

经济周期理论的弗里希模型之谜：
均衡经济学和永动机模型**

**The Mystery of Frisch Model in
Business Cycle Theory:
Equilibrium Economics and
Perpetual Motion Machine**

陈平*

1999年5月原稿，2015年6月18日中文修订稿
《清华政治经济学报》2015年6月（将出版）

摘要

1969年分享第一个诺贝尔经济学奖的弗里希，以噪声驱动周期模型主导了宏观经济学和计量经济学的发展。实际上，弗里希在1933年非正式会议上构想的模型，早在1930~1945年间就被物理学研究所否定，文章也从未在计量经济学期刊上正式发表。奇怪的是，弗里希本人从1934年起就对该模型保持沉默，连他的诺奖演说也不置一词。用弗里希模型分析美国实际GDP数据，也得不到持续的经济周期。破解弗里希模型之谜，可以看清经济周期理论中周期外生论和内生论的争论，关系到经济学界均衡论和演化论的不同视角。非线性动力学的最新成果告诉我们，只有非线性振子才能产生持续的经济周期，也就是熊彼特提出的生物钟。

Abstract

Ragnar Frisch shared the First Nobel Prize in 1969. The Frisch model of noise-driven cycles had dominating influence in macro and econometrics since 1930s. In fact, the Frisch model was announced in an informal conference in 1933, but never formally published in *Econometrica*. Frisch model was also rejected by physicists in 1930 to 1945. Strangely, Frisch kept silence to his model since 1934 and did not mention a word to his award-winning model. We analyzed the US real GDP data by means of the Frisch model, which failed to produce persistent cycles in US economy.

** 本文原稿完成于1999年5月，于2015年6月修订。由清华大学符云玲和王兴华依据陈平1999年的英文论文译为中文（Chen, 1999），作者对文字和文献做了修订和补充。

Cracking the Frisch mystery around the Frisch model reveals the conflicting thoughts between the exogenous and endogenous school in business cycle theory, and between equilibrium and evolutionary paradigm. The latest advancement in nonlinear dynamics tells us that only nonlinear oscillator is capable of generating persistent cycles that is the Schumpeter's insight on biological clock in business cycle theory.

关键词：经济周期，噪声驱动，弗里希模型，永动机，阻尼振荡

Keywords: business cycles, noise-driven, Frisch model, perpetual motion machine, damped oscillation

科学的悲剧是：丑陋的事实扼杀了美丽的假说。

托马斯•H•赫胥黎（英国演化生物学家，1870）

视而不见比瞎子还瞎。

乔纳森•斯威夫特（爱尔兰作家，1667-1745）

一 引言：弗里希模型的历史之谜

经济周期理论中的一个焦点问题是持续经济周期的性质和起源。宏观和计量经济学界主要有两派理论思维：经济周期的内生学派和外生学派（Zarnowitz, 1992）。熊彼特将经济周期看作经济有机体的生命律动（Schumpeter, 1939）。古德温引入非线性和混沌振子来描述持续经济周期（Goodwin, 1951、1990）。然而，经济混沌的早期证据没有引起主流经济学的重视，因为经济混沌的存在意味着对经济学的均衡理论和参数计量经济学的数学基础的严重挑战（Barnett and Chen 1988, Chen 1988、1993、1996a、1996b；Brock and Sayers

*陈平，复旦大学新政治经济学中心高级研究员，北京大学国家发展研究院退休教授，邮箱：pchen@nsd.pku.edu.cn。

1988)。与此相反，自20世纪30年代以来，外生学派统治了主流经济学；创始人是拉格纳•弗里希（Kydland，1995）。

哈耶克意识到，经济周期的经验主义特点很难用均衡理论来理解（Hayek，1933）。弗里希指出噪声驱动阻尼振子可以解释市场稳定和持续周期（Frisch 1933年）。他在一篇非正式的会议论文中宣传了他的猜想，但是没有给出数学证明。弗里希模型对物理学家并不新奇，因为谐振子和布朗运动的相互作用已经研究过了。与弗里希的信念相反，物理学家们从1930年以来就知道布朗运动影响下的谐振子不能产生持续振动（Uhlenbeck and Ornstein，1930；Wang and Uhlenbeck，1945）。

今天弗里希的信念仍然被主流经济学家和计量经济学家所接受。这在科学史上是一件咄咄怪事，因为弗里希从未发表他承诺的论文，他的猜测早被物理学家的的工作否定。第一届诺贝尔经济学奖竟然颁给一个从未正式发表，而且被科学实验证明是错误的永动机模型，这在经济学思想史上是值得研究的一大谜团。重新检讨弗里希模型，将有助于我们理解自由主义经济学的均衡思维是如何数理化的。自稳定市场均衡模型的源头是外来噪声模型，而非内生周期模型。主流宏观经济学研究经济周期理论的名家，从弗里希噪声驱动模型开始，加上卢卡斯的微观基础论、萨金特的理性预期检验、季德兰和普莱斯哥特的真实经济周期学派（RBC），共四次获得诺贝尔经济学奖；再加上伯南克的金融加速器模型，都是弗里希模型的变种（Lucas，1972；Sargent and Wallace，1975；Kydland and Prescott，1982；Bernanke et al，1996）。至今美联储和欧洲央行指导经济政策的计算机模型，都是噪声驱动的计量模型。他们只是把弗里希模型的微分方程简化为差分方程组，把弗里希的一个噪声源，增加到卢卡斯的三个噪声源，以至伯南克的几十个噪声源。他们企图用噪声驱动模型

