



# 成果转化 ACHIEVEMENT

## 01 基于碳纳米管冷阴极分布式 X 射线源的静态 CT 智能查验系统

针对海关、民航、物流等行业的安全检查高速精准亟需，中心研发出全球首创的碳纳米管冷阴极分布式X射线源，并完成了静态CT的成像物理及模式的研究。首次提出基于多扫描平面的分布式光源静态CT扫描成像新模式，实现了高精度、快速、定量CT扫描；首次提出静态CT多段直线扫描下的直接傅立叶解析重建方法和基于深度神经网络的伪影校正方法，实现高质量成像；首次提出一种基于级联式检测与分类模型的三维目标识别方法，实现了违禁品精准识别。通过分布式光源依次出束获取多角度投影数据，改变了X射线的产生和利用方式，无需滑环旋转扫描，X光管和探测器处于静止状态，突破了传统滑环CT的转速限制，使通道更大、速度更快、重量更轻、体积更小，满足机场海关高速、精准查验需求，显著提升了检查效率

入选“近年来核技术应用领域十件大事”

入选清华大学“2022年最受师生关注的年度亮点成果”

2022年获日内瓦国际发明展金奖、银奖

2023年荣登“科创中国”先导技术榜

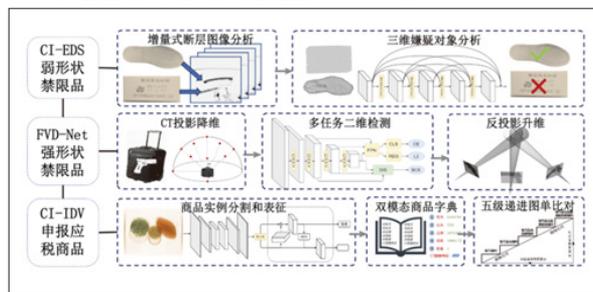


## 02 高通量行包货物能谱 CT 智能查验系统自主研制及产业化

聚焦系统“精”“小”“轻”“快”四个设计维度，立足“测得准”“放得下”“查得快”的查验目标，基于能谱精准分解理论的原始创新，首创超短弧源探测结构成像新模式，攻克探测器“卡脖子”难题，研制成功世界首套高通量行包货物能谱 CT 智能查验系统，实现了查验 CT “零的突破”，构建

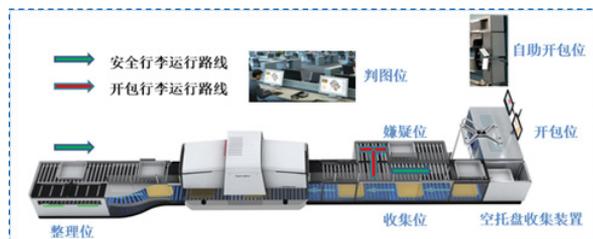
了一套完备的自主研发制造体系，实现了 CT 系统产业链的全方位自主掌控。

该项目实现了爆炸物的精准探测，通过了中国和欧洲民航组织的市场准入权威认证。可同时识别毒品、枪支、锂电池、象牙等55类禁限品，平均用时1.02秒、识别准确率95%，可有效比对的应税商品达1400种。



## 03 非接触式旅检行包精准智能查验系统及关键技术

随着新冠疫情的爆发，机场对于防疫安全有了更高的要求，需尽量避免接触产生的感染风险。为此，中心率先开创新研发了非接触式旅检行包精准智能查验系统，建立非接触全智能旅检查验新模式，通过人脸、行包外观、CT图像等多维信息的融合感知和动态跟踪，实现了旅客、行包和查验结果的准确绑定；通过远程判图和自动分拣、自助开包等技术，实现了旅检行包的自助全流程查验；通过空托盘自动识别、自动拆码垛及回传，结合无感消毒技术，实现了托盘的全自动回传及消毒，实现了对旅客携带的随身行李进行精准查验。



## 04 面向智慧海关的薄壁能谱 CT 实时精准无感通关关键技术及应用

面向智慧海关的薄壁能谱CT实时精准无感通关系统，在能谱CT成像、实时智能查验、人包关联无感通关等方面具

有重大技术突破和创新。该项目成果已成功实现产业化，极大地提高了海关监管效率，实现了显著的经济效益和社会效益。“面向智慧海关的薄壁能谱CT实时精准无感通关关键技术及应用”成果荣获北京市科技进步奖一等奖。



