

PandaX-III 实验读出 Micromegas 在高气压下稳定性的改进



报告人：彭云志 文思成 张志永



第二十二届全国核电子学与核探测技术学术年会
暨第十二届全国先进气体探测器研讨会
2024



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

目录



I

PandaX-III 实验

II

稳定性问题

III

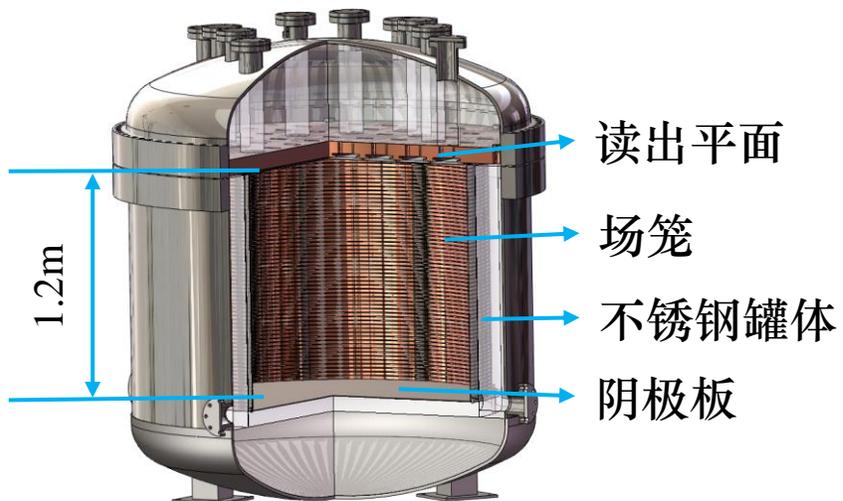
热压接方法和改进方法

IV

稳定性的改善

V

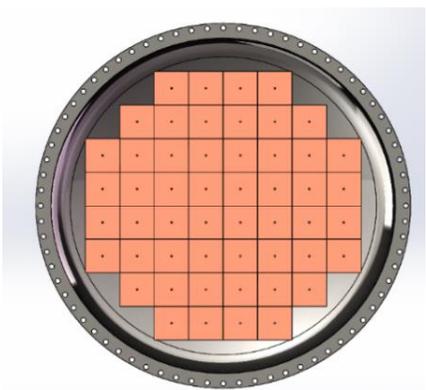
总结



位于锦屏地下实验室 (CJPL-II) 的PandaX-III 实验使用高气压时间投影室 (TPC) 搜寻 ^{136}Xe 的无中微子双贝塔衰变 (NLDBD)

读出平面的需求:

- 3% 能量分辨率@ 2.459 MeV
- 低放射性
- 稳定高增益 ~500@ 10 bar 以确保足够高的信噪比
- 长时间稳定运行@ 10 bar



组成读出平面的
52块Micromegas阵列

12/2019

V1

02/2020

V2

04/2020

V3

08/2020

V4

11/2020

V5

06/2021至今

V6

试图解决的问题:

