

概率预测方法在小区域人口 预测中的应用^{*}

——以上海市青浦区为例

李 强 张 震 吴瑞君

【摘 要】文章在探讨中国小区域(市县)使用概率人口预测方法的必要性和可行性的基础上,以上海市青浦区为例进行实证应用。小区域人口预测往往面临数据缺乏、数据质量不高和频繁的人口迁移流动等问题,这些都增大了人口预测的不确定性,对不确定性的科学把握是概率预测方法的优势所在。文章通过比较各种概率预测方法的适用性后,发现由 Alho 等(2005)发展的随机人口预测方法能够克服小区域人口预测面临的问题,从而得出科学合理的预测结果。文章使用 Aaho 等的方法对上海市青浦区 2011~2030 年的人口发展进行随机预测。

【关键词】概率预测方法 不确定性 小区域人口预测 随机误差标度模型

【作 者】李 强 华东师范大学社会发展学院人口研究所,副教授;张 震 复旦大学社会发展与公共政策学院人口研究所,副教授;吴瑞君 华东师范大学社会发展学院人口研究所,教授。

一、研究背景

近十几年来,中国日益重视社会治理能力的提升,各级地方政府(包括市镇县这样的小区域)对人口预测和相关的人口规划也有了更多、更高的需求。事实上,小区域人口预测能够充分反映当地人口发展的特点和趋势,因而有助于当地政府和相关部门有针对性地制定适合当地情况的区域发展规划,同时也为区域发展相关研究提供基础数据。然而,小区域人口预测是一个非常具有挑战性的任务。

首先,小区域的人口数据通常比较缺乏,而且数据质量参差不齐。小区域的人口规模一般比较小,这也意味着预测误差会比较大。在这一前提下,数据的丰富与否、质量高低对估

^{*} 本研究为“上海市浦江人才计划”(项目编号:13PJC030)的阶段性成果。

算人口预测误差的影响会更凸显,只有丰富可靠的数据才有可能科学地估算人口预测的误差。尽管自20世纪80年代以来,全国性人口数据除了人口普查外,还有许多大范围的涵盖了生育、健康与死亡、人口流动和迁移、婚姻与家庭、劳动力与就业等内容的人口社会调查,但小区域人口数据的来源较少,基本只有几次普查的数据可以使用。另外,对全国人口数据的修正相对比较容易,因为全国人口数据较多,可以相互印证。而小区域数据来源有限,修正困难(黄荣清,2004)。比如,要想估算某个地区的出生、死亡和迁移人口的漏报,并在此基础上进行数据修正,对小区域而言就非常困难。这样的数据基础会加大人口预测误差的估算难度。

其次,人口迁移对小区域人口影响较大。随着中国人口生育率和死亡率逐渐下降到较低水平,人口迁移对人口变动的作用显得更为突出。近年来,中国许多沿海发达地区(如上海的一些区县)的常住人口中,外来非户籍人口的规模已经超过户籍人口,在户籍人口已经出现人口负增长的情况下,常住人口仍然能保持快速增长。此外,人口迁移对小区域人口的影响不仅体现在人口规模的此消彼长,而且对迁入地和迁出地的人口结构造成影响。一般以就业为主要目的的迁移人口的主体是青壮年劳动力,这部分人口在使迁入地人口年龄结构年轻化的同时,也加速了迁出地的人口老龄化;青壮年劳动力通常是潜在的生育人群,所以会对迁入地人口结构和人口数量产生长期的影响。但是,小区域的人口迁移数据比生育和死亡数据更缺乏,乡—城、城—城和乡—乡之间的迁移数据、分年龄性别的迁入和迁出数据往往难以获得。这些因素增大了小区域人口预测的不确定性。

