

北京大学重点科技成果推广项目

工业制造与机电项目

动力学仿真技术.....	2
高集成度无人自主飞艇	3
残疾人及老年人用智能电动代步车	4
胎压监测系统	5
红外光谱食品安全检测仪	7
工业核磁共振分析仪	8
生物及化学分析用核磁共振波谱仪	10
系列超声流量计	11
系列超声换能器与传感器	14
高温熔体物性测量装置	17
新型水质数字检测仪	19
图 水质数字检测仪	19
振荡现象的自动检测与诊断	20
用于照相机自动调焦、变焦的压电微马达	22
工业生产单元的先进报警管理系统	26
能效管理技术	27
基于物联网的精益运行管理技术平台	29
新型多用途工业色差仪	36
压电超高精密微型数控雕刻机床	44
压电高精密细胞立体显微注射与数控操作系统	46
火电厂 AGC 及其下层自动控制的性能监测与优化调整系统	47
微纳米定位 Z-轴快速扫描压电驱动器	50

动力学仿真技术

动力学仿真（CAE）是一种利用计算机技术对工程结构或产品的物理性能及其在生产加工或使用过程中的动力学行为进行数值模拟分析、预测与评价、优化设计或控制的应用科学技术，它是应用数学和物理理论模型在工程领域中的技术延伸，是现代制造业的基础技术平台，是实现核心技术创新的源动力。

CAE技术是衡量一个国家科学计算与现代制造水平的标志，在现代制造中主要用于优化结构设计、提高产品质量、减少试验样品、缩短产品研发周期、降低产品成本，广泛应用于国防、航空航天、水力机械、船舶航运、汽车、高速列车、工业空气动力学、气象预报以及竞技体育等领域，2010年全球市场规模超过500亿人民币，并处于高速增长期。

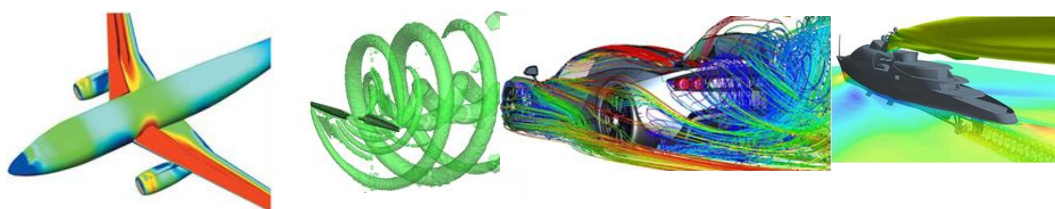


图 动力学仿真技术设计应用领域

工学院具有世界领先的物理、力学、数学学科，承担了多项国家重大攻关项目，在物理建模、网格剖分、结构力学、冲击动力学、计算流体力学、湍流理论、高性能并行计算技术等领域都取得了高水平的科研成果，并逐步积累形成了具有完全自主知识产权的冲击动力学仿真软件和先进CFD气动仿真软件（BXCFL），获得比国际上主流商业软件更准确可靠的数值模拟结果。

目前，凭借在动力学仿真平台上的技术优势，工学院已经或正在承担多项航空航天、汽车、高速列车、船舶、新型风力发电机及风场优化设计等多个领域的重大计算和数值仿真任务，为我国国防和先进装备制造快速的发展发挥了重要作用。

高集成度无人自主飞艇

飞艇是一种利用轻于空气的气体产生浮力作为升力的飞行于平流层区域的飞行器。它依靠飞艇内部装载的轻于空气的气体产生的静升力，通过控制飞艇上的舵面和动力装置，以较小的能耗实现在平流层的飞行。配备集成化组合导航和自主飞行控制系统的飞艇，可以实现在平流层空间准静止和常驻空自主飞行。它具有高空定点工作时间长、对地观测范围广、维修使用方便以及成本低等特点，因此可以根据任务需要在飞艇上安装相应的载荷，构成对地、对空任务平台。在现代空中勘测、污染监测、摄影、广告、救生以及航空运动中得到了广泛的应用。

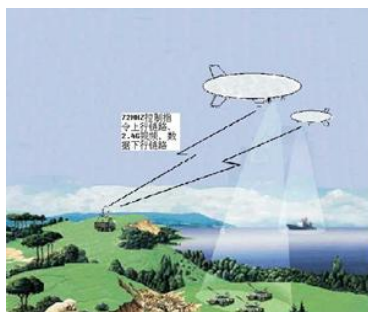


图1 小型飞艇系统



图2 飞艇的起降演示

北京大学工学院研制成功的高集成度无人飞艇，采用了先进的自动控制技术，设计了可自动平衡温差、压差的系统，并可全天候工作。

第一代技术已经完成工业产品设计，参加了部队的大规模演习，取得非常满意的应用效果，并被部队列装。目前正在开发以柔性太阳能电池为动力的第二代产品。

残疾人及老年人用智能电动代步车

我国现有各类残疾人总数已逾8000万人，其中肢体残疾者超过2400万人，残疾人士的生活品质已成为影响社会和谐发展的重要因素。

此外，截至2009年我国60岁以上的老龄人口已近1.6亿，占总人口的12%。目前，全国老年人口由年均增加311万人发展到年增800万人。据预测，随着新中国的同龄人步入老年，我国将出现第一次老年人口增长高峰，一直到2020年，我国老龄人口都会快速增长；更为严峻的是2020到2050年这一时期，伴随着20世纪60年代到70年代中期的新中国成立后第二次生育高峰人群进入老年，中国老年人口数量开始加速增长，并达到另一个峰值；到2040年，平均每5个人就有1个65岁以上的老人；到2050年，老年人口总量将超过4亿，老龄化水平推进到30%以上。

针对残疾人和老年人在户内外运动的需要，亟需一种方便安全的代步工具。北京大学工学院研发团队针对残疾人和老年人的需求，在代步型代步车的基础上开发了智能电动代步车。其室外最高时速在6km以内，室内最高时速不超过4.5km。除了具有代步功能，还装有如紧急呼救、定位跟踪及应急备用药箱等设备的高级轮椅，并根据残疾人和老年人的特殊需求，设计了多种驾驶模式。

胎压监测系统

一、项目概况

由于国内外用户对于汽车安全的强劲需求，作为一种新的汽车电子装备，胎压监测系统（TPMS）具有巨大的市场增长潜力。著名机械及汽车零部件供货商 Tomkins 的市场报告指出，2009 年的胎压监测系统环球市场达 4.4 亿美元，预测于 2015 年有超过 3 倍的市场增长。

二、产品组成

胎压监测系统主要包括两部分：传感器模块和接收器。传感器模块一般安装于轮胎中，并通过无线电（315MHz 或 433MHz）将有关轮胎中的胎压及温度传送到接收器。传感器模块的设计是胎压监测系统的关键技术。

三、技术优势

北京大学工学院与国内外先进的研发团队合作在封装设计、先进天线模拟与测量、电源管理等方面申请了多项专利及知识产权，开发了高度集成微处理器、射频芯片、温度传感器和压力传感器，而且其尺寸比同类产品薄 30%(如下图所示)，封装产品成本也降低 50% 以上。同时，联合研发的专利天线可提供与气门嘴天线同等的表现，并且可以有效地缩小产品尺寸及降低产品重量至 40 克以下。

四、项目所处阶段

目前，第一产品已完成测试，可以进入产业化。

鉴于未来胎压监测系统的普及和对胎压监测系统产品寿命日益提高的需求（如 12 年或 12 万公里），我们也对无源胎压监测系统进行了研发，并已利用压电陶瓷技术成功演示相关系统。

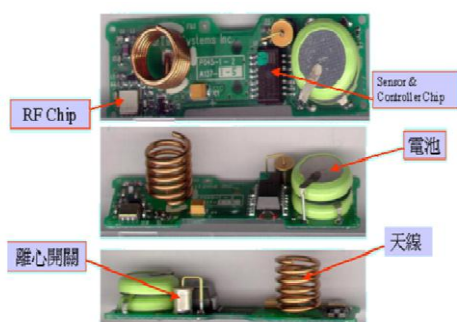


图1 传感器模块



图2 捆绑式混合电源胎压监控系统

红外光谱食品安全检测仪

“人以食为天，食以安为先”。近年来，食品安全问题备受关注。通常掺假食品的检测需要许多复杂的仪器设备，样品也要经过繁杂的物理、化学处理，既费时、又费力。快速的食物质量检测是当前我国食品市场监管的重要难题。

