



山西省可再生能源（光伏）规划 ——以长治市郊区为例

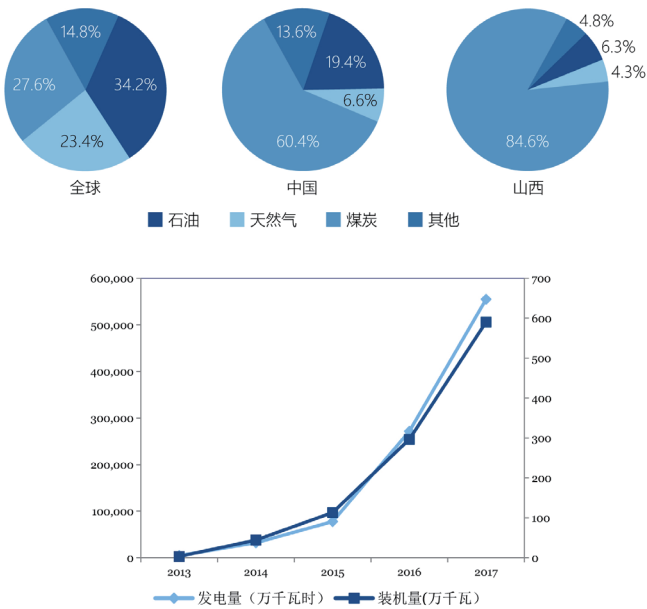
目 录

项目背景	2
可再生能源规划方法简介	2
第一章 绪 论	3
1.1 理论基础	3
1.2 技术路线	3
第二章 山西省资源能源开发利用情况分析	4
2.1 煤炭	4
2.2 煤层气	5
2.3 电力	6
2.4 可再生能源	7
2.5 山西能源发展趋势分析	8
第三章 可再生能源区域（REZ）评估	9
3.1 方法概述	9
3.2 山西省 REZ 评估	9
第四章 长治市郊区技术可利用光伏资源评估	11
4.1 长治市郊区概况	11
4.2 方法概述	13
4.3 技术可利用光伏资源评估	13

第五章 长治市郊区 PV 应用技术评估	14
5.1 方法概述	14
5.2 郊区 PV 应用技术评估	15
第六章 光伏项目商业模式分析	18
6.1 概述及说明	18
6.2 技术应用设计与实现	18
6.3 实施模式	19
第七章 居民屋顶光伏项目经济分析模型	20
7.1 概述及说明	20
7.2 模型选取	20
7.3 经济分析	20
附 件	31

项目背景

山西省是我国重要的综合能源基地，煤炭资源丰富，长期以来，能源结构以煤炭为主。在能源变革和去煤化趋势下，山西省积极推动能源变革，大力发展以风电、光伏为主的新能源发电产业，已跻身全国新能源大省行列。从 2013–2017 年，全省光伏发电呈爆发式增长，但是电力消纳能力不足导致的弃风弃光问题，补贴退坡导致的经济性问题成为可再生能源行业未来的发展的重要难点。未来的几年，可再生能源发展将不能继续追求快速发展，要以更科学更精准更适宜为目标，优化发展，让其更持续更深入更科学的推广。以此为目的，山西省生态环境研究中心与全球环境研究所 (GEI)、山西科城环保产业创新研究院共同开展了本光伏规划研究课题，以期能为政府主管部门和行业企业提供决策支持。



可再生能源规划方法简介

开发者：全球环境研究所 (GEI)、美国气候战略中心 (CCS) 和中国科学院广州能源研究所 (GIEC)。

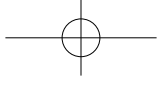
本项目：在已有“可再生能源实施工具包开发”和“工业屋顶光伏发电技术实施文件”基础上继续研究开发“居民屋顶光伏项目”相关可再生能源规划方法。

主要作用：

更准确地评估区域可再生能源和潜力，

更好地制定可再生能源发展规划，设立更合理的新能源发展目标，

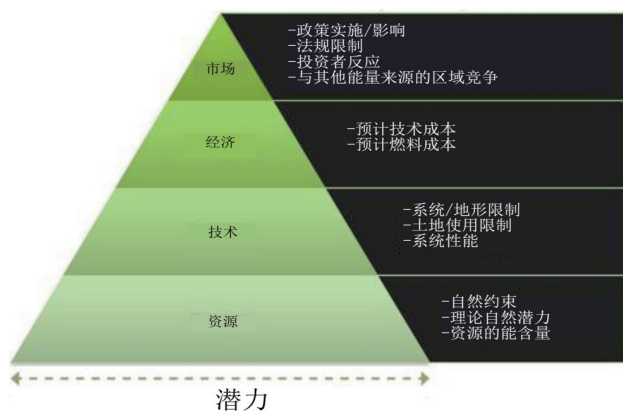
让可再生能源规划能更好地落地。



第一章 绪 论

1.1 理论基础

本规划研究逻辑利用美国能源部国家可再生能源实验室提出的能源潜力金字塔理论（如图 1-1 所示），能源潜力从下至上可分为资源、技术、经济、市场四层，其中第一层资源潜力指理论自然潜力，是某能源的资源总量。第二层技术为考虑技术可实施性后判定技术可利用的潜力。第三层为考虑经济可行性后判定有盈利能力的可利用潜力。第四层为考虑市场选择的具有市场竞争力的有可落地的资源潜力。每层能源潜力都以底层潜力为基础且进一步缩减。



来源：NREL（美国能源部的国家可再生能源实验室）

图 1-1 确定潜在的可再生能源

• 资源

利用 ArcGIS 等地理信息系统软件做的地理空间分析可以用来评估特定的可再生能源资源（太阳能、风能、生物质、水电）在某个辖区内的资源潜力和该辖区内最大实施潜力的地区。一旦确定高潜力的大致地点（可再生能源区域），便可开展针对该区域更具体的评估。

以太阳能为例，使用地理信息系统软件评估实施对象理论上可供使用的总面积（例如，每个城市或地区的面积）和在这个范围内单位面积年平均太阳辐射量（例如， $\text{Wh}/\text{天} \cdot \text{m}^3$ ），将它们相乘得出 $\text{MWh}/\text{天}$ 的“资源”总量。

• 技术

技术上的可操作性，主要通过排除不适合安装可再生能源的区域来确定。被排除的原因有：土地使用类型限制、坡度和保护区，评估基于以下数据：例如土地使用 / 土地覆盖（LULC）和坡度数据。除此之外，另外一个需要考虑的因素是系统性能，例如：太阳能辐射、风能资源或生物质生产和能源转换效率，综合考虑这些因素来评估不同区域的资源潜力。具有丰富技术潜力的区域可被视作可再生能源区域，前提是这些区域有合适

的传送 / 运输系统（或是技术应用本身的一部分）将所产生的能量送达它的最终使用市场。

由于每种可再生能源都有多种技术备选，所以可使用多标准评估（MCA）对各种技术进一步细化以确定优先使用哪种技术。MCA 可以对各种技术进行筛选以确定哪些技术的重要性能标准和总体公共政策、市场目标最为匹配，这些标准包括生产潜力、生产成本等。

以分布式太阳能光伏为例，使用的技术包括安装的终端用户部门（住宅、商业 / 公共机构、工业）以及确定安装的具体位置：在屋顶或一些可用空地（例如，停车场、广场、其他已铺筑区域等），这需要可再生能源实施工具包内的 GIS 工具按部门对可用屋顶和其他空地进行评估。除实施区域内可用于安装的区域外，也应在这个阶段收集不同可再生能源技术的成本和特性等信息。

• 经济

一旦确定可再生能源区域后，就可以对这些区域进行经济和市场潜力的评估。财务评估和实施风险分析是可再生能源实施和确定市场潜力的关键要求。除了实施风险分析外，还可帮助贷款方了解目标可再生能源项目或工程的预期财务表现，以及确定借款方在贷款偿付方面的潜在风险量级。

• 市场

商业实施模式详述了每个实施步骤，包括每个责任方和他们的责任、协议、机制、分析资金支持者的工作和要求。

1.2 技术路线

本课题是在全球环境研究所、美国气候战略中心、广州能源所合作开发的 REI 可再生能源规划工具包的基础上，结合山西省实际情况，对工具包进行了优化调整。并选取长治市郊区进行了实际应用。经梳理，本课题实施主要包括五大步骤：

1、山西省资源能源开发现状分析；

2、可再生能源区域（REZ）评估，包括四项评估分析工作：GHI 强度评估、太阳能可利用范围评估、太阳能资源潜力评估、根据评估结果和其他筛选条件选择目标区域；

3、技术可利用太阳能潜力评估，包括四项评估分析步骤：目标区域用地类型分析和可用地分类、精准识别并评估可利用面积、太阳能技术筛选评估、技术可利用太阳能潜力计算；

4、商业模式分析，进行利益相关方分析，对项目实施要素、步骤及要求进行分析；

5、经济和风险分析，对项目实施成本效益进行分析，并对技术、市场、成本、管控等关键领域进行风险评估。

技术路线图如图 1-2 所示：

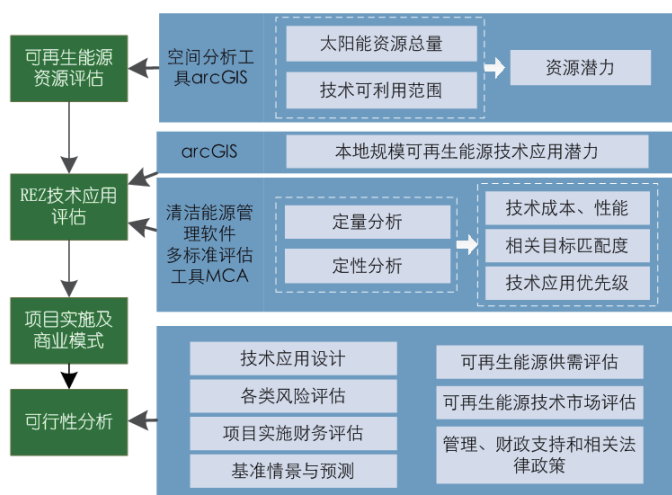


图 1-2 可再生能源规划技术路线图

第二章 山西省资源能源开发利用情况分析

山西省能源资源整体呈现“富煤贫油少气”，长期依赖煤炭资源，是我国传统的煤炭生产、消费、外输大省和我国重点综合能源基地。近年来，随着煤层气、太阳能、风能等新能源及可再生能源的持续发展，我省能源结构有所好转。煤炭消费占比由“十二五”时期的 90% 降低到 85% 左右。本章节主要对我省煤炭、煤层气、可再生能源、电力开发利用情况进行分析，具体如下：

2.1 煤炭

2.1.1 资源禀赋

山西煤炭资源储量大、分布广、品种全、质量优。全省含煤面积 6.2 万平方公里，占国土面积的 40.4%，是中国煤炭分布密度最高、探明储量最大的省份。全省 2000 米以浅煤炭预测资源储量 6552 亿吨，占全国煤炭资源总量的 11.8%；累计查明保有资源量 2674 亿吨，约占全国的 1/4。

2.1.2 开发利用情况分析

生产情况：我省煤炭资源丰富，119 个县（市区）中 94 个县有煤炭赋存，84 个县产煤。截至 2018 年底，全省规模以上煤炭企业 1100 户左右（包括煤炭开采和洗选），生产矿井 500 座左右。

2015 年以前，煤炭生产量呈增长趋势，2015 年后煤炭产量稍降，随着经济复苏，2017 年山西省煤炭产量回升到 8.7 亿吨。具体见图 2-1。

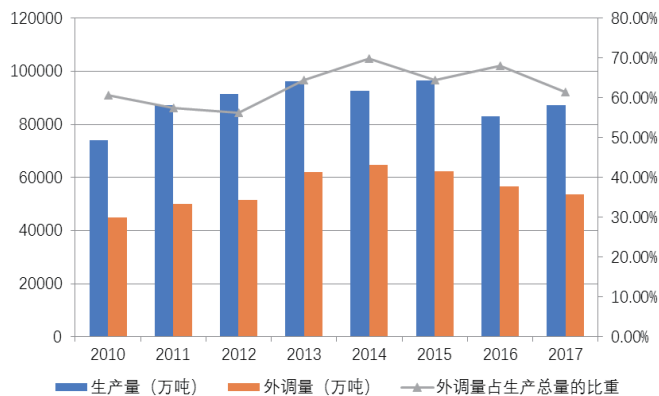


图 2-1 2010-2017 年山西省煤炭生产量及外调量

消费情况：从 1980 年到 2017 年，全省煤炭消费量从 4326 万吨增加至 32171 万吨，增加约 7 倍。2013 年以前，煤炭生产量呈快速增长趋势，2013 年后，受经济影响，稍有回落，2015 年后经济情况回暖，煤炭消费量重新进入增长阶段。具体见图 2-2。

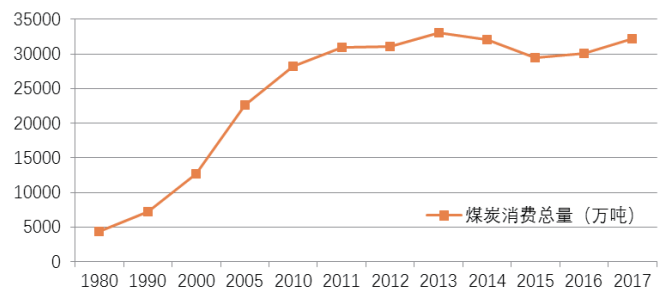


图 2-2 山西省主要年份煤炭消费情况

以 2017 年全省煤炭消费量为例，全省煤炭消费量约为 32171 万吨，其中，生产建设用煤量为 31193 万吨，约占总消费量 97%，其中，电力生产消费量约为 12112 万吨，占总消费量 37.6%，炼焦用煤 11161 万吨，占总消费量 34.7%；居民生活消费量为 978 万吨，约占总消费量的 3%。具体见图 2-3。

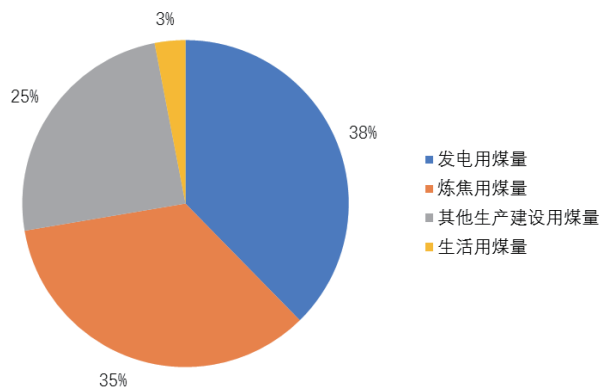
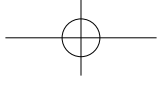


图 2-3 2017 年山西省煤炭消费重点行业



2.2 煤层气

2.2.1 资源禀赋

山西是我国煤层气资源富集程度最高、开发潜力最大的省份，具有煤层层数多、厚度大、含气量高、含气质量好、含气饱和度高、构造简单等优越的地质条件。全省 2000 米以浅煤层气资源总量约 83098 亿立方米，约占全国煤层气资源量的四分之一。截至 2015 年底，全省累计探明煤层气地质储量 5600 亿立方米，占全国的 88%。截至 2015 年底，全省输气管道总长 8000 余公里，覆盖全省 11 个设区市 110 余个县（区），初步形成“三纵十一横、一核一圈多环”的输气管网格局，燃气使用人口达到 2000 万人。

我国埋深 2000m 以浅煤层气地质资源量约 36.8 万亿 m^3 ，山西省煤层气储量约占全国总量的 1/3，为山西省燃气发电产业的发展提供了便利条件。现有保德、古交、临县、昔阳、寿阳、大宁、长子、沁水等 8 个区块的煤层气已实现并网，日供气量达到 180 万 m^3 。山西省内虽然没有天然气资源，但有五条国家级天然气主干管线过境山西，为山西省燃气发电创造了丰富的天然气过境气源条件。

2.2.2 开发利用情况分析

山西省是我国最大的地面煤层气开发利用省份，其中地面煤层气开发利用量长期占全国 90% 以上。另外，山西省是最早开展井下煤矿瓦斯抽采的省份，目前抽采利用量居于全国前列。

地面煤层气：2012 年抽采量约为 25 亿立方米、利用量为 20 亿立方米；2017 年抽采量为 56 亿立方米、利用量为 50 亿立方米，抽采量增速为 124%，利用量增速为 150%。地面煤层气开发利用整体增速较快，截至 2017 年底，地面煤层气开采利用率可达 89%，是我省实施气化山西和能源结构转型的重要抓手。

煤矿瓦斯：2012 年抽采量为 46 亿立方米、利用量为 16 亿立方米，2017 年抽采量为 64 亿立方米，利用量为 25 亿立方米，抽采量增速为 40%，利用量增速为 61%。整体来看，煤矿瓦斯利用量增长较慢，主要受制于煤炭行业经济性、性价比高的气源减少等多方面因素影响。

整体来看，山西省煤层气（含煤矿瓦斯）开发量 2017 年抽采量 120 亿立方米，利用量 75 亿立方米，利用率 63%，处于全国较高水平。按照《山西省“十三五”新能源产业规划》，到 2020 年，煤层气（煤矿瓦斯）抽采量将达到 350 亿立方米，煤层气发电装机达到 700 万千瓦，具体见图 2-4~ 图 2-6。