迄今为止,国内外在小区域人口预测领域的研究和应用主要分为两类。一类是对小区域人口规模进行预测。使用的方法包括一元线性回归模型(段克峰,2012);多元线性回归模型(Chi,2009);马尔萨斯人口增长模型(杨丽霞等,2006);Logistic人口预测模型(龙承星、张波,2011);BP神经网络线性回归模型(赖红松等,2004);灰色预测模型(蒋若凡等,2011);最优组合模型(杨松等,2008);基因表达式编程预测模型(刘萌伟等,2010);劳动力转化法(贾刘强等,2008)和费氏人口预测模型(裘书服等,2006)。这类预测可以揭示小区域人口规模的未来趋势,但由于预测结果中没有分年龄、分性别的人口数据,无法提供未来少儿人口规模、劳动力规模、社会抚养负担等与社会民生息息相关的重要信息,也难以满足区域发展规划的实际需求。另一类是确定性的高、中、低方案法(高圣国,2011;王桂新,2000),以及在此基础上的改进。例如,在模型中考虑了人户分离因素(杨胜利、高向东,2012)。该方法通过专家给定高、中、低3个方案来量化人口预测中可能出现的不确定性,每个方案都设定一套不同的生育、死亡和迁移的发展变化水平,然后根据这些假设对人口未来变化趋势进行预测。这种方法在量化不确定性方面起到一定的作用,操作方便,可以获得分年龄、分性别的人口数据,因而得到广泛应用。但这种方法不能提供各个方案的发生概率,因此也就无从知道各个预测方案对应的人口变量的高、中、低水平在未来发生的可能性有多大,也就是说,无法科学地估算未来人口发展变化的不确定性(Alho等,2005),而且高、中、低方案法在估

计各个指标时存在内部不一致问题(Lee, 1998)。

考虑到小区域人口的特点和数据条件及以往常用预测方法存在的不足,需要新的方法来预测小区域人口未来的发展变化。Li 等(2004)指出,在数据缺乏的情况下,预测的不确定性增大,只有概率人口预测方法才能克服数据不足的困难,并对未来人口发展变化给出科学合理的预测。概率人口预测方法具有多方面的优势。一是预测结果有明确的概率解释,而不是主观上对发生可能性的刚性推断,更符合预测的逻辑;二是所预测的人口指标(如人口规模、人口增长率、老年人口抚养比等)能保持良好的内部一致性,这是因为随机预测的每一个假设方案都遵循严格的概率估算的随机路径,这些随机路径的概率是根据以往真实的人口发展历程估算得到的,不是人为拟定的“情景”,从而避免了参数之间可能的逻辑矛盾,以及因专家看法不同而导致的预测结果的不一致。

由于数据缺乏和人口迁移流动是小区域人口预测的难点,本研究将探讨如何处理这两方面的问题,从而提出适合小区域人口预测的概率预测方法。

二、概率人口预测方法回顾

迄今为止,主要的概率人口预测方法有事后评估法、专家法之随机情境预测法、贝叶斯概率人口预测方法和时间序列模型。这四类方法各有侧重,适用于不同的情况。其中,事后评估法是比较以往的预测与随后的人口实际变动,估算出预测误差,用于推算未来人口规模的概率区间(Keyfitz, 1981; Stoto, 1983)。事后评估法多用于一些综合指标如总人口和人口增长率的随机预测,其他涉及年龄结构的指标如人口抚养比等的应用研究非常少(Smith 等, 2003)。专家法之随机情境预测法是 Lutz 等(1996)融合专家法和随机模拟发展出的一套预测方法。该方法最显著的特征就是由专家给出生育、死亡和迁移的概率区间,如总和生育率的 90%的预测区间,然后使用随机模拟方法来对未来人口做出预测。由于专家给出的预测区间实际上并不是真正的概率区间,因此它在本质上还是高、中、低方案法。

贝叶斯概率人口预测方法是 Raftery 等(2012)创立的概率预测方法。该方法使用贝叶斯分层模型模拟大量的总和生育率和出生平均预期寿命的趋势值(Alkema 等, 2011, Raftery 等, 2013),然后再将总和生育率转化为分年龄的生育率,将平均预期寿命转化为分年龄、分性别的死亡率。最后使用队列要素簿记法预测未来人口的发展变化。Raftery 等(2012)使用该方法对世界上所有人口在 10 万以上的国家进行预测(United Nations, 2012)。贝叶斯概率预测方法对生育和死亡的预测既依赖于本国或本地区生育、死亡的历史数据,也依赖于其他国家的生育和死亡模式。在本国或本地区数据比较缺乏的情况下,可以主要依赖于其他国家的生育和死亡模式。因此,此模型可以用于小区域及人口数据比较缺乏的国家和地区的人口预测。但该模型假设迁移是确定性的,对于迁移流动频繁的地区来说,确定性的人口迁移假设显然不符合实际情况,极有可能给预测带来较大的误差。

