

居民垃圾分類行為與政府收費模式的博弈分析以中國為例*

吳銘、王少嵩、李新¹、梁思琦

(1. 澳門科技大學商學院決策科學系系主任)

摘要：從源頭進行垃圾分類一直被認為是解決城市固體廢物的最有效的方式，但是受限於發展中的國家資金短缺和居民意識不足，難以在全社會長期實行垃圾分類。因此，本文通過構建政府和居民之間的博弈模型，分析我國居民關於垃圾分類的最優行為決策和政府對此的最優收費決策。研究顯示，居民的垃圾分類行為與政府的收費政策，與其自身的環保意識和垃圾分類成本等有關，政府可以通過宣傳垃圾分類，改善城市生活垃圾分類管理政策來引導和促進居民進行垃圾分類達到垃圾源頭減量化的目的。發展中的國家政府實行固定收費能有效的提升居民垃圾分類的意識，使得社會環境得到改善。

關鍵詞：垃圾分類、收費、博弈

* 收稿日期：2023 年 01 月 09 日；通過日期：2024 年 05 月 09 日。

Game Analysis of Household Waste Classification Behavior and Government Charge Mode: A Case Study of China

Wu, Ming; Wang, Shaosong; Li, Xin¹; Liang, Siqu

(1. Head of Department of Decision Sciences, Macau University of Science and Technology)

Abstract: Household waste classification has been considered as the most effective way to solve the problem of Household Solid Waste. However, due to the lack of funds and residents' awareness in developing countries, it has been challenging to implement household waste classification in society for a long time. In this connection, this paper constructs a game model between the government and residents to analyze the government's optimal charging decision and the residents' optimal behavior on household waste classification. The research shows that household waste classification behavior relates to the government's charging policy; self-generated environmental protection awareness; and classification cost. The government can guide and promote residents to classify household waste through publicity and procedures to reduce household solid waste. For developing countries, the government's implementing fixed charges can effectively enhance residents' awareness of household waste classification and improve the social environment.

Keywords: Waste classification; PAYT; Dynamic game

一、引言

城市生活垃圾的處理已經嚴重威脅公共衛生、氣候變化、循環經濟和資源安全等許多方面，如何處理城市生活垃圾已經成為一個全球性的難題。¹ 實施城市生活垃圾管理可以幫助實現多個與環境保護，健康生活，清潔水和衛生條件以及合理生產與消費有關的可持續發展目標。² 同時，城市生活垃圾具有重要的資源利用價值，屬於「城市礦產」的重要組成部分。合理解決該問題將有效實現城市可持續發展目標。

當前的眾多處理城市生活垃圾處理方式中，從源頭進行垃圾分類已被證明是生活垃圾回收處理的最有效方法，這也被認為是克服城市環境問題的有效長期手段。³ 大多數發達國家已經通過完善垃圾分類的法律法規和相應的監管系統建立了成熟的垃圾分類系統，實現了城市生活垃圾的分類回收處理，從而達到了減少資源浪費、降低碳排放的目標。例如：1996 年，美國實施隨扔即付（PAYT）的垃圾收費政策，即基於垃圾量向居民收費；2000 年，日本確立了其廢物和回收政策的基本原則，這些政策在一定程度上促進居民的垃圾分類行為。⁴ 發展中國家希望通過效仿這些經驗建立適應本國國情的居民垃圾回收系統，效果通常不明顯，很難達到預期目標。⁵

中國作為最大的發展中國家，也是全球最大的城市生活垃圾生產國，近年來隨著我國經濟的飛速發展和城市化進程的快速推進，城市居民人數激增，城市生活垃圾數量急劇增加，其中家庭可回收垃圾的比例也隨之不斷提升。⁶ 而我國現行的垃

¹ Chen, L., & Gao, M.. “Predictive Modeling for Behavioral Evolution of Municipal Household Waste Classification and Recycling.” *Sustainable Cities and Society*. 78 (2022): 103659.

² Xiao, L., Zhang, G., Zhu, Y., & Lin, T.. “Promoting Public Participation in Household Waste Management: A Survey Based Method and Case Study in Xiamen City, China.” *Journal of Cleaner Production*. 144 (2017): 313-322.

³ Charuvichaipong, C., & Sajor, E, “Promoting Waste Separation for Recycling and Local Governance in Thailand,” *Habitat International*. 30.3 (2006): 579-594.

⁴ Zhang, S., Mu, D., & Liu, P, “Impact of Charging and Reward-Penalty Policies on Household Recycling: A Case Study in China,” *Resources, Conservation and Recycling* 185 (2022): 106462.

⁵ Ye, Q., Anwar, M. A., Zhou, R., Asmi, F., and Ahmad, I, “China’s green future and household solid waste: Challenges and prospects,” *Waste Management*. 105 (2020): 328-338.

⁶ Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F.. “What a Waste 2.0: a Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.” *World Bank Publications* (2018); Xiao, L., Zhang, G., Zhu, Y., & Lin, T.. “Promoting Public Participation in Household Waste Management: A Survey Based Method and Case

圾處理方式既無法達到現在垃圾生產的速率，在處理過程中也會產生大量溫室氣體，造成環境污染和資源浪費。根據我國統計局相關數據顯示，2018 年全國生活垃圾清理運輸量為 22802 萬噸，同比增長了 1281 萬噸。這其中 51.3% 的垃圾運往城市周邊的垃圾填埋處理場地進行填埋處理，44.7% 的進行焚燒處理。其中由紙張、金屬、塑膠和織物組成的具有可回收價值的生活垃圾約有 6000 萬噸。⁷ 而這些可回收垃圾除了上述的處理方式外，主要流入資本投資低的個人或家族團體運營的廢物處理點，這些垃圾處理點的特點是規模小、技術含量低且沒有監管，在垃圾處理的過程中極易造成二次污染和資源浪費。⁸

基於國內城市垃圾處理現狀和國外的實踐成果，中國於 2019 年 6 月發佈《關於在全國地級及以上城市全面開展生活垃圾分類工作的通知》並要求，到 2020 年，46 個重要城市的所有地區基本構建出生活垃圾分類管理系統，到 2025 年，需要全國的地級及以上城市都要完成構建生活垃圾分類處理系統的任務。同年 7 月，上海出臺《上海市生活垃圾管理條例》，明確將垃圾分為四類：乾垃圾、濕垃圾、可回收垃圾和有害垃圾，並且對沒有按照要求進行垃圾分類的居民進行懲罰，這標誌著我國垃圾分類開始規範化，條例化。⁹

儘管國內部分試點城市完善了垃圾分類法規和法律制度，但仍存在居民進行垃圾分類的參與度不高和政府管理效率低、財政負擔重等問題，並未在全國範圍內真正實現垃圾分類。因此，優化政府的垃圾收費方式，提高居民垃圾分類的參與度，找到適合發展中國家的城市垃圾處理模式是解決當前問題的主要方法。

基於這樣的背景，本文旨在研究我國政府為促進居民進行垃圾分類採取的不同

Study in Xiamen City, China.” *Journal of Cleaner Production*. 144 (2017): 313-322.

7 Fei, F., Qu, L., Wen, Z., Xue, Y., & Zhang, H., “How to Integrate the Informal Recycling System into Municipal Solid Waste Management in Developing Countries: Based on a China’s Case in Suzhou Urban Area.” *Resources, Conservation and Recycling*, 110 (2016): 74-86; Meng, X., Wen, Z., Qian, Y., “Multi-agent-based simulation for household solidwaste recycling behavior. *Resources, Conservation and Recycling* 128 (2018): 305-545.

