

# LHAASO1/4阵列成分区分及 Muon横分布拟合

尹丽巧

2016/08/17

# Outline

- LHAASO-1/4阵列介绍
- 利用Muon信息进行成分区分
  - 1.利用Muon横分布进行成分区分
  - 2.利用测量到的TotalMuon进行成分区分
  - 3.利用Muon横分布拟合方法进行成分区分
- 总结与讨论

# LHAASO-1/4阵列介绍

1/4阵列包括:

1个水池 (WCDA) ;

303个MD;

1000多个ED;

6台望远镜 (WFCTA) ;

成分敏感的参量:

修正的望远镜光子数

$P_F$ : 芯区能流密度

$P_E$ : 簇射剩余能量

$P_C$ : 切伦科夫像的长宽比

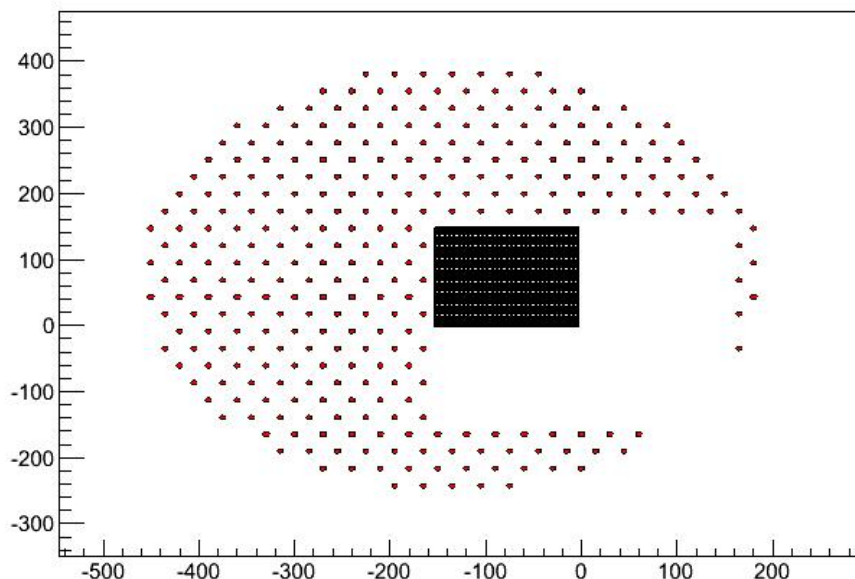
$P_u$ : MD提供簇射的 $\mu$ 子信息,

$$N_{\mu} \propto E^{0.9} A^{0.1}$$

利用的信息:

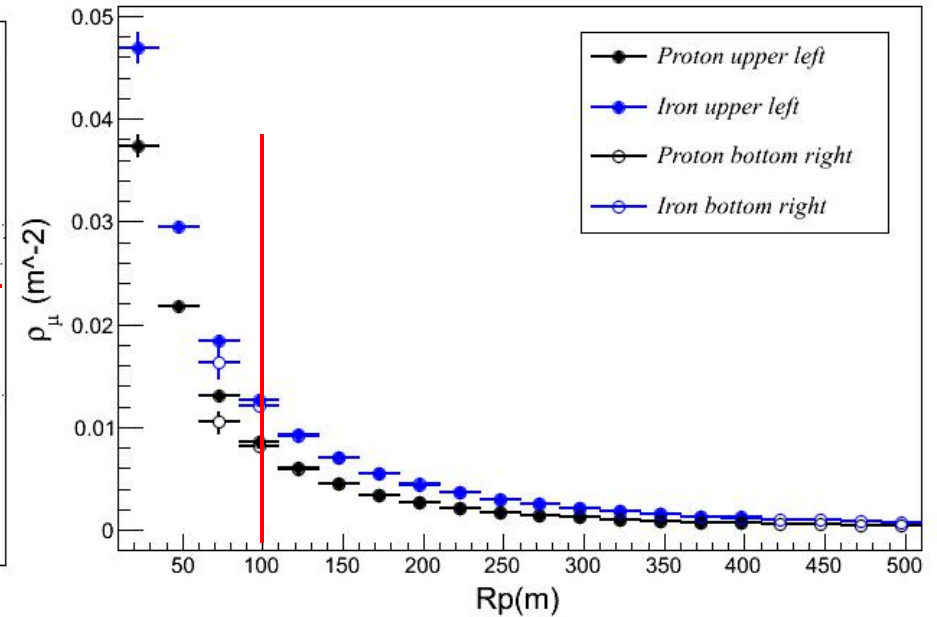
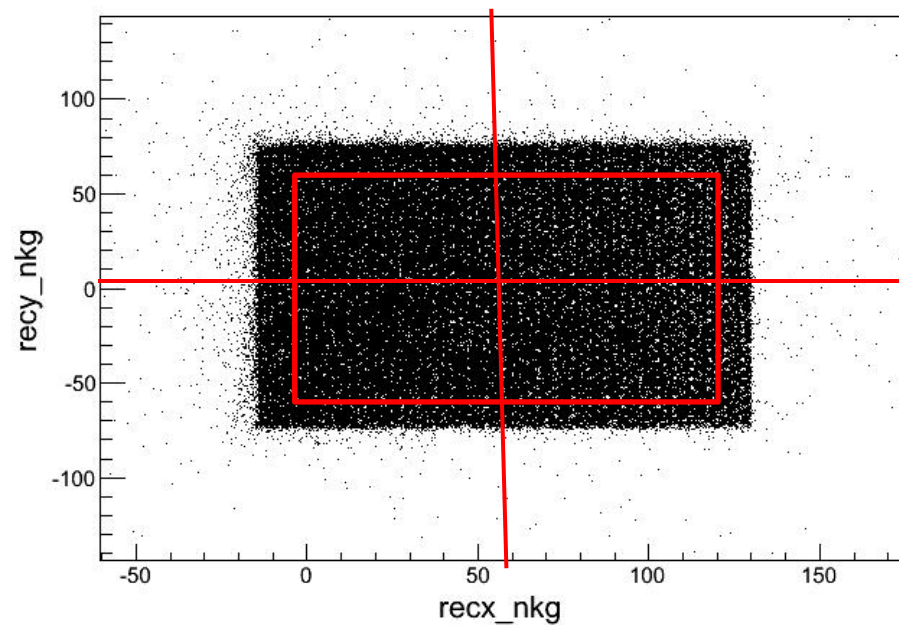
WCDA提供事例的重建芯位和方向;

