏市：纳入开发建设光伏发电项目按照不低于 10% 的装机比例配置储能项目建设规模。
海南	每个项目申报规模不得超过 10 万千瓦，且同步配套建设备案规模 10% 的储能装置。
江西	优先支持光储一体化项目，配置储能标准不低于光伏电站装机规模的 10% 容量/1 小时。
广西	2021 年申报项目配置 10% 以上储能装机的 15 分，低于 5% 不得分，要求连续储能 2 小时以上。
甘肃	鼓励全省在建存量 600 万千瓦风电项目按照河西 5 市 10%~20%，其他地区 5%~10% 配置储能装置，连续时长不小于 2 小时。
江苏	苏州市：按发电量（发电量）补贴 3 年，每千瓦时补贴业主单位 0.3 元。

③ 政策推动可再生能源消纳与市场化采购

在加快构建清洁低碳、安全高效的能源体系的背景下，一系列政策对于数字基础设施产业消纳可再生能源提出更高要求。2021年4月，北京市发改委发布《关于进一步加强数据中心项目节能审查的若干规定》征求意见，并要求北京市数据中心项目逐年提高可再生能源利用比例，在2030年达到100%⁷⁰。国家发展改革委、国家能源局于2020年联合印发了《关于各省级行政区域2020年可再生能源电力消纳责任权重的通知》⁷¹，意味着进入电力市场的数字基础设施企业作为电力用户将被纳入考核范围，承担可再生能源电力的消纳义务。同时，未来消纳责任权重将逐步提升，国家能源局发布的《关于征求2021年可再生能源电力消纳责任权重和2022-2030年预期目标建议的函》提出，2030年全国统一可再生能源电力消纳责任权重为40%⁷²。

另一方面，电力市场相关政策也在为数字基础设施产业采购可再生能源提供新的机会。京津冀区域、北京市、山西省、福建省、浙江省均出台相关政策，鼓励符合条件的数据中心企业参与电力市场化交易（表4.3）。

此外，国家能源局以及多省区曾发文明确表示支持5G基站使用储能设备、参与电力市场化交易等方式降低用电成本。国家能源局在回复政协委员《关于电网企业支持服务5G发展的提案》时表示，支持由售电企业将多个5G基站负荷聚集，“打捆”参与电力市场化交易。下一步国家能源局还将深入推进电力市场化改革，扩大交易规模，引导5G用电参与市场化交易，降低5G用电成本⁷³。这将为5G通过参与市场化交易的方式采购可再生能源奠定基础。

表 4.3 - 数据中心参与电力市场交易政策⁷⁴

发布日期	发布单位	政策名称	政策简要内容
2018.11	国家能源局华北监管局	《京津冀绿色电力市场化交易规则（试行）》	北京、天津、冀北电网的可再生能源发电企业及北京、天津、冀北及雄安符合准入条件的电力用户和京津冀地区的售电公司都可以通过协商、挂牌等市场化方式进行中长期电力交易，推进京津冀地区可再生能源一体化消纳。张家口地区的数据中心可以参与该项市场交易，直接采购绿色电力。
2019.2	北京市经济和信息化局、北京市发展和改革委员会、北京市城市管理委员会	《关于开展北京市绿色数据中心（第一批）征集工作的通知》	明确获评为绿色数据中心的的企业，可获得北京市电力市场化交易资格。
2019.12	山西省能源局	《2020年山西省电力直接交易工作方案》	支持高新技术、互联网、大数据、高端制造业等高附加值的新兴产业优先全电量参与市场交易，不受电压等级和电量限制。
2020.4	浙江省发展和改革委员会、浙江省能源局、国家能源局浙江监管办公室	《2020年浙江省电力直接交易工作方案》	新纳入信息传输、软件和信息技术服务业行业10千伏及以上电压等级用户可参与售电市场交易。
2020.4	福建省工业和信息化厅、国家能源局福建监管办公室、福建省通信管理局	《关于开展大数据中心企业电力市场注册工作的通知》	规定全省电网覆盖范围内，运营机柜超过150台的超算中心或数据中心企业中，符合条件的年购电量在1,000万千瓦时及以上的用户，可自主选择注册成为批发用户或零售用户，直接向发电企业购电或选择向售电公司购电；其他年购电量1,000万千瓦时以下的用户均注册为零售用户，通过售电公司代理购电。

2. 可再生能源发展趋势

① 可再生能源在电力系统中的占比将进一步提升

在宣布碳达峰、碳中和的气候目标之后，中国在2020年12月的气候雄心峰会上进一步宣布新的国

家自主贡献目标：到2030年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右，风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上。

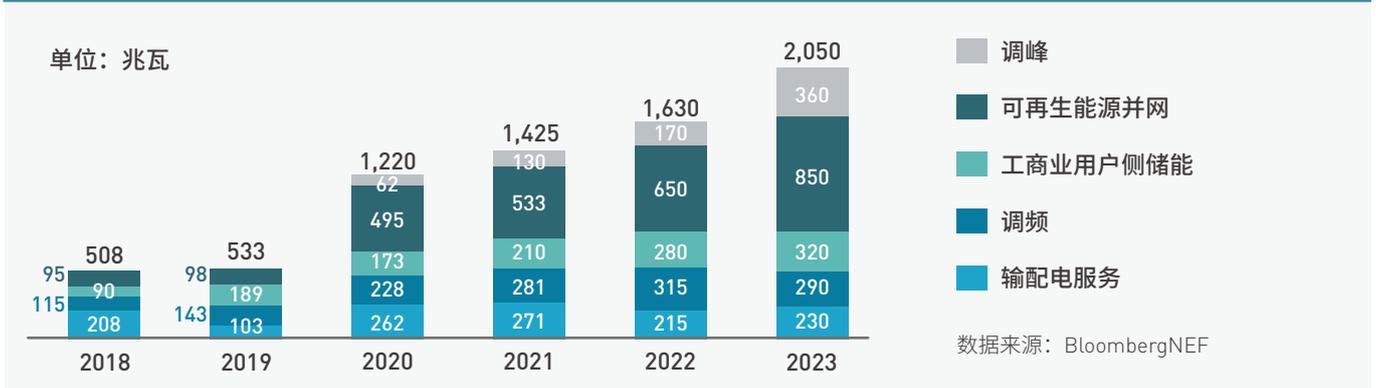
这一承诺明确提出了中国能源系统转型的时间线与方向。与数字基础设施最相关的电能逐步成为最主要的能源消费品种，电能占终端用能结构的比重有望在 2050 年和 2060 年分别达到约 60% 和 70%⁷⁵。同时，为实现电力系统的脱碳，系统中可再生能源的渗透率必须进一步提高。彭博新能源财经 (BNEF) 《中国加速脱碳》报告预测，在加速脱碳情景下，2050 年预计中国非化石电量将占总电量的 92%，其中可再生能源电量占总电量的 84%⁷⁶。另外，根据其他主流机构的预测，到 2035 年非化石发电量占比约 53~61%。

② 储能的作用越来越重要

随着风光装机的增长，发电设备整体出力的间歇性与不稳定性增强，储能可在电力系统的发、输、配、用等各个环节提供调频、调峰等应用，起到稳定电网频率、缓解电网阻塞、提高系统灵活性等作用，可保障数字基础设施的稳定电力供应⁷⁷。BNEF 预测显示，2023 年中国新增储能规模将达到 200 万千瓦（图 4.4）。

需要说明的是，目前储能发展还面临着诸多限制，比如成本、安全问题，在未来储能发展的道路上，必须遵循科学建设的原则，才能实现健康发展。

图 4.4 - 2018~2023 年中国储能新增规模预测 (BNEF)⁷⁸



③ 可再生能源成本不断下降

成本方面，随着风电、光伏规模化发展和技术进步，其发电成本将进一步下降。2020 年中国部分地区的风电和光伏项目平准化度电成本已经低于燃煤发电（图 4.5）。到 2050 年，风电和光伏的平准化度电成本将降低至 20~30 美元/兆瓦时，显著低于煤电（图 4.6）。

储能方面，根据 BNEF 预测，2025 年、2030 年储能项目总成本有望分别降至 209 美元/千瓦时与 167 美元/千瓦时，相对于 2019 年分别降幅为 37%、49%（图 4.7）。

