

第五届全国大学生能源经济 学术创意大赛

作品标题：杭州市光伏发电推广模式研究

参赛学校：浙江工业大学

指导教师：蒋惠琴

小组成员：王雷、施苏晨、彭楚楚

2019 年 5 月

摘要

近年来，为到达优化能源结构、减少环境污染的目的，我国着力推动光伏发电项目的建设，出台了许多政策，鼓励、支持光伏产业的发展。经过数年的推广，杭州市的分布式光伏应用项目数量位居全国前列，且具有类型广泛、应用形式多样等特点。本调研从推广模式的角度出发，运用期望价值理论对光伏项目建设过程中政府、电网、光伏企业和用户等各主体的价值需求进行分析，通过文献分析、问卷调查等方法，探索当前杭州市光伏发电技术和产品在推广过程中遇到的障碍及其原因，运用层次分析法对影响光伏产品推广的各项因素进行定量分析并得到重要性排序，根据重要影响因素优化推广模式，寻求一种更适合杭州实际情况的推广模式，使用户能灵活地根据自身经济条件选择在光伏项目中的投资比例，扩大光伏产品用户群体。同时针对光伏发电涉及的多个主体提出具体可行的优化措施，通过政府、电网、光伏企业和用户多方的共同努力，优化光伏产品的生产研发、推广销售、安装使用过程，形成对光伏项目的有序管理和高效利用，最终在全市范围内普及高质量高效率的光伏产品，达到优化能源结构、保护生态环境的目标。

关键词：推广模式；期望价值；层次分析法；多元主体；投资一回报模式

目录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.1.3 研究目标与方法.....	2
1.1.4 研究框架.....	3
1.2 国内外研究现状评述.....	4
1.2.1 光伏发电政策研究.....	5
1.2.2 光伏发电成本与效益研究.....	6
1.2.3 光伏发电推广与模式研究.....	8
1.2.4 相关研究综述.....	9
第二章 理论基础:期望价值理论.....	10
2.1 期望价值理论.....	10
2.2 各主体的期望价值分析.....	11
2.2.1 政府.....	11
2.2.2 电网.....	12
2.2.3 光伏公司.....	12
2.2.4 用户.....	12
第三章 杭州市光伏发电现状.....	14
3.1 光伏产品使用现状.....	14
3.1.1 2018 年全市光伏市场概况.....	14
3.1.2 2018 年杭州市非户用分布式光伏应用概况.....	14
3.1.3 2018 年杭州市户用分布式光伏应用概况.....	16
3.2 光伏产品推广模式及困境.....	17
3.2.1 杭州市光伏产品推广模式.....	17
3.2.2 杭州市光伏产品推广困境.....	18
3.3 实证调查.....	20
3.3.1 公众认知程度.....	20
3.3.2 推广使用情况.....	21
3.3.3 未来发展趋势.....	23

第四章 基于层次分析法的影响因素分析.....	24
4.1 指标的选择.....	24
4.2 建立层次分析法模型.....	25
4.3 模型求解及检验.....	26
4.3.1 构造判断矩阵.....	26
4.3.2 判断矩阵求解.....	27
4.3.3 模型结果合理性检验.....	28
4.4 推广模式影响因素分析.....	31
第五章 杭州市光伏发电推广模式优化路径.....	33
5.1 推广模式优化.....	33
5.2 各主体优化措施.....	36
5.2.1 政府.....	36
5.2.2 电网.....	37
5.2.3 光伏企业.....	37
5.2.4 用户.....	38
参考文献.....	39
附录.....	43
附录 1.....	43
附录 2.....	48

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

在全球范围内，火力发电仍是当前最主要的发电形式，但煤炭、石油、天然气等化石燃料的燃烧不仅带来了能源危机，还造成了环境污染。为了缓解能源危机和环境污染问题，各国开始大力发展可再生能源，光伏发电因其安全、无污染、不受场地限制等优点而备受青睐。中国自 1980 年以后，开始加大对太阳能发电的支持。2002 年国家能源局发布“送电到乡工程”，揭开了分布式光伏发电的序幕。2009 年起对太阳能光电建筑实施补贴，太阳能屋顶计划开始实施，光伏市场开始“破冰”并逐步发展。2012 年-2014 年，为抵御美欧“双反”政策，国家出台五十多项相关政策来解决光伏审批、补贴难的问题。2015 年前后，出台对太阳能光伏产品、市场等方面的相关规范及标准，推进太阳能光伏行业向规范化的方向发展。2017 年开始对分布式光伏进行补贴，分布式光伏迅速发展。2018 年“531 新政”出台，光伏行业又进入“低谷期”，但希望犹存。

这些年来，在中国政府的支持与推动下，我国的光伏发电产业进入一个快速发展的时期，光伏发电前景较好，但光伏产业的发展在政策落实、补贴水平以及推广度和应用程度等方面仍存在问题。杭州作为浙江省的政治、经济、文化、教育、交通和金融中心，境内有多家发展良好的光伏企业，在光伏产品的设计研发方面具有较大的优势。杭州市面积 1.6596 万平方公里，楼房屋顶和荒山杂坡等资源丰富，在光伏产品的应用空间方面具有较大的优势。合理利用这些优势，推广光伏产品的普及，可以有效地为杭州市提供大量清洁能源，缓解电力资源紧张和环境保护乏力的问题。

1.1.2 研究意义

本研究在国内外相关研究的基础上，结合杭州市光伏发电的发展情况及光伏发电产品在杭州地区推广过程中存在的问题以及原因，为杭州选择合适的推广模式并提出相应的改进建议。首先合适的推广模式能改变当前社会对光伏发电产品了解度和认可度低的情况，提高社会公众对光伏产品的接受度和支持度，增加光伏产品在杭州地区的用户数量，扩大其应用范围。其次，光伏产品的广泛使用能够缓解化石能源的紧张，改善大气污染，也符合十九大发展清洁能源推进绿色发展的精神。最后，积极推广光伏发电能够带动整个光伏产业的发展，促进光伏相关企业（包括研发生产光伏产品的企业、推广光伏产品的企业和集研发生产推广光伏产品为一体的企业）的良性竞争、增强科研水平和增加衍生行业的就业岗位。

1.1.3 研究目标与方法

本研究通过文献研究法和问卷调查法，了解国内外光伏产业推广模式以及发展的现状和我国政府关于光伏产业的相关政策，收集到杭州市内光伏产品的推广、使用现状，用户及潜在用户群体对光伏产品的了解、接受程度以及他们对光伏产业发展的一些期望。通过分析研究发现国内外对光伏发电推广模式研究比较匮乏，国内对杭州的现行主流光伏推广模式也缺乏具体的研究分析。调研者希望通过此次研究对国内外光伏推广模式做出一点理论补充，提出优化的光伏推广模式，对其他地区光伏推广提供经验借鉴。

目前的光伏推广模式尚不能完全发挥光伏及其相关产业的活力，光伏的研发制造、推广销售、设计安装以及维修养护等产业链未能充分激活。本文在分析杭州市光伏产业推广现状的同时分析其推广模式，运用层次分析法分析影响光伏发电推广普及的多方面因素，计算各项指标的权重值，得出各影响因素的重要程度排序，总结当前杭州市光伏发电推广存在的不足，并根据各影响因素的权重比较排序，将重要影响因素作为优化推广模式重点。同时结合对政府、电网、光伏公司、产品推广公司以及用户五者的期望价值分析，得出每个主体不同的利益追求，根据不同主体的利益需求对推广模式提出不同方面的建议。通过结合前人的经验研究，提出合适的推广模式和各个主体自身的改进建议，积极推动光伏发电产品

的普及应用，使分布式光伏发电在杭州的覆盖率更高、装机数量更大，产生电量更多，最终通过市场促进光伏相关行业的技术发展，得出有利于光伏产业健康发展的方式。

1.1.4 研究框架

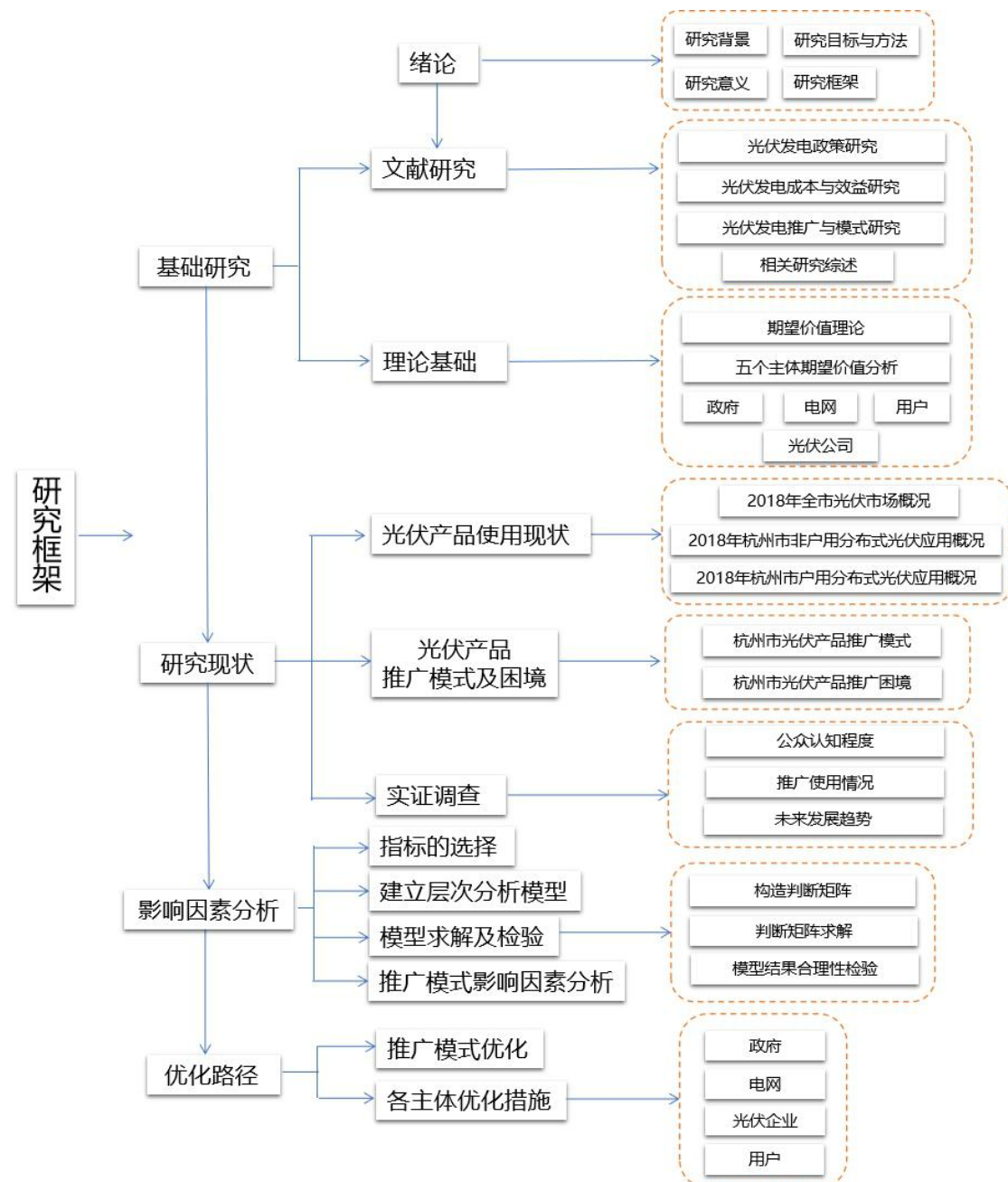


图 1-1 研究框架图

1.2 国内外研究现状评述

关于光伏发电的相关研究综述

研究主题	研究内容与视角	代表性学者及文献
光伏发电政策研究	德国上网电价政策；政府政策对光伏产业的影响；德国、日本、中国光伏发电政策工具；政策工具运行的环境；光伏产业激励；税收优惠政策；国家、地方政府和用户三者投资成本分担模式及利益关系；太阳能光伏产业传统补贴形式；2009-2013 年的光伏产业政策研究；第三方融资渠道。	阳芳、周源俊（2010）；Kobe University, Rokkodai, Nada-Ku, Kobe（2010）；朱玉知、孙海彬、李国荣（2011）；肖兴志、李少林（2014）；甘卫华、刘振梅（2015）；María Teresa, García-Alvarez, Laura Cabeza-García, Isabel Soares（2018）；Jing Shuaia, Xin Chenga, Liping Dinga, Jun Yanga, Zhihui Leng（2019）
光伏发电成本与效益研究	并网光伏发电辅助服务成本；不同安装方式建筑光伏系统的经济性及其环境效益；不同运营模式下光伏发电的全寿命周期成本效益比较；用户侧角度对居民分布式光伏项目的经济性分析；从减少温室气体排放的角度评估光伏发电扩张的外部效益；光伏系统对家庭财务的影响；光伏发电的经济效益与环境效益；控制光伏企业数量与质量，实现光伏产业的可持续性发展。	马军杰，张信，王恩琦，田廓，刘清宇，曾鸣（2011）；朱群志，司磊磊，蒋挺燕（2012）；苏剑，周莉梅，李蕊（2013）；谢东，刘慧，张籍，张世荣（2015）；Yong-Cheol Choa, Seul-Ye Limb, Seung-Hoon Yoob（2017）；Ergo Pikas, Jarek Kurnitski, Martin Thalfeldt, Lauri Koskela（2017）Robert Passey, Muriel Watt, Anna Bruce, Iain MacGill（2018）；Marc Perez, Richard Perez, Karl R. Rábago, Morgan Putnam（2019）；温泽坤，邱国玉（2018）

光伏发电推广与模式研究	激励居民投资和使用光伏发电；农村电网投资模式；公众太阳能光伏发电认知和采纳意愿；光伏发电推广障碍；互联网推动分布式光伏系统发展；不同分布式电源/微电网并网方式和不同商业运营模式的项目综合效益；社区分布式光伏发电；光伏农业；电网公司投资运营分布式光伏发电的典型模式。	朱玉知，孙海彬，杨静（2012）；王一博，闫庆友，李金城（2013）；丁丽萍，帅传敏，李文静等（2015）；宣晓伟（2015）；施泉生，于文姝，谢品杰（2016）；李蕊（2017）；童昕，王涛，王蔚（2017）；Carlos Mateo , Pablo Frías, Rafael Cossent , Paolo Sonvilla , Bianca Barth（2017）；Jinlin Xue（2017）；Mina Lee（2018）；Xuefei Liu , Benjamin Mclellan（2018）
-------------	--	---

