



# 美国促进分布式发电的历史和当前战略

Travis Lowder、Paul Schwabe 和 Ella Zhou  
*National Renewable Energy Laboratory*

Douglas J. Arent  
*Joint Institute for Strategic Energy Analysis*

这项工作是中国电网低碳未来计划的一部分，由 Children's Investment Fund Foundation 资助。

国家可再生能源实验室是美国能源部  
能源效率和可再生能源局的国家实验室  
由可持续能源联盟运营

本报告可从国家可再生能源实验室网站  
[www.nrel.gov/publications](http://www.nrel.gov/publications) 免费获取。

技术报告  
NREL/TP-6A20-66723  
2015 年 8 月

合同编号 DE-AC36-08GO28308

# 美国促进分布式发电的历史和当前战略

Travis Lowder、Paul Schwabe 和 Ella Zhou  
*国家可再生能源实验室*

Douglas J. Arent  
*战略能源分析联合研究所*

依 Task No. ACTC.1340 编制

国家可再生能源实验室是美国能源部  
能源效率和可再生能源局的国家实验室  
由可持续能源联盟运营

本报告可从国家可再生能源实验室网站  
[www.nrel.gov/publications](http://www.nrel.gov/publications) 免费获取。

技术报告  
NREL/TP-6A20-66723  
2015 年 8 月

合同编号 DE-AC36-08GO28308

## 声明

本报告是作为美国政府机构赞助的一项工作而编制。对于披露的任何信息、设备、产品或过程的准确性、完整性或有效性，无论是美国政府或其任何机构，还是其任何雇员都不作任何明示或暗示保证，或承担任何法律责任或责任，或表示其使用不会侵犯私人拥有的权利。本文提及的商品名、商标、制造商的任何特定商品、过程或服务或其他项目不一定构成或暗示由美国政府或其任何机构背书、推荐或赞成。本文作者的观点和意见不一定陈述或反映美国政府或其任何机构的观点和意见。

本报告可从国家可再生能源实验室网站  
[www.nrel.gov/publications](http://www.nrel.gov/publications) 免费获取。

电子版可在 SciTech Connect <http://www.osti.gov/scitech> 获取

向美国能源部  
及其承包商支付一定加工费用，可以从以下地点获得纸质版：

美国能源部  
科学和技术信息办公室  
P.O. Box 62  
Oak Ridge, TN 37831-0062  
OSTI <http://www.osti.gov>  
电话： 865.576.8401  
传真： 865.576.5728  
电子邮件：[reports@osti.gov](mailto:reports@osti.gov)

可向公众出售纸质版，地点：

美国商务部  
国家技术信息局  
5301 Shawnee Road  
Alexandria, VA 22312  
NTIS <http://www.ntis.gov>  
电话： 800.553.6847 或 703.605.6000  
传真： 703.605.6900  
电子邮件：[orders@ntis.gov](mailto:orders@ntis.gov)

封面照片由 Dennis Schroeder 拍摄：（从左至右）NREL 26173、NREL 18302、NREL 19758、NREL 29642、NREL 19795。

国家可再生能源实验室采用含再生材料的纸张印制。

## 前言

目前，中国每年的可再生能源电力装机量多于世界其他国家。中国的可再生能源发电以可变可再生能源电力为主，尤其是风能和太阳能发电。如何在发电过程中增加可变可再生能源电力的比重，是全世界关心的课题。中国对于此项课题的积极贡献主要体现在两方面：一方面是迅速扩大可再生能源电力的全国性布局，另一方面是认真学习和借鉴其他国家已有的经验。

本报告是阐述美国国家可再生能源实验室（National Renewable Energy Laboratory, NREL）、中国国家可再生能源中心及中国其他主要研究机构，以及丹麦能源署之间技术合作的系列报告的部分项目。这几方的合作主要致力于分享关于高比例可再生能源电网系统的规划、部署和运营方面的经验。此项为期五年的合作获得了英国儿童投资基金会的大力资助。

第一年的核心任务是由专家主导在中国开展一系列工作，分享下述四个关键方面的技术知识和实践经验：

1. 综合能源情景设计与建模
2. 可再生能源友好的电网发展
3. 电力系统灵活性
4. 促进可再生能源分布式发电的发展。

这些工作植根于丹麦能源署和中国国家可再生能源中心专家之间的已有的合作，并且使这种合作得以显著扩展。

本报告对于上述第四个主题的参与过程中所讨论的一系列问题进行了总结。报告所讨论的设计限于美国的大环境下，主要侧重于分布式发电的商业和投资模型。后续工作中将不断探索美国经验为中国能源规划提供启示的可行性与操作模式，同时也将充分利用本报告提供的知识基础。本报告中所展现的初期合作为实现双方的互相理解建立了良好的开端，并且启发了中国的研究人员开始考虑如何将其他国家的经验转变为符合中国特有的自然、经济、社会和政治环境下的模式。

我们期待着此项合作已经初步获得的成功在未来的四年里得以延续。

## 致谢

编者想感谢下列人士进行审阅和提供意见：国家可再生能源实验室 (National Renewable Energy Laboratory) 的 John Barnett、Jaquelin Cochran、David Feldman、Jenny Heeter、Jeffrey Logan 和 Patricia Statwick，以及中国国家可再生能源中心的胡润青。这项工作是中国电网低碳未来计划的一部分，由英国儿童投资基金会资助。

## 缩略词

C&I	commercial and industrial 工商业
CAGR	compound annual growth rate 复合年增长率
CNREC	China National Renewable Energy Center 中国国家可再生能源中心
DG	distributed generation 分布式发电
DGPV	distributed generation photovoltaics 分布式光伏发电
FHFA	Federal Housing and Finance Agency 联邦住房金融局
FiT	feed-in tariff 上网电价补贴
GW	gigawatt 千兆瓦
GWh	gigawatt-hour 千兆瓦时
HERO	Home Energy Renovation Opportunity 家庭能源革新机遇
ITC	investment tax credit 投资税抵减
kW	kilowatt 千瓦
kWh	kilowatt-hour 千瓦时
LCOE	levelized cost of electricity 平准化发电成本
MACRS	modified accelerated cost recovery system 修正的加速成本回收制度
MW	megawatt 兆瓦
NEA	National Energy Administration (China) 中国国家能源局
NREL	National Renewable Energy Laboratory 国家可再生能源实验室
O&M	operations and maintenance 运营和维护
PACE	property assessed clean energy 资产评估性清洁能源
PPA	power purchase agreement 购电协议
PUC	public utility commission 公用事业委员会
PV	photovoltaics 光伏
REC	renewable energy certificate 可再生能源证书
RMB	人民币 ( 中国货币 )
RPS	renewable portfolio standard 可再生能源配额标准
SREC	solar renewable energy certificate 太阳能可再生能源证书
TPO	third-party ownership 第三方所有权
VOST	value of solar tariff 太阳能补贴值

## 目录

1 简介.....	1
2 美国分布式光伏发电成本趋势.....	3
3 支持分布式光伏的联邦政府政策、州政府政策和监管政策.....	7
3.1 联邦税收激励.....	7
3.2 州政府扶持政策.....	9
3.2.1 净计量.....	12
3.2.2 太阳能补贴值 ( value of solar tariff ) .....	14
4 分布式光伏发电商业和融资创新.....	16
4.1 共享太阳能.....	16
4.2 第三方持有模式.....	17
4.2.1 第三方持有模式和公共部门采购.....	19
4.3 太阳能担保贷款.....	21
4.3.1 资产评性估清洁能源 Property Assessed Clean Energy (PACE).....	22
4.4 融资创新.....	23
4.4.1 证券化.....	23
4.4.2 Yieldco.....	26
5 电网接入.....	29
6 结论.....	31
参考资料.....	32

## 图目录

图 1. 2008–2014 年美国年度和累计分布式光伏发电装机量.....	4
图 2. 多种技术标准化发电成本对比 ( 2014 年 ) .....	5
图 3. 2010–2015 年亚利桑那州、加利福尼亚州、马萨诸塞州、新泽西州、马里兰州和纽约州的 光伏系统成本 ( 按系统规模 ) .....	6
图 4. 美国居民和商业用电平均零售价.....	10
图 5. 可再生能源配额标准及太阳能或分布式发电规定.....	11
图 6. 光伏建设许可和并网的过程.....	29

## 表目录

表 1. 联邦税收优惠详情.....	8
表 2 证券化的效益.....	25

# 1 简介

中国的太阳能光伏产业正在迅速发展。2013 年，中国生产了 26 千兆瓦光伏组件，超过世界总供应量的 60%，其中 43% 的组件在国内消耗（中国工业和信息化部，2014）。太阳能光伏总装机量从 2010 年的 240 兆瓦增长到 2014 年的 28.05 千兆瓦，太阳能光伏发电量目前占国家总发电量的 0.45%（25 千兆瓦时）（中国国家能源局，2015）。自 2013 年以来，中国出台了一系列政策和指导方针支持太阳能光伏的发展，包括实行国家上网电价补贴 0.42 元人民币/千瓦时。尽管中国太阳能市场整体增长显著，但是 2014 年的分布式太阳能光伏新装机量没有达到中国国家能源局提出的 8 千兆瓦目标。融资和互连管理方面的挑战抑制了分布式太阳能光伏的增长潜力（中国循环经济协会可再生能源专业委员会，2015）。

在中国，分布式光伏发电在融资方面的阻碍尤为突显的方面包括但不限于：项目规模对于融资方案的限制，屋顶和土地的所有权问题，高资本成本和低竞争力电价带来的分布式发电经济效益的挑战，资本提供者根据预期风险所订立的高融资成本等。第一，分布式发电项目的规模既没有小到可以轻易地自筹资金，又没有大到足以吸引资本市场或基金投资。第二，中国的屋顶和土地所有权问题使分布式发电更具挑战性：对于居民项目，直至公寓大楼所有住户达成共识，项目才可向前推进；对于商业项目，企业所有权往往比太阳能项目自身周期呈现更为频繁的变更。因此，利用太阳能项目作为抵押以获取银行贷款存有一定困难 (Wang 2014)。第三，偏低的电价可降低分布式光伏发电系统的经济价值。依中国当前的分布式发电政策，屋顶太阳能所有者首先使用其太阳能电池板产生的电力，之后才以单独的上网电价补贴价格将多余的电力回售给电网。居民电价的低价位特点（低于上网电价补贴和中国工商业电价）尤其对居民分布式光伏发电系统的经济价值造成削弱。因此，尽管上网电价补贴价格相对较高，居民分布式光伏发电市场尚未获得飞跃式发展。第四，居高的太阳能融资成本（一般在 8% 以上，有时达到 10%–12%）也增加了经济方面的挑战性。太阳能电池板质量和电力用户付款方面的担忧（在贷款期限内搬迁或破产的风险）也提高了分布式发电项目的融资成本 (Dai 2014)。

美国分布式光伏发电市场的增长相对迅速，从 2009 年的 2 千兆瓦增长到 2014 年的 8 千兆瓦以上（图 1）。美国的分布式光伏发电增长由多面因素驱动，包括联邦和州政策扶持机制、商业模式与融资创新，以及降低风险的各种措施。然而，美国分布式光伏发电的迅

速增长为电力行业的诸多方面带来了新的挑战，包括电力企业的分崩离析、费率所须的重新设计以及相应对电力用户造成的成本影响、对电网稳定性方面的担忧和并网方面的问题等等。

本报告旨在描述，在全球成本降低和欧洲先期采用的宏观环境下，帮助推动美国分布式光伏发电市场的各种自上而下和自下而上的实施方法。这些经验为中国探索推进分布式可再生能源提供了借鉴和参考。本报告其余部分的结构如下：第 2 节讨论了美国分布式光伏发电发展的近期趋势；第 3 节总结了联邦和州政府对分布式光伏发电的政策和法规支持；第 4 节分析了分布式光伏发电的业务和融资创新，包括共享太阳能、第三方所有权、证券化和项目收益公司 (YieldCo) 模式；第 5 节简单讨论了并网的标准和程序；最后，本报告总结了从美国分布式发电发展中得出的一些重要的参考经验。

## 2 美国分布式光伏发电成本趋势

在美国，分布式光伏发电一般定义为安装在负荷位置（屋顶或地面）或附近的太阳能光伏发电容量，接入公共配电网，规模通常小于 1 兆瓦（SEIA，2015；Gauntlett 和 Lawrence，2015）。分布式光伏发电通常用于抵减电力客户的用电量，而这些客户不参与批发市场的能源出售。因此，在美国，分布式光伏发电与零售电价竞争；这使分布式光伏发电在电价相对较高的几个州成为一种经济的选择。

