

中国科学院高能物理研究所

2026年8月考核报告

报告人：刘 栋

导 师：朱科军

C CONTENTS

01 CEPC触发通用板设计

- ◆ 板卡生产
- ◆ 功能测试
- ◆ 性能测试

02 CEPC触发模拟

- ◆ 量能器用于LLP触发的相关探索
- ◆ 量能器用于 $\gamma \gamma \rightarrow 2 \mu$ 触发的相关分析

03 其他工作与总结



CEPC触发通用板设计



■ 上季度进展

- ◆ 原理图及PCB相关优化
- ◆ 物料清点与购买
- ◆ 发出制板

■ 本季度进展

- ◆ 沟通板卡生产中的工艺问题
- ◆ 板卡基础测试（完成）
- ◆ 功能测试（基本完成）
- ◆ 性能测试(正在准备)

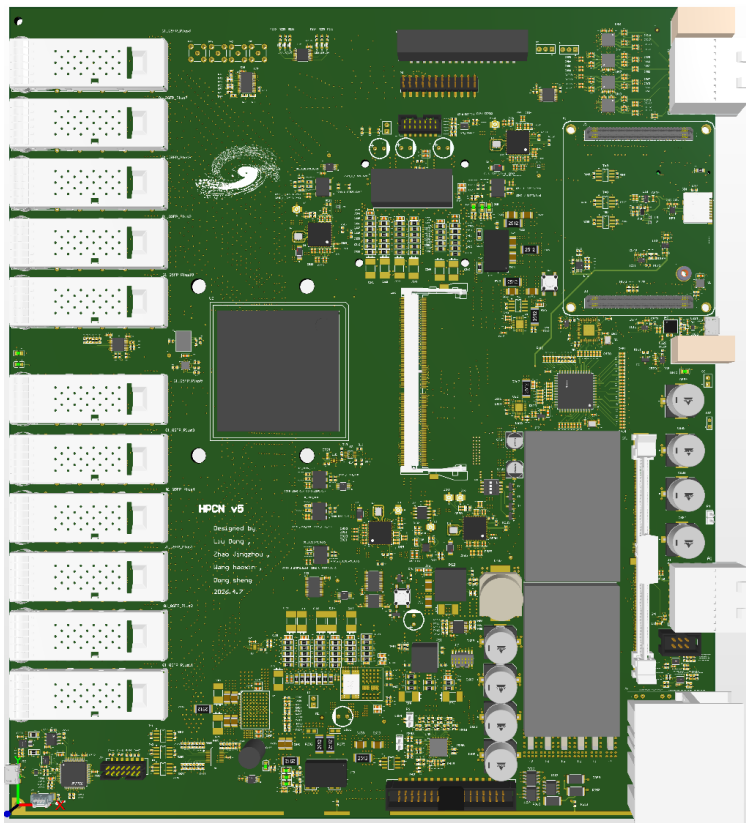


图1. CEPC触发通用板3D图

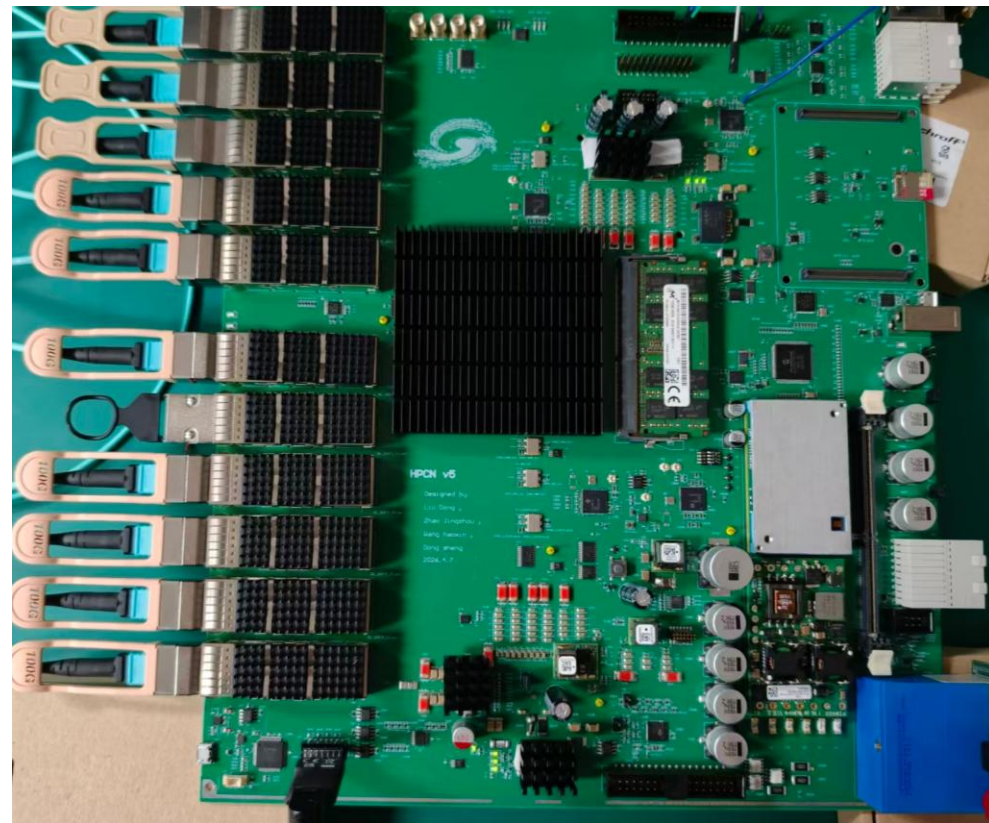


图2. CEPC触发通用板实物图

CEPC触发通用板设计



■ 基础测试-电源测试

- ◆ 沟通解决板卡生产过程中的工艺问题
- ◆ 对地阻抗测试与电容极性检查
