

浙江省第六次人
口普查立项课题

浙江省城市人口承载力研究

——基于宁波市城市人口承载力的研究

宁波市第六次人口普查办公室

二〇一二年十一月

目 录

| | |
|---------------------------------|----|
| 摘 要..... | 3 |
| 关键词..... | 3 |
| 一、绪 论..... | 4 |
| (一) 研究的背景和意义..... | 4 |
| (二) 人口承载力的国内外研究现状分析..... | 5 |
| 1. 人口承载力的国外研究现状..... | 5 |
| 2. 人口承载力的国内研究现状..... | 6 |
| (三) 本文研究的基本思路..... | 8 |
| 二、人口承载力研究的理论基础..... | 10 |
| (一) 可持续发展的基本理论..... | 10 |
| (二) 人口承载力和可持续发展的关系..... | 11 |
| 三、宁波市人口承载力分析..... | 13 |
| (一) 基于资源系统的宁波市人口承载力研究..... | 13 |
| 1. 资源人口承载力评价模型构建..... | 13 |
| 2. 宁波市资源人口承载力评价..... | 14 |
| (二) 基于经济系统的宁波市人口承载力研究..... | 18 |
| 1. 宁波市社会经济发展状况..... | 18 |
| 2. 经济人口承载力评价模型构建..... | 21 |
| 3. 宁波市经济人口承载力评价..... | 22 |
| (三) 基于生态系统的宁波市人口承载力研究..... | 24 |
| 1. 生态人口承载力评价模型..... | 24 |
| 2. 宁波市生态人口承载力评价..... | 25 |
| 四、基于综合承载力的宁波市适度人口评估模型..... | 32 |
| (一) 基于关联度分析的宁波市人口承载力影响因素分析..... | 32 |
| 1. 灰色关联度模型..... | 32 |
| 2. 宁波市人口发展影响因素的灰关联度计算与分析..... | 33 |
| (二) 基于因子分析法和熵权法的权重确定..... | 35 |
| 1. 因子分析法..... | 35 |
| 2. 熵权法..... | 35 |
| 3. 权重系数的确定..... | 36 |
| (三) 基于综合承载力的宁波市适度人口评价模型..... | 37 |

| | |
|------------------------------------|----|
| (四) 宁波市适度人口分析 | 37 |
| 五、基于 GM (1,1) 模型的宁波市未来人口发展预测 | 40 |
| (一) GM (1,1) 模型 | 40 |
| (二) 宁波市未来人口预测与分析 | 40 |
| 1、宁波市人口现状分析 | 40 |
| 2、宁波市未来人口发展趋势预测 | 43 |
| 六、政策建议 | 45 |
| (一) 调整三次产业及就业结构 | 45 |
| (二) 优化人口结构抑制过快增长 | 45 |
| (三) 多举措提升居民生活质量 | 46 |
| (四) 全面改善现有人力资本构成 | 47 |
| (五) 有效促进人与环境的可持续发展 | 48 |
| 参考文献 | 49 |
| 附 录 | 51 |

浙江省城市人口承载力研究

——基于宁波市城市人口承载力的研究

摘 要: 城市发展促进了人口的发展,但是人口过多又限制城市的发展,应该如何控制人口总量以保证城市舒适的人居环境已成为城市研究的一个热点问题。本文以宁波市人口承载力为研究对象,在探讨宁波市人口发展现状的基础上,结合运用宁波市第六次人口普查数据,从经济、资源、生态环境三个方面对宁波市人口承载力进行分析和测算,并在此基础上建立基于综合承载力的宁波市适度人口模型。同时,本文应用灰色预测模型对宁波市未来人口发展趋势和适度人口规模进行预测和探讨。最后,在本文研究的基础上提出相关政策建议,为宁波市城市人口发展和城市的可持续发展提供可靠的依据。

关键词: 人口承载力 人口预测 土地承载力

经济承载力 生态足迹

一、绪 论

(一) 研究的背景和意义

人口承载力，或者称为人口容量，按照联合国科教文组织的定义是指一国或地区在可以预见的时期内，利用该地的能源和其他自然资源及智力、技术等条件，在保证符合社会文化准则的物质生活水平条件下，所能持续供养的人口数。它实际上是对人口与经济、资源、环境关系研究¹。

近年来，随着经济发展、社会进步，我国城镇化速度明显加快，大量人口从农村流动到各大城市，城市人口快速增长。然而，在一定的社会经济背景下，城市对人口的承载能力是有限的。现代城市人口的高度聚集，虽然反映了城市经济的繁荣、社会的发展和文化事业的兴盛，但与此同时也引发一系列的问题，如资源匮乏、环境污染、交通拥挤、住宅紧张、就业困难、生态破坏等，从而导致城市综合功能及效益的下降，甚至引发经济社会发展与城市生态环境系统的尖锐矛盾²，使得人口与城市发展的矛盾日益尖锐。

因此，在城镇化速度加快的同时，以城市现有的生态环境和自然资源，到底能否承受多少人口，应该如何控制人口总量以保证城市舒适的人居环境，即城市人口承载力的研究，已成为人们普遍关注的热点问题。就宁波而言，其合理的人口承载力研究同样是制定全市人口发展战略首要关注的重大问题。因此，本课题结合运用宁波市第六次人口普查数据及近10年来人口、资源、经济等各方面数据，拟对宁波市城市人口承载力做一探究，以期对我市未来城市人口可持续发展状态进行预警，充分发挥城市各项功

¹张利华，陈钢，徐晓新，刘会武. 城市人口承载力的理论与实证研究——以北京市海淀区为例. 管理评论, 2008, Vol(20), No(5):28-32.

²夏海勇. 城市人口的合理承载量及其测定研究. 人口研究, Vol. 26, No.1(2002): 15-21.

能，并根据承载力自觉调节人类行为，以达到人与自然的和谐共处。

（二）人口承载力的国内外研究现状分析

1. 人口承载力的国外研究现状

“承载力”一词最早出自生态学，其特定含义是生态系统所提供的资源和环境对人类社会良性发展的一种支撑能力。简言之，就是在不削弱生态系统所提供的资源和环境的生产能力下，对既定的生物种群而言，该环境所能支撑的最大的生物量。而关于人口承载力，虽然迄今为止国际组织和学术界所下的定义多达几十种，但都认同这一概念是指在一定时期内在某一可能或者期望的生活方式下所能养活的人口数³。

国外对于人口承载力的研究可以追溯到 1679 年荷兰人代尔夫特对于“地球能养活人口数”的研究⁴。按照他的估计，地球上最多能够养活 134 亿人口。之后，众多学者从多角度、多领域对人口承载力展开了研究，较为典型的有：（1）1978 年马尔萨斯在《人口原理》中提出了“两个公里”和“两种级数”等命题，首次强调了人口过剩问题的严重性。他指出人口以几何速率增长而粮食仅以线形速率增长⁵，因此人口的数量将受到限制；（2）Verhust（1938）及 Pearl 和 Read（1920）分别提出了人口承载力的逻辑斯特方程，通过数学模型表达了马尔萨斯关于资源限制影响人口增长的观点⁶。逻辑斯特方程的出现，对人口承载力的研究有十分重大的意义，它在许多方面得到了应用，如 Pearl 等利用美国人口普查数据拟合逻辑斯特方程；（3）“罗马俱乐部”的梅多斯教授在《增长的极限》一书中，利用

³张英飒. 人口承载力的理论内涵与测算方法. 重庆社会科学（社会与人口），Vol. 168 (2008):53-61.

⁴陈卫, 孟向京. 中国人口容量与适度人口问题研究[J]. 市场与人口分析, 2000(1): 21-31

⁵ Seidl I, Tisdell C A. Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity[J]. Ecological Economics, 1999, 31: 395-408.

⁶盛亦男. 东北地区人口承载力研究. 吉林大学硕士毕业论文, 2010.

系统动力学模型对人口、粮食、资源和环境污染问题等一系列全球性的问题进行了研究，阐述了环境的重要性以及人口与资源之间的基本联系，对人口承载力提出了相对悲观的观点；（4）20世纪50年代，威廉·佛格特提出了用环境阻力与土地可提供食物总量之比来表示人口承载力，他指出人口增长已经完全超出了土地承载力，应当重视起控制人口数量，保持人口、资源的平衡发展。英国的威廉·阿伦提出用粮食潜力来表示人口承载力，采用土地面积、耕地等要素来简单估算未来某个时期粮食产量能够供养的人口数量；（5）20世纪70年代初，澳大利亚学者用多目标决策分析，从土地、水、气候等资源对人口的限制因素出发，研究了该地区的人口承载力；（6）联合国粮农组织采用的农业生态区位法，对人口资源进行了定量分析，其中包含了气候生产潜力及土地生产潜力。这套方法被后来很多国家在人口承载力研究中认同使用。其中最常用的是加拿大生态经济学家William提出的生态足迹模型。此外还有瓦赫宁根法及实验室统计资料模型法⁷；（7）关于城市人口资源承载力的研究有：Joardor等和RijbermanJ等都是从水资源的角度对城市人口承载力进行了研究⁸。

2、人口承载力的国内研究现状

国内研究人口承载力主要集中于环境科学、社会科学、物理、地理、生态学等领域，研究目前呈现以下态势：（1）从单一的资源承载力研究向资源环境综合承载力研究发展；（2）逐渐强调资源系统的综合研究；（3）分析方法继续向模式化和模式的动态化方向发展；（4）特定地区（特别是生态脆弱地区）的资源承载力研究进一步得到重视。

具体研究状况如下：（1）生态学领域多以土地资源尤其是耕地人口承

⁷前者主要通过农作物及气候影响因素计算光温生产潜力。后者主要借助于植被和气候资料建立模型的方法来计算生产潜力，如 EPIC 模型、CERES 模型等，这种方法主要通过实验获取作物信息来进行计算

⁸北京市人口承载力研究 硕士毕业论文

承载力研究为主体;(2)田雪原从经济发展角度研究中国适度人口的数量;(3)1986年由中科院自然资源综合考察委员会主持的“中国土地资源生产能力及人口承载力研究”项目对人口可持续发展理论进行了系统的研究。此研究通过定性及定量的分析,并依靠GIS等信息手段,从人口、粮食、土地的角度研究了我国的粮食生产潜力,并分析了人口土地承载力;(4)聂庆华⁹从土地利用潜力、程丽莉¹⁰通过三次平滑系数、一元线性回归方程预测安徽粮食产量;(5)李新伟¹¹、穆光宗¹²、唐国平¹³、杨晓鹏¹⁴等从系统动力学的角度对人口承载力和适度人口进行量化研究;(6)张芳、谢高地等,郝永红根据灰色系统等维灰数递补动态预测模型对未来50年中国的人口数量进行了动态预测;(7)分类人口承载力研究分布较广,包括水资源、矿产资源¹⁵、森林资源人口承载力研究等。

近年来,宁波市人口系统状况研究日益引起广泛关注:(1)王益澄¹⁶从人口的身体素质、文化素质、思想素质三方面,系统地论述了宁波市人口素质现状及其成因,指出人口素质对宁波市经济发展的促进作用与制约作用;(2)黄天元¹⁷利用第四次人口普查的数据资料,全面分析了宁波市人口再生产的现状;(3)竺亚平¹⁸通过对宁波市总人口性别比、出生人口性别比、择偶期人口性别比的分析,研究了宁波市人口性别比例失衡的原因;(4)王益澄¹⁹从宁波市人口机械增长与城市协调发展关系(发展与控制的关系、

9聂庆华. 土地生产潜力和土地承载能力研究进展. 水土保持通报, 1993, 13 (3): 53-59

10程丽莉. 安徽省土地资源人口承载力的动态研究. 资源开发与市场. 2006. 22 (4)

11李新伟. 东北地区人力资源结构与省际差异比较研究. 东北亚论坛, 2007,27-31

12穆光宗. 中国可以养活多少人. 南方周末, 1999

13唐国平, 杨志峰. 人口容量理论与量化方法研究进展. 世界环境, 1999,12-14

14杨晓鹏, 张志良. 青海省土地资源人口承载力系统动力学研究. 地理科学, 1993,13

15王玉平. 矿产资源人口承载力研究. 中国人口, 资源与环境, 1998,19-22

16王益澄. 宁波市人口素质的现状、成因及对策

17黄天元. 宁波市人口再生产现状及成因

18竺亚平. 宁波市人口性别结构现状及其成因分析

19王益澄. 宁波市人口机械增长与城市发展

数量与质量的关系、城市布局与人口布局的关系)的角度,研究了人口机械增长的调控对策。当前,尽管对宁波市人口状况的研究比较多,但是从人口承载力的角度来具体分析和测算宁波市人口容量和适度人口的研究则少之又少。

(三) 本文研究的基本思路

从人口承载力的定义不难看出,城市人口承载力着眼于研究城市人口子系统发展与城市的经济发展、资源环境以及社会发展等不同子系统之间的相互作用关系,研究人口子系统的发展与其他子系统的发展是否相互匹配。人口承载力实际上就是社会经济、资源、生态环境等多种因素综合作用的结果。因此,本研究将从生态、经济和资源等角度对宁波市人口承载力进行全面、系统的理论和实证研究,提出相应的对策,寻求协调人口变动与资源环境关系的有效途径,为政府宏观决策提供必要的参考咨询,本研究对宁波的可持续发展有十分重大的意义。研究结果既要有一定的理论创新,同时要能够切实为政府的决策提供必要的服务,具有较大的应用价值。

本文的研究内容包括:第一章,分析本课题研究的背景、意义、国内外研究现状及研究基本思路;第二章,介绍本课题研究的理论基础——可持续发展理论及其与人口承载力的关系;第三章,从资源、经济和生态三个系统来对宁波市人口承载力进行建模和计算,分析不同状态下人口承载力的变化状况;第四章,利用灰色关联度分析来确定影响因素和人口发展的相关程度,并通过因子分析法和熵权法来确定相关权重,构建基于综合承载力的宁波市适度人口评价模型,并对宁波市适度人口进行分析;第五章,利用时间序列分析中的灰色GM(1,1)模型对宁波市未来人口发展趋势进行预测;第六章,综合分析宁波市人口发展和城市经济、资源和生态环

境的相互作用和相互关系，提出相应的政策建议。

本研究的主要研究价值在于：（1）充分利用、开发宁波市“六人普”资料及近10年来宁波市经济、社会、资源等各方面数据资料；（2）为我市城市规划、土地规划、水资源开发利用规划以及住宅和交通、基础设施规划等提供重要的咨询和参考；（3）为我市政府制定相关人口迁移和外来人口相关政策提供理论依据，并为制定长期的可持续发展战略提供重要参考。

二、人口承载力研究的理论基础

关于城市人口承载力的研究可以追溯到人口容量的研究，进而追溯到对“适度人口”的研究。已有研究认为，人口容量和人口承载力并无本质区别，他们都是从英文“Carrying Capacity”一词而来。因此，综合关于人口容量和适度人口的研究，本文认为城市人口承载力是指一个城市在社会经济发展中的综合自然资源、公共资源和经济规模所能承载的最优人口结构及其经济社会活动。因此，城市人口承载力绝不仅仅是一个量的问题，更是关于人口结构均衡化的问题。另一方面，因为技术、制度和管理的不断创新，城市人口承载力又具有动态和弹性的特征。综上，城市人口承载力归根结底是一个可持续发展的问题。

