

LHAASO-WCDA 探测器 时间标定

报告人：刘金艳

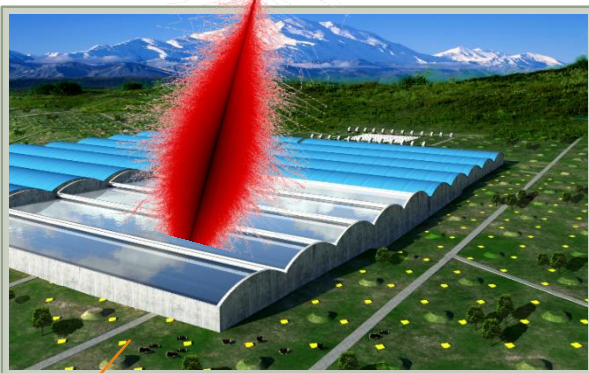
南开大学/中科院高能物理研究所

第十二届全国粒子物理学术会议 2016

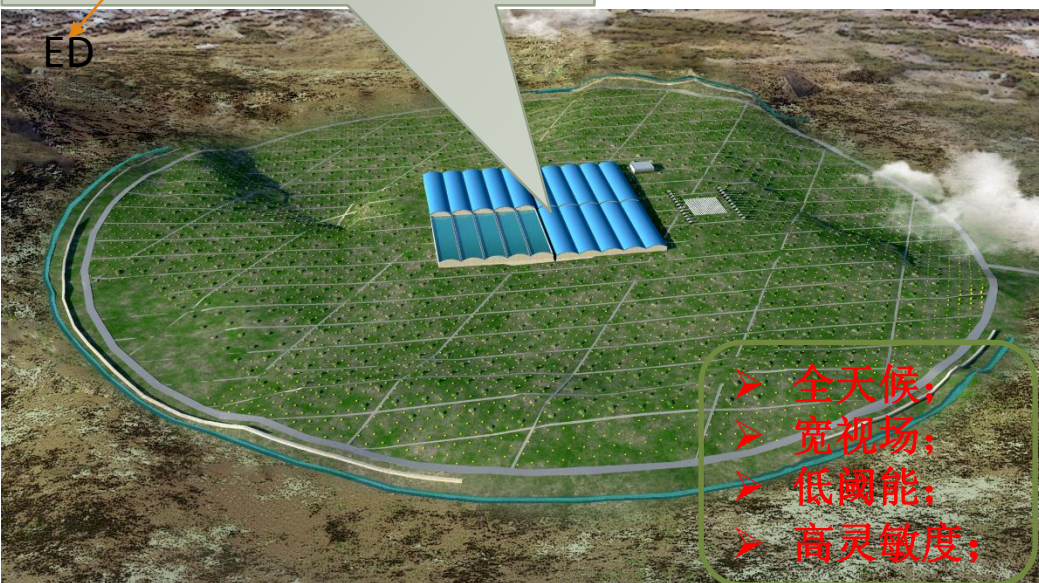
报告内容

- LHAASO-WCDA 探测器介绍
- 时间标定方案
 - 交叉标定方法
 - 标定系统的整体框架
- 标定样机的搭建和性能测试
 - 测试平台
 - 测试内容
- 总结

LHAASO-WCDA 探测器介绍



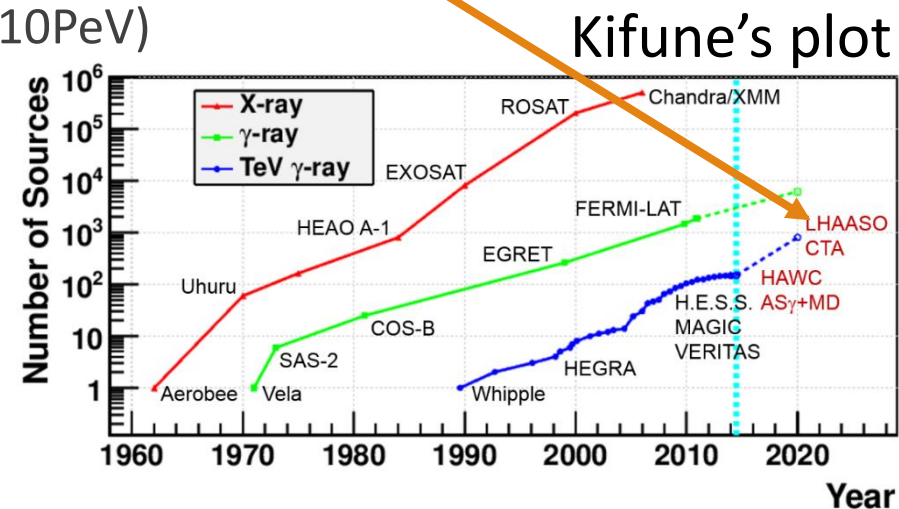
WCDA:
Water Cherenkov
Technique
3120 cells
78,000 m²



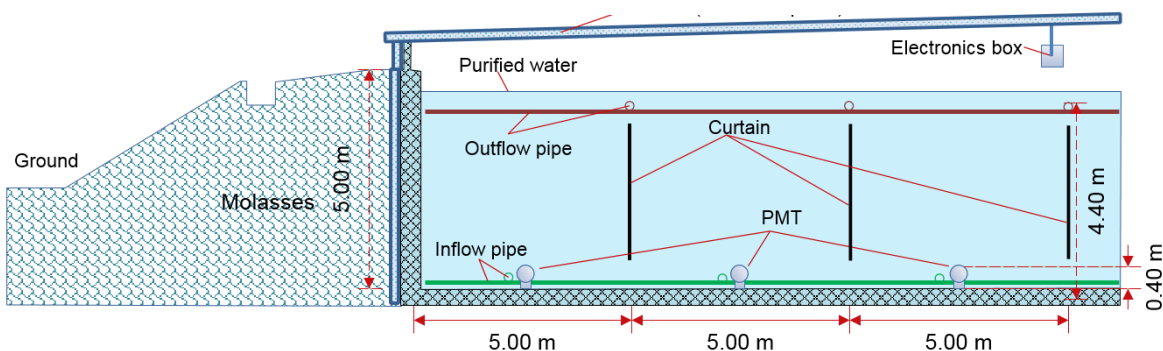
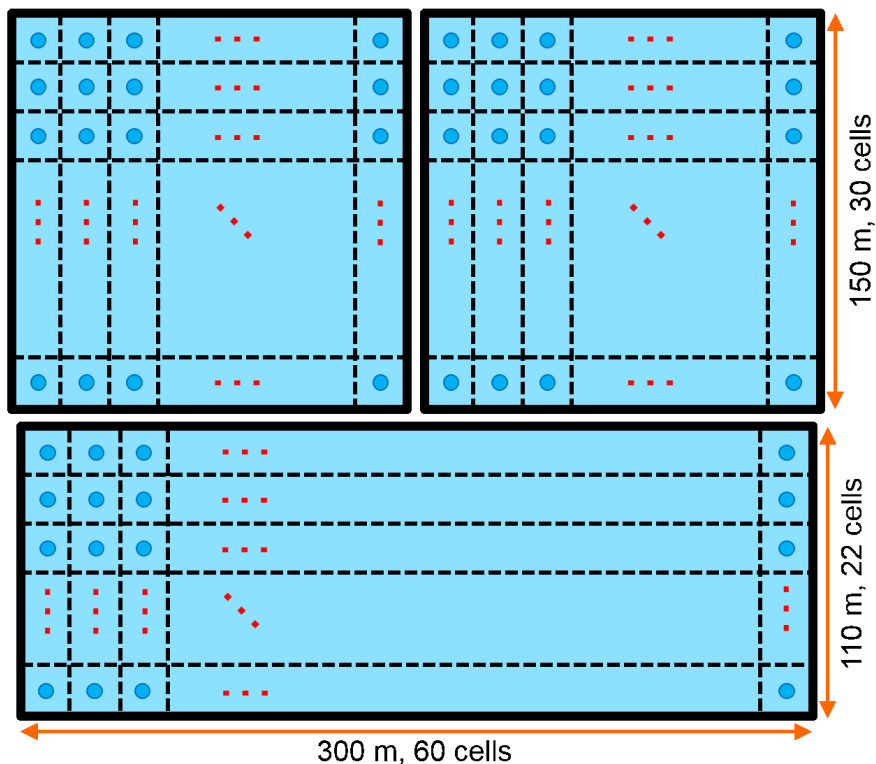
- 全天候;
- 宽视场;
- 低阈能;
- 高灵敏度;

