

---

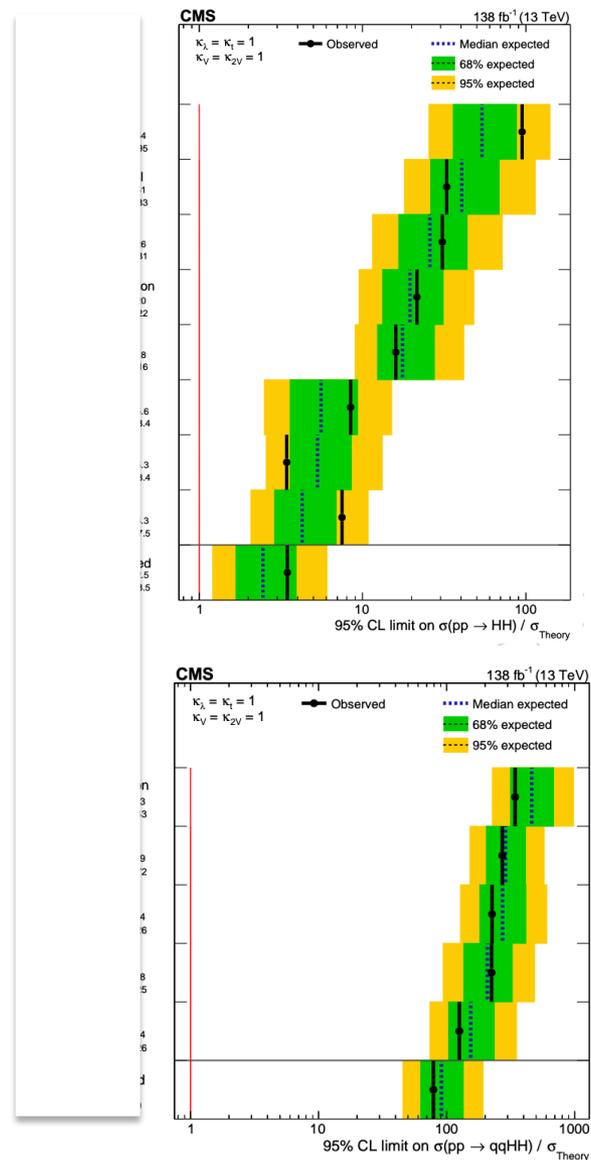
# 2023-2024年度考核报告

王锦

2024-11-20

# 岗位任务：双希格斯联合测量希格斯自耦合

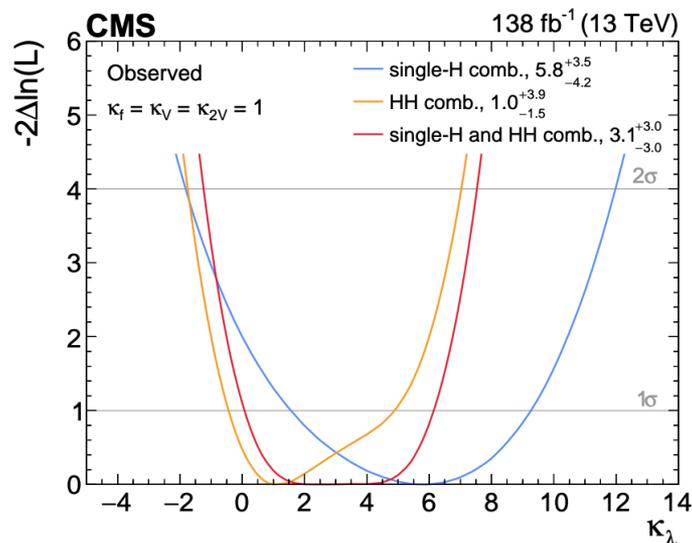
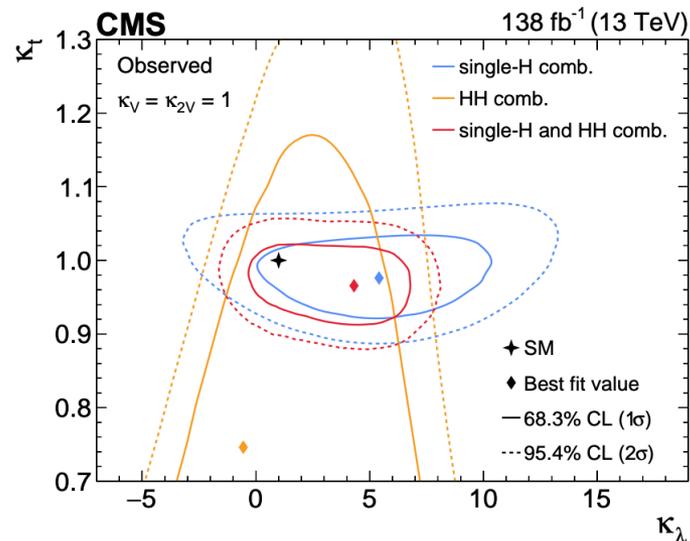
- 利用所有可用的HH衰变道进行联合统计分析以最大化提高HH测量精度
  - 直接测量希格斯自耦合，检验标准模型与新物理模型
  - 粒子物理研究热点与重心，竞争激烈
- **CMS 双希格斯组召集人 (2024-2026)**
  - 联系协调双希格斯各衰变道
  - HH信号模型研究
  - 统计分析工具的开发
  - 统计结果产生以及检验
  - 理论诠释研究
- **多衰变道双希格斯联合分析文章**
  - 已完成合作组审核
  - 预计2025年Moriond发表





