
CEPC-TPC径迹探测器 现状及计划

Huirong

2015.07.23

Contents

- 物理需求
- ILD-TPC研究现状
- ILC与CEPC TPC相同与不同
- CEPC-TPC现状
- CEPC-TPC主要预研方向

物理实验对径迹探测的需求

■ 物理研究背景

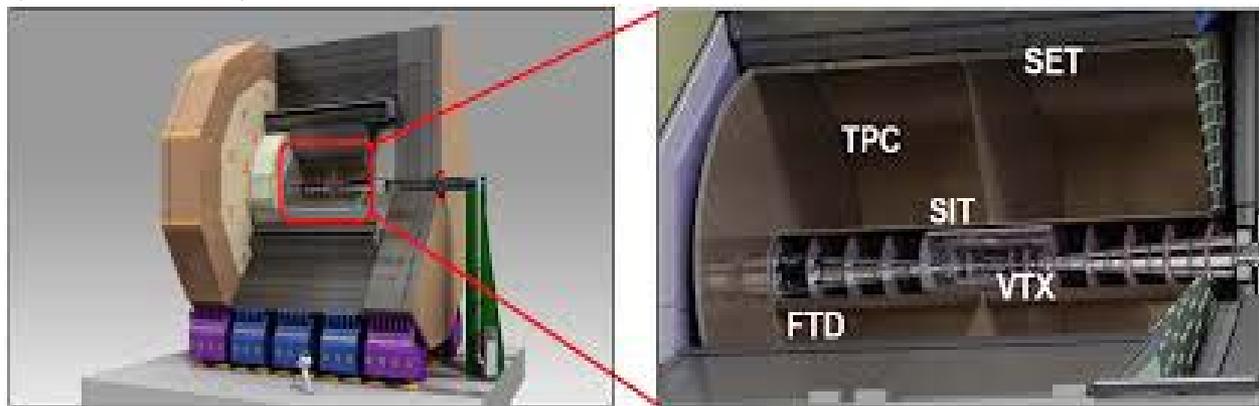
- 希格斯粒子被发现后，高能区物理欲对其实现精确测量，得到其绝对衰变分支比和耦合常数，并可寻找其衰变中可能出现的暗物质和奇异新粒子等新的物理现象
- 以上物理目标对测量提出了更高的要求，特别是径迹和动量测量
 - 位置分辨率 $\sim 100\mu\text{m}$
 - 动量分辨率 $\sigma(1/p_T) = 10^{-4}\text{GeV}^{-1}$

■ 直线对撞机： ILC

■ 环形对撞机： CEPC、 FCC-ee、 CLIC

■ 常用的径迹探测器

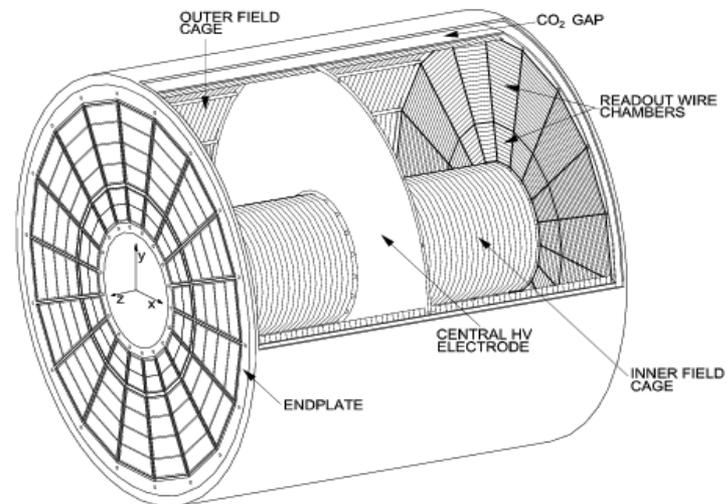
- TPC时间投影室
- Si径迹探测器
- 漂移室



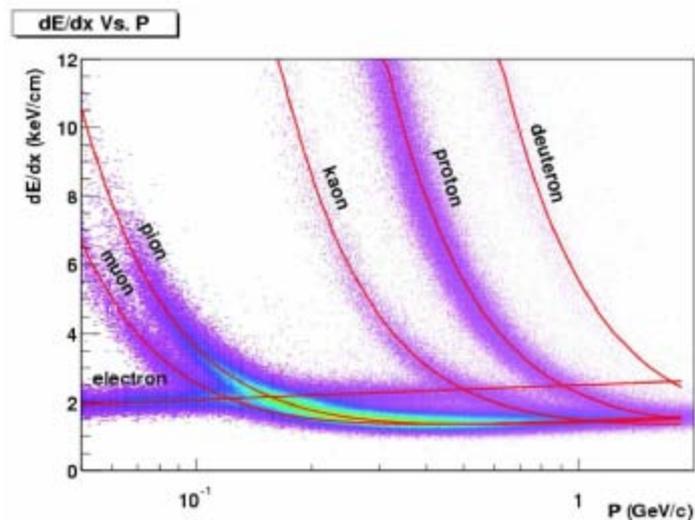
国际直线对撞机上ILD探测器结构组成及径迹探测器

时间投影室TPC

- 工作原理
 - 被测带电粒子在穿过工作气体时产生的电子离子对，利用电子漂移实现三维径迹测量和重建
- 主要结构
 - 气体室本体
 - 场笼（Field Cage）
 - 位置灵敏读出探测器
 - 读出电子学
- 优点
 - 近 4π 的覆盖角度，灵敏体积大
 - 同时测量动量与 dE/dx ，实现粒子鉴别
 - 具有多径迹分辨能力
 - 工作介质为气体，物质质量小



TPC探测器结构示意图



TPC粒子鉴别

国际TPC研究现状

■ TPC 探测器在已有实验装置的应用

实验	磁场[T]	动量分[GeV^{-1}]	$\sigma(r\Phi)[\mu m]$	dE/dx
ALEPH	1.5	1.2×10^{-3}	160-400	4.5%
STAR	0.5	1.2×10^{-3}	500-2000	3%
T2K	0.2	0.1	700	10%
HARP	0.7	0.02-0.25	600-2400	16%
ALICE	0.5	0.01	800-1100	5%

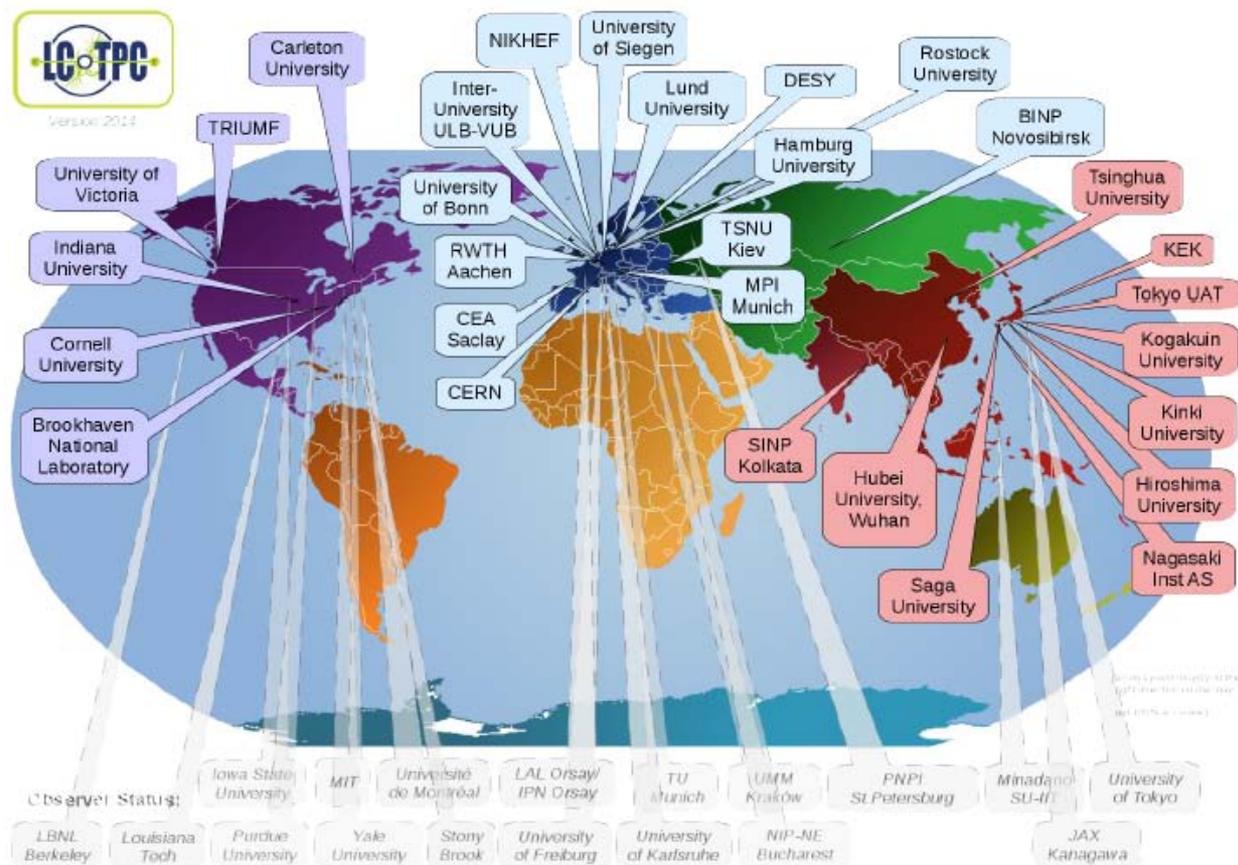
- 现有的**TPC**探测器大部分采用多丝室作为读出，具有各自的激光校正系统，但分辨率还不能满足最新的物理需求。

