

土地价值再评估

——基于复合期权定价分析框架

朱菲菲 朱 凯 杨云红*

摘要：土地定价是土地资源有效配置的核心。通过将复杂的土地投资过程简化为“政府征收”与“开发商开发”这两个相互依赖的决策，本文在复合期权定价框架下，对土地价值进行了再评估，并得到了期权价值、资本化地租等关键函数的解析解。通过使用实际数据对模型进行校准，本文发现，期权溢价在土地价值中占绝对位置，模型估计的土地价值能够较好地解释经济现实。本文的方法与结论对于促进我国土地制度改革、推进城乡协调发展具有现实意义。

关键词：土地定价；复合期权；地方政府

DOI：10.13821/j.cnki.ceq.2023.02.15

一、引言

土地是保持经济增长、推进城镇化、保障农民权益与国家粮食安全、促进社会和谐的关键要素（黄少安，2018）。土地定价作为农村土地制度改革的核心，定价机制的不合理可能会导致土地流转的不健全，农民在土地征收和土地流转中的权益得不到有效保护，以及土地资源的错配等。特别是在中国城乡土地制度持续二元性、房地产价格居高不下、地方政府严重依赖土地财政的背景下，如何更为科学地为土地定价，对于促进我国土地制度改革、弱化地方政府土地财政、推进城乡协调发展就显得尤为重要。

传统的土地定价模型以“净现值”法（Net Present Value, NPV）为理论基础，通过计算未来地租现金流的折现值之和，从而为土地定价（Cochrane, 2005）。但由于该方法忽略了土地在未来被征收、开发等可能，会使得土地价值被严重低估。鉴于此，关于土地定价的研究逐渐从 NPV 法转移到实物期权定价方法。实物期权框架下，学者们通过考虑开发商的延迟开发权利，从而完善了土地定价机制（Titman, 1985; Williams, 1991; 徐爽和李宏瑾, 2007）。然而，众所周知，纳入城镇规划的农村土地从初始状态到最终建成房产并销售，这之间经历了政府对土地的征收、整理、招标、拍卖，以及开发商对土地的开发、建筑、销售等诸多环节，是一个多阶段的决策过程。尤其在我国地方政府严重依赖土地财政的背景下（李郁等, 2013; 梅冬州等, 2018; 田文佳等,

* 朱菲菲，中央财经大学金融学院；朱凯、杨云红，北京大学光华管理学院。通信作者及地址：杨云红，北京市海淀区颐和园路5号北京大学光华管理学院2号楼，100871；电话：(010) 62759182；E-mail: yhyang@gsm.pku.edu.cn。本文感谢国家自然科学基金青年项目（72102247）、国家自然科学基金面上项目（72173144）、中央高校基本科研业务费专项资金、中央财经大学科研创新团队支持计划、中央财经大学金融可持续发展研究团队对本文的资助。感谢白洋出色的助研工作，感谢匿名审稿人的宝贵意见。文责自负。

2019), 土地的出让呈现出典型的政治周期性特征(余靖雯等, 2015; 汪冲, 2019), 如何将地方政府与开发商的多阶段决策统一地纳入实物期权定价框架下, 对于准确评估土地价值至关重要。

鉴于此, 本文将土地投资简化为“政府征收”和“开发商开发”这一两阶段相互依赖的决策过程, 基于复合期权定价分析框架, 从而对土地价值进行了再评估。首先, 我们建立了一个复合期权定价模型, 通过引入土地持有人、政府、开发商和房产投资人等角色, 更为细致地描述了土地从初始状态到最终在地上建成房产并出售的全过程, 探讨了在两阶段投资决策过程中政府和开发商的最优执行策略。在假设政府的征收成本和开发商的开发成本都服从几何布朗运动的情况下, 借鉴最优控制方法, 我们对复合期权进行求解, 得到了模型的解析解。其次, 我们利用实际数据对理论模型进行校准, 得到了最优执行策略下的期权价值以及资本化地租占比的数值结果。讨论了其在不同类型城市和发展阶段的差异, 及其与实际数据的差距等。

本文的主要结论如下, 理论模型部分, 我们在假设执行价格服从几何布朗运动的情况下, 得到了开发期权价值、复合期权价值以及资本化地租占比等关键函数的解析解。尤其重要的是, 复合期权价值(即土地价值)的解析解在数学形式上极其优美, 它完美地分离了土地的资本化地租与期权溢价。实证分析部分, 本文基于实际数据对模型进行了校准, 我们发现, 无论是开发期权价值还是复合期权价值, 一线城市都显著高于百城平均水平, 二线城市和百城平均水平类似, 三线城市显著低于百城平均水平。资本化地租占比方面, 百城平均的资本化地租占比仅为 23.02%, 而期权溢价占土地价值的绝大部分。此外, 2013年后房价在各个类型城市之间的分化, 使得土地期权价值和资本化地租占比在一、二、三线城市之间发生了不同幅度的变化, 该效应在一线城市尤其显著。最后, 模型估计的土地价值能够较好地解释经济现实, 验证了本文定价方法的科学性与有效性。

本文的贡献是, 第一, 我们将复合期权定价方法应用在土地定价问题上, 对土地价值进行了再评估。通过更为细致地描述土地从初始状态到最终在地上建成房产并出售的全过程, 强调开发商和地方政府在土地定价过程中的核心作用, 本文拓展了当前土地定价的研究, 提高了土地定价效率; 第二, 在复合期权价值求解技术上, 本文假设期权的执行价格服从几何布朗运动而非常数, 通过使用最优控制方法, 我们不仅给出该情况下复合期权价值的解析解, 而且将其完美地分离为资本化地租和期权溢价两部分, 具有较强的经济学意义; 第三, 实证部分, 考虑到各类型城市房价水平的不同及其在 2013 年之后出现的分化, 我们将城市划分为一线、二线和三线城市, 将时间划分为 2013 年之前和之后, 由此研究了期权价值以及资本化地租占比在截面和时间序列维度上的差异。研究结论对于理解中国地方政府的土地财政、推进城乡一体化协调发展都具有重要意义。

二、文献综述

(一) 单阶段实物期权定价方法在土地定价问题上的应用

传统的土地定价模型以“净现值”(NPV)法为理论基础。该理论认为, 土地价格等于未来地租现金流的折现值之和(Cochrane, 2005)。得益于该方法的简单易懂, 其

被广泛应用在土地定价以及各类投资决策中。但是 NPV 法的一大缺陷是,其只能对土地未来种植收益的现金流加以贴现,却忽略了土地在未来被征收、开发等可能。经济学意义上,土地的真实价值由种植收益和土地投资过程中所蕴含的各类期权价值共同组成,而该特征符合实物期权定价理论的基本直觉。

