一个岛屿与四座城市的故事。
基于社会经济软物质模型的报告。

Agata Angelika Rzoska[1*] 和Aleksandra Drozd-Rzoska[2*]

1. 经济大学，市场营销系，1 Maja 50 街，40-257 卡托维兹，波兰

[2]波兰科学院高压物理研究所，

ul. Sokołowska 29/37，01-142-华沙，波兰

* 通讯作者：A.A. Rzoska；agata.rzoska@edu.uekat.pl；A. Drozd-Rzoska：

摘要：本报告讨论了社会经济软物质（SE-SM）的出现，该概念源于物理学与经济学之间的相互作用。首先，利用软物质科学工具检验了自工业革命开始以来的人口变化。值得注意的是，研究采用了创新的导数敏感型和畸变敏感分析工具。结果显示，人口呈威布尔型幂指数增长；在接近1970年的交叉点之后，增长率明显降低。随后，研究以拉帕努伊（复活节）岛为模型案例，并以四座大型“标志性城市”为对象，检验了人口变化的社会经济软物质模式，这些城市均经历了上升和衰减阶段。它们分别是美国的底特律和克利夫兰、波兰的罗兹（前纺织工业中心）以及比托姆（前煤矿中心）。分析明确揭示了人口变化中的标度模式，这些模式受到历史和社会经济背景的影响，并体现出人口变化中的长期决定性。在社会经济软物质概念框架内，报告讨论了人口变化的普遍性特征。

关键词 软物质、人口统计学、社会经济、威布尔分布、拉帕努伊、后工业城市

1. 引言

尼古拉·哥白尼、伽利略·伽利莱、艾萨克·牛顿……创立了现代科学方法。它与非思辨的方法有关，通过实验交叉验证启发式思维和思维概念，并运用数学工具将结果表达出来。要从这些巨人中分辨出谁的贡献最为突出并不容易，但最终正是艾萨克·牛顿塑造了现代科学的发展道路（Westfall，1994年）。这推动了前所未有的进步，带来了新的基础知识和创新。世界进入了一个创新驱动发展的全新时代，解决了长期困扰人们数千年的许多问题。这就是工业革命的时代（Groumpos，2021年）。

艾萨克·牛顿尤其以两部奠定力学（动力学）、引力和光学基础的专著而闻名。他引入了导数、微分方程和积分分析等概念，以便进行连贯而深入的描述。A

一个特别重要的启示是，看似彼此分离的现象可能有着共同的“普遍”根源。此前谁能想到，下落的苹果、行星和彗星的运动，竟能用同一条万有引力定律来描述，并归结为一个简单而实用的方程？（Westfall，1994年）

现代经济学之“父”亚当·斯密深受“包罗万象的普遍性”这一概念的影响，于是开始在与社会与政治经济学相关的现象中寻找此类现象（Smith，1776年和2009年）。值得注意的是，牛顿也曾直接参与处理这类问题。鉴于牛顿卓越的才智，他被任命为英国皇家铸币厂负责人。他的主要任务是防止货币价值大幅下跌。牛顿很快意识到，这主要是由一种（非常）物理性的行为造成的——刮削硬币边缘，从而减轻了硬币的重量。牛顿通过为硬币研发一种新的硬质金属合金，并设计锯齿边缘，解决了这一问题。得益于结合物理学、材料工程、经济学和行为观察的跨学科创新，牛顿解决了王国面临的重大社会经济问题。这项创新至今仍在使用。（Westfall，1994年）

本文尝试运用一些基础物理学知识，尤其是软物质物理学，来描述社会经济和人口特征，以及其背后可能存在的普遍性概念。

为了验证物理学在此类问题上的应用，我们从社会经济学的角度来看牛顿著名的运动定律：

1. 当没有力作用于物体，或这些力彼此平衡时，物体处于静止状态，或沿直线匀速运动。 当正面和负面的外部因素彼此平衡时，这是否也意味着公司、城市乃至国家按比例进行“线性”发展？

2. 运动与作用于物体的力 F 有关，物体的质量为 m，这是衡量其惯性大小的指标：$F = am$，其中 $a = const$ 表示加速度。 在社会经济领域，一个例子是：与中小公司迅速获得亲市场回报相比，结构惯性巨大的大型公司难以改变其经营活动？3. 不存在孤立的力。任何作用都伴随着反作用。 由此可见，经济学和日常生活中有许多类似的例子。

三十年前，Pierre Gilles de Gennes 因另一项宏大的统一理论而荣获诺贝尔物理学奖（1991年）。他提出了“软物质”（SM）这一新类别，将我们周遭的许多常见材料联系起来。起初，该类别包括聚合物、液晶、胶束系统、临界液体……（de Gennes 与 Badoz，1996年）。如今，软物质的范畴也涵盖生物系统，包括细菌菌落和病毒；也涵盖作为极其复杂的软物质案例的食物（Drozd-Rzoska 等人，2002年；Rzoska 等人，2011年；Drozd-Rzoska 等人，2005a年；Drozd-Rzoska 等人，2005b年；Drozd-Rzoska，2005年；Drozd-Rzoska，2006年；Drozd-Rzoska，2009年）。说到后者，可以想到牛奶、酸奶、蛋黄酱、番茄酱等常见产品，以及糊状物、蛋糕和肉（Mezzenga 等人）。软物质的概念也已扩展至

拓扑系统（Serra 等人，2020年）和量子系统（Thedford 等人，2022年），为理解空间的基本属性带来了新见解。

软物质意味着什么？（de Gennes 与 Badoz，1996年）。哪些因素能将这些看似截然不同的系统联系起来？要进行普适性描述并揭示标度模式，只需具备两个共同特征：

A. 集体性介观“结构”占主导地位，这些结构主要由相互关联的原子、分子或其他类型的实体构成，共同形成一个系统/材料。B. 对外源与内源影响极其敏感，而这实际上是条目（*A*）所述特征的结果。

2007年，《卫报》杂志以如下文字悼念 Pierre Gilles de Gennes（Goodby、Gray，：　　这个时代的牛顿去世，享年*74*岁。他因“发现研究简单系统中有序现象的方法可以推广至更复杂的物质形态”而获得诺贝尔奖、洛伦兹奖章和沃尔夫奖。”

