



中国科学院高能物理研究所

Institute of High Energy Physics Chinese Academy of Sciences

季度考核报告

报告人：沙其雨

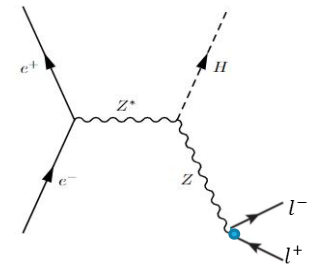
导师：方亚泉

报告日期：2022.9.2

研究工作（2022.5-2022.8）

- CEPC上探测希格斯粒子的CP性质
- ATLAS上Di-higgs $\gamma\gamma$ +multilepton的研究
- 量子机器学习
- ATLAS上HGTD的MUX64芯片的批量测试与可靠性测试

CEPC探测希格斯粒子的CP性质



该分析通过 $e^+e^- \rightarrow ZH \rightarrow l^+l^-H (\rightarrow b\bar{b}/c\bar{c}/gg)$ 这一过程, 在 $5.6 ab^{-1}$ 与 $20 ab^{-1}$ 积分亮度下得到CP-violating 变量 $\hat{c}_{Z\gamma}$ 和 \hat{c}_{ZZ} 在95% 置信区间下的值为:

Collider	pp	e^+e^-	e^+e^-
E (GeV)	14000	240	240
\mathcal{L} (fb^{-1})	3000	5600	20000
$\tilde{c}_{Z\gamma}$ (1σ)	$[-0.22, 0.22]$	$[-0.30, 0.27]$	$[-0.16, 0.14]$
\tilde{c}_{ZZ} (1σ)	$[-0.33, 0.33]$	$[-0.06, 0.06]$	$[-0.03, 0.03]$

本季度工作进展:

- 使用full simulation的信号和本底的MC样本。
- 增加 e^+e^-H 末态, 并与 $\mu^+\mu^-H$ 进行combine。
- 增加 $20 ab^{-1}$ 积分亮度下的结果。

• For $5.6 ab^{-1}$: $f_{CP}^{HZZ} < 9.16 \times 10^{-6}$

[Arxiv:2203.11707](https://arxiv.org/abs/2203.11707)

Probing Higgs CP properties at the CEPC

Qiyu sha,¹ Abdulazem Faid,¹ Fangyi Gao,¹ Gang Li,¹ and Yuqun Fang,¹

Institute of High Energy Physics, 19B, Yuyuan Road, Shijing District, Beijing, China, 100049 and University of Chinese Academy of Sciences (CAS)

Jiayin Gu^{2*}

Department of Physics and Center for Field Theory and Particle Physics, Fudan University, Shanghai 200438, China and Key Laboratory of Nuclear Physics and Ion-beam Application (MOE), Fudan University, Shanghai 200433, China

Xinshou Lou^{3†}

Institute of High Energy Physics, 19B, Yuyuan Road, Shijing District, Beijing, China, 100049 and University of Chinese Academy of Sciences (CAS) and University of Texas at Dallas, Richardson, Texas 75089-3021, USA

Abstract

In the Circular Electron Positron Collider (CEPC), a measurement of the Higgs CP mixing through $e^+e^- \rightarrow ZH \rightarrow l^+l^-(e^+e^-/\mu^+\mu^-)H (\rightarrow b\bar{b}/c\bar{c}/gg)$ process is presented, with $5.6 ab^{-1}$ e^+e^- collision data at the center-of-mass energy of 240 GeV. In this study, the CP-violating parameter \tilde{c}_Z is constrained between the region of -0.30 and 0.27 and \tilde{c}_{ZZ} between -0.06 and 0.06 at 68% confidence level. This study demonstrates the great potential of probing Higgs CP properties at the CEPC.

Keywords: the Higgs Boson, CP violation, CEPC

* shaqiyu@ihep.ac.cn
[†] moushunmei@sinica.ac.cn
[‡] guofang@ihep.ac.cn
[§] li.gang@ihep.ac.cn
[¶] fangyu@ihep.ac.cn
^{**} jayin_gu@utdallas.edu
^{††} xinshou@ihep.ac.cn

这一结果优于HL-LHC给出的结果, 充分展现了未来在CEPC上探测希格斯粒子的CP性质的可能性和优越性。

[arXiv:1902.00134](https://arxiv.org/abs/1902.00134)

报告:

- Joint Workshop of the CEPC Physics, Software and New Detector Concept in 2022.
- Higgs Potential 2022.

