

# 2017年度工作报告: 暗物质探测

周宁

上海交通大学

粒子物理前沿卓越创新中心青年骨干成员考评

2017.12.02

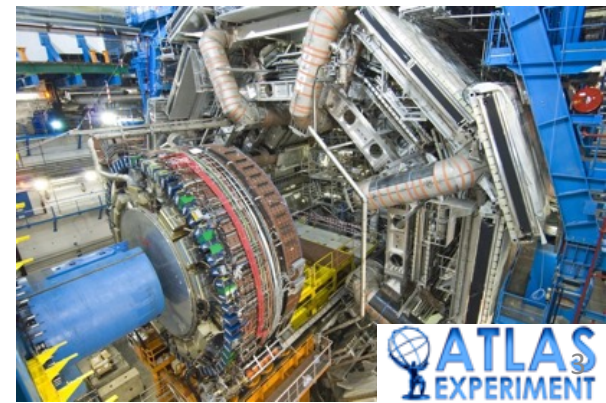
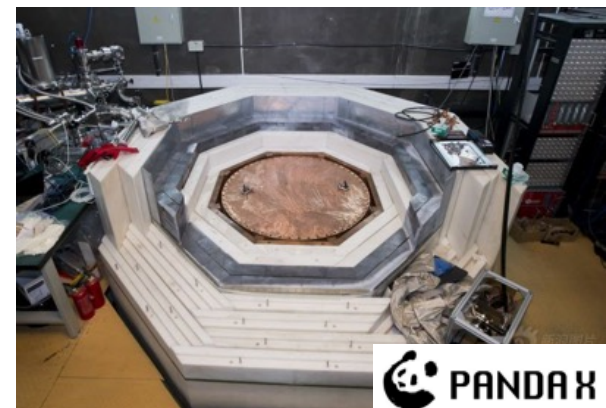
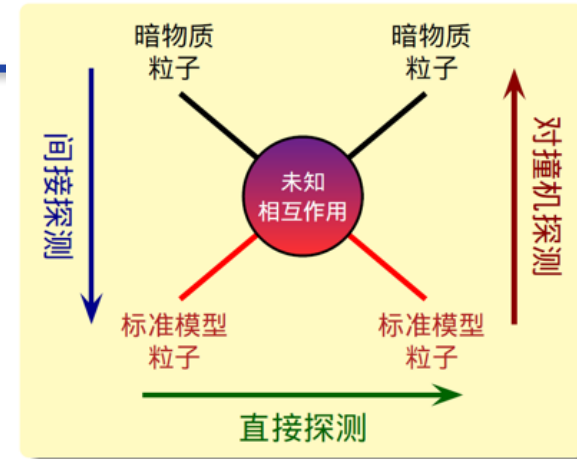
# 报告提纲

---

- 2017工作概况
- 项目进展汇报
- 未来工作计划

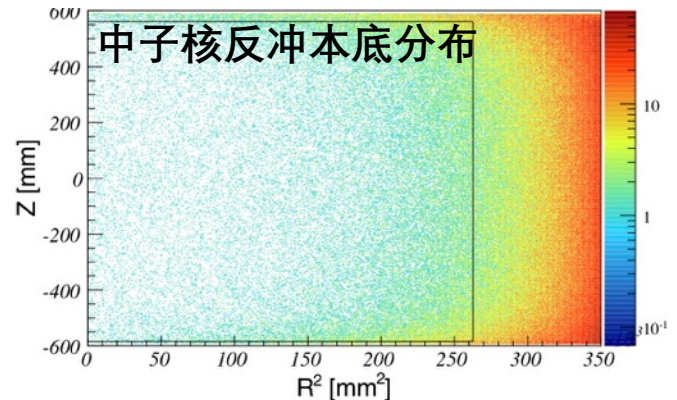
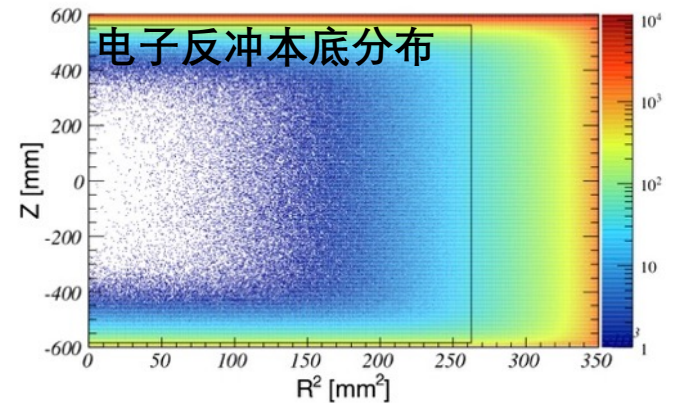
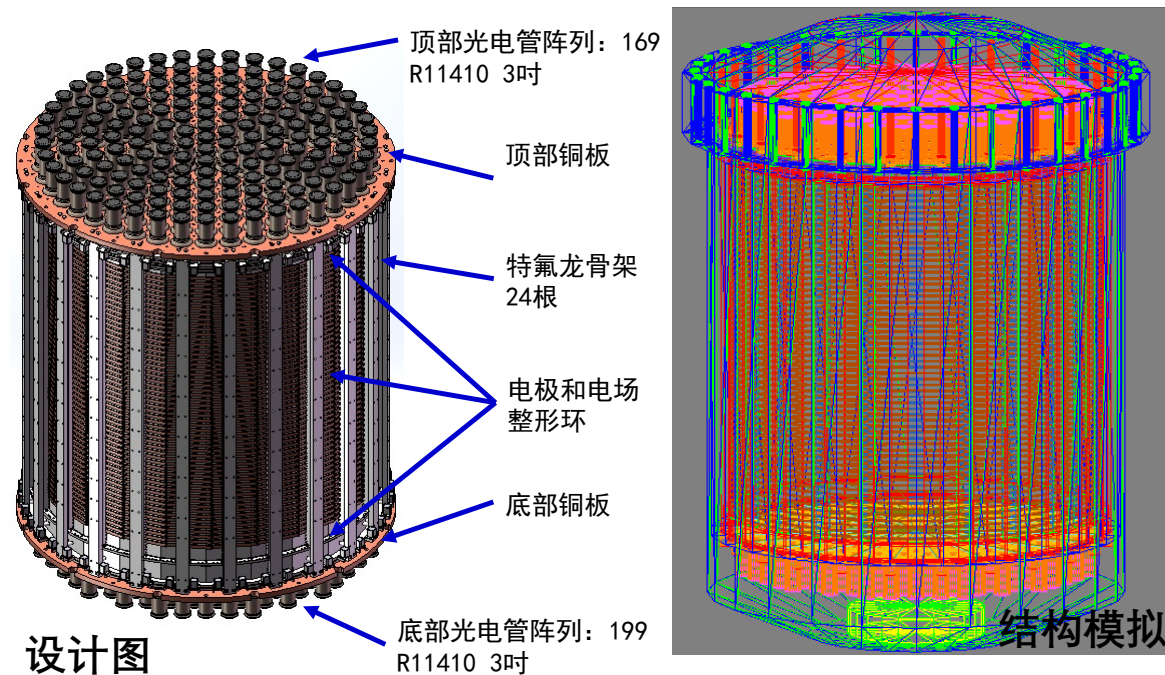
# 2017年工作概况