来说明市场经济是自身稳定的，造成市场波动以至经济危机的源头只是外来随机噪声的冲击，以此证明政府政策干预的效果有限。

为何经济学界在长达60年的时间里忽视布朗运动研究的基本理论，至今坚持噪声驱动持续周期的错误信念，这是研究经济学思想史的一大历史谜团。我们从小就会荡秋千。秋千是最常见的阻尼振荡，空气摩擦力会使初始起摆的秋千逐渐停摆。要让秋千维持摆动，必须有人不时推动秋千来克服摩擦力。请问大家：推秋千的方式是按照秋千摆荡的频率来推，还是胡乱推，才能使秋千继续摆动？小孩都知道推秋千当然要有节奏地推。即使不懂物理学或热力学，任何有常识的人都不难看出阻尼谐波周期不能通过外部的随机冲击来维持。每次我问物理学家和经济学家同样的问题，物理学家都异口同声地否定噪声驱动周期的可能性。只有经济学家被集体洗脑到失去常识的程度，即使有数理背景的经济学家也大多被我问的不知所措。至今没有几个主流经济学家敢直面我对弗里希模型的批评。

本文原为讨论稿发表于1999年(Chen, 1999)，投给西方主流经济学期刊被拒绝发表。我们只能通过国际会议的邀请报告和笔者的文集向经济学家证明弗里希模型的谬误(Chen, 2005、2008、2010)。在2009年金融危机之后，我们用中文重新发表，是启发年青的经济学家，不要盲目崇拜获得诺贝尔经济学奖的理论。据我们三十多年用物理学方法分析经济学数据和模型的经验基础，统治主流宏观计量经济学的是以弗里希为代表的对自由市场的信念，而非实践检验过的科学知识。金融危机之后，全世界的经济学家都在呼唤经济学的新思维。我们就从弗里希模型的历史教训开始。

在这篇论文中，我们首先给出弗里希模型的简短历史，然后讨论它的数学理论和实证内涵。我们说明经济周期的线性决定论模型有参数空间机制不稳定

性的缺陷。外部噪声对线性振子的影响可以通过朗之万方程和福克-普朗克方程来研究。我们可以获得谐振子在布朗运动下的解析解。振幅和自相关函数的指数衰减表明噪声驱动不可能产生持续的周期振荡。我们可以用美国实际GDP（国内生产总值）的数据来估计谐振子的固有频率和摩擦系数。最后，我们讨论谐振子布朗运动模型的主要启示，和经济周期理论线性模型的基本问题。只有非线性的振子模型可以解释观察到的持续周期振荡 (Chen, 1988)。它的经济学含义就是熊彼特把经济周期比喻为生物钟 (Schumpeter, 1939)。哈耶克提出的内生自发秩序和物理学家普里戈金提出的自组织系统是复杂科学在经济学应用的哲学基础 (Hayek, 1991; Nicolis and Prigogine, 1977)。

二 有关弗里希噪声驱动经济周期模型的历史文献

从20世纪30年代开始，弗里希经济周期模型一直主导宏观经济学的经济周期理论。1933年的一篇非正式会议报告中，弗里希提出，可以用阻尼振子来描述市场经济的自身稳定性，而持续经济周期的存在可以由外来的持续冲击维持 (Frisch 1933)，这就是他的噪声驱动周期模型的核心思想。他说（标出重点的斜体字由笔者所加）：

“当一个经济系统产生振荡时，这些振荡经常会衰减。但在现实中，我们观察到的周期通常没有衰减。*如何解释维持波动的持续机制呢？*”

我认为特别富有前景的方法，是研究一个决定论动力系统暴露于一连串紊乱的冲击之下，使冲击得以不断改变系统的时间演化，*这种机制可以引入必需的能量来维持系统的波动……*

我将讨论这些问题。详细的数学分析，读者可以参阅《Econometrica(计量经济学)》期刊即将发表的论文。”

作为物理学家，我马上意识到弗里希构想的实质是单热源的热力学第二类永动机，它企图将环境波动的随机热能转化为动能做机械功，以克服摩擦力来维持振荡。弗里希构想违反了热力学第二定律。有高中物理知识的学生都知道这是不可能实现的。

弗里希在讨论阻尼振子的传播问题和噪声影响的脉冲问题之后宣称：

“我们关注平均周期和平均振幅是合理的。换言之，这能给出实际统计观察中得到的曲线类型。我这里暂不给出任何严格的证明，它将和大量的数据模拟一起，即将发表在前面提到的《计量经济学》期刊最新的论文中。”

我们查阅了《计量经济学》期刊，在“近期论文预告”的栏目中三次出现弗里希论文的标题：

拉格纳·弗里希：“从线性算子和随机冲击的视角研究变化谐波”。

弗里希的论文预告刊登在《计量经济学》期刊的第一卷，包括第2期（1933年4月）第234页、第3期（1933年7月）第336页、还有第4期（1933年10月）。奇怪的是，从第二卷第1期开始（1934年1月），这一预告消失得无影无踪。弗里希承诺的论文从来没有出现过。这一怪事出现的原因不难理解：因为弗里希本人是这一新创的计量经济学学会旗舰期刊的主编。只有他能决定发表或撤下已经公告的论文。