时间序列模型主要包括两种方法:一种是 Lee 等(1994)的全概率人口预测方法。该方

法拓展了 Lee(1993)的生育时间序列模型和 Lee 等(1992)的死亡时间序列模型,假设迁移是确定的。但这一方法要求有较长时序的人口数据,所以不适宜数据比较缺乏的情况。此外,与贝叶斯概率人口预测方法类似,全概率人口预测方法也假定迁移是确定性的,因此不适宜人口迁移流动频繁的地区。另一种是 Alho 等(2005)创立的随机误差标度模型。该方法使用队列要素簿记法,假设人口线性增长(Leslie 矩阵),同时考虑年龄别生育率、年龄—性别死亡率和年龄—性别净迁移人口变化的发生概率。该模型假设生育、死亡和迁移的误差过程是随时间增长的,而且其误差相互独立;其标度相当于预测误差的权数,标度减小,误差缩小,标度增大,误差被放大。通过设定不同的标度可以近似模拟人口预测中不同的误差结构。如果标度选择合适,得到的随机游走加漂移模型就能很好地模拟未来的误差过程(Alho 等,2005),这一特点使该方法可以用于数据比较缺乏地区的人口预测,其应用思想是预测中位值的估算依据该地区的人口数据或者由专家给出,预测误差则借用那些有丰富可靠人口数据的国家的随机人口预测的误差结构,同时通过修正标度来拟合该地区的实际情况,进行随机人口预测。该方法中迁移的设定也是随机的,可以充分考虑迁移人口的不确定性,适用于人口迁移流动频繁的国家 and 地区。该模型已被成功应用于欧洲人口、世界人口和中国人口的随机预测(Alho 等,2005;Borgy 等,2012;Li 等,2009)。

综观目前国际上常用的概率人口预测方法,考虑到中国小区域人口预测的特点,本文认为 Alho 等的随机误差标度模型既适用于人口数据比较缺乏的国家和地区,也可以充分考虑人口迁移的不确定性,是目前可选的最适用于小区域人口预测的方法。因此,本研究试图将 Alho 等的随机误差标度模型应用到中国小区域人口预测中。

三、随机误差标度模型

在随机误差标度模型中,预测年份 $t(t>0)$, 年龄 j 的人口生命率可以表示为:

$$R(j,t)=F(j,t)\exp[X(j,t)]$$

其中, $F(j,t)$ 是该生命率的点估计,可以由本区域人口的已有数据估计,也可以借用其他地区人口的数据估计,或者由专家给出。 $X(j,t)$ 是误差过程,可以表示为: $X(j,t)=\varepsilon(j,1)+\cdots+\varepsilon(j,t)$ 。也就是说,随机误差是随时间增长的。误差项为: $\varepsilon(j,t)=S(j,t)[\eta_j+\delta(j,t)]$ 。 $S(j,t)$ 总为正值,可被视为作 $\varepsilon(j,t)$ 的权数或者标度。由于误差过程由 $S(j,t)$ 来标度,因此模型被称为随机误差标度模型。 η_j 表示趋势预测的误差, $\delta(j,t)$ 是围绕趋势的不可预测的随机扰动项。假设对每一个 j , 变量 $\delta(j,t)$ 随时间的变化是彼此独立的,而且 $\delta(j,t)$ 与 η_j 也彼此独立。模型进一步假设: $\eta_j \sim N(0, k_j)$; $\delta(j,t) \sim N(0, 1-k_j)$ 。 $0 < k_j < 1$ 是已知的,根据实证数据估计得出。当标度不随时间变化时, $S(j,t) \equiv S(j)$, 模型即成为随机游走加随机漂移模型。 $k_j = \text{Corr}[\varepsilon(j,t), \varepsilon(j,t+h)]$ 对所有的 $h \neq 0$ 都成立。因此 k_j 实际上是各预测年份误差项之间的相关系数,其取值在 $0 \sim 1$ 之间。当随机误差过程服从随机游走模型时,误差项之间彼此独立,即 $k_j=0$ 。Alho 等(2005)对欧洲和北美的实证分析表明,随机游走模型适用于生育率的

预测。当 $0 < k_j < 1$, 随机误差过程服从随机游走加漂移模型, 实证研究也表明这一模型适用于死亡率和净迁移人口的预测。Alho 等(2005)对欧洲国家的经验研究表明, 在死亡率模型中, $k_j = 0.05$, 在净迁移人口模型中, $k_j = 0.3$ 。另外, 假设 $\eta_j, \delta(j, t)$ 与年龄、性别的自回归系数结构(遵循 AR(1)模型)为: $\text{Corr}[\eta_i, \eta_j] = \text{Corr}[\delta(i, t), \delta(j, t)] = \rho^{|i-j|}, 0 \leq \rho \leq 1$ 。

