

WCDA时间刻度系统

陈明君 2017-1-18

中国科学院高能物理研究所

云南大学LHAASO合作组会

时间刻度系统需求

系统功能：

- 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 $\delta T \leq 0.1 \text{ ns}$ 。

WCDA探测器构造：

- 3水池，总面积7,8000平米；
- 单元 $5\text{m} \times 5\text{m} \times 4\text{m}$ ，相邻单元用黑色隔光帘避光；
- 36 (6×6) 单元为一个cluster，共用一个电子学机箱。

大型宇宙线探测器时间标定方案：

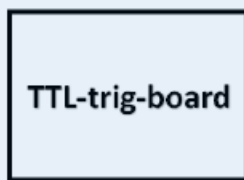
- 实验数据手段：对宇宙线muon径迹重建；“特征面”法对探测器单元做时间校准。
- 硬件手段：单光源集中照射所有探测通道(光源+光纤)。
 - 占地面积过大，采用单光源标定，在安装和维护上都十分困难。

WCDA的时间刻度系统：

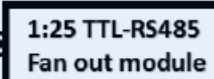
- 采用“光源+光纤”方案，优点：效率高，无死时间，可实时监测。
- 但只监测PMT+电缆+电子学通道时间差的变化，无法测量位置、探测介质产生的实时变化。

