

Research on Valuation Analysis and Investment Decision-making Methods of

Photovoltaic Power Plants in China

By

Tianyi Zhao

A Dissertation Presented in Partial Fulfillment
of the Requirements for the Degree
Doctor of Business Administration

Approved March 2020 by the
Graduate Supervisory Committee:

Zhongju Zhang, Co-Chair

Zhan Jiang, Co-Chair

Shin-yi Wu

ARIZONA STATE UNIVERSITY

May 2020

中国光伏电站投资估值分析及投资决策方法研究

赵天意

全球金融工商管理博士
学位论文

研究生管理委员会
于二零二零年三月批准：

张中举，联席主席
蒋展，联席主席
吴欣益

亚利桑那州立大学

二零二零年五月

ABSTRACT

The development of China's photovoltaic (PV) market started in 2009. After nearly 10 years of rapid development, China has become the world's largest PV power generation equipment manufacturing and application country. However, with the development of the photovoltaic industry, the challenges from grid-connected consumption, low-price competition, and policy fluctuations are increasing. These challenges have seriously affected the investment in photovoltaic assets and the government policy design of the photovoltaic industry. The photovoltaic industry has entered a bottleneck period. Accurate valuation of the PV power plant assets is very difficult by the adjustment of PV equipment prices, the policy changes of PV subsidies, and the uncertainty of power generation due to many internal and external conditions. These uncertainties have formed the uniqueness of investment value assessment in photovoltaic power plant assets, especially in China market due to her big volume and more speedy development. This paper will combine real option valuation method with actual case experiences to investigate more effective PV evaluation methods and propose suggestions for improving investment decision-making process of PV power plant. This study will not only help enterprises participating in similar emerging industry investment, but also have important reference value for government to formulate better subsidy policies.

摘要

中国光伏产业蓬勃发展起步于 2009 年，经过近 10 年快速发展，已经成为全球第一大光伏发电设备制造和光伏发电应用国家。但随着光伏产业发展，并网消纳、低价竞争、政策波动等问题造成的影响越来越大，光伏电站资产收益的不确定性越来越高，使企业参与光伏产业积极性不断下降，国家制定相关政策也缺乏依据，光伏产业发展进入瓶颈期。

光伏电站资产价值的准确评估越来越难，一方面源于光伏设备价格的调整周期越来越短、光伏补贴的政策调整速度不断加快；另一方面也因为光伏发电受自然条件、设备条件、政策条件等各种因素影响，有较高的不确定性。这些不确定性形成了光伏电站资产，乃至类似相关的新兴产业，投资价值评估的特殊性。同时光伏电站资产又具有初始投资大，项目回收期长等因素，也增加了光伏电站资产评估的复杂性。

当前在光伏电站资产价值评估所使用的方法包括净现值法、回收期法、内部收益率等，在投资决策中也包含实物期权评估等方法。这些方法在光伏电站资产评估中各有特点，本论文将结合实际案例经验，对这些评估方法进行分析，验证评估方法的有效性，并提出提升光伏电站资产估值准确性及投资决策流程的建议。

对以光伏为代表的新兴战略行业资产投资价值分析研究，不仅能够为企业参与类似产业投资决策提供帮助，对国家制定相应新兴产业支持政策以也有重要借鉴价值。

致谢

时如白驹过隙，学似登山揽胜，一转眼近三年的 DBA 学习即将结束，有不舍，有收获，更多的是感谢和感恩。

本文是在我的导师张中举教授、蒋展教授和吴欣益教授的悉心指导下完成的。感谢三位教授对我的专业和无私的指导。写论文之前，我在实际工作中对光伏电站资产评估中的困惑很多，感谢蒋展教授在论文开题中给我的启发，让我明确了论文的方向，后续和蒋展教授的数次面对面交流，让我不仅收获了资产估值方面的知识，还理解了在不同行业中实物期权的应用方法，更了解了学业中精益求精、触类旁通的精神。在论文写作中，张中举教授细心审阅论文，为我撰写了大量专业的指导和建议，并收集相关文章为我提供参考，让我受益匪浅。在论文写作和校正中，吴欣益教授为我提供了重要的修改建议和指导，为我能够最终完成论文提供了不可或缺的帮助。三位教授的渊博学识、开阔的思维和严谨的治学态度，为我指明了学业上的方向，也让我能够将所学知识用于企业管理中，使理论和实践相互促进。在此向我尊敬的三位教授导师致以最诚挚的感谢！

同时，我要特别感谢我班的蒋晶老师和王婕敏老师，在我的论文写作过程不断提供帮助和鼓励，为这篇论文能够顺利完成提供了大力支持。

我要对我的家人表示我的感谢，特别是我的太太盛佳和儿子赵灵均，感谢他们对我学习和生活的关心和爱护。他们不断地鼓励和支持，是我坚持终生学习的不竭动力。

最后，衷心感谢评阅本人论文和出席论文答辩的各位教授学者，感谢您们的时间和专业指导，你们的帮助和支持，帮助我最终完成了论文定稿。

真心感谢所有老师和同学们的帮助和陪伴，衷心祝愿每一位老师和同学幸福和进步！

目录

	页码
表格列表	viii
图表列表	ix
章节	
一、问题提出及研究意义	1
1.1 光伏产业发展的重要意义	1
1.2 光伏投资主要优势	3
1.2.1 光伏投资成本下降速度快	3
1.2.2 光伏系统资源储量大、运营成本低	4
1.2.3 光伏系统投资部署快，安装灵活	5
1.2.4 光伏系统代表清洁、环保、可持续发展方向	5
1.3 光伏投资主要挑战	6
1.3.1 光伏补贴下降迅速	6
1.3.2 光伏发电量影响因素复杂，难以控制	7
1.3.3 光伏资产投资周期长，不确定性大	7
1.3.4 光伏资产贬值快，投资机会把握难度高	8
1.4 论文结构与主要贡献	9
1.4.1 论文结构	9
1.4.2 论文主要贡献	10

章节	页码
二、光伏投资理论综述	11
2.1 资产估值与投资相关理论.....	11
2.1.1 资产估值模型分类与中国资产估值常用方法.....	12
2.1.2 资产估值方法选择原则及主要步骤	16
2.2 期权理论及实物期权投资决策方法	19
2.2.1 期权理论概述.....	19
2.2.2 期权估值（定价）及实物期权理论研究	20
2.2.3 新能源资产估值理论研究.....	23
三、基于实物期权的光伏电站资产估值方法分析	30
3.1 光伏电站资产价值影响因素分析	30
3.1.1 光伏电站资产定价影响因素分类	30
3.1.2 定价影响因素筛选及量化	32
3.2 实物期权法在光伏电站估值中的应用方法	35
3.2.1 实物期权计算方法分析	35
3.2.2 光伏电站实物期权计算	39
3.2.3 实物期权影响因素及光伏电站价值提升方法分析	43
四、基于实物期权的光伏电站投资决策流程分析	47
4.1 光伏电站投资决策框架	47
4.1.1 光伏电站投资决策关键步骤.....	47

章节	页码
4.1.2 光伏电站投资决策流程图	48
4.2 光伏电站实物期权法投资决策模型分析	49
4.2.1 光伏电站估值模型假设	49
4.2.2 利用实物期权法对 33 家光伏电站进行实际估值	57
4.2.3 利用回归分析建立“光伏电站投资相对价值”简化模型	61
4.3 光伏电站投资相对估值模型的有效性验证	65
4.3.1 结合实际项目验证光伏电站投资相对估值模型有效性	65
4.3.2 不同因变量估值模型比较	69
4.4 光伏电站投资决策方法总结	72
4.4.1 光伏电站投资估值模型影响因素及投资价值提升方法分析	72
4.4.2 光伏电站估值模型在实际投资决策中应用总结	75
五、结论	78
5.1 论文的结论和主要贡献	78
5.1.1 论文的主要结论	78
5.1.2 论文贡献及价值	80
5.2 论文实际应用及后续研究建议	81
5.2.1 论文的实际应用	82
5.2.2 论文存在局限之处	83
5.2.3 论文的后续研究建议	85

章节

页码

参考文献.....87

表格列表

表格	页码
1 安徽合肥 20MW 一期光伏电站收益估算表.....	40
2 安徽合肥 20MW 二期光伏电站收益估算表	42
3 安徽合肥光伏电站估值因素变动影响分析表.....	44
4 中国 33 家光伏电站投资及运行数据表.....	50
5 中国 33 家光伏电站实物期权价值汇总表	58
6 中国 33 家光伏电站价值量化计算表.....	62
7 模型验证-2 家光伏电站运行数据表	66
8 模型验证-2 家光伏电站二期运行数据表	67
9 模型验证-2 家光伏电站模型计算价值表.....	68
10 中国 33 家光伏电站模型 2 计算表	69

图表列表

图表	页码
1 中国一次能源生产分类列表（2009~2018）	1
2 中国光伏及同期整体发电新增容量（2009~2018）	3
3 中国集中式光伏电站单位（kW）建设成本趋势图（2008~2018）	4
4 中国光伏补贴电价变化表（2010~2019）.....	6
5 中国光伏电池量产转换效率发展趋势（2008~2018）	8
6 企业资产价值评估方法分类图	14
7 企业资产价值评估方法细分汇总	24
8 不同企业资产价值评估方法对比	25
9 光伏电站估值影响因素分析（基于 SN 公司评估）	32
10 金融期权-光伏电站实物期权计算因素对应表	34
11 中国光伏电站标杆电价下降模型（2008~2018）	38
12 中国光伏电站建设成本下降模型（2008~2018）	39
13 光伏电站投资决策流程图	48
14 光伏电站项目投资决策模型图	49
15 光伏电站投资价值影响因素汇总图	56
16 中国 33 光伏电站投资价值变化对比表	61
17 光伏电站投资相对价值回归分析表	64
18 中国 33 家光伏电站模型 2 回归分析表	71

图表

页码

图表 19 改进版光伏电站投资决策流程图76

一、问题提出及研究意义

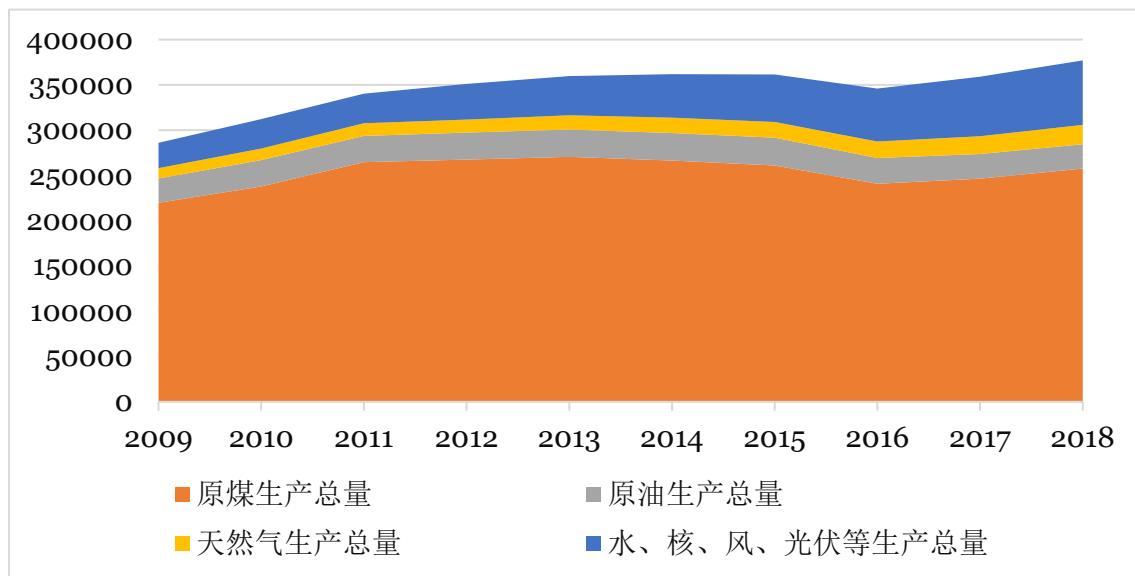
1.1 光伏产业发展的重要意义

中国正进入能源转型的关键阶段，推进以光伏为代表的新能源产业可持续发展，是中国当前及未来经济增长、能源自主改善、国家竞争力战略提升的重要措施。

在全球气候变暖及化石能源日益减少的情况下，以光伏、风电、光热等为代表的可再生能源开发利用日益重要。大力发展光伏等可再生能源，不仅是各国驱动能源经济发展和能源安全的必由之路，也是地球人类文明可持续发展的关键行动。2016年11月4日生效的《巴黎协定》显示了各国发展可再生能源产业的决心。

中国是世界最大的发展中国家，由于自然资源禀赋以及快速发展需求，虽然近年来在不断改善能源结构，但截止2018年，中国一次能源中煤炭占比仍然高达68%，化石能源总体占比超过81%，能源绿色化之路任重道远。

图表 1 中国一次能源生产分类列表（2009~2018）



单位：标准煤

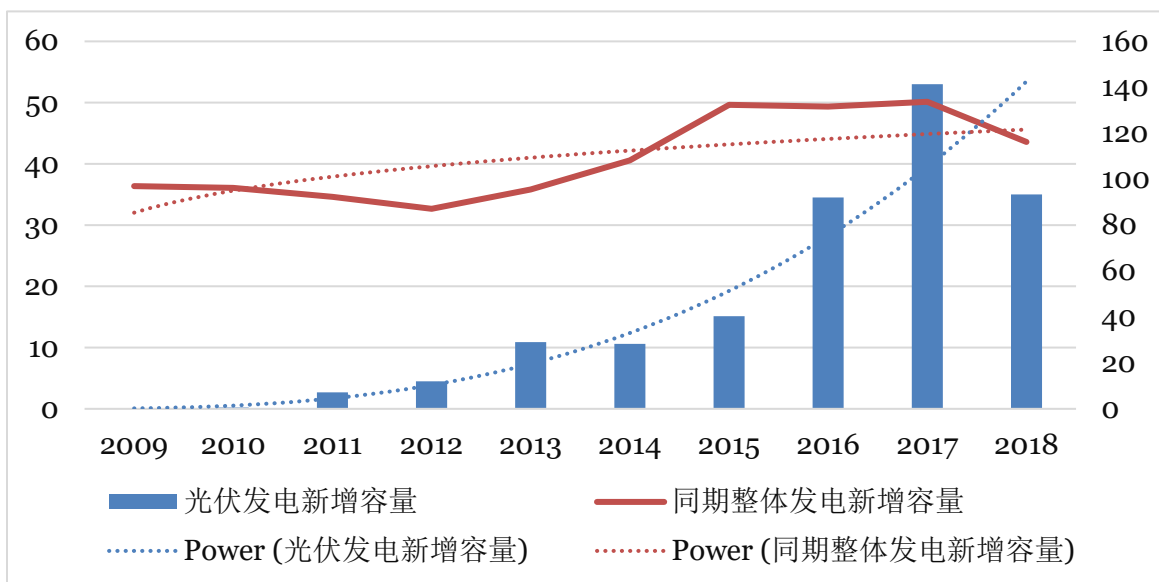
数据来源：SN 整理，数据来自历年国家统计局“国民经济和社会发展统计公报”

中国作为《巴黎协定》第 23 个缔约国，承诺到 2030 年使二氧化碳排放量达到峰值，单位国内生产总值二氧化碳排放量比 2005 年下降 60%—65%，非化石能源占一次能源消费比重超过 20%。为实现上述目标，也为了实现经济的可持续发展，发展可再生能源产业势在必行。

按照国际能源署（International Energy Agency）的最新预测，2030 年全世界光伏将持续增长，发电装机累计容量有望达到 17.21 亿千瓦，按照能源需求和世界各国规划，到 2050 年将有可能增加至 46.70 亿千瓦，此装机量相当于 2014 年全球所有能源发电装机量（60 亿千瓦）的 76%，由此可见，光伏产业在全球具有巨大发展潜力。和可再生能源中的风能、地热能、潮汐能、生物质能能源相比，太阳能以其清洁、安全、取之不尽、用之不竭等显著优势，已成为发展最快的可再生能源，将成为未来能源最主要的来源。

2017 年中国在多晶硅、硅片、电池和组件等产业链上重要环节的产能和产量遥遥领先，全球市场份额分别达到 55%、83%、68%和 71%。中国已经成为全球光伏制造大国，光伏产业在短时间内实现弯道超车，成为中国可参与国际竞争的优势产业之一。同时，不仅是光伏设备生产大国，中国光伏发电市场也在逐步扩大，“十二五”期间年均新增装机量增长超过 50%，进入“十三五”时期，光伏发电建设速度进一步加快，年平均装机增长率 75%。截至 2018 年底，我国光伏发电累计并网容量已达到 1.74 亿千瓦，已连续六年位居世界光伏装机应用第一大国，中国光伏发电和整体发电增速对比可见下表：

图表 2 中国光伏及同期整体发电新增容量（2009~2018）



单位：GW

数据来源：CPIA 中国光伏行业协会、国家统计局

综上所述，发展光伏产业，不仅是中国优化能源结构、履行国际承诺的必由之路，也是中国经济发展的重要引擎之一，对中国推进能源生产和消费革命、促进可持续发展具有重要意义。

1.2 光伏投资主要优势

光伏产业是半导体技术与新能源需求相结合而衍生的产业，由于其来源广泛、成本下降速度快、快速部署以及运营成本低等特性，带来光伏投资不同于其他能源投资的特点和优势：

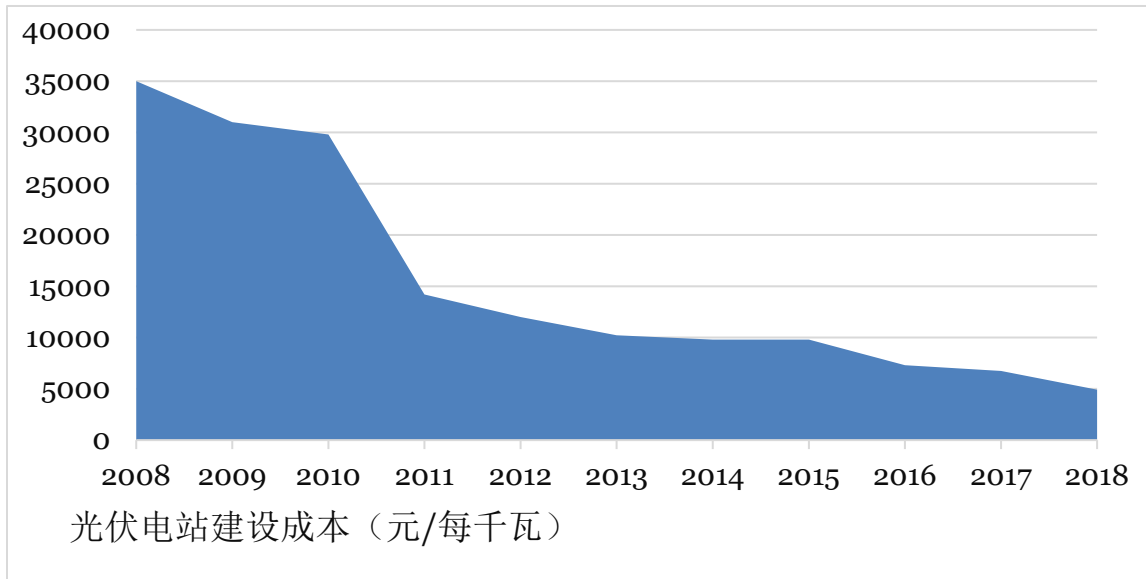
1.2.1 光伏投资成本下降速度快

光伏发电技术不同于传统火电、水电、核电甚至风电技术，采用硅基材料来取代传统发电行业中大量用到的铜、铝、稀土等金属材料，在发电行业中实现了“硅进铜退”的革命。

由于半导体技术提升以及摩尔定律影响，以硅为基础的光伏发电行业，比以金属机械为基

础的传统发电行业，更容易实现成本快速下降、发电效率快速提升，由此带来光伏系统投资成本快速下降。近年来光伏系统投资曲线变化也验证了这一点，从 2008 年到 2018 年间，单位 kW 的光伏系统投资成本降低了 86%，年度下降幅度为-17.8%：