# 岗位任务：单希格斯双希格斯产生联合测量

- H+HH联合测量约束希格斯自耦合
  - 希格斯自耦合 $k_\lambda$ 将影响希格斯产生总截面以及微分截面的NLO电弱修正
  - 可以利用单希格斯产生来间接约束希格斯自耦合强度 $k_\lambda$
  - H+HH联合测量可以减少模型依赖，提高自耦合 $k_\lambda$ 测量的灵敏度
- 已经发表PAS，文章已提交PLB
  - CMS-PAS-HIG-23-006
  - **本团队主要贡献**，前博士后在职期间完成主要工作担任分析联系人，高能所学生做揭盲审核报告
  - **主导完成单希格斯过程 $k_\lambda$ 模型研究文章**
    - 文章支持文档，发表为[LHCHWG-2022-002](#)
    - 本团队博士后为联系人，审核报告

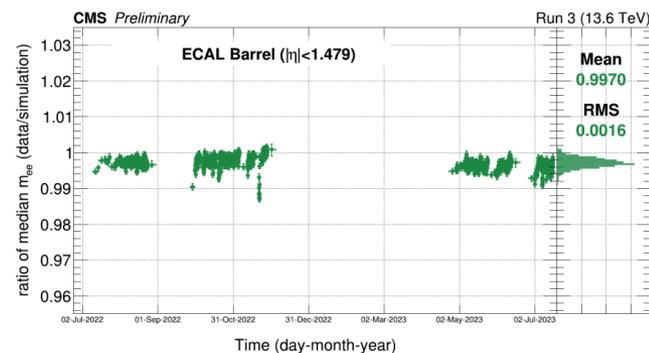
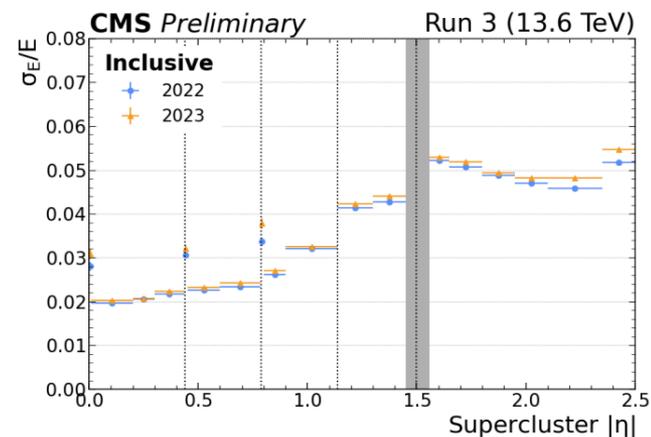