窄边框

低放射性

能量分辨率

非均匀性和长时间稳定运行

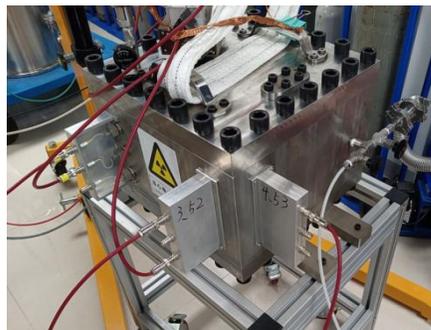


硬质（环氧树脂）PCB

柔性（聚酰亚胺）PCB

➤ 验证窄边框、优良的能量分辨率和长期稳定运行能力

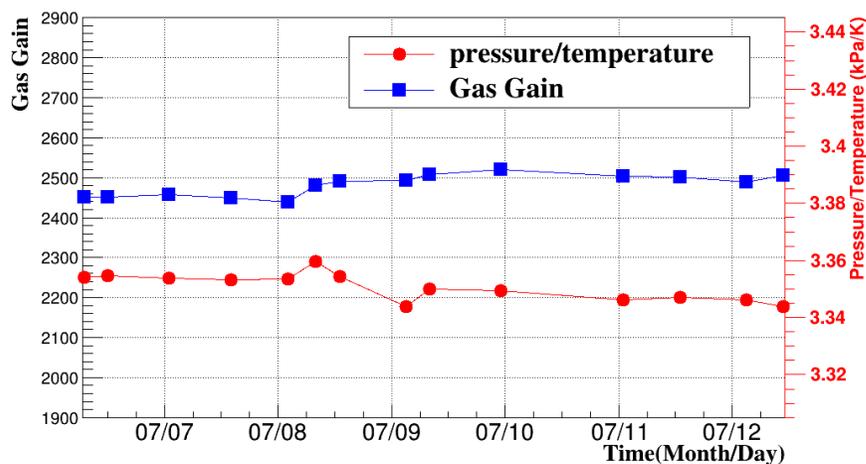
➤ 拥有低放射性和柔性连接



在高压罐内进行Micromegas 10bar高压测试

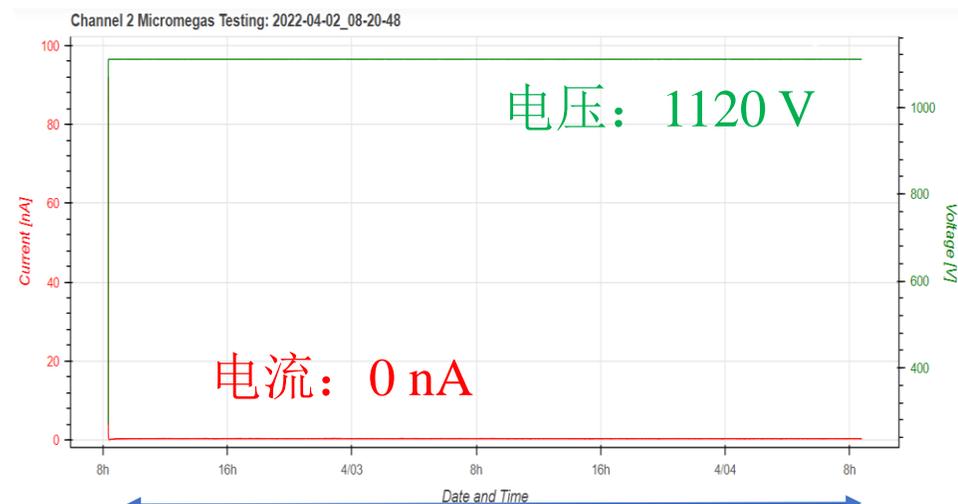
存在的问题:

- 一部分Micromegas在高气压测试中可以稳定运行
- 另一部分Micromegas在高气压测试中会出现无法恢复正常工作状态的打火



稳定运行 > 6 天

由于高压罐漏气, 增益逐渐增大(变化幅度< 3%)

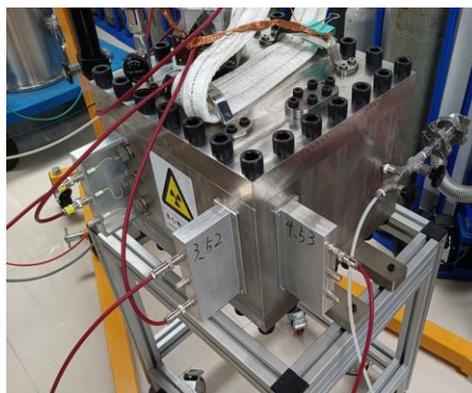


24 hours

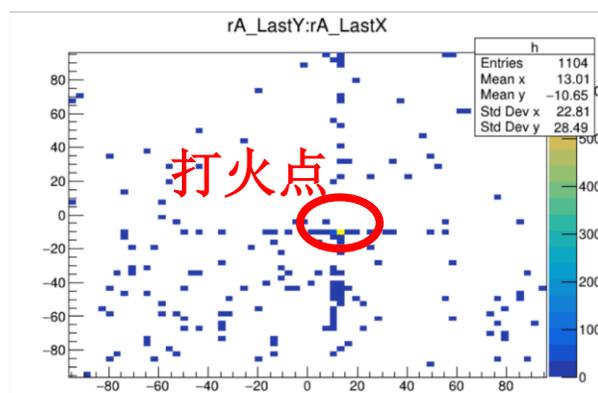
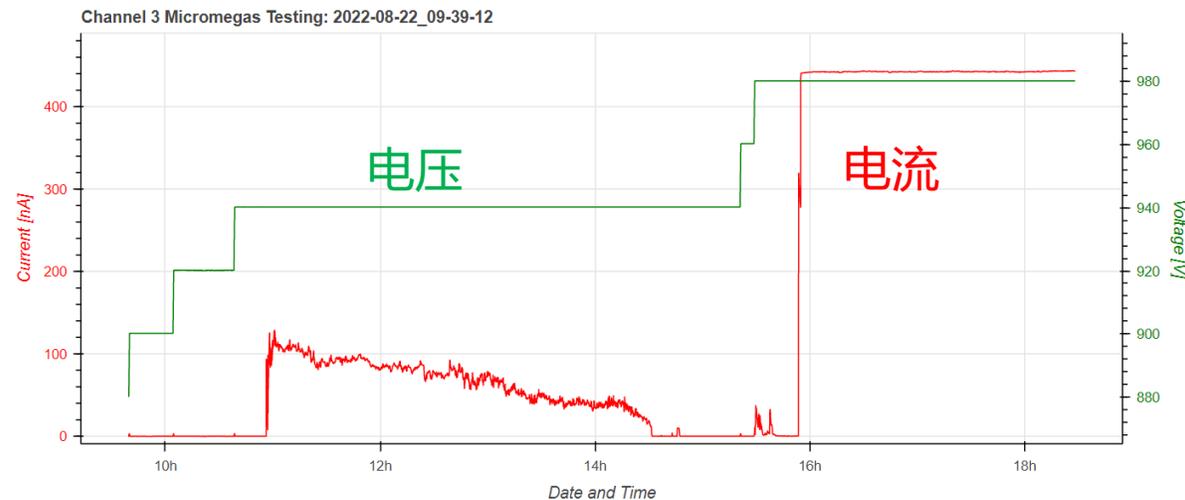
长时间电压和电流监测

