

阻性阳极GEM探测器 重建算法和位置分辨研究

鞠旭东，赵逸琛，董明义，欧阳群



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

核探测与核电子学国家重点实验室
State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics

- 探测器基本介绍
- 重建算法
- 位置分辨
- 总结

探测器基本介绍

阻性阳极二维插值读出方法

- 目的:

- 研究阻性阳极二维插值读出方法
- 用于X射线成像等二维位置灵敏探测器

- 优点:

- 有效减少电子学, 降低探测器成本
 - ◆ 相同的位置分辨率, 通道数比像素读出减少**1-2个数量级**
- 阻性阳极可降低GEM探测器连续放电几率

- 难点:

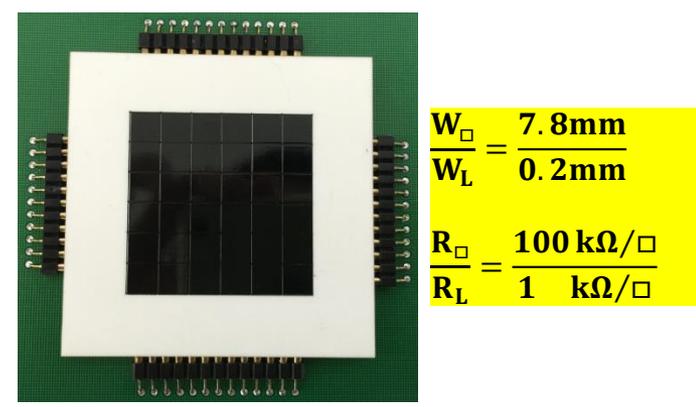
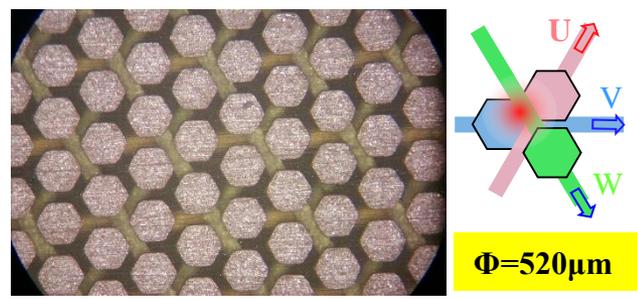
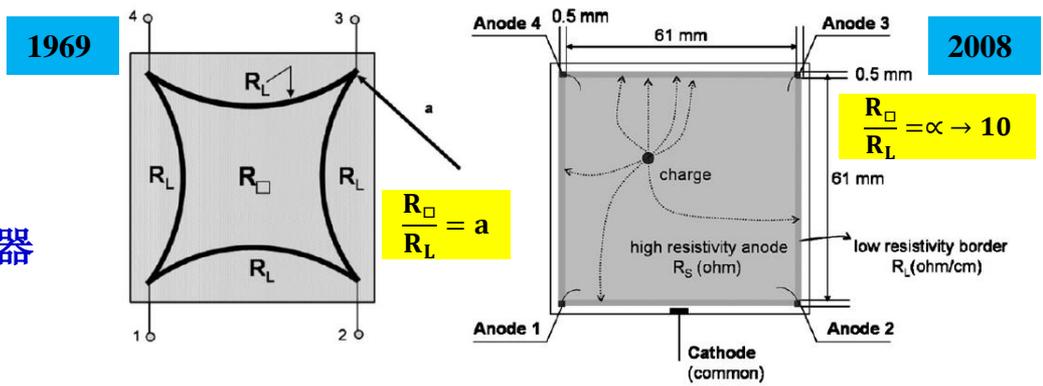
- 阻性阳极读出板
- 二维插值重建算法

- 重点:

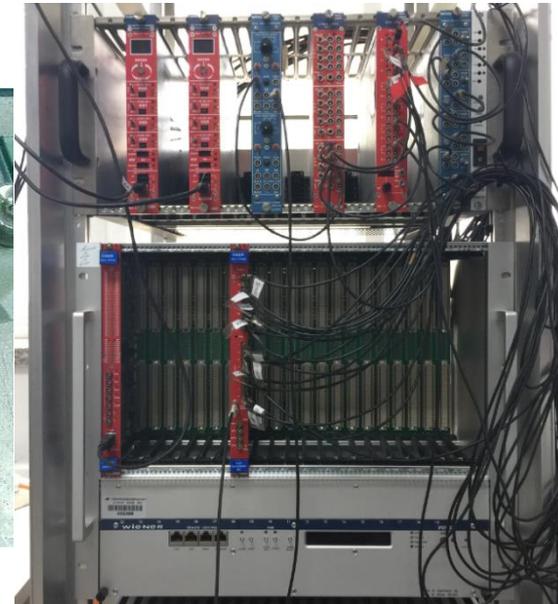
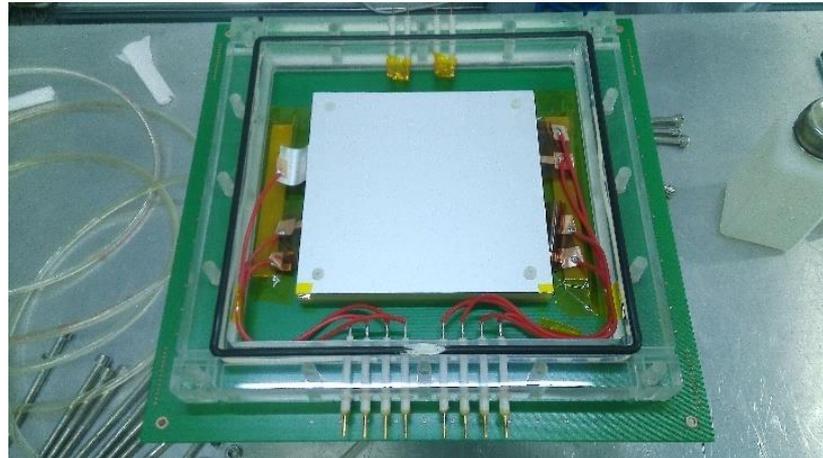
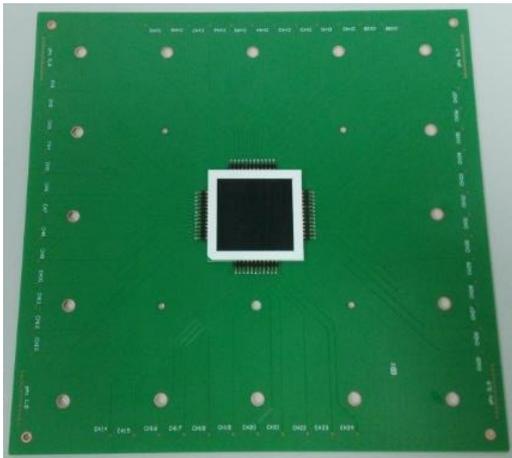
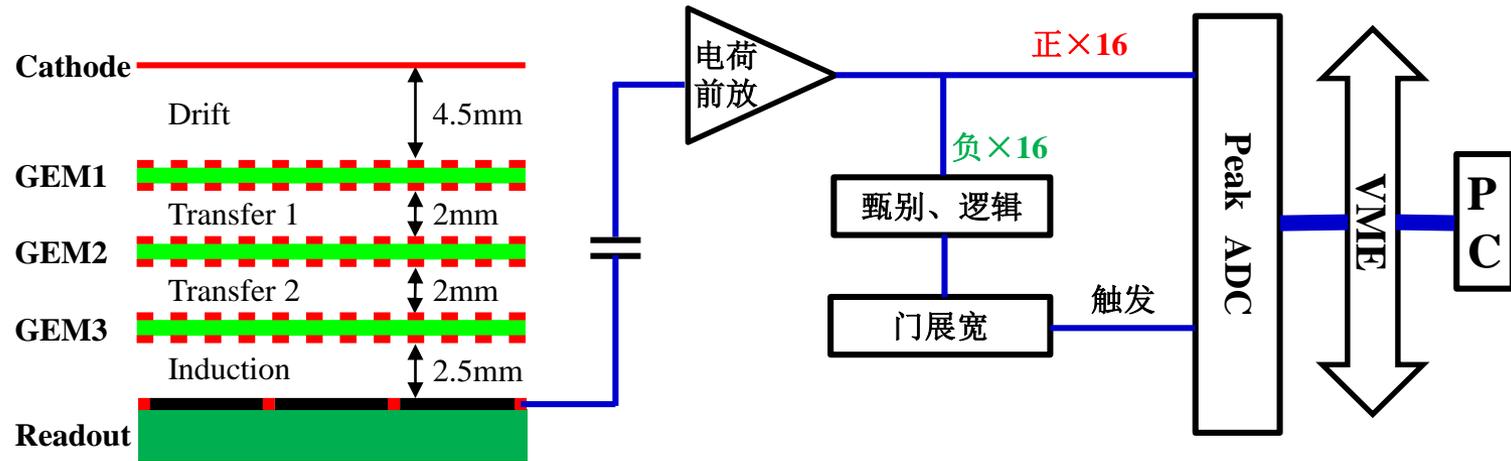
- 位置分辨率
- 计数率

- 应用:

- **Resistive Anode Gas Electron Multiplier**
- 可用于各种微结构探测器的读出极

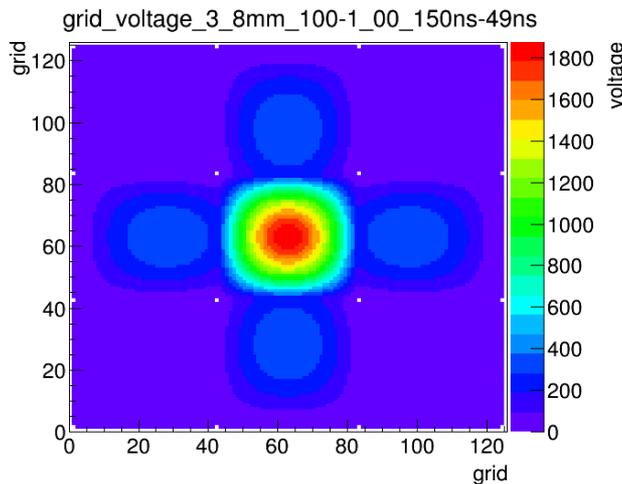
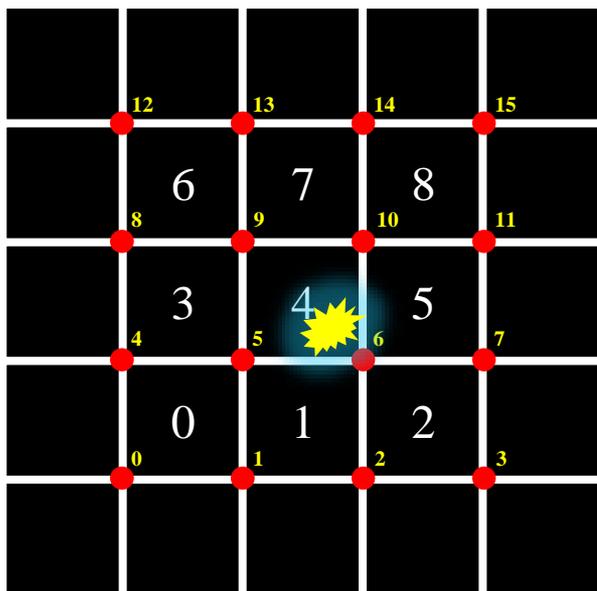


