

清华大学科技成果重点推广项目

一、电子信息领域（35项）

NO. 1 新型柔性高频天线

1 成果简介

当前半导体信息技术的飞速发展促使电子产品向高集成度、微型化、智能化、低功耗等方向发展，最终的目标是将功能单元实现在单一芯片化。无线通讯作为物联网技术的主要节点，其关键技术性能取决于天线设计。目前无线通讯技术主要包括无线 RF433/315M、蓝牙、Zigbee、Z-wave、LoRa、4G/5G 等。目前 4G、5G 移动通讯以及物联网技术的推广与发展，频带调制、信息互联和高速数据传输对天线的设计要求愈来愈高。通讯天线的设计已经从低频向高频，从单一频段向双频、三频、四频等多频方向发展。然而目前的天线设计主要基于半导体制备及可重构技术，如开关切换天线的谐振点，及电压调节改变天线的等效阻抗等，来实现天线的多频化。

碳纳米管和单层石墨烯的成功发现获得开始吸引研究者的兴趣。碳纳米管和单层石墨烯简单的结构、优异的性能和极高的电子迁移率，被认为是后硅 CMOS 时代最有竞争力的电子材料之一。由于碳纳米管和石墨烯高电子迁移率、优异的力学性能及天然柔性等优点，随着微电子学、材料学和半导体制造工艺技术与凝聚态物理学等多个学科的不断发展和进步，通过新型结构和材料体系设计，柔性高频碳纳米管和石墨烯天线已成为可能，并进一步缩小系统占用空间，提高器件集成度和高性能的重要发展趋势。

课题组在国家自然科学基金等项目资助下，结合合作团队的研究优势，以碳纳米管、石墨烯及复合材料的优化与制备为基础，优化器件结构与尺寸设计，结合 HFSS 电磁仿真模拟，研发出可应用于无线通讯的新型柔性高频天线。课题组在过去几年中分别在高质量碳纳米管、石墨烯、透明电极或复合材料的高频应用、性能测试、高性能射频天线调控机理研究等方面积累的丰富材料和物理经验，对研究多频带可调谐、柔性透明天线奠定了前期基础。

2 效益分析

由于目前国内外尚无同类产品，随着柔性可穿戴产品的不断上市，柔性高频天线的需求也会越来越迫切，因此本成果具有较大的推广空间。

3 合作方式

转让或者联合推广。

4 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 2 DTMB 调制器/信号发生器

1 成果简介

2006 年 8 月,我国颁布了地面数字电视强制性国家标准(GB20600-2006,标准的英文缩写为 DTMB)。近年来,DTMB 在全国范围内逐渐推广,带动了一大批相关企业的发展。其中接收终端的生产厂家、接收芯片的研发企业迫切需要 DTMB 调制器用于接收终端和接收芯片的研发调试。为此,清华大学利用自主研发的 DTMB 信道编码调制专用集成电路 DT6010,研发成功高性能 DTMB 调制器。

2 技术指标

- 工作频率范围: 474~858MHz;
- 频率步进间隔: 1MHz;
- 码流输入接口: ASI/SPI;
- 输出功率: -10~-40dBm, 功率调整步进间隔: 1dB;
- 工作模式: 支持 GB20600-2006 所有 330 种模式;
- 调制误差率(MER): 32dB, 频谱带肩: 49dB;
- 内置信噪比测试功能;
- 内置 PCR 校正功能;
- 可内置 MPEG-2 编码器模块。

3 应用说明

本信号发生器可接收外置的码流播放器或编码器提供节目流,也可以使用内置的 MPEG-2 编码器提供的码流,通过用配套的按键和 LCD 显示屏设置输出信号中心频率、输出信号功率、工作模式、信噪比等参数,可在现场或实验室对 DTMB 接收机、芯片进行相关指标的调试。

4 效益分析

目前已经完成设备的定型,单台硬件成本约不超过 1 万元。

5 合作方式

技术转让、合作开发。

6 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 3 高速 USB 记录与回放设备

1 成果简介

在现代的传输系统中,信息量越来越大,实时性越来越强。在不能保证所有信息都实时处理的情况下,如何保证实时信息的获取与存储是一个关键的问题。在很多传输系统中,都要求将原始信息保存一定的周期,这也需要实时获取信息并存储。另外,在系统调试中,也需要对某些信息进行采集分析,并将原始数据回放进行进一步的调试。

清华大学经过长时间的研究和实验,开发出一种利用计算机 USB 接口的实时记录回放设备。

2 技术指标

- 记录速率：1~320Mb/s;
- 回放可适应速率：1~160Mb/s;
- 记录回放误码率：优于 1×10^{-11} ;
- 接口电平：ECL、LVDS、TTL、LVTTTL 可选。

3 应用说明

USB 记录与回放设备通过计算机USB 接口，实时地将数据记录存储到计算机的硬盘上，并可以将硬盘上的数据以数据流的形式回放出来。该设备只需配备一台普通 PC 机或笔记本电脑，安装相应的软件即可使用，操作简便。设备体积仅 $300 \times 200 \times 40 \text{mm}^3$ ，重量小于 1 千克，便于携带。

4 效益分析

目前已经完成设备的定型，单台硬件成本不超过 1 万元（不含PC 机）。

5 合作方式

技术转让、合作开发。

6 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 4 可变带宽无线多媒体传输系统

1 成果简介

为满足安保行业对移动无线视频传输的需求，清华大学利用在数字电视广播技术领域的长期积累，研发成功可变带宽无线多媒体传输系统。该系统采用清华大学自主发明的 TDS- CP-OFDM 技术，可在 3~20 公里范围内将一路高清晰度的现场图像和声音实时回传，具有移动速度快、抗干扰能力强、绕射能力强、覆盖范围大、图像清晰流畅等特点，已广泛应用于公安、消防、武警、电视台等行业，在安全保卫、抗震救灾、新闻报道等领域发挥了重要作用。

2 技术指标

- 工作频率范围：300~850MHz 或其他工作判断;
- 频率步进间隔：166KHz;
- 发射功率：10W（车载发射机）、1W（单兵发射机）;
- 接收灵敏度：优于-102dBm;
- 带宽：1/1.33/2/2.67MHz 可调;
- 覆盖范围：10~20 公里（车载）、3~5 公里（单兵）;
- 视频编码方式：H.264/MPEG-2;
- 图像分辨率：D1。

3 应用说明

通过在城市制高点设置接收基站，在移动的车辆上安装车载发射机或由单人背负单兵发射机，将摄像机拍摄的现场图像和声音实时地传送到接收基站，再通过光缆将收到的图像由

基站传送到指挥中心，使指挥员在第一时间了解现场的实时情况，及时进行指挥和处置。

4 效益分析

目前已经完成设备的定型，单台硬件成本约 1 万元。

5 合作方式

技术转让、合作开发。

6 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 5 PLC+VLC 传输系统

1 成果简介

PLC+VLC 系统是清华大学自行研发的一个实验系统，它利用 TDS-OFDM 系统的优异性能，把数字电视信号在 PLC+VLC 的混合信道中传输，在 8MHz 带宽内传输的净载荷高达 24Mb/s，其系统的构成如图 1 所示：

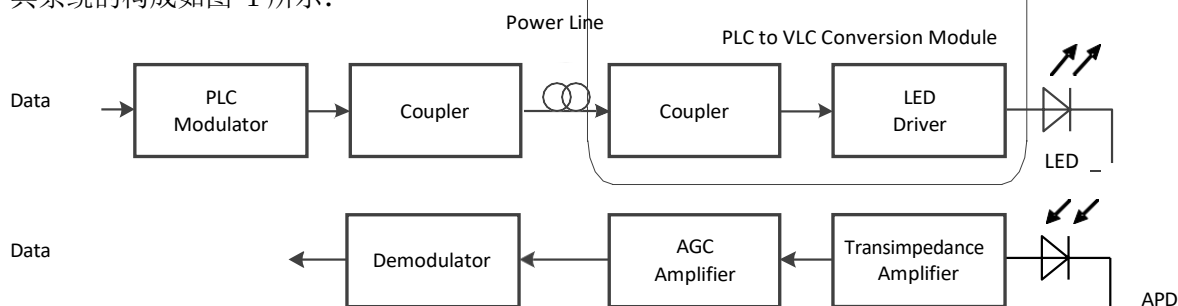


图 1 PLC+VLC 系统框图

经过视频编码之后的数据，在 PLC 调制器中完成 TDS-OFDM 调制，输出一个低中频信号，耦合到电力线中，通过电力线把信号送到 LED 灯头，用耦合器取出信号，经过滤波、放大、驱动之后，点亮 LED 光源，灯的亮度随着信号在快速地明暗变化，OFDM 信号被调制到 LED 灯的亮度中。经过一段距离的传输，用 APD 光探测器把光信号转换成电信号，经过跨阻放大、AGC 放大之后，用解调芯片进行解调，输出的数据经过解码之后，得到视频和音频信号在电视上播出。本系统的优势在于不需要重新布线，用家庭内部原有电力线即可完成数字电视的传输，只需要更换 LED 灯头。

系统的主要性能指标如下：

- 调制方式：TDS-OFDM；
- 信号带宽：8MHz；
- 传输净载荷：>24Mb/s；
- 电力线传输距离：>100 米；
- 可见光传输距离：>8 米；
- 不需要严格对准；
- 不受室内背景光干扰。



图 2 PLC+VLC 系统实物

2 应用说明

主要用于室内传输数字电视信号，可以传输超高清、高清、标清节目，也可用于隧道、涵洞、井下、矿区等场合，进行实时通讯、图像、视频传输等。

3 效益分析

PLC+VLC 系统具有传输数据率高、工程造价低廉、施工简便等特点，可以利用已有电力线路和照明设施，特别适用于通讯线路部署和维护不便的场所。

4 合作方式

转让或者联合推广

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 6 超高清 UHD TV 数字电视系统

1 成果简介

超高清数字电视系统由清华大学自主研发，包括接收、解码、显示等系统设计和实现。

UHD TV 系统用 4K 视频信号编码形成近 50Mbps 传输流接收解复用、视音频解码采用多处理单元完成的 UHD TV 样机是国内率先完成的系统。

主要技术指标：

- 信道传输技术：DTMB-A
- 数据速率最高达 50Mbps
- 视频分辨率达 3840×2160
- 视频编解码：H.265、H.264
- 实时传输、解码、显示一体机系统

2 应用说明

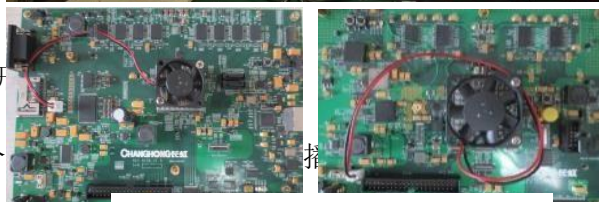
可用于超高清数字电视机顶盒和一体机的研发

3 效益分析

超高清显示的电视机已批量生产，部分超高清接收、解码和显示全系统尚为空白。

4 合作方式

联合研发推广。



上图 传输图像、机顶盒

- 5 所属行业领域
电子信息领域。

NO. 7 高端数字电视芯片 SoC 设计

1 成果简介

芯片的重要功能包括：地面数字电视传输标准 DTMB、有线数字电视传输标准、AVS/MPEGII 解码和 UTI 接口等。清华大学是 DTMB 的重要技术提供方，已经于 2007 年 11 月顺利完成了 DTMB 解调芯片的 MPW 流片，主要性能与国内最好产品的指标相当，一些指标国内领先，当前正在完成国家重大专项数字电视 SoC 设计和产业化项目。清华大学同时也是工信部确定的《数字电视接收机 UTI 机卡分离接口技术规范》和《数字电视接收机 UTI 机卡分离接口测试规范》两项标准的牵头研发单位。在电视机产业面临升级换代的关键时刻，我们愿意充分发挥自己的技术优势，与合作伙伴一道，以国家重点支持的高端数字电视芯片 SoC 设计为契机，开发出低成本、高可靠性和有市场竞争力的芯片，为当地电子信息产业的发展尽微薄之力。

2 效益分析

国内市场所有电视机厂商均可采用本芯片，项目完成后预计芯片年产量在 500~1000 万片。

3 合作方式

商谈。

4 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 8 宽带电力线通信数字家庭网络

1 成果简介

清华大学宽带电力线通信（Powerline Communication, PLC）技术方案和系统设计。与已有的方案不同的是：本方案的核心技术将采用具有自主知识产权的时域同步正交频分复用

（TDS-OFDM）技术，在保证技术先进性的同时，为国内相关企业提供一定的技术保障壁垒，在产业传输之初能够有效避免国外公司的竞争。清华大学在与美国波音公司合作进行的研究中，已经完成了系统方案设计、关键技术研究、系统的 FPGA 验证。目前，正在与国家电网合作进行 PLC 组网技术研发。本项目合作方向包括 PLC 专用芯片设计、PLC 家庭网络产品等。

2 应用说明

涉及全国亿万家庭，首先可在有条件地区试验推广应用。

3 合作方式

商谈。

4 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 9 声纹识别

1 成果简介

声纹是对语音中所蕴含的、能唯一表征和标识说话人身份的语音特征参数及基于这些特征参数所建立的语音模型的总称。声纹是人的生物个性特征，很难找到两个声纹完全一样的人。

声纹识别技术属于生物识别技术的一种，是一项根据语音波形中所蕴涵的说话人信息，自动识别说话人身份的技术。与语音识别不同的是，声纹识别利用的是语音信号中的说话人信息，而不考虑语音中的字词意思，它强调说话人的个性；而语音识别的目的是识别出语音信号中的言语内容，并不考虑说话人是谁，它强调共性。

声纹识别根据应用的范畴，可分为两类：（1）声纹辨认（说话人辨认）：用以判断某段语音是若干人中的哪一个所说的，是“多选一”问题；（2）声纹确认（说话人确认）：用以确认某段语音是否是指定的某个人所说的，是“一对一判别”问题。

声纹识别与其他生物识别技术，诸如指纹识别、掌形识别、虹膜识别等相比较，除具有不会遗失和忘记、不需记忆、使用方便等优点外，还具有以下特性：

- 用户接受程度高，由于不涉及隐私问题，用户无任何心理障碍；
 - 利用语音进行身份识别可能是最自然和最经济的方法之一。声音输入设备造价低廉，甚至无费用（电话），而其他生物识别技术的输入设备往往造价昂贵；
 - 在基于电信网络的身份识别应用中，如电话银行、电话炒股、电子购物等，与其他生物识别技术相比，声纹识别更为擅长，得天独厚。

2 应用说明

由于与其他生物识别技术相比，声纹识别具有更为简便、准确、经济及可扩展性良好等众多优势，因此可广泛应用于安全验证、控制等各方面，特别是基于电信网络的身份识别。

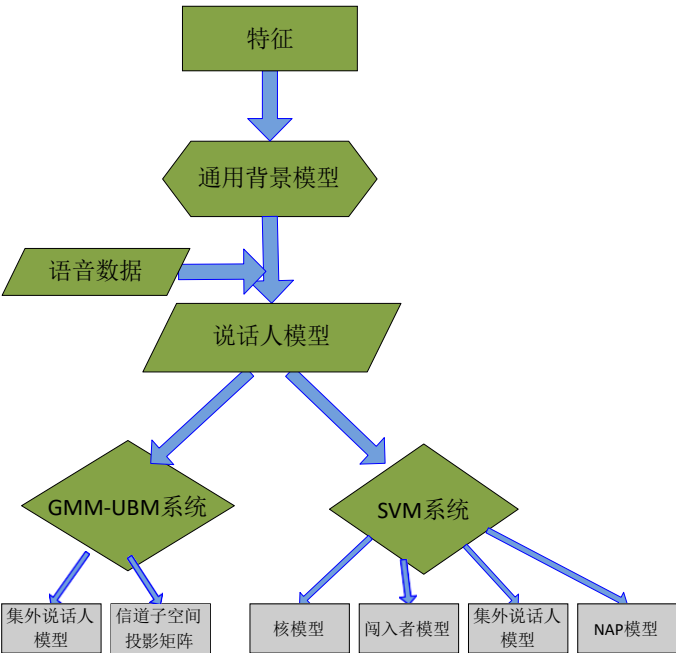
我们承担的“司法语音自动分析和鉴别系统的研制”课题于 2004 年 5 月 29 日通过了公安部科技局主持的科技成果鉴定会，鉴定委员会专家一致认为，该项技术“是一项创新的、国内领先的研究成果”。

我们承担的“通用声纹识别身份认证系统引擎的研制”（2005 年北京市科技计划项目）于 2008 年 2 月 28 日通过验收。验收专家组一致认为：“该课题完成了任务书中规定的各项考核指标，创新性强，达到了国际先进水平，具有广泛的应用前景。”

我们与合作单位联合承担了中国建设银行“电话银行 95533 交易整合及业务管理项目”，已通过了生产环境下电话银行用户声纹身份认证的验收测试，在识别性能及识别效率方面，系统完全满足和超过实际应用中的安全性及实时性等各项要求。这是声纹识别技术在我国金融领域的首次应用。

我们正在积极寻求与企业合作探讨更多声纹识别应用方案及产品，包括但不限于汽车防盗产品，门禁系统等。

3 效益分析



上图 声纹识别核心模块示意图

截止到 2009 年初，声纹识别产品在生物识别市场的占有率为 15.8%，仅次于指纹识别和掌形识别。目前，我国生物识别行业内厂商有 200 多家，其中 96% 从事指纹识别技术相关产品的研究和开发，产品趋同化明显。国内声纹识别市场已经启动，其发展空间更为广阔，在金融、证券、社保、公安、军队及其他民用安全认证等行业和部门有着广泛的需求。

4 合作方式

商谈。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 10 10G 一体化网络数据深度安全检查和系统

1 成果简介

当前网络安全技术发展的主流是向全息安全（Holistic Security）发展。无论是网关与端点的结合即网络准入控制（Network Admission Control），还是入侵防御与泄露防范（Information Leakage Prevention）的共生，无论是无线与有线兼容，亦或信息安全与数据安全的结合，都是安全防护技术一体化和集成化在不同侧面的具体表现。在这一发展潮流之中，传统的安全网关也从单纯防火墙的边界保护（perimeter protection）门卫角色，发展到统一威胁管理（UTM）的区域保护（local protection）首领地位，不但监控经过的各类流量，而且监控邻域以致虚拟邻域的终端、应用和数据。

本项目将自主知识产权的专利技术与成熟的工程队伍和技术创新机制相结合，研制了基于软硬件协同的应用系统，具有完善的多层次协议分析与过滤能力；具备细粒度访问控制、入侵检测和防御、防病毒、VPN、反垃圾邮件、内容过滤、流量监控、安全策略统一部署等安全能力。

2 技术指标

- 系统吞吐量：20Gbps；
- 启用安全能力时，性能达到 10Gbps；
- 支持 1000 万个并发会话；
- IPSEC VPN：1Gbps；
 - 主动式高可用性（HA）和冗余组件，如双重热交换电源，以提高可恢复性和网络可靠性；
- 支持热插拔；
- 全面支持 802.1Q，支持最多 1024×2 个 VLAN；
- 支持访问控制的规则数：10K；
- 支持系统审计、日志管理；
- 设备管理方式支持：Web 管理、CLI/SSH 管理、SNMP 管理等；
- 加密算法支持：DES，3DES，AES，可扩展使用国内的专用算法。

3 应用说明

本系统采用软硬件相结合的集众多安全功能于一身的高性能一体化 10GUTM 设备，适用于骨干网、校园网、大型企业网，能够为净化网络环境，构建和谐社会提供网络安全平台。

4 效益分析
由于单台设备能够承受超过 20G 的系统吞吐量、10G 的安全能力、7G 的内容过滤流量，依照电信 2M 上网带宽的标准，可以为电信提供至少 3500 个用户的接入，效益十分可观。对于企业来说，通过高性能 UTM 的内容过滤，将大大降低遭受病毒、垃圾、钓鱼等攻击的危险性，为企业良好的网络运行提供了有力的保障。

在 UTM 领域，内容过滤的准确度、内容过滤性能提高和协议兼容性是应用层处理所面临的共同问题。例如 NAI-McAfee 的防病毒网关每秒最多只能处理几十个电子邮件，防垃圾邮件处理能力性能更低，其他厂家针对性能的提高提出了各种方案，将性能提升到上百封的处理能力，但是如何解决慢速网络连接下的协议兼容性和流畅性并未得到改善，局部性能的提高，并不能在整体上带来好的用户体验。再比如，在 http 协议的处理上，传统代理架构的方式必将被淘汰，就算在内容过滤上能够做到每秒上 G 的性能，但是代理过程的延时几乎没有用户可以接受，如何在流的方式下提高并行处理能力，如何在协议允许的范围内提高反馈能力，都是需要值得延伸的技术研究。应用层安全网关功能的发展呼唤着新的软硬件解决方案，像 Tarari 这样专门从事内容过滤（特别是 XML 处理）芯片设计的厂商将在短期内增多并大有用武之地。总之，安全功能在 OSI 协议架构单层上的集成正在完成，多层间的集成未艾，并需要有新的硬件平台和软件实现来突破性能瓶颈。

当前最重要的目标是带动国产 UTM 性能上突破 10Gbps，从而推动国产高端 UTM 产品的成熟和完善，提高国产高端 UTM 产品的市场竞争力，使自主知识产权的国产 UTM 在高端市场上逐步占据主导地位，满足国内迅速增长的网络安全产品市场需求，为建设我国信息安全框架提供基础产品，更好地保障我国网络信息安全。

5 合作方式

商谈。

6 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 11 高性能网络流分类系统

1 成果简介

随着科技的发展和网络技术的应用，网络在带给人便利的同时，其安全性问题也日趋严重。各种新的应用和未知协议导致网络越来越复杂、多样化和难以管理。例如：P2P、视频流等应用，占用了大量带宽，造成网络带宽耗尽；各种网络恶意攻击（僵尸网、蠕虫、病毒等）更是严重地危害到网络服务和信息安全。网络安全问题不仅使普通网络用户的个人信息和隐私受到威胁，还使得企业机密变得不再安全，网络服务提供商和管理者对网络的管理也变得更加困难。更为严重的是，不法分子在网上肆意进行盗版、黄色和反动内容传播等不法行为，如果不将这些恶意流量从骨干网的背景流量中识别并分类出来，就会对网络的净化、社会的和谐、国家的稳定造成不良影响。网络流分类技术的提出和发展解决了网路流量的实时分类和识别问题，是解决上述问题的必由之路，是网络安全技术的基础研究之一。

网络流分类技术是网络安全领域中迫切需要解决的核心技术和热点问题。只有对流量进行实时的有效识别和分类，才能对网络进行有效的管理和控制，从而净化网络环境，确保网络和信息安全。

本系统基于采样的、基于交互控制命令信息和基于载荷的网络流分类技术，提出了融合三种分类技术的层次化网络流分类方法，建立和完善一整套适用于网络流分类问题，由基本模型、分类算法、硬件平台和体系结构组成的实用系统，系统具有在真实环境下的网络中对网络流进行快速、准确和实时分类的能力。

2 技术指标

- 8G 吞吐量；
- 8×1G（光/电口）；
- DFA 硬件加速；
- 200~300 种协议；
- 能实现文本类协议特征的自动提取；
- 能实现部分二进制协议特征的自动提取；
- 协议识别的精度和召回率达到先进水平；
- 支持正则表达式匹配。

3 应用说明

- 政府管理部门

通过精确的网络流分类系统，可以对一些涉及盗版、黄色内容、网络攻击、非法反动思想的传播工具所使用的协议作出有效识别。同时对一些 P2P 视频网站、国外热门论坛等内容进行流分类，只有将这些恶意不法流量或者敏感流量准确并实时地识别和分类，才可以从技术上提供有效的后续管理和控制。

- 企业

随着计算机技术和网络技术的发展，大部分企业都实现了电子办公和互联网办公，因此网络安全对于企业尤为重要。首先，企业的网络管理十分严格，如果没有流分类技术将无法进行流量识别，那么如 P2P 等流量必将会对企业的正常工作带来影响。其次，企业的机密可能会因为网络安全问题被泄露，使得企业的利益受到损失。因此准确有效的流分类技术对于各大企业来说是非常重要的。

- 网络服务提供商（Internet Service Provider, ISP）

网络服务提供商非常关心如何保证其服务能够正常运行并让用户满意，对于网络流分类技术的需求也很迫切。准确有效的流分类技术能够提供当前流量的组成部分，可以帮助网络服务提供商制定有效的管理策略和合理的收费政策，保证网络服务的质量，提升网络服务的经济效益。

- 网络管理者

网络管理者需要利用网络流分类技术来更有效地管理带宽，避免出现带宽被 P2P 等流量耗尽而使得正常业务流量不畅的问题，同时避免网络攻击等危害。这就需要流分类技术实时有效地将这些流量识别分类出来。

- 研究者

对于现有协议的分析可以促进新的更完善的协议出现，通过对流量的分类，也可以判断当前网络流量的组成和发展趋势，有助于整体网络模型的研究。

4 效益分析

- 应用于骨干网的网络流量分类和控制

快速、准确、实时的网络流分类系统，可以应用于骨干网的网络流量分类和控制，能够对一些非法盗版、黄色内容、网络攻击、反动思想等流量进行有效识别和控制，净化网络环境，增强网络安全，促进社会和谐，确保国家安全。

- 应用于网络运营商的网络流量分类和控制

快速、准确、实时的网络流分类系统，可以应用于网络运营商对于网络流量的分类、控制和管理，避免网路攻击，有效地管理带宽的使用，合理地制定收费政策，避免带宽被耗尽而造成的流量不畅，保障运营商网络的正常服务，并提升服务的质量。

- 应用于企业网络管理

快速、准确、实时的网络流分类系统，可以应用于企业网内部对于网络流量控制和管理、避免企业机密信息的泄露和恶意的网路攻击、控制 P2P 等流量，合理利用网络带宽，保证企业网络环境的正常运转。

- 市场推广

快速、准确、实时的网络流分类系统，包含一整套的软件模块和硬件平台。其既可以作为单独产品为网络流分类问题提供解决方案，也可以作为 UTM 产品系统的一部分使用，其中的模块还可以分拆成单独系统以满足特定的应用需求。其在网络安全系统中的成功应用必将产生巨大的社会价值和经济效益。

- 知识产权

网络流分类系统的核心技术和算法将通过申请专利和软件著作权形式进行保护，形成技术优势和技术壁垒，并在允许的范围内进行专利转让和进一步的技术转化。

该高性能网络流分类系统具有很好的应用前景和市场空间，能够创造很好的经济效益和社会效益。

5 合作方式

商议。

6 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 12 社会网络大数据分析系统

1 成果简介

社会网络已经成为覆盖用户最广、传播影响最大、商业价值最高的 Web2.0 业务，在世界范围内，最著名的社会网络代表是 Facebook、Twitter，用户量分别达到 12 亿、5 亿；国内使用人数最多的社会网络工具是新浪微博和腾讯微博，其中新浪微博用户达到 5 亿，腾讯微博用户超过 8 亿。社会网络中的巨大用户群每天产生海量的用户数据、关系数据和信息数据，若能够对海量数据进行准确、及时的分析，则会在精确营销、舆情探测以及网络安全等方面创造巨大价值。然而由于社会网络的大数据特性以及分析方面要求准确、及时，目前缺乏融合多项社会网络分析技术的、成熟的社会网络大数据分析系统。

社会网络分析技术是一项关键技术，也是一项热门的研究，涵盖了社会学、人类学、社会语言学、地理、社会心理学、通信研究、资讯科学、社会网络分析与探勘、组织研究、经济学以及生物学等多个领域，是一项多学科交叉技术。社会网络大数据分析系统要求具有坚实的数据支撑，即数据获取全面、更新及时、获取数量大，也强调多维度、多粒度的分析手段相结合，并对分析速度、可视化以及人机交互等方面都提出很高的要求。

基于上述现状和挑战，在国家科技支撑项目的资助下，实现基于新浪微博、Twitter 等主要社会网络交流工具的大数据分析系统，系统完成从数据获取、数据预处理、数据存储、消息中心、数据分析、结果可视化展示的闭环处理流程，支持多种社会网络（Twitter、新浪微博等）的数据实时、不间断获取，获取数据量在国内外同研究领域处于领先地位；实现整体、个体、群体以及事件的多层次、多粒度分析模式；同时具备良好的人机交互操作界面以及优秀的分析展示效果。

系统的特点如下：

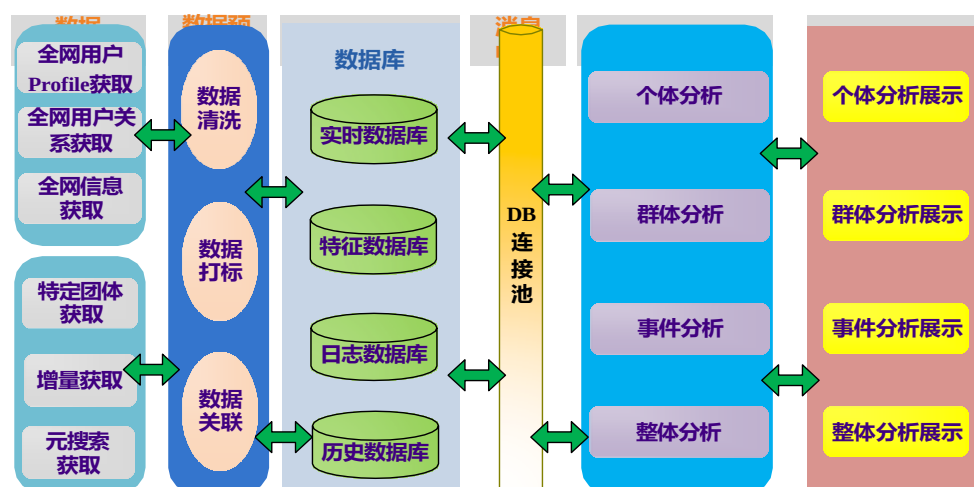
- 多手段数据获取模式融合：采用网络流量分析、API/非 API 爬虫、元搜索以及增量式爬虫等多手段数据获取模式相结合的方式进行数据实时、不间断获取，保证数据获取全面、更新及时、获取量大；

- 多维度、多粒度数据分析手段结合：系统对社会网络整体、个体、群体、事件四个维度的对象进行分析，并结合基础分析、深度挖掘的多粒度分析手段共同完成社会网络的数据分析；

- 多种关键技术支撑：系统融合机器学习、分布式并行处理、数据挖掘、自然语言处理等多种关键技术，共同保证系统各项功能的稳定、快速实现；

- 优秀的分析展示效果和友好的人机交互操作：借助 Gephi 工具进行群体、事件等分析效果的可视化展示，可视化效果清晰；操作便捷，实现用户与系统、系统与数据库的无缝连接。

上述优点表明该系统能够实现从数据获取、数据预处理、数据存储、信息中心、数据分析、结果可视化展示的处理流程，达到完善的功能实现目标和优秀的系统运行效果。查新表明，国内外目前尚未发现有如此功能全面与性能优越的社会网络大数据分析系统。



上图 社会网络大数据分析系统架构图

性能参数：

- 能有效获取社会网络平台的用户数据、关系数据和信息数据，获取覆盖率不低于 85%；
- 分布式爬虫支持不少于 10 个节点，分布式数据库支持不少于 5 个节点；
- 数据库读/写操作不少于并发 1000 次，数据预处理效率不小于 1000 条/秒；
- 数据存储规模不小于 7TB；
 - 热点信息（个体、群体、事件）发现准确率不低于 75%，关键路径发现准确率不低于 75%；
- 热点话题发现准确性不低于 80%，倾向性言论的发布主体发现准确率不低于 75%；
- 信息传播寿命预测准确率不低于 80%。

2 应用说明

2013 年 9 月，利用社会网络大数据分析系统进行数据获取以来，获取 Twitter 用户数据 2.2 亿，用户关系数据 11.5 亿，推文 1.2 亿，目前数据量仍处于不断高速增长阶段；着重获取社会网络上中国人全集的数据，主要采用基于用户属性、用户关系、用户信息 3 层过滤机制，通过特定团体获取方式进行获取，中国人用户数据达到 63 万，用户关系数据 510 万，推文数据 1740 万，目前中国人用户数据已趋于稳定，推文数据仍处于快速增长阶段。在获取到的数据基础上，对网络中个体、群体、事件以及整体进行基础分析以及深度挖掘，能够快速识别关键个体、关键群体、热点信息、热点话题，并实现对信息、话题的情感分析、趋势预测等功能，同时也保证分析效果优秀的可视化展示。

3 效益分析

由于目前国内外尚无同标准产品，而社会网络大数据分析的需求比较迫切，因此本系统具有较大的推广空间。本系统价格每套 150 万元。而本系统数据积累深厚、运行稳定、分析功能全面、处理速度快、响应时间短。总体上，系统成本低、功能全、速度快，运行费每月在 3000 元左右，具有明显的经济和技术优势。

4 合作方式

转让或联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 13 移动互联网 Android 应用恶意行为自动化检测系统

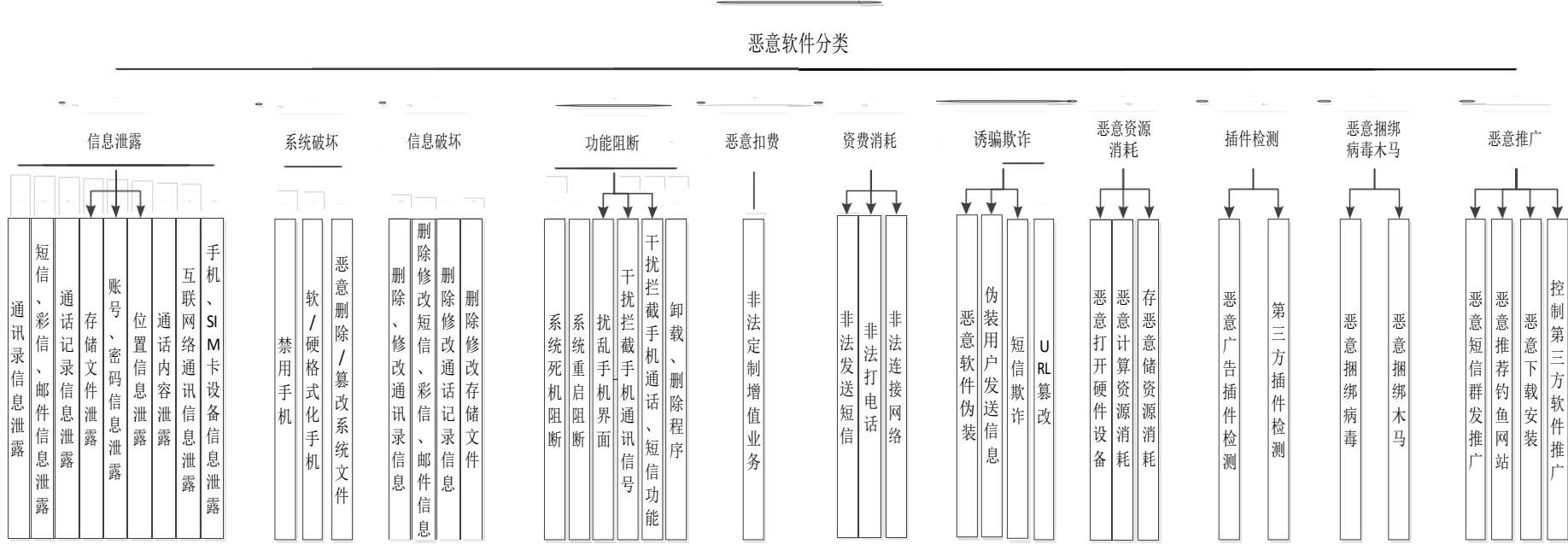
1 成果简介

移动互联网将移动通信和互联网二者结合起来，成为当今世界发展最快、市场潜力最大、前景最诱人的产业发展方向。最新数据统计，中国移动互联网用户已达到 4.64 亿。各大应用市场如 Google Play 有百万种应用，国内机锋市场、天翼等平台也具有大量的安卓应用。这些应用在给人们带来巨大便利的同时，也带来巨大的信息安全隐患和风险。据统计，超过九成的应用软件涉嫌窃取用户隐私、恶意扣费、恶意推广、恶意捆绑植入病毒/木马等恶意行为。这些恶意行为不仅给用户带来经济损失，甚至涉及人身安全问题。因此迫切需要快速、准确地自动化检测如此庞大的应用程序的恶意行为。

传统手机杀毒软件基于 PC 时代检测特征序列的方式识别恶意软件/恶意行为，虽然这种方式高效、易于同步检测，但是存在只能查杀已知威胁、反馈周期长、易于绕过等诸多问题。为了解决上述问题，我们设计并实现一个 Android 应用恶意行为自动化检测系统。本系统提供一个基于行为查杀的完整解决方案，可服务于第三方管控部门、高级大型企业（如电信运营商）、Android 工程师与普通用户等三大类用户。本系统结合静态分析、动态追踪、网络流量定位三种方法实现“数据流、控制流、网络流”三流融合分析技术，可提供自动化应用软件爬取、自动化检测分析、自动化特征库更新、自动化恶意行为挖掘、恶意攻击训练、证据留存等多项服务，达到爬取自动化、处理高效化、分析智能化、信息安全化的设计目标。本系统主要的特点如下：

- 全平台部署更实用：
跨平台语言设计，多重角度防护，可部署于 Windows XP/WIN7/WIN8 以及 Linux 主流版本。
- 自学习、更新更方便：
应用图论分析技术、自动化行为特征挖掘等技术，挖掘具有通用性的恶意行为链，无需频繁升级模型库。
- 智能网络爬虫更高效：
针对第三方监控需求，本系统提供自动化网络爬取功能，可实现最优监控部署、最优更新策略。
- “3x3”立体更高维：
“静态分析、动态追踪、网络流量三维度”，“数据流、控制流、网流”三层面，智能立体分析模式，无懈可击的安全检测。
- 11 类 41 种恶意行为检测更全面：
可有效对隐私窃取、系统破坏、信息破坏等 41 种恶意行为进行检测，分类图如下图所示。
- 层级分析更迅速：
系统依据层级分析结构，快速定位，快速甄别，快速分析。

- “三流融合”更细致：
本系统结合底层 APIHOOK、动态污染分析、静态行为链识别、网络流量检测等方式，可分析恶意软件的函数调用关系、数据传播定位、恶意行为网络数据包。
- 恶意特征自动统计挖掘更可靠：
特征自动挖掘更节省人力与计算资源，标准处理流程无死角分析。
- 恶意攻击模拟更实战：
对官方发布系统与软件攻击模拟，自动化挖掘存在漏洞和风险。
- 分析数据更可观：
行为统计、时间轴建模、应用权限分析、敏感函数展示、敏感数据分析、行为记录、运行截图等多项数据展示，并支持数据导出功能。
- 测试项目更全面：
课题组具有大量软件自动化测试经验，可支持适配测试、功能测试、可靠性测试、安全性测试、环境测试、安全测试需求。
性能参数：
- 准确性高，超过 97%的正确识别率；
- 完成一次普通测试任务不足 30 分钟，测量时间短，重现性好。



上图 恶意行为检测分类图

2 应用说明

本系统针对 Android 工程师与普通用户提供自动化恶意行为检测服务，在此基础上，针对高级大型企业本系统提供 STAX 分布式测试服务，以满足适配性测试、功能性验证测试、可靠测试、环境测试、安全测试、交互测试、认证测试需求，可极大减少测试周期，针对第三方管控部门特殊需求将额外提供自动化应用软件爬取服务与证据留存服务。

课题组已与成都信息安全产业基地合作，为中国联通研发移动互联网应用程序自动化检测系统。除此之外对 Google Play、机锋市场等平台爬取数十万 Android 应用软件，并实施自动化检测分析，结果表明本系统的识别率超过 97%。

3 效益分析

目前，国内外针对 Android 平台应用检测大部分需要人工参与，一方面需要耗费大量人力资源，另一方面人工易疲劳出错，因此迫切需要快速、准确自动化检测系统，本系统具有较大的推广空间。对于需要人工参与的测试方案，业界标准价格为 6000~8000 元/款，且测试周期较长。本系统商用版价格每套软件约 150 万元/年，并可以免费享受技术支持一年。

相对比传统测试方案，按照中低型电信运营商市场应用检测需求为 50 款/天，一年按照 300 天计算，一年可节约分析成本超过 900 万元，极大提高企业收益。

4 合作方式

转让或联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 14 应急双向视频图像传输系统

1 成果简介

清华大学利用具有自主知识产权的 DMB-T 系统所开发出来的应急双向视频图像传输系统，在国务院应急办领导视察时获得了好评，并已经在国内部分地区获得了应用，反应良好，有效地解决了特殊情况下图像信息的传输和发送问题，如在反恐演习、奥运安保、2008年雪灾、地震灾害的现场图像回传中发挥了作用。该系统对于构建和谐社会、维护社会治安、打击犯罪提供了重要的技术保障。清华大学数字电视技术研究中心在原有技术基础上，针对当前频率资源紧张的现状，提出了图像传输带宽可变的新一代系统。该方案已经被公安部正式接收成为其标准技术方案之一，未来不少要害行业和部门（公安、消防、电力、卫生、水利、森林防火、库区大坝安全等）都可能需要配备该系统。我们愿意与当地企业合作，根据需求进一步做好系统优化并完成产品设计，使之成为一个具有低成本、高可靠性和产业化成熟度高的产品。

2 应用说明

在公安、消防、救灾、反恐、卫生、安全生产和突发事件中均可应用，预计年产值在 1000 万元以上。

3 合作方式

商谈。

4 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 15 在线互动教学平台

1 成果简介

在线互动教学平台是清华大学与河北省心神集团、北京大学联手合作推出的一款全方位互动教学平台。立足于目前中国教育资源分布极不平衡的现状，教学平台敏锐地抓住了市场对名师名校的需求，努力为学生提供全方位一站式服务。平台真实模拟了学生在校期间学习的需求，为每个学生构建了以地域级名校名师为基础服务的云服务平台，学生可在平台实现上课、课下补习、课后作业、难题答疑、社区交流，而当学生遇到择校就业、高考志愿、心理辅导等困难时，学生还可以选择专家进行咨询。心神学堂整个系统以名校名师名课为载体，让学生跨越时空和分数的限制，享受最优质的师资服务。

平台充分借鉴并全面超越现有教育网站对教师及学生的管理，打破以往在线教育网站与学校争抢学生时间和注意力的局面，创造性地引入了学校这一在 K12 阶段重要而基本的实体单位。借助多方力量加强对教师的管理，保证教师信息真实有效，保证教师资源优质稀缺，保证课程质量优质优量。同时也为学校提供了展示自我教育实力的平台，预留大数据分析和处理接口，使学校、老师、学生与心神学堂进入良性互动，使老师的积极性、创造力、教学质量得到最充分的发挥，使学生能跨越时空和分数的限制，享受最优质的教育资源服务。



2 应用说明

目前，系统已经完成了面向 PC 端用户的 WEB 版本 v1.0，并经过了多轮测试。正在进行面向移动互联网手机端的版本，未来将进一步扩充为多屏互动的兼容版本群。

3 效益分析

由于目前国内外就本系统的某一个功能模块都有类似产品，本系统打通教学的多个环节，

作为整体解决方案，既可以面向实际校园，又可以面向个人或者教师工作坊，同时可以基于云环境，或者基于校园网部署。使用灵活、按需扩容，具有明显的经济和技术优势。

4 合作方式

转让或联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 16 执法过程音视频数据自动采集和管理系统

1 成果简介

该系统采用数据采集专用终端对多种类、多型号便携式取证设备产生的音视频资料进行采集，实现电子证据采集自动化。采集终端设备具备接入设备认证、数据加密、时间校准以及自动充电等功能，达到解放人力，提高执法办案人员工作效率的作用。

可将执法场所监控视频抽取至统一音视频数据管理平台，与便携式取证设备对接处警、执法现场等执法行为形成的音视频资料一起，共同形成完整的执法过程音视频管理资料库。

专用采集终端设备将数据采集到统一数据管理平台，各级不同用户根据权限通过统一的执法过程音视频管理系统实现数据共享。上级执法管理部门可实现跨区域跨级别执法资料的查询、调用与统计，有效掌控一线民警的执法情况。

执法监督部门可通过后台管理系统实时查看、监督执法过程音视频资料采集的及时性、完整性、规范性，通过自动统计分析，对各单位执法规范化水平和执法办案人员工作绩效情况进行量化统计。

采集工作站特点：

- (1) 一站式全自动处理，无需人工干预；
- (2) 支持 8 路 USB 设备同时接入；
- (3) 可兼容多种类型、不同品牌、不同型号的执法资料采集设备；
- (4) 高精度触摸屏，无需外接键盘；
- (5) 采集数据可及时播放，重要数据自动上传到中央存储服务器；
- (6) 采用工控级主板、监控级阵列磁盘，设备稳定可靠；
- (7) 支持分布式部署；
- (8) 基于 JAVAFX 体系架构，系统运行稳定、安全、可靠。

2 应用说明

该系统已经于 2013 年应用于某公安边防总队。



上图 应用流程示意图



上图 自动采集示意图

3 效益分析

目前执法视频证据管理发展迅速，国内外都涌现出一些优秀的初创公司，各个投资机构都密切关注这个领域。我们的核心竞争力是为用户提供自动的音视频数据采集、管理、分析和指导等服务。一方面可以更好地管理这方面的数据，为执法人员自我保护和对违法人员进行取证，全国的公安和大部分城管都配备了移动的执法记录仪设备，如何有效管理和利用这些大数据量的音视频数据是一个很大的挑战。该项目如果能在大部分省区推广，将带来很大的经济效益。

4 合作方式

联合推广。

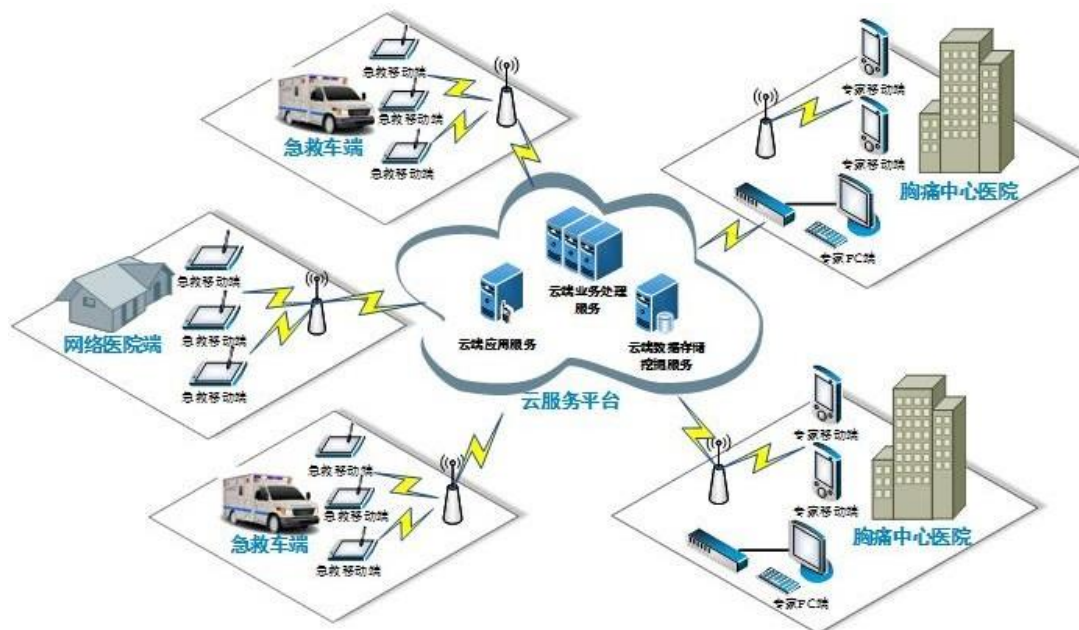
5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 17 跨区域多机构协同救治医疗信息共享平台

1 成果简介

提供了基于移动互联网及云计算技术的跨区域多机构整合急救资源协同救治的医疗信息共享平台，具有以下几大功能：基于 FMC-D 时间的智能转运决策辅助、系统内医疗单元通讯、系统内医疗单元信息共享及 PCI 医院介入影像质控管理。系统分为医疗单元终端（包括 EMS 终端、非 PCI 医院终端及 PCI 医院终端）和云计算服务端两部分，通过 3G/4G 无线互联进行数据交换处理。急救车客户端考虑到用户的操作体验，采用基于 Android 系统进行开发。云计算服务端处理中心部署在云服务器上，按照 SOA 架构的理念进行框架设计，依托于数据仓库对业务数据进行深度挖掘分析。



