

东北大学闻邦椿院士领导的科研团队

“振动机械” 研究中实现了八大创新，达到国际领先水平

1. 引言

通过 50 多年的研究，作者所在科研团队首先在国际上提出了“振动利用工程”的新概念，构建了“振动利用工程”新学科的理论框架，为振动利用工程学科的若干分支提供了设计与计算的理论，解决了工程中的诸多问题，研制成功十多种振动机械，从而创建了“振动利用工程”新学科。这一创新成果是各种创新成果的集成，该项创新成果可以用**新原理、新机构、新模型、新理论、新方法、新技术、新机器和新学科**等八个方面的创新加以概括。在科技创新过程中，同时完成了有关“**振动利用工程**”、“**振动同步及振动同步传动**”、“**产品的综合设计或系统化设计**”、“**现代成功学方法论**”等四个方面问题的研究，这四方面研究的综合，促进了振动利用技术和设备的发展，取得了具有重要理论意义和实际应用价值的成果。

目前我们正与国内多家振动机械生产企业建立科研协作关系，特别是和湖北钟祥新宇机电制造股份有限公司协作，并建立了院士工作站。

2. 八个方面的创新

2.1 研究出新原理

提出了若干新的振动利用工艺，如概率等厚筛分新工艺，研究了物料在振动平面上及振动锥体内表面上的运动机理、物料筛分过程理论、振动压实过程中振动摩擦理论等。

概率等厚筛分新方法的产生：本文作者领导的科研团队，在物料的筛分领域。把概率筛分原理和等厚筛分原理结合在一起，创造出了一种集概率筛分原理和等厚筛分原理优点的概率等厚筛分原理（图 1c）。它的特点是：第一段筛面采用概率筛分方法，而第二段筛面采用

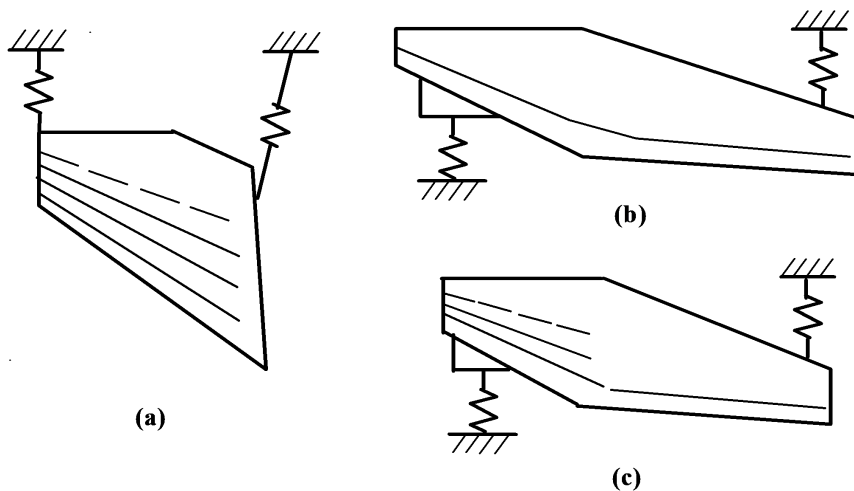


图 1 概率筛分法、等厚层筛分法与概率等厚层筛分法
(a) 概率筛分法；(b) 等厚层筛分法；(c) 概率等厚层筛分法

等厚筛分方法。这种筛机是概率筛分方法(见图 1a)与等厚筛分方法(见图 1-b)的有机结合, 它的总长度较等厚筛的长度要短, 同时提高了筛机产量和筛分效率。

2.2 发明了新机构

研究出 10 余种新机构, 如激振器偏转式新机构、惯性共振式双质体近共振新机构(图 2)、单激振器振动破碎机(图 3)、双激振器振动破碎机的新机构、不对称弹性力的双质体非线性近共振新机构、振动同步传动的自同步新机构、激振器偏转式自同步非共振新机构、平衡加隔振振动输送的新机构(图 4)。

例如, 图 2 所示为我们研究的获国际发明奖及国家技术发明奖的惯性共振式概率筛。该筛机是集给料、托料、筛分为一体的一种高效率和大产量的筛机, 已在我国冶金、煤炭、电力部门应用, 取得了良好的效益。