图表 3 中国集中式光伏电站单位（kW）建设成本趋势图（2008~2018）



单位：元/kW

数据来源：CPIA 中国光伏行业协会

1.2.2 光伏系统资源储量大、运营成本低

太阳能具有无污染、安全性高、资源丰富、获取容易等先天优势，同时是新型能源中储量最为丰富的能源。中国在太阳能资源方面是世界上储量非常丰富的国家，每年太阳能理论储量达 17000 亿吨标准煤，多数地区年平均日辐射量在 4 千瓦时每平方米，2/3 的国土面积年日照量在 2200 小时以上，太阳能在我国有着非常大的开发利用潜力，这也是我国开展太阳能光伏发电最为重要的基础条件。

不同于火电、核电等能源，光伏系统依靠太阳光照发电，产生电能的过程相对简洁简单，不受国际煤价、石油、核原料等价格波动影响，发电运行中对原料的消耗基本为零。同

时，和风电、光热发电等可再生能源不同，光伏发电过程中因为不涉及到机械运动，因此设备磨损及维护工作量小，系统运行寿命周期长，对企业长期投资获利非常有利。

1.2.3 光伏系统投资部署快，安装灵活

光伏电站由于系统模块化结构明显、安装标准化，建造调试简单，因此建设周期快，且方便按照投资需要实现分期建设。

在土地平整等理想条件下，100MW 光伏电站可以在 6 个月内完成从设计到建设全过程，实现并网发电，而相应的风电建设周期最快也需要 12 个月，火电系统建设则不低于 24 个月，而水电、核电系统则更长。

由于光伏组件采用标准化设计，不同组件之间相互独立发电，没有前后生产工艺衔接的需求，因此一个大的光伏系统可方便拆分成不同小的光伏系统进行分期投资，从而能够实现系统期权机会的开发和利用，降低系统投资风险，提升投资回报。

1.2.4 光伏系统代表清洁、环保、可持续发展方向

中国在经济快速发展过程中，由于化石能源及各种工业排放等影响，自然环境长期遭受破坏，水污染、大气污染等等作为突出的环境问题逐渐影响着人们的日常生活，由能源问题引起的环境问题给中国国内生产与国际形象都造成了较大压力。

随着环保压力增大，民众环保意识觉醒，以光伏为代表的新型清洁能源已成为环境治理和改善的标志性象征，光伏发电已经越来越被民众所接受、政府所鼓励。光伏产业成为公司的名片，投资光伏产业，对企业融资、提升形象等方面，都有很大帮助。

1.3 光伏投资主要挑战

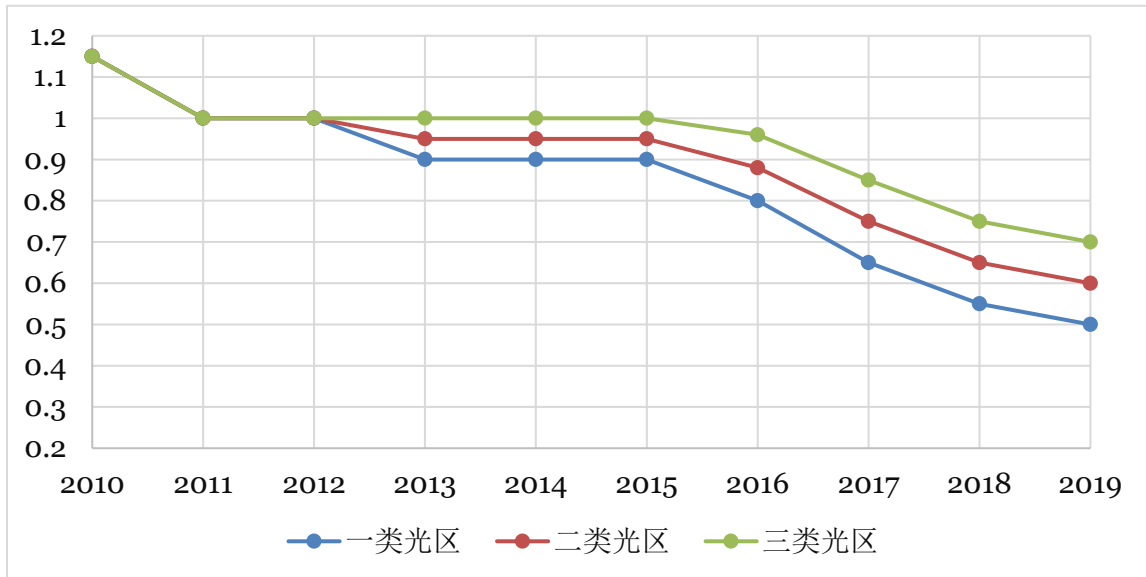
随着光伏产业规模的快速增长，光伏发电从补充能源向替代性能源，甚至主力能源进阶，光伏产业正进入一个瓶颈期，面临“成长的烦恼”。光伏投资的主要挑战来自如下 4 个方向：

1.3.1 光伏补贴下降迅速

在 2009~2019 过去 10 年间，中国国家财政对光伏产业采用建设补贴、售电补贴等政策进行激励，推动光伏产业以超过 50% 的复合增长率快速发展。随着光伏装机规模快速发展。国家补贴的财政缺口越来越大，已难以满足快速增长光伏产业的需求。截止 2017 年底，光伏补贴缺口已经达到近 500 亿元，2018 年这一情况没有缓解，补贴缺口越来越大。

为了避免补贴缺口进一步扩大，同时，也为了激励光伏企业降低成本、淘汰落后产能，过去 10 年间，政策对光伏发电的补贴额度也在不断下调，从 2011 年有光伏补贴开始，光伏补贴电价的下降幅度超过 50%。

图表 4 中国光伏补贴电价变化表（2010~2019）



单位：元/kWh

数据来源：CPIA 中国光伏行业协会

2018年，随着531新政的颁布推行，大量光伏投资退潮，全年光伏新增容量同比下降30%，这也反映了企业对光伏投资的困惑和疑虑。随着国家补贴的逐步退坡，企业的疑虑也越来越大。

1.3.2 光伏发电量影响因素复杂，难以控制

光伏发电技术是通过光伏电池将太阳能转化的电能，其发电量受到日照强度、日照时间、气温、发电组件类型、设备条件、运维效率等多种因素影响，难以进行预测和控制。

光伏系统“靠天吃饭”，虽然能够通过天气预测等方式改善对短时期发电量的预测，但难以对长时间发电做出准确预测。光伏发电系统虽然结构简单，多为标准化产品，但设备数量多，设备可靠性挑战大，一旦出现设备故障无法排除，就会影响发电量。光伏系统在夜间无法发电，因此难以独立做到发电-用电系统平衡，在西北等光伏集中区域，弃光现象也非常严重，导致光伏资产发电收益的不确定性大增。光伏系统如需要平衡电力供需，必须增加传统能源发电或者储能装置来辅助运行，这进一步加大了投资和运营成本，为光伏系统投资增加了变数。

发电的波动性影响了对发电收益进行量化预测分析，影响对光伏资产的估值；发电的不稳定性容易对电网形成冲击，影响电网的稳定性并提升了运行成本。这些因素都对光伏资产投资的有效性产生挑战。

1.3.3 光伏资产投资周期长，不确定性大

光伏电站运行寿命周期长达20年以上，运行周期长。光伏电站属于资金密集型行业，大部分投资在建设时一次性投入，初始投资占全寿命周期成本比例超过80%，按照当前的

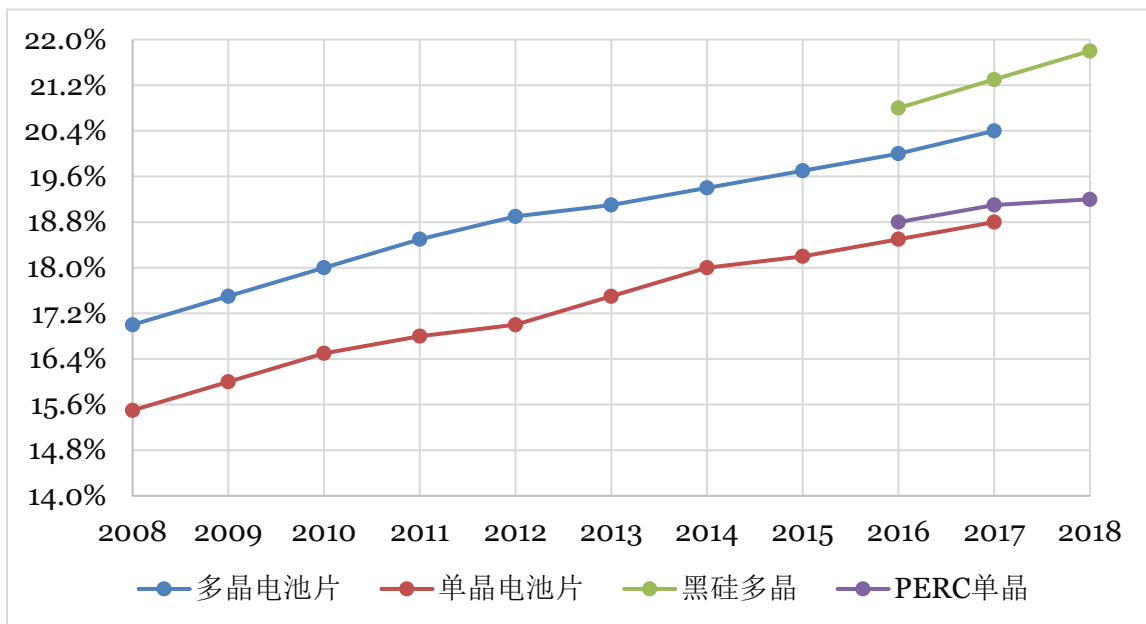
电站投资成本水平和发电能力，一般电站的投资回收期都在 6 年以上。

在长时间运行中，设备运行状况、政策补贴变化、天气资源变化、电站管理水平等都会对光伏资产价值产生影响，增加了电站投资的不确定性。

1.3.4 光伏资产贬值快，投资机会把握难度高

光伏资产成本主要由光伏组件构成，在光伏电站中占比在 50%左右。如前文所述，光伏组件的成本下降速度快，且由于光伏发电技术迭代速度快，因此光伏系统发电效率不断提升，在 2008~2018 年间，单位面积的光伏组件系统发电效率提升超过 46%。

图表 5 中国光伏电池量产转换效率发展趋势（2008~2018）



数据来源：CPIA 中国光伏行业协会

这对光伏资产的估值和投资造成影响，因为光伏资产贬值速度快，因此延期投资可能会降低光伏资产投资额，但也面临补贴下调、优质光资源区域被占用的风险。如何有效评估投资价值，并且选择合适的投资时机，是影响光伏系统投资有效性的重要因素。

1.4 论文结构与主要贡献

本文的研究内容主要是如何对不同光伏电站资产进行价值评估、如何做出有效的光伏电站收购、建设、融资决策。

1.4.1 论文结构

第一章，问题提出及研究意义：简单介绍光伏产业的价值、意义及光伏资产投资优势和挑战，同时说明论文的研究背景、研究意义、研究目的和内容结构

第二章，光伏投资理论综述：结合光伏资产投资特点、实物期权和投资决策方法论，概述期权相关理论、传统的投资决策理论方法，以及光伏资产投资的相关知识。同时介绍实物期权的投资思想和研究现状，提出光伏电站资产投资和实物期权结合的研究方法。

第三章，基于实物期权的光伏电站估值方法分析：研究分析实物期权在光伏电站投资估值中的应用问题。根据光伏项目特点，分析成本法、折现法等传统投资决策方法无法解决光伏投资决策的原因。论述结合实物期权的光伏电站估值方法能对光伏投资项目做出更加合理的估值，进而支持光伏资产投资决策。提出光伏电站的简化实物期权估值方法，通过实际光伏电站数据，建立实证模型，并验证其有效性。

第四章，基于实物期权的光伏电站投资决策流程分析：研究了基于实物期权的光伏电站投资决策流程，结合实际案例分析实物期权决策流程的有效性，

第五章，结论：对本文的研究成果进行总结，同时指出不足和需要改进的地方

1.4.2 论文主要贡献

传统的估值和决策方法难以有效衡量光伏电站投资收益-风险，而实物期权估值方法对投资者来说计算复杂且难以理解。缺乏有效的估值模型和投资决策流程，已经成为公司投资光伏资产的主要障碍。

本论文所研究的光伏电站资产估值方法和投资决策流程，基于光伏资产的长周期、资金密集、可分期、补贴不确定性较高的行业特点，总结影响估值的行业相关因素，并实证分析各因素的重要性，为企业决策提供依据。同时，利用实物期权对光伏项目估值，探索简化方法，能够提升企业对光伏资产估值的准确性和有效性、挖掘光伏及类似资产投资价值，进而通过不同的投资方法来构建最适合自身的新能源资产组合，对提升企业资产价值、实现新能源发展目标都有重要意义。

二、光伏投资理论综述

2.1 资产估值与投资相关理论

金融学的核心是研究如何提升资本和资产间的配置效率，通过跨期金融资产和实物资产之间的动态匹配，实现经济价值最大化。以供需动态平衡而形成的资本和资产价格，是影响配置效率的重要手段，评估资产价值的技术被称为“估值”，在《股权资产估值》(杰拉尔德 E.平托 伊莱恩·亨利 托马斯 R.罗宾逊. 2012. *股权资产估值 Equity Asset Valuation*. 机械工业出版社)中指出：估值是在未来投资回报的潜在相关变量基础上，或在与相似资产比较的基础上，对资产价值的估计，评价资产的价值估值技巧是投资成功一个关键因素，对价值的各种看法构成了分析师选用多种估值模型的基础。而影响价格的重要因素在于其内在价值。对资产投资决策而言，对资产价值的评估（估值）是做出合理投资决策的基础。

现代企业和资产价值评估理论开创于 20 世纪初耶鲁大学教授 Irving Fisher(1906)的资本价值理论。Irving Fisher 强调，资本的价值体现在未来收益能力的总和，即可以由全寿命周期所产生的收益折现为现值，再减去成本所得的净现值来表示。即资本的价值不能仅仅以企业所拥有的资产的本身价值或期内的残值来估量，而应该包含此资本可能带来所有预期收益价值的总和。

在金融资本市场估值中，John Burr Williams(1937)通过研究股票的内在价值模型 DDM(Dividend discount model)，提出了内在价值论，John Burr Williams 认为，股票类金融资产的内在价值可以由未来股票可获得的全部股利折现后的现值之和来表示，即折现

评估模型中的股利折现模型。在短期评估中，此理论未全面考虑金融资本配置需求，以及因买卖双方心理预期带来的股票价格变动，因此难以对股票短期价格波动做出解释。

《股权资产估值》(杰拉尔德 E.平托 伊莱恩·亨利 托马斯 R.罗宾逊. 2012. *股权资产估值 Equity Asset Valuation*. 机械工业出版社)中指出：估值（valuation）是基于对影响未来投资回报相关变量的估计、对相似资产的比较或（在合适的时候）对即将进行的清算程序的估计。对价值的各种看法构成了选用多种估值模型的基础，评价资产的价值估值方法是投资成功一个关键因素。

资产内在价值必然是估值讨论的出发点，但其他价值概念——持续经营价值、清算价值和公允价值也很重要。对特定资产的投资者而言，对资产（包括实物和股权等）内在价值的估计反映了他对资产“真实”或“实际”价值的看法，是所有投融资决策的出发点。

2.1.1 资产估值模型分类与中国资产估值常用方法

企业资产通常有两个价值，一个是被立即解散的价值，另一个是持续经营的价值。企业资产的估值模型一般基于企业持续经营的假设下进行，即以现在价值为基础，同时考虑未来永续经营所产生的现金流价值。

绝对估值模型和相对估值模型是持续经营假设下的两大类估值模型：

绝对估值模型（absolute valuation model）（杰拉尔德 E.平托 伊莱恩·亨利 托马斯 R.罗宾逊. 2012. *股权资产估值 Equity Asset Valuation*. 机械工业出版社）是一种明确指出资产内在价值的模型。使用这种模型是为了得到能与资产市场价格相比较的估计价值。在绝对估值模型中，现值模型是最重要的一类绝对估值模型。在金融理论中，现值模型被认为是最基本的资产估值方法。这类模型的逻辑是：资产对投资者的价值，一定与投资者

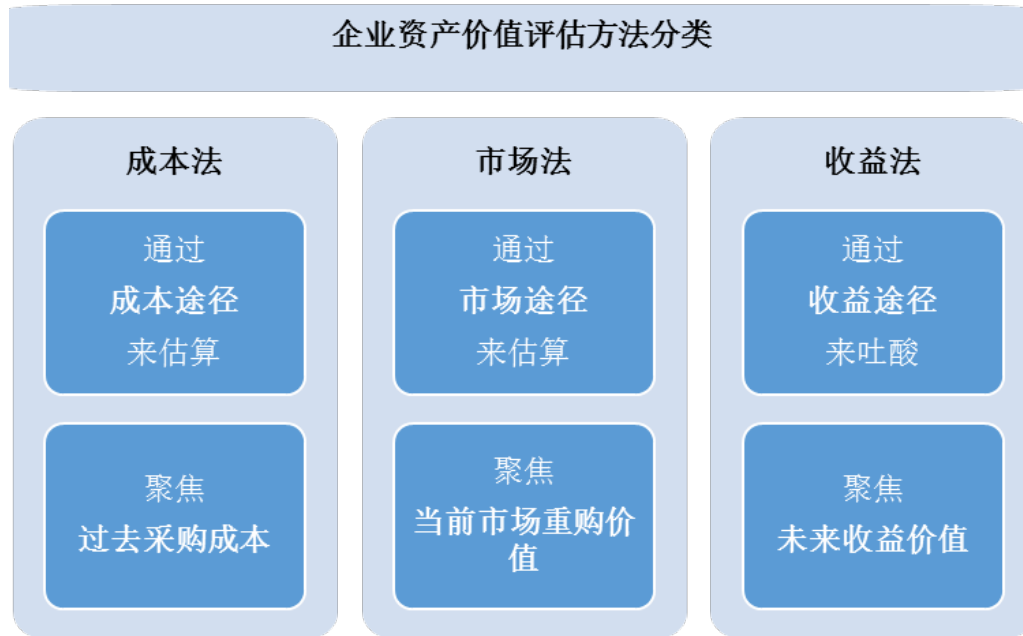
持有该资产的预期回报相关。一般来说，这些回报被称为资产的现金流，而现值模型也被称为现金流折现模型。例如在光伏电站项目中，将光伏电站寿命周期内（可达 25 年）所产生的收入按照一定折现率进行折现，和投资成本进行加总后得到的净现值，就是光伏电站投资估值。另一类绝对估值是资产价值基础法（ABV: asset-based valuation）。这种方法以企业拥有的资产或者控制资源的市场价值为基础对企业估值，这种估值模型常用于自然资源类企业上，不太适合于对投资成本、收益补贴变化很大的光伏电站类项目评估。

相对估值模型（relative valuation model）（杰拉尔德 E.平托 伊莱恩·亨利 托马斯 R.罗宾逊. 2012. *股权资产估值 Equity Asset Valuation*. 机械工业出版社）是评估一种资产相对于其他资产的价值。相对估值的潜在思想是：相似的资产应该以相似的价格出售。相对估值的应用通常涉及价格乘数（资产价格相对于基本指标，如每单位资产现金流的比率）或者企业乘数（资产收益总值减去现金和短期投资，相对于基本指标，如营业利润的比率）。股权估值中最众所周知的价格乘数大概就是市盈率，即股票的市场价格除以企业的每股收益。资产估值中也可以借鉴相应的方法，当在同样的单位资产收益率下，某光伏资产单位相对另一只与它（例如在光伏组件类型和光资源方面）相似的光伏资产以较低的估值出售时，对参照的光伏资产而言，这个光伏资产就是被相对低估了（适合投资买入）。相对估值常常需要一组而不是单个的可比资产，例如一个行业组。相对估值法在股权中的应用经常被称为可比法（method of comparable，或简称 comparable）。

《资产评估学基础》（周友梅 胡晓明 2007. *资产评估学基础*. 上海财经大学出版社）中指出：中国常用资产评估的方法有三种：收益法、成本法和市场法。如果按照模型分类，收益法和成本法属于绝对估值模型；市场法属于相对估值模型。

三种方法所依据的时间特点不同，收益法是基于企业未来收益预期价值进行估值；成本法是基于企业过去积累起来的资源价值进行估值；市场法是基于评估基准项目当前价值和对比企业进行估值。