- ◆ 电源测试，定位并解决4路电源输出不符合预期的问题，目前所有电源均已工作正常

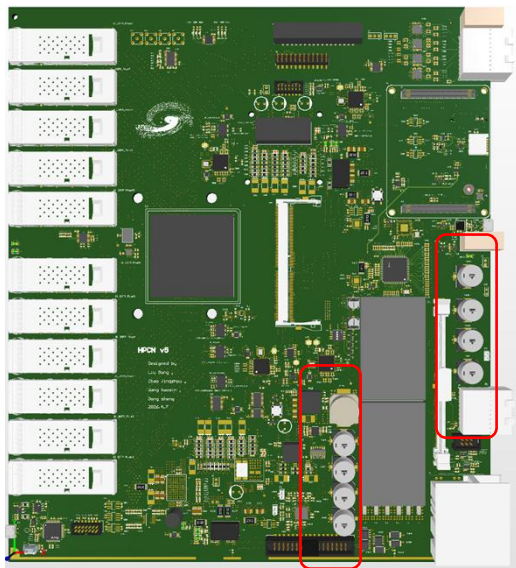


图3. 部分电容反接

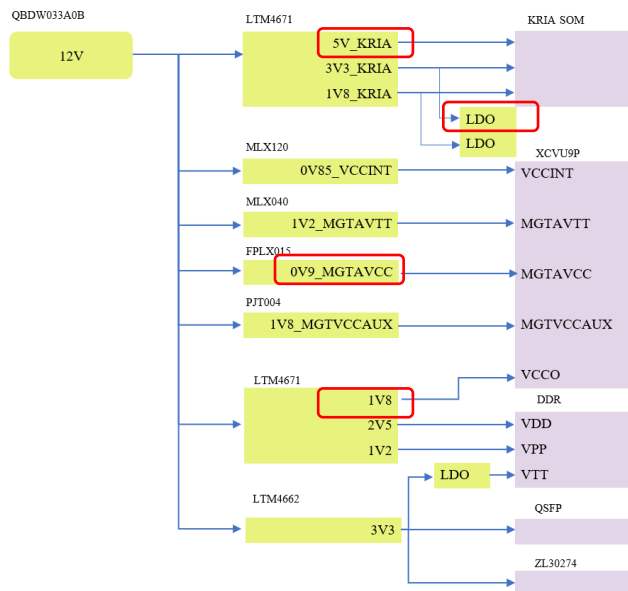


图4. 电源整体结构

表1. 电源对地阻抗及输出电压测试

电源	对地阻抗	预期输出	实际输出
-48V_A	∞	-48	-48.02
12V	0.236K	12	12.01
5V_KRIA	2.97K	5	5.04
3V3_KRIA	0.8K	3.3	3.32
1V8_KRIA	0.8K	1.8	1.80
ETH_2V5	0.695K	2.5	2.53
ETH_1V2	0.841K	1.2	1.20
VCCINT	0.8K	0.85	0.85
MGTAVTT	0.82K	0.9	0.90
MGTAVCC	0.57K	1.2	1.20
MGTVCCAUX	23.95K	1.8	1.80
3V3	320K	3.3	3.31
2V5	1.837K	2.5	2.53
1V8	0.321K	1.8	1.81
1V2	0.173K	1.2	1.20
VTT	20.8K	0.6	0.60

