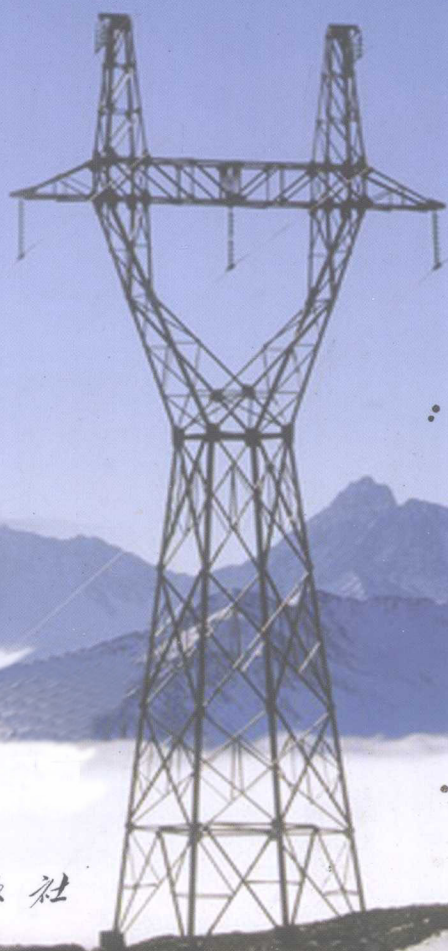


跳跃扩散过程下的实物期权 及在电力投资中的应用

◎ 蒋贤锋 史永东 著



 人民出版社

F426.61

F426.61

47

跳跃扩散过程下的实物期权 及在电力投资中的应用

© 蒋贤锋 史永东 著

8

图书在版编目 (CIP) 数据

跳跃扩散过程下的实物期权及在电力投资中的应用/蒋贤锋, 史永东著. —北京: 人民出版社, 2012

ISBN 978-7-01-010602-1

I. ①跳… II. ①蒋… ②史… III. ①电力工业-投资-研究-中国 IV. ①F426.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 007789 号

跳跃扩散过程下的实物期权及在电力投资中的应用

TIAOYUE KUOSAN GUOCHENGXIA DE SHIWU QIQUAN JI ZAI DIANLI
TOUZIZHONG DE YINGYONG

蒋贤锋 史永东著

责任编辑: 巴能强

封面设计: 徐阳沈燕

出版发行: 人民出版社

地 址: 北京朝阳门内大街 166 号

邮 编: 100706

网 址: <http://www.peoplepress.net>

邮购电话: (010) 65250042/65289539

经 销: 新华书店

印 刷: 三河市金泰源印装厂

版 次: 2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月北京第 1 次印刷

开 本: 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张: 14.5

字 数: 190 千字

书 号: ISBN 978-7-01-010602-1

定 价: 38.00 元

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

电力作为现代经济的主要能源，不仅影响着人们的日常生活，而且对一国整体经济发展也起着至关重要的作用，电力供应不足或过剩都会导致严重问题。加强电力投资和管理则是解决电力问题的主要手段。

近来，实物期权在电力决策领域的应用日益凸显并受到重视，它对解决各种电力问题提供了一种崭新的思路。实物期权将期权思想引入一般的投资、管理等领域，为相关决策者提供更多可供选择的方案，体现出“柔性”特征，显示出相对于传统决策方法的优点（Smit and Trigeorgis, 2004）。因此，研究实物期权决策理论及其在电力市场中的应用有着广泛的现实和理论意义，实际需求也很明显。不仅如此，实物期权方面的研究对一般非电力领域的决策也有重要启示作用，可以促进不确定性下的决策理论研究的深化。

本文以包含不连续变化因素的电力价格为对象，系统研究跳跃扩散过程下的实物期权决策理论，从理论和现实关系考察不连续变化因素对诱发投资最优时刻触发价值的影响，尝试在结合市场条件动态变化及投资者投资行为的基础上对传统实物期权理论进行扩展，最后分析了实物期权的数值计算方法。本文的主要内容和贡献如下：

