

新型基础设施投资的碳排放影响分析及 绿色低碳化政策建议

习近平总书记在经济社会领域专家座谈会上强调，要推动形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局，实现依靠创新驱动的内涵型增长，重塑我国国际合作和竞争新优势。当前在内外复杂环境背景及新冠肺炎疫情冲击下，有关经济刺激计划的讨论广泛展开，特别是新型基础设施的投资引起了各方的重点关注，其中包括新型基础设施建设是否会如传统基础设施一样产生“锁定效应”，并带来长期的碳排放影响。这就需要在研究分析新型基础设施在技术创新视角下的减排效应和在需求驱动视角下的增耗效应的基础上，给出更为科学的战略判断及更为清晰的政策导向。

一、新型基础设施建设产生的背景与内涵

新型基础设施建设是作为我国新形势下转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力、加强“六稳”“六保”的主要举措之一而提出的。面对国内外风险挑战明显上升的复杂局面，全球动荡源和风险点显著增多，世界大变局加速演变的特征更趋明显，“三期叠加”影响持续深化，经济下行压力持续加大。2018年，中央经济工作会议首次提出，我国发展现阶段投资需求潜力仍然巨大，要发挥投资关键作用，加大制造业技术改造和设备更新，加快5G商用步伐，加强人工智能、工业互联网、物联网等新型基础设施建设。该概念此后多次在

中共中央和国家文件中出现（表 1）。工信部赛迪研究院在 2020 年 3 月发布了《“新基建”发展白皮书》，提出新型基础设施建设是服务于国家长远发展和“两个强国”建设战略需求，以技术、产业驱动，具备集约高效、经济适用、智能绿色、安全可靠特征的一系列现代化基础设施体系的总称。国家发展改革委近期对此做了进一步的阐释，认为新型基础设施建设是以新发展理念为引领，以技术创新为驱动，以信息网络为基础，面向高质量发展需要，提供数字转型、智能升级、融合创新等服务的基础设施体系。

表 1 新型基础设施建设提出的背景

时间	场合或文件	主要内容
2018 年 12 月	中央经济工作会议	加大制造业技术改造和设备更新，加快 5G 商用步伐，加强人工智能、工业互联网、物联网等新型基础设施建设，加大城际交通、物流、市政基础设施等投资力度，补齐农村基础设施和公共服务设施建设短板，加强自然灾害防治能力建设
2019 年 3 月	第十三届全国人民代表大会第二次会议《政府工作报告》	加大城际交通、物流、市政、灾害防治、民用和通用航空等基础设施投资力度，加强新一代信息基础设施建设
2020 年 1 月	国务院常务会议	出台信息网络等新型基础设施投资支持政策
2020 年 2 月	中央全面深化改革委员会第十二次会议	统筹存量和增量、传统和新型基础设施发展，打造集约高效、经济适用、智能绿色、安全可靠的现代化基础设施体系
2020 年 3 月	中央政治局常务委员会会议	加快 5G 网络、数据中心等新型基础设施建设进度
2020 年 4 月	国家发展改革委在线例行新闻发布会	新型基础设施主要包括信息基础设施、融合基础设施、创新基础设施三个方面内容
	国务院常务会议	部署加快推进信息网络等新型基础设施建设，积极拓展新型基础设施应用场景，引导各方合力建设工业互联网，促进网上办公、远程教育、远程医疗、车联网、智慧

		城市等应用
2020年5月	第十三届全国人民代表大会第三次会议《政府工作报告》	加强新型基础设施建设，发展新一代信息网络，拓展5G应用，建设数据中心，增加充电桩、换电站等设施，推广新能源汽车，激发新消费需求、助力产业升级

新型基础设施建设无疑是与铁路、公路、机场等传统基础设施建设相对应的，但各方对其涵盖范围的认识还存在差异。赛迪研究院将其解读为主要包括5G基建、特高压、城际高速铁路和城市轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网等七大领域，其建设和投资规模如表2所示。国家发展改革委高新技术司则将以5G、物联网、工业互联网、卫星互联网为代表的通信网络基础设施，以人工智能、云计算、区块链等为代表的新技术基础设施，以数据中心、智能计算中心为代表的算力基础设施，智能交通基础设施、智慧能源基础设施，重大科技基础设施、科教基础设施、产业技术创新基础设施等，列为新型基础设施的主要内容。2020年的政府工作报告正式提出重点支持既促消费惠民生又调结构增后劲的“两新一重”建设，其中列为首要的就是新型基础设施。

