



振动理论

在经济领域中的应用

王凤兰 著



东北大学出版社
Northeastern University Press

振动理论 在经济领域中的应用

王凤兰 著

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 王凤兰 2010

图书在版编目 (CIP) 数据

振动理论在经济领域中的应用 / 王凤兰著. —沈阳: 东北大学出版社, 2010.9

ISBN 978-7-81102-872-0

I. ①振… II. ①王… III. ①振动理论—应用—经济学—研究 IV. ①F

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 193157 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市市政二公司印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 140mm×203mm

印 张: 5.25

字 数: 141 千字

出版时间: 2010 年 9 月第 1 版

印刷时间: 2010 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 李 鸥 孙 锋

封面设计: 唐敏智

责任校对: 张 文

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-872-0

定 价: 25.00 元

内 容 提 要

本书主要论述作者从事振动理论在经济领域中的应用的科学研究工作所取得的理论与实际成果。全书共分 4 章。第 1 章为引言；第 2 章主要介绍振动理论及相关技术的应用与发展；第 3 章重点介绍作者对于振动理论在社会经济领域中的应用研究的一些研究成果与实证研究；第 4 章提出振动理论在经济领域中的应用还存在的一些问题和对未来发展趋势与研究方向的展望。

由于作者水平有限，书中难免会有不妥甚至错误之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

第1章 引 言	1
第2章 振动理论及相关技术的应用与发展	3
2.1 自然界中的振动与波动现象	3
2.2 振动及振动利用工程技术的分类及其应用	6
2.2.1 振动及振动利用工程技术的分类	6
2.2.2 线性和非线性振动利用技术	6
2.2.3 波动和波能的利用技术	12
2.2.4 电、磁和电磁振荡器在工程技术中的应用	32
2.2.5 自然界和人类社会中的振动现象及应用	45
第3章 振动理论在社会经济领域中的应用	51
3.1 经济系统的复杂性	51
3.1.1 经济系统的波动性	52
3.1.2 经济系统的非线性	53
3.1.3 经济系统的混沌性	54
3.1.4 经济系统的拟周期性	57
3.2 传统经济规律的作用及非线性经济现象的研究现状	58
3.2.1 传统经济规律的作用	58
3.2.2 非线性经济现象的研究现状	68
3.3 振动视角下经济市场的非线性性质	69
3.3.1 质 量	71

3.3.2	激振力	71
3.3.3	弹性指标	72
3.3.4	经济阻尼	73
3.4	非线性经济系统的混沌动力学复杂性及其实证研究	90
3.4.1	非线性经济系统混沌性研究的意义	91
3.4.2	混沌时间序列的系统识别	91
3.4.3	混沌的判定和混沌临界点的确定	95
3.5	非线性经济系统的综合预测法及其实证研究	98
3.5.1	非线性混沌经济时间序列的预测在社会生活中的地位与作用	98
3.5.2	研究非线性混沌经济时间序列的预测问题的目的与意义	104
3.5.3	非线性混沌经济时间序列的预测方面存在的问题	106
3.5.4	非线性经济系统的预测法简介	107
3.5.5	非线性混沌时间序列的灰色预测研究	112
3.5.6	非线性混沌时间序列的拓扑预测研究	119
3.5.7	非线性混沌经济时间序列的马尔可夫预测	123
3.5.8	非线性混沌经济时间序列的非线性预测	131
3.5.9	非线性混沌经济时间序列的综合预测	138
3.6	振动分形理论在经济系统中的应用实例	143
3.6.1	分形分布理论简介	144
3.6.2	变换形成的分形	145
3.6.3	应用实例分析	146
第4章	展望	151
	参考文献	153

