



**中国科学院近代物理研究所**

Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences

**NED & CAGD 2024**

# 用于粒子治疗QA的三维剂量测量装置

罗发明 | 医用探测技术室

2024年7月16日

山东·青岛



**中国科学院大学**

University of Chinese Academy of Sciences

# 目录

CONTENTS



01



**研究背景及意义**

BACKGROUND AND SIGNIFICANCE

02



**设备研制与测试**

DEVELOPMENT AND TESTING

03



**设备优化及改进**

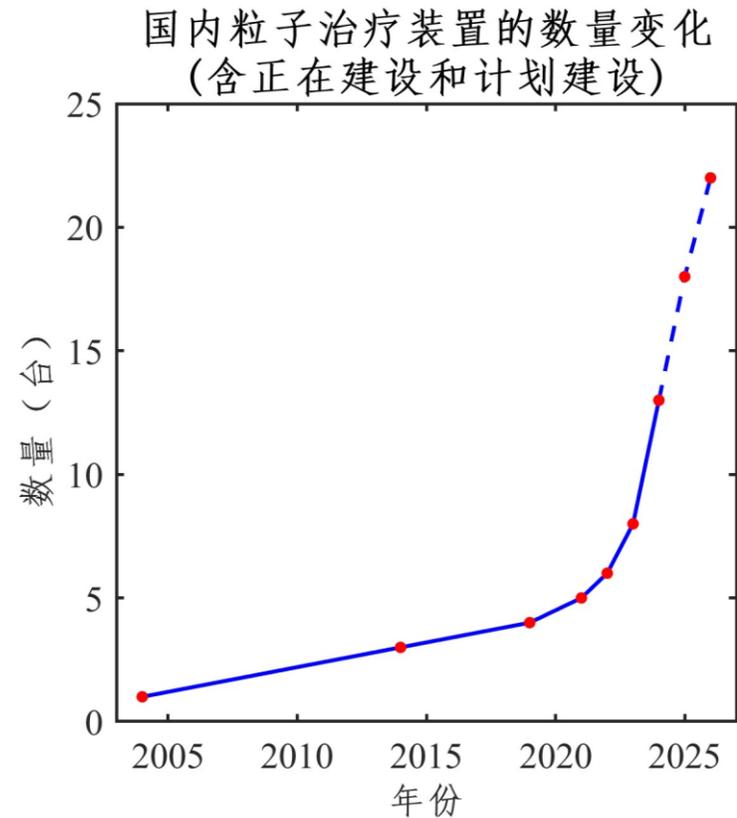
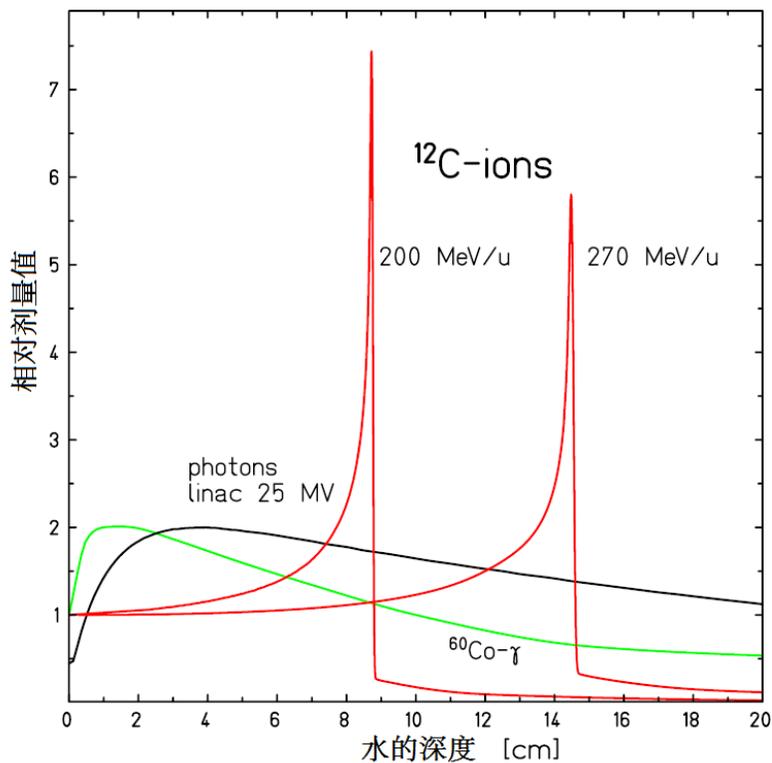
OPTIMIZATION AND IMPROVEMENT

04



**总结与展望**

SUMMARY AND OUTLOOK



粒子治疗束因其特有的布拉格峰，可以精准地将剂量递送到肿瘤区域，降低危机器官的受照剂量，是肿瘤治疗的重要手段之一。近年来国内的粒子治疗也得到了大力发展，建设的装置数量出现了井喷式的增长。随着治疗装置的建设 and 投入使用，配套的**质量保证(Quality Assurance, QA)设备的需求量增加**。

