

LHAASO—MD标定方案

左雄

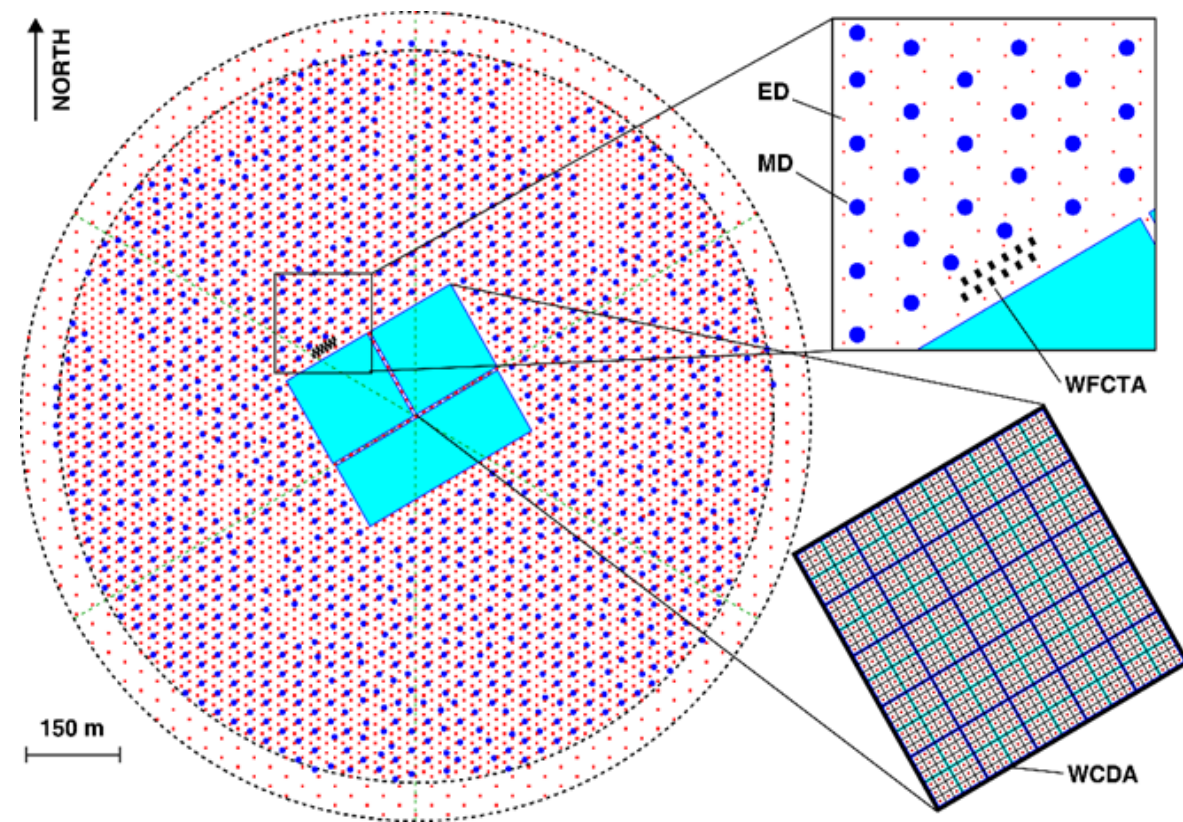
20170118

目录

- LHAASO—MD简介
- 标定内容及精度要求
- 标定方案
- 长期稳定性监测
- 总结

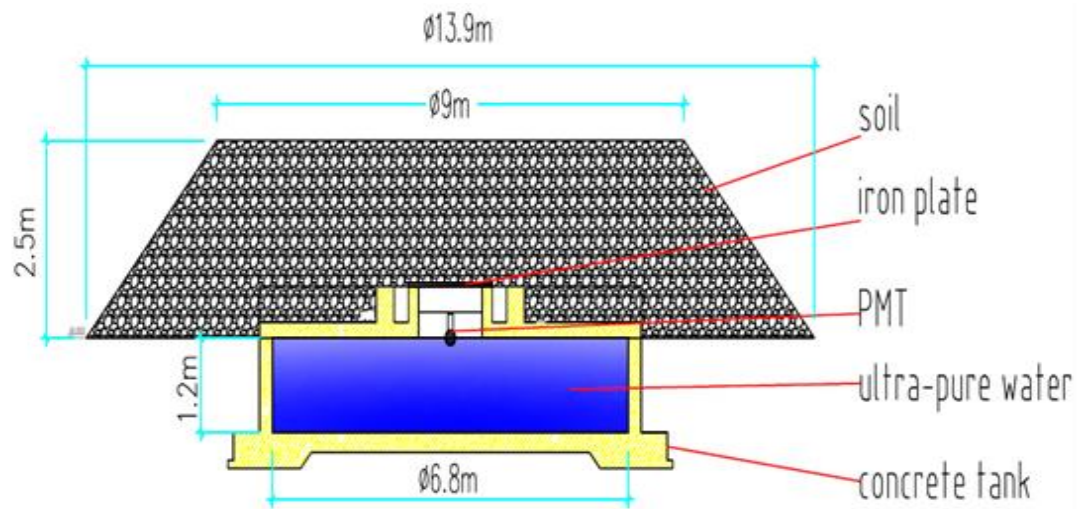
LHAASO—MD简介

- LHAASO利用多种先进的探测技术和复合式探测手段，将拥有高灵敏度、宽能谱范围精确测量以及强大巡天能力，致力于解决领域的基本问题；
- LHAASO—MD主要承担的物理目标具体体现在三个方面：
 - γ /P鉴别：强子簇射中富含缪子，而电磁簇射中几乎不产生缪子，有效排除强子本底；
 - 原初成分区分：强子簇射中的缪子数与原初粒子能量及核子数相关，次级缪子含量有助于进行原初宇宙线成分区分；
 - 强相互作用模型鉴别：寿命长、穿透力强的高能缪子，携带着原初相互作用信息。
- 1171个探测单元，单元探测器面积 36m^2 ，30m间隔。



LHAASO—MD单元探测器

- 反射式水切伦科夫探测技术；
- 密封水袋+超纯水；
- PMT光阴极朝下，放置于水袋上表面中央；
- 外围圆柱形水泥罐子水体支撑+保持形状；
- 罐体上方加2.5m土层作为屏蔽层，排除Punch-through影响；
- 右表格为MD单元探测器性能指标。



有效面积	36m ²
探测效率	>95%
粒子数分辨	<25%/单粒子; <5%/10000个粒子
