

BESIII 漂移室 的建造

伍灵慧

(代表 BES III 漂移室组)

wulh@mail.ihep.ac.cn

2006年10月



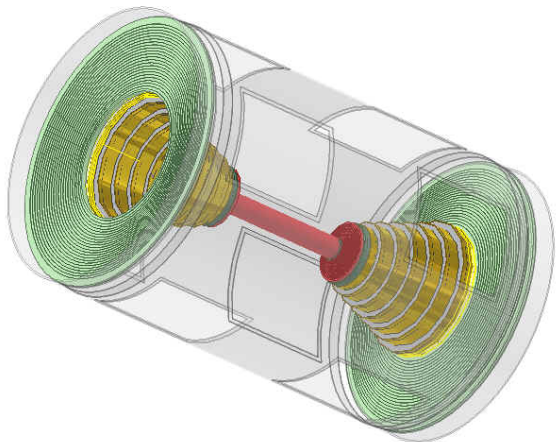
概要

- 前言
- 室体的结构及建造
- 定位子的设计和生产
- 布丝机的设计和建造
- 漂移室试安装和布丝前的准备工作
- 布丝和测量
- 内室的安装
- 密封和检漏
- 总结

前言

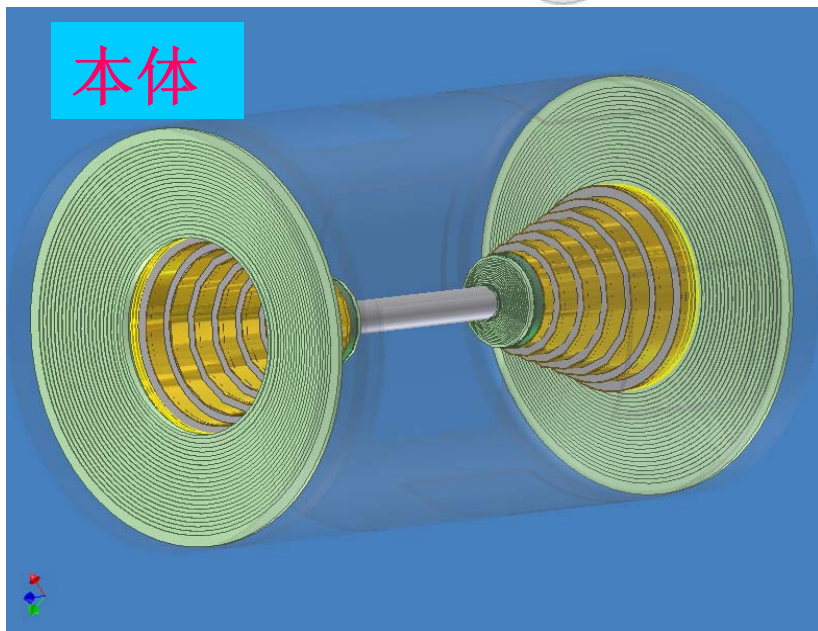
- 低能高亮度的 e^+e^- 对撞机BEPCH(E $_{cm}$ ~2—5GeV, L~ $10^{33}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ @3.78GeV)需要一个适合在高计数率下工作的低质量高精度的径迹探测器。
- 漂移室是BESIII探测器的最内层径迹探测器,将工作在1T的磁场中。要求提供尽可能大的立体角覆盖,好的动量分辨和dE/dX分辨
- 为满足以上要求, BESIII漂移室将采用小单元结构,铝场丝以及氦基混合气体He/C₃H₈ (60/40)
- 预期性能:
 - 空间分辨: 130 um
 - 动量分辨: 0.5%@1GeV/c
 - dE/dX分辨: 6~7%

室体的结构及建造

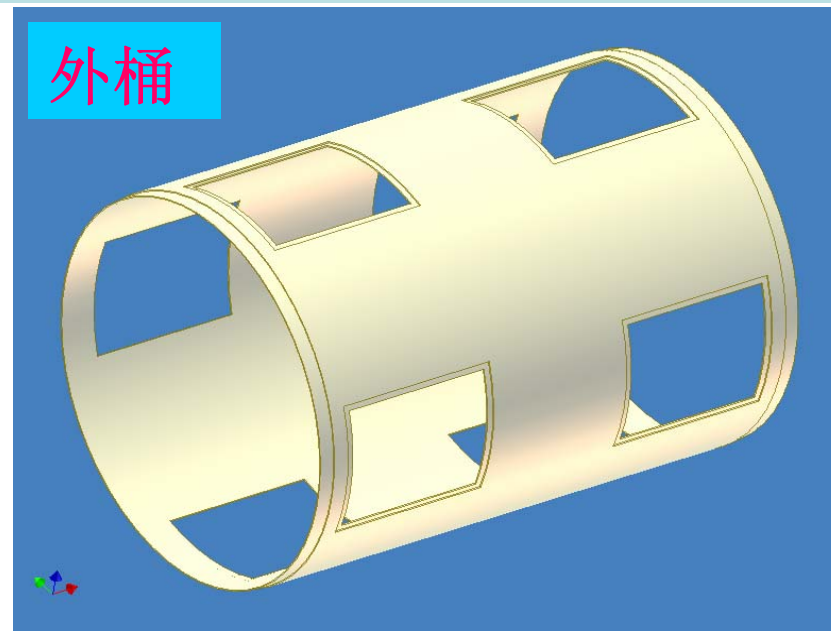


BESIII漂移室是一个大型精密圆柱漂移室。内筒长844mm，内径118mm，厚度1.2mm；外筒长2582mm，内径1588mm，厚度12mm；内室和台阶端板厚25mm，大端板厚18mm，材料为**A17075**