气体: 10 bar Ar+2.5% Iso

- 突然出现的大漏电流
- 无法自行恢复正常
- 在两地测试都出现相似问题



中国科大测试

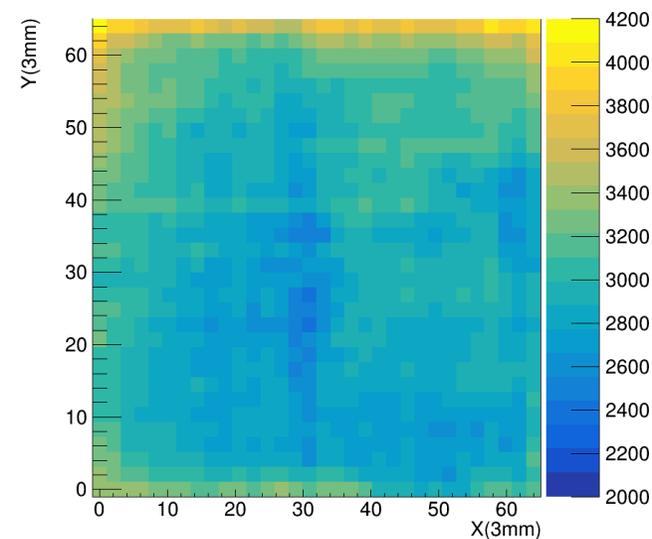


上海交大测试





阳极板镀锆(厚度300nm)
有效提高Micromegas的增益和稳定性

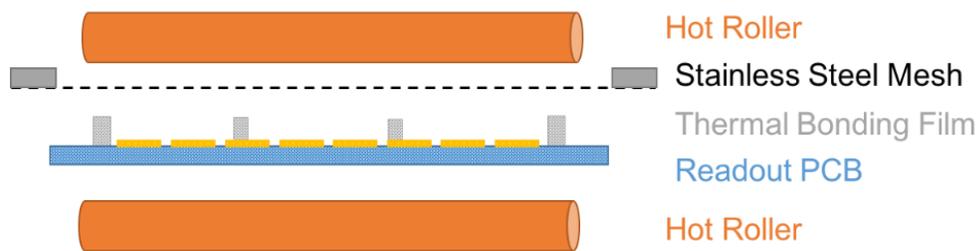


非均匀性改善也有助于
提高Micromegas的稳定性

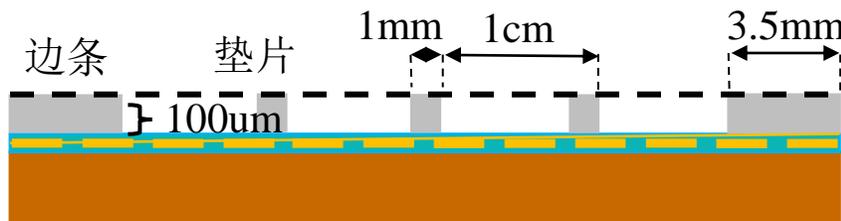


热压接方法

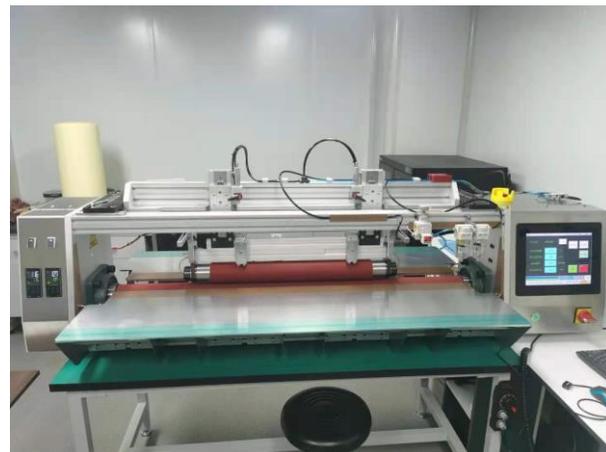
经过十余年的不断探索，**热压接方法**（TBM）日臻成熟，该方法提供了一种简洁、无蚀刻的 Micromegas 批量制作工艺。