图 4.5 - 2020 年中国不同发电技术的平准化发电成本⁷⁹

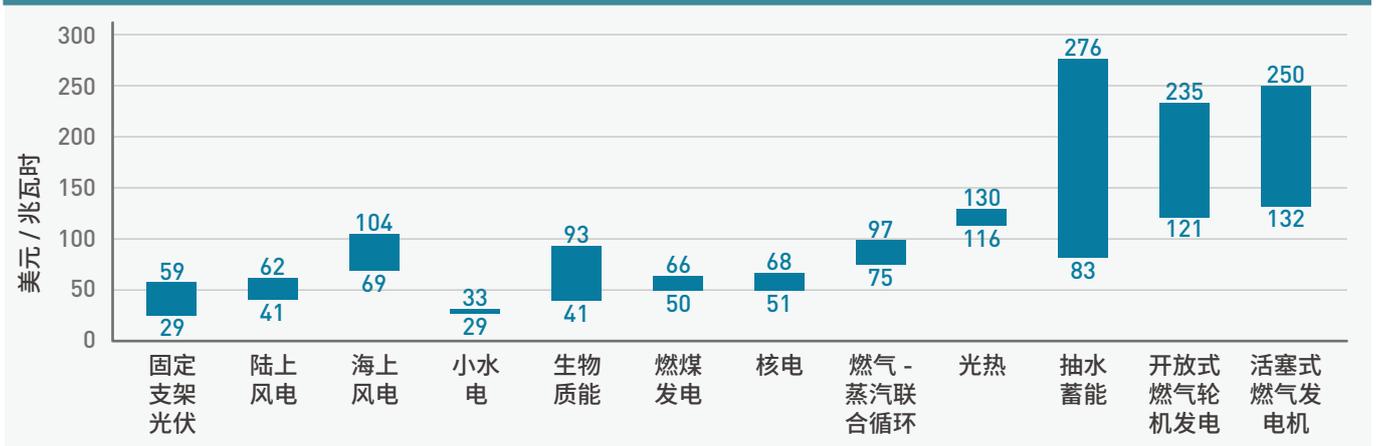
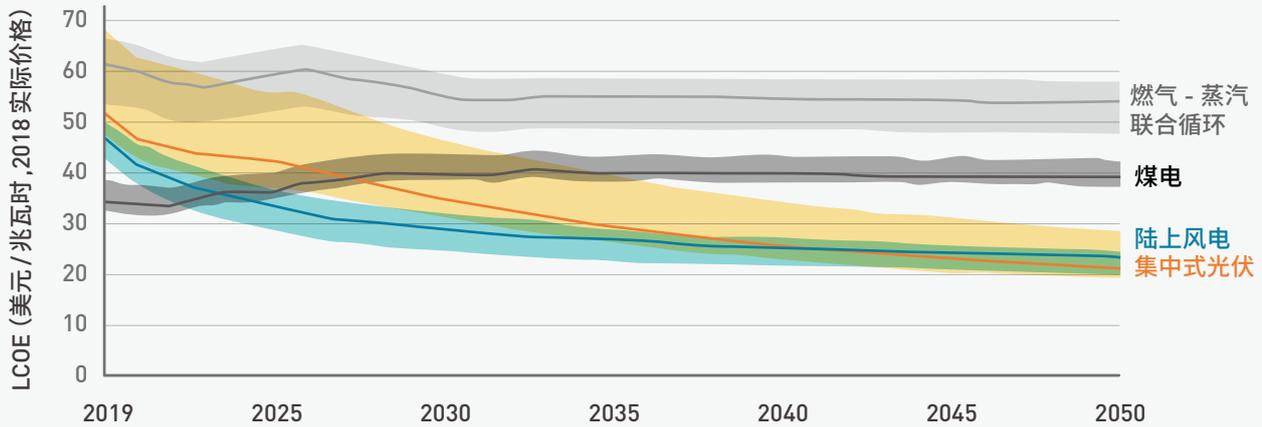
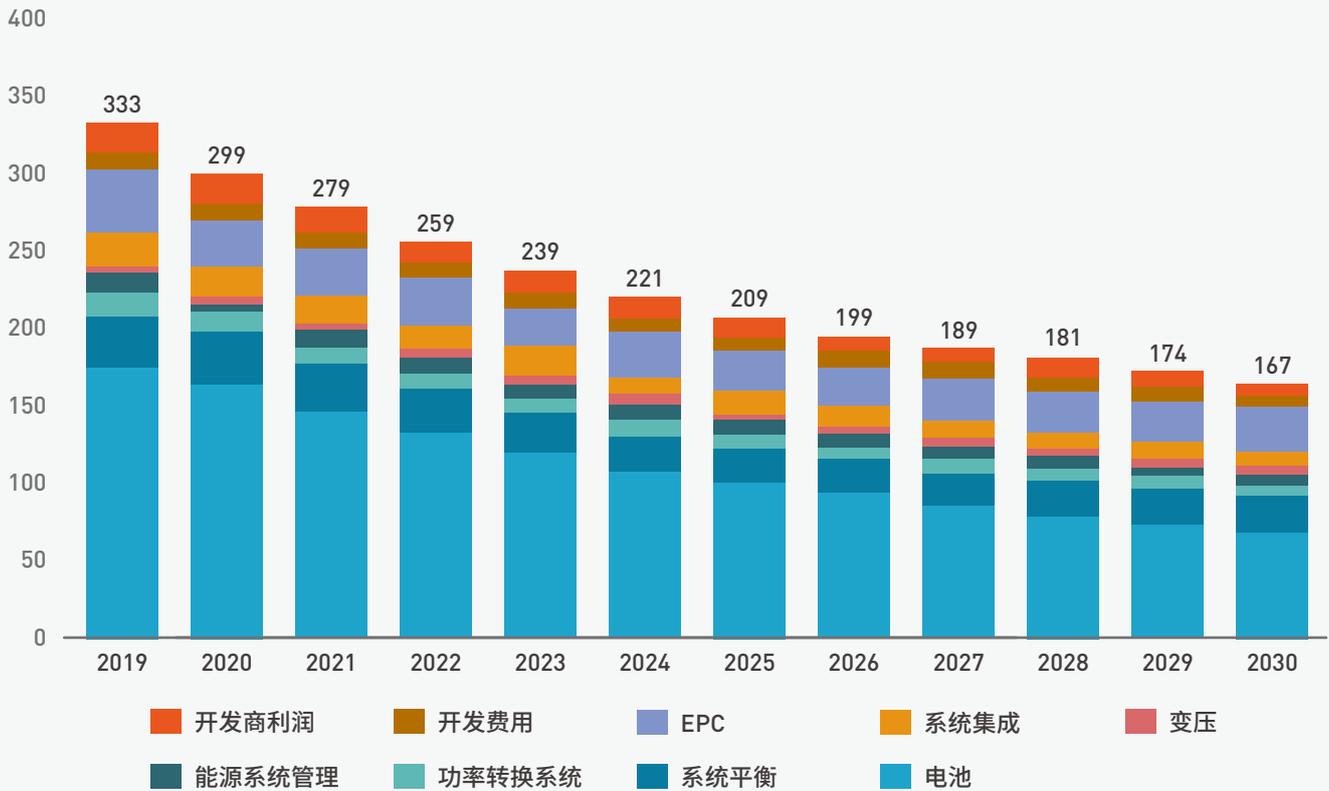


图 4.6 - 中国新建光伏与陆上风电平准化发电成本与现有燃煤和燃气电厂运营成本的对比⁸⁰

数据来源: BloombergNEF

图 4.7 - 2019~2030 年全球化学储能 (四小时电站级) 成本预测 (美元/千瓦时) (BNEF)⁸¹

数据来源: BloombergNEF

注释: 大型项目是指超过 100Mwh 的项目。资金支出不包括运维费用, 因为运维费用通常是按年支付的, 不是初始资金支出的一部分。资金支出包括 5% 的 EPC 保证金。2019 年的数据经通货膨胀调整, 反映 2020 年以美元计价的实际成本。

二、数字基础设施应用可再生能源的方式及案例

（一）绿色选址

数字基础设施在项目选址阶段，区域能源的富集性、低碳性应是重要的考量因素。目前可再生能源项目在全国建设已非常广泛，未来风电、光伏将进一步成为电力供应的主力军，数字基础设施应该充分利用本地风光资源，优先考虑可再生能源的就近消纳。

数据中心绿色选址方面，在以北京、上海、深圳为代表的一线城市已经出台了相关政策管制高耗能数据中心的扩张。同时，很多可再生能源富集的非一线城市对于数据中心产业提供了越来越多的支持。比如，风资源富集的乌兰察布市提出 0.26 元 / 千瓦时的大数据产业电价，在全国范围内颇具竞争力。山西支持数据中心参与电力直接交易，鼓励风光等清洁能源发电，对大型及特大型数据中心设定了 0.35 元 / 千瓦时的目标电价⁸²。

（二）建设分布式可再生能源发电项目

分布式可再生能源发电是指接入配电网运行、发电量就近消纳的中小型可再生能源发电设施。分布式可再生能源技术包括分布式光伏、分散式风电等⁸³。

分布式发电项目可选择“自用为主、余电上网”或“全部自用”模式。通过消纳自有光伏电量，用户可以节

省电费，同时反送电网的电量以规定的上网电价计算，获得售电收入。补贴方面，存量分布式光伏项目可享受国家及地方政府的补贴，新建项目在部分省市仍可享受地方政府补贴，包括北京市、上海市、西安市、广州市等⁸⁴，由于技术的进步和成本的快速下降，在无补贴的情况下，分布式光伏项目也已具备市场开发的经济性。

对于数据中心等基础设施来说，分布式项目所发电量直接供给企业使用，电力绿色属性所属关系清晰。而且分布式项目建设技术难度低，投资规模相对较小，用能企业可委托第三方开发商进行项目建设，流程相对简单，不需要增加人员投入。但是，目前分布式项目多为屋顶光伏，体量较小，对于用电大户来说单纯的自建项目发电很难 100% 满足企业绿电需求，企业还需要使用其他方式购买绿电。

此外，5G 基站 + 分布式光伏 + 储能也成为应用分布式光伏的新方式，5G 宏基站涉及范围广、基站功率大，一般建设在室外，需要储能系统作为备用电源以保证供电的稳定性。光伏可以对基站能耗进行补充，在有市电情况下，光伏与市电互补为基站供电并给蓄电池充电，通过调度逻辑实现光伏优先、不足部分由市电补充。当光、电都无法满足时，蓄电池向负载供电。



案例

1. 5G 基站 + 分布式光伏 + 储能

山东济宁移动的首批 26 处 5G 基站储能项目，通过储能设备错峰用电，降低电费支出，实现“零成本”备电，预计年节省电费超过 20 万元。此外，山东济宁移动还在基站试行屋顶建设分布式光伏发电站项目，实现了光伏发电对基站用电的有效补充⁸⁵。

合肥供电公司利用当前电网基础资源，建成安徽省内首个集光伏电站、储能站、5G 基站、电动汽车充电站、数据中心、换电站功能为一体的“多站融合”项目。本项目的“微网系统”含光伏电站 88 千瓦，全年发电量约 84,000 千瓦时，供给站内数据中心、5G 基站等设备使用；1.34 兆瓦储能电站一方面保障着电力供应的平衡稳定，同时利用晚间充电、白天供电，起到了一定的“削峰填谷”作用⁸⁶。

