# 城市代谢与相关概念的辨析及其应用

刘 晔[[1]](#footnote-2)

（中国科学院地理科学与资源研究所，北京 100101）

**摘要：**城市是应对全球气候变化与资源耗竭等环境问题的重要突破口，城市代谢可以从技术层面和政策管理出发对解决城市环境问题提供科学指导。城市代谢、工业代谢、社会代谢三个概念在定义和方法论等理论研究领域具有内在一致性，在环境管理和城市规划等应用领域则存在差别。本文对三个概念进行了理论辨析及内涵解读，总结了当前城市代谢在实践上的三个主要应用方向，建议未来城市代谢研究应注重发展满足城市可持续发展需求的城市代谢研究框架，加强国家间城市代谢的比较研究和知识共享，建立适应城市发展规律的不同类型典型城市代谢模型。

**关键词：**城市代谢；工业代谢；社会代谢；交叉研究

**中图分类号：**TU984.11+5  **文献标识码： 文章编号：**

## 引言

城市是人口稠密的地区，城市越大越富裕，城市中的人均消费水平越高，资源的消耗越大和废弃物的排放量越多。据联合国环境署预测，到2050年中国的城市化率73.2%接近发达国家的86%，生活水平将达到中等发达国家水平。城市的高消费、高物耗的生活方式正影响着中国社会生产生活的方方面面。已有研究表明，城市中的工业、建筑业、商住和交通能耗产生的碳排放占全球碳排放总量的78%；全球80%以上可利用的矿产资源用于城市中的生产和生活。前者已成为全球变暖和气候异常的重要来源，后者的开采和加工则是资源耗竭和环境破坏的重要原因。一般认为，城市是应对全球气候变化与资源耗竭等环境问题的重要突破口。

城市环境问题的产生有一定的规律可循，从过程上分析可以认为是城市代谢异常的结果。Kennedy将城市代谢定义为“城市中发生的全部技术和社会经济过程的总和，它可以带来城市化、能源生产和废弃物的排放”。这反映出城市与生物体在运行过程上的类似性，它们同样都是消耗周围的资源并向其排放废物。也就是，“城市把原材料、燃料和水转化成建筑环境、人类有机体和废弃物的物质”。我国在改革开放后的三十余年时间里，城市化率已经从1978年的17.92%上升到了2013年的53.73%，预计2050年将达到73.2%接近发达国家86%这一数值，生活水平将达到中等发达国家水平。相对的，中国、印度、越南等发展中国家则经济发展和国民收入增加的同时，出现环境压力的不断攀升。从全球角度看，这表现局部发达国家城市环境问题的缓解与更大范围发展中国家环境问题的急剧增加；全球变暖、极端气候以及环境污染向更多人口和更大范围区域扩散。

## 一、城市代谢等相关概念解析

城市代谢概念向上可追溯到社会代谢概念，向下可溯及工业代谢（也称产业代谢）。然而，在大多数城市代谢的综述类论著中，虽然认定城市代谢与社会代谢和产业代谢具有内在一致性，但是却未进行深入探讨。

### （一）社会代谢

 “代谢”概念在生物学和社会学的结合加深了人类对社会与能量关系的深刻认识。社会代谢包括两层含义，一是人自身细胞的新陈代谢；另一含义是人类通过劳动从自然系统获取各种生存所需物质。从定义来看，社会代谢是一种机制，通过这种机制对内实现了人类自我繁殖与生理结构再生，对外实现了物质社会经济系统的存储以及废物的排除。工业革命后的短短200多年间，以科技进步为先导的工业文明使人类拥有了空前强大的改造和利用自然的力量，社会代谢规模急剧膨胀，人类活动对自然环境的巨大扰动导致了环境为人类提供资源和服务功能的下降，逐渐出现了一系列诸如能源危机、资源短缺、环境污染以及生态系统功能退化等关乎人类生存的问题。在这个过程中，社会代谢也从定性研究人与自然的关系与相互作用，发展到定量研究人类圈和自然圈（社会——经济系统和生态——环境系统）之间的物质（能量）交换，量化社会代谢规模和构成及其与经济增长和环境状况之间的关系。

