

新型电力系统背景下源网荷储 一体化发展白皮书

开放数据中心委员会

2023-09 发布

版权声明

ODCC（开放数据中心委员会）发布的各项成果，受《著作权法》保护，编制单位共同享有著作权。

转载、摘编或利用其它方式使用 ODCC 成果中的文字或者观点的，应注明来源：“开放数据中心委员会 ODCC”。

对于未经著作权人书面同意而实施的剽窃、复制、修改、销售、改编、汇编和翻译出版等侵权行为，ODCC 及有关单位将追究其法律责任，感谢各单位的配合与支持。

www.ODCC.org.cn

编写组

项目经理：

吴美希

中国信息通信研究院

工作组长：

郭亮

中国信息通信研究院

贡献专家：

温小振

中国信息通信研究院

郭俊峰

南方电网大数据服务有限公司

刘运

南方电网大数据服务有限公司

宋文

南方电网大数据服务有限公司

张炳华

北京秦淮数据有限公司

陈骁

北京秦淮数据有限公司

李宝宇

华为技术有限公司

郜登科

上海科梁信息科技股份有限公司

蒋钢

中兴通讯股份有限公司

付真海

上海良信电器股份有限公司

赵晓明

上海良信电器股份有限公司

韦豪

施耐德电气（中国）有限公司

黄弘扬

施耐德电气（中国）有限公司

徐龙云

北京中科合盈数据科技有限公司

苗兵杰

北京中科合盈数据科技有限公司

林峰

宁夏通信学会

黄迪

宁夏通信学会

黄正平

宁夏通信学会

前言

在碳达峰、碳中和“双碳”背景下，能源生产、消费和利用呈现新的发展趋势，电力行业迎来新一轮的重大变革。随着新能源的快速发展，具有绿色低碳、灵活柔性、数字智能等特征的新型电力系统是实现可再生能源充分利用、低碳能源发展目标的主要内容和重要支撑。

2022年1月，国家发展改革委、国家能源局《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》，提出加强新型电力系统顶层设计，鼓励各类企业等主体积极参与新型电力系统建设，开展相关技术试点和区域示范。2022年3月，国家能源局等部委联合发布《“十四五”现代能源体系规划》，指出要全力推动电力系统向适应大规模高比例新能源方向演进，统筹高比例新能源发展和电网安全稳定运行。2022年5月，《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》，提出全面提升新型电力系统调节能力和灵活性，支持和指导电网企业积极接入和消纳新能源。

新型电力系统构建源网荷储新生态，加快建设适应新能源快速发展的新型电力系统市场机制和政策体系。通过先进的信息和控制技术，进一步加强电源侧、电网侧、负荷侧、储能侧的多向互动，有效解决清洁能源消纳问题，提高电力系统综合效率。

目 录

版权声明	I
编写组	II
前 言	III
一、电力系统发展现状	1
(一) 新能源发电量占比持续提升	1
(二) 资源优化配置能力稳步提升	3
(三) 新兴技术创新水平不断突破	3
(四) 二氧化碳排放规模有效降低	3
二、新型电力系统内涵	4
(一) 新型电力系统提出背景	4
(二) 新型电力系统意义深远	5
(三) 新型电力系统特征显著	6
(四) 新型电力系统面临的挑战	7
1. 电力电量平衡挑战	7
2. 系统安全稳定挑战	7
3. 电力成本挑战	8
4. 低碳用能挑战	8
5. 调度控制挑战	8
三、新型电力系统构建源网荷储新生态	8
(一) 发电侧：以新能源为主、煤电为辅	8
(二) 电网侧：分布式微网和大电网互补	9
(三) 负荷侧：由“源随荷动”转向“源网荷互动”	10

1. 需求侧响应	11
2. 电力现货交易	11
3. 离网预备机制互动，加强电力系统应急管理	12
（四）储能侧：增强电网柔性	13
四、源网荷储一体化发展关键举措	15
（一）电源侧：提高绿色能源接纳	16
（二）电网侧：优化电网发展方式	17
（三）负荷侧：提升电力负荷弹性	18
1. 微网规划设计与评估	18
2. 微网的控制、保护与通信	19
（四）储能侧：深化储能技术应用	21
（五）源网荷储一体化发展模式与实施效果	24
1. 发展模式	24
2. 实施效果	25
五、应用场景分析	28
（一）数据中心应用场景	28
1. 电源侧：多能互补，多方式并存	29
2. 电网侧：主动配电网，安全稳定供应	30
3. 负荷侧：优化数据中心配电系统的架构	31
4. 储能侧：源荷多元储能，最大程度消纳绿电	31
（二）“零碳”物流园应用场景	32
1. 电源侧：多源供给“绿能降碳”	33
2. 电网侧：“网能交互”稳定电力、辅助电力服务	33
3. 负荷侧：负荷多样聚合、柔性可控	33

4. 储能侧：“荷储一体”能源多元有效消纳利用 34



www.ODCC.org.cn



新型电力系统背景下源网荷储一体化发展白皮书

一、电力系统发展现状

（一）新能源发电量占比持续提升

从电力生产结构来看，我国 2022 年的发电量达到了 88487.1 亿千瓦时，同比增长 3.7%。其中，以煤炭作为主燃料的火力发电量依然占据首位——发电量为 58887.9 亿千瓦时，同比增长 1.4%，约为我国全社会发电量的 66.5%；水力发电量排第二，产生的电力为 13522 亿千瓦时，同比增长 1%，约为我国全社会发电量的 15.3%；风力发电量为 7626.7 亿千瓦时，同比增长 16.2%，约为我国全社会发电量的 8.6%；太阳能发电量为 4272.7 亿千瓦时，同比增长 31.2%，约为我国全社会发电量的 4.8%；核能发电量为 4177.8 亿千瓦时，同比增长 2.5%，约为我国全社会发电量的 4.7%；

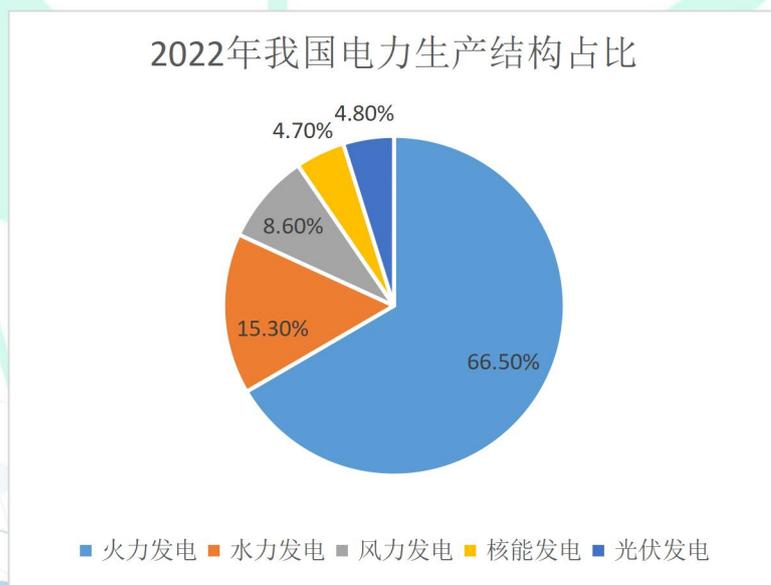


图 1：2022 年我国电力生产结构占比

数据来源：国家发改委

从发电装机容量结构来看，我国 2022 年全国发电装机容量约 25.64 亿千瓦，同比增长 7.8%。其中，火电累计发电装机容量 13.32 亿千瓦，占比 51.96%，仍然是最主要发电形式，但是占比在逐渐下降；水电累计发电装机容量 4.14 亿千瓦，占比 16.15%；风电累计发电装机容量 3.65 亿千瓦，占比 14.24%；太阳能累计发电装机容量 3.93 亿千瓦，占比 15.33%；核电累计发电装机容量 0.55 亿千瓦，占比 2.17%。

