

LHAASO合作组会 2017-9-22

LHAASO-WCDA 时间标定方法研究

报告人： 刘金艳 (南开大学/高能物理研究所)

指导老师： 姚志国 (高能物理研究所 研究员)

喻纯旭 (南开大学 教授)

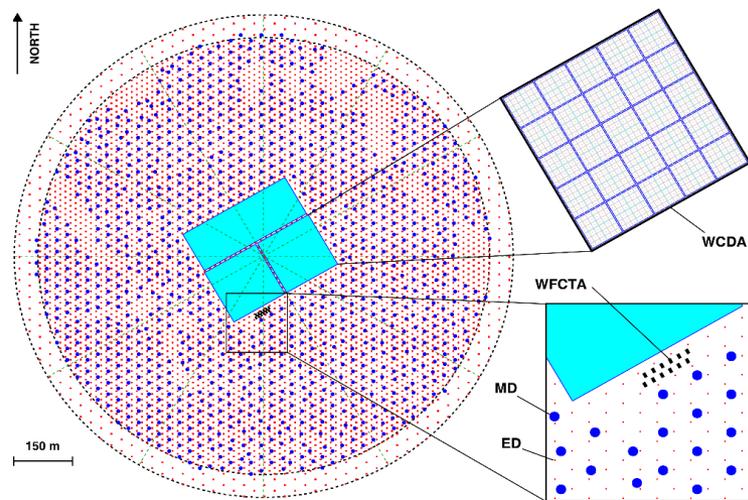


报告内容

- 研究背景介绍
- 基于簇射方法的刻度方法
- 时间刻度软件开发
- 实验结果和问题分析
- 总结和展望

研究背景介绍

- WCDA探测器主要功能：在100GeV-30TeV实现伽玛源的寻天观测。
- 观测原理：簇射产生的次级粒子在水中产生切伦科夫光，并被PMT探测。
- 探测器结构
 - 3120个探测单元
 - 单元大小：5m x 5m
- 实验要求：
 - 阵列指向精度： <0.1 度
 - 时间标定系统的精度： <0.2 ns



时间标定的重要性及挑战

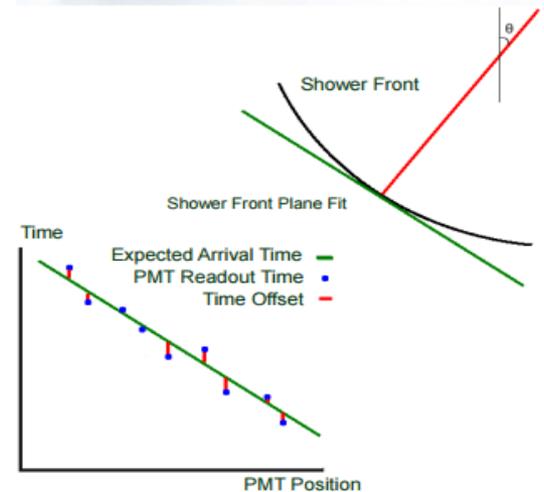
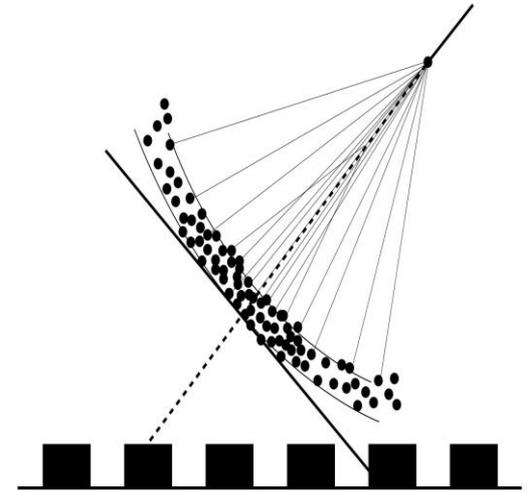
- 为满足LHAASO实验的物理需求，WCDA探测器的性能指标对时间标定提出0.2ns的要求。
- 从宇宙线次级粒子在水中产生切伦科夫光，然后光子传播到PMT表面，再经过光电转换形成电信号，以及通过电缆将信号读出，这里的过程非常复杂。精确刻度对每个环节至关重要。
- 对于通道的时间差，可以采用“交叉标定”方法。（硬件）
- 但对于物理事例，如簇射前锋面的修正，则需要研究其他的可行办法。

基于簇射方法的刻度方法

□ 簇射事例

- 当宇宙线或伽马射线在大气中产生簇射时会产生大量的次级粒子。
- 次级粒子会沿着一定的方向传播，它们的前锋面会形成一个曲面，最终击中在WCDA探测器单元。
- 当探测单元阵列面积不大时，该前锋面可近似成平面。