## 05 双能 CT 动植物检疫智能查验系统 关键技术开发及应用

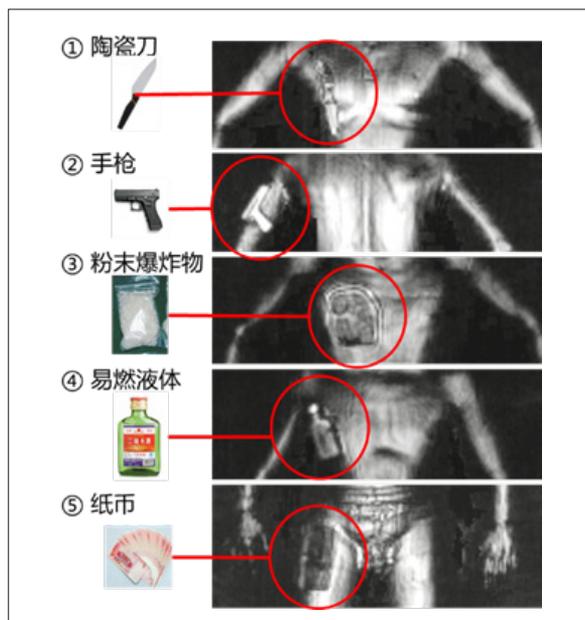
国际贸易的繁荣在带动国民经济增长的同时，也增大了外来动植物、疫病入境的可能。与传统安检不同的是，动植物对检测辐射剂量的敏感性更强，CT成像噪声大，且品类繁多、形状多样，密度、原子序数等物理属性和大部分食品、日用品非常接近，仅凭单一数值特征很难有效检出。针对以上难点，陈志强团队开发了全新的低剂量图像重建技术，实现了在扫描剂量仅为传统剂量1/3的情况下，获得高质量的CT图像。此外，团队首次提出使用深度神经网络来实现动植物识别，设计了一种检疫专用CT增强显示技术，最大程度强化有机物的成像效果，解决了传统方法对动植物无法有效识别的难题。本项目的成功研制改变了动植物检验检疫传统监管业务和查验模式，研究成果迅速转化落地，获得国际、国内高度赞誉与好评。



## 06 毫米波隔空探物，违禁品无所遁形

传统金属安检门可以有效地对枪支、管制刀具等常见金属违禁物品发出报警，但是，金属皮带扣、金属拉链、金属纽扣、鞋子上的金属装饰、戒指首饰等不便从人身脱离的常规物品也会导致金属安检门报警；而且，很多种类的危险品不含任何金属成分，比如陶瓷刀、3D打印的枪支、易燃易爆物、腐蚀性液体等，导致手工复检率高。

在毫米波安检过程中，安检仪向被检人体发射微弱的毫米波，毫米波穿透衣物后在体表反射，反射回来的信号被安检仪接收，经分析处理可以得到毫米波全息图像，然后图像进行人工智能分析发现其中可能存在的违禁物品。与金属探测门相比，无论是金属还是非金属，是固态粉末还是液体，物品的形状、形态和位置均能够反映在毫米波图像上，查验能力更加强大。旅客不再需要高举双手或者转动身体，计算机程序进行自动识别报警，保护旅客隐私，查验舒适度高。



## 07 太赫兹成像仪

中心技术转化的TH系列太赫兹人体安检成像仪采用国际领先的被动式太赫兹成像技术，能实时探测出藏匿于人体衣物下的金属、非金属嫌疑物品。



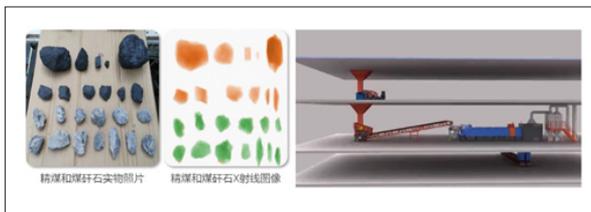
系列设备采用低温超导和多频段融合探测技术，通过获取人体自身发出的太赫兹信号形成高对比实时图像，检