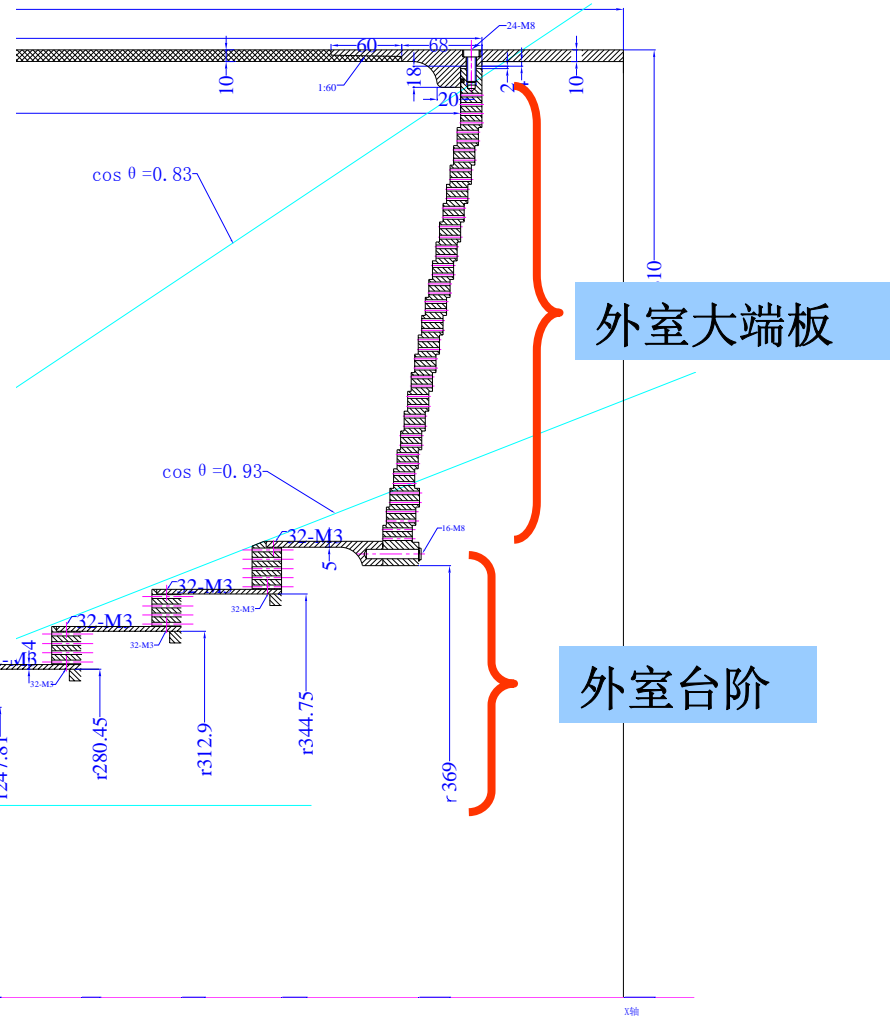
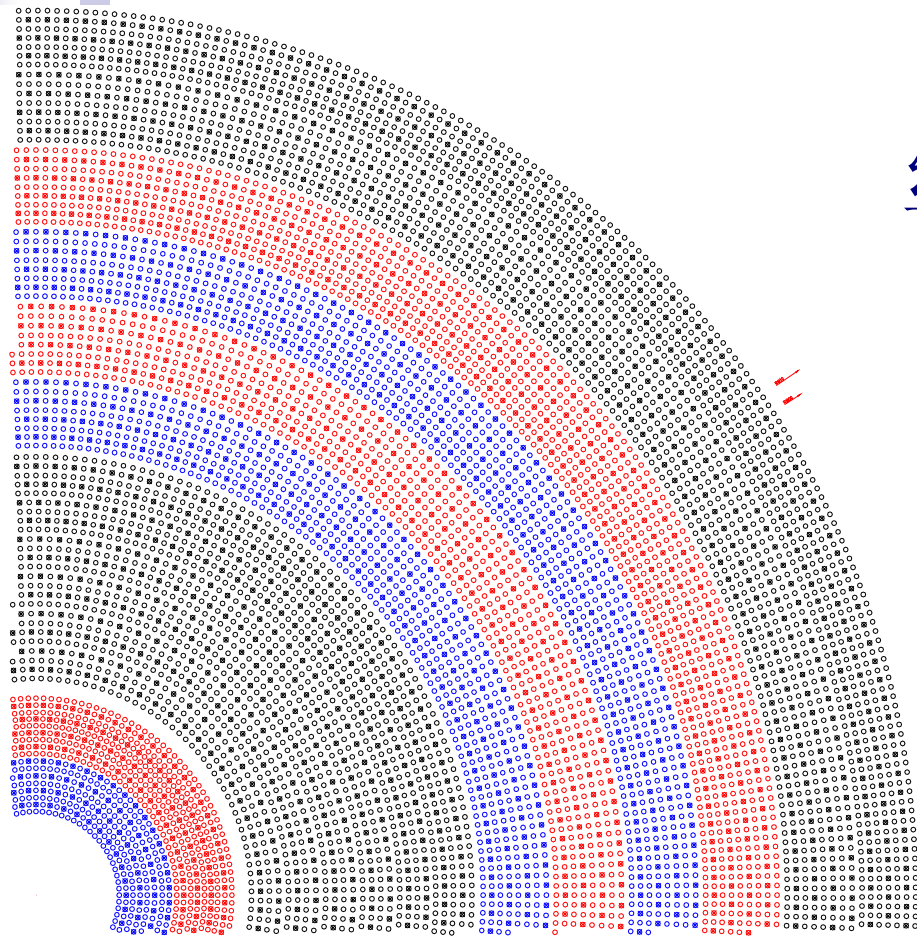
本体



外桶



丝层安排及端板结构

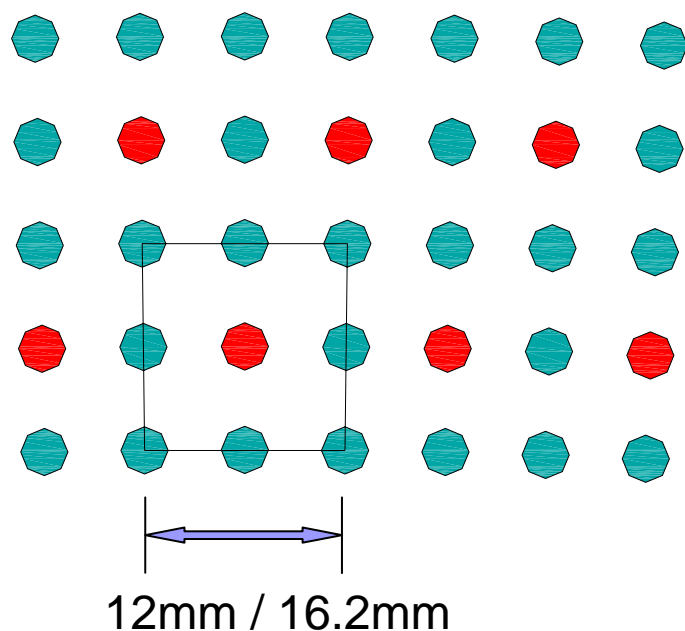


内室

外室大端板

外室台阶

单元结构和工作气体



● 信号丝 +HV

● 场丝 \perp

类正方形小单元结构
内室单元平均半宽6mm
外室单元平均半宽8.1mm

为了解决左右分辨，相邻丝层相错半个单元

信号丝： $\phi 25 \mu\text{m}$ 镀金钨丝，6796根
场丝： $\phi 110 \mu\text{m}$ 镀金铝丝，21884根

工作气体： $\text{He}/\text{C}_3\text{H}_8$ (60/40)

丝层安排

- ▶ 共43个信号丝层
 - 内室：8层，均为斜丝层
 - 台阶：共12个直丝层
 - 大端板：16层斜丝+7层直丝

丝层	每层单元数	性质	斜丝倾斜角（度）
1 — 4	40,44,48,56	斜丝 (-)	2.9 ~ 3.3
5 — 8	64,72,80,80	斜丝 (+)	3.4 ~ 3.9
9 — 20	76,88,100,112,124,140	直丝	—
21 — 24	160	斜丝 (-)	2.4 ~ 2.7
25 — 28	176	斜丝 (+)	2.7 ~ 3.1
29 — 32	208	斜丝 (-)	3.0 ~ 3.3
33 — 36	240	斜丝 (+)	3.3 ~ 3.6
37 — 43	256,288	直丝	—

室体的建造

➤ 内外筒

- 漂移室的内筒和外筒在探测区域内的材料均为碳纤维，两端与铝环相连以方便与端面板连接。
- 内筒长844mm，内径118mm，厚度1.2mm，主要承载内室丝张力（ $\sim 100\text{Kg}$ ）。其轴向承载能力可达500Kg，轴向变形量小于0.05mm。
- 外筒长2582mm，内径1588mm，厚度12mm，承载外室的丝张力（ $\sim 3500\text{Kg}$ ）。其轴向承载能力可达5000Kg，轴向变形量小于0.05mm。

➤ 端板

- 内室端板及外室大端板分别由整块铝材加工而成，台阶端板由6个平面圆环板组装而成
- 丝孔直径加工精度好于0.015mm
- 丝孔的位置精度好于0.050mm
- 内外室的组装精度也满足了设计要求