IBA



PTW



Sun Nuclear



## 用于临床QA的三维剂量测量水箱

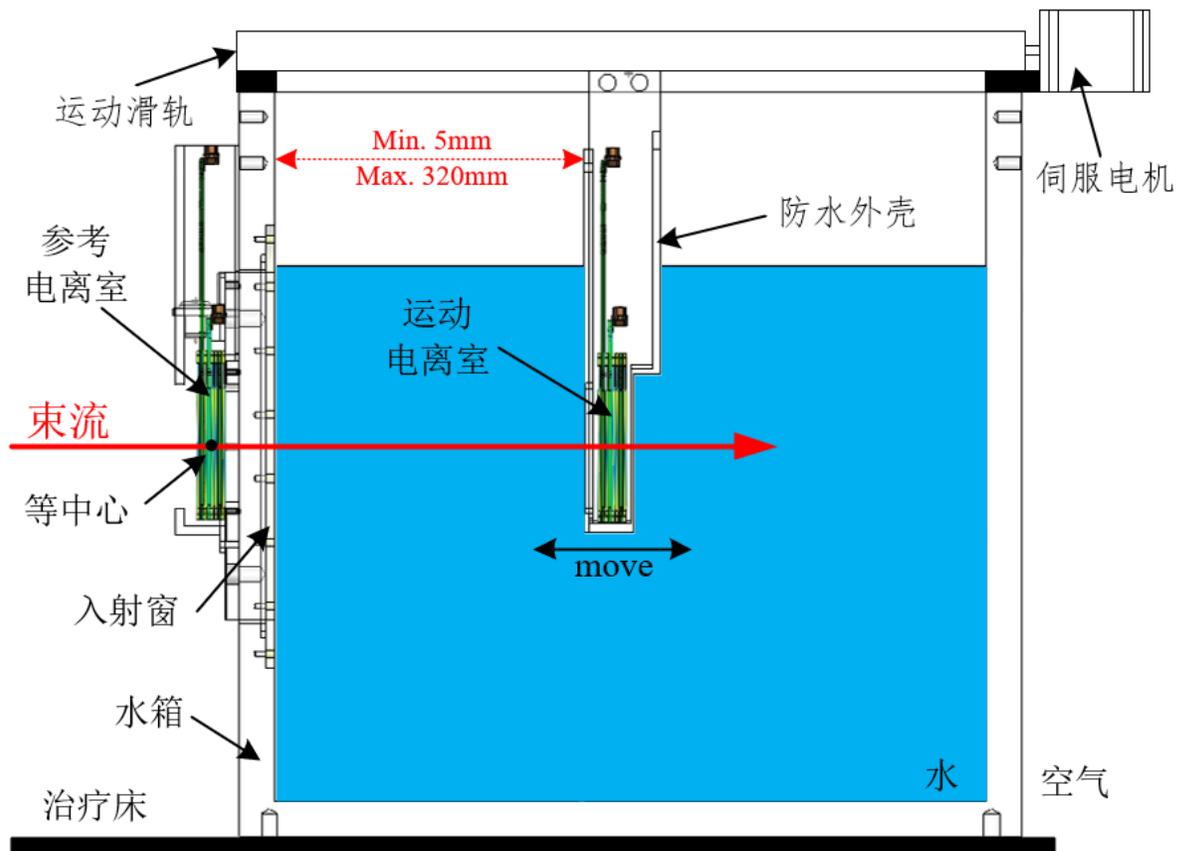
三维水箱作为临床QA中常用的测量设备，长期被外国公司垄断、价格昂贵、维护成本高，且不能实现真正意义上的三维剂量分布测量。为了解决这些“卡脖子”问题，实现国产化替代，本团队自主研发了一款**三维水箱PBDOSE**。该水箱的应用，可以实现快速准确的**三维剂量分布测量**，并为TPS提供**基础数据**、提高终端QA的**效率和精度**，为实现**精准粒子治疗**提供保障。

## 1. 整体结构设计

本研究提出了一种基于分条电离室（Multi-strip Ionization Chamber, MSIC）的三维剂量测量装置PBDOSE。

整个装置由两个MSIC、水箱箱体、电机驱动单元及其他附件构成。两个MSIC同步进行测量，其中参考电离室固定在水箱入射窗前，运动电离室固定在运动滑轨上，可沿深度方向往复运动。

通过控制电机改变运动电离室的深度位置，测量不同深度处的横向剖面剂量分布，并由参考电离室测得的结果进行归一化，从而得到不同深度处横向剖面的相对剂量分布数据。在深度方向上对这些横向剖面数据进行堆叠即可获取**三维剂量分布**数据，从而计算出笔形束的**深度剂量曲线**、**入射位置**、**入射角度**、**束斑尺寸**等信息。