此外，在离网情境下可建立由风电或光伏供能的自发电 5G 基站，还可将风电机组塔架作为 5G 基站的塔架，实现资源的共享，以降低建设成本⁸⁷。

2. 数据中心 + 分布式电站 + 储能

储能系统作为能量储存和快速响应的载体，可以实现一个“源 - 网 - 储 - 荷”高度互动的能源网络，降低能源投资规模，提高能源利用率，实现能源消费本地化。2020 年 8 月，美国能源开发商 Capital Dynamics 公司与数据中心运营商 Switch 公司签署了一份太阳能 + 储能项目的电力采购协议，计划为美国内华达州内的 Citadel 大型数据中心提供全天候的绿色电力，项目包括一个 127 兆瓦的太阳能电站，以及一个 60 兆瓦 / 240 兆瓦时采用特斯拉 Megapack 电池的储能系统。该项目以超大规模运行，获得规模经济效益⁸⁸。

山西吕梁智慧能源项目以“天河二号”吕梁云计算中心为主要负荷对象，建设 100% 可再生能源供电的绿色云计算中心能源互联网，探索能源互联网与云计算、大数据等战略新兴行业的融合模式，进而示范推广。该项目规划建设 5 兆瓦 / 20 兆瓦时储能系统，包括 5 兆瓦光伏，50 千瓦风力发电，10 个 60 千瓦直流充电桩，以及 10 个交流充电桩⁸⁹。

(三) 投资建设大型集中式可再生能源项目

具备资金条件的企业也可以建设投资集中式风电、光伏电站。主要分为两种模式：一是选择在数据中心园区附近就近建设大型电站与变电站，并直接使用可再生能源电力；二是选择异地建设或入股大型电站，以促进可再生能源装机规模的增长。

投资建设大型集中式可再生能源项目可以一定程度上促进可再生能源发电装机的规模增长，同时企业还可以通过电站运营获得一定的投资回报率。在其他购电途径有所限制的情况下，这是大型企业使用绿色电力的一种非常直接的方式，但在电站开发、建设和运维方面，一般企业也缺乏经验，需要与能源开发企业合作进行。

模式一虽然理论上可行，但是意味着更多的投资，在实践中更多企业选择的是模式二。值得注意的是，目前业内对于模式二的绿色属性所有权仍有较多讨论与不同意见，主要围绕在该模式的投资并不直接贡献于企业的可再生能源消费，因此，建议企业采取模式二的同时采购相应绿证。

(四) 市场化采购可再生能源

新一轮电力市场改革以来，全国逐步形成了 30 多个省级电力市场与 2 个跨区域电力市场并行的格局。在部分电力市场中，用电企业可直接（或间接通过售电公司）与发电企业签订购电合同，采购和使用可再生能源。2020 年伴随着“可再生能源电力消纳保障机制”的正式考核与运行，可再生能源将进入更多的省级电力市场，2020 年以来包括广东省、山东省与京津冀区域在内的省市已出台相关政策⁹⁰。

目前，由于交易机制限制，可再生能源可以参与的交易有限，仍以中长期交易为主，现货为辅。比如双边交易，基本仅在新疆、甘肃、宁夏等弃风弃光省份开展，集中竞价则通常与火电打捆进行交易。但随着电力市场化改革的深入以及可再生能源自身技术的发展，风电和光伏必将更多地参与到电力市场交易中，市场化采购也将成为企业采购绿电的重要手段。

表 4.4 - 可再生能源进入电力市场交易省市

可再生能源进入电力市场交易，且有交易	新疆、甘肃、内蒙古、黑龙江、吉林、辽宁、青海、宁夏、陕西、山西、河北、四川、云南
可再生能源进入电力市场交易有政策，或尚未落地	山东、广东、福建、湖南、湖北、北京、天津、江苏
尚未有可再生能源进入省内电力市场交易政策	贵州、重庆、广西、浙江、江西、上海、安徽、西藏、海南、河南

注：港澳台除外，政策整理截止至 2020 年 12 月。

案例

2021 年 1 月，中国联通乌鲁木齐市分公司运营的 490 座 5G 基站通过 3 个售电公司，完成 1 月月度合同电量转让交易，共计达成全绿电交易 450 万千瓦时。这是新疆首笔 5G 基站 100% 全绿电交易，降低 5G 基站运营成本同时，为新能源消纳开拓了新空间。与参与市场化交易前对比，此次交易减少企业电费支出 19.35 万元。目前新疆 5G 基站达到 6,272 个。如果这些基站全部采用绿色电力市场化交易，可为新疆 5G 基站供应商每年节省用电成本约 1,000 万元，这些绿色电力

相当于减排二氧化碳约 18 万吨⁹¹。

2020 年 11 月，浙江电力交易中心有限公司发出首张“绿色电力交易凭证”，标志着浙江首笔“绿电交易”正式达成。根据交易结果，宁波某纺织公司与某风力发电公司达成绿电交易电量 2,000 万千瓦时。这是用户侧通过浙江新推出的清洁能源消纳市场化机制，首次以加价交易购电的方式获取“绿色电力交易凭证”⁹²。

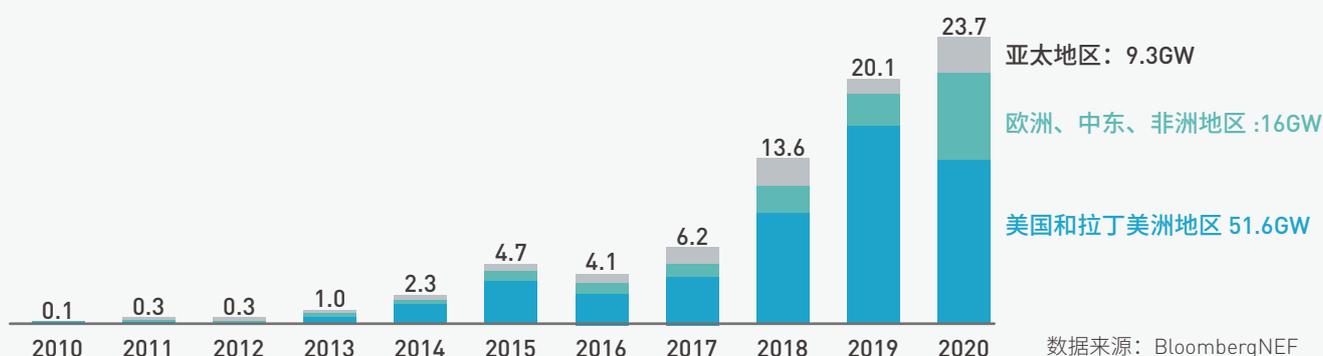
① 分布式发电市场化交易

在“放开两头，管住中间”电力市场化改革思路下，国家能源管理部门正在积极推进分布式能源市场化交易，或俗称“隔墙售电”。按照《关于开展分布式发电市场化交易试点的通知》等相关政策，分布式发电项目单位可以与配电网就近电力用户进行电力交易。基于此，数据中心作为配网侧的电力用户，在 110 千伏电压等级内，可以选择与就近的分布式能源品种直接交易。但由于分布式电站本身规模较小，更多用户直接选择自发自用模式，所以分布式发电市场化交易推进较慢。2020 年，江苏省取得较

大突破，首批分布式发电市场化交易试点项目“宁辉 5 兆瓦农光互补太阳能发电”正式开工建设，为全国分布式市场化交易的推进提供了范本⁹³。

② 购电协议 PPA

购电协议，也称为 Corporate Power Purchase Agreement，是指企业级电力用户和发电厂之间直接签署的电力采购合同。在全球范围内，PPA 已经成为企业大规模采购可再生能源的主要措施。根据 BNEF 统计，2020 年全球共签署了 PPA 23.7 吉瓦，其中多半发生在北美市场（图 4.8）。

图 4.8 - 2020 年全球不同地区 PPA 签署量 (BNEF)⁹⁴

PPA 之所以受欢迎，是因为其存在诸多优势。首先，PPA 是一种长期协定，一般为 10~25 年，企业双方在这期间约定固定电价。通过固定电价，发电企业可以获得稳定的现金流，有利于可再生能源项目融资。其次，对于电力用户来说，用电企业通过锁定未来 10~25 年的电价，规避未来电价波动风险。同时，对于数据中心等类型的电力大用户来说，PPA 可以提供足够的绿色电力满足其电力需求。

虽然 PPA 在欧美市场中非常流行，但在中国，PPA 的应用依然存在三方面限制：首先，在成熟的市场中，PPA 是帮助电力投资企业进行融资的有力工具，它可以证明电力企业在未来 10~25 年中获得稳定的现金流，从而在资本市场中获得融资，这点尚未应用在中国的项目开发中，所以企业签署 PPA 的积极性有待提高。其次，目前电网依然为可再生能源电量的主要购买方，开发商享受固定电价。所以目前中国“PPA”合同多为短期合同，是为了无法享受固定电价的电量所设计。第三，在目前中国电力市场改革的背景下，电力消费者更习惯于上文提到的年度、月度电力市场交易。因为中国的电价正在经历不断的调整，比如过去三年政府为了促进经济发展下调了工商业电价，所以企业没有足够的动力去锁定长期的电力价格。所以目前中国尚未出现成体系的 PPA 模式，PPA 合同的签署仍呈现散点状态，

且信息披露有限。但未来随着企业的绿电采购需求上升以及电力市场建设的完善，PPA 有望在中国市场中取得较大发展。

（五）购买绿色电力证书

2017 年 1 月，国家发改委、财政部、能源局三部委联合发布了《关于试行可再生能源绿色电力证书核发及自愿认购交易制度的通知》，标志着中国绿色电力证书制度正式试行。绿证可以使数据中心摆脱限制其无法直接采购可再生能源的各种因素，实现扩大应用可再生能源的目标。但目前中国绿证由于其替代补贴的目的，价格普遍高于国际水平。2020 年，风电绿证平均价格约为 160.9 元 / 兆瓦，而光伏绿证则为 655.2 元 / 兆瓦⁹⁵。这一价格下，采购绿证给企业带来过高的经济成本压力，严重影响了企业认购绿证的积极性。在风光平价的背景下，未来绿证价格有可能下降，企业采购绿证的意愿将会大幅度提高。