在近期的研究中，本报告作者提出，可以将社会经济软物质视为一个研究对象，

$$P(t) = p_0 exp\left[\pm \frac{\Delta t}{\tau(t)}^{\beta}\right] \quad (1)$$

其中，$P(t)$ 表示人口随时间的变化，p_o 为前因子，τ_i 为处理时间常数，β 为幂指数；$\Delta t = t - t_{ref.}$，而$t_{ref.}$ 为参考（起始）时间；τ 表示弛豫时间；′ ± ‘分别与上升和衰减有关。’

在软物质系统中，指数$\beta = 1$ 表明，该系统的动力学过程或模式由单一弛豫时间支配。对于$0 < \beta < 1$，公式（1）称为拉伸弛豫关系，表示弛豫时间（过程）存在分布。在物理化学系统中，$\tau(t) = \tau = const$。与$\beta > 1$相关的值对应于“压缩”弛豫过程，这种过程在物理化学系统中几乎不会发生。例外情况是 $\beta = 2$，它等同于系统不同随机允许状态的概率正态（高斯）分布 [2] 。值得注意的是，公式（1）的一个类似形式与威布尔函数之一相似，可用于通过不同弛豫通道对动力学过程进行一般概率分布分析。它常用于各种技术应用以及医学和微生物学领域。

对于最简单的情况，$\beta = 1$，基于公式（1）的数据分析可通过以下线性依赖关系得出：

$$lnP(\Delta t) = lnp_0 - \frac{1}{\tau}\Delta t \quad (2)$$

单个　　弛豫时间动力学（$\beta = 1$）验证了 plo 的线性行为　　t

$y = lnP$（Δt）与$x = \Delta t$ 的关系，或简写为$x = t$，其斜率与弛豫时间的倒数相关。弛豫时间τ 表示使P（t）变化$1/e \approx 03678....$倍所需的时间。一个方便的度量指标是$\tau_{1/2} = \tau \times ln2$，用于描述$P$（$t$）变化 50% 所需的时间。对于带有指数$\beta \neq 1$ 的完整“幂指数”公式 1，应考虑（$1/e$）$^{1/\beta}$ 衰减（Rzoska与Drozd-Rzoska，2023年）。非线性拟合用于通过公式（1）的幂指数函数（其指数为$\beta \neq 1$）描述“实验”数据。在软物质系统中的实际应用表明，使用公式（2）直接进行非线性拟合，会导致导出参数出现异常大的误差。参照公式（1）的导数即可避免这一基本问题（Rzoska与Drozd-Rzoska，2023年）：

$$\frac{dlnP(t)}{dt} = \frac{dP(t)\ \ P(t)/}{dt} = \pm\frac{\beta}{\tau}\Delta t^{\beta-1} \quad (3)$$

随后，依据以下方程对数据进行转换（Rzoska与Drozd-Rzoska，2023年:

)

$$y(t) = log_{10}\left|\frac{dlnP(t)}{dt}\right| = log_{10}\left(\frac{\beta}{\tau}\right) + (\beta-1)log_{10}\Delta t =$$

$$= \left[log_{10}\left(\frac{\beta}{\tau}\right) - log_{10}\tau\right] + (\beta-1)\,log_{10}\,\Delta t = A + B \times x \quad (4)$$

在可应用公式（1）的范围内，绘制 $y(t) = log_{10}[dlnP(t)/dt]$ 与 $x = log_{10}\Delta t$ 的关系图，应得到斜率为$s = \beta - 1$ 的线性依赖，即指数为$\beta = s + 1$。

利用公式（4），无需通过公式（1）进行非线性拟合，即可揭示由不同指数值β支配的区域。它还显示了占主导地位的局部趋势和扭曲。值得注意的是，借助基于公式（4）的初步分析，公式（1）的分析可将最终通过公式（1）进行的拟合简化为仅含一个参数，并严格限定允许使用的数据范围。

回顾人类人口演变这一本文报告的核心议题，最重要的模型由马尔萨斯提出，他还表示其灵感源自艾萨克·牛顿的遗产。他假设人口变化率恒定，并应用了牛顿提出的微分分析工具（马尔萨斯，1798年；Weil与Wilde，2010年；Kaack与Katul，2013年）：

$$:\frac{\Delta P(t)}{\Delta t} \rightarrow (\Delta t \rightarrow 0) \rightarrow \frac{dP(t)}{dt} = rt \quad \Rightarrow \quad P(t) = p_o exp(rt) \quad (5)$$

其中 $r = r(t) = const$ 是马尔萨斯率系数。

公式（5）与针对 $\beta = 1$ 和 $t_{ref.} = 0$的公式（1）「加了幂」后相关。

马尔萨斯将公式（5）所示的人口指数上升，与当时预期的可用粮食资源线性增长进行了对比。人口和资源数量变化趋势不可避免地会相交，这表明后者必然短缺，因此饥荒和社会动荡也不可避免。

在19th 世纪中叶，Velhulst 补充了马尔萨斯模型，重点研究资源受限条件下的人口增长如何导致人口上升并随后趋于稳定。这种情况可以函数化表示如下（Velhulst, 1847&2022年）：

$$\frac{dP(t)}{dt} = rt\left(1 + \frac{P(t)}{K}\right) \Rightarrow P(t) = \frac{K}{1+exp(-rt)(K-p_o)/p_0} = K\left[1 + exp(-rt)\frac{K-p_0}{p_0}\right]^{-1} \quad (6)$$

其中，K表示可用资源的数量。第三类马尔萨斯型模型与公式（1）的函数有关：$P(t) = p_0 exp(rt^{\beta})$ (7)

该方法通过非线性拟合应用，通常是在任意选定的时间区间内进行，因此所得参数的误差总是很大。威布尔模型函数常被用作启发式依据。

采用广义威布尔型方程（1）（Rinne，2008年），并结合由公式（4）定义的畸变敏感分析和基于导数的分析，以深入了解全球人口增长。该分析涵盖了从全新世开始以来的极端时期。

