

# AI如何破解电力“尖峰之困”？

■本报记者 卢奇秀

“为了满足仅占5%、持续数十小时的尖峰时刻供电需求，而增加的能源基础投资和引起的碳排放不断提高。”北京理工大学管理学院教授王博一语道破当前电力系统的核心挑战——问题不在总量不足，而在于稳定性。每年“迎峰度夏”“迎峰度冬”期间的尖峰负荷时段虽短，却是电力系统运行的关键痛点。

如何破解？人工智能技术正加速从实验室走向电力系统的全环节，从发电、调度到用电侧，展现出支撑高比例新能源接入、提升系统韧性与调节能力的巨大潜力，为破解长期困扰电力系统的“为尖峰而建”困局，带来了新的可能。

## ■ 系统稳定性面临现实压力

尖峰负荷对电力系统构成严峻挑战。以今年夏季为例，华东全网用电负荷六次创下历史新高，最高负荷达4.42亿千瓦，同比增长4.97%。在极端天气频发的背景下，这类“敏感型”负荷往往在短时间内集中爆发，直接威胁电网安全。

这一现象背后，是我国能源结构正在发生的深刻变革。在供给侧，风电、光伏等新能源装机持续快速增长，其固有的波

动性与不确定性，持续考验着电网的调节能力；在消费侧，终端用能电气化进程加速，居民用电需求稳步攀升，加之算力基础设施、低空经济等新业态迅猛发展，共同推动负荷特性的复杂化与系统平衡难度的升级。

面对日趋复杂的系统压力，传统“为满足短时尖峰而不断增建电源”的做法已显现出局限性，新增装机全年大部分时间处于低效闲置状态。国家电网能源研究院原副院长胡兆光指出，新能源大规模接入配电网是不可逆转的趋势，而智能体技术在电网协同优化方面潜力巨大。打破传统的“自上而下”调度，转向“自下而上”，通过智能调控系统，能够有效协调储能、负荷等多重环节，将新能源的波动性在配网或微网层级予以平抑，从而避免其对主网造成冲击，并显著提升消纳水平。

需求侧资源展现出巨大的调节潜力。北京理工大学管理学院教授王博以新能源汽车为例，预计到2040年，全国新能源汽车保有量将达3亿辆，其所搭载的车载储能容量超过2000亿千瓦时，相当于中国每天消费的总电量。如此规模的分布式储能资源，若能通过“交能融合”等机制实

现规模化灵活调度，将释放出可观的系统调节能力。实现碳中和目标将显著增加电力供应成本，而通过有效运用需求响应机制，将在一定程度上缓解投资压力，降低系统建设成本。

## ■ AI赋能电力系统智能化跃升

人工智能正以前所未有的速度渗透到电力系统的各个环节。

自然资源保护协会能源转型项目高级主管黄辉介绍，AI技术首先在气象预测领域展现价值。“相比传统天气预测手段，AI可以快速处理和解析海量的气象数据，实现从大范围气候推演到风电场机位点级微观预测的全面覆盖。”

预测精度的提升直接带来运营效率的飞跃。基于AI预测，新能源企业可动态优化报价策略，还可以在无风无光时段合理规划检修，提升运营效率和收益。在储能领域，AI通过分析历史负荷与电价数据，可动态调整充放电策略，提高储能利用效率与收益水平。

国家电网能源研究院原副院长胡兆光分享了三项实践案例，浙江绍兴通过县级调度智能体将电网调节频率提高48倍，

新能源消纳提升30%，能耗与线损分别下降30%和5%。一个智能体完成了8个调度专家的工作，解决了新能源出力带来的电力线路之间匹配不稳定的问题；长沙供电公司研发的Agent配网调度员依托“数学机理+AI”模型，实现秒级决策，研判因素从10个扩展至35个，覆盖了气象、设备状态、用户负荷等多维度数据，决策准确率提升15%；上海电力公司探索出的新的调度模式，在营销平台上调度虚拟电厂等灵活资源，协调多元灵活资源保障系统安全。

在胡兆光看来，“调度是当前AI最能发挥关键作用的领域，其突破将带动预测、控制等多个环节的进步。”

## ■ 技术与市场双轮驱动

AI技术在电力系统全面落地，需要建立与之相适应的机制环境。

黄辉坦言，当前AI应用仍面临挑战。“以电力市场为例，市场机制尚不成熟，规则在逐步完善，历史交易数据也尚未形成规模，这直接制约了AI的预测与决策能力。”

