



STCF主漂移室研制进展

马 朋

中国科学院近代物理研究所
STCF-MDCH工作组

2024 STCF研讨会
兰州大学
2024.07.09

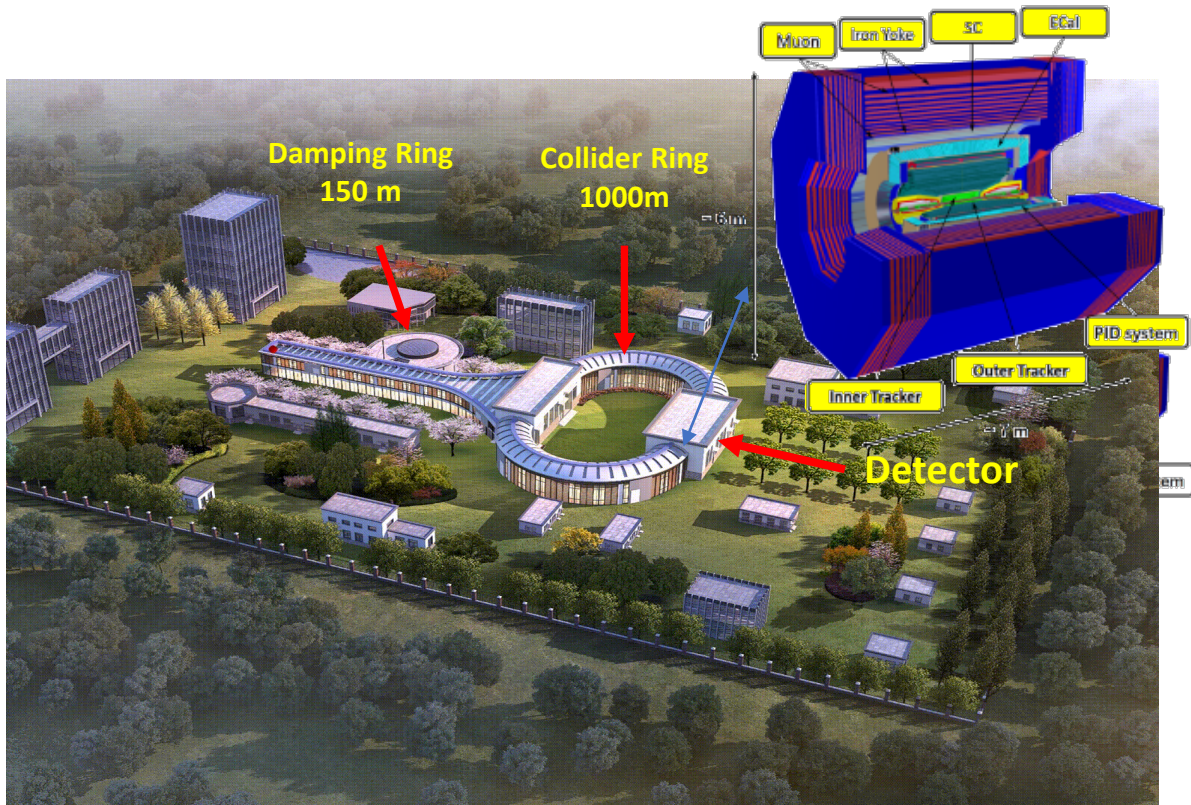


报告目录



- 探测器进展
 - 整体设计优化
 - 探测器工艺研究（定位子，穿孔工艺等）
 - 探测器样机研究
- 电子学进展
 - 原理验证电路设计与测试
 - 基于分立元件的原理样机设计
 - ASIC芯片研制
- 下一步工作计划

外径迹探测器 (MDCH) 位于谱仪内侧，参与触发，承当径迹重建任务



系统性能要求：

- 漂移室立体角接收度达到93% ($\theta < 20^\circ$)
- 对横动量大于150 MeV/c的带电粒子的径迹探测效率高于90%
- 对横动量为1GeV/c的带电粒子的动量分辨率好于0.5%
- dE/dx测量分辨率好于6%
- 径向总物质量低于5% X_0
- 电子学应对高计数率需求(200~400kHz/ch)

新一代正负电子对装机 (STCF)

质心能量 2-7GeV, 亮度 $> 0.5 \sim 1 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

漂移室属于成熟的探测技术，STCF漂移室及其读出电子学的挑战主要来自于高计数率，最内层计数率 (~400 kHz/channel) 需要优化

- (1) 超小单元设计(~5 mm)
- (2) 高计数率电子学设计

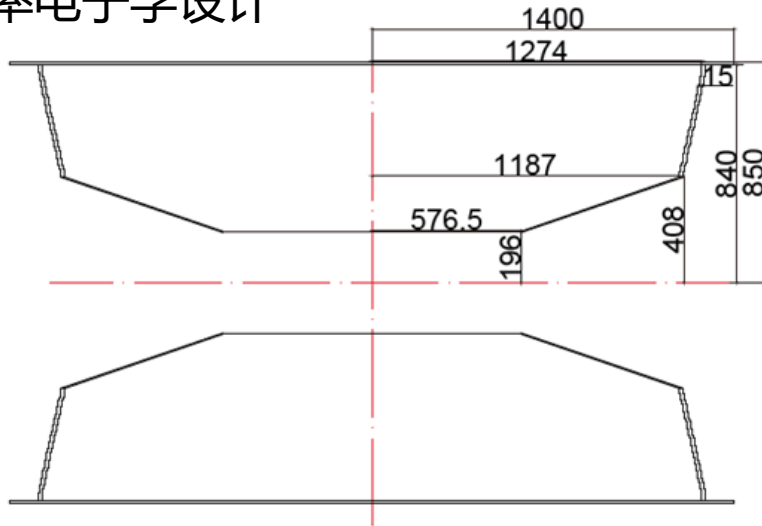
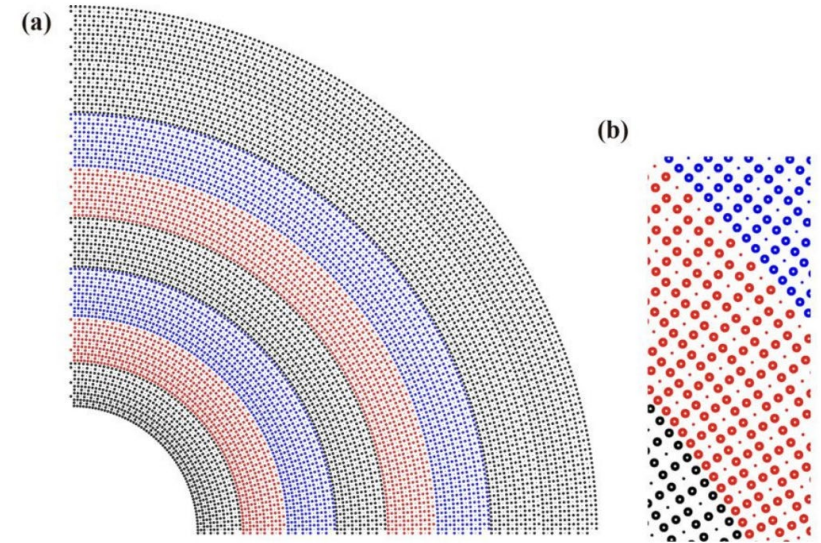


Figure 6.2.1: The schematic structure of the MDC.

Table 6.2.1: The main parameters of the STCF MDC conceptual design.

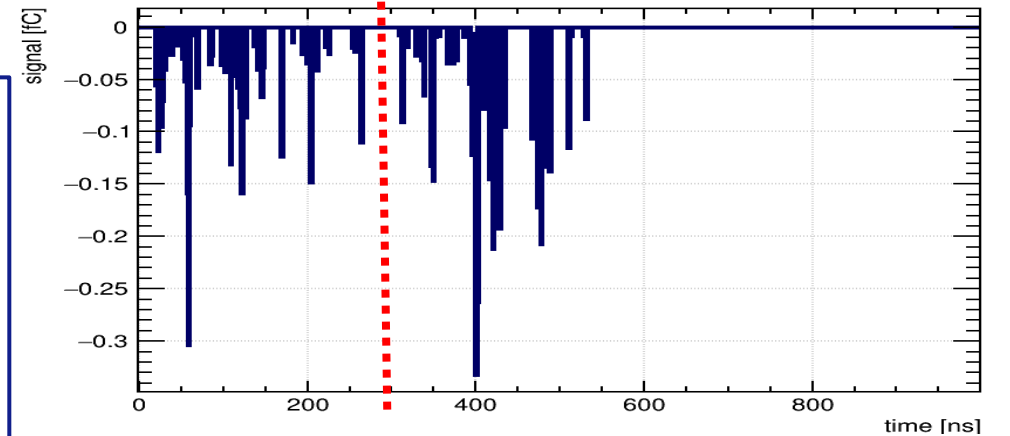
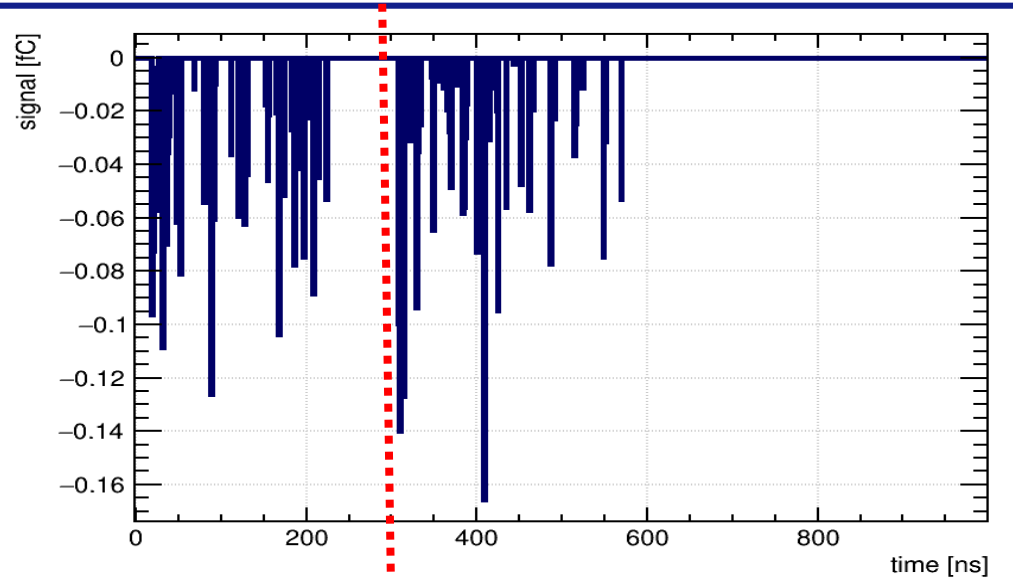
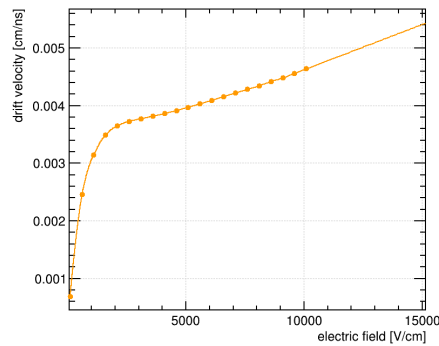
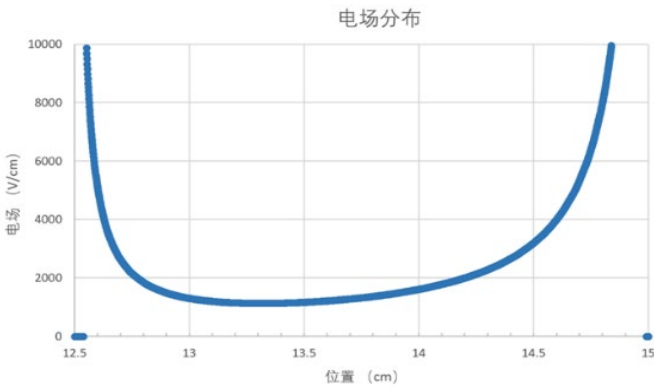
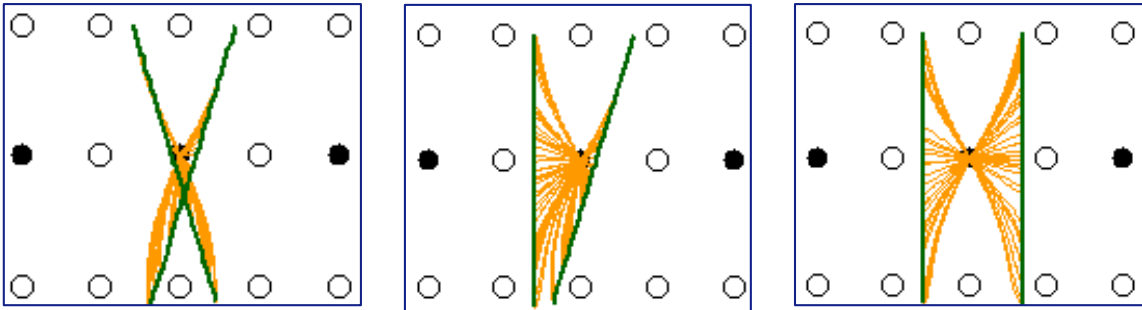
Superlayer	Radius (mm)	Num. of Layers	Inclination (mrad)	Num. of Cells	Cell size (mm)
A	200.0	6	0	128	9.8 to 12.5
U	271.6	6	39.3 to 47.6	160	10.7 to 12.9
V	342.2	6	-41.2 to -48.4	192	11.2 to 13.2
A	419.2	6	0	224	11.7 to 13.5
U	499.8	6	50.0 to 56.4	256	12.3 to 13.8
V	578.1	6	-51.3 to -57.2	288	12.6 to 14.0
A	662.0	6	0	320	13.0 to 14.3
A	744.0	6	0	352	13.3 to 14.5
total	200 to 827.3	48		11520	



漂移单元的最大漂移时间约为 250 ns 主漂移室信号宽度约为500 ns，MDC最内层计数率非常高的。在 500 ns 的时间窗内，MDC信号堆积的概率约为18%，单通道的信号重叠概率很高。

10mm单元, 60%He+40%C3H8

1700V 时间间隔300ns



漂移单元内主要是低电场区, 更改电压和单元尺寸, 电场强度变化小, 对漂移速度影响不显著, 想减小漂移时间主要靠减小单元尺寸

信号和径迹特征相关, 有的分不开



电场仿真

工作电压1500V

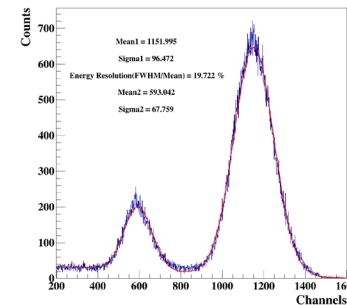
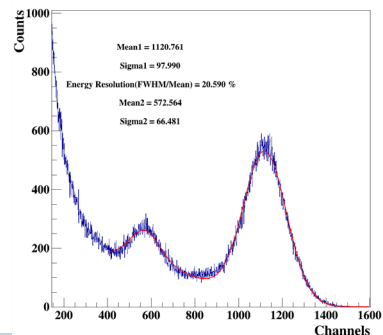
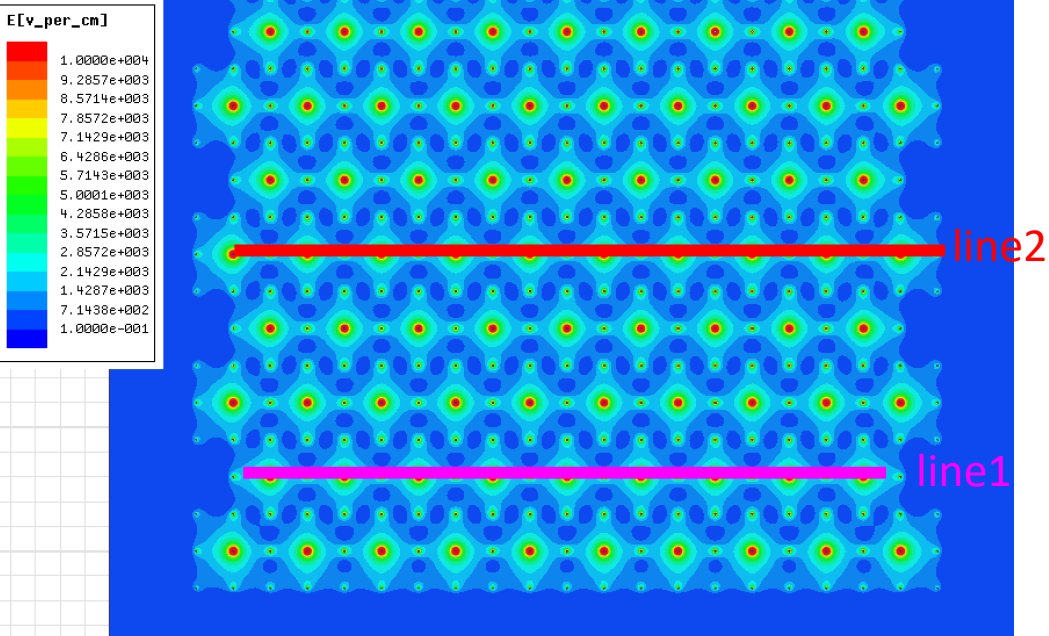
Sense: 20um 1500V

Field: 100um 0V

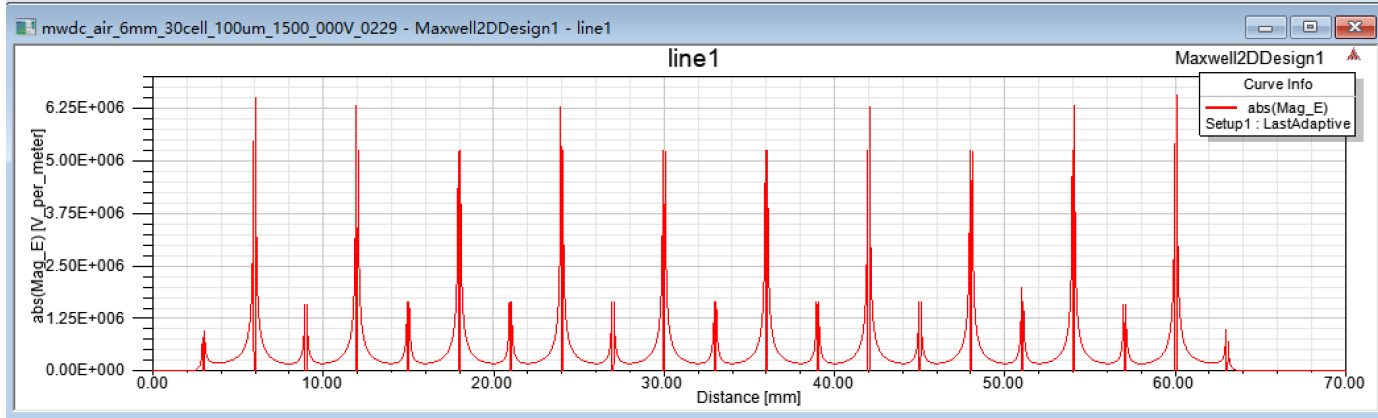
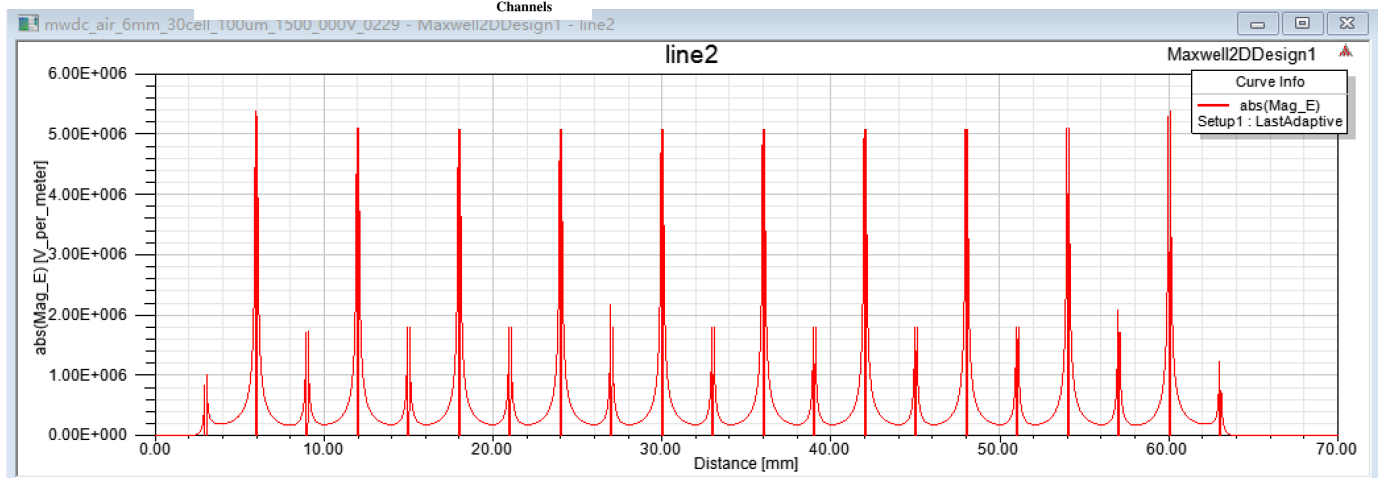
工作电压1500V

