# 摘要

我国是世界人口大国，任何有关人口政策的实施必将影响社会各个层面。人口规模不仅与自然资源，生态环境联系密切，同时也是人类社会经济发展的重要制约因素。在20世纪的一段时间内，我国人口增长速度过快，从20世纪70年代开始实施计划生育政策有效控制了人口快速增长。随着计划生育政策实施时间拉长，积极效应开始递减，负面效应开始浮现，人口老龄化加速，男女性别比例失调等人口结构失衡。因此，建立合理的人口发展模型，准确预测未来人口发展趋势，制定合理的人口规划和人口分布方案，对于社会可持续发展具有重要的理论和实践意义。

本文针对中国人口的实际特点，并以2010年第六次全国人口普查数据为初始条件，得到初始人口年龄层次结构，并利用年龄迁移算法模型以及Leslie矩阵建立了人口预测模型，预测了有无“二胎政策”这两种条件下的未来中国人口规模的发展趋势，通过与历史实际数据做对比分析，对育龄妇女平均生育婴儿数进行了优化，建立了育龄妇女平均生育婴儿数随时间变化的函数关系式，使模型更精确。

针对问题一：本文预测了在保持现行二孩政策的前提下，中国未来5年，即2020年到2024年的每一年新出生人口总数，为2020年1559万人，2021年1500万人，2022年1447万人，2023年1403万人，2024年1368万人；2020年到2024年每一年人口总数为2020年14.204亿人，2021年14.246亿人，2022年14.279亿人，2023年14.304亿人，2024年14.323亿人。

针对问题二：本文通过历史平均寿命数据用Matlab软件进行非线性曲线拟合，得到平均寿命预测曲线，通过对曲线分析发现平均寿命最终将趋于80岁到85岁之间，结合2010年人口年龄层次结构的两个峰值点，预测中国未来会出现人口总数明显减少，具体为20-24岁的127412518人会在60年后，即2070年集中死亡；40-44岁的124753964人会在40年后，即2050年集中死亡。

针对问题三：本文通过修改Matlab代码中的预测年份参数为90年，预测了2010年到2100年中国人口总数变化趋势，通过分析发现在保持二胎政策下中国人口总数在2030年左右达到峰值后持续下降，即中国未来人口数不会稳定。

针对问题四：本文在前三问的基础上，结合当前中国具体国情现状，认为在保持现行二孩政策的前提下，中国可能会在未来面临人口危机。

**关键字：**人口预测；二胎政策；年龄迁移算法；Leslie矩阵；

# 目录

# 一、问题重述

中国是世界第一人口大国。人口问题始终是制约我国发展的关键因素之一。合理的稳定的人口结构对于一个地区的长远发展具有重要意义。

全面建设小康社会时期是我国社会快速转型期，人口发展面临着前所未有的复杂局面。根据第六次全国普查结果显示，我国已经快速进入老龄化人口社会（见表 1），这是由于计划生育的实施周期过长，其积极效应正在递减。为了应对人口危机，2016 年国家开始实施全面二孩政策。国家卫计委在政策实施之初曾预测 2018 年将出现新生人口高峰，对 2017 年出生人口的最低预测为 2023.2 万。而现实数据却是，2016 年出生 1786 万人，2017 年出生了 1723 万，同比减少了 63 万人。要指出的是，2017 年出生的人口当中，一孩为 841 万，比 2016 年的一孩 962 万，足足少了 121 万人。这意味着年轻人的生育意愿在不断下降。到了 2018 年出生人口又降至 1523 万，较 2017 年大幅下降 200 万，生育堆积效应也已消退，全面二孩政策不及预期。因此，近年来中国人口危机的报道不断在媒体出现。

在此背景下，合理地预测人口的发展趋势有助于我们在我国人口问题上形成全面而准确的认知，探索人口政策的效果，考察其对社会各方面的内容可能带来的影响。同时为全面二胎政策提供一个更为直观，清晰的理解。

表 1 近 30 年我国老龄人口占比

| 年份 | 1987 | 1992 | 1997 | 2002 | 2007 | 2012 | 2017 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 老龄人口/亿 | 0.59 | 0.72 | 0.80 | 0.93 | 1.06 | 1.27 | 1.58 |
| 占比/% | 5.4 | 6.2 | 6.5 | 7.3 | 8.1 | 9.4 | 11.4 |

# 二、问题分析

本题是一个人口发展预测问题。人口发展同一般人口增长类似，是由自然增长率决定的，即由出生率和死亡率共同决定。同时，人口发展受到计划生育，二胎政策等国家政策的影响，人们的生育意识等也会受其影响。最后，从社会层面上看，生育意识体现在全社会育龄妇女的生育模式中，尤其需要考虑。

预测人口发展的总趋势，首先要预测的是总人口。在当代中国社会，环境是稳定的。在不受大规模传染病和战争影响的情况下，年死亡率应相对稳定，出生率受国家政策控制。因此，总人口的预测可以看作是一个平稳序列，因此我们考虑使用时间序列进行预测。

首先根据我国的实际情况和人口增长的新特点，参考相关数据，我们首先分

析了中国人口数据的系统结构，从数据中找出数据的特点和反映的规律，特别是影响我国人口增长的主要因素。之后在此基础上，提出了中国人口增长的短期和长期预测模型。最后通过比较模型的预测结果和实际历史数据，结合实际情况，分析模型的适用性，对模型的优缺点进行评价。

本文基于中国 2010 年国家第六次人口普查数据里的人口年龄结构，运用 Leslie 矩阵建立了全国在全面开放二孩政策前后的人口年龄结构数学模型，并预测了未来 5 年，即 2020-2024 年中国总人口数量。

