

新能源项目绿电直连开发模式在新型电力系统中的应用与探索

李松涛

中核汇能新疆能源开发有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]绿色电力直连模式是对新能源就地利用的重要途径,也是新型电力系统的“源网荷储”协同发展的重要手段;文中总结了绿电直连开发模式的相关理论依据及政策法规,在此基础上,依据《关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知》的要求,进一步推动探索创新新能源生产和消费融合发展模式,促进新能源就近就地消纳。通过建立能源管理系统、储能系统的相关核心技术体系并对其经济效益等各方面进行了全面的分析评价。对于现有的政策不配套以及电网接入风险等问题,提出了一系列完善的制度、创新的技术、改善的商业模式等一系列综合措施。

[关键词]新能源;绿电直连;新型电力系统

DOI: 10.33142/hst.v9i3.19342

中图分类号: TM7

文献标识码: A

Application and Exploration on Green Power Direct Connection Development Mode in New Energy Projects in New Power Systems

LI Songtao

CNNP Rich Xinjiang Energy Development Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: The direct connection mode of green power is an important way for the on-site utilization of new energy, and also an important means for the coordinated development of "source grid load storage" in the new power system; The article summarizes the relevant theoretical basis and policies and regulations of the development mode of green power direct connection. Based on this, in accordance with the requirements of the "Notice on Relevant Matters Concerning the Orderly Promotion of Green Power Direct Connection Development", further explore and innovate the integrated development mode of new energy production and consumption, and promote the local consumption of new energy. A comprehensive analysis and evaluation of the economic benefits of the energy management system and energy storage system were conducted through the establishment of related core technology systems. A series of comprehensive measures, including improved systems, innovative technologies, and improved business models, have been proposed to address problems such as existing policy mismatch and grid access risks.

Keywords: new energy; green power direct connection; new power system

引言

双碳背景下,我国新能源新增装机量不断增加但是消纳问题逐渐突出,自国家层面明确绿电直连机制以来,这一新能源就地利用的重要路径正加快实施。根据国家能源发布的消息,目前全国已经批复了 84 个绿电直通项目,新能源总装机量是 3259 万 kW。本文意在通过对绿电直连机制的研究,分析该模式对用能企业在收益提升、低碳转型等方面产生的多重经济效益及深层影响,为推动绿电直连模式在新型电力系统下多场景创新性应用提供方向指引。

1 绿电直连开发模式的理论基础与政策框架

绿电直连即风力、光伏发电等新型能源工程不再直接接入公网,在专用输电线路上对用电客户进行供电,从而

保证其供应电量可追溯的开发方式。它不同于传统模式下的绿电买卖,传统模式是属性匹配,绿电直连是物理匹配,由于这种根本的区别导致两者在电价组成结构上以及绿电的价值体现方式上的区别。国家层面的政策体系以《关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知》(发改办能源〔2025〕650号)为代表。政策的应用场景主要有新接入的负荷需求、原自备电厂替代、出口导向型企业和受限的新能源项目的释放四种情况。在核心指标的要求是项目整体新能源年自发用电量占总可用发电量的比例需大于等于 60%,占总用电的比例需大于等于 30%,并且在 2030 年前不低于 35%。投资主体方面,无论是民营企业还是其他各种类型的生产经营单位都可以进行投资,电源和负

荷可以由不同的投资商进行投资，负荷是主要责任单位。各地政策实践也各有各的特点。从业主的角度来说，国家电投负责的绿电直连项目规模最大，达到 3957.5MW，其次是中国宝武钢铁集团，达到了 1500MW，而中国石油公司项目规模最大，达到了 1300MW。各地方试点应用多种多样，内蒙古乌兰察布率先探索数据中心绿电直连模式，配建可再生能源总装机规模达到 34.5 万 kW，一年绿电自发自用 8.5 亿 kW h。山东尝试推进独立的绿电直连模式试点工作，采用风能和太阳能以及构网型储能，做到对用户的百分之百绿电供应。河北、吉林、浙江等省明确退出条件，打消了由于直供客户变动而导致的企业退出顾虑。

2 绿电直连模式在新型电力系统中的典型应用

2.1 工业企业用能直连模式

工业企业用能直供示范工程最具有代表性的是塔里木油田阿克苏沙雅县富满区块光伏绿电直连项目。3月12日，中国石油塔里木油田阿克苏沙雅县富满区块光伏绿电直连项目被新疆维吾尔自治区发改委正式批复。这是中国石油首个获得正式批准的绿电直连项目，在新能源和传统油气业务融合方面取得了突破性的进展。建设一座 10 万 kW 总装机容量的光伏电站，为了可靠供电，新建一座 20MW/80MWh 的储能电站。工程投产后，在 10 万 kW 光伏电站全年最大发电量为 1.57 亿度电的基础上，可以促进用能单位富满油田的绿色电力使用比例提高至 35.7% 水平，节约标准煤约为 4.73 万 t，减排 CO₂ 约 12.29 万 t。