图1概述了这些结果，重点关注1800年之后的时期，这也是本报告关注的范围。图1所示结果依据公式（1），呈现出非单调的变化模式，其变化受指数 β 值变化的支配。

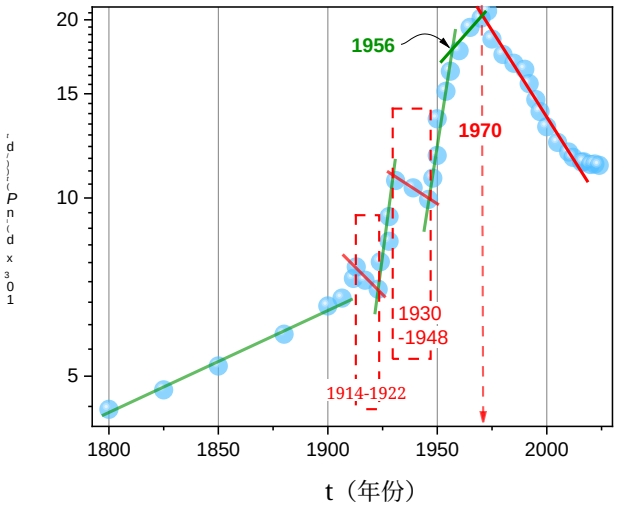


图1 展示了利用威布尔型方程（1）描绘世界人口演变的图表，以及通过公式（4）进行的适用性畸变敏感分析（由线性区间标示）。线条斜率与幂指数相关 β 在威布尔型方程（1）中 $slope = s = \beta - 1$。由 $s > 0$ (绿色线条) 描述的行为对应人口增长率的“强劲”上升。由 $s < 0$ (红色线条) 描述的行为对应人口增长率的显著下降。交叉点 $s > 0 \rightarrow s < 0$ 标示了上述趋势之间的拐点。图中标出了与此类变化相关的特征年份。依据文献（Rzoska与Drozd-Rzoska，2023年）。

值得注意的是，全球人口上升速度放缓的时期与世界大战有关：第一次世界大战和第二次世界大战。值得注意的是，后者的这一趋势始于1930年左右，这可能与大萧条有关，并于1948年结束。全球人口上升模式在1970年左右确实发生了变化，从快速上升转为缓慢上升。这是1968年的“文化反叛”及其后果造成的影响吗？全球人口具有这样一种特征：

这种特征通常是物理模型所具备的，即不受外部因素干扰，或者至少能够了解并控制这些因素。

这项工作将社会经济软物质的概念应用于选定的、具有代表性的较小规模人类群体；对于这些群体而言，实现“隔离”似乎很困难，甚至可能无法做到。在领土规模受限的情况下，人口变化反映了内部因素，例如政治和社会条件，以及从食物到能源等可获得的“吸引性”资源。后者也可以是非物质性的，以下内容将对此加以说明。本报告的基本讨论从拉帕努伊（复活节岛）案例出发，该案例可被视为研究“小型”孤立人类群体发展的典型模型。

2. 泊pul人口变化：微生物学的平行研究与拉帕努伊（复活节岛）案例 e

在 1st 千年最初的几个世纪里，人类历史上最重要的探险活动之一发生了。波利尼西亚人开始进行宏大的海洋航行，并在广袤的太平洋上定居于各个岛屿。这些努力所取得的成功前所未有。他们乘坐小巧却极其适航的船只——双体船和三体船，确保了航行的出色稳定性。探险和定居远征队启程前往数千公里之外的其他岛屿，却不知道航程终点是否真的存在岛屿。当时获得的庞大知识，也支持了詹姆斯·库克船长乘奋进号进行伟大远征的成功；此次航行由波利尼西亚领航员Tupaya引航。探险家抵达的最远岛屿是拉帕努伊岛，欧洲探险家雅各布·罗赫芬海军上将将其称为复活节岛，以纪念他于1722年4月5th日复活节星期日抵达该岛。当时，岛上居住着2,000至3,000人。后来的研究表明，在 16th 和 17th 世纪，拉帕努伊的人口曾高达10,000至15,000人。欧洲人的下一次到访同样具有考察性质：1770年，费利佩·冈萨雷斯·德·阿赫多船长奉秘鲁总督之命率领远征队，对该岛进行了为期5天的考察。1774年，詹姆斯·库克船长在奋进号的宏大远征期间访问了该岛。这次访问带来了精确的地图、对自然环境的描述、关于居民的评论，以及对海岸上“巨型”摩艾石像的记载。库克船长估计岛上人口在700至200人之间，后一个数字更有可能。在1722年至1770年间，拉帕努伊发生了两个既存氏族之间冲突的最后阶段，这两个氏族被称为“短耳族”和“长耳族”。这场冲突导致“长耳族”氏族消失得极为彻底，甚至没有留下任何可靠的遗传物质。拉帕努伊流传至今的相关口述传统表明，“长耳族”可能曾是该岛的统治氏族（O’Leary，2021）。

拉帕努伊人类人口发展的一个独特特征是：在与世隔绝的条件下，形成了一个拥有非凡成就的非凡文明；它既与其他太平洋岛屿隔绝，也与南美洲大陆隔绝。

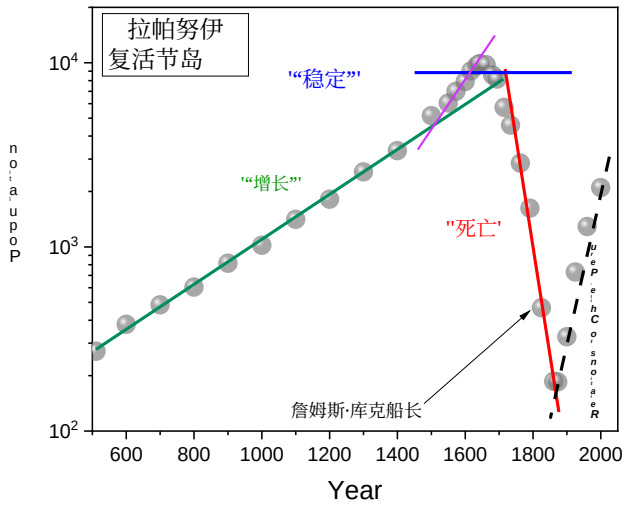


图2 复活节岛（拉帕努伊）自假设定居以来至今的人口变化，依据参考文献中的估算（O'Leary，2021' Stevenson等，2006）。

拉帕努伊的定居与波利尼西亚人伟大海洋扩张的最后阶段有关。不久之后，气候条件周期性恶化，这进一步限制了远征活动，因为远征使用的是小型且相对脆弱的船只。在面积狭小的拉帕努伊，森林砍伐也迅速发生，尤其是棕榈树的消失。这意味着无法造船进行远洋航行，甚至无法在拉帕努伊周边捕鱼。岛上居民与世界最丰富的渔场和粮食资源隔绝。他们仅拥有与岛屿内陆相关的资源。