8 Troschinetz, A. M., & Mihelcic, J. R.. “Sustainable Recycling of Municipal Solid Waste in Developing Countries.” *Waste Management* 29.2 (2009): 915-923. Xue, Y., Wen, Z., Bressers, H., & Ai, N. “Can intelligent Collection Integrate Informal Sector for Urban Resource Recycling in China?,” *Journal of Cleaner Production*, 208 (2019): 307-315.

9 Zhang, S., Mu, D., & Liu, P.. “Impact of charging and reward-penalty policies on household recycling: A case study in China. *Resources, Conservation and Recycling*. 185 (2022): 106462.

收費政策對居民實施垃圾分類的影響，探討如何提高居民垃圾分類的參與度和垃圾分類意識。王羽和陸雍森、Henriksson、Rousta et al.、Mee et al.等學者已經驗證了居民垃圾分類的意願與其便利性和有無明確的引導有關。¹⁰ 劉曼琴和謝麗娟分析了垃圾收費和垃圾分類的政策對垃圾管理的影響。¹¹

上述文章在垃圾分類研究方面取得具體成果，但大多以定性分析為主。博弈論作為一種定量研究方法已廣泛應用於企業管理。然而，很少有文章使用這種方法來討論廢物分類問題，分析政府和居民在生活垃圾分類中的行為策略，為我們的研究提供依據。¹²

本文基於以下的研究脈絡：首先，基於博弈論視角，構建居民和政府之間的靜態博弈模型，比較政府兩種收費政策，分析最優收費政策；其次，將靜態博弈模型拓展到居民和政府不同收費行為間的無限重複博弈模型，通過政府和居民在不同策略下各自的成本和收益，分析影響政府和居民進行垃圾分類的影響因素，探討雙方實現合作共贏的條件，研究適合當前社會條件的政府和居民關於垃圾分類的最優合作策略。最後，拓展模型在政府和居民策略行為中考慮垃圾分類帶來的居民身體健康和社會環境正效應。

本文主要創新點在於：首先，相較於過往文獻多通過實證分析法，利用試點城市的相關數據主要側重於概念理解、垃圾處理問題的因果關係以及對於政府管理的建議，本文嘗試通過數學建模的方式，利用博弈論來探討政府和居民面對垃圾分類的最優決策；其次，不同於之前研究關注於單一政策對於居民垃圾分類的影響，本文著重比較兩種對城市垃圾的收費政策的實施效果，分析哪一種收費政策更加適合當前社會，並在此基礎上探討影響居民垃圾分類的因素；最後，與此前學者關注特

¹⁰ 王羽、陸雍森，〈居民生活垃圾分類收集的推動因素〉，《環境衛生工程》，第9卷第4期（天津：2001），190-192；Henriksson, G., Akesson, L., & Ewert, S., “Uncertainty Regarding Waste Handling in Everyday Life.” *Sustainability* 2 (2010): 2799-2813; Rousta, K., & Ekström, K. M., “Assessing Incorrect Household Waste Sorting in a Medium-Sized Swedish City.” *Sustainability*. 5.10 (2013): 4349-4361; Mee, N., Clewes, D., Phillips, P. S., & Read, A. D., “Effective Implementation of a Marketing Communications Strategy for Kerbside Recycling: A Case Study from Rushcliffe, uk.” *Resources Conservation Recycling*. 42.1 (2004): 1-26.

¹¹ 劉曼琴、謝麗娟，〈「垃圾圍城」的化解：實施按量收費的價格規制〉，《江西社會科學》，第36卷第5期（南昌：2016），71-77。

¹² Li, Y., Yang, T., and Zhang, Y., “Evolutionary game theory-based system dynamics modeling for community solid waste classification in China,” *Utilities Policy* 79 (2022b): 101451.

定城市的垃圾分類的實施效果不同的是，本文希望通過相關分析可以得到促進垃圾分類實施效果的範式，並利用數值分析驗證所有結論，確保結論的實用性和合理性。

本文的其餘部分結構如下。第二節總結了城市垃圾管理和相關政策的文獻研究。第三節建立了居民垃圾分類行為和政府行為的博弈模型。第四節數值分析，第五章提出了結論和未來研究方向。

二、文獻綜述

本文的文獻綜述主要涉及兩個方面：一是關於城市廢物處理的收費模式，二是垃圾分類。

（一）、城市廢物處理的收費模式

城市固體廢物通常採用固定收費和按量收費兩種收費模式。按量收費（PAYT）也稱為「單位定價」、「現收現付」或「可變費率收費」方法，其中政府根據城市固體廢物的數量或收集頻率收費。¹³ 相較於按量收費，固定收費收取的費用是相對固定和恒定的，與垃圾數量沒有直接聯繫。包括中國，荷蘭，瑞典，丹麥，比利時等許多國家都採用便利性更強的固定收費模式。¹⁴ 利用中國超過 374 個城市收取的固定垃圾處理費用作為樣本，證明瞭固定收費模式適用於城市固體廢物管理的初始階段，因為其提供了穩定的垃圾處理收入來源，有助於城市生活垃圾處理行業的快速建立。¹⁵ 而 Welivita 等學者則基於發展中國家的國情結合前人文獻所闡述的收費方式的適用性，發現在城市化進程中採取固定收費時，發展中國家通常會面臨所收取的垃圾處理費用不足以覆蓋廢物管理成本，同時，該模式很難達到減少垃圾數量的

¹³ Diaz, L. F., Savage, G. M., & Eggerth, L. L., "Alternatives for the Treatment and Disposal of Healthcare Wastes in Developing Countries." *Waste Management*. 25.6 (2005): 626-637.

¹⁴ Wang, Y., Zhang, X., Liao, W., Wu, J., Yang, X., Shui, W., ... & Peng, H.. "Investigating Impact of Waste Reuse on the Sustainability of Municipal Solid Waste (MSW) Incineration Industry Using Emergy Approach: A Case Study from Sichuan Province, China." *Waste Management*. 77 (2018): 252-267.

¹⁵ Wu J, Zhang W, Xu J, Che Y, "A Quantitative Analysis of Municipal Solid Waste Disposal Charges in China." *Environ Monit Assess*. 187 (2015): 1-10.

目的。¹⁶ Chu 學者考慮到固定收費的弊端，根據中國北京 5000 戶家庭的調查數據，設計一個遞增的區塊定價模型來收取垃圾費用。¹⁷ 在模型中根據家庭收入水準劃分成三個階梯，對每一階梯採取不同的收費價格。通過差異化收費來避免政府垃圾處理資金短缺的問題，同時實現垃圾減排的效果。Chu 學者在此基礎上，進一步優化城市生活垃圾收費方式，通過北京市居民收入等相關數據設置捆綁定價方式，該方式採用成本報銷原則和互補原則，根據人均年可支配收入、人均年消費支出和城市生活垃圾處置成本，向低收入家庭、中等收入家庭和高收入家庭收取不同的垃圾處理費用。¹⁸ 儘管有很多學者都對固定收費方式進行優化，也取得一定效果，但是由於發達國家採用按量收費在提升居民環保意識，降低居民生活垃圾方面已經顯現出優勢，這使得許多發展中國家考慮是否要學習發達國家的經驗。Skumatz, Le Bozec 和 Bilitewski 等學者都驗證了按量收費可以有效的降低垃圾數量。¹⁹ Dresner & Ekins 考慮到英國的實際國情，一方面肯定基於數量的收費在北美等地的作用，另一方面探討這一可變收費方式是否會給貧困人群帶來負面影響，同時提出按量收費由於高昂的成本，很難適用於發展中國家。²⁰ 提出一個全面而整體的框架，該框架涵蓋按量收費的設計和管理過程，其中包含如何形成具有固定和可變成本的模型的方程式。補充如何使用按量收費計劃定價方式的文獻支援。事實上，兩種收費方式都存在利弊和相應的適用場景，但是目前探討和比較兩種垃圾收費模式在發展中國家的應用的相關文獻比較少，因此，探討適合我國的垃圾處理費用的研究與分析是推行垃圾分類過程中不可避免的部分。

¹⁶ Welivita, I., Wattage, P., & Gunawardena, P. "Review of Household Solid Waste Charges for Developing Countries-A Focus on Quantity-Based Charge Methods." *Waste Management*. 46 (2015): 637-645.

