

人口统计

人口预测在PADIS-INT软件中的应用

——MORTPAK、Spectrum和PADIS-INT比较分析*

翟振武 李 龙 陈佳鞠 陈 卫

【内容摘要】队列要素方法目前在人口预测实践中应用极为广泛,而在人口预测软件中对其加以具体运用时,由于涉及算法设定、程序编制上的诸多细节问题,预测结果的精准程度可能会受到影响。文章选定主流的人口预测软件,使用瑞典的实际人口数据,开展对比性人口预测试验,考察不同软件对队列要素方法的实现状况。研究发现,MORTPAK、Spectrum和PADIS-INT人口预测软件由5岁组起始人口插分出的单岁组结果具有一致性、是相近的,根据预测结果推算出的存活比差别甚微,出生人口的预测结果也没有显示很大差异。PADIS-INT已经达到国际主流人口预测软件所应具有预测水准,而考虑到其功能设置更加丰富、参数导入更加灵活、结果呈现更加细致的优势,它目前更加适用于具有应用性质的详细人口预测。

【关键词】队列要素方法;人口预测软件;MORTPAK;Spectrum;PADIS-INT

【作者简介】翟振武、陈卫,中国人民大学人口与发展研究中心教授;李龙、陈佳鞠,中国人民大学人口与发展研究中心博士研究生。北京:100872

Applications of Population Projection in the PADIS-INT: Comparative Study on MORTPAK, Spectrum and PADIS-INT

Zhai Zhenwu Li Long Chen Jiaju Chen Wei

Abstract: Cohort-component method, the most widely used method in population projections, involves the issues of calculation and the details of programming when applied to the population projection software, which could impact the accuracy of projection results. Taking the mainstream projection software programs into account and based on the actual population data of Sweden, this paper, conducting comparative population projection tests, examines the applications of cohort-component method in the three population projection software programs including MORTPAK, Spectrum (DemProj) and PADIS-INT. The results show that the results of single-year age group obtained by the interpolation of five-year age group of the initial population are consistent and close between the three software programs; there is little difference in survival ratios calculated on the basis of the projection results of the three software programs; in the birth population projection, the three software programs don't show great difference either. PADIS-INT has reached the projection level that international mainstream population projection software should have. Since PADIS-INT supports richer functionality especially in the parameter setting and the presentation of projection results, it is more suitable for a detailed population projection with application properties.

Keywords: Cohort-component Method, Population Projection Software, MORTPAK, Spectrum, PADIS-INT

Authors: Zhai Zhenwu and Chen Wei are Professors, Center for Population and Development Studies, Renmin University of China; Li Long and Chen Jiaju are PhD Candidates, Center for Population and Development Studies, Renmin University of China; Beijing 100872. Email: zhaizw@ruc.edu.cn

* 本研究得到国家自然科学基金重大项目“特征、规律与前景——老龄社会的人口学基础研究”(批准号:71490731)的资助。

1 问题的提出

人口变动趋势历来深受全世界的关注,特别是在人口规模异常庞大、人口国情极端复杂的中国,人口态势更成为拟定经济社会战略规划、制定资源环境政策方案的关键考量因素。面对中国老龄化社会持续纵深发展、生育政策逐步调整完善等大背景,研究人口变量之间的内在关系,并以此为基础模拟未来人口演进的潜在轨迹显得尤为重要,人口预测的结果常被纳入社会养老设施建设、母婴产品市场拓展等政府和企业的决策信息中。随着经济社会、资源环境领域相关需求的逐渐增长,作为最核心的人口分析技术之一,人口预测始终以其科学性与实用性而焕发出巨大的生机、彰显着独特的魅力。

队列要素方法是最经典的人口预测方法之一,这种在预测中考虑人口的性别分布效应和年龄分布效应的方法早在 19 世纪就已初现雏形。尽管在过去的数十年间人口模型层出不穷、统计方法也日臻完备,但是时至今日,队列要素方法非但对人口预测作用无可替代,相反几乎成为人口预测唯一采用的方法。特别是在最近的二三十年里,人口分析技术与计算机技术深度融合,这使队列要素方法得以摆脱繁琐的人工运算过程和庞杂的结果整理过程,实现了运算方式的简便化和结果呈现的多样化,从而为这一方法的推广普及创造了良好条件。

计算机技术服务人口分析技术的集中表现就是人口预测软件的不断涌现。这些人口预测软件的研发得到国际组织、政府机构、科研院所等的大力支持,基本都是按照队列要素方法的主要思路进行程序编制和界面设计,充分拓展了这一方法的应用范围,在很大程度上适应了各领域对人口预测结果需求持续膨胀的状况。然而,多种预测软件既开拓了繁荣的局面,也衍生了额外的问题。由于在队列要素方法各个技术环节上的处理方式有所不同,多种预测软件输出多重预测结果,差异的产生势必将会干扰以预测结果为依据的决策判断。目前,各种预测软件相比之下孰优孰劣,应当作出有效的评估。

长期以来,人口预测软件的应用范围极其广泛,但是比较分析却十分薄弱,少有研究关注不同预测软件功能完备程度和结果精准程度上的差别。本文聚焦队列要素方法在国内外主流人口预测软件中的应用过程,基于实际数据,开展预测试验,通过呈现其功能配置、对比其数据输出、解析其算法设定,着重考察预测软件在预测功能上的差异状况、在预测结果上的差异水平及差异来源。研究结论将为更加精准地利用人口预测软件、更加合理地运用人口预测结果提供参考。

2 研究设计

队列要素方法着眼于具有不同死亡、生育以及迁移风险的人口在预测期的变化,模拟这种变化需要相应的死亡、生育以及迁移参数。包含迁移因素的开放人口预测较为复杂,一方面是因为迁移规模对经济社会状况的敏感性很强,其变动趋势的不确定性很大;另一方面则是因为迁移结构与死亡、生育状况的关联性很高,其在死亡和生育上具有继发效应,而这种效应通常难以估算(National Research Council, 2012)。为了简化研究思路、厘清研究逻辑,本文不考虑迁移的影响,在封闭人口中进行预测软件的对比分析。此时,人口预测软件只依赖于起始人口、死亡因素和生育因素三大基本输入项。

对于起始人口,预测软件需要给定的是性别年龄结构,亦即预测起始时点分性别分年龄人口数。当具体操作时,如果输入 5 岁组,起始人口将被预测软件插分成单岁组,插分技术直接决定预测结果的准确程度,应当加以检验。对于死亡因素,预测软件需要考虑的是分性别、分年龄的存活比(survival ratios),但在通常情况下,此类数据无法直接获取,可以按照预测期分性别的平均预期寿命、借助相应