Myers (1977) 最早把期权思想引入实物投资领域,提出了实物期权定价理论。随后,该理论被应用在众多场景,如自然资源的价值评估、企业经营策略、产品研发、风险投资等 (Lander and Pinches, 1998)。在土地定价领域, Titman (1985) 开创了使用实物期权定价方法的先河,作者基于 B-S-M 期权定价公式 (Black and Scholes, 1973; Merton, 1973), 求解了不确定回报下的土地价值。Williams (1991) 在连续、无限期时间假设下,使用期权定价方法给出了房地产开发的最佳时机以及开发期权的价值。遵循 Williams (1991) 的模型框架, Quigg (1993) 使用 2 700 宗西雅图土地交易数据,首次对土地的实物期权定价模型进行了实证检验。随后, Sing and Patel (2001) 以及 Grovenstein et al. (2011) 分别对英国和美国库克的土地价值进行了研究。学者们发现,单纯使用 NPV 方法会严重低估土地价值,而期权溢价是土地价值中的重要组成部分。

受国外研究的影响,国内关于土地定价的研究也逐渐从 NPV 法转移到实物期权定价方法。黄祖辉和汪晖 (2002) 指出,土地开发商拥有一个延迟开发土地的权利,这对土地定价而言至关重要。徐爽和李宏瑾 (2007) 将期权定价模型应用在中国的房地产市场,发现土地的种植收益占土地价格的 30.20%。王媛和贾生华 (2012) 在实物期权理论框架下研究了地方政府的土地供应决策,发现市场不确定性的提高将延迟土地供应的最佳时机。朱凯等 (2017) 在假设房地产价格服从均值回归过程的设定下,重新构建了土地持有人的最大化问题,并通过最优控制方法推导出土地持有人的最优开发策略。

虽然学者们已经意识到,在土地定价问题上,实物期权定价方法比净现值方法更加贴近现实,但在现有研究中,学者们大多仅考虑了开发商所具有的延迟开发的权利,而较少对其他参与主体 (尤其是地方政府) 的决策进行考察。此外,纳入城镇规划的农村土地从初始状态到最终建成房产并销售,这之间经历了土地的征收、整理、招标、拍卖,以及开发、建筑、销售等诸多环节,是一个多阶段的决策过程。这其中最重要的两个步骤是:政府的征收决策和开发商的开发决策。只有政府选择在合适的时点对土地进行征收,并且开发商选择在合适的时点对土地进行开发,土地才能最终实现城市化增值。因此,如何将地方政府与开发商的多阶段决策统一地纳入实物期权定价框架下,对于准确估计土地价格具有重要作用。

(二) 复合期权定价方法

复合期权 (compound option) 是一类典型的实物期权 (Trigeorgis, 1993), 其具有典型的分阶段特征, 每一个阶段的投资决策都可以视作为依赖于下一个阶段投资价值的期权, 即其为期权的期权。现实生活中, 很多投资机会都具有顺序特征, 即后续的投资机会取决于前面的投资机会是否被执行。学者们发现, 在对这类投资机会的评估中, 由于单阶段的实物期权定价模型忽略了多阶段投资过程中的序贯决策机会, 因此结果常常会产生偏差 (Cassimon et al., 2004; Benaroch et al., 2006), 而复合期权定价方法更适用于评估这类多阶段投资机会 (Cortazar and Schwartz, 1993)。

Geske (1977, 1979) 在金融期权的基础上奠基性地提出了复合期权定价方法。作者认为, 公司股票是公司资产的期权, 而以此股票为标的的期权就是复合期权。通过叠加两个看涨期权, 作者在 Black and Scholes (1973) 的基础上对期权定价理论进行了拓展, 并得到了两阶段复合期权的解析解。Geske (1977, 1979) 的复合期权定价方法吸引了大量学者的关注, 在他之后, 学者们将该方法应用到实物期权领域, 其中研究开发 (R&D) (Perlitz et al., 1999)、多阶段的资本密集型投资项目 (Benaroch et al., 2006; Cassimon et al., 2004) 等成为复合期权定价方法最为常用的场景。除了在实物期权领域的创新之外, 国内外作者们还对复合期权定价技术进行了再完善, 也均得到了较为丰硕的结果 (Carr, 1988; Cassimon et al., 2011; 郑德渊和李湛, 2003; 龚朴和何志伟, 2006)。

虽然学者们在复合期权的应用场景和定价技术方面都做出很多拓展和完善, 但是到目前为止, 还没有学者将复合期权定价思想应用在土地定价问题上。鉴于土地投资是一个典型的多阶段投资决策, 使用复合期权方法评估土地价值将更为合适。此外, 求解技术方面, 前人多假设复合期权的执行价格是一个常数, 而更贴近现实的情况是, 执行价格会随时间而发生变化。尤其在土地定价过程中, 政府的征收成本以及开发商的开发成本很可能会随经济发展而提高, 这意味着将期权的执行价格设定为几何布朗运动过程将更符合现实。鉴于此, 本文将基于复合期权定价分析框架对土地价值进行再评估。

三、理论模型

(一) 模型假设

本文的土地定价模型充分考虑了土地投资过程中的多阶段特征以及参与主体的多样性。一方面, 通过引入土地持有人、政府、开发商和房产投资人等四类角色, 本文对参与主体进行了丰富, 尤其在我国地方政府严重依赖土地财政的背景下, 通过引入政府这一角色, 可以更好地描述土地投资过程。另一方面, 通过把土地从初始状态到最终在地上建成房产并出售这一复杂过程, 转化为政府的征收决策和开发商的开发决策这两个相互依赖的过程, 本文得以基于复合期权定价思想对土地价值进行再评估。模型假设如下:

假设 1 房产无限可分, 住房交易市场完美且有效, 无交易成本, 满足无套利原则。房产的均衡价格由房产的供求关系所决定, 任何消息都会被市场瞬间吸收。

假设 2 市场上存在四类人, 分别为土地持有人、政府、开发商和房产投资人。土地持有人拥有土地资产的全部经营权和处置权, 获得经营土地的农业收入; 政府代表着土地持有人的利益¹, 其选择合适的时机对土地进行征收和整理, 并出让给开发商; 开发商选择合适的时机对土地进行开发利用、建造房产并最终将其出售给房产投资人; 房产投资人从开发商手中购买房产, 是房屋交易市场的需求方。政府和开发商作为连接四类参与者的关键角色, 其决策过程如图 1: 政府在时间 ν 决定是否对土地进行征收, 开发商在时间 τ 决定是否对土地进行开发。

