

快速大面积起始信号分发器触发探测器

WWW.IHEP.CAS.CN



何豪, 钱森, 马丽双

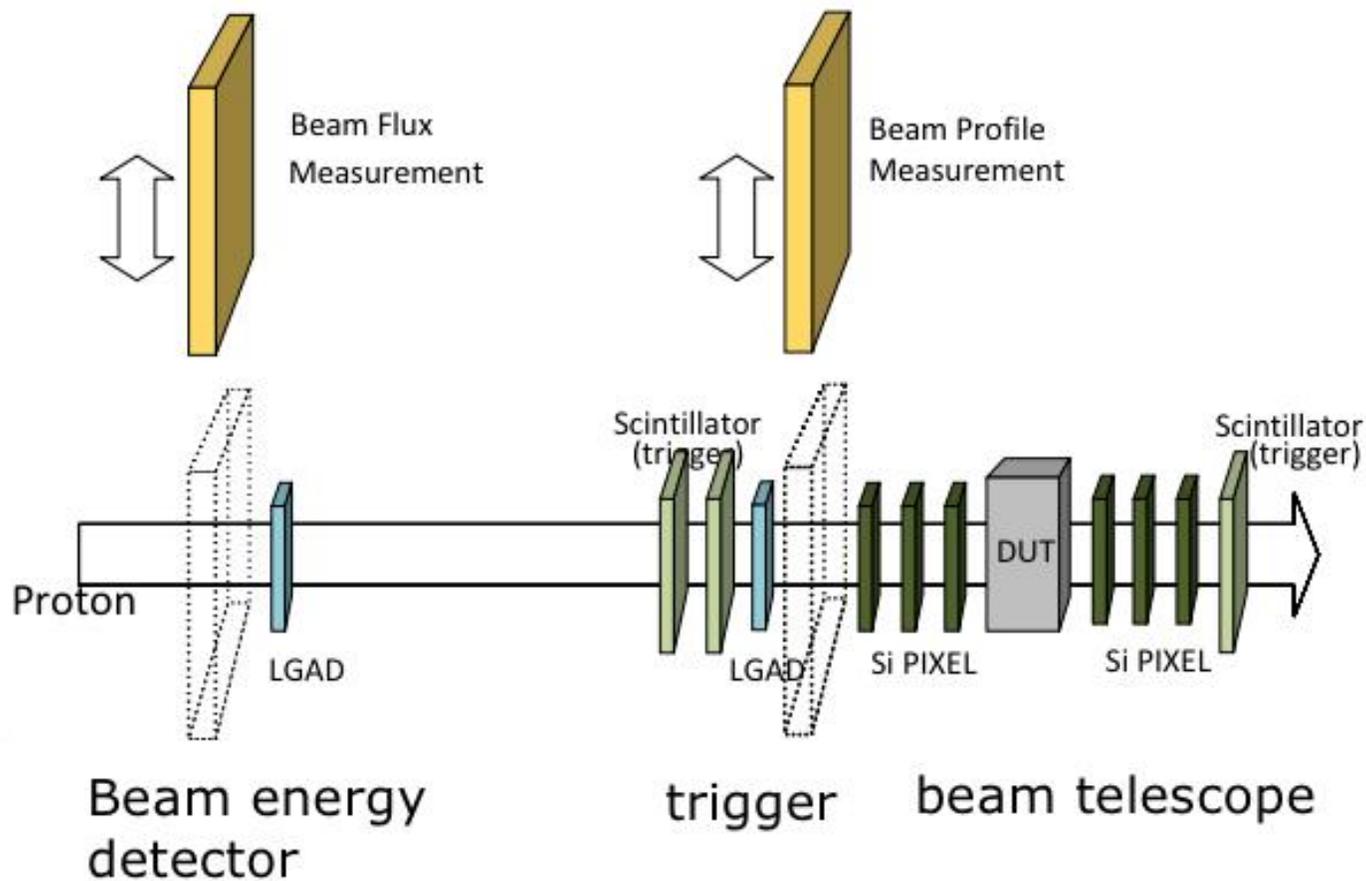
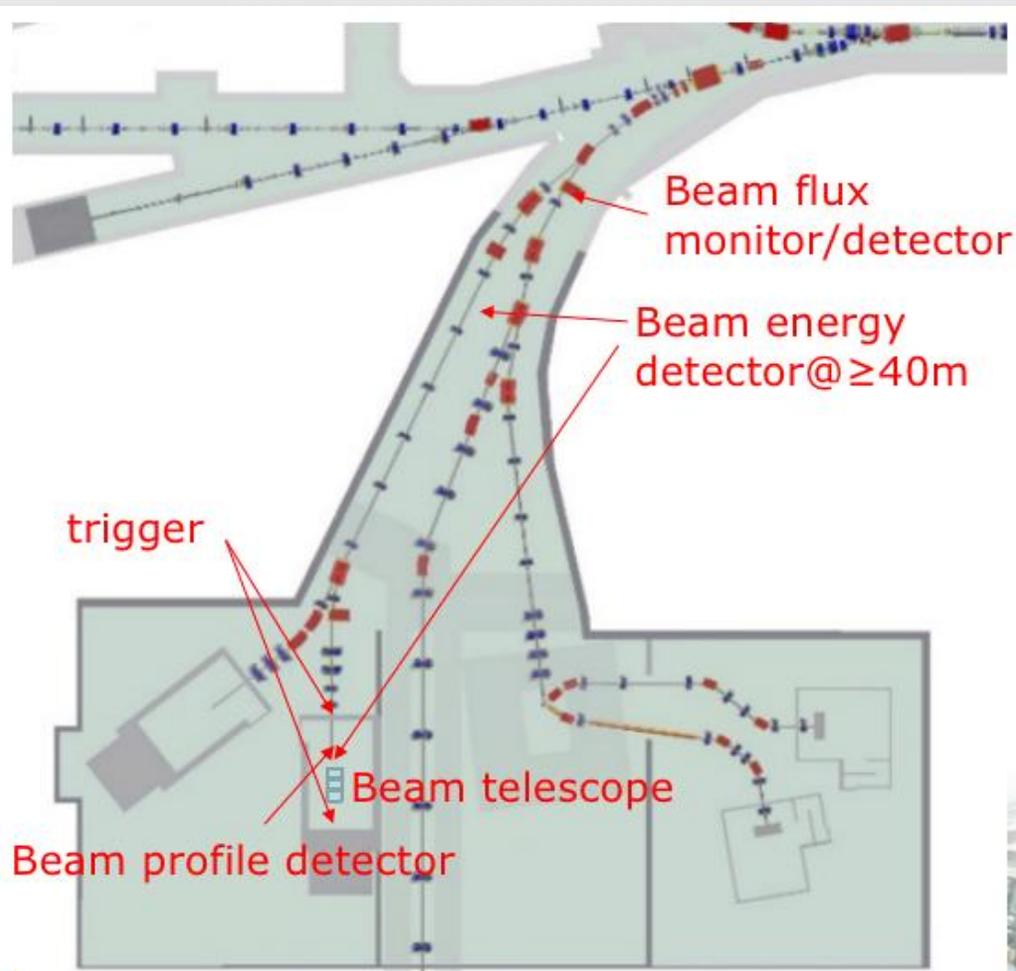
On Behalf of the FLASH Group

The Institute of High Energy Physics, CAS

2025. 8.15

- 1. 研究背景
- 2. 探测器设计方案
- 3. 探测器研制进展
- 4. 未来计划

1.0 研究背景----质子束探测器



为满足高能质子束实验终端 (High-energy Proton Beam Experimental Station, HPES) 中所有探测器同步获取数据的需求, 需要一款时间分辨率优秀的触发系统来为束线提供统一的触发信号。

