



价格理论与实践
Price: Theory & Practice
ISSN 1003-3971, CN 11-1010/F

《价格理论与实践》网络首发论文

题目：考虑绿证价格与发电量双重随机的风电投资策略研究
作者：宋明珍，马腾，谢家平，孔令丞，古丽扎尔·艾赛提
网络首发日期：2023-04-21
引用格式：宋明珍，马腾，谢家平，孔令丞，古丽扎尔·艾赛提. 考虑绿证价格与发电量双重随机的风电投资策略研究[J/OL]. 价格理论与实践.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1010.F.20230420.1728.006.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

宋明珍 马腾 谢家平 孔令丞 等

考虑绿证价格与发电量双重随机的风电投资策略研究

内容提要:针对火力发电减排投资的碳交易市场,实物期权理论被用于研究碳价波动对投资策略的影响。而在可再生能源发电项目中,绿证价格与风力发电量具有双重不确定性,本文据此构建风电投资项目实物期权模型,研究绿证价格与发电量波动等对风电投资阈值与投资时点的影响。研究表明:(1)绿证价格与发电量波动增加了投资阈值与投资等待时间,积极推动绿证跨区域交易、禁止二次交易、配置储能装置能够抑制波动,降低风电投资阈值门槛;(2)绿证期望收益率适中更为有利;(3)运营周期延长及税收优惠力度增加均能降低投资阈值与投资等待时间,起到激励风电项目投资的效果。基于此,应限制绿证投机性交易、实施绿证价格下限政策、延长运营周期与税收优惠并举。

关键词:绿证价格 实物期权 风力发电 投资策略

“双碳”目标作为应对气候变化的重要举措,其实现需要调整能源结构,依托零碳技术推进可再生能源电力逐步替代化石能源是关键(许光建、马祎明,2022)。我国通过度电补贴等方式,推动以风电和光电为代表的可再生能源迅猛发展。然而,可再生能源地区分布不均衡及其电力规模非均衡的快速扩张,致使弃风弃光现象频发、政府财政资金直接补贴规模急剧增加(林伯强,2018)。国际实践表明:可再生能源配额制与绿色电力证书交易机制(简称“配额制”与“绿证制度”)是解决弃风弃光与财政补贴问题的有效途径(赵新刚等,2019)。随着度电补贴被绿证交易逐步替代,绿证收入成为企业增加风电项目投资收益的重要途径。受供求关系、交易主体分散、自然条件等因素影响,风电绿色证书成交价格(简称“绿证价格”)与风力发电量均存在明显的不确定性,提升了风力发电项目的投资风险。本文旨在通过实物期权理论研究绿证价格与风力发电量不确定性对风力发电项目投资策略的影响,为风电项目投资决策提供参考。

一、相关研究文献评述

本文梳理了与主题相关的研究文献,主要包括不确定性项目投资策略、可再生能源政策效应、绿色证书等。

国内外学者在不确定性项目投资策略方面的研究取得了丰硕成果,Dixit和Pindyck(1994)率先把实物期权理论应用于不确定性项目投资决策中。赵振宇等(2021)利用实物期权模型研究变电站分期投资决策,所构建模型有助于优化变电工程分期建

设投资时序。王素凤等(2016)分析碳价、电价、燃料价格、碳减排率、补贴政策等多重不确定下的火电商碳减排投资策略。Mo等(2016)考察碳价上下限、上网电价等多种因素对可再生能源投资的影响,发现碳排放交易体系对风电场投资有显著的影响。张新华等(2019)研究收益下限对火电商碳减排投资的影响,发现收益下限政策可以激励发电商进行碳减排投资。王辉(2022)从政策和市场两个方面分析风电项目投资环境,从“证电合一”“风储一体”等方面提出风电投资建议。

可再生能源投资及政策效应方面:Wang等(2012)认为,有序的政策引导可以提升发电商最优投资水平。李庆和陈敏(2016)发现:稳定的扶持政策会提振企业对可再生能源项目投资的信心。谭显春等(2022)认为,环境规制对不同产权性质的可再生能源企业投资的影响具有差异性。Miah等(2012)引入渗透率研究可再生能源发电的最优容量投资路径,针对不同的规划周期选择,给出最优发电路径及其控制策略。孔令丞等(2019)针对可再生能源供需不确定性的情形得出最优定价策略与投资规模。Kök等(2018)研究不同定价政策对可再生能源容量投资的影响,发现由于不同可再生能源发电模式差异,相同的定价政策可能会导致不同的结果。