的生命表来推知,从而形成死亡变动的趋势假定^①。由于存活比的估计是以生命表为基础,生命表的构建、发展及转换等过程都会最终作用于预测的精度,本文以模型生命表的应用为例来说明上述过程可能的影响。对于生育因素,预测软件需要考虑的是分年龄生育率,但是在预测软件中,一般给出的是预测期的总和生育率和成比例分年龄生育率(proportionate fertility rate,这是分年龄生育率按其比例进行标准化后的结果,在单岁组的情况下,其与总和生育率对应相乘即可得到分年龄生育率),由此可以形成生育变动的趋势假定^②。测算出生人口的过程涉及育龄妇女存活人数的估计、生育率在对应时期的调整等细节问题,本文将分别加以探讨。

本文选定 MORTPAK 第 4.3 版本、Spectrum 第 4.49 版本和 PADIS-INT 第 1.4.3.0 版本进行起始人口插分技术、模型生命表的应用、出生人口预测方法等方面的对比研究。MORTPAK 和 Spectrum^③ 目前被全球范围内数以万计的规划者和研究者所使用,在主流人口预测软件中最具有代表性。PADIS-INT 立足网络化的现实、面向国际化的需求,致力于实现功能更为强大、技术更为先进、准确程度相对更高、交互界面相对更优的重要目标,尤其是达到更加适合发展中国家应用的效果,在新兴人口预测软件中比较有代表性。从参数设置的功能来看,PADIS-INT 相对最为精细,它不仅允许用户对相关参数的开口组年龄及变动轨迹等作出自定义,同时还支持通过图表相结合的方式对各个参数加以展现。而 MORTPAK 和 Spectrum 则较为单调,不过,它们也不乏各自的优势,其主要体现在,MORTPAK 预测起始时点的设定和 Spectrum 生育模式参数的设定更加灵活一些。

本文的研究方案是以瑞典人口的实际数据为基础,同时兼顾以上 3 个软件的可操作性^④设置一组预测参数。其中,预测参数包括起始人口性别年龄结构、生育水平(总和生育率 TFR)、生育模式(成比例分年龄生育率(PFR,Spectrum 和 PADIS-INT 采用这一参数)或者分年龄生育率(ASFR,MORTPAK 采用这一参数))、死亡水平(分性别平均预期寿命 LE)、死亡模式(直接源于模型生命表)、出生性别比(SRB)以及迁移参数等。预测结果包括各年份分性别分年龄人口数以及各年份死亡人口数、出生人口数等。针对预测结果,通过考察起始年份的单岁组性别年龄结构可以评估起始人口插分的情况,通过研究预测期各年份的性别年龄结构以及死亡人口数可以检验按存活比年龄移算的过程,此外,通过分析预测期各年份的出生人口数可以了解出生人口的预测方法。

上述研究方案将预测起始年份设为 1980 年,预测时长则定为 5 年。此时,瑞典的总人口数约为 831 万人,总和生育率约为 1.66,男性平均预期寿命约为 72.7 岁,女性则约为 78.8 岁,出生性别比约为 105.9。由于 Spectrum 要求起始人口年龄的开口组固定为 80 岁及以上^⑤,用户无法自行设置,本文据此确定预测的开口组年龄为 80 岁。预测期的死亡模式参数依据 Coale-Demeny 模型生命表的西区模式确定,并忽略国际迁移因素的影响(迁移参数全部设定为 0)。预测参数的具体情况如表 1 所示。

① 其中,分性别的平均预期寿命能够代表死亡水平的变动状况,生命表可以反映死亡模式的变动特征。

② 其中,总和生育率能够代表生育水平的变动状况,成比例分年龄生育率可以反映生育模式的变动特征。

③ Spectrum 中包含多个人口和生殖健康相关的软件,这里使用其中的人口预测软件 DemProj。

④ 3 个软件在功能上各有其限定性。例如,MORTPAK 要求预测期的出生性别比保持不变,Spectrum 只适用于平均预期寿命在 80 岁及以下的人口预测,PADIS-INT 对生育模式等的设置只能选取起始年份和终止年份之外的 5 年(为了保证预测软件的比较分析足够精准,预测期各年份的参数在各软件间要保持一致,因此,预测的时长不能超过 7 年)。

⑤ MORTPAK 允许用户在 65~85 岁中选定尾数为 5 或者 0 的年龄作为开口组年龄,PADIS-INT 则使用户的选择范围扩大至 60~100 岁。

3 起始人口插分技术

起始人口性别年龄结构是关系着预测全局的首要因素。其中,作为移算的基础,年龄分组对预测结果的影响十分突出,如果软件均是依托 5 岁组的起始人口进行每 5 年的预测或者都能使用单岁组的起始人口进行每一年的预测,结果在理论上将不会受此影响而显示出巨大差异。但是,长期以来,国内外的主流人口预测软件大多是以逐年预测为目标,而却基本都以 5 岁组的起始人口性别年龄结构为输入项。由于起始人口的年龄分组需和预测的单位时间间隔保持一致以便在预测中进行年龄移算,为了适应逐年预测的要求,5 岁组的起始人口通常先被插分成单岁组,进而与每一年的其他参数匹配起来,之后的预测过程将会依托这一单岁组的起始人口。据此来看,起始人口插分技术是生成预测基年性别年龄结构的关键,如果起始人口插分结果呈现出极大差别,预测结果的巨大差异也就无可避免,可能干扰甚至误导人口趋势的判断和人口政策的制定。

表 1 研究方案的预测参数设置

Table 1 Projection Parameter Setting in the Study Plan

起始人口性别年龄结构			年份(年)	1980	1981	1982	1983	1984	
年龄	男性	女性	生育水平(TFR)	1. 66	1. 65	1. 65	1. 68	1. 73	
0~4	249700	237800	生育模式 (ASFR)						
5~9	285000	271800		15~19	0. 010	0. 010	0. 010	0. 010	0. 010
10~14	299600	284400		20~24	0. 056	0. 056	0. 056	0. 057	0. 059
15~19	291200	277800		25~29	0. 117	0. 116	0. 116	0. 118	0. 121
20~24	284000	272000		30~34	0. 099	0. 099	0. 099	0. 101	0. 104
25~29	298500	284900		35~39	0. 043	0. 042	0. 042	0. 043	0. 044
30~34	342100	325500		40~44	0. 008	0. 008	0. 008	0. 008	0. 008
35~39	311700	292100		45~49	0. 000	0. 000	0. 000	0. 000	0. 000
40~44	241800	232000							
45~49	218800	217500	死亡水平(LE)	男性	72. 7	72. 9	73. 1	73. 4	73. 6
50~54	227600	231600		女性	78. 8	79. 0	79. 2	79. 5	79. 6
55~59	250800	258600							
60~64	228600	241200	出生性别比(SRB)	105. 9	105. 9	105. 9	105. 9	105. 9	
65~69	206400	228900							
70~74	172300	208200	迁移状况	男性	0	0	0	0	0
75~79	113500	159200		女性	0	0	0	0	0
80+	95900	169200							

资料来源:起始人口性别年龄结构、生育水平、生育模式、死亡水平等参数值来源于 Spectrum 软件的数据库,本文会同 World Population Prospects(The 2015 Revision)进行校对,其他参数值为本文自行设定。

