



# 浙江大学科技成果

2023 年 5 月

浙江大学技术转移中心

# 目 录

学校概况 .....	1
<b>新材料</b>	
1.超润滑涂层技术 .....	3
2.术后防粘连隔离膜 .....	3
3.牙周组织再生引导膜 .....	4
4.高性能可降解抗菌食品包装材料的研发及产业化 .....	4
5.双功能催化剂 .....	5
6.钠离子电池储能技术 .....	6
7.高性能锂硫电池技术 .....	7
8.新一代电缆绝缘材料 .....	8
9.氧化石墨烯基纤维的精确可逆融合与分裂 .....	9
10.可降解塑料 .....	10
11.微通道材料技术 .....	11
<b>智能制造</b>	
12.重型压力容器轻量化设计制造关键技术及工程应用 .....	13
13.高压储氢装备 .....	14
14. 微型自主式四旋翼水下航行器 .....	15
15.石英晶片研磨在线测频系统 .....	16
16.全自动离线式金属微瑕疵产品检测装备 .....	17
17.IGBT 模块自动固化设备 .....	18
18.超薄缝隙流场微压流场直接测量传感系统 .....	20
19.提升镁合金增材制造柔性理化性能调控工艺方法 .....	21
20.数控加工减材制造误差补偿与一体化高效插补技术 .....	22
21.变姿态增减材复合制造新工艺体系及形效控制方法 .....	23
22. 高效低噪分机设计和诊断技术 .....	24
23.食品热力杀菌智慧节能系统及装备 .....	25
<b>信息通信</b>	
24.网联云控自动驾驶中的数字孪生地图研究 .....	26
25.i3DBody:多视角精准人体体形三维重建及应用 .....	26
26.亚米级声手机定位与博物馆导览应用 .....	27
27. 国产全平台远距离高速水声通信机 .....	28
28.无线光通信技术 .....	30
29. 有机光伏透明组件 .....	31
30.红外气体传感器技术及应用 .....	31
31.城市交通智能管控与决策支持关键技术 .....	33
32.基于工业大数据的新型智能工厂解决方案 .....	34

33.基于数据手套的跨设备交互技术 .....	35
34.产品质量检测与控制系统 .....	35
35.电动汽车智能充电技术 .....	36
36.超薄功能器件大面积、可编程转印技术 .....	37

## 能源环保

37.城乡新型智慧零碳物流系统技术与产业化 .....	39
38.天然气甲烷放散气的低温自动液化回收技术 .....	40
39.二氧化碳捕集和利用技术 .....	41
40.农林生物质热解炭化技术 .....	42

## 生物医疗

41.应用于基因治疗的病毒载体 .....	43
42.放射性粒子植入手术辅助机器人 .....	44
43.可用于神经电调控的新型诊疗技术 .....	44
44.眼科人工智能诊断辅助系统 .....	45

## 学校概况

浙江大学是一所历史悠久、声誉卓著的高等学府，坐落于中国历史文化名城、风景旅游胜地杭州。浙江大学的前身求是书院创立于 1897 年，为中国人自己最早创办的新式高等学校之一。1928 年，定名国立浙江大学。抗战期间，浙大举校西迁，在贵州遵义、湄潭等地办学七年，1946 年秋回迁杭州。1952 年全国高等学校院系调整时，浙江大学部分系科转入兄弟高校和中国科学院，留在杭州的主体部分被分为多所单科性院校，后分别发展为原浙江大学、杭州大学、浙江农业大学和浙江医科大学。1998 年，同根同源的四校实现合并，组建了新浙江大学，迈上了创建世界一流大学的新征程。习近平总书记任浙江工作期间，亲自联系浙江大学，18 次莅临指导，对学校改革发展作出了一系列重要指示，描绘了高水平建成中国特色世界一流大学的宏伟蓝图。在 126 年的办学历程中，浙江大学始终秉承以“求是创新”为校训的优良传统，以天下为己任、以真理为依归，逐步形成了“勤学、修德、明辨、笃实”的浙大人共同价值观和“海纳江河、启真厚德、开物前民、树我邦国”的浙大精神。

浙江大学是一所特色鲜明、在海内外有较大影响的综合型、研究型、创新型大学，学科涵盖哲学、经济学、法学、教育学、文学、历史学、理学、工学、农学、医学、管理学、艺术学、交叉学科等 13 个门类，设有 7 个学部、39 个专业学院（系）、1 个工程师学院、2 个中外合作办学学院、7 家直属附属医院。学校现有紫金港、玉泉、西溪、华家池、之江、舟山、海宁等 7 个校区，占地面积 7931901 平方米，图书馆总藏书量 798.2 万册。截至 2022 年底，学校有全日制学生 65821 人、国际学生 5123 人、教职工 9746 人，教师中有中国科学院全职院士 24 人、中国工程院全职院士 21 人、文科资深教授 14 人、教育部“长江学者奖励计划”特聘教授 120 人、国家杰出青年科学基金获得者 193 人。2022 年，浙江大学入选第二轮“双一流”建设高校，21 个学科入选一流学科建设名单，绝大多数学科在第五轮学科评估中取得可喜进步。

浙江大学紧紧围绕“德才兼备、全面发展”的核心要求，全面落实立德树人根本任务，加快构建以学生成长为中心的卓越教育体系，着力培养德智体美劳全面发展、具有全球竞争力的高素质创新人才和领导者。在长期的办学历程中，学校涌现出大批著名科学家、文化大师以及各行各业的精英翘楚，包括 1 位诺贝尔奖获得者、5 位国家最高科技奖得主、4 位“两弹一星”功勋奖章获得者、1 位“八一勋章”获得者、1 位全军挂像英模、5 位国家荣誉称号获得者、6 位“最美奋斗者”和 220 余位两院院士等杰出典型，为实现中华民族伟大复兴、推进人类文明交流互鉴作出了积极贡献。



# 浙江大学 技术转移中心

## ZHEJIANG UNIVERSITY TECHNOLOGY TRANSFER CENTER

### 首批国家技术转移示范机构

**2008 年 中心被科技部评为首批国家技术转移示范机构之一**

**2008 年 中心被科技部评为国家科技计划（火炬计划）实施二十周年先进服务机构**

**2015 年 中心被国家知识产权局授予知识产权分析评议服务示范创建机构**

浙江大学技术转移中心（简称“中心”）是根据《国家中长期科技发展规划纲要》精神，由学校于 2006 年批准设立开展科技中介服务的专业机构。中心前身为 1996 年成立的浙江大学技术交易中心，2008 年中心被科技部授予“首批国家技术转移示范机构”，2015 年中心被国家知识产权局授予“知识产权分析评议服务示范创建机构”，2021 年中心助力学校入选首批高校专业化国家技术转移机构建设试点名单。中心坚持“以服务求发展，用贡献求辉煌”的理念，紧紧围绕浙江大学“双一流”建设目标，瞄准国家发展战略和区域科技发展需求，以技术转移和成果转化为己任，服务学校、服务教师、服务企业、服务社会，不断探索体制机制和服务模式创新，树立了“诚信、爱校、卓越、共赢”文化理念。

中心强化顶层设计，持续优化布局，形成了六条主线、扇形辐射的技术转移网络体系，以杭州为中心，分别向东北、华北、西北、中原、西南和华南辐射延伸。各条主线实行团队负责制，通过社会化合作模式，形成互联互通的技术转移网络化服务体系。目前，中心在全国建立了 50 家区域分支机构，涵盖浙江省、江苏省、江西省、安徽省、山东省、河北省、天津市、湖北省、湖南省、四川省、贵州省、云南省、广东省、福建省、吉林省、黑龙江省、内蒙古自治区、河南省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区等 20 多个省（自治区、直辖市）。

地址：浙江省杭州市西湖区紫金科创小镇 E1 楼 617

电话：0571-88208236 任老师 19550213580

邮箱：0918496@zju.edu.cn 0917212@zju.edu.cn



# 新材料

## 1.超润滑涂层技术

临床上有很多介入导管，例如：导尿管、肠胃营养管等，未经处理的导管表面摩擦力大，易损伤腔道，造成尿道狭窄等后遗症。目前市场上的润滑导管的涂层易脱落，存在安全隐患。本技术可以实现润滑涂层牢固结合、遇水后摩擦力瞬间下降 99%，减少病人痛苦，减少安全隐患。（不需要生产导尿管，只需购买即可，2 元每根；我们进行润滑涂层加工，润滑导管医院售价可达 30-200 元每根）

另外，各类水下航行器正朝着低阻力、低噪声、高隐蔽性方向发展。水下航行器行驶阻力太大，会大幅增加燃油消耗，减慢航行速度，增加噪音，降低了水下航行器的使用性能，因而对水下航行器进行减阻处理是提高水下航行器性能最有效、最直接的办法，本技术涂层工艺简单、涂层稳定不脱落、无需补充润滑液、适合大面积涂装，可以应用于深水炸弹、鱼雷、潜艇、军舰、水下机器人、蛙人服装、声呐等设备。

本技术曾获 3M 公司创新大赛一等奖，涂层工艺简单、涂层稳定不脱落、无需补充润滑液、适合大面积涂装，可以应用于医疗器械和海洋装备，市场规模达数千亿元，具有重大的经济价值和战略意义。

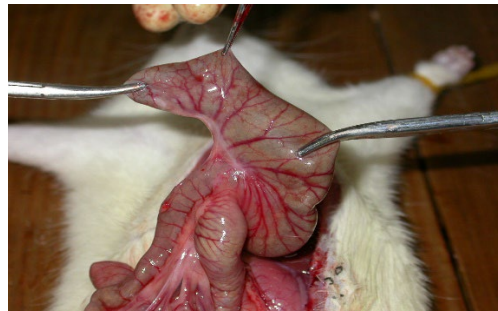
## 2.术后防粘连隔离膜

术后防黏连产品主要类型包括壳聚糖衍生物、聚乳酸。聚乳酸类产品组织粘附性差，硬度大，舒适感差，降解太慢。相比较而言，壳聚糖衍生物类防黏连产品组织粘附性较好，无异物感，降解速度合适。目前，国内壳聚糖衍生物类防黏连产品主要由奇胜、万利等几家企业生产，他们采用羧甲基壳聚糖为原料，制得防黏连产品，这几家公司的产品曾被国家药监局暂停半年，因为这几家公司的产品发生了兔子红眼睛事故（角膜刺激性实验），究其原因就是因为羧甲基壳聚糖在合成过程中使用了氯乙酸，氯乙酸的残留导致了红眼睛事故，但他们解决不了这个问题，尽管后来药监局还是恢复了他们的生产许可。项目组制备的防黏连隔离膜没有采用氯乙酸路线，而是采用生物安全性更好的合成路线制备的壳聚糖衍

生物为原料，完美解决了这一难题。



未使用防黏连材料的对照组



使用我们样品的实验组（有效防止黏连产生）

### 3. 牙周组织再生引导膜

我国种植牙潜在市场规模超过 2000 亿元，牙周组织再生引导膜主要依赖进口产品，Geistlich 公司生产的 Bio-Gide 胶原膜(2.5cm\*2.5cm)约 2000 元/片。

针对国外知识产权垄断，以及胶原膜力学性能差，易导致受保护空间塌陷，隔离效果不佳，且降解过快等问题，课题组以天然多糖为原料，开发了一种力学性能优异、生物降解速率可控、组织再生性能好的牙周组织再生引导膜。该膜一面致密、另一面疏松多孔，致密层可以阻挡纤维结缔组织长入，具有良好的细胞阻隔作用，而疏松多孔层起到稳定血凝块的作用，为成骨细胞的粘附和骨沉积提供附着的载体。通过调控分子参数、材料微结构等调控牙周组织再生引导膜的降解速率，使其与牙周组织再生的速率相匹配，为口腔临床提供一种新型牙周组织再生引导膜材料，具有重要的科学意义和临床应用价值。

### 4. 高性能可降解抗菌食品包装材料的研发及产业化

课题组开发了基于淀粉高填充 PBAT 的抗菌性复合材料，采用疏水改性的纳米粒子作为载体保持天然抗菌剂的分散性和活性，通过熔融挤出造粒和吹膜技术制造可降解的抗菌食品一次性软包装包装薄膜，如保鲜膜、保鲜袋、冷冻袋、果蔬、冷饮复合软包装等。

项目组通过优选 PBAT/TPS 薄膜中 TPS 的增塑剂和相容剂，测试 TPS 的毛细管流变特性确定其 TPS 自身的加工特性和添加比例对 PBAT/TPS 薄膜性能整体力学性能、吸湿性的影响，并确定薄膜的加工参数；选择适宜的 PBAT/PCL 薄膜流

延工艺和相容剂，优选适合的配方比例并最大程度提高薄膜的薄膜阻隔性能和低温热封性；选择适合 PBAT/PLA 薄膜的流延工艺、加工助剂和相容剂，测定薄膜表面达因值和摩擦系数确定印刷工艺、印刷适性以及增加油墨附着力和套印精度的处理工艺；选择适合的可降解食品复合软包装薄膜的复合次序、工艺，胶黏剂种类和固化工艺。

## 5. 双功能催化剂

本项目技术采用浙江大学材料科学与工程学院硅材料国家重点实验室研发团队研发的铁钴磷酸盐，并将其作为双功能催化剂应用至锌-空气电池的空气正极上。

团队从具有高效氧催化效应的过渡金属磷酸盐（TMPi）中寻找灵感，使用新颖的水油两相水热合成方法来合成过渡金属磷酸盐，并通过杂原子掺杂等手段进一步提高材料的电催化性能。具有低成本、环保和易开发的优势，有巨大的实际应用和生产潜力。将铁钴磷酸盐电催化剂少量应用至锌-空气电池的空气正极上，即可使该锌-空气电池获得优秀的放电性能，能有效提高该电池的放电比容量，保持优秀的循环稳定性。

