



# ED 光电倍增管批量测试

刘栋 于艳红 冯存峰

山东大学

2018年LHAASO第二次合作组会议

西藏林芝

2018年10月

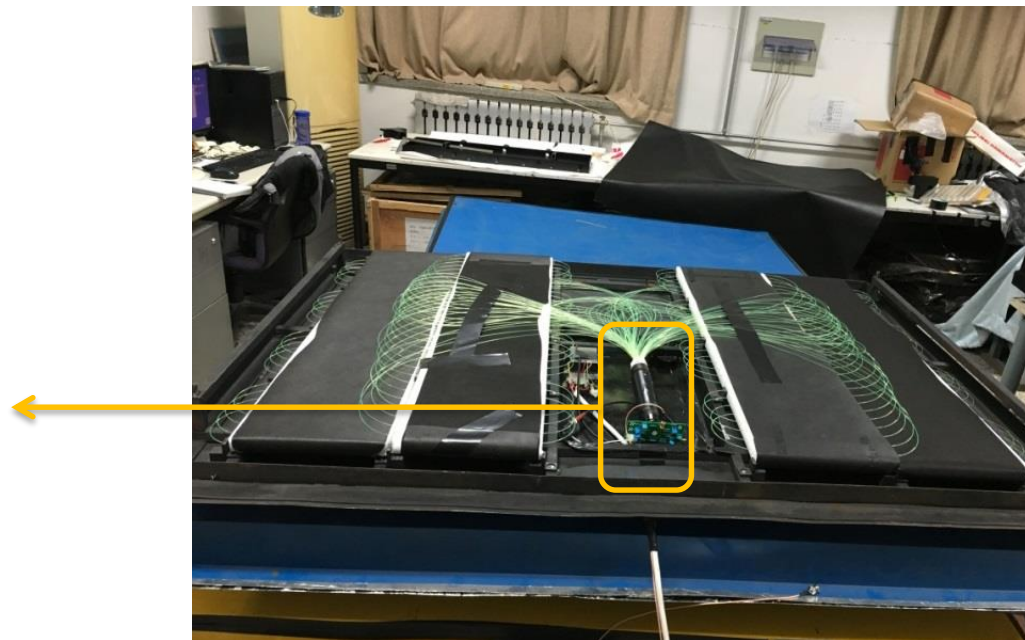
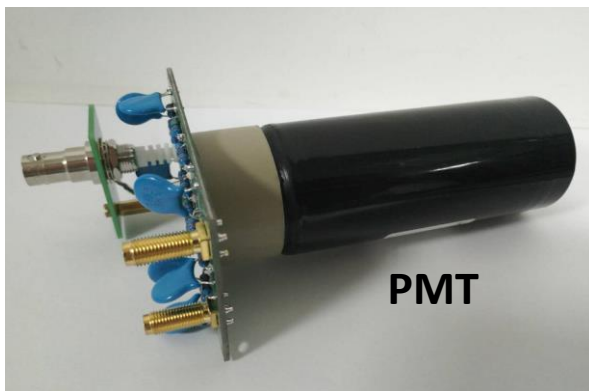
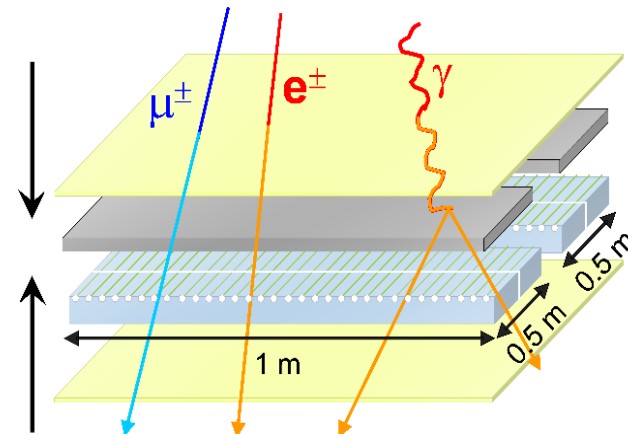


