

# 单光子发射计算机断层成像(SPECT)设备

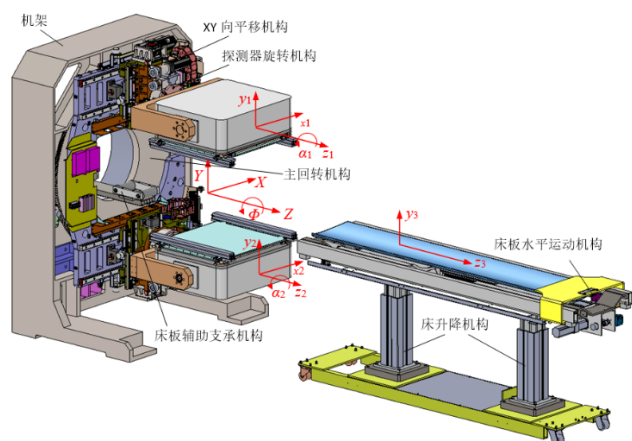
## 1 背景及意义

单光子发射计算机断层成像（Single Photon Emission Computed Tomography, SPECT）设备是一种集机电、微电子、核物理、计算机等多种高新技术于一体的大型核医学影像设备。通过机电系统驱动一个或多个重达数百公斤的探测器靠近或环绕人体部位运动，探测体内放射性示踪剂分布和动态变化，从而得到器官的结构和功能图像。SPECT 广泛应用于心脏、骨骼、肺、脑、肾、甲状腺等器官的功能研究及疾病诊断，如肿瘤诊断、形成机理研究及疗效评估。由于具有功能成像、辐射伤害小等优点，在欧美等发达国家的临床检测中得到了普及应用。

通用人体 SPECT 设备目前主要被 GE、Philip、Siemens 等少数公司所掌握，这三家公司的产品基本垄断了国际市场，进口价格昂贵，这已成为医疗费用高、百姓受益率低的主要原因。因此，研制具有自主知识产权的 SPECT 设备，已成为我国高端医疗装备实现自主可控进程中一项迫切需要攻关的课题。项目团队在“十二五”、“十三五”期间主持完成了大型医学影像设备人体 SPECT 机电系统研发工作，参与完成了国内首台可变角双探测器通用型人体 SPECT 设备研制。

## 2 技术解决方案

项目在 SPECT 机械系统虚拟样机、多轴运动控制、智能故障诊断等方面开展了深入研究。基于计算机辅助设计与分析 (CAD/CAE) 技术，构建了人体 SPECT 机械系统虚拟样机，如图 1 所示。在动力学仿真与疲劳可靠性分析的基础上，应用拓扑优化与尺寸优化相结合的方法，对 SPECT 机械系统进行优化设计，如图 2 所示。所设计的 SPECT 机械系统具有高承载、多工作模式、轻量化等特点。



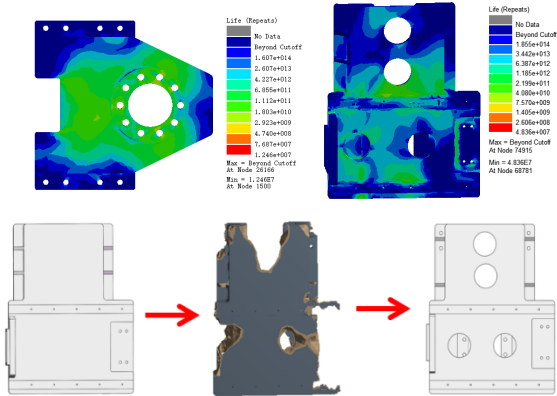


图 1 SPECT 机械系统虚拟样机

图 2 基于疲劳可靠性的拓扑优化设计

采用基于 Ethernet 和 CAN 总线的分布式多智能体(Agent)控制技术构建 SPECT 设备多轴运动控制系统，如图 3 所示。基于 Modbus/TCP 协议建立控制系统各模块间的可靠通讯机制，基于 CANopen 协议建立高效的多轴同步控制模式，以实现控制系统的高性能、高可靠性指标。采用基于 PID 控制与模糊控制相结合的方案，构建多层运动控制系统，实现人体轮廓的实时跟踪，如图 4 所示。