物理目标

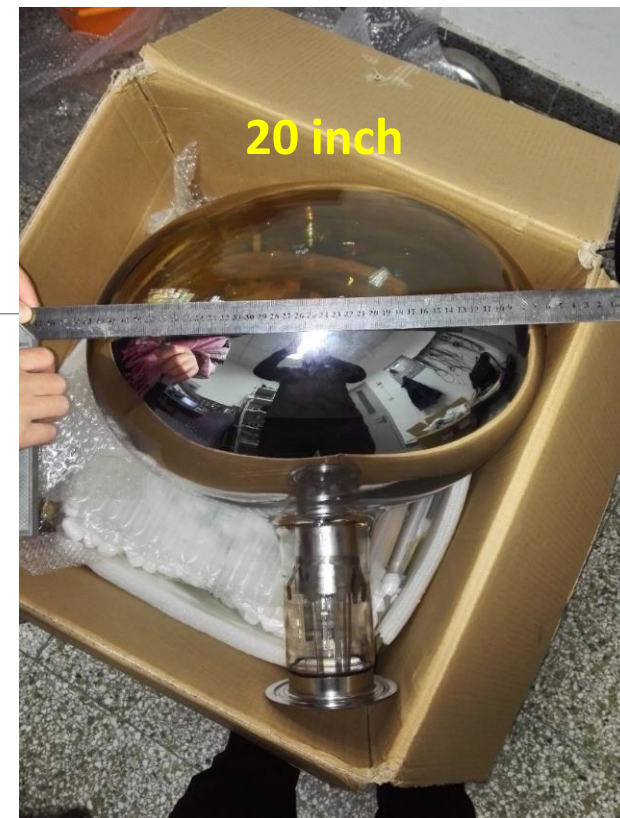
- VHE γ 辐射源巡天扫描 (100GeV – 30TeV)
 - 河外源/耀变源;
 - GRB;
 - 河内源;
 - 其他.
- 宇宙线物理 (1TeV – 10PeV)
 - 各项异性;
 - 能谱测量;
 - 强相互作用;
- 其他方面
 - 暗物质 γ 辐射;
 - 太阳风暴;
 - etc..



WCDA Layout



PMT candidates



- 78,000 m²;
- 3120 cells;
- 4 m有效水深;
- 单元光隔离;
- 大尺寸PMT置于底部, 光阴极朝上.

时间标定方案

□ 目的

- 标定通道相对时间差;
- 运行过程中监测通道时间差变化;

□ 设计要求

- 标定精度 $\delta T \leq 0.1 \text{ ns}$;

□ 大型宇宙线探测器时间标定方案

- 实验数据手段：例如对宇宙线muon径迹重建；利用“特征面”法对探测器单元做时间校准；
- 硬件手段：单光源集中照射所有探测通道；采用光源+光纤手段

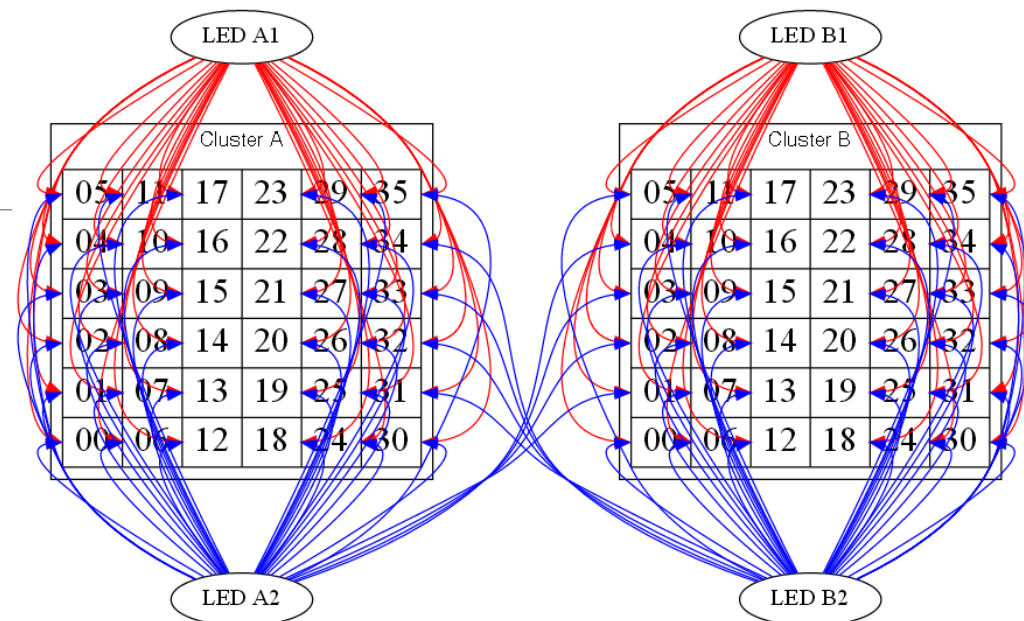
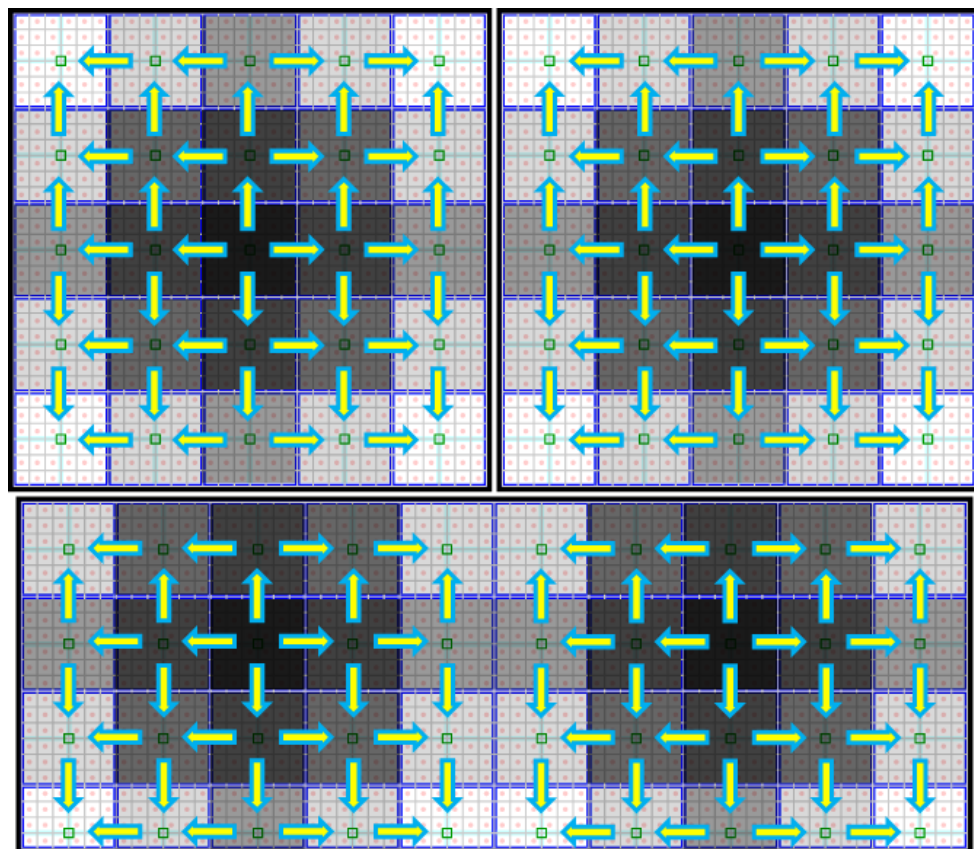
□ 针对LHAASO-WCDA