# 内容

- ED PMT及批量测试系统
- ED PMT供货情况
- 测试结果
- PMT参数数据库及查询
- 小结

# ED探测器

- ED探测器单元组成
  - 铅板、塑料闪烁体、波长位移光纤、光电倍增管
  - 单个ED所有光纤与一支PMT耦合
  - 整个ED阵列需要5195支PMT



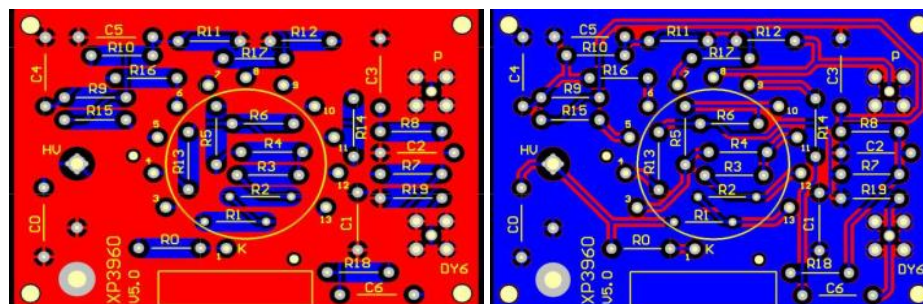
# ED小尺寸光敏探头的研制

山东大学承担了ED的小尺寸光敏探头研制任务

- 参加PMT的选型和分压器设计
- 海南展创1.5英寸PMT，型号XP3960
- PMT增益： $4 \times 10^5$
- 采用阳极、打拿极同时读出
- 实现4个量级的动态范围



PMT



分压器设计图

# ED PMT批量测试项目

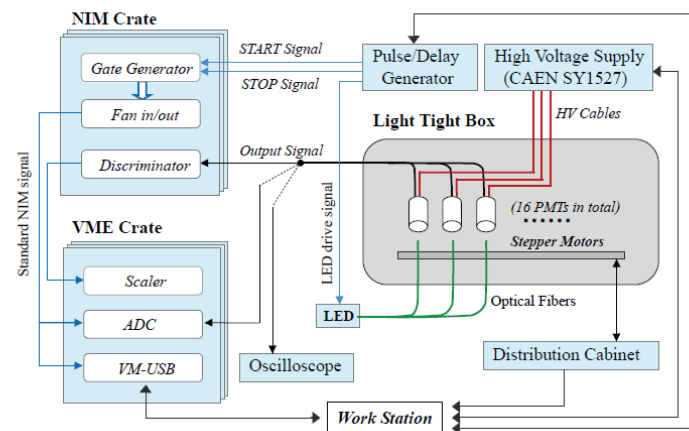


PMT批量测试平台

- 批量测试系统可以实现PMT的各项测试任务
- 测量工作一键式操作，测试精度达到要求
- 每月可为ED建设提供300支合格的PMT
- 目前总计已为ED提供了970支PMT

## 测试项目：

- 单光电子峰和高压响应
- 工作高压标定
- 阳极最大线性电流
- 打拿级等效最大线性电流
- 温度系数测试
- 暗噪声测试



PMT批量测试平台工作原理



# PMT供货情况

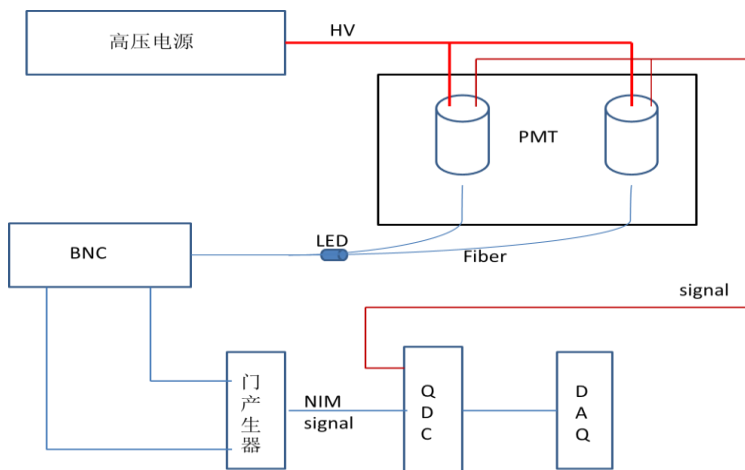
- 提高每月PMT测试能力，由原计划每月160支升至300支
  - 线性电流测试：新增一套测试系统，测试能力提高一倍
  - 温度系数测试：扩充现有系统，测试能力由每天8支增加到14支
- 已提供970支PMT，各项指标符合建设要求
- 可以按时为1/4阵列的建设提供足量的PMT