RAGEM探测器

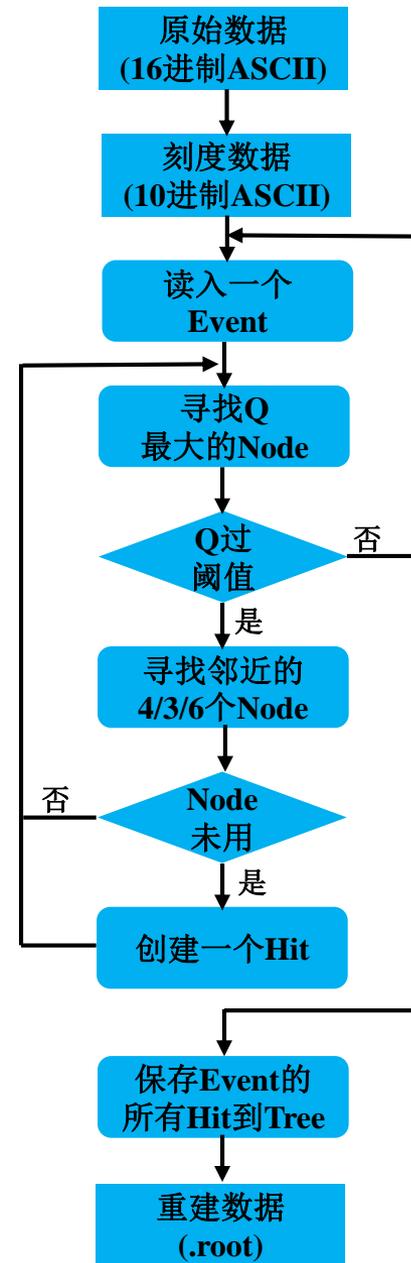
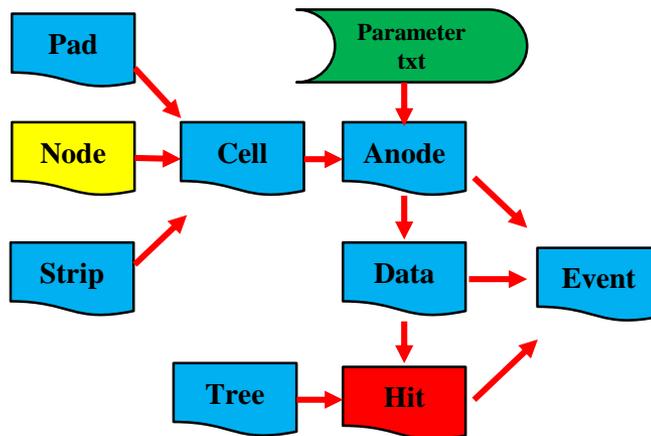
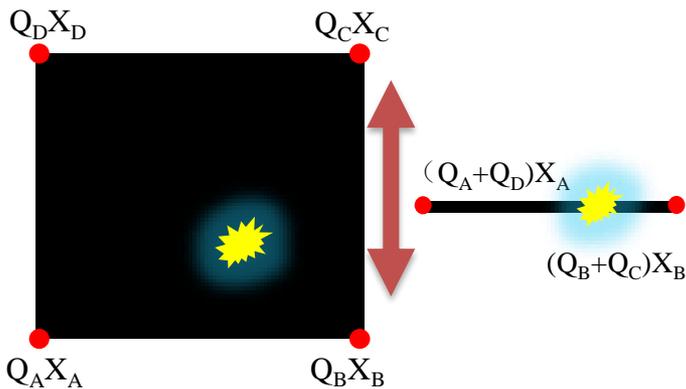


重建算法

重建算法原理



$$\mathbf{X} = \frac{Q_B}{Q_A + Q_B} \times \mathbf{L} = \frac{\sum x_i Q_i}{\sum Q_i}$$



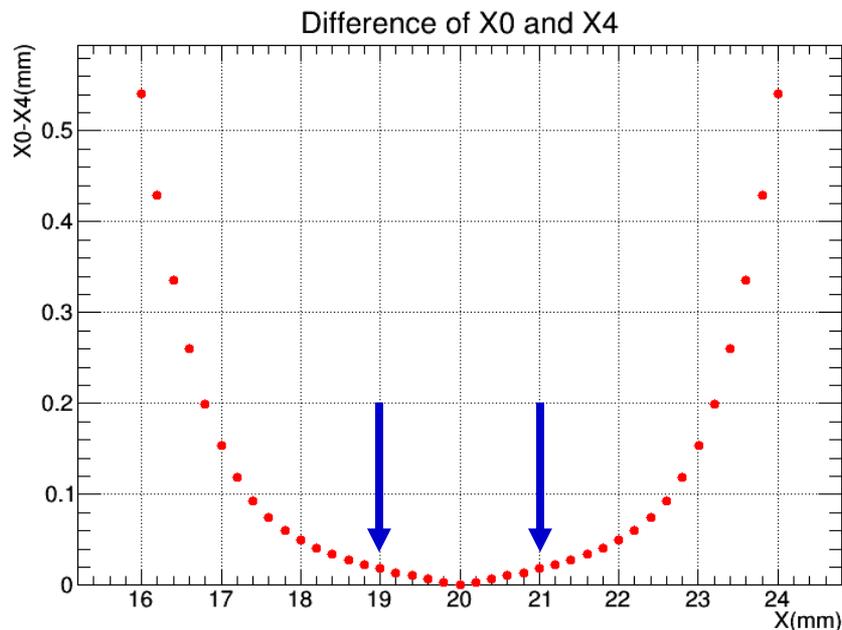
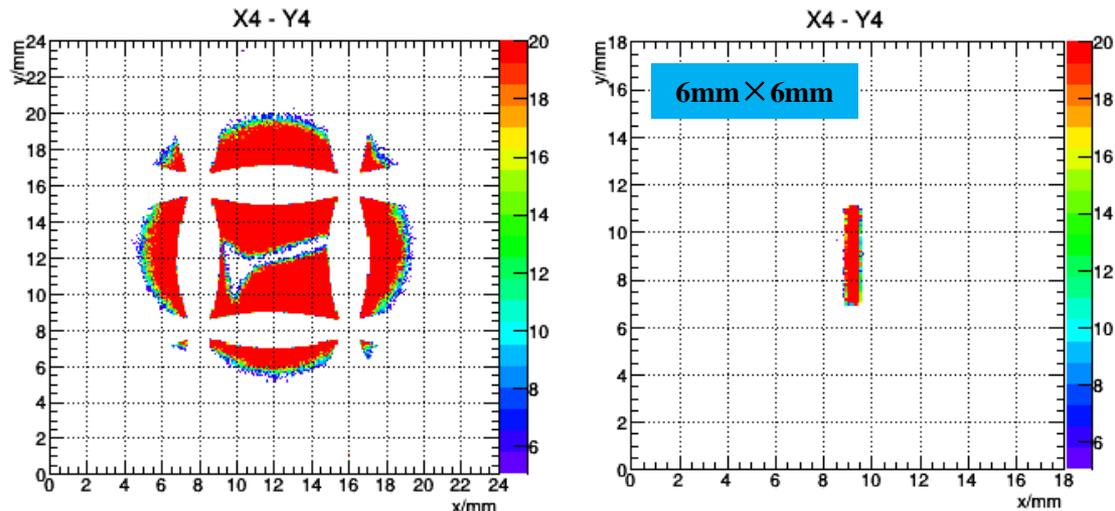
重建算法：4节点方法