美国的分布式光伏发电范畴包括太阳能市场的两部分：居民光伏（系统规模通常达 25 千瓦）和商业光伏（25 千瓦——1 兆瓦）。<sup>1</sup> 在过去七年里，这两个市场整体增长迅速，复合年增长率近 42%（见图 1）。<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>一些分析师将商业市场分为“小型商业市场”（25 千瓦——250 千瓦）和“工商业市场”（250 千瓦——1,000 千瓦）。为简单起见，本报告将商业和工商业以及属于这个规模范畴的公共部门实体（如市政、非营利机构、大学等）的装机所结合。本报告中列出的每个细分市场的典型项目规模是根据对太阳能行业专业人士的访谈而确定的。

<sup>2</sup>值得注意的是，2014 年是美国商业太阳能市场自 21 世纪以来的首个下跌年份。这是由商业太阳能独有的一些阻碍因素导致，包括州政府鼓励措施减少和融资的挑战，如：1) 太阳能投资项目的交易成本很高，因而会限制投资者在较小交易中的收益；2) 合同和交易结构缺乏标准化，从而减缓发展进度，并影响项目捆绑聚合。除此之外，商业市场上许多购电协议对应方未进行评级，这通常意味着执行成本高昂的尽职调查过程，以确定其信誉并降低投资者的忧虑。

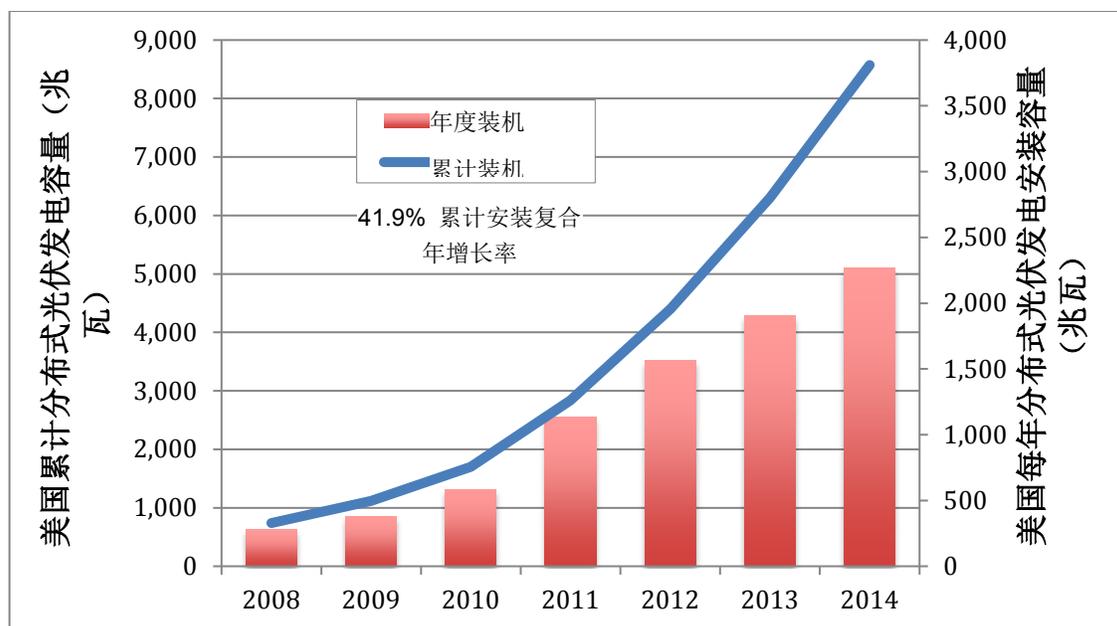


图 1. 2008–2014 年美国年度和累计分布式光伏发电装机量

来源：GTM/太阳能产业协会，2015

自 2008 年以来，多晶硅价格暴跌，全球光伏市场迅速发展，组件供应持续增长，这些因素共同导致太阳能光伏成本空前降低。目前，光伏平准化发电成本（一种竞争力的近似度量）可以与传统的电力来源一较高下。图 2 列出金融公司 Lazard 预计的各种发电技术的平准化发电成本估计值 (Lazard 2014)。两类分布式光伏发电（“太阳能光伏——居民屋顶”和“太阳能光伏——工商业屋顶”）是此分析中发电成本相对较高的两种技术（这些数据呈现“无补贴”的平准化发电成本。其价格区间已与部分州的零售价水平相当，尤其在考虑州政府和联邦政府的激励因素后。

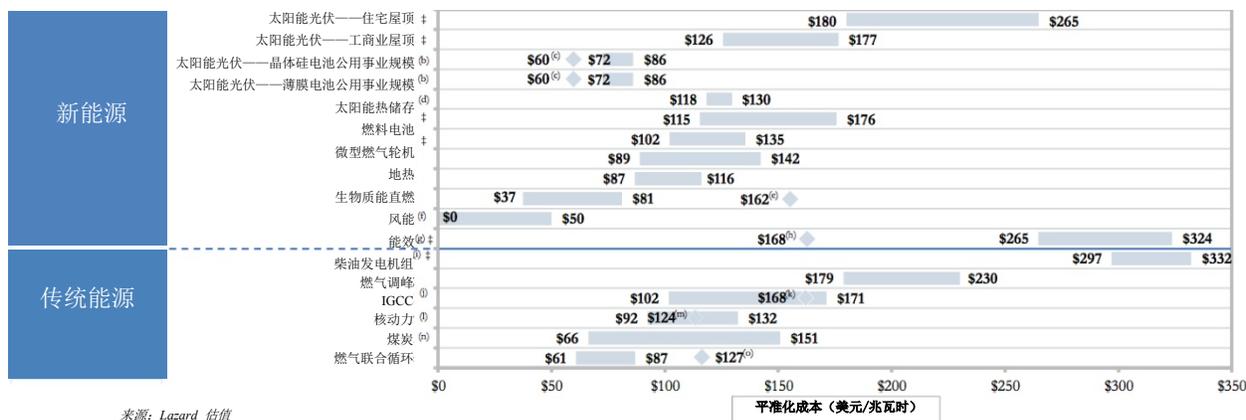


图 2. 多种技术标准发电成本对比 (2014 年)

来源：Lazard 2014

由于美国和全球的成本结构处于一个动态环境中，许多细分市场的光伏价格一直保持着竞争力。根据一些分析预测，2015 年光伏组件价格实际上同比下降 8% (Jones 2015)。

除了组件，软成本（如客户购置、许可、检验、互连、安装劳动和融资等）已超过分布式光伏发电系统总安装成本的一半（DOE 2014）。软成本因市场的不同而有明显差异，并导致美元/瓦的系统价格在各州之间存在差异。然而，即使有这些差异的存在，各州的成本均逐渐下降；代表性示例如图 3 所示。

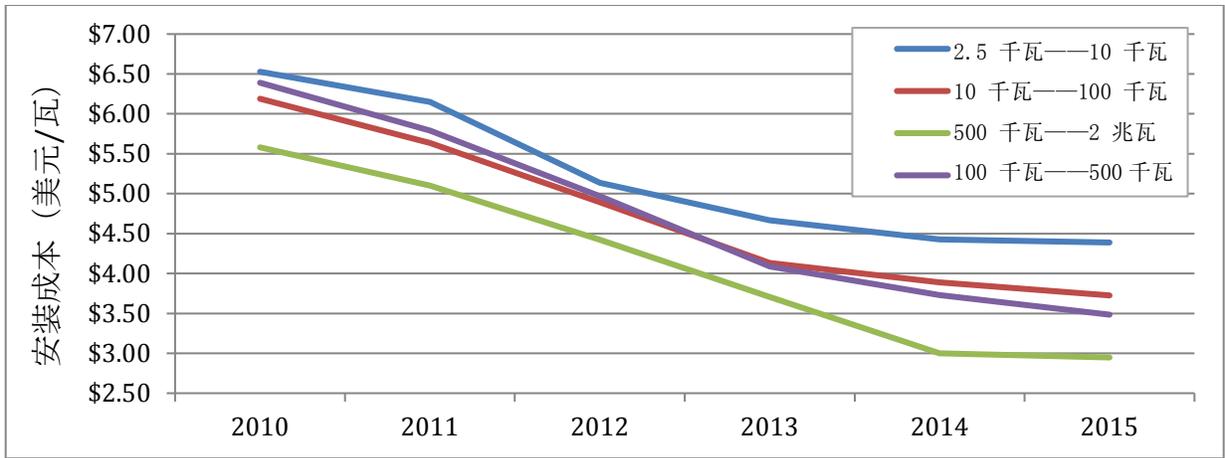


图 3. 2010–2015 年亚利桑那州、加利福尼亚州、马萨诸塞州、新泽西州、马里兰州和纽约州的光伏系统成本 (按系统规模)<sup>3</sup>

来源：NREL 内部数据，基于各州的激励政策

太阳能电池组件以及其他系统组件的成本下降不仅给光伏平准化发电成本的降低创造了空间，而且在不干扰市场的情况下消减了州级激励措施。新的融资方式通过融资成本的削减进一步降低了光伏系统的价格并促进了分布式光伏在美国的快速增长。

<sup>3</sup> 图中所示装机量和成本在各项目和各州有很大差异。图中的数字为所选各州安装成本的中值，因此并没有给出最大或最小范围值。

## 3 支持分布式光伏的联邦政府政策、州政府政策和监管政策

自 1950 年代以来，光伏已在美国成为一项商业化的技术，但仅在近五年内它才开始在美国电力行业的年产能增长中占有重要的比例。光伏发电在商业历史中，往往由于光伏装置资本成本太高，无法与传统能源发电相抗衡。这些不利的经济因素一度成为阻碍光伏在电力行业中实现增长的主要壁垒。20 世纪中期，在欧洲先期采用和全球光伏成本降低的背景下，美国联邦政府提供了 30% 的税收优惠，加利福尼亚等州实施了激励政策，以推动光伏发电在其司法管辖区内的发展。于是，光伏的经济特性开始吸引美国投资者。<sup>4</sup> 本节将讨论联邦和州立政府支持光伏发展的激励措施。

### 3.1 联邦税收激励

美国联邦政府目前是通过美国税法实施可再生能源的激励措施 (Bolinger 2014)。目前针对光伏太阳能的两项税收激励措施为投资税收抵免和加速折旧 (修正的加速成本回收制度 modified accelerated cost recovery system, MACRS)。<sup>5</sup> 投资税收抵免政策允许投资者根据太阳能项目成本的 30% 进行应交所得税 (纳税年度结束时结欠联邦政府的税额) 的抵扣。加速折旧法允许商业 (非个人) 投资者在运营的前六年中将其太阳能项目的合格计税基数按 100% 折旧。该加速折旧计划在项目前五年中会产生应税损失，这些损失可用于抵扣应税所得。通过以上两项政策的结合运用，投资者可实现相当于超过项目资金成本 50% 的税收优惠 (Chadbourne & Parke 2008)。表 1 列出了每个激励措施的详细信息。

---

<sup>4</sup> 2008 年，由于硅供应增长和欧洲市场 (即德国、西班牙和意大利) 因实行上网电价补贴方案而扩大，光伏组件的价格也开始急剧下降。

<sup>5</sup> 30% 的投资税抵减最初通过 2005 年 Energy Policy Act 提供给太阳能项目。通过其他立法两次展延后，该退税定于 2017 年 1 月 1 日对企业降至 10%，对业主则完全取消。对于加速折旧成本回收制度，当前针对各种类型设备的加速折旧计划自 1986 年以来就已实施，而且并无预定的取消期限。然而，美国立法者已有讨论，加速折旧成本回收制度可能随美国税法的全面修正而被修改或取消 (Chadbourne & Parke 2013)。

表 1. 联邦税收优惠详情

	投资税收抵免	加速折旧
价值	税收抵免值为项目成本的 10% 或 30%，具体取决于技术	符合折旧条件的成本（并非所有项目成本都符合条件）
部分符合条件的技术	太阳能 燃料电池 小型风电 地热能	各种类型的商务设备，包括可再生能源
成本基础	符合条件的项目成本。项目投产时可接受退税。可以与加速折旧重叠	如果与投资税收抵免重叠使用，基础成本的抵免值减半（即 15%）
截至日期	为了获得“第 48 节”所述的 30% 投资税抵减，项目必须在 2017 年 1 月 1 日之前投入使用	无