1.1 触发系统FLASH

触发探测器

触发探测器可以分为：

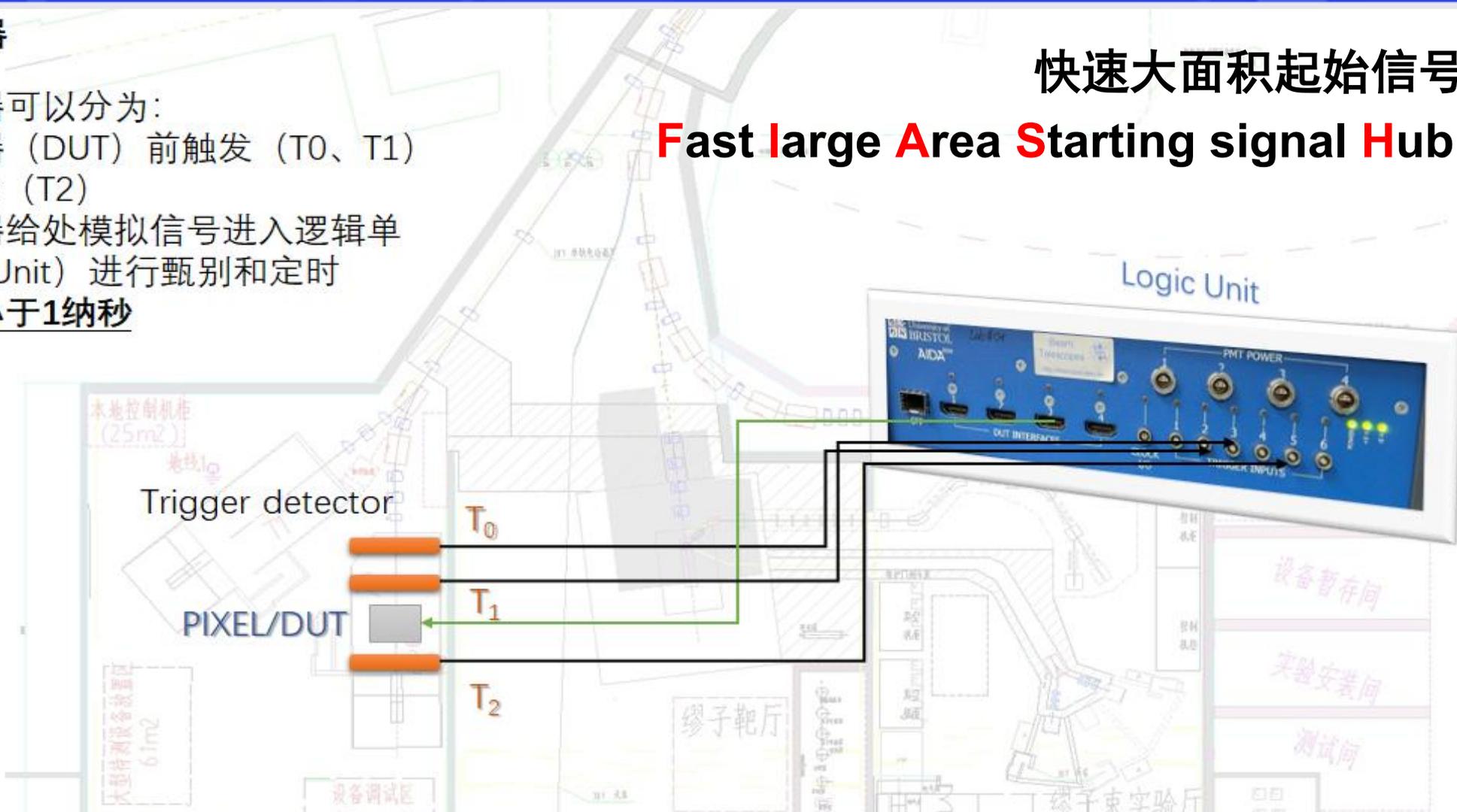
待测探测器 (DUT) 前触发 (T0、T1)

DUT后触发 (T2)

所有探测器给处模拟信号进入逻辑单元 (Logic Unit) 进行甄别和定时

时间分辨小于1纳秒

快速大面积起始信号分发器，
Fast large Area Starting signal Hub (FLASH)



触发探测器用作粒子入射时的信号测量，给实验终端探测器以及待测探测器提供高精度触发信息。

2.0 FLASH探测器设计基本原理



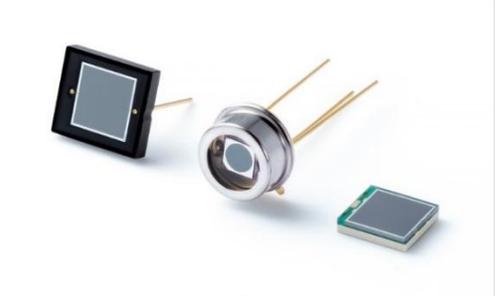
- 闪烁晶体
 - 塑料闪烁体
 - 塑料闪烁光纤
 - 晶体闪烁光纤
 - 闪烁玻璃
 - 闪烁玻璃光纤
- PMT
 - SiPM
 - APD
 - ...
- FADC
 - TDC
 - ...

2.1 FLASH探测器关键核心部件----闪烁光纤

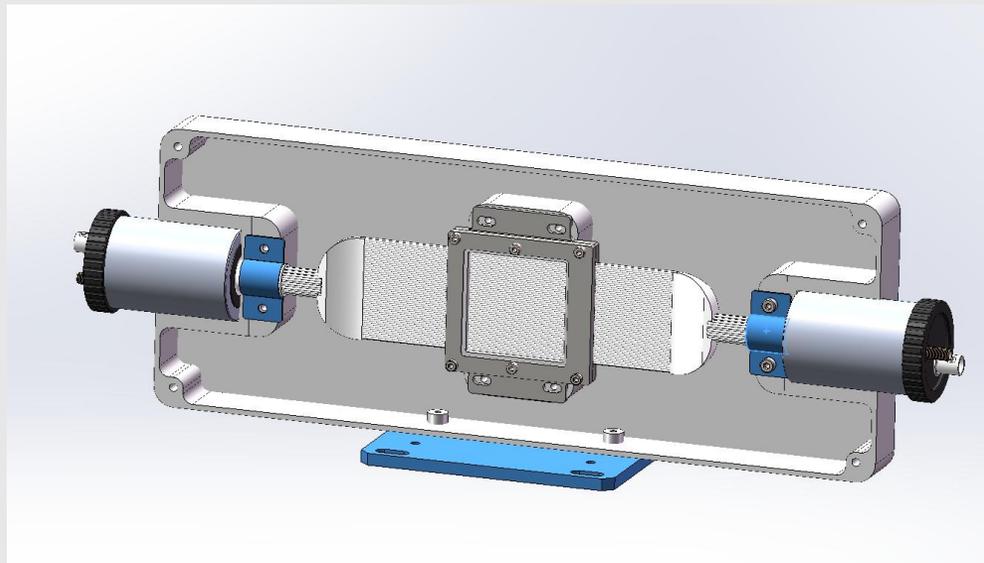
塑料闪烁体：**光产额相对较高，成本较低，衰减时间快**、可定制形状，不易潮解，耐辐照

闪烁光纤种类	优点	缺点	是否国产化
塑料闪烁光纤 	光产额高，已经作为一种成熟的辐射传感单元被应用于闪烁光纤辐射探测器的设计研发	塑料闪烁光纤密度低，抗辐射能力差，使用寿命短；熔点较低，无法在高温环境下应用；单丝直径过大，空间分辨率低	国产化程度较差，产品不成熟，主要依赖进口
晶体闪烁光纤	具有对辐射线性响应好、尺寸小、抗辐射能力强、耐高温等优点	晶体闪烁光纤在制备过程中对设备、环境的要求较高；晶体生长与光纤的拉制非常耗时， 大批量生产难度大，制作成本非常高	已经国产化
玻璃闪烁光纤	制备工艺简单、成本低廉 、可短时间内生产大尺寸产品； 成分和性能连续可调 ，可根据不同应用需求来制备不同的产品	相关研究工作大多集中在X射线激发下的性能测试，以及 X射线成像领域	研发中

2.2 FLASH探测器关键核心部件----光电器件

光电器件种类	优点	缺点
 <p>PMT</p>	<ul style="list-style-type: none">• 高增益• 低暗噪声• 超快响应时间• 抗辐照能力强	<ul style="list-style-type: none">• 高工作电压• 对磁场敏感• 抗震性不好
 <p>SiPM</p>	<ul style="list-style-type: none">• 高增益• 高量子效率• 快响应时间• 工作电压较低• 对磁场不敏感；	<ul style="list-style-type: none">• 较高暗噪声计数率• 对温度敏感• 抗辐照能力差

