

推动工业用能低碳转型，培育发展绿色新质生产力

——《工业绿色微电网建设与应用指南（2026—2030年）》解读

中国工程院院士、天津大学电气自动化与信息工程学院院长 王成山

工业绿色微电网是促进工业用能结构绿色低碳转型，推动落实“双碳”目标的重要路径。党中央、国务院高度重视节能降碳，系统推进新型能源体系建设。

《工业绿色微电网建设与应用指南（2026—2030年）》（以下简称《指南》）是在全面总结前期实践、深入研判产业需求的基础上，提出的具有针对性、系统性和可操作性的实施路径，系统明确了工业绿色微电网的建设原则、主要内容、建设模式、应用场景和建设要求，对加快工业用能结构优化、培育绿色增长新动能、推动经济社会全面绿色转型具有重要意义。

我国工业绿色微电网建设已具备一定基础，工业和信息化部发布的“2023年度工业绿色微电网典型应用场景与案例名单”，涵盖了钢铁、有色、石化、电子等多个重点行业领域19个典型案例，对推动可再生能源就地消纳和工业用能低碳转型起到了重要示范和实证作用。但总体来讲，目前我国工业绿色微电网建设仍处于发展初期，很多技术尚需要围绕场景需求迭代升级，有利于工业绿色微电网发展的市场机制尚待建立。

面对新形势新要求，《指南》紧扣工业用能低碳转型核心目标，做出了系统性部署：以推动多能高效互补利用、促进可再生能源就近高比例消纳、加强与电网友好互动、具备工业负荷调节能力、提高数智化系统运行管理水平为五大建设原则，确立发展根本遵循；以可再生能源发电、工业余能利用、清洁低碳氢制取与利用、新型储能应用、电能变换与柔性互联、数字化能碳管理等六大核心设施体系，夯实技术支撑基础；以自筹自建、第三方共建为两大建设模式，激活市场主体活力；以高载能、灵活性、可调节、高可靠四大应用场景为靶向，提升实践适配性；以标准规范、先进技术、安全可靠、经济合理为四大建设要求，筑牢高质量发展底线。这一部署既体现了对工业绿色微电网发展

规律的深刻把握，也展现了推动我国工业绿色低碳高质量发展的坚定决心。

聚焦六大核心设施体系

筑牢工业绿色微电网物理基石

可再生能源发电：从“装得上”到“消纳好”的纵深推进

截至2024年年底，我国分布式光伏发电累计装机达到3.7亿千瓦，分布式光伏发电已经成为能源转型的重要力量。其中，工业厂房屋顶、边坡等空间资源潜力巨大，具备良好的分布式光伏应用潜力。国务院《2024—2025年节能降碳行动方案》指出，到2025年年底，城镇新建公共机构建筑、新建厂房屋顶光伏覆盖力争达到50%。伴随着可再生能源装机容量的逐步提升，区域电网面临越发严峻的消纳和调节压力。

《指南》对此作出精准部署：一是明确提出“就近就地自消纳比例原则上不低于60%”的要求，并鼓励分布式光伏采用发自用余电上网模式参与现货市场，上网电量占总可用发电量的比例不超过20%，这将有效引导项目规划更紧密贴合实际负荷需求。二是强调“可观、可测、可调、可控”能力建设，要求提升可再生能源发电设施接入电网承载力和调控能力，这是工业绿色微电网与主网实现良性互动的前提。

工业余能利用：挖掘“被忽视的能源宝藏”
数据显示，我国单位GDP能耗高于发达国家水平，余热资源平均回收利用率仅为30%左右，工业生产过程中大量工业余热、余压、余气未能充分加以利用。加大工业余能利用将是提高工业能效的重要抓手。

《指南》的部署极具针对性：一是“分级高效回收”，要求根据余能品位优先用于高价值工艺环节，剩余部分用于发电或供热制冷，实现能源梯级利用。二是明确在石化、纺织、食品等中低温用热（<150℃）领域推广工业热泵技术。这些措施市场广阔、节能效益显著。

清洁低碳氢制取与利用：打造氢能多元利用路径

当前，我国氢能产业正处于示范应用转向规模化发展的关键期，绿氢成本高、储运难，在

氢气总产量中占比仍较小。

《指南》的部署体现了多元化氢能应用思路：一是明确在清洁能源富集地区有序建设“制氢+用氢”一体化项目，并推进工业副产氢提纯，从源头保障氢源的清洁与经济。二是鼓励有条件的园区先行先试，打通“绿电-绿氢-绿氨/绿醇”产业链，探索小型化、分布式氢/氨制取和应用技术，这不仅为绿氢消纳找到了出口，更为能源一体化产业集群和工业深度脱碳提供了路径。三是推动电解槽、燃料电池等关键装备的技术进步，为产业规模化发展奠定基础。