36年之后，弗里希因为在经济周期理论方面的工作而获得第一届诺贝尔经济学奖。1969年10月，埃里克·伦德伯格教授代表瑞典皇家科学院做了如下陈述（斜体字由笔者添加）（Lundberg 1969）：

“……弗里希教授在（20世纪）30年代早期的开创性工作涉及周期理论的动态模型。他给出货币约束下投资和消费支出的微分方程，会产生波长为四年和八年的阻尼振荡。如果让系统经受随机冲击，他证明这些不均匀的波动得以

持续，和现实的观察非常接近。弗里希构造的数学模型走在时代前面，他吸引了许多后继者。他对统计假设检验方法的贡献也是如此。”

在他1970年6月于斯德哥尔摩发表的诺贝尔经济学奖获奖演说中，弗里希大谈炼金术到粒子物理学的故事，但是只字未提他获奖的经济周期模型（Frisch 1981）。我们从以上史实可以推测，弗里希早从1934年起就悄悄放弃了他的模型。我猜弗里希从1934年起应当熟知随机过程的成果，因为他的出身是应用数学家。但是弗里希从未公开承认他猜想的错误，只是令人奇怪地避而不谈自己的最高成就。

伦德伯格宣称“弗里希走在时代前面”，他的历史知识不足。事实上，物理学家在1930年就解决了布朗运动影响下的谐振子问题，并在40年代对证明做了改进（Uhlenbeck and Ornstein, 1930; Chandrasekhar, 1943; Wang and Uhlenbeck, 1945），其中钱德拉色卡还是获得诺贝尔奖的物理学家。随机过程的经典论文出过文集，有关布朗运动的成果数学家们早已熟知（Wax 1954），是笔者当物理学研究生修统计力学课程时熟知的参考文献。这些物理学家用不同方法的研究得出同样的结论，布朗运动不能维持衰减的谐波振荡。1963年以来对决定性混沌的发现进一步表明，只有内生的非线性振子才能产生持续的经济周期（Chen, 1988; Goodwin, 1990; Hao 1990）。

三 线性确定性周期模型在参数空间的机制不稳定性

弗里希非常清楚线性周期的局限（Goodwin, 1993）。众所周知，简谐波的周期波动可以通过一个二阶线性微分方程或差分方程产生。只有当摩擦系数为零时，周期波动才能持续存在。任何参数空间的系数偏差可能将谐波的周期振荡转变为阻尼振荡或爆炸振荡。这种现象在数学模型中被称为参数空间的边际稳定，或机制不稳定性(regime instability)。

（一）离散时间（DT）的萨缪尔森模型

线性周期的一个典型例子是萨缪尔森的乘数-加速数模型（Samuelson 1939）。早期版本的萨缪尔森模型用的是离散时间（discrete time）的差分方程。

$$C_t = aY_{t-1} \quad (1a)$$

$$I_t = b(C_t - C_{t-1}) \quad (1b)$$

$$Y_t = C_t + I_t + E \quad (1c)$$

其中， $0 < a < 1$ ， $b > 0$ ， C 是消费； I 是投资； E 是政府支出； Y 是收入。我们得到一个二阶差分方程：

$$Y_t - a(1+b)Y_{t-1} + abY_{t-2} = E \quad (2)$$

它的解是：

$$Y_t = \frac{E}{1-a} + c_1(\lambda_1)^t + c_2(\lambda_2)^t \quad (3)$$

其中 λ_1 和 λ_2 是特征方程的两个根

$$A(\lambda) = \lambda^2 - a(1+b)\lambda + ab = 0 \quad (4)$$

它的判别式是：

$$\Delta = a^2(1+b)^2 - 4ab \quad (5)$$

$$a = \frac{4b}{(1+b)^2} \quad \text{当 } \Delta = 0 \text{ 时} \quad (6a)$$

当 $\Delta < 0$ 时我们有振荡解。

周期解的条件是

$$ab = 1 \quad (6b)$$

出于经济意义考虑，我们必须有：

$$0 < a < 1, \quad b > 0 \quad (6c)$$

方程（6a、b、c）组成了方程解主要机制(regime)的边界。模型有四种类型的解：(1)阻尼振荡机制 *DO*；(2)爆炸振荡机制 *EO*；(3)单调收敛机制 *MC*；(4)单调递增机制 *MI*。周期振荡只能出现于阻尼振荡机制*DO*和爆炸振荡机制*EO*之间的边界线上。参数改变越界时，解的机制发生突变，例如从阻尼振荡变为爆炸振荡。图1中给出了参数空间的机制分布图。可见，周期振荡机制*PO*只具备参数空间的边际稳定或周期振荡的机制不稳定。些微的参数变化就可能使周期解不存在。这是当年弗里希反对线性决定论周期模型的理由 (Goodwin, 1993).