在 3 个软件中,MORTPAK 和 Spectrum 只能针对 5 岁组的起始人口进行预测,而 PADIS-INT 在此之外还发展出了以单岁组的起始人口性别年龄结构为输入项进行相关推算的功能。当单岁组人口数

据没有受到年龄误报等的明显“污染”时,这会更有助于提升预测结果的精准程度,特别适合对中国这样规模异常庞大而结构参差不齐的人口进行预测,这是 PADIS-INT 的一个重要优势。

考虑到基于单岁组的起始人口进行预测在各软件间并不具有可比性,本文的对比分析聚焦于以 5 岁组起始人口为基础的预测过程,首先着眼于从 5 岁组到单岁组的起始人口插分过程。插分过程通常依托公式或者图形来完成,包括多项式法、共接法以及图解法等。MORTPAK 和 Spectrum 采用的插分方案基本相同,为共接法的一种;而 PADIS-INT 在主要的年龄组上按照近似于多项式法的过程进行插分。在具体操作时,共接法是将一系列的插分乘数应用于给定的集组数据(例如,5 岁组的数据),只需把数据和乘数对应相乘,而后加以累计,即可求取插值,无需掌握数学公式以及乘数推导,整个过程十分简单明了。共接法的一大优势在于能够维持年龄段上总量一致,且实现年龄组间平滑过渡,组限处能否平滑地接合是衡量插分质量的重要标准;其他插分方法容易造成组限处的突然“断层”,共接法在相关推导时通过把两个多项式叠合进一个方程中可以有效地化解这一问题。MORTPAK 和 Spectrum 所采用的插分乘数是由 Beers(1945)提出,一般涉及单岁组所处 5 岁组以及前后各 2 个 5 岁组。借助于六项式来实现插分结果五阶差分最小化,Beers 插分乘数能够提供相对于其他共接法更为平滑的结果(Siegel 和 Swanson, 2005)。对于 PADIS-INT,除较低和较高年龄组外,其插分方案遵从如下公式:

$$P_i^1 = \frac{1}{5}P_j^5 \cdot \exp\left\{\frac{1}{5}(i-a) \cdot \ln\left[\left(\frac{1}{5}P_{j+1}^5\right)/\left(\frac{1}{5}P_j^5\right)\right]\right\} = \frac{1}{5}P_j^5 \cdot [(P_{j+1}^5)^{\frac{1}{5}(i-a)}/(P_j^5)^{\frac{1}{5}(i-a)}] \quad (1)$$

在(1)式中, i 表示单岁组, a 表示稍小于^①单岁组年龄的尾数为 2 或 7 的年龄组(亦即 5 岁组内的中间年龄组, $i-a$ 实际上是指两者对应的年龄之差), j 表示 a 所处 5 岁组, P 则为对应的人口数。可见 PADIS-INT 在从 5 岁组插分成单岁组时,主要是针对 5 岁组的组中值构造一个与单岁组相匹配的“系数”,从而将组中值调整计算成各单岁组的人口数,这个“系数”取决于单岁组与中间组的组距以及相邻的 5 岁组情况。总的来说,PADIS-INT 的插分方案体现出多项式法的特色。

虽然 MORTPAK 和 Spectrum 的插分方案明显有别于 PADIS-INT,不过,从插分结果来看,三者之间的差异十分有限。如图 1 所示,3 个软件使用两种插分技术得到的单岁组结果是相近的:在肉眼可及的范围内,只能看到较低和较高年龄组出现了相对显著的差别,而其他年龄组的结果几乎都是无差异的,趋势也是非常一致的。如果以 MORTPAK 的插分结果为基准来测算 Spectrum 和 PADIS-INT 同其存在的差异,可以发现,除了 5 岁以下的较低年龄组和 70 岁及以上的较高年龄组,PADIS-INT 与 MORTPAK 在单岁组插分结果上的差距都在 2% 以下,加权平均只有 0.5%(这种程度上的差别对于年龄移算的影响相对很小),而 Spectrum 则与 MORTPAK 完全相同。

较低和较高年龄组相对于其他年龄段略显特殊:它们可能缺少插分方案所要求的对应年龄组用以构建计算公式。Beers 插分方案为此专门给出了适用于较低和较高年龄组的乘数,而 PADIS-INT 也提出了与(1)式不同的插分公式,实际上是对已插分出的单岁组结果按比例进行外推。另外,MORTPAK 还在此基础上对 5 岁以下的各年龄组进行了适当调整^②。

① 所谓“稍小于”,指不大于单岁组的年龄,但要大于单岁组相邻的较小 5 岁组下组限的年龄,亦即 $a \leq i$ 且 $a > i-7$ 。

② 这个调整过程是以 Beers 插分方案计算出的年龄分布为起点进行迭代,直至使其达到收敛而趋于稳定。它的假定是预测起始年份的死亡水平、死亡模式和生育水平、生育模式同样适用于预测期之前一年,为此使用广义稳定人口特征方程进行估计。

表 2 MORTPAK、Spectrum 和 PADIS-INT 对起始人口的插分结果对比

Table 2 Comparison of Interpolation Results of Initial Population between MORTPAK, Spectrum and PADIS-INT

年龄 (岁)	M (人)	S (人)	P (人)	Beers(1945) (人)	M&S (%)	M&P (%)
0	88685	97677	92386	88685	10.14	4.17
1	93856	97523	94876	93856	3.91	1.09
2	98208	97470	97431	98208	0.75	0.79
3	101852	97433	100055	101852	4.34	1.77
4	104899	97398	102752	104899	7.15	2.05
5	107463	107463	106642	107463	0.00	0.76
6	109655	109655	109516	109655	0.00	0.13
7	111573	111573	112466	111573	0.00	0.80
8	113291	113291	113544	113291	0.00	0.22
9	114818	114818	114632	114818	0.00	0.16
10	116093	116093	115609	116093	0.00	0.42
11	116990	116990	116717	116990	0.00	0.23
12	117359	117359	117835	117359	0.00	0.41
13	117125	117125	117224	117125	0.00	0.09
14	116434	116434	116615	116434	0.00	0.16
15	115557	115557	114948	115557	0.00	0.53
16~64					
65	90084	90084	90349	90084	0.00	0.29
66	88680	88680	88984	88680	0.00	0.34
67	87186	87186	87640	87186	0.00	0.52
68	85573	85573	85300	85573	0.00	0.32
69	83777	83777	83027	83777	0.00	0.90
70	81720	82211	82068	81720	0.60	0.43
71	79330	80418	79892	79330	1.37	0.71
72	76544	77454	77780	76544	1.19	1.61
73	73312	72950	72733	73312	0.49	0.79
74	69593	67468	68027	69593	3.05	2.25
75	65352	65352	61985	65352	0.00	5.15
76	60553	60553	58004	60553	0.00	4.21
77	55164	55164	54291	55164	0.00	1.58
78	49151	49151	50827	49151	0.00	3.41
79	42480	42480	47593	42480	0.00	12.04

