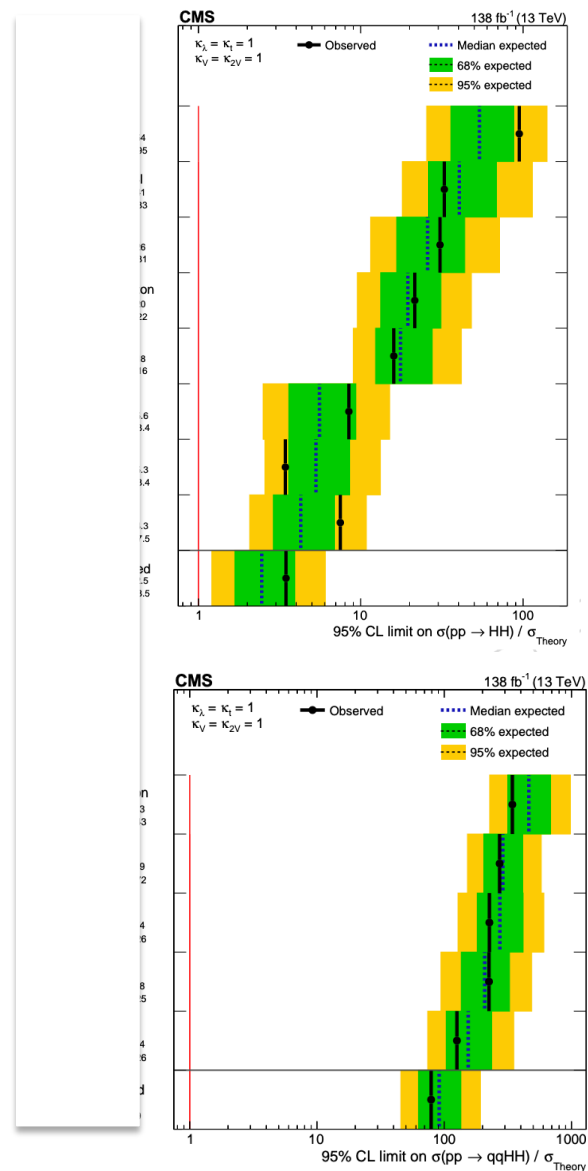

2023-2024年度考核报告

王锦

2024-11-20

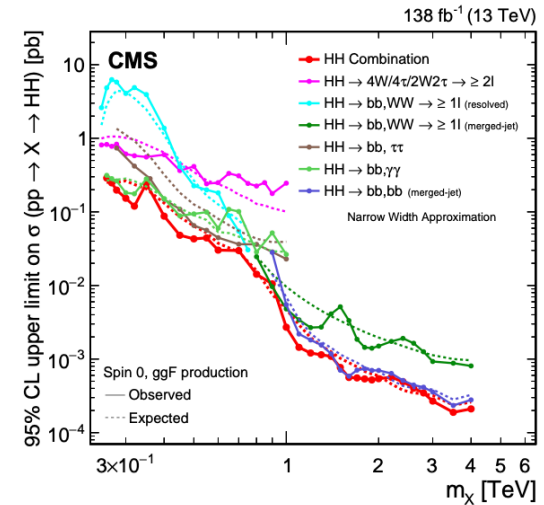
岗位任务：双希格斯联合测量希格斯自耦合

- 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：新物理共振态双希格斯产生寻找

- 完成了CMS Run2 新物理共振态双希格斯产生联合测量
 - CMS最高灵敏度和最广泛质量区间的截面上限测量结果
 - 在多种模型下对结果进行诠释，给出各个理论中的参数的排除范围
 - 总结CMS上的共振态到VH过程的结果并重新诠释
 - 得到高亮度LHC预期灵敏度最新结果
- 结果已经发表PAS，文章被 Physics Report接收
 - CMS-PAS-B2G-23-002
 - 2024年5月CERN courier报道
 - 本人团队主要贡献，博士后做审核报告



Probing resonant production of Higgs bosons

Besides being a cornerstone of the Standard Model (SM), the Higgs boson (H) opens a very powerful path to search for physics beyond the SM. In particular, in the SM there are no particles that are sufficiently heavy to decay into two Higgs bosons. Therefore, if we observe the resonant production of HH pairs, for example, we have clear evidence for the existence of new physics, as predicted by models with an extended Higgs sector.

The CMS collaboration recently conducted a search for the resonant production of Higgs-boson pairs. The analysis combines six different analyses and five HH final states, targeting H decays into b quarks, photons, τ leptons and W bosons. As figure 1 shows for a spin-0 resonance (denoted X), the combination of the decay modes covers a wide mass range, from 280 GeV to 4 TeV. While no resonant signal is observed, stringent upper limits on the $pp \rightarrow X \rightarrow HH$ cross section are obtained, which reach values of about 0.2 fb at the highest masses. These are the strongest observed limits to date for a scalar mass below 320 GeV or above 800 GeV.