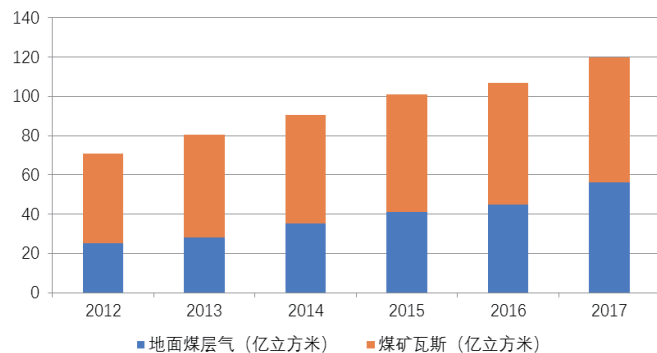


图 2-4 2012-2017 年山西省煤层气抽采量

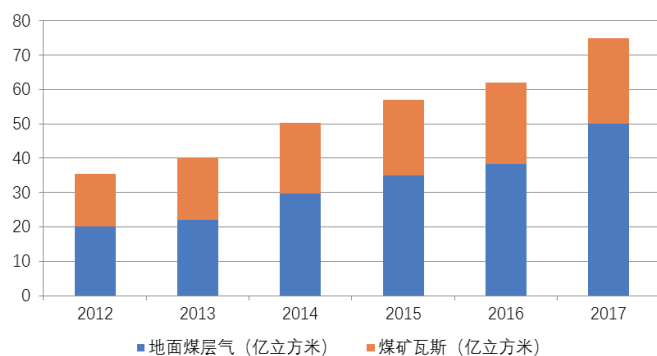


图 2-5 2012-2017 年山西省煤层气利用量

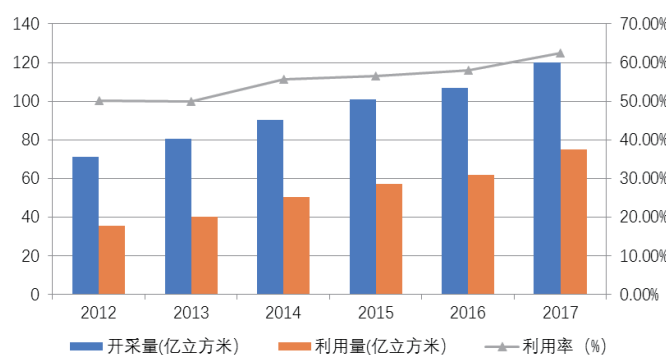


图 2-6 2012-2017 年山西省煤层气抽采量及利用量

2.3 电力

2.3.1 整体情况分析

发电情况：从 1985 年到 2017 年，全省发电量从 184 亿千瓦时增加至 2765 亿千瓦时，增加约 15 倍。2013 年以前，发电量一直呈增加趋势，2013 年后，受经济影响，稍有回落，2015 年后经济缓慢复苏，发电量重新进入增长阶段，其中 2017 年增速达到 10% 左右。具体见图 2-7。

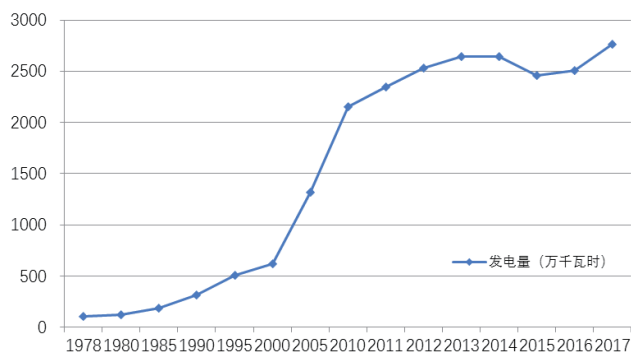


图 2-7 山西省主要年份发电量

装机情况：近年来，随着我省风力发电、光伏发电等可再生能源及新能源项目的推进，新能源装机容量不断增加，2017 年，新能源装机占到全省的 20% 以上。具体见图 2-8。

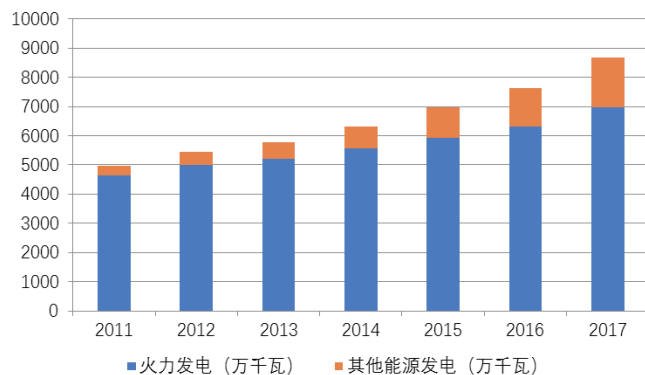


图 2-8 2011-2017 年山西省分品种发电装机容量

2.3.2 发电及外输情况

我省是传统的电力外输大省，承担着保证京津冀用电的重要任务。2011-2017 年，全省发电量基本保持平稳，除满足本省用电需求外，每年向外省市输出电量约 700 亿千瓦时，约占总发电量的 30%。具体见图 2-9。

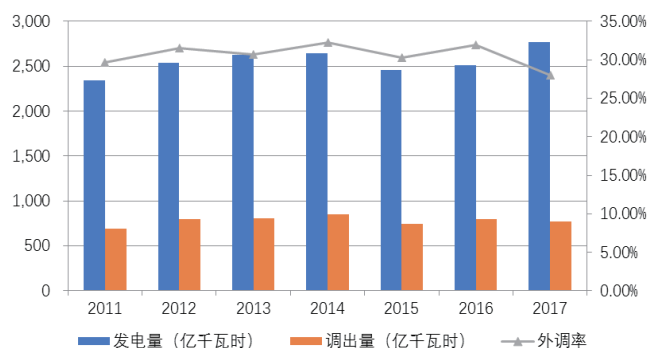


图 2-9 2011-2017 年山西省发电量及调出量

2.3.3 电力消费情况

(1) 消费总量情况

2011-2017 年，全省电力消费量基本保持平稳，年均用电量为 1800 亿千瓦时，第一产业、第二产业、第三产业电力消费量占总用电量的 90% 以上，其中：2017 年我省全社会电力消费量为 1990.61 亿千瓦时，居民生活电力消费量为 182.49 亿千瓦时。具体情况见图 2-10。

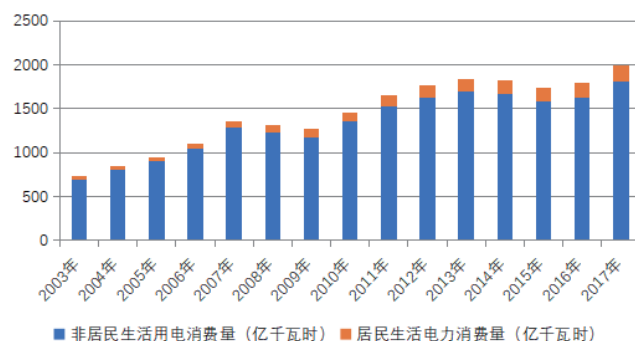
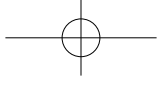


图 2-10 山西省 15 年电力消费量

(2) 人均消费情况

2003 年-2013 年，在此 11 年间，电力占居民生活能源消费比重逐年攀升，增速较快，直至 2014 年后，电力占比增速放缓，基本稳定在 33% 左右。

2017 年，我省居民年人均生活用电量 493 千瓦时，人均用电量 5377 千瓦时，相比 2003 年，三项指标分别变化了 429%、221% 和 210%，我省居民生活用电水平得到了快速的提升与发展。具体见图 2-11。我省居民生活电气化水平与我国发达省份相比差距巨大，并且低于全国平均水平，未来发展中，山西省居民生活用电具有较大的发展潜力。



山西省可再生能源（光伏）规划
——以长治市郊区为例

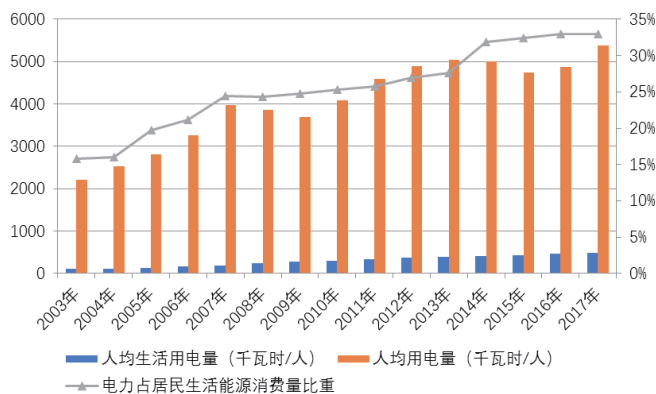


图 2-11 山西省 15 年人均电力消费情况

2.3.4 基础设施建设情况

截至 2017 年底，省内电网已形成以 500 千伏“两纵四横”为骨干网架，220 千伏大同、忻朔、中部、南部四大供电区域，110 千伏和 35 千伏及以下电压等级辐射供电的网络格局。外送通道方面，形成了以 1000 千伏特高压为核心，6 个通道、13 回线路的外送格局，输电能力约 2000 万千瓦。

2.4 可再生能源

2.4.1 太阳能

资源情况：山西地处黄土高原东部，全省年日照数在 2200–3000h 之间，晋北三市处于光资源二类区，其他八市处于光资源三类区，总体上山西省光资源条件较好。山西太阳能资源虽不及西藏、新疆、青海、甘肃等地，但高于同纬度的河北、北京、东北和山西以南各省市，是我国太阳能资源较丰富的地区之一。由于地形复杂，年度辐射量的等值线不规则，其分布特点是由南向北逐渐增加，辐射量最高的是北部的大同市左云县，辐射量最低的是运城垣曲县。

近几年来，山西省抓住国家经济转型和大力发展清洁能源的良好机遇，大力发展以风电、光伏为主的新能源发电产业，尤其是大同采煤沉陷区“国家先进技术光伏示范基地”13 个光伏发电项目的陆续投产，让山西省跻身全国新能源大省行列。太阳能利用主要包括太阳能热利用、太阳能光热发电、太阳能光伏发电。其中光伏发电是目前推进最快的利用方式。

2013–2017 年，全省光伏发电呈爆发式增长，装机容量及发电量增速均保持在 100% 以上，截至 2017 年底，光伏发电装机容量为 590.38 万千瓦，约为 2013 年底装机容量的 169 倍；光伏发电量为 55.5 亿千瓦时，约为 2013 年底发电量的 113 倍；同时，光伏发电量占新能源发电量 21.14%。具体见图 2–12。

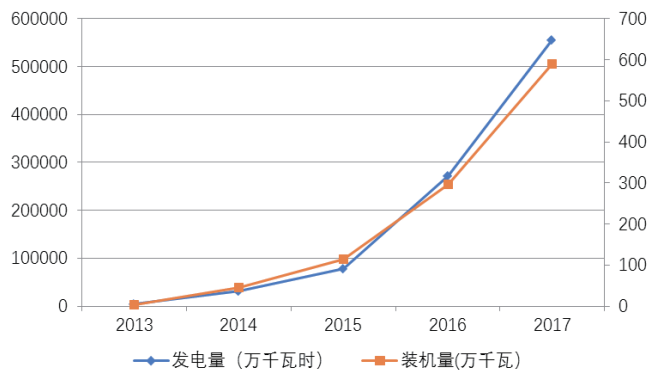


图 2-12 2013–2017 年山西省光伏发电量

光伏发电主要形式包括地面电站和分布式光伏，目前从装机容量来说，还是地面电站占绝大多数，但是从政策调控的角度，未来分布式光伏将是主要发展趋势。从目前的发展趋势来看，山西省未来几年光伏发电的重点在光伏领跑者项目、分布式光伏项目开发、光伏扶贫项目开发。

2.4.2 风能

山西省地处黄土高原，山多沟深，地势起伏不平，地面气流受地形影响较大，风能资源较为丰富，在全国仅次于东南沿海及附近岛屿、内蒙、甘肃走廊和东北、西北地区，属风能季节性可利用区。从地域分布来看，北部的管涔山、吕梁山北段及恒山以北（除大同盆地南部外），因海拔高度较高，又地处内蒙古高原边缘，为冬季风南下之要冲，故为山西风能资源的高值区，具有很好的开发价值。

2013–2017 年，全省风力发电量在新能源发电量中占比最大且保持较高的增速，截至 2017 年底，全省风力发电量为 164.9 亿千瓦时，占全省新能源发电量比重约为 63%，增速为 30%。具体见图 2–13。

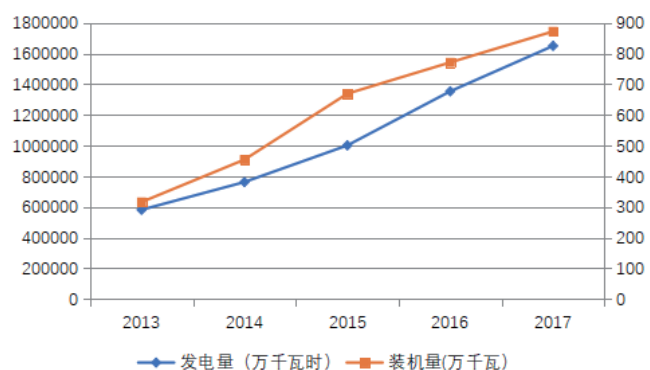


图 2-13 2013–2017 年山西省风力发电量

2.4.3 水能

山西省内包括黄河、海河两大流域，由于山高沟深，河道弯曲，纵坡较大，故水能资源蕴藏量丰富。2013–2017 年，水能发电装机容量变化较小，处于 242 万千瓦至 244 万千瓦区间内，期间发电量波动较大，截至 2017 年底，水力发电量为 421000 万千瓦时，占新能源总发电量 16%。具体见图 2–14。

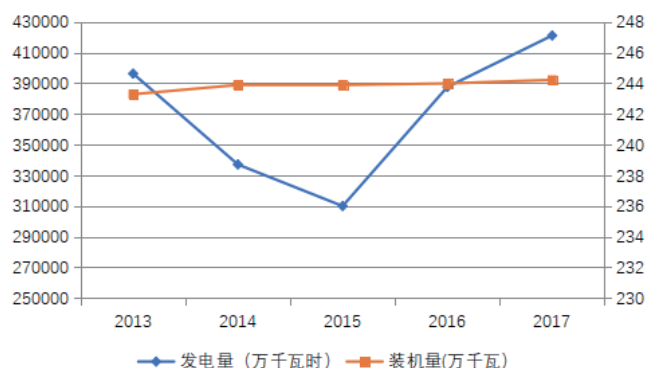


图 2-14 2013–2017 年山西省水力发电量

2.4.4 生物质能

山西的生物质资源主要包括农业生物质资源、森林生物质资源以及人畜粪便资源三大类。主要利用于生产沼气与秸秆气化。

2.4.5 地热能

山西地热资源较丰富，主要分布在大同、忻州、太原、临汾、运城 5 大盆地的新绛、临猗、夏县、襄汾、曲沃、太原、清徐、忻州、定襄、原平、阳高、天镇、浑源等 32 个县市区，地热水温以 20 ~ 40℃ 为主，高于 61℃ 的地热水点较少。地热能资源利用主要可用于洗浴疗养及休闲，为工业生产及居民生活提供热水和供热。

2.4.6 小结

整体来看，山西省可再生能源最近几年发展较快，山西省可再生能源开发利用目前主要以发电为主，可再生能源装机占比突破 20%，发电量占比突破 10%。山西省可再生能源开发主要以风能和太阳能为主，两者的发电量占到全省可再生能源发电量的 80% 以上。

《山西省“十三五”新能源产业发展规划》指出，到 2020 年，风电装机容量达到 1400 万千瓦；太阳能发电装机达到 1200 万千瓦。截至 2017 年底，山西省光伏装机 600 万千瓦，风电 890 万千瓦。山西省光伏发电和风力发电在未来几年的增长潜力较大。

2.5 山西能源发展趋势分析

2.5.1 煤炭的主导地位短期内难以动摇

山西省作为传统煤炭生产、消费、输出大省，承担着周边地区的电力供应及煤炭供应任务，短时期来看，煤炭仍将是我省能源生产消费的主要能源，煤炭消费占一次能源的比例也将持续较高水平。在可以预见的未来，山西省的煤炭生产消费必定高于全国平均水平，这是历史发展、能源产业定位等多方面因素造成的。能源结构是和资源禀赋、产业定位等紧密结合的，能源结构的转型是漫长而艰辛的，任重而道远。

《国务院关于支持山西省进一步深化改革促进资源型经济转型发展的意见》（国发〔2017〕42 号）指出，山西省作为国家重要的能源基地和老工业基地，同时也是国家资源型经济转型综合配套改革试验区，希望山西省当好能源改革排头兵，走出一条转型升级、创新驱动发展的新路，努力把山西省改革发展推向更加深入的新阶段。

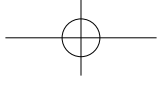
2.5.2 可再生能源发展将更科学的推进

从能源变革的趋势来看，去煤化或是减煤化是历史的必然。山西省作为综合能源基地，也要顺势而为。山西省正在积极推动能源变革，推动能源供给及消费革命。通过大力发展可再生能源，减少煤炭消费，优化电源及能源结构，将会是能源革命的一部分。但是可再生能源发展过程中遇到过各种各样的问题，包括电力消纳、经济性不佳、补贴不及时等。