1.2.1 光伏发电政策研究

国内外光伏发电政策研究方面，阳芳、周源俊（2010）通过研究德国上网电价政策的基本特点：**强制入网、固定入网价格、上网电价逐年递减、通过法规让光伏发电进入市场，让市场机制发挥作用**，总结得出对我国光伏发电上网政策的启示。朱玉知、孙海彬、李国荣（2011）通过比较德国、日本与中国的光伏发电政策总结出光伏发电政策工具包括：**补贴政策、贷款和贷款担保政策、税收减免政策、政府定价政策**；制约我国光伏发电政策发挥效用的因素包括：**政策工具运行的市场环境、政策是否明确且具体、政策工具的性质、政策受众目标是否获益**。

光伏产业政策激励方面，肖兴志、李少林（2014）从光伏产业政策激励角度出发，表明政策体系日益完善，且逐步适应市场需求，多数政策的核心内容关注的是上网电价、补贴率的制定与装机容量的规划等，但是由于屋顶分布式项目成本较高，部分企业分布式项目补贴偏低，不能够起到很好的激励作用，在一定程度上限制了分布式光伏发电项目的推广。可再生能源政策所需要实现的目标为安全、竞争和可持续性，MaríaTeresa, García-Alvarez,Laura Cabeza-García,Isabel Soares,（2018）重点对上网电价和配额政策进行实证评估，结果表明，只有上网电价政策对光伏装机容量有显著影响。

光伏产业政策补贴方面，由于光伏扶贫作为利用可再生能源和减轻贫困的综合办法却面临初始投资高、回报周期长，资金短缺等问题，因此 Yan Li , Qi Zhang , Ge Wang , Xuefei Liu , Benjamin Mclellan (2018) 提出利用政策引入第三方融资，建立基于代理的多元模型，表明通过光伏发电的直接经济效益和社会效益能够促进第三方潜在的声誉利益挖掘，促进光伏扶贫的发展。C. Washburn a, M. Pablo-Romero (2019) 研究分析了 18 个拉丁国家促进可再生能源发展的措施，最常用的措施是税收优惠，主要通过免征所得税，增值税或销售税及关税。此外，大多数国家正在使用拍卖系统以取代上网电价体系。Jing Shuaia, Xin Chenga, Liping Dinga, Jun Yanga, Zhihui Leng (2019) 运用博弈论研究政府和用户如何分摊太阳能光伏发电项目成本，构建了国家、地方政府和用户三者投资成本分担模式以协调三个利益相关者的利益。结果表明，在国家 0.42 元/千瓦时的补贴下，当地政府鼓励公众安装太阳能光伏设施的最佳策略是提供相当于初始投资 30% 的一次性补偿。

1.2.2 光伏发电成本与效益研究

光伏发电成本研究方面，苏剑，周莉梅，李蕊 (2013) 建立了不同运营模式下光伏发电的全寿命周期成本/效益计算方法与模型，得出结论：对于分布式光伏发电项目，电价补贴方式的成本效益优于建设补贴方式；光伏单位装机成本对光伏发电成本效益影响显著，随着光伏组件价格的下降，我国分布式光伏发电具有较大的利润空间。由于居民分布式光伏发电系统的规模较小，但同时又是光伏产业发展的一大突破点，因此有必要对其进行经济性分析，谢东，刘慧，张籍，张世荣 (2015) 从用户侧角度，以湖北省为例，针对居民分布式光伏项目的经济性进行分析，结果表明在湖北省目前的补贴政策及当前技术条件下，分布式光伏发电系统回收年限较短，内部收益率较高，具有较好的投资效益，同时也表明只有实行“自发自用，余量上网”政策，用户才可最大程度地获益。

光伏发电效益研究方面，已有研究主要将光伏发电效益分为生态效益与经济效益。陈梓毅，曹烨，邱国玉 (2018) 通过对不同规模的分布式光伏发电项目进行调研，分析了 4.7 MW、19.44 kW 以及 6 kW 分布式光伏发电项目不同并网电量在总发电量占比和不同补贴模式下的收益组成、经济效益以及环境效益。结果

表明在同一情况下,装机容量小的分布式光伏发电项目的经济效益较好;光伏项目所发电量自用比例越大,项目的经济效益越高;国家补贴占光伏项目收益的 31% 以上,对光伏项目的发展有着重要的影响。温泽坤,邱国玉(2018)对江西省新余市家庭光伏示范工程进行调研,以投资回收期和内部收益率(IRR)作为经济性评价指标,以能量回收期和年节约标准煤作为环境效益评价指标,分析了 5 kW 光伏系统的发电量、收益组成、环境效益以及不同补贴模式下的经济效益。结果表明在既有国家补贴又有江西省补贴的情况下,投资回收期平均不到 8 年,平均内部收益率为 11.2%,由此可以看出家庭式光伏发电具有良好的经济效益,缺少国家补贴或者江西省的补贴都会对投资的经济效益产生较大的影响同时光伏发电系统还具有良好的节能和环保效益。

光伏发电可持续发展研究方面,马军杰,张信,王恩琦,田廓,刘清宇,曾鸣(2011)通过对并网光伏发电辅助服务成本提出计算方法,结果表明综合考虑并网光伏发电收益时,并网光伏发电的总价值很高,具有很强的市场竞争力,并且辅助服务费用非常可观,建议电力部门重视研究并网光伏发电的辅助服务,合理制定辅助服务费用。Yong-Cheol Choa, Seul-Ye Limb, Seung-Hoon Yoob(2017)旨在从减少温室气体排放的角度评估光伏发电扩张的外部效益,利用对 1000 个韩国家庭进行的条件估值调查,得出了通过增加电费来增加公众对扩建光伏系统的额外支付意愿(WTP)的结论。光伏发电的受益群体是全社会而为此承担费用的多为政府、企业与用户,为了光伏产业的可持续发展,需要平衡各主体之间的利益关系,Robert Passey,Muriel Watt, Anna Bruce, Iain MacGill(2018)研究了在光伏系统对澳大利亚家庭财务支出的影响,结果表明与未安装光伏系统的家庭相比,光伏系统对安装家庭的财务支出影响甚微。Marc Perez,Richard Perez,Karl R. Rábago,Morgan Putnam(2019)认为企业光伏发电的成本效益推动者,在光伏企业过度扩张的情况下,需要对其进行削减。通过对明尼苏达州的一个案例研究,表明稳定的、高效的光伏发电可以实现以低于或等于当前常规发电的生产成本,尤其是在与风力发电最佳结合的情况下。因此为了实现这一最低成本的企业发电潜力,应该要对企业数量进行控制与削减。

1.2.3 光伏发电推广与模式研究

光伏发电推广障碍研究方面，朱玉知，孙海彬，杨静（2012）认为为激励居民投资和使用光伏发电，光伏发电政策应考虑降低居民的前期投入成本、缩短成本回收期限，并做好配套服务。居民分布式光伏发电作为极具发展潜力的光伏应用方式，宣晓伟（2015），提出了其推广面临一系列障碍：电网企业缺乏积极性，能源主管部门监管乏力；建设条件限制过多，对相关企业支持不足；补贴政策执行难到位，政策稳定性和可预期性差。认为要切实加快我国居民分布式光伏发电的发展，应完善考核体系，加快电力体制改革；给予普通居民用户和专业化企业足够的重视和支持；加强政策执行力度，营造公平、稳定、可预期的市场发展环境。公众作为太阳能光伏发电的采纳主体，其对太阳能光伏发电认知和采纳意愿直接影响着太阳能的开发利用及光伏发电的推广速度，丁丽萍，帅传敏，李文静等（2015）采用结构方程模型对公众太阳能光伏发电认知和采纳意愿进行了实证研究，结果表明政府政策对公众的节能意识影响最大；节能意识对光伏发电采纳意愿的影响最大。

光伏发电应用区域研究方面，王一博，闫庆友，李金城（2013）鉴于农村电网投资的特殊性，以青海省农村地区为例，基于投入产出法计算不同电网投资模式的感应度系数、波及效果、影响力系数，结果表明集中光伏发电、户用光伏发电系统 3 种投资模式适合于农村电网投资。Jinlin Xue（2017）认为光伏农业为我国光伏产业提供了新的机遇，不仅可以有效地解决我国光伏产业产能过剩的困境，而且可以加快我国现代农业的发展，因此政府需要建立统一的技术标准和管理标准，规范光伏农业项目的设计和规模，光伏企业要转型升级，加大研发力度。我国目前分布式光伏的推广还主要依赖项目示范和财政补贴，拥有大屋顶的工商业用户在推广中优势明显，而广大的居住社区空间很难得到充分的开发利用，童昕，王涛，王蔚（2017）认为社区用地功能的多样化，对整体电网平衡的贡献潜力较大，因此在社区空间规划时可以考虑这一因素。Mina Lee（2018）对韩国合住型光伏发电系统进行经济可行性分析，结果表明在政府不提供补贴的情况下，当前住宅光伏并联式系统的价格在经济上是可行的，并且能够提高可再生能源的可接受性。

光伏发电运营模式研究方面,施泉生,于文姝,谢品杰(2016)以互联网推动分布式光伏系统发展为切入点,结合光伏发电推广与运营模式及大数据分析,结果表明,需要构建平台将金融机构、设备生厂商、闲置屋顶所有人、高能源成本商业、节能服务公司、电网公司等主体联系起来,实现各类数据的实时监控与分析、提供信息、拓宽融资/投资渠道、开辟买卖市场、获取闲置屋顶资源等功能。李蕊(2017)通过建立基于不同分布式电源/微电网并网方式和不同商业运营模式的项目综合效益评价模型,分析结果表明采用由分布式发电商进行电源投资,由电网企业负责用户配电网或微电网的运行、维护和售电的运营模式是盈利水平最高的运营模式。马溪原,郭晓斌,周长城等(2018)针对电网公司投资运营分布式光伏发电的典型模式(“自发自用、余量上网”、“全额上网”、“市场化交易”)以贵州省实际数据进行测算分析,得出结论:“自发自用、余量上网”模式更具经济性;电网公司在用户侧投资建设并运营分布式光伏发电项目时,需要给予拥有屋顶资源的业主一定的租金或电价优惠折扣,折扣遵循电价优惠总额基本可以等效抵扣屋顶租金的原则 Xuefei Liu , Benjamin Mclellan (2018)提出引入第三方融资模式,建立基于代理的多元模型,解决光伏扶贫初期存在的资金短缺问题,表明通过光伏发电的直接经济效益和社会效益能够促进第三方潜在的声誉利益挖掘,促进光伏扶贫的推广与发展。

1.2.4 相关研究综述

综合国内外有关光伏发电的相关文献,可以得出除光伏发电相关技术层面的研究外,国内外学者关于光伏发电研究主要从光伏发电的政策、成本及效益、推广困境与运营模式研究等方面剖析光伏发电的问题及未来前景,且前两个方面的研究较多,而推广与运营模式研究相关方面的文献较少,尤其在光伏发电推广模式研究方面,国内对杭州的现行主流光伏推广模式也缺乏具体的研究分析。综上所述可得,国内外相关学者在分析光伏发电存在的问题时,基本上是通过文献法、调查法、建立单个模型等方法分析光伏发电现状并提出相关策略。但通过理论模型与数学建模相结合的方法来分析光伏发电现状目前还比较少。

因此,本文试图通过此次研究对国内外光伏推广模式做出一点理论补充,在文献调查法、问卷调查法等研究方法的基础上,运用期望价值理论与层次分析法

数学建模相结合,从理论上对影响光伏发电推广的各相关主体与影响因子进行定性分析与定量分析。根据文献研究法和问卷调查法,了解国内外光伏产业推广模式以及发展的现状和我国政府关于光伏产业的相关政策,收集到杭州市内光伏产品的推广、使用现状,用户及潜在用户群体对光伏产品的了解、接受程度以及他们对光伏产业发展的一些期望。根据层次分析法数学建模结果与期望价值理论,为光伏发电的推广提供主要关键指标排序,根据排序结果结合影响光伏发电推广各相关主体的期望价值,从政府、电网、光伏公司及用户等主体角度出发,提出相关策略,进一步优化杭州市光伏发电推广模式,同时为其他地区光伏发电的推广提供一定的参考价值。

第二章 理论基础:期望价值理论

2.1 期望价值理论

作为动机心理学最有影响的理论之一,期望价值理论认为个体完成各种任务的动机是由其对这一任务成功可能性的期待及对这一任务所赋予的价值决定的,目标所具有的激励值越大,个体完成任务的动机也就越强烈。早期阿特金森的期望价值理论受到包括默里(Murray)、勒温(Lewin)、托尔曼(Tolman)等人观点的影响,设计用来解释不同的成就相关行为。

阿特金森的理论是期望价值理论研究的基础,后人对它进行了修正、拓展,使期望与价值两个部分更为具体,与个人认知和社会因素的联系也更紧密。以阿氏的期望价值模型为基础,现代期望价值理论最直接的把成就作业、坚持及选择与个体的相关期望与任务价值信念联系起来。其中较有影响的有 Eccles 等人的期望价值理论,Feather 在价值上的研究以及 Heckhausen 的期望价值理论。概括来说,期望价值理论是指个体完成某项任务的动机是因为从这项任务中能够获得某种价值或者实现某些目标,个体获得或实现的几率越大,动机也就越强。Eccles 等人给出了四种任务价值成分:获取价值、内部价值、效用价值与花费。一个任务,有其中任意一种价值,它就有积极价值,其中花费(对过程中会发生事情的焦虑、结果好坏的不确定性以及不同选择的不同结果等)是价值最关键的部分。

Eccles 与其同事阐述并验证了一个成就相关选择的期望价值理论模型。在该理论模型中，他们假定选择同时受到消极与积极任务特征的影响，并且假定所有的选择都有着相应的精确花费，因为一种选择经常减少了其他的选择。