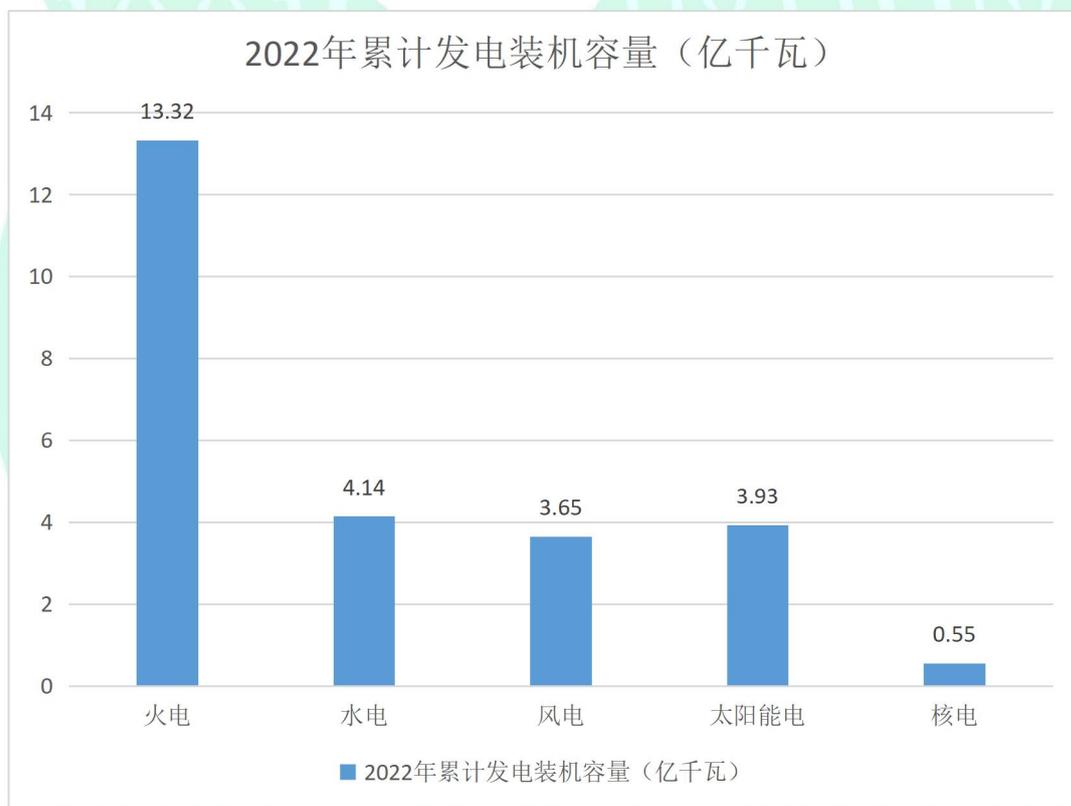


图 2：2022 年我国累计发电装机容量

数据来源：国家能源局

（二）资源优化配置能力稳步提升

截至 2022 年底，发电企业积极推进煤电机组灵活性改造制造工作，新投产煤电机组调节能力进一步提高，煤电灵活性改造规模累计约 2.57 亿千瓦；我国已建和在建装机规模均居世界首位，抽水蓄能装机规模达到 0.46 亿千瓦；以电化学储能为代表的储能技术持续快速发展，度电成本稳步下降，新型储能累计装机规模超过 0.09 亿千瓦。新能源得到高效利用，弃电率控制在合理水平。

（三）新兴技术创新水平不断突破

随着我国科技水平不断的提高，不同类型的新能源技术在电力行业得到应用，相比于传统发电技术，新能源技术有着更高的发电效率，现阶段，电力行业的主导发电模式正逐渐过渡为新能源发电模式。

目前，我国建立了完备的清洁能源装备制造产业链，成功研发制造全球最大单机容量 100 万千瓦水电机组，具备最大单机容量达 16 兆瓦的全系列风电机组制造能力，光伏电池转换效率多次刷新世界纪录，光伏电池转换效率持续提升。柔性直流、“互联网+”智慧能源、大规模新型储能、综合能源等一大批新技术、新模式、新业态蓬勃兴起。

（四）二氧化碳排放规模有效降低

根据《中国电力行业年度发展报告 2023》显示，2022 年，全国单位火电发电量二氧化碳排放约为 824 克/千瓦时，比 2005 年降低 21.4%；全国单位发电量二氧化碳排放约为 541 克/千瓦时，比 2005

降低 36.9%。以 2005 年为基准年，从 2006-2022 年，电力行业累计减少二氧化碳排放量约为 247.3 亿吨，通过加大新能源高比例消纳，有效地降低了二氧化碳排放规模，加快了我国“双碳”目标的实现。

二、新型电力系统内涵

（一）新型电力系统提出背景

2020 年 9 月，我国在第 75 届联合国大会一般性辩论中宣布中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的措施，二氧化碳排放力争在 2030 年前达峰，努力争取 2060 年实现“碳中和”。随后我国又在气候雄心峰会以及中央经济工作会议中继续强调“双碳”的重要性。2021 年 3 月 15 日，中央财经委员会第九次会议中指出，“十四五”是碳达峰的关键期、窗口期，要构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系，深化电力体制改革，构建以新能源为主体的新型电力系统，会议首次提出“新型电力系统”的概念。

习近平总书记指出，实现碳达峰碳中和，是贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的内在要求，是党中央统筹国际国内两个大局作出的重大战略决策。在我国的二氧化碳排放总量中，能源生产和消费相关活动碳排放占比较高，推进能源绿色低碳转型是实现碳达峰碳中和目标的关键。

以新能源为主体的新型电力系统是以承载实现碳达峰碳中和要求为前提，确保能源电力安全为基础、满足经济社会发展电力需求为首要目标、以最大化消纳新能源为主要任务，以源网荷储互动与

多能互补为支撑，具有清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好、开放互动基本特征的电力系统。

（二）新型电力系统意义深远

传统电力行业主要是以火电为主，电力行业 CO₂ 的排放量在我国 CO₂ 总排放量的占比最高，为实现“双碳”目标，电力行业要加快新型电力系统建设，大幅提升光伏、风电等新能源发电的比例，进而提升终端电气化率，更好支持温室气体减排，实现“双碳”目标。

促进“产业结构”优化升级，实现双碳既定目标。以新能源为主体的新型电力系统能够推动产业结构优化升级，促进能源清洁低碳转型，减少化石能源开发和使用，大力发展风能、太阳能等新能源，提供更加绿色低碳的能源供给，提升终端能源绿色消费比重，加快碳达峰、碳中和目标的实现。

推动“源网荷储”互动融合，深化关键技术应用。传统电力系统是以火电为主，是由“源随荷动”的实时平衡模式，大电网一体化控制模式。在“双碳”目标背景下，新型电力系统主要以太阳能、风电等新能源为主，向“源网荷储”协同互动的非完全实时平衡模式，大电网与微电网协同控制模式转变，深化数字技术与储能技术在新型电力系统中的广泛应用，加快低碳能源技术、先进输电技术和网络技术、控制技术的深度融合，构建电力行业新发展格局，推动电力行业高质量发展。

