赵忠尧博士后奖学金答辩报告

刘圳
单位：中国科学技术大学近代物理系
合作导师：李澄 教授

个人简介及研究方向

- 2009.9 – 2013.6 兰州大学 辐射防护与环境工程 工学学士
- 2013.9 – 2018.6(预) 中国科学技术大学 （直博）理学博士
- 2015.11 – 2017.9 获国家留学基金委公派留学奖学金资助，派往美国布鲁克海文国家实验室STAR国际合作组，作为联合培养博士研究生。

➢ **主要研究工作：**

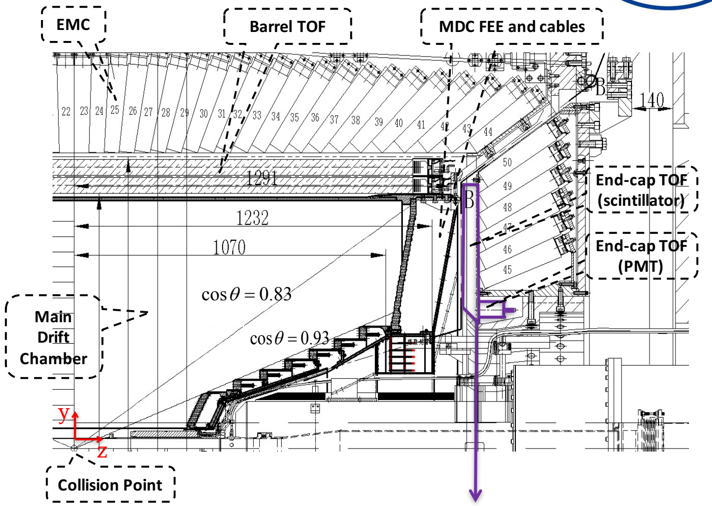
1. BESIII-ETOF升级改造工程MRPC质量控制和检测
2. 参与STAR实验数据分析以及缪子探测器（MTD）运行期间维护工作
3. 200 GeV 质子-质子对撞中J/ψ极化度的实验研究

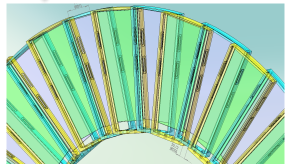
1、高时间分辨MRPC：BESIII端盖TOF升级

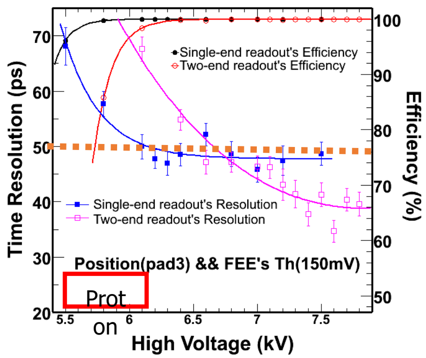
- 升级ETOF可以提高BESIII谱仪在τ-charm能区的物理测量精度
- 针对BESIII-ETOF性能改进需求，经过预研，决定用本征时间分辨更好的MRPC替换原有的塑闪光电倍增管探测器。
- 由2x36 MRPC楔形模块构成，采用双端读出，读出电子学1728路。BESIII-TOF组(科大和高能所)紧密合作，共同完成。
  - 关键指标:
    - MRPC本征分辨(包含电子学)<55ps
    - (非ToF贡献:50ps)

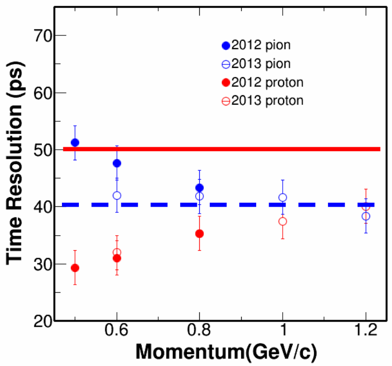
→ 总分辨 <80ps

π/K 分辨达到1.4 GeV/c (2σ)