该相关系数表明, 生命率的随机误差在相邻年龄之间相似, 而在相差较大的年龄之间可能有较大差异。Alho 等(2005)应用欧洲国家的经验数据估计出生育和死亡与年龄自回归相关系数为 0.95, 死亡、迁移与性别的相关系数分别为 0.85、0.9。随机误差标度模型有以下特征: (1) 由于标度 $S(j, t)$ 的选择不受限制, 因此任何非降误差方差的序列都可以被近似。(2) 任何横向相关的序列都可以被近似。(3) 任何误差增长的自相关序列都可以被近似。因此, 该模型可以用于近似任何协方差结构。比如, 通过定义死亡率的 $\varepsilon(j, t), S(j, t), \eta_j$ 和 $\delta(j, t)$, 以及假设误差项与年龄之间完全相关, 死亡率的随机误差标度模型就可以近似为 Lee-Carter 的死亡预测模型。当时间序列模型估计的预测区间太宽时, 如生育率的预测区间出现不合理的负值时, 可以通过修正误差结构来剔除不合理的误差水平, 还可以保证在较长的时间内, 随机误差以点估计为中心, 并且拥有合理的有限度的方差。在小区域人口预测中, 我们根据实证研究来修正标度, 使 Alho 等估计的误差矩阵适用于所预测的小区域人口。

四、随机误差标度模型在小区域人口预测中的应用

本文使用随机人口预测方法以上海市青浦区为例进行实证应用。青浦区 2010 年六普时常常住人口 108.1 万人, 其中户籍人口 46.19 万人, 外来常住人口 61.9 万人, 占 57.27%。2000 年五普时常常住人口 62.71 万人, 其中户籍人口 45.89 万人, 外来常住人口 16.82 万人。2010 年比 2000 年增加 45.39 万人, 其中户籍人口只增长了 3 000 人, 外来常住人口增长了 45 万人, 也就是说青浦区人口的增长主要是由于外来人口的迁入。我们可以找到的用于青浦区预测的人口数据只有五普和六普, 因此选取青浦区对于探讨小区域随机人口预测是一个非常好的示例。

(一) 方法的检验

为了验证随机人口预测方法的适用性和有效性, 本文以上海市青浦区五普的人口数据为预测起点, 预测青浦区 2010 年的人口, 并与 2010 年青浦区六普的人口数据进行比较来检验模型。预测期内各指标的中位估计值主要依据青浦区 2000~2010 年的生育、死亡和迁移的数据。当青浦区的数据由于人口规模小出现较大的波动, 比如死亡率(很多年龄的死亡率为 0), 我们就借用上海市的数据。预测误差则借用 Alho 等(2005)使用随机误差标度模型估算的欧洲人口预测的误差。由于欧洲人口与中国人口之间存在差异, 本文对借用的人口预测的误差结构进行修正, 主要是修正标度的值。然后运行 3 000 次随机模拟获得人口规模和结构的概率分布。本文主要使用中位估计值和 95% 的预测区间报告预测结果。

表 1 给出了 2000~2010 年的生育、平均预期寿命和净迁入人口的参数假定。从总人

口、分年龄结构人口的比较看(见表 2), 尽管中位预测值与六普值有差异, 但随机人口预测的 95% 的预测区间仍将六普值包含在内, 说明随机误差标度模型适用于小区域人口预测。

表 1 2000~2010 年上海市青浦区随机人口预测参数

年份	总和生育率			累积净迁入人口(万人)			男性预期寿命(岁)			女性预期寿命(岁)		
	95% 下限	中位 值	95% 上限	95% 下限	中位 值	95% 上限	95% 下限	中位 值	95% 上限	95% 下限	中位 值	95% 上限
2000	0.66	0.73	0.79	3.92	4.50	5.08	76.80	77.20	77.60	80.70	81.10	81.50
2005	0.65	0.79	0.97	20.57	22.50	24.43	77.10	78.10	79.10	81.40	82.40	83.30
2010	0.65	0.87	1.16	41.46	45.00	48.54	77.80	79.30	80.80	82.50	83.90	85.30