该技术通过水油两相水热合成的普适方法合成以 TMPi 为基的双功能催化剂材料，将其应用于锌-空气电池中，显示出优秀的性能。已在 *Applied Catalysis B: Environment* 期刊上发表相关论文（DOI：10.1016/j.apcatb.2021.120712）。团队充分运用该技术，准备继续开发出更具技术和价格双优势的双功能催化剂及其相关锌-空气电池产品，打开国际市场，同时利用自身优势，促进我国新能源产业及相关储能产业的发展。生产的 TMPi 基双功能催化剂性能可控、成本可控、规模可控，有广泛用途，可批量生产。在国际市场也极具竞争力，可以作为品牌产品打入国内外市场。团队将不断更新先进锌-空气电池的生产资料和相关高性能催化剂的研发，以便进一步打开和扩大催化剂行业和锌-空气电池市场。



## 6. 钠离子电池储能技术

储能技术是实现新能源高效利用和电网智能化的重要基础，中国储能市场累计装机规模达 32.3 GW，主要以抽水蓄能（30.3GW，占比 95.62%，度电成本 0.25 元/kWh）和电化学储能（1060.8 MW，占比 3.70%，度电成本 0.6-0.8 元/kWh）为主。其中，锂离子电池储能系统占比排名第二，达到 4.0%（1277.8 MW）。本项目针对钠离子电池正负极材料做专项研发，自主创新研发了大倍率、优异循环稳定、长循环的普鲁士蓝基正极材料，实现了原位生长、溶度梯度控制零应力、导电聚合物表面包覆高电压和长循环。在负极材料研发方面，重点就碳基负极和硫化物负极材料开展研究。



## 7. 高性能锂硫电池技术

作为一种高效的储能系统，从各种电子产品到电动汽车，再到电网规模化能量存储的扩展应用，锂电池正在越来越多地参与到能源生态演变这一重要进程中。过去几十年锂离子电池（LIBs）一直占据着主导地位，然而它的高成本和越来越接近理论极限的现状使得学术界和工业界都在寻求超越锂离子嵌入的新型化学储能电池，以满足不断增长的能源需求。按照目前的进度来看，基于全新能量转化机制的锂硫（Li-S）电池摘得头筹的可能性比较大。

锂硫电池是以金属锂为负极、单质硫为正极活性物质的锂离子二次电池，其理论容量为 1675 mAh/g，理论能量密度高达 2600 Wh/kg，实际可实现的能量密度为 500 Wh/kg，并且单质硫对环境友好，成本低，储量大，符合电动汽车、空间技术和国防装备等领域对动力电池的需求。

正极材料	理论比容量 mAh/g	估算 比容量 mAh/g	估算 能量密度 Wh/kg
S	1672	1000	2600
C/S-60%	1005	600	1260
C/S-50%	836	500	1050
LiFePO <sub>4</sub>	170	160	552
LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	148	110	440
LiCoO <sub>2</sub>	274	140	518

负极材料	理论 比容量 mAh/g	放电平台 V	估算全电池能量 密度 Wh/kg
Li	3829	2.1	2447
Li	3829	2.1	1090
Li	3829	2.1	760
Li/C <sub>6</sub>	3829/372	3.45/3.35	483/378
Li/C <sub>6</sub>	3829/372	4.0/3.9	394/331
Li/C <sub>6</sub>	3829/372	3.7/3.6	456/366

传统锂二次电池正极与硫正极性能比较

1. 淀粉为原料制备的多孔碳材料，改善电池制备工艺；
2. 铝塑膜包装成本低廉，作为电池外壳封装工艺简单有效，制备的锂硫电池性能优异。

### 技术优势：

1. 高导电载硫材料在正极中添加导电剂，改善硫的导电性问题；
2. 多功能粘结剂高粘结能力——抵抗充放电过程的体积变化，保证电极结构稳定；
3. 硫离子高吸附性——抵抗穿梭效应，延长循环寿命；
4. 软包锂硫电池制备采用铝塑膜作为电池外壳——三层结构。

## 8. 新一代电缆绝缘材料

近年来，能源供应体系正在加快向清洁低碳转型，其中海上风力发电凭借其风力资源丰富、节约土地资源等优点得到快速发展。高压直流海底电缆是实现跨海电网互联的关键环节，其稳定性和可靠性至关重要。目前，高压直流海缆的绝缘部分多采用交联聚乙烯（XLPE），其结构简单、耐腐蚀、绝缘性能和机械性能优异，适用于海底敷设环境。但随着输电需求日益增加，直流海缆的运行电压等级亟待提高，而提高 XLPE 的直流击穿场强是提升电压等级的关键。本技术通过将多种特定化合物复配作为电压稳定剂添加到 XLPE 树脂基材中，显著地提升 XLPE 树脂的耐直流击穿性能，在高压直流输电用电缆制造领域具有良好的应用前景。

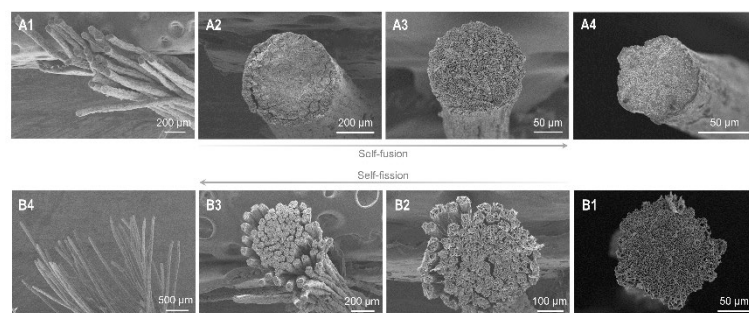


XLPE 电缆的生产过程

### 技术优势：

更高的击穿强度（绝缘减薄，降低成本，提高电缆可靠性）；绝缘材料可回收（环境友好）；新的交联方法（减少或消除交联副产物，提高电缆生产效率）。

## 9. 氧化石墨烯纤维的精确可逆融合与分裂



经过 5 年的研究，浙江大学高分子研究团队在国际上首次发现，氧化石墨烯片具有适应性形变的能力，氧化石墨烯基纤维在宏观尺度上能够在融合之后实现精确可逆的分裂，好比是自带了一个“返回键”。成果发表将极大地推进未来可逆组装的发展。

通过特定的处理方式，氧化石墨烯纤维融合得到的固体材料可以再变回原本的样子。也就是说，这项成果实现了氧化石墨烯宏观固体材料精确可逆的组装。

团队将 13500 根氧化石墨烯纤维融合成一根直径 1.2 毫米的细长黑柱子，这根刚性的黑柱子可以承受 680 倍自身重量的力。当把黑柱子放到水中时，柱子解离分裂变成了 13500 条柔软的纤维。把这些纤维拿出来编织，就能做成一张节点融合的柔性网。这张网仍然保持了较好的强度，上面放辆玩具车完全没有问题。也就是说这些纤维再融合之后依然能作为功能材料来使用。把实验过程颠倒过来后，网又重新变回了柱子。

组成柱子和网的氧化石墨烯纤维并没有发生变化，团队通过荧光染料及硅纳米颗粒标记的方式证明了每一条纤维的内在结构，纤维里面的成分确实没有在多次融合-分裂后互相“串门”交换。

团队在一次实验中发现，氧化石墨烯由于分子自身带有特殊的性质，即二维拓扑、丰富的含氧官能团、超柔性、自粘接，多根氧化石墨烯纤维融合后的粗纤维密度大、孔隙率少、界面结合适中，这就使得材料的亲和力刚刚好，能够很容易地融合到一起，但结合力又不像钢那样强，所以还能分得开。研究发现，当氧化石墨烯薄片制成的纤维置于水或极性有机溶剂中时，纤维会溶胀，体积膨胀率最高达近 40 倍，提供了充分的表面形变的空间。通过溶胀和干燥，纤维表面发生适应性的形变，形状在起皱和光滑的管状之间可逆地转换，从而使表面通过自粘接融合在一起，反之使表面因为曲面力的作用而排斥分开。这种形变会产生灵

活可逆的粘接界面，使任意数量的氧化石墨烯纤维可以反复地融合和按需解离。

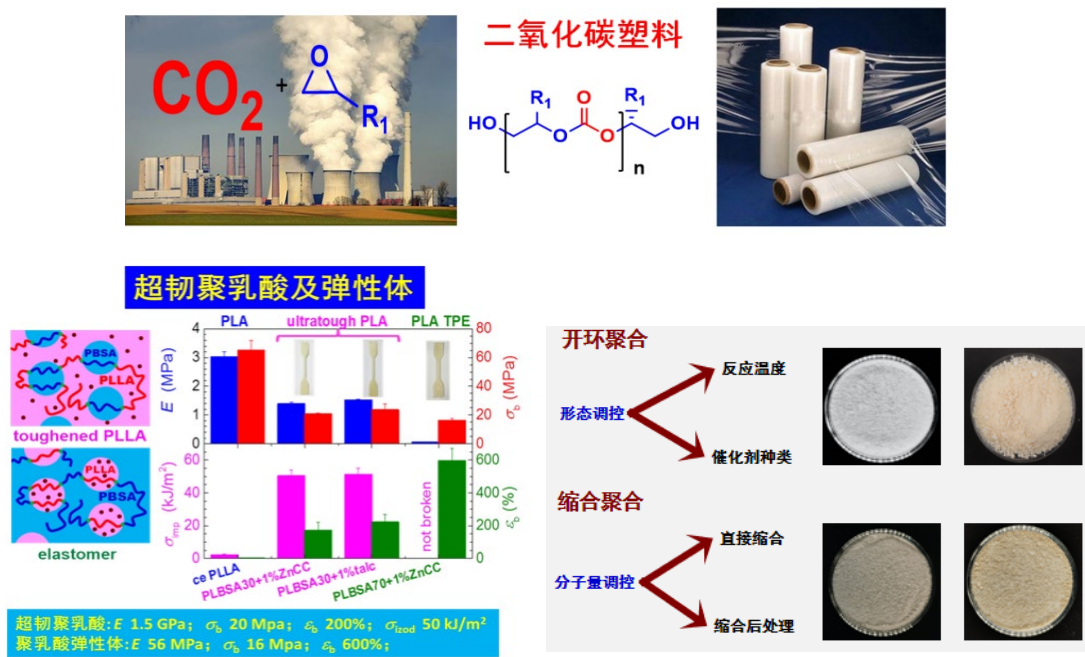
团队发现，如果在尼龙、蚕丝、不锈钢丝、玻璃纤维等常见的高分子、金属、无机非金属纤维的表面涂上一层氧化石墨烯，这些普通的材料也能够具有“组装-精确还原”的功能。

本项目首次实现了宏观氧化石墨烯（GO）纤维及其复合纤维的精确可逆融合和分裂。在溶剂的刺激下，多根 GO 基纤维在溶胀及收缩过程中发生自适应的形变，从而确保了精确可逆性。

## 10. 可降解塑料

我国是最大的塑料生产国和消费国。2019 年我国的塑料产量达到 8180 万吨，占全球总产量的 25%；每年无法妥善处理的塑料垃圾达 882 万立方米，有 132 万立方米的垃圾最终被“扔”进了海洋。2020 年，国家相继出台《关于进一步加强塑料污染治理的意见》《关于扎实推进塑料污染治理工作的通知》等政策文件。2020 年 1-6 月，中国规模以上工业企业塑料制品产量累计为 3176.8 万吨，同比下降 9.6%。仅就塑料吸管而言，据不完全统计，2019 年中国塑料吸管产量近 30000 吨，整个市场规模达到亿级。如果按吨平均售价 2.5 万元计算，2025 年我国可降解塑料市场规模将达到 358 亿元。与千万吨级别的潜在需求空间相比，国内生物降解塑料行业发展仍处于初期阶段。据悉，国内塑料制品产能已经进入调整期，未来不可降解产能有所收缩，可降解产能布局将加速。

成果包含聚乙交酯（PGA）、聚琥珀酸乙二醇酯（PES）、聚乳酸熔融-固相缩聚技术（MP-SSP）、可降解二氧化碳塑料等新型可降解塑料研发技术。通过高分子材料加工改性，实现可降解餐具用专用料开发、可降解包装膜专用料开发、采油用可降解暂堵材料开发等。



部分技术路线图

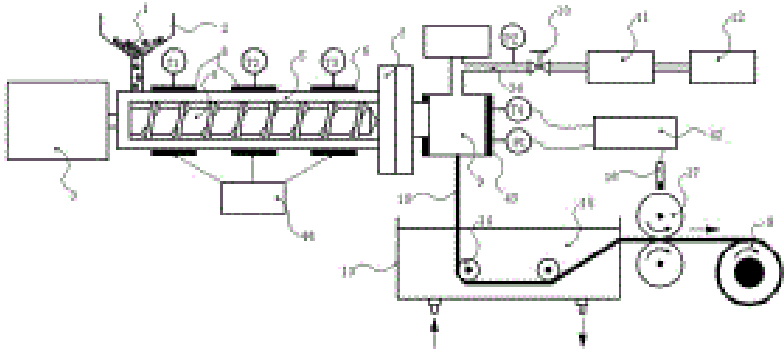
应用于可降解塑料、阻隔材料、采油用材料、医用材料等科学研究领域。

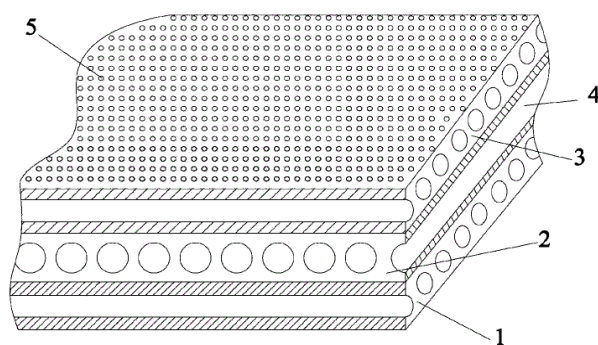
技术优势：

与传统可降解材料相比，PGA、PES 等新型可降解材料具有耐热温度高、强度和模量高、降解速度快、阻隔性能优异、有更好的加工性能和力学性能等优势。

11. 微通道材料技术

本成果发明了一种兼具相互连通的微通道与微孔结构的新型高分子微通道多孔材料。采用绿色高效的挤出发泡法，开发了一种新的超临界二氧化碳发泡工艺，实现了新型高分子微通道多孔材料的绿色制备，在不使用有机溶剂的前提下实现微通道内表皮层的祛除，同时对微通道直径进行调控。可以制作成板材、片材各种型材及薄膜等产品，既节省原材料，又具备新功能。