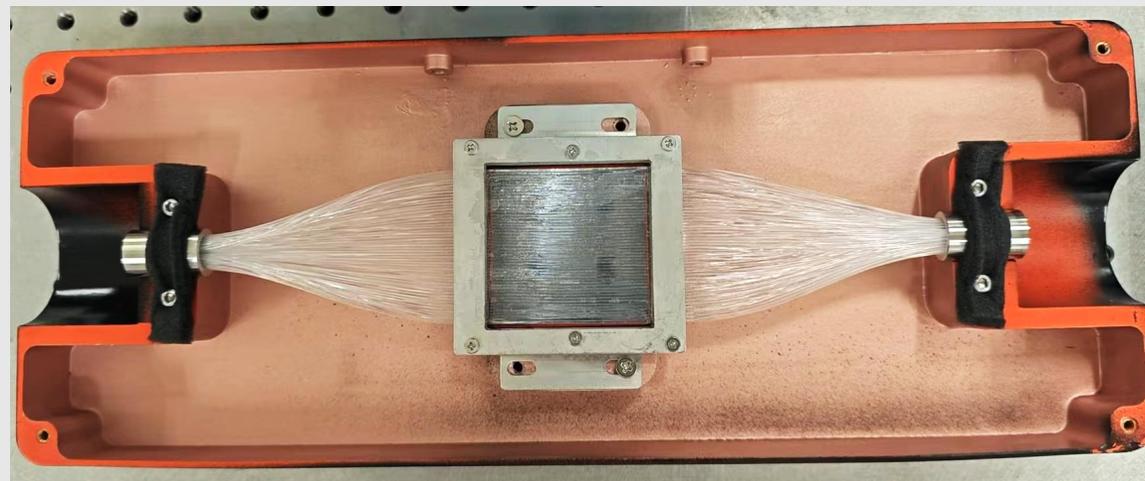
2.3 探测器设计方案



FLASH系统设计图



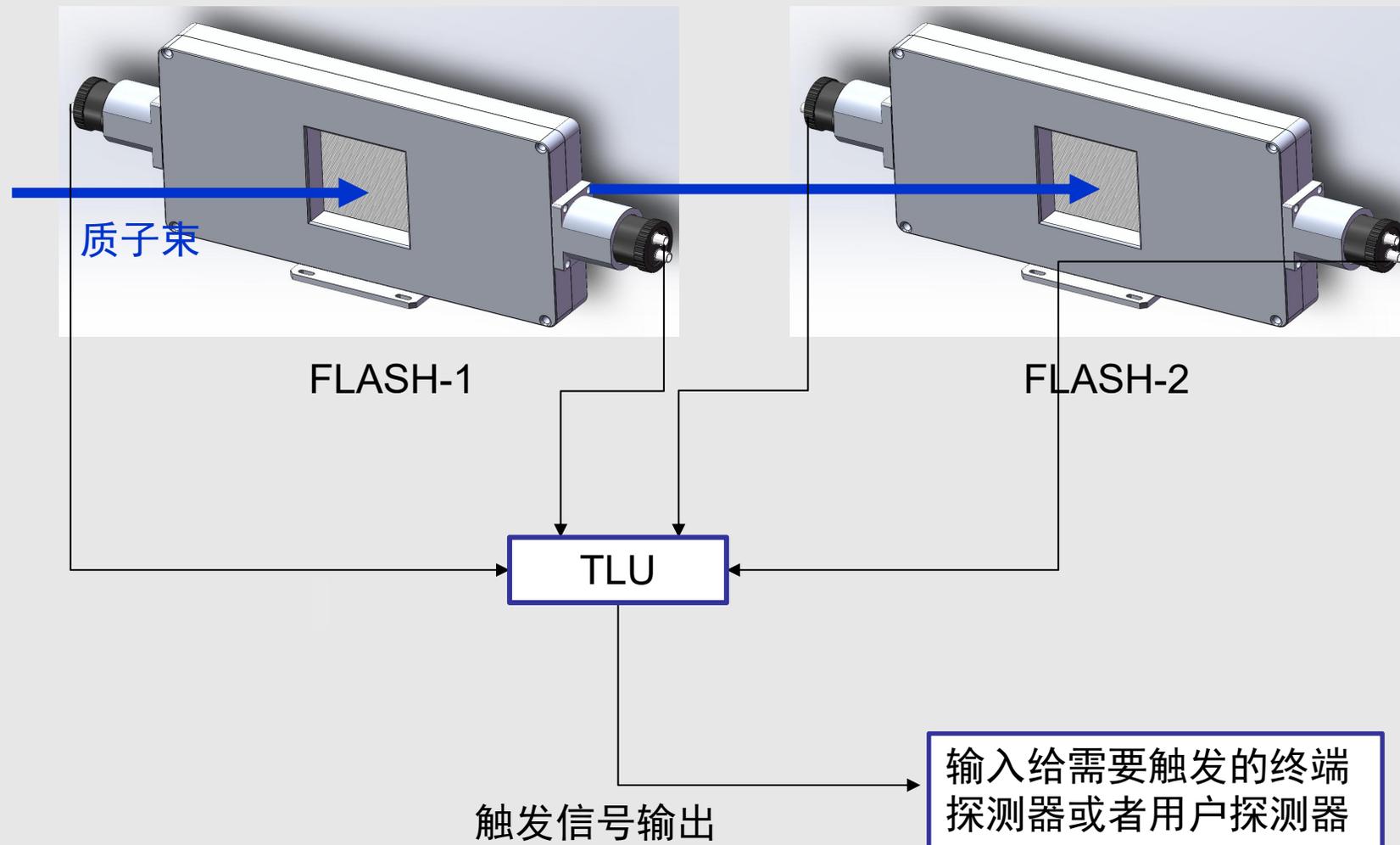
光纤截面图



光纤阵列实物图

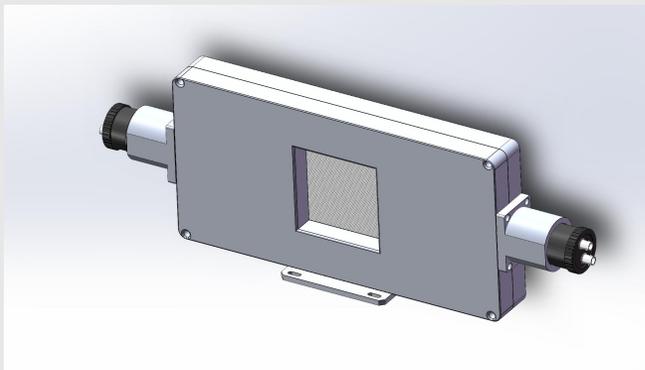
1. 采用闪烁光纤作为探测介质。由50根直径为1mm的闪烁光纤并排放置，为进一步提高探测效率设计两层光纤错位放置，以提高整体的探测效率。
2. 光纤束在两端汇为一束，分别与两只PMT进行耦合以实现光子的探测。

2.4 FLASH探测器工作架构

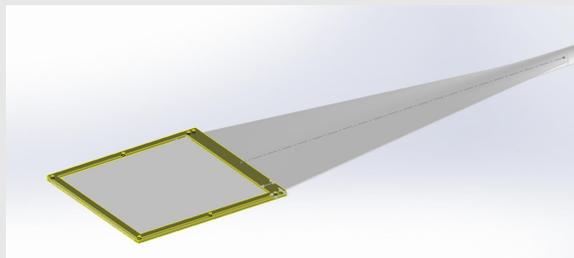


- 每个FLASH探测器有两路信号，两套FLASH探测器为一组，共四路信号输入进TLU。
- TLU负责对信号进行符合以及触发信号的分发，为每个质子事例进行编号，并以数字化信号的形式传输给需要的终端探测器，同时其保留模拟信号输出接口用于用户探测器的触发。

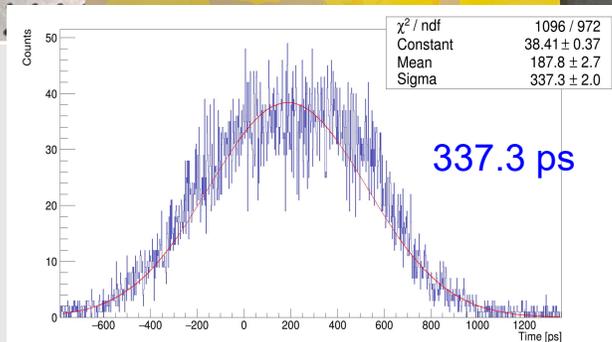
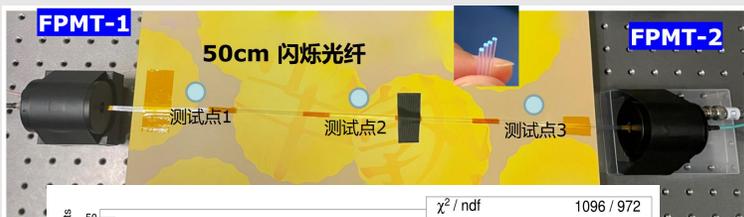
3.0 探测器进展