内外筒加工

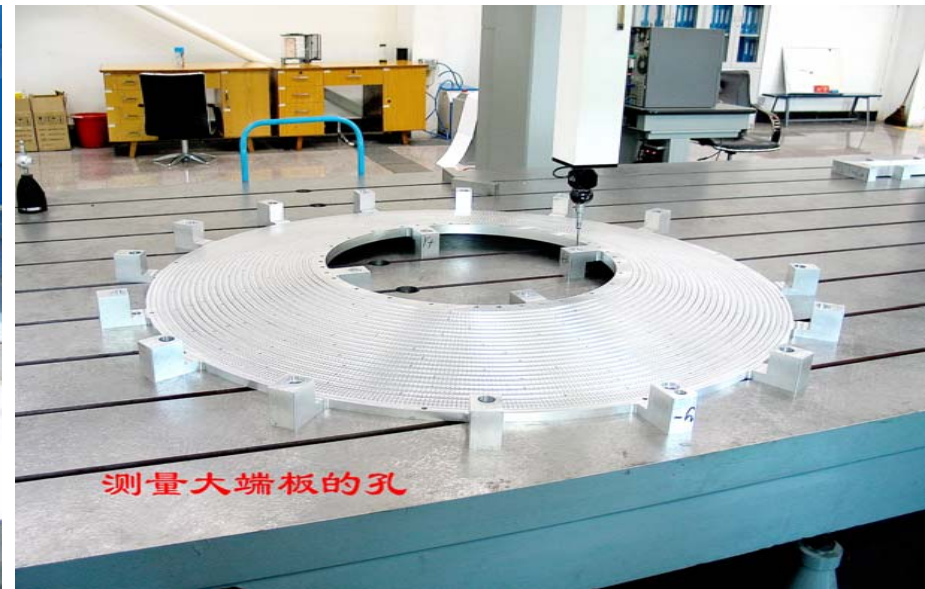
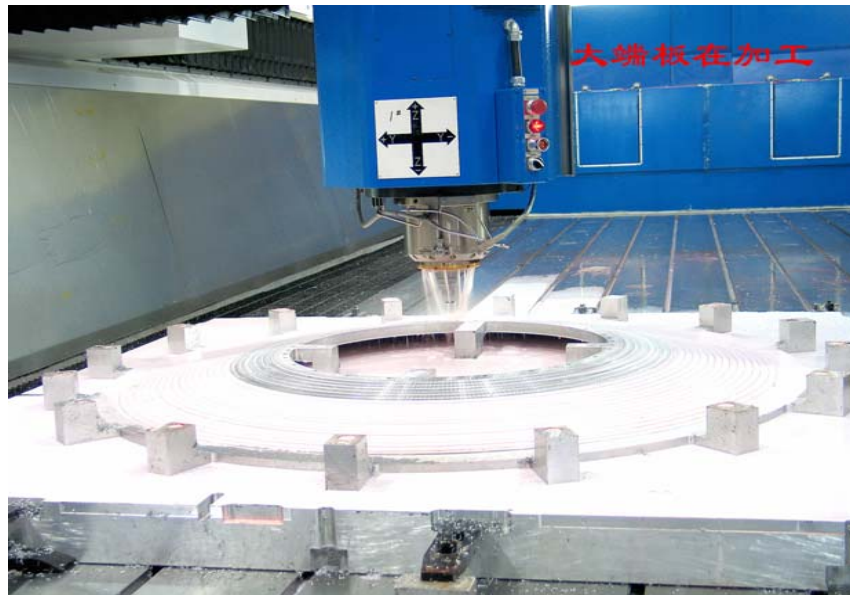


← 外筒: 8个观察窗以便于布丝期间观察拉丝状况

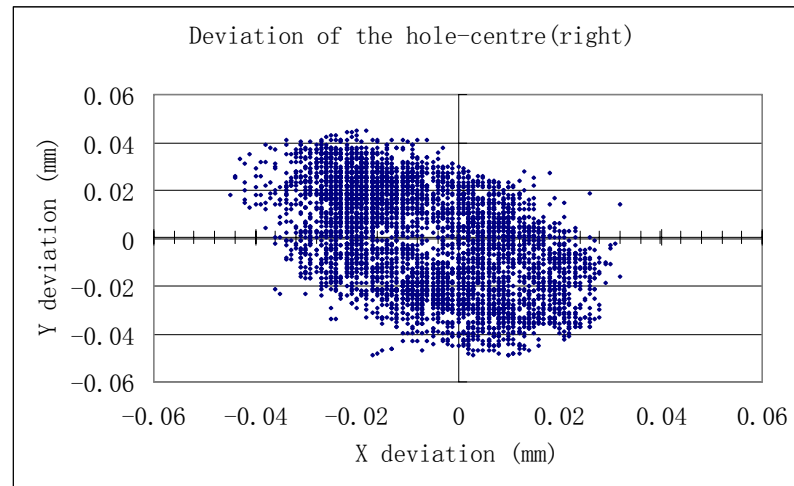
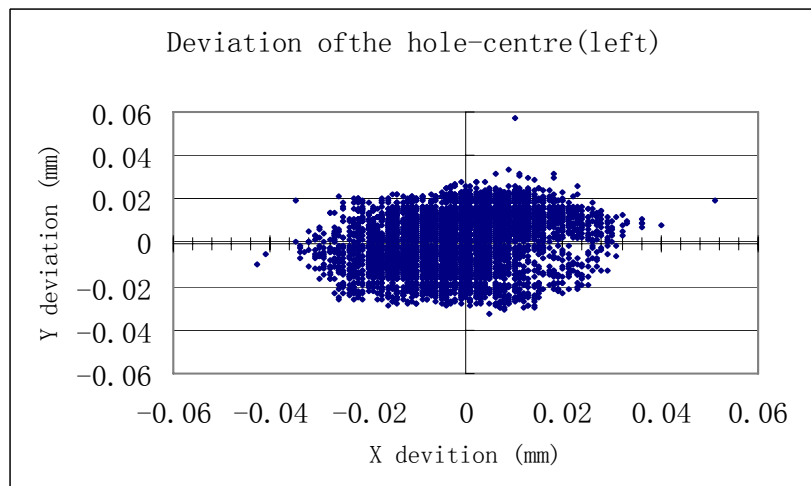


大端板的加工和测量

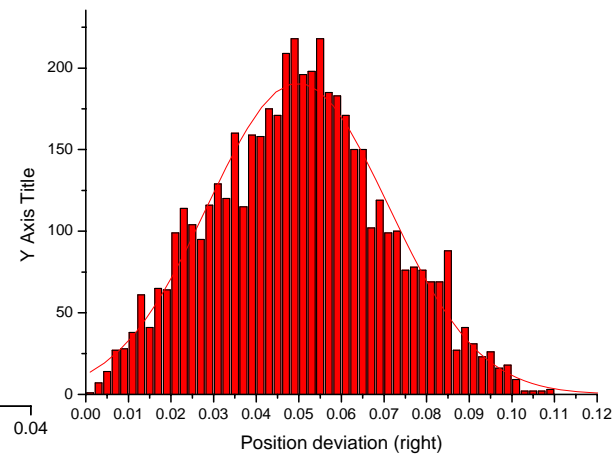
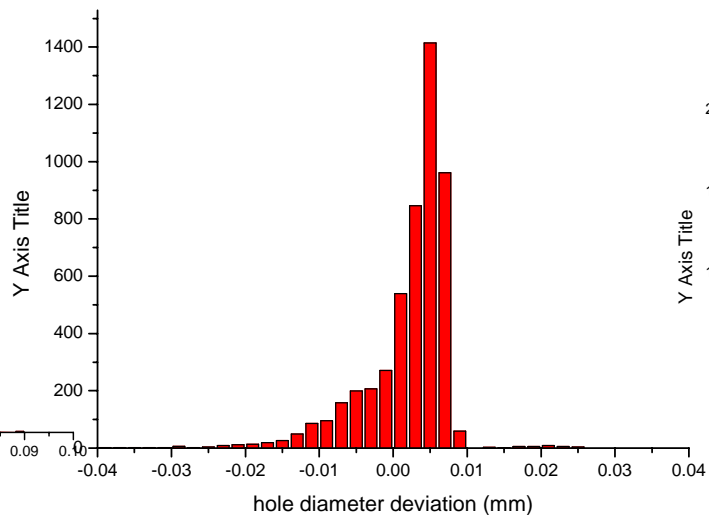
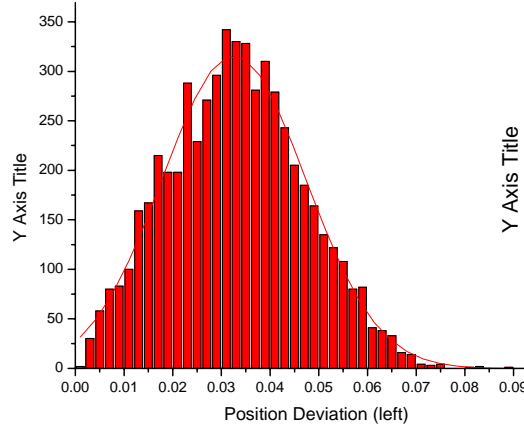
- 直径1.6m，共21152个孔($\Phi 3.2^{+0.025}$)
- 2005年4月完成
- 孔的测量使用三坐标测量法，测量精度0.01mm