问题是线性随机过程的单位根(unit-root)模型和协整(co-integration)模型具有同样的机制不稳定性(Nelson and Plosser, 1982; Engle and Granger, 1987)。线性随机过程的根在单位圆内稳定，单位圆外不稳定，只在单位圆上只有边际稳定性。只有非线性动力学系统才能克服线性系统周期解或随机冲击解的机制不稳定性问题 (Chen, 2005)。

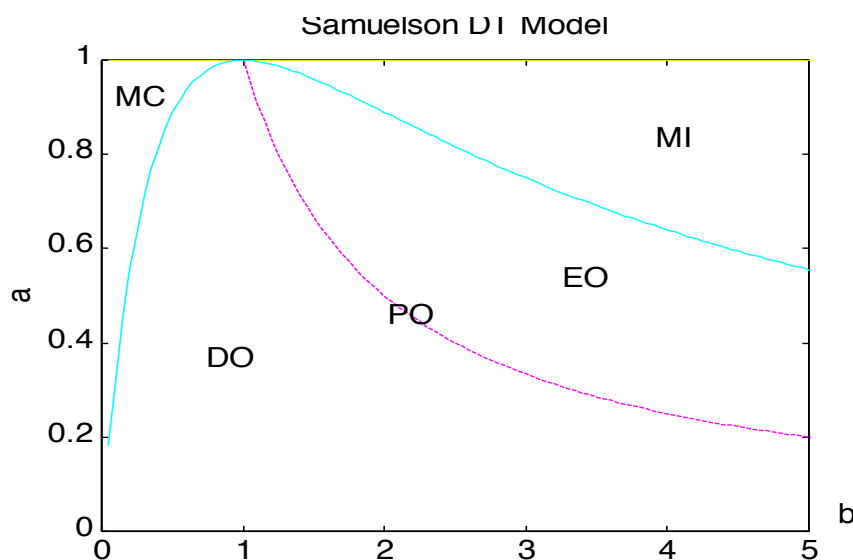


图1 离散时间的萨缪尔森模型机制模式的参数空间。*MC*代表单调收敛；*DO*，阻尼振荡；*PO*，周期振荡；*EO*，爆炸性振荡；*MI*，单调递增。

(二) 连续时间(CT)的萨缪尔森模型

经济学家也研究过经济周期连续时间(continuous time)的微分方程模型 (Scarfe, 1977)。我们这里只讨论上述萨缪尔森模型的连续时间版本, 以理解离散时间和连续时间线性模型之间的关系。在萨缪尔森模型中, 我们简单地用导数代替差分。我们可以得到:

$$C(t) = a[Y(t) - Y'(t)] \quad (7a)$$

$$I(t) = ab[Y'(t) - Y''(t)] \quad (7b)$$

$$Y(t) = C(t) + I(t) + E \quad (7c)$$

我们得到一个二阶微分方程

$$Y''(t) + \frac{1-b}{b}Y'(t) + \frac{1-a}{ab}Y(t) = E \quad (8)$$

$$Y(t) = \frac{ab}{1-a}E + c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t} \quad (9)$$

其中 λ_1 和 λ_2 是特征方程 (10) 的两个根。

$$A(\lambda) = \lambda^2 - \frac{1-b}{b}\lambda + \frac{1-a}{ab} = 0 \quad (10)$$

当 $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ 时, 我们得到

$$Y(t) = \frac{ab}{1-a}E + (c_1 + c_2 t)e^{\lambda t} \quad (11)$$

只有当 $b=1$ 时我们才得到周期解。类似地, 这一连续时间模型也有4个动态机制。它的参数空间的机制分布如图2所示。与离散时间(DT)的萨缪尔森模型相比, 唯一的区别就是周期性边界位置的改变。周期振荡在参数空间中仍然只有边际稳定性。

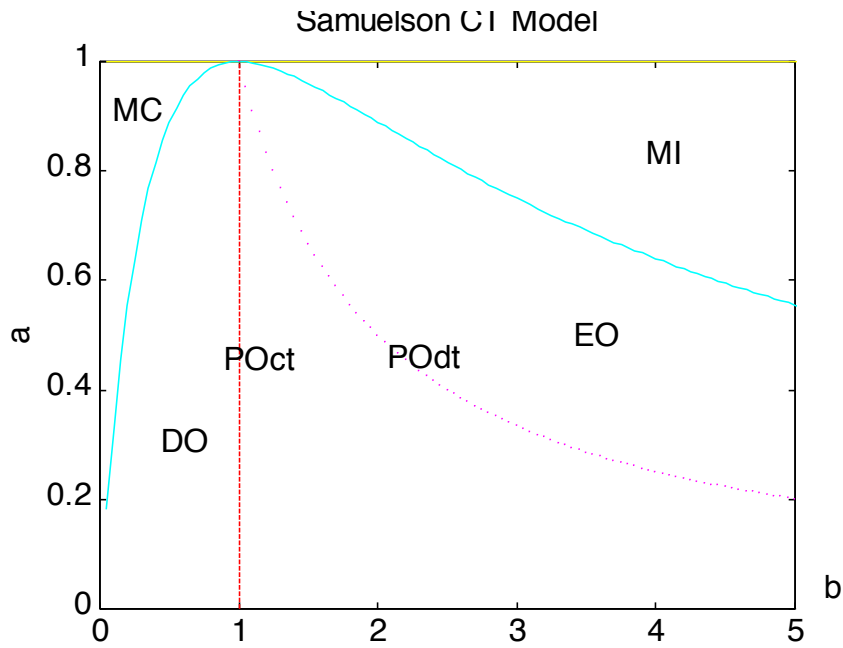


图2连续时间的萨缪尔森模型在参数空间的机制模式。周期边界从 $POdt$ 移到 $POct$ 。

四 谐振子的布朗运动模型

经济学中的弗里希模型，在物理学中叫做谐振子的布朗运动模型。在弗里希1933年的论文中，他只是以如下方程的形式讨论了阻尼振子，但是没有给出解析解。

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \kappa \frac{dx(t)}{dt} + \omega^2 x(t) = 0 \quad (12)$$