测过程不产生任何辐射,可从较远的距离进行多人(最多3人)实时动态检测,无需被检人员停留;同时,该系列配备高清摄像头,可同时显示光学图像,以协助安检人员定位嫌疑人,该设备具有安全、高效、无感、隐蔽检查等特点,可广泛应用于海关、车站、楼前防爆、财产保全以及其他敏感场所的人体安全检查。

## 08 矿物智能分选

中心技术转化的MS系列矿物智能分选机采用X射线透射双能成像技术(XRT),可融合机器视觉技术,对一定粒度范围的矿石进行智能识别,根据等效原子序数实现精煤



和矸石或者高/低品位矿块的自动识别。MS系列采用阵列式高压气喷装置,对高速运动的矿石自动分选得到精矿(精煤)和尾矿(矸石)。可有效代替人工拣选、跳汰、重介等传统选矿工艺,降低选矿厂的运行成本。广泛应用于煤炭、煤系高岭岩、磷矿、钨矿、锡矿、铅锌矿、萤石矿、宝石矿等各类矿物的分选。

## 09 超级车载式货物/车辆检查系统

中心技术转化的MT系列车载移动式货物/车辆检查系统创新地将X射线检查系统和操作空间集成在同一卡车底盘上,可随时驾驶上路,奔赴各处检查关卡,是中心技术转化的大型设备中最灵活的X射线检查系统。

基于先进的物质识别交替双能成像技术和高通过率的快检技术,穿透性能高,车载扫描模式通过率为20-25各集装箱车辆/小时,快检扫描模式通过率为150个集装箱车



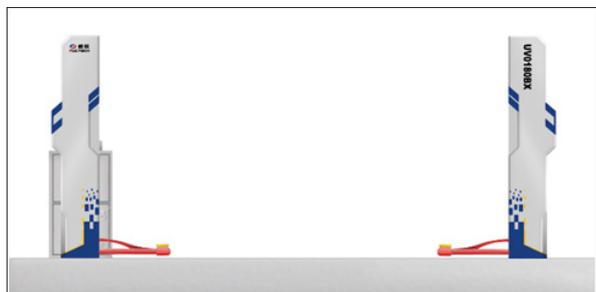
辆/小时。兼备小角度侧向扫描功能和各种扫描模式,扫描高度灵活可调,扫描通道尺寸均可定制。占地面积小,无需任何土建基础设施,系统外观设计时尚,工作环境舒适,可部署在边检、港口、陆路口岸、机场及其他需要临时部署检查设备的各类检查点。

## 10 新一代货物/车辆快速检查系统

新一代货物/车辆快速检查系统采用7/4/0.5MeV三能加速器、双能探测器以及智能图像融合算法,提升穿透力、空间分辨率、物质识别指标。扫描通道更大,扫描范围更广。结构紧凑,轻土建、快速部署免调试。实现一个平台,两种成像技术,多视角成像。一次扫描可同时生成多视角透射图像与背散射图像,优势互补,更容易识别危爆品。

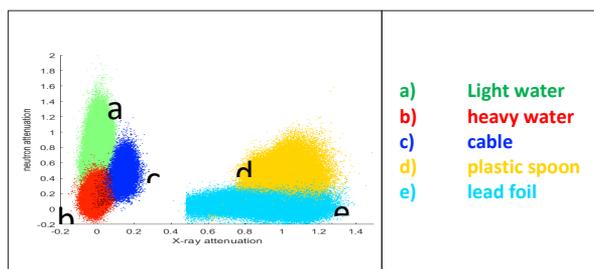
## 11 车辆底盘检查系统

背散射图像可高亮显示有机物(如毒品等),同时可根据历史数据自动进行底盘差异比对,实现异物智能识别;可集成应用或独立应用,应用场景丰富,提供底视角车辆底盘背散图像查验信息;可兼容多种车型,大型货车、小型货车或乘用车等驾车均可通过扫描通道;模块化外设易维护,可整体快速搬迁和部署,操作人员可在地面上进行操作和维护。