### （二）工业代谢

产业活动是由一系列产业链所组成的。在从原材料采掘到中间产品的生产到最终产品的生产过程中，物质、能量和信息在各企业之间传递，构成产业链。工业代谢就是将原料和能源转变为最终产品和废物的过程中一系列相互关联的物质变化的总称。该理论研究工业系统“代谢”原料与能量的规律及其量化方法，研究工业代谢与自然生态系统之间的关系与现象。从时代的发展来看，这一过程印证了在成本效益带动下，工业企业不断向高能效低能耗和循环型工业体系发展的过程。随着工业化国家进入到一个污染日益扩展的新阶段，对污染的控制已不再主要是针对单个工厂的排放物的治理，工业代谢分析方法恰恰能够通过分析物质的收支平衡表，制定控制与预防环境污染的环境管理策略。工业代谢从实践角度出发已经实现案例研究向规律性研究的转变、工业体系运行机制的整体理解，以及通过确定环境问题产生源头，因地制宜采取各种政策措施控制和预防污染扩散，特别是对污染物的累积过程定量化管理的必由之路。

### （三）城市代谢

从概念的起源和发展历程来看，城市代谢与社会代谢和产业代谢是一脉相承的。他们的起源都可以追溯到最早的生物学“代谢”概念。代谢论的概念最早可以追溯到1857年生物学首次提出的“代谢”概念，概念最初用于解释生命的含义，认为生命是一种能量、物质与环境的交换过程的代谢现象。此后，社会代谢、城市代谢、产业代谢由于其所在学科基础的差异，在理论探索和实践应用方面出现了一定程度的分化。与其他两者相比，社会代谢更注重特定发展阶段的社会类型代谢规摸和代谢强度及其与环境状况间关系的理论研究；工业代谢更注重产业链分析和工业过程优化的实践领域；城市代谢则即注重以城市为整体的代谢规模和代谢强度及其与环境状况之间的理论研究，又注重以环境管理为主的城市中能、水、营养元素的路径分析和过程优化研究。

### （四）与社会代谢、工业代谢的异同解析

从研究方法来看，城市代谢与社会代谢和工业代谢研究具有一致性，主要由两类方法学原理支撑。普遍认为，能值分析方法和物质流分析方法是两类常见的“代谢”研究方法。此外，也有一些扩展研究，但作为主流方法能值分析和物质流分析在“代谢”研究中更为常见。能值分析是指任何资源、产品或劳务形成所需的直接或间接太阳能之和，单位用太阳能值表示。能值分析以能值为共同基准，综合分析评价系统的能物流、货币流、人口流、信息流，得出一系列反映系统结构和功能特征与生态经济效益的能值指标，评价系统的可持续发展性能及决策。物质流分析是根据质量守恒定律对经济-环境系统之间的输入流、输出流和存量进行核算、研究其代谢的过程。同时也通过“隐流”概念表征未被利用但是却进入经济系统而被白白浪费的物质，它也被称为“生态包袱”。物质流分析以质量作为共同基准，将研究系统设置为黑箱，可以从资源消耗和废弃物排放的角度对城市物质和能量消耗对环境的影响进行系统分析，评价系统提出的一系列可持续发展指标，用于对社会经济部门的决策和结果进行评估。

从研究分类来看，城市代谢和社会代谢与工业代谢研究按照是否拥有统一的分析框架可以分为两类。第一类没有统一的研究框架。这类研究常见于城市代谢理论建立的初期。第二类有相对统一的研究框架。这类研究常见于城市代谢理论研究的后期，研究以物质流分析和能值分析为主。1993年韩国、日本联合召开的城市代谢研讨会，以及2008年布鲁塞尔城市代谢研讨会的论文集通过案例分析实践了物质流分析。此外，Huang等人也分析过能流分析和物质流分析在城市代谢研究中的融合方法。城市代谢与工业代谢在研究主体上是存在差别的，前者是以居民、工业、商业、行政单位等全部参与者为研究主体，后者是以工业企业为研究主体，前者的代谢链和代谢网络明显比后者复杂。从这种意义上看，社会代谢与城市代谢的概念更为接近，唯一的差别是社会代谢的研究内容更注重对能量要素及其对社会演化的影响，城市代谢研究更关注优化路径的选择且综合考虑能量和物质两种资源流，研究内容更全面丰富。

