

二维死亡模型对中国人口死亡模式的适用性研究*

张震 戴志杰 杨菁

【摘要】高质量人口死亡数据的匮乏长期困扰着中国的死亡率研究,死亡率的间接估计也由此成为中国人口研究的一项重要基础性工作。过去常用的方法如模型生命表和死亡关联模型等存在的一些缺陷会导致死亡率的误估。Wilmoth 等提出的二维死亡模型具有对数据要求少、估计效果好的特点,但该模型的提出、构建和验证均基于发达国家的死亡率数据,对中国人口死亡模式的适用性还有待检验。文章从模型构建、经验系数和输入参数 3 个方面考察该模型的适用性。研究表明,二维死亡模型在理论和模型估计上均对中国有较好的适用性,能准确地刻画中国人口死亡率的年龄模式。对拟合效果的检验和比较显示,二维死亡模型估计的精度优于其他的间接估计方法,拟合效果更好。

【关键词】二维死亡模型 死亡率 间接估计 拟合 模型生命表

【作者】张震 复旦大学人口研究所,副教授;戴志杰 复旦大学人口研究所,硕士研究生;杨菁 复旦大学人口研究所,硕士研究生。

一、引言

长期以来,中国缺乏长时序、高质量的人口死亡数据。一方面,中国缺乏成熟和完备的人口死亡登记制度。对于历史数据,目前只有少数地区(如上海)把人口死亡登记数据回溯到 20 世纪 80 年代,全国范围的长时序人口死亡数据库的建成还需要更多的时间和努力。另一方面,人口普查资料是到目前为止能够提供最详尽全年龄死亡信息的来源,然而,1990 年以来的历次人口普查都受到不同程度的死亡漏报的困扰,尤其是婴幼儿和老年人死亡的漏报十分严重(Coale 等,1991;王金营,2013)。

由于数据条件有限,基于人口死亡模型的间接估计成为获得中国人口全年龄死亡率的重要手段,其中又以模型生命表的应用最为广泛(郝虹生等,1988;蒋正华,1990;黄

* 本文为国家自然科学基金面上项目“中国人口寿命不均等的变化趋势、影响因素及对策研究”(编号:71473044)的阶段性成果。

荣清,2005;王金营,2013)。间接估计的基本思路是利用可靠的部分信息去估计更多、更完整的信息。人口死亡率间接估计的合理性源自年龄别死亡率之间存在较强的相关关系,而可行性则基于一个重要的事实——即使缺乏全年龄死亡率的人口,也有比较可靠的婴幼儿死亡数据(Li,2015)。这也是众多死亡率估计方法在设计之初就充分考虑到,典型的是以0~4岁死亡概率作为输入变量估计全年龄死亡率。如寇尔—德曼模型生命表(Coale等,1966)、联合国发展中国家模型生命表(United Nations,1982)。也有同时使用婴幼儿和成年人死亡率以提高估算精度的模型,如修正Logit模型生命表(Murrey等,2003)和二维死亡模型(Wilmoth等,2012)。

死亡率间接估计对中国人口死亡相关研究起到了积极的促进作用,但各种模型对中国人口死亡模式的适用性却一直没有得到仔细的考察。不同的模型生命表或同一个模型生命表的不同模式(如寇尔—德曼模型生命表的西区 and 东区)之间并没有内在的关联机制。例如,在寇尔—德曼模型生命表中,东区并不能视为西区模式的死亡率水平提高到一定程度的结果。使用修正Logit模型生命表之类的关联模型,也存在选取标准生命表的问题。选取不同的模型生命表得到的结果,不仅存在死亡率水平的差异,也存在死亡率年龄模式的差异,因此,即使依据不同的生命表得到几乎一样的预期寿命,也不能说这两个生命表是等价的,均适用于中国人口研究。

近年来,学界提出一些新模型,包括本文将要讨论的二维死亡模型,以期更好地反映人类死亡率的下降趋势。除了使用新近的人类死亡率数据(Clark等,2011),还有在模型构建上的进一步发展(Murray等,2003;Wilmoth等,2012)。然而,这些新模型在提出思路、模型构建及估计时所依据的主要是西方国家的历史数据,几乎没有涵盖中国,由此得到的模型所能反映和刻画的死亡模式是否适用于中国人口研究,还有待考察。鉴于此,本文将结合死亡率间接估计的新近发展,通过对比分析,从模型构建、经验系数和输入参数3个方面考察二维死亡模型对中国人口研究的适用性,以期丰富中国人口死亡研究。

