

LHAASO实验中大尺寸光敏探头特性研究

江琨，唐泽波，李澄

中国科学技术大学近代物理系
核探测与核电子学国家重点实验室



提纲

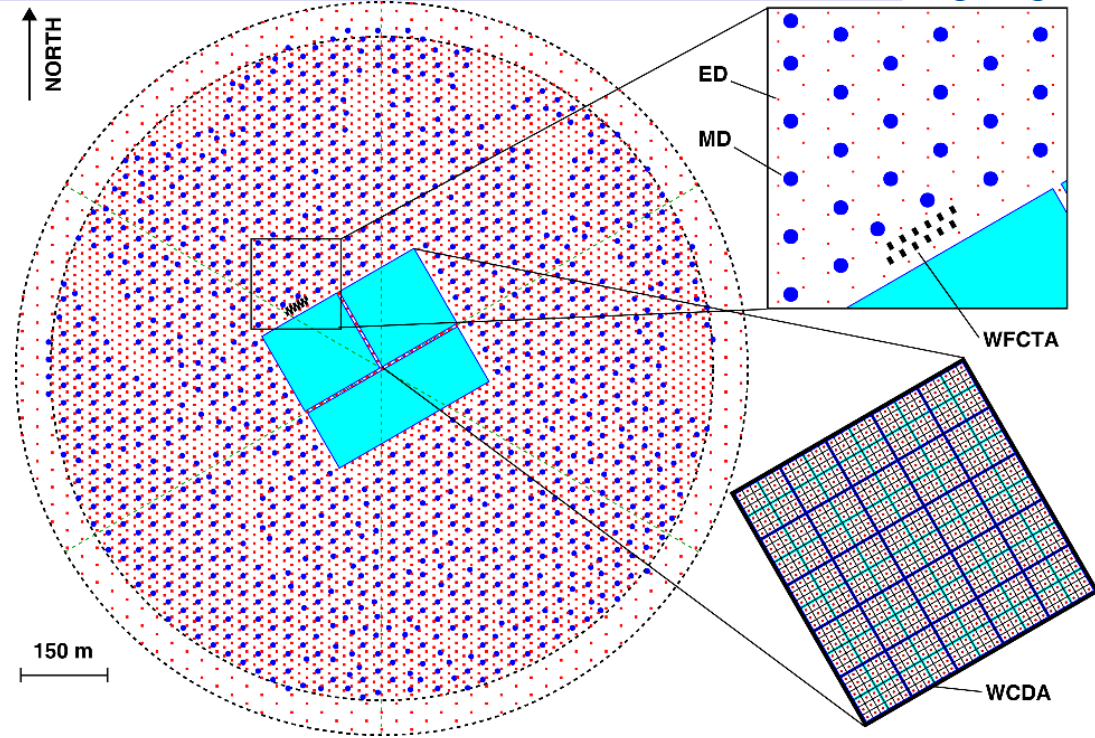


- 项目简介
- 批量测试方案
- 目前批量测试情况
- 总结

LHAASO探测器

主要科学目标:

- 高能宇宙线起源
- 北天区扫描伽玛射线源
- 暗物质、量子引力、洛伦兹不变性破坏等



主要研制任务:

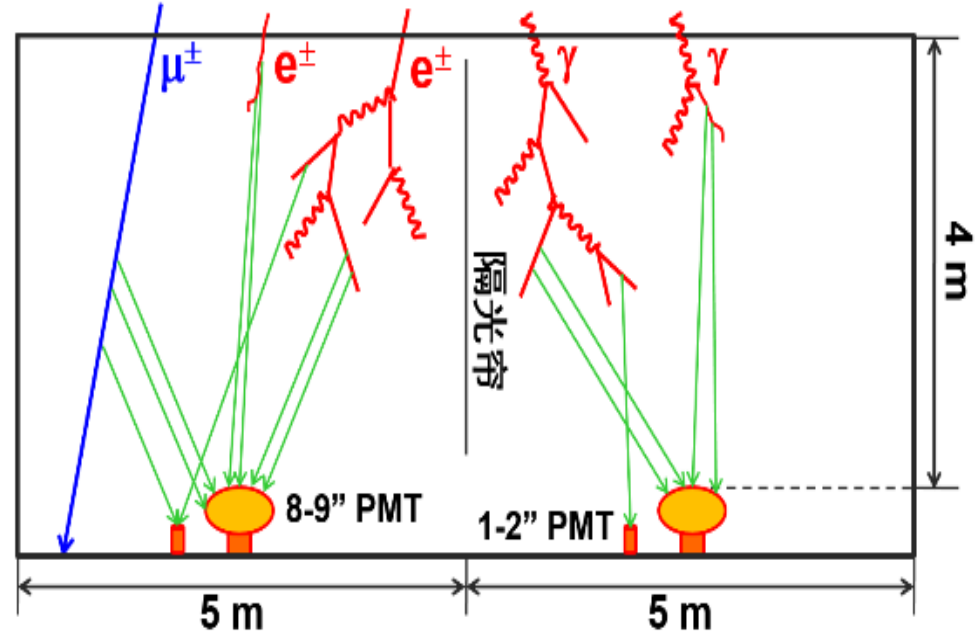
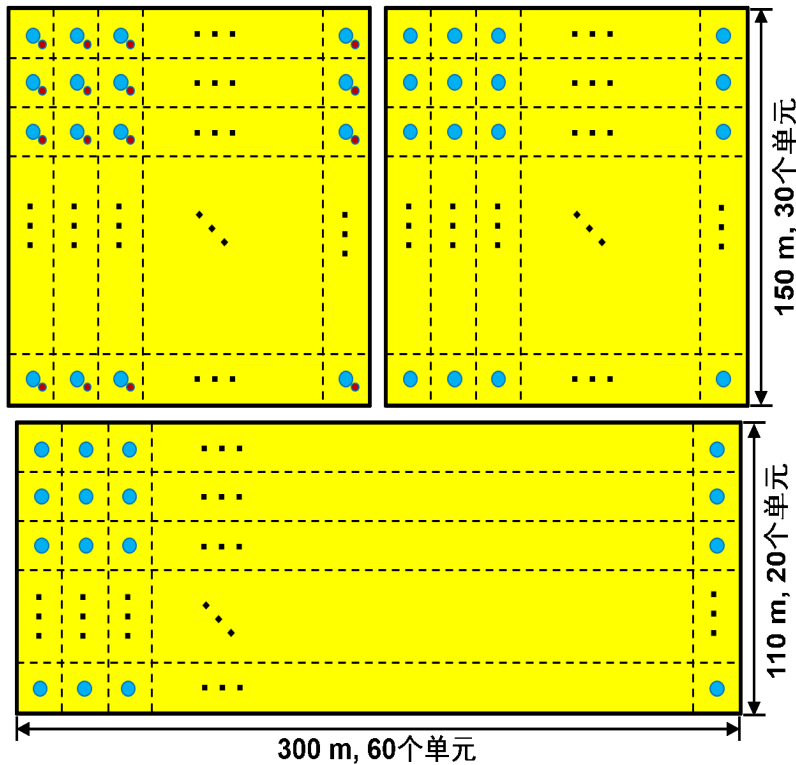
- **水切伦科夫探测器阵列 (3000)**
- 平方公里探测器阵列
 - 电磁粒子探测器 (4901)
 - **缪子探测器 (1171)**
- 广角切伦科夫望远镜 (12)

大尺寸光电倍增管

小尺寸光电倍增管

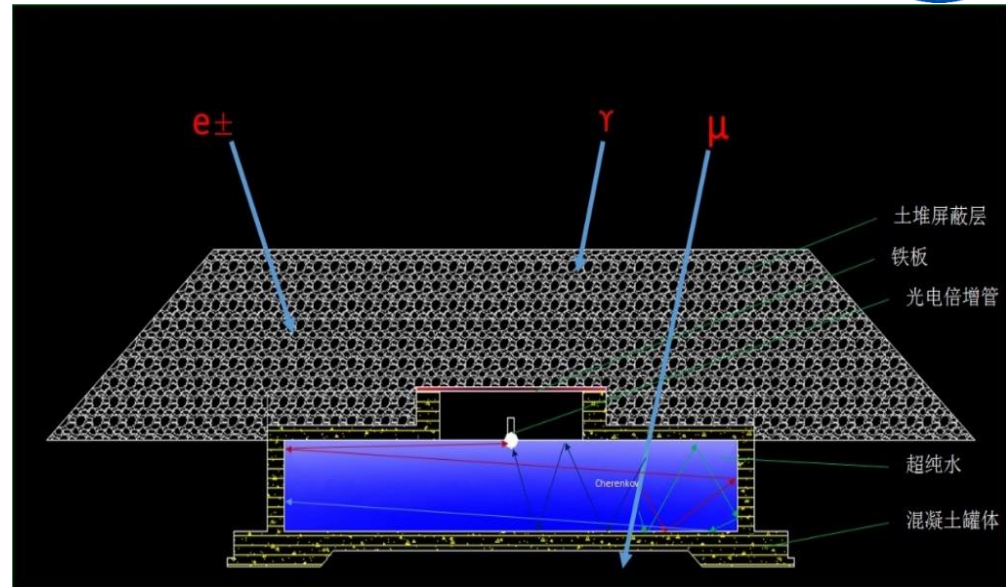
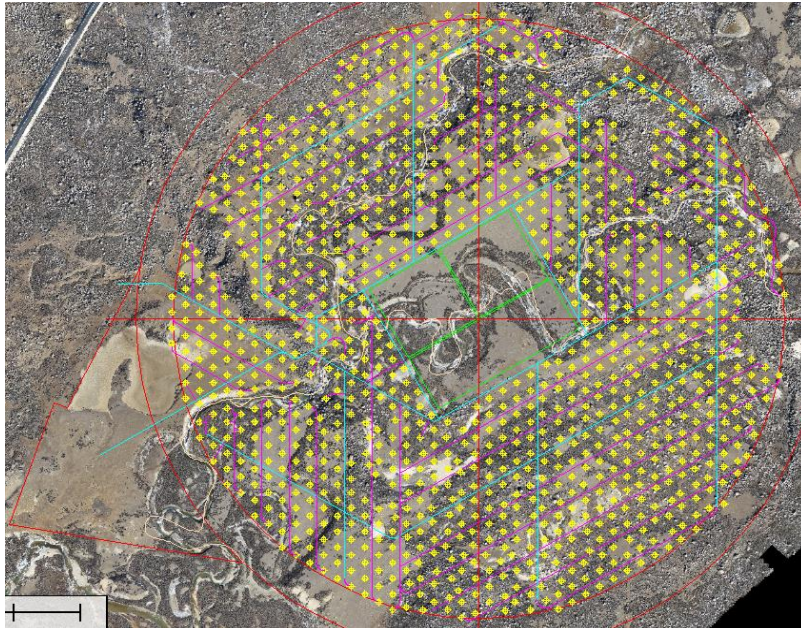
硅光电倍增器