案例

2019 年，苹果采购了 3,000 张绿证⁹⁶；2019 年，阿里巴巴 20 周年年会采购了绿证⁹⁷。

（六）方式总结与对比

综上，不同绿电采购方式的优点、挑战、未来发展趋势及可行性总结如下（表 4.5）。

目前看来，建设分布式发电项目、直接投资电站及参与可再生能源市场化采购是较为可行的企业使用绿电的方式。未来，随着电力市场建设的不断完善，分布式发电、市场化交易及绿证将成为保量、保价的绿电采购方式。

表 4.5 - 可再生能源采购方式总结与对比

方式	优点	挑战	发展趋势	目前可行性	未来可行性
分布式发电	建设难度小	难以满足用电需求	成本进一步降低，可与市场化采购互为补充。	●●	●●●●
直接电站投资	促进可再生能源规模增长	所需资金量较大，绿色属性所有权存疑，开发、建设和运维的专业壁垒	随着其他绿电采购手段的丰富，直接投资的需求会减小。	●●●	●●
市场化采购	低价	目前只有有限省份开展有限品种的交易	随着改革的深化，交易量会增大、价格可能会降低	●●●	●●●●●
绿证	购买程序简单	成本较高	去补贴后价格可能降低	●	●●●●

三、数字基础设施应用可再生能源的挑战及应对

现阶段数字基础设施产业和企业应用可再生能源的挑战可能存在于以下方面：

（一）内部挑战及应对措施

数字基础设施产业对扩大可再生能源应用重视程度不足。数字基础设施产业应将减碳与发展相融合，避免“先发展后治理”。随着数字基础设施能耗的持续增长，节能技术在未来可能存在技术瓶颈，无法帮助产业实现“碳中和”。应用可再生能源是最根本的解决方案。

数字基础设施运营的能耗数据获取存在困难。许多主动和被动网络设备元素无法衡量能耗，即使设备具有计量能力，记录数据也需要大量劳动。大多数运营商无法收集到足够多的数据来确定其网络的关键弱点。故运营商需要采购相关软件服务以计量其能耗，以便后续采购绿电。

数字基础设施产业缺乏人才支撑及与能源行业的深度合作。可再生能源采购通常不在数字基础设施企业的

传统业务范围之内。故数字基础设施企业需要建立相关的人才岗位，储备知识与能力，同时主动与能源企业开展深度合作，才能更好地综合应用多种方式采购绿电。

（二）外部挑战及应对措施

可再生能源使用量认定机制亟待完善。由于电能自身的特点，电力用户在使用电能时，无法区分出其来源及生产地点。目前可再生能源使用量的认定主要依靠电力交易合同以及绿色电力证书。然而这些方式目前覆盖的电力用户主体、可再生能源品种、以及证书的交易灵活度均有一定局限性，未来可再生能源使用量认定机制需要进一步完善。

在目前的电力市场框架下，可再生能源发电方参与电力市场的经济回报有限，因此积极性也有限。未来，电力市场建设需进一步提升可再生能源的参与度，提高市场双方的积极性，以促进数字基础设施企业使用绿电。





第五章：推动数字基础设施绿色低碳化发展的建议

一、政策建议

“十四五”期间，中国经济社会发展仍将面临复杂和严峻的挑战，国内深化改革中的结构性、体制性、周期性风险与疫情全球化、经济逆全球化风险叠加，更加剧了对经济高质量发展和生态环境高水平保护协同推进的考验。数字基础设施建设的推动，应该秉承“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念，推动新一代信息技术和先进低碳技术的深度融合，更好支持绿色制造产业发展和可持续消费升级，为新引擎助力，实现发展和环境的共赢。

（一）加强顶层设计，强化数字基础设施的绿色低碳导向

2020年，欧盟委员会提出绿色化和数字化转型战略，并指出将在2030年前实现数据中心和信息通信产业的“气候中性”⁹⁸。参考国际经验，在进一步开发下一代节能技术的同时，我们需要加大数字基础设施应用可再生能源的规模，最大限度地减少不可避免的数字基础设施能源使用对气候的影响。建议尽快出台针对数字基础设施产业的“碳达峰、碳中和”路线图。

同时，要以技术和模式创新为驱动，推动以智能化、电气化、低碳化为导向的数字基础设施建设，高标准、高质量地开展总体规划和实施，避免高碳增长。数字基础设施能耗应争取达到国际先进水平，新建数据中心的电源使用效率（PUE）在原有1.4的要求下进一步提升，新能源和可再生能源应用比例要大幅提升，充分发挥数据中心、5G的减排潜力。

（二）完善数字基础设施产业使用可再生能源的考核体系

1. 将双控目标与新建数据中心的审批政策挂钩

双控任务实行的是指标分解落实机制，即将指标分解到各级地方政府。在此指导要求下，地方政府已陆续出台了降低能源消耗强度的双控实施方案。具体到行业，包括新建数据中心在内的新建项目，按照《固定资产投资项目节能审查办法》中的要求，需要进行能耗审查⁹⁹。

因此，建议地方主管部门进行能耗审查时，将可再生能源电力的绿色零碳属性以及对于实现“碳达峰、碳中和”目标的意义纳入重要考量，在发放能耗指标（年综合能耗）时，综合考虑总能耗（标准煤耗）和用能结构（二氧化碳排放总量或可再生能源采购量）两个因素，统筹数据中心的规模化发展与绿色低碳转型。

2. 将数据中心可再生能源使用比例作为考核指标之一

2018年中国数据中心的可再生能源使用量（23%）低于中国平均市电中的可再生能源量（26.5%）¹⁰⁰。从鼓励数据中心使用可再生能源，以及可再生能源优先本地消纳的角度出发，建议地方主管部门参照《关于征求2021年可再生能源电力消纳责任权重和2022~2030年预期目标建议的函》中对各省份的可再生能源总量消纳责任权重预期目标的规定，对不同地区的数据中心提出类似的可再生能源电力与非水可再生能源电力消纳责任权重目标¹⁰¹。综合考虑数字基础设施产业的绿色先进性，以及数据中心产业高速发展的需求，数据中心产业消纳可再生能源电力责任权重目标可高于所在地区平均消纳水平。

（三）进一步完善数字基础设施产业使用可再生能源的市场机制

加快数字基础设施产业参与能源市场化改革，构建可再生能源与数字基础设施有机结合的市场化机制迫在眉睫。

1. 促进数据中心与可再生能源的协同发展

促进可再生能源投资主体多元化、公平化。鼓励有条件的数据中心企业参与可再生能源直接投资、鼓励新增数据中心园区配套可再生能源电站。建议相关主管部门在编制电网基建规划、网络建设规划时对数据中心的需求予以充分考虑。在推动数据中心落地时，建议同步出台鼓励数据中心就近投资可再生能源电站的相关政策，这将有效促进数据中心靠近可再生能源生产中心进行建设。

2. 扩大数字基础设施参与可再生能源市场化交易的范围

从全国可再生能源市场化交易现状来看：一是需要进一步推进可再生能源市场化交易（目前仅在部分省级电力市场中，用电企业可直接或间接通过售电公司与可再生能源发电企业签订购电合同）；二是需要进一步提高可再生能源电力在特高压通道中的比例，推进可再生能源的跨省跨区交易，以方便更大区域范围内的可再生能源配置；三是落实分布式市场化交易机制，以推动本地化可再生能源的供给与交易。从数字基础设施参与电力市场的现状来看：需要进一步扩大数据中心、5G 等用电企业准入电力市场的范围，鼓励企业参与交易。

3. 完善绿色电力证书机制，激活绿证市场

通过绿色电力证书（绿证）明确可再生能源的绿色属性并完善绿色属性的追踪机制。绿证的核发范围目前仅包括进入补贴目录的大型风电、光伏项目，导致分布式可再生能源的绿色属性未被突出，未被追踪甚至认可。建议未来建立统一、完善的绿色电力追踪机制，一方面方便数据中心企业记录与追踪绿色电力的使用情况；另一方面方便绿证市场化交易。同时适当创新绿证交易制度，激活交易市场，提高交易活跃度，更好地形成市场广泛接受的价格，进而扩大交易量。

（四）健全促进数字基础设施产业使用可再生能源的激励机制

1. 引导资本流向，发挥公共投资的绿色低碳撬动作用

引导社会资本流向，一方面，增加绿色金融供给，在中央预算内投资、地方政府专项债券应增加绿色标签比重；另一方面，设置环境和气候友好的遴选门槛，应考虑逐步形成绿色低碳数字基础设施建设的项目标准，建立绿色低碳数字基础设施产业目录。

2. 设立奖励资金，鼓励数字基础设施企业采购可再生能源

统筹发挥财税补贴和市场机制的协同激励作用，延续或加强对数字基础设施产业绿电使用的政策支持力度。鼓励行业和地区出台和实施“绿色低碳数字基建激励计划”，以此引领和推动数字基础设施绿色低碳发展。

目前包括北京、上海在内的各地政府已相继出台了若干企业节能减排的奖励措施¹⁰²。建议地方继续扩大奖励受众面，惠及更多地区、覆盖更多主体，例如绿色数据中心、绿色基站等，尤其将碳减排量、绿电使用占比等作为重要指标列入奖励评判依据。

二、企业建议

作为中国实现碳中和的重要一环，数字基础设施的脱碳发展至关重要。中国数字基础设施产业具有极强的低碳转型潜力，应该充分发挥技术与产业模式的创新潜能，积极向 100% 可再生能源转型，成为实现中国碳达峰、碳中和目标的排头兵。