二、文献回顾

一般而言,能估算全年龄死亡率的模型可以大致分为两类。一类是数学模型,如Gompertz(1825)或Heligman等(1980)提出的描述年龄别死亡率的模型,借助少量参数就能计算诸多年龄的死亡率。不过,这些参数通常是从实际数据中估算得到的,或者是在模拟分析中进行假设。基于这类模型的研究重点是对死亡率变化进行理论分析。另一类是经验模型,典型的是模型生命表。

模型生命表是在分析人类死亡历史数据的基础上,归纳出一些具有典型特征的死亡模式。这些生命表用一系列参数(年龄别死亡率的经验值)来刻画年龄模式,并用一个容易收集的指标(如婴儿死亡概率)作为输入变量,在保持相同死亡率年龄模式的情况

下,用这个指标进一步衡量整体死亡率水平,从而得到反映不同死亡率水平的生命表。把不同死亡率年龄模式及每种模式下众多死亡率水平进行整合,得到一个模型生命表系统。Brass(1971)开发了一种创新的方法,其双参数关联模型可以把一套“标准”死亡率函数和数学规则与任意人口的死亡率相关联。近年来,为了反映 HIV/AIDS 对成年人死亡率的影响,该模型得到进一步的扩展(Murray 等,2003),由此生成的模型生命表系统也被世界卫生组织(WHO)用于估算其会员国的生命表。

模型生命表系统是在一组经验数据基础上生成的,只能反映该经验数据中所包含的死亡模式及其变化情况。广泛使用的寇尔—德曼模型生命表和联合国模型生命表是基于 30~50 年前死亡率数据而建立的,那时不存在近几十年这样低的死亡率,所以其整个系统无法反映处于低死亡率人口的死亡式,使用这些生命表将会造成年龄别死亡率的误估(Coale 等,1989;Wilmoth 等,2012)。在过去数十年中,绝大多数国家人口的死亡率水平都在持续下降,包括中国在内的一些发展中国家也步入较低死亡率国家的行列,这些模型生命表对于中国人口的适用性已经大大下降。随着未来死亡率的持续下降,这个问题还会越来越突出。对此最直接的解决办法是用新近的人口死亡数据重新生成新的模型生命表。Clark 等(2011)遵循模型生命表的原理,利用人类死亡率数据库(Human Mortality Database, HMD),通过聚类分析得到一套能够反映现代(主要是欧美国家)人口死亡水平的模型生命表(以下简称 CS 模型生命表)。这套模型生命表属于典型的完全由数据驱动得到的经验模型,对经验数据的依赖性非常大。

不同于 CS 模型生命表,Wilmoth 等(2012)提出的二维死亡模型,同时考虑了经验数据和模型的函数形式。他们从 1840 年以来的人口死亡数据中发现,0~4 岁死亡概率(对数值)与各年龄别死亡率(对数值)之间存在显著的正相关关系,而且这种正相关关系有一定的曲率,因此在模型中设置了一个二次项,以保证能准确刻画这种关系。更重要的是该模型的系数是基于给定的经验数据估算出来的。这就意味着不同的经验数据会得到不同的系数,比单纯由数据驱动的生命表模型具有更大的灵活性,因为它是开放的,可以容纳其他人口的历史数据,并得到可以反映该人口特点的系数。在根据经验数据生成一套系数后,可以从观察到的数据(主要是 0~4 岁死亡概率或成年人死亡概率)中选择一个参数(0~4 岁死亡概率)或两个参数(0~4 岁死亡概率与成年人死亡概率)作为输入变量,就能估算全年龄的死亡率。进一步研究发现,该模型的拟合精度好于以前的间接估计方法,而且具有数据要求低、数据选取灵活的特点,这对缺乏详尽死亡率数据的国家或地区来说极具吸引力。正是考虑到二维死亡模型的这些优点,尤其是其开放性,我们希望该模型能在中国人口死亡率的间接估计中发挥应用价值。

三、二维死亡模型介绍

基于 HMD 的高质量数据,Wilmoth 等(2012)考察了 1840 年以来人口年龄别死亡率

之间的相关性,发现0~4岁死亡概率(对数值)与各年龄别死亡率(对数值)之间均有着显著的正相关关系,且呈二次项关系。由此,他们提出了二维死亡模型。即:

$$\log(m_x) = a_x + b_x h + c_x h^2 + v_x k \quad (1)$$

其中, m_x 为年龄区间 x 的死亡率, $x=0, 1\sim 4, 5\sim 9, \dots, 80\sim 84, 85^+$, h 为0~4岁死亡概率的对数值即 $\log({}_5q_0)$, a_x 为截距项, b_x, c_x, v_x 为对应的各变量的参数。模型中的变量 k 可以起到反映死亡率模式中成年人死亡率的作用。