期望价值理论将主体希望达到目标的期待作为产生行动的一个因素，即期待目标的实现而导致某种行为的产生，其中个体的价值取向、目标实现的可能性以及可能获取的利益都将导致个体做出不同的行为，外部条件也可能影响做出这种行为的动机。当个体认为这个目标更符合自身的价值体系而且在外界环境下达到这个目标的可能性越大或者这个目标的实现能够为他带来一定程度的利益时，个体所感受到的激励也就越大，完成这一任务的动机也就更强，反之越弱。在光伏发电推广过程中，相关的参与主体如政府、电网、企业、用户等，都希望能够在当前的环境下，以尽可能少的成本，即花费来产生或换取尽可能多的利益，而这个利益的判定取决于每个主体不同的角色定位和价值取向，同时会受到周围环境的影响。在付出花费并取得价值的过程中，各主体间必将产生一定的矛盾或冲突，如何分析各主体的期望价值和需求，判断其中的优先项并设法尽可能公平地满足，成为平衡各主体间价值需求的重要问题。比如，尽管对经济效益的追求是各方的共同目标，但对政府来说，缓解能源紧缺、优化能源结构、减少环境污染等社会效益和生态效益在当前的社会背景下更为重要，则政府可以一定程度的财政支出来换取这些方面的价值。

2.2 各主体的期望价值分析

2.2.1 政府

把政府看作一个个体，在推广发展光伏发电的过程中，需要政府颁布政策掌控方向、投入较多的资源。政府理想的期望是以较低的花费（投入）换取尽可能多的经济效益和环境效益。但在实际情况中，为了实现公共利益，即实现环境效益与经济效益的最大化，提高新能源所占比重，需要为此付出较大的花费以支持该产业的发展。比如大力发展新能源产业以缓解化石燃料紧缺以及环境污染的问题，优化社会能源结构；对光伏研发企业进行鼓励支持和补贴，促进光伏产业技

术发展；出台相关政策鼓励居民企业参与，维护光伏市场的健康发展等，通过这一系列改进，期望达到一种人民安居乐业、市场稳定创新、国家健康发展的趋势。

2.2.2 电网

电网公司作为公共性质企业，是准公共物品的提供者，通过与光伏发电用户签订协议的方式，从光伏发电用户处购电，并入电网以供使用。电网公司的期望是通过低于市场的价格收购光伏用户的电力并以市场价卖出，赚取差价；电网与政府意志一致，期望缓解大气污染和化石能源紧缺的问题，为社会能源结构转变做贡献。电网公司只需要付出一定的购电成本及管理费用，就能够达到上述的目标期望，这将对电网公司实现一种激励，从而增强电网公司进行并网的动机。

2.2.3 光伏公司

光伏公司在光伏发电市场（尤其是 EPC 模式下）中主要充当的是承包商或中介的作用，最主要的期望就是实现利润最大化。光伏公司主要有研发生产光伏产品的企业、推广光伏产品的企业和集研发生产推广光伏产品为一体的企业三种，主要承担的是研发生产和推广销售两种职能。承担研发生产职能的光伏公司期望通过卖出研发生产的太阳能光伏及其相关产品获取利益，政府对光伏产业的优惠或者补贴政策也是企业不断进行研发生产的动机。对承担推广销售的光伏公司来说，销售成功后获得的收益与发布宣传广告、召开科普讲座、业务员上门推销等成本支出之间的差值就是他期望得到的。更多的利润不断激励推广企业，产生更强的推广动机。另一方面，社会和个人因素也将对光伏公司的期望产生一定的影响，不只是单纯的赚钱，将更多的偏向环境保护以及公共利益。

2.2.4 用户

光伏产品用户期望通过支付光伏产品的成本和安装费用或者租出屋顶，获得自用电费优惠、上网电量补贴的收益，理想的期望是承担较少的成本（即安装产品时用户个人支付比例尽可能低），获取较多的经济收益。潜在用户未安装光伏产品，他们觉得电费优惠及上网补贴不足以支付光伏产品的成本及安装费用，未

达到他们的期望。但同样，人不是一个独立个体，在社会中生活会受到各方面因素的影响，比如国家政策变化、自身节能减排意识和环境保护意识变化等等，都会影响到用户的信念，因此也有可能出现用户期望改变的情况。

政府、电网、光伏公司和用户是目前光伏产品相关的几大主体，各主体之间互有联系且各自承担相应的职能。政府的主要职能是鼓励支持引导光伏企业发展、帮助和向用户宣传普及光伏产品授权电网进行并网项目的建设和管理；电网的主要职能是招标选出合适光伏企业开展并网项目和从用户处购电并向其发放补贴；光伏企业主要职能有研发生产、推广销售光伏产品，参与电网项目等；而用户有向光伏公司购买光伏产品、向电网申请并网等职能（见图 2-1）。

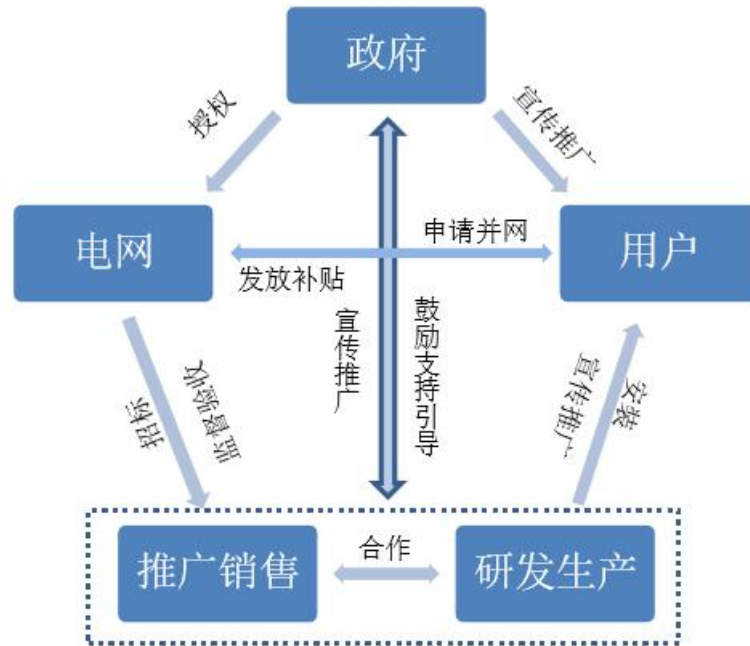


图 2-1 杭州光伏发电 3+X 推广模式

第三章 杭州市光伏发电现状

3.1 光伏产品使用现状

3.1.1 2018 年全市光伏市场概况

据杭州可再生能源网数据显示，2018 年度，截至 2018 年 12 月 31 日，杭州市累计建成并网项目 26048 个，装机容量超过 1GW，达到 1057.65MW。其中，非户用光伏项目（含工商业建筑和公共建筑）累计 1013 个，合计 723.57MW；户用光伏项目累计 25030 个，合计 182.08MW；地面电站 5 个，合计 152MW。2018 年度，新建成并网非户用项目新增 406 个，新增装机 188.05MW；已并网户用项目新增 6851 个（该数据未按省百万家庭屋顶光伏工程数据折算），新增装机 52.84MW；淳安县威坪镇新建农光互补地面电站 1 个，新增装机 20MW。

一方面，非户用项目装机容量是户用项目装机容量的三倍多。因此，要加大光伏发电在整个电网的占比，工商业建筑和公共建筑上的屋顶分布式光伏应用仍然是市场重中之重。另一方面，户用光伏项目数量占 94%，家庭屋顶光伏市场潜力巨大，同时，户用光伏市场也是市场高质量发展面临挑战最大的领域，如何进行模式创新，把多元投资模式、融资理财模式、区域运维模式、家庭住宅智慧能源网建设与运营模式等相结合，是户用光伏应用市场要面临的挑战和机遇。

3.1.2 2018 年杭州市非户用分布式光伏应用概况

2018 年我市非户用分布式光伏应用个数有明显增长，是 2017 年同期的 1.25 倍。但是新增装机量却下降了 29.45%。表明光伏发电受到了更多大型用户的支持，但存在可利用面积较少的问题。在“531 新政”实施的影响下，虽然存在补贴减少的问题，但除了 12 月略有一点点同比下降之外，2018 年杭州市每个月建成并网的项目都超过去年（见图 3-1）。表明可能由于合同所涉及的时间等因素的影响，光伏用户不会在几个月时间内锐减，新政对光伏应用的影响会在之后较长一段时间内凸显出来。从装机容量上看，2018 年各个月份，我市非户用光

伏项目建成并网情况与 2017 年基本一致，甚至有 6 个月装机总量超过去年，但 7 月份全市新增并网容量仅为 2MW；12 月份新增并网容量不到 2017 年同期的一半（见图 3-2）。表明在“531 新政”实施后，阻碍了一部分新用户的产生，也有一部分用户在合同到期后放弃使用光伏产品。因此怎样减少新政对光伏市场的冲击，保证原有的用户数量是亟待解决的问题，我们需要在稳住原有用户数量的基础上再进一步进行推广。

2018 年我市各区县非户用项目推进情况总体呈现萧山余杭临安市场活跃，大江东市场项目大，淳安市场忙的特点。表明在下一阶段的发展中，首先得保证这几个区域发展的势头不减弱，同时加强光伏产品在其他几个区县的宣传推广，推动各区县充分调动和利用场地资源，发展光伏项目，利用先发展区域的优势带动其他区域的光伏项目发展，达到全市光伏产品广泛健康发展的目标。

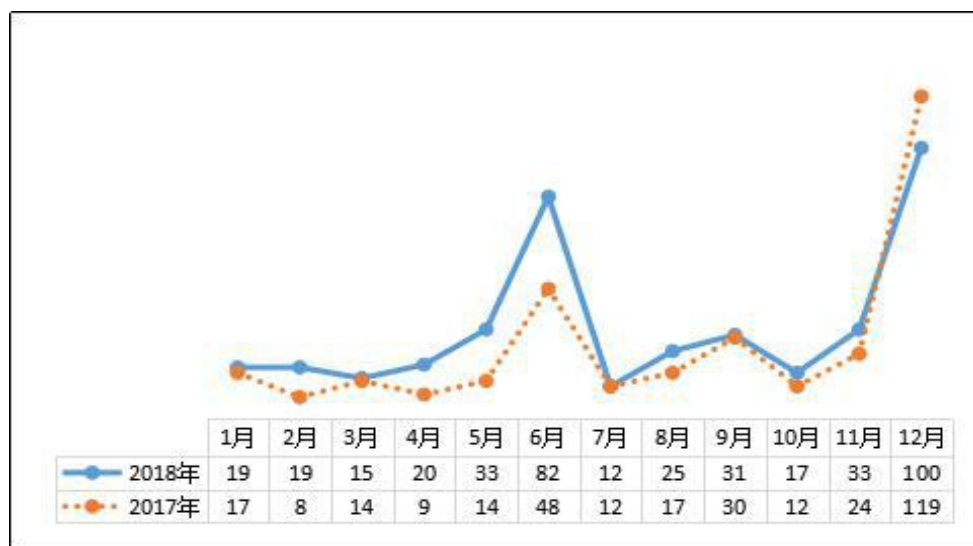


图 3-1 2018 年与 2017 年各月份杭州非户用项目并网数量分布图（单位：个）

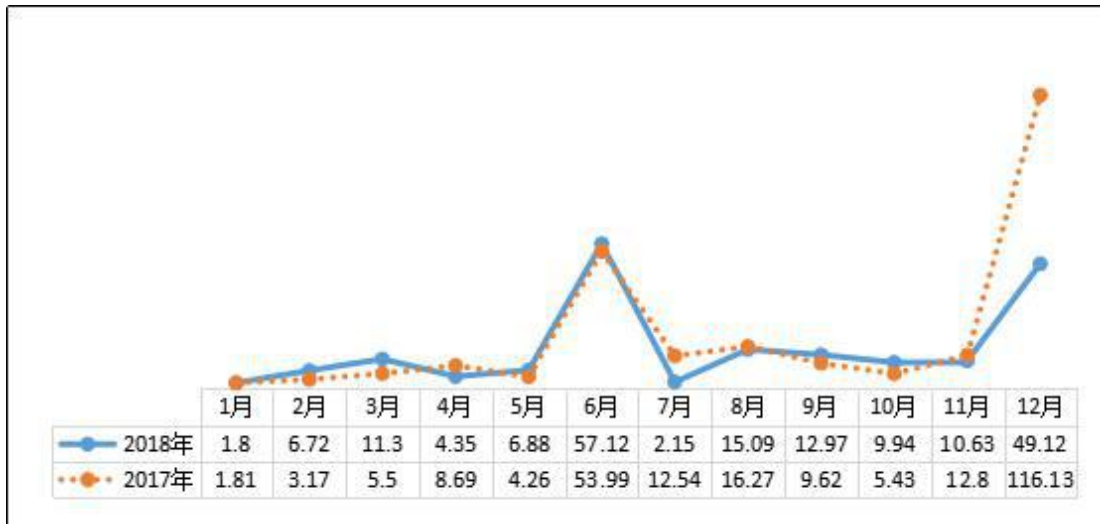


图 3-2 2018 年与 2017 年各月份杭州非户用项目新增并网容量趋势图（单位：MW）

3.1.3 2018 年杭州市户用分布式光伏应用概况

2018 年度户用市场推进情况不佳，无论是新增并网户数还是装机规模，全年完成情况未到 2017 年的一半。“531 光伏新政”发布后，7 月份开始，我市户用光伏项目安装规模呈现暴跌态势，此后几个月里，每月新增项目数量和装机容量呈缓慢递增上扬趋势（见图 3-3，图 3-4）。表明补贴减少对于小型户用光伏用户来说影响巨大，收益是此类用户考虑所占比重较大的因素，虽然补贴减少，但在仍能收益的情况下，一部分用户仍会继续使用光伏产品，因此减少新政对其的负面影响，让用户看到有利的一面很重要，在此过程中，政策的宣传与解读需要发挥较大的作用。

就杭州各区县发展而言，2018 年我市各区县居民项目推进情况总体呈现余杭临安成为主力，西湖区增长的态势。因新政对户用型用户影响较大，因此稳定已有的发展主力在一定程度上能够稳定户用分布式光伏发电的市场，对于正在快速发展的区域来说，要采取一定的措施保证其现有的发展趋势不下降，并在一定程度上发挥领军作用。