时间分辨	<10ns
动态范围	1-10000 个粒子
Punch-through效应	缪子测量纯度大于95%
长期稳定性	10年内信号衰减小于<20%

标定内容及精度要求

- 标定是MD阵列数据分析与物理研究的重要前提；
- 标定主要内容及精度：
 - (1) MD是基于单缪信号电荷来数缪子数，保证测量的电荷分辨不受标定精度影响；
 - (2) 时间偏差用于事例挑选，不影响总的分辨；
 - (3) 大动态范围测量，保证测量的电荷分辨不受标定精度影响；
 - (4) 漏水标准为10年下降大于10%，即12cm，水位长期监测判断水袋是否漏水；
 - (5) 水吸收长度有效表征水质。

标定参数	标定精度
单缪信号电荷	<1%
时间偏差	<3ns
A/D ratio	<1%
水位	<2cm
水吸收长度	<15%@100m

标定方案

- LHAASO—MD阵列处于高海拔区域，气候条件恶劣，气压低、昼夜温差大、年平均温度低并且紫外辐射强；
- 总面积达到4万多平米的1171个MD单元探测器分散于1平方公里范围内，部分单元探测器处于沼泽、河道区域及冰川漂砾区域；
- MD探测器在安装调试完后将深埋于2.5米土层下方；
- 严峻的气候环境、复杂的地形条件以及严密的实验设计给探测器的离线标定带来了极大的不便；
- 基于羊八井原型样机（右图）的数据分析，发展一套简便、稳定可行的在线标定方案，以确保数据分析和阵列的一致性，并实现长期稳定性的监测。