推进“能源革命”加快发展，保障能源供应安全。新型电力系统建设深入推进能源革命，加强煤炭清洁高效利用，统筹“源网荷储”各环节，助力“风光水火储”一体化协同发展，助推煤电灵活性改造，加快抽水蓄能开发建设，支持各类储能健康有序发展，不断扩展新能源应用场景，全面提升电力系统调节能力，加快规划建设新型能源体系，统筹水电开发和生态保护，积极安全有序发展核电，加强能源产供储销体系建设，确保能源安全。

（三）新型电力系统特征显著

高比例新能源广泛接入。新型电力系统核心特征在于新能源占据主导地位，成为主要能源形式。随着我国碳达峰与碳中和目标的提出，电力系统将逐渐由煤电装机占主导转向新能源发电装机为主导，最终实现以风电、光伏等新能源发电为主，新能源在一次能源消费中的比重不断增加，加速替代化石能源。未来我国电源装机规模将保持平稳较快增长，呈现出“风光领跑、多源协调”态势。在电源总装机容量中，陆上风电、光伏发电将是我国发展最快的电源类型，到2060年两者装机容量占比之和达到约60%，发电量占比之和达到约35%。

电网资源灵活可靠。新型电力系统需要解决高比例新能源接入下系统强不确定性（即，随机性与波动性）与脆弱性问题，充分发挥电网大范围资源配置的能力。未来电网将呈现出交直流远距离输电、区域电网互联、主网与微电网互动的形态。特高压交直流远距离输电成为重要的清洁能源配置手段。分布式电源按电压等级分层

接入，实现就地消纳与平衡。储能与需求侧响应快速发展，预计2060年需求响应规模有望达到3.6亿千瓦左右，储能装机将达4.2亿千瓦左右，两者将成为未来电力系统重要的灵活性资源，保障新能源消纳和系统安全稳定运行。

基础设施多网融合数字赋能。新型电力系统将呈现数字与物理系统深度融合，以数据流引领和优化能量流、业务流。以数据作为核心生产要素，打通电源、电网、负荷、储能各环节信息，发电侧(发电厂等)实现“全面可观、精确可测、高度可控”，电网侧(电网企业)形成云端与边缘融合的调控体系，用电侧(用电用户)有效聚合海量可调节资源支撑实时动态响应。通过数字技术与能源企业业务、管理深度融合，不断提高数字化、网络化、智能化水平，而形成的新型能源生态系统，具有灵活性、开放性、交互性、经济性、共享性等特性，使电网更加安全、可靠、绿色、高效、智能。

(四) 新型电力系统面临的挑战

在新型电力系统构建的过程中，电力行业主要面临以下几方面挑战：

1. 电力电量平衡挑战

新能源发电的间歇性、随机性和波动性，容易导致短时间的电力不平衡，另外新能源发电与用电季节性不匹配，存在季节性电量平衡难题。

2. 系统安全稳定挑战

新型电力系统惯量和阻尼低、电压支撑和过流耐受能力弱以及动态特性快，使得宽频振荡和各种安全稳定问题加剧，发生故障容易引发连锁脱网事故。

3. 电力成本挑战

为了保障电力系统实时平衡的辅助服务及相关设施建设将增加电源使用成本，还需要调节性、支撑性、保障性和灵活性资源以及新能源输电通道方面的建设投入。

4. 低碳用能挑战

我国目前针对负荷侧有不同的低碳约束政策，包括能耗双控约束、绿电配额制约束和碳市场约束，共同约束和激励用户更多地低碳用能。

5. 调度控制挑战

随着电力系统需要控制源网荷储的各个环节，以及新能源发电和新型负荷的海量接入，新型电力系统的调度控制在可观、可测和可控方面面临着严峻挑战。

三、新型电力系统构建源网荷储新生态

（一）发电侧：以新能源为主、煤电为辅

在“碳达峰”“碳中和”目标下，新能源产业将迎来高质量、跨越式发展，清洁电力装机占比将大幅提升，逐步成为电力系统中的新增装机主体乃至电量供给主体，煤电逐步成为调节性电源。

化石能源电源占比不断下降是大势所趋，将由基础电源成为调节电源转变，化石能源电源向兜底保障、调节与支撑功能转变。但需要注意的是，煤电的战略地位仍不容小觑，尤其在寒潮或高温等特殊情境下，风电、光伏出力减少，缺少煤电兜底，电力系统的实时平衡将被打破。

（二）电网侧：分布式微网和大电网互补

随着新型电力系统的发展，在市场化过程中微电网将为企业的高质量发展注入新动能，推动智能电网运营商、能源产业价值链整合商、能源生态系统服务商的战略转型，助力构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系，进一步促进能源行业低碳清洁化发展。

作为分布式清洁能源、配电设备、电力负载进行统一管理的发配用一体化微平衡系统，微电网主要有两个技术优势，一是“源网荷储”的统一协调控制能力，二是孤网运行能力。“源网荷储”统一协调控制能力意味着微电网在不同环境下能够以最高效经济的方式生产和消费能源，并能够有效响应电网的调度指令；而孤网运行能力则意味着大电网故障或极端自然灾害下，微电网能够保障网内重要用户的可靠供电。微电网不仅能够在在大电网系统下调节控制，平滑的并入大电网系统，还能在其内部实现能量和电压的统一调节。除此之外，微电网其自身规模较小、系统构成较为分散，因此要运用先进的技术、采用可再生能源本地消纳最大化，有利于绿电高效利用降低负荷用能碳排，节约用能成本以及满足电力供给需求。

通过微电网的建设,可以补充大电网对投资的不足,通过分布式能源和微电网本身的建设,可以降低配电系统对电能的需求,减少或者减缓配电网的投资以及提升大电网整体传输效率。

微电网可以看作是大电网的一个可控负荷,实现发电、储电、用电以及与外部配电网交互电量的优化控制。未来的电网模式应该是大电网与微电网的结合体,大电网的架构是微电网发展的前提条件,而微电网具备接纳清洁能源、调节能力强的特征,能够为大电网提供补充。电网的控制模式将更开放多元,有利于大幅提高电网的系统效率。

(三) 负荷侧：由“源随荷动”转向“源网荷互动”

传统电力系统主要的特点是电源与负荷之间静态匹配,电网作为电能传输通道,即以电源和负荷特性曲线构建供给-需求匹配方案,通过适度的电源调度实现电网稳定,核心是强调电源和负荷的稳定性。随着新型电力系统发展,电源端和负荷端均出现了较大的波动和时变性,如果以传统方案来进行源荷匹配,无法达成目标,因此需要“源网荷互动”。

过去电网调控的主要模式是“源随荷动”,当用电负荷突然增高,但电源发电能力不足时,供需不平衡将严重影响电网安全运行。在负荷侧大量新能源装机的背景下,荷侧的波动将会频繁变化且波幅逐渐加大,从源侧单向跟随调节将变的力不从心,大大影响电网安全及传输效率。

微电网的建设实现源网荷储一体化运行能够深入挖掘系统灵活性调节能力，推动负荷侧分布式资源互动响应，实现电网调控由“源随荷动”向“源荷互动”转变，促进供需两侧精准匹配，提升了供需资源配置质量和效率。