2018年PMT供货计划表

PMT	18年5月	18年6月	18年7月	18年8月	18年9月	18年10月	总供货量
预期供货量	110	200	100	280	280	290	1260
实际供货量	110	200	100	280	280	-	970



# 单光电子峰测试

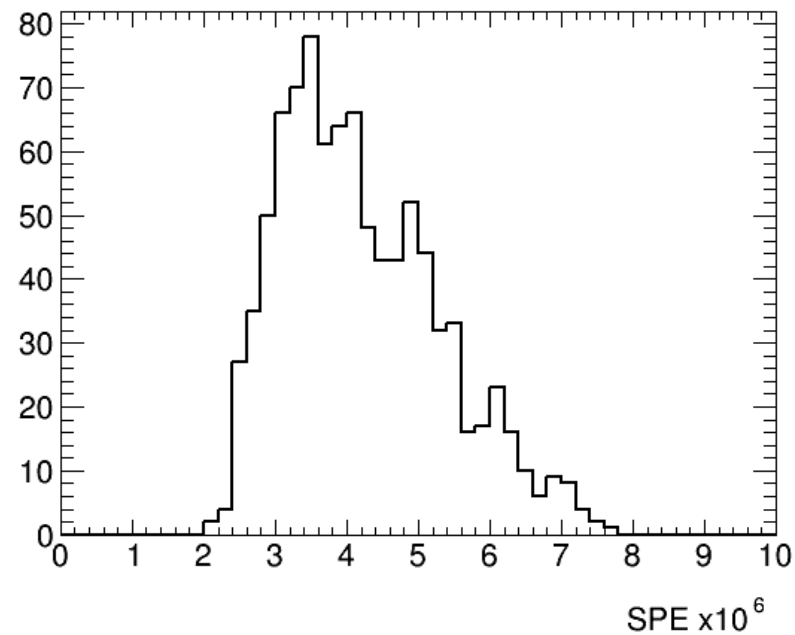
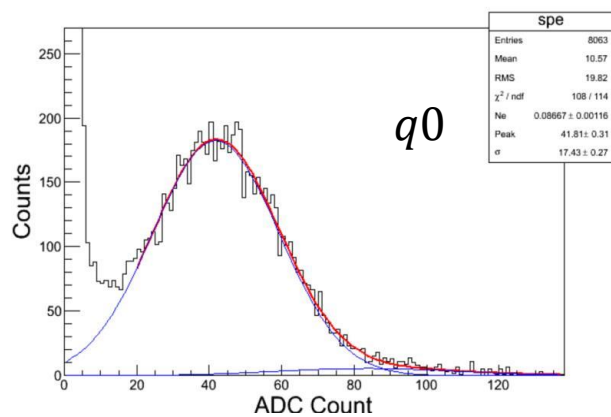