共需180套光纤束，分为四个系统。
 工作模式：10Hz，~500PE。

操作间的主控制板



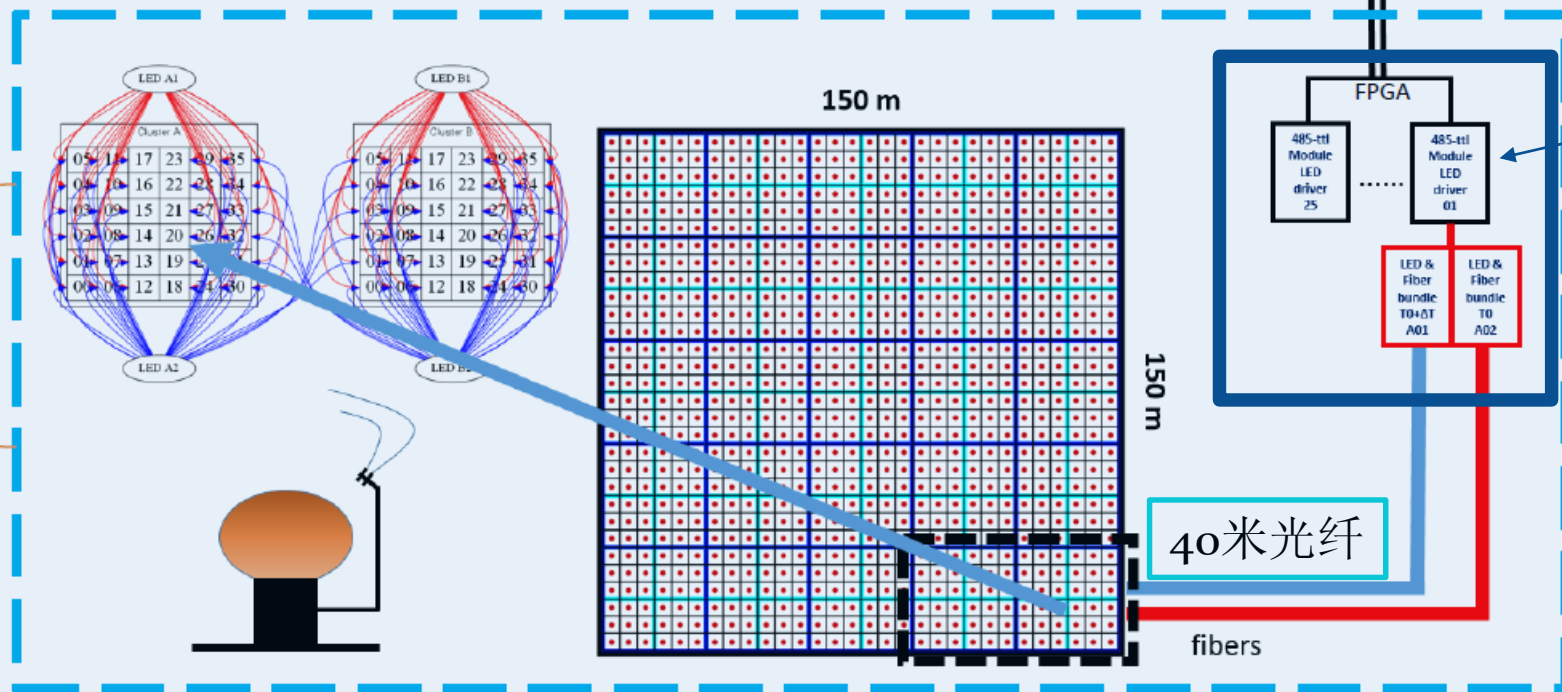
1m Coaxial cables



25 CHs / 300 m 485 cables in the water pond

- 一个水池内：
- 25个基站；
 - 50套光纤；
 - 50套LED光源系统。

池内900的单元



基站内LED光源系统

40米光纤

fibers

WCDA时间刻度系统组成

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。

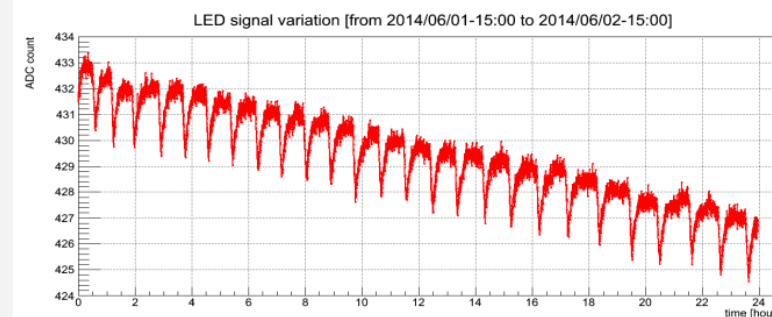
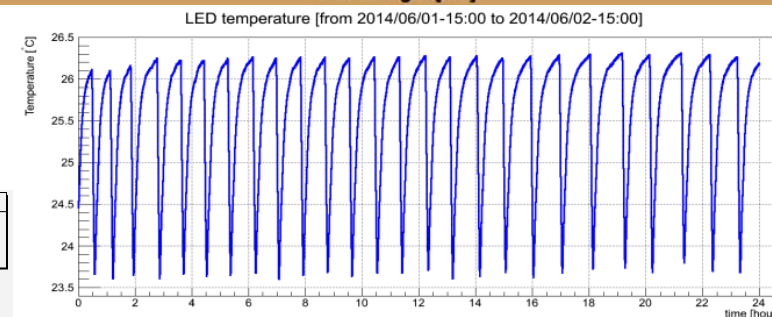
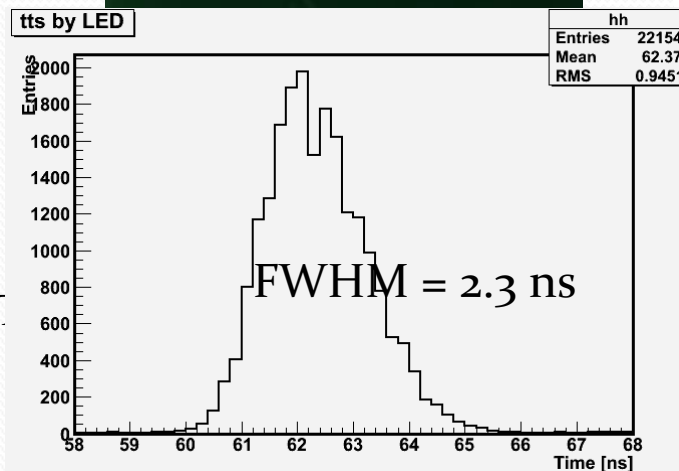
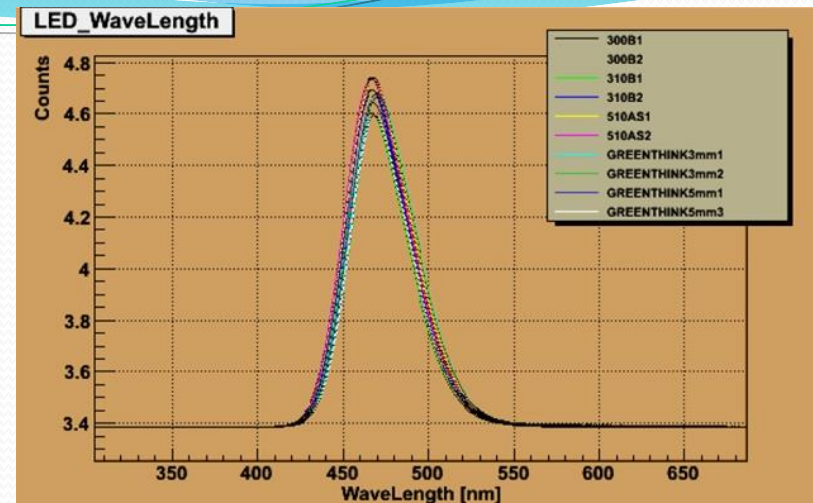
LED选型