新型储能应用：按需配置，担当“稳定器”与“调节器”

新型储能是工业绿色微电网实现能量时空转移和功率支撑的关键。当前工商业储能应用主要服务于峰谷套利。然而，不同应用场景对储能的需求差异巨大。

《指南》提出了“按功能需求配置”的精准化思路，根据可再生能源消纳、频率/电压支撑、热/冷负荷调节等差异化需求，选择适配的储能形式，鼓励钠离子电池、热储能等新技术创新应用，为储能多元化发展指明了方向。

电能变换与柔性互联：构建“智能能源路由器”

随着分布式电源、储能、多元负荷的接入，工业绿色微电网的潮流分布多向、电压波动、阻塞等挑战凸显。特别是存在配变重过载的区域，制约了更多分布式资源的接入。柔性互联装置能够实现动态调节潮流分布，是实现工业绿色微电网柔性化、智能化的核心装备。

《指南》将电能变换与柔性互联作为核心系统之一，特别指出在重过载区域配置中低压柔性互联装置。这一部署旨在实现区域内潮流灵活调度、电能质量优化和功率互济，不仅能解决重过载问题，还能在故障时实现负荷转供，大幅提升供电可靠性和分布式资源承载能力，是工业绿色微电网“柔性”特质的重要体现。

数字化能碳管理：从“系统大脑”到“价值中枢”

数字化是工业绿色微电网能碳管理系统的重要技术路径。目前许多能源管理平

台功能单一，缺乏智能预测、优化调度和碳管理能力。

《指南》对数字化能碳管理中心提出了更高要求，明确其应用人工智能、大数据、工业互联网等先进技术，实现对能源供给、传输、消费等精准化计量、精细化管控、智能化决策和可视化呈现，并强化其能效优化、碳管理和负荷管理等功能，为工业企业或园区实现零碳、提高环境收益提供平台支撑。此外，要求与电网调度平台建立统一接口，确保信息实时共享，为工业用户深度参与电网互动奠定基础。

创新两类建设模式

激发多元主体投资活力

工业绿色微电网投资大、技术复杂，单一模式难以适应所有企业需求。《指南》明确“自筹自建型”和“第三方共建型”两种模式，为不同主体投资建设工业绿色微电网提供了路径选择。“自筹自建型”适用于负荷稳定、用能集中、有专业运维能力的工业企业或园区，其核心目标是提升绿电比例、保障用电安全，鼓励其探索“源网荷储一体化”及“虚拟电厂”模式，深度参与电力市场。“第三方共建型”通过合同能源管理、融资租赁等模式引入专业能源服务公司，降低用户初始投入与运维负担，适用于资金紧张或缺乏能源技术团队的中小企业，以及希望快速实现绿色转型的出口外向型企业。两种模式并行，拓宽了融资渠道，有望加快工业绿色微电网技术的普及速度。

锚定四大应用场景

推动精准落地与价值释放

《指南》精准锚定四大场景，体现了分类指导、精准施策的原则。高载能场景（如钢铁、石化）负荷大、用能连续、余能资源丰富，建设重点在于大规模绿电供应与工业余能深度耦合，构建多能互补体系。灵活性场景（如机械、纺织）多以离

散制造为主，需求侧响应潜力较大，建设重点在于提升预测与负荷灵活调控能力，结合电价信号灵活排产。规模化可调节场景（如电解铝、制氢）负荷功率调节能力强，是优质的电网调节资源，建设重点在于发挥快速响应特性，使其成为参与电力互动的“主力军”。高可靠场景（如算力中心）负荷对电能质量和供电连续性要求极高，建设重点在于构建多级容错供电架构，并具备强大电能质量治理能力。四大场景划分明确了工业绿色微电网建设的侧重点和预期价值，增强了指南的实践指导性。

严守四项建设要求

保障系统高质量发展

为确保工业绿色微电网“建得好、用得稳、效益长”，《指南》从标准、技术、安全、经济四个维度提出了要求。一是标准先行，明确与大电网的责任边界，这是行业健康、有序、安全发展的基石。二是技术驱动，要求加快清洁高效发电、构网型技术、先进储能、柔性负荷调控、经济运行优化等关键技术应用，并推动新一代信息技术融合，以技术创新引领产业升级。三是安全为底，建立覆盖全环节的安全管理体系，强化核心装备质量核查，严格遵循储能安全、电磁兼容等要求，并构建网络安全防护体系，筑牢安全底线。四是经济可行，强化成本效益分析，引导社会资本参与，并通过拓展辅助服务、绿电交易等多重收益渠道优化经济性，杜绝低效重复建设。这四项要求构成了一个完整的闭环，确保工业绿色微电网发展兼顾技术先进、安全可靠和经济合理，实现高质量可持续发展。