第1章 引言

近几十年来,工程领域振动问题的研究得到了蓬勃发展,并取得了令人瞩目的丰硕成果,有力地推动了新设计与新产品的不断出现。利用振动原理研制的各种设备多达百余种,已成功地应用于各工矿企业中,为国民经济的发展做出了很大贡献。在各行各业,数以万计的振动机器和振动仪器被用于完成许多不同的工艺过程,如输送、上料、给料、筛分、干燥、冷却、烘干、脱水、光饰、落砂、成型、整形、破碎、清理、振捣、夯土、压路、装载、沉桩、勘探、测试、诊断等。相比之下,经济领域振动现象的研究起步较晚,近年来国内外学者在利用振动理论研究经济发展方面,也做了许多有益的工作,为下一步利用非线性振动理论深入研究经济现象奠定了基础。从已有的文献来看,经济系统的振动研究工作主要可分为两大部分:一是研究经济系统的非线性,即应用非线性振动理论探求经济系统的振动演化规律,解释纷繁复杂的经济振动现象;二是探讨非线性振动理论在经济系统管理中的应用。

目前,产生于自然科学领域的非线性系统的振动理论,在自然科学领域已取得了巨大的成功,解决了困惑数代人的紊流和生物进化等问题。利用振动理论研究社会经济现象,一开始就得到了社会学家和经济科学家们的重视,从某种程度上讲,经济领域存在的难题促进了非线性振动理论的发展。普里高津(Prigogine)指出,我们正处在线性科学可能到达的顶端,但我们也正处在一个新科学——非线性科学——的始端,后者为我们展望世界的未

来打开了一个全新的门户。开展非线性振动系统研究以来,人们逐渐发现了复杂非线性经济系统存在多解、幅频依赖、跳跃、滞后、分叉、混沌、慢变和突变等非线性振动系统所特有的种种性质。

随着对新的科学领域的开拓和研究的深入,当前各学科的发展都处在从传统范式向新的系统范式转换的时期。经济科学也不例外,由于非线性作用,经济增长、企业竞争、股票、汇率及贵金属价格等经济问题常表现出包括混沌在内的各种复杂的振动现象与行为。

随着经济的飞速发展和社会的不断进步,人们越来越深刻地认识到,科学的经济预测不仅是确定政策、进行决策和指定计划的依据,是提高经营管理水平和改善计划工作的重要内容,也是优秀的领导者必须具有的能力,更是企业适应环境和竞争取胜的必要手段。只有对这些问题进行周密地分析研究和正确地预测,才能做到心中有数,防止由于前期计划和决策不当而造成不必要的损失。社会实践证明,随着社会的发展,要求人们设法使工作具有预见性,对纷纭复杂的现实问题提出科学的预测和对策。在社会经济活动中,人们越来越多地认识到:必须对其中的许多未知因素进行科学的预测,以便为决策者提供科学的依据,从而减少经济活动中的盲目性,避免可能产生的缺点和错误。

经济系统是非常复杂的非线性混沌系统,因为有人的参与,所以它所表现出来的大都呈现不规则的波动变化。对这样的非线性振动系统,传统、单一的经济学已经无法揭示经济系统的本质特征,更无法对其进行有效地预测,它迫切需要和非线性振动理论等现代科学发展的成果相结合,同时在此基础上发展出新的经济领域预测的理论与方法。因此,应用非线性振动理论与其他理论和方法相结合来研究经济系统具有非常重要的理论和现实意义。

第2章 振动理论及相关技术的应用与发展

2.1 自然界中的振动与波动现象

自然界和人类社会中的某一个量随时间或大或小的变化称为振动（波动）。振动是物质世界运动的一种基本形式，物质世界中的每一个物体都始终处于振动之中。可以说，振动（波动）无处不在。不仅人的周围环境存在着振动，就连人体的许多器官及循环系统也都处在连续的振动（波动）之中。如机器的振动、建筑物的振动，地震，声和光的波动，汽车发动机的振动，人体脉搏的跳动，肺部的张缩和呼吸、发声时声带的振动，心脏的跳动以及血液的循环，股票价格的波动，等等，都是我们随处可见的振动（波动）。还有很多的振动（波动）现象不是我们能直观所见的，但是可以感受到，许多现象都处在不断波动的过程中。例如，一个国家或一个地区的经济状况常常是几年好，几年差；农副产品的价格经过一段时间上涨之后，就会下跌；金融汇率、股票价格、固定资产投资、商品库存量以及社会用电量等都随着时间的推移呈现不断的变化和波动。大量实际数据表明，在经济系统运行过程中常常表现出具有不同频率的概周期性波动。还有，某个国家几年来的经济增长或衰退情况、某地区几年来下雨次数的多少和雨量的大小变化情况、气候的周期性变化、人类繁殖过程中人口增长速度的高低变化情况、某地区连续多年的气候变化