### 微通道材料技术

可应用于换热节能、建筑吸声、组织工程、创伤修复、药物缓释、智能水处理、空气净化、新型电池等领域。

#### 技术优势：

1. 兼具相互连通的微通道与微孔结构，微通道表面无表皮层；
2. 高分子原料生物相容性好、可生物降解，制备工艺绿色无毒无污染；
3. 微通道尺寸 10 - 500  $\mu\text{m}$  之间可控，微孔尺寸 3 - 200  $\mu\text{m}$  之间可控，孔隙开孔率可达 80%以上。



# 智能制造

## 12. 重型压力容器轻量化设计制造关键技术及工程应用

压力容器是具有潜在泄漏和爆炸危险的承压类特种设备，广泛用于煤炭、石油化工、天然气等能源工业领域。近年来，伴随能源结构调整，天然气液化储运、油品质量升级等国家战略对我国大型过程工业装置提出了更高要求。为提高效率、降低成本，压力容器不断向重型化方向发展，最大壁厚可达数百毫米、重量可超千吨，常见的有大型加氢反应器、大型换热器、深冷储运容器等。

压力容器重型化不仅导致材料消耗巨大（我国每年耗钢数千万吨）、加工制造困难（甚至超出现有设计制造能力），而且可能产生新的失效模式和机理（存在重大安全事故隐患）。基于以上问题，我国重型压力容器产品在国际上普遍缺乏竞争力，重要设备长期依赖进口。因此，如何在确保本质安全的前提下实现重型压力容器的轻量化，突破现有能力瓶颈、实现节材节能，已成为迫切需求。

围绕这一需求，我校团队开展重型压力容器轻量化设计制造关键技术研究，建立了重型压力容器轻量化设计制造共性技术方法，实现了能源工业领域急需的3种重型压力容器轻量化的国产化。研究成果解决了压力容器安全性与经济性相矛盾的突出问题，为轻量化产品长周期安全服役提供了有效途径，改变了千万吨炼油、大型煤化工等国家重大工程建设部分关键装备长期依赖进口的被动局面，实现了大型加机钢制加氢反应器、超大型换热器等重要压力容器轻量化的国产化。



重型压力容器



## 13. 高压储氢装备

氢能是《国家创新驱动发展战略纲要》、《能源技术革命创新行动计划（2016-2030）》等国家重要战略规划的重点支持方向，氢能的开发和利用已经成为新一轮世界能源技术变革的重要路径。氢能应用的关键之一在于储氢技术，即如何实现安全、高效、经济的氢气储存。**高压气态储氢**具有设备结构简单、压缩氢气制备能耗低、充装和排放速度快、温度适应范围宽等优点，在较长时间内将占据氢能储存的主导地位。

浙江大学相关团队在国内最早开展高压气态储氢技术与装备研究，原创性地提出全多层高压容器结构，为我国首座商业规模制氢加氢站研制成功的拥有自主知识产权、国际上容积最大的全多层高压储氢容器，被誉称为“世界第一罐”；建立了纤维全缠绕高压储氢气瓶结构-材料-工艺一体化的自适应遗传优化设计方法，解决了超薄铝内胆成型、高抗疲劳性能的缠绕线形匹配等关键技术，实现了车载储氢瓶的轻量化设计与制造，研制成功的车载轻质高压储氢瓶，已应用于2010年上海世博会氢燃料汽车；自主构建了高精度的车载高压储氢容器快充温升仿真系统，率先提出了精确、可靠的温升控制方法，并研制成功车载高压储氢容器安全性能试验系统；主持起草多项国家标准，结束了我国高压气态储氢无国家标准的历史。相关发明专利已被科技部推选为先进能源技术领域的优秀成果。



### 氢燃料电池应用

随着氢能产业的快速发展，对储氢量达吨级的商用加氢站提出了重大需求，大容量高压气态储氢装备应用前景广泛。

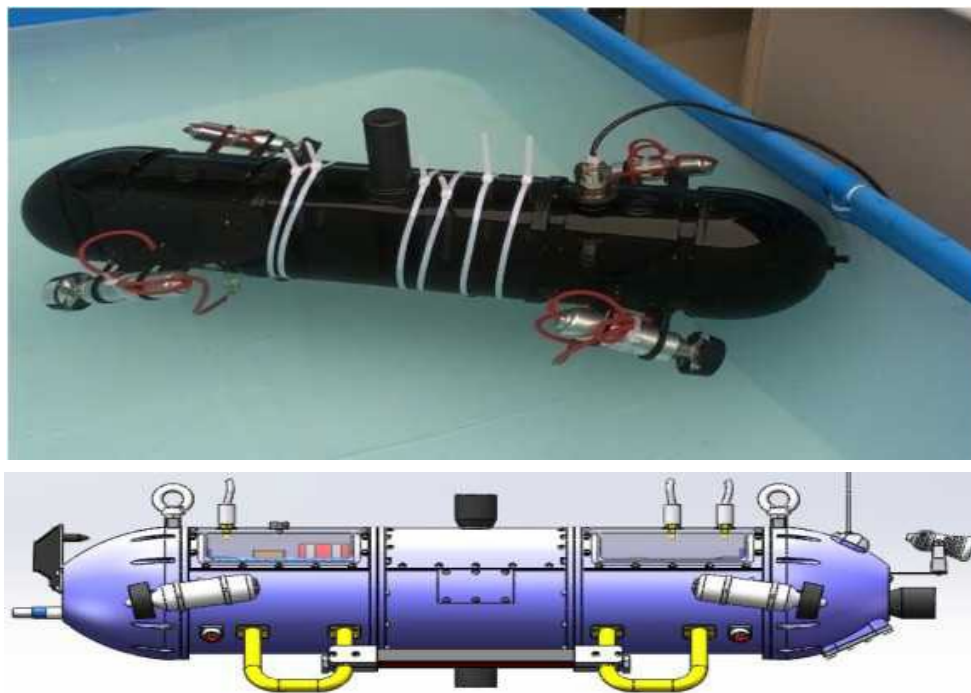
**技术优势：**

1. **高压氢脆机理研究。**材料在高压氢气环境中服役会因氢脆而出现性能劣化，揭示高压氢脆机理并实现性能调控是保障储氢装备长寿命安全可靠服役的重要基础。浙江大学研究团队对钢和聚合物在高压氢环境中的性能劣化机制开展了较为系统的研究，技术处于国际领先水平；
2. **高压氢系统检测能力建设。**高压氢系统的测试条件苛刻（高压临氢、宽温域等），测试装备研发难度极大。美国、日本等国均投入巨资并历时多年分别建立了高压氢系统安全性能检测基地。我校团队成功研制了我国首套 140MPa 高压氢环境材料耐久性试验装置、90 MPa 高压氢气环境零部件耐久性试验装置，使我国成为继美国、日本后，第 3 个拥有此检测能力的国家；
3. **高压储氢技术标准化。**建立完善的标准体系是高压储氢技术健康发展的重要保障。近 20 年来，我校团队牵头制定了 9 项高压氢系统主要国家标准，并参与联合国 UN GTR13、国际标准 ISO/TS19883、加拿大/美国标准 CSA/ANSI CHMC2 等国际标准规范的制定，有力促进了我国加氢站的建设和氢燃料电池汽车的发展；
4. **高压储氢装备创新研发。**我国压力超过 35 MPa 的储氢装备长期处于空白，难以满足加氢站、氢燃料电池汽车发展的需要。我校团队主持研制出系列抗氢脆、低成本的全多层储氢高压容器，用于加氢站的 98 MPa 容器，不但容积达到 1m<sup>3</sup>、创国际新高，而且寿命长、成本低、安全性好。

## 14. 微型自主式四旋翼水下航行器

探索 and 开发水下资源是各国的重点战略，“建设海洋强国”战略一探索海洋、开发海洋、保护海洋、管控海洋成为国家布局的重要部分，随着水资源污染严重，监测、探索、开发和治理水与水下资源是社会发展的重中之重，具有广阔的前景，有望成为新兴产业。在水中环境，人类感官作用十分有限，必须要发展一些工具来替代人进行水下作业，水下航行器一直是各国研究的重点。

本成果聚焦低成本可悬停的微型 AUV，配有 4 个倾斜放置的推进器，可协同前行实现高难度控制；而且是无缆水下航行器，活动范围大；并且可以实现直线上升下降，可以悬停，可定深潜。在大范围水域，成群的 AUV，形成中继，协同解决水下航行器在等浅水区域应用的痛点；垂直面短距离高速通讯，可传视频；可聚可散，环境适应力强；浅水低成本方案，适用于江、河、湖、出海口。



微型自主式四旋翼水下航行器

## 15. 石英晶片研磨在线测频系统

电子信息产业是国民经济的支柱产业，石英晶体振荡器在电子信息行业中具有极其重要的地位。中国是石英晶体元器件的生产大国，但是产值、产品质量与发达国家相比仍有较大差距。行业近年来发展十分迅速，对石英晶体元器件生产过程中的加工设备和在线高精度测控设备的需求量也在不断增加。

本项目团队研究了一款石英晶片研磨在线测频系统，利用 DDS 直接数字式频率合成技术和基于 ARM 内核 STM32 处理器研制出一台在线石英晶体频率测量工程化样机，并利用以太网（Ethernet）构建晶片频率研磨车间的机联网。该系统在线测频功能包括自动搜索功能和跟踪测频功能；其中自动搜索功能实现对 SC 晶片当前频率的搜索，并根据自动搜索的不同结果进行不同的处理；而跟踪测频功能包括双频率跟踪功能、单频率跟踪功能、测频参数初始化、扫频参数设置和两个功能之间的切换功能。该系统具有处理效率高、数据精度高，双模频率精准区分的优点。



石英晶片研磨在线测频系统

**技术优势：**

- 1、能够测量 1-100MHZ 晶片在线研磨过程中的串联谐振频率，并保证精度在 0.05%以内；
- 2、能实时显示谐振频率、整盘平均频率、整盘散差、研磨频率变化图；
- 3、实时显示研磨机的状态变化，如研磨液状态、研磨机状态、修盘状态、异常状态等，并结合研磨机的各个状态，判断晶片的研磨情况；
- 4、能够实时控制研磨机的启动停止以及实时控制研磨设备，实现智能控制；
- 5、通过无线网络系统，实现研磨工厂内的机联网；
- 6、提供友好的图形交互界面，方便用户的操作及数据的获取。

## 16. 全自动离线式金属微瑕疵产品检测装备

用于声学动铁片的外观检测、自动分选与数据统计。适合规格从 1.9X1.9mm 到 2.9X2.2mm，涵盖了声学动铁片主流的尺寸规格。

针对动铁片厚度大、质量大等特点，设计了一套独特的动铁片提取，放置机构。针对影响动铁片质量的重大因素，加强了对缺边、气泡等缺陷的检测，尤其是针对气泡问题进行了深入的分析，设计了全新的气泡检测算法，达到了非常好的检测效果。

设备可以完成尺寸不良、垂直度不良、缺边、脏污、表面气泡等缺陷分选。

尺寸重量	815X665X1650mm, 225KG
------	-----------------------

输入电源	220V , 50Hz, 1.8A
气源	0.5Mpa, 100L/min
照明模式	触发照明
检测模式	双相机双面检测
检测项目	尺寸不良、垂直度不良、缺边、表面脏污、表面气泡
检测速度	5000-6000 pcs/h



声学动铁片外观分选机

**技术优势：**

1. 先进的检测算法，提高了检测精度；
2. 多项指标整合检测；
3. 适应动铁片特性的提取、放置机构。

**17. IGBT 模块自动固化设备**

IGBT 模块又称为功率半导体模块，是高铁、新能源汽车必不可少的元器件。除了高铁、电动汽车之外，变频空调、风力发电机等很多用到交流电机的场合，都用得到 IGBT 及配套的这类电路来控制电机。太阳能电厂、电力储能等领域，主要用 IGBT 进行交流电、直流电之间的转换。

我国 IGBT 模块需求占世界总需求量 55%，长期以来全球 IGBT 市场主要由英飞凌、三菱、富士等企业垄断，我国 IGBT 生产设备主要依赖国外进口，进口设备价格高昂、周期长、售后响应慢、维护成本高，提高了 IGBT 的生产成本，并在国际关系复杂的情况下容易被卡脖子，IGBT 生产企业对 IGBT 生产设备的国产

化的需求已是迫在眉睫。

本项目固化炉具有以下功能和优势：

1、可实现自动推拉开（或升降）关门，控温精度可达 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，系统能够自动调取固化炉固化配方，能够自动生成固化温度曲线并保存历史曲线数据，便于产品固化数据的查询；

2、上料输送线上方安装扫码器，当小托盘装载待固化产品运至扫码器正下方时，扫码器读取小托盘二维码，将产品数据导入系统，随后小托盘输送至流水线顶升工位，检测到小托盘后，检测信号发送给上料机械手，上料机械手抓取小托盘放至到中转台装置。产品固化完成后，放置中转台，下料机械手抓取托盘上的已烘模块，放置下料流水线下料；

3、中转台设有双工位大托盘存放座，每块大托盘可放置 4 个小托盘。大托盘搬运机械手将大托盘放入固化炉，产品固化完成后，大托盘搬运机械手将大托盘从固化炉放置中转台。

4、缓存箱用于存储大托盘，用于实现待烘模块大托盘的缓存和周转。缓存箱内设置摆正机构和检测机构。如大托盘位置发生变动，人工或使用气缸将大托盘摆正即可，无需机械手重新放置。缓存区设有堆货的报警提示；

5、开发一套下位机 PLC 控制系统，要求各功能模块能提供良好的软件接口，使总控系统能合理的识别各模块状况。因此应当设计合理的电气接口，电气接口能够给予总控制器标准化的电气信号；控制系统用于多轴伺服联动及逻辑判断控制。固化箱工艺流程结束、温度超标、运行异常报警等通讯信息发送给 PLC、PLC 与触摸屏关联通讯，可显示以上具体信息。同时安装声光报警器，提示固化箱当前状态。PLC 通过得到的信息判断，将指令发给大托盘输送装置及小托盘输送机械手进行相关动作；