可再生能源交易的规模导致那些纳税能力有限的企业无法在一年内直接吸收所获的 30% 投资税收抵免的总额。对于第一年未使用的任何税收抵免可以结转至后续的纳税年度使用，但由于资金的时间价值原理，这样的向以后年度结转降低了抵免额的价值。此外，为了将加速折旧与税收抵减两项政策结合起来实现最充分的运用，企业需要更大的纳税能力——大到几乎没有任何可再生能源开发商可以达到和加以利用的水平。

因此，开发商会寻求税务权益投资者注资它们的项目，从而将税收优惠转变为实际收益。税务股权投资者通常是美国大型的银行和金融公司，但也有一些企业涉足此领域（如谷歌）。为使税务股权投资者获得税务利益，他们所投资的项目涉及复杂的财务结构。截至本文编纂时，对于无杠杆（即没有项目级债务）交易，税务股权投资者的税后回报率通常为 8%–10% 左右 (Chadbourne & Parke 2015)。税务权益投资须付出高昂代价，这主要是由于其自身的复杂性，并且要求律师、投资银行和其他专业机构的介入和操作。即使，

税务股权投资还是能让开发者获得税收优惠的价值，并通过降低太阳能成本将成本节约的效应传递给最终用户。

联邦税收优惠是促成第三方所有权模式（如第 4.2 节所述）的要素，而第三方所有权是自 2008 年以来分布式光伏发电的主要增长动力。第三方所有权模式能让业主和企业少花钱或不花钱，即可在其房顶上安装太阳能，并实现税收激励的成本节约效益，而且无需介入相关的复杂的资本运作活动。

### 3.2 州政府扶持政策

分布式光伏在美国五十个州的发展速度不同。增长突出的市场通常具有一些有利条件，包括当地电价和政策监管环境；这些市场通常拥有丰富的太阳能资源（即日照量），但并非所有市场都具备此条件。

各公用事业服务领域内的区域电价是分布式光伏发电的一项主要经济动因。如果光伏系统供电价格低于或等于当地电力公司的电价，则可能吸引该服务区域的消费者和企业利用分布式光伏发电来抵消其能源使用量。因为分布式光伏与零售电价之间相互竞争时，后者的价格比电力公司从独立电力商获取的批发价要高，从而使得面向消费者的直售模式使得较小的分布式系统为业主提供了有竞争力的电价。<sup>6</sup> 美国居民和商业客户平均零售价的详细信息见图 4。

---

<sup>6</sup>就全国平均水平而言，2014–2015 年美国居民用电价格比商业用电价格高 10%–15%（美国能源信息管理局，2015）。此外，商业电价更为复杂，往往包含“需量电费”，不会像可变性能源使用那样容易被光伏发电抵消。因此，相对于居民光伏，商业光伏必须获得额外的成本效益才可以保持其市场竞争力。截至 2015 年 2 月，夏威夷州商业和居民用电价格最高，分别为 0.30 美元/千瓦时和 0.27 美元/千瓦时。华盛顿州的居民电价最低（0.08 美元/千瓦时），而俄克拉何马州的商业电价最低（0.07 美元/千瓦时）（EIA，2015）。

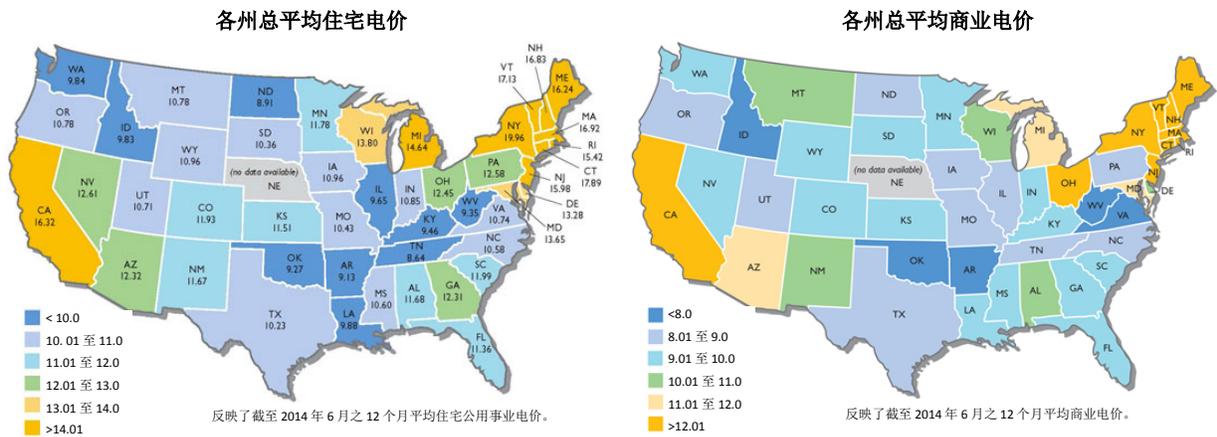


图 4. 美国居民和商业用电平均零售价

来源：Pacific Power 2014，使用 Energy Electric Institute 关于典型费用和平均价格报告的数据

为了增进分布式光伏发的竞争力，美国许多州已经出台了一系列政策或激励方案作为联邦税收优惠的补充。一些已成功推动分布式光伏增长的州立政策包括：

- **可再生能源配额标准 (renewable portfolio standard, RPS)**：这些指令要求指定的电力生产商和负荷服务企业的能源产出中，可再生资源生产量达到一定的水平。通常，风能和生物质能等低成本可再生资源被用于满足可再生能源配额标准要求。基于这种规定，，实施可再生能源配额标准的司法管辖区当中超过 75%建立了太阳能或分布式发电的特定配额（22 个州和华盛顿特区，如图 5 所示），这种局面与 2007 年 22 个可再生能源配额标准司法管辖区中仅九个，约合 38%)有特定配额相比，实现了大幅增长（DSIRE，2015a；Wiser 2007）。特定配额对于零售电力中的太阳能或分布式发电比重提出要求，从而成为迄今为止推动美国太阳能和分布式发电发展的一个巨大驱动因素。劳伦斯伯克利国家实验室（Lawrence Berkeley National Laboratory，LBNL）估计太阳能/分布式发电特定配额推动了 2005 至 2014 年加州以外光伏发电增量的 60%–80% (Barbose 2014)<sup>7</sup>

<sup>7</sup> 虽然无法获得确切数据测量多少分布式光伏发电（相对于公用事业规模光伏）受到了太阳能特定配额支持，但 NREL 发现，有特定配额的各州的居民和商业光伏发电占到美国非加州居民和商业光伏市场的 60%（NREL，使用 Navigant [2015] 的数据）。

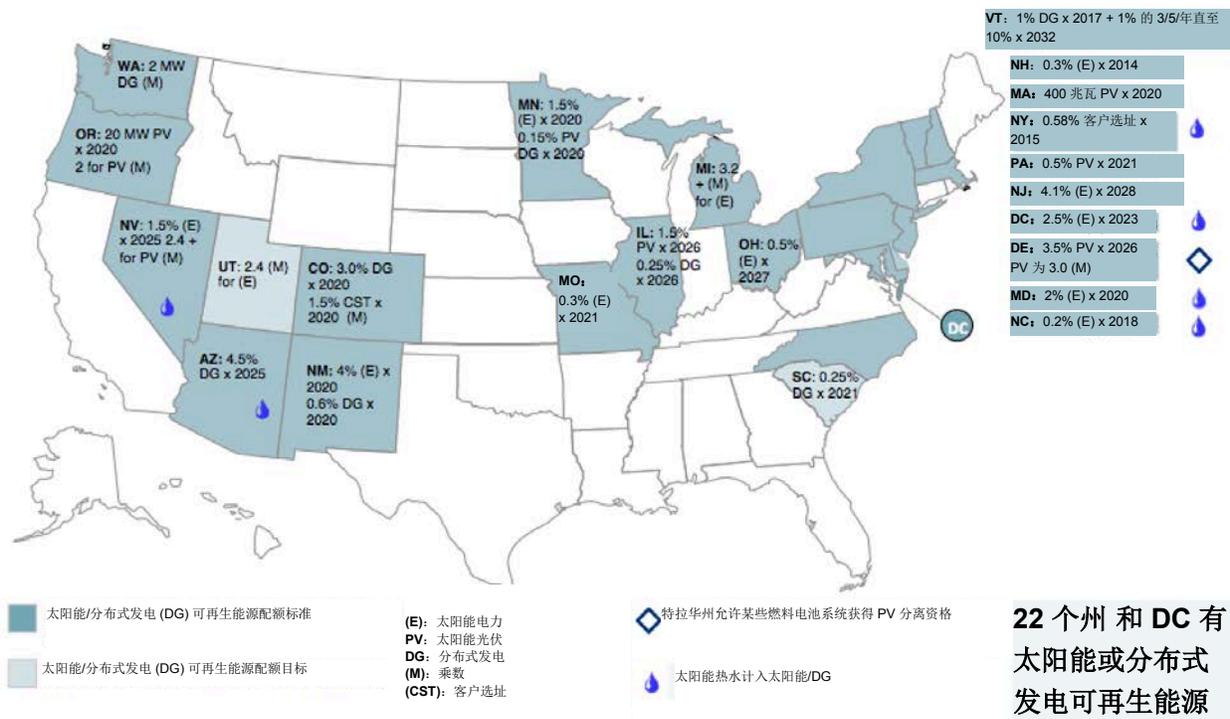


图 5. 可再生能源配额标准及太阳能或分布式发电规定

来源：美国各州可再生能源激励数据库，2015b

- 可再生能源电力证书 (renewable energy certificate, REC) 和太阳能电力证书 (solar renewable energy certificate, SREC)：**这些可交易的证书按照可再生能源配额标准的规定产生，并代表可再生能源电力的“环境属性”。这些证书通常按照市场动态定价，出售给那些遵循可再生能源配额标准的电力生产商、电力公司和负荷服务企业。某机构拥有的可再生能源电力证书或太阳能电力证书的数量将即决定了它在指定时期内对配额标准要求的遵循程度。为促进可再生能源或减少碳足迹，其他实体如企业、甚至消费者，也可以购买可再生能源发电证书和太阳能发电证书。
- 净计量：**这项政策提供了美国每个分布式光伏市场的基础，在第 3.2.1 节中与太阳能补贴值一起进行详细讨论。
- 生产和成本激励机制：**通过这两种机制，可再生能源发电可以按照系统发电的千瓦时数量（基于生产的激励）或按照安装系统的成本（基于成本的激励）获得补贴。

这些补贴的支付可以改善可再生能源发电的定价（使其比传统电力更具竞争力），同时也加快了投资者回报的实现速度。

- **税收抵免**：除了联邦政府提供的优惠，一些州已选择扩大对可再生能源发电设施的税收抵免。为了有效利用这些抵免，企业必须有足够的州级所得税负债以使用税收优惠。
- **经过资产评估的清洁能源（Property Assessed Clean Energy, PACE）**：各州可以通过立法允许其管辖范围内的县、市对居民不动产和商业不动产进行专门的征税评估（有时也被称为“效益评估留置权”）。之后，这些估值可以通过获取免税债券或第三方贷款人（后者更为常见）发行的贷款而实现变现。通过贷款所获取的资金可以直接支付给承包商或业主，以用于优化能效和可再生能源的升级安装。业主的房产税将在一个延长期限内（如 20 年）进行摊销，业主通过调增房产税的方式偿还借款本息。有关 PACE 的更多信息，请参见第 4.3.1 节。

近来，州政府的激励机制对商业和居民电力用户光伏经济至关重要。但对一些州或市来说，光伏组件和系统成本下降到如此程度，联邦税收优惠以外的用来驱动分布式光伏经济的激励措施已显得无足轻重。

### 3.2.1 净计量

净计量是一种州级或电力公司级的政策。这种政策在本质上允许可再生能源系统用户的“电表倒转”。换言之，当户主的光伏发电量超过用电量时，多余的电力将被输送回电网（即回调计量），而户主通过电网购买的电力，可根据未使用的电力实现相应的抵减。在美国居民电力市场，人们通常在太阳能资源最强的白天离家外出。而晚上回到家时，太阳能资源已逐渐减弱。净计量允许“高发电量、低用电量”时段来抵消“低发电量、高用电量”时段的影响。

美国四十四州和华盛顿特区已执行了净计量政策（DSIRE, 2015a），但政策结构各不相同。其中的差异之一是可再生能源电力的补贴电价；在美国最大的太阳能市场，它通常与零售价挂钩。换言之，如果上例中的户主向电力公司支付 0.15 美元/千瓦时的电费，则光伏系统送回电网的发电（即业主没有消耗的部分）将会以相同的 0.15 美元/千瓦时计