《指南》是我国工业绿色微电网领域一份系统性强、操作性强的指导文件，不仅是技术指南，更是引导投资、激发活力、培育新质生产力的产业政策，其落地将有助于加快我国工业绿色低碳转型，提升绿色竞争力，支撑新型电力系统建设和“双碳”目标实现。

以工业绿色微电网高质量发展支撑新型电力系统构建

——《工业绿色微电网建设与应用指南（2026—2030年）》解读

中国电力科学研究院党委副书记 蒋迎伟

习近平总书记强调，要加快构建清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的新型电力系统，更好推动能源生产和消费革命，保障国家能源安全。工业绿色微电网汇集多种清洁能源形态，推动形成清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的工业用能体系，是支撑新型电力系统构建的重要载体。近日，工业和信息化部等五部门联合印发了《工业绿色微电网建设与应用指南（2026—2030年）》（以下简称《指南》），鼓励工业用户紧密结合本领域生产过程，推进工业绿色微电网建设应用，促进重点行业领域节能降碳，擘画了以高效、低碳、智能、经济等为特征的未来用能新图景，对加快构建新型电力系统具有重要意义。

锚定国家能源战略部署

推进工业领域清洁低碳、绿色高效用能

提升工业领域用能电气化、低碳化，是党中央、国务院立足我国能源发展阶段和高质量发展全局作出的重大战略部署。2024年5月，国务院印发《2024—2025年节能降碳行动方案》，提出“大力发展微电网、虚拟电厂、车网互动等新技术新模式”；2024年8月，中共中央、国务院印发的《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》明确指出，“加快构建新型电力系统”“建设智能电网，加快微电网、虚拟电厂、源网荷储一体化项目建设”；2025年10月，党的二十届四中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》提出，“加快建设新型能源体系”“加快智能电网和微电网建设，提高终端用能电气化水平，推动能源消费绿色化低碳化”。近年来，国家层

面持续强化对微电网、源网荷储一体化等新型供能模式的政策引导，为工业领域用能电气化、低碳化发展指明方向。

工业绿色微电网是工业领域支撑新型能源体系和新型电力系统建设的重要实践形态。工业领域是我国能源消耗与碳排放的重要领域，对全国整体实现“双碳”目标具有重要影响。发展新质生产力、推进新型工业化，绿色低碳是必由之路，其中能源是主战场，电力是主力军。需要加快构建新型能源体系和新型电力系统，推动能源电力全面绿色转型，促进工业发展方式深刻转变。工业绿色微电网作为促进源网荷储多向协同、灵活互动的重要技术形态，在新型能源体系和新型电力系统构建中展现出重要价值。为贯彻落实党中央、国务院决策部署，推进工业绿色微电网高质量建设应用，进一步形成新质生产力，《指南》发布恰逢其时，将为工业绿色微电网规范有序发展提供政策支撑，培育工业领域绿色增长新动能、锻造产业竞争新优势。

工业绿色微电网是新型电力系统主配微协同的关键主体。在我国能源结构转型和“双碳”战略目标的双重驱动下，可再生能源并网装机容量持续高位增长，负荷侧新要素不断涌现，能源电力资源在全国大范围配置的格局基本形成，电力系统正从传统集中式大电网向大电网、配电网、微电网多层次协同方向转型。通过主配微分层承载、多级协同，提升电力系统对可再生能源发电波动性和负荷随机性的适应能力，增强电网的稳定性和韧性。工业绿色微电网作为新型电力系统主网、配网、微网协同运行的关键载体，不仅支撑工业领域深度脱碳和用能效率提升，还通过源网荷储深度协同与智能管控，深度挖掘可再生能源、新型储能、工业负荷等多类型资源的多时间尺度的协同能力，可在缓解主网运行压力、提升电力系统灵活性、促进清洁能源就地高效消纳、增强重要负荷供电保障能力等方面发挥重要作用。《指南》的发布，将进一步提升工业绿色微电网发展的整体质量与水平，为其在电力系统中

更好发挥“承接末端、支撑局部、缓解主网压力”的作用奠定坚实基础，对推动形成主网、配网与微电网相互衔接、协同运作的发展格局具有重要促进作用。

强化示范应用牵引

工业绿色微电网实践成效逐步显现

近年来，结合地区资源禀赋及电网运行特性，中国电力科学研究院积极探索工业绿色微电网在电力系统不同环节的示范应用。在分布式能源渗透率较高、电网局部承载能力受限地区，围绕制造业园区和工业综合体，建设以可再生能源发电和新型储能为核心支撑、实现源网荷储协同运行的工业绿色微电网，有效提升分布式能源消纳能力、改善供电质量并降低用能成本，并通过微电网与虚拟电厂协同运行，为电网提供了灵活、可调的需求侧响应资源，实现电力供应、工业生产运行效率的协同提升。在高原、海岛等偏远地区，建设特殊区域工业用能保障型工业绿色微电网，提升供电可靠性、降低综合用能成本、减少对化石能源依赖。国家电网经营区内已实施此类项目十余个，典型如江苏开山岛、浙江东极岛与鹿西岛等。该类项目依托分布式光伏、风电与储能构建多能互补的微型综合能源系统，为关键设施提供安全、清洁的能源保障，显著降低环境影响与综合用能成本。