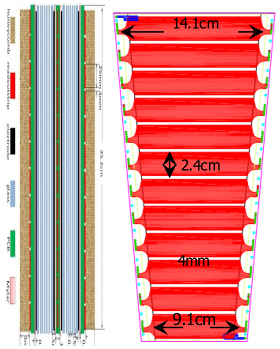








- 束流测试:
  - 高探测效率，长稳定坪，性能稳定
  - 对最小电离粒子时间分辨小于50ps
- 2014年9月通过了批量生产前的专家评审，开始工程建造

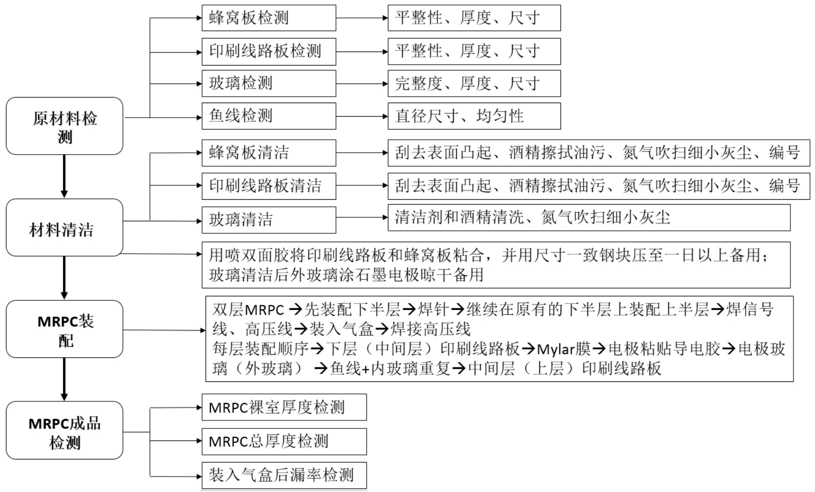


国家自然科学基金和中国科学院大科学装置维修改造项目支持

BESIII-ETOF升级MRPC批量生产

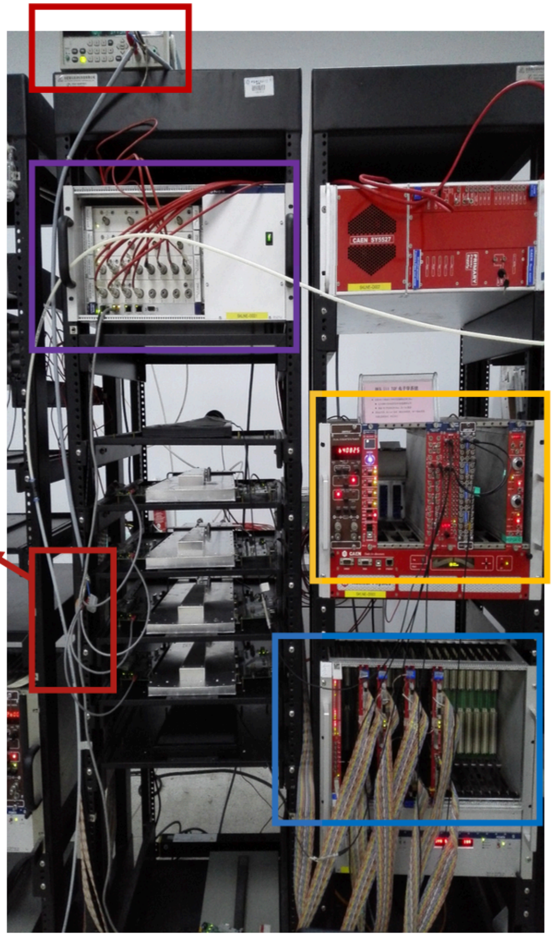
➢本人负责并参与全部MRPC模块制作、产品质量检测

- 按时、高质量完成生产工作；
- 性能全部达到设计要求



宇宙线测试平台搭建

低压直流电源

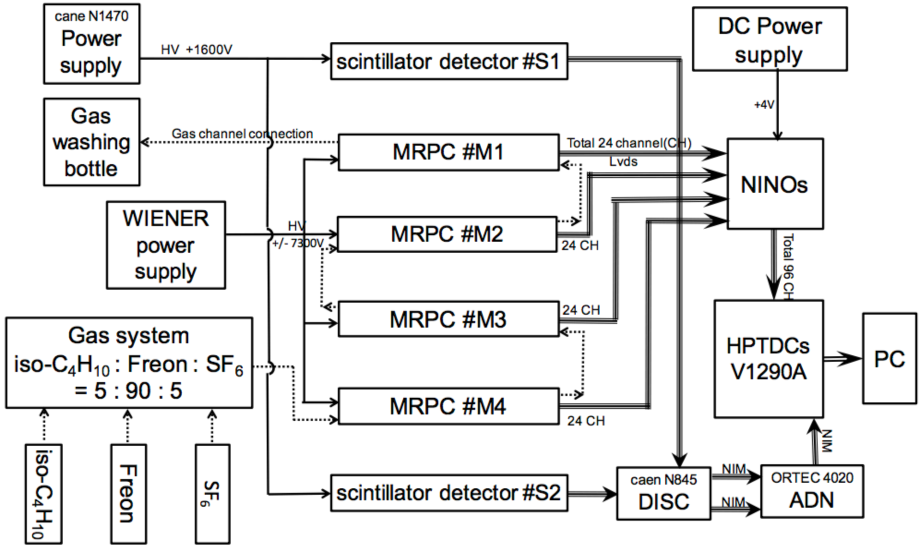


配气仪

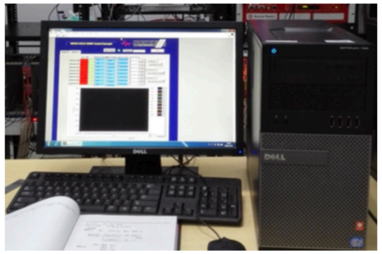
winner高压电源

接线头

测试逻辑图



winner高压电源PC控制端labVIEW界面



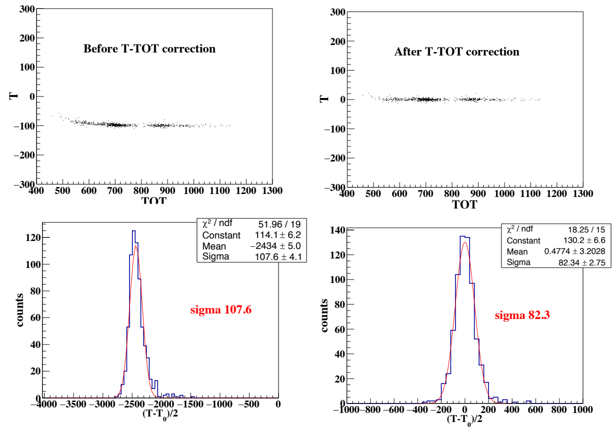
TDC读数数据获取labVIEW界面

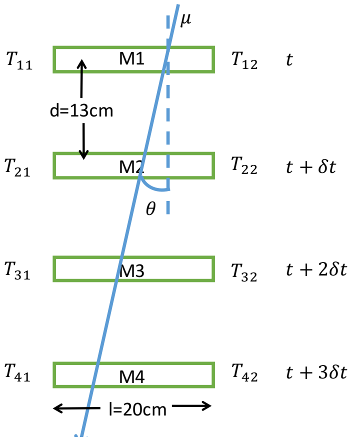