MD提供测量到的Muon数目。



# 1. Muon横分布

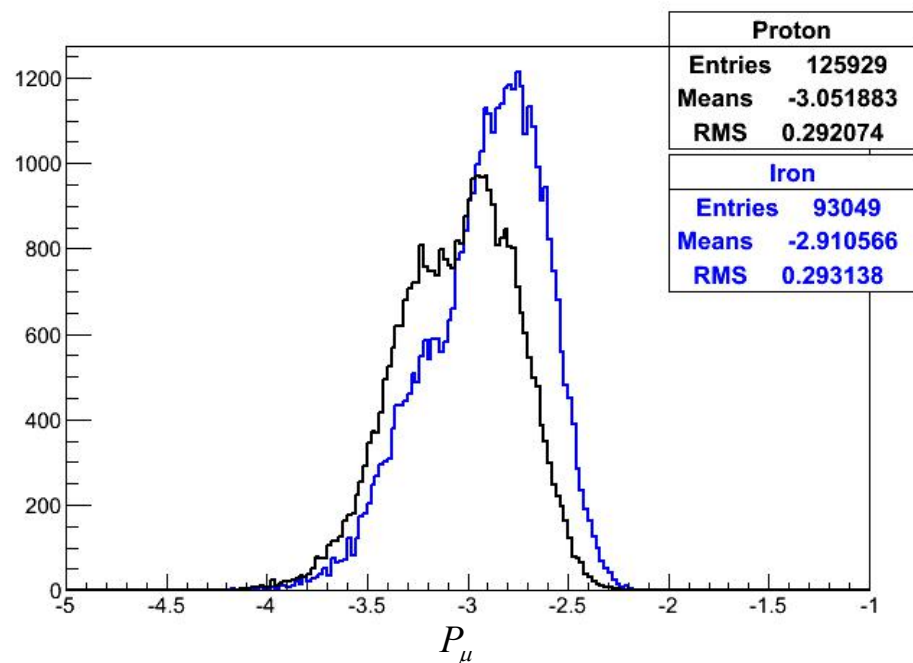
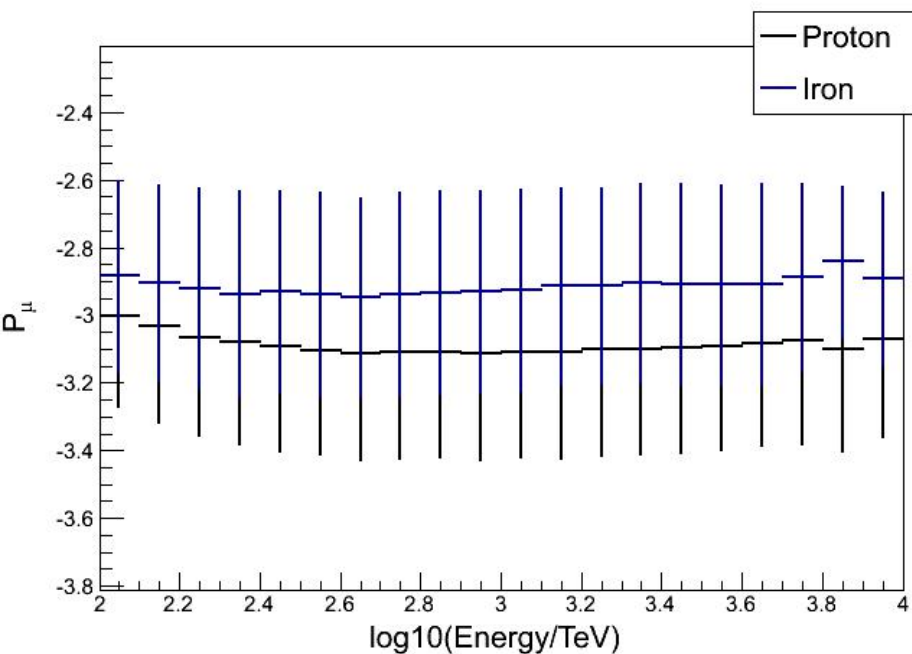
模拟事例中，由于1/4阵列探测器布局，选择Rp在（85m， 115m）范围内的平均密度  $\rho_{100}$  可进行成分区分。