绿色证书方面:赵新刚等(2019)认为,科学的配额、较高的罚金和较低的交易成本下,绿证交易市场更为有效。张浩等(2019)认为,我国绿证市场尚处于初级阶段,绿证自愿交易不活跃,其价格受配额量等因素共同影响。周德群等(2023)研究碳市场、绿证市场与电力市场的价格形成机制,发现多市场协同

对促进可再生能源发展有显著效果。

已有研究主要围绕具有不确定性的燃煤发电企业 CCS 项目投资展开,较少涉及具有无碳和间歇性特点的风力发电项目投资,而可再生能源投资领域的研究未考虑绿证价格的不确定性对投资阈值与投资时点的影响。基于此,本文考虑绿证价格、风力发电量具有不确定性,服从几何布朗运动,据此构建风电投资实物期权模型,并结合具体案例分析不确定性因素对风电项目投资策略的影响。与已有文献相比,本文首次考虑绿证价格随机性,通过求解风电项目的投资阈值与投资时点,分析绿证价格与风力发电量波动对风电项目投资策略的影响,以丰富相关研究。

二、绿证价格与发电量对风电投资策略影响机制的理论分析

(一)我国“配额制”与“绿证制度”

中国绿色电力证书认购交易平台(简称“绿证交易平台”)于2017年7月1日开始交易绿色电力证书,标志着我国“配额制”与“绿证制度”的正式实施。根据2019年5月国家发展改革委、国家能源局出台《关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知》:售电商承担年度售电量对应的消纳量,需要根据售电量完成对应配额比例的可再生能源消纳量的任务,未完成部分可以通过购买绿证的方式实现。在《绿色电力证书核发及自愿认购规则(试行)》中,对绿证交易进行了相关规定。

我国绿证交易可以分为两个阶段:前期(即2017年7月-2020年12月)为自愿交易阶段;2020年财政部等三部门联合发布《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》,明确规定“自2021年1月1日起,实行配额制下的绿色电力证书交易”,标志着绿证强制约束交易的开始。分析绿证交易平台交易数据可以发现,我国绿证交易价格存在明显随机波动特征,以2017-2021年风电绿证交易价格为例,风电绿证价格在128.6-382.3元/个区间内波动,且呈现整体偏低的水平。作为新建陆上风电项目收入的重要组成部分,风电绿证的价格波动会对风电投资项目收益产生重要影响。

(二)风电投资项目收益影响机制

根据国家发展改革委印发《关于2021年新能源上网电价政策有关事项的通知》,自2021年起我国新核准陆上风电项目不再享受中央电价补贴。因此,新建风电项目收益主要由风电销售收入和绿证交易收入两部分构成。其中,风电销售收入由风电上网电价与上网电量决定,而风电上网电量受风力发电制约,受天气影响,每个地区风力资源的间歇性特征致使风力发电量存在不确定性;绿证交易收入由风

电上网电量与绿证价格相乘得到,而绿证价格受制于绿证市场供需结构,同样存在不确定性。二者的不确定性会直接影响风力发电项目的收益稳定性,乃至最终影响风电项目投资决策。风电投资项目收益的具体影响机制如下:

1.绿证价格与发电量波动对投资阈值与投资等待时间的影响机制。受风电项目“一次投入、分期收益”特征的影响,进行风电项目投资决策时,企业会重点考虑能否尽早收回投资成本并获得一定规模的净收益。风力发电量与绿证价格的波动致使风电销售和绿证交易收入均存在不稳定性,从而降低了风电项目整体收益稳定程度,增加了风电项目投资风险。此情形下,只有获得更高收益时,投资商才有可能选择继续投资风电项目;否则,会选择等待更高投资收益项目的出现。即绿证价格与风力发电量单一或双重不确定性均会增加投资阈值与投资等待时间。

2.绿证价格对投资收益率的影响机制。作为新建风电项目的重要收入来源,绿证交易收入由核准的绿证个数与绿证价格决定。虽然风力发电量存在波动性,但受风电项目固定容量规模影响,其波动幅度有限。而绿证价格则不同,其受绿证市场供需决定。绿证市场始终存在绿证供需不平衡的可能,导致绿证价格出现明显上升或下降。而绿证交易成本较小可以忽略不计,绿证价格变动会直接影响风电项目的投资收益率。