方案设计 ✓



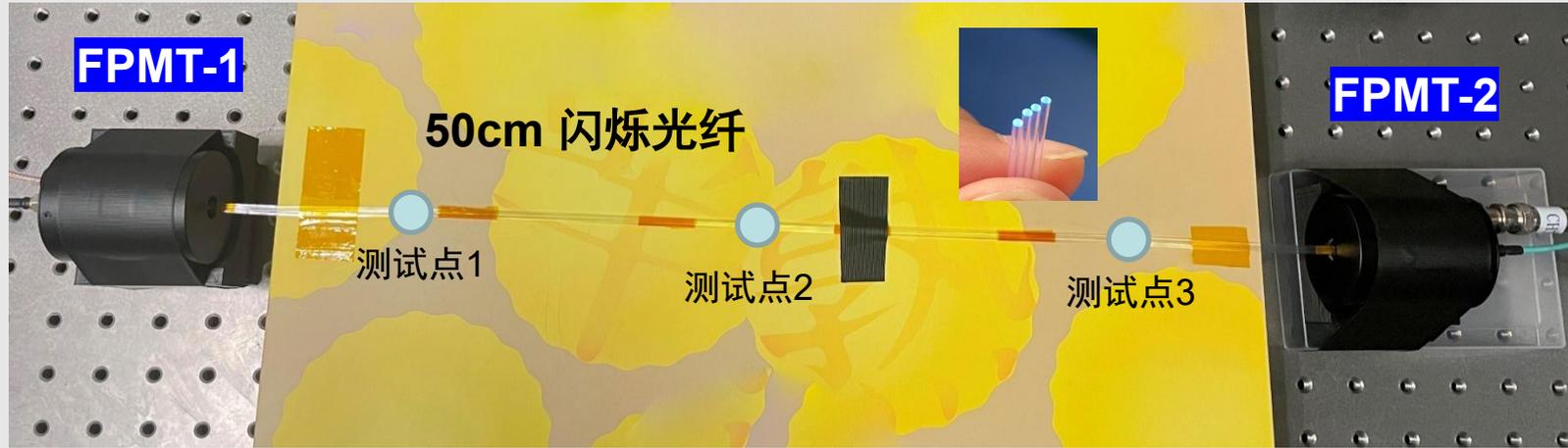
关键器件选择
FPMT+塑料闪烁光纤 ✓



采集卡测试FPMT耦合光纤时间分辨~ 88ps ✓

方案进展	完成情况
方案设计	已完成
关键器件选择	已完成
方案预研	已完成
样机研制	进行中
样机测试	待进行

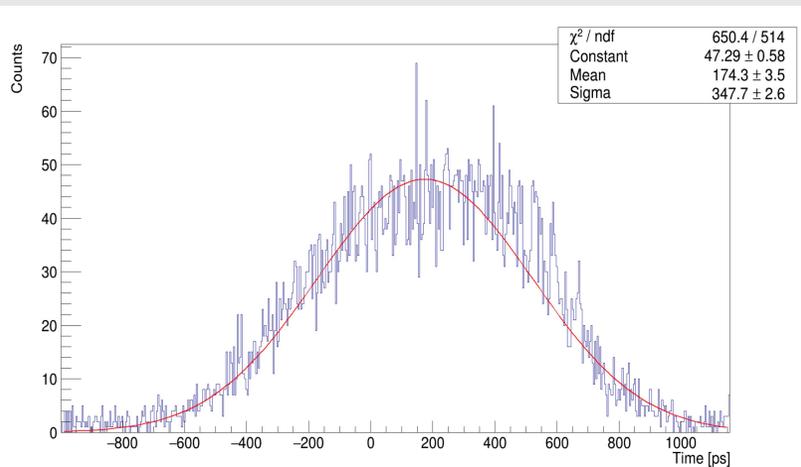
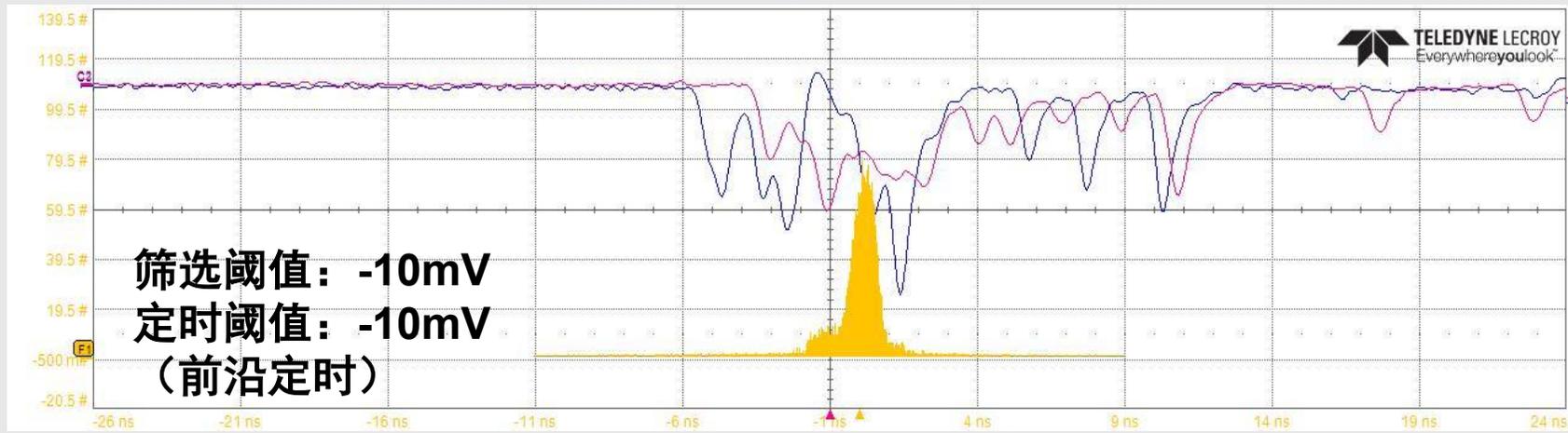
3.1.1 原理性验证测试-闪烁光纤+FPMT测试



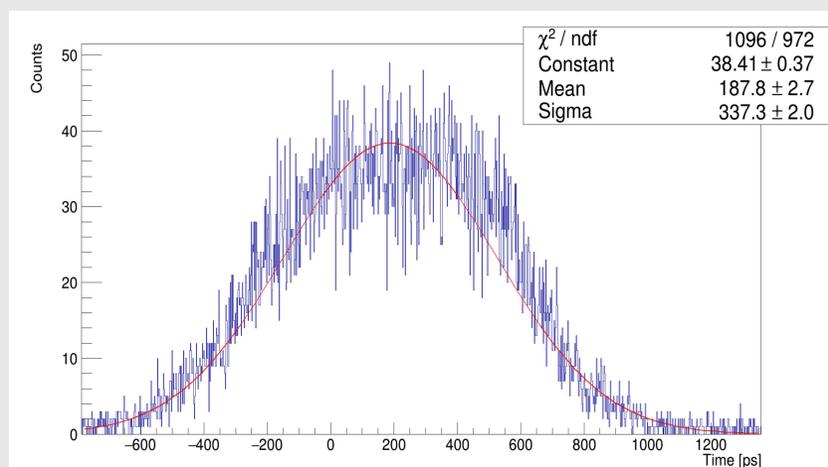
闪烁光纤长度：50cm，端面抛光
单阳极FPMT双端读出
耦合剂：硅油
放射源： ^{90}Sr
DAQ：高采样示波器

	HV/V	gain	P/V	幅度(SPE)	RT	FT	Width	TTS @SPE	TTS @MPE
FPMT-1	-2750	2.8E6	6.3	44.2mV	175ps	629 ps	308.9ps	26.6ps	7.4ps
FPMT-2	-1900	1.9E6	1.1	27.8mV	222ps	567ps	433.1ps	45.0ps	-