¹ 这里不考虑土地持有人和政府之间的代理冲突。

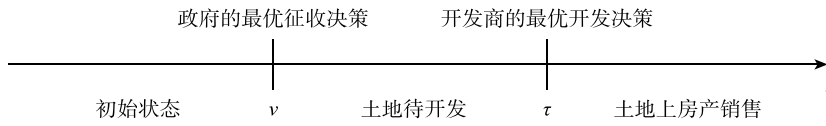


图 1 政府和开发商的决策时间轴

假设 3 土地持有人通过经营农地获得收益，每一期的种地收益为 c_t 。

假设 4 城市房价指数 H_t 服从几何布朗运动²：

$$dH_t = \alpha_H H_t dt + \sigma_H H_t dW_H, \tag{1}$$

其中， $\alpha_H > 0$ ， $\sigma_H > 0$ ，且均为常数。

假设 5 开发商的开发成本 R_t （如土地购置成本、建筑安装成本、各类税费等）也服从几何布朗运动：

$$dR_t = \alpha_R R_t dt + \sigma_R R_t dW_R, \tag{2}$$

其中， $\alpha_R > 0$ ， $\sigma_R > 0$ ， $E(dW_H dW_R) = \rho_{HR} dt$ 。

假设 6 政府对土地的整理成本 S_t （如拆迁安置、平整土地、敷设外部市政管线设施和道路工程以及社会福利保障等各项费用）也服从几何布朗运动，且其为开发成本 R_t 的线性函数，记为 $S_t = lR_t$ ，则：

$$dS_t = \alpha_R S_t dt + \sigma_R S_t dW_R. \tag{3}$$

(二) 复合期权定价

为了对土地价值进行评估，本文采用倒向分析法对复合期权价值进行求解：首先，计算开发商的开发期权价值，其由房地产价格和开发商的开发成本等决定，反映了土地的开发溢价；其次，计算复合期权价值，即土地价值。由于政府会在考虑开发商开发期权的基础上，根据土地持有人的种地收益、征收土地的成本等信息决定最优的土地征收时机，因此复合期权价值就是以开发期权为标的的期权价值，其为综合考虑政府征收和开发商开发决策之后所实现的价值。

值得一提的是，由于开发成本和征收成本一般会随着经济的发展而递增，因此本文假设复合期权的执行价格服从几何布朗运动而非简单的常数。虽然该假设大大增加了求解复合期权价值的难度，但借鉴 McDonald and Siegel (1986) 在投资决策中求解公司最优投资机会的方法，本文基于最优控制理论，不仅给出了复合期权的解析解，而且将其完美地分离为资本化地租和期权溢价两部分，这也是本文在技术方面对复合期权定价理论的一大贡献。³

1. 开发商的最优开发策略

简单起见，假设土地数量为 1 单位，则开发商在时刻 t 拥有的开发期权价值为：

$$F(H_t, R_t) = \max_{\tau > t} E_t \{ e^{-\rho(\tau-t)} \max [(H_\tau - R_\tau), F(H_\tau, R_\tau)] \}, \tag{4}$$

其中， ρ 表示开发商的主观折现率，其大小受开发商的时间偏好、风险态度，以及市场完备程度等因素影响 (McDonald and Siegel, 1986)。 H_t 和 R_t 分别为 t 时刻的房价和开

² 该假设的具体原因留存备案。

³ 本文还在执行价格为常数的假设下对模型进行了推导，并使用 Monte Carlo 方法估计了复合期权的价值，但发现估算结果显著偏低，表明该假设缺乏合理性。限于篇幅，具体过程留存备案。

发商的开发成本, $H_t - R_t$ 表示开发商在时刻 t 开发所获得的净收益。式(4)表示, 开发商在 t 时刻的目标是在立即开发土地或继续持有土地之间进行选择。通过选择最优的开发时机 t , 开发商最大化土地开发的期望净收益。极端情况下, 如果开发商一直不对土地进行开发, 即 $t \rightarrow +\infty$, 则开发商拥有的开发期权价值 $F(H_t, R_t) \rightarrow 0$ 。

应用 Malliaris and Brock (1982) 中的定理 7.5, 可知式(4)满足如下偏微分方程:

$$\rho F = \frac{1}{2}(F_{HH}H^2\sigma_H^2 + F_{RR}R^2\sigma_R^2 + 2F_{HR}HR\sigma_{HR}) + F_H H \alpha_H + F_R R \alpha_R, \quad (5)$$

其中 $\sigma_{HR} = \rho_{HR}\sigma_H\sigma_R$ 。

定理 1 给出了式(5)在一般边值条件下的解析解。

定理 1⁴ 在如下两个边值条件下:

(i) 当 $\frac{H_t}{R_t} = C^*$ 时, $F(H_t, R_t) = H_t - R_t$ 。

(ii) 当 $u > t$, $u \rightarrow \infty$, 且 $\frac{H_u}{R_u} \rightarrow 0$ 时, $F(H_t, R_t) \rightarrow 0$ 。

开发期权价值 $F(H_t, R_t)$ 具有如下形式:

$$F(H_t, R_t) = \frac{(C^* - 1)}{(C^*)^\epsilon} R_t^{1-\epsilon} H_t^\epsilon, \quad (6)$$

其中

$$\epsilon = \sqrt{\left(\frac{\alpha_H - \alpha_R}{\sigma_H^2 + \sigma_R^2 - 2\rho_{HR}\sigma_H\sigma_R} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2(\rho - \alpha_R)}{\sigma_H^2 + \sigma_R^2 - 2\rho_{HR}\sigma_H\sigma_R}} + \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha_H - \alpha_R}{\sigma_H^2 + \sigma_R^2 - 2\rho_{HR}\sigma_H\sigma_R}\right),$$

$$C^* = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1}.$$

式(6)为 t 时刻的开发期权价值, 其中 C^* 为开发商执行开发期权的最优边界。

定理 1 的经济学解释如下: 边值条件 (i) 表示: 在 t 时刻, 房价与开发成本的比值触及最优边界 C^* , 此时开发商选择开发, 开发期权的价值就等于 t 时刻的房价减去开发成本。边值条件 (ii) 表示, 当开发时间趋向于无穷大, 且对应时间下房价与开发成本的比值趋于 0 时, 开发商不会选择开发, 开发期权的价值为 0。在如上两个边值条件下, 任意时刻 t 所对应的开发期权的价值 $F(H_t, R_t)$ 如式(6)所示。该式表明, 开发期权的价值是关于房价 (H_t) 和开发成本 (R_t) 的指数函数, 其与房价呈正指数倍增长, 指数为 ϵ ; 其与开发成本呈负指数倍增长, 指数为 $\epsilon - 1$ 。开发期权所对应的最优执行边界 (C^*) 刚好为指数 ϵ 与 $\epsilon - 1$ 的比值 ($\epsilon > 1$)。

2. 政府的最优征收策略

在得到开发期权价值之后, 我们将利用最优控制方法推导政府的最优征收策略, 并对复合期权价值进行求解。政府的目标是通过选择最优的征收时机 v , 从而最大化土地持有人的期望收益。简单起见, 对于 1 单位的土地, 其在 t 时刻的期望价值记为:

$$G(F_t, S_t) = \max_{v>t} E_t \left\{ \int_t^v e^{-\rho(s-t)} c_s ds + e^{-\rho(v-t)} \max[(F_v - S_v), G(F_v, S_v)] \right\}, \quad (7)$$