热压接方法示意图



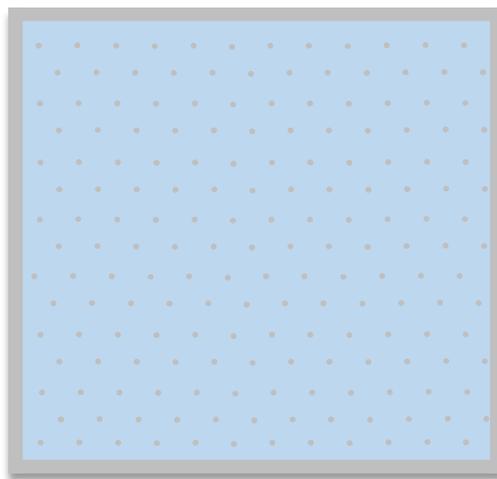
Micromegas侧视图



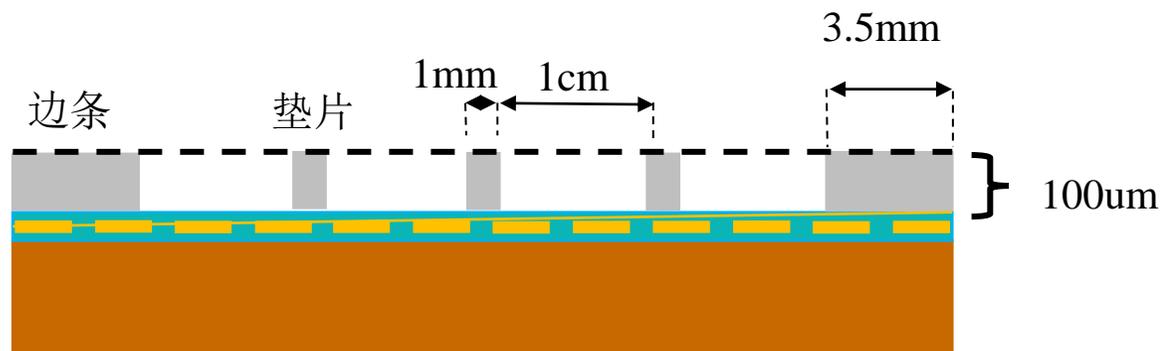
热压机

热压接工艺的优势:

- 无刻蚀, 无污染
- 制作简单
- 新结构容易制作
- 经济成本低
- $\Phi 0.5\text{mm} - \Phi 1\text{mm}$ 胶柱, $\sim 1\text{cm}$ 间隔
 - ➔ 易清洁, 尤其是针对大面积探测器
 - ➔ 所有胶柱占面积 $< 1\%$