情况、根据逐年雨量的统计得出的雨量的振动规律、某种农产品的价格随供求关系的变化情况，等等，都不同程度地表现出振动的特征，可以用相应的振动规律加以描述。

潮汐也是一种周期性振动，它的涨落与大小不仅依赖于月亮的位置，而且与太阳和月亮的相对位置也有关系。根据月亮的圆缺来预估潮汐的涨落，同时根据月亮与太阳的相对位置也可估算出太阳的引力对潮汐大小的影响。

树木年轮中的一疏一密是由气候的周期变化而引起的，从广义角度来看，也是一种振动现象。这一振动特征，在考古学与地质学的研究中有应用。

向日葵随着日落与日出日复一日地向西和向东摆动，这也是一种特殊形式的振动。

其实，各种形式的振动，归根结底是能量存在的一种形式，有振动就有能量存在，风、雨、雷、电是能量存在的各种不同形式，它们随时间的流逝而不断变化。从广义的角度来理解，这就是一种特殊形式的振动（波动）。能量有时是有益的，而有时又是有害的。多少年来，无数专家学者致力于各种振动现象和波动现象的研究，以找出其内在规律，进行有效地利用，创造了巨大的社会效益与经济效益，为人类造福。

有益的振动能为人类造福，创造良好的生活环境和条件。例如，拨动琴弦能发出美妙动人的乐章，使人心旷神怡；在医疗方面，利用超声波能够诊断、治疗疾病；在土建工程中，有振动沉桩、振动拔桩以及混凝土灌注时的振动捣固等；在电子和通讯工程方面，录音机、电视机、收音机、程控电话等诸多电子器件以及电子计时装置和通讯系统使用的谐振器等，都是由于振动才能有效工作的；在工程地质方面，利用超声波进行检测和地质勘探；在石油开采上，还可利用振动提高石油产量；在海洋工程方面，海浪波动的能量可以用来发电；在气象方面，人们可以根据逐年雨量的统计得出的周期性规律，也就是雨量的振动规律，来

预估某一年度雨量的多少；在经济领域，经济学家可以根据国内外的经济与社会因素来推断某一国家或地区经济增长或发展的情况，即经济发展过程中的振动规律，进而提出有效的措施，减少由于某种原因给社会经济带来的损失；经济学家还可以通过研究经济危机与金融危机这种振动现象，采取积极和有效的措施，来延长经济与金融的高增长周期以及缩短经济危机与金融危机的延续时间；在金融市场上，人们可以根据外部及内部影响因素，以及股市的一般规律，来推测某一种股票的涨跌，即掌握股票涨跌过程的振动规律，从而在股市中掌握好的买卖时机；在许多工矿企业，可以利用振动技术和设备完成许多工艺过程，或用来提高某些机器的工作效率。最近三十多年来，应用振动原理而工作的机器（振动机械）得到了迅速发展。据不完全统计，目前已用于工业生产中的振动机有百余种之多。例如，振动给料机、振动输送机、振动整型机、振动筛、振动离心脱水机、振动干燥机、振动冷却机、振动球磨机、振动光饰机、动平衡试验机和振动破碎机、振动压路机、振动摊铺机、振动冷冻机、舱壁振动器、振动夯土机、振捣器、振动沉拔桩机和各种形式的激振器等。

当然，振动也有有害的一面。例如，运载工具如汽车、火车和飞机的振动会使乘客感到不舒适；周围环境产生的噪声使人烦躁不安；共振及次谐波共振会引起机械设备、桥梁结构及飞机的破坏；地震使人民生命财产遭受巨大损失。对于这些有害振动，人们虽然已经付出了很大的努力，并设法采取有效措施加以限制以至完全消除，但直到今天，许多有害的振动问题还未能得到很好地抑制或彻底根除。还有，东亚不少国家常常受台风的袭击，而美洲一些国家常常受飓风的侵袭，这些都是有害的自然现象；其实，雷电和飓风一样蕴藏着巨大的能量，夏天人们常常感官到的闪电和惊雷，有时会造成人畜伤亡和一定的财产损失；人类科学研究的目的，一方面要设法消除这些来自大自然的灾害，另一方面可以采取变害为宝，也就是说将自然界中无益的巨大