水切伦科夫探测器 WCDA



- 三个大水池用遮光帘分离成3000个探测器单元
- 大部分情况下光电子数很少，单光电子性能要求高
- 渡越时间分散(TTS)要求高

缪子探测器 MD



- 间距30m 分布在以WCDA为中心，半径为575米的范围内
- 罐体上面覆盖2.5m厚的土吸收电磁成分
- 单缪子会产生几十个光电子，信号大，单光电子性能要求不高
- 光电子时间分布宽，动态范围要求高(1.6 A)



WCDA/MD: PMT主要测试参数比较

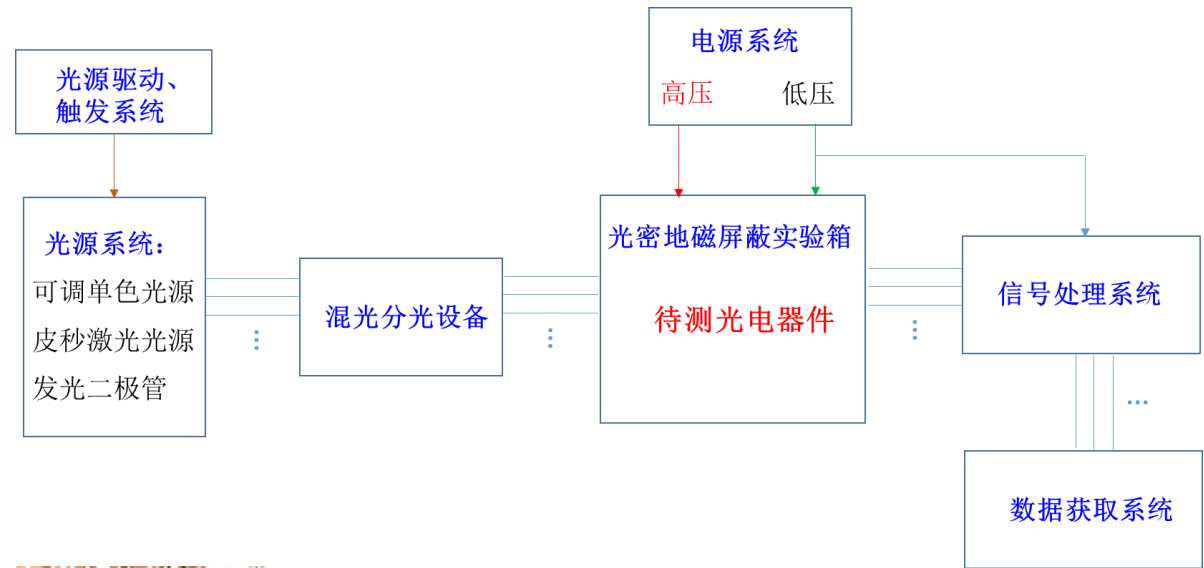
性能参数	WCDA	MD
高压响应系数	平均值 ± 0.5 之内	平均值 ± 0.5 之内
工作高压	平均值 $\pm 100V$ (3×10^6)	平均值 $\pm 100V$ (2×10^6)
单光电子电荷谱	峰谷比 > 2.0 相对量子效率 $> 22\%$	峰谷比 > 2.0 相对量子效率 $> 22\%$
渡越时间分散 (TTS)	$< 4ns$	$< 4ns$
暗噪声计数率	$V_{th} = 1/3 PE$	$V_{th} = 1/3 PE$
后脉冲比例 ($0.1 - 10 \mu s$)	$< 5\%$	$< 5\%$
阳极非线性	1000 PE	25 mA
打拿极非线性	4000 PE	1.6 A
阳极打拿极增益比	平均值 $\pm 15\%$	< 160