¹⁷ Chu, Z., Wu, Y., & Zhuang, J. "Municipal Household Solid Waste Fee Based on an Increasing Block Pricing Model in Beijing, China." *Waste Management & Research*. 35.3 (2017): 228-235.

¹⁸ Chu, Z., Wang, W., Zhou, A., & Huang, W. C. "Charging for Municipal Solid Waste Disposal in Beijing." *Waste Management*. 94 (2019): 85-94.

¹⁹ Skumatz, L. A. "Pay as You Throw in the US: Implementation, Impacts, and Experience: A Tool for Urban Waste Management." *Waste Management (Elmsford)*. 28.12 (2008): 2778-2785; Le Bozec, A. "The Implementation of PAYT System under the Condition of Financial Balance in France." *Waste Management*. 28.12 (2008): 2786-2792; Bilitewski, B. "From Traditional to Modern Fee Systems." *Waste Management*. 28.12 (2008): 2760-2766.

²⁰ Dresner, S., & Ekins, P. "Charging for Domestic Waste in England: Combining Environmental and Equity Considerations." *Resources, Conservation and Recycling*. 54.12 (2010): 1100-1108; Elia, V., Gnoni, M.G., Tornese, F. "Designing Pay-as-you-throw Schemes in Municipal Waste Management Services: A Holistic Approach," *Waste Manage*. 44 (2015): 188-195.

(二)、垃圾分類

垃圾分類已經得到全世界的共同重視，各國研究者們已經從經濟學、社會學、管理學、心理學等不同角度展開大量的研究。Wert 最早研究了居民垃圾分類再回收問題，同時考慮了哪些因素會影響垃圾回收。²¹ Linderhof et al.、Dijkgraaf & Gradus 和 Callan & Thom 等學者拓展 Wertz 的研究，表明激勵與懲罰措施能夠影響垃圾分類的效果。²² Iyer & Kashyap 進一步論述政府激勵政策的時效性，驗證政府的政策效應會隨著政策的截至而消失。²³ Kikuchi & Gerardo、Lee et al.等學者提出激勵機制能促進居民接受並開始進行垃圾分類。²⁴

目前在國內外通過運用博弈論分析城市居民生活垃圾的管理方面的研究相對較少。葉健飛和馬慧民等通過構建居民與政府關於垃圾分類和監管的收益矩陣，分析政府對提高居民垃圾分類意識和構建垃圾分類逆向物流網闢的作用。²⁵ 劉承毅和王建明構建政府管理機構與企業的博弈模型，分析社會監督和聲譽激勵對博弈的雙方的影響。²⁶ 張爽、孫紹榮等學者研究居民垃圾分類行為和政府收費行為的演化博弈，認為按量收費將會有效降低城市生活垃圾。²⁷

²¹ Wertz, K. L.. "Economic Factors Influencing Households' Production of Refuse." *Journal of Environmental Economics and Management*. 2.4 (1976): 263-272.

²² Linderhof, V., Kooreman, P., Allers, M., & Wiersma, D.. "Weight-Based Pricing in the Collection of Household Waste: the Oostzaan Case." *Resource and Energy Economics*. 23.4 (2001): 359-371; Dijkgraaf, E., & Gradus, R. H.. "Cost Savings in Unit-Based Pricing of Household Waste: The Case of The Netherlands." *Resource and Energy Economics*. 26.4 (2004): 353-371; Callan, S. J., & Thomas, J. M.. "Analyzing Demand for Disposal and Recycling Services: a Systems Approach." *Eastern Economic Journal* 32.2 (2006): 221-240.

²³ Iyer, E. S., & Kashyap, R. K.. "Consumer Recycling: Role of Incentives, Information, and Social Class." *Journal of Consumer Behavior: An International Research Review* 6.1 (2007): 32-47.

²⁴ Kikuchi, R., & Gerardo, R.. "More than a Decade of Conflict between Hazardous Waste Management and Public Resistance: A Case Study of NIMBY Syndrome in Souselas (Portugal)." *Journal of Hazardous Materials*. 172.2-3 (2009): 1681-1685; Lee, S., & Paik, H. S.. "Korean Household Waste Management and Recycling Behavior." *Building and Environment*. 46.5 (2011): 1159-1166.

²⁵ 葉健飛、馬慧民，〈城市垃圾分類回收逆向物流監管機制的演化博弈分析〉，《物流科技》，第 7 期（北京：2015），78-82。

²⁶ 劉承毅、王建明，〈聲譽激勵、社會監督與品質規制—城市垃圾處理行業中的博弈分析〉，《產經評論》，第 2 期（廣州：2014），93-106。

²⁷ 張爽、孫紹榮、馬慧民，〈包裝垃圾源頭減量治理的三群體演化博弈分析〉，《包裝工程》，第 39 卷第 13 期（重慶：2018），129-137。

三、模型

(一)、模型描述

爲了探討在我國當前的垃圾分類政策下政府收費方式和居民垃圾分類之間的關係，以及如何提升居民垃圾分類的積極性與參與度，本文構建居民和政府兩方構成的博弈模型，居民根據自己效用最大化原則來決策是否進行垃圾分類，政府決策對垃圾分類的收費方式。爲使模型更具合理性和實用性，研究根據《關於試點城市生活垃圾分類的通知》以及政府希望通過在試點城市中開展垃圾分類探索適合我國的政策制定標準和實施方案的目的對博弈雙方—居民和政府，做出相關設定：

1. 儘管在該通知檔內爲了促進居民進行垃圾分類涉及多個行政主管部門，但是考慮到模型主要通過對比不同收費政策來分析當前政府最優收費政策，以及收費政策對垃圾分類實施效果的影響，因此模型設定中的政府主要為政策制定方。同時爲了簡化模型以及便於數值分析，根據《通知》的細則，模型設定居民主要為《通知》內涉及的試點城市的設點街道的住宅區居民。
2. 設定居民進行垃圾分類的概率是 x ，而不進行垃圾分類的概率是 $(1-x)$ 。
3. 對政府來說，當前的垃圾收費方式主要有兩種，一種是政府旨在減少不可回收垃圾數量而採用的按量收費的方式。在這種方式下，政府會免費清運可回收垃圾，只對不可回收垃圾根據其數量收費，設定政府對居民採用按量收費的概率爲 y ，向居民收取的按量垃圾處理費用爲 W 。另一種方式是對所有居民徵收固定的垃圾處理費用，在模型中將該種垃圾分類方式設定爲不按量收費，政府採取不按量收費的概率設定爲 $(1-y)$ ，當政府採取不按量收費時，無論居民是否採取垃圾分類措施，政府都將會對居民徵收固定的垃圾處理費用 U 。圖 1 給出了博弈樹模型來描述政府和居民之間的多方博弈過程，政府和居民的戰略選擇是連續的。