测量结果

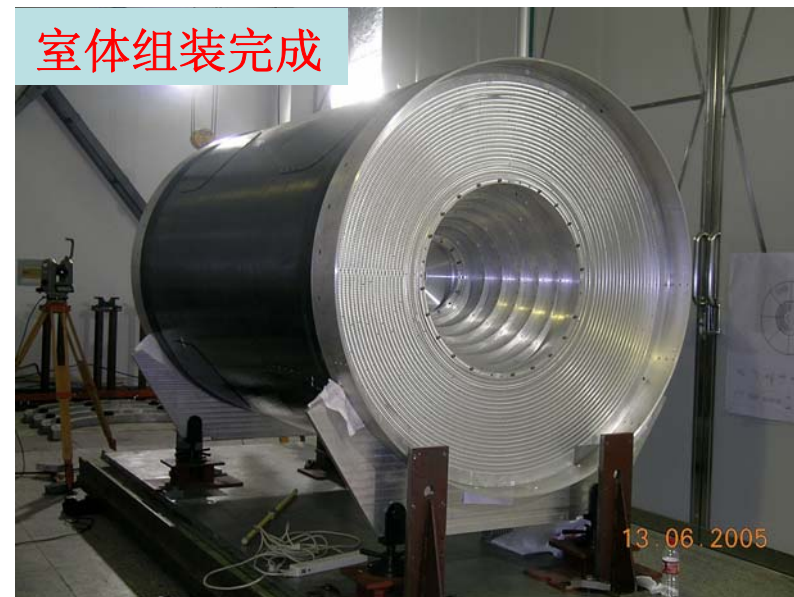


$$\Delta p = 2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$



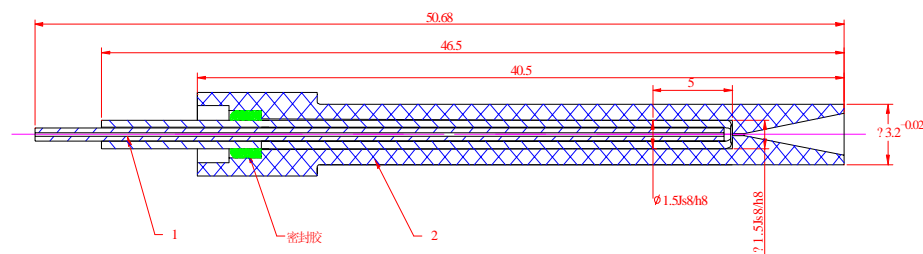
室体组装

- ▶ 使用“空间前方交会法”对组装后的室体进行测量
- ▶ 测量结果：
 - 外室组装后单端x, y的对应偏差 $\leq 0.050\text{mm}$, 满足技术要求
 - 内外室组装后x, y的对应偏差 $\leq 0.200\text{mm}$, 满足技术要求
 - 室本体两端同轴度 $\leq 0.100\text{mm}$



定位子的设计和生产

- 定位子是漂移室的关键部件之一，它要满足丝的精确定位和固定的同时，要满足高压绝缘的要求，还要方便人工穿丝以提高拉丝效力
- 结构设计分三部分：
 - 高压绝缘：塑料注塑（LCP-A310），具有很好的耐热性能、成型加工性能和高压绝缘性能
 - 高压的接入和信号的引出：插入塑料件的大铜管
 - 丝的定位和固定：大铜管内插入夹丝小管，当丝穿入夹丝小管后，用特殊的夹丝钳把夹丝小管夹扁将丝固定住
- 信号丝定位子的夹丝小管是铜管；场丝定位子的夹丝小管是铝管，以保证夹住铝管时不伤害铝丝



➤ 定位子生产的关键工艺

- 塑料件的尺寸控制—长度，外径，内径和定位小孔
- 塑料件的定位小孔与外径的同心度
- 大铜管的尺寸—内径，外径和直线度
- 大铜管与小铜管的铆接
- 大铜管与塑料件的粘接

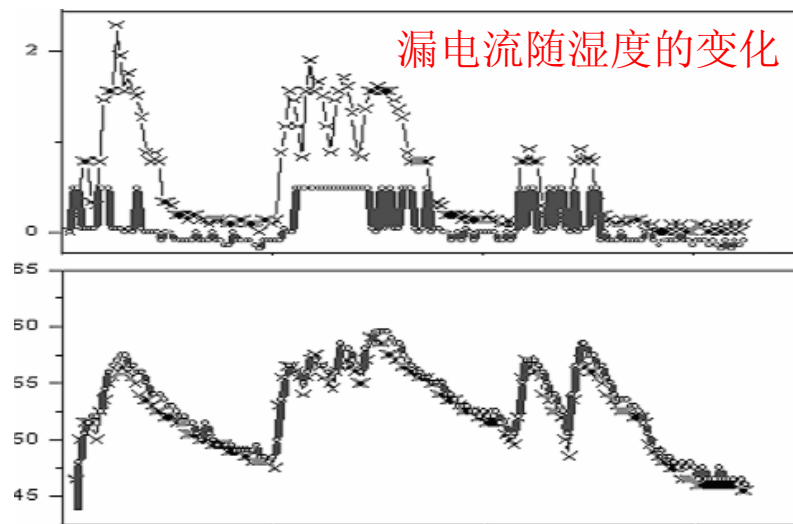
➤ 由于台阶端板与外室大端板的厚度不一致，定位子的长度分为两种，定位子塑料件的长度分别为40.5mm和33.5mm

➤ 为便于区分，对信号丝和场丝使用不同颜色的定位子



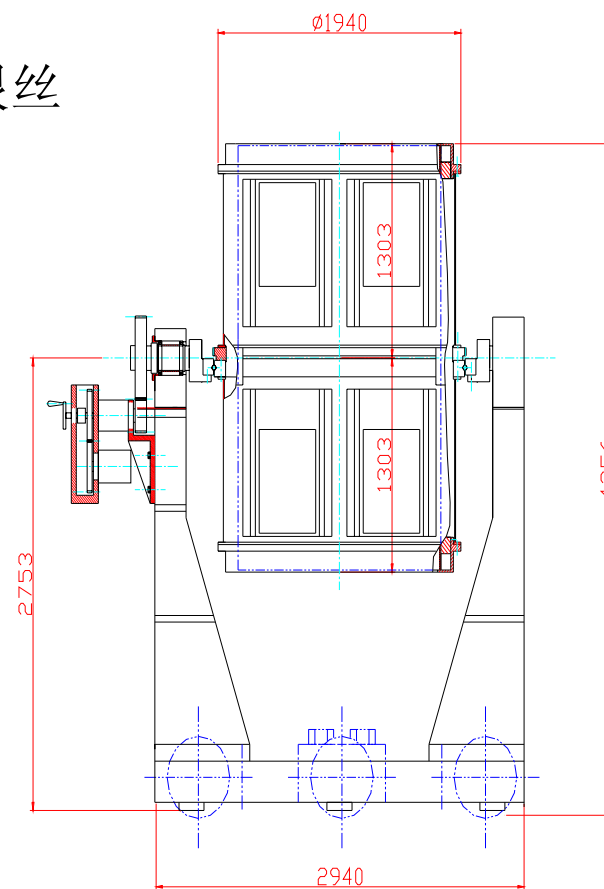
定位子测试

- 机械测量
- 高温测试 (200°C)
- 高压测试
 - 高压: -4kv , 漏电流 $\leq 1\text{ nA}$ (湿度40%).
 - 高压 -2.5kv , 漏电流 $\leq 1\text{ nA}$ (湿度55%).
- 连接
- 漏气检测



布丝机的设计和建造

- 布丝机的功能是完成漂移室近3万根丝的拉丝工作
- 组成部分：
 - 布丝机本体
 - 匀速降丝机
 - 操作平台
 - 预应力杆卸载装置
 - 加强梁机构
 - 桥式工作台
 - 滚动支架
 - 调装台



- ▶ 室体固定在布丝机中，室体在布丝机上绕室体的中心轴可做 360° 的转动，绕布丝机的水平轴可做 180° 的翻转
- ▶ 布丝机的转动至少要实现三个功能：锁定，预设置转动角度，自动显示当前状态
- ▶ 布丝机的各项运动过程中，要尽可能减少振动，尤其是起停时的惯性冲击对室体丝的影响，在进行传动设计时要求运动体运动平稳，保证运动体平滑的启动和停止





漂移室试安装和布丝前的准备工作

► 漂移室的试安装

- 束流管试安装
- 台阶电子学板和大端板电子学板的试安装
- 气管，高压和电子学读出的电缆试安装
- 屏蔽罩试安装
- 加速器部件试安装
- 内室的卸载和再安装
- 端板上所有螺钉孔的试安装

➤ 布丝前的准备工作

- 室体的机械尺寸的检测
- 漂移室试安装
- 清洗
 - 整体安装前对室体的每个部件进行清洗
 - 所有丝孔都使用无水酒精进行清洁
- 漂移室装入布丝机
- 室体在布丝机中的调整
- 室体的密封
- 预应力杆的安装
- 施加预应力后的变形测量