6、上位机软用于产品上下料周转逻辑控制，并对产品周转状态以及产品固化曲线等数据进行数据库存储，方便数据的查询。自动化控制系统 PL 与 EAP 系统通过 SECS/GEM 通信，发送接受启动停止信号，PLC 反馈运行中的所以状态给 EAP 系统。PLC 通过 485/网口串口与扫码器、固化炉进行连接通讯，传输加热时间与托盘扫码信息。





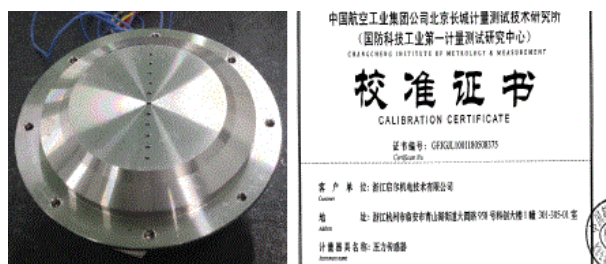
IGBT 模块自动固化设备

**技术优势：**

1. 产品烘烤品质高：由于采用与国外自动烘烤方式不同，烘烤温度精度更高、胶水固化无荡漾纹路；
2. 柔性化生产：不同产品可以混线生产，适合各种负荷的产量要求；
3. 易于扩线，扩线成本低：只需要增加烘箱及导轨的长度即可；
4. 占地面积小：整体尺寸长\*宽\*高为 4000mm\*3100mm\*2700mm；
5. 全自动化生产线：托盘内部流转无需人工干预，可实现无灯工厂；
6. 可靠性高，维修成本低，可不停产分部分维护；
7. 风险可控：极端情况下也可以人工操作不影响生产；
8. 成本低：价格仅为国外进口设备 1/3。

## 18. 超薄缝隙流场微压流场直接测量传感系统

超薄缝隙流场在自然界及流体机械中普遍存在，其微观流体行为规律与普通的流场有着明显的差异，揭示缝隙流场的规律不仅对光刻机浸没流场控制有重要意义，同时也对发展其他高性能流体机械的研究有积极意义。



鉴于浸没单元产生夜魔透镜厚度小（最小处 100 微米），并且流场压力在“0”压附近波动（主要工作压力范围-500Pa—+500Pa），测量过程中超薄缝隙流场的高保真性能必须得以保证，测量系统设计与集成受到流场平滑性能的严峻挑战。

浙江大学团队揭示了超薄缝隙流场微压传感阵列空间密度设计约束条件，研究揭示不改变流场状态的最优导压孔面积占比；揭示了单端封闭小孔顶部压力受流场微压影响的规律。一微压测量中，液体的表面张力和材料特性将极大地影响测量结果的准确性；垂直于流场方向导压孔中的流体行为受导压孔线径影响明显，当线径小于 1mm 时，以观察不到孔内的循环流动行为，孔内液柱如同钉扎行为。

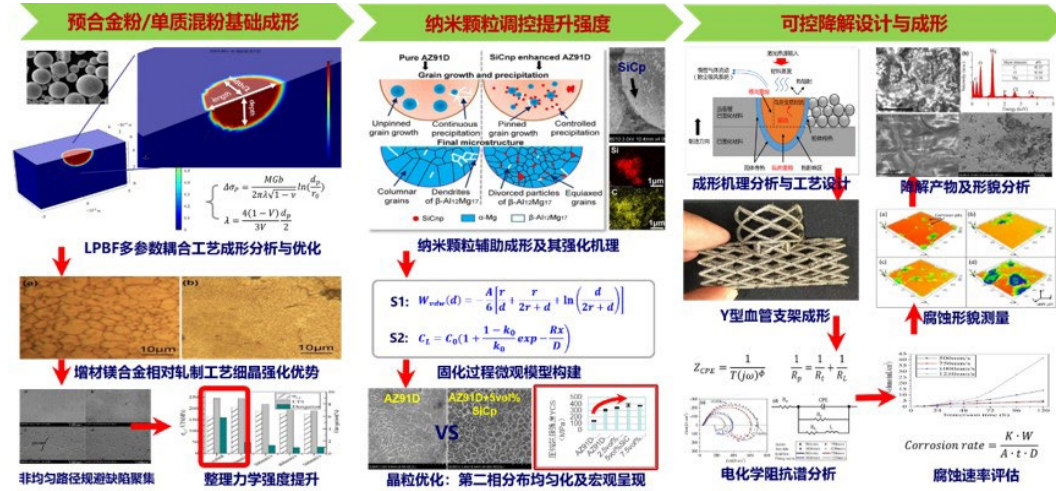
课题组为满足浸没流场感知的信息需求，创新设计了多层复合的离散微压检测传感阵列。在缝隙流场空间限制和液力平滑要求的约束下，创新了悬浮式流场剪切力测量 MEMS 单元设计方案，优化确定了 MEMS 工艺流程，模拟及初步测试结果显示理论剪切力测量灵敏度可达 1pa。

## 19. 提升镁合金增材制造柔性理化性能调控工艺方法

针对镁合金在医疗植入物增材制造中面临的力学强度不足、降解速度过快的突出问题，浙江大学研究团队从成形机制入手开展工艺优化研究，通过运用细晶强化、优化材料组分、添加增强相、优化工艺参数等措施大幅提升镁合金制件力学性能，打印制件强度已提升至传统工艺的 279%；进而，通过建立微观缺陷、宏观腐蚀形貌与工艺参数之间的映射关系，构建了镁合金增材制造抗蚀工艺调控策略，实现了增材制造镁合金体外降解速率的大范围可控调节，为进一步医疗应用奠定了基础。同时，针对增材工艺中性能保障和质量监控需求，提出了基于 AI 方法的 X 射线内部缺陷检测、基于激光面扫描点云与模型动态匹配的成形精度检测方法，有效保证了增材制造过程制件质量，**预合金粉成形致密度达到 98.1%**（与



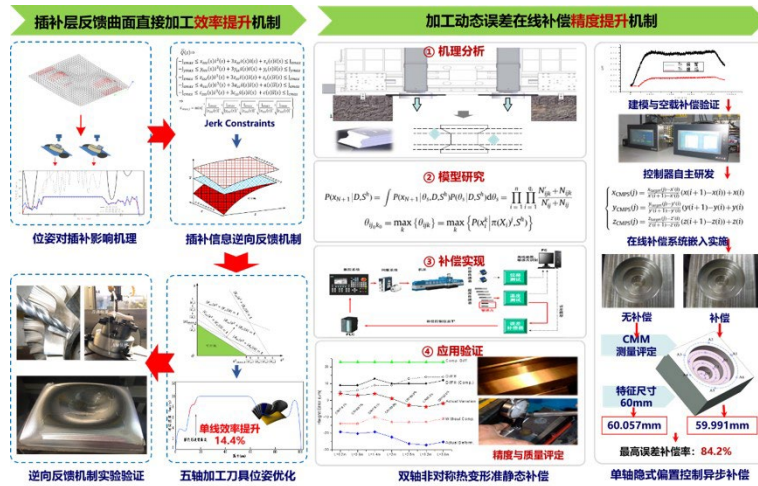
国内外报道最高水平相当)，单质混粉成形致密度达到 96.3%（国内外报道此前最高 82%）。



相关研究成果发表在 *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 等国际期刊上，并获得 1 项美国发明专利授权。研究工作已与相关医疗研究机构开展合作，正在开展镁合金接骨板动物实验样件增材制造研发工作，推进体内试验与临床应用研究。

## 20. 数控加工减材制造误差补偿与一体化高效插补技术

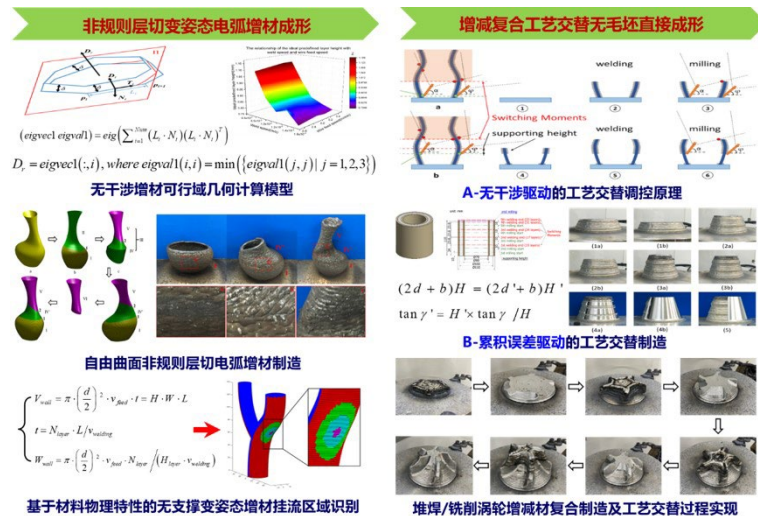
针对零件高精度切削加工需求，浙江大学研究团队设计了面向动态热变形误差的离线建模、在线补偿控制方法，研发了基于隐式偏置控制的在线补偿控制器，单轴单点热误差补偿率达到 84% 以上，超过文献报道 65–75% 左右的平均补偿率，实现了加工精度的显著提升。针对复杂形面构件加工中平稳性要求高、效率提升需求迫切的现状，创新现有铣削加工工艺规划及制造模式，提出了动态性能驱动的曲面直接插补机制，打通了 CNC 系统向 CAM 系统进行插补质量逆向反馈的信息通道，使得复杂曲面五轴加工平均效率提升超 9%，在保证加工过程平稳性的基础上从工艺规划源头提升了制造效率。



相关研究成果发表在 *Journal of Intelligent Manufacturing* 等国际期刊上，相关理论成果获得浙江省机械工程学会自然科学学术奖一等奖。

## 21. 变姿态增减材复合制造新工艺体系及形效控制方法

针对航空航天领域功能构件内部结构复杂、常规切削过程材料去除率高等问题，申请人提出了基于变姿态堆焊毛坯与铣削加工复合的增减材制造方案，通过对可持续堆焊有条件稳定机理的阐释与掌控，获得了毛坯精确持续堆焊的稳定控制方法，将持续堆焊层高累积误差控制在了 1mm 以内。另一方面，围绕复合制造中增减材工艺交替规划需求，提出了几何干涉与累积误差双重驱动的工艺交替时机规划与控制方法，有效保证了复杂构件高精度成形，大幅提升了增减材复合制造的几何适应度，实现了 300mm 以内复杂构件一次性无毛坯准确成形。



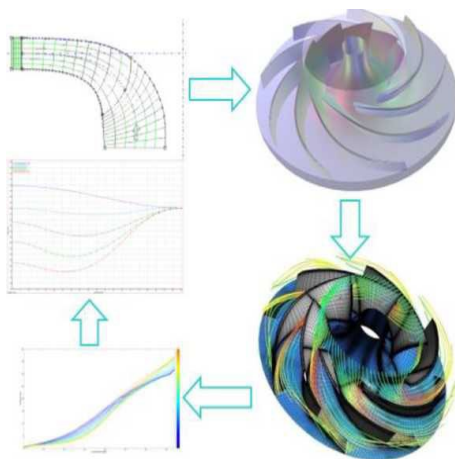
相关研究工作成果发表在 *Additive Manufacturing* 等国际期刊上。开展的基于机械臂变姿态平台的新型增减材样机研发工作得到浙江省重点研发计划项目支持。

## 22. 高效低噪分机设计和诊断技术

机泵产品每年耗电量占全国总发电量的 20%左右，是耗能大户。风机/泵在运行时，实际工况多变，如果在非设计工况下运行，会导致效率、可靠性、寿命降低。此外，噪声严重影响泵的使用效果和使用场景。

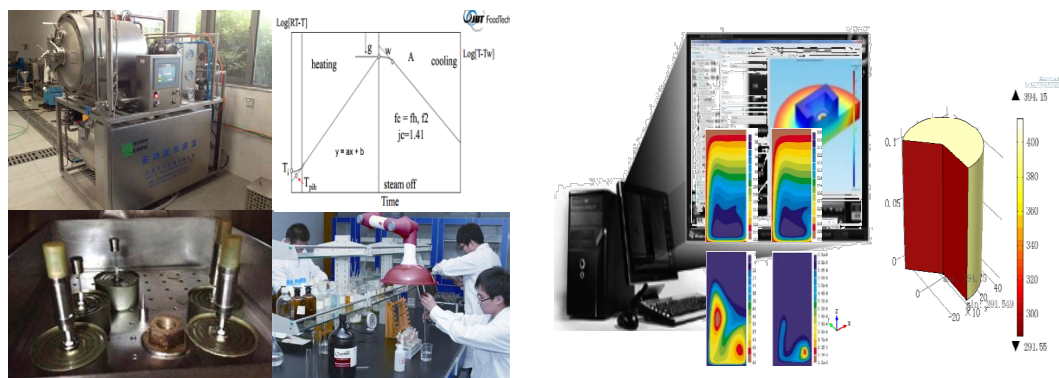
效率与振动是泵与风机等流体输送设备的主要技术指标，与此同时振动也直接影响着阀门作为流动控制部件的调节精度。现有通流部件设计更多从提高效率的角度出发的，对其振动指标缺乏足够的关注，尚未形成系统的低振动通过流部件设计方法。本技术在过流部件设计上突破现有模型库和设计理念，通过研究流体机械内部流动机理、液力过程及能量转换机理，利用 CFD 分析和三元流设计工具来开发高效、低振动过流部件模型。

轨道交通风机主要应用于隧道通风排烟系统、车站通风空调系统和车辆段通风空调系统。本项目成果基于对地铁站点的典型关键风机组群进行健康状态预测性维护。能够实时、远程监测和诊断典型故障类型，适用于关键风机组群，例如隧道通风排烟系统和车站通风空调系统的风机设备，包括区间隧道风机、车站排热风机、车站通风空调系统的大系统和小系统风机。本项目通过对上述轨道交通通风关键风机设备运行安全的监测和节能优化的研究，积累大量数据，并经过在试点车站的实践基础上，总结风机设备的安全导则，开发风机安全监测平台，建立风机设备的安全评价体系，最终进一步提升风机设备系统运行的安全性、可靠性和经济性，实现轨道交通安全、绿色运营。