注: MORTPAK、Spectrum 和 PADIS-INT 在表中分别简记为 M、S 和 P, M&S 和 M&P 则分别表示 Spectrum 和 PADIS-INT 相对于 MORTPAK 在结果上的差异(为了方便起见, 这些差异都在取绝对值后以正向呈现)。

资料来源: Beers(1945) 一列是本文使用 Beers 插分乘数计算得到的结果, 其他各列均为软件输出结果以及据其推算结果。

表 2 报告了 3 个软件在较低和较高年龄组上的插分结果,可以看到 3 个软件的差异变得相对更为明显。就 MORTPAK 和 Spectrum 而言,在较低年龄组上,两者的差别十分突出,其中,0 岁组最大,可达 10.1%,4 岁组其次,也有 7.2%,而 0~4 岁整体加权平均则超过 5%。再和依据 Beers 插分方案估计的结果对照能够发现:MORTPAK 基于测试人口插分出的单岁组数据与之相同,可能是因为测试人口的较低年龄组与给定的预测起始年份死亡模式和生育模式基本匹配,在经过广义稳定人口模型调整后,其插分结果未有显著地改变;Spectrum 显然没有遵从 Beers 插分方案,其基于测试人口插分出的单岁组数据出现了不同的人口年龄分布趋势。而对于 MORTPAK 和 PADIS-INT,两者在较低年龄组上的差别十分有限,只有 0 岁组最大可达 4.2%,其他年龄组基本都在 2% 以下(这与较低和较高年龄组之外的年龄组具有一致性),0~4 岁整体加权平均约为 2.0%。

图 1 MORTPAK、Spectrum 和 PADIS-INT 对起始人口的插分结果对比

Figure 1 Comparison of Interpolation Results of Initial Population between MORTPAK, Spectrum and PADIS-INT

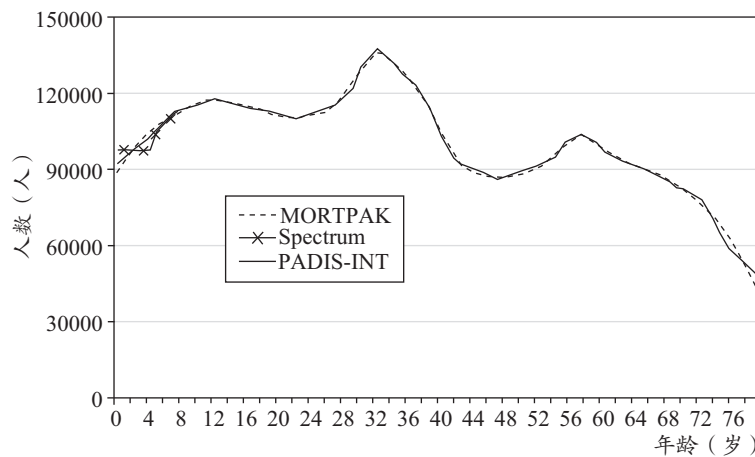
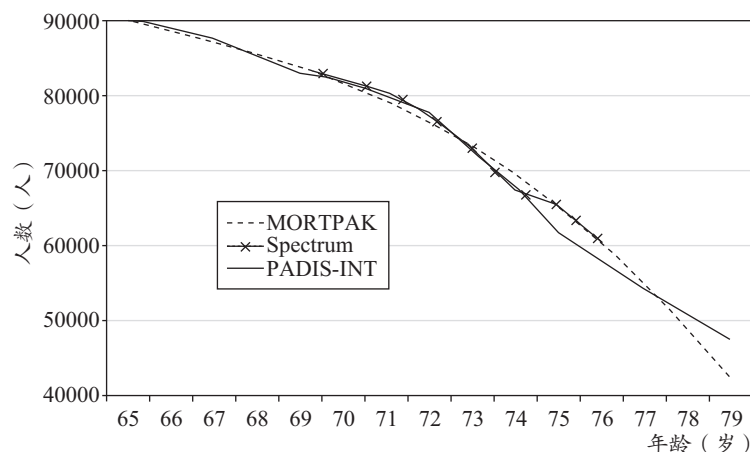


图 2 MORTPAK、Spectrum 和 PADIS-INT 对较高年龄组人口的插分结果对比

Figure 2 Comparison of Aged Population Interpolation Results between MORTPAK, Spectrum and PADIS-INT



在较高年龄组上,MORTPAK 和 Spectrum 对各年龄组的插分结果几乎无差别。值得关注的是70~74 岁,通过比对依据 Beers 插分方案估计的结果,能够看到 Spectrum 与 MORTPAK 之间显现出的些微差异是因为前者在插分计算上发生错误(可能在程序编写上出现问题),改变了 Beers 插分方案在年

龄组间平滑过渡的趋势(见图 2)。MORTPAK 和 PADIS-INT 在较高年龄组上的差别较为显著:70~74 岁各年龄组尚且能够与较低和较高年龄组之外的年龄组保持一致性,差别基本都在 2% 以下,但 75~79 岁各年龄组的差别却基本都超过了 2%,79 岁组甚至可达 12.0%(这恰好是和开口组相邻的年龄组,可能是其相应的插分公式未能实现这些年龄组间的良好衔接)。

4 模型生命表的应用

队列要素方法进行人口预测最核心的环节是按存活比年龄移算。存活比由生命表中的存活人年数 ${}_nL_x$ 相除之后生成,对于 ${}_nN_x$,其为 ${}_nL_{x+n}/{}_nL_x$ (最低年龄组和最高年龄组除外, n 一般取值 1 或者 5)。通常假定在某一时期内相应年龄组的存活人口数呈现出线性的变化趋势,存活人年数 ${}_nL_x$ 就能基于平均的存活人口数(或者期中的存活人口数)加以简单估计。用存活比预测未来的存活人口数最基本的计算公式为 ${}_nN_x(t+n) = {}_nN_{x-n}(t) \cdot ({}_nL_x/{}_nL_{x-n})$ ^①(其中, t 为时点, ${}_nN_x$ 为对应时点的人口数)。

年龄移算并不直接使用生命表中的存活概率 ${}_np_x$ 。由于概率是从队列的视角出发加以定义,存活概率由确切年龄 x 岁的存活人口数 l_x 相除之后生成,对于 ${}_nN_x$,其为 l_{x+n}/l_x 。应当注意的是,在某一时点上被真正观测到的各单岁组人口数 ${}_1N_x$ 并不等同于正好这一周岁的存活人口数,而等同于该年龄组内平均的存活人口数。举例来说,某年年末 16 岁组的人口数 ${}_1N_{16}$ 中,既有刚刚度过 16 周岁生日的人,也有差不多已经到 16 岁半的人,还有即将迎来 17 周岁生日的人。 ${}_1N_{16}$ 则是由 16~17 周岁之间(但未满 17 周岁)各确切年龄的存活人口数平均而成,这在数值上等同于 ${}_1L_{16}$ 。总的来说,在任一时点上的各单岁组人口数 ${}_1N_x$ 对应的都是该年龄组平均的存活人口数,也就相当于其存活人年数 ${}_1L_x$ 。因此, ${}_1L_x/{}_1L_{x-1}$ 也就能用以估计人口从 $x-1$ 至 x 岁的存活水平^②。而存活概率是在生命表中的确切年龄处定义,这与实际的情况并不一致,按存活概率来年龄移算是典型的人口分析方法误用^③。事实上,对于 ${}_1N_{x-1}$,存活概率 ${}_1p_{x-1}$ (亦即 l_x/l_{x-1})是在相应年龄组内分布最年轻的情况(亦即将 $x-1$ 至 x 岁的所有人均视为 $x-1$ 岁)下对存活比的估计。