最近，有迹象表明，岛上居民已开辟了"生态"花园，显著缓解了资源问题。拉帕努伊的人口已增长至约10,000人。然而，从16th 世纪中叶开始，全球气候变冷，这一时期被称为小冰期。在欧洲，这一现象的显著表现是冬季波罗的海结冰，冰块从波兰漂流至瑞典。在拉帕努伊，人们大幅加强了摩艾石像的建造，石像变得越来越巨大、宏伟——它们在岛内的采石场开凿而成，再用木头滚筒运至海岸。这些活动必定耗尽了规模本就相对较小的全部人口，并导致森林最终被砍伐殆尽。随后，暴力引发的崩溃导致人口迅速减少，一个氏族消失，现存文明也遭到毁灭。可以推测，加强摩艾石像建造相关活动，或许是人们试图以神秘方式回应日益恶化的气候条件。这些努力很可能引发了叛乱、内战，最终导致社会结构崩溃、文明覆灭，人口消失。**图2**以半对数尺度展示了拉帕努伊人口的变化，让人直接联想到通过马尔萨斯方程（5）或威布尔型方程（1）以指数形式进行的描述，其指数为

β = 1。值得注意的是，约从1500年至17th 世纪初，人口还曾额外增长。在欧洲，这是气候条件显著改善的时期，这种改善可能也具有全球性。

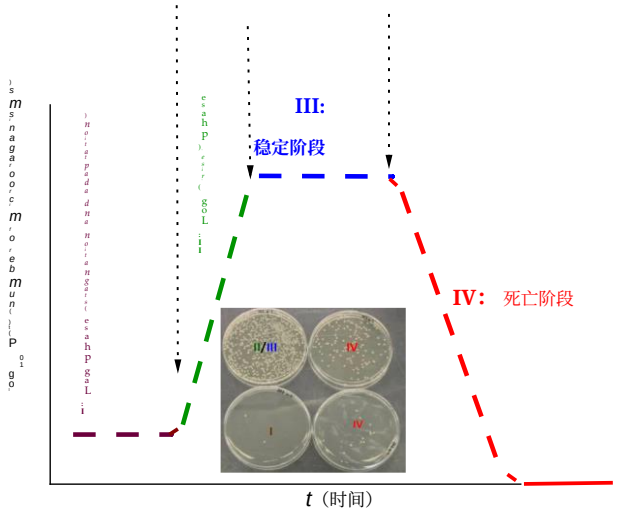


图3 封闭容器中有限定量（有限量）食物条件下微生物人口发展的演化示意图。半对数尺度有助于呈现单一弛豫（公式（5）或带有指数 β = 1 的公式（1））行为，该行为通过倾斜的线性变化表现出来。照片展示了大肠杆菌菌落在后续发展阶段中的数量（Rzoska 等，2017年）。

17th 世纪中叶已经处于小冰期的鼎盛时期，气候显著变冷。在拉帕努伊，人口稳定期非常短暂，随后人口迅速下降，这可能与上文所述的评论有关。然而，这一图景可能过于简单化。过去十年的研究表明，拉帕努伊原住民在岛屿中部建立了先进的生态友好型花园。有资料显示，一场巨大的海啸波也可能席卷拉帕努伊。上述因素的重要性可能不容忽视，并且可能使拉帕努伊人口变化的图景更加复杂。

图 3展示了食物有限的容器中细菌人口的变化。半对数尺度揭示了马尔萨斯式增长（第二阶段），随后进入第三阶段的稳定阶段。第二阶段和第三阶段合在一起，可与 Velhulst 双峰模型（公式（7））相联系。最后，人口消失（第四阶段）。图 2 展示了细菌人口的演变，这也可以视为活性软物质。它与拉帕努伊的人口变化相似，但存在一些重要差异。首先，图 1 中的稳定阶段极短。其次，上升与衰减并不对称。这可归因于拉帕努伊人类人口的发展和存续与内部自我组织密切相关。其毁灭发生得十分“迅速”，且历时很短。

3. 人口演变：后工业城市的典型案例

由此产生一个问题：在人类

“集群”情境中，当与周围环境的明显相互作用不可避免时，是否会出现类似软物质科学中集体现象动力学的人口变化。为探讨这一问题，本文讨论了波兰和美国几座典型后工业城市自19th 世纪初至今的人口发展。值得强调的是，这两个国家之间存在差异。在19th 世纪，波兰并不存在，其领土被俄罗斯、普鲁士／德国和奥地利这三个瓜分波兰的帝国分割。对它们而言，社会和经济发展各自遵循不同的道路。波兰于1918年恢复独立。它是第一次世界大战（WWI）的主要战场之一，遭受了巨大的破坏和贫困。二十年后，即1939年，第二次世界大战（WWII）爆发，给波兰造成了极其惨重的人员和物质损失。战后，国家边界被迫改变，波兰也被迫与苏联（俄罗斯帝国）结盟。这种局面直到1990年才结束。