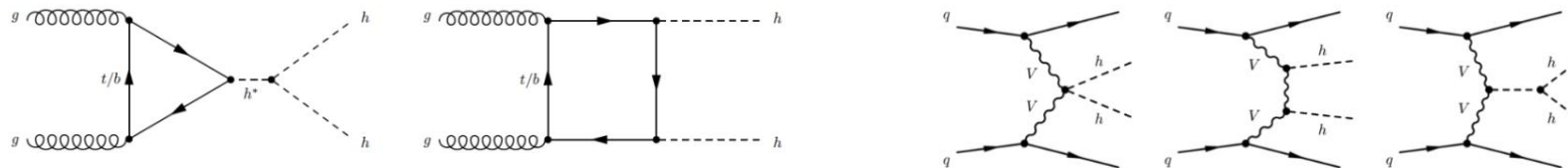
[Probing Higgs CP properties at the CEPC](#)

文章:

- EPJC Under Review (第一作者)

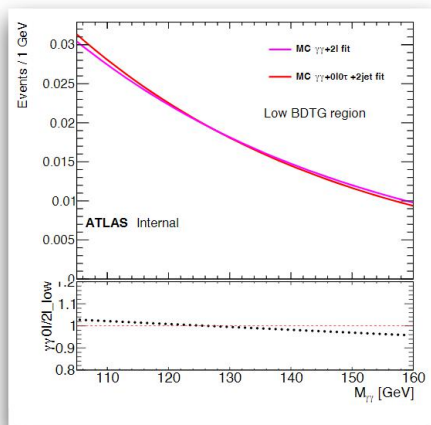
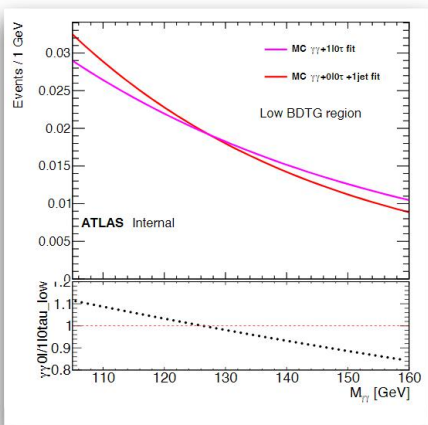
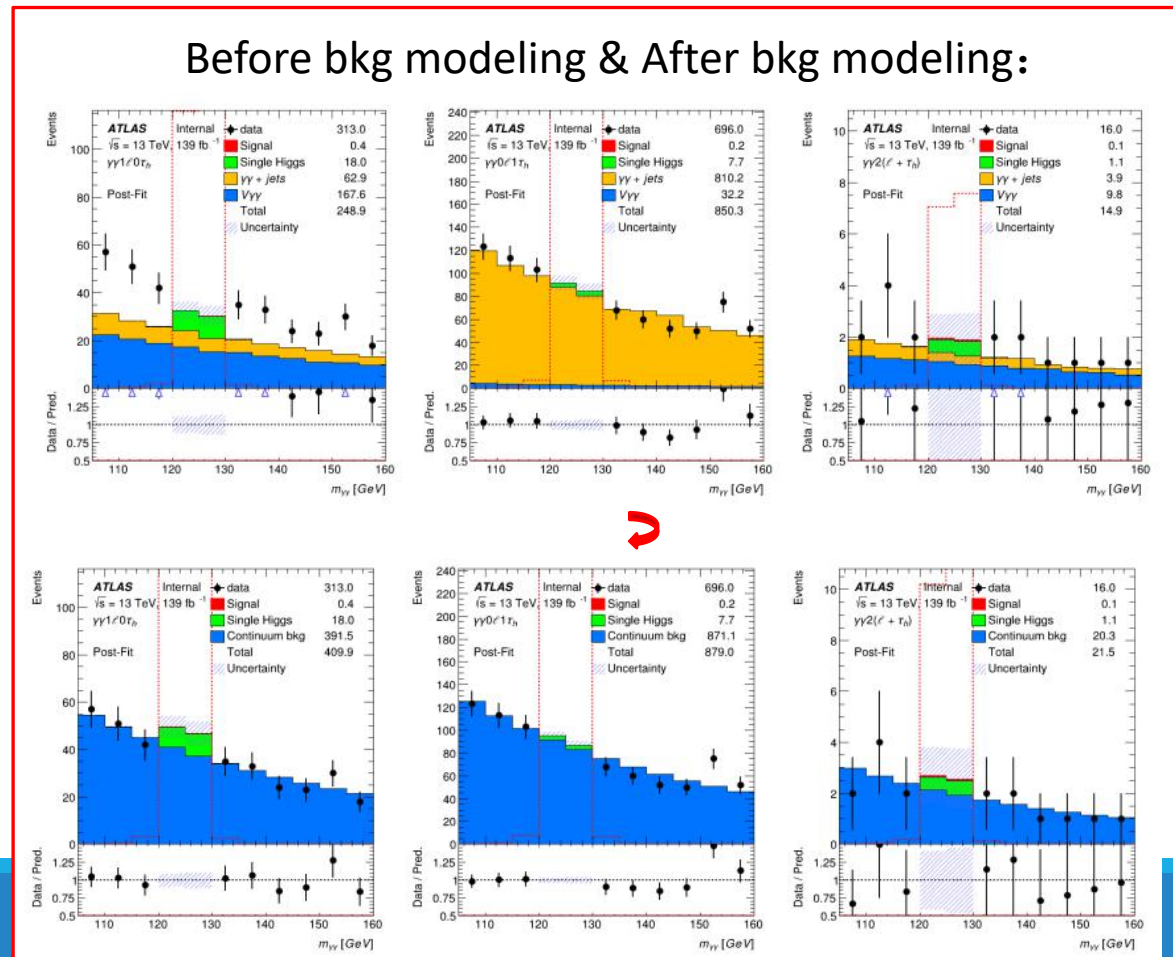
ATLAS上Di-higgs multilepton的研究