LED选型

- 峰值波长（465 nm至470 nm）；
- 寿命测试（标定光强下，利用脉冲数推算寿命，1%/year）；
- 温度效应测试(2.4%/度)。

选取GreeThink品牌LED

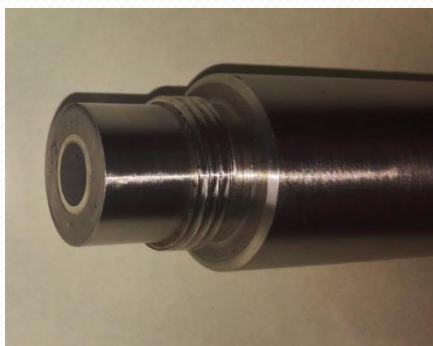
- 发散角 120° ；
- 发光时间FWHM < 2.5 ns
 - 单光子法，加衰减片后照射PM
 - 5 ns驱动宽度，2.5 ns上升沿。



光纤束设计

组成部分:

- ◆ 光纤 40 m × 40 根;
- ◆ 不锈钢紧固头 (定制);
- ◆ 光纤跳线头 (SMA905)。

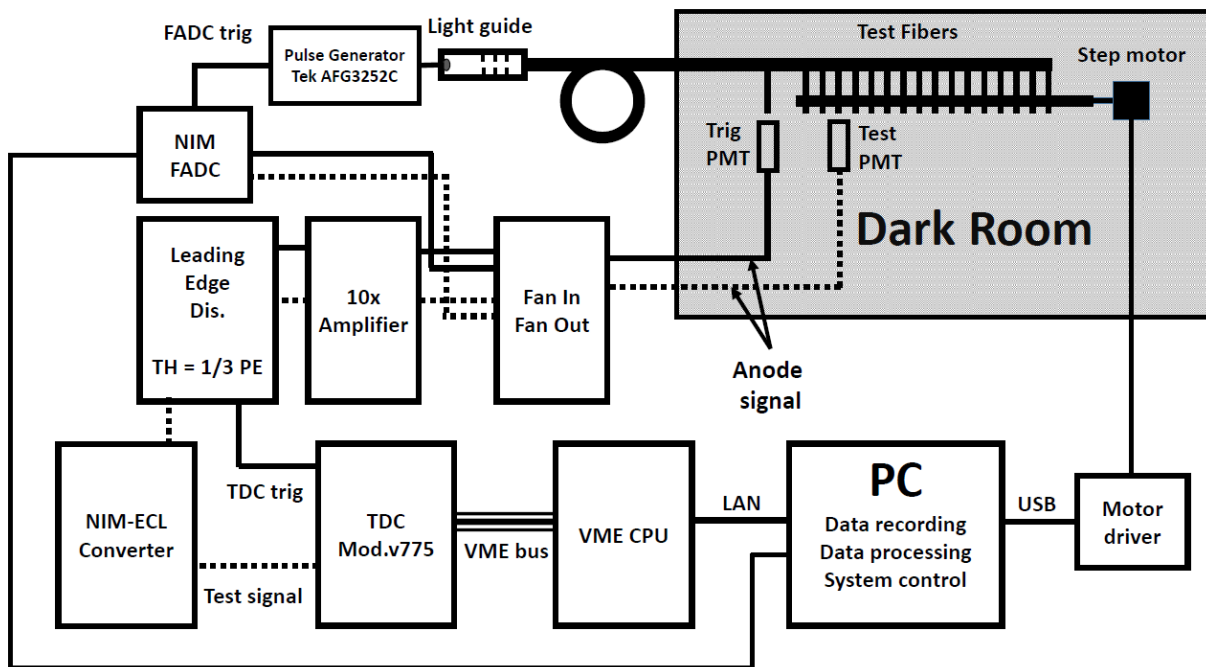


光纤: PMMA塑料光纤, 1 mm直径, 2.2 mm护套

	项目	单位	指标	测试方法
结构参数	芯径	μm	980±60	YD/T 1258.6-2006
	芯层折射率	NA	1.49	
	包层直径	μm	1000±60	YD/T 1447-2006
	护套直径	μm	2.20±0.07	GB/T 12357.4-2004
	数值孔径	NA	0.5±0.15	
	重量	g/m	4.0	
光学性能	衰减 (650 nm 平行光)	dB / km	≤ 160	
机械性能	拉伸屈服强度	N	≥ 70	YD/T 1258.6-2006
	最小弯曲半径	mm	25	
	冲击附加衰减	dB	≤ 0.2	YD/T 1447-2006
	反复弯曲附加衰减	dB	≤ 0.2	
	扭转附加衰减	dB	≤ 0.2	GB/T 12357.4-2004

