

ATLA 和 CMS 探测器升级

朱宏博

高能物理研究所

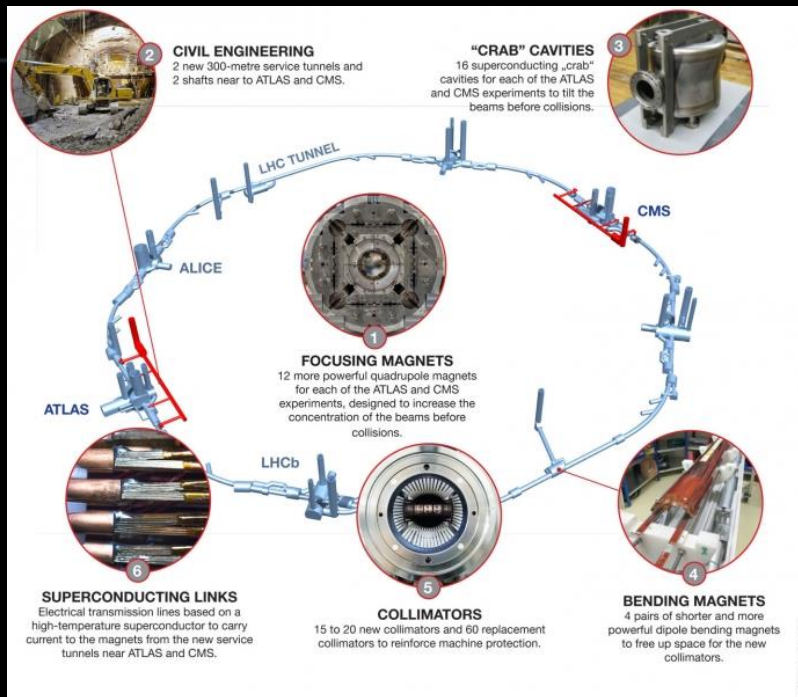
CAS Center for Excellence in Particle Physics

材料主要来自科技部项目中期评审、威海探测器升级研讨会等

报告提纲

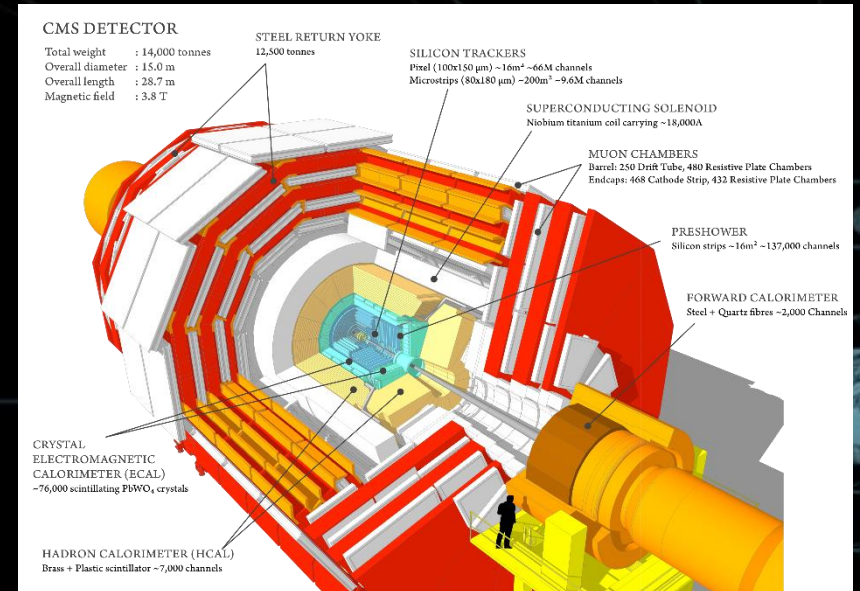
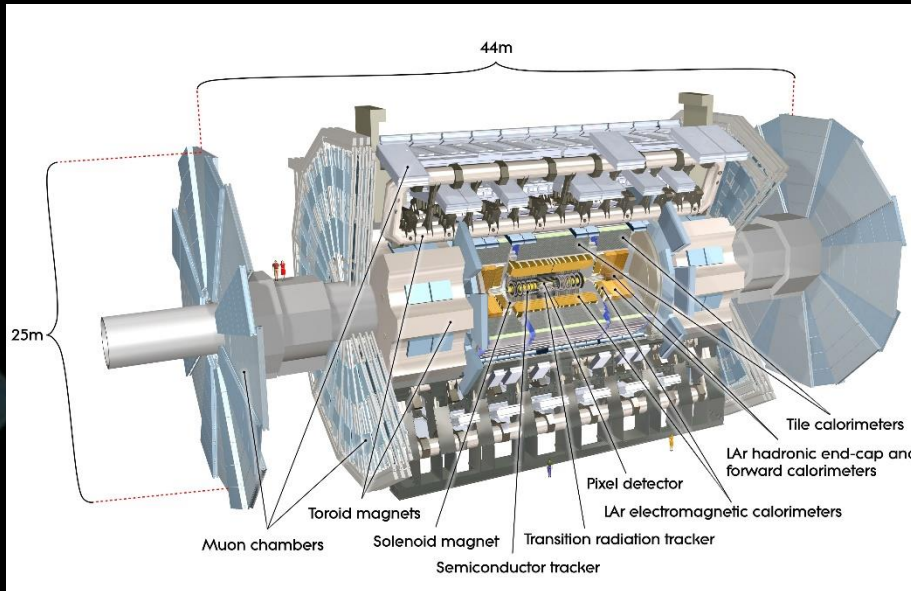
- 高亮度大型强子对撞机 (HL-LHC)
- ATLAS 探测器升级
- CMS 探测器升级
- 总结与展望

高亮度大型强子对撞机 (HL-LHC)



- “[...] Europe’s top priority should be the exploitation of the full potential of the LHC, including the high-luminosity upgrade of the machine and detectors with a view to collecting ten times more data than in the initial design, by around 2030 [...]”