本项目利用红外光谱分析技术能在几十秒甚至几秒内，通过对样品红外光谱的简单测量，就能同时测定物质的多种成分数据的特点，结合国内食品检测的需求，开发了低损耗的全波段中远红外光纤，能够采集高质量的中远红外光谱，并通过光纤、ATR组件和FTIR光谱仪的高效偶联，研制成功红外光谱食品安全检测仪。

红外光谱食品安全检测仪能够方便、快捷、高效地对食品进行检测，分析成本低、无污染、无破坏，样品无需前处理、不污染环境，并可代替国际先进的中远红外光纤技术和ATR技术，真正实现对物流过程中和生产线上物料的实时在线监测。



图 红外光谱食品安全检测仪样机

工业核磁共振分析仪

一、项目概述

工业型核磁共振分析仪的主要特点是利用核磁共振信号的一大弛豫特征来探测和分析物质存在状态和性质，非常适合于各种产品中添加剂及其它杂质的含量分析。

二、市场应用前景

工业型核磁共振分析仪近年来在欧美发达国家工业品的质量检验和配方调整中应用非常广泛。甚至建立了一些产品质量检验的核磁共振国际标准。应用领域包括：油脂产品中的固形物含量分析、油料种子中的含油量分析、航空煤油的燃烧值分析、石油岩心中的含油量分析、石化产品中的添加剂含量分析、牙膏中的含氟量分析、橡胶中的添加剂含量分析等等。

目前，我国只有少数大型企业配备了工业型核磁共振分析仪，大多数相关企业还没有配备。工业型核磁共振分析仪在国内没有形成自己知识产权的产品，主要还是依靠进口，价格昂贵。很多企业还没有意识到核磁共振分析方法的优点和国际市场对核磁共振分析的要求。随着我国产业国际化程度的进一步加深，工业型核磁共振分析仪在我国的需要必将迅速增加，开展工业型核磁共振分析仪研制、开发和产业化工作，将具有良好的市场前景。

三、项目进展阶段

信息学院开展了工业型核磁共振分析仪研究工作，目前已经研制成功具有国际先进水平的工业用核磁共振分析仪器，有关研究内容获得国家发明专利二项，具备进行产业化合作开发的基本条件。

四、合作对象与合作方式

石油工业，食品工业、化工工业，教学科研，联合开发。

生物及化学分析用核磁共振波谱仪

一、项目概述

生物及化学分析用核磁共振波谱仪利用核磁共振信号的化学位移特征来探测有机物分子结构。从上世纪 70 年代进入中国以来，应用日趋广泛。截至 2010 年年初，我国已有该类设备超过 350 台，全部为进口设备。随着近年来，生物、化工、能源、食品等领域的研究需求不断提升，生物及化学分析用核磁共振波谱仪在这些领域的应用逐渐增多，并呈现应用规模高速扩大的趋势。

核磁共振谱仪的全球市场规模达到每年超过 40 亿美元。未来长时期内还将稳步快速的增长。中国的销量还不到全球总销量的 1%，且工业检测领域市场潜力巨大，预计 5 年内市场规模将超过 10 亿人民币。

生物及化学分析用核磁共振波谱仪由磁体子系统、射频子系统、谱仪子系统及软件子系统构成，其中电磁设计、高频谱仪、低温超导等技术是研制该产品的关键技术。信息学院在这些方面已经有丰富的相关技术积累及实际经验，具备研制国产生物及化学分析用核磁共振波谱仪的研制的技术基础和能力。

二、应用领域

生物、化工、能源、食品等行业。

系列超声流量计

一、项目概述

1.明渠超声流量计

超声 Doppler 流速-压力液位法：对于中型渠道，应用超声 Doppler 原理测量渠道内特征点的竖直方向的线平均流速，应用压力传感器测量液位，获得断面的平均流量；

堰槽精密液位法：对于窄渠道，利用精密超声液位、压力液位测量，根据流量-液位函数计算得到流量；

超声多普勒 ADCP 法：对于宽渠道或者河流，利用水平宽带 Doppler 流速剖面仪测得河流或渠道横断面的平均流速，利用压力传感器测得液位，获得整个河流或渠道横断面的流量；

■ 农用灌溉用水计量

■ 小渠道

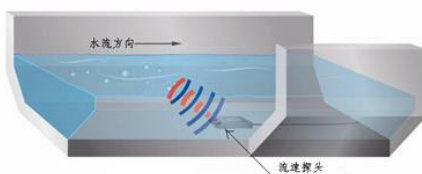
■ 中渠道

■ 河流水文监测

■ 污水计量



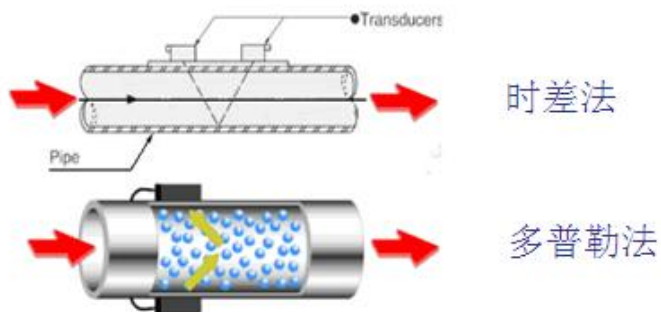
- 时差流速-液位法
- 多普勒流速-液位法
- ADCP流速-液位法
- 槽堰液位法



2.超声管道流量计

Doppler 超声流量计：应用超声 Doppler 原理测量管道流速，用于工业污水、原油、混合流体的计量；

时差超声流量计：应用超声波顺流-逆流精密时差测量原理测量管道流速，用于清洁流体如自来水、成品油等的计量；



3.气体超声流量计

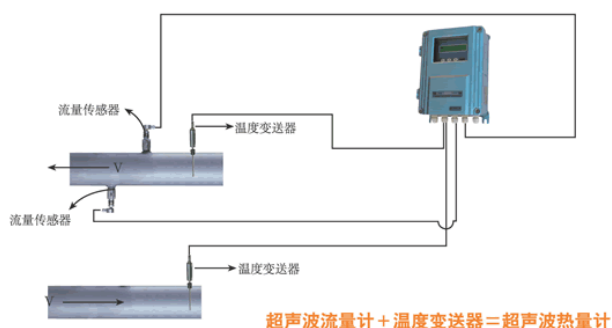
应用气体中超声波顺流-逆流精密时差测量原理测量管道气体流速，用于天然气等的计量；

- * 天然气；
- * 压缩空气；
- * 燃料气；
- * 腐蚀性气体；
- * 有毒性气体；
- * 高纯气体；
- * 空分气体。



4.特殊超声流量计

超声热量表：应用超声波时差流量和温差测量原理测量管道热量，用于家用供暖设备的热量计量；



脉动小流量计量：10mm 以下管径、脉动流、极低流速、高温、高压等特殊应用的超声流量计。

二、 应用领域

工农业领域河流、渠道、管道流体流量计量，包括水、油、气以及混合流体的计量。

三、合作方式及费用

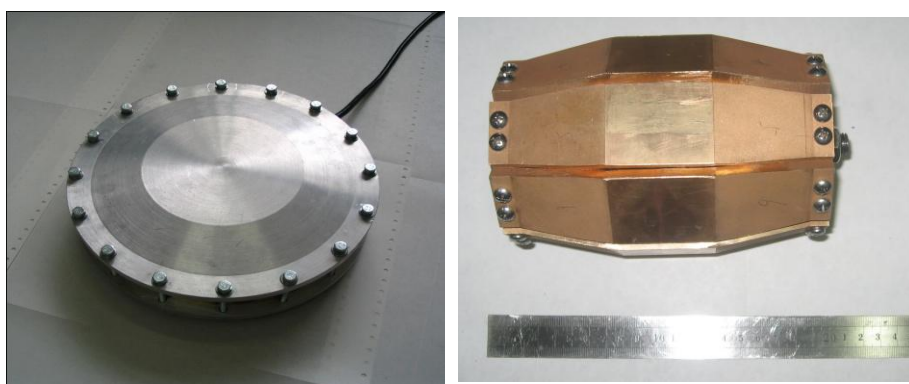
合作开发。全数字超声时差流量计研究经费 30 万元/年，每套 3000 元/5 年，预计销售量：2000~5000 台。