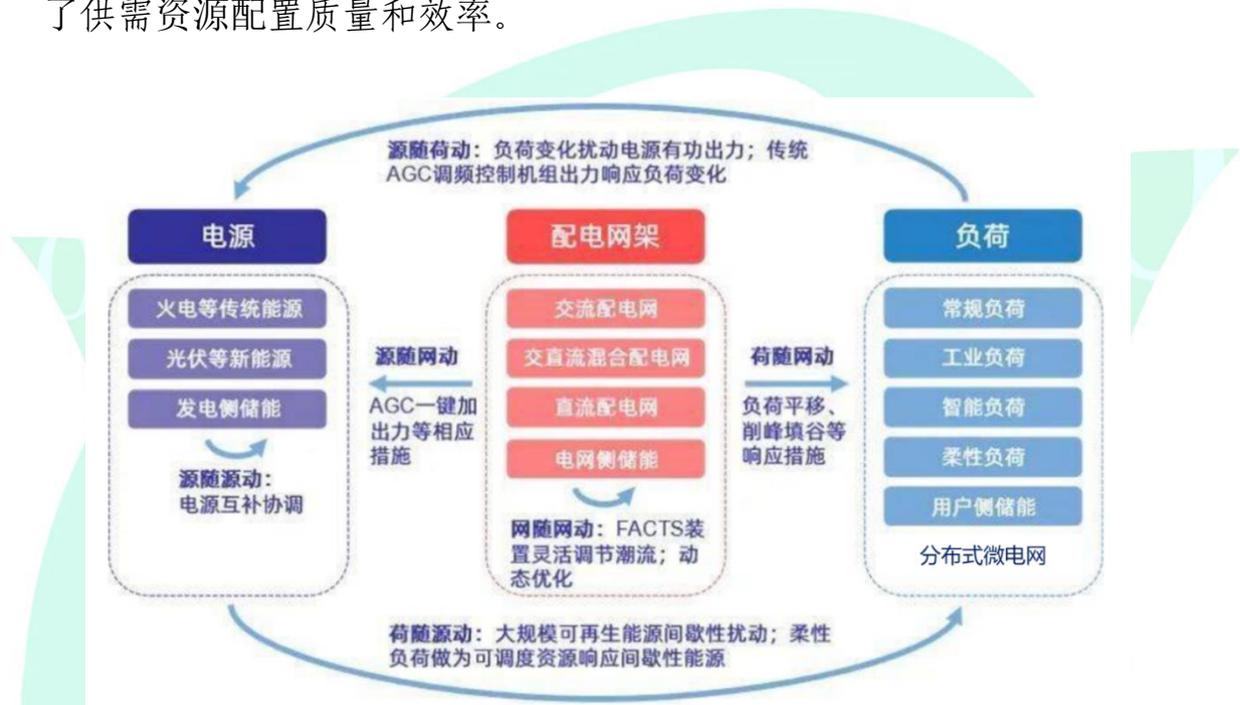


图 3：源网荷储一体化运行图

微电网系统作为荷侧的管理中枢实现与源网互动，主要通过以下功能途径：

1. 需求侧响应

通过整合负荷侧需求响应资源，将分布式发电资源、储能、弹性负荷、充电桩等纳入需求侧响应范围，推动可中断负荷、可控负荷参与电网调峰、调频、调压等稳定控制，实现负荷精准控制和用户精细化用能管理。

2. 电力现货交易

通过现货交易平台功能接口打通，参与电力现货市场化交易规则，帮助用户从需求出发，降低用能成本或降碳，同时现货交易的市场化规则帮助大电网实现有序用电以及整体碳排的降低。

3. 离网预备机制互动，加强电力系统应急管理

建立健全应对极端天气和自然灾害的电力预警和应急响应机制，加强灾害预警预判和电网协调联动。保障应急备用煤电和短时储能的规模与调度，建设黑启动电源和负荷中心本地电源，提高电力系统网络安全应急处置能力。

微电网与主动配电网、大电网共同建立互动机制管理区域内的分布式能源，尤其是分布式新能源个体具有分布分散、规模小、易受外界因素影响（如极端灾害天气、用户侧系统故障、计划维护等）等特性，所以通过微电网技术构建以终端用户为单位的分布式能源集群集中调控，通过气象预测技术、系统故障健康预测性运维及用户计划联动等手段，以预告时间维度的用户侧发用电信息数据进行拟合，并以短期、中期、中长期的计划策略报备给主动配电网管理平台 ADMS 以及区域大电网调度系统，帮助电网提前预知用户侧电力潮流趋势，合理调配区域配电网不同地理用户间的潮流走向以及和大电网之间的电力潮流关系；在此基础上形成了用户侧并网点、主动配电网、大电网调度互动协同的灵活机制，从用户侧参与了大电网的主动式稳定控制，增加了暂态支撑大电网的能力。

于此同时，微电网系统对于主动报备的并离网预备策略，经由电网调度综合研判、计划的指令反馈，基于自身并离网切换策略平滑有效的遵循计划策略实施。

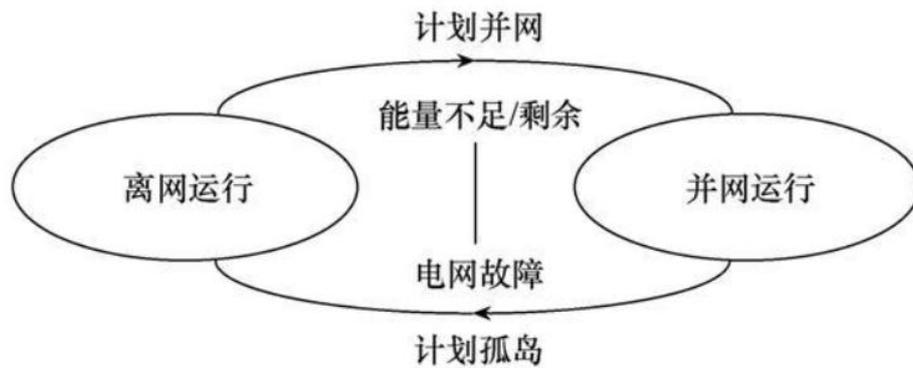


图 4：微电网系统运行框架图

（四）储能侧：增强电网柔性

随着全球经济的快速发展和人口的不断增长，对能源的需求也越来越大。同时，在环保意识日益增强的背景下，清洁能源的应用也备受关注。新能源占比不断提高，其间歇性、随机性、波动性特点快速消耗电力系统灵活调节资源。近年来，虽然经过各方不断努力，全国新能源利用率总体保持较高水平，但消纳基础尚不牢固，局部地区、局部时段弃风弃光问题依然突出。未来，新能源大规模高比例发展对系统调节能力提出了巨大需求，但调节性电源建设面临诸多约束，区域性新能源高效消纳风险增大，制约新能源高效利用。

在新型电力系统构建中，储能侧是实现源网荷储新生态的关键环节之一。储能技术是实现储能侧的关键，需要根据储能的容量、

效率、成本等因素进行选择。目前常用的储能技术包括电池储能、超级电容储能、燃料电池储能和抽水蓄能等。不同的储能技术具有不同的特点，需要根据实际情况进行选择。同时，储能容量的规划则需要考虑到电网的负荷需求、可再生能源的波动性等因素。通过合理的储能容量规划，可以保证在电网负荷高峰期能够释放储能，实现电网的稳定性和可靠性。

储能侧需要与电网实现互动，通过合理的控制策略和调度算法，实现储能与用能之间的平衡。在电网负荷低谷期，可以将多余的电能储存到储能系统中，以备电网负荷高峰期使用。通过优化调度策略，可以实现储能侧的最优化运行。例如，在电网负荷高峰期，可以通过调整储能系统的输出功率，以满足电网的负荷需求。

储能侧是指利用各种技术手段将电能进行转换和储存，以便在需要的时候进行释放和利用的一种能量存储技术。储能侧可以实现对电力系统的源、网、荷的协调管理，提高电力系统的可靠性和经济性；并且储能侧还具有调峰填谷、配电网优化、新能源消纳、储能技术创新的作用。

