

# 传统社会人口周期模型

——以古代中国为案例

Sergey Nefedov

**【摘要】** 为了描述前工业社会经济和人口的基本进程,作者建立了一个组合模型,并用1世纪和2世纪古代中国的数据资料进行验证与分析。

**【关键词】** 人口规模 耕地面积 粮食数量

**【作者】** Sergey Nefedov 俄罗斯科学院历史和考古研究所乌拉尔分部。

在资源数量有限和生产技术不变的条件下,人口的增长可以用一个 Logistic 等式来表达(Pearl R., 1925):

$$\frac{dN}{dt} = r(1 - \frac{N}{C})N$$

式中,  $N(t)$  为人口;  $C$  为生态龕的承载力;而  $r$  为人口的自然增长率(见图1)。根据这个公式,人口在开始时增长很快,但随后增长速度开始减缓并呈渐近线形式趋近于  $C$ 。当生态龕的承载力达到极限时,人们消费最少量的粮食以维持其数量。但这个表达式忽视了当人口数量超出生态龕的时候就会造成粗死亡率大幅度上升,并会引起马尔萨斯所说的“人口灾难”。在这个灾难过去之后,新一轮的人口周期就会开始。

最近,一些经济和人口历史学家,如 F. Braudel(1979), R. Cameron(1989), M. Artzrouni 和 J. Komlos(1985、1990)都使用一些模型来解释中世纪欧洲和现代欧洲的早期人口增长情况(Cambridge, 1967)。J. Golstone(1991)将这些模型称之为生态周期模型。

本文旨在建立一个组合模型,用以描述前工业社会经济和人口的基本进程<sup>①</sup>。验证这个模型的数据来自于1世纪和2世纪的古代中国,因为中国这一时期的人口和耕地面积资料保存较为完整。这些数据使我们能够将模拟得到的结果与实际数值加以比较(Lee, 1921; Chao, 1986; Krukov 等, 1983; Malijvin, 1983)。

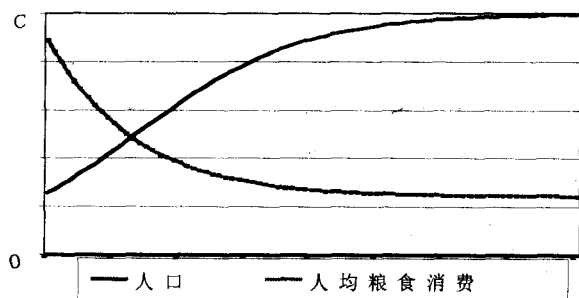


图1 人口 Logistic 曲线和人均粮食消费曲线

我们将农业产出用生产的函数表示为:

$$Q(t) = F[P(t)]A \quad (1)$$

在这里,  $P(t)$  表示在  $t$  时期的农村人口,  $A(t)$  表示耕地面积,  $F(P)$  是某函数,  $Q$  是以公斤为单位的粮食产量。因此,  $F(P) = Q/A = k_p$ , 其中,  $p$  表示每公顷的粮食生产率,  $k$  表示多重粮食指数(播种面积除以耕地面积)。农业技术在这个传统社会中是不变的, 因此,  $p$  和  $k$  不是人口  $P$  的因变量<sup>②</sup>。

① 更详细的计算过程请参见: <http://hist1.narod.ru/Science/Cekl/Index.htm>。

② 其他历史时期的情况并非如此, 比如宋朝的情况就不同。

由此,我们得到生产函数公式  $Q = k_p p_s A$ 。我们有必要认为  $A$  是  $P$  的因变量。这个关系可以从中国的数据资料中推导出来(见表 1)。

耕地面积作为人口规模的函数,其曲线如图 2 所示。很显然,古代中国耕地面积  $A$  的增加与当时的人口规模  $P$  成正比,但当  $A$  达到极值  $A_m$  时,情况就会出现变化。这个关系可以用以下函数方程来表达:

$$A(P) = kP, \quad kP < A_m \quad (2)$$

$$A(P) = A_m, \quad kP > A_m \quad (3)$$

$A_m$  的值在当时大约等于 3 400 万公顷。

中国古代社会由自耕农、佃农和地主所组成。设  $Y(t)$  为自耕农的数量,  $A_F$  为属于自耕农的土地,  $A_T$  为属于佃农的土地。我们用公式(2) — (3) 计算出属于自耕农的土地面积  $A_F$  (但佃农的土地是从  $A_m$  中减去的)。土地  $A_T$  是佃农租用的。自耕农土地最大面积是  $A_m - A_T$ 。所以:

$$A_F(Y) = kY, \quad kY < A_m - A_T \quad (4)$$

$$A_F(Y) = A_m - A_T, \quad kY > A_m - A_T \quad (5)$$

令  $q$  为每公顷耕地所需的种子量,  $M$  为所需的种子总量。那么,  $M = k_q A_F$ 。令  $p_0$  为人均粮食消费的最低限量;根据中国当时的情况,这个最低限量  $p_0$  大约为每人每年 215 ~ 230 公斤粮食。