## 二、城市代谢在环境管理和规划中的应用

城市代谢的研究既是城市运行规律的机制研究，也是城市可持续发展的实践研究。下面我们将从环境管理和规划需求出发，综述城市代谢的主要四种应用：可持续发展报告、城市温室气体计量、政策分析数学模型、城市设计。

### （一）可持续性指标

城市代谢研究在实践中可以作为可持续环境评估报告的一部分，用来定量评估城市的可持续性水平。基于城市代谢理论的可持续评估指标可反映包括关于能源效率、物质循环、废弃物管理和城市系统基础设施管理的相关信息。城市代谢指标的可持续环境评估报告不但能够定量分析和描述环境状况及其趋势，并可为城市环境政策提供信息参考。以能量代谢为例，按照IPCC导则，在实际应用中温室气体排放的计算通过活动数据与排放因子相乘得到。城市代谢领域的专家Kennedy在2009年和2010年进行了全球主要城市温室气体排放的计算，这是城市代谢应用研究的重要成果。

### （二）基于政策管理需求的过程模拟模型

通过物质流-能流分析方法建立，主要是针对城市的某种金属和养分，或者将城市作为整体进行全物质研究。这类研究由于需要庞大的资金支持，大多在洛杉矶、日内瓦、巴黎等地区开展研究。空间分析方法则更讲求研究在空间规划上应用的价值，例如Deilman的根据空间属性规律进行的城市代谢拟合研究、以及Fung和Kennedy进行的城市尺度的宏观经济模型。值得一提的是，正在进行的两个欧盟第七工作框架下的SUME和BRIDGE也是该类城市代谢过程模拟模型研究的典型代表。

### （三）设计工具

城市代谢用于城市设计是一个相对新的发展方向。针对城市建设的不同需求，城市代谢原理可以运用到从城市规划、社区规划到建筑物设计等方方面面。在城市尺度上，也有研究者从城市代谢概念的概念出发，提出了城市规划的物质和精神层面的必备要素。Baccini和Brunner在城市代谢的四个主要成分进行评估：水、食物（生物量）、建筑材料、能量。Oswald和Baccini基于城市代谢原理，提出城市主要活动应包括滋养和恢复、清洁、居住于工作、

## 三、对城市代谢进一步研究的建议

随着城市代谢研究内容不断丰富，现有研究范围不断扩大，涉及到综合性研究到特殊成分（如能源、水、养分和金属等等）的多个方面。然而，这些研究分布在不同国家的不同城市，缺乏具有普遍指导意义的典型城市代谢分析，同时对于典型城市的不同功能的理解仍然存在知识欠缺。显然，对不同类型城市代谢的比较研究，以及时间序列研究是当前存在的主要问题。

因此，在未来的研究中就城市代谢规律研究而言，有必展开交叉研究，整合城市代谢、工业代谢和社会代谢研究，打破学科间的壁垒，形成统一的城市代谢研究框架。加强城市代谢领域的国际合作研究，形成具有国际通用的典型性、系统性和规律性的城市代谢理论基础。研究内容应围绕解决城市可持续发展面临的实际问题展开，包括城市代谢和城市穷人间关系的研究、世界城市能源利用数据的收集和组合、城市代谢存储和流动的标准分类系统等。就研究框架的指标体系建立上，除现有的物质流分析指标外，还应包括城市代谢的社会、健康、经济等综合量化指标。

同时，城市代谢也应加强在城市重建中的应用，增强低碳发展和循环发展在城市建设中的地位。虽然，绿色建筑和可持续建筑在能源流和物质流分析方面已经取得了广为认可的效果，但是这些研究成果集中在如低碳建筑等较低的规划层次，实际上城市的层级性和多功能性特点要求城市代谢理念也应更全面深入的融入城市规划和设计过程，体现在高层次的环境管理中，而未来规划设计的主流则应遵循城市代谢规律实现全社会共同参与和整个城市协同运作。

**参考文献**

[1]陆大道, 樊杰. 2050中国的区域发展[M]. 北京: 科学出版社, 2009:1-50.

