

WCDA动态范围扩展系统介绍

刘成

liuc@ihep.ac.cn

2017/1/17

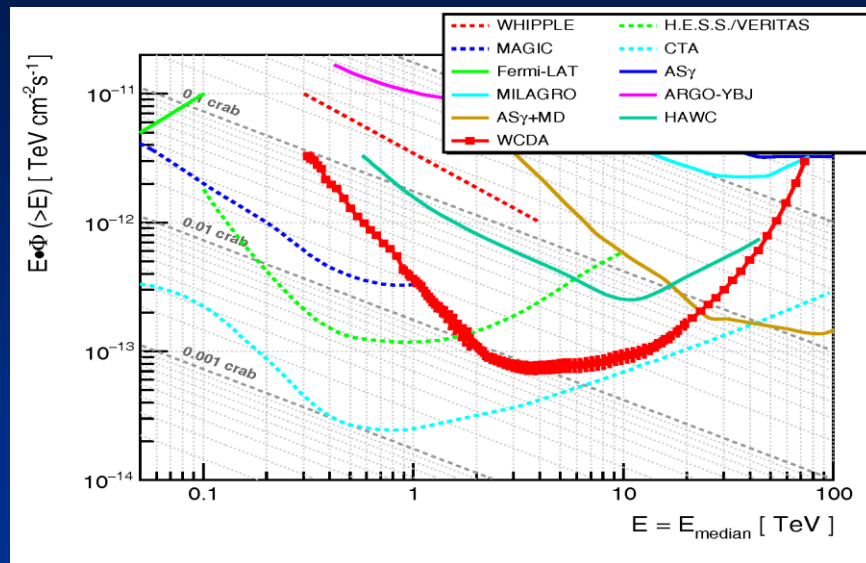
17-20 JAN 2017
云南大学，昆明

主要内容

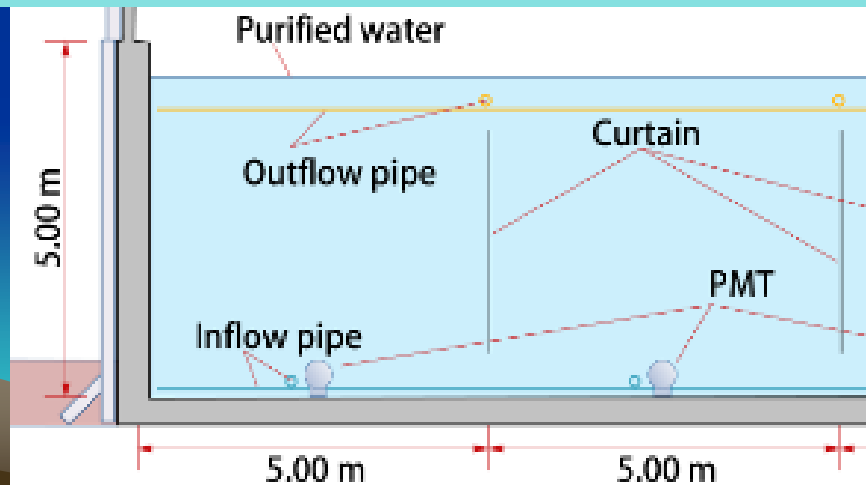
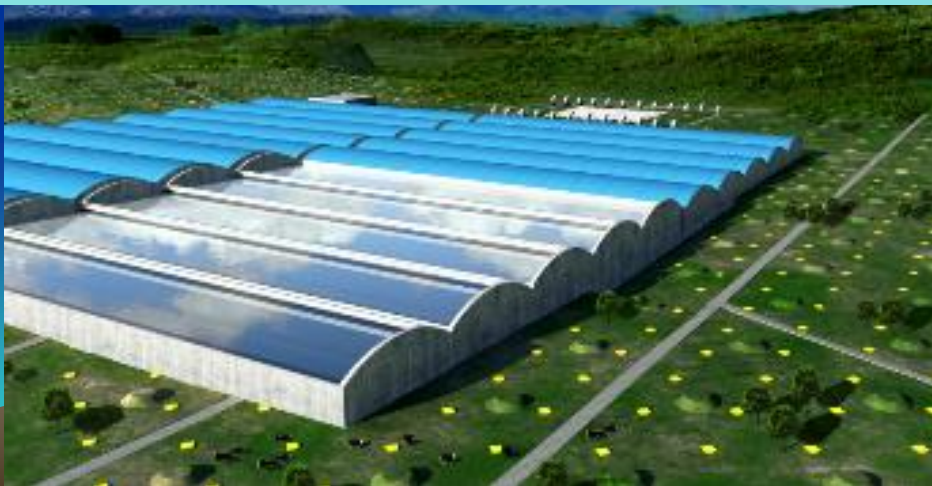
- WCDMA动态范围扩展系统介绍
 - 物理动机;
 - 探测器设计;
- 工作进展介绍
 - 高量程PMT设计;
 - 电子学设计;
 - 防水封装;
 - 快速模拟;
- 总结

WCDA实验介绍

- 覆盖面积：78,000 m²
- 有效水深：4.4 m
- 单元个数：3000
- 单元动态范围：1-4000PEs
- 角分辨： $<0.4^\circ$ (2 TeV)
- $Q(\gamma/p) : >15@2\text{ TeV}$
- 灵敏度： $<1.3\%I_{Crab}@2\text{ TeV}$

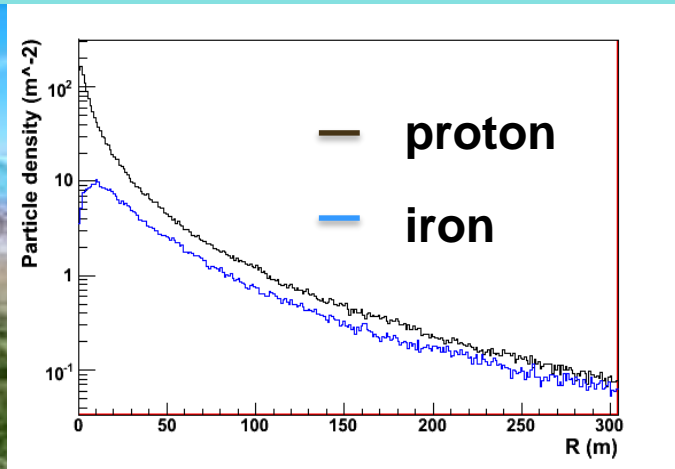
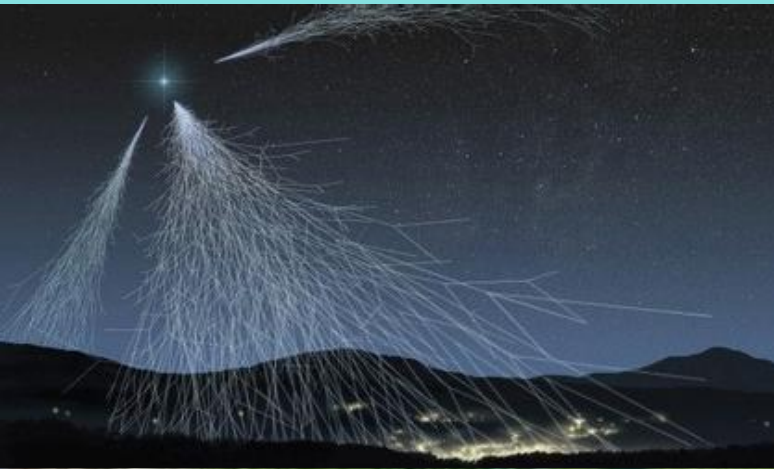