- 硬件手段采用光源+光纤手段
- 效率高，一旦发现问题可以在小时时间量级给出反应，可监测PMT+电缆+电子学通道时间差的变化

□ 关键问题

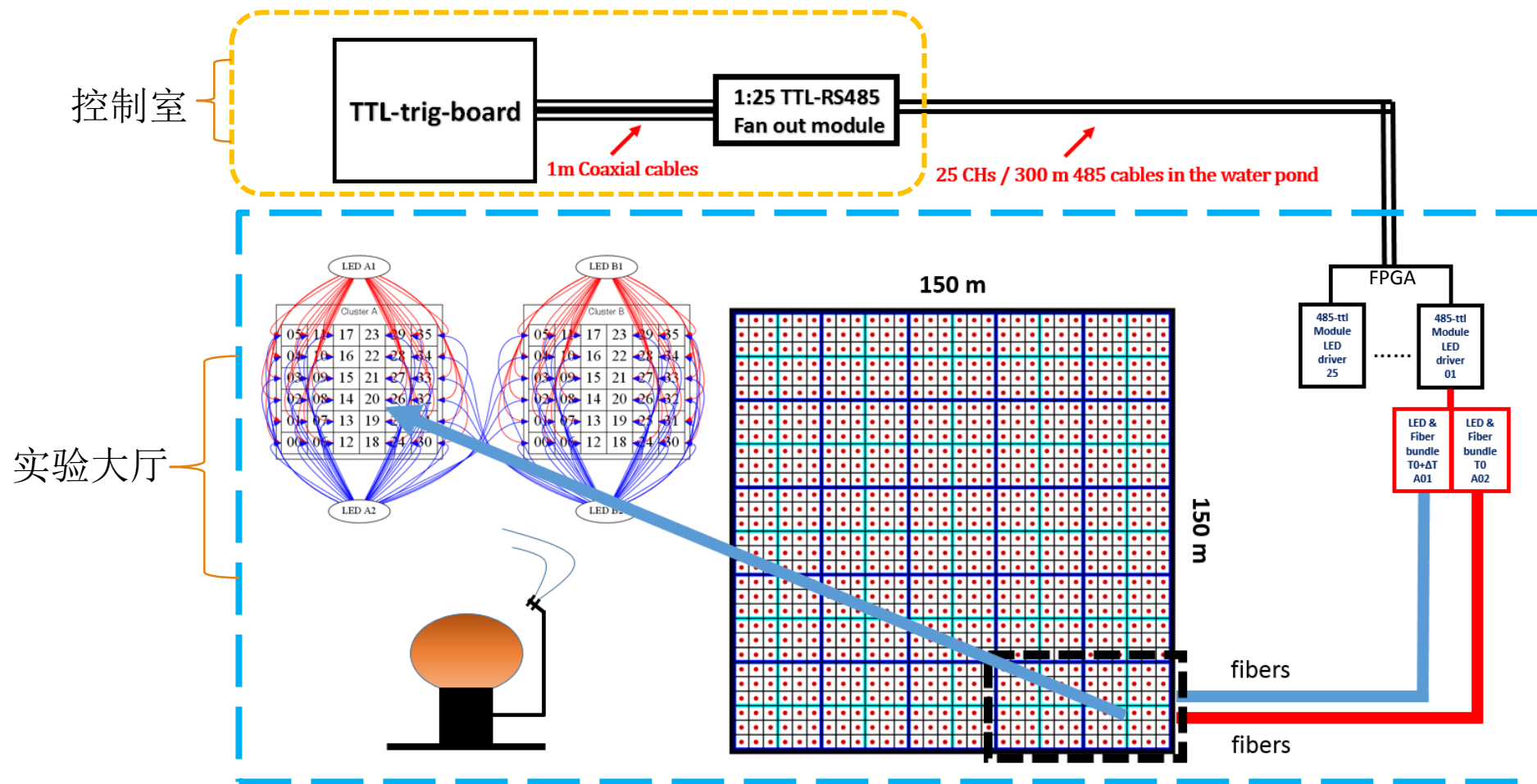
- 标定光强均匀度 $\pm 10\%$ （均匀度）；
- 同步性高；
- 光强依赖性小（可靠性）

交叉标定方法



- ❑ 以 $\frac{1}{4}$ 子阵列进行标定为例，子阵列之间相对时间差通过簇射进行标定；
- ❑ 每个cluster (6×6) 采用两套分光束刻度样机；分为cluster内部刻度（红色），以及cluster之间交叉刻度（蓝色，交叉4根）；
- ❑ 内部刻度与交叉刻度光纤束，交替发光，A批次/B批次的所有LED发光时间都在100ns以内，低频标定（5Hz / 10Hz）；
- ❑ 通过四级传递，实现 $\frac{1}{4}$ 阵列的标定。