年龄移算过程要依靠生命表来支撑。当预测期的平均预期寿命确定之后,人口预测的具体操作需对每个平均预期寿命对应的生命表进行定义,从而生成死亡模式这一预测参数。理想的状况是利用某一国家(或地区)的数据资料编制其在起始年份平均预期寿命下的生命表,并以此为基础发展出预测期其他年份平均预期寿命下的生命表。然而,这项工作事实上面临的挑战非常大:一方面,基础生命表的编制必须依托于良好的死亡统计,但是,死亡漏报在数据资料中往往普遍存在,较低年龄组通常更加严重^④,需要引入其他来源的资料或者间接估计的方法,进行科学的数据质量评估和细致的数据结果修正;另一方面,发展出其他生命表还必须系统地研究死亡年龄分布模式的变化规律,特别是在较高年龄组上,死亡率的动态演进趋势具有相当的不确定性,但是,这部分人口的数据资料规模较小、质量也不高,需要长时间、大范围的高龄死亡统计信息。

① 年龄移算过程需分性别进行,这里未作区分,仅是反映总的原理。

② 如果将生命表视作静止人口,这个问题将会更加容易理解: ${}_1L_x$ 即为存活人口数,存活比 ${}_1L_x/{}_1L_{x-1}$ 是相邻两年龄组存活人口数之比,由于其为静止人口,事实上也就是 $x-1$ 至 x 岁的人在 1 年后仍然存活的比例。

③ 从生命表来看,受死亡的影响, ${}_1L_{x-1}$ 在数值上一定介于 l_{x-1} 与 l_x 之间。除了最低年龄组和最高年龄组之外,一般认为死亡人口数在相应年龄组内分布较为均匀,可以通过对 l_{x-1} 与 l_x 求算术平均数来估计 ${}_1L_{x-1}$,亦即 ${}_1L_{x-1} = (l_{x-1} + l_x)/2$,近似于 $l_{x-0.5}$ 。此时,存活比 ${}_1L_x/{}_1L_{x-1}$ 与存活概率 ${}_1p_{x-1}$ 在数值上相差甚微,按存活概率来年龄移算也不会特别显著地影响相应的预测结果。但是死亡人口数在最低年龄组和最高年龄组的分布极不均匀,存活比 ${}_1L_x/{}_1L_{x-1}$ 与存活概率 ${}_1p_{x-1}$ 在数值上差别很大,按存活概率来年龄移算的结果就会随之失准。

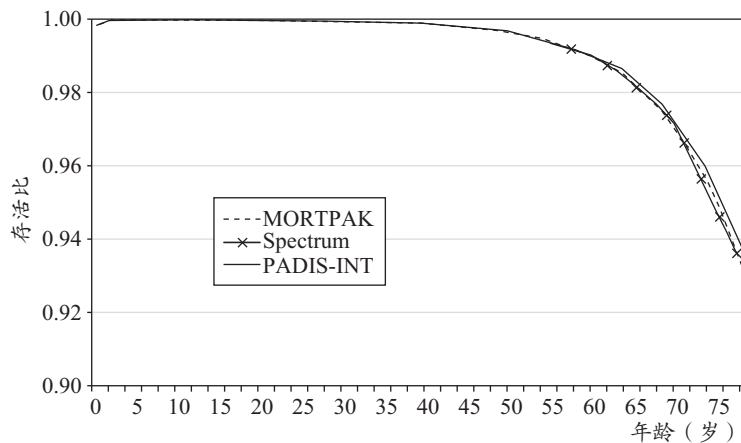
④ 针对中国人口普查数据的相关研究结果可以见于王金营、戈艳霞(2013),黄荣清、曾宪新(2013)等。

模型生命表是从实际生命表中经过抽象综合而成,作为经验的和标准的死亡模式,其在根据平均预期寿命建构相应的生命表时能够提供很多便利。目前,3个软件都支持 Coale-Demeny 4 种区域模型生命表和联合国 5 种发展中国家模型生命表,这些模型生命表可在人口预测的具体操作时直接调取,从而系统地估计出预测期各年度分年龄存活比。本文以 Coale-Demeny 模型生命表西区模式的应用为例,说明 3 个软件按存活比来年龄移算时可能存在的差异^①。如果上述过程没有明显的不同之处,就可以认为 3 个软件的预测结果至少在短期内和在总体上是会趋同的。

根据 ${}_nN_x(t+n) = {}_nN_{x-n}(t) \cdot ({}_nL_x / {}_nL_{x-n})$ 这一计算公式可知,存活比一般可由同一出生队列的人口数在前后两年上相比获得,亦即 ${}_nL_x / {}_nL_{x-n} = {}_nN_x(t+n) / {}_nN_{x-n}(t)$ 。通过将软件预测出的各年度分年龄人口数对应相除,可以推算软件做预测时所基于的存活比。而考虑到存活比是由平均预期寿命对应的模型生命表估计而来,这样就能检验模型生命表在 3 个软件运行中的具体应用情况。图 3 展示了 3 个软件在预测第一个时间间隔(1980~1981 年)上分年龄存活比的对比(未包含高龄开口组,其他时间间隔与此情况相似,不做逐一展示)。可以看到,估算出的 3 个软件存活比在绝大多数的年龄上没有显示差异,趋于高度一致,这一定程度上预示着三者的预测结果不会出现巨大差别。不过,进入老年阶段(60 岁及以上)之后,存活比的差异在三者之中逐渐显现。特别是在较高年龄组上,估算出的 PADIS-INT 存活比相对于 MORTPAK 和 Spectrum 略有偏高,而后两者除了 70~74 岁这一年龄段之外,分年龄存活比曲线几乎都是重合的。

图 3 3 个软件在预测第一个时间间隔(1980~1981 年)上分年龄存活比的对比

Figure 3 Comparison of Survival Ratios between the Three Software Programs over the First Projection Interval (1980 - 1981)



在此基础上,可以计算得到预测期各年份分年龄死亡人口数,从而能够对按存活比年龄移算在 3 个软件人口预测中,特别是在死亡人口预测中的有效性做出整体评价。PADIS-INT 与 MORTPAK 及 Spectrum 的差别集中在 70 岁及以上的年龄段,这一方面是由于 PADIS-INT 在该年龄段上的存活比相对更高;另一方面也是因为除了和开口组相邻的年龄组(78 和 79 岁)之外,PADIS-INT 在该年龄段上插分出的单岁组人口数相对偏少。3 个软件在其他的年龄段上基本没有差异,反映起始人口由 5 岁组