电力消纳等问题是不可避免的，但是随着电力体制改革不断持续深入推进，电力消纳对可再生能源发展的影响将会越来越小。2017 年，山西省弃风弃光率已降到 5% 左右，低于全国平均水平。可以预见，在不久的将来，可再生能源发电将和火电一样，成为我国和我省稳定电力供应的一部分。

目前受技术水平、成本等因素影响，光伏和风电成本稍高于传统火电，以光伏发电为例，国家陆续推出“金太阳示范工程”、“领跑者光伏基地”等项目，推动了光伏发电的发展，大大提高了发电效率和削减了发电成本，但是背后是高达千亿的补贴。任何一个行业都不可能长久的依靠补贴来持续发展，光伏和风电也不例外，补贴的退坡和取消已经是必然的趋势。自 2015 年以来，能源局等部门已经在逐步优化、调整补贴方式，精准定位产业发展，科学鼓励发展方向。所以，在未来的几年，我国及我省的可再生能源不应以快速发展为第一要务，要以更科学更精准更适宜为目标，优化发展，让其更持续更深入更科学的推广。其中，风力发电仍将以山坡、荒地为主要发展方向，光伏将以光伏扶贫、领跑基地开发、综合光伏项目为主要发展方向。

可再生能源的科学发需要在全省范围内对其资源禀赋、开发利用潜力、经济性、可操作性等进行系统的评估分析，为我省可再生能源科学发展、精准施策提供有益的建议，为推动山西省能源结构革命、正当全国能源革命排头兵提供有力的支撑。



第三章 可再生能源区域（REZ）评估

3.1 方法概述

基本理论：资源潜力 = 太阳能可安装最大面积 × 到达地表的太阳能量（辐射强度）

评估方法：基于太阳能可安装的最大面积和到达地面的太阳能量（太阳能辐射），使用地理信息系统（GIS）的地理空间分析功能来计算可使用的最大面积。通过把不适合的区域（包括森林、耕地、水域、保护区和敏感区域、坡度大于15%的土地）从总面积中去除而估算适于安装太阳能光伏系统的省内面积。并通过分析适合安装光伏系统面积的空间分布情况，筛选得到REZ。

主要工具：ArcGIS

评估步骤：

- 1、GHI 资源条件评估：利用 GIS 评估全省的太阳能辐射（GHI）资源条件，计算各县年均平均值；
- 2、太阳能可利用范围评估：利用 GIS 判断全省适合发展光伏技术的范围和区域，考虑因素包括：用地类型、坡度、保护区；
- 3、太阳能资源潜力评估：综合 1、2 步的成果，计算各县及各地的可利用光伏资源总量，判断适合发展光伏技术的范围和区域；
- 4、根据评估结果和其他筛选条件选择目标区域。

3.2 山西省 REZ 评估

3.2.1 山西省 GHI 资源条件分析

项目组利用 ArcGIS 空间分析工具，将中国 GHI 分布图按照山西省行政边界区域裁剪得到山西省 GHI 数据，得到山西省范围内 GHI 日均值空间分布图（图 3-1）。进一步将山西省数据以县为单位划分，根据县域面积与 GHI 值相叠加得出各县区 GHI 值，得到山西省各县 GHI 值评估图（图 3-2）。原始数据描述及来源见表 3-1 所示。根据分析结果可知，山西省太阳能资源整体呈现北高南低的趋势，其中朔州市、大同市太阳能辐射强度最大，运城市、晋城市太阳能辐射强度最小。

表 3-1 原始数据描述及来源表

原始数据	数据描述	数据来源
山西省行政边界图	矢量数据	政府部门
中国太阳能资源图	2007-2015 年日均 GHI, 1km	SOLARGIS ²

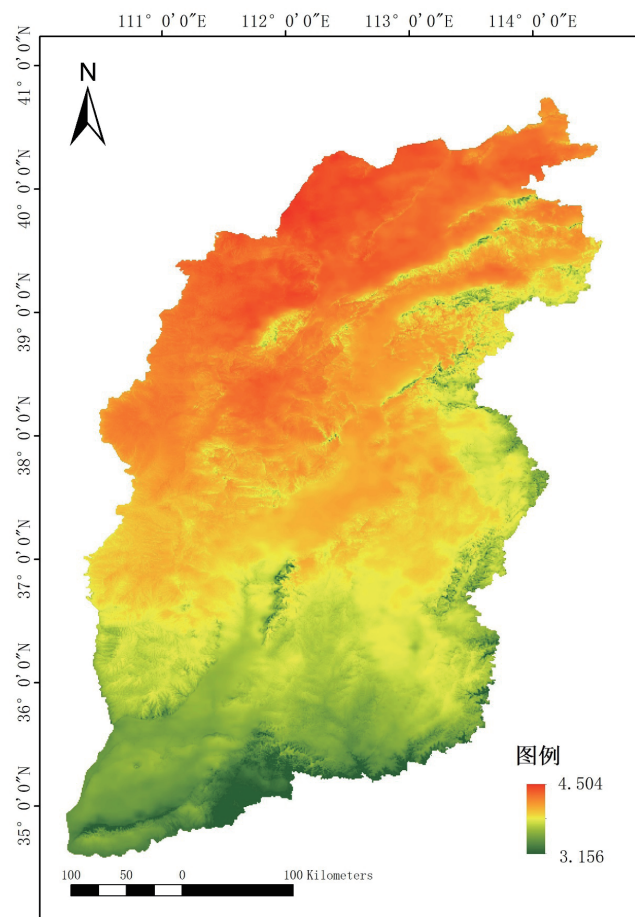


图 3-1 山西省 GHI 日均值空间分布图

3.2.2 技术可利用光伏资源评估

主要通过排除不适合安装光伏设备的区域来确定。主要从三个方面考虑被排除区域：

- 1、土地使用类型限制：需要筛掉的土地覆盖类型包括基本农田、森林、草地、湿地、水体；
- 2、技术不可实现区域：根据实际经验所得，坡度 <15° 的地区适合发展太阳能技术，故需要从适合的土地类型中，筛选出坡度 <15° 的地区；
- 3、政策限制开发区域：主要考虑政策要求不可进行光伏设备安装及相关产业开发的各类保护区及限制开发区。

² <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/china>

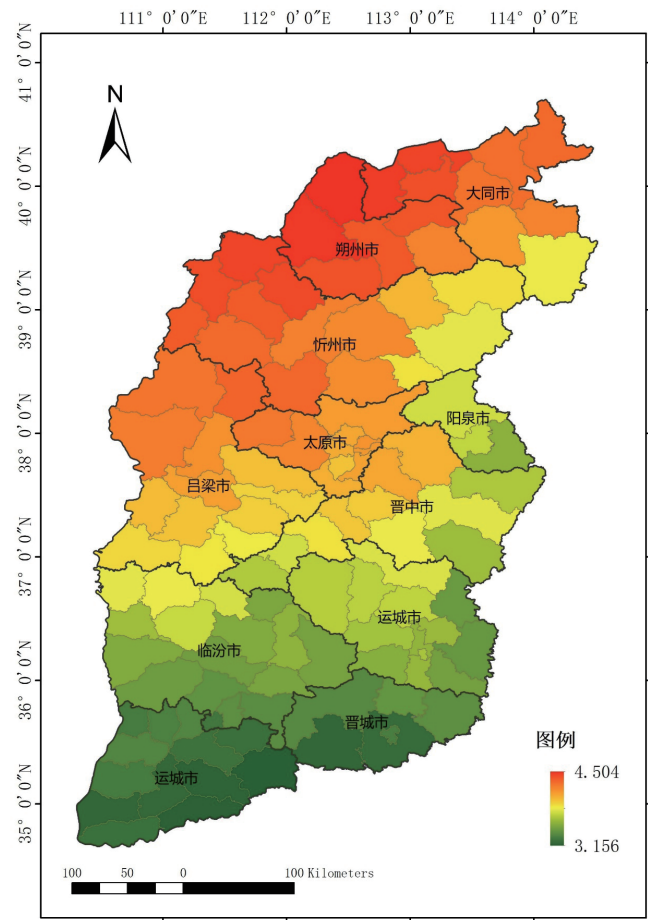


图 3-2 山西省各县 GHI 值评估图

本研究收集全省省级土地覆盖利用数据、坡度数据和保护区数据，依次去除以上三类区域，得到的区域即为光伏技术可利用区域。涉及到的原始数据及来源见表 3-2，数据分析结果见图 3-3，图中结合分析过程将全省土地分为八大类（坡度 > 15°、保护区、森林、草地、农田、水域、湿地、太阳能发展适合区域），红色部分为筛选后适合发展太阳能的区域。

表 3-2 原始数据描述及来源表

原始数据	数据描述	数据来源
省级土地覆盖利用数据	2015,300m	ESA
坡度	2015 DEM 30m	政府机构
保护区	Vector data	政府机构

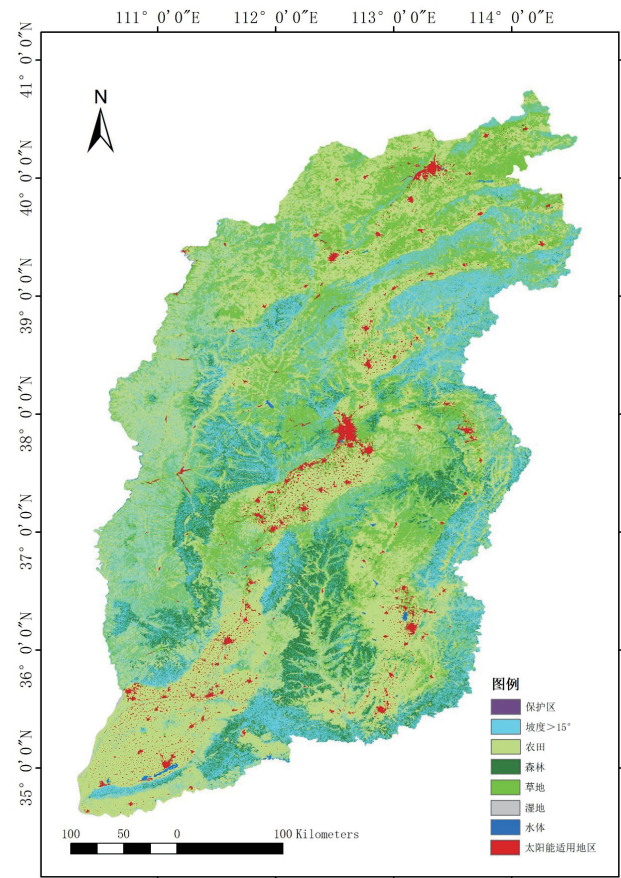


图 3-3 山西省适合发展太阳能区域图

3.2.3 技术可利用光伏资源潜力评估

综合以上两步的分析结果，将省级 GHI 数据与全省适合发展太阳能区域图图层叠加分析，将县域内适合发展太阳能地区的面积与县区 GHI 值相乘，得出各县区太阳能资源潜力值。

评估结果如图 3-4 所示。

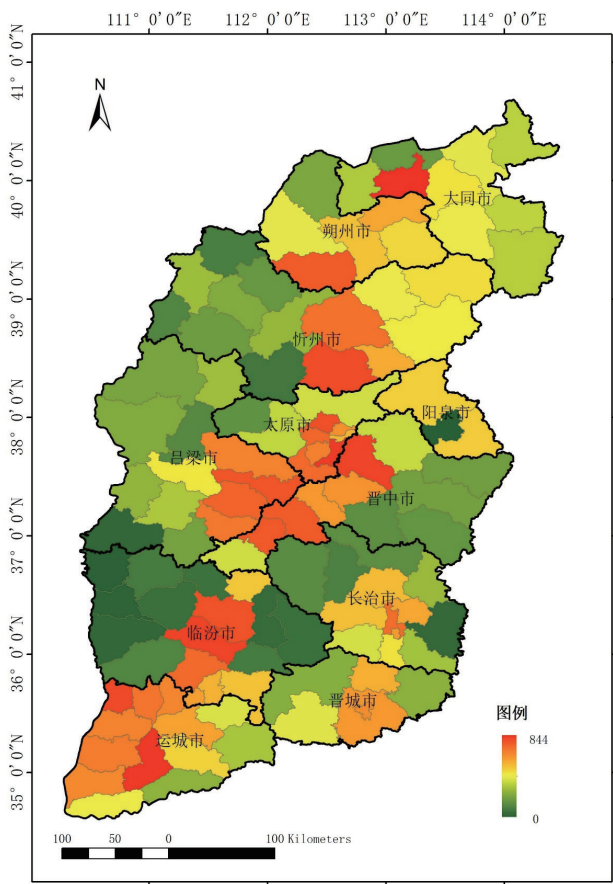


图 3-4 太阳能资源潜力空间分布图

3.2.4 REZ 选择

结合太阳能资源潜力值，可利用区域以及当地政府的合作意愿，课题组选择长治市作为可再生能源发展区域。

表 3-3 中数据为长治市理论上可利用的太阳能潜力值，其中，太阳能潜力值最大的区县是郊区，为 252.32GW，太阳能潜力值最小的区县是平顺县，潜力值仅有 9.69GW。

表 3-3 长治市各县区可利用太阳能潜力统计表

各县名称	太阳能潜力 (GW)
城区	162.01
郊区	252.32
沁源县	25.33
武乡县	25.43
黎城县	44.09
沁县	18.64
襄垣县	133.07
屯留县	119.47
长子县	70.48
潞城市	153.03
长治县	97.27
平顺县	9.69
壶关县	47.35
总计	1158.18

根据太阳能辐射量潜力值及交通便捷性的综合考虑，课题组决定选择郊区作为此次可再生能源发展的具体区域。

第四章 长治市郊区技术可利用光伏资源评估

4.1 长治市郊区概况

4.1.1 自然概况

长治市位于山西省东南部。地处北纬 35° 49′ ~ 37° 07′，东经 111° 59′ ~ 113° 44′。东倚太行山，与河北、河南两省为邻，西屏太岳山，与临汾市接壤，南部与晋城市毗邻，北部与晋中市交界。长治市东西长 150 千米，南北宽 140 千米，总面积为 13955 平方千米，占全省总面积的 8.9%。2017 年年末，全市总人口为 345.5 万人，比上年末增加 2.0 万人。截至 2018 年 10 月，长治市下辖 1 个县级市，2 个区，10 个县，分别为：潞城市、城区、郊区、长治县、襄垣县、屯留县、平顺县、黎城县、壶关县、长子县、武乡县、沁县、沁源县。长治市行政区划图如图 4-1 所示。

其中，长治市郊区东、西、北三面环绕长治市区。1976 年 2 月建区，现辖 5 镇 1 乡，1 个旅游开发区，2 个街道办事处，122 个行政村，国土面积 285 平方公里，耕地面积 16.34 万亩，总人口 29 万，其中农村人口 15.5 万。



图 4-1 长治市行政区划图¹

长治矿产资源较为丰富，全市 13 个县（市、区）除沁县矿产资源较为贫乏外，其他县（市、区）都分布有各具特色和优势的矿产资源。主要有煤、铁、石灰岩、矿泉水等矿产资源；

¹ 引自《长治年鉴 2017》

有白云岩、硅石、石膏、铝土矿、硫铁矿、耐火粘土、高铝粘土、铁矾土、水泥粘土、砖瓦粘土、陶瓷粘土、紫砂陶土、花岗石、大理石、红石板、建筑砂等多种矿产；还有硅藻土、油页岩、含钾岩石、钾长石、低品位磷矿、蛇纹岩、钠长石、泥炭、麦饭石、白垩土、水晶、蛭石、石棉、石榴子石、重晶石、冰洲石和煤层气以及伴生的钛、镓、钴等，共 40 种。最具优势的矿产是煤炭、铁和石灰石。全市 10 个县（市、区）有煤炭资源，2016 年，全市煤炭勘探面积 3396.49 平方千米，保有储量 133.93 亿吨，铁矿储量 5901.97 万吨。

4.1.2 社会经济概况

2013–2017 年，全市生产总值总体呈波动上浮，由 2013 年的 1338.7 亿元增长至 1477.5 亿元，年均增长率为 2.4%，低于全省年均增长率。2017 年，全年全市生产总值 1477.5 亿元，排名全省第二位，比上年增长 7.0%。2013 年–2017 年全市地区生产总值如图 4–2 所示。

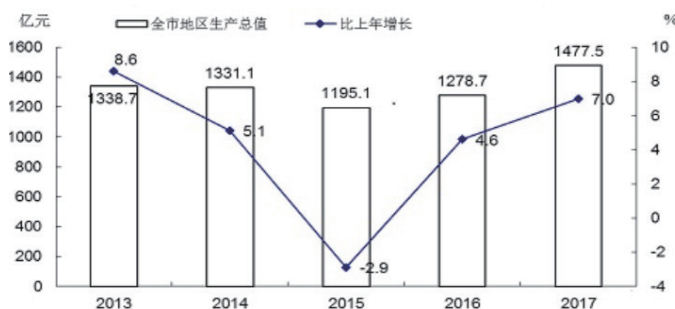


图 4-2 2013–2017 年全市地区生产总值

其中，第一产业增加值 62.8 亿元，增长 3.1%，占生产总值的比重为 4.2%；第二产业增加值 793.4 亿元，增长 7.2%，占生产总值的比重为 53.7%；第三产业增加值 621.3 亿元，增长 7.2%，占生产总值的比重为 42.1%。第三产业中，金融保险业增加值 92.6 亿元，增长 8.3%；交通运输、仓储和邮政业增加值 86.3 亿元，增长 8.0%；房地产业增加值 94.2 亿元，增长 7.3%。人均地区生产总值 42887 元，按 2017 年平均汇率计算为 6352 美元。具体情况如图 4–3 所示。