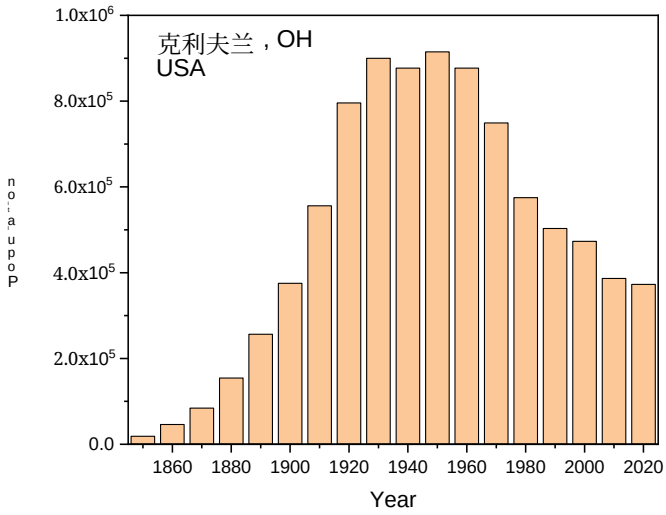


图4　　经典柱状图呈现的克利夫兰（美国俄亥俄州）人口变化

反过来，美国是一个自建国之初、贯穿整个19th 世纪直至今日都在和谐发展的国家。美利坚合众国参加了第一次世界大战和第二次世界大战，并发挥了最重要的作用。然而，这些战争都发生在美国领土之外，而令人惊讶的是，这个国家却变得更加强大、更加繁荣，这或许是历史上前所未有的“悖论”。在美国这个幅员辽阔的国家，始终存在着极佳的发展条件，主要是有利于经济发展和创新的条件，.....同时也有利于个人自由。

在如此截然不同的国家背景下，选定的特定城市呈现出怎样的发展面貌?

选择这些案例的最初主要动机，是它们经历了人口强劲增长的阶段，随后在稳定阶段之后，人口又迅速大幅下降；这一情况与图2和图3所示的模式有些相似。

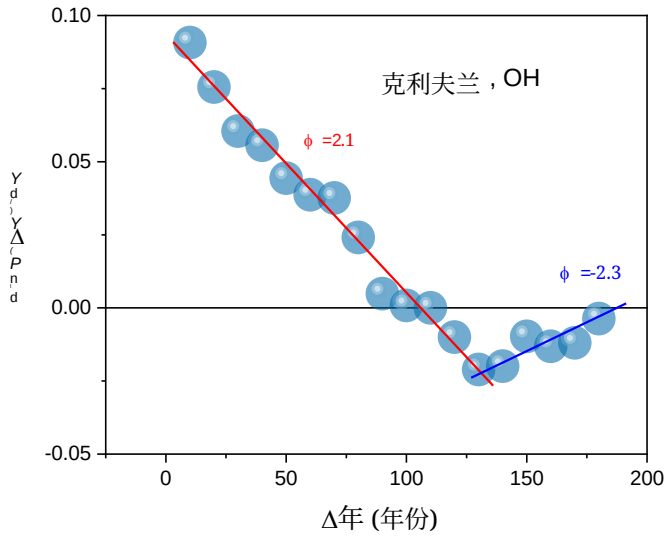


图5 克利夫兰，俄亥俄州人口数据的线性化导数分析（式(4)），数据见图4。线性域验证了通过幂指数式(3)进行的描述，指数见图中。

图4展示了俄亥俄州克利夫兰的人口变化（美国人口普查局：克利夫兰，2022年），采用半对数尺度呈现，令人想起马尔萨斯的行为模式。克利夫兰是伊利湖畔的一座大城市和港口。它是重要的交通枢纽，这一特点与其地理位置相结合，自城市发展之初便发挥了重要作用。推动其发展的重要力量还包括种类繁多的工业，尤其是与冶金相关的工业。克利夫兰曾是重要的金融、商业和科学中心。三所大学和空间研究中心便是后者的例证。著名的克利夫兰管弦乐团也不容忘记。尽管克利夫兰具有这些令人瞩目的特点，以标准柱状图形式呈现的人口变化（**图4**）仍显示，在大幅增长之后，人口进入稳定期，随后显著减少。

图5通过线性化导数公式（4），展示了对图4中人口数据进行的畸变敏感分析。线性域验证了幂指数公式（1）所描述的模式，指数见图中所示。**图6**展示了根据图4和图5所示数据对克利夫兰人口变化的描述。值得注意的是，其“上升”和“衰减”区间很长，中间的稳定期为~ 1930 年至1950年。克利夫兰的发展很大程度上得益于其作为商品、信息和金融枢纽及交换中心所发挥的作用。最初，这里的主要因素是五大湖广阔水域上的水运；五大湖从东部绵延至美国最西端。铁路运输起到了补充作用，但汽车/卡车运输以及高速公路网络的发展改变了局面。便利的港口位置不再是促进发展的关键因素。

