



中国光储直柔建筑战略 发展路径研究

子课题七：
中国光储直柔建筑发展的关键政策机制研究
Key Policy and Mechanism Research on China's
PEDF Building System Development

中科华跃能源互联网研究院
2022年7月
ZKHY Energy Internet Research Institute Co., Ltd.
July 2022

关于作者:

薛志峰 林 慧 冯逸夫 章永洁, 邮箱: *xuezhifeng@taihor.cn*

ABOUT THE AUTHORS:

Xue Zhifeng, Lin Hui, Feng Yifu, Zhang Yongjie, 邮箱: *xuezhifeng@taihor.cn*

致谢

本研究由中科华跃能源互联网研究院统筹撰写, 由能源基金会提供资金支持。

ACKNOWLEDGEMENT

This report is a product of ZKHY Energy Internet Research Institute and is funded by Energy Foundation China.

免责声明

- 若无特别声明, 报告中陈述的观点仅代表作者个人意见, 不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性, 不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。
- 凡提及某些公司、产品及服务时, 并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐, 或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

Disclaimer

- Unless otherwise specified, the views expressed in this report are those of the authors and do not necessarily represent the views of Energy Foundation China. Energy Foundation China does not guarantee the accuracy of the information and data included in this report and will not be responsible for any liabilities resulting from or related to using this report by any third party.
- The mention of specific companies, products and services does not imply that they are endorsed or recommended by Energy Foundation China in preference to others of a similar nature that are not mentioned.

摘要

《中国“光储直柔”建筑研究项目》共设置十三个子课题，子课题七为政策机制研究部分。如何有效地衔接现有政策机制，同时甄别现有政策当中与光储直柔今后规模化发展存在的“错配、空隙、失当”等问题，提出与投融资模式、商业模式和产业化发展路径相匹配的政策建议，是推动光储直柔产业发展的重要工作。

课题组对《中国“光储直柔”建筑研究项目》的五个示范工程的成本费用收益数据、采用的商业模式进行了跟踪分析，在此基础上和示范项目的利益相关者进行了深度访谈，提炼出示范工程开展过程中遇到的共性问题和障碍，形成了调研问卷，对100位行业参与者进行了线上调查，由此，梳理形成了发展光储直柔的困难障碍、待突破和完善政策机制问题。

当前行业共识，难度高的四项障碍依次为：缺少可以参照执行的规范、直流电器产业链远未成熟、用户看不到明显实效认可度低、储能安全问题。待突破和完善的政策期待可以归类为：通过市场的手段利用好“价格激励机制”、通过计划的手段利用好“政府约束机制”、赋能科技之手扶持带商业模式的技术示范。

在农村地区，“煤改电”+“生活电气化”“农业生产电动化”+“电动车”需求叠加，成为农村能源产业当期面临的复杂问题，“光储直柔”技术面临巨大的产业发展机遇。

农村“光储直柔”系统建议采用“只出不进、寓电于农”的创新模式，“只出不进”是指以整村来看，全年的用电都由村内光伏发电满足，多余电量还能够对外输出。“寓电于农”是指村民成为村内能源设施的资产持有者。

对应农村地区光储直柔“只出不进、寓电于农”的商业模式，我们针对性地提出三项关键政策机制建议。一是建议以村为单位，将全部农户屋顶、院子周边、农业设施、林地荒地具备铺设光伏的资源统一规划，采用光储直柔方式，分期分批统一建设。二是加快分布式发电交易平台建设，使得投资安装光伏的农户可以“隔墙售电”。三是赋能科技与金融融合之手，加速支持一批带商业模式的整村

建设光储直柔能源系统的试点。

城市与农村不同，分布式光伏发电、储能、电动车充电桩、负荷柔性调节带来的能量型（kWh）经济收益，在当前的工商业能源价格体系下，已具备商业投资价值。相比于传统的交流型光伏建筑，光储直柔的由于“直”和“柔”两个环节导致配电网的造价大约要提高40%—50%，但是与之对应的经济收益都是功率型（kWp）的，且存在或有性风险，在当前以能量型（kWh）为主的电价体系下，很难收回投资，这是制约光储直柔建筑技术市场化应用的瓶颈问题。

城市“光储直柔”系统的商业模式，需要跳出光储直柔各环节组合得越多经济性越差的困局，采用“区域尺度聚合、建筑+X协同”的商业模式，“区域尺度聚合”是指要跳出单体建筑在围绕建筑本体追求能耗降低的单一模式，重点发展各类园区、校园、社区等成片区的建筑群的光储直柔能源系统。“建筑+X协同”是指围绕建筑的用能管理体系，把屋顶及周边区域（景观、公共绿地）的光伏资源开发、储能安全管理、电动车充电桩报装、能源数据采集等光储直柔各环节涉及的工作纳入到现有工作体系，形成能源微网整体参与电力交易和碳交易。

对应城市地区光储直柔“区域尺度聚合、建筑+X协同”的商业模式，我们针对性地提出三项关键政策机制建议。一是将光储直柔建筑作为市场主体，纳入碳交易市场，新制定与功率型（kWp）调节能力相对应的碳定价机制。二是将建筑周边的电动车充电桩作为建筑能源系统的组成部分，统一规划、统一建设。三是支持一批园区、校园、社区等集成性、综合性载体，建设光储直柔能源系统，以点带面，多领域多层次推动“零碳”发展。

对应上述商业模式，加大技术研发投入、明确传达价值作用、赋能行业专业力量、政府引导试点示范是光储直柔建筑规模化发展的四项保障措施。

Executive Summary

Research of 'Photovoltaic, Energy-storage, Direct current, Flexibility' (PEDF) building in China is an international cooperation research project , including: definition of PEDF system, relevant design standards, key technology and equipment research, demonstration project planning and implementation, interview for stakeholders, media and promotion. This topic is the 7th sub-topic , the policy mechanism part of the project,researching on the key policy mechanism of the development of PEDF in China. It is an important task to promote the development of the PEDF industry to effectively connect with the existing policy mechanism, and to identify the "mismatch, gap and inappropriate" problems in the existing policies with the large-scale development of PEDF in the future, and to put forward policy suggestions matching with the investment and financing mode, business mode and industrialization development path.

Project team organized the costs, expenses and benefits, and other related data of the five PEDF buildings demonstration projects in China. Problems encountered in the course of carrying forward and to break through the bottleneck by interviews with stakeholders and encountered in the process of refining after identify demonstration project to carry out the common obstacles. Through an online survey of 100 PEDF industry participants, difficulties in developing PEDF policy mechanisms to be broken through and improved have been sorted out and formed. The four obstacles of high difficulty are the lack of standards that can be referred to and implemented, the industrial chain of DC appliances is far from mature, user's low recognition because of no obvious effect, and warrying about energy storage safety.

The policy expectation for breakthrough and improvement can be classified as making good use of "price incentive mechanism" through market means, making good use of "government restraint mechanism" through planning means, and enabling the hand of science and technology to support technology demonstration with business model.

In rural areas, the superposition of demands of "coal to electricity", "life electrification", "agricultural production electrification" and "electric car", becomes a complex problem that the rural energy industry is currently facing, and the PEDF technology is facing huge industrial development opportunities. Rural PEDF system is suggested to adopt the innovative mode, "only out not in , and farming with electricity". "Only out" means that in the whole village, the electricity is met by photovoltaic power generation in the village throughout the year, and the excess electricity can be sold to the Grid. "Farming with electricity" means that the villagers will be the asset holders of all the energy facilities in the village.

In response to the business model of PEDF in rural areas, we put forward three key policy and mechanism suggestions. First, it is suggested to take the village as the unit, all the roofs of farmers, courtyard surrounding, agricultural facilities, forest land with photovoltaic laying resources unified planning, using PEDF, unified construction in stages and batches. Second, speed up the construction of distributed power generation trading platform, so that farmers investing in photovoltaic installation can "sell electricity through the wall". Third, enable the integration of technology and finance to accelerate the support of a batch of commercial model of the whole village to build PEDF energy system pilot.

Different from rural areas, energy type (kWh) economic benefits from distributed photovoltaic power generation, energy storage, electric vehicle charging piles and flexible load regulation have commercial investment value under the current industrial and commercial energy price system. Comparing with traditional AC type photovoltaic building, PEDF buildings because of the "DC" and "Flexibal" lead to the cost of grid to increase about 40% - 50%, but with the corresponding economic benefits are power type (kWp) with probable risk, in the current mainly type energy (kWh) of electricity price system, it is difficult to recover the investment. This is the bottleneck problem restricting the marketization application of PEDF building technology.

The business model of urban PEDF system needs to break out of the dilemma that the more the combination of PEDF and others, the worse the economy will be, and adopt the business model of "regional scale aggregation, building +X". "Regional scale

"aggregation" means to break out of the single mode of individual buildings pursuing energy consumption reduction of the building itself. Focus on the development of all kinds of parks, campuses, communities and other blocks of buildings in the PEDF energy systems. "Building +X" refers to the surrounding building energy management system, involving the roof and the surrounding area, public green space (landscape) of the pv resources development, energy storage safety management, electric vehicle charging pile, energy storage, LED lighting, and data acquisition, into the existing system, and forming energy micro Grid as a whole to participate in the trading of, electricity and carbon.

In response to the business model of PEDF, we put forward three key policy and mechanism suggestions. First, PEDF will be included in the carbon trading market as the main market, and a new carbon pricing mechanism corresponding to the power type (kWp) regulation capacity will be developed. Second, the electric vehicle charging piles around the building are taken as a part of the building energy system, and unified planning and construction are carried out. Third, we suggest to support a number of industrial parks, campuses and communities to build integrated energy systems, and nearly zero-carbon development in multiple areas and at multiple levels.

The four guarantee measures for the large-scale development of PEDF building are increasing the investment in technology research and development, clearly conveying the value function, empowering the professional power of the industry, and guiding the pilot demonstration by the government.

目 录

第一章 引言	- 1 -
一、研究背景和意义	- 1 -
二、研究目标与内容	- 1 -
三、研究方法和技术路线	- 2 -
第二章 发展光储直柔建筑的障碍识别和政策期待	- 4 -
一、识别的过程和方法	- 4 -
二、驱动力和价值分析	- 7 -
三、障碍识别	- 8 -
四、政策机制突破期待	- 10 -
第三章 农村地区发展光储直柔建筑的关键政策机制	- 11 -
一、现有政策和产业环境	- 11 -
二、示范项目的尝试	- 13 -
(一) 山西芮城庄上村 71 户整村直流微网示范	- 13 -
(二) 山西芮城朱吕村 5 户光伏直流采暖示范	- 14 -
三、农村地区光储直柔建筑的投融资模型和商业模式设计	- 15 -
(一) 投融资模型	- 15 -
(二) 商业模式——“只出不进，寓电于农”	- 17 -
四、农村地区光储直柔建筑的关键政策机制建议	- 18 -
第四章 城市地区发展光储直柔建筑的关键政策机制	- 21 -
一、现有政策和产业环境	- 21 -
二、示范项目的尝试	- 24 -
(一) 深圳未来大厦示范项目	- 24 -
(二) 浙江湖州鲁能公馆示范项目	- 25 -
三、城市地区光储直柔建筑的投融资模型和商业模式	- 26 -
(一) 投融资模型	- 26 -

(二) 商业模式——“区域尺度聚合、建筑+X 协同”	- 28 -
四、城市地区光储直柔建筑的关键政策机制建议	- 30 -
第五章 光储直柔建筑发展的保障措施	- 32 -
一、加大技术研发投入	- 32 -
二、明确传达价值作用	- 32 -
三、赋能行业专业力量	- 33 -
四、政府支持加速示范	- 33 -
第六章 总 结	- 35 -
附 件	- 38 -
支撑材料一、行业人士线上定向调查问卷整理	- 38 -
支撑材料二、与光储直柔相关的法规政策文件汇总	- 49 -

第一章 引言

一、研究背景和意义

《中国“光储直柔”建筑研究项目》（一期）属于国际合作的智库性质研究项目，根据项目研究内容及产出要求，主要内容包括：对“光储直柔”系统的认识和研究、相关设计标准、关键技术与设备研发、示范工程的规划设计与实施、以及利益相关者研讨、宣传推广。《中国“光储直柔”建筑研究项目》共设置十三个课题，分别由相应的优势研究单位牵头承担。

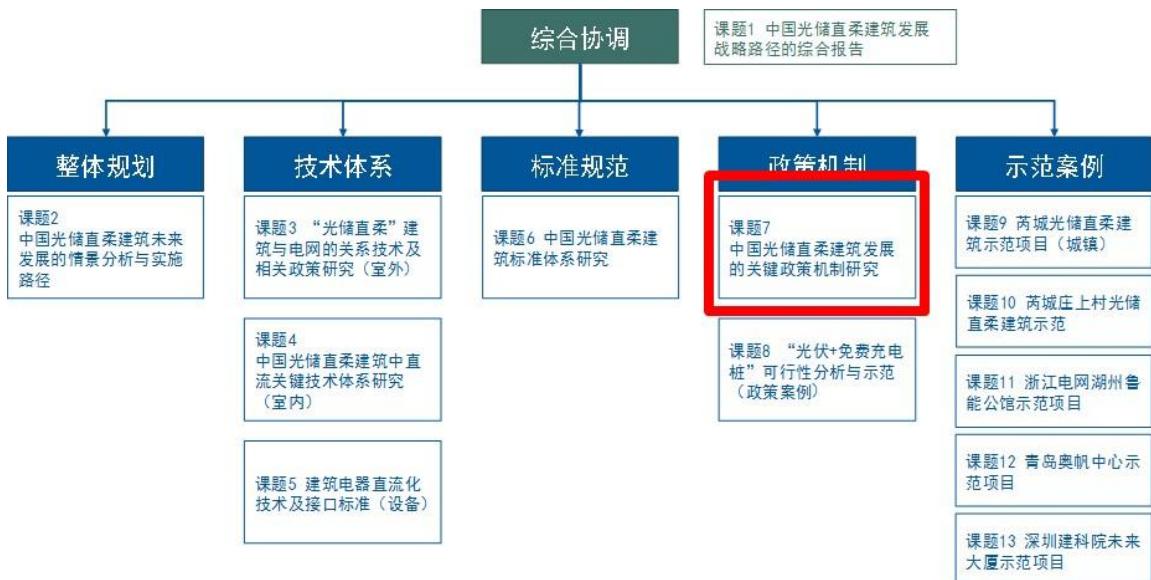


图 1-1 中国“光储直柔”建筑研究项目课题设置

本课题为项目政策机制部分的子课题 7，中国光储直柔建筑发展的关键政策机制研究。

二、研究目标与内容

如何有效地衔接现有政策机制，同时甄别现有政策当中与光储直柔今后规模化发展存在的“错配、空隙、失当”等问题，并提出与投融资模式、商业模式和产业化发展路径相匹配的政策建议，是推动光储直柔产业发展的重要工作。

本课题的主要目标是在障碍识别的基础上，分别对应城市地区、农村地区，提出我国未来光储直柔建筑发展的投融资模式、政策机制和保障措施。具体开展如下三方面的研究内容。

（一）发展光储直柔建筑的障碍识别研究

课题组拟对《中国“光储直柔”建筑研究项目》的五个示范工程的成本、费用和收益相关数据进行整理，同时和示范项目的利益相关者进行深度访谈，提炼后识别出示范工程开展过程中遇到的共性障碍。在此基础上和国内能源、电力、建筑等领域的知名专家学者进行深度访谈，同时广泛接触能源企业、电力公司、节能公司，征求各方对光储直柔发展的专业意见和相关建议。

（二）农村地区发展光储直柔建筑的关键政策机制研究

在障碍识别的基础上，梳理农村地区已有的抗震节能、光伏扶贫、清洁取暖、农村基础设施建设，农村电价相关的政策机制和补贴机制，提出农村采用“分布式光伏+直流+柔性+智能充电桩”系统的配套政策机制建议、可能的融资模式和商业模式。之后和国家经济运行部门、能源管理部门、住房城乡建设部门、农业农村部门等，进行成果沟通交流，征求对课题组研究提出的配套政策机制建议的意见，并最终完成研究报告相关章节。

（三）城市地区发展光储直柔建筑的关键政策机制研究

在障碍识别的基础上，梳理城市地区已有的分布式光伏、节能改造、社区综合整治、新基建、电力需求侧管理的政策机制和补贴奖励机制，提出城市采用“分布式光伏+直流+柔性+智能充电桩”系统的配套政策机制建议、可能的融资模式和商业模式。之后和国家经济运行部门、能源管理部门、生态环境部门、住房城乡建设部门等，进行成果沟通交流，征求对项目组研究提出的配套政策机制建议的意见，并最终完成研究报告相关章节。