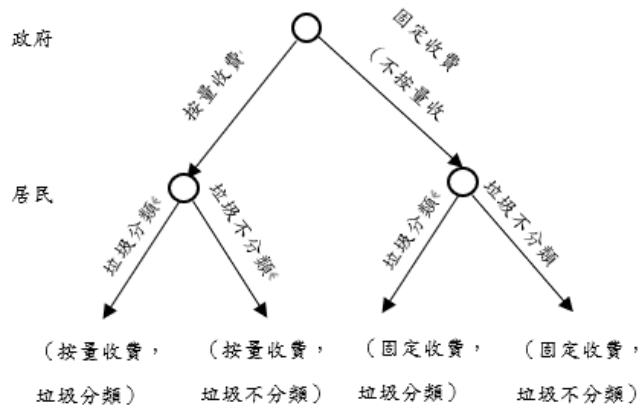


圖 1. 實施社區固體廢物分類系統的博弈樹模型

垃圾分類處理過程中，居民和政府都會投入一定的成本，設定居民投入垃圾分類的成本為 T 。設定政府在垃圾處理過程投入的成本由垃圾處理成本和收取垃圾處理費用過程中產生的成本構成。其中政府處理垃圾過程中投入的垃圾處理成本根據居民是否進行垃圾分類而有所不同，當居民採取垃圾分類時，政府投入的垃圾處理成本為 C_1 ；當居民不進行垃圾分類時，政府需要投入更多的人力物力來進行垃圾處理，因此政府在居民不進行垃圾分類下的垃圾處理成本為 C_2 ， C_1 和 C_2 之間滿足 $C_1 < C_2$ 。同時，根據當前的實踐活動，政府向居民收取垃圾處理費用時，也需要付出一定的收費成本，依據政府可能採取的按量收費或者不按量收費的政府在收取垃圾費時，按量收費的收費成本為 C_3 ，不按量收費的收費成本為 C_4 ，因為按量收費政府需要派更多的人力和物力來計算垃圾數量，則 $C_3 > C_4$ 。所有參數含義如表一所示。

表 1：參數設定表

參數設定	
x	表示居民進行垃圾分類的概率； $(1-x)$ 表示居民不進行垃圾分類的概率
y	表示政府對居民採用按量收費的概率； $(1-y)$ 表示政府對居民採用固定收費的概率
W	表示政府向居民收取的按量垃圾處理費用
U	表示政府向居民收取的固定的垃圾處理費用
T	表示居民為垃圾分類付出的成本
C_i	表示政府投入的垃圾處理成本， $i=1, 2, 3, 4$ 表示不同類型下的政府成本
R_i	表示垃圾分類帶來的正效應， $i=1, 2$ ，分別表示健康正效應和環境正效應

(二)、基準模型

首先構建居民和政府靜態博弈的基準模型，在基準模型中主要研究政府的收費策略，分析在處理城市生活垃圾的過程中，政府按量收費和不按量收費（固定收費）哪種收費策略將更能實現節約資源減少污染的目標。爲了簡化計算過程，設定政府按量收費收取的垃圾費用為 W ，不區分居民分類與不分類的兩種情況下的垃圾數量，此時政府按量收取的垃圾費用相同。在以上假設和參數設定的基礎上，構建了居民和政府之間的博弈收益矩陣，如表 2 所示。

表 2 政府和居民的收益矩陣

		政府	
		按量收費(y)	不按量收費($1-y$)
居民	垃圾分類(x)	$-W-T, W-C_1-C_3$	$-U-T, U-C_4-C_1$
	垃圾不分類($1-x$)	$-W, W-C_2-C_3$	$-U, U-C_2-C_4$

當居民無論是否採取垃圾分類策略，政府都收取相同的按量收費 W 時，如收益矩陣所示，此時居民進行垃圾分類需要投入比不進行垃圾分類更多的成本 T ，例如實際生活中，居民進行垃圾分類時通常需要準備更多的垃圾桶，垃圾袋以及花費更多的時間成本。因此在沒有任何激勵措施下居民一定會選擇不進行垃圾分類，當居民一定不會進行垃圾分類時，此時不需要考慮居民決策，只需要比較政府兩種收費方式下的收益：

居民垃圾不分類，政府按量收費時政府收益爲：

$$\pi_1 = W - C_2 - C_3$$

居民垃圾不分類，政府不按量收費時政府收益爲：

$$\pi_2 = U - C_2 - C_4$$

因此，基於上述分析，我們可得到如下命題：

定理 1：當 $W - C_3 < U - C_4$ 時， $x = 0$ ， $y = 0$ ；當 $W - C_3 > U - C_4$ 時， $x = 0$ ， $y = 1$ 。

定理 1 說明，當 $W - C_3 < U - C_4$ 表明政府按量收費時獲得收益 π_1 小於政府不按量收費時獲得收益 π_2 即 $\pi_1 < \pi_2$ ，此時政府選擇不按量收費，則納什均衡為（居民垃圾不分類，政府不按量收費）。當 $W - C_3 > U - C_4$ ，表明政府按量收費時獲得收

益 π_1 大於政府不按量收費時獲得收益 π_2 即 $\pi_1 > \pi_2$ ，此時政府選擇按量收費，則納什均衡為（居民垃圾不分類，政府按量收費）。在居民和政府的整個博弈中，在居民和政府的整個博弈中，均衡解取決於政府從居民處獲得的垃圾處理費用（ W 、 U ）和爲了獲得垃圾處理費用付出的收費成本（ C_3 、 C_4 ）。

（三）、長期決策模型

基準模型的分析揭示了影響政府收費行爲與居民分類行爲選擇的相關因素，爲了進一步探討政的收費政策如何實現垃圾分類，考慮在無限重複博弈的情況下，政府和居民的最優決策行爲。

在居民垃圾分類，政府按量收費的情況下，社會總效應（即政府收益和居民收益總和）爲：

$$\pi_1 = -W - T + W - C_1 - C_3 = -T - C_1 - C_3$$

在居民垃圾不分類，政府按量收費的情況下，社會總效應（即政府收益和居民收益總和）爲：

$$\pi_2 = -W + W - C_2 - C_3 = -C_2 - C_3$$

在居民垃圾分類，政府不按量收費的情況下，社會總效應（即政府收益和居民收益總和）爲：

$$\pi_3 = -U - T + U - C_4 - C_1 = -T - C_1 - C_4$$

在居民垃圾不分類，政府按量收費的情況下，社會總效應（即政府收益和居民收益總和）爲：

$$\pi_4 = -U + U - C_2 - C_4 = -C_2 - C_4$$

定理 2：當 $W - C_3 < U - C_4$ ， $T > C_2 - C_1$ 時， $x = 0$ ， $y = 0$ 。

定理 2 說明，根據定理 1 $W - C_3 < U - C_4$ 表示政府選擇不按量收費， $T > C_2 - C_1$ 表示在居民垃圾分類，政府按量收費的情況下的社會總效應 π_1 小於在居民垃圾不分類，政府按量收費的情況下的社會總效應 π_2 （ $\pi_1 < \pi_2$ ）。

$T < C_2 - C_1$ 表示在居民垃圾分類，政府按量收費的情況下的社會總效應 π_1 大於在居民垃圾不分類，政府按量收費的情況下的社會總效應 π_2 （ $\pi_1 > \pi_2$ ）。此時，社會效益最優的最優解為（居民垃圾分類，政府不按量收費）。但是因爲在居民垃圾分類時會增加一個分類成本 T ，則居民一定會選擇垃圾不分類，所以兩者無法合作到