表 2 随机人口预测的青浦区 2010 年人口与六普数据的比较

	95%下限	中位值	95%上限	六普
总人口	104.06	107.76	113.93	108.10
少儿人口(0~14 岁)	10.24	10.86	11.63	10.53
劳动年龄人口(15~64 岁)	86.02	89.15	92.69	89.98
老年人口(65 岁及以上)	7.50	7.75	8.00	7.59

(二) 2011~2030 年上海市青浦区人口预测

2010 年六普数据显示, 上海市青浦区的总人口为 108.1 万人, 本文以六普数据为起点使用随机人口预测模型对 2010~2030 年青

浦区人口变化进行预测。

1. 生育、平均预期寿命和迁移的预测假设

根据上海市青浦区六普数据, 常住育龄妇女的总和生育率为 0.867。考虑到 2014 年 3 月上海市实施单独二孩政策, 以及未来二孩生育的普遍放开(可能在 2020 年, 也有可能提前), 我们假设总和生育率在预测期内的变化是随机的(见表 3), 其均值由 2010 年的 0.87 逐渐上升到 2030 年的 1.2, 95% 的预测区间则包括了更多的变化和不确定性。比如, 2020 年, 尽管中位预测值是 1.03, 但 95% 的预测区间为 [0.78, 1.38], 表明青浦区未来的总和生育率可能会下降, 也有可能因二孩政策的提前放开使总和生育率上升到 1.38。

2010 年上海市青浦区男性平均预期寿命为 79.35 岁, 女性为 83.79 岁, 低于上海市总体水平。我们预期青浦区人口的死亡率将继续下降, 预期寿命将继续上升, 到 2030 年, 男性的平均预期寿命的中位预测值为 82.1 岁, 女性为 86.8 岁(见表 3)。20 年间男性增长了 2.8 岁, 女性增长了 3 岁。

在随机误差标度模型中, 迁移是绝对数, 不是迁移率, 且只考虑人口净迁入, 即迁入人口和迁出人口之差。2000~2010 年青浦区年均外来净迁入人口约 4.36 万人(杨胜利、高向东, 2012)。迁入青浦区的人口主要是青壮年劳动力(见图 1), 20~35 岁的迁移人口占总迁移人口的近 50%, 20~48 岁的约占 77%。本文假设未来青浦区净迁入人口的年龄性别结构和 2010 年的迁移人口的年龄性别结构相同, 也就是说, 不断有年轻的新的劳动力补充进来。考虑到以往迁入的劳动力随着年龄的增长逐渐进入老年, 一部分人可能会留下来, 另一部

表 3 2011~2030 年上海市青浦区随机人口预测参数

年份	总和生育率			累积净迁入人口(万人)			男性预期寿命(岁)			女性预期寿命(岁)		
	95%	中位	95%	95%	中位	95%	95%	中位	95%	95%	中位	95%
	下限	值	上限	下限	值	上限	下限	值	上限	下限	值	上限
2011	0.81	0.88	0.97	2.60	3.70	4.76	79.20	79.60	80.00	83.90	84.20	84.60
2015	0.78	0.95	1.16	14.14	17.65	21.16	79.70	80.70	81.60	84.40	85.30	86.20
2020	0.78	1.03	1.38	26.88	33.32	39.77	80.00	81.60	83.10	84.80	86.20	87.50
2025	0.79	1.12	1.59	37.88	47.24	56.60	80.10	82.10	84.00	85.00	86.70	88.40
2030	0.80	1.20	1.80	47.33	59.60	71.86	79.80	82.10	84.60	84.80	86.80	88.90

分人可能会返回原籍或迁移到其他地方，所以净迁入人口中的老年人口会较少，因此假设这部分净迁入人口只占总净迁入人口的1%。

2012 年底上海市青浦区常住人口增长到 116.53 万人(2010~2012 年青浦区政府人口统计数据)。经过估算,2011~2012 年每年平均净迁入约 3.7 万人，低于2000~2010 年的每年 4.36 万人。考虑到中国城市化水平已超过 50%，农村人口迁入城市的速度会逐渐放缓,并且国家对特大城市人口调控的力度和方向,以及上海市青浦区将要采取的调控人口的措施,本文假设未来青浦区的人口净迁入的中位预测值会逐渐下降,到 2030 年,每年净迁入人口为 2.3 万。