- 利用该前锋面可以预测PMT的到达时间，从而得出和真实时间的偏差。



事例重建基本原理

□ 利用平面拟合的方法，可以实现对事例的重建。

□ 假设前锋面的方向为 \vec{k} ，探测器单元的位置为 \vec{X} ，

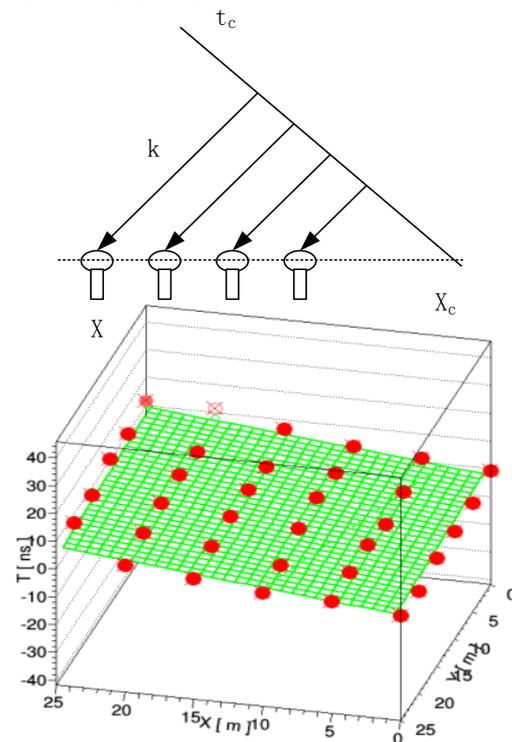
□ 可以计算从前锋面 (\vec{X}_c, t_c) 飞行至探测器单元的
预期时间 t' 为

$$\square t' = t_c + \vec{k} \cdot (\vec{X} - \vec{X}_c)$$

□ 设实验探测粒子到达的时间为 t ，
它的误差为 σ^2 ，可通过构建 χ^2

$$\square \chi^2 = \sum \frac{(t-t')^2}{\sigma^2}$$

□ 最小化得出重建的方向为 \vec{k} 。



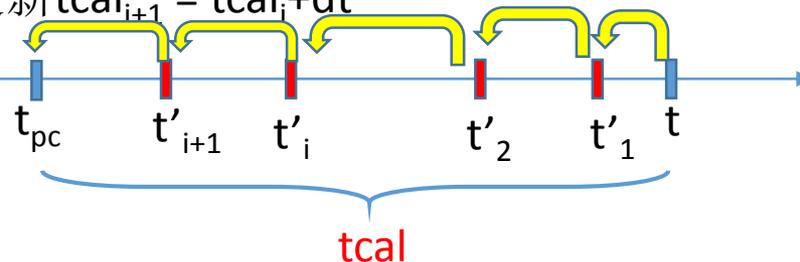
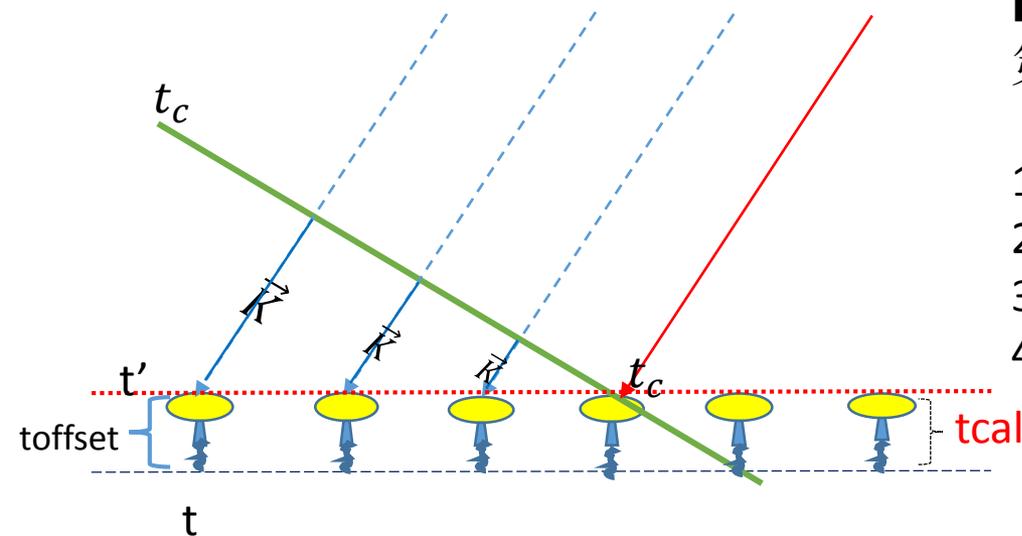
事例刻度基本原理

- 完成一个事例的重建后，根据重建的方向，可计算出每个探测器单元预期的预期到达时间 t' 。
- 定义一个时间差为 $\Delta t = t - t'$
- 不断迭代使时间得到修正

■ 刻度流程

第0次迭代, $tcal_0$ 初值设置为 0, $t'_0 = t - tcal_0$
开始迭代, 重复1-4步:

- 第 i 次迭代, 使用 t'_i 重建得出 t_c, k
- 计算每个 cell 的预期到达时间 t'_{i+1}
- 计算时间残差 $dt = t'_i - t'_{i+1}$
- 更新 $tcal_{i+1} = tcal_i + dt$



刻度中的样本挑选

□ 刻度时的挑战

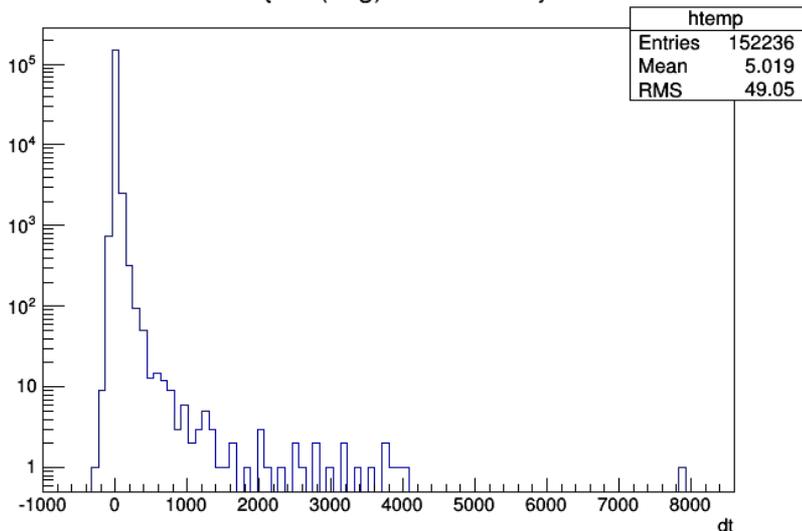
- 依赖于重建算法的精度。
- 迭代次数多，计算量大，刻度时间久。

□ 挑选合适的重建样本用于刻度

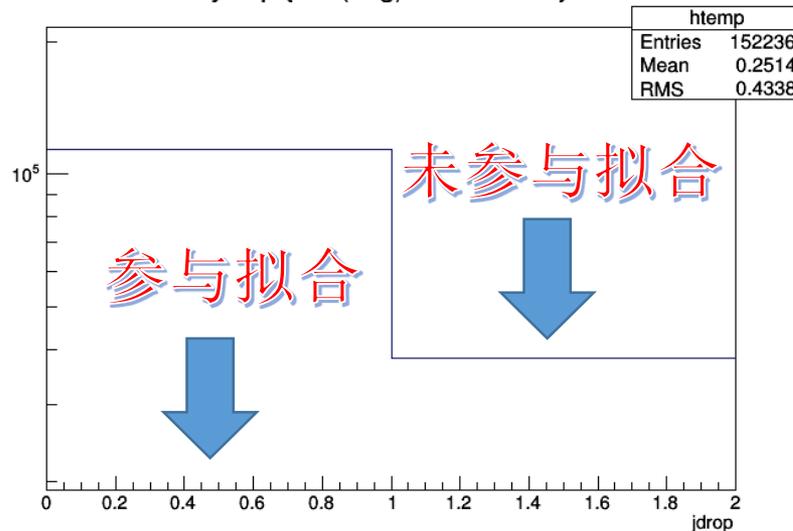
- 变量jdrop用于描述当前探测单元是否参与平面拟合。
- 变量nfit用于描述参与平面拟合的探测单元个数。
 - 数目越大表示有更多的探测单元有击中并参与了平面拟合。
- 变量 χ^2 。构建变量 $\chi^2 / (nfit - 3)$ ，从而评估平面拟合的质量。
- 变量q，即探测单元的电荷信息。

可用于分析的变量 (cell=1)