本人主要工作:负责 $\gamma\gamma + \text{multilepton}$ 末态的全部研究与相关内容的撰写 (多次在ATLAS di-higgs multilepton会上进行报告)



本季度工作进展-1:

- 增加VBF过程
- 基于sideband data建立本底模型:
 - 用 $\gamma\gamma 0l0\tau_h + 1/2jet$ 去模拟 $\gamma\gamma 1l$ 和 $\gamma\gamma 2l$ 的运动学表现
 - 用二次多项式指数函数去拟合 $\gamma\gamma 0l0\tau_h + 1/2jet$ data sideband, 并拿该函数模型作为 $\gamma\gamma 1l$ 和 $\gamma\gamma 2l$ 的连续本底。形状的差值作为一个系统误差引入。(这一模型通过了杂散信号测试并且有最好的 χ^2)



Channel	Low BDTG region	Medium BDTG region	Tight BDTG region
$\gamma\gamma+1l0\tau_{had}$	$\pm 2.34\%$	$\pm 2.76\%$	$\pm 2.09\%$
$\gamma\gamma+0l1\tau_{had}$	$\pm 1.83\%$	$\pm 2.77\%$	$\pm 2.34\%$
$\gamma\gamma+2L$	$\pm 1.74\%$	$\pm 2.55\%$	$\pm 2.68\%$

ATLAS上Di-higgs multilepton的研究

本人主要工作:负责 $\gamma\gamma + \text{multilepton}$ 末态的全部研究 ($HH \rightarrow \gamma\gamma + \text{multilepton}$)

本季度工作进展-2:

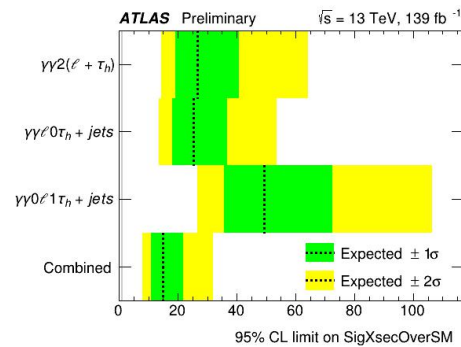
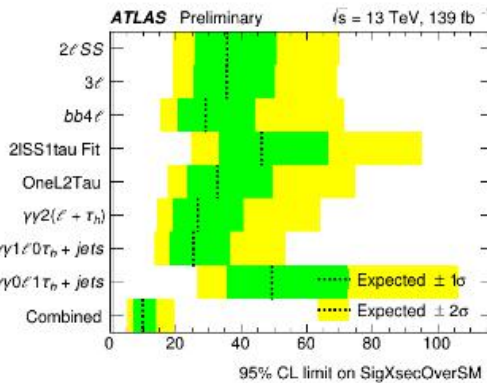
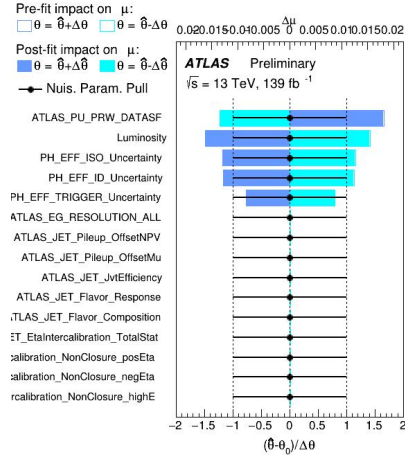
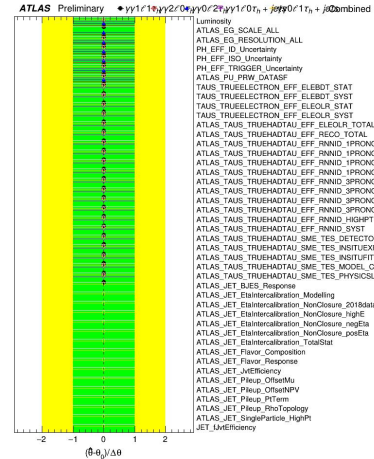
- 完成系统误差计算
- 使用统计学方法对 $\sigma(HH \rightarrow \gamma\gamma + \text{multilepton})$ 的置信区间上限进行分道测量并完成combine。该道在 Di-higgs multilepton分析各道中贡献最大。

HH分析项目状态:

- 已完成EB request, 正在回答CDS comments。
- 初步完成supporting note。

正在进行:

- SH 和 HH 上 $\gamma\gamma + \text{multilepton}$ 的理论误差计算



Stat. only:

	-2σ	-1σ	Expected	$+1\sigma$	$+2\sigma$	Observed
$\gamma\gamma+1l0\tau_{had}$	13.44	18.04	25.04	36.43	52.75	blinded
$\gamma\gamma+0l1\tau_{had}$	26.13	35.07	48.68	71.11	103.39	blinded
$\gamma\gamma+2L$	14.20	19.07	26.45	40.11	62.76	blinded
Combined	7.99	10.72	14.88	21.68	31.55	blinded

Systematics:

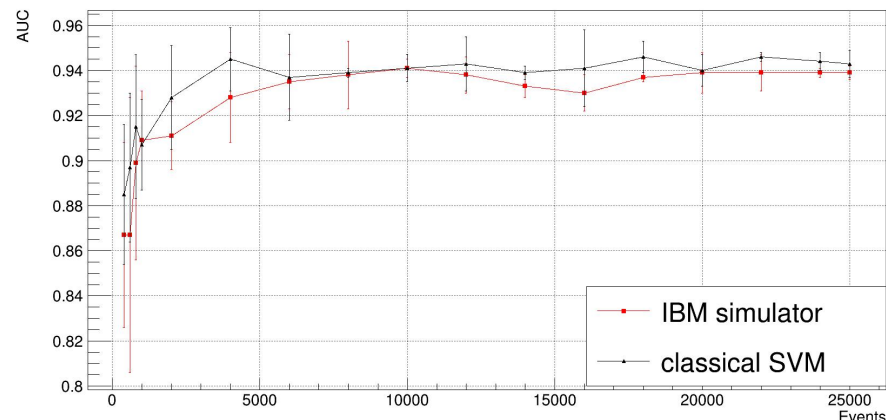
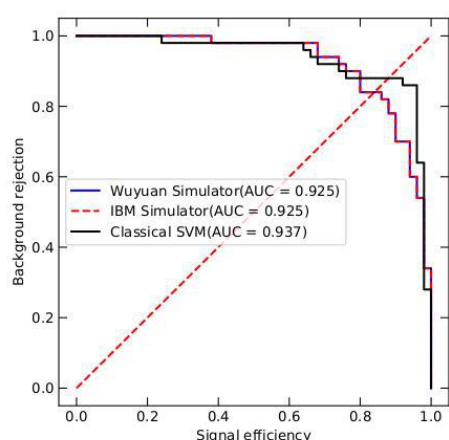
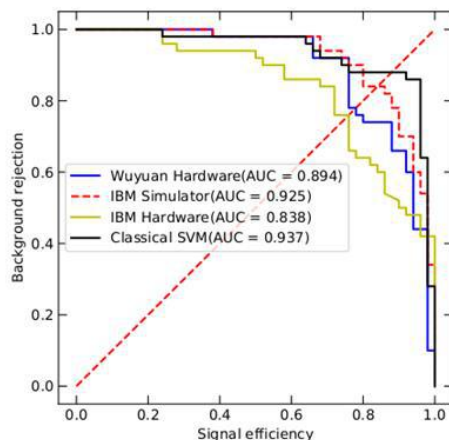
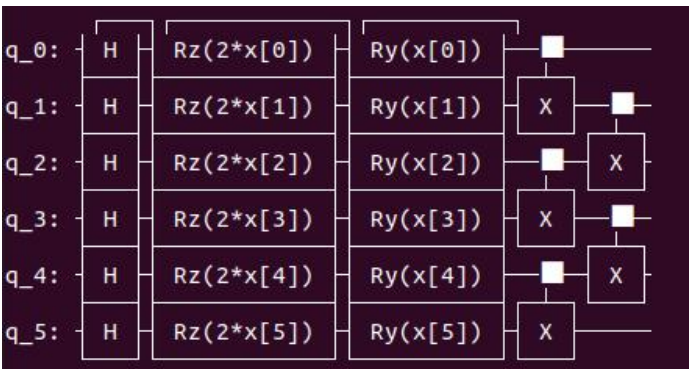
	-2σ	-1σ	Expected	$+1\sigma$	$+2\sigma$	Observed
$\gamma\gamma+1l0\tau_{had}$	13.57	18.22	25.28	36.90	53.69	blinded
$\gamma\gamma+0l1\tau_{had}$	26.54	35.64	49.46	72.65	106.41	blinded
$\gamma\gamma+2L$	14.35	19.27	26.74	40.76	64.32	blinded
Combined	8.05	10.81	15.00	21.92	32.03	blinded