甚高能伽马射线巡天观测 (100GeV-30TeV)



WCDA动态范围扩展系统介绍

物理动机：100TeV ~ 10PeV宇宙线成分能谱的精确观测



实现方法：多参数观测EAS

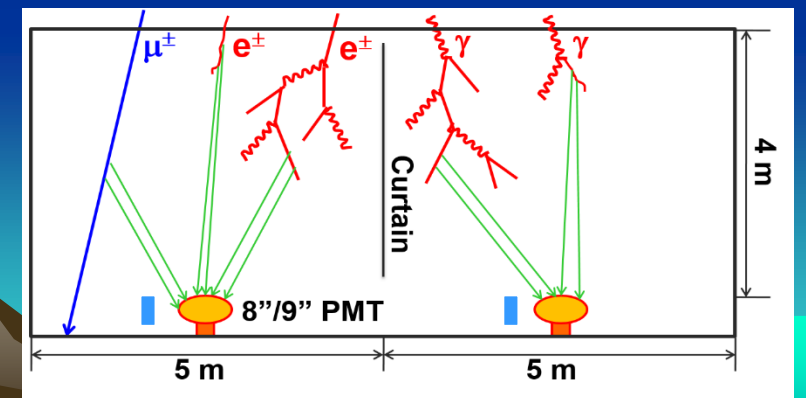
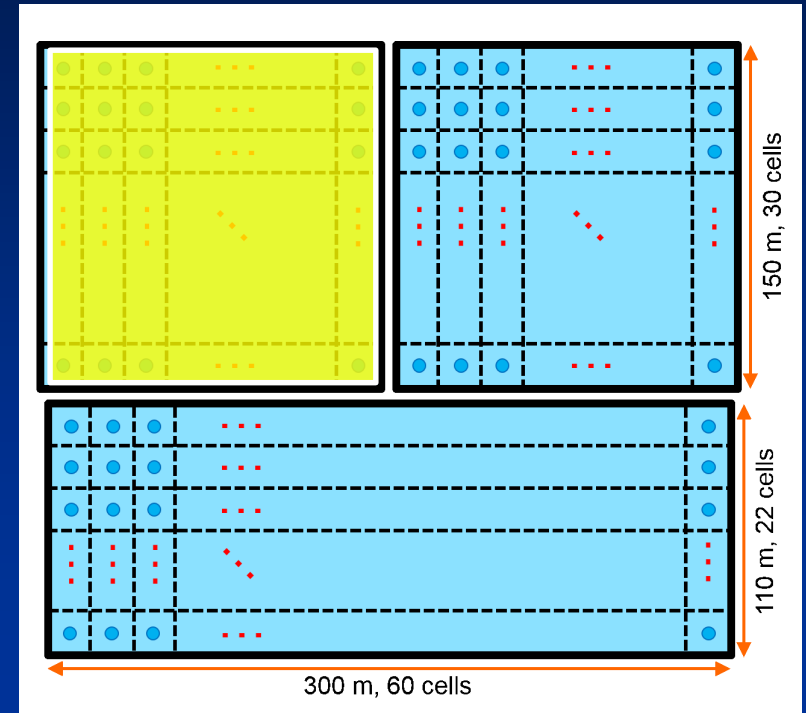
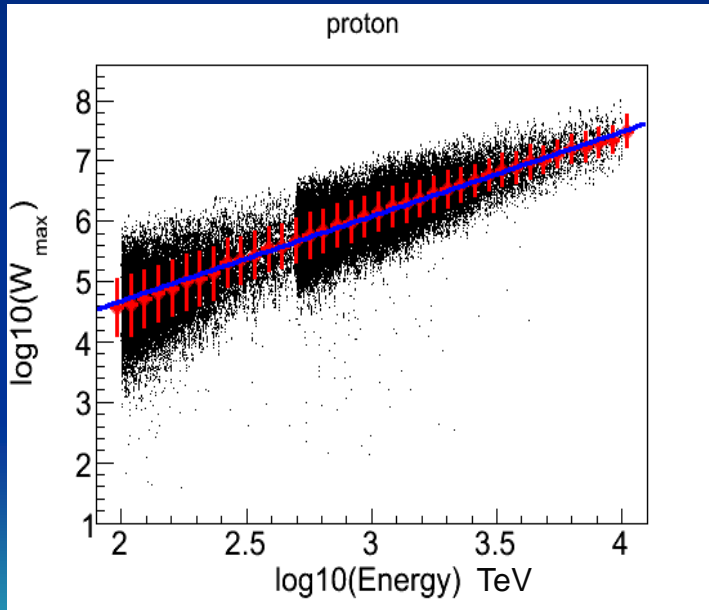
WFCTA (能量, Cherenkov像的长宽比)

MD (Muon数目)