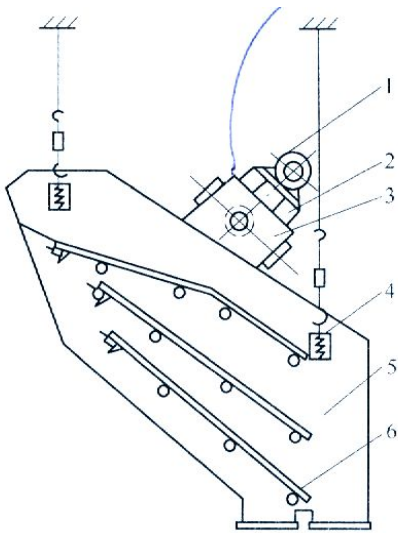


图 2 惯性共振式概率筛

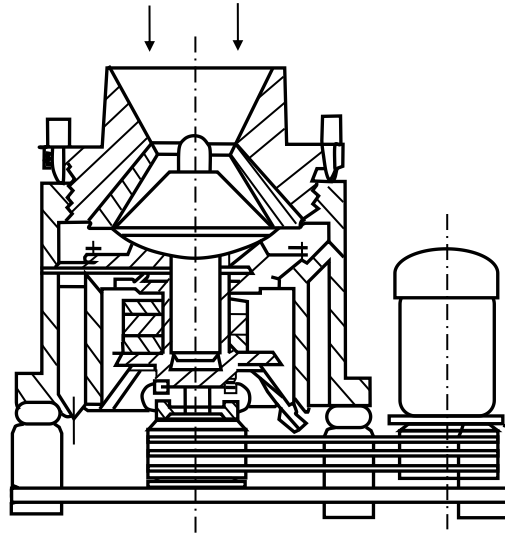


图 3 利用振动同步传动新原理单激振器振动破碎机

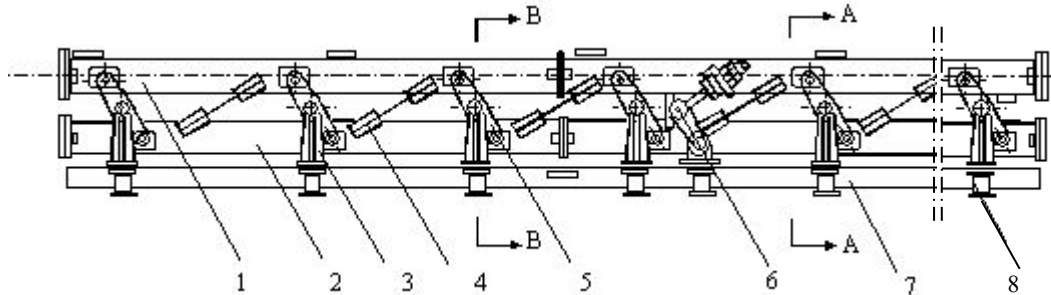


图 4 平衡加隔振的大长度振动输送机

2.3 建立了新模型

提出了 10 多个非线性动力学新模型, 例如:

(1) 惯性力项为非线性的动力学模型; (2) 不对称软式分段线性动力学模型; (3) 硬软式复合分段线性动力学模型; (4) 分段慢变的非线性的动力学模型; (5) 双参数慢变的非线性

性动力学模型；(6) 带间隙的滞回非线性动力学模型；(7) 带有冲击的非线性振动系统的动力学模型；(8) 振动同步传动的新模型；(9) 近共振条件下振动同步的模型 (10) 带有滚柱的的振动同步的模型。

有多种模型是在非线性动力学研究中最先提出的，在我们撰写的《工程非线性振动》和《非线性振动理论中的解析方法》的专著中进行了介绍。

2.4 发展了新理论

在以下四个方面的研究中，提出了若干新的理论和方法：

(1) 在振动利用工程方面，研究了物料运动的非线性动力学理论、单质体或多质体系统的硬式、软式、复合形式的非线性动力学理论等，并提出了考虑质量为分段的非线性振动系统、弹性元件为非线性的各类非线性振动系统、带滞回阻尼力的非线性系统、具有冲击和摩擦的非线性振动系统等。