● 基本原理

- 寻找Q最大的Node
- 寻找该Node所在的Pad
- 利用该Pad的4个Node重建
- $X4 = \frac{\sum x_i Q_i}{\sum Q_i}$; $Y4 = \frac{\sum y_i Q_i}{\sum Q_i}$

● 特点

- 枕形失真
- 图形有压缩
- 通过模拟计算压缩的程度
 - ◆ Pad中间位置
 - ◆ X0 - X4的大小
 - ◆ 中心区域偏差 $< 20\mu\text{m}$
- 中心区域重建较好
- 边界区域重建不好
- 修正位置分辨
 - ◆ $\sigma^2 = \sigma_{\text{exp}}^2 + \sigma_{\text{rec}}^2$



$$\frac{W_{\square}}{W_L} = \frac{7.8\text{mm}}{0.2\text{mm}}$$
$$\frac{R_{\square}}{R_L} = \frac{100\text{ k}\Omega/\square}{1\text{ k}\Omega/\square}$$

重建算法：16节点方法

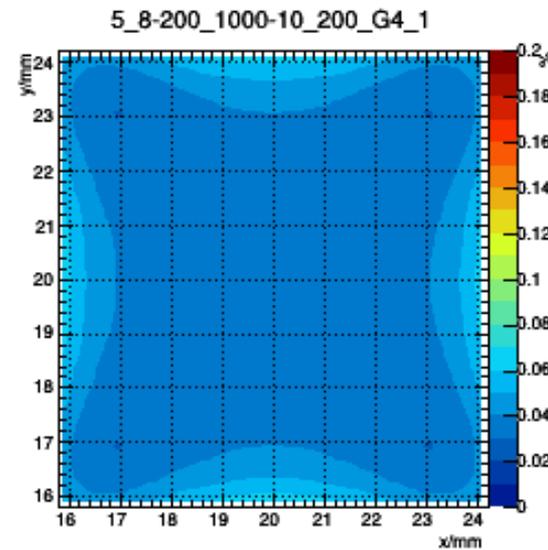
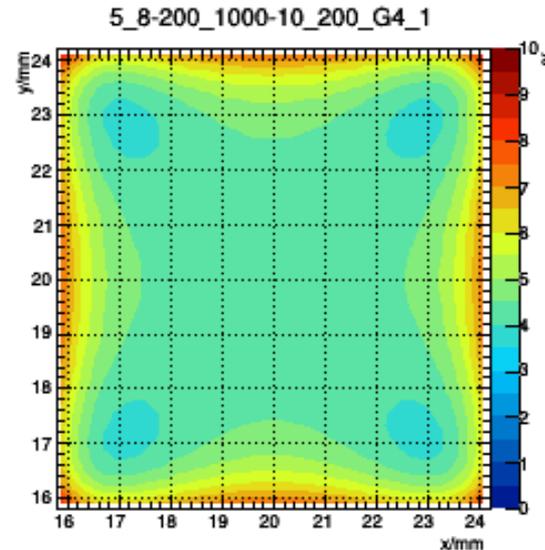
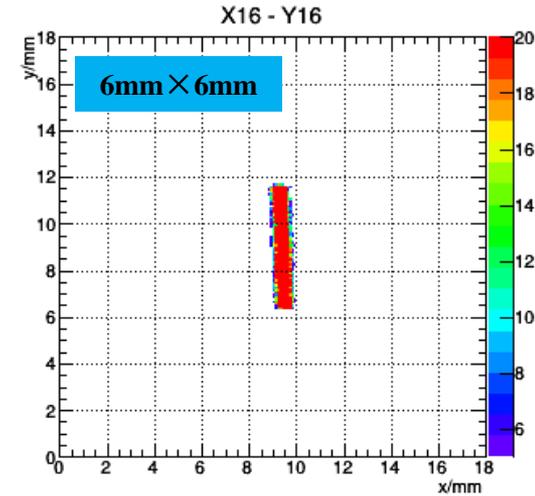
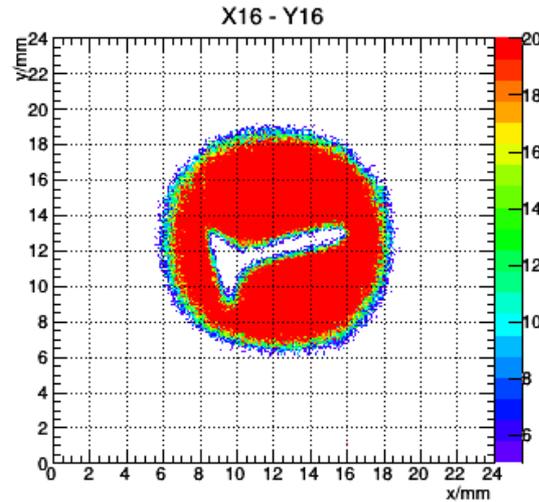
基本原理