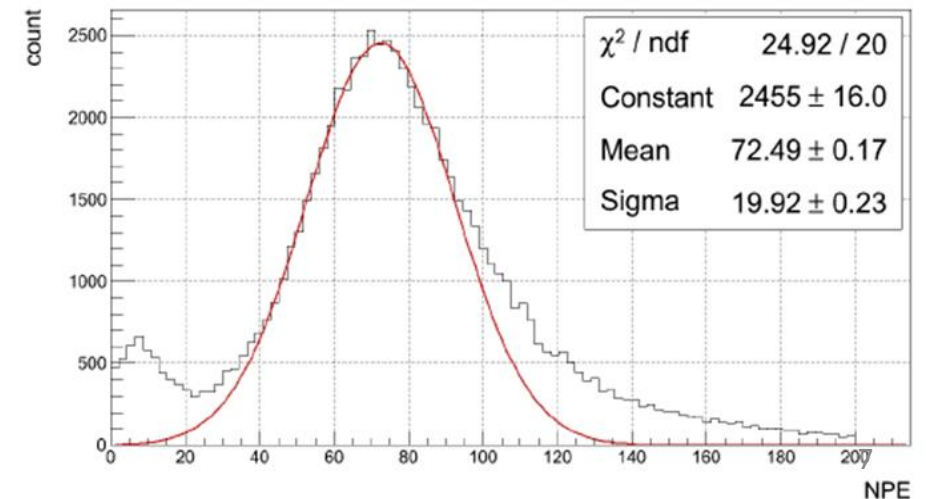
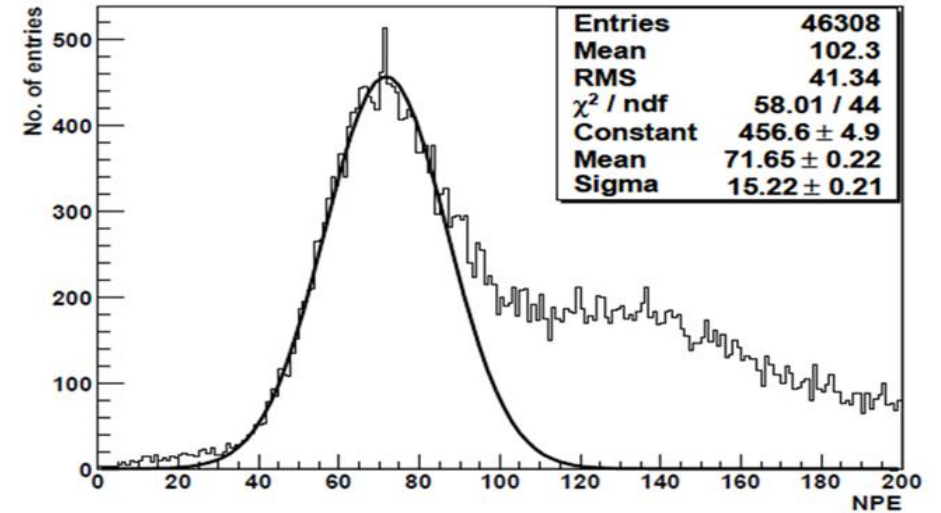
标定方案——单缪信号电荷

- 方案:

- 簇射缪子法: 测量重建数据中的簇射缪子分布, 得到的单缪信号峰。挑选垂直入射粒子得到的VEM (垂直等效缪子) 作为标定基准值 (右上图);
- 背景缪子法: 背景缪子贡献了MD单元探测器绝大多数的单道计数率, 测量背景缪子光电子数和VEM的关系, 对MD单元粒子电荷进行标定 (右下图)。

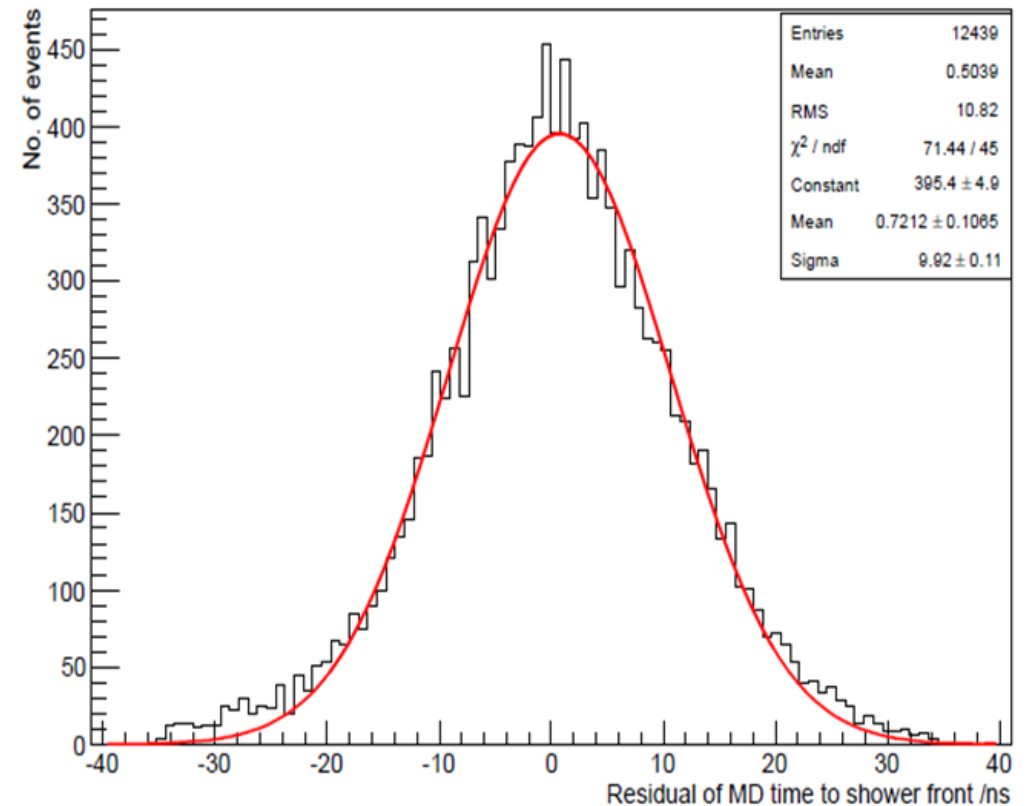
- 标定精度:

- 统计误差: 统计量较大时 (如大于10000个事例), 统计误差远小于1%;
- 系统误差: ①PMT的绝对增益, 包括测试相对误差和温度效应, 可以控制在1%以下; ②电子学通道的增益, 电子学放置在防潮箱内, 温度效应可以控制在1%以下;
- 单缪信号电荷标定总的精度可以达到设计指标要求的小于1%。



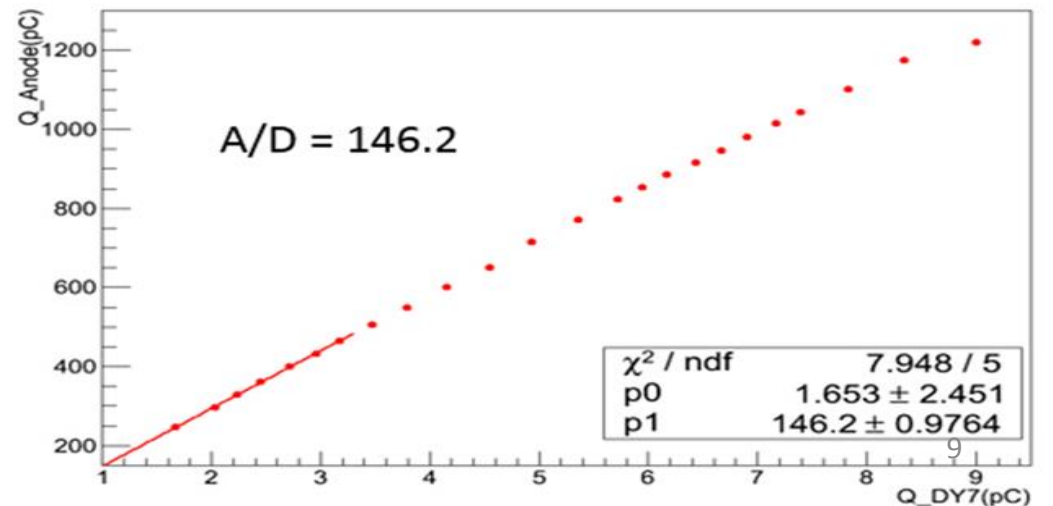
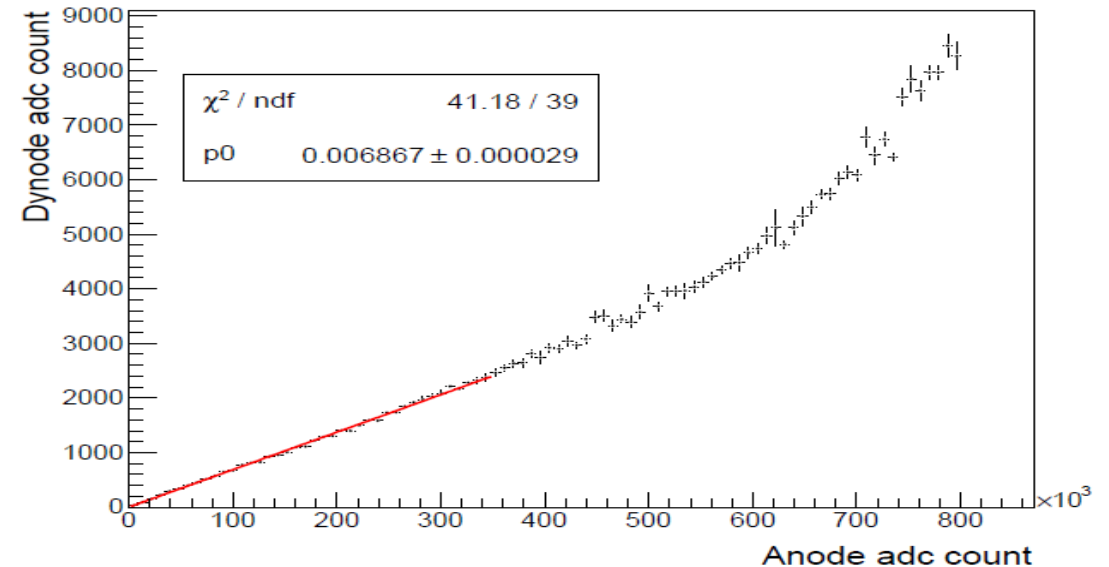
标定方案——时间偏差