系列超声换能器与传感器

一、项目概述

1.低频大功率发射换能器

频率范围 500~2000Hz 大功率、小尺寸发射换能器，直径小于 400mm，厚度小于 100mm，声源级大于 190dB。



2.高灵敏度小尺寸水听器

声压水听器：频率范围 10~20kHz, 20~40kHz, 40~80kHz, 80~160kHz, 或其他频段，直径小于 30mm，厚度小于 5mm，接收声压灵敏度不低于-190dB re 1V/uPa。

小尺寸三维矢量水听器：频率范围 100Hz-5000Hz，直径小于 60mm，矢量通道灵敏度大于-185dB re 1uPa @1kHz。

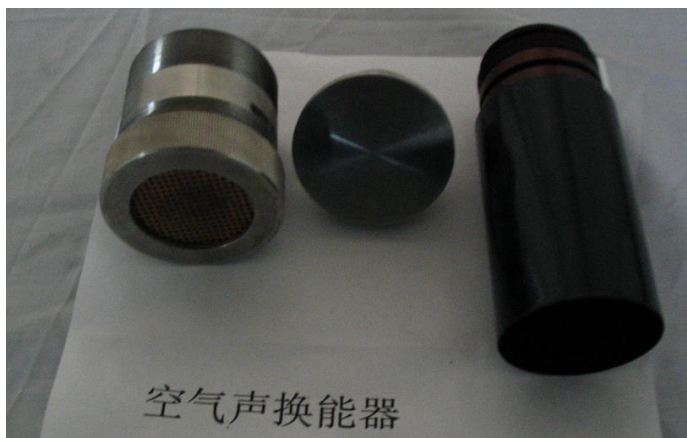


3.工业测量超声换能器

频率范围 100kHz~2MHz 分频段，收发合置，小尺寸超声换能器，直径小于 50mm，发射声压灵敏度不低于 150dB re 1uPa@1m，接收灵敏度不低于-200dB re 1uPa。

4.空气超声换能器

频率范围 10~100kHz 分频段，或其他特殊频段，可用于气介超声测距、测速、成像、导航等。



5.医学超声换能器阵列探头

80/96/128 阵元 B 超阵列探头，频率 5MHz，6.5MHz，带宽不低于 70%；广泛应用于消化道肿瘤术前分期、消化道隆起性病灶、

肝、胆、胰腺癌、胰腺囊性肿瘤诊断，是目前国际上公认的诊断早期胰腺癌的最佳方法。

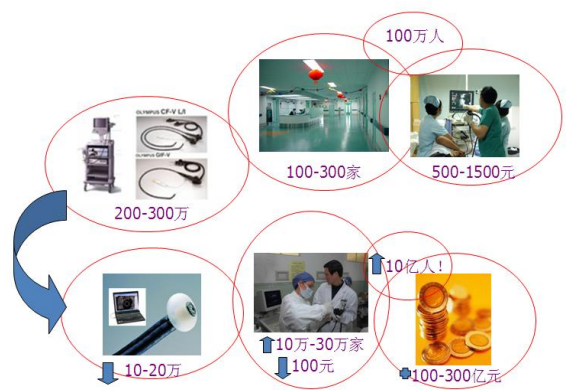


6.振动传感器与加速度计

频率范围：1~1000Hz 分频段，高灵敏度振动加速度计。

二、应用领域

工业、医疗、国防领域应用的超声换能器、振动传感器、加速度计。



高温熔体物性测量装置

一、测量装置介绍

一种在线测量高温熔体表面张力、接触角和密度的装置获得国家发明专利证书(ZL03121050.3)，可用于冶金企业技术中心、大专院校和科研院所等从事高温熔体物性的研究和检测的单位选用。该测试装置根据用户的需求，可提供具有高真空、超低氧分压、气氛可控及高温的环境下，进行金属及合金、冶金熔渣及无机材料等高温熔体的表面张力、密度、熔点、黏度、润湿性及接触角的精确测量和在线观测。应用于复合材料和功能材料的制备、金属提取与精炼、电镀与涂层、新能源的开发、表面活性剂高温渣剂的应用、陶瓷膜和仿生材料等工程领域。

二、产品特点与技术参数

该装置包括：高温熔化装置、数码相机和电脑在线数字化等系统。数码相机通过数据线与电脑连接，镜头为长焦距 CCD 镜头，高温熔化装置安置在 CCD 镜头前方，可以是竖式或横式电炉。提供的用于高温熔体观测的在线观测系统，通过其高精度的镜头在线摄得样品在高温熔融状态下的清晰轮廓图像。本系统自动化程度高，操作简便可靠，具有很高的测试精度，试验测试可重复性大，获得的轮廓图像可通过电脑进行熔体表面张力、密度和接触角等高温物性的计算和测量。

- 最高温度 1700°C；工作温度 25~1600°C；温度控制系统采用人工智能调节，具有自动和编制升降温曲线等功能。

- 完备的气路控制装置，炉内气氛可以确保高真空达到 10Pa，氧分压低于 10^{-12} MPa，也可以将炉内控制为氧化、还原和惰性气氛。
- 在线观测和测量系统确保高温物性测试值的重复性，特别是高温熔体表面张力的测量和计算软件系统具有在国内具有独创性。



图片仅供参考，实物随型号有变动

新型水质数字检测仪

目前，水质检测大部分依靠中心实验室检测，投入大，价格高且耗时耗力，现场检测是水质检测技术的一个发展趋势。

工学院以可生性光学（发光、荧光、颜色）变化为基础，通过可固定化的生物、化学传感器，制成芯片，实现同时分析多种目标分子，并开发出新型水质数字检测仪，为水质检测提供定量化、数字化的整体解决方案。该技术具有准确、灵敏度高、便于携带、经济、可同时分析多种目标等优点，可广泛用于各种水质检测场合。



振荡现象的自动检测与诊断

在现代工业生产制造过程中，常见问题之一是多个过程变量出现振荡现象（如图 1、2 所示）。振荡现象通常意味着能耗增加、产品质量下降、稳定性与安全性降低等问题，因此十分有必要能够及时准确地从数目众多的过程变量中检测出存在振荡现象的过程变量，找出导致振荡现象的根源，为排除导致振荡现象出现的根原因故障、消除其不利影响奠定基础。

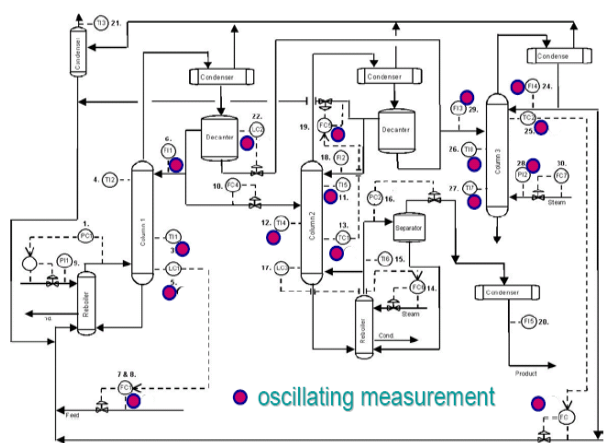


图1 生产单元出现多处振荡现象

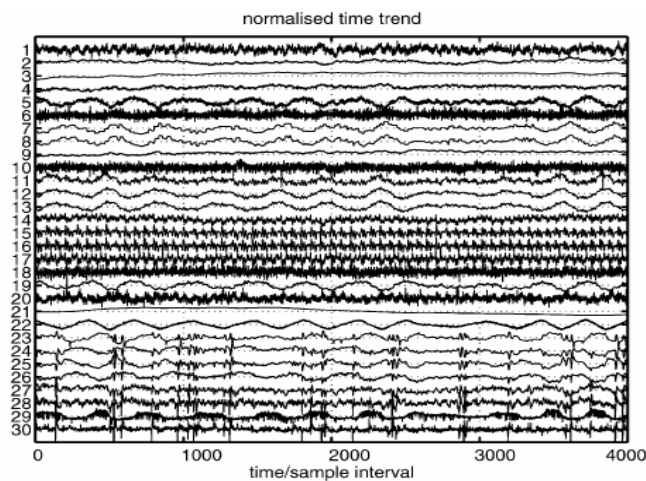


图 2 振荡信号的趋势图

本项目研发出一套对振荡现象进行自动检测与诊断的装置，基于工业现场数据，能够自动检测出振荡现象是否存在，给出振荡的周期，对不同模态的振荡进行自动分组，并寻找振荡现象的根源。

该装置是对工业生产进行过程监控、诊断、能效分析的有力工具。

项目的核心技术包括拥有独立知识产权的基于离散余弦变换的振荡检测技术^{[1][2]}和振荡分组技术^[3]，这些核心技术已经在多个工业生产装置上通过了检验。

[1] X. Li, J. Wang, B. Huang and S. Lu, The DCT-based oscillation detection method for a single time series, *Journal of Process Control*, vol.20, pp.609–617, 2010.