WCDA (方向信息, 剩余能量)⁴

WCDA动态范围扩展系统介绍

- 覆盖面积：22,500 m²
- 单元个数：900
- 1-2英寸PMT
- 单元动态范围：50-500000PEs



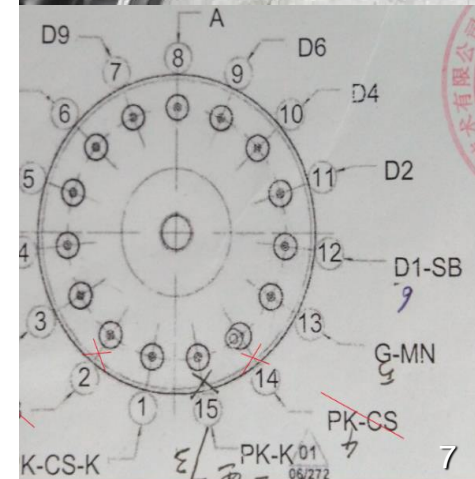
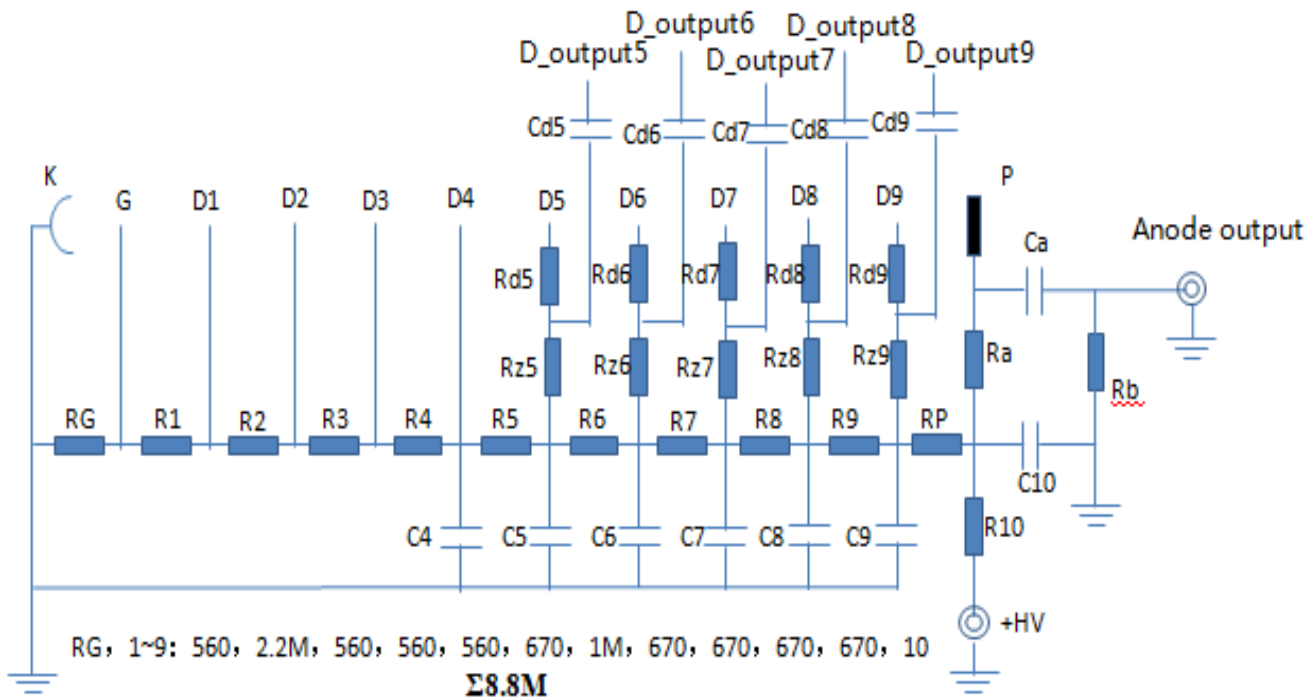
高量程PMT设计要求

- 候选管子：
 - 滨松CR285-01，海展创XP3960
- 工作电压：正高压
- 工作增益： $\sim 10^5$
- 动态范围：
 - 实现4个量级；
 - 采用阳极+打拿极读出（A/D ~ 100 倍）；
- 工作环境：水下 $\sim 4.4\text{m}$ ；



XP3960分压电路设计

- 海展创为ED组研制的；
- 共9个打拿极；
- 采用Dy5读出；



XP3960分压电路性能测试（一）

(1) SPE:

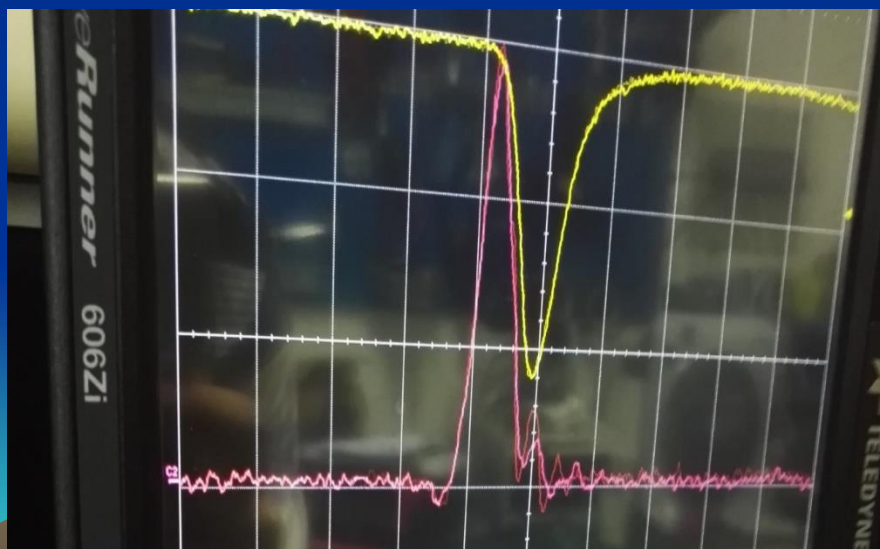
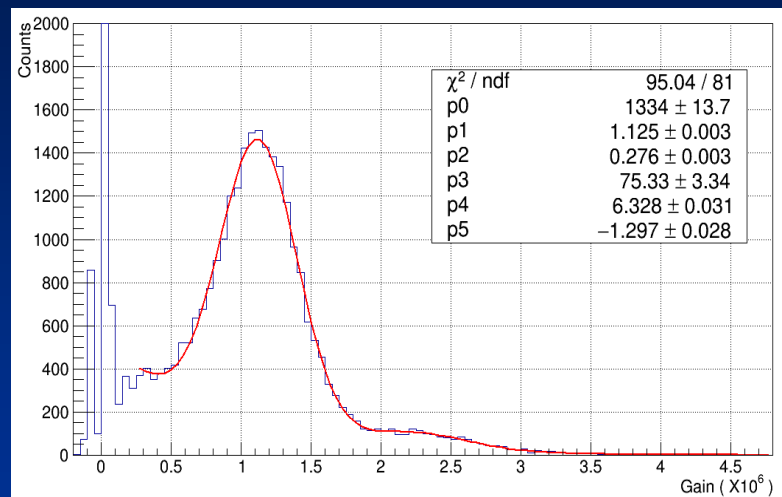
Gain= 1.1×10^6 @1750V

P/V: ~ 3.75 σ /P: $\sim 25\%$

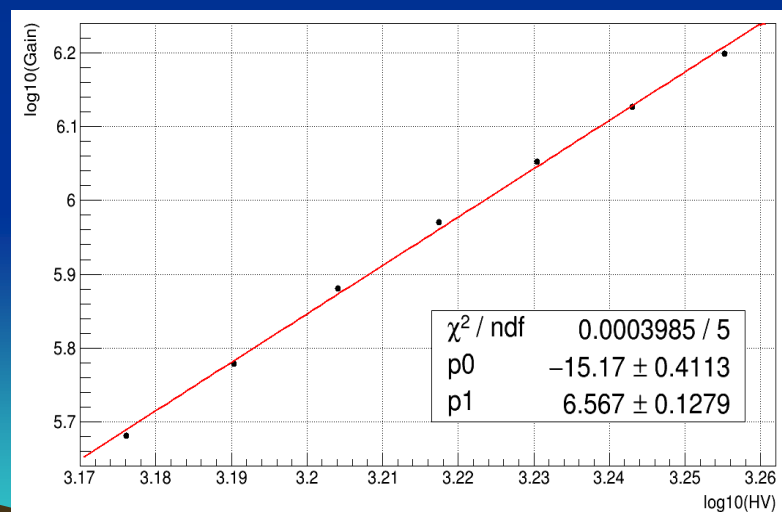
(2) Beta: 6.6 (SPE, 1500V~1800V)

(3) 特征波形

- 阳极: 前沿 $\sim 4\text{ns}$, 后沿 $\sim 10\text{ns}$
- 打拿极: 前沿 $\sim 3.5\text{ns}$, 后沿 $\sim 7\text{ns}$

