

第四章

城市适度人口测度方法构建：从静态走向动态

在上述城市适度人口理论指导下，科学合理地选择和确定城市适度人口测度方法不仅是为从实证层面测度我国城市适度人口提供技术支撑，而且还为深入把握实现我国城市适度人口实现的路径机制以及如何制定合理的政策提供理论依据。实际上，早在 20 世纪 70 年代我国就已经形成较为完善的适度人口测度体系，随着影响城市人口的因素变得多元化，适度人口的测度方法也在不断发展与创新。但遗憾的是，已有的对适度人口的理解更多着眼于数量上的适度，使得测度适度人口的方法主要还停留于静态层面，即在现有社会经济发展方式和资源环境利用模式下确定适度人口数量。如果仍然基于静态视角测度我国城市适度人口，必然会导致“城市实际人口远远大于城市适度人口”的结果，从而阻碍我国城市化进程的推进。一个重要的原因在于这种静态的测度没有考虑城市社会经济和资源环境的承载能力提升，而影响城市适度人口的外生因素存在的潜在作用必须加以考虑。因此，在城市适度人口从数量向质量的转变过程中，测度城市适度人口的方法也必须从静态转向动态。本章首先回顾与评述国内外适度人口测度方法，包括测度适度人口的主要技术模型和影响城市适度人口的主要因素，在此基础上构建我国城市适度人口测度的理论框架和方法模型。

第一节 适度人口测度方法：回顾、评述与启示

城市适度人口测度本身属于区域适度人口测度的范畴，在理论技

术上具有共性特征，两者的差异主要取决于适度人口的影响因素，城市适度人口主要从城市环境角度选择，而区域适度人口包含了城市和农村，主要从整体区域角度进行选择。相比于区域适度人口而言，专门针对城市适度人口的研究相对较少。有鉴于此，本章在总体回顾适度人口测度方法的基础上，分别从适度人口测度的技术模型和影响因素两个层面进行评述和分析，其中技术模型主要从区域适度人口测度研究入手，当然也包括城市适度人口测度；影响因素主要从城市适度人口测度研究入手，体现影响和决定城市适度人口的相关因素。在此基础上，提出我国城市适度人口动态测度方法的主要借鉴与基本定位。

一 适度人口测度方法：不同目标视角下的回顾

无论是广义上的区域还是狭义上的城市，人口均分别与经济、社会、资源、环境等各方面发生联系，包括“生产”和“消费”两个方面，适度人口就是要保持人的边际生产能力和边际消费能力平衡，测度适度人口就是要考虑这些因素对人的边际生产能力和边际消费能力的影响。同时，在不同的发展阶段，确定适度人口的经济、社会、资源与环境目标选择也不同，这主要取决于构成对人的“生产”行为和“消费”行为影响在不同阶段的短板，比如，在发展的早期，生态环境容量较大，人的经济活动还没有受到生态的威胁，同时更加关心基本生活保障问题，人们主要关注经济产出，适度人口测度就主要基于经济发展目标；随着经济产出的不断增加，人们开始注重人的生活质量，因此适度人口测度需要考虑社会福利目标；随着经济发展行为的不断深化，生态环境遭到破坏并威胁到人的生产和生活活动，这一阶段的适度人口测度就需要考虑资源或环境目标等。回顾国内外适度人口的测度方法，主要是遵循从单一经济目标向经济、社会和生态等多元目标发展。

（一）单一经济目标视角下的适度人口测度研究回顾

国内外学者从单一经济目标视角研究适度人口的成果较多：国外早期

对适度人口的研究主要开始于经济适度人口，测度适度人口的方法也主要是建立在经济增长目标的基础上，就像维克赛尔所提出的：一个国家拥有的适度人口应该考虑工农业生产能力和供养能力。^① 基于经济增长目标的适度人口测度不考虑人的社会福利，也不考虑人的行为对生态环境的创造和利用，重点在于创造产出和产出服务于人的边际平衡进行衡量，核心是人的生产能力及技术。最具代表性的经济适度人口测度方法是萨缪尔森 (Samuelson) 1970 年建立的人均产量与人口数量间的二次函数关系 $y = A + aP - bP^2$ ，并以最大化人均产出为目标计算最优即适度人口规模。^② 进一步，杨克 (Yunker) 1973 年指出以上适度人口的最优公式不适用于其他时期的适度人口测算，公式中的系数应该有一个时间函数，由此提出了包含时间变量在内的适度人口测度模型 $y = A + (m + m^2) p - bp^2$ 。^③ 相关的研究还包括纳拉亚纳 (Narayana) 1988 年从区域经济发展与人口数量关系构建的区域人口适度模型^④；达斯古普塔 (Dasgupta) 1999 年将经济增长目标拓展到全球经济增长和全球经济承载能力视角来确定人力可持续性人口数量^⑤；耶格和库勒 (Jaeger & Kuhle) 2009 年将人口因素置于新古典经济增长两阶段交替模型中，通过求解得出人口内生最优增长率的一般条件，即不同的人口动态增长路径对应经济发展增长水平的差异^⑥；伦斯托姆和斯帕塔罗 (Renström & Spataro) 2011 年^⑦将经济增长路径细化为消费和资本拉动，通过最优消费和最优资本目标计算出最优人口增长率。国内学者

① 李仲生：《人口经济学》，清华大学出版社，2009，第 138 页。

② Samuelson, Paul A, *Economics* (New York: McGraw-Hill, 1970), p. 550.

③ James A. Yunker, "A Statistical Estimate of Optimum Population in the United States", *Nebraska Journal of Economics & Business*, 12 (1973): 3-11.

④ M. R. Narayana, "Optimum Population Size for a Regional Economy: An Analytical Approach", *Indian Journal of Quantitative Economics* 4 (1988): 77-83.

⑤ P. S. Dasgupta, "On the Concept of Optimum Population", *Global aspects of the environment* 2 (1999): 343-366.

⑥ Klaus Jaeger, Wolfgang Kuhle, "The Optimum Growth Rate for Population Reconsidered", *Journal of Population Economics* 22 (2009): 23-41.

⑦ Thomas Renström, Luca Spataro, "The Optimum Growth Rate for Population under Critical-Level Utilitarianism", *Journal of Population Economics* 24 (2011): 1181-1201.

专门针对经济适度人口的研究相对较少，包括吴瑞君等（2003）^①、李卢霞等（2005）^②、彭宇柯（2011）^③，原因是适度人口研究在国内广泛兴起时，我国经济发展已经开始面临社会压力和环境压力。尽管如此，这些研究在适度人口确定方式上又有所拓展，比如吴瑞君等2003年将人口与经济的关系置于开放视角予以考虑。李卢霞等2005年着重强调技术进步对经济适度人口的影响。彭宇柯2011年将经济视角的适度人口规模拓展到人口增长、人口结构、人口质量和人口分布上的适度。

综合来看，单一经济目标视角下的适度人口测度适合于经济发展的早期或起步阶段，主要针对实现经济的最优增长，核心是生产技术决定既定经济发展目标下的人口数量。通过对上述研究的归纳，可以拓展的方向大致包括三项。一是考虑时间上的动态测度，这实际上就需要考虑不同时间上的生产能力技术和人们满足要求的变化及相对匹配关系，尤其是技术进步带来对适度人口的影响。二是确定经济适度人口，前提是要合理建立人口和经济增长的路径模型，需要采取更有效的方法实现两者的拟合度最优，从而使得出的适度人口数量更加准确，包括拟合模型选择、技术方法选择、空间关联选择等。三是就适度人口本身而言，除了考虑适度人口规模外，还需要更加细化地考虑人口增长、结构、质量和分布等问题。这些均为本文确定城市化进程中的城市适度人口测度提供了借鉴和支持。

（二）多元发展目标视角下的适度人口测度研究回顾

如前所述，人口不仅存在于经济体系，还存在于社会和生态体系。换句话说，人口在进行经济创造的过程中，需要不断地利用生态资源和社会资源，同时在受益于经济发展中又需要不断创造生态资源和社会资源。这样，适度人口确定就从单一的经济平衡演化为多元的经济、社会和生态等

① 吴瑞君、朱宝树、王大森：《开放型区域经济适度人口的研究方法及其应用》，《人口研究》2003年第5期。

② 李卢霞、孙晓燕、梁冬：《技术进步与经济适度人口》，《南京人口管理干部学院学报》2005年第3期。

③ 彭宇柯：《经济适度人口规模研究——以湖南省为例》，《生产力研究》2011年第9期。

系统平衡，为此测度适度人口就需要考虑多元发展目标。

1. 考虑社会福利目标的适度人口测度

比如霍根（Hogan）1974年提出一定时期的适度人口存在一个有约束的社会福利最大化问题，因此在杨克1973年^①研究经济适度人口的基础上，建立了取决于人均产出带来社会福利最大化目标的适度人口确定模型。^②杨克（1974）^③又针对霍根（1974）^④所构建的社会福利目标确定适度人口模型，指出社会福利函数除了受到人均产出影响外，还受到与人口数量相关的“公益产品”和“公害产品”的影响，从而优化了社会福利视角下的适度人口测度模型。吴瑞君等2003年将就业水平考虑为社会福利的一个重要方面，提出就业水平是制约人口容量乃至适度人口规模的重要因素，即在一个社会平均抚养系数下，一个地区可以提供的就业岗位数量和质量决定该地区适度人口，因此区域适度人口等于就业需求量乘以1加上平均抚养系数。^⑤王颖等2011年从人的满意度出发，从吃、用、国家实力等方面选择指标，采用“可能—满意度”方法对中国适度人口规模和结构进行测度。^⑥彭宇柯2011年在此基础上进一步将人口适度规模拓展到人口数量、质量、结构等关系上。^⑦

2. 考虑资源环境条件下的适度人口测度

在我国适度人口研究早期，更多是考虑土地、石油、水等资源对人口行为的制约，进而以此为依据确定最优人口规模，比如朱国宏1995年所研究的“人地关系论”，通过人口增长和土地面积的简单对比揭示出一定土

① James A. Yunker, "An Empirical Estimate of Optimum Population: Reply," *Nebraska Journal of Economics & Business* 13 (1974): 63-72.

② Hogan, Timothy D, "A Note on Empirical Estimation of Optimum Population," *Nebraska Journal of Economics & Business* 13 (1974): 70-73.

③ James A. Yunker, "An Empirical Estimate of Optimum Population: Reply," *Nebraska Journal of Economics & Business* 13 (1974): 63-72.

④ Hogan, Timothy D, "A Note on Empirical Estimation of Optimum Population," *Nebraska Journal of Economics & Business* 13 (1974): 70-73.