- **暗物质直接探测：67%**
  - 完成PandaX-4T实验的本底模拟
  - 研发四吨级实验的中心探测器
- **暗物质对撞机探测：33%**
  - 分析ATLAS实验最新数据，通过双喷注反应道寻找暗物质粒子和标准模型相互作用的中间传播子
- **获得NSFC面上项目资助 2018.01-2021.12**
  - 结合ATLAS对撞机探测和PandaX直接探测实验最新数据寻找暗物质粒子



# PandaX-4T 实验本底模拟

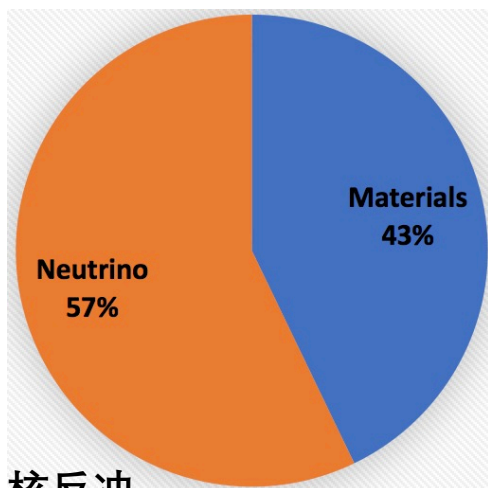
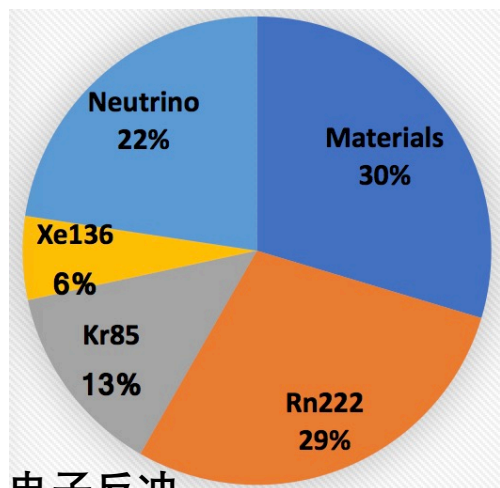
- 第三代液氙暗物质探测实验PandaX-4T
  - 直径1.2米，高度1.2米，灵敏区域液氙靶物质量达到4吨
- 组织模拟了四吨实验的电子反冲和中子核反冲本底。
  - 探测器各部件：内外罐、法兰、铜板、电极、PTFE材料、光电管等
  - 氙中放射性成分： $^{85}\text{Kr}$ ， $^{222}\text{Rn}$ ， $^{136}\text{Xe}$
  - 中微子：与电子散射，与核散射



# PandaX-4T 实验本底模拟

- 明确了本底控制的技术指标

- 电子反冲本底控制  $< 0.04$  mDRU
- 核反冲本底控制  $< 0.5$  事例/吨/年



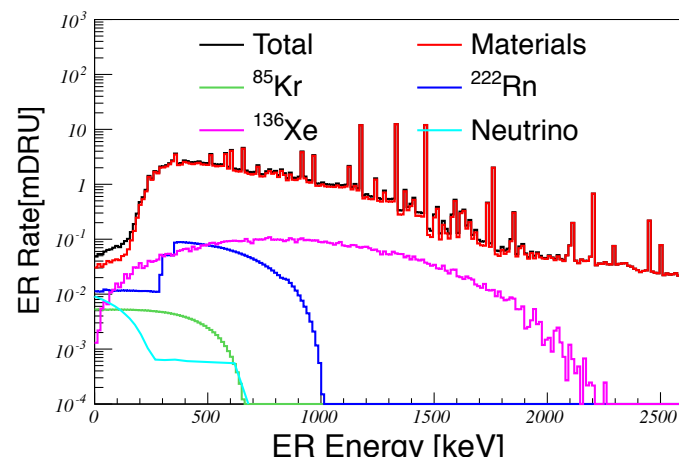
电子反冲

核反冲

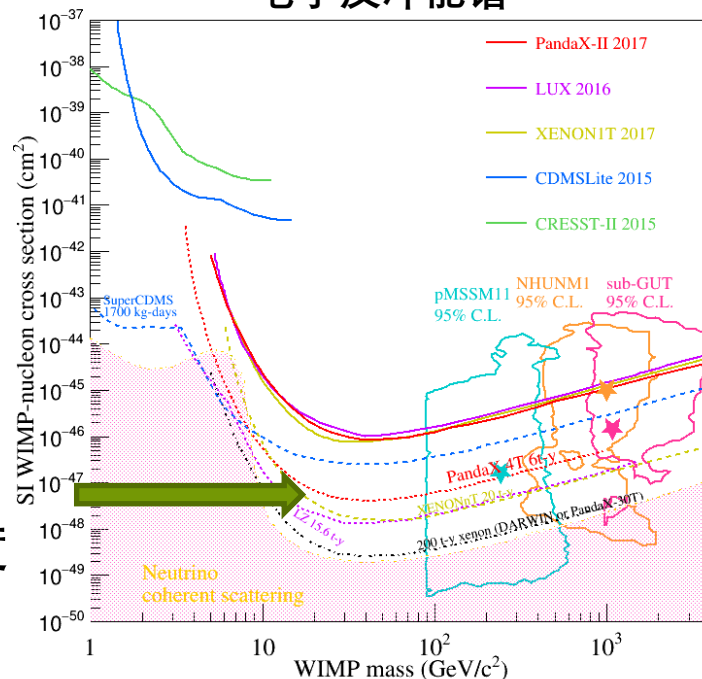
(论文正在内部审核中, 即将投稿)

- 在四吨实验中

- 对暗物质(SI)的灵敏度达到  $10^{-47}$   $\text{cm}^2$
- 对低能中微子的电子反冲(pp)有灵敏度
- 对中微子核反冲( $^8\text{B}$ )有灵敏度