- 方案：
 - 利用ED探测器阵列精确重建出簇射事例的入射方向及前峰面，得到缪子探测器与前峰面的时间偏差（右图）。
- 标定精度：
 - 统计误差：统计量较大时统计误差远小于1%；
 - 系统误差：①信号传输电缆，温度效应引入小于0.1ns；②500MHz采样率的电子学，引入的舍入误差为1ns；③PMT，温度和增益影响导致TT（平均渡越时间）的误差小于2ns。
 - 时间偏差的标定精度可以达到指标要求的小于3ns要求。



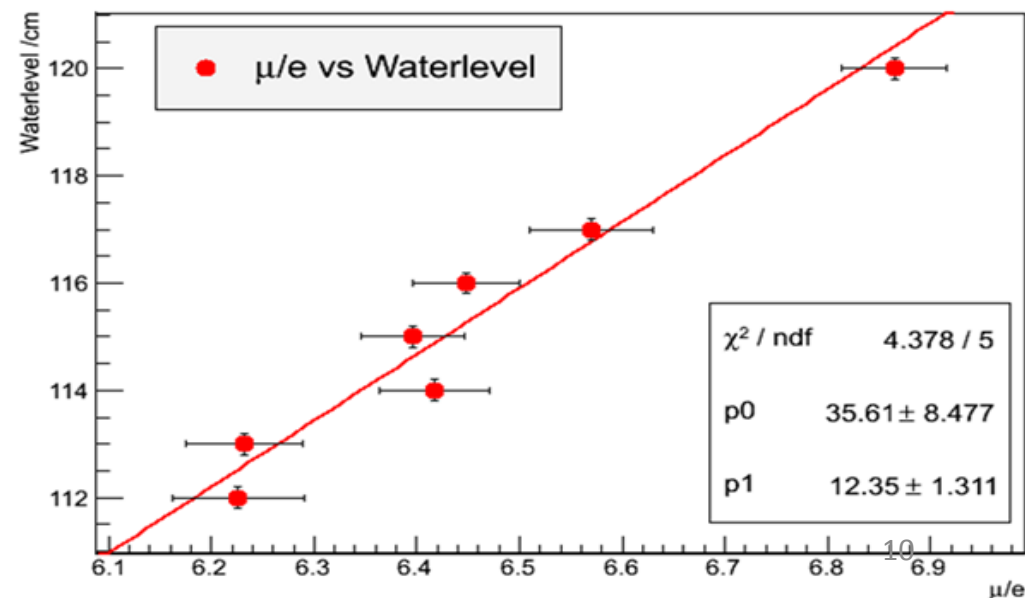
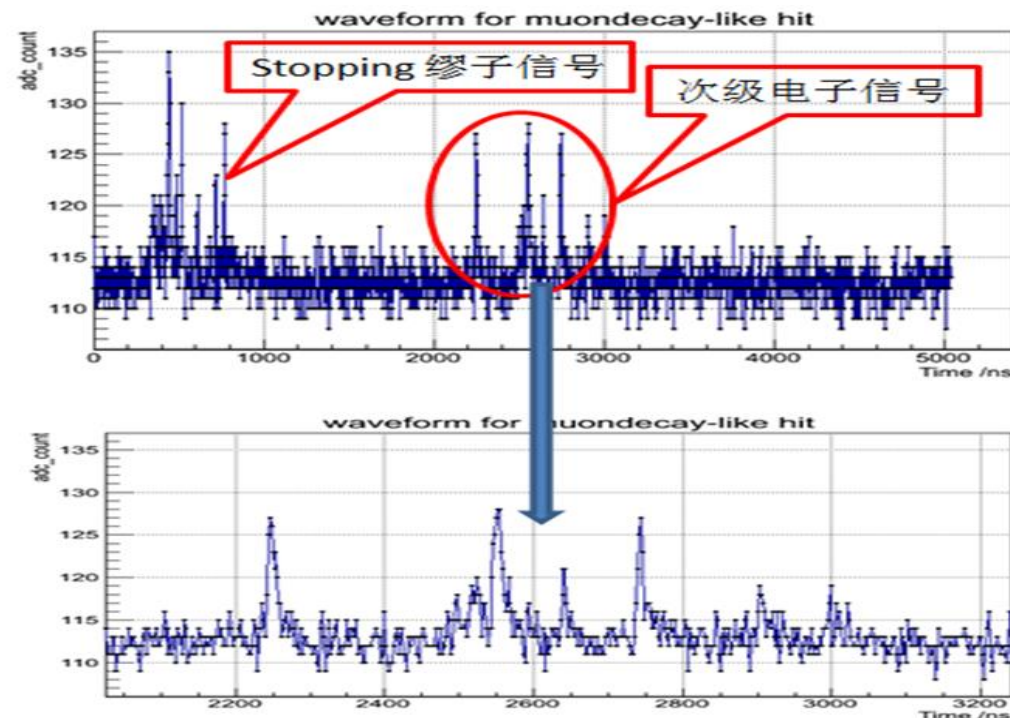
标定方案——A/D ratio