其中, ρ 表示土地持有人的主观折现率, 其大小受土地持有人的时间偏好、风险态度,

⁴ 限于篇幅原因, 具体证明过程留存备索。

以及市场完备程度等因素影响。 F_t 和 S_t 分别表示 t 时刻开发商的开发期权价值和政府的土地整理成本。花括号中的第一部分表示：如果政府选择在 ν 时刻进行土地征收，土地在未征收前的种地价值 c 贴现到 t 时刻的现值。该部分衡量的是土地持有人种地所实现的土地价值，即土地的资本化地租价值。花括号中的第二部分表示：政府在 ν 时刻的目标是在立即征收土地与让土地持有人继续持有土地之间进行选择，该部分衡量了土地的期权溢价。

我们在一个很小的时间区间 $[t, t+dt]$ 内，考虑土地持有人期望收益的变化，通过使用最优控制方法对式(7)进行求解，可得到如下 Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) 方程⁵：

$$\rho G = \alpha_F F G_F + \alpha_R S G_S + \frac{\sigma_F^2}{2} F^2 G_{FF} + \frac{\sigma_R^2}{2} S^2 G_{SS} + (\rho_{HR} \sigma_{FH} \sigma_R + \sigma_{FR} \sigma_R) F S G_{FS} + c. \quad (8)$$

定理 2 给出在一般边值条件下式(8)的解析解：

定理 2⁶ 在如下两个边值条件下：

(i) 当 $\frac{F_t}{S_t} = D^*$ 时， $G(F_t, S_t) = F_t - S_t$ 。

(ii) 当 $u > t$ ， $u \rightarrow \infty$ ，且 $\frac{F_u}{S_u} \rightarrow 0$ 时， $G(F_t, S_t) \rightarrow 0$ 。

复合期权价值 $G(F_t, S_t)$ 具有如下形式：

$$G(F_t, S_t) = \frac{(D^* - 1)}{(D^*)^\delta} S_t^{1-\delta} F_t^\delta + \frac{c_t}{\rho}, \quad (9)$$

其中

$$\delta = \frac{2(\alpha_R - \rho)}{\sigma_F^2 + \sigma_R^2 - 2(\rho_{HR} \sigma_{FH} \sigma_R + \sigma_{FR} \sigma_R)},$$

$$D^* = \frac{\delta}{\delta - 1}.$$

式(9)即为 t 时刻的复合期望价值(即土地价值)，其中 D^* 为政府执行征收期权的最优边界。

定理 2 的经济含义如下：边值条件(i)表示：在 t 时刻，开发期权价值与土地整理成本的比值触及最优边界 D^* ，此时政府选择征收土地，复合期权的价值就等于 t 时刻的开发期权价值减去土地整理成本。边值条件(ii)表示，当征收时间趋向于无穷大，且对应时间下开发期权与土地整理成本的比值趋于0时，政府不会选择征收土地，复合期权的价值为0。在如上两个边值条件下，任意时刻 t 所对应的复合期权价值 $G(F_t, S_t)$ 如式(9)所示。该式表明，复合期权的价值是关于开发期权(F_t)和土地整理成本(S_t)的指数函数，其与开发期权价值呈正指数倍增长，指数为 δ ；其与土地整理成本呈负指数倍增长，指数为 $\delta - 1$ 。复合期权所对应的最优执行边界(D^*)刚好为指数 δ 与 $\delta - 1$ 的比值($\delta > 1$)。

3. 资本化地租与复合期权溢价

NPV方法下，土地价值等于土地持有人种地收益在未来的永续贴现，即资本化地租

⁵ 限于篇幅原因，具体证明过程留存备索。

⁶ 限于篇幅原因，具体证明过程留存备索。

价值。而实物期权定价理论认为,土地的真实价值由土地种植收益和土地投资过程中所蕴含的各类期权价值共同组成,即土地价值等于资本化地租价值与期权溢价价值之和。值得一提的是,式(9)中的复合期权价值 $G(F_t, S_t)$ 完美地分离了资本化地租与期权溢价。其中,资本化地租占土地价值的比例为

$$\varphi_t = \frac{\frac{c_t}{\rho}}{G(F_t, S_t)}, \quad (10)$$

而期权溢价占土地价格的比例为

$$1 - \varphi_t = \frac{\frac{(D^* - 1)}{(D^*)^\delta} S_t^{1-\delta} F_t^\delta}{G(F_t, S_t)}. \quad (11)$$

四、实证分析

(一) 数据选取与变量构造

本部分将在理论模型的基础上,利用真实数据对模型进行参数模拟与实证分析。图2显示了从2010年6月到2016年12月期间,百城平均、一线城市、二线城市和三线城市的房产价格变化。图中显示,在观测期内,各类型城市房价变化存在明显差异,一线城市房价增长最快,基本实现翻一番,累计涨幅达到94%;二线城市房价累计涨幅达到34%,三线城市房价上涨较慢,累积涨幅为15%,百城平均房价的累计涨幅为42%。此外,值得注意的是,2013年后,我国经济增长方式发生了重大变化,以服务和消费为主导的大城市,全面反超以工业和投资为主导的中小城市,成为经济增长的新动能(张斌,2021)。微观层面上,各类型城市房价水平的分化是我国经济增长方式转变的重要体现(徐远,2019)。如图2所示,2013年后,一、二、三线城市的房价的确开始出现分化,一线城市引领着房价的上涨。

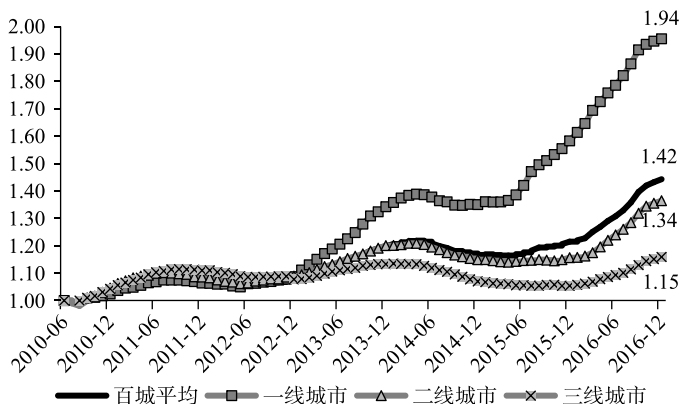


图2 各类城市房价累计涨幅(2010年6月房价标准化为1)

鉴于房价变化在不同类型城市之间存在明显差异,本文在实证分析中,特地将各类型城市区分开来,通过估计不同类型城市的期权价值与资本化地租占比等变量在截面维

度和时间序列维度的差异，从而更好地检验本文的模型。

理论模型部分，本文的核心变量包括房价 H_t ，开发商的开发成本 R_t ，政府的土地整理成本 S_t 以及土地持有人种地收益 c_t 等。实证检验中，我们使用 Wind 数据库中百城平均、一线城市、二线城市和三线城市的“住宅平均价格”作为对全国、一线、二线和三线城市房价 H_t 的替代；使用数据库中百城平均、一线城市、二线城市和三线城市的“供应土地挂牌均价”作为对全国、一线、二线和三线城市政府土地整理成本 S_t 的替代。