Sense: 20um 1200V

Field: 100um -300V



正负高压
分辨更好



工作电压1500V

6mm CELL 13layer

Sense: 20um 1500V

Field: 100um 0V

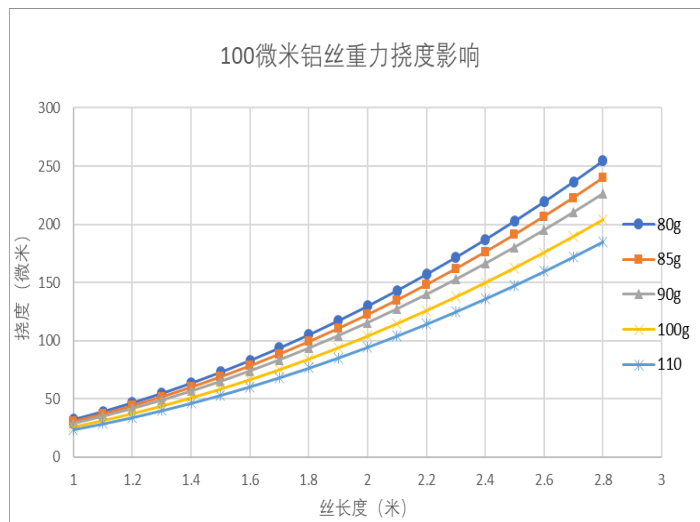
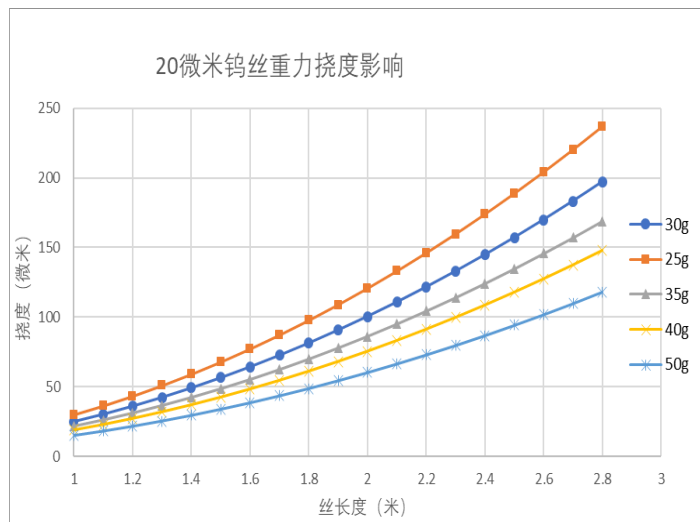
6mm CELL 13layer

Sense: 20um 1200V

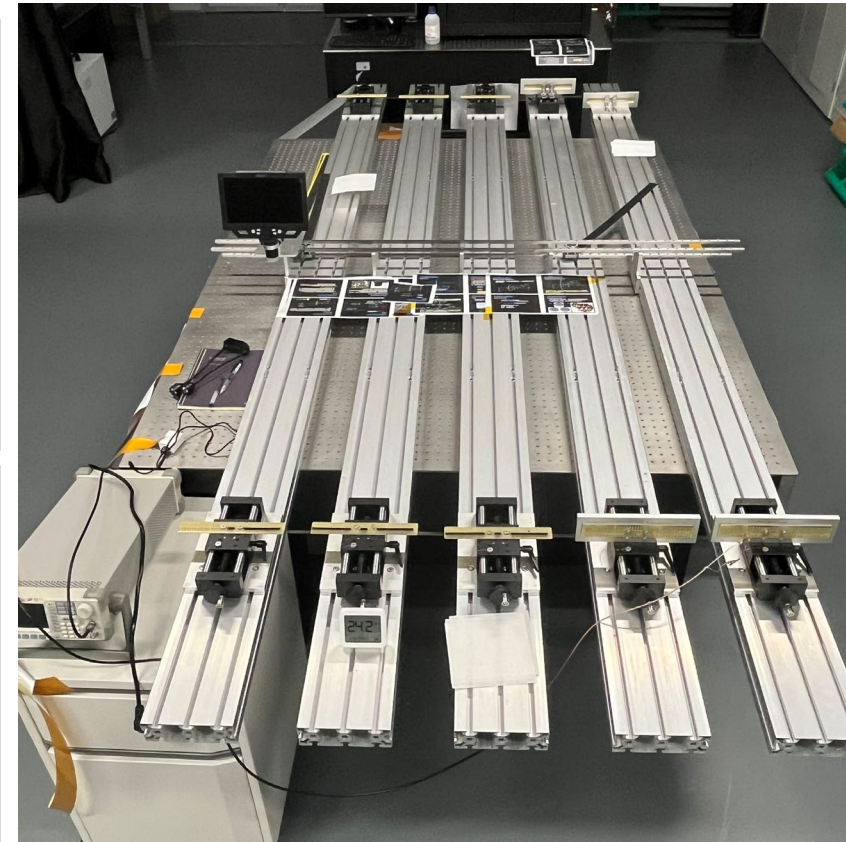
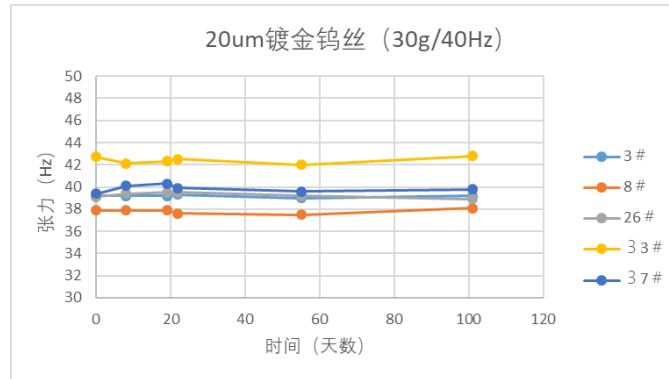
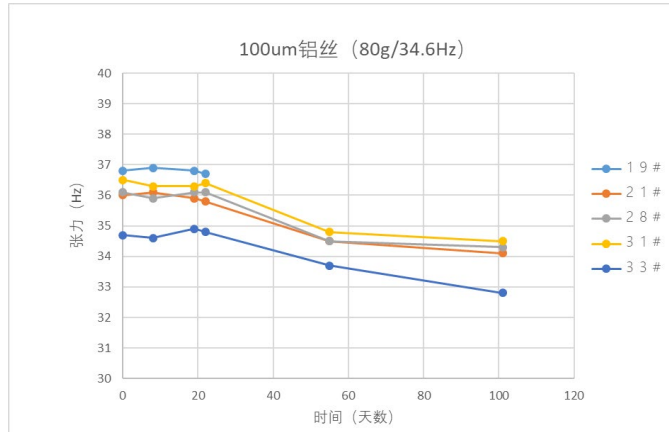
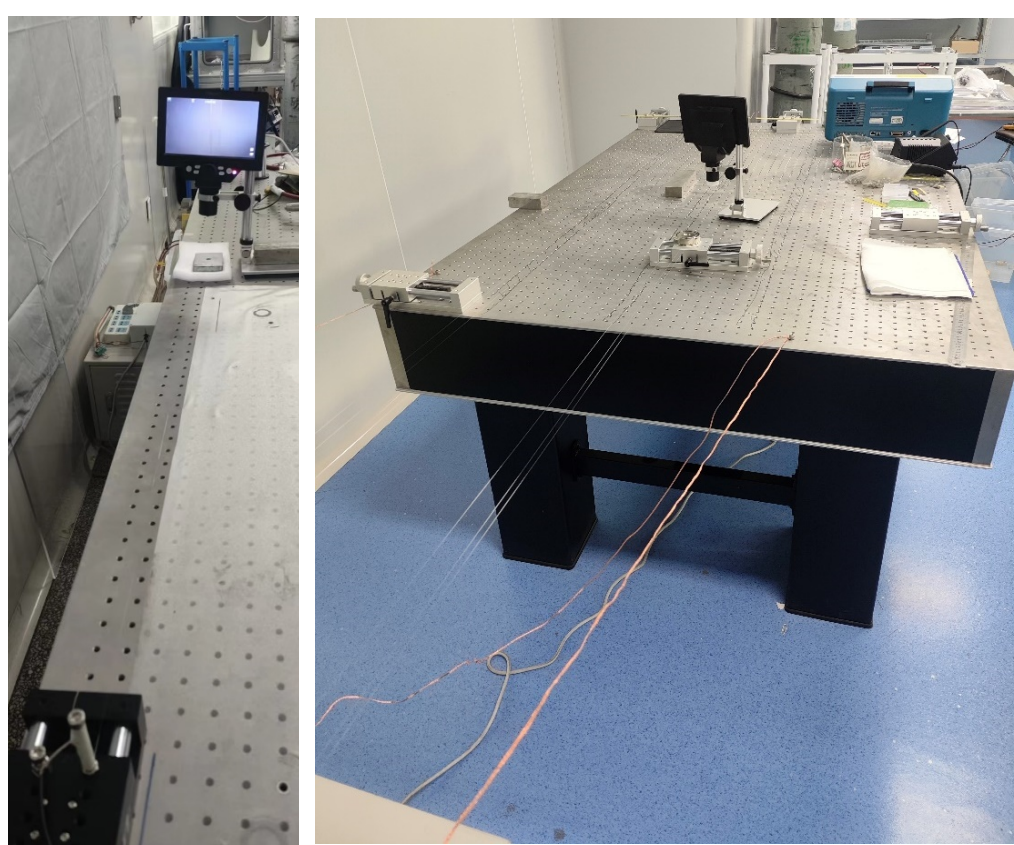
Field: 100um -300V

场丝接近20kV/cm

丝张力：重力挠度、静电力平衡、端板受力 阳极丝：镀金钨丝20um (30g) 场丝：铝丝100um (80g)



	BES III (6796 cell) (外: 5024+16128=21152 内: 484+1612=2096 台阶: 1288+4144=5432 2096+5432+21152=28680根 丝)	MEGII (IDEA drift chamber 内室11904根丝), 大室 343968根丝	BELLE II CDC 14336cell	STCF (CDR 11520 cell , 48448根丝) (超小单元 19488 cell , 84448根丝)
大小	内半径182.5mm 有效长度1102mm 外半径810mm 有效长度2306mm	2T 长4m, 半径35~200CM 内室17~30cm 长度1.93m	1.5T 内半径 160mm 外半径1130mm 长度2325mm	1T 内径200mm 外径850mm 有效长度1274*2mm
丝层设计	内室 25um 镀金钨丝 18g 110um 铝丝 54g 外室 25um镀金钨丝50g 110um铝丝 170g 内室: 100kg (max:500kg) 外室: 3500kg (max: 5000kg)	MEGII内室 灵敏丝: 镀金钨丝20um 25g 场丝: 镀银铝丝 40微米 (20g) 灵敏丝层上场丝 40微米 (30g) 补偿丝 50微米 (30g) 外室: 定位子? 还未加工?	56层 30um 镀金钨丝 50g 126um铝丝 (无电镀) 80g 外桶5mm 内桶0.5mm CFRP BELLE (30um :80g 126um:160g)	定位子+内筒设计 定位子方便更换坏 死的丝 PCB可以做小单元, 但需要考虑断丝怎 么处理
单元大小	内室12mm 外室16mm	内室6mm 外室??	内室 6.59~9.34mm 外室16.69mm	5~11mm



开展了丝张力检测系统研究，并迭代了3个版本，从2.8米长度的丝张力测试看，镀金钨丝无明显的蠕变效应，铝丝张力变弱。

新的测试平台已经开始测试，同时测试的丝数量和种类更多，深圳技术大学提供了更开阔的场地和测试人员。

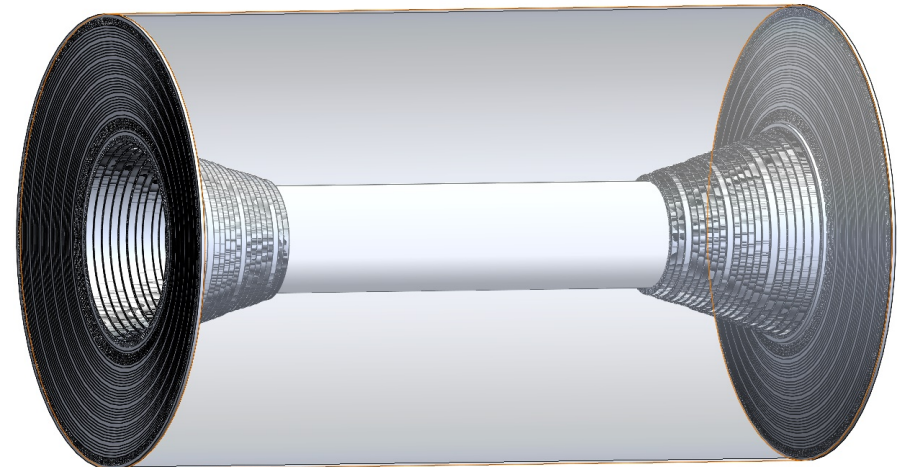
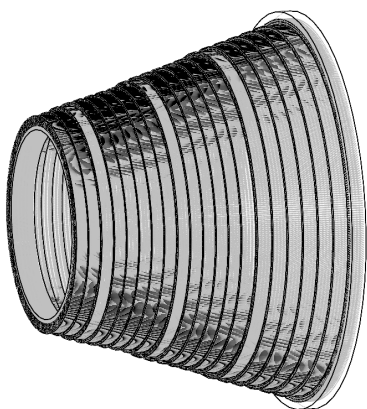
镀金钨丝 20um (35g) 25um (50g) 铝丝 60um (40g) 100um (100g)

优势: 降低电子学通道数压力 (400kHz->200kHz), 漂移距离短, 信号持续时间短, 洛伦兹角影响小

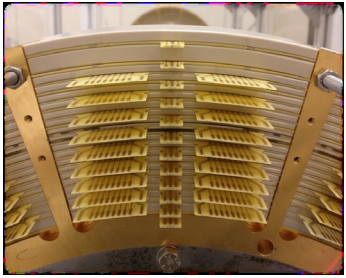
难点: 丝层和丝数量更多, 加工工艺难度提升, 空间小, 电子学数量翻倍, 设计需求更紧凑, 丝的物质质量会提升

超层序号	超层层数	超层单元数	CELL大小	位置
A	6	256	5.09~5.76	205
U	6	256	6.05~6.84	
V	6	256	7.16~8.09	
A	6	256	8.45~9.55	
U	6	256	10.44~11.80	420
V	6	320	9.77~10.78	
A	6	352	10.09~11.03	
U	6	400	9.97~10.78	
V	6	432	10.22~10.99	833
A	6	464	10.46~11.35	

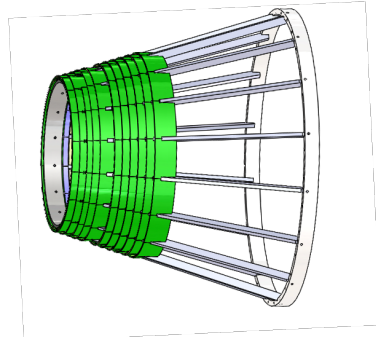
		数量	张力 (g)	
内层	阳极	6144	30	内室受力 (kg)
	阴极	20480	80	
	内层总丝数	26624		
外层	阳极	13344	30	外室受力(kg)
	阴极	44480	80	
	外层总丝数	57824		
总	所有阳极	19488	30	
	所有阴极	64960	80	
	所有丝数量	84448		



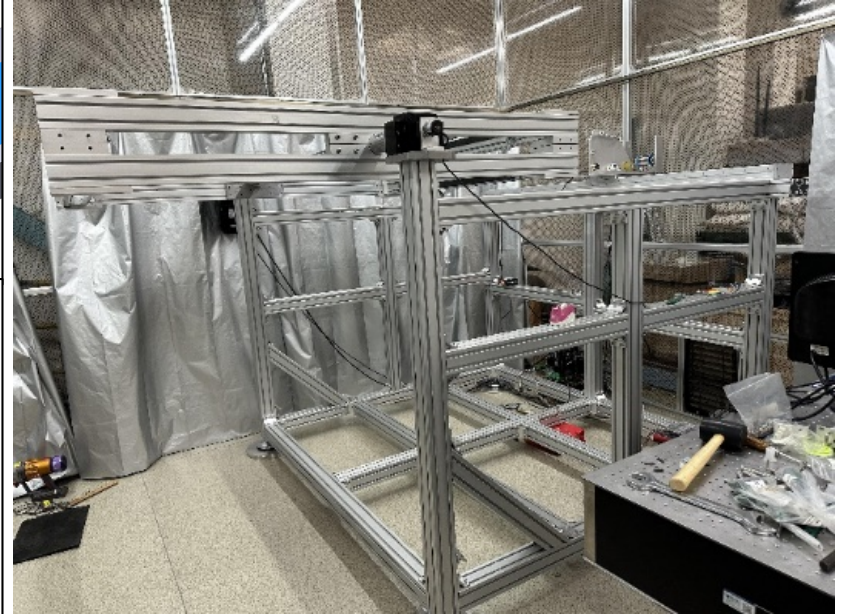
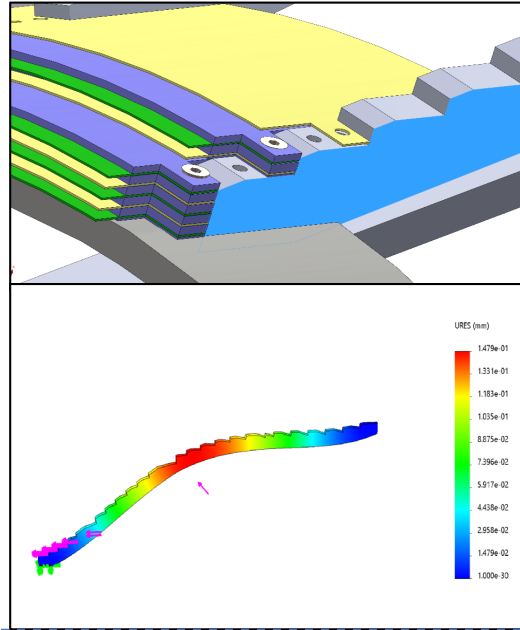
弧形PCB定位技术



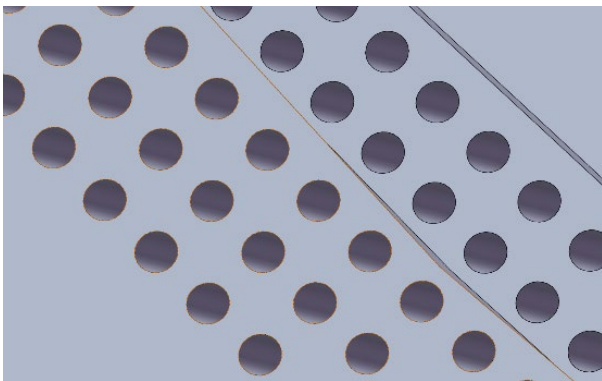
MEGII- MDC



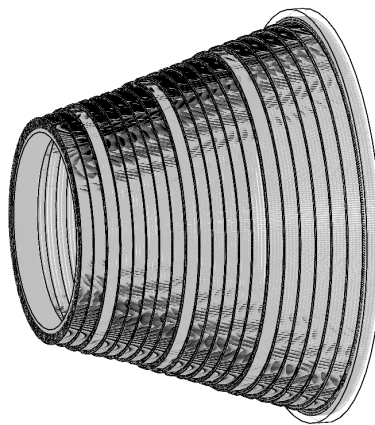
STCF-MDC
初版设计



小型定位子定位技术



定位孔1.4mm



目前开展定位子穿孔技术攻关，空间非常小

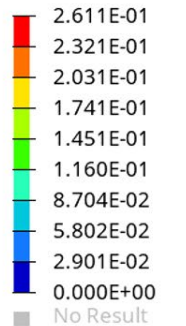
计算条件：筒体直径1700毫米，长度2800毫米。

采用T700纤维，轴向受力20T。

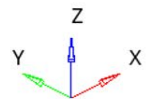
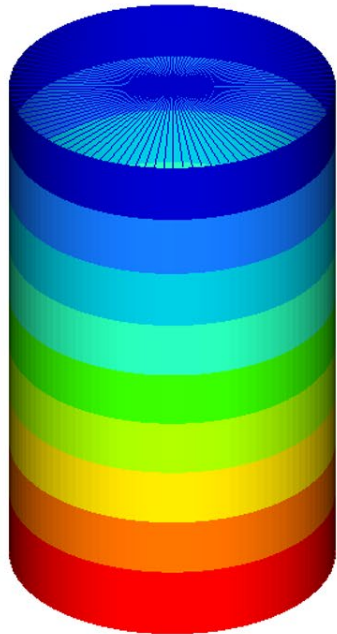
碳纤维筒体两端用刚体单元连接，约束底端，顶端加载轴向载荷20T。

碳纤维桶总厚度4.2mm,铺层角度 $[\pm 15^\circ/\pm 15^\circ/90^\circ/\pm 15^\circ/\pm 15^\circ/90^\circ/\pm 15^\circ/\pm 15^\circ/90^\circ/90^\circ]$,单层厚度0.2mm