# 三、基本假设和名词符号说明

（1）社会稳定，不会发生重大自然灾害和战争，无异常大量死亡或出生情况发生，人口比例，人口总数不会出现突变状况；

（2）预测期间出生和死亡水平比较稳定，即使有变化，也比较有规律的；

（3）将 100 岁作为个人寿命上限；

（4）假设任何影响人口变化的因素在未对人口造成影响之前不会因某种特殊原因自动消失。

（5）在较短的时间内，平均年龄变化较小，可以认为不变。

（6）不考虑人口流动对人口总数的影响。

# 四、名词解释和符号说明

## 4.1 名词解释

（1）总和生育率——指一定时期（如某一年）各年龄组妇女生育率的合计数，说明每名妇女按照某一年的各年龄组生育率度过育龄期，平均可能生育的子女数，是衡量生育水平最常用的指标之一。

（2）“单独二孩”政策——是中国实行计划生育的一项政策，即允许一方是独生子女的夫妇生育两个孩子。

（3）人口老龄化——指人口中老年人比重日益上升的现象。 促使人口老龄化的直接原因是生育率和死亡率降低，主要是生育率降低。一般认为，如果人口中 65 岁及以上老年人口比重超过 7%，或 60 岁及以上老年人口比重超过 10%，那么该人口就属于老年型。

## 4.2 符号说明

| 符号 | 说明 |
| --- | --- |
| $\boldsymbol{P_i(t)}$ | 表示第$t$年下$i$岁人口数量 |
| $\boldsymbol{D_i(t)}$ | 表示第$t$年下$i$岁人口死亡率 |
| $\boldsymbol{R_i(t)}$ | 表示第$t$年下$i$岁人口存活率（$R_i(t) = 1 - D_i(t)$） |
| $\boldsymbol{M_i(t)}$ | 表示第$t$年下$i$岁人口中妇女比例 |
| $\boldsymbol{B_i(t)}$ | 表示第$t$年下$i$岁妇女中处于育龄期的比例 |
| $\boldsymbol{P_0'(t)}$ | 表示第$t$年下新出生人口总数 |
| $R_0'(t)$ | 表示第$t$年下新出生人口的存活率 |

# 五、模型的建立及求解

## 5.1 人口年龄迁移算法模型

人口年龄迁移算法是以某一年份年龄人口为基数，按照一定的存活率进行逐年计算的方法，其基本表达式为$P_{i+1}(t+1) = P_i(t) \times R_i(t)$。根据逐年计算，当$i = 1$，2，3，…，100时，具体表达式如下：

$$\begin{cases} P_1(t+1) = P_0(t) \times R_0(t) \\ P_2(t+1) = P_1(t) \times R_1(t) \\ \cdots \\ P_{100}(t+1) = P_{99}(t) \times R_{99}(t) \end{cases} \tag{1}$$

其中$P_i(t)$为初始$t$年$i$年龄的实际人口数，$P_{i+1}(t+1)$为预测$t+1$年$i+1$年龄的预测人口数，$R_i(t)$为$t$年$i$年龄人口活到$t+1$年的存活率。

## 5.2 Leslie 矩阵模型

在应用数学中，Leslie 矩阵是一个离散的年龄结构人口增长模型，由 Patrick H. Leslie 发明并以其命名，在人口生态学中非常流行。Leslie 矩阵利用某一初始时刻种群的年龄结构现状动态地预测种群年龄结构及数量随时间的演变过程。

Leslie 矩阵通常考虑女性年龄，生育率以及存活率因素来预测下一年人口。通过使用 Leslie 矩阵将生育率和存活率对人口变化的影响填入到人口的预测中去：将年龄人口数据写成列向量的形式，通过不同的年女性年龄占比$M_i(t)$，女性年龄的生育率$B_i(t)$、存活率$R_i(t)$数据建立一个转移矩阵——即使用这个矩阵左乘年龄人口得到下一年人口数目。具体如下：

$$P_{i+1}(t+1) = P_i(t) \times R_i(t) \tag{2}$$

$$P_0'(t) = \sum_{t=n}^{m} P_i(t) M_i(t) B_i(t) \ \ ([n,m]\text{表示育龄期}) \tag{3}$$

$$P_0(t) = P_0^{'}(t) R_i(t) \tag{4}$$

其中$[n,m]$取$[15,49]$。

继而得到如下等式：

$$\begin{cases} P_{i+1}(t+1) = P_i(t) \times R_i(t) \\ P_0(t) = R_i(t) \sum_{t=n}^{m} P_i(t) M_i(t) B_i(t) \end{cases} \tag{5}$$

考虑初始年龄组人口向量$P_t = [P_1(t) P_2(t) P_3(t) \cdots P_{100}(t)]^T$，通过上述公式计算：

$$P_{t+1} = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & B_i^n(t) & \cdots & B_i^m(t) & \cdots & 0 \\ R_1(t) & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & R_2(t) & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & 0 & \ddots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \ddots & \cdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & R_{100}(t) & 0 \end{bmatrix} \times P_t \tag{6}$$

简化表达为$P_{t+1} = L \times P_t$，称$L$为 Leslie 矩阵。

## 5.3 模型求解与优化

### 5.3.1 针对第一问求解

由国家统计局普查数据（网址 http://www.stats.gov.cn/tjsj/pcsj/），以 2010 年人口普查所得到的人口数量作为初始数量，并通过 2010 年的死亡率、出生率数据，利用 MATLAB 编程求解 Leslie 矩阵，可以得到未来 5 年每年人口总数，通过控制不同生育率可以得到实施“二胎政策”后人口总数与持续计划生育总人数变化。