（一）可持续发展的基本理论

可持续发展就是建立在社会、经济、人口、资源、环境相互协调和共同发展的基础上的一种发展，其宗旨是既能相对满足当代人的需求，又不能对后代人的发展构成危害，它注重的是社会、经济、文化、资源、环境、生活等各方面协调发展。其核心思想是健康的经济发展应建立在生态可持续能力、社会公正和人民积极参与自身发展决策的基础上，它所追求的目标是：既要使人类的各种需要得到满足，个人得到充分发展；又要保护资源和生态环境，不对后代人的生存和发展构成威胁。它特别关注的是各种经济活动的生态合理性，强调对资源、环境有利的经济活动应给予鼓励，反之则应给予摒弃。

可持续发展中的可持续具有生态持续、经济持续和社会持续三个特征，其之间互相关联而不可分割。生态持续是基础，经济持续是条件，社会持续是人类共同追求的应该是自然、经济、社会复合系统的持续、稳定、健

康发展。

可持续发展的原则包括公平性、可持续性、共同性。其原则的实质就是把经济发展与节约资源、保护环境紧密结合起来，实现良性循环。可持续发展观要求在发展中积极地解决环境问题，既要推进人类发展，又要促进自然和谐。主要表现在：从以单纯经济增长为目标的发展转向经济、社会、生态的综合发展，从以物为本位的发展转向以人为本位（发展的目的是满足人们的基本需求、提高人们的生活质量）的发展，从注重眼前利益、局部利益的发展转向长期利益、整体利益的发展，从物质资源推动型的发展转向非物质资源或信息资源（科技与知识）推动型的发展。

（二）人口承载力和可持续发展的关系

从二十世纪六七十年代开始，人类的工业化、城市化进程带来了一系列“全球问题”，包括资源匮乏、环境污染、生态危机、人口激增、温室效应等。“全球问题”促使可持续发展（sustainable development）理论的出现，而这又成为推动承载力理论不断发展的动力。

可持续发展和人口承载力之间具有相辅相成的关系：（1）可持续发展是人口承载力的指导思想，人口承载力是对可持续发展思想的体现。人口承载力研究的目的是为确定人口与社会经济的发展关系，提供人口的发展速度和发展规模的现实依据，它强调的是人类发展的可持续性、协调性和公平性；（2）可持续发展是发展的目标，人口承载力是发展的限制条件。只有人口的发展规模控制在一定的限度以内，才得以促进资源环境永续利用和社会经济的持续发展，保证人口在未来世代的长远进步。

因此，研究人口承载力对于实现可持续发展的总体目标具有重要价值。其中，虽然资源稀缺论、可持续发展理论、短板理论从不同角度反映了资源与可持续发展的关系，但是都在寻找一种人口、资源、环境与发展的动态

平衡关系，或者说论述了资源利用与可持续发展的途径，这正是进行宁波市城市人口承载力研究的根本目的之所在。这些理论为宁波市人口承载力研究奠定了坚实的理论基础。

三、宁波市人口承载力分析

区域人口承载力水平与三方面密切相关：一是人口规模对于区域资源环境的需求，人口需求程度的降低可以提高人口承载力水平；二是经济发展对资源环境的需求，经济发展对资源环境利用效率的提高可以显著改善人口承载力水平；三是生态环境的支持力，生态系统的良性循环可以显著提高人口承载力的水平。本节主要从资源、经济、生态三个方面对宁波市人口承载力进行分析。

（一）基于资源系统的宁波市人口承载力研究

1、资源人口承载力评价模型构建

资源，如耕地、淡水、矿产等自然资源，是人类得以延续发展必不可少的物质基础，也是制约人口承载力的一个重要因素，尤其是短缺性的资源，其对人口承载力的制约作用就更为明显。矿产是在短时间内不能再生的资源，但随着技术的进步，人类利用矿产资源广度和深度不断增大，相对而言，矿产资源的供给量增加；淡水是可更新的资源，技术进步，可将海水资源淡化，相对增加水资源数量，而且区域之间水资源调控，对区域人口的发展不构成真正的稀缺。而具有位置的固定性、数量有限性的土地资源才是人类面临的真正稀缺，尤其是耕地资源。同时，耕地仍是迄今为止人类获取食物的最经济最方便的资源。耕地资源的数量有限，在一定时间，一定技术经济条件下，一定地域的耕地只能生产有限的食物，只能养活有限的人口，因此，耕地成为制约区域人口承载力的主要制约因素，研究耕地变化对人口承载力的影响，也就成为从资源角度研究人口承载力的主要途径。

因此，本文选择耕地资源代表资源系统（主要指土地资源），用耕地资

源承载力测算宁波市的资源承载人口数，即一定资源开发水平下的人口数量，具体计算方法为地区资源总量除以一定标准的人均资源有量。其具体计算公式如下：

$$C_{ri} = \frac{Q_{pi}}{Q_{ii}} Q_i$$

区域土地资源承载人口

其中： C_{ri} 为区域土地资源承载人口， Q_{pi} 表示土地资源承载指数， Q_{ii} 表示参照区人口数量， Q_{ii} 为参照区耕地面积， Q_i 为研究区耕地面积。

2、宁波市资源人口承载力评价

建国以来，宁波市和全国、全省一样，耕地面积总得来说呈逐年减少的趋势。由1949年的26.6573万公顷减少到2007年的20.983万公顷，共减少5.6743万公顷，平均年递减0.37%，而同期，宁波市人口却持续增长，因此，全市人均耕地也由1949年的0.106公顷，下降到2007年的0.03公顷，平均年递减1.23%。与浙江省相比，2000年浙江省耕地面积160.756万公顷，宁波市耕地面积21.566万公顷，占浙江省总耕地面积的13.4%。到2007年，耕地面积占浙江省总耕地面积（159.734万公顷）的13.13%，总耕地面积在全省范围内仅次于嘉兴市21.240万公顷，位居浙江省第二。而从人均耕地面积的角度来看，2007年浙江省人均耕地面积0.031公顷，宁波市人均耕地面积和浙江省水平基本持平。

由表3-1可知，从2000年到2007年，宁波市耕地面积呈下降趋势，人均耕地面积也呈明显下降趋势。人均耕地面积由2000年的0.035公顷下降到2007年的0.03公顷，平均年递减2.04%，而1949年到2000年，人均耕地面积平均年递减1.3%。与1949年到2000年相比，2000年到2007年人均耕地面积递减速度明显增加。而相应的，人均粮食产量也成明显下降趋势，2000年人均粮食产量为217.765千克，到2011年下降为118.170千

克，年平均递减 4.16%。另一方面，宁波市粮食产量虽然在 2000-2004 年呈明显下降趋势，但是从 2005 年开始粮食总产量成波动性增长趋势，虽然在 2007 年时出现较大的波动，但是整体呈增长趋势。究其原因，2007 年宁波市农作物受灾面积为 165744 公顷，受自然灾害的影响，2007 年粮食总产量明显下降。由此可见，虽然耕地面积在减少，但是随着经济的发展以及农业技术的进步，从一定程度上弥补了耕地资源的不足。

另外，根据全国人均粮食需求方案和 FAO 营养方案规定，每年人均粮食消费量按不同标准可以划分为温饱型、小康型、和富裕型，分别为 400kg/人、450kg/人以及 550kg/人。宁波市人均粮食产量在近 11 年都处于温饱型标准以下。目前来看，宁波市粮食生产能力严重不足，不能实现粮食的自给，需要从其它地区进口大量的粮食来满足本地区人口对粮食需求。同时，耕地面积也在逐年减少。总体来看，宁波市耕地逐年减少，耕地资源的缺乏已经成为制约人口发展的重要因素。因此，本文中用耕地面积代表资源系统来研究宁波市资源的人口承载力。

表 3-1 宁波市 2000 年到 2011 年耕地变化情况

| 时间 | 宁波市总人口 (万人) | 耕地面积 (万公顷) | 人均耕地面积 (公顷) | 粮食产量 (万吨) | 人均粮食产量 (千克) |
|------|----------------|---------------|----------------|--------------|----------------|
| 2000 | 608.5 | 21.566 | 0.0354412 | 132.51 | 217.765 |
| 2001 | 619 | 21.398 | 0.0345687 | 112.17 | 181.212 |
| 2002 | 628.4 | 21.197 | 0.0337317 | 94.89 | 151.003 |
| 2003 | 644.1 | 21.105 | 0.0327667 | 75.61 | 117.389 |
| 2004 | 657.8 | 21.104 | 0.0320827 | 83.73 | 127.288 |
| 2005 | 671.4 | 20.996 | 0.0312720 | 80.12 | 119.333 |
| 2006 | 687.7 | 20.997 | 0.0305322 | 81.3 | 118.220 |
| 2007 | 703.6 | 20.983 | 0.0298223 | 74.77 | 106.268 |
| 2008 | 715.6 | 21.031 | 0.0293893 | 88.42 | 123.561 |
| 2009 | 727.5 | 20.995 | 0.0288591 | 86.32 | 118.653 |
| 2010 | 761.08 | 20.981 | 0.0275674 | 87.13 | 114.482 |
| 2011 | 762.8 | 20.962 | 0.0274803 | 90.14 | 118.170 |

注：宁波市 2008 年-2011 年耕地面积数据缺失，本文中用 2000 年-2007 年的耕地面积和播种面积做回归分析，得到 2008 年-2011 年的耕地数据。

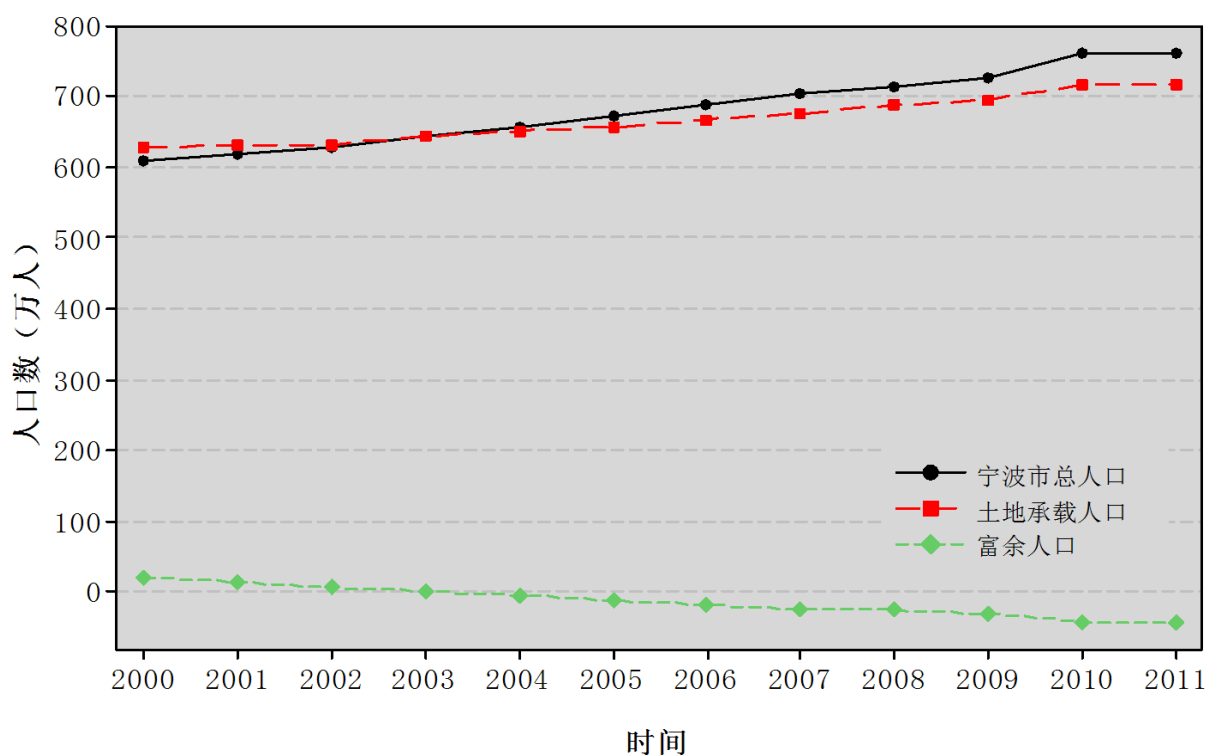


图 3-1 宁波市 2000-2011 年土地承载人口变化图

通过计算耕地人口容量，可以分析区域在土地资源约束力下能够承载的人口数量。利用土地资源人口承载力计算方法，可以测算得到宁波市土地资源承载人口数，在本文的计算过程中，我们选取浙江省总的耕地面积作为参照区耕地面积，浙江省总人口作为参照区人口数。图 3-1 显示了宁波市 2000 年到 2011 年的土地承载人口变化情况。

表 3-2 宁波市土地资源承载人口变化情况

| 时间 | 浙江省总人口 (万人) | 浙江省耕地面积 (万公顷) | 土地承载指数 (人/公顷) | 宁波耕地面积 (万公顷) | 宁波市总人口 (万人) | 土地承载人口 (万人) | 富余人口 (万人) |
|------|----------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|
| 2000 | 4679.9 | 160.756 | 29.1118 | 21.566 | 608.5 | 627.826 | 19.326 |
| 2001 | 4728.8 | 160.146 | 29.5281 | 21.398 | 619 | 631.841 | 12.841 |
| 2002 | 4776.4 | 159.911 | 29.8691 | 21.197 | 628.4 | 633.136 | 4.736 |
| 2003 | 4856.8 | 159.214 | 30.5049 | 21.105 | 644.1 | 643.805 | -0.295 |
| 2004 | 4925.2 | 159.492 | 30.8805 | 21.104 | 657.8 | 651.703 | -6.097 |
| 2005 | 4990.9 | 159.355 | 31.3194 | 20.996 | 671.4 | 657.582 | -13.818 |
| 2006 | 5071.8 | 159.443 | 31.8095 | 20.997 | 687.7 | 667.904 | -19.796 |
| 2007 | 5154.9 | 159.734 | 32.2718 | 20.983 | 703.6 | 677.159 | -26.441 |
| 2008 | 5212.4 | 159.265 | 32.7278 | 21.031 | 715.6 | 688.306 | -27.294 |
| 2009 | 5275.5 | 159.291 | 33.1186 | 20.995 | 727.5 | 695.309 | -32.191 |
| 2010 | 5446.5 | 159.269 | 34.1969 | 20.981 | 761.08 | 717.471 | -43.609 |
| 2011 | 5463 | 159.449 | 34.2617 | 20.962 | 762.8 | 718.184 | -44.616 |