入抵免额。一些州以低于零售价的价格对可再生能源发电提供补贴。与此相反，德克萨斯州奥斯汀市和明尼苏达州采用的太阳能补贴值（value of solar tariff, VOST）措施实际上可以按高于零售电价的水平对抵免额进行定价（见第 3.2.2 节）。

净计量已成为分布式光伏发展的主要驱动力，能够让户主开启其系统的全部经济价值 (Black 2009)。然而，最近有些观点认为净计量造成了“交叉补贴”。即，因为太阳能客户按照净计量制度支付更低的电费，拥有大量太阳能客户的电力公司公司正面临客户群萎缩，以致无法收回固定成本（如维护输配基础设施相关的费用）。电力公司认为，太阳能客户没有支付他们应承担的维护电网的成本，从而造成固定成本被不均衡地摊派到服务领域内的非太阳能客户的账单上（Wellinghoff 和 Tong，2015）。

这一论点已经牵引了州公用事业委员会和立法机构的注意，至 2014 年年底，超过 20 个听证会议已在审查净计量或电价设计，以确保电力公司面对高比例客户端光伏 (customer-sited solar) 所带来的成本方面的负面影响并保护自己的权益（GTM/太阳能产业协会，2015）。为减缓这些负面影响，一些电力公司、公用事业委员会和州政府提出了一系列建议，其中包括：

- 向太阳能客户加收固定费用。截至本文编纂时，美国最大的两个太阳能市场——加利福尼亚州和亚利桑那州——均已批准最低固定费用，但亚利桑那州电力公司正在致力于实现更高的相关收费 (Wesoff 2015)。
- 减少净计量抵免额。
- 采用太阳能补贴值。德克萨斯州奥斯汀市和明尼苏达州开发了各自的太阳能补贴值（但在明尼苏达州，电力公司可以选择向客户支付净计量抵免额或采用太阳能补贴值）。
- 重新设计电价。电力公司有若干选择来确保他们可以在分布式光伏达到高比例的服务领域内继续成本收回。
- 实行最低收费（minimum bill），公用事业客户需要支付每月最低标准的费率，即使客户的光伏生产量完全超过本月的消耗。

- 允许电力公司拥有太阳能资产。亚利桑那州两家电力公司已经获得当地公用事业委员会的批准开始试点项目：在客户屋顶上安装太阳能或安装共享太阳能系统（见第 4.1 节），并提供电费抵免额或长期固定电价。
- 电力公司负责分布式能源资源的整合并把其交付给电网运营商。按照此方案（体现在纽约州能源改革愿景 New York Reforming the Energy Vision 中），电力公司将作为分布式资源市场和独立系统运营商（即确保电网运行和可靠性的机构）之间的接口（State of New York，2015）。

### 3.2.2 太阳能补贴值 ( *value of solar tariff* )

太阳能补贴值的计算方法作为净计量的替代方案，计算出的是反映太阳能的货币价值的抵减值，而不是与零售电价挂钩的抵减值（Taylor 等，2015）。迄今为止，这些政策的施行实例有限（如上所述，美国只有两个司法管辖区采用：德克萨斯州的奥斯汀市和明尼苏达州），但有明显意向表明考虑将这类方案转变为目标净计量政策的替代方案。

太阳能补贴值方案的创新旨在量化太阳能的价值。补贴通过以下方式进行计算：首先鉴定分布式光伏发电向电网和电力公司提供的服务，随后应用估值方法计算太阳能光伏的价值（从数据汇总的简单计算到复杂的电力系统建模分析）。其他假设条件诸如系统使用年限和预计发电量，也将影响计算结果。太阳能补贴值方案考虑的服务可能存在一定争议。电力公司、太阳能行业和其他利益相关者中公认的服务包括：

- 能源
- 发电容量
- 输配能力
- 系统损失的避免
- 辅助服务（频率调节、旋转和非旋转备用等）。

太阳能补贴值可能考虑的其他服务包括：

- 燃料价格的对冲

- 市场价格反应 ( 即分布式光伏降低了系统的总能源需求 , 因而降低了实时电价 )
- 环境 ( 碳污染减少、空气和水质等 )
- 可再生能源配额合规程度
- 电网的安全性、可靠性和弹性
- 社会 ( 经济发展 ) ( Hansen 和 Lacey , 2013 ) 。

理论上太阳能补贴值的范围可以非常广泛 , 基于其计算包含上述哪些服务以及 , 它们各自的估价 , 以及光伏发电系统的假定寿命、预计发电量、系统成本等其他因素。织洛矶山研究所 ( Rocky Mountain Institute , RMI ) 于 2013 年公布了 16 项“太阳能价值”研究的综述 , 标题为 *A Review of Solar PV Benefit & Cost Studies* ( Hansen 和 Lacey , 2013 ) 。这些报告中公布的平均值 ( 有些特定于某些市场 , 而另一些则综合了多个市场行情 ) 从 -0.18 美元/千瓦时到近 0.34 美元/千瓦时不等。这些差异表明 , 用于实现补偿充分性的分布式光伏发电估值仍然是一种新颖的方法 , 易受非标准化假设的影响。除了 RMI 的综述之外 , NREL 技术报告 *Methods for Analyzing the Benefits and Costs of Distributed Photovoltaic Generation to the U.S. Electric Utility System* 也为太阳能价值的计算方法提供了资源 ( Denholm 等 , 2014 ) 。

奥斯汀和明尼苏达<sup>8</sup>的方案一致规定应定期对补贴水平开展重新评估并进行必要的调整。这为分布式光伏户主造成了价格风险。明尼苏达的方案中锁定了太阳能补贴值价格自签订合同之日起 20 年不变 , 因此使得现有的太阳能补贴值用户免于承担此风险。相应地 , 太阳能补贴值的不利变更只会影响未来的客户。在奥斯汀 , 所有分布式光伏发电客户 ( 现有和未来客户 ) 统一执行现行价格 ( 根据每年重新评估结果 ) , 不允许使用过去的价格。不过 , 该方案依据零售电价给出了价格下限。<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> 明尼苏达州的太阳能补贴值尚未实施 , 因为公用事业公司可以选择保持目前的净计量结构 , 也可以选择转移到太阳能补贴值方案 , 而当前版本的太阳能补贴值规定的补偿高于零售电价。

<sup>9</sup> 明尼苏达州的方案包括与零售电价相等的最低限价 , 但仅适用于公用事业委员会批准补贴后的前三年 ( DSIRE , 2015c ) 。

## 4 分布式光伏发电商业和融资创新

商业和融资模式的创新在美国发展迅猛，目的是为了充分利用前述优惠政策和地区电价。这些创新推动了分布式光伏发电在美国的增长，其发展成果包括共享太阳能系统、第三方持有模式、证券化和其他融资机制。下文对每一项进行了详细的描述。

### 4.1 共享太阳能

根据 NREL 分析，美国约 75% 的屋顶面积不适合安装太阳能光伏装置 ( Denholm 和 Margolis , 2008 ) 。共享太阳能装置在用户所在地之外，可由多个电力买家共享，因此可以使得分布式光伏发电市场显著扩展，突破自然局限。共享太阳能通常称为“社区太阳能”或“太阳能园区”，对于位于当地的商业规模光伏或其他可再生能源系统，企业和家庭可以持有、租赁或订购其中的一部分，但不预置其屋顶。这些企业与家庭由电力公司通过虚拟净计量予以补偿，即用其光伏发电的比例份额来抵消他们各自的电力消耗。光伏系统可以由电力公司、企业、地方政府、非营利组织或这些机构联合拥有和管理。项目可位于公共建筑、私人土地、棕色地带或其他具有适当太阳能资源的地段。共享太阳能项目融资的可操作模式包括共同拥有、第三方共同融资、或电力公司直接融资等模式 ( Ardani 等 , 2013 ) 。研究表明，到 2020 年共享太阳能可占到美国分布式光伏市场的 32%–49% ，累计投资金额达 82–163 亿美元 ( Feldman 等 , 2015 ) 。

在电力公司赞助的模式中，电力公司持有或运营对电力用户开放的项目。用户无需在自己的屋顶上安装光伏发电系统即可够抵消个人用电。用户可以采用一次性预付或持续支付订购费用来加入太阳能项目 ( Coughlin 等 , 2010 ) 。十一个州和哥伦比亚特区已制定允许共享可再生能源的政策，且其中一些州特别要求某些受管制的电力公司开发共享可再生能源。

在美国，电力合作社、市政电力公司、以及公共公用事业区免征联邦所得税，因此不能享受第 3.1 节所描述的联邦税收优惠政策。所以在某些情况下它们会通过成立特殊功能实体来享受可再生能源项目的商业税收优惠政策。在电力公司投资的模式中，特殊功能实体将负责项目的建设、管理、运营和维护。共享太阳能参与者可以拥有或租赁可再生能源项目的一部分，并获得电费抵免。

### 案例研究：科罗拉多州的共享太阳能

科罗拉多州立法机关在 2010 年通过了 **Community Solar Gardens Act**，科罗拉多公用事业委员会最终在 2012 年 9 月通过了园区开发的规则。按照科罗拉多州的规定，社区太阳能园区是指屋顶或地面安装的 2 兆瓦或以下的太阳能发电设施，并有至少 10 个用户。每个用户订购应当“至少为 1 千瓦社区太阳能园区的额定容量，并供应不超过社区太阳能园区用户平均每年用电量的 120%.....”1 千瓦的规定不适用于低收入用户。用户获得补偿的方式是从采取对公用事业公司电费单上进行虚拟净计量的抵免。公用事业委员会为公用事业公司设定了从社区太阳能园区购买输出电量的上限和下限，目前每年最低额度为 6 兆瓦。此外，公用事业委员会要求公用事业公司在其社区太阳能园区购置预算中预留至少 5% 用于低收入用户 (CCR 723-3)。

2012 年和 2013 年，Xcel Energy（科罗拉多州最大的公用事业公司，拥有超过 100 万客户）批准建设 25 个社区太阳能项目，共计 118 兆瓦容量 (Xcel Energy 2015)。Xcel 根据所□生的□力向社区太阳能客户支付金额为每千瓦 7 美分 (Proctor 2014)。

最近几年，科罗拉多州两个最活跃的社区太阳能开发商分为 Clean Energy Collective 和 SunShare。Clean Energy Collective 使用预先提供资金购买所有权的模式：企业或个人购买社区可再生能源项目的一部分，支付方式或为现金，或为贷款外加签订一项为期 20 年的购售电协议。Clean Energy Collective 处理社区可再生能源项目涉及建设乃至运维的一切事宜，客户每月收到电费抵免。SunShare 提供一份 20 年的协议，供客户在无需进行前期投资的情况下从当地社区太阳能项目购买电力，而并非光伏组件，藉此冲抵他们的电费。与 Clean Energy Collective 相似，SunShare 也对社区太阳能项目进行建设、维护和管理。

与客户安装个人屋顶系统相比，这两种模式下，通□大宗购买太阳能板和其他设备以及统一建设，降低了系统成本，且专业维修和优化选址进一步提高了系统成本效益。此外，由于□电力用户的参加资格不限定，这些计划开辟了出租户、出租人以及各种企业和个人参与太阳能所有权的机会。因为从客户的处所到太阳能电池板之间没有直接的电连接，所以，如果客户在协议期限结束之前搬动，则能源抵免将转移到新的地址，前提是客户的新地址在公用事业服务区内的同一个县。否则系统所有者可以将电池板的所有权 (Clean Energy Collective 模式) 或能源 (SunShare 模式) 转卖给同一地区的另一位客户。

## 4.2 第三方持有模式

分布式光伏在美国的一个主要驱动力是太阳能第三方持有模式的发展。第三方持有模式在很大程度上得益于净计量政策和联邦税收优惠的支持。在此模式中，太阳能开发商/投资者保留对所建设资产的所有权，并通过长期合同将这些资产的使用权售出。在分布式光伏发电中，这些合同的对应方通常是房主，即他们拥有安装光伏组件的屋顶或房产，并使用

光伏系统产生的电力来抵消他们的电网用电量。客户可通过两类合同约定使用光伏资产：电力购买协议或租赁协议。电力购买协议规定了光伏系统每单位发电量的价格；租赁协议，规定了用户按月支付固定租赁费用。常见的行业惯例通常要求在每个合同年度按一定比例（范围通常为 2%–3%）逐步升高购电协议价格和租赁价格。