ATLAS及CMS探测器



- ATLAS 和CMS探测器均按计划进行关键探测器升级，将在更高事例堆积、更强辐照条件下，保持甚至提高探测器性能，充分挖掘物理潜力。

为什么参与探测器升级？

1. 未来继续开展物理研究，分享重要物理成果的重要基础。
2. 代表当今世界探测技术最前沿，若干关键部件对我国禁运。通过积极参与升级改造的预研和承担部分建造任务，可以培养掌握这些技术的人才、打破禁运，推动我国在这些关键材料、技术和方法的发展，并辐射至其他领域。
 - 大面积的抗辐照、高空间分辨硅探测器
 - 大面积、高计数率、高效率的新型缪子探测器
 - 高粒度高能量分辨量能器
 - 高致密度ASIC 芯片

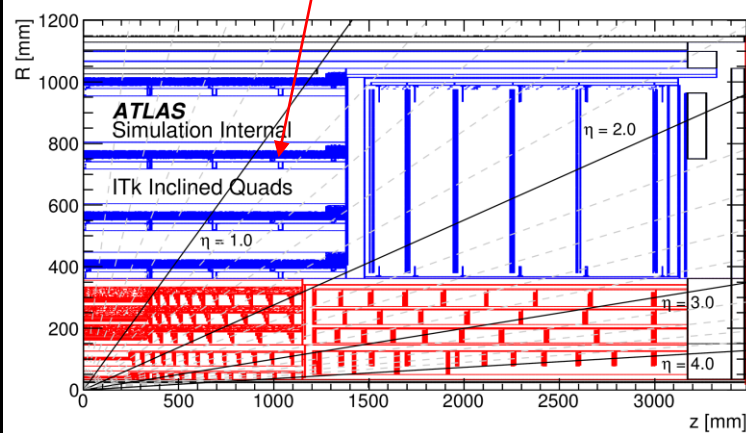
ATLAS升级：中国贡献

缪子探测器：
触发探测器, 前端电子学
(科大、山大、交大)

硅微条径迹探测器：
桶部探测器模块建造, 前
端电子学ASIC芯片设计
(高能所、清华)

高颗粒度时间量能器能
(HGTD) (规划中):
传感器测试、读出电子学
设计、模块及桶板建造
(高能所、科大、南大)

New Small Wheel (Phase I):
TGCs 探测器(山大), 读出电
子学 (科大)



ATLAS：硅径迹探测器升级（ITk）

- 计划将向ATLAS提供**1000个抗辐照的硅微条探测器模块**（约桶部总量10%），其500个在英国卢瑟福合作完成，另500个在**高能所**完成。即将签署项目MoU；