由于  $\rho_{100}$  与能量相关，将能量因素除去，构造参量

$$P_{\mu} = \log_{10}(\rho_{100}) - 0.8591 * \log_{10}(\text{Energy})$$

可进行成分区分。

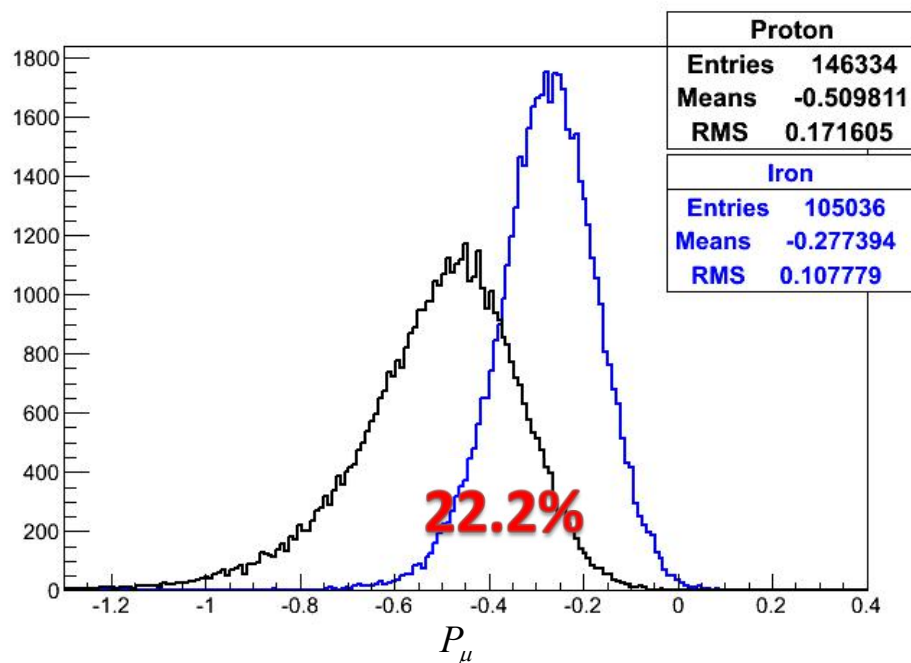
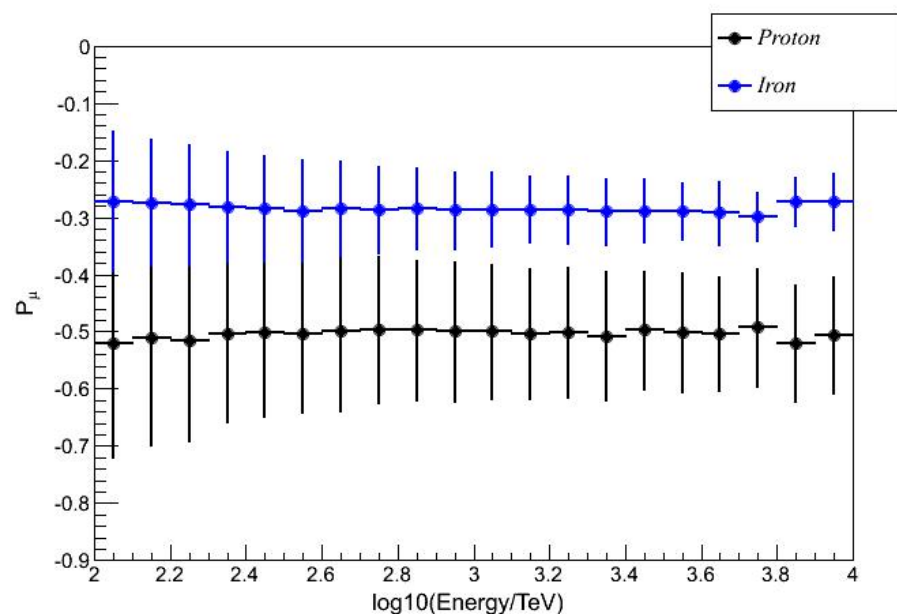


## 2. 测量到的TotalMuon

模拟中，每一个事例303个MD测量到的总Muon数量totalMuon与芯位至1/4阵列中心的距离Rlp相关，并且该参量与能量和成分均有关系，构造参量

$$P_{\mu} = \log_{10}(\text{TotalMuon}) + 0.0024 * Rlp - 0.8951 * \log_{10}(\text{Energy})$$

此时， $P_{\mu}$ 可进行成分区分，如下图所示：



### 3. Muon横分布拟合

#### 极大似然拟合方法得出簇射的MuonSize

Muon横分布公式（by Greisen 1960）：

$$\rho_{\mu}(r, N_{\mu}) = k_G N_{\mu} \left( \frac{r}{r_G} \right)^{-a} \left( 1 + \frac{r}{r_G} \right)^{-b} \quad [m^{-2}] \quad (1)$$

式中， $k_G$ 是归一化常数； $N_{\mu}$ 即Muon Size，是沿簇射方向上，深度 $t$ 处的Muon数量； $r$ 是离簇射轴心的距离；该公式适用于Muon能量大于1GeV的簇射。

对于不同的数据，参数 $a$ ， $b$ ， $r_G$ 的值不同，这取决于观测高度，探测器布局等实验手段。根据公式（1）可知

$$\text{当 } r \ll r_G, \rho_{\mu} \propto \left( \frac{r}{r_G} \right)^{-a}; \quad \text{当 } r \gg r_G, \rho_{\mu} \propto \left( \frac{r}{r_G} \right)^{-(a+b)}$$

