考虑避孕因素的胎次持续时间生育模型

张二力 陈建利

【提要】 根据中国计划生育和避孕方式选择的特点，本文在胎次持续时间生育模型的基础上引入了避孕因素，建立了考虑避孕因素的胎次持续时间生育模型。该模型可用于模拟避孕因素对生育水平和生育模式的影响及出生数的预测。

【作者】 张二力 国家计划生育委员会规划统计司，司长、副教授；陈建利 国家计划生育委员会规划统计司，硕士。

在现代人口分析中，生育模型的研究有特别重要的意义。一个好的生育模型不仅是对现实生育过程的精确概括，而且还是对现实生育过程的精确解释。众所周知，近20年来中国生育率的普遍下降是与避孕知识及方法的普及密切相关的。各种避孕方法的使用必然影响到生育水平和生育模式的变化。如何测度这种影响，在生育率模型中如何引进避孕因素来模拟中国现实的生育过程，从而为计划生育工作的开展和人口政策的制订提供比较客观的依据？是一个重要的研究课题。目前在人口学界使用比较广泛的几种生育率模型如寇尔(A.J.Coale)和特拉赛尔（T.J. Trussell）的已婚生育率模型、邦加兹（John Bongaarts）的中间生育率变量模型等对此均不能给出比较满意的解释。本文基于中国现实的生育过程所建的考虑避孕因素的胎次持续时间生育模型，则是在这方面的一种尝试。

1. 分析框架

避孕方法的选择与其相关的构成问题受到多种因素的影响。从世界范围来看，即便是那些避孕率很高的国家，各种方法的组合也有很大差别。中国的避孕方式及构成有如下两个显著特点：（1）在避孕方法的构成中，避孕环和绝育占的比例较高。1982、1988和1992三个年度，避孕环和绝育所占的比例分别为85.5%、90.7%和93.6%。（2）不同孩次妇女的避孕率及所采用的方法存在较大的差异。无孩妇女的避孕率很低，一孩妇女以避孕环为主，二孩、三孩及以上的妇女以绝育为主。

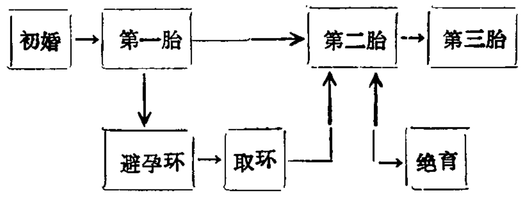

图1 简化的中国育龄妇女从初婚到第三胎的生育流程

由于现实情况的复杂性，建模时不能把所有的避孕措施都考虑在内，只能选取一些基本的、主要的避孕方式。根据中国计划生育和避孕方式选择的特点，并考虑到现实数据的支持程度，为使模型具有较强的可操作性，我们主要选择了避孕环和绝育两种，提炼出从初婚到第三胎的生育流程图(见图1)。

2. 考虑避孕因素的胎次持续时间生育模型的建立

在建模之前，我们需要引入和定义胎次、胎次持续时间及相继事件这3个基本概念。

胎次是指一个妇女在某一确切时点时生育的活产顺序数（不管这些活产儿在该时点是否还存活）。胎次和我们在计划生育统计中常用的孩次是两个完全不同的概念。孩次则指某个孩子出生时在这个家庭所有现存孩子中的次序数。

胎次持续时间，是指一个妇女从生了某一胎次的孩子开始到某一计算时点所度过的时间长度（一般按整数年计算）。当说一个妇女的p孩持续时间为d年时，是指该妇女已生育过p胎次孩子，但未生育p＋1胎次孩子，并且在p胎次状态下度过的确切时间长度大于或等于d整数年，但小于d＋1整数年。

对于两个不可重复的事件a和b，如果b事件是否可能发生取决于a事件是否发生，即只有当a事件发生后b事件才有可能发生，则称a和b为一对相继事件。其中b称为a的后续事件。例如，假定没有婚前生育，那么初婚和生育第一胎、生育第一胎和生育第二胎、生育第二胎和生育第三胎等，均构成一对相继事件。对于一个给定的初婚队列，我们关心的是这批妇女生育第一胎的比例及时间分布；对于一个给定的一孩妇女队列，我们感兴趣的是该批妇女生育第二胎的比例和时间分布。