$P_0 = p_0 Y(t)$  的值是最低总消费量,而  $W = M + P_0$  则是包括最低粮食消费总量和种子总量在内的所需粮食数量。设  $X(t)$  为收成后的粮食数量(当年作物收成加库存粮食)。当  $X(t) > W$  时,自耕农手中拥有余粮。设人均拥有粮食数量为  $u$ , 则  $u = [X(t) - M]/Y(t)$ 。这部分粮食不会在当年被全部消费掉。我们假设余粮的一半被储存起来,以备将来之需。

令  $p_m$  代表粮食消费上限,则人均粮食消费量  $p_c$  为:

$$p_c = (u + p_0)/2, \quad u > p_0 \text{ 且 } (u + p_0)/2 < p_m \quad (6)$$

$$p_c = p_m, \quad (u + p_0)/2 > p_m \quad (7)$$

粮食消费总量  $P_1 = p_c Y(t)$ , 且粮食总产量中用于消费和种子的部分为:  $W_1 = M + P_1$ , 所以在下一个收获季节到来时,存粮的数量为  $Z_p = X(t) - W_1$ 。再令  $l_0$  为每次播种所获得的收成。考虑到生产率不是一个常数,所以我们将一个随机变量  $dl_0$  加入  $l_0$ , 从而得到实际的粮食生产率  $l = l_0 + dl_0$ 。生产函数是  $Q = k_p p_s A_F = k_p q l A_F = lM$ , 所以,来年的作物收成为  $lM$ 。我们有必要从这个粮食产量里减去税额。税额相当于  $1/30$  的收成和一定数量的钱税。根据市场的价格将钱税折合成粮食数量,就可以用粮食数量  $H$  来表示税额总量。

收获后的粮食数量(包括存粮)为:  $X(t+1) = lM - H + X(t) - W_1$ 。

在 R. Pearl 的经典模型里,人口规模  $Y(t+1)$  为:

$$Y(t+1) = \frac{rY(t)}{1 + (r-1)\frac{Y(t)}{C}} \quad (8)$$

这里  $r$  是在好年景时人口的自然增长率,  $C$  是一个生态龛的承载力或所有食物资源可以维持的最大人口规模。在我们的案例中,  $C = P_1/p_0$ 。我们要采用一个新的模型并且用  $\left(\frac{Y(t)}{C}\right)^n$  替换  $\frac{Y(t)}{C}$ , 这

表 1 中国的人口和耕地面积

公元纪年	人口规模 (百万)	耕地面积 (百万公顷)
57	21	16.4
88	43.4	33.4
105	53.3	34.1

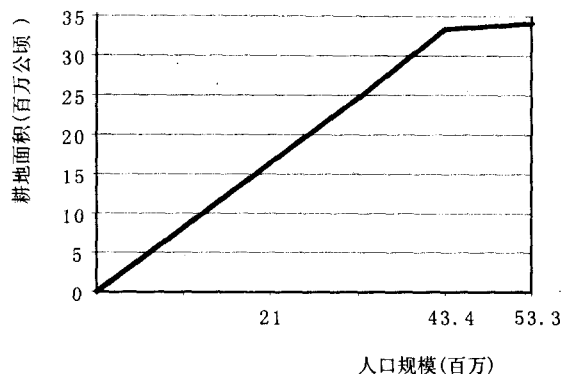


图 2 中国古代耕地面积与人口规模的关系

里的参数  $n$  是 J. Maynard Smith 和 M. Slatkin(1973)提出的代偿指数。之所以引入这个指数是因为饥荒在人类社会里不仅直接导致高死亡率,而且会引起叛乱和战争,从而进一步增加死亡率。

让我们来考虑一下当  $X(t) < W$  时农民缺粮的情况。在缺粮的情况下,自耕农即使消费最少量的粮食  $p_0$ ,也无法省下足够的粮食用于春播。因此,他们会卖掉一部分土地以换取所需要的种子。在某些情况下,地主的存粮也有限,不能买下自耕农要卖的全部土地,所以农民就会减少其消费资金  $P_1$ ,那么,  $M + P_1 = X(t)$ 。在这种情况下,  $u < p_0$ ,且人均消费量  $p(u) = P_1 / Y(t)$ 。当饥荒发生时,  $P_1 < p_0 Y(t)$ ,并且公式(4)中的  $Y(t)/C = Y(t)/(P_1/p_0) = P_0 Y(t)/P_1 > 1$ 。人口规模因此减少。