本系统的特色包括：

- 体系结构设计以时间轴为中心。时间轴是描述 AMI 患者救治流程的关键事件时间节点的集合，如：呼叫 EMS 时间，EMS 响应时间，急救车到达时间，首次胸痛发作时间，本次胸痛发作时间，EMS 首份心电图时间，等。通过对上述关键事件时间节点的统计、分析通过资源合理调配、辅助决策支持等方式提高针对 AMI 的救治效率。
- 智能推荐技术。该推荐主要基于以下信息：1，实时的医院医疗资源信息（如床位资源、医生资源、手术资源等）；2，地理位置信息，主要是权衡道路拥堵情况以及距目标医院距离信息；3，救治能力，主要指通过救治流程中产生的历史数据挖掘分析衡量 PCI 医院救治能力的信息。
- 大规模的支持。急救车客户端考虑到用户的操作体验，采用基于 Android 系统进行开发。云计算服务端处理中心部署在云服务器上，按照 SOA 架构以及基于 XMPP（Jabber）协议通信机制的开源架构的理念进行框架设计，依托于数据仓库对业务数据进行深度挖掘分析。在北京等地的实践表明该系统具有支持区域内多 PCI 医院，多非 PCI 医疗机构，多 EMS 机构并发协同救治的流程以及流程中产生的 PB 级的数据。在一套完整、独立的 RCTS-AMI 系统内，预计 500-800 家 PCI 以及非医院，12 万台终端，2000-2500 位医生可以使用本系统。

2 应用说明

- PCI 医院专家端：专家医生可通过此终端进行远程会诊，并随时把握患者的情况。
 - PCI 医院急诊室端：急诊室医生可记录患者在急诊室的关键时间点与体征信息，根据需要选择下一步救治流程。
- PCI 医院导管室端：手术室的护士可以记录手术流程中的关键时间点。
 - EMS 机构端：急救车的随车医生可以通过此终端采集病人体征并根据需要选择救治流程和获取远程协助
- 非 PCI 医院端：为 PCI 医院提供转诊的绿色通道，并为其提供相应的远程协助
- 大数据处理平台：将救治流程中采集到的数据进行管理分析，提供决策支持
- 目前 ied 平台已经在武警总医院开始应用，并逐步联合北京西部地区的多家 EMS 机构以及非 PCI 机构。ied 平台同时也在锦州市，海尔滨市的多家医院进行应用。



3 效益分析

2013 年 AHA《急性 ST 段抬高型心肌梗死的治疗指南》首次提出首次医疗接触至器械时间[1]（First Medical Contact to Device time, FMC-D time），指的是：从首次与 STEMI 患者发生医疗接触（不区分医疗单位或级别）起，至患者于导管室中器械打通血管（再灌注起始）止，这中间的时间即为 FMC-D 时间。FMC-D 时间概念的提出强调了院前救治在心肌梗死救治中的地位，使得心肌梗死的救治从“院内急救”提前到“院前急救”。《指南》同时还提出了 FMC-D 时间不仅是 STEMI 患者救治达标的评估指标，同时也是 STEMI 患者转诊策略的决策指标。然而影响以上 FMC-D 时间的估测因素很多，在现有的急救情境下，EMS、非 PCI 医疗机构与救治半径内的 PCI 医院无法形成统一整体，FMC-D 时间的确定缺少客观科

学的依据，因此无法对 STEMI 患者的转诊及血运重建策略进行最优选择。区域协同救治系统可以有效的整合现有的医疗资源，以转运时间为半径构建同一区域内多家PCI医院与EMS、非 PCI 医疗机构组成的救治整体，统筹协调，缩短抢救半径及时间，为每个 STEMI 患者在最短时空距离上制定最有效的救治策略。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 18 城市电网电能质量综合治理

1 成果简介

随着近些年来我国电力事业的快速发展，装机容量的大幅度提升，供需矛盾已经逐渐不再是电力系统发展的主要矛盾。电网中非线性负载、冲击性负载和不对称性负载不断增加，同时，信息时代各种精密、敏感的生产设备对传统的电网电能质量提出了更高要求，这些都使得电能质量成为日益凸显的主要问题。大型城市电网一般是负荷集中区域，近年来，各类微电子、半导体、生物医药、精密制造、大型金融数据中心等敏感用户对电网的供电电能质量提出了更高要求。对供电企业而言，电能质量问题既是挑战，也是机遇，电网中大量敏感负荷也是供电企业潜在的高端用户，对高品质供电有着强烈需求。

本课题立足深圳电网当前面临的实际问题和迫切需求，主要开展大型城市电网供电电能质量规范体系的研究、重点区域电能质量问题的分析与治理方案研究、敏感用户高品质电力需求分析与对策研究、电能质量治理装置柔性控制、新型拓扑结构和容量优化等关键技术研究，实现方案定制、装置研制与工程示范，为深圳电网重点区域和敏感用户的电能质量综合治理提供理论依据和技术支撑，对全面提高大型城市电网的电能质量和提升敏感用户的电能体验具有积极的示范作用及推广意义。

对深圳电网电能质量突出区域进行调查研究与分析，首次完成深圳市 2010~2012 年电能质量暂态事件分析，绘制了十二个中心站的 ITI (CBEMA) 图表，并结合调度数据分析了电压暂降事件原因；通过对多家电能质量敏感用户的调研走访，完成了深圳电网高品质电力需求分析研究，建立了电能质量污染对高品质需求客户影响的评价指标，完成了深圳干扰源与敏感客户分类指引及抗干扰措施指引。



建设了110kV 碧岭变电站10kV 动态电压恢复器示范工程，研制了国内容量最大的 10kV动态电压恢复器（DVR），首次实现区域范围内电压暂降问题的综合治理示范，可同时治理变电站大供电范围内多个敏感负荷的电压跌落问题。所研制 DVR 采用自取电方式，较储能方式降低了硬件成本和控制复杂性；采用级联 H 桥结构直接耦合至中压线路中，可有效解决变压器耦合方式中变压器非线性及饱和所带来的问题。采用分相判断投切晶闸管，分相容量限幅和分相补偿控制，确保了装置灵活性与安全性。装置补偿容量 5MV，综合效率大于 96%，电压补偿深度：三相跌落 70%，单相跌落 55%；输出电压谐波：THD 小于 5%；动态响应时间小于 5ms。

研制了中国首个统一电能质量调节装置 UPQC 工业级产品，实现用户侧多种电能质量问题的差异化、定制化综合治理示范。直流侧采用超级电容+电解电容组合的形式，避免了系统因电压跌落能量不足导致系统电压跌落更深，甚至系统完全瘫痪的问题。提出了 UPQC运行模型的无缝切换及串并联侧协调控制策略。解决了普通装置无法解决的电压暂升情况下的能量回馈电网问题。建设了深圳长城开发科技股份有限公司电能质量综合治理示范工程，装置电压等级 380V，补偿容量 500kVA~2MVA，综合效率大于 96%，电压运行范围 $\pm 20\%$ ，电流谐波补偿能力 THD 小于 5%，功率因数大于 0.97，不平衡补偿能力大于 80%，动态响应时间小于 5ms。

2 应用说明

10kV 动态电压恢复器已在碧岭站安装完成，UPQC 已在深圳长城开发科技股份有限公司安装完成，两套装置均经过了权威第三方的检测（国家电控配电设备质量监督检验中心/天津天传电控设备检测有限公司）。

3 效益分析

（1）对电力公司来说，可以全面掌握深圳电网的电能质量状况，定量分析电能质量对供电网和用户的影响，规范配电网电能质量监测和治理措施。针对深圳电网主要面临的电能质量问题，选取合理的综合治理方案，提高用电安全性和电网稳定性，使发电效率和经济效益均得到有力保障。

（2）对用户来说，可以得到更高的供电可靠性和供能质量，良好的电能质量保障了其生产安全与产品质量，保障了科学实验的正常进行，降低了能耗，避免了经济损失。

（3）对全社会来说，深圳电网电能质量综合治理研究与工程示范的建设运营，对改善深圳电网电能质量现状具有现实意义。对全国大型城市的用电质量提升起到了积极示范和指导作用。推广全国市场规模达到百亿以上。

4 合作方式

转让或者联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 19 基于大数据的能源互联网能量管理系统

1 成果简介

随着电网数据规模越来越大，所蕴含的价值也越来越多。清华大学信研院研发了基于机器学习方法的能源互联网能量管理系统，主要功能为对电网的稳定性进行预测和可视化。系统分为训练部分和预测部分。训练部分通过历史数据进行机器学习，建立一个电压稳定性的分类器。分类器训练完成后，再对新增的未知数据进行预测。训练部分主要分为特征提取、类别标记、特征压缩、分类器类型选择。预测部分主要分为分类器数据启动阶段和预测输出阶段。本系统提出利用机器学习方法对电网电压稳定性进行预测，进一步综合多个节点给出电网态势感知的评估结果。在训练每一个节点分类器的时候，本系统将特征选取的时段和预测时间节点拉开，形成一种延时的预测方法，本发明对复杂系统有着更好的还原效果。

2 应用说明

本系统实施电压稳定性预测的具体步骤为：

步骤 1：通过部署在关键测点的同步相角测量单元 PMU 采集实时数据，所述实时数据包含电网中每个关键测点的电压 U 、有功 P 、无功 Q 、电流 I ；分别计算 U 的平方、 Q 的平方、 Q 的平方除以 U 的平方，得到 U^2 、 Q^2 、 Q^2/U^2 ，电压的变化量比上无功的变化量的衍生量 dU/dQ ，用这些衍生量作为特征，来表征量的时间变化速率；

步骤 2：对步骤 1 中提取的特征进行数据降维与压缩；根据特征值与预设阈值的 0.8 倍来区分每组样本组是否

稳定，用 0 标记稳定，用 1 标记不稳定；步骤 3：选择分类器，建立一个电压稳定性的分类器；

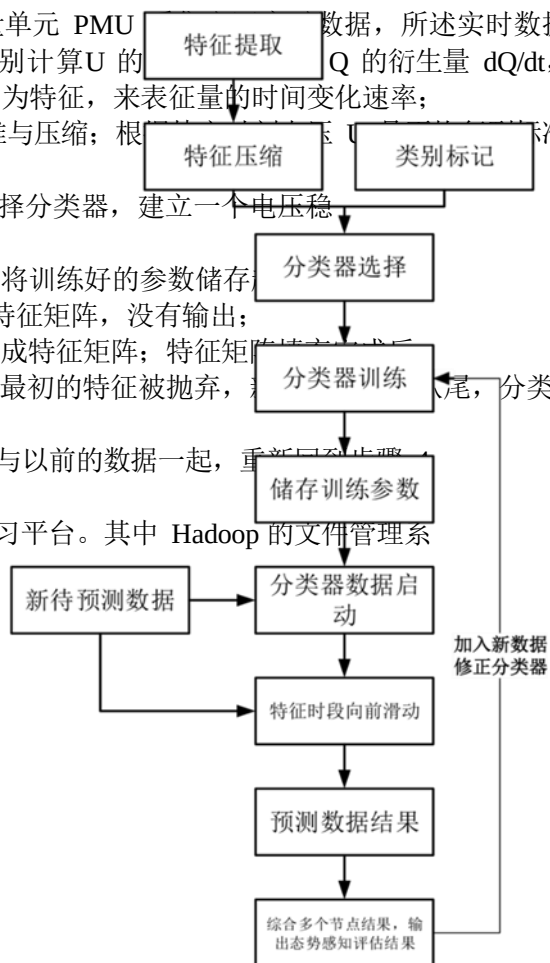
步骤 4：训练分类器；当分类器训练完成后，将训练好的参数储存

步骤 5：进入预测部分的数据启动阶段，填充特征矩阵，没有输出；

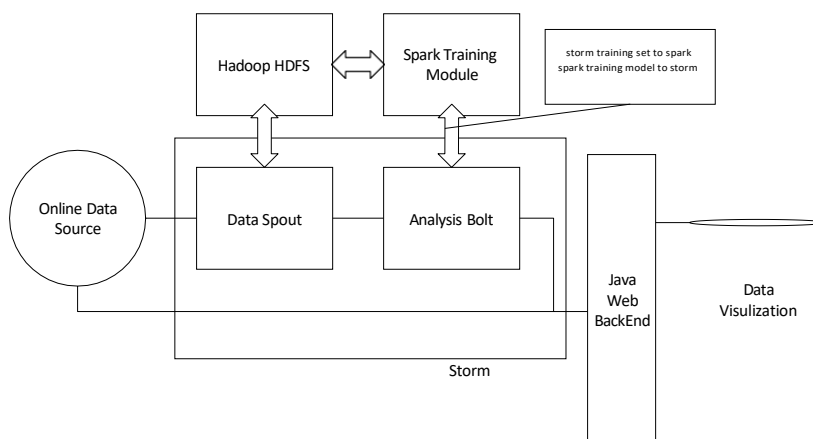
步骤 6：把多个节点的特征按照顺序排列，形成特征矩阵；特征矩阵在训练完成后，根据分类器给出的预测结果；特征时段向前滑动，最初的特征被抛弃，新的特征加入，分类器持续给出预测结果；

步骤 7：每隔一定时间间隔，要把新收集来的数据与以前的数据一起，重新回到步骤 1 训练分类器，更新参数。

在具体系统搭建过程中，我们充分利用现有机器学习平台。其中 Hadoop 的文件管理系统



统 HDFS 负责数据存储；Spark 负责模型训练；Storm 负责在线预测；Kafka 负责在 Storm 和 Hadoop 之间传递更新后的模型参数。



3 效益分析

通过对电网稳定性的准确预测，可以实现补偿措施措施的快速投切，减少经济损失。

4 合作方式

技术转让、合作开发。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 20 能源互联网能量路由器工业样机研制与产业化

1 成果简介

本课题从能源互联网自下而上构建开放互联、对等分享的新型能源电力基础设施的需求出发，提出能源路由器是能源互联网实现的关键装备。借鉴互联网的理念、技术、方法和架构，能源路由器效仿信息网络路由器，以实现能量交换能像信息分享一样便捷。借助电力电子、储能以及信息通信技术的发展，本课题结合能源互联网用户需求侧能量交换与互联的需求，研制低压小容量能源路由器。

清华大学在国内较早开始开展能源互联网方面的研究工作，提出了能源互联网基本架构、关键技术，并开展能源路由器以及相关信息通信技术等方面的研发工作，并于 2014 年获得 国家自然科学基金委首个能源互联网方面的立项——“能源互联网建模、分析与优化理论研究”，目前参与承担国家电网公司科技项目“能源互联网技术架构研究”“能源互联网信息通信体系架构研究”和“全球视角下能源互联网的系统构建理论及情景分析”等直接能源互联网相关研究。装置的主要创新点如下：

- 能源路由器实现开放式即插即用的能量交换与路由；
- 能源路由器支持多路可扩展的新能源和动态负荷接入；
- 能源路由器解决瞬时平衡的能源互联网能量管理；
- 能源路由器实现信息—能量融合的基础设施一体化；
- 能源路由器在海淀北区能源互联网项目示范应用；

性能参数：

- 研制自治微网能源路由器和大批量实现，传输电压等级为低压 380V，系统容量达到百 kVA 级，响应时间小于 10ms，接入电源类型不少于 2 种，负荷类型不少于 3 类。
- 能源路由器可实现基本的能量路由功能，还可提供可扩展的工作模式：潮流调节模式（增加有功、无功统一调节；功率因数达到 95%以上）和电能质量调节模式（增加电能质量暂态、稳态指标的统一调节；暂态电压补偿能力超过 30%，电流谐波含量小于 5%）。

2 应用说明

海淀北区能源互联网项目：未来海淀北部地区将发展成为集产业、居住及配套、生态涵养、湿地、旅游、农业生产等多种功能的综合性区域。本次海淀北区规划建设能源互联网示范基地的地区主要以 3#翠湖组团和 4#永丰组团为落地点，前期以翠湖组团为启动区。

能源互联网和能源路由器在发挥作用的同时，其优化指标也是多元化的。能源互联网在解决环境、减排、气候等方面的问题可以有所贡献，可以全面体现能源互联网的经济和社会效益。能源路由器是能源互联网的核心器件，能源路由器要解决能源利用效率、新能源的接入、电能的局域消纳等。

3 效益分析

能源路由器是能源互联网的核心重大装备，未来电网发展趋势会以大量电力电子装置呈现，电能路由器以电力电子技术为基础，电能路由器未来能替代电力变压器、电力电子装备等，加上随着新能源和分布式新能源的发展，新能源的接入成为能源路由器的最大推手，市场规模达到百亿以上。

4 合作方式

转让或者联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 21 DaaS——互联网感知的、中国 GIS 宏观数据的神经系统

1 成果简介

“智库 2861”系统是一个中国全域的、数据的、神经反馈系统。它以互联网活动为输入、以 AI 算法生成的数据为输出、构建的中国 GIS 宏观大数据及其智能应用，由清华大学信息技术研究院与合作企业共同完成。

项目组成功地构建了中国第一个社会感知的大数据，（Data as a Service，简称 DaaS），涵盖了国内全部 2861 个行政区县，以及细化到 1 平方公里的网格。系统的输出数据，不是互联网上的真假难辨的“数据”，而是由 AI 算法产生的数据，由算法确保数据的实时性和客观性，数据的含金量超过网络数据，在商业应用中具有不可比拟的优势价值。

DaaS 目前面向政府机构、政策研究智库、高校智库、金融机构等开放，DaaS 项目安装和试用下载地址：

www.2861.wiki

DaaS 的特点：

- 1) 、针对全国 2861 个区县、600 多个城市、31 个省市，独立建立完整的数据库（3600 余个），每一个数据库对应一个行政主体。

- 2) 、内容包括：宏观数据、人口、业态、产业等一千余项指标。数据按周和月实时更新，自动入库。
- 3) 、建立完成中国每一平方公里网格的数据库（988 万个），每一个网格的实时数据和统计项，反映人口流动、业态、和房价和租金、餐饮消费均价、密度和热度指标等，每日更新。
- 4) 、所有数据是 AI 计算结果，每月自动生成。只要互联网在，这些 AI 算法就会不断生成新的当月数据，形成取之不尽的数据金矿。

系统分为四个部分：

- **第一，输入数据的结构化处理。**在输入数据的结构化方面，项目组团队历时五年，在全国以 2861 个区县为最小单元，按照每日、每月为单位构建结构化信息，以每一个单元单次存储格式的基本形式，形成约 5.5 万个统计项，从而形成各个区县、地市和省的 GIS 数据量。
- **第二，在 NPU 平台上以Tensor Flow 为内核，**构建了神经网络算法训练平台，其特点是用大量脚本和定制化约束来构建一个用户友好的操作，软件工程师能够快速应用平台训练算法。这个平台训练的算法已生成一千多个宏观指标。第一部分准备的输入数据，作为这些 AI 算法的输入，能够得到对应地域的输出数据，由此得到中国 2861 个区县的宏观数据。此外，根据地理，将中国划分为 980 万个以一平方公里为最小单元的网格，来构建各个网格的 GIS 数据作为输入，同样通过 AI 算法，得到每一个网格的输出数据。从而构建出区县 GIS 和公里网格 GIS 这两大类数据，加上时间维度和 1000 余个指数维度，形成一个多维立方体，维度多达 1000x300x（2861 个县+614 个市）x980 万平方公里的巨大维度，这些数据的运行和管理，已经实现完整地全自动脚本 I/O 和运算，无需人工维护。
- **第三，上述多维度的、GIS 为基础的数据，完成了对于我国 2861 个区县的大数据神经反馈系统。**从每一个区县产生和汇集的宏观信息，向上汇总得到各个市、省的宏观信息。在城区的每一公里网格，构建了基于网格的、关于人口、业态、热度、交通等大数据测算网格。这个系统的创新性特征是自带生态独立运行的统计系统。
- **第四，智能应用。**区县大数据的神经反馈系统，以及公里网格的数据架构，是构建全域监测的基础，可以发展很多独立的、客观的应用。例如，某合作项目是以全国全域为对象的相关宏观指标的反馈和预警系统。独自拥有这些数据，在区县和网格中反映数据，仅仅是展示区县数据作为神经元的数据构成而已，是大材小用。本项目本着开放合作的精神，面向各种专家提供数据服务，为专家们在各自领域中构建面向全国全域的、全自动的采样系统、检测评估系统和问题预判系统，提供基础数据和工具平台。

大数据驱动新型智库等系列区域性智慧大脑综合应用。

以区域治理和增长点为突破口，通过全覆盖、细粒度、强实时、超高速、高可信的大数据处理、分析和挖掘，探索基于互联网感知的民生民情各项指标的内在规律，及其与各地社会经济发展的关键指标之间的关系，如人口、经济、收入、GDP、人均 GDP 等数据耦合关系与规律。

本项目可解决如下社会痛点：

- **痛点一：新矛盾指数衡量缺多维综合量化，**十九大之前通常单一 GDP 指标就可以衡量一个区域的发展，十九大之后提出的新矛盾指数衡量，需要同时考虑经济、人口，环境、稳定、民生、城市建设等多个方面，单靠一个指标无法反映一个区域的实际发展情况。因此，本系统按 2861（县）+614（市）+31（省）级别的地理区域建立宏观经济多维立方体，实现每一个区县的 1000 余项宏观指标的自动测算和预判。
- **痛点二：智库缺新视角，**未来的智库须提供新视角，来看现实的世界，而不是受限于智库专家的个人经验、思维和水平。要像国际顶级智库那样用大数据驱动，以互联

网感知大数据的历史和实时状态作为研究的基础，支持决策者探索数据空间，对于所研究的问题不仅有结论，更能启发思考，让其自获新认知。

- **痛点三：缺“一把手”专用数据**，地方政府一把手时间少，传统书面报告局部清晰、全局模糊、容易被细节淹没，数据更新不够实时性，对比维度缺纵横交错的时空分析。
- **痛点四：缺互联网感知数据**，对互联网世界发生的实时情况缺乏把握和判断的辅助工具，获取、整理、提取和可视化都缺乏高效精准的完善支撑，导致很多风险预判和关键决策错失先机。

技术特征：

- **互联网感知数据高效获取**：全年无休、实时更新、更全面更精准，每天 **1.8 亿-2.2亿**个采集点、每日超过 **2000 万**条信息，目前累计超过 **90 亿**条信息，共有 **5.5 万个统计项、580 多项宏观发展指标，覆盖全国 2861 个区县**。
- **人工智能算法自动处理**：数据特征画像、全自动整理、数据模型、智能关联等核心技术算法，达到**无**人工干预、**全自动、强实时、智能处理**，实现 **7*24 小时**不间断处理。
- **数据透明可溯**：数据从来源到加工都确保**客观**、按时序历史**可追溯**。
 - **多维对比**：任一指数之间可对比，同一指数市、省、国横向地理可对比，同一指数纵向可对比过去历史、可推测未来，对**任一指标能预警**。
 - **可视化分析**：确保使用者在毫无数据分析专业背景的情况下，也能通过友好直观的**图形界面**轻松地进行数据分析。

2 应用说明

为政府：

- 让地区、区县和省市的**政策研究单位**拥有一个全功能的数据库，不仅了解本地区，而且可以随时对比和了解国内其他地区的宏观指标和发展情况；全数据驱动，在方法论上提供从“冷兵器”到“火器”的代差飞跃。
- 由**地方政府的大数据局**来完成真正由数据流驱动的监测体系，从而构建宏观指标实时测算和预测系统，为一把手掌控全局提供“**一把手驾驶舱**”的宏观能见度，让一把手做到心中有数，避免谎报和瞒报。
 - 为区县、省市的**信息化平台**提供自带生态的、数据流驱动的可视化产品，对于本地区的产业、人口、消费等几百项指标进行可视化展示和预判。
 - 为**地方政府的招商和产业发展部门**，设计若干个独立的自带数据生态的模块，协助产业升级和招商引资。
 - 为区县、省市的**新闻和宣传部门**，提供信息服务，便于统筹全局和局部：避免后知后觉、避免误动误判；提前预测和预防：未雨绸缪，防患于未然。

为智库：

- 提供探索式研究新视角，启发思考，让用户自获新认知；
- 提供大数据驱动的研究“利刃”；
- 提供动态数据支撑的科学研究报告；
 - 让使用数据，变成像用网络和用电一样，低成本、便捷和高效。**为企业：**
 - 提供产业网格地图，实时感知变化，让企业负责人感知行业动态、掌握先机。**项目成果及部分应用示例：**

● 新矛盾指数体系

基于互联网感知数据，构建地理区域宏观经济立方体，从经济、人口、环境、稳定、民生、城市建设等多个方面建立新矛盾指数，实现实时、客观的自动化衡量体系。提供每一个区县，每一个地市的宏观发展数据。

● 省市区县的高质量发展评估与监测体系

以互联网感知数据作为 AI 算法的起点，评估中国各个省市区的政治、经济、民生、产业、环保、安全、人口等宏观指标，实现对地区高质量发展状况的实时反映、长期预测，形成无人干预、客观、准确、及时的自动化监测体系。

● 人居环境监测

基于互联网感知数据，实现对衣、食、住、行、生态、治安等以人为中心的各方面洞察秋毫，AI 十秒钟生成数据报告。

● 企业决策 AI 辅助

对任一地理位置的商业业态、文旅业态、宏观经济精准掌控，小到基础生活、休闲娱乐配套，大到地区消费等级、人口结构、地区人均 GDP 等数百种指标，帮助企业感知行业动态、挖掘商机。AI 十秒钟生成数据报告。

● 土地价值分析

构建基于互联网感知数据 + AI + 专家知识的土地价值评估模型，当前价值从人居环境(医疗、教育、交通、商业、文娱、生态...)、地区宏观经济、稀缺资源等(200+指标)维度全方位评估，未来价值以 AI 辅助充分挖掘、预测。AI 十秒钟生成数据报告。

● 产业链分析

于海量互联网感知数据中提取 GIS 特征，构建产业链大数据分析系统，精准掌控全国、省、市、区县乃至每平方公里的产业结构、产业布局、产业聚集度、供应链关系。AI 十秒钟生成数据报告。

● 赋能房地产中介公司

1) AI 赋能新人培训，提升一倍以上新人到熟手的转化率，节约 75%的底薪费用；2) AI 赋能房地产交易，将中国每一个小区的楼盘 AI 数据化，由此实现在 AI 房地产平台上，完全数据化驱动“跑盘”、“讲盘”和“楼书”三个方面，提高房地产交易率；3) 让中国各个城市的房地产中介，有一个稳定的、全量数据支持的数据服务平台。

● 数据库及工具平台

适用对象为高校和智库的专家，提供数据服务，为专家们在各自领域中构建面向全国全域的、全自动的采样系统、检测评估系统、问题预判系统，通过基础数据和工具平台，让使用数据变成像用网络和用电一样，低成本、便捷和高效，让构建算法如同构建 PPT 一样友好便捷。

以上各领域的应用都支持指标的纵横向对比、大数据可视化展现的可读分析报告。

3 效益分析

目前国内外尚无同标准产品，而以互联网活动为输入、以AI 算法生成的数据为输出的中国 GIS 宏观大数据需求比较迫切，本系统具有巨大的推广空间，将会在多个领域形成多项应用，产生重大经济效益。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 22 科技洞察工具

1 成果简介

随着科学技术的发展，科技洞察的重要性也日益凸显。为了挖掘隐藏在数据背后的信息，需要能够助力科技预测的科技洞察工具。

清华 AMiner 团队依托十余年的技术积累及人才优势，研发了具有完全自主知识产权的智能型科技情报挖掘系统，并在此基础上研发科技洞察工具集。科技洞察工具是面向科研主管部门、情报分析机构以及相关领域技术人才的重要技术洞察工具，以文献、专利、项目等海量科技信息资源为基础，利用大数据分析、人工智能等技术手段，深度挖掘价值信息，为战略规划提供决策参考。

科技洞察工具集如下：

- 技术趋势预测及分析
- 前沿技术预测及分析
- 技术成熟度预测
- 领域交叉热点分析
- 热点分析
- 获奖概率预测
- 学科预测
- 学者预测
- 关键词预测
- 溯源树 MRT

技术趋势预测及分析帮助用户理解领域的研究历史和现状，快速识别研究的前沿热点问题，并支持生成技术发展趋势分析研究报告。

前沿技术预测及分析能够厘清技术关联关系及发展趋势，计算技术前沿度，预见领域前沿技术，提供前沿技术代表学者及文献资料，为制定科研方向提供参考。

技术成熟度预测从文献数据中挖掘出发展规律，预测技术在不同时间的成熟度，帮助用户判断或预测某特定技术的发展程度，助力决策。

领域交叉热点分析帮助归纳出交叉领域下各个子领域的关联关系并佐以数据分析，依据知识图谱，给出细分领域并支持调整，同时分析交叉领域热度。

热点分析根据热点词构建词云，以可视化方式迅速厘清热点方向。

获奖概率预测根据专家过往学术成果、年龄、机构等基本信息，预测专家在未来获得荣誉的概率，助力人才引进和人才评价。

学科预测分析预测任意文本，抽取关键词并给出权重，预测文本所涵盖学科，推荐相关领域专家，助力项目评审。

学者预测智能预测指定人才身份、研究领域、跳槽概率，更好掌握学者动态，助力人才

引进。

关键词预测根据输入的关键词以及对照关键词自动生成学科领域交叉度，并推荐领域内论文及顶尖学者，助力科技工作者领域研究，助力政府企业人才引进。

溯源树 MRT 通过构建论文演变图帮助学者研究论文发展，助力厘清不同引用之间如何相互关联与影响。

2 应用说明

科技洞察工具应用于华为科技洞察系统，该系统以论文、专家学者信息等数据为基础，搜索推荐特定技术领域中的代表性专家，分析挖掘专家关系网络，跟踪分析专家观点，把握最新科技动态，为华为公司制定科技战略、确定技术研发重点并给出指导性意见。

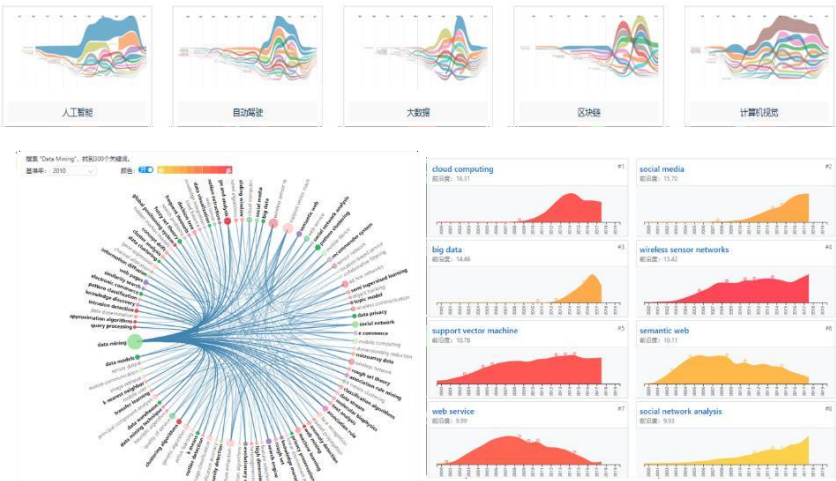


图 1. 科技洞察工具示意

3 效益分析

目前科技洞察需求日益迫切，本工具具有较大的推广空间。本工具可以为科研主管部门、情报分析机构以及科研人员提供数据处理与科技决策的支撑服务，具有较强市场竞争力。

5 所属行业领域

电子信息领域。

4 合作方式

联合推广。

NO. 23 科技人才情报平台

1 成果简介

当下，现有的科技数据分析平台大都以文献为中心，很大程度上缺少对科技情报的深度分析和专业知识服务，同时面临着数据时效性低、准确性难以验证的问题，和数据来源单一造成学者画像精度低、学术评价片面、缺乏权威性等问题。针对科技情报深度分析挖掘的现实需求，清华大学AMiner 团队推出科技人才情报平台。

科技人才情报平台，以论文、专利、专家学者信息、博客、论坛等数据为基础，利用大

数据分析、机器学习、人工智能等技术手段，分析挖掘全球学术研究热点及其发展趋势，跟踪分析专家观点，把握最新科技动态，为制定科技战略、确定技术研发重点给出参考性意见。

平台功能包括：

- 人才库基础
- 技术热点发现及关系分析
- 技术点发展脉络及技术成熟度分析
- 技术前沿分析
- 报告自动生成

人才库基础以 AMiner 系统论文及学者数据为基础，深度清洗，完善专家画像，建立人才库。专家库中，除提供专家列表、专家画像，还提供该库中专家的 h 指数分布、论文数分布、性别分布、语言分布、地理位置分布、所在机构分布、研究兴趣分布等统计信息。同时开放人才库管理功能，可对库中人才进行增删改查。

技术热点发现及关系分析以 AMiner 系统论文及学者数据为基础，分析挖掘出当前全球技术热点及热点之间的关联关系，以可视化方式生动展示热点强度及热点之间的关系。

技术点发展脉络及技术成熟度分析通过构建知识图谱，结合 AMiner 系统论文及学者数据，分析指定的技术点，根据论文发表情况分析该技术热点及其子领域技术的历史发展脉络，找出关键时间节点的代表性论文、学者、事件等，并可视化展示；同时，根据 Gartner 技术成熟度曲线，以及美国 NASA 的 TRL 体系分类，研究基于论文及学者等技术成熟度判断模型，与技术脉络配合，显示指定技术点的技术成熟度信息。

技术前沿分析以 AMiner 系统论文及学者数据、以及科技论坛、博客等实时性较强的网络公开数据为基础，分析挖掘可能的前沿技术，找出前沿技术的代表学者及代表性观点。

报告自动生成。AI 撰写机器人基于覆盖全球 1.36 亿学者、2.3 亿论文的科研大数据，联合领域专家，生成基于区块链的群智报告。报告中知识图谱、人才分布、学者关系、技术热点、交叉分析等内容由 AI 机器人自动完成。去中心化，集体维护，能够更好的保证作者知识产权。

平台技术创新点如下：

- 跨媒体科技知识图谱构建技术。
- 科技情报网络的隐含关联挖掘方法。
- 基于立体画像的多维科技情报快速匹配技术。
- 知识驱动的智能型科技情报挖掘平台 AMiner。

2 应用说明

科技人才情报平台应用于之江实验室，通过建立之江实验室一站式数据搜索系统，在“科技文献服务”、“科研热点发现”、“高层次人才挖掘及评价”、“技术预见、挖掘与评估”四个维度提供了优质的服务。

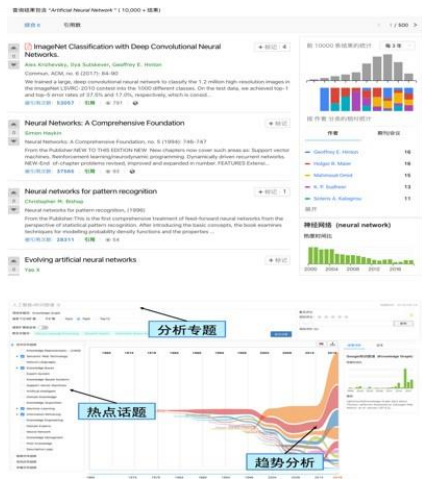


图 1 之江实验室一站式数据搜索系统

3 效益分析

科技人才情报平台顺应了我国实施创新驱动发展战略和建设创新型国家的重大需求，以开放互联网科技信息资源为数据基础，深入挖掘，探索科技发展的深层规律，研究突破科技知识图谱构建、技术趋势分析、科技服务智能匹配等核心关键技术，研发系统，为推动我国企事业单位的科研产品升级，加速科技创新做出积极贡献，具有较强的市场竞争力和广阔的发展前景。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 24 人才评估系统

1 成果简介

在高校职称评审过程中，同行评议是重要的环节。但现行同行评议大都采用手工操作方式，从而造成了工作量很大、流程不规范、执行效率低下、易流于形式等问题，十分不利于正高级等职称的评审、评议的执行。针对这些问题，旨在为高校提供客观、公正、高质量的专家评审推荐服务的人才评估系统应运而生。

团队依托清华大学团队十余年的技术积累及人才优势，通过数据挖掘和社会网络分析技术，推荐与参考学者在学术水平、学术权威度、研究领域等方面相匹配的专家，并发掘学者的研究能力、引用关系、合作者关系、学术影响力等方面的学术亮点，同时提供自动生成评估报告等服务。系统功能主要分为如下三个部分：

● 评审专家智能推荐

系统根据待评估专家的研究兴趣智能推荐研究领域相似的专家，并分析评审专家的情报信息，其中包括领域权威度、领域匹配度、反馈可能性、高引文章、生涯预测、以及获奖清单等。满足高校对专家评审的不同需求。

- 参评学者情报分析

系统对参评学者的研究领域、代表性成果、专利、基金项目、成果影响力、获奖清单等进行分析挖掘，并与领域内相似学者的学术水平进行对比，对学者的学术生涯进行预测，全方位评估学者学术能力。

- 评估记录动态跟进

系统包含本校学者历史被评记录、评估专家姓名、邀请时间、回复状态及结果等，并支持高校端在线编辑评估信息，简单易用，解决人事部门工作量大、效率有限等问题。



图 1.人才评估系统界面

2 应用说明

人才评估系统应用于清华大学，通过建立国际评估专家推荐系统，为清华大学高校教师职称评审推荐合适的评审专家。依据清华大学按一二级学科分级组织，每个二级学科领域提供国际顶尖Top100 专家，提供性别、语言、国家等多维度筛选条件，提供基于语义的研究领域关键词检索，专家匹配度更高。根据高校所给的指南文本，结合全领域全球专家库，基于语义分析与智能分析获取满足评审要求的同行专家名单。

3 效益分析

传统高校职称评审中存在评审专家难找、领域匹配度难以鉴定等问题，市面上的高校人才评估系统也多提供 oa 化并未能够直击痛点。人才评估系统依托知识图谱、深度挖掘等技术和专家库资源，为高校提供了高效的解决方案，具有较强的市场竞争力和较好的发展空间。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 25 人才引进系统

1 成果简介

随着大数据时代的到来，人才需求急剧增长。面对海量专家无从选择，人才引进渠道单

清华AMiner团队依托十余年的技术积累及人才优势，拥有高质量大规模知识图谱构建、深层次隐含关联挖掘算法和规模化智能知识服务等核心关键技术，研发了具有完全自主知识产权的人才引进系统，支持根据用户特征及需求智能推荐引进人才名单，助力“低成本”引进“高潜力”人才。系统特点如下：

- 深度专家画像建立每位专家的高精度画像，包括基本信息、研究兴趣、合作网络、教育经历、科研成果等。助力人才精准推荐、人才评价等应用场景。
- 专家领域权威度分析根据专家发表的论文数、论文被引次数、H 指数、领域新星指数和活跃度，以及通过对专家合作者的情况进行分析，得到专家在该领域的权威度。
- 学科贡献度分析是预测引进专家对引进单位学科贡献度的分析。通过分析专家的领域成就值，预测专家引进后对学科领域的影响情况，以及通过专家的研究领域与引进单位学科重叠度预测专家引进后与引进单位的合作紧密度。
- 学者引进难度预测将根据专家的国籍、语言和文化差异，以及专家过往的教育背景、科研经历和引进专家与引进单位的合作情况，帮助综合分析学者引进难度预测。
- 引进成本预测由该专家的领域权威度、引进难度、专家的职位、头衔、所获得的奖项等因素共同计算获得，通过引进成本的预测可以帮助引进单位做出辅助决策。

人才引进系统应用于清华大学人事处，帮助引进人才、管理人才和服务人才，基于大数据分析挖掘平台建立全球中高端学者画像库和中高端人才引进储备库及相应的支撑软件系统。系统以 1.3 亿学者大数据为基础，通过大数据挖掘和智能推荐，构建所需学科方向的学者库，为清华大学学科领域提供国际顶尖专家，实现基于语义的研究领域关键词检索，使得专家匹配度更高。



目前国内人才政策利好，中高端人才需求大，预计 2022 年我国中高端人才获取服务市场规模将达到 2437 亿，本系统具有较大的推广空间。本系统可针对高校、企业和政府等不同用户提供不同版本，满足不同用户需求，具有较强市场竞争力。

联合推广。

电子信息领域。

N0. 26 项目评审专家推荐系统

1 成果简介

目前，人工智能技术已经在我国得到了广泛的应用于发展，该技术的成熟与发展为我们这样一款产品提供了技术保障。大数据时代的到来，也为我们获取海量数据提供了更多便利。

清华大学计算机系 AMiner 团队利用 AI+大数据打造了一款智能的评审专家推荐系统。该系统可以通过智能化算法自动匹配和推荐适合参与研究项目评审的专家候选名单。



本产品的特点如下：
语义分析自动匹配

- 高效的专家组合推荐
- 精准匹配小同行专家
- 多维度专家筛选条件
- 智能回避机制
- 全面专家画像

语义分析自动匹配是基于语义分析技术对专利文本进行关键词抽取分析，并且自动匹配专家库专家，这样可以减少人工干预，简化了专家抽取流程。

专家组合推荐可根据调整关键词权重，实现评审组合中各领域专家数量比例的调整，同时自动生成专家组合，高效便捷。

精准匹配小同行专家是运用基于语义表示的专利和专家智能匹配算法等核心技术，实现小同行专家的精准匹配。

多维度专家筛选条件可以提供优先性排序、过滤条件、约束条件等多维度专家筛选条件，并且根据过滤条件和约束条件进行统计和显示。

智能回避机制是根据项目申请人姓名、单位等信息，通过智能算法自动过滤同单位以及有合作关系的专家学者，保障评审公正性。

全面专家画像提供专家姓名、职称、职务、单位、联系方式、经历、成果等详细信息，便于开展线下对接服务。

通过以上特点可以表明，该评审专家推荐系统能够实现快速推荐出合理、科学、公正的项目评审专家团队。

2 应用说明

2016 年 11 月份，受科学技术部科技人才交流开发服务中心委派，并结合委派方的特定需求，清华大学计算机系AMiner 团队打造了中国科技部专家智能指派系统。该系统能够根据委派方所给的项目指南文本、候选专家信息，结合智谱华章全领域全球专家库，基于语义分析，智能分析得到满足项目评审要求的专家名单。

3 效益分析

目前中央及各地方省市、科协、科技厅/局、组织部人才局在进行项目评审团队的建设时，耗时、耗力。该系统能够降低项目评审团队人工搭建的成本，自动匹配和推荐适合参与研究项目评审的专家候选名单，而且可以确保团队的科学性与公正性。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 27 新冠疫情数据综合服务平台

1 成果简介

疫情打破了人们的生活节奏，面对突如其来的新冠疫情，如何准确实时掌控疫情发展趋势、如何帮助企业尽快复工复产、如何全面了解全球最新的新冠研究成果等问题凸显出来。清华大学计算机系AMiner 团队开发新冠疫情数据综合服务平台，帮助大众了解疫情最新发展趋势、帮助企业科学复工复产，帮助专家学者了解全球最新研究动态。

(<https://covid-19.aminer.cn/?lang=zh>)

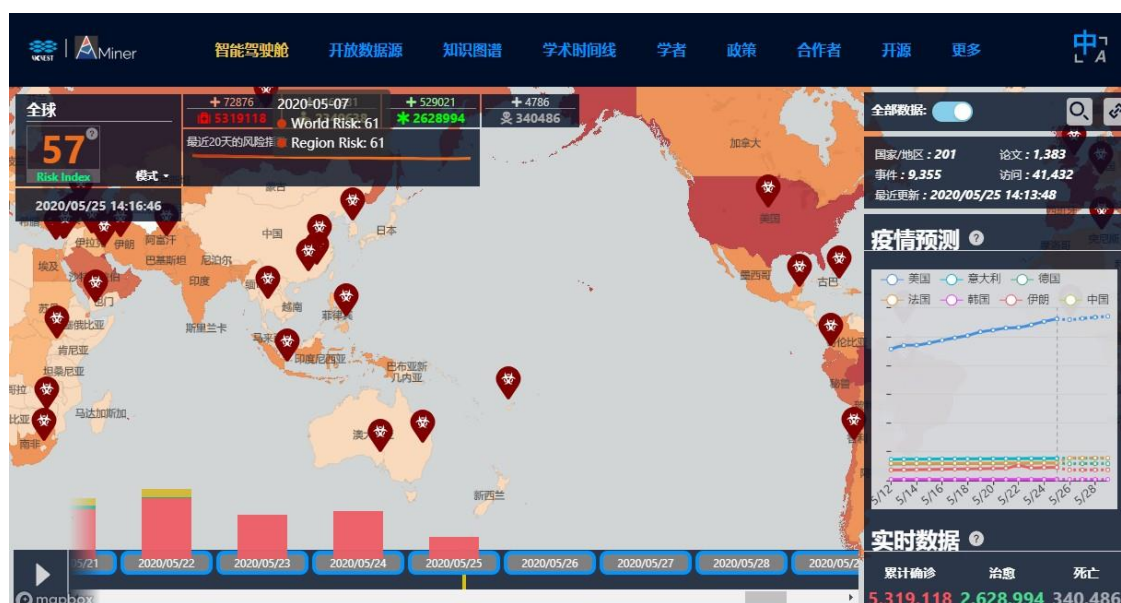


图 1 新冠疫情数据综合服务平台

平台功能包括：

- 新型冠状病毒疫情趋势预测；
- 新型冠状病毒高关注度专家学者分析；
- 新型冠状病毒肺炎学术成果时间线；
- 新型冠状病毒肺炎疫情惠民惠企政策地图；
- 新型冠状病毒肺炎疫情日报；
- 新型冠状病毒/流感病毒知识图谱；
- 新冠肺炎开放数据源；
- 新冠肺炎平台代码开源；

AMiner 通过综合多方因素，比如确诊人数、治愈人数，地区人口数量、面积、医疗指数等，推出了基于知识的全球新冠疫情风险评估和辅助决策系统。此系统可用于预测地区新冠疫情的风险指数，辅助决策防控防疫、复工复产等工作。

专家学者分析平台对高关注的专家进行深度分析。涵盖学者的个人基本信息、研究领域、研究水平、权威性、研究代表性成果等学术方面的信息，结果丰富、动态更新，帮助了解疫情研究最新进展。

学术成果时间线基于 AMiner 平台专家、论文数据和舆情平台资讯数据，通过数据挖掘结合人工筛选的方式，聚合当前最新和重点学术论文、论点和事件，形成学术成果时间线，为相关领域的学者和从业者提供便捷的疫情情报获取途径。

政策地图收录展示了各级政府发布的惠民惠企政策。用户可以通过政策地图查询全国各省、各市发布的最新政策，助力企业掌握政策动态，帮助企业复工复产。

疫情日报融合了 XLORE 百科知识图谱背景知识，利用实体消歧、实体链接等技术，提供了结合知识的新闻事件分析，方便用户快速、高效地查看疫情热点信息。除了给出简单可视化信息展示以外，系统还给出了实体之间的关联信息。

疫情知识图谱包含了 505 个概念，由 8 个层级组成，通过疫情知识图谱可以帮助科研人员、医疗人员、政府工作人员和公众快速获得开放、全面的新冠知识，内容覆盖了医疗、健康、物资、防控、科研和人物等。

开放数据源收集了来自世界各地各种类型的相关开放数据，并持续更新。数据集范围包括疫情、科研、知识图谱、媒体信息等，可以一站式搜索最新最全的新冠肺炎数据。

开发团队同时将该平台的部分代码开源在了GitHub 平台上，从而让更多人参与到平台的优化和建设中来。

2 应用说明

2020 年 4 月 7 日，清华大学联合中国工程科技知识中心、清华大学附属北京长庚医院、 阿里巴巴智能计算实验室、北京智源人工智能研究院数据开放研究中心、搜狗搜索、智谱.AI ， 上线了“新冠肺炎（COVID-19）开放数据源”平台，开放而全面的数据帮助研究者、政策制定者、医疗工作者和普通民众更深入地了解病毒和疫情动态，助力防控工作展开。

3 效益分析

新冠疫情数据综合服务平台联合多方共同收集挖掘了关于此次新冠肺炎的最新数据，致力于为新冠疫情趋势的预测、企业复工复产、专家学者研究等贡献力量。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 28 专家画像构建

目前，人才评价主要基于专家自己填写的信息，存在数据时效性低、准确性难以验证的问题。同时数据来源单一，造成学者画像精度低、学术评价片面、缺乏权威性问题。在此背景下，迫切需要构建一套时效性高、准确性可验证、学者画像精度高、学术评价科学公正、具有权威性的专家画像。

清华大学AMiner 团队通过对数据语义化、语义集成等难点技术的攻关，结合知识图谱、机器学习和大数据等技术，研究构建多维、客观的专家画像。



图 1 学术专家画像专家画像构建能够实现以下特征:

- 多维多粒度学术画像的精准实现与纠错
- 科研行为画像的准确性和实时性验证
- 立体精准可信的学术评价体系
- 场景自适应的学术同行分类与推荐

多维多粒度学术画像的精准实现与纠错构建了适用于学术领域的用户画像模型，多维立体地展示了学术用户的特征，保证了画像的全面性。将科研人员实时动态的科研行为变化引入到学术知识图谱构建中，构建学术画像图谱和学术关系图谱，同时构建了研究画像信息可信溯源机制，帮助学术画像的准确性验证。

科研行为画像的准确性和实时性验证使获取的测试样本具有典型的代表性和广泛性，形成了科学、客观的科研行为画像样本验证数据集，可以用于客观评价科研行为用户画像的准确程度。

立体精准可信的学术评价体系通过基于学者的学术产出、科研项目、学术活动等多维度科研行为进行影响力度和预测，实现了评价体系的“立体”化。通过构建自适应权重的同行评价体系并对其进行评估，实现了评价体系的“精准”化。通过探索个体隐私保护、关键科研行为信息安全保障方法，实现了评价体系的“可信”化。

场景自适应的学术同行分类与推荐满足了不同应用需求的科研项目评审专家推荐，同时可以向科研学者精准地推送科研专家，并提供推荐解释。

2 应用说明

该专家画像为中国科技部专家智能指派系统的构建提供了坚实的基础，在数据层面为项目评审专家推荐系统的实现提供了可靠的数据支撑。

3 效益分析

专家画像构建为科学、合理的人才评价以及项目评审专家推荐提供了强大的数据支撑。解决了以往专家画像精度低、学术评价片面、缺乏权威性、数据时效性低、准确性难以验证等问题方面，大幅度提升人才评价/专家推荐的科学性和合理性，也有助于人才系统的建设与发展。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 29 基于合法身份生物特征标记认证的区块链安全交易数字凭证技术

1 成果简介

区块链技术是利用哈希加密手段把包含交易信息的数据块串联成线性链表结构并在网络中公布的方法。每一个数据块（区块）的形成需要利用当前区块链的尾部区块数据信息、当前时间戳信息和一个临时生成的随机数字（nonce）共同加密形成。这个随机数字必须能够使生成的加密区块满足所谓的“部分哈希碰撞”要求，即经过安全散列算法（Secure Hash Algorithm）SHA-256 加密生成的字符串从左往右前面 k 个字符全为 0。一般认为，利用海量计算能力强力破解（brute force）是找到这个随机数字的最快方法。

区块链的本质特点是网络中端对端的分布式区块生成能力。每个新区块的生成代表一笔新的交易，生成新区块的过程具有分布式特征，无需经过单一中心节点服务器，网络中任意两个节点之间都可以完成交易并生成新区块。因此，区块链技术大大提升了海量节点之间交易的处理能力。

尽管区块链技术具有很多优点，但是目前仍然面临许多关键性问题。

首先是双重支付（Double spending）问题。在区块链电子交易系统中，经过加密的区块是证明双方交易合法性的唯一凭证，因此需要使加密的数字凭证无法被篡改。一笔交易的支付方将区块链上最后一个区块的交易信息、交易接收方信息一起加密后形成一个新区块，并将新区块加到区块链上，实现一笔交易的数字凭证。该凭证作为区块链的一部分，被广播到所有区块链网络节点，作为“公共账本”被保存在网络中。但是，由于网络通信存在延迟，代表一笔交易的新区块从生成到被大多数网络节点认可需要一个时间段。在这个时间段

内，交易的接收方拿到数字凭证（新区块）后，并不能检验支付方是否已经使用过这个新区块。也就是说，在新区块被区块链确认合法性之前（一般要求被记录进区块链而且后面还有其它 5 个区块），支付方可以任意使用手中的区块作为数字凭证支付给多个接收方。这就像是用户拥有一本空白支票，在银行兑现之前可以任意支付给多个接收方。

其次，区块链技术的安全机制往往是指区块链自身的可靠性和稳定性机制，但是对于数字凭证的交易者来说，系统架构中并没有提供足够的合法身份验证和防止账户盗用的交易止损机制。对于普通用户来说，区块链所谓的“可靠性”只是提供了一个 24x7x365 的全时交易平台，并不代表单个用户在交易中数字凭证和资产的安全性得到了可靠保证。相反，一旦用户的密钥丢失，则将永久性丧失个人的数字资产，系统本身并没有提供恢复合法性资产的机制。这对于大多数普通用户来说是难以接受的安全风险。因此，尽管区块链技术提供了便捷的交易平台，但是仍然无法提供类似传统中心化交易场所（比如银行）的个人资产安全保证机制。

第三，缺乏合法身份认证机制的区块链技术还面临着严重的信息安全问题。当区块链网络遭受到网络攻击、私钥遭泄露、盗用，甚至网络因硬件问题瘫痪时，交易数据和数字货币的完全恢复将非常困难。因此，急需建立一种保证个人用户交易和数字资产安全的保障机制。

基于生物特征身份认证机制的区块链安全交易数字凭证技术是课题组经过提出的新型生物特征数字加密方法，强化了个人信息的安全性、帮助交易双方建立唯一、合法的交互。污水和水体的荧光光谱是多物质产生的复合光谱，它们与水样唯一对应，被称为“水质荧光指纹”，简称“水纹”。该法在污染性质快速判断方面具有独特优势。合法身份认证机制是传统中心化交易平台的安全技术，但是这并不意味着身份认证就是中心化交易系统本身，它只是中心化交易过程采用的一种保护账户安全的手段。在去中心化的区块链技术中，同样也可以使用身份认证机制。通过本技术提出的生物特征身份认证机制，可以实现与端对端交易相适应的用户数字资产安全保障。

课题组从 2017 年开始从事区块链加密技术研究，掌握了区块链交易双方生物特征加密信息的底层区块链模型技术，该区块加密和认证技术从根本上保证同一笔数值凭证不会同时用于两笔交易，在保留区块链技术优点的同时，实现了解决双重支付问题的机制，填补了目前区块链平台交易双方范围复杂、可信度不可控和交易真实合法性无法保证等挑战带来的技术空白。

该技术系统由区块链账户的生物特征加密集成技术、安全交易数字凭证生成技术、区块链系统对区块合法性认证技术组成，可以从根本杜绝双重交易。该技术的特点如下：

- 区块包含支付方和接收方生物特征加密信息验证机制。传统区块链技术中，对新区块的验证仅仅需要满足“部分哈希碰撞”要求即可，用户只要找到一个随机数字（nonce）使之满足哈希字符串 k 个首字符为 0，就拥有者使用该区块“记账”的权利，而不会要求验证该区块将交付给谁。这种机制的潜在风险是该区块可能会被用于多次交易支付，但是区块链只能承认其中第一次合法的交互，其他交易不被承认。含有加密生物特征的区块格式指定了该区块只能用于本次交易双方之间，接收方根据自身“合法身份生物特征标记”加密编码能够十分方便地验证支付方提供的交易数字凭证是否已经被多次支付使用，这是一种特别指明支付双方之间明确权利关系的记名数字凭证技术，该技术保障“一证一用”，使其无法在第三方之间使用。这样可以从根本上避免一个区块的多次使用问题。
- 重新定义的分布式时间戳技术可以有效避免区块链分叉。由于加入了生物特征信息，同一个区块不会被支付到两个网络地址，因此杜绝了双重支付导致的恶意区块链分

叉。

- 包含交易双方生物特征加密信息的数字凭证技术可以实现交易查询和数字凭证归属认证。根据本项技术提出的“合法身份生物特征标记”技术，提出了数据头专用格式。通过网络中保有的完整可信区块链数据，用户可以查询并验证与自己账户生物特征编码相匹配的区块，利用哈希编码，可以找到区块链中被合法接受的位置，定位到与账户相关的交易数字凭证，并利用自己的合法唯一生物特征身份认证该数字凭证。

上述优点表明该技术具有防止双重支付虚假交易、用户数字资产认证、用户个人信息保密性高的特征。在区块链用户数量大、分布范围广、背景复杂的情况下，该技术对于保障个人交易和资产安全尤其具有优势，能够防止因网络攻击、账户盗用等问题引起的资产损失，提高抵抗恶意破坏区块链网络的能力。同时，该技术保留了区块链分布式记账和去中心化交易的特点。查新表明，国内外目前尚未发现有相似原理的技术。

2 应用说明

由于目前国内外尚无同类技术，而区块链对于提高安全性、避免双重支付、降低计算成本需求比较迫切，因此本技术具有较大的推广空间。本项技术原理可靠、技术路线清晰可行，转化为软件系统的条件充分。

3 效益分析

由于目前国内外尚无同类技术，而区块链对于提高安全性、避免双重支付、降低计算成本需求比较迫切，因此本技术具有较大的推广空间。本项成果具有用户身份合法性认证、账户安全性高、交易过程规范可信、用户数字资产保障性强等特点。该方法是对现有区块链技术的重要发展，其有益效果主要体现在如下方面：

(1) 在该技术系统基础上，可以开发基于便携式移动终端的区块链交易系统，通过终端实现指纹扫描、面部识别等生物特征的快速认证，使区块链应用系统更加快捷、方便。

(2) 在该技术系统基础上，可以建立方便实用的区块链支付体系，通过个人之间直接交易支付系统，可以使结算更为快捷，形成稳定的、具有高信誉度的区块链使用群体。

(3) 企业通过该技术系统可以实现高效便捷的资金管理和流动，有利于促进企业的积极健康发展。

(4) 区块链上用户交易数据的历史记录可以帮助建立企业、个人信誉度云数据，可以作为相关行业对用户信誉度要求的依据。

在该技术基础上开发的软件系统和移动端交易平台具有极其广泛应用场景，同时又能解决目前区块链技术实际应用推广面临的瓶颈，是市场上急需的创新性应用技术成果，具有明显的经济和技术优势。

4 合作方式

(1) 专利授权使用，技术转移。

(2) 合作开发推广基于本项成果的新一代区块链安全高效框架和应用软件平台。。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 30 基于 AI 的建筑图纸模型合规审核工具

1 成果简介

建筑设计施工图审查，致力于防止不合理和缺陷设计的产生，是建筑安全质量保障的一项重要内容。然而，现有各类工程项目的审核大多还是由人工完成。我国的建筑工程规范种类多、更新快，对审图的时限要求高，而审图人员专业能力参差不齐，导致目前“完全依赖于人”的图纸审查现状，面临审查全面性、客观性和一致性等挑战。业内多年来一直希望能够有一款机器智能审图工具，将审图人员解脱出来。然而，因技术上面临规范条文机器无法理解、建筑图纸机器无法识别、合规判定机器缺乏专家智慧等问题，市场上一直没有满足现实要求的智能审图工具出现。

课题组自 2015 年以来致力于开展面向工程领域的智能条文理解和规范审查相关研究，自主研发了基于规则库的图纸模型合规性智能审核工具。工具深度结合自然语言处理、领域特定语言、知识图谱、深度学习、数据挖掘等方面的研究成果，充分融合领域专家的经验知识，突破数字图纸“智能”审核瓶颈，实现面向各类规范的“一键式审查”，为建筑工程图纸审核提供全面、客观、公平、一致的解决方案。

工具的特点如下：

- 技术框架编入了国家标准 **GB/T 36456.3-2018**，在全国独具推广优势；
- 提出并实现了规则库编制方法，支持各类建筑规范的机器理解和表达；
- 支持 DWG 图纸、BIM 模型、PDF 图纸上的统一审查；
- 支持建筑、机电、消防等各专业各类规范的统一审查；
- 可扩展性强、规范引擎的灵活性、易理解性强
- 支持图纸模型设计工具插件、单机版、审查平台调用服务等三种形态，既可用于政府和审图机构的在线审查，也可用于设计施工单位的单机自查。

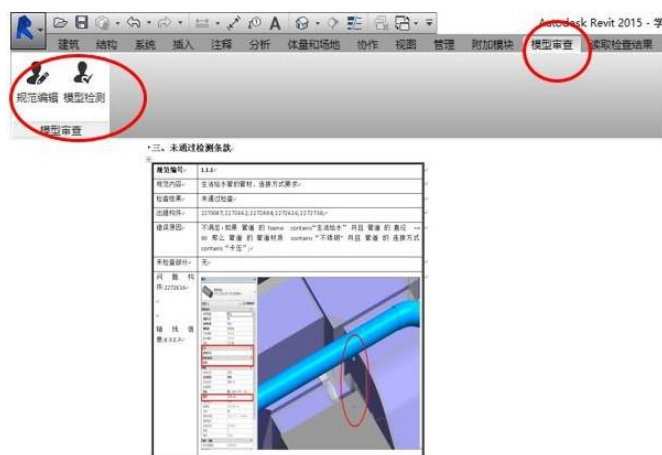


图 1 智能审查工具插件版图示

2 应用说明

该工具已在多家单位建筑工程项目中进行了实际应用，辅助发现了图纸模型的多处安全质量攸关问题。典型应用包括与**中建安装**在北京地标性超高层建筑中国尊、与**深圳建筑工务**

署在莲塘口岸等重要公共建筑、与**大连万达集团**在商业综合体建筑、与**中广核苏州热工研究院**在工业厂房上的应用等。

本工具于 2019 年应用于**湖南省 BIM 审查系统**，实现了对“消防”专业规范的一键式智能审核。湖南省住建厅在国内率先推出的该省级审查系统，已通过专家验收，将于 2020 年 6 月在全省上线运行。本工具作为核心引擎支撑湖南省省级 BIM 模型合规性审查服务，在全国具有引领效果。2020 年，**广州市 BIM 审查平台**也将搭载本工具，服务其面向消防、住宅、教学等多规范多多专业综合的智能审核。

3 效益分析

清华大学自主研发的基于规则库的图纸模型智能审核工具，**是课题组多年来针对行业痛点深耕细作的研究成果，是目前国内在 AI 审图领域做的最早、研究最深入、产品最成熟的工具，具有技术优势。**因该工具开发门槛较高，在全国建筑工程行业智能审图审模的迫切

需求下，各类提交审查平台都可参考本工具与湖南省 BIM 审查系统等合作模式，搭载本工具实现平台的智能审核服务。此外，随着政府审查平台的推广应用，面向设计施工单位的自查工具也将具有巨大的市场。本工具的插件版和单机版将具有庞大的用户群。由于该工具全部由软件实现，不需要投入硬件设施，不需要额外的服务器支撑，具有明显的经济优势。

4 合作方式

工具应用、定制服务、转让或者联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 31 汽车电子芯片研发

1 成果简介

汽车电子即用于汽车上的电子产品。其中一类车体控制装置，包括发动机、底盘控制和车身控制系统等，与汽车本身的机械系统协同工作，使汽车行驶更安全和稳定；还有一类车载电子装置，包括车载的网络系统、通信系统与娱乐系统等，目的是提升人在车内的驾驶体验。汽车上的这些电子产品极大地提高汽车的安全性与舒适性，随着其他消费类电子产品的各个领域的日新月异的发展，其他领域电子产品技术的成熟也不断影响着汽车电子领域的发展。

在国内，由于起步较晚、技术积累不成熟，中国汽车工业仍然主要处于追随国外厂商的位置。而在我国汽车电子芯片市场，欧洲、美国、日本等生产商依然占据绝对主导地位。汽车电子芯片对温度的要求与普通商用电子不同，商用级要求 $0^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ ，汽车级要求 $-40^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ 。需要采用特殊的工艺、对宽温与的设计考虑、更详细的测试验证来达到其要求。汽车电子芯片对安全性的要求尤为严格，汽车电子产品的设计往往需要更深的技术积累、更长的设计周期以及更高的投入。

胎压监测系统 TPMS (Tire Pressure Monitoring System) 是保障汽车安全的重要措施。TPMS 可实时检测汽车轮胎内气压和温度等数据，轮胎状态一旦出现异常情况，如漏气、欠压、温度过高等，驾驶者可及时获得预警信息。另外，随着新能源汽车的市场不断扩大，作为其动力电池关键要素的电池管理系统 BMS (Battery Management System) 核心芯片的国产化研发与应用也日益重要。BMS 系统具有主动热管理、荷电状态检测、电池均衡等功能，防止动力电池出现过压充电、欠压放电、长时间大电流充放电等易造成电池不可逆损

伤的情况，并可在极端状态下关闭电流回路以确保电池系统的安全。

本课题组多年来致力于汽车电子芯片的研发与产业化推广，主要聚焦在 TPMS 芯片与 BMS 芯片两个重要方面。

TPMS 芯片包含传感器接口电路、电源管理电路、CMOS 温度传感器、时钟产生电路、专用 MCU、EEPROM 等模块。其主要指标为：

- 1) 检测周期 10s，车速>0km/h；
- 2) 电源电压：2.1~3.6V；
- 3) 胎压测量范围：100~750kPa；
- 4) 输出信号范围：40~50mV

BMS 芯片包含高压采集前端、带隙基准源、增量式 Σ - Δ ADC、芯片间级联通信接口、数字控制电路等模块。其主要参数指标为：

- 1) 可监测管理 8 节串联锂电池，电压监测精度<1mV；
- 2) 工作温度-40~+125℃；

2 应用说明

TPMS 芯片：已与胎压检测模块生产龙头企业之一-上海泰好电子科技有限公司建立了紧密的合作关系，将自主研发的 TPMS 芯片应用在其车用胎压检测模块中，后续并将本组独创的无电池胎压检测系统芯片应用在实际产品中。

BMS 芯片：已与新能源及锂电池领域主力厂商之一-珠海钜威动力技术有限公司建立了紧密的合作关系，即将在 BMS 应用演示系统上对自主研发的BMS 核心芯片进行使用验证。

3 效益分析

2017 年 10 月 14 日，国家标准化管理委员会正式批准了强制性国家标准 GB 26149-2017《乘用车轮胎气压监测系统的性能要求和试验方法》，标准规定，自 2019 年 1 月 1 日起对 M 类车的新车型强制覆盖安装，2020 年实现对 M 类车的所有出厂车强制覆盖安装。

2017 年国内自主乘用车 TPMS 安装率在 20~30%之间，龙头厂商上海保隆科技的前装市占率在 30%左右，全面 TPMS 发射器收入估计在 6 亿元以上，销量在 700 万个以上，国内 TPMS 发射器的总体效率则在 2900 万个左右。目前市场上的主流 TPMS 发射芯片供应商 Infineon（占领前装主要市场）、Freescale（占领后装主要市场）的 SiP 二合一芯片价格在 15元左右，而 TPMS 模组厂商的平均毛利率在 25%左右，并仍在不断走低，扣除各项费用后，净利润率已是个位数。后续市场营销的策略就是提供同等性能和可靠性的芯片，同时为客户的模组开发提供全套解决方案与技术服务，并且价格锚定为国际竞争对手的 80%。

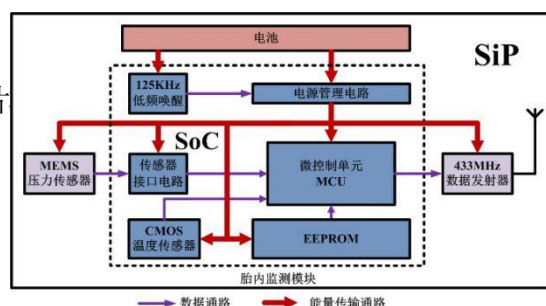
电池管理系统（BMS）在电池组中成本占比较高，价格还较为昂贵。电池管理系统（BMS）的价格与电池组中的单体数量正相关，电池管理系统（BMS）占据电池组总成本的 30%。考虑到BMS 的电路板和芯片设计尚处于初级阶段，而后期产品的复杂程度、更新换代速度和量产规模都将逐步提升，因此预计主流的电池管理系统（BMS）价格将呈现缓慢下降的趋势，需求市场将在 2020 年 达到 300 亿元以上。平均来看，BMS 系统占整车成本接近 10%，PACK 成本则高于 20%，芯片则占BMS 系统成本约 50%以上。

4 合作方式

联合推广

5 相关图片

图 1 TPMS 芯片



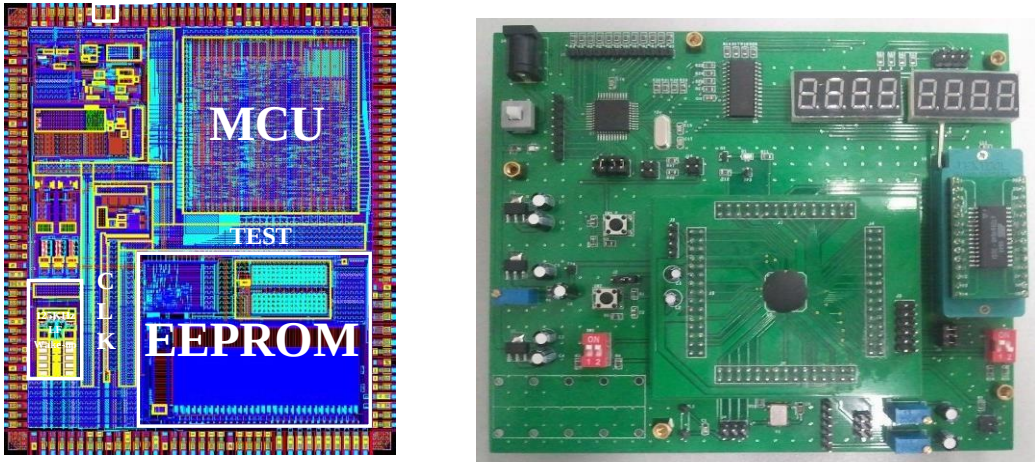


图 2 TPMS 芯片全貌及测试板

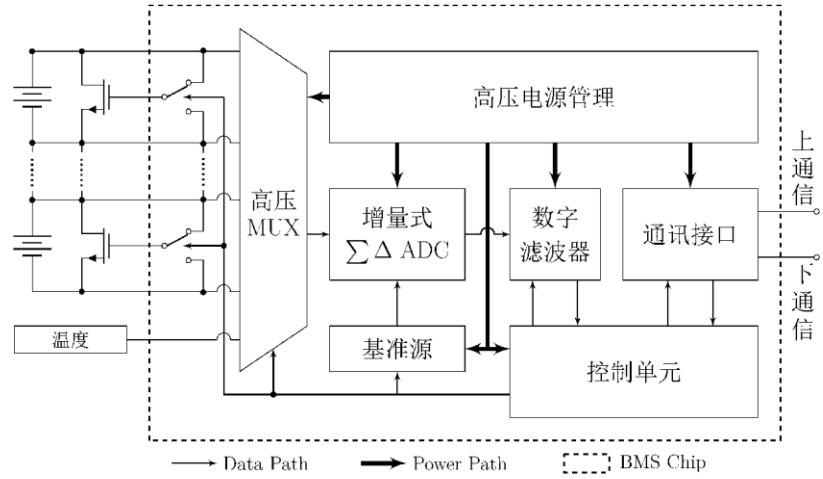


图 3 BMS 芯片框图

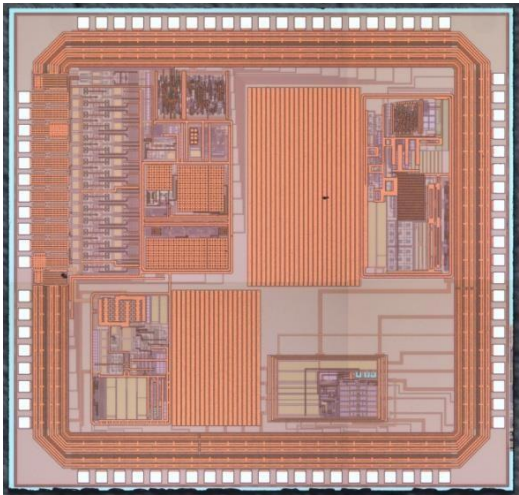


图 4 BMS 芯片全貌

6 行业所述领域

电子信息领域

NO. 32 芯片侧信道安全性分析与测评平台

1 成果简介

随着集成电路技术的发展和信息安全需求的飞速增长，密码芯片成为了应用广泛的重要芯片门类。上世纪九十年代开始有人提出了“物理攻击”的概念，它是一类针对密码芯片的，利用物理信息或物理手段直接获取芯片存储、处理的秘密数据的攻击方法，具有攻击能力强、手段丰富、难于防范的特点。目前，国际上欧洲发达国家都拥有自己的密码芯片安全性测评机构和测评实验室，有销售相关检测设备的公司。我国在相关领域的发展水平则相对落后。当今世界，技术壁垒是国际贸易战中的重要手段，检测水平的差距所造成的壁垒“落差”使得我国安全芯片企业在国际竞争中限于被动。因此，无论从保护我国信息安全的角度出发还是从打破发达国家技术壁垒的角度出发，我国都必须增强芯片安全性测评能力。

本课题组长期从事信息安全芯片设计技术与安全性测评技术的研发和应用工作。2009年发现了北京公交卡进口芯片的严重安全漏洞，为防止公共领域出现重大信息安全事故作出了突出贡献。在获得国家发改委、工信部“核高基”重大专项等国家专项资金的资助的同时，与国内多家权威测评机构（如中国信息安全测评中心、国家密码管理局商用密码检测中心、国家信息安全研究中心、银行卡检测中心）及信息安全芯片设计与生产企业（大唐微电子技术有限公司、同方微电子公司、北京华大微电子、北京中电华大电子设计有限责任公司）等单位进行了多方面的合作，包括提供芯片安全性测评技术开发和测评服务，以及共同开发具有更高安全性的信息安全芯片。对多款市售的信息安全芯片产品进行了安全性测评，提供了相关测评报告，并对生产企业提出了安全性改进意见。

课题组研发的具有完全自主知识产权的芯片安全性检测平台，用于密码芯片侧信道信息和故障信息的高效采集、处理与分析。该平台由功耗攻击平台、电磁攻击平台、故障攻击平台三部分组成。同时，实现了硬件系统与软件系统的协同设计与高度集成，软件界面用户友好，从而形成一套产品化、实用化、系统化的芯片安全性检测平台。

设计的功耗、电磁、故障攻击平台在多个指标上已经赶超国际领先的同类产品 Inspector，主要创新点包括：

- 提出了幅值归一化、四阶矩等一系列数据预处理方法，能够显著降低功耗、电磁攻击过程中的噪声，大幅提高数据的信噪比和实验成功率。
- 支持我国自主设计的国密算法，并可扩展任意新攻击算法，以实现功能复杂的组合攻击技术。
- 设计了基于自适应载波获取和实时相减的模拟前端载波去除电路，该方法成本低、精度高，自动采集同源载波信号进行同源抵消，消除载波自身扰动与偏移带来的影响，能显著降低电磁攻击中载波的影响，提高采集的电磁信息的信噪比。
- 基于该平台，完成了对多款国内外智能 IC 卡中密码算法的实际黑盒分析（包含一款已通过国际 CC EAL4+ 高安全等级认证的实用双界面金融 IC 卡芯片，成功恢复出密钥，并为相关企业提供了抗攻击防护对策的改进建议。

2 应用说明

该测评平台已提交多个国内信息安全芯片设计与生产企业（大唐微电子有限公司、同方微电子有限公司、北京华大微电子、北京中电华大电子设计有限责任公司）进行应用与合作，包括提供芯片安全性测评技术开发和测评服务，以及共同开发具有更高安全性的信息安全芯片。对多款市售的信息安全芯片产品进行了安全性测评，提供了相关测评报告，并对芯片设计和生产企业提出了安全性改进意见。

3 效益分析

自 2009 年以来，基于该测评平台及测评技术，与相关合作单位签订了多项技术开发合同，合同累计金额接近 500 万元。获得的科研经费收入，进一步支持了相关技术的开发和应用过程，技术水平也持续提高，科研水平在国内高校中处于领先地位，已进入了良性发展的轨道。签订的技术开发合同及金额如下：2009 年，与北京协同伟业信息技术有限公司签订“非接触式加密存储卡芯片安全性评估和测试服务”合同，合同总额 46 万元；

2013 年，与大唐微电子有限公司签订“智能卡芯片安全性分析与设计”合同，合同总额 105 万元；

2014 年，承担国家密码管理局商用密码检测中心委托的“侧信道分析软件”项目，合同总额 60 万元。

2015 年，与航天科工集团第八三五七所签订“SM2 算法 IP 合作开发”项目，合同金额 23 万元

2015 年，与北京易恒网际科技发展有限公司签订“SD08F548 芯片 SM2 算法安全性测评服务”项目，合同金额 5 万元。

2015 年，与北京信息科学技术研究院签订“高级功耗分析与防护技术研究”项目，合同金额 28 万元。

2016 年，与航天科工集团第八三五七所签订“内置安全管理的模块支持 SoC 芯片开发”项目，合同金额 157 万元。

2019 年，与中兴通讯股份有限公司签订“侧信道攻击安全 IP 研究及实现”项目，合同金额 50 万元。

4 合作方式

联合推广

5 相关图片



6 行业所述领域

电子信息领域

NO. 33 文化和科技融合特色产业集聚公共服务平台

1 成果简介

本项目为科技部 2019 年度国家重点研发计划立项项目。

基于 5G 技术应用场景，实现大数据、云计算、人工智能、VR 等技术在平台的综合应用，本项目创新性地提出文化和科技融合特色产业集聚模式、机制和方法，文化和科技融合技术成果的转化路径和方法，文化和科技融合公共服务平台建设和运营模型及标准，公共服务平台的功能划分及作用。

同时，制定文化和科技融合特色产业集聚公共服务平台共性关键技术标准，利用大数据技术，研究统计分析和评价方法，构建统一的服务信息搜集、评价模型及综合评价标准指标体系，实现产业政策、评价统计、创新创业、投融资、成果转移转化、产业对接、职业技能培训、一站式办公服务功能及应用模式。

2 应用说明

本项目应用于各级高新区、经开区、文化和科技融合示范基地、文化产业园区等公共服务平台。

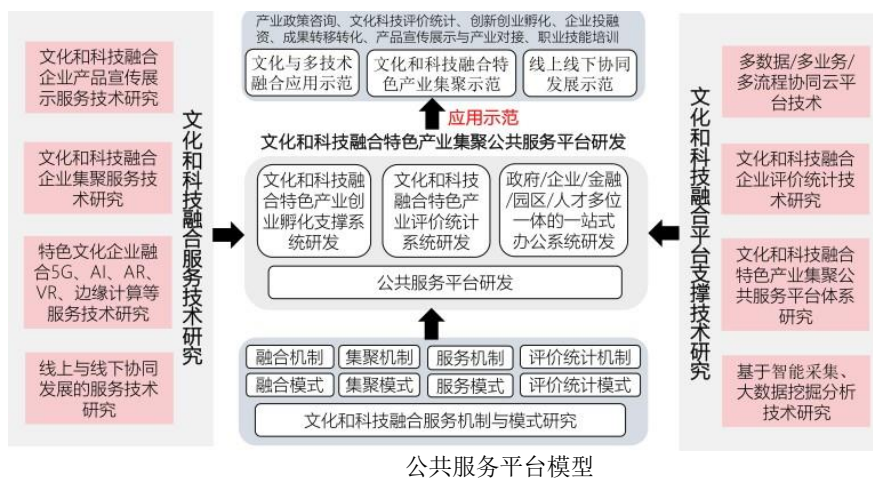
3 效益分析

通过项目成果的推广应用，形成集成化的平台解决方案，构建文化和科技融合特色产业集聚公共服务平台，推动文化和科技的深度融合和发展。

4 合作方式

提供技术和资源支持，共同建设公共服务平台。

5 相关图片



公共服务平台模型

6 项目所属行业领域

电子信息领域。

NO. 34 城市生命线工程安全运行监测系统

1 成果简介

城市燃气、供水、供热、桥梁、交通等生命线是城市发展的基础。城市生命线工程运行安全存在风险隐蔽、系统复杂、事故连锁和社会影响巨大的特点，亟需突破城市安全运行风险隐患识别、实时感知、动态评估、前兆研判、事故预警等技术瓶颈，解决多源异构数据分析、多方应急联动和安全协同管理等难题。

城市生命线工程安全运行监测系统以预防燃气爆炸、桥梁垮塌、路面坍塌、内涝等影响范围大的公共安全事故为目标，从城市整体安全运行的高度出发，实施风险防控和监测预警。系统以公共安全科技为支撑，融合物联网、云计算、大数据、BIM/GIS 等现代信息技术，实现城市生命线风险的及时感知、早期预警和高效应对。系统建立了风险隐患识别、物联网感知、多网融合传输、大数据分析、专业模型预测和事故预警联动的“全链条”城市安全防控技术体系架构，研发了生命线工程安全立体监测技术和成套化装备，研发了全国首个城市级生命线工程安全运行监测系统，创新了城市生命线工程安全运行精细化管理模式。

系统已形成“1+N”产品体系，即城市生命线综合风险监测系统和 N 个专项应用系统，如燃气相邻地下空间安全监测、供水泄漏监测安全监测、排水管网安全运行监测、桥梁安全运行监测、热力安全运行监测、电梯安全运行监测、轨道交通安全运行监测、管廊综合安全运行监测。



项目应用效果：系统、监测中心和预警案例

2 应用说明

应急管理部高度肯定本科技项目成果，总结为“清华方案·合肥模式”，向全国推广。目前，已应用到武汉、佛山、烟台、徐州、马鞍山、淮北、铜陵、池州、黄山等 20 多个城市。

3 效益分析

通过深度应用物联网、大数据、人工智能等技术，支撑传统基础设施转型“数字+”和“智能+”升级，实现实时感知、在线监测和预警预测，提高城市生命线精细化管理水平，

让城市运行更加智慧和安全，提升城市基础设施的防灾减灾能力。以合肥市监测系统应用为例，包括 51 座桥梁、2200 余公里各类地下管线，2.5 万个高风险点。该系统运行后，共发现燃气泄漏事件 169 起、供水爆管风险预警 49 起、重车超载引发桥梁结构安全事件 3938

起，车辆撞桥梁突发事件 11 起、供热管网泄漏事件 9 起，有效保障了城市安全。

4 使用对象与合作方式

面向市（区县）政府，应急管理部门，住建部门，供水、排水、燃气公司等，联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

NO. 35 自闭症儿童高仿陪护机器人

1 成果简介

自闭症作为一种广泛性发育障碍，发病率居儿童精神疾病之首，且未研发出治愈药物，只能通过行为干预以缓和症状。我国目前尚无关于自闭症群体的权威数据，仅有个别省市公开的地方预估数据。据 2016 年发布的《中国自闭症儿童发展状况报告》，我国自闭症患者约

1000 万，0 至 14 岁患儿可能超过 200 万，总体患病率近 1%。然而，我国相关特殊教育机构及从业者数量远无法满足现实需求。此外，机构主要围绕低龄患儿开展教育，较难达到自闭症患者终生行为支持的意愿。人工智能技术的发展为破解上述难题带来希望：本项目拟研发高仿机器人，使其进驻自闭症儿童家庭，搭建全天沉浸式人机社交环境，从而增加患儿社交行为，帮助患儿实现基本社会化。

本款机器人以“陪伴+评估”的方式，保障患儿的日常安全，避免自残、意外伤害等恶性事件发生。此外，机器人可实时监控患儿病情数据，并依据相关理论模型，评估其病情阶段及发展趋势，以开展更有效的社交干预。在患儿监护人知情、同意的前提下，将数据记录、保留，为自闭症儿童相关研究提供数据支持。

本项目团队的丰厚经验可胜任此研究。团队包括博士后、博士生、硕士生等多位清华在校研究成员和专攻数据挖掘、处理、分析的数据处理团队。项目负责人长期进行高仿机器人、AI 和大数据的相关研究。在本项目设计中，机器人主要硬件和软件功能如下：

硬件设计：

- 外形亲和，可实现近 360° 身体转幅，能完成拥抱等多种社交动作（见图一）；
- 独创“机肌比”概念，打造具多类微表情的高仿头模，提升社交共情力；
- 前后装置摄像头，实时监护患儿行为；
- 含科大讯飞环形六麦以上语音交互系统，一对一体声音响；
- 身体内部有小型投影仪，接受传感控制；
- 底部配有传感器，防止跌落。

软件设计：

- 设定多种算法使机器人具备场景语义信息感知能力与多维分析能力；
- 定制语音系统可以唤醒和指挥机器人；
- 高仿交互感学习和教学软件，提供社交和学习功能；
- 家长手机端操作 app，实时监护儿童；
- 内置数据分析和评估系统，个性化评估儿童自闭症发展情况及趋势。

2 应用说明

本款机器人预计于 2021 年 8 月投入临床应用和商业测试。在正式投入应用之前，对自闭症儿童陪护机器人的使用率、结果触达率、结果准确率、平均对话轮次、异常率、意图识别准确率、文本处理能力等进行应用测试。应用场景包括室内和室外：室内以陪伴和交流为主，室外以监控和辅助治疗为主，以满足患儿的心理需求与家长的监护需求。

3 效益分析

我国目前尚无同类兼顾高仿外形与前沿技术的陪护机器人，用于填补从业者缺口与缓解患儿家属精神与经济的双重压力。若以近 1%的总体患病率和我国 2020 年约 1000 万新生儿

数作为评估依据，高仿机器人作为自闭症儿童行为干预工具的潜在市场规模可能达到 20 亿元。此外，本产品将采用租售结合的模式，以照顾家长购前疑虑，并长期提供硬件软件升级服务和以旧换新活动。总体上，本款机器人运行稳定、灵敏，成本低，效益高，可长期使用。

4 合作方式

租赁或销售以及联合推广。

5 所属行业领域

电子信息领域。

二、交通规划领域 (9项)

NO. 36 智能交通系统开发与集成设计技术

1 成果简介

智能交通系统已经成为交通运输发展的重要支撑。2000 年左右我国正式从国家层面开展相关研究及示范工程，智能交通系统的发展已经成为各级交通相关部门的共识。

清华大学自 1996 年开展智能交通系统的研究及系统设计、开发工作，内容涵盖交通信号控制系统、交通信息平台、指挥调度系统、应急交通指挥等方面，形成了一系列具有自主知识产权的理论与技术应用成果，其中包括智能交通系统规划与系统设计成套理论与技术、智能交通控制系统、交通信息平台软件、交通安全辅助决策支持系统、交通信息社会化服务系统等，获得软件著作权 8 项、发明专利 5 项。

2 应用说明

清华大学为各省、市及交通相关部门的智能交通系统发展提供从规划、设计到技术转让的系统化服务和技术支持。从 2003 年开始，清华大学开始推动智能交通系统成套技术在国内各级各部门的应用工作，包括智能交通系统发展规划、智能交通系统实施设计、交通安全辅助决策支持系统、交通信息社会化服务系统、智能交通预测预报系统等。目前应用地点已有 20 多处。

3 效益分析

本技术可以为智能交通系统的发展提供良好的支撑，通过系统设计实施可以有效节省投资资金，同时可提高城市交通运行效率，提高平均通行速度5~10%，降低事故发生率5~10%。

4 合作方式
技术合作、技术服务、合作开发等。

5 所属行业领域

交通规划领域。

NO. 37 常规公共交通系统专项规划

1 成果介绍

在对公共交通系统现状分析的基础上，结合公交发展战略，从公交线网、枢纽布局、公交设施、公交优先措施等方面提出规划方案。

2 应用说明

清华大学承担过济宁公共交通专项规划以及上述综合交通规划城市的公共交通系统专项规划。

3 效益分析

有力地推动了公共交通优先发展战略的实施以及城乡交通一体化进程。

4 合作方式

商谈。

5 所属行业领域

交通规划领域。

NO. 38 城市综合交通规划

1 成果简介

在翔实的交通调查的基础上，从宏观和微观、定性和定量的角度来分析诊断当前城市交通系统存在的问题，依据城市总体规划等相关规划，制定科学合理的城市综合交通规划。

城市综合交通规划研究的主要内容有：

- 对城市发展、城市交通进行分析，并揭示其在城市中的关系与特征；
 - 城市交通需求预测与分析，以定量与定性结合的方法对城市不同特征的交通需求进行预测与分析；
- 城市交通发展战略分析，对城市交通发展进行战略指导；
 - 城市道路网的规划，分析现状路网特点与问题，并提出规划年限的路网方案，同时优化；
 - 公共交通的规划，结合城市对公共交通的需求，从公共交通的方式、枢纽、场站、车辆、政策等多方面提出规划方案；
 - 城市停车的规划，针对城市停车问题，在上述分析和对停车需求分析预测基础上，提出停车设施规划、机制、政策等方案；
- 对外交通与枢纽规划研究；
- 交通管理方案规划以及城市其他重要交通问题的规划；
- 综合交通实施的规划方案。

2 应用说明

承担了兰州市、大连市、济宁—曲阜都市圈、济宁市、曲阜市、三亚市、廊坊市、营口市“沿海工业基地”、辽源市、临沂市等十余个城市的综合交通规划研究，其成果得到当地相关部门和专家一致认同，为支撑对象城市的健康稳定发展提供了良好的交通条件。

3 合作方式

商谈。

4 所属行业领域

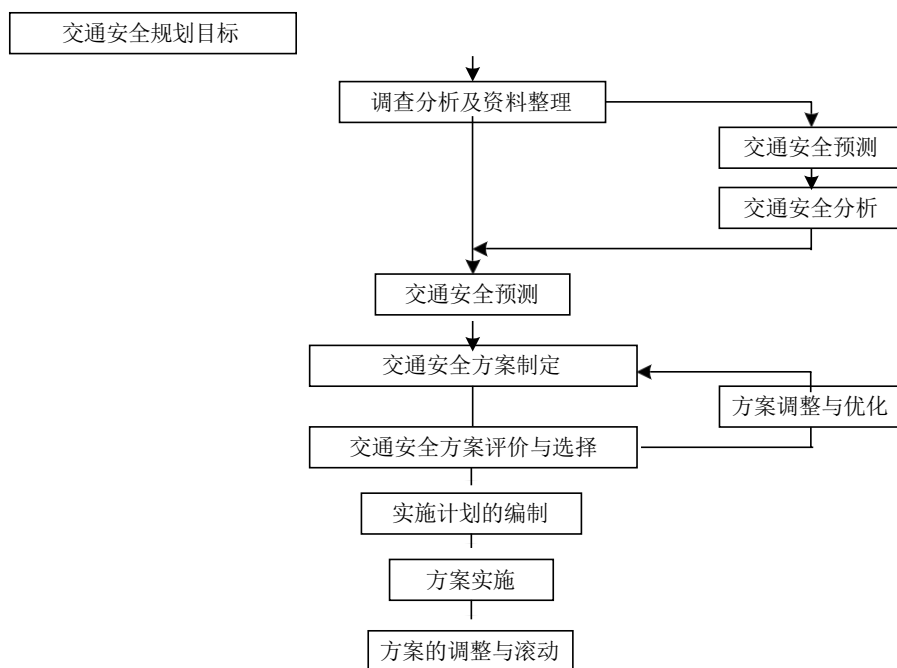
交通规划领域。

NO. 39 道路交通安全规划与安全审计

1 成果简介

(1) 道路交通安全规划

针对城市交通带来的安全问题，从问题的分析入手，在事故预防、事故处理、事故服务等多角度提出城市交通安全的规划。技术流程如下图所示。



上图 道路交通安全规划技术流程图

道路交通安全规划一般包括交通安全调查与分析、交通安全现状分析、交通安全发展趋势分析、道路交通安全设施系统规划、交通安全管理规划、交通安全保障规划、交通安全规划的实施与滚动发展等。

(2) 道路交通安全审计

清华大学承担的道路交通安全审计项目经过一年的调研与研究分析，提出了相应的项目成果。

1) 我国城市道路交通安全评估（审计）指南

- 对城市道路交通安全评估的定义、目的、指南适用范围、评估周期与时间、评估内容要求进行规定与说明。
- 提出了道路交通安全评估 8 大基本步骤，并对每个步骤需要评估的内容进行详细的分析与规定。
- 对道路交通安全评估中的关键技术进行了研究。第一，提出了道路交通安全风险图的绘制方法与目的；第二，将道路交通安全评估等级划分为 2 大类共 6 个等级。
- 提出了道路交通安全审计表单。对城市现有道路从道路网络与功能、交通工程设施、交叉口渠化和信号配时、路段横断面构成、转弯半径、照明等道路工程状况、道路使用者的交通行为特性（尤其是行人、自行车利用者等）、道路两侧的土地利用与交通环境等进行道路交通安全评估工作。安全评估通常采用评估单进行操作记录和分析，分评估主表单和分表单。

2) 我国城市道路交通安全评估工作机制

对国家层面的领导工作机制、城市层面评估组织工作流程提出了相关的建议。

3) 盘锦、锦州、辽阳三城市道路交通安全评估

项目目标在于论证评估路网的使用效益及应用潜力，发现盘锦市的交通安全隐患，对交通安全状况的改善和安全管理提出建议及实施方案，从而减少盘锦市交通事故的发生数量，

提高交通安全水平。

三城市交通安全审计将整体性和具体性、科学性和可实施性进行双重结合，从宏观和微观、策略和措施两个层面给出了改善交通安全状况的建议和具体方案。

方案最终以文档和图集两种形式展现。针对问题的方案内容包括道路基础设施完善，公交优先措施保障，标志标线、护栏、交通安全岛等交通工程设施完善，智能交通管理系统建设，交通管理措施强化，人行过街设施、人行道系统完善等多方面内容；方案的实施对象涉及三条道路的每条路段和每个路口。

该项目以基础设施为切入点，综合考虑了影响交通安全的人、车的行为因素，并以提高交通参与者交通安全意识和交通文明素质为制定方案的目标之一，切实达到了提高盘锦市交通安全水平和市民素质的目的。

2 应用说明

清华大学承担过沈阳、济宁等多个城市的道路交通安全规划。

此外，我们在制定出我国第一部关于城市交通的《道路交通安全审计手册》后，针对盘锦、锦州、辽阳三个城市为代表进行了详细道路交通安全审计工作。

以盘锦市道路交通安全审计工作为例进行介绍：

(1) 规模

- 首先从城市总体着手，明确城市和城市交通总体特点及存在问题，针对问题，在深层挖掘其原因的基础上从交通基础设施建设、交通管理设施建设、交通政策建设及交通安全教育建设等方面提出解决思路和总体对策。

- 在解决思路和总体对策的指导下，在以专家式踏勘为手段对道路及其周边环境进行全面了解的基础上，针对盘锦市的交通走廊泰山路、双兴路、辽河路，总长约 30km 的三条南北主干路的交通安全问题作了详细的交通安全检查报告，并且分别制定了具体的、可操作的交通安全改善方案。

(2) 具体任务

- 实地踏勘和现场调研。
- 鉴别交通走廊（泰山路、辽河路和双兴路）。
 - 提出针对每条交通走廊的详细的道路交通安全检查报告（包括基础设施、公交系统、交通工程设施、交通管理、人、车在道路上的行为等问题）。
- 制定相应的解决交通安全问题的补救性行动计划。
- 编制详细的实施计划和检测行动计划。
- 制定开展面向城市交警和其他相关决策者的培训计划。

3 效益分析

为各城市提高道路交通安全水平提供了良好措施和规划方案，同时可以较大程度缓解各城市严峻的交通安全形势。

4 合作方式

商谈。

- 5 所属行业领域
交通规划领域。

NO. 40 道路网系统专项规划

1 成果简介

道路网系统规划在对城市现有道路评价分析的基础上，结合城市用地布局形态和城市的拓展方向，对不同等级道路网络进行合理的梳理和规划。规划路网力求达到对外交通与城市交通的驳接转换合理，城市各功能片区间交通便捷、通达，城市内部交通畅通有序，为城市交通环境改善创造理想的基础条件。