下面，我们从队列的角度来抽象地研究一批a事件妇女发生b事件的比例及时间分布。这里a和b为一对不可重复的相继人口事件。设有一个t年a事件妇女队列（即在t年进入a状态的妇女），共Wa人，且假定这批妇女不受死亡的影响，我们来研究她们发生b事件的情况。用$W_{a,d}$表示t＋d＋1年年初时仍处于a状态的妇女人数，此时这批妇女在a状态下的持续时间恰好为d整数年，其中d＝0，1，2，…，n。用$W^b_{a,d}$表示记这批Wa，d中在t＋d＋1年中发生b事件的人数，其中d＝－1，0，1，…，n。$W^b_{a,-1}$表示a事件发生当年发生b事件的人数。为了符号上使用方便，我们记$W_{a,-1}=W_a$。定义：

$$h^b_{a,d}=W^b_{a,d}/W_{a,d} \tag{1}$$

$$v^b_{a,d}=W^b_{a,d}/W_a \tag{2}$$

显然，$h^b_{a,d}$表示t＋d＋1年年初时处于a状态的妇女在该年内发生b事件的概率，$v^b_{a,d}$则表示在t年内进入a状态的这批妇女在t＋d＋1年内发生b事件的比例。

下面，我们来推导$h^b_{a,d}$和$v^b_{a,d}$的关系。

由（1）式可得 $$W^b_{a,d}=h^b_{a,d}W_{a,d} \tag{3}$$

很显然 $$W_{a,d}=W_{a,d-1}-W^b_{a,d-1}=(1-h^b_{a,d-1})W_{a,d-1} \tag{4}$$

由此，我们可得到如下关系式

$$W_{a,d}=\prod_{j=-1}^{d-1}(1-h^b_{a,j})W_a \tag{5}$$

将（5）式代入（3）式可得

$$W^b_{a,d}=h^b_{a,d}\prod_{j=-1}^{d-1}(1-h^b_{a,j})W_a \tag{6}$$

比较（2）式与（6）式可知$h^b_{a,d}$与$v^b_{a,d}$有如下的关系：

$$v^b_{a,-1}=h^b_{a,-1} \tag{7}$$

$$v_{a,d}^{b}=h_{a,d}^{b}\prod_{j=-1}^{d-1}(1-h_{a,j}^{b})\quad d=0,1,\cdots,n \qquad (8)$$

定义：
$$q_a^b=(\sum_{d=-1}^{n}W_{a,d}^{b})/W_a=\sum_{d=-1}^{n}V_{a,d}^{b} \qquad (9)$$

显然，q_a^b表示t年进入a状态的妇女终身发生b事件的比例。由（7）和（8）式可得

$$q_a^b=(\sum_{d=-1}^{n}W_{a,d}^{b})/W_a=\sum_{d=-1}^{n}V_{a,d}^{b}=h_{a,-1}^{b}+\sum_{d=0}^{n}[h_{a,d}^{b}\prod_{j=-1}^{d-1}(1-h_{a,j}^{b})] \qquad (10)$$

只要给定了一组$h_{a,d}^{b}$，我们可很方便地求得$v_{a,d}^{b}$和q_a^b。

由于在初婚和第一胎之间我们不考虑避孕因素，若记初婚事件为“m”，生育第一胎事件为“1”，上面所有公式的推导均适合初婚到第一胎的情况，只需将$h_{a,d}^{b}$，$v_{a,d}^{b}$和q_a^b替换成$h_{m,d}^{1}$，$v_{m,d}^{1}$和q_m^1即可。由于我们在第一胎和第二胎之间考虑了上环，在第二胎和第三胎之间考虑了绝育，则分析就变得比较复杂了。

先来研究第一胎到第二胎的情况。设t年进入1孩状态的妇女人数为W_1人，且假定这批妇女不受死亡的影响。用$W_{1,d}$表示t＋d＋1年年初时仍处于1孩状态的且有可能生2孩（处于待孕状态）的妇女人数，此时这批妇女在1孩状态下的持续时间恰好为d整数年。其中d＝0,1,2，…，n。用$W_{1,d}^{2}$表示记这批$W_{1,d}$中在t＋d＋1年中生2孩的人数，其中d＝－1，0，1，…，n。$W_{1,-1}^{2}$表示生1孩的当年又生2孩的人数。为了符号上使用方便，我们记$W_{1,-1}=W_1$。对t年进入1孩状态的这批妇女的上环及取环情况，根据实际情况我们作了如下的假定：（1）t年进入1孩状态的这批妇女除上环外不采取其它任何避孕措施，上环时间集中在t年和t+1年，在t年和t＋1年上环的比例分别为a_1和α_2，$\alpha_1+\alpha_2\leqslant1$，且在上环之前不可能生2胎。（2）上环的有效率为100%。（3）取环的时间区间为［t＋p，t＋p＋q］，p、q均为正整数，取环的比例分别为β_0，β_1，…，β_{q-1}，$\sum_{1}^{q-1}\beta_i\leqslant1$。定义：