■ TPC发展趋势

- 采用微结构气体探测器**GEM**或者**Micromegas**，可以实现更高的位置分辨
- 在高精度位置分辨的**TPC**系统中，采用激光校正方法对造成径迹畸变的各种影响因素进行修正

ILD-TPC Collaboration

- 至2015年4月：30个研究机构在MoA上签字，18个研究机构作为观察团组织
- 去年中国武汉大学签署MoA
- 2015年日本横滨大学考虑加入，中国高能物理研究所考虑加入
- 不是所有的参与机构都处于活跃状态，大部分由于缺少经费的原因
- 中国加入的现在总共两所大学：清华大学和武汉大学

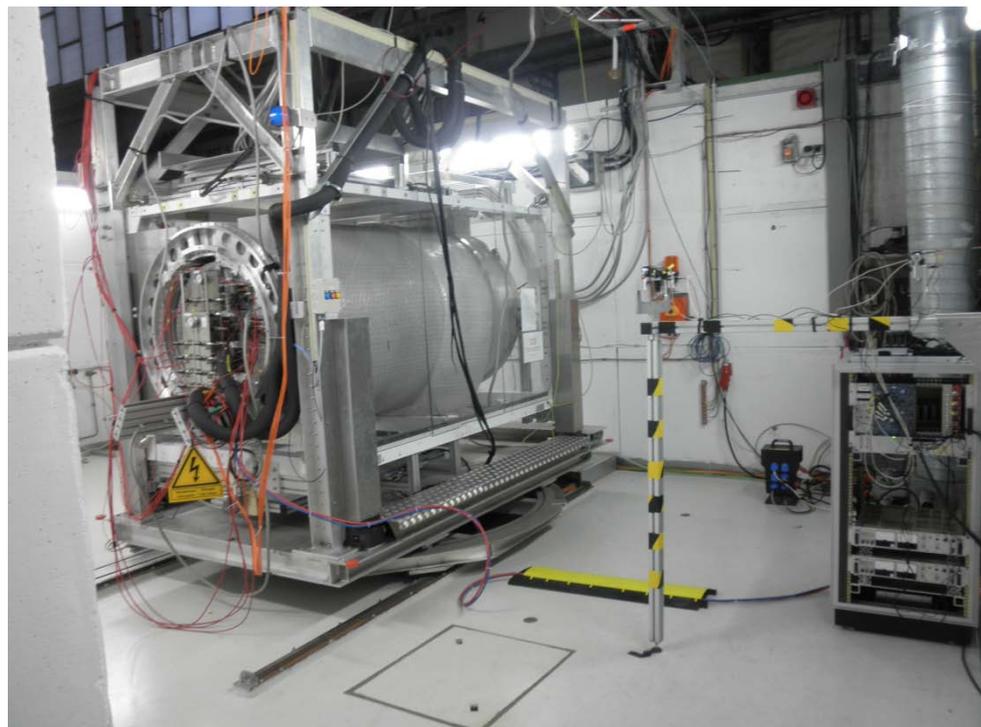


参与ILD-TPC的国际组织分布

更新至2015.4@ALCW2015 KEK

ILD-TPC Hardware

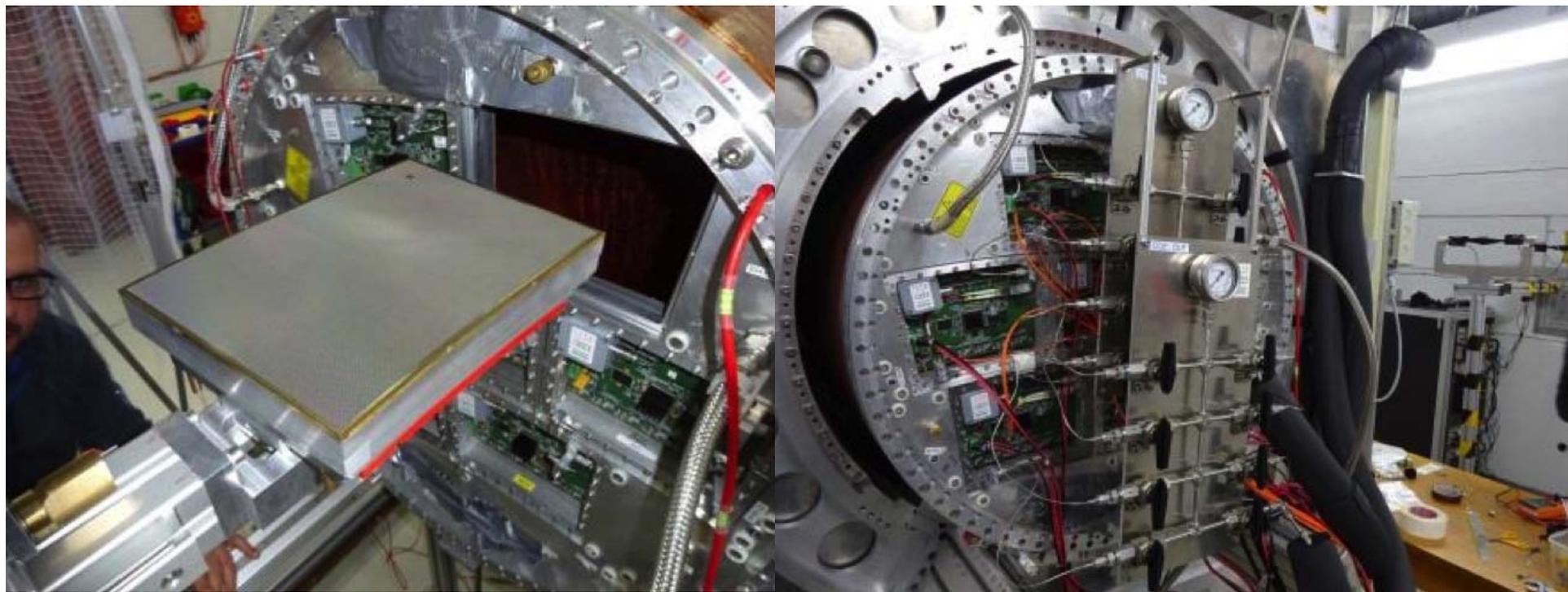
- 束流测试去年下半年关闭，开始实验场地维护工作
- PCMAG测试场地的地面进行重新铺整，进行了防静电地面铺设，真空吸尘器进行了地面清理，非常整洁干净
- 进行了几个方面的改进
 - 增加了两相二氧化碳冷却装置
 - 触发装置进行升级，更容易实现位置标定
 - 固定测试TPC的支架升级，移动精度更高，并且更加稳定
- 重新启动后进行了两个LCTPC模块研究组的性能测量
 - 测试过程中气体、安装等出现了小的问题
 - 均得到了很快的解决



改造中的PCMAG磁铁测试场所

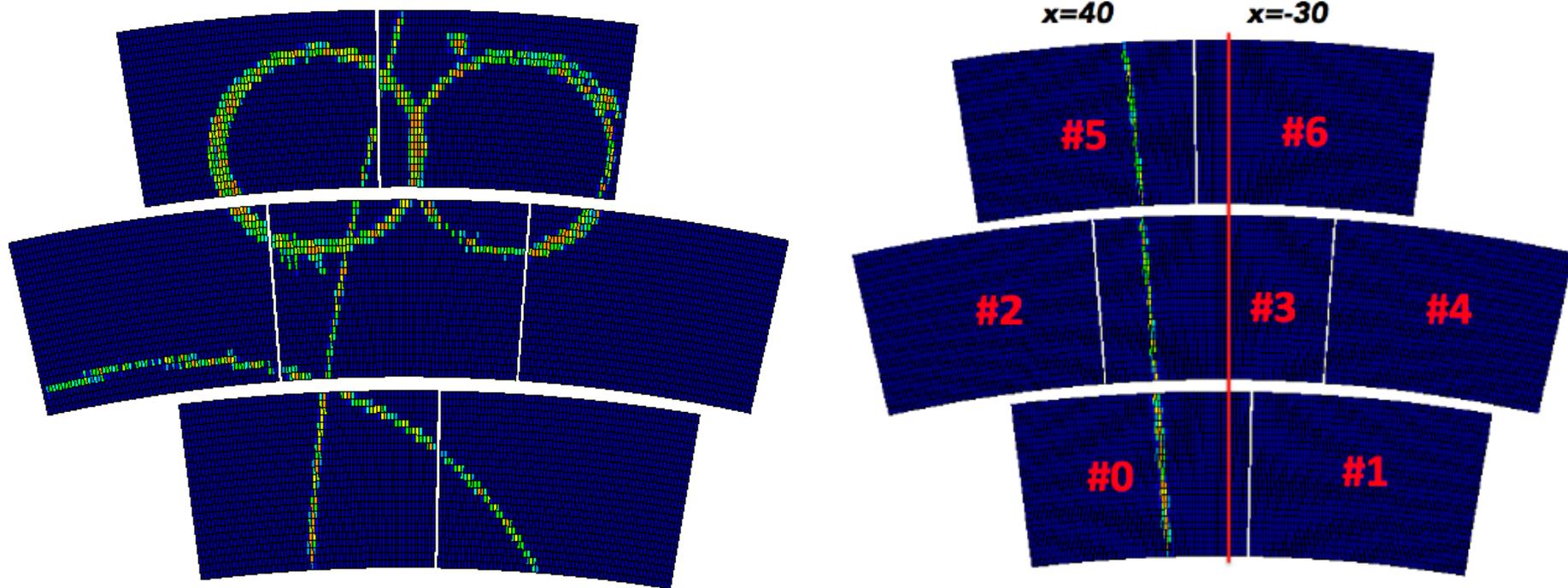
- Micromegas测试组（2015.3.4~14）
 - 测量了两个新的阻性模块，采用Black Diamond阻性材料
 - 数据采集准备分析发表
- InGrid测试组（2015.3.23~4.7）
 - 大面积覆盖，共160个inGrid模块