• 读出ASIC芯片设计：

与CERN等单位合作，设计数字单元及完成验证工作。最新设计流片已经返回，在卢瑟福实验室开展初步电气测试。

• 前沿探测器技术研究：

像素型CMOS微条探测器，未来大面积硅探测器的重要候选技术。与SLAC/UCSC合作测试样片CHESS-2，深入理解内电路性能。

I. 芯片设计

II. 模块组装及测试

III. CMOS 硅微条研究

• 承担建造任务：

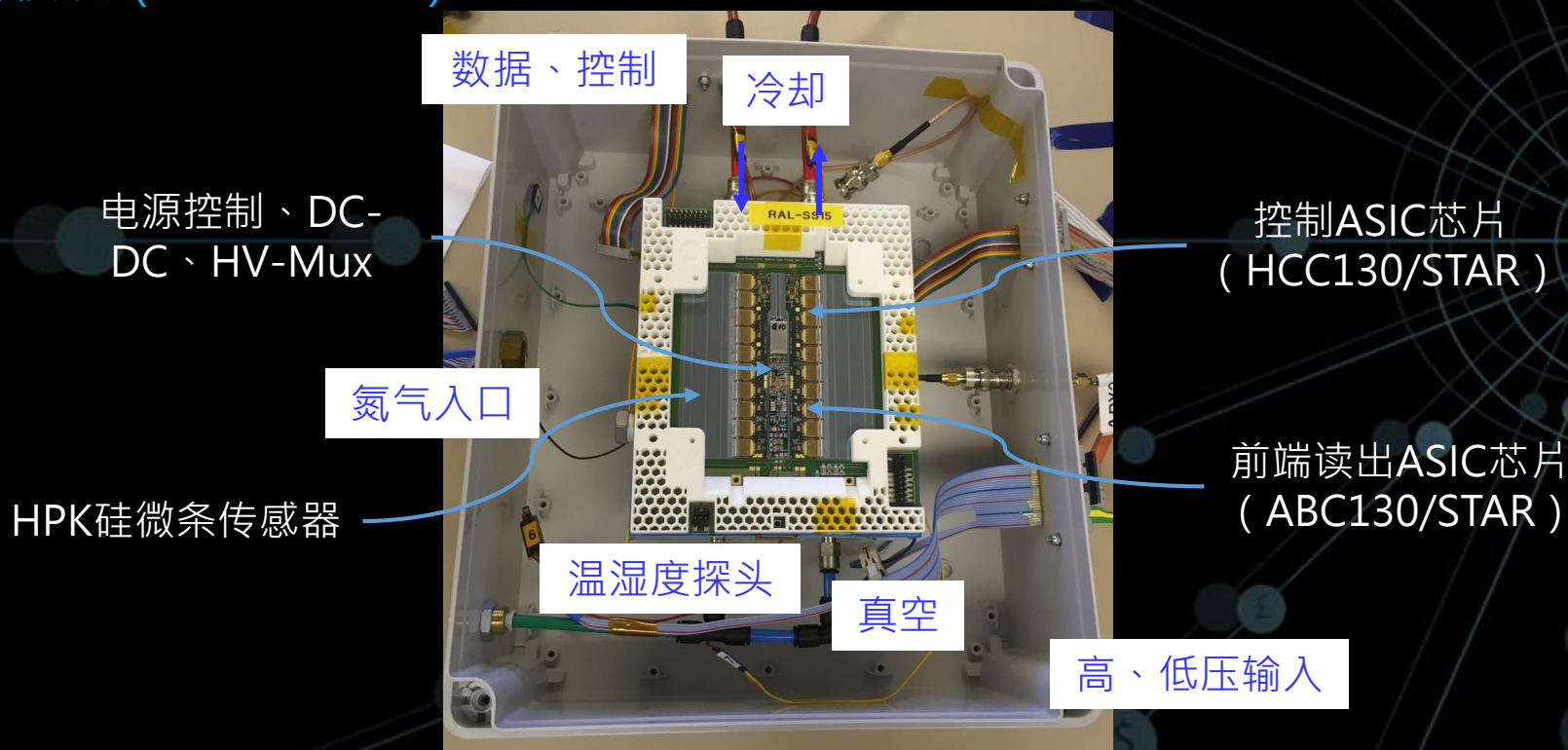
与英国卢瑟福实验室紧密合作，掌握探测器模块制作工艺，定义质量控制关键步骤。完成多个机械、电气模块，参与束流测试等

2019开始预生产，通过生产点审查后，将开展批量生产（2021-2023）。所内洁净间即将完工。

- 拓展关键工作至其他方面，包括在卢瑟福开展芯片测试、模块加载，后期在**CERN**参加探测器集成、安装、测试及运行。

硅微条探测器模块

- 由中方人员按照工艺流程在英国RAL制作（芯片-控制PCB、控制PCB和电源板-传感器粘胶，单个模块打线超过5000根）、完成电气测试的探测器模块（RAL-SS15）。

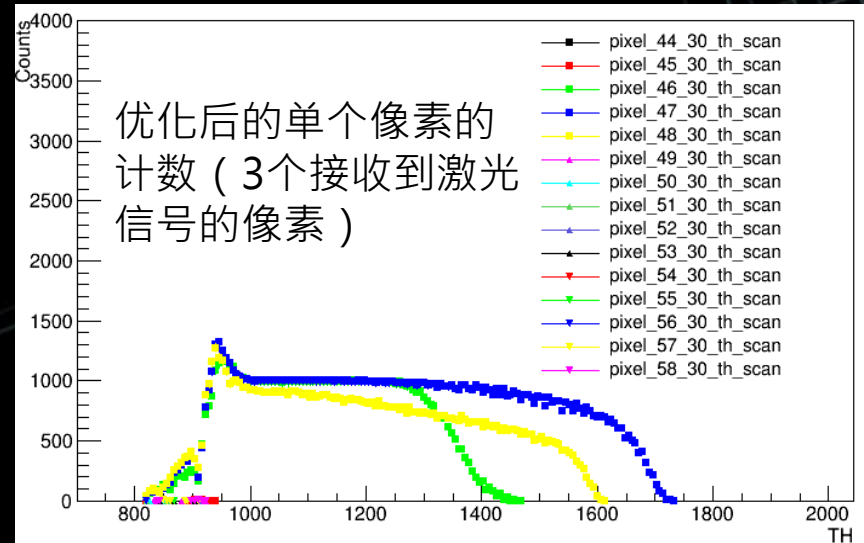
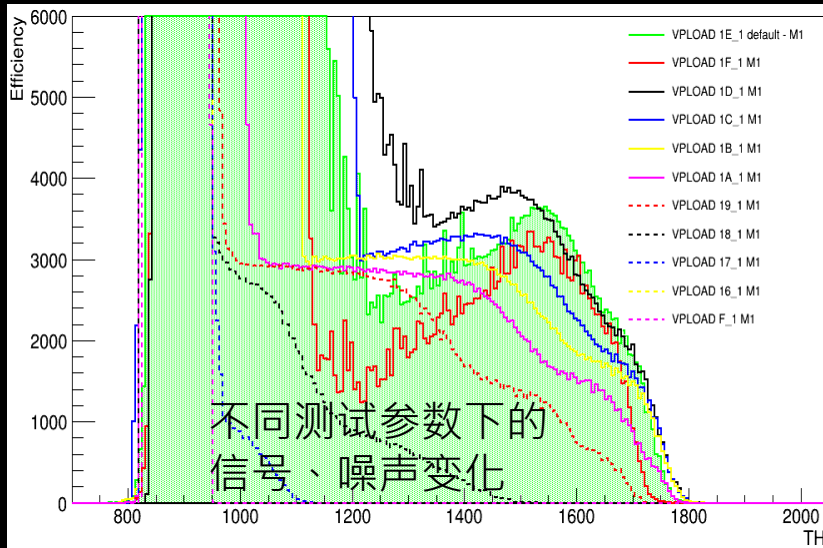