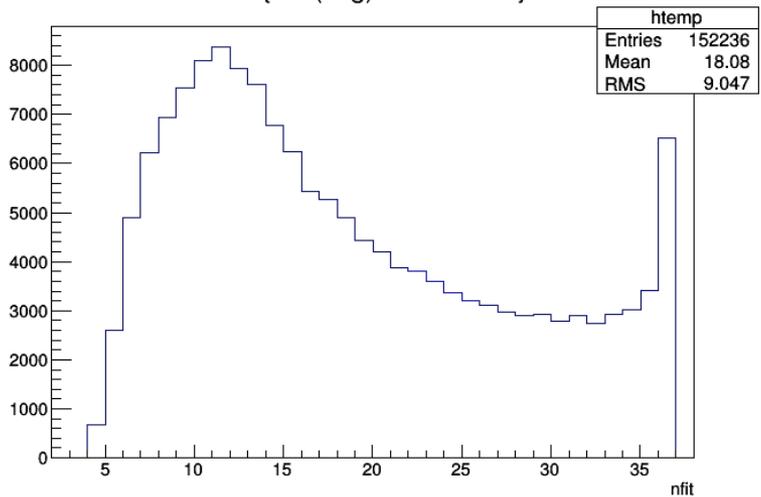
dt {abs(flag)%10000==1}



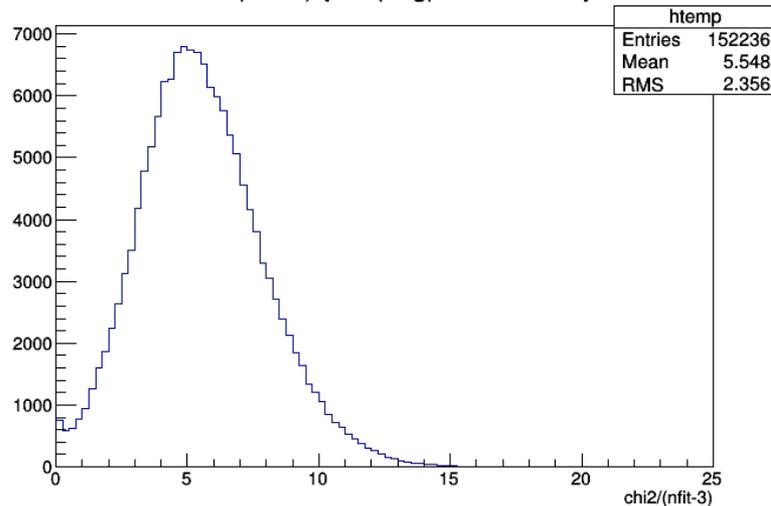
jdrops {abs(flag)%10000==1}



nfit {abs(flag)%10000==1}



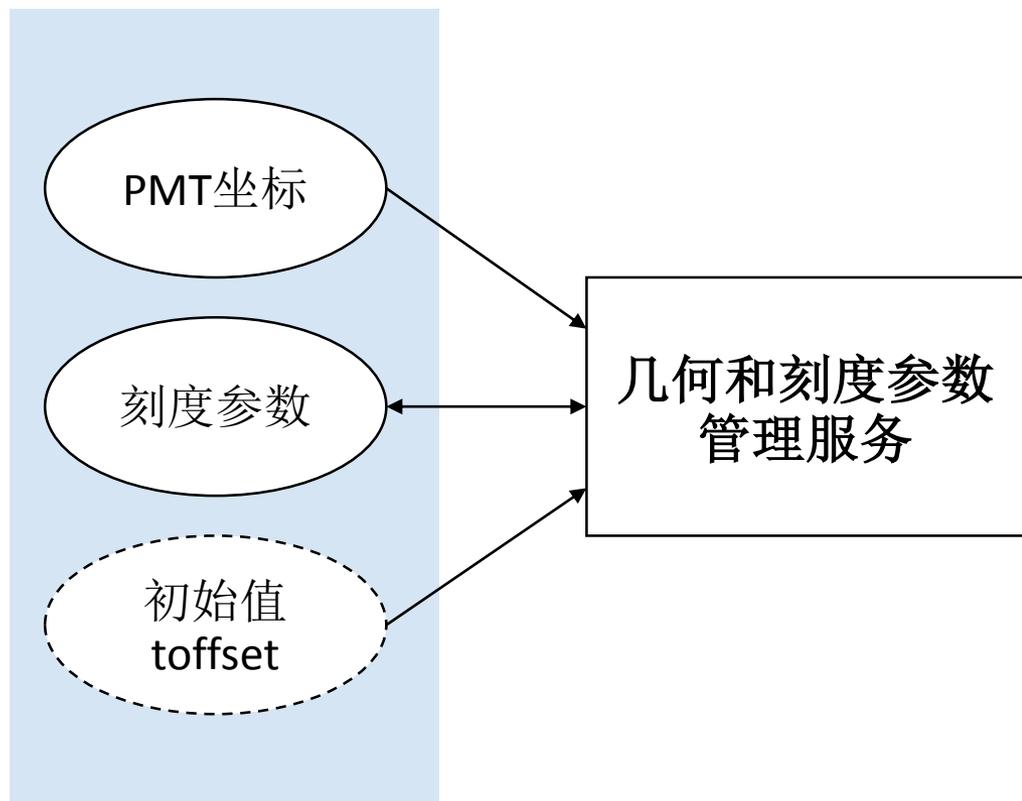
chi2/(nfit-3) {abs(flag)%10000==1}



功能模块介绍：初始化过程

- 参数解析
 - 命令行支持多种类型，包括字符串、浮点数、数组
 - 所有参数被保存到作业的元文件，确保作业的可靠性和可重复性
- 几何管理：统一探测器编号
 - 设定输入几何文件，初始化探测器信息
 - 提供几何信息、刻度参数、toffset的管理
- 事例构建：载入重建/刻度所用的输入数据
 - 事例数据模型：事例号、芯位、重建方向、总光子数、每个击中的位置、时间、电荷信息
 - 统一模拟和实验数据格式