① Coale-Demeny 模型生命表在众多模型生命表(包括未被 3 个软件收录的模型生命表,如 Valaoras 模型生命表、Lederman-Breas 模型生命表等)中应用相对最为广泛,自 1966 年公开发表后,在联合国人口司的支持下已经更新数版。其中的西区模式被认为有良好的代表性(最一般化),与测试人口(瑞典人口)实际的死亡模式较契合。这是本文选取 Coale-Demeny 模型生命表西区模式进行人口预测的主要考虑。

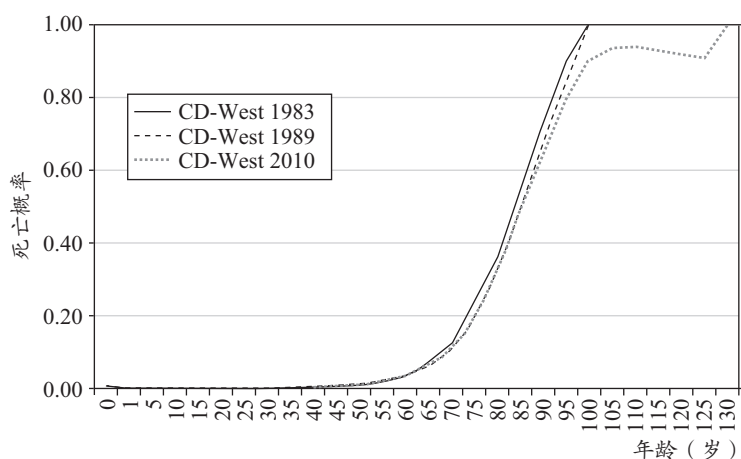
插分成单岁组未对预测结果带来显著差别。整体而言, PADIS-INT 预测出的死亡人口总量在 3 个软件中相对最少, 其与 MORTPAK 在预测期内大约相差 2%, 而与 Spectrum 相差稍微多些 (Spectrum 预测出的死亡人口总量在 3 个软件中相对最多, 其与 PADIS-INT 在预测期内大约相差 4%), 但是 3 个软件的死亡人口总量呈现出相同的变动趋势。

较高年龄组之所以产生了上述差异, 主要是有以下两方面的原因: 其一, 3 个软件中的模型生命表版本明显不同, 这是上述差异的主要来源; 其二, 3 个软件对模型生命表的插分 (以及构建) 也有所不同。

在 3 个软件中, PADIS-INT 所用模型生命表版本相对最新, 而 MORTPAK 和 Spectrum 所用模型生命表版本则较老。就 Coale-Demeny 模型生命表而言, PADIS-INT 配置的是经由联合国人口司修订完善的 2010 年版本 (以西区模式为例, 最高平均预期寿命可以达到 100 岁, 同时, 表上高龄开口组的下限为 130 岁), MORTPAK 可供运行联合国人口司在 1989 年改进后的版本 (西区模式对应着的最高平均预期寿命是 92.5 岁, 表上高龄开口组的下限则为 100 岁), Spectrum 仍然使用 Coale、Demeny 以及 Vaughan 于 1983 年修订的第二版本 (在西区模式下, 最高平均预期寿命仅有 80 岁, 表上高龄开口组的下限也为 100 岁)。模型生命表版本的差别绝不只是简单地体现在新版不断地向更高的年龄段上拓展, 同时还比较突出地反映在新版对既定的平均预期寿命下各个年龄死亡概率 (${}_nq_x = 1 - {}_np_x$) 的数据更替。如图 4 所示, 同是女性平均预期寿命为 80 岁的 Coale-Demeny 模型生命表西区模式, 由于 3 个软件所用版本不同, 其死亡概率的年龄分布差异显著。可以看到, 随着版本更新, 各个年龄的死亡概率几乎都在逐渐降低 (Spectrum 所用 1983 年版本相对最高, MORTPAK 所用 1989 年版本次之, PADIS-INT 所用 2010 年版本最低), 版本之间的差别在老年阶段 (60 岁及以上) 尤为突出。这些死亡概率可在生命表中转化为相应的存活比, 则死亡概率相对最低的 PADIS-INT 存活比最高, 而死亡概率最高的 Spectrum 存活比相对偏低。需要特别说明的是, 尽管第 4 版本的 Spectrum 可以设定 80 岁以上的平均预期寿命, 但是受到模型生命表版本的限制, 这种情况下的预测结果将会失效 (存活比在较低年龄组上可能超过 1), 因此, Spectrum 只适用于平均预期寿命在 80 岁及以下的人口预测。

图 4 不同版本的 Coale-Demeny 模型生命表对比 (女性, 平均预期寿命为 80 岁)

Figure 4 Comparison of Coale-Demeny Model Life Tables of Different Editions (Female, Life Expectation = 80)



资料来源: Ansley Coale, Paul Demeny and Barbara Vaughan. 1983. Regional Model Life Tables and Stable Populations (Second Edition). New York, Academic Press: 54; Office of Population Research. 1990. New Regional Model Life Tables at High Expectation of Life. Population Index 1: 26-41; United Nations Population Division. 2010. World Population Prospects: The 2010 Revision.

Coale-Demeny 模型生命表对应的平均预期寿命分别是每隔 2.5 岁给出,且表上的各项指标都按照 5 岁组的形式给定(其为简略生命表)。为了适应单岁组起始人口逐年预测的需要,3 个软件在具体操作中将会涉及两次插分过程:一是插分各个年份平均预期寿命对应的模型生命表(以下简称“插分模型生命表”),二是把模型生命表中 5 岁组指标插分成单岁组指标(事实上就是变简略生命表为完全生命表,以下简称“插分单岁组指标”)。

插分模型生命表的过程较为简便,由于可知的模型生命表划定的平均预期寿命间隔并不大(2.5 岁),通过线性插分能够得到预测期各年份平均预期寿命下的模型生命表。例如,2010 年中国女性平均预期寿命为 77.37 岁,利用女性平均预期寿命分别为 75.0 岁和 77.5 岁的两个模型生命表(距离已确定的平均预期寿命最近的两个模型生命表)即可插分出 77.37 岁的女性平均预期寿命对应的分年龄死亡概率。然而,死亡概率是构建生命表的基础,生命表对应的平均预期寿命由其决定,插分模型生命表得到的死亡概率也确定了相应的平均预期寿命,但这并不一定完全等同于前定的预测期该年份的平均预期寿命。为了解决这个问题,需要进行迭代运算,使插分出的死亡概率能收敛到稳定值。总的来说,3 个软件插分模型生命表的技术是一致的,预测结果的差异并非来源于此。