One possible candidate for such a resonance is a heavy scalar from an extended Higgs sector, as predicted in the Minimal Supersymmetric Standard Model (MSSM), which features three

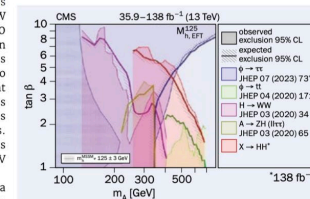
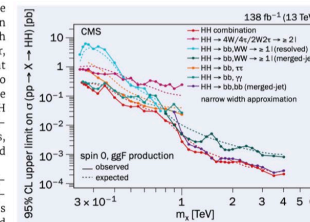


Fig. 2. Interpretation of the HH combination measurement in the MSSM benchmark model, showing exclusion limits in the $\tan\beta$ versus m_A plane and comparisons to other CMS results.

Fig. 1. Observed (solid lines) and expected (dotted lines) upper limits on the cross section of a spin-0 resonance times its branching fraction into a pair of Higgs bosons, as a function of its mass, for six analysis signatures and their combination (red).

neutral and two charged Higgs bosons. Figure 2 shows the excluded region of the model parameter $\tan\beta$ (the ratio of vacuum expectation values of the two underlying Higgs doublets) as a function of the mass of the CP-odd Higgs boson, m_A . The HH combination is sensitive up to well beyond $\tan\beta = 6$, just above the HH threshold, and its exclusion extends up to beyond 600 GeV, outperforming the lower limits from the (also shown) searches of single heavy Higgs-boson production in this mass range. Compared to other direct searches, there is unique sensitivity for $m_A > 450$ GeV and $\tan\beta < 5$.

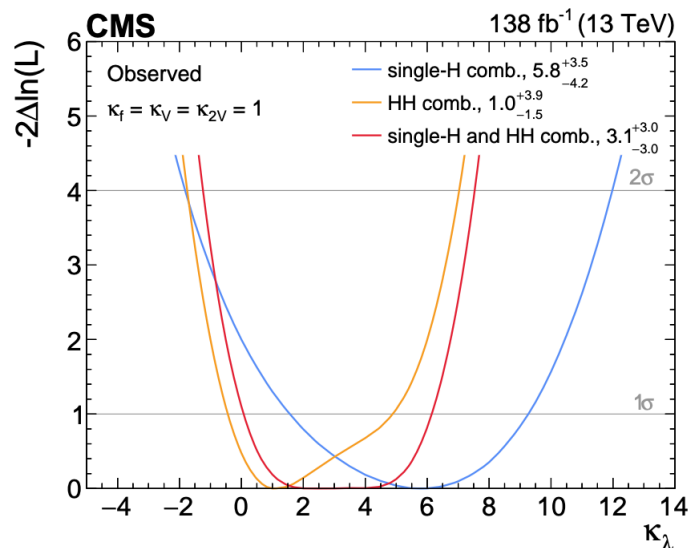
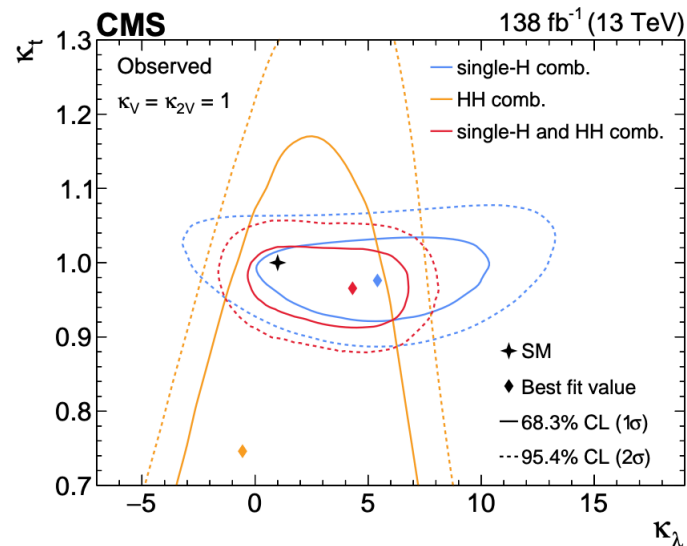
This result is part of a recent comprehensive review article on resonant Higgs-boson production searches by the CMS collaboration, covering the VH, HH and YH final states, with V denoting a W or Z boson and Y representing an additional new boson.

Further reading

CMS Collab. 2022, (to be submitted).
E.A. Bagnaschi et al. 2021 LHCWGW-2021-001.