達社會總效應最優的情況。因此，需要考慮到貼現因數的影響。

事實上，當進行重複動態博弈時，博弈雙方的收益會受到貼現因數的影響，爲了探討貼現因數 δ 對垃圾分類效果實施的影響，設定居民和政府雙方會合作更有利於社會的決策，即（居民垃圾分類，政府不按量收費），如果有一方不做出該決策，即使當下的收益較高，最終都會變爲（居民垃圾不分類，政府按量收費）。

對於居民來說當且僅當下式成立，即居民選擇垃圾分類時獲取的收益大於垃圾不分類下的收益，則選擇垃圾分類為最優：

$$\frac{-U - T}{1 - \delta} \geq -U + \frac{\delta}{1 - \delta}(-W)$$

對於政府來說當且僅當下式成立，即政府選擇不按量收費獲取的收益大於政府選擇按量收費時獲取的收益，則選擇不按量收費為最優：

$$\frac{U - C_4 - C_1}{1 - \delta} \geq W - C_1 - C_3 + \frac{\delta}{1 - \delta}(W - C_2 - C_3)$$

定理 3：當 δ 滿足上述兩個條件， $\delta \geq \frac{W - U - C_3 + C_4}{C_2 - C_1}$ 且 $\delta \geq \frac{T}{W - U}$ ，同時滿足 $W - C_3$

$> U - C_4$ ， $T < C_2 - C_1$ 時， $x = 1$ ， $y = 0$ 。此時，政府和居民都選擇合作，社會總效

應最優，得到最優解（居民垃圾分類，政府不按量收費）。

通過以上分析可以知道，政府選擇不按量收費且居民選擇垃圾分類才是最穩定的策略，也是對社會效應最好的策略。因爲通過按量收費來實現垃圾分類不是長久之策。對於政府來說不按量收費消耗成本更低，同時培養和提高了居民的環境保護意識，使得他們瞭解了垃圾分類的重要性。

（四）、拓展模型

基準模型和長期決策模型中，爲了簡化分析過程，模型設定當政府實行按量收費時，並不區分居民垃圾分類和不進行垃圾分類時的回收垃圾數量，但是這個設定，並不符合實踐基礎。因此，在該部分對基準模型設定中的政府收費進行進一步的劃分與說明。此時將原基準模型中的政府按量收取費用 W 根據居民是否進行垃圾分類 M_1 和 M_2 。 M_1 表示當居民進行垃圾分類時，政府向居民收取的垃圾處理費用； M_2

表示當居民不進行垃圾分類時，政府向居民收取的垃圾處理費用；由於政府為了鼓勵居民進行垃圾分類，會無償清運可回收垃圾，所以 M_1 和 M_2 之間滿足 $M_1 < M_2$ 。同時，在模型中考慮垃圾分類回收會對環境和居民健康產生一個正效應，設定垃圾回收帶來的居民健康正效應為 R_1 ，帶來的環境正效應為 R_2 。在以上假設和參數設定的基礎上，構建了居民和政府之間的博弈收益矩陣，如表 3 所示。

表 3 政府和居民的收益矩陣

		政府	
		按量收費（概率 y ）	不按量收費（概率 $1 - y$ ）
居民	垃圾分類（概率 x ）	$(R_1 - M_1 - T, M_1 + R_2 - C_1 - C_3)$	$(R_1 - U - T, U + R_2 - C_1 - C_4)$
	垃圾不分類（概率 $1 - x$ ）	$(-M_2, M_2 - C_2 - C_3)$	$(-U, U - C_2 - C_4)$

此時對於居民來說，如果其選擇垃圾分類（概率是 x ）的期望收益為：

$$E_1 = y * (R_1 - M_1 - T) + (1 - y) * (R_1 - U - T) = y * (U - M_1) + R_1 - U - T$$

居民不進行垃圾分類（概率是 $1 - x$ ）的期望收益為：

$$E_2 = y * (-M_2) + (1 - y) * (-U) = y * (U - M_2) - U$$

引理 1：當 $y \geq \frac{T-R_1}{M_2-M_1}$ 時，居民會選擇進行垃圾分類（ $x=1$ ），而 $y \leq \frac{T-R_1}{M_2-M_1}$ ，則居民會 S 選擇不進行垃圾分類（ $x=0$ ）：

對於政府來說，如果其選擇按量收費（概率是 y ）的期望收益為：

$$\pi_3 = x * (M_1 + R_2 - C_1 - C_3) + (1 - x) * (M_2 - C_2 - C_3) = x * (M_1 + R_2 - C_1 - M_2 + C_2) + M_2 - C_2 - C_3$$

政府不按量收費（概率是 $1 - y$ ）的期望收益為：

$$\pi_4 = x * (U + R_2 - C_1 - C_4) + (1 - x) * (U - C_2 - C_4) = x * (R_2 - C_1 + C_2) + U - C_2 - C_4$$

引理 2：當 $x \geq \frac{U-C_4-M_2+C_3}{M_1-M_2}$ 時，政府會選擇不按量收費（ $y = 0$ ），當 $x \leq \frac{U-C_4-M_2+C_3}{M_1-M_2}$ ，

政府會選擇按量收費 ($y = 1$)。

由以上兩個引理，我們得到如下定理。

定理 4：以上模型存在唯一的混合策略均衡，即 $x = \frac{U-C_4-M_2+C_3}{M_1-M_2}$ ， $y = \frac{T-R_1}{M_2-M_1}$ 。

定理 4 說明，比較政府兩種策略行為下的期望收益和居民兩種策略行為下的期望收益可以發現，居民是否進行垃圾分類的概率臨界點是 $x = \frac{U-C_4-M_2+C_3}{M_1-M_2}$ ，如果政府得知居民進行垃圾分類的概率小於 $x = \frac{U-C_4-M_2+C_3}{M_1-M_2}$ 。針對居民參與垃圾分類的概率較低時，政府採取的最優垃圾費用收取方式是按量收費的方式，反之，政府的最優選擇是不按量收費。政府是否選擇垃圾按量收費的概率臨界點為 $y = \frac{T-R_1}{M_2-M_1}$ ，如果居民知道政府對垃圾採用按量收費方式的概率大於 $y = \frac{T-R_1}{M_2-M_1}$ ，居民的占優策略就是實行垃圾分類，反之，居民占優策略就是不進行垃圾分類。由 $x = \frac{U-C_4-M_2+C_3}{M_1-M_2}$ 可知，政府已知居民是否參與垃圾分類下，政府採用按量收費時所收取的不同費用會影響居民進行垃圾分類的概率，在政府兩種不同行為下，按量收費或者不按量收費之間收費成本的差異也會影響居民選擇垃圾分類的概率。由 $y = \frac{T-R_1}{M_2-M_1}$ 可知，在政府採用按量收費的方式時，居民進行垃圾分類或者不進行垃圾分類所繳納的垃圾處理費用影響政府選擇按量收費的概率，與此同時居民進行垃圾分類所投入的成本也會影響政府的收費行為，此外，居民進行分類後其得到的環境改善的正效應也對政府的決策概率造成了影響。

四、數值分析

爲了驗證上述模型分析，以及進一步驗證和分析模型，研究選取北京爲主要數據搜集地區，這是由於北京作爲一綫經濟發達城市且作爲垃圾分類試點城市時間較久，垃圾分類實施過程和政策相對成熟，居民擁有一定的垃圾分類回收意識。同時研究根據《北京市統計年鑒》等報告披露的公開數據以及一些學者引用的相關數據對模型參數進行賦值。具體內容如表 4 所示。

表 4：參數賦值表

參數	數值	單位	來源
W	¥10.16	元/家庭/月	Chu et al. 2019.
U	¥11.25	元/家庭/月	Li et al. 2022b.
C_1	¥54.4	元/噸/月	《北京市城市生活垃圾焚燒社會成本評估報告》
C_2	¥151.2	元/噸/月	《北京市統計年鑒》
C_3	¥2.82	元/噸/月	Chu et al. 2019.
C_4	¥2.47	元/噸/月	《關於加強本市非居民廚余垃圾計量收費管理工作的通知》
T	¥8.17	元/月	Li et al. 2022b.