- WCDA/MD PMT测试尽量采用相同的测试设备与方案

PMT批量测试系统

测试内容：

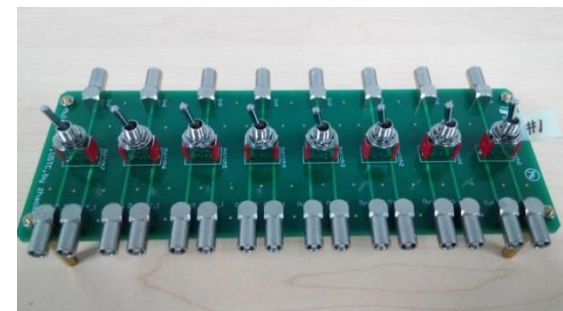
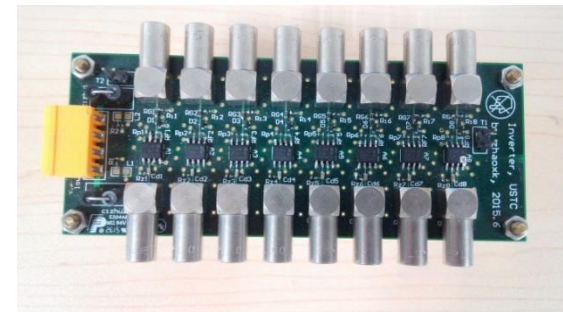
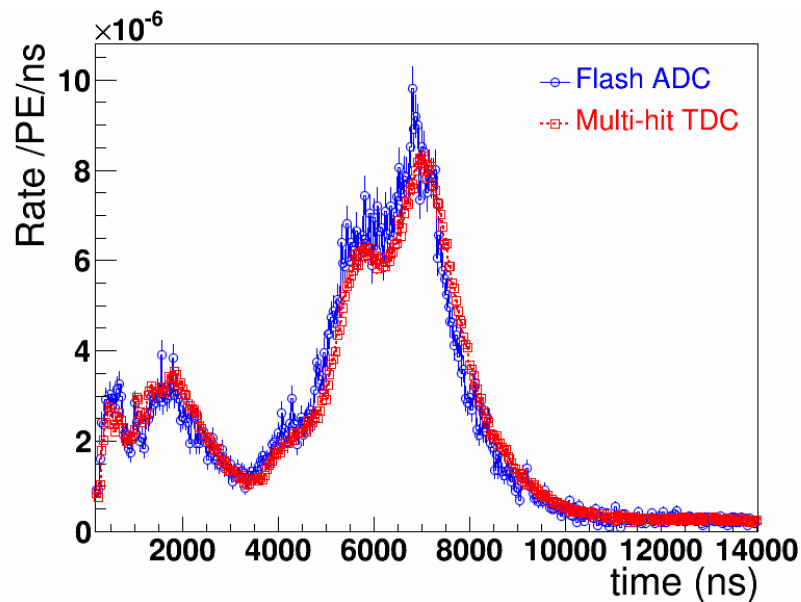
- 高压响应曲线及增益
- 单光电子测量
 - 峰谷比
 - 渡越时间分散
 - 相对量子效率
- 暗噪声计数率
- 后脉冲比例
- 阳极打拿级增益比
- 非线性