阻性Micromegas测试组



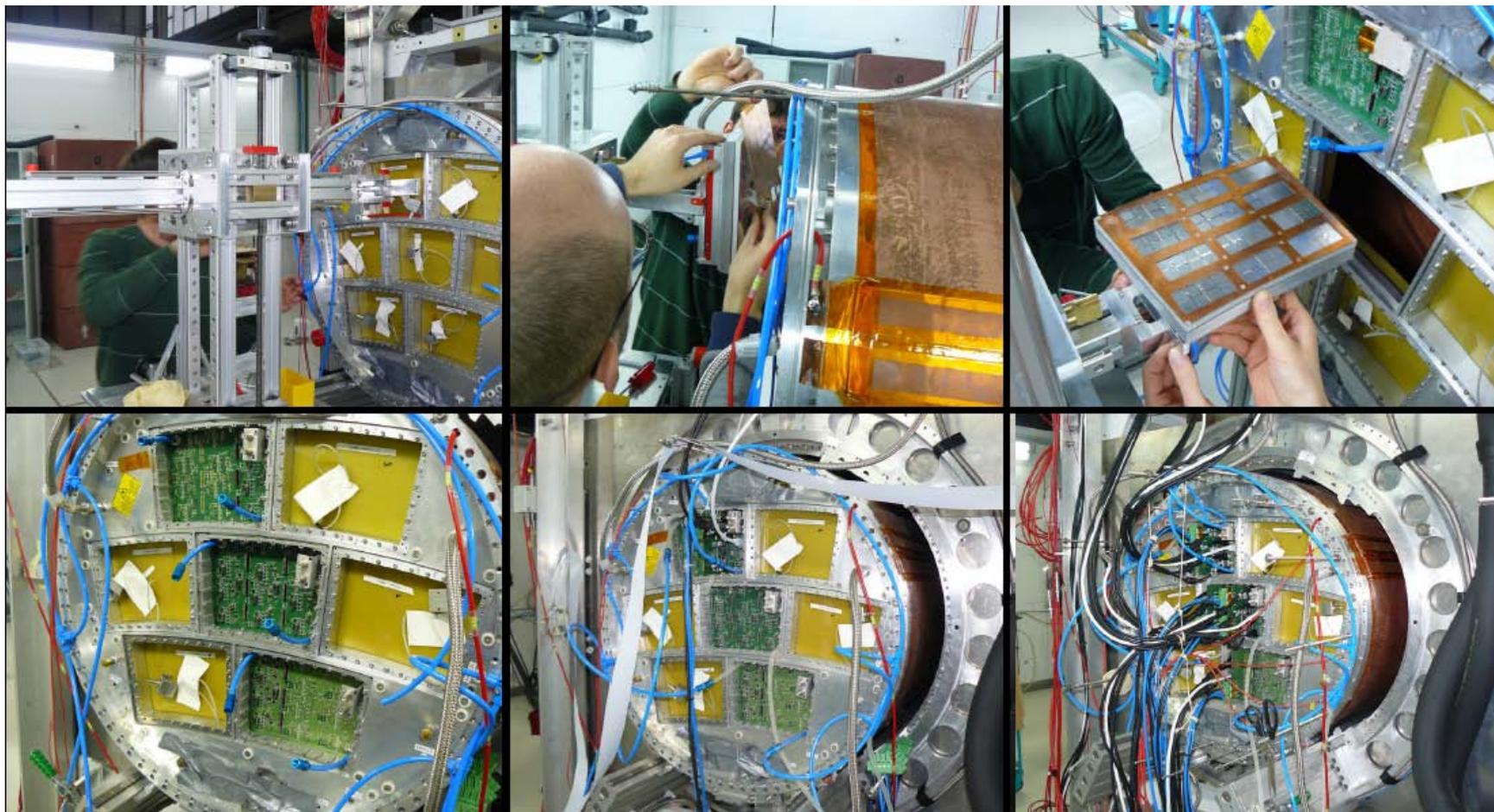
- 安装7个阻性Micromegas探测器模块
- 采用两相CO₂的冷却系统
- 其中两个采用最新的BD阻性材料
- 前端AFTER读出芯片