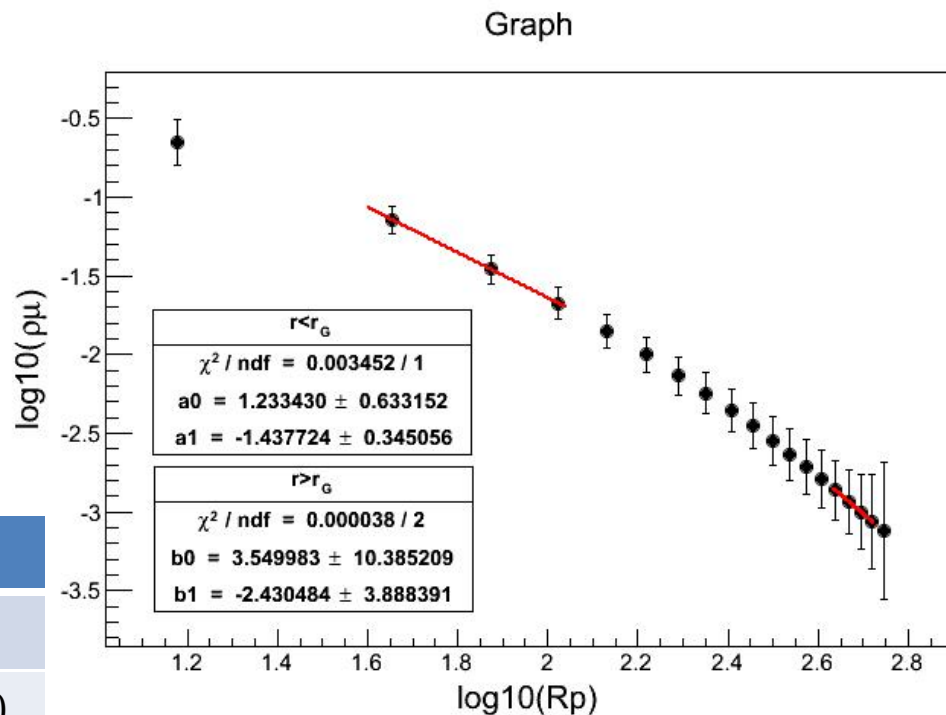
## 参数a, b, r<sub>G</sub>的确定

根据LHAASO-MD布局，以500TeV–1PeV的质子为例，计算结果右下图所示：

根据两直线的交点可计算出：

$$r_G = 215.50 \text{ m}$$

下表给出该能量段内，不同成分  
的参数。



参数可固定为：

$$a \cong 1.4, \quad b \cong 1.0, \quad r_G \cong 220 \text{ m}$$

	500TeV - 1PeV		
	a1	b1	Rg (m)
proton	-1.44	-2.43	215.50
helium	-1.40	-2.47	227.45
CNO	-1.36	-2.39	226.21
MgAlSi	-1.34	-2.35	222.89
iron	-1.32	-2.35	227.33



不同成分，不同能量下的参数值，可基本认为一致；由此可确定公式（1）中的参数值：

$$a \cong 1.4, \quad b \cong 1.0, \quad r_G \cong 220 \text{ m}$$

	6.8 ≤ log(E) ≤ 7			1PeV - 10PeV		
	a	b	Rg (m)	a1	b1	Rg (m)
proton	-1.51	-2.45	220.47	-1.50	-2.45	223.74
helium	-1.43	-2.55	212.45	-1.47	-2.40	220.03
CNO	-1.45	-2.34	205.64	-1.39	-2.42	219.89
MgAlSi	-1.45	-2.40	220.49	-1.37	-2.39	216.70
iron	-1.40	-2.34	200.34	-1.35	-2.39	226.05

## 似然函数的构造

离簇射中心任一单位面积上的Muon个数可以用Poisson分布考虑它的统计涨落，即

$$p(m) = \frac{\mu^m}{m!} e^{-\mu} \quad (2) \quad \text{其中, } \mu = \rho_\mu(r, N_\mu)$$