Contour Plot
Displacement(Mag)
Analysis system

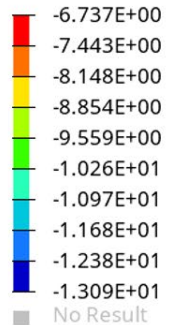


Max = 2.611E-01
Node 2
Min = 0.000E+00
Node 164

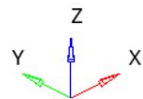
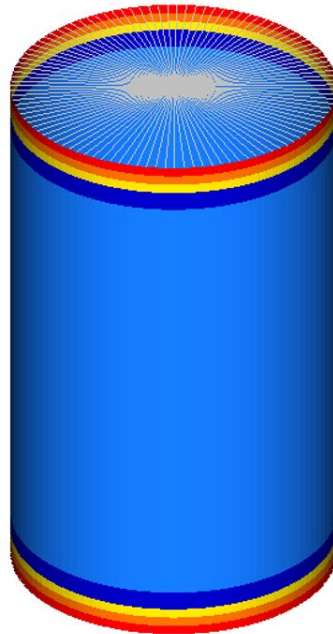


最大位移0.26mm

Contour Plot
Composite Stresses(Normal X Stress, Min)

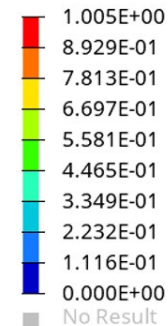


Max = -6.737E+00
Shell 1805
Min = -1.309E+01
Shell 448

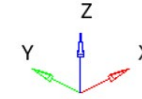
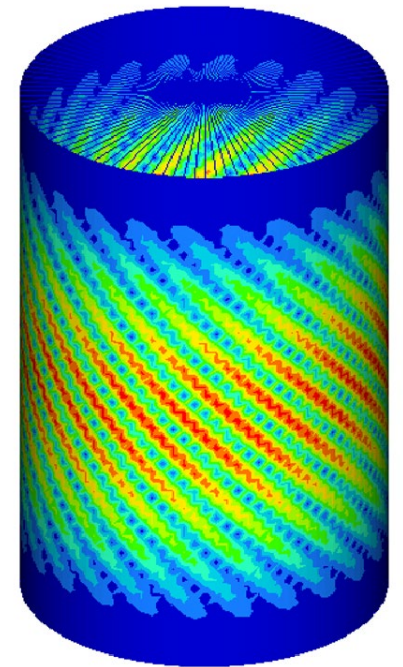


最大压缩应力13.1MPa

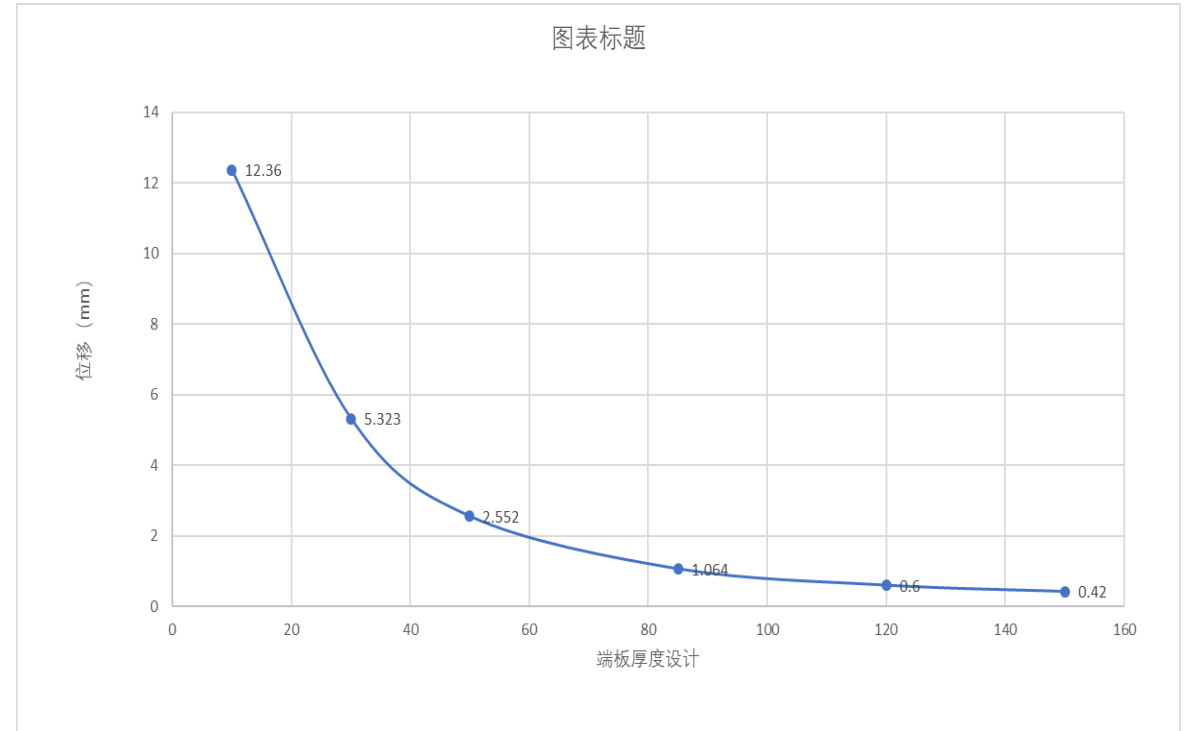
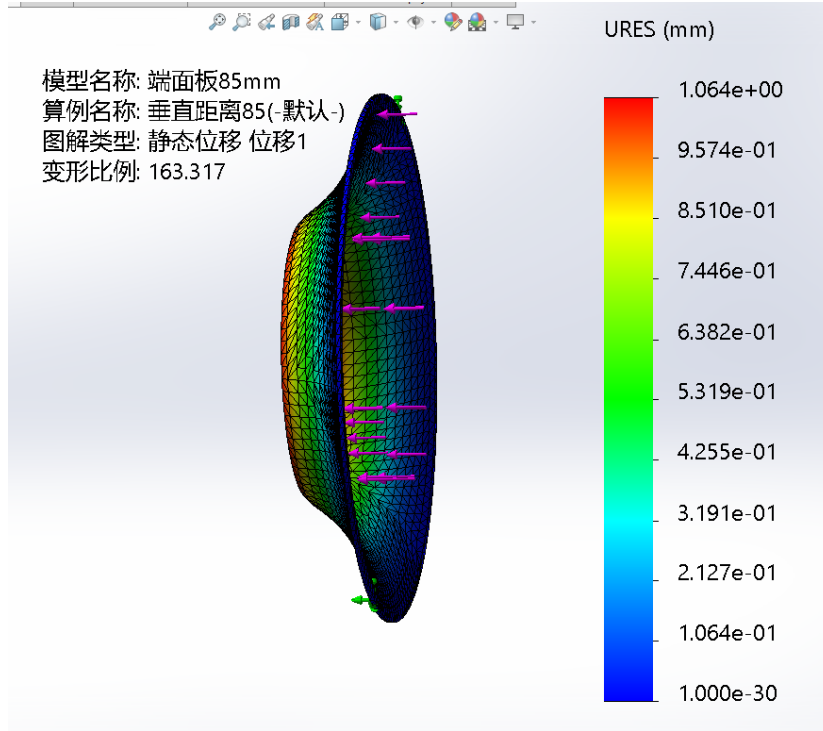
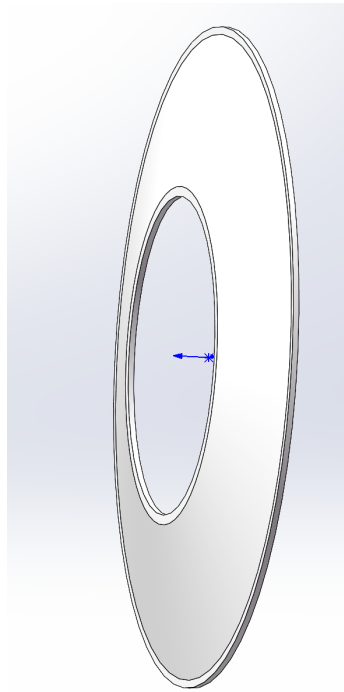
Contour Plot
Buckling Mode(Mag)
Analysis system



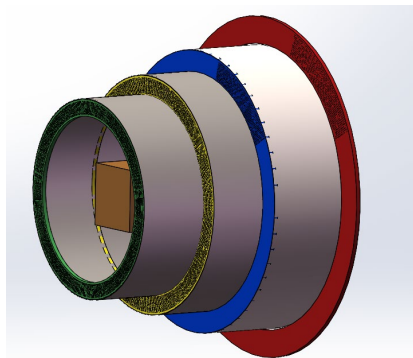
Max = 1.005E+00
Node 332
Min = 0.000E+00
Node 164



临界失稳系数为12.8, 即临界失稳载荷为256T



孔太多，计算量太大，
带孔端面正在优化设计



端面形变：目前**20T**拉力下端面板厚度15mm
(端面受力10T+内环受力10T)
斜坡高度>80cm时，端面形变量趋于平缓
(CDR中设计为87)



定位子



BESIII
定位子



BELLE II
定位子



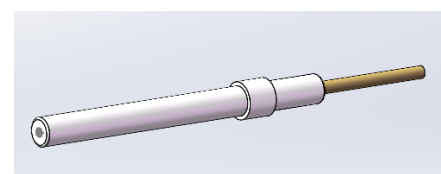
STCF 定位子V1
铜管, 放电工艺



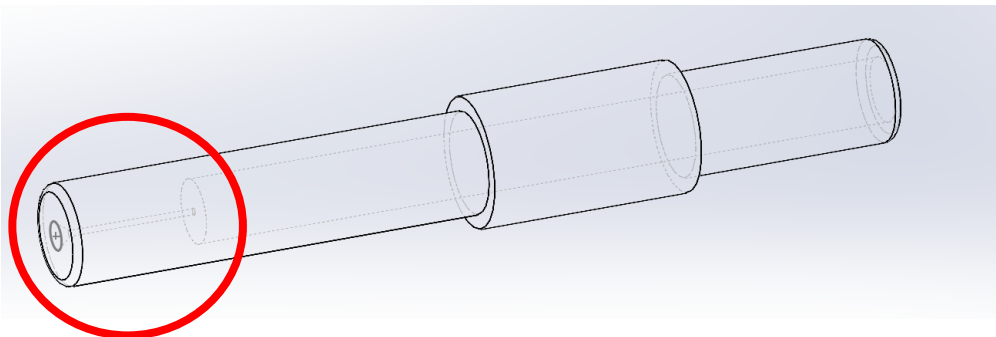
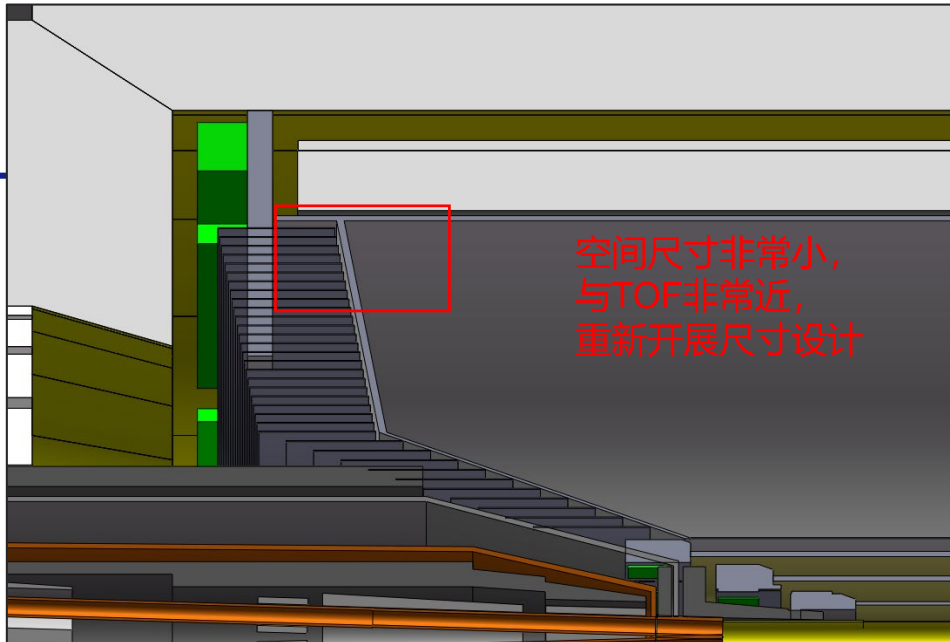
STCF 定位子V2
铝管, 拉丝工艺



STCF 定位子V3
减小尺寸



STCF 定位子V4
绝缘定位子设计, 电极连接



绝缘定位子 1.4mm+1.8mm+1.4mm

定位孔: 0.1mm 长度0.3mm 可以尝试0.08或0.05的, 难度较大

材料: PEEK, 熔点334°C, 软化点168°C

BESIII: LCP VECTRA A130

铜管孔: 0.6mm (保证绝缘定位子的壁厚0.3~0.4mm, 耐压相关)

电极嵌套工艺



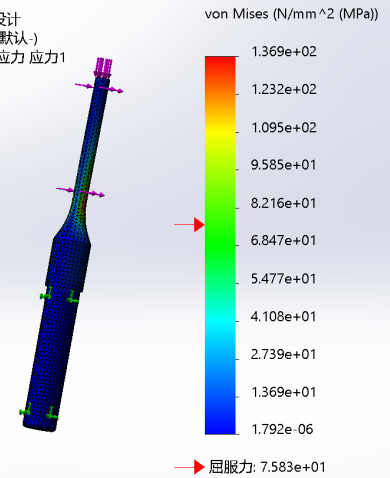
电极插针设计



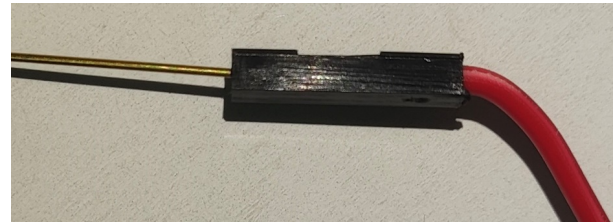
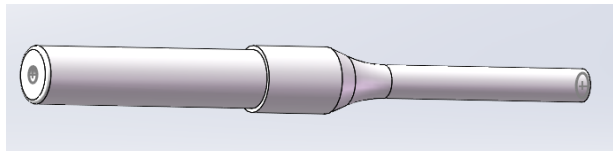
定位子V6 应力仿真设计 1N

模型名称: 第五版定位子设计
算例名称: 静应力分析 1(-默认-)
图释类型: 静应力分析 节应力 应力1
变形比例: 1

0.6mm铝管

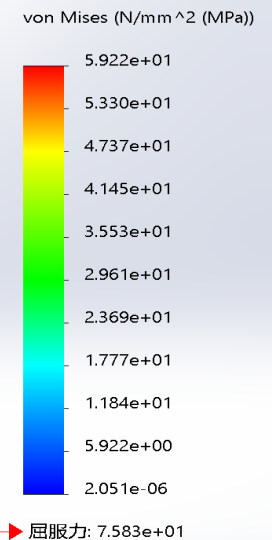


定位子V6 满足电极插针设计

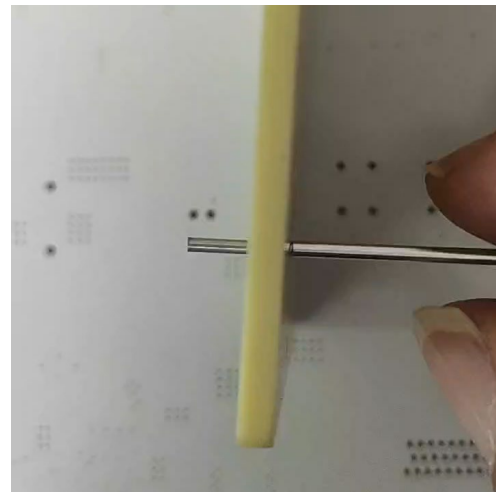
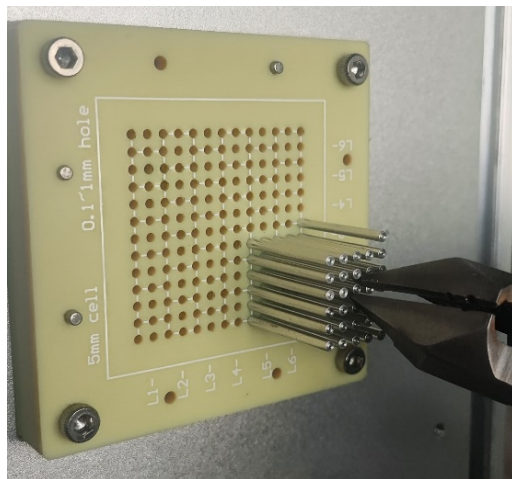
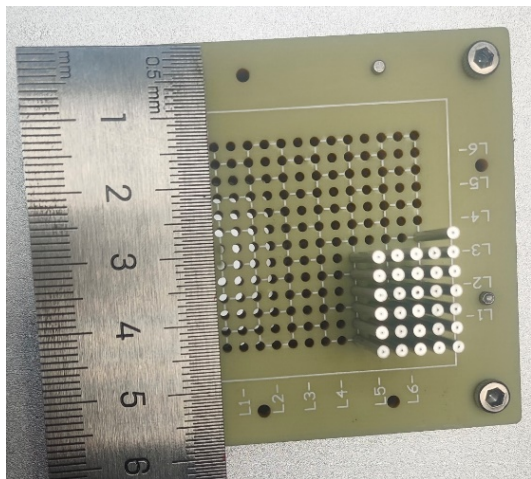


模型名称: 第五版定位子设计0.8mm外径
算例名称: 静应力分析 1(-默认-)
图释类型: 静应力分析 节应力 应力1
变形比例: 1

0.8mm铝管



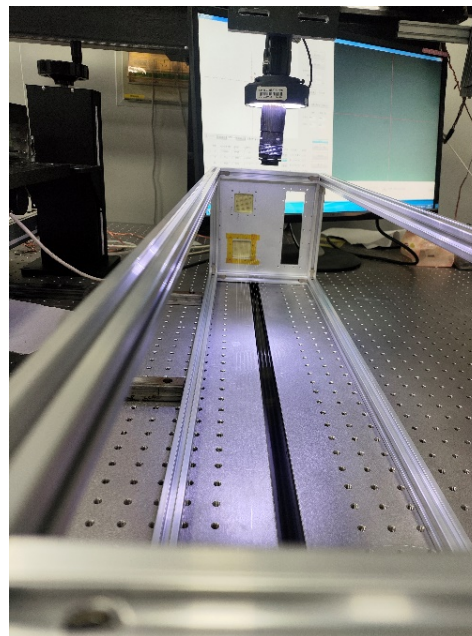
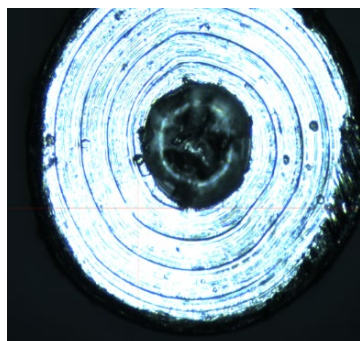
冠簧母孔, 接触直径1mm的针, 定位管压扁是否有影响, 正在测试