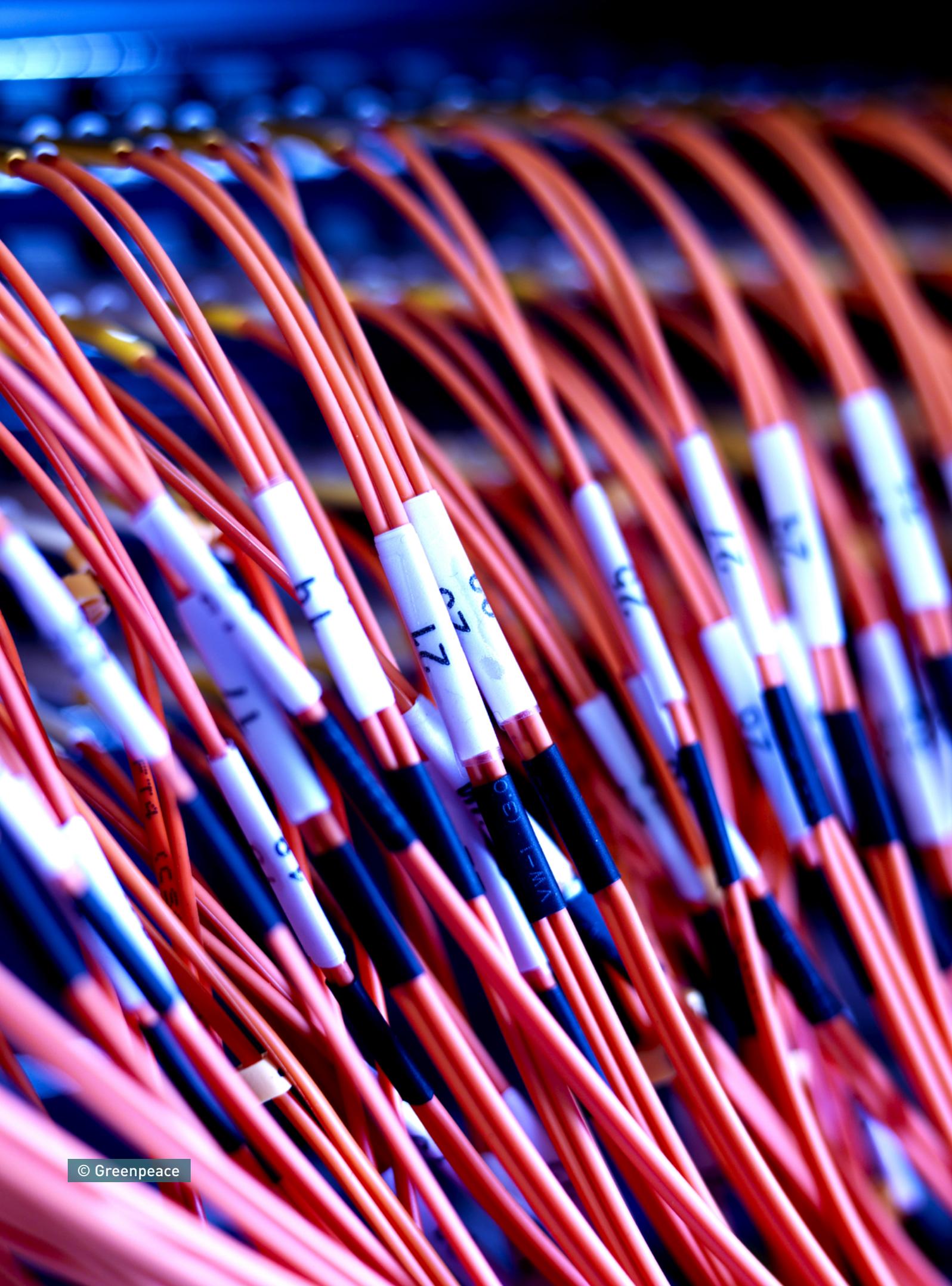
2021 年 1 月，在《迈向碳中和：中国互联网科技行业实现 100% 可再生能源路线图》报告¹⁰³，我们分析了数字基础设施企业应用可再生能源的驱动因素与 100% 可再生能源转型路径。2021 年 4 月，在《绿色云端 2021：中国互联网云服务企业可再生能源表现排行榜》报告¹⁰⁴，我们梳理了中国 22 家领先互联网云服务与数据中心企业的可再生能源表现，发现 2021 年互联网科技行业可再生能源表现同比有所提升，但是整体碳中和行动速度仍显滞后。目前，仅秦淮数据提出在 2030 年实现集团范围一与范围二的净零排放，以及 100% 可再生能源目标。数据港提出 2030 年实现运营范围内所

有新一代超大规模数据中心 100% 采用可再生能源目标。腾讯仅宣布启动碳中和规划，并未明确时间线与实施路径。阿里巴巴、百度、万国数据在内的约 20 家互联网科技企业尚未公开提出以 100% 可再生能源为抓手的碳中和目标。

综上，为发挥先进作用，实现负责任碳中和，建议数字基础设施企业从以下三个方面发力：

- ① 设立 2030 年前实现 100% 可再生能源目标，并进一步提出 2030 年前实现全范围（范围 1、2、3）的碳中和目标；
- ② 扩大企业可再生能源采购规模，积极与关键利益相关方沟通，助力市场化可再生能源采购机制的进一步突破；
- ③ 进一步提升能源信息披露，披露温室气体排放、用能信息以及企业气候与环境治理进展。





附录

一、数字基础设施产业规模预测方法论

通过桌面收集的方式获取历史数据，结合国家政策规划、未来市场需求，选取适当的回归函数模型，运用历史数据拟合模型参数，对中长期的市场规模进行预测。

（一）云计算产值规模

根据 2016~2019 年全国云计算产值规模，采用线性回归模型预测得出 2020~2035 年产值规模。模型如下：

$$y=261.46*(x-2015)+210$$

y 为产值规模；x 为年份。

（二）5G 基站规模

根据通信技术发展规律、4G、5G 频率对比、政府的政策规划，推测 5G 通讯技术周期为 10 年，基站建设在 2025 年基本完成，基站数量在 2021~2025 年间按 63.6% 复合增长率上涨，在 2030 年开始逐步回落。采用以下模型进行拟合，预测出 2035 年全国 5G 基站数量。

$$y = \begin{cases} 68 \times 1.636^{x-2020}, & 2021 \leq x \leq 2025 \\ 797, & 2025 < x \leq 2030 \\ 797 \times 0.99^{x-2030}, & x > 2030 \end{cases}$$

y 为 5G 基站总个数；x 为年份。

（三）数据中心产值规模

根据 2016~2019 年全国数据中心产值规模，选取线性回归模型进行预测。模型如下：

$$y=282.55*(x-2015)+406.5$$

y 为数据中心产值；x 为年份。

（四）数据中心机架规模

根据 2016~2019 年全国数据中心总机架数，选取线性回归模型进行预测。模型如下：

$$y=73.18*(x-2015)+27.5$$

y 为数据中心产值；x 为年份。

二、数字基础设施能耗测算方法论

（一）数据中心

全国数据中心能耗统计方法采用抽样反推法。数据中心的能耗与气候、负载率等因素息息相关，本文根据地理气候区域、国家规划布局意见将全国数据中心分布区域划分为北京市及其周边地区、上海市及其周边地区、广州市、深圳市及其周边地区、中部地区、西部地区和东北地区等六大区域。采用抽样实地调研和远程调研结合的方式收集每个区域的数据中心规模、单机架设计功率、IT 负荷使用率、电能使用效率等指标，结合区域中各地区的机架数进行分部加权外推，估算出全国数据中心能耗总量。调研样本分布如下：

区域	地区	调研数据中心 (个)
北京市及其周边地区	北京市、河北省、天津市、内蒙古自治区	8
上海市及其周边地区	上海市、浙江省、江苏省	10
广州市、深圳市及其周边地区	广东省、福建省、海南省	10
中部地区	安徽省、河南省、湖北省、湖南省、江西省、山西省、山东省	2
西部地区	贵州省、甘肃省、四川省、重庆市、陕西省、云南省、青海省、新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区、广西壮族自治区、西藏自治区	15
东北地区	黑龙江省、吉林省、辽宁省	1
	合计	46

为计算简便，假设每个区域中的地区单机架设计功率、IT 负荷使用率、电能使用效率相同，计算模型如下：

$$E_{dc} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot PUE_i \cdot a_i \cdot P_{dci} \cdot t$$

E_{dc} 为全国数据中心总能耗；

n 为地区个数；

N_i 为第 i 个地区总机架数；

PUE_i 为第 i 个地区数据中心平均电能使用效率；

a_i 为第 i 个地区数据中心的平均 IT 负荷使用率；

P_{dci} 为第 i 个地区平均单机架设计功率；

t 为时间，取 8760h。

（二）5G 基站

全国 5G 基站能耗统计方法采用指标分解法。将 5G 能耗指标分解为全国各地区 5G 基站个数、各品牌 5G 基站 BBU 及 AAU 典型功耗等分项指标。通过电话访谈、桌面研究的方式获取各分项指标的信息。假设 5G 基站按 S111 配置，即 1 个 BBU 和 3 个 AAU，全年不间断运行，设备运行功耗为典型功耗值，则能耗计算模型如下：

$$E_{5G} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot (P_{BBU} + 3P_{AAU}) \cdot t$$