由于青浦区未来人口净迁入具有极大的不确定性,比如,青浦区未来大社区及新城的建设及区属动迁房的建设,这些规划都会对青浦迁入人口产生巨大影响,使迁入人口的发展变化遵循随机的路线。因此假设青浦区未来净迁入人口的发展过程是随机的,遵循随机游走加漂移模型,其中位值从 2011 年的净迁入约 3.7 万人下降到 2030 年的 2.3 万人左右。表 4 列出的是青浦区未来每年的累积净迁入人口,而不是每年的净迁入人口,这样有助于我们认识迁移对人口增长的影响。2030 年,累积净迁入人口的中位预测值为 59.6 万人,表明 2011~2030 年青浦区累积净迁入了 59.6 万人。其 95%的预测区间为[47.33,71.86]万人。区间差为 24.53 万,是中位预测值的 41%。

2. 预测结果分析

其一,总人口的变化。上海市青浦区总人口的中位预测值将会由 2010 年的 108.1 万人增长到 2030 年 179.86 万人,95%的预测区间是[165.42,196.95]万人。无论是中位预测值还是预测区间值都显示青浦区在预测期 20 年的人口是净增长的,差别只在于增长的快慢。比较

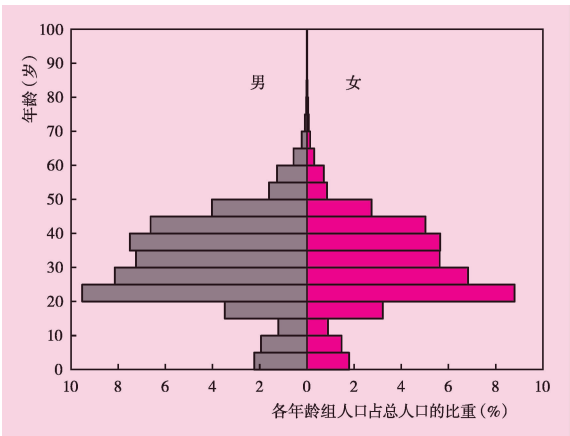


图 1 上海市青浦区六普迁移人口的年龄性别金字塔

表 4 上海市青浦区未来常住人口
总量预测 万人

年份	95%下限	中位值	95%上限
2011	111.95	112.48	113.03
2012	115.76	116.83	117.93
2013	119.50	121.13	122.82
2014	123.07	125.38	127.76
2015	126.55	129.54	132.66
2020	142.34	148.96	156.18
2025	155.31	165.74	177.49
2030	165.42	179.86	196.95

本文的预测与能够收集到的青浦区近年来的统计数据,2012 年青浦区常住人口为 116.53 万人,2013 年实有人口为 122.34 万人,与本文的预测结果非常接近。尽管青浦区的生育率远低于更替水平,但人口还是持续增长,这主要是由于外来人口的迁入。

其二,年龄性别结构的变化。图 2 为上海市青浦区人口在 2011 和 2030 年的年龄性别金字塔。从中可以看到,在 2011 年预测的上、下限和中位值几乎是重合的,这是因

为 2011 年距预测的起点仅有 1 年,不确定性要小得多。这种不确定性在随后的年份中逐渐增大,到 2030 年时,可以清楚地看到预测值的上下限区间。

上海市青浦区在未来 20 年将经历快速的人口老龄化,是顶部老龄化和底部老龄化齐头并进的时期。2011 年青浦区人口年龄结构的显著特点就是呈现“圣诞树”形状,中部大,劳动年龄人口比重大,顶部和底部小,被抚养人口比重小。但 2030 年劳动年龄人口老化,新进入劳动力的人口占整体劳动力的比重非常小,而高龄的劳动年龄人口的比重增大;老年人口的数量和比重,特别是高龄老人的数量和比重均大大增加。这样的年龄结构将给社会经济事业的协调发展带来不利影响。

其三,总人口抚养比和老年人口抚养比持续上升,少儿人口抚养比先上升然后下降。人口年龄结构的变化对社会经济发展具有多方面的影响,其中广受关注的一个问题就是年龄结构对社会负担的影响,具体表现在人口总抚养比、少儿人口抚养比和老年人口抚养比。