2 应用说明

承担过齐齐哈尔、三亚新城道路网规划、盘锦骨干道路网规划以及上述综合交通规划城市的道路网系统规划。

3 效益分析

为各城市经济发展、交通出行创造了良好的道路基础条件。

4 合作方式

商谈。

5 所属行业领域

交通规划领域。

NO. 41 轨道交通规划

1 成果简介

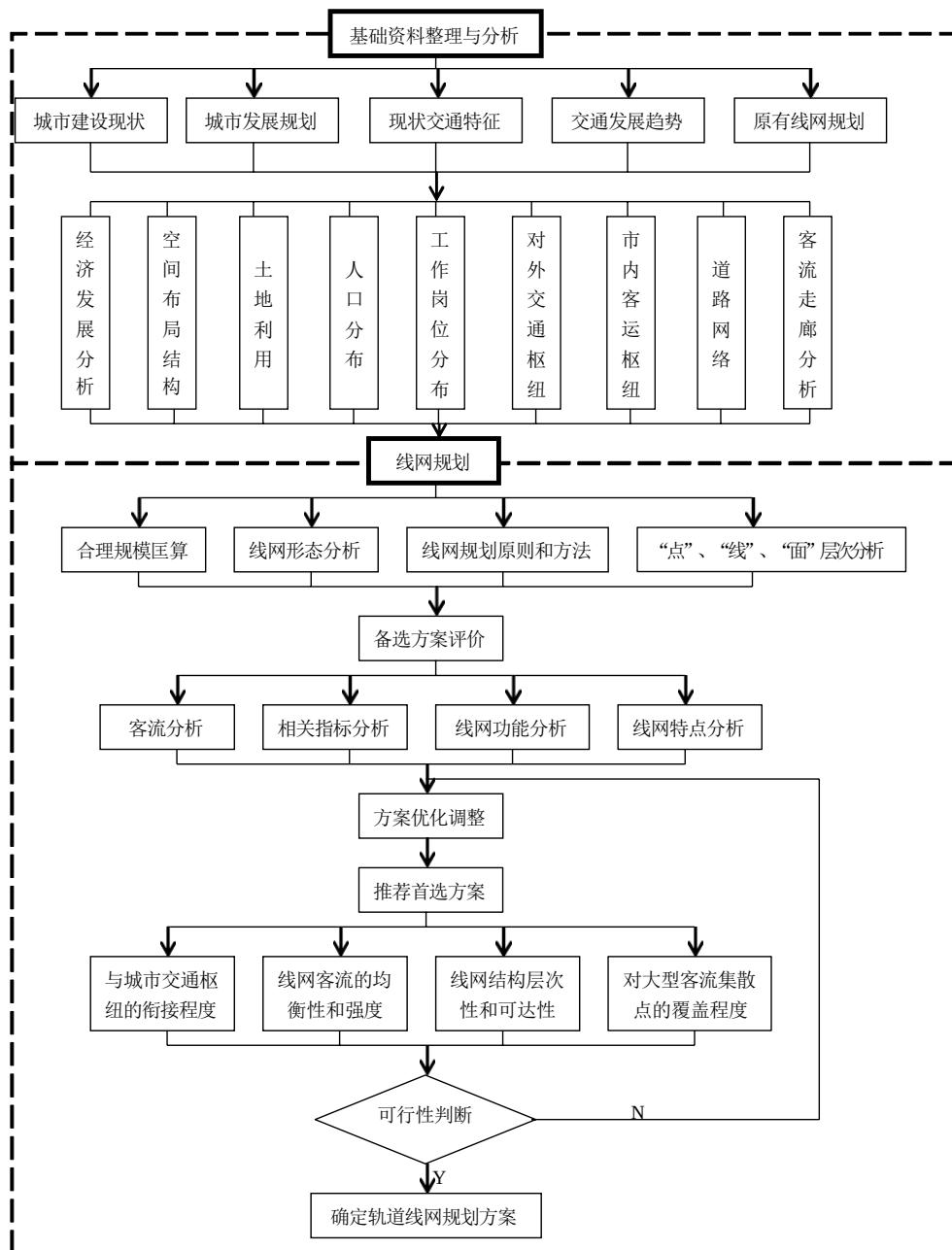
(1) 轨道交通线网规划

1) 对城市建设现状、城市发展规划、现状交通特征、交通发展趋势以及原有线网规划方案进行整理分析，掌握未来城市经济发展、空间结构、土地利用、人口分布以及客流走廊分布等情况，为线网规划提供依据。

2) 对城市轨道交通合理规模进行匡算、对线网形态进行分析，并在“点”、“线”、“面”层次分析的基础上建立符合轨道交通线路和站点布设的选择集，并提出规划备选方案。

3) 对备选方案进行客流条件、相关指标、线网功能以及线网特点等多方面的定性与定量分析，并对备选方案优化调整，推荐出首选方案。

4) 对推荐方案进行与城市交通枢纽的衔接程度、线网客流的均衡性和强度、线网结构层次性和可达性、对大型客流集散点的覆盖程度等方面进行评价，如符合条件，则确定轨道线网规划方案，如不满足条件，则重新对方案进行优化调整，直至确定符合条件的规划方案。



上图 轨道线网规划技术流程图

(2) 轨道交通客流需求预测

在城市轨道交通项目中，客流预测是不可分割的组成部分。客流预测的前提是客运需求预测，通常以居民出行调查数据作为依据，按照传统的四阶段法进行预测。其中，发生量预测通常采用原单位法，这种方法概念清晰，模型标定的结果有明确的物理含义，而且预测的精度也很好。为了充分考虑到未来人口变化、土地利用形态变化对小区发生吸引量的影响，需求预测时应该分目的进行。在方式分担中，通常采用多项 logit 模型，必要时可以采用非集计预测方法。

2 应用说明

清华大学是国内较早开展轨道交通客流研究的单位之一，具有丰富的理论基础和实践经验，承担过多个城市的轨道交通线网专项规划，同时承担了轨道交通线网规划阶段、建设规划阶段、工程可研阶段的客流需求预测项目，累计 10 余项，这些项目包括：

清华大学交通研究所承担的部分城市轨道交通规划类项目

项目名称	委托单位
广州—佛山轨道交通客流预测	广州市政府
大大连轨道交通建设规划客流预测	大连市地铁办
长春市轨道交通客流预测	长春市轨道交通筹建办公室
大连市轨道交通线网规划与客流预测	大连市轨道交通工程指挥部
长春市快速轨道交通环线工程客流预测	长春市轨道交通有限责任公司
大连市新型快速轨道交通金石滩线客流预测	大连市轨道交通实验线路工程指挥部
大连市轨道交通路网规划	大连市轨道交通实验线路工程指挥部
《珠江三角洲经济区域城际快速轨道交通线网规划》技术咨询	广东省铁路集团有限公司
长春市快速轨道交通三号线客流预测	长春市轨道交通有限责任公司
鞍山市城市轨道交通线网规划	鞍山市规划局
兰州市城市轨道交通线网规划	兰州市规划局
大连市轨道交通建设规划客流预测	大连市地铁办
沈阳市地铁 2 号线工程客流预测	沈阳市地铁办
沈阳市地铁 2 号线北延线工程客流预测	北京城建设计研究院
大连地铁 1 号线可研阶段客流预测	大连市地铁办
大连地铁 2 号线可研阶段客流预测	大连市地铁办
北京“东直门—首都机场”快速轨道交通客流预测	北京“东直门—首都机场”快速轨道交通有限公司
城市轨道交通发展有关问题研究	国家发展与改革委员会

3 合作方式

商谈。

4 所属行业领域

交通规划领域。

NO. 42 交通影响分析（交评）与道路交通管理规划

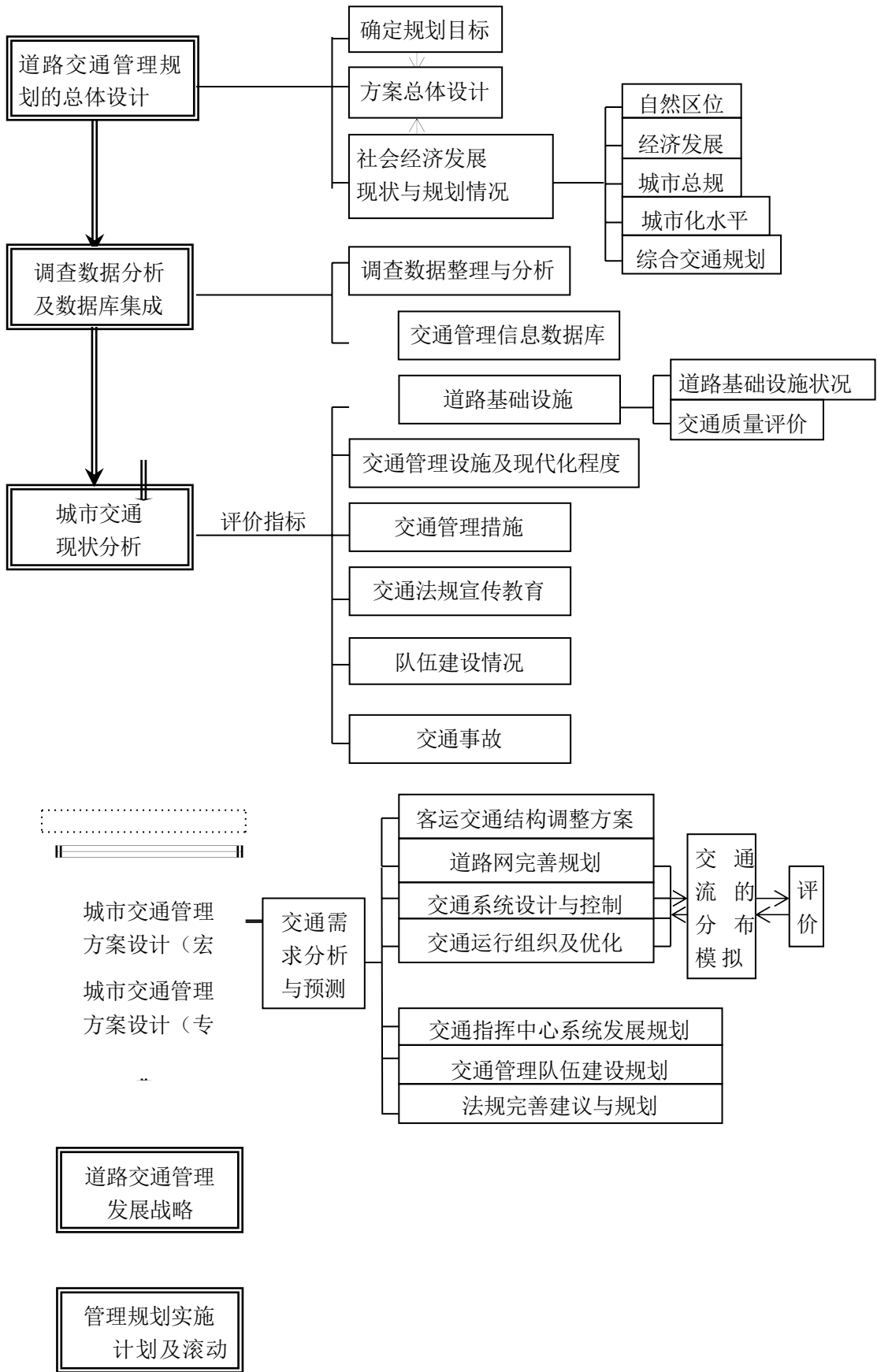
1 成果简介

(1) 交通影响分析（交评）

对于各种类型的建筑，交通影响分析的方法是不同的，但是基本流程和步骤是相同的。一般的交通影响分析的流程大概分为以下几个步骤：收集资料、确定研究范围、确定预测年限、现状调查及分析、交通量的预测、交通影响评价、交通诱导系统、结论。

(2) 道路交通管理规划

道路交通管理规划涉及调查数据分析及数据库集成、现状分析与问题诊断、交通需求预测、交通流组织优化方案、静态交通管理方案、交叉口渠化、公交发展及规划建议、交通标志标线设置、交通需求管理方案、交通事故与安全教育对策、交通法规及宣传教育计划、交通指挥系统建设规划、交通环境影响对策、交通管理发展战略、规划的实施计划与滚动发展等多项内容。技术流程如下图所示。



上图 道路管理规划技术流程图

2 应用说明

清华大学承担过北京百环家园、北京购物中心、大连港大窑湾港区、北京CBD 国贸等几十项交通影响分析项目以及大连、杭州、顺德、营口、四平、长春、鞍山等十余城市的道路交通管理规划。

3 效益分析

为各城市交通管理工作提供良策。

4 合作方式

商谈。

5 所属行业领域

交通规划领域。

NO. 43 停车系统专项规划

1 成果简介

随着城市机动化的快速发展，城市拥有的机动车数目大量增加，而在机动车的出行中，总是需要一定的空间用于车辆的停放，由此引发了诸多问题：在城市的中心区，难以找到停车泊位停放车辆；大量的路内停车导致本来已经狭窄的道路更加不堪重负。这些现象首先出现在西方发达国家的城市中。而我国在改革开放以来，经济的快速增长也导致了机动车数目的飞速增加，“停车难”的问题也由北京、上海、广州等大城市，迅速扩展至其他城市。

因此，停车系统规划结合城市经济、道路网以及城市规划，以“规划、建设、管理、收费”四位一体的总体思路为指导，以合理满足停车需求为战略目标，以停车规划为战略核心，以发展公共交通社区为战略手段，以停车新技术为战略动力，以政策法规为战略后盾，处理好经济发展与停车设施、动静态交通相协调、路内外停车相协调、近期建设与远期目标相结合的关系。采用逐步过渡的思路，本着“先易后难、重点突破”的原则提出停车设施的建设步骤和建设计划。

2 应用说明

清华大学承担过上述综合交通规划的十余个城市的停车系统专项规划。

3 效益分析

为各城市居民出行创造了良好的停车条件。

4 合作方式

商谈。

5 所属行业领域

交通规划领域。

NO. 44 智能交通系统规划

1 成果简介

如何利用 ITS 来提高中国城市的交通运输效率、保障交通安全和保护环境对于促进中国城市社会经济的可持续发展是十分重要的。

规划过程中，采用调查研究、理论分析与规划研究相结合的方式，在借鉴国内外经验及充分分析城市现状的基础上，根据城市的特点和实际情况，强调规划、设计与实际的结合，强调规划、设计中的创造性工作，提出有充分依据、严谨科学、实用先进的规划设计方案。在研究过程中，充分借鉴国内外成功经验、透彻剖析影响城市交通信息化与智能交通系统发展的宏观背景，即在掌握经济发展、城市化、机动化以及现代信息技术发展特征与趋势的基础上制定规划。具体规划技术方法如图 1 所示。

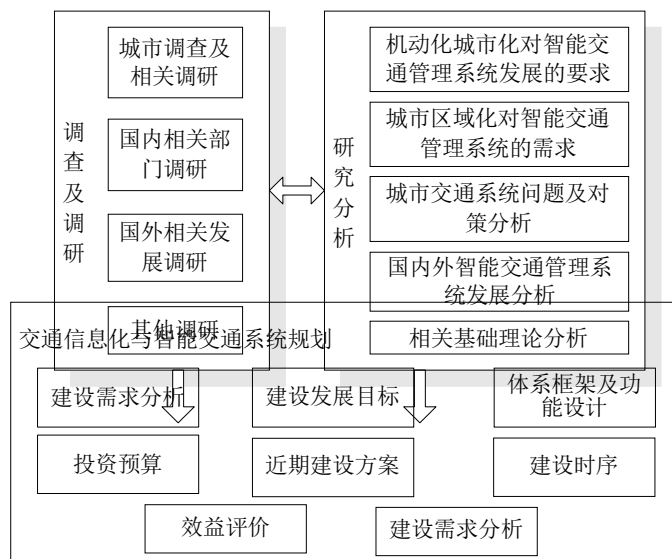


图 1 城市交通信息化与智能交通系统规划技术路线

智能交通系统规划一般包括城市交通信息化与智能交通系统的发展目标、交通信息化与智能交通系统的体系框架和功能设计、智能交通管理系统的近期建设方案、交通信息化与智能交通系统的组织实施机制等部分。

2 应用说明

清华大学承担过温州市、杭州市、佛山南海区、盘锦市、鄂尔多斯市等城市的智能交通系统规划，以及国家 863 项目“长三角地区高速公路网紧急情况下交通组织技术的研究”等国家层面的十余项研究课题。

此外，清华大学为北京市道路交通流仿真预测预报系统提供了规划、设计、系统开发应用及维护的一系列服务，取得了国内领先的大规模实用成果。通过该系统的实施，实现了如下功能目标：

- 北京市机动车 OD 的抽样调查与分析；
- 北京城区道路路网承载能力分析；
- 北京市城区道路异常状态的动态分析和预警系统；
- 北京城区道路交通事件的影响分析和预测；
- 基于道路交通流动态预测信息的交通信息发布。

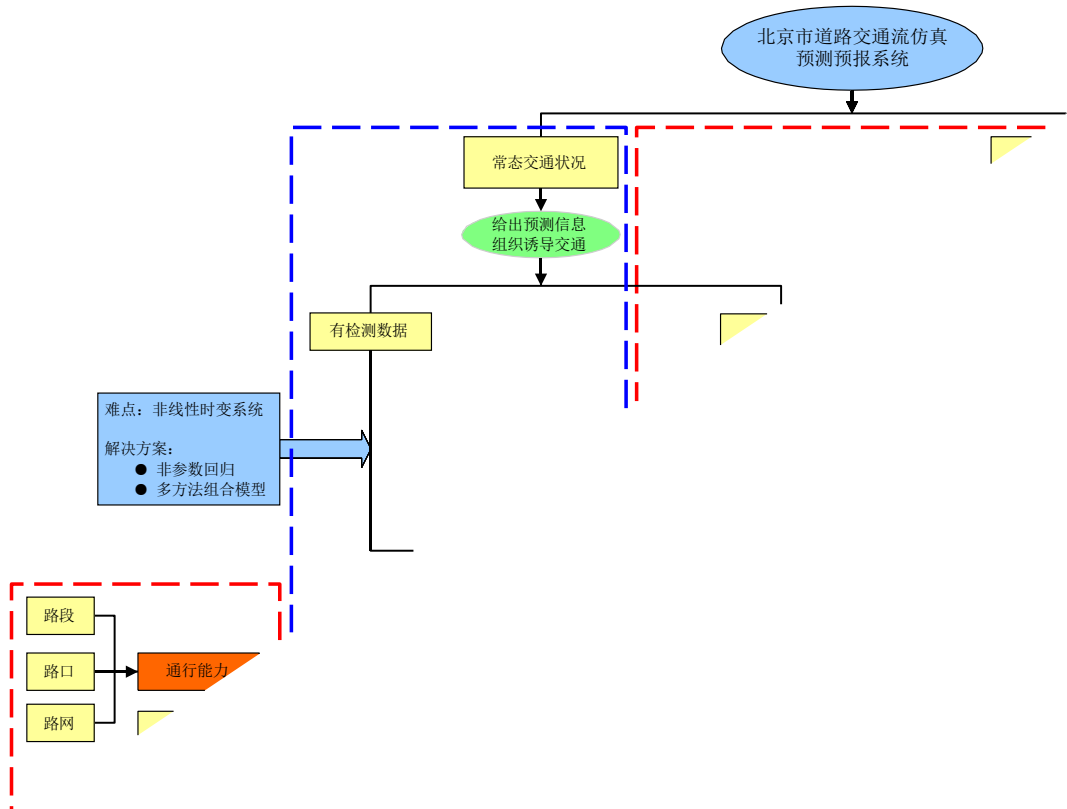


图 2 北京道路交通流预测预报系统及开发技术流程图

该项目提供了高精度的交通流预测预报信息，为首都北京的科学交通管理提供了强有力的技术支撑。

3 效益分析

保证了委托单位智能交通管理系统的实用性与先进性。

4 合作方式

商谈。

5 所属行业领域

交通规划领域。

三、能源环境领域 (27项)

NO. 45 高速公路除雾技术

1 成果简介

大雾导致高速公路封闭给乘客带来的麻烦和给高速公路运营商带来的经济损失是巨大的，而由于高速公路及其上方空间广阔、水雾扩散性强，有效除雾的难度同样也是巨大的。

雾滴有着与细微固体颗粒相近的荷电特性，以及在电磁流体场中的运动行为。基于十多年对细微颗粒凝聚变大及被吸附清除研究形成的除雾技术、特别是雾滴吸附同时流体诱导技术，可望对高速公路上的雾滴实现高效清除，从而大幅度提高大雾时高速公路上的能见度、满足行车要求。

2 应用说明

在高速公路隔离带上设置除雾装置，从高处吸入含雾空气、除雾后向两侧输送，从而将路面上的含雾空气推离路面。或在高速公路硬路肩外布置除雾装置，从外侧吸入含雾空气，除雾后向内侧输送，从而把路面上的含雾空气推走。

3 效益分析

全国有众多的高速公路常常因大雾封闭，特别是有些路段团雾频发，仅需 3-5 年就能收回全部投资的除雾技术，应该具有较好的经济效益和社会效益。

4 合作方式

联合开发、填补国内外空白。

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 46 水中轻、重颗粒同时分离技术

成果简介

废水、污水及海水处理中经常涉及同时分离泥沙等重质颗粒和漂浮物等轻质颗粒的问题，原油处理中也会涉及同时把水、泥沙和原油同时分离的问题。液固分离的主要方法是离心和过滤，液液分离也可借助离心。一般情况下，能靠离心分离解决，不采用过滤分离方式。这是因为采用过滤方式的系统复杂、运行阻力大，特别是处理细小颗粒时，返清洗频率高，明显降低生产率。

传统的离心分离技术一般情况下仅是靠颗粒和水的密度不同、产生的离心力不同，而将密度大于水的重质颗粒从水中分离出来。密度与水接近或密度小于水的轻质颗粒，只能依靠过滤方式分离。基于本项目研发成功的轻、重颗粒同时分离技术所制造的广谱密度颗粒分离器，充分利用了离心力场的特点，能将密度大于水和密度小于水的颗粒同时分离出来。不仅如此，同时还利用了旋风分离器减阻技术，使该颗粒分离器的压力损失明显小于水力旋流器等同类产品。另外，采取空间交错布置形式，使该广谱密度颗粒分离器结构紧凑，占地面积小。

2 应用说明

与传统离心分离技术（如水力旋流器）相比，在分离重质颗粒效率相当（如 85%）的同时，还具有不低于 50% 分离轻质颗粒的能力。同时因利用了旋风分离器减阻杆减阻技术，该设备阻力比传统水力旋流器降低约 30%、节电约 30%。另外，采用双排高低错落布置形式，设备结构紧凑，处理能力每小时 1000 吨，设备最大外形尺寸仅为 2×1.45×1.68 米。

3 效益分析



上图 采用双排高低错落布置形式的设备

在石油、化工、食品、建材、海水净化等多行业都存在轻重颗粒同时分离的问题，即使采用了水力旋流器，因轻质颗粒难于去除，致使过滤分离环节压力很大，成为限制生产率提高的瓶颈。采用广谱密度颗粒分离器，即使还需要配合过滤环节以进一步提高细微颗粒的净化能力，过滤环节的清洗频率及流动阻力都将大大降低，因而降低功率消耗，提高处理能力。

4 合作方式

技术转让或联合开发。

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 47 隧道空气快速净化车

1 成果简介

独头掘进的深长隧道、坑道、地下人防工程及国防工程等无论是爆破施工或挖掘施工，还是后续渣石清运，以及后来在正常使用时，内部都会产生大量粉尘颗粒、烟雾和有害气体。传统净化方式有喷水降尘、鼓风置换、吸风置换、就地安装净化设备、活塞流等。此时由于隧道深长，净化不仅难度大、设施投入大、功耗大，而且效率低下，影响工程进度和人员健康。

隧道空气快速净化车，利用细微颗粒凝聚技术和静电除尘原理净化粉尘和烟雾。针对隧道空间封闭的特点，采取相对运动原理，将传统利用风机管道把污染空气送到净化设备的方式，改为由净化车向污染空气的运动。其工作时伸展、空间变大，使其力场遮挡隧道断面，净化车行驶过空间的空气得到净化。不工作（如渣石清运）时收缩变小，停靠洞壁，不影响其他工作。当运行到端部（掌子面）附近，前面污染空气严重、但净化车难以靠前时，借助车载射流，可将该污染空气反压到净化车。

2 应用说明

该技术尚未样车和实际工程应用，但分部段的工作都已经过了实际工程的检验。相信组装成实际样车，没有原理缺陷和技术瓶颈，只是一些协调配合等问题。该车所用的静电除尘技术是有着一百多年应用历史的成熟技术，所用细微颗粒凝聚技术是已试验成功的一项提高

PM2.5 净化效率的发明专利技术。

3 效益分析

隧道施工一直是工程上的一个重点，移动净化车虽然不是空白，但基于活塞流原理的净化车因运行一定距离后的压差问题，很难保证一个理想的净化效率。相信这种可变形的隧道空气快速净化车，会受到行业好评。或者这种技术，会集成到盾构机上，实现挖掘作业时隧道空气的快速净化。

4 合作方式

联合开发、填补国内外空白。

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 48 挥发性有机物（VOCs）及恶臭气体生物处理技术

1 成果简介

近年来，挥发性有机物（VOCs）与恶臭气体污染越来越引起人们的重视。VOCs 与恶臭气体的处理技术包括催化氧化、吸附、生物处理、低温等离子等。其中，废气生物处理的原理是利用微生物的代谢作用将废气中含有的烃类、硫化氢或氨等有毒有害物质转化为无害的水、二氧化碳、硫酸盐或硝酸盐等物质，从而实现废气净化的目的。废气生物处理技术在国外已经有 50 多年的研究和应用历史，在美国、欧洲各国、日本和韩国均得到广泛应用。国内从 20 世纪 90 年代开始研究废气生物处理技术，目前已广泛应用于不同行业（尤其是污水处理行业）恶臭和 VOCs 气体处理。国内外的研究与应用成果表明：与其他技术相比，生物处理技术具有效率高、投资运行费用低、工艺运行维护方便、二次污染小等突出优点，尤其适用于低浓度 VOCs 和恶臭气体处理。

本研究所是国内较早开展废气生物控制技术研究单位之一。多年来，针对废气生物处理技术领域的核心关键技术和科学问题，开展了系统研究和开发，在新工艺开发（紫外光氧化+生物过滤）和反应器结构优化、新型填料开发、高效菌种筛选和培育、营养盐配方和填料层堵塞控制等方面取得了大量创新性的研究成果，并已成功应用于污水厂恶臭气体、喷涂废气和炼胶废气处理。目前，我们在该领域已获得省部级奖 2 项（华夏建设科学技术奖一等奖、二等奖），获得国家发明专利 4 项，发表论文 60 余篇。



图 1 生物过滤除臭装置（4000m³/h，用于污水处理恶臭气体治理）



图 2 紫外光氧化+生物过滤除臭装置（用于恶臭气体治理和 VOCs 治理）

2 应用说明

该技术适用于涂料与喷漆、有机原料及合成材料、农药、染料、石油化工、炼焦、制药、鞋厂、印刷厂、造纸厂、加油站、养殖厂、污水处理厂、堆肥厂等的 VOCs 与恶臭气体的处理，还适用于建材市场、家具城、批发城等大型公共场所的室内 VOCs 处理。

可处理的挥发性有机物主要包括脂肪烃（低级脂肪烃（汽油）、氯乙烷、氯甲烷）、芳香烃（苯、甲苯、二甲苯、氯苯）、含氧有机物（醇、醚、酮、醛）、含氮有机物（胺）、含硫有机物（硫醇、硫醚）等。可处理的还原性无机化合物主要包括硫化氢、氨等。

目前本课题组成果已经在北京、江苏、广东、湖南、河北、河南等省市的废气治理工程中得到了成功应用。

3 效益分析

在处理低浓度的有机气体和臭气时，生物法的一次性投资是燃烧法的 1/3、吸附法的 1/8~1/5、化学吸收法的 1/3 左右；运行费用是燃烧法的 1/20、吸附法的 1/10、化学吸收法的 1/15。

4 合作方式

可以承担各类有机废气和恶臭气体生物处理的检测与评价、技术开发、可行性研究、生物处理工艺的设计、工程施工和运行调试等服务；欢迎合作研究以及联合进行技术推广等。 5 所属行业领域
能源环境领域。

NO. 49 水污染预警溯源技术及仪器

1 成果简介

我国水污染事故频发，以有机污染为主。现有技术不能迅速确定污染类型，因此事故发生后无法迅速采取恰当的应对，是产生重大经济和环境损失以及负面国际影响的主要原因。为维护水环境安全，保障人民生活和生产，需要一种能迅速确定污染类型的、环境友好的水体有机污染预警技术。

(1) 水污染预警溯源技术

环境学院吴静团队历经十七年探索研发出新型水环境监管技术——水污染水质指纹预警溯源技术，该技术是将刑侦中通过指纹比对查找嫌疑犯的思路创新性地引入到水污染排放识别中，建立起水质指纹识别技术。每种荧光物质都有其特有的三维荧光光谱。水中含有多多种荧光物质，如油脂、腐殖酸、蛋白质、表面活性剂、维生素、酚类等芳香族化合物、农药残留物等。荧光光谱会随污染物种类和含量不同而变化，且具有与污染源一一对应的特点，被称为水质指纹。

废水的水质指纹与未受污染的水样的水纹有着显著差异，可以用来判断水体是否被污染；不同行业的排水水纹存在明显差异；同一行业不同企业的水纹往往也存在明显区别，故水质 指纹可以用来判定污染排放源。针对不同污染源建立水质指纹数据库，以此作为污染排查的 主要依据。目前已建成国内外最大的水质指纹数据库，包含 13 大类 204 种污染源水纹，29

个国家地区的 370 个水体水纹和 344 种化合物水纹。

(2) 水污染预警溯源仪器

根据水污染预警溯源技术研制出新型水环境监管设备——水污染预将溯源仪，根据不同场景应用需求，目前有台式、在线式及移动式系列。

仪器功能特点：

- 自动取样，自动测量，自动比对，自动保存数据；
- 具备污染预警，以及特有的污染溯源及污染留证功能；
- 数据库设计人性化，可以自动添加新的水质指纹；
- 水纹采集仪性能稳定，使用、维护简便；
- 当仪器光源老化时，自动提示更换等。

仪器性能参数：

- 灵敏度高，信噪比达到 250；
- 20 分钟内完成一次溯源任务，测量时间短，重现性好；
- 工作温度/湿度 5-40℃，40-80%（不可有冷凝现象，40℃ 以上时湿度为 70% 以下）；
- 不加任何试剂，取样量少，不产生二次污染；
- 连续 24 小时使用耗电仅数度，成本低。



图 1 系列水污染预警溯源仪

2 应用说明

水污染预警溯源技术及仪器自 2010 年起应用，目前已在苏州、深圳、北京、哈尔滨、运城等全国 18 个省市自治区建立项目，用于水源地、跨界（境）断面、工业园区、大流域、区域及城市水环境监管。经过 10 年的运行检验，预警溯源仪展示出稳定、高效的运行效果，多地项目在监管期间及时发现水质异常并成功溯源，促进了污染的源头解决，为水环境监管提供了新模式。

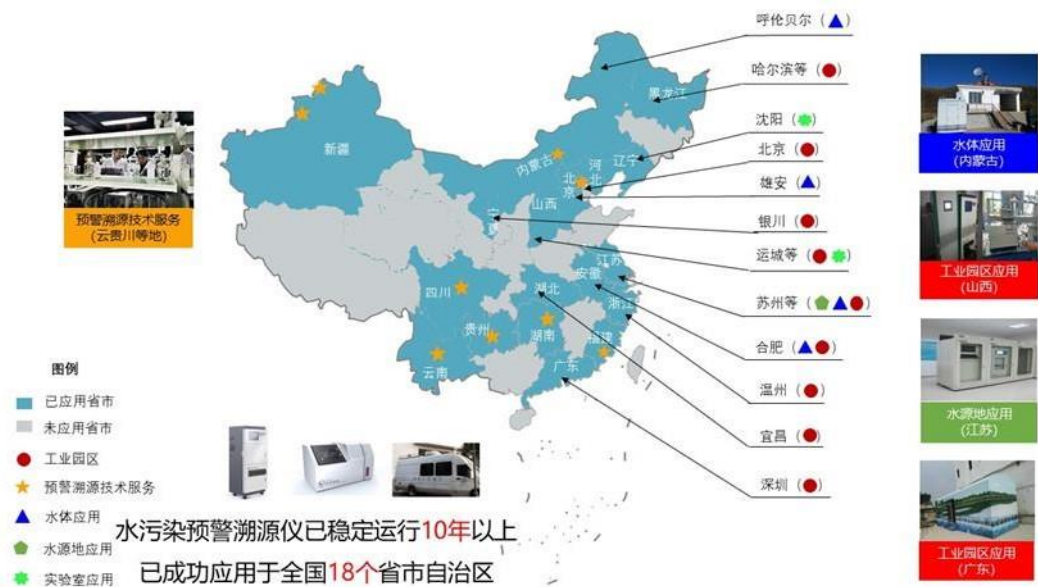


图 2 预警溯源技术及仪器应用地图

3 效益分析

根据 2019 年查新报告显示，目前国内外尚无同类产品，而近几年相继出台的“水十条”、“河长制”等政策，使得污染预警和溯源的需求比较迫切，因此本仪器具有很大的推广空间。一方面，在经济效益上，一台预警溯源仪可同时监管 10-20 家企业，相比于常规设备点源监管可减少设备投资，此外预警溯源仪可精准到污染排放源，可大幅减少监管工作的人力等投入，及时发现污染促进源头解决，也可以节省污染治理费用；另一方面，在环境效益上，预警溯源技术在水污染监测中的应用，将显著提高水环境管理水平，促进实现水环境靶向精准高效治理，从源头保障水环境安全，大幅改善区域水环境质量，保障水生态环境健康发展，促进实现生态文明建设。

4 合作方式

产业化联合推广。

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 50 原位微型化快速水质监测仪与高密度水质监测网络

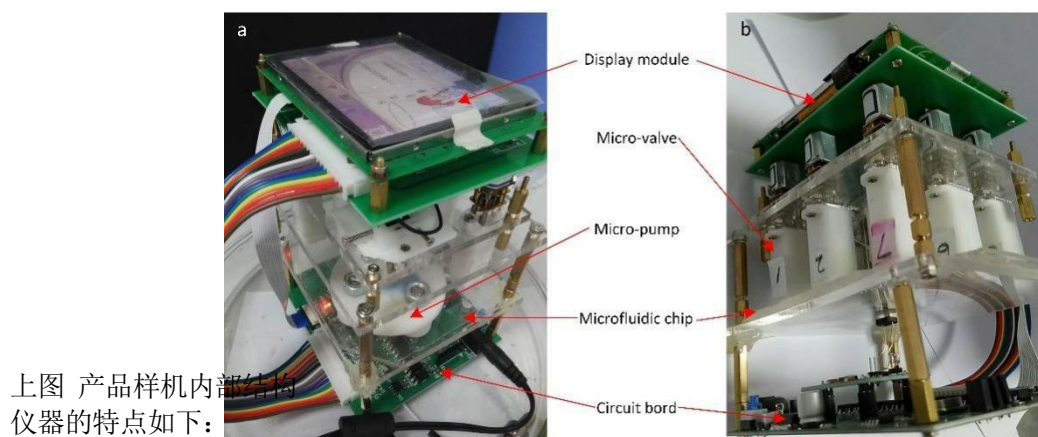
1 成果简介

水是一切生物赖以生存的基础。水的污染严重影响了人类的生产和生活；造成了淡水资源的进一步短缺。水质监测技术在水污染的防、治方面都具有很重要的意义。

目前水质指标的监测依赖于大型的水质监测站，其占地面积大、建设成本高。监测周期长、消耗样品量大，大大限制水质监测点的数量，从而限制了监测的实时性和监测范围。研制成本低、体积小、精度高、监测速度快、试剂消耗量小、性能稳定、可靠性高的原位水质监测系统，将会减少水质监测中的人力物力的消耗，提高水质监测布点的密度，更好的为预

防和治理提供有效的、实时的数据。研发一种体积小，维护周期长，成本低的水质监测仪并且形成监测网络是十分必要的。

本项目研发一种基于国际先进的微环流分析技术的原位水质监测系统，体积小，成本低，试剂损耗量较小，维护周期长。基于此仪器进行高密度水质监测网络的搭建，并通过无线技术将水质监测网络的数据上传到服务器，通过算法对数据进行分析，完成快速、准确的污染溯源，为水域污染的进一步防、治提供一种实时、有效的手段。



上图 产品样机内部结构
仪器的特点如下：

- 与国内外已有的微流体原位检测系统相比，本项目研究的系统集成了先进的环流分析技术，能够使得试剂的反应完全，提高检测的精度。
- 与国内外已有的环流原位检测系统相比，本项目集成了用液量小、检测速度快的微流体技术，节省试剂使用量、减少废液的排出，使得检测更为绿色环保（绿色监测）。
- 本项目应用集成度高的微流体技术及微泵阀设计方法，实现了小体积，低成本的仪器系统，具有显著的特色及创新性。
- 本项目应用微型水质监测仪实现了高密度水质监测网络，并通过算法能够快速、准确的实现污染的溯源。水纹采集仪性能稳定，使用、维护简便，当仪器光源老化时，自动提示更换等。
- 通过算法优化分析，提出用于扩展线性范围的算法公式，实现了适用场景的扩展。通过无线技术，实现了远程数据显示与控制。
- 专用驱动芯片和显示模块的优化相结合，提高了系统的显示效果。性能参数：
- 维护周期可以达到一年以上；
- 完成一次测量和溯源任务不足 10 分钟，测量时间短，重现性好；
- 体积小，仅为 10cm×10cm×30cm；
- 功耗低，1 天工作状态耗电仅为 0.2 度。
- 无线数据传输与控制范围：数百米。

2 应用说明

目前在模拟环境下进行了测试。

3 效益分析

目前，此仪器达到了世界先进水平，具有明显的优势，市场需求巨大，市场规模可以达到千亿规模。本项目在该应用领域具有明显的经济和技术优势。

4 合作方式

联合推广。

6 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 51 建筑环境空气流动设计及仿真技术

1 成果简介

拥有一整套室内空气流动的模拟仿真技术以及通风空调系统内气溶胶污染物传播的模拟仿真技术，成果包括自主开发的三维计算流体力学软件和室内污染预测软件，具体包括：

- (1) 采用先进的模型和算法及环境评价指标；
- (2) 可对建筑环境的各类参数以及气溶胶颗粒分布进行全面设计和仿真；
- (3) 针对性地解决建筑环境与设备工程典型流动和传热问题。

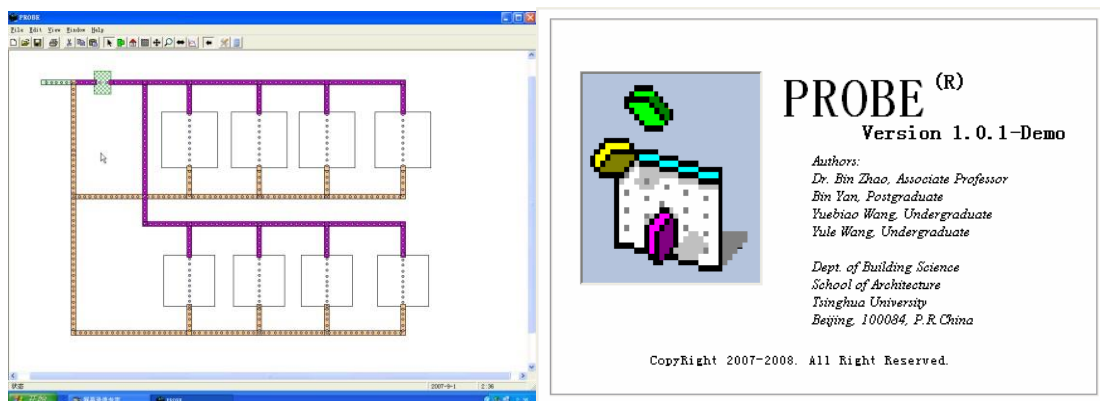


图1 通风空调系统气溶胶污染物传播模拟软件 PROBE-PM

2 应用说明

根据设计与工艺要求，利用先进的计算模拟软件仿真模拟，解决当前建筑由于复杂化、大型化、多功能化、设计环境复杂所带来的设计难题。以计算模拟优化的方式，大幅度降低由于设计不合理所带来的各方面影响及经济损失，如建筑用能过大、舒适性难以保证、医疗环境内传染病控制不利、室内空气品质低下等问题。

主要应用方向：

- (1) 建筑（尤其是高大空间建筑如体育馆、剧场等）通风设计；
- (2) 工业和工艺环境内的通风（如工业通风、各类洁净室、传染性疾病通过空气传播的生物污染下的病房通风等）设计；
- (3) 室内空气品质预测和设计；
- (4) 建筑外环境设计（如住宅小区风环境设计、自然通风设计等）；
- (5) 各类特殊空间热、湿环境仿真和设计（如列车、汽车等特殊空间）；
- (6) 各类建筑设备性能仿真和设计（如冷藏柜、蓄热罐等）。

示例工程:

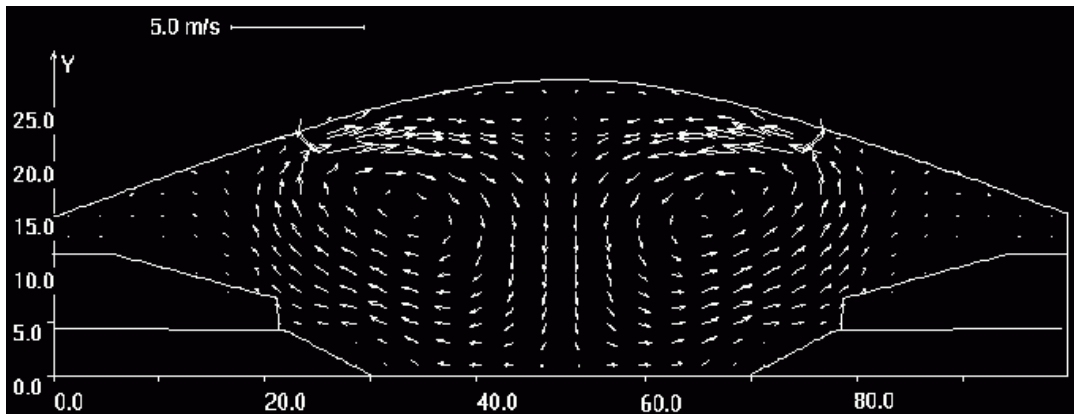


图2 高大空间建筑环境设计

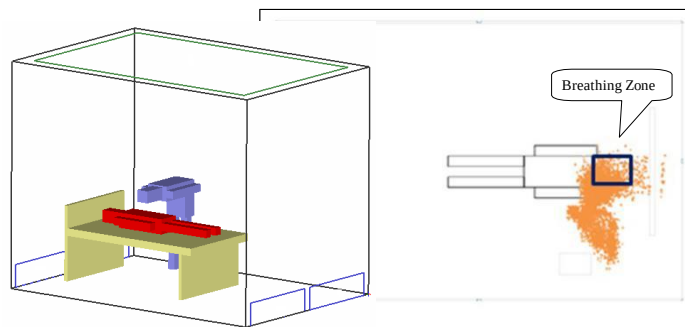


图3 医疗环境内传染病控制环境设计

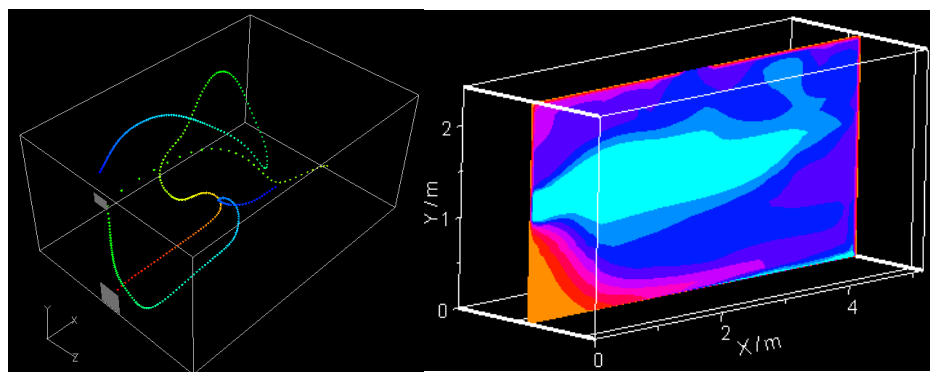


图4 室内空气品质设计

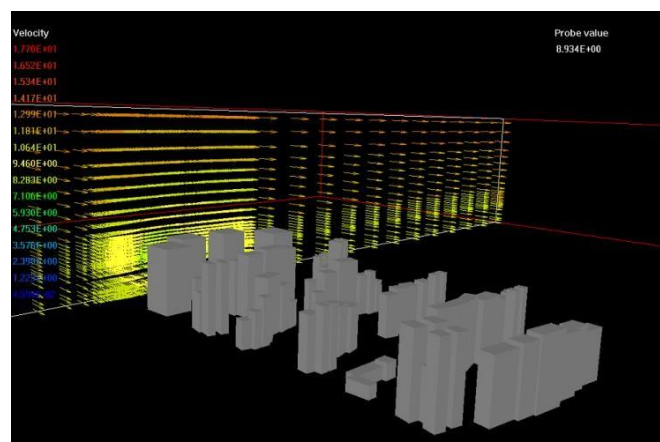


图5 建筑外环境设计

3 效益分析

现状概况：

- (1) 建筑趋于复杂化、大型化、多功能化，设计环境复杂，设计难度很大；
- (2) 现有设计、分析手段相对滞后；
- (3) 我国建筑建设项目处于高速发展期；
- (4) 人民对建筑环境质量要求日益增高。直接效益：
 - (1) 缩短设计周期；
 - (2) 大大节省设计费用；
 - (3) 节省建筑能耗；
 - (4) 提高建筑环境质量；
 - (5) 改善居者生活质量，创造节能、健康、舒适的建筑环境。经济效益：

投产后利润预测

	年工程量	年销售额	利润
第 1 年	30 个	600 万元	500 万元
第 2 年	50 个	1000 万元	800 万元
第 3 年	80 个	1600 万元	1350 万元

4 合作方式

商谈。

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 52 冷却塔的节水除雾防冻技术

1 成果简介

为解决工业及民用湿式冷却塔水损失量大、对周边环境有水雾污染以及冻堵多发等问题，研制了环保节水型冷却塔。该节水型冷却塔可适用于炼油、化工、化肥、电力、冶金、纺织 等行业循环水的冷却处理，以及机场、办公楼宇等建筑物中央空调系统的散热。

环保节水型冷却塔，是从冷却塔整体的节水节能考虑，通过引入空气预冷器对循环水进行非蒸发降温，实现了减少填料层处水分蒸发降温负荷，干段与湿段的降温负荷经过优化分配，并且与风机运行特性曲线相耦合匹配的一种节水型冷却塔。

该节水环保技术成熟，已经在中石油吉林石化等工程成功运行，并经过西安热工研究院检测，实际运行及检测结果表明：节水效果显著，环保性能良好，已具备广泛推广应用条件。本技术不仅直接用于建新塔，还可以方便地用于现役老塔的改造，如吉林石化项目，就是在老塔现有上部空间加装空气冷却器，而其他结构及配置等未改动而实现了老塔变新塔的技术改造。

2 应用说明

环保节水型冷却塔，是具有自主知识产权的环保节水新技术，已成功应用于实际工程，优势主要在于：

- (1) 由于引入的空气冷却器承担了部分冷却负荷，减少填料段的蒸发冷却负荷，减少蒸发水损失以及相应的排污水损失，从而节水，特别是在北京及以北地区具有显著的经济效益；
- (2) 塔出口处空气的含湿量和露点温度较常规湿式冷却塔大大降低，故可有效减少或消除塔出口水雾，减少其周边设施和设备的腐蚀，可有效延长设施和设备的使用寿命，同时水雾的减少，使周边气候得以改善，有益于环保；
- (3) 可调式百叶窗，可根据季节气温调整开度，结合调控喷水阀门可消除严冬的冻堵及结冰等难题，延长冷却塔的使用寿命，节约冷却塔的维修费，同时消除了安全隐患，改善了工作环境；
- (4) 减少了污水排放量，节省相应的污水处理费或排污费。该节水环保技术成熟，已经在中石油吉林石化等多个工程成功运行。



图1 吉化工程新型塔及常规塔运行外观



图2 庆阳石化工程新型塔（左侧）及常规塔（右侧）运行外观

3 效益分析

该技术已成功应用于实际工程，结果表明：呈现良好的防结冰、降雾、节水效果，具有良好的综合经济性 & 环保效益。

- 节水 20%以上；
- 除雾 70%以上，改善气候、减缓周边装置因水雾的腐蚀、减少冬天周边地面等的结冰等；
- 有效缓解或消除进风口的结冰冻堵问题，延长设备使用寿命，节省设备维修费；
- 减少污水排放及节省用药 20%以上，节省污水处理费或排污费等。
- 第二代新技术节水 35%以上，除雾防冻效果更好。