弗里希知道，当摩擦系数 κ 不为0的时候，这一方程式将产生角频率为 ω 的衰减振荡。如果加入一系列的随机冲击，弗里希模型就变成一个谐波振子的布朗运动，这是自由粒子布朗运动的一个自然扩展。问题在于，是否布朗运动可以维持谐振子的持续振荡。

爱因斯坦于1905年解答了关于自由粒子的布朗运动理论（Einstein 1926）。谐波约束粒子的布朗运动理论于1930年得到解答，并于20世纪40年

代改进了数学证明（Uhlenbeck and Ornstein, 1930；Chandrasekhar, 1943；Wang and Uhlenbeck, 1945）。他们的主要发现是，在自由粒子的随机冲击下，谐波粒子将产生阻尼谐振。我们引入朗之万方程来描述这个问题。

谐波粒子的运动可以通过以下方程式来描述：

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \kappa \frac{dx(t)}{dt} + \omega^2 x(t) = \Xi(t) \quad (13a)$$

$$\langle \Xi(t_1) \Xi(t_2) \rangle = 2\Gamma \delta(t_1 - t_2) \quad \text{条件是 } 2\Gamma = \sigma^2 \quad (13b)$$

此处 $x(t)$ 是坐标， $\frac{dx(t)}{dt}$ 是粒子的速度， $\Xi(t)$ 是具有零均值且以 σ 为标准差的连续时间的高斯白噪声， Γ 是扩散系数， κ 是摩擦系数。

朗之万方程可以转换成福克-普朗克方程：

$$\begin{aligned} \frac{\partial P(x, v, t)}{\partial t} = & -v \frac{\partial P(x, v, t)}{\partial x} \\ & + \frac{\partial}{\partial v} [(\kappa v + \omega^2 x) P(x, v, t)] + \Gamma \frac{\partial^2 P(x, v, t)}{\partial v^2} \end{aligned} \quad (14a)$$

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (14b)$$

$$P(x, v, 0) = \delta(x - x_0) \delta(v - v_0) \quad (14c)$$

可以用傅里叶变换的方法求解这一方程。我们计算它的平均位移和相关系数如下：

$$\langle x \rangle = \frac{v_0}{\omega_1} \exp\left(-\frac{\kappa t}{2}\right) \sin(\omega_1 t)$$

$$+\frac{x_0}{\omega_1}\exp(-\frac{\kappa t}{2})[\omega_1\cos(\omega_1 t)+\frac{\kappa}{2}\sin(\omega_1 t)]$$

$$\Rightarrow 0 \quad \text{条件是时间趋于无穷, 即 } t \rightarrow \infty \quad (15)$$

若角频率 ω 和频率 f 的关系为 $\omega = 2\pi f$, 则固有角频率 ω 可以通过特征方程求得。对于布朗运动冲击下的角频率 ω_1 , 我们可以得到:

$$\omega_1^2 = \omega^2 - \frac{\kappa^2}{4} \quad (16)$$

我们可以计算简谐粒子的均方位移和相关系数 (Wang and Uhlenbeck, 1945)。

$$\begin{aligned} \langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle &= \frac{\Gamma}{\kappa \omega^2} \\ &\quad - \frac{\Gamma}{\kappa \omega^2} \frac{1}{\omega_1^2} \exp(-\frac{\kappa t}{2}) [\omega_1^2 + \frac{\kappa^2}{2} \sin^2(\omega_1 t) + \frac{\kappa \omega_1}{2} \sin(2\omega_1 t)] \\ &\Rightarrow \frac{\Gamma}{\kappa \omega^2} \quad \text{当 } t \rightarrow \infty \quad \text{时} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\langle x(t)x(t+\tau) \rangle = \frac{\Gamma}{\kappa \omega^2} \exp(-\frac{\kappa \tau}{2}) [\cos(\omega_1 \tau) + \frac{\kappa}{2\omega_1} \sin(\omega_1 \tau)] \quad (18)$$

此处 τ 是时滞。

从式 (18) 可见, 布朗运动下谐振子的位移趋于一个常数, 而描述简谐周期振荡的相关系数随时间指数衰减到零, 最后只有剩余的随机扰动, 观察不到周期振荡。

爱因斯坦给出的自由粒子的布朗运动具有不同的结果，自由粒子的漂移随时间增加，这是典型的扩散过程（Einstein 1926）。

$$\langle s^2 \rangle = 2\Gamma t \quad (19)$$

方程（17）和（18）的正确性已经过物理实验的检验（Barnes and Silverman, 1934）。我们确认，布朗运动影响下的谐振子没有带来扩散过程，它的振荡将快速衰减成残余波动，最终没有可观察的持续周期振荡。

（五） 谐振子布朗运动模型对美国经济周期数据的应用

布朗运动下阻尼振荡的主要特征可以通过它的自相关函数来估计（Wang and Uhlenbeck 1945）：

$$\rho(\tau) = \exp\left(-\frac{\kappa\tau}{2}\right) \left[\cos(\omega_1\tau) + \frac{\kappa}{2\omega_1} \sin(\omega_1\tau) \right] \quad (20)$$