针对开发成本 R_t ，鉴于现有商业数据库中尚没有可靠的指标对其进行衡量，作者通过与业界知名开发商座谈，手动构建了开发商开发成本的替代指标⁷。具体而言，开发商开发成本由土地成本、建筑安装成本、装修成本、资本利息支出、营业税及附加、管理费用、销售费用、土地增值税和企业所得税等九部分组成。具体成本构成及其核算办法见表1：

表1 开发商开发成本 (R_t) 的构成及其核算方法

各类成本构成	核算办法
土地成本	使用 Wind 数据库中百城平均、一线城市、二线城市和三线城市的“住宅用地的成交土地楼面均价”作为其替代变量
建筑安装成本	含建筑成本、开发间接费用等，约 3 000 元/平方米
装修成本	约 800 元/平方米
资本利息支出	资本利息支出 = (土地成本 + 建筑安装成本 + 装修成本) × 贷款利率
营业税及附加	住宅平均价格的 5.6%
管理费用	住宅平均价格的 3%
销售费用	住宅平均价格的 3%
土地增值税	按照增值率的取值分为四种情况，其中增值率 = 增值金额 / 扣除项目金额，扣除项目金额 = (土地成本 + 建筑安装成本 + 装修成本) × 130% + 营业税金及附加，增值金额 = 住宅平均价格 - 扣除项目金额。 如果增值率 > 2，则土地增值税 = 增值金额 × 0.6 - 扣除项目金额 × 0.35； 如果 1 < 增值率 ≤ 2，则土地增值税 = 增值金额 × 0.5 - 扣除项目金额 × 0.15； 如果 0 < 增值率 ≤ 1，则土地增值税 = 增值金额 × 0.4 - 扣除项目金额 × 0.05； 如果增值率 ≤ 0，则土地增值税 = 0。
企业所得税	企业所得税 = (住宅平均价格 - 土地成本 - 建筑安装成本 - 装修成本 - 资本利息支出 - 营业税及附加 - 销售费用 - 管理费用 - 土地增值税) × 25%

此外，我们使用 Wind 数据库中全国维度的农业总产值和农作物种植面积，估算了土地持有人的种植收益 c_t （单位：元/平方米），估计方法如下⁸：

$$\hat{c} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{农业总产值}_i}{\text{农作物种植面积}_i} \quad (12)$$

⁷ 鉴于商业秘密，我们在此隐匿了开发商的具体名称。

⁸ “农业总产值”和“农作物种植面积”分别为全国维度的季度和年度数据，“农业总产值”经过年化和线性插值处理，“农作物种植面积”经过线性插值处理，最终得到两个变量的月度数据。

本文数据时段为2010年6月至2016年12月,数据频率为月度。数据起始时点是数据库中所能获得的最早时点,另外,由于房价在2013年之后出现明显分化,为了让前后估计窗口尽量匹配,数据截止时点选为2016年年末。除开发成本之外的所有数据均源自Wind数据库。

表2展示了本文核心变量的描述性统计结果,包括百城平均、一线、二线和三线城市的房价指数(H_t)、开发商开发成本(R_t)、政府的土地整理成本(S_t),以及全国范围内的土地持有人种地收益(c_t)。

表2显示,样本时段内,百城平均房价的平均值和中位数比较相近,大约为10000元/平方米以上,标准差为882.19;一线城市的房价显著更高,均值为26846.04元/平方米,标准差也最大,达到5434.31;二线城市的房价水平与百城平均较为类似,均值为9797.30元/平方米,标准差为634.62;三线城市的房价明显更低,平均值为6949.57元/平方米,标准差最小,仅为220.65。开发商开发成本上,百城平均、一线城市、二线城市以及三线城市开发成本的均值分别为8660.79元/平方米、21164元/平方米、8598.62元/平方米,以及6282.19元/平方米,简单计算可得,对应组别中开发商的毛利率分别为20%、27%、14%以及11%。政府的土地整理成本方面,百城平均、一线城市、二线城市以及三线城市所对应的均值分别为1957.86元/平方米、6429.65元/平方米、2395.56元/平方米,以及1145.18元/平方米。此外,全国范围内,土地持有人每平方米的种地收益约为7元,最小值为2.97元/平方米,最大值为10元/平方米。

表2 核心变量的描述性统计结果

单位:元/平方米

变量	平均值	中位数	标准差	最小值	最大值
$H_{\text{百城}}$	10 368.74	10 482.00	882.19	8 940.00	12 938.00
$H_{\text{一线}}$	26 846.04	26 265.88	5 434.31	20 390.00	40 441.00
$H_{\text{二线}}$	9 797.30	9 863.82	634.62	8 590.50	11 697.14
$H_{\text{三线}}$	6 949.57	6 960.00	220.65	6 368.00	7 359.35
$R_{\text{百城}}$	8 660.79	8 583.99	976.65	7 371.43	12 048.64
$R_{\text{一线}}$	21 164.00	20 469.07	5 409.98	15 342.39	40 388.93
$R_{\text{二线}}$	8 598.62	8 353.48	1 157.00	7 191.74	12 741.80
$R_{\text{三线}}$	6 282.19	6 197.29	384.77	5 857.14	8 417.05
$S_{\text{百城}}$	1 957.86	1 787.98	608.94	1 019.09	3 635.39
$S_{\text{一线}}$	6 429.65	5 616.55	3 288.11	1 712.23	17 403.99
$S_{\text{二线}}$	2 395.56	2 304.93	728.36	1 003.13	4 246.22
$S_{\text{三线}}$	1 145.18	1 115.21	230.17	680.45	2 059.83
c	7.00	8.37	2.59	2.97	10.00

(二) 模型校准

表3展示了模型的主要参数、参数的经济含义及其校准时所用到的底层实证数据。

表 3 模型参数、经济含义及其对应的实证数据

参数	经济含义	对应的实证数据
Panel A: 房价指数、开发成本和整理成本的相关参数		
α_H	房价指数增长率	房产价格
σ_H	房价指数波动率	房产价格
α_R	开发商开发成本增长率	开发成本
σ_R	开发商开发成本波动率	开发成本
ρ_{HR}	房价与开发成本的相关系数	房产价格、开发成本
l	土地整理成本占开发成本比例	开发成本、土地整理成本
Panel B: 开发商最优开发策略的相关参数		
α_F	开发期权增长率	房产价格、开发成本
σ_F	开发期权波动率	房产价格、开发成本
σ_{FH}	开发期权波动率中由房价波动所导致的部分	房产价格、开发成本
σ_{FR}	开发期权波动率中由开发成本波动所导致的部分	房产价格、开发成本
C^*	开发商执行开发期权的最优边界	房产价格、开发成本
Panel C: 政府最优征收策略的相关参数		
D^*	政府执行征收期权的最优边界	房产价格、开发成本、土地整理成本