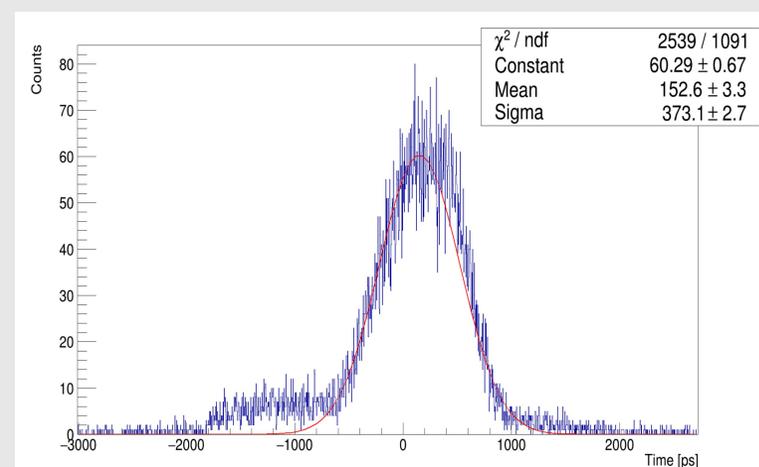
3.1.1 原理性验证测试-闪烁光纤+FPMT测试



测试点1
Sigma: 347.7 ps

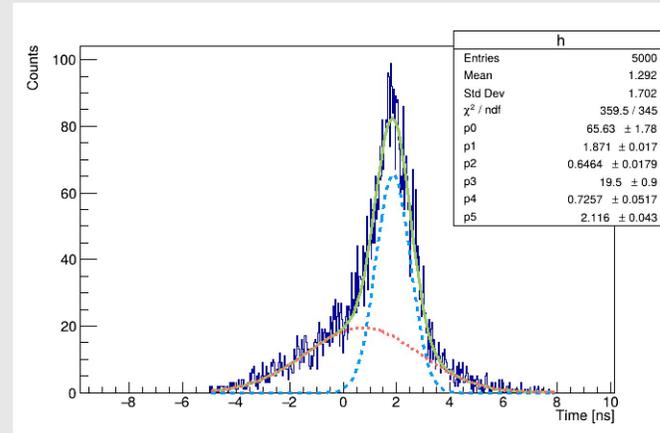


测试点2
Sigma: 337.3 ps

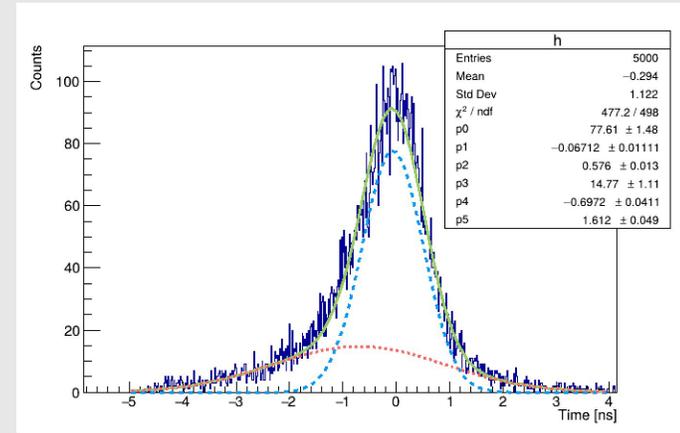


测试点3
Sigma: 373.1 ps

3.1.2 模型验证测试-闪烁光纤阵列+FPMT测试



CTR: 646ps



CTR: 576ps

FLASH光纤阵列: 5cm*5cm

PMT: FPMT双端读出

耦合剂: 硅油

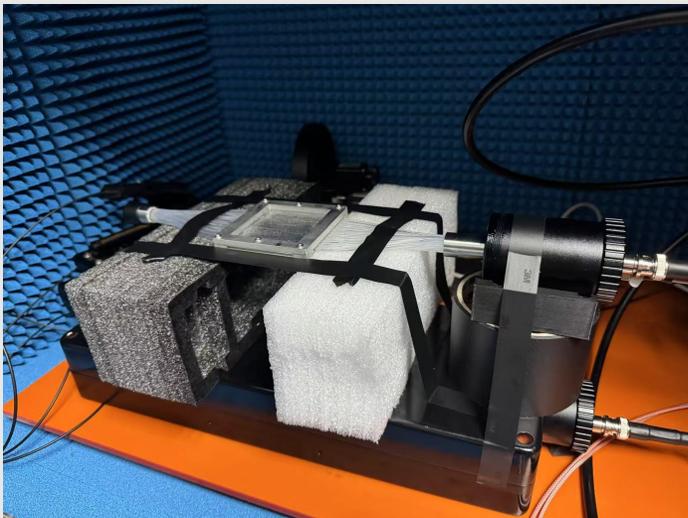
放射源: ^{90}Sr

DAQ: 示波器

测试目的: 符合时间分辨测试

FLASH	Peak(mV)	RT(ns)	FT(ns)	FWHM(ns)	CTR(ns)
1	77.9/111.4	0.54/0.51	1.37/1.38	1.60/1.32	646
2	78.1/123.3	0.48/0.51	1.51/1.80	1.13/1.39	576