考虑探测器的有效面积，则第k个MD探测到的Muon个数为： $\mu_k = A^* \rho_\mu$

以MD为单位，构造极大似然函数：

$$LF = \prod_{k=1}^{N_s} p_k(m_k) \quad (3)$$

式中， $N_s$ 为MD的个数。

似然方程为：

$$\frac{\partial \ln(LF)}{\partial \mu} = 0$$

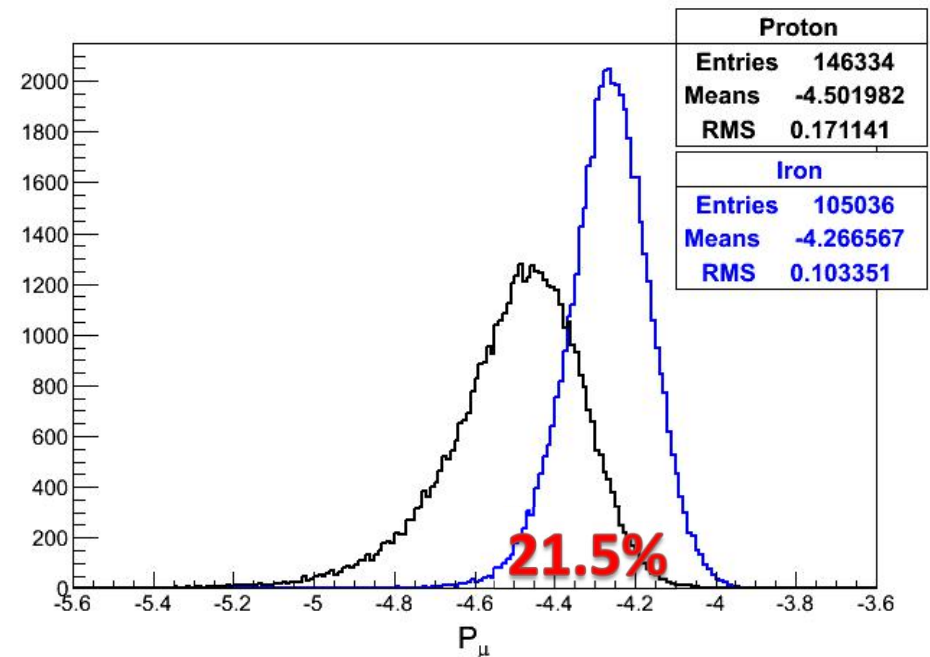
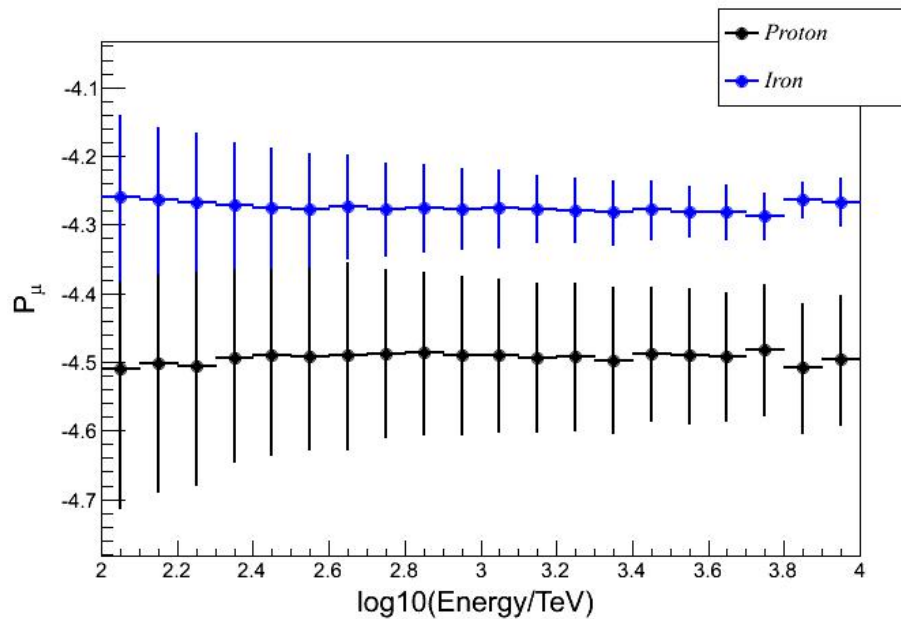
根据极大似然原理，将（2）式代入（3）式可得：