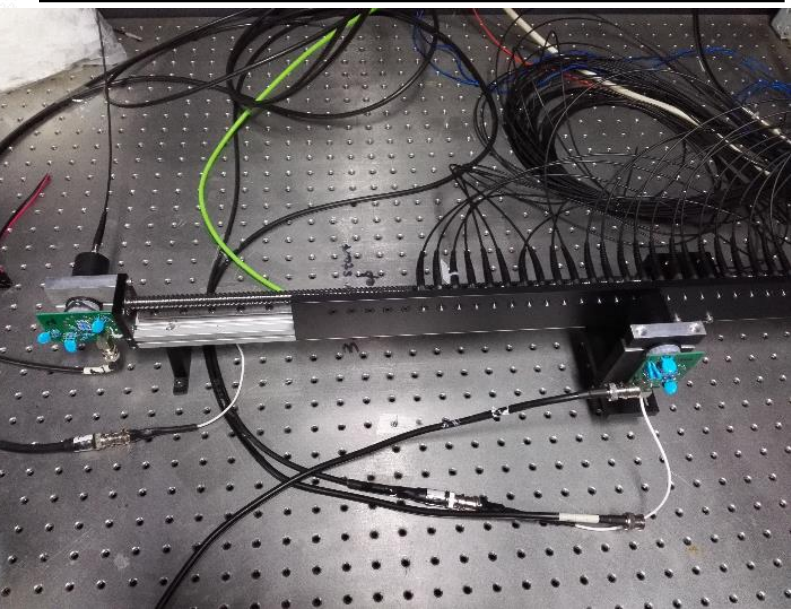
在465 nm波长条件下衰减长度为26 m。

光纤束的绝对时间差刻度平台



暗室内部分包括：

- 快速PMT (CR332, 10 dynodes)
 - 两支PMT性能接近
 - 增益设置为 3×10^6 , S.PE峰谷比 >2.5 ;
 - TTS <1.0 ns。
- 一维步进滑台以及光纤支架：
 - 42步进电机，丝杆长度110 cm;
 - 驱动2细分，1 mm / 100 pulses;
 - 光纤支架长度710 mm，光纤之间间距 15 mm;
 - 滑台中部以及末端固定PMT，PMT与光纤距离 <5 mm。



测试平台硬件



设备	型号	性能指标
示波器	LeCroy 606Zi	4通道; 600 MHz带宽
信号发生器	Tek 3252C	双通道; 240 MHz带宽
直流电源	DH1715A-5	35 V / 5A, 双路输出
NIM 插件	CAEN NIM8301	NIM机箱
	CAEN N1471A	高压插件 (5.5 kV / 300 μ A)
	CAEN N840	-1~-255 mV前沿甄别器
	CAEN N401	FAN-IN-FAN-OUT
	LeCroy 612A	10 \times 放大器; 12通道; 200MHz带宽
	CAEN N89	TTL-NIM-TTL电平转换器
	CAEN N92	NIM-ECL-NIM 电平转换器
	FADC	1 GHz采样率; 500 mV量程; 10 bit精度
VME插件	xvme660	控制器, 预装Linux操作系统
	CAEN V775	32通道TDC; LSB 35 ps~300 ps可调, 对应测试范围140 ns~1.2 μ s