阻性Micromegas测试组



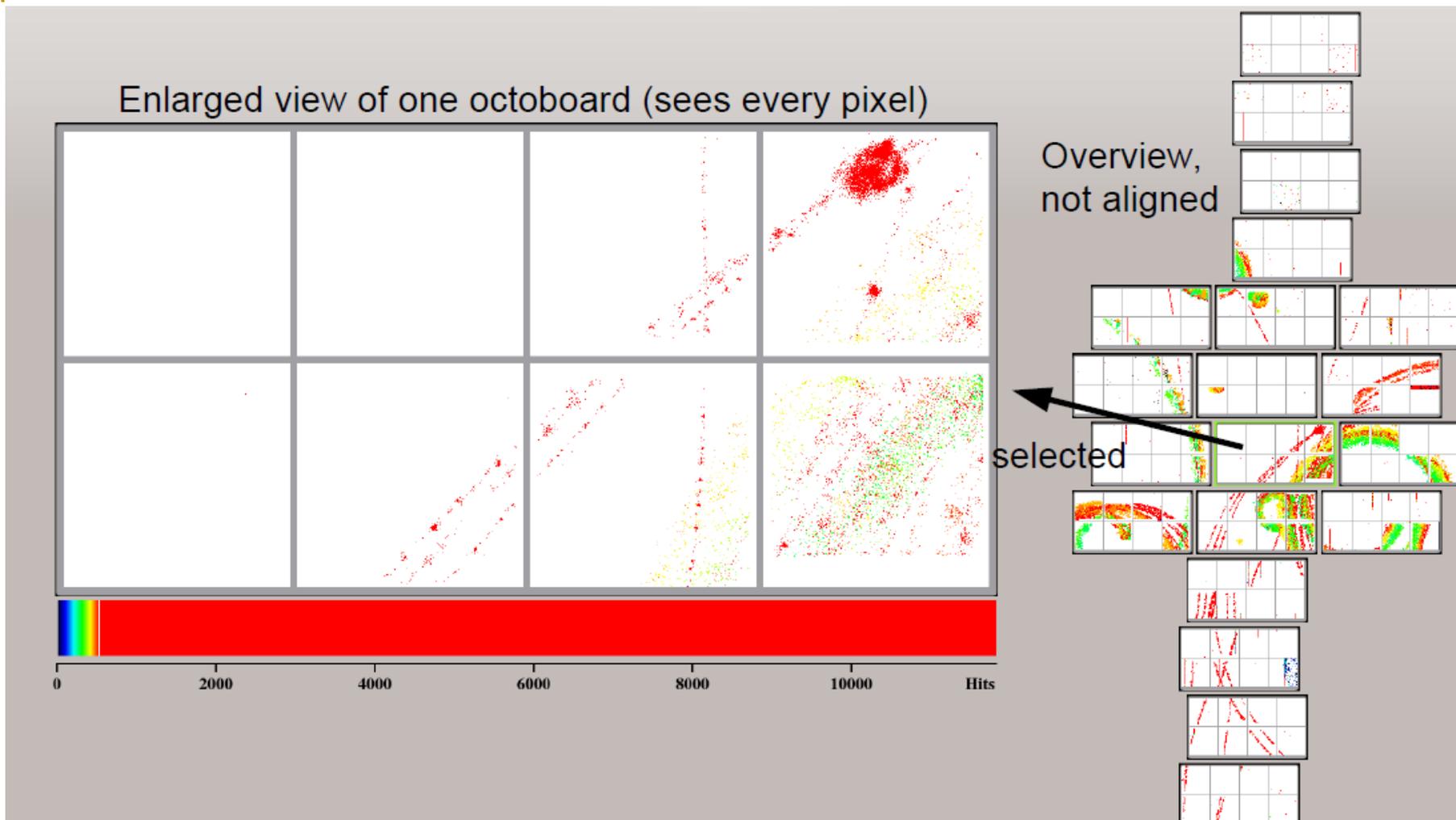
束流测试结果

InGrid测试组



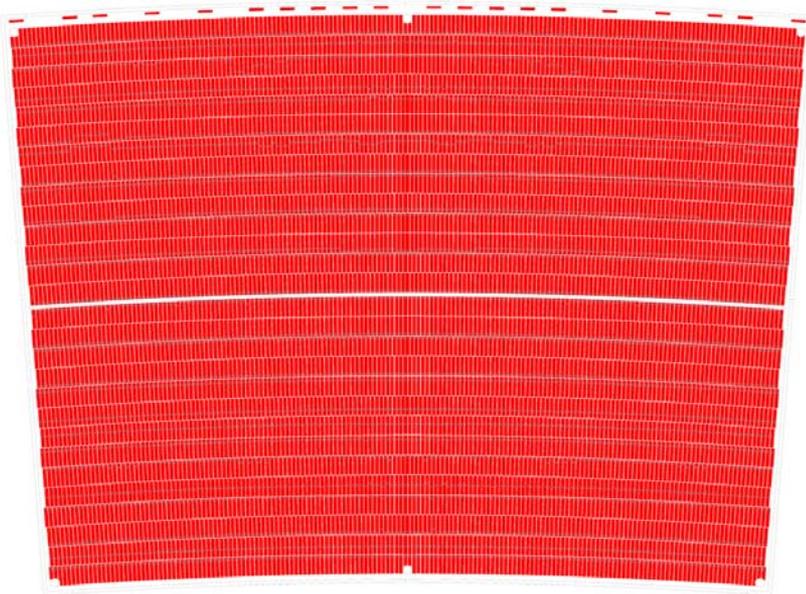
- 3个模块，总共读出路数105,000,000通道
- TOT前端处理

InGrid测试组

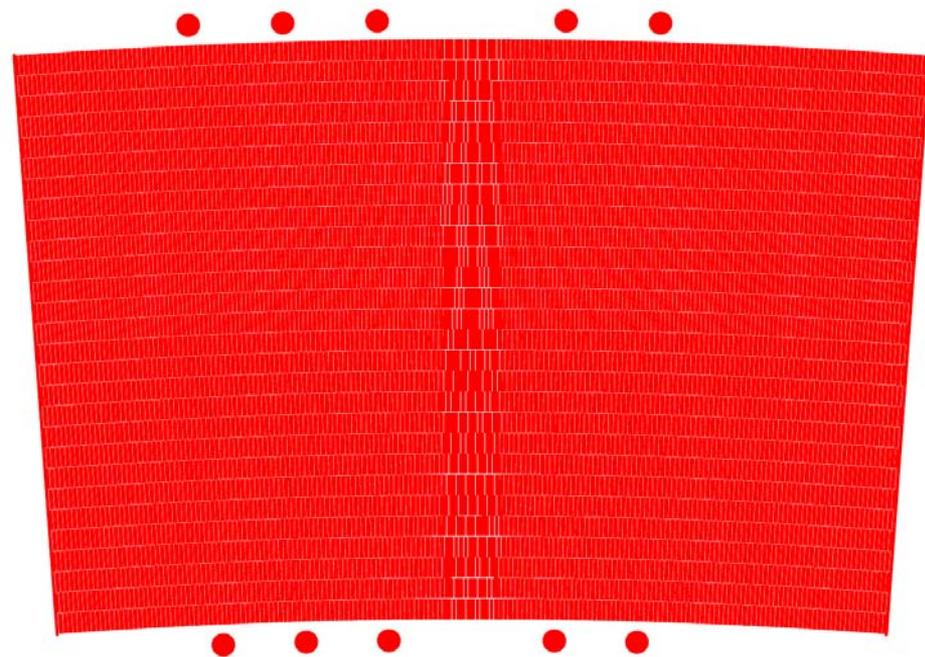


束流测试结果

ILD-TPC Modules



- 德国DESY组的模块
 - 整个尺寸220mm×170mm
 - 1.26mm×5.85mm/Pad，交错排列
 - 28排，每个模块4829个Pads
 - 小边框，每边~1mm边框
 - 顶部有20个高压接头



- 日本KEK组的模块
 - 整个尺寸220mm×170mm
 - 1.2mm×5.4mm/Pad，交错排列
 - 28行（每行从172Pads~192Pads）
 - 每个模块的共5152Pads
 - 上下边框均有10mm
 - 左右基本无边框



2015年之后开始通用性模块设计和研制

ILC与CEPC TPC相同的物理需求

■ 基本类似的物理目标

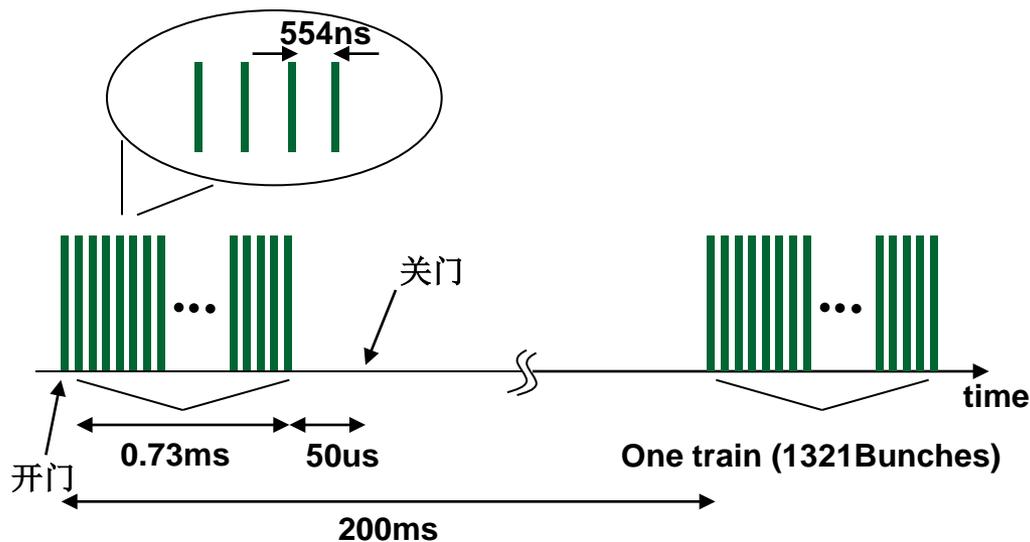
Performance/ Design Goals

Momentum resolution at B=3.5T	$\delta(1/pt) \approx 10^{-4}/\text{GeV}/c$ TPC only
δ_{point} in $r\Phi$	$< 100\mu\text{m}$ (avg for straight-radial tracks)
δ_{point} in rZ	$\approx 0.4\sim 1.4\text{mm}$ (for zero – full drift)
Inner radius	329mm
Outer radius	1800mm
Half length	2350mm
TPC material budgt	$\approx 0.05X_0$ including the outer field cage in r $< 0.25X_0$ for readout endcaps in z
Pad pitch/no. padrows	$\approx 1\text{mm} \times 4\sim 10\text{mm} \approx 200$
2-hits resolution in $r\Phi$	$\approx 2\text{mm}$ (for straight-radial tracks)
Performance	$> 97\%$ efficiency for TPC only ($pt > 1\text{GeV}/c$) $> 99\%$ all tracking ($pt > 1\text{GeV}/c$)

与ILD-TPC相同的物理需求

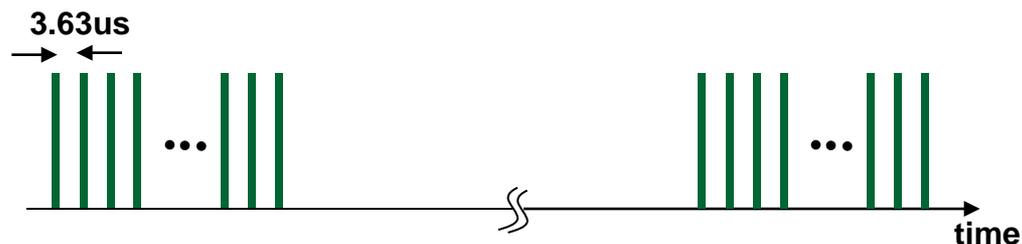
ILC与CEPC对撞模式区别

- ILC束流结构间隔为200ms
- 每个Train内有1321个Bunches
- 每个Bunches的间隔为554ns
- 0.73ms为对撞有效时间
- 正离子反馈门控装置必须采用
- 正离子门控开门时间为50us+0.73ms