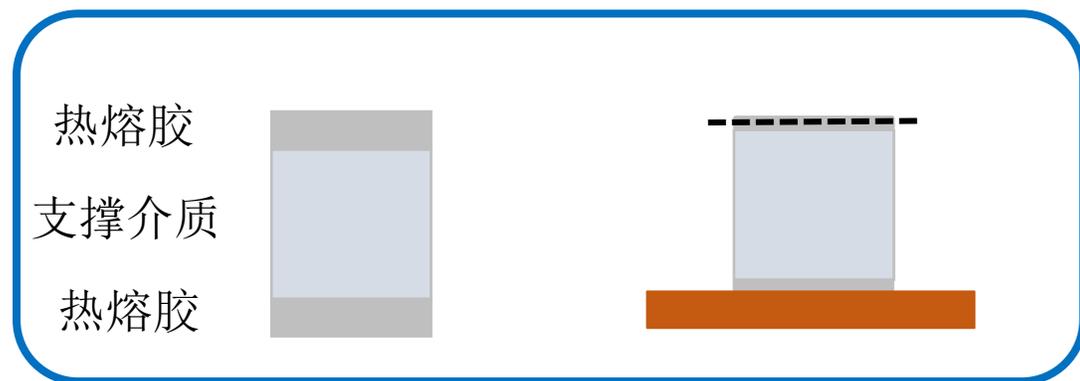


Micromegas俯视图

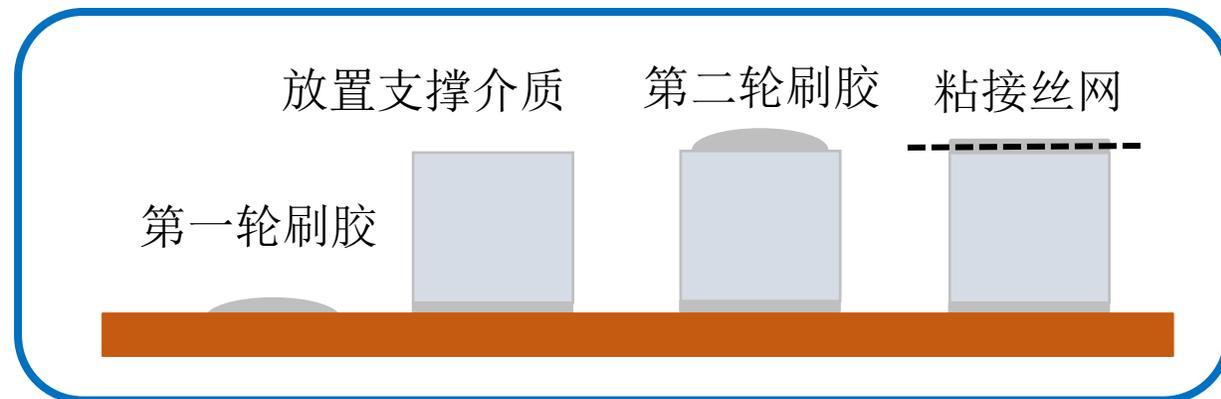


热压接Micromegas侧视图

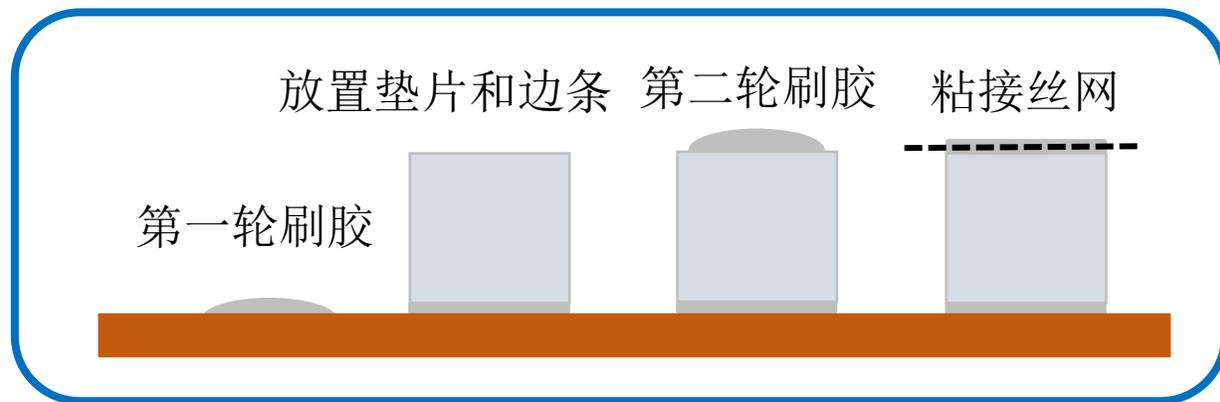
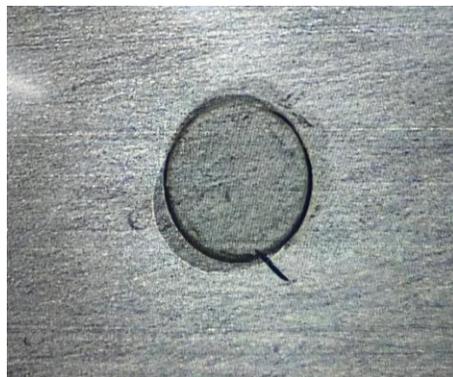
- 两种方法都是通过胶将丝网、支撑介质、阳极板粘接在一起
- 热熔胶膜（由热熔胶和中间的支撑介质组成）是一体的，热压时直接放置即可
- 改进方法所需胶水和绝缘介质是分别放置的