[2] 李希农、王建东，控制回路振荡检测方法，国家专利申请号：200910085670.7，2009年6月

[3] 李希农、王建东，全厂级振荡检测方法，国家专利申请号：200910085671.1，2009年6月

用于照相机手机自动调焦、变焦的压电微马达

一、项目概述

一个专业的数码相机需要人工智能和精确的马达光学镜头技术，以实现自动聚焦功能，并使用组合的光学和数字变焦来调整图像。据报道，摄像手机正在朝着组合专业式相机/摄像机发展，并具有 5.0 兆像素，100 分钟电影容量。然而，现在的摄像手机没有自动聚焦功能，因为传统电磁马达的效率和输出力矩随尺寸减小而明显降低，无法达到制作精确地驱动光学镜头系统的小马达的要求。

压电微马达/压电驱动器，是一种全新原理和结构的驱动装置，它不需要磁铁和线圈，而是利用压电材料的逆压电效应和超声振动来获得运动和力（矩）。它打破了电磁驱动的概念，具有低功耗、无电磁干扰等优点。有些结构简单价格低廉的压电驱动器已经成功地应用于许多精密仪器，但其无法满足连续工作、大行程、高精度、大力矩的要求，所以需要开发压电微马达。

本项目拟研发几种新型压电微马达（直径 1.0mm~5.0mm）产品，以满足摄像手机、数码相机、摄像机的技术需求，包括：（1）基于多层压电陶瓷驱动器的杆状微马达，（2）压电陶瓷管状微马达，（3）基于压电单晶的微马达。

二、应用范围

用于摄像手机、数码相机、摄像机中的自动聚焦、变焦、和防抖动传感与驱动。

三、技术特点

压电马达是近年来发展的一门新技术，它以压电材料激励的超声波振动为动力源，通过接触摩擦转换能量，形成旋转或位移输出，具有电磁马达所没有的许多特点：结构简单；低速大转矩；响应快（毫秒级），断电自锁，电磁兼容性好；形状多样化：圆形、方形、空心、杆状等等。

四、技术水平

本项目负责人提出的压电微马达在国际上处于先进水平，已经在压电微型马达这项目上工作超过十年，并且已经发表了几十篇论文，拥有十多项中国和美国专利。并在 2000 年获美国宾州大学材料进步一等奖。

在压电马达上的主要成果包括以下部分：

1. 第一个世界上最小的马达，直径仅 1.5mm，在各种不同的压电马达中属于最高水准。
2. 第一个低温环境下工作的压电单晶微型马达，可以在-200 ℃ 的温度下工作，适于太空应用。
3. 第一个多自由度的压电电流变流体步进式马达。
4. 发展了一种环型压电驱动器，以获得更大的驱动位移。
5. 发展了一种中心摇摆式的压电马达驱动方法，以获得更大的动力，同时有更好的位移分辨率。
6. 发展了一种剪切-剪切式行波方法，以促进下一代压电马达的发展。

7. 发展了一种压电旋转型微型马达和马达镜头机制，有着 12nm 的位移分辨率。。

五、项目所处阶段

中试阶段。

六、市场状况及市场预测

随着精密光学镜头越来越多的应用于摄像手机、小型数码相机、电脑摄像头、监视器摄像机等设备，可以预见市场对精密定位装置的需求将持续增长。

因为在摄像手机、数码相机和摄像机上的巨大市场，三星公司从 2003 年开始研发新的摄像手机，这种手机包含压电马达精密驱动的自动变焦和聚焦光学镜头，大幅改善画面质量。三星的目标是每年一千万马达摄像手机。

除了摄像手机，我们还能找到压电微马达和马达驱动微型光学镜头系统的许多应用，比如微型的数码相机/摄像机，和电脑摄像头等等。估计基于压电微型马达驱动的微型光学镜头系统市场份额会达到每年 10 亿美元以上。

七、所需设备及投资估算

精密机加工设备、微马达组装设备、性能检测设备。估计建设一条年产一千万微马达所需的设备投资约为 5000 万。

八、受让方接产条件

手表厂、压电元件制造厂、或电子元件厂。

九、效益分析

一个压电微马达的保守售价是 1 美元，成本是 0.5 美元。年产 1 千万微马达，将有 500 万美元的年利润。

十、合作方式

技术转让、联合开发。

工业生产单元的先进报警管理系统

报警管理系统对安全稳定生产的重要意义毋庸置疑，已经在各个工业领域得到了高度的重视。目前国内外工业中的报警管理系统普遍存在着报警泛滥（Alarm Flooding）等问题；近年来，起着主导作用的几个国际技术组织正在致力于修正和制定报警管理系统的新标准。尽管出现了这些报警管理系统的新标准，但是在生产实践中如何达到这些新标准却没有明确的方法和技术手段。

针对上述问题，我们将研发一个先进报警管理系统，主要包括以下功能模块：

- 1) **报警系统的性能评估：**对每个被监测的数据点，评估其报警系统的性能。评估指标包含误报率、漏报率、平均报警延迟、干扰报警率，这四个指标构成了报警管理系统性能评估的完整体系；
- 2) **报警器的设计：**通过引入延时环节、无作用区、滤波器等技术手段，设计合理的报警器，改进误报率、漏报率、平均报警延迟等性能指标；
- 3) **多个报警信号的综合：**根据生产单元的工艺流程，综合多个报警信号的联接关系，采用多元统计分析的技术手段，改进干扰报警率等性能指标；
- 4) **报警系统的整体评估与有理化设计：**根据历史数据，自动定期地评估报警管理系统的整体现状，并依据上述三个功能模块对报警管理系统的有理化设计给出指导性建议。

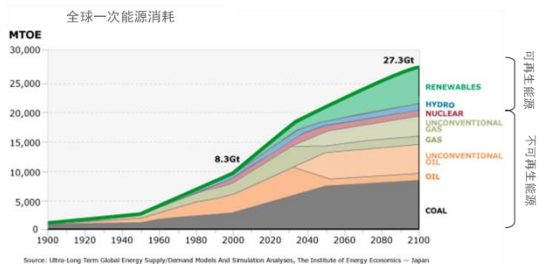
这四个功能模块是基于自行研发的创新性技术，它们构成了对报警管理系统进行性能分析和有理化设计的新框架，将成为保障工业生产单元安全稳定运行的必要组成部分之一。

可根据工程实际要求开发相关系统。

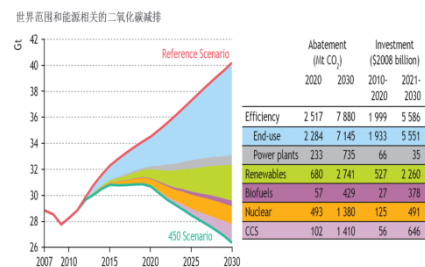
能效管理技术

能源紧缺与环境恶化已经成为全球面临的最大问题。在中国，持续高速的经济增长成为过去几年中全球经济的最大亮点，但同时也引发了能源供应危机及环境保护的巨大压力。节能增效已经成为社会经济发展的必然要求，越来越多的中国企业、机构和个人都投身到节能工作当中。对于每个企业来说，节能增效不再只是一个口号，它能切实的降低企业的运营成本，从而提高竞争力。

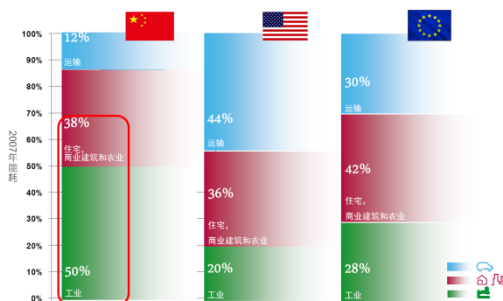
能源需求不断上升



- 50% 的二氧化碳减排来自终端的能源使用



中国的能源消耗分布
能耗分解：中国，美国和欧洲



可观的投资回报率

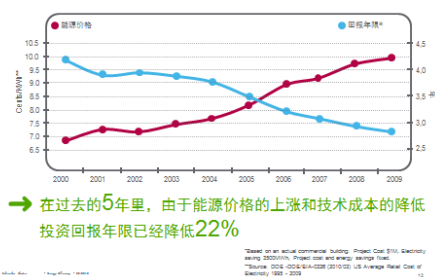


图 能源数据统计与分析

工学院发挥计算、仿真、优化等领域的技术优势，与世界 500 强企

业施耐德电气结为能效管理战略合作伙伴，为能源及基础设施、工业、数据中心及网络、楼宇和住宅市场提供节能、减排整体解决方案，致力于更安全、更可靠、更高效、更多产的能源使用，帮助用户提升竞争力。目前我们拥有多个节能增效的解决方案、项目服务方案以及 300 多种节能增效产品，能够帮助用户有效地实现节能降耗的目标。在能源使用的每个环节上帮助客户平均节省 10% 到 30% 的能源。