3.1.3 宇宙线测试——一组FLASH+FPMT单端读出



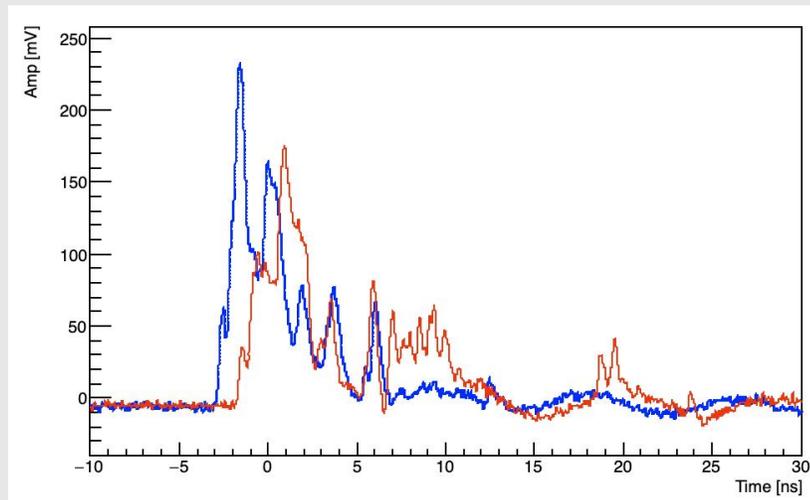
测试对象: 5*5cm FLASH探测器*2

PMT: 单阳极FPMT

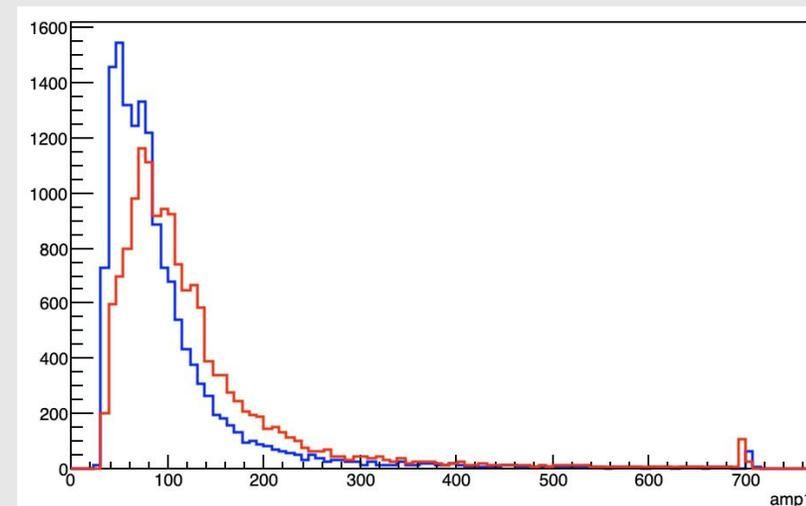
DAQ: 40G/s 示波器 波形采样

源: 宇宙线

读出方式: 单个FLASH探测器由一个FPMT读出, 两探测器间隔13cm

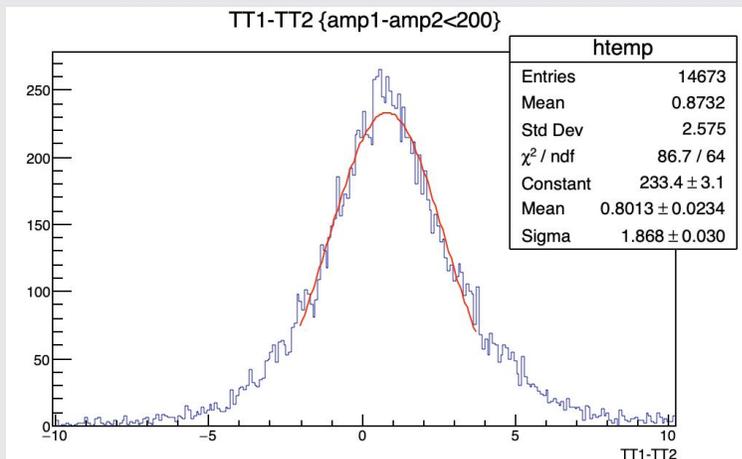


FPMT输出的典型波形

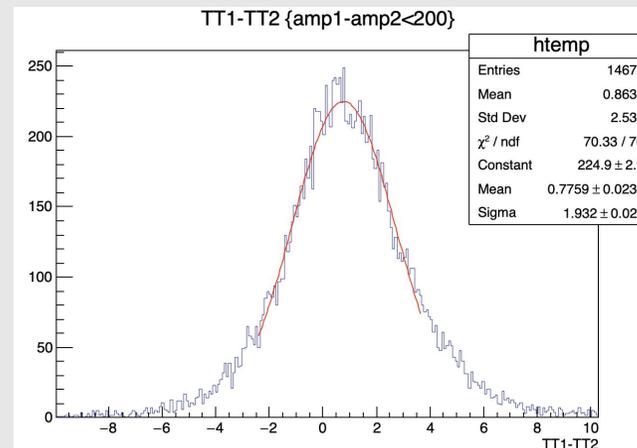


FPMT输出的波形幅度分布

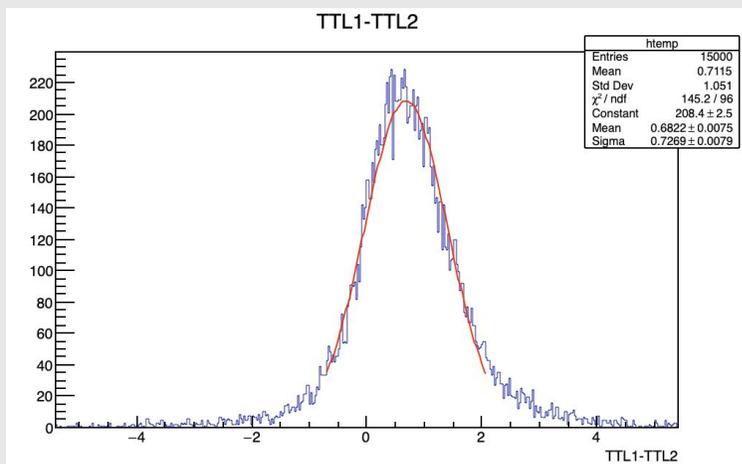
3.1.3 宇宙线测试——一组FLASH+FPMT单端读出



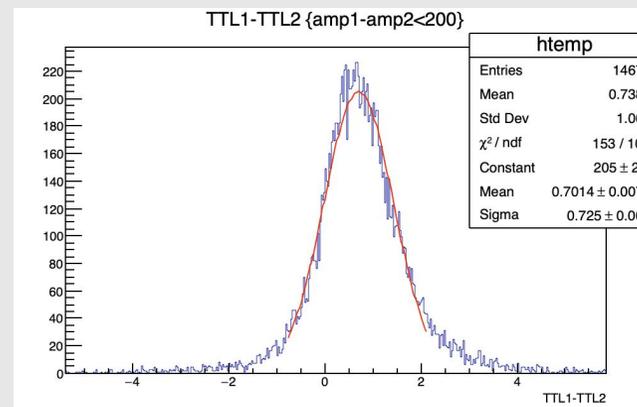
CDF 30% 时间分辨 : 1.87 ns



CDF 50% 时间分辨 : 1.93 ns

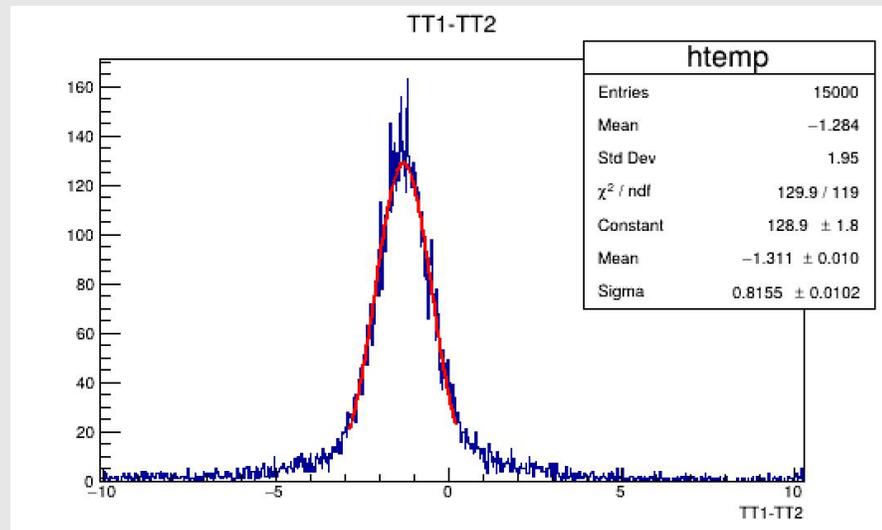
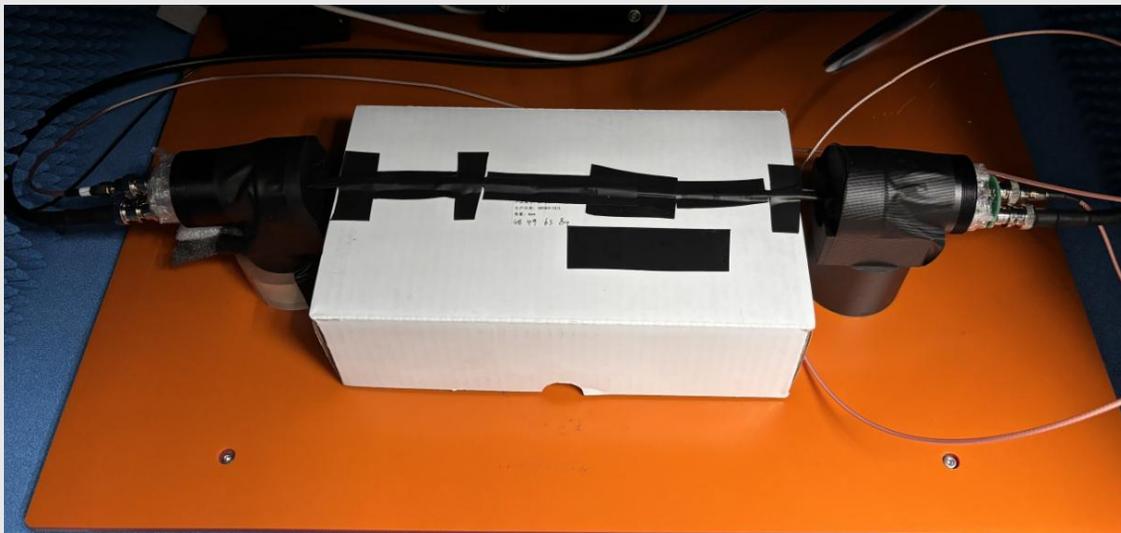


LED 10mV 时间分辨 : 0.73 ns



LED 10mV 时间分辨 : 0.73 ns

3.2.1 原理性验证测试-闪烁光纤+Dynode-PMT测试



CTR: 816ps

闪烁光纤长度：50cm

PMT：Dynode-PMT双端读出

耦合剂：硅油

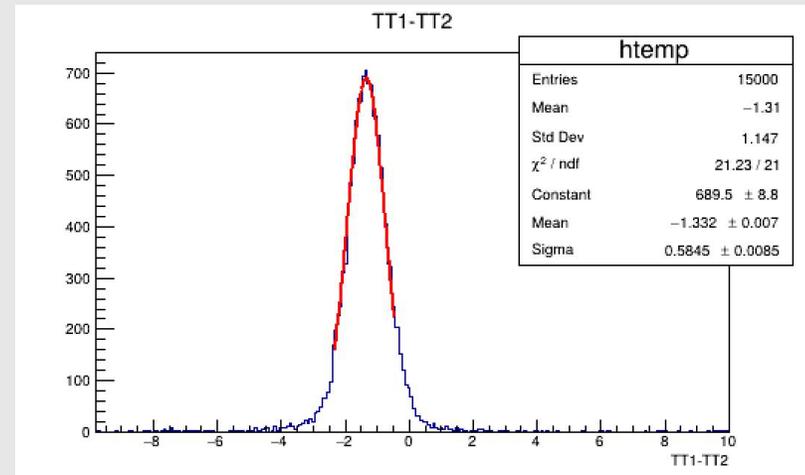
放射源： ^{90}Sr

DAQ：示波器

测试目的：符合时间分辨测试

PMT	Peak(mV)	RT(ns)	FT(ns)	FWHM(ns)	CTR(ns)
Dynode-PMT	271.3/217.3	2.6/2.6	4.9/5.8	3.8/4.1	0.82

3.2.2 模型验证测试-闪烁光纤阵列+Dynode-PMT测试



CTR: 585ps

FLASH光纤阵列: 5cm*5cm

PMT: Dynode-PMT双端读出

耦合剂: 硅油

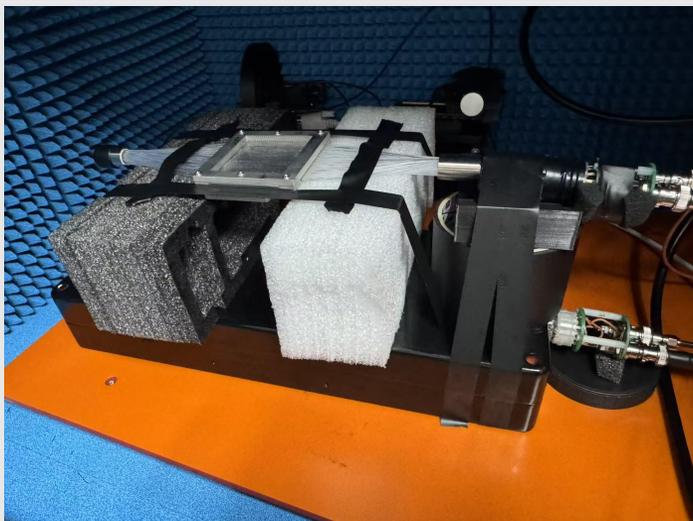
放射源: ^{90}Sr

DAQ: 示波器

测试目的: 符合时间分辨测试

FLASH	Peak(mV)	RT(ns)	FT(ns)	FWHM(ns)	CTR(ns)
1	544.1/463.6	2.4/2.5	6.5/7.3	4.4/4.7	0.59