三、研究方法和技术路线

课题研究采取资料搜集、整理，技术示范案例深度调研、访谈利益相关方等方式明确研究方向，研判政策走向通过有效性分析、对比分析、共性要素提取、

权重度排序等方法，对应城市地区、农村地区，提出我国未来光储直柔建筑发展的投融资模式、政策机制和保障措施，完成中国光储直柔建筑发展的关键政策机制研究任务。

具体采取的技术路线如下图：

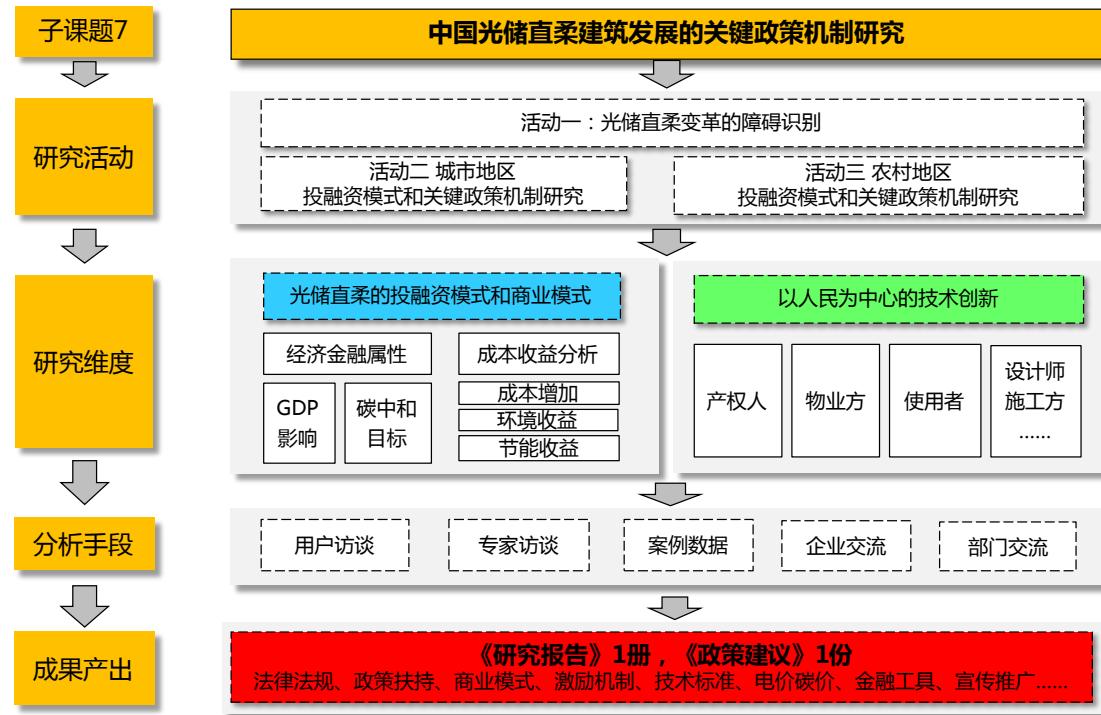


图 1-2 课题研究技术路线图

第二章 发展光储直柔建筑的障碍识别和政策期待

课题组对 EF 能源基金会《中国“光储直柔”建筑研究项目》的五个示范工程的成本费用收益数据、采用的商业模式进行了跟踪分析，在此基础上和示范项目的利益相关者进行了深度访谈，提炼出示范工程开展过程中遇到的共性问题和障碍，形成了调研问卷，对 100 位行业参与者进行了线上调查，由此，梳理形成了发展光储直柔的困难障碍、待突破和完善的政策机制问题。

一、识别的过程和方法

障碍识别的完成经过了三个步骤，第一步是示范案例的过程跟踪和资料整理。

2021 年 6 月《中国“光储直柔”建筑研究项目》启动后，截至 2022 年 6 月，五个示范案例的开展深度和进展情况如下：

表 2-1 五个示范案例的项目概况

序号	案例名称	项目规模	参与方	当前进度
1	山西芮城光储直柔建筑（城镇地区）	全县域 2035 年率先实现碳中和，完成包括城镇建筑、农村建筑、工业企业、电动汽车充电网络建设、生物质调峰发电等八项重点工程。先期在县委县政府机关大院开展光储直柔建筑示范，机关大楼和西三楼两栋建筑建筑面积平米 1.5 万平米。	芮城县政府 清华大学建筑节能研究中心 南京国臣直流配电科技公司 深圳市建筑科学研究院 北京太和人居能源科技公司	方案完成 待开展
2	山西芮城光储直柔建筑（农村地区）	庄上村 71 户农户，光伏 2MW，农户全电气化改造，和整村直流微网改造同步开展。 朱吕村 5 户农户，光伏 35kWp，和清洁采暖改造技术示范同步开展。	南京国臣直流配电科技公司 清华大学建筑节能研究中心	部分完成 效果验证
3	浙江电网湖州鲁能公馆	湖州鲁能公馆社区 8#与 16#沿街商铺总面积均为 1000 m ² ，17#单身公寓建筑面积 2000 平方米。 同时依托社区现有的 12 幢排屋屋顶、在碧浪 6#楼与其他建筑屋顶布置光伏。 项目总直流负荷共 608kW，光伏 180kW，储能系统 600kWh，充电桩 424kW。	鲁能集团地产 国网湖州供电公司 浙江电力设计院 清华大学建筑节能研究中心	工程在建

序号	案例名称	项目规模	参与方	当前进度
4	青岛奥帆中心	青岛奥帆中心区域内奥帆博物馆 建筑面积为 9359.8 平方米。 照明空调直流供电负荷 305.5kW。 光伏 135kWp, 储能 40kWh, 充电桩 100kW。	青岛能源集团公司 清华大学建筑节能研究中心	方案在编
5	深圳建科院未来大厦	未来大厦 R3 楼零碳实验室，建筑 面积 6259 m ² 。 直流负载总用电容量达到 388kW， 设备类型涵盖了空调、照明、插座、 安防、应急照明、充电桩及数据中心等 负荷类型。 光伏 150kWp, 储能系统 300kWh, 充电桩 60kW。	深圳市建筑科学研究院 南方电网深圳供电局 格力电器 南京国臣直流配电科技公司	全部建成 稳定投运

障碍识别的第二个步骤是和上述五个示范案例的利益相关者展开深度访谈，对象包括国网湖州供电公司经济技术研究所陈家乾博士、南京国臣直流配电科技有限公司李忠总经理、深圳市建筑科学研究院股份有限公司李雨桐博士、清华大学孙涛博士、北京交通大学童亦斌副教授、珠海格力新能源研究院赵志刚院长。6位专家均深度参与了上述5个示范案例，各自结合示范案例和其他光储直柔建筑项目的研究实践，就如下相同问题进行了书面答复。

- 1) 项目的业主方、投资方、技术设计方、EPC 服务商、产品供应商的情况。
- 2) 请您提供示范项目的“光储直柔”各分项成本的增量，直接或间接的节能减排收益量化数据。
- 3) 示范项目做光储直柔的驱动力是什么？
- 4) 采用光储直柔，为项目带来了哪些“额外”的价值呢？
- 5) 示范项目在推进过程中遇到了哪些障碍？
- 6) 您觉得在政策制定、模式机制上，最重要的前三项待突破的是什么？

障碍识别的第三个步骤是在整理步骤一和步骤二的资料基础上，设计了由14个问题构成的专业调查问卷，定向对100位光储直柔行业的参与者和关注者进行线上调查，调查报告详见本报告的附件《支撑材料一》。

***11. 请您为第10题的选中项排序：**
【排序题】
“1”代表需要克服的最大障碍，“2”代表第二大障碍，以此类推。
此题选项来源于前面题目的选中项，请按顺序作答

***12. 您觉得在政策制定、模式机制上，最重要的前三项待突破的是什么？【请选择3项】**

- 大力发展投资主体
- 价格机制，电网调峰成本无法传导到用户
- 光伏补贴按照电量，不能体现消纳的价值
- 储能的安全标准制约了用户侧使用
- 出台建筑光伏强制安装或建设

填表啦，填表啦

中科华跃 直流建筑联盟
2022-05-30 18:34 发表于北京

小盟受中科华跃能源互联网研究院的委托，发布关于“中国光储直柔建筑发展的关键政策机制研究”调查问卷！感兴趣的小伙伴们动动手指快来参与吧~

在能源基金会的支持下，清华大学建筑节能研究中心牵头组织多家单位，开展了《中国“光储直柔”建筑发展战略路径研究》项目研究。本研究定位对中国“光储直柔”的基础性、前瞻性政策分析，研究技

图 2-1 调查问卷设计及平台发布

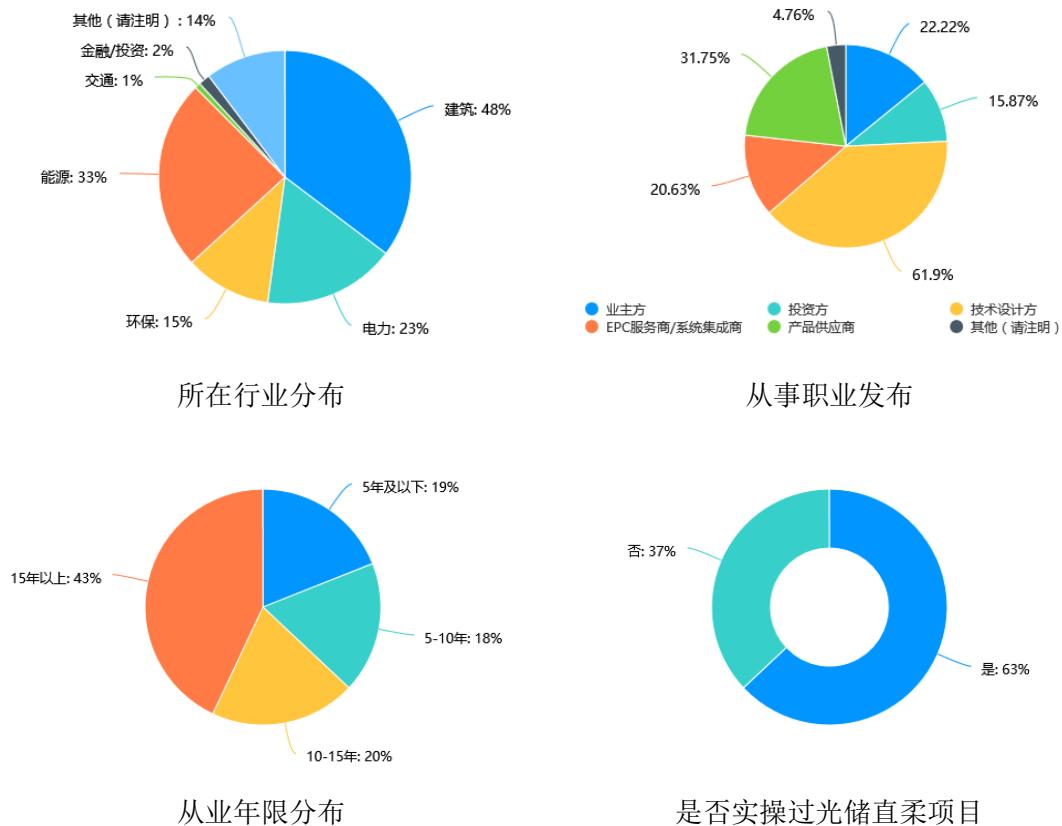
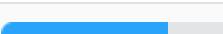
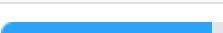
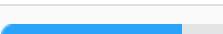
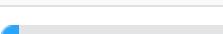


图 2-2 参与调查的百名从业者的相关信息

二、驱动力和价值分析

“光储直柔”新型建筑电力系统，是清华大学江亿院士主导提出的技术路径，是极高复杂度的技术集成创新和模式机制突破，是国内外最前沿的新型建筑能源系统，是建筑领域十四五期间的首次提出的发展方向。国务院《2030 年前碳达峰行动方案》的“城乡建设碳达峰行动”当中提出建设集光伏发电、储能、直流配电、柔性用电子一体的‘光储直柔’建筑。近两年来，引起了城乡建设领域相关从业者的高度关注，“开展科研示范、响应国家号召”是当前参与光储直柔技术研究和应用的最大驱动力，符合创新型技术早期的发展规律。此外，我们也看到，与综合能源服务相融合的新商业模式探索，是另外的一项主要驱动力。

表 2-2 项目利益相关方参与光储直柔建筑技术的驱动力

	驱动力	选择比例
1	开展科研示范，响应国家号召	 73%
2	建筑行业找寻的新增长点	 59%
3	有利于与综合能源服务商业模式融合	 74%
4	经济运行，提高光伏发电收益	 54%
5	提高电网承载力	 43%
6	提高供电可靠性和电能质量，降低用电成本	 64%
7	其他（请注明）	 7%

此外，除了“经济运行，提高光伏发电收益”、“提高电网承载力”、“提高供电可靠性和电能质量，降低用电成本”等驱动力以外，行业参与者认为光储直柔建筑技术能够为项目和用户带来的 6 个额外价值，降低消纳成本、安全体验、稳定供电也是这项创新技术被选用的考虑因素。

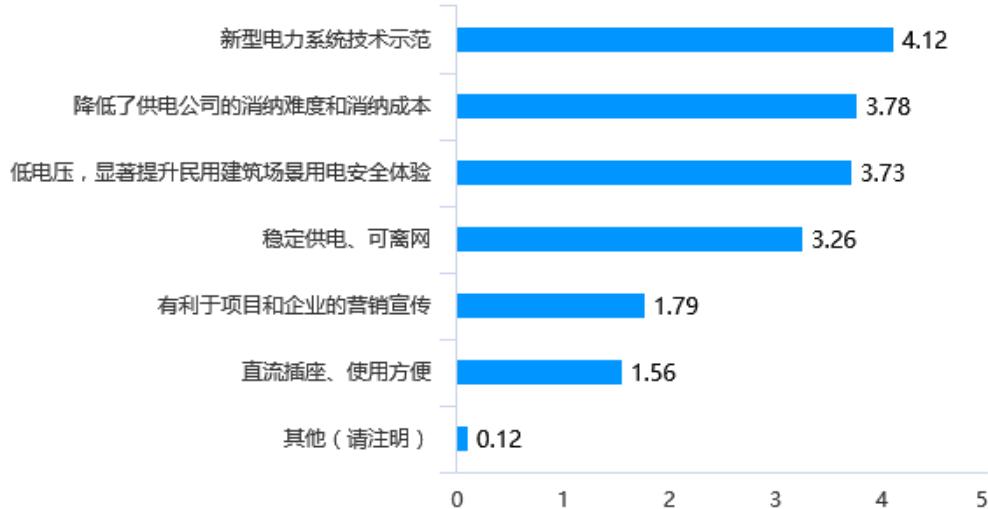


图 2-3 光储直柔建筑技术的额外价值得分图（满分 5 分）

三、障碍识别

光储直柔建筑技术目前有缺少设计及产品标准，直流设备、电器产品和专用变换器供应商太少、价格高，储能安全问题尚无法解决，得好处最多的是电网侧，成本却加在用户身上，用户看不到明显实效、认可度低等 10 项障碍，依照困难严重的程度排序如图 2-4。



图 2-4 光储直柔建筑技术的发展障碍排序图（困难度最高为 10 分）

困难最高的四项障碍分析如下：

1、缺少可以参照执行的规范：在国务院印发的《2030 年前碳达峰碳中和行动方案》中明确提出建设光储直柔建筑，由于目前相关标准体系尚未出台，最为关键的如直流电压等级部署原则、系统架构、容量配置、保护配置、光伏储能柔性负荷配置比例原则、同建筑其他机电系统协调以及出图标准等亟待明确，缺乏相应的标准，未形成整体规范框架，设计规范和产品标准缺失对项目实施造成很大的影响，在项目设计之初，对电压等级、接线形式和接地型式等基础问题，都是在做了大量的调研、分析和研究之后，才能确定方案。技术人员对直流配电陌生，导致项目的规划、建设、实施及验收缺乏依据。

2、直流电器产业链远未成熟：目前市场上具备 3C 认证的终端直流电器设备厂商很少，具备 3C 认证的终端直流电器设备都无法兼容交流 220 伏，很多直流产品需要专门定制，种类受限（无中央空调、电梯等直流产品）、价格高，不利于商业示范，更不利于生态形成与大规模推广应用。直流供电有助于降低损耗，但需要变换器一些辅助功能的配合才能实现，而这些功能目前大多数变换器并不具备。终端直流电器设备维修麻烦，需要厂商安排研发工程师到现场处理，周期长、费用高，叠加价格因素，进一步加剧了推广应用难度。由于产业刚起步，市场规模没起来，导致产品的价格同交流比缺乏足够优势。招标采购阶段，直流配电设备还不成系列，变换器、断路器等关键设备采购选型存在困难，通常需要走单一来源采购，流程相对复杂，不利于规模化推广。要真正将“光储直柔”的技术价值转变为商业价值还需要大量的工作。