E_{5G} 为全国数据中心总能耗；

N_i 为第 i 个地区基站总数；

P_{BBU} 为 BBU 典型功耗平均值；

P_{AAU} 为 AAU 典型功耗平均值；

t 为时间，取 8760h。

三、数字基础设施碳排放测算方法论

本报告核算的为数字基础设施运行阶段碳排放，不考虑建设阶段耗能等产生的温室气体排放，也不考虑消耗的钢铁、水泥等原材料在生产过程产生的碳排放。数据基础设施包括 5G 以及数据中心等，运行过程的主要能耗为电力，碳排放计算公式为：

$$E_m = E \times EF_{grid}$$

E_m 为数字基础设施碳排放，

E 为电力消费量，

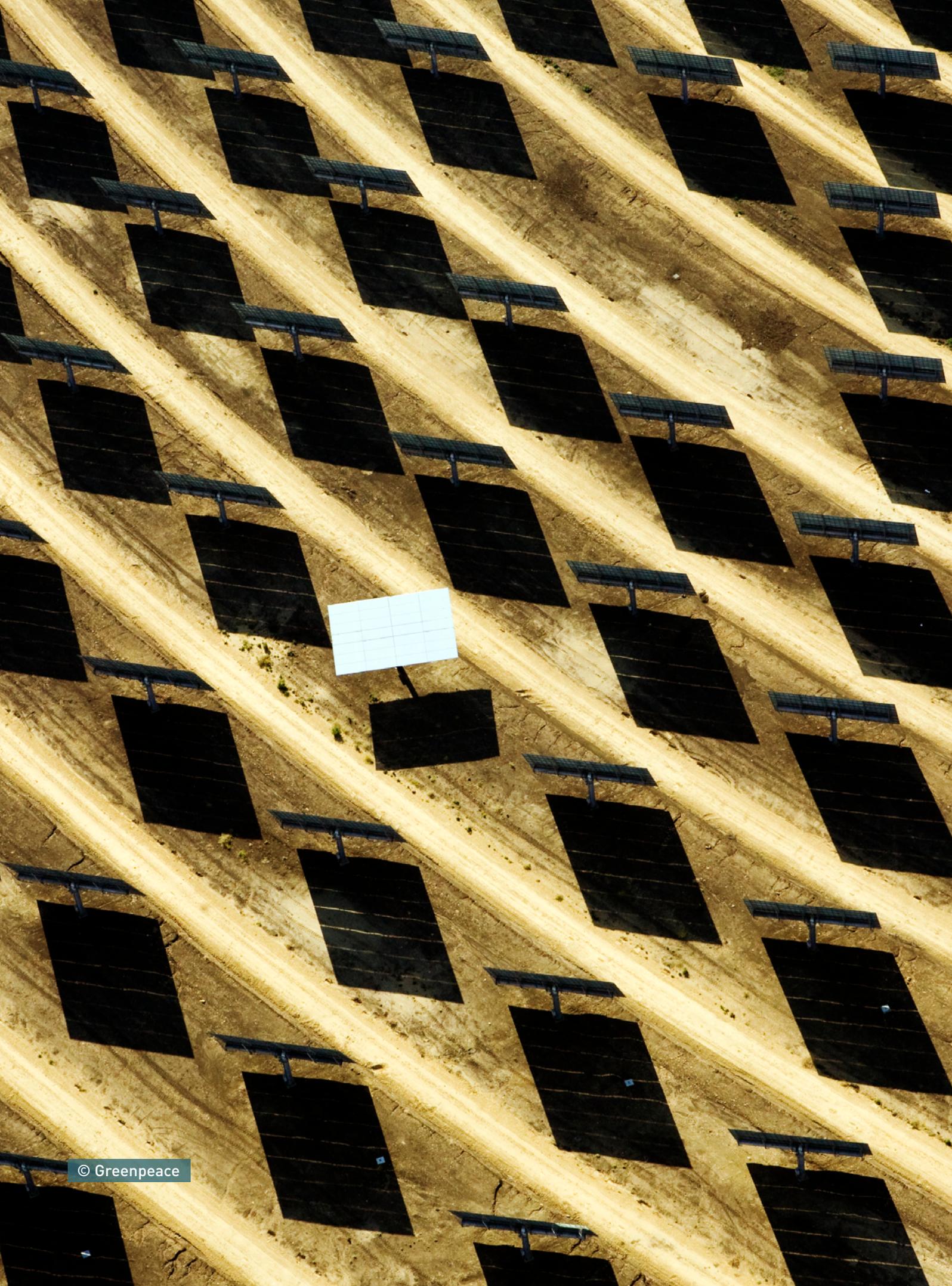
EF_{grid} 为电网温室气体平均排放因子。

电力消费量（E）来源于数字基础设施运行过程的统计数据，电网温室气体平均排放因子（EF）采用《中国外购电温室气体排放因子研究》（马翠梅，2020）一书中关于国家、区域和省级三个层级电网排放因子计算方法。

三级电网平均 CO₂ 排放因子计算所需的火力发电化石燃料消费数据来自《中国能源统计年鉴》，发电量、用电量、跨省电量交换和进口电量来源为《电力工业统计资料汇编》，其他国家的发电 CO₂ 平均排放因子来源于 IEA 发布的《CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights》。燃料平均低位发热值来自《中国能源统计年鉴》、《公共机构能源资源消耗统计制度》、《电力工业统计资料汇编》等。分燃料品种的含碳量主要来源为《省级温室气体清单编制指南（试行）》（2011 年 3 月）、《2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories》，碳氧化率主要采用《省级温室气体清单编制指南（试行）》（2011 年 3 月）；

本研究基于未来的经济、社会以及低碳约束条件，对 2020~2035 年中国电力行业发展进行了预测，得出了不同情景下 2035 年煤电发电量占比分布在 35~42%、气电发电量占比分布在 4~5%、非化石电力发电量占比分布在 53~61%。

根据《省级二氧化碳排放达峰行动方案编制指南（环办气候函〔2021〕85 号）》，中国 2020 年煤电和气电排放因子分别为 0.853 kgCO₂/kWh 和 0.405 kgCO₂/kWh，结合 2020 年全国电网排放因子以及 2035 年电力结构预测，分析得出 2035 年中国电力排放因子范围为 0.334~0.397 kgCO₂/kWh。



注释

1. 新华网 . [2021.03.30]. 钢铁行业碳达峰及降碳行动方案成型 . 取读于 http://www.xinhuanet.com/fortune/2021-03/30/c_1127270603.htm
2. 中国建筑材料联合会 . [2021.02.28]. 建材行业发出碳达峰、碳中和行动倡议 水泥等行业要在 2023 年前率先实现碳达峰 . 取读于 <http://www.cbmf.org/cbmf/xydt/xyxx/7051160/index.html>
3. 经济观察网 . [2021.04.06]. 《有色金属行业碳达峰实施方案》正在征求行业意见：计划 2025 年实现碳达峰 . 取读于 <http://www.eeo.com.cn/2021/0406/483962.shtml>
4. 2035 年中国电力需求预测来源于 BNEF. [2020]. China's Accelerated Decarbonization 中 ATS 与 ETS 情景
5. 中国 2035 年二氧化碳排放预测来源于何建坤 . [2020]. 中国低碳发展战略与转型路径研究, 含 CCS/BECCS 去除量与碳汇量
6. 2020 年北京市二氧化碳排放总量为 13,287 万吨 . 数据来源于 IPE 低碳数据库与中国城市温室气体工作组 . [2021]. 取读于 <https://www.ipe.org.cn/MapLowCarbon/LowCarbon.html?q=5>
7. 2020 年中国全社会用电量数据来源于国家能源局 . [2021.01.20]. 2020 年全社会用电量同比增长 3.1%. 取读于 http://www.nea.gov.cn/2021-01/20/c_139682386.htm
8. 中国 2020 年二氧化碳排放数据来源于何建坤 . [2020]. 中国低碳发展战略与转型路径研究, 含 CCS/BECCS 去除量与碳汇量
9. 兴业研究 . [2020.07.15]. 经济复苏主旋律：“绿色化”与“数字化” . 取读于 <https://app.cibresearch.com/shareUrl?name=000000007328e9db0173507a8b8a23f4&from=timeline>
10. 中国信通院 . [2021.4]. 中国数字经济发展白皮书 . 取读于 <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202104/P020210424737615413306.pdf>
11. 央广网 . [2020.09.22]. 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话 . 取读于 <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1678548442884440520&wfr=spider&for=pc>
12. 中国政府网 . [2021.03.05]. 政府工作报告 . 取读于 <http://www.gov.cn/guowuyuan/zfgzbg.htm>
13. GeSI. [2015.05]. #SMARTer2030. 取读于 <http://www.gesi.org/research/smarter2030-ict-solutions-for-21st-century-challenges>
14. GeSI. [2020.10]. Digital Solutions for Climate Action. 取读于 <http://www.gesi.org/events/report-launch-digital-solutions-for-climate-action>
15. 注：该研究涵盖七大 ICT 技术，包括互联网、5G 网络、云计算、物联网、区块链、人工智能。
16. Paul E. Brockway et al, [2021.05]. Energy efficiency and economy-wide rebound effects: A review of the evidence and its implications, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 取读于 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121000769>
17. Anders S.G. Andrae. [2020.06]. New perspectives on internet electricity use in 2030. 取读于 https://www.researchgate.net/publication/342643762_New_perspectives_on_internet_electricity_use_in_2030
18. Belkhir, L., & Elmeligi, A. [2018.03]. Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. 取读于 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261733233X?via%3Dihub>
19. Anders S.G. Andrae. [2020.06]. New perspectives on internet electricity use in 2030. 取读于 https://www.researchgate.net/publication/342643762_New_perspectives_on_internet_electricity_use_in_2030
20. Eric Masanet et al. [2020.02]. Recalibrating global data center energy-use estimates. 取读于 <https://science.sciencemag.org/content/367/6481/984>
21. 中国电子技术标准化研究院 . [2019.03]. 绿色数据中心白皮书 2019. 取读于 <http://www.ictlce.com/wp-content/uploads/2019/05/%E7%BB%BF%E8%89%B2%E6%95%B0%E6%8D%AE%E4%B8%AD%E5%BF%83%E7%99%BD%E7%9A%AE%E4%B9%A6-210x297mm%E7%94%B5%E5%AD%90%E7%89%88.pdf>