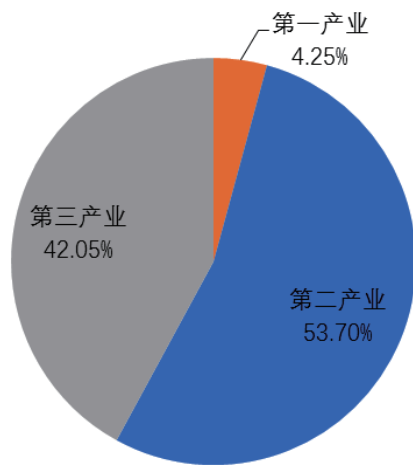


图 4-3 2017 年三大产业增加值在年生产总值中的占比情况

4.1.3 能源消费概况

近年来，长治市能源消费随着经济的增长而增长，但全市能源消耗的增长幅度始终是低于地区生产总值的增幅，这表明全市的经济增长并不是完全依赖能源消耗带来的收益。“十三五”以来，全市经济社会发展稳步增长，GDP 总量位居全省前茅，全社会能源消费总量也处于较高水平。2015 年长治市全社会能源消费总量为 2088 万吨标准煤，2016 年为 2104 万吨标准煤，2017 年为 2163 万吨标准煤，相较于“十二五”时期的能源消耗，整体上增长较平稳。

2017 年长治市十三个县（市、区）中，有九个县区的规上工业企业能源消费总量同比速度呈现下降态势，分别为城区、郊区、长治县、襄垣县、屯留县、黎城县、沁县、沁源县和潞城市，其中城区、郊区、长治县、襄垣县、黎城县、沁县和潞城市等七个县区的降幅超过全市平均水平。

长治市煤炭资源较丰富，长期以来向全国输送了大量的能源产品，为我国经济社会发展和保障国家能源安全做出了重要贡献，但也形成了“一煤独大”的结构性问题，经济发展多依赖煤炭企业、过多倚重煤炭价格。受其本身四大工业支柱产业“煤、焦、铁、电”经济结构的影响，使得长治市规上工业企业所消费的能源品种主要集中于煤炭、焦炭、石油、天然气、电力等，而煤炭、焦炭、石油、电力四种能源的消费量每年都占到了能源总消费的 80% 以上。受长治市成为京津冀“2+26”联防联控通道城市影响，天然气的消费量随着全市“煤改气”工作的不断深入开展而产生消费量的增长。2017 年，长治市规上工业企业综合能源消费量为 1798.28 万吨标准煤，同比下降 1.1%，行业能源消耗量由高到低排列前六位是：电力、热力生产和供应业、煤炭开采和洗选业、石油加工、炼焦和核燃料加工业、黑色金属冶炼和压延加工业、化学原料和化学制品制造业、非金属矿物制品业，具体情况如图 4–4 所示。

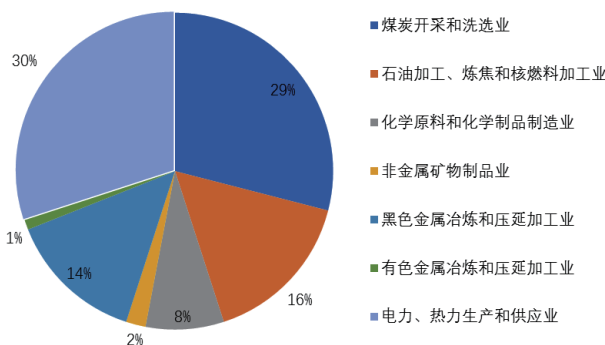


图 4-4 主要耗能行业在工业能源消费中占比

在 2017 年规模以上工业企业能源消耗量中，原煤消费量高达 8000 多万吨，98% 以上的量用于加工转换作为投入量而生产其他能源产品，如发电产生电力、洗选产生洗精煤和其他洗煤、制油产生其他石油制品等，以及作为原料产生水泥熟料和合成氨等非能源产品。其余能源如焦炭消费近 200 万吨，油类消费 5 万多吨。

电力作为经济运行的先行指标，同时作为一个重要的能源消费指标，在能源消费结构中占有举足轻重的作用。根据国网长治电力有限公司的快报显示，2017 年长治市全社会用电量高达 144.97 亿千瓦时，同比增长 11.55%。与“十二五”的五年以及“十三五”的开局之年相比，2017 年长治市的用电量达到新高，是 2016 年用电量的 1.16 倍，同比增幅仅次于 2011 年的同比增幅。具体如图 4-5 所示。

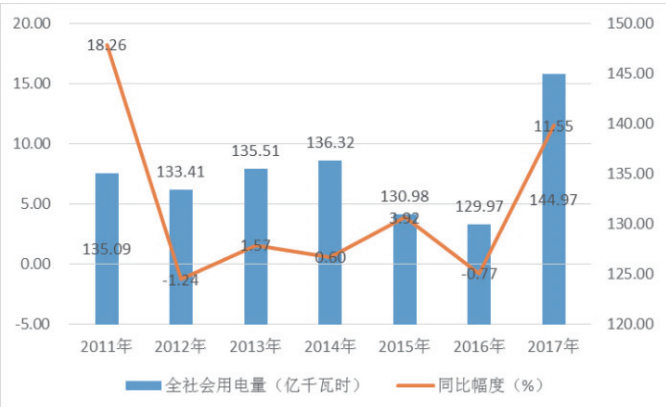


图 4-5 2011-2017 年全社会用电情况

4.2 方法概述

基本理论：在城镇中适用于安装光伏板的区域包括屋顶和空地两类。其中屋顶包括住宅、商业 / 公共机构和工业建筑的屋顶。为提高土地覆盖数据的精确性，参考区域的卫星影像进行手动校正和叠加分析。

评估方法：在选择可再生能源的实施区域后，使用 ArcGIS 对本地资源进行评估，用来判定可用于太阳能光伏安装的住宅、商业 / 公共机构和工业部门的屋顶和空地的面积。

主要工具：ArcGIS

评估步骤：

1、利用卫星遥感图像和土地覆盖数据叠加分析识别适合开发光伏技术区域。利用卫星遥感影像对工业用地和居民用地进行矢量化；

2、计算工业区和居民区的面积；

3、通过抽样调查，计算出可用屋顶、空地面积；

4、将可用屋顶、空地面积乘以郊区的 GHI 值，得到屋顶、空地光伏开发的太阳能潜力值。

4.3 技术可利用光伏资源评估

4.3.1 可利用地块识别及功能划分

获取 REZ 高清卫星影像作为底图，叠加 REZ 土地利用类型图。对筛选出的光伏适用区域进行手动修正，并根据高清卫星影像将光伏适合区域进行矢量化，在矢量化过程中将 REZ 光伏适合区域划分为工业区、住宅 / 商业 / 公共机构区。其中，被黄色覆盖的区域为公共 / 居民建筑用地，被红色覆盖的区域为工业用地。原始数据见表 4-1 所示，可利用地块识别及功能划分结果见图 4-6。

表 4-1 原始数据描述及来源表

原始数据	数据描述	数据来源
高清卫星影像	2018, 3m	专业公司购买

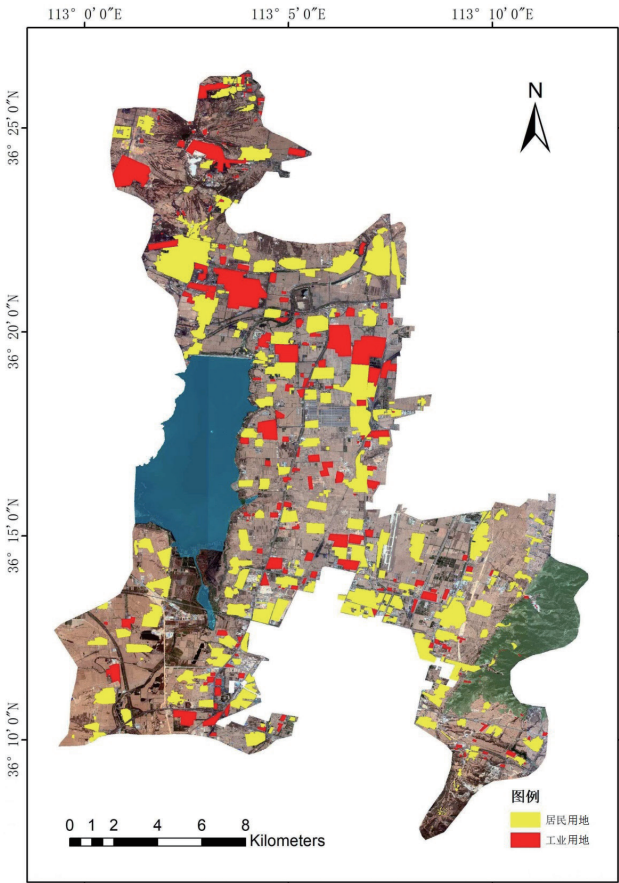


图 4-6 长治郊区光伏可利用地块功能划分

4.3.2 各类可利用面积确定

主要采用归类分析和抽样调查方法，计算出可用屋顶、空地面积。

详细分析过程如下：

1、对划分好的地块根据高清卫星影像按照建筑类型进行进一步细分；课题组依次观察各居住建造地块，发现长治市郊区居民用地主要有四合院型密集低层住宅、小高层板楼住宅、高层写字楼/住宅、别墅等四类典型建筑类型，如图 4-7 所示。



图 4-7 长治市郊区典型建筑类型

2、课题组利用地理信息系统空间分析工具，对四类典型建筑按照 5% 的概率进行随机抽样，统计计算每个建筑类型地块的屋顶 / 空地覆盖率，如表 4-2 所示。

表 4-2 各类典型建筑屋顶面积占比和空地面积占比
 抽样分析结果

编号	典型建筑类型	屋顶面积占比	空地面积占比
1	四合院型密集低层建筑	60.73%	39.27%
2	小高层板楼	32.32%	67.68%
3	高层写字楼/住宅	23.20%	76.80%
4	别墅	42.16%	57.84%
5	工业建筑	15.00%	85.00%

3、通过各建筑类型地块面积、该建筑类型屋顶 / 空地覆盖率计算各建筑类型地块的屋顶、空地总面积。对于无法归类的非典型建筑类型，采用手工识别方式依次识别并统计屋顶、空地面积。计算结果如表 4-3 所示：

表 4-3 各类建筑类型屋顶、空地面积统计计算结果表

建筑类型		屋顶面积 (m²)	空地面积 (m²)
公共/居民建筑	四合院型密集低层建筑	19091315	12346103
	小高层板楼	1474564	3087542
	高层写字楼/住宅	432784	1433187
	别墅	165927	227604
	非典型公共/居民建筑	2797120	3842898
	小计	23961711	20937334
工业建筑		2864250	16230751
合计		26825961	37168085

4.3.3 技术可利用光伏潜力核算

将可用屋顶、空地面积乘以郊区的 GHI 值，得到屋顶、空地光伏开发的太阳能潜力值，可分别得到：长治市郊区居民用地总面积为 4489.90 m²，其中可利用屋顶面积为 2396.17 m²，太阳能安装总潜力为 97.17GW; 长治市郊区工业用地总面积为 1909.50 m²，其中可利用屋顶面积为 286.43 m²，太阳能安装总潜力为 11.62 GW，详见表 4-4。

表 4-4 长治市郊区可利用太阳能潜力统计表

类型	屋顶面积 (万 m²)	空地面积 (万 m²)	郊区平均 GHI (kwh/ m²)	屋顶潜在 PV 容量 (GW)	空地潜在 PV 容量 (GW)
工业用地	286.43	1623.08	4.06	11.62	65.82
居民用地	2396.17	2093.73	4.06	97.17	84.90
合计	2682.60	3716.81	4.06	108.78	150.72

第五章 长治市郊区 PV 应用技术评估

5.1 方法概述

本研究采用可再生能源技术应用多标准评估 (MCA) 工具，对在长治市郊区实施太阳能发电的技术应用方式进行评估。在评估过程中课题组采用了专家咨询和问卷调查的方式。

所用的评估工具如表 5-1 所示：

表 5-1 评估工具简介

工具名称	描述
清洁能源管理软件	加拿大自然资源部开发的清洁能源管理软件，作用包括：考察可再生能源技术性能和成本参数。
可再生能源技术多标准评估（MCA）范围界定工具	基于经验分析和专家评级，在地区级对每个资源种类进行最佳可再生能源技术评估： - 现有的本地潜力 - 预期性能 - 预期成本 与辖区 / 国家在清洁技术、能源安全、温室气体排放等的目标一致
可再生能源 MCA 筛选调查工具	用于和当地的可再生能源专家组共同工作，他们提供有关技术应用选择和本地优先实施提供意见。

5.2 郊区 PV 应用技术评估

本研究采用可再生能源技术应用多标准评估（MCA）工具，对在长治市郊区实施太阳能发电的技术应用方式进行评估。在评估过程中课题组采用了专家咨询和问卷调查的方式。

课题组咨询的专家主要有：山西省电力公司、山西省发展和改革委员会、山西省宏观研究院、长治市发改委等有关部门的专家学者。课题组向专家组咨询了解了长治市郊区已有光伏项目的开展状况、山西省及长治市对光伏发电技术的优惠政策及温室气体减排目标等相关情况。

调查问卷的对象包括：山西省光伏发电行业专家、长治市发改委相关工作人员及长治市光伏发电项目实施单位相关负责人，调查问卷的内容主要分为定量评估与定性评估：

根据《可再生能源规划工具》及专家意见，定量评估主要依据下列四个标准：

- 平准化电力成本（LCOE）（元 /MWh）：光伏电站全生命周期每生产 1MWh 的电量所需的成本；
- 生命周期产量（MWh）：基于已有光伏项目的预期寿命与装机容量进行估算；
- 年度 GHG 减排量（tCO₂e）：根据每年估算的发电量与区域电力排放因子计算得出；
- GHG 减排成本效益（元 /tCO₂e）：基于年度 GHG 减量以及减排成本估算得出。

根据《可再生能源规划工具》及专家意见，定性评估主要涉及下列七个标准：

- 光伏资源潜力：能接收到太阳能的最大潜力；
- 温室气体减排潜力：应用技术实施对温室气体减排潜力的大小；
- 经济发展影响：对 GDP，就业和特定行业的经济目标的影响；
- 资金 / 融资潜力：政府 / 投资公司是否具有支持技术实施的财政支持机制；
- 环境效益：技术的实施将提供其他（非空气污染）收益，例如，水质、固体废弃物、土地使用；
- 能源结构影响：技术的实施将增加当地能源供应来源的多样化、减少能源外调；
- 与政策目标的一致性：技术的实施符合国家 / 省级对当地政府的减排目标或者其他政策要求。

调查问卷的样表如下。

根据专家咨询调研结果、问卷调查结果并按《工具》中相关方法进行计算，课题组得出如下结论：

长治市郊区光伏技术应用调查问卷

1. 基本信息

姓名：_____ 公司：_____ 职务：_____ 电话：_____ 邮箱：_____

2. 请根据您以往的经验，对下列太阳能光伏技术指标做出判断并填写。

	已有项目总规模 (MW)	平准化电力成本 (元/kW)	全生命周期总成本 (元/m ²)	全生命周期发电量 (KWh/m ²)	装机容量 (W/m ²)	平均使用年限(a)
居民建筑-屋顶						
居民建筑-平地						
商业和公共建筑-屋顶						
商业和公共建筑-平地						
工业用地-屋顶						
工业用地-平地						

注：1. 平准化电力成本（LCOE）（元/kW）：全生命周期内的总成本除以寿命期内的发电总量；
2. 全生命周期内的总成本：包括初始投资、运行维修、燃料、税金、碳价等；
3. 生命周期产量（MWh）：基于最大装机容量潜力和特定技术应用的设备的寿命预期进行估算；
4. 平均使用年限（年）：特定技术应用的设备可以有效使用的年限。

3. 请根据下列太阳能光伏技术的应用在各个评估标准方面的重要性和影响力等因素，对每个评估标准进行打分，每个标准的分值从 1-10 分，0 分代表不确定。

	光伏资源潜力	温室气体减排潜力	经济发展影响	资金/融资潜力	环境效益	能源结构影响	与政策目标的一致性	对储能技术的需求度
居民建筑-屋顶								
居民建筑-平地								
商业和公共建筑-屋顶								
商业和公共建筑-平地								
工业用地-屋顶								
工业用地-平地								

注：1. 经济发展的影响：对 GDP，就业和特定行业的经济目标的影响；
2. 资金/融资支持潜力：政府/投资公司是否具有支持技术实施的财政支持机制；
3. 环境效益：技术的实施将提供其他（非空气污染）收益，例如，水质、固体废弃物、土地使用；
4. 能源结构影响：技术的实施将增加当地能源供应来源的多样化和/或减少能源外调；
5. 与政策目标的一致性：技术的实施符合国家/省级对当地政府的减排目标或者其他政策要求。



4. 根据当前/预期的性能和市场情况，您是否对光伏板的化学材质有任何建议？

注：常见的化学材质包括：非晶硅；碲化镉；铜铟镓硒；单晶硅；多晶硅和球形硅。

5. 常见的太阳能光伏板的布置结构有固定阵列、单轴追踪和双轴追踪。对于之前选择评分最高的技术应用，您觉得在长治市进行实施应用时的适合度如何？（1 为不适合，5 为特别适合，留空或 0 为不确定）