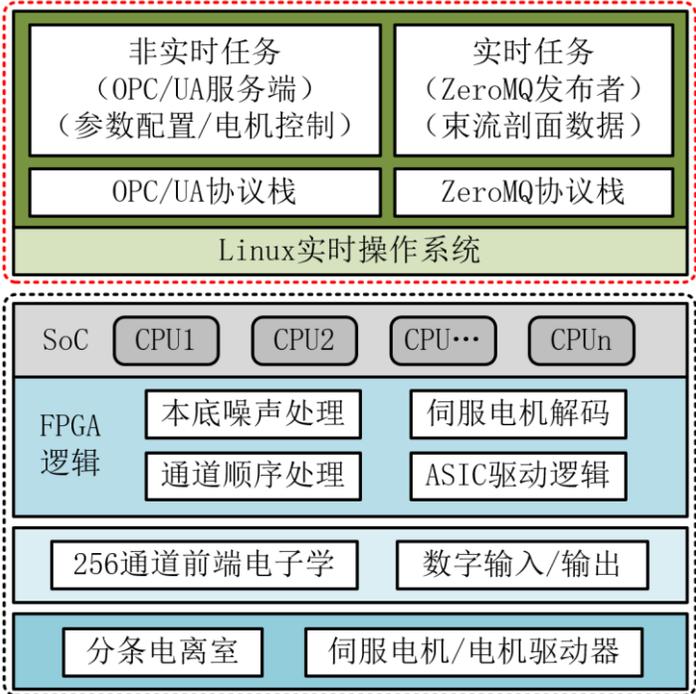
## 2. 数据获取系统

针对该水箱的需求，开发了一套数据获取系统IMP\_IC256，该系统主要包括**硬件**和**软件**两个部分。硬件部分主要包括多通道前端电子学以及SoC FPGA载板，位于载板中的FPGA逻辑负责本底噪声处理、通道顺序处理、ASIC芯片的驱动以及处理完成的数据上传，同时载板中的FPGA逻辑还可以通过数字IO端口控制伺服电机并解析编码器。软件部分主要包含Linux实时操作系统及其运行的实时任务和非实时任务，同时软件系统中还部署了OPC/UA和ZeroMQ协议栈，实现和上位机数据通信。



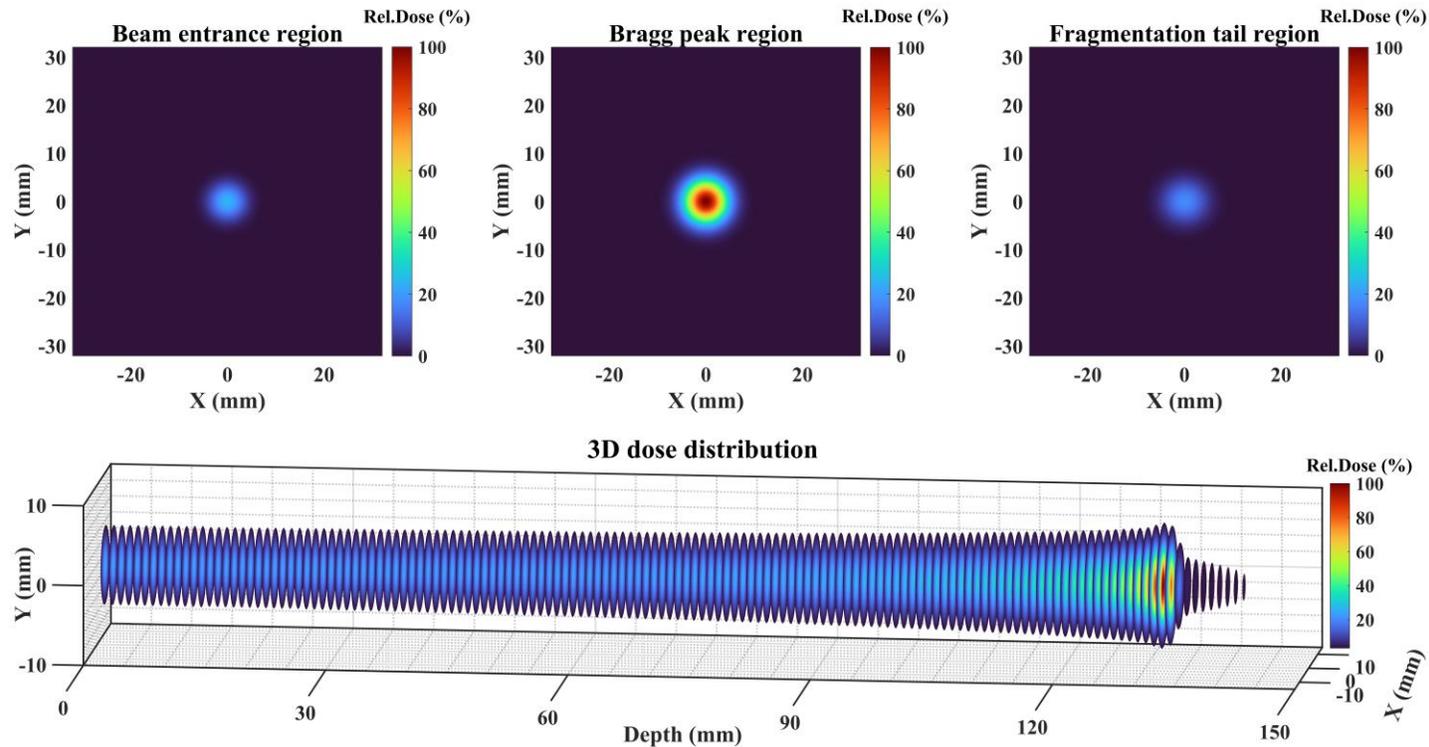
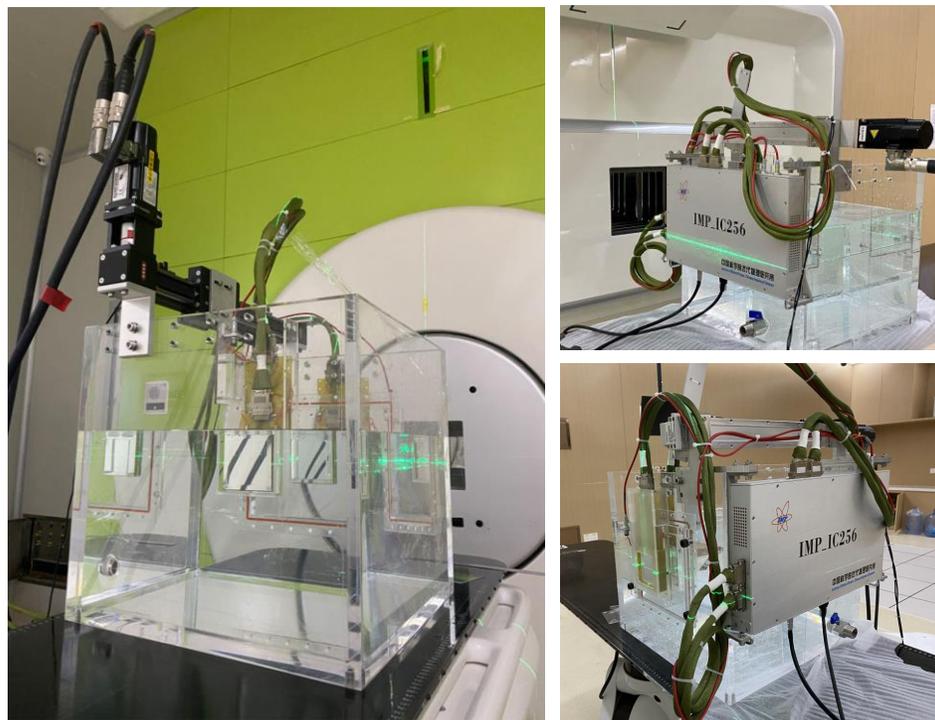
IMP\_IC256各项性能参数