表2 “十四五”新型基础设施的建设和投资规模

领域	建设规模	投资规模
5G	5G基站建设数量约为500万座	直接投资约2.5万亿元，全产业链投资累计5万亿元
大数据中心	220万机架	直接投资约1.5万亿，带动投资累计超3.5万亿
人工智能	年均45%增长率	直接投资约2200亿，带动投资累计超4000亿
工业互联网	基本建成覆盖各地区、各行业的工业互联网网络基础设施	直接投资约6500亿，带动投资累计超1万亿
特高压	在建和待核准的特高压	约5000亿元

	工程共 16 条线路	
城际高铁和轨道交通	平均每年增加 5000 公里	直接投资约 4.5 万亿，带动投资累计超 5.7 万亿
新能源汽车充电桩	计划近期每年增长约 45 万台，预计需求 530 万台左右	直接投资约 900 亿元，带动投资累计超 2700 亿元
合计		9.96-16.37 万亿

基础设施具有强外部性、公共产品属性等特点，其在环境和气候领域的锁定效应也越来越受到关注。我国是基础设施大国，基建存量已居世界第一，在能源基础设施领域，我国的电力装机全球第一，2019 年全国全口径发电装机容量已达 20.1 亿千瓦（发电量 7.33 万亿千瓦时），其中煤电装机 10.4 亿千瓦（发电量 4.56 万亿千瓦时），占比显著高于发达国家和全球平均水平，且平均使用年限目前仅为 12 年左右，这一定程度上就形成了电厂寿命周期内的排放锁定效应。有关新型基础设施的讨论也聚焦于此，我国“十四五”期间这些新兴领域的大规模投资，一方面为绿色低碳发展创造了更好的技术条件，另一方面也拉动了能源消费的需求增长，其对排放的影响具有两重性，需要辩证分析和施策。

二、新型基础设施建设的碳排放影响分析

在技术创新视角下，新型基础设施建设将带来显著的减排效应。主要体现在三方面：一是技术进步本身带来的能效提升，研究表明 5G 技术单位数据传输能耗将有望降至 4G 的 10%~2%，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，还有越来越多云计算和大数

据中心直接使用可再生能源供电；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，电动车充电桩、城际高速铁路是替代燃油车消费、减少航空和私家车出行和实现交通运输部门电气化比例提高的主要推动力，研究表明我国高铁每百人公里能耗仅是飞机能耗的 18% 左右，而特高压直流输电则有助于缓解能源供需的区域错配，实现可再生能源的高比例消纳和煤炭的减量替代。已有的案例如表 3 所示。

表 3 新型基础设施减排效应案例分析

领域	案例	减排预期
5G	华为	5G 新无线(NR)可将每比特数据传输能耗降至目前 4G 的 10%，毫米波技术预计可将能耗降至 2% 以下；2030 年前，快速推广 5G 网络将减少全球二氧化碳排放近 50 亿吨，其中中国将比无 5G 网络减排 5.22 亿吨
	Vertiv	若 5G 技术在 2025 年全面覆盖，带来的碳减排将达到 29.77 亿吨
大数据中心	阿里巴巴	张北云计算基地数据中心百分百基于绿色能源运转，建筑外表覆盖太阳能电板，同时采用自然风冷和自然水冷系统，制冷能耗降低 45%
	百度	云计算（阳泉）中心是目前国内唯一一个通过工信部和绿色网格组织（TGG）绿色数据中心设计、运营双 5A 认证的数据中心，全年约 96% 的时间无需冷水机组制冷，每年节约的电量高达 2.5 亿度，碳减排量达到 5.2 万吨
人工智能	Carbon Relay	利用人工智能和机器学习来提高 Kubernetes 应用程序的性能和降低运营成本，平台的节能效果是传统产品的五倍
	谷歌 DeepMind	引入人工智能节省能源开支，DeepMind 帮助公司节省了 40% 的能源，将谷歌整体能效提升 15%
特高压	国家电网南方电网	以晋北到南京±800kV 直流特高压线路为例，每年可减少运输煤炭 2016 万吨，减排二氧化碳 3960 万吨；陕北-湖北±800 千伏特高压直流工程预计每年向湖北地区输送电能约 400 亿千瓦时，可减排二氧化碳 2960 万吨；落点山东的“两交一直”特高压年减排二氧化碳 1.1 亿吨；青海-河南±800 千伏特高压工程计划于 2020 年 6 月建成，每年输送 400 亿千瓦时清洁电能；南方电网西电东送三大特高压直流工程累计送电量达 4036 亿千瓦时，相当于为广东省减少标煤消耗 1.2 亿

		吨
城际高铁和轨道交通	法国	高速铁路每千人公里的二氧化碳排放量约为 4 千克，不到飞机 1/4，只需运行 8 年，就能抵消高铁建设中造成的总碳排放量
	中国	高铁每百人公里能耗是飞机能耗的 18%
	美国交通部	高铁京津段平均二氧化碳排放为 46g/pkm，飞机为 164g/pkm，公路为 151.6g/pkm
新能源汽车充电桩	中国	新能源公交车相对于传统燃油公交车可节能 1/3、小汽车可节能 2/3