ILC对撞模式束流时间结构

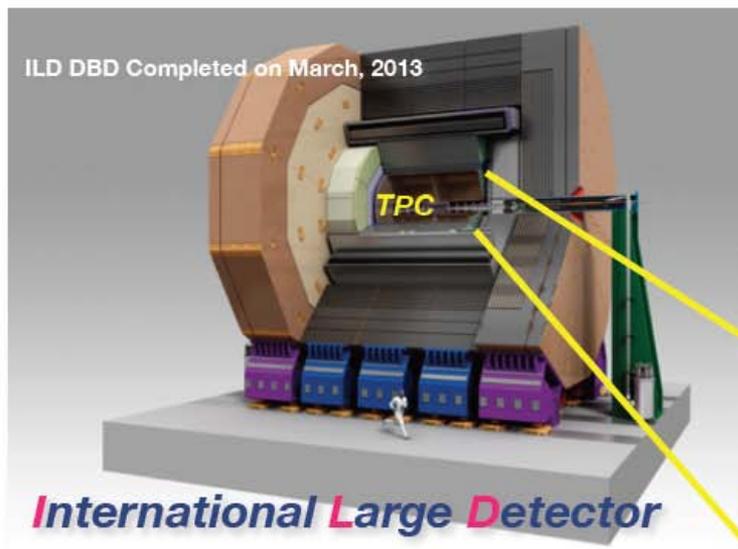
- CEPC束流时间结构间隔为3.63us
- CEPC无法采用开关型的正离子门控装置



CEPC对撞模式束流时间结构

ILC与CEPC QDO不同

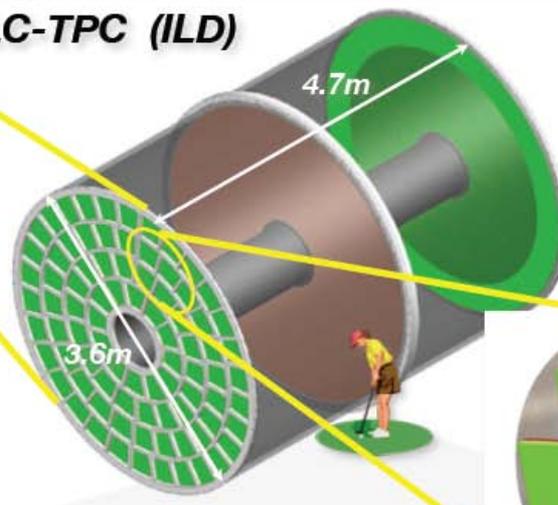
- $L^* = 2.5\text{m}$



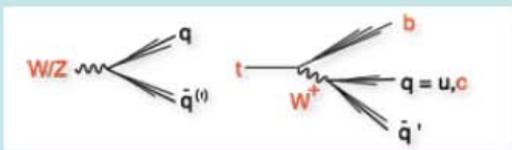
Performance Goals as compared to LHC detectors

Vertex resolution	2-7 times better
Momentum resolution	10 times better
Jet energy resolution	2 times better

LC-TPC (ILD)

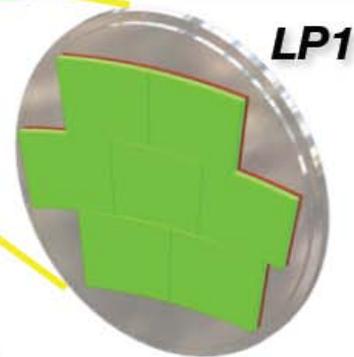


ILD : optimized for Particle Flow Analysis



Highly efficient tracking in a jetty environment is an essential ingredient for PFA

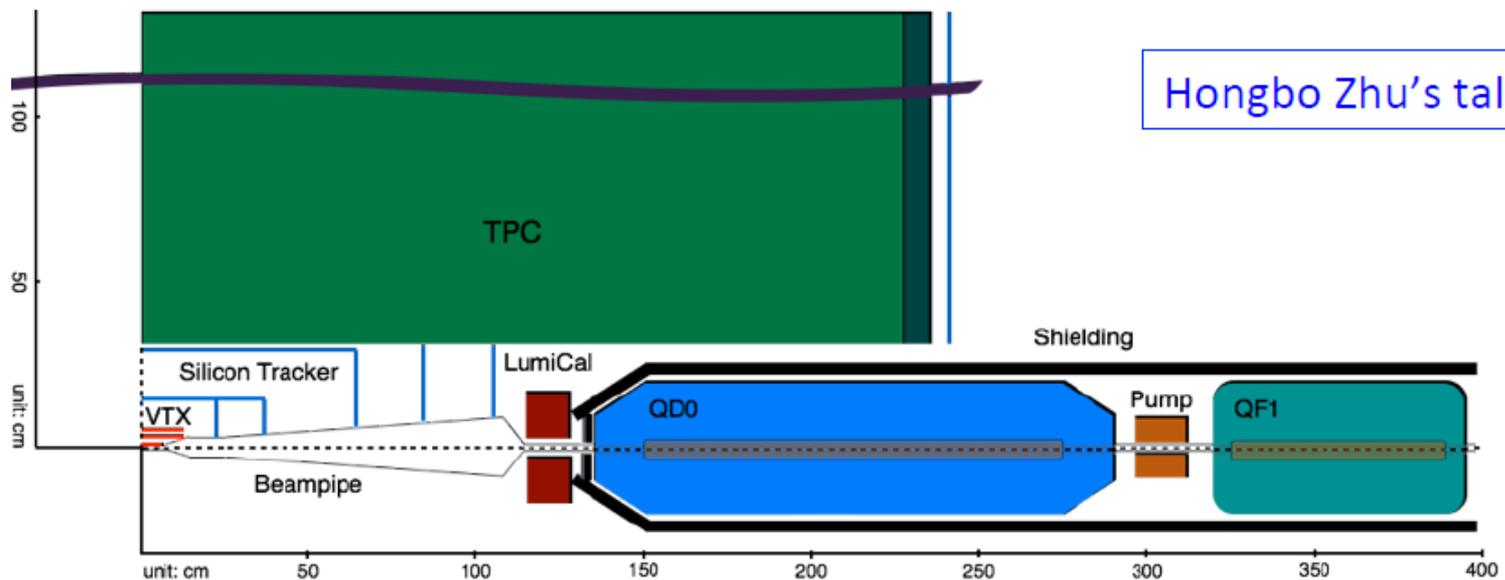
Micro Pattern Gas Detector readout TPC provides **pictorial 3D tracking** by ~ 200 space points with $\sigma_{r\phi} \sim 100 \mu\text{m}$ and two-hit separation of $\sim 2\text{mm}$



Large Prototype being tested at DESY

ILC与CEPC QDO不同

- 更小的L*长度，约为1.5m
- 覆盖角度变小，需要优化考虑
- 读出部分的边框设计，电磁场影响等因素
- 不同的背景噪声（环形对撞与直线对撞接近或更小）



CEPC的对撞区初步设计示意图

CEPC TPC现状

■ CEPC项目现状

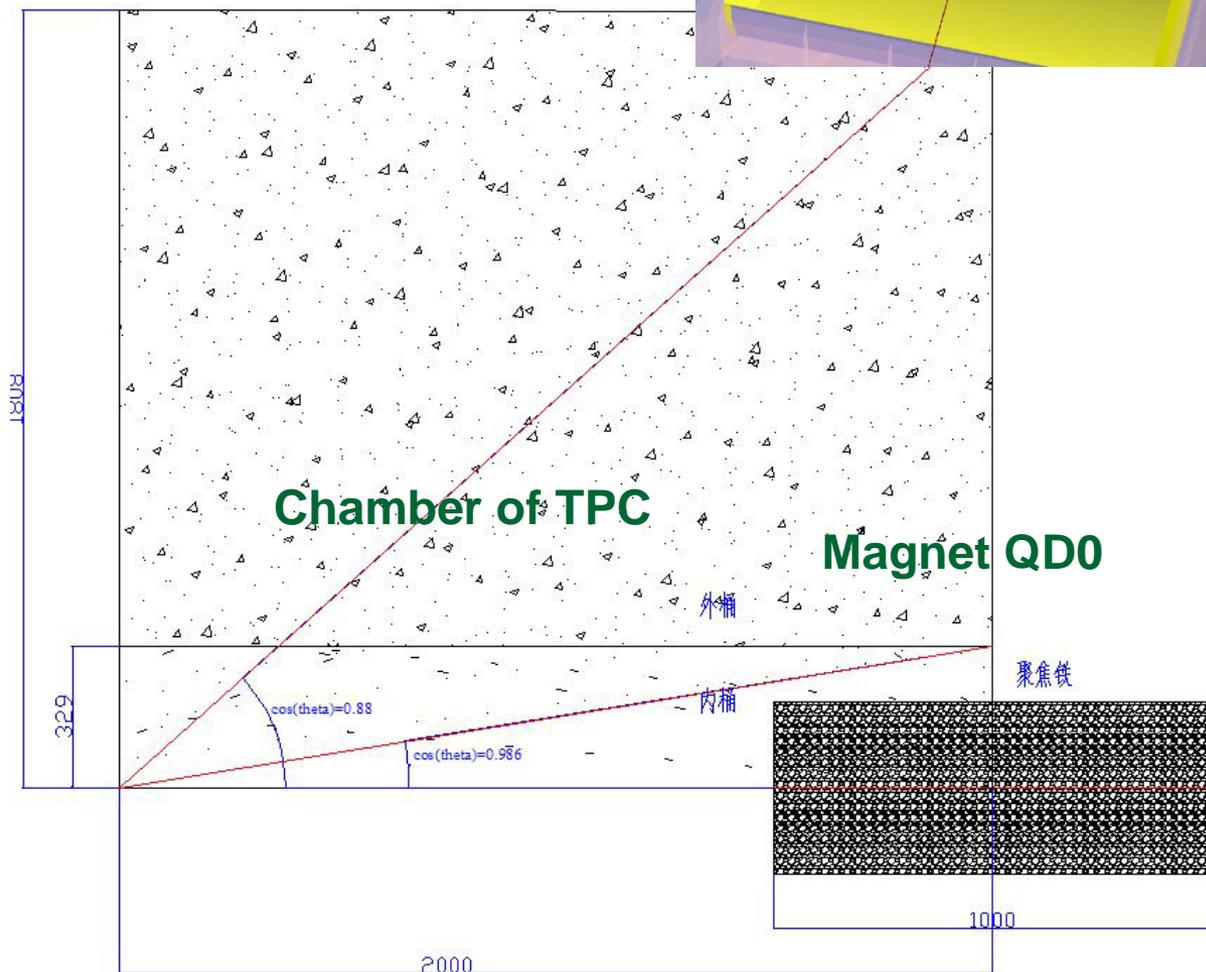
- 2013年Kick-off会议在北京召开
- 2014年CEPC加速器、物理与探测器分组成立
- 2014年开始Pre-CDR的撰写
- 2015年3月Pre-CDR概念设计报告国际评审会完成
- 2015年5月Pre-CDR概念设计报告英文版发布
- 2015年5月提出开始面向CDR概念设计报告撰写工作