	推荐程度（0-5 分）
固定阵列	
单轴追踪	
双轴追踪	

6. 您对于在长治市郊区发展太阳能发电的光伏技术选择有什么其他的意见？

感谢您的配合！

在定量分析中，课题组将得到的每组数据按照 4 个量化标准赋予从 1 到 10 之间的一个值，各应用技术排名情况如图 5-1 所示。

经过专家审查，将定量指标与定性的分数综合分析，结果如图 5-2 所示。

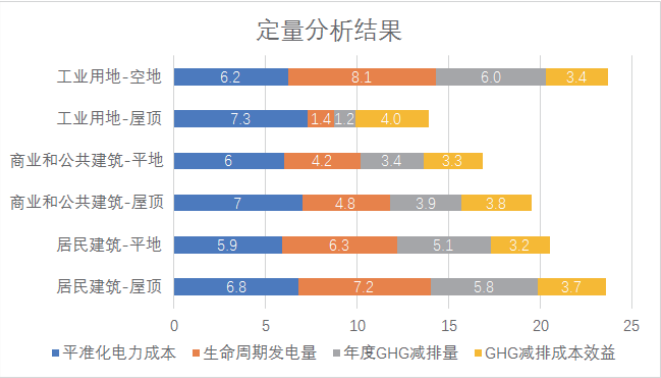


图 5-1 长治市光伏技术应用技术排名情况

在图 5-2 中，横轴代表每项技术的使用寿命产量，竖轴代表每项技术的平准化电力成本，气泡大小表示定量分析评分的

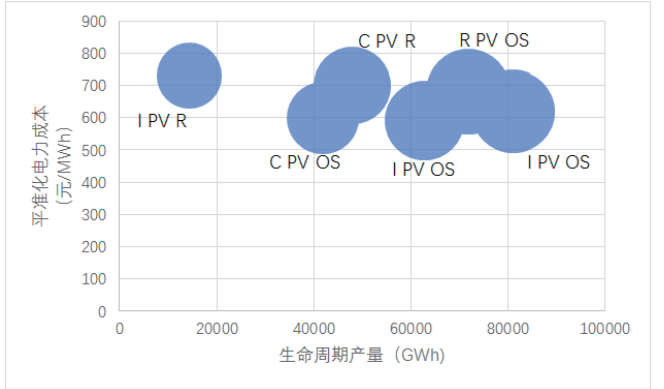


图 5-2 定量指标定性分析结果²

总和。故在图表上位置低且最靠近右侧的气泡指示具有最低成本和最大潜在产量的技术应用。I PV OS 即工业空地光伏技术应用呈现成本和产量标准的最佳组合，R PV OS 居民屋顶光伏技术应用次之。

在定性分析中，被调查对象结合自己在可再生能源技术方

2 注：在行业中，R=住宅，C=商业/公共机构，I=工业；PV代表光伏；应用方式中，R=屋顶，OS=空地。

面的专业技能，将不同的应用技术的不同评价指标赋予 1–10 不同的分数。

综合分析评分结果，MCA 筛选调查结果如图 5–3 所示。

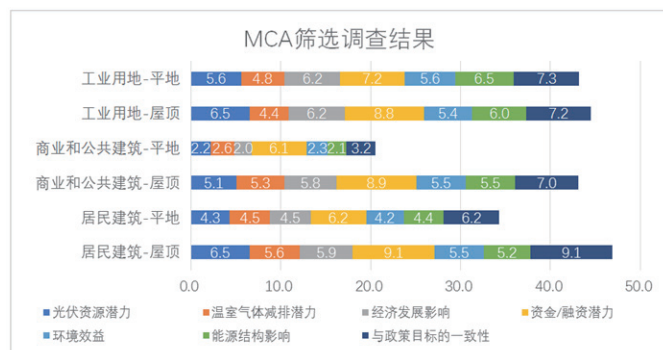


图 5-3 长治市郊区 MCA 筛选调查结果

由图 5–3 可见，居民屋顶的综合评分最高，工业屋顶的综合评分次之，商业和公共建筑空地的综合评分最低。

结合专家组的本地相关应用经验建议及定量定性分析结果，分析得出居民屋顶为长治市郊区光伏发电技术的最佳选择。同时也应重视利用工业屋顶和采煤沉陷区等工业用地发展光伏技术。

第六章 光伏项目商业模式分析

6.1 概述及说明

由第五章 MCA 分析可知，居民屋顶是在长治市郊区光伏发电技术的最佳选择。同时也应重视利用工业屋顶和采煤沉陷区等工业用地发展光伏技术。根据资源评估，长治市郊区开发居民屋顶太阳能光伏发电的技术潜力为 97.17GW。本章节主要对居民屋顶分布式光伏技术商业模式进行分析。

居民屋顶太阳能光伏系统至少有三种基本方式可以配置。在电网系统完善的国家中，第一类是最常见的电网连接配置方式，为“直接上网”即光伏电池板直接向电网供电，居民从电网购回电力以满足日常需求，或“自发自用 余电上网”即太阳能光伏发电首先满足日常生活需求，多余的电力出售给电网。在任何一种情况下，当光伏系统的电力生产不足以满足生活需求时，电网提供电力。第二类系统是独立于电网或“离网”系统，其中光伏电力用于居民生活需要，但同时也在为电池或其他能量存储装置充电，在光伏系统的直接电力不可用或不足时提供电力。第三类系统可以被认为是混合系统，其中许多设施共享

光伏系统并以“微电网”配置共享电力/能量存储，其可以由非太阳能电源补充，例如作为燃气轮机或柴油发动机——发电机，或由一些进口电网电源补充。在长治市郊区，基本所有居民建筑都可连接到电网，这些选项中的第一和第三可能是最实用的。根据我国现有政策，应优先选择第一种模式。

屋顶光伏组件材质选择方面，根据课题组市场调研和专家咨询结果，关键组件电池板有单晶硅、多晶硅、薄膜、其他材质四种选择，其中单晶硅和多晶硅市场占有率较高，且性价比高，是居民屋顶光伏的较好选择。安装方式有固定式、单轴追踪和双轴追踪等方式，其中固定式成本较低，性价比较高，是居民屋顶光伏的较好选择，故本课题设定屋顶光伏组件全部采用固定式晶体硅模块阵列组件。

长治郊区居民屋顶分布式光伏项目涉及多个独立建筑，涉及较多的市场主体。市场的区别包括：建筑类型、规模、产权等，自发自用、发电上网或两者组合等。且每个居民屋顶面积较小，光伏系统规模也较小。

潜在的资金来源包括每个房屋业主提供的资金（股权）；私人银行融资（债务）；政策资金支持，如补贴或减税；或来自碳交易系统的资金，并很有可能是各类资金来源的组合，下面描述的技术应用设计和实施模型最有可能包括两种：

1）太阳能光伏企业申请银行贷款，然后向房屋业主提供安装和融资；

2）房屋业主直接向银行申请贷款，并与太阳能光伏公司分开签订合同。

其中，对于第一种选择，太阳能光伏制造商也可能直接向房屋业主提供安装和融资。

6.2 技术应用设计与实现

经利益相关方分析，居民屋顶分布式光伏发电系统涉及到的利益相关方包括房屋业主、太阳能光伏工程公司、供电局、光伏系统设计公司、银行、财政局等。各方关系见图 6–1 所示。

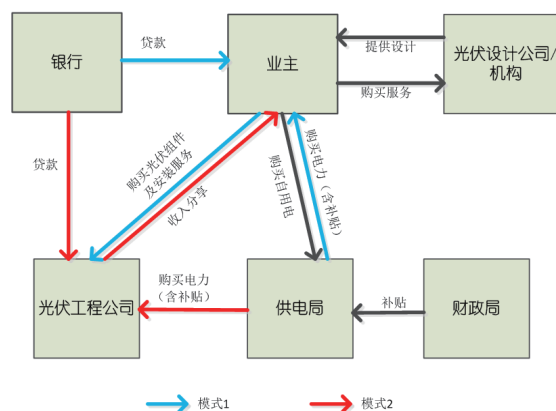
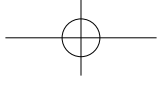


图 6-1 利益相关者分析图



目前居民屋顶光伏商业模式有两种不同的融资选择。第一种为太阳能光伏公司从银行获得贷款，然后直接向业主提供所有服务（设计，安装，后续运行和维护）。所有电力直接出售给电网运营商，房屋业主和太阳能光伏公司之间签订了收益分享协议。在第二种模式中，业主从银行获得贷款，然后直接向光伏设计公司采购设计服务，向光伏工程公司采购光伏组件及安装维护服务（光伏设计公司和光伏工程公司可能为同一主体）。当地电力公司从财务模型 1 中的房屋业主处购买电网的多余电力。

6.3 实施模式

实施模式分解过程如表 6-1 所示。

表 6-1 长治市郊区居民屋顶太阳能光伏试点项目实施模型

阶段名称	完整项目可行性评估	合作伙伴组成	项目营销	定义工程	项目融资	项目实施	项目扩展
参与方	- 设计评估机构 - 供电企业 - 政府机构	- 设计评估机构 - 业主 - 太阳能光伏公司 - 供电局 - 银行 - 其他政府部门	- 设计评估机构 - 太阳能光伏公司 - 业主	- 太阳能光伏公司 - 业主 - 设计评估机构	- 银行 - 业主 - 设计评估机构	- 工业设施业主 - 太阳能光伏公司 - 设计评估机构	- 设计评估机构 - 供电局 - 太阳能光伏公司
步骤 法律 政策 管理和 财务机制	- 设计评估机构与供电局合作评估该项目的新技术可行性。 - 设计评估机构和供电局解决任何可行性的问题。 - 向 GDRC 和其他相关方介绍该计划。	- 设计评估机构展示项目和对每个合作伙伴的预期影响并且获得他们对项目的支持并且就职责、时间等达成一致。 - 设计评估机构、贷方和项目开发商向房屋业主提供一个标准的融资方案。	- 太阳能光伏公司对设施业主开展营销。 - 设计评估机构和太阳能光伏公司为相关设施业主提供支持来了解项目的好处。	- 业主向项目开发发出建议请求，以设计和建造所需的光伏系统。 - 太阳能光伏公司为设施业主提供建议书。 - 设计评估机构为设施业主评估建议书提供技术支持。 - 设施业主从所提交的建议书中选择中标人（视收到资金而定）	- 设计评估机构为太阳能光伏公司提供支持，以了解和完善融资方案。 - 太阳能光伏公司完成并签署融资方案并将其发送给贷款机构。 - 贷款机构对太阳能光伏公司进行审查与跟进。 - 太阳能光伏公司签署贷款合同。 - 贷款机构根据合同要求向太阳能光伏公司提供资金。	- 太阳能光伏公司为设施业主安装光伏系统。 - 设计评估机构 - 监测该计划的进展情况	
阶段名称	完整项目可行性评估	合作伙伴组成	项目营销	定义工程	项目融资	项目实施	项目扩展
分析要求	- 设计评估机构：详细的本地居民电力需求和太阳能光伏供应评估 - 供电局：新太阳能电力与本地电网的整合评估	设计评估机构：针对不同类型项目的额外财务风险分析（例如，规模，跟踪或存储系统）。	设计评估机构开发了一份业主联系人列表，用于推广该项目	太阳能光伏公司制定初步设计和成本估算，为向设施业主提供的建议书做支撑。	- 房屋业主审核设计和成本建议 - 房屋业主或设计评估机构完成标准财务分析（例如使用融资工具）以包含在融资方案中。		
其他要求							

第七章 居民屋顶光伏项目经济分析模型

7.1 概述及说明

本章节经济分析模型主要对前文筛选出来的长治市郊区居民屋顶光伏项目计划实施成本和效益进行评估，以便决策者、项目投资方和实施方进行政策及项目实施的评估。本报告在 REZ 居民屋顶分布情况分析基础上开发了 4 个屋顶光伏系统模型，分别代表四合院型密集低层住宅、小高层板楼、高层写字楼/住宅、别墅居民屋顶光伏系统项目的经济情况。由于篇幅限制，本报告以四合院型密集低层住宅为例对经济分析过程进行了详细介绍，并对上述 4 个居民屋顶光伏系统模型的经济分析结果进行了总结和分析。

项目经济分析模型主要包括四个部分：屋顶光伏系统分类及模型选取、模型光伏系统安装成本分析、光伏系统运营期成本效益分析、项目财务分析、敏感度分析。

1) 屋顶光伏系统分类及模型选取：针对上文选择的 REZ 区域居民屋顶，按照建筑类型采用抽样调查方法获取平均屋顶面积，并将其作为经济分析的模型；

2) 光伏系统财务分析关键数据及来源：通过分析系统安装运营过程涉及到的各个工序，对系统分析工程和设备成本、设备间接成本、系统安装成本、许可，测试，互连，调试费用、应急成本、销售税等主要成本环节关键数据进行收集，是经济分析的基础；

3) 光伏系统运营成本效益分析：通过系统分析 RE 能源及温室气体减排效益、RE 技术市场潜力、系统运营和维护（O&M）成本、平准化电力成本等评估光伏系统运营的成本效益；

4) 项目财务评估：从财务角度评估项目财务风险、回报和影响；

5) 敏感度分析：探究哪些因素推动了经济分析的不确定性，以及它们归因于经济分析的上行/下行风险。

7.2 模型选取

第四章分析可知，长治市郊区居民住宅主要有四类典型建筑：四合院型密集低层住宅、小高层板楼、高层写字楼/住宅、别墅，此外还有非典型建筑。本报告利用地理信息系统空间分析工具，对四类典型建筑按照 5% 的概率进行随机抽样，利用地理信息系统工具识别并计算样本内的各类型建筑屋顶面积平均值，采用四类典型建筑面积平均值作为四个模型进行成本效益分析。各类典型建筑模型面积如表 7-1 所示。

此外，因不同类型建筑的屋顶构筑面结构特点不同，且可能存在热水器空调等设备的物理障碍，故不同类型建筑屋顶可安装光伏板的条件有所不同，需选取的比例系数也不同。本报告依据专家意见及地理信息系统分析确定不同类型建筑的比例系数，如表 7-1 所示。

表 7-1 长治市郊区典型建筑平均面积表

编号	建筑类型	总面积 (m ²)	占比 (%)	平均屋顶面积 (m ²)	比例系数 (%)
1	四合院型密集低层住宅	31437418	70%	266	65%
2	小高层板楼	4562106.45	10%	576	80%
3	高层写字楼/住宅	1865971	4%	1186	85%
4	别墅	393532	1%	257	30%
5	其他	6640018	15%	—	75%

通过咨询晋能清洁能源光伏工程有限公司分布式光伏专家，本报告中选择固定式光伏系统填充系数为 10000 m²/MW。结合上表比例系数将总屋顶面积调整到适合安装光伏系统的面积，可计算屋顶光伏系统的装机容量，如表 7-2 所示。

表 7-2 各规模样本装机容量

建筑类型	四合院型密集低层住宅样本	小高层板楼样本	高层写字楼/住宅样本	别墅样本
屋顶面积(m ²)	266	576	1186	257
可用于系统的屋顶面积 (m ²)	172.9	460.8	1008.1	77.1
系统大小(MW)	0.02	0.05	0.1	0.01

7.3 经济分析

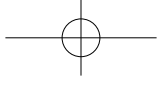
7.3.1 经济分析关键指标

长治市郊区居民屋顶光伏项目经济分析关键指标有投资成本、财务风险、收益和影响。

7.3.1.1 财务风险

财务风险的三个相关类别是：市场风险、政策风险和信用风险。

- 市场风险：指的是项目业主和贷款人由于市场环境变化影响了技术应用的可行性（例如：技术进步淘汰了当前投资的项目）而需承担的风险。对于居民屋顶光伏发电系统来说，自发自用，余电上网的模式和较为稳定的居民用电需求基本背景下，居民屋顶光伏系统市场风险较小。主要的市场风险可能存在于余电上网电网消纳容量配额调整；房屋业主变更、房屋用途改变（自用或出租）、房屋空置等原因导致的光伏系统管理缺失及自用电需求量变化。
- 政策风险：考虑政策改变对项目产生的财务风险（同样地，影响项目业主和贷款人）。对于居民屋顶光伏发电项目来说，可能面临的政策风险主要是政府对生产补贴或上网价格进行调整。



- 信用风险：是贷款人由于对借款人扩大信用规模而招致的风险。贷款人承担借款人无法偿还贷款的风险。此部分内容与项目运营过程中现金流有重要关系。

7.3.1.2 投资成本及财务收益：

1、初始投资成本 IIC（元/千瓦）：是项目建设的总成本，包括土地和设备的资本成本如土地开发，以及规划、工程和施工的任何其它初始成本，如许可、上网接配、设备、材料和所有其他组件。

根据以下公式可以计算年度初始投资成本：

$$\text{年度 IIC} = \text{IIC} * \text{FCF} * 1000 / (8760 * C_f) \quad \text{公式 7.1}$$

其中：Cf：容量系数（%）

8760：每年的小时数

FCF：固定支出系数

1000：元/千瓦转换为元/兆瓦

2、系统运营和维护成本：包括固定运营维护（FOM）和可变运营维护（VOM）。

固定运营维护（FOM）成本（元/MW）：根据以下公式，可以按元/MWh 单位估算每一年的成本：

$$\text{年度固定运营和维护成本} = \text{FOM} * 1000 / (8760 * C_f) \quad \text{公式 7.2}$$

其中：FOM：固定成本（元/kW-a）；请注意，这些都会在通货膨胀率或高于通货膨胀率的情况下逐年升级）

Cf：容量因子（%）

8760：每年的小时数

1000：从元/kW 转换为元/MW

可变运营维护（VOM）成本（元/MW）：是根据项目的运营收入所发生的年成本。它们通常包括与维护 and 检修相关的成本，包括强制停机的修理，诸如用于污染控制设备或锅炉维护的耗材、水的使用以及其他环境合规成本。