如果饥荒的威胁会使人口大量减少,各级政府就会向灾民发粮赈灾,将粮食消费水平提高到  $p_{u0}$  ( $p_{u0} < p_0$ )。出卖土地导致自耕农的耕地减少,并使土地资产逐渐集中。地主把土地租给那些将一半收成交租的佃农,因此,每个佃农所需的耕地是自耕农的 2 倍,大约人均 1.5 公顷。如果自耕农当年卖掉了耕地  $D_a$ ,这些耕地就可能被  $N_a = D_a/1.5$  个佃农所耕种,而自耕农的数目就会减少  $N_a$ 。

下面来考察佃农数量的变化情况。设  $A_T$  为佃农的土地,  $Y_a(t)$  为某一年  $t$  的佃农数量,而  $X_a(t)$  为佃农除去各种税和播种资金后所存余粮。佃农的种子粮数量为  $M_a = k_a q A_T$ ,并且最低粮食消费总量为  $P_{a0} = p_0 Y_a(t)$ 。当  $X_a(t) > P_{a0}$  时,佃农拥有余粮,其人均粮食消费量  $p_{ua}$  的计算方法与自耕农相同。

佃农的粮食总消费为  $P_a = p_{ua} Y_a(t)$ ,到下一个收获季节之前佃农的存粮量为  $X_a(t) - P_a$ ,其来年的粮食收成为  $l M_a$ ;各种税  $H_a$  的计算方法与自耕农相同。在减去税和种粮之后,佃农仅能得到粮食收成的一半,因此,佃农的存粮应为  $X_a(t+1) = [(l-1)M_a - H_a]/2 + X_a(t) - P_a$ 。

通过公式  $C = P_a/p_0$  可以得到佃农数量的最大值,而佃农实际数量的确定恰好与确定自耕农数量的方法类似。每年佃农的新增数量为  $N_a$  (每年自耕农沦为佃农的数量)。这些新佃农每人租到 1.5 公顷的耕地进行耕种,并且每年都按固定模式消费。他们必须在将来偿还欠粮。在荒年时,地主借给佃农粮食,使其粮食消费水平达到最低限  $p_{r1}$ 。农户在丰年时归还欠债。

地主将自己的部分收入用于购买工艺制品和雇用工人。设手工匠的数量为  $Y_r(t)$ ,存粮为  $X_r(t)$ ,那么,手工匠的最低粮食总消费量为  $P_{r0} = p_0 Y_r(t)$ 。当  $X_r(t) > P_{r0}$  时,手工匠们有余粮,人均粮食消费水平  $p_{ur}$  的计算方法与自耕农相同。粮食消费是  $P_r = p_{ur} \cdot Y_r(t)$ ,到来年收割时,手工匠的存粮量为  $X_r(t) - P_r$ 。税额  $H_r$  同前面一样都转换成相应的粮食数量。如果地主将收入的  $k_r$  用于购买工艺制品,那么,来年手工匠的存粮量将是  $X_r(t+1) = k_r(l M_a - H_a)/2 - H_r + X_r(t) - P_r$ 。手工匠的最大数量由  $C = P_r/p_0$  决定,而手工匠的实际数量与计算自耕农数量的方法相同。在荒年,手工匠向地主借粮以保证自己的粮食消费,并使其至少达到一个最低限  $p_{r1}$ 。在丰年,手工匠会将欠债连本带利一并归还。

那些丧失了土地的农民有一部分专门从事手工制作,有一些离开农村迁往城市,其他的则在农闲时从事手工制作。把农民和手工匠区分开来是有益于计算分析的。假定 4 个全年收入的 1/4 来自于手工生产的农民,其产出相当于 3 个农民和一个手工匠的产出。手工匠卖掉手工制品去购买粮食。农民生活在一个自然生存经济的环境中,手工匠将商品卖给土地所有者。手工匠的新作坊数目和佣人的数目受上一年地主从佃农那里收到的租子数量的限制。令  $D_a$  为新佃农租用的耕地数,  $H_{aa}$  为佃农所交税额,则地主从佃农处所得地租收入为:  $G = [k_a q (l-1) D_a - H_{aa}]/2$ 。