3、用户看不到明显实效，认可度低：目前采用光储直柔带来的好处更多是电网侧，而用电安全性、减少碳排放、消纳可再生能源等收益和用户的关联度很弱。

4、储能安全问题：在光储直柔建筑体系中是不可或缺的环节，同传统分布式新能源相比，储能是多出来的较大成本，除了如何配置缺乏相关规定，储能（特别是电化学储能）未来大规模发展所需要克服的安全标准是项目推广中遇到的很大障碍，由于在建筑内部（或附近），安全问题更为突出，亟需对照建筑领域安全标准研究可行路径。

四、政策机制突破期待

关于推动光储直柔发展的扶持政策，来自建筑节能、电力、能源、环保和金融行业，处于咨询设计、项目实施、产品研制环节，包括已经实际参与过和还未实操过光储直柔示范工程的从业者，在政策突破和机制创新方面的期待共识度很高。从表 2-3 所列的 12 项政策建议的期待度排序中，可以看到。

首先是利用好“价格激励机制”，通过市场的手段使得光储直柔建筑技术对电网调峰、光伏消纳的价值通过电力交易或碳交易市场得以兑现，同时培育市场主体。

其次则是利用好“政府约束机制”，通过计划的手段使得光储直柔建筑技术强制应用于城市新建区域、城市更新、农村清洁采暖等国家推动的重点任务当中，比如出台建筑光伏强制安装或建设光储直柔建筑的比例要求、尽快纳入清洁取暖政策推动体系当中或单独出台农村光储直柔扶持办法。

第三则是推动“科技研发”，组织科技攻关，由政府补贴直流产品、扶持自主品牌高科技企业、加大示范工程支持力度和宣传推广等对创新技术普遍适用的支持扶持办法。

表 2-3 期待出台的光储直柔扶持政策

	政策期待	期待度
1	光储直柔建筑参与电网调节、纳入电力辅助服务市场	6.01
2	价格机制，电网调峰成本无法传导到用户	5.48
3	出台光储直柔工程建设规范标准	3.82
4	出台建筑光伏强制安装或建设光储直柔建筑的比例要求	3.2
5	储能的安全标准制约了用户侧使用	2.97
6	尽快纳入清洁取暖政策推动体系当中，或融合现有各类资金，单独出台农村光储直柔政策	2.74
7	光伏补贴按照电量，不能体现消纳的价值	2.35
8	政府补贴高效能、智能化的直流产品	2.13
9	大力发展投资主体	1.85
10	组织科技攻关，扶持自主品牌高科技企业	1.68
11	加大示范工程支持力度和宣传推广	1.44
12	尽快出台碳税、碳交易规则	1.2

第三章 农村地区发展光储直柔建筑的关键政策机制

在价值分析、障碍识别的基础上，本章通过梳理农村地区已有的抗震节能、光伏扶贫、清洁取暖、农村基础设施建设，农村电价相关的政策机制和补贴机制，结合 EF 能源基金会《中国“光储直柔”建筑研究项目》（一期）项目组在山西芮城县庄上村开展的 71 户直流微电网整村示范，以及朱吕村开展的基于固体储热的光储直柔电热供暖 5 户示范两个项目的尝试探索，提出农村地区发展光储直柔建筑的投融资模型和可行的商业模式，并给出关键政策机制建议。

一、现有政策和产业环境

农村问题是中华民族实现富民强国之梦要面对和解决的重要问题之一。

我国第一次较大规模地综合研究农村能源问题始于 1979 年，当时农村经济实力和人民生活水平相当低下，农村商品经济极不发达，农村能源短缺。从“六五”到“九五”期间，在国家计委等部门的组织领导下，全国先后有 358 个县实施了“农村能源综合建设县项目”，有效地增加了农村能源的有效供给，初步形成了农村能源产业化体系。自 2000 年以来，能源安全成为全球关注的焦点，中国农村能源以农村沼气建设的普及为主要特征。党中央国务院高度重视，财政投入大量资金用于农村户用沼气建设，强化能源产品的生态功能。2015 年，国家发展和改革委员会和农业部联合印发了《2015 年农村沼气工程转型升级工作方案》，中央计划专项投资 20 亿元，主要支持规模化大型沼气工程、规模化生物天然气工程。

自 2017 年起，国家四部委利用北方地区冬季清洁取暖试点政策，对民用散煤治理开展试点工作，先后分 4 批共在 63 个城市开展清洁取暖试点示范城市建设，取得了明显成效。截至 2021 年 4 月，前三批 43 个试点城市共完成清洁取暖改造面积 39.1 亿平方米（3526 万户），其中城区改造 9.58 亿平方米（869 万户），城乡结合部及农村地区改造 29.51 亿平方米（2657 万户）。十四五开局生态环境部推动散煤治理继续发力，2020-2021 采暖季，京津冀及周边地区、汾渭平原完成散煤替代 709 万户。2021-2022 年采暖季期间，重点地区计划完成散煤替代 348 万户。实际超额完成约 420 万户。“十三五”期间，中央和地方政府密集出台了

一系列散煤治理政策，各部门多措并举，不仅设立了重点区域精准施策，还投入了大量财政资金。在此基础上，相关政策有效落实，环保督查制度保驾护航，使得“十三五”期间散煤治理成效显著，预期散煤削减量将超过 2 亿吨，北方清洁取暖率大幅提升，秋冬季空气质量明显改善，室内健康效益显著。

综上所述，中国农村能源政策依据不同的时期需求和特点，提出不同时期的政策，多采用政府投资补贴等手段，从试点起步，待成熟后在全国范围内进行技术推广，经历了省柴节煤炉灶、农村沼气、“煤改气”、“煤改电”等过程。

然而，随着北方清洁取暖的横向扩围和纵向深入，散煤治理已步入“深水区”，2019 年我国农村散煤用量约 1.4 亿吨，占全国非工业散煤的 90%以上，成为减煤减碳的重点之一。此外，“煤改气”、“煤改电”、清洁取暖等政策在北方大力推进，国家和社会投入近千亿元资金，但清洁取暖成本与居民经济承受力之间的不平衡尚未解决、补贴政策面临退坡、受疫情影响财政压力加剧的情况下，民用能负担增加存在的返煤的风险规避成为当前的难点和重点。

随着城镇化进程加快、农业工业化水平提高和农民消费水平持续提升，除“煤改电”的电力需求外，农村日常生活“电气化”的需求也在不断提高，伴随农村道路交通配套设施逐步完善，机动车出行工具也成为农村居民的重要选择，农村地区开始进入机动车出行阶段，电动汽车已经在部分城市地区和领域推广普及，成为解决能源、环境问题及产业升级的重要途径。农网是重要的基础设施，“十三五”期间农网改造升级大大地缩小农村和城市在供电服务和经济水平方面的差距，为城镇化奠定了很好的基础。

光伏扶贫是新能源在农村地区发展的重要政策举措之一，自 2014 年国务院扶贫办和国家能源局下发《关于印发实施光伏扶贫工程工作方案的通知》及《关于组织开展光伏扶贫工程试点工作的通知》两个纲领性文件以来，经过了试点启动、全面推广和深化提升三个阶段。光伏扶贫政策的实施范围由试点阶段的 6 个省区扩大到 16 个省区，光伏扶贫目标由最初的 3.5 万建档立卡贫困村、200 万贫困户，提高到 5 万个建档立卡贫困村、280 万贫困户。采用的建设模式有村级光伏电站（含户用）和集中式光伏电站两种模式。

2020 年以后，双碳目标已上升至国家战略目标并纳入“十四五”规划中，“碳中和”元年也正式开启，农村能源产业面临能否跨越“油、气”发展阶段，加速进入绿色低碳可持续发展阶段，对农村电网建设、农村新能源发展提出了很

大的挑战，“煤改电”+“生活电气化”“农业生产电动化”+“电动车”需求叠加，成为农村能源产业当期面临的复杂问题，“光储直柔”技术面临巨大的产业发展机遇。

二、示范项目的尝试

(一) 山西芮城庄上村 71 户整村直流微网示范

芮城县庄上村地处山西南部，农宅结构布局基本相似，屋顶多为半坡半平，安装光伏的基础条件较好。通过对全村 233 户农户屋顶进行荷载检测，实际能铺设光伏的用户 136 户，根据农户自身意愿最终在 71 户农户屋顶进行光伏铺设，71 户中斜屋面数量 15 户，平屋面数量 56 户。

南京国臣公司组织开展了整村光储直柔技术示范，完成了台区改造、光伏发电、储能、户内电器改造共四大部分工作。



图 3-1 部分工程实施图

庄上村共安装 5 座光伏发电单元，4 个台区平均接入容量为 0.45MW_p 的光伏发电单元，1 个台区接入 0.23MW_p，光伏发电规划建设总容量 2MW_p，采用 750VDC 接入每户光伏配电箱，经线路汇流后接入台区。储能系统在台区下口就地设置，各台区按 80kW/120kWh 配置一个储能子系统，全村配置储能总容量为 400kW/600kWh。户用部分采用 220VDC 系统，户用电器设备均采用 220VDC。

庄上村光储直柔（南京国臣公司数据）总投资 900 万元，方案完全实施后，山西芮城庄上村光储直柔建筑示范项目预计年发电量 250 万 kWh，产生电量 60% 就地消纳，40% 余电上网，全村每年节约电费约 67.5 万元，余电上网收入 45 万元。

在扣除项目总成本的基础上再扣除系统运维费、银行利息，经计算农村光储直柔系统在投运 13.1 年后可收回成本。根据光伏组件寿命周期，该示范工程 25 年运营周期静态收益超 1000 万，投资回报率可达到 100%。

（二）山西芮城朱吕村 5 户光伏直流采暖示范

基于固体储热的光储直柔电热供暖示范项目在芮城县东部的陌南镇朱吕村实施。5 户特征迥异，农宅供暖面积从 10 m² 到 23 m² 不等、屋顶类型包含平屋顶和坡屋顶、建造时间从上个世纪 90 年代到 2015 年后、建筑使用者既有 20 岁的大学生又有 80 岁的老大爷，生活习惯上既有全天在家的农耕者也有白天在外打工晚上回家休息的打工者。基本反映了村中各种农户的典型情况。同时这 5 户也有一些当地农户共有的特征，如：都没有安装保温、外墙都是二四墙等。



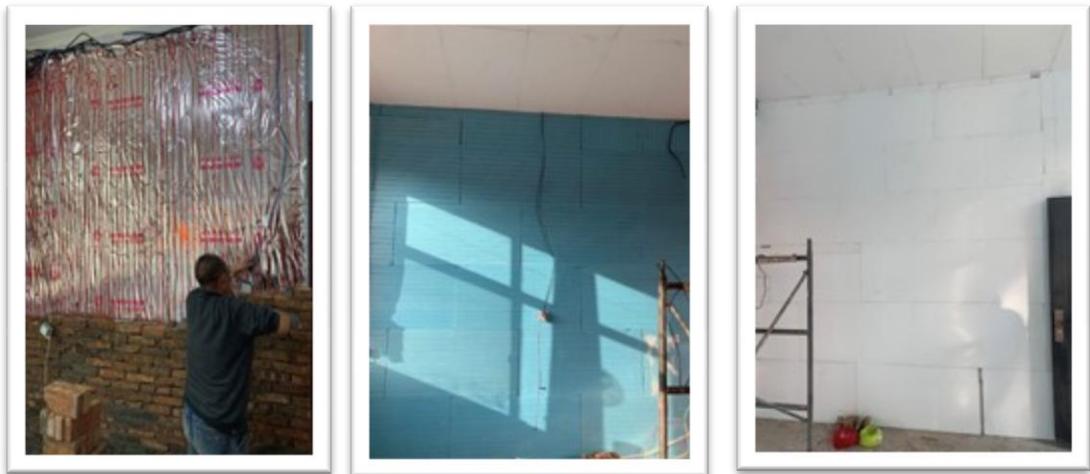


图 3-2 部分工程实施图

经过 2021 年冬季三个月的客观物理参数测试和主观问卷调研，证明该光伏采暖系统可以满足农宅的供暖需求，经过计算（按照芮城县历史数据，全年晴天约 132 天，多云 95 天，阴雨雪天 138 天。上网电价取 0.33 元/度），全年非供暖季的收益约 8856 元，在采暖季农户可节约采暖费用（按原采暖费用计算）约为 4500 元，该项目的投资回收期约 8 年（清华大学数据）。

尽管该系统初投资要高于传统的供暖方式，但是系统在运行过程中无二氧化碳排放，符合国家“双碳目标”的要求，同时在非供暖季可以发电上网产生收益，所有的投资成本均可回收，是一种“零成本，零排放”的新型供暖方式。

三、农村地区光储直柔建筑的投融资模型和商业模式设计

（一）投融资模型

在两个技术示范案例尝试的基础上，可以初步得出北方农村，户均安装光伏 20kW，配置一定规模的分布式储能，在整村部署直流微电网，冬季可满足农户包括采暖在内的全部直流生活用电负荷；其他季节，自发自用以外多余的光伏发电还可打捆外送，获得经济收益。因地制宜地，还可结合生物质利用、移动集装箱储能、快充电动车充电桩，和农业生产用能协调发展。

这样，依靠屋顶和部分零散土地空间的光伏，即可解决农村全部用能问题，彻底告别燃煤燃油燃气和柴火，使农村重返蓝天，且再无灰渣垃圾。农村全面实

现电气化，可以在一定程度上改变生产和生活方式，通过能源革命带动农村现代化。产粮区、林区的大量生物质资源是难得的零碳燃料，可全部收集加工成生物质颗粒燃料、生物质压块燃料或生物质燃气，全部进入商品市场流通。其加工过程需要消耗的大量电力，也可以依靠光伏获得。

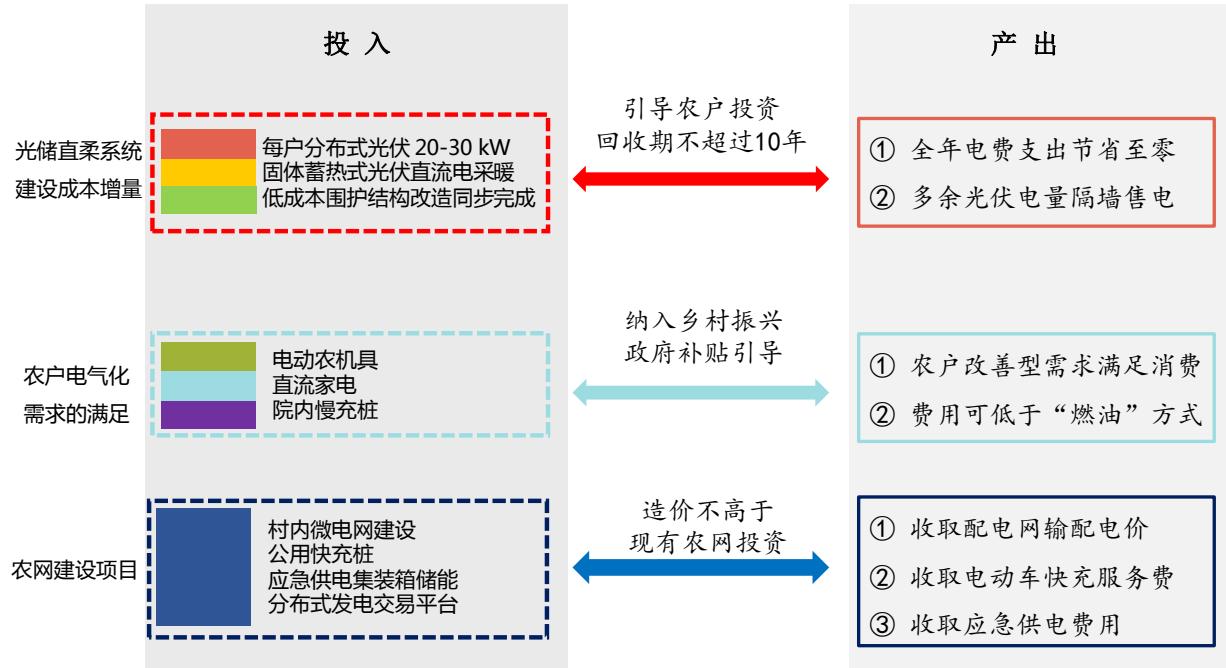


图 3-3 农村地区光储直柔建筑的投入产出图

在图 3-3 中，农村地区光储直柔建筑的三部分投入对应三部分产出。

1. 第一部分是光储直柔建筑直接的增量成本，包括 20kWp 规模的屋顶光伏、固体蓄热式直流电采暖，以及同步完成低成本围护结构改造，每户投资 6~8 万元。对应的产出是农户全年电费支出可节省至零，多余的电量通过“隔墙售电”获益，整体投资回收期在 10 年之内。
2. 第二部分是满足农户电气化需求的改善型支出，包括直流家电、电动农机具、院内电动车慢充电桩等，这部分投资可纳入乡村振兴工程，政府提供一定的补贴，村民具有较强的出资意愿。
3. 第三部分是农村地区的电网建设投资，包括村内公共部分的直流微电网、电动汽车公用快充电桩、提供应急供电的集装箱储能、分布式发电交易平台（用户端）等，100 户规模的村庄，投资 300~500 万元。这部分投资总体来看，造价不高于传统农网建设投资，对应的收入包括输配电费、电动车充电服务费、应急供电收费。