通过将百城平均、一线城市、二线城市、三线城市等四组数据带入模型中，我们得到了各类城市对应参数的校准结果，具体见表 4。⁹

表 4 模型参数校准结果

	百城平均	一线城市	二线城市	三线城市
α_H	0.0558	0.1036	0.0473	0.0219
σ_H	0.0253	0.0350	0.0265	0.0205
α_R	0.0710	0.0962	0.0764	0.0368
σ_R	0.1592	0.2553	0.2113	0.1645
ρ_{HR}	0.9486	0.9577	0.8277	0.2975
l	0.2230	0.2955	0.2752	0.1816
α_F	0.0130	0.0470	0.0160	0.0100
σ_F	1.1019	1.4203	1.0986	0.8820
σ_{FH}	0.0340	0.0477	0.0318	0.0228
σ_{FR}	-0.1677	-0.2742	-0.1926	-0.1360
C^*	1.2530	1.3917	1.2199	1.1724
D^*	1.7244	2.9386	1.4935	1.5958

⁹ 限于篇幅，参数校准的具体步骤留存备索。

从房价指数的增长率(α_H)以及波动率(σ_H)来看,百城平均的两个参数分别为0.0558和0.0253。一、二、三线城市在房价指数上呈现出较大的差异,其中,一线城市的房价增长率和波动率远大于百城平均水平;二线城市与百城平均的水平类似;三线城市显著低于百城平均。类似的,一、二、三线城市开发成本的增长率(α_R)和波动率(σ_R)也呈现递减趋势。从房价指数与开发成本的相关系数(ρ_{HR})来看,百城平均、一线和二线城市都超过80%,表明房价和开发成本的相关性较高;三线城市房价和开发成本的相关系数较低。从政府的土地整理成本占开发商开发成本的比例(l)来看,一线城市和二线城市分别为29.55%和27.52%,略高于百城平均,且高于三线城市。从开发商开发期权的增长率(α_F)以及波动率(σ_F)来看,一线城市都最高,表明一线城市开发商拥有一个高速增长且波动较大的开发期权;二线城市与百城平均较为相似;三线城市最低。另外,房价指数波动率与开发商开发期权价值波动率(σ_{FH})之间正相关,开发成本波动率和开发期权价值波动率(σ_{FR})之间负相关,且在绝对值水平上都呈现出一线>二线>三线的特征。此外,从开发商执行开发期权的最优边界(C^*)来看,百城平均、一线、二线和三线城市分别为1.253、1.3917、1.2199和1.1724,表明当房地产价格大约超过开发成本25%、39%、22%和17%的时候,相应级别城市的开发商会选择开发。从政府执行征收期权的最优边界(D^*)来看,百城平均、一线、二线和三线城市分别为1.7244、2.9386、1.4935和1.5958,表明当未来开发收益超过征收成本的1.7、2.9、1.5和1.6倍时,相应级别城市的政府会执行征收期权。

参数校准的结果表明:各类城市的参数校准结果存在比较明显的差异,模型参数大多呈现出明显的“一线>二线>三线”的趋势,表明将不同级别的城市分开讨论十分必要。

(三) 期权价值与资本化地租占比

经过如上参数校准,最终可得到本文最关心的三个函数值,分别为开发期权价值 $F(H_t, R_t)$ 、复合期权价值 $G(F_t, S_t)$,以及资本化地租占比 φ_t 。表5展示了三个函数的描述性统计结果。

表5显示,在开发期权价值 $F(H_t, R_t)$ 和复合期权价值 $G(F_t, S_t)$ 上,一线城市对应数值的平均值、中位数和标准差都显著高于百城平均;二线城市对应数值与百城平均较为相似;三线城市对应数值均显著小于百城平均。从资本化地租占比(φ_t)来看,一、二、三线城市分别为3.32%、17.03%和38.91%,百城平均的占比为23.02%。该结果表明农地开发过程中土地的资本化地租只占很小部分。在土地征收过程中,不应该仅仅以土地持有人的种地收益作为征地补偿的参考依据,否则土地持有人的利益会受到损害。

表5 期权价值与资本化地租占比的描述性统计

	平均值	中位数	标准差	最小值	最大值
$F(H_t, R_t)$ _百城	1 799.46	1 815.95	211.55	1 121.84	2 512.46
$F(H_t, R_t)$ _一线	5 971.08	5 884.04	1 650.78	2 799.63	11 814.84
$F(H_t, R_t)$ _二线	1 549.39	1 636.14	281.48	653.29	1 943.46
$F(H_t, R_t)$ _三线	1 035.60	1 114.49	163.78	510.71	1 229.67

(续表)

	平均值	中位数	标准差	最小值	最大值
$G(F_t, S_t)$ _百城	2 379.59	2 298.08	648.15	1 211.48	4 209.44
$G(F_t, S_t)$ _一线	5 660.76	4 910.83	2 944.47	1 609.63	16 032.85
$G(F_t, S_t)$ _二线	2 665.54	2 515.10	727.22	1 274.56	4 528.49
$G(F_t, S_t)$ _三线	1 751.10	1 751.46	387.85	950.81	2 783.21
φ_t _百城	23.02%	22.39%	8.11%	8.05%	42.13%
φ_t _一线	3.32%	2.81%	2.21%	0.47%	13.22%
φ_t _二线	17.03%	16.30%	6.78%	6.04%	31.99%
φ_t _三线	38.91%	40.44%	9.56%	21.09%	57.72%

注：开发期权价值 $F(H_t, R_t)$ 和复合期权价值 $G(F_t, S_t)$ 的单位均为：元/平方米；资本化地租占比 φ_t 的单位为：%。

此外，图 2 显示各类型城市房价在 2013 年之后开始出现明显分化。房价作为模型中最核心的基础变量，其变化可能会对各类城市的期权价值和资本化地租占比产生较大的影响，因此本文将样本分为 2013 年之前和之后两个时段，得到了分样本的描述性统计结果，并对各个变量的均值和中位数进行了差异检验，具体见表 6。

表 6 期权价值与资本化地租占比的分样本统计及其差异

	2013 年前		2013 年后		均值差异	中位数差异
	均值	中位数	均值	中位数		
$F(H_t, R_t)$ _百城	1 761.69	1 780.94	1 835.34	1 916.90	73.65*	135.96***
$F(H_t, R_t)$ _一线	5 457.64	5 606.46	6 458.85	6 170.61	1 001.21***	564.15**
$F(H_t, R_t)$ _二线	1 610.40	1 622.26	1 491.42	1 649.45	-118.98**	27.19
$F(H_t, R_t)$ _三线	1 084.31	1 149.37	989.32	971.28	-94.99***	-178.09***
$G(F_t, S_t)$ _百城	1 922.41	1 929.87	2 813.92	2 707.73	891.51***	777.86***
$G(F_t, S_t)$ _一线	3 522.98	3 701.81	7 691.65	7 545.12	4 168.67***	3 843.32***
$G(F_t, S_t)$ _二线	2 122.17	2 081.78	3 181.74	3 101.53	1 059.58***	1 019.75***
$G(F_t, S_t)$ _三线	1 623.82	1 670.98	1 872.01	1 862.73	248.18***	191.75**
φ_t _百城	26.61%	26.93%	19.60%	19.34%	-7.02%***	-7.59%***
φ_t _一线	4.53%	4.12%	2.18%	2.00%	-2.35%***	-2.12%***
φ_t _二线	20.02%	20.11%	14.18%	14.17%	-5.84%***	-5.94%***
φ_t _三线	40.53%	42.88%	37.38%	39.68%	-3.15%	-3.20%