Wilmoth等(2012)从HMD中挑选出719张质量较高、能较好反映人类死亡模式的生命表,并使用二维死亡模型估算出系数 a_x, b_x, c_x 和 v_x 的经验值用于拟合年龄别死亡率。这样一套系数较好地概括了过去170多年来人类死亡模式及其变化,在对实际数据的拟合中发现效果好于其他的死亡率间接估计模型。

二维死亡模型主要有以下优点:一是二维死亡模型把婴幼儿和成年人的死亡概率都纳入模型,相对于以往的死亡模型效果更好。与寇尔—德曼模型生命表和联合国模型生命表相比,该模型更适合估计以较低儿童死亡率为主要特点的现代人口死亡率,估计误差也要小于世界卫生组织的生命表方法(Murray等,2003)。二是二维死亡模型有很高的灵活性,对高质量数据的要求较少,在模型参数经验值已经估算出来的基础上,只需要从 ${}_1q_0$ (或 ${}_5q_0$)、 ${}_{35}q_{15}$ (或 ${}_{45}q_{15}$)、 k 和 e_0 中选出两个作为输入参数就能估算完整的年龄别死亡率及整套的生命表。

四、数据来源

本研究的目的是考察二维死亡模型在中国人口死亡率估计中的适用性,为了避免数据质量问题干扰模型评估,本文选择质量较好的1982年人口普查收集的死亡率数据^①。许多研究表明,1982年第三次人口普查提供的人口死亡数据质量相对较高,基本上不用调整就可以直接应用于分析研究(李树茁,1994;黄荣清,1994;张二力、路磊,1992;游允中,1984)。但在分省数据中,有少数省份存在一定程度的婴儿和老年人口死亡漏报^②(Coale等,1991;郝虹生等,1988)。新疆人口死亡数据质量较差,分年龄人口数和死亡人数都存在年龄堆积(郝虹生等,1988;Coale等,1991)。因此本文剔除新疆人口数据,以避免数据问题带来的干扰。

① 在模型的验证中,选择高质量数据无疑是十分必要的。Hu等(2014)对比了包括传统的模型生命表、CS模型生命表、关联模型及二维死亡模型等方法对中国人口死亡率进行估计的效果,认为这些方法都不太适于中国人口死亡率调整。但是,该研究使用的数据来自1994~2007年《中国人口统计年鉴》和2008~2012年《中国人口和就业统计年鉴》,而这些数据的质量难以保证。基于这样的数据,我们很难判断那些不令人满意的分析结果是由于模型的问题(如不适用于中国人口)还是由于数据质量的干扰。

② 1982年人口普查时,西藏没有对人口死亡情况进行直接调查,所以1981年分省生命表不包括西藏。

已有研究对 1981 年分省的婴儿死亡漏报进行了分析和调整。1987 年,中国人民大学人口所在编制《全国及分省市简略生命表》^①时,对婴儿死亡率进行了一定的修正,但由于方法上有不尽合理之处,对婴儿死亡率的调整仍然不够理想。郝虹生等(1988)结合其他一些高质量调查提供的婴儿死亡率,对中国分省婴儿死亡率进行重新估算。本文以中国人民大学人口所编制的简略生命表为基础,用郝虹生等(1988)估算的婴儿死亡率,合并成各省的年龄别死亡率,并重新计算生命表用于二维死亡模型的检验。为了行文方便,中国人口死亡率数据简称为 CN 数据。

为了使本文的分析结果与 Wilmoth 等(2012)的结果具有可比性,我们同样选取来自 HMD 的 719 张生命表(简称 HMD 数据)^②。HMD 收集了 1840 年以来主要发达国家或地区的死亡登记数据,具有数据时序长、质量高的优点,已成为死亡率研究的重要数据来源,也是检验死亡模型的样本库。

五、结 果

如前所述,Wilmoth 等(2012)在提出二维死亡模型时,对人类过去 170 多年死亡率数据的观察和分析使他们能够有针对性地进行模型设计和构造,然后基于同样的历史数据,对经验系数进行统计估计和模型的比较与评估。上述几个环节均涉及该模型能在多大程度上适用于中国人口数据。因此,本文从模型函数、经验系数和不同组合的输入参数三方面考察二维死亡模型对中国人口的适用性。