3.运营周期及税收优惠对投资阈值和投资等待时间的影响机制。项目运营周期是影响能否回收投资的关键因素之一,即使项目收益稳定,较短的项目运营周期也会导致风电项目无法实现既定净收益目标,甚至无法收回投资。在项目前期给予一定的税收优惠可以降低项目综合运营成本,从而缩短项目投资回收周期。因此,针对风电投资项目,宽松的运营周期限制及适当的税收优惠政策能够降低投资阈值,激励投资商及早投资风电项目。

为此,本文以绿证价格与风力发电量具有随机性为前提,考虑运营周期及税收优惠的影响,构建风电项目投资的实物期权模型,用以分析不同因素对风电项目的投资阈值及投资时点的影响。

三、考虑绿证价格与发电量随机的风电投资模型构建

(一)模型构建

参考文献(Tian等,2016),假设风电绿色证书价格 p (万元/10个,10³kW·h风电量=1个绿证),服从如下几何布朗运动:

$$dp(t) = \mu_p p dt + \sigma_p p dw_p(t) \quad (1)$$

其中, μ_p 与 σ_p 分别代表绿证价格的漂移率与波动率,二者均大于0, dt 为趋于零的时间间隔, $dw_p(t)$ 为标准维纳过程,记 $dw_p(t) \sim N(0, dt)$;参照股票市场

中的界定(沙浩伟和曾勇,2017),将绿证价格漂移率看作投资风电项目的绿证期望收益率。

参考文献(Cardin等,2017),假设风力发电量 q (万kW·h)服从如下几何布朗运动:

$$dq(t) = \mu_q q dt + \sigma_q q dw_q(t) \quad (2)$$

其中, μ_q 与 σ_q 分别为风力发电量的漂移率和波动率,二者均大于0, $dw_q(t)$ 为标准维纳过程, $dw_q(t) \sim N(0, dt)$ 。用 ρ 表示以上两个维纳过程的相关系数, $E[dw_p(t)dw_q(t)] = \rho dt$ 。

假设严格配额和绿证强制交易下风电绿证能够全部售出,则风力发电商利润可表示为:

$$\pi = \pi_1 + \pi_2 = (1-\tau)pq + (1-\tau)p_r q \quad (3)$$

其中, π_1 表示销售绿证净利润(假设绿证交易成本为零); π_2 表示销售风电的净利润。其中, $p_r = p_e - c_e$ 为单位风电的边际收益(元/(kW·h)), p_e 为固定上网电价(元/(kW·h)), c_e 为单位发电运营成本(元/(kW·h)), τ 为企业所得税率。由伊藤引理, π_1 服从如下几何布朗运动:

$$d\pi_1(t) = \mu\pi_1 dt + \sigma\pi_1 dw(t) \quad (4)$$

其中, $\mu = \mu_p + \mu_q + \rho\sigma_p\sigma_q$ 与 $\sigma = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_q^2 + 2\rho\sigma_p\sigma_q}$ 分别表示 π_1 的漂移率和波动率。

(二) 风电投资模型分析

1. 风电项目投资价值函数。根据实物期权模型,风电项目投资价值函数为:

$$V(\pi(p(t), q(t))) = E \left[\int_0^T e^{-rt} \pi(p(s), q(s)) ds \right] \quad (5)$$

其中, r 为无风险利率, T 为风电项目的运营周期。求解式(5)得到式(6)。

$$V = \frac{(1-\tau)pq}{r-\mu} \left[1 - e^{-(r-\mu)T} \right] + \frac{(1-\tau)p_r q}{r-\mu_q} \left[1 - e^{-(r-\mu_q)T} \right] \quad (6)$$

通常,无风险利率大于绿证价格、风力发电量的漂移率;否则,风险过高,投资商不会选择投资,对应 $1 - e^{-(r-\mu)T} > 0$ 、 $1 - e^{-(r-\mu_q)T} > 0$ 。

2. 风电项目投资期望价值函数。若投资商不投资风电项目,选择“等待”投资时机,则相当于持有对对应规模的期权,该期权价值用 $F(p, q)$ 表示。

定义比例 $\gamma = p/p_r$ 。则项目投资期望价值函数为:

$$F(p, q) = (1-\tau)p_r q f(\gamma) \quad (7)$$

其中, τ 为企业所得税率。根据实物期权理论及投资期望价值函数对应的贝尔曼方程,得到

$$f(\gamma) = B_1 \gamma^{\beta_1}, \beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{\mu - \mu_q}{\sigma_p^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\mu - \mu_q}{\sigma_p^2}\right)^2 + 2 \frac{r - \mu_q}{\sigma_p^2}}$$