图表 6 企业资产价值评估方法分类图



1、成本法，将目标资产的重置或者重购价值，抵扣掉从资产的形成、使用至评估基准日这段时间内的损耗，由此得出目标资产的评估价值。成本法是从成本产生和构成的角度对目标资产的价值进行的分析和判断。前文提到绝对估值中的资产价值基础法就是成本法中的一种计算方法。

成本法认为资产的价值仅取决于资产的获得成本，理想条件下，任何一位潜在投资者在决定投资目标资产时，其愿意所能支付的购买价格不应超过该项资产的现行购建成本，因此资产的获得成本越高，或者获得方式越难，对应的资产价值就越大。

成本法基于的基本前提是：被评估资产处于继续使用状态；应当具备可利用的历史成本资料；形成资产价值的耗费是必须的。

2、市场法：是指通过比较被评估资产与最近售出类似资产的异同，并将类似资产的市场价格进行调整，从而确定被评估资产价值的一种资产评估思路。市场法是资产评估中最为直接、最具说服力的评估途径之一，对应前文所提到的相对估值模型。

市场法认为在同一资产市场中，资产或提供服务的效用相同或大致相似时，价格最低者吸引最大需求，即有两个以上互有替代性的商品或服务同时存在时，商品或服务的价格是经过相互影响与比较之后才决定的。具有相同使用价值和质量的物品，具有不同的交换价值或价格，买者会选择价格较低者，并最终使所有具有相似使用价值的资产，最终交易价格相似。

3、收益法，又称收益现值法，是指估算目标资产的寿命周期内所有预期收益，并进行折现计算出现值，将抵扣投资成本后的净现值作为被评估资产价值。前文提到绝对估值中的现值模型属于收益法中的一种计算模型。

收益法将被估资产能够带来的预期收益，以折现率和资本化率作为收益率，反推在一定收益率下能够带来一定量收益的本金数额。基于公开市场假设，任何一个理性投资者愿意支付的投资额，不会高于被投资资产预期未来收益的折现值之和。

收益法基于的基本前提是：被估资产的未来收益能够预测，并可以用货币形式量化；为获取未来收益所承担的风险能够预测，并可以用货币形式量化；被估资产获取未来收益的时间能够预测。用收益法对资产估值通常有较大不确定性，这种不确定性主要集中在收

益法的两个关键数据——现金流和贴现率上，如何估算这两个重要参数，是决定收益法准确与否的核心关键。

收益额、折现率和预期收益期限是收益法估值的三个基本要素。按照不同的组合可以采用不同的计算方法：资产收益有期限且不等额，可以采用复利之和；资产收益无期限且等额，可以采用永续年金；资产收益无期限且不等额，可以采用分段法进行计算。实物期权算法也属于收益法中的一类。因光伏电站类资产以发电收益为主要目标，且发电收益预期可衡量，因此本论文将以收益法为主要方法对光伏电站进行估值。

2.1.2 资产估值方法选择原则及主要步骤

资产估值方法的选择对最终资产评估的有效性至关重要，也影响到企业最终投融资决策的质量。不同资产估值方法有差异性，而资产估值的步骤则有共性。

1、资产估值方法选择原则：资产估值所面临的情况千变万化，资产类别、估值目的、数据可得性及准确性都有所不同，面对不同的资产评估情况，《股权资产估值》(杰拉尔德 E.平托 伊莱恩·亨利 托马斯 R.罗宾逊, 2012. *股权资产估值 Equity Asset Valuation*. 机械工业出版社)中指出，资产估值方法的选择有三大准则：

(1) 与被估值的资产特征一致；例如资源类资产，比较适用于基于过去价值的成本法进行估值。而光伏电站等，能够通过经营产生价值的实物生产类资产，则比较适用于基于未来价值的收益法来进行估值。

(2) 与估算所需数据的可得性和质量相适；例如股权类资产，因为难以对未来收益做准确预期，选择合适的贴现率也比较困难，因此可以选择采用基于基准价格比较的市场

法进行分析和估值。实物类资产则依成本、收益数据、参考项目不同而不同，可以采用最适合的估值方法。

(3) 与估值的目的一致。考虑估值的准确性和估值的效率选择相应的计算方法，例如基于资源采购的资产估值和寻求生产增值的项目资产估值方法肯定不同，前者更适于成本法，而后者更加适于收益法。光伏电站的主要目标是寻求生产增值，适用于收益法。

2、资产估值主要过程有五步：从了解资产背景、环境开始，通过对业绩等资产估值变量进行收集和预测，选择合适的估值方法，对资产进行估值计算，然后验证后应用。

(1) 了解公司业务。了解行业、了解风险状况，收集财务报表和其他公司公告分析，为预测公司业绩提供基础。相似的经济和技术因素往往会影响一个行业里的所有企业，所以行业等背景知识有助于理解资产所在市场的特征和经济状况，比如光伏类资产的人力成本和设备运维费用是光伏电站运行最大的两项费用。利用这些知识，资产评估就可以更好的预测风险和未来的现金流，还可以运用敏感性分析来决定不同的运维管理水平如何影响估值。

(2) 预测资产盈利或公司业绩。预测销售、盈利、股利和财务状况，为大多数的估值模型提供数据。这可以从两个方向进行：从资产经营所处的经济环境自上而下进行，从企业户或资产自身的经营、财务特征从下而上进行。自上而下预测是从大的经济环境开始，到行业环境，然后对单个企业和资产预测。自下而上是用一些特定假设将微观层面的预测综合为更大范围的预测。光伏电站类项目预测需要结合两种方法：自上而下对电站投资成本、补贴收益进行预测；同时，自下而上对发电收益、运营成本进行估算。

(3) 选择合适的估值模型或方法。考虑到公司的特点和估值的背景，某些估值模型可能比其他模型更合适对某类资产进行估值，可以参考前文提及的资产估值选择原则。估值模型还需要考虑便捷性和实用性，本论文将从实际项目出发，提出光伏电站估值的简化数学模型。

(4) 将预测转化为估值。如《股权资产估值》(杰拉尔德 E.平托 伊莱恩·亨利 托马斯 R.罗宾逊. 2012. *股权资产估值 Equity Asset Valuation*. 机械工业出版社)中指出：估值不是仅仅简单计算模型的结果，而是需要运用判断，将预测转化为估值，需要考虑敏感性分析和情景调整。

估值判断的技巧包括采用何种输入变量、赋予何种权重、对结果如何进行判断、如何利用敏感性分析和情景分析来挖掘资产更大价值以进行投资决策。其中敏感性分析是确定某输入变量变化，会如何影响输出值变化的一种分析。敏感性分析可以用来检测各种输入变量的变化会如何影响估计的价值，从而发现影响输出因素的关键因素、输入变量和输出变量之间的影响机制。很多敏感性分析的结果和使用的背景相关，需要利用情景调整，来分析一些特殊情况敏感性的影响，最终评估对资产估值的影响。

和一般金融类资产不同，对光伏电站类实物资产而言，敏感性分析和情景调整同时有利于发现资产的潜在价值，利用调整投资周期、设备智能化等因素，来提升电站发电收益等结果，最终提升实物资产的投资价值。

(5) 应用估值分析的结论，做出投资建议和总结。估值结论可以用来为某类资产提供投资建议，为交易价格提供意见或对项目潜在战略投资的经济利益进行评价。在投资决策中，一份有效的估值报告应该包含实时的信息；客观，经过认真研究，并清楚地说明关

键假设；明确区分事实和观点；为评价估值提供足够的信息；说明投资该项目的主要风险因素。

2.2 期权理论及实物期权投资决策方法

期权代表选择权的价值，是金融资源错期配置的重要手段之一。现代金融和资产市场中，期权作为一种金融衍生品工具已经得到广泛运用，在金融资产价格发现和风险管理上有着不可或缺的作用。

期权交易的历史可以追溯到公元以前，期权交易最早的雏形就是订金交易，而期权交易最大的特点是期权买方拥有权利而非义务的选择权，这样能有效降低交易标的未来价格波动带来的影响。17世纪30年代末，荷兰的批发商已经懂得利用期权管理郁金香交易的风险了。1973年成立的芝加哥期权交易所（CBOE）允许投资者买卖个股的期权，拉开了大规模现代期权交易的序幕。

2.2.1 期权理论概述

最早的期权诞生于人们为了锁定经济利益或财务收入而采用的工具，后来随着证券交易衍生品而流行起来。

Michael S. Williams 在《Fundamentals of the Options Market》（Michael Williams, Amy Hoffman. 2001. *Fundamentals of Options Market*. McGraw-Hill Education）中指出：期权从本质上是一种合约，是一种赋予其拥有者权利，在某种条件下买入或者卖出一定数量股票或资产的合约。作为一名期权投资者，你可以通过买入或卖出这种权利（合约）来间接地买卖股票或资产。但这种操作不等同于事实上的买卖股票或资产，而是通过

买卖期权来分享或拥有资产价格市场中变动而产生的利润，或者资产在未来所产生的可能性机会价值，也可以用来锁定资产价格来避免波动造成的损失。

期权的关键思想主要包含五方面的内容：

1、期权权利：期权投资者拥有在有利条件下选择行使权利获得价值的权利，在不利条件下可选择放弃权利，只损失购买期权的投资成本。

2、期权收益：期权投资者在有利条件下，可以通过行使权利来获得差价利益。

3、期权波动：期权所附着的标的证券或资产的不确定性（波动性）越大，期权可能产生的升值空间越大，因而期权的价值越高，这一点不同于传统风险厌恶型资产投资。

4、期权价值：当证券价格或资产机会变化时，期权价值也会发生变化。期权的价值分为两个部分，分别是内涵价值和时间价值，期权的内涵价值是由期权的执行价格和标的证券、资产当前的实际价格之差决定的；期权的时间价值是指期权的投资者为购买期权而支付的权利金超过期权内在价值的那部分价值。从期权角度来看，剩余时间越长、价格波动越大、期权时间价值越高。

5、期权定价：期权定价是通过标的证券或实物资产动态反映的，期权投资者可以通过标的资产和无风险资产动态的复制组合来对冲不确定性，从而获得对资产或实物期权价格的估算。

2.2.2 期权估值（定价）及实物期权理论研究

1、期权估值理论研究

最早在 1900 年，巴舍利耶(Bachelier)的博士论文“论关于投机的数学理论(On the Theory of Speculation)"中，首次运用随机过程理论中的布朗运动等工具来描述证券价格在

连续时间域上的运动变化，在论文中首次提到期权的定价问题。在此后，列维(Levy H.)和维纳(Weiner N.)等数学家共同开创和拓展了处理随机变量之间变化规律的一系列随机微积分基本定理，为期权估值奠定了数学基础，使得随机过程逐渐成为金融学的基本工具。

斯普里克尔(Sprengle)在 1961 年，修正了巴舍利耶(Bachelier)对股票价格运动假设的不合理因素，假设股票价格服从几何布朗运动，从而既考虑了货币的时间价值，又避免股票价格可能为负的理论问题。伯恩斯(Boness)于 1964 年，在假设股票价格服从几何布朗运动的前提下推出了欧式看涨期权的定价公式，但由于公式中含有资产价格和期权价格在到期时间的期望收益率，而这依赖于投资者的个人偏好，难以进行实际应用。萨缪尔森(Samuelson)和麦基恩(McKean)在 1965 年推导出了支付红利的永续美式看涨期权定价公式，但在公式中仍含有带有投资者个人偏好的期望收益率，因为实际应用有效性不高。

在之前各种研究成果基础上，布莱克(Black)和斯科尔斯(Scholes)在 1973 年，通过引入无套利的思想，发现了欧式期权的解析表达式。“布莱克-斯科尔斯”期权定价理论最大程度避免了期权估值中主观因素的影响，适用于金融以及非金融或实物投资规划估值及具备灵活性的实物资产并购估值，成为期权定价模型的经典。

2、实物期权理论研究

实物期权是指标的为实物资产的期权。和传统金融期权不同，实物期权的标的能够产生价值，且流动性较差，因此尽管其理论基础和传统金融期权理论基础相似，但其估算方式和传统金融期权不同。相对实物期权价值而言，金融期权价值比较容易评估，因为它们被明确界定，并且容易获得历史价格信息。实物期权的估算更加困难，一方面实物期权的未来价值是由技术、管理和市场因素共同影响的，而这些因素本身也受管理者的影

响。另一方面，许多实物期权根本就不存在交易，它们的价值在本质上是受特定业务的投资决策和竞争对手的限制和影响，实物期权的交易可能会产生巨大的交易成本。

麻省理工大学的梅耶斯(Myers)教授于 1977 年首次提出实物期权 (Real Option)的概念，他提出金融期权和管理柔性有许多共通之处，因而应该把投资机会看作“成长期权 (Growth Options)”。 Myers 认为“实物期权”价值，就是实物资产的投资者在未来的整个投资过程中所获得的一种选择权价值。这种选择权为决策者提供了一种主动性，一种根据拥有的新信息进行判断分析，进而产生相应决策以获取更多价值的权利，从而使决策者通过投资，拥有了管理的灵活性。期权概念有些类似于围棋中“势”的概念，通过某些看起来和短期搏杀无关的“落子”，来为未来获得更多的“实地”占据或积累优势，从而取得“先手”胜势，好的棋手能够量化每一个落子带来的成本和收益以及相应的概率，通过最大化价值，最终获取胜利。

在实物期权概念提出后，莫顿(Merton)于 1973 年，考克斯(Cox)于 1976 年，分别对“布莱克-斯科尔斯” (Black Scholes) 模型进行了修正、发展和推广。 Merton 认为，实物期权可以按传统金融期权定价模型进行估价，在完善市场条件下，实物资产如果与作为动态组合的可交易证券风险特征完全相同，就可以通过复制组合来对实物期权进行估值定价，这样实物期权定价难题就有了解决办法。

考克斯(Cox)和洛斯(Ross)等 在 1979 年相继提出了二叉树定价方法，又称二项分布期权定价模型。Cox(1985) 等人经过研究认为，无论能否交易，任何资产的跨期所有权，在存在系统风险情况下，可通过使用确定等价率代替实际的增长率的方法进行定价。

麦唐纳德(Ma Donald)和西格尔(Siegel) 在 19 世纪 90 年代创新开发了一个连续时间模型。他们经过研究发现，传统简单的净现值投资规则在实物期权上是不正确的，项目价值至少要超过投资预算成本的某个值才能够进行投资；同时先前的实物期权模型并不完整，没有考虑到放弃期权价值及企业发展阶段机遇等问题。

科普兰德(Copeland) 和 安迪卡洛夫(Antikarov)在 2003 提出实物期权可以用于推迟、扩大、缩小、放弃实物投资。投资是可以推迟或后期扩大投资规模的，比如在制药工厂和矿资源投资中，投资产生的价值代表权利，而非根据市场价格波动进行大规模、商业化生产的义务。类似实物期权价值判断同样适用于新能源等行业的投资分析。

2.2.3 新能源资产估值理论研究

随着科技进步和经济发展，以新能源为代表高新技术产业兴起，因其收益的不确定性和战略性，从而使传统资产评估和决策方法出现局限性，在面对市场风险的不确定性、战略投资的前瞻性、无形资产的增长、以及未来的投资发展灵活性等方面，无法将实物资产产生的机会价值体现在估值中，因此往往会对此类企业或资产的价值产生低估，从而错失投资机会。实物期权理论，能够通过识别选择权溢价（期权价值），为这些资产的全面评估提供解决方案，因此逐渐被关注并获得越来越广泛的应用。

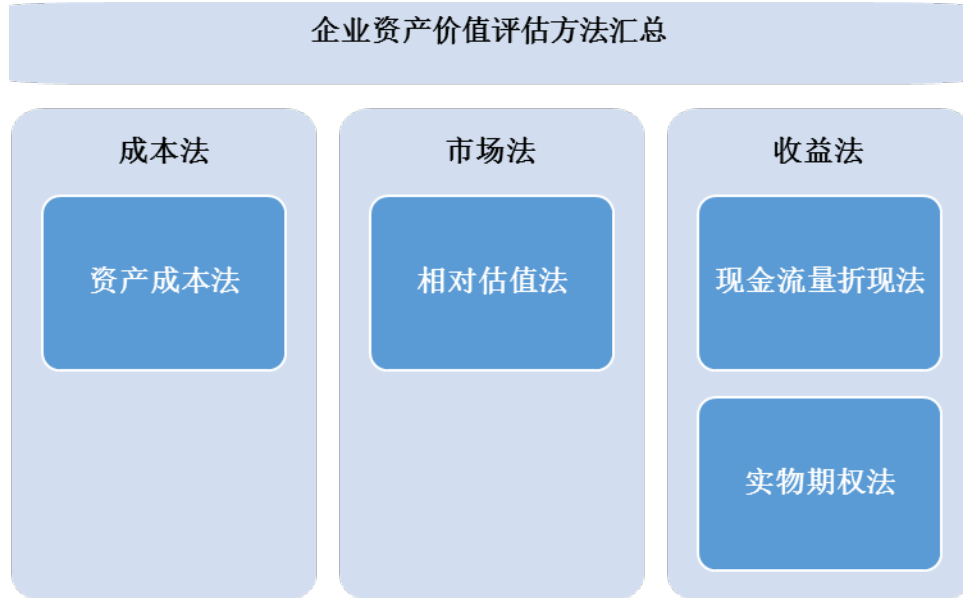
1、新能源资产不同估值方法对比研究

以光伏为代表的新能源产业，具有高投入、高不确定性、收益期长等特点，而且初期投资往往较大，现金流量为负，难以找到合适的对标资产。

（1）光伏电站评估方法列举：

如前文所述，中国资产评估常用方法有三类，分别是收益法、成本法和市场法。将收益法分解为传统的现金流量折现法和实物期权方法，可以看到当前光伏电站资产价值评估主要方法有四种，包含于以上三种方法之中，分别是：

图表 7 企业资产价值评估方法细分汇总



以上四种估值方法特点可以概括如下：

<1>资产成本法：以“替代原则”为基础，将当前重新构建目标企业所需要的成本作为估值参考标准，进而确定被投资资产的价值。

<2>相对估值法：通过把被投资资产或企业与行业内相似资产或企业（对标）进行对比分析，从而评估出被投资资产或企业的价值。

<3>现金流量折现法（DCF）：通过对被投资资产或企业每一期的自由现金流进行折现，并加总来计算被投资资产或企业的价值。假设项目投资期内和投资期结束的隔年现金流量为： $C_0 \sim C_t$ ，投资机会成本折现率为 r ，则计算项目现值的公式为： $NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$

<4>实物期权法（ROA, Real Option Approach）：利用期权定价模型，对实物等资产的投资价值进行估值。评估价值中既包含投资方案产生的现金流、也包含对未来投资机会的选择权价值。相比现金流量折现法，这种方法能更加全面分析实物资产价值。

如前文所述，在选择合适的估值方法时，需要参考估值方法选择三个准则：资产特征一致、数据可得性优、和估值目的一致。参考三个准则，从评估目标、优缺点和主要应用方法，对以上四种评估方法对比如下：

图表 8 不同企业资产价值评估方法对比

不同企业资产价值评估方法对比				
	现金流量折现	资产成本法	相对估值法	实物期权法
估值假设及原则	运营及现金流持续稳定原则	替代原则	市场有效原则	期权原则
优点	考虑并反映企业创造的价值，适应确定性环境	操作便捷，估值依据可靠且容易获得	计算简便，估值依据直观且容易获得	估计全面，考虑当前和未来机会收益，适应不确定环境
缺点	评估标准及假设主观性强，灵活性不足	缺乏对资产收益价值的考量，难以评估未来收益及无形资产	较难找到参考的对标公司，对标估值波动影响大	估值模型计算复杂，应用条件要求较高
主要应用	常用于一般持续收益类资产评估	常用于破产清算资产评估	常用于企业股票、债券价值评估	用于实物资产投资决策分析及价值评估

在《Capital Investment and Valuation》(Richard A Brealey, Stewart C Myers. 2002 *Capital Investment and Valuation*. McGraw-Hill) 中提及，对一般资产或证券的投资决策而言，以 DCF 现金流量折现法为基础的净现值估值方法优于其他准则，这也是当前最主要的投资估值方法。而对光伏电站项目，资金成本法无法反应项目未来的盈利能力、相对估值法难以找到合适的对标资产，因此都不适合作为光伏电站的估值方法。