⑤ 吴瑞君、朱宝树、王大森：《开放型区域经济适度人口的研究方法及其应用》，《人口研究》2003年第5期。

⑥ 王颖、黄进、赵娟莹：《多目标决策视角下中国适度人口规模预测》，《人口学刊》2011年第4期。

⑦ 彭宇柯：《经济适度人口规模研究——以湖南省为例》，《生产力研究》2011年第9期。

地面积上拥有适度人口的核算方法^①；徐亲知和徐大鹏 2000 年将人均石油储备等资源型因素纳入适度人口确定中^②；张帆和王新心 2001 年通过分析秦皇岛城市性质和功能定位，并挖掘该城市的短板因素，得出城市适度人口主要取决于水资源，并通过历史水资源承载人口标准作为未来适度人口的判断^③；徐琳瑜等 2003 年在考虑生活舒适度基础上，将资源承载能力纳入适度人口确定的考虑^④；曾勇等 2004 年以人均建设用地和用地结构为标准，通过不同类型的地区建设用地总有效供给和人均建设用地指标值来求出浦东新区不同类型地区的适度人口^⑤；刘雅轩等（2007）^⑥、刘雁和刘春艳（2009）^⑦均采用 P-R-E 模型来分析适度人口，P-R-E 模型主要是通过计算经济—资源人口容量，来求得各地区人口经济—资源压力系数，用以评价区域人口与经济—资源的协调度，其实质是以人均 GDP、人均粮食产量作为计算标准。

3. 综合考虑各种条件下的适度人口测度

主要是指在适度人口测度中将经济、社会、资源与环境等各种因素综合考虑，以此确定适度人口。比如王爱民和尹向东 2006 年不仅考虑经济适度人口，而且考虑资源适度人口、生态适度人口和空间适度人口，构建多目标的适度人口测度体系^⑧其中：经济适度人口主要采用不同时期 GDP 的预测和居民预期生活水平来测算；资源适度人口主要根据不同供水条件和供水定额，采用多目标分析模型确定水资源适度人口；生态适度人口主要将生态用地换算成生态林地，再根据人均占有森林面积标准确定生态适

① 朱国宏：《人地关系论》，《人口与经济》1995 年第 1 期。

② 徐亲知、徐大鹏：《关于大庆适度人口问题的研究及其意义》，《工业技术经济》2000 年第 5 期。

③ 张帆、王新心：《秦皇岛市适度人口规模研究》，《城市问题》2001 年第 6 期。

④ 徐琳瑜、杨志峰、毛显强：《城市适度人口分析方法及其应用》，《环境科学学报》2003 年第 3 期。

⑤ 曾勇、吴永兴、俞小明、蒋晔：《上海市浦东新区土地利用与适度人口规模研究》，《人文地理》2004 年第 6 期。

⑥ 刘雅轩、张小雷、雷军：《新疆适度人口初步研究》，《干旱区资源与环境》2007 年第 5 期。

⑦ 刘雁、刘春艳：《基于 P-R-E 模型的区域适度人口研究》，《社会科学战线》2009 年第 11 期。

⑧ 王爱民、尹向东：《城市化地区多目标约束下的适度人口探析——以深圳为例》，《中山大学学报》（自然科学版）2006 年第 1 期。

度人口；空间适度人口主要将区域分为高度城市化区、次城市化区、生态敏感区进行分类测算。除此之外，潘竟虎 2013 年从用地空间、可供水量、绿地指标、生态足迹和生态敏感性五个方面测算兰州市的生态适度人口与最大人口规模。^①

从上述研究可知，多元发展目标视角下的适度人口测度实际上是在单一经济目标视角下进行拓展，本质是考虑人口影响的多维特征，试图尽可能全面和准确地刻画适度人口规模问题。无论是社会福利目标下的适度人口还是资源环境目标下的适度人口，以及多目标综合条件下的适度人口都离不开经济适度人口这一基础，原因是社会福利和资源环境等都是建立在人与经济发展关系基础上的。基于上述思想，本研究确定城市适度人口测度方法，需要考虑当前城市化进程中人口面临的各种关系，可能就包括经济、社会、环境和资源等，当然这也取决于城市化发展阶段面临的问题，即人口在城市发展过程中面临的短板，这也是本研究在城市化进程中测度城市适度人口应该体现出的特征和差异。

二 区域适度人口测度的技术模型：比较与评价

技术模型是测度城市适度人口的一个重要方面，本研究通过对收集的 49 篇关于适度人口测度的中文文献整理发现，区域适度人口测度的技术模型较多，均是基于“最优”思想，但“最优”的侧重点不同。本研究主要将其分为三种类型：一是基于最优条件的适度人口确定技术模型，如供需均衡模型、可能满意度模型；二是基于最优目标的适度人口确定技术模型，如基于生态适度人口的生态足迹模型、基于经济适度人口的 EOM - PP 模型、基于经济和资源适度人口的 P - R - E 模型、多目标决策模型等；三是基于最优过程的适度人口确定技术模型，如系统仿真适度人口测度模型、EFL 动态适度人口测度模型（见表 4 - 1）。

^① 潘竟虎：《多指标约束的兰州市生态适度人口测度》，《人口与发展》2013 年第 2 期。

表 4-1 区域适度人口测度的主要技术模型比较

类 型	主要模型	基本思想借鉴	主要缺陷
基于最优条件	供需均衡模型	基于人口作为内生变量的某一条件供给和需求均衡，以此计算适度人口	第一，难以基于人口分别预测供给和需求； 第二，均衡条件对应的目标因素单一
	可能满意度模型	以最令人满意的方式来达到某项特定目标的人口，即通过与人口有关的可能度和满意度耦合来计算适度人口	第一，可能度的能力及条件指标难以确定； 第二，满意度的目标标准难以确定
基于最优目标	生态足迹模型	一个区域的生态适度人口取决于区域的生态承载能力和区域人口对生态资源的需求	仅考虑生态资源，忽视经济、社会发展对人口的作用
	EOM-PP 模型	将人口与经济的关系拓展到人口与具体的产业、人口与劳动生产率大小、人口与年龄结构贡献、人口与社会福利贡献等领域，实际上是以细化后经济增长作为参考标准确定适度人口	第一，仅考虑经济因素对人口的制约作用，忽视了其他因素； 第二，模型对适度人口测度主要依赖于相关参数的预测值，如果预测值不准将导致适度人口测度偏差较大
	P-R-E 模型	采用 P-R-E 模型测度适度人口主要是考虑经济发展水平和资源利用水平两大关键因素	第一，没有合理区分经济与资源间的内生关系； 第二，参考地区人均经济标准和人均资源标注如何选择是假设在参考地区的经济和资源静态人口承载力基础上考虑，缺乏将动态上的变化因素纳入到承载力标准上
	多目标决策模型	多目标决策模型测度适度人口是考虑人口不仅与社会经济发展相联系，而且还与资源环境的生产能力和供给能力相互协调，换句话说，适度人口是由经济因素、社会因素、环境因素等共同决定，取决于经济、社会和环境的综合承载能力	人口与经济、社会、资源和环境的内生关系没有得到体现，独立地考虑人口与经济、人口与社会等关系

续表

类 型	主要模型	基本思想借鉴	主要缺陷
基于最优过程	系统仿真适度人口测度模型	构建经济发展与人口间的系统仿真系统，基于经济发展对人口需求和资源、环境及社会发展对人口制约确定适度人口的动态均衡体系，核心是需求与制约间的均衡，逻辑是当经济发展规划导致人口变化出现异常，即触及上下临界值时，系统出现危机信号，进而要求决策系统调整政策变量，保证既定目标下的均衡，进而确定新的适度人口规模	第一，随着人口关联因素的越加复杂，这样一个仿真系统的构建难度将增大； 第二，需要更多去假设关系变量，从而使得仿真系统模拟的实际特征性变弱
	EFL 动态适度人口测度模型	EFL 指人口、环境、功能和区位共同构成的有机、协调和共生的生态体系，在此系统中人口作为动力因素。不同条件下，除了人口以外的上述因素决定了特定条件的适度人口，而该定义下的适度人口随着环境变化、政策功能定位变化、规划区位变化等发生变化	尽管 EFL 理清了适度人口的确定逻辑，但是如何构建政策到人口的均衡体系及定量测度仍然是一个尚未解决的问题

(一) 基于最优条件的适度人口测度模型

最优条件是指确定适度人口的准则，即按照什么准则确定适度人口，目前围绕准则形成的适度人口测度模型包括供需均衡模型和可能满意度模型，前者是以人口为自变量衡量供给函数与需求函数相等来确定最优适度人口，后者是围绕人口承载力形成的承载可能度和消费满意度的耦合决定的最优适度人口。

1. 供需均衡模型

(1) 基本原理

利用供需均衡模型测度适度人口的基本思想是：由人口因素决定的某一变量在不同时点保持均衡，比如包含人口因素的劳动力总供给等于劳动

力总需求（李小平，1990^①），决定的最优人口数量就是适度人口。除此之外，还有选择以人口为内生变量的其他供求均衡的相关恒等标准，比如，王艳和李俭富 2008 年以水资源的供给和需求相等来确定适度人口规模。^②

其基本模型为：

$$\begin{aligned} \max \quad & P_t \\ \text{s. t.} \quad & D_t = S_t \\ & D_t = D_t(X_1, X_2, \dots, X_n, P_t(g)) \\ & S_t = S_t(Y_1, Y_2, \dots, Y_n, P_t(g)) \end{aligned} \quad 4.1.1$$

其中 $P_t(g)$ 代表作为内生变量的人口数，该变量分别影响均衡变量的需求和供给， D_t 代表构成均衡条件的需求变量， X_1, X_2, \dots, X_n 表示影响需求的其他因素， S_t 代表构成均衡条件的供给变量， Y_1, Y_2, \dots, Y_n 表示影响供给的其他因素。从相关研究来看，这种均衡可以包括劳动力、水资源等变量的供求均衡。

（2）主要评述

该模型实质是考虑人口与相关均衡变量的双重内生关系，一方面人口对均衡变量的供给产生作用；另一方面人口对均衡变量的需求产生作用，而这两种作用一定是相反，这样能够在产生不同方向作用基础上形成均衡和交叉，找到最优适度人口。这种方法具有较强的理论和逻辑依据，但是也存在两个问题：一是对均衡变量的供给和需求在同一人口维度下进行预测是较为困难的，二是该方法由于基于某一变量的均衡，所以仅仅是衡量了单一影响因素均衡，比如劳动力、土地、水等，缺乏对城市系统多目标因素的考虑。

2. 可能满意度模型

（1）基本原理

可能满意度模型是基于“需要”与“可能”两方面进行考虑，“需要”更多指主观意愿和期望，“可能”更多指客观上的条件或可行性。就

① 李小平：《论宏观与微观两种适度人口规模的矛盾冲突与缓冲对策》，《中国人口科学》1990年第5期。

② 王艳、李俭富：《成都市适度人口容量研究：基于水资源约束的视角》，《城市发展研究》2008年第5期。

人口而言，一方面要实现自身的协调；另一方面还要保持与经济、社会、资源环境等外生条件的协调，基于可能满意度测度的适度人口可以理解为以最令人满意的方式来达到某项特定目标的人口。^①