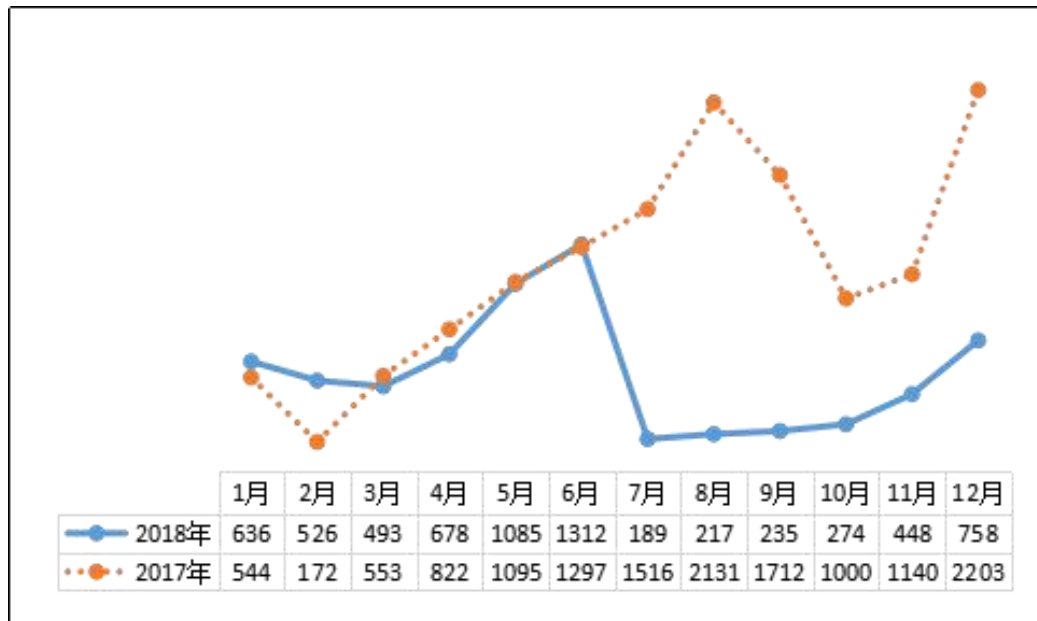


图 3-3 2018 年与 2017 年各月份杭州户用项目数量并网趋势图（单位：个）

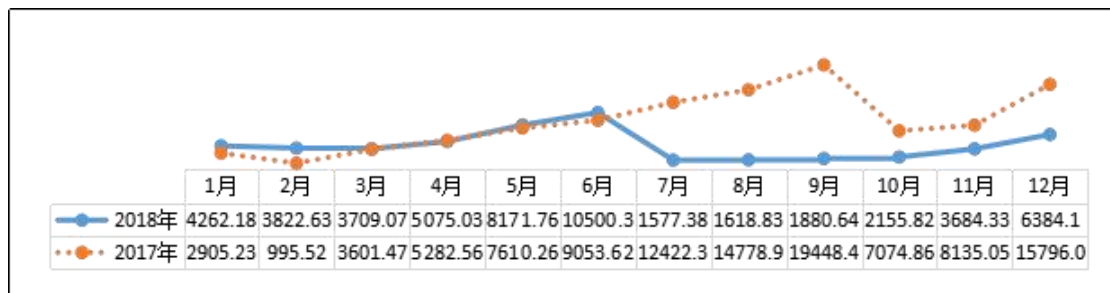


图 3-4 2018 年与 2017 年各月份杭州户用项目装机容量并网趋势图（单位：kW）

3.2 光伏产品推广模式及困境

3.2.1 杭州市光伏产品推广模式

目前分布式光伏发电主流的三种推广模式为光伏扶贫模式、合同能源管理模式（Energy Performance Contracting）、BOT/BOO 模式，由于本次项目所调查地区为杭州，合同能源管理模式在分布式光伏发电推广中占主流地位，因此本文对该模式进行深入研究。

普遍的 EPC 模式（合同能源管理模式简称 EPC 模式）分为以下两种主要的形式：一是由屋顶业主免费提供屋顶，不用出其他任何费用，企业自身或者引入第

三方对项目进行总承包建设并提供维护服务，屋顶业主可享受绿色环保优惠电价；二是用户与企业共同投资开发，用户提供屋顶并为光伏设备支付一定的费用，可选择全额上网或者自发自用余电上网的形式以换取收益，企业自身或者引入第三方对项目进行总承包建设并提供维护服务。在这种模式中，在合同服务期内企业为用户进行能源管理，利用“能源费用差值”或者收取一定设备费用的形式，从节能效益中逐步收回投资，取得合理利润；用户除以上提到的收益方式外还有以出租屋面的形式，向投资商收取场地租金去的收益。其合同关系如图 3-5 所示。

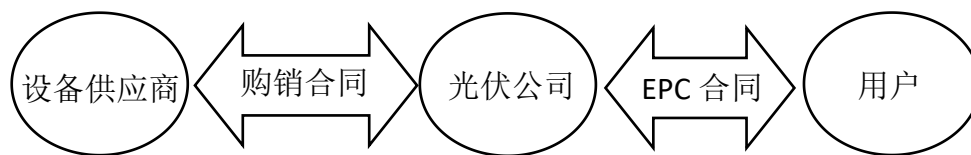


图 3-5 EPC 模式示意图

注：购销合同依据光伏公司是否有生产设备的能力而定

3.2.2 杭州市光伏产品推广困境

从政府角度来看，首先，政府未能建立起完善有效的监督机制，对光伏发电市场进行良好的管理。光伏发电作为近年来逐渐兴起的新兴产业，发展还不成熟，尤其是在推广销售等过程中，还未形成明确统一的行业标准或规范，出于追求利润的目的，市场上部分光伏企业在宣传销售等过程中可能存在不诚信现象，但因政府尚未建立完善的监督机制，稍有专门负责这一工作的部门或人员对光伏发电市场中的这一问题进行管理，容易导致市场中不诚信不规范现象的长期存在，这无疑会对光伏产品用户或其他主体的利益产生损害。其次，政府未能充分发挥权威性机构和媒体的宣传推广作用。政府作为现代社会生活中的重要主体，具有较高的权威性和较大的影响力。光伏产业作为具有经济、环保等多项效益的新兴产业，有必要进行大力推广。社会公众接受新事物需要有深入了解的过程，政府通过权威性平台科普与宣传可以推动社会公众快速认识了解光伏产品，但在光伏产业发展的初期，政府却未能充分利用好自身的权威性和影响力，大力宣传和支

光伏产品在全社会范围内的普及。最后，相关政策具有变动性。在当前光伏产业快速发展的时期，有大量光伏企业和用户不断进入市场，但政策的变动性，如补贴水平的快速下降，会影响光伏企业发展的积极性，也会打击潜在用户进入光伏市场的积极性。政策的变动性在一定程度上阻碍了光伏产品的普及应用。

从**电网**角度来说，首先，电网在光伏产品并网过程中未起到良好的沟通政府与用户的作用。电网作为政府相关政策的执行者，同时也是直接与光伏产品用户签订并网协议的对象，能更清楚直接地了解光伏发电的相关政策目的与政策动向，也更详细深入地了解并网用户的相关诉求，但当前电网未能形成一套有效的沟通体系，准确传达政策要求和切实反映用户诉求，导致政府与光伏用户存在明显的信息不对等、不明确现象，从而产生政策落实不到位、用户需求难满足的问题。其次是电网对并网项目的管理和辅助服务不到位。为达到光伏产品余电并网的目标，电网需要和光伏产品用户签订并网协议，但当前电网对并网用户实施管理的制度体系还不成熟，对并网用户提供辅助服务的质量和水平也有待提高，可能导致并网用户的需求或问题难以解决从而产生弃网现象。弃网现象的产生不仅影响电网对并网项目的高效管理，更是对前期投入和场地资源的浪费。

从**光伏企业**角度而言，首先，光伏产品的成本偏高，超出许多市民的接受范围。光伏产品从长期使用角度来说，具有低成本、环保等优点，但从生产安装角度来说，当前市场上光伏产品普遍存在着成本较高的问题，光伏产品的安装和使用成本对多数市民来说依然偏高。大多数人追求低风险、低成本的项目，尤其是在对光伏发电产品预期收益不确定的情况下，不愿意付出太多成本购买光伏产品，于是成本费用成为了阻碍市民接受光伏产品的最主要原因。其次，光伏企业提供的相关服务质量和水平不高。目前市场上光伏产品安装及维护的相关服务尚未形成统一明确的标准，实证调查中发现用户个人负责安装和维护产品的现象较多，通过村委或社区联系光伏公司负责安装和维护的现象也不少，意味着目前无法保障用户享受到高效便捷的安装和维护服务，这对潜在用户购买和安装光伏产品产生了较大的阻碍，对已安装产品的用户对产品的满意度也有较大的影响。最后，相关企业对光伏产品的宣传工作不到位。一方面，部分光伏企业在推广宣传中存在避重就轻、夸大收益和优势、隐瞒部分前期成本、承诺高出实际的服务水平等问题，宣传内容缺乏科学性和真实性，对消费者切实了解全面了解光伏产品产生

了阻碍，降低了消费者对整个行业的信任度。另一方面，企业对宣传渠道和宣传方式的运用不合理，导致宣传范围和宣传深度广度的不足，部分地区或部分人群未能充分了解光伏产品，难以吸引较多的潜在用户。

从用户角度而言，首先，目标受众了解光伏产品的积极性不足。光伏产品的用户在前期投资购入产品后，需要在之后的使用过程中逐渐收回成本并获得收益，同时还需要支出一定的维护费用，这一特点区别于普通商品，也决定了用户在做购买决策前需要获取大量的信息，了解光伏产品的工作性质和收益方式。当前市场环境下，市民了解光伏产品的积极性不高，容易导致其接受和购买的意愿低迷，从而影响光伏产品的推广普及。其次，目标受众的投资观念不够成熟理性。目标受众容易被产品的经济效益吸引，但有相当一部分群体会过分看重产品的前期投入，对后期的收益却持怀疑态度，同时，部分群体对光伏产品的了解度不高，导致对产品的未来回报缺乏信心，从而放弃购买和使用。

3.3 实证调查

本次调查采取网络问卷调查法，调查共收到 365 份问卷，其中有效问卷为 365 份。通过对有效问卷进行整理分析，我们得到以下信息：

3.3.1 公众认知程度

不同年龄段、职业和学历的人群对光伏发电及相关政策的了解程度有所不同，青壮年群体和学历较高者对光伏发电及其政策的了解程度相对较高，企事业单位人员、农民、技术人员对光伏产品了解程度相对较高，政府部门人员则对光伏发电政策有较多的了解。在调查中，62.74%的被调查者表示报纸、互联网等媒介是他们了解光伏发电知识的渠道之一，49.04%的被调查者表示曾从政府的政策宣传中了解光伏发电相关信息（见图 3-6）。表明民众接受光伏发电信息的主要来源是报纸、互联网媒体的宣传和政府政策的宣传，在今后的推广工作中可以据此选择更高效的宣传方式和宣传渠道。

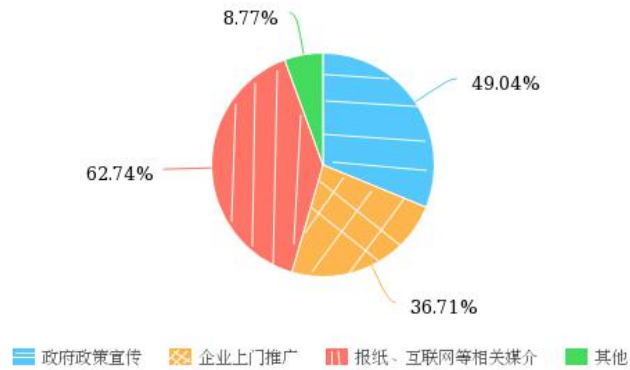


图 3-6 光伏发电了解途径分布图

在对被调查者收入与对其光伏产品接受度的比较中发现，家庭月均收入在 5000 元及以下的被调查者中，不接受光伏产品的比例为 7.69%，高于收入在 5001 元至 50000 元的群体，经济条件对被调查者安装光伏产品的意愿影响较大，收入较低的人群对光伏产品的接受度相对高收入人群更低。

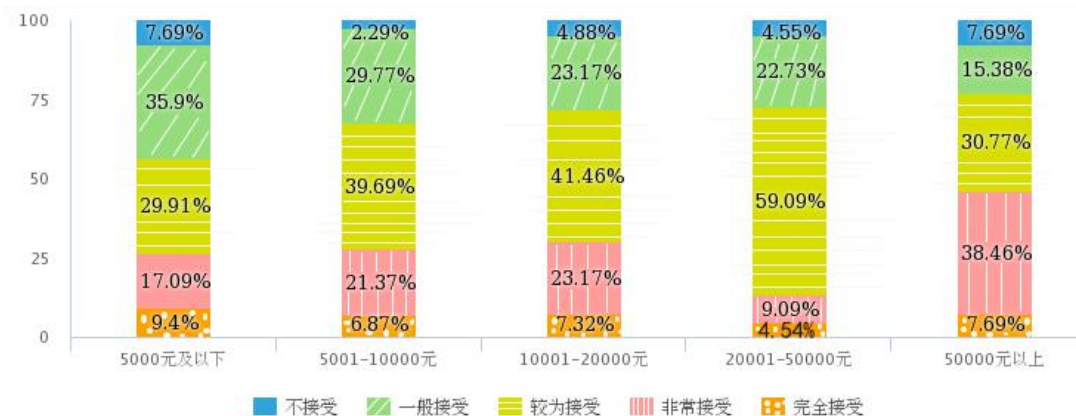


图 3-7 收入对光伏发电接受影响分布图

3.3.2 推广使用情况

在对光伏产品相关服务满意度的调查中，除 10.14%的未安装群体外，仅有 4.38%的被调查者表示对相关服务不满意，其余被调查者均对光伏产品的相关服务表示不同程度的满意（见图 3-8）。表明目前市场上光伏产品安装和维护的服务效率及质量总体较好，光伏产品用户对产品相关服务的满意率总体较高，光伏产品的相关服务水平总体较高，在小部分问题上存在改进的空间。