4 合作方式

商谈。

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 53 火灾快速排烟技术与装置

1 成果简介

火灾丧生的最主要原因之一是火灾前期烟雾的毒害性、遮光性、窒息性和刺激性，如果能在火灾发生时，及时消除烟雾，无疑给人员逃生和消防员处置赢得更多宝贵时间。

目前主要应用的排烟措施是物理原理的强制排烟、喷射水雾和化学原理的喷射排烟剂，这些措施只有在非常重要场合才可能设置为固定式的火灾时自动启动形式，绝大多数是要等消防员赶到火灾现场才能实施，或只有燃烧起明火后才能动作，这很可能错过了最佳救援时间。而且强制排风有“风助火势”之嫌，喷射水或排烟剂无疑因物品将全部报废、而增大火灾损失。传统排烟措施的另一类是已有应用、一直也是研究热点的静电吸附原理的排烟技术。

遗憾的是，目前的产品，或者把整个场区做成一个强电场、极不安全；或者引入风力循环，依然有可能强化火势。烟，即是空气中弥散的无数细微颗粒。排烟，就是把颗粒从气体中捕集出来，实现气固分离，属于流体力学多相流问题。

本排烟装置能把火灾时产生的烟雾在上升到达天花板时快速吸附清除其中的细微颗粒物，而对洁净空气不做任何工作。如此可避免烟雾在天花板处堆积后再下压至呼吸带、降低能见度、使人员难以逃生。同时也由于消防员能更接近火源、尽快彻底灭火，可避免由于起火后自动升温自动喷水、导致更大的财产损失。

该技术因利用了“颗粒汇”效应及热烟气密度轻自动上浮的特性，无需风机及管道、无需气流输送等，能在近乎静止状态排烟、提高能见度，可完全避免传统抽风机排烟等措施可能导致的“风助火势”的风险。

2 应用说明

该装置可做成装饰灯、空调等形式，安装在房间或走廊的天花板处，与烟感器联动。当烟感器感知烟雾时自动启动，静静排烟。装置下表面设计成与天花板匹配的色调和外形，其它面藏于吊顶中。其供电可利用消防系统的供电线路，也可利用普通供电线路、必要时配备蓄电池。

该装置平时亦可用于室内空气净化。

3 效益分析

目前的抽风机排烟等措施往往是在火灾已经形成之后，且喷雾、活塞流等排烟措施只能针对重点防火部门、难以大范围使用。本装置投资很低，可与空调器类比，效果立竿见影，把火灾前期人员逃生的时间从 90 秒延长到数分钟。不仅可以使更多人员逃离火灾现场，还能因方便处置、减少很多起火喷水的可能，大大降低因着火而损失的财物理量，相信会受到相关部门的关注，使该技术具有广阔的应用前景和可观的经济效益。

4 合作方式

联合开发、填补国内外空白。

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 54 选择性固固分离平台技术

1 成果简介

固体混合物分离与提纯是工业生产常见过程之一，涉及钢铁、冶金、能源、化工、材料等国民经济支柱产业。目前常见的分离技术包括浮选、磁选、重选、化学分离等，大多需细磨才可实现组分解离和初步分离，无法实现高回收率、高纯度等要求，且能耗较高，设备磨损严重。清华大学化工系以混合物微观结构调控为基础，打破常规，独创具有广泛适用性的“选择性固固分离技术”，实现了混合体系的全面、高效、连续、廉价分离与除杂。

主要特点如下：

- 1、化学法高效解离混合颗粒，能耗大幅降低。
- 2、选择性界面活化，强化不同组分在浆液中的差异，为后续分离打基础。
- 3、多种分离技术和工艺耦合，实现高选择性精准分离和回收。

2 应用说明

自 2010 年以来，经过持续努力，清华大学主持完成了“高精度选择性固固分离技术”

通用中试平台建设，牵头设计并建成年处理 3000 吨钢渣工业化试验装置。陆续展开对现有分离和提纯具有较高要求的大宗固体混合物进行分离的实验研究，在钢渣分离、工业石膏

（磷石膏、脱硫石膏、氟石膏、钛石膏等）全面除杂、尾矿有色资源（镍、钴、铜、锌等）回收、电池级碳酸锂制备、各种无机盐高效分离等方面取得突破。正与相关单位合作，完成部分成果的成套工业技术及专用设备开发。

3 效益分析

钢渣项目（以 10-30 万吨/年计）总投资：1500-3000 万元。

处理成本：120-150 元/吨，产品收入：2000-6000 万元/年，年利润：1000-3000 万元。工业石膏项目：（以 10-30 万吨/年计）总投资：2000-3500 万元。

处理成本：120-150 元/吨，产品收入：2000-6000 万元/年，年利润：1000-3000 万元。无机盐分离提纯：电池级碳酸锂、高纯钾/钠/钙/镁盐制备等。

轻质高强 PVC 复合材料、氧化锌晶须制备与应用等工作也在快速推进，欢迎合作研发。

4 合作方式

技术转让或合作开发。

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 55 水煤浆水冷壁废锅气化炉

1 成果简介

煤气化是实现煤炭清洁高效转化的核心技术，对缓解我国对外石油依存度、保障国家能源安全具有重大意义。水煤浆水冷壁废锅气化技术是由清华大学联合山西阳煤化工机械（集团）有限公司、阳煤丰喜肥业（集团）有限责任公司所组成的“产学研制用”联盟联合研发的具有完全自主知识产权的水煤浆气化技术。

在水煤浆气化炉气化室创新性采用本质安全的垂直悬挂自然循环膜式水冷壁，替代传统昂贵易损的耐火绝热砖层，拓宽了气化炉适用原料，突破了水煤浆气化无法使用高灰熔点原料，单炉年运行时间提高 23%；采用启动、工作双功能组合工艺烧嘴及其冷却技术，气化炉启动时间和燃料消耗降低 90%，烧嘴寿命由 60 天延长至 140 天。

首次提出水冷壁气化室和辐射废锅一体化的气化炉结构、合成气与黑水共出口等关键部件的专利结构，解决了辐射废锅稳定传热与灰渣堵塞的矛盾，系统热效率提高 1.9 个百分点。

2 应用说明

2017 年 12 月通过中国石油和化学工业联合会组织的连续稳定 72 小时现场考核。截至

2020 年 1 月，水煤浆水冷壁辐射废锅气化炉签订 30 台/套，应用范围涵盖甲醇、合成氨、煤制乙二醇、氢气等煤化工产业。获得朝鲜、韩国和南非等多个国家技术认可和应用意向，已出口至朝鲜。

该技术原料适用范围广，可以气化山西的高灰熔点煤、内蒙的褐煤、新疆的高碱渣煤等。该技术既可以应用于新建装置以及老装置的改造升级，应用推广前景广阔。

该气化炉节能降耗和环保综合性能优异，具有煤种适应性好、能量利用率高、污染排放少、运行成本低等特点。无论是煤化工新建项目，还是现有煤气化装置的气头改造，以及对水煤浆耐火砖气化炉的升级改造，该技术都具有显著的技术优势，在煤化工行业具有广阔的市场前景。

3 效益分析

经济效益。应用单位使用该气化炉可用率提高、产品产量增加，销售额增加；且应用单位可以采用本地低成本原料、无需更换昂贵的耐火砖、烧嘴更换频率降低、启动燃料消耗等费用降低，节省了运行费用支出。

社会效益。该气化炉形成了具有完全自主知识产权的新型水煤浆水冷壁气化炉系列技术，打破了国外对水煤浆气化技术的垄断，实现了煤气化装备和技术的国产化。对于保障国家能源安全、实现我国煤化工行业自主安全发展具有重大战略意义。提升了水煤浆气化整体技术水平，推动了我国煤气化装备技术进步和煤化工行业转型升级。且使用该气化炉，可以减少碳排放，二氧化硫，氮氧化物，高铬重金属等污染物排放。

4 合作方式

技术转让，EPC，技术咨询

5 相关图片



水煤浆水冷壁废锅气化炉示范装置

6 项目所属行业领域
能源环境领域

N0. 56 非常规油气储层物性、含气性精确测量设备及 CO₂ 增产技术

1 成果简介

初步预测我国页岩气可采资源量全球第一，页岩油可采资源量全球前五，加快页岩油气资源的勘探与开发已成为页岩油气资源大国的共同目标。目前钻井现场缺乏页岩储层物性及含气性的精确测量设备，实验室岩石物性分析测试效率较低，CO₂ 驱开采致密油藏效果有限，致密油藏采收率较低。为响应国家关于推动“能源技术革命”的号召，进一步实现页岩油气勘探开发科技攻关的发展目标，加快非常规油气储层物性、含气性精确测量设备的研发及 CO₂ 驱提高采收率开发技术的优化升级刻不容缓。

本团队多年来主要围绕非常规能源资源（页岩油气、煤层气、超稠油、地热）开采技术和 CO₂地质封存与利用技术（CO₂ 强化页岩油气开采、CO₂ 增强型地热系统、CO₂ 超稠油热采）所涉及到的热物理现象及相关的基础理论开展科学研究。在国家自然科学基金优秀青年基金

项目、国家自然科学基金面上项目、国家高技术研究发展计划（863 计划）、国家国际科技合作专项等项目资助下，从实验和理论计算两方面揭示了流体在页岩等复杂纳米孔隙结构中的流动和迁移规律，并创新性研发出具有自主知识产权的新型储层岩石渗透率测量仪、新型储层岩石孔隙度测量仪、新型页岩气解析仪、高温高压低场核磁共振在线测量系统以及 CO₂ 驱提高采收率系统优化技术。填补了迅速测定非常规储层物性及含气性国产仪器的空白，该系列仪器可以在钻井现场实现页岩、煤等致密岩石的孔隙度、渗透率及含气量的快速测量，亦可作为测量车和实验室的专用仪器，较国外同类产品稳定性和测量精度上都有较大提高。多年实践经验总结的 CO₂ 驱提高采收率系统优化技术，可针对不同地质背景的致密油藏制定地质适配性的 CO₂ 驱增产措施，形成 CO₂ 捕集、输送、驱油与埋存全流程的系统优化调整方案，实现低渗储层效益增产。具体特点如下：

- 新型超低渗储层岩石渗透率测量仪：基于具有自主知识产权的颗粒样压力衰减原理，可在压力高至 10 MPa、温度高至 70℃ 的储层条件下，精确测量渗透率。恒温控制温度波动范围 ± 0.05 K，恒压控制压力泄露 < 0.025 kPa/min，测样时间约 30min，最低可检测低至 0.01nD 量级。
- 新型超低渗储层岩石孔隙度测量仪：基于具有自主知识产权的精密恒温活塞系统，温控精度 0.01℃，氦气泄漏率低至 10-9m³·Pa/s，可检测孔隙度低于 1% 的样品，小于 10nm 的孔径。
- 新型页岩气解析仪：搭载了基于具有自主知识产权的页岩损失气估算分段模型和配套的数据处理方法，可在准确检测页岩解析气的基础上对页岩取芯过程中损失气进行估算，从而获得页岩样品的含气量。储层模拟系统控温范围：常温~200℃，精度： ± 1 ℃，甲烷流量监测范围：0-50sccm，精度： $\pm 0.35\%$ F.S. ($< 35\%$ F.S.); $\pm 1\%$ S.P. ($\geq 35\%$ F.S.)。
- 高温高压低场核磁共振在线测量系统：可定量分析多孔介质体系中不同含氢流体分子状态与孔隙特征（可检测到低至 1nm 的孔径），构建的高温高压模块可探究接近实际埋藏条件下非常规储层中甲烷/油/水等流体的赋存与迁移规律。
- CO₂ 驱提高采收率系统优化技术：紧扣油气藏“致密+裂缝”的特征，以“优化规模扩大波及体积、提高洗油效率”为目标，采用物理模拟、理论分析和数值模拟相结合的技术手段，评价不同吞吐方式的油藏适应性，形成 CO₂ 捕集、输送、驱油与埋存全流程的系统优化调整方案，实现 CO₂ 吞吐增产技术系列化。

2 应用说明

2017 年 6 月新型储层岩石渗透率测量仪交付中国石油勘探开发研究院廊坊分院使用，氦气泄露率低至 10-10m³·Pa/s，最低可检渗透率低至 nD 量级，测试时间较传统脉冲渗透率测量缩短了一个数量级，可替代国外进口仪器如 CoreLab SMP 200。

3 效益分析

由于目前国内尚无面向井场使用的页岩储层物性及含气性精确测量系列设备，而勘探钻

井过程中，对钻遇目标储层物性、含气性及时准确的测量和评价将有助于指导下一步的钻探方案调整和压裂改造设计，因此本系列仪器具有较大的推广空间。相关仪器运行稳定、灵敏，维护成本低，具有明显的经济和技术优势。新型超低渗储层岩石渗透率测量仪 50 万/台，新

型页岩气解析仪 100 万/台，新型超低渗储层岩石孔隙度测量仪 200 万/台，高温高压低场核磁共振在线测量系统（面议），CO₂ 驱提高采收率系统优化技术（面议）。

4 合作方式

转让或联合推广

5 相关图片



图 1. 新型储层岩石渗透率测量仪
（装配完毕后实物拍摄图替换）



图 2. 新型页岩气解析仪



图 3. 高温高压低场核磁共振在线测量系统

6 项目所属行业领域

能源环境领域。

N0. 57 工业级大型循环流化床反应器的先进数值模拟技术

1 成果简介

这是一项用于模拟工业等级大型循环流化床反应器内部气固多相流动、混合、传热、化学反应和燃烧过程的数值仿真技术，可准确揭示工业反应器内部过程的细节，预测反应器工作性能，为新技术研发、反应器运行调控、性能优化和尺度缩放提供支撑，对提升工业产能

和效率有重要的意义。

本技术的研发，曾得到欧盟 JULLE-2 项目、科技部 973 项目、基金委介尺度重大研究计划等项目的资助，不仅建立了一套相对完整的电力理论体系，而且在实验室、中试和工业级规模的循环流化床反应器（见图 1）上得到考核验证，模拟误差仅为 5%~8%，精度远比一般气固多相流试验测量精度高。

循环流化床反应器由于内部气固两相互作用剧烈，大大加速流动、混合、传质和化学反应过程等特点，而广泛应用于化工、能源、环境、资源利用等工业领域。

长期以来，由于难以准确掌握内部高度复杂的气固两相流动机制，使基于这类反应器的各种技术研发更多依赖于试验研究，不利于降低研发成本，缩短研发周期。借助于本模拟技术，通过求解一系列流动、传热和反应的数学模型和方程，可获得反应器内部详细状态参数

（如压力、颗粒分布、温度、气体组分）分布，进而为后续的工业试验和调试提供重要依据。

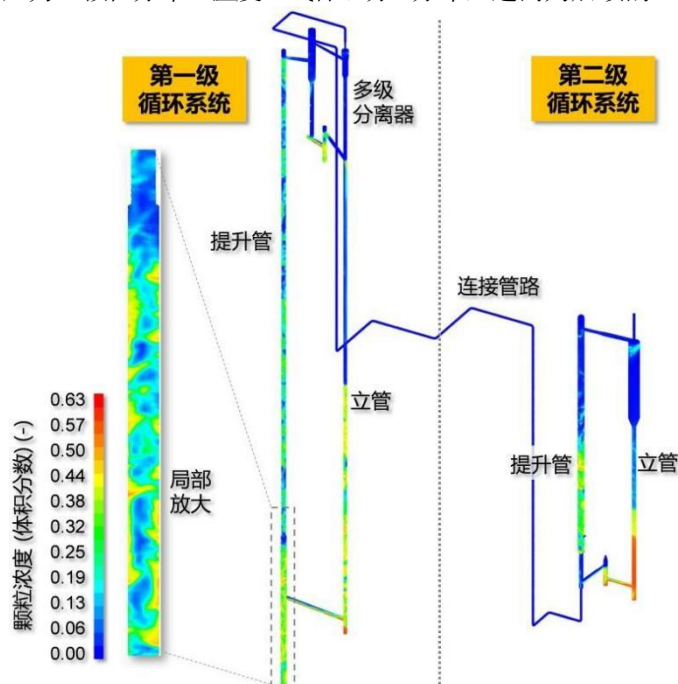


图 1：大型循环流化床煤气化系统的物料浓度分布（装置高度~60 m，压力 0.4 MPa）

本技术有如下特点：

- 1、准确性：以QC-EMMS 非均匀气固曳力理论方法为核心，具备了对复杂气固两相流动过程的高辨识能力，可捕捉和展示反应器内部大量典型的介尺度结构——颗粒团聚体及其动态变化（图 1）；
- 2、普适性：适用于鼓泡流态化、快速流态化、气力输送等宽工况下的流动和反应过程，以及 Geldart A 和 B 类颗粒；不受反应器结构和尺寸限制；可模拟提升管、旋风分离器以及全循环过程；
- 3、预测性：在个别重要的操作参数未知的情况下，仍可准确给出反应器的循环特性、冷、热态性能参数（如颗粒循环流率 G_s 、床温、效率等）及其与负荷的变化规律；
- 4、高效性：可通过多核并行计算，有效提高计算效率。

2 应用说明

本技术曾于 2018 年~2019 年应用于某国有大型石油企业的双循环流化床高压煤气化系

统。通过计算提升管和全循环的流动、传热和反应过程，给出了循环流率 G_s 与流化风速和床存量的关系曲线，确定了发生 A 类噎塞的区域范围；旋风分离器效率与松动风的调控关系；给出了煤气化组分、温度分布、产率、 H_2/CO 比等特性参数，揭示了局部超温结疤的机理并提出改进措施，为装置调试和运行提供了重要支撑。

2 效益分析

体现在以下几个方面：

- 1) 通过揭示内部过程的细节，有助于弄清各类问题的发生原因；
- 2) 当反应器某些重要操作参数由于受到现场测试条件的限值而无法获得时，可通过模拟推算得出，进而给出整个系统的循环特性曲线；
- 3) 当反应器需要在高温高压和不同负荷下调试或运行，可通过模拟预先掌握其性能变化规律，为调试和运行提供依据。模拟结果还可耦合进控制系统中；
- 4) 当反应器需要优化和尺寸缩放，可通过模拟预先掌握这些调整后的效果，大大降低后续工作的盲目性。

目前国内外的相关模拟工作仍处于研究阶段，在某些个案上取得成功，与本技术相比，尤其在准确性和普遍适用性方面，尚有较大差距。因此，本技术具有很大的推广应用空间，具体效益视合作应用方的具体任务要求而定。

3 合作方式

技术服务。

4 所属行业领域

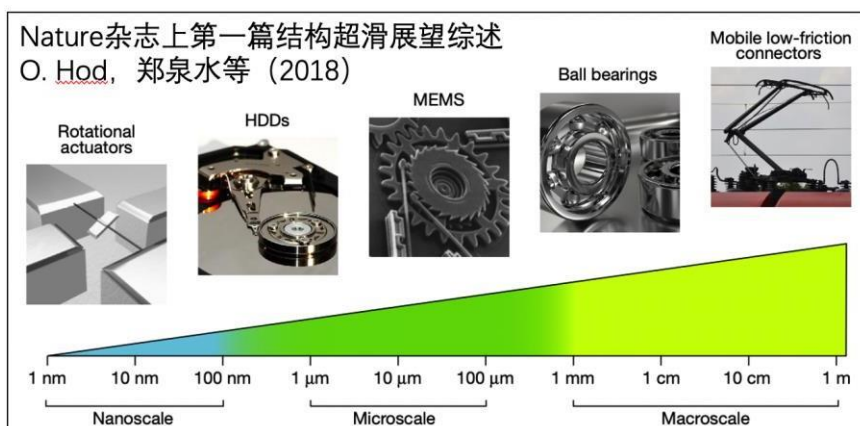
能源环境领域。

NO. 58 结构超滑技术在微纳米器件中的应用

1 成果简介

摩擦与磨损普遍存在，并对人类生存和发展产生深远影响。在宏观世界造成巨大的能源浪费和环境污染，在微观世界更使得人类梦寐以求的大量关键技术难以实现。结构超滑技术的诞生，为相关问题的解决带来变革性方案。

结构超滑（Structural Superlubricity）是指两个固体表面直接接触区摩擦和磨损近乎为零的一种状态。经过全球研究者近 30 年的理论与实验探索，2012 年由清华大学郑泉水院士团队在全球范围内率先发现了微米尺度的结构超滑现象，标志着结构超滑技术的诞生。随后，在国家和民间资金持续的大力支持下、汇聚了全球的顶尖研究者，使得团队在结构超滑技术领域一路世界领先。



2018年9月，在清华大学、深圳市政府和深圳市坪山区政府的支持下，深圳清华大学研究院超滑技术研究所（以下简称“超滑所”）正式成立，是全球第一个以超滑命名的研究机构，并负责创建和全权管理运营深圳超滑技术平台。超滑所致力于将结构超滑技术落地转化。结构超滑技术特点如下：

- 极低摩擦，摩擦系数为千分量级，最低可达 10^{-6} ；
- 无磨损；
- 可以实现启动静摩擦力为 0；
- 该技术可以在大气环境中实现，运动速度达到 m/s 量级，单个超滑副实际接触面积可达 $100 \mu\text{m}^2$ ；

2 应用说明

近 5 年的结构超滑技术主要开发方向，聚焦在创造和研发基于微米结构超滑材料体系的若干具有重大的国家需求或巨大的市场前景的革命性技术产品，如基于结构超滑的微机电系统（MEMS）、微纳发电机、微纳传感器、下一代存储技术等。这些产品将拥有数量级提高的俘能或节能、极高品质、极高寿命和微小尺度等特点。同时，超滑所将建设和发展全球领先的结构超滑微加工平台等研发能力。

3 效益分析

结构超滑技术致力于用全新的结构形式解决现有器件设计的瓶颈问题，并突破摩擦磨损限制开发出前所未有器件。例如现在的 MEMS 器件都采用非接触结构，因为在该尺度粘附、摩擦磨损使得器件无法工作，大大限制了 MEMS 器件结构的可行性，结构超滑技术有望彻底解决这类问题，催生全新品类的 MEMS 器件。

4 合作方式

联合研发，专利转让或共建公司。

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 59. 无风机油烟净化器

1. 成果简介

细微颗粒，无论是燃烧生成的固体微粒，还是烹饪过程中产生的油雾或水雾的液体微粒，都有着与气体分子相近的自发平衡能力，其移动的动力不一定来自包裹它的周围气流的流动。换句话说，在厨房没有任何空气流动的情况下，依然可以借助多场力的联合作用使细微颗粒定向迁移，进而实现与空气的分离。

电磁场与流体场有着紧密的联系，将用于静电吸附的部分电能分解为诱导空气流动的动能，便能在没有风机、风扇情况下，使净化装置处的空气流动起来。从而当需要更强劲地净化灶头烟雾时，可保证任何情况下都没有烟雾泄露。

无风机油烟净化器的优点是：

(1) 无噪声、能耗低。因没有风机、风扇等动力设备，净化器工作时基本没有声音，所以厨师不必忍受长时间的噪声困扰。装置的耗电，全部用于凝聚、吸附颗粒和诱导流动，因此比传统抽油烟机节电明显

(2) 布置灵活。可设计成与传统抽油烟机类似的外形，也可设计成直接贴在后面墙上的形式。即可以是水平类型、倾斜类型，还由于没有管道可以做成壁挂式的垂直类型

(3) 装修简便、无需开洞。无风机油烟净化器是单一独立装置，仅配套一个市电插座就可以。因此不仅可保持天花板的完整，还由于没有管道无需外墙开洞在保证房屋严密的同时，少了排出管鸟类栖息、刮大风脏空气倒灌等等困扰

2 应用说明

该无风机油烟净化器的技术原理已在焊接烟气净化、坑道空气净化等方面的实际工程中得到验证

3 效益分析

无风机油烟净化器是一种全新原理的抽油烟机，其优越性在目前阶段可能主要在于“无风机”带来的无噪声和节电，将来肯定是“油烟净化”。传统抽油烟机，没有油烟净化功能。随着环保标准的日趋严格、特别是随着针对这类量大面广民用装置净化技术的实用化，相信国家会有相应标准出台。提前开发这类装置，将来必定占领先机。

4 合作方式

联合开发、技术转让或技术服务

5 项目所属行业领域

能源环境领域。

NO. 60 PVC 行业替代汞的纳米金催化剂技术

1 成果简介

聚氯乙烯(PVC)是由氯乙烯(VCM)在引发剂的作用条件下聚合而生成的热塑性树脂，

PVC 树脂作为世界第二大通用型树脂，广泛的被应用于工业、建筑、农业、日用品等领域。生产 PVC 树脂的关键是合成 VCM 单体，然而 VCM 的工业合成主要包括乙烯法、乙烷法、乙炔法路线，由于我国“富煤、贫油、少气”的能源状况，决定我国氯乙烯的生产主要采用乙炔法。目前，工业生产氯乙烯单体主要采用 HgCl_2/AC 作为催化剂，然而汞在高温的条件下容易升华造成催化剂的失活，除此之外，汞的剧毒性对人类的健康和环境造成了严重的威胁。2013 年 10 月 10 日颁布了在具有法律效力的《水俣公约》，提出了明确的汞减排时间计划表，

该公约已经于 2017 年 8 月 16 日正式开始实施，标志着全面禁汞进入倒计时状态。我国是

《水俣公约》的签署国，为了履行《水俣公约》的国家承诺，政府有关部门也制定了明确的汞减排计划，初步安排是：在 2015 年实现全行业低汞，2015-2020 年试行无汞，2021 年起全面禁汞。为了达到乙炔法生产 PVC 行业的可持续发展目标，使得环境友好的、新型无汞催化剂的开发和研究迫在眉睫。

国内外研究学者对于无汞催化剂的研发已经持续数十年之久，通过目前的理论研究和实验室评价结果得出，金基催化剂的活性及稳定性与其它金属基催化剂相比较催化性能更加优异，并且研究中发现，金不仅能够在乙炔氢氯化反应中表现出很高的本征活性，还同时具有稳定、安全、清洁、流失少、可回收等特点，是一种新型的绿色高效催化剂。由于金的这些优异特性，有关乙炔氢氯化无汞金催化剂的研究吸引了大量的研究学者，取得了最为丰硕的成果，也展现出了最强的工业应用潜力。

由清华大学自主研发的第一代金基催化剂，经过工业现场 19800 小时的实际测试，单位质量催化剂的 VCM 生产能力，可以提高到目前汞催化剂的 3 倍以上，每千克催化剂制备氯乙烯的产能可超过 3000 kg。经过对金基催化剂用于乙炔氢氯化反应的持续探索，第二代纳米金催化剂与第一代催化剂技术相比较，在进一步降低金负载量，大幅度减少原材料投资的条件下，催化剂的催化活性、稳定性以及产物氯乙烯的选择性都要更优于第一代催化剂技术。同时，高空速下催化剂性能表现优异，为提高单套设备负荷提供可能。技术特点如下：

- 活性组分在载体表面呈单原子分散，优异的反应物吸附能力，抗积碳能力强；
- 单位质量纳米金催化剂生产 VCM 的能力达到汞催化剂的 3 倍以上；
- 每公斤催化剂制备氯乙烯的产能可超过 3000 kg；
- 成本低、毒性小、热稳定性好；
- 催化活性高，寿命长，对产物的选择性高；

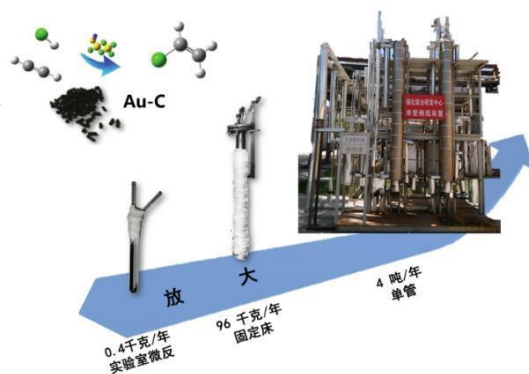


图 1 催化剂逐级放大过程

- 与氯碱行业 VCM 合成工段的工艺适配度高，无需对现有工业设备进行改装；
- 以优质活性炭作为催化剂载体，活性组分负载量低；
- 催化剂使用后的金属活性组分，可以进行回收再利用。

2 应用说明

第一代金基催化剂技术，与合作单位新疆天业集团一起，于 2014~2017 年，完成 19800 h 的工业侧线实验工作。侧线结果如图 2 所示。长周期运行结果说明，乙炔转化率一直保持在 85%以上，氯乙烯选择性为 99%，每公斤催化剂氯乙烯产能为 3.2 吨。

对于第二代纳米金催化剂技术，在金负载量降低的条件下，催化剂的活性及稳定性都要优于第一代技术，结合实验室评价结果和反应器模拟，在高乙炔空速的条件下，催化剂寿命可以超过 15000 h。目前，纳米金催化剂技术，已经完成催化剂配方优选及所有工业原料的筛选、几十公斤级催化剂工业试制等涉及到技术产业化的部分工作。

3 效益分析

对于生产吨催化剂原料及贵金属回收成本为 72.9 万元/吨（以金价 350 元/g 为例）。当乙炔空速为 40 h⁻¹ 时为最佳空速，每公斤催化剂制备氯乙烯的累计产能最大，生产吨聚氯乙烯折合成催化剂成本最低。对于废旧触媒中的贵金属可以实现再回收、再利用。因此，催化剂实际成本为 28.1 万元/吨。

从用户角度，生产吨氯乙烯折合成纳米金催化剂成本为 90~100 元，成本与目前工业上正在使用的汞基催化剂的综合成本持平。

4 合作方式

专利授权，联合推广。

5 所属行业领域

能源环境领域。

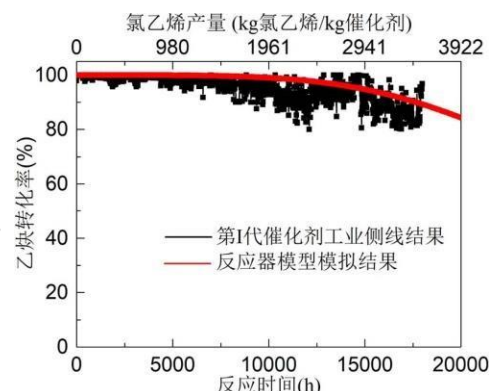


图 2 第一代金基催化剂工业侧线

NO. 61 中国半城市化地区空间重构的理论、方法与实证研究

1 成果简介

中国的半城市化地区经济增长活跃，但也面临土地资源紧缺制约、景观破碎及环境质量恶化、产业转型升级乏力、社会矛盾加剧等前所未有的挑战。本项目着眼于国内外研究空白、立足于国际前沿的理论创新、注重技术创新与实践推广，构建了“一个理论平台+两套测度指标+四类政策工具”的框架，规划和引导半城市化地区的发展，构建紧凑高效、布局合理、发展有序的空间结构。

项目成果分三大部分，分别为“土地产权视角的城乡空间研究理论平台+半城市化地区的特征测度与驱动机制研究+半城市化地区空间重构的政策工具与实践应用”。

(1) 土地产权视角的城乡空间研究理论平台

基于对土地经济和社会属性的分析，结合我国独特的公共土地批租与城乡二元产权制度

下的特征，建构土地产权视角的空间研究理论平台。通过分析城市国有土地与乡村集体土地的不同管治与规划体系，以及半城市化地区开发中各级政府、村集体、村民、企业等行为主体的利益博弈关系，建构基于产权和土地利益视角的城乡空间理论平台。

(2) 半城市化地区的特征测度与驱动机制研究

基于半城市化地区城镇化滞后于工业化、城乡二元土地交错、居住和工业用地混杂的特点，从人口、经济、社会、规划建设等视角，运用地理学、景观生态学、城乡规划等方法，建构半城市化地区发展和土地利用的指标体系。

(3) 半城市化地区空间重构的政策工具与实践应用

以三大城市群和其它地区的半城市化地区作为研究基础，提出了我国不同区域半城市化地区空间重构的四类政策工具，分别是①“利益主体意愿调查+用地适宜性评价+规划导向”

+“方案情景预测”的规划路线与方法；②空间政策区划分方法→空间调控导则→土地开发权空间转移的空间重构政策，并制定配套的土地收益分配政策；③从“权威型”到“合作型”的存量用地治理模式转型路径；④搭建“集体土地交易平台+城乡产业双向交流平台”的乡村振兴政策工具，并为地方政府所采纳。

2 应用说明

课题组基于此研究，将理论、方法和政策工具运用到 10 个城市的 12 项规划管理实践，部分地区转化为地方规划管理条例。在国际顶级 SSCI 期刊上发表英文论文 21 篇，被引 226 次；发表中文核心期刊论文 38 篇，被引 376 次。出版中文学术专著 5 部，英文学术专著 2 部。获得两项软件著作权许可，授权 1 项发明专利，申请 1 项发明专利，此外获得国际国内奖励 5 项。

3 效益分析

(1) 本项目提出的四类政策工具应用到 10 个地区的 12 项规划实践中，为地方土地利用的集约化、内涵化提供了决策参考和依据，并在部分地区直接转化为规划建设导则，产生了直接的社会经济效益和环境效益。

(2) 基于项目课题和其他学者提交报告给国家发改委，促进了 2017 年原国土部与住建

部《利用集体建设用地建设租赁住房试点方案》的出台，对未来解决我国 2.6 亿半城市化的流动人口的住房问题、促进农民工市民化具有重要意义。

4 合作方式

联合推广。

5 项目所属行业领域

能源环境领域。

N0. 62 基于催化剂和膜电极量产的高性能燃料电池电堆成套技术

1 成果简介

质子交换膜燃料电池（Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC）是一种零排放、高效与高功率密度的发电装置，特别是在新能源交通动力应用方面具有极其诱人的前景。经过持续多年研发，目前PEMFC在能量效率、比功率、低温启动等性能指标方面已经取得了突破性进展，使得燃料电池汽车的性能接近传统内燃机汽车的水平。在PEMFC技术日趋成熟和多国氢能战略驱动的背景下，由燃料电池汽车领衔的新一轮氢能产业化浪潮正在迫近。我国自“十五”新能源汽车重大科技专项启动以来，初步掌握了燃料电池电堆、动力系统、整车集成等核心技术，并经历规模示范运行，具备燃料电池整车的生产能力。截至2019年底，累计入选工信部公告《新能源汽车推广应用推荐车型目录》的燃料电池车型共计177款，并在多地实现了小规模全产业链示范运营，标志着我国氢能大规模商业化应用已经开启。但在技术水平上，国内燃料电池发动机材料与零部件产业化滞后，总体技术水平落后于西方发达国家。具体而言，氢燃料电池上游缺乏量产技术与规模生产能力，如国产催化剂存在量产技术匮乏，工程化应用经验不足；国内膜电极厂家缺乏低铂载量和高耐久性技术，以及随着燃料电池汽车产销量不断提高，膜电极产能瓶颈突显。

清华大学核研院从1994年就致力于氢能与燃料电池关键材料及器件的研发及产业化，承担了我国氢能领域第一个973项目“氢能的规模制备、储运及相关燃料电池的基础研究”、第一个燃料电池发动机“863”项目、第一个燃料电池国产化“863”项目，在氢能燃料电池领域积累了深厚的技术与工程实践经验，培育了我国氢能自主研发的早期力量，形成了以新概念燃料电池研制引领创新和以高性能电源应用开发面向市场的研究特色。近几年依托中日氢能系统性问题合作研究平台与新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室研发平台和20多项国家项目资助，清华大学核研院具备了大功率电堆(100kW)及关键部件的设计、量产工艺及工程化经验。在氢能燃料电池方向发表SCI 论文210篇（引用5765 次），授权发明专利138件（其中美国发明专利15件），共同起草多项国家标准。

针对高活性、高耐久性的铂基纳米催化剂在量产过程中催化颗粒尺寸一致性及其在载体表面的均匀分布性等宏量制备一致性问题，采用管道连续微波均质催化剂量产技术以及量产型二元或多元合金催化剂的制备工艺（如图1所示），使反应浆料从配方到最终的洗涤干燥，均处于定量流动状态，保证了反应的均匀性和生产效率。通过上述方案解决燃料电池催化剂量产瓶颈，极大地提高了产品的一致性，可实现催化剂工业化规模制备。催化剂品种包括

Pt/C、PtCo/C、Ni@Pt/C核壳催化剂、PtCu/C合金催化剂以及单原子分散的PtZn非铂催化剂。通过碳载体的石墨化处理与N掺杂技术、催化剂包覆与后处理技术，实现了催化剂的耐久性大幅提升，所组装的短堆经过5000h耐久性测试后，电堆平均衰减5.2%，具有高耐久性潜力（如图3所示）。

膜电极（Membrane Electrode Assemblies, MEA）是多相物质传输和电化学反应场所，决定着PEMFC的性能、寿命以及成本，主要由催化剂、质子交换膜及其溶液、气体扩散层制备而成。针对燃料电池随电流增大，电压呈明显下滑的难点，通过膜电极材料体系、浆料配制和涂覆工艺优化大大改进膜电极的性能和耐久性，并集成膜电极一体化封装专利技术，发明了高效膜电极。经过单体测试，电流密度1A/cm²，电压高达0.718V；电流密度2A/cm²，电压高达0.633V，功率密度可以达到1.6W/cm²；峰值功率密度可达2W/cm²，从文献报道结果看，处于国际先进水平。

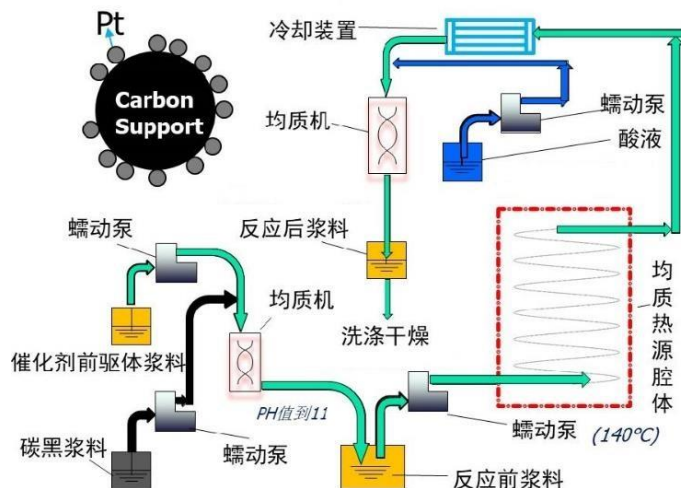


图 1、催化剂量产工艺

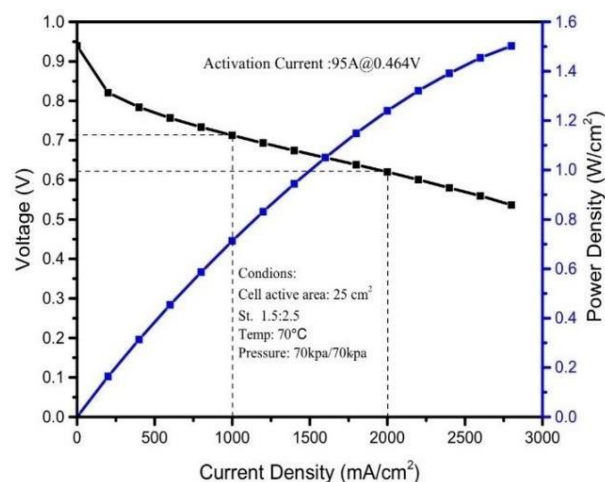


图 2、高性能膜电极

极化曲线：耐久性测试下，不同时间

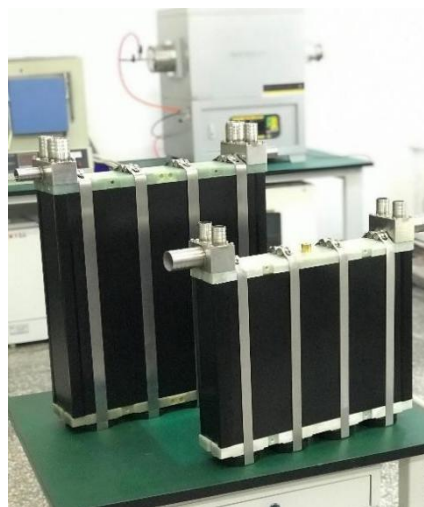
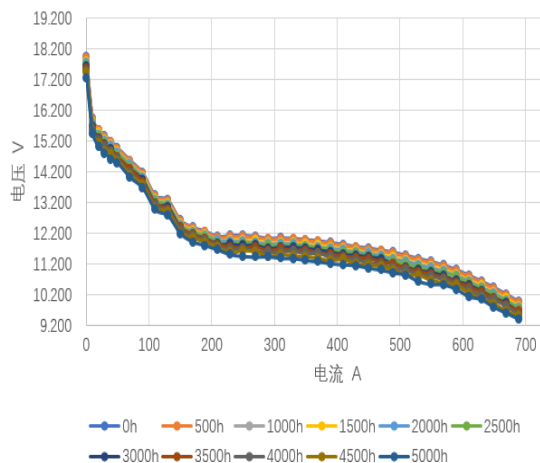


图 3、长寿命催化剂 (短堆测试)

图 4、大功率燃料电池电堆

燃料电池主要面向重型动力应用，高性能、长寿命和低成本的大功率燃料电池技术是发展趋势。基于燃料电池材料部件国产化技术，通过多轮的结构优化设计、流体分配与流场分布仿真验证，在解决均匀性和耐久性方面取得突破，研制出了100kW级的大功率燃料电池电

堆，并具备完整的自主知识产权(如图4所示)。本项目技术指标

项目	指标
催化剂	1) 电化学活性面积： $\geq 70 \text{ m}^2/\text{g}$; 2) 质量比活性： $\geq 30 \text{ A/g}$ @0.9V _{ir-free} ; 3) 耐久性：极化性能衰减率 $\leq 4\%$ (@1A/cm ² , 1.0-1.5V 扫描 5000 圈) 4) 单条生产线产能： $\geq 1 \text{ kg/天}$ 5) 产品 ECSA 的一致性： $\pm 2\%$ ；产品用于 MEA 的极化性能的一致性： $\pm 2\%$ (@1A/cm ²)
膜电极	1) 额定功率超过 1.26 W/cm^2 (@0.633V)；峰值功率超过 1.7 W/cm^2 (@0.542V) 2) 极化曲线如图 2 所示。其中阴阳极载量合计 $\leq 0.4 \text{ mg/cm}^2$
电 堆	1) 单堆功率：70-120kw; 2) 比功率： $\geq 3.2 \text{ kw/L}$; 3) 预期工况寿命： $\geq 10000 \text{ h}$; 4) 材料成本 (年产 10 万台)：500 元/kW。

2 应用说明

我国高度重视氢能及燃料电池产业发展。从2011年以来，政府相继发布《“十三五”战略性新兴产业发展规划》《能源技术革命创新行动计划（2016～2030年）》《节能与新能源汽车产业发展规划（2012～2020年）》《中国制造2025》等顶层规划。2019年3月，十三届全国人大二次会议将“推动充电、加氢等设施建设”增补进入《政府工作报告》，鼓励并引导氢能及燃料电池技术研发与推广应用。与发达国家相比，虽然目前我国氢能产业化态势全球领先，但在燃料电池关键材料部件如 化剂、气体扩散层、膜电极等方面还存在明显的“卡脖子”问题，主要依赖进口，《中国制造2025》做出规划，氢能相关产品国产化率2025 年达到 50%。为此，本项目聚焦燃料电池上游材料部件内核创新，对实现我国氢能产业自主健康发展具有重要意义。

项目成果的逐步推广应用，可望使我国燃料电池制造商摆脱长期依赖进口催化剂等关键材料的不利局面，促进我国燃料电池产业走有“源”的自主发展之路。推广基于国产材料的大功率燃料电池在交通动力、储能调峰、热电联供等工业领域应用，摆脱对发达国家技术依赖具有战略性意义。

目前，本项目成果已经批量应用于燃料电池物流车(几十辆级)。在技术开发和成果转化

过程中，先后获得“第十九届全国发明展览会发明奖”金奖、北京市第三届发明专利奖一等奖、“清华大学科研成果推广应用效益奖”二等奖、“第十届国际发明展览会发明奖”金奖、湖北省技术发明奖等多项奖励。

3 效益分析

近年来，在PEMFC技术日趋成熟和多国氢能战略驱动的背景下，由燃料电池汽车领衔的新一轮氢能产业化浪潮正在迫近。2019-2030中国节能与新能源汽车技术路线图预期到2030年，全球燃料电池汽车的产能将达100万辆以上，其中燃料电池电堆的产能规模将达5000亿元人民币左右。本项目产品的推出将具有良好的经济社会效益。

国际氢能委员会研究预测，到2050年氢能源将创造3,000万个工作岗位，减少60亿吨二氧化碳排放，创造2.5万亿美元的市场价值，在全球能源中所占比重有望达到18%。美国、日本、韩国等国家作为全球氢能倡导者和领跑者，高度重视燃料电池技术的开发。燃料电池正在新能源汽车、热电联供、分布式发电、叉车电源、潜艇、航天等领域开始广泛应用，燃料电池具有广阔的市场前景。

4 合作方式

产业化开发、专利合作或联合推广

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 63 新型微波等离子体火焰灶具

1 成果简介

清华大学发明的微波等离子体电火灶具是一种全新的灶具技术，它符合低碳发展趋势并且可以完全替代燃气灶具。它仅需要空气与电能，不需要任何化石能源，可以达成与燃气灶具同样的猛火烹饪效果。最近几十年，燃气灶具成为我国居民的主流灶具，尽管相比于煤炭来说更加的清洁环保，能在很大程度上减少对大气的污染。但是无论煤炭木柴还是天然气都是化石能源，而化石能源是产生碳排放的主要来源之一，中国最近又提出碳达峰，碳中和的目标，因此应该尽量减少化石能源的使用。我国用于灶具天然气量大约在100亿立方米左右，所以如果用电灶具替代燃气灶将至少减少40-50亿吨的碳排放。并且写字楼不允许输通燃气，无法使用燃气灶，因此电灶具就成了人们的另一种选择。

微波等离子体灶具属于一种纯电新型灶具，但与传统的电磁炉、微波炉、电陶炉相比，最大的优势，就是可以形成类似于传统燃气灶具产生的猛火，进行爆炒颠锅等操作，满足中国传统烹饪厨艺对爆炒，鲜嫩食材快速断生的需求。爆炒需要在极短的时间内达到很大的火

力，并且也能够使食材的温度快速下降，通过让食材的温度发生快速的变化，使食材快速成熟，迅速断生，达到脆，嫩，滑，鲜的口感。显然，上述的三种电灶具无法实现这样的操作。

综上所述，微波等离子体火焰灶具是一种全新的符合低碳发展趋势的燃气灶具替代技术，仅需要空气与电，具有非常好的市场前景。

微波等离子体灶的主要特点如下：

- 即开即得，操作方便，插电即用；
- 智能感应，安全可靠，多重保护；
- 微波炉，电陶炉，电磁炉文火集成灶具，文武火双全；
- 灶具的功率 1~3kW 可调，且能效比较高；
- 火焰温度较高，能达到一千摄氏度；
- 电武火加热，可颠锅，爆炒，满足中国菜肴烹饪需求；

2、应用说明

该等离子体灶具是对燃煤、燃油、燃气灶具技术的一种全新替代技术，符合低碳的趋势，使用方便，只需要电和空气，可完全达到传统灶具的效果，可广泛应用于写字楼、舰船、家庭、食堂等场合。

3、效益分析

将微波等离子体灶具的经济效益与一般的燃气灶进行对比，一罐燃气的价格一般100块钱左右，而对于微波等离子体灶具来说，一般功率在3000W左右，正常电价在0.4-0.8元/kWh。经过计算，微波等离子体灶达到一罐燃气产生的热量所需的电费与一罐燃气的费用相当。

作为一种消费端的低碳技术，同时也能满足传统烹饪技术的要求，能完全替代传统灶具，是未来灶具的发展趋势，微波等离子体灶具的市场前景极大，有着上亿的、不可估量的市场需求。

4、合作方式

技术转让、许可、联合开发等，具体合作方式面谈

5 所属行业领域

能源环境领域。



图示 微波等离子体灶具设计图

NO. 64 微波等离子体微型固废处理装置

1 成果简介

本装置是基于清华大学的微波等离子体技术研发的小型化的、可移动的固废处理装置，仅需要电能，无需其他燃料便可以产生高温、高能的等离子体，借此实现对固体废弃物的气

化、碳化、裂解，达成对废弃物的无害化、即时、缩量处理。本装置可广泛应用于紧急医疗点、集中隔离点、实验室、舰船、保密机构、临时的野外作业点等场合。本装置是基于清华大学对微波等离子体二十余年研究积累的产业化成果，目前已有技术相关专利二十余项，技术成熟且完善。

目前，等离子体技术在环保领域已得到了广泛的应用，特别是在固体废弃物的处理方面，相比其他处理方法，这一技术有着如下的优点：

1) 等离子体的中心温度可以达到数千度，高温、高能粒子流能够彻底地裂解几乎所有固体废弃物与有害气体，对废弃物的减容、减重效果好，处理效率高，剩余残渣可直接作为普通废弃物处理；