■ CEPC TPC子探测器现状

- 完成Pre-CDR第六章TPC子探测器部分
- 成立子探测器分组
- 2015年开始得到高能物理研究所创新基金支持
- 初步预研工作开始开展

一种可能的结构

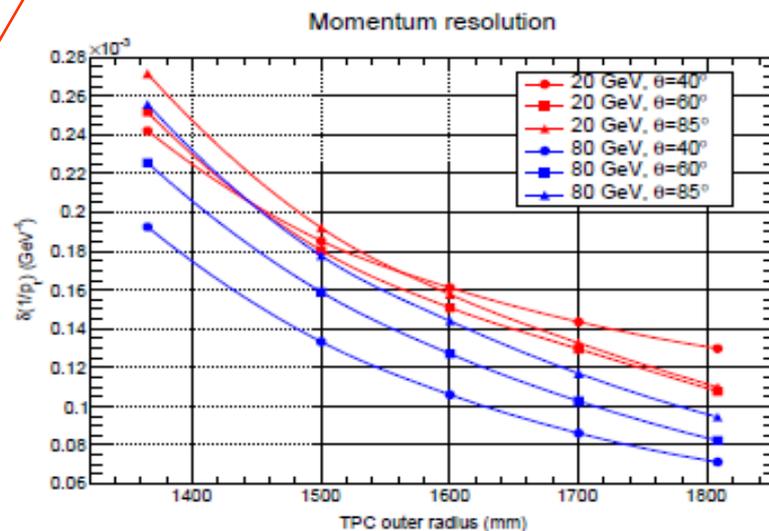
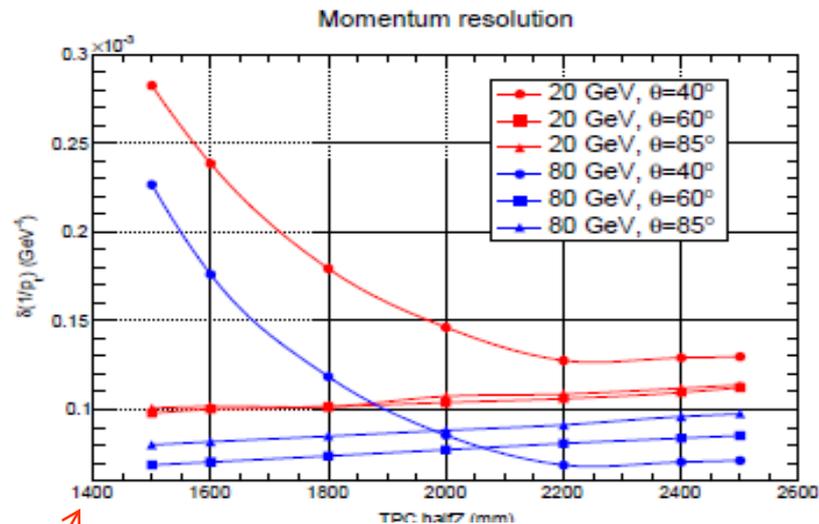
- $L^* = 1.5\text{m}$



结构优化研究

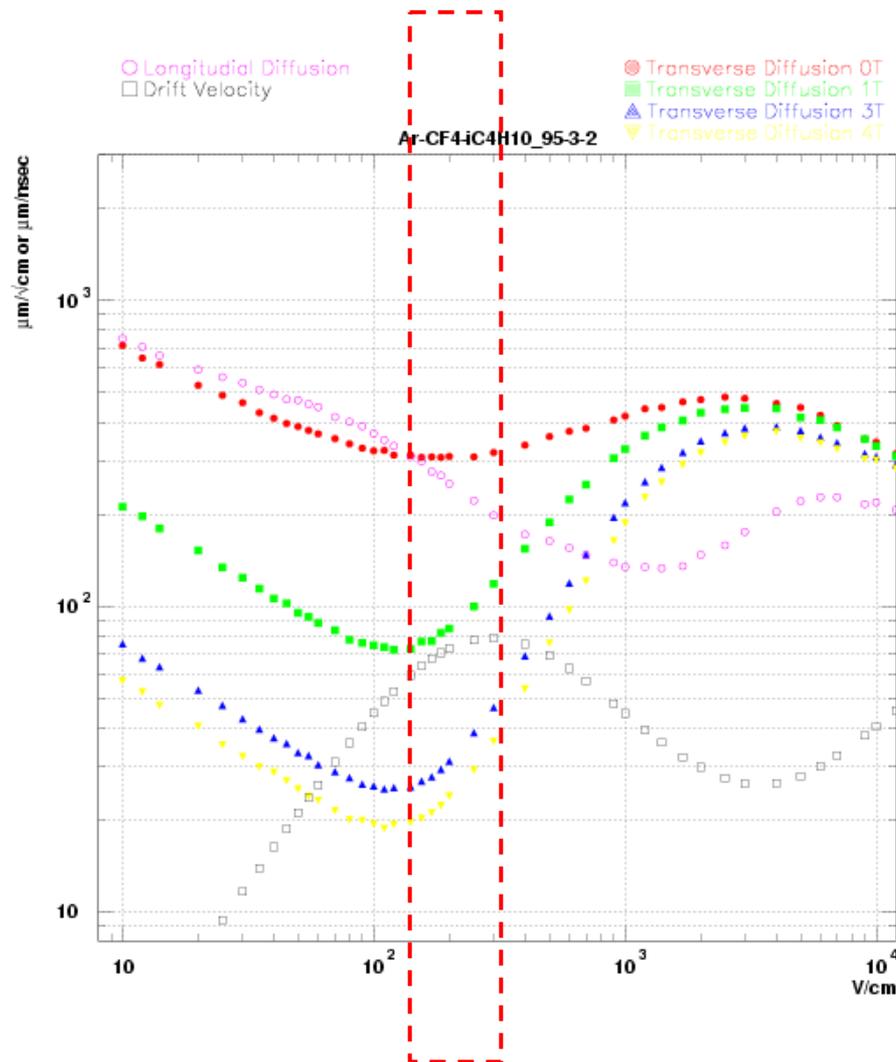
- ILD参考ILD-TPC探测器
 - Meet the requirements of CEPC
- 基于ILD-TPC的主要参量的初步模拟研究
 - Inner radius of 329 mm
 - Pad size: 1mm × 6mm
 - Number of tracker: ~200
 - B = 3.5 Tesla
 - With multiple scattering and smearing
 - Varying half length and outer radius independently