根據相關數據以及基準模型公式，可以得到圖 2。圖 2 再一次驗證定理 1 和定理 2 的結論，當 $W - C_3 < U - C_4$ 表明政府選擇不按量收費，此時雙方決策爲居民垃圾不分類，政府不按量收費；當 $W - C_3 > U - C_4$ 表明政府選擇按量收費，此時雙方決策爲居民垃圾不分類，政府按量收費。當居民決策爲垃圾不分類時，政府收費決策僅與政府可獲得的收益有關。

在基準模型的基礎上，研究分析當政府決定按量收費時，居民的垃圾分類決策。正如圖 3 所示，當政府按量收費向居民收取的費用時，受限於垃圾分類的投入成本居民的行爲都會趨向於垃圾不分類，政府的行爲選擇趨向於不按量收費。此時的狀態並不適合垃圾減量化，因爲社會效益總會最終變爲（居民垃圾不分類，政府不按量收費）。但當存在貼現因數時，相當於存在一個對居民爲垃圾分類付出的成本的補貼時，隨著居民因此支付的成本變低，居民將會更加願意選擇垃圾分類。如圖 4，隨著貼現因數的提高，居民的支付成本逐步降低；當政府按量收費時，隨著該費用上

升，居民的支付成本越高，此時居民垃圾分類意願也隨之降低。因此，如果政府按量收費，為了不降低居民的垃圾分類意願，政府會免費清運其中的可回收垃圾，此時政府收取的費用將會降低。

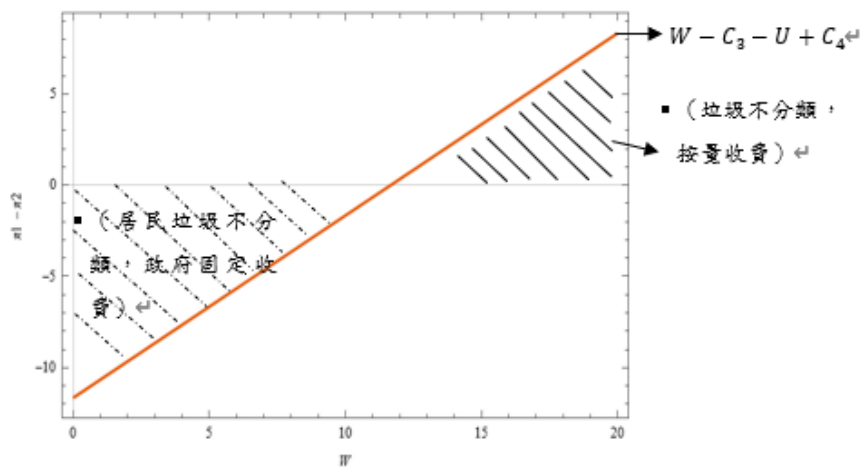


圖 2.居民垃圾不分類時政府收費決策

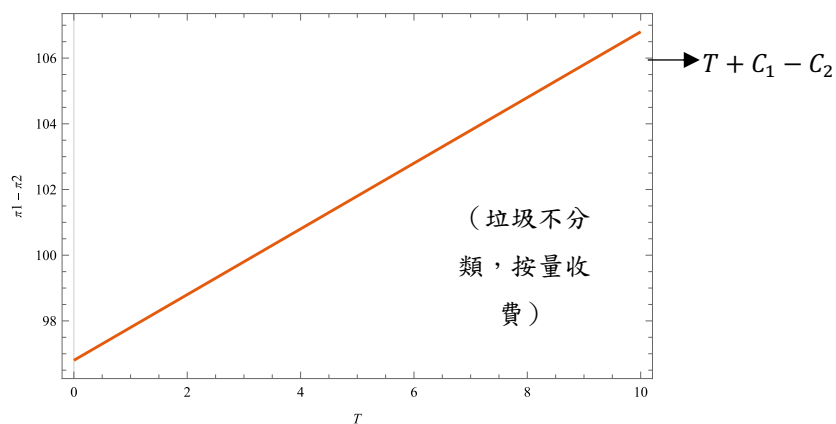


圖 3.政府按量收費時居民決策

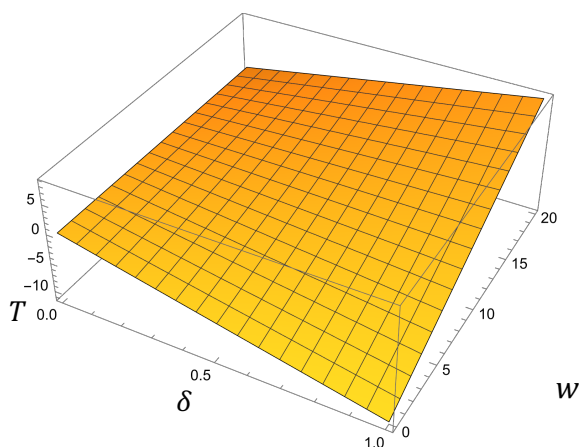


圖 4.貼現因子 δ 和居民支付的垃圾分類成本 T 以及政府按量收費 w 的關係

五、結語

本文基於中國一線經濟發達且作為垃圾分類試點城市中的試點社區內的住宅區居民這一群體，研究其進行垃圾分類行為的動機和影響因素，運用靜態博弈和動態博弈進建立基於居民和政府的決策行為模型。通過以上的模型分析結果得出以下結論：

首先，居民是否參與垃圾分類的主要與居民進行垃圾分類所支付的成本、居民不參加垃圾分類造成的損失、政府的處理垃圾的成本等因素有關，各個因素都相互關聯。如果居民進行垃圾分類的所需要付出的時間、精力和金錢的成本太高，那麼居民就不會進行垃圾分類。

其次，垃圾分類行為和政府垃圾分類的收費制度是相互影響的，政府科學合理的收費可以促進居民進行垃圾分類。政府是否按量收費與政府收費的成本相關。當政府按量收費的垃圾費用大於不按量收費的垃圾費用，並且按量收費所多收取的費用要大於按量收費情況下所多出來的收費成本時，即 $W - U > C_3 - C_4$ ，政府將趨向於按量收費。如果政府採取按量收費的成本太高，即使會收取一部分居民的費用，政府也不會選擇按量收費。

第三，在靜態博弈分析中，政府無論按量收費還是不按量收費，都無法左右居

民的行為決策，因為在居民選擇垃圾分類必定會產生成本，會得到負收益，所以居民一定會選擇垃圾不分類。使得居民垃圾分類也不僅僅是政府的收費行為所決定的，還需要居民的環保意識逐漸提高使得其更樂意去進行垃圾分類。

最後，相較於按量收費在發達國家取得的顯著效果，固定收費更適合我國目前的發展。我國城市廢物管理體系起步晚，需要投入的成本大，當前還處於初級階段，採用固定收費的方式可以快速建立城市廢物管理系統，同時提高居民的環保意識。