在需求驱动视角下，新型基础设施建设也将带来明显的增耗效应。主要体现在三方面：一是建设过程中的能耗和碳排放，城际高铁和轨道交通、特高压输电线路建设中的钢铁和水泥消耗强度较大，研究表明京沪高铁建设平均每公里排放 285 吨二氧化碳；二是运营过程中的能耗和碳排放，研究表明 2018 年中国数据中心总用电量为 1609 亿千瓦时，约占中国全社会用电量的 2%，超过上海市当年的全社会用电量，排放量接近 1 亿吨二氧化碳；三是刺激消费新需求所产生的能耗和碳排放，根据华为发布的《通信能源目标白皮书》，虽然 5G 单位数据传输能耗较低，但是由于 5G 站点数量是 4G 的 2-3 倍，同时拥有更大流量，单设备功耗将是 4G 的 2.5-3.5 倍，按照规划 2025 年将实现 5G 基站覆盖全国，届时 5G 网络的全年能耗将达到 2430 亿度，产生二氧化碳排放 1.49 亿吨。

表 4 新型基础设施增耗效应案例分析

领域	案例	增耗预期
5G	基站建设	5G 基建分为宏基站、微基站两种，平均单基站消耗钢材 8.5 吨，只有 3%~5%的 5G 基站需新建

	中兴、华为	5G 单站功耗是 4G 单站的 2.5-3.5 倍，4G 单站满载功率 1045W，5G 单站满载功率近 3700W
	维谛技术 (Vertiv)	5G 可能会在 2026 年之前使总网络能耗增加 150%~170%
大数据中心	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	到 2023 年，中国数据中心总用电量将增长 66%，年均增长率 10.64%，总用电量为 2667.92 亿千瓦时，产生二氧化碳排放 1.63 亿吨
	欧盟委员会	信息、通信和技术行业约占全球总用电量的 5%~9%，超过总排放量的 2%
人工智能	国际计算语言学协会 (ACL)	按照现有的发展速度，到 2025 年人工智能的用电量将占世界用电量的十分之一；谷歌开发的热门的语言处理深度神经网络 Transformer，在使用神经架构检索 (NAS) 的情况下，训练所需的时间在 27 万小时以上，二氧化碳排放量为 284 吨；一个 6500 万个参数、普通大小的 Transformer 网络，在 8 个 GPU 上训练 12 小时，共消耗能源 27 千瓦时，释放二氧化碳 26 磅；更大的 BERT 模型有 1.1 亿个参数，使用 64 个 GPU 训练 80 小时，消耗 1507 kWh 能量，排放 1438 磅二氧化碳
特高压	国家电网	2020 年开工建设“十交两直”项目，总公里数约 7800 公里，按照每公里 220 吨的钢管需求，总需求拉动在 171.6 万吨；一条±800kV 特高压直流输电工程共需要约 56 台换流变压器，合计需要使用高磁感取向电工钢约 12320 吨；单条 1000kV 特高压交流工程需要使用高磁感取向电工钢约 2000 吨。
		多条“风光火”捆绑送电的特高压示范项目相继并网，均不同程度配套大容量煤电项目作为调峰电源；宁东至浙江外送工程 6 个特高压配套电源点全部纳入国家煤电投产计划；陕北至湖北特高压配套陕煤黄陵、延长富县、陕投清水川三期、榆能杨伙盘、大唐西王寨等 5 个煤电项目，总装机 796 万 kW
城际高铁和轨道交通	京沪高铁	京沪高铁全生命周期中运营阶段的碳排放贡献最大 (71%)，其次是建设 (20%) 和维护 (9%)
	国际能源署 (IEA)	中国高铁线路的运输密度只有欧洲和韩国的一半，且低于全球平均水平
新能源汽车充电桩	工信部	充电桩设备中立柱涉及用钢，2025 年国内约需充电桩 700 万个，700 万个充电桩约需钢材 350 万吨

综合来看，新型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。新型基础设施建设对特定部门和行业可能存在减排或增耗的影响，特别在建设强度比较集中的能源（电力）和交通（公路、铁路）等部门。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 1），根据我们的初步分析，综合考虑增耗和减排的直接及间接效应，“十四五”期间每年平均将增加二氧化碳排放约 7300 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，新型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。