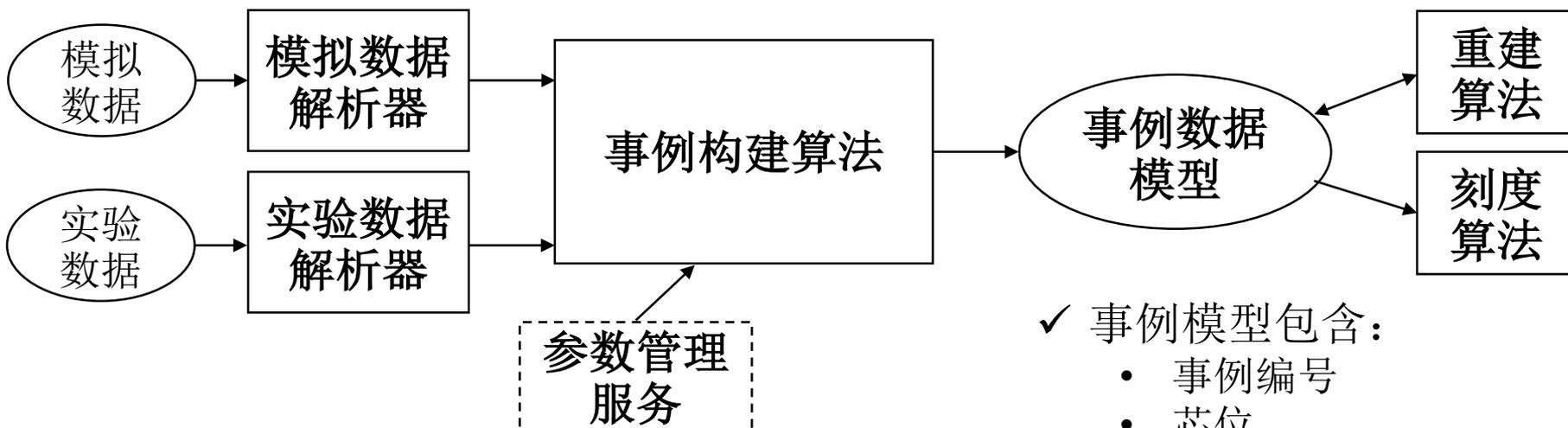
几何管理



1. 统一管理探测器相关的参数信息。
2. 定义统一的探测器编号。自动完成真实实验中不同系统编号的转换，如cell和channel编号。
3. 负责程序初始化阶段探测器信息的构建。
4. 通过类派生，隐藏不同探测器的具体实现。
5. 提供查询接口，供后续算法使用。
6. 提供对刻度参数的更新。

事例构建

□ 事例构建目的：读取数据，加载到内存用于后续处理。



- ✓ 解耦刻度程序与输入的数据。
 - 支持模拟数据和实验数据。
 - 只需要添加对应的解析器。

- ✓ 事例模型包含：
 - 事例编号
 - 芯位
 - 重建后的方向
 - 总光电子数
 - 每个击中的位置、时间和电荷信息等

功能模块介绍：迭代过程

- 每次迭代依次调用重建算法和刻度算法。
- 事例循环时调用重建算法，得出：
 - 事例级信息：重建的方向、前锋面时间、重建质量
 - 探测单元信息： Δt
- 刻度时，对每个cell进行挑选，得出刻度参数
 - 输入信息包括是否参与拟合、 Δt 、nfit、 $\chi^2/(nfit-3)$