(一) 模型函数的适用性

首先,根据 Wilmoth 等(2012)提出模型的逻辑,本文计算了 1981 年中国 27 张生命表人口分性别 0~4 岁死亡概率对数值和年龄别死亡率对数值的相关系数(见表 1)。从表 1 可以看出,较低年龄组的相关系数非常高,随着年龄逐渐提高,对应的死亡率与 0~4 岁死亡概率的相关性逐渐下降,到老年阶段已非常小。一般来说,某个年龄组的死亡率都与邻近年龄组的死亡率有较强的相关性,而与较远

表 1 1981 年中国各省 $\log({}_5q_0)$ 与 $\log({}_n m_x)$
相关系数(n=27)

年龄组	女性	男性	年龄组	女性	男性
0	0.995	0.995	45~49	0.608	0.500
1~4	0.978	0.967	50~54	0.449	0.403
5~9	0.947	0.879	55~59	0.458	0.341
10~14	0.909	0.901	60~64	0.486	0.286
15~19	0.786	0.841	65~69	0.383	0.131
20~24	0.766	0.781	70~74	0.431	0.232
25~29	0.850	0.796	75~79	0.321	0.159
30~34	0.850	0.767	80~84	0.224	0.163
35~39	0.829	0.770	85+	-0.172	-0.197
40~44	0.806	0.600			

① 《中国 1981 年全国及分省市简略生命表》连载于《人口研究》1987 年第 1~4 期。

② 在分析过程中,我们还考察了合并 HMD 和 CN 得到的 746 张生命表的情况,由于数据结果与 HMD 的结果非常接近,因此不再赘述。

年龄组的死亡率相关性较弱。在各年龄组中,0~4岁的死亡概率较为特殊,因为它与其他年龄组死亡率的相关性能保持到较高年龄,或者说能与距离较远的年龄组有较强的相关性。中国人口死亡率相关性的年龄模式与 Wilmoth 等(2012)的结果基本近似。

值得一提的是,0~4岁的死亡概率与老年人口死亡率的相关性相对较弱,但是成年人(如15~59岁)与老年人的死亡率相关性则比较强。因此,如果把0~4岁死亡概率和成年人死亡率均作为输入变量,能更好地拟合全年龄死亡率,至少效果要好于只将0~4岁死亡概率作为输入变量的情况,这在 Murray 等(2003)、Wilmoth 等(2012)的研究中已经得到证实。

其次,模型1设立二项式的依据是 ${}_5q_0$ 与其他年龄死亡率存在一定的非线性关系。图1给出的是在 Wilmoth 等(2012)原文图2的基础上添加了中国数据后的结果。从图1可以看出,距0~4岁较近的年龄组,中国数据在年龄别死亡率与 ${}_5q_0$ 之间相关性的模式与HMD的模式非常接近甚至几乎重合。在15岁以下年龄组,中国数据的实际值和拟合值都与HMD相互重合。在15~29岁和30~59岁组,中国数据位于HMD数据带的下沿,其与 ${}_5q_0$ 依然保持着显著的正相关关系,但中国数据拟合曲线的凸凹性与HMD不同。在60~79岁组,中国数据的拟合曲线与HMD拟合曲线有交叉,说明该年龄组与 ${}_5q_0$ 的相关性相对于HMD数据要弱一些。在80岁及以上组中国数据的模式与HMD有较