在 2000 年代中期 SunEdison 开创了首个太阳能电力购买协议之前，通过购电协议签订购电合同是传统电力行业的标准惯例。<sup>10</sup> 在 SunEdison 开始与 Whole Foods 和 Staples 等美国零售商签订长期太阳能合同（10–20 年，但现在 20 年更为常见）后不久，SolarCity 和 Sunrun 等专注于居民项目的公司开始推出他们的业务 (Behar 2009)。如今，第三方持有项目在美国居民市场占有绝大比例（2014 年为 72%），同时也是商业市场的重要组成部分 (Munsell 2015)。<sup>11</sup>

第三方持有模式时而被称为“太阳能服务”模式。此模式的特点之一是其支付结构。第三方持有模式允许房主、企业和其他潜在太阳能客户在他们的房产上安装光伏发电设施，而无需预先支付与安装相关的投资。项目成本在合同期限内进行摊销，并由房主定期进行支付给系统拥有者。

第三方持有模式之所以在美国运作良好，是因为它引导特殊功能实体高效充分地利用税收受益方法（包括投资税抵免和加速折旧）。即，持有该项目的应税实体在税收受益发生的年份内就可将全部税收收益充分利用，藉此实现了资金时值的最大化。此外，诸如学校、非营利组织的实体和联邦机构等单位免征联邦所得税，按照美国税法它们无法使用投资税抵免和加速折旧成本（即它们没有联邦税收负债用于退税，也没有应纳税所得额用于扣除）。因此，免税单位购买太阳能项目放弃了税收受益所带来的 50%–60% 的成本节约，转而选择指定一个应税的第三方来拥有太阳能项目，并通过降低电价或租赁价格的方式实现税收抵免所对应的价值。

---

<sup>10</sup> 公用事业规模太阳能设施通常也通过购电协议向公用事业公司和其他购买者出售电力。然而，它们与独立电力生产商签订的在电力市场中销售能源的合同更为近似。对不在电力市场进行交易的消费者和企业引入购电协议是一项额外创新，它不是简单地将现有合同框架应用到太阳能行业。

<sup>11</sup> 对于太阳能商业市场，从选定的州激励计划得出的 NREL 内部数据表明，自 2007 年以来，第三方持有模式在几个市场一直占到很大比例，但是因为州级市场有相当大的差异且数据集不完整，因而对该商业细分市场尚无全面的分析。

第三方持有的另外一个优点是光伏发电设施持有者，而非户主，负责运维。这种情况下，现金流直接或间接由发电设备的表现来决定，因此有效地激励发电设备处于最佳运转状态。这使那些可能缺乏适当资源的户主免于承担设备维护方面的责任。所有者所承担的实际运维成本体现在购电协议或租赁价格中。

#### 第三方持有商业模式：聚合类与分散类

2006 年政府对太阳能技术提供了投资税抵免政策之后，SolarCity 和 Sunrun 成为两个最先在美国居民市场开始运作的第三方持有模式公司。如项目融资交易，这些公司动用大量资金，通过特殊用途载体持有资产并提供资金来源。如同项目融资的做法，税务股权投资者为许多小型居民系统和一些中等规模的商业系统的安装提供了资金来源。

本文撰写之时，至少有 10 家其他公司进入租赁和购电协议产品市场，且采用相同的方法筹集大量税收股权资金，并运用这些资金开发大量的光伏项目。然而，2006 年 SolarCity 和 Sunrun 商业模式之间的差异体现了当今第三方持有市场的根本分歧。SolarCity 是一个大型综合性公司，拥有自己的销售、融资、安装及运维部门（SolarCity 现在更加一体化——拥有自己的支架技术和资金筹措平台，并计划在不久的将来制造自己的组件）。相比之下，Sunrun 的业务更为分散，虽然参与太阳能资产的销售和融资/所有权，但将安装及运维外包给它的合作伙伴。

Sunrun 自那时起收购了一家安装公司以巩固其地位，但市场上仍有公司维持分散的商业模式。例如，Clean Power Finance 在 2011 年开始为使用“白色标签”产品（单独安装者可以印上自己的商标的购电协议）的系统提供资金，并且迄今为止在很大程度上保留了仅进行融资的模式（Clean Power Finance 2012）。该公司将第三方持有过程的销售和安装等所有其他方面外包给其合作伙伴（Litvak 2014）。

#### 4.2.1 第三方持有模式和公共部门采购

公共部门是美国太阳能产业的一个重要市场，这在很大程度上归结于一些政府部门（联邦、州级和地方级）对其职权范围内的机构设定了目标，强制要求这些机构采购可再生能源。例如，美国政府已经宣布了一系列的环境和可持续发展目标，最近一次宣布是在 2015 年 3 月的总统行政命令中，要求联邦机构至 2025 年 30% 的电力来自可再生能源（DSIRE, 2015d）。<sup>12</sup> 联邦政府是美国最大的电力消费者，因此可以通过其内部命令的设定对分布式光伏的广泛发展给予支持。美国国防部作为美国联邦政府内部的唯一最大的能源消费者

<sup>12</sup> 该命令规定，这一目标仅在可再生技术“在生命周期内具有成本效益”的地方实现。此外，该命令要求逐步进展，每两年达到间隔百分比（美国各州可再生能源激励数据库，2015d）。

也制订了本部门的目标，其中包括在军事部门（空军、陆军和海军）基地和设施上部署 1 千兆瓦可再生能源（ACORE，2014）。

州长行政命令中通常也会公布州的可再生能源目标（以及可再生能源配额标准），引导州立机构（有时是非强制性地）在其设施上安装可再生能源或节能技术。这些命令通常通过特殊政府计划（通常称为“以身作则”）的实施以促进其执行，这些计划提供技术援助，有时也提供财政援助（ACEEE，2015）。地方政府有权在其司法管辖区内设定并推进执行其目标。例如，科罗拉多州博尔德市正在积极寻求建立自己的市政电力公司，努力加快过渡到更清洁的能源发电方案（City of Boulder，2015）。

大多数政府实体会与第三方签订合同，通过电力购买协议采购分布式光伏电力，而不是自己拥有这些资产。如第 4.2 节所述，购电协议的优点包括：避免因购买资产所造成的大量资本支出、提供运维服务，还有激励机制可实现的有效变现。最后一点对美国公共机构（除了政府，还包括学校、非营利组织、公共和非营利医院及其他机构）具有特别的吸引力，因为这些实体不能作为多数股权持有人获得联邦税收优惠。但作为电力购买者获得该价值的途径是允许具有纳税能力的私人实体拥有发电资产并降低每千瓦时电价。

联邦、州立和当地政府对太阳能供应商而言是有吸引力的客户，因为这些实体信誉高、合同违约风险低。因此，与政府实体签订的购电协议通常易于获取融资。换言之，太阳能资产融资方可以合理地确信在指定的时间内获得回报，且融资期限内风险调整利率相对较低。

相比之下，由于私营领域违约的概率通常较高（特别是获得资本的渠道有限的较小型实体或商业实体），与私人对应方签订购电协议，太阳能供应商承担的风险更高。美国有 2,800 万个“小型企业”<sup>13</sup>，提供所有销售量的 54% 和所有就业机会的 55%（U.S. Small Business Administration 2015）。这一类企业获得全国认定的统计评级机构（如 Standard and Poor's 或 Moody's）评级相对较少，这意味着要使大多数美国企业以购电方身份参与太阳能对此产业而言仍是一项重大挑战。

---

<sup>13</sup> 美国 Small Business Administration 通常将“小企业”定义为在采矿业或制造业拥有 500 个或更少职位的企业，或在非开采和制造业收入为 750 万美元或更少的企业（美国小企业管理局，2014）。

### 4.3 太阳能担保贷款

与第三方持有模式不同，太阳能担保贷款向消费者提供的是获得光伏设施所有权以及获得效益的途径（如房价潜在增加值和投资税抵免直接获得权）。担保贷款的例子在其他资产类别中早已存在，如汽车（汽车贷款）和住房（房屋抵押贷款），但该模式近年才开始应用于太阳能市场。贷方向消费者提供信用，用于购买资产（如太阳能系统）。之后，贷方获得该资产的抵押权益，这使他们有权在消费者违反贷款协议的情况下收回资产。在太阳能行业融资者进行担保贷款之前，消费者购买太阳能系统的大部分债务以二次抵押贷款或特殊贷款的形式出现（例如，美国住房及城市发展部的 PowerSaver 贷款，或银行应客户要求批准的一次性无抵押贷款）。

2014 年初，Sungage Financial 携首例以所投资资产做担保的太阳能贷款产品，进入居民太阳能市场。在此之前，如果业主决定贷款购买太阳能系统，他们通常会依房屋净值来借款，或利用他们与银行或信用社的关系获得一次性贷款（第三个选择是 PACE 贷款——见第 1 节）。第一种情况下，购买太阳能系统的贷款将通过二次抵押房产提供担保；第二种情况下，贷方则可能不要求获得任何抵押品的担保权益。Sungage 产品的创新在于他们的贷款产品赋予借款人单独进行太阳能系统追索的权利，从而避免了从属于初级抵押贷款的复杂性，同时为借款人提供了与无担保贷款相比极具竞争力的借款利率 (Feldman and Lowder 2014)。

现在美国有几种可供选择的贷款产品。SolarCity 有一款 30 年的贷款产品，还款的计算不一定是基于本金和利息，而是基于产生的能量（即如购电协议的情况一样）。其他大多数产品提供 10 到 20 年的贷款，这种贷款更像典型消费贷款那样实行分期（例如汽车贷款或信用卡），利率取决于客户的信用评分、安装者提供的利率调低和其他因素。这些系统的运营和维护由发起贷款的太阳能公司（如 SolarCity）、服务合作伙伴（如 Enphase 对 Clean Power Finance 的太阳能贷款产品组合执行运维服务）或经批准的太阳能承包商执行。在房产销售的情况下，通常会要求业主偿还贷款余额，但也有其他方式可选（如转让给新户主，或将太阳能资产转移至新房产）。

自从 Sungage 推出其贷款产品以来，大多数太阳能第三方持有提供商都向市场推出了自己的太阳能担保贷款产品。有分析认为，基于太阳能贷款可提供给消费者的经济优势，其市场份额在 2015 年相对于购电协议和租赁将会显著地扩大（GTM/SEIA 2015）。在某

些情况下，相对于购电协议和租赁而言，通过贷款提供资金的系统为户主带来的资本成本较低（目前市场利率在 2.99% 到 8% 之间，而第三方持有系统的资本成本在 9% 以上）。贷款还允许户主自己拥有系统资产 (Feldman and Lowder 2014)。其他一些效益包括：

- 获得投资税抵减（美国税法第 25D 节允许个人获得 30% 投资税抵减，不过这将在 2017 年彻底取消，而第 48 节的企业退税将下降至 10%）。
- 增加房屋价值
- 一旦系统款项付清，即可享受“免费”太阳能电力。当第三方持有合同结束时，户主必须继续购买资产或签订新的购电协议或租赁合同（或要求拆除系统）。

太阳能贷款在很大程度上通过第 2 节中讨论的降低系统成本得以实现。在某些情况下，居民系统的总安装成本已降至 3 美元/瓦以下，这使得一个平均 6 千瓦系统的价格定为不到 20,000 美元 (SolarCity 2015)。本金 20,000 美元、还款期限 20 年的贷款产生的每月还款额不仅与某几个州的月度零售电力成本节约水平相当，而且与月度购电协议或租赁成本不相上下。<sup>14</sup>

#### 4.3.1 资产评性估清洁能源 *Property Assessed Clean Energy (PACE)*

资产评估性清洁能源 (PACE) 是为光伏安装以及居民和商业房产能源能效提升等方面提供融资的另一种贷款选择。PACE 的不同之处在于它涉及到对户主的房产进行特殊征税评估。该评估的金额将通过贷款形式发放给户主（由户主所居地市政当局提供，或更常见的是由私人贷方提供）。户主用贷款为能源升级项目提供资金支持，然后通过支付房产税账单来偿还贷款。

由于 PACE 贷款通过征税评估担保（这优于<sup>15</sup>财产抵押，并可在房产转手时转让给新户主），投资的可回收性很高。换言之，PACE 贷款的信用状况对潜在贷方和债券投资者特别有吸引力。然而，作为美国政府支持抵押贷款的两个持有者 Fannie Mae 和 Freddie Mac 的监管方，联邦住房金融局（Federal Housing and Finance Agency，FHFA），反对居民 PACE（FHFA 不监管商业抵押贷款）。理由是它将初级抵押贷方压低至从属地