(三) 最优投资策略

存在投资阈值 p^* 与投资时点 $E(t_s)$,使投资商在绿证价格为 p^* 、投资时点为 $E(t_s)$ 时选择立即投资。

$$p^* = \frac{p_r \beta_1 (r - \mu) \left\{ I(r - \mu_q) - p_r q (1 - \tau) \left[1 - e^{-(r - \mu_q)T} \right] \right\}}{q(\beta_1 - 1)(r - \mu_q)(1 - \tau) \left[1 - e^{-(r - \mu_q)T} \right]} \quad (8)$$

$$E(t_s) = \frac{1}{\mu_p - 0.5\sigma_p^2} \ln \left(\frac{p^*}{p_0} \right) \quad (9)$$

其中, p_0 为绿证价格初值。

根据实物期权理论的价值匹配与平滑粘贴条件,可以得到 p^* 与 $E(t_s)$ 的表达式。由式(8)和式(9)可知,投资阈值由绿证价格 p^* 与风力发电量 q^* 共同决定,当绿证价格 $p \geq p^*$ 且风力发电量 $q \geq q^*$ 时,项目投资价值大于等于该项目期权价值。此时,企业会立即投资风电项目,投资时点为 $E(t_s)$;否则,选择“等待”更好的投资时机为最优决策。绿证价格只有在大于零时才会进行绿证交易,对应 $I(r - \mu_q) - p_r q (1 - \tau) \left[1 - e^{-(r - \mu_q)T} \right] > 0$ 。

(四) 最优决策的性质分析

性质1:投资阈值 p^* 、投资时点 $E(t_s)$ 均与绿证价格波动率 σ_p 呈单调递增关系,即绿证价格波动率的增加会提升投资触发门槛,导致项目延后投资。

分别求投资阈值 p^* 、投资时点 $E(t_s)$ 关于绿证价格波动率 σ_p 的一阶导数,容易得到 $\partial p^* / \partial \sigma_p > 0$ 、 $\partial E(t_s) / \partial \sigma_p > 0$ 。绿证价格波动率的增加会影响投资风电项目所获取绿证收入的稳定性,不稳定收益会增加项目投资风险。此时,企业只有在获得更高额收益以对冲增加的投资风险时,才会选择投资,对应增加了投资阈值与投资时点。

性质2:投资阈值 p^* 、投资时点 $E(t_s)$ 均与运营周期呈单调递减关系,即延长运营周期会降低投资触发门槛,激励企业及早投资。

分别求投资阈值 p^* 、投资时点 $E(t_s)$ 关于运营周期 T 的一阶导数,容易得到 $\partial p^* / \partial T < 0$ 、 $\partial E(t_s) / \partial T < 0$ 。延长甚至取消风电项目运营周期限制会增加项目盈利周期及投资回收能力,从而降低项目投资风险。此时,企业往往会提早投资以获得先发优势、占得先机。

因此,政府应尽量避免对风电项目运营周期的限制,以鼓励企业及早投资风电项目。

性质3:投资阈值 p^* 、投资时点 $E(t_s)$ 均与税收优惠力度呈单调递减关系,即增加税收优惠力度会降低投资触发门槛,激励企业及早投资风电项目。

分别求投资阈值 p^* 、投资时点 $E(t_s)$ 关于企业所得税率 τ 的一阶导数,容易得到 $\partial p^* / \partial \tau > 0$ 、 $\partial E(t_s) / \partial \tau > 0$,即 p^* 、 $E(t_s)$ 与所得税率 τ 呈同向变化,对应与税收优惠力度呈反向变化。增加税收优惠会节约风电项目综合成本,间接提升了项目的盈利能力与投资回收能力。