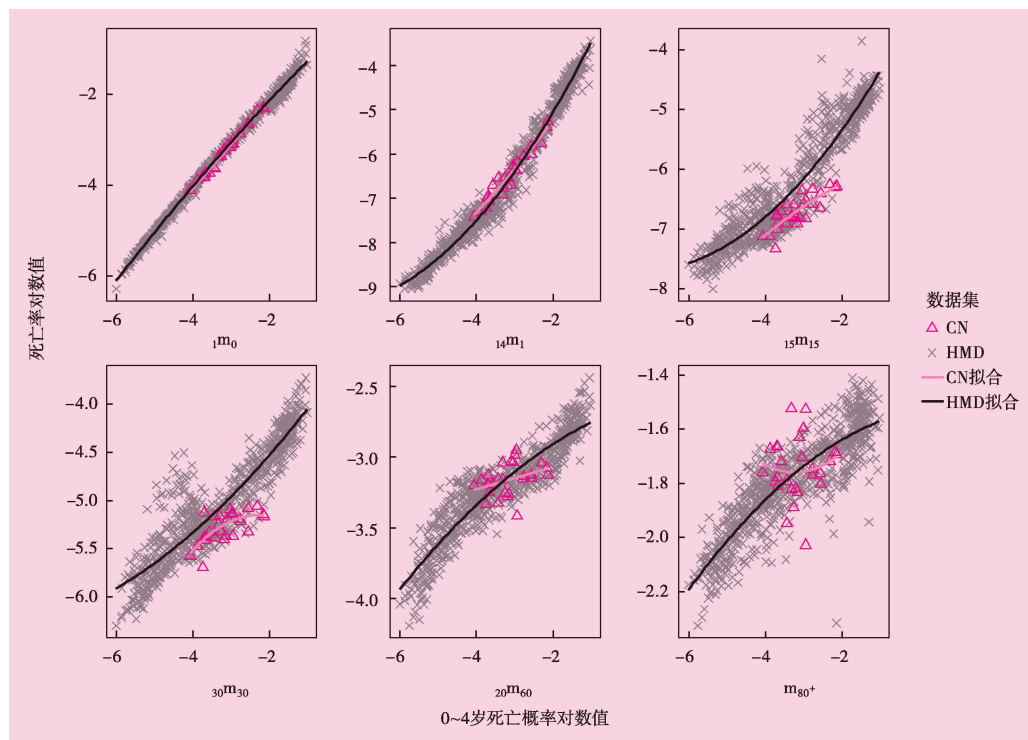


图1 HMD和CN生命表0~4岁死亡概率与各年龄组死亡率的相关性

大差异,从纵坐标看,死亡率变化范围较大,但从横坐标看, ${}_5q_0$ 对应的取值范围却相对较小,说明二者之间的相关性不是很强。事实上,60岁及以上人口HMD散点图比较分散,存在一些不规则的形态,而对于仅1年的中国数据, ${}_5q_0$ 与高龄死亡率相关性的历史特征无法得到充分的显示。总体来看,模型1中的二项式能够刻画中国各省婴幼儿死亡概率与年龄别死亡率之间的关系特征。

最后,模型1变量 k 用于刻画相同死亡率模式下的不同成年人死亡率水平。 k 是刻画实际和典型的死亡率年龄模式偏离的方向和程度的变量,从HMD数据库中的生命表数据来看, k 一般取值范围为 $(-2,2)$ 。在相同的婴幼儿死亡概率下,成年人死亡率的差异可以用 k 值来体现。对于中国来说,由于区域人口发展的阶段性,各地区处在死亡率转变的不同阶段(如西部地区与东部沿海),婴幼儿死亡率与人口死亡率的变化呈一定的梯度特征,如郝虹生等(1988)、任强等(2004)根据死亡率水平把中国各省归为不同的类别。结合模型设计的思路和中国具体的情况,模型1的参数 k 能够刻画中国人口成年人死亡率的省际差异,进而反映中国死亡率区域差异较大、死亡率转变阶段存在一定差序的特点。

基于上述分析,我们认为,模型1的函数形式在理论上是适于分析中国人口死亡率模式的。

(二) 经验系数的差异

基于不同的原始数据,二维死亡模型能得到不同的经验系数,由此反映年龄别死亡率之间的内在关联。本文使用与Wilmoth等(2012)同样的方法^①,基于HMD数据和CN数据通过回归与奇异值分解得到二维死亡模型中各年龄组对应的经验系数 a_x, b_x, c_x, v_x ,分别称为HMD系数和CN系数,结果如图2所示。