位移的自相关函数表现出以指数衰减的振荡。我们可以将振幅衰减到初始值的 $\left(\frac{1}{e} \sim 0.368\text{倍}\right)$ 的弛豫时间定义为 T_κ

$$T_\kappa = \frac{2}{\kappa} \quad (21)$$

我们可以看到，所求得的振荡频率是由自由振荡的固有频率和摩擦系数决定的。我们可以通过经验数据的自相关函数来直接估计 κ 和 ω_1 。噪声驱动的阻尼振子仅形成短暂的周期 T_1 。实现周期 T_1 的时间尺度与弛豫时间 T_κ 相似。可以通过自相关函数的第一个零值点 T_{ac} 对所求得的谐振频率 f_1 进行估计。

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_{ac}} \text{ 和 } T_{ac} = 4T_0, \quad \omega^2 = \omega_1^2 + \frac{\kappa^2}{4} \quad (22)$$

由于自相关函数只对平稳过程有定义，我们必须选择一种合适的方法消解经验时间序列的增长趋势，把非平稳时间序列变换为平稳时间序列。趋势消解方法的选择亦等价于观察参照系的选择（Chen，1996a、1996b）。经济计量分析中的一阶差分（*FD*）趋势消解法意味着最小的时间窗和白化滤波器。对数线性（*LD*）趋势消解法的时间窗最大，覆盖整个历史周期。*HP*滤波器确定了一个具有中等时间窗的非线性的平滑趋势。（Hodrick and Prescott，1997；Kydland and Prescott，1982）

我们将剩余方差和噪声方差的比率定义为增益系数*G*：

$$G = \frac{\langle x^2 \rangle}{\sigma^2} = \frac{2}{\kappa \omega^2} \quad (23)$$

用美国实际GDP的季度数据（1947-1992），我们得到的结果见表1。因为实际GDP季度数据的自相关函数在仅仅一个或两个周期内迅速衰减，所以估计的误差相当大。然而这些参数的数量级仍然处于可接受的合理范围内。通过表1可以观察到一些定量特征。

表1 美国实际GDP周期的弗里希模型（时间单位是年）

滤波\参数	κ	ω_l	ω	T	T_1	T_κ	σ	G
FDs	1.02	1.79	1.86	3.4	3.5	2.0	0.010	0.57
HPc	0.41	1.30	1.32	4.7	4.8	4.9	0.018	2.8
LDc	0.055	0.11	0.15	42	57	36	0.021	1600

资料来源是美国圣路易斯联邦储备银行。

这里， κ 摩擦系数， ω_1 是求得的角频率， ω 是固有角频率， $T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1}$ 是观察到的

周期， $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 是固有周期， T_κ 是弛豫时间， σ 是标准差， G 是增益系数。

由表1可见，布朗运动冲击下的谐振子将迅速地在一个到两个周期内停止简谐振荡，时间尺度从2到40年不等，取决于所选择的经济周期的观察参照系。一阶差分（*FD*）趋势消解法的弛豫时间 T_κ 最短的，只有2年。对数线性趋势消解法（*LD*）的弛豫时间最长，达36年。*HP*滤波器得到的弛豫时间和国家经济研究局（*NBER*）定义的一个经济周期的平均长度差不多，为4.9年。显然，随机冲击并不能维持阻尼振子的持续性经济周期。

同时，不同的时间窗显示不同的经济周期图形。一阶差分（*FD*）序列的方差最小且周期最短，只有3.5年。而对数线性（*LD*）周期的最大，周期长达57年。*HP*周期的方差和周期介于两者之间。其中，只有一阶差分（*FD*）消除法对外部噪声有阻尼作用，*HP*和对数线性消解法均对外部噪声具有放大作用。这些特征表明*HP*参照系相对*FD*和*LD*来说，比较接近经济学界定义的经济周期的度量。

综上所述，均衡经济学的理论框架不能为经验分析提供理论自洽的分析方法。新古典的宏观增长理论隐含着经济增长的线性对数*LD*趋势（索洛1956）。由于对数线性趋势的决定取决于起点和终点的边界依赖，等价于经济观察的路径依赖。弗里德曼是均衡视角的倡导者，他更青睐和历史无关的*FD*差分法（1969）。由于*FD*是把有色（即有周期信号）时间序列漂白化的功能，一阶差分消解法被广泛应用于计量经济学和金融分析，以支持均衡理论的预言。从表1可见，*FD*差分消解法的问题是更难识别经济周期的外部驱动源，因

为外部驱动源的波动幅度必须比美国经济的波动幅度还要大。目前世界上不存在比美国还大的实体经济可以制造对美国的随机冲击。

六 结论

弗里希的经济周期模型不能解释市场经济中观察到的持续周期振荡。由于热力学第二定律的制约，布朗运动或随机冲击不能传送足够的能量去克服摩擦力来维持周期振荡。计量经济学自创生起一直对噪声模型描写经济波动情有独钟，从斯卢茨基开始做数值模拟（Slutsky 1937）到弗里希建立噪声驱动周期模型，他们着迷的是经济序列表面的紊乱无序。由于时代的限制，他们没有想到经济波动的不规则周期其实和生命的生物钟相似。持续经济周期的非线性特性在经济学界迟迟不被承认，噪声驱动经济周期主导主流经济学的错误信念要负主要的历史责任。

话说回来，弗里希推测确实提出了科学上饶有趣味的问题，尤其是外部噪声对决定性振子的影响。依据非线性动力学的知识，我们所知持续周期只由非线性动力系统产生。例如范德波尔模型的极限环解产生的是振幅均匀的周期振荡，这在经济数据中从未被发现（Van der Pol 1926）。振幅不规则而频带有限的色混沌和观察到的经济周期比较接近（Rössler, 1976; Chen, 1988、1996a）。当噪声值超过某临界值时，外部噪声可以改变非线性振子的稳定机制（Chen, 1987b）。