## 23. 食品热力杀菌智慧节能系统及装备

随着人民生活水平不断提高，生活节奏加快，人们对方便、营养、快捷的预制包装食品需求快速增长。热力杀菌是预制包装食品安全保障的关键因素。目前虽然 HHP、PEF 等冷杀菌工艺逐渐商业化应用，但是热力杀菌由于其有效性、方便性等优势，仍然是使用最广泛的杀菌方法。本系统装备是科研团队通过对传质传热、营养品质等变化进行全流程、全场次的精确分析，同时通过模拟仿真与智能算法优化，精准提升能耗效率和精度而开发出来的新型智能化装备。



### 食品热力杀菌智慧节能系统装备及模拟仿真

预制包装食品主要应用于抗旱、防汛、救灾等应急、野外、军需、航空航天等领域的预备食品。

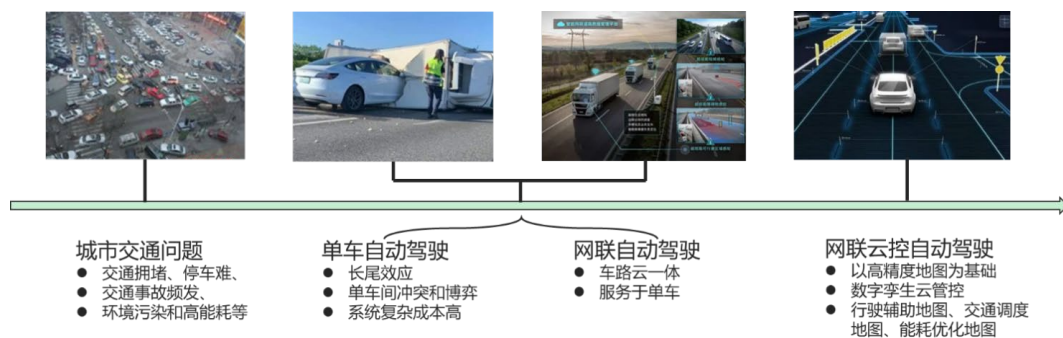
**技术优势：**精准杀菌、减少品质下降；自主纠偏、降低生产损耗；装备具有较高的智能化水平。



# 信息通信

## 24. 网联云控自动驾驶中的数字孪生地图研究

现有自动驾驶技术路线可以分为两类，一类是以整车制造企业为主的单车智能自动驾驶，例如长安，蔚来，小鹏。另一类是国家战略层面推进的车路协同自动驾驶路线，通过智慧的路来服务聪明的车，提升车端的感知能力，如图所示。由于混流交通的复杂多变性，这两类自动驾驶仍未大规模落地应用。为此，我们提出网联云控自动驾驶，利用三维重建、软件定义、路权规则分配、交通数字化技术，给自动驾驶车辆提供一个安全、高度有序化的行驶场景。实现网联云控自动驾驶的关键技术之一是数字孪生地图。数字孪生地图是以静态高精度地图为基础，通过与三维重建的物理场景相结合，形成完整地理空间的静态数字孪生表征，再将传感器采集的实时交通参与者信息或者各个终端的计算结果映射至静态数字孪生场景，为场景内各个角色创建全息实时的孪生体，为云端实现全要素全过程掌控奠定了数字基础。借助数字孪生地图、云端超强计算能力，网联云控自动驾驶可在数字孪生地图里进行基于多车多场景在环仿真，保障交通网络高效、低碳运行。



自动驾驶路线发展

## 25. i3DBody: 多视角精准人体体形三维重建及应用

人体尺寸数据是国家最基础的工程数据，是产品造型设计和空间布局设计的基本依据，其应用涉及服装、家具、制造等多个行业。i3DBody 是一种通过手机

拍摄多角度人体视频，基于视觉测量、深度学习、云计算等实现三维人体重建以及多维度人体尺寸测量的人工智能技术。相比传统的基于正交成像的三维人体重建技术方案，i3DBody 采用多视角成像融合深度学习回归技术，能够实现相机任意拍摄姿态、人体随意站姿等情况下的准确三维人体重建和尺寸测量，可减少用户使用过程中对拍摄和站姿的约束，优化用户体验。由于具有零投入、非接触、智能化、约束少、可交互等特点，适用于解决消费互联网场景下对三维可视化人体、尺寸测量、体型评价与建议等方面的需求。

通过人工智能的技术创新，能够让消费者零投入、方便快捷的获得精准的三维人体体形数据，并提供体形量化评价、历史数据对比、预期体形规划与路径引导等服务。通过提供人体体形的数字孪生系统，构建体形数据的精准化数字映射以及可驱动的动作路径，面向健身爱好者提供高度交互的生态管理平台。

目前，各大品牌服装商、体育健身品牌、母婴品牌等均沉淀有私域流量，对其运营的质量是决定品牌发展的关键。个体化的人体重建、尺寸测量、体形评价，以及动态的体形变化轨迹等是用户选购品牌产品的重要决策依据，并和品牌商的产品尺码以及产品定位直接相关。

本项目具有光电传感和数字时尚交叉融合的特点，以自身体形的重建和测量为核心服务于广阔的个性化市场，以沉淀人体三维数据资产，挖掘应用价值。

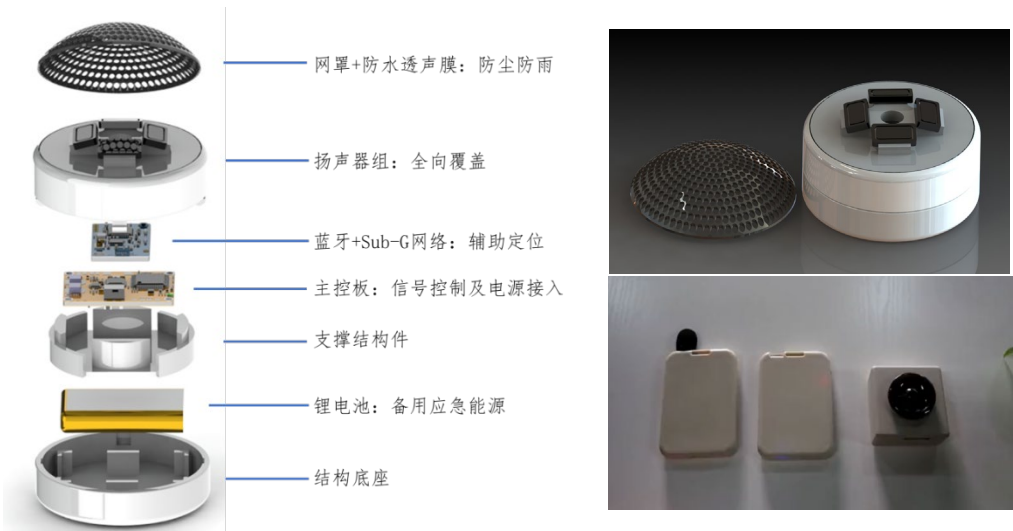
## 26. 亚米级声手机定位与博物馆导览应用

我国博物馆每年推出大量的精品陈列展览和临时展览活动来吸引更多潜在观众。然而由于观众参观目的并不完全相同，从而导致迷路成为了参观的常态。而更为重要的是，由于展览较多、场馆复杂，观众往往无法准确确定自己的位置，通过常用的告示牌等手段很难实现动态疏导观众的参观路线、应急人员疏散和安保人员管理。因此，当前的博物馆在室内导览方面仍有很大的需求。

针对这一问题，本项目提出了基于手机声定位的亚米级博物馆导览应用。该技术通过布置定制的声波基站，与观众的手机微信小程序形成互动，实时展示游客的实时定位。结合该功能，进一步实现展品附近的实时语音导航和紧急疏散线路动态规划。在技术层面，该系统通过检测每个声波基站近超声的到达时间差（TDOA）利用最大似然法实现精确位置定位。利用 Bi-LSTM 算法实现异常信号的剔除。利用室内矢量地图编辑器实现准确的定位信息融合。相比当前博物馆流行的手机扫码和蓝牙导览系统，该系统在实时性、安全性、系统容量和人机上交互

方面均具有显著的提升。通过实地验证和测试可以发现，该系统具有很强的鲁棒性和应用性，可以实现室内博物馆、纺织厂、体育馆等复杂大空间的人员精确导览。

亚米级近超声定位系统经过了近 10 年迭代，硬件经过了 5 年迭代，突破了声学定位领域的 5 大难关，已具备 3 代原型产品。



硬件主要为声信号定位基站、同步 sink 节点及上位机构成

## 27. 国产全平台远距离高速水声通信机

远距离高速水声通信是大范围水下无线信息传输的重要手段，对大范围水下联合搜索、探测开发、科研观测和国防都具有重要意义。当前，国外的远距离高速水声通信设备普遍体积重量较大，抗移动性能弱，水下高速移动平台搭载困难，且高技术指标的型号对国内禁售，严重制约了我国先进海洋装备信息化程度的发展。



经过十余年奋战，浙江大学海洋学院研究团队研制出具备体积小、功耗低、抗移动性强等特点的远距离高速水声通信机，在云南抚仙湖和浙江舟山近海试验中分别实现了远距离高速率的相干通信，突破了同类水声通信机全球最高性能指标，也标志着我国自主远距离高速水声通信技术突破了国外封锁，实现了技术超越。相关技术成果对我国水下装备信息化做出了突出贡献，为我国海洋科学研究，开发利用，抢占海洋信息高地等需求提供了新的技术保障，加快了海洋强国的建设步伐。

研究团队采用自主设计的抗多普勒频移水声通信算法，使得该水声通信机具备搭载在水下高速潜器上工作的能力，水下高速潜器的通信自此步入“5G”时代。

在提高设备关键性能指标的同时，研发团队还努力将设备体积和重量缩小到最大程度，第二代产品与矿泉水瓶大小相当，使其便于被蛙人携带，并适用于各类水下机器人、潜器、水下无线传感器节点等平台。设备还具备自适应工作模式切换、自适应调制方式切换、心跳包机制和数据重传机制等特色功能，对工作环境的适应性更强。

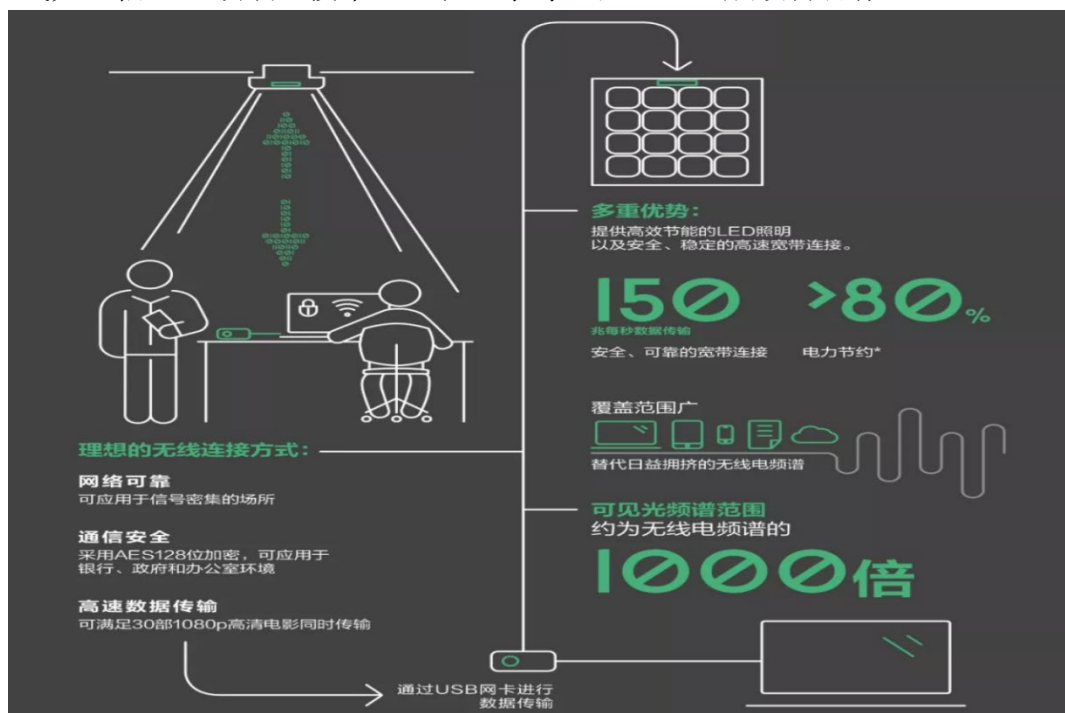
试验结果表明，在相同传输数据（图片或文本）、更低的发射功耗、更低的体积和重量下，浙大自主研发的水声通信机在相近通信速率时的通信距离大幅超过了国外同类产品。



## 28. 无线光通信技术

随着信息化社会的到来，通信技术得到了日新月异的发展。光纤通信因为能传输高速率的数据成为广域通信网的骨干网络，如今在广域通信网中 80% 以上的信息是通过光纤传输的，但是大量设备连上光纤后显得十分杂乱，且在大型施工时会将光缆挖断，使工作量加大。而无线光通信在业内又被称为自由空间光通信，它的出现可以在一定程度上同光纤通信进行互补，这是因为它具有施工、带宽、成本等多方面的优点，被誉为“虚拟光纤”通信。

浙大团队开发的水下无线光通信样机已经多次参展，产品在国内市场尚无竞争对手。与 Sonardyne 产品技术指标对比：传输速率是其 10 倍以上（核心技术：信号处理）、传输距离是其 2 倍以上（核心技术：光子计数）、成本低于其同类产品报价的 1/10；关键技术指标处于世界领先水平。项目团队长期深耕无线光通信这一领域，技术上已和山东等地区企业达成项目合作。