## 12 基于单加速器的X射线及中子射线双模成像方法研究

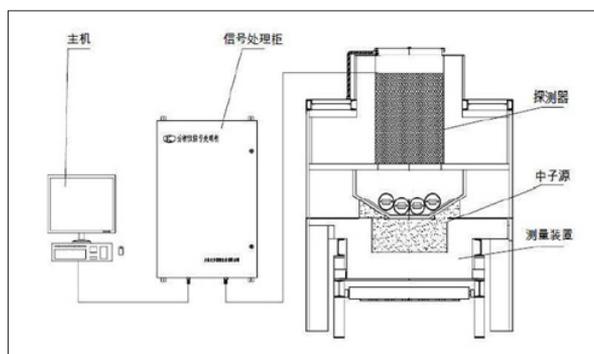
基于单加速器的X射线及中子射线双模成像方法首次将极低噪声比( $<0.03\%$ )计数式中子成像微通道板探测器nMCP与光中子源结合起来,能够实现轻重物质、同位素分辨,成像结果达到国际中子成像最高指标ASTM E545 I级标准,入选国际中子成像协会ISNR的2021年度进展,可应用于航空发动机涡轮叶片残芯检测、锂矿石分选等多种检测场景。



## 13 中子在线元素测量分析系统研制

中子在线元素测量分析系统利用PGNAA技术（瞬发伽马射线中子活化分析技术），中子源发出的中子经过慢化体慢化后产生热中子，热中子轰击原料原子核，使原子核活化，处于激发态。原子核的激发状态具有较高能量，一般是不稳定的，在趋向稳定的过程，即退激过程放出与核素对应的特征伽玛射线，特征伽玛射线被分析系统的探测器接收。探测器采集特征伽玛射线后，传输给计算机的能谱算法处理和分析软件，软件通过检测特征伽玛射线的能量识别相应的核素、通过计算特征射线的数量来分析核素的含量，最终实现原料的元素测量和分析。

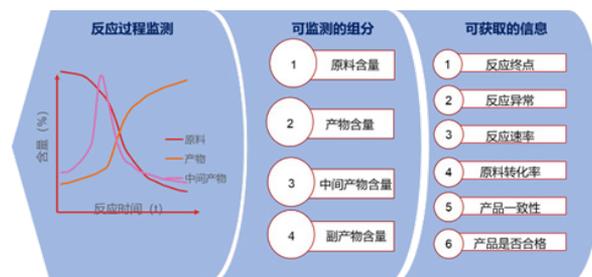
该系统可实时、高效、低成本、无污染实现工业物料在线检测，为实现对工业物料进行在线式闭环实时控制提供精确数据。



## 14 化工在线拉曼监测

已完成核心部件光谱仪恒温控制功能，温度稳定性 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ ，光谱峰位温漂最低可达 $\pm 0.01\text{cm}^{-1}$ ， $30^\circ\text{C}$ 变化下乙醇浓度预测重复性rms不超过0.15%；完成在线拉曼监测软件系统一套，软件具备建模，在线监测等功能，支持模型参数一键自动优化，有效降低用户使用门槛，扩大产品应用面；完成在线拉曼检测配件产品的研制，包括浸入式探头和流通池等附件及配套方案，配件可在 $200^\circ\text{C}$ 高

温以及最高15Mpa高压以及强腐蚀性的各类反应器下进行检测的能力，配件材质和接口可按用户实际需求轻松定制；完成正压防爆和设备内部温度控制功能，设备具备在易燃易爆或强腐蚀性气体环境以及在 $-20\sim 50^\circ$ 下稳定长时间运行的能力。



## 15 多模式痕量气味嗅探技术研究

实现质谱仪与离子迁移谱仪的整合

吸气/擦拭双采样模式

支持不低于100种物质的查验并取得第三方认证

单次快速筛查时间不大于10s



## 16 便携式离子迁移谱仪研制及应用

吸气/擦拭双采样模式

精检/快检双查验模式，可实时切换

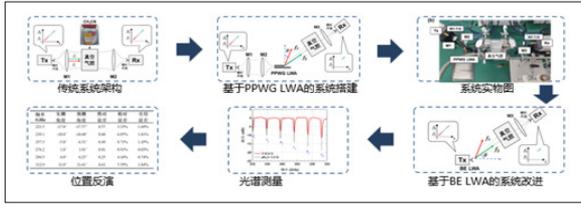
颗粒物（TNT）和气体（DMMP）灵敏度分别为 $1\text{ng}$ 和 $1\text{ppb}$ ，数据库物质涵盖爆炸物、毒品、新精神活性物质，且大于100种