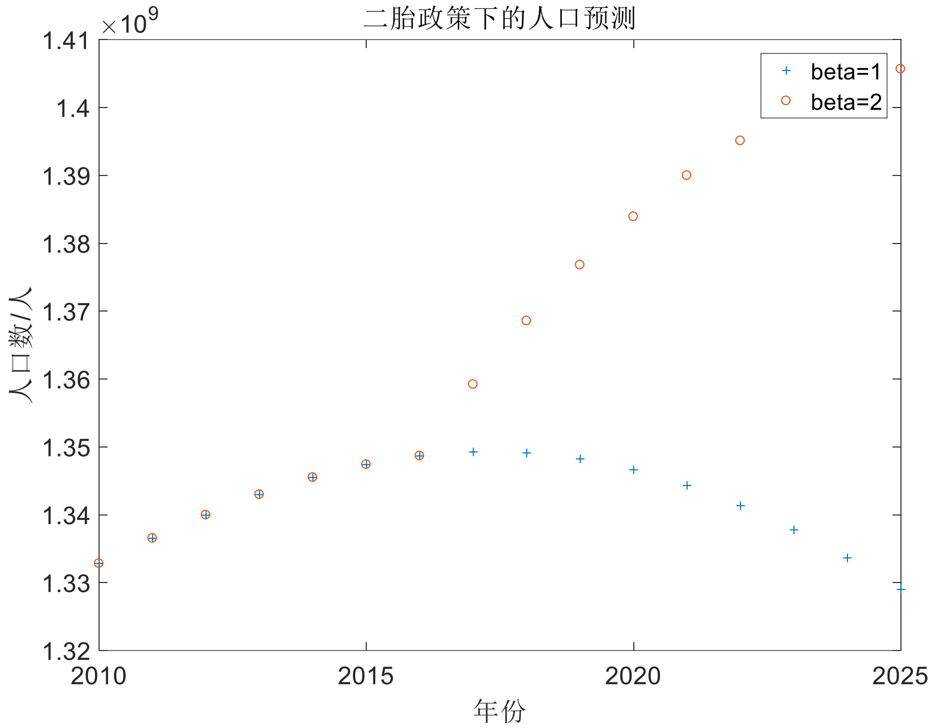


图 1 二胎政策下的中国人口预测图

模型中$beta(t)$表示的是第$t$年所有育龄女性的平均生育的婴儿数。假设生育率在整个生育年龄内保持不变，则$beta(t)$就是每年刚进入生育年龄的每个妇女所生婴儿的平均数，及总和生育率（简称生育率）或生育胎次，是控制人口数量的主要参数。在上述模型中，简单假设未开放二胎政策前$beta$值为 1（平均一位女性一生中共生养一个孩子），开放二胎后为 2（平均一位女性一生中共生养两个孩子）。在此条件下预测得到 2016 年到 2024 年每年新出生人口总数如下表：

表 2 二胎政策下未来 5 年新出生人口数

| 年份 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 人口数/万人 | 1031 | 1987 | 1909 | 1831 | 1757 | 1688 | 1627 | 1576 | 1536 |

但是，通过将本文模型所预测的结果与实际历史数据对比，发现结果相差较大，如 2016 年实际出生 1786 万人，模型预测，本模型预测值为 1030 万人；2017 年实际出生 1723 万人，本模型预测值为 1987 万人；2018 年实际出生 1523 万人，本模型预测值为 1909 万人。因此，本模型不够合理，需要改进。

**模型优化**

通过图 1 可以看出虽然在两种极端情况下人口总数的大致走向已经明确，两种政策下人口数量对比也已非常明显，但显然$beta$为 1 时的曲线与实际情况下还有较大差距，曲线中人口数量下降趋势越来越快并不趋于一个稳定值。而本身 Leslie 模型的建立上已经考虑进去年龄结构、性别等因素，已经是较为成熟的模型，故在模型的优化方面我们主要考虑如何得到真实而有效的$beta$值。

根据国家统计局 2010 年的中国第六次人口普查，2010 年我国的妇女总和生育率为 1.18，但中国社会科学院表示，这个总和生育率应该要再加上一个修正数，因为在普查时出现了一些黑市户口担心在计划生育下超生而未上报户口，从而导致了总和生育率偏低，经查阅资料后发现，人口学家对 2010 年的真正的总和生育率说法不一，大多数在 1.4 到 1.6 之间，在这里为了保守估计，将用于对照的计划生育模型中的总和生育率都设置为 1.4。但由于在 2013 年政府通过了“单独二孩”政策，在 2015 年又通过了“全面二胎”政策，因而将 2010 年之后的所有总和生育率都用 1.4 来近似估计。

而在考虑新政策影响的模型中，2015 年国家统计局通过 1%抽样调查的方式也给出了女性的总和生育率，约为 1.55（此时由于已放开二胎，黑市户口带来的修正数可近似忽略），又根据中华人民共和国卫计委的目标，在一段时间内将中国的总和生育率提升至 1.7 到 1.8 左右，从而我们得到这一模型下$beta(t)$所需要满足的条件：