(2) 在振动同步及振动同步传动的研究中，在国际上首先提出了振动同步传动的新概念，并研究了双激振电机及多激振电机驱动的在远超共振与近共振状态下单质体和双质体的同步理论与振动同步传动的理论等，并将同步理论扩展到控制同步，研究了振动同步与控制同步合成的复合同步等新理论。

(3) 在产品设计和理论和方法的研究中，提出了具有我国特色的产品综合设计理论和方法或产品系统化的设计理论和方法，明确给出产品设计的 3I 调研、7D 规划、1+3+X 具体实施、5 (C+A) 检验和评估的四个设计阶段。

(4) 在方法论的研究中，提出了现代成功学方法论的体系和 12 对规则，用来指导集体和个人做人、做事和做学问的成功概率和效益。

针对我国研制的筛分面积最大的反向回转自同步大型振动筛 (图 5) 工艺效果差的问题，我们进行了深入的理论和试验研究，提出了应将激振器安装到机器的上下两端，进而使振动机能获得接近于圆形的椭圆轨迹，以提高筛机的工艺效果 (图 6)。

按照振动同步理论，当激振器质心至机体质心之距 l_0 大于机体的回转半径 ρ_0 的 1.414 倍时，两激振器可实现同向回转，机体能获得近似于圆形轨迹的运动，即当



图 5 筛分面积为 56m² 的激振力不同的反向回转双激振器自同步式巨型振动筛

$$l_0 \geq 1.414\rho_0 \quad (1)$$

若两激振器分别安装于给料端上方和排料端下方，两激振器做同向回转，可以获得接近圆形的轨迹，该大型振动筛可以获得良好的工艺效果。

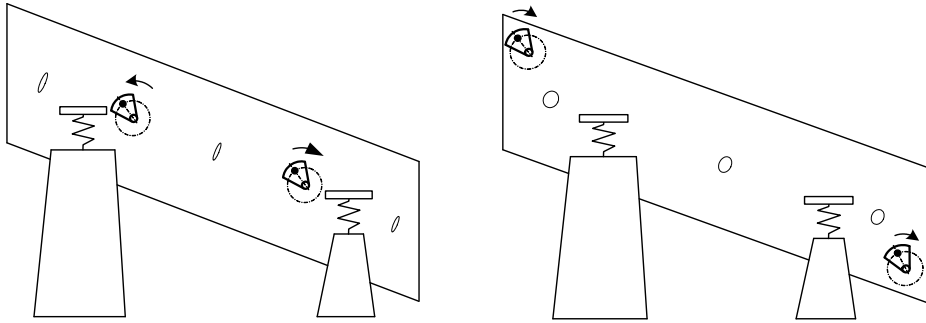


图6 对世界最大巨型振动筛(56m²)的改型设计，左图为原有的设计，右图为改正的方案。

2.5 提出了新方法

提出了以功能优化设计、动态优化设计、智能优化设计、可视优化设计及特殊性能优化为核心内容的 1+3+X 的综合设计方法，同时提出了以非线性动力学为基础的深层次动态设计方法，撰写和出版了 8 部专著（图 7）。



图7 基于系统工程的产品综合设计理论与方法专著（共八种）



图8 新编的六卷本机械设计手册

2010年，由本文第一作者主编并有170人参加编审的第5版6卷本《机械设计手册》问世。这一部2000万字的巨著，仅用了一年半的时间就编纂完成(图8)。

该手册于2012年被评为中国机械工业科学技术一等奖，并于2013年被评为中国出版政府奖的提名奖。

2.6 研发了新技术

研究出有关振动利用与控制若干新技术：如大长度振动输送机常常会出现弹性弯曲振动，为预防出现弹性弯曲振动，我们研究一种可以减轻或消除弯曲振动新技术。

再比如，在自同步振动机两台激振电机实现同步运转之后，将一台激振电机的电源切断，该激振电机仍可继续实现同步运转，我们称这种运动为振动同步传动。当一台激振电机的电源切断的以后，该激振电机的功耗为零，而另外一台激振电机略微增加，因而从总电能消耗来看，可减少能源的消耗约15-30%，我们已经过试验证明了这一技术的经济性和可使用性。