---

<sup>14</sup> 有关该贷款比较分析的更多信息，请参见 Feldman and Lowder 2014。

<sup>15</sup> 换言之，如果借款人破产或出现一些其他类型的信用危机（逾期付款等），则 PACE 贷方将最先获得可收回的资金，甚至先于抵押权持有人。

位。2010年5月，Fannie Mae 和 Freddie Mac 声明，它们将不再购买相关房产附有 PACE 义务的抵押贷款，这几乎冻结了整个美国的居民 PACE 活动。加利福尼亚州政府随后起诉了 FHFA，但该案件并没有审结。因此，市场上有第一留置权的居民 PACE 贷款仍有不确定性。

2015年8月，白宫发布了一份情况简报，较为详细地说明了当局意图消除 PACE 计划的障碍，以“开启替代资金来源，用以加快家庭可再生能源发展和能效改造，并降低消费者的能源购置成本”(White House 2015)。白宫表示，美国住房及城市发展部 (Department of Housing and Urban Development, HUD) 将发布指南，澄清哪些类型的 PACE 贷款有资格申请联 FHFA 保险 (这对户主而言是维持低抵押贷款利率的关键因素)，以及在房屋销售中应如何处理 PACE 的留置权转让问题。这些指导方针目前尚未发布，并可能只适用于处于抵押贷款次顺位 (第二留置权) 的 PACE 留置权。

虽然 FHFA 持有上述立场，但在加利福尼亚州，居民 PACE 活动仍在持续，且主要通过家庭能源革新机遇计划 (Home Energy Renovation Opportunity, HERO) 开展，该计划由 Renovate America、西河滨政府理事会和圣贝纳迪诺政府理事会联合开展。截至 2015年5月，HERO 计划已经承保了超过 4.7 亿美元的居民项目，其中大部分用于能效升级和一些可再生能源，一小部分用于水资源保护项目 (KBRA 2014a; KBRA 2014b; KBRA 2015a)。2013年，加利福尼亚州州长 Jerry Brown 宣布了一项金额为一千万美元的储备资金，用于补偿 Fannie Mae 和 Freddie Mac 在帮助 PACE 贷方减轻金融风险的过程中由于房屋止赎所引致的任何收入损失。然而，FHFA 认为该资金规模不足以应付它所承受的风险 (KBRA 2015a)。

## 4.4 融资创新

在第三方所有系统成功实施后，已开发出多种类型的融资机制，用以满足资本需求的增加。这些金融创新预计可扩展向可再生能源项目提供的资金，同时降低相关的融资成本。

### 4.4.1 证券化

证券化是金融资产 (例如规定当事人之间现金转移的租赁和贷款合同) 汇集和转化成金融工具 (证券)，继而卖给投资者的过程。这一过程不仅通过为投资者提供标准化、可交易

的产品而赋予投资产品可变现性，而且通过风险分散所起到的保护作用降低了个别资产具有的各种风险 ( Lowder 和 Mendelsohn , 2013 ) 。

自 1970 年代以来，证券化一直是美国抵押贷款市场的固定组成部分，并已经成为其他资产类别再融资的重要组成部分 ( 例如汽车贷款和租赁、信用卡债务、学生贷款、设备租赁等 ) 。一般来说，任何源源不断产生现金流的资产均可实现证券化，前提条件是资产池中有足够的资产以满足投资者对投资规模的偏好，且风险足够低至资金成本对证券发行人有利的程度。

对能够生成现金流的资产发行证券可以为公司带来很多好处：包括资产流动性的增加、再融资时的利率降低以及风险的减少。表 2 更全面地列出了效益。

表 2 证券化的效益<sup>16</sup>

效益	说明
风险减弱	将资产从发起人的资产负债表中移除，因此与母公司的风险相互隔离。此时可以说这些资产变为“破产隔离”。
	汇集资产的过程分散了信用风险、地域风险和其他集中融资风险分散，并将与资产评估、绩效管理和报告相关的成本进行更大的基础上进行分摊。
	证券化结构允许多种形式的信用增级，这可以改善资产的信用风险及其信用评级（因而改善资本成本）。
利用更广泛的资本池	证券化可通过资产标准化、引入资本市场，以及提供流动性，让企业和相关行业接触本来无法触及的投资者。
改善融资条件	与其他通过传统渠道获得融资的条件相比，资本市场可以为资产发起人提供更有利的融资条件。这涉及更长的还款时间和更低的资本成本。
市场发展机遇	发起人可以选择将其资产注入特殊功能实体来释放资产负债能力。此外，当针对特殊功能实体中的资产发行证券时，发起人可以将之前缺乏流动性的资产变现。企业卸下资产负债的包袱并拥有了额外资本，就可以自由地发起更多的资产，为业务扩展提供资金支持，并且从总体上市场份额。
	投资者对特定证券化资产的需求可能会拉动需求，这可激励上游市场发起更多的资产（例如更多的太阳能系统）。

来源：Lowder 和 Mendelsohn，2013

<sup>16</sup> 证券化也存在一些相关的风险，其在 2008 年金融危机中扮演的核心角色即可证明这一点。然而，那场危机应更多地归咎于证券化的滥用而非其本身。如今证券化仍是美国金融市场的固定组成部分，自 2010 年 Dodd Frank 法案后则实施了监管变动，以有针对性地防止滥用行为和不恰当的激励（Lowder 和 Mendelsohn，2013）。

实施资产证券化的主要目标之一是降低资本成本——主要是为了以较低利率进行再融资。在太阳能行业，以较低利率进行再融资会降低发行人的总成本，理论上他们会把这类成本节约通过降低相关太阳能产品成本的形式（租赁和购电协议）回馈给他们的客户。

到目前为止，只有两个太阳能公司发行了太阳能资产担保证券：SolarCity 和 Sunrun。其中 SolarCity 已进行三次发行，每次发行的条款较之以往都有明显改善，这表明资本市场对太阳能资产类别的接受程度越来越高。首个 SolarCity 证券产品于 2013 年 11 月发行，利率为 4.8%，杠杆比率 62%（即资产组合中 38% 的资产未作抵押，而是作为储备基金）。随后的两个证券产品利率分别为 4.59% 和 4.32%，杠杆比率分别为 66% 和 73%（S&P 2013; S&P 2014a; S&P 2014b）。Sunrun 证券产品于 2015 年 5 月推出市场，两个配售部分混合利率为 4.4%，杠杆比率为 75%（KBRA 2015b）。

其他太阳能公司预计在未来几年通过证券化进入资本市场。值得注意的是，Renovate America（第 1 节中讨论的 PACE 管理者）已发行三轮证券，均以参与 HERO 计划之家庭房产的征税评估提供担保。这些证券尽管并不是完全由太阳能担保，但是对于 Renovate America 来说，实现的目的与 SolarCity 和 SunRun 是一致的——释放资产负债能力，以有利的价格发起新资产，并且对旧资产进行再融资。

降低太阳能开发的融资成本是降低太阳能发电总成本的一个特别有效的途径。由于投资税抵减预定于 2017 年 1 月 1 日还原至 10% 的水平，太阳能公司正在寻找方法降低成本并保持其产品相对于传统电力的竞争力——资产证券化为此提供了一条出路。

#### 4.4.2 Yieldco

Yieldco 是一个汇集能源资产组合的企业实体（有限责任公司、有限责任合伙企业或合资企业），所有权股份（即股票或单位）针对该能源资产组合进行售卖。Yieldco 通常从更大的开发商（如 NRG、SunEdison、Abengoa 等）中“分拆”出来，持有经营资产，并创造附加价值。Yieldco 作为子公司，将获得其母公司开发项目的优先购买权。这为母公司提供一种量身定制的方法来出售已完成的项目并重新配置其资本。截至本文编纂时，已有至少八家 Yieldco 在北美交易所上市：NRG Yield、TransAlta Renewables、Pattern Energy Group、Abengoa Yield、NextEra Energy Partners、TerraForm Power、

TerraForm Global 和 8point3 ( SunPower 和 First Solar 的合资 Yieldco )。据报道，有更多的 Yieldco 正在启动首次公开发行，尽管其中许多可能无法实现。

Yieldco 的特点是只涉及一层征税，这是因为资产组合中可再生能源资产的加速折旧收益产生的税收优惠足以抵消企业税赋 ( 只剩下对股东分红的征税 ) (Urdanick 2014)。这种结构一定程度上源于房地产投资信托 (real estate investment trusts, REITs) 和业主有限合伙制 (master limited partnerships, MLPs) 这两种投资工具，美国房地产和化石燃料资产很大比例的融资即是分别采用这两种工具。截至 2015 年初，这两种资产类别的总市值超过 1 万亿美元 (Yorkville Capital Management 2015; REIT.com 2015)。然而，美国税法 ( 对于 REITs ) 和联邦法律 ( 对于 MLPs ) 所设定的限制使得投资载体对于可再生能源的纳入趋于复杂化，或者禁止这种纳入 (Feldman and Settle 2013)。可再生能源开发商随即创造了 Yieldco 模式以替代那些已有的架构和模式。

Yieldco 对投资者的主要吸引力是单层征税、长期可预见的现金流 ( 根据 Bloomberg New Energy Finance 的数据，绝大部分 Yieldco 资产的合同期限为 20 年及以上 )、股票增值和分红增长的承诺。对于最后一点，Yieldco 正在通过主要收购运营项目或项目组合不断扩大其资产基础，以满足增长目标。收购的步伐在过去的两年里日趋快速：截至 2015 年 7 月，超过 9 千兆瓦的可再生能源资产被 Yieldco 收购 ( Benson 等，2015；Lacey，2015；K. Martin 2015 )。其中大部分资产位于美国和加拿大，但几个 Yieldco 已开始在全球范围内收购项目，包括拉丁美洲、印度、中国和欧洲。

吸引开发商推出 Yieldco 的重要原因之一是相比其他资金来源而言，他们通过 Yieldco 可以实现较低的融资成本。考虑到投资者收益率为 4%–10%，如果 Yieldco 可以以这个范围的中间水平筹集到资金，则他们的资金成本可能低于通脱 Yieldco 母公司层面进行的举债 (Konrad 2015; Reynolds 2015)。

截至本文编纂时，可再生能源 Yieldco 的发行仅有两年多的历史 ( 首个 Yieldco NRG Yield 于 2013 年 7 月上市 )，并且大部分案例是成功的。截至 2015 年 6 月，所有的 Yieldco 已经在公开市场筹集了 60 亿美元股权资本，均以高于首次公开发售价格进行交易 ( Benson 等，2015；C. Martin 2015 )。然而，自 2015 年 8 月底开始，Yieldco 股本价格开始下跌，SunEdison 的 TerraForm Power Yieldco 下跌最为显著，截至 2015 年 10 月 1 日，下降了 49% (Poszywak 2015)。导致下跌的因素众多，包括宏观因素，如美

国股市的动荡（特别是能源行业）；以及微观因素，如投资者对 Yieldco 模式的重新评估。潜在的风险如利率上升、收购项目的可得性以及 Yieldco 的长期盈利能力驱使某些分析师所认为 Yieldco 的股价须进行市场调整。目前尚不明确该调整对广泛太阳能市场会有哪些影响。

#### 降低风险和融资成本：Solar Access to Public Capital (SAPC) 项目

伴随着融资创新所带来的资金增长，降低分布式光伏的预计风险也可以取得许多相同的收效。分布式光伏的风险降低可以带来较低的融资成本。标准化和行业数据实用性是投资者实现融资成本降低的重要基石，特别是在资产证券化的背景下。太阳能项目的标准化，包括技术、合同等方面，使得多个项目可以汇集到单一的投资实体中，减少了每个项目所需的尽职调查的工作量。

2012 年，NREL 在美国能源部“SunShot”倡议的资金支持下，召集了 SAPC 工作组，面向居民和商业太阳能市场推动这些发展。SAPC 是一个由 450 个涵盖太阳能、金融、法律、监管、分析和其他利益相关者行业的联合体，已编纂了标准化民用和商业租赁及购电协议的文件（截至本文编纂时一份贷款文件正处于起草阶段）。

此外，SAPC 还编纂了分布式光伏安装及运维的最优范例和准则，以提升投资者对资产现金流的信心，避免消费者受到不健全的业务操作的危害。就数据而言，SAPC 开发了一个名为 Open Source Performance and Reliability Clearinghouse (oSparc) 的涵盖美国 3,800 多个分布式光伏发电系统的数据库，帮助建立光伏效益的基准，并系统运行效益和投资者收益之间的联系具体化。有关更多详情，请参见 SAPC (<https://financere.nrel.gov/finance/>) 和 oSparc (<http://sunspec.org/sunspec-osparc/>) 网站