这些收入的一部分  $k_{r1}$  付给了手工匠,那么,新手工匠和佣人的数量就可以是  $k_r G/p_0$ 。地主收入的另一部分  $k_{r2}$  以存粮的形式储存了起来,而收入的第三部分  $k_{r3}$  则用于粮食消费<sup>①</sup>。令  $k_{r1} = 50\%$ ,  $k_{r3} = 25\%$ ,并设地主的人均消费水平比手工匠高 5 倍。那么,地主的数量应是手工匠数量的 1/10。地主的最大数量极限是将近 50 万人。

① 地主数量的变化演算不在本研究范围内。

国家也储存粮食。根据有关历史文献的记载,国家将通过土地税收缴的粮食的一半积存在国家粮库里。据推测,剩下的部分大约有 250 万吨。当时中国的官员大约有 15 万人,这些官员的最低年收入为 100 石(大约为 3 吨)粮食,这些官员的薪水大概可以购买约 100 万吨粮食。剩余的粮食用于维持军队和接济流民等。我们推测国家税收的一部分( $k_n$ )是用于购买手工制品的。手工匠的收入也因此而有所增加。

这里使用的各类参数值来源于有关历史文献。但是,数学模型中通常还包含一些主观规定的参数量,这些参数量是通过数字实验挑选出来的。在我们的模型里,代偿参数  $n$  是一个最重要的参数,因为它描述了当粮食消费水平  $p(u)$  降到危险水平  $p_0$  以下后,人口死亡率的变化情况。在传统模型中( $n=1$ ),当粮食歉收到只有  $p_0$  的一半时,仅导致人口减少 3%。在一场大的粮食危机下,人口仅减少 3%,显然是不合情理的。当  $n=2$  和  $n=3$  时的计算结果仍然不符合实际情况,所以,我们应该考虑当  $n=4,5,6$  时的情况。

上述模型的模拟结果如图 3 所示(取  $n=6$ )。生产率出现的不规则波动造成了曲线的各种变化。然而,在 100 年之前,生产率的波动并没有对人口规模产生影响。计算结果表明,那一时期的农民已经有了长期的存粮,一次歉收不会导致饥荒的出现。因此,当时的人口增长曲线既平滑又稳定。通过计算机模拟出来的人口数量与根据历史文献计算出来的人口水平相差无几<sup>①</sup>。

总的趋向也是相互关联的。农民们集中在 57~85 年期间开垦了大量荒地,并储藏了大量的粮食(见图 3)。这段时期的粮食消费量很大,人口增长迅速。由于无主的荒地资源逐渐枯竭,85 年以后,中国境内的垦殖速度慢了下来,但人口仍然在持续增长。因此,人均粮食消费开始超过当年的粮食收成,粮食库存开始减少。

102 年前后,农民库存的粮食几乎殆尽,饥荒开始发生(Malijvin, 1983: 80)。农民开始卖地以换取粮食,这使许多农民免于饿死,但人口规模还是有所减少。历史记载当时发生了第一次大规模的农民起义。这次危机具有十分重要的意义,因为从此以后经济的稳定性受到了干扰。农民从此没有了存粮,一旦歉收就可能引起饥荒和人口灾难(见图 4)。国家无论如何都会尽力维持稳定,在饥荒发生时,官员们开仓放粮,这种做法使国家在其后的一段时期内免遭人口灾难。根据史料记载,157 年以后国家的粮仓也空了,放粮赈灾的做法也因此而停止了(Malijvin, 1983: 77)。这时,人口灾难就无法避免了。当时爆发了黄巾军起义,之后是长期的血腥战乱。

发生人口灾难的主要原因是在缺乏未开垦荒地和缺乏粮食库存情况下的经济不稳定。这种不稳定性由于农民可以自由地将土地出卖给地主而得到增强。在 102~160 年间,许多贫苦的农民生活在连续不断的饥荒条件下,并将大部分土地卖给了地主。没有了土地的农民成为佃农、手工匠和佣人。自耕农的数量不断减少,他们的