$$h_{1,d}^{2}=W_{1,d}^{2}/W_{1,d} \qquad (11)$$

$$v_{1,d}^{2}=W_{1,d}^{2}/W_1 \qquad (12)$$

$$q_1^2=\sum_{-1}^{n}v_{1,d}^{2} \qquad (13)$$

显然，$h_{1,d}^{2}$表示t＋d＋1年年初时处于1孩状态的妇女在该年内生2孩的概率，$v_{1,d}^{2}$则表示在t年内进入1孩状态的这批妇女在t＋d＋1年内生2孩的比例，q_1^2表示t年进入1孩状态的妇女终身生2孩的比例。

下面，我们来推导$h_{1,d}^{2}$和$v_{1,d}^{2}$的关系。比较（11）和（12）式，则有

$v_{1,d}^{2}=h_{1,d}^{2}(W_{1,d}/W_1)$

当d＝－1时，显然有：$v_{1,-1}^{2}=h_{1,-1}^{2}$ （14）

当0≤d≤p－1时，有

$W_{1,0}=W_1-W_{1,-1}^{2}-\alpha_1W_1=(1-\alpha_1-h_{1,-1}^{2})W_1$

$v_{1,0}^{2}=h_{1,0}^{2}(1-\alpha_1-h_{1,-1}^{2})$ （15）

$W_{1,1}=W_{1,0}-W^2_{1,0}-\alpha_2 W_1=[(1-h^2_{1,0})(1-\alpha_1-h^2_{1,-1})-\alpha_2]W_1$

记$\gamma=(1-h^2_{1,0})(1-\alpha_1-h^2_{1,-1})-\alpha_2$

$$v^2_{1,1}=\gamma h^2_{1,1} \tag{16}$$

……

$$v^2_{1,p-1}=h^2_{1,p-1}\left(\prod_{1}^{p-2}(1-h^2_{1,i})\right)\gamma \tag{17}$$

当$d>p$时，有

$$W_{1,p}=W_{1,p-1}-W^2_{1,p-1}+\beta_1(\alpha_1+\alpha_2)W_1=\left(\gamma\prod_{1}^{p-1}(1-h^2_{1,i})+\beta_1(\alpha_1+\alpha_2)\right)W_1$$

$$v^2_{1,p}=h^2_{1,p}\left(\left(\gamma\prod_{1}^{p-1}(1-h^2_{1,i})+\beta_1(\alpha_1+\alpha_2)\right)\right) \tag{18}$$

……

我们再来研究第二胎到第三胎的情况。设t年进入2孩状态的妇女人数为W_2人，且假定这批妇女不受死亡的影响。用$W_{2,d}$表示$t+d+1$年年初时仍处于2孩状态的且有可能生3孩（处于待孕状态）的妇女人数，此时这批妇女在2孩状态下的持续时间恰好为d整数年。其中$d=0, 1, 2, \cdots, n$。用$W^3_{2,d}$表示记这批$W_{2,d}$中在$t+d+1$年中生3孩的人数，其中$d=-1, 0, 1, \cdots, n$。$W^3_{2,-1}$表示生2孩的当年又生3孩的人数。为了符号上使用方便，我们记$W_{2,-1}\equiv W_2$。对t年进入2孩状态的这批妇女的绝育情况，根据实际情况我们作了如下的假定：（1）t年进入2孩状态的这批妇女除绝育外不采取其它任何避孕措施，绝育时间集中在t年和t+1年，在t年和t+1年绝育的比例分别为δ_1和δ_2，$\delta_1+\delta_2\leqslant 1$，且在绝育之前不可能生3胎。（2）绝育的有效率为100%。定义：

$$h^3_{2,d}=W^3_{2,d}/W_{2,d} \tag{19}$$

$$v^3_{2,d}=W^3_{2,d}/W_2 \tag{20}$$

$$q^3_2=\sum_{-1}^{n} v^3_{2,d} \tag{21}$$

显然，$h^3_{2,d}$表示$t+d+1$年年初时处于2孩状态的妇女在该年内生3孩的概率，$v^3_{2,d}$则表示在t年内进入2孩状态的这批妇女在$t+d+1$年内生3孩的比例，q^3_2表示t年进入2孩状态的妇女终身生3孩的比例。