统筹关键能力提升与协同机制构建

系统化推进工业绿色微电网建设应用

我国工业绿色微电网建设与应用已取得阶段性成效，但规模化推广仍面临多方面现实约束。一是传统电源占比仍然偏高。在海岛等偏远地区建设的工业绿色微电网，仍以柴油发电等常规电源作为主供或兜底电源，尚未针对典型场景形成标准化建设应

用及成套解决方案；二是自主化运行能力有待提升。在并/离网切换、黑启动等复杂工况下的应急能力不足，供电可靠性和自主运行韧性仍需提升；三是与大电网协同互动能力仍需加强。工业绿色微电网通常采用本地化调度实现内部资源调配，在需求高峰或紧急情况下难以与大电网进行高效信息交互与资源调配，且工业绿色微电网作为市场主体参与电力市场的准入机制及补贴政策仍不完善，缺乏成熟的商业模式，影响其与大电网的稳定互动。《指南》坚持关键能力与协同机制并重，聚焦特色应用场景，为工业绿色微电网规范化建设和合理化应用划定了工作要点。

夯实关键能力基础，明确体系化建设应用路径。《指南》系统界定了工业绿色微电网涵盖的主要设施和系统类型，包括可再生能源发电、工业余能利用、清洁低碳氢制取与利用、新型储能应用、电能变换与柔性互联、数字化能碳管理等六方面，并提出积极探索源网荷储一体化、绿电直连等新模式、新业态。在此基础上，结合不同工业行业用能特征与资源禀赋，进一步划分了“钢铁、石化化工、建材、有色金属等高载能应用场景”“机械、轻工、纺织、汽车、电池制造等灵活性应用场景”“电解铝、多晶硅、水电解制氢等规模化可调节应用场景”“算力设施等高可靠应用场景”四类差异化应用场景，为发电、储能、用户等多方主体开展建设应用提供了清晰、可操作的实施指引。相关部署有助于避免概念泛化与模式混用，推动工业绿色微电网向“零散探索”向体系化、规范化发展。

同时，《指南》强调推动人工智能、云计算、大数据等新一代信息技术融合应用，带动工业数据集、工业领域专用大模型等创新迭代。相关部署有助于夯实工业绿色微电网在规划设计、运行控制和能碳管理等方面的创新水平，推动其由“工程集成”向“数智赋能”体系化迈进。

健全协同机制设计，拓展电网友好互动

与多元价值空间。《指南》将“加强与电网友好互动”作为工业绿色微电网建设的重要原则，要求其在具备电力电量自平衡能力的基础上，释放电网调峰、调频、需求侧响应等双向服务潜力，探索作为新型经营主体参与电力市场交易模式，在提升系统运行经济效益的同时，减轻电网运行压力。《指南》明确了工业绿色微电网在电力系统中的调节潜力和综合价值，为其作为市场主体参与电力中长期交易、现货市场和辅助服务市场预留了政策空间，有利于拓展多元化价值实现路径，更好推动工业绿色微电网可持续发展。

随着工业绿色微电网建设规模逐渐增大、运行形态日益多样，对调度运行和管理提出了更高要求。为了实现与大电网友好互动、推动实现主配微协同运行，《指南》进一步强化了涉网安全要求，强调工业绿色微电网项目建设和运行需满足电力行业涉网安全管理要求，严格执行现行政策及标准要求，实现“友好并网”。《指南》从规范工业绿色微电网有序发展的角度，引导其在满足自身运行需求的同时，更好适应电网调度和运行管理要求，防范系统运行风险，保障电网安全稳定运行。

《指南》是我国工业用能领域一份系统性强、操作性强的指导文件，充分体现了我国加快构建新型能源体系、推动能源绿色低碳转型的战略决心。《指南》系统梳理了工业绿色微电网的内涵边界、建设内容和实施路径，在提升工程建设标准、规范技术路线选择、引导典型场景应用等方面提供了重要指引。同时，围绕不同工业行业用能特点，总结形成了一批具有代表性的实践案例，为工业企业和园区开展工业绿色微电网建设提供了可参考、可借鉴的实施范式。总体而言，《指南》明确了工业绿色微电网的发展方向，为持续提升行业整体发展水平奠定了坚实基础。实施好《指南》，将有助于工业绿色微电网在提升工业用能效率、促进可再生能源消纳、增强电网友好互动等方面发挥积极作用。