# 岗位任务： $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$ 与 $HH \rightarrow WW\gamma\gamma$ 新物理研究

- 全新的 $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$ 衰变道高质量共振态新物理寻找
  - CMS实验首次此末态高质量共振态寻找
  - 双希格斯测量最灵敏的物理道之一
  - 主要分析工作已完成，2025年初发表
  - 本人主导此分析，分析联系人
- 利用全部RUN2数据 $HH \rightarrow WW\gamma\gamma$ 共振态分析
  - CMS实验上未被研究的HH共振态物理道
  - 干净的信号以及相对较大的衰变分支比
  - 主要分析工作已完成，2025年初发表
    - 参与团队：陈明水（主要）、本人团队、陶军全
  - 本人主持CMS  $HH \rightarrow WW\gamma\gamma$ 组工作（2022-2024）

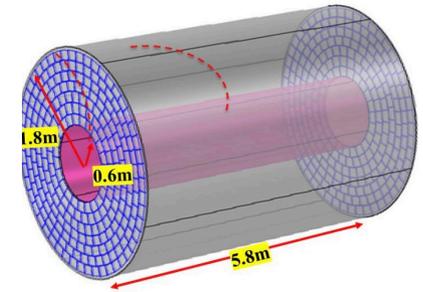
# 岗位任务： CMS探测器电磁量能器工作

- 本人为CMS实验二级协调人，主持电磁量能器性能研究（2023年至2025年）
  - 负责CMS Run2/Run3电磁量能器刻度关键任务与性能研究，发表性能研究文章
  - 掌握探测器刻度和性能优化核心技术，开发在线性能监控工具及高效自动化刻度软件
  - 协调联系量能器运行、触发及未来升级
  - 更新维护CMS探测器数据库
- 2024年CMS电磁量能器Run 2性能研究文章
  - JINST 19 (2024) P09004
  - 重要贡献，主要性能结果产生，性能组召集人(2023-2025)，刻度组召集人（2022-2023）
- 2024年CMS电磁量能器Run3性能研究文集
  - CMS DP-2024/022 主要贡献，审核报告



# CEPC像素化时间投影室 (TPG) 升级工作

- 时间投影室 (TPC) 是 CEPC 中的气体探测器，用于粒子鉴别 (PID) 和轨迹跟踪
  - 提供高精度 3D 轨迹测量。
  - 能有效重建长轨迹并识别不同粒子。
  - 在低动量情况下表现突出。
  - 平衡物理性能与成本。
- 升级内容：
  - 采用像素化 TPC，读出单元从  $1 \times 6 \text{mm}$  的 pad 缩小到  $0.5 \times 0.5 \text{mm}$  的像素，提升了粒子识别能力。
  - 单次漂移时间分辨率为  $5 \text{ ns}$ ，命中点从  $\sim 200$  提升到  $\sim 2000$ 。
- 主要工作内容 (博士后负责)：
  - 为像素化 TPC 的升级实现新的模拟、数字化算法。
  - 优化像素 TPG 的性能
    - 研究在重建前合并着火点，解决更多像素带来的径迹劈裂问题
    - 在低  $p_T$  区域，基于 ML 的合并比使用平均多层击中的效果更好。
    - 通过优化算法，预计将提高重建后的径迹性能
  - 新的数字化算法的输出可为未来的粒子 ID 研究提供输入