2) 装置的运行只需电能与空气，并且等离子体具有即开即得的特性，能够实现频繁的启动与关闭，方便处理过程中的控制；

3) 本装置所使用的微波等离子体技术有着无电极、体积较小、可以模块化使用等优点，更适合用于微型化、可移动的处理装置中，同时其运行成本也较低。

本装置的原理示意图如图 1 所示，装置主要由等离子体处理单元，尾气处理单元、智能控制单元等部分组成。本装置主要利用了等离子体的高温高能特性，结合尾气处理技术与智能控制技术完成对废弃物的无害化、缩量、即时处理。

本装置的主要特点如下：

装置体积较小，可以搭载在面包车或小型卡车上运输，安装方便，只需供电即可运行；单台成本较低，运行成本也较低，稳定运行功率约为 5kW；

减容率超过 90%，剩余残渣可直接作为普通废弃物处理；

设计处理量可以达到 5-100 千克/天，能满足乡镇卫生院、集中隔离点等场景的医疗废物处理需求；

设备智能化，整套装置设备实现了自动化的控制，一键操控。

2 效益分析

本装置能够解决目前医废、固废处理中的部分痛点问题，填补了微型固废处理装置的空白，具有较大的推广空间。

以医疗废物处理为例，目前医废处置中存在着运输成本高、过程冗长、运输安全隐患大等问题，在处理小型医疗机构所产生的医废时这些问题显得尤为突出。全国目前设置了新冠疫苗接种点 25392 个，这些接种点所产生的医疗废物泄漏可能造成核酸检测假阳性，引起恐慌；目前全国有乡镇卫生院约 3.6 万家，年诊疗人数占到了总诊疗人数的约 15%，这些机构所产生的医疗废物往往运输成本较高且缺少贮存条件。本装置因其小型化、可移动、分布式的特性可以实现对这些机构所产生医废的就地化处理，有效降低了运输、贮存成本与安全隐患。同时，作为移动式处理装置，本装置还可用于自然灾害后的应急废物处置。本装置的应用市场极为广阔，具有极高的社会、经济效益。

4 合作方式

技术转让、技术合作、联合开发等

5 所属行业领域

能源环境领域。

N0. 65 微波等离子体处理医疗废弃物装置

1 成果简介

国内医疗废弃物处置技术常采用热解焚烧技术，但是在小城镇、边远地区如果建立焚烧处理厂，涉及的投资及运行成本高昂，仅配备国家标准要求的尾气在线监测装备就需要百万左右。对于这些相对贫困、落后的地方，当地政府也很难维持这项支出。

实验室精准定位，将目标地区锁定于小城镇、边远地区以及疫情高风险隔离区，研发了微波等离子体医疗废弃物处理装置。该装置不仅具有小型化、可移动、能耗低、成本小及副产物少的优势，还可就地处置，有效解决了小城镇、边远地区医疗废弃物贮存时间长、转运频率低、感染风险高的问题。特别像是在非典、新冠高发期间，类似于小汤山、方舱医院等高风险区域采用这样的装置可以在处置过程中有效的解决污染泄露等问题。

本项目研究不仅具有巨大的经济价值，而且对于一些目前医疗废弃物处理系统存在的医废运输成本高、医废无法回收利用、过程冗长等痛点问题，可以提供一种有效的解决方案，具有极大的社会价值。

2 应用说明

本设备是针对医疗废弃物进行设计研发的，相关的技术指标已经超过相关国家标准要求，并完成了科技查新、成果专利申请、第三方检测、用户测试等内容。此外，作为小型化、紧凑化的可燃物气化设备，针对大部分的固体废弃物以及含有一定水分的固体废弃物有较好的处理效果。对比传统的焚烧炉，该设备仅需少量的电能即可实现排出物达标排放。根据设备的性能特点，其适用场合包括偏远山区、越野部队、轮船、高风险医疗隔离区。

3 效益分析

由于目前国内外尚无同类产品，而微波等离子体处理医疗废弃物设备非常适用于目前疫情防控的医疗废弃物就地化处理，因此本设备具有较大的推广空间。

根据生态环境部在 2014 年-2019 年发布的《全国大、中城市固体废物污染环境防治年报》，每年将新增医疗废弃物数万吨乃至数十万吨不等，每年增幅 3%以上，全国共 661 个城市，而该报告仅统计了二百余个大中城市，若加上乡村和未统计的 400 多个城市的医疗废弃物产生量，其实际产生量保守估计至少为统计量的 1.5 倍。据央视财经新闻报道，2020 年全国医疗机构产生的医疗废弃物相比 2019 年，同比增幅将超过 25%。那么 2019 年的医疗废弃物产生量按照最低的同比增幅 3%计算，2020 年的增幅按照 25%计算，2020 年医疗废弃物的实际产生量将高达 160 万吨。根据折算，近年来的收费标准大致落在 5000-8000 元每

吨，则 2020 年医疗废弃物处理的总产值将高达 80-128 亿元。由于新冠疫情仍未结束，本次疫情会推动医疗废弃物处理产业链进一步发展，同时随着我国人口老龄化加剧，医疗服务水平提高，预计中国 2023 年医疗废弃物处理市场规模将逼近 107.37 亿元。

综上分析，微波等离子体处理医疗废弃物装置可开拓的市场份额每年至少为 3 亿元。若是考虑到乡村、偏远小城市以及高风险地区的情况，则其每年的市场份额要远远大于 3 亿元。

4 相关图片

装置的效果图如图 1 所示，设备前面设置有投料口以及控制面板，上表面设有尾气排放口。内部包含气化反应腔、重组反应腔、尾气处理模块、除渣模块以及电控模块。整体的装置体积为 $3\text{m} \times 2.6\text{m} \times 2.2\text{m}$ ，重量 3800kg，电耗 $\leq 45\text{kW}$ ，水耗 40L/天。处理能力 $\geq 40\text{kg/h}$ ，减重率 $>90\%$ 。



图 1 微波等离子体处理医疗废弃物设备

5 所属行业领域

能源环境领域。

NO. 66 巨型冲击式水轮机研发关键技术

1 成果简介

2020 年 11 月，党的十九届五中全会中提出实施“雅鲁藏布江下游水电开发”重大工程。雅江是中国最长的高原河流，下游河段绕南迦巴瓦峰构成世界上最大、最深的 U 形大峡谷，蕴藏水能资源约占全国总量的 1/10。雅下水电开发对水轮机组的要求非常突出：超高水头差、超大容量、自主开发。

针对巨型冲击式水轮机研发的关键技术问题，多年来进行了深入研究，主要研究成果体现在以下几个方面：系统研究了冲击式水轮机多相流与流动干涉特性，自主建立了转轮水斗优化设计平台；自主发展了冲击式水轮机全流道含沙三相流分析的数学模型和数值方法，对机组内的多种流态和流动干涉现象进行了深入系统的理论分析和数值研究。研究了冲击式水轮机内部的水气沙三相流动特性，深入揭示了泥沙对冲击式水轮机喷射结构内的泥沙磨损特性，相关成果为 IEC 国际标准关于冲击式水轮机泥沙磨损特性分析提供了解决方案。在多年的研究过程中，还自主开发了冲击式水轮机水力开发所需的系列化功能软件，包括：机组水力选型设计、水斗曲面重构、水斗内流与水力性能分析、流动干涉特性分析、泥沙磨损预

估等多个计算模块。

课题组从 2001 年开始从事冲击式水轮机研发方面的研究，在国家重点研发计划、国家自然科学基金等项目资助下，掌握了巨型冲击式水轮机水力开发方面的关键技术。研究进展在国内行业会议中做特邀报告，相关研究成果在 SCI 检索国际期刊《Renewable Energy》、

《Energy》和《Journal of Hydrodynamics》发表论文多篇。研究成果为雅下水电开发及我国高水头大容量冲击式水轮机自主研发提供了坚实的理论基础。

2 应用说明

2019 年 2 月至 12 月，受三峡集团上海勘测设计研究院委托，开展了“高水头多泥沙电站水轮机选型与抗泥沙措施研究”研究，为某高水头水电站的机组选型和泥沙磨损改进措施提出了量化的分析报告，为电站设计的决策提供了理论依据。目前，受央企委托，正开展“冲击式水轮机水力方案设计与泥沙磨损特性计算分析”课题的研究，正开展国内目前单机容量最大冲击式水轮机的水力开发工作，目前进展顺利。

3 效益分析

我国十四五规划提出将实施“雅鲁藏布江下游水电开发”重大工程，以雅江为代表的高水头资源开发正式开始启动。根据最新水电普查数据，我国西南地区技术可开发装机容量为 44,982 万千瓦，约占全国的 68%，西南地区主要以高水头资源为主，开发潜力巨大，但该地区受诸多不利条件影响，开发难度大。我国在混流式等常规机组研制方面的技术领先世界，但在高水头大容量冲击式机组研制方面距国际领先水平差距较大，是典型的“卡脖子”问题。面对国家雅江开发的紧迫趋势，实现超高水头、大容量冲击式机组设计和生产的国产化，不仅能创造巨大的社会效益，还具有重要的战略意义和工程意义。

4 合作方式

转让或者联合推广。

5 所属行业领域

能源环境领域

NO. 67 多元有机废物湍动流化床高效气化焚烧处理技术

1 成果简介

随着经济的高速发展，工业技术的不断革新以及人们消费水平的显著提高，有机废弃物

（包括生活垃圾、工业废物、危险废物）的产量、种类及复杂性也随之增加。常规焚烧炉仅适用于处理单一或相近性质的有机废弃物，不同相态或性质偏差较大的有机废弃物无法集中同炉处理，需要多套设备才能处理，导致投资增加、设备利用率降低、运行不稳定、排放不达标和管理困难等问题。

张衍国教授领导的资源环境研究组针对国内外有机废物处理技术进行全面深入的调研，开发出新型的湍动流化床气化焚烧处理技术，实现焚烧炉中多元有机废物清洁焚烧处理。本技术由北京一亚高科能源科技有限公司合作转化。

多元有机废物湍动流化床气化焚烧技术采用湍动流态化、物料内循环、分级给料、分级气化、分级燃烧等技术，对废弃物焚烧的适应性更强，初始排放更低。

结构特点：

- (1) 变截面气化室-大容量，内循环，飞灰量少
- (2) 中温分离-分离器温度在 550℃，抗结渣，抗腐蚀
- (3) 床上排渣-定向风帽、大渣口，大渣块、金属等不堵塞技术特点：
- (1) 湍动床流态化-均匀气化，反应彻底，炉渣灼减率 $\leq 3\%$
- (2) 气化室还原性气氛-低温气化，严格控制温度在 700-820℃，低 NO_x 初始生成
- (3) 燃烧室高温-多级高压头低风量配风，气化气和空气混合均匀，低氧充分燃烧，温度 $\geq 850^\circ\text{C}$ ，停留时间 $\geq 2\text{S}$ ，烟气含氧量 6-7%
- (4) 气固两相分级燃烧-燃烧充分，过量空气系数小，热效率高
- (5) 分级气化，分级燃烧-无焦油，低污染，低二噁英
- (6) 炉膛温度“马鞍型”分布—低温气化高温燃烧（附图）环保系统

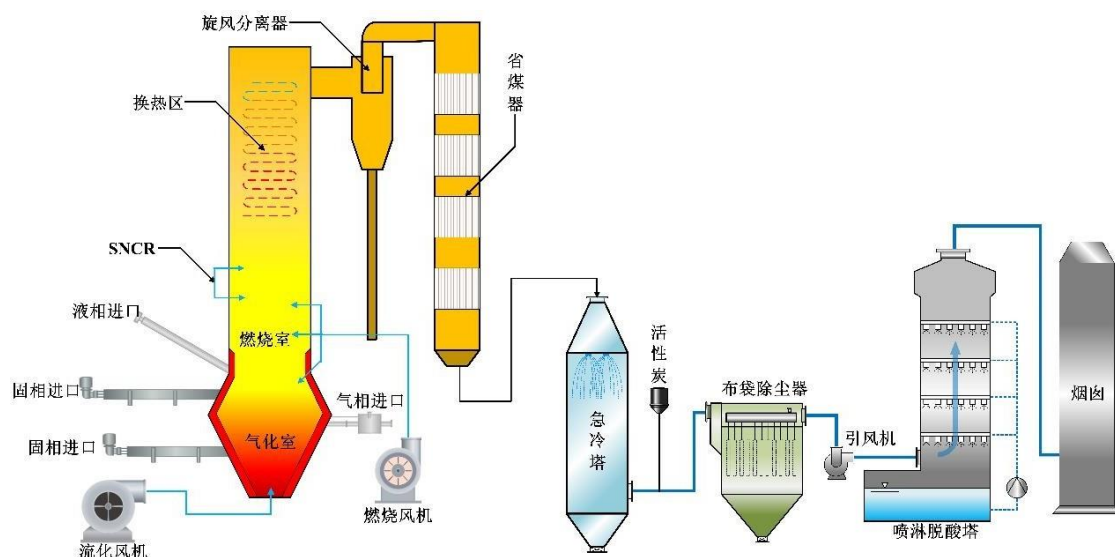


图 1 典型多元有机废物湍动流化床气化焚烧工艺流程图

技术优势：

- (1) 国际领先-全新理论，突破传统，核心专利
- (2) 专属解决方案-数据挖掘、精准分析、量身定制，为客户提供经济、适用的解决方案

(3) 双低成本-同等规模和排放要求下，相比常规技术，初投资低 20%-30%，运行成本低

10%-20%

(4) 工艺链条短-系统简洁，无需 SCR 脱硝

(5) 稳定性-连续运行 ≥ 8000 小时/年

(6) 灵活性-处理能力覆盖 50t/d-500t/d

(7) 智能化-工业 4.0，自动化程度高，操作难度低污染物排放指标：

污染物	国家标准 GB18484-2020	国家标准 GB18485- 2014	欧盟 2010排放 指标	本技术 排放指 标
一氧化碳 mg/m^3	<80	<80	<50	<50
颗粒物 mg/m^3	<20	<20	<10	<10
氮氧化物 mg/m^3	<250	<250	<200	<50
二氧化硫 mg/m^3	<80	<80	<50	<35
二恶英 ngTEQ/m^3	<0.5	<0.1	<0.1	<0.05
灼减率	$<5\%$	$<5\%$	$<5\%$	$<3\%$

2 应用说明

本技术已成功应用于越南平阳造纸废渣污泥焚烧项目，项目处理造纸废渣 140t/d，污泥 260t/d，沼气 7000Nm³/d；项目 2019 年 6 月交付业主，至今运行稳定，根据现场实时监测数据显示，各项参数均已达标。



图 4 实测排放数据

3 效益分析

本技术可以广泛适用于不同的应用场景：

- (1) 处理 1 吨工业废弃物平均可生产 3 吨蒸汽以上；
- (2) 处理 1 吨生活垃圾焚烧产生的热能可生产 2 吨蒸汽，或满足生产 3 吨有机肥的需求；
- (3) 将陈腐垃圾、生物质、废塑料等废弃物气化，产生可燃气体。1 吨陈腐垃圾筛上物气化可产生 1000-1500Nm³ 可燃气，热值约为 1000kCal/kg。

4 合作方式

EPC, BOT, BOO 等合作模式。

5.项目所属行业领域

能源环境领域

NO. 68 工业化水热裂解法制备有机肥技术

1 成果简介

在长期研究废弃物处理过程中，张衍国教授团队发明出一种以农村种植废弃物（秸秆、枝条等）和养殖废弃物（畜禽粪污等）为原料的工业化水热裂解法制备有机肥技术。本技术由北京环清环境科技有限公司合作转化。

工业化水热裂解法制肥技术运用热化学中水热裂解法将秸秆、种植废弃物、养殖粪污、水产废弃物、动物尸体等有机废弃物制备成高品质固体和液体有机肥。原料在 150-250℃与 1.0-2.5MPa 条件下用时 1-3 小时充分进行水热裂解反应，使原料大分子充分裂变成易于吸收的小分子肥料，可全部灭除病菌、病毒、虫卵，彻底分解抗生素、激素等有害物质，避免二次污染，提升原料品质。水热裂解后的有机物料进行固体、液体分离，分别制备成安全高效的有机固体肥料与液体肥料。

本技术与常规有机肥制备工艺对比如下：

项目	常规制肥工艺	工业化水热裂解法
安全性	70℃以下，虫卵、病菌等不能得到有效灭杀；抗生素、激素分解不完全。	高温高压灭活，杀灭一切病毒病菌和虫卵；完全分解抗生素、激素等有毒害物质。
环保性	堆肥气产生显著的温室效应	不产生堆肥气
制肥效率	常温堆肥，发酵需 15-40 天	高温熟化，只需 1-3 小时
肥料有效	堆肥腐熟，受气候和场地条件影	高温分解稳定化处理，肥效稳定，不烧苗，农

性	响，操作条件不稳定，产品质量良莠不齐	作物易吸收；当地作物制肥还田，补充土壤中的营养元素；可根据不同作物需求补充微量元素和有益菌种
占地	大	小
人工	工作量大，劳动强度高	机械化自动化生产，工作量小，劳动强度低

技术优势：

- (1) 超高效率转化，可实现人畜禽粪污日产日清，真正减量化、资源化、无害化。
- (2) 高温高压灭活，全面灭杀病毒病菌和虫卵。
- (3) 彻底分解抗生素、激素、农药、兽药残余等有毒有害物质。
 - (4) 同时产出高养分与高有机质含量的固态肥与液态肥，产品性状稳定，杜绝二次烧苗。
 - (5) 将有机质中的木质素、纤维素、果胶、淀粉、蛋白质等大分子转化为小分子结构，增加可吸收的有机质含量，大幅提升肥效。
- (6) 无需占地沤肥发酵，无废气废水等环境污染，安全环保占地小。
- (7) 工业化生产，不受气候环境影响，产品品质稳定可靠。
- (8) 设备设施模块化、系列化、智能化，工人工作量小，劳动强度低。
 - (9) 农业废弃物就地资源化循环利用，补充土壤流失的肥力，有效维护生态环境有机平衡，源头保障食品安全。

2 应用说明

工业化水热裂解制肥系统已成功应用于山东省烟台海阳市发城镇农村污染源“全处理”示范项目。项目一期于 2019 年开始建设实施，2020 年 10 月正式投运，现已运行快一年，稳定可靠。

项目现场已建立有机肥种植试验基地，对有机肥的肥效进行了试验验证，试验结果显示用本项目所生产的有机肥进行果蔬种植，果蔬产量及质量非常高，效果明显。

3 效益分析

本技术以养殖和种植废弃物为原料生产高端有机肥，目前市场售价每吨在1500元以上，经济效益良好。

4 合作方式

EPC, BOT, BOO 等合作模式。

5.项目所属行业领域
能源环境领域

NO. 69 高温冶金熔渣射流干法粒化与显热回收技术

1 成果简介

高炉熔渣水淬法，是国际通用的冶金熔渣处理技术。废水冲渣形成的脏水汽大量排放到大气中，是形成雾霾和酸雨的主要污染源之一，不仅造成严重环境污染，还有安全隐患。多年来，国内外许多科研团队积极开展研发攻关，但迄今为止，还没有一项新技术可以全面地替代传统的水淬工艺，实现产业化推广，因此，号称这是“冶金行业最后一个世界性的难题”。张衍国教授团队从 2008 年开始针对这一课题开展研究，在对国内外关于高炉渣粒化技术进行充分研究之后，发明了高温冶金熔渣射流干法粒化和显热回收技术。该技术由北京立化科技有限公司合作转化。

工艺流程：

- (1) 冶金熔渣粒化：采用射流粒化技术将熔渣破碎为小液滴，粒化颗粒直径小于 3mm；
- (2) 粒化颗粒急冷凝固：采用多重换热急凝技术将液滴快速冷凝为玻璃态固体颗粒，并回收部分热能；
- (3) 固体颗粒余热回收：采用流化床加移动床的梯级回收热能技术，回收固态颗粒热能 80%以上；
- (4) 能量输出：根据需求产出电能、蒸汽、热水、冷量等多种品质的能源。

与传统水淬工艺对比：

性能指标	本技术	水淬工艺
新水消耗量（t/t 渣）	< 0.02	0.8-1.2
循环水量（t/t 渣）	0	8-12
渣储存水分（%）	0	10-20
热能回收率（%）	> 80	0
产生含硫气体	无	有
后续干燥	否	是
爆炸隐患	无	有

2 应用说明

冶金熔渣射流粒化新技术的首套产业化项目已成功落地山东齐河市，项目已完成建设，目前已进入运行调试阶段。

3 效益分析

按我国冶金企业产出废渣总量 6 亿吨测算：

经济指标	数值	单位
年 CO ₂ 减排量	4992	万吨
年 SO ₂ 减排量	16.2	万吨
年 NO _x 减排量	14.1	万吨
年节约标煤量	1906	万吨
年总节水量	>6	亿吨
年蒸汽量产量	2.6	亿吨
年发电量	544	亿千瓦时

4 合作方式

BOT, BOO 等合作模式。

5 项目所属行业领域

能源环境领域

NO. 70 清洁、高效多流程循环流化床燃烧技术

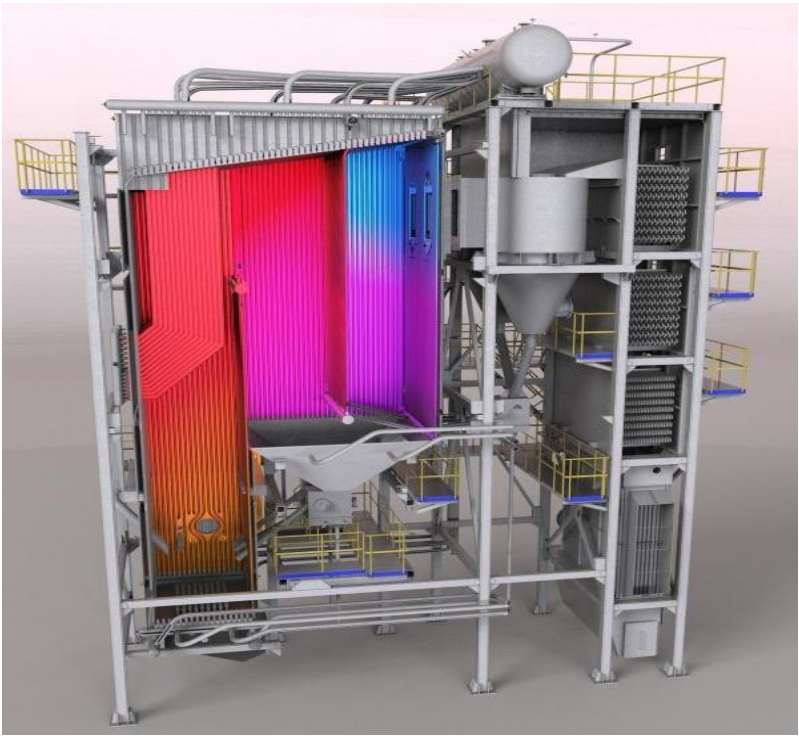
1 成果简介

随着中国社会经济的快速发展，资源枯竭和环境污染问题日益严重，中国政府已经提出了碳达峰和碳中和目标。因此，工业锅炉的提标减排迫在眉睫。

张衍国教授领导的资源环境研究组从2003 年开始研究中小型循环流化床工业锅炉，2006年，第一台多流程循环流化床锅炉建成投产。本技术由北京热华能源科技有限公司合作转化，截至目前，已有上百套多流程循环流化床锅炉的应用案例。

这种“三床两返多流程”的循环流化床是一种全新的循环流化床锅炉结构，突破国内外循环流化床不能小型化的理论，蒸发量可以从几吨到上百吨。不仅效率高，对生物质废弃物具有极强适应性，还能轻松实现污染物超低排放。

技术参数：



多流程循环流化床燃烧技术的主要技术参数如下。锅炉型式： 多流程循环流化床锅炉

锅炉出力： 10~130 t/h

热效率： 88%~92%

适用燃料： 烟煤、无烟煤、褐煤、贫煤、煤矸石、油页岩、生物质燃料、农业废弃物、咖啡渣、中药渣、糠醛渣等

燃料热值范围： 1500Kcal/kg-6000Kcal/kg炉膛温度： 850℃~900℃（燃煤工况）旋风分离器进口温度：约 500℃

锅炉出口烟气温度： ≤145℃底渣含碳量： <1%

炉膛结构： 膜式壁

传热介质： 水或者导热油初始氮氧化物排放： ≤200mg/m³

NO_x 治理： 低温分级燃烧+“SNCR+SCR 耦合” 脱硫方式： 炉内加石灰石+尾部精脱硫

除尘方式： 高效布袋除尘+湿式静电除尘

图 1 多流程循环流化床锅炉示意图

环保排放指标:

项目	本产品排放指标	GB 13271-2014 排放浓度限值	
		燃煤锅炉	燃气锅炉
颗粒物/(mg · m ⁻³)	5	50	20
SO ₂ /(mg · m ⁻³)	35	300	50
NO _x /(mg · m ⁻³)	50	300	200
黑度 (级)	≤I	≤I	I
汞及其化合物 (mg/m ³)	0.05	0.05	

技术优势:

- (1) 燃料适应性强、实际运行热效率高。
- (2) 燃用低灰熔点燃料时的设备可用率高。
- (3) 环保性价比高。
- (4) 实现了传统循环流化床锅炉的小型化。

2 应用说明

目前中粮米业、华润三九药业、湖南烟草公司、台湾锦美纸业公司、中国种业、华能集团、美国先锋种业、蒙古 MAK 公司、印尼 EBE 公司、日本爱丽思、台湾力丽集团、台湾力鹏集团、湖南烟草、四川烟草、河南烟草、云南烟草、一方制药、朗致药业集团、光大集团等知名企业均为本技术用户。

该技术适用于 10~130t/h 容量的工业锅炉，热值范围 6.3~25.0MJ/kg 的固体燃料均适用，包括劣质煤炭、生物质和工业固体废弃物等，因此燃料应用广泛，实现了一种炉型满足多种燃料需求。

按照应用范围分，至今已有燃煤锅炉项目 24 个，燃生物质锅炉项目 15 个，燃工业固废

项目 26 个，投入使用的锅炉有上百台。

3 效益分析

本技术的经济效益可以通过以下几个方面得以实现和提高:

- 传统工业锅炉高出约 25 个百分点，节能效果显著，同时减少污染排放。
- 多流程循环流化床锅炉可以工业固废为燃料，一方面节省燃料支出，另一方面节省固废处理费用。
- 锅炉结构为卧式设计，总高度降低，降低了建设成本。
- 污染物初始排放低，可降低烟气治理设备投资，运营成本可节约 1/3 以上。

4 合作方式

EPC, BOT, BOO 等合作模式。

5 项目所属行业领域

能源环境领域

NO. 71 燃料电池催化剂量产技术

1 成果简介

我国氢能产业链正在逐步完善，但仍存在突出短板，这几年这些短板也在不断发生变化，过去是车辆与电堆差距大，现在的短板已经由车辆端转移到氢能供应端，由电堆、系统的问题转移到核心零部件与材料的问题。特别是我国要进口大量催化剂来支撑氢能产业的发展，国外知名供应商主要有英国庄信万丰公司（JohnsonMatthey）、日本田中贵金属集团（TKK）、

日本科特株式会社（Cataler）、德国巴斯夫化工集团（BASF）等。催化剂作为燃料电池的核心材料，其综合性能与国产化直接关系到氢能产业的核心竞争力及其产业化前景。

目前商用 催化剂为纳米铂或合金颗粒分散在纳米碳球表面上的负载型 催化剂，难点在于在量产过程中 催化剂颗粒尺寸一致性、在载体表面的分布均匀性以及批次稳定性等宏量制备问题。针对上述难点，课题组先后承担了 20 余项包括“973”计划、“863”计划、国家自然科学基金、国家重点研发计划等在内的国家项目，发明了管道连续微波均质催化剂量产技术。该技术的特点是反应浆料从配方到最终的洗涤干燥，均处于定量流动状态，保证了反应的均匀和稳定性。采用专有的前驱体配方实现了 催化剂的每批次公斤级的批量制备。系列化 催化剂产品通过了第三方检测，各项性能指标符合设计要求，而且通过碳载体表面类石墨化，自制 催化剂在耐久性上优于国际商用同等级 催化剂。目前该催化剂量产技术具备大规模工业化生产条件，量产催化剂具有高活性、高稳定性、低成本优势。技术特点在于：

- 连续动力管道均相反应技术，将反应原料浆料化并流动起来，利用在线式均质分散与微波均相反应设备实现连续反应；
- 流量、分散、反应参数精确控制技术，实现浆料的反应参数的均一化，进而实现对宏量制备的精确控制，最终达到量产技术条件；
- 通过微波加热前驱体溶液，有机溶剂的偶极子在微波场的作用下，分子运动速度加快，使偶极子碰撞频率增加，从而提高了反应速率与均匀性；
- 利用微波合成法制备催化剂具有较高的纯度、更窄的粒径分布和更为均一的形态等优异特性。

催化剂性能参数：

- 催化剂综合性能（极化性能 $\geq 0.65V@2A/cm^2$ 、电化学活性面积 $\geq 70m^2/g$ 、质量比活性 $\geq 0.1A/mg@0.9V$ ）均达到或超过国际商用同等级 催化剂性能；
- 采用优化载体处理工艺，载体循环寿命达到 20000 次循环（ $0.6V \sim 1.5V$ ）；
- 采用连续合成工艺，实现产品性能的高一致性，各项指标可控制在 $\pm 1\%$ 以内；

2 应用说明

目前使用该催化剂技术的六款燃料电池商用车入围了工信部公告目录，包括东风物流车、中通物流车、山东汽车物流车以及吉利城市客车等 50 多辆，运行里程超 100 万公里。总体 上讲，该技术已经进入市场，并实现了一定的社会效益和经济效益。

目前在国家政策支持下，氢能产业的热度正在逐渐升温，显示出长期向好的态势，从氢能的长远发展来看，根据 BP、国际氢能委员会等多家机构预测，为实现全球 2050 年碳中和目标，氢气在全球工业领域终端消费中占比须超过 18%，在交通领域占比须超过 10%。《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》制定了目前我国最权威的氢能产业战略规划，描绘了未来的氢能体量：2050 年，氢能将在中国终端能源体系中占比达到 10%，实现二氧化碳减排约 7 亿吨/年(70KG/100km，2000 万辆，6 万公里/年)，产业产值 12 万亿。从技术发展趋势和产业规划数据上看氢能产业前景十分光明。

3 效益分析

预计到 2030 年，燃料电池汽车年产量将达 100 万辆，对 化剂的需求将达 75 吨，催化剂市场规模将达到 300 亿元。国产燃料电池 化剂具有明显的经济和技术优势。

4 合作方式

转让或者联合推广。

5 项目所属行业领域

能源环境领域

四、生物医药医疗领域（13项）

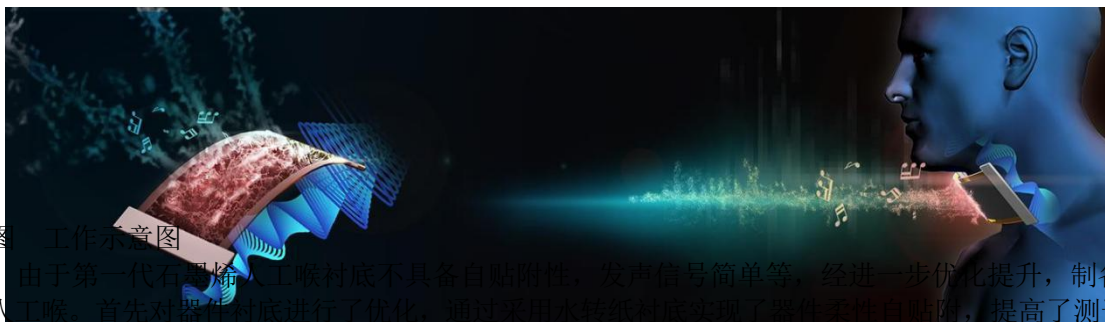
NO. 72 人工智能喉

1 成果简介

据不完全统计，我国听力语言残疾居视力残疾、肢残、智残等五大残疾之首。目前我国聋哑人数已经达到 2057 万人，占中国人口总数的 1.67%。因此，如何帮助聋哑人发声，让聋哑人和正常人一样说话，成为了一个具有挑战性的课题。

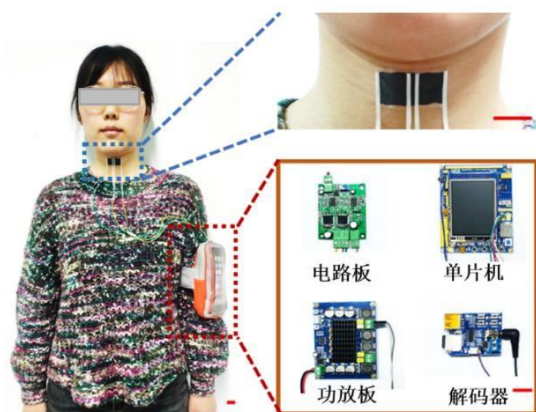
课题组从 2004 年开始从事石墨烯新型传感器的研究工作，在清华大学基础研究基金，教育部科技重点项目，教育部清华大学自主研究项目等项目的资助下，掌握了多种传感器的制备工艺，于 2017 创新性开发出第一代石墨烯人工智能喉，利用多孔石墨烯的优势，制造出一种收发一体，适合穿戴的集成声学器件，有望在未来解决聋哑人的说话难题。

这种集成声学器件，利用石墨烯的热声效应来发射声音，利用石墨烯的压阻效应来接收声音，实现了单器件的声音收发一体。器件使用的多孔石墨烯材料具有高热导率和低热容率的特点，能够通过热声效应发出 100 Hz-40 kHz 的宽频谱声音。其多孔结构对压力也极为敏感，能够感知发声时喉咙处的微弱振动，可以通过压阻效应接收声音信号。因此，这种器件能够准确感知聋哑人低吟、尖叫等特殊声音，并将这种“无含义声音”转换为频率、强度可控的声音，有望在将来转换为预先录制的语言。



上图：工作示意图

由于第一代石墨烯人工喉衬底不具备自贴附性，发声信号简单等，经进一步优化提升，制备出了第二代石墨烯人工喉。首先对器件衬底进行了优化，通过采用水凝胶衬底实现了器件柔性自贴附，提高了测试灵敏度。其次，对不同的喉部运动进行了区分，通过喉结运动和声带振动分别采集到了低频和高频信号，可根据需要进行筛选保留。通过自制电路板的连接，首次将收声系统和发声系统相连，实现了声学信号的完整传输。在之后的研究中，将会加入蓝牙模块、语音识别、柔性电路等技术，使石墨烯人工喉更加智能、微型、多功能化，有望实现轻便易携的“创可贴”式人工喉。



第二代石墨烯人工喉佩戴示意图

2 应用说明

当第一代人工喉佩戴者大声发出低吟时，人工喉会感知喉咙振动状态并发出预先设定的声音，当佩戴者变换低吟的长短、声调时，人工喉发出的声音也会随之对应发生明显变化。“解码”之前，需要聋哑人根据自己的发声特点，将不同强度和不同频率的低吟、尖叫音进行排列组合，形成聋哑人的“语言编码”。“‘编码’后的每个聋哑人发音，就像键盘上的字母键，只需要用不同排列组合，就能表达出聋哑人连续的、完整的语义。这就把我们常人听不懂的聋哑人低吟音转化成为正常的语言，并且可以连续表达。”第一代智能石墨烯人工喉除了能够辨别不同音调，还能根据声音强弱、尖叫、咳嗽等声音震动，“解码”出不同种类的聋哑人“语言”，同时能够实现音节和音调的排列组合，让聋哑人说出更丰富的句子。

用户佩戴第二代石墨烯人工喉系统后可通过示波器实时观测喉部运动信号。石墨烯器件通过与单片机、解码器相连，首次实现了动作发声模式，佩戴用户可通过不同的喉部动作控制第二代石墨烯人工喉发出“OK”和“NO”的声音，与他人实现简单的交流。最后，第二代石墨烯人工喉发声系统可发出任意语音甚至音乐，实现了发声的多样性。

3 效益分析

目前，市场上的帮助聋哑人发声的产品尚不成熟，产品的质量差异太大，而目前聋哑人人数比较多，市场需求量大。石墨烯人工智能喉因为其成本低，灵敏度高等优点，具有较大的推广空间和推广优势。本产品成本低，灵敏度高，生产快速，与人体的贴合性好，无污染，无危害，可以长期稳定使用，具有明显的经济和技术优势。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

生物医药医疗。

NO. 73 临床与可穿戴心电设备长时程心电智能诊断平台

1 成果简介

心血管疾病是威胁人类健康的重要杀手。我国心血管病患者已达到 2.9 亿人，心血管病死亡占城乡居民总死亡原因的首位。中国已步入老龄化社会，2050 年，老龄化水平将达到 30% 以上。老年人群体作为心血管疾病的多发群体，面向老年人的心血管病管理和治疗已成

为不可避免的一个重要社会问题。实现老年人群体等重点人群心血管健康的长时程监护，从而早预防、早发现、早治疗，已经成为医疗服务的重点。

基于长时程医疗数据的临床心电智能检测平台是推动心血管疾病科学防治和管理升级的关键技术。近年来，众多医疗设备厂商在可穿戴设备领域大力投入，所研发可穿戴设备可实现用户心电图等生理健康数据的长时程监测，弥补了医院测量心电图的短时性。本课题中，基于人工智能算法研发心血管疾病智能诊断系统，将可穿戴设备、移动终端、云端服务器所实现自动诊断结果与专家诊断结果有机结合起来，实现心电疾病诊断智能化。长时程临床心电智能检测平台的建立，利用可穿戴设备实现了对用户身体状况的长时程监测和异常筛查，可有效推动心血管疾病健康管理模式建立。

北京清华长庚医院心内科张萍教授团队在正常和疾病心电数据库有长期的积累，曾负责十二五国家科技支撑计划《基层心电监护产品应用评价研究》，在心电监护产品评价和推广应用方面积累了丰富的经验，在本项目中提供了医疗级心电测试数据库，与清华大学王贵锦副教授一起搭建了医生在环并不断反馈的心电智能检测平台，同时，北京清华长庚医院作为北京市昌平区远程诊断管理中心，为未来心电产品的推广应用和心电智能诊断的评测提供了良好的平台。清华大学电子工程系王贵锦老师团队在低功耗硬件设计、生理大数据分析、心电智能算法研究领域有着长期的积累。团队在国内外顶级期刊会议上发表文章百余篇，其中 SCI 文章 40 余篇，发明专利授权近 20 项。团队基于人工智能算法开展心血管疾病智能诊断研究，在多种心电疾病诊断中达到世界先进水平。

团队所研发临床长时程心电智能检测平台特点如下：

- 实现长时程心电数据的展示、查询、关键指标计算等功能；
- 基于医疗大数据和人工智能技术，实现室性早搏、房性早搏、T 波改变、ST 段改变、早复极图形改变、心房颤动等 10 余种常见心电术语的智能诊断，准确度高；
- 建立心电诊断术语工程化分级体系，实现医学和工程科学高效结合；
 - 建立心电图规范化数据库，为医学研究创造基础。团队所研发的手持式可穿戴心电智能检测平台特点如下：
- 实现了院外心电数据的测量和采集
- 基于手持式单导联设备和人工智能技术，实现了心房颤动的院外筛查和诊断

2 应用说明

2017 年 7 月至 2017 年 12 月，所研发长时程临床心电智能检测平台在北京清华长庚医院和中关村医院开展测试。测试结果证明，所研发检测平台可基于长时程心电图等数据实现较高准确度的室性早搏、房性早搏、心房颤动等多种心电术语诊断。

2018 年 1 月至 2019 年 12 月，所研发的手持式单导联心电智能检测平台在北京清华长庚医院和中关村医院开展测试。测试结果表明，所研发检测平台可基于可穿戴式心电图数据实现较高准确度的心房颤动疾病筛查和诊断。

3 效益分析

目前，可穿戴式和长时程临床心电智能检测平台需求迫切，国内外涌现出多种心电图检测系统。然而，已有系统在心电图数据规范化和智能诊断算法准确度等方面仍无法满足需求。本平台克服了已有系统的不足之处，有着广阔的推广空间。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

生物医药医疗。

NO. 74 超高速流式成像分析仪

1 成果简介

高速细胞检测一直是生物、医学领域非常有挑战性的工作，而流式细胞检测以其较大的检测通量成为高速细胞检测的首选方案。本成果超高速流式成像分析仪灵活运用了高速光纤通信、微波光子技术及光信号处理技术，结合高速数据处理和生物医学技术，实现了对传统细胞成像速度的巨大突破。与此同时，在获取了海量的细胞图像之后，根据具体应用的需求进行快速数据压缩、人工智能图像分类处理、细胞特征提取等操作。通过细胞图像获取每一个细胞的核心参数，从而将复杂的生物学现象（细胞）快速转换为直观可读的信息呈现形式，为细胞特性的分析以及疾病的诊断提供第一手的、准确的资料。

创始团队基本来自于清华大学，拥有雄厚的研发能力，并与北京大学、武汉大学、东京大学、加州大学洛杉矶分校、北京天坛医院实验室等知名高校及科研机构建立项目合作。同时获得天使轮投资，拥有发明专利两项，并获得第二十二届全国发明展览会—金奖，第十二届北京发明创新大赛—金奖，受到业内一致好评。

超高速流式成像分析仪是数字显微技术、微流体力学和图像处理技术的综合应用，用于自动分析颗粒或液体中的悬浮细胞。当样品流过检测区时，仪器会捕捉样品的影像，影像中的每个颗粒将被分析，生成关于颗粒的数量、尺寸、透明度、形态等方面的数据。也能用于实时分析颗粒的动态过程。形态分析软件还可用于分析特殊形态的颗粒，或者用于分离一些亚颗粒群体。该成像仪器利用高速重复频率的激光脉冲作为主动照明光源，利用时空频映射对成像区域进行频分扫描，该扫描完全利用光源本身的光谱特性实现，没有使用机械或电子的扫描装置，因此可以大大提升扫描成像的速度。目前实现了超高速成像仪的帧率可以达到 1 百万帧/秒至 20 亿帧/秒的帧率，可以连续记录 10 万帧以上的影像数据，成像分辨率小于

1 微米，可以连续观察非周期性的无规律的偶发事件。在应用方面，已经进行了超高速无标记流式细胞成像实验，可以实现对血液细胞当中的早期癌细胞（CTC）进行高精度高通量的筛查，成像通量超过 100 万细胞/秒，是目前常用的流式细胞仪的 1000 倍。另外，在高速气

溶胶（PM2.5、PM10）成像机制上也进行了应用，可以实现气溶胶喷口速度在 10 米/秒的情况下进行颗粒成像，目前国际上还没有类似的仪器出现。因此，超高速激光扫描显微成像仪拥有传统检测仪器不具备的特殊功能，通过高速成像，获取传统仪器无法得到的信息，解决多个交叉领域的关键问题。同时还具有以下优势：

1 提供高分辨率的细胞图像。

2 对细胞无毒副作用，经过检测的细胞可以用于后续的分析研究，提取多维度特征。

3 快速高效，通量大，灵敏度高。

4 检测 CTC 准确性优于 ctDNA 检测，且在药理研究方面也有很大的市场。



图 1 仪器基本架构及效果图

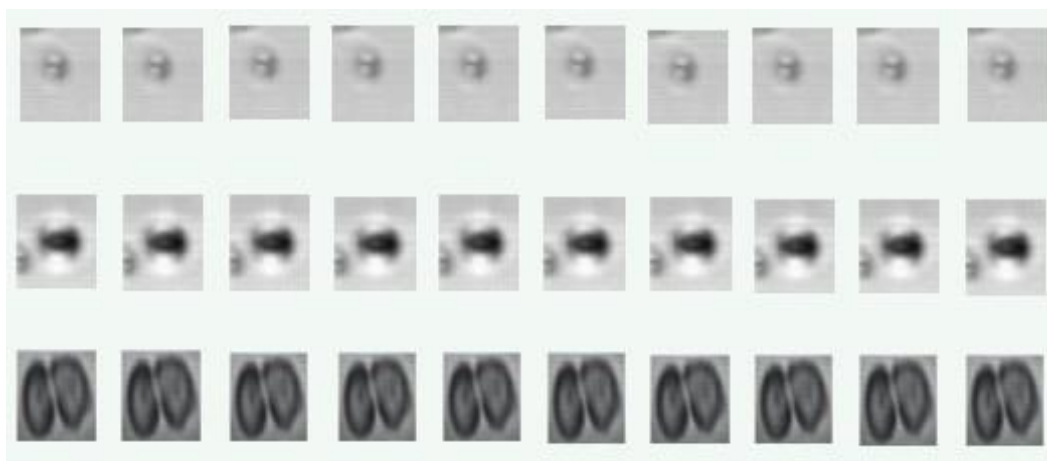


图 2 采集到的细胞图像

2 应用说明

2016 年 12 月进行全血采集，成功筛选出粒径在 11.48 微米-13.64 微米范围内的特异细胞，并进行了相应细胞的分类与成像。在光电子技术、集成光电子芯片、光谱信息处理与传感方面形成了雄厚的技术积累，发表高水平学术论文 50 余篇，2016 年 Versatile Wideband Polarization-Insensitive Mode Converter Based on 论文在 IEEE 光子学杂志发表，2017 年 2 月在 IEEE 光子学杂志发表了 High-Speed Compressive Microscopy of Flowing Cells Using Sinusoidal。

3 效益分析

由于目前国内尚无同类产品，而在一切向“精准”看齐的未来社会，需要利用超高速的成像手段同时满足生物医疗、环境检测等领域高通量与高精度检测的需求；因此本仪器具有较大的市场前景。保守估计，我产品将保持 30% 的年销售增长率，开始销售第一年，预测销售量为十台，销售额三千万，毛利率为 40%。对比传统进口仪器，具有明显的经济和技术优势。

4 合作方式

股权投资、渠道对接、代理加盟、许可使用、合作开发销售。

5 所属行业领域

生物医疗、环境检测。

N0. 75 治疗的胰岛素注射笔用一次性微型阵列式注射针头

1 成果简介

注射技术与注射器具在糖尿病治疗中扮演着重要角色，甚至与选择胰岛素制剂同样重要，关乎血糖控制的成败。很多医护人员和接受胰岛素注射的糖尿病患者常常忽视注射技术与注射器具本身对血糖控制的影响。临床医生经常会从胰岛素制剂、血糖自我监测等角度来考虑没有达到预期血糖控制目标的原因，却忽略了注射技术对血糖控制的影响，而胰岛素通过注射器具进入人体内发挥作用的过程是一个非常重要的环节。由于人体各部位对胰岛素的吸收存在差异性，胰岛素注射至皮下还是肌肉层内，其吸收速率存在很大差异，而静止状态和运动状态肌肉的胰岛素吸收状况也有很大变异。优化胰岛素注射技术，包括选择合适长度的针头、注意正确的注射手法、规范地轮换注射部位、避免肌肉注射等，这些对获得良好的血糖控制具有重要意义。

胰岛素注射笔因具有简便易学、剂量准确、方便耐用、微痛、效佳等优点，现已广泛地运用于糖尿病患者，其上使用的都是只有一根针管的一次性注射针头，目前长度有 5mm、6mm、8mm 和 12mm 等规格，针管外径有 0.25mm、0.3mm 和 0.33mm 等规格，可以根据年龄、胖瘦程度和注射部位来进行选择。但是中国胰岛素注射技术现状调查结果显示，现有注射胰岛素患者中仍有约 37% 的血糖控制不合格；94.4% 的患者仅在腹部等一个部位内进行轮换注射；只有 22% 的患者遵循每天同一时间注射同一部位的规则；有 30% 的患者腹部注射时没有捏皮，55.4% 的患者没有注射完就松开皮肤皱褶，如果使用 8 毫米的针头就可能把胰岛素打到肌肉里。由于胰岛素本身是一种生长因子，反复在同一部位注射会导致该部位皮下脂肪增生而产生硬结，再在这里注射，胰岛素的吸收率就会下降，吸收时间过长导致血糖控制不稳定。调查发现，约有 31.1% 的患者注射部位已出现肿块，其中九成发生在腹部，但仍有患者选择在脂肪增生部位注射。实际上，人体适合注射胰岛素的部位不光是腹部，大腿外侧、手臂外侧 1/4 处和臀部都可以。不同注射部位的轮换指的是在腹部、手臂、大腿、臀部间轮换注射，采用轮换注射部位的方法可以有效提高疗效，避免出现并发症的几率。胰岛素注射针头长度不同，注射角度、手法也不同。如使用长度为 8 毫米、12 毫米的针头，注射时须捏起皮肤并以 45°角注射，以增加皮下组织厚度，降低将胰岛素注射至肌肉层的风险。