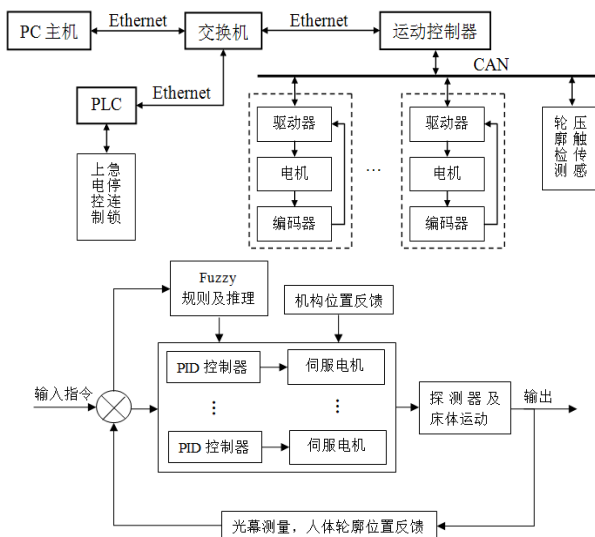


图 3 基于 Ethernet 和 CANopen 的多轴运动控制系统

图 4 基于模糊 PID 的人体轮廓跟踪控制系统

### 系统

在机械系统故障机理与智能诊断方法研究方面，建立包含故障信息源的刚-柔耦合动力学虚拟样机和故障机理模型，分析各类故障与机构动力学表现之间的内在作用机理。探索基于 DS 证据理论与模糊推理的多传感器信息融合方法，实现故障特征识别与定位。构建基于迁移学习的故障智能诊断系统，实现小样本、多工况下的设备健康状况监测，为 SPECT 设备维护和安全运行提供了理论和技术支撑。基于迁移学习的 SPECT 机械系统故障诊断流程如图 5 所示。

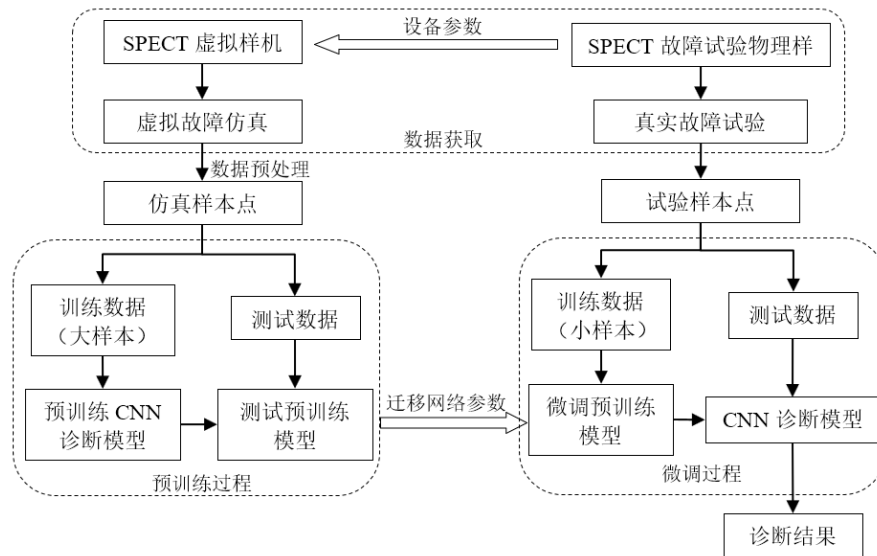


图 5 基于迁移学习的 SPECT 机械系统故障诊断流程

### 3 技术创新点

(1) 将 CAD/CAE 技术应用于人体 SPECT 机械系统虚拟样机建模，设计了可满足通用型可变角双探头 SPECT 成像需求的高承载、多自由度机械系统。基于疲劳可靠性分析，应用拓扑优化与尺寸优化相结合的方法，实现 SPECT 机械系统轻量化设计。

(2) 应用基于 Ethernet 和 CAN 总线的分布式多智能体 (Agent) 控制技术，构建了具有高可控性、高可靠性、低配线量的多轴运动控制系统；应用模糊 PID 控制技术实现了人体轮廓自动跟踪运动控制。

(3) 建立了 SPECT 机械系统故障动力学模型，提出构建基于多源信息监测的 SPECT 机械系统故障特征提取方法。针对真实 SPECT 设备较难获取大量故障样本的难题，提出通过构建基于迁移学习的智能故障诊断方法，实现小样本、多工况下的设备健康状况监测。

### 4 推广应用

SPECT 机电系统设计相关技术已成功应用于国内首台可变角、全数字化双探头临床通用型 SPECT 整机研制。2017 年 4 月，“可变角双探头单光子发射计算机断层成像设备”通过国家食品药品监督管理总局审批；2019 年，“可变角双探头单光子发射计算机断层成像设备”入围工信部《首台(套)重大技术装备推广应用指导目录(2019 版)》(编号：13.10.8)。



图 6 可变角双探头人体 SPECT 设备

### 5 对接联系

联系人：郭丽峰（机械工程学院副教授）

邮箱：guolifeng@bipt.edu.cn