CEPC触发通用板设计



基础测试-时钟配置及测试

◆ 测试系统的搭建

- 搭建zynq7010测试平台
- 了解和熟悉IIC及PMBUS命令和规范

◆ 主要难点与收获

- ZL30274的配置和使用
- 了解和熟悉嵌入式系统的开发流程，为后续K26部分的开发积累经验

◆ 配置及测试结果

- 无源晶振*6，有源晶振*5，时钟扇出芯片*4
已可以通过配置，输出符合预期的时钟

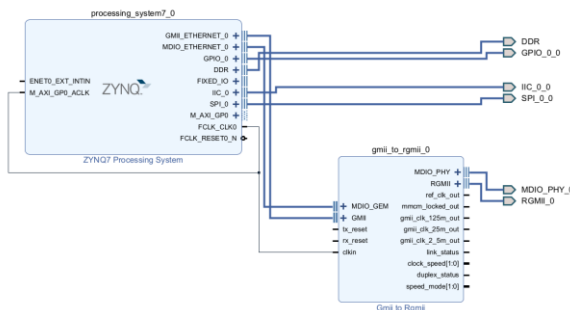


图5. ZYNQ7010 block design

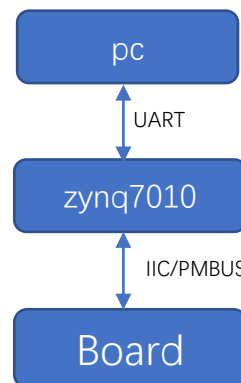


图6. 调试时的板卡连接示意

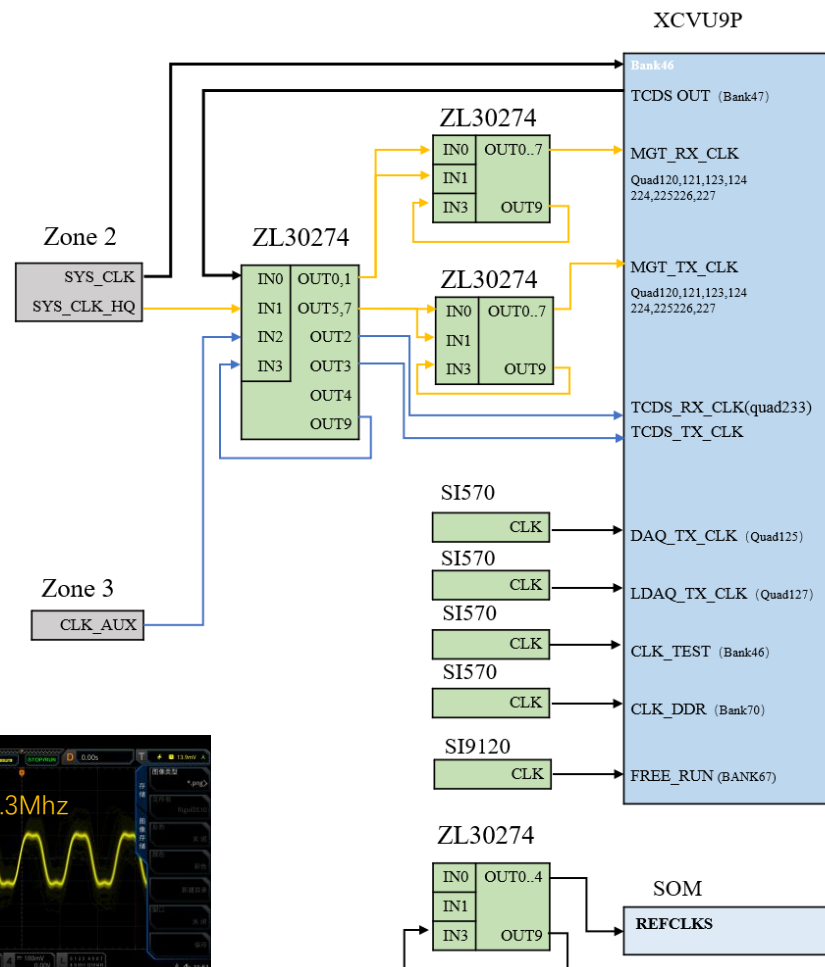


图7. 时钟树结构



图8. 部分时钟输出

CEPC触发通用板设计



■ 功能测试-高速串行链路（GTY）

◆ 测试方式

- 44路外部光纤回环，4路自回环+40路quad间回环

◆ 测试结果

- 误码率测试：线速率为25Gbps,44个link2小时未见误码，误码率好于 10^{-14}
- 眼图测试:眼图张开度良好，OPEN UI分布在56%-69%