无论男性还是女性,CN系数的 a_x, b_x, c_x 在儿童和老年阶段与HMD系数比较接近,而在20~55岁却

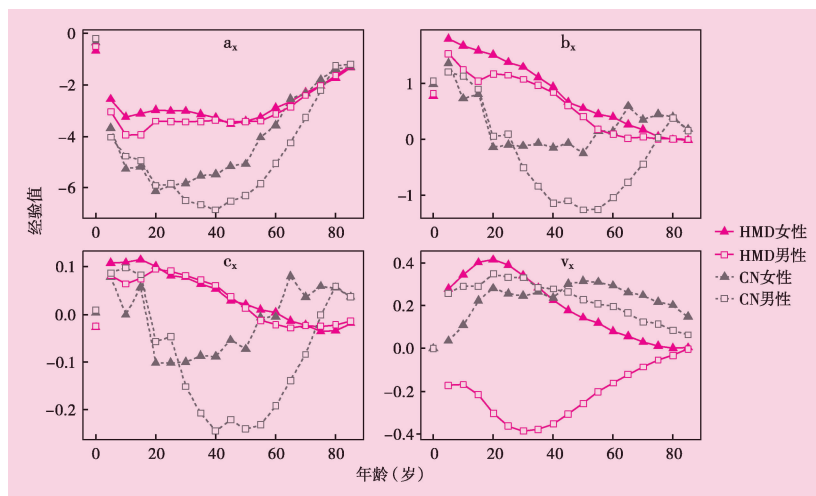


图2 基于HMD和CN数据估算的二维死亡模型系数经验值

^① Wilmoth等(2009)提供了R代码,为了适用于中国生命表开放年龄组为85岁及以上的情况,我们对程序进行了必要的修改。

存在较为明显的差异。系数 v_x 存在明显的性别差异,女性的CN系数与HMD比较接近,但男性的差别却非常明显。从经验系数的年龄分布看,中国人口年龄别死亡率之间的关系与HMD国家人口的情况存在很大差异。由于模型1在估计年龄别死亡率时要使用这些系数,所以系数上所呈现的年龄分布差异将会进一步体现在模型的拟合效果上。即使不看实际的拟合效果,仅从系数差异上也能预计到分别使用CN系数和HMD系数得到的死亡率估计一定存在差异,只是差异的大小和孰优孰劣的问题。

(三) 拟合效果比较

模型的适用性最终归结为模型拟合效果的好坏。本文发现,二维死亡模型对1981年中国人口死亡率拟合效果较好,而且基于CN系数的拟合效果优于HMD系数。

本文使用中国1981年27个省分性别的0~4岁组死亡概率 ${}_5q_0$ 和15~59岁组死亡概率 ${}_{45}q_{15}$ 作为输入参数,使用二维死亡模型估算出各省对应的生命表,并将得到的生命表中的年龄别死亡率估计值与其实际值进行比较。从图3可以看出,两组系数的拟合值都能很好地刻画北京市人口死亡率的年龄模式^①,但基于CN系数的死亡率拟合要更准确一些。HMD系数的估计值在老年阶段出现低估,而对5~19岁男性死亡率的低估更为明显。

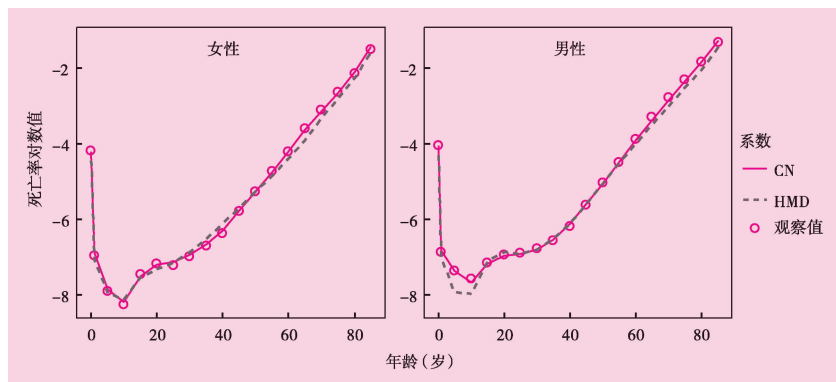


图3 基于HMD和CN系数的二维死亡模型对1981年北京市男性、女性死亡率的拟合

尽管从拟合图形可以获得形象的比较,但更准确地衡量模型的拟合效果还需要借助模型估计值与实际观察值的均方误差。均方误差的数值越小,表明估计值与实际值的差距越小,模型拟合效果越好。本文选取几个具有代表性的生命表函数指标来计算均方误差,如0岁预期寿命 e_0 和0岁、15~59岁、60~79岁死亡概率分别代表整体人口死亡率水平和婴儿、成年人、老年人的死亡率水平。

表2给出了分性别的HMD系数和CN系数在不同输入参数组合情况下的均方误差。为了对模型1拟合效果的优劣进行比较和判断,在表2下半部列出使用寇尔—德曼模型生命表西区模式、联合国模型生命表远东模式和新近提出的CS模型生命表得到估