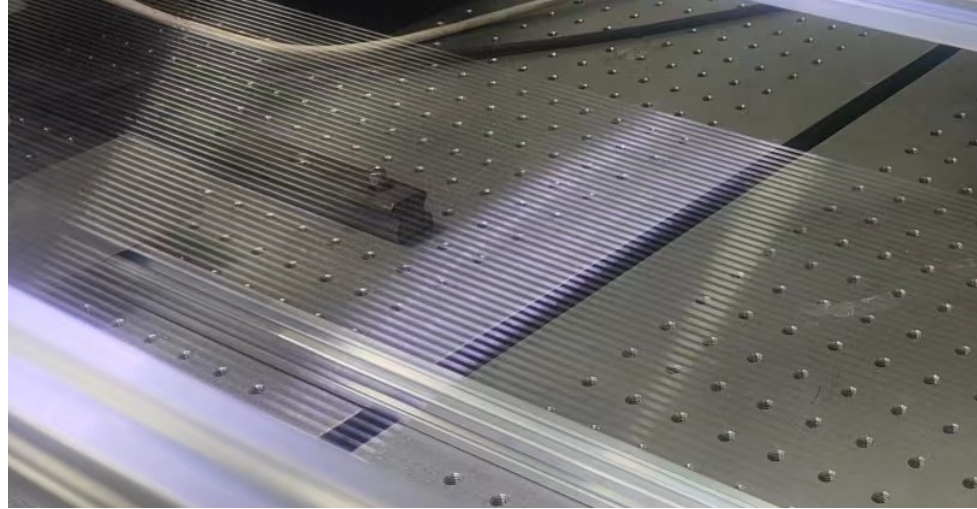


超小单元工艺面临巨大挑战

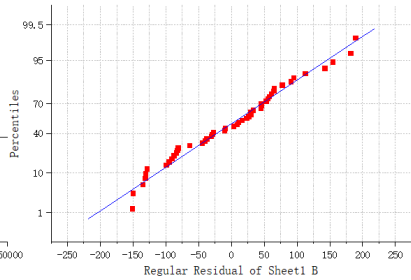
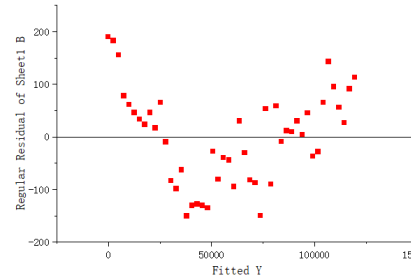
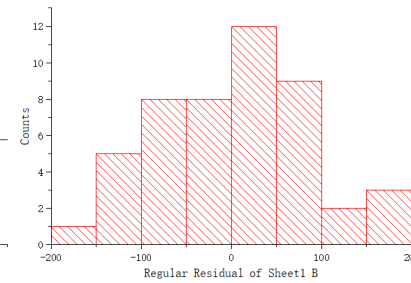
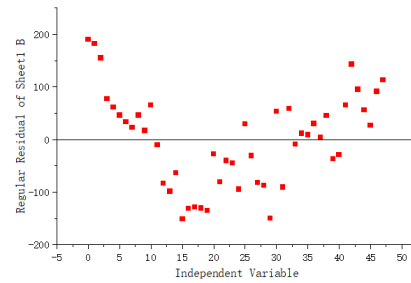
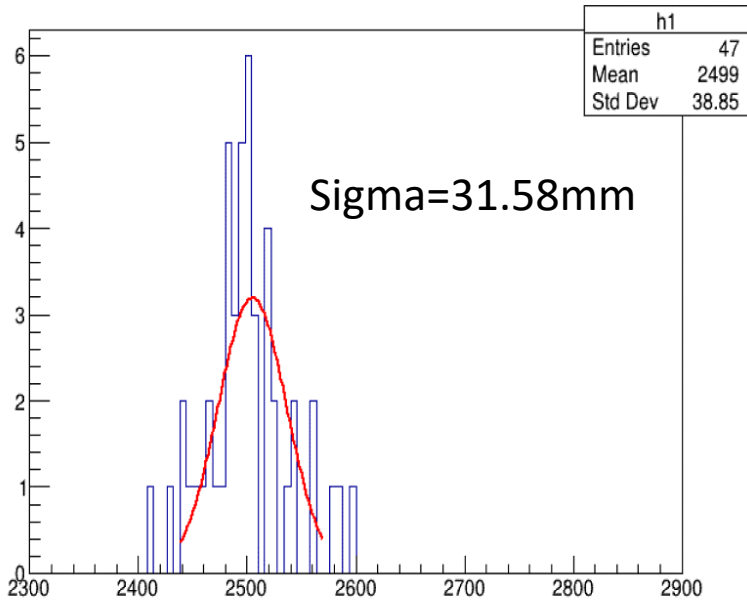
难度在于空间尺寸

目前定位子外径1.6mm，穿孔位置1.4mm，场丝小孔内径0.3mm





h1



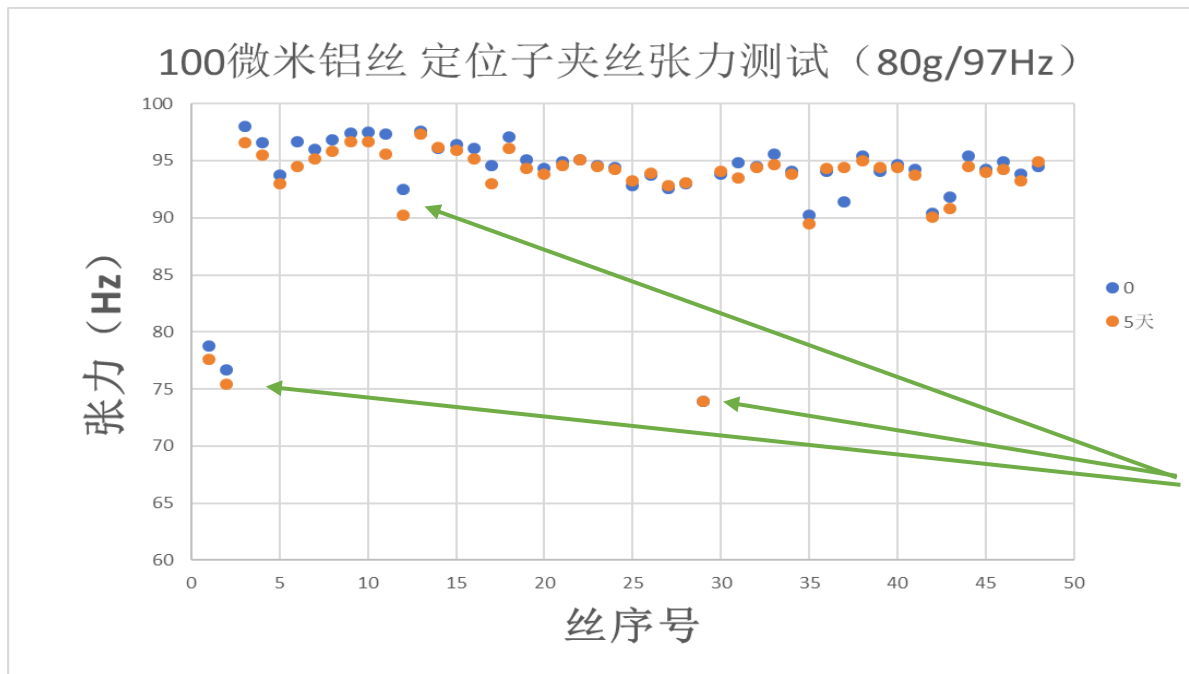
嵌套工艺

内径0.3mm的铝管+

外径0.3mm的铜管

肉眼穿丝很难

目前正在进行工装设计

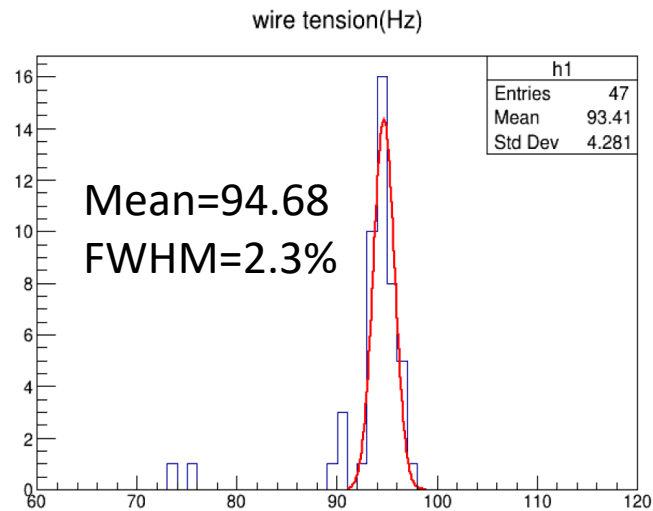
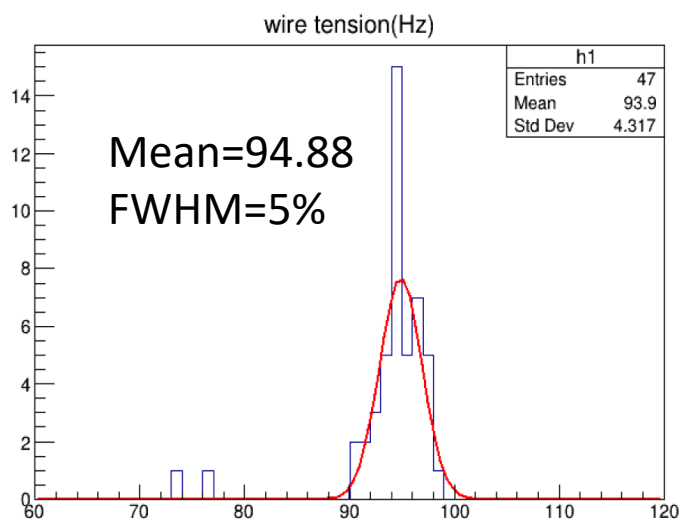
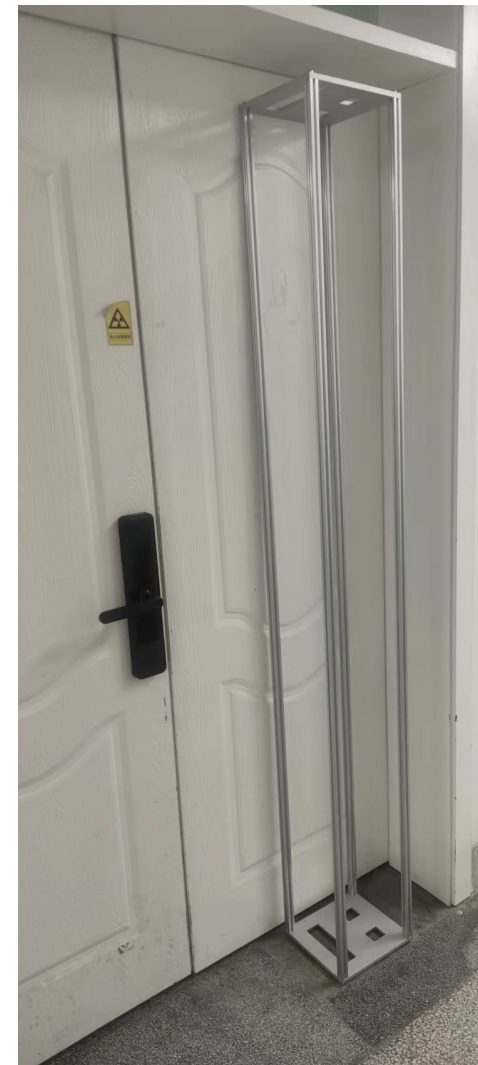


48根铝丝，长度1m

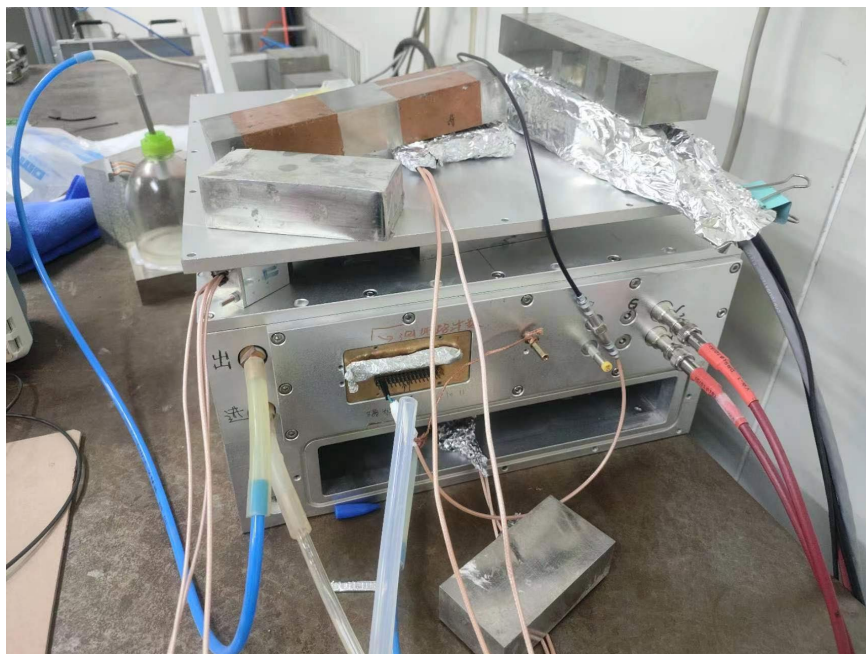
张力测试一个月

(4组数据)

后面尝试换丝工艺



2米长样机准备拉丝测试



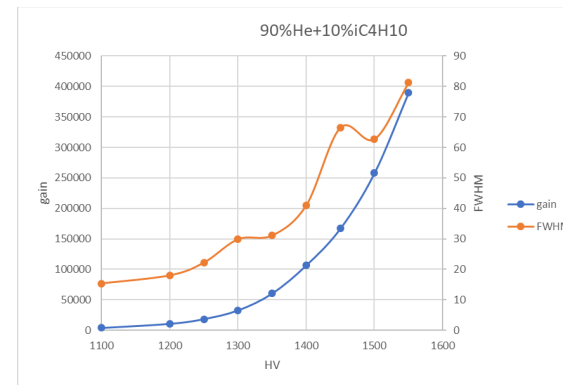
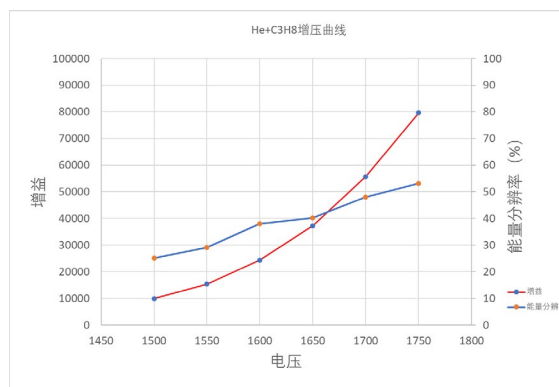
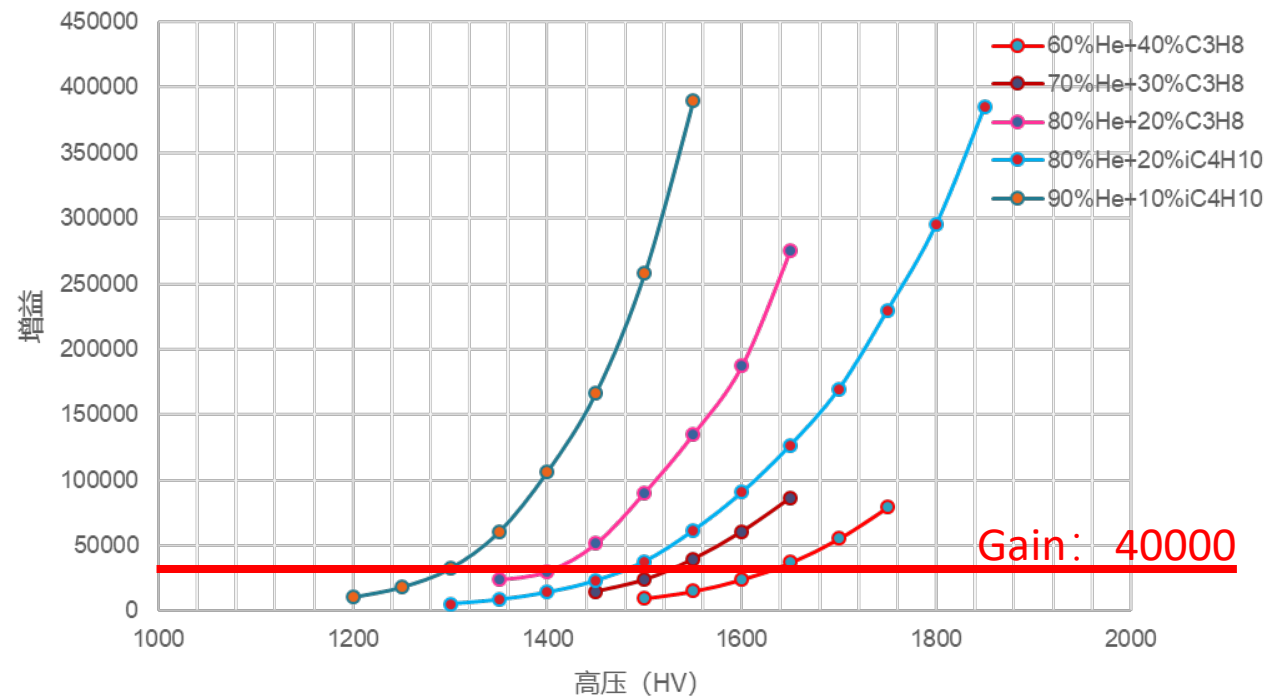
测试电子学：142A+572A+MCA

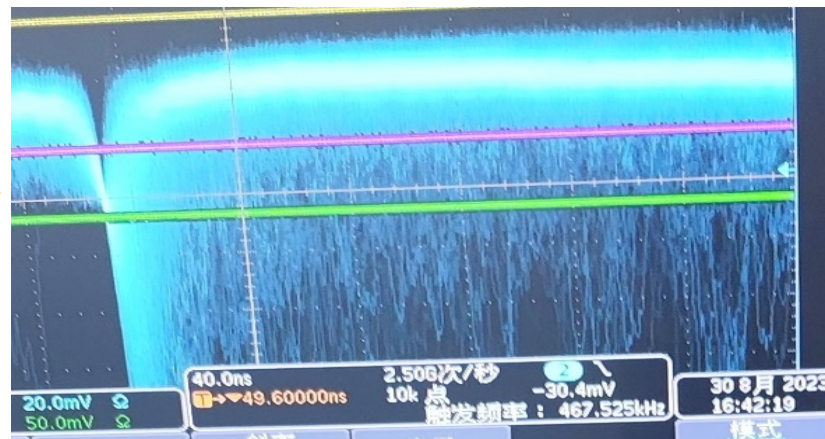
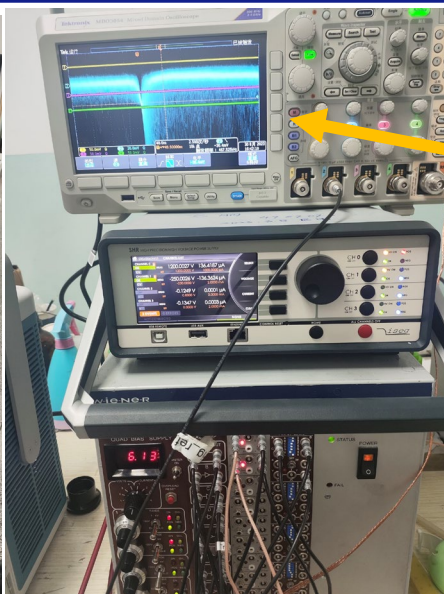
测试不同电压和不同工作气体中的探测器增益

增益越高，能量分辨越差

综合研判增益、能量分辨等多方面的制约关系

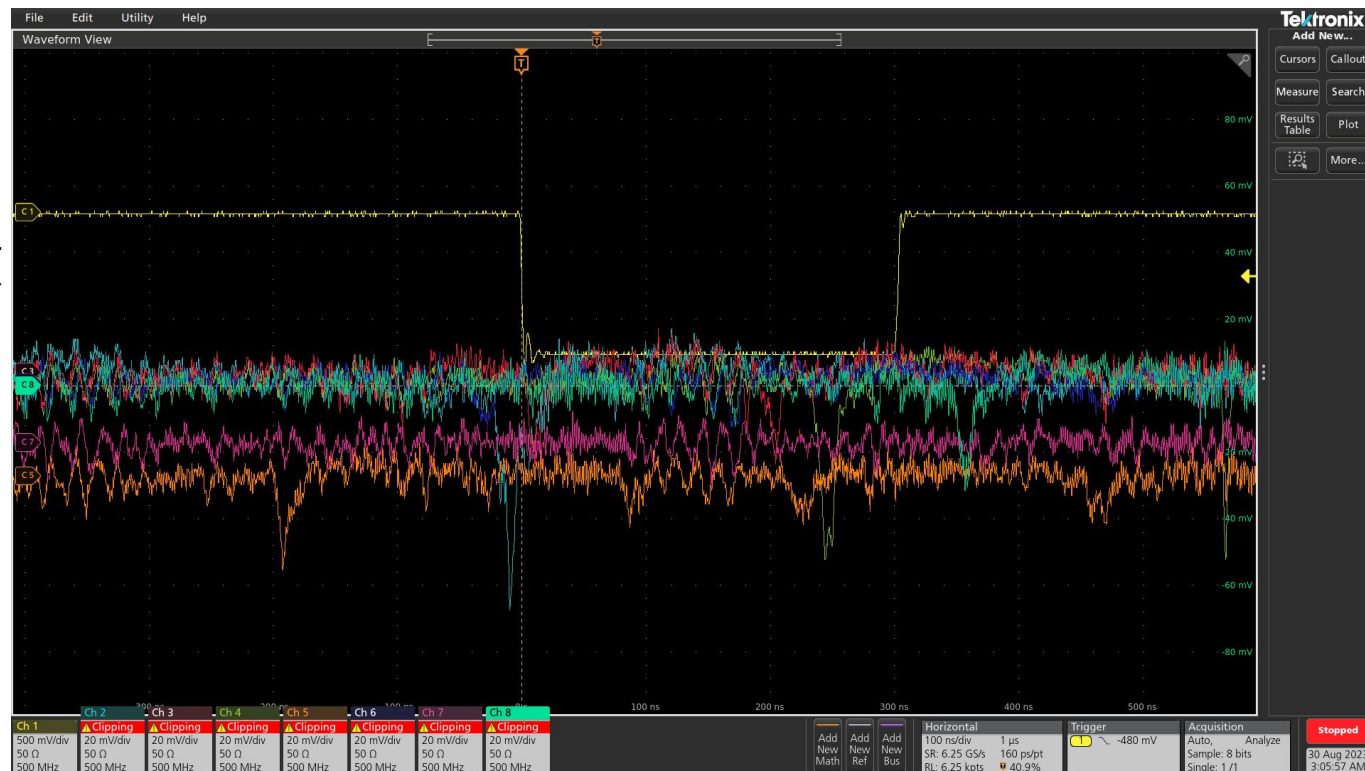
不同气体增益





测试MWDC参数: 10mm单元 放射源: 90Sr β 放射源
P10气体
阳极: +1200V
阴极: -250V
放大器: FTA820A

结论: MWDC短时间内可以承受**1M**的计数率
利用SiPM的塑料闪烁体开门,
可以看到宇宙线符合信号





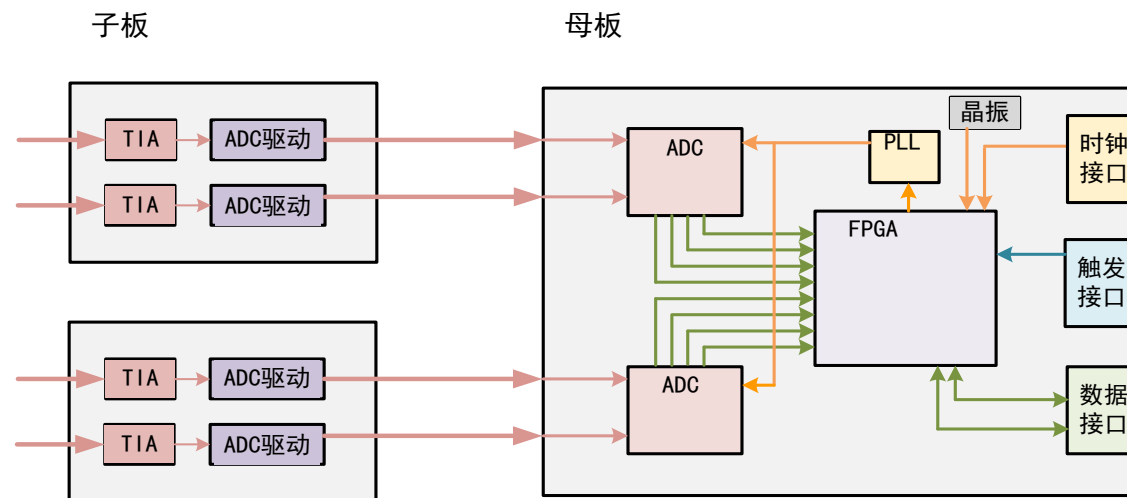
报告目录



- 探测器进展
 - 整体设计优化
 - 探测器工艺研究
 - 探测器样机研究
- 电子学进展
 - 原理验证电路设计与测试
 - 基于分立元件的原理样机设计
 - ASIC芯片研制
- 下一步工作计划