[2]仇保兴. 城镇化的挑战与希望[J]. 城市发展研究, 2010, 17(1): 1-7.

[3]季晓立.“城市矿产”资源开采潜力及空间布局分析[D]. 清华大学硕士论文.2013, 1-15

[4]中国城市科学研究会主编.中国低碳生态城市发展战略[M].北京：中国城市出版社, 2009:1-8

[5]王如松. 区域城市发展的复合生态管理[M]. 北京:气象出版社,2010:1-8

[6]Kennedy C, Cuddihy J, Engel-Yan J. The Changing Metabolism of Cities[J]. Journal of Industrial Ecology, 2007, 11(2): 43-59.

[7]Decker H,Elliott S, Smith FA, Blake DR, Sherwood Rowland F. Energy and Material Flow through the Urban Ecosystem. Annual Review of Energy and the Environment 2000. 25, 685-740

[8]吴亚开. 物质流分析：可持续发展的测量工具.上海:复旦大学出版社. 2012: 38-42

[9] Kennedy C , Pincetl S , Bunje P . The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design[ J ] . Environmental pollution (Barking, Essex : 1987), 2011 , 159 (8-9): 1965 - 1973 .

[10]陶在朴. 生态包袱与生态足迹[M]. 北京:经济科学出版社, 2004,1-15

[11]Giampietro M, Mayumi K, Ramos-Martin J. Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism(MuSIASEM): theoretical concepts and basic rationale. Energy, 2009, 34:313-322

[12] Ramos - Martin J, Giampietro M. On China 's exosomatic energy metabolism: An application of multi- scale integrated analysis of societal metabolism ( MSIASM ) [J]. Ecological Economics, 2007 , 63 (1): 174 - 191 .

[13] Geng Y, Liu Y, Liu D et al. Regional societal and ecosystem metabolism analysis in China: A multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM) approach[J]. Energy.2011. 36:4799~4808

[14]袁增伟,毕军. 产业生态学. 北京：科学出版社. 2010,179-199

[15]Tarr JA. The metabolism of an Industrial City: the Case of Pittsburgh. Journal of Urban History, 2002,28:511

[16]李栋,刘晶茹,王如松.城市生态系统代谢分析方法与评价指标研究进展. 生态经济(学术版),2008,6:35-3

[17] 张力小,胡秋红.城市物质能量代谢相关研究述评——兼论资源代谢的内涵与研究方法. 自然资源学报. 2011, 26(10): 1801-1810.

[18]宋涛,蔡建明,倪攀等.城市新陈代谢研究综述及展望. 地理科学进展.2013.32(11):1650-1661

[19]卢伊,陈彬. 城市代谢研究评述:内涵与方法. 生态学报. 2015,35(8):1-19

[20]Odum H T, Brown M T, Brandt W, Sherry F. #1-Introduction and Global Budget[M]. Gainesville, FL USA: Center for Environmental Police, University of Florida, 2000.

[21][蓝盛芳，钦佩，陆宏芳](http://search.wl.cn/search.aspx?index=2&q=%e8%93%9d%e7%9b%9b%e8%8a%b3%2f%e9%92%a6%e4%bd%a9%2f%e9%99%86%e5%ae%8f%e8%8a%b3). 生态经济系统能值分析[M].北京：化学工业出版社, 2002.

[22]毕军,黄和平,袁增伟等. 物质流分析与管理. 北京:科学出版社. 2009,6-7

[23][邓南圣](http://www.taoshu.com/author_%E9%82%93%E5%8D%97%E5%9C%A3/)，[王小兵](http://www.taoshu.com/author_%E7%8E%8B%E5%B0%8F%E5%85%B5/). 生命周期评价[M].北京：化学工业出版社, 2003.

[24][于随然](http://www.jd.com/writer/%E4%BA%8E%E9%9A%8F%E7%84%B6_1.html)，[陶璟](http://www.jd.com/writer/%E9%99%B6%E7%92%9F_1.html). 产品生命周期设计与评价[M].北京：科学出版社, 2012.