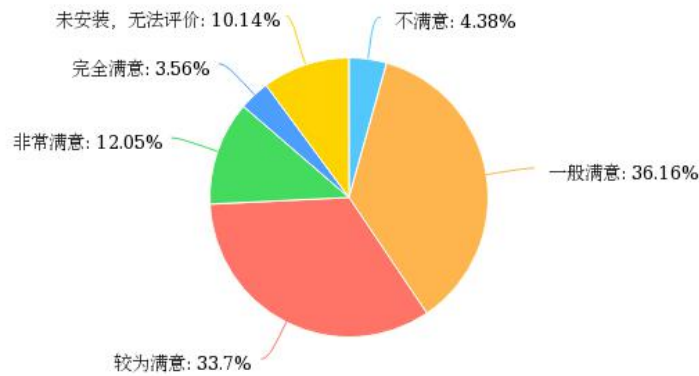


图 3-8 光伏产品相关服务满意度分布图

在接受光伏产品的影响因素调查中，安装使用的成本、便捷程度、政策补贴水平和宣传推广模式都是影响被调查者接受光伏产品的重要原因，其中安装使用的成本是最受关注的因素，受到超七成被调查者的重视，安装使用的便捷程度受到过半数被调查者的关注，政策补贴水平和宣传推广模式也具有一定的影响作用。民众总体上愿意接受低成本、高便捷度、能获取较多收益的光伏产品。在对成本与接受度的比较中，除 15.44% 的被调查者不了解外，54.25% 的被调查者表示光伏产品的成本较高，但在可接受范围内，15.71% 的被调查者认为成本较低，非常乐意接受，12.6% 的被调查者认为光伏产品成本高昂，不能接受（见图 3-9）。表明光伏产品的成本在大部分人看来较高，但愿意接受的人也较多，光伏产品总体比较受欢迎，若未来可以通过技术改进等方式降低安装和使用成本，将吸引更多用户。

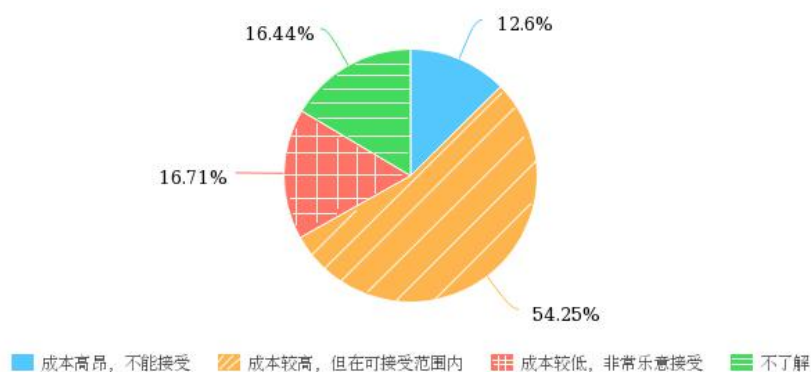


图 3-9 光伏发电相关产品的安装和使用成本接受度分布图

光伏产品的相关政策变化也对民众接受光伏产品有一定影响，近半数的人认

为政策出现变化，可能会出现新的态势，成为此类产品的新用户，表明光伏市场存在较大潜力；同时近 35%的人在政策补贴减少后仍坚持继续使用，也表明光伏产品有较厚的用户基础。此外，被调查者普遍认为光伏发电宣传和推广模式存在宣传内容空泛、过分夸大收益，隐瞒前期成本、宣传媒体权威性低、部分地区宣传不足、产品技术有待提高、市民对光伏产品接受度有待提高、政策落地有阻碍等问题。其中过分夸大收益，隐瞒前期成本占比最高。在之后的宣传推广过程中应注意避免这些问题的出现。

3.3.3 未来发展趋势

大部分被调查者认为当前最需要改进的问题是光伏产品的安装和维护成本，表明成本仍是阻碍市民接受光伏发电的一个重要障碍。当不需要承担安装及使用维护光伏发电产品的任何费用时，愿意考虑安装的人占多数，表明在成本问题解决的条件下，可以挖掘更多潜在用户。在光伏项目预期投资额度调查中，发现 52.33%的被调查者愿意接受的安装和使用成本在 10000 元及以下，29.59%的被调查者愿意接受的安装和使用成本是 10001 元到 30000 元，少部分被调查者可以接受更高的安装和使用成本（见图 3-10）。而在需要承担一定比例费用的情况下，40.00%的被调查者愿意承担的安装及使用维护光伏发电产品费用比例为 1%-10%，29.59%的被调查者愿意承担 11%-20%（见图 3-11）。表明大部分市民期望承担较低的成本支出，并且不同群体可接受的成本范围不同，所以可以针对不同的群体，提供不同范围或比例的成本费用选择，此举可以扩大产品的受众面，挖掘更多用户。

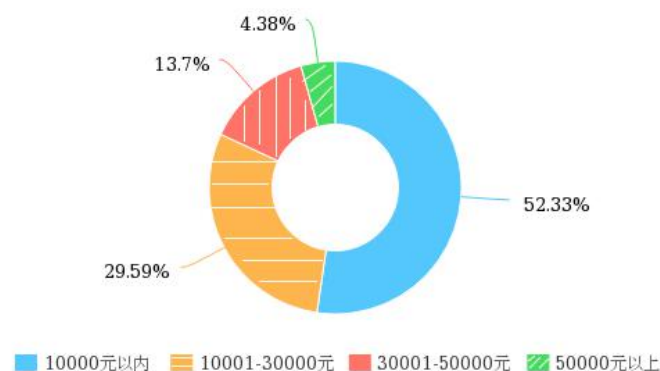


图 3-10 光伏项目投资额分布图

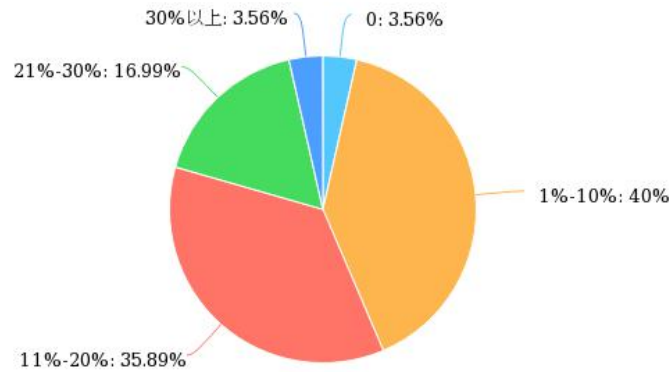


图 3-11 愿意承担安装及使用维护光伏发电产品一部分比例的费用分布图

除了对用户使用产品的成本选择进行多元化设置，在宣传方面，需要扩大宣传范围，由政府主导推动光伏产品的普及并且要增加宣传内容的真实性与可信度。对于补贴对象与力度来说，绝大部分人认为政府应该加大对个体光伏产品用户的补贴力度，这与“531 新政”恰好是相反的，表明怎样使个体用户接受新政并且仍继续使用光伏产品是需要解决的一个难题。此外也有近一半的人认为要加大对光伏公司与大型光伏产品用户的补贴力度以支持光伏产业的发展。

第四章 基于层次分析法的影响因素分析

4.1 指标的选择

通过调查问卷以及相关文献分析，得出以下五个对光伏发电推广普及有重要影响的主要指标，分别为：

第一，用户预期：技术预期；服务预期；投入预期；收入预期；

第二，用户反馈：反馈处理及时性；反馈便利性；反馈有效性；

第三，组织形象：信任度；（接触）便捷度；知名度；

第四，质量感知：产品先进性；产品耐用性；指导专业性；指导易懂性；服务方式；服务态度；

第五，价值感知：经济收益提升；生产成本降低；生态效益提升；技术水平

提升。

表 4-1 杭州光伏发电推广模式的绩效测评指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
光伏发电推广模式 影响因素 (Z)	用户预期 (m_1)	技术预期 N1
		服务预期 N2
		投入预期 N3
		收入预期 N4
	用户反馈 (m_2)	反馈处理及时性 N5
		反馈便利性 N6
		反馈有效性 N7
	组织形象 (m_3)	信任度 N8
		(接触) 便捷度 N9
		知名度 N10
	质量感知 (m_4)	产品先进性 N11
		产品耐用性 N12
		指导专业性 N13
		指导易懂性 N14
	价值感知 (m_5)	服务方式 N15
		服务态度 N16
		经济收益提升 N17
		生产成本降低 N18
		生态效益提升 N19
		技术水平提升 N20

4.2 建立层次分析法模型

经文献查找和问卷调查,通过理论分析构造光伏产品推广普及的递归层次指标体系。第一层 (Z) 定义为一级指标,第二层 (m_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$)) 定义为二级指标,第三层 (N_i ($i = 1, \dots, 20$)) 定义为三级指标。

为对各项影响因素进行客观评价,我们通过数学建模的办法把定性问题转为定量问题进行描述,构造比较判断矩阵,算出各级指标权重,对各个子指标进行综合排序,从而得出个影响因素的重要程度,根据相对重要程度优化推广模式,提出改进措施和建议。

4.3 模型求解及检验

为了更好的求出各项指标的权重，首先结合经验，依据他们之间的关系，构造两两比较的矩阵，若构造的判断矩阵检验通过，说明其存在且有效。利用高等代数知识求判断矩阵的特征根和特征向量，然后进行归一化处理，得出各项指标的权重。

4.3.1 构造判断矩阵

表 4-2 重要标度表

标度	定义	包含内容
1	同等重要	两个元素对同一准则同等重要
3	稍微重要	一元素对同一准则较之另一元素稍微重要
5	明显重要	一元素较另一元素明显地重要
7	重要得多	一元素较另一元素的主导地位已显示出来
9	极端重要	一元素较另一元素的主导地位是绝对的
2, 4, 6, 8	两个相邻判断的折中	表示两个判断之间的折中定量标准
上列数的倒数	反比较	元素 i 与 j 比较，若其判断按上列标度定为 b， 则 j 与 i 比较必有标度 $\frac{1}{b}$

表 4-3 m1-m5 判断矩阵

Z	m1	m2	m3	m4	m5
m1	1	1/2	3	1/5	1/7
m2	2	1	2	1/4	1/5
m3	1/3	1/2	1	1/6	1/8
m4	5	4	6	1	1/3
m5	7	5	8	3	1

4.3.2 判断矩阵求解

为计算方便，采用方根法求解 Z 的特征向量，由于：

$$Z = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{2} & 3 & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} \\ 2 & 1 & 2 & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{6} & \frac{1}{8} \\ 5 & 4 & 6 & 1 & \frac{1}{3} \\ 7 & 5 & 8 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

首先计算判断矩阵每行元素的乘积 k_i ，即

$$K_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}$$

其次，计算 k_i 的 n 次方根 c_i ，由于判断矩阵的阶数为 5，故 $n=5$ ，即

$$c_i = \sqrt[n]{k_i}$$

经计算得

$$c_1=0.5326 \quad c_2=0.7248 \quad c_3=0.3222 \quad c_4=2.0913 \quad c_5=3.8446$$

最后进行归一化处理，即

$$a_i = \frac{c_i}{\sum_{i=1}^5 c_i}$$

$$a_1=0.0709 \quad a_2=0.0964 \quad a_3=0.0429 \quad a_4=0.2783 \quad a_5=0.5116$$

所以 a 的特征向量为

$$a=(0.0709,0.0964,0.0429,0.2783,0.5116)^T$$

也就是说，用户预期权重为 0.0709，用户反馈权重为 0.0964，组织形象权重为 0.0429，质量感知权重为 0.2783，价值感知权重为 0.5116。

他们的权重需满足

$$\sum_{i=1}^5 a_i = 1$$

经计算，m1-m5 五项二级指标的权重值总和为 1，满足条件。

4.3.3 模型结果合理性检验

下面进行一级指标 Z 各项因子权重的一致性检验过程(见表 4-4)，方法如下：

设 $a=(a_1,a_2,\cdots,a_n)^T$, $Z \cdot a^T=(b_1,b_2,\cdots,b_n)^T$, $\lambda_{\max}=\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{a_i}$ (λ_{\max} 为最大特征值),

则有

$$Z \cdot a = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{2} & 3 & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} \\ 2 & 1 & 2 & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{6} & \frac{1}{8} \\ 5 & 4 & 6 & 1 & \frac{1}{3} \\ 7 & 5 & 8 & 3 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.0709 \\ 0.0964 \\ 0.0429 \\ 0.2783 \\ 0.5116 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3764 \\ 0.4958 \\ 0.2250 \\ 1.4461 \\ 2.6676 \end{pmatrix}$$

$$\text{则 } \lambda_{\max} = \frac{1}{5} \left(\frac{0.3764}{0.0709} + \frac{0.4958}{0.0964} + \frac{0.2250}{0.0429} + \frac{1.4461}{0.2783} + \frac{2.6676}{0.5116} \right) = 4.2227$$

用 CI 表示判断矩阵的一致性程度，公式为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}, \text{ 故 } CI = 0.055671$$

为找出不同阶数均适用的一致性检验临界值，必须消除矩阵阶数影响，故用平均随机一致性指标 RI 来修正 CI 的值，用一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI}$ ，代替一致性偏离程度指标 CI，作为判断矩阵一致性的检验标准。下表是 1-12 阶平均一致性指标 RI。

表 4-4 1-12 阶的平均一致性指标 RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54

如果 $CR < 0.1$, 认为一致性可以接受，否则要适当修正。因此我们对上述模型进一步修正，由表 4-5 可知，一级指标 Z 权重的 $CI = 0.055671$ ，由于一级指标为 5 阶，取 $n=4$ ，则 $RI=1.12$ ，由 $CR = \frac{CI}{RI}$ 得， $CR = 0.049706 < 0.1$ ，表 4-5 的排序结果符合一致性标准，构造的两两比较矩阵比较合理。

同样的方法可得表 4-6、表 4-7、表 4-8、表 4-9、表 4-10 的 CR 分别为 0.037128, 0.003552, 0.017591, 0.032614, 0.0371277

以下各表中 W 表示权重值

表 4-5 m1-m5 的判断矩阵和权重

Z	m1	m2	m3	m4	m5	W
m1	1	1/2	3	1/5	1/7	0.0709
m2	2	1	2	1/4	1/5	0.0964
m3	1/3	1/2	1	1/6	1/8	0.0429
m4	5	4	6	1	1/3	0.2783
m5	7	5	8	3	1	0.5116

$$\lambda_{\max} = 4.2227 \quad CI = 0.055671 \quad RI = 1.12 \quad CR = 0.049706 < 0.1$$