2.2 园区级绿电直连应用模式

园区级绿电直连的革新典型就是沈阳中德高端装备制造产业园区所提出的“一对多”绿电直连方案，它是国家认定的首批零碳园区试点之一，中德园区有超过 4400 家企业入驻，包括宝马在内的许多跨国高端制造企业也已经入驻园区。辽宁省发改委启动对中德园一对多绿电直连项目的申报，鼓励尝试以直供线路向多个用户输送绿电的新方式。这种方式是以建设新的专用输电线路的形式，把园区附近新能源资源整合转化为有竞争优势的绿电产品，并输送给园区内的多家企业使用，这样就可以做到新能源就地开发并集中使用。山西方面也提出要构建起单一用户的多用户以及园区的立体式绿电消纳体系。

2.3 数据中心与高耗能场景应用

数据中心绿电直通试点工程为乌兰察布中金数据低碳算力基地源网荷储一体化项目，是国内较早探索数据中心绿电连型源网荷储一体化的示范工程之一，2025 年 7 月建成投产，项目以乌兰察布察哈尔高新技术产业开发数

据中心用电负荷为基础，采取源网荷储一体化方式，以风光发、智能输、并网直、储能调四系统耦合联动，开展零碳绿色能源与数据中心绿电直通供电。新能源电站建设在乌兰察布市察右前旗，总装机容量 30 万 kW，其中风电 20 万 kW、光伏 10 万 kW，附建 4.5 万 kW 储能设施。项目达产后年均生产 8.48 亿 kW h 自我消纳绿色电力，可再生能源替换率高达 38.74%，一年节约了 56.7 万 t 碳排放量。另一个代表性案例是大唐中卫云基地数据中心绿电供应 200 万 kW 新能源项目。该项目是我国东数西算工程主要节点项目之一，在所有项目完成后，全年可以提供清洁能源大约 41.4 亿 kW h，等同于节约出约 330 万 t 的二氧化碳排放量。中国信通院分析数据显示，电力成本占据数据中心运维费用的 60%~70%，而算电协同就是这个杠杆的作用，推动着整个算力行业发生变革。以上两个项目的主要技术指标比较汇总如表 1 所示。

表 1 典型数据中心绿电直连项目对比

项目名称	所在地区	新能源配置	年绿电量	年减碳量
乌兰察布中金数据项目	内蒙古	30 万千瓦风光	8.48 亿 kW h	56.7 万 t
中国大唐中卫项目	宁夏	200 万千瓦风光	41.4 亿 kW h	330 万 t
贵州贵安超算中心	贵州	光伏+水电直连	待披露	待披露

2.4 绿电直连模式与传统并网模式的优势比较

绿电直供模式相对于传统并网模式，在电价组成、绿电收益、用户权利三个方面都具有明显优势：电价组成方面，传统并网模式中新能源发电全部上网，电价中含有线损电价、政府性基金等费用。绿电直供模式自身使用部分不需要缴纳线损电价、交叉补贴、政府性基金以及其他附加费等费用，只需缴纳系统备用费，大幅度降低了电费开支，每年消耗超过 5 亿 kW h 的大宗生产企业，每度电节约 0.05 元就可以节约近 2500 万元。绿电收益方面，在传统的电力市场中，需要通过购买绿证来获取绿色标识，存在“证电分离”的问题。而绿电直供模式实现了“证电合一”，实现了物理上的消纳以及认证同时进行，对于出口型企业应对欧盟征收碳边界调节税等国际碳关税政策有积极的作用。用户权利方面，在传统的供电体系中用户的权利较少，无法追溯电力来源也无法决定价格。而在绿电直供模式下，用户可以与其电力公司建立长期购电合同，明确绿电量以及价格。同时还可以通过储能设备以及灵活负荷来达到自我消费的目的。总之，在减少电力开支、保持绿色标识、强化自主选择权等方面，绿电直供模式相比于传统的并网模式有着无可比拟的优势。

3 绿电直连开发模式的关键技术与效益分析

3.1 能源管理与智能调度技术

供电与调度是绿色电力直通平台安全稳定的重中之重,例如远景公司开发的天气机以及能源机,利用机器学习进行预报以及即时调节,达到源、网、荷、储之间的协调平衡。经过试用显示,该项目功率预报误差下降了大概10%,节省电费百分之二十左右;辽宁方案要求,该工程需要配备继电保护及其它二次设备,实现可见可感可控可调,服从相关调度单位指挥,集成到新电力系统的用户侧负荷管理系统或者电力调度自动化系统当中。并与网式项目的整体作为单一节点接入大电网,按照归属感划分安全保障责任。