基于物联网的精益运行管理技术平台

一、项目背景

在工业工程视角下，企业的增值行为主要在生产现场。企业的主要资产也在生产现场。所以，企业管理的核心在于生产现场运行管理。

企业的信息化管理必须围绕生产现场运行管理作为核心。例如：制造业的生产现场为车间，码头生产现场为堆场与泊位，物流运输企业的生产现场为运载车队，医院的生产现场为治疗中心等。

由于现代企业的现场复杂且要求迅速处理现场动态问题，运行（运筹）管理是21世纪技术管理问题中最困难的学科之一。精益管理源于精益生产，并由“丰田生产管理”为典型的模式。“杜绝一切浪费”是精益管理的核心思想。精益管理的思想和方法（例如5S）在工业生产甚至社会经济领域产生了重大的影响。但是，产生于上世纪70年代的精益生产体系，由于没有系统工程、运筹学成果的支持，很多理论都停留在定性的分析和指导性的咨询层面。在世界工业产品的生产模式从大批量流水作业，向以市场化小批量客户化的模式转变的情况下，传统的精益管理理论和方法都不能适应当前企业管理需要。

在21世纪，运筹学的成果，计算机技术，尤其是复杂系统的优化技术使精益管理方法及技术得到迅速发展。我们研究的基于大规模优化领域的创新方法——嵌套分割法（NP方法），为现代精益管理提供了理论基础与技术保证。NP方法被列为国际上最先进的运筹学和管理科学重大成果之一。相关专著已由Springer出版。

二、主要技术内容



1. 工业软件：

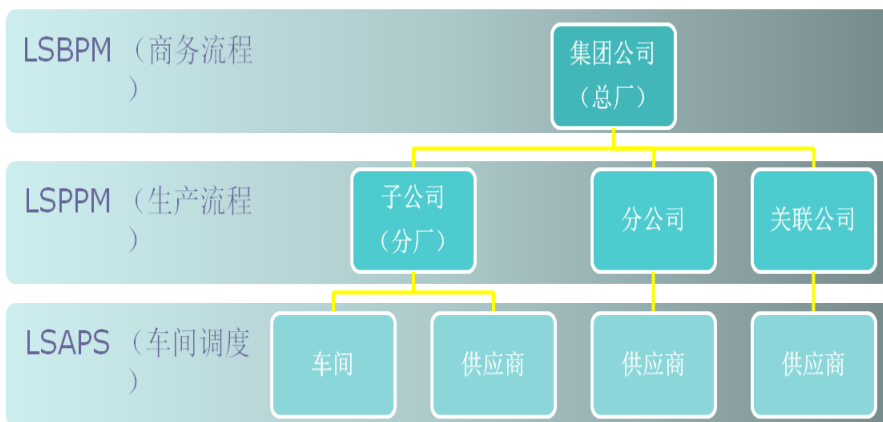
（1）精益管理系统

根据 KPI(关键指标)给出每个节点问题；同类问题在不同层面细化流程节点管理

精益系统成功地在装备制造业的变压器、电机、汽车零配件等行业使用

平均给企业提高产能 30%，减少库存 50%，提高客户满意度 90%；此项成果填补了信息管理软件的空白：

（2）制造业生产现场管理



(3) 商业化远程教育考试场优化排程系统

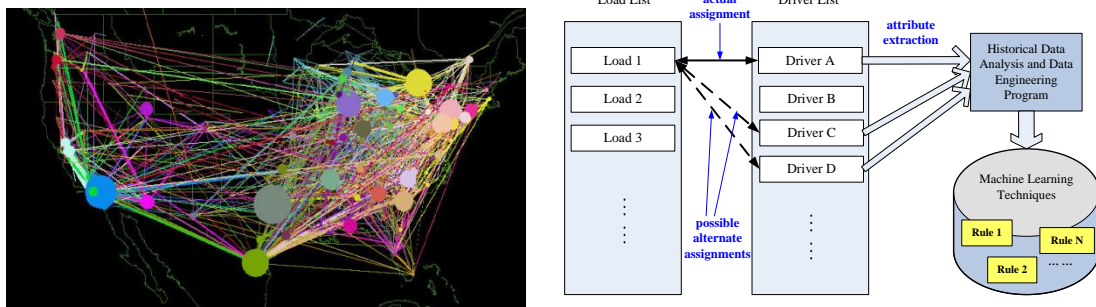
考试排程系统提高资源使用率达 40%，有效节省学校的费用，降低了教师的工作强度，节省了学校、教师、学生的宝贵时间。具有非常好的经济和社会意义。