性能参数	值
模拟输入通道数	256
输入信号类型	电流
噪声水平	pA量级
转化速率	最大30kSPS
输入阻抗	高阻
高压输出	±(50V~10kV)DC
高压噪声	≤10mV
外围接口类型	Ethernet, USB, TTL I/O
设备供电	+24V, 3A



## 3.性能测试

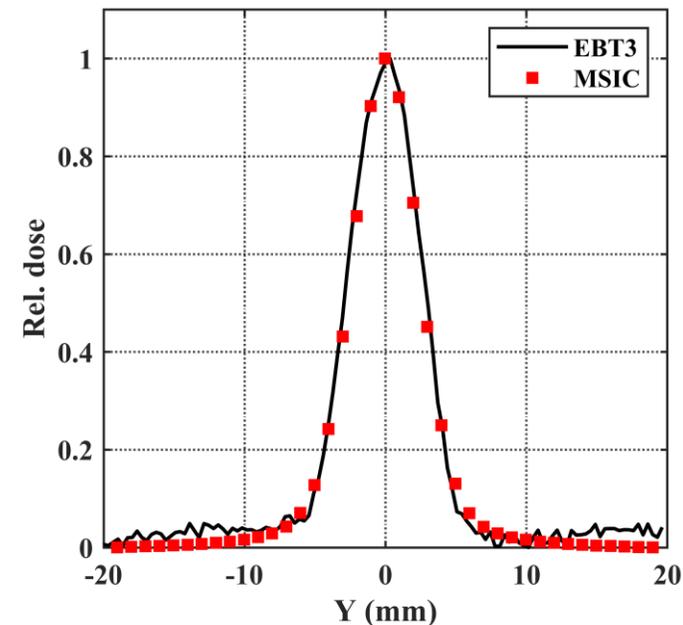
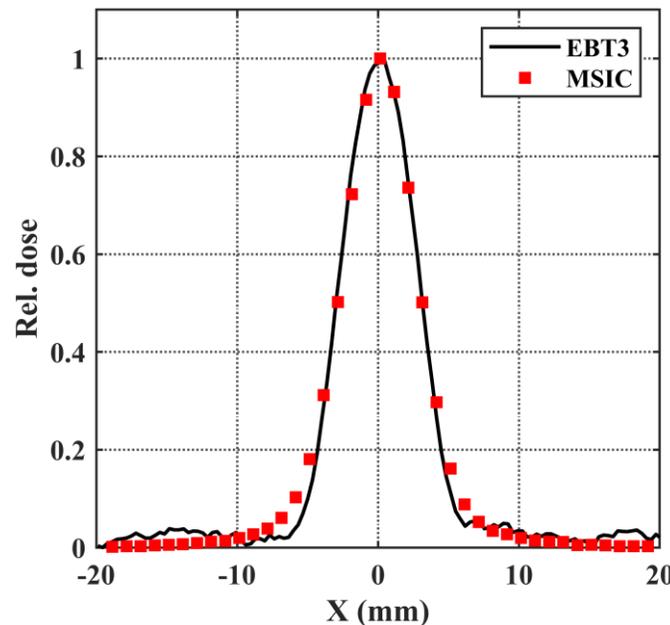
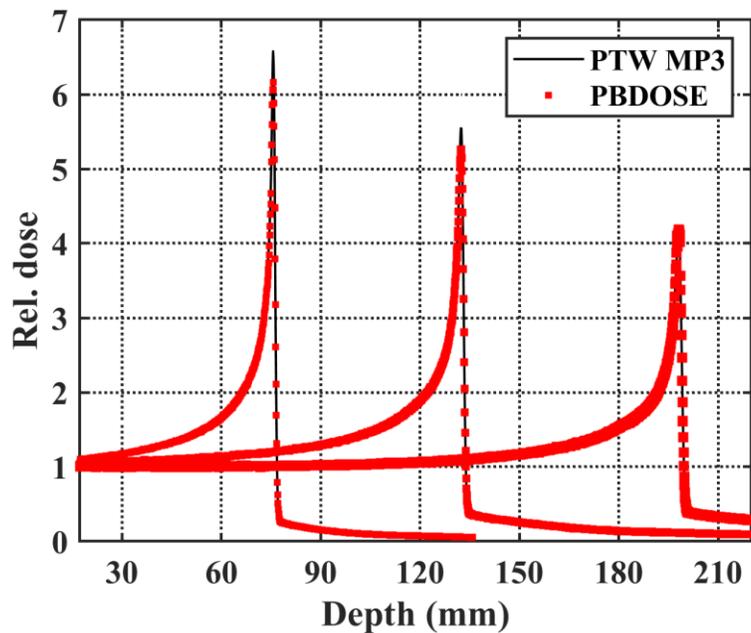
搭建一套功能验证装置，并利用医用重离子加速器(Heavy Ion Medical Machine, HIMM)1号治疗室的水平固定束线终端对其进行了测试，以评估该水箱的性能。