- 寻找Q最大的Node
- 寻找该Node所在的Pad
- 寻找该Pad周围的3×3Pad
- 利用这9个Pad的16个Node重建

$$X16 = \frac{\sum x_i Q_i}{\sum Q_i}; Y16 = \frac{\sum y_i Q_i}{\sum Q_i}$$

特点

- 电荷扩散少，利用了更多信息
 - 4节点的电荷损失率 <10%
 - 16节点的电荷损失率 <0.1%
 - 实验情况比模拟情况电荷损失更多，单用4节点方法边缘畸变很严重
- 基本消除了Pad边缘的畸变
- 使用了超过1个Pad的信息



$$\text{Percent} = \left(1 - \frac{Q_4}{Q_{\text{All}}}\right) \times 100\%$$

$$\text{Percent} = \left(1 - \frac{Q_{16}}{Q_{\text{All}}}\right) \times 100\%$$

$$\frac{W_{\square}}{W_L} = \frac{7.8\text{mm}}{0.2\text{mm}}; \frac{R_{\square}}{R_L} = \frac{100\text{ k}\Omega/\square}{1\text{ k}\Omega/\square}$$

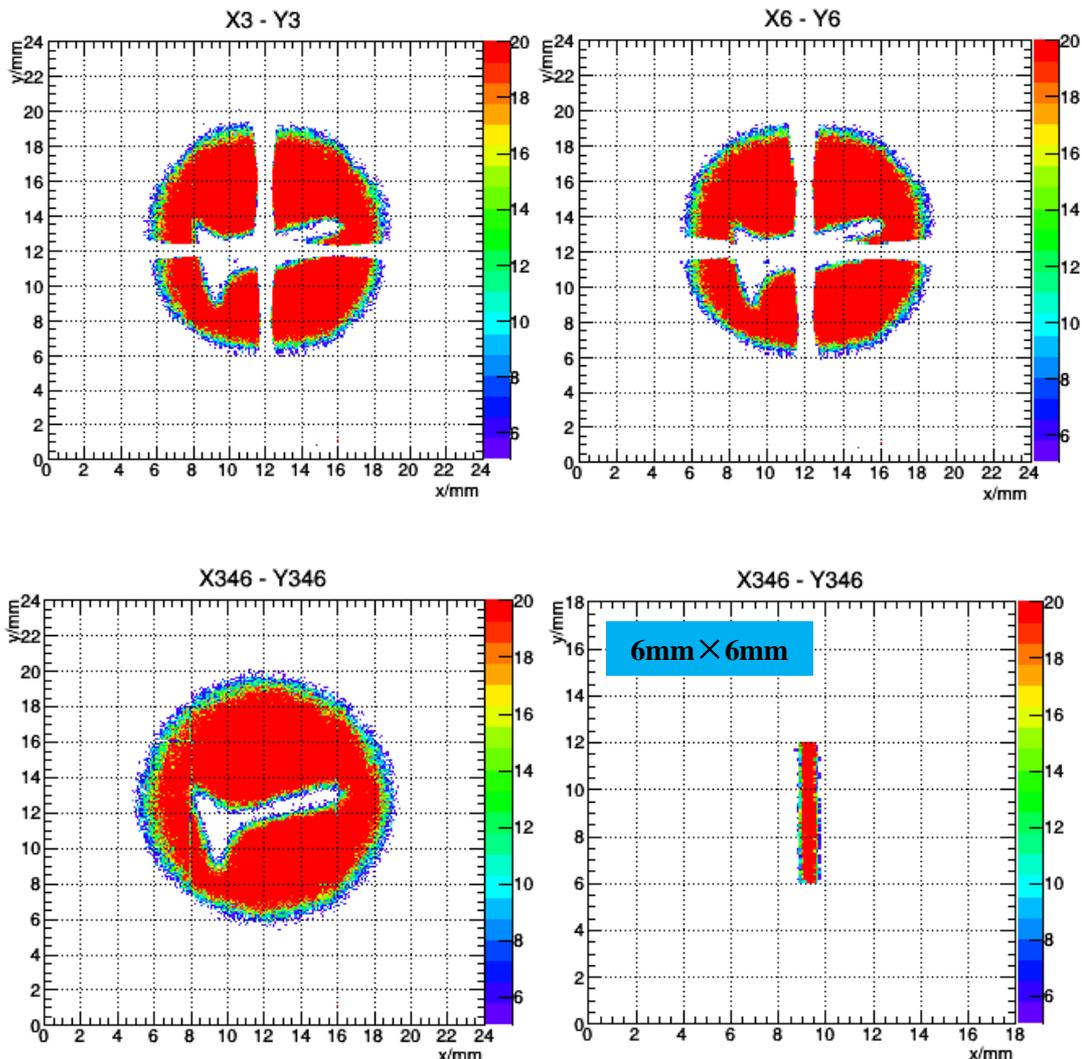
重建算法：346节点加权法

● 基本原理

- 寻找Q最大的Node
- 寻找该Node所在的Pad
- 寻找该Pad的4个Node和距离最大Node最近的3个、6个Node
- 利用4/3/6节点计算位置加权
- $x = \frac{\sum x_i Q_i}{\sum Q_i}; y = \frac{\sum y_i Q_i}{\sum Q_i}$
- $x = a_x x_4 + (1 - a_x)[b_x x_3 + (1 - b_x)x_6]$
- $y = a_y y_4 + (1 - a_y)[b_y y_3 + (1 - b_y)y_6]$
- 参数a、b的选择
- 迭代计算
 - ◆ 前后两次迭代结果之差 $< 1\mu\text{m}$
 - ◆ 迭代成功的次数 < 20 次
 - ◆ 迭代次数 > 100 次
 - ◆ 迭代失败的几率 < 0.001

● 特点

- 更大程度消除了Pad边缘的畸变
- 使用了超过1个Pad的信息



重建算法：模拟查表法

● 基本原理

■ 模拟数据查表

◆ 模拟:

▶ $x_0=f(x_4, y_4)$

▶ $y_0=g(x_4, y_4)$

◆ 实验:

▶ 易得 (x_4, y_4)