诺贝尔经济学奖怎么会授予给从未发表而且错误的弗里希猜测，这在科学史上是一个前所未有的谜团。科学史的学者可能对历史细节更感兴趣，例如为何弗里希放弃了他许诺发表的论文，为何从1934年起他对自己的得意模型保持沉默，连诺奖演说也不置一词。我们更感兴趣对比物理学和经济学的不同文

化。在伽利略和爱因斯坦以后的时代，指导物理学家研究的不是哲学信念，而是观察实验。似乎经济学界还处在哥白尼以前的时代，主流经济学家对自由市场的信仰，超过对科学研究的好奇和对经验事实的尊重。当然，西方经济学家不缺有识之士。牛津大学的著名计量经济学家亨得理(David Hendry)早在1980年就提出一个发人深思的问题：计量经济学究竟是科学还是炼金术（Hendry, 1980、2001)? 主持圣塔菲研究所经济研究和组织索罗斯基金会经济学新思维的著名经济学家，纽约新学院大学教授伏里(Duncan Foley)，对亚当·斯密创立的西方主流经济学的评价是“理论神学” (Foley, 2010)。他们的深度批评，值得中国的经济学家注意。和自然科学相比，经济学只是未经实验检验的前科学而已。经济学真正的实验科学化，还有待于我们这一代人的努力。

我们对比研究经济周期的混沌模型和噪声驱动模型的经验，发现非线性和非均衡视角优越性，受阻于均衡经济学的乌托邦学说，最典型的案例就是弗里希模型。弗里希模型的空想特征与热力学历史上的永动机非常相似。熊彼特认为经济周期与心脏搏动相似，生物钟的这一特征是有机体的精髓（Schumpeter 1939）。根据非均衡热力学，生物钟只能出现于具有能量流、信息流和物质流的耗散系统中（Prigogine 1980）；因此，非均衡机制是经济演化的本质，非线性动力学则是经济周期的根源。弗里希谜团给我们上了有价值的一课，就是经济学家和其他学科的对话交流，将给跨学科研究创造累累硕果。

致谢

作者感谢与Victor Zarnowitz、David Kendrick、Linda Reichl、William Schieve、闫沐霖、何祚庥等学者的讨论。作者也感谢骆颖浩对萨缪尔森连续时

间模型的研究，Julia Buxter对我英文草稿的编辑，以及符云玲和王兴华老师的中文翻译。

本文是笔者在美国德克萨斯大学研究和北京大学执教的期间完成的。非线性经济动力学的跨学科研究是我在普里戈金统计力学与复杂系统中心用物理学方法研究经济问题的长期努力的成果。笔者感谢伊利亚·普里高金教授的支持，美国Welch基金会和IC²研究院的资助。笔者也感谢北京大学中国经济研究中心林毅夫教授对跨学科研究的同情和帮助。当然，本文引发的争议和可能的错误概由笔者负责。

参考文献

- Barnes, R.B. and S. Silverman. 1934. Brownian Motion as a Natural Limit to all Measuring Processes, *Review of Modern Physics*, 6, 162-192.
- Barnett, W. A. and P. Chen (陈平). 1988. The Aggregation-Theoretic Monetary Aggregates Are Chaotic and Have Strange Attractors: An Econometric Application of Mathematical Chaos, in W. Barnett, E. Berndt, and H. White eds., *Dynamic Econometric Modeling*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 199-246.
- Bernanke, B., M. Gertler, and S. Gilchrist, . 1996. The Financial Accelerator and Flight to Quality, *Review of Economics and Statistics*, 78, 1-15.
- Brock, W. A. and C. Sayers, 1988. Is the Business Cycles Characterized by Deterministic Chaos?" *Journal of Monetary Economics*, 22, 71-80.
- Chandrasekhar, S. 1943. Stochastic Problems in Physics and Astronomy, *Reviews of Modern Physics*, 15(1), 1-89.
- Chen, P. (陈平). 1987. Origin of the Division of Labor and a Stochastic Mechanism of Differentiation, *European Journal of Operational Research*, 30, 246-250.
- Chen, P. (陈平). 1988. Empirical and Theoretical Evidence of Monetary Chaos, *System Dynamics Review*, 4, 81-108.
- Chen, P. (陈平). 1993. Searching for Economic Chaos: A Challenge to Econometric Practice and Nonlinear Tests, in R. Day and P. Chen eds. *Nonlinear Dynamics and Evolutionary Economics*, Oxford: Oxford University Press.