（二）商业模式——“只出不进，寓电于农”

首先来看农村地区的光伏发电，目前在市场当中应用的主要商业模式有如下三种。相关单位的责任与收益与之相应，各有不用。

1. 大型能源公司投资，租用农户屋顶模式

这是目前市场应用最多的模式，政府干预少，由大型能源公司和农户签订租用屋顶协议，定期支付租金给农户（当前市场行情为每年每块电池板 20 元），农户仅属于资源提供者。能源公司负责光伏系统的投资、建设、运营，发电以后全额上网（上网标杆电价），直接和电网公司结算。

这种模式的合同关系和结算手续均较为简单，缺点是农户参与度低、收益比例也少，后期企业的运行维护成本高，投资方基本上是具有低成本融资优势的垄断型大型国央企。

2. 集体企业投资，农户入股模式

这种模式需由政府统一协调，村委会成立合作社性质的集体企业，由集体企业组织村民入股，自筹资金或贷款安装光伏系统，发电收益先用于还贷，多余收益由村集体和农户按比例分成。

这种模式下，农民有参与感，工程建设和后期运维较易实现本地化，成本能够降低，是乡村振兴发展的方向之一。这种模式既提高了村集体收益，又保障农户的利益，政府主导参与的话，可整合扶贫资金、乡村振兴资金、清洁取暖资金，今后还可参与绿电交易和碳交易产生附加收益。

这种模式一定程度上与村干部的组织能力和村集体经济的基础条件有关，得有“村里的能人”主持。

3. 农户个人投资，自发自用余电上网模式

这种模式与农村建筑的特性和农村个体发展的特征最为吻合，由农户自己出资，电站的产权归农户，优先自发自用，余电通过隔墙售电方式进行交易，收益归农户所有。这种模式下，农户既是绿色能源的生产者，也是消费者，是投资人、建设者、管理者。

这种模式的社会整体成本最低，和农村今后的全电气化发展方向最为吻合，是光储直柔技术较为适宜的应用场景。

农村“光储直柔”系统的商业模式，建议融合上述光伏投资模式当中的模式二和模式三，我们称之为“只出不进、寓电于农”。

“只出不进”是指以整村来看，全年的用电都由村内光伏发电满足，多余电量还能够对外输出。

“寓电于农”是指村民将是村内所有能源设施的资产持有者。引导农民自行投资农户院内部分，资金来源可为低息甚至免息的绿色金融贷款；村内公共部分由村集体企业投资，村集体企业发展成为清洁能源综合运营商，负责当地农村散煤治理项目的投资和运营，以及发展分布式可再生能源维护及服务、生物质成型燃料加工等乡村能源站等清洁能源开发工作。采用政府购买服务与用户缴费相结合的方式，保证相关项目的投资收益，政府协助相关项目争取政策性绿色贷款。

四、农村地区光储直柔建筑的关键政策机制建议

在本研究报告第二章梳理的光储直柔建筑行业发展的政策期待分析基础上，对应农村地区光储直柔“只出不进、寓电于农”的商业模式，我们针对性地提出三项关键政策机制建议。

1. 用好政府之手，农村光储直柔系统是发展农村屋顶光伏的重要途径，农村发展光伏产业可以创造新的就业机会和商业机会，建议以村为单位，将全部农户屋顶、院子周边、农业设施、林地荒地具备铺设光伏的资源统一规划，参照脱贫攻坚的工作开展方式，“建档立卡、一村一策”，将电动农机具、电动车、农户采暖以及家电升级等需求满足综合考虑，采用光储直柔方式，分期分批统一建设。

与光伏协同发展，光储直柔系统将成为电动汽车在农村推广的重要推动力。电动汽车既是电能消耗单元，也具备储能特性，结合农村光伏的发展，能够提升农村居民综合经济效益，将成为农村地区电动汽车推广的重要推动力。建议村委会配合提供建桩的相关材料，简化办事流程，保障慢充电桩的建设。同时将公共快充桩纳入到农村基础设施建设范畴，建议将农村快充桩建设纳入基础设施建设内，由中央或地方财政直接拨款建设。

2. 用好市场之手，加快分布式发电交易平台建设，使得投资安装光伏的农

户可以“隔墙售电”。不同于城市地区建筑类型多样、用电计量计费复杂，农户每家天然具备产销一体的属性，在我们建议的“寓电于农”商业模式当中，让农户实时感知简单的清洗电池板、系统别掉线、自己省着点儿用，多余的电就能够卖钱，除了还贷款还能净赚一笔钱，可以让光储直柔系统的后期运维成本最低。“隔墙售电”可彻底破解当前农村地区户用光伏系统，农户袖手旁观、企业运维不起的困境。

3. 赋能科技与金融融合之手，加速支持一批带商业模式的光储直柔能源系统的整村建设试点，总结形成可复制可推广经验，以点带面，多领域多层次推动“零碳乡村”发展。

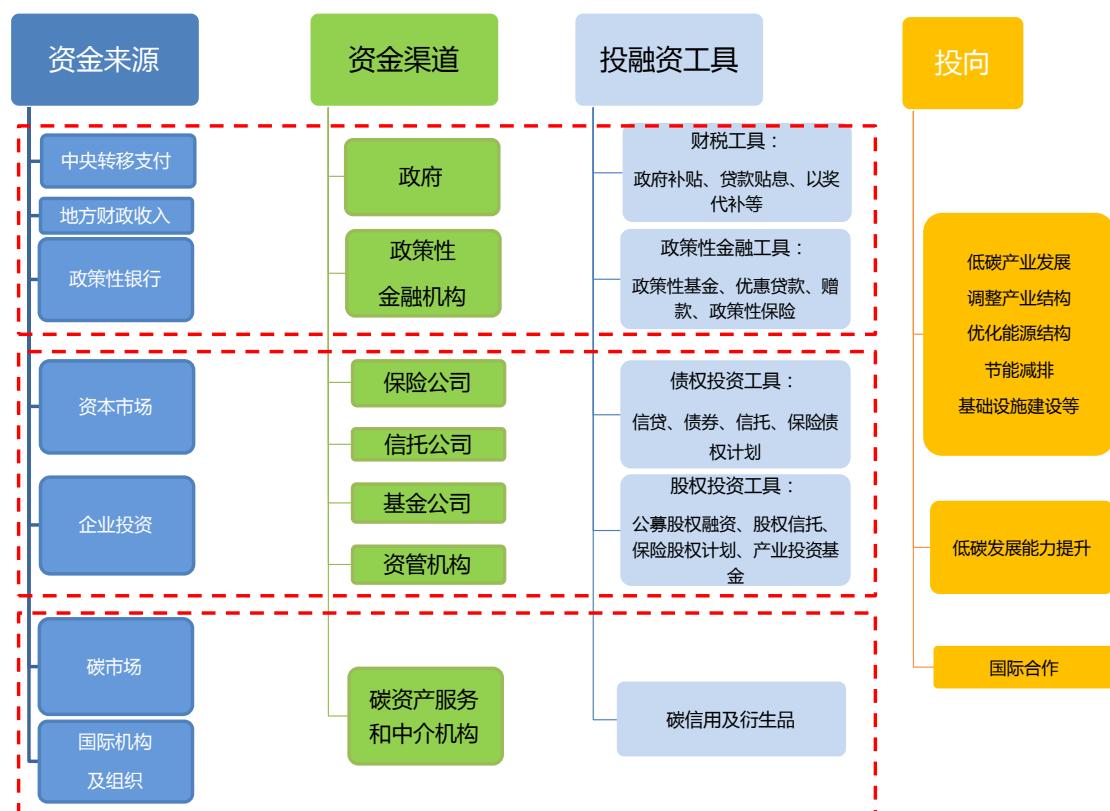


图 3-4 农村地区规模化发展光储直柔能源系统可导入的金融工具

当前，能源管理部门、农业农村部门、财政和金融部门支持农村清洁能源体系建设的发展是独立进行的，需要建立良好的沟通机制，促使金融支持与政府补贴联动互补，提高资金利用效率，借助财政资金吸引社会资金设立光储直柔专项清洁能源基金，用于光储直柔项目的低息贷款、融资担保、股权投资等。

农村光储直柔系统的设施设备运作较为分散，未实现集中、统一管理运作，不满足政策性银行贷款要求。需构建如图3-4所示的丰富的绿色金融产品和服务，解决光储直柔项目融资难、融资贵的问题。建议创新资产管理方式，将分散的设备由村集体集中起来运作和管理，以取得政策性银行信贷支持，提供低成本贷款，减轻政府财政补贴压力，推动农村地区光储直柔建筑能源系统的可持续发展。

第四章 城市地区发展光储直柔建筑的关键政策机制

在价值分析、障碍识别的基础上，本章通过梳理城市地区已有的分布式光伏、节能改造、社区综合整治、新基建、电力需求侧管理的政策机制和补贴奖励机制，结合 EF 能源基金会《中国“光储直柔”建筑研究项目》（一期）项目组，在深圳未来大厦全直流建筑、浙江湖州鲁能公馆低碳社区两个示范项目的尝试探索，提出城市地区发展光储直柔建筑可能的投融资模型和商业模式，并给出关键政策机制建议。

一、现有政策和产业环境

截至 2020 年，我国城镇建筑总面积为 660 亿平米，商品能耗总量 10.6 亿 tce，占总能耗比例约 21%，排碳总量 22 亿 t CO₂，占总排放比例 22%。今后新建量将逐渐减少，每年新竣工居住建筑 15~20 亿平方米、各类公建商建 5 亿平方米。但大修、改造、提升功能将成为房屋建设的主要任务，每年修缮任务将在 20 亿平方米以上。

我国针对建筑领域的节能低碳管理，是自上世纪 80 年代制定的北方采暖地区居住建筑节能 30% 标准开始，之后的发展脉络是，在节能目标上，逐步由节能 30%，提高到 50%，65%，75%，80%（北京市于 2020 年 7 月 16 日，发布了《居住建筑节能设计标准》（DB11/ 891-2020）；在地区上，逐步由严寒、寒冷地区扩展到夏热冬冷地区和夏热冬暖地区，在建筑类型上，逐步由居住建筑扩展到公共建筑；在对象上，逐步由新建建筑扩展到既有建筑；在方法上，逐步由政府行政强制推进转变到政府主导、市场引导方式。中国的公共建筑节能低碳管理，同样沿着这一脉络在发展演进，到目前，逐步形成了新建建筑与既有建筑并重，政府引导与市场主导同步的工作格局。

随着我国新建建筑节能标准逐步提升，建筑围护结构性能已经得到极大提升、高能效的建筑设备得到普遍应用，建筑节能标准的要求已经开始转向超低能耗、近零能耗乃至零能耗。全国总的建筑能耗强度增长趋势放缓，建筑本身能效提升的空间逐步收窄。随着建筑终端用电设备的增加、充电桩普及、清洁取暖推进、电能替代等影响，全国的能源消费结构发生了显著变化，建筑的用电特性发生了

转变。单体建筑能效提升边际效应逐步显现，建筑用户侧能源消费结构逐步优化，电能将成为未来建筑最主要的能源类型。未来，建筑电气化仍将持续，在城市能源转型战略下，未来终端能源消费结构中的电能占比需要大幅提高到 60% 以上，其中建筑领域的上述比例甚至要达到 70% 以上，远远高于当前水平。

光伏产业作为我国的突出优势产业，技术水平和应用规模连续多年领跑全球。在能源安全新战略和“双碳”目标的引领下，我国的光伏发电继续保持强劲的增长势头，正逐步成为新型电力系统中的主体能源之一。在成本快速下降和补贴政策的双重作用下，用电侧小规模分散式建设的分布式光伏电站发展迅速。自 2017 年起，全国新增光伏装机由集中式电站占绝大多数转变为集中式和分布式电站并驾齐驱。据国家能源局统计，截至 2021 年底，分布式光伏累计并网容量 107.5 吉瓦，占光伏总装机容量的 35%。特别是 2021 年以来，在整县（市、区）屋顶分布式光伏开发等政策的刺激下，新增分布式光伏装机首次超过集中式光伏。特别值得注意的是，户用光伏装机出现爆发式增长，2021 年新增装机 21.5 吉瓦，占比接近分布式光伏新增装机的四分之三。在 2030 年新能源电源装机预期水平下：光伏发电与风力发电的平准化度电成本（LCOE）已经并将继续下降，在本世纪二十年代，投资光伏与风电的经济性将比投资化石能源发电更加显著，今后我国的分布式光伏装机规模将继续保持迅猛的增长势头，分布式光伏也将在科技创新的助力下与新型电力系统深度融合，为实现能源绿色低碳转型发挥越来越显著的作用。

“十三五”期间，中国储能产业进入了高速发展时期。据中关村储能产业技术联盟的统计数据，截至 2019 年 12 月底，中国已投运储能项目累计装机规模为 32.4GW（含物理储能、电化学储能、储热），同比增长 3.6%。储能对于能源体系转型的关键作用已经显现和初步验证。储能电池主要应用于电网辅助服务（调峰调频）、集中式清洁能源并网和用户侧。用户侧储能区域建筑当中普及需要解决的，一是政策性问题，由于用户侧储能的成本相对较高，激励用户侧储能发展需要一定的政策性支持和补贴。二是技术性问题，储能电池有其响应速度快，便于模块化生产的优势，但同时也具有一个缺点，其充放电次数决定了储能电池是一个消耗品，需要从提高生产工艺，优化充放电管理程序，发展储能电池回收再利用技术三个方面着手解决。三是管理性问题，用户侧储能容量的增大，将会对电网的调度带来新的变革和挑战。其中，用户侧储能的安全性是当前突出的一

个瓶颈问题。

随着分散式与集中式并行的电网发展趋势逐渐显现，微电网因具有与大电网友好互动的特性而受到业内的一致追捧，随着新一轮电改对配售电领域的开放，以及电力市场建设的成熟，并网型微电网成为市场竞争的主要目标。十三五时期，不论国有企业还是社会资本投资的微电网项目，基本上都处在“示范”阶段，一方面是微电网体现经济性需要仰仗内部关键元素成本的进一步降低，另一方面也是目前电力市场化和电价机制没有给到新业态一定的盈利空间。微电网在偏远地区则可作为大电网供电的商业替代方案，在城市地区的应用价值则侧重于提高供电可靠性。随着国家对微电网的政策支持力度不断加大，市场化条件也会日趋成熟，并网型微电网商业化应用的未来发展前景可期。

以 2015 年份党中央、国务院《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》（中发〔2015〕9 号）为起点的新一轮电力体制改革，坚持新发展理念，坚持社会主义市场经济方向，按照管住中间、放开两头的要求，以大力推动市场化交易为中心，有序放开竞争性业务和竞争性环节电价，加强政府对自然垄断环节的监管，优化电力资源配置，还原电力商品属性，拓宽社会投资渠道，改善供电服务质量，形成主要由市场决定电价的机制。有序向社会资本开放配售电业务，启动增量配电业务改革试点，被称为新电改的最大亮点。增量配电网改革使得电网企业独家经营配电业务的局面终成历史，其不可逆转的趋势在我国电力市场化体制建设中具有标志性意义。预计在“十四五”期间，国家将针对目前存在的“痛点”出台相关方案，推进增量配电改革进展。售电侧改革是新一轮电力体制改革的重点任务，也是备受业界关注的焦点和热点。电改“9 号文”及配套文件提出向社会资本开放售电业务，多途径培育售电市场竞争主体，放开准入用户的购电选择权。全国各省区陆续出台了相关政策，从市场准入、交易规模、市场结算、信用监管等多维度提出实施方案，为售电侧改革提供了重要支撑，推动售电市场主体逐步增加、市场规模逐步扩大，初步形成了市场竞争的格局。截至 2019 年 12 月 31 日，我国已建立了北京和广州两个跨省区电力交易中心和 33 个省(区、市)交易机构。售电公司促进电力回归商品属性，由供需双方市场定价的改革初心得到了初步实现。在技术解决方案日益成熟的情况下，有效引导对相应技术方案的投资、建立与转型相适应的电力价格机制、确保投资实现合理收益、保障系统安全稳定供应，将为电力行业低碳转型提供重要支撑。