由图 3-1 及表 3-2 可以看出，宁波市总人口持续上升，土地资源承载人口数也逐年呈增长趋势。但是资源承载人口数的增长速度明显低于人口增长速度。2000 年到 2002 年土地承载人口数都处于富余状态，2000 年富余 19.326 万人，2001 年富余 12.841 人，这两年变化不大，但是 2002 年富余人口急剧下降，变为 4.736 万人，接着从 2003 年（富余人口-0.295 万人）开始，宁波市实有总人口数超过土地资源承载人口数，富余人口成负增长状态，到 2011 年富余人口为-44.616 万人，占总人口的 5.85%。从 2000 年到 2011 年，宁波市总人口从 608.5 万人增加到 762.8 万人，增加 154.3 万人，平均年增长 14.03 万人。人口的急剧增加导致资源的短缺，从而使资源承载人口缺口逐年增大。

（二）基于经济系统的宁波市人口承载力研究

1、宁波市社会经济发展状况

根据配第-克拉克定律，随着经济发展和国民收入水平的增加，产业结构有由第一产业向第二产业，进而向第三产业演进的现象。经过 34 年的发展，宁波市的产业结构分别由 1978 年的 32.33%，48.04%，19.63% 演变为 2011 年的 4.21%，55.28%，40.51%。从 1989 年开始，第三产业在国民经济中所占的比重赶超第一产业并逐年上升，到 2005 年逐渐趋于平稳，并在 40% 左右变动，第一产业在 GDP 中所占比重逐渐减少。总的来说，20 世纪 80 年代末 90 年代初以来，宁波市一直保持着“二三一”的产业格局。目前，产业结构仍以第二产业为主。

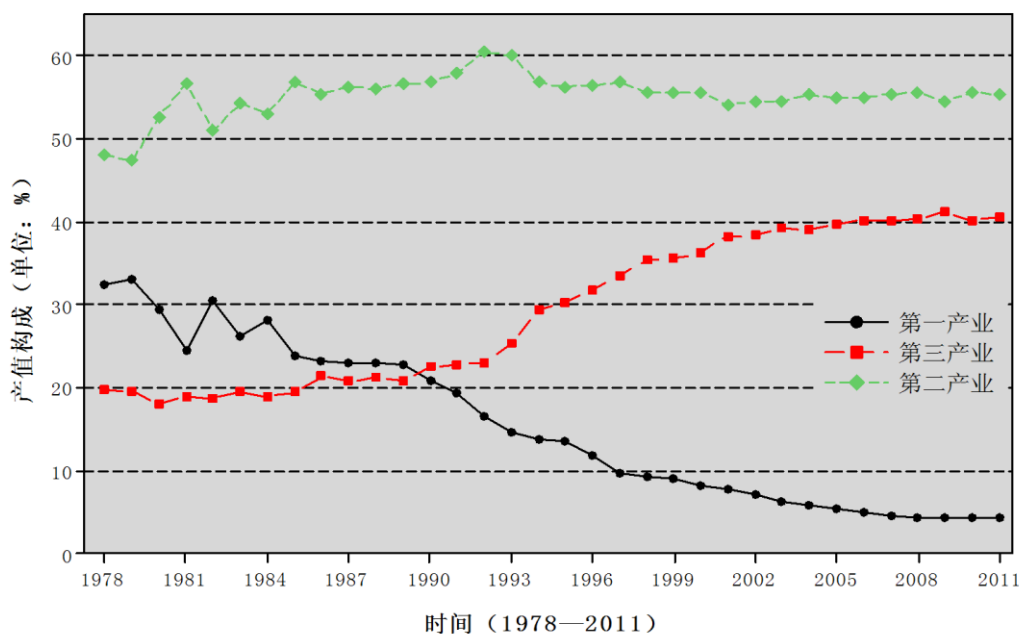


图 3-2 宁波市三大产业结构演变图（1978—2011）

另外，恩格尔系数²⁰（居民家庭食品支出占家庭消费支出的比重）是衡量一个地区人民生活水平状况的重要指标。调查显示，“十一五”期间，宁波市市区恩格尔系数长期保持在 35%~37%之间，处于富裕状况。

表 3-3 宁波市市区居民家庭各年份生活基本情况

| 项目类别 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 消费性支出（单位：元） | 12666 | 13921 | 16379 | 18203 | 19420 |
| 其中食品支出（单位：元） | 4673 | 5150 | 6114 | 6450 | 6899 |
| 恩格尔系数（单位：%） | 36.9 | 37.0 | 37.3 | 35.4 | 35.5 |

表 3-3 表明，2006 年宁波市市区居民家庭消费性支出为 12666 元，到 2010 年增长到 19420 元，居民家庭消费能力明显提高。经济的快速发展带动了家庭收入的提高，同时，随着社会的进步，人们对生活质量的要求越来越高，从而拉动了家庭消费。因此，在居民收入稳步增长的同时，居民家庭消费需求渐趋旺盛，消费能力和水平明显上升。到 2011 年市区居民人均消费性支出 21779 元，同比增长 12.1%。而消费结构的变化更能体现出居民生活水平的提高。2011 年城市居民人均用于家庭设备用品及服务支出达 1181 元，比 2006 年增长了 50.06%。每百户家庭拥有彩电、空调、电脑、手机量从 2006 年的 168.8、138.5、73.8、174.8 增加到 193.4、213.5、102.5、202.9，市区每百户居民家庭拥有汽车达 33.2 辆，与 2006 年 8.8 辆比增长显著。同时，随着经济的发展，宁波市居民的膳食结构日趋合理，食品消费结构由以粮食为主的“主食型”向营养美味的“副食型”转变。2011 年，城市居民家庭人均食品类支出达 8200 元，比 2006 年增加 3527 元，年均增幅 11.9%。由此可见，经济的快速增长使得居民生活水平明显提高。

²⁰ 恩格尔系数(Engel's Coefficient)，是食品支出总额占个人消费支出总额的比重。联合国根据恩格尔系数的大小，对世界各国的生活水平有一个划分标准，即一个国家平均家庭恩格尔系数大于 60%为贫穷；50%-60%为温饱；40%-50%为小康；30%-40%属于相对富裕；20%-30%为富裕；20%以下为极其富裕。

宁波市经济虽然发展迅猛，但产业结构长期保持着“二三一”的格局，第三产业尤其是新兴服务业发展相对滞后，相应的，第三产业吸纳劳动力能力较第二产业明显偏弱。如表 3-4 所示，五年来宁波市三次产业从业人员比重虽有所变化，但第二产业从业人员始终占据主导地位，超过半数的户籍人口从事第二产业领域相关工作，且占比呈逐年上升趋势，2009 年达 53.86%。第三产业从业人员占比虽也呈现逐年上升趋势，但上升幅度有限，至 2009 年仅达 36.73%。即宁波市户籍人口就业仍为“二三一”格局。与户籍人口就业结构类似，宁波市外来劳动力就业产业分布同样长期呈现“二三一”格局（表 3-5）。2010 年三次产业吸纳劳动力占比为 6.30: 61.57: 33.62。由此可见宁波市第二产业仍是就业主要领域，而第三产业吸纳劳动力的能力相对较弱。

表 3-4 2005-2010 年宁波市户籍人口三产从业人员情况

| 年份 | 第一产业 | | 第二产业 | | 第三产业 | |
|------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | 从业人员数(万人) | 比重 (%) | 从业人员数(万人) | 比重 (%) | 从业人员数(万人) | 比重 (%) |
| 2005 | 76.40 | 18.41 | 213.20 | 51.36 | 125.50 | 30.23 |
| 2006 | 70.80 | 16.47 | 224.20 | 52.16 | 134.80 | 31.36 |
| 2007 | 67.50 | 15.42 | 228.80 | 52.26 | 141.50 | 32.32 |
| 2008 | 64.50 | 14.66 | 232.60 | 52.88 | 142.80 | 32.46 |
| 2009 | 41.75 | 9.41 | 239.07 | 53.86 | 163.04 | 36.73 |

表 3-5 2003-2010 年宁波市外来劳动力产业分布情况

| 年份 | 第一产业 | | 第二产业 | | 第三产业 | |
|------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | 从业人员数 | 比重 (%) | 从业人员数 | 比重 (%) | 从业人员数 | 比重 (%) |
| 2003 | 118285 | 8.09 | 958843 | 65.55 | 385749 | 26.37 |
| 2004 | 193992 | 9.56 | 1217211 | 59.97 | 618381 | 30.47 |
| 2005 | 270465 | 11.52 | 1467560 | 62.51 | 609783 | 25.97 |
| 2006 | 284532 | 9.98 | 1750965 | 61.44 | 814224 | 28.57 |
| 2007 | 299002 | 9.28 | 1992199 | 61.81 | 931939 | 28.91 |
| 2008 | 186247 | 5.43 | 2167637 | 63.14 | 1079206 | 31.44 |
| 2009 | 275325 | 8.06 | 1992943 | 58.33 | 1148596 | 33.62 |
| 2010 | 218760 | 6.30 | 2137015 | 61.57 | 1114890 | 32.12 |

2、经济人口承载力评价模型构建

经济资源是指与经济发展相关的各项资源，它由经济发展水平、资金、技术等构成。国内生产总值是指按市场价格计算的一个国家（或地区）所有常住单位在一定时期内生产活动的最终成果。GDP 反映了一国或地区的经济发展水平，不同产业的 GDP 反映了不同产业的发展状况，有助于相关部门制定相应的对策。因此，GDP 与经济社会的可持续发展是密不可分的。所以，通常选取国内生产总值即 GDP 作为经济资源的评价指标。本文用国内生产总值代表经济资源。则经济承载力，特指相应于一定经济发展水平下可承载的人口数，具体计算方法如下：

$$\text{区域经济承载人口 } C_{re} = \frac{Q_{pe}}{Q_{ie}} Q_e$$

其中： C_{re} 为区域经济承载人口， $\frac{Q_{pe}}{Q_{ie}}$ 表示经济资源承载指数， Q_{pe} 为参照区人口数量， Q_{ie} 表示参照区国内生产总值， Q_e 为研究区国内生产总值。

3、宁波市经济人口承载力评价

GDP 水平最能反映一个地区的经济发展状况,因此本文中选取 GDP 作为宁波市经济资源的评价指标,用 GDP 所承载的人口数来衡量经济发展所能承载的人口数。按照区域经济承载人口的测算方法,本文中选取浙江省为参照区进行计算,得到 2000 年到 2011 年宁波市经济承载人口数量(见表 3-6),图 3-3 表明了 2000 年到 2011 年宁波市经济承载人口变化情况。

表 3-6 2000 年到 2011 年宁波市经济承载人口变化表

| 时间 | 浙江省总人口 (万人) | 浙江省 GDP (亿元) | 经济承载指数 (人/万元) | 宁波市 GDP (亿元) | 宁波市总人口 (万人) | 经济承载人口 (万人) | 富余人口 (万人) |
|------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|
| 2000 | 4679.9 | 6141.0 | 0.762071 | 1144.57 | 608.50 | 872.24 | 263.743 |
| 2001 | 4728.8 | 6898.3 | 0.685498 | 1278.75 | 619.00 | 876.58 | 257.581 |
| 2002 | 4776.4 | 8003.7 | 0.596776 | 1453.34 | 628.40 | 867.32 | 238.919 |
| 2003 | 4856.8 | 9705.0 | 0.500442 | 1749.27 | 644.10 | 875.41 | 231.308 |
| 2004 | 4925.2 | 11648.7 | 0.422811 | 2109.45 | 657.80 | 891.90 | 234.099 |
| 2005 | 4990.9 | 13417.7 | 0.371964 | 2447.32 | 671.40 | 910.32 | 238.916 |
| 2006 | 5071.8 | 15718.5 | 0.322665 | 2874.42 | 687.70 | 927.47 | 239.775 |
| 2007 | 5154.9 | 18753.7 | 0.274873 | 3418.57 | 703.60 | 939.67 | 236.074 |
| 2008 | 5212.4 | 21462.7 | 0.242859 | 3946.52 | 715.60 | 958.45 | 242.847 |
| 2009 | 5275.5 | 22990.4 | 0.229466 | 4329.30 | 727.50 | 993.43 | 265.926 |
| 2010 | 5446.5 | 27722.3 | 0.196466 | 5163.00 | 761.08 | 1014.36 | 253.276 |
| 2011 | 5463.0 | 32318.9 | 0.169034 | 6059.24 | 762.80 | 1024.22 | 261.420 |

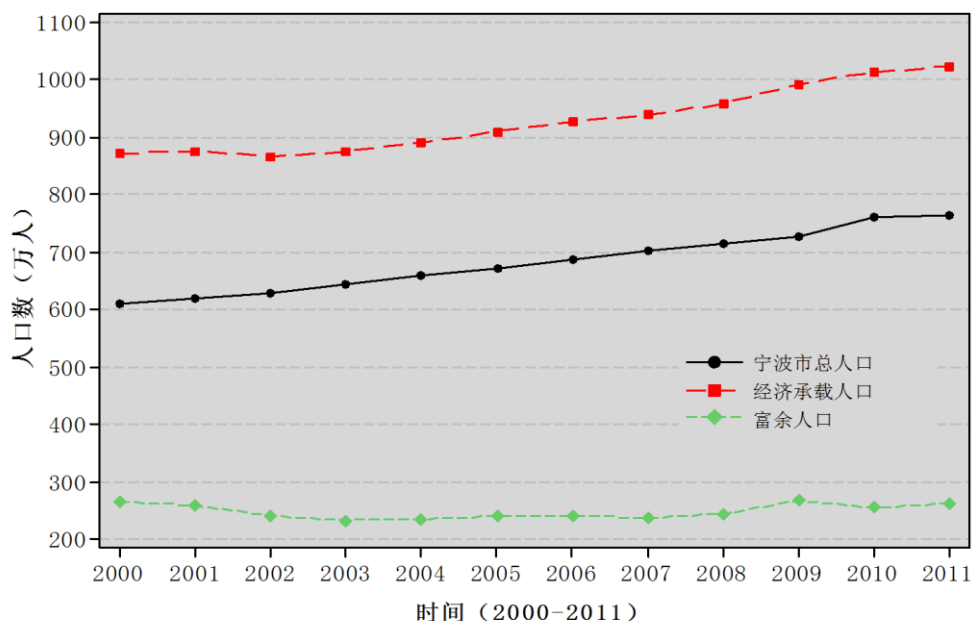


图 3-3 宁波市经济承载人口变化情况

由图 3-3 可以看出，从 2000 年到 2011 年，宁波市总人口呈逐年稳定增长趋势，经济承载人口数也逐年稳定增长，并且经济承载人口的增长速度和宁波市总人口的增长速度基本保持一致。经济承载人口的数量主要受宁波市和浙江省经济发展水平相比较的指数影响。2000 年宁波市 GDP 总量 1144.57 亿元，占浙江省 GDP 总量的 18.64%，到 2011 年宁波市 GDP 总量为 6059.24，占浙江省 GDP 总量的 18.75%，增加了 4914.67 亿元，平均每年增加 39.04%。由此可见，虽然从 2000 年到 2011 年宁波市经济发展迅速，但是浙江省整体经济也快速发展，因此，宁波市 GDP 总量在浙江省 GDP 中的比重基本保持不变，宁波市经济承载人口数和宁波市总人口数也基本保持同步增长。另外，从经济发展的角度来看，宁波市人口尚有很大的发展空间，2000-2011 年经济承载人口水平一直高于总人口数，并且在 200—300 万人之间变化间。2000 年宁波市总人口 608.5 万人，经济可承载人口为 872.24 万人，富余 263.743 万人。到 2011 年，经济可承载人口增加到 1024.22 万人，富余 261.42 万人。