实现源网荷储新生态需要在储能侧进行多方面的优化和调整，包括储能技术的选择、储能容量的规划、储能与电网的互动和优化调度策略等，以实现电网的稳定性和可靠性。

在新型电力系统的储能侧，可以采取以下措施来增强电网柔性：

多种储能技术的组合应用。不同储能技术具有不同的响应速度、容量、效率和成本等方面的特点，可以根据实际需求进行组合应用，提高储能侧对于电网负荷和电源波动的快速响应能力和自适应能力。

储能系统的智能控制。通过采用先进的智能控制技术，可以实现储能系统对于电网负荷和电源波动的自动调节和优化，提高储能系统的利用率和电网柔性。

储能系统的分布式布局。分布式储能系统可以更好地适应电网负荷和电源波动，提高电网柔性。此外，分布式储能系统还可以提高电网的可靠性和安全性，减少电网故障的影响范围。

四、源网荷储一体化发展关键举措

新型电力系统具有不确定性，而源网荷储一体化可以充分发挥负荷侧的平衡调节能力，使电力系统更安全、稳定、高效地运行，同时也是为了促进清洁能源更稳定、可靠、有效的主动消纳。推动源网荷储一体化发展能够显著提升负荷侧能源利用效率，增强可再生能源消纳能力，更好地服务新型能源体系。优化创新环境，发挥科技骨干企业的引领作用，以产业链为纽带推动创新链、产业链融合发展。研究开发新一代太阳能高效聚光集热系统，破解光热发电产业面临的难题。加快制定户用光伏准入门槛、建设标准等，推进分布式光伏发展。

（一）电源侧：提高绿色能源接纳

推动炭的清洁升级与新能源发展，构建清洁能源体系。我国以煤炭为核心的能源消费结构是碳排放的主要来源之一。煤炭的清洁升级以及以新能源替代传统能源是提升新能源接纳的重要举措，也是实现“碳中和”的主要方向。在政策上，针对新能源发展，国家能源局通过储能标准化工作方案引领储能技术与产业发展，并鼓励风电、光伏等清洁能源健康发展，提出了清洁能源开发建设的具体安排。部分省份也就减少煤炭消费和新能源发展制定了相关政策以促进新能源接纳目标。煤炭大省山西省在政府工作报告中提出“推动煤矿绿色智能开采，推进煤炭分质分梯级利用，抓好煤炭消费减量等量替代”；山东、山西、广东、辽宁等多个省份均表明要发展可再生能源，并设定了可再生能源发电装机目标数量。

实施产能压降与差别电价，促进高耗能产业供给侧改革。高耗能产业结构调整是碳中和的重要实现方式之一，政策上主要以产能压降与差别电价为主；钢铁、有色金属和建筑均为碳排放量较高行业。针对“两高一剩”行业的碳中和实现，相关部委和行业协会发布政策促进高耗能产业的产量控制和产业结构优化。2021年2月10日，中国钢铁工业协会发布《推进钢铁行业低碳行动倡议书》强调，钢铁行业将面临从碳排放强度的“相对约束”到碳排放总量的“绝对约束”。工信部更新《铝行业规范条件》等有色金属行业规范，推动有色金属行业向环境友好、智能化转型。“两高一剩”行业重

点地区也制定了相关行业政策，严控产能过剩行业新增产能，加快落后企业、产能的退出，推动绿色建筑的发展。

各省用电情况存在差别，因地制宜开展配电网建设。从已公布的十四五规划来看，各省配电网发展目标不尽相同，但主要集中在智能化、供电质量和可靠性、城乡配电网建设改造等方面。配网设备种类庞杂，分为一次和二次设备，传统配网行业集中度低，产品同质化重，市场竞争激烈，以价值量大的变压器、电缆、断路器为例，细分市场 CR10 尚不足 10%。随着电力物联网信息化、智能化发展，配网大量的新增需求主要集中在新能源、智能电网、电动车等领域，对产品性能质量尤其是稳定性的要求日益增强，高端产品占比有望提升。

（二）电网侧：优化电网发展方式

加快配电网改造升级，推动智能配电网、主动配电网建设，提高配电网接纳新能源和多元化负荷的承载力和灵活性，促进新能源优先就地就近开发利用。积极发展以消纳新能源为主的智能微电网，实现与大电网兼容互补。完善区域电网主网架结构，推动电网之间柔性可控互联，构建规模合理、分层分区、安全可靠的电力系统，提升电网适应新能源的动态稳定水平。科学推进新能源电力跨省跨区输送，稳步推广柔性直流输电，优化输电曲线和价格机制，加强送受端电网协同调峰运行，提高全网消纳新能源能力。

（三）负荷侧：提升电力负荷弹性

在负荷侧提出科学构建源网荷储结构与布局，建设弹性的灵活调节能力和稳定控制资源，确保必要的惯量、短路容量、有功和无功支撑，满足电力系统电力电量平衡和安全稳定运行基础需求下，通过先进的发用预测算法及云边经济性调优调度人工智能算法最大化绿色能源本地消纳降低碳排、通过储能及负荷控制算法实现精确的需量管理和用能场景的移峰填谷降低总体度电成本、通过深入负荷工艺的能效调优策略提升用能效率、通过市场协同接口参与市场化交易。

1. 微网规划设计与评估

（1）微网规划设计

要满足用户对电力为主的能源需求，合理利用能源资源，以获得最佳的投资效果。在微网规划设计之前，首先应明确微网建设的目的，并根据建设目标选择合适的设备、运营模式。尤其是在工商业的微网项目中，现场调查除了技术因素，还需要考虑经济、社会因素（低碳、零碳）。

在前期调研结束后，需要进行分布式电源规划，根据微网建设目的和前期评估结果，确定微网中可再生资源配比、分布式电源的种类、容量等参数；进行微网电力系统规划与控制、保护、通信系统的规划。

（2）微网评估

微网规划以及运行时须满足技术、经济、社会、以及环境层面的可持续性要求。在商用、工业微网项目中，良好的经济性是微网项目能够可持续运行的重要因素;同时需兼具可靠性。

2. 微网的控制、保护与通信

(1) 微网控制

微网的控制系统应确保微网可靠以及经济的运行，构建负荷侧微网系统弹性需具有以下功能：

- 出力控制:需控制分布式能源平衡短时的出力、负荷不均，并将频率、电压的变化控制在可接受的范围之内。
- 负荷侧控制:需要包含一部分可控负荷。对于孤岛模式的微网，微网内的功率平衡除了要依靠分布式电源发电以外，还需用户提供需求侧响应。