- 计划春节前在高能所洁净间（即将完工）制作首个探测器电气模块！

CMOS硅微条探测器研究



- 使用外部脉冲测试电路观测到明显信号并初步确定芯片稳定工作区域
- 升级与优化系统：硬件（冷却，固定，所需测试元件，仪器），软件（读出方式，测试软件）
- 观察到激光信号，并完成了基于激光信号的前端电子学的优化



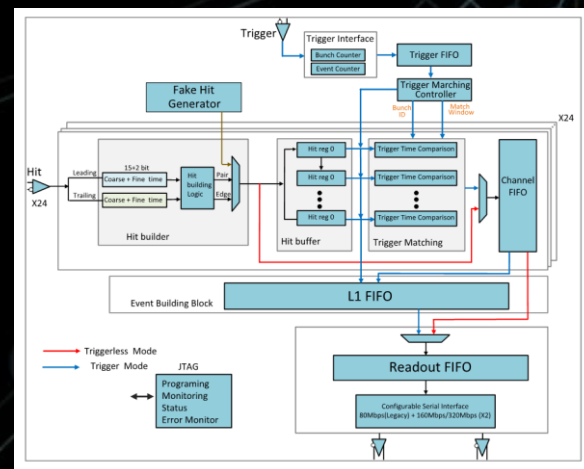
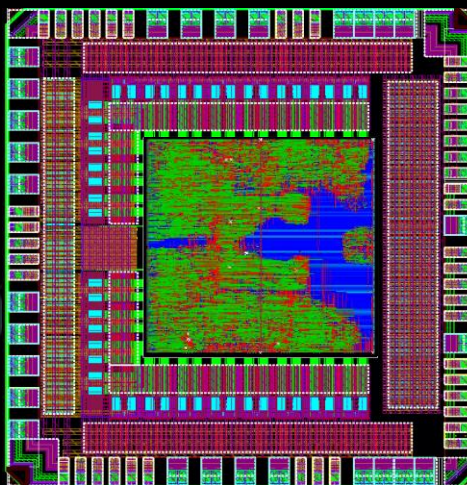
ATLAS : 缪子探测器升级

- 研制高性能窄气隙RPC缪子触发探测器 (计数率高于 $1\text{kHz}/\text{cm}^2$ 、效率高于95%) : 开展探测器模拟研究、完成 $50\times 50\text{cm}^2$ RPC原型探测器制作, 正在进行性能测试。
 - 气隙的RPC气室和读出板面积 $50\text{cm}\times 50\text{cm}$ ($50\text{cm}\times 100\text{cm}$) , 宇宙线平台 : 触发、高压、低压系统 ; 数据获取 : VME系统 + N6742波形采集



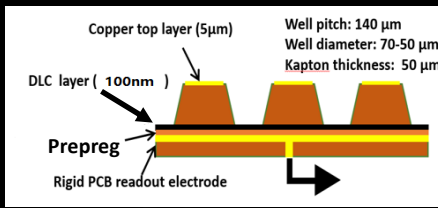
宇宙线平台

- MDT探测器的时间数字转换器 (TDC) : 研究取得阶段性进展和技术突破。目前已完成第一版原理验证设计、测试以及第二版的版图设计。

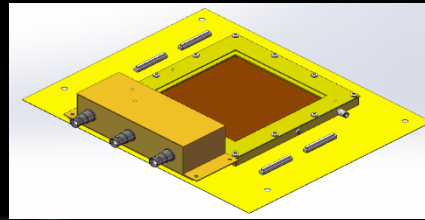


ATLAS : 缪子探测器升级 (续)

- GEM前向缪子探测器研制 : 磁控溅射沉积制作阻性电极DLC薄膜 , 研制单气隙、多气隙GEM探测器

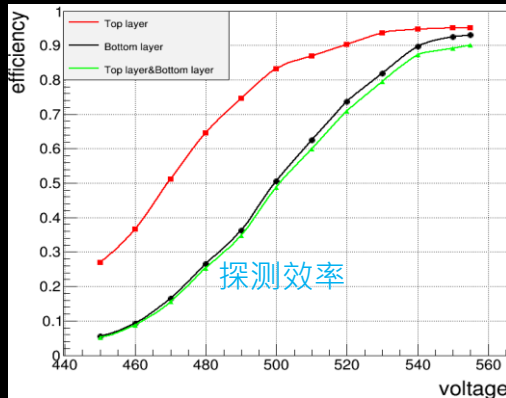


单气隙探测器结构示意图

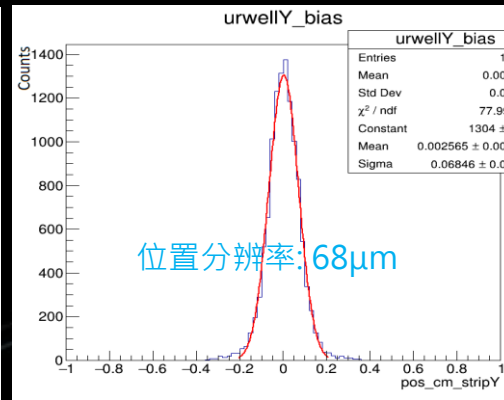


探测器原型外观

单气隙探测器150GeV Muon束流测试结果 :