参照以上步骤可得出三级指标的判断矩阵和权重（分别见表 4-6、4-7、4-8、4-9、4-100）

表 4-6 N1-N4 的判断矩阵和权重

m1	N1	N2	N3	N4	W
N1	1	2	1/4	1/6	0.0920
N2	1/2	1	1/5	1/7	0.0592
N3	4	5	1	1/3	0.2751
N4	6	7	3	1	0.5737

$\lambda_{max}=4.0991$ $CI=0.033044$ $RI=0.89$ $CR=0.037128<0.1$

表 4-7 N4-N7 的判断矩阵和权重

m2	N5	N6	N7	W
N5	1	1/3	1/5	0.1095
N6	3	1	1/2	0.3090
N7	5	2	1	0.5816

$\lambda_{max}=3.0037$ $CI=0.001847$ $RI=0.52$ $CR=0.003552<0.1$

表 4-8 N8-N10 的判断矩阵和权重

m3	N8	N9	N10	W
N8	1	4	2	0.5584
N9	1/4	1	1/3	0.1220
N10	1/2	3	1	0.3196

$\lambda_{max}=3.0183$ $CI=0.009147$ $RI=0.52$ $CR=0.017591<0.1$

表 4-9 N11-N16 的判断矩阵和权重

m4	N11	N12	N13	N14	N15	N16	W
N11	1	1/7	1/3	1/5	1/4	1/4	0.0386
N12	7	1	5	2	3	3	0.3897
N13	3	1/5	1	1	1/2	1/2	0.0970
N14	5	1/2	1	1	2	2	0.1954
N15	4	1/3	2	1/2	1	1	0.1396
N16	4	1/3	2	1/2	1	1	0.1396

$\lambda_{max}=5.2055$ $CI=0.041093$ $RI=1.26$ $CR=0.032614<0.1$

表 4-10 N17-N20 的判断矩阵和权重

m5	N17	N18	N19	N20	W
N17	1	6	1/2	4	0.3280
N18	1/6	1	1/7	1/3	0.0526
N19	2	7	1	5	0.5097
N20	1/4	3	1/5	1	0.1097

$\lambda_{max}=4.0991$ $CI=0.0330436$ $RI=0.89$ $CR=0.0371277<0.1$

4.4 推广模式影响因素分析

表 4-11 m1-m5 层次总矩阵及组合权重计算表

Z	m1	m2	m3	m4	m5	W	重要程度排序
	0.0709	0.0964	0.0429	0.2783	0.5116		
N1	0.0920					0.00652280	18
N2	0.0592					0.00419728	20
N3	0.2751					0.01950459	14
N4	0.5737					0.04067533	7
N5		0.1095				0.01055580	17
N6		0.3090				0.02978760	10
N7		0.5816				0.05606624	5
N8			0.5584			0.02395536	13
N9			0.1220			0.00523380	19
N10			0.3196			0.01371084	15
N11				0.0386		0.01074238	16
N12				0.3879		0.10795257	3
N13				0.0970		0.02699510	11
N14				0.1954		0.05437982	6
N15				0.1396		0.03885068	8
N16				0.1396		0.03885068	8
N17					0.3280	0.16780480	2
N18					0.0526	0.02691016	12
N19					0.5097	0.26076252	1
N20					0.1097	0.05612252	4

依据上表权重大小可将个指标分为以下三个等级，见表 4-12

影响因素等级	权重范围	指标归类
I 级严重影响因素	$0.1 < \text{权重} \leq 1.0$	N12、N17、N19
II 级一般影响因素	$0.01 < \text{权重} \leq 0.1$	N3、N4、N5、N6、N7、N8、N10、N11、 N13、N14、N15、N16、N18、N20
III 级轻微影响因素	$0 \leq \text{权重} \leq 0.01$	N1、N2、N9

表 4-12 影响因素等级^[1]

从权重划分范围可以看出，生态效益提升、经济收益提升和产品耐用性三项指标属于 I 级严重影响因素层次，为影响光伏产品推广的最重要因素，权重值居于前两位、分别为 0.26076252 和 0.16780480 的评价指标是生态效益提升和经济收益提升，说明生态效益和经济效益是影响光伏发电在杭州地区推广的最核心因素，是各相关主体乃至全社会共同追求的目标，权重值排在第三位的产品耐用性（0.10795257）也是影响杭州市光伏产品推广普及的重要因素，它是用户对产品的最直观感受和重要需求，也是光伏公司在之后的研发生产、推广销售中需要首先关注的因素，这一指标体现了光伏企业和用户群体在光伏发电推广过程中的主体地位。而在 20 项评价指标中，收益预期、相关技术水平、投入预期、反馈有效性等因素属于 II 级一般影响因素，从用户角度出发，这些因素对于用户是否接受和使用光伏产品也具有重要影响，因此也需要给予这些因素相对应的重视程度。

在光伏产品的推广过程中，需要政府、电网、光伏企业和用户各方主体的共同参与和努力，政府、电网、光伏企业作为光伏产品或服务的输出端，需要提供更优质的产品和服务，而用户作为光伏产品及服务的接收端，用户群体对于光伏产品的态度是最直接影响光伏产品推广成功与否的因素，为了更好地推广光伏产品，需要提高用户对其的接受度，故考虑并满足用户的需求，是最直接有效的光伏产品推广思路。对于光伏产品推广模式的优化，在各方共同改进的基础上，提

^[1] 牛征昊. 安徽省食用菌产业技术推广模式调查与研究[D]. 安徽农业大学, 2018.

高用户这一接收端对光伏产品和服务的接受度，应当是最重要的优化方向。根据上述评价指标的量化分析，应从就经济收益提高、产品耐用性、技术水平提升、反馈有效性、指导有效性、收入预期、成本降低等方面进行优化，提高公众对光伏产品的接受度，从而实现光伏产品的推广普及。此外，对于其他各项影响因素也应视其权重值给予相应的重视和改进，从而达到多角度完善光伏产品推广模式，推动光伏产品普及的效果。

第五章 杭州市光伏发电推广模式优化路径

5.1 推广模式优化

通过对杭州市光伏产品推广现状的调查和推广影响因素的分析，研究小组认为可以通过对当前的推广模式进行调整和完善。杭州市作为一个人口众多、闲置土地面积不高的城市，充分利用建筑屋顶资源对于发展光伏发电事业是十分重要的，因此需要大力发展光伏产品项目及用户，尽可能提高光伏产品的普及率。根据前文对光伏产品推广影响因素的定性和定量分析，本文从改善环境效益、提高各主体的经济收益、提高产品耐用性、降低成本、改善服务等方面入手，结合合同能源管理的推广模式，设计更具体而符合实际情况的推广方式：由光伏公司向用户推广优质的光伏产品，负责光伏产品的全部安装和维护工作，用户出借闲置的屋顶资源。用户可以选择免费使用自己建筑屋顶安装的光伏产品所产生的电力资源并将余电上网出售或将全部电量上网出售。在此过程中，用户可以根据实际情况选择不支付光伏产品的成本费用（包括安装费用），或者按照自身经济情况承担一定比例的费用，用户与光伏公司按照合法程序签订合作协议。电网通过标准规范的程序对光伏产品及其安装环境进行检测，确定达到并网资格则与光伏公司和用户共同签订并网协议，将光伏产品产电除满足用户用电外的余电并入电网或全部电量并入电网，并按照政策规定的价格支付一定费用，此项费用对用户和光伏公司而言即为售电收益，由用户与光伏公司按前期投入的投资比例共享。

这一模式相比以往固化的光伏产品推广模式具有更高的灵活性，从光伏产品的受众群体出发，充分考虑用户群体的需求和担忧，降低光伏项目经济条件方面

的准入门槛，与光伏公司合作拥有光伏产品的模式在很大程度上可以降低风险，提高用户群体对光伏项目的信任度，有效解决有安装光伏产品意愿但受到经济条件制约或害怕高风险和损失的市民的困难，为光伏产品发展更多高质量用户，可以提高光伏产品在全市范围内的安装比例。

从用户角度而言，以往拒绝安装的市民想法主要是认为安装成本过高，超出承受范围或不确定宣传的预期收益可以达到，但在此种模式下，希望通过光伏产品获得收益的居民可以根据经济实力选择与光伏公司合作投入的资金，免费用电并获得相应比例的余电出售所得，而原本不确定是否能达到预期收益的市民也可以选择仅提供场地而不承担其他前期投入，可以选择免费用电或与光伏公司共享出售全部电量所得，用闲置的屋顶资源换取免费用电或部分售电收益，几乎是稳赚不赔的投资方式，相信能受到大量市民的认可。

根据现有的光伏项目投资推广模式，建设一个家庭光伏电站的成本取决于硬件成本、装机容量、光伏政策三个因素。由表 5-1 可知，531 新政出台之后，杭州市大部分地区分布式光伏发电项目中“自发自用，余电上网”的模式，国家补贴暂停，浙江省补贴标准为 0.42 元/千瓦时，杭州市补贴标准为 0.1 元/千瓦时，共计补贴标准为 0.52 元/千瓦时，“全额上网”模式中浙江省补贴标准 0.8 元/千瓦时，其余补贴标准不变，共计补贴标准 0.9 元/千瓦时，补贴时间 5 年。

表 5-1 杭州市分布式光伏项目上网模式补贴标准（元/kWh）

上网模式	浙江省补贴标准	杭州市补贴标准	合计补贴
自发自用，余电上网	0.42	0.1	0.52
全额上网	0.8	0.1	0.9

以杭州市户用光伏发电项目为例，假设建 5 千瓦光伏电站（楼顶产权明确），电站安装每千瓦需要 10 平方米左右的电池板，五千瓦就需要 50 平方米，以目前户用光伏电站建造市价，各种费用加起来平均 1 瓦 10 元左右。投资成本费用总计近 5 万元。

对于回报收益计算，假设 5 年内，全年发电 5000kwh：

若选择全额上网模式，则

户用电站年总收益=户用光伏电站全发电量×（合计补贴+脱硫标杆电价）

$$=5000\text{kwh} \times (0.9 \text{ 元/kwh} + 0.4153 \text{ 元/kwh}) = 6575.5 \text{ 元}$$

大约八年后收回成本。

若选择自发自用，余电上网模式，假设年自用电量为 2000kwh，则

户用电站年总收益=自用电量×杭州市电价+上网电量×（合计补贴+脱硫标杆电价）

$$=2000\text{kwh} \times 0.538 \text{ 元/kwh} + 3000\text{kwh} \times (0.52 \text{ 元/kwh} + 0.4153 \text{ 元/kwh}) = 3881.9 \text{ 元}$$

约十一年收回成本。

通过上述计算，用户投资光伏发电项目回报时间较长，在一定程度上会影响用户对光伏发电项目的接受度。因此我们对杭州市光伏发电项目推广模式进行改进，缩短收回成本的时间，提高用户收益。改进的光伏项目投资回报模式如下表所示：

表 5-2 杭州光伏项目投资-回报模式

用户投资形式 上网形式	用户投资形式	
	仅提供场地，不分摊成本	提供场地且分担成本
余电上网	用户仅免费用电， 上网收益归企业所有	用户可免费用电且按照合同 规定的比例与企业共享收益
全额上网	用户与企业按照合同 规定的比例共享收益	用户与企业按照合同 规定的比例共享收益

注：用户与企业共享收益比例视二者初始投资比而定，且明确规定于合同中

从光伏公司角度而言，不需要为土地付出资金，收益范围可从出售光伏产品扩大到出售余电，只要光伏产品质量过关便能获得更多的收益。且光伏公司在很多方面比一般市民更了解光伏产品的相关知识，在达到并网标准、设备日常维护等方面拥有更多的经验，能做出更好的成绩。从电网角度而言，前期需要将光伏产品并网工作做到更加规范、统一，之后与用户和光伏公司共同合作的难度将会相应降低，光伏产品的推广可扩大电力资源的生产途径，节约发电成本、缓解供电的同时可优化能源结构。从政府角度而言，科学宣传、大力提倡光伏产品入户，

可以推动光伏产业发展带来社会经济效益，同时优化社会能源结构，缓解能源紧缺和环境污染问题。在此项灵活的光伏产品入户方案实施的同时，为普及光伏发电产品，还需要政府、电网、光伏公司和用户多个主体进行以下改进。

5.2 各主体优化措施

除光伏产品在用户端推广的灵活模式外，综合当前光伏产品推广模式存在的问题及影响因素的定量分析，光伏发电各相关主体还需做出进一步的努力和改进，以期在多个方面实现光伏产品推广模式的优化。

5.2.1 政府

政府要达到实现缓解能源危机和治理环境污染的主要目标，获取其期望的价值，需要投入部分资源，具体可以从以下几点改进：**首先，建立完善高效的监督机制，规范光伏发电市场的运行与发展。**由政府主导，建立起完善的监督机制，对光伏发电市场进行强有力的监督。一方面可以有效约束行业内的不诚信行为，规范市场的运行，促进光伏产业的良好发展；另一方面，有了政府的介入监督，利用政府部门的权威性，可以提高市民对光伏产品的信任度，从而推动光伏产品在全市范围内的普及应用。**其次，支持和推动宣传工作，加深民众对光伏产品的认知度。**通过市政府网站、电视台等权威平台或媒体宣传光伏产品，利用政府部门的权威性科学地介绍光伏发电的工作性质和收益方式，更具有说服力。政府主导的宣传工作有利于市民充分、真实地了解光伏发电，从而能根据实际情况综合考虑、理性决策，有利于为光伏发电事业发展更多高质量的用户。同时，政府的宣传工作要注意结合各区县的不同情况而开展，达到各区县全面推广、协同发展的和谐局面。**最后，因地制宜鼓励光伏企业积极进取，促进光伏产业的良性发展。**一方面，对处于发展阶段的光伏产业提供适当的贷款支持，帮助其健康成长和发展壮大。另一方面，对在一定时期内发展客户提供并网电量多或光伏板安装面积大的光伏公司，可以给予适当的鼓励或奖励。此举有助于形成良性竞争的环境，促进已有的光伏企业的积极性，保障优秀企业的长期稳定发展。