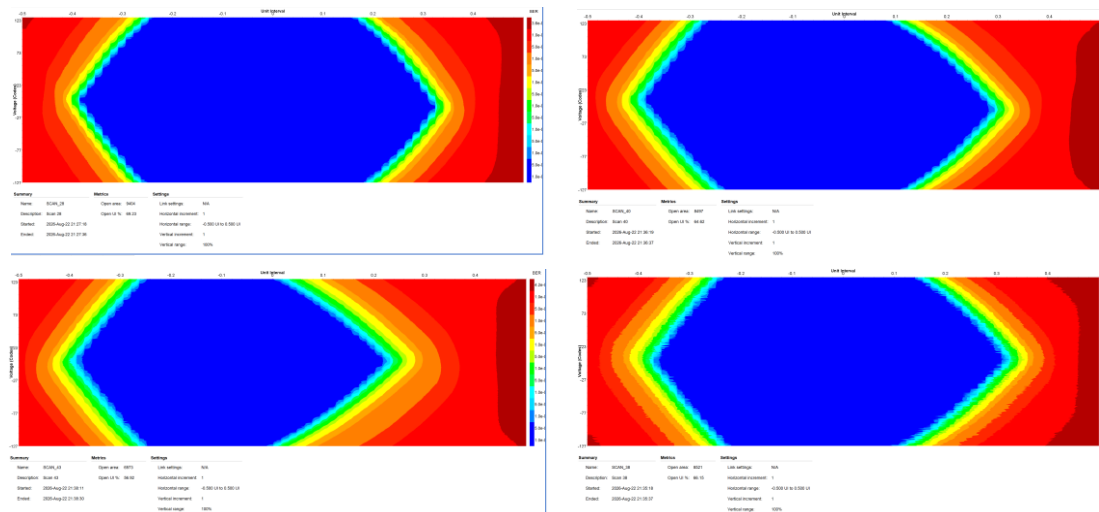


图9. 25Gbps下的部分链路眼图

■ 功能测试-DDR4

◆ 测试1-少量读写测试

- DDR4能被FPGA识别并成功初始化

◆ 测试2-满速全地址空间读写

- 测试数据为随地址自增数据
- 2133MHz下，完成全地址空间的读写，读出数据与写入数据一致

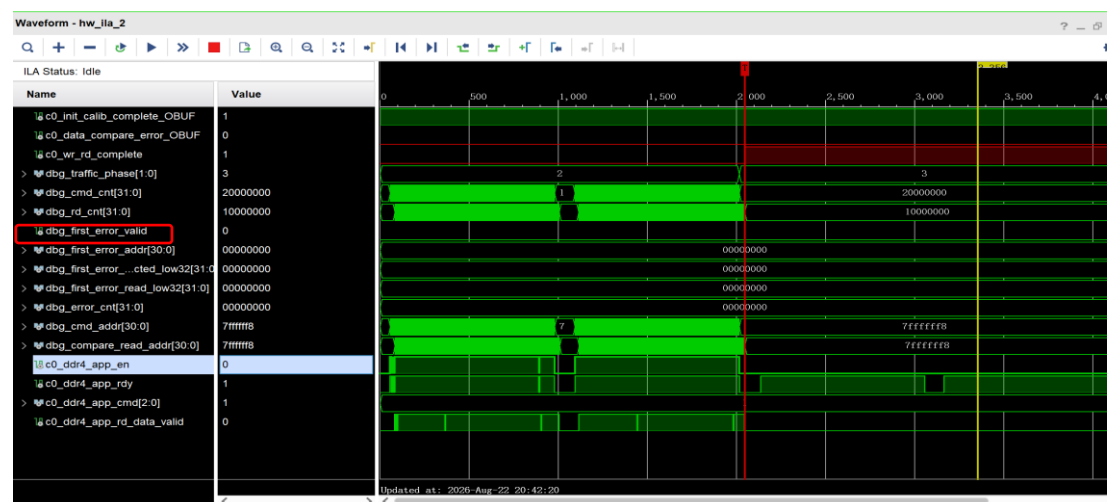


图10. DDR满速率全地址空间读写的ILA波形



■ 量能器用于中性LLP触发的相关探索

◆ 目的

- 探究目前TDR中量能器阈值的触发算法对于部分新物理过程（长寿命粒子）是否适用

◆ 基本思路

- 产生不同寿命的事例样本（LLP- $\rightarrow 2\mu$ ）
- 根据LLP衰变位置进行事例的分类