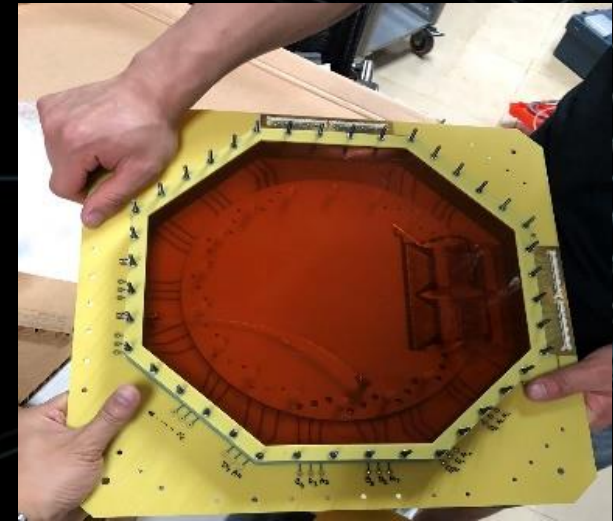


探测效率



位置分辨率: 68 μm

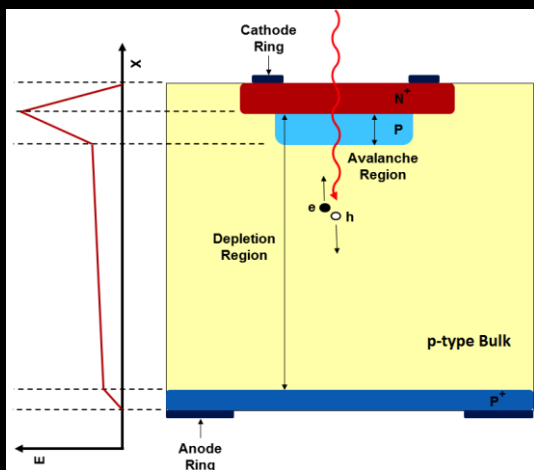
多气隙GEM探测器



使用DLC阻性电极 , 通过刻蚀制作通孔。探测器已组装完成 , 正在测试。

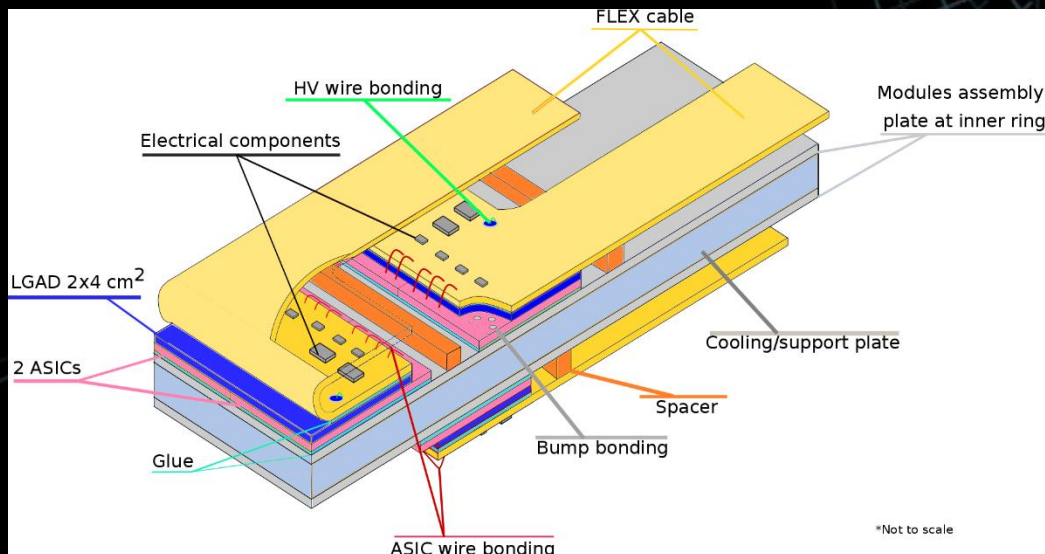
ATLAS : 高颗粒度时间探测器 (HGTD)

- 基于LGAD传感器技术，具备30ps的时间分辨及抗强辐照，有效压低堆积事例，增强探测器前项区域喷注、轻子等重建，重味标记等能力。未来CEPC量能器的候选技术之一。
- 中国组计划参与传感器设计及性能测试、电子学设计等工作，拟承担模块及桶板建造等重要任务