① 限于篇幅,这里仅以北京市为例。

表 2 二维死亡模型及其他方法拟合的 e_0 、 ${}_1q_0$ 、 ${}_{45}q_{15}$ 、 ${}_{20}q_{60}$ 均方误差

死亡模型	女 性				男 性			
	e_0	${}_1q_0$	${}_{45}q_{15}$	${}_{20}q_{60}$	e_0	${}_1q_0$	${}_{45}q_{15}$	${}_{20}q_{60}$
使用 ${}_5q_0$ 和 ${}_{45}q_{15}$								
HMD 系数	0.789	0.003	0	0.056	0.573	0.003	0	0.045
CN 系数	0.590	0.002	0	0.036	0.447	0.002	0	0.032
仅用 ${}_5q_0$								
HMD 系数	2.421	0.003	0.043	0.066	2.796	0.003	0.070	0.044
CN 系数	1.470	0.002	0.021	0.056	0.937	0.002	0.016	0.037
仅用 ${}_1q_0$								
HMD 系数	2.308	0	0.042	0.065	2.621	0	0.068	0.044
CN 系数	1.463	0	0.021	0.055	0.997	0	0.018	0.037
寇尔—德曼西区模式(仅用 ${}_5q_0$)	2.628	0.003	0.051	0.065	2.270	0.003	0.057	0.054
联合国远东模式(仅用 ${}_5q_0$)	4.881	0.003	0.111	0.103	5.288	0.003	0.141	0.098
CS 模型生命表(使用 ${}_5q_0$ 和 ${}_{45}q_{15}$)	3.796	0.020	0.038	0.058	3.342	0.015	0.070	0.112

计值的均方误差。从表 2 可以看出,无论何种参数输入方式,基于 CN 系数的死亡率估计值的均方误差都小于 HMD 系数。这说明从中国人口死亡率原始数据得出的 CN 系数确实更能体现中国人口死亡率的特点,也表明模型 1 对于经验系数(准确地说是生成经验系数的源数据)有一定程度的依赖性。另外,双参数二维死亡模型的拟合效果好于单参数。在同时使用婴幼儿和成年人死亡概率的情况下,即使是基于 HMD 系数的拟合效果也好于基于 CN 系数的单参数模型。这在一定程度上说明二维死亡模型对成年人死亡率的倚重。但这并不意味着单参数模型的效果就差到不能接受。事实上,无论是仅用 ${}_5q_0$ 还是 ${}_1q_0$,基于 CN 系数的单参数二维死亡模型的各项指标的均方误差都小于表 2 中列出的其他几个模型生命表;基于 HMD 系数的单参数模型拟合的指标均方误差除了女性 ${}_{20}q_{60}$ 和男性 ${}_{45}q_{15}$ 略大于寇尔—德曼模型生命表和 CS 模型生命表外,其余各年龄组死亡率估计值都小于其他模型。

总体来看,无论使用何种系数和参数组合,二维死亡模型的拟合效果均明显好于其他几种方法。考虑到输入参数的数量对拟合效果的影响,本文重点关注使用同样输入变量的模型比较。(1)使用 ${}_5q_0$ 作为输入参数的寇尔—德曼模型生命表西区模式和联合国模型生命表远东模式与同样使用 ${}_5q_0$ 的二维死亡模型。从表 2 可以看出,后者的拟合精度明显高于前者。而且寇尔—德曼模型生命表西区模式的效果要好于联合国模型生命表远东模式^①,这或许是该模型在中国应用较多的原因。(2)同时使用 ${}_5q_0$ 和 ${}_{45}q_{15}$ 作为输入变量的 CS 模型生命表与双参数二维死亡模型,后者的拟合效果明显好于前者。在

① 选择不同的模型生命表会得到不同的估计结果和精度,而且有些指标的差距较大,如 e_0 和 ${}_{45}q_{15}$ 。但这不是本文的重点,这里不再展开论述。

Clark 等(2011)的研究中,CS 模型生命表与二维死亡模型在拟合 HMD 数据中的表现不相上下,均远好于其他间接估计方法(包括模型生命表、关联模型及其扩展模型)。但在应用于中国人口死亡数据时,CS 模型效果却远不如二维死亡模型,甚至不如基于 CN 系数的单参数模型。

六、讨 论

由于高质量人口死亡数据的缺乏,间接估计一度成为中国人口死亡率研究的一项重要内容。不难想象,如果基础性的人口死亡率信息都存在不准确或不一致,那么基于这些信息而形成的理论和政策乃至对未来发展趋势的判断将有脱离实际情况的风险,这会对中国人口死亡率研究及更广泛的人口健康研究造成消极的影响。

在诸多死亡率的间接估计模型中,哪些比较适用于中国人口死亡模式? 这个问题一直没有得到充分的考察。考察死亡率间接估计方法的适用性,并且在需要的情况下进行必要的修正,以便更好地反映中国人口死亡模式,是中国人口死亡率相关研究的重要基础性工作。本研究力求能在这方面做出贡献。