## 5 电网接入

并网包括发电商并入电网的法律规则和程序 (Freeing the Grid 2014)。这些标准通常由公用事业委员会设定，用于在新能源并网时保证电力系统的安全性和可靠性。光伏系统与配电网链接所固有的难易程度对于分布式光伏发电资源能否成功开发起到关键影响

在美国，光伏安装者必须先从当地管辖机构获得建筑和电气施工许可证，以及电力公司电网并网的批准。电力公司入网批准和当地建筑许可在各个州和司法管辖区都有所不同，这种情况使得那些跨地域开展业务的光伏开发商在合规执行方面变得更为复杂（见图 6）。此外，这些并行的公共事业机构和当地司法管辖机构批准过程之间的协调程度在各管辖区存在显著差异。由于各公用事业和建筑许可司法管辖机构的要求和监管过程协调程度的不同，光伏安装公司向当地公用事业机构提交的并网申请经常遭遇延误。此类延误可能会影响项目进度，进而影响项目预算；一旦有必要进行额外影响研究，还将造成安装者额外须承担的成本（Ardani 等 2015）。



图 6. 光伏建设许可和并网的过程

来源：Ardani 等，2015

为了减轻以上所述影响并支持分布式能源的持续增长，多个公共事业委员会采用了支持并网过程的标准。这些标准包括：设立明确的时间表，为那些对于电网鲜有负面影响的小型发电系统实行快速办理程序，以及建立标准联网协议。为进一步简化分布式光伏联网过程，

一些公用事业委员会确定了分布式光伏可以提供区位效益的配电网路介接点；这些效益包括阻塞的避免、优化的潮流管理和延迟的输配基础设施投资（IREC，2009）。

公用事业委员会在设立规定的过程中参考的联网程序示范文本来自四个模板：联邦能源管理委员会（Federal Energy Regulatory Commission, FERC）的小型发电机联网程序（FERC，2015）；中大西洋分布式资源计划（Mid-Atlantic Distributed Resources Initiative）（MADRI，2015）；加州 Rule 21（CPUC，2015）和美国洲际可再生能源理事会（Interstate Renewable Energy Council, IREC）的规范联网标准（IREC，2013）。虽然这些模板的条例各不相同，但根据 IREC（2009）的研究，它们具备以下的共属性：

- 覆盖所有技术，而不仅是可再生能源技术
- 联网的系统容量高达至少 10 兆瓦
- 形式并网协议
- 针对涵盖大部分居民设施的小型光伏模组实施的简化程序
- 容量高达 2 兆瓦的系统可享用快轨程序，在满足特定筛选条件的情况下，这些项目无需额外费用或延迟即可获得并网批准。
- 没有满足筛选条件的项目则通过研讨会审查各研究的预计成本和持续时间
- 适用于较复杂和较大规模系统并网的三部分研究（可行性、影响和设施）过程（加州 Rule 21 设定了一个补充审查过程，作为对不符合所有筛选条件系统审查的第一步；如果未能通过此审查，则执行一个三合一的研究过程，基本上包含上列三类研究的内容）。
- 全面涵盖各种问题，以防止电力公司随意设置大量额外规定。

并网标准解决了分布式光伏市场发展一些非常具体亦是至关重要的问题。只有设立一套明确的法规体系促进流程执行，才能使分布式光伏项目在建设完毕后能够并入电网。这种滞后会让投资陷入困境，危及项目经济性，并逐渐阻碍市场增长。

## 6 结论

通过自上而下和自下而上的策略相结合，受益于国际光伏板价格下降和先期采用国家（如德国）在经验累积中的不断进步等重要因素，分布式光伏发电从 2009 年的少于 2 千兆瓦到 2014 年超过 8 千兆瓦（图 1），在美国已经实现了前所未有的渗入比例。分布式光伏发电市场取得成功源于联邦税收政策、州政府指令和激励措施、商业模式与金融创新等多方面的共同扶持。

然而，这种组合方法也同时产生了一定的复杂性。对于美国这样一个法律管辖差异化的国家，它所创立的是拥有不同根基的小块区域市场活动，而非单一的、全国的、统一的、标准化的分布式光伏发电市场。太阳能开发商必须了解每个选择进入的市场的政策、业务、法律和金融环境，因此带来巨大挑战、导致不菲的投资成本。此外，它还让开发商面临一系列风险。随着 20 多个州进行净计量修正，这一点日趋突显：每个公用事业委员会决定其将如何对净计量进行改革，开发商将不得不重新寻找方法来在多个市场开展业务，同时承担失去某些市场的风险。

此外，随着分布式光伏发电日渐成为主流，来自其他行业的摩擦也可能会增长，包括公用事业规模发电商和负载服务实体、银行抵押业务、消防安全、建筑法规、标准制定组织等。一些州已尝试通过自定策略来缓解这些摩擦，但目前还没有国家层面的战略来予以应对这些摩擦。美国能源部的“SunShot 计划”已经投入了数百万美元用于制定国家级战略，以促进分布式光伏发电与现有行业和并网的实践，然而，至今这些都是以市场为基础的方法，并没有作为政策编成法典。

尽管面对一系列挑战，美国已经实现了分布式光伏发电市场的持续增长，预计每年部署达千兆瓦规模，这种增长至少可持续至投资税抵减的还原点，不过有人认为，在当前的投资税抵减终止日期后中长期市场将非常稳健。这项由一系列政策和战略相结合所推动的增长，包含了大量的经验教训和最佳实践，其他国家在推动分布式光伏发电市场的时候可以有针对性地进行借鉴和应用。

## 参考资料

- ACEEE (American Council for an Energy-Efficient Economy). 2015. "State Government Lead by Example." Accessed July 13, 2015. <http://aceee.org/sector/state-policy/toolkit/lbe>.
- ACORE (American Council on Renewable Energy). 2014. *Renewable Energy for Military Installations : 2014 Industry Review*. Washington, D.C. : ACORE. Accessed July 13, 2015. <http://www.acore.org/files/pdfs/Renewable-Energy-for-Military-Installations.pdf>.
- Ardani, K., C. Davidson, R. Margolis, and E. Nobler. 2015. *State-Level Comparison of Processes and Timelines for Distributed Photovoltaic Interconnection in the United States*. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory. Accessed July 10, 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/63556.pdf>.
- Ardani, K., D. Seif, R. Margolis, J. Morris, C. Davidson, S. Truitt, and R. Torbert. 2013. *Non-Hardware ("Soft") Cost-Reduction Roadmap for Residential and Small Commercial Solar Photovoltaics, 2013-2020*. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory. Accessed July 10, 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/59155.pdf>.
- Barbose, Galen. 2014. "Renewable Portfolio Standards in the United States : A Status Update." Presentation by Galen Barbose to the Renewable Energy Markets 2014 Conference. December 4. Berkeley, CA : Lawrence Berkeley National Laboratory. Accessed July 10, 2015. <http://emp.lbl.gov/sites/all/files/2014%20REM.pdf>.
- Behar, M. 2009. "Selling the Sun." *OnEarth*, February 27. Accessed June 3, 2015. <http://archive.onearth.org/article/selling-the-sun?page=2>.
- Benson, G., S. Unger, and M. Tan. 2015. "The Rise of the Yieldco : Emerging Considerations for Sponsors and Yieldco Investors." *Clean Energy USA Finance Guide 2015, 2<sup>nd</sup> Ed*. London : Clean Energy Pipeline. Accessed June 4, 2015.

<http://cleanenergypipeline.com/Resources/CE/ExpertGuides/CleanEnergyUSAFinanceGuide2014Edition.pdf>.

Black, A. (2009). *Economics of Solar Systems for Consumers : Payback and Other Financial Tests*. Ongrid.net. Accessed August 28, 2015.

<http://www.ongrid.net/papers/PaybackOnSolarSERG.pdf>.

Bolinger, M. 2014. *An Analysis of the Costs, Benefits, and Implications of Different Approaches to Capturing the Value of Renewable Energy Tax Incentives*. Berkeley, CA : Lawrence Berkeley National Laboratory. Accessed June 3, 2015.

<http://emp.lbl.gov/publications/analysis-costs-benefits-and-implications-different-approaches-capturing-value-renewable>.

Chadbourne & Parke LLP. 2008. “Calculating How Much Tax Equity Can Be Raised : Developers of Renewable Energy Projects Struggling to Calculate how Much Tax Equity can be Raised.” *Project Finance Newswire*. Accessed June 1, 2015.

[http://www.chadbourne.com/CalculatingHowMuchTaxEquity\\_Jun08\\_project\\_finance/](http://www.chadbourne.com/CalculatingHowMuchTaxEquity_Jun08_project_finance/)

———. 2013. “US Tax Changes Start to Take Shape : MACRS Depreciation, Pooled Depreciation, Corporate Tax Reform, International Tax Reform, Subpart F, PFICs, Foreign Tax Credits.” *Project Finance Newswire*. Accessed June 1, 2015.

[http://www.chadbourne.com/USTaxChangesStarttoTakeShape\\_projectfinance/](http://www.chadbourne.com/USTaxChangesStarttoTakeShape_projectfinance/).

———. 2015. “Solar Tax Equity Market : State of Play.” *Project Finance Newswire*.

Accessed June 1, 2015. [http://www.chadbourne.com/Solar-Tax-Equity-Market-State-of-Play\\_projectfinance/](http://www.chadbourne.com/Solar-Tax-Equity-Market-State-of-Play_projectfinance/).

City of Boulder. 2015. “Energy Future Home.” Accessed July 12, 2015.

<https://bouldercolorado.gov/energy-future>.

Clean Power Finance. 2012. “Clean Power Finance, Morgan Stanley Solar Solutions Corp. and Main Street Power Announce Largest Consumer Residential Solar Lease Facility in U.S.” Press release. Accessed June 4, 2015.

<http://www.cleanpowerfinance.com/about-us/media-center/press-release/clean-power-finance-ms-solar-solutions-corp-and-main-street-power-announce-largest-consumer-residential-solar-lease-facility-in-u-s/>.

Coughlin, Jason, Jennifer Grove, Linda Irvine, Janet F. Jacobs, Sarah Johnson Phillips, Leslie Moynihan, and Joseph Wiedman. 2010. *A Guide to Community Solar – Utility, Private, and Non-profit Project Development*. Washington, D.C. : U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Accessed July 2, 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/49930.pdf>.

CPUC (California Public Utility Commission). 2015. “Rule 21.” Accessed October 22, 2015. <http://www.cpuc.ca.gov/PUC/energy/rule21.htm>.

中国循环经济协会可再生能源专业委员会 CREIA (Chinese Renewable Energy Industries Association). 2015. “Study on Current Challenges to Distributed PV Development in China and Suggestions.” Accessed July 12, 2015. <http://www.creia.net/news/headline/3896.html>.

Dai, L. 2014. “China’s Solar PV Station and Distributed PV Both Facing Financing Problems.” *Energy Conservation and Environmental Protection*.

Denholm, Paul, and Robert Margolis. 2008. *Supply Curves for Rooftop Solar PV-Generated Electricity for the United States*. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory. Accessed July 10, 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy09osti/44073.pdf>.

- Denholm, Paul, Robert Margolis, Bryan Palmintier, Clayton Barrows, Eduardo Ibanez, Lori Bird, and Jarett Zuboy. 2014. *Methods for Analyzing the Benefits and Costs of Distributed Photovoltaic Generation to the U.S. Electric Utility System*. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory. Accessed July 13, 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/62447.pdf>.
- DOE (U.S. Department of Energy) SunShot Initiative. 2014. *Soft Costs of Solar Deployment*. Washington, D.C. : DOE. Accessed June 4, 2015. [http://energy.gov/sites/prod/files/2014/08/f18/2014SunShotPortfolio\\_SoftCosts.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2014/08/f18/2014SunShotPortfolio_SoftCosts.pdf).
- DSIRE (Database of State Renewable Energy Incentives). 2015a. "Net Metering." Accessed July 10, 2015. <http://ncsolarcen-prod.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2015/04/Net-Metering-Policies.pdf>.
- . 2015b. "Renewable Portfolio Standards with Solar and Distributed Generation Provisions." Accessed July 13, 2015. <http://ncsolarcen-prod.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2015/01/RPS-carveout-map2.pdf>.
- . 2015c. "Value of Solar Tariff." Accessed July 10, 2015. <http://programs.dsireusa.org/system/program/detail/5666>.
- . 2015d. "U.S. Federal Government—Green Power Purchasing Goal." Accessed July 13, 2015. <http://programs.dsireusa.org/system/program/detail/1060>.
- EIA (Energy Information Administration). 2015. "Electric Power Monthly : Table 5.6.A Average Retail Price of Electricity to Ultimate Customers by End-Use Sector." Accessed May 28, 2015. [http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm\\_table\\_grapher.cfm?t=epmt\\_5\\_6\\_a](http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_5_6_a).
- Feldman, David, and Edward Settle. 2013. *Master Limited Partnerships and Real Estate Investment Trusts : Opportunities and Potential Complications for Renewable Energy*. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory. Accessed July 8, 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60413.pdf>.