标定系统的整体框架



标定样机的搭建

组成部分	指标参数
LED	发散角 $\theta = 120^\circ$; 峰值波长 $\lambda = 468 \text{ nm}$.
光纤束	1 mm 芯径; 2.2 mm PE被覆 40 m / 根; 40 根 / 套; SMA 905 固定; $\lambda = 26 \text{ m} @ 470 \text{ nm}$;
驱动	2N5551 雪崩三极管驱动;
触发	TTL rise time = 2 ns;
均匀光筒	均匀度 $\pm 1\%$;



均匀光纤分光束是标定系统中最为关键的一个组成部分，也涉及关键技术总体要求：各光纤输出的标定光强均匀度 $\pm 10\%$ 范围内。

部件设计及加工介绍

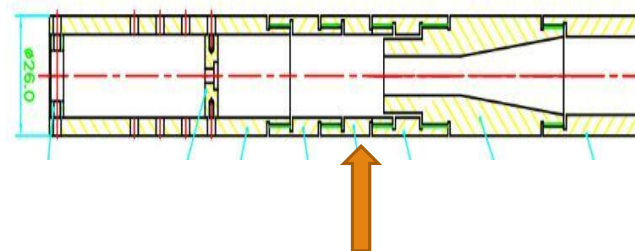
光纤束设计



单根光纤实物图

- 整体外径2.2 mm。PMMA塑料光纤，数值孔径960 μm
- 光纤束入光端剥离一定长度的PE被覆，套入定制设计的不锈钢套管内，光学胶粘接固定，光纤端面需6次精细研磨抛光，光纤束整体分布直径为7.5 mm
- 入光端外侧做螺纹用于和光筒连接
- 光纤输出端采用SMA905不锈钢头固定，并同样进行精抛光

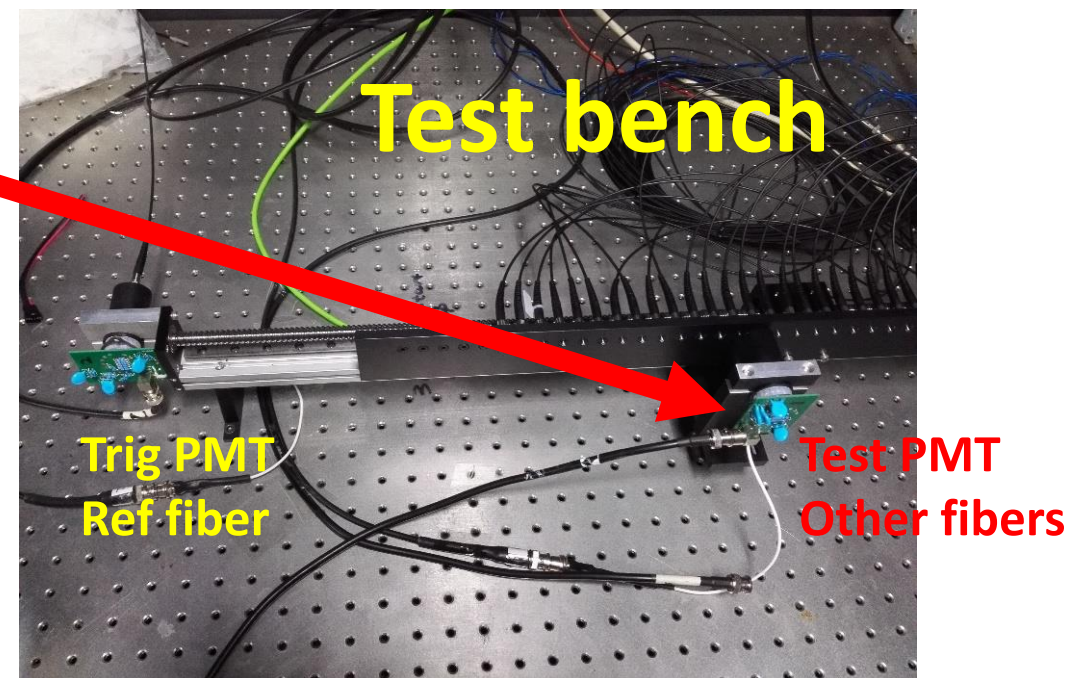
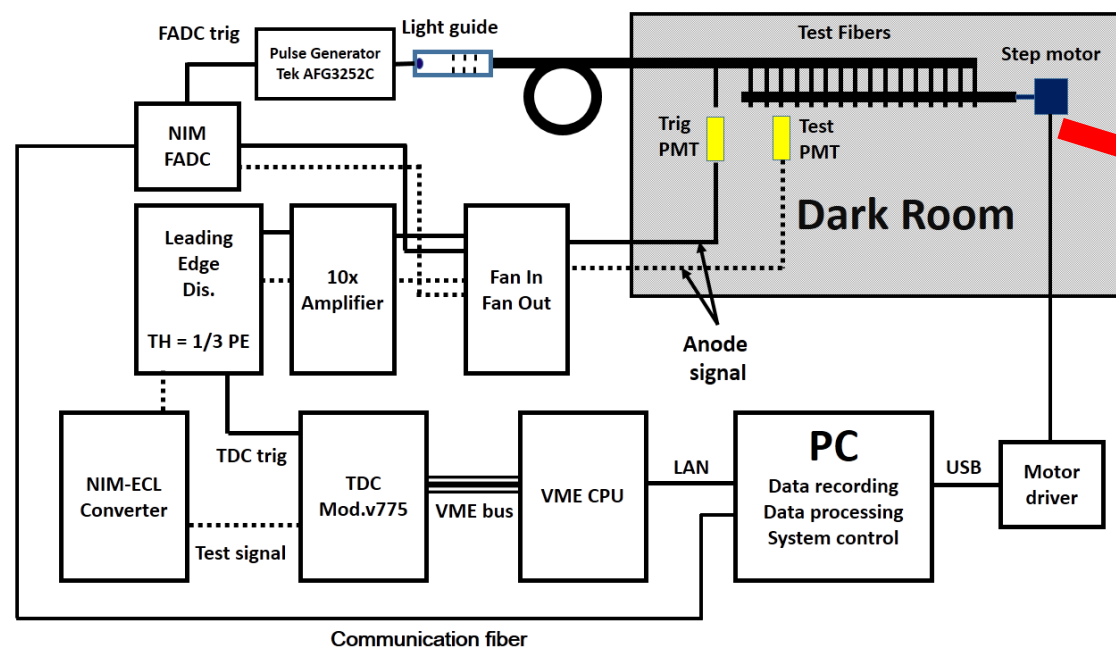
光筒的设计



光筒装配图

- 光筒为不锈钢加工，出光部分内壁做螺纹与光纤束入光端不锈钢头进行连接
- LED固定光筒一端，与光纤束入光端面设置为12 cm，使得光斑均匀化，均匀度好于 $\pm 2\%$
- 光筒内部利用黑色塑料隔板，四层隔板间距2 cm，隔板孔直径10 mm
- 侧壁金属发黑处理，阻挡杂散光和侧壁反射光