能量吸取过来，并作为有效能源加以使用。早年有一位科学家试图通过风筝收取乌云中的静电，尽管当时并未完全成功，但随着空间科学的发展，通过悬挂在人造卫星上的导线，或采用无线遥控收取的方式，慢慢地收取乌云中的静电，在不远的将来，可能会实现。相信，终有一天，甚至对台风巨大能量的加以利用，也会取得重大突破的。

2.2 振动及振动利用工程技术的分类及其应用

2.2.1 振动及振动利用工程技术的分类

振动与波存在于各个领域，按其类型大致可分为线性和非线性系统的振动、波动（声波、光波等）以及电和磁的振荡等。因此，我们可将振动利用技术分为线性振动的利用，非线性振动的利用，波动和波能的利用以及电、磁和电磁振荡器在工程技术中的应用，自然界和人类社会中的振动现象与规律及其利用等。

2.2.2 线性和非线性振动利用技术

线性和非线性振动利用技术多数是通过能产生振动的机械设备或仪器，即振动机械或振动仪器来完成的，振动机械或振动仪器作为一种特殊的设备或装置已在工业生产中得到广泛的应用。

振动机械或仪器有着广泛的用途，例如，各种仓壁振动器、电磁振动给料机、惯性共振给料机、振动料斗、电磁振动输送机、惯性共振式输送机等用于完成给料和输送；电磁振动筛、惯性振动筛、振动烘干机、振动离心脱水机、振动选矿机等用于完成物料的筛分和烘干；惯性振动破碎机、振动落砂机、振动装载机、振动铲斗、振动凿岩机、振动选矿机等用于对物料的破碎和清理；振动成型机、振动整型机、振动密实机等用于对物料进行成型和压实；振动压路机、振荡压路机、振动摊铺机、振动沉拔

桩机、插入式振捣器、夯土机等用于振捣和打拔；各种类型的激振器、测试振动台、模拟振动台、动平衡试验机、机械式测振仪、各种振动电机等用于完成对机械运动状况的试验和测试；各种监测和诊断仪器设备来对仪器的工作状况进行监测和诊断，等等。据初步统计，振动机械和仪器的用途和种类已达百余种，它们在工农业、国防以及人类生活的各个方面发挥着重要的作用。

随着科学技术的发展，利用振动的新工艺不断出现，振动利用工程得到越来越广泛的应用。

例如，在普通流化床基础上发展起来的振动流化床，床层除受干燥气流作用外，再附加以振动作用使之处于流化状态下进行干燥。在流化床上施加一定的振幅和频率的振动，使得机内物料的床层结构处于悬浮沸腾的流化状态，利用对流、传导或辐射加热即可进行振动流化干燥作业。振动流化干燥机有多种形式，惯性式振动干燥机在实际应用中最为普遍。

还有，大部分开采出的矿物原料都需要进行破碎和磨碎。传统破碎机的破碎方法存在着很大的局限性，破碎过程耗能较高，或难以破碎，或使物料过磨，所用设备也很复杂。惯性振动圆锥破碎机利用偏心块产生的离心力来破碎矿石或其他物料，利用挤压和冲击，使物料破碎。其破碎比远大于普通圆锥破碎机，而且可在很大范围内调节，在中、细碎作业中，有广泛的发展前途。

再有，在筑路作业中物料的摊铺和压实是至关重要的。振动摊铺机和振动压路机是筑路作业中的关键设备，是振动在筑路工程中的典型应用实例。先将物料撒布在整个宽度上，再利用熨平机构的激振器对被摊铺物料进行压实。振动系统决定了物料摊铺的工作效率和密实效果，是决定摊铺质量的关键系统之一。由于在压路机中引入振动，使路面的密实度由90%提高到95%以上，进而显著提高其工作质量并延长其使用寿命，这在筑路作业中具有十分重要的意义。