22. 绿色和平 . [2019.09]. 点亮绿色云端：中国数据中心能耗与可再生能源使用潜力研究 . 取读于 <https://www.greenpeace.org/cn/wp-content/uploads/2019/09/%E7%82%B9%E4%BA%AE%E7%BB%BF%E8%89%B2%E4%BA%91%E7%AB%AF%EF%BC%9A%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E6%95%B0%E6%8D%AE%E4%B8%AD%E5%BF%83%E8%83%BD%E8%80%97%E4%B8%8E%E5%8F%AF%E5%86%8D%E7%94%9F%E8%83%BD%E6%BA%90%E4%BD%BF%E7%94%A8%E6%BD%9C%E5%8A%9B%E7%A0%94%E7%A9%B6.pdf>
23. 中国信通院 . [2020.12]. 5G 发展和经济社会影响白皮书 .
取读于 <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202012/P020201215481602262974.pdf>
24. 财新网 . [2021.2.23]. 工信部刘烈宏：中国 5G 基站数约占全球 70% . 取读于 https://m.caixin.com/m/2021-02-23/101666169.html?originReferrer=weibo_caixinwang&cx_referer=https%3A%2F%2Fwww.caixin.com%2F2021-02-23%2F101666169.html
25. 每日经济新闻 . [2020.02.27]. 5G 基站 1 年电费 2400 亿将致运营商巨亏 907 亿？测算结果来了 .
取读于 <http://www.nbd.com.cn/articles/2020-02-27/1411850.html>
26. 华为 . [2020.09.10]. 为 5G 节能减排，华为打造高效绿色能源网络 . 取读于 <https://www.huawei.com/cn/publications/communicate/86/translating-green-energy-into-5g-success>
27. Ericsson. [2020]. Breaking the energy curve: An innovative approach to reducing mobile network energy use. 取读于 <https://www.ericsson.com/495d5c/assets/local/about-ericsson/sustainability-and-corporate-responsibility/documents/2020/breaking-the-energy-curve-report.pdf>
28. 第一财经 . [2019.12.23]. 天价电费成 5G 建设“拦路虎”，多省出台政策给运营商减负 .
取读于 <https://www.yicai.com/news/100444791.html>
29. European Commission. [2020.02]. SHAPING EUROPE’S DIGITAL FUTURE.
取读于 https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/communication-shaping-europes-digital-future-feb2020_en_4.pdf
30. 国际电信联盟 . [2020.02.27]. ICT 行业温室气体排放量到 2030 年将减少 45% . 取读于 <https://www.itu.int/zh/mediacentre/Pages/PR04-2020-ICT-industry-to-reduce-greenhouse-gas-emissions-by-45-percent-by-2030.aspx>
31. 绿色和平 . [2021.01.12]. 迈向碳中和：中国互联网科技行业实现 100% 可再生能源路线图 .
取读于 <https://www.greenpeace.org/cn/pr-china-internet-tech-carbon-neutral/>
32. 中国信息通信研究院 . [2017.6]. 《5G 经济社会影响白皮书》 .
33. 新华网 . [2020.09.09]. 2022 年大数据产业规模将破万亿元 数据治理成焦点 .
取读于 http://www.xinhuanet.com/info/2020-09/09/c_139354656.htm
34. 中国电子学会 . [2020.8]. 《中国绿色数据中心发展报告（2020）》 . 取读于 <http://www.ictlce.com/wp-content/uploads/2020/11/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%BB%BF%E8%89%B2%E6%95%B0%E6%8D%AE%E4%B8%AD%E5%BF%83%E5%8F%91%E5%B1%95%E6%8A%A5%E5%91%8A%EF%BC%882020%EF%BC%89.pdf>
35. 国务院发展研究中心 . [2019.10]. 《中国云计算产业发展白皮书》 .
36. 搜狐网 . [2020.5.6]. 新口径下“新基建”带动的投资规模测算——“新基建”系列报告（三） .
取读于 https://www.sohu.com/a/393390552_469986
37. 网易 . [2021.1.13]. 新基建发展向纵深推进云计算更多应用场景有望加速落地 .
取读于 <https://3g.163.com/dy/article/G084F42F0511A632.html>
38. 华为云 . [2021.3.1]. 云原生网络 2.0. 取读于 https://support.huaweicloud.com/usermanual-cce/cce_01_0284.html
39. 中共北京市委、北京市人民政府 . [2019.1]. 《北京市关于加强城市精细化管理工作的意见》 .
取读于 http://www.gov.cn/xinwen/2019-01/31/content_5362783.htm
40. 上海市政府办公厅 . [2020.4]. 《上海市促进在线新经济发展行动方案（2020—2022 年）》 .
取读于 https://mct.gov.cn/whzx/qgwhxxlb/sh/202004/t20200415_852492.htm

41. 广东省政府办公厅 . [2020.4]. 《广东省推进新型基础设施建设三年实施方案（2020—2022 年）》 .
取读于 https://www.gdzz.gov.cn/zgxc/gdyw/content/post_8987.html
42. 中国政府网 . [2020.12.23]. 中国 5G 基站达 71.8 万个助力人工智能发展 .
取读于 http://www.gov.cn/xinwen/2020-12/23/content_5572793.htm
43. 新浪网 . [2020.2.24]. 5G 建设稳经济：55 万个基站保底应用场景逐渐落地 .
取读于 <https://tech.sina.com.cn/roll/2020-02-24/doc-iimxstf3862481.shtml>
44. 工信部 . [2020.2]. 《2019 年通信业统计公报》 .
45. 搜狐网 . [2021.1.17]. 运营商获发 5G 中低频段十年许可或引业界连锁反应 . 取读于 https://www.sohu.com/a/443074253_482239
46. 新华网 . [2019.7.1]. 5G “开”进地铁信号会不会断断续续 .
取读于 http://www.xinhuanet.com/tech/2019-07/01/c_1124691711.htm
47. 广东省工业和信息化厅 . [2020.6]. 《广东省 5G 基站和数据中心总体布局规划（2021-2025 年）》 .
48. 新华网江苏 . [2020.8.2]. 江苏：用 5G 速度跑出新“基”遇 .
取读于 http://www.js.xinhuanet.com/2020-08/02/c_1126314503.htm
49. 河南省政府办公厅 . [2020.6]. 《河南省加快 5G 产业发展三年行动计划（2020—2022 年）》 .
50. 施洪钧 . [2018.10]. 移动通信基站的综合节能探讨 .
51. 腾讯网 . [2019.8.7]. 5G 基站功耗到底有多可怕：单站功耗是 4G 的 2.5~3.5 倍 .
取读于 <https://new.qq.com/omn/20190807/20190807A0EEWU00.html>
52. 中国移动研究院 . [2020.8]. 《5G 基站节能技术白皮书》 .
53. 腾讯云 . [2018.12.16]. 液冷基站来了，省电 30% . 取读于 <https://cloud.tencent.com/developer/news/371823>
54. 赛迪顾问 . [2019.12]. 中国数据中心市场时评——简析全国数据中心布局情况 .
取读于 <http://www.mtx.cn/u/cms/www/202008/17104830zfph/index.html>
55. 科智咨询 . [2020.3]. 《2019-2020 年中国 IDC 产业发展研究报告》 .
56. 工业和信息化部信息通信发展司 . [2021.2]. 《全国数据中心应用发展指引（2020）》 .
57. 全国数据中心机架数指全国超大型、大型和中小型数据中心机架数的总量。超大型数据中心是指规模 ≥ 10000 个标准机架的数据中心；大型数据中心是指规模 ≥ 3000 个标准机架，并且 < 10000 个标准机架的数据中心；中小型数据中心是指规模 < 3000 个标准机架的数据中心。
58. idc 圈 . [2019.11.21]. 台达携手阿里巴巴推出“数据中心巴拿马电源”开创 IDC 供电技术创新应用 .
取读于 <http://news.idcquan.com/scqb/172247.shtml>
59. 工信部 . [2020.10]. 《国家绿色数据中心先进适用技术产品目录（2020）》 .
取读于 <http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-11/06/5557794/files/c478fece368246279fbb71bcb3bdf829.pdf>
60. 北京市人民政府 . [2021.1]. 《北京市数据中心统筹发展实施方案（2021-2023 年）》（征求意见稿） .
取读于 http://www.beijing.gov.cn/hudong/gfxwjzj/zjxx/202101/t20210121_2228741.html
61. 上海市经信委、发改委 . [2019.1]. 《上海市经济信息化委、市发展改革委关于加强本市互联网数据中心统筹建设的指导意见》 .
取读于 <http://www.sheitc.sh.gov.cn/xxfw/20190103/0020-680220.html>
62. 广东省工业和信息化厅 . [2020.06.09]. 广东省工业和信息化厅关于印发广东省 5G 基站和数据中心总体布局规划（2021-2025 年）的通知 . 取读于 http://gdii.gd.gov.cn/xrc/content/post_3245298.html
63. 国家统计局 . [2021.2.29]. 中华人民共和国 2020 年国民经济和社会发展统计公报 .
取读于 http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202102/t20210227_1814154.html
64. 中国电力企业联合会 . [2021.01.20]. 2020 年全国电力工业统计快报数据一览表 .
取读于 <https://www.cec.org.cn/detail/index.html?3-292820>