- * WCDMA与MD
尽量采用相同的测试设备与方案
- * 自动化

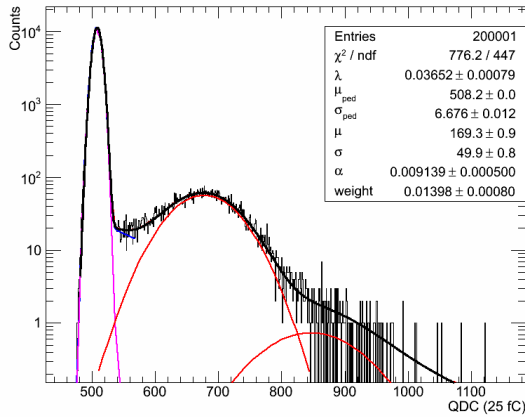
PMT性能测试关键技术

- 光源系统:光源均匀性, 混光分光
- 多通道反相器、选通器
- 非线性测量:测量方法
- 后脉冲比例快速测量

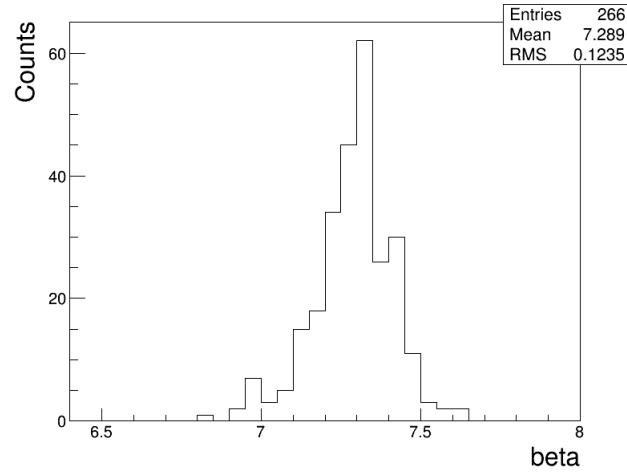




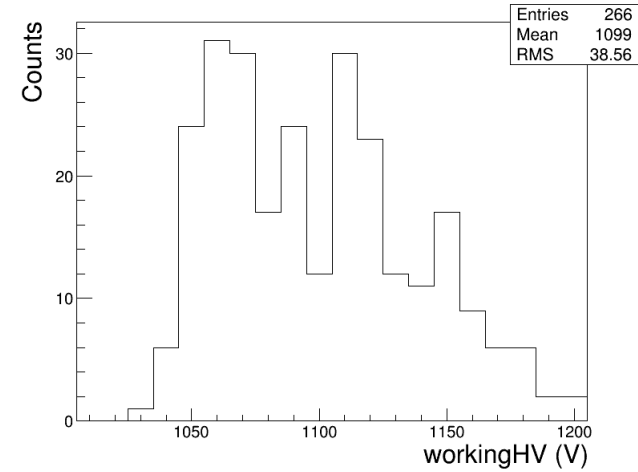
批量测试：确定工作高压



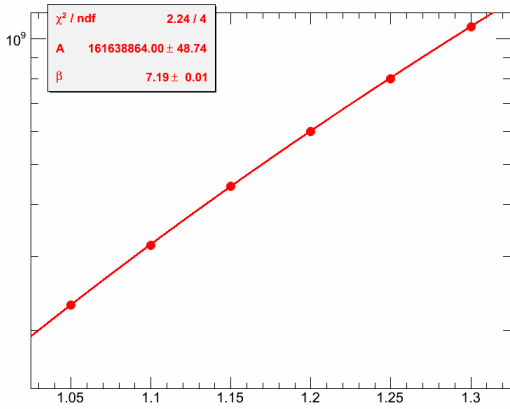
WCDA 1200V SPE



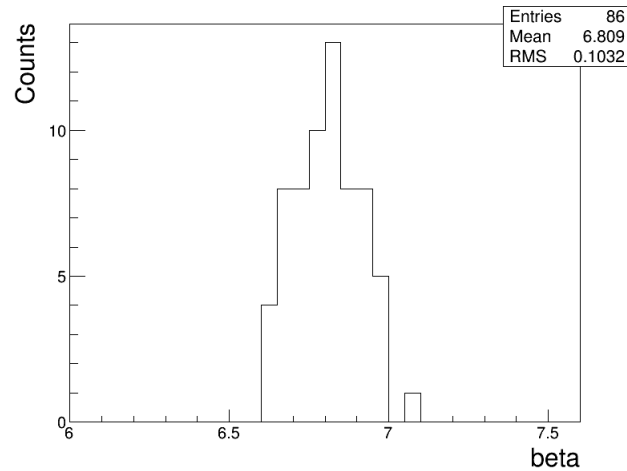
WCAD Beta



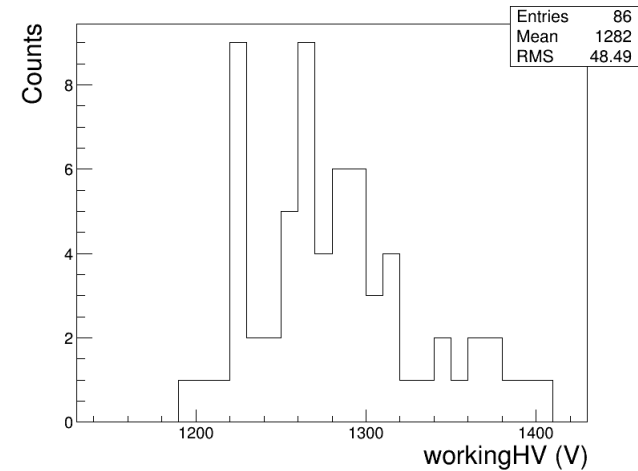
WCDA working HV



Beta scan (1050V-1300V)