测试平台



平台功能：提供信号源\机械支撑\移动控制\记录数据

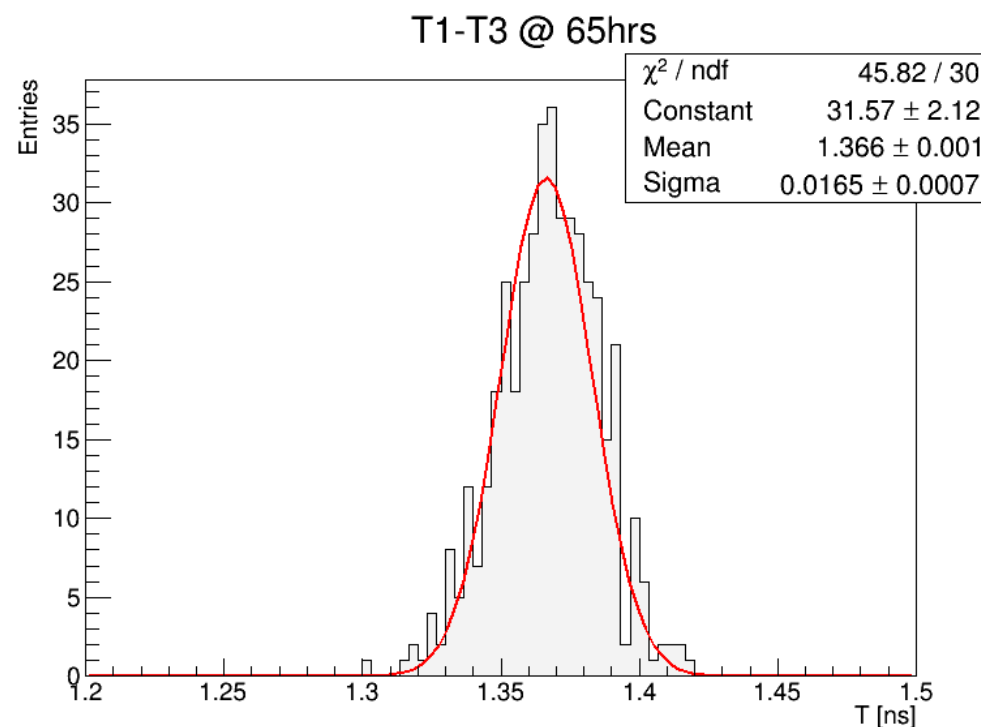
测试内容

- 测试平台精度;
- 光强输出均匀度;
- 相对时间差测量;
- 系统误差来源说明;
- 可靠性测试
 - 光纤绕转测试;
 - 多光强条件/温度变化;
 - 光源更换;

测试平台精度

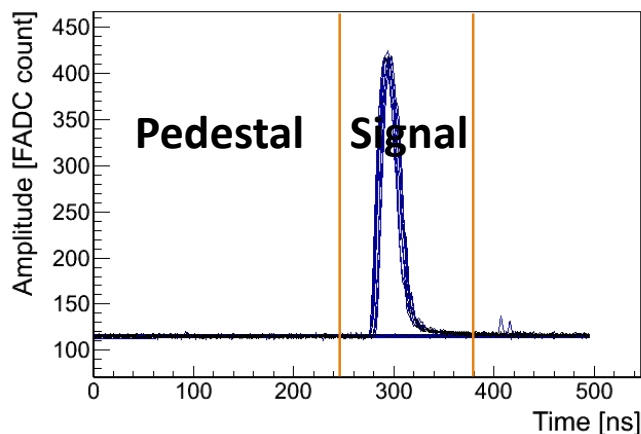
采用1m等长1分2光纤，在实验室环境稳定测试脉冲条件下，对测试平台进行时间差的连续测量，检查其平均值的分布。

平均值分布利用高斯拟合，得到 $\sigma = 16.5$ ps，作为测试系统的时间精度。



光强输出均匀度

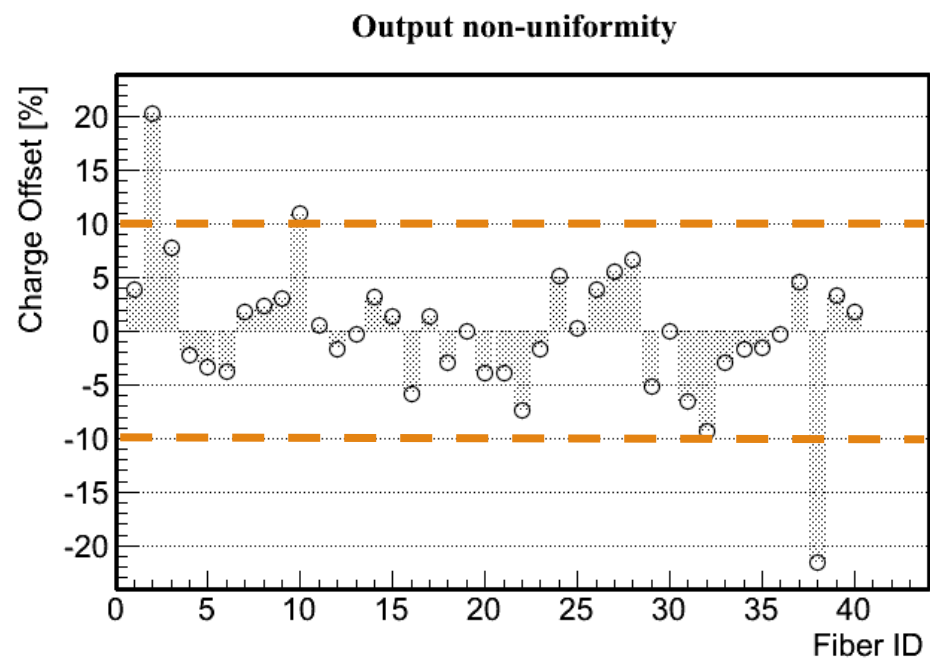
□ 光纤束输出平均光强 $\langle \text{NPE} \rangle = 630.1$