原理验证电路设计

- 基于波形数字化提取时间与电荷信息
- 采用子母板结构 单个子板上两个通道
- 母板可以连接两块子板
 - FPGA, 两片ADC
 - PLL为ADC提供同步时钟
 - 时钟接口、触发接口以及数据接口

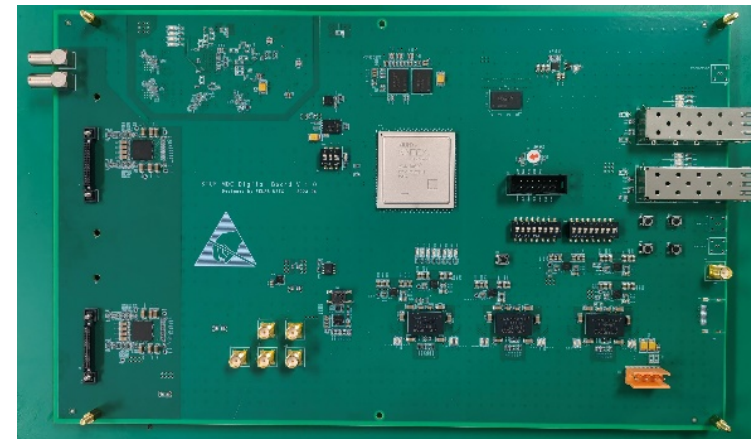
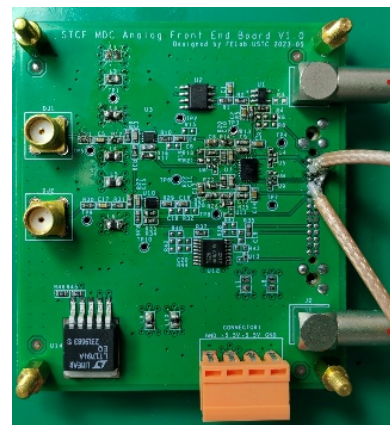


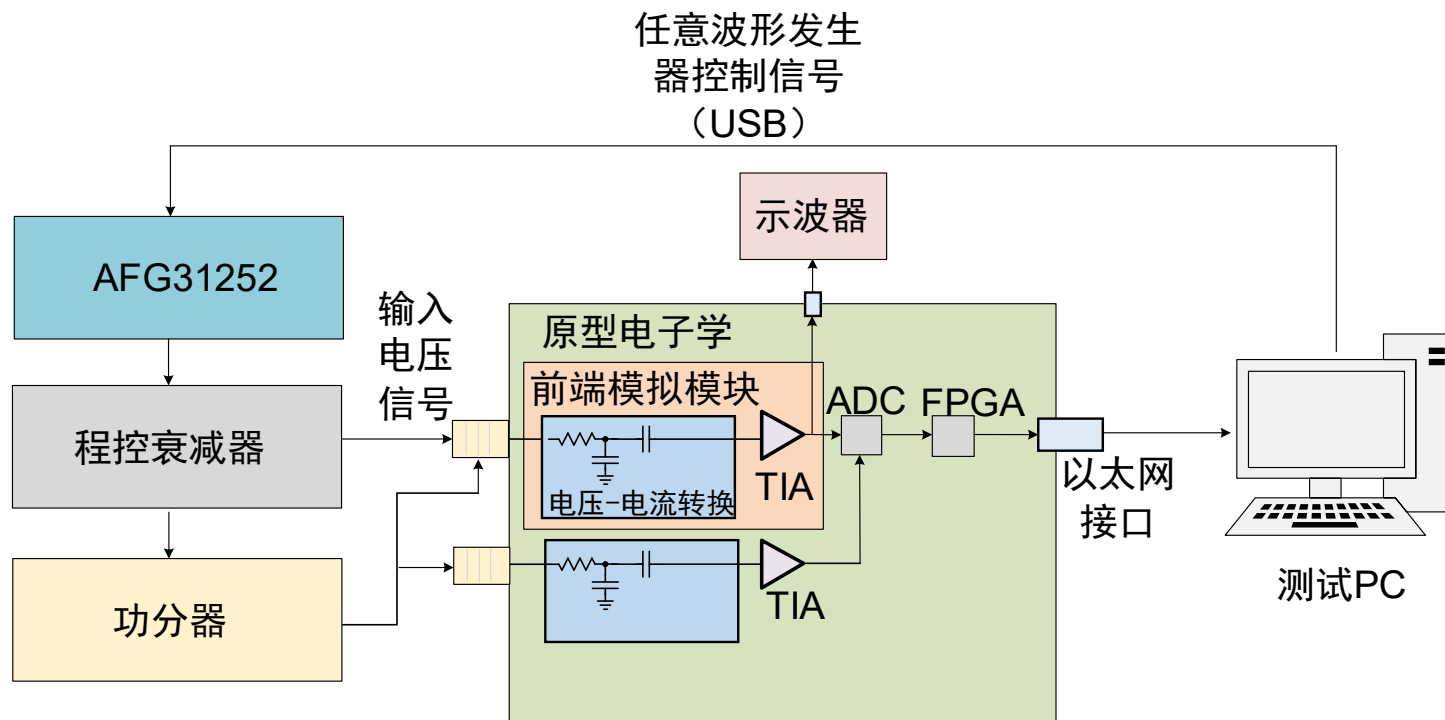
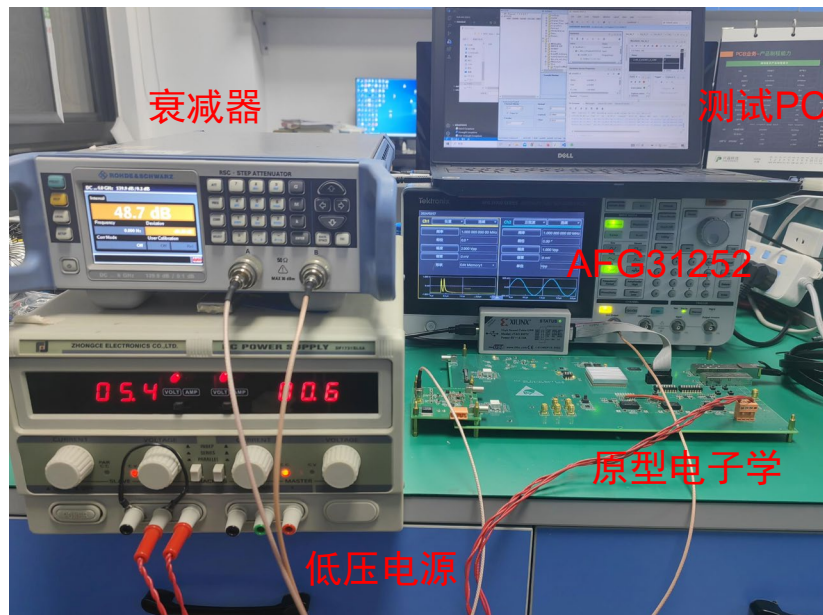
子板前放电路

- 前放OPA855
 - 第一级增益为10k
 - 通过母板DAC进行基线配置
- ADC驱动LTC6419
 - 差分放大增益为4
 - 子母板接插件输出
- 子板信号通过SMA输入
 - 包含隔直电容及匹配电阻
 - 阻值根据MDC信号丝阻抗进行调整

验证母板波形数字化

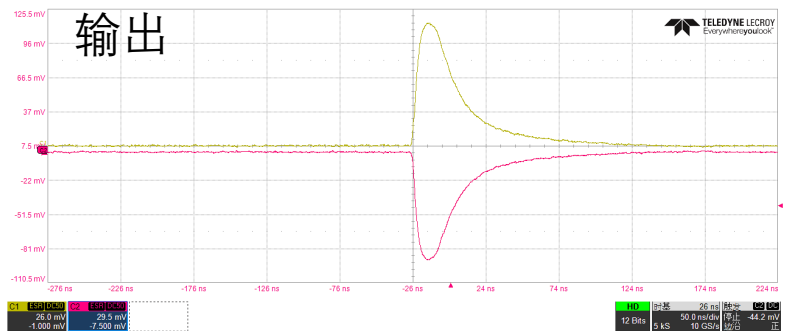
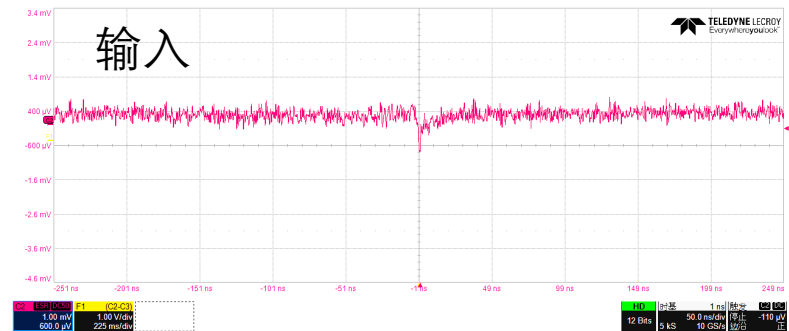
- ADC选用 (AD9680-1000)
- 双通道, 14 bit
- 采样率为1 Gsps
- 模拟带宽2 GHz
- 子板通过母板进行供电



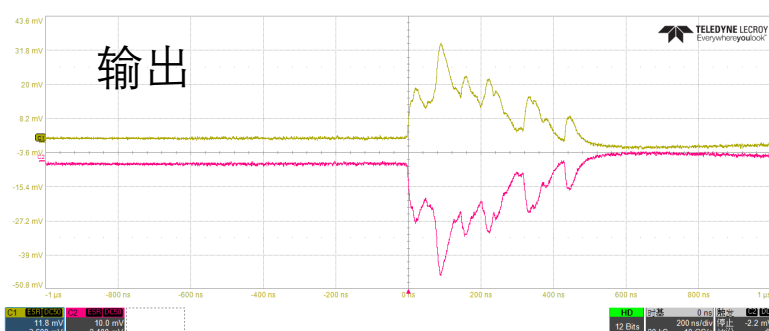
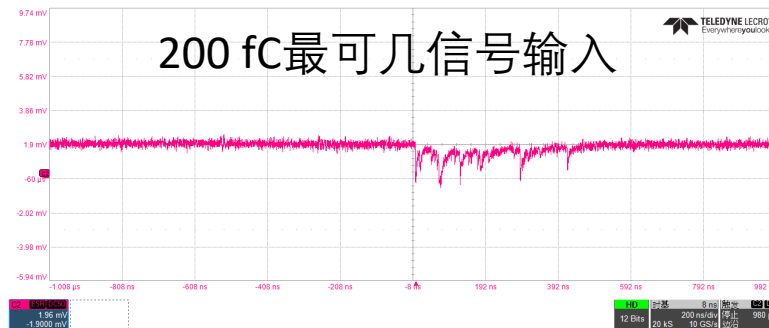


在测试过程中，任意波形发生器输出信号类型为电压信号，因此需要将任意波形发生器输出的信号通过电压-电流转换结构转化为电流信号，再输入至原型电子学模块的TIA前置放大电路中。

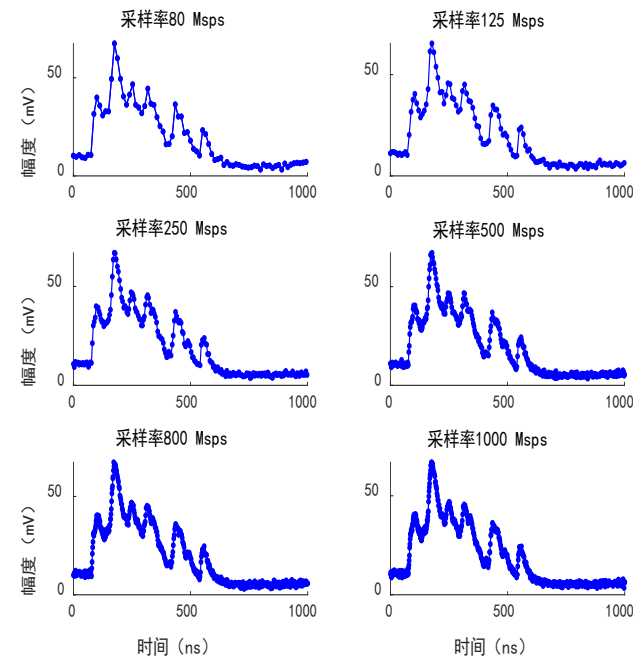
单脉冲信号测试



MDCH仿真波形测试



不同采样率下波形采样测试

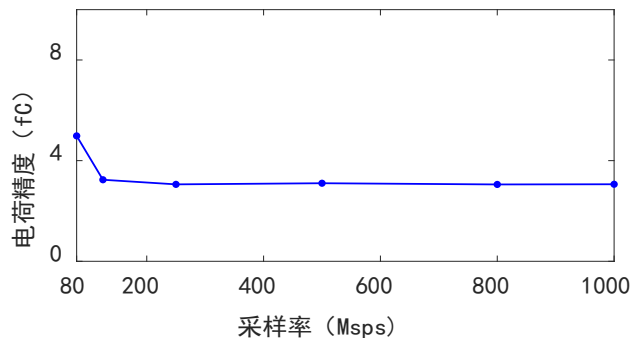


当采样率为125 Msps时，保留了MDC波形多峰的结构

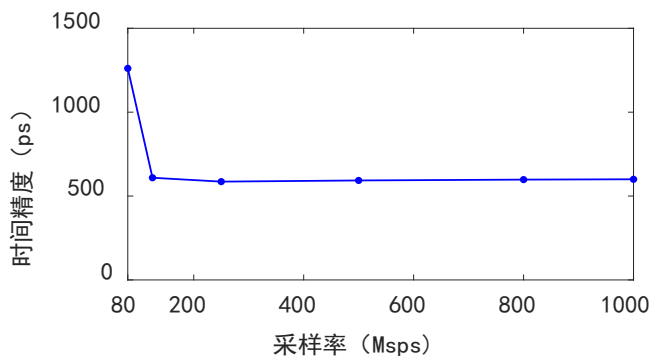
不同采样率 (80~1000Mps) 下电荷和时间测量结果

• 200 fC信号

- 电荷精度: 3.24 fC@125 Msps

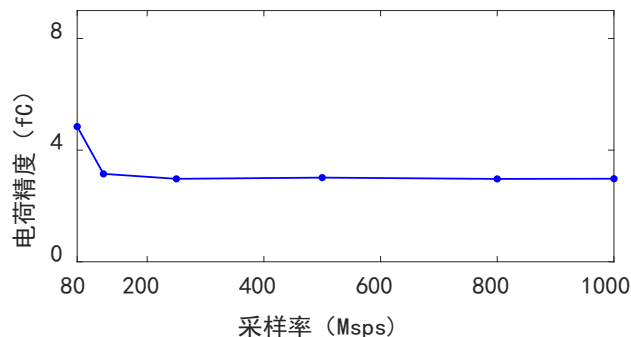


- 时间精度: 609 ps@125 Msps

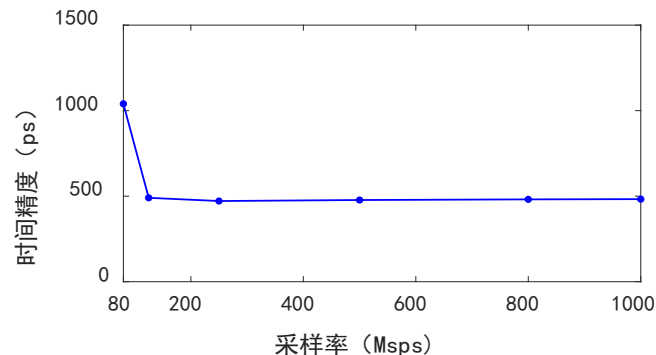


• 1800 fC信号

- 电荷精度: 3.15 fC@125 Msps

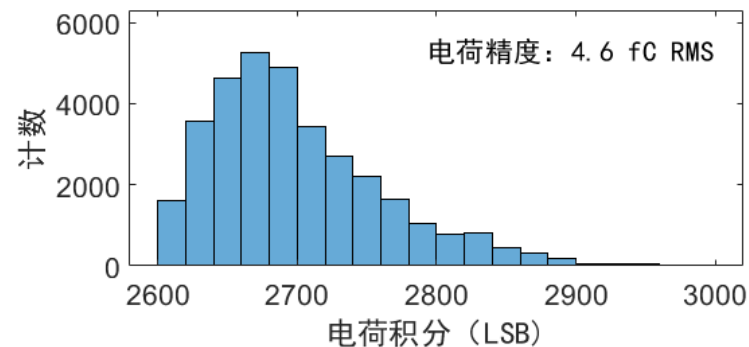


- 时间精度: 490 ps@125 Msps

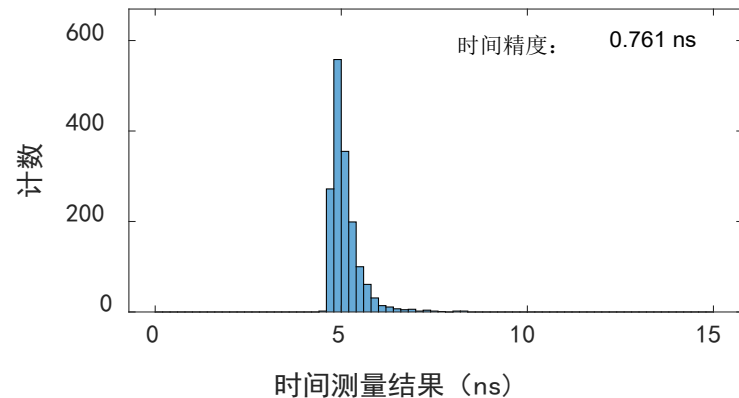


波形不一致对于电荷时间测量影响

- 200 fC电荷量下, 形状不同的MDC信号进行测试
- 电荷测量精度: 4.6 fC RMS



- 时间测量精度: 760 ps RMS

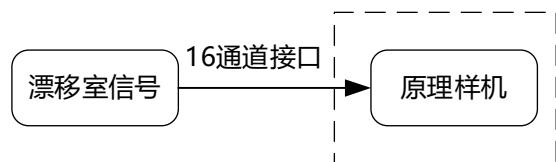


在125 Msps情况下, 电荷测量精度满足好于8 fC, 时间测量精度满足好于1 ns的设计指标。因此选择125 Msps作为原理样机的采样率, 用于实现低采样率下的多通道波形数字化。

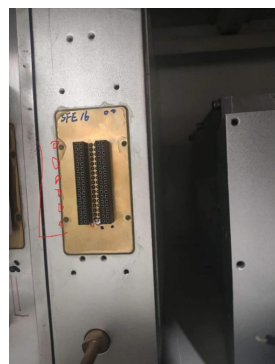
基于分立元件的原理样机设计

针对原理验证电路的测试结果，考虑**超小单元**和**装配**结构，进行原理样机初版电路设计

- 2~4通道子母板 → 16通道原理样机
- 16通道接口，直接接收漂移室输出信号，减小测试接口板带来的噪声影响
- 接插件
 - 要求：≥16通道，母座，直角型，机械结构稳定
 - 型号：SAMTEC-SSW-117-02-X-D-RA