具体思路是：首先基于单一指标确定和分析可能满意度曲线。设某一特定指标的属性 r ，其可能度曲线为 $P(r)$ ，另一属性 s ，其满意度曲线为 $Q(s)$ 。假设某一特定指标的属性 r 和 s 同另外的属性 a 满足某一关系，即 $f(r, s, a) = 0$ ， a 通常指人口规模。通过一定规则可以将 $P(r)$ 和 $Q(s)$ 合并成一条相对于 a 的可能满意曲线，该曲线既描述了该特定指标的可能性，又描述了其满意度。比如王颖等 2011 年分别描述了粮食、土地、水资源、GDP 等具体指标的可能度和满意度。^② 另外采用多目标优化决策系统，可以将单一指标的可能满意曲线合成并求解适度人口目标规模。

(2) 主要评述

基于可能满意度的适度人口测度模型，主要基于可能度与满意度的耦合确定适度人口，从单一目标拓展到多目标分析。这一方法在可能度方面主要基于一种客观条件和能力，在满意度方面主要基于特定目标标准或人的观点表达，由此在确定满意度中具有较大的主观性，且有的指标的满意度难以量化。

(二) 基于最优目标的适度人口测度模型

最优目标是指确定适度人口的目标依据，即以什么目标为导向确定适度人口，不同目标导向下对应的适度人口具有差异。比如，生态足迹模型主要以生态承载能力为导向确定生态适度人口；EOM-PP 模型主要以经济发展为导向确定经济适度人口；P-R-E 模型分别以经济和资源因素为导向确定适度人口；多目标决策主要将多个因素或目标作为确定适度人口的依据。

1. 生态足迹模型及其拓展

(1) 基本原理

利用生态足迹模型测度适度人口，其基本思想为：一个区域的生态适

① 王颖、黄进、赵娟莹：《多目标决策视角下中国适度人口规模预测》，《人口学刊》2011 年第 4 期。

② 同上。

度人口取决于区域的生态承载能力和区域人口对生态资源的需求^{①②③④⑤⑥}。张建坤等 2010 年在生态足迹模型基础上构建了产业生态足迹和产业生态承载能力的产业适度人口模型。^⑦ 代富强等 2012 年将生态足迹模型引用到“可能—满意度”中来研究适度人口，形成生态承载能力的“可能度”和人们对生态产品和服务消费的“满意度”。^⑧ 李成英 2014 年将通常使用的“全球公顷”生态足迹模型修正为“国家公顷”生态足迹模型。^⑨

基于生态足迹模型测度生态适度人口主要包括三个步骤：

第一步：生态足迹（生态需求）计算

$$EF = N \times ef = N \times \sum_{j=1}^6 r_j A_j = N \times \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^n r_j \times \frac{c_i}{p_i} \quad 4.1.2$$

其中 EF 表示总生态足迹， N 为人口数， ef 为人均生态足迹， j 为生态生产性土地类型， r_j 为均衡因子， A_j 为折算的人均占有第 j 类生态生产性土地面积， i 为消费项目类型， c_i 为第 i 种消费项目的人均消费量， p_i 为第 i 种消费项目的全球平均产量。

第二步：生态承载力（生态供给）计算

$$EC = N \times ec = N \times \sum_{j=1}^6 \alpha_j r_j \gamma_j \quad 4.1.3$$

-
- ① 彭希哲、刘宇辉：《生态足迹与区域生态适度人口——以西部 12 省市为例》，《市场与人口分析》2004 年第 4 期。
- ② 吕晓军：《基于生态足迹的区域生态适度人口研究——以新疆生产建设兵团为例》，《地域研究与开发》2012 年第 4 期。
- ③ 唐湘玲、吕新、薛峰：《基于生态足迹的新疆适度人口研究》，《干旱区资源与环境》2012 年第 7 期。
- ④ 张民侠、郑怀兵：《基于生态足迹分析的经济发达地区生态适度人口研究——以无锡市为例》，《林业经济》2013 年第 2 期。
- ⑤ 刘峻：《基于生态足迹理论的青海适度人口研究》，《青海社会科学》2013 年第 5 期。
- ⑥ 赵玲：《城镇化进程中青藏高原城市适度人口容量分析》，《生态经济》2014 年第 8 期。
- ⑦ 张建坤、王朝阳、王彪：《基于生态足迹的产业适度人口分析——以南京市为例》，《人文地理》2010 年第 6 期。
- ⑧ 代富强、吕志强、周启刚：《生态承载力约束下的重庆市适度人口规模情景预测》，《人口与经济》2012 年第 5 期。
- ⑨ 李成英：《基于“国家公顷”生态足迹的青海省适度人口规模透析》，《生态经济》2014 年第 8 期。

其中 EC 表示生态承载能力, N 为人口数, ec 为人均生态承载能力, α_j 为人均实际占有的第 j 类生态生产性土地面积, r_j 为均衡因子, γ_j 为产量因子。

第三步: 计算基于生态足迹的适度人口

$$P = N \times ec/ef \quad 4.1.4$$

其中 P 为生态适度人口。

(2) 主要拓展

拓展模型一: 基于生态足迹模型的产业适度人口

产业适度人口实质是分产业计算生态足迹和生态承载能力, 第 k 产业的适度人口为:

$$P_k = EC_k/ef_k \quad 4.1.5$$

EC_k 为第 k 产业的生态承载能力, ef_k 为第 k 产业的人均生态足迹。

拓展模型二: 基于生态足迹的“可能—满意度”适度人口

基于生态足迹的“可能—满意度”适度人口模型, 一是从生态承载能力的“可能度”出发, 得出一定区域提供生产产品及服务能够承载的最大人口数量; 二是从生态足迹的“满意度”出发, 分析人们对生态产品和服务消费的满意程度。通过两者的耦合, 找到区域生态承载力“可能度”和生态足迹“满意度”达到均衡点的人口数量, 即适度人口。

第一步: 计算生态承载力 r 可能度曲线

$$p(r) = \frac{1}{1 + \exp(2 - 4 \times \frac{r - r_B}{r_A - r_B})} \quad 4.1.6$$

其中 r 表示生态承载力, 最大生态承载力为 r_A , 最小生态承载力为 r_B 。

第二步: 计算人均生态足迹 s 的满意度曲线

$$q(s) = \frac{1}{1 + \exp(2 - 4 \times \frac{s - s_B}{s_A - s_B})} \quad 4.1.7$$

其中 s 表示人均生态足迹, s_A 表示人们满意的的最小的人均生态足迹, s_B 表示肯定不满意的最大的人均生态足迹。

第三步: 计算适度人口

$$\begin{cases} w(a) = \max\{p(r), q(s)\} \\ \text{s. t. } \frac{r}{s} - a = 0 \end{cases} \quad 4.1.8$$

计算得到

$$w(a) = \frac{1}{1 + \exp\left(2 - 4 \times \frac{-r_B + as_b}{(r_A - r_b) - a(s_A - s_B)}\right)} \quad 4.1.9$$

其中 a 表示人口规模。

拓展模型三：“国家公顷”生态足迹的适度人口模型

该模型主要在计算生态承载力中，将均衡因子和产量因子改变为评价地区的当量因子和产量因子。同时，类推经济适度人口的计算方法：

$$E = n \times \frac{GDP_{gy}}{RGDP_{qg}} \quad 4.1.10$$

其中 GDP_{gy} 表示区域 GDP， $RGDP_{qg}$ 表示全国人均 GDP。

(3) 主要评述

采用生态足迹模型测度适度人口的出发点是考虑人类对自然生态系统的依赖，协调人类进行经济发展和保护生态环境的关系，最终实现人类的可持续发展。所测度的适度人口主要是生态适度人口，即将生态资源当成发展面临的短板，尤其是随着发展强度增大，人地关系日益紧张，测度生态适度人口具有重要的意义和价值。其测度的基本思想是以本地区的生态承载能力为供给能力，以人均生态足迹为标准参考值，计算本地区的生态适度人口。该模型存在的局限是仅考虑生态资源，从而得出的是生态适度人口，忽视了经济、社会发展对人口的影响。

2. EOM - PP 模型

(1) 基本原理

应用 EOM - PP 模型测度经济适度人口最早由毛志锋^①提出，其基本思想是将人口与经济的关系拓展到人口与具体的产业、人口与劳动生产率大小、人口与年龄结构贡献、人口与社会福利贡献等领域，实际上是以经济

^① 毛志锋：《适度人口与控制》，陕西人民出版社，1995。

增长作为参考标准,并将经济增长标准进行纵向细化与分解,更加精确地刻画适度人口。随后相关研究分别采用该模型测度各地经济适度人口,比如基于 EOM-PP 模型,陈家华等 2002 年用于测度浦东新区经济适度人口,^①彭宇柯用于测度湖南省的经济适度人口,^②李丹霞用于测度陕西省经济适度人口等^③。

基于 EOM-PP 的经济适度人口模型主要是通过人口平衡方程,再结合三次产业劳动生产率和 GDP 的关系导出:

$$p(t) = P(t_0) \times \left[\frac{y(t_0)}{y(t)} \right] \times \left[\frac{P_u(t)}{P_u(t_0)} \right]^{m_1} \times \left[\frac{P_o(t)}{P_o(t_0)} \right]^{m_2} \times \left[\frac{SHL(t)}{SHL(t_0)} \right]^{m_3} \times \left[\frac{\theta_1(t)}{\theta_1(t_0)} \right]^{1 - \frac{LS(t)}{L(t)}} \times \prod_{i=1}^3 \left[\frac{X_i(t)}{X_i(t_0)} \right]^{D_i} \quad 4.1.11$$

其中: $P(t_0)$ 表示参考期人口数量;

$y(t_0)$ 和 $y(t)$ 分别表示参考期和预测的人均 GDP;

$P_u(t)$ 和 $P_u(t_0)$ 分别表示预测和参考期的未成年人口, m_1 表示未成年人口占比;

$P_o(t)$ 和 $P_o(t_0)$ 分别表示预测和参考期的老年人口, m_2 表示老年人口占比;

$SHL(t)$ 和 $SHL(t_0)$ 分别表示预测和参考期劳动适龄人口, m_3 表示劳动适龄人口占比;

$\theta_1(t)$ 和 $\theta_1(t_0)$ 分别表示预测期和参考期适龄人口中非在业人口占人力资源总量的比例参数, $LS(t)$ 表示第 t 年的劳动力总量, $L(t)$ 表示第 t 年的经济活动人口;