本系统成功应用在中国最大的远程教育服务中心。

(4) 物流运营优化调度系统

物流配送系统的布局优化以及运输调度的优化是提高物流运营效率的关键。全世界的运输车辆有三分之一处于空载状态。

我们研发的优化配送布局系统可以提高运营效率达 20%，有效减少运输车辆的空载流程。

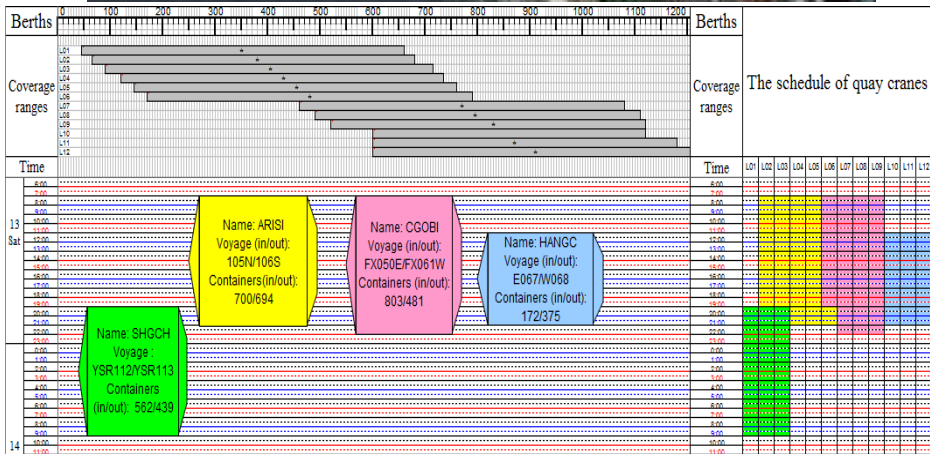


(5) 港口堆场泊位优化调度系统

港口泊位和集装箱堆场调度问题直接影响到港口作业的效率与效益。集装箱排程优化问题非常复杂，世界上最先进的码头管理系统之一 COSMOS 仍然需要手工操作堆场计划。

采用优化技术进行实时计划调度可以提高港口堆场计划的有

效率达 30%，堆场利用率达 20%，岸桥作业能力提高 30%。



二、主要创新点

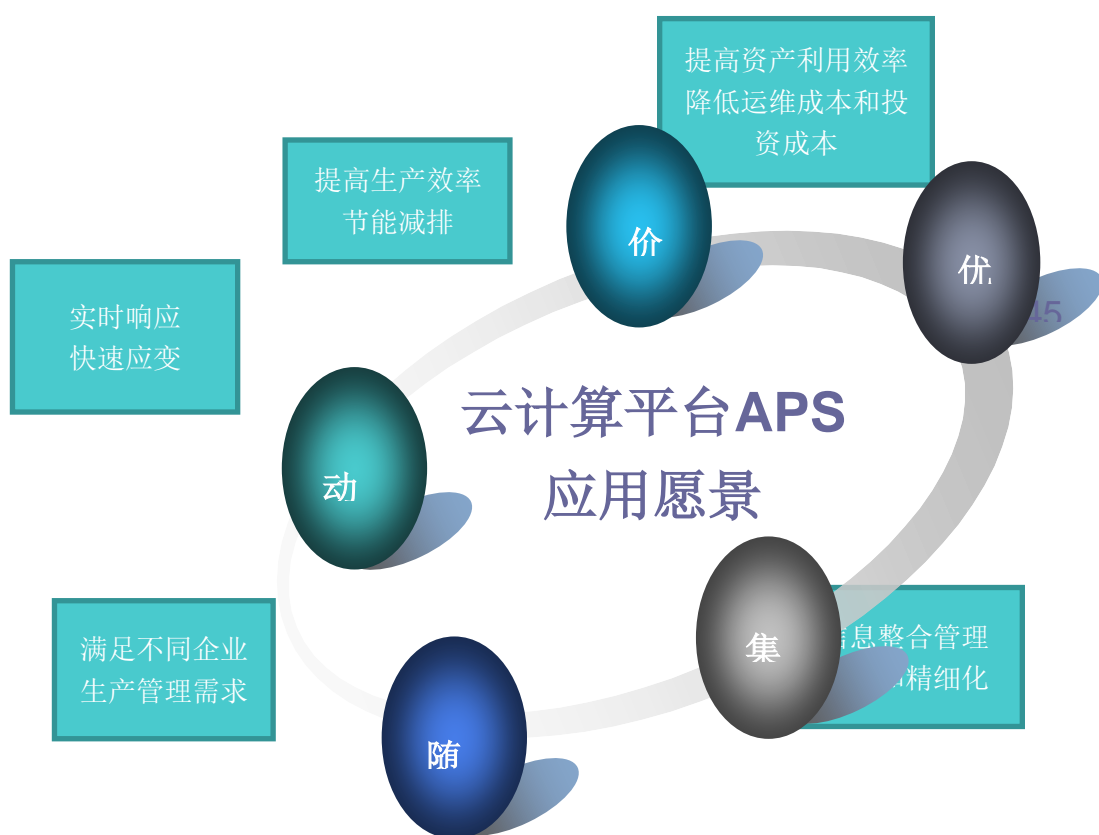
布局优化设计可以比较各种设计方案的结果，提高整体信息传递的工作效率。NP 方法是一个有效的全新的优化框架，特别是 NP 方法可以支持领域专家（领域知识）对优化过程的直接参与，并且将这一参与过程系统化从而证明它将生成一个马科夫链并且收敛到全局最优解。迄今为止，我们还没有发现有类似的优化方法存在。基于这一理论基础，我们可以对各种 NP 混合算法的收敛性进行定量研究，从而对每一类应用问题找到最佳算法并且给出判断最优解的置信区间。

1) 保证实时计划排程：我们采用的新方法（NP）方法能系统而有效地将领域知识（专业知识）及其它优化算法纳入到搜索过程中。从而使得搜索最优排程计划不再是个黑箱（Black-box），许多复杂的约束条件都可以在搜索过程中得到满足。由于 NP 算法的高效性，从而使得我们的产品可以做到实时计划调度。

2) 保证收敛到全局最优解：我们已经证明 NP 算法可以生成马可夫链从而全局收敛到最优解。

3) 提供最优解的置信区间：NP 理论基础使得我们可以提供最优解的置信区间。

4) 并行算法结构：NP 具有天然的并行算法结构。可以最大限度利用局域网资源，提高运算速度。



四、技术成熟和可靠性

技术成熟，可以直接应用到实际工作中。

五、 知识产权

自主知识产权。

六、 国内外相关技术现状与趋势

复杂系统的计划调度管理与资源优化配置事关我国国民经济长远发展。这些复杂系统如制造系统，交通物流，高速铁路，电力网络，生态环境，医疗系统，教育系统，金融系统等的有效管理与控制对我国国民经济下一步的发展具有重大影响，是关系到可持续发展和建立节约型社会发展目标的核心问题。

ERP 对于生产管理的缺陷是天生的，它出生之初的目的就是为了上层管理者服务的。ERP 中的生产部分一般由如下几大模块构成：MPS（主生产计划）、MRP（物料需求计划）、MOM（生产订单管理）、SFC（车间现场管理）。由于 ERP 是基于无限产能，并且是以订单向后“推出”的计划，所以无法给出生产详细计划准确交期详细的排产安排以及物料需。ERP 生产管理模块（MPS、MRP、MOM、SFC）提供的就是一个非常粗略的计划与生产过程数据采集统计功能，无法满足用户实际的生产流程控制。必须一个计划层和控制层之间的执行环节。于是，生产管理的任务当然地由 MES（制造执行系统）来完成了。MES 制造执行系统的理念起源于上个世纪 90 年代，MES 软件在最近若干年才逐渐成熟。MES 是在公司的整个资源按其经营目标进行管理时，为公司提供实现执行目标的执行手段，通过实时数据库连接基本信息系统的理论数据和工厂的实际数据，并提供业务计划系统与制造控制系统之间的通信功能。

近十多年来，中国通过 863 CIMS 项目应用的研究和推广，大大提高了企业的竞争力，使中国的制造业水平上了一个崭新的台阶。“十五”期间，国家 863 项目研究将 MES 作为重点研究课题，流程工业领域 MES 成为技术研究的突破口。

在离散型制造企业如何应用 MES 系统？在工厂底层自动化完善的车间或工厂，实施 MES 比较容易。但是目前中国制造企业底层自动化都不完善，通过自动化返回信息进行生产控制不可能一步到位，必须根据底层自动化水平的提高，局部完善。目前实施 MES 的实时生产信息必须由人工收集与输入。要充分发挥执行层 MES 的作用，必须加强底层（控制层）的基础建设。

七、市场状况

1.市场状况

产品市场份额：> 600 亿。

2009 年 GDP：33.5 万亿。

装备制造业：大约 6 万亿。

增加产能 10%→GDP 6 千亿。

2.市场竞争状况

竞争不充分，能够提供整体解决方案的企业不多；能够结合实际情况的要求，开展有针对性的研发和开发的单位就更少，因而发展个性化的解决方案是重要的竞争手段。

八、产业化方案

建立合作型公司，共同推进市场开拓和整体解决方案的开发实施。投资估算：1000 万元人民币。

新型多用途工业色差仪

一、项目概述

随着实体经济中产品的发展，对颜色的色差和亮度的质量控制要求越来越高，在现有的工业系统中色彩方面遇到的挑战随之也就越来越大。产品的色差检测在很多行业被列为国际检测的重点项目，比如，苹果手机的机身色彩合格率，等等。

所研究开发的色差检测仪将能够对被检物体进行色度、色差准确、可靠的数据测量和数据分析，在产品管理、生产、及销售等产业链各环节间，在验证产品合格率方面提供准确数据依据(避免各工程师对色差判断敏感度差异性的影响)，以及在环节中对色差检测进行标准化、降低企业的生产和经营成本，更重要是提高企业的产品合格率以及生产效率。色差检测仪已经广泛应用于塑料、涂料、染料、纺织、印刷、建材、化工、冶金等实体经济产品中，进行色彩配色分析及色彩品质控制。

所研发的色差计是一种体积小、电池驱动的手持便携式色差测量仪，适用于快速色彩控制。先测量目标，然后再测量样品。一秒钟后，液晶显示屏上即会显现色差值(以 $L^*a^*b^*$ 和 dE^* 等相应内容)。该色差测量仪采用 LED 照明，测量口径为 $<10\text{mm}$ ，适用于多领域应用。所有测量均在 LED(RGB)灯源和 10° 观察条件下进行。使用 XYZ 或 CIELAB 值输入 3 组针对特定应用的公式。另外，显示语言可设为英语、中文等。

二、应用范围

1. 色差测量仪主要用途包括(进行色彩配色分析及色彩品质控制)：

- 涂装领域

- 配色领域
- 橡胶塑料领域
- 印刷领域
- 纤维、染色领域
- 食品领域
- 农林、水产领域
- 化工领域
- 建材领域
- 冶金领域
- 陶瓷工业领域
- 住宅建设领域等

2. 色差测量仪最终将实现的主要功能包括：

- 工艺配色管理系统
对产品工艺进行配色流程的控制和管理。
- 检测物表面均匀度分析
利用图像处理技术对检测物的表面颜色分布均匀性进行分析。
- 检测物粗糙度分析
利用图像处理技术对检测物的表面粗糙程度进行分析。
- 人性化的人机体验
自动黑、白板校正功能；
将符合人体力学的外观结构设计；
简易的操作界面。
- 测量稳定
 ΔE^*a^*b 的波动应小于 0.3；
便携式设计，测量时稳定机身。
- 灵活、准确的取景和定位功能
摄像头的取景和定位，解决小面积的物体的测量；
光照定位功能。