中央提出 2030 碳达峰、2060 碳中和的战略目标，与其对应的就是风电光电的加速发展。有关规划已经提出从今年起每年增加风电光电装机 1~1.5 亿 kW，到 2030 年使我国的风电光电装机容量由目前的 5 亿 kW 增加到 17 亿 kW；从 2030 年起，每年新增 2 亿 kW 以上的风电光电，从而实现到 2050 年总装机容量超过 60 亿 kW。除建筑电气化以外，电动汽车的大量发展也加剧了用能结构变化，我国现有纯电动汽车 500 万辆，目前蓄势待发，今年将增加 200 万辆，并将在今后几年迅速达到每年新增 1000 万辆，到 2030 年，我国纯电动汽车的保有量将达到 5000 万辆，到 2050 年将达到 3 亿辆。发电侧新能源大规模发展，用电侧电力消费结构加快变化，导致电力生产、消费两端双向大幅波动，打破了以往通过“稳定电源出力”满足“固定用电负荷”的模式。双碳目标下，电力系统将呈现“双高”特性——高比例新能源、高比例电力电子设备接入。发电侧新能源发电具有随机性、波动性，负荷侧电气化水平提升，用电预测难度也增加，双向不确定性将加剧电力系统功率平衡压力。

光储直柔建筑将成为电网用户侧灵活性资源，高质量参与协同，能更好地保障建筑用户舒适环境需求的满足、电网的稳定运行，以及可再生能源的消纳。

二、示范项目的尝试

（一）深圳未来大厦示范项目

深圳未来大厦 R3 零碳模块，建筑面积 6259 平方米，项目于 2019 年底完工，目前已投入科研使用。未来大厦示范项目的直流负载总用电容量达到 388kW，设备类型涵盖了空调、照明、插座、安防、应急照明、充电桩及数据中心等负荷类型。光伏系统装机功率 150kWp，储能系统 70kW/140kWh，充电桩 60kW。

未来大厦在 2020 年 08 月-2021 年 08 月实测得到的单位面积能耗为 51.1 kWh/m²。对比 2019 年深圳市同类办公建筑平均能耗水平 (91.1kWh/m²) 下降 44%，综合年二氧化碳减排量达到 183.3 吨/年。

在建筑实现柔性负荷调节的基础上，未来大厦项目与南方电网科研院合作打通负荷侧资源进入电网调度业务链条，具备电网直接调控的技术条件，并在楼宇管理系统的础上，开发了建筑虚拟电厂子平台，实现建筑需求响应运行，且具备接入多栋建筑进行负荷聚集的条件和日前及紧急调度的技术条件。

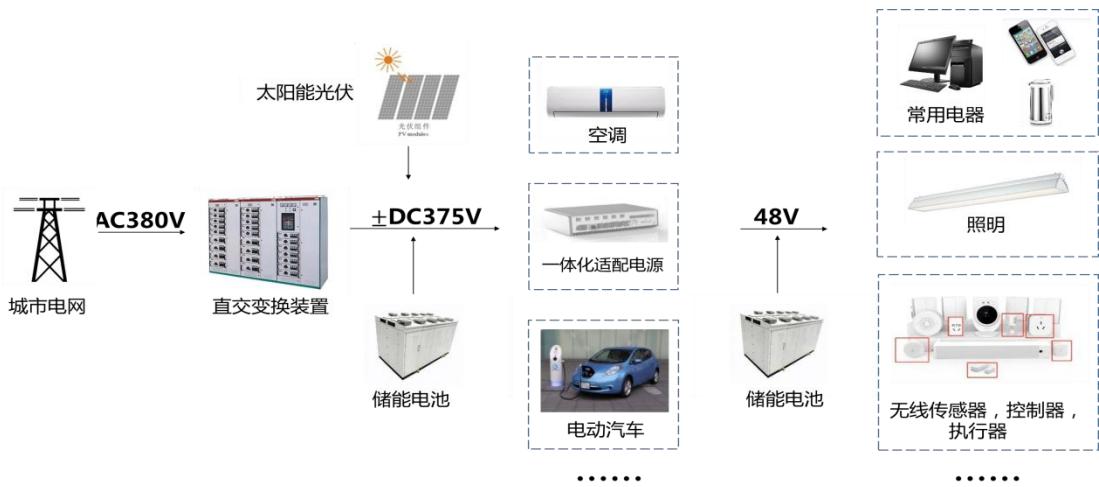


图 4-1 未来大厦光储直柔系统图

(二) 浙江湖州鲁能公馆示范项目

湖州鲁能公馆社区总建设规模约 12 万平方米，其中接入直流配电网的 8#与 16#沿街商铺总面积均为 1000 m^2 ，17#单身公寓建筑面积 2000 平方米。依托社区现有的 12 幢排屋屋顶、在碧浪 6#楼与其他建筑屋顶布置光伏。项目总直流负荷共 608kW，光伏 180kW，储能系统 600kWh，充电桩 424kW。

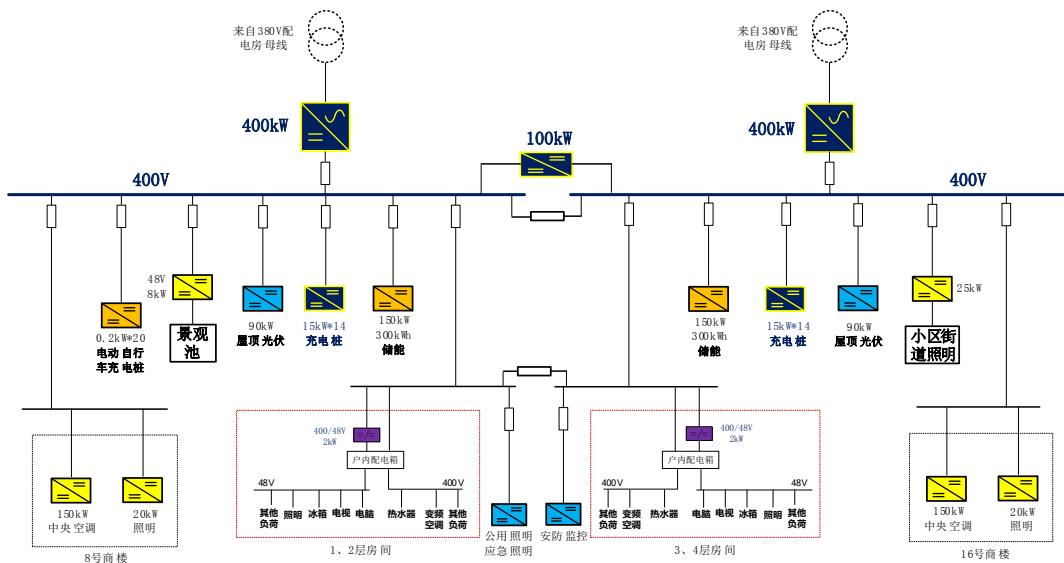


图 4-2 鲁能公馆光储直柔系统图

浙江电网湖州鲁能公馆示范项目（湖州电网公司数据）总投资金额为 1189 万元，其中光伏系统投资金额 81 万元，储能系统投资金额 210 万元，直流配电网投资金额 496 万元，直流充电桩投资金额 84 万元，直流设备投资金额 318 万元。本项目与常规交流建筑相比，增量成本约 676.8 万元。

若考虑未来电力市场可采用实时购电的交易模式，建筑可优先使用光伏系统自发用电，则“光储直柔”系统消耗的外电网电量约占总电耗的 76.6%，在此模式下，计算光储直柔相较于常规系统的经济性，由于光伏发电减少外电网耗电量而节省的电费为 17.6 万元（按居民用电）、21.3 万元（按工商业用电）。

若按照光伏发电自发自用优先的模式，则“光储直柔”系统和常规系统典型日碳排放量分别为 2748 kg CO₂ 和 3333 kg CO₂，“光储直柔”系统可减少碳排放约 585 kg CO₂。

三、城市地区光储直柔建筑的投融资模型和商业模式

（一）投融资模型

参考深圳未来大厦、浙江湖州鲁能公馆两个技术示范案例的相关工作，结合本课题组在首都体育学院结合校园节能和绿色化改造项目及北京房山区拱辰街道昊天碳中和公园搭建并投运的两个光储直柔系统的实践，可以得出如图 4-3 所示，城市地区的光储直柔建筑的投入产出和农村地区有很大的不同。

从投入来看，相比于满足基本功能的建筑物，光储直柔建筑的增量投入包括 6 个部分：分布式光伏、分布式储能、双向电动充电桩、机电设备直流化、数字能源平台、建筑同步提升改造。

从产出来看，经济价值类的有：

- ①光伏发电（kWh）的确定性产能收入；
- ②为电动车充电的（kWh）服务费收入；
- ③节能改造的运行费用（kWh）省减收入；
- ④储能和能源管理系统利用峰谷电差（kW）套利的电费省减收入；
- ⑤节省电力（kW）参与需求侧响应的奖励型经济激励收入；
- ⑥参与碳交易的收益（或有）尚不明确。

从产出来看，社会效益类的有：

- ①管理能力建设提升；
- ②社会形象价值提升；
- ③室内环境改善；
- ④有形无形资产价值增值。

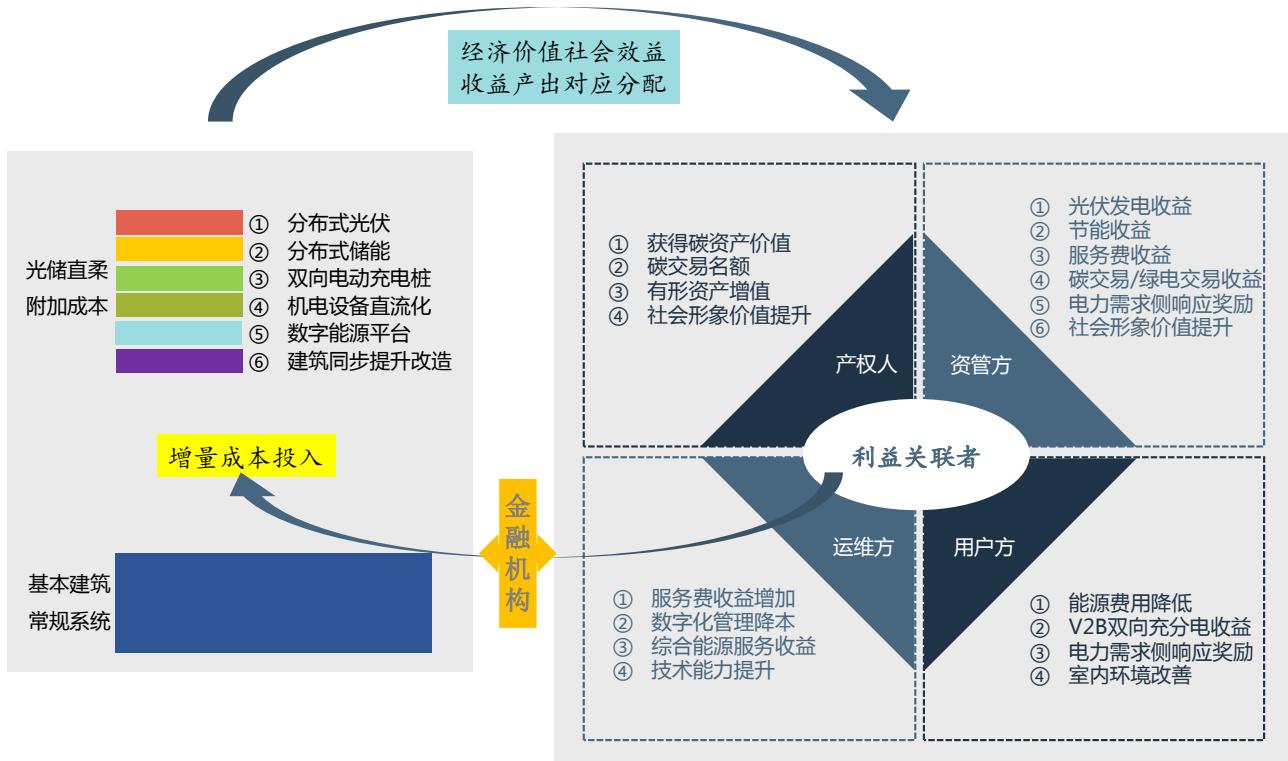


图 4-3 城市地区光储直柔建筑的投入产出图

此外，和农村地区不同，如图 4-3 所示，城市地区的光储直柔建筑利益相关者复杂得多，包括了如下四方：

- (1) 产权人——建筑的房产所有者；
- (2) 资管方——建筑的经营管理方，比如酒店管理公司，园区管委会等；
- (3) 运维方——建筑的日常运维者，比如物业公司或设备运维公司；
- (4) 用户方——建筑的使用者，比如日常生活、办公到访人员等。

上述四方，都可能是光储直柔增量成本的投资人和经济价值、社会效益的受益人，相互交织导致投融资模型复杂多变。

分布式光伏发电、储能、电动车充电桩、负荷柔性调节带来的能量型(kWh)经济收益，本着“谁投资谁收益”的原则，在当前的工商业能源价格体系下，基本可在10年之内回收投资，已具备商业投资价值。

相比于传统的交流型光伏建筑，光储直柔由于“直”和“柔”两个环节导致配电网的造价大约要提高40%—50%，但是与之对应的经济收益都是功率型(kWp)的，且存在或有性风险，在当前以能量型(kWh)为主的电价体系下，很难收回投资，这是制约光储直柔建筑技术市场化应用的瓶颈问题。

城市地区的光储直柔建筑需要纳入电力交易市场和碳交易市场，并制定一套新的交易规则。

(二) 商业模式——“区域尺度聚合、建筑+X协同”

“光储直柔”建筑技术，可协同利用各种具备调蓄能力的用户侧资源，使得需求侧可响应供需关系变化并进行实时功率调节，进而准确地通过电网接收风电光电，实现风电光电的有效消纳，对我国建设和发展以风电光电为主要电源的新型电力系统有至关重要的作用，对未来发展建设零碳的新型电力系统有重要作用，具有巨大的节能降碳效益。

我国目前煤电仍然是电力系统的主要电源。这就导致白天由于用电负荷高而供应侧不足，夜间煤电难以下调而供应侧过剩。此时，光储直柔系统就可大幅度减少自身的日间负荷，而加大夜间的用电功率。在现有的电力政策体系下，采用光储直柔系统的建筑可选择不同的模式与电力部门协调，协助解决当地电力系统的主要矛盾，并从参与调节中获取收益。

近年来，城市地区的分布式光伏发电、电动车充电、用户侧储能各自独立或相互结合，已经探索形成了以下几类可行的商业模式。

1. 光、充、储各自独立实施模式：

在经济发展水平较好的地区，工商业电价高、电动车用户保有量足、峰谷电差大的条件下，采用全额上网或自发自用、余电上网的分布式光伏电站，获得特许经营权收取充电服务费的电动车充电桩，通过峰谷电差套利的用户侧储能电站都有社会资本介入，满足内部收益率8%-12%的条件，相关案例很多，商业模式简单清晰，可操作性强。

2. “光伏+汽车充电”模式：

分布式光伏发电本着“自发自用、余电上网”原则，优先供给充电桩充电使用，多余电量上网。这种模式不仅实现了清洁能源供电，在实现自我消纳的同时，还能缓解充电桩大电流充电时对区域配电网的冲击。对于投资者而言，其商业盈利来源于充电桩充电服务费以及光伏按照标杆电价上网和供电公司结算获得的收益，这种商业模式投资回收期预计为 8-10 年。

3. 光储充一体化模式：

组合“光伏+储能+汽车充电”，在模式 2 的基础上，增设储能装置，通过能量存储和优化配置实现本地能源生产与用能负荷基本平衡。系统可实现相对独立运行，“自发自用、余电存储”，缓解了充电桩用电对配电网的冲击；在能耗方面，使用储能系统给电池充电，并利用峰谷电价，提高了能源转换效率并减少了用电成本；利用电池储能系统吸收低谷电，并在高峰期支撑快充负荷；同时以光伏发电系统进行补充，有效减少充电站高峰期的电网负荷，提高系统运行效率的同时，为电网提供辅助服务功能。这种模式的经济性，决定于储能系统的成本以及峰谷电差的大小，现阶段采用此模式的项目多为技术示范，增量成本的回收期要到 20 年左右，实现商业盈利较难。反映出功率型（kWp）省减的经济收益差的电价机制问题，有赖于未来材料成本与运维费用的降低以及电力市场的价格体系的改革、技术标准的逐步落实等。

城市“光储直柔”系统的商业模式，需要跳出上述 3 种模式反映出的组合得越多经济性越差的困局，建议采用“区域尺度聚合、建筑+X 协同”的商业模式，在电力市场和碳交易市场当中单独构建建筑领域的与功率型（kWp）省减相对应的价值体系。

“区域尺度聚合”是指要跳出单体建筑在围绕建筑本体追求能耗降低的单一模式，重点发展各类园区、校园、社区等成片区的建筑群，区域的规模达到上百万平方米，物理边界清晰、资管方或运维方的体系完善。对建筑群的冷热电采用光储直柔技术统一完善升级，规模化以后项目的非技术成本大幅下降，对应的收益有所增加，也能够合理分配。