无线光通信技术

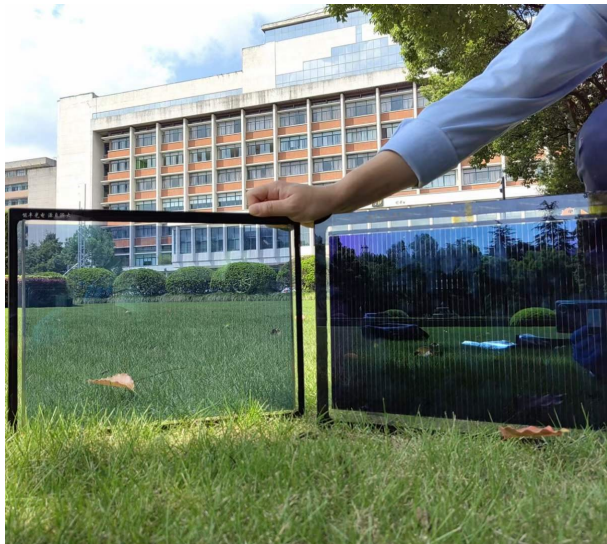
本项目可应用于室内高速无线通信、水下高速无线通信、定位导航、军工、石油化工、能源电力、航空航天、智能制造以及智能家居等场景。

### 技术优势：

1. 与 Sonardyne 产品技术指标对比：传输速率是其 10 倍以上（核心技术：信号处理）；传输距离是其 2 倍以上（核心技术：光子计数）、成本低于其同类产品报价的 1/10；
2. 关键技术指标处于世界领先水平：海水中实现 200 m/200 Mbps 的激光传输。

## 29. 有机光伏透明组件

有机太阳能电池在旋涂制备的原型电池上取得了极大的进展,但仍面临巨大的挑战,尤其是大面积的制备。浙江大学高分子研究团队通过双层合并退火的方式,制备了高性能不透明和半透明有机太阳能电池组件。



项目中试样品—有机光伏透明组件(左图)和不透明组件(右图)

项目分别在有效面积  $18.73\text{cm}^2$  的模组上实现了 14.79%和 12.01%的效率,是迄今为止最高的光伏模组效率,结果成功收录在 Solarcellefficiencytables(version59)。

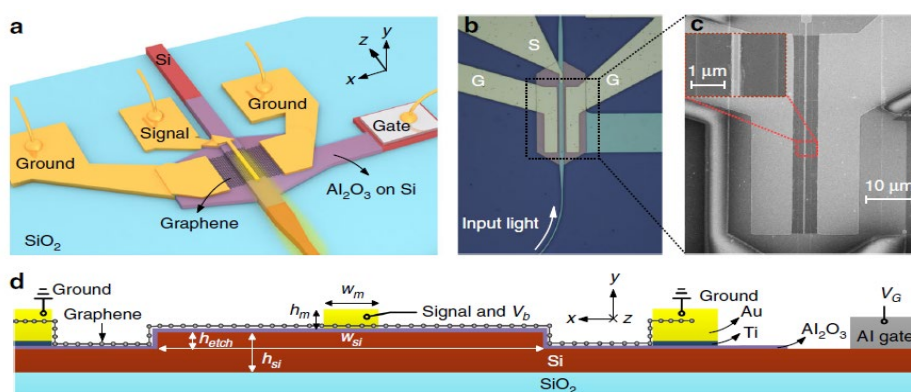
研究结果表明,双层合并退火策略有效解决了极性电荷传输层溶液和非极性体异质结混合物之间的失润问题,从而提高传输层的覆盖率,以及与活性层的欧姆接触。与小面积原型器件相比,在面积放大了 312 倍后,在空气中制备的有机太阳能模组仍然保持了较高的光电转化效率。该研究成果为在空气条件下制造高性能有机太阳能模组提供了一种简单有效的方法。

可视透明节能光伏幕墙,未来可期!

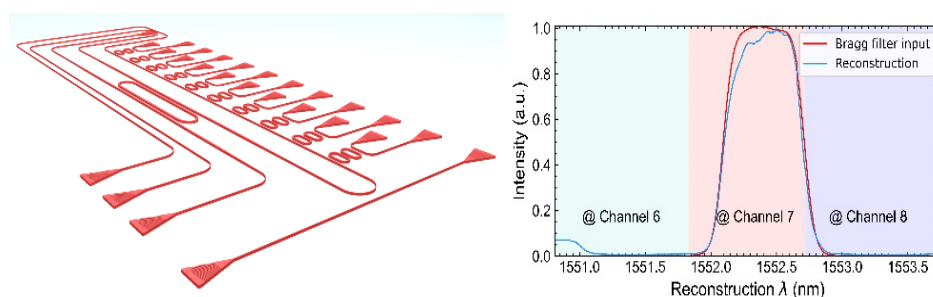
## 30. 红外气体传感器技术及应用

红外传感器技术是近年来发展较快的技术之一,红外传感器目前已广泛应用于航空航天、天文、气象、军事、工业和民用等众多领域,起着不可替代的重要

作用。红外线，实质上是一种电磁辐射波，其波长范围大致在  $0.78\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}$  频谱范围内，因其是位于可见光中红光以外的光线，故而得名红外线。任何温度高于绝对零度的物体，都会向外部空间以红外线的方式辐射能量。利用红外辐射实现相关物理量测量的传感技术，即为红外传感技术。本技术基于分子振动和转动的一次谐波吸收进行分立能级，吸收强、吸收谱窄、指纹区等进行高灵敏探测辨识，并通过低折射率材料波导与覆盖涂层等方式增加传感器的检测灵敏度，同时采用覆盖有高孔、边界分明、介孔  $\text{ZnO}_2/\text{SiO}_2$  纳米颗粒的硅波导结构聚集气体分子，提升相互作用效果。



硅基集成二维材料光电探测器



微环型光谱仪及频谱

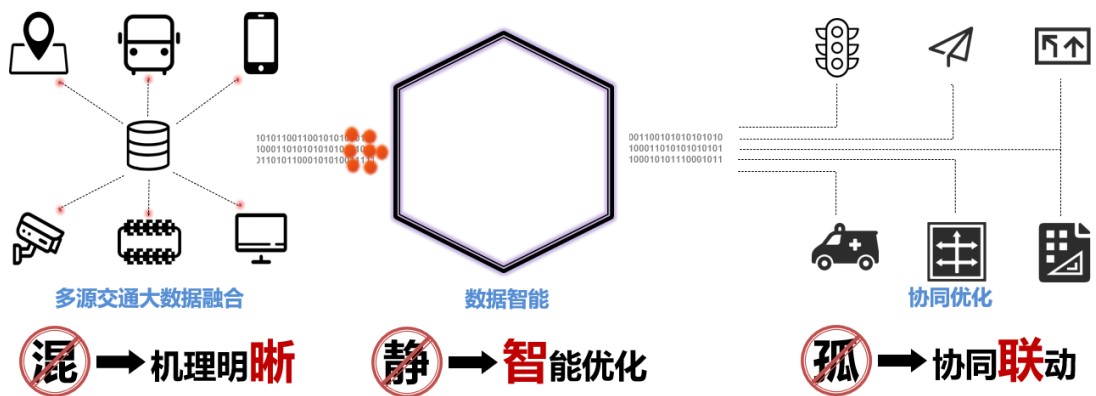
在气体污染物监测领域可用于户外环境成分分析、城市空气质量监测、工业过程气体监测等；在医疗领域可用于便携式呼吸疾病监测、车载式空气检测系统、居家疾病辅助诊断、呼吸疾病快速诊断、新冠病毒实时监测；在军事航天领域可用于爆炸类/有毒气体快速监测、太空/星系环境成分分析、飞船内部气体成分浓度监测等。

#### 技术优势：

在红外气体检测方面实现了更低成本、更小尺寸、更加灵敏、更快响应、更多参量的实时检测感知，在设备设计方面实现了高集成化、可便携化、可穿戴化、可扩展化、可定制化。

### 31. 城市交通智能管控与决策支持关键技术

我国交通运输能耗占比 10% 左右，远低于发达国家的 20-40%。交通拥堵导致了交通事故、出行延误、尾气排放、燃油消耗等诸多社会问题。目前交通拥堵主要存在着以下问题：（1）成因含混：缺乏对拥堵成因分析，拥堵成因不明，现有数据不足以支撑获取路网交通运行规律；（2）优化静态：基于经验和人工优化，而且以静态优化为主，缺乏动态调控与智能优化；（3）系统孤立：多系统管控不协同，缺乏时空协同、动静协同、管控与政策协同。本成果围绕城市交通运行机理、智能管控与决策支持核心技术研发，形成了“出行需求分析-路网状态预测-网络瓶颈识别-智能交通管控-协同决策支持”一体化的城市交通智能管控与决策支持理论与技术体系。



目前该系统已应用于杭州、绍兴、北京等 100 多个城市，20000 多个交通交叉口。未来可持续应用于城市交通路网、城市交通智脑、信号机、高德地图、滴滴等手机软件，实现城市道路网络的建管效率提升及城市交通出行结构优化。

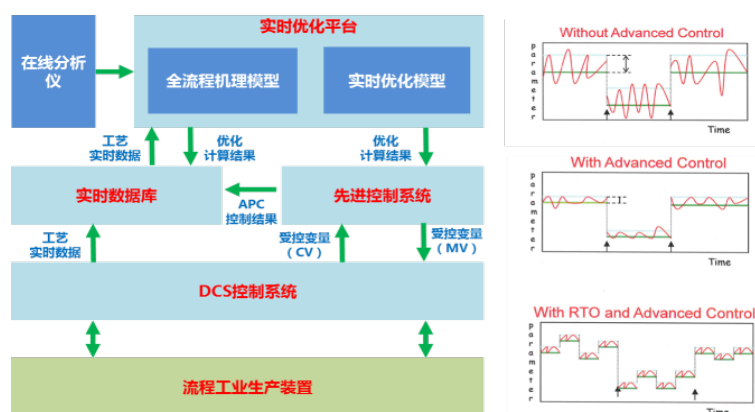
#### 技术优势：

1. 提出了城市路网交通需求预测、状态演化与瓶颈识别理论与方法体系；
2. 构建了大数据驱动的城市交通智能管控技术体系，破解了城市交通区域自适应动态优化控制的难题；
3. 研发了基于系统动力学的城市交通建管决策支持系统平台，实现了城市道路网络的建管效率提升及城市交通出行结构优化。

## 32. 基于工业大数据的新型智能工厂解决方案

以 ERP、MES、PLM 为核心的基础工业软件正在普及，大型工业企业已基本实现数字化，基于大数据和人工智能技术的制造智能化正在路上。本技术主要专注于工业大数据和人工智能技术与流程类制造业的深度融合，使传统生产车间改造成安全、绿色、节能、高效的智能工厂，为中国制造智能化提供制造标准和系统解决方案。

本项目通过控制智能、操作智能、能源管理智能、计划调度智能、运营智能打造安全、绿色优质、高效智能工厂。其主要利用物联网技术实现设备间高效的信息互联，基于海量数据实现智能化分析，引入基于计算机数控机床、机器人等高度智能化的自动化生产线，实现数据录入的实时性以及对于货物出入库管理的高效性，并能显示生产的实时动态，同时，操作人员可远程参与生产过程的修正或指挥。



智能工厂控制流程

本项目适合具有生产车间或者生产园区的大型工业企业。

### 技术优势：

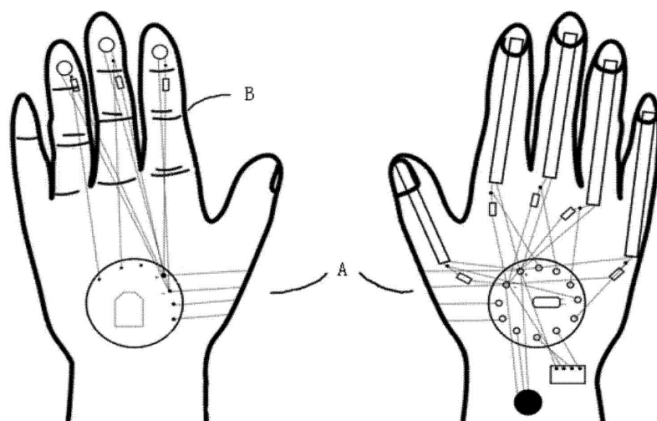
1. 控制和操作智能化：仅以智能化领先的中国石化为例，下属 30 多家炼化企业就有上千套装置，控制智能化率只有 30%，操作智能化刚开始；国内适合智能化的装置数量在百万级以上。
2. 能源管理智能化：适用于各类工业企业和园区的各种能源介质，能源系统的数量不可胜数，单位节能量高于 2%，节能空间巨大。
3. 计划调度和运营智能化：适用于企业和园区整体，目前国内几十万家规模以上工业企业智能化率不到 5%，市场前景广阔。



### 33. 基于数据手套的跨设备交互技术

虚拟现实 VR (Virtual Reality) 是利用计算机生成一种模拟环境, 使用户沉浸到该环境中。如果能直接使用手与虚拟世界进行交互, 将日常生活中获得的经验直接运用到交互活动中, 则可以充分提高虚拟世界的可操作性, 并可在虚拟世界中完成更复杂的任务, VR 手势输入设备也就由此诞生, 它的出现为人与虚拟世界交互中充分发挥手在交互过程中的自然性、灵巧性和适应性创造了条件, 使基于手势的交互技术的实现成为可能。

数据手套是一种通过软件编程, 在虚拟现实环境中实现抓取、移动、旋转等类似于真实环境中的物理操作及反应这些操作所带来的触感的一种多模式虚拟现实硬件。利用其本身的多模式特性, 可以成为一种控制场景漫游和操作的工具硬件。基于数据手套的跨设备交互技术含有 9 个电容极板, 用于检测手指关节状态, 能实现对目标物体的导电、形状、大小等属性识别; 其人机交互精度接近鼠标精度, 可避免手势遮挡、空间站位等问题。