本文第一作者领导的科研团队，于20世纪80年代研究成功一种名为激振器偏转自同步式二次隔振大型冷烧结矿振动筛的设备。把偏转式自同步理论应用于该筛中，降低了机器的高度及质量，从而降低了制造成本，并可以获得理想的工艺效果(图9)。该设备已经在工业生产中得到广泛应用，取得了显著的经济效益和社会效益，于1985年并获国家科技进步奖。

2.7 研制了新机器

此外，研究成功研制10余种新机器，如：(1)惯性共振概率新筛机(图2)，(2)激振器偏转式大型冷矿振动筛(图9)，(3)20~40米长的平衡加隔振的大长度振动输送机，(4)自同步振动放矿机，(5)双激振器自同步振动破碎机，(6)750吨振动沉拔桩机(图9)，(7)新型振动压路机(图10)，(8)振动光饰机，(9)振动干燥机，(10)双质体近共振工作的自同步振动离心脱水机(图11)等。这些机器的成功应用，可为社会创造重大的经济效益和社会效益。

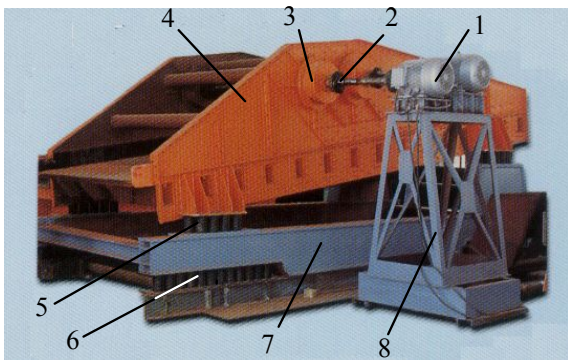


图9 激振器偏转式自同步振动筛



图10 用于高速公路修筑的振动压路机

此外，研究成功研制10余种新机器，如：(1)惯性共振概率新筛机(图2)，(2)激振器偏转式大型冷矿振动筛(图9)，(3)20~40米长的平衡加隔振的大长度振动输送机，(4)自同步振动放矿机，(5)双激振器自同步振动破碎机，(6)750吨振动沉拔桩机(图9)，(7)新型振动压路机(图10)，(8)振动光饰机，(9)振动干燥机，(10)双质体近共振工作的自

同步振动离心脱水机（图 11）等。这些机器的成功应用，可为社会创造重大的经济效益和社会效益。



图 10 750 吨液压驱动振动桩机

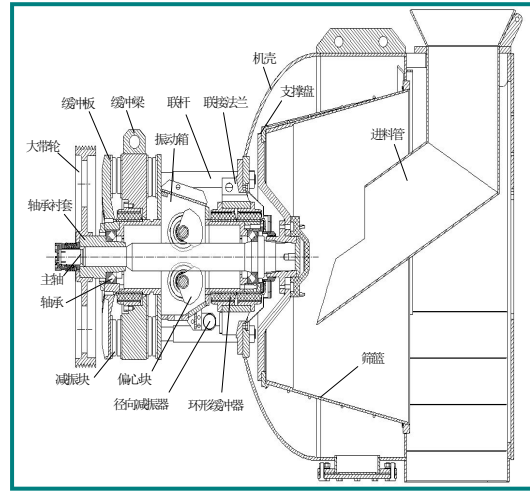


图 11 近共振非线性振动离心脱水机

2.8 创建了新学科

以上各个方面的创新的集成和综合，使“振动利用工程”新学科的创建成为现实。在这一领域的研究中完成了以下创新：

(1) 提出了新原理；(2) 发明了新机构；(3) 建立了新模型；(4) 创建了新理论；(5) 新方法的研究；(6) 开发了新技术；(7) 新机器的研制；(8) 各种创新的综合。

由此，在国际上首先创建了“振动利用工程”新学科，提出了振动利用工程的新概念，这在其他国家是很难做到的，我国已为创建这一新学科提供了良好的机遇、环境和条件。在这一领域撰写了 8 部振动机械方面的著作（图 12），达到了国际领先水平。愿意把我们的研究理论和成果奉献给大家。