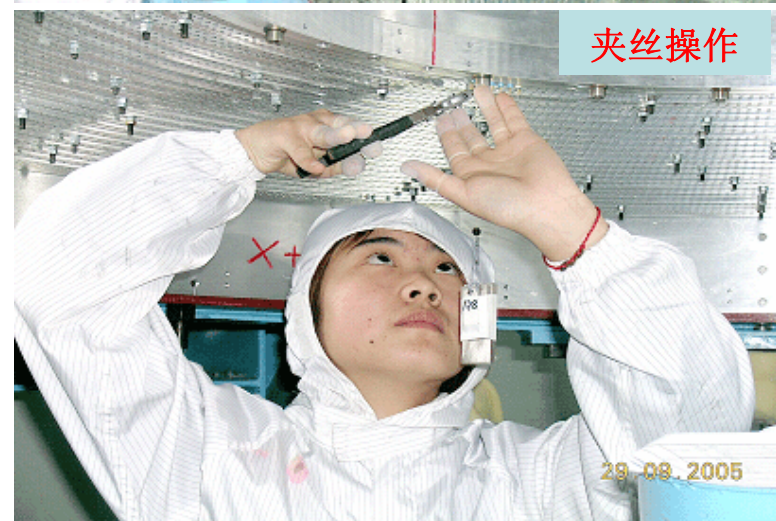
➤ 预应力

- ◆ 布丝过程中采用预应力的方法保证丝张力的稳定
- ◆ 拉丝过程是整体加载的力与力之间相互影响相互作用的复杂过程，利用试验模型的经验，结合清华大学模拟计算的指导，设计了预应力的施加方案
- ◆ 布丝过程中对丝的张力测量和对已布丝层丝张力的抽测结果表明，**BESIII**漂移室预应力的设计和操作是成功的



布丝和测量

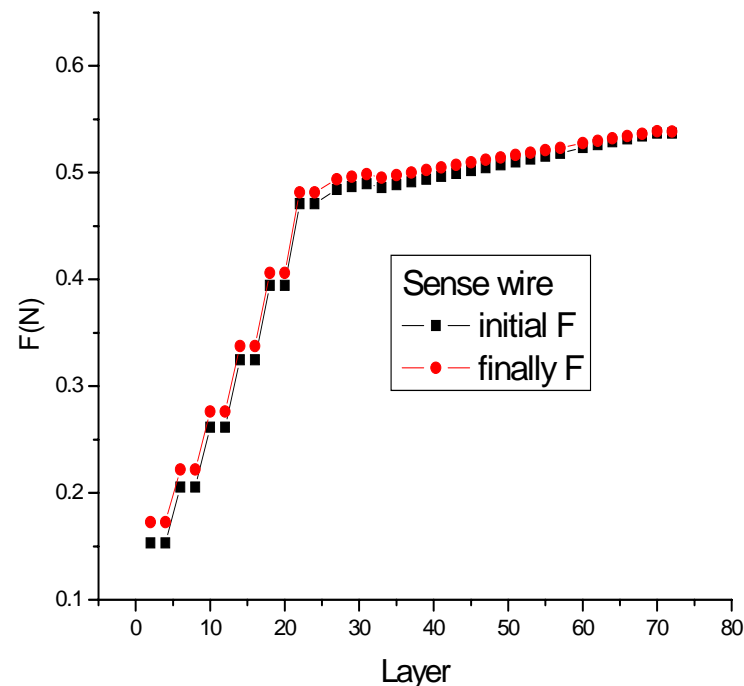
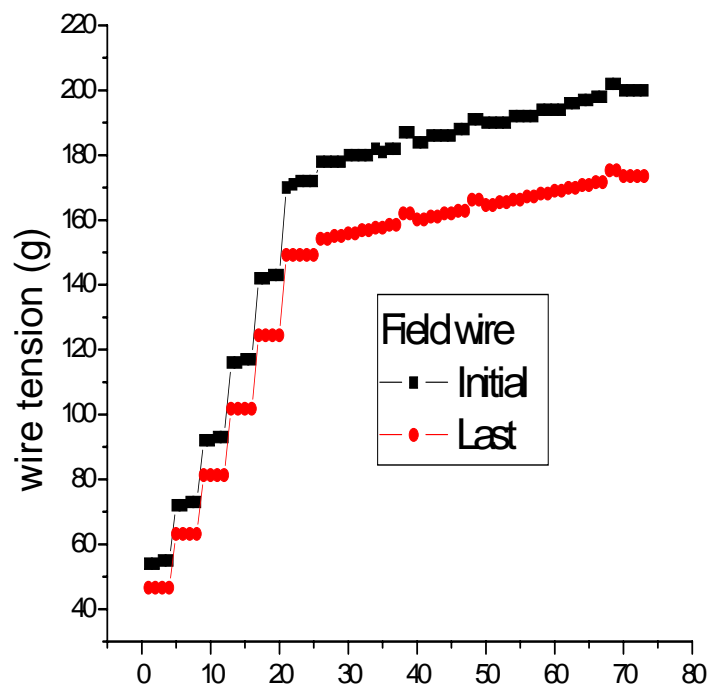
- ▶ 整个过程在清洁间内进行 (温度 $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 湿度50%, 长期保持稳定)
- ▶ 采用垂直拉丝方案
 - 挂有重锤的丝穿过上端板丝孔, 降丝机控制丝匀速下降, 室体下方操作员引导丝穿过丝孔, 施加张力, 夹丝并固定
- ▶ 丝张力是综合考虑丝的重力下垂和丝所能承受的拉力得到的



➤ 铝丝具有蠕变的特性

- 实验结果表明场丝在拉完丝150天后张力减小约12%
- 场丝张力的变化会引起端板的形变，继而使信号丝的张力发生变化。
- 采用三元件固体模型获得场丝蠕变规律的数学模型，结合蠕变模型的实验结果，计算出各层丝的初始张力及其变化，为布丝张力的控制和测量提供了指导

丝张力模拟结果

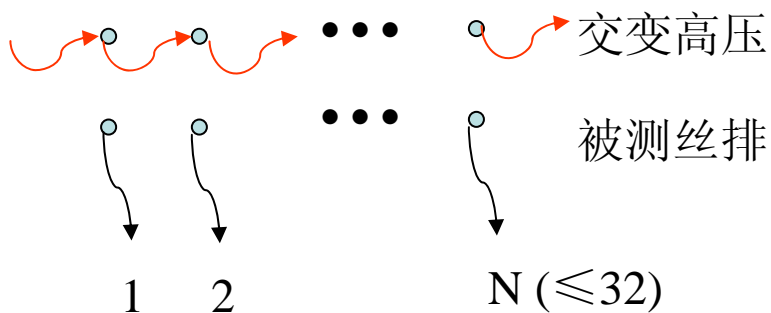


➤ 张力测量

- 采用静电共振法
- 测出丝的固有频率，通过张力与固有频率的关系计算得到丝张力

$$T = \rho (2L\omega_0)^2$$

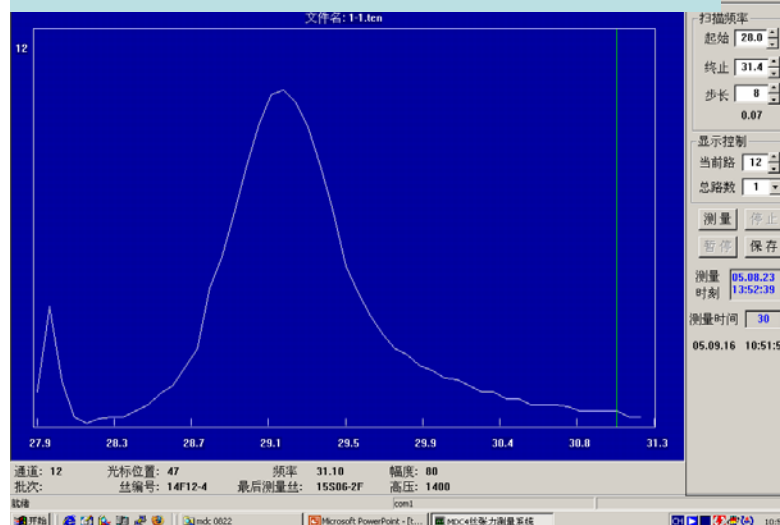
- 使用32路丝张力自动测量系统，对被测丝共振波形进行自动扫描，确定共振峰
- 要求内室和台阶的张力控制在±10%以内，大端板的张力控制在±5%以内