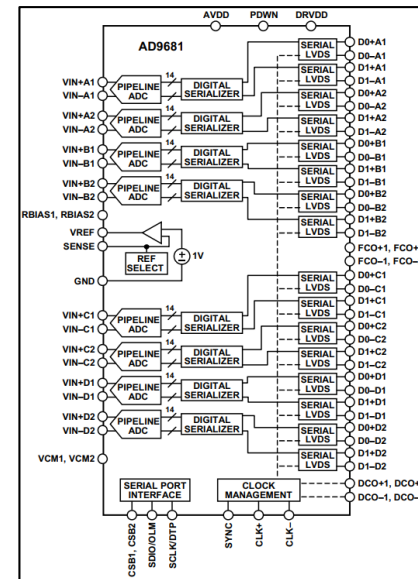


漂移室与原理样机连接示意图



漂移室输出接口

- 模拟部分由**2通道**扩**增到16通道**
 - 16路 TIA + 成形
- ADC部分
 - 原理样机更换为**AD9681**（低采样率高集成型号）
 - 8通道、14 bit、125 MSPS
 - 模拟带宽 650 MHz
 - JESD接口=>LVDS接口
- 数字部分
 - 配合ADC和16通道TIA进行调整

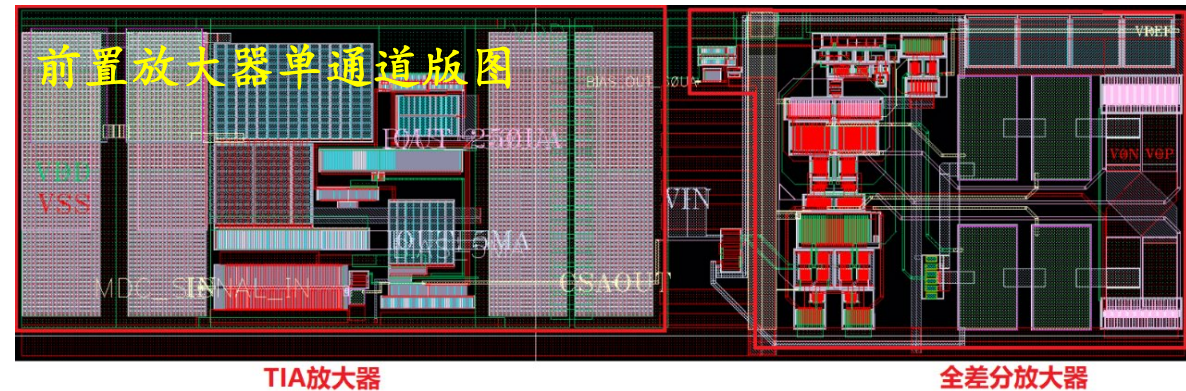
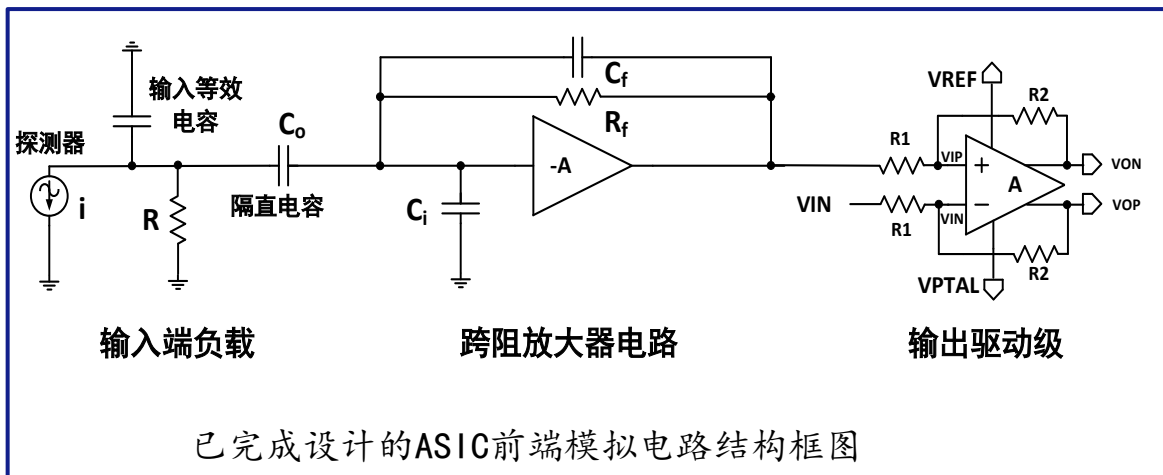


经实验室初步测试，16通道原理样机电路模块的电源、时钟、ADC、DAC均正常工作

- ASIC芯片主集成了16个通道的前端模拟放大电路，单个信号链路主要由跨阻放大器和输出驱动级组成，实现高带宽、高增益、低噪声的电路指标要求，以适应MDC输出电流信号微弱，事例率高且有效信号持续时间长的特征。
- 目前已经完成了前端模拟放大电路ASIC的电路结构设计，并通过仿真验证确认电路性能符合指标需求。模拟芯片已经完成流片，目前晶圆已制作完成，即将展开封装和测试工作。

前置放大器单通道设计要求与仿真结果

性能指标	设计要求	前仿结果	后仿结果
增益	38 kΩ – 42 kΩ	38.11 kΩ	38.11 kΩ
带宽	>80 MHz	80.96 MHz	85.47 MHz
单通道功耗	<55 mW	48.73 mW	48.75 mW
输入电荷噪声	<6 fC	1.39 fC	1.65 fC
定时精度	<300 ps	116.4 ps	127.8 ps





报告目录



- 探测器进展
 - 整体设计优化
 - 探测器工艺研究
 - 探测器样机研究
- 电子学进展
 - 原理验证电路设计与测试
 - 基于分立元件的原理样机设计
 - ASIC芯片研制
- **下一步工作计划**



下一步工作计划



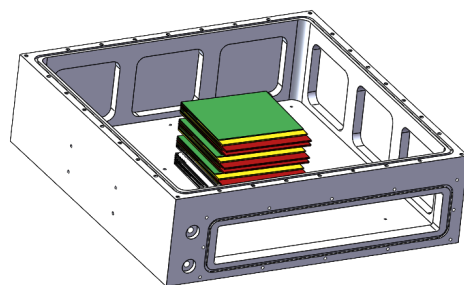
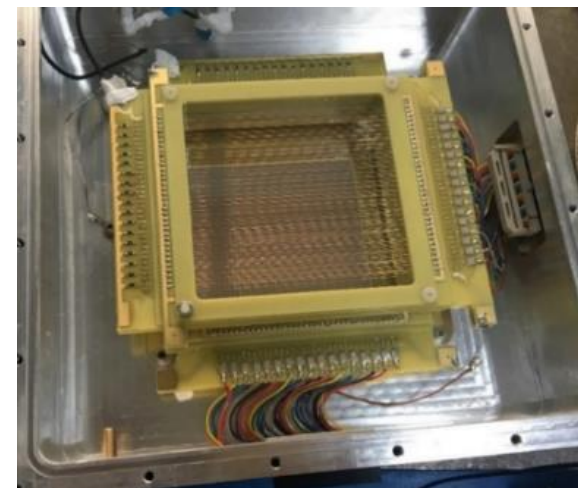
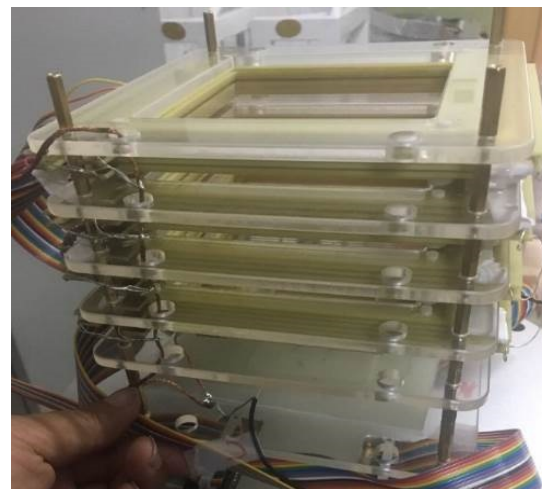
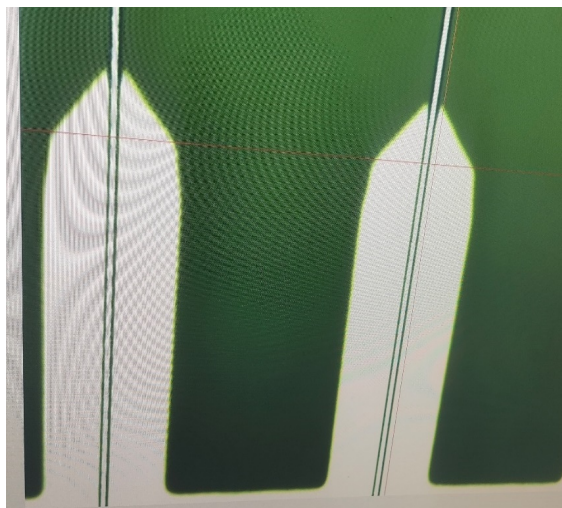
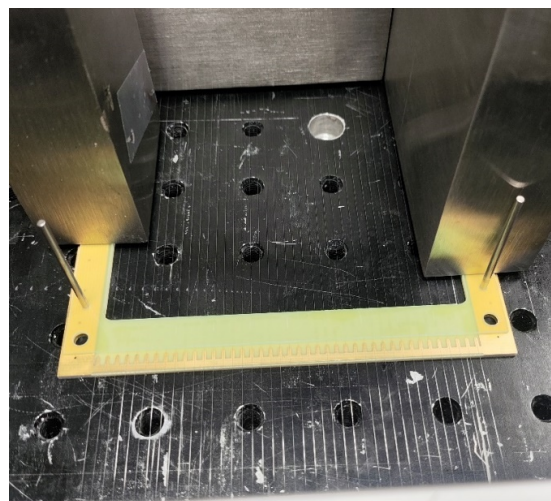
- **探测器：**

- 2米长样机穿丝工艺测试
- 继续开展定位子穿丝工艺，提升丝定位精度。
- 开展机械应力与铺层优化
- 5mm单元小样机的组装

- **电子学：**

- 硬件和固件方面的准备和扩展，小尺寸读出电子学样机优化
- 开展基于分立元器件的读出电子学原理样机的测试

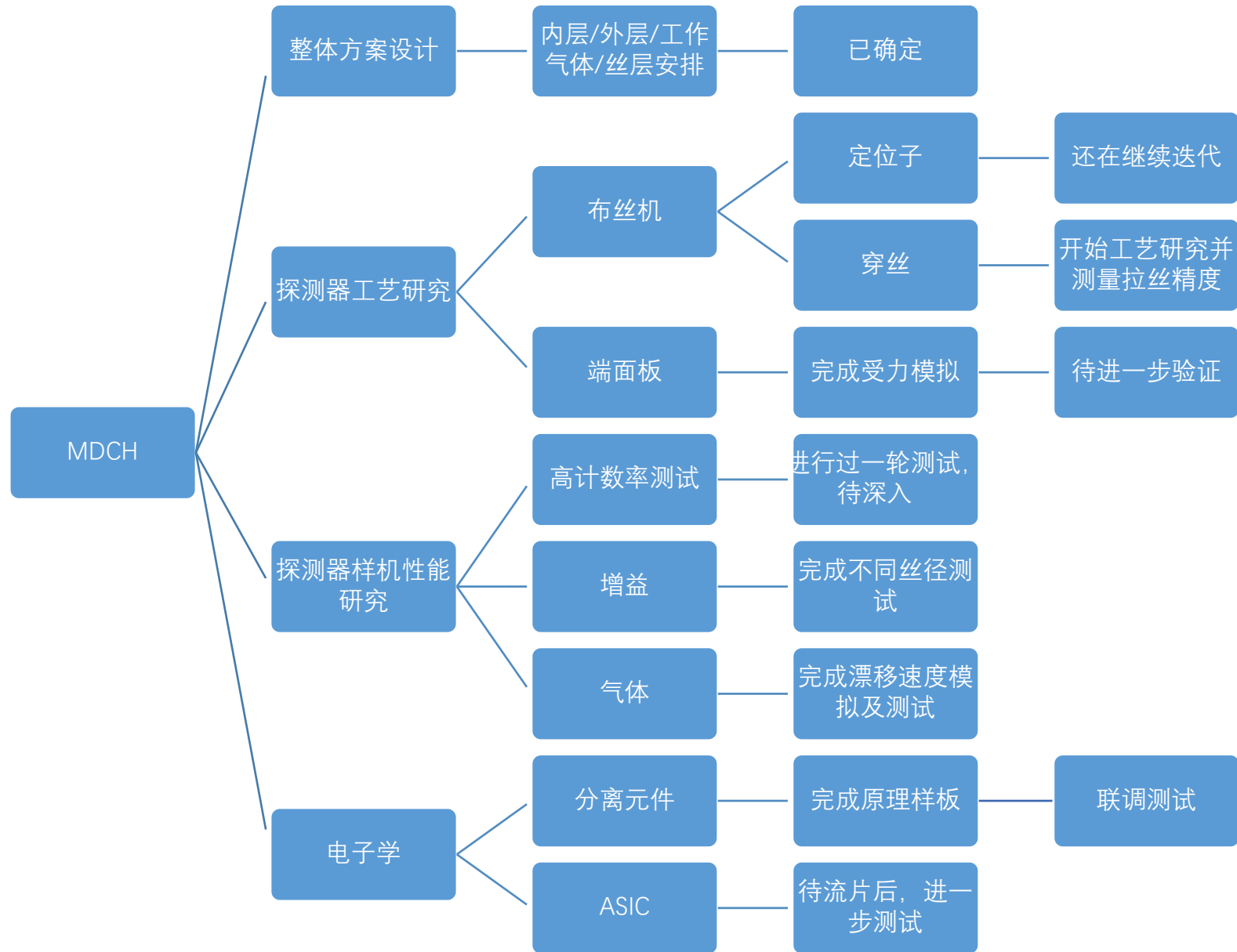
- **开展探测器和电子学联合测试**



探测器+电子学 开展第二轮联合测试



总结





感谢MDCH各位同仁的努力！
欢迎批评指正！
欢迎各位同仁参与MDCH！

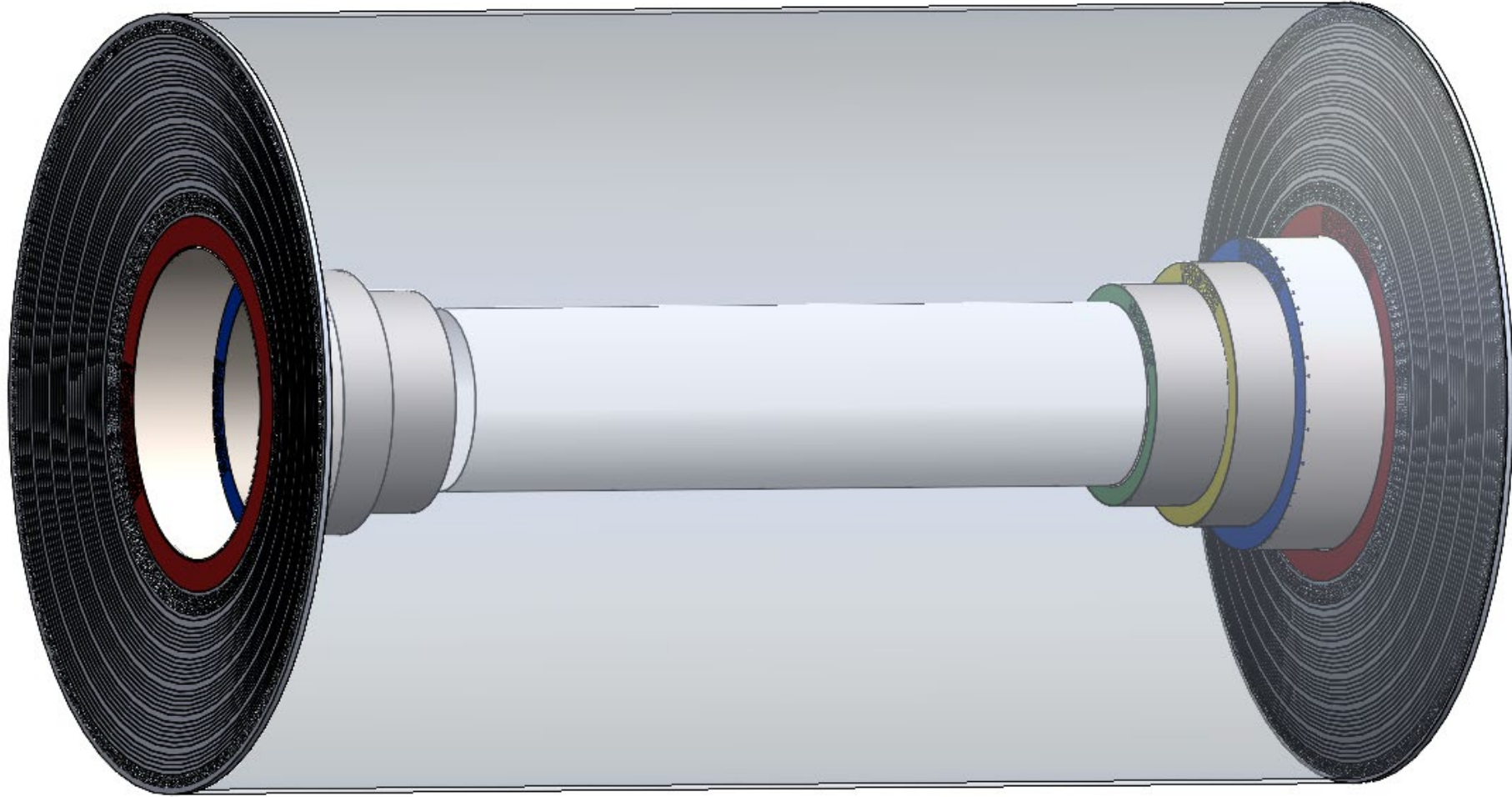
MDCH工作组

项目负责人：段利敏（IMPCAS） 曹喆（USTC）

中国科学院近代物理研究所
中国科学技术大学
深圳技术大学
华北水利水电大学



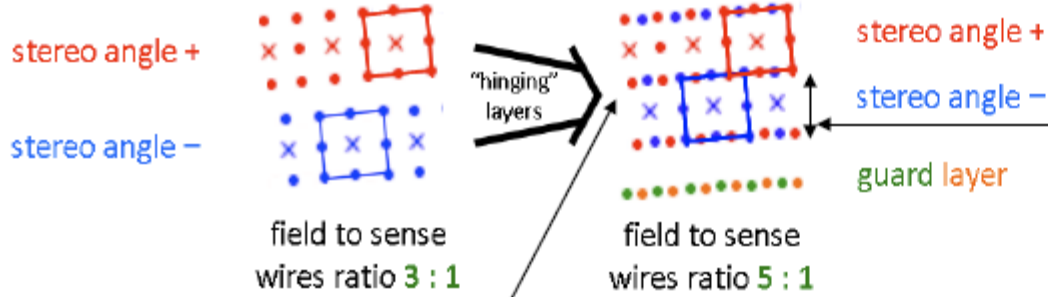




	BES III (6796 cell) (外: 5024+16128=21152 内: 484+1612=2096 台阶: 1288+4144=5432 2096+5432+21152=28680根 丝)	MEG II (IDEA drift chamber 内室11904根丝), 大室 343968根丝	BELLE II CDC 14336cell	STCF (11520 cell , 48448根丝) 内室cell变小, 预计增加 1倍单元, 约3000根丝)
大小	内半径182.5mm 有效长度1102mm 外半径810mm 有效长度2306mm	2T 长4m, 半径35~200CM 内室17~30cm 长度1.93m	1.5T 内半径 160mm 外半径1130mm 长度2325mm	内径200mm 外径850mm 有效长度1274*2mm
丝层设计	25um镀金钨丝 张力 (内室 18g, 外室50g) 110um铝丝 (内室54g, 外 室170g) 内室: 100kg (max:500kg) 外室: 3500kg (max: 5000kg)	MEG II 内室 灵敏丝: 20um (1728根 丝) (9层, 192cell/层, 12个 扇区, 16cell/扇区) 场丝: 40微米 (7680) 场丝和补偿丝 50微米 (2496) 外室: 定位子? 还未加工?	56层 30um (25um另一个 CDC?) 镀金钨丝 50g 126微米 铝丝 (无电镀) 80g 外桶5mm 内桶0.5mm CFRP BELLE (30um :80g 126um:160g)	定位子+内筒设计 定位子方便更换坏死的 丝 PCB可以做小单元, 但 需要考虑断丝怎么处理
单元大小	内室12mm 外室16mm	内室6mm 外室??	内室6.59~9.34mm 外室16.69mm	

	BES III (6796 cell) (6796+21152=28678根丝)	MEG II (IDEA drift chamber 内室) (11904根丝, 大室 343968根丝)	BELLE II CDC 14336cell	STCF (11520 cell , 48448根丝) 内室cell变小, 预计增加 1倍单元, 约3000根丝)
气体增益	$10^4 \sim 10^5$	gain $\cdot 10^5$ (1400-1480V)	BELLE II (2300V, 120um) BELLE (2300V, 分辨有点差 350um)	$\sim 10^4$
工作气体	He:C3H8(60:40)	He: iC4H10 (90:10)	He: C2H6 (50:50)	
计数率	70kHz	30kHz/cm ²	单丝 < 1MHz (平均)	400KHz/ch
加工精度	台阶安装精度: 50um 定位孔精度<50um			
亮度	$\sim 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\sim 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	50ab ⁻¹ $8 \cdot 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\sim 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