To be further optimized



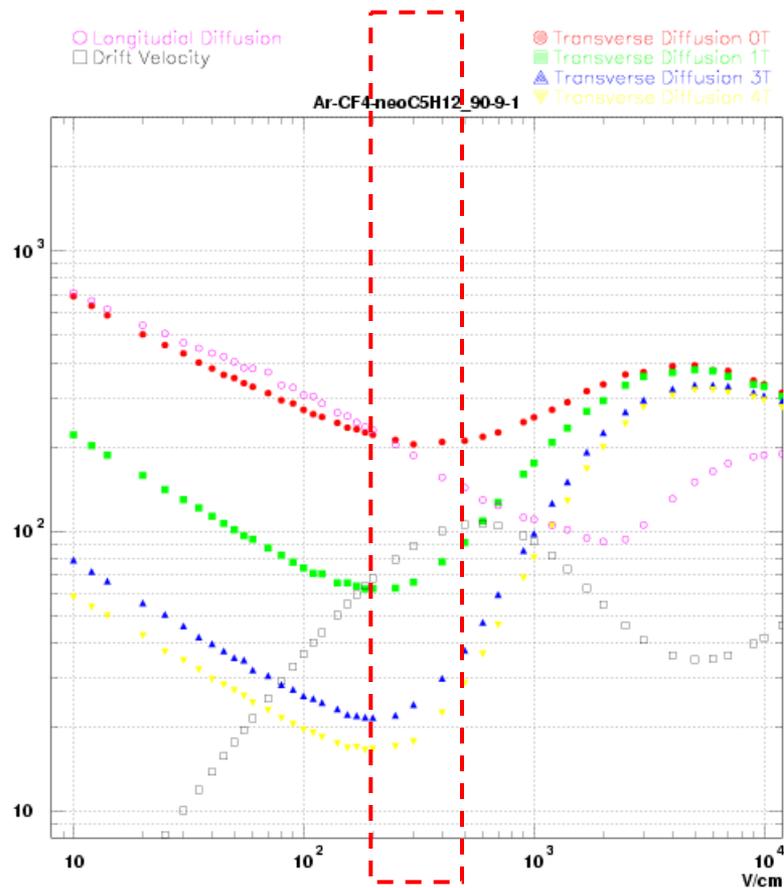
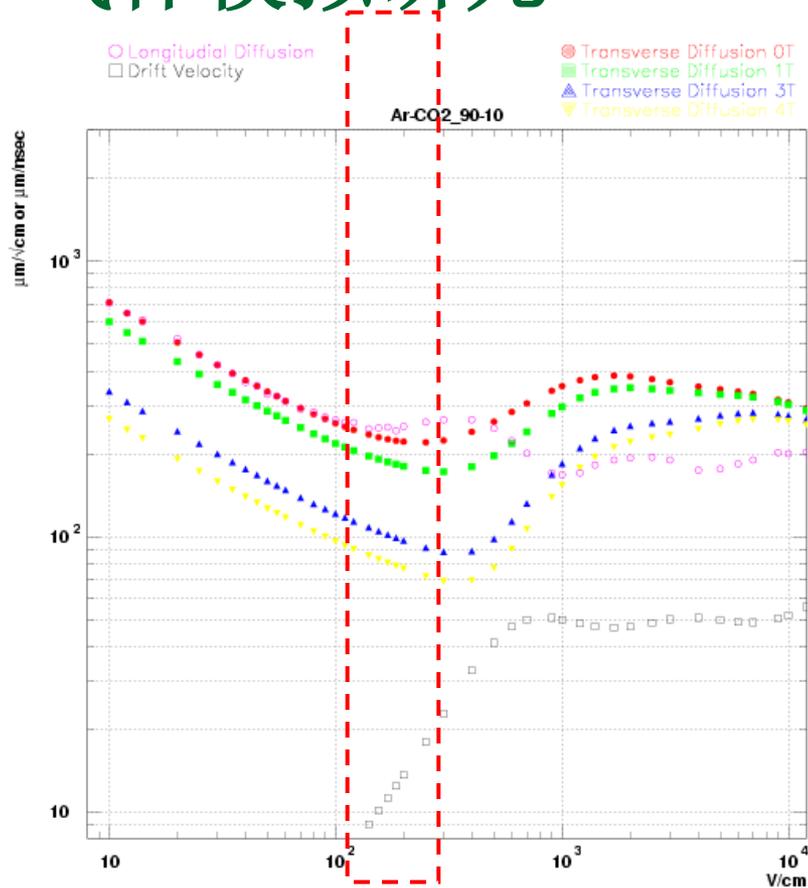
气体模拟研究

- 模拟软件Garfield7.41
- 模拟环境SLC5.4
- 单气体模拟时长2小时
- 磁场0T, 1T, 3T和5T
- 漂移场选择约200V/cm
- 漂移速度约80 $\mu\text{m}/\text{ns}$
- 趋近于饱和速度
- 横向与纵向扩散与300 $\mu\text{m}/\text{ns}$ @1T
- 不同磁场下横纵向扩散变小



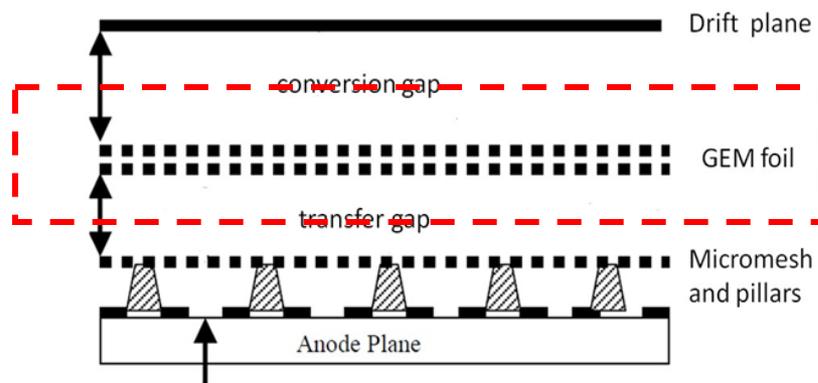
T2K气体的主要性能

气体模拟研究

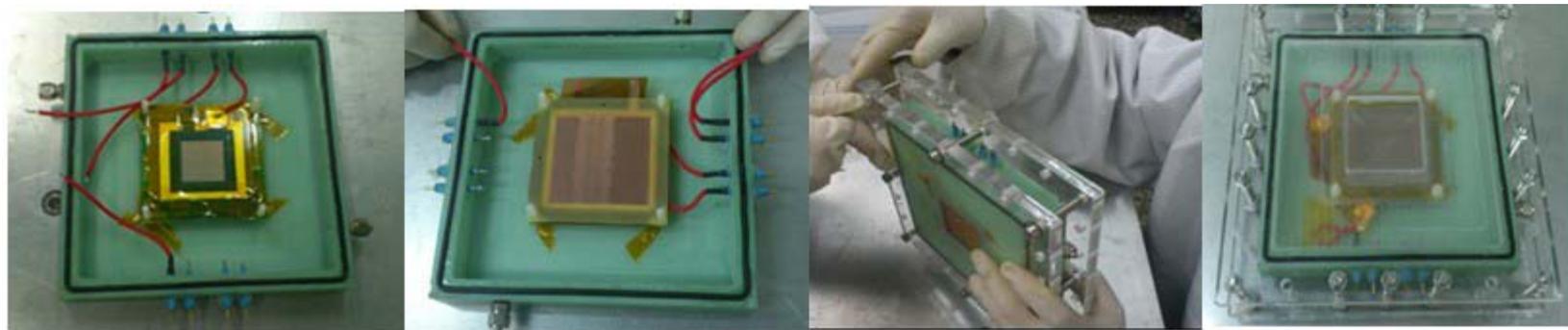
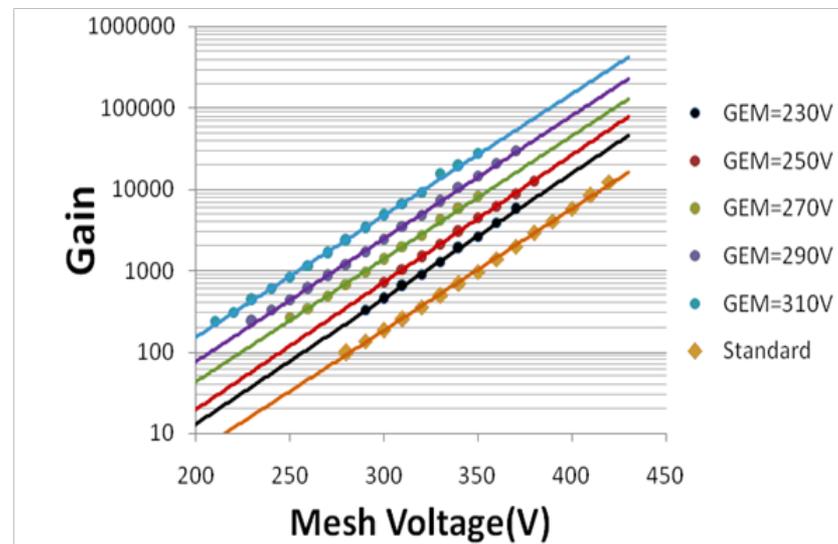