量子机器学习

该研究目的是将量子计算运用到高能物理分析中，以期得到比经典的机器学习更好更快的结果。

本人主要工作:

- 优化量子机器学习算法 (QSVM-kernel)，利用量子机器学习去区分通过CEPC MC产生的信号和本底样本 (qqyy末态)。
- 在IBM Quantum simulator/hardware (使用IBM Qiskit框架) 和中国的悟源Quantum simulator/hardware (使用悟源 Qpanda框架) 上进行运算，并与经典机器学习方法 (如SVM支持向量机) 进行对比 (Simulator均使用状态矢量结果来避免统计误差)。



文章:

- 9月份完成，预计下半年投稿

项目状态:

- 在经过对算法和超参数的优化之后，量子机器学习和经典机器学习的训练结果都得到了显著的提升。对于超参数，目前只完成了经典机器学习的优化，量子机器学习的优化正在进行中。
- 在wuyuan hardware上得到了优于IBM hardware的结果 (Machine: ibm_nairobi)

ATLAS HGTD上Mux64芯片的批量测试与可靠性测试

(MUX64芯片: 多路复用器, 具有64个模拟输入, 用于监控HGTD (高颗粒度时间探测器) 模块的电源轨和温度)

该研究旨在设计一个批量测试系统, 实现多芯片同时测试和在线状态监控。

并且测试MUX64芯片在高温和辐照环境下的可靠性。

本人参与了从测试系统设计到可靠性测试的全部过程。(多次在ATLAS Electronics会议上进行报告)

本季度工作进展:

- 高低温循环测试

(80° to -40° to 80°, 2小时20分钟循环一次)

通过了ITK的高低温循环标准, 但未达到工业级标准。

会在第70次循环 (ITK仅要求12次循环) 的时候出现短暂的可逆错误, 暂时判断为在循环过程中QFN封装的焊点断开, 需交由工厂进行进一步检查。(目前认为通过ITK标准已经足够。)