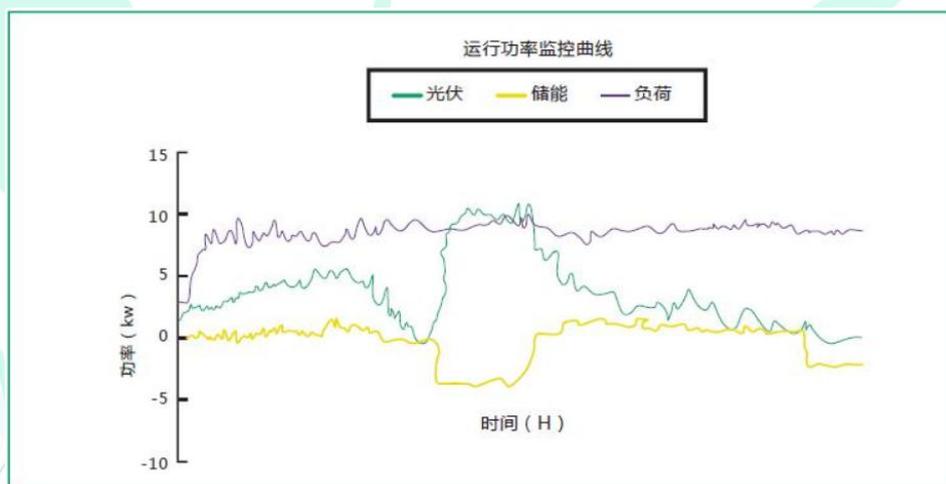


图 5：微电网边端发用实时控制

- 经济调度:需利用先进的人工智能算法、机器学习，通过实时气象数据和用户负荷历史数据输入，精准预测新能源发电出力曲线

及负荷用电曲线，同时结合用户电价信息生成最优化调配策略，助力能源产销者能源资产价值最大化。

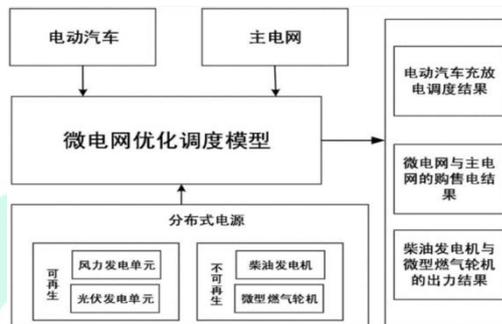


图 6：经济性调优实时趋势拟合组合调度

- 并、离网转换:一般并网型微网需要有能力和运行在并网或孤岛两种运行模式，且两种运行模式下微网可能有不同的控制算法。

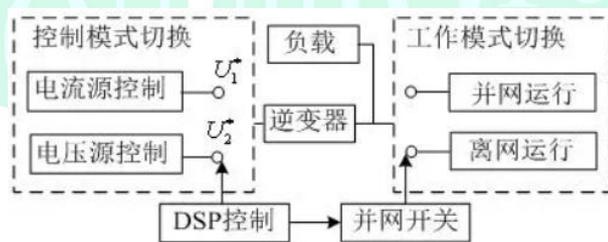


图 7：并离网平滑切换逻辑策略

(2) 微网保护

微网的保护与大电网保护有较大区别，例如微网因含有大量分布式电源，会出现双向潮流；微网内部电源多通过逆变器并网，故障电流比较小，故障检测比较困难。

另外微网并网、孤岛运行状态下故障电流特点也不同，因此并网型微网的继电保护配置和整定应能适应并网和孤岛两种运行状态。

此外微网保护应与所连接的配电网现有保护相协调。微网接入后，微网的接地方式需要与配电网的接地方式相配合。

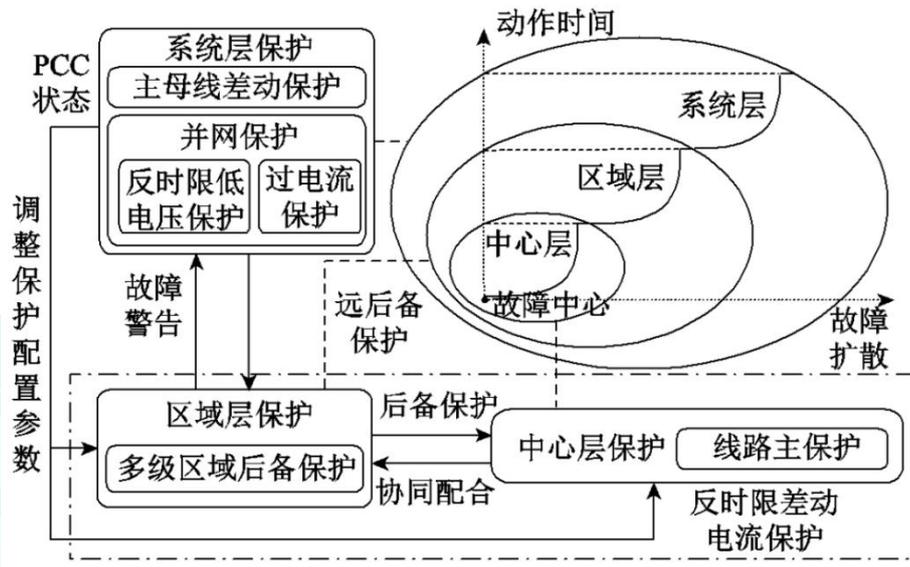


图 8：微电网与大电网协同保护策略框架

(3) 微网通信

微网的运行控制、能量管理、需求侧响应以及经济调度等高级应用都需要双向通信技术。微网通信是供电系统安全运行和合理调度的前提。

微网的通信参考 IEC61850 以及 IEC61970 系列标准，其中考虑云边架构，边缘测与云端能量调度参考标准物联网协议 MQTT、HTTPS 等协议规范设计。对于并网型微网，因为接入配电网，微网与配电网之间有通信联系，原有的通信规范也考虑微网的影响。

(四) 储能侧：深化储能技术应用

储电、储热、储气、储氢等覆盖全周期的多类型储能协同运行，电力系统实现动态平衡，能源系统运行灵活性大幅提升。储电、储

热、储气和储氢等多种类储能设施有机结合，重点发展基于液氢和液氨的化学储能、压缩空气储能等长时储能技术路线，在不同时间和空间尺度上满足未来大规模可再生能源调节和存储需求，保障电力系统中高比例新能源的稳定运行，解决新能源季节出力不均衡情况下系统长时间尺度平衡调节问题，支撑电力系统实现跨季节的动态平衡，能源系统运行的灵活性和效率大幅提升。随着源网荷储一体化发展进程的不断推进，储能技术应用方面也面临着诸如可再生能源的快速发展、电力市场化改革的不断深入、中国能源转型升级的不断推进、储能技术自身的不断发展等现状，深化储能技术应用已经成为众多企业和政府面临的重大挑战，对推动能源绿色转型、应对电网极端事件、保障能源与电网安全、促进源网荷储一体化高质量发展、支撑新型电力系统的构建具有重要意义。

强化规划引导，鼓励储能多元发展。研究编制新型储能规划，进一步明确“十四五”及中长期新型储能发展目标及重点任务。电网企业相关部门应开展新型储能专项规划研究，对各地区规模及项目布局进行充分调研，并做好与相关规划的衔接。相关规划成果应及时报送国家发展改革委、国家能源局等相关部门。

大力推进电源侧储能项目建设。结合系统实际需求，布局一批配置储能的系统友好型新能源电站项目，通过储能协同优化运行保障新能源高效消纳利用，为电力系统提供容量支撑及一定调峰能力。充分发挥大规模新型储能的作用，推动多能互补发展，规划建设跨区输送的大型清洁能源基地，提升外送通道利用率和通道可再生能

源电量占比。探索利用退役火电机组的既有厂址和输变电设施建设储能或风光储设施。

积极推动电网侧储能合理化布局。通过关键节点布局电网侧储能，提升大规模高比例新能源及大容量直流接入后系统灵活调节能力和安全稳定水平。在电网末端及偏远地区，建设电网侧储能或风光储电站，提高电网供电能力。围绕重要负荷用户需求，建设一批移动式或固定式储能，提升应急供电保障能力或延缓输变电升级改造需求。

积极支持用户侧储能多元化发展。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。鼓励聚合利用不间断电源、电动汽车、用户侧储能等分散式储能设施，依托大数据、云计算、人工智能、区块链等技术，结合体制机制综合创新，探索智慧能源、虚拟电厂等多种商业模式。

提升科技创新能力。开展前瞻性、系统性、战略性储能关键技术研发，充分调动企业、高校及科研院所等各方面力量，推动储能理论和关键材料、单元、模块、系统中短板技术攻关，加快实现核心技术自主化。坚持储能技术多元化，推动锂离子电池等相对成熟新型储能技术成本持续下降和商业化规模应用，实现压缩空气、液流电池等长时储能技术进入商业化发展初期，加快飞轮储能、钠离子电池等技术开展规模化试验示范，以需求为导向，探索开展储氢、储热及其他创新储能技术的研究和示范应用。