（三）基于生态系统的宁波市人口承载力研究

1、生态人口承载力评价模型

由于生态承载力指“特定区域内各种生物生产性土地的总供给”，代表该区域生态系统自然资源的供给能力，或者说资源对人类活动的承载能力，而在生态承载力内，按照一定人均生态足迹计算的人口可以说是一个区域的生态承载人口数。因此，本文利用生态足迹模型测算宁波市生态承载人口。

关于生态足迹（Ecological Footprint）的概念，Willian Rees 教授曾形象的理解为：“一只负荷着人类和人类所创造的城市、工厂的巨脚在地球上留下的脚印”。生态足迹又称为生态占用，即任何已知人口（某个人、城市或者国家）的生态足迹，是指生产这些人口所消费的物质和能量及吸纳这些人口所产生的废物所需要的生物性土地的总面积。其基本思路是：将人类要维持生存必须消费的各种产品、资源和服务，每项最终消费的量都追溯到提供生产该消费所需的原始物质和能量的生态性生产土地面积。在一定的技术条件和消费水平下，要维持一定规模人口的生存所必须维持的生态型土地面积就是生态足迹，即为生态足迹的需求。而自然生态系统提供的能为人类所利用的生态性生产土地即为生态足迹的供给。根据需求和供给性比的结果来判断区域的社会经济发展是否在自然生态系统的承载范围之内，从而判断区域的发展是否是可持续的。

生态承载力（Ecological Capacity）是指一个地区所能提供给人类的生物性土地面积的总和，用来表征该地区的生态容量，它表明了系统的自我维持、自我调节能力以及资源环境的供容能力，强调的是生态系统的承载功能，同时突出对人类活动的承载能力。

本文中利用生态足迹模型计算区域生态人口承载力的方法如下：

(1) 生态承载力计算

区域生态总承载力 $O_a = \sum_{j=1}^6 AA_j \times YF_j \times EQ_j$ 其中: $j=1,2,3,\dots,6$

其中, O_a 为区域生态总承载力; j 为土地类型; AA_j 为不同类型的生态生产性土地面积; EQ_j 为研究区域 j 类土地与世界 j 类土地平均生产力, 即为均衡因子; YF_j 为不同类型生态生产性土地产量调整系数, 即产量因子。

(2) 生态足迹计算

人均生态足迹:

$$L_a = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \times EQ_j}{EP_i \times N} = \sum_{i=1}^n \frac{(P_i + I_i - E_i) \times EQ_j}{EP_i \times N} \quad i=1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,4,5,6$$

其中, i 为消费项目, j 为生产性土地类型, EP_i 为表示商品粮 i 土地生态生产力(全球平均), C_i 表示产品 i 消费量, P_i 为资源生产量, E_i 为资源出口量, I_i 为资源进口量, EQ_j 为均衡因子, N 为总人口数。

(3) 区域生态人口承载力测算

$$\text{区域生态承载人口 } C_{ra} = O_a / L_a$$

其中, C_{ra} 为区域生态承载人口; O_a 为研究区生态承载力, L_a 为研究区人均生态足迹。

2、宁波市生态人口承载力评价

本文中根据生态足迹理论、概念和计算方法对 2006 年到 2011 年宁波市的生态足迹和生态承载力进行实际测算, 最终计算出宁波市生态承载人口数。本文中所用的数据均来自《宁波市统计年鉴》(2006—2012) 以及《浙江省统计年鉴》(2000—2011)。在计算生态足迹时, 根据生态足迹分析方法将地球表面的生物生产性土地分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和化石能源用地六大类。同时, 考虑到数据的可获得性, 在计算生态足迹时主要包括了两部分: 一是生物资源消费账户; 二是能源消费账户。

根据《宁波市统计年鉴》和《浙江省统计年鉴》的统计数据，生物资源消费部分将耕地资源消费分为：粮食、棉花、油料和蔬菜；林地分为：水果和茶叶；草地分为：猪肉和牛奶；水域分为水产品。能源消费部分考虑了汽油、煤油、柴油、液化石油气和电力，其中电力用来代换建设用地。在计算过程中，由于2010年各生物资源和能源消费的数据缺失，所以根据2009年和2011年的数据平均给出2010年相应数据的简单估算。另外，在折算生物资源生产面积时采用了联合国粮农组织的关于生物资源世界平均产量的资料；在能源消费部分，计算时将能源消费转化为化石能源用地面积，将电力转化为建设用地面积，折算时同样采用了世界单位化石能源土地面积的平均发热量为标准。

在生态足迹计算时，不同的资源和能源消费类型均被折算为耕地、草地、林地、建设用地、水域和化石燃料用地六种生物性生产土地面积类型，考虑到他们的生产力不同，需要引入均衡因子，将计算到的各类土地面积乘以一个均衡因子使具有不同生态生产力的生物性生产土地可以进行汇总。本文中采用的均衡因子分别为：林地和化石能源用地为1.1；耕地和建筑用地为2.8；草地为0.5；水域为0.2。

区域实际拥有的所有生物生产性土地表示该区域生物总承载力。土地类型不同，其平均生物生产力也不同，其中耕地的生物生产力最大，其次是森林、水域的生产力较低。而且即使是同一类型的土地，在不同的区域，由于气候、技术等各方面条件的差异，其生产力也不一样。因此，实际土地数据不能用于直接比较，必须进行均衡化处理，将其转变为标准的平均生物生产力土地，以便于生态承载力加总。产量因子就是将各国各地区同类生态生产性土地面积转化为可比面积的参数，本文中采用的产量因子分别为：耕地和建设用地1.66、草地0.19、林地0.91和水域1.00。

本文中，将宁波市2006-2011年消费的生物生产面积汇总，乘以相应的均衡因子就得到各年度的生态足迹。通过2006-2012年的《浙江省统计

年鉴》和《宁波市统计年鉴》获取各类生态生产性土地的面积，将各类生物生产面积乘以均衡因子和产量因子，即可得出宁波市总生态承载力，另外，考虑到生物多样性和生态保护的因素，在计算生态承载力时扣除 12% 的生物多样性保护面积。计算结果见表 3-7 和表 3-8。

表 3-7 2006-2011 年宁波市生态足迹汇总表

| 时间 | 人均生态足迹 (hm^2 /人) | 人均生态承载力 (hm^2 /人) | 生态盈余/赤字 |
|------|---------------------|----------------------|----------|
| 2006 | 1.86816 | 0.273486 | -1.59467 |
| 2007 | 1.77876 | 0.268610 | -1.51015 |
| 2008 | 1.88192 | 0.263274 | -1.61865 |
| 2009 | 1.91643 | 0.259768 | -1.65666 |
| 2010 | 1.84224 | 0.253300 | -1.58894 |
| 2011 | 1.86998 | 0.253825 | -1.61616 |

注：表 3-7 中的人均生态承载力为扣除 12% 生物多样性保护面积的人均生态承载力

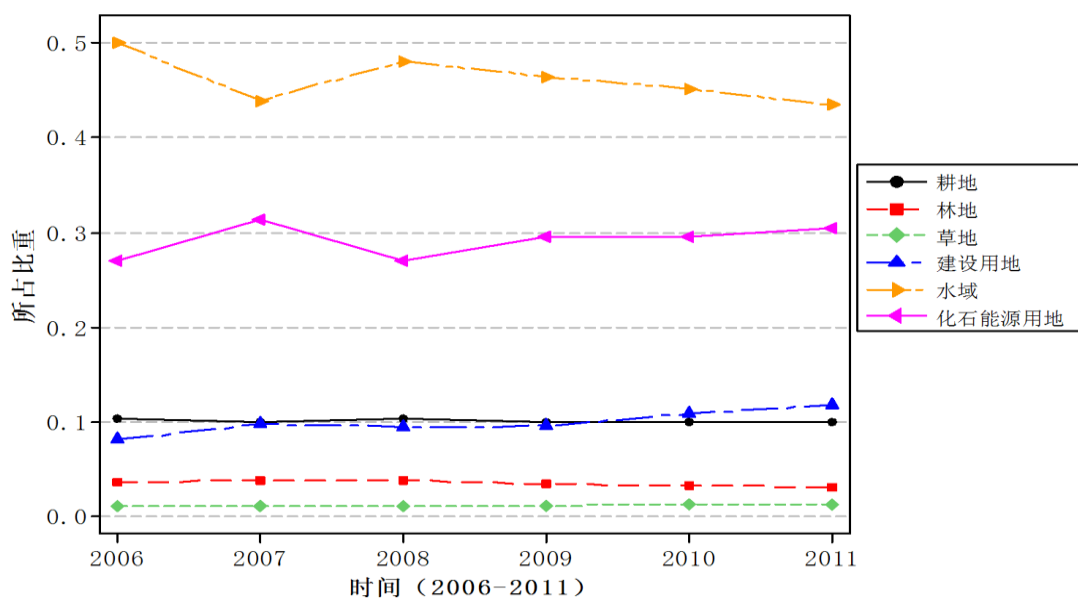


图 3-4 宁波市人均生态足迹构成情况

生态足迹法是通过将区域的资源和能源消费转化为能提供这种物质所

必须的各种生物生产土地的面积（生态足迹），并同区域能提供的生物生产土地面积（生态承载力）进行比较，可以定量判断一个区域的发展是否处于生态承载力的范围之内。表 3-7 显示了宁波市 2006 年到 2011 年宁波市人均生态足迹和人均生态承载力的变化情况。从表中的数据可以看出，2006 年到 2011 年宁波市生态足迹超过了生态承载力，一直处于生态赤字的状态下。总体来看，人均生态足迹呈波动性增长趋势，即宁波市人均所需要的生物生产性土地面积总体呈增长趋势。而实际人均生态承载力呈下降趋势，即宁波市实际生物生产性土地面积供给在逐渐减少。也就是说，需求大于供给。2006 年，人均生态足迹为 $1.86816 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均生态承载力为 $0.273486 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，生态赤字为 $1.59467 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，到 2011 年人均生态足迹增加为 $1.86998 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均生态承载力降为 $0.253825 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，生态赤字增加到 $1.61616 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。人均生态承载力的减少和人均生态足迹的增加是导致生态赤字的主要原因。2006 年到 2007 年，人均生态赤字减少，但是到了 2008 年人均生态赤字又有了上升的趋势，这其中的原因可能是 2008 年由于受金融危机的影响，政府出台了刺激经济发展的一系列计划，尤其是宁波市，更是加大了对基础设施的建设，由此导致生态赤字又有上升的趋势。相对应的，人均生态承载力的状况也不容乐观，从 2006 年开始一直处于减少的趋势，说明可供利用的资源在逐渐减少，究其原因，可能是经济的发展导致环境的破坏以及区域生态环境没有得到及时有效的保护。

另外，根据陈惠雄，鲍海君²¹的研究，我国各省市均存在不同程度的生态赤字，2002 年我国人均生态足迹为 $2.0346 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均生态承载力仅为 $0.8033 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均生态赤字为 $1.2313 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，并且，生态赤字有逐年扩大的趋势。与此相比，宁波市 2011 年的平均生态足迹比全国水平（2002 年）低了 $0.16462 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均生态承载力低了 $0.549475 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均赤字比

²¹ 陈惠雄，鲍海君。经济增长、生态足迹与可持续发展能力：基于浙江省的实证研究。中国工业经济，N.8(2008)：5—14。

全国（2002年）高了 $0.38486 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。由此可见，与全国比较，宁波市的生态承载力相对较差。

另外，根据谢伟平²²的研究，浙江省 2008 年人均生态足迹为到 $1.458 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均生态承载力为 $0.378 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，生态赤字增加到 $1.08 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。可见，与浙江省相比，宁波市 2011 年人均生态足迹比全省水平（2008 年）高了 $0.41198 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均生态承载力低了 $0.124175 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，但人均赤字比全省（2008 年）高了 $0.53616 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。所以，跟浙江省相比，宁波市的生态承载力较差。

同时，根据郑军南和严力蛟²³的研究，杭州市 2002 年的人均生态足迹为 $1.9523 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均生态承载力为 $0.3041 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均生态赤字为 $1.6848 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。与此相比，宁波市 2011 年的人均生态足迹比杭州市（2002 年）低 $0.08232 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，人均生态承载力低 $0.050275 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，总的人均赤字比杭州低 $0.06864 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。因此，宁波市的生态承载力相对与杭州来说较好。

表 3-8 2006-2011 年宁波市生态承载人口变化表

| 时间 | 扣除 12%生态承载力(万公顷) | 人均生态足迹 $\text{hm}^2/\text{人}$ | 生态承载人口数 (万人) | 总人口数 (万人) | 富余人口 (万人) | 富余人口占总人口百分比 (%) |
|------|------------------|----------------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------------|
| 2006 | 188.076 | 1.86816 | 100.675 | 687.70 | -587.025 | 85.3606 |
| 2007 | 188.994 | 1.77876 | 106.250 | 703.60 | -597.35 | 84.8991 |
| 2008 | 188.399 | 1.88192 | 100.110 | 715.60 | -615.49 | 86.0103 |
| 2009 | 188.981 | 1.91643 | 98.611 | 727.50 | -628.889 | 86.4452 |
| 2010 | 192.782 | 1.84224 | 104.645 | 761.08 | -656.435 | 86.2505 |
| 2011 | 193.618 | 1.86998 | 103.540 | 762.80 | -659.26 | 86.4263 |