经专家咨询获悉，居民屋顶光伏项目因单台设备装机容量较小，且业主结构简单，与地面电站或商业电站相比，其运营维护成本较低，不需要大规模检修清理，日常运营维护可由业主自行处理，设备故障维修费用一般由厂家质保覆盖，仅考虑上门费、非质保零件等质保外运营维护费用。则对于本项目四个模型，可变运行和维护成本假定为零，固定运行费用设定为 50 元/kW- 年。

注：由于篇幅限制，本报告在居民屋顶光伏系统成本及性能特征分析中未对蓄电池进行相关评估，也未比较分析单轴和双轴跟踪系统对固定系统成本和性能的影响。但在实际案例中

这些选择会对系统成本有重要的影响，需进一步通过实际案例进行分析。

3、平准化电力成本 / 度电成本（LCOE）

平准化电力成本为年度贴现成本在项目全生命周期内进行调整的值，其计算公式如下：

$$\text{LCOE} = \Sigma \text{年度贴现成本} / \text{PL} \quad \text{公式 7.3}$$

其中：LCOE = 平准化的电力成本（元/MWh）

PL = 设备生命周期（年）

$$\text{年度贴现成本} = [\text{PV}_{\text{GEN}} * \text{DR} * (1 + \text{DR})^t] / [(1 + \text{DR})^t - 1] \quad \text{公式 7.4}$$

其中：PV_{GEN}：所有发电成本现值之和

DR = 折扣率

$$\text{PV}_{\text{GEN}} = \text{年度 IIC} + \text{FOM} + \text{VOM} + \text{FC} \text{ (元/MWh 年)} \quad \text{公式 7.5}$$

其中：年度

FOM：固定运营维护成本，元/千瓦-年；注：会受到与通货膨胀率相等或高于通货膨胀率的年增长率的年增长率的影响

VOM= 可变运营维护成本，元/兆瓦时

FC= 固定成本，元/兆瓦时

4、光伏上网电价

咨询国家电网相关专家获悉，目前山西省光伏上网电价是按照《国家发展改革委关于 2018 年光伏发电项目价格政策的通知》（发改价格规〔2017〕2196 号）文件执行，根据文件要求：“根据当前光伏产业技术进步和成本降低情况，降低 2018 年 1 月 1 日之后投运的光伏电站标杆上网电价，I 类、II 类、III 类资源区标杆上网电价分别调整为每千瓦时 0.55 元、0.65 元、0.75 元（含税）。根据当前光伏产业技术进步和成本降低情况，自 2019 年起，纳入财政补贴年度规模管理的光伏发电项目全部按投运时间执行对应的标杆电价。2018 年 1 月 1 日以后投运的、采用‘自发自用、余量上网’模式的分布式光伏发电项目，全电量度电补贴标准降低 0.05 元，即补贴标准调整为每千瓦时 0.37 元（含税）。采用‘全额上网’模式的分布式光伏发电项目按所在资源区光伏电站价格执行。…分布式光伏发电项目自用电量免收随电价征收的各类政府性基金及附加、系统备用容量费和其他相关并网服务费。”

此后，国家能源局等部门于 2018 年印发的《关于 2018 年光伏发电有关事项的通知》（因落款日期为 5 月 31 日，即“5.31 新政”），提出暂不安排 2018 年普通光伏电站建设规模，仅安排 1000 万千瓦左右的分布式光伏建设规模，进一步降低光伏发电的补贴强度。分布式光伏项目自发文之日起，新投运的光伏电站标杆上网电价每千瓦时统一降低 0.05 元，I 类、II 类、III 类资源区标杆上网电价分别调整为每千瓦时 0.5 元、0.6 元、0.7

元(含税)。且新投运的、采用“自发自用、余电上网”模式的分布式光伏发电项目，全电量度电补贴标准降低 0.05 元，即补贴标准调整为每千瓦时 0.32 元(含税)。

长治市郊区属于 III 类资源区，光伏标杆电价为 0.70 元/千瓦时，本地脱硫煤电上网电价 0.332 元/千瓦时，补贴 0.368 元/千瓦时。自发自用余电上网模式全电量补贴 0.32 元/千瓦时。本项目居民屋顶光伏系统可选择自发自用或全额上网两种模式，且均不需要储能设备支持。经专家咨询和市场调研发现，目前大多数业主选择的模式为全额上网模式，本报告选取全额上网模式进行分析。

需要说明的是，根据国家加快补贴退坡政策，及近年来光伏补贴政策情况(见表 7-3)，预计未来光伏补贴会进一步降低，直到实现平价上网，但现有政策对于已有项目执行“新项目新办法老项目老办法”的现状和惯例，本报告中涉及到的项目一旦纳入补贴范围可一直享受该阶段补贴价格。在本报告案例中采用当前补贴政策，即全额上网电价 0.70 元/千瓦时(脱硫煤电上网电价 0.332 元/千瓦时，补贴 0.368 元/千瓦时)。

表 7-3 近年来我国光伏补贴政策梳理(单位：元/千瓦时)

	2015 年前	2016	2017	2018	2018.6-今
I 类资源区	0.90	0.80	0.65	0.55	0.50
II 类资源区	0.95	0.88	0.75	0.65	0.60
III 类资源区	1.0	0.98	0.85	0.75	0.70

5、内部收益率

内部收益率是项目可以为借款人生成的利率。是资金流入现值总额与资金流出现值总额相等、净现值等于零时的折现率。一般情况下，内部收益率大于等于基准收益率时，该项目是可行的。同时内部收益率也表示项目操作过程中抗风险能力。

6、投资回报率和风险调整后的投资回报率

投资回报率和风险调整后的投资回报率能计算项目的净收益(总收益 - 总成本)除以总成本的比率，以突出潜在收益与成本的幅度。通常建议采用风险调整后的投资回报率，因为其计算一段时间内的收益和成本时包含了货币的时间价值。投资回报率公式适用于比较成本与收益之比，但不能体现回报的及时性，可利用投资回收期指标进行评估。

7、投资回收期

投资回收期亦称“投资回收年限”。投资项目投产后获得的收益总额达到该投资项目投入的投资总额所需要的时间(年限)。

7.3.1.3 项目影响

主要包括项目建设和运营对于当地政府完成政策目标、节能减排、温室气体排放、创造就业等政治、环境及社会效益的影响，包括但不限于：

1、对区级、市级或省级可再生能源发展目标的贡献：例如新增可再生能源装机容量；

2、对当地财政收入的影响：光伏发电上网及光伏组件的销售安装对当地政府财税的影响；

3、减少化石燃料消耗：屋顶光伏系统发电可以减少提供相应电力需要的化石燃料消耗，同时也减少由于化石燃料燃烧发电引起的大气污染物及固废排放；

4、温室气体减排：光伏发电属于绿电，温室气体排放量几乎为零，屋顶光伏系统发电可以减少提供相应电力消耗化石燃料导致的温室气体排放量；

5、直接创造就业：本报告涉及居民屋顶约 8 万个，大量的光伏设备安装及售后维护可以解决当地大量劳动力就业问题；

6、外来投资：虽然在发展中国家可能会出现这种情况，但预计外来投资不会在该项目中发挥重要作用。

7.3.2 经济分析关键数据及来源

本章节主要梳理长治市郊区居民屋顶光伏系统模型在安装运营过程中产生成本的工序及环节，并对各环节成本通过市场调研、专家咨询、文献调研等方式进行收集整理。

本报告中主要考虑的成本环节包括：系统分析工程和设备成本、设备间接成本、系统安装成本、许可，测试，互连，调试费用、应急成本、销售税等评估居民屋顶光伏系统模型的安装成本。

此外通过与本地光伏开发商沟通咨询获悉，对于 3 层以上屋顶需评估风力对光伏板稳定性影响，存在光伏板脱落坠地伤人风险，且光伏组件电器元件有火灾风险，建议业主购买相应保险，评估涉及到的各环节系统组件相关参数及数据来源如表 7-4 所示：

表 7-4 评估模型光伏系统安装成本的关键参数及来源

系统组件成本	值	单位	注释	数据源
设备成本				
四合院系统逆变器	0.33	元/瓦		咨询锦浪逆变器公司
小高层系统逆变器	0.224	元/瓦		
高层系统逆变器	0.224	元/瓦		
别墅系统逆变器	0.43	元/瓦		
四合院系统组件	1.95	元/瓦	晶硅硅模块	咨询晋能清洁能源光伏工程有限公司
小高层系统组件	1.95	元/瓦	晶硅硅模块	
高层系统组件	1.95	元/瓦	晶硅硅模块	
别墅系统组件	1.95	元/瓦	晶硅硅模块	
四合院系统：架构	0.40	元/瓦		咨询吕梁屋顶光伏工程公司李工
小高层系统：架构	0.42	元/瓦		
高层系统：架构	0.45	元/瓦		
系统组件成本	值	单位	注释	数据源
别墅系统：架构	0.5	元/瓦		
保险费用				
四合院系统	0	占总设备百分比		—
小高层系统	0.35%	占总设备百分比	置于3层以上建筑屋顶的光伏系统需投保	中国人保财险提供
高层系统	0.35%	占总设备百分比		
别墅系统	0	占总设备百分比		—
四合院系统	0.00	元/瓦	计算值	—
小高层系统	0.01	元/瓦	计算值	—
高层系统	0.01	元/瓦	计算值	—
别墅系统	0.00	元/瓦	计算值	—
设备日常开支成本				
四合院系统	13.0%	占总设备百分比	设备供应商的日常开支，运输，处理的成本和费用。加2%的开发商利润	NREL, 2016: https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66532.pdf
小高层系统	13.0%	占总设备百分比		
高层系统	13.0%	占总设备百分比		
别墅系统	13.0%	占总设备百分比		
四合院系统	0.35	元/瓦	计算值	
小高层系统	0.34	元/瓦	计算值	
高层系统	0.34	元/瓦	计算值	
别墅系统	0.37	元/瓦	计算值	
销售税				
四合院系统	0%	占总设备百分比	增值税	根据光伏系统装机容量测算，户用销售额达不到2万的起征税点
小高层系统	0%	占总设备百分比	增值税	
高层系统	0%	占总设备百分比	增值税	
别墅系统	0%	占总设备百分比	增值税	

系统组件成本	值	单位	注释	数据源
四合院系统	0.000	元/瓦	计算值	
小高层系统	0.000	元/瓦	计算值	
高层系统	0.000	元/瓦	计算值	
别墅系统	0.000	元/瓦	计算值	
总设备				
总设备中的四合院系统	3.03	元/瓦	计算值	由以上设备成本、保险费用、日常开支、销售税 加和得出
总设备中的小高层系统	2.94	元/瓦	计算值	
总设备中的高层系统	2.97	元/瓦	计算值	
总设备中的别墅系统	3.25	元/瓦	计算值	
安装成本				
四合院系统安装	0.39	元/瓦		咨询晋能清洁能源光伏工程有限公司及吕梁屋 顶光伏工程公司李工
小高层系统安装	0.44	元/瓦		
高层系统安装	0.49	元/瓦		
别墅系统安装	0.41	元/瓦		
测试，互连，上网费用				
四合院系统	1.00	元/瓦	包括系统设计成本	咨询晋能清洁能源光伏工程有限公司及吕梁吕 梁屋顶光伏工程公司李工
高层系统	1.00	元/瓦		
小高层系统	1.00	元/瓦		
别墅系统	1.00	元/瓦		
意外，突发情况成本				
四合院系统	3.0%	占总设备百分比	工程，采购和建筑成本的百分比	http://www.sohu.com/a/224213146_703050
高层系统	3.0%	占总设备百分比	工程，采购和建筑成本的百分比	
小高层系统	3.0%	占总设备百分比	工程，采购和建筑成本的百分比	
别墅系统	3.0%	占总设备百分比	工程，采购和建筑成本的百分比	
系统组件成本	值	单位	注释	数据源
四合院系统	0.10	元/瓦	计算值	
高层系统	0.10	元/瓦	计算值	
小高层系统	0.10	元/瓦	计算值	
别墅系统	0.11	元/瓦	计算值	
总系统成本				
四合院系统		元/瓦	计算值	
高层系统		元/瓦	计算值	
小高层系统		元/瓦	计算值	
别墅系统		元/瓦	计算值	
其它输入				
直流交流逆变损失				
四合院系统	2%	%	假定	
高层系统	2%	%	假定	
小高层系统	2%	%	假定	
别墅系统	2%	%	假定	

注：1、经调研咨询获悉，目前山西省户用光伏项目电力上网成本及费用由国家电网承担，故本报告中未将此部分成本纳入核算过程。
 2、本表中电力单位瓦均表示直流电，未考虑逆变损失。

7.3.3 项目市场潜力评估结果

本报告核算过程中对以下参数选取了山西省光伏专家推荐值：光伏系统达到全部技术潜力，光伏系统预期使用寿命为25年，容量因子为16.63%，电力直流交流转换效率为98%，光伏系统输出损耗率为5%/年。

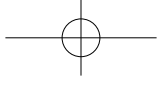
1、可再生能源生产及温室气体减排评估结果

各类建筑屋顶光伏系统电力生产及温室气体减排结果如表7-5所示。

表 7-5 可再生能源生产结果表

参数	四合院型住宅	小高层板楼	高层住宅	别墅	其他居民屋顶	合计
屋顶面积 (万 m²)	1909.13	147.46	43.28	16.59	279.71	2396.17
系统规模 (MW)	1266	120	38	5	186	1614.77
年发电量(GWh)	1807.78	171.85	53.59	7.25	264.86	2305.33
煤炭消耗抵消量 (万吨标煤)	59.27	5.63	1.76	0.24	8.68	59.27
温室气体减排量 (万吨 CO ₂ -eq/年)	159.86	15.20	4.74	0.64	23.42	203.86
25 年合计发电量 (GWh)	26126	2484	774	105	3828	33317

本项目屋顶光伏系统总装机容量 1614.77MW，假设光伏系统达到全部技术潜力，则预计本项目光伏首年度发电量为 2305GWh，全寿命 25 年总发电量为 33317 GWh。



假设本光伏系统达到全部技术潜力，且产生的全部电量都合理使用，并用于替代传统煤基发电。则经核算本光伏系统温室气体排放抵消量约为 203.86 万吨二氧化碳当量/年，相当于可节约 59.27 万吨发电燃煤。25 年共可抵消温室气体排放 2946.24 万吨二氧化碳当量，相当于可节约 1092.37 万吨发电燃煤。

2、系统初始投资成本评估结果

经核算，四类典型建筑模型光伏系统安装成本核算结果如表 7-6 所示。

表 7-6 各类建筑模型安装成本结果表

参数	四合院型密集 低层住宅模型	小高层板楼模 型	高层住宅模型	别墅模型
屋顶面积 (m ²)	266	576	1186	257
系统规模 (MW)	0.018	0.047	0.103	0.008
年发电量(MWh)	25	67	147	11
系统安装成本 (元)	79649	210887	469782	37543
系统安装单位成本 (元/kW)	4521	4482	4568	4774

长治市郊区各类型建筑光伏系统总潜力及总投资成本核算结果见表 7-7。

表 7-7 长治市郊区各类建筑居民屋顶太阳能光伏发电系统
规模及安装成本

参数	四合院型密 集低层住宅	小高层板楼	高层住宅	别墅	非典型建筑
屋顶面积 (m ²)	19091315	1474564	432784	165927	2797120
比例系数	0.65	0.80	0.85	0.30	0.65
可利用屋顶面积(m ²)	12409355	1179651	367866	49778	1818128
系统规模 (MW)	1266	120	38	5	186
年发电量(MWh)	1807780	171850	53590	7252	264863
系统安装成本 (万元)	572470.39	53946.19	17147.55	2425.08	85085.67

分析各类建筑屋顶光伏系统成本核算结果，四合院型密集低层住宅屋顶光伏系统安装单位成本最低，别墅屋顶光伏系统安装单位成本最高。

经课题组咨询专家获悉，对于小高层板楼和高层住宅类型建筑，由于较高楼层有光伏组件坠落伤人风险，需购置相关保险。对于 20 层及以上的高层住宅，若安装光伏系统，光伏组件受风力影响较大，损坏及坠落风险较高，故不建议安装光伏系统。同时考虑到小高层板楼和高层住宅多个业主的特点，在业主意愿、协调等方面，沟通成本较高，故建议长治市郊区优先在四合院型密集低层住宅和别墅典型建筑进行屋顶光伏系统安装。其次考虑小高层板楼屋顶光伏系统，然后是非典型建筑屋顶，最后考虑高层住宅的光伏系统。

经核算，全区总居民屋顶光伏系统总装机容量 1614.77MW，首年度发电量为 2305GWh，所需总初始投资成本为 73.11 亿元人民币。其中，优先级最高的两种建筑类型屋顶：四合院型密集低层建筑屋顶和别墅屋顶光伏系统潜力为 1.271 GW，占全区总居民屋顶光伏系统装机潜力的 78.73%，年发电潜力 1815.032 GWh，占全区总居民屋顶光伏系统发电潜力的 78.73%，所需初始投资成本为 57.49 亿元人民币，占全区总居