本文结合死亡率间接估计的传统方法和新近发展的模型,通过对比分析,从模型构建、经验系数和输入参数 3 个方面重点考察了二维死亡模型对中国人口死亡模式的适用性。结果发现,该模型的设计逻辑能反映中国人口死亡率的发展特点,拟合精度也明显优于其他模型。而且从中国死亡率数据中得到的检验系数能更好地反映中国人口死亡率的特点,估计效果也最好。这说明,在缺乏足够的年龄别死亡率时,借助反映中国人口死亡率模式的背景信息(即模型系数的中国经验值),能使死亡率估计的效果得到很大的提升。虽然二维死亡模型在输入参数上具有很大的灵活性,但是双参数模型的拟合效果明显好于单参数模型。相对而言,二维死亡模型的拟合效果明显好于模型生命表,即使新近发展的、能够反映现代死亡率水平的 CS 模型生命表也不例外。总之,二维死亡模型能够用于中国人口死亡率的间接估计,并且基于中国经验系数能得到非常好的拟合效果。

二维死亡模型在拟合中国人口年龄别死亡率上的出色表现,意味着根据质量可靠的婴幼儿死亡率(如严格按照中国人口死亡登记信息规范而获得的数据),可以用这个模型估算全年龄死亡率和完整生命表,这对非普查年份和省级以下区域的人口死亡率估计有极其重要的意义。

值得一提的是,假如婴幼儿死亡率有漏报,二维死亡模型本身是无法对漏报进行判断、并对之进行修正的。事实上,作为一种间接估计的方法,二维死亡模型能胜任的工作是在已有信息可靠的前提下,准确地估算更多、更完整的信息。不过,考虑到这个模型在反映中国人口死亡率模式上的出众表现,我们将会考虑在其基础上进行必要扩展的可能性。

参考文献:

1. 郝虹生等(1988):《中国分省死亡率分析》,《人口研究》,第4期。
2. 黄荣清(1994):《中国80年代死亡水平研究》,《中国人口科学》,第3期。
3. 黄荣清(2005):《20世纪90年代中国人口死亡水平》,《中国人口科学》,第3期。
4. 蒋正华(1990):《中国分区模型生命表》,《中国人口科学》,第2期。
5. 李树苗(1994):《80年代中国人口死亡水平和模式的变动分析——兼论对1990年人口普查死亡水平的调整》,《人口研究》,第2期。
6. 任强等(2004):《20世纪80年代以来中国人口死亡的水平、模式及区域差异》,《中国人口科学》,第3期。
7. 王金营(2013):《1990年以来中国人口寿命水平和死亡模式的再估计》,《人口研究》,第4期。
8. 游允中(1984):《1982年中国人口普查的可信度》,《人口与经济》,第6期。
9. 张二力、路磊(1992):《对中国1990年人口普查成年人口死亡登记完整率的估计》,《中国人口科学》,第3期。
10. Brass, W.(1971), On the Scale of Mortality. *Biological Aspects of Demography*. pp.69-110.
11. Clark, S.J. and Sharrow, D.J.(2011), *Contemporary Model Life Tables for Developed Countries: An Application of Model-based Clustering*. Center for Statistics and the Social Sciences. University of Washington; Seattle.
12. Coale, A.J. and Demeny, P.(1966), Regional Model Life Tables and Stable Populations. Princeton University Press; Princeton, NJ, USA 93(1): 152-154.
13. Coale, A.J. and Guo, G.(1989), Revised Regional Model Life Tables at Very Low Levels of Mortality. *Population Index*. 55(4): 613-643.
14. Coale, A.J. and Li, S.(1991), The Effect of Age Misreporting in China on the Calculation of Mortality Rates at Very High Ages. *Demography*. 28(2): 293-301.
15. Gompertz, B.(1825), On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 115, 513-583.
16. Heligman, L. and Pollard, J.H.(1980), The Age Pattern of Mortality. *Journal of the Institute of Actuaries*. 107(1): 49-80.
17. Hu, S. and Yu, C.(2014), The Application of Model Life Table Systems in China: Assessment of System Bias and Error. *Internal Journal Environmental Research Public Health*. 11(12): 12514-12531.
18. Li, N.(2015), Estimating Life Tables for Developing Countries. Tech. Rep. 2014/4, United Nations Department of Economic and Social Affairs Population Division.
19. Murray, C.J., Ferguson, B.D., Lopez, A.D., Guillot, M., Salomon, J.A. and Ahmad, O.(2003), Modified Logit Life Table System: Principles, Empirical Validation, and Application. *Population Studies*. 57(2): 165-182.
20. United Nations(1982), *Model Life Tables for Developing Countries*. United Nations; New York, NY, USA. 35(2): 478-479.
21. Wilmoth, J., Zureick, S., Vladimir, C.R., et al.(2012), A Flexible Two-dimensional Mortality Model for Use in Indirect Estimation. *Population Studies*. 66(1): 1-28.

(责任编辑:李玉柱)