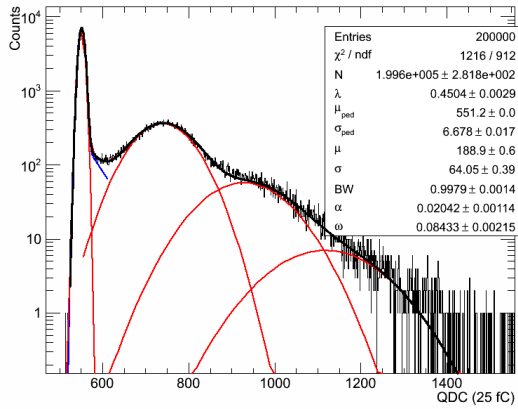


MD Beta

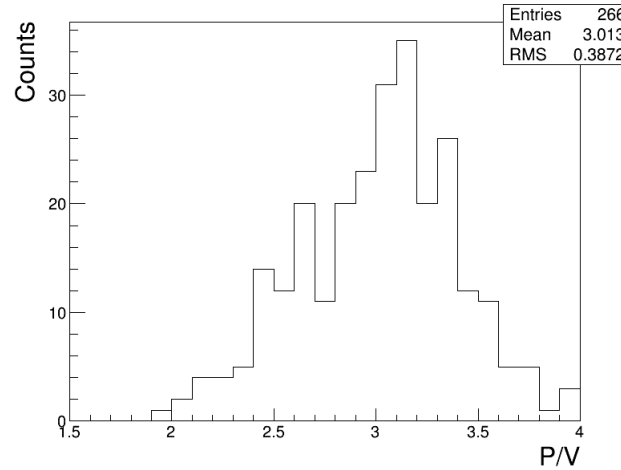


MD working HV

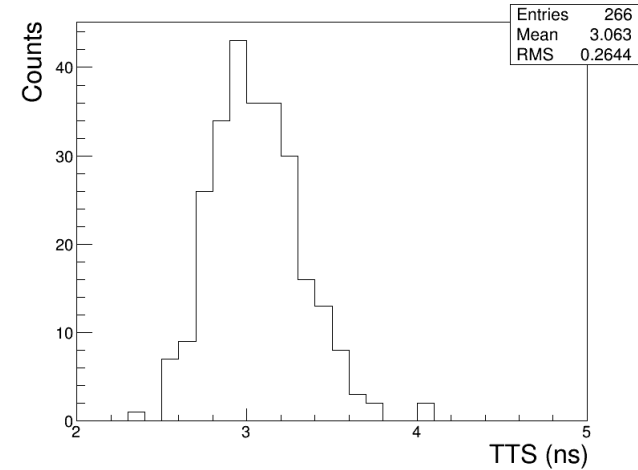
单光电子电荷谱和渡越时间分散



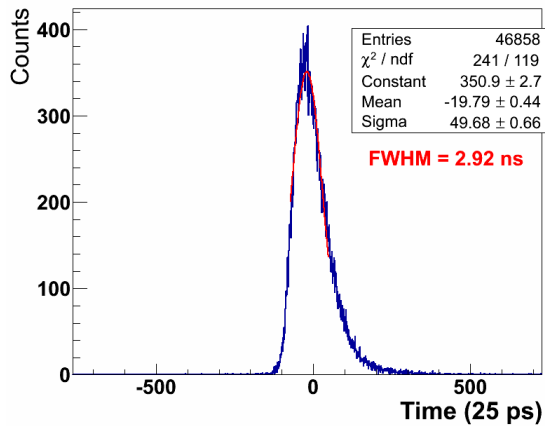
WCDA SPE



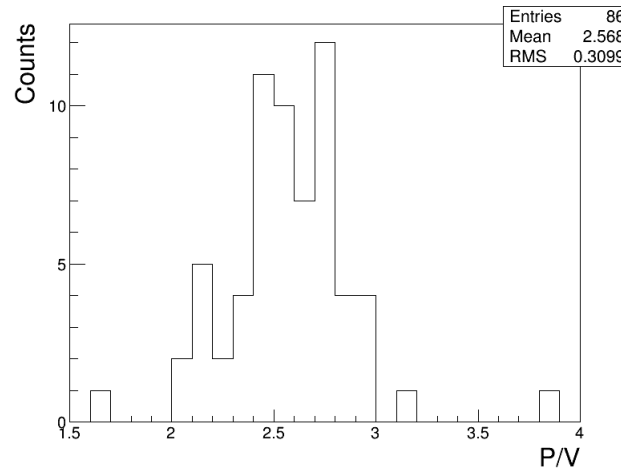
WCAD P/V



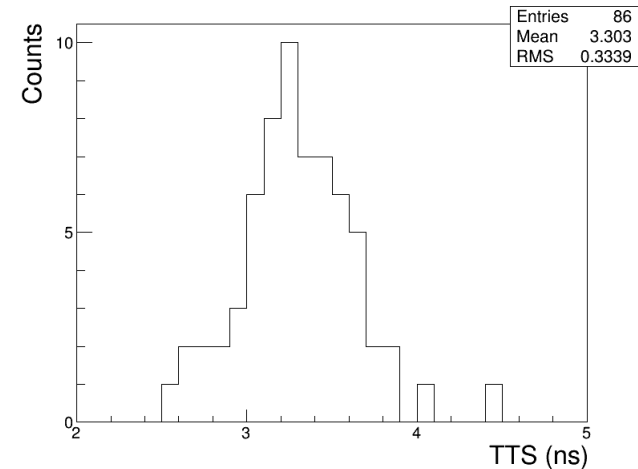
WCDA TTS



WCDA TTS

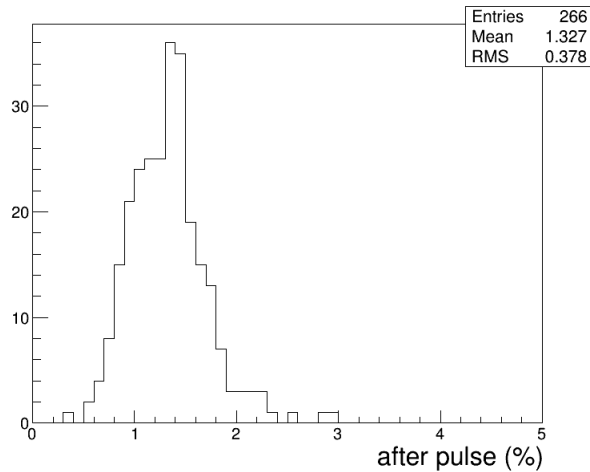


MD P/V

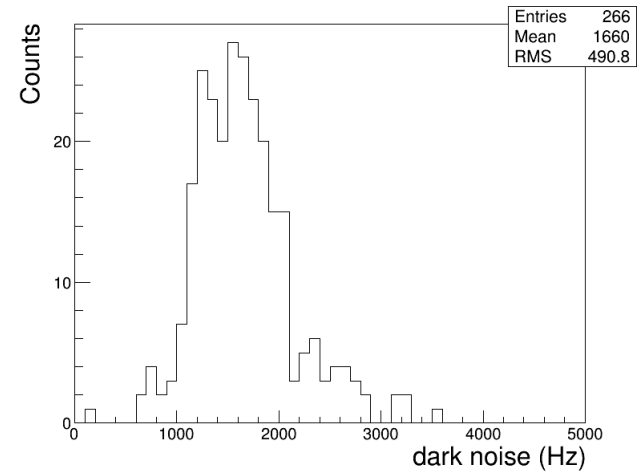


MD TTS