测试原理图

- 1800V 高压, 弱光

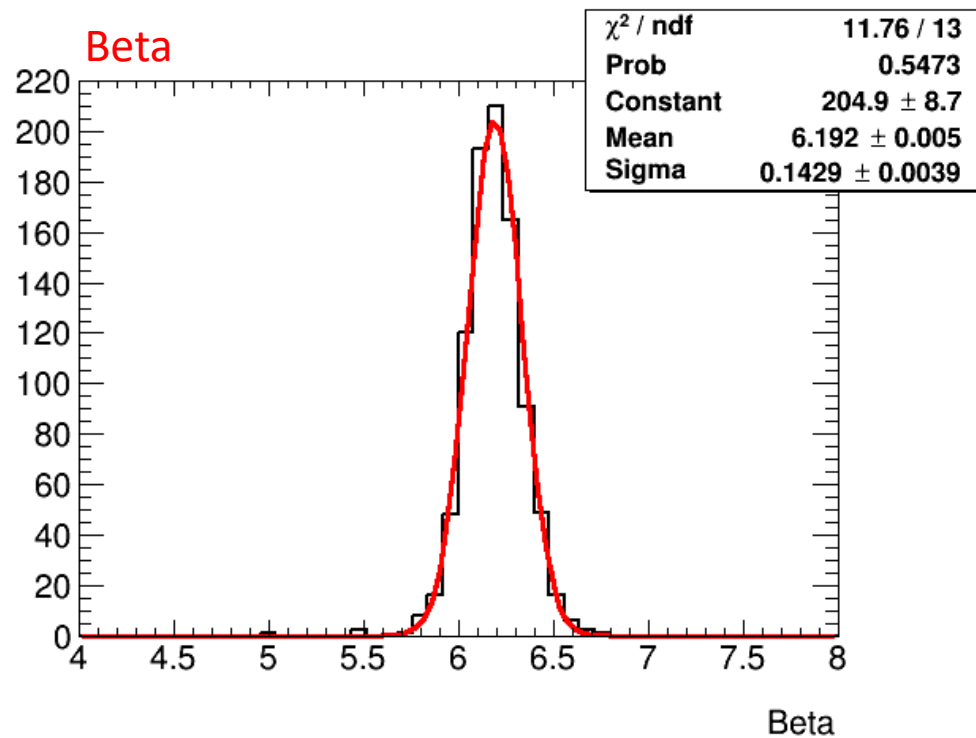
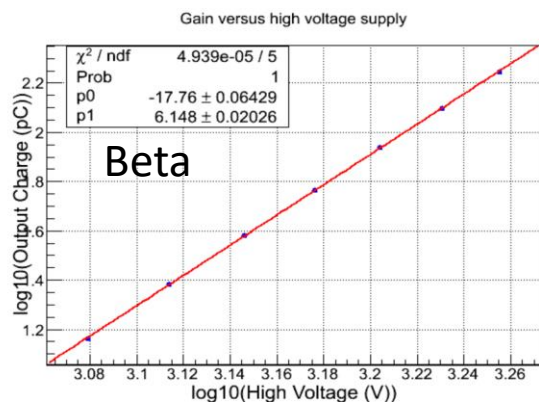
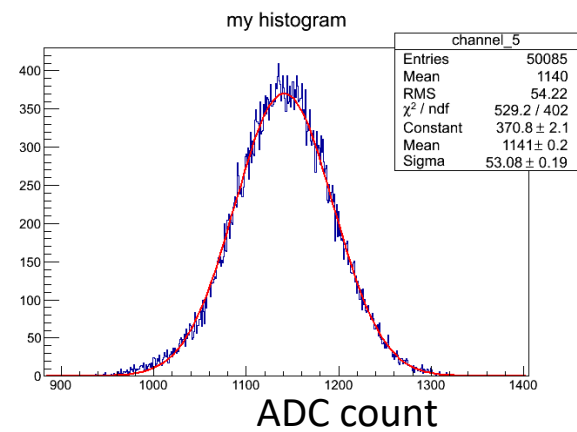
$$G = \frac{q0 * G_{v965}}{e}$$