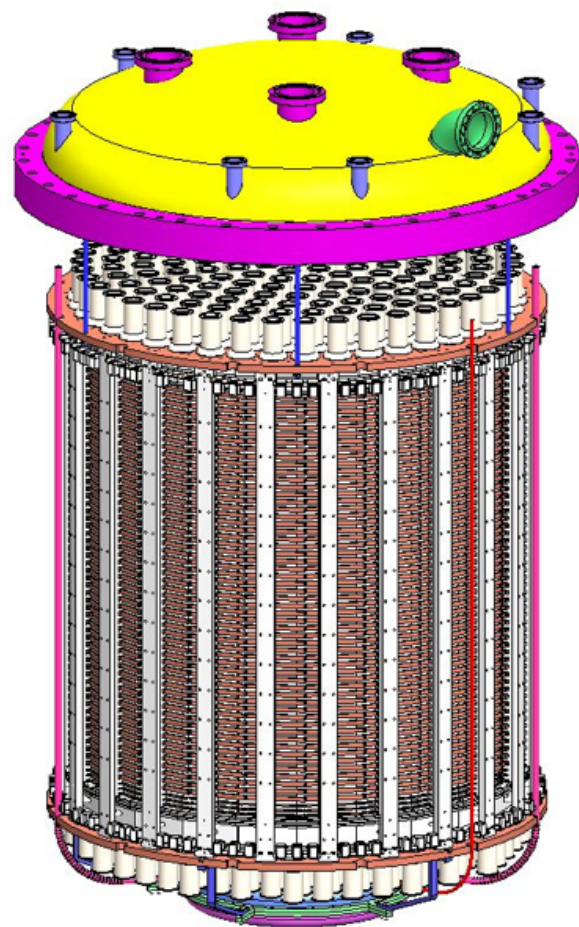
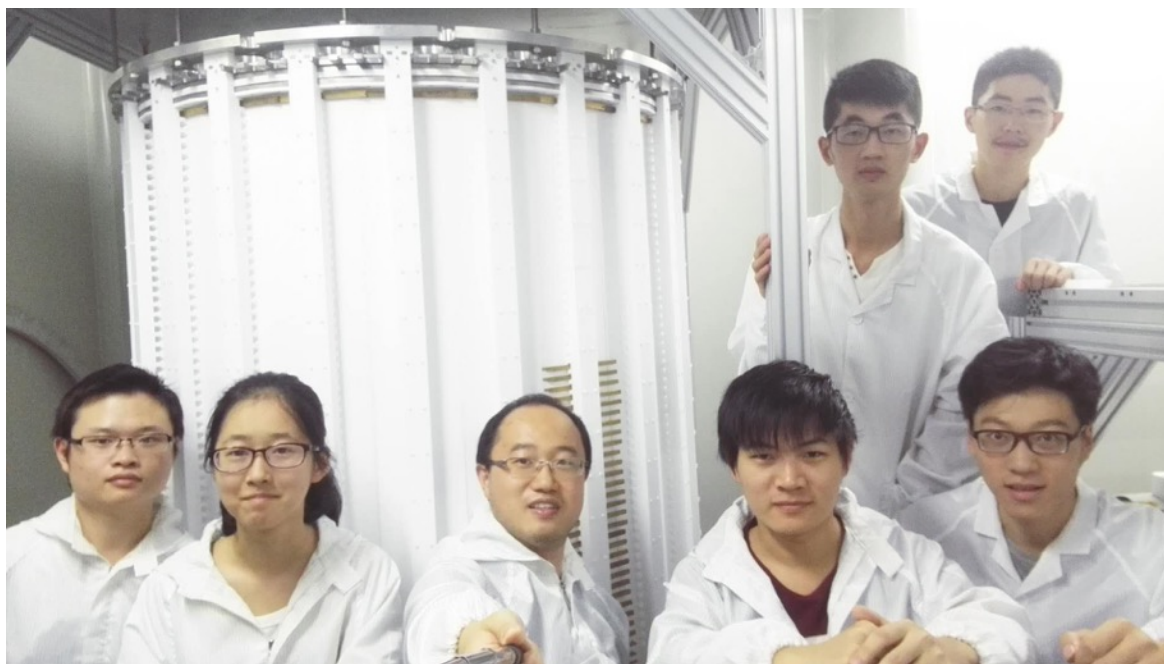


电子反冲能谱



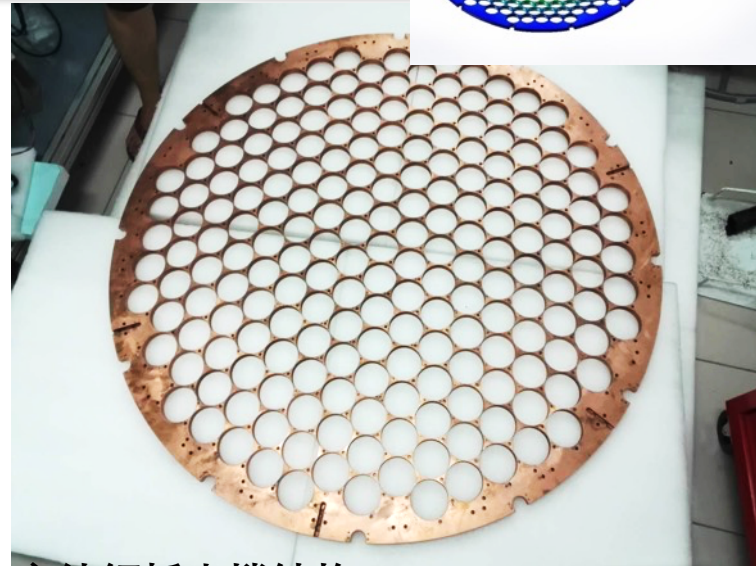
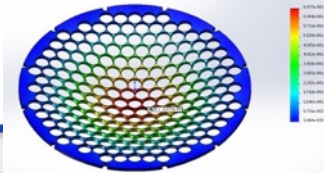
# 研发PandaX-4T实验的中心探测器

- 带领两名博士后，三名研究生和三名本科生负责中心探测器的研发
- 时间投影室结构
- 大尺寸透光电场
- 高压、刻度、监控及相应的连通结构

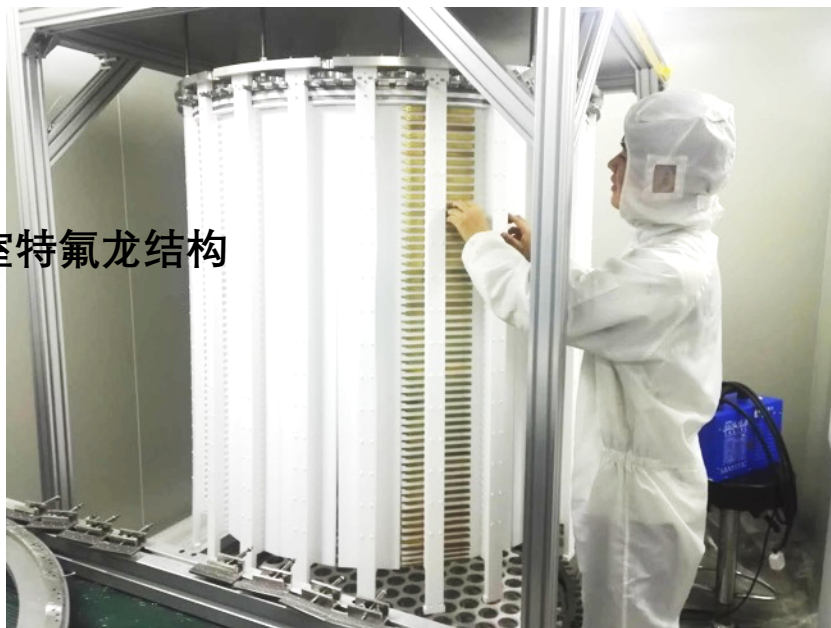


# 时间投影室结构

- 时间投影室结构设计基本完成，各部件正在紧张研制中
  - 高纯铜板支撑结构：光电管密集排列（信号采集效率和位置重建）
  - 主体结构：高反射率PTFE材料（信号采集效率）
  - 外层反符合探测系统：充分利用氩（本底控制）