5.2.2 电网

电网要达到缓解用电紧张、节约购电成本创造营收的期望，可以从以下几点进行：**首先是招标过程中科学决策，推动优秀光伏企业的发展。**电网在光伏项目建设招标过程中，进行科学合理的决策，选择优质的光伏企业合作，此举有利于促进光伏企业的良性竞争，激发光伏企业发展壮大的积极性，有助于推动整个光伏产业的发展。**其次是在政府与并网用户信息交流过程中积极发挥作用。**作为连接政府与并网用户的纽带，需要充分领会政策目的、贯彻执行相关工作，同时定期统计光伏产品并网用户的使用情况，根据并网用户的反馈与并网电量的总数分析之后的发展模式并向政府提交建议，有利于实现政府与用户间信息的交流与融合，推动相关政策与规定随具体情况而调整，在达成政策目标的同时照顾到用户的需求。**最后，要加强对并网项目的管理和辅助服务工作。**一方面，对并网用户进行科学合理的管理，了解用户的需求，解决并网合作中存在的问题，减少弃网现象的出现，避免因弃网而产生的资源浪费。另一方面，完善并网项目的辅助服务，可以制定合理的辅助服务收费标准，更好地促进服务效率的提高和服务质量的提升，提高并网用户对并未合作的满意度。最终实现并网项目的科学管理和高效利用。

5.2.3 光伏企业

光伏企业要达到获得更多经济收益和更好发展前景的预期，需要从以下几点进行：**首先，降低光伏产品的安装和使用成本。**在保障当前光伏产品质量的基础上，着力研发能耗更低、污染更小、成本更低的新产品，将成本更低的产品引入光伏发电市场。产品成本的降低意味着安装、维护等成本的下降，在相同承担比例下，用户需要付出的成本金额更少，就能吸引更多用户参与投资光伏发电项目。**其次，保障光伏产品安装和维护的服务效率与服务质量。**实证调查中发现，光伏产品安装和维护的便捷程度是影响市民接受光伏项目的重要原因，安装、维护服务的效率低下意味着用户需要投入更多的时间成本，若光伏企业能提高相关服务的效率与质量，则可在很大程度上节约用户的时间成本，将大大提高当前用户的满意度，并且吸引更多潜在用户。**最后，优化完善光伏产品的宣传工作。**既要保

证宣传内容的真实性与科学性，帮助消费者正确深入地认识光伏产品，理性做出决策，又要注意宣传媒体和平台的运用，选择具有更高权威性与可信度的媒体，扩大产品的宣传范围和宣传深度。同时，要注意针对现有的宣传力度地区不均衡问题，应在宣传薄弱的地区加强宣传工作，扩大光伏产品的知名度，还可以考虑开展宣传讲座向市民科普光伏产品的特性与优点。

5.2.4 用户

作为用户，希望达到低成本用电甚至从中获取利润的预期。**首先，要积极主动地收集和分析光伏产品的相关信息。**可以通过报纸、互联网等媒体查询相关信息，通过政府网站了解相关政策，分析行业的发展趋势，在对当前光伏产业的现状和光伏产品的安装要求、收益模式等有一定程度的了解后，理性地做出选择。**其次，要正视付出与回报的关系，摆正心态。**想要从光伏项目的建设中获得价值，就需要付出前期的成本，如果不愿支付产品的安装等成本，仅提供了屋顶场地，能获得的价值只有免费用电，而无权获取出售余电的经济收益；如果愿意和光伏企业分担安装光伏产品的成本，则可以出资比例获取相应的余电上网收益。

参考文献

- [1]阳芳,周源俊.利用光伏上网电价政策促进我国光伏产业发展的思考——德国光伏上网电价政策及其对我国的启示[J].价格理论与实践,2010(08):43-43.
- [2]胡阿芹,孟祺.我国太阳能光伏发电产业发展研究[J].湖北社会科学,2011(04):93-94.
- [3]孙艳伟,王润,肖黎珊,刘健,余运俊,庄小四.中国并网光伏发电系统的经济性与环境效益[J].中国人口·资源与环境,2011,21(04):88-94.
- [4]马军杰,张信,王恩琦,田廓,刘清宇,曾鸣.并网光伏发电价值的综合评价[J].水电能源科学,2011,29(06):169-171.
- [5]朱玉知,孙海彬,李国荣.光伏发电政策工具与政府选择——基于德国、日本和中国的比较研究[J].生态经济,2011(08):128-132.
- [6]朱群志,司磊磊,蒋挺燕.不同安装方式建筑光伏系统的经济性及环境效益[J].太阳能学报,2012,33(01):24-29.
- [7]朱玉知,孙海彬,杨静.家用光伏发电政策认知与需求的调查研究[J].经济纵横,2012(05):65-69.
- [8]苏剑,周莉梅,李蕊.分布式光伏发电并网的成本/效益分析[J].中国电机工程学报,2013,33(34):50-56+11.
- [9]王一博,闫庆友,李金城.基于投入产出法的农村电网投资模式研究[J].水电能源科学,2013,31(11):238-240.
- [10]马翠萍,史丹,丛晓男.太阳能光伏发电成本及平价上网问题研究[J].当代经济科学,2014,36(02):84-94+127.
- [11]肖兴志,李少林.光伏发电产业的激励方式、他国观照与机制重构[J].改革,2014(07):74-85.
- [12]宣晓伟.居民分布式光伏发电推广面临的问题和建议[J].经济纵横,2015(03):78-82.
- [13]刘念,成敏杨,邹福强,张建华.商业楼宇光伏充电站的运营模式及其综合效用评估[J].电力建设,2015,36(07):203-208.
- [14]谢东,刘慧,张籍,张世荣.小规模分布式光伏发电系统用户侧经济性分析[J].可再生能源,2015,33(05):735-740.
- [15]甘卫华,刘振梅.光伏产业技术特征和政策研究:一个文献综述(2009—2013年)[J].科技管理研究,2015,35(01):38-43.

- [16] 丁丽萍, 帅传敏, 李文静, 闫琼, 郭晴. 基于 SEM 的公众太阳能光伏发电认知和采纳意愿的实证研究[J]. 资源科学, 2015, 37(07): 1414-1423.
- [17] 施泉生, 于文姝, 谢品杰. 能源互联网背景下分布式光伏发电的经济效益研究[J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(01): 100-105.
- [18] 贾亚雷, 石建国, 庞永超, 安鹏. 基于省级截面数据的分布式光伏发电补贴政策实证分析[J]. 可再生能源, 2016, 34(10): 1434-1440.
- [19] 邱寿丰, 陈巧燕. 我国分布式光伏发电补贴政策的经济效应研究[J]. 价格理论与实践, 2016(08): 93-95.
- 童昕, 王涛, 王蔚. 混合功能社区对分布式光伏应用的影响[J]. 应用基础与工程科学学报, 2017, 25(04): 793-804.
- [20] 李蕊. 基于不同商业运营模式的分布式电源/微电网综合效益评价方法[J]. 电网技术, 2017, 41(06): 1748-1758.
- [21] 马溪原, 郭晓斌, 周长城, 雷金勇, 胡洋, 赵卓立, 郭祚刚. 电网公司投资分布式光伏发电系统的典型运营模式分析[J]. 南方电网技术, 2018, 12(03): 53-59.
- [22] 陈梓毅, 曹烨, 邱国玉. 城市分布式光伏发电的经济和环境效益实证分析[J]. 生态经济, 2018, 34(06): 100-104.
- [23] 温泽坤, 邱国玉. 中国家庭式光伏发电的环境与经济效益研究——以江西 5 kW 光伏系统为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(02): 443-450.
- [24] Zhang, Y & J.H. Song & S.G.Y.K. Hamori, Impact of subsidy policies on diffusion of photovoltaic power generation[J] Energy Policy, Volume 39, Issue 4, April 2011, Pages 1958-1964.
- [25] Barnham, K & K.Knorr & M.Mazzer, Benefits of photovoltaic power in supplying national electricity demand[J] Energy Policy, Volume 54, March 2013, Pages 384-390.
- [26] Dawei, L & H. Shiroyama, Development of photovoltaic power generation in China: A transition perspective[J] Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 25, September 2013, Pages 783-792.
- [27] Zhang, M. M. & D. Q. Zhou & P. Zhou & G. Q. Liu, Optimal feed-in tariff for solar photovoltaic power generation in China: A real options analysis[J] Energy Policy, Volume 97, October 2016, Pages 181-192.
- [28] Ergo, P & J. Kurnitski & M. Thalfeld & L. Koskela, Cost-benefit analysis of nZEB energy

efficiency strategies with on-site photovoltaic generation[J] *Energy*, Volume 128, 1 June 2017, Pages 291-301.

[29] Dejan Doljak & Dragana Popović & Dragana Kuzmanović, Photovoltaic potential of the City of Požarevac[J] *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 73, June 2017, Pages 460-467.

[30] Jinlin .X, Photovoltaic agriculture - New opportunity for photovoltaic applications in China[J] *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 73, June 2017, Pages 1-9.

[31] Vale, A. M. & D. G. Felix & M. Z. Forte & B. S. M. C. Borba & B. S. Santelli, Analysis of the economic viability of a photovoltaic generation project applied to the Brazilian housing program “Minha Casa Minha Vida”[J] *Energy Policy*, Volume 108, September 2017, Pages 293-298.

[33] Carlos ,M & P. Frías & R. Cossent & P. Sonvilla & B. Barth, Overcoming the barriers that hamper a large-scale integration of solar photovoltaic power generation in European distribution grids[J] *Solar Energy*, Volume 153, 1 September 2017, Pages 574-583.

[34] Yong-Cheol ,C & S.Y. Lim & S.H. Yoo, The external benefits of expanding the micro photovoltaic power generation in Korea: A contingent valuation study[J] *Solar Energy*, Volume 158, December 2017, Pages 898-904.

[36] García-Álvarez, M.T & L. Cabeza-García & I. Soares, Assessment of energy policies to promote photovoltaic generation in the European Union[J] *Energy*, Volume 151, 15 May 2018, Pages 864-874.

[37] Robert ,P & M. Watt & A. Bruce & I. MacGill, Who pays, who benefits? The financial impacts of solar photovoltaic systems and air-conditioners on Australian households[J] *Energy Research & Social Science*, Volume 39, May 2018, Pages 198-214.

[38] Zhang, H.M & Z.D. Xu & C.W. Sun & E. Elahi, Targeted poverty alleviation using photovoltaic power: Review of Chinese policies [J] *Energy Policy*, Volume 120, September 2018, Pages 550-558.

[39] Li, Y & Q. Zhang & G. Wang & X.F. Liu, B.J.M. Mclellan, Promotion policies for third party financing in Photovoltaic Poverty Alleviation projects considering social reputation [J] *Journal of Cleaner Production*, Volume 211, 20 February 2019, Pages 350-359.

[40] Marc, P & R. Perez & K.R. Rábago & M. Putnam, Overbuilding & curtailment: The cost-effective enablers of firm PV generation[J] *Solar Energy*, Volume 180, 1 March 2019, Pages

413-422.

[41] Jing ,Si & C.Xin & L.P.Ding & Y.Jun & Z.H. Leng,How should government and users share the investment costs and benefits of a solar PV power generation project in China?[J] Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 104, April 2019, Pages 85-94.

[42] 杭州可再生能源网: <http://www.hzrea.org/>

附录

附录 1

杭州市光伏发电推广现状调查问卷

亲爱的市民朋友：

您好！

我们是浙江工业大学光伏发电推广现状调查小组的成员，为了全面了解杭州市光伏发电的推广情况，分析光伏发电推广过程中存在的优势与不足，更好地促进光伏产业的创新发展，我们组织了此次对杭州市的市民调查，希望能得到您的真实想法与宝贵意见。

本次调查严格按照《统计法》的要求进行，无需填写姓名与联系方式，所有回答只用于统计分析，各项答案没有对错之分，您只需根据自己的实际情况，在合适的答案上打√或者在中填上适当的内容，您的回答将对改善光伏发电的推广提供帮助。

衷心感谢您的支持与协助！

祝您生活愉快！

浙江工业大学政治与公共管理学院

2019 年 3 月

第一部分：基本信息

A1 请问您的年龄是

- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| 1. 18 周岁以下 | 2. 18—30 周岁 | 3. 31—40 周岁 |
| 4. 41—50 周岁 | 4. 51—60 周岁 | 5. 60 周岁以上 |

A2 请问您的学历是

- | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|------------|
| 1. 小学及以下 | 2. 初中 | 3. 高中 | 4. 大专 | 4. 大学本科及以上 |
|----------|-------|-------|-------|------------|

A3 您的职业是

1. 企、事业单位人员 2. 商人 3. 农民 4. 技术人员 4. 政府部门人员 5. 其他

A4 您家庭的月均收入水平是

1. 5000 元及以下 2. 5001-10000 元 3. 10001-20000 元

4. 20001-50000 元 4. 50000 元以上

A5 （可多选）您工作和居住在杭州的哪个区县

1. 主城区（上城区、下城区、江干区、拱墅区、西湖区）

2. 非主城区（滨江区、萧山区、余杭区、富阳区、临安区、淳安县、桐庐县、建德市）

A6 您居住在城市还是农村

1. 城市 2. 农村

A7 在您居住或者工作的地方是否有安装光伏发电相关产品

1. 居住的地方有安装 2. 工作的地方有安装

3. 居住和工作的地方均有安装 4. 居住和工作的地方均未安装

第二部分：对光伏发电的认知程度

B1 您对光伏发电（太阳能电板发电）相关知识的了解程度是

1. 不了解 2. 一般了解 3. 较为了解 4. 非常了解 4. 完全了解

B2 您对杭州市光伏发电相关政策的了解情况是

1. 不了解 2. 一般了解 3. 较为了解 4. 非常了解 4. 完全了解

B3（可多选）您通过哪些途径了解到光伏发电

1. 政府政策宣传 2. 企业上门推广 3. 报纸、互联网等相关媒介 4. 其他

B4（可多选）您所了解的光伏发电产品的推广模式有哪些

1. 政府政策扶持 2. 政府部门科普宣传 3. 相关企业自身宣传 4. 其他

B5（可多选）您认为光伏发电产品的优势有哪些

1. 清洁能源 2. 使用方便 3. 用电成本较低 4. 享受国家政策补贴

4.其他：_____

B6 您对光伏发电的接受程度为

1. 不接受 2. 一般接受 3. 较为接受 4. 非常接受 4. 完全接受

第三部分：光伏发电推广使用现状

C1 您对目前使用的光伏产品的相关服务是否满意（包括安装与维修养护）

1. 不满意 2. 一般满意 3. 较为满意
4. 非常满意 4. 完全满意 5. 未安装，无法评价

C2（可多选）当前影响您接受光伏发电的因素有哪些

1. 安装和维护的便捷度 2. 安装和使用的成本问题
3. 推广模式和宣传方式 4. 政策易变动，补贴水平不确定
4.其它：_____

C3 您居住或者工作的地方使用的光伏发电产品安装及维护是由哪一方负责的

- 1.个人或企业主动联系光伏公司，光伏公司负责安装及维护
2.个人或企业主动联系光伏公司，自己负责安装及维护
3.村委或社区联系光伏公司统一安装及维护
4.其他：_____
4.未安装，不了解