$$\ln(LF) = \sum_{k=1}^{N_s} m_k \ln(A) + \sum_{k=1}^{N_s} m_k \ln \rho_k - \sum_{k=1}^{N_s} \rho_k A - \sum_{k=1}^{N_s} \ln(m_k!)$$

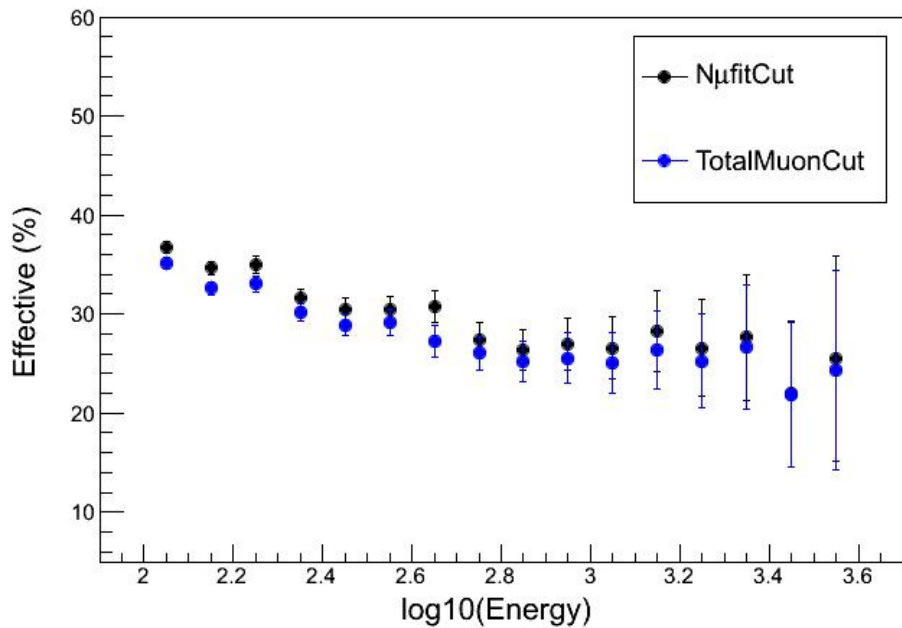
式（1）中，使得上式值最大的Nu值，即为极大似然估计量  $k_G N_\mu$ 。

以公式  $\rho_{\mu}(r) = k_G N_{\mu} \left(\frac{r}{220}\right)^{-1.4} \left(1 + \frac{r}{220}\right)^{-1.0}$  进行极大似然拟合，

构造参量:  $P_{\mu} = \log_{10}(k_G N_{\mu}) - 0.8951 * \log_{10}(\text{Energy})$  可进行成分区分。