HIMM的同步加速器可对123个能量的碳离子进行加速，束流引出周期为8秒，其中出束时间为2秒。一条完整的PDD曲线至少需要80个深度剂量点，采用传统水箱进行一次测量需要至少15~30分钟，而采用PBDOSE进行测量**仅需5分钟**。可以极大地**节省出束时间**，**降低加速器的运行成本**。

## 3.性能测试

通过将PBDOSE测得的深度剂量曲线与PTW商业水箱MP3测得的数据进行对比，分别采用三个不同能量的束流进行测试，最终测量的偏差均在±5%以内。



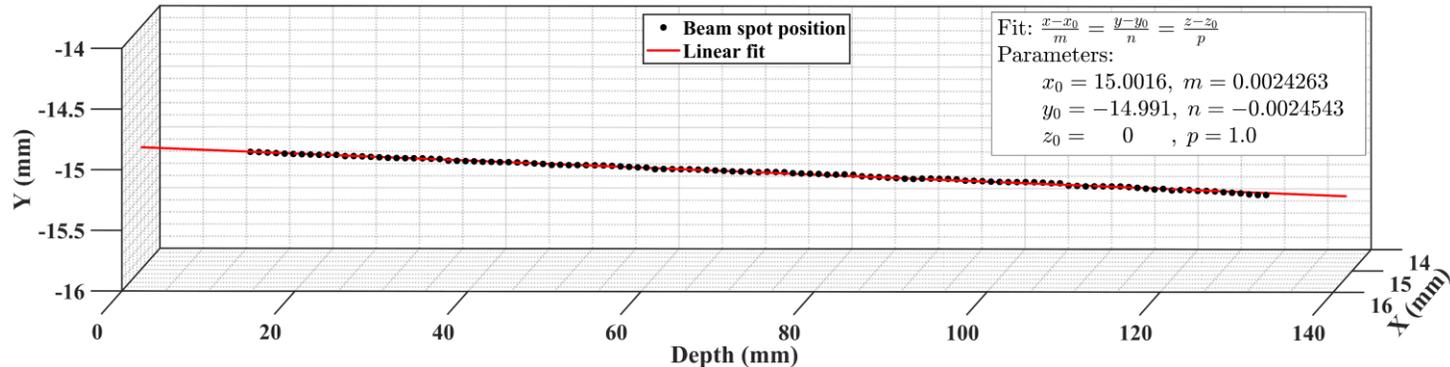
束斑剖面测量结果对比

	FWHM_X(mm)	FWHM_Y(mm)
EBT3 film	5.9243	5.7836
MSIC	5.9062	5.6944
偏差	0.0181	0.0892

通过将分条电离室测得的剖面剂量分布与EBT3胶片测得的进行对比，测得的束斑大小偏差小于0.1mm。

## 3.性能测试

通过对束流能量和峰位进行拟合，找到能量和峰位的定量关系。根据测得的深度剂量曲线获得峰位，即可计算出入射束流的能量。通过测量三个不同能量碳离子束的三维剂量分布，计算出对应束流的能量，来评估该水箱测量束流能量的性能。经过测试，该水箱对束流能量的测量偏差小于1%。