图 12 撰写的有关“振动利用工程”方面的 8 部中英文著作

3. 研究成果的应用与推广

3.1 研究了该学科的诸多理论问题

通过研究，解决了“振动利用工程”的不少理论问题，例如，在振动机械动力学问题的研究中，提出并研究了以下非线性动力学问题：

(1) 振动机械运行过程的非线性动力学理论；(2) 带变质量系统的非线性振动系统的动力学问题；(3) 振动质体具有软、硬及复合特性的非线性动力学问题；(4) 滞回非线性振动的非线性动力学问题的研究；(5) 超声的利用及超声对摩擦影响的研究；(6) 带有冲击的振动系统非线性动力学特性的研究；(7) 带有摩擦的振动系统的非线性动力学的研究；(8) 关于分岔和混沌问题的研究。

在振动同步理论的研究中，解决了双激振电机驱动的单质体、双质体系统的同步理论：

(1) 设计并研制出一种多激振电机万能同步试验台；(2) 多激振电机自同步理论；(3) 控制同步理论的研究；(4) 近共振条件下同步理论的研究；(5) 激振器偏转条件下的振动同步理论；(6) 复合同步的理论的研究；(7) 双激振器惯性振动破碎机的同步理论；(8) 振动同步传动理论及其应用的研究；(9) 带有圆柱滚子的振动同步传动的理论。

这两个方向的研究都达到了国际领先水平，并建立起了学科的体系，撰写出了数百篇论文和 10 多部著作。

3.2 解决了生产中的诸多实际问题

在完成上述任务过程中，完成了数十项国家项目和横向科研课题，解决了振动利用和波能利用工程中的许多技术难题，为企业创造了重大的社会效益和经济效益。

(1) 上世纪 70 年代，参与解决我国电磁振动给料机的系列化工作，以取代当时在生产广为应用、结构笨重的板式给料机，取得了重大经济和社会效益。

(2) 上世纪 70 年代，为某企业研制成功多台平衡加隔振的大长度振动输送机，解决该企业生产中的关键技术问题，该机装于厂房的顶层，隔振良好，又解决了企业环境保护问题。

(3) 上一世纪 80 年代，研究成功三种新型筛机：惯性共振式概率筛、激振器偏

(4) 上一世纪 90 年代利用概率等厚得分原理对铁路系统路渣筛分的研究。

(5) 近两年来对振动离心脱水机中物料运动及其系统非线性动力学的研究。

(6) 本世纪初 750 吨振动桩机的研制。

(7) 大型节肢筛的动力学分析及设备研制。

(8) 新型振动压路机及振动摊铺机振动问题的研究。

(9) 振动光饰机的研制。

以上研究结果对解决振动机械生产中的实际问题发挥了积极作用。

3.3 获得了国内外的若干科技奖励

该项成果除获省部级一、二等奖外，还获国家技术发明奖和科技进步奖三项和国际发明奖两项。

(1) 1987 年，我课题组曾获国际发明博览会“尤里卡”金奖一项，个人发明“骑士”勋章一枚。

(2) 1985 年，获国家发明奖和科技进步奖各一项。

(3) 上一世纪 80-90 年代，获省部级一、二等奖 10 项。

(4) 2003 年，在完成国家自然科学基金重大项目后，获国家科技进步二等奖一项。

(5) 2007 年获中国工程院颁发的光华科技奖一项。

- (6) 2008 年由于在“振动利用工程”方面的重大成果，获国家科技二等奖一项。
- (7) 2010 年参加企业科研项目，获国家科技进步二等奖一项。
- (8) 2000 年以后获省部级科技进步奖 10 多项。

3.4 为这一领域培养了不少科技人才

本文第一作者指导的研究生，其中有 118 位取得了硕士学位，有 88 位取得了博士学位，还有 16 名博士后。这些研究生的学位论文大约有二分之一左右从事振动利用和控制的研究，他们在教学、科研和生产等各种工作中发挥了积极的作用。

3.5 为这一学科提供许多研究成果

在此基础上，曾发表论文数百篇和 10 多部中英文著作，促进了“振动利用工程”学科的形成和发展，为科学研究事业和我国经济的发展做出了贡献，在国际上也产生了一定的影响。