1800V增益



# 高压响应曲线

- 多光子模式，保持光强不变
- 1100-1800V 逐步升高高压



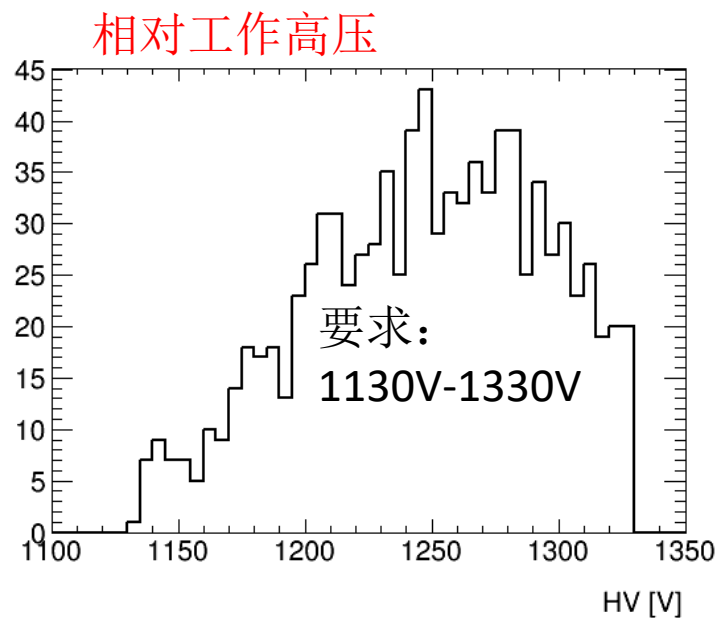
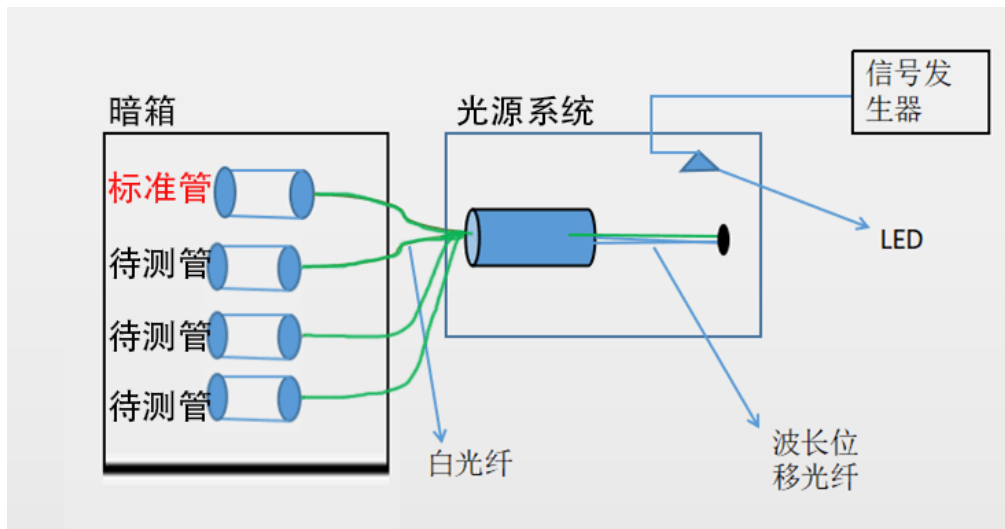


# 工作高压的相对标定

消除PMT间量子效率及收集效率的影响

测量方法:

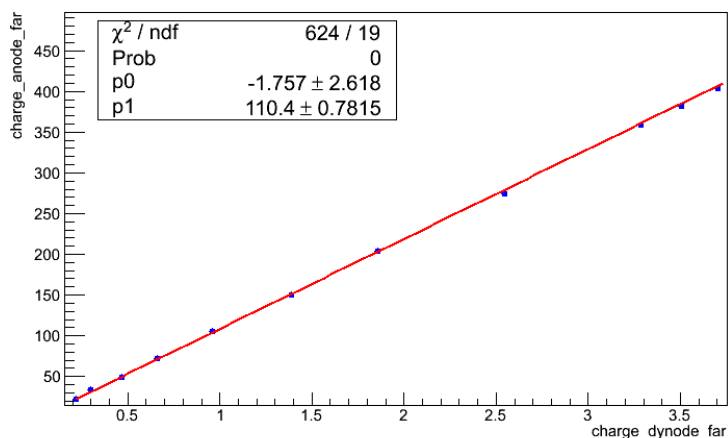
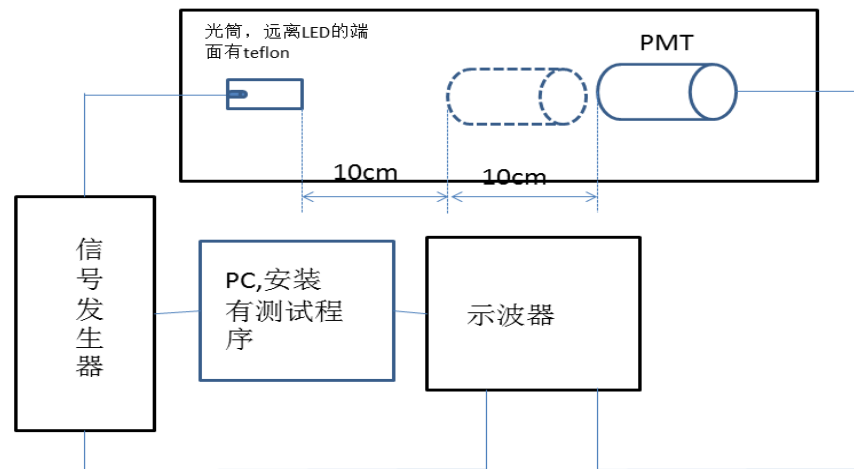
- 使用标准管循环测量各个槽位标准值
- 调节光源强度，使标准管的信号输出为标准管标准值
- 逐支调节待标定PMT的电压，使每个PMT的信号输出为该槽位标准值