按照上述流程，
反复迭代，得出
最后的刻度参数。

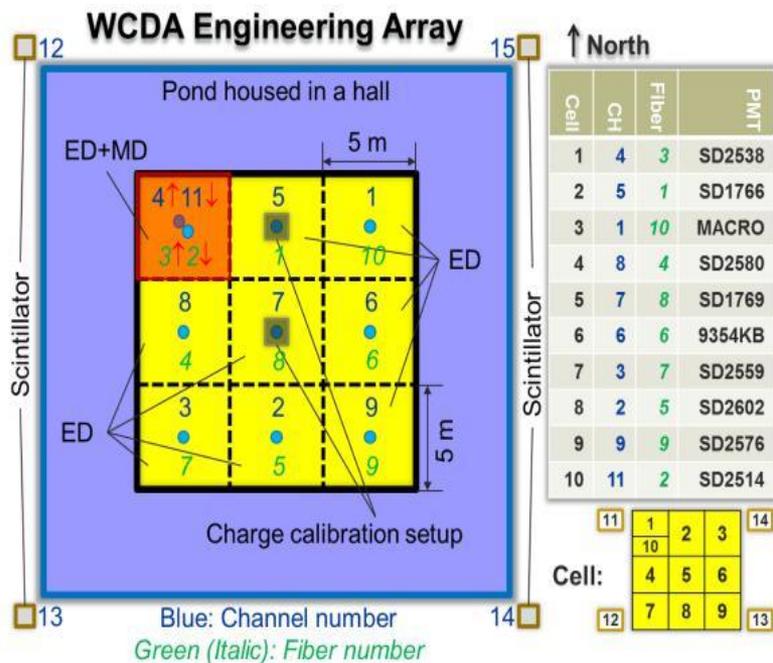
得出的刻度参数用于
更新重建输入的时间

数据分析

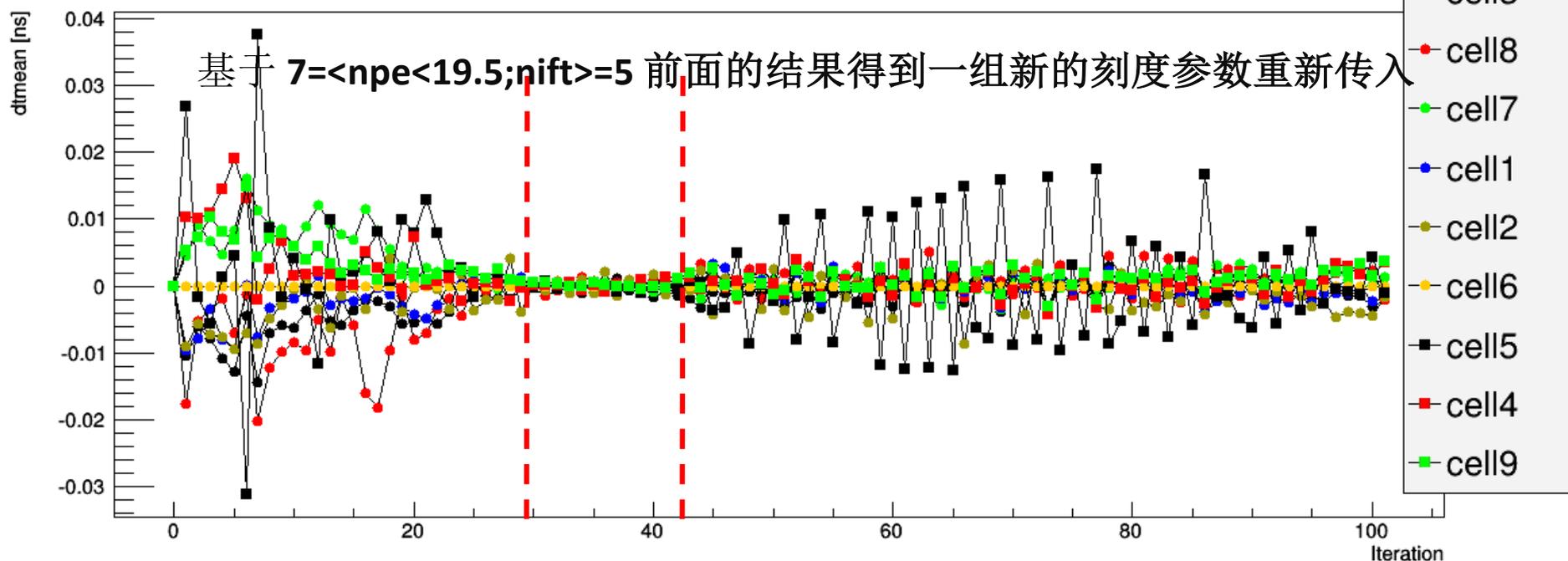
- 使用实验数据和模拟数据对刻度算法进行验证。
- 实验数据：采用3x3单元工程样机
 - 初始的刻度参数设为硬件标定的结果
- 模拟数据：采用6x6单元模拟数据
 - 基于30x30模拟样本，挑出6x6单元
 - 为了加入不同通道之间的时间差，生成一套随机的time offset，以 $\text{gaus}(0, 0.5)$ 随机生成
- 重建算法使用相同的Planefit算法
- 评判标准，要求刻度结果和输入值差异小于0.2ns