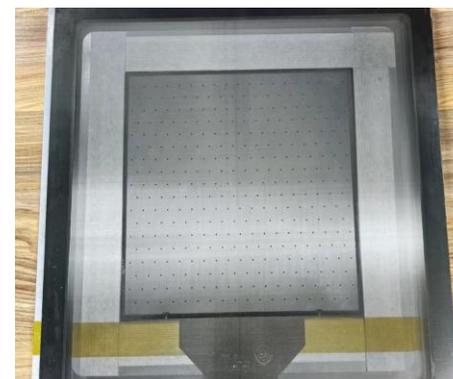
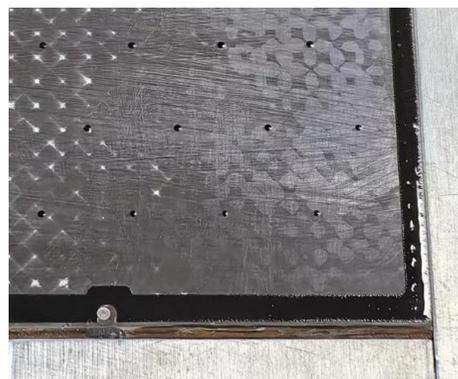
热压接方法示意图



改进的热压接方法示意图



改进的热压接方法示意图



第一轮刷胶

放置垫片和边条

第二轮刷胶

粘接丝网

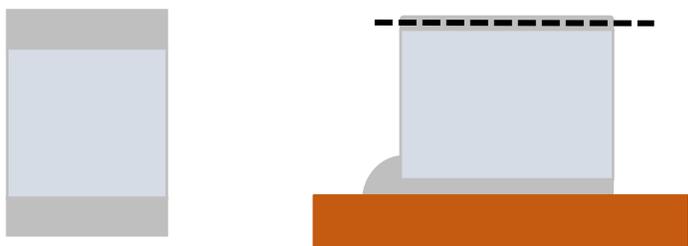
►猜想：由于热熔胶表面极化电荷的影响，气体部分电场强度增大，降低了探测器整体的稳定性