$X_i(t)$ 和 $X_i(t_0)$ 分别表示第 i 产业的劳动生产率, D_i 表示第 i 产业占 GDP 比重。

① 陈家华、文宇翔、李大鹏:《有关区域合理人口规模定量研究方法的讨论》,《人口研究》2002年第3期。

② 彭宇柯:《经济适度人口规模研究——以湖南省为例》,《生产力研究》2011年第9期。

③ 李丹霞:《基于 EOM-PP 模型的陕西省经济适度人口规模研究》,《安康学院学报》2014年第4期。

(2) 主要评述

EOM-PP 模型主要用于测度经济适度人口，并围绕人口细分出不同产业、不同的年龄结构和不同的劳动生产率等，使得经济适度人口测度更加细化和准确。但存在的局限包括：一是 EOM-PP 模型仅考虑经济因素对人口的制约作用，忽视了其他因素；二是模型对适度人口测度主要依赖于相关参数的预测值，如果预测值不准将导致适度人口测度偏误较大。

3. P-R-E 模型

(1) 基本原理

朱宝树 1993 年利用人口、经济与环境三大系统的协调关系，提出测度适度人口的 P-R-E 模型，^① 其中 P 代表现实人口数量，E 代表经济人口容量，R 代表资源人口容量。该模型的基本思想认为，随着人口不断发展，人口数量首先取决于经济发展水平，其次是受到自然资源的制约，因此，采用 P-R-E 模型测度适度人口主要是考虑经济发展水平和资源利用水平两大关键因素。在具体应用上，刘雅轩等、刘雁和刘春艳利用 P-R-E 模型测度了新疆和吉林等地区的适度人口。^{②③}

P-R-E 模型测度适度人口主要有三个步骤。

第一步，测度经济适度人口

$$ME_i = \frac{GDP_i}{GDP_0} \times P_0 \quad 4.1.12$$

其中： ME_i 表示需要测度的经济适度人口， GDP_i 表示需要测度地区 GDP， GDP_0 表示参考标准地区 GDP（比如：全国）， P_0 表示参考标准地区总人口。

第二步，测度资源适度人口

$$MR_i = \frac{MJ_i}{MJ_0} \times P_0 \quad 4.1.13$$

其中： MR_i 表示需要测度的资源适度人口， MJ_i 表示需要测度地区的资源量（比如：粮食、播种面积等）， MJ_0 表示参照标准地区资源量（比如：

① 朱宝树：《人口与经济——资源承载力区域匹配模式探讨》，《中国人口科学》1993 年第 6 期。

② 刘雅轩、张小雷、雷军：《新疆适度人口初步研究》，《干旱区资源与环境》2007 年第 5 期。

③ 刘雁、刘春艳：《基于 P-R-E 模型的区域适度人口研究》，《社会科学战线》2009 年第 11 期。

全国), P_0 表示参照标准地区总人口。

第三步, 将经济适度人口与资源适度人口加权

$$MP_i = \alpha ME_i + \beta MR_i \quad 4.1.14$$

其中: α 和 β 分别表示经济适度人口和资源适度人口的权重, 一般采用建立计量方程进行回归确定。

(2) 主要评述

P-R-E 模型测度适度人口是将经济适度人口和资源适度人口相结合, 综合考虑了经济生产能力和资源利用能力对人口的影响, 在基于单一因素测度适度人口基础上迈进了一步, 其基本原理是以被测地区的经济总量和资源容量为基础, 以参考地区的人均经济和人均资源量为标准进行测度。主要的局限是没有合理区分经济与资源间的内生关系, 同时经济和资源方面考虑的因素较为局限, 仅选择了 GDP、粮食资源等; 另外, 如何选择参考地区人均经济量标准和人均资源量标准也缺乏相关说明, 更多的是假设在参考地区经济和资源静态人口承载力的基础上加以考虑, 缺乏将动态上的变化因素纳入到承载力标准上。

4. 多目标决策模型

(1) 基本原理

多目标决策模型测度适度人口是考虑人口不仅与社会经济发展相联系, 而且还与资源环境的生产能力和供给能力相互协调 (李秀霞和刘春艳, 2008^①), 换句话说, 适度人口是由经济因素、社会因素、环境因素等共同决定, 取决于经济、社会和环境的综合承载能力, 其基本公式表示为:

$$OP = f(e, s, ev, u) \quad 4.1.15$$

其中 OP 表示适度人口, e 表示经济因素, s 表示社会因素, ev 表示环境因素, u 表示其他扰动因子。

多目标的适度人口测度一般都是从各个目标去寻找标准承载力指数, 再用相关因素去计算标准承载力条件下的适度人口。李秀霞和刘春艳分别从生

^① 李秀霞, 刘春艳:《基于综合承载力的区域适度人口研究》,《干旱区资源与环境》2008年第5期。

态承载人口、经济承载人口和土地承载人口三个方面计算综合承载力的适度人口，当然假设三个方面的权重相等。潘竞虎 2013 年从用地空间、可供水量、绿地指标、生态足迹和生态敏感性五个方面计算各因素对应的适度人口，并按照短板原理确定影响适度人口的最短板为生态敏感性因素。^①

(2) 主要评述

多目标决策模型确定适度人口考虑了经济、社会、生态环境等多维因素，体现了人口在整合社会经济和生态资源系统中的内生作用，弥补了前面几种方法面临的单一因素决定适度人口的不足，同时该方法还提出了短板原理在确定适度人口中的作用，为本研究分析城市适度人口提供借鉴。但是，该方法存在的一个主要问题是没有对人口与经济、社会、资源和环境的内生关系进行有效刻画，尤其是没有将经济、社会、资源和环境作为一个系统体系，大多数研究都将这些因素当成独立的影响因素，且目前这些方面的研究具有局限性。

(三) 基于最优过程的适度人口测度模型

最优过程是指影响适度人口的各种因素间通过何种机制进行关联，即适度人口确定体系的系统机制，核心问题是解决多因素条件下的适度人口确定的动力系统，下面就系统仿真适度人口测度模型和 EFL 动态适度人口测度模型进行简要介绍和评价。

1. 系统仿真适度人口测度模型

(1) 基本原理

通过上述分析发现，多目标决策的适度人口确定模型解决了因素选择的单一化问题，但存在的不足是这些纷繁复杂的因素间如何进行内生关联，而系统仿真测度适度人口的核心思想就是要把经济发展等与人口形成内生均衡系统。周海春和许江萍通过构建城市经济发展与人口间的系统仿真系统，基于经济发展对人口的需求和资源、环境及社会发展对人口的制约来确定适度人口的动态均衡体系，核心是需求与制约间的均衡。^② 具体

^① 潘竞虎：《多指标约束的兰州市生态适度人口测度》，《人口与发展》2013 年第 2 期。

^② 周海春、许江萍：《城市适度人口规模研究》，《数量经济技术经济研究》2001 年第 11 期。

仿真逻辑为：当经济发展规划导致人口变化出现异常，即触及上下临界值时，系统出现危机信号，进而要求决策系统调整政策变量，保证既定目标下的均衡，进而确定新的适度人口规模。

(2) 主要评述

系统仿真适度人口测度模型试图模拟一个真实的人口与经济等多要素关系的系统，在保证系统均衡时，所对应的人口便是适度人口，原因是系统均衡意味着既定目标实现的常态。但随着系统外生变量的变化，比如政策等调整，将打破原有人口经济系统的均衡，出现新的均衡，此时又对应着一个新的均衡体系下的适度人口。系统仿真将经济学中均衡思想引入，着重解决人口与经济等因素的内生关系，但随着人口关联因素的越加复杂，这样一个仿真系统的构建将难以实现，需要更多地去假设关系变量，从而使得模型的实际特征性变弱。

2. EFL 动态适度人口测度模型

(1) 基本原理

任远 2005 年利用城市生态学 POET 模型构建了人口、环境、功能和区位动态均衡生态系统，这个系统主要是指人口、环境、功能和区位共同构成的有机、协调和共生的生态体系，称为 EFL 动态系统，在此系统中人口作为动力因素。^① 不同条件下，除了人口以外的上述因素决定了特定条件的适度人口，而该定义下的适度人口随着环境变化、政策功能定位变化、规划区位变化等发生变化。因此，EFL 概念性框架提出城市适度人口规模不是一个固定的值，而是在动态演变过程中，受资源环境变动、城市功能变迁，及城市与区域空间格局演变等诸多因素确定的动态值。具体来看，EFL 动态适度人口测度模型认为：人口适度首先要取决于资源环境对人口的约束，并且人口适度是一种过程，是在特定资源环境条件下人口动态地适应资源环境的过程，这些资源不仅包括自然资源，还应该包括公共服务等社会资源。一方面资源减少或者环境污染增加，必然会降低人口选择居住的意愿，但随着技术、资源生产能力和环境处理能力的提升又能够增加地区人口

^① 任远：《城市生态学视野下的动态适度人口规模——兼论上海人口发展的基本态势》，《市场与人口分析》2005 年第 1 期。

的容纳能力。此外，随着城市或地区功能变化，区位要素的空间演化等，适度人口也会随之而变化。因此，EFL 适度人口动态地取决于与之相关联的因素变化，而这些因素的变化又要受到政策及规划的影响。

(2) 主要评述

EFL 动态测度适度人口体系从路径上理顺了适度人口确定的逻辑机制，即人口本身与资源环境间存在动态均衡关系，这种动态均衡决定适度人口动态上取决于资源环境因素的动态变化，打破了系统仿真仅仅考虑人口经济关系系统的局限。进一步，人口与资源环境的动态均衡又受到地区区位和功能的外生影响，这种影响又要受到政策规划的制约。换句话说，适度人口处于内生动态均衡系统中，同时外生地受到政策等变换的影响。尽管 EFL 理清了适度人口的确定逻辑，但是如何构建政策到人口的均衡体系及定量测度仍然是一个尚未解决的问题。

三 城市适度人口测度的影响因素：比较与评价

测度城市适度人口除了在技术模型上需要有所突破外，更重要的是合理确定影响城市适度人口的因素。本研究从中国知网（CNKI）专门针对城市适度人口的研究进行检索，共收集到 19 篇相关文献，经过筛选发现有 17 篇文章涉及城市适度人口影响因素选择，这为本研究进行城市适度人口动态测度模型中的影响因素选择提供了借鉴（见表 4-2）。

表 4-2 城市适度人口测度的主要影响因素比较

序号	适度人口确定的影响因素	应用原理	文章题目
1	(1) 人均公共绿地面积； (2) 人均 GDP； (3) 人均住房面积； (4) 人均生活用水量； (5) 人均生活用电量； (6) 人均道路面积	基于承载力和满意度的双向寻优	城市适度人口分析方法及其应用 ^①