□
$$\text{NPE} = \sum_i^j (iv - ped) \times A / (R \times G)$$

➤ [i,j]为信号区间, A为FADC与电压转换系数, R为匹配电阻, G为PMT增益

□ 输出均匀度集中在 $\pm 10\%$ 水平



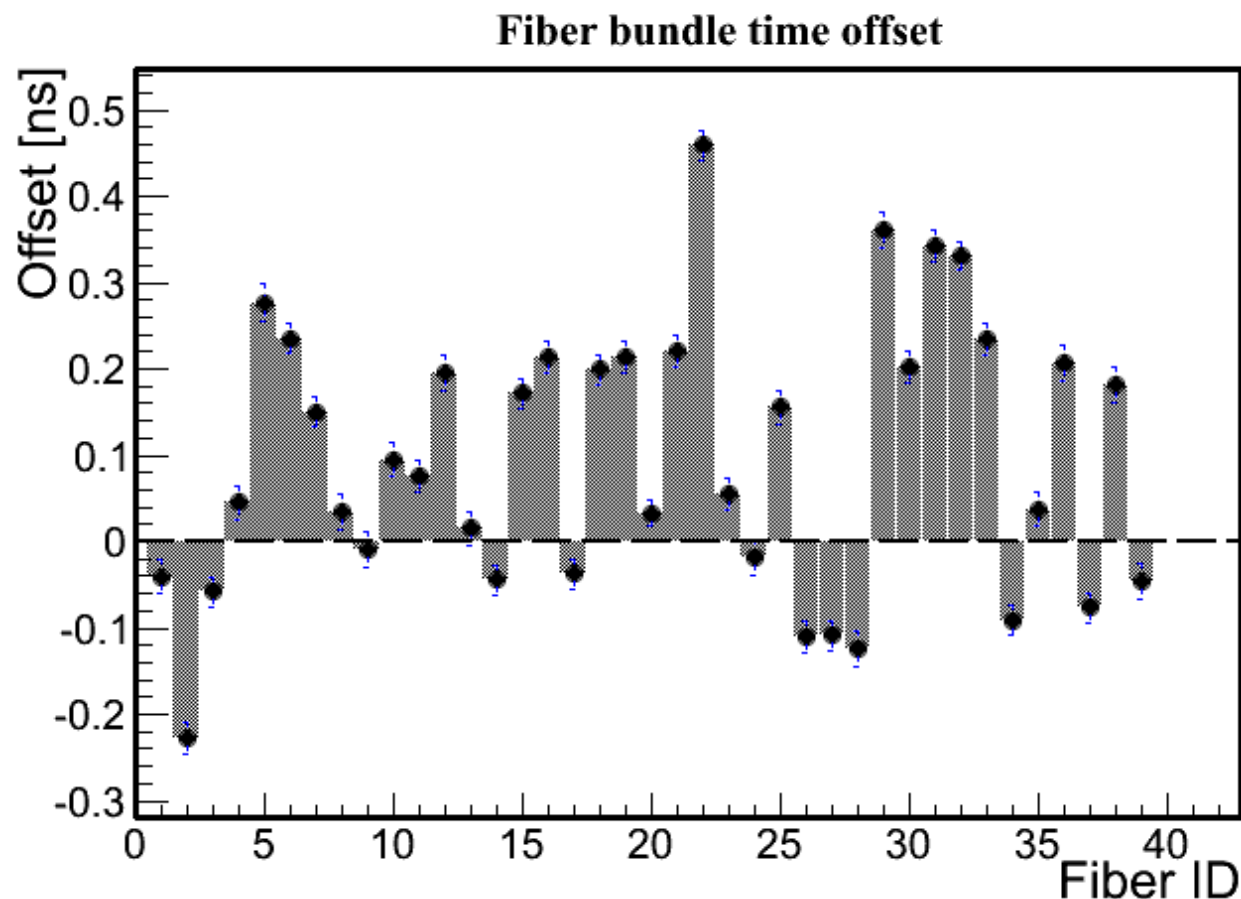
相对时间差测量

光纤束制作过程中存在裁剪的误差，1 cm长度引入的时间偏差约为50 ps，需要精确刻度光纤束之间的相对时间差。

□ 过阈触发

➤ $TH = 1/3 \langle S.PE \text{ amplitude} \rangle$

□ 裁剪长度在 $\pm 7.5 \text{ cm}$ 范围内



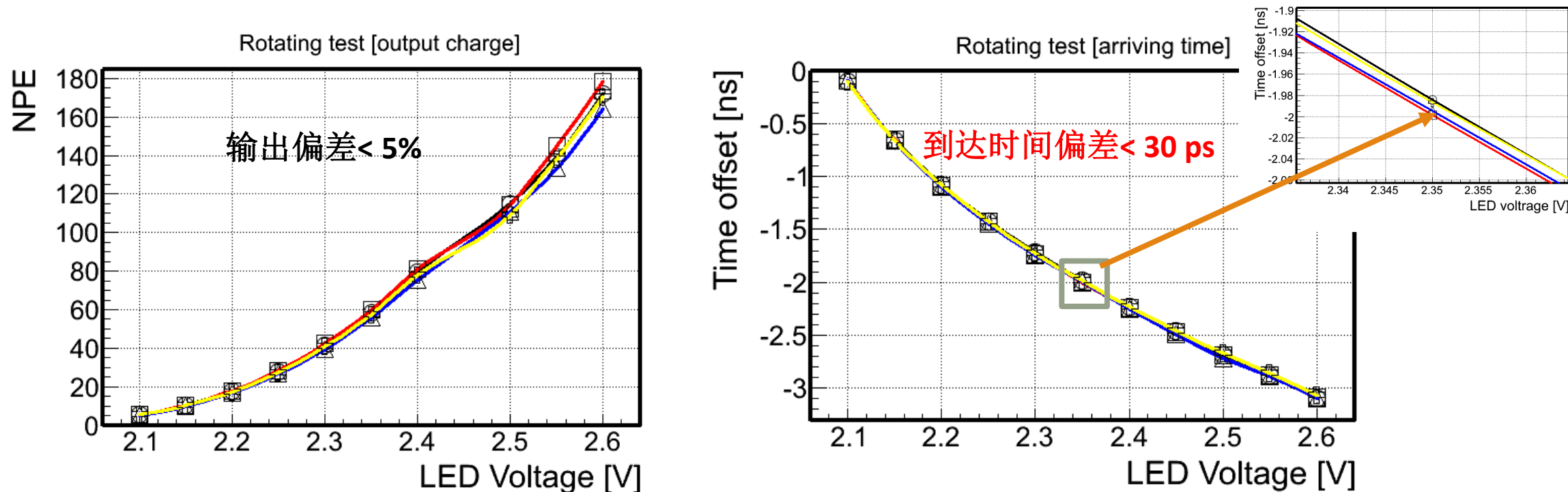
系统误差说明

刻度系统所带来的系统误差，由于测量的是PMT之间的相对时间差，因此主要系统误差来自于光源子系统（光筒+光纤束），产生过程主要有三个方面：安装、运行和维护

- 每套光源子系统均按照cluster安装，由于各个单元距离远近不同，各根光纤会有程度不同的绕转，绕转可能会带来电荷的变化以及时间延迟的变化
- 在传输时间的变化在运行过程中，存在温度周期性的变化，LED输出光强可能会有变化，不同的LED光强可能会影响时间差的刻度
- 在维护过程中，最有可能更换的是LED，因此不同的LED可能会造成标定结果的误差