光纤束相关测试

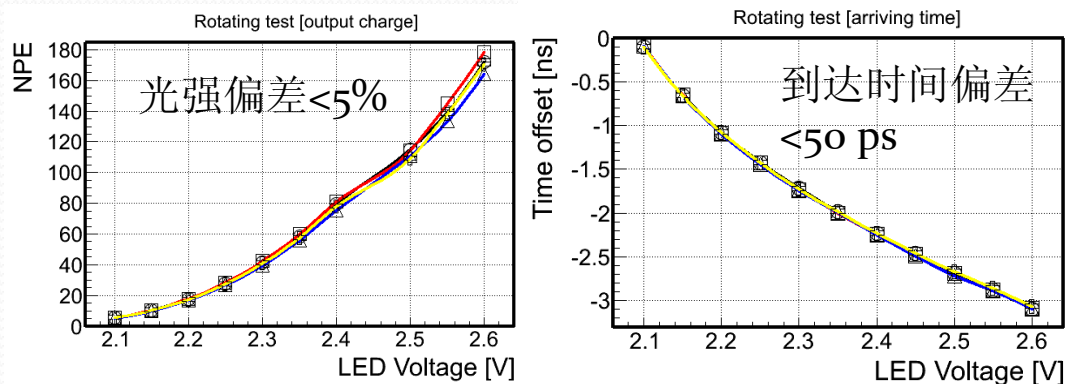
绕转测试 (40 m 光纤)

安装以及运行过程中，光纤肯定会有不同程度的绕转，需要测试对不同绕转直径条件下光纤对光输出的影响。

左图：不同绕转情况对输出光强的影响

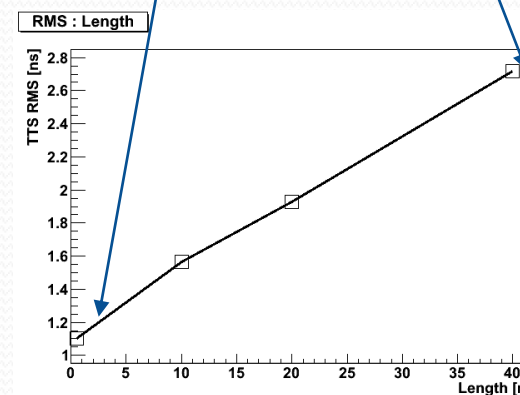
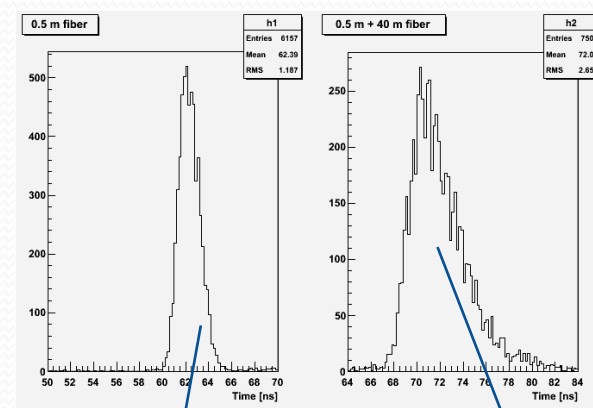
右图：不同绕转情况对光脉冲延迟的影响