3.2.3 宇宙线测试——一组FLASH+Dynode-PMT



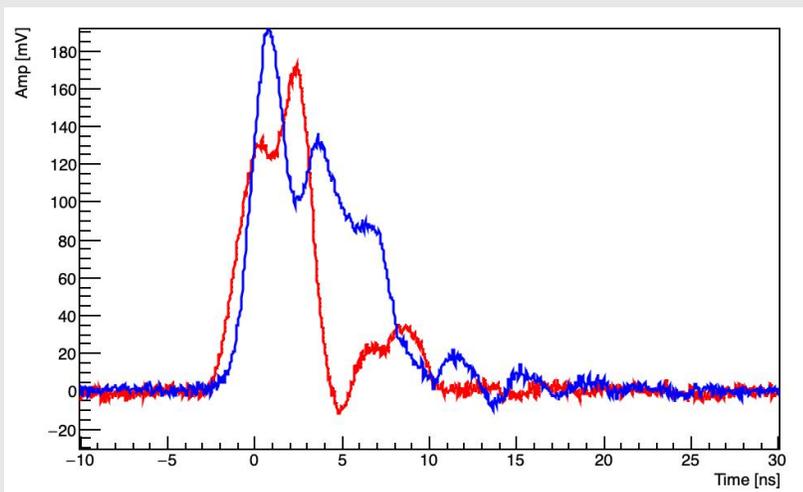
测试对象: 5*5cm FLASH探测器*2

PMT: Dynode-PMT

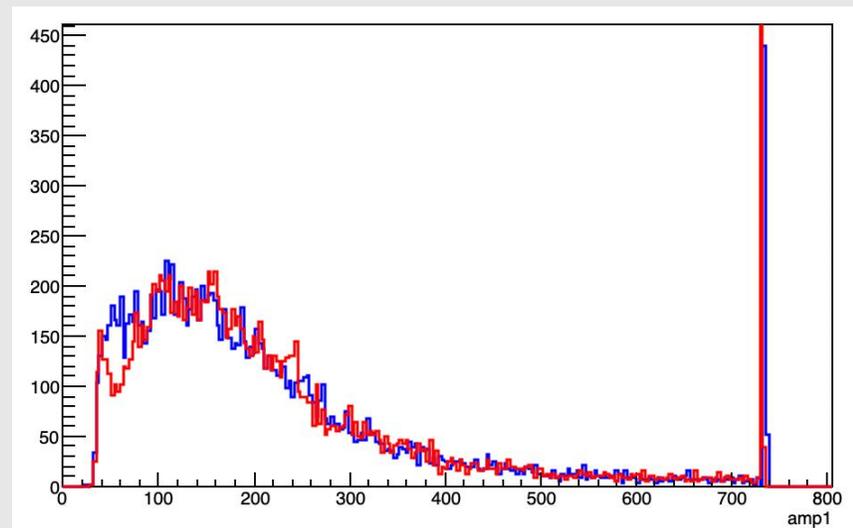
DAQ: 40G/s 示波器 波形采样

源: 宇宙线

读出方式: 单个FLASH探测器由一个N2014读出,
两个探测器间隔13cm

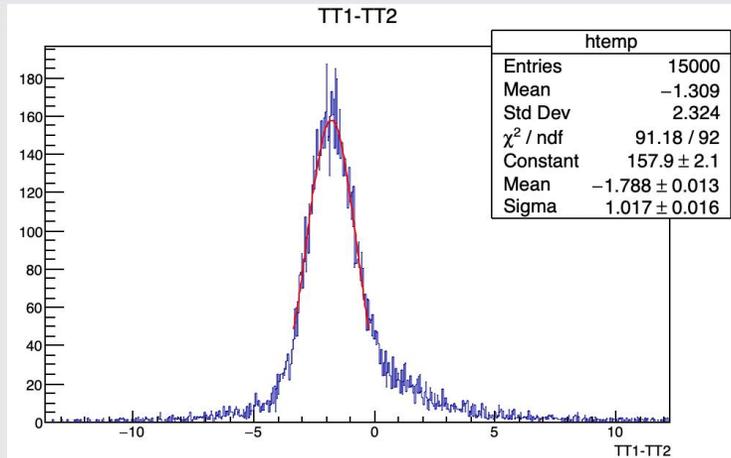


N2014输出的典型波形

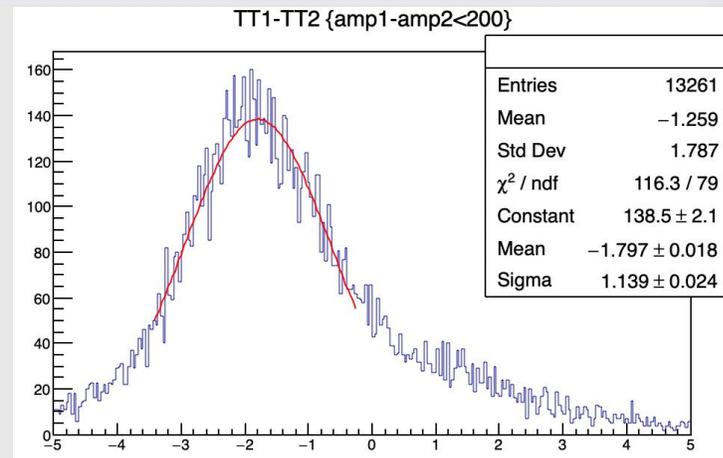


N2014输出的波形幅度分布

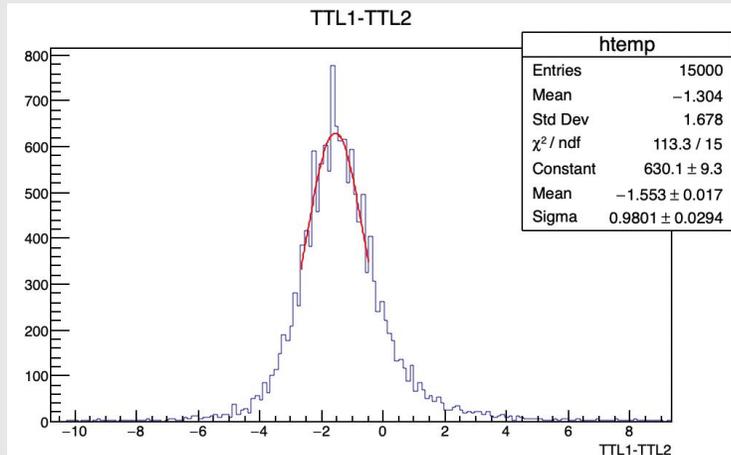
3.2.3 宇宙线测试——一组FLASH+Dynode-PMT



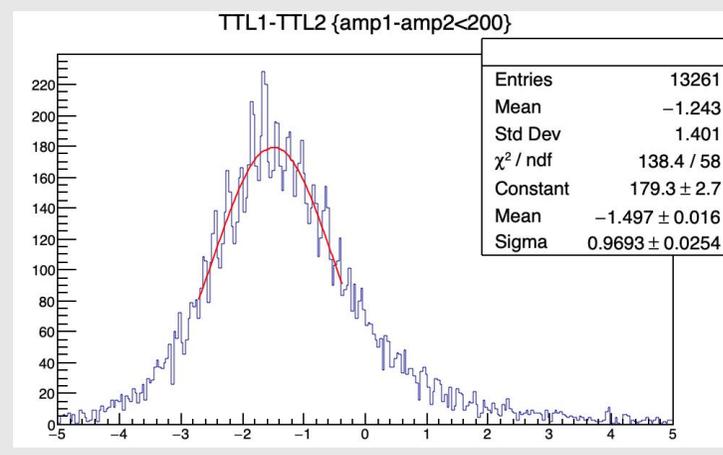
CDF 30% 时间分辨：1.02 ns



CDF 50% 时间分辨：1.14 ns



LED 10mV 时间分辨：0.98 ns



LED 15mV 时间分辨：0.97 ns

3.3 总结

	PMT	Peak(mV)	RT(ns)	FT(ns)	FWHM(ns)	CTR(ns)
光纤实验	FPMT	44.2	0.18	0.63	0.31	0.34
光纤阵列实验	FPMT	78.1/123.3	0.48/0.51	1.51/1.80	1.13/1.39	0.58
宇宙线实验	FPMT	98.1/128.3	1.16/1.13	2.30/2.01	0.86/0.84	0.73
光纤实验	Dynode-PMT	271.3/217.3	2.6/2.6	4.9/5.8	3.8/4.1	0.82
光纤阵列实验	Dynode-PMT	544.1/463.6	2.4/2.5	6.5/7.3	4.4/4.7	0.59
宇宙线实验	Dynode-PMT	216.0/228.9	2.23/2.74	3.83/5.92	3.03/4.19	0.98
束流实验	FPMT	待测	待测	待测	待测	待测
束流实验	Dynode-PMT	待测	待测	待测	待测	待测