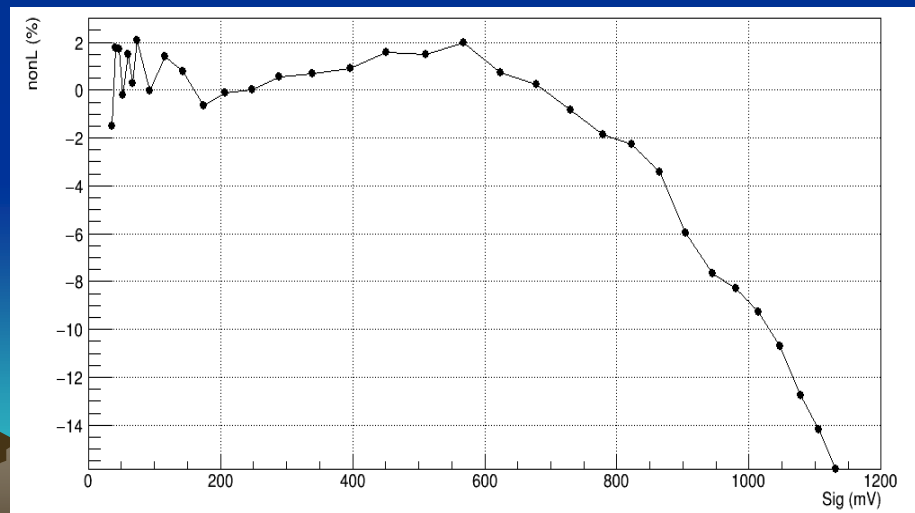
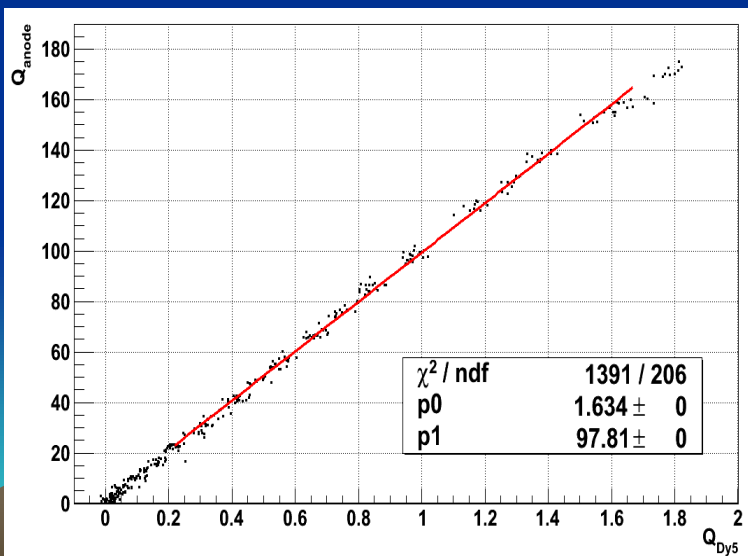
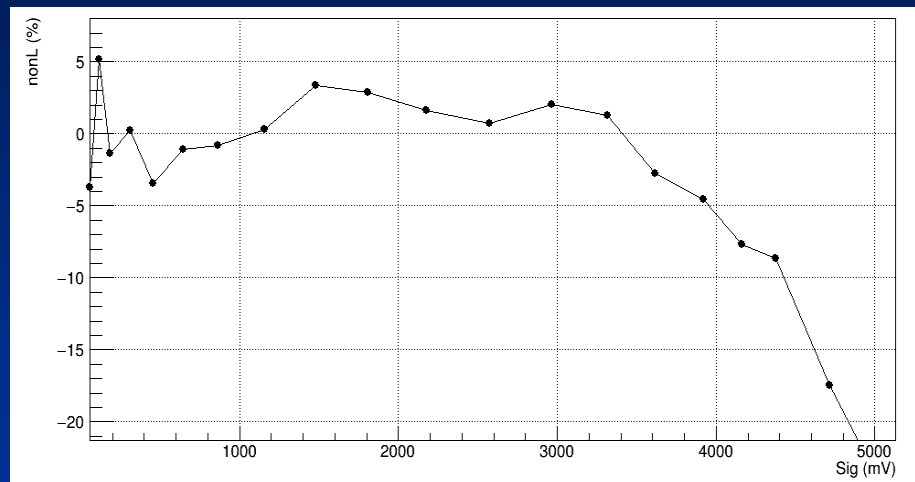


阳极Dy5打拿极典型波形输出



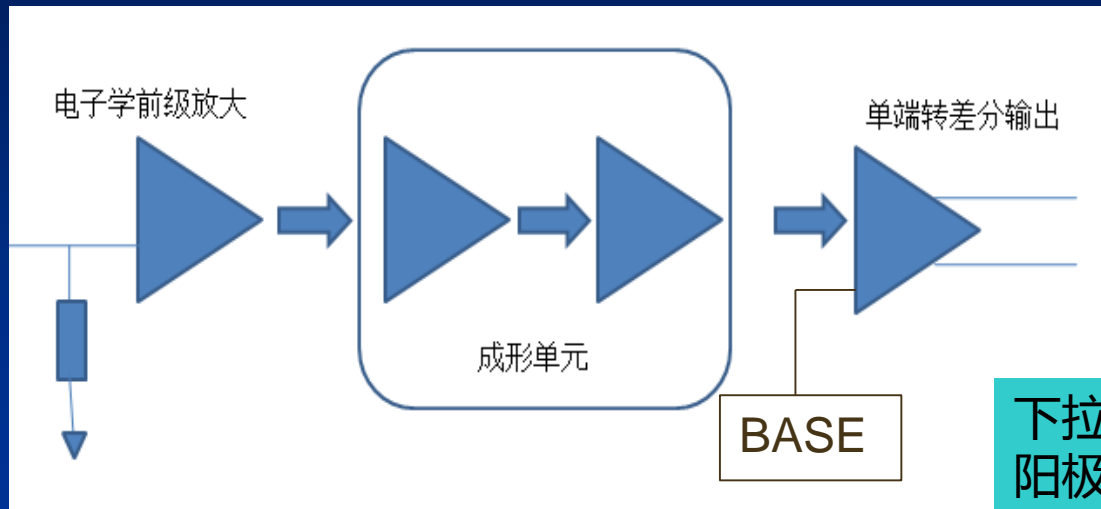
XP3960分压电路性能测试（二）

- 非线性 (@ 4×10^5) :
 - 阳极 $\sim 3.9\text{V}$ (78mA) ,
 - 打拿极 $\sim 850\text{mV}$ (17mA)
 - A/D ~ 98 ;
- 动态范围满足四个量级