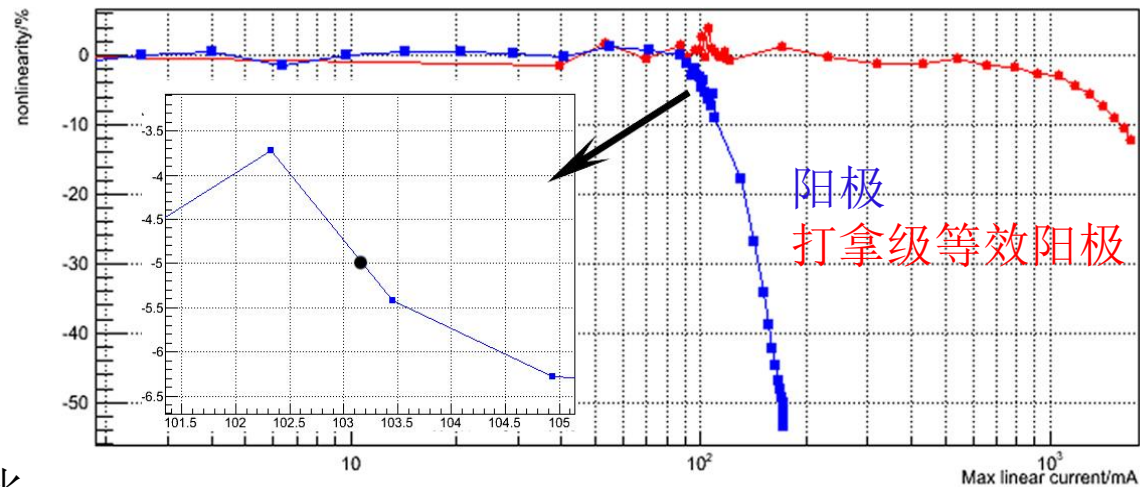
# PMT最大线性电流

- 双距离法:
  1. LED光强保持不变, 分别在远、近两个距离下测试PMT电量输出
  2. 逐渐增大光强, 重复上述测试, 线性区内, 近距离与远距离PMT的输出比例恒定
  3. 当比值减小时, 说明在近距离下, PMT进入非线性区

$$Nonlinearity = \left( \frac{Q_{ni}}{Q_{fi}} - mean \right) / mean \times 100\%$$