²²谢伟平。1996-2008 年浙江省生态足迹的测算与动态性研究。浙江大学硕士毕业论文，2010 年。

²³郑军南，严力蛟。区域生态足迹测算及其应用研究。科技通报，Vol.23, No.24(2007):473-478。

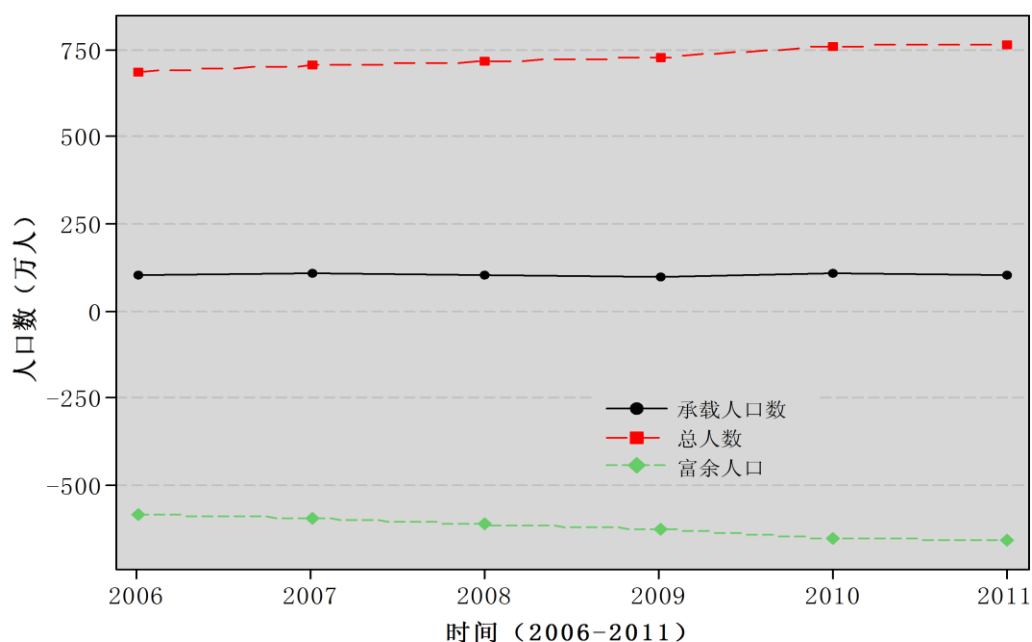


图 3-5 宁波市生态承载人口变化情况

从人均生态足迹的构成（图 3-4）来看，草地、林地和耕地的人均生态足迹变化不大，水域人均生态足迹一直占总足迹的比例最大，但呈下降趋势。而化石能源用地占人均生态足迹的百分比呈增长趋势，2011 年化石能源用地足迹为 $0.569378 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，占总足迹的 30.45%。由此可见，近年来宁波市经济取得了突飞猛进的发展，伴随而来的是对化石能源消费量的增加，未来宁波市的经济要发展，对能源的消费量还会增加，这样的趋势还会继续下去。另一方面，建设用地足迹也呈逐年上升趋势，2011 年建设用地足迹为 $0.219609 \text{ hm}^2/\text{人}$ ，占总足迹的 11.7%。这说明，近几年随着宁波市城市化进程的加快，用于住房和道路建设的用地在不断地增加，从而使建筑用地生态足迹增加。

表 3-8 显示了 2006 年到 2011 年宁波市生态承载人口数的测算结果，图 3-5 直观的描述该时期内宁波市生态承载人口的变化情况。由图 3-5 可知，宁波市生态承载人口数一直处于赤字状态，虽然生态承载人口数在一些年份略有增加，但是生态承载人口数的赤字逐年增加。主要是宁波市生

态资源供给减少而人均生态足迹增长导致的。也就是说人类的消费需求越来越大，而生态承载力有限，供给无法满足不断上涨的消费需求。生态足迹的上升意味着人类对自然资源利用强度的加剧，从而导致生态破坏，这就出现了前面所说的化石燃料用地和建设用地的人均生态足迹逐渐增加的情况，由此可见，宁波市以机械、石化、能源为主导的资源密集型产业在产业结构中所占的比例较大且呈增长趋势，对资源环境的消费需求不断增加，因此，宁波市应着力发展高技术产业，以第三产业和新兴产业的迅速发展推动城市工业化和经济发展，实现产业结构优化升级。

四、基于综合承载力的宁波市适度人口评估模型

(一) 基于关联度分析的宁波市人口承载力影响因素分析

1、灰色关联度模型

灰色系统是近年来发展起来的一种新方法，是我国邓聚龙教授于 1982 年创立的一门新兴横断学科。灰色系统的命名方式来源于控制理论，在控制理论中用颜色的深浅表示信息量的多少。如黑色表示信息全无，白色表示信息完全，灰色则表示信息不全。灰色系统即信息不够充分的系统，其重要特征是系统的因素不确定或是因素之间不具有确定的关系。而所谓关联度就是指事物之间，因素之间关联性的“度量”。人口与社会经济、资源和生态环境之间的关系比较复杂，有些关系比较明确，有些关系不明确。所以人口系统就是一个灰色系统，在对人口系统进行研究时，首先要解决如何从随机性的时间序列中，找到关联性的度量，以便为因素分析提供依据，为系统决策提供基础，为主要因素的判断指出方法途径。本文应用灰色关联度分析来初步确定人口系统的影响因素。灰色关联度模型如下：

设有输出时间序列： $x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)$

和 m 个输入时间序列： $\{x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)\}, \dots, \{x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)\}$

则关联系数为：

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \theta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \theta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}$$

其中： $i=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,n$ 。 $\theta \in (0,1)$ 为关联参数，一般取 $\theta=0.5$ 。

关联度计算如下：

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k)$$

2、宁波市人口发展影响因素的灰关联度计算与分析

人口容量主要受人口、经济、资源三大因素影响，并随时间、空间、社会发展水平的共同作用而产生差异。人口规模必须以整个社会为背景，包括对资源的合理利用，正确分析经济水平所处的阶段和社会的发展水平，所有这些都是先决条件，即人口规模必须与资源合理开发利用相适应、与所处的经济水平阶段相一致、有利于促进构建和谐社会。由于影响人口规模的因素众多，本文中评价指标的选取，主要基于以下三个方面考虑：一是利用 CNKI 数据库对近年来有关城市人口承载力的设计指标进行频数统计，选出研究者使用频率较高的指标；二是针对宁波市经济、资源、环境现状和特征，充分考虑其特殊性；三是尽可能选取《宁波市统计年鉴》等文献资料中可以查到或是可以计算转化得到的指标，充分体现其可操作原则。本文所建立的指标体系如下图（图 4-1）：

| | | | |
|-------|------|---------------------|---------------------|
| 人口承载力 | 经济系统 | C1: 人均 GDP (元) | |
| | | C1: 人均第三产业增加值 (元) | |
| | | C3: 人均第二产业增加值 (元) | |
| | | C4: 人均固定资产投资 (元) | |
| | | C5: 城镇居民人均可支配收入 (元) | |
| | | C6: 人均消费零售额 (元) | |
| | 资源系统 | 自然资源 | C7: 城市生活供水 (万吨) |
| | | | C8: 城市生活用电 (万千瓦时) |
| | | | C9: 人均粮食产量 (吨) |
| | | | C10: 人均日生活用水量 (升) |
| | | | C11: 人均耕地面积 (千公顷) |
| | | 社会资源 | C12: 人均教育经费投入 (万元) |
| | | | C13: 受教育总人数 (万人) |
| | | | C14: 每万人大学生数 (人) |
| | | | C15: 人均拥有道路面积 (平方米) |
| | | | C16: 参加医疗保险人数 (万人) |
| | | | C17: 人均医疗床位数 (张) |

| | | |
|--|------|---------------------|
| | 生态系统 | C18: 公园绿地面积 (公顷) |
| | | C19: 人均公园绿地面积 (平方米) |
| | | C20: 下水道长度 (公里) |
| | | C21: 建成区绿化覆盖率 (%) |

图 4-1 指标体系

按照灰色关联度分析原则，关联度大的时间数列与参考数列最为接近，即是影响参考数列指标最主要的因素。本文的计算中我们选取宁波市 2005 年到 2011 年的常住人口为参考数列，计算结果如表 4-1 所示。

表 4-1 各指标的灰色关联分析结果

| 年份 | 关联度 |
|---------------------|--------|
| 常住人口 | 1 |
| C1: 人均 GDP (元) | 0.7471 |
| C1: 人均第三产业增加值 (元) | 0.6698 |
| C3: 人均第二产业增加值 (元) | 0.6375 |
| C4: 人均固定资产投资 (元) | 0.6587 |
| C5: 城镇居民人均可支配收入 (元) | 0.646 |
| C6: 人均消费零售额 (元) | 0.4989 |
| C7: 城市生活供水 (万吨) | 0.6468 |
| C8: 城市生活用电 (万千瓦时?) | 0.7068 |
| C9: 人均粮食产量 (吨) | 0.6482 |
| C10: 人均日生活用水量 (升) | 0.6352 |
| C11: 人均耕地面积 (千公顷) | 0.9298 |
| C12: 人均教育经费投入 (万元) | 0.4616 |
| C13: 受教育总人数 (万人) | 0.6488 |
| C14: 每万人大学生数 (人) | 0.7154 |
| C15: 人均拥有道路面积 (平方米) | 0.7203 |
| C16: 参加医疗保险人数 (万人) | 0.6871 |
| C17: 人均医疗床位数 (张) | 0.8007 |
| C18: 公园绿地面积 (公顷) | 0.666 |
| C19: 人均公园绿地面积 (平方米) | 0.5928 |
| C20: 下水道长度 (公里) | 0.6252 |
| C21: 建成区绿化覆盖率 (%) | 0.649 |

(二) 基于因子分析法和熵权法的权重确定

1、因子分析法

因子分析的核心是用较少相互独立的因子反映原有变量的绝大部分信息。设有 p 个原有变量 x_1, x_2, \dots, x_p ，且每个变量都是经过标准化处理的，均值为 0，标准差为 1。现将每个原有变量用 $k(k < p)$ 个因子 f_1, f_2, \dots, f_k 的线性组合来表示，则因子分析的数学模型可以表示为：

$$\begin{cases} x_1 = a_{11}f_1 + a_{12}f_2 + \dots + a_{1k}f_k + \varepsilon_1 \\ x_2 = a_{21}f_1 + a_{22}f_2 + \dots + a_{2k}f_k + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ x_p = a_{p1}f_1 + a_{p2}f_2 + \dots + a_{pk}f_k + \varepsilon_p \end{cases}$$

表示成矩阵的形式为： $X = AF + \varepsilon$ 。其中： F 称为公共因子， A 称为因子载荷矩阵， $a_{ij}(i=1,2,\dots,p; j=1,\dots,k)$ 称为因子载荷。

另外，在因子分析中 $h_i^2 = \sum_{j=1}^k a_{ij}^2$ 表示变量共同度，即变量方差； $S_j^2 = \sum_{i=1}^p a_{ij}^2$ 表示因子 f_j 的方差贡献。在因子不相关的前提下，因子载荷是变量和因子的相关系数，反映了因子与变量的相关程度。因子载荷的绝对值越接近 1，表明因子与变量的相关性越强。同时因子载荷也反映了因子对解释变量的重要作用和程度。

2、熵权法

本文利用熵权法确定个指标的权重系数。

信息熵定义为： $H(x) = -\sum_{i=1}^m p(x_i) \ln p(x_i)$ 。一般地，决策中某项指标的指

标值变异程度越大，信息熵 $H(x)$ 越小，该指标提供的信息量越大，该指标的权重也应越大；反之若某项指标的指标值变异程度越小，该指标的权重也应越小。因此，可以根据各项指标测度值的变异程度，利用熵技术计算出各指标的权重，具体步骤如下：

Step1: 计算第 j 项指标下第 i 地域单元的指标值比重，
$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$$

Step2: 计算第 j 项指标的熵，
$$E_j = -(\ln m)^{-1} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (j=1,2,\dots,n),$$

若 $p_{ij} = 0$ ，则 $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ ；

Step3: 计算第 j 项指标的变异度， $D_j = 1 - E_j, (1 \leq j \leq n)$

Step4: 计算第 j 项指标的权重，
$$w_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n D_j}$$

3、权重系数的确定

在前面的灰关联度分析中，我们已经确定了各个指标因素和人口之间关联程度。在此，根据因素关联程度的高低，在经济、资源和生态每个系统中各选取两个关联程度最高的因子来做因子分析。在经济系统中，指标 c_1 和 c_2 和人口的关联程度最高，在资源系统中， c_{11} 和 c_{17} 的关联度最高，而在生态系统中， c_{18} 和 c_{20} 对人口的影响较大，所以我们选取 $c_1, c_2, c_{11}, c_{17}, c_{18}$, 和 c_{20} 作为因子分析的样本数据进行分析。

根据因子分析的结果（表 4-2），第一个因子在人均 GDP，人均第三产业增加值和人均医疗床位数上的载荷较大，呈较强的正相关关系。第二个因子在下水道长度和公园绿地面积上载荷较大。第三个因子在人均耕地面积上的载荷较大。因此从各指标的属性来看，第一个因子主要反映经济系

统，第二个因子主要反映生态系统，第三因子主要表征资源系统。

因此，本文中各个主成分作为变量，利用熵权法得到三个因子的权重 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别为：0.3525, 0.3364 和 0.3111。

表 4-2 因子载荷矩阵和因子得分矩阵

| 指标 | 因子载荷 | | | 因子得分矩阵 | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 因子 1 | 因子 2 | 因子 3 | 因子 1 | 因子 2 | 因子 3 |
| 人均GDP | 0.931 | 0.353 | 0.086 | 0.266 | -0.089 | 3.137 |
| 人均第三产 | 0.932 | 0.353 | 0.085 | 0.266 | -0.089 | 3.096 |
| 人均耕地面 | -0.915 | -0.386 | 0.092 | -0.221 | 0.064 | 3.052 |
| 人均医疗床 | 0.949 | 0.307 | -0.04 | 0.3 | -0.202 | -1.272 |
| 公园绿地面 | 0.909 | 0.405 | -0.064 | 0.206 | -0.023 | -2.074 |
| 下水道长度 | 0.352 | 0.936 | 0 | -0.479 | 1.238 | 0.224 |

（三）基于综合承载力的宁波市适度人口评价模型

由于人口是经济、资源和生态环境综合作用的结果，所以我们将经济承载的人口数、资源承载人口数以及生态系统承载人口数进行加权平均，得到以下适度人口评价模型：

$$Cs = \omega_1 C_{ri} + \omega_2 C_{re} + \omega_3 C_{ra}$$

其中： ω_1 ， ω_2 ， ω_3 分别为土地、经济和生态等要素承载人口的权重，分别为 0.3111, 0.3525 和 0.3364。因此：

$$Cs = 0.3111C_{ri} + 0.3525C_{re} + 0.3364C_{ra}$$

（四）宁波市适度人口分析

根据适度人口计算公式，本文中计算宁波市适度人口，结果如下表 4-3:

表 4-3 宁波市适度人口变化情况

| 时间 | 土地承载人口数 (万人) | 经济承载人口数 (万人) | 生态承载人口数 (万人) | 适度人口 (万人) | 总人口数 (万人) | 富余人口数 (万人) |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|---------------|
| 2006 | 667.904 | 927.47 | 100.675 | 568.585 | 687.70 | -119.115 |
| 2007 | 677.159 | 939.67 | 106.250 | 577.640 | 703.60 | -125.96 |
| 2008 | 688.306 | 958.45 | 100.110 | 585.663 | 715.60 | -129.937 |
| 2009 | 695.309 | 993.43 | 98.611 | 599.667 | 727.50 | -127.833 |
| 2010 | 717.471 | 1014.36 | 104.645 | 615.970 | 761.08 | -145.11 |
| 2011 | 718.184 | 1024.22 | 103.540 | 619.295 | 762.80 | -143.505 |