注：***、**、* 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平下显著。

表 6 显示，2013 年后的房价分化使得期权价值、资本化地租占比等都发生了明显变化。从开发期权价值来看，在 2013 年之后，百城平均和一线城市开发期权的价值发生显著提升；二线城市的开发期权价值稍有下降，但中位数差异并不显著；三线城市开发期权的价值发生明显下降。从复合期权价值（土地价值）来看，所有城市的土地价值都发生显著提升，尤其在一线城市，土地价值的增长幅度超过了 100%。百城平均、二线

和三线城市的土地价值也都发生了不同程度的上涨。从资本化地租占比而言,除三线城市外,百城平均、一线和二线城市的资本化地租占比均显著下降,表明2013年之后,期权溢价在土地价值之间的占比进一步提升。

为了验证模型的解释能力,我们将理论模型估算的土地价值 $G(F_t, S_t)$ 与现实世界中实际的土地成交价格进行比较,其中实际的土地成交价格我们使用 Wind 数据库中“住宅用地的成交土地楼面均价”作为代替。表7展示了模型估算结果和实际结果的比较:

表7 模型估算的土地价值与实际土地成交价格比较

	模型估算的土地价值 (元/平方米)			实际的土地成交价格 (元/平方米)		
	均值	中位数	标准差	均值	中位数	标准差
Panel A: 2013 年之前						
百城平均	1 922.41	1 929.87	341.48	1 669.86	1 648.56	272.67
一线城市	3 522.98	3 701.81	1 062.89	4 888.55	4 865.31	2 015.50
二线城市	2 122.17	2 081.78	407.04	2 012.19	1 915.62	360.72
三线城市	1 623.82	1 670.98	330.85	1 080.71	1 066.09	185.04
Panel B: 2013 年之后						
百城平均	2 813.92	2 707.73	567.15	3 104.92	2 757.11	1 082.82
一线城市	7 691.65	7 545.12	2 713.39	11 876.03	11 886.46	6 279.71
二线城市	3 181.74	3 101.53	570.95	3 610.29	2 972.02	1 467.09
三线城市	1 872.01	1 862.73	402.95	1 475.48	1 312.32	516.47
Panel C: 全样本						
百城平均	2 379.59	2 298.08	648.15	2 405.79	2 038.65	1 072.75
一线城市	5 660.76	4 910.83	2 944.47	8 471.87	6 505.69	5 855.09
二线城市	2 665.54	2 515.10	727.22	2 831.73	2 561.75	1 341.28
三线城市	1 751.10	1 751.46	387.85	1 283.16	1 205.34	437.03

表7显示,在百城平均和二线城市维度上,模型所得到的土地价值与实际的土地成交价格较为相近。而对于一线城市和三线城市而言,理论价值和实际价格稍有差异。一线城市中,模型估计的土地价值大约为实际土地成交价格的70%,而三线城市中,模型估计的土地价值大约是实际土地成交价格的1.4倍。如果将基于理论模型计算的land value视为土地的真实价值的话,则意味着,一线城市土地的交易价格高于其真实价值,而三线城市土地的交易价格低于其实际价值。这可能是由于一线城市的土地招拍挂过程中竞争过于激烈,过度竞争导致了土地价格被高估,而三线城市经常发生土地流拍的情况,缺乏竞争导致了土地价格被低估。

此外,我们还对模型估计结果与实际结果进行了相关系数检验,并对模型参数进行了敏感性分析。相关系数检验的结果显示,百城平均、一线、二线和三线城市中土地价值与实际土地成交价格的相关系数分别为0.717, 0.614, 0.737和0.534,并均在1%的

水平下显著。此外，参数敏感性分析发现¹⁰：开发期权价值和复合期权价值均与房价增长率和开发成本波动率正相关，与开发成本增长率和房价波动率负相关；资本化地租占比与房价增长率和开发成本波动率负相关，与开发成本增长率和房价波动率正相关。上述结果均符合直观，表明本文定价方法具备合理性。

五、结论与政策启示

通过将土地投资简化为“政府征收”和“开发商开发”这一两阶段相互依赖的决策过程，本文在复合期权定价框架下，对土地价值进行了再评估。理论模型部分，我们在假设执行价格服从几何布朗运动情况下，得到了开发期权价值、复合期权价值，以及资本化地租占比等函数的解析解。实证分析部分，我们发现，第一，总量维度上，开发期权和复合期权的价值会随着房价的增加而增加，随着开发成本的增加而降低；资本化地租占比会随着房价的增加以及开发成本的降低而呈现出递减的趋势。第二，截面维度上，一、二、三线城市在期权价值方面呈现出一线>二线>三线的关系。第三，时间序列维度上，2013年之后房地产价格各类城市之间出现明显分化，使得不同城市的土地价值和资本化地租占比发生了显著变化，其中一线城市土地价值的提升最为明显。第四，百城平均维度上，资本化地租占比仅为23.02%，表明期权溢价在土地价格中占据绝对位置。最后，我们还比较了模型估计的土地价值和实际成交土地价格，验证了本文定价方法的合理性。

本文研究结果具有如下政策启示：首先，土地定价是土地资源有效配置的核心，本文提出的基于复合期权定价的方法可作为我国土地资源流转过程中土地定价的备选方案。随着土地确权接近尾声，我国对土地资源的管控也愈加严格。2021年3月，《农村土地经营权流转管理办法》正式实施，其对农村土地经营权流转做了更加细致的规定，在此背景下，本文关于土地定价方法的研究对于新时期下我国土地资源流转的稳健运行具有一定的政策价值。其次，我国土地的出让呈现典型的政治周期性特征，地方政府严重依赖土地财政。本文通过将政府征收行为纳入实物期权定价框架下，完善了土地投资过程，深化了关键角色的作用。这对于理解地方政府的行为，弱化地方政府土地财政都具有一定的帮助。最后，基于复合期权定价框架对土地价值的再评估显示，资本化地租仅占其中较小部分。该结论表明，不应该仅以农地的作物收益作为征地补偿的参考标准，否则农民的利益会受到严重损害。在土地征收和流转过程中，要充分保护农民的利益，从而更好地协调城乡区域发展、促进城乡融合。

当然，本文也存在一定的局限。如限于数据可得性与研究设计，本文采用2010—2016年数据对理论模型进行校准，未来研究可使用更长时段的数据，如包含2008年金融危机、2020年新冠疫情等重大冲击；此外，模型设定方面，本文假设期权的执行价格（即房价）服从具有较好计算性质的几何布朗运动。虽然相较于既有研究中执行价格为常数的假设，本文在求解技术上做出了一些突破，但是为了得到模型解析解，本文对真实世界的刻画还存在一定差距，未来研究中学者们可以选择更加复杂但更贴合现实的模型假设，这也是我们后续努力的方向。