但在光伏电站实际应用中，从对比表可以看出，DCF 现金流量折现方法存在以下缺陷：项目管理被动、决策缺乏弹性，容易低估项目后续价值、认为投资是可逆的、难以估测未来现金流，难以确定项目折现率、将不确定性视为资产减值的消极因素等。而且 DCF 现金流量项目往往被孤立进行分析，对企业长期发展和战略优势等考虑不足。因此 DCF 方法适用于各项技术经济指标稳定、技术简单可靠、有过成功经验的类似项目。但对于光伏电站这种时间跨度长、投资额大、不确定性强、投资可逆性差的项目来说，现金流量折现法不是最理想的。

光伏电站资产具有投资决策灵活、资产不确定性高、投资市场长等特点，采用实物期权分析法将更加合适。实物期权在对目标项目进行价值评估时，不仅需要考虑目标项目直接带来的现金流量，还要考虑目标项目可以提供灵活性和提供有用信息的可能性，而后者能够创造出一些新的投资机会。例如投资光伏电站决策中，管理者可根据未来市场上光伏设备、光伏电价的变动，灵活选择不同类型光伏电站满足需求；同时，由于光伏电站标准化、可拆分，这就给予了投资者的决策灵活性，充分利用项目执行期间可能出现的新机遇和灵活性，发现新的价值。例如，实物期权理论中包含 4 种主要实物期权形式，可以对应光伏电站资产中不同的投资决策方向：当期光伏项目投资成功后的追加投资的期权；放弃光伏项目的期权；光伏项目投资前等待的期权；升级光伏发电系统或工艺的期权。

相比于现金流量折现法，实物期权法考虑了不确定性，更能发挥光伏电站资产投资的灵活性，能够帮助决策者发现新的价值点，创造特定的战略期权，他们的决策可以增加项目的实物期权价值，从而提升光伏电站投资决策的有效性，最大限度地降低各种风险，获得理想收益。

2、实物期权估值法的应用

投资一项实物资产项目后，在企业内可产生着两种不同的资产价值：一是实物资产，其市场价值独立于企业的投资战略，不会产生选择权溢价；二是实物期权，实物期权是在合适时机利用实物资产选择权以获益的权利，其产生的价值源于拥有实物资产所带来的选择权权利。

以光伏电站投资项目举例：当企业决定评估一个光伏电站投资项目时，由于市场情况不明朗，决策者可通过实物期权的思考来掌握投资的时机，可按照项目阶段划分如下：

在项目起始阶段：决策者有权选择是否立即投资，还是等待市场明朗后延迟至合适时机投资，这就是延迟期权；

在项目启动后：决策者发现光伏市场不景气，投资的电站项目有很大概率达不到预期的投资目标，此时决策者可以选择减少投资或暂时停止投资，从而避免损失靠扩大，此为改变规模经营期权；

在项目运营进行中，决策者如发现光伏市场状况良好，成本下降且收益稳定，此时决策者可以利用前期获得并网条件、土地资源和管理经验，来扩大投资规模扩建电站，此为扩展期权，是光伏电站实物期权价值中最重要的组成部分；

在项目末期或光伏市场状况持续恶化，例如限电、电价下降等，此时再保持投资可能带来巨大损失，此时决策者可选择放弃投资，此为放弃期权。

以上这些这种存在于实物资产中，具有未来以选择灵活性来获益的权利，即为实物期权。对光伏电站类资产投资而言，实物期权相当于一个不可逆的投资机会，类似于金融看涨期权，由此可以借助金融期权的方式对于不可逆投资机会进行价值影响因素分析：光伏

电站项目内在价值，源于电站发电所产生的现金流的净现值；当前光伏电站的投资成本可以视为以预先设定的执行价格购买了一种价值不确定的资产；光伏电站投资引起的沉没成本可视为金融期权的执行价格；该光伏电站投资行为可视为是期权的执行。

虽然实物具有难以交易且能够持续产生价值的特点，不同于传统金融产品，但实物期权的基本思想正是在于以期权的思维来考虑投资问题，即：在面临不确定性市场条件的实物投资中，何时投资、怎样投资、投资多少？这些都是可以选择的，并且这些选择权利都是有价值的，实物期权价值体现的就是投资灵活性的价值，由此产生的期权溢价正是实物投资决策的机会成本。

从实物期权的角度来看，投资决策时除考虑直接成本外，还应考虑机会成本。针对光伏电站类项目的传统净现值法因此可以改进为：

光伏电站资产估值=光伏电站净现值+光伏电站实物期权价值。

实物期权的核心在于做出正确的投资决策。因此实物期权的价值在于通过对不确定性结果进行规范化思考，减少因为疏忽不确定性所带来的投资过失，并通过有效管理不确定性来创造价值。利用实物期权支持投资决策的价值体现在两个方面：一是实物期权的思维方式突破了依靠传统净现值等方法为投资项目估值的限制条件，增加了投资决策形成过程中的备选方案；二是实物期权的技术分析可以将战略远见转化为战术性投资决策。

应用实物期权对光伏资产估值的目的在于正确定价，而是在于如何做出正确的投资决策，因此主要精力应放在利用实物期权方法分析在光伏电站投资过程中哪些不确定性因素将对投资决策做出影响、影响程度如何、以及如何利用这些不确定性因素做出利益最大化的投资决策，同时可以通过分析影响因素的敏感度，来提升实物资产价值。

3、新能源资产实物期权估值的国际实践及研究

维尼特诺斯(Venetsanos)在 2002 年提出：运用实物期权模型评估风电投资项目价值，在能源市场存在不确定竞争因素的情况下评估风电的盈利能力，指出投资项目的不确定参数包括化石燃料价格，环境法规，市场结构，供给，技术和需求。

戴维斯(Davis)和欧文斯(Owens)在 2003 运用实物期权法评估在面对化石燃料价格不确定的情况下评估了可再生能源（风力发电）的期权价值。普利普切安(Prelipcean)和博斯克阿奴(Boscoianu)在 2008 年提出了一个综合框架来评估能源投资决策。他们的框架包含了实物期权理论和人工神经网络技术，利用二者结合来实现能源投资决策流程优化。

国际针对新能源资产的实物期权研究都发现：影响可再生能源发展的因素有很多，包括投资建设成本，可再生能源电价补贴，对可再生能源的需求等等。这些研究进一步表明实物期权估价模型适用于评价可再生能源技术项目的投资价值。

因为光伏补贴、光伏发电量和光伏电站建设成本的不确定性，光伏电站往往是在不确定性下进行估值计算。原有的净现值分析法是基于持续稳定现金流对资产价值的分析，无法满足光伏电站价值评估的需求；实物期权方法能实现对光伏电站价值全面、有效的分析，但分析计算过程复杂、缺乏标准化模型。本论文所提出的改进型实物期权价值评估模型，在基于实物期权方法上，对其进行简化，实现对光伏电站类资产价值全面、便捷的分析，为光伏电站投资提供依据。

三、基于实物期权的光伏电站资产估值方法分析

3.1 光伏电站资产价值影响因素分析

光伏电站资产价值影响因素众多，相互间又互相联系，比如建设周期不仅会影响到投
运时间，还会影响到建设成本经济及电价水平。

3.1.1 光伏电站资产定价影响因素分类

按光伏电站建设中影响因素的来源，可以将影响因素按照形成原因分为三类：收入类
影响因素、成本类影响因素以及背景类影响因素。收入类影响因素主要影响电站资产的收
益；成本类影响因素主要影响电站资产的投资及运营成本；背景类影响因素则会对成本及
收入同时产生影响，但不直接作用于收入和成本。

依照实际项目中调研分析，按上述三类将各主要光伏电站估值影响因素列举如下：

1、收入类影响因素：

(1) 单位电价：光伏电站每 kWh 售电电价水平，受燃煤电价水平及光伏补贴政策影
响；

(2) 年发电小时数：受光伏电站光照条件及运营水平影响；

(3) 电价结构：售电电价中补贴所包含比例；

(4) 其他优惠政策：在税收、贷款等方面的优惠政策；

(5) 电站其他收益：电站通过农业、渔业、林业等获得收益；

(6) 电站残值：运营周期结束后，电站剩余价值。

2、成本类影响因素：

(1) 单位投资成本：光伏电站每 kW 容量建设投资金额，受光伏技术进步水平、电站设备质量、应用类型影响；

(2) 单位资金成本：光伏电站每 kW 容量筹集、占用投资资金所花费的成本，包含利息、资金机会成本、资金结构等，受电站贷款金额、利息水平影响；

(3) 单位运营成本：光伏电站每 kW 容量日常运营、管理及维护成本，受电站设备质量、运营方式影响；

(4) 电站故障率：受电站建设及运营水平影响；

(5) 路条成本：光伏电站建设许可证/并网配额获得成本；

3、背景类影响因素：

(1) 电站规模：光伏电站建设规模，一般为最大发电容量 GW，会影响电站整体投资及成本；

(2) 弃光率：在电站能够发电时，电网放弃收购光伏发电的时间百分比，影响年发电小时数；

(3) 电站企业类别：可分为大型央企、地方国企、民企、外企等，会影响电站资金成本、路条成本、弃光率；

(4) 电站类型：包括集中式、分布式、农业光伏、领跑者等类型、会影响路条成本、弃光率、补贴金额；

(5) 电站设备质量及技术水平：会影响电站投资成本、电站故障率；

(6) 其他背景因素：

<1>电站运行时间：电站已运行时间，随设备老化，会影响电站年发电小时数；

<2>电站商业模式：会影响电站资金成本、运营成本；

<3>气候环境：灰尘、潮湿、盐雾等自然环境，会影响年发电小时数及运营成本；

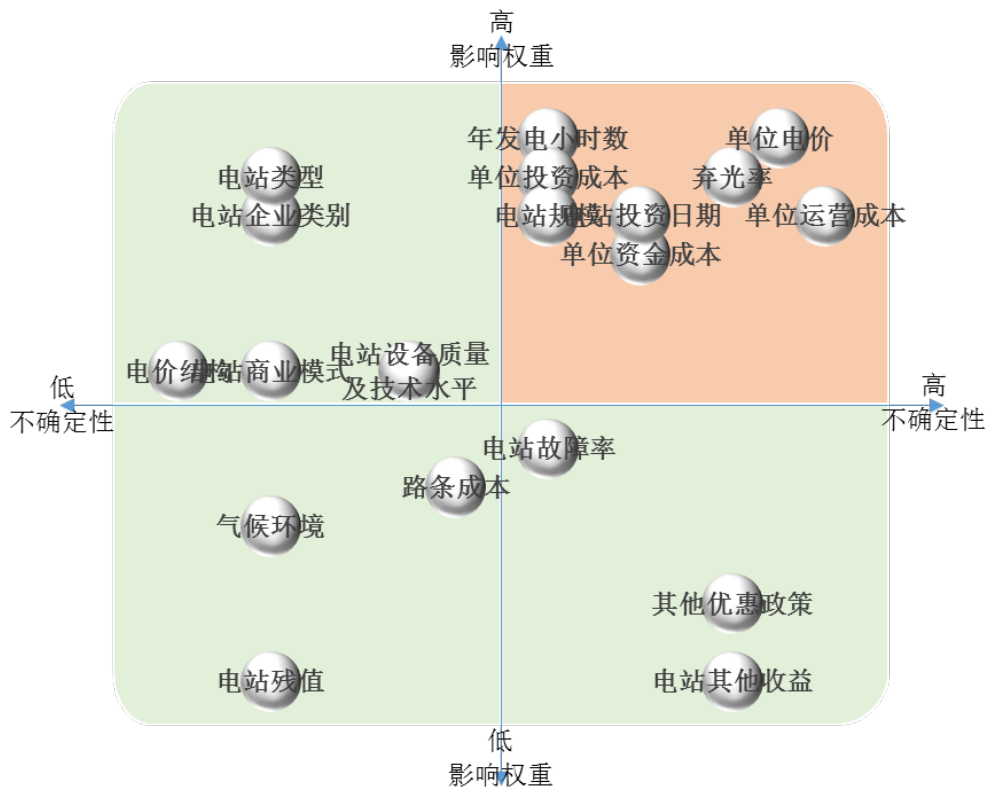
参考实际项目中调研及估值经验，上述三大类影响因素变化对光伏最终估值影响程度不同：收入类因素变化影响程度最大，其次为成本类，再次为背景类因素。后续分析中参考实际经验赋予各因素不同影响权重。

3.1.2 定价影响因素筛选及量化

光伏电站各影响因素具有不同的不确定性，可以按照光伏电站运行经验将不确定性程度将影响因素分为三类：高风险、中风险和低风险。

按照影响权重和不确定性，绘出光伏电站影响因素表如下：

图表 9 光伏电站估值影响因素分析（基于 SN 公司评估）



通过对光伏电站估值影响因素分析表，可以识别出位于右上角的重点因素，即影响权重高、变化不确定性大的重要影响因素主要有 8 个，考虑到“年发电小时数”中可以体现出“弃光率”的影响，因此可以将因素合并为 7 个主要因素，分别为：年发电小时数、单位投资成本、电站投资日期、单位资金成本、弃光率、单位电价、单位运营成本以及电站规模（容量）。这些因素涵盖收益、成本及背景 3 大类因素，可以作为光伏电站估值分析依据。

在实物期权的四种价值中，光伏电站实物期权主要来自延期投资带来的收益，因此对光伏电站的估值可以采用如下公式进行计算：

光伏电站投资价值=净现值+实物看涨期权

因为影响因素较多且数量级各不相同，下一步需要将各非量化的因素进行量化和标准化，使其能够应用于模型之中，对各个电站的投资价值进行计算。

$$(1) \text{ 光伏电站净现值 } S1 = \sum_1^t \{F \times D \times G - (C + Y + Z) \times G\} \div (1 + r)^t$$

其中：F：年发电小时数；D：单位电价；G：电站容量；C：年单位投资成本；

Z：年单位资金成本；Y：年单位运营成本；t：电站运营年数；r：折现率

为了统一标准化，结合实际项目经验和计算标准需要，将光伏电站投资统一取 6 年为标准，折现率 r 结合实际经验取 20%。

$$(2) \text{ 光伏电站执行价格 } X = \text{投资成本} = C \times G$$

$$(3) \text{ 期限 } T - t = 3 \text{ 年}$$

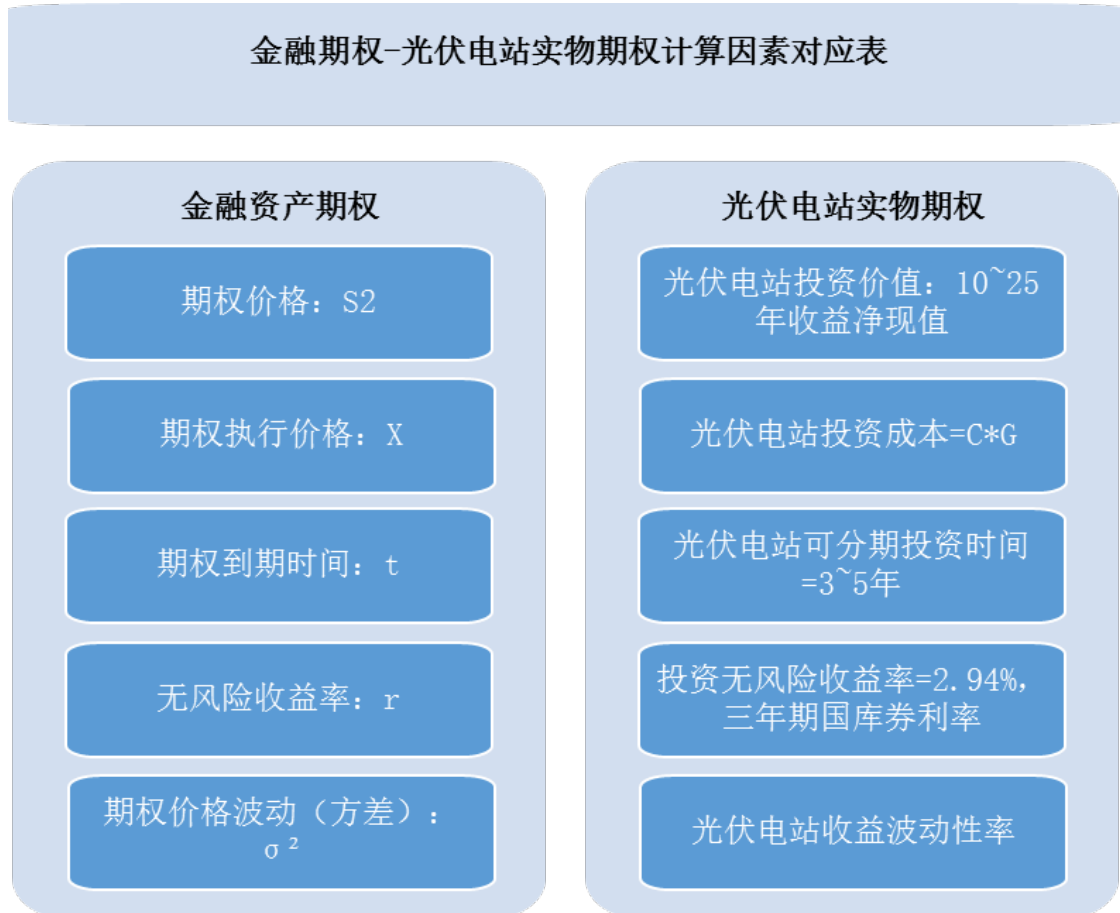
$$(4) \text{ 光伏电站投资风险 } \sigma = \text{光伏电站收益波动率标准差} = (F \times D) \text{ 标准差}$$

光伏电站价值的波动主要受光伏电站收益波动率影响，因此利用收益波动率来估算电站价值波动率方向一致，且计算更为高效。结合实际项目经验，一般取估计值为 $\sigma=35\%$ 。

(5) 无风险利率 r =三年期国库券利率

对这些因素进行分析可以看出，光伏估值的主要影响因素和实物期权中的看涨期权计算要素可以一一对应，总结表格如下：

图表 10 金融期权-光伏电站实物期权计算因素对应表



基于以上分析，我们完成了对光伏电站投资估值影响因素的评价和筛选，下一步将以此为依据，利用实物期权+净现值方法，对光伏电站价值进行评估。

3.2 实物期权法在光伏电站估值中的应用方法

实物期权价值体现的是投资灵活性的价值。在实物期权的四种价值中，光伏电站实物期权价值主要来自项目延期可能性带来的收益（**Option to delay investment**），即光伏电站投资决策者可以在市场未明朗的时期拥有推迟投资的权力，暂缓大规模投资，以小规模投资来试探市场的反应并降低公司筹资的压力，同时，通过小规模投资占有优质的光照和并网资源，能够为未来可能扩展的光伏投资打下基础。在延迟投资过程中，公司可以进一步获得明朗的市场信息，改进自己最初的投资方案，根据市场情况和自身资金和技术实力来决定何时实施光伏电站扩展投资计划。

3.2.1 实物期权计算方法分析

实物期权定价的基本思想是通过其与金融期权的对称关系，在金融市场上找到相应的孪生证券，通过对孪生证券的价值评估，来模拟计算实物期权价格。光伏电站实物期权估值采用类似的方法，分析如下：

1、常用实物期权估值方法包括以下 3 类：

（1）微分法（解析模型法）：通过数学运算求出期权价值，在边界条件限制下，建立一条偏微分方程式。偏微分方程与边界条件解析法中最为人知的便是“布莱克-斯科尔斯”（“布莱克-斯科尔斯”）欧式期权定价模型，此定价模型在实物期权计算中得到广泛应用。

（2）动态规划法（数值分析法）：使用数值方法求得期权价值，推算出期权到期日标的资产的可能价值并推导出未来最优决策的价值。它首先列出了基础资产在期权生命周期

内可能出现的价格，在多种情况或路径下，最终形成了相关的价值，最后需要把这个价值折现后进行评价。二叉树期权定价模型是采用动态规划方法的一个典型期权方法。

(3) 模拟法：通过大量模拟的方法求期权价值，列出标的资产价格从当前价格到期权最终决策日之间有多种可能的变化路径。最常用的是蒙特卡罗模拟方法，通过在每个路径的末端做出最优投资决策并计算出支付状况。

相对而言，微分法（解析模型法）因为可以通过建立模型来实现批量化计算，方便通过计算机来提升计算效率并提高精确度，在实物期权中应用广泛，其中“布莱克-斯科尔斯”是首选模型，它使用起来较为简便且计算精确。