因此,为了吸引企业投资风电项目,政府应该在项目前期加大企业所得税等税收优惠力度,以降低企业的经营成本,吸引投资者及早投资。

四、风力发电项目案例数值模拟分析

(一) 风力发电项目案例参数设置

以位于河北省张家口的国投康保牧场二期风电项目为例,该项目规划装机容量100.5兆瓦,总投资额约7.52亿元,具体参数设置见表1,通过Math-

表1 参数取值

参数符号	参数取值	数据来源	参数符号	参数取值	数据来源
I	75200		r	0.1	文献(王素凤, 2016)
q	21600	依据(1)	τ	0.25	
T	20	依据(2)	μ_p	0.04	文献(李庆, 2016)
p_c	0.34	依据(3)	σ_p	0.15	文献(李庆, 2016)
c_i	0.1	依据(4)	μ_q	0.02	文献(张新华, 2019)
p_v	0.24	$p_v = p_c - c_i$	σ_q	0.05	文献(Kök, 2018)
p_0	0.1286	依据(5)	ρ	0.5	文献(张新华, 2019)

ematic 软件进行数值模拟。

参数设置依据说明如下：(1) 参考河北省近 5 年平均风电利用小时数，设定风电利用小时数正常水平为 2150，则年风力发电量为 21600 万 kW·h；(2) 以风力发电机组等核心设备使用年限 20 年为依据；(3) 根据国家发改委下发《关于完善风电上网电价政策的通知》，张家口属 II 类资源区，风电上网电价为 0.34 元/(kW·h)；(4) 参考已有项目标准，运营成本由运维成本、人员成本、材料费构成，设定单位发电量综合运营成本为 0.1 元/(kW·h)，数据来源于北极星风力发电网；(5) 根据中国绿色电力证书认购交易平台交易数据确定绿证价格初值。

(二) 绿证价格随机性与风电投资决策

1. 绿证价格随机性对投资阈值的影响。结合参数表，设定绿证价格波动率 σ_p 范围为 $[0, 0.2]$ ，漂移率 μ_p 分别取 0.03、0.04、0.05，图 1 为对应投资阈值 p^* 的变动情况。

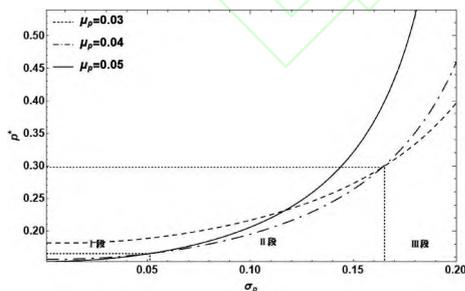


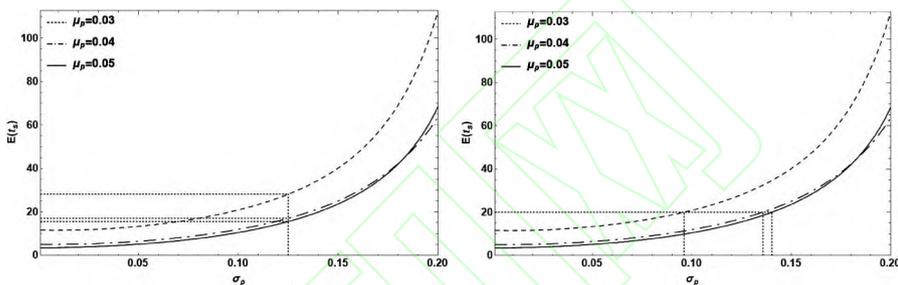
图1 绿证价格随机性对投资阈值 p^* 的影响

图 1 显示：一是相同漂移率水平下，投资阈值与波动率呈同向变化，即伴随着波动率的增加，投资阈值不断提升、且呈加速增长的态势；二是投资阈值与漂移率没有固定变化规律。三条曲线的两个交点，将波动率的取值范围分为 $(0, 0.0512)$ $(0.0512, 0.1640)$ $(0.1640, 0.2)$ 三部分，分别记为 I、II、III 三段。在 I 段处，投资阈值与漂移率呈反向变化、III 段

处呈同向变化、II 段处中间水平的漂移率对应投资阈值最小，而 II 段对应的投资阈值 p^* 范围为 $(0.1654, 0.2977)$ ，与真实绿证交易价格最为接近。

2. 绿证价格随机性对投资时点的影响。在相同参数设定下，得到了投资时点随绿证价格波动的变化状况，如图 2 所示。

图 2 显示：投资时点与绿证价格波动率同样呈同向变化，与漂移率基本呈反向变化，但是随漂移率的同等增加，投资时点下降速度不断降低。由图 2 (b) 可知，相同投资时点水平，漂移率越大时，对应要求的波动率越低。