65. 新华网 . [2020.01.30]. 2020 年全国可再生能源发电量同比增长约 8.4%.
取读于 http://www.xinhuanet.com/fortune/2021-01/30/c_1127044808.htm
66. 中国气候变化信息网 . [2020.04.26]. 可再生能源“十四五”规划编制工作启动 . 取读于 <http://www.ccchina.org.cn/Detail.aspx?newsId=73056&TId=57%22%20title=%22%E5%8F%AF%E5%86%8D%E7%94%9F%E8%83%BD%E6%BA%90%E2%80%9C%E5%8D%81%E5%9B%9B%E4%BA%94%E2%80%9D%E8%A7%84%E5%88%92%E7%BC%96%E5%88%B6%E5%B7%A5%E4%BD%9C%E5%90%AF%E5%8A%A8>
67. 国家能源局 . [2021.04.21] 关于对《国家发展改革委 国家能源局关于加快推动新型储能发展的指导意见（征求意见稿）》公开征求意见的公告 . 取读于 http://www.nea.gov.cn/2021-04/21/c_139896047.htm
68. 北极星储能网 . [2021.03.16]. 海南光伏平价项目需配 10% 储能！ 2021 年已有八省明确新能源配储比例要求 .
取读于 <https://chuneng.bjx.com.cn/news/20210316/1141868.shtml>
69. 天风证券 , [2021.01.15]. 储能系列深度 2：锂电储能应用场景、经济性与中期空间探讨 .
取读于 https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202101171451543101_1.pdf?1610886217000.pdf
70. 北京市发改委 . [2020.04.26]. 取读于 http://fgw.beijing.gov.cn/gzdt/fgzs/mtbxd/bzwlxw/202104/t20210427_2375074.htm
71. 国家发展改革委 . [2020.06.01]. 《国家发展改革委国家能源局关于印发各省级行政区域 2020 年可再生能源电力消纳责任权重的通知》政策解读 . 取读于 https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202006/t20200601_1229678.html
72. 国家电力需求侧管理平台 . [2021.02.15]. 能源局可再生能源消纳目标征求意见！ 2030 年全国统一消纳责任权重 40% . 取读于 http://dsm.ndrc.gov.cn/dsm_portalweb/rest/siteChannels/5723.html
73. 北极星储能网 . [2020.20.23]. 能源局：支持售电企业将多个 5G 基站负荷聚集“打捆”参与电力市场化交易 .
取读于 <https://chuneng.bjx.com.cn/news/20201023/1111621.shtml>
74. 中国电子学会 . [2020.12]. 中国数据中心可再生能源应用发展报告（2020） .
取读于 <https://www.cie.org.cn/system/upload/file/20210105/1609831546754301.pdf>
75. 北极星风力发电网 . [2020.12.25]. 国网能源院《中国能源电力发展展望》发布：2060 年非化石能源占比有望达到 81%. 取读于 <https://news.bjx.com.cn/html/20201225/1125090.shtml#:~:text=%E5%9C%A8%E7%BB%88%E7%AB%AF%E8%83%BD%E6%BA%90%E5%93%81%E7%A7%8D%E7%BB%93%E6%9E%84,%E6%B6%88%E8%B4%B9%E4%B8%AD%E7%9A%84%E4%B8%BB%E5%AF%BC%E5%9C%B0%E4%BD%8D%E3%80%82>
76. BNEF. [2020.12.01]. China's Accelerated Decarbonization. 取读于 https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/BNEF-Chinas-Accelerated-Decarbonization-Pathways_12012020_FINAL.pdf
77. 韩晓娟, 艾瑶瑶, 李相俊. 储能在电网中的应用价值及其商业模式 [J]. 发电技术, 2018, 39(1): 77-83
78. BNEF. [2021.03.15] 1H 2021 Energy storage market outlook
79. BNEF. [2020] 1H 2020 LCOE Update.
80. BNEF. [2019]. New Energy Outlook.
81. BNEF. [2020.12.23] Energy storage system costs survey 2020
82. CDCC. [2021.01.28]. IDC 选址逻辑：市场需求决定资产长期价值，产业政策决定短期供给 .
取读于 <https://mp.weixin.qq.com/s/Q5GgxzqOISv8tthxSbDqqQ>
83. 国家能源局 . [2017.10.31]. 国家发展改革委、国家能源局《关于开展分布式发电市场化交易试点的通知》 .
取读于 http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201711/t20171113_3055.htm
84. 国际能源网 . [2020.12.29]. 2021 年这 4 省市分布式光伏还有补贴！最高补贴 0.4 元 / 度 .
取读于 <https://www.in-en.com/article/html/energy-2299723.shtml>
85. 北极星储能网 . [2020.10.29]. 山东济宁移动首批 26 处 5G 基站储能应用：预计年节省电费 20 万余元 . 取读于 <https://chuneng.bjx.com.cn/news/20201029/1112749.shtml#:~:text=%E7%9B%AE%E5%89%8D%EF%BC%8C%E9%A6%96%E6%89%B926%E5%A4%84,%E7%94%A8%E7%94%B5%E7%9A%84%E6%9C%89%E6%95%88%E8%A1%A5%E5%85%85%E3%80%82>

86. 合肥市人民政府 . [2020.09.23]. 全省首个“七站合一”电网项目落户合肥 .
取读于 <http://www.hefei.gov.cn/ssxw/csbb/105439053.html>
87. 中国能源网 . [2020.11.13]. 5G 技术为新能源发电带来的改变 . 取读于 <https://www.china5e.com/news/news-1103883-1.html>
88. 国际新能源网 . [2020.08.11]. 美国内华达州 Citadel 大型数据中心将部署 60MW/240MWh 电池储能系统 .
取读于 <https://newenergy.in-en.com/html/newenergy-2390589.shtml>
89. 北极星储能网 . [2020.08.21]. 规划建设 5MW/20MWh 储能系统 山西吕梁全力推进绿色数据中心能源互联网项目 .
取读于 <https://chuneng.bjx.com.cn/news/20200821/1098892.shtml>
90. 绿色和平 . [2021.1]. 迈向碳中和：中国互联网科技行业实现 100% 可再生能源路线图 .
取读于 https://www.greenpeace.org.cn/wp-content/uploads/2021/01/China_internet_tech_carbon_neutral_report.pdf
91. 新华社 . [2021.02.02]. 新疆达成首笔 5G 基站全绿电交易 .
取读于 http://www.xinhuanet.com/info/2021-02/02/c_139715049.htm
92. 北极星售电网 . [2020.12.01]. 浙江达成首笔“绿电交易” 取读于 <https://shoudian.bjx.com.cn/html/20201201/1119046.shtml>
93. 江苏省发改委 . [2020.07.01]. 国家首批分布式发电市场化交易试点项目开工建设 .
取读于 http://fzggw.jiangsu.gov.cn/art/2020/7/1/art_286_9275959.html
94. BNEF. [2021.01.26]. Corporate Clean Energy Buying Grew 18% in 2020, Despite Mountain of Adversity.
取读于 <https://about.bnef.com/blog/corporate-clean-energy-buying-grew-18-in-2020-despite-mountain-of-adversity/>
95. 中国绿色电力证书认购交易平台 . [2020.01.01]. 中国绿证每日成交平均价格 .
取读于 <http://www.greenenergy.org.cn/gctrade/history/echarts.jhtml?beginDate=2020-01-01&endDate=2020-12-31>
96. 中国绿色电力证书认购交易平台 . [2019.12.17]. 荣誉榜 .
取读于 <http://www.greenenergy.org.cn/honor/honorList.jhtml?ordertype=2>
97. 绿色电力消费合作组织平台 . [2019.12.13]. 绿色电力消费评价简介 .
取读于 <https://mp.weixin.qq.com/s/2ZGcNjrtOjHdUnG-dYTVdQ>
98. European Commission. [2020.02]. SHAPING EUROPE’ S DIGITAL FUTURE.
取读于 https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/communication-shaping-europes-digital-future-feb2020_en_4.pdf
99. 中华人民共和国国家发展和改革委员会令 . [2016.11.27].
取读于 <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/fzggwl/201612/W020190905495065080977.pdf>
100. 绿色和平 . [2019.9]. 《点亮绿色云端：中国数据中心能耗与可再生能源使用潜力研究》 . 取读于 <https://www.greenpeace.org.cn/wp-content/uploads/2019/09/%E7%82%B9%E4%BA%AE%E7%BB%BF%E8%89%B2%E4%BA%91%E7%AB%AF%EF%BC%9A%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E6%95%B0%E6%8D%AE%E4%B8%AD%E5%BF%83%E8%83%BD%E8%80%97%E4%B8%8E%E5%8F%AF%E5%86%8D%E7%94%9F%E8%83%BD%E6%BA%90%E4%BD%BF%E7%94%A8%E6%BD%9C%E5%8A%9B%E7%A0%94%E7%A9%B6.pdf>
101. 北极星电力新闻网 . [2021.2.10]. 能源局征求 2021 年可再生能源电力消纳责任权重和 2022—2030 年预期目标建议 .
取读于 <http://news.bjx.com.cn/html/20210210/1135968.shtml>
102. 北京市发改委发布《关于征集北京市节能技术改造项目的通知》中指出“工业类项目每形成 1 吨标准煤 / 年的节能量，奖励 600 元；非工业类项目每形成 1 吨标准煤 / 年的节能量，奖励 800 元。”上海市经信委发布的《上海市工业节能和合同能源管理项目专项扶持办法》指出“节能技术改造项目按照 600 元 / 吨标准煤的标准给予扶持，单个项目最高不超过 500 万元，扶持资金不超过项目投资额 30%。”
103. 绿色和平 . [2021.01.12]. 迈向碳中和：中国互联网科技行业实现 100% 可再生能源路线图 .
取读于 https://www.greenpeace.org.cn/wp-content/uploads/2021/01/China_internet_tech_carbon_neutral_report.pdf
104. 绿色和平 . [2021.04.21]. 绿色云端 2020：中国互联网云服务企业可再生能源表现排行榜 .
取读于 https://www.greenpeace.org.cn/wp-content/uploads/2021/04/ccranking_2021_cn.pdf



著作权及免责声明

本报告由绿色和平和中华环保联合会基于在北京取得的临时活动备案共同发布。

本报告为基于有限时间内公开可得信息研究产出的成果。如本报告中相关环境信息存在与真实信息不符的情况，欢迎与我们沟通联系：greenpeace.cn@greenpeace.org。由于信息获取渠道的局限性，绿色和平、中华环保联合会不对报告中所含涉信息的及时性、准确性和完整性作任何担保。本报告资料收集时间为 2020 年 11 月 15 日至 2021 年 05 月 15 日，研究期间之外，各信息平台上公开的环境信息如有被更改或增加的信息不被包括在此研究结果分析中。本报告仅用于政策参考、信息共享和环保公益目的。本报告中提及的企业及引用的商标仅作为研究示例，并不代表绿色和平对相关企业进行批评或推荐。

除标明引用的内容以外，本报告内所有内容（包括文字、数据、图表）的著作权及其他知识产权归绿色和平所有。如需引用本报告中的数据及图表，请注明出处。标明由绿色和平拍摄的照片必须取得绿色和平授权后方可使用。



GREENPEACE 绿色和平

绿色和平是一个全球性环保组织，
致力于以实际行动推动积极的改变，
保护地球环境。

地址：北京东城区东四十条 94 号亮点文创园 A 座 201 室

邮编：100007

电话：86 (10) 65546931

传真：86 (10) 64087851

www.greenpeace.org.cn