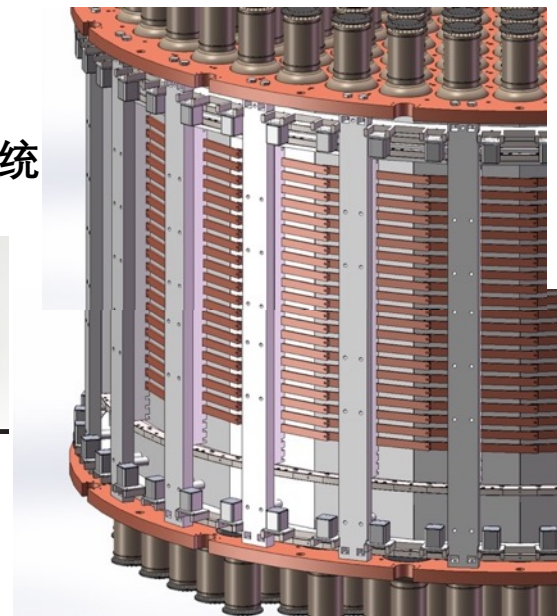


高纯铜板支撑结构



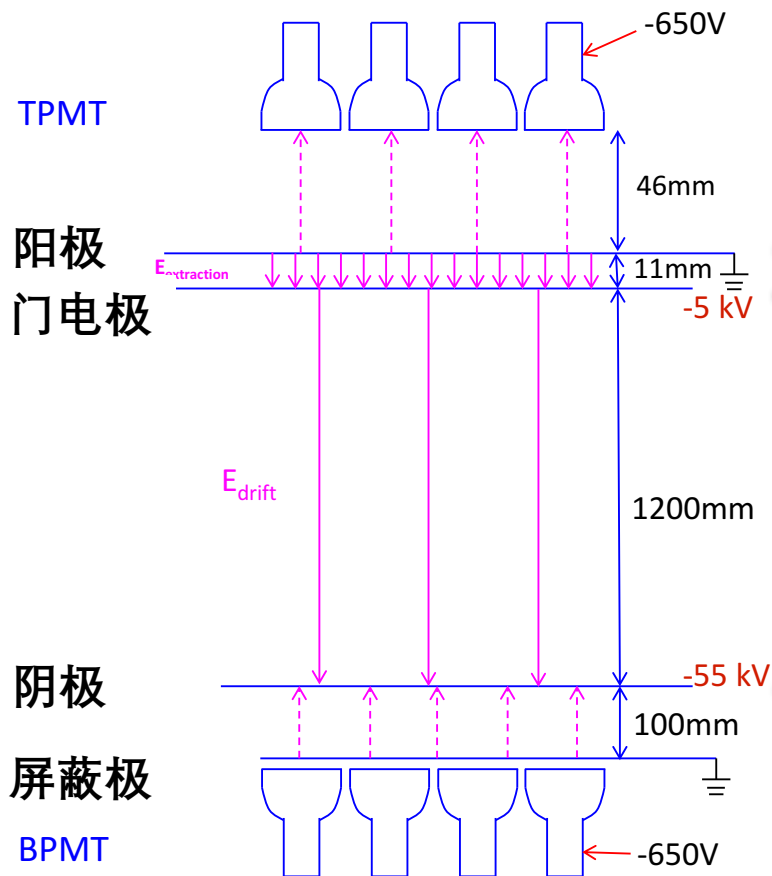
漂移室特氟龙结构

反符合系统



# 时间投影室电场

- 四个电极：阳极，门电极，阴极，屏蔽极



萃取电场: 6000 V/cm

漂移电场: 400 V/cm

门电极高压: -5 kV

阴极高压: -55 kV

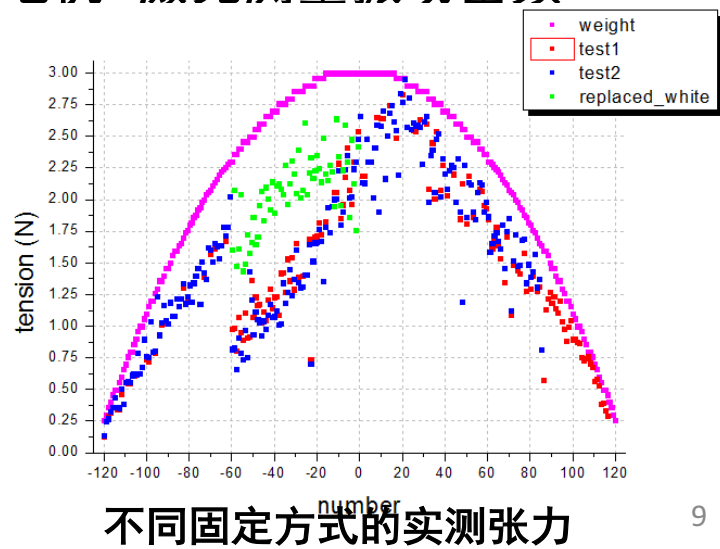
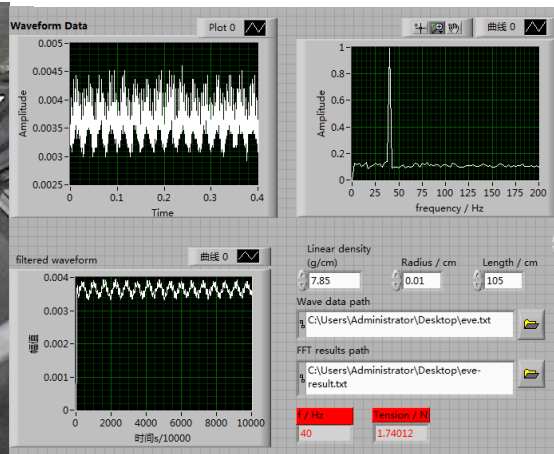
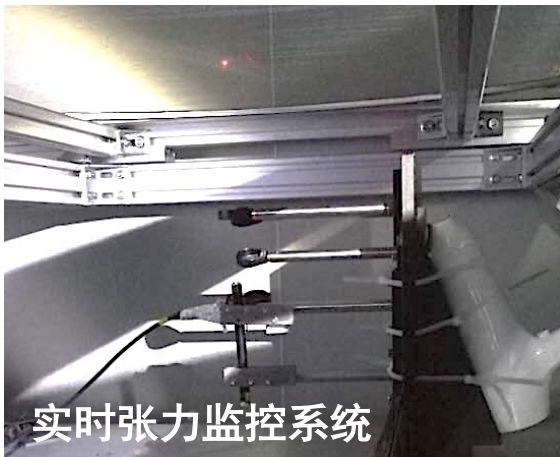
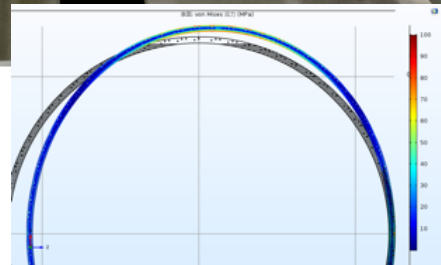
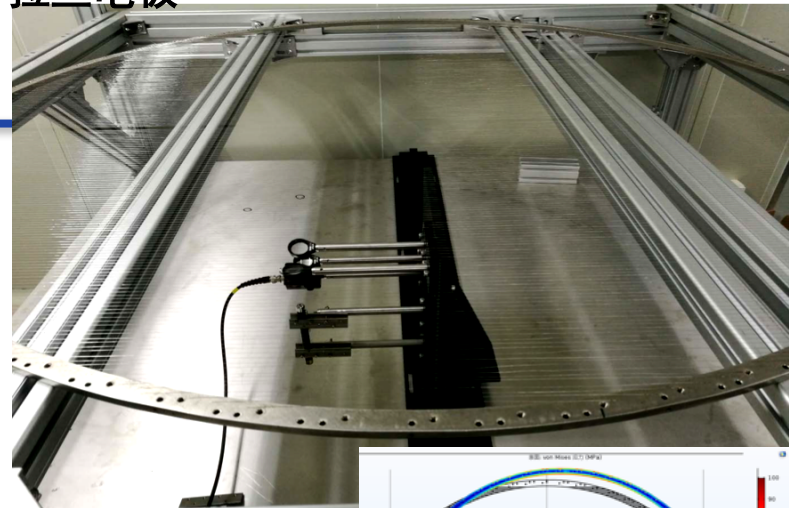