^① 徐琳瑜、杨志峰、毛显强：《城市适度人口分析方法及其应用》，《环境科学学报》2003 年第 3 期。

续表

序 号	适度人口确定的影响因素	应用原理	文章题目
2	(1) 资源环境因素: 生态足迹相关指标; (2) 区位要素及空间演化因素: 地理位置、交通条件、区位分工、交通运输技术; (3) 社会经济因素: 就业岗位、生活水平、产业结构、城市功能定位	通过生态足迹和生态承载力计算	基于生态足迹模型的城市适度人口规模研究——以南京为例 ^①
3	(1) 城市功能定位和城市发展战略目标; (2) 经济发展水平; (3) 产业结构和产业劳动生产率; (4) 资源和环境承载力: 城市污染状况、人均住房面积、人均绿地面积、交通等	基于人口是否直接影响城市经济发展水平	城市适度人口与可持续发展 ^②
4	(1) 经济发展: 生产总值(地区生产总值、人均可支配收入), 就业(从业人数、就业率); (2) 社会生活: 社会保险(社保财政投入、人均社保投入), 交通(交通道路面积, 人均交通道路面积), 供水(自来水供水能力、人均综合用水量), 住房(居住用地面积、人均住房面积), 供电(电力供应量、人均综合用电量); (3) 生态环境: 绿化(公共绿地面积、人均公共绿地面积)、环卫(生活垃圾日处理量、人均日产生生活垃圾), 生活污水(生活污水处理能力、人均日产生生活污水)	基于多目标因素分析可能供给和需求满意共同制约人口规模	城市适度人口规模的多目标决策方法及应用 ^③

① 包正君、赵和生:《基于生态足迹模型的城市适度人口规模研究——以南京为例》,《华中科技大学学报》(城市科学版)2009年第2期。

② 杨帆、马晓丽:《城市适度人口与可持续发展》,《消费导刊》2009年第14期。

③ 靳玮、徐琳瑜、杨志峰:《城市适度人口规模的多目标决策方法及应用》,《环境科学学报》2010年第2期。

续表

序号	适度人口确定的影响因素	应用原理	文章题目
5	<p>(1) 资源环境因素：积极性因素（资源禀赋的丰富程度、城市生态体系和资源供给、投资、技术进步、规模经济、循环经济等）；抑制性因素（资源供给成本、工业化与环境污染、城市化与环境问题、环境风险与环境质量等）</p> <p>(2) 功能因素：积极性因素（经济发展、经济收入、投资、就业吸纳等）；抑制性因素（区域性产业分工、产业扩散和产业转移、土地价格及劳动力成本等）</p> <p>(3) 区位与演化因素：积极性因素（城市化、交通体系、城市体系等）；抑制性因素（郊区化与逆城市化、城际交通体系等）</p>	通过对生态足迹消费和生态承载力分析	基于生态足迹分析的长株潭城市群适度人口容量预测 ^①
6	<p>(1) 年均 GDP；</p> <p>(2) 产业结构；</p> <p>(3) 劳动生产率；</p> <p>(4) 人口规模和年龄结构</p>	通过应用 EOM - PP 模型测算经济适度人口	南宁市经济适度人口与城市发展浅议 ^②
7	<p>(1) 资源环境因素（土地资源、绿地、水资源、生态容量等自然资源；幼儿园、敬老院、医院、交通等社会资源）；积极性因素（资源禀赋的丰富程度、城市生态体系和资源供给、投资、技术进步、规模经济、社会资源供给能力、循环经济等）；抑制性因素（资源供给成本、非流动性的资源、工业化与环境污染、城市化与环境问题、环境风险与环境质量等）</p> <p>(2) 功能因素：积极性因素（经济发展、经济收入、投资、就业吸纳等）；</p>	基于生态系统的变动研究动态适度人口规模	城市生态学视野下的动态适度人口规模——兼论上海人口发展的基本态势 ^③

① 谭子粉、刘桂菊、张旺、周跃云：《基于生态足迹分析的长株潭城市群适度人口容量预测》，《武陵学刊》2010年第1期。

② 徐勤诗、朱仕册：《南宁市经济适度人口与城市发展浅议》，《大众科技》2010年第3期。

③ 任远：《城市生态学视野下的动态适度人口规模——兼论上海人口发展的基本态势》，《市场与人口分析》2005年第1期。

续表

序 号	适度人口确定的影响因素	应用原理	文章题目
	抑制性因素（区域性产业分工、产业扩散和产业转移、土地价格及劳动力成本等） (3) 区位与演化因素：积极性因素（城市化、交通体系、城市体系等）；抑制性因素（郊区化与逆城市化、城际交通体系等）		
8	(1) 经济发展水平：产业结构、劳动生产率、人均GDP、第三产业就业比重； (2) 社会生活水平：交通、用水、住房、教育情况； (3) 资源环境：人均用地面积、人均能源消费、人均公共绿地面积、人均垃圾产出	运用“可能—满意度”法进行多目标决策	城市适度人口规模的“可能—满意度”（P-S）分析——以济南市为例 ^①
9	(1) 生态承载力指标（耕地面积、草地面积、林地面积、水域面积、CO ₂ 吸收、建筑面积）； (2) 生态足迹指标（粮食、棉花、蔬菜、茶叶、猪肉、牛肉、羊肉、奶类、水果、木材、水产品、原煤、汽油、天然气、热力、电力等）	基于生态足迹和生态承载能力的计算	基于生态足迹法的生态适度人口研究——以皖江城市带为例 ^②
10	(1) 自然资源：土地资源、水资源、能源矿产； (2) 生态环境：公园绿地、环境污染、环境卫生； (3) 经济水平：经济规模、产业结构、财政能力、居民收入； (4) 社会进步：养老、医疗、交通、生活水平； (5) 人口发展：就业、教育、生活质量、住房	兼顾农民工利益诉求与城市可持续发展的需要，运用多目标决策法和趋势外推法进行人口承载力计算	城市承载力、适度人口规模与农民工城市融入——基于浙江的实证数据 ^③

① 代富强、李新运、郑新奇：《城市适度人口规模的“可能—满意度”（P-S）分析——以济南市为例》，《山东师范大学学报》（自然科学版）2006年第1期。

② 孙中锋、吴晨、周文静：《基于生态足迹法的生态适度人口研究——以皖江城市带为例》，《山西农业大学学报》（社会科学版）2014年第12期。

③ 许光：《城市承载力、适度人口规模与农民工城市融入——基于浙江的实证数据》，《桂海论丛》2014年第6期。

续表

序号	适度人口确定的影响因素	应用原理	文章题目
11	(1) 年用水总量; (2) 生活用水量	通过对水资源承载能力的定量及定性分析,运用灰色预测模型进行适度人口测度	基于水资源承载能力的城市适度人口分析——以金华市为例 ^①
12	(1) 城市现代化及国际都市标准(人均 GNP、第三产业比重、恩格尔系数、万人拥有医生数、主要金融中心、跨国公司总部所在地、世界重要交通枢纽等); (2) 生态学标准; (3) 政治经济; (4) 城市自身承载力(能源、交通、城市基础设施等)	基于城市人口规模直接影响城市发展	省会城市适度人口规模研究——以济南市为例 ^②
13	(1) 社会经济因素:经济发展水平、城市各项设施的承载力; (2) 经济区位因素:地理位置、交通条件、区域分工; (3) 资源环境因素:土地利用、水资源、生态环境容量、城市环境容量	基于水资源总量的约束角度	城市适度人口规模研究 ^③
14	(1) 区位要素:城市资源和环境要素禀赋、交通条件、就业、消费结构、土地利用等; (2) 环境污染:大气污染、水污染、土壤污染; (3) 经济发展:万元 GDP 生态足迹	通过生态足迹的计算进而测算适度人口容量	城镇化进程中青藏高原城市适度人口容量分析 ^④
15	(1) 经济水平:工农业总产值、国民收入; (2) 自然资源:耕地面积、可利用能源量、可利用水资源量;	通过多目标动态决策方法进行适度人口测度	山区城市承德适度人口容量研究 ^⑤

① 王艳、冯利华、杨文:《基于水资源承载能力的城市适度人口分析——以金华市为例》,《水资源与水工程学报》2012年第1期。

② 鹿立:《省会城市适度人口规模研究——以济南市为例》,《东岳论丛》2000年第6期。

③ 张帆、王新心:《城市适度人口规模研究》,《中国环境管理干部学院学报》2001年第2期。

④ 赵玲:《城镇化进程中青藏高原城市适度人口容量分析》,《生态经济》2014年第8期。

⑤ 张丽珍:《山区城市承德适度人口容量研究》,《地理学与国土研究》1991年第3期。

续表

序 号	适度人口确定的影响因素	应用原理	文章题目
	(3) 合理营养水平: 粮食生产量、肉类生产量、蔬菜生产量; (4) 社会条件: 居住面积、医疗条件; (5) 生态环境: 公共绿地、森林面积		
16	(1) 城市社会效益: 城市治安管理、城市人口控制、人才流动、信息传播、劳动力就业; (2) 城市经济效益: 产业结构、交通、市内通勤时间、供水能力、商业贸易; (3) 农副产品需求、城市建筑用地、市容环境	运用层次分析法, 定性 与定量结合确定城市流 动人口的适度规模	运用层次分析方 法确定大城市流 动人口的适度 规模 ^①
17	(1) 土地资源: 耕地、草地、果园; (2) 水资源; (3) 农副产品; (4) 生育率	运用人口增长离散模型 进行适度人口测度	晋城市适度人口 与控制预测 ^②

注: 通过各篇文章整理所得。

通过对上述各类影响因素进行梳理和归纳, 从人口经济、人口社会、人口资源、人口环境等内生性和外生性关系看, 目前影响适度人口的因素可以归为两大类: 第一大类是规模性因素, 主要属于系统内生性变量; 第二大类是程度性因素, 主要属于系统外生性变量。

1. 规模性因素: 系统内生性变量

影响城市适度人口的规模性因素主要针对城市人口在整个社会经济和资源环境体系中, 支撑和制约城市人口的相关指标, 具体又包括经济、社会、资源和环境四个方面。各个方面均是考虑以人为核心的因素选择理念, 即围绕“为了人”和“依靠人”展开, 前者反映能否满足城市人口发