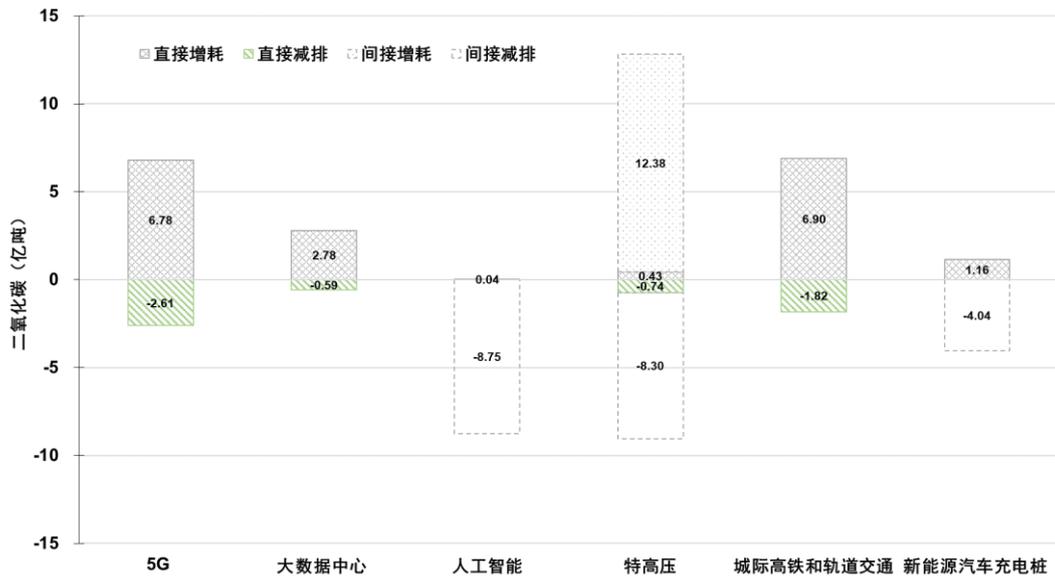


图 1 “十四五”新型基础设施建设的碳排放影响分析（五年累计）

在工业领域，新型基础设施建设的大量投入可能延缓钢铁、水泥等高耗能行业的碳排放峰值到 2025 年左右，但“5G+工业互联网”等技术的应用或将较大幅度提高工业领域的减排潜力；在交通领域，城际高铁和轨道交通、新能源汽车充电桩的建设将极大地改善交通运输结构和电气化水平，5G、车联网和自动驾驶技术将深远地改变交通消费模式，随着电力结构的绿色化和低碳化，有研究表明将使道路交通的碳排放峰值提前至 2030 年前；在建筑领域，智能终端的普及将一

定程度拉动能耗需求的增长，但“BIM+AI”等技术的应用将极大推动建筑的智能化管理和运行；在能源领域，网络化、信息化、智能化水平的提高将加快高比例、分布式可再生能源的消纳，能源结构的调整幅度可能快于规划目标，这将有可能使我国的碳排放峰值提前实现，峰值水平进一步降低。

三、推动新型基础设施建设绿色低碳化发展的政策建议

“十四五”期间，中国经济社会发展将面临较改革开放以来最为复杂和严峻的挑战，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，更加重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。这一轮新型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，在补短板的同时为新引擎助力，并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，实现发展和环境的共赢。

一是要加强顶层设计，强化新型基础设施的绿色低碳导向。要以技术和模式创新为驱动，推动以智能化、电气化、低碳化为导向的新型基础设施建设，高标准、高质量地开展总体规划和实施，避免走“旧增长”的弯路。通信业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 5G、人工智能技术的减

排潜力。应提高特高压、城际高铁和轨道交通、新能源汽车充电桩的建设标准，更多应用新型绿色材料。

二是要引导资本流向，发挥公共投资的绿色低碳撬动作用。政府公共投资应有所为、有所不为，要引导社会资本流向，应避免短期行为，避免盲目重复投资和建设。一方面，要增加绿色金融供给，在中央预算内投资、抗疫特别国债和地方政府专项债券应增加绿色标签比重；另一方面，应该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新型基础设施建设的项目标准，建立绿色低碳新型基础设施产业目录。要优选新型基础设施项目，严格控制煤电、化工等高排放新基建建设规模，要警惕“绿天鹅”事件和高碳资产搁置的后遗症，建立新型基础设施的金融机构绿色低碳合规问责机制。

三是要出台扶持政策，实施绿色低碳新基建激励计划。统筹发挥财税补贴和市场机制的协同激励作用，延续或加强对可再生能源消纳、新能源汽车推广和信息通信业节能减排的政策支持力度。加大绿色低碳发展“软基建”的投入，鼓励重点行业和地区出台和实施“绿色低碳新基建激励计划”，以此引领和推动绿色低碳“一带一路”相关领域的国际合作，让新型基础设施建设更好发挥经济和环境效益，破除长期的碳排放锁定，实现高质量的绿色复苏。

（柴麒敏、李墨宇 供稿）

注：本篇摘自《气候战略研究》2020年第19期