- 方案：
 - 通过实验数据中事例的阳极和打拿极的电荷测量，拟合得到增益比，并将拟合结果（右上图）与PMT实验室离线标定结果（右下图）相互验证。
- 标定精度：
 - 统计误差：统计量较大时统计误差远小于1%；
 - 系统误差：电子学通道的增益比，受温度、模拟前端影响，增益比标定精度可以控制小于1%。
 - A/D ratio的标定精度可以达到指标要求的小于1%要求。



标定方案——水位

- 方案：
 - 在不同水位处，利用波形数据挑选出缪子衰变事例（右上），得到VEM与缪子衰变信号比值与水位关系（右下）：
 - $h(\text{cm}) = (12.35 \pm 1.311) \times \mu/e + (35.61 \pm 8.477)$ 。
- 标定精度：
 - 统计误差：右下图中统计误差为 $12.35 \times 0.06 \text{cm}$ ，即小于 0.8cm ；
 - 系统误差：不同tank之间线性拟合参数不同（考虑20%误差），贡献到水位标定约 0.2cm 的误差。
 - 水位总的标定精度达到设计指标小于 2cm 的要求。



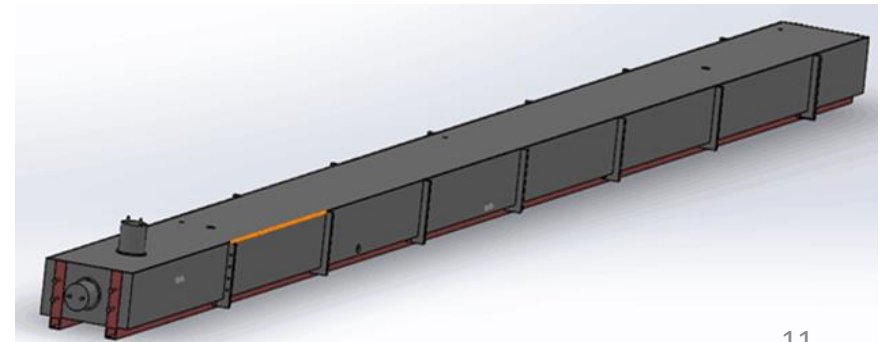
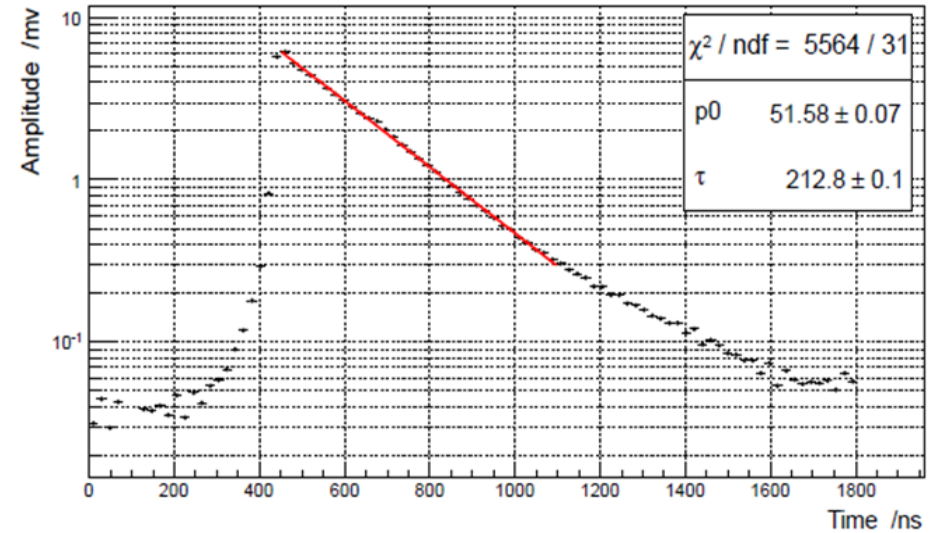
标定方案——水吸收长度