研究批量测试中刻度方法

- 宇宙线测试时间分辨修正
  - 前沿定时误差：TOT修正
  - 宇宙线能量连续谱动量分散：

    使用4层MRPC自校准方法

TOT时间分辨修正

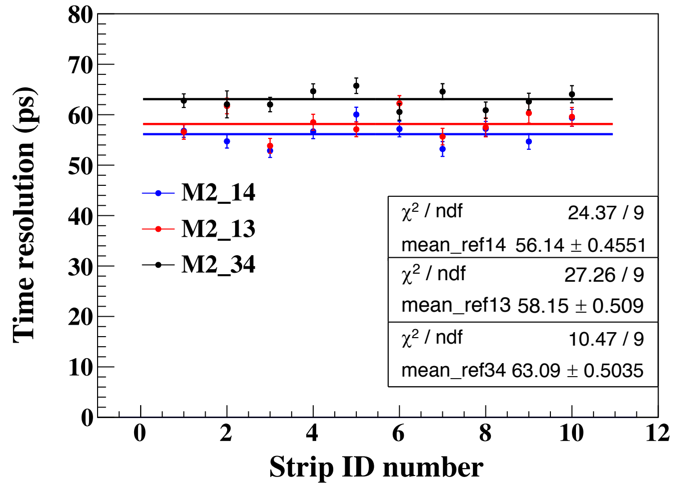




宇宙线动量分散引入时间分辨修正分析

Calculated MRPC	T0 components
M1	M2, M3
M2	M3, M4
M3	M1, M2
M4	M2, M3

宇宙线动量分散引入时间分辨修正



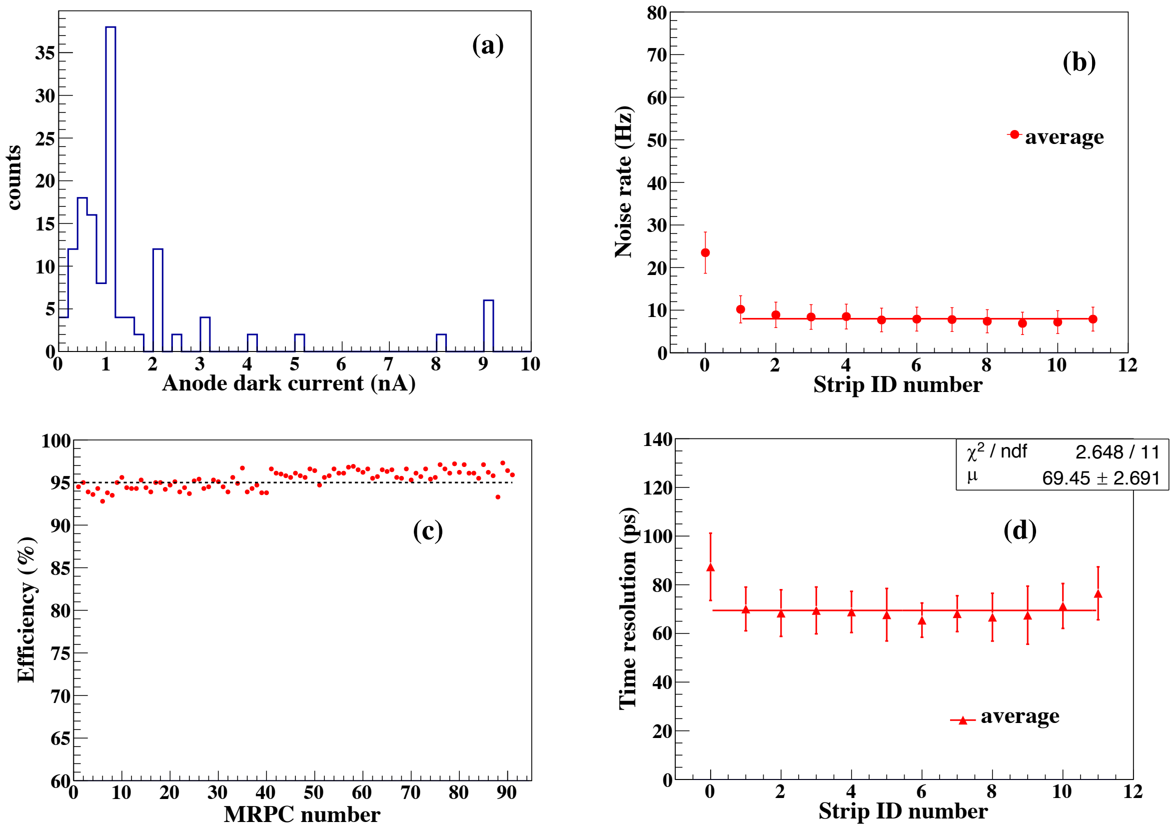
$$\sigma^2_{\left(T'_{M2}-\frac{T'_{M1}+T'_{M4}}{2}\right)} - \sigma^2_{\left(\frac{T'_{M1}-T'_{M4}}{2}\right)} = \sigma^2_{\left(T_{M2}-\frac{T_{M1}+T_{M4}}{2}\right)} - \sigma^2_{\left(\frac{T_{M1}-T_{M4}}{2}\right)} - 2\sigma^2_{(\delta t)}$$