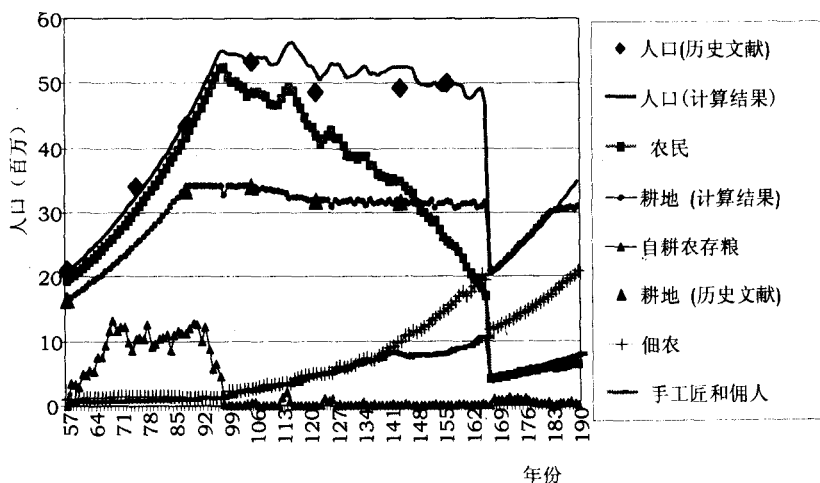


图 3 东汉时期的经济变动情况(之一)

① 人口和耕地数据来源于: Lee Mabel Ping-hua (1921), *The Economic History of China*. N. Y., P. 436; Krukov M. V., et al. (1983), *Ancient China during the Epoch of the Centralized Empires*. Moscow, P. 41.

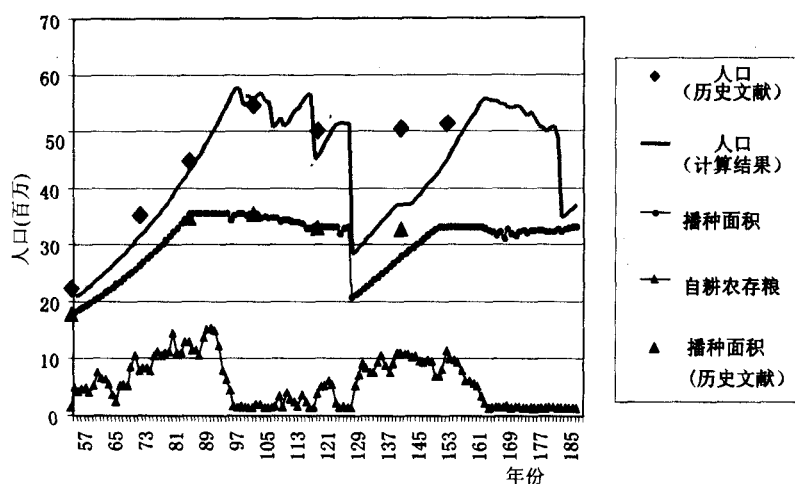


图4 东汉时期的经济变动情况(之二)

注:这是假设缺乏政府的粮食支持而得到的不同于图3的计算结果,如此短暂的人口周期曾在隋朝出现过。

## 参考文献:

1. Braudel F. (1979), *Civilisation Matérielle, économie et Capitalisme, XVe—XVIIIe Siècle. P.*, Vol. 1.
2. Cameron R. A. (1989), *Concise Economic History of World*. N. Y. Oxford.
3. Chao K. (1986), *Man and Land in Chinese History. An Economic Analysis*. Stanford.
4. Golstone J. A. (1991), *Revolution and Rebellion in the East Modern World*. Berkeley.
5. I. Hodder (1978), Simulation in Population Studies, in: I. Hodder (ed.), *Simulation Studies in Archeology*, pp. 59—62, (Cambridge: Cambridge University Press).
6. J. Komlos, M. Artzrouni (1985), Population Growth through History and the Escape from Malthusian Trap: A Homeostatic Simulation Model, *Genus*, 41, No. 3—4, pp. 21—39.
7. J. Komlos, M. Artzrouni (1990), Mathematical Investigations of the Escape from the Malthusian Trap, *Mathematical Population Studies* 2:269—287.
8. Kruk M. V., Perelomov L. S., Sofronov M. V., Cheboksarov M. V. (1983), *Ancient Chinese in Epoch of the Centralized Empires*. Moscow.
9. Lee Mabel Ping—hua. (1921), *The Economic History of China*. N. Y.
10. Malijvin V. V. (1983), *Destruction of the Ancient Empire*. Moscow.
11. Maynard Smith J., Slatkin M. (1973), The Stability of the Predator—prey Systems, *Ecology*, Vol. 54, p. 384—391.
12. Pearl R. (1925), *The Biology of Population Growth*. N. Y.
13. *The Cambridge Economic History of Europe*. Vol. IV. Cambridge, 1967.

(翻译:孙征)

(责任编辑:朱萍)

① 计算显示,如果农民没有权利出卖土地,那么,他们所拥有的土地面积就会更稳定。这大概就是东方的君主政体往往禁止农民出卖土地的原因。