- Feldman, David, and Travis Lowder. 2014. *Banking on Solar : An Analysis of Banking Opportunities in the U.S. Distributed Photovoltaic Market*. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory. Accessed June 3, 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/62605.pdf>.
- Feldman, David, Anna M. Brockway, Elaine Ulrich, and Robert Margolis. 2015. *Shared Solar : Current Landscape, Market Potential, and the Impact of Federal Securities Regulation*. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory. Accessed June 3, 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/63892.pdf>.
- FERC (Federal Energy Regulatory Commission). 2015. "Standard Interconnection Agreements and Procedures for Small Generators." Accessed October 22, 2015. <http://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/gi/small-gen.asp>.
- Freeing the Grid. 2014. "Best Practices in State Net Metering Policies and Interconnection Procedures." Accessed June 25, 2015. <http://freeingthegrid.org/>.
- Gauntlett, D., and M. Lawrence. 2015. *Distributed Solar Energy Generation : Market Drivers and Barriers, Technology Trends, and Global Market Forecasts*. Chicago : Navigant Research.
- GTM/SEIA (GTM Research and the Solar Energy Industries Association). 2015. *U.S. Solar Market Insight Report : 2014 Year in Review*. Washington, D.C. : SEIA.
- Hansen, Lena, and Virginia Lacy. 2013. *A Review of Solar Benefit and Cost Studies*. 2<sup>nd</sup> ed. Snowmass, CO : Rocky Mountain Institute. Accessed July 10, 2015. [http://www.rmi.org/Knowledge-Center%2FLibrary%2F2013-13\\_eLabDERCostValue](http://www.rmi.org/Knowledge-Center%2FLibrary%2F2013-13_eLabDERCostValue).
- IREC (Interstate Renewable Energy Council). 2009. *Connecting to the Grid : A Guide to Distributed Generation Interconnection Issues*. 6<sup>th</sup> Edition. Latham, NY : IREC. Accessed July 10, 2015. <http://www.irecusa.org/connecting-to-the-grid-guide-6th-edition/>.

- . 2013. *Model Interconnection Procedures*. Latham, NY : IREC. Accessed October 22, 2015. <http://www.irecusa.org/model-interconnection-procedures/>.
- Jones, J. 2015. *GTM Research Flash Note : U.S. Solar Tariff Update*. GTM Research.
- KBRA (Kroll Bond Rating Agency). 2014a. *HERO Funding 2014-2 Class A Notes New Issue Report*. New York : KBRA. Accessed June 23, 2015. <https://www.krollbondratings.com/research>.
- . 2014b. *HERO Funding Class A Notes, Series 2014-1 New Issue Report*. New York : KBRA. Accessed June 23, 2015. <https://www.krollbondratings.com/research>.
- . 2015a. *HERO Funding Trust 2015-1 Class A Notes*. New York : KBRA. Accessed June 23, 2015. <https://www.krollbondratings.com/research>.
- . 2015b. *Sunrun Callisto Issuer 2015-1, LLC, Series 2015-1*. New York : KBRA. Accessed June 25, 2015. <https://www.krollbondratings.com/research>.
- Konrad, T. 2015. “Are Yieldcos Overpaying for their Assets?” Greentech Media. Accessed July 1, 2015. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/are-yieldcos-overpaying-for-their-assets>.
- Lacey, S. 2015. “SunEdison’s Yieldco Acquires \$2 Billion of Wind Projects from Invenergy.” Greentech Media. Accessed July 10, 2015. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/sunedisons-yieldco-acquires-2-billion-in-wind-projects-from-invenegy>.
- Lazard. 2014. *Lazard’s Levelized Cost of Energy Analysis Version 8.0. (2014)*. New York : Lazard. Accessed July 27, 2015. [https://www.lazard.com/media/1777/levelized\\_cost\\_of\\_energy\\_-\\_version\\_80.pdf](https://www.lazard.com/media/1777/levelized_cost_of_energy_-_version_80.pdf).
- Litvak, N. 2014. *Residential Solar Financing*. Greentech Media Research.

- Lowder, Travis, and Michael Mendelsohn. 2013. *The Potential for Securitization in Solar PV Finance*. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory. Accessed June 15, 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60230.pdf>.
- MADRI (Mid-Atlantic Distributed Resources Initiative). 2015. "About MADRI." Accessed October 22, 2015. <http://sites.energetics.com/madri/>.
- Martin, C. 2015. "SunEdison Raises \$403 Million for TerraForm for Wind, Solar." *Bloomberg Business*. Accessed July 3, 2015. <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-06-16/ge-invests-25-million-in-terraform-global-to-expand-wind-power>.
- Martin, K. 2015. "Solar Tax Equity Structures." *Chadbourne & Parke LLC Project Finance Newswire*. Accessed October 15, 2015. [http://www.chadbourne.com/files/Publication/8f6adaf3-dacb-453c-8ea9-2b36c0e426c1/Presentation/PublicationAttachment/2aa3429d-f9a6-4595-9b3b-2d22af00fb8c/pfn\\_0915.pdf](http://www.chadbourne.com/files/Publication/8f6adaf3-dacb-453c-8ea9-2b36c0e426c1/Presentation/PublicationAttachment/2aa3429d-f9a6-4595-9b3b-2d22af00fb8c/pfn_0915.pdf).
- 中国工业和信息化部 MIIT (Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China). 2014. "2013 China Solar PV Industry Operation Information." Accessed January 2, 2015 : <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11294132/n12858462/15971104.html>.
- Munsell, M. 2015. "72% of US Residential Solar Installed in 2014 Was Third-Party Owned." *Greentech Media*. Accessed September 24, 2015. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/72-of-us-residential-solar-installed-in-2014-was-third-party-owned>.
- Navigant. 2015. *Distributed Solar PV : Market Drivers and Barriers, Technology Trends, Competitive Landscape, and Global Market Forecasts*. Chicago : Navigant Research.

- 国家能源局 NEA (National Energy Administration). 2015. “2014 Solar PV Electricity Generation Statistics.” Accessed April 9, 2015. [http://www.nea.gov.cn/2015-03/09/c\\_134049519.htm](http://www.nea.gov.cn/2015-03/09/c_134049519.htm).
- Pacific Power. 2014. “Residential and Commercial Price Comparison.” Accessed October 22, 2015. <https://www.pacificpower.net/about/rr/rpc.html> and <https://www.pacificpower.net/about/rr/cpc.html>.
- Poszywak, A. 2015. “CreditSights : SunEdison may have hit margin call on \$410M Deutsche Bank loan.” SNL Financial. Accessed October 1, 2015.
- Proctor, C. 2014. “Community solar power grows in Colorado.” *Denver Business Journal*. September. Accessed July 13, 2015. [http://www.bizjournals.com/denver/blog/earth\\_to\\_power/2014/09/community-solar-power-grows-in-colorado.html](http://www.bizjournals.com/denver/blog/earth_to_power/2014/09/community-solar-power-grows-in-colorado.html).
- REIT.com. 2015. “U.S. REIT Industry Market Cap.” Accessed October 22, 2015. <https://www.reit.com/data-research/data/us-reit-industry-equity-market-cap>.
- Reynolds, Lang. 2015. “A Peek into YieldCo’s Relative Cost of Capital : An Analysis of a Recent Transaction.” Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory Finance blog. Accessed July 10, 2015. <https://financere.nrel.gov/finance/content/peek-yieldco-s-relative-cost-capital-analysis-recent-transaction>.
- S&P (Standard and Poor’s). 2013. *SolarCity LMC Series I LLC (Series 2013-1)*. Accessed June 23, 2015 : <https://www.standardandpoors.com/servlet/BlobServer?blobheadername3=MDT-Type&blobcol=urldata&blobtable=MungoBlobs&blobheadervalue2=inline%3B+filename%3DSolarCity+LMC+Series+1+LLC+%28Series+2013-1%29+Presale+Nov+11+2013.pdf&blobheadername2=Content-Disposition&blobheadervalue1=application%2Fpdf&blobkey=id&blobheadername1=content-type&blobwhere=1244345237149&blobheadervalue3=UTF-8>.

———. 2014a. *SolarCity LMC Series II LLC (Series 2014-1)*. Accessed June 23, 2015.

———. 2014b. *SolarCity LMC Series III LLC (Series 2014-2)*. Accessed June 23, 2015.

SEIA (Solar Energy Industries Association). 2015. “Distributed Solar.” Accessed June 20, 2015 : <http://www.seia.org/policy/distributed-solar>.

SolarCity. 2015. *Cost Calculation Methodology*. San Mateo, CA : SolarCity. Accessed October 22, 2015. [http://files.shareholder.com/downloads/AMDA-14LQRE/821004871x0x841999/99386659-A86D-4581-8AEA-13ADBD309EF1/SolarCity\\_2Q15\\_Cost\\_Memo\\_FINAL.pdf](http://files.shareholder.com/downloads/AMDA-14LQRE/821004871x0x841999/99386659-A86D-4581-8AEA-13ADBD309EF1/SolarCity_2Q15_Cost_Memo_FINAL.pdf).

State of New York. 2015. “Reforming the Energy Vision Initiative.” Accessed July 10, 2015 :  
<http://www3.dps.ny.gov/W/PSCWeb.nsf/All/26BE8A93967E604785257CC40066B91A?OpenDocument>.

Taylor, Mike, Joyce McLaren, Karlynn Cory, Ted Davidovich, John Sterling, and Miriam Makhyou. 2015. *Value of Solar : Program Design and Implementation Considerations*. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory. Accessed October 15, 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/62361.pdf>.

U.S. Small Business Administration. 2014. “Summary of Size Standards by Industry Sector”. Accessed July 22, 2015. <https://www.sba.gov/content/summary-size-standards-industry-sector>.

———. 2015. “Small Business Trends, Small Business Impact!” Accessed July 22, 2015. <https://www.sba.gov/content/small-business-trends-impact>.

Urdanick, Marley. 2014. “A Deeper Look Into Yieldco Structuring.” Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory Finance blog. Accessed October 22, 2015. <https://financere.nrel.gov/finance/content/deeper-look-yieldco-structuring>.

- Wang, Lijia. 2014. "Financing Difficulties for Distributed Solar PV." *Energy* (Chinese). 2014(2) : 65–67.
- Wellinghoff, J., and J. Tong. 2015. "Wellinghoff and Tong : A Common Confusion Over Net Metering Is Undermining Utilities and the Grid." *Utility Dive*. Accessed October 15, 2015. <http://www.utilitydive.com/news/wellinghoff-and-tong-a-common-confusion-over-net-metering-is-undermining-u/355388/>.
- Wesoff, E. 2015. "APS Proposes \$21 Monthly Fee for Residential PV, Launches Home Energy Storage Pilot." Greentech Media. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/APS-Proposes-21-Monthly-Fee-for-Residential-PV-Launches-Home-Energy-Stora>.
- White House. 2015. "FACT SHEET : President Obama Announces New Actions to Bring Renewable Energy and Energy Efficiency to Households across the Country." Accessed September 24, 2015. <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/08/24/fact-sheet-president-obama-announces-new-actions-bring-renewable-energy>.
- Wiser, Ryan. 2007. "The Treatment of Solar Electricity in Renewables Portfolio Standards." Presentation by Ryan Wiser prepared for the U.S. Department of Energy. April. Berkeley, CA : Lawrence Berkeley National Laboratory. Accessed July 10, 2015. <http://emp.lbl.gov/sites/all/files/PRESENTATION%20pv-rps-set-asides-2007.pdf>.
- Xcel Energy. 2015. "Solar\*Rewards Community - Current Program Status." Accessed July 14, 2015. [http://www.xcelenergy.com/Energy\\_Solutions/Rebate\\_Finder\\_Tool/Solar\\*Rewards\\_Community\\_-\\_Current\\_Program\\_Status](http://www.xcelenergy.com/Energy_Solutions/Rebate_Finder_Tool/Solar*Rewards_Community_-_Current_Program_Status).
- Yorkville Capital Management. 2015. "MLP Asset Class Overview." Accessed October 22, 2015. <http://www.yorkvillecapital.com/asset-class-overview.aspx>.