插分单岁组指标的过程显示巨大差别,3 个软件分别采取了不同的处理方案。MORTPAK 使用 Heligman-Pollard 模型(1980)^①插分 5 岁组的死亡概率,并在此基础上构建生命表^②、估计存活比。Spectrum 并不插分死亡概率,而是仍然借用 Beers 提供的插分乘数直接对 5 岁组的存活人年数进行插分,计算存活比。PADIS-INT 在插分时首先推算 5 岁组内的中间年龄组的存活概率(5 岁组存活概率开 5 次方),而后为其定义一个 r 值^③,单岁组的存活概率即 ${}_1p_x = {}_1p_a \cdot \exp[r \cdot (x-a)]$ (a 表示单岁组 x 所在 5 岁组内的中间年龄组, ${}_1p_a$ 是其存活概率),据此构建的生命表^④可以估计出存活比。需要说明的是,1~4 岁组并不适用于上述插分方案,Spectrum 和 PADIS-INT 都做了特殊化的处理。尽管插分单岁组指标的过程迥异,但是鉴于 3 个软件估算得到的存活比差别十分有限,可以初步认为其在单岁组指标的插分方面效果是较为相近的。总的来说,对于插分各个年份平均预期寿命对应的模型生命表和把模型生命表中 5 岁组指标插分成单岁组指标这两次插分过程,3 个软件没有产生明显的差异。

5 出生人口预测方法

掌握出生人口变动趋势是人口预测最核心的目标之一,也是最低年龄组存活人口数估计的关键环节。队列要素方法主要依靠育龄妇女分年龄生育率和人口数两大指标来实现出生人口预测。根据生育率的定义可知,在某一时期内,将生育率按育龄妇女的年龄分别乘上育龄妇女平均的存活人口数

① 这一模型的数学表达形式是个三项式,分别反映婴儿期以及少儿早期死亡率快速下降(涉及 3 个参数的指数函数形式)、中青年期事故及孕产死亡率的影响(涉及 3 个参数的近似对数正态分布形式)和中老年期死亡率的持续上升(涉及 2 个参数的 Gompertz 指数函数形式),其中参数的估计值满足 5 岁组死亡概率的拟合值与观测值残差最小化的要求。它被认为是目前最好的全年龄死亡率模型,在人口预测中构建生命表十分有效(Ibrahim, 2008)。

② MORTPAK 在构建生命表时参照 Greville(1943)的方法。这一方法依据 Gompertz 死亡定律,假定分年龄死亡率 ${}_n m_x$ 与年龄之间呈现对数线性相关,从而可以推知 ${}_n m_x$ 和 ${}_n q_x$ 之间的转换关系。此时已无须知道死亡人口平均存活年数 a_x ,事实上 a_x 也能够基于 ${}_n m_x$ 和 ${}_n q_x$ 之间的转换关系求得。这样,存活人年数以及存活比就可以在生命表中推算出来。

③ r 值首先是在 5~9 岁组定义,其为 10~14 岁组内的中间年龄组与 5~9 岁组内的中间年龄组死亡概率对数值之差的 1/5。其他 5 岁组的 r 值则是该 5 岁组内的中间年龄组与相邻的较小 5 岁组的下组限年龄组死亡概率对数值之差的 1/3。

④ Spectrum 在构建生命表时借鉴 Keyfitz(1966)的方法确定 a_x ,假定死亡人口在 $(x-n)$ 到 $(x+2n)$ 的年龄区间内服从二项式分布。

(对存活人年数的估计值)^①即可得到育龄妇女分年龄生育数(也即按育龄妇女年龄分的出生数)。育龄妇女分年龄生育率可在给定预测期各年度的总和生育率及生育模式时经由简单推算获知。而育龄妇女分年龄人口数实际上是育龄妇女的平均存活人口数,不应使用预测期各年份的相应人口数,因为这是预测单位区间起始时点上的指标,不可直接用于估计预测单位区间中的存活人年数(对应的是预测单位区间中间时点),通常的做法是假定育龄妇女人口数在预测期内的变动趋势为线性,用预测单位区间起始时点和终止时点的育龄妇女存活人口数均值来近似代替。考虑到在预测单位区间中暴露于某整数年龄生育风险的育龄妇女事实上来自于两个相邻的单岁组出生队列,对育龄妇女分年龄人口数的估计为 $[\frac{1}{2}N_x^F(t) + \frac{1}{2}N_x^F(t+1)]/2$ 。因此,育龄妇女分年龄生育数就是 ${}_1F_x \cdot [\frac{1}{2}N_x^F(t) + \frac{1}{2}N_x^F(t+1)]/2 = {}_1F_x \cdot [\frac{1}{2}N_x^F(t) + \frac{1}{2}N_{x-1}^F(t) \cdot (L_x/L_{x-1})]/2$ (${}_1F_x$ 为时期生育率),将各年龄的生育数加总便可得到该预测时段内的出生人口数。

3 个软件均是采取上述基本思路进行出生人口预测,但是由于它们对预测单位区间起始时点有着不同的设定方式,具体操作中需要根据生育水平参数能否在时间上与之相匹配而对估计方法进行适当的调整。MORTPAK 可以自主设定预测的起始时点,并将其精确至月和日,需要给出的是各个预测年(从预测单位区间的起始时点到终止时点,时长一年)的生育水平参数^②。这种情况下生育水平参数没有是在时间上错离预测单位区间,可以直接按照上述计算过程进行出生人口预测。Spectrum 将预测的起始时点默认为年中,而生育水平参数则是在预测期涉及的各个日历年(从 1 月 1 日到 12 月 31 日)上设定^③,这意味着育龄妇女在预测单位区间内既要经历前一个日历年的下半年,又要度过后一个日历年的上半年,生育水平参数无法在时间上与预测单位区间相匹配,直接将育龄妇女分年龄生育率应用到育龄妇女平均的存活人口数上并不精准。Spectrum 的做法是使用前后两个日历年育龄妇女分年龄生育率的均值(假定变动趋势是线性的),亦即根据 $[\frac{1}{2}F_x(t) + \frac{1}{2}F_x(t+1)]/2 \cdot [\frac{1}{2}N_x^F(t) + \frac{1}{2}N_x^F(t+1)]/2$ 来近似估计育龄妇女在预测单位区间(从前一年年中到后一年年中)上的生育数,而生育数前后两年的均值可以用来推算日历年上的出生数。PADIS-INT 默认的预测起始时点为年末,这使得在日历年上给定的生育水平参数(预测起始年份无需设定生育水平参数)能够完全适用于预测单位区间^④,因此也可遵照前述计算方法进行出生人口预测。总的来说,MORTPAK 和 PADIS-INT 不需要对生育水平参数在时间上做出调整,而 Spectrum 需要进行适当处理。