MEG II Drift chamber: design



The wire net created by the combination of + and - orientation generates a more uniform equipotential plane

sense wires:	20 μm diameter W(Au)	=> 1728 wires
field wires:	40 μm diameter Al(Ag)	=> 7680 wires
f. and g. wires:	50 μm diameter Al(Ag)	=> 2496 wires
11904 wires in total		

Full stereo cylindrical DC with large stereo angles (102÷147 mrad)
 Small square cells (5.8÷7.8 mm at $z=0$, 6.7÷9.0 at $z=\pm L/2$)
 (~ 12 wires/cm²)

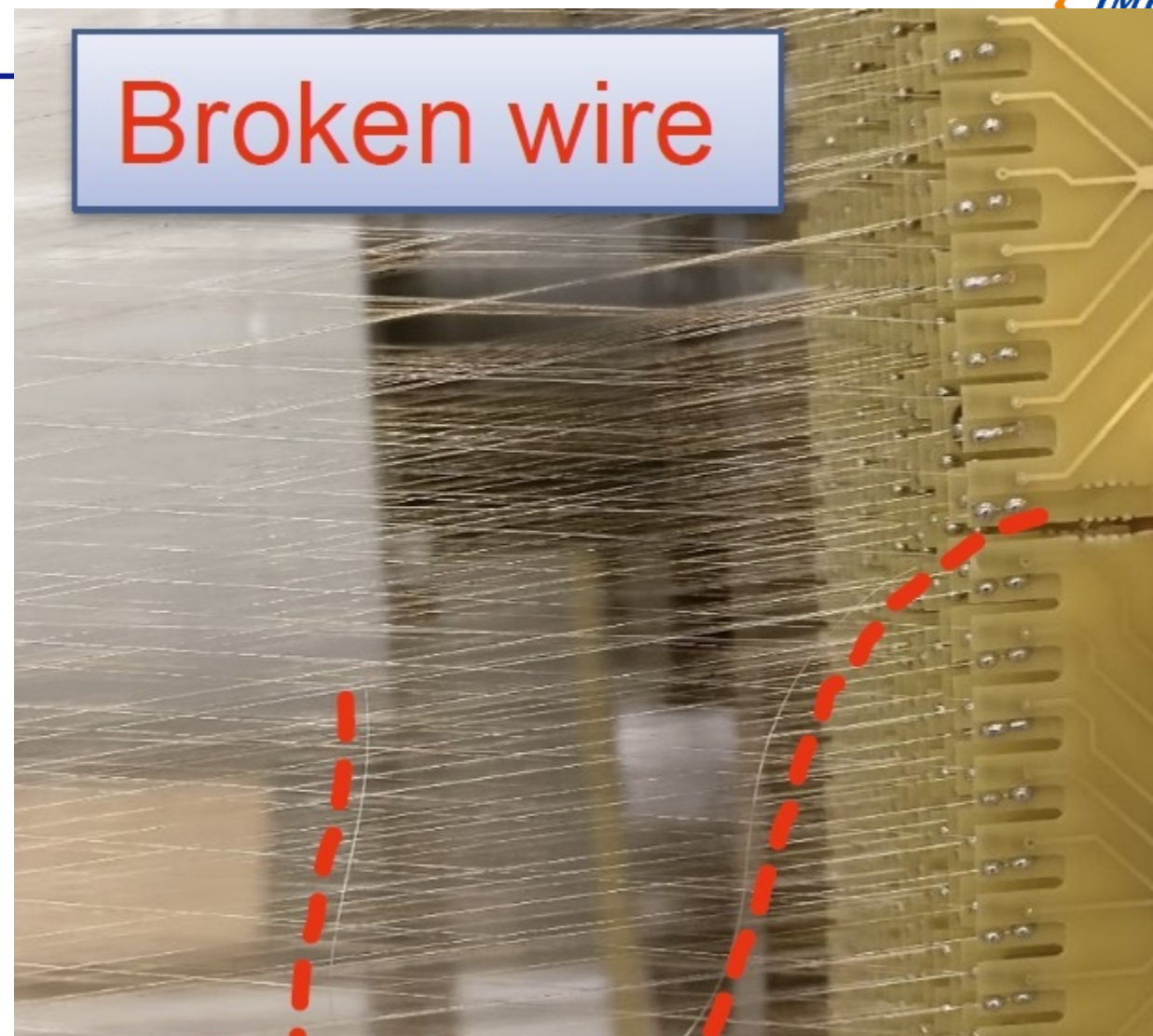
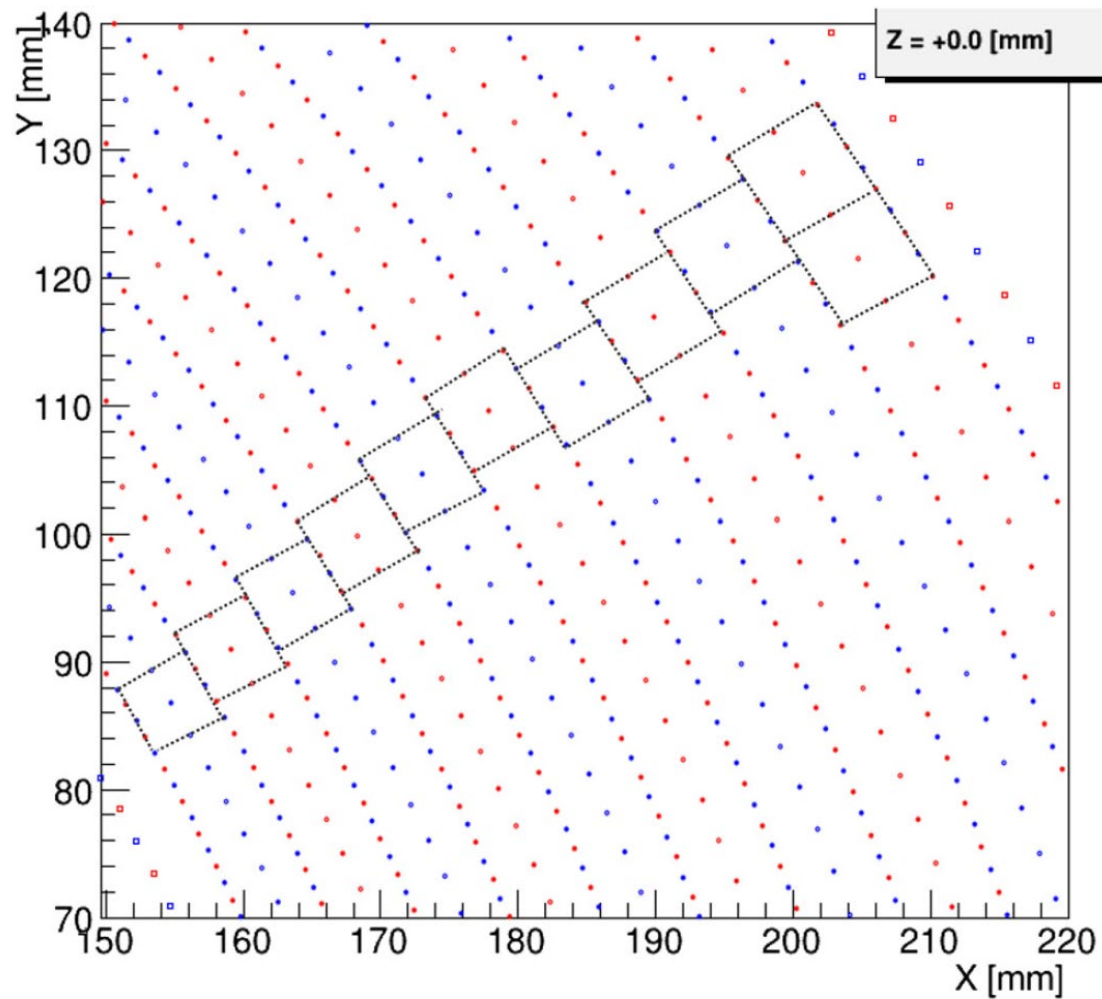
Active length L	1932	mm
N. of layers	9	
N. of stereo sectors	12	
N. of cells per layer	192	
N. of cells per sector	16	
Cell size (at $z=0$)	5.8 ÷ 7.8	mm
Twist angle	$\pm 60^\circ$	
Stereo angle	102 ÷ 147	mrad
Stereo drop	35.7 ÷ 51.4	mm

60°?
60mrad?

High wire densities, anyway, require complex and time consuming assembly procedures and need novel approaches to a feed-through-less wiring

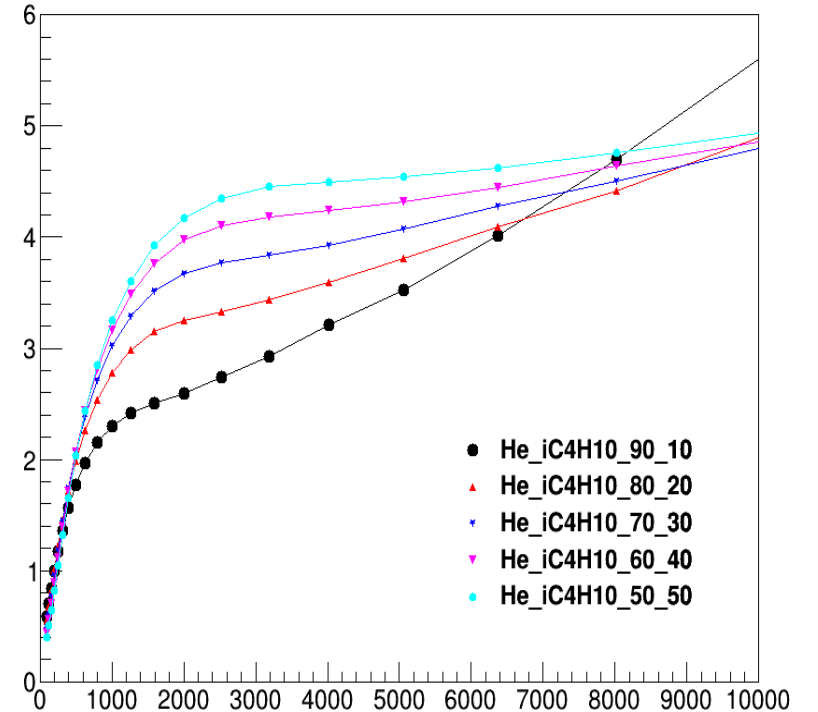
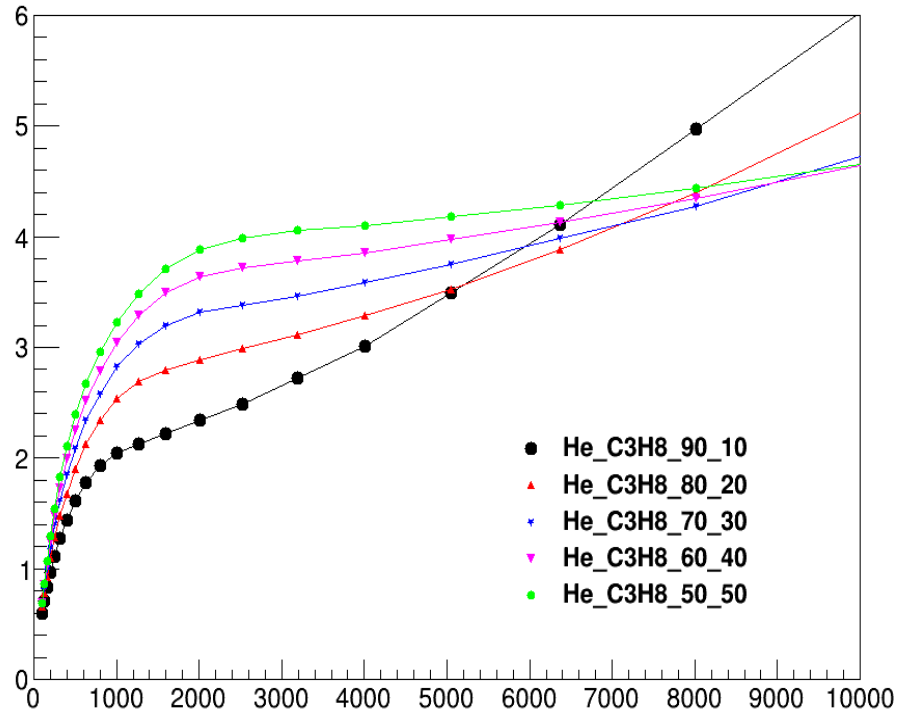
combination of + and - wire orientation produces a more uniform equipotential surface → 5:1 field to sense wires ratio (more field wires) → better E-field isotropy and smaller E×B asymmetries)

遇到的问题：UV两种丝层结构，无束流方向直丝
 两个立体角中间的丝层怎么排布？
 灵敏丝扭转，中间丝层不变？

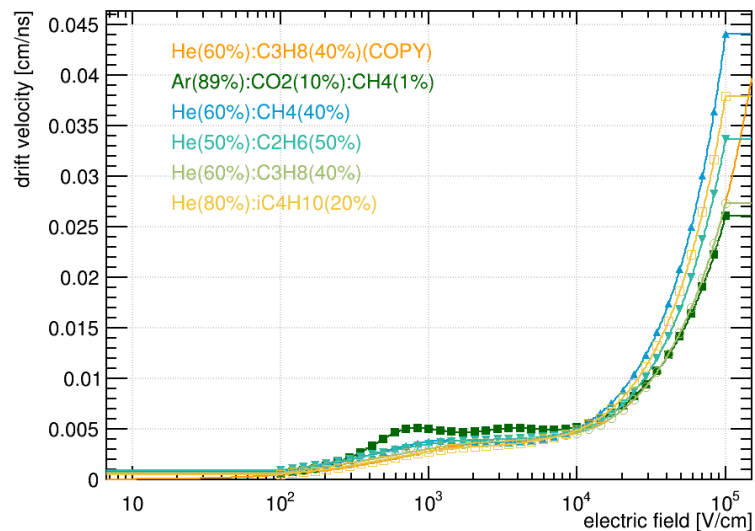


MEG II 60多根断丝，来源于腐蚀，大部分为40微米场丝
断丝如何处理？

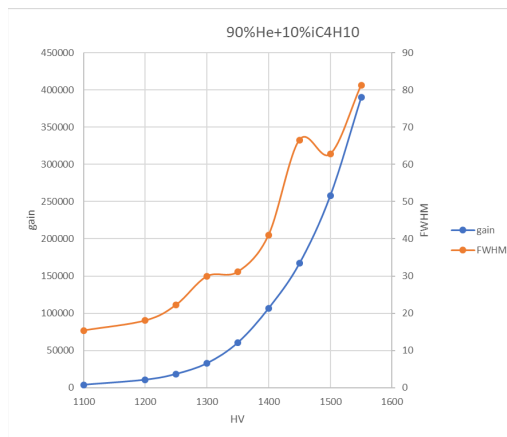
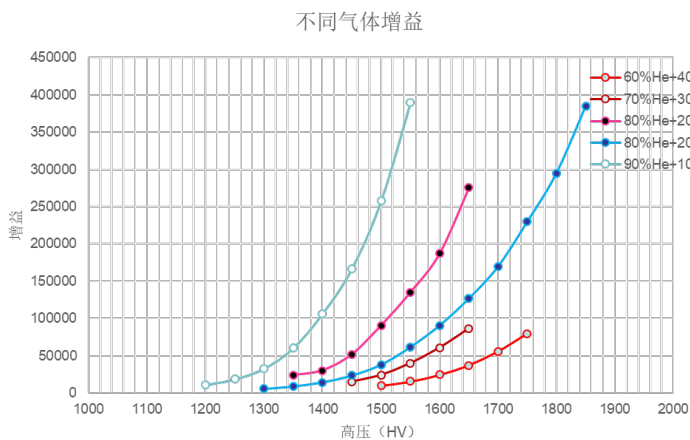
	百分比		
He: C3H8	50	50	24
	60	40	20
	70	30	16
	80	20	12
	90	10	8
He: C2H6	50	50	17
He+iC4H10	90	10	9.4
	85	15	12.1
	80	20	14.8
	75	25	17.5
	70	30	20.2
	65	35	22.9
Ar+CH4	90	10	36.7
	80	20	34.4
	70	30	32.1



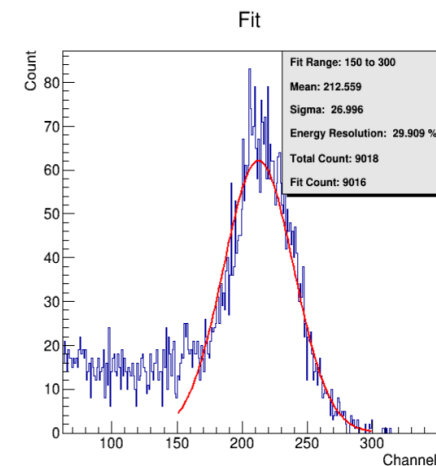
综合考虑工作气体的物质量，参考其他漂移室设计，模拟和计算了可能用到的一系列气体比分的漂移速度参数。



gas mixture	Ar/CO ₂ /CH ₄ (89/10/1)	He/CH ₄ (60/40)	He/C ₂ H ₆ (50/50)	He/C ₃ H ₈ (60/40)	He/iC ₄ H ₁₀ (80/20)
drift velocity (cm/us)	4.79027	3.79499	3.90242	3.61329	3.23577
transverse diffusion (um/Vcm)	290.44	229.142	218.612	197.159	194.348
lorentz angle (°)	21.2963	14.2451	14.5382	13.0413	11.345