(a) 波动率为 0.125 对应投资时点 (b) 投资时点为 20 年时对应波动率差异

图2 绿证价格波动对投资时点 $E(t)$ 的影响

综上所述，绿证期望收益率（即漂移率）取值既不宜过大、也不宜过小。在现有参数水平下，取值应介于 0.03 与 0.05 之间，且趋近于 0.04 的中间水平时，对应投资阈值较小，且首次投资时点处于较低水平。过高的绿证期望收益率容易导致企业错失投资机会；水平过低时，无法弥补补贴缺失带来的亏损。具体操作时：一是可以设置绿证价格下限，以规避消极投资的风险；二是应打破区域限制实现跨区域绿证交易、防止绿证投机性收购，从而规避绿证价格的剧烈波动，以鼓励投资商提早投资，这也印证了禁止绿证二次交易等政策的科学性。

综上，在“配额制”与“绿证制度”实施过程中，主管部门需要设定一定的绿证价格下限，积极推动绿证跨区域交易，贯彻绿证有效期且只允许一次交易等政策，以降低绿证价格波动。

(三) 发电量随机性与风电投资决策

为了更加全面反映发电量随机性的影响，设定发电量波动率 σ_q 范围为 $(0, 0.4)$ ，漂移率 μ_q 分别取 0.01、0.02、0.03，如图 3 所示。

图 3 显示：一是发电量随机性对投资阈值与投资时点的影响趋势一致，即发电量波动率与投资阈值、投资时点基本呈同向变化，漂移率的影响效应存在分段特点；二是随漂移率增加，发电量波动率的增加会使投资阈值与投资时点加速增长；三是漂移率的影响同样可以分为 $(0, 0.1424)$ $(0.1424, 0.2894)$ $(0.2894, 0.4)$ 三段，影响效应同上；四是只有当漂移

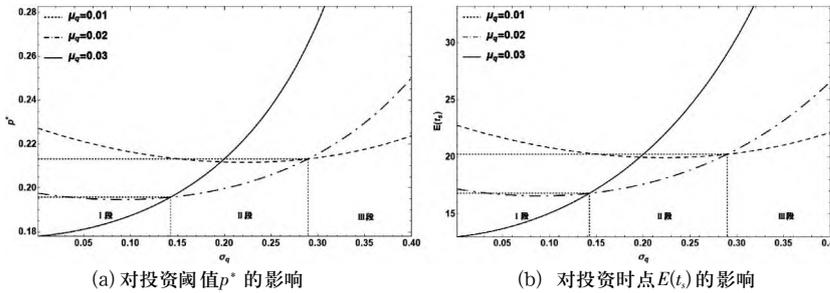


图3 发电量随机性对投资阈值 p^* 、投资时点 $E(t)$ 的影响

率较高、且波动率处于较低水平(0.1及以下水平)时,投资阈值较小,投资商才愿意尽早投资。

总之,较大的发电量波动率与漂移率导致供电履约率的下降,风电商往往需要通过高价应急采购予以解决,增加了整体运营成本,会对风电投资产生较大的负面影响。为了降低发电量波动带来的影响,在风电项目投资时,可以配置一定规模的储能装置。

综上,风电项目投资时,可以通过补贴、税收减免等措施激励风电项目配置储能装置以缓解电力供需矛盾,降低风力发电量波动带来的负面影响。

五、结论与启示

本文考虑绿证价格与风力发电量存在不确定性,构建风电投资项目实物期权模型,研究绿证价格波动、发电量波动等对风电项目投资阈值与投资时点的影响。研究表明:绿证价格波动、发电量波动与投资阈值和投资时点同向变化,在一定程度上抑制了风电投资;绿证价格期望收益率处于中间水平时对风电投资最为有利;较长的运营周期及较大的税收优惠力度能够激励投资商提早投资风电项目。基于此,得出如下政策启示:

1. 限制绿证投机性交易行为,维持绿证价格稳定。各级政府应坚决贯彻执行《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》等政策,以真正发挥“配额制”与“绿证制度”作用。在绿证交易环节,政府需要积极采取推动绿证跨地区交易、禁止二次交易、设置绿证有效期等措施,以限制投机性囤积绿色证书扰乱绿证交易市场的行为,有助于抑制绿证价格波动,从而降低绿证价格不确定性对风电项目投资的负面影响。