（1）从政策实行到人民响应有一个过程，因而总和生育率应随时间递增

（2）2015 年时总和生育率为 1.55，一段时间后应接近目标值 1.8

并在这里假设一开始几年大家积极响应国家政策，总和生育率增加较快。由以上条件和假设，选择其中一个较为适合的反比例函数：

$$\mathrm{beta(t)} = 1.8 - \frac{0.25}{t} \tag{7}$$

使用改进后的$beta(t)$重新运行程序，得到的人口随时间变化的图像如下：

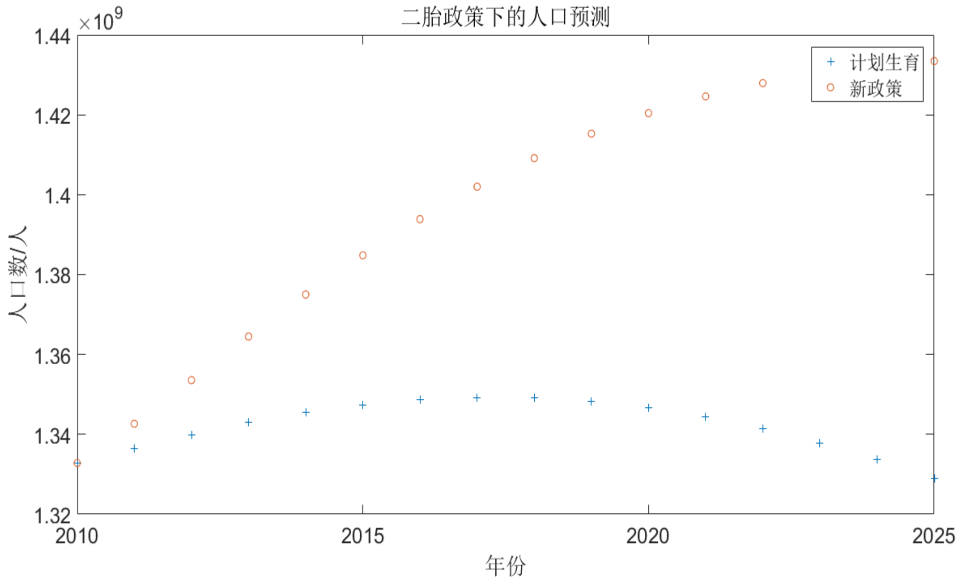


图 2 优化模型下二胎政策下的中国人口预测图

在优化模型下预测得到 2016 年到 2024 年每年新出生人口总数如下表：

表 3 优化模型的二胎政策下 2016-2024 年新出生人口数

| 年份 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 人口数/万人 | 1812 | 1753 | 1689 | 1623 | 1559 | 1500 | 1447 | 1403 | 1368 |

通过与实际历史数据对比可知，2016 年预测值比实际值多 26 万人，2017 年预测值比实际值多了 30 万人，2018 年预测值比实际值多 166 万人，误差在可接受范围内，说明优化后的模型较为合理。

在优化后的模型下预测二胎政策下未来 5 年总人口数为：

表 4 二胎政策下未来 5 年总人口数

| 年份 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|---|---|---|---|---|---|
| 人口数/亿 | 14.204 | 14.246 | 14.279 | 14.304 | 14.323 |

### 5.3.2 针对第二问求解

由第六次人口普查数据得到 2010 年人口年龄结构图，依 5 年划分一个年龄段：

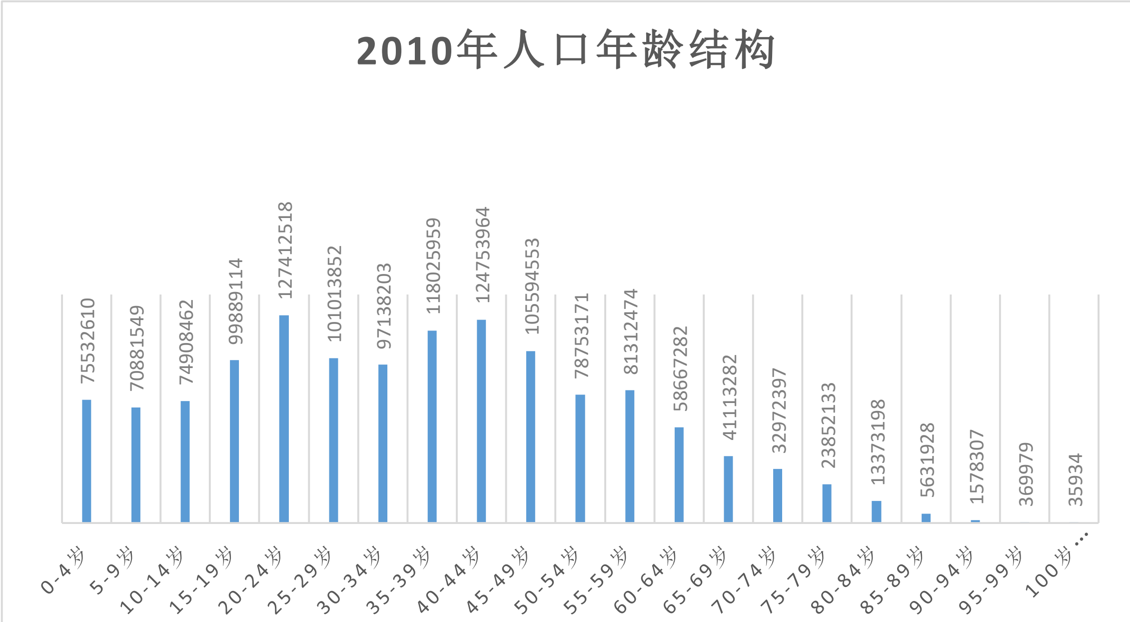


图 2　2010 年人口年龄结构

从人口年龄结构图可以看出在 20-24 岁和 40-44 岁这两个年龄段出现两个峰值，分别为 127412518 人和 124753964 人，即这两个年龄段的人口最为集中，会在未来某几年出现集体死亡。

通过 2017 年中国统计年鉴所得到的各年平均预期寿命：

表 5 历史平均预期寿命

| 年份 | 1981 | 1990 | 1996 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 平均预期寿命/岁 | 67.77 | 68.55 | 70.80 | 71.40 | 72.95 | 74.83 | 76.34 |

利用 MATLAB 对数据进行拟合，得到如下平均寿命预测曲线：

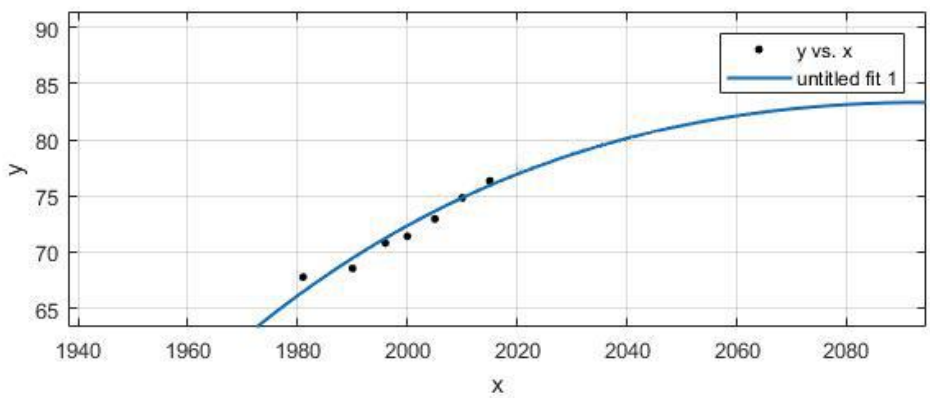


图 3 平均寿命预测曲线

该曲线表达式为：

$$y = 1.132 \times 10^{10} e^{-0.00468470} - 1.133 \times 10^{10} e^{-0.00468470} \tag{8}$$