第一，从电力市场参与者及其相互关系角度讨论了发电公司、电力公司、电网公司、用户各自拥有的实物期权，全面系统地整理和评述了相关文献，梳理了发电侧、需求侧、输电侧、辅助服务领域的相关研究发展脉络及内在联系。

第二，从均衡角度分析了资产定价特征，在 Schroder（1999）的基础

上细化了跳跃扩散过程下期权平价的研究,发现测度变换中期权平价的跳跃幅度密度函数簇不变性及交换期权中相同跳跃因素影响的消失。

第三,系统建立了跳跃扩散过程下实物期权决策一般模型,发现一些有意义的结论:(1)实物期权基本方法,动态规划和或有权分析,在完全市场下的等价性可以推广到跳跃扩散过程下的不完全市场,但等价条件依赖于复制资产的特征。(2)在对诱发投资最优时刻触发价值影响方面,跳跃方向是重要的,但跳跃的可分散性才是决定性的,从而缩小了理论触发价值与实际触发价值间的距离,统一了 McDonald and Siegel (1986)、Dixit and Pindyck (1994)、Boyarchenko (2004) 的研究。

第四,针对传统实物期权隐含假设投资前后市场条件不变的静态缺陷,引入动态实物期权的思路,并以实物期权的持有成本为例建立了相应的模型,发现持有成本和跳跃因素共同影响触发价值,甚至可能使触发价值下降到低于传统 NPV 原则下的触发价值。

第五,针对传统实物期权隐含假设投资者采取静悄悄、消极等待策略的不足,引入主动实物期权的思路,建立了带干预框架下的实物期权模型,发现干预加速投资。

第六,针对实物期权数值计算的 LSM 方法在估计最优执行时刻的非正常自由边界现象,提出了 CMM 方法。电力投资的数值分析表明 CMM 方法可以和 CMM 一样在项目价值估计上达到同样精度,但在触发价值估计上优于 LSM。同时,受到 LSM 缺陷的启发,本文证明了 Amin 方法的单调性和凸性。

最后,在总结全文结论基础上,本文指出了跳跃扩散过程下实物期权及在电力市场及其他领域应用研究的可能方向,希望能对相关研究起到抛砖引玉的作用。

关键词: 跳跃扩散过程, 实物期权, 电力市场, 数值计算

ABSTRACT

As one of most important energies, electricity takes significant roles not only in people's daily live, but also in the economy development. Serious problems would happen once electricity is in shortage or surplus. It is therefore important to make effective decisions on investment and management in electricity market. Real options, a newly developed idea in recent years, can provide helpful insight in these decisions. Real options introduces the principle of options in financial engineering to provide flexible choices for decision maker. The flexibility is useful in addressing uncertainty in decisions in electricity market.

We focus on real options under jump diffusion processes after observation of the discontinuity in electricity price. We analyze the impacts of jump factor on the triggering value in optimal timing of investment. We also try to extend the traditional theory of real options to incorporate the changes in market conditions and behavior of investor. At last, the numerical methods are discussed. The major contents and possible contributions are as follows.

First, we review the related literatures to sum up the embedded options for power generation, utility company, network company and electricity customers. We try to sketch the tracks of related research in this chapter.

Second, we investigate the properties of equilibrium pricing and the

option parity under jump diffusion processes based on Schroder (1999). We find the invariance of distributional densities of jump amplitude and the disappearance of common jump factors between the parity transforms.

Third, we set up the general model of real options under jump diffusion processes and get some meaningful results. The basic methods of real options, dynamic programming and contingent claim analysis, are equivalent not only in complete market, but also in incomplete market represented by jump diffusion processes. But the equivalency depends on the replicating asset in incomplete market, while it does not in complete market.