$$\sigma^2_{\left(T'_{M2}-\frac{T'_{M1}+T'_{M3}}{2}\right)} - \sigma^2_{\left(\frac{T'_{M1}-T'_{M3}}{2}\right)} = \sigma^2_{\left(T_{M2}-\frac{T_{M1}+T_{M3}}{2}\right)} - \sigma^2_{\left(\frac{T_{M1}-T_{M3}}{2}\right)} - \sigma^2_{(\delta t)}$$

$$\sigma^2_{\left(T'_{M2}-\frac{T'_{M3}+T'_{M4}}{2}\right)} - \sigma^2_{\left(\frac{T'_{M3}-T'_{M4}}{2}\right)} = \sigma^2_{\left(T_{M2}-\frac{T_{M3}+T_{M4}}{2}\right)} - \sigma^2_{\left(\frac{T_{M3}-T_{M4}}{2}\right)} + 2\sigma^2_{(\delta t)}$$

批量测试结果

➢ 阳极漏电流、噪声计数率、探测效率、时间分辨率达到设计指标



➢ MRPC测试指标：

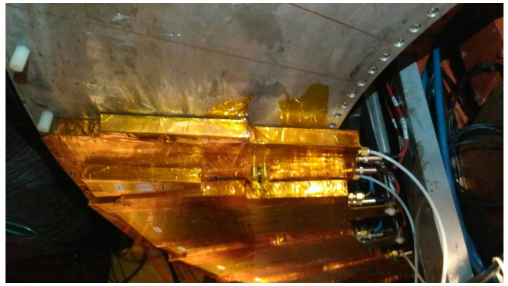
- 阳极漏电流 < 10nA
- 噪声计数率 < 10 Hz
- 效率 > 95%
- 修正后时间分辨 ~ 60ps