在市场机制设计方面，建立能够充分

反映时空价值的信号机制至关重要。王博指出，目前相关研究多聚焦于微观策略，如参与电力现货市场、虚拟电厂盈利模式等，但缺乏对多系统融合的综合评估。微观策略的核心价值体现在支撑大电网调节、减少系统性投资与储能配置等宏观效益上。为此，构建综合评估模型成为推动AI落地的重要抓手，要构建能够反映实时平衡与系统互动的综合评估模型，兼顾中长期规划与实时调度需求。

胡兆光同样认为，电力市场需要更灵活的电价机制。不同地区可根据自身负荷特性，通过价格机制调整低谷时段。“分时电价机制以省为单位缺乏灵活性，可考虑按地区负荷特性差异化设置。比如，全省统一低谷时段可能导致电动汽车集中充电，若按城市错峰设置，可优化负荷分布。”

厦门大学中国能源政策研究院院长林伯强表示，AI为能源转型带来了巨大潜力，但同时也需关注如何平衡AI可能带来的短期集中冲击与能源转型的长期性。在谈及技术落地时，他特别强调，“一项技术如果缺乏经济可行性，即便技术上完全可行，最终也难以真正推广和应用。”

## 深化产教融合 共建育人平台

# 华北电力大学打造能源人才“输送链”

■本报记者 董梓童

当前，能源电力行业正处于结构性转型与科技跃升的关键阶段。新型电力系统建设、“双碳”目标落地，对高层次、复合型、创新型人才提出前所未有的需求。教育体系如何与产业需求精准衔接，成为能源电力高质量发展的重要命题。

作为能源电力领域的行业特色高校，华北电力大学近年来将产教融合摆在发展战略的突出位置，持续深化校企地联合培养机制，打通“人才链—产业链—创新链”衔接通道。学校主动对接国家战略和行业需求，先后与国家电网、南方电网、中国华能、中国长江三峡集团等龙头企业共建多层次育人平台，形成了“平台+任务”的协同创新格局。

如今，华北电力大学构建起以协同育人、科教融汇、成果转化为核心的产教融合体系，服务新型电力系统建设，助推产业升级。这些探索不仅为行业输送了大量高素质工程人才，也为能源高等教育改革提供了可推广的样本。

## ■ 协同育人打通“人才链”与“产业链”

“产教融合的关键在于校企协同，让课堂与现场同频，让人才成长与产业需求同向。”华北电力大学教务处副处长邓艳明在接受《中国能源报》记者采访时表示，学校依托由国家电网等12家特大型央企及中电联组成的理事会，构建了全链条校企协同培养机制，推动企业深度参与人才培养全过程。今年，学校首次与国家电网开展特高压直流定向就业本科生招生，与南方电网合作设立南网创新班，企业全程参与培养方案制定与课程教学，实现学校、企业、学生三方共赢。与中广核、中核、华能等央企合作开展“订单+联合”核电专业人才培养，该模式入选首批国家级人才培养模式创新实验区。

在研究生教育领域，华北电力大学研究生院副院长张淑莉介绍，学校深入推进了学术型和专型研究生分类培养。专业学位研究生课程设置注重工程实践和技术创新，开设《能源经济》等66门校企联合课程，邀请国家电网、南方电网等企业总工程师、技术专家进校授课，占课程学时一半以上。通过企业工程师进课堂，把真实问题引入教学场景，让学生在科研中感知产业前沿。学校2022年入选国家工程硕博培养改革专项，储能技术国家急需高层次人才培养改革专项，2024年入选第三批国家卓越工程师学院，初步形成了企业全面参与、学校全力培养、校企师生四方全程紧密联动，具有“华电”特色的卓越工程师培养体系。

不仅在人才培养层面，校企合作也延伸至师资共建与项目共育。《中国能源报》记者了解到，学校柔性引进280余名国家电网专家担任特聘导师，3名国网专家入选教育部“长江学者奖励计划”校企特聘学者项目。

得益于协同机制完善，校企联合育人成效显著。近五年，华电每年约1500名毕业生入职国家电网，成为支撑电力行业发展的重要人才来源。

## ■ 产教融和推动创新协同

产教融合不仅是育人模式的变革，更是科研体系的重塑。近年来，华北电力大学将科研任务与企业需求深度耦合，把科研平台建设成“共创新实验室”，形成“科研出题在企业、研究答题在高校、成果应用在现场”的新模式。

“我们提出‘平台+任务’的合作机制，就是要让科研目标对接产业痛点。”华北电力大学科学技术研究院副院长孔艳强介绍，学校与国家电网共建

能源互联网学院、与南方电网共建智慧能源联合研究院、与中国华能共建高效清洁智能发电联合研究院、与三峡集团共建智慧电站技术创新中心等多个高能级平台，均以企业真实场景为任务导向。