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_λ 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_λ
 - H+HH联合测量可以减少模型依赖，提高自耦合 k_λ 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_λ 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

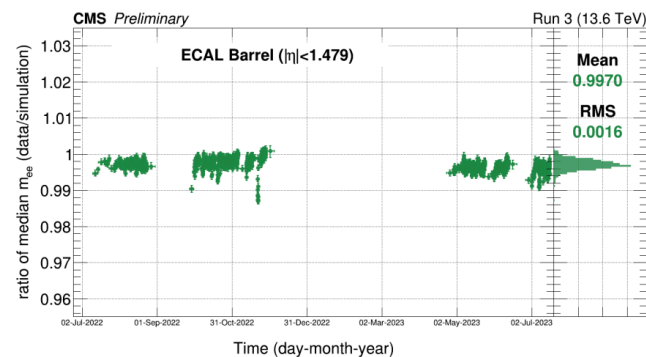
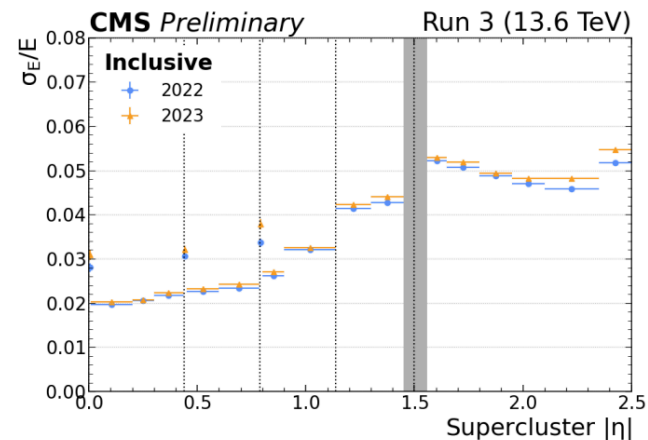


岗位任务： $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$ 与 $HH \rightarrow WW\gamma\gamma$ 新物理研究

- 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）

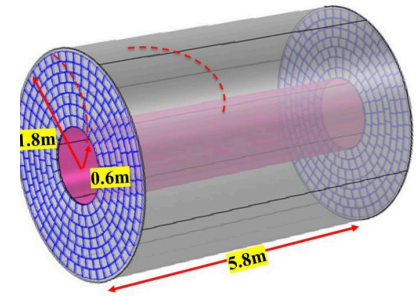
岗位任务： CMS探测器电磁量能器工作

- 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 ns ，命中点从 ~ 200 提升到 ~ 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

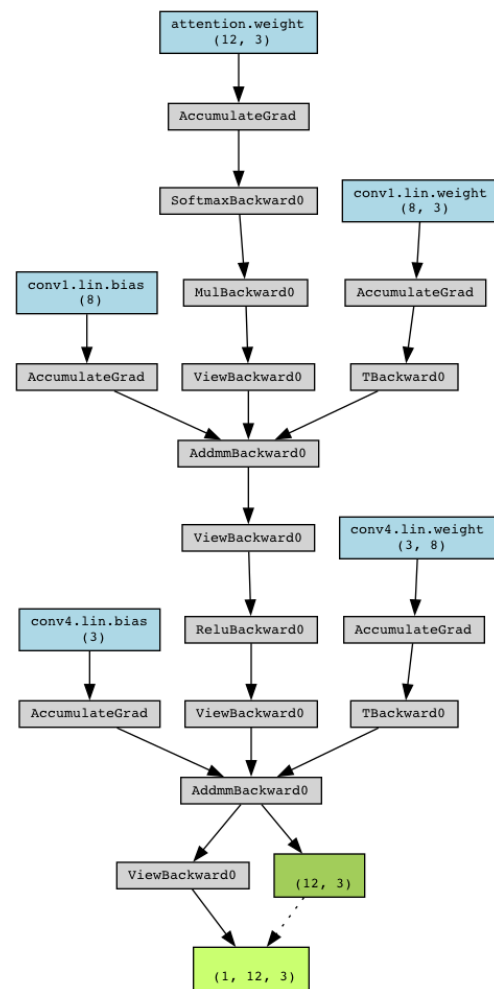
- 像素化 TPC 的升级，数据密度显著提高，同时也带来了扩散效应和命中点过多的问题。
 - 高密度命中点易因扩散效应导致轨迹分裂，传统方法难以处理。
- ML 方法：通过 GCN 模型对多层数据进行智能聚合，可显著增强噪声数据的处理能力，改善轨迹重建在高扩散环境下的表现。
- 性能提升：
 - 在低动量区域（如 $p_T < 5 \text{ GeV}$ ），ML 方法相比传统平均法显著提高了轨迹重建精度。
 - 解决了轨迹分裂问题，改善了整体分辨率