另外，利用振动对金属材料或松散物料进行成型（包括塑性

加工), 较之静力情况下成型可显著降低能耗、提高成型工件的质量。还可以通过振动的方式强制性地将料袋形成规整的形状, 即整形, 以利于存放和装运。振动成型机和整形机广泛应用于化工、食品等工业部门。

利用振动信号的不同特征还可以对机械和结构的故障进行诊断, 这也是最近十多年来发展起来的一种新技术。利用模糊理论、灰色理论或神经网络方法对振动信号进行分析与诊断, 在工业企业中得到了广泛应用。利用振动原理对机械系统的振动位移、速度和加速度进行测示是一种简便和有效的方法。

非线性原理在振动利用工程学的研究与发展中占有相当重要的地位。这是因为在振动利用工程中, 诸多的利用振动的系统多数是属于非线性的。此外, 为了实现振动设备工艺上的要求, 而必须采用非线性振动系统。非线性振动系统有以下多种形式: ①惯性力项为非线性的振动系统, 如分段惯性力的非线性振动系统; ②阻尼力项为非线性的振动系统, 如带有干摩擦的非线性系统和带平方阻尼的非线性振动系统等; ③恢复力项为非线性的振动系统, 如光滑非线性的振动系统与分段线性的非线性系统; ④其他非线性振动系统, 如自激振动系统、时变系统等。

在前面列举的振动机械与仪器中, 按其线性和非线性的特性可分为线性或似线性(近似于线性)及非线性两大类。在非线性的振动机械和仪器设备中, 有一部分是为了获得良好的工效有意识地采用系统的非线性特性, 另有一部分则是非有意识地、而是在工作过程中自然地存在非线性的性质。

目前非线性振动系统或非线性振动特性的利用技术得到了迅猛的发展, 其具体内容可做以下简单介绍。

(1) 具有分段摩擦或具有冲击和分段惯性力振动系统的利用。

在振动机械中, 为了使机体中的物料对机体产生相对运动, 即产生相对滑动或跳动, 就必须使振动机的系统中产生分段摩擦

力和分段质量的惯性力（滑行运动）或冲击力和分段质量的惯性力（抛掷运动），这是保证振动机械实现正常工作的必要条件。这类振动机械有振动给料机、振动输送机、振动筛、振动离心脱水机和振动冷却机等。

（2）光滑非线性振动系统的利用。

摩擦摆在正常工作区间，属于光滑非线性的振动系统。利用摩擦摆可以测定轴与轴销间的摩擦系数，常用的有两种方法，第一种方法直接利用复摆摆角每一振动周期的衰减值算出摩擦系数的大小；第二种方法利用 Flode 摆的工作原理对摩擦系数进行测量与计算。后一种方法更为准确。

对于一些在共振情况下工作的振动机械，往往存在振幅不稳定的缺点，例如，电磁振动给料机、近共振型振动输送机和共振筛等。振幅不稳定会给机械的工作性能带来不良影响，为了消除前述缺点，可以采用具有光滑硬式非线性恢复力的振动系统。

为了消除一般电磁振动给料机振幅不稳定的缺点，有的科技工作者提出，将主共振板弹簧的两端固接处做成带有曲线的形式，随着振幅的增大，板弹簧的工作长度将变短，因此，弹簧刚度将随振幅的增大而增加，从而可以增大该类振动机振幅的稳定性。

此外，硬式光滑非线性振动系统，也可以用于车辆的隔振，由于车辆的负载时常变化，为了使车辆在负载变化情况下其固有频率不发生明显的改变，可以将隔振弹簧做成硬式光滑非线性的形式。

除此之外，光滑非线性还有其他一些应用。

（3）分段线性非线性振动系统的利用。

分段线性非线性系统在工程中得到了十分广泛的应用，在振动机械中这种形式的非线性系统应用十分普遍，如分段线性的非线性振动输送机、非线性共振筛、非线性振动离心脱水机、振动摇床和振动离心摇床等。分段线性非线性振动系统通常包括以下