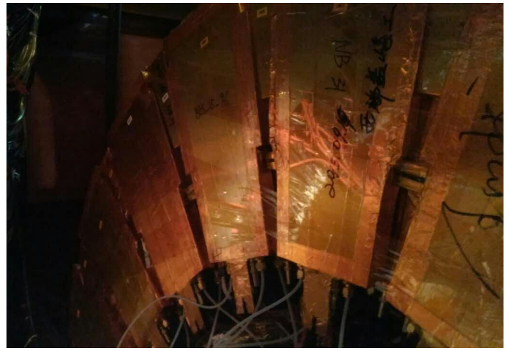
$$\sigma_{\mathrm{i}} = \sqrt{\sigma_{\exp}^{2} - t_{0} \cdot \sigma_{\delta t}^{2} - \sigma_{e}^{2}}$$

$$= \sqrt{70^{2} - 2\times15^{2} - 25^{2}} \approx 62ps$$

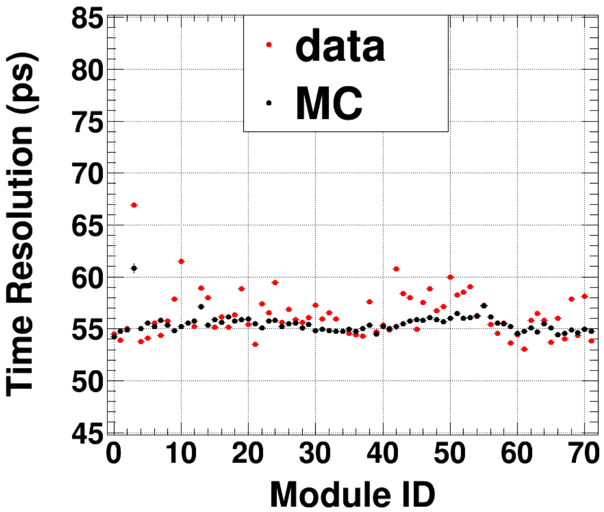
ETOF升级圆满成功

- 2016年完成升级工程，开始运行
  - 运行结果：Bhabha 事例 σt < 60 ps；强子事例 σt < 70 ps
  - 探测效率～90%
  - 系统时间分辨优于 70 ps
  - 探测器有效面积上，性能一致

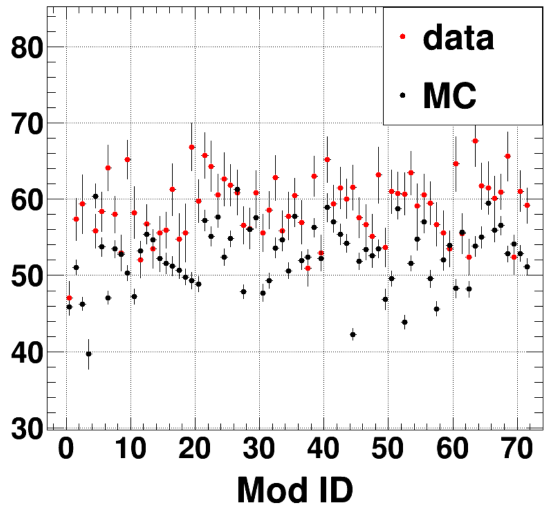




Bhabha事例



强子事例



在2016年6月王乃彦院士等专家组进行的工艺测试评审中，给出了具有“世界领先水平”的高度评价。

发表主要文章

➢ 代表性文章：

- **Z.Liu**, et al. Quality control and batch testing of MRPC modules for BESIII ETOF upgrade, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 874C (2017) pp. 12-18 https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.08.021

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 874 (2017) 12–18

Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima

ELSEVIER

Quality control and batch testing of MRPC modules for BESIII ETOF upgrade

CrossMark

Z. Liu[a,b,*], X. Li[a,b,*], Y.J. Sun[a,b], C. Li[a,b], Y.K. Heng[b,c], T.X. Chen[a,b], H.L. Dai[b,c], M. Shao[a,b], S.S. Sun[b,c], Z.B. Tang[a,b], R.X. Yang[a,b,c], Z. Wu[a,b,c], X.Z. Wang[a,b,c]

[a] Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China
[b] State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics (USTC-IHEP), China
[c] Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

ARTICLE INFO

Keywords:
MRPC
ETOF
Mass production
Batch testing
Quality control
Time resolution

ABSTRACT

The end-cap time-of-flight (ETOF) system for the Beijing Spectrometer III (BESIII) has been upgraded using the Multi-gap Resistive Plate Chamber (MRPC) technology (Williams et al., 1999; Li et al., 2001; Blanco et al., 2003; Fonte et al., 2013, [1–4]). A set of quality-assurance procedures has been developed to guarantee the performances of the 72 mass-produced MRPC modules installed. The cosmic ray batch testing show that the average detection efficiency of the MRPC modules is about 95%. Two different calibration methods indicate that MRPCs' time resolution can reach 60 ps in the cosmic ray test.