- 分析每类事例在量能器中不同位置的最大沉积能量

表2. 10Gev 中性LLP通过量能器阈值的比例

寿命 (ns)	效率	HCAL以内衰变的事例比例	效率
10 ⁻⁴	100%	100%	100%
10 ⁻²	100%	100%	100%
1	86.55%	87.37%	99.06%
10	40.98%	42.09%	97.37%

■ 初步结果

- 对于寿命较短的中性LLP- $\rightarrow 2\mu$ 过程，效率较高
- 对于寿命较长的中性LLP- $\rightarrow 2\mu$ 过程，效率有较大损失，初步推断其主要原因是由于衰变点在量能器外，而中性LLP本身几乎不与CAL相互作用

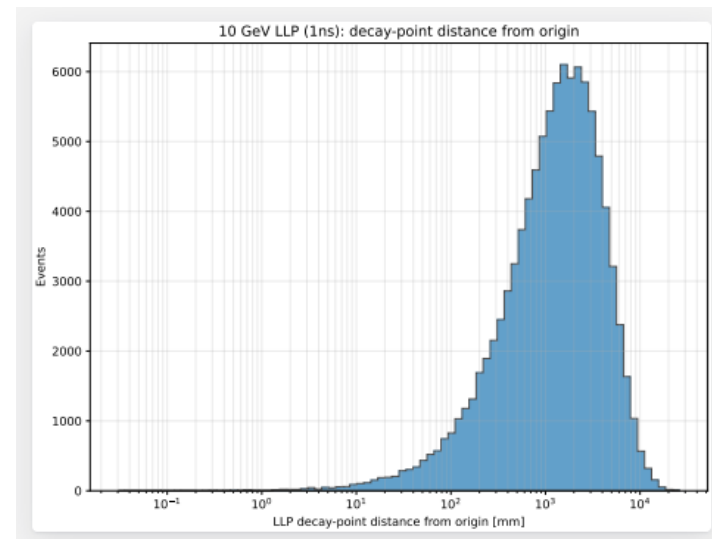
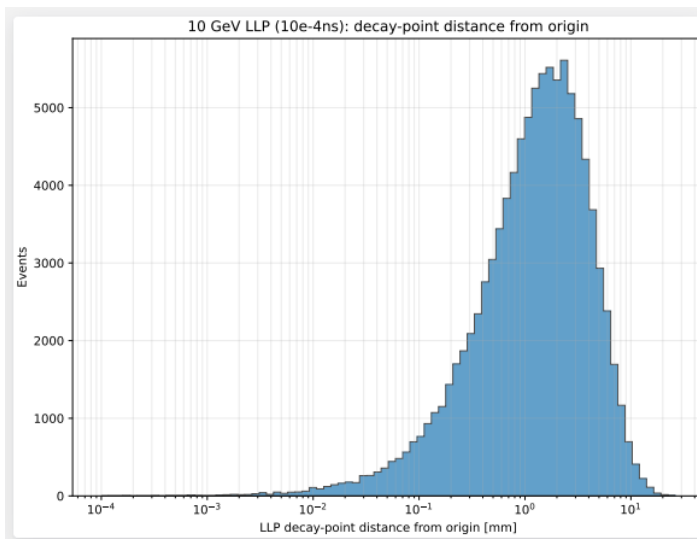