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)

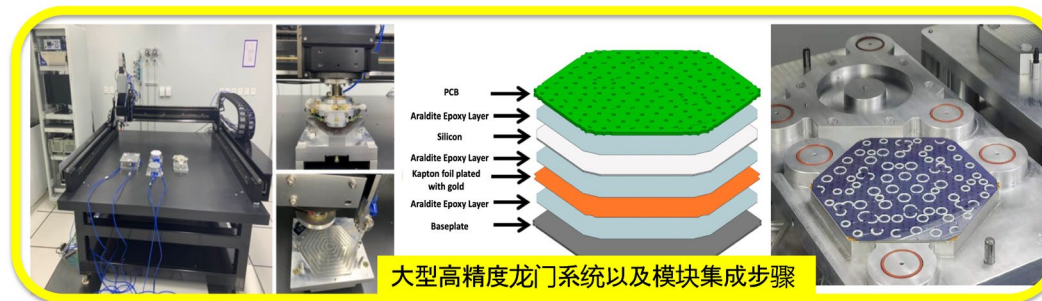
研究应用前沿生成型机器学习技术以快速、准确地探测器模拟

- 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

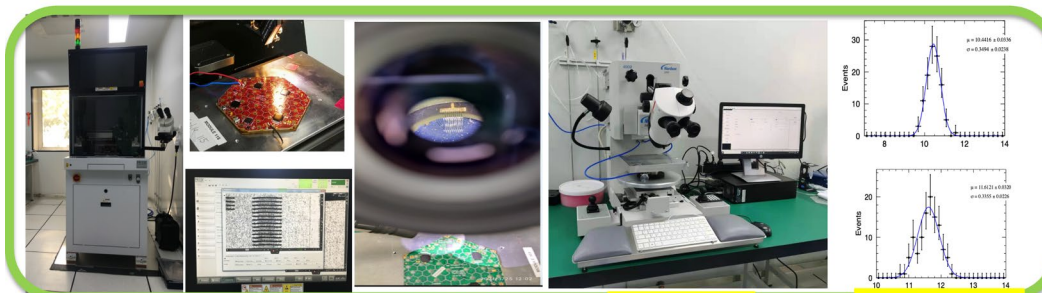
元器件/半成
品质量控制

硅模块集成

绑定

封装

测试



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

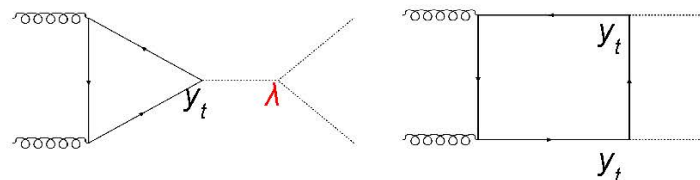
- CMS Run2和Run3双希格斯非共振态和共振态联合分析
- 完成Run2 $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$, $HH \rightarrow WW\gamma\gamma$ 共振态新物理寻找
- CMS和ATLAS双希格斯联合测量，单希格斯性质测量
- CMS Run3电磁量能器刻度及性能研究
- 继续加强在CEPC方向的贡献，深入机器学习技术研究、
- HGCAL模块大量生产与组装，CERN的系统、电子学测试

Backup

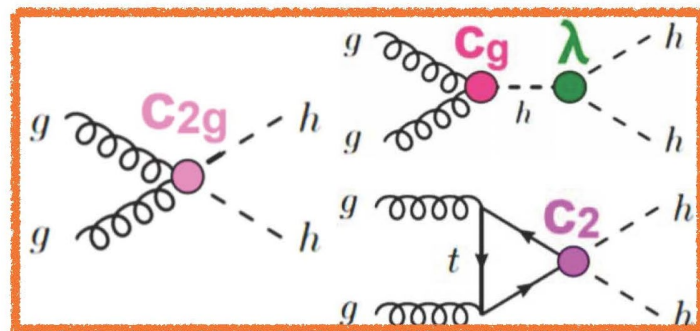
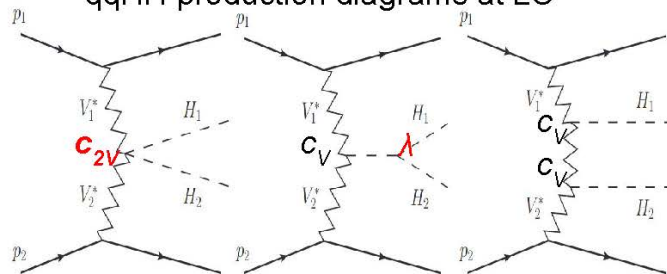
岗位任务：CMS实验双希格斯产生测量

- 利用双希格斯产生可以直接测量希格斯的自耦合强度 k_λ
 - 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 processes