束流入射角度测量偏差

	参考值	测量值	偏差(%)
$\theta$	0.196°	0.1976°	0.82
$\varphi$	45°	45.3786°	0.84

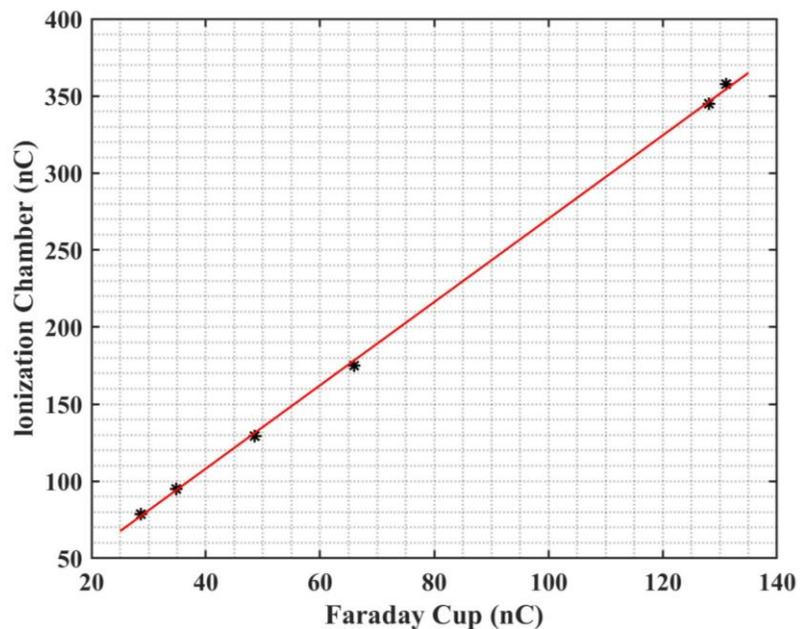
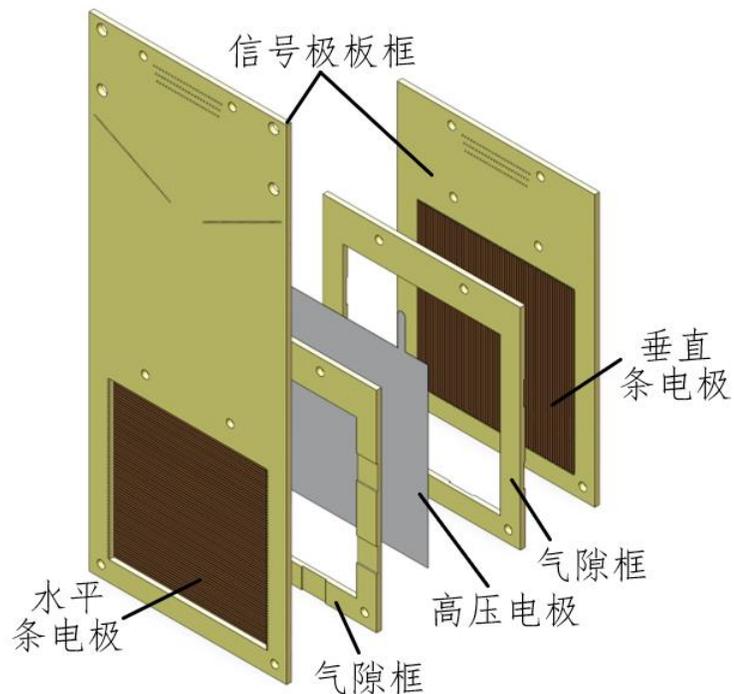
束流入射能量测量偏差

	参考值 (MeV/u)	测量值 (MeV/u)	偏差 (%)
束流1	190.19	191.83	0.86
束流2	261.03	261.34	0.12
束流3	330.09	331.08	0.30

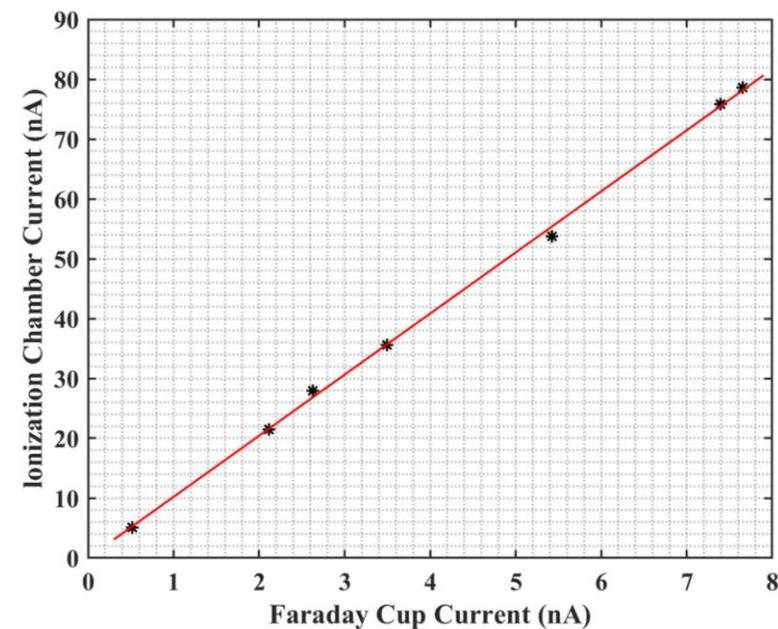
通过对不同深度处的束斑中心坐标位置进行线性拟合，即可得到束流入射方向所在直线的直线方程，从而计算出束流的入射方向。根据测试该水箱测量束流角度的偏差小于1%。