C4 您目前使用光伏产品的安装和养护便捷程度是

1. 不方便 2. 较为不方便 3. 比较方便 4. 方便 4. 非常方便

C5 您认为光伏发电相关产品的安装和使用成本如何

1. 成本高昂，不能接受 2. 成本较高，但在可接受范围内 3. 成本较低，非常乐意接受

C6（可多选）您认为当前光伏发电宣传和推广模式存在哪些问题

1. 宣传内容空泛，未能体现产品真实情况 2. 过分夸大收益，隐瞒前期成本
3. 宣传媒体不具有权威性，可信度不高 4. 部分地区宣传不足
4. 产品技术水平有待提高 5. 市民对光伏产品接受度有待提高
7. 政府政策落地有阻碍 8. 其他：_____

C7 您对现有光伏发电产品的补贴水平的满意度如何

1. 不满意（无补贴） 2. 不满意 3. 比较满意 4. 满意 4. 非常满意 5. 完全满意

C8 当前光伏发电政策对您使用此类产品有什么影响

1. 政策出现变化，不明未来发展，放弃使用该类产品
2. 政策出现变化，可能出现新的态势，成为此类产品的新用户
3. 政策补贴减少，使用成本增加，不会继续使用
4. 政策补贴减少，使用成本增加但仍会继续使用
4. 其它：_____

四部分：光伏发电未来发展

D1 请您对以下光伏发电的改进建议进行排序（按重要性从高到低）

1. 提升安装和维护服务的效率和质量 2. 降低安装和维护的成本
3. 改进宣传方式和推广模式 4. 政府加大扶持力度，提高补贴水平
4. 改进现有上网制度

D2 对您家庭来说，光伏项目投资额在什么范围之内较为合理

1. 1 万元以内 2. 10001-30000 元 3. 30001-50000 元 4. 5 万元以上

D3 如果您不需要承担安装及使用维护光伏发电产品的任何费用，那么您对光伏发电产品的态度是

- 1.仍然愿意安装 2.愿意考虑安装 3.仍然不考虑安装

D4 如果您只需要承担安装及使用维护光伏发电产品一部分比例的费用，那么您愿意承担的比例范围是

1. 0 2. 1-10% 3. 11%-20% 4. 21%-30% 4. 30%以上

D5（可多选）您对光伏发电的宣传推广模式有何建议？

1. 增加宣传内容的真实性和可信度 2. 改进宣传方式，扩大宣传范围
3. 政府主导推动光伏产品的普及 4. 用户主动参与安装和使用，提高光伏产品普及率
4.其它： _____

D6（可多选）您认为政府应该加大对哪一方的补贴力度？

1. 光伏发电公司 2. 个体光伏产品用户
3. 大型光伏产品用户 4. 电力公司

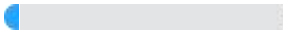

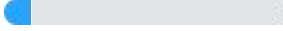
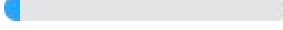
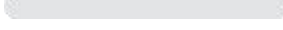
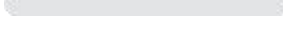
D7 您对光伏发电未来的发展还有哪些建议？

我们的调查至此告一段落，感谢您的合作。如果您对本次调查涉及的问题有什么看法，也欢迎您对本次调查提出批评和建议。再次向您表示感谢祝万事如意！

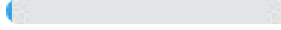
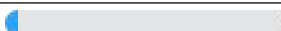



附录 2

杭州市光伏发电推广现状调查问卷结果

A1 请问您的年龄是[单选题]

选项	小计	比例
18 周岁以下	19	 4.21%
18-30 周岁	288	 78.9%
31-40 周岁	34	 9.32%
41-50 周岁	22	 5.03%
51 周岁-60 周岁	1	 0.27%
60 周岁以上	1	 0.27%
本题有效填写人次	365	

A2 请问您的学历是[单选题]

选项	小计	比例
小学及以下	8	 2.19%
初中	16	 4.38%
高中	32	 8.77%
大专	43	 11.78%
大学本科及以上	266	 72.88%
本题有效填写人次	365	

A3 您的职业是[单选题]

选项	小计	比例
企、事业单位人员	115	31.51%
商人	17	4.66%
农民	26	7.12%
技术人员	37	10.14%
政府部门人员	15	4.11%
其他	155	42.47%
本题有效填写人次	365	


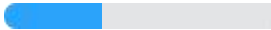
A4 您家庭的月均收入水平是[单选题]

选项	小计	比例
5000 元及以下	117	32.05%
5001-10000 元	131	34.89%
10001-20000 元	82	22.47%
20001-50000 元	22	5.03%
50000 元以上	13	3.56%
本题有效填写人次	365	



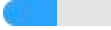

A5 （可多选）您工作和居住在杭州的哪个区县？[多选题]

选项	小计	比例
主城区(上城区、下城区、江干区、拱墅区、西湖区)	188	51.51%
非主城区（滨江区、萧山区、余杭区、富阳区、临安区、淳安县、桐庐县、建德市）	210	57.53%
本题有效填写人次	365	






A6 您居住在城市还是农村？[单选题]

选项	小计	比例
城市	237	 64.93%
农村	128	 34.07%
本题有效填写人次	365	

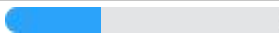
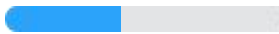
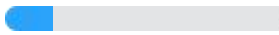

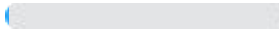
A7 在您居住或者工作的地方是否有安装光伏发电相关产品[单选题]

选项	小计	比例
居住的地方有安装	95	 25.03%
工作的地方有安装	143	 39.18%
居住和工作的地方均有安装	70	 19.18%
居住和工作的地方均未安装	57	 14.62%
本题有效填写人次	365	


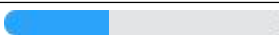
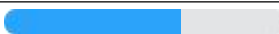
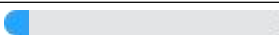
B1 您对光伏发电(太阳能电板发电)相关知识的了解程度是[单选题]

选项	小计	比例
不了解	85	 23.29%
一般了解	183	 50.14%
较为了解	63	 17.26%
非常了解	28	 7.67%
完全了解	6	 1.64%
本题有效填写人次	365	




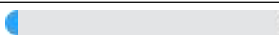
B2 您对杭州市光伏发电相关政策的了解情况是[单选题]

选项	小计	比例
不了解	124	 33.97%
一般了解	151	 41.37%
较为了解	62	 15.99%
非常了解	22	 5.03%
完全了解	6	 1.64%
本题有效填写人次	365	


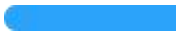



B3 您通过哪些途径了解到光伏发电[多选题]

选项	小计	比例
政府政策宣传	179	 49.04%
企业上门推广	134	 35.71%
报纸、互联网等相关媒介	229	 62.74%
其他	32	 8.77%
本题有效填写人次	365	






B4 您所了解的光伏发电产品的推广模式有哪些[多选题]

选项	小计	比例
政府政策扶持	191	 52.33%
政府部门科普宣传	236	 64.66%
相关企业自身宣传	195	 53.42%
其他	17	 4.66%
本题有效填写人次	365	







B5 您认为光伏发电产品的优势有哪些[多选题]

选项	小计	比例
清洁能源	248	 67.95%
使用方便	220	 60.27%
用电成本较低	235	 64.38%
享受国家政策补贴	172	 47.12%
其他	9	 2.47%
本题有效填写人次	365	

B6 您对光伏发电的接受程度为[单选题]

选项	小计	比例
不接受	18	 4.93%
一般接受	107	 29.32%
较为接受	138	 37.81%
非常接受	74	 20.27%
完全接受	28	 7.67%
本题有效填写人次	365	

C1 您对目前使用的光伏产品的相关服务是否满意(包括安装与维修养护) [单选题]

选项	小计	比例
不满意	16	 4.38%
一般满意	132	 35.16%
较为满意	123	 33.7%
非常满意	44	 12.05%
完全满意	13	 3.56%
未安装, 无法评价	37	 10.14%
本题有效填写人次	365	

C2 当前影响您接受光伏发电的因素有哪些[多选题]

选项	小计	比例
安装和维护的便捷度	202	54.34%
安装和使用的成本	260	71.23%
推广模式和宣传方式	160	43.84%
政策及补贴水平	128	34.07%
其他	16	4.38%
本题有效填写人次	365	

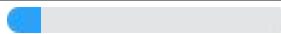
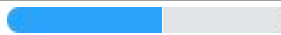
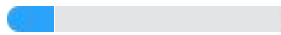
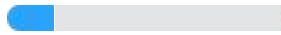
C3 您居住或者工作的地方使用的光伏发电产品安装及维护是由哪一方负责的
[单选题]

选项	小计	比例
个人或企业主动联系光伏公司, 光伏公司负责安装及维护	104	28.49%
个人或企业主动联系光伏公司, 自己负责安装及维护	127	34.79%
村委或社区联系光伏公司统一安装及维护	66	18.08%
其他	13	3.56%
未安装, 不了解	55	14.07%
本题有效填写人次	365	

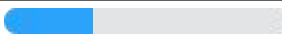
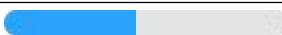






C4 您目前使用光伏产品的安装和养护便捷程度是[单选题]

选项	小计	比例
不方便	19	4.21%
较为不方便	79	21.64%
比较方便	123	33.7%
方便	62	15.99%
非常方便	20	4.48%
未安装, 不了解	62	15.99%
本题有效填写人次	365	

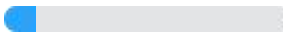
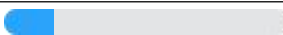

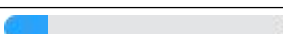


C5 您认为光伏发电相关产品的安装和使用成本如何[单选题]

选项	小计	比例
成本高昂，不能接受	46	 12.6%
成本较高，但在可接受范围内	198	 54.25%
成本较低，非常乐意接受	61	 15.71%
不了解	60	 15.44%
本题有效填写人次	365	

C6 您认为当前光伏发电宣传和推广模式存在哪些问题[多选题]

选项	小计	比例
宣传内容空泛，未能体现产品真实情况	115	 31.51%
过分夸大收益，隐瞒前期成本	172	 47.12%
宣传媒体不具有权威性，可信度不高	145	 39.73%
部分地区宣传不足	196	 53.7%
产品技术水平有待提高	129	 34.34%
市民对光伏产品接受度有待提高	119	 32.6%
政府政策落地有阻碍	71	 19.45%
其他	17	 4.66%
本题有效填写人次	365	

C7 您对现有光伏发电产品的补贴水平的满意度如何[单选题]

选项	小计	比例
不满意(无补贴)	43	 11.78%
不满意	65	 17.81%
比较满意	178	 48.77%
满意	54	 14.79%
非常满意	19	 4.21%
完全满意	6	 1.64%
本题有效填写人次	365	

C8 当前光伏发电政策对您使用此类产品有什么影响[单选题]

选项	小计	比例
政策出现变化, 不明未来发展, 放弃使用该类产品	40	10.96%
政策补贴减少, 使用成本增加但仍会继续使用	126	34.52%
政策出现变化, 可能出现新的态势, 成为此类产品的新用户	161	44.11%
原本就不想使用此类产品, 政策变动无影响	20	4.48%
其他	18	4.93%
本题有效填写人次	365	

D1 请您对以下光伏发电的改进建议进行排序(按重要性从高到低) [排序题]

选项	平均综合得分
降低安装和维护的成本	3.3
提升安装和维护服务的效率和质量	2.8
改进宣传方式和推广模式	2.65
政府加大扶持力度, 提高补贴水平	2.45
改进现有上网制度	1.25

D2 对您家庭来说, 光伏项目投资额在什么范围之内较为合理[单选题]

选项	小计	比例
10000 元以内	191	52.33%
10001-30000 元	108	29.59%
30001-50000 元	50	13.7%
50000 元以上	16	4.38%
本题有效填写人次	365	

D3 如果您不需要承担安装及使用维护光伏发电产品的任何费用，那么您对光伏发电产品的态度是[单选题]

选项	小计	比例
仍然愿意安装	98	25.85%
愿意考虑安装	240	64.75%
仍然不考虑安装	27	7.4%
本题有效填写人次	365	




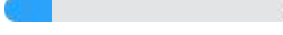
D4 如果您只需要承担安装及使用维护光伏发电产品一部分比例的费用，那么您愿意承担的比例范围是[单选题]

选项	小计	比例
0	13	3.56%
1%-10%	146	40%
11%-20%	131	34.89%
21%-30%	62	15.99%
30%以上	13	3.56%
本题有效填写人次	365	

D5 您对光伏发电的宣传推广模式有何建议[多选题]

选项	小计	比例
增加宣传内容的真实性和可信度	186	50.96%
改进宣传方式，扩大宣传范围	225	61.64%
政府主导推动光伏产品的普及	229	62.74%
用户主动参与安装和使用，提高光伏产品普及率	155	42.47%
其他	14	3.84%
本题有效填写人次	365	

D6 您认为政府应该加大对哪一方的补贴力度？[多选题]

选项	小计	比例
光伏发电公司	176	 48.22%
个体光伏产品用户	258	 70.68%
大型光伏产品用户	159	 43.56%
电力公司	64	 17.53%
本题有效填写人次	365	

D7 您对光伏发电未来的发展还有哪些建议？[填空题]

政府扶持

希望可以用最低的价格享受最好的服务