“建筑+X 协同”是指围绕建筑的用能管理体系，把屋顶及周边区域（景观、公共绿地）的光伏资源开发、储能安全管理、电动车充电桩报装、能源数据采集

等光储直柔各环节涉及的工作纳入到现有工作体系，形成能源微网，在园区、校园、社区尺度的变压器端和输配电网协同，以一个整体参与电力交易和碳交易，实现城乡建设、电动车充电服务、新型电力系统、电力市场完善、碳交易市场建设等多方共同发展共同配合推动。

四、城市地区光储直柔建筑的关键政策机制建议

在本研究报告第二章梳理的光储直柔建筑行业发展的政策期待分析基础上，对应城市地区光储直柔“区域尺度聚合、建筑+X 协同”的商业模式，我们针对性地提出三项关键政策机制建议。

1. 用好市场之手，将光储直柔建筑作为市场主体，纳入碳交易市场，新制定与功率型（kWp）调节能力相对应的碳定价机制。

我国现有的电力现货市场在不断完善，建筑用户无法深度参与电力辅助服务市场和现货市场。首先建筑参与电网互动需经过负荷集成商、虚拟电厂、调度中心、交易中心等多个环节，实施周期长，流程复杂，只有少数试点项目直接采用聚合商计量数据，需求响应、第三方调峰辅助服务费用只与终端用户结算，负荷聚合商是市场主体地位未确定，缺乏积极性。其次，现有需求响应试点集中在大体量、集中式工业负荷上，分散但数量巨大的建筑负荷灵活调节资源在不同场景下的商业模式开发不足。第三，用户还是以能量型资源（kWh）参与电力市场，调峰辅助服务与峰谷电价机制还需协调，通过市场交易方式向提供调峰服务的光储建筑进行利益补偿，促进新能源电力全额消纳和电力平衡，还有很多需要改革的“深水区”。

短期之内，对以“电量”为主的电力交易市场进行变革，涉及的因素太多，较难推进。因此，我们建议，把改革的突破点放在筹建期和新规则制定阶段的碳交易市场，将光储直柔建筑作为市场主体，纳入碳交易市场，新制定与功率型（kWp）调节能力相对应的碳定价机制。

2. 用好政府之手，将建筑周边的电动车充电桩作为建筑能源系统的组成部分，统一规划、统一建设。

将纳入建筑运维方管理的停车场内的电动车充电桩，作为建筑的“电气设备”，使得居住或工作在建筑内的车主投资的电池，成为与建筑能源系统互动的“移动电池”，加上建筑内部署的分布式固定储能电池，建筑供冷供热系统的调蓄能力形成的“等效电池”，三块电池通过联控联调，可使得建筑用能曲线变得更加具备弹性。

当期首先需要改变的是整车及电池按照固定年份或累计行驶里程的质保政策，将累计充放电量纳入电池质保因素，打消车主参与协同运行的顾虑。其次是让电动汽车反向充电功能得以应用，要赋予电动汽车用户和电源的双重身份。鼓励电动汽车充放电参与分布式发电交易，让用户逐渐“熟悉”电力市场特性，培养用户习惯与规律性的行为。持续宣传有序充电、双向充放等的社会效益和环境效益，提升电动汽车用户的参与自豪感和荣誉感。

3. 赋能科技之手，支持一批园区、校园、社区等集成性、综合性载体，建设光储直柔能源系统，总结形成可复制可推广经验，以点带面，多领域多层次推动“零碳”发展。

充分利用城市更新、低碳试点、既有建筑节能改造、国家重点研发项目等各类已有资金政策积极支持试点建设，对符合规定的试点项目予以奖励或补贴。积极引导各级金融机构为试点项目建设提供绿色信贷、绿色债券、绿色基金等金融支持，吸引各类金融资本和社会资本参与试点项目设计、改造和运营。

第五章 光储直柔建筑发展的保障措施

与本报告第二章光储直柔建筑发展的障碍相对应，在技术示范案例项目探索过程中有益尝试，结合本课题研究提出的商业模式，本章提出加大技术研发投入、明确传达价值作用、赋能行业专业力量、政府引导试点示范四项保障措施，具体建议如下。

一、加大技术研发投入

光储直柔建筑和数字化技术有深度融合的发展空间，在数据处理、云计算、通信、传感器和人工智能方面的新技术使得建筑的运营可以更加优化，建筑能效和负荷需求的柔性也将得到进一步提高。为加速光储直柔建筑的技术落地应用和规模发展，配备先进控制功能的专用变换器、安全性保护装置、直流家电、直流水泵、风机等单项产品和设备，以及建筑能源管理系统，整栋建筑的系统集成都需要进行研发，以改善技术、互操作性和集成，以及具体的硬件改进，使其变得更易于使用、价格更低，从而充分挖掘光储直柔建筑的价值潜力并展现成本效益。

此外，需要研究测试、评估和验证的方法，使得光储直柔建筑能够成为今后需求灵活性要求越来越高的电力优质用户，参与到整个新一代电力系统的长期发展中。

二、明确传达价值作用

建筑行业已经越来越多地在采用能源管理平台等智能化技术和分布式光伏发电等新能源技术，驱动力往往是因为这些技术的能够使得建筑的管理更加便利、控制更加精准，以及提高了安全特性。光储直柔建筑技术需要给出令人信服的理由，让建筑的利益相关者主动使用，将住宅、楼宇、建筑群、园区等由传统的节能建筑提升为光储直柔建筑，成为电网当中的可提供灵活性需求的用户。

光储直柔建筑技术需要以建筑用户为中心，围绕两种提高价值主张的方式：基于价格的选择和基于激励的计划，明确传达出用户增加投资，投资者选择光储直柔建筑技术能够兑现的价值和作用。

此外，电网公司、综合能源服务公司等也能够从光储直柔建筑技术产生的价

值中获益，能够为增加新用户或者为原有客户提供更多的服务，新的商业模式要能够使得企业和股东的目标与客户的目标相互结合。此外，将光储直柔建筑技术实现的“柔性”需求资源，纳入现有的今后市政设施规划和采购，减少未来的供给侧投资成本和风险。而电力交易市场的改进和碳交易市场的设计，将为负荷聚合商类型的综合能源服务公司创造新的商业机会。

三、赋能行业专业力量

光储直柔建筑技术的由试点示范、到规模化推广，最终在城乡建设领域全面实现，最终取决于建筑业主和电力消费者是否选择采用这一具有柔性调节能力的低碳节能技术，并愿意作为灵活性用户，参与到电力需求侧管理当中。

一方面是要对终端用户即消费者的偏好、看法和为光储直柔建筑买单的动机有更深的理解，从而可以技术的升级迭代以及和项目营销提供信息。

第二方面是要有各种功能强大的专业技术软件、APP、小程序等工具，为建筑业主、运营方和技术安装人员提供所需的专业信息，给出光储直柔建筑技术对优化能源、非能源和财务的直观效益，有利于光储直柔建筑技术的立项投资和构建运营体系决策。

第三方面是需要对光储直柔建筑技术的设备安装人员和维修技术人员、现场操作人员进行技术培训，以便安装、操作和维护光伏、储能、直流设备和家电、能源管理系统等，以获得光储直柔系统的最佳运行性能。

四、政府支持加速示范

电力行业是确保社会经济繁荣发展的基础行业，同时也是助力“双碳目标”实现的关键行业。覆盖全国的智能电网和统一的电力市场是我国经济中政府监管最严格的部门之一。近年来，我国电力行业一直在推动变革，为在确保电力系统安全稳定运行的同时提升零碳排放电源和电量的占比，2021年3月，中央财经工作会议提出“深化电力体制改革，构建以新能源为主体的新型电力系统”；10月，《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》指出要“构建以新能源为主体的新型电力系统，提高电网对高比例可再生能源的消纳和调控能力”。双碳目标提出前后，与之相关的政策密集出台（详见本报告的附件《支撑材料二》），光储直柔建筑在近期和长期内纳入新型电力系统、电力

交易和碳交易市场建设面临重要的机会。

光储直柔建筑技术的用户侧负荷“柔”性管理，是提高可再生能源消纳比例和城乡建设领域脱碳目标的强力技术抓手。建议在国家、行业、地方层面，加速实施一批带商业模式设计的光储直柔建筑技术试点示范，纳入新基建、乡村振兴、城市更新等国家重点工程建设领域。

第六章 总 结

如何有效地衔接现有政策机制，同时甄别现有政策当中与光储直柔今后规模化发展存在的“错配、空隙、失当”等问题，提出与投融资模式、商业模式和产业化发展路径相匹配的政策建议，是推动光储直柔产业发展的重要工作。

课题组对 EF 能源基金会《中国“光储直柔”建筑研究项目》的五个示范工程的成本费用收益数据、采用的商业模式进行了跟踪分析，在此基础上和示范项目的利益相关者进行了深度访谈，提炼出示范工程开展过程中遇到的共性问题和障碍，形成了调研问卷，对 100 位行业参与者进行了线上调查，由此，梳理形成了发展光储直柔的困难障碍、待突破和完善的政策期待。

当前行业形成共识的，难度高的四项障碍依次为：

- (1) 缺少可以参照执行的规范；
- (2) 直流电器产业链远未成熟；
- (3) 用户看不到明显实效认可度低；
- (4) 储能安全问题。

行业从业者共同认为待突破和完善的政策可以归类为：

- 通过市场的手段利用好“价格激励机制”；
- 通过计划的手段利用好“政府约束机制”；
- 赋能科技之手扶持带商业模式的技术示范。

在农村地区，“煤改电”+“生活电气化”“农业生产电动化”+“电动车”需求叠加，成为农村能源产业当期面临的复杂问题，“光储直柔”技术面临巨大的产业发展机遇。农村“光储直柔”系统建议采用“只出不进、寓电于农”的创新模式，“只出不进”是指以整村来看，全年的用电都由村内光伏发电满足，多余电量还能够对外输出。“寓电于农”是指村民发展成为是村内能源设施的资产持有者。

对应农村地区光储直柔“只出不进、寓电于农”的商业模式，我们针对性地提出三项关键政策机制建议：

- 一是以村为单位，将全部农户屋顶、院子周边、农业设施、林地荒地具备铺设光伏的资源统一规划，采用光储直柔方式，分期分批统一建设。
- 二是加快分布式发电交易平台建设，使得投资安装光伏的农户可以“隔墙售电”。
- 三是赋能科技与金融融合之手，加速支持一批带商业模式的整村建设光储直柔能源系统的试点。

城市与农村不同，分布式光伏发电、储能、电动车充电桩、负荷柔性调节带来的能量型（kWh）经济收益，在当前的工商业能源价格体系下，已具备商业投资价值。相比于传统的交流型光伏建筑，光储直柔的由于“直”和“柔”两个环节导致配电网的造价大约要提高40%—50%，但是与之对应的经济收益都是功率型（kWp）的，且存在或有性风险，在当前以能量型（kWh）为主的电价体系下，很难收回投资，这是制约光储直柔建筑技术市场化应用的瓶颈问题。城市“光储直柔”系统的商业模式，需要跳出光储直柔各环节组合得越多经济性越差的困局，采用“区域尺度聚合、建筑+X协同”的商业模式，“区域尺度聚合”是指要跳出单体建筑在围绕建筑本体追求能耗降低的单一模式，重点发展各类园区、校园、社区等成片区的建筑群的光储直柔能源系统。“建筑+X协同”是指围绕建筑的用能管理体系，把屋顶及周边区域（景观、公共绿地）的光伏资源开发、储能安全管理、电动车充电桩报装、能源数据采集等光储直柔各环节涉及的工作纳入到现有工作体系，形成能源微网整体参与电力交易和碳交易。

对应城市地区光储直柔“区域尺度聚合、建筑+X协同”的商业模式，我们针对性地提出三项关键政策机制建议：

- 一是将光储直柔建筑作为市场主体，纳入碳交易市场，新制定与功率型（kWp）调节能力相对应的碳定价机制。
- 二是将建筑周边的电动车充电桩作为建筑能源系统的组成部分，统一规划、统一建设。
- 三是支持一批园区、校园、社区等集成性、综合性载体，建设光储直柔能源系统，以点带面，多领域多层次推动“零碳”发展。

为全面推动光储直柔建筑的规模化发展，需要商业模式创新、政策机制突破，同时还需相应的保障措施。

- ◆ 一是要加大研发投入，资助配备先进控制功能的专用变换器、安全性保护装置、直流家电、直流水泵、风机等单项产品和设备，以及建筑能源管理系统，整栋建筑的系统集成的新技术新产品开发。
- ◆ 二是要明确传达价值作用，光储直柔建筑技术需要以建筑用户为中心，围绕两种提高价值主张的方式：基于价格的选择和基于激励的计划，明确传达出用户增加投资，投资者选择光储直柔建筑技术能够兑现的价值和作用。
- ◆ 三是要赋能行业专业力量，一方面是要对终端用户即消费者的偏好、看法和为光储直柔建筑买单的动机有更深的理解，第二方面是要有各种功能强大的专业技术工具，给出光储直柔建筑的直观效益，有利于光储直柔建筑技术的立项投资和构建运营体系决策。第三方面是需要对光储直柔建筑技术的设备安装人员和维修技术人员、现场操作人员进行技术培训。
- ◆ 四是要政府引导试点示范，建议在国家、行业、地方层面，加速实施一批带商业模式设计的光储直柔建筑技术试点示范，纳入新基建、乡村振兴、城市更新等国家重点工程建设领域。

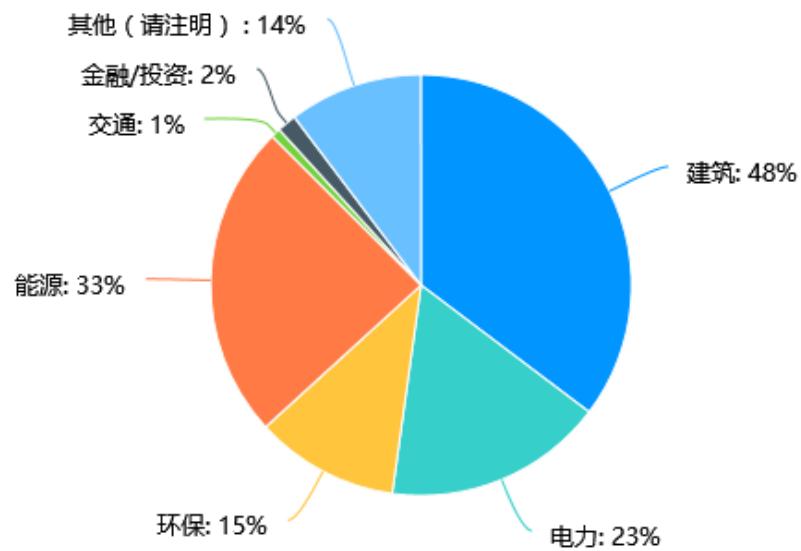
附 件

支撑材料一、行业人士线上定向调查问卷整理

“中国光储直柔建筑发展的关键政策机制研究”调查问卷

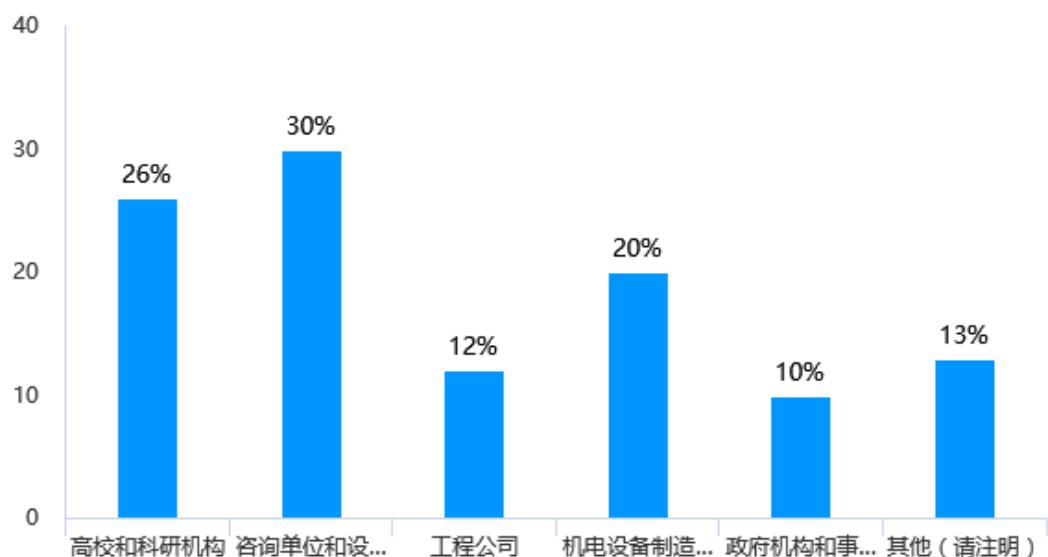
第1题 您目前所在的行业: [多选题]