Radiat Detect Technol Methods (2017) 1:13
DOI 10.1007/s41605-017-0014-2

CrossMark

ORIGINAL PAPER

Study of MRPC technology for BESIII endcap-TOF upgrade

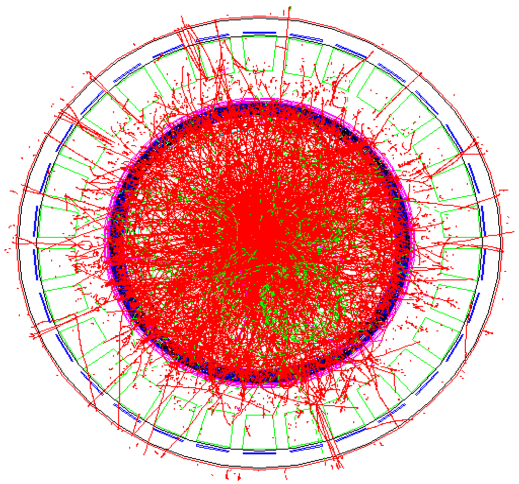
Xin Li[1,3] · Yongjie Sun[1,3] · Cheng Li[1,3] · Zhen Liu[1,3] · Yuekun Heng[2,3] · Ming Shao[1,3] · Xiaozhuang Wang[1,3] · Zhi Wu[2,3] · Ping Cao[1,3] · Mingming Chen[2,3] · Hongliang Dai[2,3] · Shubing Liu[1,3] · Xiaolan Luo[2,3] · Xiaoshan Jiang[2,3] · Shengsen Sun[2,3] · Zebo Tang[1,3] · Weijia Sun[1,3] · Siyu Wang[1,3] · Meihang Xu[2,3] · Rongxing Yang[1,3] · Kejun Zhu[2,3]

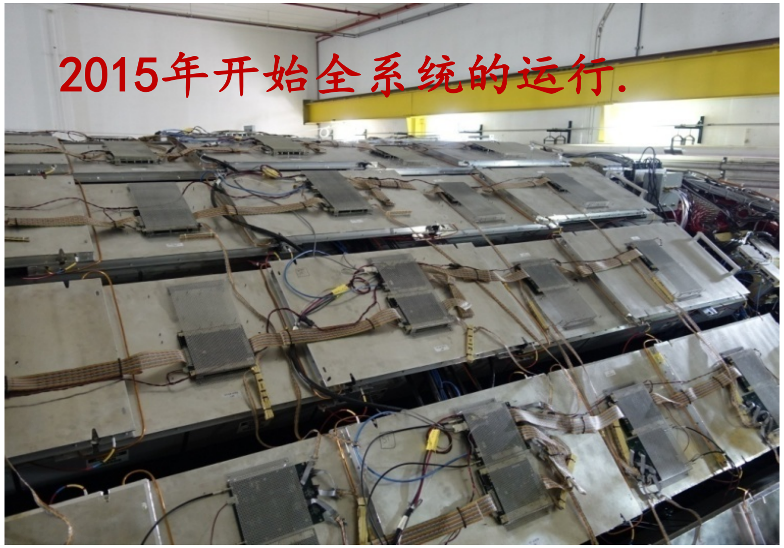
Received: 4 May 2017 / Revised: 14 June 2017 / Accepted: 15 June 2017

➢ **2017.12 核探测与核电子学国家重点实验室（科大部）研究生技术创新奖二等奖。**

2、参与STAR-MTD运行维护

- STAR的缪子探测器（Muon Telescope Detector, MTD）位于谱仪的最外层，利用磁铁的轭铁作为吸收体，采用长读出条的多气隙电阻板(LMRPC)探测阵列，通过LMRPC对带电粒子的高精度时间和位置测量，与TPC的动量测量和外推径迹进行匹配，实现对缪子的鉴别并排除强子本底。
  - 参与MTD运行期间的维护工作，担任过MTD on call expert。MTD系统在2016、2017年运行期间工作稳定，完成预计取数目标。