## 1. 探测器优化

为满足大剂量率束流的测量，本研究通过减小MSIC的极间距和偏置电压，对探测器进行了改进。将改进后的超薄电离室（偏压30V，极间距0.4mm）置于近代物理研究所HIRFL-TR4浅层治疗及生物辐照终端进行了测试，利用不同流强的束流照射不同时间，并将测量结果与法拉第筒的测量结果进行对比，评估探测器的剂量线性和剂量率线性。通过对测量结果进行分析，改进后的探测器的剂量线性最大偏差为1.68%，剂量率线性最大偏差为1.92%。

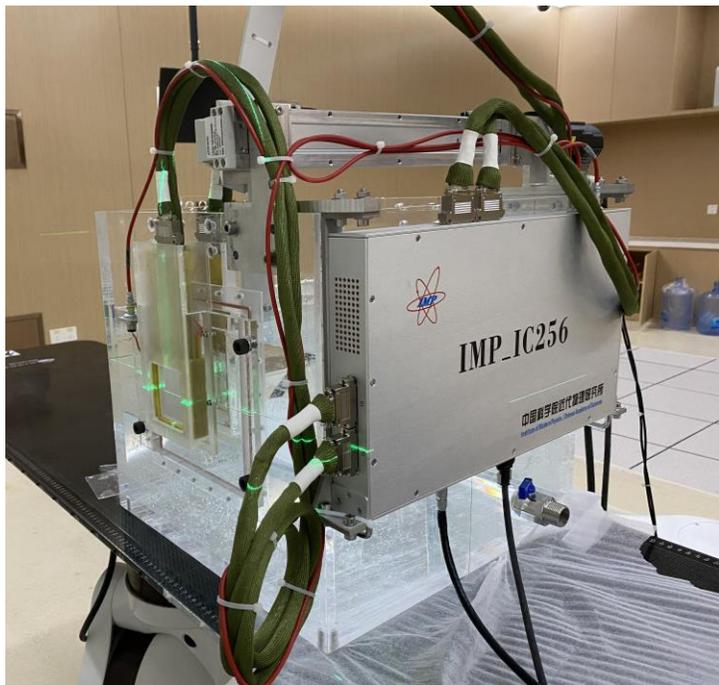


剂量线性

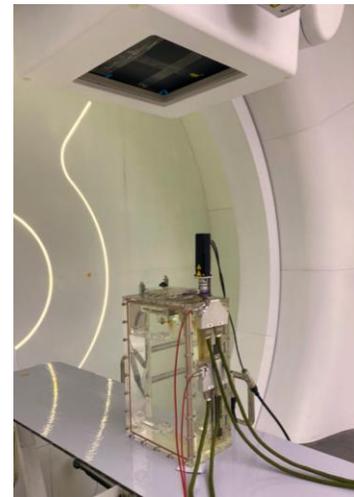
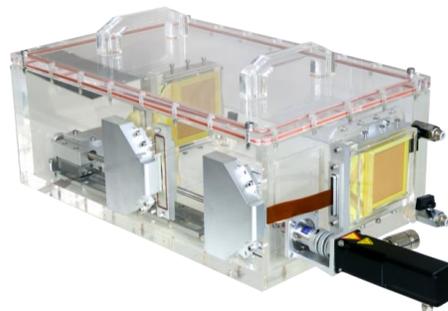


剂量率线性

## 2. 整体结构改进

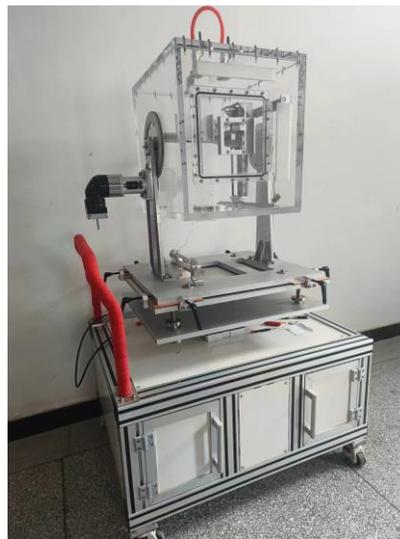


功能验证装置



### 便携式

减小箱体尺寸，采用轻量化设计，提升使用便捷性



### 旋转式

采用全密封设计，并结合旋转支架，实现Gantry终端应用

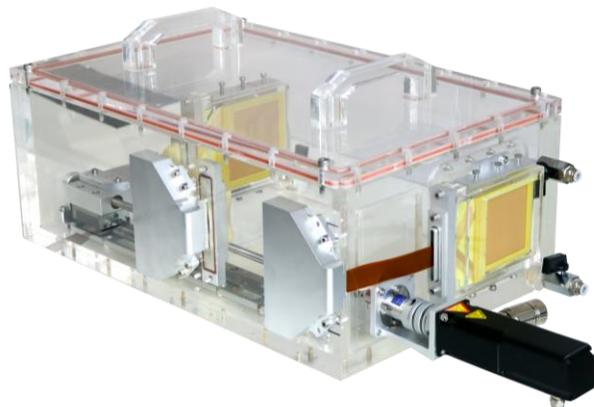
## 1. 总结

在本研究中通过采用分条电离室替代传统水箱中使用的平板电离室，并改进运动控制策略（测量时同步运动），实现了对笔形束三维剂量分布的快速测量，同时对水箱结构和探测器结构进行了优化。与传统水箱相比，该水箱具有如下优势：