① 江小群:《运用层次分析方法确定大城市流动人口的适度规模》,《城市问题》1991年第2期。

② 郭芳华:《晋城市适度人口与控制预测》,《中国人口·资源与环境》1992年第4期。

展的需求，后者反映城市人口的创造和供给能力，在具体因素上可以区分为积极的因素和抑制性的因素。当然，具体选择经济社会还是资源环境，这主要依赖于测度城市适度人口的目标导向。比如：（1）在经济方面，主要选择地区生产总值、人均可支配收入、投资、工农业总产值、财政能力等，综合反映城市人口创造经济产出的能力水平和支撑人口发展的经济发展程度；（2）在社会方面，主要选择道路、住房、社会保障、医疗卫生、教育水平、城市治安、就业水平、城市基础设施和生活水平等，综合反映城市人口创造社会公共服务能力和支撑人口生活与生产的公共服务水平；（3）在资源方面，主要指自然资源情况，包括水电气等生活和生产资源、各种土地资源、生产能源、公园绿地等生态环境资源，综合反映城市人口创造和提升资源利用效率情况，以及这些资源支撑城市人口的能力；（4）在环境方面，主要选择生态足迹、生活垃圾、大气污染等，综合反映城市环境污染对城市人口的承载能力以及人治理污染的能力。在假设上述规模性因素不存在技术能力和发展阶段差异的情况下，考虑直接决定城市人口数量规模的指标，这些指标属于包含人口在内的经济社会和生态资源系统中的内生变量。

2. 程度性因素：系统外生性变量

影响城市适度人口的程度性因素主要指在规模性因素决定城市适度人口基础上，因技术能力、结构状况和发展阶段等差异而导致的城市人口承载能力差异的相关因素。除了上述基础性因素涉及的经济、社会、资源和环境外，还包括城市人口、城市定位等。程度性因素主要用于基础性因素所决定的适度人口规模修正，当然相关研究中也存在将规模性因素与程度性因素混用的情况。比如：（1）在经济社会方面，主要选择了产业结构、产业转移、劳动生产率、技术进步、规模经济、工业化和城镇化程度、恩格尔系数等；（2）在资源环境方面，主要选择资源禀赋丰富程度、循环经济推广、污染物治理能力等；（3）在城市人口方面，主要选择人口规模、年龄结构、人口城乡分布、城市人口消费、居住偏好等；（4）在城市定位方面，主要选择地理位置、交通条件、区位分工、城市功能定位、城市发展战略目标等。上述程度性因素主要考虑系统外的外生性变量影响，均会直接影响系统内生性变量对城市适度人口的决定。

四 我国城市适度人口动态测度的启示

上述研究分别从适度人口测度方法、区域适度人口测度技术模型和城市适度人口影响因素三个方面进行回顾和评述，为本研究构建城市适度人口动态测度体系提供有益借鉴和启示。

1. 城市适度人口测度是建立在既定目标基础上，且要从单一经济目标向经济社会、资源环境等多元化目标拓展，并根据具体情况有针对性地确定城市适度人口的短板因素

城市人口与经济社会、资源环境等诸多因素具有内生关系，如果没有既定目标，实际上是无法确定适度人口规模。就我国而言，伴随着城市化进程的推进，经济发展已经不是早期和初始阶段，开始从追求经济增长逐步过渡到实现人的福利提升、生态环境改善、节约和高效利用资源等目标。因此，城市适度人口的测度不仅需要考虑经济发展承载能力，而且还要考虑社会事业发展、生态资源环境等因素的制约，更加需要根据各地的具体情况挖掘决定城市适度人口的短板因素。在技术模型上，依据多目标条件相应构建多目标决策模型。

2. 就城市适度人口的确定原则来看，借鉴供需均衡和可能满意度等理念，可以考虑以城市人口为核心的边际社会收益和边际社会成本原则

供需均衡模型是将人口作为供给和需求的内生性变量确定供需相等时的最优人口数；可能满意度也是以人口作为基础，考虑人口可能能力供给和人口满意度需求来确定最优人口规模。上述两个模型都可以归结为与供给相伴随的成本和与需求相伴随的收益相等，但从经济学原理来看，确定最优不是通过总量相等而是边际相等。因此，本研究将城市适度人口确定原则定位为城市人口的边际社会收益等于边际社会成本，唯有在此条件下，所对应的城市人口数量才处于适度，否则将会脱离城市化发展的帕累托最优状态。当然，在城市人口边际社会成本中可以考虑与供给及可能度相关的影响因素，在城市边际社会收益中可以考虑与需求及满意度相关的影响因素。

3. 在适度人口确定理念上要从静态适度人口过渡到动态适度人口，尤其是要考虑系统外生性变量对特定条件下的城市适度人口影响

系统仿真模型和 EFL 动态测度模型均试图构建人口与经济社会、资源环境的封闭系统，再考虑系统外生性变量对系统均衡条件下的适度人口影响，进而形成动态适度人口测度，但主要还是停留在理念上的讨论。我们从中发现，如果存在外生性变量影响，适度人口将不是静止的，而是随着外生性变量的变化而变化，且在对策上也可以通过提升外生性变量的作用来实现适度人口规模的提升。就目前很多研究而言，主要还是基于传统的静态适度人口理论，据此，有人甚至因城市实际人口超过适度人口而要求放缓城市化进程，这显然陷入理论误区。实际上，城市适度人口属于动态区间概念范畴，在快速城市化进程中，需要降低城市人口的“边际社会成本”或提高城市人口的“边际社会收益”，实现城市适度人口区间下限不断上移，本质上是提升城市社会经济和资源环境对人口的承载能力。

4. 根据上述多目标条件下动态适度人口测度技术方法，在因素的选择上要围绕经济、社会、资源和环境的边际社会成本和边际社会收益展开，同时要考虑内生规模因素和外生程度因素

既然是多目标条件下测度城市适度人口，因素选取上就要包括经济、社会、资源和环境等多目标内容；既然是在城市人口的边际社会成本等于边际社会收益条件下确定城市适度人口，因素选择就要围绕城市人口在经济、社会、资源和环境上的边际社会收益和边际社会成本展开；既然是考虑动态适度人口，在因素选择上就要将外生变量区分开，同时在既定承载力标准上考虑外生变量变化对适度人口规模的影响。因此，本研究在处理内生因素和外生因素上，拟将内生因素作为决定各类城市适度人口的主要依据，将外生因素用于城市分类，体现在基本相当的外生因素条件下，按照各类城市具有可比性的城市人口承载力标准，结合相关因素进行各地城市适度人口动态测度。

第二节 城市适度人口动态测度思想：基于 社会净收益最大化条件

在上述我国城市适度人口动态测度的启示下，围绕影响城市适度人口

的经济、社会、资源和环境等诸多因素，从城市适度人口形成机制出发，基于城市人口社会净收益最大化条件，构建一个既定目标条件下的城市动态适度人口理论框架。

一 城市适度人口动态测度：假设与思路

（一）基本假设

在国内外城市化进程中，城市人口既能创造社会收益又能产生社会成本。就城市化创造社会收益而言，主要指城市化通过要素集聚、产业集群、资本积累等形式对经济发展产生巨大的推动力，并对缩小城乡居民收入差距具有重要的促进作用（拉尼斯和费 Ranis & Fei, 1961^①；托达罗 Todaro, 1969^②；卢卡斯 Lucas, 2004^③；王小鲁, 2002^④；胡鞍钢, 2003^⑤；苏雪串, 2004^⑥；杨波、吴聘奇, 2007^⑦）。例如：卢卡斯 2004 年将来自农村的移民看成是在城市中进行着人力资本积累^⑧；胡鞍钢指出，中国城镇化进程的不断推进，能够有效促进城乡劳动力的流动，为中国带来巨大的经济利益。^⑨就城市化产生社会成本而言，主要指盲目的城市化不仅对资源和环境等产生破坏作用，而且还制约着对经济社会发展的推动作用（皮尔斯

① Gustav Ranis, John C Fei, “A Theory of Economic Development”, *American Economic Review* 51 (1961): 533 - 565.

② Michael P. Todaro, “A Model of Labor Migration and Urban Unemployment in Less Developed Countries”, *American Economic Review* 59 (1969): 138 - 149.

③ Robert E, Lucas Jr, “Life Earnings and Rural - Urban Migration”, *Journal of Political Economy* 112 (2004): 29 - 59.

④ 王小鲁：《城市化与经济增长》，《经济社会体制比较》2002 年第 1 期。

⑤ 胡鞍钢：《城市化是今后中国经济发展的主要推动力》，《中国人口科学》2003 年第 6 期。

⑥ 苏雪串：《城市化进程中的要素集聚、产业集群和城市群发展》，《中央财经大学学报》2004 年第 1 期。

⑦ 杨波、吴聘奇：《城市化进程中城市集中度对经济增长的影响》，《社会科学研究》2007 年第 4 期。

⑧ Robert E, Lucas Jr, “Life Earnings and Rural - Urban Migration”, *Journal of Political Economy* 112 (2004): 29 - 59.

⑨ 胡鞍钢：《城市化是今后中国经济发展的主要推动力》，《中国人口科学》2003 年第 6 期。

Pearce, 1990^①; 葛斯曼和库格 Grossman & Krueger, 1995^②; 哈卜 Hope, 1999^③; 安东尼和尼维斯 Andreoni & Levinson, 2001^④; 格米 Grimm, 2008^⑤; 刘耀彬等, 2005^⑥; 杜江、刘渝, 2008^⑦; 李双成等, 2009^⑧; 宋建波、武春友, 2010^⑨)。例如皮尔斯 1990 年指出城市发展存在起飞、膨胀、顶峰、下降和低谷等阶段, 不同阶段会出现不同类型的城市资源环境问题, 如土地过量使用、大气污染、噪音污染、水资源过量消耗和交通堵塞等。^⑩ 李双成等指出, 中国城市化带来了显著的生态效应, 使得城市生态系统的结构、过程和功能受到影响, 甚至发生了不可逆转的变化。^⑪

在上述文献基础上本研究首先提出两个基本假设。

假设一: 在人口城市化进程中, 城市人口增加分别对经济、社会、资源和环境产生正反两方面的影响, 即城市人口既能够创造收益, 又能够产生成本。

假设二: 地区间社会经济发展方式和资源环境利用模式存在差异, 通过转变经济发展方式和优化资源环境利用模式可以提升对城市人口的承载能力。

-
- ① Pearce D, "Environmentalism and the Green Economy", *Environment and Planning A* 22 (1990): 852 - 854.
- ② Gene M. Grossman, Alan B. Krueger, "Economic Growth and the Environment," *Quarterly Journal of Economics* 110 (1995): 353 ~ 377.
- ③ Hope, Kempe Ronald, Sr, "Urbanization and the Environment in Southern Africa Towards a Managed Framework for the Sustainability of Cities," *Journal of Environmental Planning and Management* 42 (1999): 837 ~ 859.
- ④ James Andreoni, Arik Levinson, "The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve," *Journal of Public Economics* 80 (2001): 269 ~ 286.
- ⑤ Grimm N B, "Global Change and The Ecology of Cities," *Science* 319 (2008): 756 ~ 760.
- ⑥ 刘耀彬、李仁东、宋学锋:《城市化与城市生态环境关系研究综述与评价》,《中国人口·资源与环境》2005 年第 3 期。
- ⑦ 杜江、刘渝:《城市化与环境污染: 中国省际面板数据的实证研究》,《长江流域资源与环境》2008 年第 6 期。
- ⑧ 李双成、赵志强、王仰麟:《中国城市化过程及其资源与生态环境效应机制》,《地理科学进展》2009 年第 1 期。
- ⑨ 宋建波、武春友:《城市化与生态环境协调发展评价研究——以长江三角洲城市群为例》,《中国软科学》2010 年第 2 期。
- ⑩ Pearce D, "Environmentalism and the Green Economy", *Environment and Planning A* 22 (1990): 852 - 854.
- ⑪ 李双成、赵志强、王仰麟:《中国城市化过程及其资源与生态环境效应机制》,《地理科学进展》2009 年第 1 期。