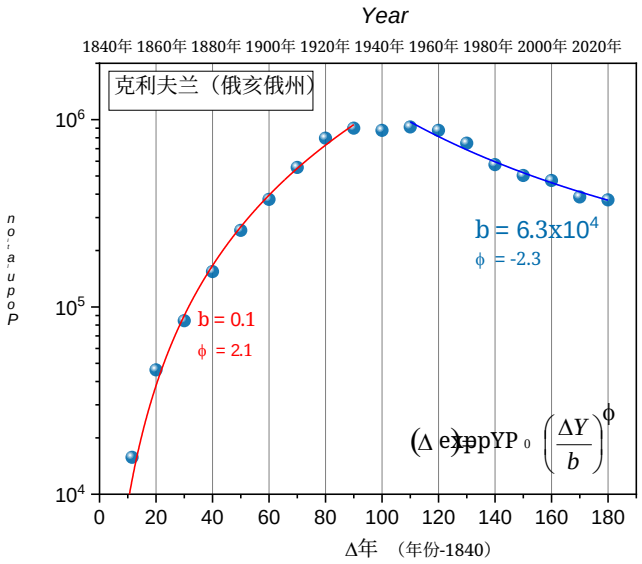


图6 克利夫兰，俄亥俄州（美国）的人口数据半对数表示，以及基于公式（1）的幂指数表述。请注意与图4的关联。

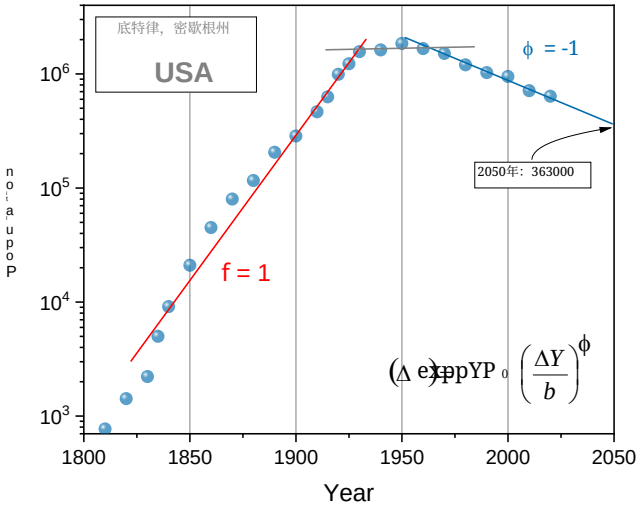


图7 底特律，密歇根州（美国）的人口在半对数尺度上的演变。实线表示公式（1）中指数为 $\beta = 1$ 的马尔萨斯型描述。

图7展示了以半对数尺度呈现的底特律，密歇根州（美国）人口数据（美国人口普查，底特律，2022年）。数据显示出极佳的马尔萨斯型描述，与单模弛豫相关；特别是自1900年以来，这一描述与公式（1）中的指数 $\beta = 1$ 相关，可与底特律大型汽车工业的兴起联系起来。值得注意的是，与公式（1）中指数 $\beta = 1$ 相关的类似马尔萨斯型模式，也出现在与上述案例相距甚远的地方：波兰的比托姆。

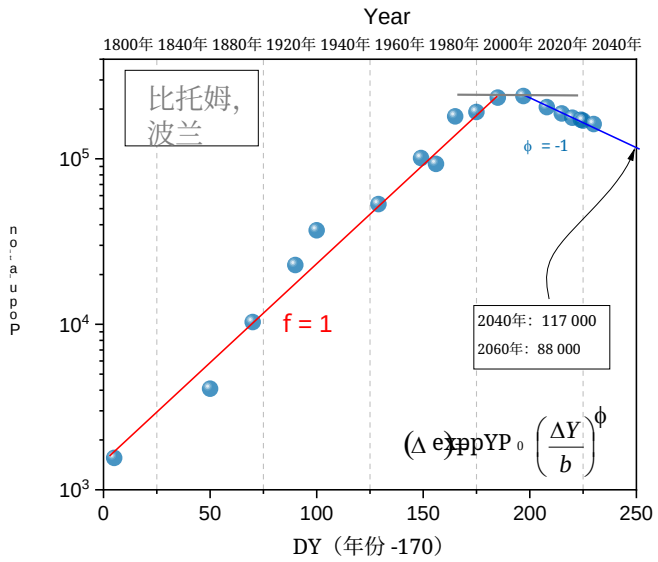


图8 比托姆（西里西亚，波兰）的人口演变（半对数尺度）。实线表示公式（1）中指数为 $\beta = 1$ 的马尔萨斯型描述。

如基于（Bytomski.pl，2022）所提供的数据所示，**图8**中的马尔萨斯型人口上升趋势从1800年一直延续到1980年。尽管经历了（i）两次世界大战，（ii）国籍变更：1918年前属于普鲁士/德国，之后属于波兰，（iii）1945/1945年从德国人到波兰人的人口交换，以及（iv）政治经济制度从准共产主义向“资本”经济的现实世界转变，这一趋势依然存在。比托姆是一座历史悠久的城市，但其快速上升与丰富的煤炭矿藏有关。人口减少可能与煤炭作为战略能源资源的作用迅速衰退有关。这种衰退同样呈现出马尔萨斯型特征。

在波兰，人口不断减少且面临各种社会和经济问题的标志性大城市之一是罗兹，位于华沙以东约140公里。这座城市的历史颇为独特。它从俄罗斯与普鲁士／德国帝国边界附近的一个小村庄发展而来。俄罗斯沙皇推行的鼓励政策促成了当地纺织中心的迅速扩张；19世纪下半叶，它的发展速度甚至超过了英国曼彻斯特。**图9**展示了这一演变的非凡特征：罗兹的人口数量一直线性增长至80年代，随后则出现了明显的线性下降。这或许表明，其演变过程并不符合马尔萨斯型或幂指数型模式，而这些模式似乎具有普遍性（依据《Łódź w Liczbach》2022年提供的数据）。值得注意的是，直到1915年，罗兹都属于俄罗斯沙皇帝国，帝国强大的经济实力推动了当地的发展。1905年至1914年间，金融自由度的提高促进了俄罗斯经济发展，这似乎也反映在人口的额外增长上。1915年，人口额外上升与难民涌入有关；随后，俄罗斯军队撤离波兰领土，并伴随着大规模强制撤离。第二次世界大战前的人口增长，则可能与大危机之后的严重贫困有关。

第二次世界大战期间（至1946年）的人口骤减，可归因于犹太人大屠杀（犹太人是罗兹人口的重要组成部分）以及难民外流。

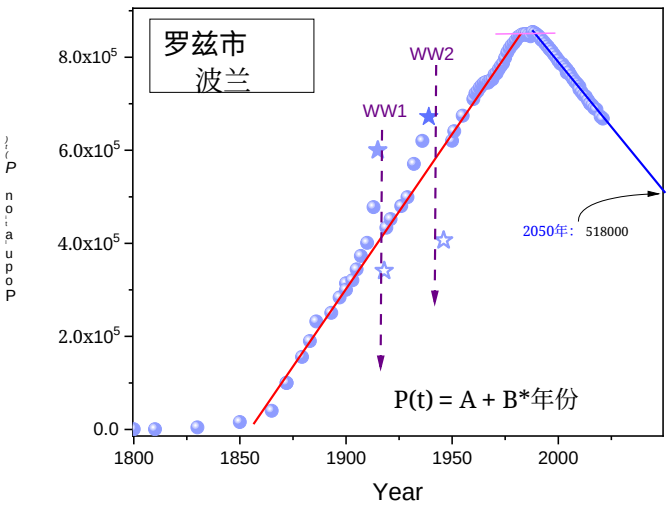


图9 波兰罗兹的人口演变。请注意人口上升和衰减过程中明确的线性变化。

第二次世界大战后，罗兹恢复了纺织品大规模生产，以服务于俄罗斯帝国；这一次，它所服务的是通过“波兰共产党人”统治波兰的苏维埃帝国。20世纪80年代后半期，共产主义体制崩溃，这一趋势发生了变化。自那时起，人口持续下降，这种下降同样呈线性，并且至今仍在持续