通过这种方式，校企双方在科研攻关、人才培养和成果转化上实现了三位一体的融合。在这一过程中，一批具有示范效应的工程项目相继落地。以三峡乌兰察布基地为例，华北电力大学科研团队研发的风光储能站智慧联合调控运维系统，实现了风、光、储一体化集控管理。据测算，项目投运后年发电量约63亿千瓦时，相当于每年节约标煤203万吨、减排二氧化碳520万吨。

据了解，该系统通过“智慧控制”与“智能运维”的双轮驱动，实现了电站“全面可观、精确可测、高度可控”的高水平运行状态，为大型新能源基地的运维提供了精准决策支持。

在传统能源领域，华北电力大学同样注重科技创新与产业协同。孔艳强介绍，围绕燃煤发电高效清洁利用开展系统研究，研制的基于能量叠层原理的新型燃煤二氧化碳发电系统，获得中国电力科学技术进步一等奖，并已在西安热工研究院工程化应用。

如今，华北电力大学已建成10余个国家级、省部级科研平台，承担国家重点研发计划、国家自然科学基金项目等近百项。多项技术成果在新能源发电、智能电网、储能系统等领域形成了应用示范，推动华北电力大学成为能源科技创新的重要策源地。

## ■ 深度融入“双碳”战略与能源转型

“双碳”目标的提出，为能源教育改革和科技创新指明了方向，也对高校服务行业提出更高要求。华北电力大学立足国家战略需求，以人才链和创新链支撑能源产业绿色低碳转型，持续构建“教育—科技—产业”一体化支撑体系。

华北电力大学学科建设处处长赵凡表示：“学校在全国高校中率先发布碳达峰碳中和行动计划，推进学科专业拓新，布局新领域新赛道，构建‘双碳’引领、交叉融合、特色鲜明的世界一流能源电力学科体系。”

数据显示，八年来，学校自设交叉学科博士点由1个增长至8个，实现跨越发展；博士学位授权一级学科从5个增至10个，实现数量翻倍；博士专业学位授权类别新增4个，实现能源电力领域博士点全覆盖，形成了学术学位与专业学位并重的博士培养格局。

华北电力大学还构建了多元化的拔尖创新人才培养体系。邓艳明介绍，除新能源学院设立新能源创新实验班外，学校还依托电气学院开设电气工程硕博贯通班，提出战略引领、企业命题的任务制选题模式，实施校企双导师联合培养，开展能源电力行业拔尖创新人才培养；依托能动学院联合中国科学院工程热物理研究所创办吴仲华学院，汇聚高校基础研究优势与科研院所学术和工程实践资源，构建“双主体、双导师、双资源”的科教融合创新人才培养机制，着力培养能源电力领域拔尖创新人才；依托控计学院设立人工智能创新实验班，以百度、华为等校企合作实践平台强化产教融合，通过“人工智能人才国际培养计划”拓宽全球视野，实现大电力领域人工智能人才的特色化贯通培养。

从育人到科研，从实验室到产业链，高校在能源行业高质量发展中的作用，正在从“人才输出者”转向“创新共建者”。

近年来，随着“千乡万村驭风行动”政策的深入实施，乡村风电正成为推动乡村振兴、壮大村集体经济的重要抓手。在近日召开的行业研讨会上，多位专家围绕乡村风电的初衷、落地路径及发展挑战展开深入探讨，强调需通过机制创新、技术突破与政策协同，让风电项目真正成为“富民强村”的绿色引擎。

## ■ 助推农村现代化建设

“实施驭风行动，在为风电发展打开新市场空间的同时，通过将风电开发与乡村振兴相结合，由各类投资主体与村集体按‘村企合作’模式分享风电项目收益，提高村集体经济收入；与农村能源革命相结合，依托大力发展农村新能源产业，提升农村用能水平，加快农村电气化进程，助推农村现代化建设。”中国可再生能源学会风能专业委员会秘书长秦海岩强调，这是“千乡万村驭风行动”的初衷——挖掘村集体经济收入源泉，夯实基层党组织执政基础。

秦海岩对《中国能源报》记者表示，我国风能资源丰富，分布广泛。随着低风速技术取得突破，我国大部分地区，尤其是中东南低风速资源区域已具备开发条件。同时，风电是最节地的发电技术。当前，风电普遍使用的是圆锥塔筒，其地下基础部分深埋至少2米，不会影响耕种，露出地面的承台部分占地不足100平方米。大力发展乡村风电，可以充分激活广大农村地区的田间地头、村前屋后、乡间道路等零散土地资源，对于促进风电高质量发展、壮大村集体经济，推动农村能源革命，实现碳达峰碳中和具有重要意义。