This chapter presents the possible contribution of our work in analysis of the impacts of jumps on triggering value in investment. We give conditions for the impacts and find the diversibility of jump overweighs the direction of jump. This shortens the distance between theoretical triggering value and practical value and thus unifies the results in McDonald and Siegel (1986), Dixit and Pindyck (1994), Boyarchenko (2004). Forth, we introduce the idea of dynamic real options to amend the static assumption in traditional theory. We set up a special model in the case of holding cost. The holding cost, beside the jump factor, may also influence the triggering value and even lower the value to the level below the corresponding value under traditional NPV principle.

Fifth, we initiate the idea of active real options to extend passive assumption in traditional theory. We set up a corresponding model to consider the market intervention and find the intervention may accelerate the investment.

Sixth is about the numerical methods. We propose CMM to avoid the abnormal free boundaries in LSM. The numerical cases of power plant investments show the advantages of CMM have advantages over LSM. We also prove the monotonocity and convexity of Amin method.

The last is the concluding remarks and points out the possible future

works.

Key Words: Jump—Diffusion Processes, Real Options,
Electricity Market, Numerical Methods.

目 录

第 1 章 引论	1
1.1 问题提出及研究意义	1
1.2 研究视角及架构	3
1.2.1 研究视角	3
1.2.2 研究架构	4
1.3 主要特点和贡献	5
1.4 应用初步:一个例子	7
第 2 章 实物期权在电力投资、管理领域的应用:回顾与评价	14
2.1 实物期权在发电侧的应用	17
2.1.1 电力投资、运营的实物期权分析一般框架	17
2.1.2 考虑实际因素时电力投资的实物期权分析	20
2.1.3 分行业的实物期权分析	25
2.2 实物期权在需求侧管理的应用	26
2.2.1 可中断负荷合同的基本原理及意义	27
2.2.2 可中断负荷合约的发展	30
2.3 实物期权在输电侧管理的应用	38
2.4 实物期权在电力其他领域的应用	40
2.5 现有研究不足及未来可能方向	42
第 3 章 线性跳跃扩散过程下的均衡定价及期权平价	45
3.1 预备知识	45
3.2 均衡定价	48

3.2.1	一般效用下的均衡定价	48
3.2.2	线性风险容忍度下的均衡定价	50
3.2.3	线性跳跃——扩散过程下的均衡定价	51
3.2.4	均衡时债券到期收益率	55
3.2.5	均衡条件	55
3.3	跳跃扩散过程下的期权平价关系	60
3.3.1	普通期权平价	63
3.3.2	期货期权平价	67
3.3.3	交换期权平价	70
第4章	无限期情形下跳跃扩散过程的传统实物期权分析及在电力市场的应用	75
4.1	实物期权一般框架	75
4.1.1	动态规划分析框架	75
4.1.2	或有权分析框架	77
4.1.3	动态规划与或有权分析方法的比较	78
4.1.4	不完全市场下动态规划与或有权分析的等价	80
4.2	线性跳跃扩散过程的条件期望	85
4.3	包含可分散跳跃因素的永久实物期权	89
4.3.1	基本模型	91
4.3.2	比较静态分析及其在电力市场中的应用	95
4.3.3	与传统投资原则比较	103
4.3.4	与传统的连续情形下实物期权的比较	104
4.4	包含不可分散跳跃因素的永久实物期权	105
4.4.1	基本模型	107
4.4.2	比较静态分析及其在电力市场中的应用	107
4.4.3	与传统的连续情形下实物期权的比较： 跳跃是否真的降低触发价格	109
4.4.4	与包含可分散跳跃因素实物期权的比较	112
4.5	各种实物期权框架下电力投资触发价值的比较	113