单个样品快检速度 $\leq 4\text{s}$

实现对口岸现场多种危险化学品、毒品及爆炸物快速准确查验

## 17 基于漏波天线的太赫兹气体分布检测系统

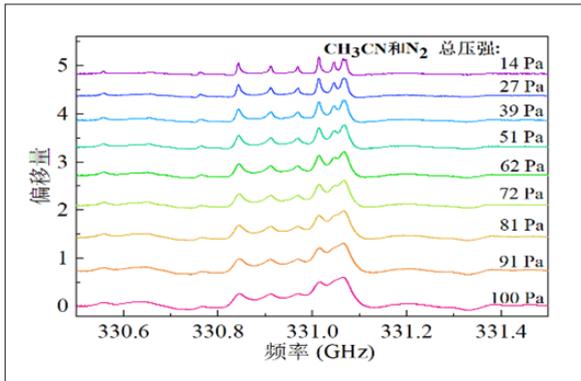
针对基于漏波天线的气体分布检测空间拓展问题，中心提出了基于漏波天线的气体分布检测系统。通过漏波天线的频率扫描特性，将不同频率的太赫兹波辐射至不同空



间角度，满足了对大范围内气体分布检测的应用需求。针对乙腈气体，团队基于平行板波导漏波天线与金属波纹BE漏波天线进行了实验测试，实验结果表明，搭建系统可在2%左右的引用误差水平下精确实现气体分布检测，实现了点线式到锥形空间分布检测的技术跨越。

## 18 基于太赫兹谱线展宽的痕量气体分析方法研究

针对痕量气体混合物中的目标气体难量化的问题，中心提出了基于谱线展宽加和性的痕量气体浓度分析方法；针对痕量气体混合物谱峰密集不易识别的问题，中心提



出了基于碰撞展宽特异性的痕量气体成分识别方法。新方法优势突出：不需要大量的光谱数据；基于气体吸收谱线自身物理特性；针对目标吸收谱峰识别，不需要全光谱复杂的分类计算。

## 19 人员身份智慧识别系统

该系统主要应用于各种公共群体活动场所或监管场景中，在贵宾进入免检通道、政府办公人员进出办公场所时，通过该系统可以快速完成通行人员的身份与权限识别。与传统方式相比，该系统具有大场景、无感知、快验证、可联网等优势。该系统集成了1:1人脸识别技术、1:N人脸识别技术和证件阅读



技术，解决了以往认证不一致、无法远距离识别等问题，同时该系统集成了测温模块，可以快速对多名通行人员进行实时红外体温探测，提升通行效率，安保水平及通行体验。

## 20 佛山市智慧校园平台建设

核心技术包括人脸识别、表情识别等。采用国际最前沿的“深度学习神经网络”识别算法引擎技术，1:1识别准确度高达99%，1:N（大规模人脸库搜索识别）96%以上。

佛山市试点，通过建立“校园安全智能化综合治理平台”，实现“精准督察、过程留痕，决策有据、指挥联动，预警为主、主动干预”的校园安全治理新模式。佛山智慧校园一期通过验收，2022年二期启动500所学校验收在即，2023年三期开始1000所。



## 21 超宽谱电磁波探测感知技术

超宽谱电磁波探测感知技术提出了棘轮结构异质结红外-太赫兹宽谱探测方法，通过电泵浦引入的热载流子注入效应、自由载流子吸收和从轻、重空穴带到自旋轨道分裂带的光跃迁等多种作用机制，突破传统材料和结构的带隙限制，实现了从红外到太赫兹波段的超宽谱响应，奠定了超宽谱电磁波多维度信息探测与感知系统的器件物理基础。