○ : 17 cm ; □ : 45 cm ; △ : 120 cm ; + : 近伸直状态。



时间展宽

采用单光子法，固定LED发光逐根更换不同长度的光纤，40 m 光纤对脉冲展宽达到约2.7 ns (TTS RMS)。



光纤束的输出光强测量

输出光强要求；

- $\langle NPE \rangle = 500$ PE;
- $\Delta NPE_{\max} \leq 10\%$ 。

目的：需要尽可能减少“Q-T”效应。

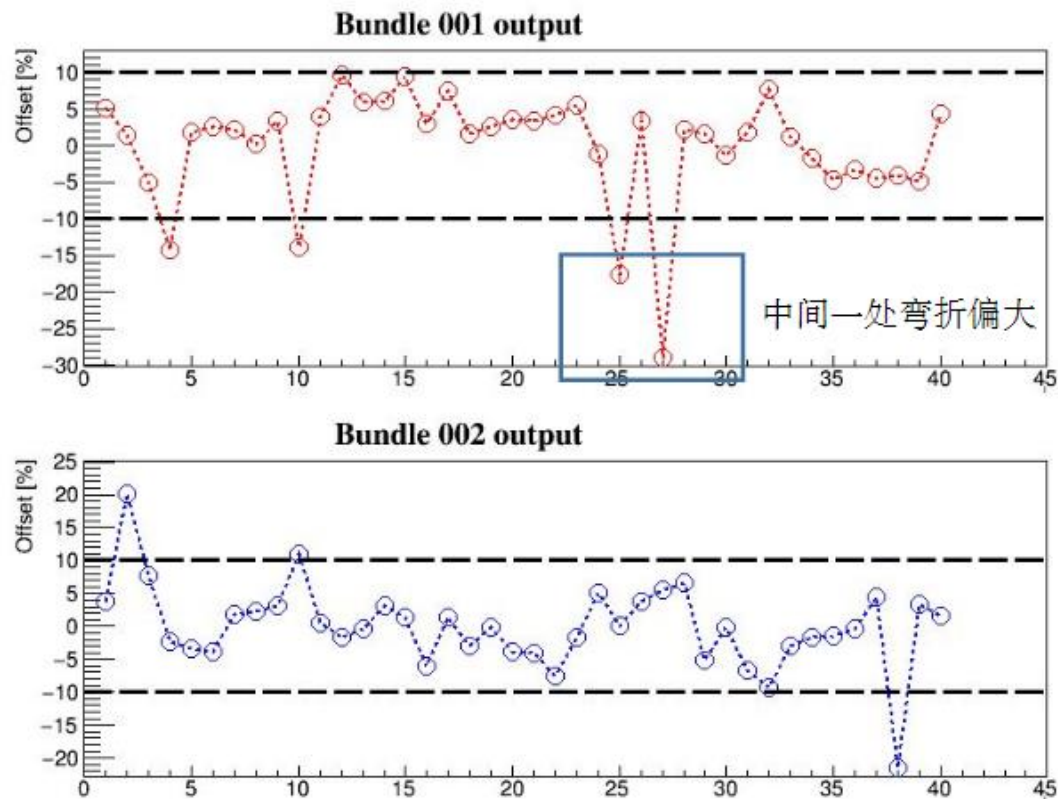
- 以R5912为例，在 3×10^6 增益条件，在信号幅度 $\pm 10\%$ 范围，即在 500 ± 50 PE范围内，Q-T关系近似线性，斜率范围为3-4ps/PE。

测试方法：

- 40根光纤依次固定在光纤支架上，通过控制步进电机驱动器对40根光纤输出光强逐一扫描，利用FADC采集数据进行离线积分计算。

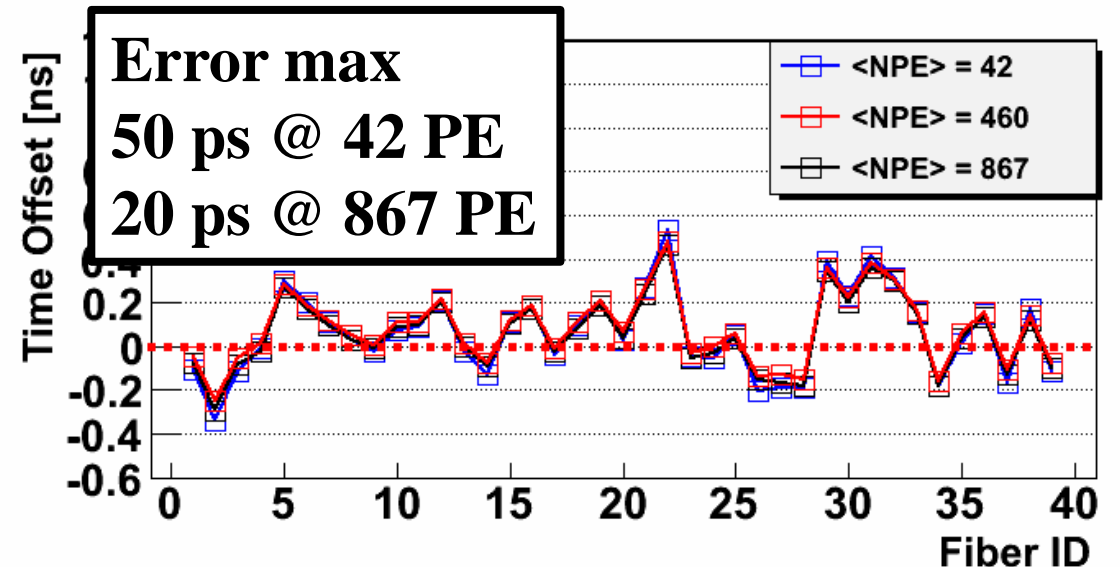
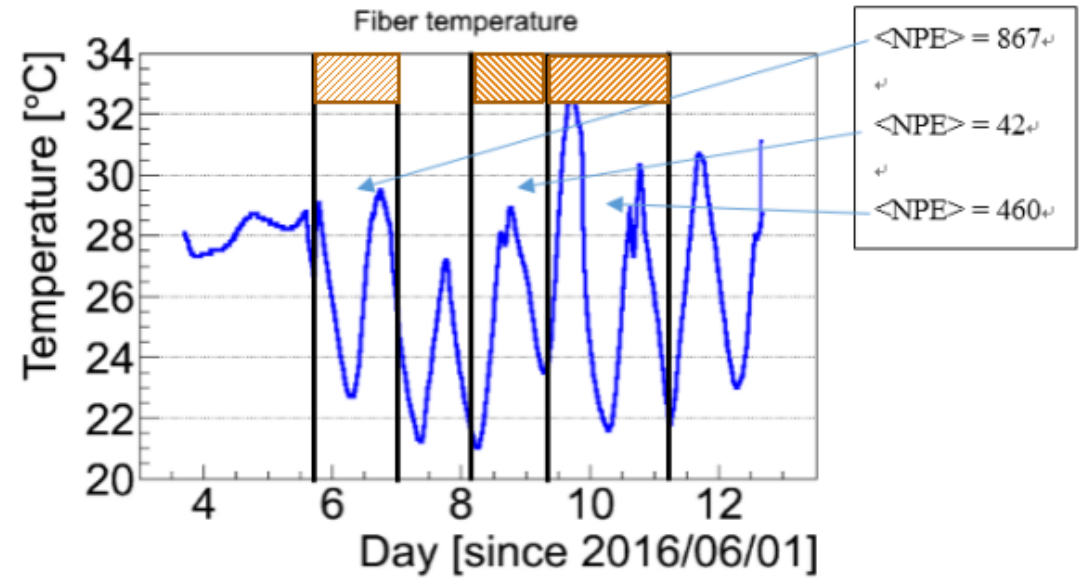
测试结果：