电子学设计（由川大周荣负责）

- 借鉴WFCTA的技术方案



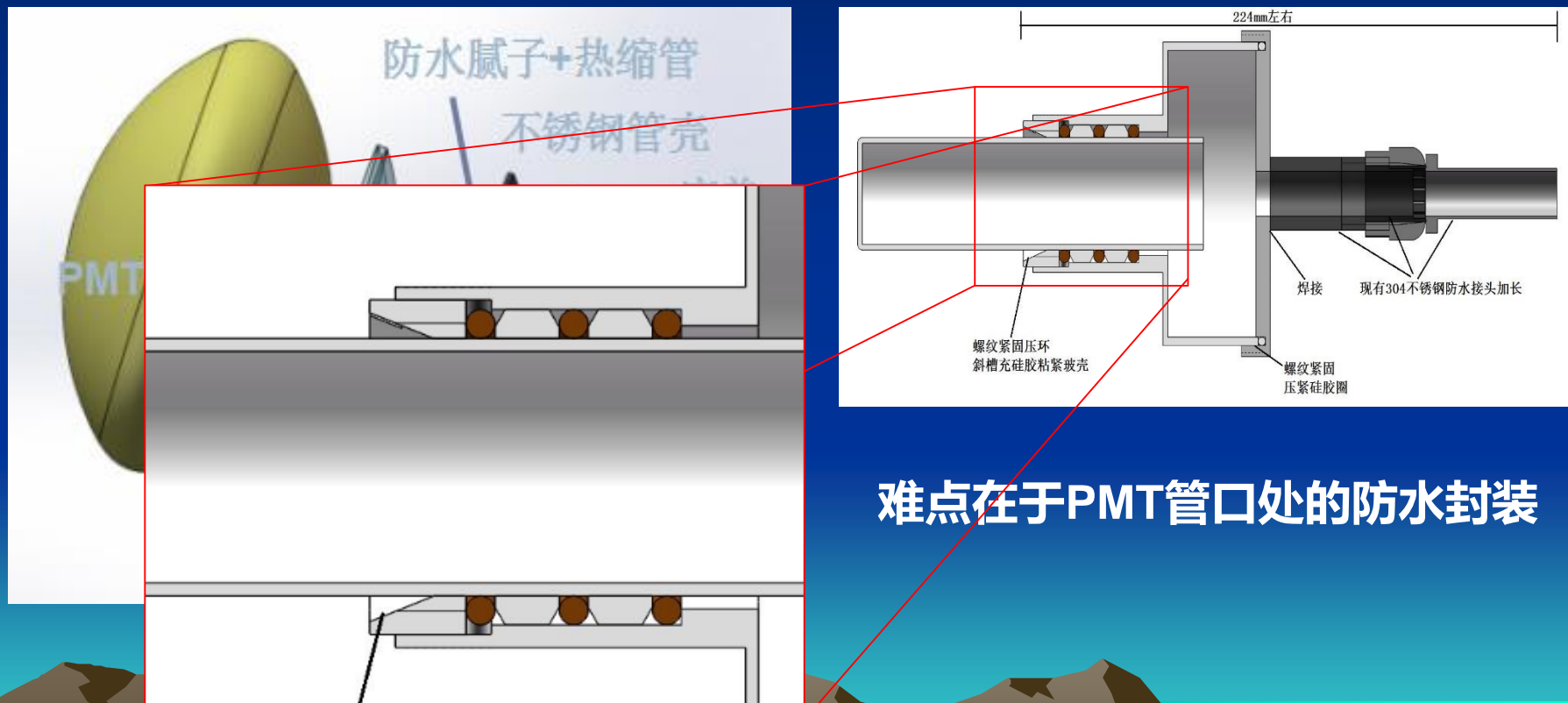
下拉基线后动态范围：
阳极300倍，打拿级38倍

- 电子学匹配四个量级的动态范围设计

- 方案一：模拟电路使用三通道设计：
 - 阳极：50-20000PEs，打拿级：13150-500000PEs
- 方案二：改善小信号的分辨率（ $< 30\% @ < 3.2\text{pC}$ ）