可靠性测试-光纤绕转

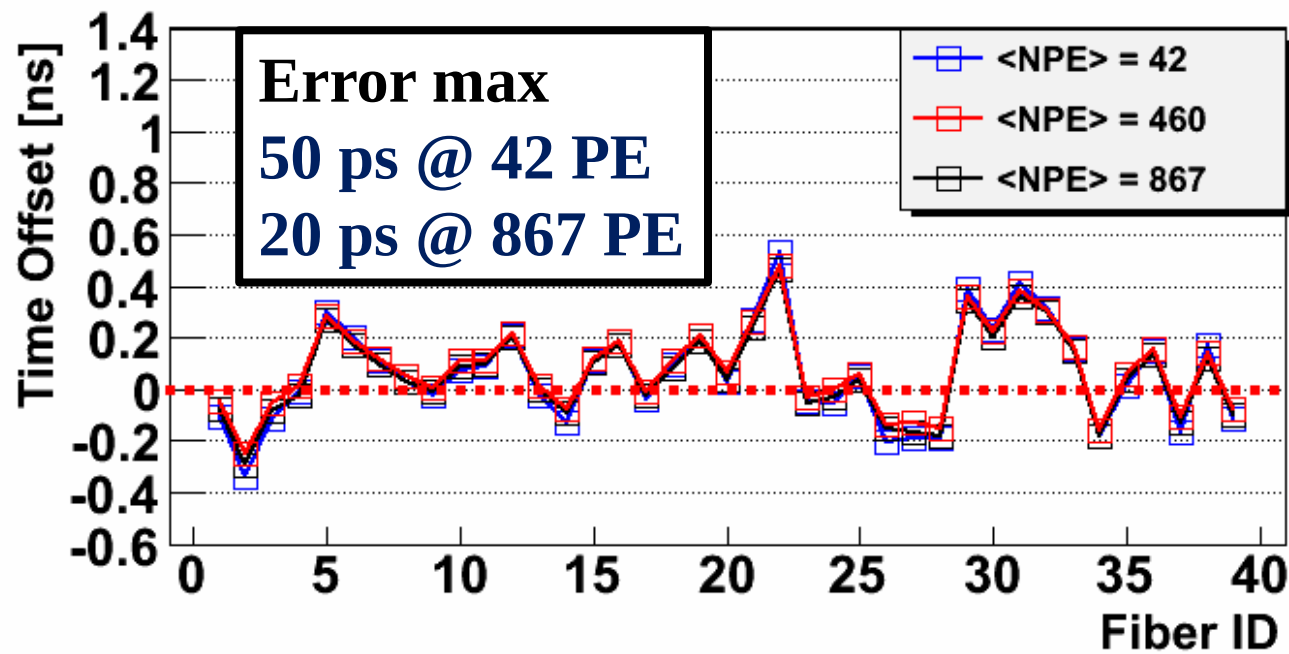
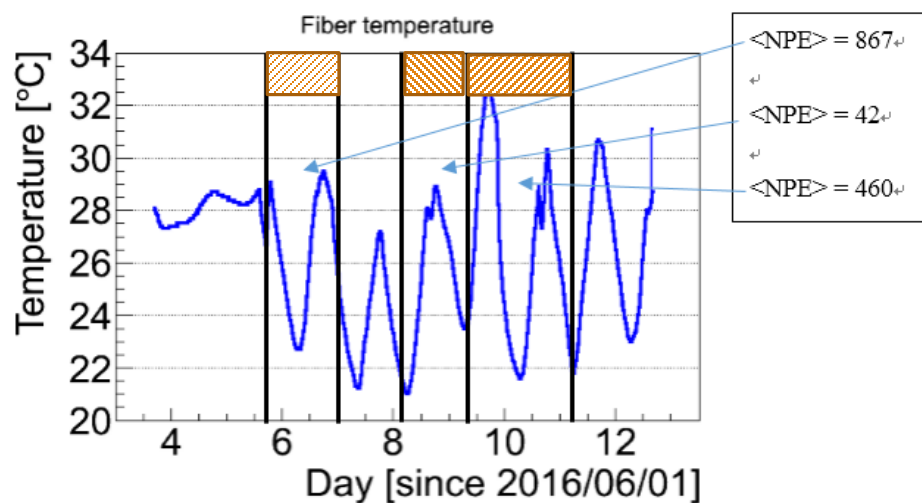
安装过程中，由于探测单元距离电子学系统远近不同，光纤在布设时会有不同程度的绕转。



○ : 17 cm ; □ : 45 cm; △ : 120 cm; $\parallel$: nearly straight

可靠性测试-温度变化/多光强条件

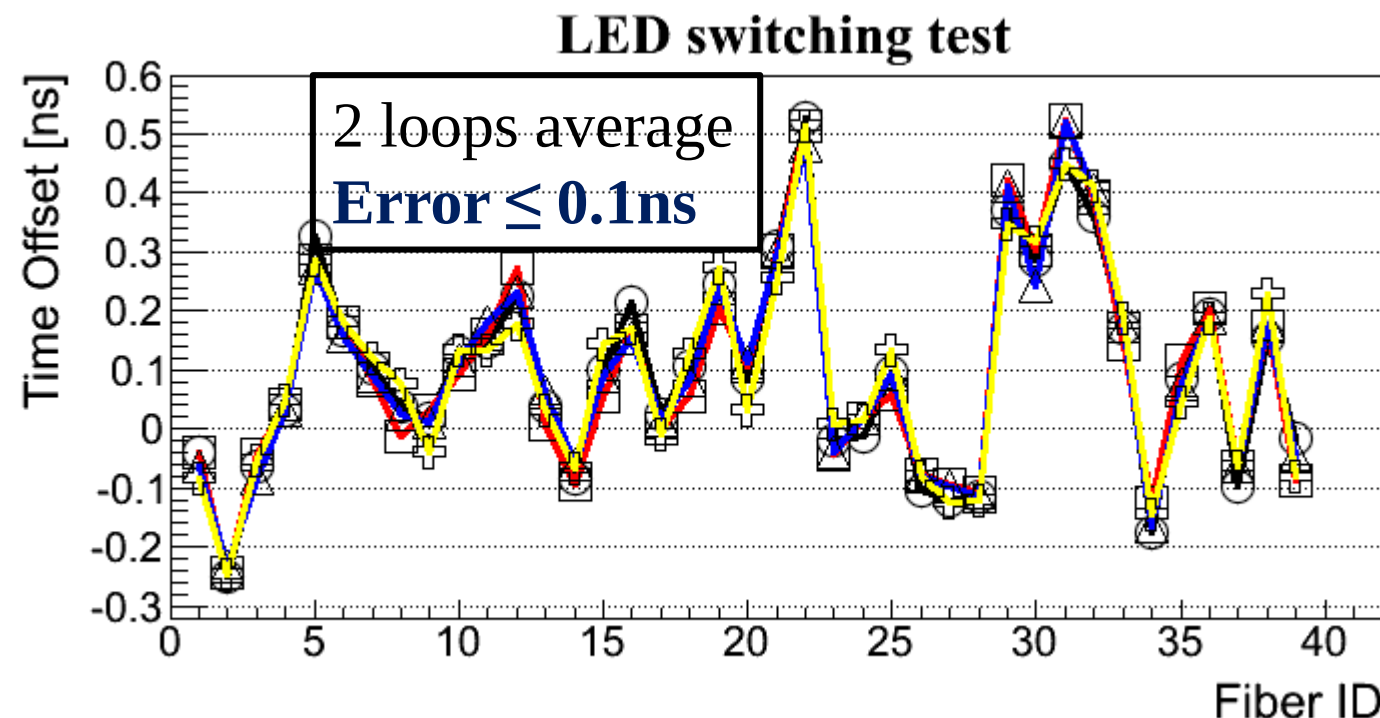
运行过程中，受温度等环境影响，LED的输出光强有可能发生变化，需要保证在光强变化条件下验证。