綜上所述，為了促進垃圾分類，真正意義上的實現垃圾數量減少，降低污染的目的，本文提出了以下的政策建議：

首先，垃圾收費按照固定的收費價格不僅便於政府管理，進一步促進了居民進行垃圾分類行為的熱情；制定完整的垃圾分類標準和規範，加大居民垃圾分類教育的培訓，提高居民垃圾分類正確的投放能力，這樣減少了居民垃圾分類的成本，也減少了政府管理垃圾分類的成本。

其次，降低垃圾收費的管理成本和收費成本，藉鑒國外的經驗，加強居民社區環境的垃圾規劃建設，實行垃圾定點回收，垃圾收費歸納於物業管理費用之下，有助於垃圾固定收費的實施。同時，政府需要改善垃圾分類回收設備的設置，並且表明垃圾分類的說明。第三，加強宣傳，要更加注重提高垃圾分類的深度，讓居民垃圾分類形成一種習慣，逐漸提高居民的環境保護意識。強制性的法律和環境保護政策對推動和維護環境保護有更加有力的影響。法律法規對居民的行為有很強的約束作用，這樣不僅能夠提高居民的道德水準，也能對居民的垃圾分類行為進行約束。最後，政府需要建立完整的、官方的垃圾分類回收系統，避免居民進行垃圾分類後，在政府回收垃圾時造成垃圾的混合收運。更新和加強垃圾分類回收的設施和政策，避免有回收價值的城市生活垃圾流入非正規管道，造成二次污染和資源浪費。

除此之外本文還存在一定方面的研究不足之處，本研究中基於我們當前研究目的，即探討收費政策制定對試點城市的試點街道的住宅區居民實施垃圾分類的影響，僅僅考慮了政府政策制定方和試點住宅區居民兩方，實際上垃圾分類過程涉及對象不止這兩方，居民垃圾分類的涉及範圍很廣，影響因素很多，涉及到的計算也相當複雜，本文沒有全部覆蓋。因此在未來研究中將會考慮更多研究主體，例如：落實垃圾分類的監管部門，清運垃圾的垃圾處理部門，企業，同時也可以考慮棚戶區（或城中村）、商業及辦公、工業區居民。除了研究主體的探討外，未來也可以研究政府

企業和居民的三方博弈，並在此基礎上分析獎懲機制，居民環保意識等因素的影響，構建更完善的垃圾分類模型，探索具備更加適合我國國情的具有普遍性，可推廣性的垃圾分類模式。

徵引書目

一、中文著作

- [1] 王羽、陸雍森，〈居民生活垃圾分類收集的推動因素〉，《環境衛生工程》，第9卷第4期（天津：2001），190-192。
- [2] 任哲勛、邵明吉，〈生活垃圾減量化主體間演化博弈分析〉，《價值工程》，第482卷第6期（石家莊：2018），81-83。
- [3] 曲英、朱慶華，〈城市居民生活垃圾源頭分類行為意向研究〉，《管理評論》，第21卷第49期（北京：2009），108-113。
- [4] 李妍，《基於博弈論的基礎設施 PPP 模式風險分擔研究》，北京：中國社會科學出版社，2020。
- [5] 孫騰、張真、陳越，〈居民生活垃圾收費模式的比較研究〉，《價格理論與實踐》，第9期（北京：2012），28-29。
- [6] 徐金龍、朱躍釗，〈城市生活垃圾管理的國際經驗_中國問題及優化策略〉，《生態經濟》，第5期（昆明：2012），161-164。
- [7] 徐穎、秋春童，〈城市居民生活垃圾按量繳費行為意向影響因素研究〉，《價格理論與實踐》，第6期（北京：2016），68-71。
- [8] 常杪、田欣、陳青等人，〈城市垃圾處理業的市場與盈利模式〉，《環境經濟》，第68卷第8期（北京：2009），36-39。
- [9] 張偉麗、葉民強，〈政府、環保部門、企業環保行為的動態博弈分析〉，《生態經濟》，第2期（昆明：2005），60-64。
- [10] 張爽、孫紹榮、馬慧民，〈包裝垃圾源頭減量治理的三群體演化博弈分析〉，《包裝工程》，第39卷第13期（重慶：2018），129-137。
- [11] 陳紹軍、李如春，〈意願與行為的悖離：城市居民生活垃圾分類機制研究〉，《中國人口·資源與環境》，第25卷第9期（濟南：2015），168-176。
- [12] 陳蘭芳、吳剛、張燕、張儀彬，〈垃圾分類回收行為研究現狀及其關鍵問題〉，《生態經濟》，第2期（昆明：2012），142-145。
- [13] 葉健飛、馬慧民，〈城市垃圾分類回收逆向物流監管機制的演化博弈分析〉，《物

- 流科技》，第7期（北京：2015），78-82。
- [14] 趙麗君、劉應宗，〈城市生活垃圾按量收費的減量化效應分析〉，《價格理論與實踐》，第2期（北京：2009），24-25。
- [15] 劉承毅、王建明，〈聲譽激勵、社會監督與品質規制—城市垃圾處理行業中的博弈分析〉，《產經評論》，第2期（廣州：2014），93-106。
- [16] 劉曼琴、謝麗娟，〈「垃圾圍城」的化解：實施按量收費的價格規制〉，《江西社會科學》，第36卷第5期（南昌：2016），71-77。
- [17] 劉靜、劉延平、李越川，〈以產業化和市場化促進城市垃圾處理業的發展〉，《北京交通大學學報》，第4卷第4期（北京：2005），19-22。
- [18] 韓洪雲、張志堅、朋文歡，〈社會資本對居民生活垃圾分類行為的影響機理分析〉，《浙江大學學報（人文社會科學版）》，第3期（浙江：2016），164-179。
- [19] 瞿利建、陳全、瞿志凱，〈城市生活垃圾分類投放研究現狀〉，《中國資源綜合利用》，第31卷第12期（徐州：2013），25-29。
- [20] 北京市統計局，《2018年北京統計年鑒》，北京：中國統計出版社，2019年。
- [21] 中國人民大學首都發展與戰略研究院，《2017-2018年北京市城市生活垃圾焚燒社會成本評估報告》，北京：社會科學文獻出版社，2020年。
- [22] 北京市城市管理委員會，〈關於加強本市非居民廚余垃圾計量收費管理工作的通知〉，京管發（2021）19號。

二、西文著作

- [23] Andersson, C., & Stage, J. "Direct and Indirect Effects of Waste Management Policies on Household Waste Behavior: the Case of Sweden." *Waste Management*. 76.6 (2018): 19-27.
- [24] Beigl, P., & Salhofer, S. "Comparison of Ecological Effects and Costs of Communal Waste Management Systems. Resources." *Conservation and Recycling*. 41.2 (2004): 83-102.
- [25] Bilitewski, B. "From Traditional to Modern Fee Systems." *Waste Management* 28.12 (2008): 2760-2766.
- [26] Callan, S. J., & Thomas, J. M. "Analyzing Demand for Disposal and Recycling