下面，我们来推导$h^3_{2,d}$和$v^3_{2,d}$的关系。比较（18）式和（19）式，则有

$v^3_{2,d}=h^3_{2,d}(W_{2,d}/W_2)$

当$d=-1$时，显然有 $v^3_{2,-1}=h^3_{2,-1}$ （22）

当$d\geqslant 0$时，有 $W_{2,0}=W_2-W^3_{2,-1}-\delta_1 W_2=(1-\delta_1-h^3_{2,-1})W_2$

$$v^3_{2,0}=h^2_{1,0}(1-\delta_1-h^2_{1,-1}) \tag{23}$$

$W_{2,1}=W_{2,0}-W^3_{2,0}-\delta_2 W_2=[(1-h^3_{2,0})(1-\delta_1-h^3_{2,-1})-\delta_2]W_2$

记$\varepsilon=(1-h^3_{2,0})(1-\delta_1-h^3_{2,-1})-\delta_2$

$$v^3_{2,1}=h^3_{2,1}\varepsilon \tag{24}$$

$$v^{3}_{2,d}=h^{3}_{2,d}(\prod_{1}^{d-1}(1-h^{3}_{2,i})\varepsilon \quad d=2,\ 3,\ \cdots,\ n \qquad (25)$$

（13）～（18）式给出了q^{2}_{1}、$v^{2}_{1,d}$与$h^{2}_{1,d}$及有关上环参数的解析关系，（21）～（25）式给出了q^{3}_{2}、$v^{3}_{2,d}$与$h^{3}_{2,d}$及有关绝育参数的解析关系。由上面的定义可知，$h^{2}_{1,d}$反映的是不受上环措施影响的从1孩到2孩的自然递进概率；$h^{3}_{2,d}$表示的则是不受绝育措施影响的从2孩到3孩的自然递进概率。

以上是从队列的角度定义了胎次递进比及持续时间生育模式，利用假想队列的方法，我们也可将它们时期化。用$W_{a}(t)$表示t年进入a状态的妇女人数，用$W_{a,d}(t)$表示t年年初时处于a状态且持续时间为d整数年并有可能发生b事件的人数（这些妇女是在$t-d-1$年内进入a状态的），用$W^{b}_{a,d}(t)$表示$W_{a,d}(t)$中在t年内发生b事件的人数，其中$d=-1,\ 0,\ 1,\ \cdots,\ n$。用$W^{b}_{a,-1}(t)$表示在$W_{a}(t)$中在t年内发生b事件的人数。记$W_{a,-1}(t)=W_{a}(t)$。

定义：
$$h^{b}_{a,d}(t)=W^{b}_{a,d}(t)/W_{a,d}(t) \qquad (26)$$
$$d=-1,\ 0,\ 1,\ \cdots,\ n$$

若假设一个a事件妇女队列的$h^{b}_{a,d}=h^{b}_{a,d}(t)$，那么按（7）～（9）式、（13）～（18）式、（21）～（25）式可分别计算出q^{1}_{m}、$v^{1}_{m,d}$；q^{2}_{1}、$v^{2}_{1,d}$；q^{3}_{2}、$v^{3}_{2,d}$等时期指标。

另外，我们还可定义一个假设妇女初婚队列的总和持续时间胎次递进率

$$TDPPR(t)=q^{1}_{m}(t)+q^{1}_{m}(t)q^{2}_{1}(t)+q^{1}_{m}(t)q^{2}_{1}(t)q^{3}_{2}(t)+\cdots \qquad (27)$$

3. 考虑避孕因素的胎次持续时间生育模型的应用

考虑避孕因素的胎次持续时间生育模型可主要应用于以下两个方面：

（1）模拟避孕因素对生育水平及生育模式的影响。由于$h^{2}_{1,d}$反映的是不受上环措施影响的从1孩到2孩的自然递进概率，$h^{3}_{2,d}$表示的是不受绝育措施影响的从2孩到3孩的自然递进概率，这些自然递进概率应该是比较稳定的，我们可根据一些回顾性的生育率抽样调查资料汇出上述数字，通过调整上环和绝育参数便可进行模拟分析。

（2）出生数预测。如果我们知道了预测基年分胎次和持续时间的育龄妇女人数，再根据未来的工作目标设置出相应的避孕参数，自然递进概率保持不变，则可预测或估算出相应的出生数。

参考文献

1 张二力，路磊。孩次—持续时间生育模型及其在人口预测中的应用，人口发展前景与对策科学讨论会论文，1993。2

2 中国1992年生育率抽样调查论文集（待出版）。中国人口出版社

（本文责任编辑：杨子慧）