“目前，风电项目已经普遍具备可持续的经济效益。”秦海岩以我国典型低风速地区河南省为例，安装2台5兆瓦机组，开发企业在保证合理收益水平的情况下，拿出一部分利润与村集体分享，每年能够为村集体提供10万至20万元的固定收入，形成长达20年的稳定增长来源。这笔资金虽看似不多，却能破解“民富村穷”、村集体经济薄弱的困局。以浙江为例，2019年当地曾发文要求村集体年收入超20万元，而风电项目恰好能填补这一缺口，其产生的收益可以用于乡村卫生、养老、教育等公益事业。

国家气候中心气候服务主任王阳从资源禀赋角度分析认为，我国乡村风电开发潜力巨大。“当前技术水平下，陆上150米高度风电实际开发潜力约60亿千瓦，200米高度实际潜力约70亿千瓦，这是扣除‘三区三线’等土地利用政策影响后的可开发量，海上风电技术可开发总量约21亿千瓦。而2024年全国装机仅5.2亿千瓦，占比不足可开发量的10%。”他告诉《中国能源报》记者，随着技术进步，中东部地区将成为未来增长主战场，乡村风电是破解中东部能源开发瓶颈的关键路径。

## ■ 机制创新与技术适配是落地关键

尽管前景广阔，乡村风电落地仍面临审批复杂、利益分配难、土地政策制约等挑战。能源基金会清洁电力项目主管周锋指出，相较于集中式风电，乡村项目“规模小、分布散”，电网接入、利益相关方协调等问题尤为突出。“政策设计需以试点为支撑，通过‘资源整合—共建开发—收益分配’的全链条机制创新，让村集体真正参与其中。”

在合作模式上，周锋建议借鉴光伏经验：陕西“政府+村集体+企业”三位一体模式，实现村民“零负担”参与；山东齐河县通过“配储协同”提升消纳能力；河南兰考则由村集体成立项目公司与央企合作，推动“源网荷储一体化”政策落地。“关键是明确村集体以土地入股、分红等形式的参与路径，避免外部资本垄断收益。”

土地政策突破同样关键。中国国土勘测规划院城乡建设用地整理所所长雷逢春表示，风电项目占地极少，但需突破“耕地保护”与“产业用地”的政策瓶颈。“自然资源部正探索‘点状供地’模式，允许零星项目布局在城镇开发边界外，同时通过存量建设用地盘活、集体经营性用地入市等路径，保障项目落地。”他强调。

谈及靠近居民区的风电项目需解决噪声、安全等问题，秦海岩表示，行业正推动风电机组、运维等方面的技术迭代，同时优化并网方式，让风电与农业生产、农村生活和谐共生。

## ■ 构建利益共享的乡村能源合作社

乡村风电不仅是能源转型的“毛细血管”，更是乡村振兴的“动力源泉”。落基山研究所部门主任郝一涵以国际经验为例指出，丹麦通过立法要求风电项目向社区出售20%以上所有权，英国设立“社区能源基金”并要求申请项目必须包含50%社区所有权，这些模式确保了能源红利留在本地。“我国可探索‘政府引导+合作社主体+企业合作’路径，通过村集体持股、分红机制，让村民成为项目主人。”

国内已有先行探索。内蒙古达拉特旗采用“三级集体公司联合+股权机制”，浙江萧山试点“基础换资源”模式，河南兰考实践“土地嵌合型”开发，均实现了新能源与乡村发展的深度绑定。郝一涵强调：“机制设计是项目成败的关键，需在立项前明确村集体与企业的权责利，避免‘重开发、轻运营’。”

对此，周锋呼吁建立“多方协同平台”，将政府、电网、村集体、开发商、金融机构纳入同一框架，“尤其要推动电网公司明确过网费、配网容量费等量化规则，为项目提供稳定预期。”

秦海岩建议，为稳妥实施驭风行动，更好地推动乡村风电发展，首先，需要完善体制机制设计，从政策层面给予更多支持。其次，需要加大技术创新力度，提高风电机组的安全性、环境友好性、电网适应性。再次，需要创新合作与资金使用模式，不仅要确保收益切实分配到村，更应引导和协助村里建立透明、规范的财政机制，将资金定向用于提升村容村貌、改善民生等公共领域，让风电收益真正转化为乡村全面振兴的实效。

# 乡村风电成激活集体经济新引擎

■本报记者 苏南