- 一种常规气体 (Ar/CO₂=90/10)
- 一种非常规气体 (Ar/CF₄/neoC₅H₁₂=90-9-1)
- 模拟评估可能的工作气体

一种可能的模块研究

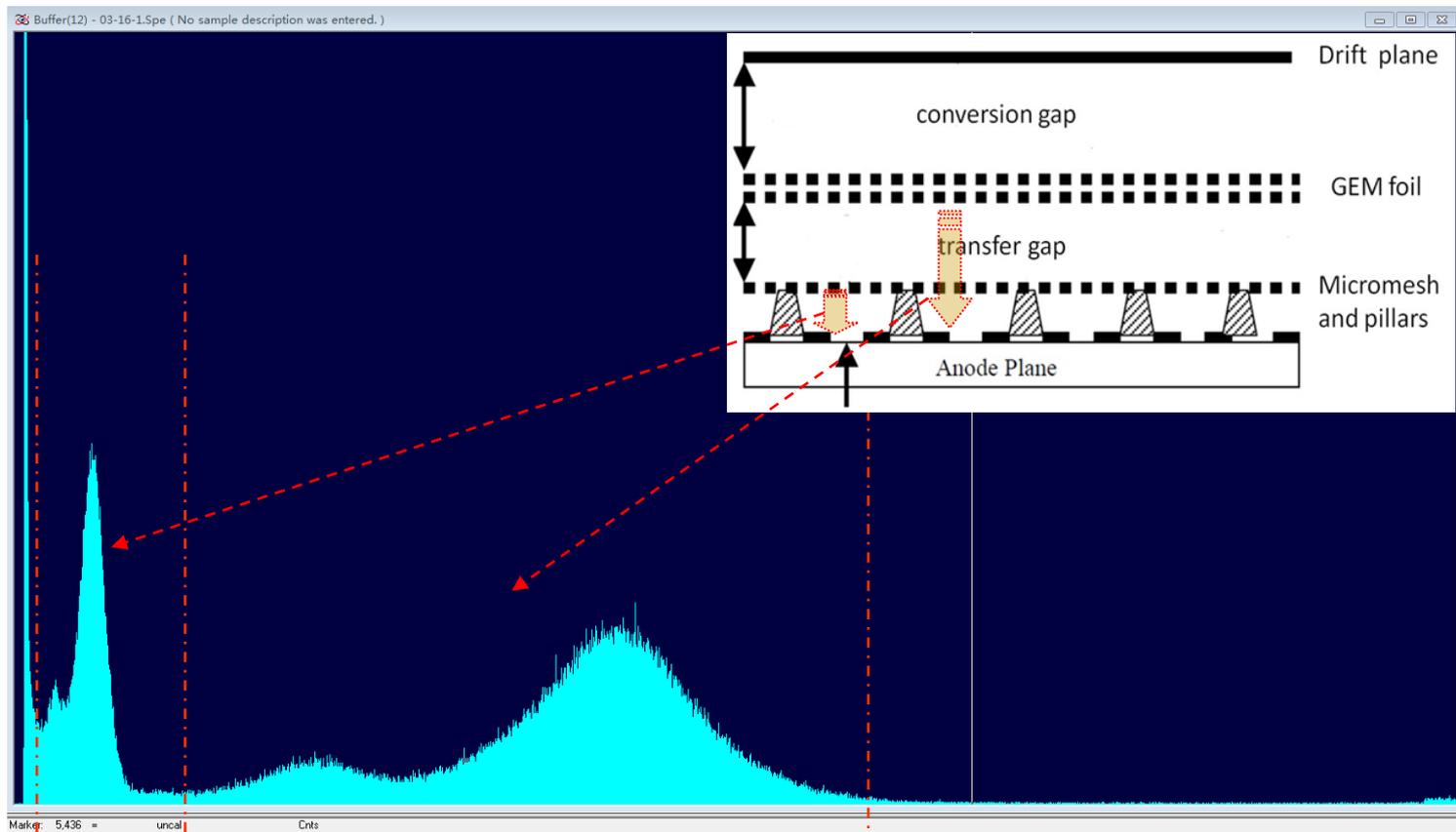


GEM+Micromegas探测器原理图



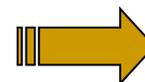
GEM+Micromegas组装图

一种可能的模块研究



Micromegas
仅工作的能谱

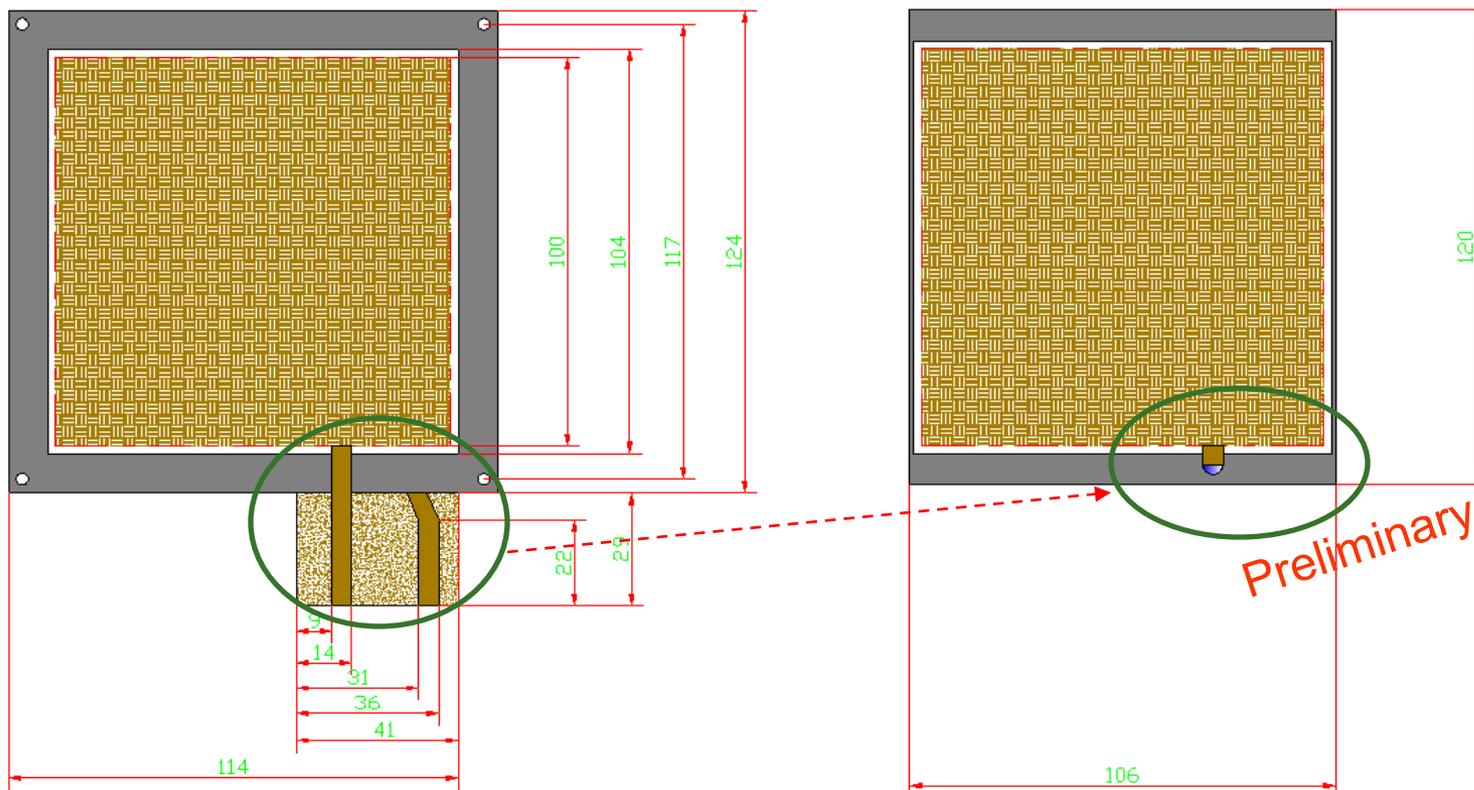
GEM+Micromegas均有工作的电子谱



二者能谱的倍数差即
GEM的放大倍数

GEM+Micromegas能谱测量结果@⁵⁵Fe

模块研究的主要考虑



Standard GEM with frame from CERN

GEM with thin and low material frame
(CIAE Prof. Li Xiaomei R&D)

Low material and thin frame GEM detector

读出电子学的需求

- 10^6 channels in total
- High signal-to-noise ratio
- High density
- Low power consumption
 - For example: ILC TPC down to $100\text{W}/\text{m}^2$ with power pulsing
- Cooling for heat dissipation
- Radiation tolerance

	PASA/ALTRO	AFTER	Super-ALTRO	Timepix
TPC	ALICE	T2K	ILC	ILC
Pad size	$4 \times 7.5 \text{ mm}^2$	$6.9 \times 9.7 \text{ mm}^2$	$1 \times 6 \text{ mm}^2$	$55 \times 55 \mu\text{m}^2$
Pad channels	5.7×10^5	1.25×10^5	$1 - 2 \times 10^6$	10^6
Max drift time	$92 \mu\text{s}$	$20 \mu\text{s}$	$46 \mu\text{s}$	$46 \mu\text{s}$
Readout Chamber	MWPC	MicroMegas	GEM/MicroMegas	GEM/MicroMegas

TPC readout ASIC chips on market

预研主要工作计划1

Welcome to join and contribute.

■ 结合CEPC的主要物理需求，优化主要的结构参量

- Simulation of single point resolution $R\Phi$ and point resolution z
- Checked and optimized detector geometry
- Two-hit separation (i.e. of occupancy in the beam structure)
- dE/dx
 - What is needed?
- Pad size and Hybrid detector test

■ 工作气体模拟与选择

- Long drift gas studies
- Fast drift velocity
- Low electric field

Things to be done
Short time scale 1~3 years
To CDR of CEPC

■ ILD-TPC 国际合作

- ILD-TPC Large prototype (understanding, learning, joining?)
- Beam test and data analysis

预研主要工作计划2

Welcome to join and contribute.

■ 正离子反馈

- Optimized of Hybrid detector with pre-amplifier GEM detector
- Optimized of the resistive Micromegas
- Hybrid detector performance

■ 激光标定研究

- Calibration in the working gas
- Alignment in the modules

■ 读出电子学

- Common
- ...

Other things to be done
Longer time scale 3~5 years
To CDR of CEPC

■ 气体供给和高压供给系统

- Long HV stability
- Overall temperature uniformity and stability

■ 其他配套条件

谢谢!