加快创新成果转化。鼓励开展储能技术应用示范、首台（套）重大技术装备示范。加强对新型储能重大示范项目分析评估，为新技术、新产品、新方案实际应用效果提供科学数据支撑，为国家制定产业政策和技术标准提供科学依据。

增强储能产业竞争力。通过重大项目建设引导提升储能核心技术装备自主可控水平，重视上下游协同，依托具有自主知识产权和核心竞争力的骨干企业与相关部门，积极推动从生产、建设、运营到回收的全产业链发展。

（五）源网荷储一体化发展模式与实施效果

源网荷储一体化发展模式是指在能源领域，通过整合电力、互联网和储能技术，形成一种新型的能源供应链模式。该模式的核心是通过互联网技术实现能源的智能化管理和优化调度，同时利用物流和储能技术实现能源的高效利用和储存，实现能源的可持续发展。

1. 发展模式

源网荷储一体化发展模式：该模式是将电力系统、能源互联网和储能系统有机结合，实现源网荷储一体化的发展。通过建设智能电网、智能储能系统和智能能源互联网，实现能源的高效利用和优化配置。

源网荷储一体化发展模式+新能源：该模式是在源网荷储一体化的基础上，加入新能源的开发和利用。通过建设大规模的风电、光伏发电等新能源电站，实现能源的多元化和可持续发展。

源网荷储一体化发展模式+智能化：该模式是在源网荷储一体化的基础上，加入智能化的技术手段。通过建设智能电网、智能储能系统和智能能源互联网，实现能源的高效利用和智能化管理。

源网荷储一体化发展模式+多能互补：该模式是在源网荷储一体化的基础上，加入多能互补的技术手段。通过将不同能源形式进行互补，实现能源的高效利用和优化配置。

源网荷储一体化发展模式+区域协同：该模式是在源网荷储一体化的基础上，加入区域协同的技术手段。通过建设区域能源互联网，实现能源的跨区域调度和优化配置。

2. 实施效果

提高能源利用效率：源网荷储一体化发展模式可以实现能源的高效利用，通过智能化管理和优化调度，减少能源浪费，提高能源利用效率。

- **源头优化：**通过优化能源的生产和供应链，选择更加清洁、高效的能源源头，如可再生能源和低碳能源，以减少能源的浪费和污染。
- **网络升级：**通过建设智能电网和能源互联网，实现能源的高效传输和分配。智能电网可以实现对能源的实时监测和调控，以提高能源的利用效率和供需平衡。能源互联网则可以实现不同能源之间的互补和协同，提高能源的整体利用效率。

- **储能技术应用：**通过采用先进的能源储存技术，如电池储能、压缩空气储能和水泵储能等，将能源进行储存和释放，以应对能源供需的波动。储能技术可以提高能源的利用效率和供应的稳定性。
- **能源管理和智能化应用：**通过引入能源管理系统和智能化技术，实现对能源的精细化管理和优化调度。能源管理系统可以对能源的生产、传输和消费进行全面监测和控制，以提高能源的利用效率和节约能源的成本。

促进清洁能源发展：该模式可以更好地支持清洁能源的大规模应用。通过将清洁能源源头与能源网格和能源储存系统相结合，可以实现清洁能源的稳定供应和可靠性。同时，该模式还可以提供更多的接入点和灵活性，促进清洁能源的接入和利用。

降低能源成本：源网荷储一体化发展模式可以降低能源成本，通过电力市场化交易和储能技术的应用，实现能源的低成本采购和高效利用。

- **提高能源利用效率：**源网荷储一体化模式可以将不同能源形式进行整合，实现能源的高效利用。例如，将可再生能源与传统能源进行协同供应，可以最大程度地利用可再生能源，减少传统能源的使用，从而降低能源成本。
- **实现能源多元化：**源网荷储一体化模式可以将多种能源形式进行整合，包括太阳能、风能、水能等可再生能源，以及燃煤、燃气等传统能源。通过实现能源多元化，可以降低对单一能源的依赖，减少能源价格波动对成本的影响。

- **提供灵活调度能力：**源网荷储一体化模式可以通过储能设施的调度，实现对能源的灵活调度。储能设施可以在能源供应过剩时进行储存，而在能源供应不足时进行释放，从而平衡能源供需，降低能源成本。
- **优化电网运行：**源网荷储一体化模式可以通过智能电网技术，实现对电网的优化运行。通过对电网的监测和调度，可以实现电网的高效运行，减少能源损耗，降低能源成本。

优化能源供应链，提高电力供应可靠性：该模式可以提高电力供应的可靠性，通过储能技术的应用，实现电力的备用和调峰，保障电力供应的稳定性和可靠性。

- **源网荷储一体化发展模式可以实现多能互补。**通过整合不同类型的能源资源，如太阳能、风能、水能等，可以实现能源的互补利用，减少对单一能源的依赖，提高能源供应的可靠性。同时，可以根据不同能源的特点和优势，灵活调整能源供应结构，以满足不同地区和不同时间段的能源需求。
- **源网荷储一体化发展模式可以实现能源的灵活调度和储备。**通过建设大规模的能源储备设施，如电池储能系统、水库等，可以将能源储存起来，以应对能源供需的波动。同时，通过智能电网技术和能源管理系统，可以实现对能源的灵活调度和优化，使能源供应更加稳定可靠。
- **源网荷储一体化发展模式还可以实现能源的分布式供应。**通过建设分布式能源发电设施，如太阳能光伏电站、风力发电场等，可

以将能源生产更加接近能源消费地点，减少能源输送损耗，提高能源供应的可靠性。

推动能源转型升级：源网荷储一体化发展模式通过整合不同能源的产能和储能技术，可以促进可再生能源的大规模应用，减少对传统能源的依赖，推动能源结构的转型升级。

源网荷储一体化模式需要借助先进的能源技术和管理手段，如智能电网、能源互联网、能源存储技术等。这将促进能源技术的创新和升级，推动能源转型升级。同时，通过智能化技术的应用，可以实现能源的高效利用和优化配置，提高能源利用效率，减少能源浪费，推动能源的可持续发展。

五、 应用场景分析

（一）数据中心应用场景

随着信息技术的快速发展，数据中心在人们日常工作和生活中扮演着越来越重要的角色。其中，数据中心对能源供给需求大、能耗高等因素，成为众多企业和政府面临的重大挑战。在这种背景下，源网荷储一体化成为了一个备受关注的方向。

www.ODCC.org.cn



图 9：数据中心应用场景

1. 电源侧：多能互补，多方式并存

随着新型能源技术的不断发展，各种可再生能源例如太阳能和风能正在逐步取代传统能源并成为越来越重要的供能方式。源网荷储一体化技术充分利用了这些新型能源技术，并通过弱电流程管理、能量回收等技术手段提高了能源的产能，实现了对于数据中心更稳定和持续的能源供应，进而提高了数据中心的安全性和稳定性。

根据不同地域气候条件和资源配置情况，可采用不同的源网荷储一体化模式，对于小型数据中心，在气候资源条件合适的情况下，可采用绿电直供、拉专线的方式，配合园区分布式光伏和分散式风