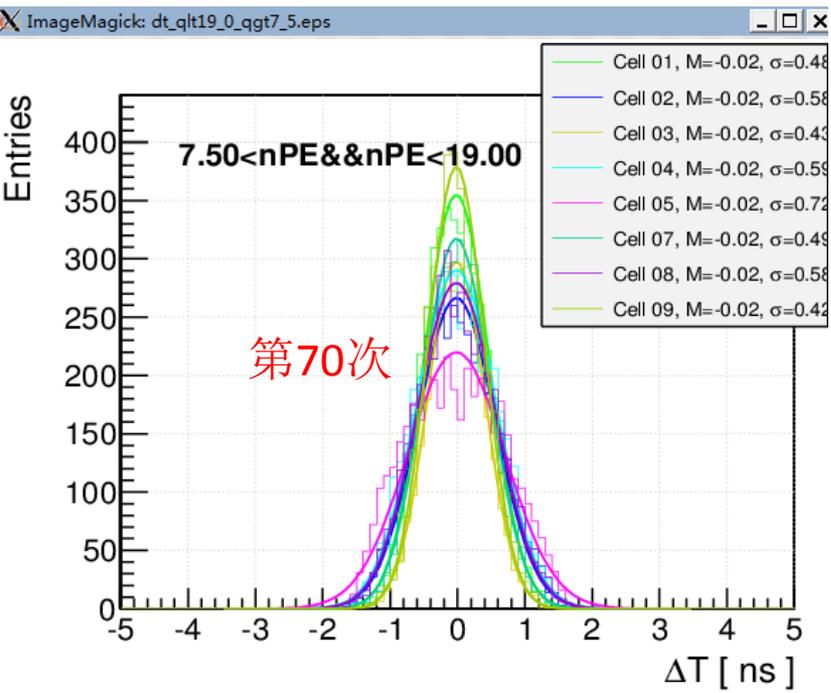
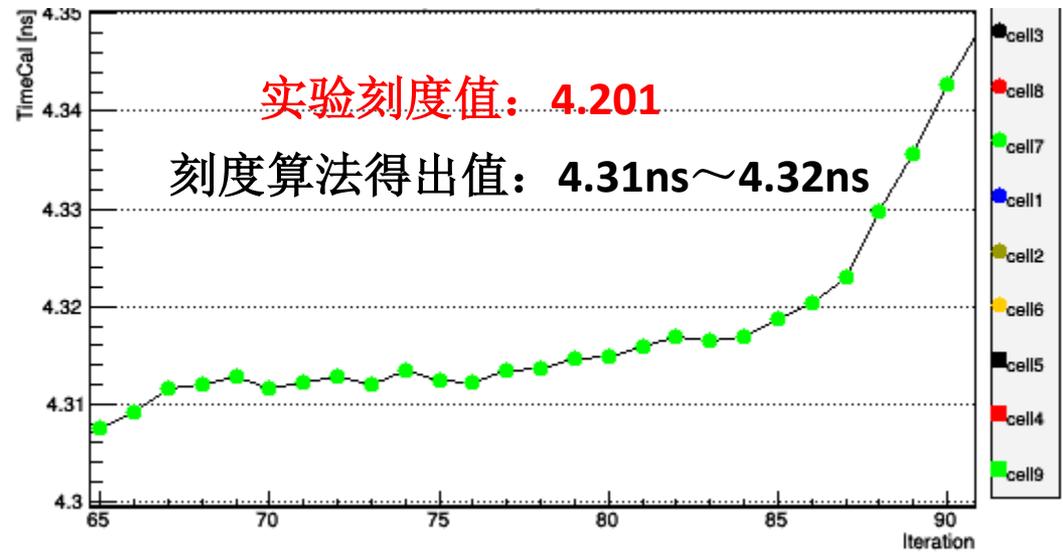
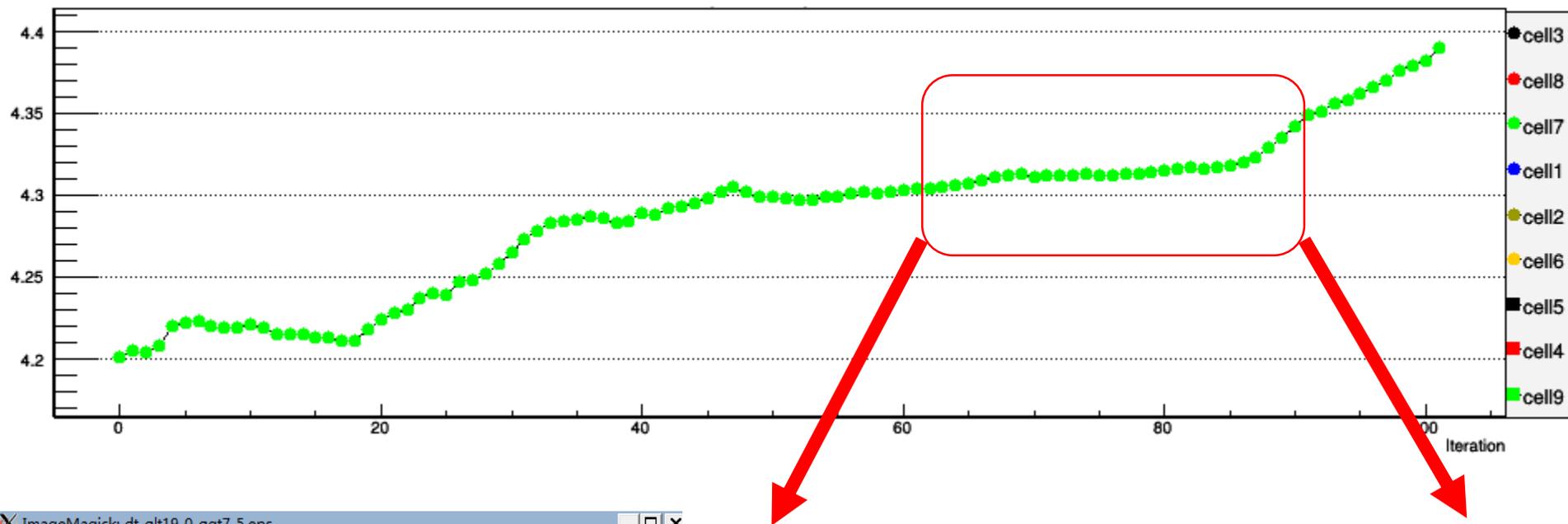
3x3单元工程样机