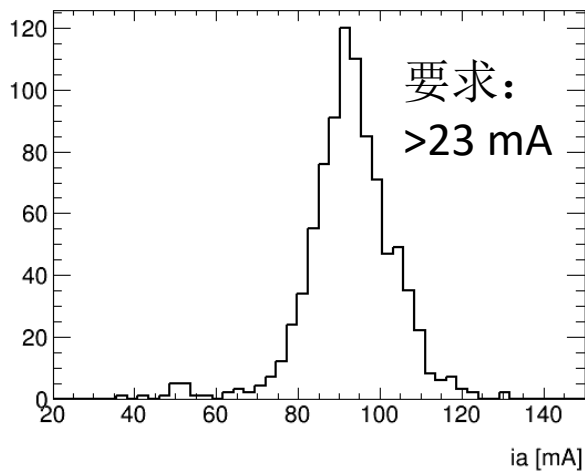


远距离数据, 标定阳极与打拿级增益比

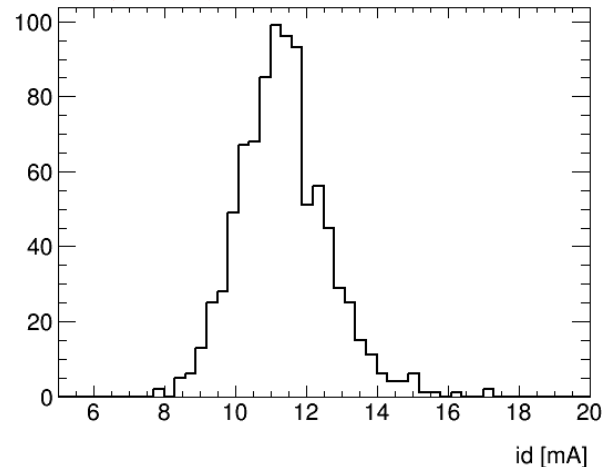


# PMT最大线性电流结果

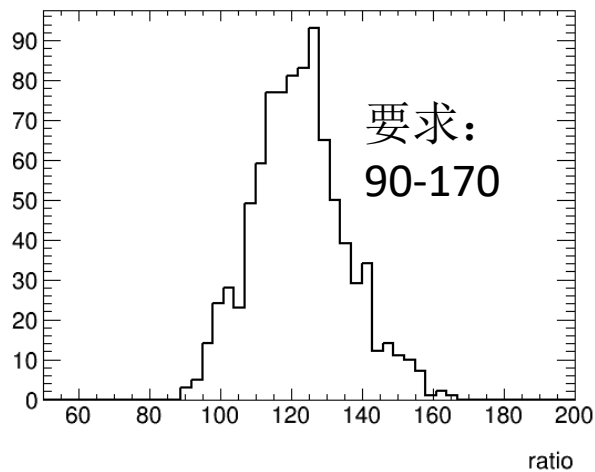
阳极最大线性电流



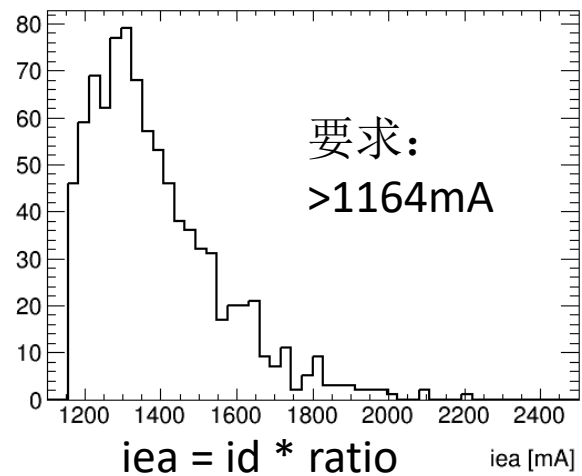
打拿极最大线性电流



阳极与打拿极增益比

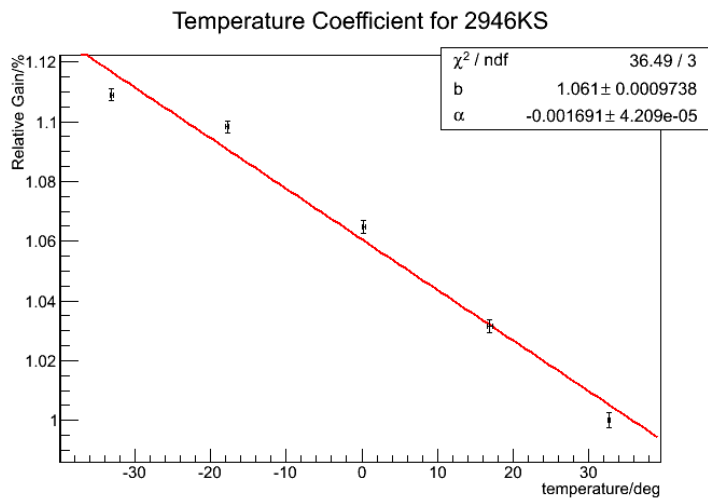


打拿极等效阳极电流

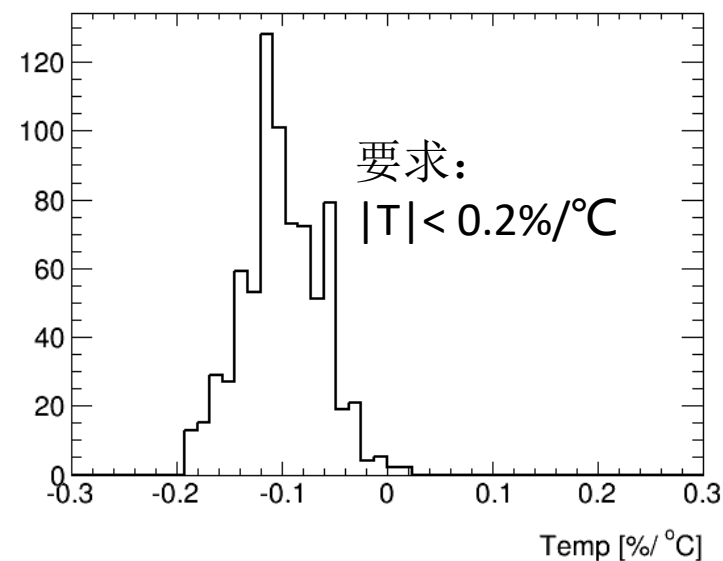


# 温度系数

- PMT增益 $4 \times 10^5$