# 机器学习技术研究及在 高能物理中的应用

## 图卷积网络 (GCN) 在 CEPC 像素化 TPC 中的应用

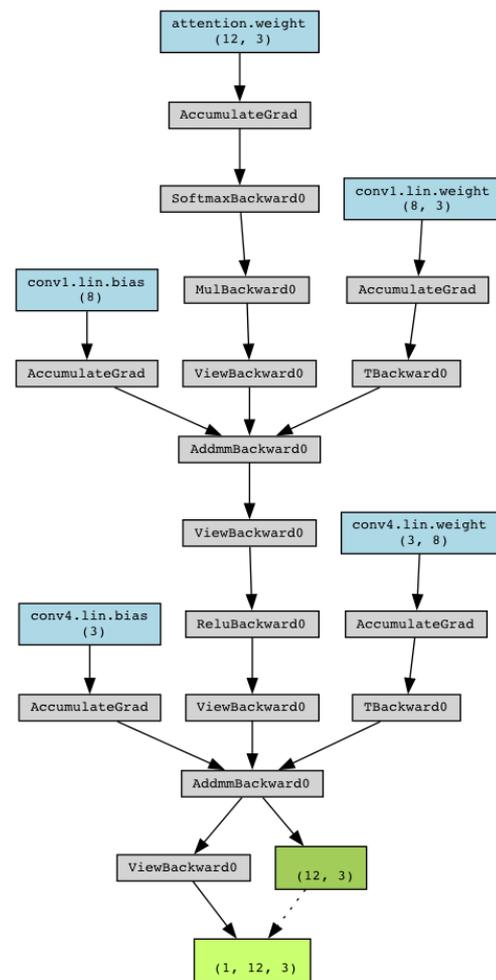
- 像素化 TPC 的升级，数据密度显著提高，同时也带来了扩散效应和命中点过多的问题。
  - 高密度命中点易因扩散效应导致轨迹分裂，传统方法难以处理。
- ML 方法：通过 GCN 模型对多层数据进行智能聚合，可显著增强噪声数据的处理能力，改善轨迹重建在高扩散环境下的表现。
- 性能提升：
  - 在低动量区域（如  $p_T < 5 \text{ GeV}$ ），ML 方法相比传统平均法显著提高了轨迹重建精度。
  - 解决了轨迹分裂问题，改善了整体分辨率

## 基于图形神经网络的量能器聚类算法研究

- 欧洲物理协会高能物理会议海报 [EPS2023 poster](#) (王锦)

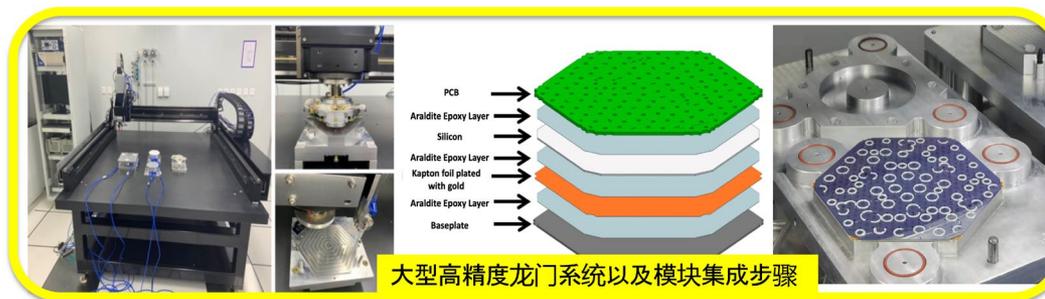
## 研究应用前沿生成型机器学习技术以快速、准确地探测器模拟

- 参与机器学习所创新项目 (方亚泉) 及高能所机器学习创新组工作



# 高粒度量能器模块组装生产与测试

- 高粒度量能器模块组装与测试
  - 承担高能所高粒度量能器模块生产绑定封装任务（博士后和学生）
  - 培训新成员进行电子测试
- 后期装配中封装与测试工作
  - 负责建立温度循环测试的实验环境和测试设备，确保组件在不同温度条件下的稳定性和可靠性（博士后）