- 40根光纤中大部分输出在平均值的 $\pm 10\%$ 范围内。



稳定性测试

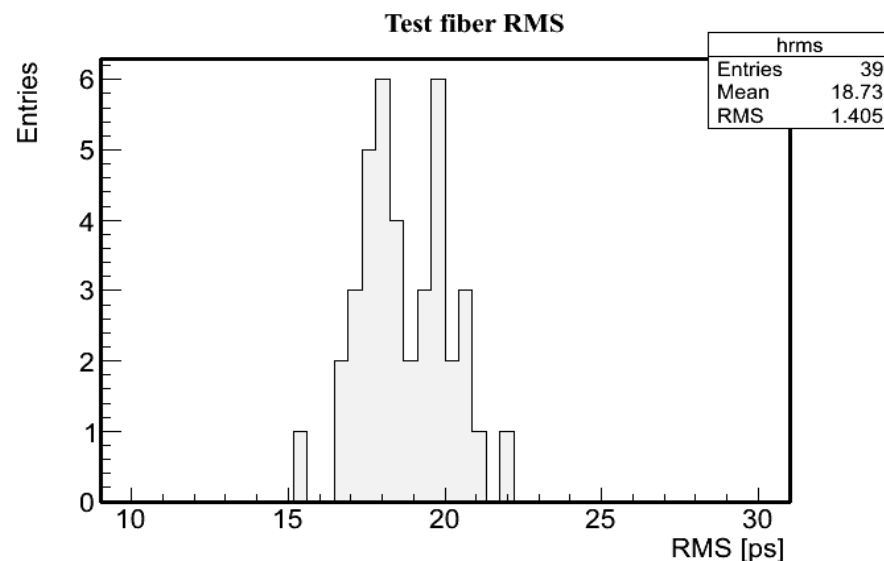
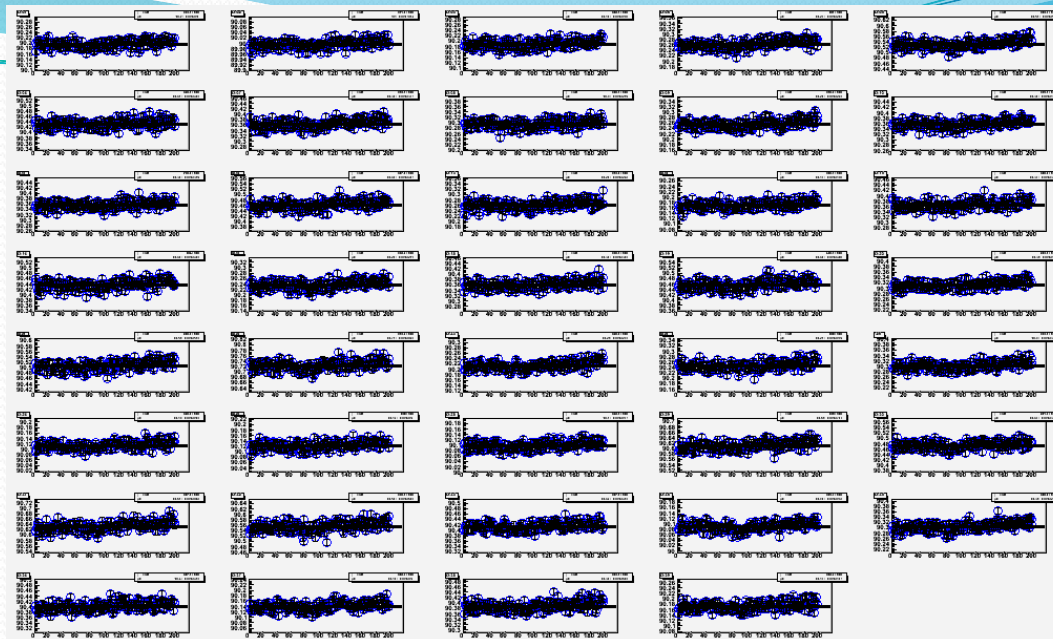
- 实际运行中，光源系统到环境温度 and 自身的衰减影响较大。
- 为模拟真实环境，将光纤大部分 (>30 m) 以及LED光筒放置户外，利用昼夜温差进行循环测量，每个循环测试时间大于24小时。
- 考虑到LED可能出现的光强变化，测试中将LED平均输出光强作了较为极端的设定。