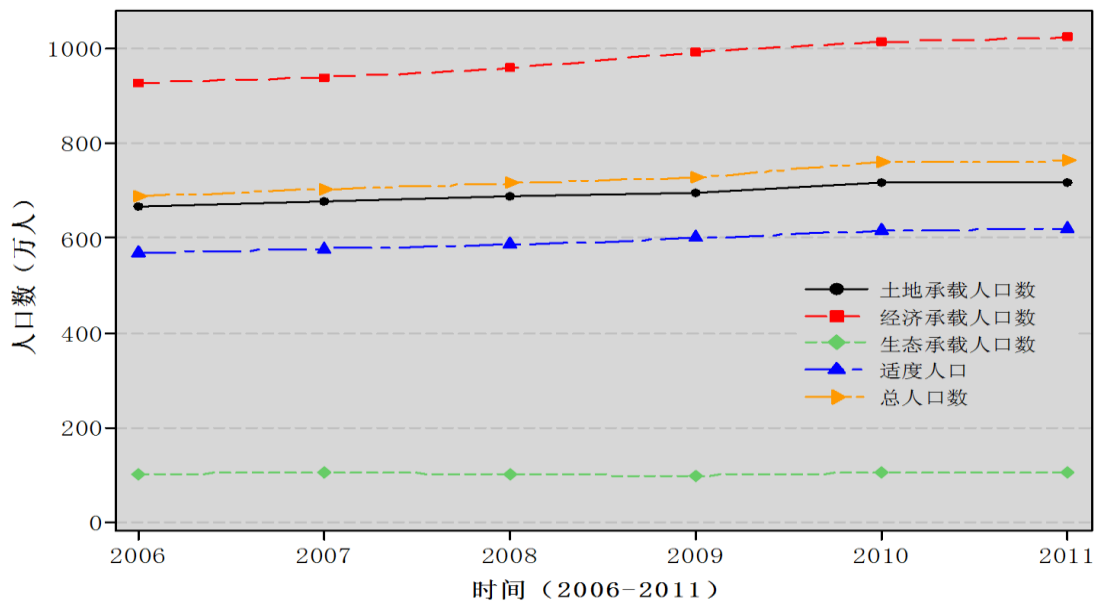


图 4-2 宁波市适度人口变化图 (2006-2011)

将表 4-3 转换成图 4-2 可以看出，从 2006 年以后，虽然适度人口数逐年上升，但是总人口数大于适度人口数，2006-2011 年一直处于人口赤字状态，说明宁波市人口、资源、环境已经处于一种不协调状态。

从适度人口构成来看，经济承载人口比重过大，到 2011 年高达 58.3%，而生态和土地等承载人口比重过低，也就是说宁波市经济承载力相对富余，资源和生态承载力却明显不足，这一方面说明了宁波市经济相对发达，另一方面也反映了资源尤其是土地资源相对短缺，并且经济的发展导致生态环境的破坏。虽然经济的相对发展可以在一定程度上弥补资源的短缺，

但是生态环境的破坏会制约经济和资源的可持续发展，因此，在发展经济的同时，也应过关注环境和资源的发展，使经济、资源和生态系统处于一种平衡的可持续发展状态。

五、基于 GM (1,1) 模型的宁波市未来人口发展预测

(一) GM (1,1) 模型

假设 $x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)$ 表示一个时间序列，其中 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$ 表示原始数据序列。令：
$$x^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i x^{(0)}(k) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(2-1)

$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$ 表示 $X^{(0)}$ 的一次累加序列，记为 (1-AGO)。

由此，1-AGO 的还原方程式为： $x^{(0)}(i+1) = x^{(1)}(i+1) - x^{(1)}(i)$

可对 $X^{(1)}$ 建立下述白化形式的微分方程： $\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u$ ，此模型称为 GM

(1, 1) 模型。此白化微分方程的解为：

$$\hat{X}^{(1)}(i+1) = \left(X^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-ai} + \frac{u}{a}$$

其中 i 为时间序列。

(二) 宁波市未来人口预测与分析

1、宁波市人口现状分析

人口是影响社会经济发展的关键因素，是推进城市现代化进程面临的重大问题。作为全国港口城市，调控人口数量、提高人口素质、优化人口结构、推进人口合理分布、实现人的全面发展是宁波市建设现代化国际港口城市、构建社会主义和谐社会、实现可持续发展的基础性工作。

根据宁波市 2012 统计年鉴的数据，宁波市户籍总人口呈稳定增长趋势。人口数量从 1978 年的 457.70 万人增长到 2011 年的 576.40 万人。在过去的 34 年时间里，总人口净增加 118.7 万人，平均每年增长约 3.49 万人。

另据“六人普”数据显示，2010年宁波市常住人口达7605689人，同第五次全国人口普查相比，十年共增加1643087人，增长27.56%，年平均增加164309人，增长2.46%。这一增幅高于全省1.53%及全国0.57%的水平。

《宁波市城市总体规划（2004-2020）》指出，到2020年宁波市市域常住人口810万。而根据现有增长速度，届时宁波人口极有可能突破此限。因此，正确评估我市人口承载力，有效控制人口规模势在必行。其次，第六次全国人口普查数据显示，到2010年年末为止，宁波市市外流入人口228.85万人，占全部常住人口的30.09%，比全省常住人口中省外流入人口占21.72%，高出8.37个百分点。市外人口的快速流入，已成为新世纪以来我市常住人口大幅增加的主要原因。

人口的自然增长是由于人有生老病死，每年出生人数和死亡人数共同决定了该年人口的自然增长情况。由图5-1可以看出，从1978年到2004年，宁波市人口自然增长率总体呈波动下降趋势，从2004年以后，人口自然增长呈波动性稳定发展。由图5-2可以看出，1979年到2011年为止，宁波市人口自然变化率变化走势与全国基本保持一致，但在同一年份，自然增长率值均远远低于全国水平。这从另一方面说明了宁波市人口政策的实施效果较佳。

此外，人口的机械变动也是引起人口规模发生变化的重要因素，由图5-3可以看出，从1990年开始到1998年，宁波市人口净迁移率呈波动性增长趋势，从1999年开始急速增长，从2004年开始到2007年，人口净迁移率基本保持在同一水平，随后从2008年开始，人口净迁移率开始逐渐下降。

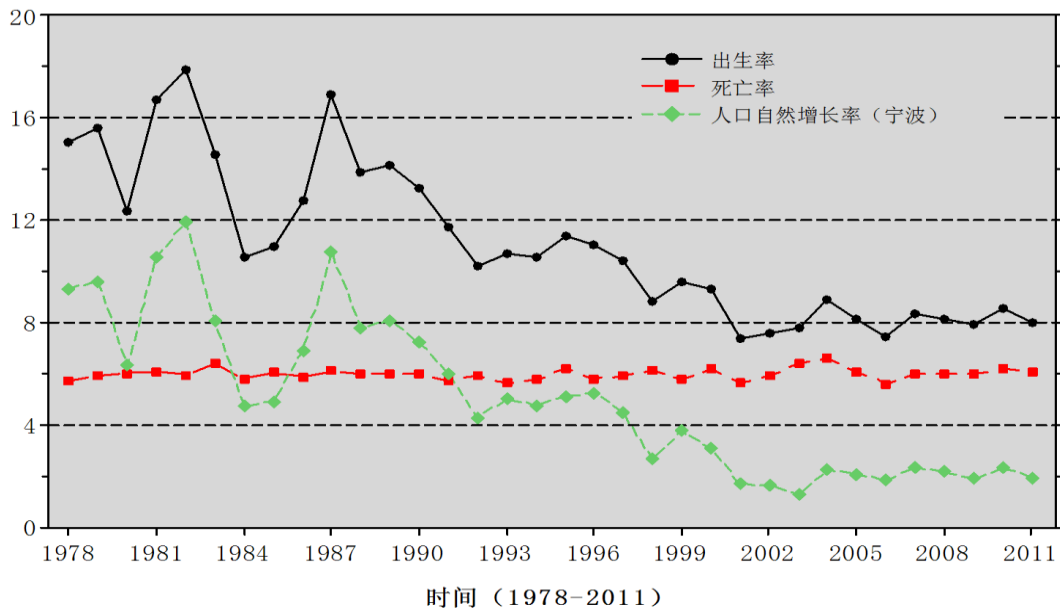


图 5-1 宁波市 1978 年—2011 年人口转变模式图

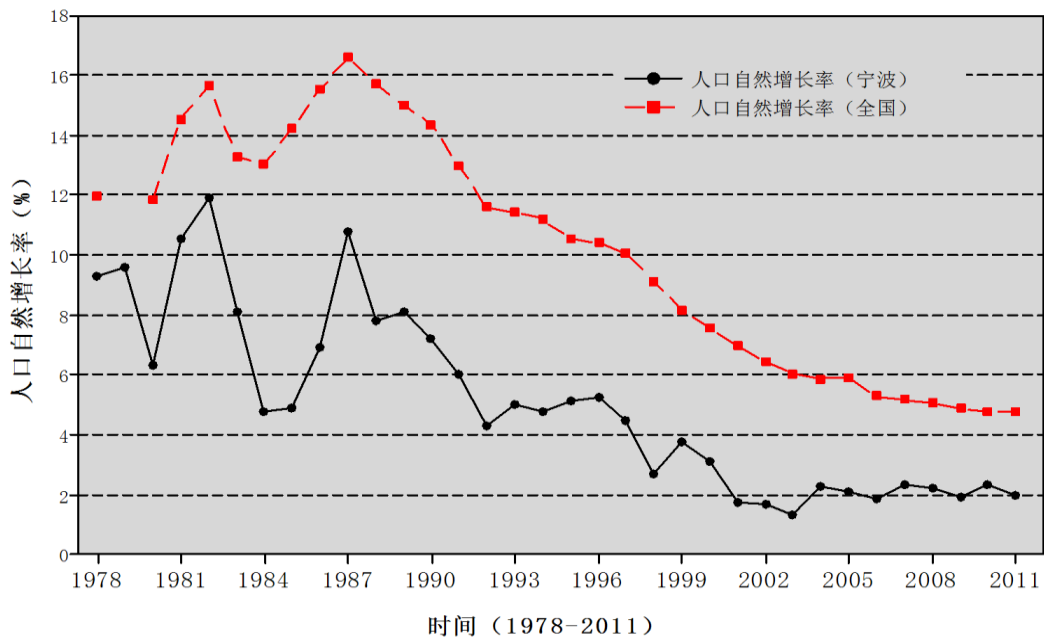


图 5-2 宁波市和全国人口自然增长趋势比较 (1979—2011)

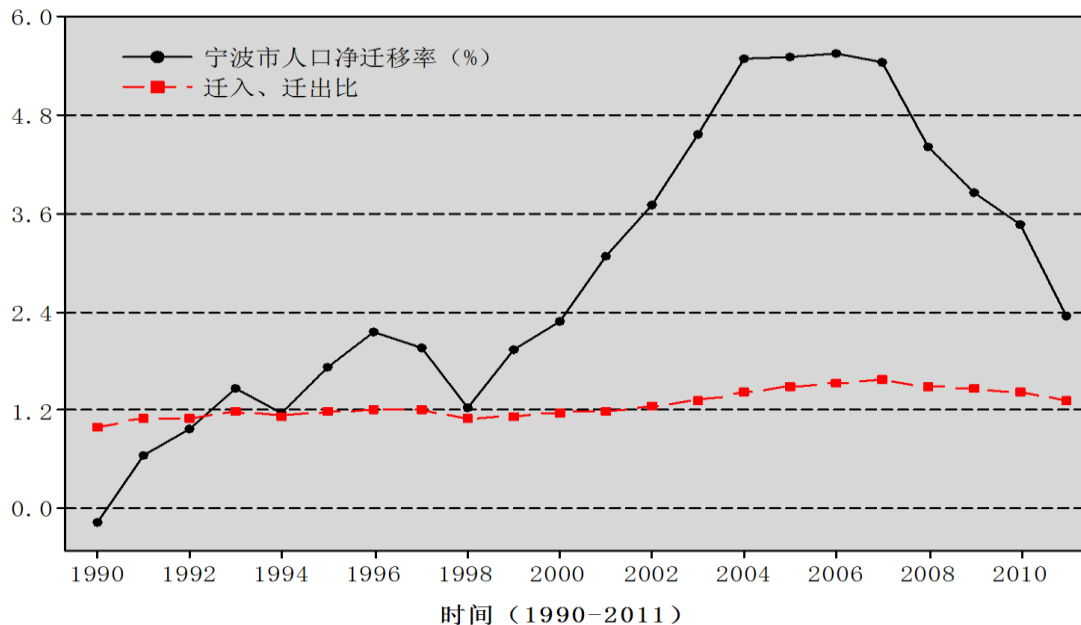


图 5-3 宁波市 1990—2011 年人口迁移状况

2、宁波市未来人口发展趋势预测

本文中采用 1978 年到 1994 年的人口数据，建立宁波市未来人口发展的 GM(1, 1) 模型，计算结果如图 5-4 所示。图中 2011 年之后的红色线表示未来 5 年的人口增长趋势。由图可以看出，从 1978 年到 2011 年，宁波市总人口呈增长状态，未来五年，总人口仍然呈增长趋势，由 GM(1, 1) 模型的预测结果可知，到 2016 年，宁波市人口将增长为约 854.5687 万人。随着经济的发展，人口数量将会急剧增长。

其次，为了研究未来五年宁波市适度人口的变化，我们用 GM(1, 1) 模型预测了未来五年宁波市土地承载人口数，经济承载人口数以及生态承载人口数，根据这些预测值，估算出宁波市未来五年的适度人口数，结果见表 5-1。由表 5-1 可知，未来五年人口赤字持续增长，到 2016 年，人口赤字 169.866 万人。

为了研究生态环境对人口发展的影响，我们利用本文前述的方法计算

了在不考虑生态因素下的宁波市适度人口数。如表 5-1 所示，如果不考虑生态对人口发展的限制，可以看出，到 2016 年还可多容纳 142.400 万人，而且随着经济的发展，富余人口逐渐增多。综上可知，生态环境对城市人口承载力有很强的限制作用。