虽然针管越细、越短，对皮肤和神经造成的损伤就越小，注射时的痛感也越小，但是药液注射的速率也会明显下降，注射相同剂量的药液所需的时间无疑将大大增加。即使选用现有最短/最细（5mm/0.25mm）的针头，在手臂部位注射时也必须注意捏皮和施针角度以避免肌肉注射。由于成人或重症患者的注入剂量较大，受容忍注射时间的限制，人们更倾向于选择较长的针头作为一种折中。现临床多使用诺和笔和优伴[®]C 笔等配以 8mm×30G 的针头进行注射，按照使用说明，注射后针头至少需留在皮下 6 秒至 10 秒以上，并继续按住推键，直至针头完全拔出。在实际操作中，因为注入皮下的药液短时间内未能完全扩散与吸收，按上述操作方法仍常会有药液从针眼处滴出，这样就无法确保治疗剂量的准确性。

总之，目前胰岛素注射笔的一次性针头已被国外品牌垄断，其上只有一根针管，受注射时间、部位等的限制，患者需要选择使用适当规格的针头，针头设计的固有缺陷给患者在实际使用过程中带来许多不便，知易行难，降低了病人采用正确方法进行注射治疗的依从性，

并影响疗效。

从 2005 年起，清华大学一直致力于采用微针阵列进行以胰岛素为代表的多肽、蛋白质、DNA、疫苗等生物技术药的经皮给药的研发工作，陆续研发出多种金属微针阵列芯片和基于其的注射针头与注射器具，已获得和申请了约 10 项中国、美国发明专利。其中，研发的胰岛素笔用微型阵列式注射针头采用现有医用材料制造，可以直接安装到各种胰岛素笔上取代现有针头实施注射，其使用一根取液针从胰岛素笔芯中提取药液至微腔后，转换为纤细（0.2~0.25mm）、短小（0.6~3mm）的 2~4 根微针实施注射，就能够从注射器件的源头上解决现有问题，在各种注射部位上都可以实施无痛、快速、精准的垂直注射而无需关注捏皮、45 度倾斜等注射手法，且成本低廉、技术成熟、适于批量生产。本产品的投放市场，必然会显著提高糖尿病患者采用胰岛素注射治疗的依从性和控制血糖的疗效，并创造出巨大的经济效益与社会效益。



2 效益分析

2011 年全球糖尿病患者已达 3.66 亿，其中中国就有 9240 万确诊的糖尿病患者，潜在患者高达 1.5 亿人。目前国外选择胰岛素注射治疗的患者比例在 50%以上，中国患者已从 5 年前的 8%上升至约 30%。即使按照国内只有 1%约 92 万患者、每天更换一只（注射 3 次/天）微型阵列式注射针头且每个针头为 2.8 元/只（现有国外产品目前在国内市场销售价格）进行计算，则一年产值就将高达 9.5 亿元。本产品能利用胰岛素笔在患者中的良好口碑、垄断地位和成熟市场，直接取代其上的现有针头，面向国内外市场，无疑具有巨大的拓展空间。

3 合作方式

生产许可、技术转让或合作开发。

4 所属行业领域

生物医药医疗。

NO. 76 数字化心血管风险评估系统

1 成果简介

iED 是由清华大学信息研究院联合武警总医院、倍肯公司专门为心脑血管意外早期现场快速鉴别诊断研发设计的。可在院前急救现场对患者生命体征进行采集分析，帮助现场急救医护人员进行心梗的自动诊断及处理，并将患者的生命体征等信息实时发送到区域医疗中心、医院和专家手机上，专家可以在患者到达医院前给予病情分析与指导，指定合理化的治

疗方案。

2 应用说明

根据最新心梗临床路径指南设计，秉承外观轻便、操作便捷、易于携带的创作理念，具备心梗智能诊断功能，通过采用云平台大数据，移动医疗为载体，可实时进行远程专家会诊，缩短救治反应时间，解决院前心梗救治问题。增加区域中心医院的影响力，增强用户黏性，预后健康产生的后续价值，最终打通院前-院内-院后-家庭的救治链条。

3 效益分析

● 救治流程层面

减少救治反应时间，缩短心肌缺血时间，改善患者预后，打通院前-院间-院后的救治链条，建立真正的急性心肌梗患者绿色救治通道。

● 大数据层面

在救助过程中对患者产生的各种相关数据进行收集、管理，同时对接医院现有信息系统中的数据进行分析、挖掘。从而为医学研究、临床救治提供广泛的数据支持。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

生物医药医疗。

NO. 77 可注射干细胞 3D 微组织治疗实现微创高效再生医学

1 成果简介

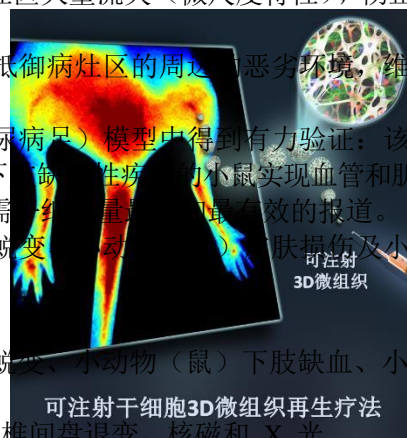
以组织工程和干细胞治疗为代表的再生医学是现代医学最具发展潜力的领域，有望成为继药物和器械治疗之后下一个医疗健康行业的支柱产业。再生医学已在临床成功地用于皮肤再生，关节软骨重建，肌腱、脊髓损伤修复，免疫系统功能重建等，并在治疗疑难病症（如遗传性疾病和心血管类疾病）和各类器官组织（如神经、肝脏、心脏、胰腺等）修复和再生的动物模型和临床试验中显示出良好效果。然而，传统组织工程由于人造组织的空间尺度较大，需要通过有创性的手术移植来实现，并且由于传质问题，移植人工组织的存活也是一个重大挑战。相比之下，可注射细胞疗法将游离细胞（如干细胞）通过微创的方式直接注入体内进行治疗显示出更加良好的临床应用前景。国外现在已有三款干细胞药物和多款干细胞治疗产品获批上市，外资药企正不惜重资买断干细胞治疗技术。放眼国内，数十个干细胞产业化基地已经布局成型。全球细胞治疗产业预计到 2020 年的将达到 4000 亿美金的规模。

然而目前干细胞的体外培养扩增质量和成本以及细胞体内传输的成活率等问题制约着干细胞治疗的发展。清华大学医学院杜亚楠教授研究团队创新性的开发出基于可注射干细胞 3D 微组织的新型再生疗法，证实可大大增强干细胞在病灶区域的定位，存活和组织再生治疗效果，有望为实现“一针干细胞注射治疗疑难重大疾病”的梦想提供重要工具和手段。据研究报道，国内对糖尿病足未予足够重视，有限资料表明糖尿病足溃疡主要为缺血性溃疡或神经缺血性溃疡。40 岁以上、病程超过 5 年的 2 型糖尿病患者中，90% 的患者合并有周围血管病变，其中 43% 的患者合并重度的血管病变。我国 50 岁以上糖尿病患者下肢动脉病变的患病率高达 19.47~23.8%。糖尿病患者下肢截肢的相对危险是非糖尿病患者的 40 倍，约 85% 的截肢是由足溃疡引发的，15% 左右的糖尿病患者一生中会发生足溃疡。因此，现迫切需要治愈下肢缺血性疾病的疗法。3D 微组织再生疗法仅需要相当于传统干细胞疗法十分之一用量就可使患下肢缺血疾病的小鼠实现血管和肌肉组织再生，避免截肢。这是迄今为止文献报道的可实现下肢缺血再生和治疗所需干细胞量最少和最有效的报道。与此同时，3D 微组织疗法目前在科研领域内，也在大动物（犬）椎间盘蜕变、小动物（鼠）皮肤损伤及小动物（鼠）肝衰竭等模型中得到有力验证。这种可注射 3D 微组织平台技术可辅助各种类型的细胞治疗和组织再生，有望像药物传递对于药物治疗一样在细胞治疗领域产生广泛而重大的影响。其潜在市场主要是各大医院和医疗机构，将成为未来治疗重大疑难疾病的利器。产品优势：

- 1) 3D 微组织疗法，可实现干细胞体外 3D 仿生型大规模培养；
- 2) 3D 微组织在体外培养过程中，微组织构建的干细胞微环境可产生预激机制，相比于传统的二维扩增培养，更加有效的维持干细胞在体外的活性与功能；
- 3) 3D 微组织疗法，可避免游离干细胞在体内病灶区大量流失（微尺度特性），防止细胞在注射移植过程中的损害（高弹性特性）。
- 4) 3D 微组织疗法构建的体外干细胞微环境，可抵御病灶区的周边恶劣环境，维持干细胞活性与功能，提高治疗效率；
- 5) 3D 微组织疗法目前已在小动物下肢缺血（糖尿病足）模型中得到有力验证：该疗法仅需要相当于传统游离细胞疗法十分之一的间充质干细胞用量就可使患有下肢缺血性疾病的动物实现血管和肌肉组织再生，避免截肢，这是迄今为止文献报道的可实现下肢缺血再生和治疗所需干细胞量最少和最有效的报道。
- 6) 3D 微组织疗法目前也在大动物（犬）椎间盘蜕变、小动物（鼠）皮肤损伤及小动物（鼠）肝衰竭等模型中得到有力验证。

2 应用说明

2011-2015 年，3D 微组织疗法在大动物（犬）椎间盘蜕变、小动物（鼠）下肢缺血、小动物（鼠）皮肤损伤及小动物（鼠）肝衰竭等模型中得到有力验证。应用此新型疗法我们还成功的实现了微创高效治疗比格犬的椎间盘退变。核磁和 X 光



检测都表明在半年的治疗周期中，3D 微组织较游离细胞注射治疗在促进髓核再生和维持椎间盘高度等方面都有显著增强。与此同时，由于椎间盘是一个高内压的特殊组织，传统游离细胞注射治疗后会沿注射孔道返流在椎间盘外部形成骨赘，产生二次病灶。由于高弹性 3D微组织要比注射孔道尺度要大，从而防止了细胞返流，避免了骨赘的形成，大大提高了治疗的安全性。相关工作发表在生物材料著名期刊Biomaterials 上，被杂志主编哥伦比亚大学 Kam Leong 教授认为是世界一流的工作。

相关文章已发表在国际知名的美国科学院院刊（PNAS）和生物材料权威期刊 Acta Biomaterialia, Biomaterials, lab on chip 等杂志上，并被国内外期刊和媒体广泛报道，产生了广泛影响。

申请相关专利两项，一项已授权。

同时我们已与国内外众多合作者建立了临床和科研方面的紧密合作关系。特别是在下肢缺血性疾病等治疗领域与北京清华长庚医院整形科的黄晨昱主任建立了合作关系。在肝纤维化疾病治疗领域与北京清华长庚医院肝胆胰外科董家鸿院长团队合作。在干细胞治疗的基础研究领域与香港大学的Barbara Chan 教授、美国加州大学（UC-IRVINE） Weian Zhao 教授，协和医学研究院赵春华教授以及海军总医院阮狄克教授紧密合作攻坚。

3 效益分析

由于目前国内外尚无同类产品，而干细胞治疗和再生医学的需求比较迫切，因此本平台技术具有较大的推广空间。

4 合作方式

联合推广。

5 所属行业领域

生物医药医疗。

N0.78 过度免疫反应的小分子新药研究——包括新型冠状病毒和自身免疫疾病

1 成果简介

新冠病毒作为一种新型单链 RNA 病毒，具有传染性、强致死率较高的特点，目前没有特效药，给感染人群的治疗带来很大困难。针对已经患病的无其他重大疾病的患者而言，临床上致死的最大因素是病毒导致的免疫风暴造成的短时间内细胞衰竭，而通过对 TLR8 的免疫调节可有效抑制此机制，对于减轻患者症状、恢复正常免疫、挽救生命安全是一条可尝试的医药途径。

自身免疫性疾病是仅次于心血管疾病和癌症，第三大严重威胁人类健康的疾病。据统计，该类疾病在全世界的平均发病率约为 7%-10%，在 2018 年全球药物销售 top10 统计中有 3 个药物是自身免疫疾病靶向药物。而受其高昂的价格影响，这些畅销的抗体类药物销售量普遍较低。目前已上市药物的患者响应率较低、药物机理不能完全覆盖疾病的致病机理，国

内患者在就诊后，缓解率不到 20%，因此面对自身免疫性疾病的巨大新药空缺和市场需求，现在急需研发全新机理的药物分子。

课题组团队有着十多年研究 TLR 受体的丰富经验，并在全球范围内处于领先地位。在此基础上，团队经过多年研究得到了四个系列活性极高、毒性极低且骨架完全不同的 TLR8 的小分子抑制剂，并从结构生物学和生物物理方面验证了小分子的机理和靶向性，并与协和医院临床团队合作，发现 TLR8 小分子抑制剂作用于类风湿性关节炎、骨关节炎、成人斯蒂尔病患者的病变组织，均能有效地降低病变组织中炎症反应，显示出 TLR8 小分子抑制剂作为调控过度免疫反应的成药潜力。该项目优势如下：

小分子药物优势	小分子药物相较抗体药物所独有的优势
机理明确	已在结构生物学和生物物理方面验证了分子的靶向性和机理
靶点新颖	自身免疫系统的重要受体为药物靶点，解决现有药物响应率较低的问题，是新机理的“一类新药”
安全性高	该系列化合物的活性在 pM 级，而毒性极低，安全性高
风险低	已在类风湿性关节炎病人组织样本中得到活性验证，同时将在 RA 猴模型中进行体内药效验证，进一步降低风险
易于量产	该系列化合物结构简单、性质稳定，易于后期量产

2 应用说明

在前期研究中，团队已对候选药物分子进行了一系列的临床前研究，结果显示候选分子在模型动物中有较高的生物利用度和极低的毒性（包括急毒和长毒），结合其极高的分子活性，我们对该系列分子的安全性充满信心。另外团队与北大课题组合作在恒河猴动物模型中进行实验，已在体外样本中验证了候选分子对过度炎症的调控作用。

3 效益分析

TLR8 小分子抑制剂作为新冠病毒免疫风暴的潜在药物，其潜在的药物市场无法估计。另外自身免疫疾病市场空缺巨大，例如 2012 年批准的新机制药物——尚杰（JAK 抑制剂），仅上市四年其全球销售额就达到 9.27 亿美元。因此，该项目的预期市场和效益极高。

4 合作方式

项目正处于临床前研究阶段，需要社会资金支持。

5 项目所属行业领域

生物医药医疗领域。

NO. 79 TH-Health 智能中医健康监控技术与系统

1 成果简介

围绕非接触人体生理信号测量关键问题开展了跨学科交叉前沿性研究，以实时、无创、精准、客观化身体健康测量与监控为目标，借鉴信息科学技术在图像识别和人工智能等方面的成功经验，引入声光电磁等技术手段，客观化信号测量和解读方法，创新实现基于脉搏波、舌象、心电、及呼吸波四大识别引擎核心的 TH-Health 智能健康监控技术与系统，并结合人脸识别技术实现了肢端肥大等罕见病的面诊识别。在精准测量的基础上，采用电刺激、呼吸、音乐等手段的生物反馈调节技术，实现调节情绪、缓解压力、提升专注力的目的。

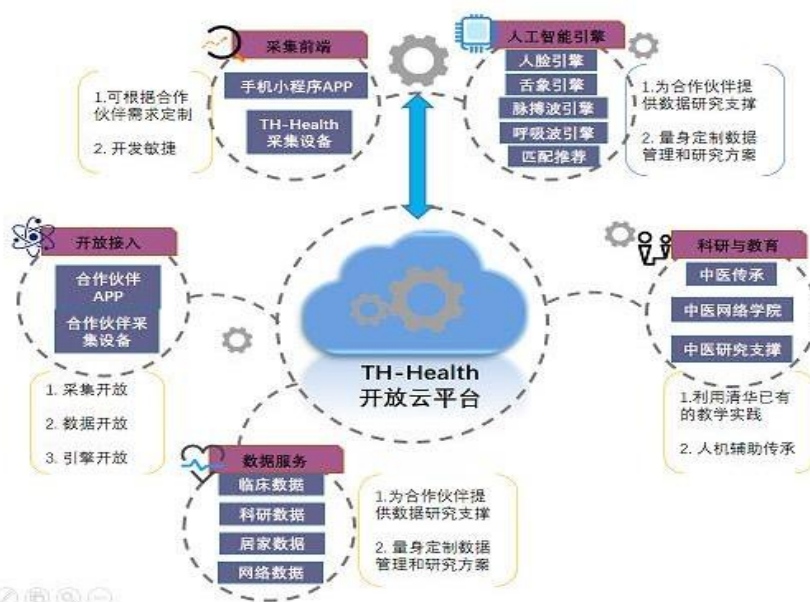


图1 TH-Health 智能健康监控系统

采集前端支持多种信号输入，TH-Health 采集设备、手机 APP 程序、微信小程序等，以及对用户的采集前端提供支持。

四大人工智能引擎核心：

1. **舌象识别引擎**：从舌照图像直接推理出深层次身体异常状况概率，给出人体健康判断并推荐 OTC 处方药。通过学习大夫或流派的案例，生成该诊断风格的 AI 模型。
2. **脉搏波识别引擎**：最精准的脉搏波采集技术、最系统的脉搏波研究方法。全球首创光感元件记录信号采集器、非侵入式 PPG 光电测量技术、面向未来的脉搏波算法研究，全面支持各领域相关的科学研究与数据分析。
3. **心电识别引擎**：计算心电与脉搏波之间的时间差，获得脉搏波速。预测动脉硬化程度。
4. **呼吸波识别引擎**：拥有自主可控的柔性传感器核心，对呼吸睡眠暂停/失眠等问题进行全面监护；采用智能反馈调节法，达到身心共振调节。

TH-Health 开放云平台：利用人工智能方法训练得到医生对应的 AI 神经网络模型，实现名老中医诊疗方法复制与传承。人工智能在线平台，完成疾病特征客观化提取、药方自动生成、相近病例搜索等服务。舌象识别云服务首次实现了从手机拍摄的舌苔照片，不通过人

工规则，直接自动推算药方的人工智能云服务，系统对外输出客观化的多维数字特征向量，及其对应的中医健康状态描述，实现了舌象可计算、可比较、可搜索。

数据服务支撑及底层人工智能技术支持：针对临床数据、科研数据、网络数据、居家数

据，提供数据研究支撑。面向所有对人体生理信号研究（舌象、脉搏、心电、呼吸等）感兴趣的医生或医学科研机构，提供智能化数据分析、以及远程科研支持等服务，可以根据需求定制解决方案，让研究者实现基于自身应用场景数据的AI 中医智能研究技术支撑，实现各行业独特的场景应用，为中医临床研究和辨证论治提供有效的 AI 辅助工具。

2 应用说明

“TH Health 健康小助手” 公众号 微信搜索并关注，上传舌象图片，可得到中医辨证的直接反馈及与之匹配的OTC 非处方中成药信息；上传人脸图像，可完成肢端肥大症检测，实现疑难疾病的早诊早筛。



图2 微信公众号 TH Health 健康小助手

TH-Health 中医舌脉象诊断仪 依托在线云服务平台，进行临床常见病症的诊断和早期预警。安全无创的数据采集，精准、完整、客观的记录诊断的原始数据及诊断信息，避免人工整理规则造成信息缺失。

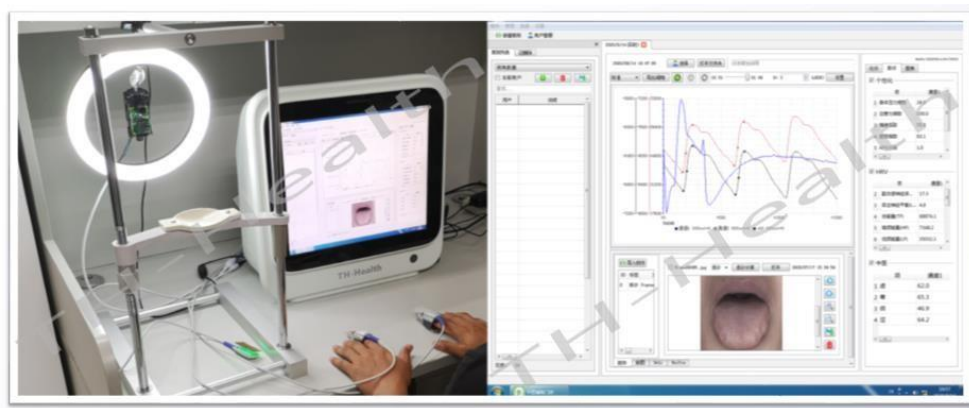


图3 TH-Health 中医舌脉象诊断仪

基础训练调节软件 通过脉诊仪实时跟踪与监控人体健康信号指数等，采用互动游戏的方式达到调节情绪、缓解压力、提升专注力的目的。

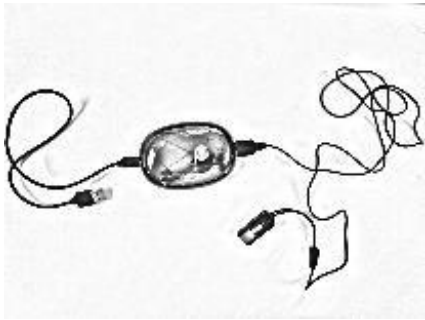


图 4 便携式脉搏波采集设备

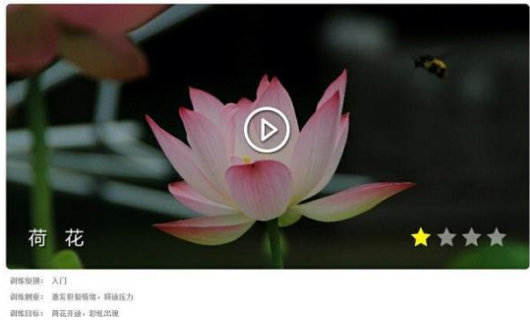


图 5 调节情绪及注意力互动软件-荷花绽放

3 效益分析

目前，便携式的、使用方便的、并且能够给出较全面健康信息的医疗级测量仪器基本处于市场空白。TH-Health 系列脉诊仪、舌诊仪、舌脉象诊断仪、微信舌诊小程序等采集前端，可作为健康信号采集设备单独使用，也可作为云服务平台的采集前端，完成中医客观化传承、名老中医诊疗经验复制，中医“治未病”及慢病管理等。在医院外医疗、远程医疗、基层医疗等方面可大范围推广。云服务平台面向广大中医医师和科研机构，提供人工智能科研服务支持，应用前景广阔。该项技术的实施将带来显著的经济与社会效益。

4 合作方式

转让或者联合推广。

5 所属行业领域

生物医药医疗领域。

NO. 80 用于癌症无创检测的新型 RNA 检测试剂盒研发及产业化

1 成果简介

癌症是一种复杂的疾病，很多因素会导致恶性肿瘤的发生和发展。癌症早期诊断的必要性和意义，早期诊断患者的五年生存率要比晚期患者高 5~10 倍，因此尽早的发现癌症可以提供最大的治愈机会。除了众多在组织样本、细胞系中鉴定发现的非编码RNA 分子以 外，在多种体液中，如血清、唾液以及尿液等，可以检测到一类非侵入性细胞外RNA

(extracellular RNA, exRNA)，这些 exRNA 可以成为一类有效的生物标志物，服务于人体健康状况检测和疾病的诊断，如癌症的早期诊断、肿瘤生长状况监测、以及预后辅助诊 断。

本项目基于基因组学和生物信息学，通过开发体液RNA 微量测序技术和机器学习方法，在体液中发现和鉴定与癌症发生发展相关的新型 exRNA 标志物，应用于国内癌症患者的早期诊断和预后辅助治疗。我们在新型非编码RNA 和生物信息学研究方面积累了丰富的经验，基于此，我们将在癌症病人血液中发现和分析标志癌症发生发展的新型 exRNA，

并整合现有标志物构建多重标志物的智能模型，在大样本上进行验证，建立具有更高精准度和可重复性的癌症无创检验方法。

本课题组在非编码RNA测序和生物信息学研究中积累了 10 年研究经验，发表国际重要期刊文章 50 余篇，影响因子 10 分以上的通讯作者文章 10 篇。课题组开发了一套“序列-结构-功能”层层递进的、系统性的生物信息学方法，用以研究新型非编码 RNA：1) [序列] 新型 RNA 的序列分析和预测：Gerstein¹*, Lu¹, et al., Science 2010 (IF: 41); Lu, et al., Genome Research 2011 (IF: 11); NAR 2015a* (IF: 11); NAR 2017a* (IF: 11); NAR 2018a* (IF: 11); 2) [结构] 新型 RNA 的二级结构预测：NAR 2015b* (IF: 11); NAR 2016* (IF: 11); 3) [功能] 新型 RNA 靶标和功能分析：NAR 2017b* (IF: 11); Genome Biology 2017* (IF: 13);

Nature Communications 2017* (IF:12); NAR 2018b* (IF: 11) (*: 通讯作者文章)。

针对体液检测的研究，本课题组已经克服了体液游离 RNA 易降解及微量建库的技术难题，仿照已有的微量建库方法，基于模板转换的低成本快速建库流程，自主开发和优化了有针对性的类SMARTer-seq 建库方法，实现了体液中 exRNA 的微量建库。针对体液样本测序存在的数据稀疏化、碎片化、异质化等一系列问题，我们通过内参、外参归一化、归责 (imputation) 和特征选择等方法，得到了较好的初期检测结果，为癌症无创检测试剂盒的开发提供有力的支持。

2 应用说明

据权威学术期刊 CA: A Cancer Journal of Clinical 统计，2015 年中国癌症发病人数约 4292 万，致死人数约为 2814 万。如此庞大的发病人口和极高的死亡率，表明目前临床和市场上亟需新型的生物标志物，尤其是非侵入性的检测方法和指标，以准确和便捷的方式提高癌症早筛和诊断的准确性。该项目致力于针对癌症开发更加精准、重复性高、经济上利于普及大众、操作上简单无创的新型核酸检测试剂盒，实现癌症早期无创检测，将具有极大的临床和市场价值。

3 效益分析

从市场容量来看，本项目产品因直接面向医疗机构、个人、科研机构、制药公司等用户，其整体市场规模较大。目前全国共有近 100 万家医疗机构，4000 多家原料药和制剂生产企业，潜在个人用户规模更大。本项目预计总投资 3000 万元，用于 2020 年-2024 年期间的研发、生产经费及人才培养。创业团队初期主要从事基础建设和产品的具体设计、开发及样品制作和测试，会有销售，本项目在实施期间，因大量的研发经费投入，于 2020 年

为亏损期，而到了 2023 年，本项目的产品进入批量生产，其中，2024 年实现净利润为 500

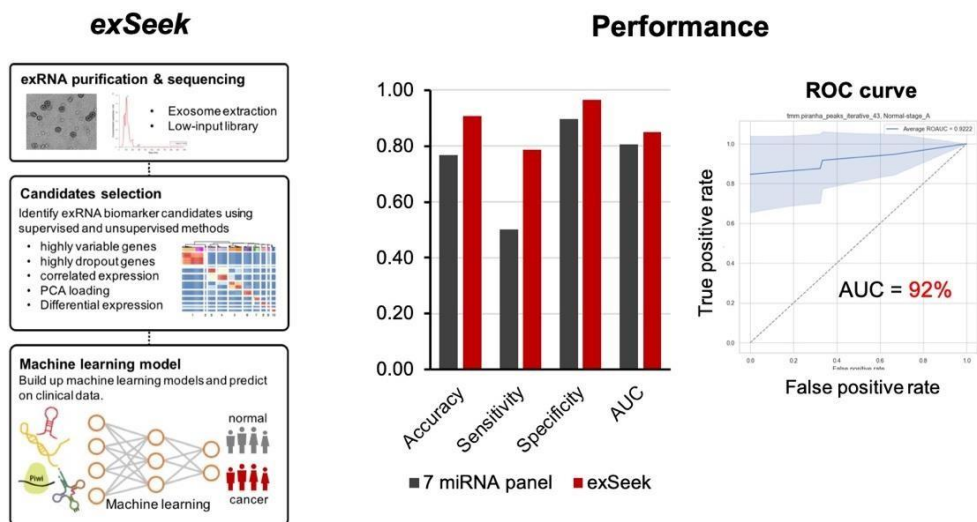
万元，本项目产品批量生产后，产品平均利润率超过 60%。

4 合作方式

转让或者联合推广。

5 相关图片

该项目将针对收集肝癌患者的血浆，用以发现新型 exRNA 标志物。随后，我们将建立标准的实验检测方法与生物信息学算法，开发设计无创检测试剂盒，用于肝癌的早期诊断和预后辅助治疗。技术路线如下图 1 所示。



未发表，该exSeek方法专利申请中

图 1. 无创诊断 exRNA 标志物的发现和试剂盒开发流程

目前，我们已经完成临床血浆样本和已知肝癌标志物的收集，并克服了血浆中游离 RNA 的微量、易降解、难以捕获等难题，已在过百人中完成高通量测序。随后，我们利用之前在非编码 RNA 测序和生物信息学研究中积累下的经验，整合我们以往开发的生物信息学的方法与工具，针对体液样本测序数据的特点，开发一套完整准确的人工智能检测方法，包括基于 k-mer，基因排秩（rank-based）的方法，可以鉴定出数量更多，种类更加丰富的潜在 RNA 生物标志物；通过多种特征选择（Feature Selection）的方法，挑选肝癌不同发展阶段（Stage）的相关 RNA 分子；通过降维与聚类的方法，可以更好地将正常样本与肝癌不同发展阶段的人群区分开。与此同时，整合临床样本数据，利用机器学习的方法设计模型，预测得到了一套针对肝癌的 RNA 生物标志物组合，在前期的 60 人预实验上诊断准确率高达 92%，如下图 2 所示。

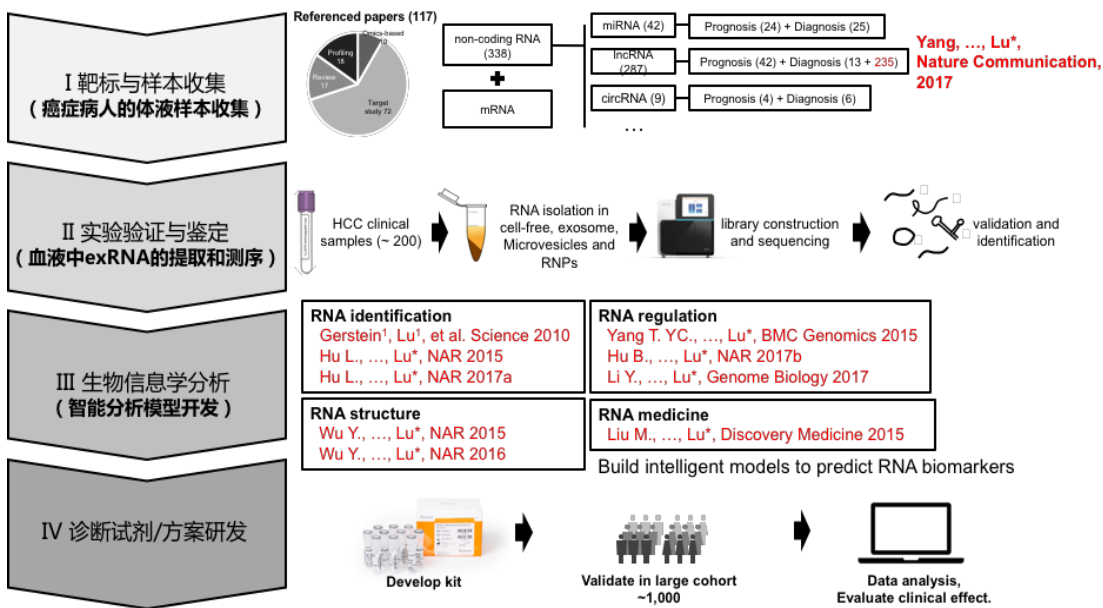


图 2. 针对体液 exRNA 测序结果开发了智能模型学习模型

6 项目所属行业领域
生物医药医疗领域。

NO. 81 Kiwi--AI 大数据健康管理服务云平台

1 成果简介

据 2018 年统计我国慢性病发病人数在 3 亿左右，其中 65 岁以下人群慢性病占 50%。我国城市和农村因慢性病死亡占总死亡人数的比例分别高达 85.3%和 79.5%。如此庞大的患病数量，激发了“互联网+医疗”在慢性病管理方向的应用。Kiwi 健康云平台就是将大数据人工智能等尖端技术引入传统健康管理行业，构建由智能设备、数据分析、医护团队、基层医院和健康服务机构构建的全民健康管理体系。

Kiwi 大数据健康云平台有如下几大优势特点：

(1) 强大的联通平台

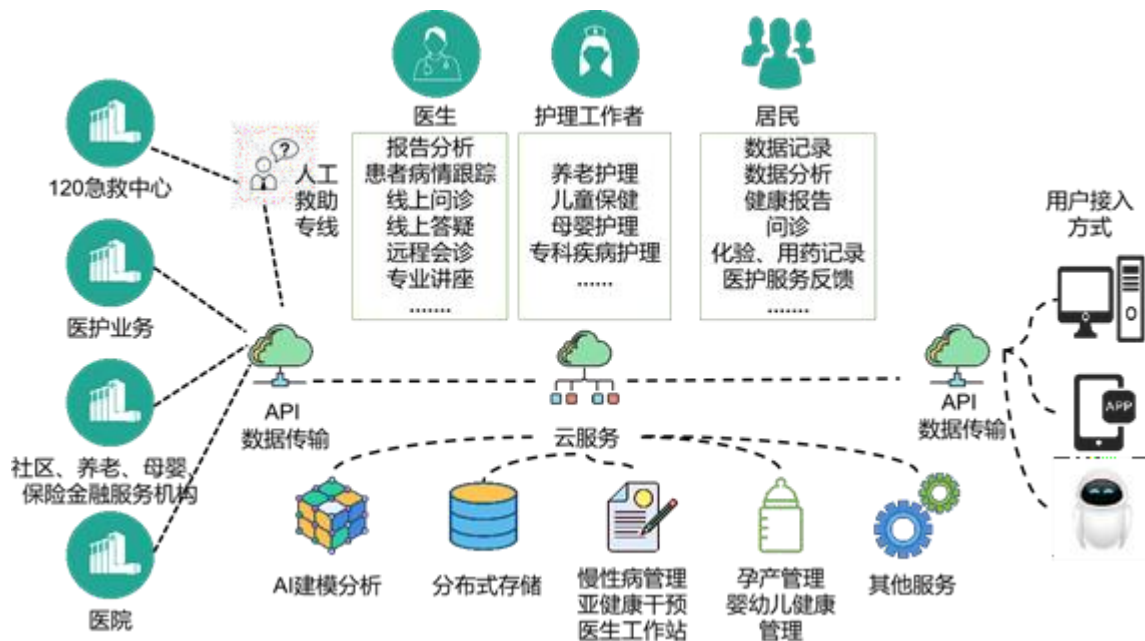


图1 平台架构图

平台联通患者、医护、机构、智能终端和数据分析库。AI 大数据健康管理平台整体架构包括数据存储模块，数据传输网络，数据分析服务模块，用户终端设备以及数据传输接口。图中可见在整体构架中，用户群分为两类：患者或健康服务对象和医、护工作者，使用移动 APP、电脑或看护机器人完成应用操作，他们通过统一的数据接口对系统的数据系统进行访问。平台规划连接的机构有急救中心、提供医护业务机构、社区、母婴养老金融保险机构、医院等。

患者上传测量结果定期（每周和每月）得到系统 AI 健康分析报告，通过平台与医生建立一对一长期医患关系，医生了解到用户历史健康记录和电子健康病历。对定期的健康报告进行人工诊断和健康干预指引，随时跟踪患者健康状态。患者也可通过平台与医疗机构建立服务关系，将电子健康档案分享给医疗机构实现信息共享和有针对性的个性化服务。

(2) 安全、灵活的系统结构

Kiwi 服务平台的应用会根据业务拓展不断增加更多种类的健康应用，应用数据也会不断增长，为了适应应用需求的变化需要部署复杂的系统架构。在最小化运行和维护开销的基础上，保证系统稳定安全工作。建立医疗健康信息化应用服务的基础架构需要具安全、灵活、和可扩充等特性。

云端系统是整合了健康物联网、云计算、大数据分析、人工智能模型等的医疗辅助系统。系统由数据采集端、数据中心、应用端组成。

数据中心提供数据存储和管理服务、智能健康分析及预测功能等。数据存储使用分布式存储模式，保证了健康数据和用户信息的安全性，防止数据丢失和恶意篡改。管理服务采用网关统一进入，下层分模块微服务管理方式，便于平台整体服务的灵活拓展性。在数据分析库中使用机器学习、深度学习等方法，使用患者历史医疗数据、采集的健康数据等，建立诊断或者评估预测模型。

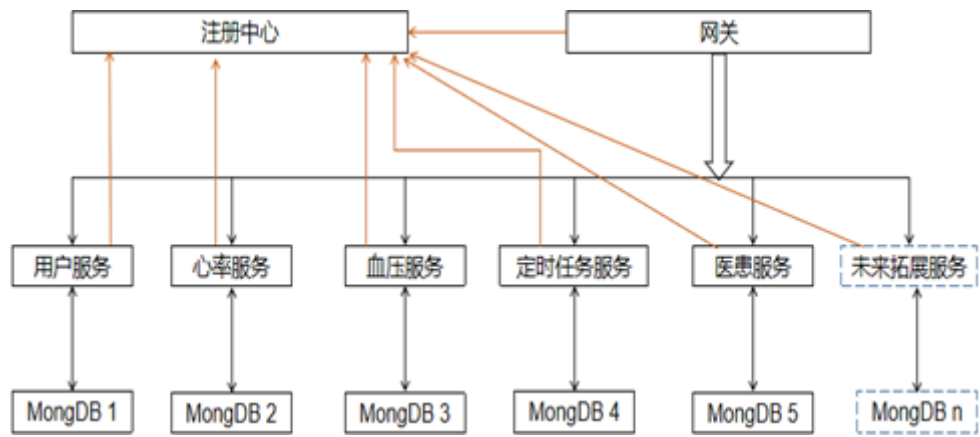


图 3 服务管理架构

(3) 智能的 AI 健康分析报告

基于多模态神经网络的人工智能健康分析报告。多模态健康分析模型中使用的数据包括结构化数据和非结构化数据（如下表）。在基于卷积神经网络的医疗文本特征学习模型基础上，提出了多模态医疗数据特征学习模型。

表 1 数据存储结构的设计

微服务构件	结构化数据	非结构化数据	备注说明
用户信息	姓名，出生日期，性别，联系方式，...	生活记录，工作地点记录，既往病史，...	非结构化数据与结构化数据分离存储
心健康数据	测量时间，地点，测量结果，测量方式（仪器设备），...		
天气数据	时间，地区，气温，气压	天气的突然变化，灾害...	
咨询信息	时间，咨询提供者	咨询内容 1，咨询内容 2，...	
医患服务订单	服务呼叫者，呼叫时间，到达时间，处理机构...	医患服务检查附录，医患服务记录...	

在大数据基础上应用深度学习综合分析，基于患者基本信息、长期测量结果、天气季节变化、地理区域等多方面信息对各病种建模分析，并通过对大量、长期的医生对患者健康报

告诊断结果进行校对学习，自发地学习到数据中病变特征与病变程度之间的复杂关系，从而提高健康报告的辅助医疗价值。

(4) 简洁易懂的可视化数据展示

利用计算机图形学和图像处理技术，将庞大的记录和分析数据转换成图形显示出来，用户轻松读解，还可进行交互式点击查询关心的信息。让软件操作简单、内容清晰，即好用又好懂。

(5) 便捷的长期健康干预

实现便捷的慢性病、亚健康人群、儿童成长期健康数据长期跟踪，有效分析，健康防治。对同一患者不同病症的分类保存，多渠道录入综合管理，建立个人健康档案，每周每月生产健康报告，基于测量数据的 AI 健康分析和健康干预建议，让医生可追溯历史分析记录，对分析报告都可人工进行二次诊断，分析数据可分享至用户提供服务方，包括医院、医护人员、社区、健康服务机构等。从而实现有效的健康管理和防治，使干预机制线上、线下相结合，全方位立体的形成健康管理在生活中的全覆盖。

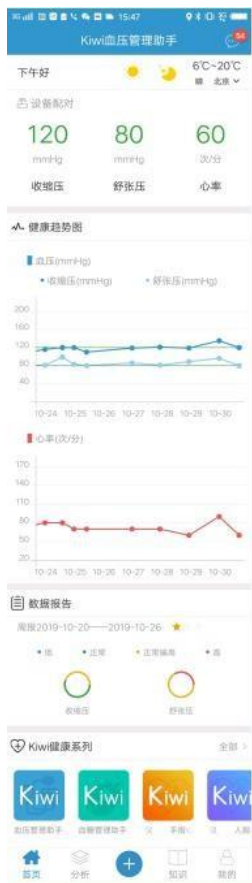
(6) 实现家庭和个人健康管理与健康服务机构间的信息分享。

建立个人和家庭成员的的健康档案。电子健康档案记录个人或家庭成员的基本健康信息，线上线下医生的问诊记录，用药记录，化验记录，每日检测记录等长期跟踪信息。通过长期 数据的完整展示让个性化的专家问诊、健康查体、保健咨询、保健规划和保健督促成为可能。线上医生定期的健康报告分析，定期固定医患间的问诊服务让偏远地区的健康管理和私人医生成为可能，这也是本项目致力于解决的我国医疗发展不平衡问题。

2 应用说明

平台产品分布

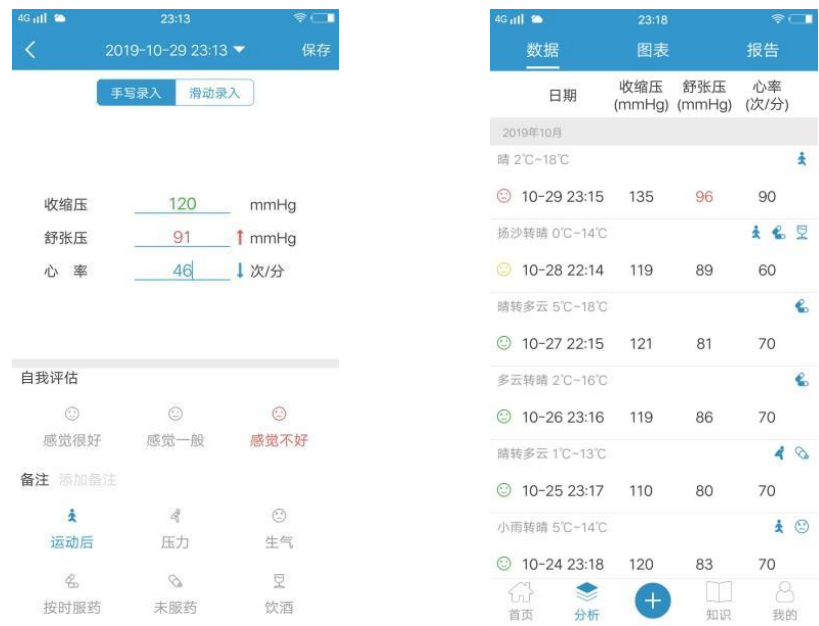




首页界面展示图

首页中用户可清晰的看到今天录入的测量数据，以及近 7 天的数据曲线，拖动曲线可以看到以前的历史数据。同时最近一次的报告概要以图表形式明了的显示了最近血压控制的情况。

● 数据记录



数据录入界面和检测结果页面

数据可通过连接智能设备自动录入、手动录入两种方式。录入界面可标记此时自我感觉评估、是否有运动、服药、饮酒等情况记录。这些记录也将呈现在数据档案里方便进行分析。

● 健康趋势图

健康趋势图在首页呈现，是以折线图的方式展示出录入的历史数据。通过数据的串连医生可以很明了的看到患者健康走势和近期病情控制情况。

● 分析报告



健康报告展示页

根据日常数据自动生成分析报告，可以保存或发送医生，帮助医生更便捷了解患者健康状况。

(2) 血糖管理应用



首页展示图

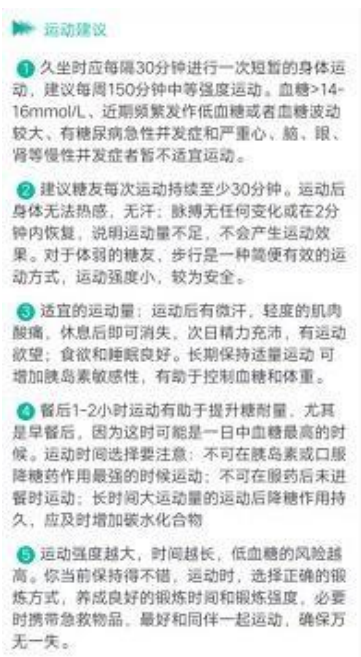
血糖首页除了与血压相同的数据展示、健康趋势图、报告简要、健康系列软件展示区外，还根据糖尿病特点增加了并发症检测和个性化控糖方案。



健康自测展示图

糖尿病及并发症在线测试，综合测评正确认知当前身体状况。

- 健康干预指导



健康指导展示页

个性化健康指导，针对个人健康信息、体征数据、生活习惯进行综合分析。

● 健康档案

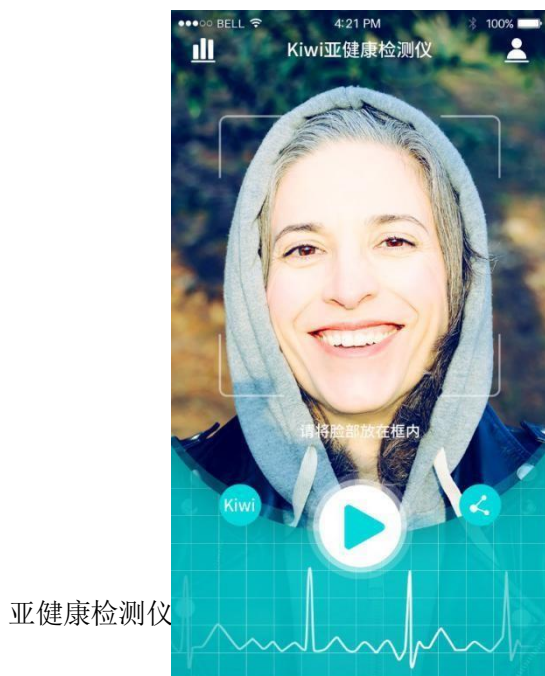


健康档案展示页

基础身体数据、多种慢性病及并发症综合记录，化验单、问诊记录、用药记录形成您的健康档案。

(3) 亚健康分析应用软件

用户通过前置手机摄像头进行实时测试，摄像头对准人脸，分析每一帧人脸图像的变化，通过提取每一帧人脸图像的有效信号分量，进行整体数据的分析计算后得出当前用户的亚健康指数。