防水封装工艺设计（与高博合作）

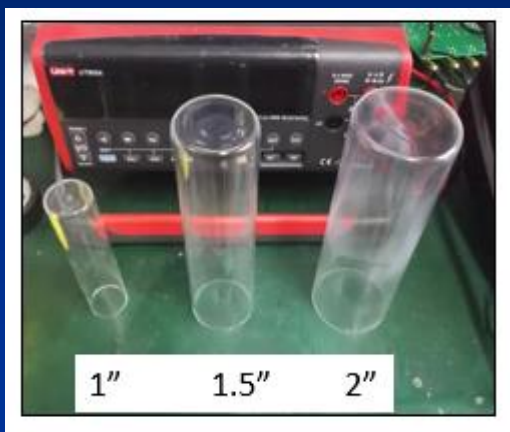
- 借鉴WCDA大尺寸PMT的封装技术；



难点在于PMT管口处的防水封装

防水实验验证

- 在实验室开展了相关防水工艺的验证性实验

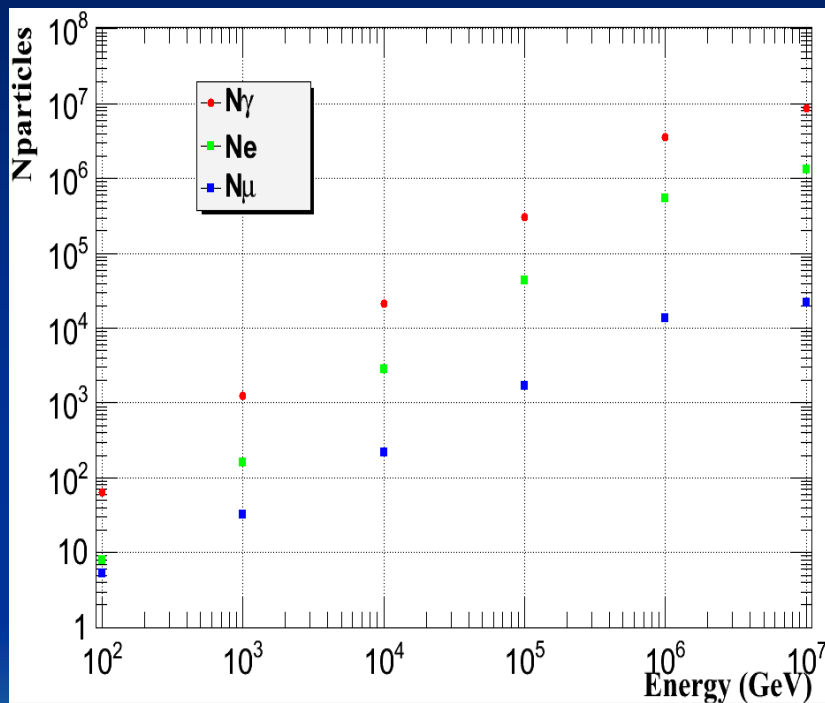


加压防水测试系统

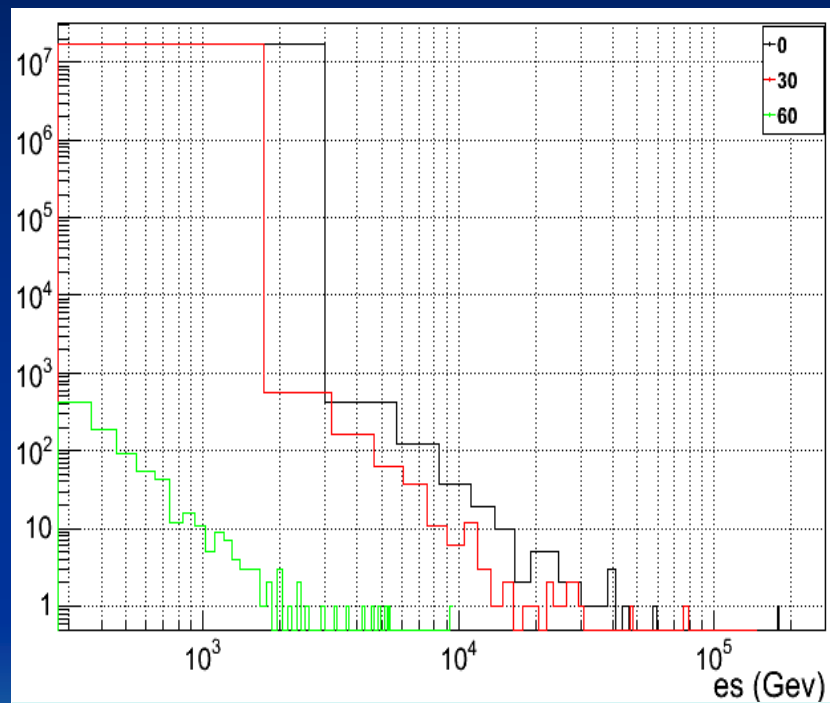


快速模拟工作介绍（与李秀荣合作）

- 原初质子垂直入射的CORSIKA事例



次级粒子数随原初质子能量的变化

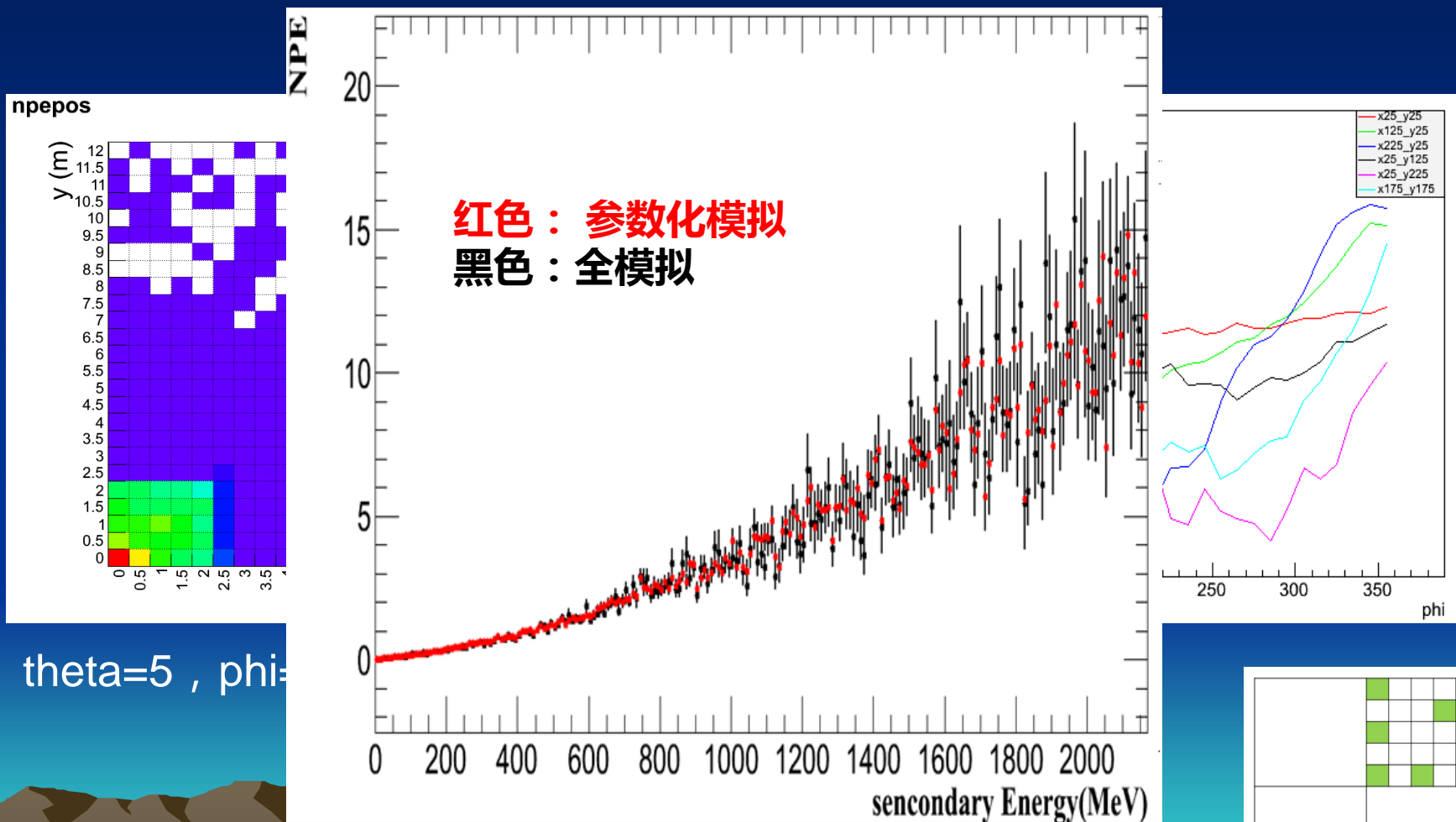


10PeV质子次级伽马粒子能量分布

对电磁粒子进行参数化模拟，对缪子和强子进行全模拟

快速模拟工作进展

- 按入射位置 (x, y) 、能量、方向 (θ, ϕ) 分bin进行参数化模拟。



实现了1GeV以下电磁粒子的参数化模拟与全模拟的一致性

总结

- 100TeV ~ 10PeV宇宙线成分能谱的精确测量
——WCDA动态范围扩展系统 (E_{\max} , 芯位)
- 小尺寸PMT工作进展
 - PMT分压电路设计 (ED管型) ;
 - 电子学设计 (WFCTA方案) ;
 - 防水封装工艺 (大尺寸PMT封装) ;
 - 模拟程序 (WCDA程序) ;
- 欢迎和期待与更多的同事一起合作交流。