- Chen, P. (陈平). 1996a. Trends, Shocks, Persistent Cycles in Evolving Economy: Business Cycle Measurement in Time-Frequency Representation, in W. A. Barnett, A. P. Kirman, and M. Salmon eds., *Nonlinear Dynamics and Economics*, Chapter 13, pp. 307-331, Cambridge University Press.
- Chen, P. (陈平). 1996b. A Random Walk or Color Chaos on the Stock Market? - Time-Frequency Analysis of S&P Indexes, *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 1(2), 87-103.
- Chen, P. (陈平). 1999. The Frisch Model of Business Cycles: A Spurious Doctrine, But a Mysterious Success," CCER Working Paper, #E1999007, China Center for Economic Research, Peking University, Beijing, China; IC² Working Paper 99-05-01, University of Texas at Austin, Austin, TX, USA.
- Chen, P. (陈平). 2002. Microfoundations of Macroeconomic Fluctuations and the Laws of Probability Theory: the Principle of Large Numbers vs. Rational Expectations Arbitrage, *Journal of Economic Behavior & Organization*, 49, 327-344.
- Chen, P. (陈平). 2005. Evolutionary Economic Dynamics: Persistent Business Cycles, Disruptive Technology, and the Trade-Off between Stability and Complexity, in Kurt Dopfer ed., *The Evolutionary Foundations of Economics*, Chapter 15, pp.472-505, Cambridge University Press, Cambridge.
- Chen, P. (陈平). 2008. Equilibrium Illusion, Economic Complexity, and Evolutionary Foundation of Economic Analysis, *Evolutionary and Institutional Economics Review*, 5(1), 81-127.
- Chen, Ping. (陈平). 2010. *Economic Complexity and Equilibrium Illusion: Essays on Market Instability and Macro Vitality*, Chapter 13, London: Routledge.
- Einstein, A. 1926. *Investigations on the Theory of the Brownian Movement*, edited by R. Fürth, Methuen, London.
- Engle, R.F. and C.W.J. Granger. 1987. Co-Integration and Error Correction: representation, Estimation, and Testing, *Econometrica*, 55(2), 251-276.
- Foley, Duncan K. 2008. *Adam's Fallacy: A Guide to Economic Theology*, Harvard University Press.
- Frisch, R. 1933. Propagation Problems and Impulse Problems in Dynamic Economics, in *Economic Essays in Honour of Gustav Cassel*, George Allen & Unwin, London.
- Frisch, R. 1981. From Utopian Theory to Practical Applications: The Case of Econometrics, *American Economic Review*, 71(6), 1-16 (1981).
- Goodwin, R. M. 1951. The Nonlinear Accelerator and the Persistence of Business Cycles," *Econometrica*, 19, 1-17.
- Goodwin, R. M. 1990. *Chaotic Economic Dynamics*, Clarendon, Oxford.
- Goodwin, R. M. 1993. My Erratic Progress toward Economic Dynamics: Remarks made at banquet, Tuesday, April 18, 1989, In R.H. Day and

- P. Chen eds. *Nonlinear Dynamics and Evolutionary Economics*, Oxford University Press, Oxford.
- Hao, B.L. (郝柏林) 1990. *Chaos II*, World Scientific, Singapore.
- Hayek, F. A. 1933, 1966. *Monetary Theory and the Trade Cycle*, A.M. Kelley Publishers, New York.
- Hayek, F.A. 1991. *The Fatal Conceit: The Errors of Socialism*. The University of Chicago Press.
- Hendry, David F. 1980, 2001. *Econometrics: Alchemy or Science? Essays in Econometric Methodology*, Oxford University Press, Oxford.
- Hodrick, R. J. and E. C. Prescott. 1981. Post-War US. Business Cycles: An Empirical Investigation, Discussion Paper No. 451, Carnegie-Mellon University.
- Kydland, F.E. 1995. *Business Cycle Theory*, Edward Elgar.
- Kydland, F. E. and E. C. Prescott. 1982. Time to Build and Aggregate Fluctuations, *Econometrica*, 50(6), 1345-1370.
- Lucas, R. E. Jr. 1972. Expectations and the Neutrality of Money, *Journal of Economic Theory*, 4(2), 103-124.
- Nelson, C. R. and C. I. Plosser. 1982. Trends and Random Walks in Macroeconomic Time Series, Some Evidence and Implications, *Journal of Monetary Economics*, 10, 139-162.
- Nicolis, G. and I. Prigogine. 1977. *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*, Wiley, New York.
- Prigogine, I. 1988. *From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences*, Freeman, San Francisco. 中译本: 普里戈金著, 2007. 从存在到演化, 北京大学出版社。
- Rössler, O. E. 1976. An Equation for Continuous Chaos, *Physics Letters A*, 57, 397-398.
- Sargent, Thomas & Wallace, Neil. 1975. 'Rational' Expectations, the Optimal Monetary Instrument, and the Optimal Money Supply Rule. *Journal of Political Economy* 83 (2): 241 - 254.
- Scarfe, B. L. 1977. *Cycles, Growth, and Inflation*, McGraw-Hill, New York.
- Schumpeter, J. A. 1939. *Business Cycles, A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, McGraw-Hill, New York.
- Slutsky, E. E. 1937. The Summation of Random Causes as the Source of Cyclic Processes, Conjecture Institute, Moscow (1927); *Econometrica*, 5, 105-146.
- Solow, R. M. 1956. A Contribution to the Theory of Economic Growth, *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Uhlenbeck, G.E. and L.S.Ornstein. 1930. On the Theory of Brownian Motion, *Physical Review*, 36(3), 823-841.
- Van der Pol, B. 1926. On Relaxation-Oscillations, *The London, Edinburgh and Dublin Phil. Mag. & J. of Sci.*, 2(7), 978-992.
- Wax, N. 1954. *Selected Papers on Noise and Stochastic Processes*, Dover, New York.

- Wang, M. C. (王明贞) and G. E. Uhlenbeck. 1945. On the theory of the Brownian Motion II, *Review of Modern Physics*, 17(2&3), 323-342.
- Zarnowitz, V. 1992. *Business Cycles, Theory, History, Indicators, and Forecasting*, pp. 196-198, University of Chicago Press, Chicago.