张力自动测量装置



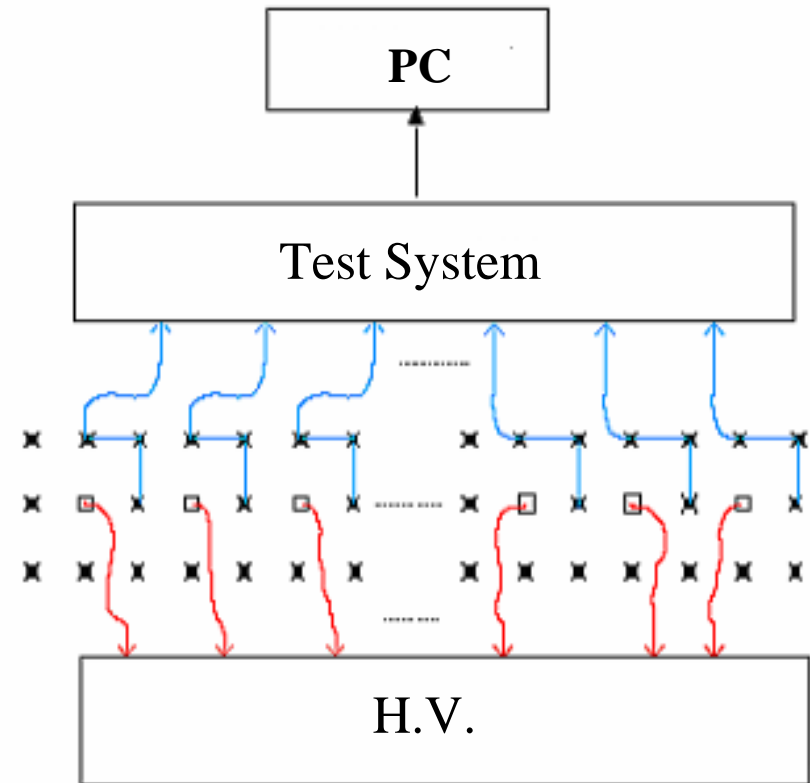
自动测量装置显示的频率扫描结果



➤ 漏电流测量

- 漏电流过大会引起噪声增大，从而影响漂移室正常工作
- 信号丝接高压，场丝接测试系统，40道同时监测
- 测试高压：2100~2300v
- 要求每道漏电流小于5nA

- 在布丝及测量期间，对于张力或漏电流测量不合格的丝会进行换丝，以保证丝的质量

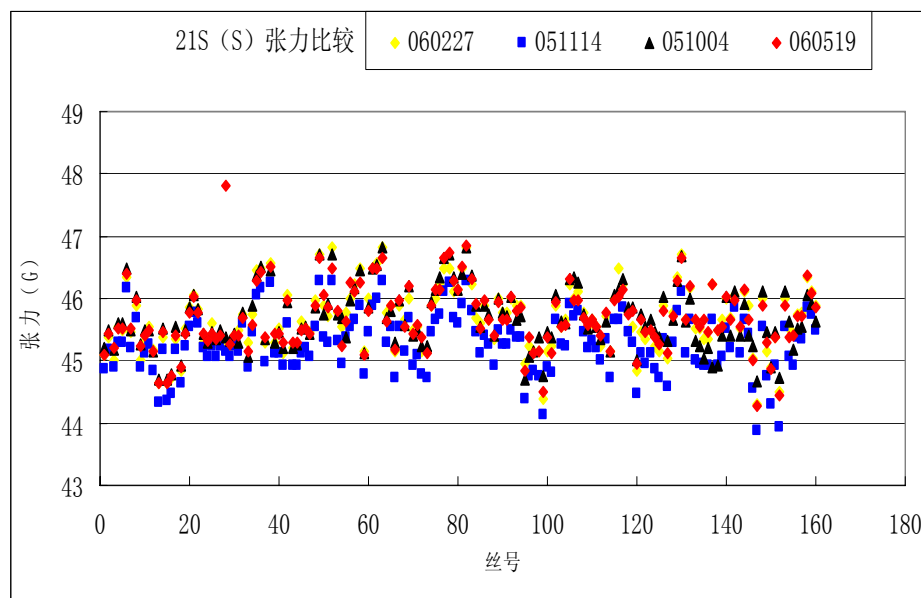


测量装置示意图 (○ 信号丝, * 场丝)

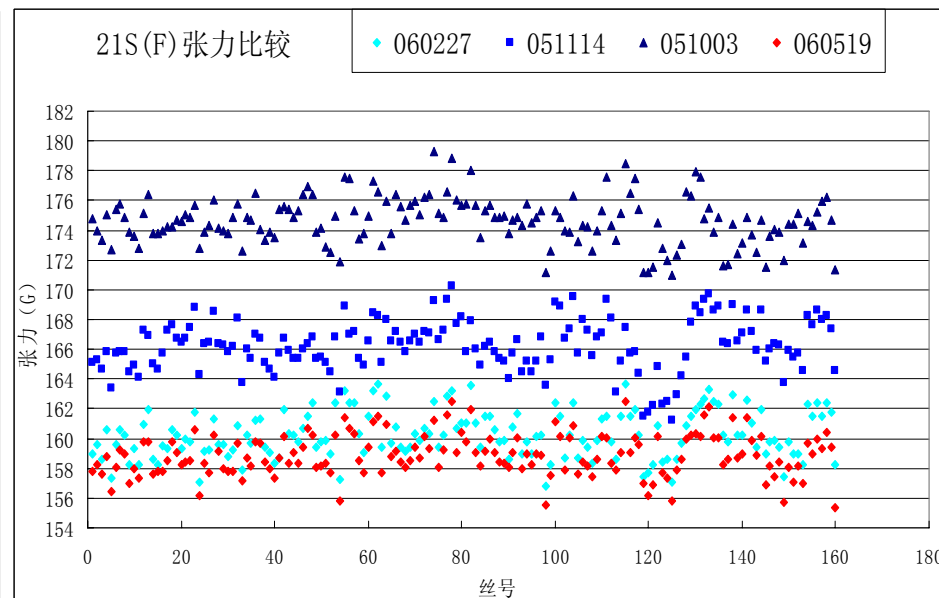
丝张力测量结果

(第21层)