# 大尺寸透光电极

- 研制出两种大尺寸透光电极
- 拉丝电极

- 透光率高，95%
- 用于阴极 (-55kV) 和屏蔽极
- 力学控制要求高
  - 非均匀丝张力设计 (确保每根丝静电场形变 $<1\text{mm}$ )
  - 椭圆型电极环设计 (长轴 $1259\text{mm}$ ，短轴 $1232.5\text{mm}$ )
  - 经测试，布丝后椭圆电极环受力形变成正圆 ( $1245 \pm 1\text{mm}$ )
- 开发了自动实时精确张力监控系统：伺服电机+激光测量振动基频
- 研发丝固定方式，避免尖端打火：

拉丝电极

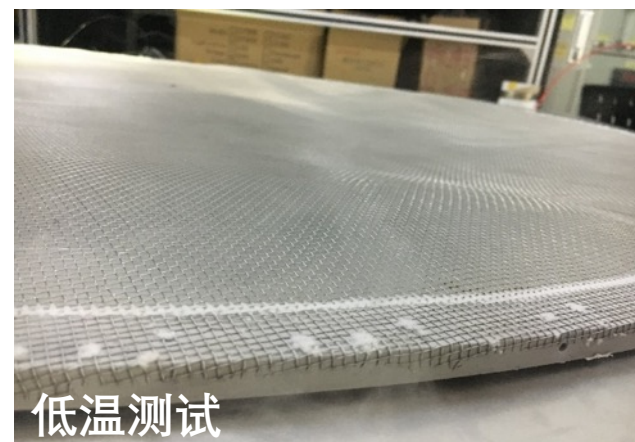
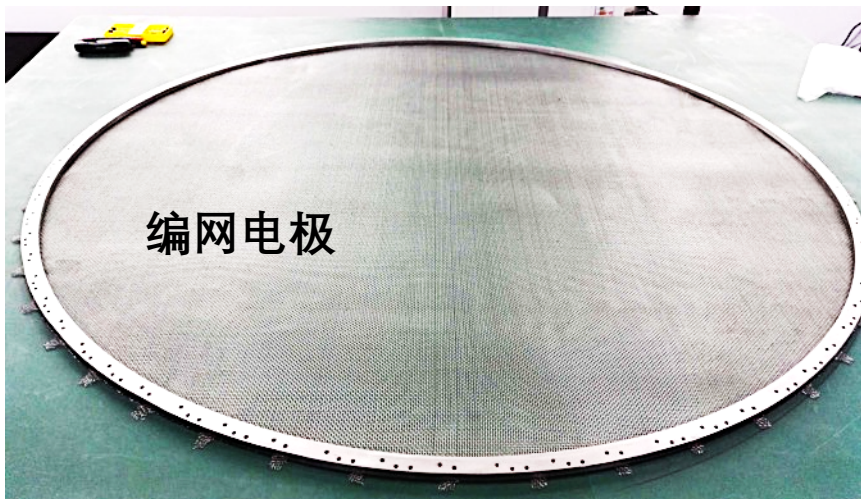


实时张力监控系统

不同固定方式的实测张力

# 大尺寸透光电极

- 研制出两种大尺寸透光电极
- 编网电极
  - 用于门电极 (-5kV) 和阳极, 也可用于阴极 (-55kV)
  - 强度高, 易于制作
  - 透光率有限制86%, 确保编网稳定
  - 通过低温和高压测试



# 设计高压、刻度、监控系统及连通结构

- **高压加载结构：**

- 主要是阴极-55kV高压
- 从内罐穿出维持在氙气中直至实验室

- **刻度系统：**

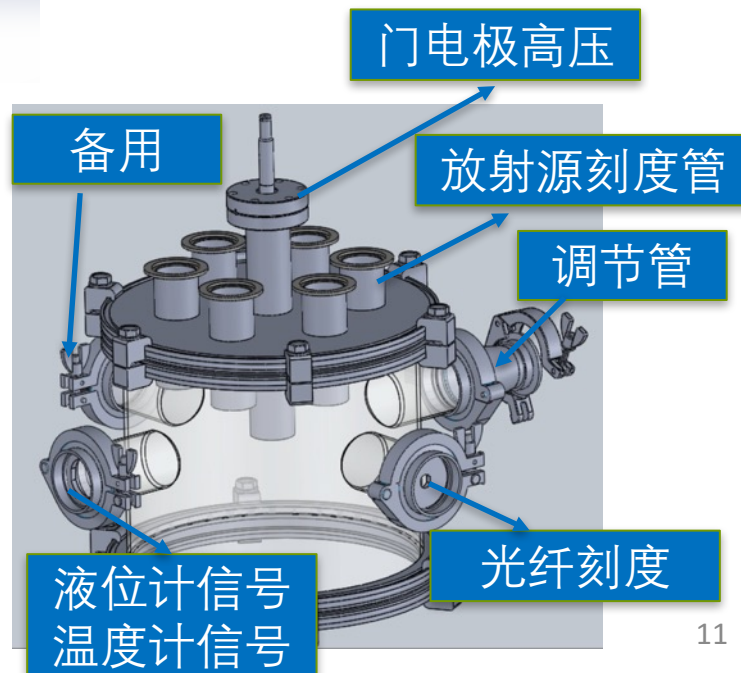
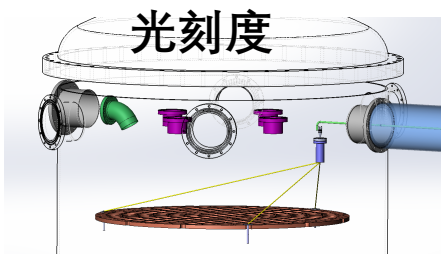
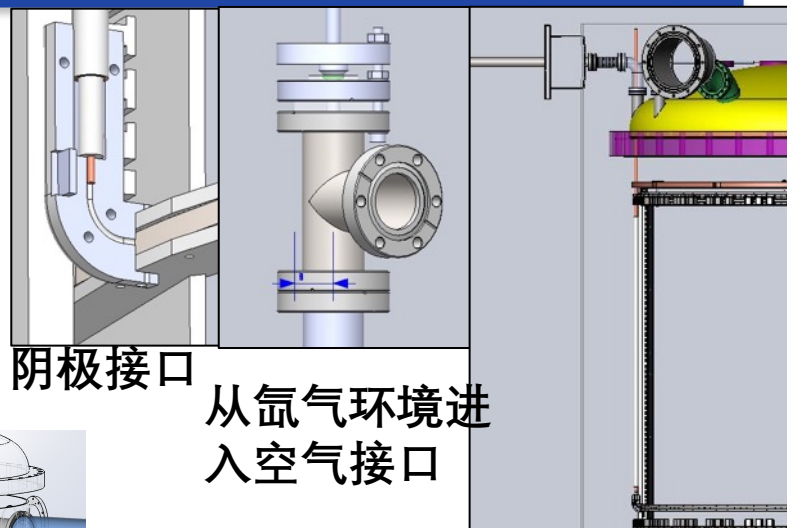
- 设计4个光刻度端口
- 设计3组放射源刻度管