选项	小计	比例
建筑	48	48%
电力	23	23%
环保	15	15%
能源	33	33%
交通	1	1%
金融/投资	2	2%
其他（请注明）	14	14%
本题有效填写人次	100	



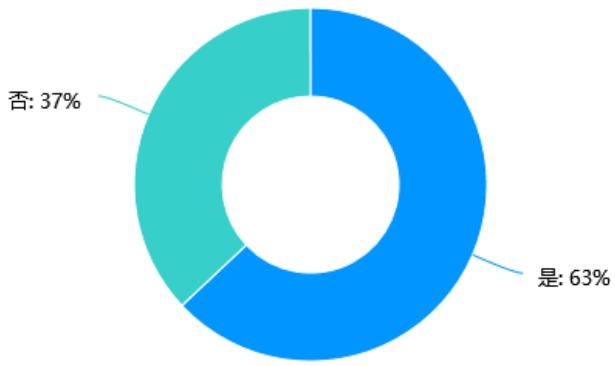
第 2 题 您所在单位的性质： [多选题]

选项	小计	比例
高校和科研机构	26	26%
咨询单位和设计公司	30	30%
工程公司	12	12%
机电设备制造企业	20	20%
政府机构和事业单位	10	10%
其他（请注明）	13	13%
本题有效填写人次	100	



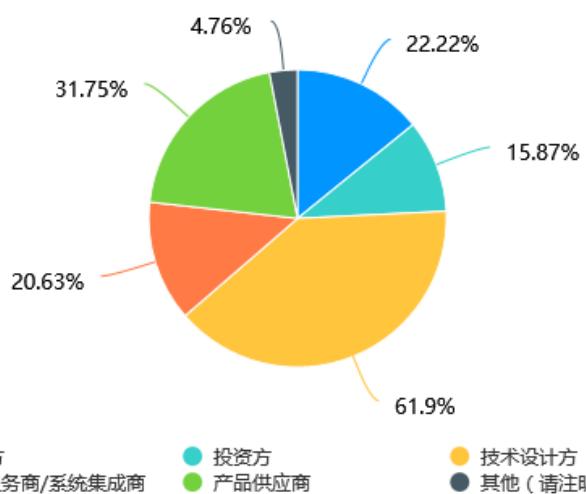
第 3 题 您所在单位是否参与过光储直柔项目？ [单选题]

选项	小计	比例
是	63	63%
否	37	37%
本题有效填写人次	100	



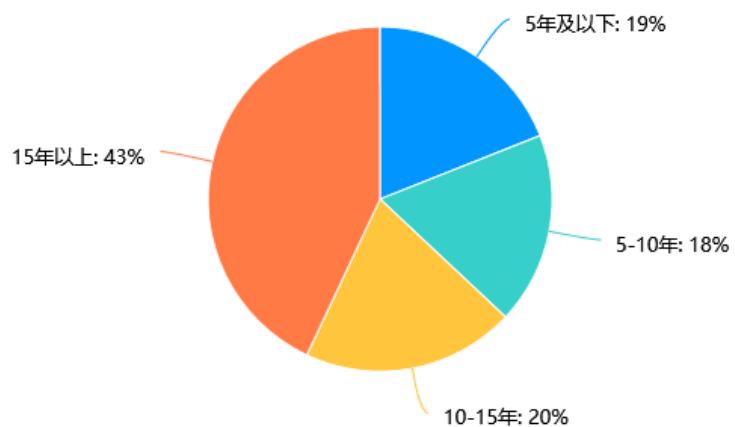
第4题 您所在单位在参与过的光储直柔项目中的角色: [多选题]

选项	小计	比例
业主方	14	22.22%
投资方	10	15.87%
技术设计方	39	61.9%
EPC 服务商/系统集成商	13	20.63%
产品供应商	20	31.75%
其他（请注明）	3	4.76%
本题有效填写人次	63	



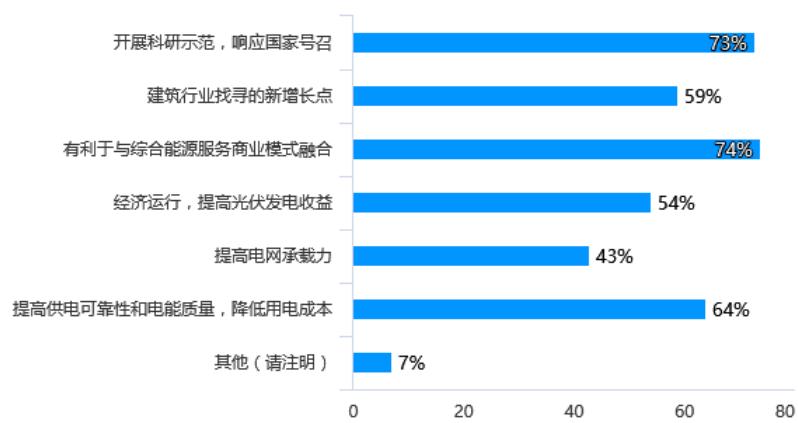
第 5 题 您从事相关工作的年限: [单选题]

选项	小计	比例
5 年及以下	19	19%
5-10 年	18	18%
10-15 年	20	20%
15 年以上	43	43%
本题有效填写人次	100	



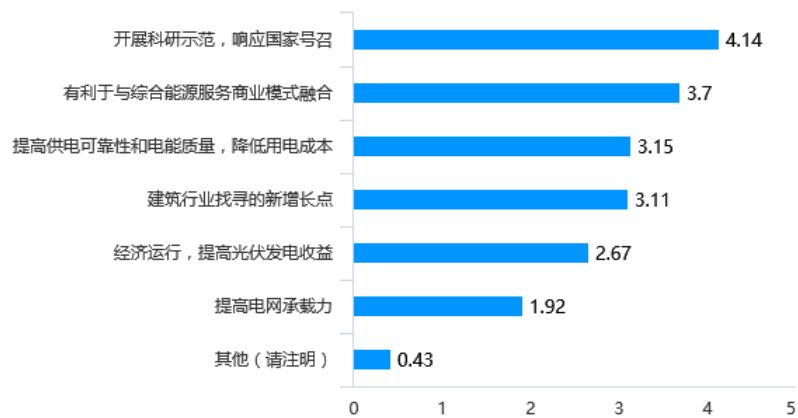
第 6 题 您觉得当前行业相关各方关注和参与光储直柔项目的驱动力是什么? [多选题]

选项	小计	比例
开展科研示范, 响应国家号召	73	73%
建筑行业找寻的新增长点	59	59%
有利于与综合能源服务商业模式融合	74	74%
经济运行, 提高光伏发电收益	54	54%
提高电网承载力	43	43%
提高供电可靠性和电能质量, 降低用电成本	64	64%
其他 (请注明)	7	7%
本题有效填写人次	100	



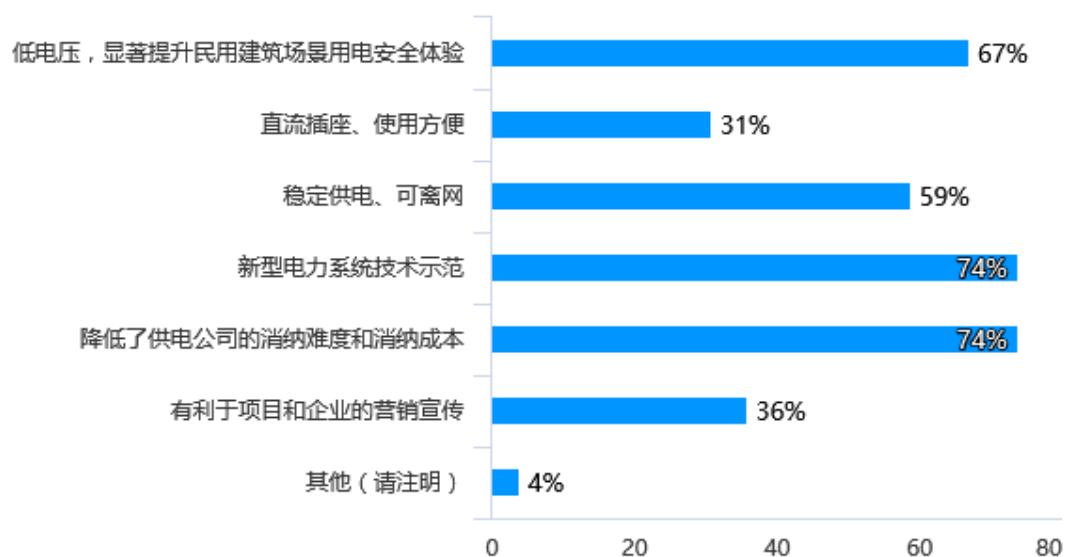
第 7 题 请您为第 6 题的选中项排序： [\[排序题\]](#)

选项	平均综合得分
开展科研示范，响应国家号召	4.14
有利于与综合能源服务商业模式融合	3.7
提高供电可靠性和电能质量，降低用电成本	3.15
建筑行业找寻的新增长点	3.11
经济运行，提高光伏发电收益	2.67
提高电网承载力	1.92
其他 (请注明)	0.43



第 8 题 您认为采用光储直柔技术，还会为项目带来哪些“额外”的价值？ [多选题]

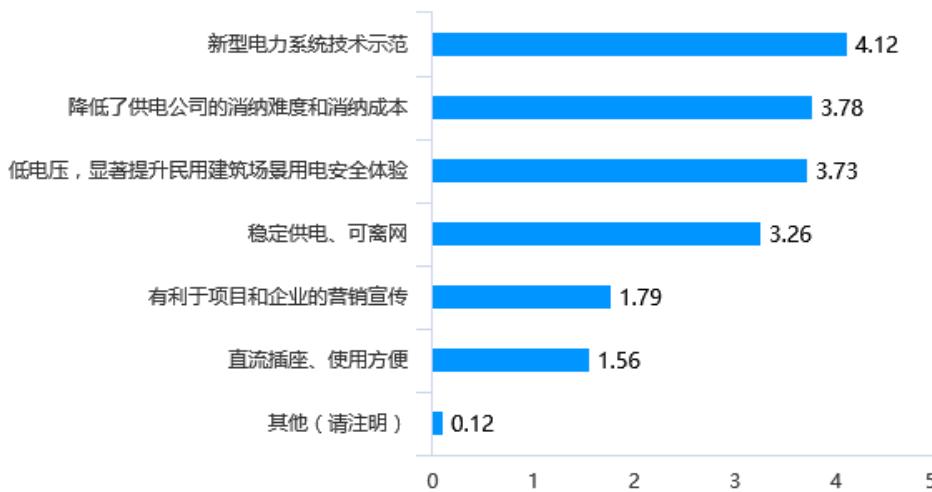
选项	小计	比例
低电压，显著提升民用建筑场景用电安全体验	67	67%
直流插座、使用方便	31	31%
稳定供电、可离网	59	59%
新型电力系统技术示范	74	74%
降低了供电公司的消纳难度和消纳成本	74	74%
有利于项目和企业的营销宣传	36	36%
其他（请注明）	4	4%
本题有效填写人次	100	



第 9 题 请您为第 8 题的选中项排序： [排序题]

选项	平均综合得分
新型电力系统技术示范	4.12
降低了供电公司的消纳难度和消纳成本	3.78
低电压，显著提升民用建筑场景用电安全体验	3.73

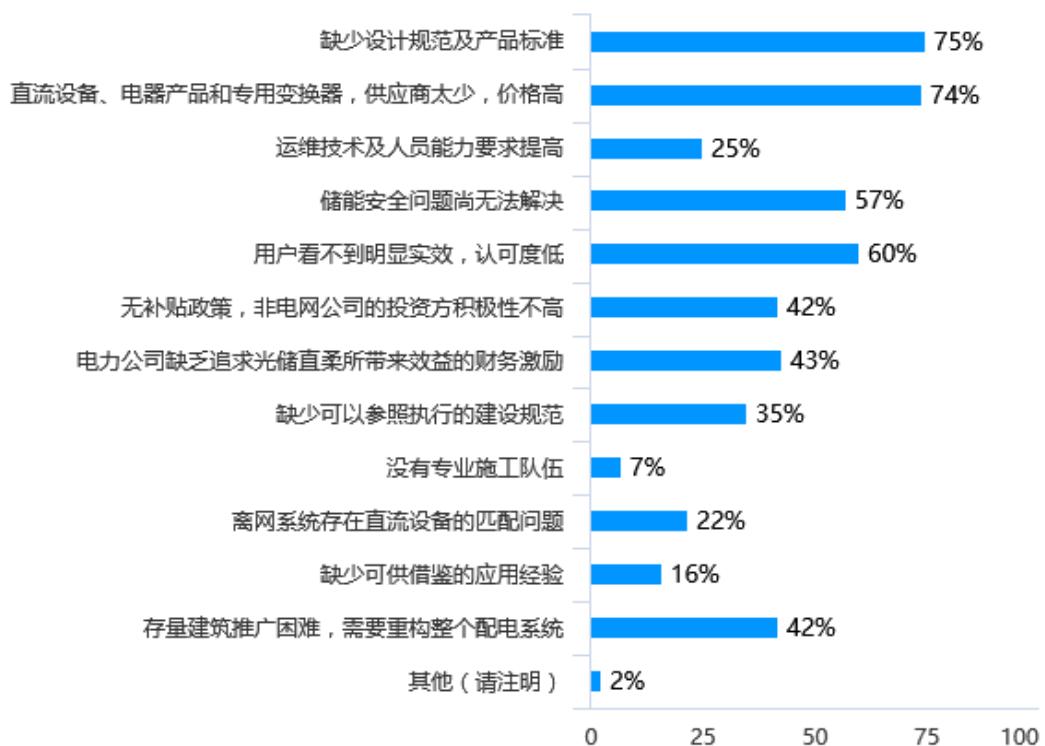
稳定供电、可离网	3.26
有利于项目和企业的营销宣传	1.79
直流插座、使用方便	1.56
其他（请注明）	0.12



第 10 题 您了解的光储直柔项目在推进过程中可能会或已经遇到的前五项最大障碍是什么？
[\[多选题\]](#)

选项	小计	比例
缺少设计规范及产品标准	75	75%
直流设备、电器产品和专用变换器，供应商太少，价格高	74	74%
运维技术及人员能力要求提高	25	25%
储能安全问题尚无法解决	57	57%
用户看不到明显实效，认可度低	60	60%
无补贴政策，非电网公司的投资方积极性不高	42	42%
电力公司缺乏追求光储直柔所带来的效益的财务激励	43	43%
缺少可以参照执行的建设规范	35	35%
没有专业施工队伍	7	7%

离网系统存在直流设备的匹配问题	22	<div style="width: 22%;"></div> 22%
缺少可供借鉴的应用经验	16	<div style="width: 16%;"></div> 16%
存量建筑推广困难，需要重构整个配电系统	42	<div style="width: 42%;"></div> 42%
其他（请注明）	2	<div style="width: 2%;"></div> 2%
本题有效填写人次	100	



第 11 题 请您为第 10 题的选中项排序： [\[排序题\]](#)

选项	平均综合得分
缺少设计规范及产品标准	8.57
直流设备、电器产品和专用变换器，供应商太少，价格高	7.81
用户看不到明显实效，认可度低	6.22
储能安全问题尚无法解决	5.84
存量建筑推广困难，需要重构整个配电系统	4.68

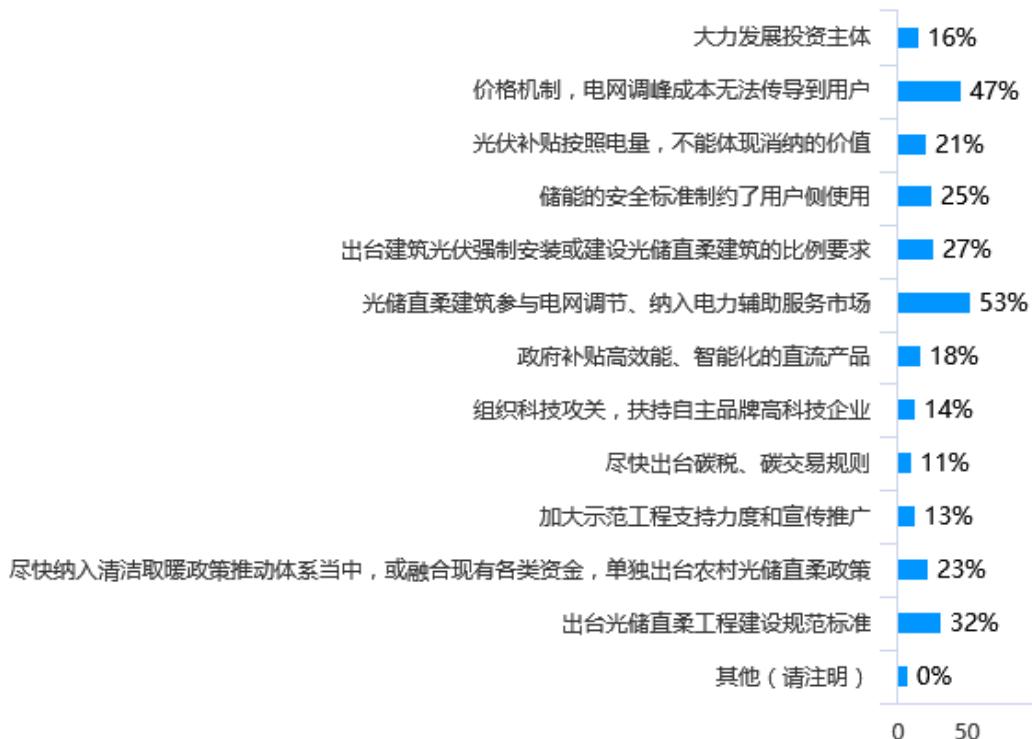
电力公司缺乏追求光储直柔所带来的财务激励	4.35
无补贴政策，非电网公司的投资方积极性不高	4.33
缺少可以参照执行的建设规范	3.34
运维技术及人员能力要求提高	2.53
离网系统存在直流设备的匹配问题	1.73
缺少可供借鉴的应用经验	1.43
没有专业施工队伍	0.45
其他（请注明）	0.26