基于数据手套的跨设备交互技术

本项目可应用于数据可视化领域、工业机器人领域、教学、博物馆等。

#### 技术优势:

1. 实时检测用户手部活动, 辅助提升产品交互性;
2. 采用红外线测距, 通过测量反射光线图案测量距离, 精度多在毫米级别。

### 34. 产品质量检测与控制系统

本系统针对复杂电机产品在设计研发、制造、装配等过程中存在的质量问题,

通过大数据计算优势研究了正向质量配置与逆向缺陷预防相结合的设计方法、数字化检测与网络化监测方法，同时针对问题驱动的预防性质量控制方法，以及质量系统与技术系统紧密融合的知识化体系工程方法进行了深度优化。特别是在轴承、灯管、齿轮削磨方面的质量稳定性有突出把控能力。且本系统可加装在高速磨床、锻机、自动矫直机中实现远程运维，利用数据化更加直观显示质量稳定水平。



### 产品质量检测与控制系统

本系统可应用于电机多工位自动测量与多参数综合测量以及测量结果自动分选。

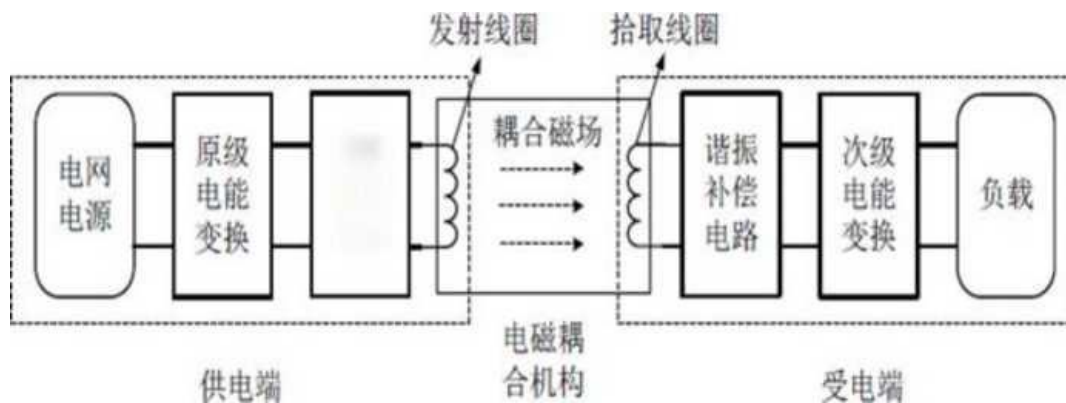
#### 技术优势：

高速 CCD 视觉检测、高精度拉力检测、可变角度与速度机械分离、模拟工况的可变负载机构、电磁分离检测系统、SPC 应用技术研究。

## 35. 电动汽车智能充电技术

随着新能源汽车在家庭用车、公务用车、公交客车、出租车、物流用车等领域的大量普及，中国新能源汽车年销量在汽车市场总需求量占比预计将从 2020 年的 5% 增长到 2025 年的 25%，困扰新能源汽车行业的主要瓶颈是充电难问题。

浙大团队研发了电动汽车智能充电技术。该项目包括交流充电桩、直流充电桩、无线充电系统，并在此基础上开发了开发了充电云商务平台，能够利用手机进行充电桩定位、预约充电与付款等业务，充分解决了电动汽车充电难的问题。



无线充电电磁感应充电原理结构图

本项目主要应用在公共交通、停车场、社区、商圈。

#### 技术优势：

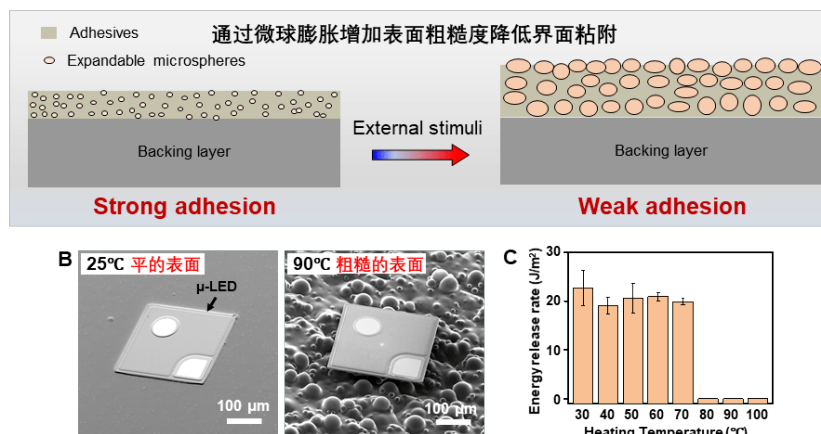
使用便捷、使用安全、节约成本。

## 36. 超薄功能器件大面积、可编程转印技术

柔性无机电子器件在全球范围内得到广泛关注，然而，柔性无机电子器件必须通过转印技术将无机薄膜从其生长基体上剥离并转移到柔性可变形衬底上。随着功能器件的厚度减小和转移数量的增多，该技术成为当前制约柔性无机电子器件大规模制造和产业化应用的关键难题，以可编程的方式以高产量大面积集成超薄和精致的功能微对象仍然是一个巨大的挑战。

浙大团队利用微球在外界激励作用下体积发生膨胀来改变转印印章表面粗糙度，从而减小功能器件与印章之间的接触面积，降低界面粘附来完成转印。通过与激光加热设备相结合，该方法可以实现可编程、大面积选择性转印集成的功能，再通过可编程地转移印刷硅薄膜、硅薄膜光电探测器和超薄 Micro LED 芯片阵列以及大面积选择性地转移印刷柔性应变片和表面声波器件阵列等，展示了该方法广泛的适用性。





转印印章粘附调控机理示意图及性能展示

本项目在可穿戴健康监测、柔性显示、人机界面等众多领域都有着重要应用。

### 技术优势：

1. 形状自适应、可主动驱动的表面微结构印章提供了一种简单、低成本且适用范围广的转移印刷技术，用于可编程和大面积的转移印刷，具有较高的可靠性和转移效率；
2. 以热释放胶带印章为例，展示了该方法在印章粘附调控性能、稳定拾取以及高效转移超薄功能器件上独特的优势；
3. 可编程的高效转印集成方法，突破了现有转印技术的局限性，能够实现几百纳米到几微米厚的超薄功能元器件的大面积、可编程高效转移印刷。

# 能源环保

## 37.城乡新型智慧零碳物流系统技术与产业化

第三次能源革命其主要宗旨：选择可再生能源、发展互联网技术，同时在国家双碳政策的实行下，碳中和、碳达峰成为我们的低碳发展目标，我国计划在2030年实现碳达峰，为响应国家号召，相关技术开发刻不容缓。同时在智慧城市/乡村、智慧园区、智慧工厂、智慧社区、智慧校园等新建或改造，对自动驾驶相关产品的落地部署，有迫切的需要。

为此团队研发了城乡新型智慧零碳物流系统技术及其产业化应用。

### 1. 氢能自动驾驶物流车关键技术

纳米合金固态储氢技术稳定性好，材料性能不衰减，抗中毒能力强，即使衰减，也可以再生处理。是全球领先的常温低压（安全）、可量产的纳米合金固态储氢技术。解决了行业痛点难点：安全环境下的氢气高密度存储。

### 2. 数字化自动驾驶关键技术

线控底盘是自动驾驶的执行系统，在通信功能上，需满足车路云协同要求，在场景环境感知、定位循迹、车控等功能上需稳定可靠再结合场景数字化建模、传感感知-定位导航-车控循迹、仿真平台及场景数字孪生、云平台运行等多项技术相结合实现自动驾驶技术。

### 3. 固态纳米储氢系统

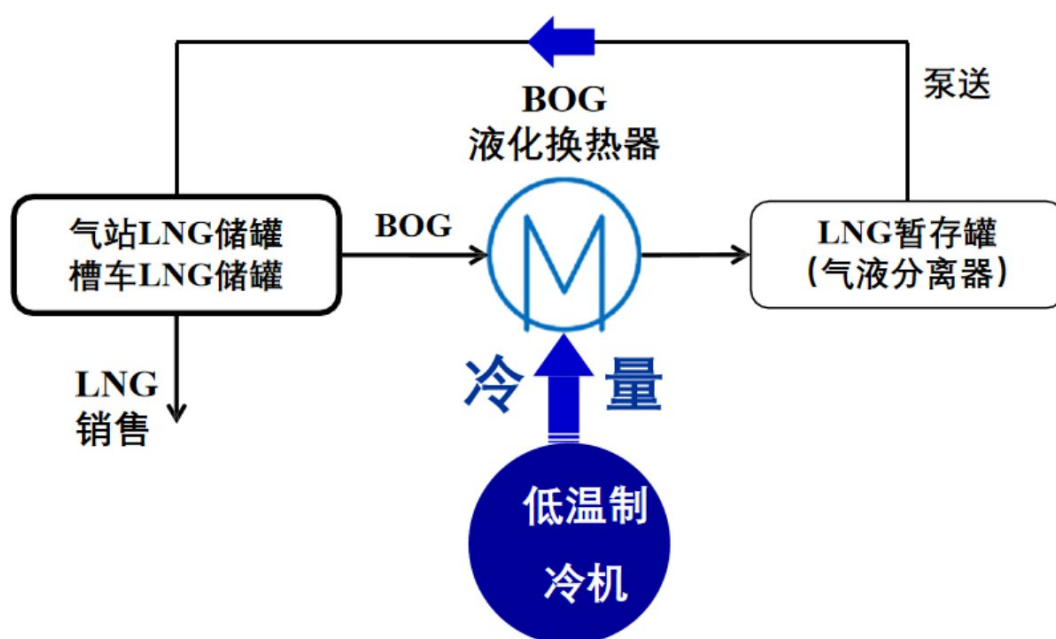
第二代燃料电池自行车，采用小于1MPa纳米固态储氢系统，安全可靠。具有智能管理控制系统，采用全新的通用动力控制架构（PGA），实现一键开/关机、燃料电池工作状态及储氢量、车辆运行状态和续航里程可视化。集成定位和信息传输功能，可实时上传车辆位置、运行状态、故障信息等。

有了技术的支持，接下来为实现其产业化需做出一系列规划，首先在政策上针对车、路、云协同发展出台了连续、系列化支持鼓励发展政策，针对具体应用场景出台应用具体标准细则，这使得城乡新型智慧零碳物流系统技术的产业化受到了极大的鼓励。同时自动驾驶的潜在市场巨大，规模达数万亿，我们将从封闭园区的场景数字化自动驾驶落地、复制推广，逐步扩大单区范围，多区连接成片，最后实现全栈全域的自动驾驶出行物流。

### 38.天然气甲烷放散气的低温自动液化回收技术

目前，社会对于液化天然气的需求越来越大，其应用的价值也逐渐变大。但是我们要更好地将天然气进行利用，就必须要进行相关的杂物清除，将液化天然气进行存储，能够更好的减少相关存储体积，也能够便于运输。然而在 LNG 船舶、槽车运输过程以及 LNG 加注、卸载过程中，由于环境温度和低温 LNG 之间的巨大温差产生的热量传递，加气站系统的预冷以及其它原因，低温的 LNG 会不断受热产生蒸发气体(简称 BOG)。放散的甲烷气易燃，如果集聚，遇到火星将引起爆炸；并且造成一定的环境温室效应、噪音污染和能源浪费。因此，要做好天然气的运输的安全性，进一步提升其安全技术的创新和应用。

本技术研究提供了 LNG 挥发气的低温液化回收技术、加气站 LNG 挥发气低温液化技术和槽车余气(BOG)低温液化回收技术等方案，更好的将 LNG 设备产生的气态天然气冷凝，消除明火爆炸隐患；简化 LNG 设备操作流程，避免天然气设备的人为操作失误；大大减少安全阀开启次数，提高安全阀的可靠性和寿命；降低储罐等气站设备的运行压力和压力波动范围，提升设备安全性，延长使用寿命。



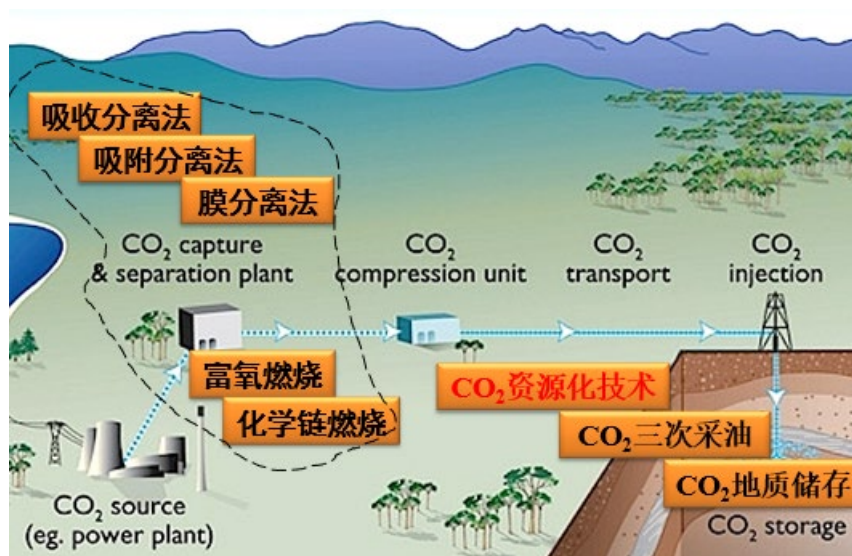
#### LNG 挥发气的低温液化回收技术

主要应用于 LNG 船舶、槽车运输过程以及 LNG 储备站、LNG 加注、卸载过程中。**技术优势：**低温制冷技术；低温传热和绝热技术；低温流体输送及控制。

## 39. 二氧化碳捕集和利用技术

2019 年，我国碳排放量位居全球首位，远高于世界平均水平。2020 年，经过近 10 年的碳减排工程实施，我国碳排放量增长速度有所减缓，但总量仍居高不下。二氧化碳捕集、利用与封存技术（CCUS）是现阶段唯一能大幅度减少化石能源二氧化碳排放的技术，在众多二氧化碳捕集技术中，化学吸收技术因其捕集效率高和适应性好，是目前最具大规模捕集二氧化碳潜力的技术路线之一。