3.2 储能配置与系统灵活性提升技术

储能装置是绿电直连的缓冲器,占据整个项目建设费用比重为40%~50%。按照技术方案划分,电化学储能因其快速灵敏、可调性强的特点成为目前最优的选择,磷酸铁锂电池循环次数高达6000次以上,充电放电效率可达到92%~95%,广泛应用于塔里木油田、乌兰察布大数据中心等领域;但是锂离子电池有安全风险以及原料受限的问题,因此行业内寻找其它的技术路径。全钒液流电池拥有固有的安全性、循环次数能到15000次以上,在长周期的储存方面应用广泛;而压缩空气储能基于盐穴或者人工洞室,单台设备功率可以达到百兆瓦级别,单位投资金额只有锂电池的一半左右。飞轮储能用于秒级响应的频率调整,河南省源网荷储项目配置有10MW的飞轮储能,让电压偏差保持在正负2%以内。构网型储能对系统的惯性贡献度起到了决定性的作用。传统的跟随电网型储能需要依靠电网提供的电压、频率基准信号,但是在弱电网环境中很难实现稳定的运行^[1],而构网型储能则是通过虚拟同步机控制的方式,可以主动地给电网提供一个电压频率基准,向电力设备输送持续稳定的供电电源。新疆哈密风电场二期项目使用构网型储能之后,短路比由原来的1.2提高到了2.5,系统的惯性得到了将近一倍的增长。储能应用于数据中心的备用电源问题也越来越受重视了。国标《数据中心设计规范》对A.B级数据中心UPS备用时间分别提出15min、7min的要求,而一些工程也进行了储能替换柴油发电机、UPS电池的应用试点,在储能电池直流端用DC/DC转换模块接入数据中心UPS直流端,留有容量保障备用时长需求,还可以用来进行日常削峰填谷等,达到备用和调峰的功能叠加效果。南网科技将会与国家新型储能创新中心合作研发以SST为基础的供电方案,探索高密度算力配电新模式。

3.3 经济性分析与碳减排效益评估

对每年耗用接近5亿元人民币电费的大企业来算,节约一度电成本5分钱,一年就可节省电费开支250万元。1192号文采用单容量计费方式电价,促使新能源项目合理配置储能、柔性负荷,减少占用公共电网容量,进而减轻了输配电费压力。收费机制上,并网型项目自用发电量不需要再支付输配电价、系统服务费、政策性交叉补贴、政府性基金和附加等多项费用,只需要根据使用公用电网的备用容量来缴纳相关的系统备用费即可。碳减排效果上,绿电直连实现了绿证和电力的证电合一,杜绝了电证两分离获得双重收益的现象^[2]。对于出口型来说,有两个实际的问题:一是国外的碳关税压力,不只要有电了,还要有能证明其来源的绿色电。二是风能光能这种天然属性非常不稳定,但工厂的生产线一般是全天候不间断工作的。远景动力公司选址在沧州沧东经济开发区建立了一座40GWh的动力电池厂,已经进入了河北省第一批绿电直连试点名单。

4 绿电直连模式发展面临的问题与优化路径

4.1 政策机制与市场体系问题

绿电直连模式遇到的问题首先是配套政策和市场体系有待成熟完善。2025年国家发展改革委、国家能源局联合印发的《关于深化新能源上网电价市场化改革促进新能源高质量发展的通知》(发改价格〔2025〕136号)已明确“不得将配置储能作为新建新能源项目核准、并网、上网等的前置条件”,全国性强制配储政策正式取消。这一政策调整对绿电直连项目的储能配置逻辑产生重要影响:项目储能配置由“政策强制要求”转向“项目实际需求”,投资企业可根据负荷特性、新能源出力曲线及电网接入条件自主优化储能容量,配置灵活性显著提升。

在地方执行标准方面各地也不一致,各地对于就地消纳半径以及输电权属的不同理解有所不同。辽宁要求直供电线路的敷设应尽可能集中在同一个城市,避免交越,通常不允许跨越现有的电力输送线路。这样的政策分散使得跨区布局的企业增加了一项额外的成本负担。一些能源公司表示,同一家企业在不同省份建设绿电直连项目,都需要建立多个小组去对应各个地区的要求,储能配置比例差异较大15%~20%,上网比例差异也比较大15%~40%,极大制约了项目的标准化推广以及规模化的推进^[3]。需要国家层面尽快制定出台技术规范,既要设最低标准也要规制住地方自由裁量权过度行使的现象。各省市相关政策区别对比如下表2所示:

表 2 各省绿电直连政策对比

省份	储能配置要求	费用缴纳规则	重点支持领域
辽宁	按项目实际需要	按国家规定缴纳各项费用	人工智能、绿色氢能
内蒙古	按 15% · 4h 配置	自发自用免缴输配电费	氢基燃料、数据中心
山东	不得晚于电源投产	单一容量制计费	出口型企业、零碳园区
新疆	按 15% · 2~4h 配置	自发自用免缴多项费用	存量自备电厂替代

4.2 电网接入与安全运行挑战

电网接入及安全供电是绿电直连遇到的主要技术难题。系统稳定性风险来源于可再生能源的间歇性和用户负荷的刚性之间的冲突,需要采用多种方法来解决这个问题。辽宁省要求,项目最大峰谷差率不得超过当地公共电网上一年度的最大负荷峰谷差率,以此尽量缓解对电网造成的压力。这就迫使项目进行储能配置以及负荷响应调整。电能质量控制也是重要的问题之一。新能源的出力不稳定引起的电压偏差、频率波动以及谐波污染,会导致用户的设备出现故障或者停止运转的情况。绿电直连项目须安装动态无功补偿装置、有源滤波器等电能质量治理设备。云南方案指出并网式项目要与公网在产权分界点建立明确的安全责任边界,接入系统电压等级一般不超过 220kV,特殊情况的需要省级发改委组织进行系统安全性评估。低电压、过电压穿越能力不足就是隐患之一,如果电网出现电压跌落、晃动等情况,新能源电站缺乏低电压穿越或者高电压穿越能力会出现大面积甩负荷的风险,造成大范围停电事故。南网科技开发的源网荷储智慧协同控制系统和边缘调节装置能够在毫秒时间范围内完成故障判断和切除保护,以最小化的故障区域限制了故障的影响程度。负荷切断的风险是对该项目运行的实际考验。山东某金属制造公司经过多次对两个方案的对比,主要看能不能把接入电网的电量降到原来的一半到三分之二之间来达到单一容量制的标准,公司的柔性生产线工艺负荷给它带来了很大的帮助,综合负荷 10min 之内就可以降到 1 万 kW 以下,减少了 60%,这说明负荷侧灵活性跟储能配置一样重要,是绿电直连项目能够实现的前提。河北、山东、云南等地方已经出台了对于负荷中断之后应该如何处理的规

定,符合要求可以转换成一般的新能源项目,保证了投资者的信心。

4.3 优化策略与发展路径建议

关于政策机制缺失、电网接入问题严重以及商业模式不够成熟的三大难题,本研究有以下几点对策建议。标准规范层面,建议国家层面制订绿电直连专项政策文件,统一项目界定标准及审批退出程序,明确储能配置、上网比例等技术要求,消除地方执行标准差异,为项目标准化推广提供依据。技术创新层面,需要大力发展构网型储能技术,增强弱电网系统的惯性和电压支撑能力,加快柔性直流、固态变压器等新型配电技术的研发进程,“算力与电力”相结合共同推进创新发展。商业模式层面,倡导发电企业和用电单位签订长期购售电协议来构建利益共同体,同时也可以采取合同能源管理模式进行合作,而园区级别的绿色直供项目可以尝试统一规划建设 and 经营的方式。规划协同层面,在新型电力系统中加入绿色直供项目,围绕着绿电园区、零碳工厂开展源网荷储一体化,形成多种能源互补的绿色直供模式。

5 结语

绿电直连作为新型电力系统的毛细血管对于解决新能源消纳瓶颈问题以及帮助企业降低用电成本有着重要意义,对于建立新的绿色生产力有着重要的作用。从未来的发展趋势来看绿电直连将会由单个试点扩展到大规模复制,由定点发展转变为区域网络,与绿氢、绿氨等长期储能能源燃料深度融合,在相关政策及核心技术不断完善的背景下,绿电直连必将会成为新型电力系统建设以及双碳目标达成的强大助力。

[参考文献]

- [1]郑勇,康鹏.从制度外部性到责任内生化:绿电直连的价值重构与风险防控[J].电器工业,2025(8):5-9.
 - [2]陈亮,吴炜,蔡飞,等.大规模绿电接入下港口混合供能系统协同控制[J].能源与环境,2025,47(10):101-108.
 - [3]陈昆灿,陈荣锋,陈恺,等.绿电直连模式下的风光储容量配置研究[J].电力勘测设计,2025(11):1-6.
- 作者简介:李松涛(1998—),新疆巴里坤人,研究方向主要为新能源项目开发。