图11. LLP衰变前的飞行距离，左边为10-4ns，右边为1ns



■ 量能器用于Diphoton- $\rightarrow 2\mu$ 触发的相关分析

◆ 目的

- 研究diphoton- $\rightarrow 2\mu$ 过程通过量能器阈值效率较低的原因，探索如何改善这部分效率

◆ 基本思路

- 根据两条 μ 的径迹数量与径迹位置分类
- 分析每类事例在通过量能器阈值的比例

表3. Diphoton- $\rightarrow 2\mu$ 事例分类

类别	占比	通过量能器能量阈的占比
Otrack	41.5%	0%
barrel_only	4.6%	100%
endcap_only	26.2%	39.72%
Mix_only	1.0%	92.31%
2_barrel	2.6%	100%
Barrel+endcap	9.7%	100%
Barrel+mix	1.0%	100%
2_endcap	12.1%	87.2%
Endcap+mix	1.4%	100%
2_mix	0	0

Process	Efficiency(%)	
Higgs production		
$Z(\nu\bar{\nu})H(\gamma\gamma)$	>99.9	
$Z(\nu\bar{\nu})H(\mu^+\mu^-)$	>99.9	
$Z(\nu\bar{\nu})Z(W^+W^-)lep$	>99.9	
Two Fermions		
$q\bar{q}$	Higgs mode	Z mode
	>99.9	>99.9
Bhabha	99.9	>99.9
Di-photon process		
$\gamma\gamma \rightarrow b\bar{b}$	Higgs mode	Z mode
	99.6	>99.9
$\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$	26.9	29.6
Background		
	Veto efficiency	
	Higgs mode	Z mode
Beam Background	99.3	99.3

图11. Diphoton- $\rightarrow 2\mu$ 过程中效率

表4. 不同位置的量能器模块阈值

位置	阈值(Gev)
ECAL_Barrel	0.2
ECAL_Endcap	2.57
Hcal_Barrel	0.023
Hcal_Endcap	0.16

■ 初步结果

- Diphoton- $\rightarrow 2\mu$ 的末态有明显的前向趋势，更有可能打到端盖，目前打在端盖的事例效率较低，造成了整体的效率低。
- 目前量能器的能量阈值针对单个模块，后续可能需要考虑针对单根晶体阈值和降低端盖模块的阈值
- 利用ECAL的多层正交结构，后续可以考虑形成径迹的相关触发条件，对比束流本底与该物理过程的形成径迹的概率

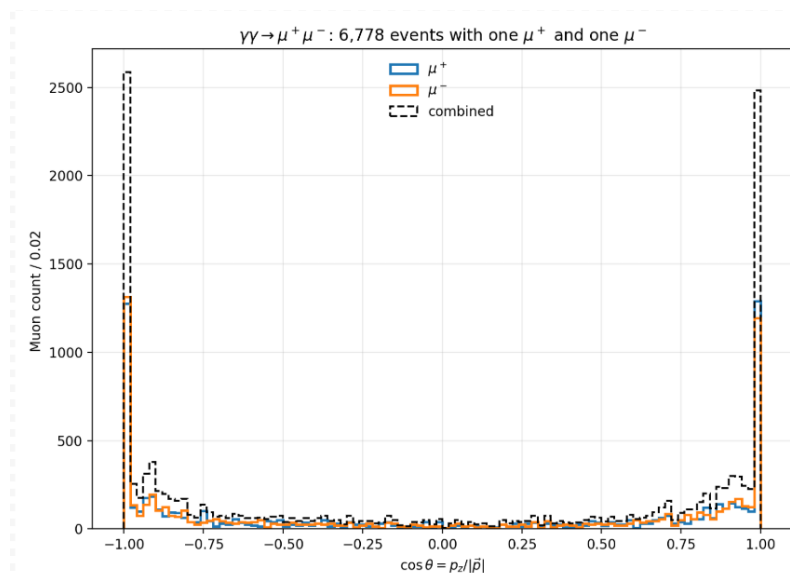
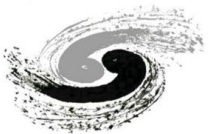


图13. Diphoton- $\rightarrow 2\mu$ 过程中 μ 的角分布



■ 总结

■ CEPC触发通用板设计

- 第一版生产已完成，正在做功能测试，目前已基本完成除K26模块外的功能测试，正在准备相关性能测试。
- NSS/MIC/RTSD的poster已接收

■ CEPC触发模拟

- 中性LLP的相关触发模拟，量能器的能量阈有较好的效率
- Diphoton- $\rightarrow 2\mu$ 过程，量能器的能量阈效果不理想，后续优化晶体的能量阈设置，考虑设置径迹相关的触发条件

■ 其他工作

- BESIII MFT插件的批量测试
- BESIII 触发核心板的全地址空间读写测试

请各位老师批评指正