根据拟合曲线可以观察到最后平均寿命趋于稳定且在 80-85 岁之间，这一预测与目前学者预测结果基本一致。

以下为未来 5 年人口年龄结构图：

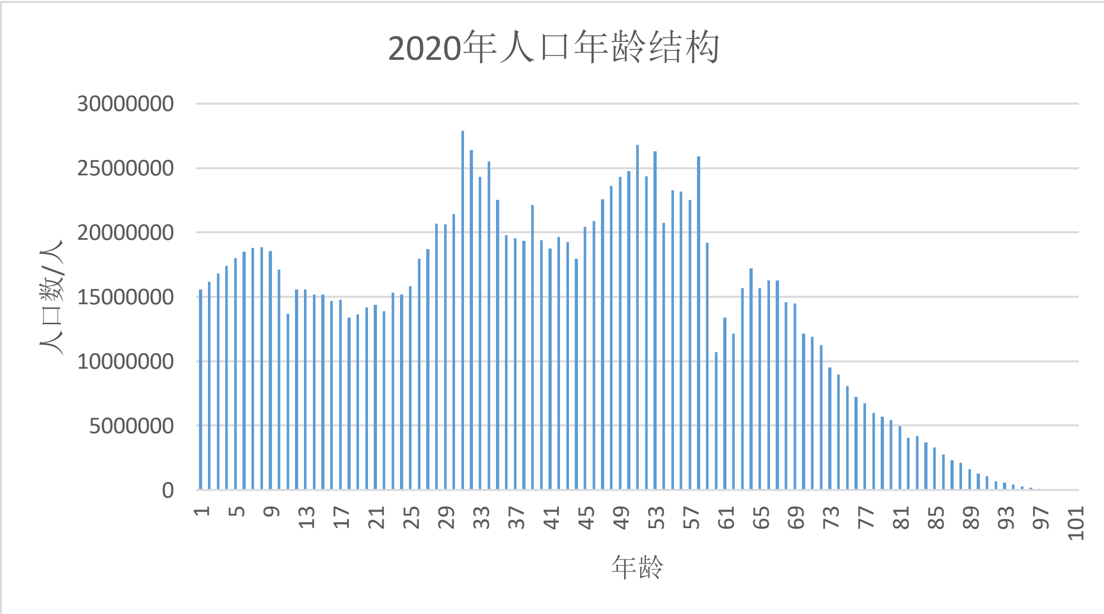


图 4 2020 年人口年龄结构预测图

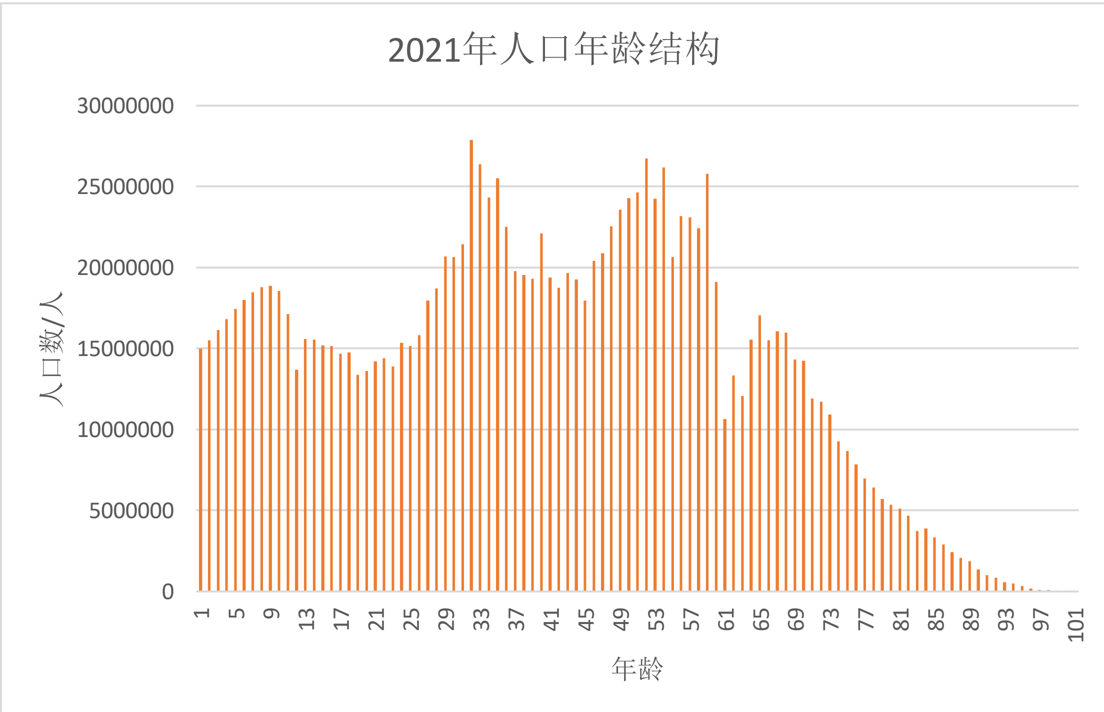


图 5 2021 年人口年龄结构预测图

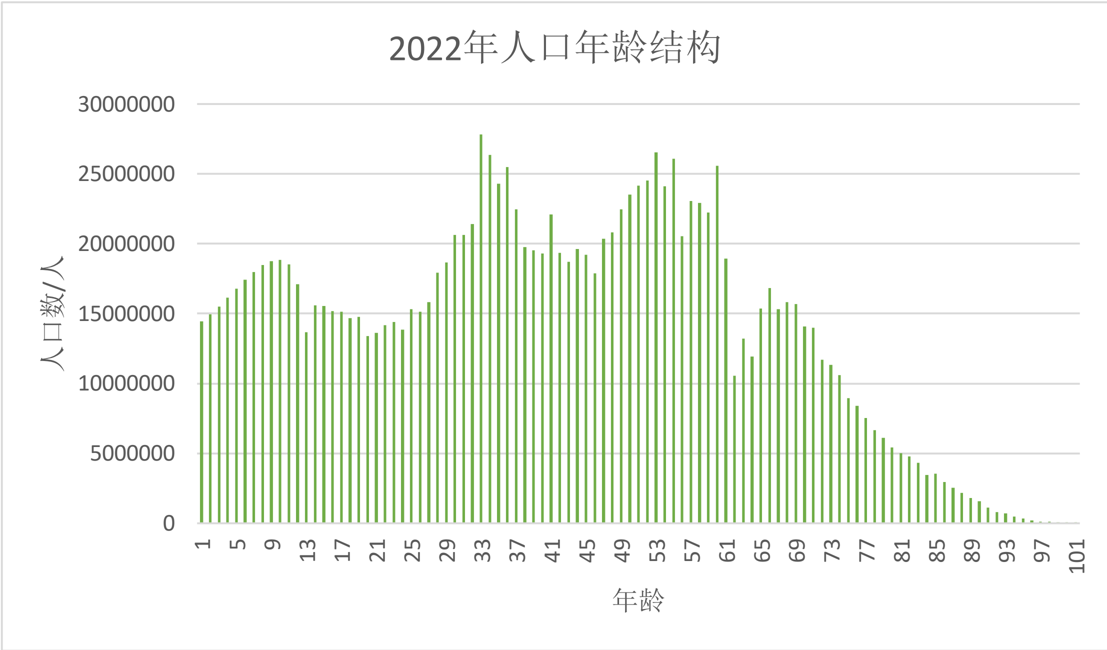


图 6  2022 年人口年龄结构预测图

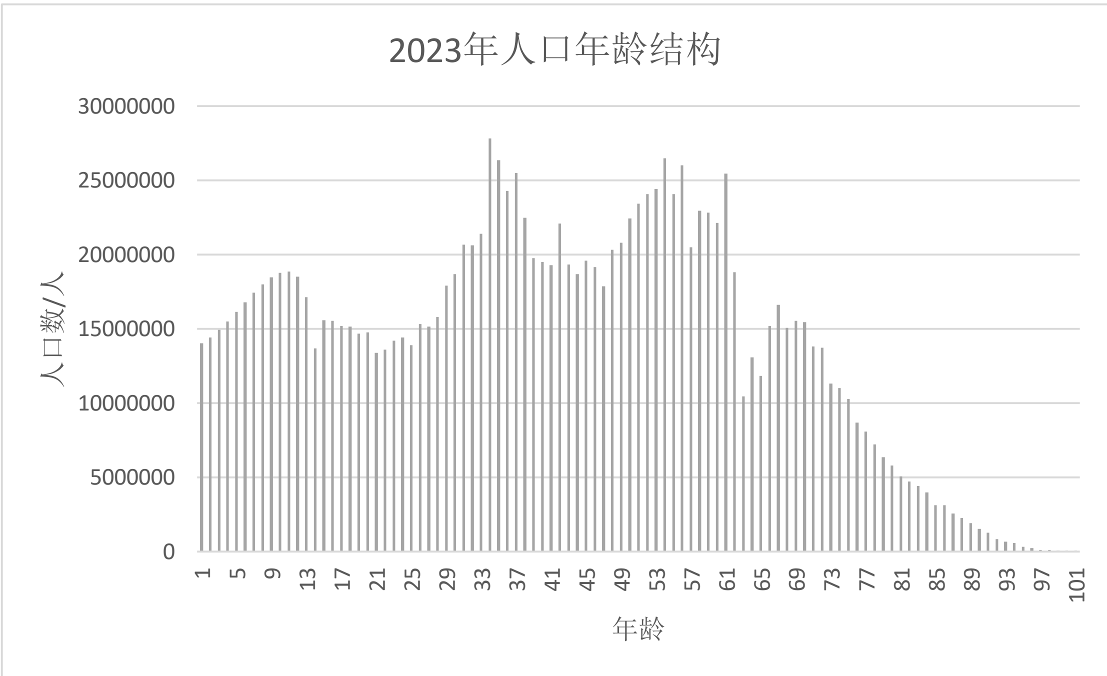


图 7  2023 年人口年龄结构预测图

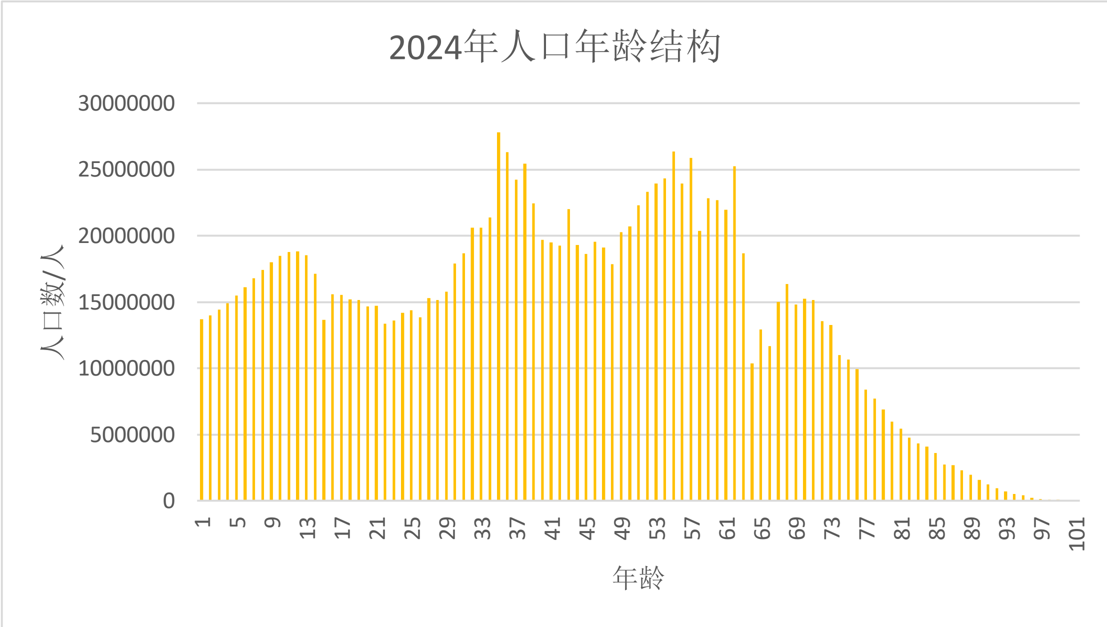


图 8  2024 年人口年龄结构预测图

通过对以上未来 5 年人口年龄结构图分析可知，人口年龄结构在数年内变化不大，故本文考虑使用 2010 年的人口年龄结构进行预测。结合图 3 的平均寿命预测曲线图最终趋于 80 到 85 岁以及图 2 的 2010 年人口年龄结构可知，20-24 岁的 127412518 人会在 60 年后，即 2070 年集中死亡；40-44 岁的 124753964 人会在 40 年后，即 2050 年集中死亡。

### 5.3.3 针对第三问求解

通过将 MATLAB 程序中预测年份改为 90 年可得到 2010-2100 年人口总数预测趋势图：

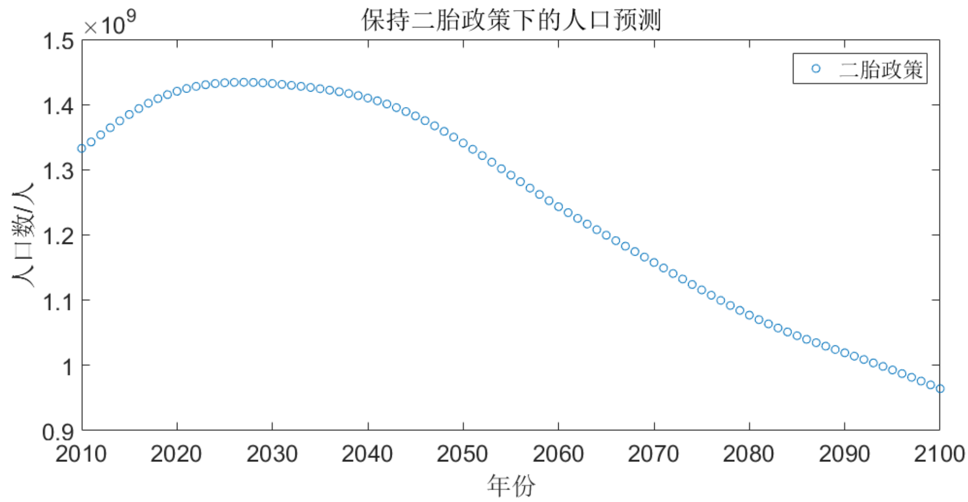


图 9  保持二胎政策下人口总数趋势预测