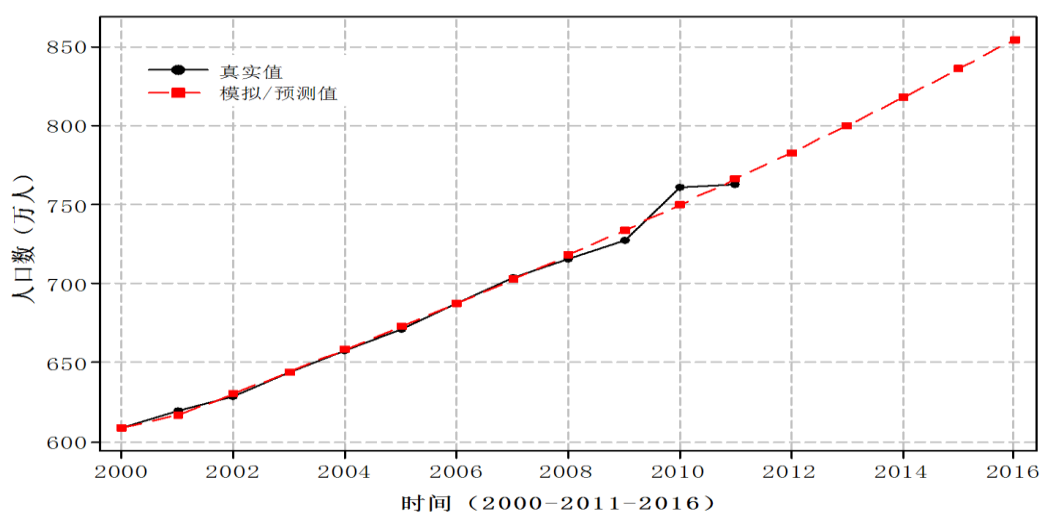


图 5-4 宁波市人口发展趋势预测和模拟

表 5-1 宁波市未来五年人口承载力预测

单位：万人

| 时间 | 土地承载人口数 | 经济承载人口数 | 生态承载人口数 | 预测总人口数 | 考虑三因素 | | 不考虑生态因素 | |
|------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|---------|
| | | | | | 适度人口 | 富余人口 | 适度人口 | 富余人口 |
| 2012 | 733.226 | 1055.10 | 102.361 | 783.2767 | 634.464 | -148.813 | 918.722 | 135.445 |
| 2013 | 744.970 | 1079.30 | 102.272 | 800.5218 | 646.617 | -153.904 | 937.644 | 137.123 |
| 2014 | 756.901 | 1104.20 | 102.182 | 818.1446 | 659.076 | -159.068 | 957.049 | 138.905 |
| 2015 | 769.024 | 1129.50 | 102.092 | 836.1594 | 671.736 | -164.423 | 976.766 | 140.607 |
| 2016 | 781.341 | 1155.50 | 102.003 | 854.5687 | 684.703 | -169.866 | 996.969 | 142.400 |

六、政策建议

人口问题是一个关系全局的重要问题，而人口承载力是一个相对动态变化的过程，其受经济发展、人口，资源和生态环境等多种因素额影响。在未来的几年里，宁波市人口的增长将给资源环境带来巨大的压力，只有实行正确的人口政策才能有效控制人口数量，促进经济可持续发展。

（一）调整三次产业及就业结构

针对宁波市第三产业发展相对较弱且吸纳劳动力能力有限的情况，必须从影响人口承载力的经济因素入手，对宁波市产业和就业结构等经济因素进行调整。

首先，大力发展第三产业，尤其是生产性服务业，提高第三产业占比，并有效促进三大产业联动，形成一、二、三产业相互促进、协调发展的现代产业体系。并将以往“二三一”的产业格局和就业结构逐渐向“三二一”转变。

其次，全面提高第三产业吸纳劳动力的能力，着力发展包括现代物流装备、业态展示、工程技术、管理咨询、研发机构和观光旅游等在内的生产性服务业，以高端服务行业发展吸引高端人才，逐渐取代批发零售等传统服务业从业占主体的服务业就业现有格局。全面提高我市第三产业吸纳劳动力能力的同时，提升我市人口综合素质。

（二）优化人口结构抑制过快增长

针对我市近年来外来人口规模迅猛增长，但外来人口总体受教育程度和人口素质相对偏低等情况，必须优化未来宁波外来人口结构，以利于我

市人口承载力的有效提升。

首先，加大对高端人才引进力度。高端人才是紧缺性资源，长三角、珠三角各城市都加紧对高端人才的争夺，宁波自然也不例外。为此，宁波必须借鉴上海、杭州等城市的经验，加大高端人才引进的优惠力度，在人才竞争中取胜。

其次，通过现代服务业的发展吸引中、低端人才。鼓励企业创新，建立研发中心，为中低端人才提供产业空间。针对中低端人才流动性大的特点，提供稳定的政策保障，其中关键是住房政策，例如为中低端人才购买经济适用房提供特殊政策等等。

（三）多举措提升居民生活质量

针对物价、房价和教育、医疗等花费的高涨，以及交通拥堵等一系列问题给我市居民生活质量带来的不利影响，必须采取多项措施予以调控。

首先，增加居民家庭收入，扩大分享社会财富份额。按照十七大提出的协调“二个同步”发展要求，切实增加居民家庭收入，增加家庭收入在经济中所占的份额。

其次，遏制价格持续上涨的态势，加强市场价格监测和监管。密切关注主要农产品、基本生活必需品等商品的价格波动，依法查处违规涨价和跟风涨价，采取严厉措施打击非法经营现象，同时采用如发放生活补贴等一系列措施以保障居民，特别是低收入群体的生活水平不下降。

第三，严格控制房价在合理水平。继续落实限购禁购政策，打击房地产投机行为，认真落实差别化住房信贷政策，合理引导住房需求，加大投入，大力推进以公共租赁住房为重点的保障性住房的建设和分配。

第四，深化医疗、教育、养老体制改革，完善社会保障制度。加快推进基本医疗保障制度建设，初步建立国家基本药物制度，健全基层医疗卫

生服务体系，提升公共卫生服务水平。深化教育、养老体制改革，扩大城镇职工养老、医疗、工伤、失业和生育保险的覆盖面，逐步建立健全社会保险、社会救助、社会福利和慈善事业相衔接的社会保障体系。

第五，大力发展公共交通，便捷居民出行。改善我市公交系统结构单一、服务水平欠高的现状，合理布局公交线路，并提高我市出租车保有量，将现有千人拥有量 1.1 辆的水平至少提高至 2 辆的大城市标准，一定程度上制衡私人小汽车的增长，缓解交通拥堵，便捷居民出行。

（四）全面改善现有人力资本构成

针对宁波市常住人口受教育水平低下等状况，必须采取综合措施提高人口素质。

首先，努力提高全体市民综合素质。全方位提高全体市民素质，尤其要着力提高广大外来务工人员的素质。加大各种职业教育和继续教育力度，办好各种公益讲堂，营造终身学习、终身教育的环境和氛围。

其次，促进产业发展提高人口素质。可借鉴深圳等城市的发展经验，通过产业发展提高人口素质，并积极培养高端人才。在进行产业结构战略性优化与调整的同时，要求劳动力就业市场的需求结构相应地迅速做出反应。通过发展高新技术产业和高端服务业，引进高素质人口来提高我市人口综合素质的同时，更应注重现有人才的培养，以实现宁波产业快速发展，优化我市人力资本构成。

最后，加大财政性教育投资力度。2011 年 8 月，我国密集出台了一系列政策，包括提高一般预算内教育支出的比例、增收特殊税费专项用于教育、新开财政性教育经费筹集渠道等，确保在 2012 年实现教育投入占 GDP 比例达到 4%这一目标。我市必须严格执行，确保 4%目标的早日实现。

（五）有效促进人与环境的可持续发展

生态持续是可持续发展的基础，其要求在发展中积极地解决环境问题，既要推进人类发展，又要促进自然和谐。因此，我市必须从以单纯经济增长为目标的发展转向经济、社会、生态的综合发展，从以物为本位的发展转向以人为本位（发展的目的是满足人们的基本需求、提高人们的生活质量）的发展，从注重眼前利益、局部利益的发展转向长期利益、整体利益的发展，从物质资源推动型的发展转向非物质资源或信息资源（科技与知识）推动型的发展。

课题负责人：谢志初

课题组成员：刘为民 牛红兵 吕建森

李 丽 钱静文 王媛媛

许家清 梁方楚

参考文献

[1] 张利华, 陈钢, 徐晓新, 刘会武. 城市人口承载力的理论与实证研究——以北京市海淀区为例, 管理评论, 2008, Vol (20), No (5): 28-32.

[2] 夏海勇. 城市人口的合理承载量及其测定研究, 人口研究, Vol. 26, No. 1 (2002): 15-21.

[3] 万铁军. 德阳市人口承载力及适度人口研究, 四川师范大学硕士学位论文, 2010.

[4] 张英飒. 人口承载力的理论内涵与测算方法, 重庆社会科学 (社会与人口), Vol. 168 (2008): 53-61.

[5] 陈卫, 孟向京. 中国人口容量与适度人口问题研究[J], 市场与人口分析, 2000 (1): 21-31

[6] Seidl I, Tisdell C A. Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity[J]. Ecological Economics, 1999, 31: 395-408.

[7] 盛亦男. 东北地区人口承载力研究, 吉林大学硕士毕业论文, 2010.

[8] 张耀军, 张正峰, 齐晓燕. 关于人口承载力的几个问题, 生态环境, 388-406.

[9] 北京市人口承载力研究 硕士毕业论文

[10] 聂庆华. 土地生产潜力和土地承载能力研究进展, 水土保持通报, 1993, 13 (3): 53-59

[11] 程丽莉. 安徽省土地资源人口承载力的动态研究, 资源开发与市场. 2006. 22 (4)

[12] 李新伟. 东北地区人力资源结构与省际差异比较研究, 东北亚论

坛, 2007, 27-31

[13] 穆光宗. 中国可以养活多少人, 南方周末, 1999

[14] 唐国平, 杨志峰. 人口容量理论与量化方法研究进展, 世界环境, 1999, 12-14

[15] 杨晓鹏, 张志良. 青海省土地资源人口承载力系统动力学研究, 地理科学, 1993, 13

[16] 王玉平. 矿产资源人口承载力研究, 中国人口, 资源与环境, 1998, 19-22

[17] 王益澄. 宁波市人口素质的现状、成因及对策

[18] 黄天元. 宁波市人口再生产现状及成因

[19] 竺亚平. 宁波市人口性别结构现状及其成因分析

[20] 王益澄. 宁波市人口机械增长与城市发展

[21] 李秀霞. 基于综合承载力的吉林省适度人口研究, 吉林大学博士学位论文, 2009 年

[22] 童亿勤, 李加林, 李伟芳. 宁波市耕地资源安全评价, 科技通报, Vol. 24, No. 2 (2008): 289-294

[23] 谢伟平. 1996-2008 年浙江省生态足迹的测算与动态性研究, 2010 年

附录

表 1 2000 年到 2011 年宁波市土地承载人口变化表

| 时间 | 浙江省总人口 (万人) | 浙江省耕地面积 (万公顷) | 土地承载指数 (人/公顷) | 宁波耕地面积 (万公顷) | 宁波市总人口 (万人) | 土地承载人口 (万人) | 富余人口 (万人) |
|------|----------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|
| 2000 | 4679.9 | 160.756 | 29.1118 | 21.566 | 608.5 | 627.826 | 19.326 |
| 2001 | 4728.8 | 160.146 | 29.5281 | 21.398 | 619 | 631.841 | 12.841 |
| 2002 | 4776.4 | 159.911 | 29.8691 | 21.197 | 628.4 | 633.136 | 4.736 |
| 2003 | 4856.8 | 159.214 | 30.5049 | 21.105 | 644.1 | 643.805 | -0.295 |
| 2004 | 4925.2 | 159.492 | 30.8805 | 21.104 | 657.8 | 651.703 | -6.097 |
| 2005 | 4990.9 | 159.355 | 31.3194 | 20.996 | 671.4 | 657.582 | -13.818 |
| 2006 | 5071.8 | 159.443 | 31.8095 | 20.997 | 687.7 | 667.904 | -19.796 |
| 2007 | 5154.9 | 159.734 | 32.2718 | 20.983 | 703.6 | 677.159 | -26.441 |
| 2008 | 5212.4 | 159.265 | 32.7278 | 21.031 | 715.6 | 688.306 | -27.294 |
| 2009 | 5275.5 | 159.291 | 33.1186 | 20.995 | 727.5 | 695.309 | -32.191 |
| 2010 | 5446.5 | 159.269 | 34.1969 | 20.981 | 761.08 | 717.471 | -43.609 |
| 2011 | 5463 | 159.449 | 34.2617 | 20.962 | 762.8 | 718.184 | -44.616 |

表 2 2000 年到 2011 年宁波市经济承载人口变化表

| 时间 | 浙江省总人口 (万人) | 浙江省 GDP (亿元) | 经济承载指数 (人/万元) | 宁波市 GDP (亿元) | 宁波市总人口 (万人) | 经济承载人口 (万人) | 富余人口 (万人) |
|------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|
| 2000 | 4679.9 | 6141.0 | 0.762071 | 1144.57 | 608.50 | 872.24 | 263.743 |
| 2001 | 4728.8 | 6898.3 | 0.685498 | 1278.75 | 619.00 | 876.58 | 257.581 |
| 2002 | 4776.4 | 8003.7 | 0.596776 | 1453.34 | 628.40 | 867.32 | 238.919 |
| 2003 | 4856.8 | 9705.0 | 0.500442 | 1749.27 | 644.10 | 875.41 | 231.308 |
| 2004 | 4925.2 | 11648.7 | 0.422811 | 2109.45 | 657.80 | 891.90 | 234.099 |
| 2005 | 4990.9 | 13417.7 | 0.371964 | 2447.32 | 671.40 | 910.32 | 238.916 |
| 2006 | 5071.8 | 15718.5 | 0.322665 | 2874.42 | 687.70 | 927.47 | 239.775 |
| 2007 | 5154.9 | 18753.7 | 0.274873 | 3418.57 | 703.60 | 939.67 | 236.074 |
| 2008 | 5212.4 | 21462.7 | 0.242859 | 3946.52 | 715.60 | 958.45 | 242.847 |
| 2009 | 5275.5 | 22990.4 | 0.229466 | 4329.30 | 727.50 | 993.43 | 265.926 |
| 2010 | 5446.5 | 27722.3 | 0.196466 | 5163.00 | 761.08 | 1014.36 | 253.276 |
| 2011 | 5463.0 | 32318.9 | 0.169034 | 6059.24 | 762.80 | 1024.22 | 261.420 |

表 3 全球平均产量

| 生物资源类型 | 人均 (kg/hm^2) | 生产性土地类型 |
|--------|------------------|---------|
| 粮食作物 | 2744 | 耕地 |
| 油料 | 1856 | 耕地 |
| 棉花 | 1000 | 耕地 |
| 蔬菜 | 18000 | 耕地 |
| 猪肉 | 457 | 草地 |
| 牛奶(奶类) | 502 | 草地 |
| 水产品 | 29 | 水域 |
| 水果产量 | 3500 | 林地 |
| 茶叶 | 566 | 林地 |

表 4 全球平均能源足迹与折算方法

| 种类 | 全球平均能源足迹 ($GJ/ha \cdot a$) | 折算系数 (GJ/t) | 生产性土地类型 |
|-------|---------------------------------|-------------------------|---------|
| 焦炭 | 55 | 28.47 | 化石燃料用地 |
| 汽油 | 93 | 43.124 | 化石燃料用地 |
| 煤油 | 93 | 43.124 | 化石燃料用地 |
| 柴油 | 93 | 42.705 | 化石燃料用地 |
| 液化石油气 | 93 | 16.329 | 化石燃料用地 |
| 燃料油 | 71 | 50.2 | 化石燃料用地 |
| 原煤 | 55 | 20.934 | 化石燃料用地 |
| 原油 | 93 | 41.87 | 化石燃料用地 |
| 天然气 | 93 | 38.979 | 化石燃料土地 |
| 电力 | 1000 | 11.84 ($GJ/10^3 kwh$) | 建筑用地 |