信号丝测量结果

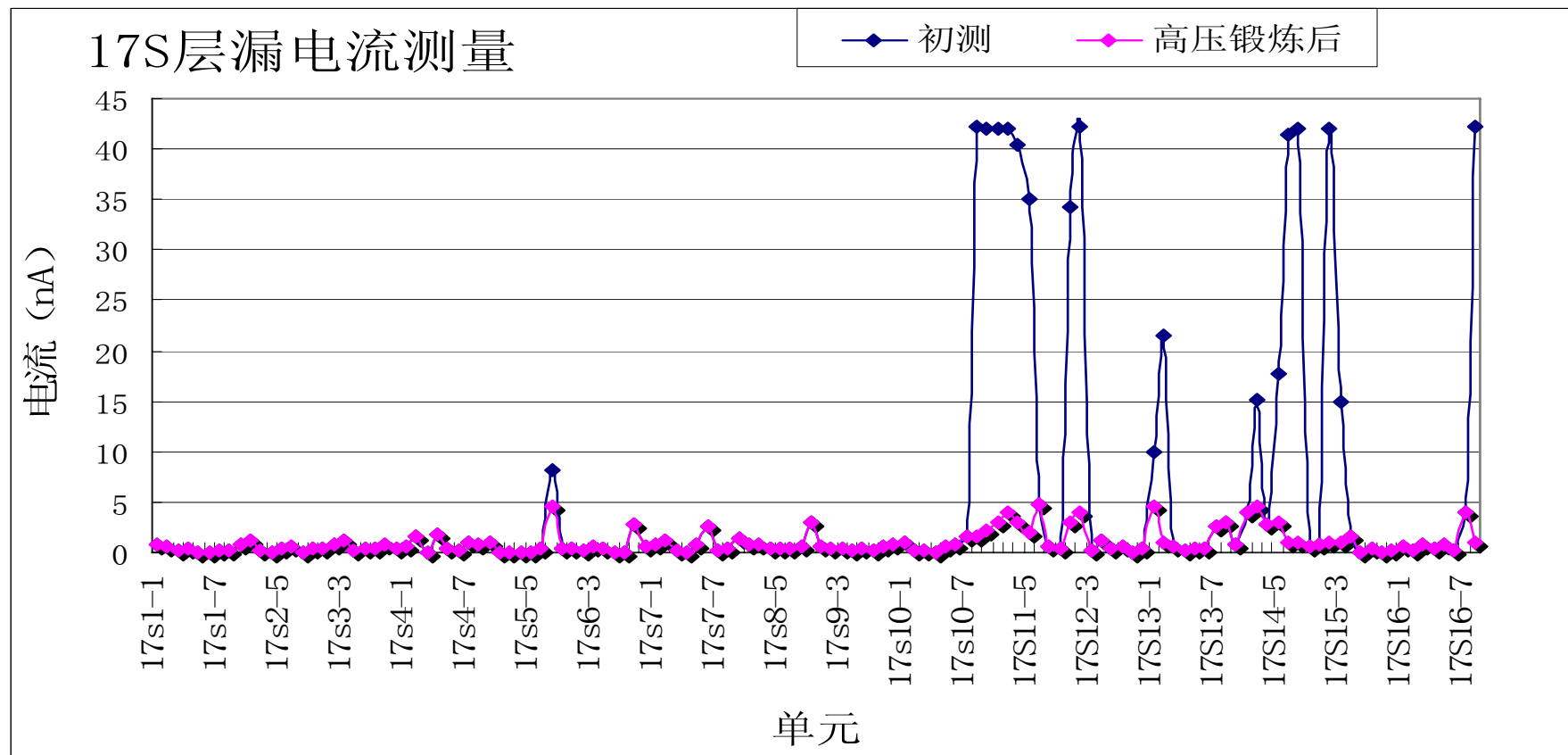


场丝测量结果



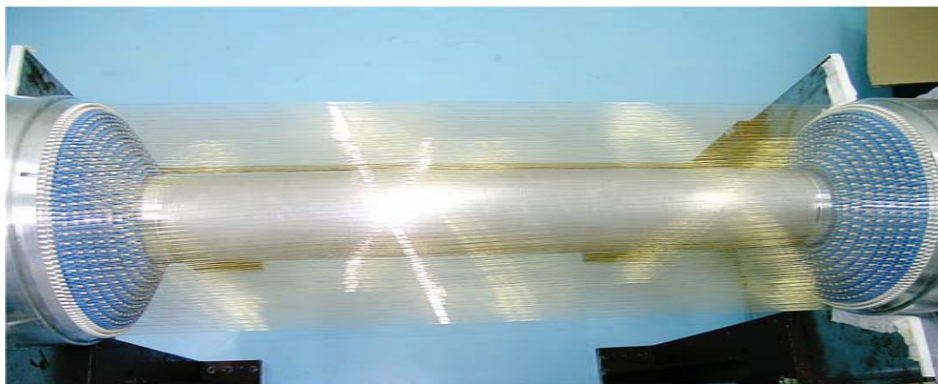
- 信号丝张力一致性较好
- 场丝张力趋于稳定

漏电流测量结果（第17层）



内室的安装

- 内室与外室的拉丝是独立进行的，拉丝完成后再装入外室
- 装入外室前的工作
 - 地线的安装
 - 保护头和高压线的安装
 - 气管，温度探头和屏蔽罩的安装
- 利用安装工装将内室从外室的上部垂直安装到位





← 内室高压信号电缆的安装



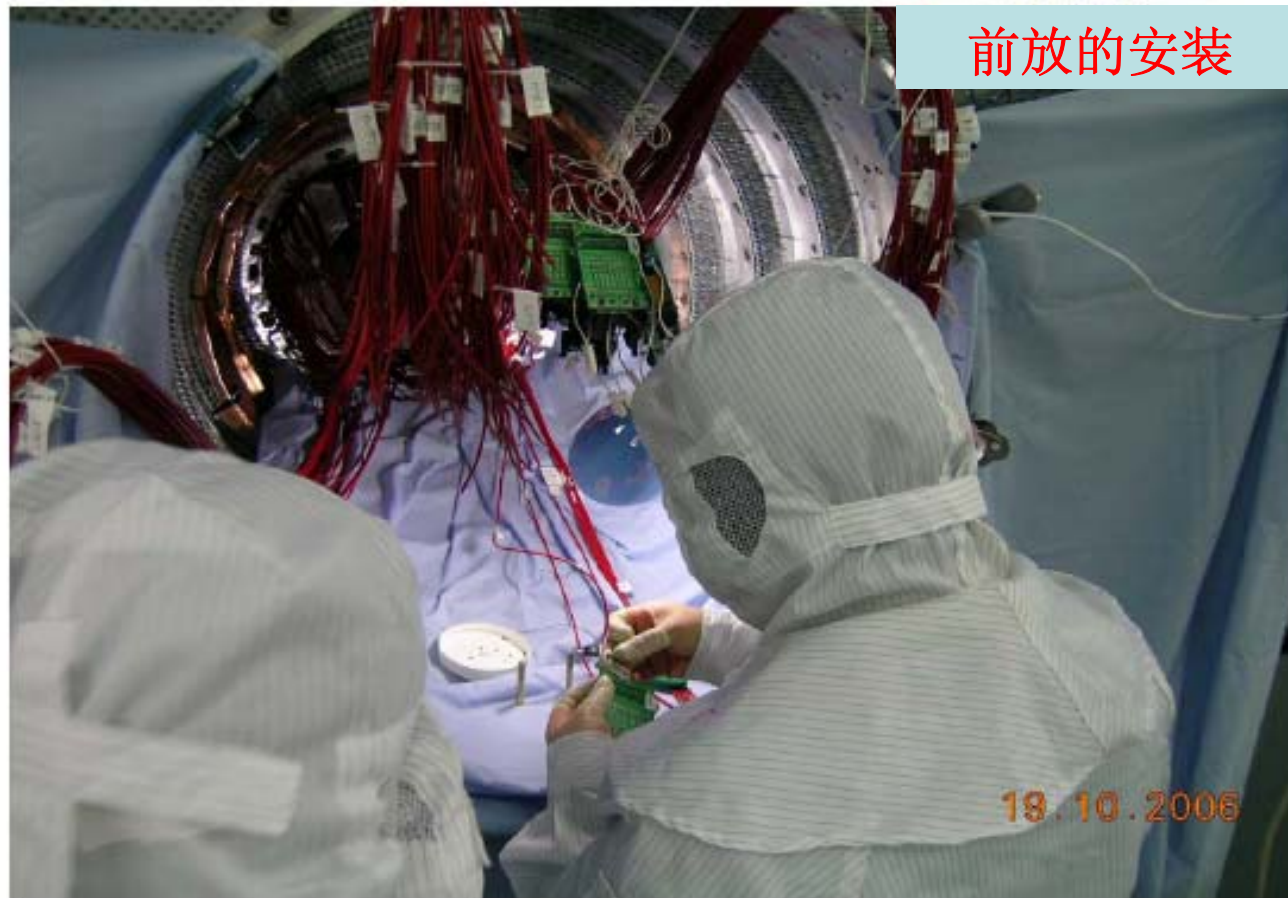
内室安装前高压信号电缆的整理 05.2006

密封和检漏

- ▶ BESIII漂移室的气体密封的难度：
 - 氦气的气体分子小，容易发生渗漏
 - 端板机械结构复杂，连接部位多且缝隙的大小不一，不能使用同一密封胶进行密封
 - 定位子的密封既要考虑到气体密封，又要考虑到大小铜管的接触和大铜管与接插头的接触
- ▶ 端板连接部分的密封采用直接涂抹的方法；定位子小铜管的密封采用虹吸法
- ▶ 目前漏气率：
 - 90mL/min，纯氦气，6mm H₂O
- ▶ 发现连接外筒和大端板的螺钉处有漏气，将来密封后漏气率应更低