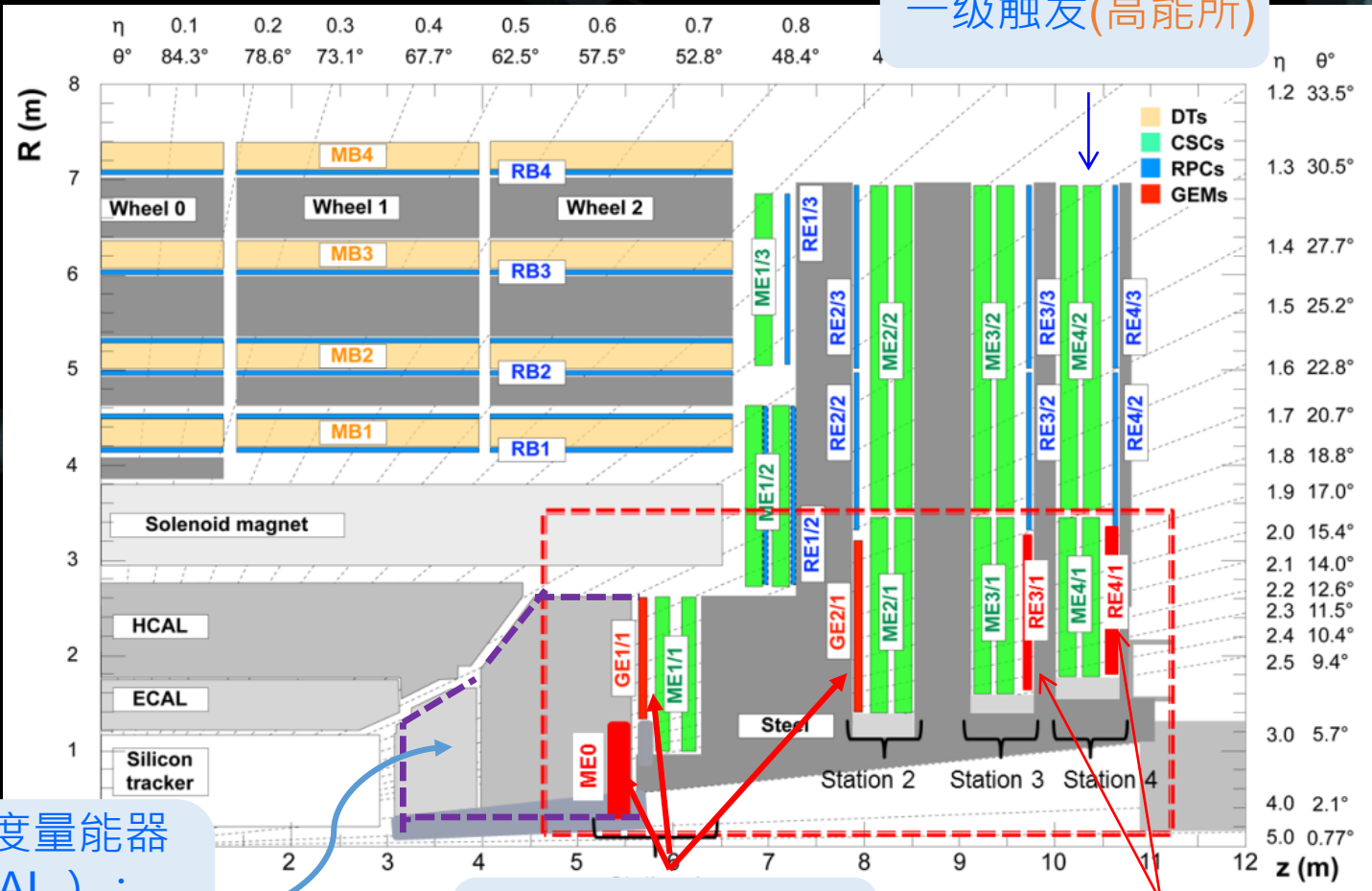


LGAD基本工作原理

HGTD探测器模块结构示意图



CMS升级：中国贡献



高颗粒度量能器
(HGCAL)：
探测器模块建造
(高能所)

端盖缪子探测器：
GEM探测器 (北大)

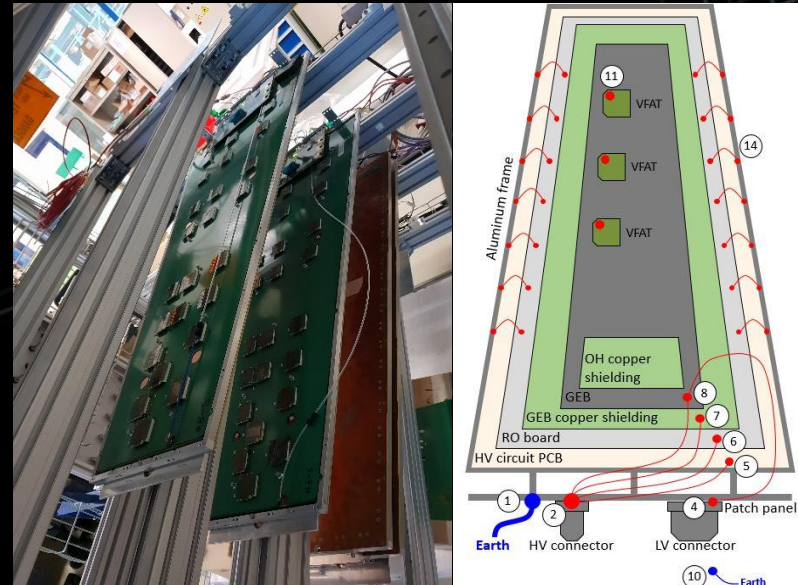
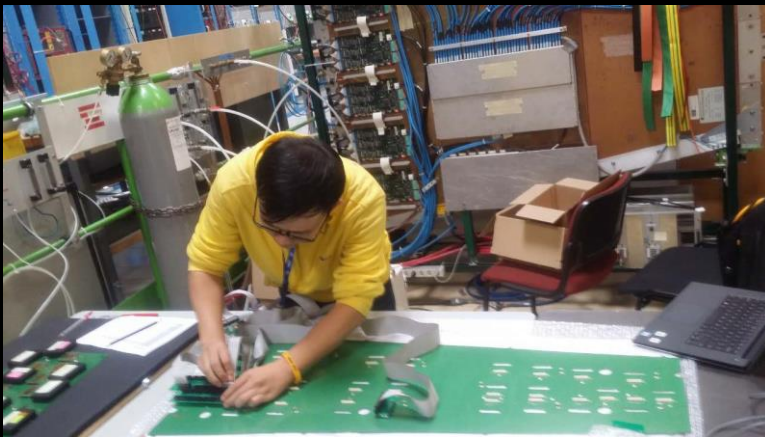
端盖缪子探测器：
mRPC探测器 (清华)