- 只用水池中的PMT 1-9
- Cell 6是坏的，未使用
- 刻度的结果达到预期效果

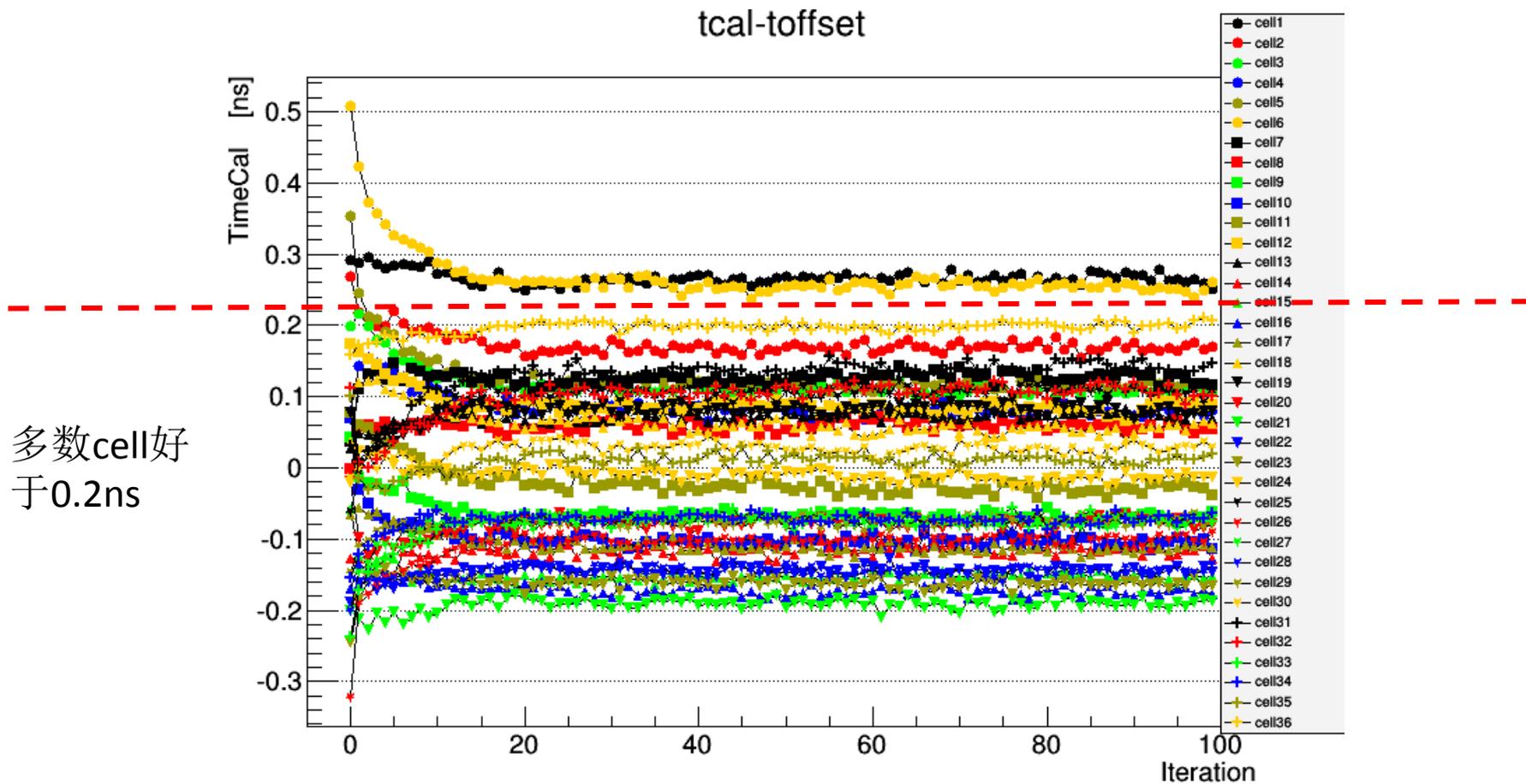


dt





6x6单元模拟数据结果



cut重建数据edir好于2度的结果

总结和展望

- 精确的时间刻度对于LHAASO-WCDA非常重要，通过利用簇射事例完成时间刻度。
 - 研发了一套时间刻度方法和相应的软件。
 - 通过精确重建得出探测器预期时间，利用探测时间和预期时间的差值，实现对刻度参数的修正。
 - 通过迭代的方法，改进重建结果，得出修正数值。
- 基于九单元工程样机实验数据进行研究。
- 基于三十六单元模拟数据进行研究。
- 模拟的刻度结果还未达到预期的结果，下一步深入研究如何改善结果。
 - 扩展至12x12单元模拟数据