[25]Huang SL, Hsu WL. Materials flow analysis and energy evaluation of Taipei’s urban construction. Landscape and Urban Planning.2003,63(2):61-74

[26] Maclaren V. Developing indicators of urban sustainability: a Focus on the Canadian experience. Intergovernmental Committee on Urban and Regional Research, ICURR Press, ON:Toronto. 1996.

[27]Kennedy C, Steinberger J, Gasson B, Hillman T. Havránek, M., Hansen, Y.,Pataki, D., Phdungsilp, A., Ramaswami, A., Villalba Mendez, G., Greenhouse gas emissions from global cities. Environmental Science and Technology 2009. 43, 7297-7302.

[28]Kennedy CA, Ramaswami A, Carney S, Dhakal S. Greenhouse gas emission baselines for global cities and metropolitan regions. In: Plenary paper presented at the World Bank’s Fifth Urban Research Symposium, Marseille, France.2009, 6 28-30.

[29]Kennedy C, Steinberger J., Gasson B, Hillman T, Havránek M, Hansen Y, Pataki D, Phdungsilp A, Ramaswami A., Villalba Mendez G. Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities. Energy Policy.2010, 37 (9): 4828-4837.

[30] Ngo NS, Pataki DE. The energy and mass balance of Los Angeles County. Urban Ecosystems[J]. 2008, 11(2), 121-139.

[31] Stutz M, Emmenegger MF, Frischknecht R, Guggisberg M, Witschi R, Otto T. Life cycle assessment of the mobile communication system UMTS: towards eco-efficient systems. Electronics and the Environment, 2003. IEEE International Symposium. DOI: 10.1109/ISEE.2003.1208063

[32] Barles S.A material Flow analysis of Paris and its region. Renewables in a changing climate-innovation in the built environment. In: Proceedings of the International Conference CISBAT 2007. http://vivo.libr.tue.nl/individual/publicationvenue-book-214010.

[33]Barles S.Urban metabolism of Paris and its region. Journal of Industrial Ecology2009:13 (6), 898-913

[34] Deilmann C. Urban metabolism and the surface of the city. In: German Annual of Spatial Research and Policy, Guiding Principles for Spatial Development in Germany. Springer, Berlin Heidelberg. 2009

[35] Fung M, Kennedy CA. An integrated macroeconomic model for assessing urban sustainability. Environment and Planning, 2005. B 32 (5): 639-656.

[36]Schremmer C, Stead D.Sustainable urban metabolism for Europe (SUME). In: Paper Presented at the World Bank’s Fifth Urban Research Symposium Marseille, France 2009.6: 28-30

[37]Chrysoulakis N.Urban metabolism and resource optimisation in the urban fabric: the BRIDGE methodology. In: Proceedings of EnviroInfo2008: Environmental Informatics and Industrial Ecology. Germany: Leuphana University of Lüneburg.2008: 301-309.

[38]Oswald F. Baccini P. Designing the Urban. Netzstadt: Birkhäuser. 2003

[39] Baccini, P., Brunner, P.H.. Metabolism of the Anthroposphere. Springer Verlag, Berlin.1991

Study on Relative Concepts of Urban Metabolism: Theoretical Research Based on Practices Demand

Liu Ye1

1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101

**Abstract：**With the development of cities, there are a lot of problem occurring on global warming and resource depletion. In the aspects of technologies and policy management, urban metabolism provides the mechanism of urban environmental research. Urban metabolism is related with social metabolism and industrial metabolism considered their concepts and methodologies. In this paper, we distinguish the similarities and differences between these three metabolism concepts and methodologies, review the three main application of urban metabolism in practices, and suggest the outlook of urban metabolism research including developing united research framework and strengthening the comparison and knowledge sharing between developing cities and developed cities of different countries, and making various types of urban metabolism models in coherence with the mechanism of urban developing.

**Keyword:** urban metabolism; social metabolism; industrial metabolism; interdisciplinary research

(责任编辑:汤文仙)

1. 收稿日期：2016年11月5日

作者简介：刘晔（1980-），女，辽宁人，博士后，研究方向：城市管理与规划，区域可持续发展。 [↑](#footnote-ref-2)