可靠性测试-更换光源

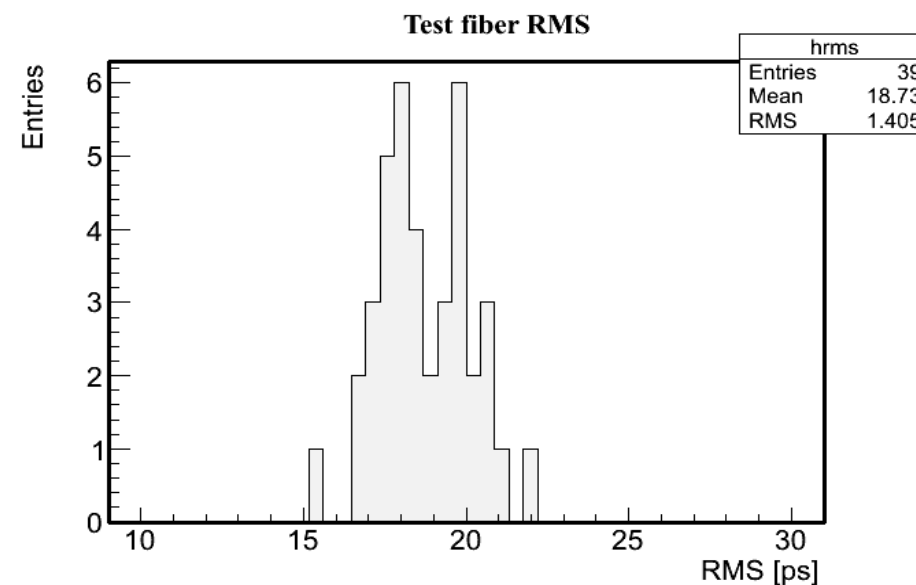
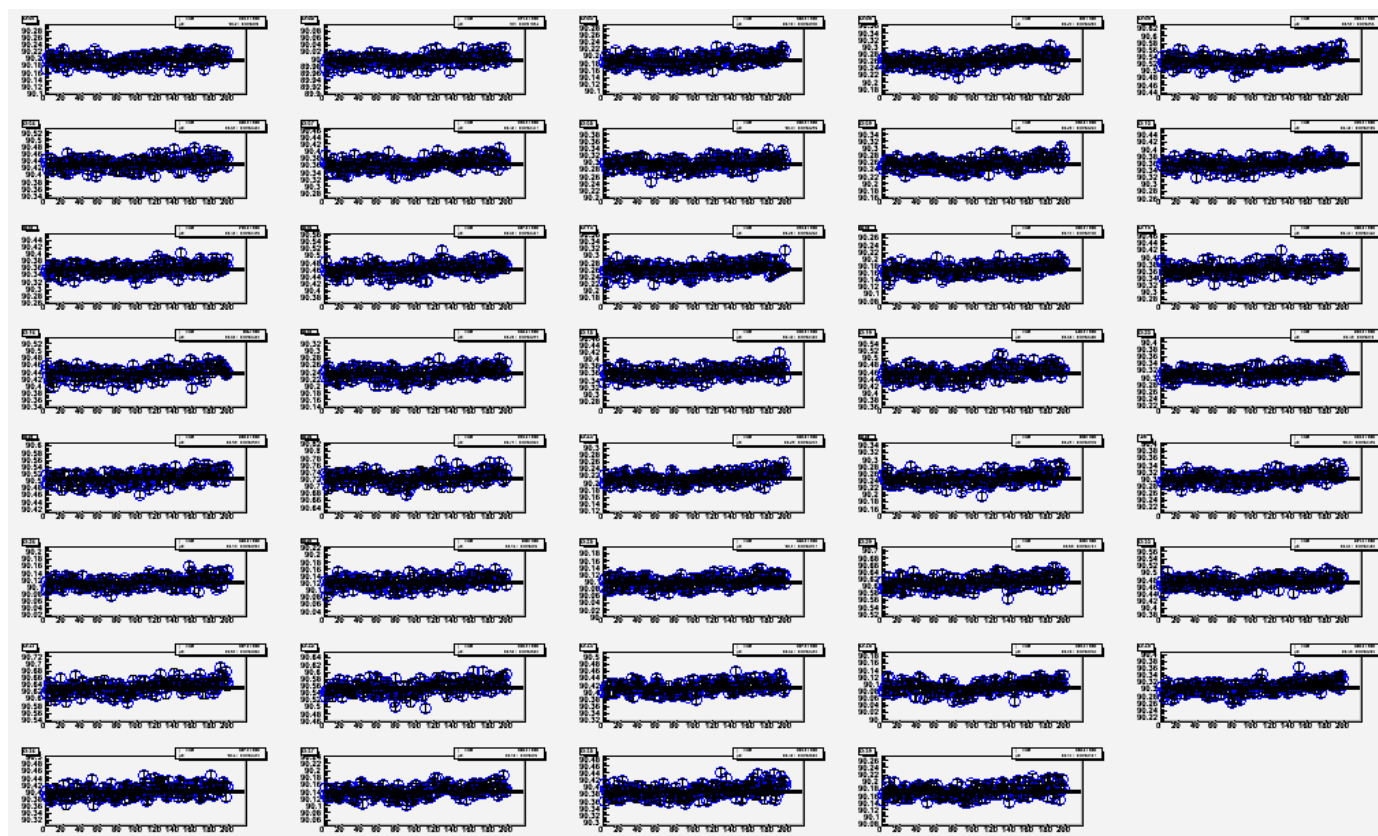
运行过程中，需要考虑维护，根据实验经验，主要更换的是LED，LED的输出光斑的不一致性以及光纤端面的不均匀性有可能造成较大的Q-T效应，在测试过程中需要验证。

LED No.	Marker	Output
1	○	279.1
2	□	306.4
3	△	320.9
4	⚡	350.1



39根光纤时间差 200 loop 平均值分布 / 平均值RMS分布

Y axis range 0.2 ns



$$\langle \sigma_{fiber} \rangle = \sqrt{\sigma_{\text{mean}}^2 - \sigma_{\text{sys}}^2} \approx 9.22 \text{ ps}$$

总结

根据WCDA探测器的特征，设计了一套基于LED和PMMA塑料光纤束的精确时间刻度样机。经过测试标定：

- ✓ 该样机输出均匀度可以达到 $\pm 10\%$ 以内水平
- ✓ 由光纤绕转引起的误差小于30ps
- ✓ 由温度、光强及更换光源引起的误差小于20ps

通过对系统误差来源分析及上述可靠性测试结果来看，标定系统本身误差小于10 ps，总体标定精度远小于0.1 ns。该光纤时间刻度样机完全满足WCDA时间刻度精度需求。

Thanks for your attention!