第 12 题 您觉得在政策制定、模式机制上，最重要的前三项待突破的是什么？ [多选题]

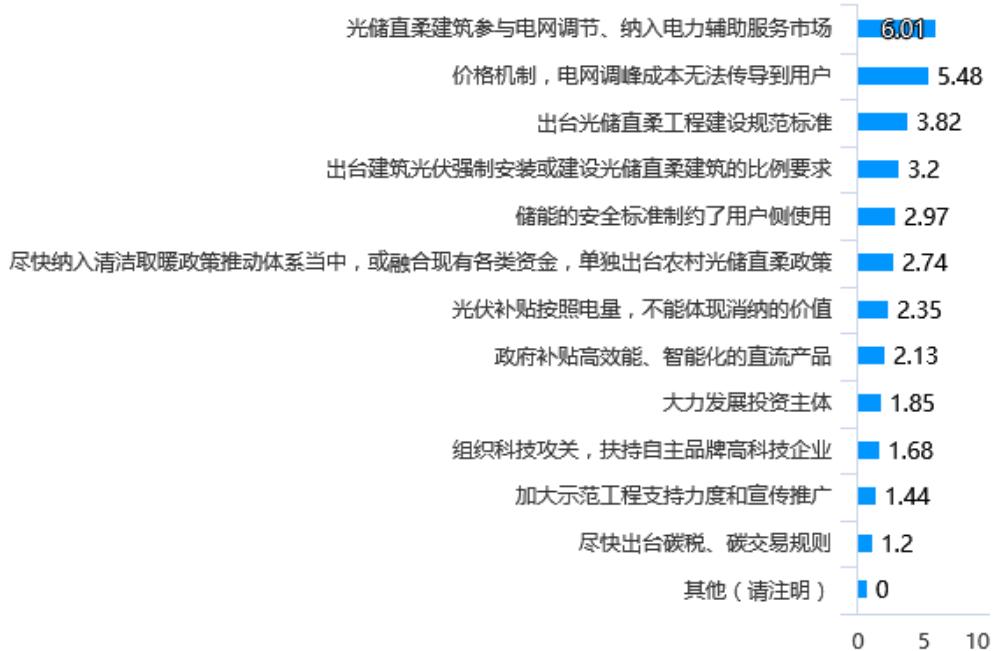
选项	小计	比例
大力发展投资主体	16	16%
价格机制，电网调峰成本无法传导到用户	47	47%

光伏补贴按照电量，不能体现消纳的价值	21	<div style="width: 21%;"></div>	21%
储能的安全标准制约了用户侧使用	25	<div style="width: 25%;"></div>	25%
出台建筑光伏强制安装或建设光储直柔建筑的比例要求	27	<div style="width: 27%;"></div>	27%
光储直柔建筑参与电网调节、纳入电力辅助服务市场	53	<div style="width: 53%;"></div>	53%
政府补贴高效能、智能化的直流产品	18	<div style="width: 18%;"></div>	18%
组织科技攻关，扶持自主品牌高科技企业	14	<div style="width: 14%;"></div>	14%
尽快出台碳税、碳交易规则	11	<div style="width: 11%;"></div>	11%
加大示范工程支持力度和宣传推广	13	<div style="width: 13%;"></div>	13%
尽快纳入清洁取暖政策推动体系当中，或融合现有各类资金，单独出台农村光储直柔政策	23	<div style="width: 23%;"></div>	23%
出台光储直柔工程建设规范标准	32	<div style="width: 32%;"></div>	32%
其他（请注明）	0	<div style="width: 0%;"></div>	0%
本题有效填写人次	100		



第 13 题 请您为第 12 题的选中项排序： [排序题]

选项	平均综合得分
光储直柔建筑参与电网调节、纳入电力辅助服务市场	6.01
价格机制，电网调峰成本无法传导到用户	5.48
出台光储直柔工程建设规范标准	3.82
出台建筑光伏强制安装或建设光储直柔建筑的比例要求	3.2
储能的安全标准制约了用户侧使用	2.97
尽快纳入清洁取暖政策推动体系当中，或融合现有各类资金，单独出台农村光储直柔政策	2.74
光伏补贴按照电量，不能体现消纳的价值	2.35
政府补贴高效能、智能化的直流产品	2.13
大力发展投资主体	1.85
组织科技攻关，扶持自主品牌高科技企业	1.68
加大示范工程支持力度和宣传推广	1.44
尽快出台碳税、碳交易规则	1.2
其他（请注明）	0



支撑材料二、与光储直柔相关的法规政策文件汇总

成文日期	发布部门	政策名称	重点内容解读	政策性质
2022/05/25	财政部	关于印发《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》的通知(财资环〔2022〕53号)	支持构建清洁低碳安全高效的能源体系。有序减量替代，推进煤炭消费转型升级。优化清洁能源支持政策，大力支持可再生能源高比例应用，推动构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统。	规划类
2022/05/14	国务院办公厅	国务院办公厅转发国家发展改革委国家能源局关于促进新时代新能源高质量发展实施方案的通知(国办函〔2022〕39号)	在具备条件的工业企业、工业园区，加快发展分布式光伏、分散式风电等新能源项目，支持工业绿色微电网和源网荷储一体化项目建设，推进多能互补高效利用，开展新能源电力直供电试点，提高终端用能的新能源电力比重。	支持类
2022/04/16	国家发改委	中华人民共和国国家发展和改革委员会令第50号	《电力可靠性管理办法（暂行）》自2022年6月1日起施行。 积极稳妥推动发电侧、电网侧和用户侧储能建设，合理确定建设规模，加强安全管理，推进源网荷储一体化和多能互补。建立新型储能建设需求发布机制，充分考虑系统各类灵活性调节资源的性能，允许各类储能设施参与系统运行，增强电力系统的综合调节能力。	支持类
2022/03/17	国家能源局	关于印发《2022年能源工作指导意见》的通知(国能发规划〔2022〕31号)	鼓励用户投资建设以消纳新能源为主的智能微电网。统筹兼顾和综合利用源网荷储各类主体的调节能力，规划建设一批源网荷储一体化和多能互补项目。	规划类
2022/03/01	住建部	关于印发“十四五”建筑节能与绿色发展建筑发展规划的通知(建标〔2022〕24号)	鼓励建设以“光储直柔”为特征的新型建筑电力系统，发展柔性用电建筑。 “十四五”期间积极开展新型建筑电力系统建设试点，逐步完善相关政策、技术、标准，以及产业生态。	规划类
2022/03/01	住建部	关于印发“十四五”住房和城乡建设科技发展规划的通知(建标〔2022〕23号)	研究基于建筑用户负荷精准预测与多能互补的区域建筑能效提升技术，开展高效智能光伏建筑一体化利用“光储直柔”新型建筑电力系统建设、建筑-城市-电网能源交互技术研究与应用，发展城市风电、地热、低品位余热等清洁能源建筑高效利用技术。	规划类
2022/01/30	国家发改委 / 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(发改能源〔2022〕206号)	拓宽电力需求响应实施范围，通过多种方式挖掘需求侧资源并组织其参与需求响应，支持用户侧储能、电动汽车充电设施、分布式发电等用户侧可调节资源，以及负荷聚合商、虚拟电厂运营商、综合能源服务商等参与电力市场交易和系统运行调节。	支持类
2022/01/29	国家发改委 / 国家能源局	关于印发《“十四五”现代能源体系规划》的通知(发改能源〔2022〕210号)	积极推动工业园区、经济开发区等屋顶光伏开发利用，推广光伏发电与建筑一体化应用。 积极支持用户侧储能多元化发展，提高用户供电可靠性，鼓励电动汽车、不间断电源等用户侧储能参与系统调峰调频。	规划类

成文日期	发布部门	政策名称	重点内容解读	政策性质
2022/01/29	国家发改委 / 国家能源局	关于印发《“十四五”新型储能发展实施方案》的通知(发改能源〔2022〕209号)	支撑分布式供能系统建设。围绕大数据中心、5G基站、工业园区、公路服务区等终端用户，以及具备条件的农村用户，依托分布式新能源、微电网、增量配网等配置新型储能，探索电动汽车在分布式供能系统中应用，提高用能质量，降低用能成本。	支持类
2022/01/18	国家发改委等7部门	关于印发《促进绿色消费实施方案》的通知(发改就业〔2022〕107号)	持续推动智能光伏创新发展，大力推广建筑光伏应用，加快提升居民绿色电力消费占比。 持续推进农村地区清洁取暖，提升农村用能电气化水平，加快生物质能、太阳能等可再生能源在农村生活中的应用。	支持类
2021/12/31	工信部/住建部/交通运输部/农业农村部/国家能源局	关于印发《智能光伏产业创新发展战略行动计划(2021-2025年)》的通知(工信部联电子〔2021〕226号)	在有条件的城镇和农村地区，统筹推进居民屋面智能光伏系统，鼓励新建政府投资公益性建筑推广太阳能屋顶系统。开展以智能光伏系统为核心，以储能、建筑电力需求响应等新技术为载体的区域级光伏分布式应用示范。提高建筑智能光伏应用水平。积极开展光伏发电、储能、直流配电、柔性用电于一体的“光储直柔”建筑建设示范。	规划类
2021/12/29	国家能源局/农业农村部/国家乡村振兴局	关于印发《加快农村能源转型发展助力乡村振兴的实施意见》的通知(国能发规划〔2021〕66号)	推动千村万户电力自发自用。支持具备资源条件的地区，特别是乡村振兴重点帮扶县，以县域为单元，采取“公司+村镇+农户”等模式，利用农户闲置土地和农房屋顶，建设分布式风电和光伏发电，配置一定比例储能，自发自用，就地消纳，余电上网，农户获取稳定的租金或电费收益。 支持村集体以公共建筑屋顶、闲置集体土地等入股，参与项目开发，增加村集体收入。鼓励发展绿色低碳新模式新业态。在县域工业园区、农业产业园区、大型公共建筑等探索建设多能互补、源荷互动的综合能源系统，提高园区能源综合利用率。 采用合同能源管理运营模式，引导企业、社会资本、村集体等多方参与，建设新能源高效利用的微能网，为用户提供电热冷气等综合能源服务。完善配套政策机制，推动增量配电企业发展综合能源服务，创新发展新能源直供电、隔墙售电等模式。	支持类
2021/12/21	国家能源局	关于印发《电力辅助服务管理办法》的通知(国能发监管规〔2021〕61号)	鼓励新型储能、可调节负荷等并网主体参与电力辅助服务。	支持类
2021/12/21	国家能源局	关于印发《电力并网运行管理规定》的通知(国能发监管规〔2021〕60号)	为做好碳达峰、碳中和工作，构建新型电力系统，促进源网荷储协调发展，《规定》重点对包括新能源在内的发电侧并网主体、新型储能、用户可调节负荷等并网管理内容进行了修订完善。	支持类
2021/12/08	国家能源局	关于印发《电力安全生产“十四五”行动计划》的通知(国能发安全〔2021〕62号)	提升电网灵活安全调节能力，推动应急备用和调峰电源建设，推动建立健全可调负荷资源参与辅助服务市场机制，推动各类储能安全发展，为新能源发展提供安全保障。 提出适应高比例新能源和高比例电力电子装备接入、源网荷储灵活互动的系统安全稳定控制技术。	支持类

成文日期	发布部门	政策名称	重点内容解读	政策性质
2021/11/29	国家能源局 / 科技部	关于印发《“十四五”能源领域科技创新规划》的通知（国能发科技〔2021〕58号）	多元用户友好智能供需互动技术。[示范试验]开展多元用户行为辨识与可调节潜力分析、广泛接入与边缘智能控制、灵活资源深度耦合与实时调节、即插即用直流供电、数字孪生支撑源网荷储协同互动等技术，研制基于5G和边缘计算的可调负荷互动响应终端，研发融合互联网技术的可调负荷互动系统，建立多元可调负荷与智能电网良性互动机制，开展电动汽车有序充放电控制、集群优化及安全防护技术研究，开展分布式光伏、可调可控负荷互动技术研究，开展省级大规模可调资源聚合调控、台区用能优化示范验证，促进清洁能源消纳和削峰填谷。	规划类
2021/10/21	国家发改委 / 国家能源局 / 财政部 / 自然资源部 / 生态环境部 / 住建部 / 农业农村部 / 中国气象局 / 国家林业和草原局	关于印发“十四五”可再生能源发展规划的通知（发改能源〔2021〕1445号）	大力推动光伏发电多场景融合开发。全面推进分布式光伏开发，重点推进工业园区、经济开发区、公共建筑等屋顶光伏开发利用行动，在新建厂房和公共建筑积极推进光伏建筑一体化开发，实施“千家万户沐光行动”，规范有序推进整县（区）屋顶分布式光伏开发，建设光伏新村。	规划类
2021/10/24	国务院	关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知（国发〔2021〕23号）	提高建筑终端电气化水平，建设集光伏发电、储能、直流配电、柔性用电于一体的“光储直柔”建筑。	规划类
2021/10/21	中共中央办公厅 / 国务院办公厅	《关于推动城乡建设绿色发展的意见》	大力推动可再生能源应用，鼓励智能光伏与绿色建筑融合创新发展。	支持类
2021/09/22	中共中央 / 国务院	关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作意见	深化可再生能源建筑应用，加快推动建筑用能电气化和低碳化。开展建筑屋顶光伏行动，大幅提高建筑采暖、生活热水、炊事等电气化普及率。	支持类
2021/07/15	国家发改委 / 国家能源局	关于加快推动新型储能发展的指导意见（发改能源规〔2021〕1051号）	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。	支持类
2021/07/01	国家发改委	关于印发“十四五”循环经济发展规划的通知（发改环资〔2021〕969号）	制定各地区循环化发展园区清单，按照“一园一策”原则逐个制定循环化改造方案。组织园区企业实施清洁生产改造。积极利用余热余压资源，推行热电联产、分布式能源及光伏储能一体化系统应用，推动能源梯级利用。	支持类
2021/06/20	国家能源局综合司	关于公布整县（市、区）屋顶分布式光伏开发建设试点名单的通知（国能综通新能〔2021〕84号）	各省（自治区、直辖市）及新疆生产建设兵团共报送试点县（市、区）676个，全部列为整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点。 2023年底前，试点地区各类屋顶安装光伏发电的比例均达到《通知》要求的，列为整县（市、区）屋顶分布式光伏开发示范县。	支持类

成文日期	发布部门	政策名称	重点内容解读	政策性质
2021/05/25	住建部等15部门	关于加强县城绿色低碳建设的意见 (建村〔2021〕45号)	通过提升新建厂房、公共建筑等屋顶光伏比例和实施光伏建筑一体化开发等方式，降低传统化石能源在建筑用能中的比例。 构建县城绿色低碳能源体系，推广分散式风电、分布式光伏、智能光伏等清洁能源应用，提高生产生活用能清洁化水平，推广综合智慧能源服务，加强配电网、储能、电动汽车充电桩等能源基础设施建设。	支持类
2021/02/02	国务院	关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见(国发〔2021〕4号)	坚持节能优先，完善能源消费总量和强度双控制度。提升可再生能源利用比例，大力推动风电、光伏发电发展，因地制宜发展水能、地热能、海洋能、氢能、生物质能、光热发电。	支持类
2020/10/20	国务院办公厅	关于印发新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)的通知(国办发〔2020〕39号)	推动新能源汽车与气象、可再生能源电力预测预报系统信息共享与融合，统筹新能源汽车能源利用与风力发电、光伏发电协同调度，提升可再生能源应用比例。鼓励“光储充放”(分布式光伏发电—储能系统—充放电)多功能综合一体站建设。	规划类