电，国家电网做支撑和补充，配设综合能源管理系统，为园区提供稳定、安全的绿色电力。对于超大型数据中心，因电力需求较大，绿电直供形式对资源、气候条件、区域面积和当地政策等条件要求较为苛刻，实施起来具有较大的局限性，多数可采用通过电力市场化交易机制，直接接入电力系统，实现可靠的电力供应，为园区供应绿色电力；配合园区分布式光伏和分散式风电，与客户购电合同补充协议，确保客户作为最终的绿电消费主体，并通过碳管理系统为客户开具“碳账单”，实现数能碳全链条可溯源。

2. 电网侧：主动配电网，安全稳定供应

数据中心需要大量电力，供电网络必须能够保持稳定、可靠和高效的供电。因此，数据中心通常采取工业级或特殊设计的环网系统，通过不同的电压等级将电力传送到数据中心的配电系统。大型数据中心园区通过自建 220KV、110KV 变电站，采取 2N、DR 架构，配备同步集中的 UPS，以保证供电系统的冗余和容错能力。采用主动管理分布式电源、储能设备和客户双向负荷的模式，具有灵活拓扑结构的公用配电网，可解决 DG 接入带来的电压升高问题、增加 DG 的接入容量、提升配电网的资产利用率等问题。智能电网以其更加灵活、可调节的特性实现了对于数据中心的保障。在源网荷储一体化技术支持下，智能电网可以快速监测电力需求并及时动态地响应，从而让数据中心的能源配置更加平衡，保证长期平稳的能源供应。

3. 负荷侧：优化数据中心配电系统的架构

数据中心供配电系统架构,主要包括市电引入(220kV、110kV、35KV、10KV等)、高压变配电系统、后备柴油发电机系统(10kV、400V发电机组等)、市电/备用电源自动转换系统(中压切换、低压切换等)、低压配电系统(低压配电、楼层配电单元等)、不间断电源系统(UPS、240V、48V系统等)、列头配电系统、机架配电系统,以及电气照明、防雷及接地系统等。

数据中心的用电设备主要分为2类:IT设备和辅助设备(如空调设备、动力设备、照明设备等)。IT设备用电较稳定,与实际运行业务有关。辅助设备的运行功率与运行工况、环境条件等关系密切。在满足电力系统电力电量平衡和安全稳定运行基础需求下,通过先进的预测算法及调优人工智能算法对数据中心各类设备的运行功率进行精准的分析 and 预测,为整个“源网荷储”的统一调配提供有力的数据支撑。

4. 储能侧：源荷多元储能，最大程度消纳绿电

源侧储能,由于数据中心耗电量较大,源侧新能源装机容量较大,储能采用共享储能形式,极大地提升储能设施利用率,减少储能开发成本,在提高项目收益水平的同时,也能够为用户提供更具有价值的电力市场服务。负荷侧储能采用多种储能形式,结合分布式新能源建设虚拟电厂,用于非生产运维楼的电力供应,打造微型“源网荷储”电力化模块;另有多种储能形式通过削峰填谷、需量电费

管理等形式，降低储能投资成本，并起到一定的替代柴发设备和提高供电可靠性作用。

（二）“零碳”物流园应用场景

在经济高质量发展、生态文明高水平建设的同时，实现区域内碳排放趋近于零，经济增长由新兴低碳产业驱动，能源消费由先进近零碳能源供给，建筑交通需求由智慧低碳技术满足，最终实现源与汇的平衡(净零碳)。

在“双碳”的背景下，安徽合肥某物流园区位于城市的交通枢纽区域，主要服务于物流企业和相关企业，包括仓储物流、配送物流、快递物流等多个领域。园区主要有物流设施、交通系统、信息系统等三大功能与服务，为城市物流管理与区域生产组织（企业）提供生产和经营运作、就近生产，以满足城市居民消费的经济场所。

零碳智慧物流园区是以节能减排为主要手段，通过对新能源资源的应用，有效缓解物流行业对传统能源的依赖和消耗，减少对环境的影响和污染，实现物流行业绿色、智能、高效和可持续发展为目标的绿色物流基地。

www.ODCC.org.cn

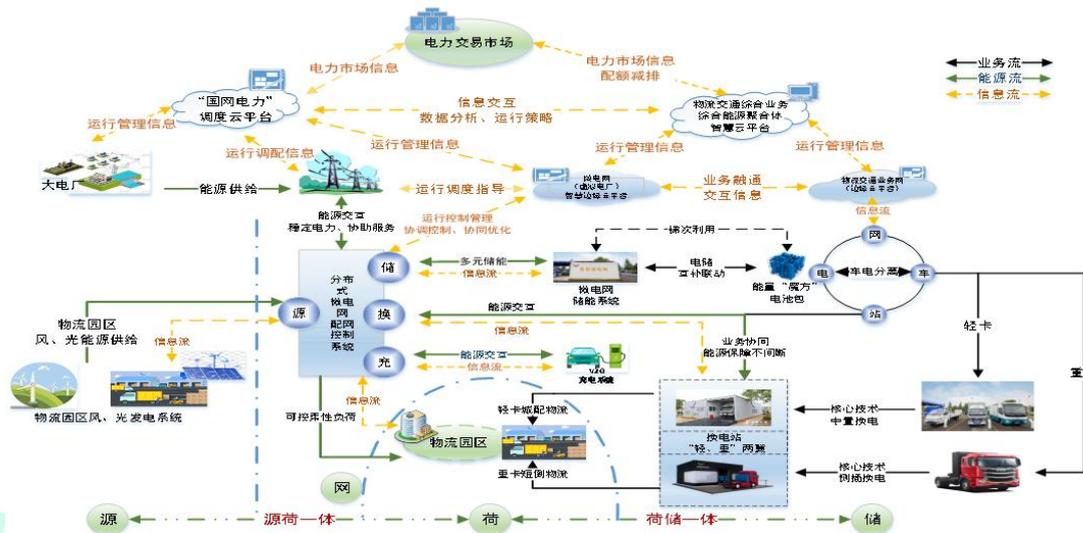


图 10：“零碳”物流园应用场景

1. 电源侧：多源供给“绿能降碳”

聚合物流园区可控再生能源，充分利用物流园区屋顶与空地采用以光伏为主、风力为辅的可再生能源发电方式与国家电网形成多能互补的供电模式，为物流园区业务“绿色低碳”运行提供了安全稳定的电力保障。同时为参与大电网调峰辅助服务提供了电力交换的能源基础。

2. 电网侧：“网能交互”稳定电力、辅助电力服务

物流园区根据业务能源聚合情况以（风）光发电为主+大电网为辅+储能方式采取“并网不上网”方式为物流园区的用电负荷提供电力，同时利用储能系统对再生能源的余电进行储能消纳和大电网的“谷电”储能，满足“削峰填谷”负荷侧的需求响应，减少对大电网的依赖与电力冲击。

3. 负荷侧：负荷多样聚合、柔性可控

物流交通园区新型电力应用场景具有“源网荷储一体化”特征的负荷侧自我调节能力，园区负荷有着广泛聚合互联、需求融合互动、灵活柔性可控“源荷一体”的特点，可以实现发电侧与负荷生产要素资源最佳的优化适配。

4. 储能侧：“荷储一体”能源多元有效消纳利用

物流园区聚合了多样性的储能方式，分布式微电网储能系统与具有 S2G（Station-to-Grid）功能的新能源车换电站、V2G（Vehicle-to-Grid）充电桩、新能源车（可移动式）储能形成了“荷储一体”的储能方式，既是“柔性的可控负荷”同时又是储能系统。可以充分消纳物流园区（风）光可再生能源和“大电网”的谷电。分布式微电网系统也能够为物流园区内所有负荷提供安全可靠的稳定电力与应急备电的保障能力，确保物流园区业务不中断的连续性。

www.ODCC.org.cn



ODCC公众号



ODCC订阅号