Black 和 **Scholes** 在推导“布莱克-斯科尔斯”模型时，做了以下 9 项基本假设：

风险利率恒定 r 为常数；

资产价格 S 是连续的；

波动服从对数正态分布；

价格变化遵循几何布朗运动；

欧式期权（到期前不可交易），只能在在期权到期日当天才能行使权利；

没有交易费用或税收；

所有证券都是高度可分的；

不存在套利机会；

没有卖空限制。

在上述假设前提下，**Black** 和 **Scholes** 得到了描述期权价格变化的随机偏微分方程--“布莱克-斯科尔斯”方程：

Δ 一对冲对于给定的期权 V ，在相反方向交易 Δ 份额的标的资产 S ，使得构成的投资组合

合 Π ：

$$\Pi = V - \Delta S$$

是无风险的，这称为 Δ 一对冲。

设 $V = V(S, t)$ 是期权价格，利用 Δ 一对冲技巧，可以得到期权定价的数学方程：

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS \frac{\partial V}{\partial S} - rV = 0$$

这就是刻画期权价格变化的偏微分方程——“布莱克-斯科尔斯”(布莱克-斯科尔斯)方程。它描述了期权价格变化遵从的规律，在现代金融理论中占有重要位置。方程的解 $V = V(S, t)$ 即是所求的期权价格。但是这一有很多解，而不是只有唯一的解。只有在给定某一边界条件(Boundary Conditions)下，才有唯一的解。

用 $C(S, t)$ 表示欧式看涨期权的价值，执行价格为 X ，到期日为 T 。若给定边界条件为：

$$C(S, T) = \max(S_T - X, 0)$$

可以得到欧式看涨期权的“布莱克-斯科尔斯”定价公式：

$$C(S, t) = S[N(d_1)] - Xe^{-rt}[N(d_2)], \text{ 其中, } d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}}, d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

$$N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}y^2} dy$$

$N(x)$ 是均值为 0，方差为 1 的标准正态分布变量的累积概率分布函数。

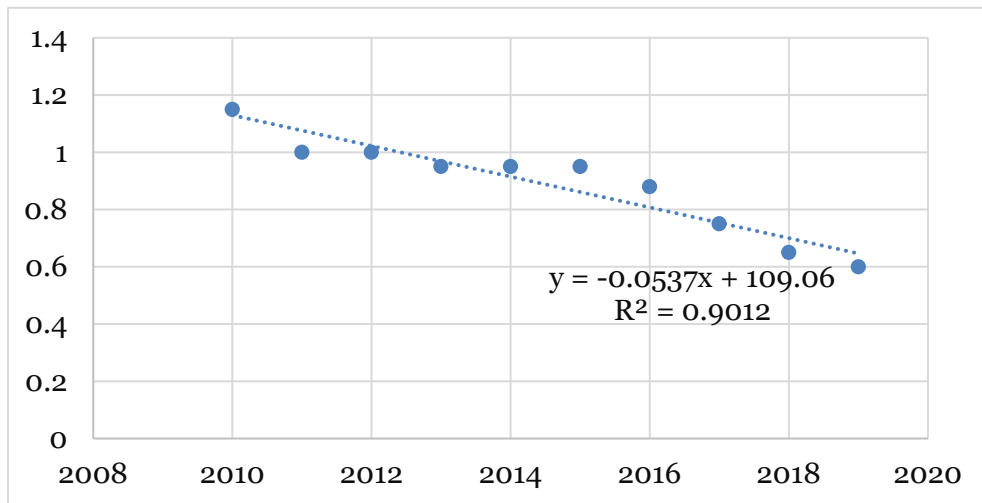
2、光伏电站实物期权计算方法

通过”布莱克-斯科尔斯”计算模型，我们可以清晰地看出影响光伏电站实物期权价值的关键因素，包括：光伏电站现值、光伏电站投资成本、光伏电站推迟投资时间、投资无风险收益率、投资电站项目风险等因素。

同时，因为中国现有光伏电站普遍运行周期较短，而电站回收期一般超过 10 年。因此需要对光伏电站影响因素中最重要的两个因素：单位电站投资成本、单位电价收益进行预测，因此我们对这两个因素进行重点分析：

自 2010 年开始，中国对光伏电站采用标杆电价方法进行补贴，补贴逐年下降。以 2010 年为基准，对光伏电站标杆电价历史（采取二类光区标杆电价作为参考）进行分析，可以推导出光伏电站单位电价逐年下降模型：单位电价= $-0.0537 \times \text{年份} + 109.06$ ，年度复合增长率为-6.97%。后续电价调整幅度会逐渐趋于平稳，参考实际项目经验及工艺进步影响，2019 之后的单位电价下降幅度可考虑为 0%~5%，直至无补贴。

图表 11 中国光伏电站标杆电价下降模型（2008~2018）



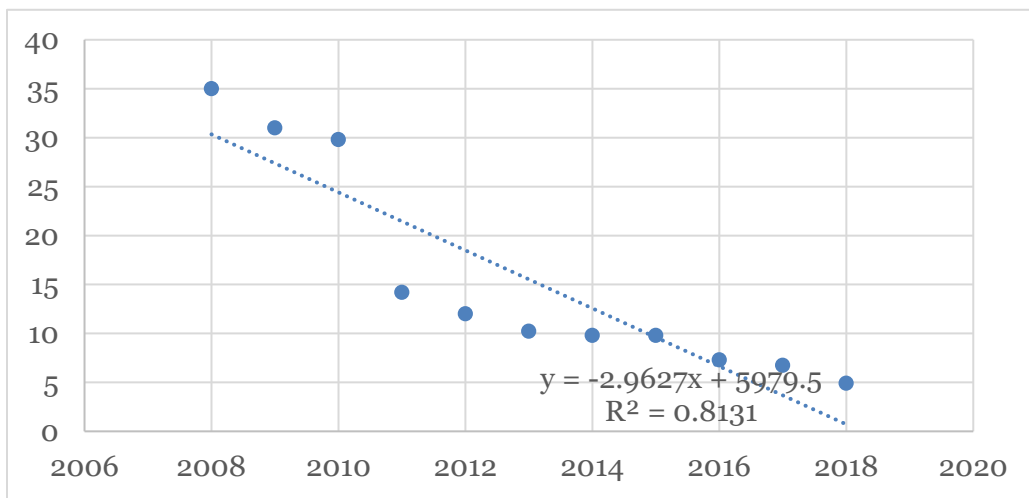
单位：元/kWh

数据来源：CPIA 中国光伏行业协会

光伏电站投资成本受工艺改进、规模化效益等因素影响成本快速下降。以

2008~2018年10年间单位投资成本历史数据为基础，对光伏电站单位投资成本进行分析，可以推导出光伏电站投资成本逐年下降模型：单位投资成本= $-2.963 \times \text{年份} + 5979.5$ 。年度复合增长率为-17.8%，因初始阶段的成本下降空间较大，后续的年度下降幅度将缩窄，参考实际经验，2019之后的单位投资成本下降幅度可选择为10%~20%。

图表 12 中国光伏电站建设成本下降模型（2008~2018）



单位：元/W

数据来源：CPIA 中国光伏行业协会

从上述对比可以看出，现阶段光伏电站投资成本下降速度远快于光伏电站补贴电价下降速度，因此光伏电站分期投资存在很大的获利可能性，为了抢占优质的光伏电站土地、并网等资源，需要综合考虑光伏电站分期投资价值，利用实物期权方法对光伏电站投资进行估值具有合理性。

3.2.2 光伏电站实物期权计算

在上述理论上，我们参考 3.1.2 表格中的各量化的影响因素，结合实例来进行说明光伏电站实物期权计算方法：YG 公司投资安徽合肥某 20MW 光伏电站，2017 年并

网，项目总投资 1 亿元，无贷款。为简化运算，取项目周期为 10 年（正常光伏项目投资回收期在 25 年），不考虑项目残值影响。

该光伏电站采用全额上网方式，单位电价为 1.29 元/kWh=销售电价 0.92 元/kWh + 政府补贴 0.37 元/kWh。按照该项目 2018 年实际发电运行状况，折现率采用新能源行业常用折现率 12%，并参考 0.8%的自然衰减率、1%的年度维修成本，来模拟 2019 年后发电收益如下表：

表格 1 安徽合肥 20MW 一期光伏电站收益估算表

年份	总收益	税务成本	营业成本	总收入
2017				-10000
2018	2766	-695	-110	1961
2019	2744	-690	-110	1945
2020	2722	-684	-110	1928
2021	2701	-814	-110	1776
2022	2679	-1062	-110	1506
2023	2657	-1054	-110	1494
2024	2636	-1046	-110	1481
2025	2615	-1037	-110	1468
2026	2594	-1029	-110	1455
2027	2573	-1021	-110	1443

单位：万元

数据来源：SN 公司光伏电站统计

首先计算该项目净现值：

$$S1 = \sum_1^t \{F \times D \times G - (C + Y + Z) \times G\} \div (1 + r)^t = -298 \text{ 万元。}$$

由计算结果可以看出，在 10 年投资期内，该项目净现值为负，因此若仅参照净现值估值，该光伏电站项目没有投资价值。

但是经过分析可以发现，安徽合肥该光伏电站可以通过第一期投资，获得后续扩大投资的机会，这也是光伏电站的特性之一，通过初期投资，获得土地使用权、电网接入接口等资源，并了解当地光照、人工等特性，为潜在的二期投资打下基础。

经过和电站开发商交流，了解到如果发电收益稳定可靠，该电站可在 3 年后进行第二期扩大投资。二期投资容量和一期相同，也为 20MW。二期的投资成本和电价水平都将不同于一期，参考投资成本曲线变化趋势及原项目状况，预测 3 年后投资成本和电价水平如下：

投资成本下降 30%， $10000 \times 0.7 = 7000$ 万元；

发电电价下降 15%， $1.29 \times 0.85 = 1.1$ 元/kWh。

由此状况第二期电站现金流如下：

表格 2 安徽合肥 20MW 二期光伏电站收益估算表

年份	总收益	税务成本	营业成本	利润收入
2020				-7000
2021	2351	-695	-77	1579
2022	2332	-690	-77	1565
2023	2314	-863	-77	1374
2024	2296	-1071	-77	1148
2025	2277	-1062	-77	1138
2026	2258	-1054	-77	1127
2027	2241	-1046	-77	1118
2028	2223	-1037	-77	1109
2029	2205	-1029	-77	1099
2030	2187	-1021	-77	1089

单位：万元

数据来源：SN 公司光伏电站统计

结合第二期项目状况，结合之前所提及的影响参数值，我们定义计算参数如下：

当前价格（二期收益现值）： $S_2 = \sum_3^t \{F \times D \times G - (C + Y + Z) \times G\} \div$

$(1 + r)^t = 5185$ (万元)；

执行价格（投资成本） $X = 7000$ (万元)；

期限（延期时间） $T - t = 3$ (年)；

随市场情况变化的波动率估计值 $\sigma = 25\%$ ；

无风险利率 $r = 2.94\%$ （国库券三年利率）；

通过实物期权的“布莱克-斯科尔斯”模型：

$$C(S,t) = S[N(d_1)] - Xe^{-rt}[N(d_2)], \text{其中, } d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}}, d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

我们可以进行如下计算：

$$d_1 = \left(\ln\left(\frac{5185}{7000}\right) + (2.94\% + 25\%^2/2) \times 3\right) / (25\% \times \sqrt{3}) = -0.273$$

$$d_2 = -0.273 - 25\% \times \sqrt{3} = -0.706$$

$$C = 5185 \times N(-0.273) - 7000 \times e^{-2.94\% \times 3} \times N(-0.706) \approx 495.9 (\text{万元})$$

则投资第一期光伏电站的价值为： $V = S_1 + C = -298 + 495.9 = 197.9$ (万元)。说明若从实物期权角度进行计算估值，YG 公司对第一期光伏项目投资是合理的，应该进行投资。

3.2.3 实物期权影响因素及光伏电站价值提升方法分析

从上述计算中可以看出，在不确定性很高的新能源投资中，单独的净现值方法并不能对光伏电站含有的投资价值进行准确评估，会丧失对优质项目投资的机会。

实物期权方法能够衡量光伏电站投资所带来的灵活性：如果条件好，可以通过分期或延迟投资来获得盈利；如果条件不好，可以放弃第二期投资，将损失控制在一定程度内。因此实物期权对光伏电站投资具有非常高的实用价值。

1、各影响因素对估值的相关性和敏感度分析

各种影响因素的变动将会改变光伏电站中所包含的实物期权价值大小，进而影响整个投资项目的价值，分析企业投资决策中的实物期权对这些影响因素的敏感程度以及根据实物期权价值敏感度分析的结果，可以为决策者主动改变投资规模和投资时机提供决策支持，将会有效控制战略投资的失误，提高经济效益。

通过对“布莱克-斯科尔斯”模型求导，通过其导数的正负，可以分析各参数与实物期权价值的相关性关系(仅以买权价值为例)。然后对各个参数分别取值，将其值升高 10%，而其他参数变量不变，经过测算后计算其实物期权价值，得到表格如下：

表格 3 安徽合肥光伏电站估值因素变动影响分析表

	期权价值	变动幅度
原始计算	496	0%
当前价值 S	722.1	46%
年波动率 σ	583	18%
无风险利率 r	509.7	3%
投资成本 X	363.2	-27%
投资期限 t	552.2	11%

单位：万元

数据来源：SN 公司光伏电站统计

基于以上表格，可以看出各因素对期权价值影响方向及影响大小，分析结论如下：

(1) 光伏电站的实物期权价值与当前价值、波动率、无风险利率以及投资期限有正相关关系；与光伏电站的投资成本呈负相关关系。

(2) 各因素变化对实物期权的价值变化的影响程度不同，从大到小的顺序为：标的资产价值 S、执行价格 X、波动率 σ 、到期时间 T、和无风险利率 r。

2、如何提升光伏电站投资价值

基于以上对光伏电站的价值分析，结合各影响因素，我们可以发现提升光伏电站投资价值的方法，按照影响程度从大到小列举如下：

(1) 提升 S : 提高光伏电站项目预期现金流入的现值。光伏电站投资收益主要来自售电收益, 因此提升现金流量的方法主要是如何提升光伏发电的发电时间、发电效率, 并避免因故障维修导致的中断。光伏电站投资方可以采用增加追日系统来增加发电时间、采购更高发电效率的新型电池板(双玻、黑硅~)来提升发电效率、采用优质和经过验证的系统设备来提升发电可靠性并降低故障停机时间。

2、控制 X : 控制光伏电站项目预期投资成本。光伏电站项目成本降低的基本途径有两个, 一是降低采购成本, 可以通过规模经济和范围经济, 加大光伏采购量来进行议价, 减少单位成本; 二是降低运营成本, 可以通过建立智能化管理系统、选择采购高可靠设备、提升运维人员能力和效率等方式来降低运营成本。

3、增加 σ : 增加光伏电站项目中预期现金流的不确定性。和净现值估值法不同, 实物期权估值方法中, 获得了某种期权的决策者有权选择不完全投资。只有当预期企业价值增加的时候, 才考虑实施期权。从这个意义上看, 决策者希望增加现金流的不确定性。因此可以通过选择光照资源波动性较大的 2 类和 3 类区域、选择电价补贴灵活度更高的地区等方法来增加波动性。

4、增加 t : 推迟光伏电站项目投资决策时间。一般来说, 投资机会隐含的延期决策时间越长, 实物期权价值也越大。光伏电站项目中期权有效期限的延长可通过延期投资、签订独占性协议(路条)、预先签订电价协议、和地方政府长期合作、和供应商签署长期协议等方式来保证在占有优质光伏电站资源, 拥有延期投资的权利。

5、提升 r ：无风险利率体现了全社会系统的通胀及资金供需状况，成熟稳定的区域一般 r 值较低，发展中国家一般 r 值较高。光伏投资者可以通过到海外发展中国家投资光伏电站，来获得较高的期权收益价值，比如印度、东南亚、非洲等区域。

四、基于实物期权的光伏电站投资决策流程分析

4.1 光伏电站投资决策框架

在光伏电站投资决策中，常常缺乏具体的流程和框架，决策者往往依据经验，结合诸如净现值、IRR、投资回收期等一些计算工具来做投资决策，主观性较高，且对光伏电站的估值容易出现误判。

基于之前的实物期权价值分析，我们能够发现企业面对光伏电站项目投资时，结合实物期权计算估值，能帮助企业进行更加全面的量化分析，让管理人员对投资项目有更深一步的认识，为做出更为科学的投资决策提供依据。结合实物期权分析法和项目实践，我们需要总结出一个便于实际操作的光伏电站投资决策框架，进而结合实际项目归纳出对光伏电站投资决策的计算模型，为更全面且符合实际的光伏电站投资决策打下基础。

4.1.1 光伏电站投资决策关键步骤

结合实物期权的光伏电站投资决策关键步骤包含以下五步：

- 1、明确光伏电站投资标的及投资目标；
- 2、识别对光伏电站投资价值影响的关键因素，并构建对应关系及进行预测；
- 3、量化并计算项目净现值
- 4、结合实际项目情况，量化并计算超额价值（实物期权价值）
- 5、结合价值评估结果，综合企业目标做出投资决策

可以看到和传统型光伏电站投资决策不同的是，实物期权型光伏电站投资决策增加了第4步，第4步可以更加全面的衡量光伏电站实际价值，从更长时间的角度挖掘光伏电站投资潜力，并量化衡量项目机会大小，从而避免投资决策以偏概全，因误判价值而丢失投

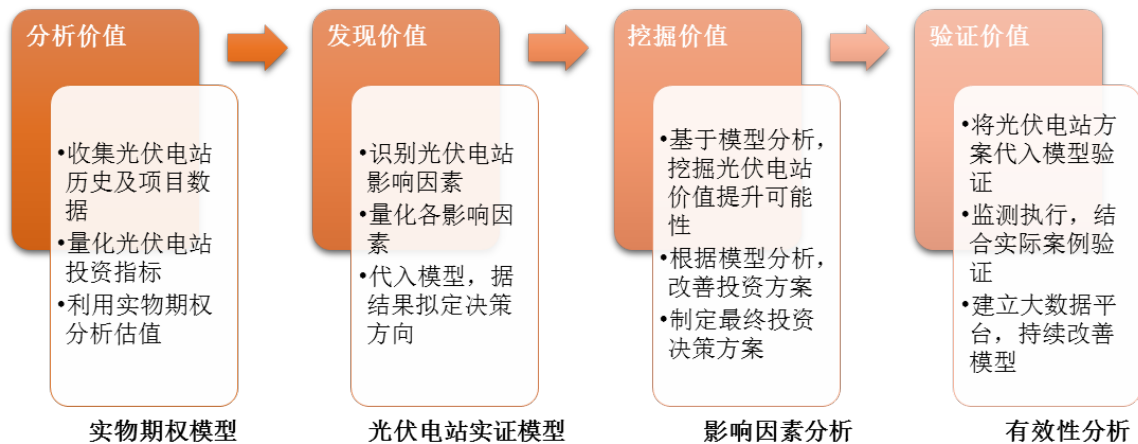
资机会。而在投资决策中，第4步因计算较复杂且计算量较大，考虑建立数学模型来进行简化估算。