►使用更少胶量的胶水替代热熔胶，避免溢胶，优化胶膜附近气隙，提高Micromegas高压下稳定性

$$\int_0^{l_1} E \cdot dl + \int_{l_1}^{l_2} (E_0 + E') \cdot dl = V$$

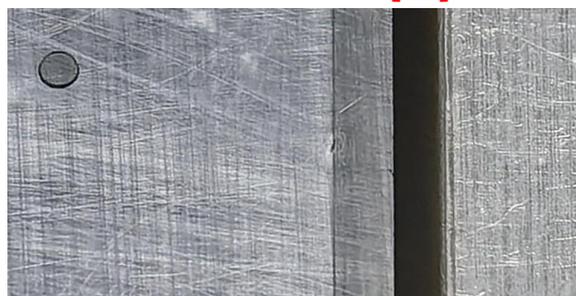
退极化场

热熔胶
支撑介质
热熔胶



热熔胶膜边缘状态

胶水



边条

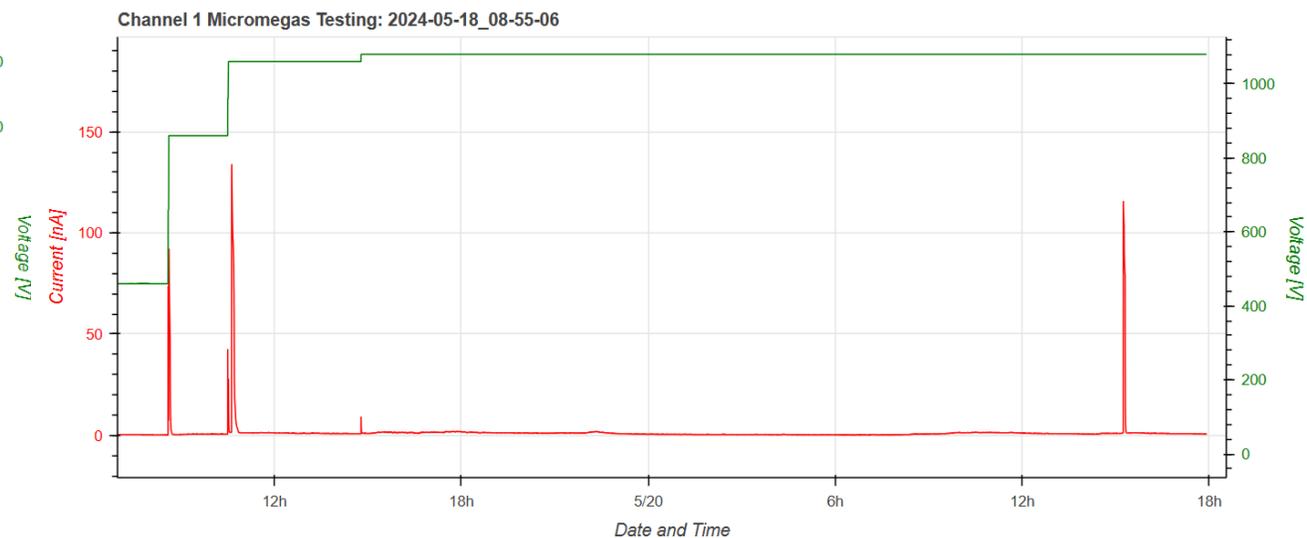
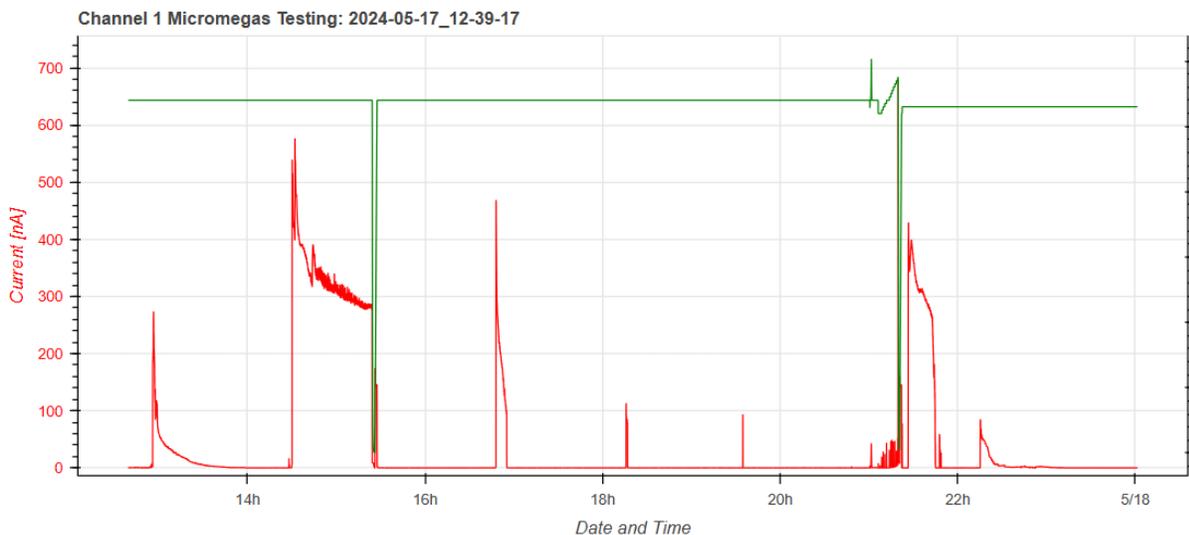
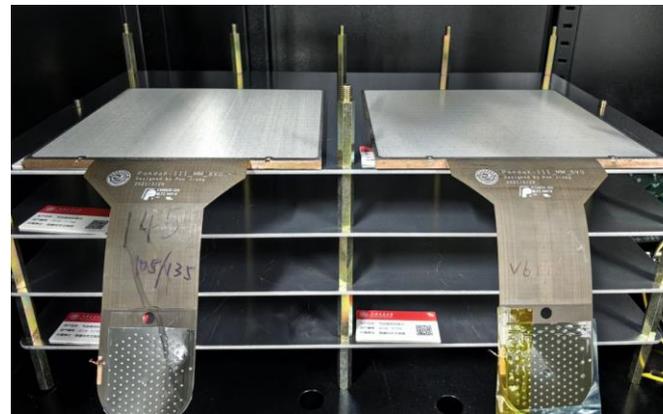
胶水