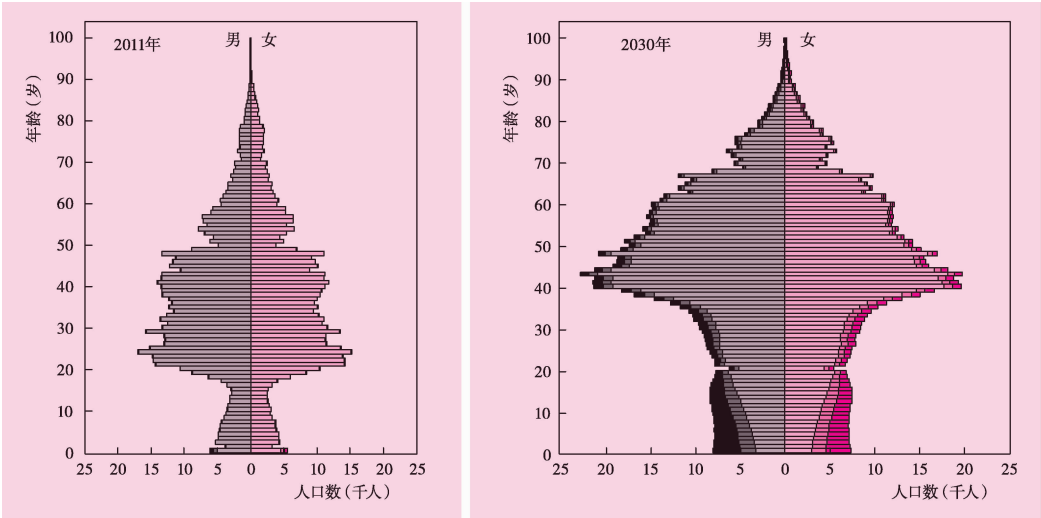


图 2 2011 和 2030 年上海市青浦区人口年龄金字塔

从表 5 中可以看出,在预测时期内,总抚养比持续上升。少儿抚养比先增长后下降,少儿抚养比的下降主要是育龄女性的老化

表 5 2011~2030 年上海市青浦区人口抚养比的变化

年份	总抚养比			少儿抚养比			老年抚养比		
	下限	中值	上限	下限	中值	上限	下限	中值	上限
2011	0.219	0.220	0.221	0.090	0.092	0.093	0.128	0.128	0.129
2015	0.251	0.259	0.268	0.098	0.106	0.116	0.151	0.152	0.154
2020	0.267	0.286	0.309	0.092	0.111	0.134	0.170	0.175	0.179
2025	0.297	0.320	0.350	0.076	0.099	0.130	0.213	0.221	0.230
2030	0.361	0.386	0.419	0.067	0.092	0.129	0.278	0.293	0.310

(见图 2 年龄金字塔的变化)。新进入育龄人群的女性比重很低,会导致出生的婴儿数减少,进而导致少儿抚养比的下降。越来越多的老年人步入 65 岁甚至 80 岁以上的人群,老年人口抚养比的迅速增长(见表 5),从 2011 年的 0.128 上升到 2030 年的 0.293,增长了 1 倍多。

五、结 语

本文发现 Alho 等创立的随机误差标度模型适用于中国小区域人口预测,可以通过调整该模型的标度来借用其他有丰富数据的国家和地区的预测误差,弥补由于数据少而不能使用时间序列模型的不足。而且该方法对迁移的设定也是随机的,可以充分考虑到迁移的不确定性对人口发展变化的影响。本研究是在小区域人口预测中应用概率预测方法的有益尝试,说明即使在数据缺乏且迁移流动频繁的人口预测中也可以使用概率预测方法。这对制定人口相关的规划和政策具有极其重要的意义,因为概率预测估算的预测区间有明确的概率解释,给出各种人口变化发生的可能性,意味着在政策制定时要将这种不确定性考虑进去,即政策设计需要有一定的“弹性”,以容纳人口趋势的不确定性带来的波动甚至冲击。虽然,我们不难理解未来所具有的不确定性,但是,如何科学地把握不确定性是一个极富挑战性的议题。在这个方面,本研究做了初步的工作,也期望这里所强调的未来不确定性能引起必要的关注,以推动相关研究的进行。

参考文献:

1. 段克峰(2012):《基于一种复合模型的中国人口预测模型》,《统计与决策》,第 20 期。
2. 高圣国(2011):《具有人口年龄和性别结构的中国人口预测模型》,《统计与决策》,第 5 期。
3. 黄荣清(2004):《关于人口预测问题的思考》,《人口研究》,第 1 期。
4. 蒋若凡等(2011):《基于灰色 PSO-BP 人口预测模型的研究与应用》,《西北人口》,第 3 期。
5. 贾刘强等(2008):《在城镇化发展目标研究中人口预测模型的运用——以广安市“十一五”规划城镇化发展目标研究为例》,《四川建筑科学研究》,第 1 期。
6. 赖红松等(2004):《基于灰色预测和神经网络的人口预测》,《经济地理》,第 2 期。
7. 刘萌伟等(2010):《基于基因表达式编程的人口预测模型》,《中山大学学报(自然科学版)》,第 6 期。
8. 龙承星、张波(2011):《昆明市人口预测模型研究》,《云南民族大学学报(自然科学版)》,第 4 期。
9. 裘书服等(2006):《费氏人口预测模型的求解及应用研究》,《森林工程》,第 3 期。

10. 王桂新(2000):《区域人口预测方法及应用》,华东师范大学出版社。
11. 杨丽霞等(2006):《数学模型在人口预测中的应用——以江苏省为例》,《长江流域资源与环境》,第3期。
12. 杨松等(2008):《改进的最优组合人口预测模型及其应用》,《长江流域资源与环境》,第3期。
13. 杨胜利、高向东(2012):《小区域人口预测模型及其应用——以上海市青浦区为例》,《南京人口管理干部学院学报》,第4期。
14. Alho, J.M. and Spencer, B.D.(2005), *Statistical Demography and Forecasting*. New York: Springer.
15. Alkema, L., Raftery, A.E., Gerland, P., Clark, S.J., Pelletier, F., Buettner, T. and Heilig, G.K. (2011), Probabilistic Projections of the Total Fertility Rate for All Countries. *Demography*. 48(3):815-839.
16. Borgy, V. and Alho, J.M.(2012), Macroeconomic Consequences of Demographic Uncertainty in World Regions. In Alho J.M., S.E. Hougaard Jensen and Lassila J.(eds), *Uncertain Demographics and Fiscal Sustainability*. Cambridge University Press.
17. Chi, G.Q.(2009), Can Knowledge Improve Population Forecasts at Subcounty Levels. *Demography*. 46(2):405-427.
18. Keyfitz, N. (1981), The Limits of Population Forecasting. *Population and Development Review*. 7(4):579-593.
19. Lee, R.D.(1993), Modeling and Forecasting the Time Series of US Fertility: Age Distribution, Range, and Ultimate Level. *International Journal of Forecasting*. 9(2):187-202.
20. Lee, R.D.(1998), Probabilistic Approaches to Population Forecasting. *Population and Development Review*. 24:156-190.
21. Lee, R.D. and Carter, L.(1992), Modeling and Forecasting U.S. Mortality. *Journal of the American Statistical Association*. 87(419):659-671.
22. Lee, R.D. and Tuljapurkar, S.(1994), Stochastic Population Projections for the United States: Beyond High, Medium and Low. *Journal of the American Statistical Association*. 89(428):1175-1189.
23. Li, Nan, Lee, R.D. and Tuljapurkar, S.(2004), Using the Lee-Carter Method to Forecast Mortality for Populations with Limited Data. *International Statistical Review*. 72(1):19-36.
24. Li, Q., Reuser, M., Kraus, C. and Alho, J.(2009), Ageing of A Giant: A Stochastic Population Forecast for China, 2006-2060. *Journal of Population Research*. 26(1):21-50.
25. Lutz, W., Sanderson, W. and Scherbov, S.(1996), Probabilistic Population Projections Based on Expert Opinion, pp.397-428 in Wolfgang Lutz(ed.), *The Future Population of the World: What Can We Assume Today?* London: Earthscan Publications.
26. Raftery, A., Chunn, J.L., Gerland, P. and Ševčíková, H.(2013), Bayesian Probabilistic Projections of Life Expectancy for All Countries. *Demography*. 50(3):777-801.
27. Raftery, A.E., Li, N., H. Ševčíková, H. Gerland, P. and Heilig, G.K.(2012), Bayesian Probabilistic Population Projections for All Countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 109(35):13915-13921.
28. Smith, S.K. and Tayman J.(2003), An Evaluation of Population Projections by Age. *Demography*. 40(4):741-757.
29. Stoto, M.(1983), The Accuracy of Population Projections. *Journal of the American Statistical Association*. 78(381):13-20.
30. United Nations(2012), *World Population Prospects*. The 2nd Revision of the 2010 Revision Population Database.

(责任编辑:朱 萍)