(二) 主要思路

本研究将测度得到的城市适度人口表示为以下区间公式：

$$X^* \in [X_{JJ}^* X_{DS}^*] \quad 4.2.1$$

其中 X^* 表示测度出来的某城市适度人口规模区间, X_{JJ}^* 表示城市适度人口静态基准, 即达到城市人口中等或平均承载水平的适度人口规模, X_{DS}^* 表示城市适度人口动态上限, 即需要通过转变社会经济发展方式和资源环境利用模式来达到的城市人口高承载水平的适度人口规模。

上述公式表明, 城市适度人口规模是由静态基准规模和动态上限规模组成的人口数量区间, 该区间主要反映各城市因为社会经济发展方式和资源环境利用模式差异所导致的人口承载力差异。人口承载力高的城市, 其城市适度人口数量更加趋近于该区间的上限; 人口承载力低的城市, 其城市适度人口数量更加趋近于该区间的下限。从区间下限向区间上限移动, 就需要提升城市人口承载能力, 其实质就是要通过转变社会经济发展方式和资源环境利用模式来提升社会经济发展效率和资源环境利用效率。

二 不变条件下的城市适度人口确定

首先在不考虑静态基准规模和动态上限规模的条件下, 基于社会净收益最大化原则构建城市适度人口确定模型, 实质上是假设社会经济发展方式和资源环境利用模式既定不变。

设城市化进程人口增加带来的社会收益为 SR , 产生的社会成本为 SC , 根据假设一可以推演出上述社会收益和社会成本均取决于城市人口数量 X , 另外设其他影响因素分别为 μ_1 和 μ_2 , 影响方程表示为:

$$\begin{cases} SR = F_1(X, \mu_1) \\ SC = F_2(X, \mu_2) \end{cases} \quad 4.2.2$$

根据上述公式, 城市化导致城市人口增加产生的社会净收益为:

$$NR = SR - SC = F_1(X, \mu_1) - F_2(X, \mu_2) = F(X, \mu_1, \mu_2) \quad 4.2.3$$

假设其他影响因素相对恒定的条件下，城市人口增加实现社会净收益最大化的条件是令上述方程一阶导数为零，即：

$$MNR = \frac{dNR}{dX} = \frac{dF(X, \mu_1, \mu_2)}{dX} = 0 \quad 4.2.4$$

由此可以得出一个最优的城市人口数量 X^* ，即城市适度人口。实际上是城市人口增加带来的边际社会收益与边际社会成本相等所对应的城市人口数量（见图 4-1）。

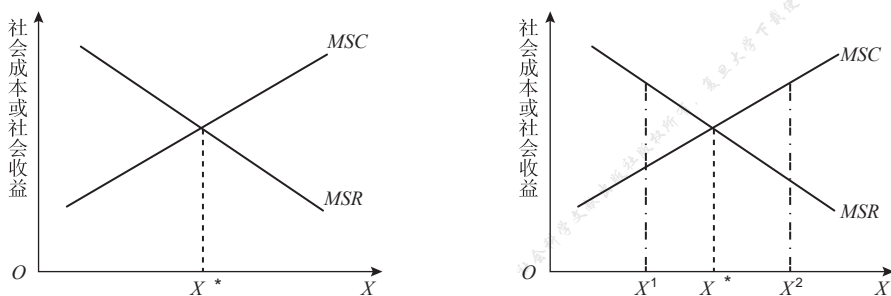


图 4-1 不变条件下的城市适度人口确定

如图 4-1 所示，城市人口增加带来的边际社会收益曲线与边际社会成本曲线相交的点所对应的城市人口数量 X^* 就是城市适度人口。通过与城市实际人口比较可以发现：如果城市实际人口小于城市适度人口，即 X^1 点，则城市人口增加所产生的边际社会收益大于边际社会成本，存在城市人口数量增加的收益空间；如果城市实际人口大于城市适度人口，即 X^2 点，则城市人口增加所产生的边际社会成本大于边际社会收益，城市人口数量已经超越了既定条件的最优水平。

三 可变条件下的城市适度人口确定

可变条件下的城市适度人口确定实质上是假设社会经济发展方式和资源环境利用模式可以通过努力实现优化。因此，需在不变条件下的城市适度人口确定模型中引入社会经济发展方式系数 j_s 和资源环境利用模式系数 z_h ，即将影响方程拓展为：

$$\begin{cases} SR = F_1(X, js, \mu_1) \\ SC = F_2(X, zh, \mu_2) \end{cases} \quad 4.2.5$$

据此，可以得出城市人口增加实现社会净收益最大化，需要满足边际社会收益与边际社会成本相等的条件，即：

$$\frac{\partial F_1(X, js, \mu_1)}{\partial X} = \frac{\partial F_2(X, zh, \mu_2)}{\partial X} \quad 4.2.6$$

城市适度人口静态基准规模确定：假设社会经济发展方式系数和资源环境利用模式系数处于某一既定水平，分别为 js_0 和 zh_0 ，将上述公式改写为：

$$\frac{\partial F_1(X, js_0, \mu_1)}{\partial X} = \frac{\partial F_2(X, zh_0, \mu_2)}{\partial X} \quad 4.2.7$$

在其他条件不变的情况下，求出的是城市适度人口的静态基准规模，用 X_{JJ}^* 表示。

城市适度人口动态上限规模确定：假设社会经济发展方式系数通过转化由原来的 js_0 提升到 js_1 ，资源环境利用模式系数通过优化由原来的 zh_0 提升到 zh_1 ，将上述公式改写为：

$$\frac{\partial F_1(X, js_1, \mu_1)}{\partial X} = \frac{\partial F_2(X, zh_1, \mu_2)}{\partial X} \quad 4.2.8$$

在其他条件不变的情况下，求出的是城市适度人口的动态上限规模，用 X_{DS}^* 表示（见图 4-2）。

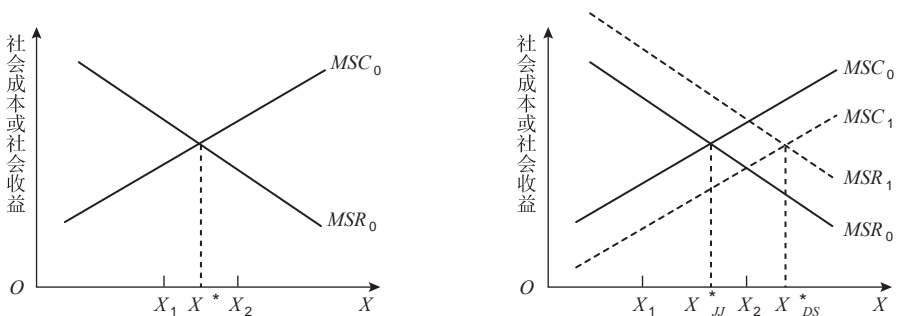


图 4-2 可变条件下的城市适度人口确定

如图 4-2 所示，在既定社会经济发展方式和资源环境利用模式条件下，所确定的城市适度人口为 X_{JJ}^* ，如果城市实际人口小于城市适度人口，即 X_1 点，说明在既定社会经济发展方式和资源环境利用模式下还存在人口增加的空间，可以继续推进城市化进程。但是如果城市实际人口大于城市适度人口，即 X_2 点，在既定社会经济发展方式和资源环境利用模式下不仅不能增加城市人口还将面临城市人口分流，势必阻碍城市化推进。在此情况下，如果考虑社会经济发展方式转变和资源环境利用模式优化，使得城市人口增加带来的边际社会成本和边际社会收益均向左移动，对应的城市适度人口也得到提升，即 X_{DS}^* ，从而使得 X_2 对应的城市实际人口有了提升的空间。

因此，可变条件下的城市适度人口确定理念，是建立在转变社会经济发展方式和优化资源环境利用模式基础上，以提升对城市人口承载力为动机而形成的城市动态适度人口区间 $[X_{JJ}^*, X_{DS}^*]$ 。

第三节 城市适度人口动态测度模型： 基于多目标下短板效应决定

如上所述，无论是不变条件还是可变条件，城市适度人口是在城市人口增加带来的边际社会收益与边际社会成本相等条件下确立，影响边际社会收益和边际社会成本的因素也将构成影响城市适度人口的因素。因此，需要构建合适的方法和模型，从影响城市适度人口的因素中计算城市适度人口规模区间。

一 城市适度人口影响因素选择

影响城市适度人口的因素主要包括经济因素（ Ec ）、社会因素（ So ）、资源因素（ Ro ）和环境因素（ Ev ），城市适度人口的确定公式表示为：

$$X^* = f(Ec, So, Ro, Ev) \quad 4.3.1$$

围绕方程 4.3.1，我们将从经济、社会、资源和环境四个方面，结合目前城市适度人口影响因素，分别选择各方面的具体因素，保证这些因素

与城市人口间具有较高的相关性。

(一) 经济方面的影响因素

从经济方面看,城市化能够创造经济,同时经济又是社会发展的物质基础,更是支撑城市人口发展的关键,包括经济总体情况、投资及消费情况、财政情况、金融情况等。因此,影响城市适度人口的经济因素主要选取地区生产总值($Ec1$)、全社会固定资产投资($Ec2$)、社会消费品零售总额($Ec3$)、地方财政一般预算收入($Ec4$)、年末金融机构存款余额($Ec5$)五个变量。2010年在全国287个地级及以上城市数据样本中,上述指标变量与城市实际人口间存在显著的相关性,其相关系数分别为0.8526、0.9011、0.8769、0.7909、0.8135,到2013年其相关系数分别为0.8412、0.8801、0.8707、0.7761、0.7969,其较高的相关性保持动态稳定,如表4-3所示。

表4-3 2010和2013年城市人口与经济方面因素相关系数

经济因素	2010年	2013年
$Ec1$	0.8526	0.8412
$Ec2$	0.9011	0.8801
$Ec3$	0.8769	0.8707
$Ec4$	0.7909	0.7761
$Ec5$	0.8135	0.7969