- 更丰富的测量模式
 - 2 种测量口径，适合更多场合；
 - 3 种颜色空间，或更多的色系选择；
- PC 端软件实现更多的功能扩展
 - PC 端软件拥有自主知识产权，随产品一起发布；
 - 可进行色差分析、色差累积分析、色度指标、色样数据库管理等。
- 先进的电源管理设计
 - 在色差仪中将使用可充电的锂电池；
 - 可反复充电使用，充电一次达到测量 6000 次以上，多次测量数据达到稳定、一致。
- 采集校准功能
 - 对仪器的颜色采集变换参数进行校准，提高仪器的检测的准确性。
- 数据传输功能
 - 和 PC 间通过 USB 进行数据传输，用以备份被检物品的检测数据。
- 数据管理功能
 - 对存储在仪器内的标准数据和被检物品的检测数据进行存储和删除等。
- 自定义容差设置
 - 人性化的自动判别色差合格是否，颜色偏向，无需专业知识就可对色彩做出判断。

三、技术优势

1. 技术特点：

- 面阵传感技术

- 网络通信
- 图像分析技术
- 可控三色 LED 照明
- 在线自动颜色检测
- 色料和工艺管理数据库

2. 技术指标：

照明/受光方式	45/0
测量孔径	8mm
测量时间	100ms 左右
侦测器	面阵传感器
色差空间	ΔE^{*ab} ΔL^{*a*b} CIE_Lab、 CIE_XYZ
光源器件	LED
仪器台见差	
存储	可存储 1000 组标准值、1000 组采样值以及 1000 组色差数据
重复性	标准偏差 ΔE^{*ab} 在 0.3 以内
重量	300g
尺寸	100×50×160mm
电源	可充电的锂电池或适配器
LED 灯寿命	5 万小时
充电后可测次数	6000
操作温度范围	温度 0~40° C 相对湿度 85%以下（不可结露）

数据接口	USB、串口、以太网
------	------------

四、技术水平

相对于国外的同类产品，所研发的色差仪不仅具有它们的功能，也是用了独创的一些专业技术：

- 在产品中使用了测色色差计的颜色校正
- 面阵传感技术
- 可配三原色独立照明
- 表面图像分析

目前在研发原型系统过程中，已经申请了一篇专利，专利受理号：201110156725.5

拥有自主软件著作权。

五、开发计划进度

进度安排	产品研发进度
现阶段	已有色差仪的原型机
2012.10——2013.8	产品样机
2013.8 ——2013.12	成熟、稳定产品

六、市场状况及市场预测

1. 目前市场状况

在出售的色差仪主要都是国外进口的设备仪器，价格普遍较高，产品的选择性比较少，这样增加了所需色差仪的企业生产、经营成本；国内色差仪才刚刚进入起步阶段，而且国内产品没有提供完整的产品生产各环节的解决方案。

2. 市场预测

随着国内企业所生产的产品渴望在国际市场获得有利的竞争力，就需要用严格的国际标准来从事产品的指标生产活动，从产品的质量和成本上以及用户体验上均要获得残酷的国际试验的检验和认可，这样就需要更加专业的检测仪器在产品生产的前期、中期以及后期对产品的色差进行严格的分析和检测。在这种趋势下，国内各企业就需要精确的色差测量仪器，色差检测仪将会得到更加广泛地使用，有着很广阔的市场情景。预计年销售额应该能够达到 2000 台。

七、投资估算

总的研发投资包括三部分：1) 器件成本费用；2) 研发软硬件的费用；3) 产品的专业机构认证；

1. 器件成本预算表：

类别	单价(单位元)	数量	小计	期别
电路	200	1		第一期
光学器件	140	1		
外形结构	60	1		
总计	20000 元= (400*50 台)			第一期

2. 软硬件研发件投资概算表：

类别	小计（单位：万元）	期别
研发所需软件费用	10	
软件开发费用	60 (=15*4 人/年)	
硬件开发费	20 (=10*2 人/年)	
外观设计费用 (包括模具费用)	20	
制版加工费(焊接费)	2(50 套)	

总计	112	第一期
----	-----	-----

3. 产品的专业机构认证：

类别	小计(单位：万元)	期别
样机检测	1	
样机认证	1	
总计	2	第一期

八、所需费用

类别	小计（单位：万元）	期别
办公环境	15	
办公用品	10	
软硬件研发费用	112	
产品认证费用	2	
成品加工费用（1000 台）	40	
推广费用	50	
总计	229	第一期

九、效益分析

所开发产品的销售价格比同样国外的产品要低大概 30%左右（预计每台 5000 元），这样降低了企业的生产成本，企业选择所研发的色差仪的积极性高。

销售量	销售额	成本	利润
2000	1000 万	229 万	771 万

十、合作方式

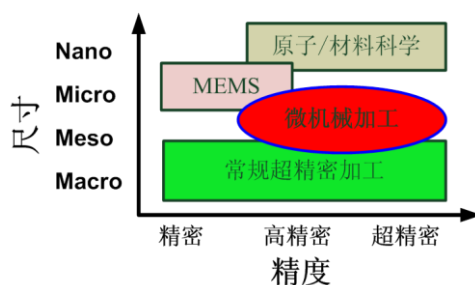
技术开发或技术转让。

压电超高精密微型数控雕刻机床

一、项目概述

微小部件、产品以及 MEMS 技术在汽车、航空航天、通信、医疗等领域越来越广泛的应用，对微纳米制造技术提出了更多的需求和更高的要求。微米制造技术是连接宏观制造和纳米制造的桥梁，广义上指的是微米系统的制造设备及其相关的各种制造工艺。目前，随着单件小批量产品需求的增多，常用的激光、超声、等离子束、电火花等方法凸显出其固有的缺点。由于需要采用昂贵的掩模板，这些方法的加工速度慢，仅适合于硅基材料，仅适合于平面加工，且在小批量生产时效率低下。为解决上述问题，将宏观的机械加工拓展到微米级的微米机械加工技术（Micro Cutting）开始引起了人们的兴趣。

微机械加工介于常规超精密加工和 MEMS 精度要求之间，是制造 MEMS 器件的重要手段。微型数控雕刻机床是微米机械加工的执行器件，通常需要采用非常精确的电机对加工轨迹进行精密控制。压电马达，由于其高精度（ $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ ）、小尺寸、响应速度快（ 0.3ms ）等等特点，非常适合用于构建微型数控雕刻机床。本项目旨在采用压电马达构建微型数控机床系统，重点研究压电马达的控制理论、微米数控系统的开发，微加工工艺的设计等。



二、应用领域

精密机械与精密磨具加工、微电子加工、微型机器人手与精密组装、精密光学镜头加工等。

三、技术优势及技术水平

系统所应用的关键技术均为自主研发，且具有多年的研究基础。申请者已在压电领域进行了 20 多年的研究，拥有 20 个与压电马达、压电、磁电传感器相关的中国、美国发明专利。构建了能够涵盖整个项目内容的强有力的开发团队。

主要技术指标

加工精度：0.1~0.5 微米，高于常规精密加工机床一个数量级；

加工范围：40 × 40 × 30mm。今后根据发展需要，再发展大行程压电驱动器。

四、市场评估

在中国，大型数控机床需求大约在 2 万台/年；微型数控机床的需求：1000 台/年；以单台市场价格 100 万计算，中国市场约在 10 亿/年。而国际上市场应该是国内市场的 10~100 倍。所以该产品的市场前景广阔。

五、合作方式

技术转让/合作开发。

压电高精密细胞立体显微注射 与数控操作系统

一、项目介绍

引进压电微马达的微-纳米定位功能，发展一种可在显微镜或视频下数控操作的细胞精密微量注射与数控微-纳米操作技术，取代昂贵的进口产品。该技术主要用于细胞显微注射：将细胞的某一部分(如细胞核、细胞质或细胞器)或外源物质(如外源基因、DNA片段、信使核糖核酸、蛋白质等)通过玻璃毛细管拉成的细针，注射到细胞质或细胞核内。该技术是研究各种生物分子的作用、制作转基因动物、克隆动物等的重要技术。在生物、医学领域具有广泛的应用，目前国内所有高档的细胞显微注射设备均为进口。