HGCal硅模块  
制作流程

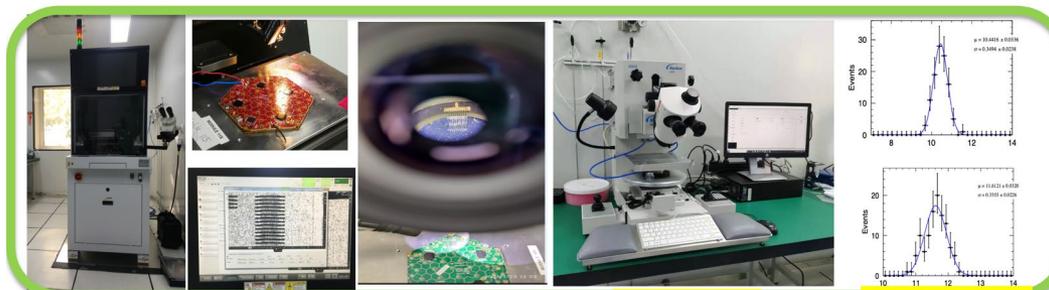
元器件/半成  
品质量控制

硅模块集成

绑定

封装

测试



全自动绑定机及绑定效果图

拉力测试仪

拉力测试结果

# 文章发表

- 2024年已发表和将发表的成果

- 已发表成果七篇

- 双希格斯共振态联合测量文章, [arXiv:2403.16926](https://arxiv.org/abs/2403.16926), accepted by Physics Report
  - 主要贡献, 审核报告
- 双希格斯单希格斯联合测量文章, [arXiv:2407.13554](https://arxiv.org/abs/2407.13554), submitted to PLB
  - 主要贡献, 联系人 (前博士后), 揭盲报告, 发表技术支持文章
- CMS 电磁量能器 Run2 性能文章, [JINST 19 \(2024\) P09004](https://arxiv.org/abs/2407.13554)
  - 重要贡献, 主要结果产生, 召集人
- CMS 电磁量能器 Run3 性能结果, [CMS-DP-2024-022](https://arxiv.org/abs/2407.13554)
  - 主要贡献, 审核报告
- 其它有直接重要贡献的文章三篇
  - Run2 cH, Hgg (CMS-PAS-HIG-23-010), Run2 HH/YH- $\rightarrow$ bbgg (JHEP05 2024 316), Run3 Hgg (CMS-PAS-HIG-23-014), Run2蒙卡联系人, Run2/Run3光子刻度与误差研究, HH模型建立和统计分析工具开发

- 接近完成的文章四篇:

- 双希格斯联合测量, 2025年初发表
  - 重要贡献, CMS双希格斯组召集人, 主要结果产生, 内部文章编辑之一
- $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$  高质量共振态寻找, 2025年初发表
  - 主要贡献, 分析联系人
- $HH \rightarrow WW\gamma\gamma$  共振态测量, 2025年初发表
  - 重要贡献, 主持 CMS  $HH \rightarrow WW\gamma\gamma$  工作

# 学术交流-学术会议报告

- 大会报告, CLHCP2024, Rare/BSM Higgs Recent Highlights and Summary, 王锦, 2024年11月13日至17日, 中国青岛
- 分会报告, CLHCP2023, Ultimate Calibration and Performance of the CMS Electromagnetic Calorimeter in LHC Run 2, 王锦, 2023年11月15日至20日, 中国上海
- 大会报告, FCPPL2024, Searches for Heavy Resonances Decaying to a Higgs and Another Boson ( $X \rightarrow YH/VH$ ) at CMS, 王储, 2024年6月10日至14日, 法国波尔多
- 分会报告, CEPC2024, TPC Track Reconstruction in CEPCS, 王储, 2024年10月23日至27日, 中国杭州
- 海报, SCINT2024, Calibration and Performance of the CMS Electromagnetic Calorimeter in LHC Run 3, 2024年7月8日至12日, 意大利米兰

# 学术发展-2024主持及参与的经费项目

- 主持三个项目
  - **国家重点研发计划-课题负责人**
    - 2023.12-2028.11, 项目经费1900万, 负责课题经费400万
    - 课题: 希格斯稀有衰变与超出标准模型研究
  - **面上项目-项目负责人**
    - 2022-2025年, 63万
    - CMS实验上利用双希格斯产生衰变到双底夸克双光子和双W双光子过程来研究希格斯粒子自相互作用以及寻找新物理
  - **所自主部署项目-项目负责人**
    - 2018-2024年, 50万
    - CMS实验Higgs性质研究与新物理寻找
- 参与四个项目
  - **所创新项目两项**
    - CEPC上的新物理研究, 2022-2025年, 100万
    - 机器学习在实验高能物理中的应用, 2023-2025年, 150万
  - **基金委国际合作项目, 2021-2025年, 900万**
    - CMS实验希格斯粒子性质研究及新物理寻找
  - **中法粒子物理联合实验室, 2023-2025年, 400万**

# 公共服务等其它工作

- CMS 物理实验任务EPR (Experimental Physics responsibilities)
  - 超额完成2023年EPR任务，总计7.67个月（要求4个月）
    - 蒙卡联系人1.67个月，二级协调人及其它两项ECAL任务6个月
  - 超额完成2024年EPR任务，总计5.5个月
    - 二级协调人2.5个月，ECAL刻度与校准3个月
- CMS组任职
  - CMS二级协调人（电磁量能器性能组）
  - CMS 双希格斯组召集人
- 高能所实验物理中心博士后工作组成员
  - 协调组织博士后面试、项目申请、开题等工作