- 方案:

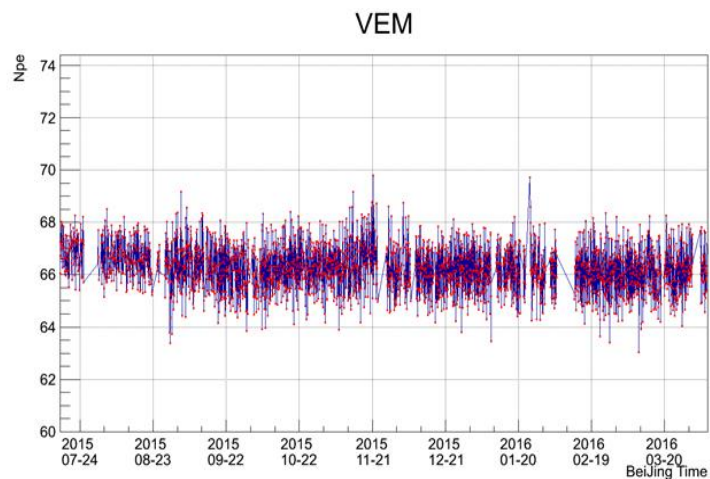
- 波形后沿衰减时间 τ 与水吸收长度 λ 、内袋反射率 f 及平均反射步长 L 之间关系:
- $1/\tau = (1/\lambda - \ln f / L) \cdot c / n$;
- 利用波形后沿法（右上）间接测量得到的水吸收长度与水衰减长度测量仪（右下）测量结果相互验证。

- 标定精度:

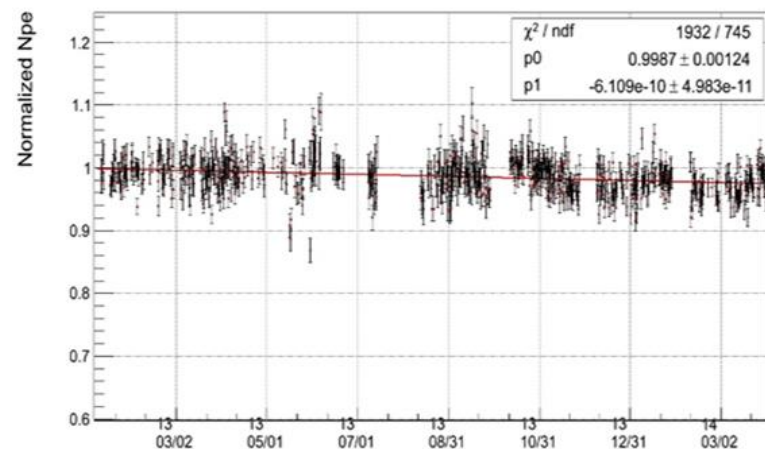
- 统计误差: 右上图中, 对于98%的反射率, 得到水吸收长度为 $104\text{m} \pm 0.023\text{m}$, 统计误差可以忽略;
- 系统误差: ①内袋反射率 f , 水袋制作运输等因素影响, 如果存在0.1%的误差, 引入水吸收长度的误差为9.66%; ②平均反射步长 L , 通过Geant4模拟得到, 考虑5%误差, 贡献到水吸收长度的误差为6.29%。
- 总的误差约为11.5%, 达到设计指标要求的的小于15%@100m。