二、应用范围

本项目旨在发展利用压电马达构建精密的数控微纳米操作系统，重点研究压电马达的精密控制、微纳米操作数控系统、立体的显微细胞操作和细胞注射仪器、以及系统研发。

三、技术优势及技术水平

1. 主要技术指标

压电直线马达：步进精度：0.1 微米，高于常规操作一个数量级；行程： $\pm 5\text{mm}$ ；运行速度：10~100mm/s；瞬间穿刺速度：程序数控操作系统。

2. 研究优势和先进性

系统所应用的关键技术均为自主研发，且具有多年的研究基础。

本项目负责人已在压电领域进行了 20 多年的研究，拥有 20 个与压电马达、压电、磁电传感器相关的中国、美国发明专利。构建了能够涵盖整个项目内容的强有力的开发团队。

本项目合作人，为北京大学医学部人体组织胚胎学系教授，长期研究细胞、组织相关的课题。北大工学院与医学部的合作，可以很好的发展最先进的压电细胞注射与精密细胞操作仪。

四、市场状况及市场预测

在中国，几乎所有高、中档精密细胞注射、操作仪，均为压电驱动，并为国外公司控制；国内厂家仅仅能生产手动式或电磁步进马达驱动的低端细胞操作仪。

国内细胞注射与细胞操作仪的市场需求大约在 1 万台/年；以单台市场价格 10 万计算，市场需求约在 10 亿/年。而国际上市场更大，所以该产品的市场前景广阔。

五、合作方式

技术转让/合作开发。

火电厂 AGC 及其下层自动控制的性能

监测与优化调整系统

一、项目概述

火电厂 AGC 及其下层自动控制的性能监测与优化调整系统，是对机组 AGC 的性能进行实时监测，根据监测结果对 AGC 的控制器参数与控制策略进行优化调整，为了保障 AGC 的良好性能，对影响 AGC 功能的机组下级主要子自动控制系统性能进行实

时监测，根据监测结果对控制器参数与控制策略进行优化调整。

该系统的关键技术是北京大学工学院智能电网技术研究所、山东电力科学研究院经过长期深入研究提出的，已经成功应用于多个火力发电机组，取得了较好的经济效益，相关项目已通过科技成果鉴定会，其鉴定意见认为关键技术达到国际领先水平。

二、应用范围

本系统可在全国电力系统中推广应用。首先，能够用于火电机组等发电单位，提高与维护机组 AGC 与一次调频性能，在为电网提供辅助服务的竞争中占据主动，直接提高机组经济效益；第二、能应用于调度单位与技术监督部门，使调度中心充分掌握机组 AGC 与一次调频性能等状态信息，为合理化调度提高信息支撑，提高调度与自动监督水平。

三、技术优势

该系统具有以下重要的技术优势：

- 可以从日常运行数据中开展 AGC 及其下层自动控制的性能评价，而现有方法往往需要进行斜坡实验或阶跃实验等特殊实验；
- 可以针对“华北电网 AGC 性能指标计算及补偿考核度量办法”，对控制策略与控制器参数进行优化调整，提高与保持 AGC 性能指标；
- 新方法明确给出了 AGC 及其下层自动控制的性能评价的基准值，指出 AGC 系统的性能是否存在改进空间，而现有方法通常采用经验值作为基准，无法得知是否具有改进空间；
- 新方法综合使用了实发功率的动态变化曲线上全部信息，

而现有方法仅从动态变化曲线上的有限点上获得所需信息，因此新方法具有较强的克服随机误差的能力；

- 新方法考虑了主汽压力作为外部干扰对 AGC 系统性能评价结果的影响，而现有方法无法克服主汽压力的影响。

四、技术水平

本技术已经通过科技成果鉴定会，其鉴定意见是“发电机组 PID 控制回路动态性能基准及性能指标计算方法达到国际领先水平”。本技术在研究过程中，其部分核心内容已经申请 3 项国家发明专利，发表 2 篇 SCI 论文。

五、应用实例

本系统已经在多台发电机组进行了成功应用。例如大唐黄岛发电有限公司的#5、6 机组（2×670MW）自 2007 年投产以来，协调控制系统一直不能正常投入运行，更不具备 AGC 功能，电网调度中心对其 AGC 功能一直没有备案。从 2011 年 5 月份开始，利用本系统对机组的 AGC 及其下层自动控制回路进行性能监测和优化调整，性能逐渐提高，最终通过电网调度中心的验收。

六、合作方式

技术合作或技术转让。

微纳米定位 z-轴快速扫描压电驱动器

一、项目概述

1. Z-轴微纳米定位快速压电驱动器：

开发一种小型纳米定位压电驱动平移台，竖直方向（Z 轴）上提供 500 微米的行程，专门用于共焦显微镜和三维成像等应用中的样品可视化和采样。其配套的设备有闭环压电控制器、电脑控制软件、和压电驱动器本身。

2. 改进型高精密光学三维扫描系统

利用研发的 Z-轴微纳米定位快速压电驱动器，作为目前光学三维扫描系统的核心部件之一的光栅微型精密位移平台，是高精度光学三维扫描系统的关键零部件，其定位精度，定位速度及相应时间直接影响到光学三维扫描系统的测量精度和速度。





二、应用范围

专门用于共焦显微镜和三维成像等应用中的样品可视化和采样。

三、技术领域

精密测试、精密光学扫描仪器、3D 数码相机，精密数控加工、纳米科学技术。

四、技术优势

1. Z-轴微纳米定位快速压电驱动器：

分辨率：~10nm；

响应时间：10 微米/1 μ s

驱动力：2N。

2. 改进型光学三维扫描系统：

光栅靶面规格：6.7 * 5.3 毫米；

光栅条数：150；

光栅间距：45 微米；

定位精度：10nm；

对比度：1000：1。

五、技术水平

发展一种先进的环状压电驱动器，其中空部份可以用来驱动被测样品，实现快速超精密驱动。中国发明专利正在申请中。

开发改进型高精密光学三维扫描仪，提高三维扫描仪的精度和分辨率，相应中国发明专利正在申请中。

六、开发计划进度

1. 已有研发基础

申请者已在压电马达产业化方面做了大量工作，具有 20 多年的压电驱动器研究经验，拥有 20 个与压电马达、压电、磁电传感器和相关的中国、美国发明专利。这些工作基础将为本课题的开发工作顺利实施打下良好基础。

合作公司在光学三维扫描技术领域具有 25 年的研究经验，在国内具有近 10 年的产业化推广经验，拥有近 10 个产业应用产品体系。

2. 项目研究方案

开发一种小负载微纳米定位压电驱动平移台，可在竖直方向（Z 轴）上提供 500 微米的行程和产生 2N 驱动力，研究方案为：

首先进行 Z-轴压电驱动器设计与仿真；

根据仿真结果，制作压电驱动器；

纳米-微米位移、负载测试；

闭环运动控制与驱动；

电脑控制软件；

共焦显微镜测试。

改进型高精密光学三维扫描系统，研究方案为：
制作微型光学三维扫描系统高精密光栅波片；
设计制作高精密微型光栅位移平台；
设计微型光栅波片投影光学系统；
对结构光投影系统进行仿真模拟；
光学三维扫描系统与 Z-轴压电驱动的电路融合；
光学三维扫描系统与 Z-轴压电驱动的控制软件融合；
制作由 Z-轴压电驱动的高精密光学三维扫描仪；
精密光学三维扫描仪测试评价。

七、市场需求

具有纳米-微米分辨率的 Z-轴精密压电驱动器，是目前共焦显微镜和三维数码成像等精密仪器的核心配件。目前美国 Thorlabs 提供的 MZS500-E 型 z 轴驱动器，在中国基本是独家产品，价格太高，约 9 万多人民币。在显微调焦和三维精密扫描，3D 数码相机市场，如能做到 2~3 万左右的价格，将具有十分显著的竞争力，保守估计国内需求：1 千台/年；国际需求：约 1 万台/年。

光学三维扫描系统在航空航天，精密加工，精密成型，模具，产品质量检测等方面有大量的产业需求，是我国产业升级的重要支撑技术设备。

八、投资估算，效益分析

自主知识产权+高技术+低成本 ——取代昂贵的进口产品。
压电驱动器：成本：1000.00 元；
控制电源：目前市场价格在 2 万元；新开发电源：3000 元左右；

控制软件：RMB2000.

总售价：3 万元；

利润：>1 万/台

3 一年产值：> 3000 万；利润：> 1500 万。

九、合作方式

技术转让或技术开发。