这些著作的内容大致包括：

- (1) 直接属于“振动利用工程”方面的著作有 8 部，学论文约 300 篇。
 - (2) 属于振动方面的著作，如振动的利用和控制，包括转子动力学方面的著作有 10 多部，学论文约数 400 多篇。
 - (3) 属于产品设计方法方面的著作有 8 部，手册 3 套，学论文约 300 多篇。
 - (4) 方法论方面的著作有多部，这些对振动利用和控制的发展也会产生积极的影响。
- 总之，科学技术始终处在不断的发展过程中，相信在今后还会取得进一步的快速发展。

4. 结语

50 多年来，“振动利用工程”学科已经得到了快速的发展，这一学科的创建为工程应用提供了良好的理论和技术上的支持。从以往研究经历可以发现，这一学科的发展是和“科技创新”紧密联系在一起，“创新驱动发展”的作用十分突出。

“振动利用工程”是一门方兴未艾的学科，它正在蓬勃发展的过程中，这是因为振动与波是物质存在的基本形式，自然界和人类社会所发生的各种现象始终处在振动和波动的过程中。我们应该继续为振动与波的利用做出我们的贡献。

本文总结的只是振动与波动利用的一个方面，前面我们并未介绍对振动和波的利用做出重大贡献的三位诺贝尔奖获得者，一位是英籍华人、前香港中文大学的校长高锟先生，他发明了用光来传递信息的光导纤维，促进了通信技术的革命；另两位是英国的曼斯菲尔德和美国的劳特布尔，他们将核磁共振技术应用于医用 CT 中，使数千万人受益。我估计在该领域今后还会出现新的诺贝尔奖获得者。

为了促进该领域的进一步发展，作者还于最近几年开展了科学方法论的研究，撰写了《成功做事方法论》《产品设计方法学：兼论产品的顶层设计和系统化设计》《现代成功学：谈做人、做事、做学问》《顶层设计 原理 方法 应用》《学位论文撰写方法学：怎样写好硕士和博士论文》《科技创新方法论浅析》《实用科学方法论》等 8 部方法论的著作。这些方法论的著作对“振动利用工程”及其他相邻学科的发展也会产生积极的影响。

我们相信在所有同志们的共同努力下，我国“振动利用工程”等学科还会得到进一步的

快速发展。

参考文献

- [1] 闻邦椿, 刘凤翹, 《振动机械的理论及应用》(1982年, 机械工业出版社)
- [2] 闻邦椿, 刘凤翹, 刘杰, 《振动筛、振动给料机、振动输送机设计与调试》, (1989年, 化学工业出版社)
- [3] 闻邦椿, 顾家柳, 夏松波, 王正, 《高等转子动力学》(2000年, 机械工业出版社)
- [4] 闻邦椿, 刘树英, 张纯宇, 《机械振动学》, (2000年, 冶金工业出版社)
- [5] 闻邦椿, 刘树英, 何勃, 《振动机械的理论及动态设计方法》(2001年, 机械工业出版社)
- [6] 闻邦椿, 李以农, 韩清凯, 《非线性振动理论中的解析方法及工程应用》(2001年, 东北大学出版社)
- [7] 闻邦椿, 赵春雨, 苏东海, 熊万里, 《机械系统的振动同步与控制同步》(2003年, 科学出版社)
- [8] 闻邦椿, 武新华, 丁千, 韩清凯, 《故障旋转机械的非线性动力学理论与试验》(2004年, 科学出版社)
- [9] 闻邦椿, 李以农, 张义民, 宋占伟, 《振动利用工程》(2005年, 科学出版社)
- [10] 闻邦椿, 张国忠, 柳洪义, 《面向产品广义质量的综合设计理论与方法》(2006年, 科学出版社)
- [11] 闻邦椿, 李以农, 徐培民, 韩清凯, 《工程非线性振动》(2007年, 科学出版社)
- [12] 闻邦椿, 《产品全功能与全性能的综合设计》(2008年, 机械工业出版社)
- [13] 闻邦椿, 刘树英, 李小彭, 《产品的主辅功能及功能优化设计》(2008年, 机械工业出版社)
- [14] 闻邦椿, 韩清凯, 姚红良, 《产品的结构性能及动态优化设计》(2008年, 机械工业出版社)
- [15] 闻邦椿, 刘树英, 陈照波, 李鹤, 《机械振动理论及应用》, 北京: 2009年高等教育出版社
- [16] 闻邦椿, 赵春雨, 任朝晖, 《产品的使用性能及智能优化设计》(2009年, 机械工业出版社)
- [17] 闻邦椿, 孙伟, 李鹤, 《产品的制造性能及可视优化设计》(2010年, 机械工业出版社)
- [18] 闻邦椿, 李小彭, 李鹤, 马辉, 《机械产品设计质量的检验与评估》(2010年, 机械工业出版社)
- [19] 闻邦椿主编, 《机械设计手册》(6卷本)(2010年, 机械工业出版社)
- [20] Bangchun Wen, Jian Van, Chunyu Zhao, Wuli Xiang, *Vibratory Synchronization and Controlled Synchronization in Engineering*, Beijing: Press of Science, 2009
- [21] Bangchun Wen, Hui Zhang, Shuying Liu, Qing He, Chunyu Zhao, *Theory and Techniques of Vibrating Machinery and Its Applications*, Beijing: Press of Science, 2010
- [22] 闻邦椿, 《成功做事方法学——现代成功学浅论》(2012年, 中国社会科学出版社)
- [23] 闻邦椿, 《产品设计方法学——兼论产品的顶层设计与系统化设计》(2012年, 机械