4.6 小结	114
第5章 无限期情形下跳跃扩散过程的动态实物期权分析及在电力市场的应用	117
5.1 基本模型	118
5.2 简化固定成本模型	121
5.2.1 基本框架及结论	121
5.2.2 与静态实物期权模型的比较	122
5.3 简化固定成本模型在电力市场中的应用	125
5.4 小结	127
第6章 无限期情形下跳跃扩散过程的主动实物期权分析及在电力市场的应用	128
6.1 有限干预的永久实物期权基本框架	130
6.2 问题求解	131
6.3 干预策略特征分析、贿赂行为及在电力市场的应用	134
6.4 小结	140
第7章 跳跃扩散过程下有限期实物期权的数值计算及其应用	142
7.1 期权数值计算方法的标准	143
7.2 Amin 方法及其凸性、单调性	144
7.2.1 Amin 方法	144
7.2.2 Amin 方法的凸性和单调性	147
7.3 基于 LSM 方法的 CMM 方法	149
7.3.1 LSM 方法	149
7.3.2 LSM 方法的缺陷	151
7.3.3 基于 LSM 的 CMM	152
7.3.4 CMM 和 LSM 的数值比较	154
7.4 电力市场的应用	158
7.4.1 电力项目价值评估及投资时机选择	158
7.4.2 电力投资中的干预策略	162

7.5 小结	170
第8章 总结和展望	172
8.1 总结	172
8.2 展望	174
8.2.1 一般跳跃扩散过程下的实物期权理论	174
8.2.2 实物期权在电力投资以外其他电力领域的应用	174
8.2.3 在电力以外其他行业的应用及实证	175
附录:有限期实物期权的数值计算 SAS 代码	176
参考文献	198
后记	214

图 目 录

图 1.1	论文架构示意图	5
图 1.2	电力价格走势	7
图 1.3	实物期权分析基本步骤	11
图 2.1	电力市场中实物期权的应用	15
图 2.2	看涨期权型远期示意图	28
图 2.3	双重看涨期权型远期	32
图 2.4	看跌期权型远期	35
图 2.5	双边期权型远期示意图	37
图 3.1	各种鞅之间的关系	48
图 3.2	期货期权中基础资产和期权的关系	68
图 4.1	实物期权下的时机选择	85
图 4.2	可分散跳跃环境中便利收益率对电力投资触发价格 的影响	98
图 4.3	可分散跳跃环境中折现率对电力投资触发价格的影响	99
图 4.4	可分散跳跃环境中布朗运动标准差对电力投资触发 价格的影响	99
图 4.5	可分散跳跃环境中跳跃幅度 $\ln(z)$ 的均值对电力投资 触发价格的影响	101
图 4.6	可分散跳跃环境中 $\ln(z)$ 标准差对电力投资触发价值 的影响	101
图 4.7	可分散跳跃环境中跳跃强度对电力投资触发价值的	

影响	102
图 4.8 $h(\gamma), \bar{h}(\gamma), \underline{h}(\gamma)$ 的大致图示	105
图 4.9 可分散跳跃对电力投资触发价格的影响	106
图 4.10 $\ln(z)$ 均值对电力投资触发价值的影响比较 (可分散 跳跃及不可分散跳跃)	108
图 4.11 不可分散跳跃下跳跃强度对电力投资触发价值的 影响	109
图 4.12 不同情形下电力投资触发价格的比较	114
图 5.1 向下跳跃的动态实物期权对电力投资触发价格的影响	126
图 5.2 向上跳跃的动态实物期权对电力投资触发价值的影响	126
图 6.1 干预路径模拟	134
图 6.2 市场力系数对最小干预价格的影响	135
图 6.3 最大干预价格对最小干预价格的影响	137
图 6.4 便利收益率对干预价格区间的影响	139
图 7.1 Amin 方法中 $\Delta \ln p(t)$ 的演化路径 ($5 \times N$ 矩阵)	145
图 7.2 Amin 方法中 $p(t)$ 的演化路径 (分权树)	146
图 7.3 LSM 方法中 $p(t)$ 的演化路径 ($5 \times N$ 矩阵)	150
图 7.4 有限期中电力投资最佳时机选择	161
图 7.5 投资者干预的价格区间	166
图 7.6 诱使投资者干预的市场力系数	168