民屋顶光伏系统初始投资额的 78.64%。（* 由于本报告暂未获得长治市郊区可再生能源发展规划目标，故本章节暂不对屋顶光伏发电潜力与政策目标进行对比分析。）

3、财务评估

本报告以长治市郊区屋顶面积、发电潜力均最大的四合院型密集低层建筑模型为例，详细展示项目财务评估的相关指标、分析过程及结果。

本部分财务分析以折现现金流分析为基础，进一步分析得到各主要财务评估指标。

该模型项目投入财务参数的设定及取值见表 7-8，融资投入参数设定及取值见表 7-9。折现现金流分析过程见表 7-10。

表 7-8 四合院型密集低层建筑模型屋顶光伏系统项目
投入参数列表

参数	值	单位	注释和参考
分析第一年	2019	年	
电站寿命	25	年	根据保修期限设定。
总装机容量	18	kW	总装机
净装机容量	17	kW	根据转换效率调整过的数据
项目安装成本	4.5	元/W	请参阅模型光伏系统和系统成本信息。
电站连网	0	元	咨询国家电网财务专家
项目总成本	79649	元	包括设备、保险、建造、准许及其他所有与初始建设和启动相关的成本
电站容量系数	0.166	—	咨询吕梁屋顶光伏工程公司李工
屋顶租金	-	元/MW·年	不适用于该分析，该项目在房屋业主情况下适用
屋顶租金浮动率	-	%	不适用于此项目
净发电 - 一年	25152	kwh/年	计算值
光伏系统输出损耗率	5.0	%/年	咨询晋能清洁能源科技股份有限公司
其他可运维成本	0.00	元/kwh	假设为 0
电力生产供自己使用	0.0	%	发电量全部用于上网，自用电比例为零
固定运维成本	50	元/kW·年	咨询晋能清洁能源光伏工程有限公司
运维费用浮动率	2.0	%/年	根据通货膨胀率得出
平准化度电成本基准	0.3162	元/kwh	经咨询漳泽电力，2018 年煤电度电成本为 0.3162 元/kwh

表 7-9 四合院型密集低层建筑模型屋顶光伏系统
融资投入参数列表

参数	值	单位	注释和参考
电站业主本金投入比例	30%	%	根据贷款机构要求范围的最小值作为假设（30% - 70%）。
总融资额	55,754	元	项目总成本减去赠款和本金投入
电价	0.33	元/kwh	经咨询电力公司，目前上网电价为 0.332 元/kwh
自用电量价值	0.00	元/kwh	发电量全部用于上网，自用电量为零
年增长率：发电量价值	0.00%	%/年	发电量全部用于上网，不存在自用电量价值升级
国家补贴	0.368	元/kwh	咨询国家电网、查阅《关于 2018 年光伏发电有关事项的通知》文件
市级补贴	-	元/kwh	经咨询电力公司，无市级补贴
市级政府投资补贴	-	元/W	不适用于此项目
碳中和补贴	-	元/tCO ₂ e	不适用于此项目
通货膨胀率	2.0%	%	https://tradingeconomics.com/china/inflation-cpi 根据过去 5 年的中国消费者价格指数数据，假设范围为 0.5-3.25%
项目建设时长	0.5	年	假定：该值意味着项目将在第一年的中点启动并运行。
股本成本	0%	%	假定
企业所得税	0.0%	%	本项目为户用光伏，不涉及企业所得税
参数	值	单位	注释和参考
负债比率 (%)	70%	%	假定值
折现率 (名义)	5.0%	每年	假定，该分析的假设范围为 3.0-10%
利率	8.2%	每年	预测范围为 4.35%至 12.0%。
贷款期限	10	年	预测范围是 8 至 15 年。
资本回收系数 (CRF)	0.15	无	利率和贷款期限推导得到。
残余价值	0.00	元	不适用于此项目

表 7-10 四合院型密集低层建筑模型屋顶光伏系统折现现金流分析表 2-1

项目阶段	时 期	年份	总安装成本	初始投资	还本付息	屋顶租 金	其他可变运 维成本	固定运维成本	税费	政府投资 信贷	净发电量	电力销售收入	生产补贴
			元	元	元	元	元	元	元	元	kwh	元	元
安装和首 年的运营	1	2019	-79,649	-23,895	-8,384	0	0	-440	0	0	12,576	4,175	9,256
财务期间 继续运营	2	2020	0	0	-8,384	0	0	-899	0		23,894	8,092	8,793
	3	2021	0	0	-8,384	0	0	-916	0		22,700	7,841	8,353
	4	2022	0	0	-8,384	0	0	-935	0		21,565	7,598	7,936
	5	2023	0	0	-8,384	0	0	-953	0		20,486	7,362	7,539
	6	2024	0	0	-8,384	0	0	-973	0		19,462	7,134	7,162
	7	2025	0	0	-8,384	0	0	-992	0		18,489	6,913	6,804
	8	2026	0	0	-8,384	0	0	-1,012	0		17,565	6,698	6,464
	9	2027	0	0	-8,384	0	0	-1,032	0		16,686	6,491	6,141
	10	2028	0	0	-8,384	0	0	-1,053	0		15,852	6,290	5,834
保证电力 生产的持 续运作	11	2029	0	0	0	0	0	-1,074	0		15,059	6,095	5,542
	12	2030	0	0	0	0	0	-1,095	0		14,306	5,906	5,265
	13	2031	0	0	0	0	0	-1,117	0		13,591	5,723	5,002
	14	2032	0	0	0	0	0	-1,140	0		12,912	5,545	4,751
	15	2033	0	0	0	0	0	-1,162	0		12,266	5,373	4,514
	16	2034	0	0	0	0	0	-1,186	0		11,653	5,207	4,288
	17	2035	0	0	0	0	0	-1,209	0		11,070	5,045	4,074
	18	2036	0	0	0	0	0	-1,233	0		10,517	4,889	3,870
	19	2037	0	0	0	0	0	-1,258	0		9,991	4,737	3,677
	20	2038	0	0	0	0	0	-1,283	0		9,491	4,591	3,493
项目阶段	21	2039	0	0	0	0	0	-1,309	0		9,017	4,448	3,318
	时 期	年份	总安装成本	初始投资	还本付息	屋顶租 金	其他可变运 维成本	固定运维成本	税费	政府投资 信贷	净发电量	电力销售收入	生产补贴
			元	元	元	元	元	元	元	元	kwh	元	元
	22	2040	0	0	0	0	0	-1,335	0		8,566	4,310	3,152
	23	2041	0	0	0	0	0	-1,362	0		8,138	4,177	2,995
	24	2042	0	0	0	0	0	-1,389	0		7,731	4,047	2,845
	25	2043	0	0	0	0	0	-1,417	0		7,344	3,922	2,703
	26	2044	0	0	0	0	0	-1,445	0		6,977	3,800	2,567
	27	2045	0	0	0	0	0	-1,474	0		6,628	3,682	2,439
	28	2046	0	0	0	0	0	-1,504	0		6,297	3,568	2,317
超出保修 期的持续 运营	29	2047	0	0	0	0	0	-1,534	0		5,982	3,458	2,201
	30	2048	0	0	0	0	0	-1,564	0		5,683	3,350	2,091

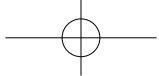


表 7-10 四合院型密集低层建筑模型屋顶光伏系统折现现金流分析表 2-2

项目阶段	时 期	年份	总安装成本	业主净现金流	业主折现净现金流	系统的折余价值	贴现成本	贴现收益	累积现金流	累计折现现金流
			元	元	元	元	元	元	元	元
安装和首 年的运营	1	2019	-79,649	-19,288	-19,288	79,649	-32,719	13,431	-19,288	-19,288
财务期间 继续运营	2	2020	0	7,602	7,095	76,463	-8,664	15,759	-11,686	-12,193
	3	2021	0	6,894	6,005	73,277	-8,102	14,107	-4,792	-6,188
	4	2022	0	6,215	5,053	70,091	-7,577	12,629	1,422	-1,135
	5	2023	0	5,564	4,222	66,905	-7,086	11,308	6,986	3,087
	6	2024	0	4,939	3,498	63,719	-6,627	10,125	11,925	6,585
	7	2025	0	4,341	2,869	60,533	-6,198	9,067	16,266	9,454
	8	2026	0	3,766	2,324	57,347	-5,797	8,121	20,032	11,778
	9	2027	0	3,215	1,851	54,161	-5,422	7,274	23,247	13,629
项目阶段	时 期	年份	总安装成本	业主净现金流	业主折现净现金流	系统的折余价值	贴现成本	贴现收益	累积现金流	累计折现现金流
			元	元	元	元	元	元	元	元
保证电力 生产的持 续运作	10	2028	0	2,686	1,444	50,975	-5,072	6,515	25,933	15,073
	11	2029	0	10,563	5,298	47,789	-539	5,837	36,496	20,371
	12	2030	0	10,075	4,717	44,603	-513	5,230	46,571	25,088
	13	2031	0	9,607	4,198	41,417	-488	4,686	56,178	29,286
	14	2032	0	9,157	3,735	38,231	-465	4,199	65,335	33,021
	15	2033	0	8,725	3,321	35,045	-442	3,763	74,060	36,342
	16	2034	0	8,309	2,952	31,860	-421	3,373	82,370	39,294
	17	2035	0	7,910	2,623	28,674	-401	3,024	90,280	41,917
	18	2036	0	7,526	2,329	25,488	-382	2,711	97,805	44,246
	19	2037	0	7,156	2,067	22,302	-363	2,430	104,961	46,312
	20	2038	0	6,800	1,833	19,116	-346	2,179	111,761	48,146
	21	2039	0	6,457	1,625	15,930	-329	1,954	118,218	49,770
	22	2040	0	6,127	1,439	12,744	-314	1,753	124,346	51,209
	23	2041	0	5,809	1,273	9,558	-298	1,572	130,155	52,483
	24	2042	0	5,503	1,126	6,372	-284	1,410	135,658	53,608
	25	2043	0	5,208	994	3,186	-271	1,265	140,866	54,603
超出保修 期的持续 运营	26	2044	0	4,922	877	0	-258	1,135	145,788	55,480
	27	2045	0	4,647	773	0	-245	1,018	150,436	56,253
	28	2046	0	4,382	680	0	-233	914	154,817	56,933
	29	2047	0	4,125	598	0	-222	820	158,943	57,531
	30	2048	0	3,877	524	0	-212	736	162,820	58,055

四合院型密集低层建筑模型屋顶光伏系统无折现现金流、折现现金流情况如图 7-1、图 7-2 所示。

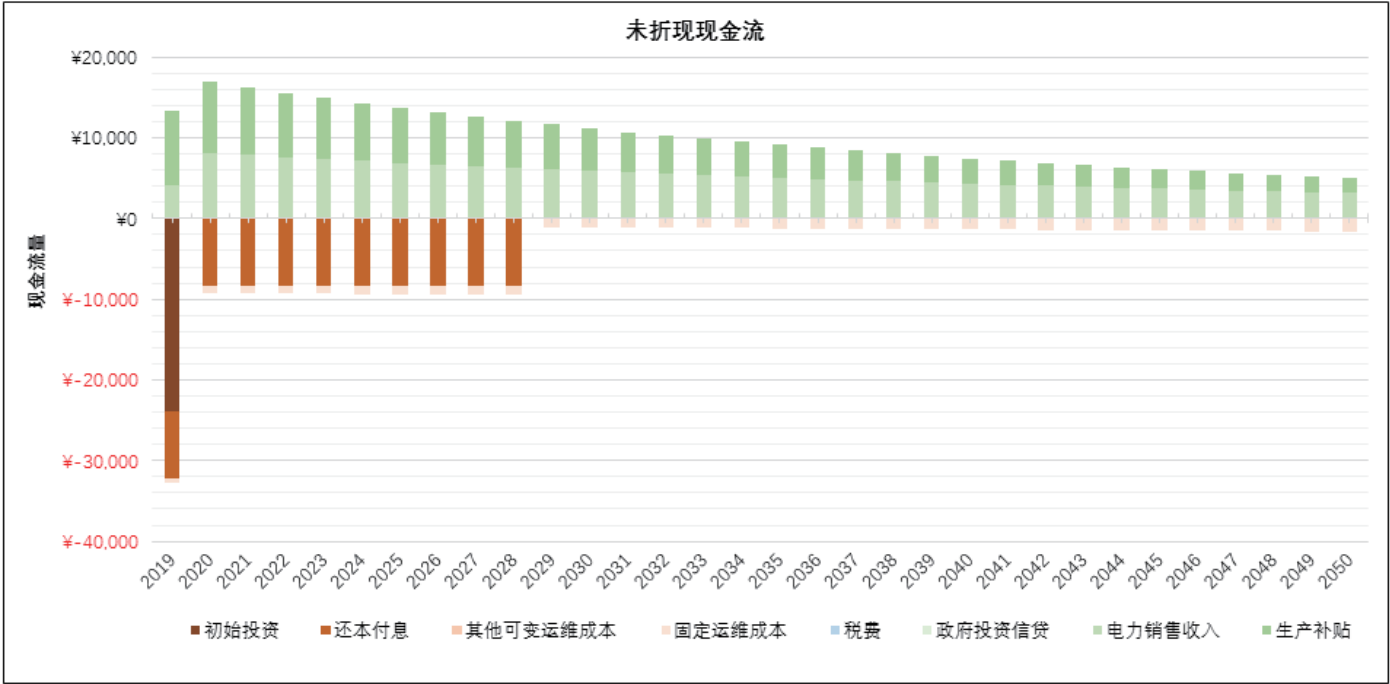


图 7-1 四合院型密集低层建筑模型屋顶光伏系统无折现现金流

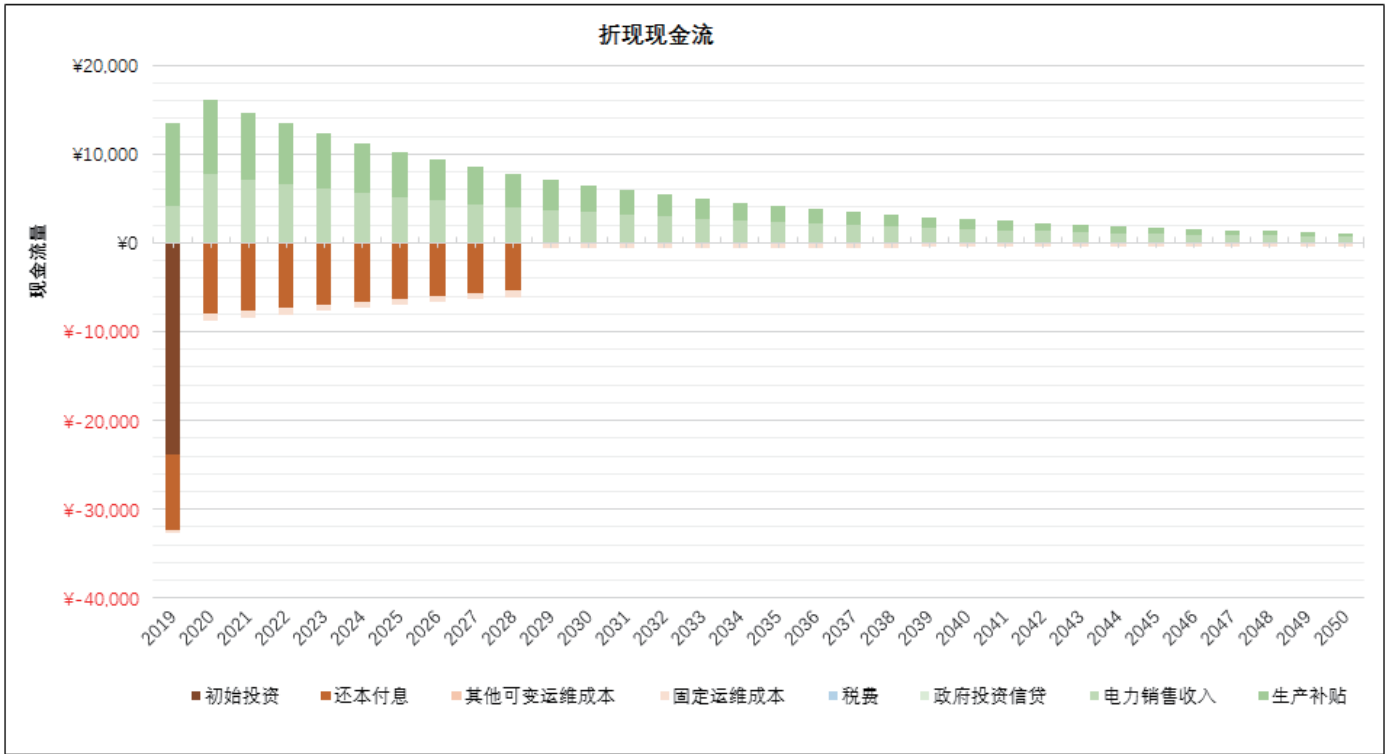
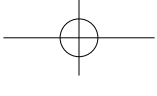


图 7-2 四合院型密集低层建筑模型屋顶光伏系统折现现金流（折现率 5%）



在贴现现金流分析基础上进一步分析可得到四合院型密集低层建筑模型光伏系统财务分析结果，如表 7-11 所示。表格中绿色部分表示的是达到了团队既定目标的重要财务指标，红色部分表示的是未能达到团队既定目标的重要财务指标。