工业出版社)

[24] 闻邦椿,《现代成功学——谈做人、做事、做学问》(2013年,机械工业出版社)

[25] 闻邦椿,刘树英,《现代振动筛分技术及设备设计》(2014年,冶金工业出版社)

[26] 闻邦椿,《顶层设计—原理 方法 应用》(2014年,机械工业出版社)

闻邦椿院士简介

东北大学闻邦椿教授、东北大学机械设计及理论研究所名誉所长、辽宁省创意产业协会会长。1991年当选为中国科学院院士。现任国际转子动力学技术委员会委员、国际机器理论与机构学联合会中国委员会委员。先后曾任东北工学院机械二系主任,国务院学位委员会第二、三、四届学科评议组成员,国家自然科学基金、国家发明奖、国家科技进步奖评审委员会委员,国家“长江学者”奖励委员会评审组成员,国家自然科学基金评审组成员,第六、七、八、九届全国政协委员,中国振动工程学会理事长,《振动工程学报》主编,《机械工程学报》等8种杂志编委,上海交通大学“振动、冲击、噪声”国家重点实验室学术委员会主任,大连理工大学“工程装备结构分析”国家重点实验室学术委员会主任,浙江大学“流体传动与控制”国家重点实验室学术委员会委员及20多所大学的兼职教授及北京吉利大学校长等职。他长期从事机械工程和振动工程方面的教学工作,为培养各类学生做出了重要贡献。曾讲授“机械振动学”、“工程非线性振动”、“振动机械的理论及应用”、“振动的利用与控制”、“机械和结构的动态设计”、“基于系统工程的产品设计理论与方法”等多门课程。除培养本科生外,截止2014年末,已培养118名硕士研究生、88名博士研究生和15名博士后,指导俄罗斯和哈萨克斯坦访问学者各1名。

在科学研究方面,他先后完成了数十项国家纵向和横向科研项目,包括国家自然科学基金重大项目、重点项目、面上项目和973、863项目等。他开辟了几个重要的学术方向:

(1) 在振动利用和控制领域,在国际上首先创建了振动学与机器学相结合的新学科“**振动利用工程**”新学科;深入研究了振动同步理论,提出了振动同步传动的概念,研究了故障旋转机械的非线性动力学问题,撰写了12部专著。

(2) 在产品设计领域,研究并提出了基于系统工程的产品综合设计理论与方法及系统化的设计理论与方法,和课题组同志一起,撰写了产品设计方法学方面的8部专著;主编了6卷本、2卷本、1卷本《机械设计手册》。

(3) 在方法论的研究中,提出了较为系统的高效做事方法论体系,撰写和出版了《现代成功学》、《成功做事方法学》《顶层设计》《学位论文撰写方法学》等专著。