- Services: a Systems Approach.” *Eastern Economic Journal* 32.2 (2006): 221-240.
- [27] Charuvichaipong, C., & Sajor, E.. “Promoting Waste Separation for Recycling and Local Governance in Thailand.” *Habitat International*. 30.3 (2006): 579-594.
- [28] Chen, L., & Gao, M. “Formal or Informal Recycling Sectors? Household Solid Waste Recycling Behavior Based on Multi-Agent Simulation.” *Journal of Environmental Management*. 294 (2021): 113006.
- [29] Chen, L., & Gao, M.. “Predictive Modeling for Behavioral Evolution of Municipal Household Waste Classification and Recycling.” *Sustainable Cities and Society*. 78 (2022): 103659.
- [30] Chen, S., Huang, J., Xiao, T., Gao, J., Bai, J., Luo, W., & Dong, B.. “Carbon Emissions Under Different Domestic Waste Treatment Modes Induced by Garbage Classification: Case Study in Pilot Communities in Shanghai.” *China. Science of the Total Environment* 717 (2020): 137193.
- [31] Chu, Z., Wang, W., Zhou, A., & Huang, W. C.. “Charging for Municipal Solid Waste Disposal in Beijing.” *Waste Management*. 94 (2019): 85-94.
- [32] Chu, Z., Wu, Y., & Zhuang, J.. “Municipal Household Solid Waste Fee Based on an Increasing Block Pricing Model in Beijing, China.” *Waste Management & Research*. 35.3 (2017): 228-235.
- [33] Diaz, L. F., Savage, G. M., & Eggerth, L. L. “Alternatives for the Treatment and Disposal of Healthcare Wastes in Developing Countries.” *Waste Management*. 25.6 (2005): 626-637.
- [34] Dijkgraaf, E., & Gradus, R. H.. “Cost Savings in Unit-Based Pricing of Household Waste: The Case of The Netherlands.” *Resource and Energy Economics*. 26.4 (2004): 353-371.
- [35] Dresner, S., & Ekins, P.. “Charging for Domestic Waste in England: Combining Environmental and Equity Considerations.” *Resources, Conservation and Recycling* 54.12 (2010): 1100-1108.
- [36] Elia, V., Gnoni, M.G., Tornese, F., Designing pay-as-you-throw schemes in municipal waste management services: A holistic approach. *Waste Manage*. 44(2015): 188-195.

- [37] Fei, F., Qu, L., Wen, Z., Xue, Y., & Zhang, H.. How to integrate the informal recycling system into municipal solid waste management in developing countries: Based on a China's case in Suzhou urban area. *Resources, conservation and recycling*, 110 (2016): 74-86.
- [38] Henriksson, G., Akesson, L., & Ewert, S.. "Uncertainty Regarding Waste Handling in Everyday Life." *Sustainability*. 2 (2010): 2799-2813.
- [39] Iyer, E. S., & Kashyap, R. K.. "Consumer Recycling: Role of Incentives, Information, and Social Class." *Journal of Consumer Behavior: An International Research Review*. 6.1 (2007): 32-47.
- [40] Karagiannidis, A., Xirogiannopoulou, A., & Tchobanoglous, G.. "Full Cost Accounting as a Tool for the Financial Assessment of Pay-As-You-Throw Schemes: A Case Study for the Panorama Municipality, Greece." *Waste Management*. 28.12 (2008): 2801-2808.
- [41] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F.. "What a Waste 2.0: a Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050." *World Bank Publications*. (2018)
- [42] Kikuchi, R., & Gerardo, R.. "More than a Decade of Conflict between Hazardous Waste Management and Public Resistance: A Case Study of NIMBY Syndrome in Souselas (Portugal)." *Journal of Hazardous Materials*. 172.2-3 (2009): 1681-1685.
- [43] Le Bozec, A. (2008). "The Implementation of PAYT System under the Condition of Financial Balance in France." *Waste Management*. 28.12 (2008): 2786-2792.
- [44] Lee, S., & Paik, H. S.. "Korean Household Waste Management and Recycling Behavior." *Building and Environment*. 46.5 (2011): 1159-1166.
- [45] Li, Y., Yang, T., & Zhang, Y.. "Evolutionary Game Theory-Based System Dynamics Modeling for Community Solid Waste Classification in China." *Utilities Policy*. 79 (2022b): 101451.
- [46] Linderhof, V., Kooreman, P., Allers, M., & Wiersma, D.. "Weight-Based Pricing in the Collection of Household Waste: the Oostzaan Case." *Resource and Energy Economics*. 23.4 (2001): 359-371.
- [47] Mee, N., Clewes, D., Phillips, P. S., & Read, A. D.. "Effective Implementation of a

- Marketing Communications Strategy for Kerbside Recycling: a Case Study from Rushcliffe, uk.” *Resources Conservation Recycling*. 42.1 (2004): 1-26.
- [48] Meng, X., Wen, Z., Qian, Y., 2018. Multi-agent-based simulation for household solidwaste recycling behavior. *Resour., Conserv. Recycl.* 128: 535-545.
- [49] Rousta, K., & Ekström, K. M. “Assessing Incorrect Household Waste Sorting in a Medium-Sized Swedish City.” *Sustainability*. 5.10 (2013): 4349-4361.
- [50] Skumatz, L. A.. “Pay as You Throw in the US: Implementation, Impacts, and Experience: A Tool for Urban Waste Management.” *Waste Management (Elmsford)*. 28.12 (2008): 2778-2785.
- [51] Troschinetz, A. M., & Mihelcic, J. R.. “Sustainable Recycling of Municipal Solid Waste in Developing Countries.” *Waste Management*. 29.2 (2009): 915-923.
- [52] Wang, Y., Zhang, X., Liao, W., Wu, J., Yang, X., Shui, W., ... & Peng, H.. “Investigating Impact of Waste Reuse on the Sustainability of Municipal Solid Waste (MSW) Incineration Industry Using Emergy Approach: A Case Study from Sichuan Province, China.” *Waste Management*. 77 (2018): 252-267.
- [53] Welivita, I., Wattage, P., & Gunawardena, P.. “Review of Household Solid Waste Charges for Developing Countries-A Focus on Quantity-Based Charge Methods.” *Waste Management*. 46 (2015): 637-645.
- [54] Wertz, K. L.. “Economic Factors Influencing Households' Production of Refuse.” *Journal of Environmental Economics and Management*. 2.4 (1976): 263-272.
- [55] Xue, Y., Wen, Z., Bressers, H., & Ai, N. “Can intelligent collection integrate informal sector for urban resource recycling in China?”. *Journal of cleaner production*, 208 (2019): 307-315.
- [56] Xiao, L., Zhang, G., Zhu, Y., & Lin, T. “Promoting Public Participation in Household Waste Management: A survey Based Method and Case Study in Xiamen City, China.” *Journal of Cleaner Production*. 144 (2017): 313-322.
- [57] Yang, H., Ma, M., Thompson, J. R., & Flower, R. J.. “Waste Management, Informal Recycling, Environmental Pollution and Public Health.” *J Epidemiol Community Health*. 72.3 (2018): 237-243.

- [58] Ye, Q., Anwar, M. A., Zhou, R., Asmi, F., and Ahmad, I. China's green future and household solid waste: Challenges and prospects. *Waste Management*, 105 (2020): 328-338.
- [59] Zhang, S., Mu, D., & Liu, P.. "Impact of Charging and Reward-Penalty Policies on Household Recycling: A Case Study in China." *Resources, Conservation and Recycling* 185 (2022): 106462.

通訊作者簡介

李新，澳門科技大學商學院決策科學學系副教授及系主任，研究領域為運營管理、供應鏈管理與服務運營系統

通訊地址：澳門科技大學商學院

通訊電郵：xli@must.edu.mo

第一作者簡介

吳銘，澳門科技大學商學院博士研究生，研究領域為物流管理

通訊地址：澳門科技大學商學院

通訊電郵：2009853jbm30001@student.must.edu.mo

王少嵩，澳門科技大學商學院助理教授，研究領域，金融，行為金融

通訊位址：澳門科技大學商學院

通訊電郵：sswang@must.edu.mo

梁思琪，澳門科技大學商學院碩士研究生，研究領域，綠色供應鏈

通訊位址:澳門科技大學商學院

通訊電郵：374365767@qq.com