# 总结及下年度计划

## • 年度总结

- 岗位任务圆满完成，包含物理分析、探测器、硬件、软件工作
  - **CMS双希格斯组召集人** (2024-2026)，2024年在双希格斯联合测量希格斯自耦合，共振态双希格斯新物理寻找，单双希格斯联合分析做出主要贡献，并有相应成果发表
  - 主导 $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$ 高质量共振态分析（分析联系人）， $HH \rightarrow WW\gamma\gamma$ 组主持人（2024结束）
  - **CMS实验二级协调人** (2023-2025)，主持电磁量能器性能研究
  - 在**HGCAL模块组装生产**，**CEPC探测器研究**，**机器学习方向**做出重要贡献和进展
- 2024年发表或接近完成的文章总计11篇
- 在研**主持三个项目或重点项目课题**（总经费2000万+，主持513万），参与四个项目（1550万）
- 承担多项重要的公共服务、物理实验任务、国际合作组织管理工作

## • 存在问题

- 团队成员主要成员比较少（一博后一学生主力），一些工作难以快速进行

## • 下年度工作计划

- CMS Run2和Run3双希格斯非共振态和共振态联合分析
- 完成Run2  $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$ ,  $HH \rightarrow WW\gamma\gamma$ 共振态新物理寻找
- CMS和ATLAS双希格斯联合测量，单希格斯性质测量
- CMS Run3电磁量能器刻度及性能研究
- 继续加强在CEPC方向的贡献，深入机器学习技术研究、
- HGCAL模块大量生产与组装，CERN的系统、电子学测试

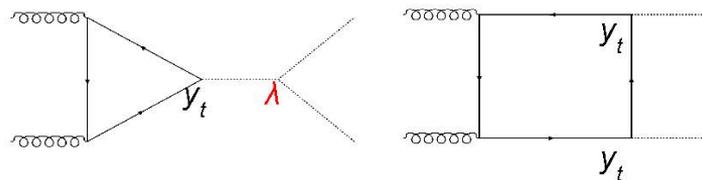
---

# Backup

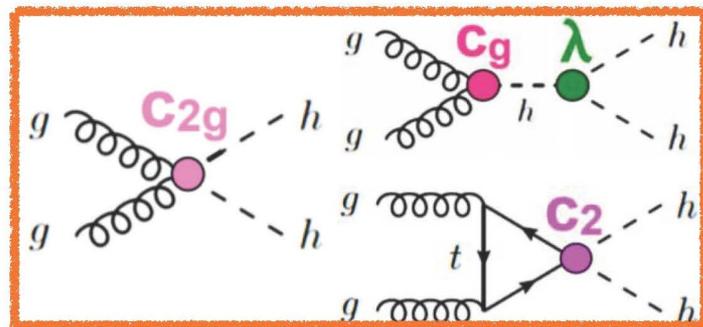
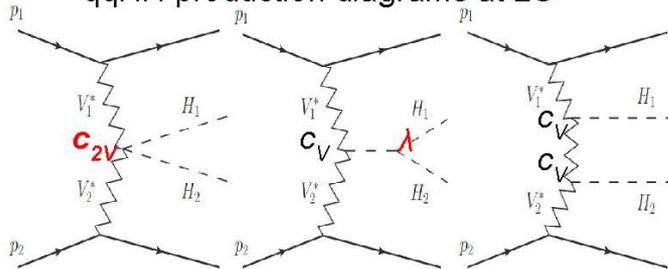
# 岗位任务：CMS实验双希格斯产生测量

- 利用双希格斯产生可以直接测量希格斯的自耦合强度 $k_\lambda$ 
  - 全新的相互作用，粒子物理研究热点与重心
  - 检验和理解标准模型对称性破缺机制
  - 双希格斯VBF产生过程探测HHVV耦合 $C_{2V}$
- 双希格斯研究以寻找超出标准模型的新物理
  - 有效场论（EFT）模型中的一些BSM耦合将显著改变HH产生的总截面和微分截面

ggHH production diagrams at LO



qqHH production diagrams at LO



Pure BSM processe