3 个软件得到的出生人口总量在预测期各年份上差别不大。PADIS-INT 预测出的出生人口总量在 3 个软件中相对最多,但也只是略微高于 Spectrum,两者极为相近,最大差别仅为 0.7%,差别加权平均约为 0.4%。比较之下,PADIS-INT 与 MORTPAK 差异更为明显,不过,最大差异也只是 3.0%,差异加权平均约为 1.6%。MORTPAK 和 PADIS-INT 在出生人口总量上的差别主要还是因为起始人口 5 岁组插分结果存在差异,而和 Spectrum 在出生人口总量上的差别则可能是由于对生育水平参数在时

① 还需乘以预测单位区间间隔长度(例如,若为 5 岁组,则需乘上区间长度 5)。为了更加便于说明,同时也更确切地反映 3 个软件在预测中的实际情况,以下基于单岁组来阐述相关原理。

② 例如,以 1980 年 1 月 1 日为预测的起始时点,预测单位区间诸如 1980 年 1 月 1 日至 1981 年 1 月 1 日(不含该日),而输入 MORTPAK 的生育水平参数也就是 1980 年 1 月 1 日至 1981 年 1 月 1 日(不含该日)的总和生育率。

③ 例如,以 1980 年为预测的起始年份,则默认的具体起始时点是 1980 年 7 月 1 日,预测单位区间包括 1980 年 7 月 1 日至 1981 年 7 月 1 日(不含该日),输入 Spectrum 的生育水平参数却是 1980 年 1 月 1 日至 1981 年 1 月 1 日(不含该日)的总和生育率。

④ 例如,预测的起始年份设定为 1980 年,则默认的具体起始时点是 1980 年 12 月 31 日,预测单位区间将是 1980 年 12 月 31 日(1981 年 1 月 1 日)至 1981 年 12 月 31 日(1982 年 1 月 1 日,不含该日),输入 PADIS-INT 的生育水平参数是从 1981 年开始,包括 1981 年 1 月 1 日至 1982 年 1 月 1 日(不含该日)的总和生育率。

间上的调整造成的。此外,3个软件不同的模型生命表版本及其插分结果将会直接影响育龄妇女人口数的年龄移算和存活人年数的计算,进而间接影响出生人口总量的预测,但由于育龄妇女的存活比很高,上述影响非常有限。

基于出生人口总量,结合预测期各年份的出生性别比可以估算得到女性出生人口数($B^F(t, t+1) = B(t, t+1) \cdot [100/(100+SRB)]$),其中, B 表示相应时期的出生人口数, SRB 为100名女婴对应的男婴数和男性出生人口数($B^M(t, t+1) = B(t, t+1) \cdot [SRB/(100+SRB)]$)。出生人口总量将演变成最低年龄组存活人口数,在此根据静止人口的指标关系定义其存活比为 ${}_1L_0/l_0$ (${}_1L_0$ 可被视为0~1岁的存活人数, l_0 则被视为出生人数),因而有 ${}_1N_0(t+1) = B(t, t+1) \cdot ({}_1L_0/l_0)$ 。

6 研究结论

队列要素方法目前是人口学者进行人口预测的通行之法,虽然它的整体原理并不复杂,但在人口预测软件中将其加以实现时却会涉及诸多算法设定、程序编制上的细节问题,这可能影响预测结果的精准程度。通过选定主流的预测软件、使用瑞典的实际数据、开展对比性预测试验,可以呈现预测软件在预测结果上的差异、评估预测软件对于预测结果的影响,从而提升人口预测结果作为各类决策依据的科学性。基于MORTPAK、Spectrum和PADIS-INT的比较分析可以发现:

(1)从起始人口插分技术来看,3个软件大致使用了两种插分方案,PADIS-INT采用的是不同于MORTPAK及Spectrum的插分方案,但是总的来说,由5岁组起始人口插分出的单岁组结果具有一致性、是相近的;

(2)从模型生命表的应用来看,根据3个软件预测结果推算出的存活比差别甚微,较高年龄组上产生相对明显的差异主要是因为3个软件中的模型生命表版本不同,3个软件在插分模型生命表和插分单岁组指标时并没有显著地影响预测结果;

(3)从出生人口预测方法来看,3个软件在育龄妇女存活人数估计时采用相同方法,并对生育率在相应时期上加以调整,预测结果没有显示巨大差异。

据此来看,作为新兴人口预测软件的一个代表,PADIS-INT已经达到甚至超过国际主流人口预测软件所应具有预测水准。由于在单岁组起始人口录入、模型生命表版本更新以及更加灵活的参数设置、更加多元的图表呈现等方面的优势,其已显示出良好的应用价值,因此更加适用于中国人口规划性和应用性的预测。而相比之下,Spectrum存在的模型生命表版本过旧、个别年龄组插分有误等问题需要在应用软件时加以关注。

参考文献/References:

- 1 National Research Council. 2012. Aging and the Macroeconomy: Long-Term Implications of an Older Population. The National Academies Press, 46-47.
- 2 Hensy Beers. 1945. Six-Term Formulas for Routine Actuarial Interpolation, The Record of the American Institute of Actuaries 69:59-60. 转引自 Jacob Siegel and David Swanson. 2005. The Methods and Materials of Demography (Second Edition). Elsevier Academic Press, 728.
- 3 Jacob Siegel and David Swanson. 2005. The Methods and Materials of Demography (Second Edition). Elsevier Academic Press, 688.
- 4 黄荣清,曾宪新.“六普”报告的婴儿死亡率误差和实际水平的估计.人口研究,2013;2:3-16
Huang Rongqing and Zeng Xianxin. 2013. Infant Mortality Reported in the 2010 Census: Bias and Adjustment. Population Research 2:3-16.

- 5 王金营, 戈艳霞. 2010 年人口普查数据质量评估以及对以往人口变动分析校正. 人口研究, 2013; 1:22 – 33
Wang Jinying and Ge Yanxia. 2013. Assessment of 2010 Census Data Quality and Past Population Changes. Population Research 1;22 – 33.
- 6 Ansley Coale, Paul Demeny and Barbara Vaughan. 1983. Regional Model Life Tables and Stable Populations (Second Edition). Academic Press;54.
- 7 Office of Population Research. 1990. New Regional Model Life Tables at High Expectation of Life. Population Index 1;26 – 41.
- 8 United Nations Population Division. 2010. World Population Prospects;The 2010 Revision.
- 9 L. Heligman and J. H. Pollard. 1980. The Age Pattern of Mortality. Journal of the Institute of Actuaries 107;49 – 80.
- 10 Rose Ibrahim. 2008. Expanding an Abridged Life Table Using the Heligman-Pollard Model. Matematika 1;1 – 10.
- 11 T. N. E. Greville. 1943. Short Methods of Constructing Abridged Life Tables, The Record of the American Institute of Actuaries, 65;29 – 42. 转引自 Samuel Preston, Patrick Heuveline, Michel Guillot. 2001. Demography: Measuring and Modeling Population Processes. Blackwell Publishing Ltd. 44 – 45.
- 12 Nathan Keyfitz. 1966. A Life Table that Agrees with the Data. Journal of the American Statistical Association 314;305 – 312.

(责任编辑:石 玲 收稿时间:2017-11)