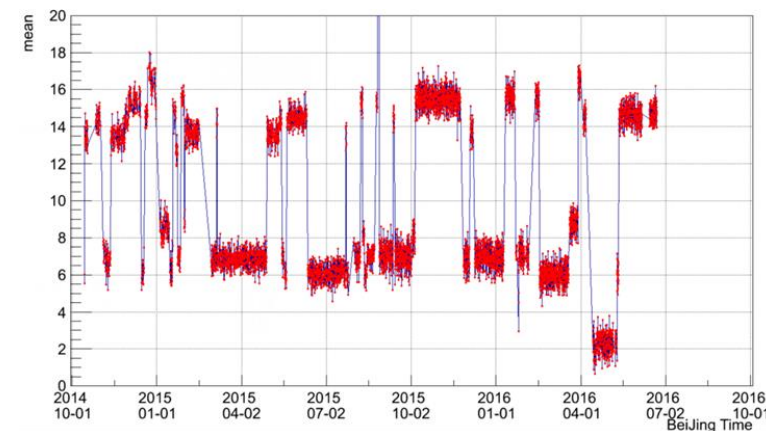
长期稳定性监测



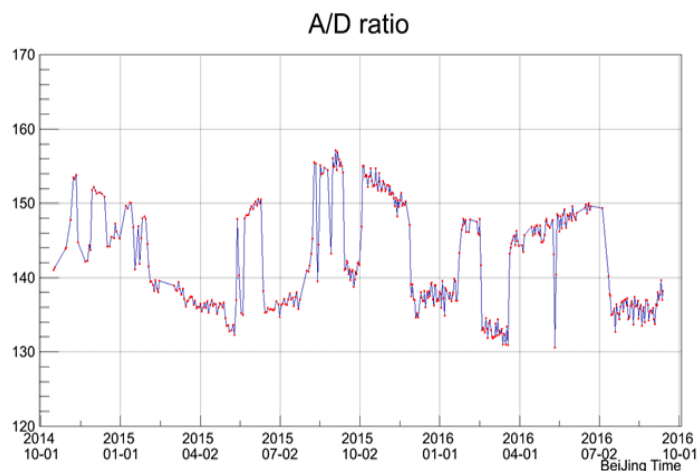
单缪光电子数 (VEM)



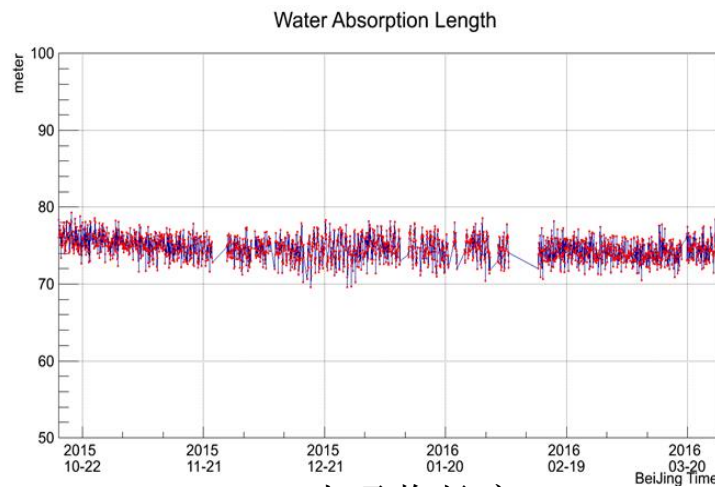
背景单缪光电子数



时间偏差



A/D ratio



水吸收长度

时间	水位	μ / e
2014. 11	117	6. 865
2015. 02	114	6. 570
2015. 03	113	6. 448
2015. 04	112	6. 396
2015. 05	111	6. 417
2015. 06	110	6. 232
2015. 07	109	6. 226

水位

总结

- 面向未来的LHAASO缪子探测器阵列，发展了一套简便、稳定可行的在线的标定方案，对单元探测器的性能参数如单缪信号电荷、时间偏差、水位、水质及阳极/打拿极增益比（A/D ratio）进行标定，以确保数据分析准确性、阵列的一致性和实现长期稳定性的监测；
- 羊八井原型样机实验数据分析结果表明，所有标定内容达到标定精度要求，且长期监测的稳定性良好。