CMS：缪子触发探测器 GEM

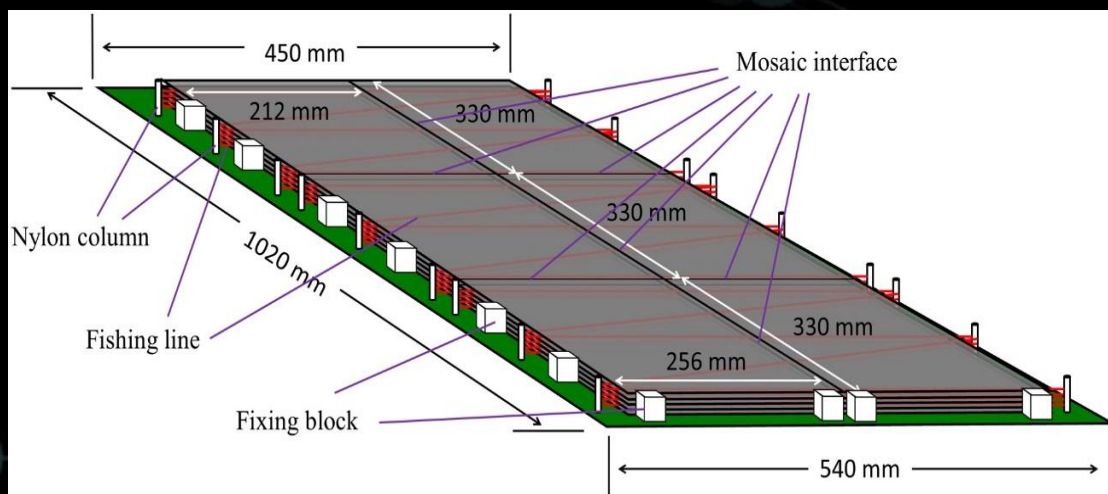
- 设立大面积GEM探测器批量生产及质量控制实验室，完成GEM膜、VFAT芯片测试等QC步骤；2016年LHC冬季停机期间安装5个GE1/1探测器模块，2017年10月联机调试成功。中国生产的前端电子学GEB板运行正常，首次用GEM探测器记录到缪子径迹。
- GEM探测器研制方面开展GEM膜关键技术预研，GEM Super Chamber宇宙线测试装置

GEM Super Chamber宇宙线测试装置

在CERN测试中国生产的GEM-GEB电子板



CMS：缪子触发探测器升级 RPC



解决玻璃拼接，阻抗匹配，信号串扰及传输，探测器宇宙射线及粒子束流测试等关键技术问题

- 成功研制出体电阻达 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的低电阻玻璃，采用稳定有效的拼接方法研制出应用于全尺寸高计数率的MRPC。其时间分辨优于60ps，计数率能力大于 10 kHz/cm^2 ，技术指标达到国际领先水平，并能够很好工作于CMS-RPC工作气体。采用该技术的玻璃RPC探测器也可广泛应用于其它物理实验。