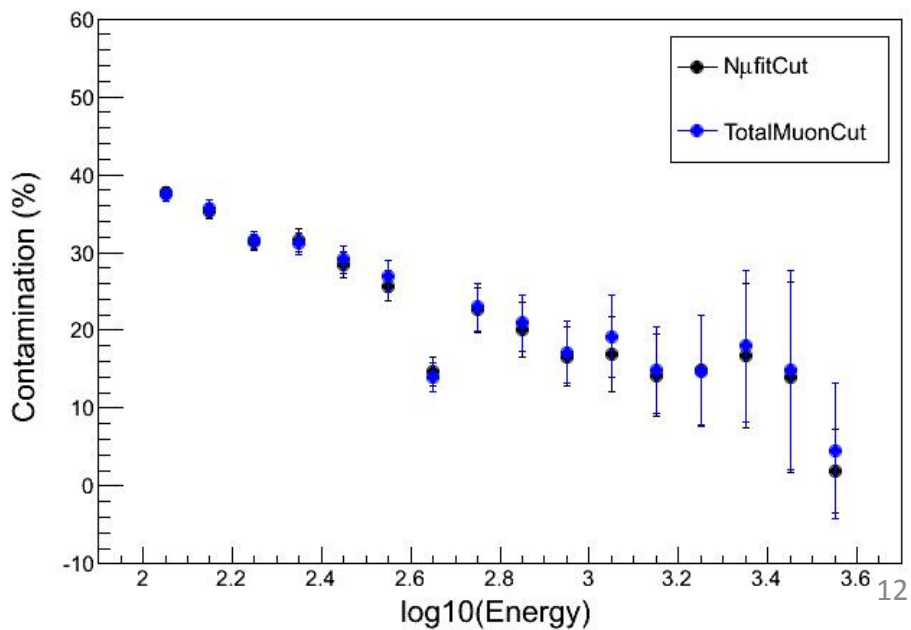


## 质子的挑选效率



$P_\mu$  以及Cut条件有待优化!

## 质子的污染率



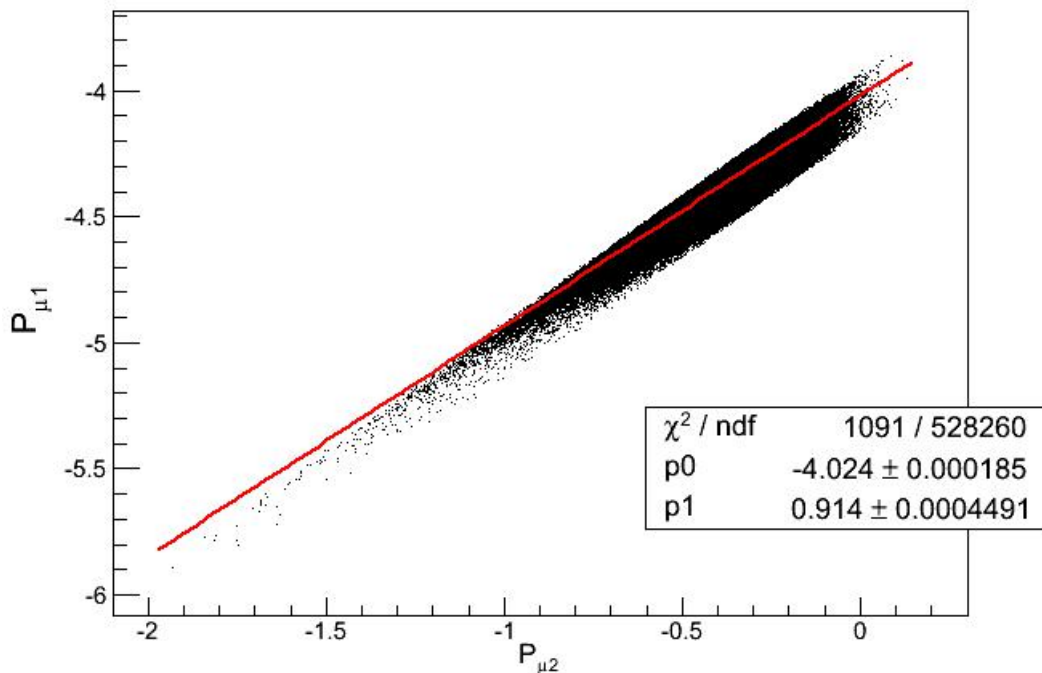
# 总结与讨论

在LHAASO – 1/4阵列布局时，可有效利用MD 上探测到的Muon信息进行成分区分：

直接利用Muon横分布进行成分区分的效果并不理想；

利用Muon横分布拟合方法和直接利用测量到的TotalMuon进行成分区分，本质一致，都是利用簇射的MuonSize进行成分区分，区分效果相同并可进一步优化。

下图中， $P_{\mu 1}$  是以拟合出的  $k_G N_{\mu}$  构造的； $P_{\mu 2}$  是以测量到的TotalMuon构造的；。



谢谢！