- (1) 实现笔形束的**三维剂量分布测量**，并得到**深度剂量曲线、入射能量、角度、位置和束斑尺寸**等参数
- (2) 在HIMM终端上应用时，单次**深度扫描时间**可以**缩短3-6倍**，实现降本增效
- (3) 能够满足**较高剂量率**束流的测量，有**便捷式**和**旋转式**两种可供选择
- (4) **高性价比**，价格约为同类进口产品的三分之一

## 2. 展望

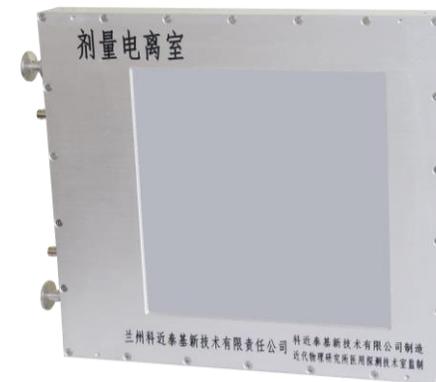
- (1) 实现基于主动束的**完整治疗计划的三维剂量分布测量**
- (2) 进一步改进探测器有望实现**Flash束流的三维剂量分布测量**



PBDose三维水箱



快速布拉格峰探测器



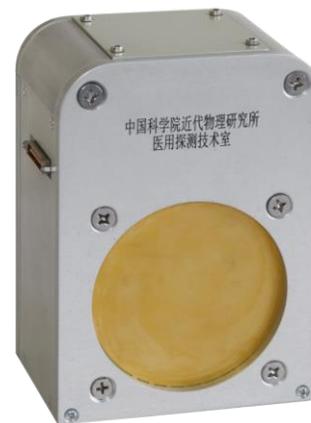
剂量电离室



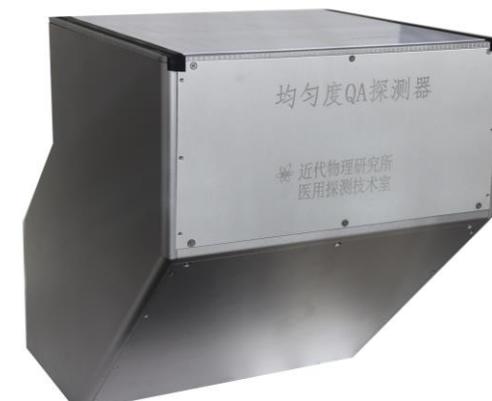
集成分条电离室  
(位置+剂量)



法拉第杯



多层法拉第杯



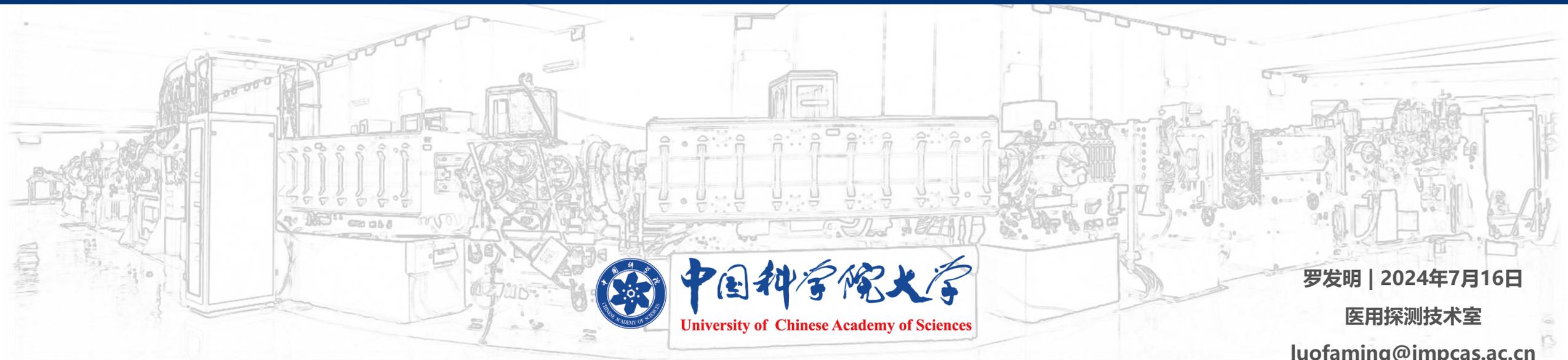
均匀度探测器



中国科学院近代物理研究所

Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences

# 谢谢各位老师 and 同学!



中国科学院大学

University of Chinese Academy of Sciences

罗发明 | 2024年7月16日

医用探测技术室

luofaming@impcas.ac.cn