4.1.2 光伏电站投资决策流程图

结合决策树方法，结合实物期权进行投资决策。从未来某一时点开始，沿着决策树回归到当前，沿着未来事件或行动更可能性，一步步回溯到决策点。

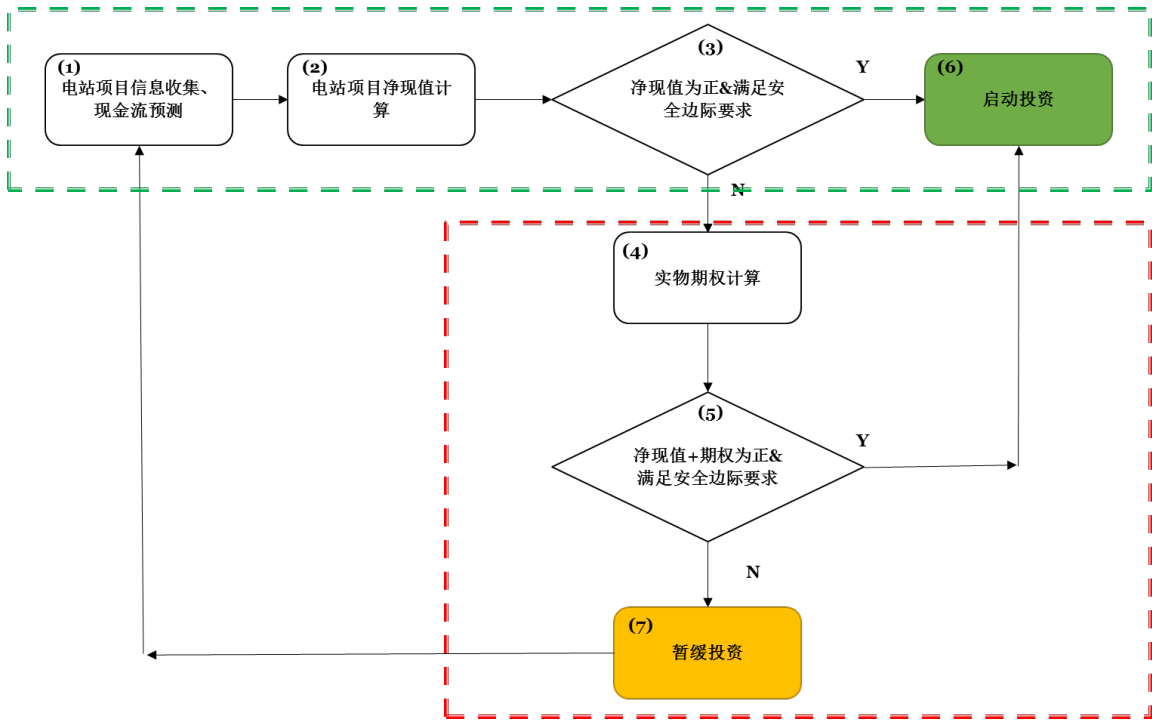
期权的风险随时间和标的资产的价格变化而变化，实物期权定价为复杂决策树提供一个简单但有说服力的分析框架，帮助决策者在对光伏电站资产进行决策时有更准确的依据。

图表 13 光伏电站投资决策流程图



由上可得到光伏项目投资决策模型图如下。和传统的光伏电站投资决策流程（绿色虚线所框部分）相比，实物期权模型的投资决策流程加入了实物期权计算过程，主要影响的是从第（4）步开始（红色实线所框部分），以实物期权模型全面衡量光伏电站投资实际价值，挖掘其潜在投资价值，从而避免错失投资机会。

图表 14 光伏电站项目投资决策模型图



4.2 光伏电站实物期权法投资决策模型分析

实物期权计算复杂且计算量较大，为简化期权计算方法，我们计划结合实际项目状况和实物期权计算结果，选择对光伏电站价值产生重要影响的因素，采用多元回归分析方法，为光伏电站投资估值建立模型。

4.2.1 光伏电站估值模型假设

为了有效建立估值模型，我们收集了中国 33 家实际光伏电站投资及运营数据，汇总表格如附录 A。其中有部分电站运行时间不足十年，我们将参考其实际年度运行情况及光伏发电衰减比率对不足十年的运行数据进行合理估算，数据汇总如下表：

表格 4 中国 33 家光伏电站投资及运行数据表

项目名称	项目总投 资 (万元)	年发电运行总收入 (万元)									
		第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	第六年	第七年	第八年	第九年	第十年
GEM ZT	50,700	7,415	7,192	7,140	6,885	7,159	7,270	7,010	7,015	6,417	6,777
ZGH HM	18,200	3,899	3,782	3,755	3,749	3,623	3,393	3,738	3,748	3,703	3,564
XJ JN	61,620	9,905	9,608	12,000	9,100	6,600	8,500	9,800	10,200	9,123	9,053
ZGH HMSCZ	28,978	4,464	4,330	4,410	4,150	4,000	4,200	4,327	4,236	4,112	4,080
GD HM	17,484	2,045	1,802	1,871	1,940	1,843	2,012	2,210	1,898	1,884	1,869
GS JTSD	35,100	7,731	7,254	6,950	7,059	6,822	7,423	8,640	7,175	7,121	7,067
ZGH HM ₃	21,450	5,042	5,100	4,950	5,000	4,900	4,509	4,368	4,679	4,643	4,608
ZL TH	65,000	1,394	6,084	6,581	7,564	8,929	8,840	7,445	7,389	7,333	7,278
NX SX	19,370	3,672	3,503	3,770	3,475	3,781	3,028	3,433	3,407	3,382	3,356
NMG QH	30,550	7,947	8,213	8,033	7,810	8,046	7,800	7,742	7,684	7,626	7,568
SF PL	48,000	7,307	7,389	6,914	6,995	6,753	6,884	6,832	6,781	6,730	6,679
GT HH	15,990	126	1,536	1,692	1,584	1,537	1,558	1,547	1,535	1,524	1,512
GD WLQH	14,300	1,710	2,808	3,006	2,880	2,856	2,835	2,814	2,793	2,772	2,751
JYG RS	25,935	491	4,383	6,300	5,287	5,248	5,210	5,171	5,132	5,094	5,055
JYG RB	10,400	195	1,766	2,520	2,121	2,106	2,090	2,075	2,059	2,044	2,028

项目名称	项目总投 资（万元）	年发电运行总收入（万元）									
		第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	第六年	第七年	第八年	第九年	第十年
ALE TH	42,250	7,613	7,170	7,812	7,612	7,536	6,965	6,432	7,065	7,012	6,959
TH QQH	12,935	2,585	1,995	2,342	2,540	2,645	2,818	2,417	2,399	2,381	2,363
TB AWT	18,043	4,749	4,854	4,641	4,337	4,399	4,473	4,440	4,407	4,373	4,340
SC XJX	31,593	6,308	6,935	6,840	6,688	6,538	6,490	6,441	6,393	6,345	6,297
SC ABX	32,500	2,945	5,225	5,415	5,130	5,180	5,142	5,104	5,066	5,027	4,989
TB TLF	22,455	1,481	4,687	5,125	5,250	4,949	4,913	4,876	4,840	4,803	4,767
DF YS	9,425	431	1,439	1,562	1,710	1,548	1,537	1,525	1,514	1,503	1,491
SF LY	12,350	2,387	3,002	3,122	2,780	2,760	2,739	2,719	2,698	2,678	2,658
TW RH	12,299	880	2,200	2,288	2,220	2,204	2,187	2,171	2,155	2,139	2,122
YJ GD	5,200	1,241	1,204	1,195	1,080	1,032	1,129	1,255	1,312	1,171	1,134
DT WD	12,183	2,416	2,343	2,326	2,353	2,317	2,336	2,329	2,046	2,225	2,208
LY JD	17,485	865	1,682	2,419	2,203	1,673	1,958	1,943	1,929	1,914	1,899
ZL DM	10,725	2,055	1,641	1,980	2,007	2,252	1,936	1,921	1,907	1,893	1,878
YG FD	61,750	13,040	4,893	13,192	13,513	10,710	12,284	12,192	12,101	12,010	11,919
PY BG	11,375	1,232	2,269	2,054	2,337	2,188	2,172	2,156	2,140	2,124	2,107
PY JK	11,031	894	2,058	2,069	2,225	2,087	2,071	2,056	2,041	2,025	2,010

项目名称	项目总投 资（万元）	年发电运行总收入（万元）									
		第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	第六年	第七年	第八年	第九年	第十年
JYG RB	20	16	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ALE TH	60	-	420	420	420	420	420	420	420	420	420
TH QQH	20	140	140	140	140	140	140	162	162	162	162
TB AWT	30	216	205	215	230	-	216	216	216	216	216
SC XJX	50	250	250	250	250	290	290	290	290	290	290
SC ABX	50	170	150	163	160	160	160	160	160	160	160
TB TLF	40	120	150	200	160	180	180	180	180	180	180
DF YS	20	126	126	126	178	140	140	140	140	140	140
SF LY	25	240	260	140	245	245	245	245	245	245	245
TW RH	20	200	220	200	236	236	236	236	236	236	236
YJ GD	5	15	-	-	20	20	20	20	20	20	17
DT WD	9	28	-	-	32	35	38	40	40	40	33
LY JD	30	100	105	112	120	177	141	141	141	141	141
ZL DM	20	78	65	74	90	80	90	90	90	90	90
YG FD	94	179	50	150	200	-	207	207	207	207	207
PY BG	20	42	46	46	46	52	52	52	52	52	52

项目名称	项目总投 资（万元）	年发电运行总收入（万元）									
		第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	第六年	第七年	第八年	第九年	第十年
PYJK	17	90	85	90	100	105	105	105	105	105	105
ZMXT	20	137	120	100	120	138	138	138	138	138	138
BK LX	7	3	22	22	16	16	16	16	16	16	16

单位：万元

数据来源：SN 公司光伏电站统计

结合第二章“光伏电站估值影响因素分析”内容，我们发现以下 8 个因素是影响光伏电站估值的重要因素：年发电小时数、单位投资成本、电站投资日期、单位资金成本、弃光率、单位电价、单位运营成本以及电站规模（容量）。

同时，为了简化模型，结合 3.2.3 中对各因素影响权重的分析，以及大多数光伏电站项目实际经验，我们统一做以下假设：

假设 1：光伏项目投资为全额投资，无贷款利息；

假设 2：一期光伏电站建好后，可以获得二期机会。考虑实际运行经验，二期光伏电站可延期时间为 $t=5$ 年（取均值，一般可延期时间为 3~7 年），项目容量和一期相同；

假设 3：光伏电站建设成本下降幅度参考第三章“光伏电站建设成本下降模型”，每年下降 20% 进行估算。光伏电站发电收益变化参考第三章“光伏电站标杆电价下降模型”，同时考虑 5 年时间发电技术提升效果，假设年度发电电价保持不变。

假设 4：光伏电站变化波动率采用光伏电站 10 年收入标准差除以平均值的变异系数 $cv\%$ 来估算。

假设 5：光伏电站现值计算采用 10 年期，期末无残值进行估算。（实际光伏项目可收入周期为 25 年）；

假设 6：项目无风险利率统一采用三年期国库券利率 $r=2.94\%$ 估算。

直接采用 8 个关键因素，计算工作量大且参数获得较为困难。综合上述 6 条假设，分析光伏电站投资估值和实际决策中的需求，首先制定 4 条自变量参数选择原则如下：相关原则：自变量必须和前述 8 个关键影响因素相关，可由 8 个影响因素计算得出；全面原则：选择的自变量因素必须能够涵盖成本、收入、背景三类影响因素；易得原则：自变量

应能方便通过实际项目，或者参考相似项目得到；精简原则：满足全面原则的前提下，自变量的数量应该尽可能少；

参考电站实际经验，考虑以上 4 条原则，选择以下 3 个自变量作为模型输入如下：

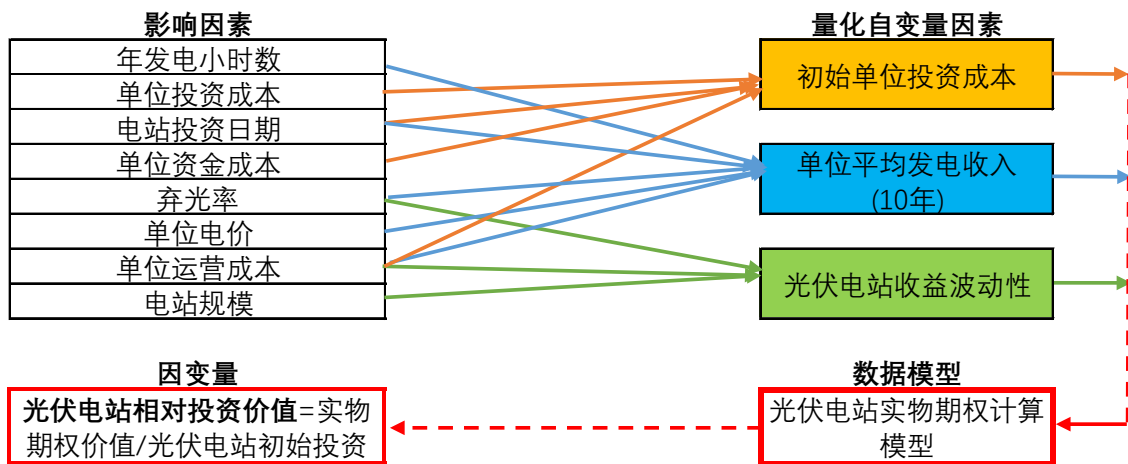
1、初始单位投资成本：代表成本因素，体现单位投资成本、投资日期、资金成本、运营成本影响；

2、单位平均发电收入：代表收入因素，体现年发电小时、电站投资日期、弃光率、单位电价、运营成本影响。计算时间按照经验选择 10 年；如无实际运行数据，参考相似区域电站运行数据估算；

3、电站收益波动性：代表背景因素，和弃光率、运营成本、电站规模直接相关；

将 8 个关键影响因素量化为三个主要量化因变量因素，然后对各种指标进行汇总以及标准化，建立模型，最后可以对“光伏电站投资相对价值”进行估算。具体如下图：

图表 15 光伏电站投资价值影响因素汇总图



我们将通过对 33 家光伏电站的实际“量化因素”数据和“因变量”进行回归分析，来获得光伏电站投资价值的简化数学模型，进而得出光伏电站投资相对价值的简化计算方法，为光伏电站投资提供依据。

4.2.2 利用实物期权法对 33 家光伏电站进行实际估值

基于之前所提及的假设，根据整理统计的 33 家光伏电站数据，利用净现值计算方法及实物期权“布莱克-斯科尔斯”模型：

$$C(S,t) = S[N(d_1)] - Xe^{-rt}[N(d_2)], \text{ 其中, } d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}}, d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

分别对其十年“净现值”及“净现值+实物期权”价值进行计算，得出下表。

表格 5 中国 33 家光伏电站实物期权价值汇总表

项目名称	当前净 现值	当前总 投资	S 5 年后 净现值	σ 年波动 率	X t=5 年后 总投资	d1	d2	N(d1)	N(d2)	C 看涨期 权价格	净现值 +期权 价值
GEM ZT	-11,693	50,700	11,818	4%	16,613	-2.00	-2.09	0.02	0.02	9	-11,684
ZGH HM	2,107	18,200	7,569	4%	5,964	4.41	4.33	1.00	1.00	2,421	4,528
XJ JN	-11,573	61,620	15,756	16%	20,192	-0.12	-0.46	0.45	0.32	1,548	10,025
ZGH HMSCZ	-5,972	28,978	7,130	4%	9,496	-1.58	-1.67	0.06	0.05	14	-5,958
GD HM	-6,718	17,484	2,658	6%	5,729	-4.26	-4.41	0.00	0.00	0	-6,718
GS JTSD	4,710	35,100	14,939	8%	11,502	2.50	2.33	0.99	0.99	5,016	9,726
ZGH HM3	4,825	21,450	10,157	5%	7,029	4.26	4.13	1.00	1.00	4,089	8,914
ZL TH	30,460	65,000	6,988	32%	21,299	-1.00	-1.72	0.16	0.04	308	-30,151
NX SX	-743	19,370	6,480	7%	6,347	1.11	0.94	0.87	0.83	1,078	335
NMG QH	12,571	30,550	17,473	3%	10,011	10.49	10.43	1.00	1.00	8,831	21,402
SF PL	-9,528	48,000	12,003	4%	15,729	-1.42	-1.50	0.08	0.07	34	-9,493
GT HH	-8,768	15,990	1,046	34%	5,240	-1.57	-2.32	0.06	0.01	15	-8,752

项目名称	当前净 现值	当前总 投资	S 5年后 净现值	σ 年波动 率	X t=5年后 总投资	d1	d2	N(d1)	N(d2)	C 看涨期 权价格	净现值 +期权 价值
GD WLQH	291	14,300	5,227	14%	4,686	0.97	0.65	0.83	0.74	1,354	1,645
JYG RS	-1,414	25,935	8,456	33%	8,498	0.56	-0.18	0.71	0.43	2,888	1,474
JYG RB	-562	10,400	3,394	33%	3,408	0.56	-0.18	0.71	0.43	1,160	598
ALE TH	-3,000	42,250	13,407	7%	13,844	0.81	0.65	0.79	0.74	1,724	-1,276
TH QQH	29	12,935	4,605	10%	4,239	1.17	0.95	0.88	0.83	1,011	1,040
TB AWT	6,553	18,043	9,860	4%	5,912	6.89	6.80	1.00	1.00	4,756	11,309
SC XJX	3,978	31,593	13,309	4%	10,352	4.73	4.64	1.00	1.00	4,372	8,350
SC ABX	-6,179	32,500	8,270	15%	10,650	-0.15	-0.48	0.44	0.31	749	-5,431
TB TLF	1,372	22,455	8,691	25%	7,358	0.85	0.30	0.80	0.62	3,046	4,418
DF YS	-2,495	9,425	2,027	27%	3,088	-0.15	-0.75	0.44	0.23	295	-2,200
SF LY	1,940	12,350	5,406	9%	4,047	2.35	2.16	0.99	0.98	1,916	3,856
TW RH	-2,318	12,299	3,141	22%	4,030	0.04	-0.45	0.52	0.32	495	-1,823
YJ GD	1,369	5,200	2,568	7%	1,704	3.43	3.27	1.00	1.00	1,097	2,466

项目名称	当前净 现值	当前总 投资	S 5年后 净现值	σ 年波动 率	X t=5年后 总投资	d1	d2	N(d1)	N(d2)	C 看涨期 权价格	净现值 +期权 价值
DT WD	739	12,183	4,713	5%	3,992	2.90	2.79	1.00	1.00	1,267	2,006
LY JD	-8,068	17,485	1,946	24%	5,729	-1.50	-2.03	0.07	0.02	25	-8,043
ZL DM	-174	10,725	3,714	8%	3,514	1.20	1.02	0.88	0.85	721	548
YG FD	1,786	61,750	22,852	21%	20,234	0.80	0.33	0.79	0.63	7,058	8,844
PY BG	-165	11,375	3,949	15%	3,727	0.78	0.44	0.78	0.67	930	765
PY JK	-891	11,031	3,443	20%	3,614	0.44	-0.01	0.67	0.50	761	-130
ZM XT	2,352	10,400	4,931	19%	3,408	1.42	0.99	0.92	0.84	2,079	4,431
BK LX	-1,875	4,225	510	33%	1,384	-0.77	-1.51	0.22	0.07	35	-1,839

单位：万元

数据来源：SN 公司光伏电站统计

表格中绿色代表“净现值”或“净现值+期权价值”为正，黄色代表“净现值”或“净现值+期权价值”为负。可以看出，经过期权价值加总进行计算，若干项目从“净现值”的黄色变为“净现值+期权价值”的绿色，代表此类光伏电站项目的投资可行性产生了变化，即通过挖掘实物期权价值，该光伏电站投资价值由负转正。

将 33 个项目按照数量、金额进行统计，可以得到以下表格：

图表 16 中国 33 光伏电站投资价值变化对比表

单位：个	项目总数	净现值为负 项目数量	净现值+期权为 负项目数量
实际个数	33	19	14
占总数比	100%	58%	42%

单位：万元	项目总投资	净现值总和	净现值+期权总和
实际数值	801,300	-67,972	-6,870
占总投资比	100%	-8%	-0.9%

由上表可以看出，通过应用实物期权对光伏电站项目进行价值分析，将项目投资为负的比率从 58%降低至 42%，下降了 16 个百分点；同时，将 33 个项目净现值指数（净现值/总投资）从-8%，提升至-0.9%，提升 7.1 个百分点。这证明了通过对光伏电站实物期权价值的挖掘，可以更全面衡量光伏电站投资价值，避免错失投资机会。

4.2.3 利用回归分析建立“光伏电站投资相对价值”简化模型

实物期权计算较为复杂且容易出错，尤其在项目初期，需要快速判断一个项目是否具有可行性时，我们需要一个简化模型能够对“光伏电站投资相对价值”进行快捷且相对准确的判断，避免净现值估算方法的片面性。

基于之前的 33 家光伏电站实际数据，参考 4.2.1 所建立的假设，我们首先对这些光伏电站项目三个主要量化因素：“单位光伏电站初始投资（建设）成本”、“十年光伏电站平均收入”和“光伏电站收入波动性”数据，以及因变量“(净现值+实物期权价值)/总投资”进行标准化，得到表格如下：