长光纤引入的影响

- 在某一光强条件下进行连续测量（200 loops）。
- 得到39个时间差平均值分布的平均RMS，扣除刻度平台的误差再除以 $\sqrt{2}$ 就是单根光纤引入的误差：

$$\langle \sigma_{fiber} \rangle = \sqrt{\sigma_{mean}^2 - \sigma_{sys}^2} / \sqrt{2} = 6.27 \text{ ps}$$



更换LED光源测试

- 可靠性测量 (bundle 002)

运行过程中，最可能出现的问题为LED失效，更换LED是否会造成光源系统的变化？

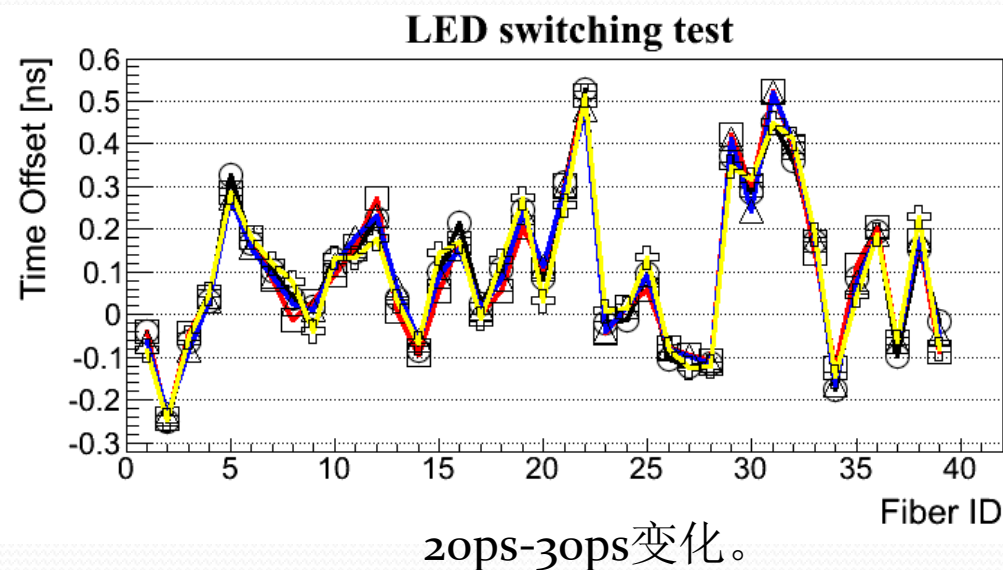
随机更换了4个同型号，LED的XY指向也随机。

在相同驱动电压下，输出平均光强如下：



LED No.	Marker	Output
01	○	279.1
02	□	306.4
03	△	320.9
04	⊕	350.1

- 相对时间差测试结果如下：整体趋势不变。



小结与讨论

- 实验室内的刻度系统样机完成：
 - LED驱动板+LED;
 - 分光筒;
 - 光纤束;
 - 光纤束绝对时间差刻度系统。
- 接下来工作，面对量产和安装工作：
 - 光纤的安装位置的实际验证;
 - 光纤编号的处理。



Thanks, and Happy Spring Festival !