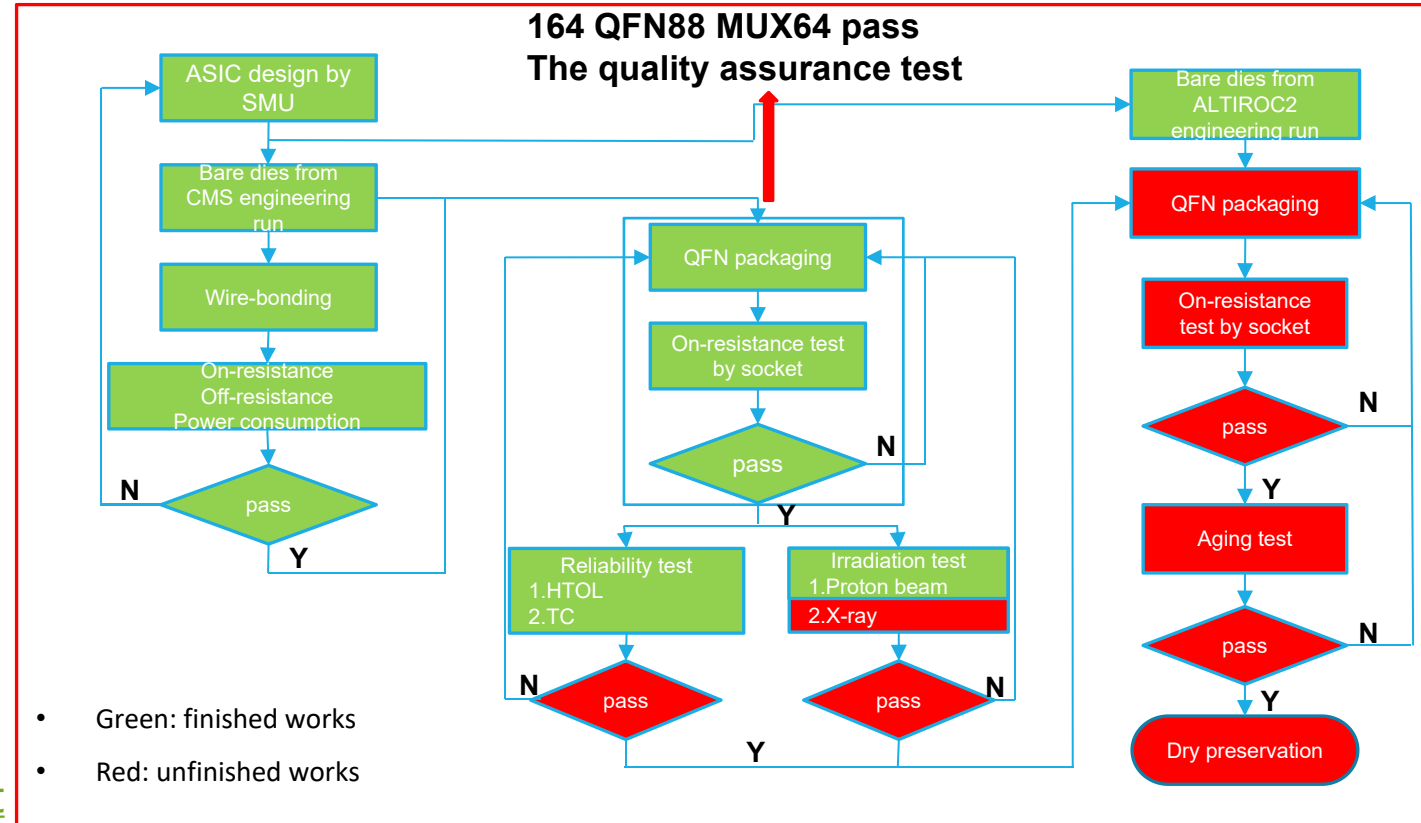


报告:

- HGTD mini week

[Evaluating the MUX64 chip through reliability test](#)

- Topical Workshop on Electronics for Particle physics, 19th – 23rd September, Bergen, Norway (已做好海报)



总结

工作进展:

- 已完成CEPC上探测希格斯粒子的CP性质的研究并根据编辑意见完成了多项补充，**已投稿给EPJC**。
 - ◆ 会议报告:
Joint Workshop of the CEPC Physics, Software and New Detector Concept in 2022.
Higgs Potential 2022.
- 作为主要贡献者参与ATLAS Di-higgs multilepton 的分析，负责 $\gamma\gamma + \text{multilepton}$ 末态的全部研究与相关内容的撰写。
 - ◆ 在ATLAS di-higgs multilepton组内做了多次报告。
 - ◆ **该项目已完成EB request。初步完成supporting note。**
- 作为主要贡献者参与量子机器学习的研究。
 - ◆ 在量子计算组内做了多次报告。
 - ◆ 完成IBM/中国悟源的simulator/hardware的对比研究，对量子机器学习的算法和超参数进行了一系列的优化并得到了理想的结果。
 - ◆ 预计下半年投稿。
- 作为主要贡献者完成对ATLAS HGTD上的MUX64芯片的批量测试系统的设计和可靠性测试。
 - ◆ 在ATLAS Electronics组内做了多次报告，在HGTD mini week上进行报告。
 - ◆ 进行高低温循环测试，通过ITK标准但未通过工业标准，需要进一步研究。

谢谢！