浙江大学专家团队开展的二氧化碳化学吸收技术，烟气适应性较好，技术相对成熟，自主设计研发的新型混合吸收剂具有高反应速率和低反应能耗的优点，针对大型工业企业二氧化碳吸收过程研发设计的低成本塑料填料塔在现有国际同类型技术的基础上增加了传热强化，在保证低成本的基础上大大提高了捕集效率。团队主导开展的工业示范项目已实现 15 万吨/年烟气二氧化碳捕集工程。在二氧化碳再利用方面，团队首创设计了二氧化碳矿化养护混凝土技术，针对传统水化凝胶材料提高了固碳率和强度，并解决了加气成品力学性能、钢渣、尾矿等固废的综合利用，以及实际养护时间、工况优化从千吨级到万吨级系统等关键问题。



二氧化碳捕集、利用和封存（CCUS）

### 技术优势：

1. 自主设计研发的二氧化碳化学吸收技术烟气适应性好，技术相对成熟，已有工业示范运行；

2. 自主设计研发的新型混合吸收剂具有高反应速率和低反应能耗的优点，针对大型工业企业二氧化碳吸收过程研发设计的低成本塑料填料塔在现有国际同

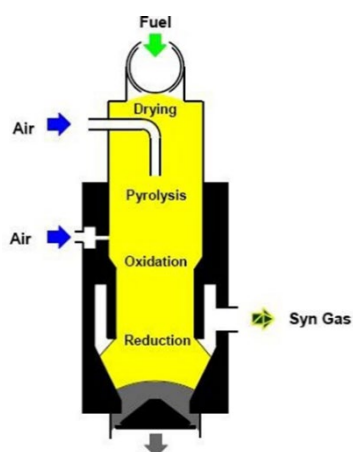
类型技术的基础上增加了传热强化,在保证低成本的基础上大大提高了捕集效率;

3. 首创设计了二氧化碳矿化养护混凝土技术,针对传统水化凝胶材料提高了固碳率和强度。

## 40. 农林生物质热解炭化技术

生物质原料在无氧或缺氧或是存在惰性气体作为保护气的条件下进行高温热解,最后生成生物质炭。这些生物质原料主要包括农作物秸秆、树枝、城镇生物质废弃物等。在生物质热解炭化的过程中,生成富碳的生物质炭和可燃气实现资源化利用以外,还能够实现废弃物的无害化,因此,从环保的角度讲,生物质炭化工艺是一种理想的生物质能源资源化利用技术。

本项目研发了一种移动床炭化炉,通过原料从上部加入,依靠自重从上往下移动,依次经过干燥、热解、氧化和炭化区,生物炭从下部经冷却后排出,得炭率为 25%左右;研发了一种全自动生物炭压片成型机,可以把炭加工成烧烤炭、水烟炭等,压片成型机采用一模 299 片,每分钟压三次,成品率 95%以上,成品产量提高 29 倍;具有结构合理、紧凑,使用方便可靠,结构设计便于拆卸搬运,安装调试、维护修理方便等特点。



移动床炭化炉



全自动生物炭压片成型机

本项目可应用于农林行业生物质废弃物回收再利用。

### 技术优势:

回收利用农林行业生物质废弃物; 出碳率高。

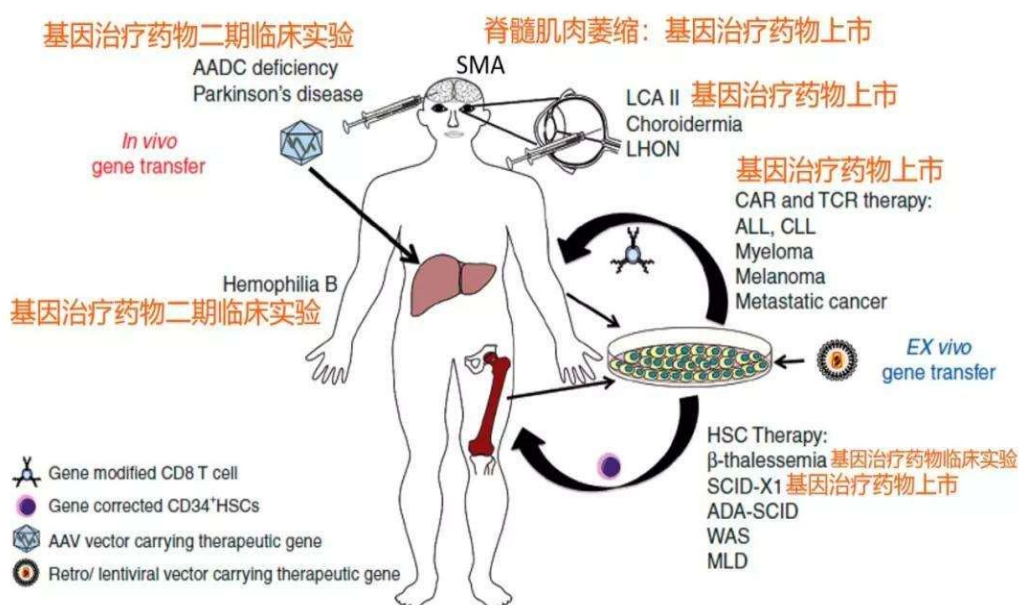


# 生物医疗

## 41. 应用于基因治疗的病毒载体

在基因治疗中，载体将治疗基因导入靶细胞，使其与宿主染色体整合为一体或在宿主细胞中表达特定蛋白质，从而治疗因基因异常或缺陷而导致的疾病。因此，基因治疗成败的关键在于基因递送系统。据 Roots Analysis 的研究信息，目前全世界约有 500 个基因候选治疗药物正在进行研发，根据相关预测，到 2020 年预计全球基因治疗市场规模将达到 450 亿美元，基因治疗市场未来市场空间巨大。据 Clinical Trial 数据，目前基因药物以病毒载体为主，约占所有载体的 70%，未来病毒载体市场前景十分广阔。2017 年 FDA 批准罗氏公司的基于 AAV 病毒载体的基因疗法 Luxturna 用来治疗患有特定遗传性眼疾的儿童和成人患者。从实验室简单的基因过表达、体外的基因干扰、基因编辑（CRISPR/Cas9）技术、CAR-T 免疫疗法技术、到肿瘤、神经、代谢、眼科、心脏、肝脏、肺等临床前动物和临床人体试验的研究，基因病毒载体的应用无处不在。我国离世界先进水平在技术上存在巨大差距，基因运载工具由于开发难度大，生产工艺要求高，国内基因治疗药物的研发还处于起步阶段，还存在巨大的市场需求没有得到满足，而目前美国 FDA 已有批准的基因治疗药物收费非常高昂。

目前采用病毒载体的基因疗法已经成功用于血友病、先天性黑矇、脊髓肌肉萎缩症等单基因疾病的治疗。



应用于基因治疗的病毒载体

本项目可应用于基因治疗。



### 技术优势：

1. 安全性好：NIH 对于生物技术制品的相关评级，腺相关病毒载体（AAV）属于 RG1，最安全等级；迄今从未发现野生型 AAV 对人体致病（80%的人感染过 AAV）；
2. 没有潜在的致癌性：重组腺相关病毒（rAAV）不插入基因组，不改变基因组结构，因而没有潜在的致癌性；
3. 低免疫原性低：基本不引起机体免疫排斥和炎症反应，因而能保持持久的体内留存能力和表达能力；
4. 靶向性强：在体感染特异性效果好，可以选择特定的器官进行转染；
5. 表达时程长：腺相关病毒载体（AAV）可以长期稳定地表达外源基因一年以上，甚至更久。

## 42. 放射性粒子植入手术辅助机器人

课题组面向微创介入手术以及放射性核药操作需求，融合医学与机器人前沿技术，研发了更加安全、精准、易用的智能医疗器械与装备。

$^{125}\text{I}$  粒子植入手术在 CT 或 B 超引导下进行，通过穿刺针将粒子直接输送到肿瘤内部。目前手动操作粒子分布不均，植入精度低，影响疗效；过程有辐射，医生长期接触放射性物质，损害健康；手术过程繁琐，占用手术室医疗资源，操作效率低。

课题组研发两项关键技术（1. 粒子植入机器人 2. 专用粒子仓）可以实现三大功能：机器人提供穿刺导航，提升医生手动穿刺效率；全自动完成粒子植入，保护医生免受辐射；兼容模板和非模板定位方案，解决特殊位置脏器植入难题。

与市场同类型产品相比具有如下优势：

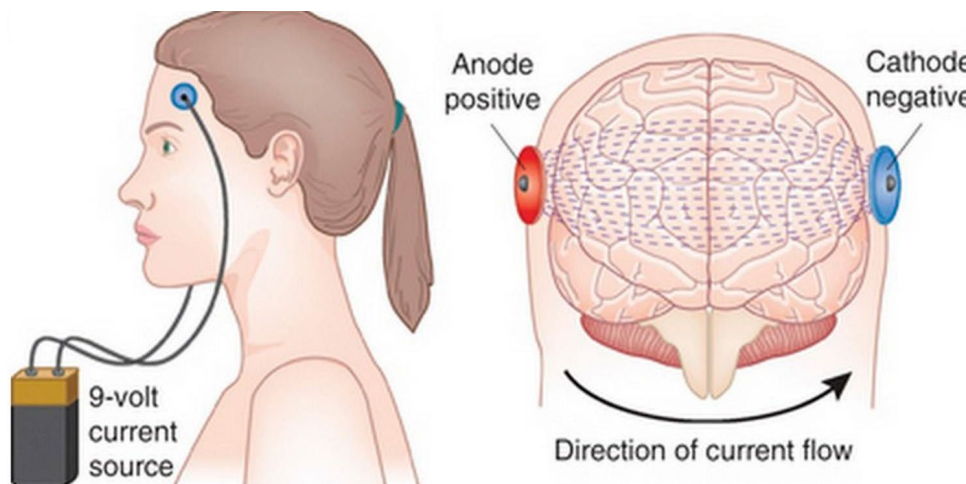
1. **适应症更广泛。**植入针间距低至 0.5cm，可应对狭小空间或特殊体位操作，适用于全身实体瘤治疗；
2. **植入效率更高。**特殊设计的自动植入器结构，植入过程中无需手动辅助换针，显著提升植入效率。

## 43. 可用于神经电调控的新型诊疗技术

tDCS（经颅直流电刺激技术）是一种有效、安全、操作简易、几乎无不良反应的非侵入式神经调控技术，通过电极将特定的低强度直流电流作用于特定脑区，改变大脑神经元活动，调节皮层兴奋性。目前，经颅电刺激相关产品是

常规经颅电刺激设备，属于二类医疗仪器。

本项目深入研究经颅直流电刺激技术，成功研发出了高精度经颅电刺激设备，并有配套的个性化精准医疗服务、远程医疗与指导服务。该项目开发的设备和服务安全有效、操作简易、可大规模推广，是符合市场的一种新型诊疗手段。



可用于神经电调控的新型诊疗技术

本项目可应用于精准医疗和定制化医疗服务。

#### 技术优势：

1. 仪器技术指标与国际顶尖产品对标，已到达国际领先水平；
2. 所开发个性化精准医疗服务达到国内领先水平。

## 44. 眼科人工智能诊断辅助系统

我国眼科疾病目前存在医患比例巨大、医疗资源不足、筛查预防意识不高等问题。青少年近视人群达到 2.7 亿，医患比例 1: 1000，该成果市场预期达 60 亿元每年。

自 2013 年开始，浙江大学与北京同仁医院、北京眼科研究院合作眼科智能会诊相关项目，在眼科人工智能领域达到国内领先水平，技术精准度比肩 Google；项目研究超过十几万张高质量标注数据，数据模型可以应用于糖网分级、12 种疾病分类及相对应病灶定位，准确度达专家级；成果应用性强，目前已经与浙大附属第二医院、北京同仁医院、温医大附属眼科医院等多家眼科强院开展合作，同时，将进一步覆盖基层医院，形成基层医院-上级医院会诊的眼科智能诊断系统。

近视防控远程智能会诊系统

近视防控远程智能会诊系统，包含一整套完整的患者眼部检查资料获取、用眼行为调查、专家会诊、人工智能辅助诊疗、检测报告输出及客户眼部健康档案管理。

为医生、眼镜店、近视患儿及其家庭成员提供科学、高效的眼部疾病诊疗、防控解决方案。

多维精准防控模型：

- 1

易感度：父母近视情况+相似分析
- 2

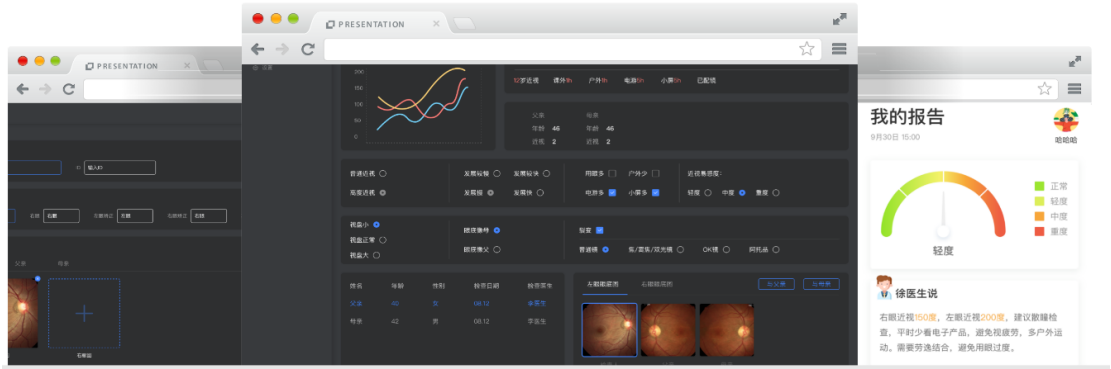
用眼度：生活行为方式问卷调查
- 3

裂变度：监测近视弧扩大情况
- 4

风险度：根据年龄和屈光度判断近视发展速度。
- 5

干预度：按国际标准调整防控方案
- 6

病理度：评估一家人视网膜老化状况



眼科人工智能辅助诊断系统

眼底图像不仅仅针对单个疾病，在未来发展过程中，将会进一步发挥智能 AI 识别图像，增加更多的疾病筛查，对于体检中心、私立医院的发展有很好的推动作用。

技术优势：

准确、无损、低价、便捷。