- **监控系统：**

- 液位监控系统
- 温度监控系统

- **连通结构 (feedthrough)：**

- 阴极-55kV高压电缆：内罐氙气和实验室
- 门电极-5kV高压电缆，光刻度，液位温度监控：内罐氙气和外罐真空，外罐真空和实验室
- 放射源刻度：外罐真空和实验室



# 液位监控系统

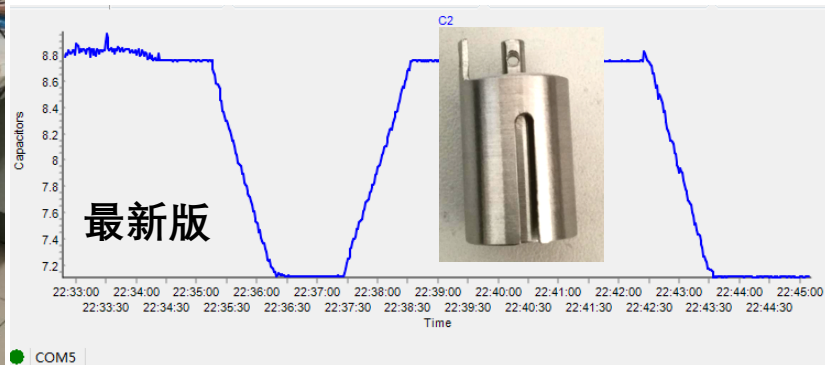
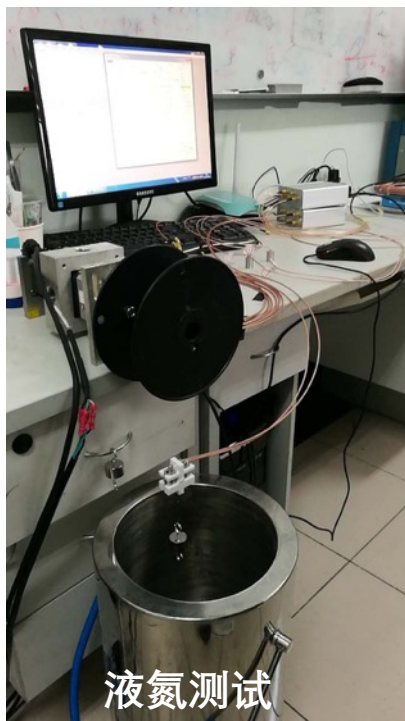
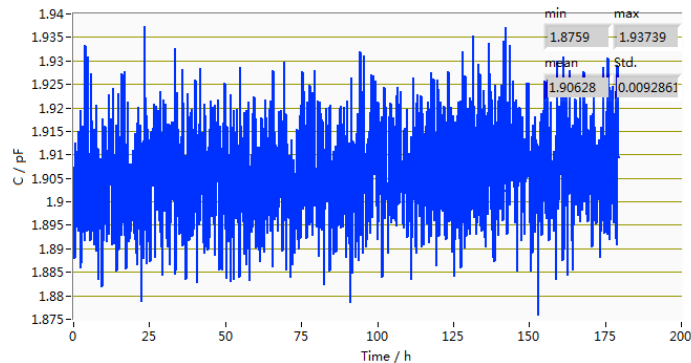
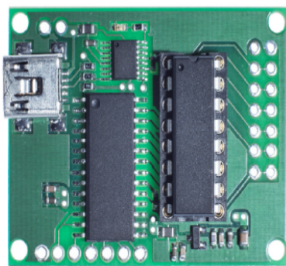
- 监控氙液面位置：萃取电场强度和均匀度
- 原有液位计存在难以长时间稳定读数、两端存在非线性响应难以准确定位等问题