▶ 不知 (x_0, y_0)

◆ 利用模拟函数插值实验数据得到对应的 (x_0, y_0)

● 特点

■ 非线性插值

◆ 更符合电荷二维扩散的原理

■ 模拟和实验并不完全一致

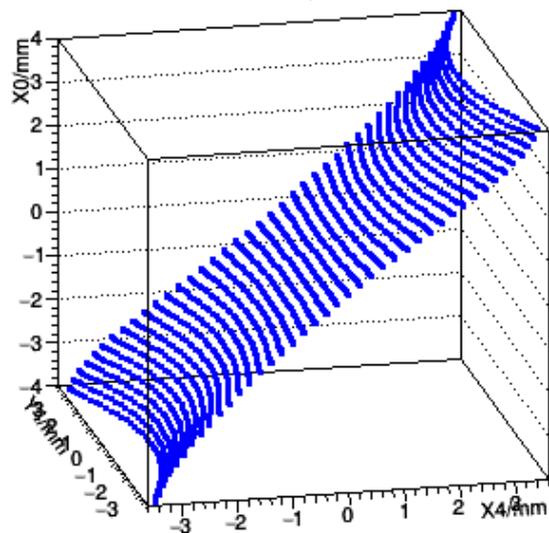
■ 实验数据查表

◆ 需要知道真实位置

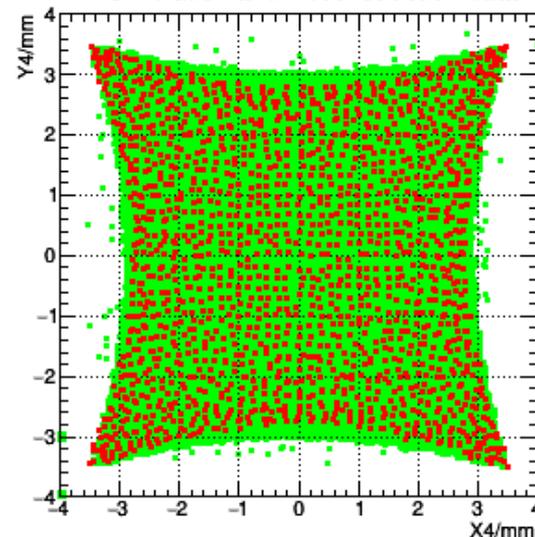
◆ 小孔阵列成像

◆ 因探测器放大效应，难实现

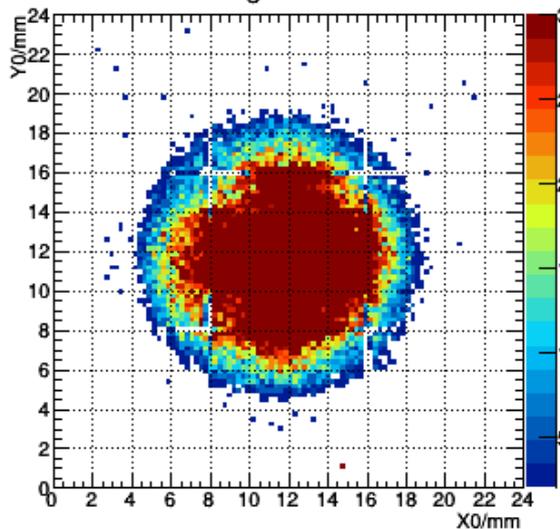
Graph2D



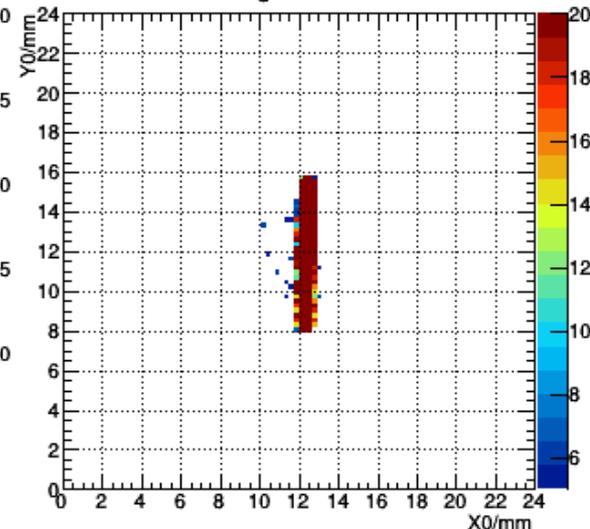
Simulation and Reconstruction data



Aligned X0-Y0



Aligned X0-Y0



位置分辨

探测器位置分辨

测试方法:

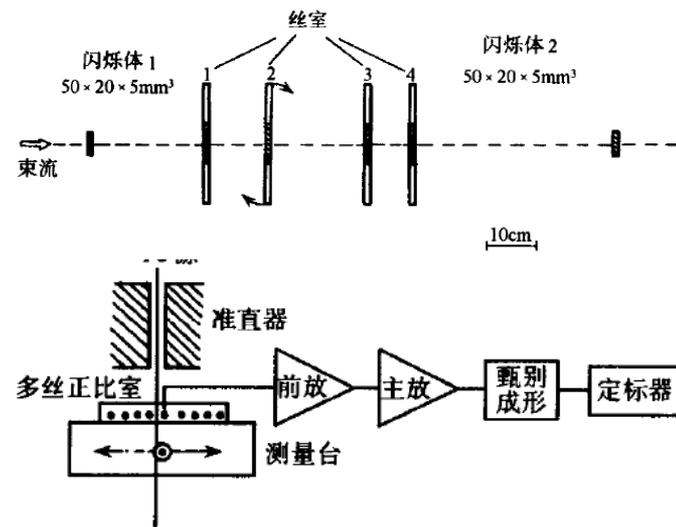
- 束流望远镜实验
- 卷积法

◆ 实验分布 = 理论分布 **卷积** 探测器响应函数

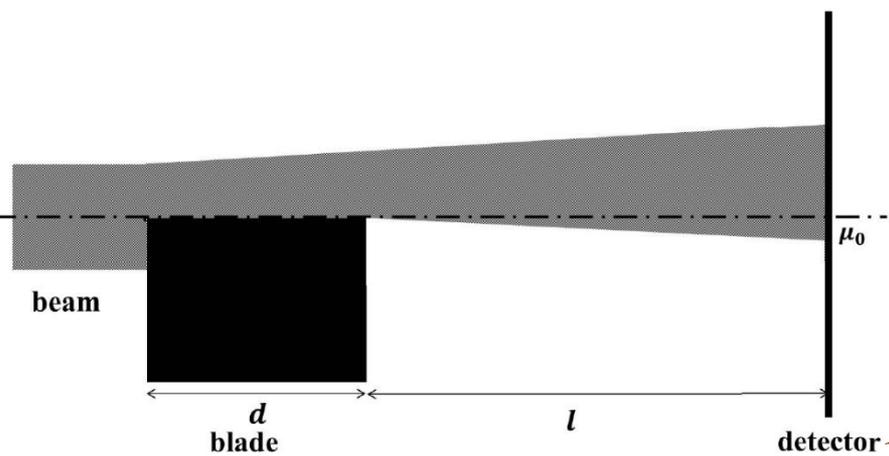
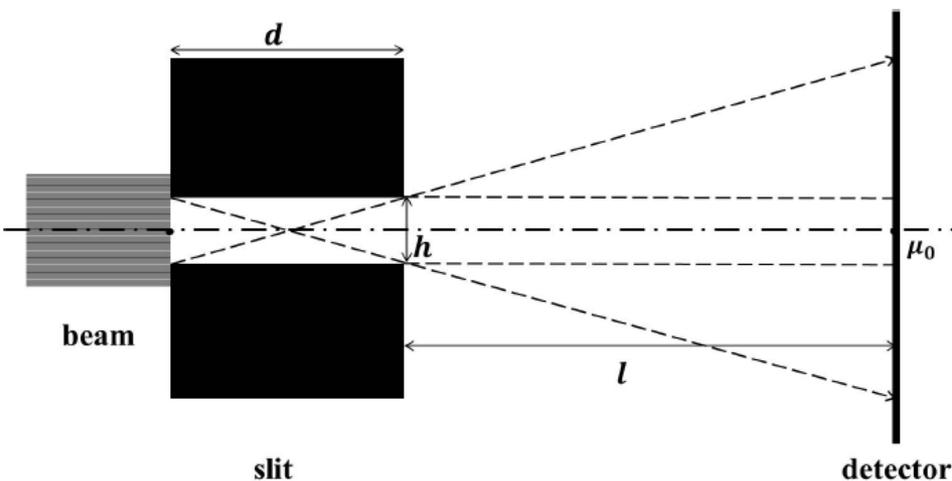
- ▶ 狭缝: 理论分布 看做 **梯形(或均匀)函数**
- ▶ 刃边: 理论分布 看做 **阶跃函数**

表示方法:

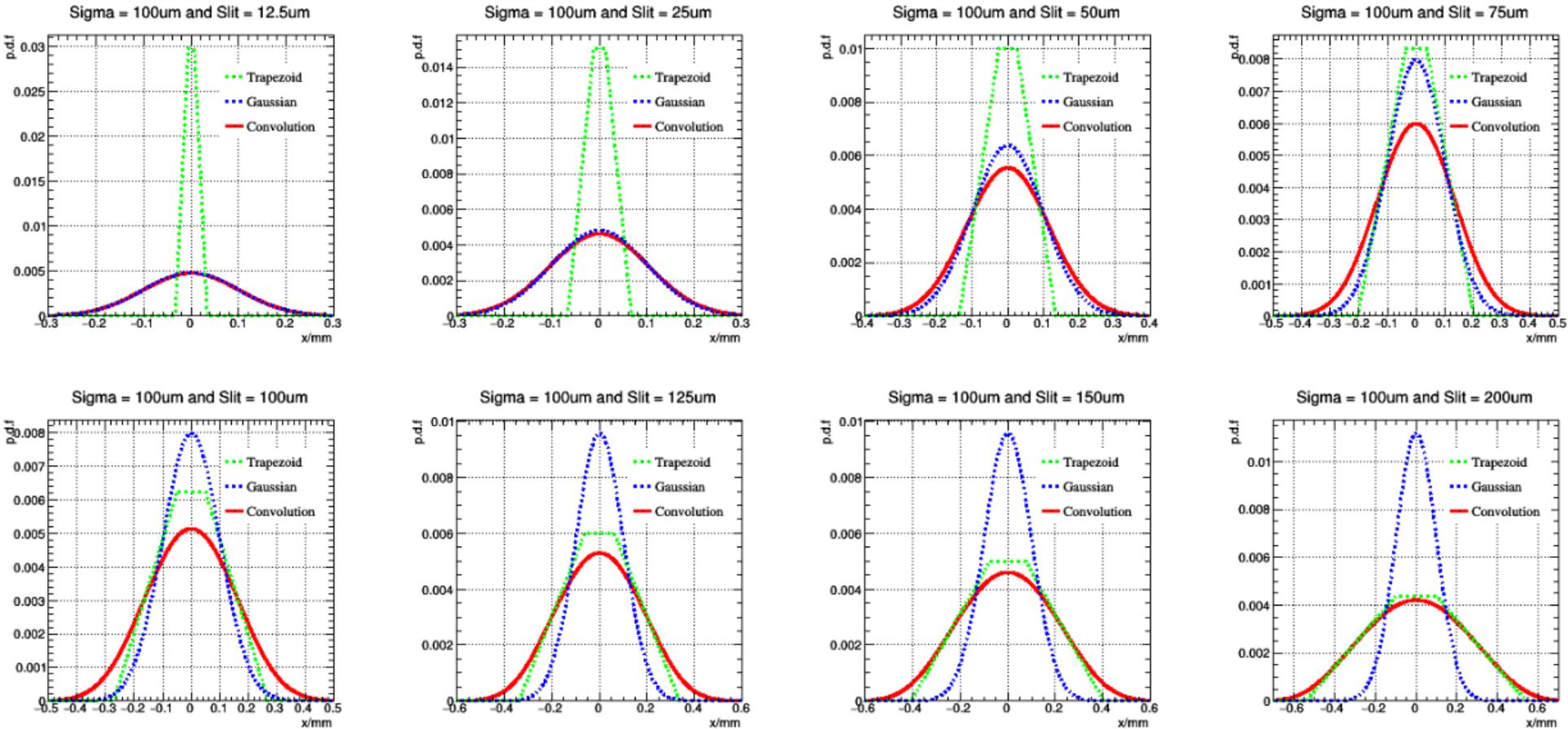
- FWHM(σ)
- 相对的数值(极限值)