边条

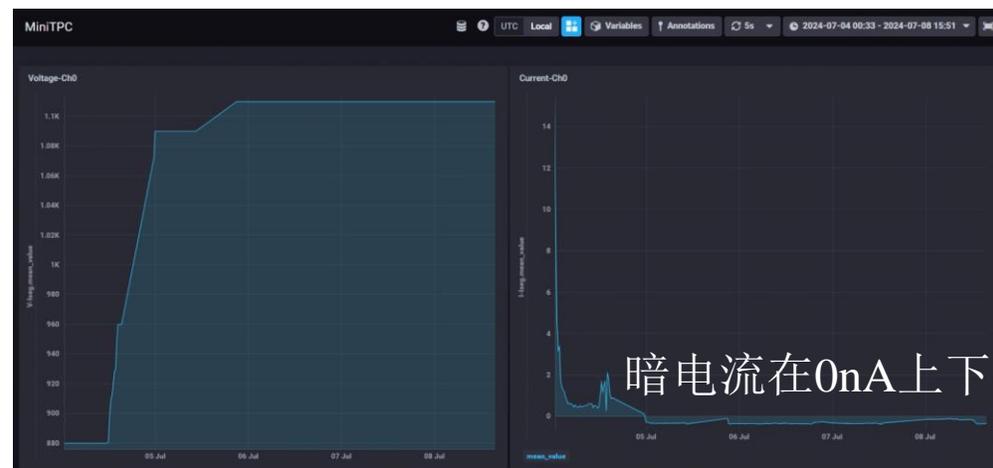
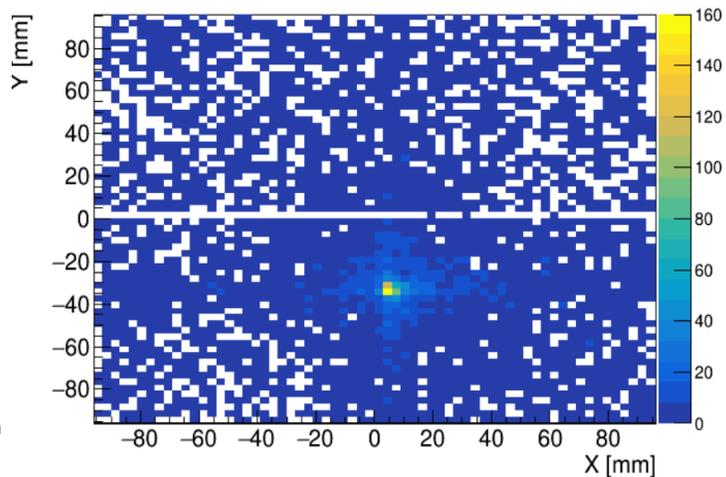
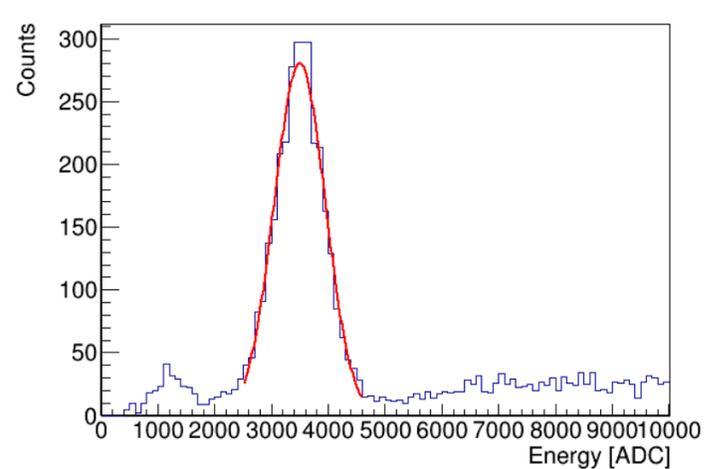
改进的热压接方法边条状态

- 电压：1080V
- 气体：10 bar Ar+2.5% Iso
- 增益：~2500
- 在中国科大测试，两个Micromegas均在10 bar 下稳定性很好，未出现无法自行恢复的情况

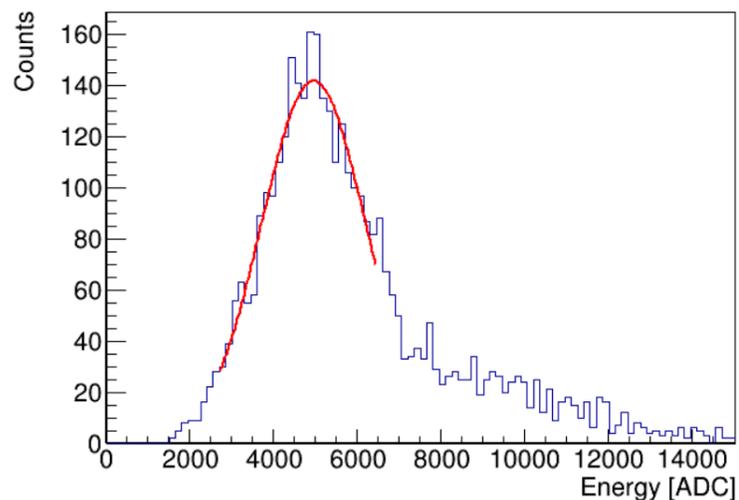


长时间电压和电流监测

- 气体：10 bar Ar+2.5% Iso
- 设备：miniTPC
- 放射源： ^{109}Cd
- 在上海交大连续测试3天，Micromegas均稳定运行



- 气体: 10 atm Xe+1% TMA
- 设备: miniTPC
- 放射源: ^{109}Cd
- 在10bar氙气中测试, 一个月的时间内Micromegas运行稳定
稳定性问题已经初步解决



- 电压: 1050V
- 道数: 4930ADC
- 增益: 2150
- 能量分辨率: 58.5% (FWHM)



总结

- 在高气压下的稳定性是PandaX-III 实验对Micromegas的基本要求
- 传统的方法不足以解决稳定性问题
- 改进的热压接方法为稳定性问题提供了可行的道路
- Micromegas高气压长时间运行稳定性问题已经初步解决

Thanks for listening