表 目 录

表 1.1	随初始价格变动的传统 NPV	8
表 1.2	辽宁和内蒙古东部延迟 1 年投资时单位电力的 实物期权价值	12
表 5.1	实物期权的分类	123
表 5.2	各种情形下的触发价格及比较	124
表 7.1	LSM 方法中的 $p(t)$ 的模拟路径	152
表 7.2	CMM 和 LSM 的比较	156
表 7.3	各种情形下电力投资等待价值	158

第 1 章 引 论

1.1 问题提出及研究意义

电力对我国国民经济的发展起着越来越重要的作用；同时经济的快速增长容易导致电力市场供需的不平衡。譬如，1986 年我国电力短缺超过 20%，1999 年则过剩 10%。进入 21 世纪后，当人们还未抹去对 2005 年“大电荒”的记忆时，国家电网公司在 2007 年年初却宣布我国“十一五”期间可能再次进入电力过剩时期（国家电网公司，2007）。供需不平衡加剧了电力市场的不确定性，并对国民经济产生重大影响。因此，如何解决电力市场的供需矛盾，是我国目前亟待解决的重要问题之一。

解决电力供需矛盾的关键在于有效和合理的电力投资。实物期权（Real Option）是解决投资问题的新方法，为决策者提供了相对于传统 NPV（Net-Present-Value）原则更为灵活和多样化的投资方案，可以增加投资项目的预期价值，并有可能在一定程度上减少电力项目投资的盲目性及由此导致的电力供需矛盾。（Dixit and Pindyck, 1994；Smit and Trigeorgis, 2004）

然而，忽视我国电力市场体制现状和电力产品交易不活跃特点而“依葫芦画瓢”地引入实物期权理念的做法是不妥的。传统实物期权理论主要关注价格连续变化情形，但电力产品及一般实物资产价格通常是非连续变化的（Geman et al., 1998）。而且，我国电力市场正经历重大变革和改

革,但价格未完全放开,目前仍以政府行政调控为主,市场价格不能随供需等因素变化而灵活调整,不连续特征尤其明显。尽管国家发展和改革委员会已宣布逐步实行电煤价格的市场化,但其行政命令的影子依然存在。例如,辽宁居民用电价格在2006年9月15日前数月内固定为0.4563元/千瓦时,在国家发展和改革委员会2006年6月30日的通知指导下及随后举行的居民电价听证会后上升9.6%到0.5元/千瓦时。这种“长期不变,一变就幅度较大”的价格调整过程不能完全由连续过程来刻画,还应该包含跳跃成分。即使在价格完全放开的市场下,由于电力产品不像股票、债券等金融资产那样活跃交易,其价格也必然表现出很大的不连续性,这已经在国外市场尤其是国外成熟的电力市场(Kamat and Oren, 2002)中得以验证。因此,整合非连续变化成分,分析跳跃扩散(Jump-Diffusion)过程下的实物期权理论即构成本书的主要研究内容,具有重要的理论和现实意义。

然而,传统的实物期权理论还存在至少以下两个方面的不足:一是忽视了企业投资后可能改变已有的市场结构或市场条件,不适于刻画大规模的电力项目投资及其他某些特殊项目投资。二是忽视企业在投资前通过游说政府等其他手段提高价格从而加速投资的现实,既不适合分析我国电力市场现行体制下政府拥有最终定价权下的垄断企业的投资行为,也不适合刻画一般市场中具有市场力(Market Power)的垄断企业投资决策。基于跳跃扩散过程下的随机优化理论,从上述两方面对传统实物期权理论进行扩展是本文研究的另一个重点,其意义不言而喻,更具有相对于我国目前电力体制特征和一般市场现实的针对性。

总结一下,本研究的理论意义与现实意义在于:基于我国电力市场现行体制,考虑到价格的非连续变化,融合电力企业投资行为及市场的垄断和竞争特征,从金融工程和随机优化数学等跨学科角度对传统实物期权理论进行拓展,并对可操作的应用工具进行修正,为电力行业企业的投资决策提供新的可供选择的方法和方案。

本研究的应用前景非常广阔。它可直接应用于我国现行体制及未来改革后市场化条件下的电力企业投资决策和项目价值评估。而且,其他非电