可以观察发现，2010-2100 年间模型预测曲线在 2030 年左右达到峰值之后呈持续递减趋势，这与 2016 年 12 月国务院发布的《国家人口发展规划（2016—2030 年）》中做出的预测（我国总人口在 2030 年前后达到峰值，此后持续下降）是大体一致的，同时与目前趋势相符合，随着我国受教育程度的提高，年轻人生育意愿降低，抚养成本加大，未来出生人口会持续走低，国家可能需要针对未来人口规模做出相应政策调整。综上所述，本文得到在保持现行二孩政策的前提下，中国人口总数会在将来不会稳定在某个范围内结论。

#### 5.3.4 针对第四问求解

经过对数据和建模结果的分析，从 1990 年开始，中国出生人口出现断崖式下滑，这是严格执行计划生育的结果。2013 年单独二孩启动，由于惠及面极其有限，出生人口并无明显变化。2016 年，全面二孩启动，当年出生人口有所回升，然而仅此一年，2017 年人口接着重回下滑趋势。根据国家统计局发布的数据，2017 年全国出生人口为 1723 万人，比上年减少 63 万人。全面二孩时代，出生人口不增反降，这种现象不只是反常，更拉响了人口危机的警报。一大原因是生育成本高，在养不起的重负之下，生育意愿大幅下滑；另一个原因是社会发展日渐成熟，女性地位相对提高，丁克家族不断增多，进一步加剧生育危机。同时 2016 年，全国 60 岁及以上老年人口 23086 万人，占总人口的 16.7%。这意味着全国有六分之一的人口属于老龄人口，养老压力可见一斑。预计到 2020 年，我国老龄人口将达到 2.55 亿，占总人口比重提升到 17.8%左右，老龄化危机日趋严重。综上所述，我们认为在保持现行二孩政策的前提下，中国可能会在未来面临人口危机。

# 六、模型的评价

## 6. 1 模型优点

本文依据题目所给出的条件因素和相关资料，基于 Leslie 矩阵建立了我国人口发展预测模型，总的来说，预测结果是比较好的，与国家人口发展战略研究报告上相应的数字很接近。