(二) 社会方面的影响因素

从社会方面看,伴随着城市化进程,社会事业发展水平也不断提升。可见,社会事业水平也是支撑城市人口的重要基础,包括就业情况、教育情况、文化情况、医疗情况、交通设施情况等方面。因此,影响城市适度人口的社会因素主要选取在岗职工平均人数($So1$)、中小学专任教师数($So2$)、公共图书馆图书总藏书量($So3$)、医院卫生院床位数($So4$)、年末实有公共汽车营运车辆数($So5$)、年末实有出租汽车数($So6$)六个变量。2010年在全国287个地级及以上城市数据样本中,上述指标与城市

实际人口间存在显著的相关性，其相关系数分别为 0.8403、0.9316、0.7767、0.9339、0.7417、0.8169，到 2013 年上述相关系数分别为 0.8475、0.9601、0.7339、0.9233、0.7487、0.8134，其较高的相关性保持动态稳定，如表 4-4 所示。

表 4-4 城市人口与社会方面因素相关系数

社会因素	2010 年	2013 年
So1	0.8403	0.8475
So2	0.9316	0.9601
So3	0.7767	0.7339
So4	0.9339	0.9233
So5	0.7417	0.7487
So6	0.8169	0.8134

(三) 资源方面的影响因素

从资源方面看，伴随着城市化进程，社会经济发展虽然在不断创造可再生资源，但更多的是资源在支撑着城市人口的生存和发展，包括土地资源、水资源和能源资源等。因此，影响城市适度人口的资源因素主要选取行政区域土地面积（ $Ro1$ ）、供水总量（ $Ro2$ ）、全社会用电量（ $Ro3$ ）和年末实有城市道路面积（ $Ro4$ ）四个变量。2010 年全国 287 个地级及以上城市数据样本中，上述指标与城市实际人口存在显著的相关性，其相关系数分别为 0.5062、0.7769、0.8115、0.8481，到 2013 年其相关系数分别为 0.5602、0.7802、0.8117、0.8097，其较高的相关性保持动态稳定，如表 4-5 所示。

表 4-5 城市人口与资源方面因素相关系数

资源因素	2010 年	2013 年
$Ro1$	0.5062	0.5602
$Ro2$	0.7769	0.7802
$Ro3$	0.8115	0.8117
$Ro4$	0.8481	0.8097

(四) 环境方面的影响因素

从环境方面看,伴随着城市化进程,社会经济发展对城市环境产生较大影响,较为典型的是“三废”排放,环境承载能力已成为决定城市人口数量的关键因素。因此,影响城市适度人口的环境因素主要选取三废综合利用产品价值(E_{v1})、工业废水排放达标量(E_{v2})、工业二氧化硫去除量(E_{v3})、工业烟尘去除量(E_{v4})、建成区绿化覆盖面积(E_{v5})五个变量。2010年全国287个地级及以上城市数据样本中,上述指标与城市人口的相关系数分别为0.2883、0.4259、0.2796、0.2869、0.8358,三废综合利用产品价值、工业烟尘去除量分别与城市实际人口的相关系数均较低,且2013年大部分数据缺失,这两个指标在2013年测度中剔除。其余指标在2010年和2013年中均保持一定的相关性,如表4-6所示。

表4-6 城市人口与环境方面因素相关系数

资源因素	2010年	2013年
E_{v1}	0.2883	—
E_{v2}	0.4259	0.4923
E_{v3}	0.2796	0.4787
E_{v4}	0.2869	—
E_{v5}	0.8358	0.8750

二 城市适度人口分类测度模型

首先按照具有程度性的系统外生性变量进行城市类别划分,比如按照城市功能定位、城市化进程、城市产业结构等,设通过分类后城市样本容量为 m ,样本容量中某个城市个体为 i ($i = 1, 2, 3, \dots, m$)。设第 i 个城市的实际人口数为 X_i ,并将经济因素、社会因素、资源因素和环境因素分别用 j 来代替,令第 j 类因素包含的指标为 k ($k = 1, 2, \dots, n$)。因此,可以统一将各因素指标表示为 Z_i^k ,具体有四个步骤。

(一) 指标权重确定

主要采取主成分回归法来对指标进行赋权,该方法主要是采用原始自

变量的主成分代替原始自变量进行回归，既保留了大量信息，还可以避免信息重叠问题。

首先，对各原始指标进行主成分分析，假设按照特征根大于 1 的原则提取出主成分（假设提取 2 个），公式表示为：

$$\begin{cases} F1_i^j = \alpha_{11}\bar{Z}_i^1 + \alpha_{12}\bar{Z}_i^2 + \cdots + \alpha_{1n}\bar{Z}_i^n \\ F2_i^j = \alpha_{21}\bar{Z}_i^1 + \alpha_{22}\bar{Z}_i^2 + \cdots + \alpha_{2n}\bar{Z}_i^n \end{cases} \quad 4.3.2$$

其中： \bar{Z}_i^n 为标准化指标变量。

其次，以提取的主成分为解释变量，城市实际人口为被解释变量进行回归，假设估计方程为：

$$\hat{X}_i^j = \theta_0 + \theta_1 F1_i^j + \theta_2 F2_i^j \quad 4.3.3$$

最后，将公式 4.3.2 带入公式 4.3.3 得到：

$$\hat{X}_i^j = \theta_0 + (\theta_1\alpha_{11} + \theta_2\alpha_{21})\bar{Z}_i^1 + (\theta_1\alpha_{12} + \theta_2\alpha_{22})\bar{Z}_i^2 + \cdots + (\theta_1\alpha_{1n} + \theta_2\alpha_{2n})\bar{Z}_i^n \quad 4.3.4$$

则第 j 类因素包含的指标 k 的权重为：

$$w^{jk} = (\theta_1\alpha_{1k} + \theta_2\alpha_{2k}) / \sum_{k=1}^n (\theta_1\alpha_{1k} + \theta_2\alpha_{2k}) \quad 4.3.5$$

(二) 城市人口实际承载力计算

各类因素指标对应的城市人口承载力主要反映各因素单位水平承载了多少实际人口，是衡量各地城市人口承载能力的关键，计算公式为：

$$CC_i^{jk} = X_i^j / Z_i^k \quad 4.3.6$$

(三) 城市人口标准承载力计算

静态基准标准承载力主要选取各样本在剔除异常值后的平均承载力水平，反映一般社会经济发展方式或一般资源环境利用模式下的承载力标准，计算公式为：

$$\bar{CCJJ}^k = \sum_{i=1}^m X_i / \sum_{i=1}^m Z_i^k \quad 4.3.7$$

动态上限标准承载力主要选取城市投入产出效率系数较高样本的平均城市人口承载力水平作为标准（假设选取 3/4 分位标准），反映需要社会经济发展方式转变后或资源环境利用模式改进后的承载力标准，计算公式为：

$$\bar{CCDS}^k = \sum_{i=0.75m}^m X_i / \sum_{i=0.75m}^m Z_i^k \quad 4.3.8$$

(四) 城市适度人口区间计算

城市适度人口静态基准公式为：

$$X_{JJ}^* | _i = \sum_{k=1}^n w^{jk} (\bar{CCJJ}^k \times Z_i^k) \quad 4.3.9$$

城市适度人口动态上限公式为：

$$X_{DS}^* | _i = \sum_{k=1}^n w^{jk} (\bar{CCDS}^k \times Z_i^k) \quad 4.3.10$$

即第 i 个城市的第 j 类因素对应的城市适度人口区间为：

$$X^* | _i \in [X_{JJ}^* | _i, X_{DS}^* | _i] \quad 4.3.11$$

三 城市适度人口综合测度模型

上述分类测度模型分别可以得出经济因素、社会因素、资源因素和环境因素对应的城市适度人口动态区间，但通过比较必然存在对应较低适度人口的因素。换句话说，由于短板因素的存在，即便其他因素计算出的适度人口较高，但该城市的综合承载力也难以提升。为此，本研究根据短板原理，取各类因素中计算出的最低城市适度人口作为该城市的综合适度人口，计算公式为：

$$\begin{cases} X_{JJ}^* | _i = \min_{j \in [1,4]} (X_{JJ}^* | _i) \\ X_{DS}^* | _i = \min_{j \in [1,4]} (X_{DS}^* | _i) \end{cases} \quad 4.3.12$$

从而得到第 i 个城市的适度人口区间为：

$$X^* |_i \in [X_{JJ}^* |_i, X_{DS}^* |_i] \quad 4.3.13$$

进一步，再计算出城市适度人口压力系数，公式为：

$$\theta_i = \frac{X_i - X_{JJ}^* |_i}{X_{DS}^* |_i - X_{JJ}^* |_i} \quad 4.3.14$$

四 城市适度人口综合判断标准

如图 4-3 所示，假设某个城市的实际人口为 X_i ，根据 X_i 所处的区间范围，将存在城市发展的三种不同选择。

情况 1：如果城市实际人口小于城市适度人口静态基准，即 $X_i \leq X_{JJ}^* |_i$ ， $\theta_i \leq 0$ ，表示城市人口适度偏低，则该城市可以在既定经济发展方式和资源利用模式下增加城市人口，推进城市化进程。

情况 2：如果城市实际人口大于城市适度人口静态基准，并小于城市适度人口动态上限，即 $X_{JJ}^* |_i \leq X_i \leq X_{DS}^* |_i$ ， $0 < \theta_i \leq 1$ ，表示城市人口相对适度，则该城市推进城市化进程的条件是转变经济发展方式或优化资源利用模式，否则就需要分流城市实际人口。

情况 3：如果城市实际人口大于城市适度人口动态上限，即 $X_i \geq X_{DS}^* |_i$ ， $\theta_i \geq 1$ ，表示城市人口超越适度，则该城市需要实现更高层次的经济发展方式和资源利用模式，但关键还是需要分流城市实际人口。

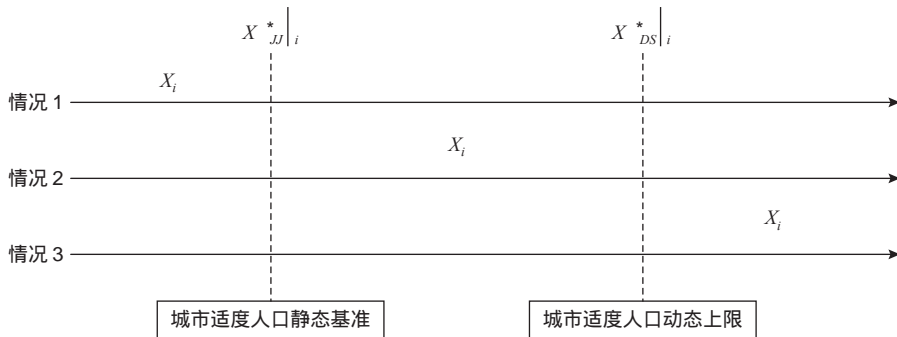


图 4-3 城市实际人口所处三类不同区间的发展选择