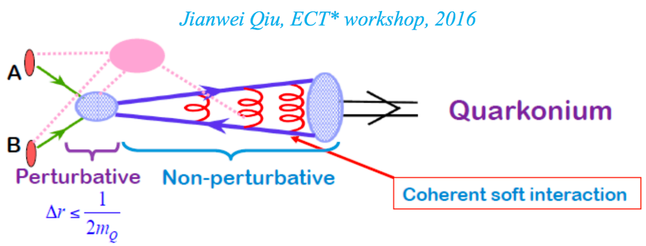




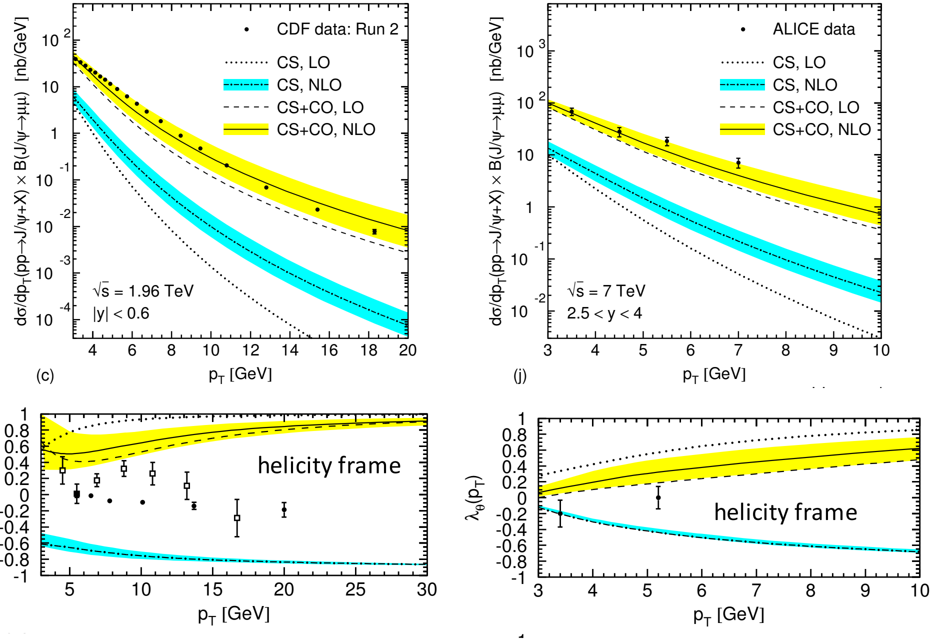
STAR的缪子探测器（Muon Telescope Detector, MTD）原型由科大设计，并负责部分探测器模块生产，获得国家自然科学基金国际合作重点项目资助.

3.RHIC-STAR质子质子对撞J/ψ极化度的测量

➢研究背景：



- 利用粲夸克偶素的产生机制研究 QCD 理论
- 对产生-强子化过程：缺乏完整理论描述



- J/ψ产生机制可以通过测量产生截面来研究，相似的产生截面的理论估计却有不同极化度的预期
- 不同实验组探测器具有接收度的局限性
- 新数据的测量非常有必要，能够给理论计算 供实验参照