表 5 2006-2011 年宁波市耕地人均生态足迹变化表

| 时间 | 耕地面积 (千公顷) | 粮食 (万吨) | 棉花 (万吨) | 油料 (万吨) | 蔬菜 (万吨) | 人均生态足迹 ($hm^2/人$) | 生产性土地类型 |
|------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------------------|---------|
| 2006 | 209.970 | 81.30 | 0.73 | 3.62 | 264.73 | 0.0683669 | 耕地 |
| 2007 | 209.830 | 74.77 | 0.69 | 3.52 | 266.00 | 0.0634066 | 耕地 |
| 2008 | 210.312 | 88.42 | 0.75 | 3.55 | 272.92 | 0.0699385 | 耕地 |
| 2009 | 209.945 | 86.32 | 0.75 | 4.33 | 274.42 | 0.0684347 | 耕地 |
| 2010 | 209.806 | 87.13 | 0.77 | 4.10 | 265.73 | 0.0650323 | 耕地 |
| 2011 | 209.617 | 90.14 | 0.82 | 3.78 | 269.09 | 0.0664079 | 耕地 |

表 6 2006 年到 2011 年宁波市林地人均生态足迹变化表

| 年份 | 水果 (万吨) | 茶叶 (万吨) | 人均生态足迹 (hm^2 / 人) | 生产性土地类型 |
|------|---------|---------|-------------------------|---------|
| 2006 | 130.470 | 2.2184 | 0.0599050 | 林地 |
| 2007 | 140.343 | 2.2728 | 0.0626970 | 林地 |
| 2008 | 149.348 | 2.0285 | 0.0646377 | 林地 |
| 2009 | 139.102 | 1.8802 | 0.0591965 | 林地 |
| 2010 | 134.099 | 1.8323 | 0.0545952 | 林地 |
| 2011 | 129.096 | 1.7843 | 0.0524869 | 林地 |

表 7 2006 年到 2011 年宁波市草地人均生态足迹变化表

| 年份 | 猪肉 (万吨) | 牛奶 (万吨) | 人均生态足迹 (hm^2 / 人) | 生产性土地类型 |
|------|---------|---------|-------------------------|---------|
| 2006 | 12.0684 | 1.4863 | 0.0427056 | 草地 |
| 2007 | 10.9727 | 1.8342 | 0.0393179 | 草地 |
| 2008 | 12.6359 | 1.8074 | 0.0436697 | 草地 |
| 2009 | 13.0006 | 1.6749 | 0.0436896 | 草地 |
| 2010 | 13.9215 | 2.0273 | 0.0453320 | 草地 |
| 2011 | 14.8424 | 2.3796 | 0.0487915 | 草地 |

表 8 2006 年到 2011 年宁波市建设用地人均生态足迹变化表

| 年份 | 电力 (亿千瓦时) | 人均生态足迹 (hm^2 / 人) | 生产性土地类型 |
|------|-----------|-------------------------|---------|
| 2006 | 313.553 | 0.0539838 | 建设用地 |
| 2007 | 367.123 | 0.0617785 | 建设用地 |
| 2008 | 384.941 | 0.0636906 | 建设用地 |
| 2009 | 400.252 | 0.0651407 | 建设用地 |
| 2010 | 459.043 | 0.0714126 | 建设用地 |
| 2011 | 505.302 | 0.0784318 | 建设用地 |

表 9 2006 年到 2011 年宁波市水域人均生态足迹变化表

| 年份 | 水产品 (万吨) | 人均生态足迹 (hm^2 / 人) | 生产性土地类型 |
|------|----------|-------------------------|---------|
| 2006 | 93.1983 | 4.67316 | 水域 |
| 2007 | 79.7783 | 3.90986 | 水域 |
| 2008 | 93.8688 | 4.52327 | 水域 |
| 2009 | 93.9512 | 4.45319 | 水域 |
| 2010 | 91.9325 | 4.16525 | 水域 |
| 2011 | 89.9138 | 4.06460 | 水域 |

表 10 2006 年到 2011 年宁波市化石能源用地人均生态足迹变化表

| 时间 | 汽油 (万吨) | 煤油 (万吨) | 柴油 (万吨) | 液化石油气 (万吨) | 人均生态足迹 (hm^2 / 人) | 生态性土地类型 |
|------|------------|------------|------------|---------------|-------------------------|---------|
| 2006 | 241.672 | 127.286 | 726.319 | 94.151 | 0.457906 | 化石能源用地 |
| 2007 | 246.060 | 153.780 | 738.930 | 99.690 | 0.506949 | 化石能源用地 |
| 2008 | 267.180 | 129.410 | 804.110 | 105.820 | 0.463790 | 化石能源用地 |
| 2009 | 304.185 | 146.081 | 735.381 | 106.418 | 0.513475 | 化石能源用地 |
| 2010 | 283.025 | 154.558 | 750.615 | 109.473 | 0.494935 | 化石能源用地 |
| 2011 | 295.530 | 162.890 | 742.000 | 110.370 | 0.517616 | 化石能源用地 |

表 11 各类生产性用地类型的均衡因子、产量因子

| 生产性土地类型 | 均衡因子 | 产量因子 |
|---------|------|------|
| 耕地 | 2.80 | 1.66 |
| 草地 | 0.50 | 0.19 |
| 林地 | 1.10 | 0.91 |
| 水域 | 0.20 | 1.00 |
| 建设用地 | 2.80 | 1.66 |
| 化石能源用地 | 1.10 | — |

表 12 宁波市 2006 年到 2011 年生态足迹变化表 (单位: (hm^2 / 人))
(均衡面积)

| 时间 | 耕地 | 林地 | 草地 | 建设用地 | 水域 | 化石能源用地 | 人均生态足 迹 |
|----|----|----|----|------|----|--------|------------|
|----|----|----|----|------|----|--------|------------|

| | | | | | | | |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|---------|
| 2006 | 0.0683669 | 0.0599050 | 0.0427056 | 0.0539838 | 4.67316 | 0.457906 | 1.86816 |
| 2007 | 0.0634066 | 0.0626970 | 0.0393179 | 0.0617785 | 3.90986 | 0.506949 | 1.77876 |
| 2008 | 0.0699385 | 0.0646377 | 0.0436697 | 0.0636906 | 4.52327 | 0.463790 | 1.88192 |
| 2009 | 0.0684347 | 0.0591965 | 0.0436896 | 0.0651407 | 4.45319 | 0.513475 | 1.91643 |
| 2010 | 0.0650323 | 0.0545952 | 0.0453320 | 0.0714126 | 4.16525 | 0.494935 | 1.84224 |

表 13 各生物性土地的均衡面积

| | | | | | | |
|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|---------|
| 耕地 | 林地 | 草地 | 建设用地 | 水域 | 化石能源用地 | 人均生态足迹 |
| 0.191427 | 0.0658955 | 0.0213528 | 0.151155 | 0.934632 | 0.503697 | 1.86816 |
| 0.177538 | 0.0689667 | 0.0196590 | 0.172980 | 0.781972 | 0.557644 | 1.77876 |
| 0.195828 | 0.0711015 | 0.0218348 | 0.178334 | 0.904654 | 0.510169 | 1.88192 |
| 0.191617 | 0.0651161 | 0.0218448 | 0.182394 | 0.890638 | 0.564823 | 1.91643 |
| 0.182090 | 0.0600547 | 0.0226660 | 0.199955 | 0.833050 | 0.544429 | 1.84224 |
| 0.185942 | 0.0577356 | 0.0243958 | 0.219609 | 0.812920 | 0.569378 | 1.86998 |

表 14 个生物性土地所占比重

| | | | | | | | |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| 时间 | 耕地比重 | 林地比重 | 草地比重 | 建设用地比重 | 水域比重 | 化石能源用地比重 | 人均生态足迹 |
| 2006 | 0.102468 | 0.035273 | 0.01143 | 0.080911 | 0.500295 | 0.269622 | 1.86816 |
| 2007 | 0.09981 | 0.038772 | 0.011052 | 0.097247 | 0.439616 | 0.313501 | 1.77876 |
| 2008 | 0.104057 | 0.037781 | 0.011602 | 0.094762 | 0.480708 | 0.27109 | 1.88192 |
| 2009 | 0.099987 | 0.033978 | 0.011399 | 0.095174 | 0.464738 | 0.294726 | 1.91643 |
| 2010 | 0.098842 | 0.032599 | 0.012304 | 0.108539 | 0.452194 | 0.295525 | 1.84224 |
| 2011 | 0.099435 | 0.030875 | 0.013046 | 0.117439 | 0.434721 | 0.304483 | 1.86998 |

表 15 宁波市 2006 年到 2011 年生态承载力变化表

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-------------|-----------|-------------------|-----------------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 时间 | 耕地 (万公 顷) | 耕地 承载力 | 森林 (万公 顷) | 森林 承载力 | 草地(万 公顷) | 草地 承载力 | 建设用 地(万公 顷) | 建设用 地承载 力 | 水域(万 公顷) | 水域 承载力 | 生态总承 载力 | 扣除 12% | 生态承 载人口 |
| 2006 | 20.997 | 97.5941 | 41.9859 | 42.0279 | 0.0435 | 0.0041325 | 3.6612 | 17.0173 | 7.5678 | 1.51356 | 213.723 | 188.076 | 100.675 |
| 2007 | 20.983 | 97.5290 | 43.2523 | 43.2956 | 0.0439 | 0.0041705 | 3.8617 | 17.9492 | 8.7728 | 1.75456 | 214.766 | 188.994 | 106.250 |
| 2008 | 21.031 | 97.7521 | 39.7257 | 39.7654 | 0.0326 | 0.0030970 | 3.6217 | 16.8337 | 8.745 | 1.74900 | 214.090 | 188.399 | 100.110 |
| 2009 | 20.995 | 97.5848 | 39.7300 | 39.7697 | 0.0408 | 0.0038760 | 3.8390 | 17.8437 | 8.6671 | 1.73342 | 214.751 | 188.981 | 98.611 |
| 2010 | 20.981 | 97.5197 | 45.9300 | 45.9759 | 0.0444 | 0.0042180 | 4.7996 | 22.3085 | 8.5892 | 1.71784 | 219.070 | 192.782 | 104.645 |
| 2011 | 20.962 | 97.4314 | 45.3214 | 45.3667 | 0.0403 | 0.0038285 | 5.0860 | 23.6397 | 7.5678 | 1.51356 | 220.020 | 193.618 | 103.540 |

表 16 基于 GM (1,1) 模型的宁波市未来人口预测结果

| 时间 | 真实值 | 模拟值 | 相对误差 (%) | 预测时间 | 人口数 | 人口预测值 | 相对误差 (%) |
|------------|--------|----------|----------|------|-----|----------|----------|
| 2000 | 608.5 | 608.5 | 0 | 2012 | | 783.2767 | |
| 2001 | 619.0 | 616.4217 | -0.34 | 2013 | | 800.5218 | |
| 2002 | 628.4 | 629.9932 | 0.21 | 2014 | | 818.1446 | |
| 2003 | 644.1 | 643.8635 | -0.03 | 2015 | | 836.1594 | |
| 2004 | 657.8 | 658.0391 | 0.03 | 2016 | | 854.5687 | |
| 2005 | 671.4 | 672.5269 | 0.15 | | | | |
| 2006 | 687.7 | 687.3336 | -0.05 | | | | |
| 2007 | 703.6 | 702.4664 | -0.15 | | | | |
| 2008 | 715.6 | 717.9323 | 0.31 | | | | |
| 2009 | 727.5 | 733.7387 | 0.82 | | | | |
| 2010 | 761.08 | 749.8931 | -1.47 | | | | |
| 2011 | 762.8 | 766.4032 | 0.47 | | | | |
| 平均绝对误差 (%) | | | 0.3358 | | | | |

程序 1: 灰相关度分析 matlab 源程序

```
function output=grayrela(x0)
```

```
x0=[] %参考因子与比较因子共同存储在一个矩阵 x0 中,参考因子位于第一列
```

```
for i=2:length(x0(:,1)) %斜率序列
```

```
    x1(i,:)=x0(i,:)-x0(i-1,:);
```

```
end
```

```
m=length(x1(1,:)); %标准化
```

```
for i=1:m
```

```
    x2(:,i)=x1(:,i)/std(x1(:,i));
```

```
end
```

```
[y,pos]=sort(x2(:,1)); %排序
```

```
    x2_sorted=x2(pos,:);
```

```
n=length(x1(:,1)); %判定关联性质
```

```
k=[1:n]';
```

```
for j=1:m
```

```

sig_j(j)=qiuhe(k.*x2_sorted(:,j))-qiuhe(x2_sorted(:,j))*qiuhe(k)/n;
end

for j=2:m      %caculation of distantion
    dist_0i(:,j)=abs(sign(sig_j(:,j)./sig_j(:,1)).*x2_sorted(:,j)-x2_sorted(:,1));
end

for i=1:n  %计算关联系数
    for j=1:m
        coef_rela(i,j)=(min(dist_0i)+0.5*max(dist_0i))/(dist_0i(i,j)+0.5*max(dist_0i));
    end
end

for j=1:m
    output(j)=qiuhe(coef_rela(:,j))/n;
end

```

```
function output=qiuhe(input)
```

```

output=0;
for i=1:length(input)
    output=output+input(i);
end

```

程序 2: 熵权法 Matlab 源程序

```

clear;
clc;
x=[];
% x=x'
x=x'+1;
y=[]
[m,n]=size(x);
for i=1:n
    y(:,i)=x(:,i)/sum([x(:,i)])      % 原始矩阵归一化
end
for l=1:n
    s(1,l)=0;
    for j=1:m
        p(1,l)=y(j,l)*log(y(j,l))
        %s(1,l)=p(1,l)
        s(1,l)=s(1,l)+p(1,l)
    end
end
end

```

```

m
n
k=(log(m))^( -1)
e=-k*s
h=ones(1,n)-e
w=h/sum(h)          % 指标权重值
sum(w)
% 计算综合权重
g=y*w'

```

程序 3: 灰色预测 (GM (1,1) 模型) Matlab 源程序

```

function []=gmnew1(x,T,N)    %对数列 x 进行 T 次累加后预测 N 项
n=length(x);
m=N+n;
xT_1=gmT(T-1,x);
xT=gmT(T,x);
q=getab(xT_1,xT);
a=q(1);
b=q(2);
for i=1:m
    xm1(i)=(x(1)-b/a)*exp(-a*(i-1))+b/a;
end
xm0=xm1;
Xm0=gm_T(T,xm0);
Err=Xm0(2:n)-x(2:n);
C=std(Err)/std(x);
%RelErr=abs((Err)/mean(Err)*ones(size(Err)));
RelErr=abs(Err-mean(Err)*ones(size(Err)));
[Nrow, Ncol]=size(RelErr);
count=0;
for j=1:Ncol
    if RelErr(1:j)<0.6745*std(x)
        count=count+1;
    else count=count;
    end
end
end
P=count/Ncol;
Predict=Xm0((length(Xm0)-N+1):length(Xm0));

```