表 7-11 四合院型密集低层建筑模型屋顶光伏系统财务分析关键指标结果

关键指标	数值	说明
总初始投资总额（元）	79,649	包括设备、安装和电网连接的成本。
折现净现金流-NCF (2019)	54,603	2019-2043: 业主的净收入
内部收益率-IRR (%)	24%	2019-2043: 应大于资本的成本
最低可接受回报率-MARR (%)	8.2%	资本成本
投资回报率-ROI (%)	55%	2019-2043
投资截止期 (年)	5.0	投资者对投资回报周期的目标
投资回报周期- PBP (年)	3.7	基础股本回收/基本偿付
折现投资回收期 (年)	4.2	根据风险调整后的基础股本回收
成本效益比	1.55	2019-2043 折现后
平准化度电成本- LCOE (元 /kwh)	0.3728	/kwh, 未折现, 基准是传统煤电成本: 0.3162 元/千瓦时。
实施成本的净现值(2019)	99,119	2019-2043: 股东权益, 还本付息, 运营和维护

分析结果可见，四合院型密集低层建筑模型内部收益率、投资回报率、回收期、成本效益等财务指标均达到预定目标，仅平准化度电成本略高于山西省脱硫煤电成本，接近脱硫煤上网电价。未来随着光伏技术进一步成熟，光伏组件成本进一步下降，居民屋顶光伏项目度电成本会进一步下降，在未来补贴退坡的情况下，也会逐渐实现平价上网目标。此外，在补贴退坡，甚至取消的情况下，可以选择上网模式为“自发自用，余电上网”，通过在电价波峰时段使用自发电来减少用电成本，提高屋顶光伏系统收益率。同时，初步判断“四合院型密集低层建筑”可能会涉及“光伏扶贫”，根据国家 531 新政，光伏扶贫享受更优惠的上网补贴，其收益率、回收期、成本效益等指标会更加优异（本报告由于缺乏光伏扶贫范围信息，未将其纳入分析核算）。其他模型财务分析结果见附件。

7.3.4 敏感度分析

针对长治市郊区面积和数量占比最多的四合院密集低层建筑类型模型，本报告以其屋顶光伏系统为案例进行了折现现金流的敏感度分析。敏感度分析过程中主要涉及的引起计算不确定性的关键变量包括：电站容量系数、固定运营维护比例、上网电价、发电补贴、通货膨胀率、房屋业主股权、名义折现率、利率、贷款期限、设备成本及设备安装成本等。各关键变量及其可能的分布情况如下：

- 电站容量系数（系统每年实现的额定输出比例）：根据 He, Kammen 等的研究文献³，山西省电站容量系数均值为 0.166，该变量呈三角分布，下限为 0.152，上限为 0.175。
- 固定运维成本：假设这些成本的波动范围为 $\pm 30\%$ 。该变量呈均匀分布，下限为 44 元 / 千瓦 · 年，上限为 56 元 / 千瓦 · 年。

- 发电补贴：呈三角分布，下限为 0.0 元 / 千瓦时，上限为 0.368 元 / 千瓦时。
- 通货膨胀率：呈三角分布，众数为 2.00%，下限为 0.50%，上限为 3.25%。
- 房屋业主股权：业主支付的总项目成本的首付。该变量呈均匀分布，下限为 30%，假设的上限为 70%。
- 名义折现率：呈三角分布，众数为 5.0%，下限为 3.0%，上限为 10%。
- 利率（资本成本）：呈三角分布，众数为 8.2%，下限为 4.35%，上限为 12%。
- 贷款期限：呈三角分布，众数为 10 年，下限为 8 年，上限为 15 年。
- 电力销售价格：该变量的数值与山西省脱硫煤上网电价相等，当前价格为 0.332 元 / 千瓦时。假设这些成本的波动范围为 $\pm 10\%$ ，变量呈三角分布。
- 设备成本：设备成本呈均匀分布，众数为 3.03 元 / 瓦（根据前文各项成本计算得到）。下限代表的是设备成本下降 20%（基于电板和其他设备成本的持续下降），上限代表的是根据文献计算的值上涨 10%。
- 设备安装成本：系统安装成本呈三角分布，众数为 0.39 元 / 瓦，下限数值与其相同，上限代表的是 30% 的额外安装费用，0.51 元 / 瓦。

本报告利用 excel 开源插件 Argo 工具进行蒙特卡洛模拟不确定性分析，其中四合院模型的蒙特卡洛模拟分析情况如图 7-3 和图 7-4 所示（模型采取所有值采取点估值计，净现现金流为 54603 元）。

图 7-3 显示了 Argo 在给定范围内随机取值生成 1000 个随机计算值构建分布，试验的汇总统计情况为：平均值 = 45063 元；中位数 = 42265 元；标准差 = 14731 元；最大值 = 89837 元；最小值 = 2006 元；范围 = 87830 元。图 7-4 表示蒙特卡罗模拟中贴现净现金流的累积概率密度。如图所示，贴现后净现现金流低于 26012 元的概率小于 10%。高于净现现金流初始预估值（即 5.463 万元）的概率在 27% 左右。

在之后的敏感度分析中，详细分析了不同变量对贴现净现现金流的影响。导致贴现净现现金流变化的变量分为两种：下行风险变量与上行风险变量。下行风险变量是指某些变量的值上升时，驱动结果下降；上行变量是指某些变量本身上升时，驱动结果上升。一般来看，贷款机构和项目业主都更关注下行变量的变化对现金流的影响幅度。因为现金流的大幅下降意味着业主无法偿还贷款的概率增大。

3 <https://rael.berkeley.edu/wpcontent/uploads/2015/08/He-and-Kammen-Solar-Resource-for-China-2015.pdf>

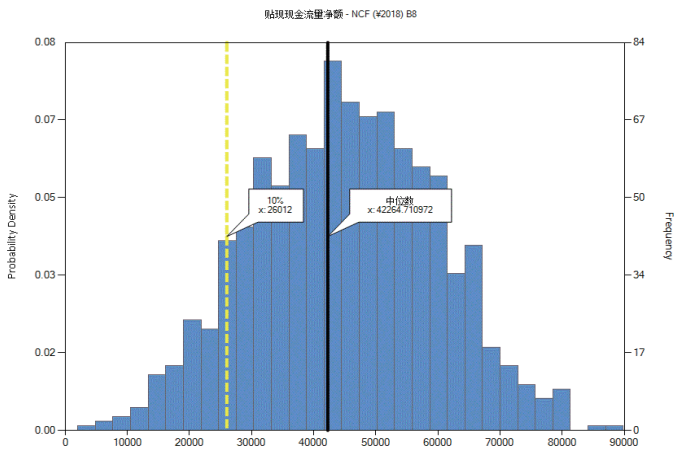


图 7-3 蒙特卡洛模拟：净现金流概率密度

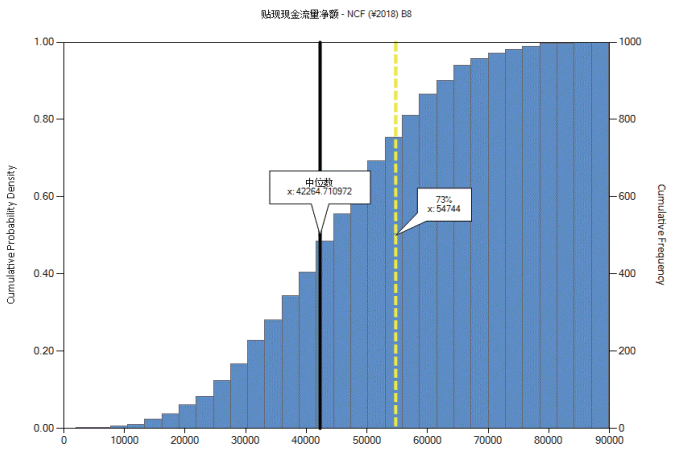


图 7-4 蒙特卡洛模拟：累计折现净现金流

同时，本报告对单个变量对系统结果的影响进行了分析，分析结果如表 7-12 和图 7-5 所示。图 7-5 中，斜率为正的变量表示其上行作用大于下行作用，为上行变量。斜率为负的变量表示其下行作用大于上行作用，为下行变量。重要的上行变量包括发电补贴、电力销售价格和电站容量因子。下行变量包括名义折现率、固定运维成本和设备成本，其中发电补贴和名义折现率分别是最大的上行 / 下行变量。

注：由于本报告中屋顶光伏上网模式根据现有补贴情况及现有市场情况，选择了“直接上网”的模式，故未对自用电的相关情况进行分析，但对于屋顶光伏上网的另外一种模式“自发自用、余电上网”而言，自用电比例、自用电时段等对系统灵敏度有重要影响，甚至可能直接影响项目是否盈利，需引起足够重视。

表 7-12 单因子法敏感性分析输入值和输出值

变量	输入			输出					
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	下限	上限	范围
电站容量系数	0.16	0.16	0.17	49064	52446	55216	49064	55216	6152
电力销售价格	0.32	0.33	0.34	50416	52623	54830	50416	54830	4414
电站所有者权益	0.40	0.50	0.60	51805	52623	53441	51805	53441	1636
国家生产补贴	0.049	0.109	0.184	44013	49023	54603	44013	54603	10590
系统安装成本	0.41	0.42	0.45	52967	52623	52173	52967	52173	-794
贷款期限	9.87	10.82	12.04	52750	52623	51045	52750	51045	-1706
固定运维成本	47	50	53	53500	52623	51746	53500	51746	-1754
通货膨胀率	1.52%	1.94%	2.32%	53923	52631	51494	53923	51494	-2429
利率	7.06%	8.19%	9.30%	54892	52623	50313	54892	50313	-4579
总设备成本	2.65	2.88	3.10	56835	52623	48410	56835	48410	-8425
折现率 (名义)	4.87%	5.82%	7.04%	58874	52623	45589	58874	45589	-13286

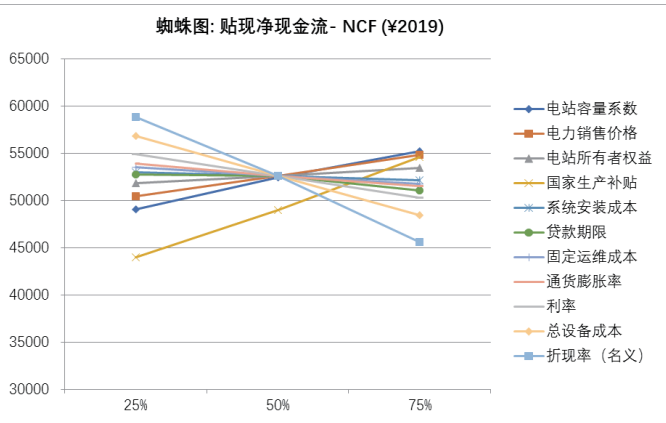


图 7-5 单因子法 - 净现金流敏感度蜘蛛图

图 7-6 旋风图展示了各变量在不同取值下，可得到的系统净现金流的最大值和最小值分布情况，对于图中上部的“上行”变量，其数值的增加会导致净现金流的增加，靠近下部的“下行”变量，其数值的增加则会导致净现金流的减少。

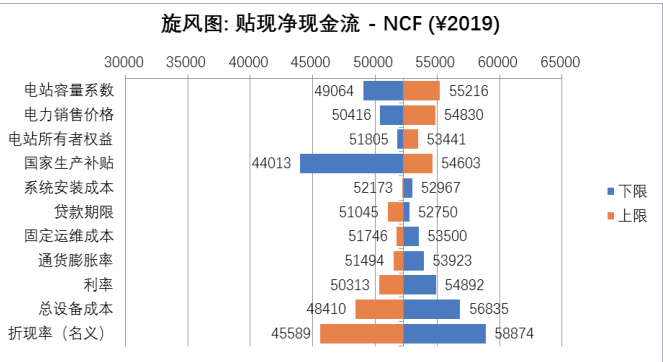
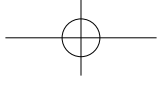


图 7-6 单因子法 - 净现金流敏感性旋风图



7.3.5 结论

本章节对长治市郊区四类典型建筑进行统计分析，分别选取其平均面积建立四个模型进行经济分析。分析发现，四合院型密集低层住宅屋顶光伏系统安装单位成本最低，别墅屋顶光伏系统安装单位成本最高。考虑到规模、综合成本、业主结构、安装使用风险等因素，本报告建议长治市郊区优先在四合院型密集低层住宅和别墅典型建筑进行屋顶光伏系统安装。其次考虑小高层板楼屋顶光伏系统，然后是非典型建筑屋顶，最后考虑高层住宅。

经核算，全区总居民屋顶光伏系统总装机容量1614.77MW，首年度发电量为2305GWh，所需总初始投资成本为73.11亿元人民币。其中，优先级最高的两种建筑类型屋顶：四合院型密集低层建筑屋顶和别墅屋顶光伏系统，二者装机容量、年发电潜力、所需初始投资成本均达到全区水平约80%。

财务分析结果显示四类典型建筑模型的财务评估结果均良好，内部收益率、投资回报率、回收期、成本效益等财务指标均达到预定目标，仅平准化度电成本略高于山西省脱硫发电成本，接近脱硫煤上网电价。但未来可期，随着光伏技术的进一步成熟，成本持续下降，在未来补贴退坡的情况下，实现平价上网有较大可能性。且可以通过选择“自发自用 余电上网”模式获取更高收益率。

最后本报告利用Argo插件，通过蒙特卡洛模拟和单因子法分析得到：四合院型密集底层建筑模型贴现后净现金流低于26012元的概率小于10%。高于净现金流初始预估值（即5.463万元）的概率在27%左右；对此结果影响较大的上行变量包括发电补贴、电力销售价格、电站容量因子，下行变量包括名义折现率、固定运维成本和设备成本。同时需要特别重视，在本报告未选择的“自发自用 余电上网”模式中，自用电比例、自用电时段等对系统灵敏度有重要影响。

附件

以下小高层板楼模型、高层写字楼/住宅模型和别墅模型屋顶光伏系统的总体财务指标。表格中绿色部分表示的是达到了团队既定目标的重要财务指标，红色部分表示的是未能达到团队既定目标的重要财务指标。

1、小高层板楼模型

参数设定：

- 太阳能光伏系统装机容量47KW；固定晶体硅模块阵列；25年保修期，保修80%
- 100%全部上网
- 业主投入本金为30%，其余融资

表1 小高层板楼模型屋顶光伏系统总体财务情况

总初始投资总额 (¥)	¥210,887	包括设备、安装和电网连接的成本。
折现净现金流 - NCF (¥2019)	¥147,854	2019-2043; 业主的净收入
内部收益率 (IRR) %	25%	2019-2043; 应大于资本的成本
可接受的最低收益率 (MARR) %	8.2%	资本成本
投资回报率 - ROI (%)	56%	2019-2043
投资截止期 (years)	5.0	投资者对投资回报周期的目标
投资回收期 - PBP (years)	3.6	基础股本回收/基本偿付
折现投资回收期 (years)	4.1	根据风险调整后的基础股本回收
效益成本比	1.56	2019-2043 折现后
平准化度电成本 - LCOE (¥/kwh)	¥0.3702	/kwh, 未折现; 基准是传统煤电成本: 0.3162 元/千瓦时。
实施成本的净现金流(¥2019)	¥262,730	2019-2043; 股东权益, 还本付息, 运营和维护

2、高层写字楼/住宅模型

参数设定：

- 太阳能光伏系统装机容量103KW；固定晶体硅模块阵列；25年保修期，保修80%
- 100%全部上网
- 业主投入本金为30%，其余融资

表2 高层写字楼/住宅模型屋顶光伏系统总体财务情况

总初始投资总额 (¥)	¥469,782	包括设备、安装和电网连接的成本。
折现净现金流 - NCF (¥2019)	¥313,458	2019-2043; 业主的净收入
内部收益率 (IRR) %	23%	2019-2043; 应大于资本的成本
可接受的最低收益率 (MARR) %	8.2%	资本成本
投资回报率 - ROI (%)	54%	2019-2043
投资截止期 (years)	5.0	投资者对投资回报周期的目标
投资回收期 - PBP (years)	3.8	基础股本回收/基本偿付
折现投资回收期 (years)	4.3	根据风险调整后的基础股本回收
效益成本比	1.54	2019-2043 折现后
平准化度电成本 - LCOE (¥/kwh)	¥0.3759	/kwh, 未折现; 基准是传统煤电成本: 0.3162 元/千瓦时。
实施成本的净现金流(¥2019)	¥583,856	2019-2043; 股东权益, 还本付息, 运营和维护

3、别墅模型

参数设定：

- 太阳能光伏系统装机容量 8KW; 固定晶体硅模块阵列 ;25 年保修期，保修 80 %
- 100 % 全部上网
- 业主投入本金为 30 %，其余融资

表 3 别墅模型屋顶光伏系统总体财务情况

总初始投资总额 (¥)	¥37,543	包括设备、安装和电网连接的成本。
折现净现金流 - NCF (¥2019)	¥22,206	2019-2043; 业主的净收入
内部收益率 (IRR) %	19%	2019-2043; 应大于资本的成本
可接受的最低收益率 (MARR) %	8.2%	资本成本
投资回报率 - ROI (%)	48%	2019-2043
投资截止期 (years)	5.0	投资者对投资回报周期的目标
投资回报周期 - PBP (years)	4.3	基础股本回收/基本偿付
折现投资回收期 (years)	5.1	根据风险调整后的基础股本回收
效益成本比	1.48	2019-2043 折现后
平准化度电成本- LCOE (¥/kwh)	¥0.3894	/kwh, 未折现; 基准是传统煤电成本 : 0.3162 元 /千瓦时。
实施成本的净现金流(¥2019)	¥46,406	2019-2043; 股东权益, 还本付息, 运营和维护