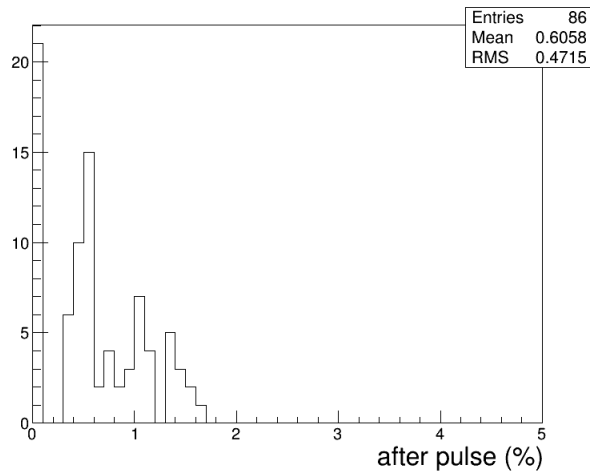
暗噪声和后脉冲



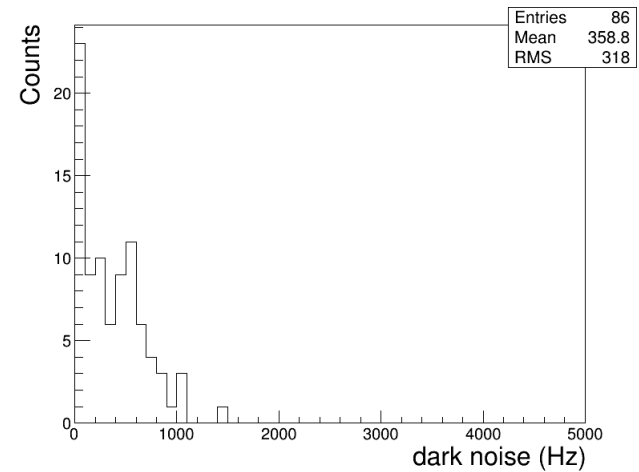
WCD after pulse



WCD dark noise

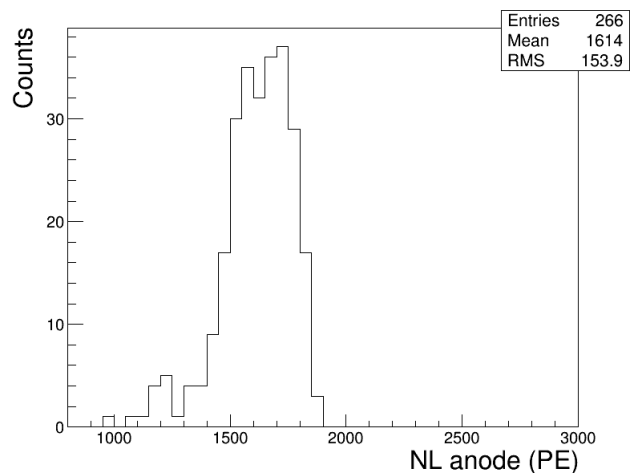


MD after pulse

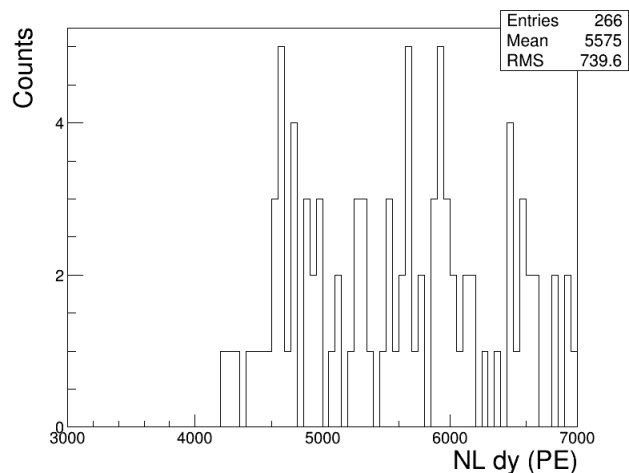


MD dark noise

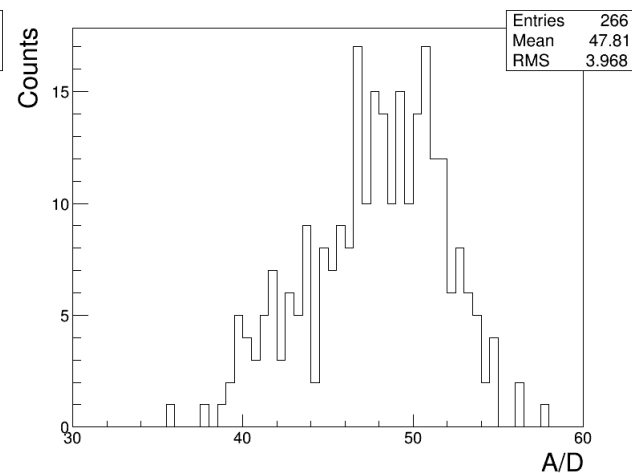
非线性和阳极打拿极比



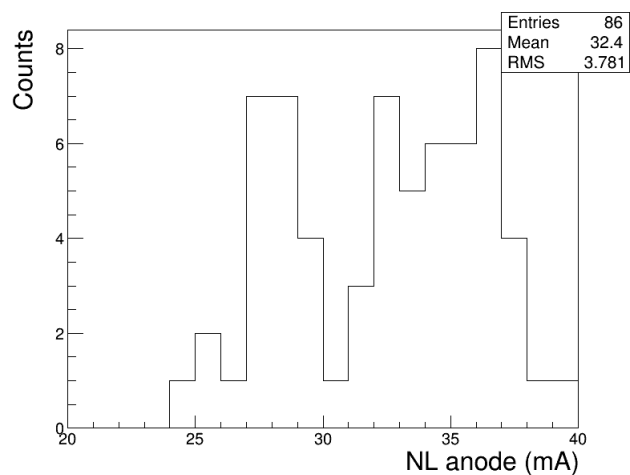
WCDA anode NL



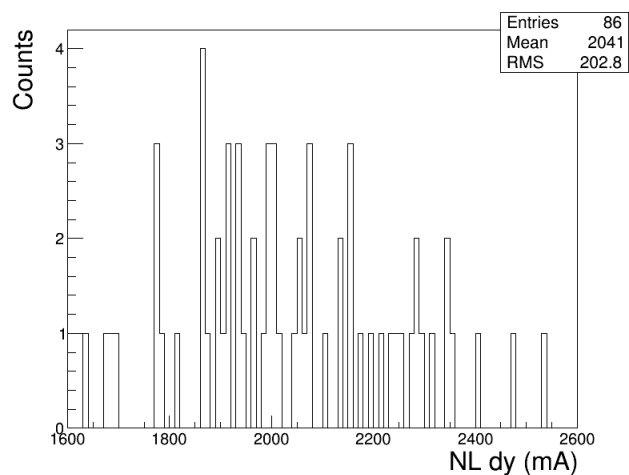
WCAD dynode NL



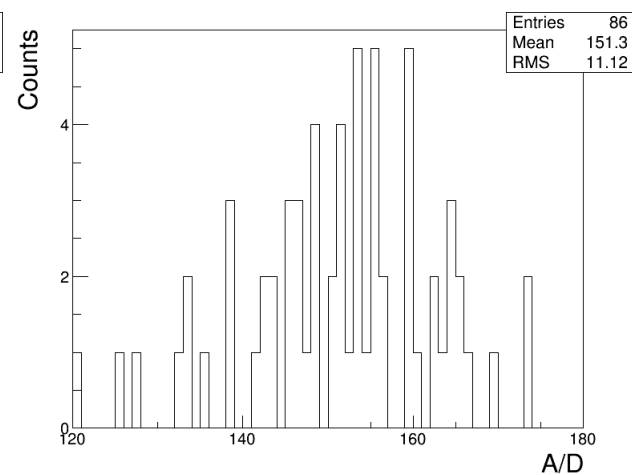
WCDA A/D



MD anode NL



MD dynode NL



MD A/D



管理质量控制和进度

管理和质量控制

1. PMT验收：核对数量，放入待测区
2. PMT测试：
 - 测试过程中的数据和参数自动写入相关文件
 - 填写PMT测试单，测试人签名
 - 使用标准管对测试系统进行监测
 - 根据检测结果将PMT分别存放在合格区和复测区
 - 次品重复测试三次，确定质量问题，联系厂家统一调换

进度

- 目前已测量PMT WCDA 266支，MD 86支，合格PMT已运走WCDA 169支，MD 59支
- 系统已经平稳运行，平均每月可测量约260只



总结

- 针对LHAASO-WCDA和MD, 在多年PMT base电路设计和性能测试的基础上, 研制了大尺寸光敏探头批量系统
- 系统测试方案满足合同要求
- 测量了300多支PMT, 验证了批量测试能力
- 制定了测试计划和质量控制、次品管理计划

- 此测试方案能按期完成WCDA和MD PMT批量测试任务



谢谢大家!