三种形式：①用权对称与不对称的硬式分段线性非线性振动系统；②对称与不对称的软式分段线性非线性系统；③复合或复杂形式的分段线性非线性系统。

由于该种非线性振动系统具有若干优点，目前在工程中仍不断的推广之中，预计今后还会得到进一步的发展。

(4) 非线性滞回系统的利用。

具有弹塑性变形的振动系统属于这一振动系统。例如，振动成型机、振动压路机、振动夯土机、振动沉拔桩机等一些振动机械，其振动系统都属于带有滞回恢复力的非线性振动系统，滞回恢复力是的具体表示形式。为了使振动成型或振动压实过程能有效地进行，塑性变形是不可缺少的，而且必须尽可能地加速大滞回曲线中的面积。在工程中这种振动系统十分普遍地存在。

在该类振动系统中大体可有以下几种形式：①含对称的平行四边形的滞回恢复力的非振动系统；②含光滑封闭曲线的滞回恢复力的非线性振动系统；③不对称滞回恢复力的振动系统；④带有间隙的滞回恢复力的振动系统。

在我们的研究中，已对多种形式的该类非线性振动系统进行过深入的研究。

(5) 非线性自激振动系统的利用。

在工程中，自激振动得到广泛的应用。例如，采矿工业中应用的气动式与液压式凿岩机与碎石机，采煤用的风镐，铸造车间清理铸件的风铲，锻造车间使用的蒸汽锤，选煤厂应用的气动无活塞跳汰机，蒸汽机的工作过程也属于自激振动，由液压阀控制的往复油缸或活塞驱动的各种机件所组成的系统等。在无线电通讯及仪器仪表工业部门，如无线电收音机和电视机中的电子振荡器，各种仪器仪表中广泛采用的振荡器和不同形状波形发生器，各种恒温容器采用的开关型温度调节器等。日常生活中所必需的手表和挂钟，依赖琴弦演奏的各种乐器等。人体内心脏的跳动也是一种自激振动。

(6) 冲击非线性振动系统的利用。

利用冲击来完成工艺过程的振动机械有蛙式夯土机、振动锤锻机、冲击桩机、带有冲击的振动落砂机和振动钻探机等。冲击式振动机械是非线性振动机一个特例。根据理论计算与试验都可以证明,冲击情况下物体瞬间所产生的加速度较一般线性振动机的最大加速度大几倍、几十倍,甚至几百倍。利用冲击可以产生很大的冲击力,这对压实土壤,沉桩、使物体产生塑性变形、岩石发生破坏或碎裂、促使铸件上的型砂剥落都是十分重要的。

(7) 慢变参数振动系统的利用。

在工程中,许许多多的工作过程都属于慢变参数系统。例如,对旋转机械的振动进行控制,其工作过程是慢变的。慢变过程的速度会直接影响所控制的振幅,所以,可以利用控制过程慢变的速度来达到最优的控制效果。

对具有慢变参数的转子系统在启动和制动过程中,激励频率慢变使系统共振曲线产生波动并影响稳定性,转子刚度慢变会使不平稳的共振曲线产生偏移。对于慢变支承刚度的转子系统,适当选择刚度慢变速度,可以有效地抑制通过共振区时的振动。因此,慢变参数系统可以在工程中获得应用。

(8) 频率俘获原理的应用。

在工程中,频率俘获现象已得到广泛的应用,由两台感应电动机分别驱动的并装于同一振动系统中的两个偏心转子激振器,就是利用这一原理而进行工作的。目前在工业部门中应用的数以万计的自同步振动机基于这一原理。试验曾指出,当两台激振电动机单独运转时,其转数分别为 962 转/分和 940 转/分,而当同时运转时,其转数同为 950 转/分,这就是所谓的频率俘获。

(9) 分岔解的利用。

研究非线性系统分岔解目前已引起科学技术工作者普遍重视和广泛注意。在非线性方程式的分岔解中有一些可以被利用的,而有一些不可能加以利用。因此,研究分岔解具有工程意义。例