¹⁰ 限于篇幅，参数敏感性分析的结果留存备索。

参考文献

- [1] Benaroch, M., S. Shah, and M. Jeffery, "On the Valuation of Multistage Information Technology Investments Embedding Nested Real Options", *Journal of Management Information Systems*, 2006, 23 (1), 239-261.
- [2] Black, F., and M. Scholes, "The Pricing of Options and Corporate Liabilities", *Journal of Political Economy*, 1973, 81 (3), 637-654.
- [3] Carr, P., "The Valuation of Sequential Exchange Opportunities", *The Journal of Finance*, 1988, 43 (5), 1235-1256.
- [4] Cassimon, D., P. Engelen, L. Thomassen, and M. Van Wouwe, "The Valuation of a NDA Using a 6-Fold Compound Option", *Research Policy*, 2004, 33 (1), 41-51.
- [5] Cassimon, D., P. Engelen, and V. Yordanov, "Compound Real Option Valuation with Phase-Specific Volatility: A Multi-Phase Mobile Payments Case Study", *Technovation*, 2011, 31 (5-6), 240-255.
- [6] Cochrane, J. H., "The Risk and Return of Venture Capital", *Journal of Financial Economics*, 2005, 75 (1), 3-52.
- [7] Cortazar, G., and E. S. Schwartz, "A Compound Option Model of Production and Intermediate Inventories", *Journal of Business*, 1993, 517-540.
- [8] Dixit, R. K., A. K. Dixit, and R. S. Pindyck, *Investment Under Uncertainty*. Princeton University Press, 1994.
- [9] Geske, R., "The Valuation of Compound Options", *Journal of Financial Economics*, 1979, 7 (1), 63-81.
- [10] Geske, R., "The Valuation of Corporate Liabilities as Compound Options", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 1977, 541-552.
- [11] 龚朴、何志伟, "变波动率多期复合实物期权定价模型及应用", 《管理工程学报》, 2006年第2期, 第46—53页。
- [12] Grovenstein, R. A., J. B. Kau, and H. J. Munneke, "Development Value: A Real Options Approach Using Empirical Data", *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 2011, 43 (3), 321-335.
- [13] 黄少安, "改革开放40年中国农村发展战略的阶段性演变及其理论总结", 《经济研究》, 2018年第12期第53卷, 第4—19页。
- [14] 黄祖辉、汪晖, "非公共利益性质的征地行为与土地发展权补偿", 《经济研究》, 2002年第5期, 第66—71页。
- [15] 李郁、洪国志、黄亮雄, "中国土地财政增长之谜——分税制改革、土地财政增长的策略性", 《经济学》(季刊), 2013年第4期第12卷, 第1141—1160页。
- [16] Lander, D. M., and G. E. Pinches, "Challenges to the Practical Implementation of Modeling and Valuing Real Options", *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 1998, 38 (3), 537-567.
- [17] Malliaris, A. G., and W. A. Brock, *Stochastic Methods in Economics and Finance*. North Holland, 1982.
- [18] McDonald, R., and D. Siegel, "The Value of Waiting to Invest", *The Quarterly Journal of Economics*, 1986, 101 (4), 707-727.
- [19] 梅冬州、崔小勇、吴娱, "房价变动、土地财政与中国经济波动", 《经济研究》, 2018年第1期第53卷, 第35—49页。
- [20] Merton, R. C., "Theory of Rational Option Pricing", *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 1973, 141-183.
- [21] Myers, S. C., "Determinants of Corporate Borrowing", *Journal of Financial Economics*, 1977, 5 (2), 147-175.
- [22] Perlitz, M., T. Peske, and R. Schrank, "Real Options Valuation: The New Frontier in R&D Project Evaluation?", *R&D Management*, 1999, 29 (3), 255-270.
- [23] Quigg, L., "Empirical Testing of Real Option-Pricing Models", *The Journal of Finance*, 1993, 48 (2), 621-640.
- [24] Sing, T., and K. Patel, "Evidence of Irreversibility in the UK Property Market", *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 2001, 41 (3), 313-334.
- [25] 田文佳、余靖雯、龚六堂, "晋升激励与工业用地出让价格——基于断点回归方法的研究", 《经济研究》, 2019

- 年第 10 期第 54 卷，第 89—105 页。
- [26] Titman, S., “Urban Land Prices Under Uncertainty”, *The American Economic Review*, 1985, 75 (3), 505-514.
- [27] Trigeorgis, L., “Real Options and Interactions with Financial Flexibility”, *Financial Management*, 1993, 202-224.
- [28] 汪冲, “政治晋升、财政竞争与耕地政策‘口子’: 耕地保护地区外部性机制及效应分析”, 《经济学》(季刊), 2019 年第 2 期第 18 卷, 第 441—460 页。
- [29] 王媛、贾生华, “不确定性、实物期权与政府土地供应决策: 来自杭州的证据”, 《世界经济》, 2012 年第 3 期第 35 卷, 第 125—145 页。
- [30] Williams, J. T., “Real Estate Development as an Option”, *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 1991, 4 (2), 191-208.
- [31] 徐爽、李宏瑾, “土地定价的实物期权方法: 以中国土地交易市场为例”, 《世界经济》, 2007 年第 8 期, 第 63—72 页。
- [32] 徐远, 《从工业化到城市化》。北京: 中信出版社, 2019 年。
- [33] 余靖雯、肖洁、龚六堂, “政治周期与地方政府土地出让行为”, 《经济研究》, 2015 年第 2 期第 50 卷, 第 88—102 页。
- [34] 张斌, 《从制造到服务》。北京: 中信出版社, 2021 年。
- [35] 郑德渊、李湛, “基于不对称性风险的复合期权定价模型”, 《系统工程理论与实践》, 2003 年第 2 期, 第 14—18 页。
- [36] 朱凯、朱菲菲、杨云红, “土地定价机制研究: 最优开发策略选择”, 《经济科学》, 2017 年第 5 期, 第 65—77 页。

Re-evaluation of Land Value —An Analytical Framework Based on Compound Option Pricing

ZHU Feifei

(Central University of Finance and Economics)

ZHU Kai YANG Yunhong*

(Peking University)

Abstract: Land pricing is the core of effective allocation of land resources. By simplifying the complicated land investment process into two interdependent decisions of “government acquisition” and “developer development”, we re-evaluates the land value in the framework of compound option pricing and obtain the analytical solutions of option values and capitalized land rent. By calibrating using actual data, we find that option premium occupies an absolute position in land value and the model can better explain economic reality. Our method and conclusions have practical implications for promoting the land reform and boosting the coordination of urban and rural area.

Keywords: land pricing; compound option; local government

JEL Classification: C61, G13, Q15

* Corresponding Author; Yang Yunhong, Guanghua School of Management, Peking University, Beijing 100871, China; Tel: 86-10-62759182; E-mail: yhyang@gsm.pku.edu.cn.