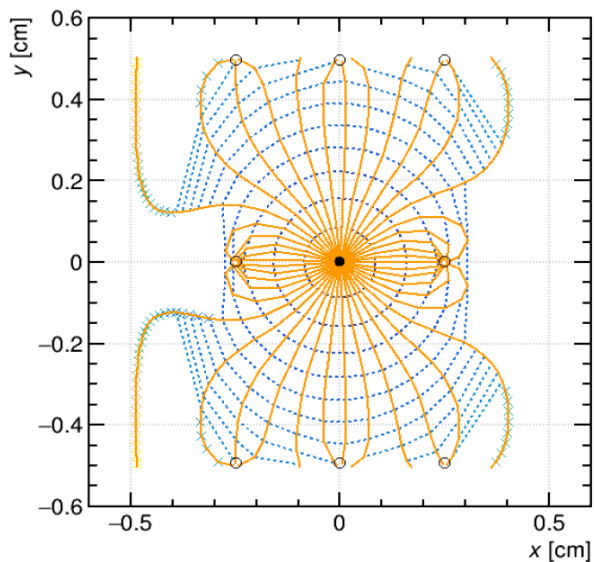
10%iC4H0
增益在40000左右时
能量分辨30%左右



90%He+10%iC4H10的漂移速度相对较慢，需要径迹重建进行位置分辨分析

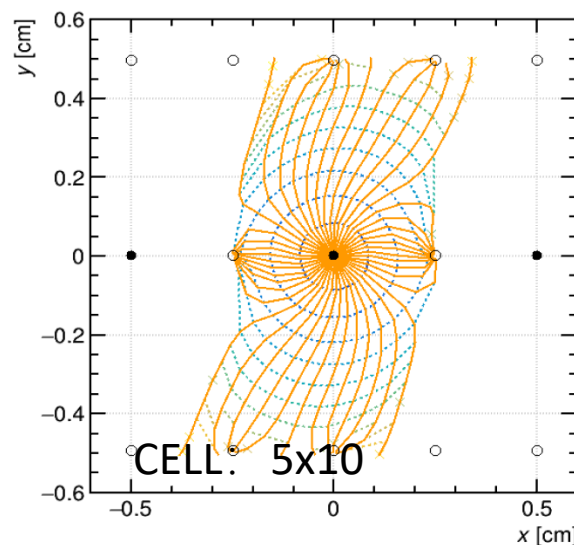
变化漂移单元形状，计算等时线

等时线: 20ns Bz=0T

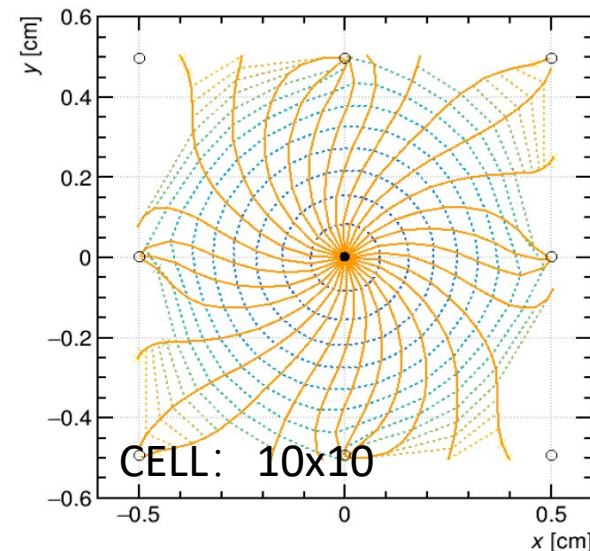


CELL: 5x10

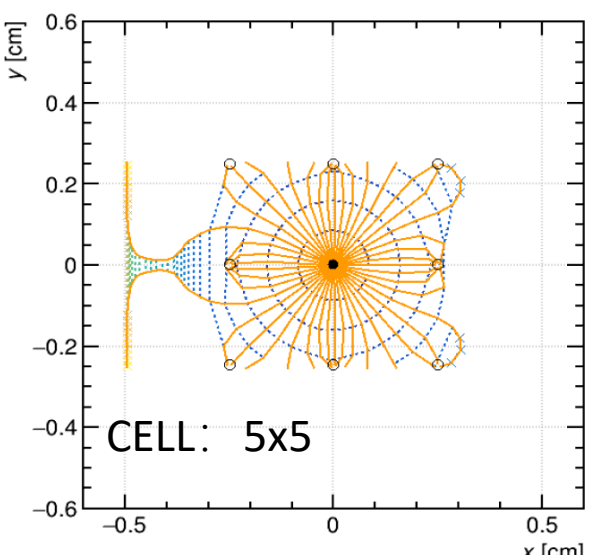
等时线: 20ns Bz=1T



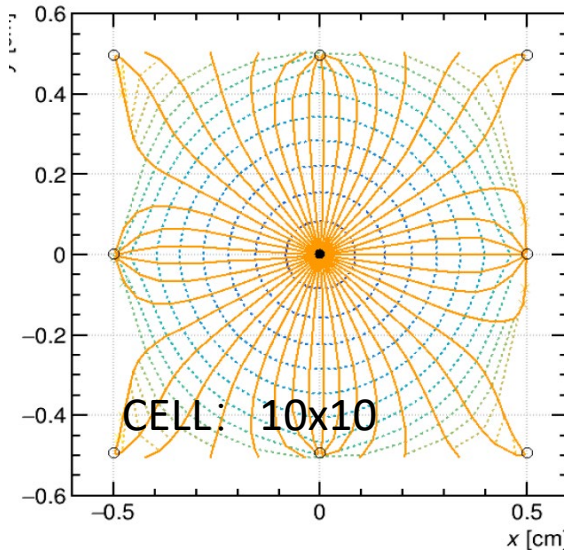
CELL: 5x10



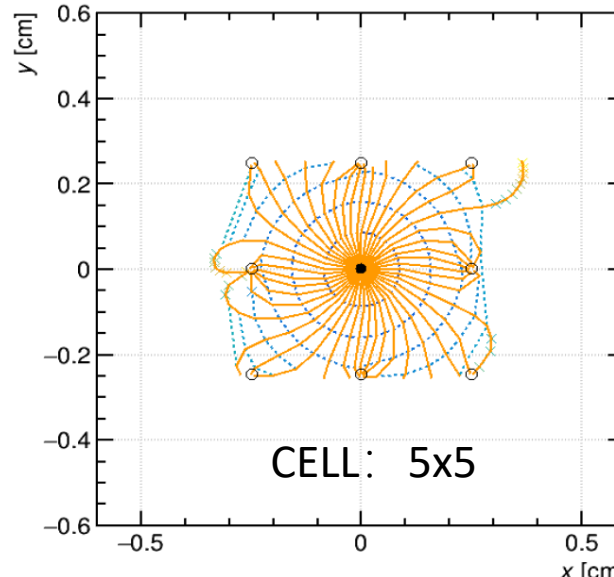
CELL: 10x10



CELL: 5x5



CELL: 10x10



CELL: 5x5

磁场中等时线分布

需要样机实测，怎么测？
低气压下alpha源验证？
电子源验证？

反卷积滤波波形如图 3.48 所示，从图中反卷积前后波形对比可以看出，经过反卷积滤波后的波形多峰的特征更为显著，反卷积使数字化的波形更接近 MDC 探测器输出的信号。

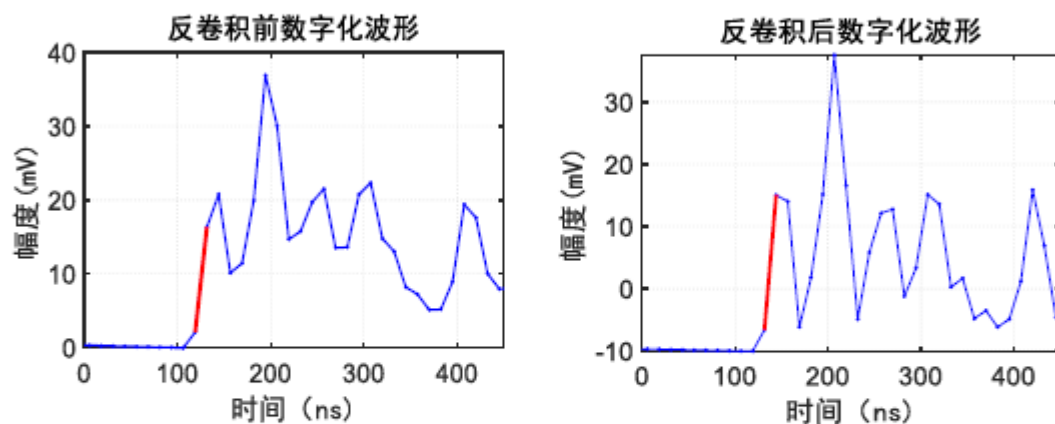


图 3.48 反卷积前后波形比较

通过仿真验证反卷积对时间测量的影响，此处验证过程中使用电荷量为 200 fC 的不同仿真信号进行验证。反卷积滤波前后时间测量精度分别如图 3.49 以及图 3.50 所示。当采样率为 500 Msps 时，经过反卷积滤波之前，时间测量精度为 1.26 ns RMS，经过反卷积滤波之后，时间测量精度为 979 ps RMS，可以达

当采样率高于100 Msps之后，
再提高采样率对于波形分辨探测效率的影响并不显著。

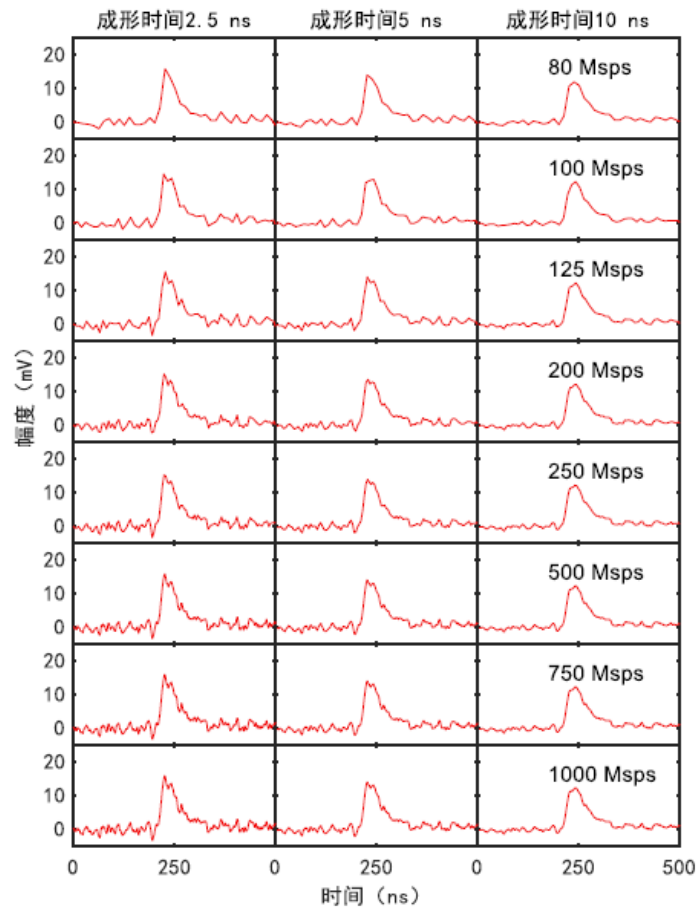


图 3.56 不同成形时间下不同采样率波形

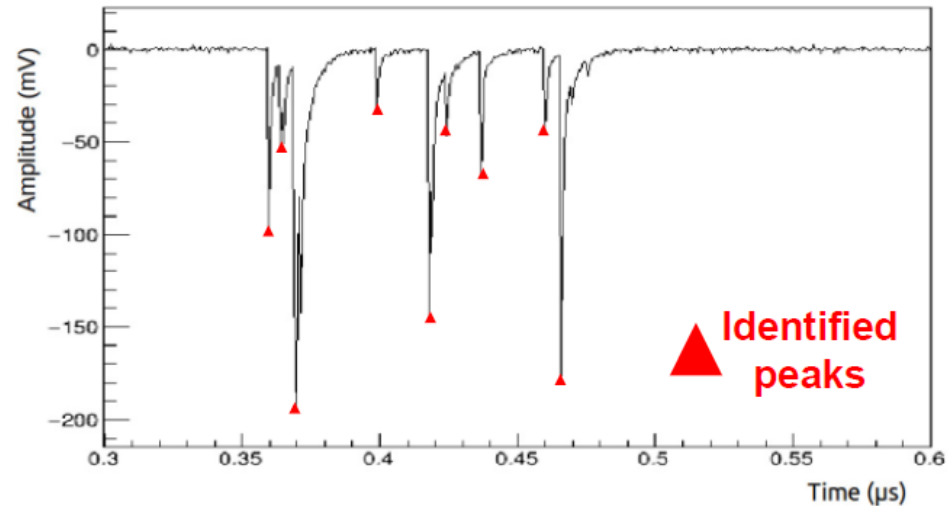
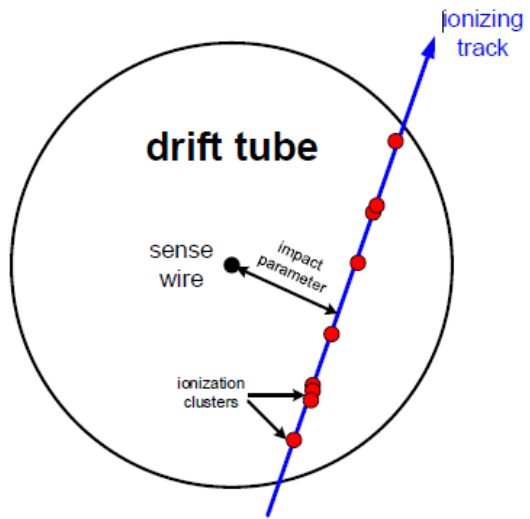
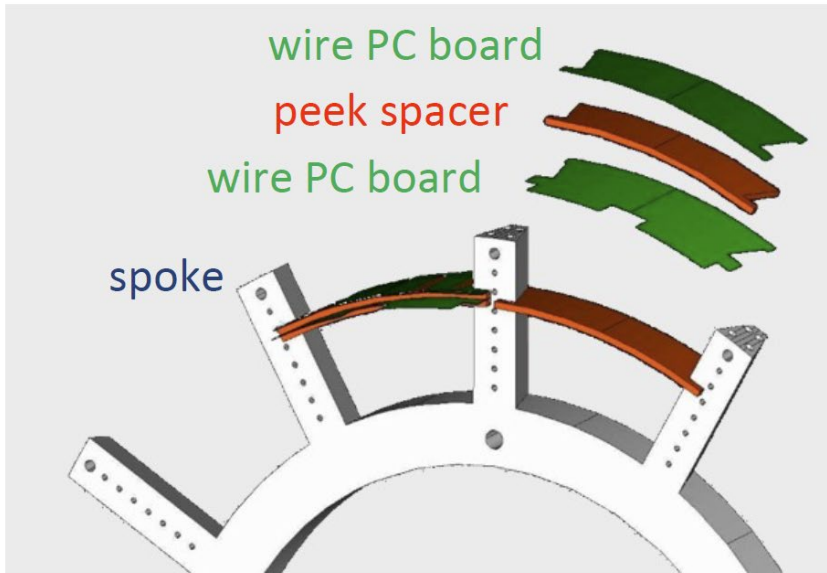


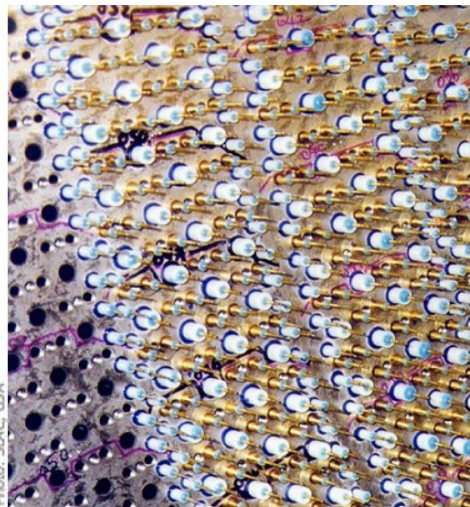
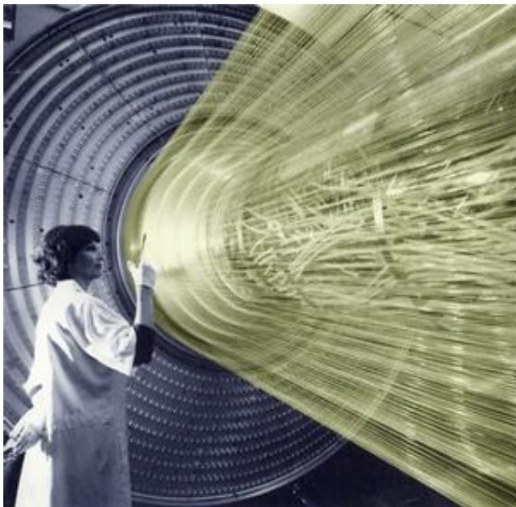


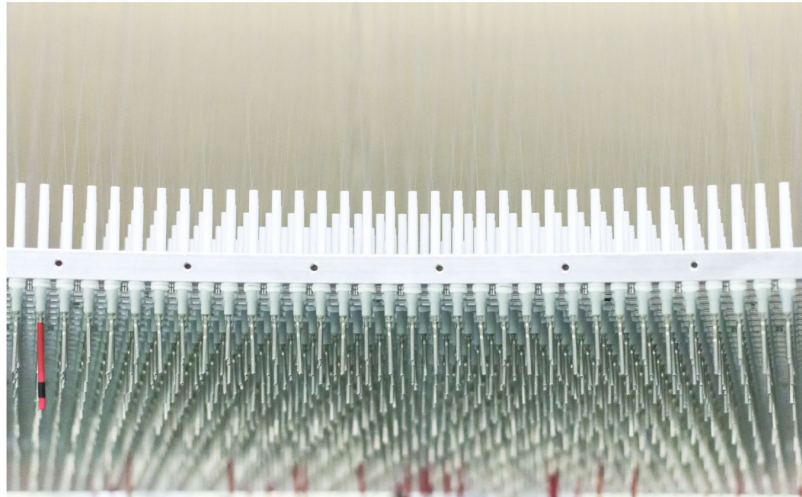
表 2.1 主漂移室读出电子学总结

	BESIII	BelleII	MEGII
前放结构	跨阻型	电荷灵敏型	电压放大
时间测量方案	采用 HPTDC 测量	采用 FPGA-TDC 测量	波形采样后进行束团定时
电荷测量方案	数值积分	数值积分	—
最内层漂移单元尺寸 (mm)	14	7	6.6
计数率	30 kHz	30 kHz	~40 kHz

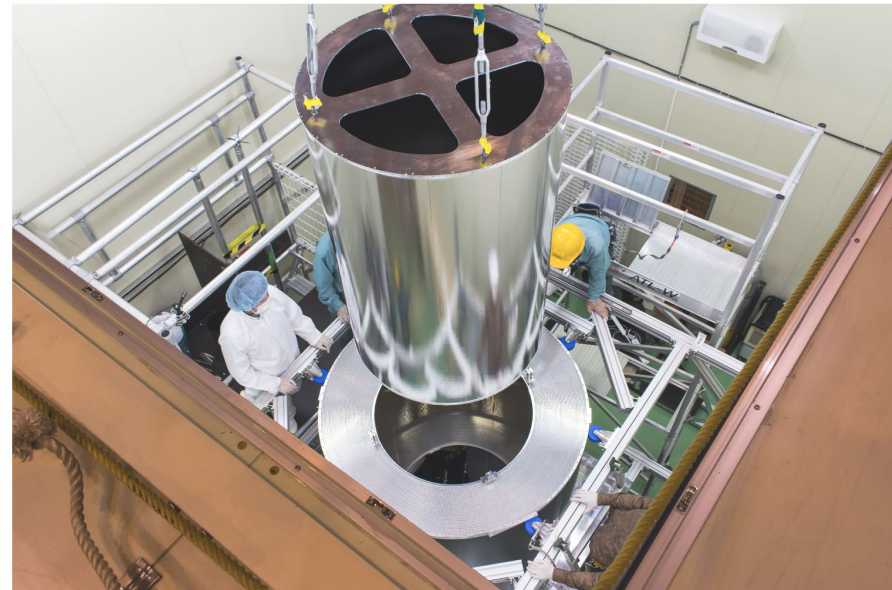
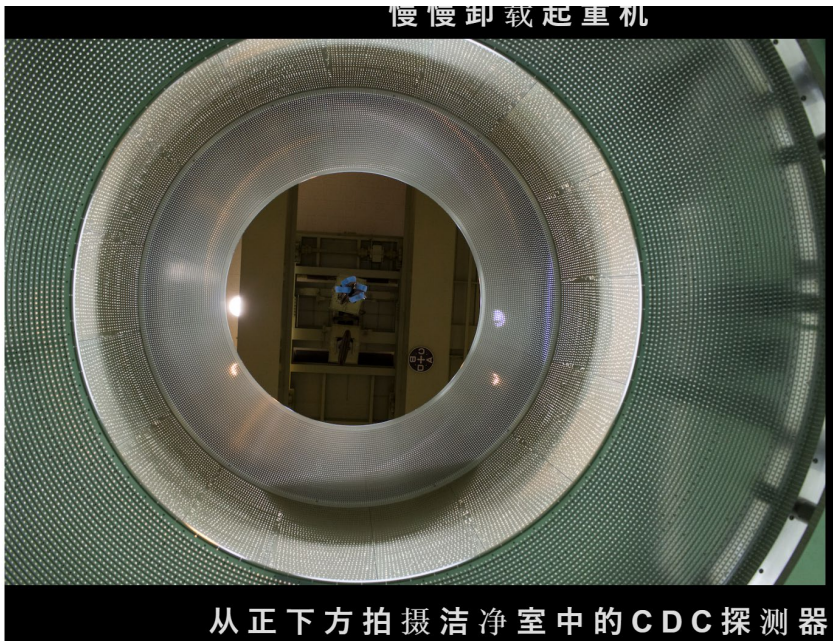


MEG II





KEK
BELLE II CDC



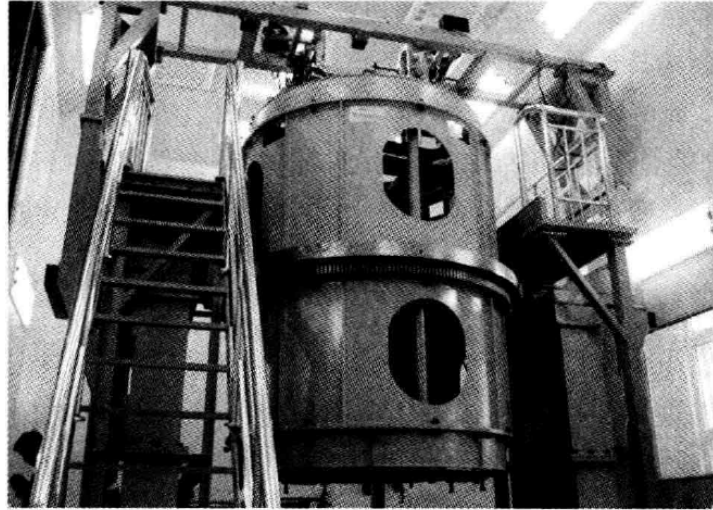


图 3-22 漂移室布丝机



图 3-29 拉完丝后对定位子的密封

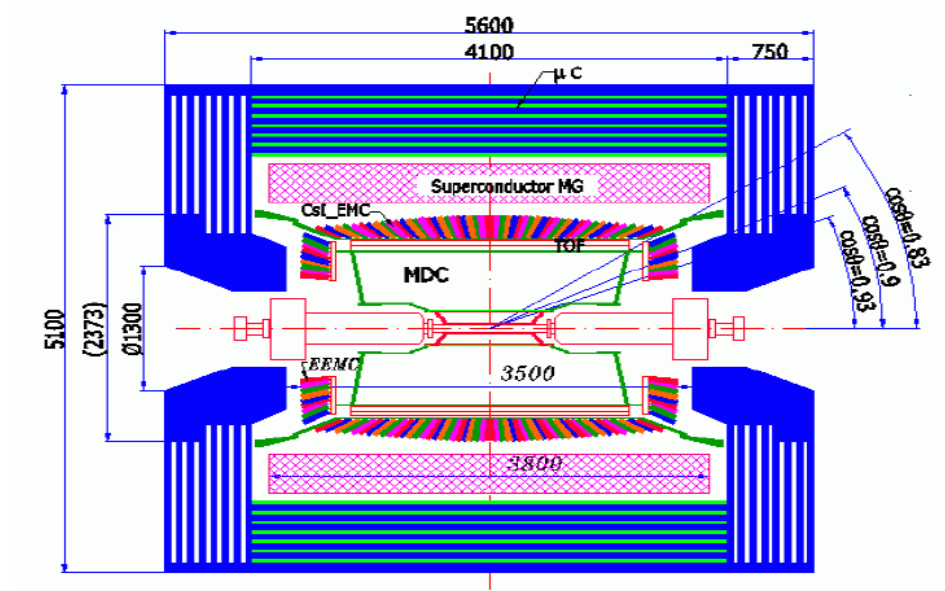


图2.1 BESIII探测器剖面图