模型中尽可能多的考虑到影响未来人口变化的因素，针对生育政策等关键因素的不同分别确定影响未来人口变化的因素的变化规律，分别找出适宜不同因素的参数模型，由此能够较好地进行人口的演变规律，为未来人口增长的预测提供了令人信服的结果。同时在构造 Leslie 矩阵时我们综合已

有数据合理的处理和简化各因素对 Leslie 矩阵作用，并对育龄妇女平均生育婴儿数$beta$进行了优化，是预测模型更加符合实际结果。使得模型预测的结果有较好的精度的前提下又不失简洁性。

## 6.2 模型缺点

Leslie 模型在分析各因素的影响时部分年限的各年龄层人口统计，当预测的时间跨度较长时，仍可能因为情况变化较大而导致预测结果不准确。同时人口出生性别比，总体生育率受国家政策影响程度明显，而且短期内国家不可能放任其按目前趋势发展下去，因此在预测未来人口变化时无法准确的考虑这一因素的影响。

# 七、参考文献

[1] 国家统计局，《中国人口和就业统计年鉴》。

[2] 司守奎，孙兆亮，孙玺菁，周刚，仲维杰，康淑瑰.数学建模算法与应用（第二版）.国防工业出版社，2016 年

[3] 赵东方，数学模型与计算[M], 北京：科学出版社，2006 年 9 月

[4] 姜启源，谢金星，叶俊.数学模型（第四版）.高等教育出版社·北京.2011 年

[5] 储昌木，沈长春.数学建模及其应用.西南交通大学出版社·成都.2015 年

[5] 韩中庚，数学建模方法及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社,2008 年 12 月

[6] 扬启帆，康旭升，等.数学模型[M].北京：高等教育出版社.2006 年 5 月

[7] 李晓红,黄瞿阳,王丽赟,陈增威,梁车媛露.“二孩”政策下浙江省人口结构的预测研究[J].企业科技与发展,2017(01):142-145.