表格 6 中国 33 家光伏电站价值量化计算表

#	项目名称	X1 单位投资成本	X2 十年平均收入	X3 年波动率 σ	Y 净现值+期权/ 总初始投资
1	GEM ZT	12.68	1.76	4%	-17%
2	ZGH HM	9.10	1.85	4%	19%
3	XJ JN	7.70	1.17	16%	-12%
4	ZGH HMSCZ	9.66	1.41	4%	-15%
5	GD HM	8.74	0.97	6%	-29%
6	GS JTSD	7.02	1.46	8%	21%
7	ZGH HM3	7.15	1.59	5%	31%
8	ZL TH	9.29	0.98	32%	-35%
9	NX SX	6.46	1.16	7%	1%
10	NMG QH	6.11	1.57	3%	53%
11	SF PL	6.00	0.87	4%	-15%
12	GT HH	8.00	0.71	34%	-41%
13	GD WLQH	7.15	1.36	14%	9%
14	JYG RS	5.19	0.95	33%	4%
15	JYG RB	5.20	0.95	33%	4%
16	ALE TH	7.04	1.20	7%	-2%
17	TH QQH	6.47	1.22	10%	6%
18	TB AWT	6.01	1.50	4%	47%

#	项目名称	X1 单位投资成本	X2 十年平均收入	X3 年波动率 σ	Y 净现值+期权/ 总初始投资
19	SC XJX	6.32	1.31	4%	20%
20	SC ABX	6.50	0.98	15%	-13%
21	TB TLF	5.61	1.14	25%	15%
22	DF YS	4.71	0.71	27%	-18%
23	SF LY	4.94	1.10	9%	24%
24	TW RH	6.15	1.03	22%	-11%
25	YJ GD	10.00	2.26	7%	36%
26	DT WD	13.69	2.57	5%	12%
27	LY JD	5.81	0.61	24%	-35%
28	ZL DM	5.36	0.97	8%	4%
29	YG FD	6.57	1.23	21%	11%
30	PY BG	5.69	1.04	15%	5%
31	PY JK	6.61	1.17	20%	-1%
32	ZM XT	5.20	1.23	19%	32%
33	BK LX	6.50	0.70	33%	-33%

通过以上量化表格，利用回归方法进行分析，选择置信度为 95%，得到回归分析结果

如下：

图表 17 光伏电站投资相对价值回归分析表

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics

Multiple R	0.96776008
R Square	0.93655956
Adjusted R Square	0.92999676
Standard Error	0.0628925
Observations	33

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	1.69342084	0.56447	142.7072	1.8414E-17
Residual	29	0.11470852	0.00396		
Total	32	1.80812936			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0.01493276	0.05764625	0.25904	0.797433	-0.10296706	0.13283257	-0.10296706	0.13283257
X Variable 1	-0.12009	0.007466	-16.0849	5.47E-16	-0.13535969	-0.1048203	-0.13535969	-0.1048203
X Variable 2	0.71402029	0.04328998	16.4939	2.83E-16	0.62548235	0.80255824	0.62548235	0.80255824
X Variable 3	-0.13432478	0.13383902	-1.00363	0.323859	-0.40805632	0.13940676	-0.40805632	0.13940676

64

从以上回归分析表中可以看到：

Multiple R 复相关系数=0.967，表明所选择电站参数之间的关系为高度正相关。

R Square：复测定系数为 0.936，表明用电站 3 个自变量可解释电站价值因变量变差的 93.6%，自变量能够充分揭示因变量的变化。

Standard Error 标准误差为 0.0628，说明模型输出结果和实际自变量曲线的拟合程度非常好。

由回归分析可以得到“光伏电站相对投资价值”估算的回归方程如下：

$$Y = -0.12009 \times X_1 + 0.71402 \times X_2 - 0.13432 \times X_3 + 0.014933$$

以上模型可以作为对光伏电站投资价值进行估算的简化模型，依次建立光伏电站投资决策函数：F(Y)，定义如下：

$Y > 0$ ，F 取值 1，投资； $Y < 0$ ，F 取值 0，暂缓投资；

其中 $Y = f(X_1, X_2, X_3)$ ，为上述“光伏电站相对投资价值”模型。

Y：光伏电站投资相对价值； **X₂**：光伏电站平均发电收入；

X₁：光伏电站单位投资成本； **X₃**：光伏电站收益波动率；

4.3 光伏电站投资相对估值模型的有效性验证

模型建立后需要验证其有效性，以保证在项目实际估算中的效用和准确性。我们将结合两个实际项目，对光伏电站投资相对估值模型进行验证。

4.3.1 结合实际项目验证光伏电站投资相对估值模型有效性

我们选择了两个有代表性的项目，一个是一类光伏资源区的“中广核哈石电站”，于 2013 年投运；另一个是二类光伏资源区的“定西明晖电站”项目，于 2015 年投运。两个光

光伏电站装机容量都为 20MW。我们根据这两个电站的前期运营情况，结合光伏发电项目经验进行 10 年数据完善估算，得到表格如下：

表格 7 模型验证-2 家光伏电站运行数据表

一期项目名称	中广核哈石电站	定西明晖电站	
项目总投资（万元）	14,300	12,350	
第一年	2,161	877	
第二年	2,650	2,267	
第三年	2,520	2,586	
第四年	2,480	2,328	
年发电运行收益 （万元）	第五年	2,576	2,365
	第六年	2,264	2,346
	第七年	2,228	2,328
	第八年	1,978	2,309
	第九年	1,962	2,291
	第十年	1,946	2,273

按照 12%折现率进行估算，可以得到两项目的净现值分别为： $S_{11}=-1139$ 万元和 $S_{12}=-365$ 万元。仅从净现值分析，这两个项目都不具有投资价值。

假设同容量 2 期项目延期 5 年，结合电站投资成本下降、补贴电价下降以及发电技术能力提升情况，得到 2 期的 10 年发电运行收益图如下：

表格 8 模型验证-2 家光伏电站二期运行数据表

二期项目名称		中广核哈石电站	定西明晖电站
t=+5 总投资 (万元)		4,686	4,047
	第一年	2,161	877
	第二年	2,650	2,267
	第三年	2,520	2,586
	第四年	2,480	2,328
t=+5 年发电运行收益 (万元)	第五年	2,576	2,365
	第六年	2,264	2,346
	第七年	2,228	2,328
	第八年	1,978	2,309
	第九年	1,962	2,291
	第十年	1,946	2,273

经过计算，二期项目的单位初始投资（建设）成本分别为： $X_{11}=7.2$ 元/W；和 $X_{21}=6.2$ 元/W。十年平均发电收入分别为： $X_{12}=1.20$ 元；和 $X_{22}=1.16$ 元。结合两个光伏电站实际发电收益情况，计算得两项目的发电收益波动率分别为： $X_{13}=11.7\%$ 和 $X_{23}=21.5\%$

将以上数据代入估算模型 $Y_1=-0.12009 \times X_1+0.71402 \times X_2-0.13432 \times X_3+0.014933$ 之中，可得：

$$Y_1'=-0.12009 \times X_{11}+0.71402 \times X_{12}-0.13432 \times X_{13}+0.014933=-0.7\%$$

$$Y_2'=-0.12009 \times X_{21}+0.71402 \times X_{22}-0.13432 \times X_{23}+0.014933=6.97\%$$

假设 $F(Y)'_1$ 为电站 1 的模型决策函数值； $F(Y)'_2$ 为电站 2 的模型决策函数值，由模型计算可以得出： $F(Y)'_1=0$ ； $F(Y)'_2=1$ 。中广核哈石电站项目估值为负，需谨慎衡量其投资

可行性，如无其他投资协同增值效应，应放弃此项目投资；定西明晖电站估值为正，可以进入下一步投资决策流程。

采用实物期权计算方法对两项目进行计算，可得下表：

表格 9 模型验证-2 家光伏电站模型计算价值表

项目名称	中广核哈石电站	定西明晖电站
十年净现值	-1,139	-365
当前净现值	-8,839	-7,015
当前总投资	14,300	12,350
S		
5年后净现值	4,473	4,189
σ		
年波动率	12%	22%
r		
无风险利率	2.94%	2.94%
X		
t=5年后总投资	4,686	4,047
t		
到期时间（年）	3	3
d1		
	0.31	0.52
d2		
	0.10	0.14
N(d1)		
	0.62	0.70
N(d2)		
	0.54	0.56
C		
看涨期权价格	453	856
净现值+期权价值	-685	491
净现值+期权/ 总初始投资	-3.6%	3.0%

由上表可以得出 $Y_1 = -3.6\%$ ； $Y_2 = 3.0\%$ ；假设 $F(Y)_1$ 为电站 1 的实际决策函数值；

$F(Y)_2$ 为电站 2 的实际决策函数值，由模型计算可以得出： $F(Y)_1 = F(Y)'_1 = 0$ ；

$F(Y)_1 = F(Y)_2 = 1$ 。模型结果和实际计算结果的正负方向一致，只是 Y 的数量级有所差异，由此得出的投资决策方向一致。将此实际项目验证结论和实物结合回归分析参数相结合，可以得出此数学模型的有效性。

4.3.2 不同因变量估值模型比较

在实际项目中，十年单位平均收入需要参考当地发电情况和既有经验进行估测，需要一些计算和估测。一般在项目起始时，光伏标杆电价（补贴电价）都已经确定得到，因此考虑数据获得的便利性，同时也为验证在不同因变量下，是否都可以得出同样有效的估值的简化模型，我们将原模型中的“十年平均收入”替换为“光伏标杆电价”，经过量化得到如下表格：

表格 10 中国 33 家光伏电站模型 2 计算表

#	项目名称	X1 单位投资成本	X2 标杆电价	X3 年波动率 σ	Y 净现值+期权/ 总初始投资
1	GEM ZT	12.68	1.15	4%	-17%
2	ZGH HM	9.10	1.15	4%	19%
3	XJ JN	7.70	1.00	16%	-12%
4	ZGH HMSCZ	9.66	1.00	4%	-15%
5	GD HM	8.74	1.00	6%	-29%
6	GS JTSD	7.02	1.00	8%	21%
7	ZGH HM3	7.15	1.00	5%	31%
8	ZL TH	9.29	0.90	32%	-35%
9	NX SX	6.46	0.90	7%	1%
10	NMG QH	6.11	0.90	3%	53%
11	SF PL	6.00	0.95	4%	-15%

#	项目名称	X1 单位投资成本	X2 标杆电价	X3 年波动率 σ	Y 净现值+期权/ 总初始投资
12	GT HH	8.00	0.90	34%	-41%
13	GD WLQH	7.15	0.90	14%	9%
14	JYG RS	5.19	0.90	33%	4%
15	JYG RB	5.20	0.90	33%	4%
16	ALE TH	7.04	1.00	7%	-2%
17	TH QQH	6.47	0.95	10%	6%
18	TB AWT	6.01	0.95	4%	47%
19	SC XJX	6.32	0.95	4%	20%
20	SC ABX	6.50	0.95	15%	-13%
21	TB TLF	5.61	0.95	25%	15%
22	DF YS	4.71	0.95	27%	-18%
23	SF LY	4.94	0.88	9%	24%
24	TW RH	6.15	0.88	22%	-11%
25	YJ GD	10.00	2.40	7%	36%
26	DT WD	13.69	2.40	5%	12%
27	LY JD	5.81	0.82	24%	-35%
28	ZL DM	5.36	0.81	8%	4%
29	YG FD	6.57	1.25	21%	11%
30	PY BG	5.69	0.98	15%	5%
31	PY JK	6.61	0.98	20%	-1%
32	ZM XT	5.20	0.98	19%	32%
33	BK LX	6.50	0.82	33%	-33%

同样，运用回归分析对量化表格进行分析，可以得到回归分析如下：

图表 18 中国 33 家光伏电站模型 2 回归分析表

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics

Multiple R	0.737623336
R Square	0.544088186
Adjusted R Square	0.496924894
Standard Error	0.168599458
Observations	33

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	0.98378182	0.32792727	11.5362642	3.7761E-05
Residual	29	0.82434754	0.02842578		
Total	32	1.80812936			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0.390536947	0.13625828	2.86615195	0.00765736	0.11185747	0.66921643	0.11185747	0.66921643
X Variable 1	-0.08400377	0.01954484	-4.2980023	0.00017718	-0.12397746	-0.0440301	-0.12397746	-0.04403008
X Variable 2	0.397235024	0.11063753	3.59041844	0.00120094	0.17095587	0.62351418	0.17095587	0.62351418
X Variable 3	-1.26230143	0.30045984	-4.2012318	0.00023107	-1.87681081	-0.6477921	-1.87681081	-0.64779206

此回归模型中：**Multiple R** 复相关系数=0.738，小于上一个模型的 0.967；**R Square** 复测定系数为 0.554，也低于上一个模型的 0.936；**Standard Error** 标准误差为 0.169，高于上一个模型的 0.063。由此可以看到，新的成本电价模型的质量明显不如之前的成本收入模型。

将成本电价模型代入 4.3.1 的两个实际项目中，可以得到： $Y1''=12\%$ ； $Y2''=6.3$ 。假设 $F(Y)''1$ 为电站 1 的模型 2 决策函数值； $F(Y)''2$ 为电站 2 的模型 2 决策函数值，由模型计算可以得出： $F(Y)1=0 < F(Y)''1=1$ ； $F(Y)1=F(Y)''2=1$ 。电站 1 的模型计算结果和实际计算结果的不一致，由此得出的投资决策方向相反。因模型和实际不一致，结合回归分析，模型 2 的质量弱于模型 1，不适于作为项目投资决策分析使用。

4.4 光伏电站投资决策方法总结

从前文分析可以看出，结合实物期权方法的“光伏电站投资相对估值法”能有效、全面且便捷的对目标光伏电站价值进行评估，进而为光伏电站投资决策提供支持。我们将在下文对“光伏电站投资相对估值法”模型的影响因素进行分析，同时对改进后的光伏电站投资决策进行总结。

4.4.1 光伏电站投资估值模型影响因素及投资价值提升方法分析

在光伏电站投资相对估值模型： $Y1=-0.12009 \times X1+0.71402 \times X2-0.13432 \times X3+0.01433$ ；中，各参数代表含义如下：

X1：单位光伏电站初始投资（建设）成本

X2：十年光伏电站平均收入

X3：光伏电站收入波动性

其中 X_1 代表光伏电站的成本因素； X_2 代表光伏电站的收益因素； X_3 代表光伏电站的背景影响因素（最终还是会影响到收益）。这三种因素也代表了影响光伏电站投资价值的主要因素，由此三种因素可以“光伏电站相对投资价值”进行估算。

1、单位光伏电站初始投资成本：单位初始投资成本数值=光伏电站整体初始投资/光伏电站容量，包含光伏电站的设计、设备采购、建设、土地及并网等成本，一般在项目初期即可以由设计院的初始设计得到此数据的估算值。其中设备采购占电站初始投资成本比例最高，约占整体初始投资 70%左右，在设备采购成本中，又以光伏电池的成本占比最高，占设备采购成本约 70%。光伏电池的单位成本受两个主要因素影响：电池价格以及电池发电效率，这两个因素变化都主要受到技术进步的驱动。

从模型公式可以看出，初始投资成本和电站价值为负相关，因此选择合适且高性价比的光伏电站设备，尤其是光伏电池板就尤为重要。同时，从分析模型中可以看出，单位光伏电站初始投资成本对最终相对价值的影响变比系数（变化 1 单位对最终估值的影响数值）为~0.12，低于平均收入的~0.72 和收入波动性的~0.13，因此在项目中，初始投资成本并不构成第一影响因素，不能单纯为了降低成本而采购劣质设备，否则可能因收益下降对电站估值带来影响幅度，会远高于因节省成本而带来的估值上升幅度。

2、十年光伏电站平均收入：十年光伏电站平均收入=十年光伏电站运营总收入/（光伏电站容量*10 年）。光伏电站运营收入主要来自光伏电站发电收入，受到电站年发电小时数、电站标杆电价、电站运营成本、弃光率、电站投运时间等因素影响。

选择 10 年作为基准是因为综合考虑准确度及统计可得性，中国光伏电站大规模建设始自 2012 年前后，因此选择 10 年作为平均能保证有电站数据可以参考；光伏电站有效运

行寿命是 20~25 年，10 年占寿命周期约一半，因此 10 年内平均年度发电收益也具有代表性。可以通过类似资源地的项目历史数据进行参考，以做出最合理预测。

从模型公式可以看出，平均收入和光伏电站价值为正相关，因此选择高效可靠的光伏电站设备，尤其是光伏电池板和电站智能化运营系统就尤为重要。同时，收益受项目所在地的光照条件（年发电小时数）、并网条件（弃光率）以及标杆电价因素影响，这些资源因素在项目启动前都可以通过相关机构得到，我们可以通过选择具有最优资源组合的目标项目来提升平均收入值。从分析模型中还可以看出，平均收入对最终相对价值的影响变比系数（变化 1 单位对最终估值的影响数值）为~0.72，高于初始投资成本的~0.12 和收入波动性的~0.13，因此在项目中，平均收入是第一影响因素，因此需要重点聚焦此因素，可以考虑选择优质项目资源禀赋来提升收益、采购高发电效能高可靠的设备提升发电量等方法，来提升电站项目投资价值。

3、光伏电站收入波动性：光伏电站收入波动性=标准差（十年光伏电站总收入-十年光伏电站运营及资金成本）/（十年光伏电站总收入-十年光伏电站运营及资金成本）。这部分值受到弃光率、单位运营成本以及电站规模等因素影响。

从模型公式中可以看到，波动性和光伏电站价值为负相关。实物期权计算中，在均值一定的情况下，波动性越高会使实物期权价值越高（正相关），我们在光伏电站的实际计算中也发现了这种逻辑，为什么在数据模型中会出现负相关情况？我们分析有如下原因：

（1）平均收入因素影响：在波动率中包含了平均收入的影响因素，因模型中对收入因素有较高的影响赋值，导致波动性出现负的赋值；

(2) 波动性在提升项目收益可能性上限的同时（积极波动），也代表了收益的不稳定性（消极波动）：波动性往往是因为弃光率、发电故障等因素引起，较高的波动性往往代表此光伏电站运行的不稳定性，代表了较低的发电收益，因此影响了电站估值。

我们需要对波动性一分为二：首先，提升积极波动性，我们应选择更优质的光伏项目资源地，比如选择 2 类或 3 类光伏资源地，从经验看这类资源地发电的波动性更高，同时由于较高的标杆电价以及运营管理需求，发电收益的提升潜力也更大。其次，为了降低消极波动性，我们应利用智能化等管理方式、选择分布式并网电站项目等方法，来降低光伏电站运维成本，提升光伏发电及并网可靠性，这样能够降低故障率和弃光率，提升收益的稳定性。通过有效管理波动性，我们能进一步提升电站投资价值。

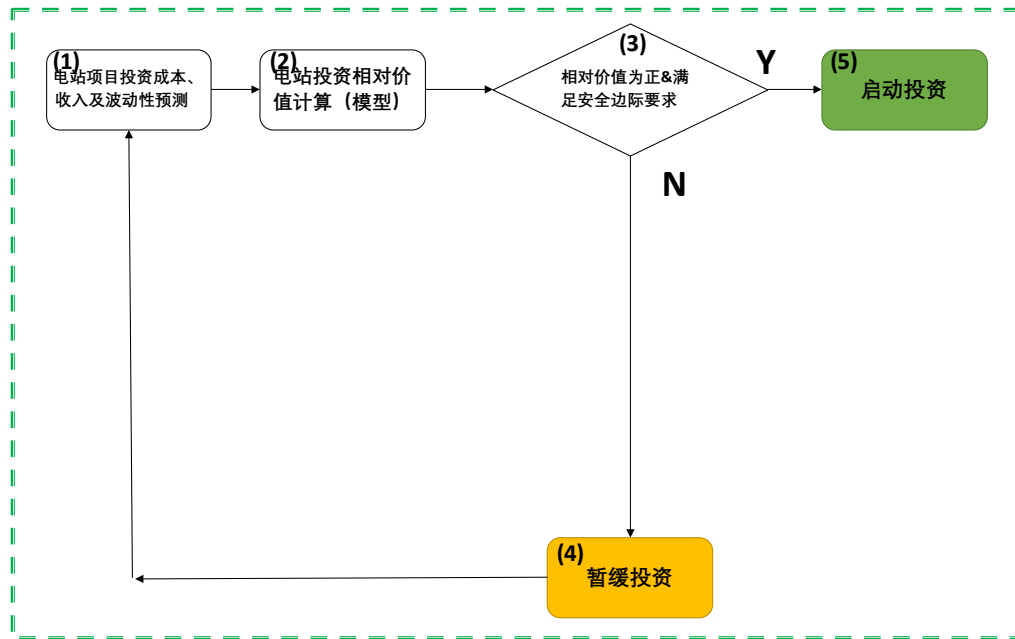
4.4.2 光伏电站估值模型在实际投资决策中应用总结

对企业而言，光伏电站投资决策最担心的是两种错误：第一种：误判项目估值高于项目实际价值，实施投资后发生亏损，无法收回投资，损失投资金额及资金机会成本；第二种：误判项目价值低于项目实际价值，放弃项目投资导致错失投资机会，损失当前项目收益及未来项目收益的可能性。