J/ψ极化度的测量中分析方法

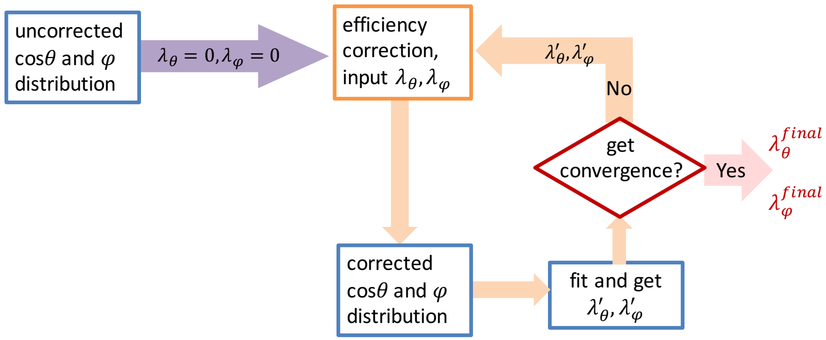
➢ 研究方法：

$$Br(J/\psi \to e^{+} + e^{-}) = (5.94 \pm 0.06)\%$$

$$Br(J/\psi \to \mu^{+} + \mu^{-}) = (5.93 \pm 0.06)\%$$

Analysis

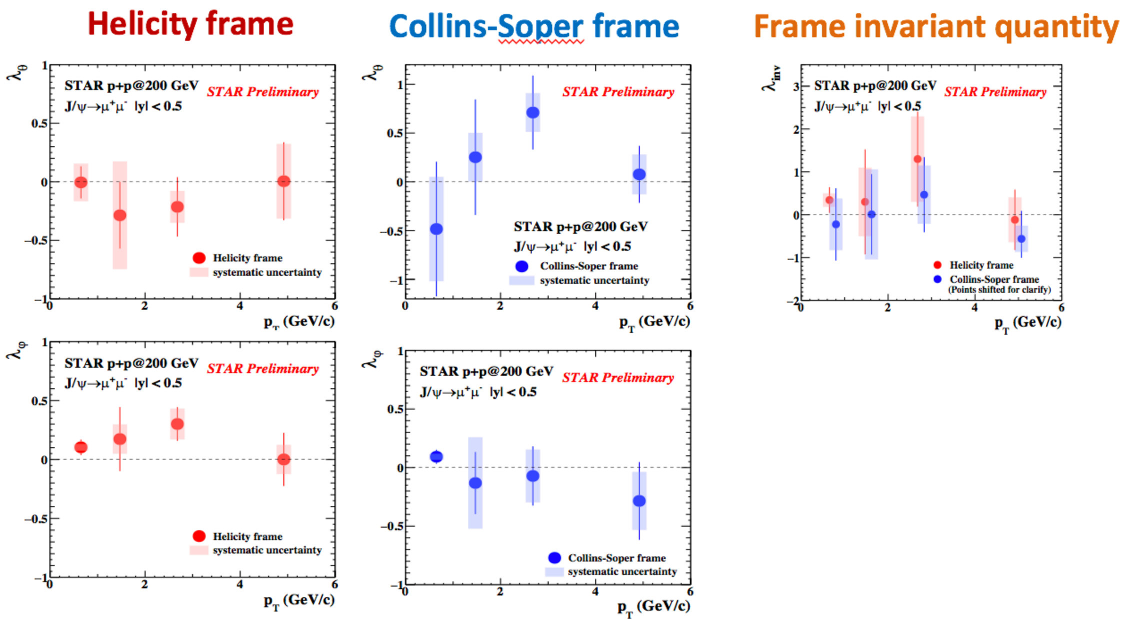
Data	Embedding
Polarized (unknown)	
Acceptance*efficiency	*Acceptance*efficiency*



- 极化参数无法预知情况，效率修正困难
- STAR探测器局限性
  - 有限的统计量
  - MTD接收度
- 蒙特卡洛模拟可行性研究
  - 考虑真实探测器接收度和探测效率
  - 迭代法效率修正
  - 现有实验统计

获得重要研究成果

➢ 研究结果：



- 首次利用MTD测量的缪子信息完成了在J/ψ 0 < p_T < 5 GeV 区间在两个参考系（Helicity and Collins-Soper frame）的极化参数$\lambda_\theta, \lambda_\varphi$的测量。没有观测到明显的极化，两个参考系的结果具有一致性（λ_{inv}一致）
- 实验测量结果覆盖了从低横动量区间的较大的运动学区间，可以给理论研究提供参考。

有关文章及国际会议报告

- THE XIII WORKSHOP ON RESISTIVE PLATE CHAMBERS AND RELATED DETECTORS (RPC2016). Feb 22 to 26,2016, Ghent university, Belgium;
- The 21st in the series of triennial conferences which bring together the Particle and Nuclear Physics communities (PANIC2017). Sept.1 to 5, 2017, Beijing. Parallel talk;
- The Third China LHC Physics Workshop (CLHCP 2017). 22-24 December 2017, Nanjing University. Parallel talk

○ Measurements of J/ψ production and polarization in p+p and p+Au collisions at √sNN = 200 GeV with the STAR experiment, (PANIC2017) , International Journal of Modern Physics: Conference Series

○ Measurements of J/ψ polarization in p+p collisions at √s = 200 GeV through the dimuon channel in STAR, 已完成合作组 Analysis Note,和 preview, 拟投稿于 Physical Review D.

博士后期间研究计划

- 继续参与重离子物理实验数据分析；
- 计划加入ATLAS Phase-II升级Muon探测器研究项目，该项目属于科技部重点研发计划《大型强子对撞机实验探测器升级——ATLAS缪子探测器升级》。针对升级需要，计划开展新型窄气隙RPC研制；
- 针对国内外高能物理实验发展趋势，积极参与新的实验项目预研（如CEPC，HIEPA，LHC实验升级等），不断提高研究水平，为国家科技发展做出个人贡献。

谢谢各位评委和老师！