[8] Yoosef Maghsoodi. Optimal population stabilization and control usingthe Leslie matrix model[J]. Bulletin of Mathematical Biology,1995,57(3).

[9] 郭瑞海,袁晓凤,郭瑞海.莱斯利矩阵及其应用[J].西南民族学院学报(自然科学版),1996(02):47-50.

# 八、附录

MATLAB 程序代码

1.改进前 Run.m

```
% # the number of years to consider
years = 15;

% # population in the 1st year(2010)
p = csvread("2010age.csv");
p = p(1:end,:);
p = p';

% # death rate at the age of i (in all years)
death = csvread("death_rate.csv");

% # population proportion of women at the age of i (in all years)
women_p = csvread("women proportion.csv");

% # add to 100*1
women_p = [women_p;0;0];

% # beta change from 1 to 2 in 2016
beta = ones(years,1);
beta = beta + [zeros(6,1);ones(years-6,1)];
X = compute_population(years, 1, p, death, women_p);
X1 = compute_population(years, beta, p, death, women_p);
years = size(X,1);

T = 2010:1:(years+2010-1);
plot(T,X,'+',T,X1,'o');
legend('beta=1','beta=2')
set(gca,'fontsize',18);
xlabel("年份");
ylabel("人口数");
title("二胎政策下的中国人口预测");
```

2.改进后 Run.m

```
% # the number of years to consider
years = 90;

% # population in the 1st year(2010)
p = csvread('2010age.csv');
p = p(1:end,:);
p = p';

% # death rate at the age of i (in all years)
death = csvread('death_rate.csv');

% # population proportion of women at the age of i (in all years)
women_p = csvread('women proportion.csv');
% # add to 100*1
women_p = [women_p;0;0];

% # beta change from 1 to 2 in 2016
% beta = ones(years,1);
% beta = beta + [zeros(6,1);ones(years-6,1)];
beta=zeros(years,1);
for i=1:years
    beta(i,1)=beta(i,1)+1.8-(0.25./(i))
end

X = compute_population(years, 1, p, death, women_p);
X1 = compute_population(years, beta, p, death, women_p);
years = size(X,1);
T = 2010:1:(years+2010-1);


plot(T,X,'+',T,X1,'o');
legend('计划生育','二胎政策下')
set(gca,'fontsize',18);
```

```
xlabel('年份');
ylabel('人口数/人');
title('二胎政策下的人口预测');
```

3. compute_population.m

```
function X = population(input_t, input_beta, first_year_pop, death_rate,
women_p)
%   #-----------------------------------------------------
%   #   t: the number of years to consider
%   #   input_beta: t*1 vector,  average number of children per woman
give birth to
%   #   first_year_pop: 1*m vector , population in the first year
%   #   death_rate: (m+1)*1 vector
%   #   women_p: m*1 vector, woman proportion at each age
%   #-----------------------------------------------------

%     # m: the largest age of human
    m = 100;
%     # t: the number of years to consider
    t = input_t;
%     # the suitable fertility age of all women is a-b
    a = 15;
    b = 49;

%     # population at the age of i in year t
%     # i: 0-m
    x = ones(t,m+1);

%     # population in the first year
    x(1,:) = first_year_pop;

%     # death rate at the age of i (in all years)
%     # i: 0-m
%     # death(0) is the death rate of new-born infants
```

```
    death = zeros(m+1,1);
    death = death_rate;

%     # average number of children per woman give birth to in year t
    beta = zeros(t,1);
%     # beta = sum(fertility(:,[a,b]),2);
    beta = beta + input_beta;

%     # population proportion of women at the age of i (in all years)
%     # i=1:m
    k = zeros(m,1);
    k = women_p;
    k=k';

%     # h: fertility mode at the age of i
    h = zeros(m);
    for i=15:m
      h(i) = ((i-15)^4*exp(-(i-15)/2))/768;
    end

%      fertility rate of women at the age of i in year t
%      i:1-m
    fertility = zeros(t,m);
    for i=1:t
      for j=1:m
        fertility(i,j) = beta(i)*h(j);
       end
    end
%
%     # born population in year t
%     born = zeros(t,1);
%     born(1) = sum((fertility(1,[a:b])).*(k([a:b])).*(x(1,[a:b])),2);
```

```
%

%     # the number of infants born in year t
%     x(:,1) = (1-death(:,1)).*born;


%     # parameter matrix
    A = zeros(m+1,m+1);
    for i=1:m
      A(i+1,i) = 1 - death(i);
    end

4.perproccess.m
D = csvread("death rate.csv");
D = D';
e = zeros(size(D,1)/3,1);
for i=1:22
  e(i) = D(1+(i-1)*3);
end
f = e(1);
e = e(2:end);
d = zeros(99,1);
j = 1;
for i=1:20
    tmp = e(i)/5;
    d(j:1:j+4) = [tmp;tmp;tmp;tmp;tmp];
    j = j+5;
%    #elseif
%    # tmp = e(i)/4;
%    # d(j:1:j+3) = [tmp;tmp;tmp;tmp];
%    # j = j+4;
End

d(99) = e(21);
```

```
d = [f;d];
C = csvread("2010age.csv");
% #C = C(2:end,:);
death_rate = d ./ C;
csvwrite("death_rate.csv",death_rate);
```