由于土地、光照、并网条件等资源限制，优质的光伏电站项目资源供应有限，未来属于稀缺资源，且对项目决策的周期往往较短，难以应用复杂的模型来进行价值项目估算，加上较高的收益不确定性。因此，如何快速对光伏项目投资价值进行估算，是光伏项目投资决策的关键所在。

应用光伏电站估值模型，我们可以把传统+实物期权的光伏项目投资决策流程进行简化，形成如下的升级版光伏电站决策流程，从 4.1.2 的 7 步减少为 5 步。

图表 19 改进版光伏电站投资决策流程图



结合光伏电站模型和升级版决策流程进行光伏电站投资决策，具有以下优势：

1、提升投资决策效率：应用估值模型的升级版光伏电站决策流程不仅能够降低计算量，提升决策效率；同时也能避免错失未来项目投资机会，使光伏电站的投资决策更加准确全面。

2、比较不同项目价值：通过应用光伏电站估值模型，在遇到多个光伏电站项目决策时，通过计算衡量各自的相对价值，能够在同一平台上比较不同项目投资价值的高低，从而在选择投资项目时，通过比较相对价值，来确定不同项目投资的优先级别或先后顺序，提升企业决策的准确性和有效性。

3、优化提升投资价值：应用光伏电站估值模型，可以有针对性分析影响光伏投资价值的主要因素，分析其影响方向和影响程度。在项目投资前、投资中和运营管理中，可以

通过对这些主要因素进行优化，来挖掘和提升光伏电站投资价值，从而使投资价值得到持续改善。

“光伏电站投资相对估值模型”通过选择最具有代表性的光伏电站价值影响因素，对包含光伏电站实物期权价值（扩张期权）的相对投资价值进行估算，能够有效提升光伏电站投资决策的效率和准确性，并能够在同一平台上衡量不同项目价值，进而挖掘提升项目潜在价值。通过实际项目应用，我们验证了模型的有效性。光伏电站投资相对估值模型在实践中具有较高的实用性，能够帮助企业提升光伏电站投资决策能力。

五、结论

5.1 论文的结论和主要贡献

光伏电站是中国未来能源结构调整的重要措施，也是社会能否实现可持续发展的关键环节。光伏电站投资具有项目周期长、投资价值不确定性高、优质项目资源有限以及项目可扩展性强等特点，投资决策难度大且流程复杂，尤其是对光伏电站投资价值的判断，是项目投资成功与否的关键环节。

本论文通过实物期权计算及回归分析方法，得出“光伏电站项目投资相对价值模型”和“升级版光伏电站投资决策流程”，为企业优化光伏电站投资决策提供支持。

5.1.1 论文的主要结论

因光伏电站资产具有前述特殊性，传统净现值方法难以对其价值进行全面评估，将可能导致错判而错失光伏电站投资机会，需要引入实物期权等计算，以改善光伏电站项目估值方法。综前所述，本论文结论如下：

1、光伏电站投资估值应计算实物期权价值，而非仅考虑净现值价值。

首先，中国光伏电站建设具有非常强的连续性，项目价值中包含实物期权价值：新项目所构建的场地、并网、管理系统等基础设施硬件，以及运营经验、地方关系等软件，都能方便为下一期使用。在实际项目中，往往在一期电站成功后，会继续建设二期项目。因此，投资当期项目所获得的收益价值，不能仅仅局限于当期项目的净现金流，同时还应该考虑由于建设当前项目所取得的未来项目收益权利的价值，即光伏电站的实物期权，尤其是扩张期权的价值。若仅考虑光伏电站当前项目投资收益的净现值，就无法准确评估出后续由于获得期权所带来的价值。

其次，实物期权价值对光伏电站估值影响很大，是电站投资价值的重要组成部分。光伏电站具有初始投资高、回收期长且影响因素多等特点，如果仅以当前项目收益的净现值为依据，大部分光伏项目将都不具备投资价值。但从 3.2.2 的案例分析以及 4.2.2 的 33 个实际项目分析中可以看出，在计算项目净现值的基础上，通过计算电站项目的实物期权价值，我们能更全面的挖掘电站项目投资价值，从而做出更加合理的投资决策。

2、应用“光伏电站投资相对估值模型”能简化电站估值计算，并提供统一比较和分析平台。

实物期权计算能够全面衡量光伏电站的投资价值，但同时也存在着计算复杂、影响因素多等特点，在实际应用中计算效率低、容易错误，且难以对不同类型电站项目进行比较分析。因此需要对实物期权计算进行简化和标准化。

本论文在分析电站价值各影响因素、考虑数据可得性的基础上，将 8 个影响程度高、不确定性较大的影响因素量化为“单位光伏电站净现值”、“3 年后新建单位光伏电站净现值”、“光伏电站收入波动性”等 3 个重点因素。再利用 33 个实际光伏电站项目的投资和运行数据，采用回归分析方法，构建起 3 个重点因素和 1 个自变量“光伏电站投资相对价值”间的数学模型： $Y = -0.12009 \times X_1 + 0.71402 \times X_2 - 0.13432 X_3 + 0.014933$

我们通过两个实际案例，验证了数学模型的有效性，证明此模型能为光伏电站投资估值提供依据。在对包含实物期权在内的电站全面价值分析基础上，也简化、规范了计算过程，为投资决策实现相对准确、快捷的量化分析依据。

3、应用“光伏电站投资相对估值模型”能够对电站投资决策流程进行优化。

传统电站投资决策流程中没有考虑实物期权价值影响，为全面衡量光伏电站投资价值，我们需要对传统电站投资决策流程进行改造，引入实物期权价值计算，这样就使决策流程变得复杂，同时也难以实现项目间的横向比较。

通过应用“光伏电站投资相对估值模型”，我们能够对光伏电站投资决策进行升级优化。一方面降低了计算量，简化了光伏电站投资决策流程；另一方面也能够为不同电站项目间的投资价值进行比较，提供决策依据，帮助投资企业做出更优的投资决策。

5.1.2 论文贡献及价值

新能源类行业，从宏观上来说，属于国家重点战略性行业，需要重点扶持来增加未来国家竞争力；从微观上来说，是企业发展和转型的战略机遇，需要全面衡量风险和收益后挖掘投资机会。

此类行业的战略位置重要，但由于行业成熟度低、初始成本高，按照常用的净现值等投资标准衡量，往往会发现入不敷出，没有投资价值。但此类行业项目，由于具有非常重要的战略价值，行业成熟度上升快、成本下降快，如果不能准确把握投资机遇，则很有可能丧失先发的战略机遇，导致丧失未来发展、转型的主动性。

因此，如无法对该类行业的基础资产（能产生收益的资产单元，如光伏电站）进行准确、全面、易操作的估值，国家对此行业进行盲目补贴或去补贴，容易拔苗助长，引起行业波动；企业对此行业盲目投资或撤资，容易落入投资陷阱，导致企业财务损失。为解决这些问题，论文主要贡献如下：

首先，论文通过采用实物期权计算方法，在衡量基础资产净现值价值的同时，引入了未来选择权的溢价，通过对二者的综合计算来衡量基础资产的投资价值。这样一方面能将

这类投资的战略价值计入估值之中，为投资决策提供全面参考；另一方面也能相对精确衡量基础资产的实际投资价值，有利于国家或企业对比各种风投价值和机会成本，从而制定合理的补贴政策或投资策略，避免盲目操作。

其次，实物期权计算复杂易错，论文通过实际案例，采用回归分析建立起光伏电站投资估值模型，对光伏电站的价值影响因素进行分析、选择和量化，对实物期权计算进行标准化，从而使基础资产的估值计算过程更加便捷，降低了计算量和复杂度。将数据模型融入决策流程后，使决策流程更加简单和准确，从而使企业在面对光伏电站类基础资产投资时能够提升决策效率和准确性，并能够在未来应用大数据技术，建立智慧平台来持续优化和改善投资决策，获取价值。

最后，任何估值的最终目的都是为了获取和创造价值，通过对实物期权计算的敏感性分析和情景分析，论文识别出主要影响光伏电站估值的因素以及相应影响程度，结合实际项目投资经验，挖掘出改善光伏电站投资价值的方法和措施。通过对估值模型中实物期权各影响因素的选择和改善，论文提出了各种提升光伏电站价值的方法，对新能源发电、新能源汽车、半导体芯片、生物医药等行业的价值挖掘都有重要的参考价值。

5.2 论文实际应用及后续研究建议

建立光伏电站资产估值模型并优化决策流程，对光伏电站企业提升投资能力具有重要价值。这种实物期权分析法也可以用于其他类型及阶段的资产评估。

5.2.1 论文的实际应用

本论文所涉及的实物期权计算及模型分析方法，能够帮助企业提升光伏电站投资决策能力，为精准决策提供依据。此分析方法及模型已经在 SN 公司的光伏电站估值分析得到应用，实际应用案例如下：

SN 公司是一家有百年历史的制造类跨国公司，1980 年进入中国，当前以电力及自动化类解决方案制造和销售为主要业务。2010 年前后 SD 公司曾从事光伏电站整体方案销售，但由于中国光伏市场波动，逐渐在中国退出此项业务。2019 年，随着中国新能源市场的高速发展以及公司业务转型的需要，在论文作者的建议下，SD 公司认为中国光伏电站投资市场窗口已经打开，开始研究如何进入光伏发电市场，分析从事光伏电站建设和投资的可行性。

第一阶段，SN 公司在收集了若干光伏电站运营数据，总结数据后，采用传统的净现值分析法对目标光伏电站项目进行估值。在估值计算后发现，当前大部分目标光伏电站项目 10 年净现值为负，考虑到未来标杆电价（补贴）可能进一步下降，项目风险非常大，投资可行性几乎为零。

SN 公司经过分析，发现光伏电站具有非常大的实物期权属性：参与初期项目投资能够获得优质资源并积累经验，为未来带来项目扩张获得选择权价值；而放弃项目投资往往意味着优质光伏资源的丢失和企业转型机会的丧失，损失了当前及未来的投资获益机会。

第二阶段，SN 公司重新从实物期权角度对目标光伏电站价值进行分析。在实物期权价值分析中，SN 公司战略部门发现实物期权能够全面发现和挖掘光伏电站价值，但数据需要量大、假设多、计算复杂，且不容易实现不同项目间的比较。因此 SN 公司希望基于

少数重要的光伏电站数据以及标准的假设，来建立一个简化的模型，对光伏电站投资的相对价值做判断，并能实现不同项目间对比分析，

第三阶段，基于所收集的项目情况，论文作者为 SN 公司设计了光伏电站估值的简化模型，并在实际项目中进行了验证，证明模型具有非常好的实用价值。SN 公司现在已经将此模型融入标准决策流程中，利用模型的量化计算结果，对大量光伏电站投资项目做筛选和比较，从中发现数十个可行的优质种子项目，大大提升了投资决策的效率和精确性。论文作者在 SN 公司建立光伏电站类项目筛选标准及投资决策流程同时，也建议 SN 公司将此类方法用于 SN 公司其他类似行业项目投资决策流程中。

5.2.2 论文存在局限之处

因为篇幅有限、论文周期较短及本人学识限制，本论文还存在以下需要改进的空间：

1、未考虑多种实物期权价值。

和金融期权的跨期交易价值不同，实物期权价值源于因目前资产的使用，对未来投资机会产生的选择使用所产生的价值，因为对实物资产使用的不同选择，包含 6 种期权价值：扩张期权价值、收缩期权价值、转换期权价值、延迟期权价值、放弃期权价值以及经验增长期权。本文中仅考虑了光伏电站的扩张期权价值，未将其他期权价值考虑在内。

实际项目应用中，扩张期权是光伏电站最重要的期权价值，但依据实际情况变化，光伏电站还可以通过出售部分发电容量（收缩）、将项目用地用于其他应用产生价值（转换）、推迟电站建设投运（延迟）、放弃电站项目止损（放弃）以及培养企业电站运营经验和人才（增长）等方式获得实物期权价值。我们将对这些期权价值在未来将做进一步分析，完善后加入估值模型之中。

2、实际案例数量可进一步扩充

在回归分析及模型验证中，项目数据越多，模型越具有代表性。但因为中国光伏电站项目大规模建设始于 2012 年左右，虽然增速快，但长期运行经验少，能够进行长期分析的运行项目有限，且多数电站项目发电数据保密，获得难度较大。因此本文中所采用的实际电站项目为 35 个（包含 2 个验证项目），需要进一步增加其数量。未来，我们将根据项目增长情况，逐步完善项目数据库，以进一步优化模型，提升决策准确性。

3、未考虑企业目标、政府规范等其他决策影响因素

企业经营决策目标往往不是简单的单一目标，比如在企业品牌、企业能力、土地资源获得以及企业价值观等方面，同时，在不同成长期和不同类别的企业间，其经营目标都有所不同。光伏电站属于绿色资产，能够产生持续相对稳定的现金流，优质的光照、土地和并网资源稀缺，这些特点都可能对企业投资决策产生影响。因这些因素难以量化和规范化，因此本文仅从财务角度出发，对电站项目的净现值和实物期权价值进行分析，未考虑其他影响因素。

政府在中国光伏电站项目建设中有举足轻重的作用，一方面电站的标杆电价是由政府制定的，另一方面因为电力关系国计民生，政府或国企在电站建设标准、发电并网规范等方面也有非常强的影响力。本论文篇幅有限，对此未作进一步分析。

4、实物期权计算方法可以进一步扩展

实物期权计算包括偏微分法、动态规划法和模拟法等方法。本论文所使用的是偏微分法，即“布莱克-斯科尔斯”模型，通过解析的方法直接对期权价值进行求解，这种方法适用于资产价格服从对数正态分布模式、欧式期权类型（资产到期前不可交易）等特点。

在实物期权定价模型中，还包括动态规划法-二叉树分析法，以及动态法-蒙特卡洛模拟法。前者是利用不同阶段概率结合期望进行计算，求得实物期权价值；后者是通过大量的模拟计算，来求得实物期权价值。

因篇幅有限，本论文没有对这两种方法下的实物期权价值计算进行分析。在和蒋展导师沟通中也了解到：光伏电站在理想情况下，“布莱克-斯科尔斯”模型所求得的实物期权价值和二叉树法所计算的价值相等。

5.2.3 论文的后续研究建议

以实物期权方法分析光伏电站价值，并建立估值模型，对企业实物资产投资决策流程优化有很大的参考价值，我们后续将从以下两个方向对相关主题进行继续研究：

1、拓展实物投资研究对象：从不同资产的性质来看，实物期权分析方法不仅适用于光伏电站这一类新能源资产，也适用于其他具有类似性质资产的价值评估。

比如在医药、生物制造、半导体、信息和通信技术等行业中，市场和技术方面都具有高度的不确定性，各种设备和包含人力在内的资源，以及不同时期的成本投入都存在着非常高的不确定性和不可逆性。对这些资产投资的进行实物期权分析，能够帮助企业对这些资产投资中产生的未来选择权进行定价和估值，从而提升投资决策质量。

不同行业所适用的实物期权方向和计算方法不同，后续我们计划对和电子、医疗等行业的资产投资决策进行实物期权分析和估值建模。

2、持续优化估值模型并指导项目优化：积累更多的实际案例、采用不同的模型构建方法、选择不同的因变量都会对估值模型的准确性产生较大影响。

后续我们将积累更多的实际案例数据，并利用神经网络分析等方法对模型进行持续优化。同时，通过选择不同的因变量，探索提升模型输出和实际计算估值曲线拟合度的方法，从中发现对最终光伏电站项目价值产生影响的关键因素以及影响权重。在不同阶段光伏电站的估值中，从设计、建设到运营，建立不同的估值模型，并对重要影响因素进行分析，发现对其进行优化和影响改造的方法，最终提升光伏电站整体价值。

参考文献

- Afzal S. Siddiqui, Chris Marnay, and Ryan H. Wiser. 2005. “Real Options Valuation of US Federal Renewable Energy Research, Development, Demonstration, and Deployment”. ERNEST ORLANDO LAWRENCE, BERKELEY NATIONAL LABORATORY
- Bartolomeu Fernandes , Jorge Cunha, Paula Ferreira. 2011. “The use of real options approach in energy sector investments” Renewable and Sustainable Energy Reviews
- Christopher D.Piros, Jerald E.Pinto. 2015. 《投资决策经济学：微观、宏观与国际经济学 ECONOMICS for INVESTMENT DECISION MAKERS:Micro,Macro,and International Economics》机械工业出版社
- Damodaran A. 2019. 《估值:难点、解决方案及相关案例 The Dark Side of Valuation》. 机械工业出版社
- David T. Larrabee, Jason A. Voss. 2015 《估值技术 Valuation Techniques:Discounted Cash Flow,Earning Quality,Measures of Value Added,and Real Options(CFA Institute Investment Perspectives》. 机械工业出版社
- Jerald E. Pinto, Elaine Henry, Thomas R. Robinson, John D. Stowe. 2012. 《股权资产估值 Equity Asset Valuation》. 机械工业出版社
- Michael S. Williams, Amy S. Hoffman, 2011 《期权市场基础 Fundamentals of the Opitions Market》. 机械工业出版社
- 刘君 Jun Liu, 韩士博 Shibo Han, 曾华荣 Huarong Zeng, 陈仕军 Shijun Chen, 王西伟 Xiwei Wang, 曾鹏 Peng Zeng. 2013. “基于实物期权理论的光伏发电投资决策模型”. 节能技术 2013 年第 1 期
- 周骏垚 Junyao Zhou. 2015. “基于实物期权的太阳能光伏行业企业价值评估——以深圳市拓日新能源科技股份有限公司为例”. 硕士论文. 北京交通大学
- 吴庆功 Qingong Wu. 2014. “基于多阶段复合实物期权的风力发电项目投资决策”. 经营者 2014 年 7 期
- 王淑娟 Shujuan Wang, 彭立斌 Libin Peng. 2016. “竞争方式配置项目下光伏项目的投资风险与策略”. 太阳能 2016 年第 5 期
- 王淑娟 Shujuan Wang, 赵娜 Na Zhao, 李荣华 Ronghua Li, 李宜真 Yizhen Li. 2014. “不同电价区内光伏电站的投资策略研究”. 中国电力 47 卷第 5 期
- 吴甜甜 Tiantian Wu. 2014. “基于实物期权的可再生能源发电技术项目投资价值评估研究”. 硕士论文. 南京财经大学

- 高玮 Wei Gao. 2014. “我国光伏产业融资问题研究”. 金融实务 304 期
- 林 溪 Xi Lin. 2013. “简述分布式光伏电站项目的投资分析模型”. 理财与投资 2013 年第 9 期
- 刘小静 Xiaojing Liu ,邹涛 Tao Zhou, 陈彦颖 Yanying Chen. 2015. “基于实物期权理论的企业设计创新投资时机研究”. 财经理论与实践 193 期: 64~67 页
- 陈兴连 Xinglian Chen, 崔东海 Donghai Cui, 张斌 Bin Zhang. 2017. “太阳能光伏发电风险评价”. 建筑工程技术与设计 2017 年 16 期
- 周友梅 Youmei Zhou, 胡晓明 Xiaoming Hu, 2007 《资产评估学基础》. 上海财经大学
- 黄志洵 Zhiwei Huang. 2017. “太阳能光伏发电项目投资风险与防范探析” 商品与质量 2017 年第 3 期
- 黄智勇 Zhiyong Huang. 2009. “基于实物期权的新能源投资决策研究——以太阳光伏电板投资项目为例”. 硕士论文. 南开大学