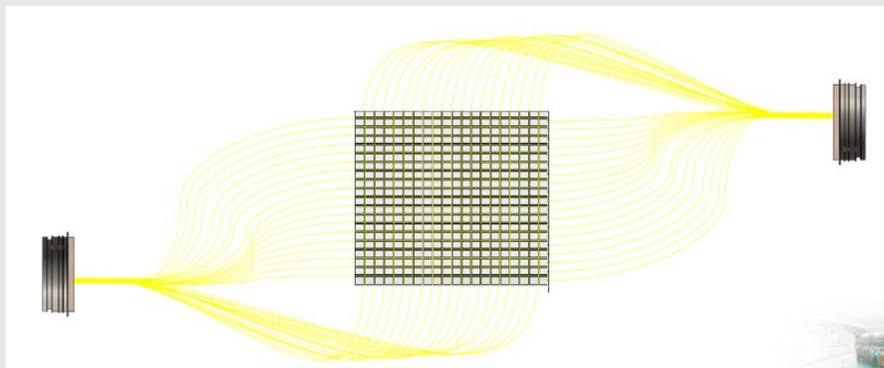
结论：针对HPES对触发系统的时间分辨需求，设计并制备了FLASH触发探测器，完成了从原理验证到模型验证再到宇宙线实验的流程，探测器的时间分辨率满足条件，下一步计划通过束流实验进一步验证该触发系统的性能。

4 未来计划

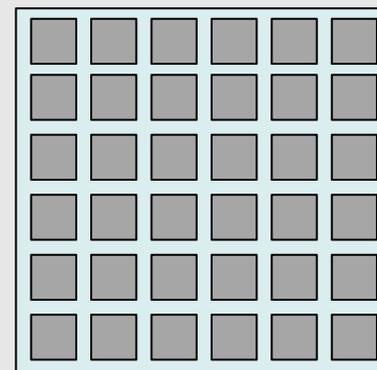
除了本探测器采用的塑料闪烁光纤与FPMT的组合外，针对不同的探测与触发需求，可通过更换不同的闪烁光纤，如BGO,LYSO,BaF2等来响应不同的源；

- 电子束
- 中子束
- 重离子束
- meon束
- ...

通过更换不同的光电器件，如Dynode-PMT,多阳极FPMT,SiPM阵列等来满足不同的时间性能或位置信息需求。



多阳极FPMT



SiPM阵列

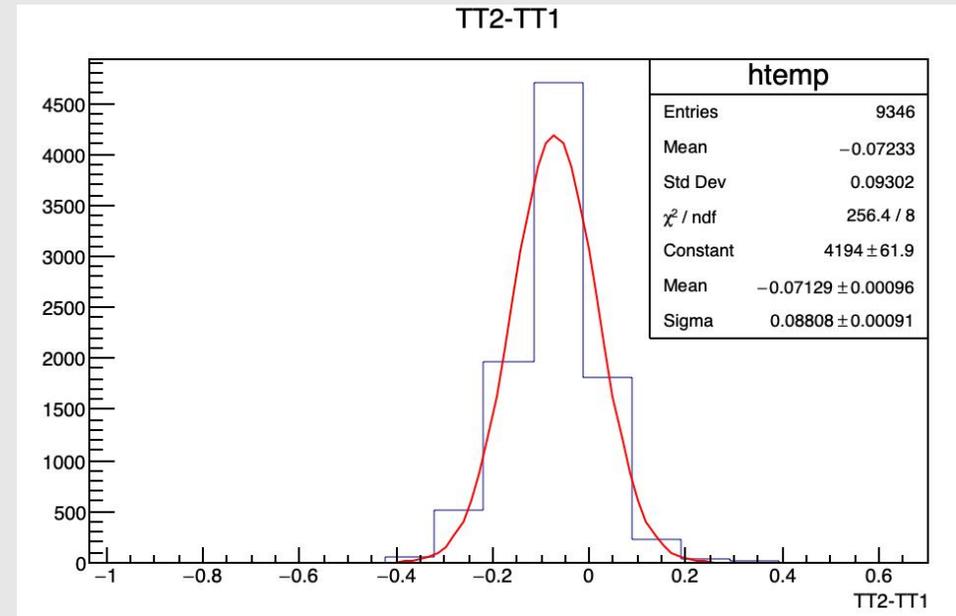
THANKS !

backup 原理性验证测试-塑料光纤+FPMT+采集卡测试

在实验室采用激光器模拟闪烁发光光源，进而验证探测器的时间晃动影响。



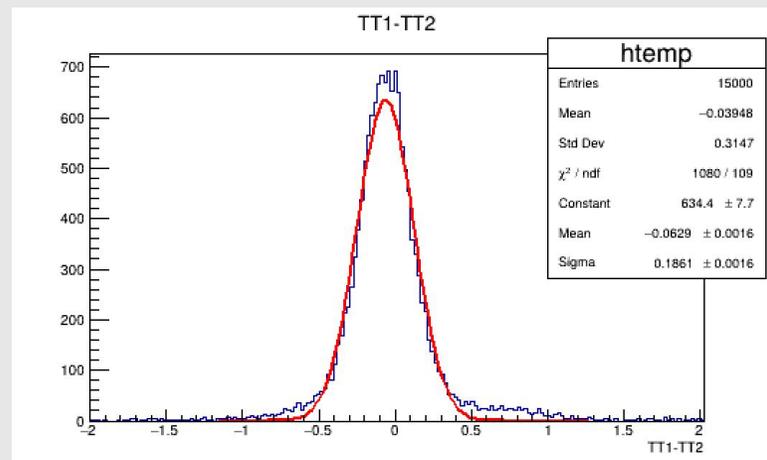
测试平台搭建



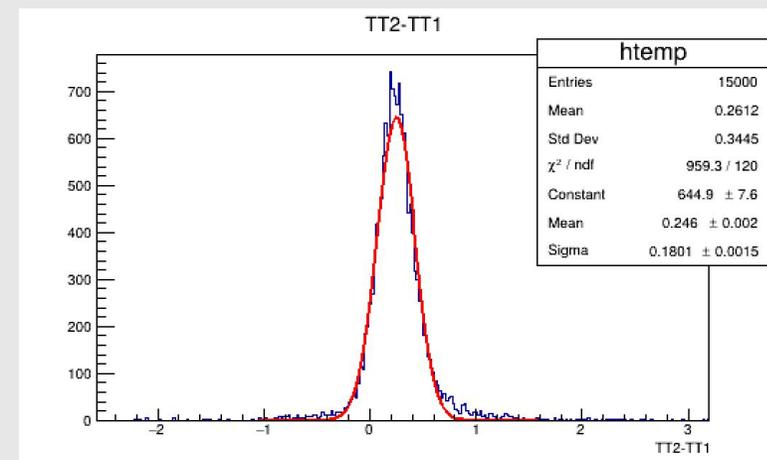
探测器通过光源测试的时间晃动为88 ps，满足设计指标。

DAQ	PMT	Peak(mV)	RT(ns)	FT(ns)	FWHM(ns)	CTR(ps)
中科采象	FPMT	26.6/23.8	1.5/1.5	2.1/2.0	2.2/2.1	88

backup 模型验证测试-闪烁光纤+FPMT+采集卡测试



CTR: 186ps



CTR: 180ps

FLASH光纤阵列: 5cm

PMT: FPMT双端读出

耦合剂: 硅油

光源: ps激光器 ~400mV

DAQ: 示波器

测试目的: 符合时间分辨测试

FLASH	Peak(mV)	RT(ns)	FT(ns)	FWHM(ns)	CTR(ps)
1	271.5/378.2	0.62/0.58	5.35/4.24	2.55/2.26	186
2	258.7/465.5	0.63/0.58	5.35/4.48	2.59/2.3	180