$$M(x, a, b) = T(x, a) \otimes R(x, b) = \int_{-\infty}^{\infty} T(x, a) R(x - x', b) dx'$$



位置分辨测量：狭缝



● 必要条件

- 狭缝的宽度、厚度
- 狭缝距探测器的高度
- 狭缝的精度
- 源的均匀性、强度

● 梯形函数 卷积 高斯函数

- 缝宽比 σ 窄很多, 实验分布由 高斯函数 决定
- 缝宽比 σ 宽很多, 实验分布由 梯形函数 决定

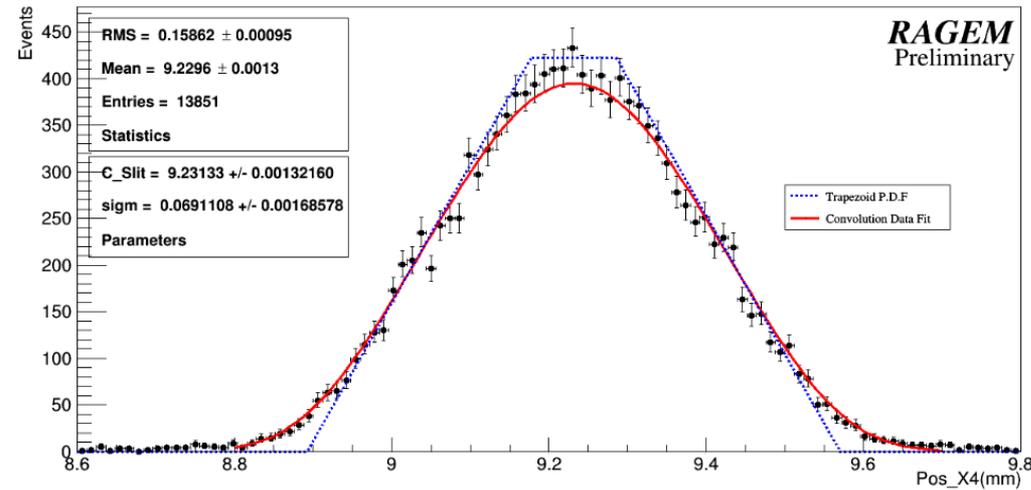
● 狭缝

- 100 μm 狭缝 + ^{55}Fe



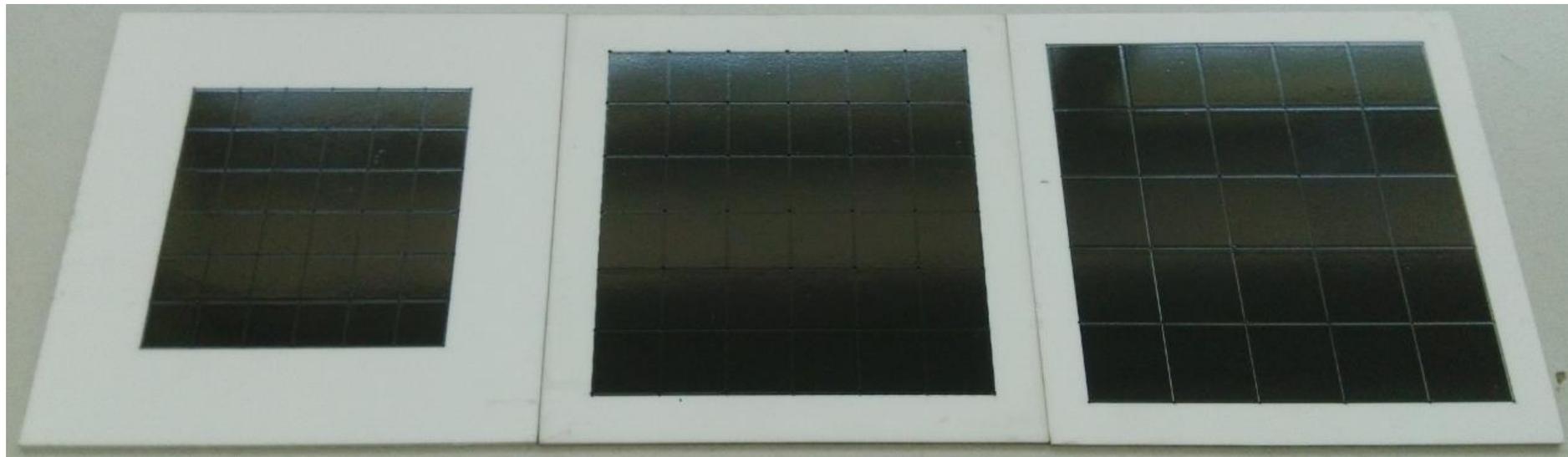
狭缝的位置分辨

Spatial Resolution of Slit width=0.1mm



100 μ m狭缝

σ (μ m)	Pad 6mm \times 6mm	Pad 10mm \times 10mm
4节点方法	69.1	95.7
16节点方法	160.1	197.5
346节点加权法	152.7	166



6mm \times 6mm

8mm \times 8mm

10mm \times 10mm

总结

总结

- 研究了不同的重建算法
- 分析了不同的重建算法下探测器的位置分辨
- 将用X光进行更细致的测试，并完成原型机研制
- 重建算法的优化

谢谢

谢谢