CMS：触发升级

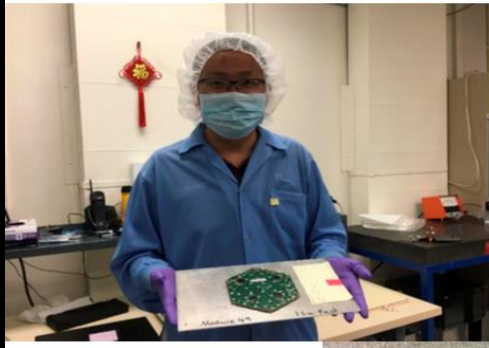
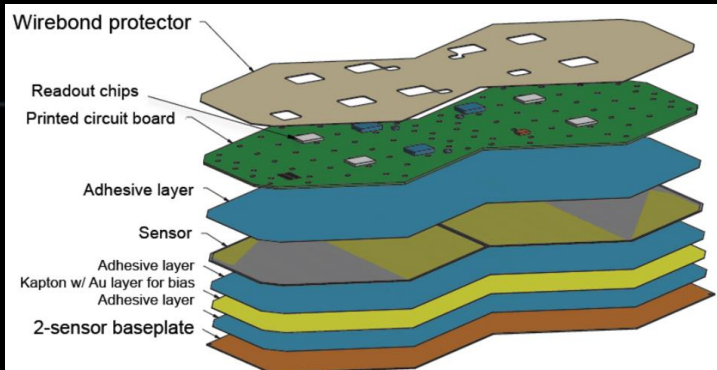
- **Phase I**：中国组研发、建造的**CPPF**系统稳定运行，硬件转入维护运行状态并由高能所负责。完成了**CPPF**系统的数据验证，并代表合作组在**RT2018**国际会议进行了数据分析结果的报告。
- **Phase II**：正在讨论重新设计基于**ATCA**标准的新**RPC**触发条件的**CPPF**插件，同时加入快控制、慢控制以及**DAQ**等功能，研制新的通用后端电子学触发功能插件。计划进行原理样机研制，负责**iRPC**后端电子学及触发的研发和建造。



CMS : 高颗粒度量能器 (HGICAL)

- PFA量能器，未来量能器的技术选项，实现高时间分辨 (50ps)、能量分辨 ($25\% / \sqrt{E} \oplus 1\%$) 及强抗辐照性能 ($1 \times 10^{16} \text{ 1 MeV } n_{eq}/\text{cm}^2$)；
- 高能所承担任务：建立硅模块生产中心，可能生产20%的模块

HGICAL模型结构示意图



模块制作
@UCSB



项目协调、学术交流

- 项目例会、研讨会（夏季）、CLHCP（冬季）

Thursday, June 28, 2018

2017年威海升级研讨会

- 08:00 - 09:00 会议注册
- 09:00 - 09:15 会议开幕致辞 15'
- 09:15 - 09:30 科技部/基金委代表发言 15'
- 09:30 - 10:30 升级项目进展汇报 I
Convener: Prof. 存峰 冯 (山东大学)
- 09:30 【课题进展汇报】ATLAS 硅径迹探测器升级进展 30'
Speaker: Xin Shi (IHEP)
Material: [Slides](#)
- 10:00 【课题进展汇报】ATLAS 缪子探测器升级进展 30'
Speaker: Dr. 勇杰 孙 (中国科学技术大学)
Material: [Slides](#)
- 10:30 - 11:00 茶歇
- 11:00 - 12:00 升级项目进展汇报 II
Convener: Prof. 存峰 冯 (山东大学)
- 11:00 【课题进展汇报】CMS 缪子探测器升级进展 30'
Speakers: Prof. Yong Ban (Peking University), Prof. Wang Yi (Tsinghua University)
Material: [Slides](#)
- 11:30 【课题进展汇报】: CMS量能器和触发升级进展 30'
Speakers: ZHANG Huaqiao, Prof. Zhen An LIU Zhenan (IHEP)
Material: [Slides](#)
- 12:00 - 14:00 午餐
- 14:00 - 15:40 电子学研究进展
Convener: Dr. Hongbo ZHU (IHEP)
- 14:00 Development of sensor and ASIC for ATLAS ITk strip upgrade 20'
Speaker: Dr. Weiguo Lu (IHEP)
Material: [Slides](#)
- 14:20 ATLAS RPC tracking chamber 升级项目的电子学进展 20'
- 14:40 CMS-GEM探测器前端电子学板GEB的设计和生 20'
Speaker: 薛志华 (PKU)
Material: [Slides](#)
- 15:00 CPPF系统运行现状及数据分析验证 20'
Material: [Slides](#)
- 15:20 LHCb SciFi电子学工作进展 20'
Speakers: Dr. Ming Zeng (Tsinghua University), Dr. Zhenwei Yang (Tsinghua University,

16:30 CMOS Strip Sensor for the ATLAS ITk Upgrade 20'

Speaker: HAN Yubo
Material: [Slides](#)

16:50 ATLAS Phase-II升级RPC研究进展 20'

Material: [Slides](#)

17:10 Progress of high resolution TOF system 20'

Speaker: Prof. Wang Yi (Tsinghua University)
Material: [Slides](#)

17:30 HGCal宇宙线和束流测试 20'

Material: [Slides](#)

17:50 GEM探测器的批量生产和质量控制 20'

Speaker: 梁子寒 (PKU)
Material: [Slides](#)

19:00 - 21:00 晚宴

Friday, June 29, 2018

09:00 - 10:50 探测器研究进展 II

Convener: ZHANG Huaqiao

09:00 EUDAQ and EUTElescope development 20'

Speaker: Mr. Liejian Chen (IHEP)
Material: [Slides](#)

09:20 ATLAS前向缪子探测器升级工作进展 20'

Speaker: Dr. Jianbei Liu (University of Science and Technology of China)



总结与展望

- 面向高亮度LHC升级，ATLAS及CMS实验将对探测器进行升级，保持甚至提高探测器性能，充分挖掘物理潜力。
- 中国组积极参加ATLAS、CMS探测器，承担重要任务。培养人才、打破禁运，推动我国在这些关键材料、技术和方法的发展。
- 目前各项升级任务进展顺利，在科技部重点研发计划资助下开展关键技术预研及小批量生产。积极寻求基金委等支持，完成所承担的最终任务。