4. 结论

本文提出社会经济软物质概念，用于讨论所选后工业标志性城市的人口变化。首先，讨论了拉帕努伊人口这一参考案例；几个世纪以来，该人口在地理上与任何外部影响隔绝。文中指出了拉帕努伊人口变化模式与封闭容器中、在食物/资源数量有限条件下的细菌群落所呈现模式之间的类比。对于拉帕努伊人口发展而言，全球气候变化和内部社会秩序的影响似乎也十分重要。随后讨论的当今后工业城市可以与其和环境之间的相互作用联系起来。然而，通过人口变化所追踪到的这些城市的发展特征，与拉帕努伊这一模型案例显示出显著的相似性。

底特律持续不断的“马尔萨斯式”指数增长由公式（1）描述，其指数为 $\beta = 1$ 。这表明，动力学变化由一个占主导地位的过程／驱动因素所决定，可用单一弛豫时间来描述。对于底特律而言，这一因素显而易见——那就是汽车工业。这也适用于如上所示早在20世纪60年代中期便开始的底特律人口下降。人口下降可能是由于汽车工业劳动力需求减少以及工资相对

降低所致。自动化及其带来的生产率提高，以及来自亚洲和欧洲生产商日益激烈的竞争，影响了底特律的主导产业，因此这座以单一产业文化为主的城市人口减少了。

克利夫兰（俄亥俄州）的人口变化具有特殊性：人口上升和衰减均符合公式（1）所描述的威布尔型依赖关系，指数为 $\beta \approx 2$ 这座城市凭借其位于伊利湖沿岸的优越地理位置，发展成为重要的交通与贸易枢纽。数十年来，这一地理位置加上多种工业的支撑，塑造了这座城市的成功，并推动人口大幅增长。然而，自 1950 年以来，克利夫兰的人口持续下降，这一点也必然反映在经济及相关方面。公式（1）中的“幂指数”形式同时描述了人口的增长与下降，这表明这是一个与一系列弛豫时间相关的多通道过程。需要指出的是，克利夫兰的经济从一开始就具有多元性，但依赖于单一因素——一个大型港口。这一驱动因素的减弱必然会影响其他“发展渠道”的发展趋势，进而影响城市发展和人口。自 20 世纪 50 年代中期以来，卡车和现代铁路运输在美国最终占据主导地位。值得注意的是，底特律和克利夫兰是位于美国的城市；美国是一个崇尚模式自由、支持商业发展的国家，同时以劳动力前所未有的流动性为特征，而且美国人口一直在持续增长。

完美的单通道“马尔萨斯式”人口动力学，在波兰的比托姆也显现出来。这座城市与底特律相距甚远。比托姆经历了重大变化，包括市民国籍、所属国家和政治制度的变化。然而，这些变化似乎对人口变化并无显著影响！由此可以得出结论，真正重要的只有驱动力，也就是丰富的优质煤炭储量。自20世纪80年代中期以来，煤炭储量枯竭，加之国际煤炭市场价格长期走势不利，煤炭开采的作用因此受到限制。主要经济刺激因素开始衰减，导致比托姆人口呈单一指数衰减。值得回顾的是，这反映了该城市的社会经济吸引力。

在波兰，罗兹象征着一座因政治制度变迁而面临诸多问题的城市。与底特律和比托姆一样，罗兹也是一座由单一产业孕育，并在数十年间围绕大型纺织和织造工厂发展起来的城市。直到第一次世界大战前，以及第二次世界大战后，这一产业的产品一直由俄罗斯帝国的庞大需求所消纳，无论其统治者是沙皇还是“共产主义者”。到了20世纪80年代末，这一因素几乎消失，来自亚洲、价格更低且更具竞争力的纺织品开始涌入，并赢得了波兰市场。不久之后，织造工厂纷纷倒闭。成千上万的人失去了工作，也失去了人生方向。他们中许多人世代在纺织厂工作。新的就业岗位出现得十分缓慢。这造成了巨大的创伤，而且这种创伤可能至今仍未消退。可以认为，由于工厂雇用的员工主要是女性，这种创伤进一步加深了。

如上所述，城市的人口变化可能与其经济吸引力有关。评估这一因素时，不应只考虑工资，还应考虑与生活质量、住房价格、可达性、社会设施和交通成本等相关的各项支出……作者认为，对于β = 1，可以通过将公式（1）展开为泰勒级数，来解释罗兹人口变化的具体动力学：

$$P(t) = p_0 exp\left[\pm \frac{\Delta t}{\tau(t)}^{\beta=1}\right] \Rightarrow P(t) = p_0\left[1 \pm \frac{1}{\tau}\Delta t \pm \frac{1}{2\tau}\Delta t^2 \pm \frac{1}{3\tau}\Delta t^3 \pm \cdots\right] \quad (8)$$

因此，当自变量取值相对较小，或塑造某一趋势的参数影响较弱时，我们得到：

$$P(t) \approx p_0\left[1 \pm \frac{1}{\tau}\Delta t\right] \quad (9)$$

这就是人口的线性演化。当主导经济力量对周边环境的影响通过彼此互不作用的“渠道”实现，且这些渠道之间的反馈相互作用可以忽略不计时，便可能出现这种情况。因此，方程（8）中的高次幂项不会被激活，城市的发展——同样以人口演变来衡量——便如方程（9）所示呈线性变化。作者认为，罗兹能够产生促进发展的附加价值，所需的假设性最低反馈效应，或许与一种独特的情况有关：女性成为受支配的驱动力，数十年来，她们始终接受着更差的工作条件、更低的报酬和更恶劣的社会环境。这与比托姆或整个上西里西亚地区的情况截然相反；在那里，当局始终惧怕矿工的愤怒——他们不仅是男性，而且组织严密、立场坚定。那么，罗兹至今仍然艰难的处境，难道不是数十年甚至数百年来对女性进行经济剥削的遗产吗？

总而言之，可以认为，部分选定城市中心的发展方面可被视为一种社会经济软物质实体，其人口动力学可依据软物质科学加以描述和解释。环境似乎是一种平均化因素，在软物质中可将其描述为“平均场近似”，这始终会使对重要过程的描述在定性上得到简化。在这种方法中，人口变化不仅受到其内部机制的“管理”，例如容器中的细菌或拉帕努伊岛的情况，还受到特定城市中“吸引子”存在的影响。吸引子会吸引城市外部的人口；而当吸引子减弱、完全消失，或附近出现更强大的其他吸引子时，这些人口反过来可能开始离开该城市。在波兰，这种新的强大吸引子的例子可以是华沙。华沙位于罗兹附近，目前交通联系便利，并为各类职业提供具有吸引力的工作机会。