- 采用了新的读出板

- 实现了长时间稳定读数

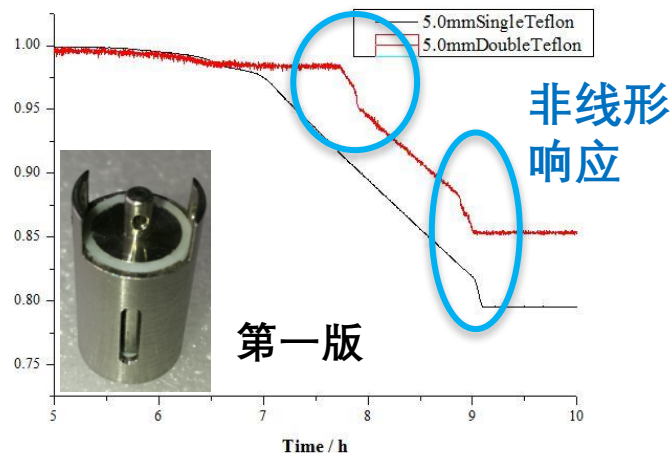
- 改进结构设计

- 消除非线性响应
- 精度达到0.1mm



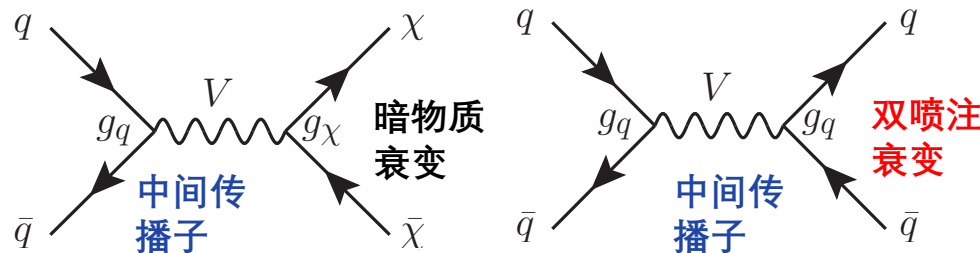
COM5

在液氮中进行测试，利用电机，将测试时间周期从5小时降到15分钟



# ATLAS实验利用双喷注寻找暗物质

- 通过**双喷注**反应道寻找暗物质和可见物质相互作用的中间传播子

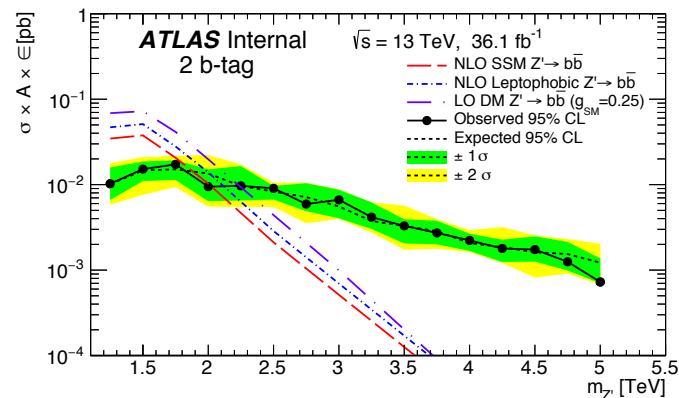


- 利用最新数据2015+2016寻找带有重味标识的双喷注不变质量谱的共振态峰

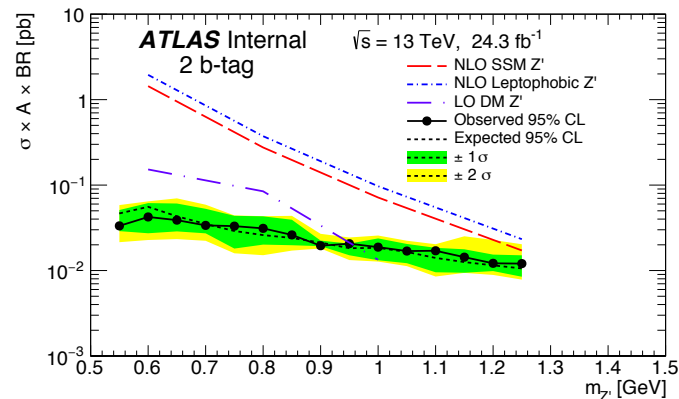
- 高质量  $>1.2\text{TeV}$ : inclusive jet trigger
- 中质量  $500\text{GeV} < m < 1.2\text{TeV}$ : di-b-jet trigger
- 内部审核中, [ATL-COM-PHYS-2016-1561](#)

- 目前正在2017数据上利用初态辐射来寻找更低质量的中间传播子

- 低质量  $< 500\text{ GeV}$ : 避开触发阈值限制



(b)  $Z' \rightarrow b\bar{b}$



(c)  $Z' \rightarrow b\bar{b}$

# 国际会议邀请报告和会议组织

---

- **直接探测会议报告**：代表PandaX合作组给关于PandaX-II最新结果和PandaX-4T进展的报告
  - TAUP2017, Sudbury, Canada, 2017年7月
  - TIPP2017, 北京, 2017年5月
  - AFAD2017, 兰州, 2017年1月
- **对撞机探测会议报告**：受邀代表ATLAS, CMS和LHCb合作组做大会报告 “Dark matter searches in colliders”
  - GRC2017 Particle Physics Conference, 香港, 2017年6月
- 2017年6月在上海交通大学共同主办了**第四届国际TeV物理暑期学校 iSTEP2017**

# 2018年度工作计划

---

- PandaX实验:

- 开展四吨级暗物质实验探测器原型机的建造和联动测试
- 确定四吨级实验的最终设计，争取2019-2020年在锦屏地下实验室进行装配和测试
- 继续PandaX-II的实验数据采集和分析工作

- ATLAS实验:

- 开展2017-2018年数据 ( $\sim 150\text{fb}^{-1}$ ) 的分析工作，充分利用双喷注反应道来寻找暗物质粒子的产生和中间传播子。随着更多数据的到来，进一步拓展暗物质寻找方向和优化暗物质信号灵敏度。

- 
- 谢谢各位专家评委!



# 2017工作小结

---

- 主要从直接探测和对撞机探测这两个方面去寻找暗物质
  - **PandaX实验**：负责第三代液氙实验PandaX-4T探测器的设计和建造，设计目标将暗物质探测灵敏度提高到 $10^{-47}\text{cm}^2$ ，继续保持世界领先地位，有望率先发现暗物质。
  - **ATLAS实验**：从双喷注最终态寻找暗物质和可见物质相互作用的中间传播子。
- 科研项目及经费情况：
  - NSFC面上项目：结合ATLAS对撞机探测和PandaX直接探测实验最新数据寻找暗物质粒子，2018.1-2021.12
  - 中组部青年千人：暗物质实验寻找，2015.1-2017.12
  - NSFC应急管理：ATLAS实验上高动量b喷注标识，2016.1-2016.12