谢谢！

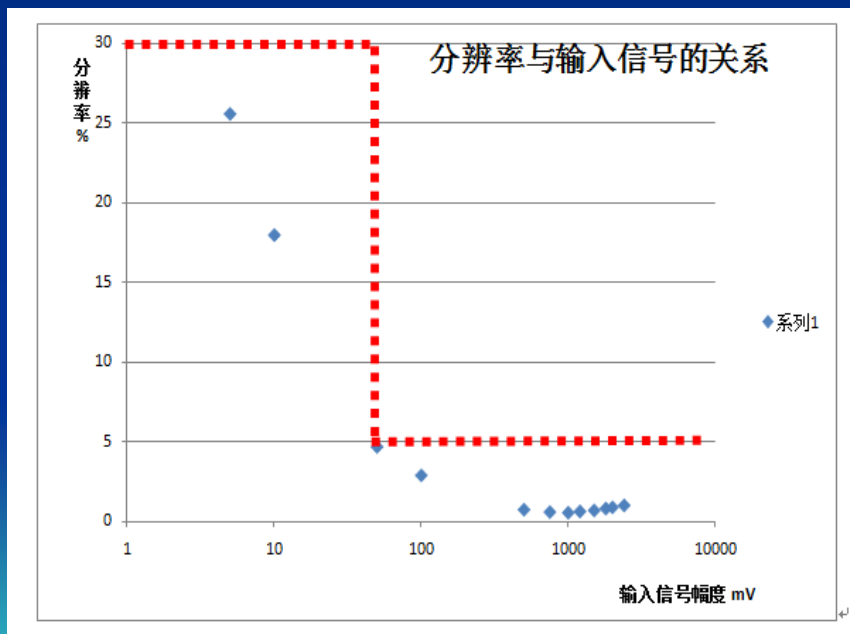


分辨率测试

分辨率计算公式为：

$$\eta = \frac{\sigma}{\text{mean}} \times 100\%$$

下拉基线之后阳极400倍(5-2000mV)，
打拿级40倍。



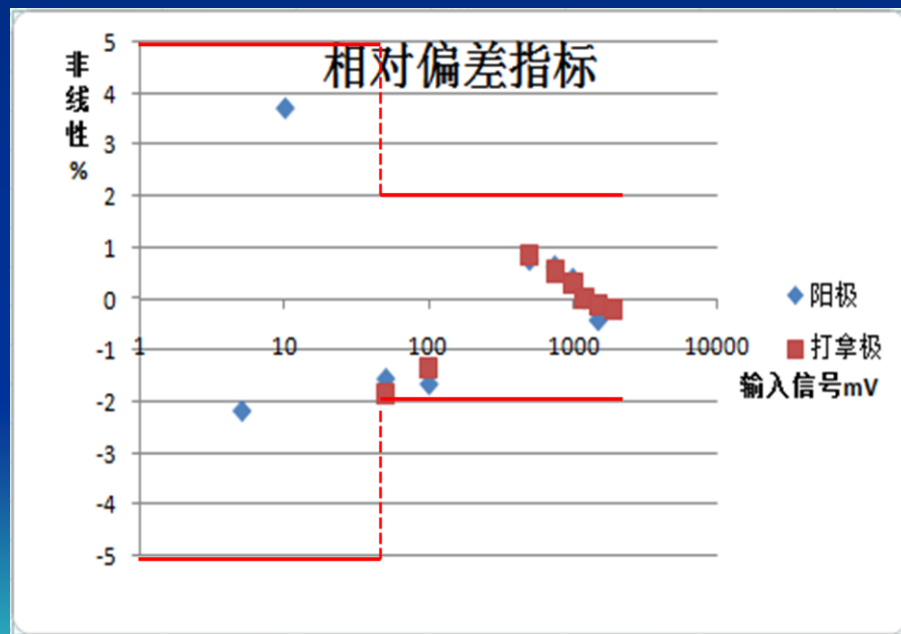
下拉基线后分辨率指标

相对偏差测试

相对偏差计算公式为：

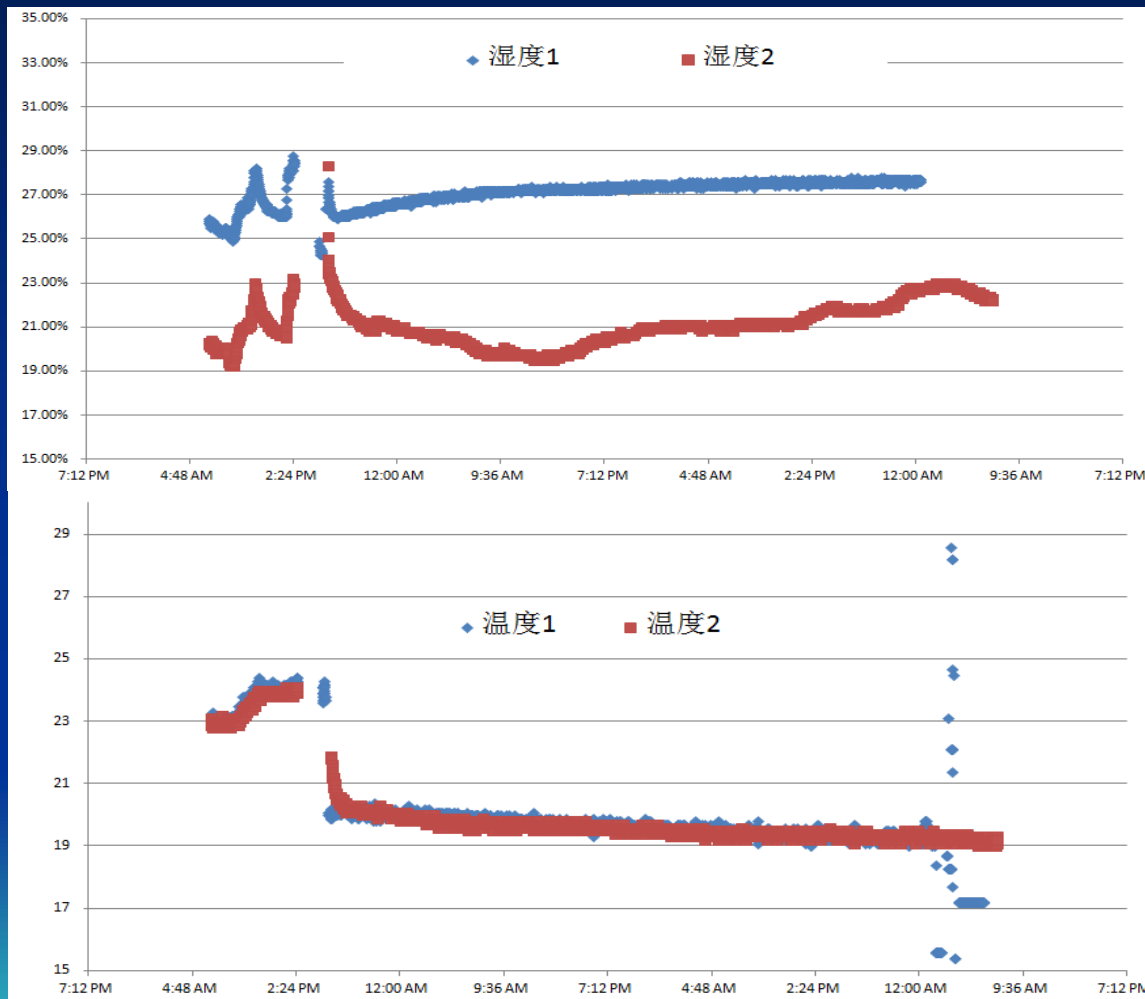
$$\sigma = \frac{y - y_{fit}}{y} \times 100\%$$