作者详情：
Agata Angelika Rzoska；ORCID：0000-0003-4121-3152 电子

ORCID：0000-0001-8510-2388 电子邮箱：
arzoska@unipress.waw.pl**利益冲突：**作者声明不存在任何利益冲突

作者贡献：作者声明，在研究和稿件准备方面贡献相同。**数据可用性：**作者声明，如向作者提出请求，可提供相关数据。**经费来源**：本研究未获得公共、商业或非营利部门资助机构的任何专项资助。

参考资料

1. Westfall, RS，《艾萨克·牛顿传》。剑桥：剑桥大学出版社。1994年。DOI：

Gennes P.G, & Badoz J，《脆弱的物体：软物质、硬科学与发现的乐趣》。纽约：施普林格出版社，1996年。ISBN13：978 1461275282。 5. Drozd-Rzoska A, Rzoska SJ，正戊基氰基联苯各向同性相中的复杂弛豫：线性与非线性介电研究，《物理评论E》2002年；65：2885-2889。DOI：https://doi.org/10.1103/PhysRevE.65.041701。 6. Rzoska SJ, Dr 脂中的双场非线性介电谱，《凝聚态物理杂志》2011年；24：035101。https://doi.org/10.1088/0953-8984/24/3/035101。 7. Drozd-Rzoska A, Rzoska SJ, Pawlus S, Zioło J，正丁基氰基联苯（4CB）过冷过程中的复杂动力学，《物理评论E》2005年；72：031501。(a)。DOI：https://doi.org/10.1103/PhysRevE.72.031501。 8. Drozd-Rzoska A, Rzoska SJ, Imre, AR，负压下硝基苯-己烷临界混合物的液-液相平衡，《物理化学化学物理》2005年；6：2291-2294。(b) DOI：https://doi.org/10.1039/B315412B。 9. Drozd-Rzoska A，过冷液体中玻璃化温度的压力依赖性，《物理评论E》2005年；72：041505。DOI：https://doi.org/10.1103/PhysRevE.72.041505。 10. Drozd-Rzoska A, Rzoska SJ, Pawlus S, Martinez-Garcia JC, Tamarit JL，超慢化玻 论E》2010年；82：031501。DOI：https://doi.org/10.1103/PhysRevE.82.031501 11. Drozd-Rzoska A, Rzoska SJ, Pawlus, S, Tamarit, JJ.. 取向无序晶体玻璃化过程中的动力学交叉与动力学标度描述，《物理评论B》2006年，73：224205。DOI：https://doi.org/10.1103/PhysRevB.73.224205。 12. Mezzenga R, Shurtenberger, P, Burbidge A, Michel M，将食物理解为软物质，《自然材料》2005年；4:729–740 (2005)。DOI：https://doi.org/10.1038/nmat1496。 13. Serra F, Tkalec U, Lopez-Leon L，拓扑软物质，《物理学前沿》2020年；11：1-108。DOI：0.00373。

14. Thedford RP, Yu WF, Tait RT, Shastri K, Monticone F, Wiesner U，软物质赋能量子材料的前景，《先进材料》2022年；35：2203909。DOI：
。 15. Goodby JG, Gray, GW，讣告：Pierre Gilles
物理学的世界经济增长评论，《土耳其经济评论》(TER) 2016年；3，82-89。ISSN：
Rzoska AA, Drozd-Rzoska A，关于全球人口增长的社会经济软物质见解，《中欧经济学杂志》2023年；审稿中 (
见：https://arxiv.org/abs/2209.01407 18. Malthus T, (1798年)。《人口原理》。载于 S.C. Stimson (2013)《重新思考西方传统》。德·格鲁伊特出版社：阿姆斯特丹。DOI：https://doi.org/10.12987/9780300231892。 19. Weil DN, Wilde J，马尔萨斯理论对当今经济发展有多大现实意义
《美国经济评论》2010年；100(2)，378–382。DOI：https://
aack, L. H, Katul, G. G. (2013)。用五十年证明马尔萨斯正确。《美国国家科学院院刊》(PNAS)，110(11)，4161–4162。DOI：https://doi.org/10.1073/pnas.1301246110。 21
《关于人口增长定律的第二篇回忆录》。《比利时皇家科学、文学与美术学院回忆录》(
2。https://eudml.org/doc/178976。 22. Rinne H，《威布尔分
SBN：9781420087437。 23. O’Leary D，拉帕努伊，复活节岛。波多黎各：Floricanto出版社，2021年。ISBN-13：978-1099750267。 24. Stevenson CM, Jackson TL, Mieth A, Bork H-R, Ladefoged TN，智利复活节岛（拉帕努伊）奥里托山的史前及早期历史时期农业，《古物》2006年；80：919–936。DOI：https://doi.org.10.1017/S0003598X0094515。 25. Rzoska SJ. Rosiak E, Rutkowska
ka A, Wesołowska A, Borszewska-Kornacka MK，关于人乳高压保藏的评论，《食品科学与营养研究》2017年；1，17-28。ISSN 2573-1661；链接：http://www.scholink.org/ojs/index.php/fsns/issue/view/100 26. Stevenson CM, Puleston CO, Vitousek PM, Chadwick OA, Haoae S, Ladefoged N，拉帕努伊（复活节岛）土地利用的变化表明欧洲人接触前曾出现生产与人口峰值，《美国国家科学院院刊》(PNAS) 2015年；112：1025–1030。DOI：https://doi.org/10.1073/pnas.1420712112。 27. 美国人口普查局：克利夫兰，俄亥俄州 (2022年)：https://www.census.gov/quickfacts/clevelandcityohio 28. 美国人口普查局：底特律
J00S2622000-detroit-mi/。 29. Bytomski.pl (2022年)：
h
ttps://foru
m.bytomski.pl/historia-mia
ytomia。 30. Łódź w liczbach (2022年)：https://uml.lodz.pl/。