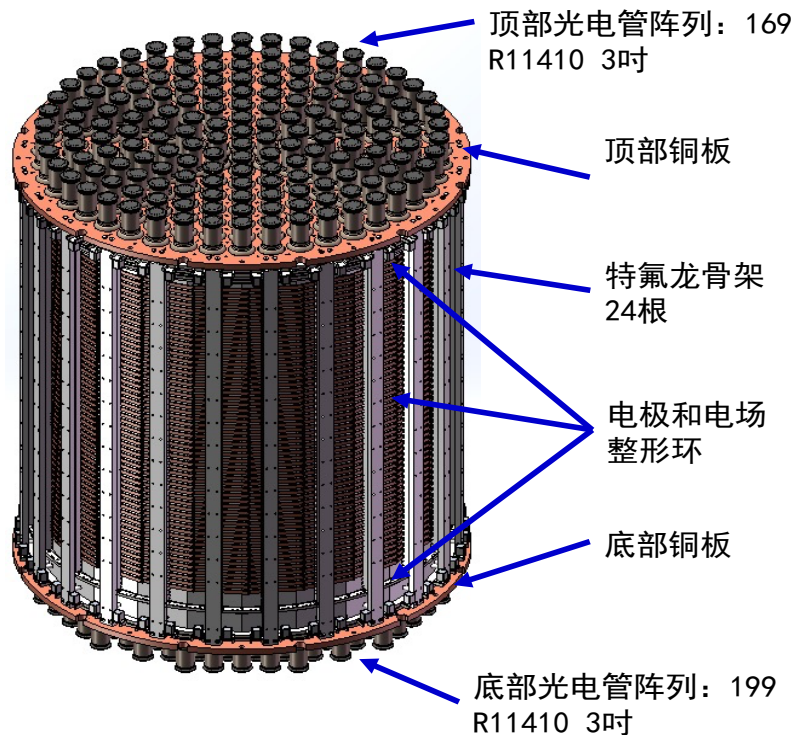
# PandaX-4ton探测器的基本设计

## • 圆柱形时间投影室

- 漂移区直径~1.2米
- 漂移区高度~1.2米
- 液氙使用总量~5-6吨
- 灵敏区域液氙~4吨

## • 组成部分：

- 漂移室（特氟龙反射板）
- 高压电极（漂移电场，萃取电场）
- 光电倍增管（信号采集）
- 外层反符合探测系统

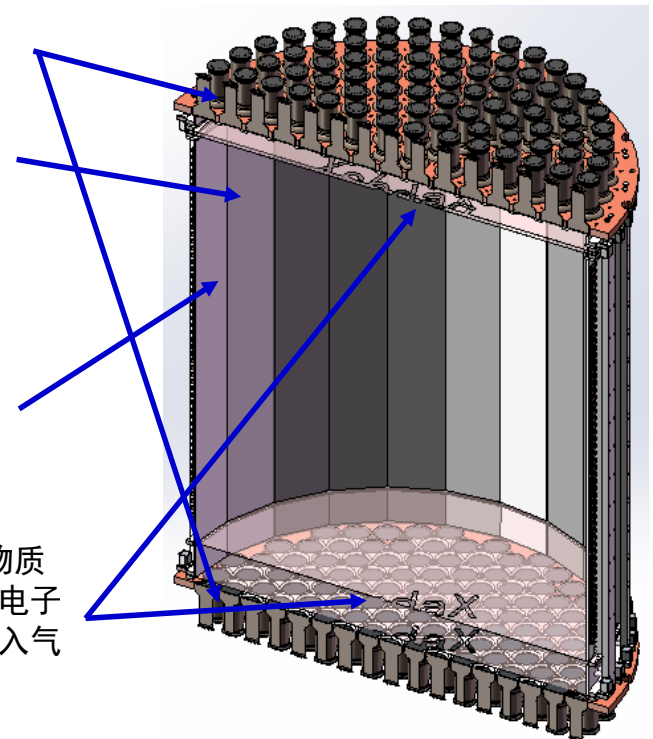


**光电管：**收集探测器内的S1和S2光

**特氟龙壁：**反射内部的光，提高光收集效率

**液氙探测材料：**液状氙在探测器中既是靶子也是探测介质

**高压漂移电场：**暗物质或放射性事件产生的电子可以通过漂移电场进入气体产生发光

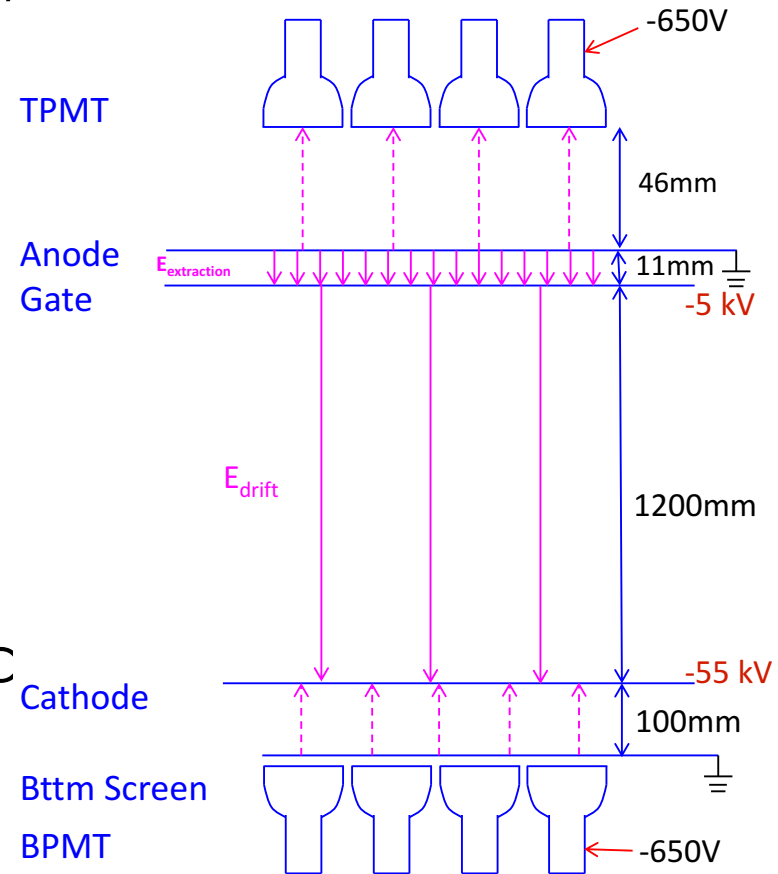


# TPC: Electric Field

- Uniform electric field in a large volume
  - To ensure ER/NR separation, energy and position resolution, signal efficiency, etc

Electric Field (V/cm)	Drift (LXe)	Extraction (GXe)
Xenon100	530	12000
LUX	50-600	3000
PandaX-II	400	6000
PandaX-4ton	400	6000

- Four electrodes: drift and extraction
  - Anode, grid, cathode and screen
- Shaping rings:
  - 60 sets to maintain upward field at the edge

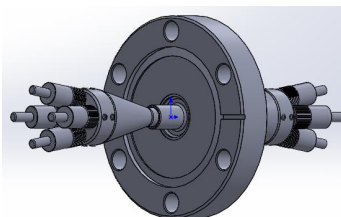


# 设计信号feedthrough

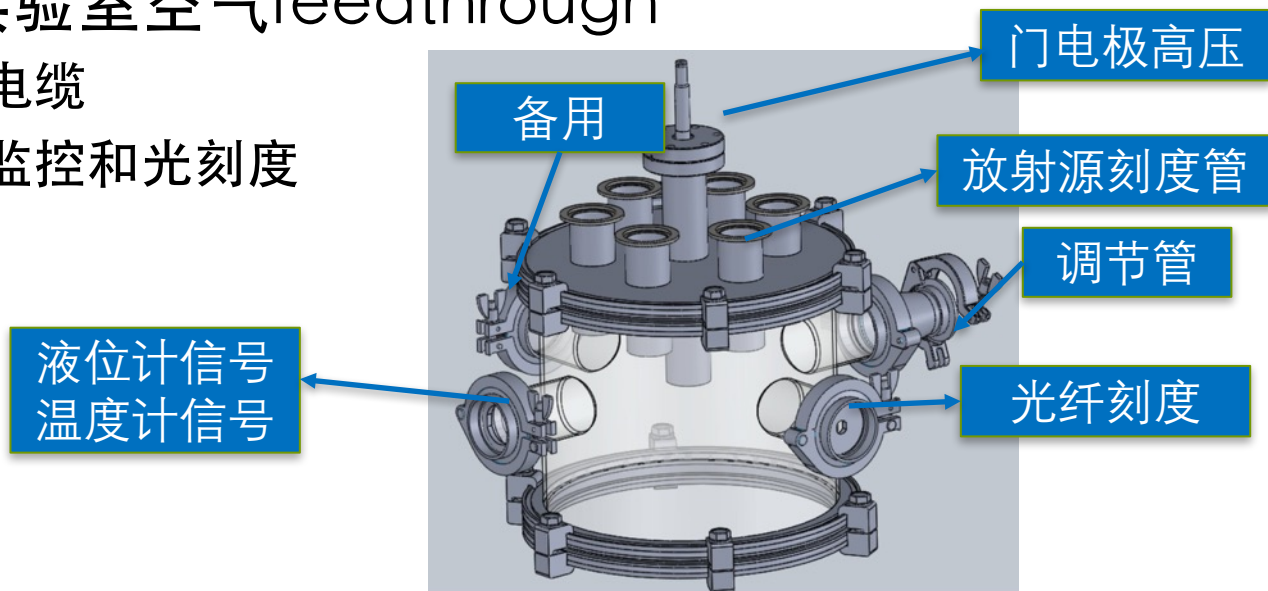
- 内罐氦气和实验室空气feedthrough
  - 阴极-55kV高压电缆



- 内罐氦气和外罐真空feedthrough
  - 门电极-5kV高压电缆
  - 液位、温度监控和光刻度



- 外罐真空和实验室空气feedthrough
  - 门电极高压电缆
  - 液位、温度监控和光刻度
  - 放射源刻度



# R&D 大尺寸透光电场

---

- 