使用相对偏差2%的指标线仅有
38倍的动态范围50-1900mV。



下拉基线后分辨率指标

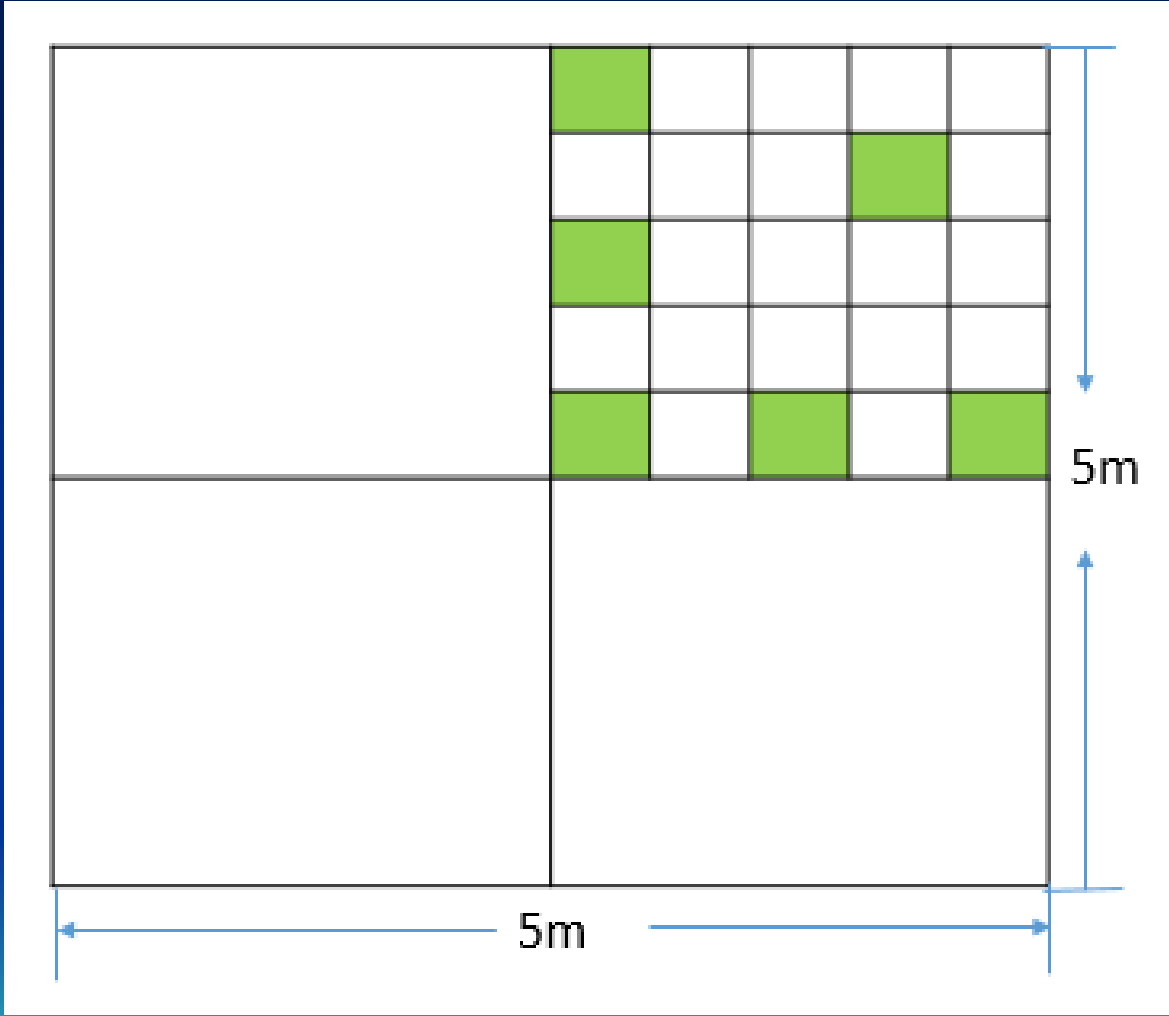
实验结果——监测数据分析



温度探头：
-20 ~ 80°C，
精度±0.5°C。

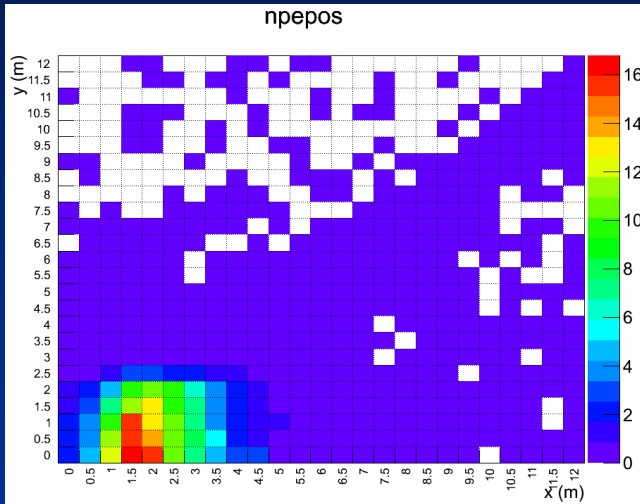
湿度探头：
10% ~ 99%，
精度±3%。

加压150KPa时间大于24小时，浸泡测试时间超过56个小时未漏水漏气

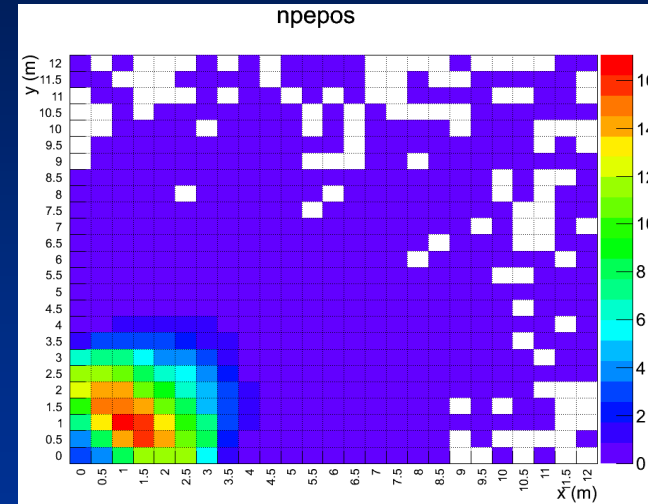


能量为1GeV，theta角固定50-60度，不同phi角入射NPE的位置分布

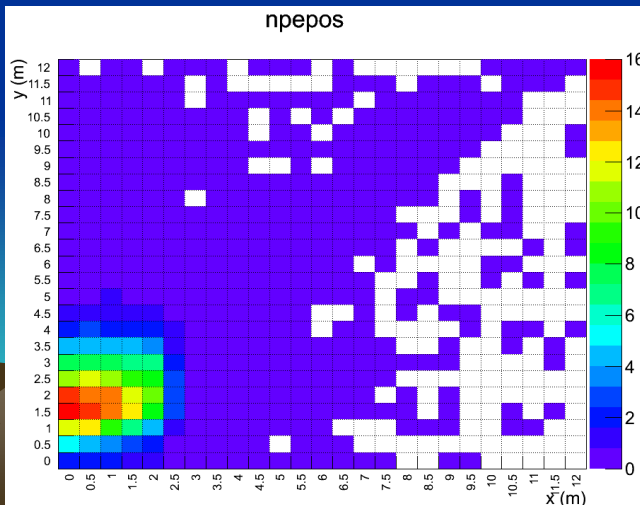
theta=55, phi=5, E=1 GeV



theta=55, phi=45, E=1 GeV



theta=55, phi=85, E=1 GeV



随着phi角的增加，最大值
逆时针向上偏转