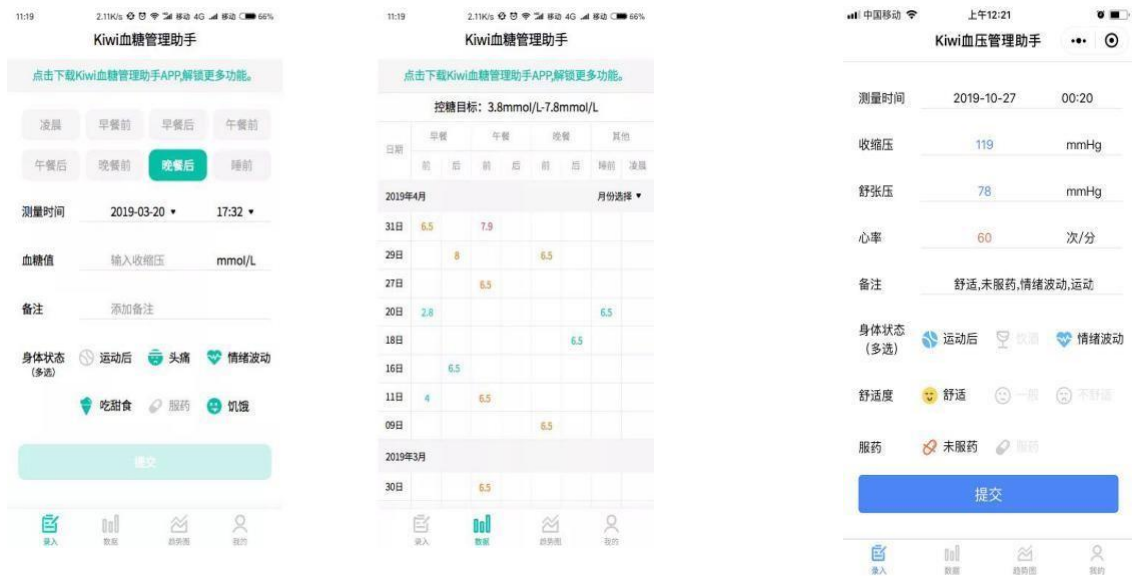


亚健康检测仪



(4) 血压、血糖健康管理小程序

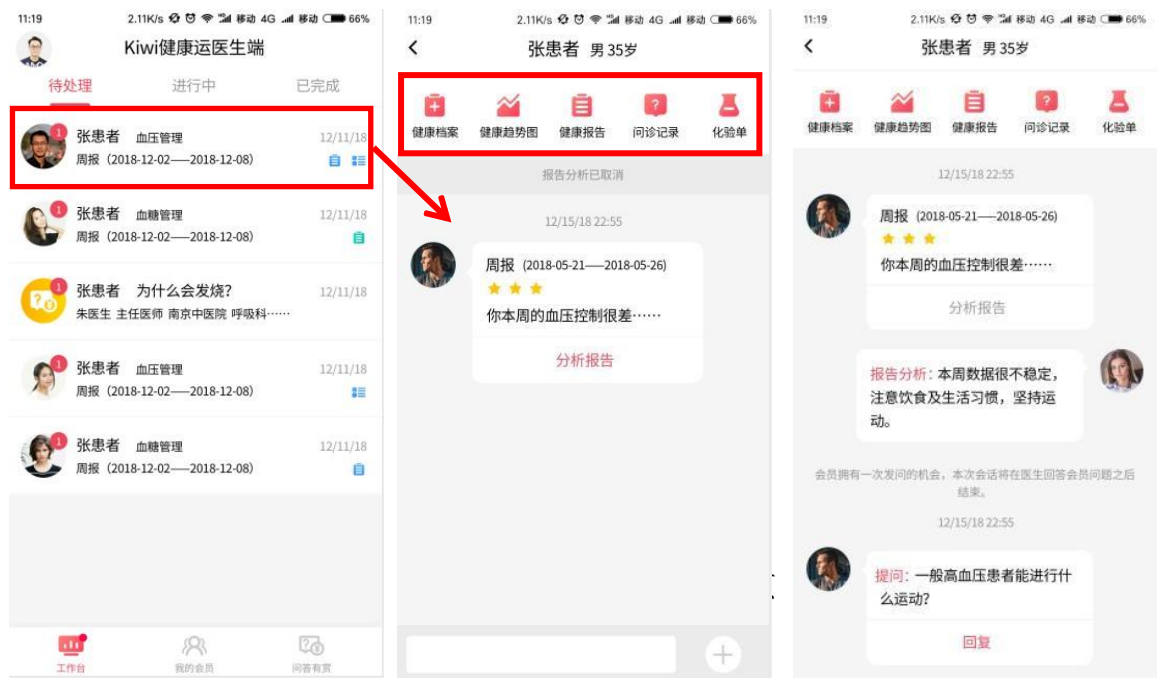
为了方便用户便捷录入，我们还开发了血压、血糖应用软件对应的微信小程序，用户可轻松体验每日数据的方便录入模式，结合微信公众号，可以设备定时提醒。公众号的小编会定期推出健康养生类文章，不要再看虚假宣传，让自己的健康走上科学的道路。



血压、血糖小程序展示页

(5) 医生工作站

医生工作站是联通医患之间的移动应用产品，医生可整体掌握用户数据，服务患者，特别适合社区医院这类有常年固定跟踪服务需求的医院和医生。医生可与用户建立长期的一对一关系，掌握用户所有健康档案。医生可根据日常历史数据清楚判断用户健康状况，为其采取更有针对性的治疗。



医生可通过首页工作台提示收到患者本周的健康报告，进入患者页后可查看报告详情，还可查看该患者的健康档案、健康趋势图、以往的健康报告、化验单、问诊记录等资料信息，综合判断病人的状态，给出最合理的诊断。诊断结果反馈给用户，用户还可根据本次结果向医生提出一次问诊咨询。

除了报告看诊外，用户可通过图文咨询，在线问答等多种方式，向多位专科医生咨询自己的健康问题。



另外，我们还开发了健康报告，间断性地进行健康报告，过程跟踪，科学为关心计划开发导，婴儿看护教程，定期成长报告，直接市场上主流的具有蓝牙或无线传输功能的血压计、血糖仪、可穿戴设备。并且即将开发家庭用智能健康网关，联通家庭健康设备，真正实现家庭健康中心的概念。并基于智能机器人开发了健康方面的应用，让家庭看护、健康管理、智能联通做的更加便捷、高效、无痕迹。

3 效益分析

目前国内没有面向覆盖各阶段人群的健康管理软件。本项目软件已经上线一年，累计数十万忠实用户，软件还在不断更新拓展中。在疫情期间明显观察到用户自觉查询健康软件并下载数量明显增加，随着人群健康意识的提高，希望获取相关健康管理软件的用户会持续激增。项目将不断拓展 B 端资源，以提供更多健康服务和更深入的 AI 分析为商业模式。同时会同智能测量硬件厂商合作，配合 Kiwi 系列软件实现健康家庭设计。也会联合开发智能语

音机器人，为用户提供更便捷的健康生活。

4 合作方式

联合推广。

5 项目所属行业领域

生物医药医疗领域。

NO. 82 心冲击信号系列产品

1 成果简介

心冲击信号是一种通过体表无创检测心脏跳动以及血液流动对人体产生的作用力信号或者体表位移信号，它可以通过压力传感器或者加速度传感器检测获取。与传统的心脏活动检测方法相比，具有无创、无接触、检测方式灵活的优势，同时检测时无需任何传感器或者辅助装置与人体连接，具有检测的隐蔽性，能够降低检测过程中检测者因生理或者心理变化对检测结果造成的影响。

课题组从 2007 年开始从事心冲击信号研究，在自然科学基金、教育部重点开放课题、国家科技支撑计划、航天科工支撑基金等项目资助下，对心冲击信号的形成机理进行了探究，并研究了心冲击信号与心血管疾病的关系。

课题组在研究的基础上开发了：

- (1) 心血管监护体重秤。体重秤的电极分布（两种方式，单足或双足）如图 1 所示，秤表面有 4 个金属质感的电极片，与皮肤接触。利用电极片发出的微小电流测出身体阻抗血流图，结合测试者的心冲击图、心电图，利用血压估算算法模型推算出该对应的血压。

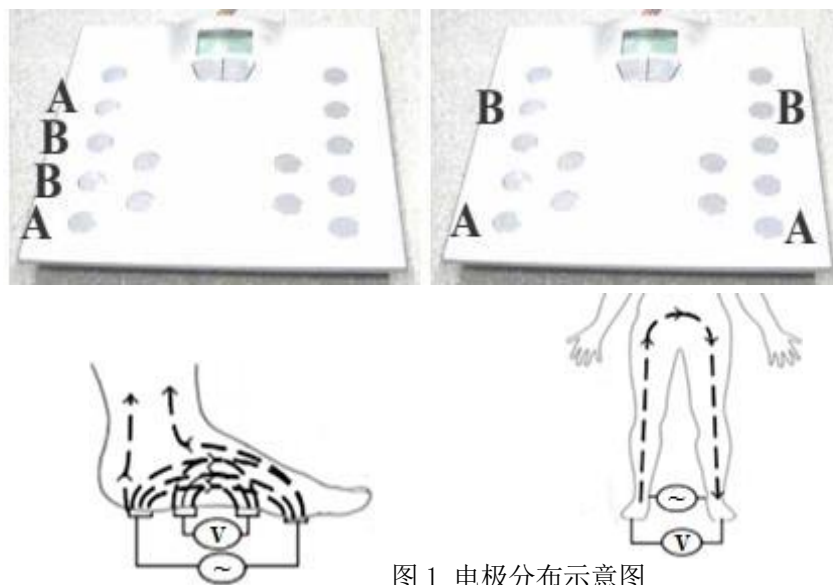


图 1 电极分布示意图

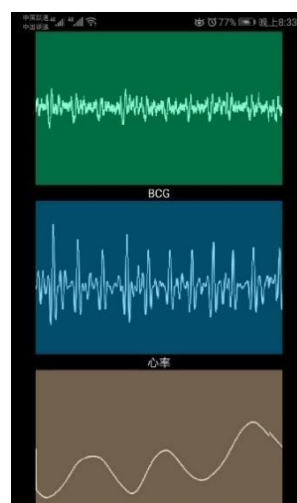
(2) 穿戴式心血管功能监测背心。可穿戴背心实现了心冲击信号、心电信号、血氧脉搏信号、体温、皮肤电阻、呼吸六种信号的全面采集。实现了对心脏骤停、心率异常、跌倒、湿热、等异常状态的判断以及对心脏功能（心输出量、每搏输出量等指标）的监测。

(3) 智能卧床监测系统。设备基于压电薄膜设计研发，利用压电薄膜提取卧床人员的背部压力信号，从

穿戴方式：



中提取出心冲击信号进行分析。设备可实现对卧床病人是否在床、是否运动、呼吸暂停、心跳骤停等检测功能。



(4) 连续动态血压监测护腕。设备采集心冲击信号和脉搏波信号，基于两种信号开发了血压监测算法，实现了动态血压的实时监测。



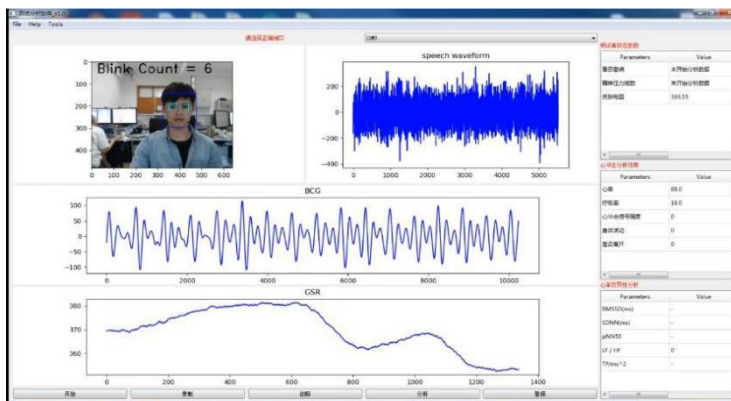
(5) 隐蔽性测谎装置。在心冲击信号研究的上，结合语音技术、视频信号捕捉技术、皮肤电阻分析技术，实现了多参数采集，结合多路信号实现测谎。心冲击信号采集设备及皮肤电阻设备分别集成进坐垫和座椅扶手中，实现了隐蔽性需求。

2 应用说明

心血管体重秤：健康监测体重秤设计包括心电图、心冲击信号、阻抗血流图，心率等多种基本生理信号的采集和监护。可应用于心脏病患者家庭监护，普通病房监护等多种应用场合。

穿戴式心血管功能监测背心：针对老人、心血管疾病患者、疑似患病者长时间监护的需求，实现心血管疾病和老人摔倒监测预警等功能。

智能卧床监测系统：现在市场上还没有一种简单易操作的卧床监护系统，专门面向卧床在家的病人，由非专业人士来进行心脏、呼吸等基本生理参数的监护，以及病人翻身情况的



检测。我们提出的心冲击信号卧床检测设备具备产品主要优势有：监测卧床病人的心率与呼吸，对心脏功能（血压、心率以及心脏收缩性能）进行评价；监测病人的翻身频率；安装有提醒装置，当病人心率呼吸异常或者翻身缓解压迫时，以铃声或短信的方式通知设定的手机；设备还对历史记录进行保留，这就为评价病患的长期身体状态提供了可能。

连续动态血压监测护腕：本款产品面向规模庞大的高血压患病人群，在以往产品仅采用脉搏波信号估计血压准确度不高的情况下，引入心冲击信号，研发基于两种信号的动态血压估计算法，提高了血压测量的准确性。

隐蔽性测谎装置：该设备集合了心冲击信号、皮肤电阻信号、视频及语音信号进行测谎，全方位可视化受试者的各种生理信号数据，更利于使用方对受试者的全方位把控。我们的产品区别于国内外其他测谎产品的重要一点是——“隐蔽性”，隐蔽性能更好的体现受试者的真实心理状态、

3 效益分析

心血管疾病市场庞大：心血管疾病已经成为一种严重危害人类健康的疾病，据中国工程科技

-心血管创新医疗器械论坛统计，我国平均每 3 个死亡病例中就有一个是由心血管疾病引起的，目前我国已有 2.9 亿心血管疾病患者，有 2.7 亿高血压患者，250 万心梗患者，450 万心衰患者。

老年监护需求不断增加：我国现在已经步入老龄化社会，60 岁以上老人已经达到 2.2 亿，未来老龄化程度将会更加严重。2.1 亿的人里有将近 4000 万人是失能、半失能的老人。另据最

新统计数据显示，到 2030 年，这一人口占比将达到 25%左右，这一切数据都表明中国将提前进入超级老龄化社会。不断增加的老年人口意味着老年人的监护需求不断增加，对相应的监护设备有了更多数量和质量上的需求。隐蔽性测谎在公安等行业有着潜在性需求：测谎仪使用场景广阔，且用户规模庞大。最高人民法院院长肖扬在十届全国人大常委会第十二次会议上作《关于加强基层法院建设情况的报告》中披露：目前中国共有三千一百三十三个基层法院，一万零二百九十个法庭。至于刑事处理单位，截至 2004 年底，全国城区派出所一共有 11492 个，一共占有警力 202060，而目

前警力已达 170 万左右，派出所的数量更是增长迅猛。以上提到这些数量庞大的政府单位，都是对测谎仪拥有明确需求的单位，也是测谎仪市场主要组成部分。隐蔽。快捷、经济、准确性高的测谎技术是辅助破案的完美工具。

4 合作方式

转让或者联合开发推广。

5 所属行业领域

生物医药医疗

NO. 83 卫生应急指挥系统

1 成果简介

2019 年 12 月暴发的新冠肺炎突发急性传染病，给我国和全世界人民造成巨大健康伤害和经济损失，截至 2020 年 5 月 16 日，我国累计死亡病例 4644 例，全球累计死亡 30 万例。据不完全统计，我国每年平均死于法定传染病的人数接近 3 万人，卫生健康部门年均处置各类突发公共卫生事件近 1000 起，每年参与突发事件紧急医学救援数百起。同时为解决卫生应急指挥调度过程中存在的数据信息展示零散、智能化辅助支撑不足、指挥决策主观性较强、现场沟通技术手段匮乏等问题，亟需打造符合现代化卫生应急体系的卫生应急指挥系统。

卫生应急指挥系统结合突发公共卫生事件、突发事件紧急医学救援的卫生应急业务需求，联接卫健委行政部门、疾控机构、应急队伍、医院、紧急医学救援中心、航空医疗等卫生应急资源，打造覆盖省市县乡村五级、海陆空立体化现代化卫生应急指挥体系，健全国家公共卫生应急管理体系。

系统支撑应急值守、监测预警、应急能力、应急指挥、专题应用、事后管理、移动应急等基础功能，针对重大疫情防控、重大活动医疗救治保障、区域呼吸类传染病防控研发了相关专题应用，实现了突发公共卫生事件的早发现和科学应对，全面提升了我国的卫生应急指挥能力。

系统已形成“1+3”产品体系，即公共卫生应急指挥系统和 3 个专项应用系统，包括重大疫情防控平台、重大活动医疗救治应急指挥平台、区域呼吸类传染病专科大数据平台。



新型冠状病毒实时态势系统



新型冠状病毒应急指挥系统



企业疫情通



江夏疫情通

2 应用说明

从新冠肺炎疫情爆发起，清华大学公共安全研究院积极投入到疫情防控系统的需求采集、数据整理、系统研发等工作，先后开发了多个产品，部署服务于全国各地政府部门，截止目前，系统覆盖全国 25 个省、50 多个城市，新型冠状病毒实时态势系统共部署 68 套，新型冠状病毒应急指挥系统共部署 17 套，疫情通疫情防控平台共部署 9 套，总计 94 套。其中，新型冠状病毒实时态势系统已在国家疾控中心、武汉市委市政府、北京市委市政府等地上屏应用；新型冠状病毒应急指挥系统已在湖北省应急管理厅、河北省政府及疾控中心、贵州省政府及应急管理厅等地应用；疫情通疫情防控平台已在武汉江夏区、清华同方、实创集团等单位成功应用。

3 效益分析

建立政府-企业-个人的多级协同机制，实现非常态下社会治理体系与能力现代化。政府汇总企业疫情处置措施及实施成效，指导企业开展科学有序的处置工作，弥补企业疫情应急工作的盲点和短板，形成全方位、无死角的疫情防控体系。健全我国公共卫生应急管理体系，助力我国对外开展卫生应急合作，发出中国声音，提出中国方案。

在重大疫情中，实现精准疫情防控与各行业有序复工复产，避免全国范围内长期停工停产带来的经济损失；通过信息实时上报，规避传染病在企业中扩散风险；在分区分级管理中，有力保障尽可能多的企业及时复工，提升企业的经济收益；实现个人信息上报、企业便捷化管理，为企业节省人力资源成本。

4 使用对象与合作方式

面向省市（区县）政府，卫生健康委员会，疾控中心等，联合推广。

5 所属行业领域

生物医药医疗领域。

N0.84 基于血浆游离 DNA 高通量测序数据的癌症检测方案

1 成果简介

癌症已经成为困扰国民健康的最大杀手。通过提取分析血浆游离 DNA（cfDNA）中的癌症相关信号进行癌症的筛查与诊断是目前液体活检领域最为重要的前沿技术之一，有望突破现有癌症检测技术创伤大、准确率低、难以在早期检出等缺陷。然而，cfDNA 高通量测序数据分析流程复杂，难以从中提取出有效信息；更重要的是，对于早期癌症而言，cfDNA 中的癌症信号十分微弱、异质性强，需要极高的测序深度才能获得较为准确的检测结果，在成本和精度间难以取得平衡。

我们针对上述问题，开发了一站式数据分析工具 cfDNApipe、智能癌症检测方法 DISMIR

和基于重复序列信息的低深度检测标记物，在肝癌等癌症的数据上表现出更高的准确率、更低的测序深度和更强的鲁棒性，为基于 cfDNA 高通量测序数据的癌症检测提供了综合技术方案。

具体来说，上述技术具有如下特点：

- 一站式数据分析工具 cfDNApipe
- 使用方便：快速安装，一键执行，避免分析过程中大量细节造成的分析不稳定，降低 cfDNA 癌症检测应用门槛；
- 多特征共同提取：涵盖了主流的 cfDNA 突变、结构变异、甲基化差异、片段化模式改变等特征，为多特征综合分析提供有力工具；
- 完善的质量控制：在多个阶段对 cfDNA 数据进行质量控制，提高癌症检测结果的可靠度。
- 智能癌症检测方法 DISMIR
- 智能深度模型：开发创新的智能深度学习模型，将 DNA 序列信息和甲基化信息有机整合，以单读段为模型输入，破解样本稀缺的难题；
- 极高准确率：在 $1\sim 10\times$ 测序深度下，针对早期肝癌检测问题，获得极高的准确率；
- 降低测序深度：能够在极低测序深度 ($0.01\times\sim 0.1\times$) 下依然保持优良的检测灵敏度，有效降低测序成本。
- 基于重复序列信息的低深度检测标记物
- 独特检测位点：重复序列在基因组上广泛存在，rDNA 在基因组上的拷贝数有数百个，是一种天然的信号放大器，然而传统的数据分析方法难以对其进行有效利用；
- 极高准确率：我们发现重复序列上的特有甲基化模式，并证明其在多种癌症和健康组织间具有明显差异，可作为一种潜在的泛癌检测标记物，在结直肠癌、肺癌和肝癌的 cfDNA 检测上均显示出较高的检测精度。

2 应用说明

DISMIR 方法和重复序列检测标记物的检测精度在多个来源的开放数据集和课题组自主采集的临床样本中得到充分验证。

3 效益分析

基于 cfDNA 高通量测序的癌症检测技术已经逐步从科学研究推进到临床应用。在这一产业链中，上游的检测技术已经基本成熟，而对数据的质量控制和深入分析具有较强的技术壁垒，可推广应用于不同癌症类型、不同临床应用场景，因此本方案具有较大的推广空间。

4 合作方式

转让或者联合推广。

5 所属行业领域

生物医药医疗领域。

五、先进制造领域（4项）

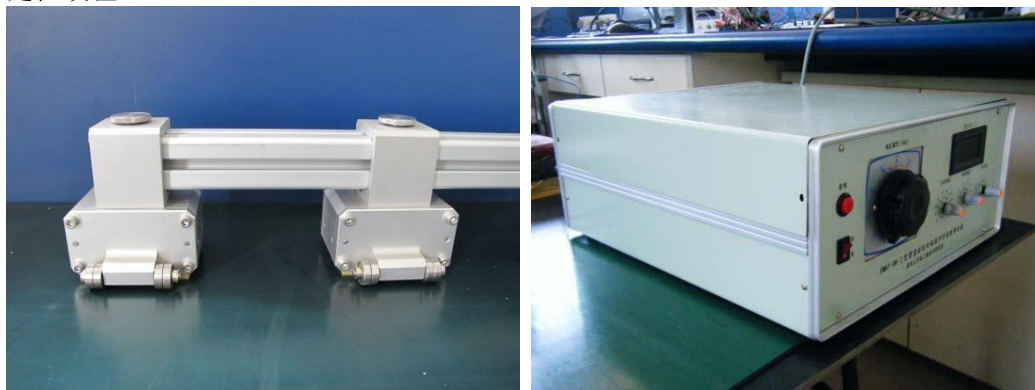
NO. 85 电磁超声导波缺陷检测仪

1 成果简介

电磁超声导波检测设备可实现对钢板和钢管缺陷的快速扫描，既满足电磁超声导波实验室需求又可满足工程应用，特别是针对高校用户提供开放式数据接口和检测数据源文件，可方便高校教师和学生科研使用。

仪器主要指标：

- 工作电压：220V 交流；
- 探头激励信号频率、幅值和周期数可调；
- 可以产生管道 L 模式、管道 T 模式、Lamb 波模式和 SH 波模式的电磁超声导波；
- 可用于管道和板材的腐蚀、裂纹等缺陷检测，最大检测板厚或壁厚为 20mm；
- 可检出最小腐蚀缺陷 $1t \times 1t \times 0.1t$ （深）；可检测最小裂纹 $1t$ （长） $\times 0.1t$ （深）， t 为板厚；
- 定位误差 $< 5\text{cm}$ 。



上图 电磁超声导波检测仪器

2 应用说明

研究成果已经成功应用在国家管道检测工程实验室、油田、电厂和高校相关实验室等多家企事业单位。应用于油田管网检测；石化企业管道检测；电站管道检测。

4 效益分析

按国际压力管道检测工程通行价格计算，为每公里 1 万美元。

5 合作方式

技术转让、合作开发和技术入股等方式。

6 所属行业领域

先进制造领域。

NO. 86 钛白粉后处理工艺技术和机理

1. 成果简介

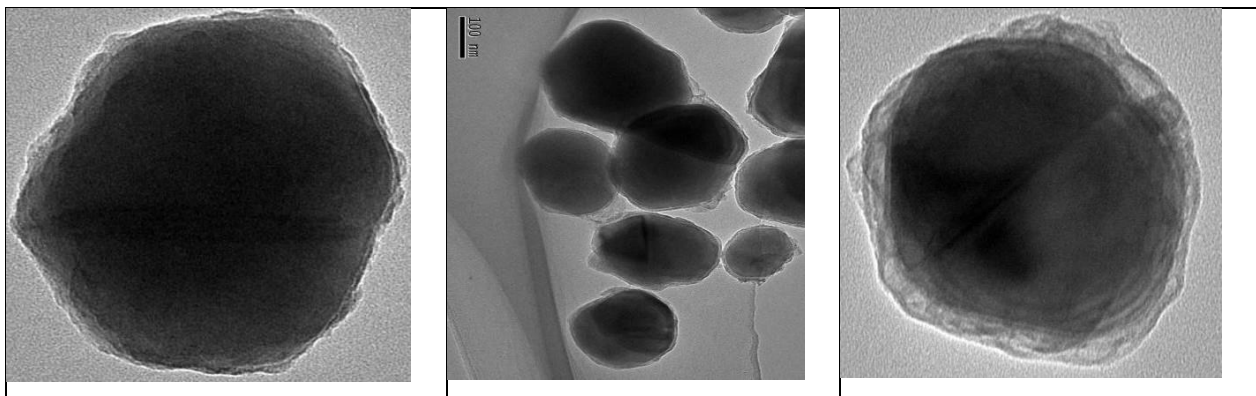
钛白粉作为白色颜料之王广泛应用于油漆、涂料（水性）、塑料、造纸等不同应用领域中。该项目为了提高钛白应用性能，在后处理表面工艺技术进行多年的研究，申请了多个钛白粉领域相关的专利。研究控制钛白粉包覆膜的致密度、厚度等不同质量的包覆膜，提高钛白粉在油漆、涂料（水性或油性）、塑料（色母粒）、造纸等领域中应用性能，提高分散性，遮盖力等应用指标。

项目负责人的研究经历，1996年开始在清华大学化学工程系博士论文题目是“氯化法金红石钛白粉后处理工艺和机理研究”。该项目是清华大学与锦州氯化法钛白粉企业合作，项目内容是金红石钛白粉后处理包膜工艺条件和机理研究。

发表了与钛白粉领域相关文章十多篇，申请钛白粉包膜专利十余项。

2. 应用说明

该项目详细研究了硅、铝、锆、磷的化合物等无机包膜的工艺和机理，并获得最优化条件，包括：分散条件、无机包膜顺序、有机包膜剂、包膜温度、包膜时间、包膜 pH 调节剂、搅拌强度、熟化时间等工艺条件。利用TEM, SEM, XRD, XRF, IR, BET 等现代分析手段研究钛白粉的结构和理论。采用物理、化学等检测方法，详细研究分析了美国杜邦公司R902、R706、日本石原公司R930等产品包膜质量。利用高分辨透射电镜等分析手段对钛白粉的包膜质量给出详细的分析和评价。产品指标：钛白粉表面包膜高分辨率透射电镜分析图片如下



3. 效益分析

由于目前国内的产品和国外美国杜邦（改名：科慕）同类产品质量在白度、分散性等应用指标等方面有较大差距，迫切需求如何提高产品质量达到国外先进水平，因此项目具有较大的推广空间。该项目提供先进的工艺技术路线，机理和理论分析，产品质量分析等。通过

该项目不同层次的升级改进，产品效益提高可以从几百万到几千万元。

4. 合作方式

转让或者联合推广。

5. 所属行业领域

先进制造领域。

NO. 87 脱硝催化用钛白粉的生产技术和机理

1 成果简介

脱硝催化用钛白粉比表面积大，催化活性高，化学性质稳定，使用寿命长，本品是 SCR 脱硝催化剂用的载体材料，主要是处理氮氧化物，专门为垃圾焚烧电厂和化工，炼油，炼焦，玻璃制造厂烟气治理以及汽车，轮船尾气处理所需脱硝催化剂的制造。亲水性高，吸附力强，比表面积大，催化活性高，500℃高温烧结后比表面积稳定，不产生二次污染。此产品主要用于脱硝，可使 100% 烟气条件下，脱硝率 95% 以上。对空气的环保起着非常重要的作用。

2 应用领域：电厂和化工，炼油，炼焦，玻璃制造厂里面锅炉脱硝，烟气治理以及汽车，轮船尾气处

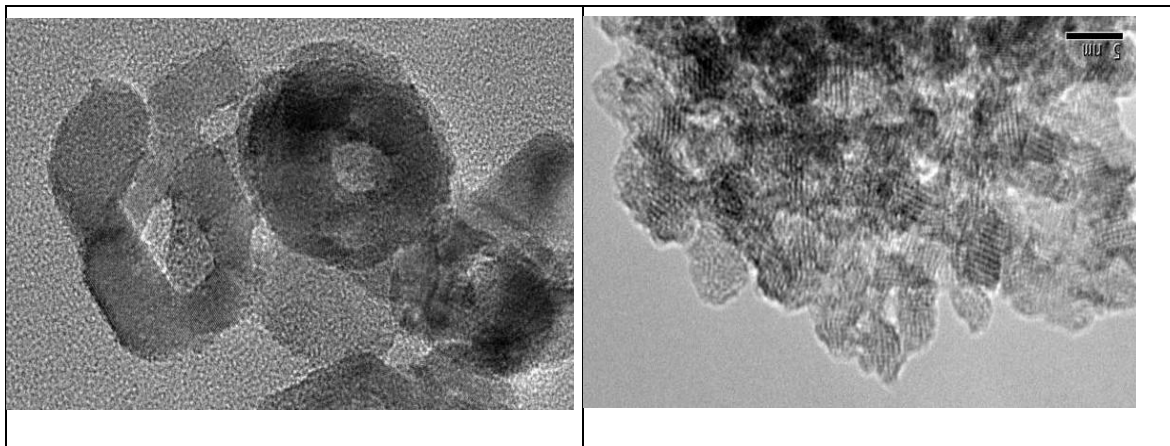
理所需脱硝催化剂的制造。

3 技术指标

项目	指标
外观	白色粉末状
pH	6-8
晶形	锐钛
水份	(105,2 hr 干燥失重 ≤ 5%)
二氧化钛粒径	20-50 (nm) 可控
二氧化钛晶粒度	15-20 (nm) 可控
多孔二氧化钛	孔大小可控 1-10nm
比表面积	大小可控：10-350 (m ² /g)

脱硝纳米 化二氧化钛高分辨透射电镜照片

纳米催化二氧化钛照片，粒径 5-50nm，孔 5-10nm



3 合作方式

转让或者联合推广。

4 所属行业领域

先进制造领域。

NO. 88 有机相变蓄能复合材料及在建筑节能中的应用

1 成果简介

有机相变蓄能复合材料是由有机相变材料（如石蜡）和高分子支撑和封装基体组成的复合材料，通过有机相变材料的固-液相变储存或释放热量。由于高分子材料的微封装和支撑作用，使得分散于其中的有机相变材料发生固液相变时仍能保持原有形状。该类材料有以下特点：

- 无需外部封装，可直接使用；
- 相变前后材料能保持其形状和强度；
- 材料的导热系数可在一定范围内调节，对外界温度变化响应及时；
- 材料具有良好的阻燃特性。

● 应用前景广阔，包括但不限于太阳能储存、建筑节能、冷热防护、电子元器件温度管理、低温储存、电力调峰、工业余热回收利用、智能服装等领域

本课题组还开发了有机相变蓄能复合材料的连续生产设备和生产工艺，已实现小批量连续示范生产。

随着我国经济发展和人民生活水平的提高，我国建筑面积增长迅速，相应地，建筑能耗也大幅度增长，到2020年预计将占社会总能耗的1/3。因此，在国务院发布的《能源发展战略行动计划（2014-2020年）》中，节能的绿色建筑已被列为重点发展领域。

本项目开发的有机相变蓄能复合材料可以充分利用太阳能和谷电等自然和低价能源，通过光热转换和电热转换来实现建筑采暖。太阳能具有不连续和不稳定的问题，存在供给和需求不匹配的矛盾。有机相变蓄能复合材料可以将太阳能蓄存起来，在需要时释放，从而解决这些问题。在采用分时电价的地区，还可以利用有机相变蓄能复合材料进行谷电蓄能采暖，平抑峰谷差。通过充分利用清洁的可再生能源，降低建筑运行能耗，节省运行开支，减少环境负担。



图 1 自行设计加工的智能调温材料板材示范生产线

本课题组从 2000 年开始进行有机相变蓄能复合材料的研制，在国家自然科学基金、“十一五”和“十二五”国家科技支撑计划课题、清华大学基础研究基金等的支持下，经过十多年的努力，研发出具有自主知识产权的有机相变蓄能复合材料，申请和授权发明专利 5 项。实验室应用研究证明具有很好的节能和舒适效果。

2 应用说明

- 利用谷电采暖的有机相变蓄能复合材料

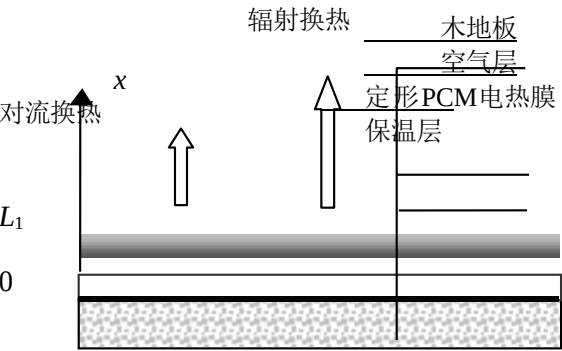


图 2 相变蓄能电采暖地板结构图

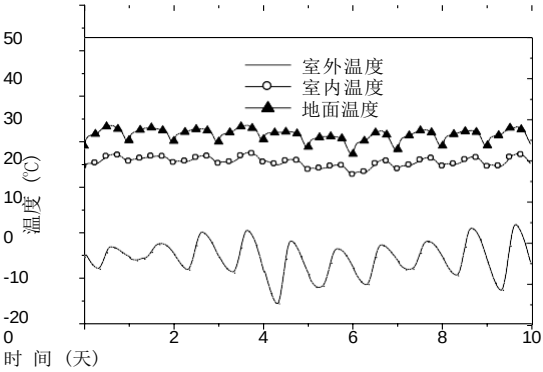


图 3 相变蓄能地板采暖效果图

利用谷电使有机相变蓄能复合材料蓄能，在白天释放加热房间，满足白天的采暖需求，达到节约采暖电费的目的，适用于办公楼等场所。实验和模拟证明，使用相变蓄能地板采暖，室内温度可保持在 20℃左右。以北京地区 25 平米的房间计算，每天可省 4 元钱。

- 结合太阳能采暖的有机相变蓄能复合材料
适应于轻体房和可移动建筑，或高原地区的分散建筑。
- (1) 结合被动式太阳能采暖的相变蓄能地板/墙体

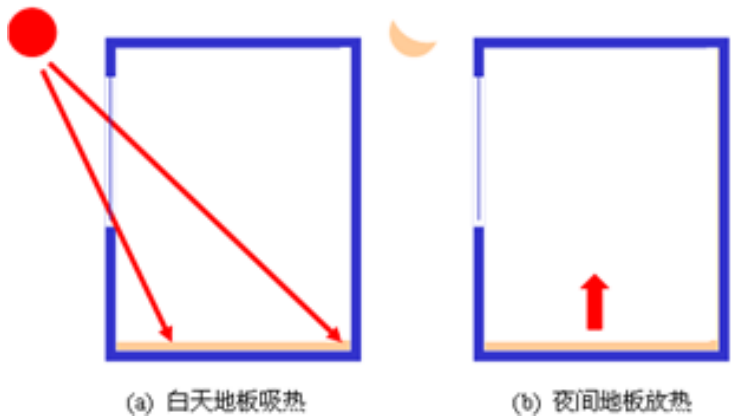


图 4 相变蓄能地板在太阳房中的应用原理

白天蓄存透射进房间的太阳能，夜间再逐渐释放给房间。能有效提高房间夜间温度，降低全天温度波动。实验和模拟研究表明，在北京地区，与普通的轻质板房相比，冬季夜间最低温度能提高 5℃以上。

(2) 结合主动式太阳能采暖的相变蓄能地板

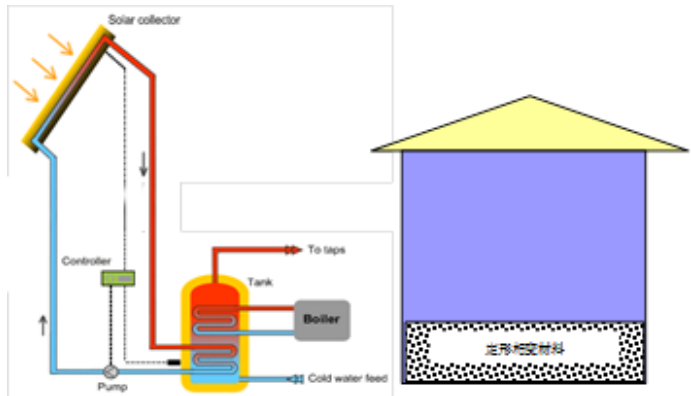


图 5 相变蓄能地板在主动式太阳能采暖中的应用原理

与太阳能集热装置联用，白天在太阳辐射强烈时，将热水直接通入相变地板层，使地板充分蓄热，用于夜间供暖。碰到阴天或夜间热量不够，可以启动备用热源。

主动式太阳能相变蓄能地板采暖系统比轻质地板减小室内温度波动 50%，提高室内最低温度 2-3℃；若蓄能时间段能量全部由太阳能提供，与无水箱蓄能装置干式太阳能采暖系统相比则可多利用约 30%的太阳能。与有水箱蓄能装置太阳能采暖系统相比则每百平米可节约 7.5m³的水箱体积，约 7.5 吨建筑容重和 4 万元水箱成本。

3 效益分析

在国家大力提倡绿色建筑、节能建筑以及清洁可再生能源的综合利用的形势下，本项目具有广阔的应用前景和较大的推广空间。

4 合作方式

技术转让或者联合推广。

5 所属行业领域

先进制造领域。

六、新材料领域 (3项)

NO. 89 涂料用高性能水性树脂

1 成果简介

水性涂料是由水性树脂、颜填料和助剂共同配制而成，由于以水作为分散介质，水性涂料具有施工安全、低VOC等优点。研究和开发水性涂料具有很高的经济效益和社会效益。2013~2016年水性涂料的市场份额保持增速，随着环保政策的出台，预计到2020年市场水性涂料占比将达到54%。在水性涂料中，水性丙烯酸树脂涂料使用量最大，占有水性涂料70%以上，其主要应用领域包括建筑装饰和工业涂料等方面。

水性树脂对于水性涂料性能起着关键作用。我国水性树脂的年消耗量达数百万吨，但大多数为中低档产品，高档水性树脂基本依赖进口或依赖国外技术。本项目采用预乳化核壳乳液聚合技术制备了单组份、室温固化聚合物乳胶，成膜性能优良，安全环保，技术成熟，可用于配制各种水性涂料，符合目前越来越苛刻的环保要求，市场前景看好。

主要性能指标：

- (1) 乳胶外观：淡蓝色乳状液；
- (2) 固含量： $\geq 40\%$ ；
- (3) 干燥时间（25℃）：表干30分钟，干透7天；
- (4) 25℃下成膜，可不加成膜助剂；
- (5) 铅笔硬度：1H~2H；
- (6) 柔韧性：通过1mm弯曲测试；
- (7) 耐水性：泡水72小时，无发白现象，吸水率5%左右；
- (8) 耐酸碱、调味剂、洗涤剂：数小时不起泡、不变色。

2 应用说明

该产品可用于配制多种环境友好型涂料品种，例如水性木器漆、建筑涂料（内外墙涂料、弹性乳胶漆、真石漆等）、防腐蚀涂料等。

3 效益分析

以丙烯酸酯等为主要原材料，主要设备是聚合釜、乳化罐等。产品综合成本0.7~0.9万元/吨，售价1.2~1.5万元/吨，经济效益显著。

4 合作方式

技术转让、联合开发均可。

5 所属行业领域

新材料领域。

NO. 90 黑磷-碳布复合材料制备技术

1 成果简介

黑磷是一种新型的二维材料，由于其较宽的可调控直接带隙、高载流子迁移率和优异的

各向异性光电性质，在电子学、光电子学、生物医药、电化学和储能等领域展现了巨大的应用潜力，成为“后石墨烯时代”最受瞩目的二维材料之一。碳布（石墨化碳纤维布）是一种拥有独特功能性质的、可用于支撑功能型材料的三维空间构型的材料。目前，碳布主要用作电沉积的基底材料，以与其它功能材料复合形成新的复合材料，所得的复合材料在电化学和储能方面有着广泛的应用前景。我们发明了一种黑磷-碳布复合新材料，制备方法简单、温和且高效，所制得的黑磷-碳布复合材料表现出优异的电化学性能，特别是在电化学析氧反应中表现优异，能为电化学反应分解水提供新的材料选择。

2 应用说明

本技术以单质锡、碘、磷以及碳布作为原料，制备了一种新型的黑磷-碳布复合材料（图 1）。所得的黑磷-碳布复合材料表现出优异的电化学性能，特别是在电化学析氧反应中表现优异（图 2），能为电化学反应分解水提供新的催化剂选择。

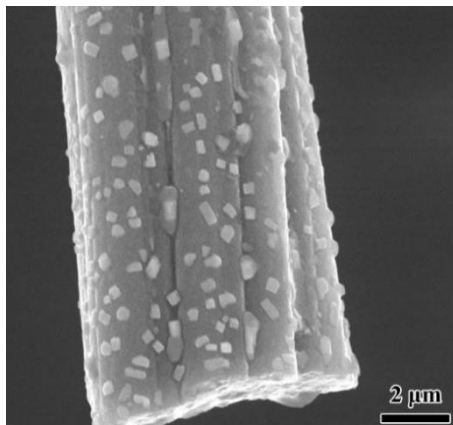


图 1 黑磷-碳布复合材料

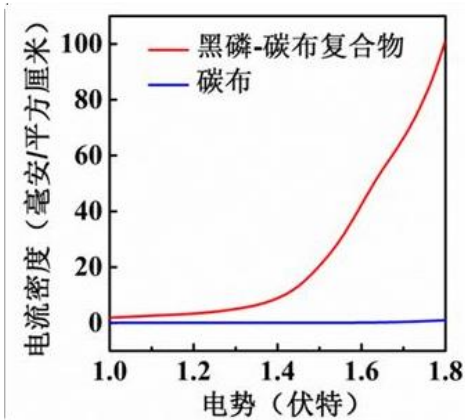


图 2 电化学析氧反应特性

3 效益分析

随着人类对能源的需求以及环境意识的不断提高，可持续、环境友好的能源成为人们梦寐以求的发展对象。水分解反应可以提供最理想的能源--氢气，因而一直具有巨大的吸引力。水分解反应可以分为两个半反应：析氧反应和析氢反应，其中析氧反应在本质上更复杂，具有缓慢的析氧动力学，从而导致需要高的过电位来促进反应效率。此外，析氧反应在金属-空气电池和再生燃料电池中也是一个重要的半反应，但在阴极上发生的析氧反应存在慢动力学的特征。因此，迫切地需要发展有效而稳定的析氧反应催化剂来促进反应和动力学的进行，从而提高能量转换效率。到目前为止，一些贵金属及其氧化物，例如 Ru, Ir, RuO₂ 和 IrO₂ 被公认是最好的析氧反应催化剂。然而，由于其丰度低、成本高，他们广泛的商业应用受到很大的限制。

根据 2015 年美国地质调查局公布的数据显示，中国磷矿资源比较丰富，已探明资源总

量仅次于摩洛哥，位居世界第二位。国内的数据显示，截止 2012 年底，我国已查明磷矿资源储量 203.1 亿吨，仅仅贵州、云南、湖北和四川四省的磷矿储量占全国的近 75%，产量则占全国近 99%。如果将磷矿石（360 元/吨）经由红磷（80 元/克）转化为黑磷（5000 元/克），可以大幅度地提升原料的附加值。

碳纤维是一种含碳量在 95% 以上的高强度、高模量纤维的新型纤维材料。它是由片状石

墨微晶等有机纤维沿纤维轴向方向堆砌而成，经碳化及石墨化处理而得到的微晶石墨材料。碳纤维"外柔内刚"，质量比金属铝轻，但强度却高于钢铁，并且具有耐腐蚀、高模量的特性，在国防军工和民用方面都是重要材料。它不仅具有碳材料的固有本征特性，又兼备纺织纤维的柔软可加工性，是新一代增强纤维。当前，我国碳纤维企业约有 30 多家，规模整体较小，

与年产 3 万吨的国际龙头企业无法竞争。如果可以在现有的石墨化碳纤维布基础上发展出新型功能材料，一方面可以大幅提升石墨化碳纤维布的附加值，也可以在某些应用领域实现赶超国际龙头企业。

本项目携手磷矿或者碳纤维相关企业，瞄准黑磷-碳布复合新材料的国内外市场需求，将这一低成本制备技术产业化，力争成为国内首家黑磷-碳布复合新材料的专业制造商。

4 合作方式

发明专利及技术转让或合作开发，商谈。

5 所属行业领域

新材料领域。

NO. 91 石墨烯能源与传感应用技术

1 成果简介

石墨烯是一种典型的单原子层二维材料，具有独特的狄拉克电子结构、超高的载流子迁移率和浓度，在高速、高质量薄膜器件集成等方面显示出潜在应用优势。然而，本征石墨烯呈金属或半金属特性，限制了其在器件中的应用。本成果从石墨烯的可控生长及多维多尺度宏观结构组装出发，探索调控石墨烯电子结构的有效方法，推动其在纳米能源和传感器件中的集成与应用。

主要包括：

- 高质量石墨烯薄膜的大面积可控制备、转移工艺，及多维多尺度宏观结构组装技术；
 - 开发了高效异质结太阳能电池和光电探测器产品，具有规模集成的纳米能源器件制造方法和工艺。太阳能电池转换效率超过 15%；光电探测器的灵敏度比同类商用光电器件高 3 个数量级，在保持同样光电流响应的情况下，其暗电流和噪声等效功率分别降低了 2 个和 3 个数量级；
 - 开发了系列柔性传感器产品，及面向移动医疗可穿戴应用的传感器制造方法和工艺。不仅可探测应变、压力、扭转、有机物、声波等信号，还对多种微变形（包括损伤、振动等）高灵敏度识别，具有与生理信息互联的特点，可监测和扫描生命体的生理状态，如脉搏、呼吸、心跳、语音等人体活动。

2 应用说明

基于石墨烯薄膜材料已成功应用于太阳能电池、超级电容器、传感器等器件，显示出优异的能量转换与存储性能、传感性能及良好的工作稳定性。另外，其多维多尺度结构可与其他纳米材料组成复合结构，在信息、电子、水处理、传感、光催化等领域具有广阔的应用前景。该项目的相关研究工作已申请国家发明专利 6 项，具有自主知识产权。

催

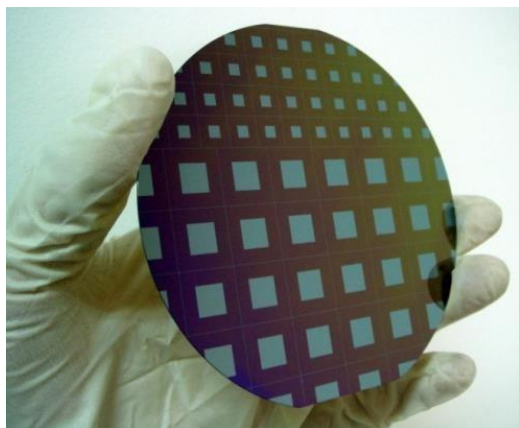


图 1 石墨烯光电器件

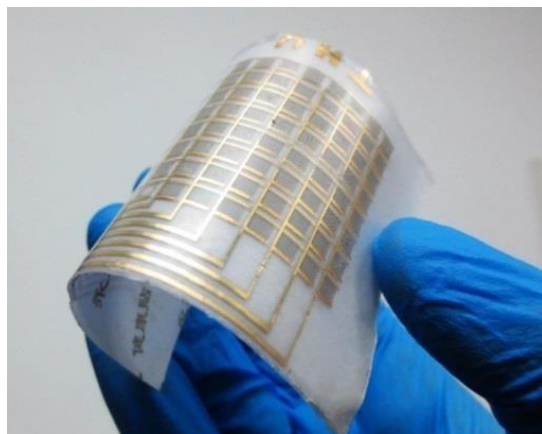


图 2 石墨烯柔性传感器

3效益分析

目前，石墨烯在全球范围内逐渐形成稳定的产业化需求。从市场的需求潜力来看，石墨烯在应用上将逐渐扩大。随着技术研究及产业发展，石墨烯独特的力学与电学性能，将使其在国内外应用市场，特别是电子、新材料、航天军工等领域发挥重要的甚至是革命性的作用，产生规模经济效益。

4合作方式

技术转让或合作开发、商谈。

5所属行业领域

新材料领域。

【对上述项目有意愿对接的，请致电焦作市科技局科技成果转化奖励与科技服务业，电话：3569835】