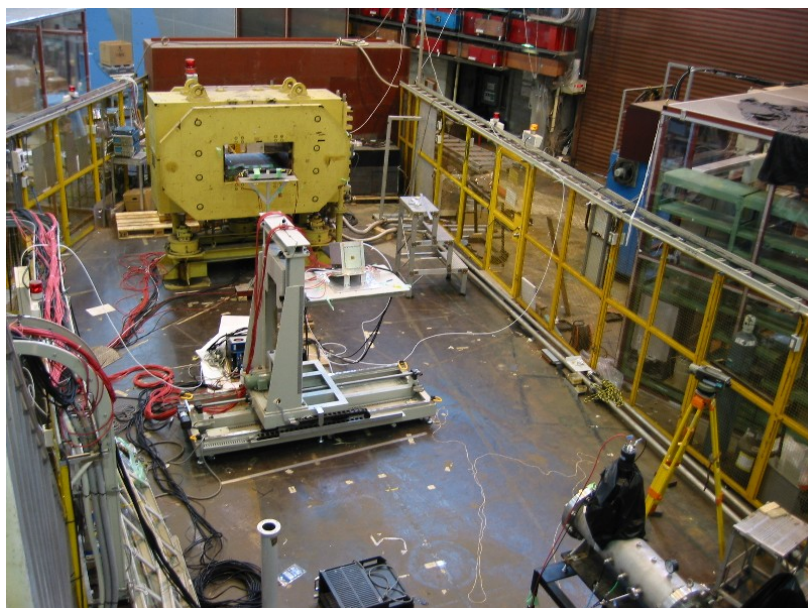


- ▶ 前放的安装（正在进行）
 预期一个月完成
- ▶ 下一步：宇宙线测试

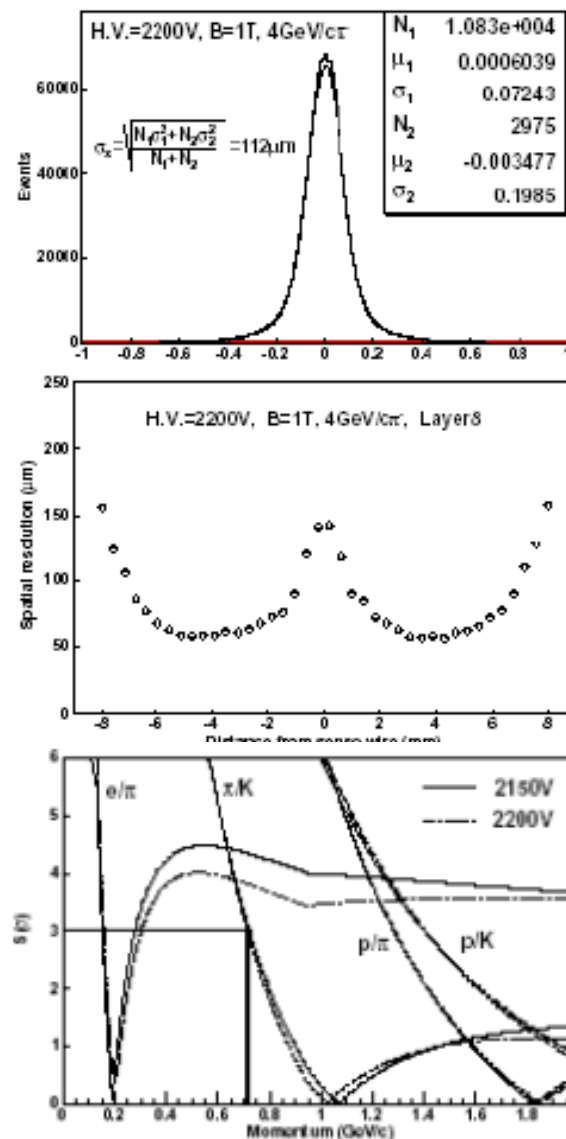


磁场下漂移室模型束流实验

- 在日本KEK12GeV/c质子同步加速器的 π^-2 实验束上对一个BES III漂移室模型进行了束流测试。测试表明，在1T强磁场中、2200V工作电压下，空间分辨达到 $110\mu\text{m}$ ， dE/dx 分辨好于5%，单元效率超过98%， 3σ 的K/ π 分辨可以超过700MeV/c。

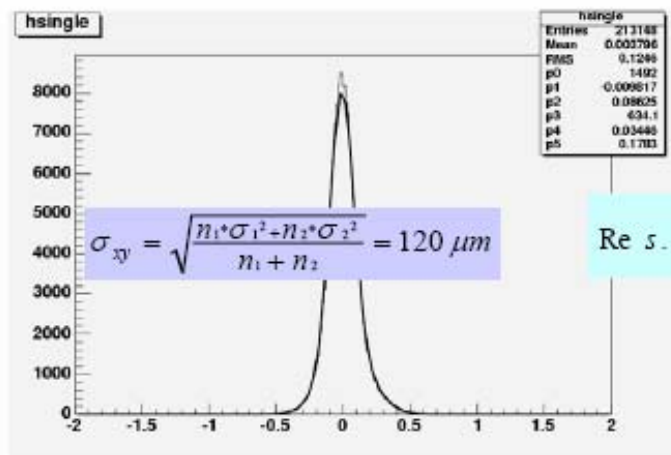
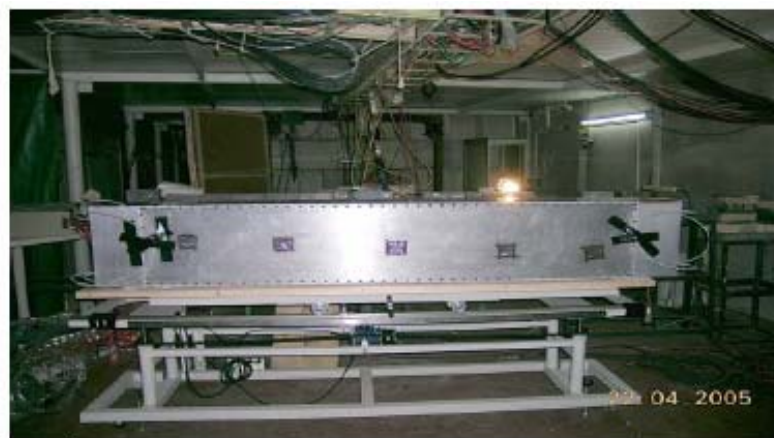
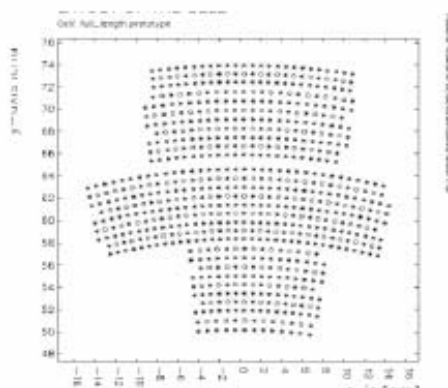


BESIII漂移室的建造

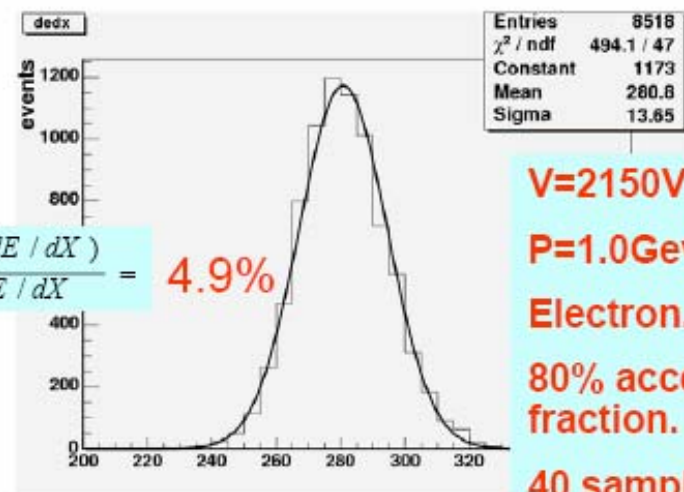


全长模型实验

共14层信号丝：9层斜丝 + 5层直丝



$$Re s. = \frac{\sigma(dE/dX)}{dE/dX} = 4.9\%$$

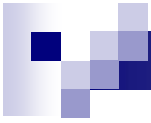


V=2150V.
P=1.0Gev/c.
Electron.
80% accepted fraction.
40 samples.



总结

- 外筒刚度较好
布丝结束撤加强梁后信号丝张力几乎不变，表明外筒变形很小
- 丝孔加工达到要求
- 目前看来布丝过程中的张力控制及拉丝质量令人满意
- 密封及检漏：目前能处理到的环节几乎无漏气，将来改善后应能达到设计要求
- 在电子学的支持下，前放的安装进展良好



谢谢!