2. 实施绿证价格下限政策,激发投资商及早投资。在绿证交易机制实施过程中,可以考虑出台绿证价格下限制度(每个地区需要结合本地实际设计合理的绿证价格下限水平),并给予绿证购买方一定的补贴(仅限于绿证市场培育阶段或触发绿证价格下限机制时),以保证新建风电项目能够获得稳定且较高的绿证收入,可以分摊投资商前期过高的投资成本,从而激发投资商及早投资风电项目。

3. 延长运营周期与税收优惠并举,增加盈利能力。提升风电等可再生能源占比是实现“双碳”目标的关键举措。为了激励风电项目投资,一方面,政府在项目审批阶段可以延长甚至取消针对风电项目运营周期的限制,以增加项目收益周期,从而提升整个项目周期的

收益规模;另一方面,对于处在运营初期的风电项目,可以考虑出台企业所得税减免方面的优惠政策,从而在一定程度上增强风电项目的综合盈利能力,以促进风电项目加速发展。

参考文献:

- [1] 许光建,马伟明.“双碳”目标下电力价格机制改革研究[J].价格理论与实践,2022(02):20-25+68.
 - [2] 林伯强.中国新能源发展战略思考[J].中国地质大学学报(社会科学版),2018,18(02):76-83.
 - [3] 赵新刚,任领志,万冠.可再生能源配额制、发电厂商的行为与演化[J].中国管理科学,2019,27(03):168-179.
 - [4] 赵振宇,马旭,包格日乐图.实物期权理论下变电站工程分期建设投资决策研究[J].价格理论与实践,2021(03):91-95.
 - [5] 王辉,吴子超.“平价时代”风电项目投资策略研究——基于电力市场环境下的风储电站分析[J].价格理论与实践,2022(09):125-129.
 - [6] 王素凤,杨善林,彭张林.面向多重不确定性的发电商碳减排投资研究[J].管理科学学报,2016,19(02):31-41.
 - [7] 张新华,甘冬梅,黄守军,叶泽.考虑收益下限的火力发电商碳减排投资策略[J].管理科学学报,2019,22(11):69-81.
 - [8] 李庆,陈敬.中国风电固定上网电价政策的实物期权理论与实证分析[J].中国管理科学,2016,24(05):65-73.
 - [9] 谭显春,张倩倩,曾校,李绣程.环境规制对可再生能源企业投资水平的影响[J].中国人口·资源与环境,2022,32(07):127-136.
 - [10] 孔令丞,李仲,梁玲,谢家平.供需数量不确定下可再生能源发电容量投资决策[J].管理工程学报,2019,33(02):166-172.
 - [11] 张浩,赵清松,石建磊,叶小宁,张潇桐.中国绿色电力证书交易定价决策研究[J].价格理论与实践,2019(09):42-45.
 - [12] 周德群,周显扬,丁浩.多市场协同下的可再生能源电力竞价策略研究[J].中国管理科学,2023,31(01):248-255.
 - [13] 沙浩伟,曾勇,交叉持股网络、波动率与股票收益——基于实物期权的视角[J].系统工程,2017,35(07):10-18.
 - [14] Dixit A K, Pindyck R S. Investment Under Uncertainty [M]. Princeton New Jersey: Princeton University Press, 1994.
 - [15] Mo J L, Agnolucci P, Mao R J, et al. The impact of Chinese carbon emission trading scheme (ETS) on low carbon energy (LCE) investment[J]. Energy Policy,2016,89:271-283.
 - [16] Wang M X, Wang M R, Wang S Y. Optimal investment and uncertainty on China's carbon emission abatement[J]. Energy Policy,2012,41(2):871-877.
 - [17] Miah M S, Ahmed N U, Chowdhury M. Optimum policy for integration of renewable energy sources into the power generation system [J]. Energy Economics,2012,34(2):558-567.
 - [18] Kök G, Shang K, Yücelç. Impact of Electricity Pricing Policies on Renewable Energy Investments and Carbon Emissions[J]. Management Science,2018,64(1):131-148.
 - [19] Tian L, Pan J, Du R, et al. The valuation of photovoltaic power generation under carbon market linkage based on real options[J]. Applied Energy,2016,201:354-362.
 - [20] Cardin M A, Zhang S Z, Nuttall W J. Strategic real option and flexibility analysis for nuclear power plants considering uncertainty in electricity demand and public acceptance[J]. Energy Economics,2017,64:226-237.
- (作者单位:宋明珍、马腾、谢家平、古丽扎尔·艾赛提,新疆财经大学工商管理学院;孔令丞,华东理工大学商学院)