- 温度范围 $-30^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ （温控箱温度范围 $-40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ ）
- 温控箱外的两支PMT监测光源、电子学等的稳定性，并提供修正参数。
- 三个探头的温度平均值给出温度
- 目前暗箱最多可同时测试14支PMT

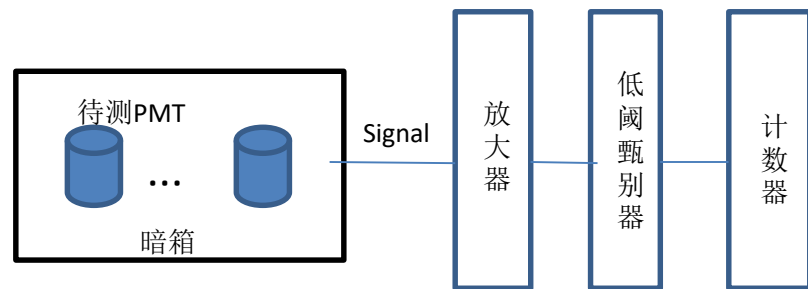


## 温度系数测试结果



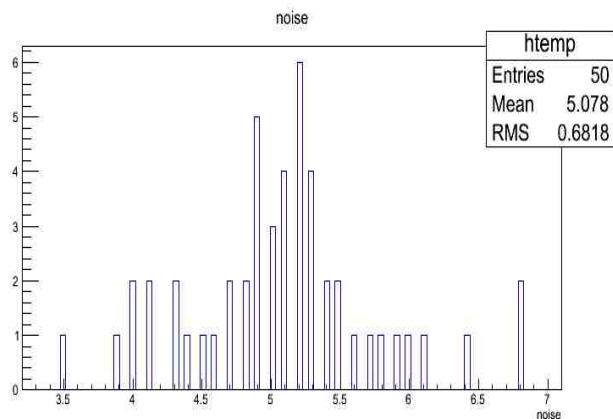
# 暗噪声计数率测试

- PMT增益 $4 \times 10^5$
- 受低阈甄别器性能限制，测试暗噪声计数率时，先将PMT信号放大10倍，使用10mV阈值测试
- 单次测试时间10s，测试50次

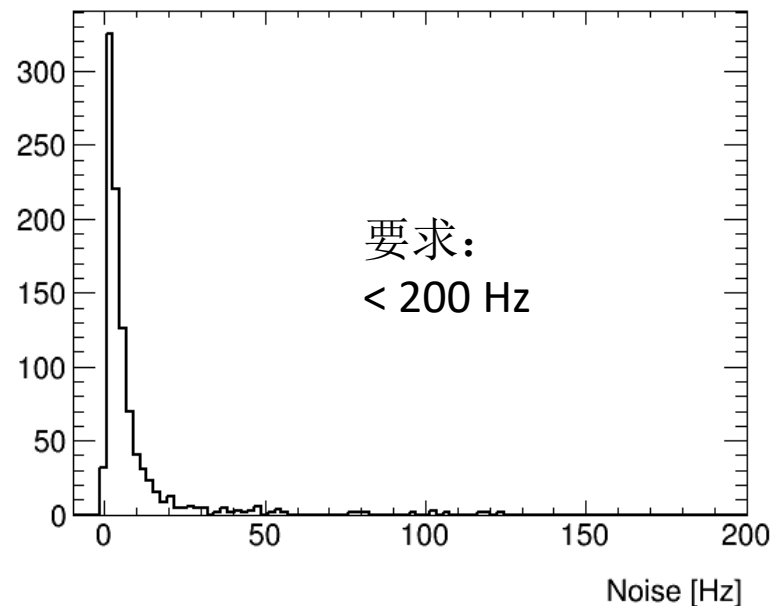


暗噪声计数率测试系统示意图

## 暗噪声计数率统计

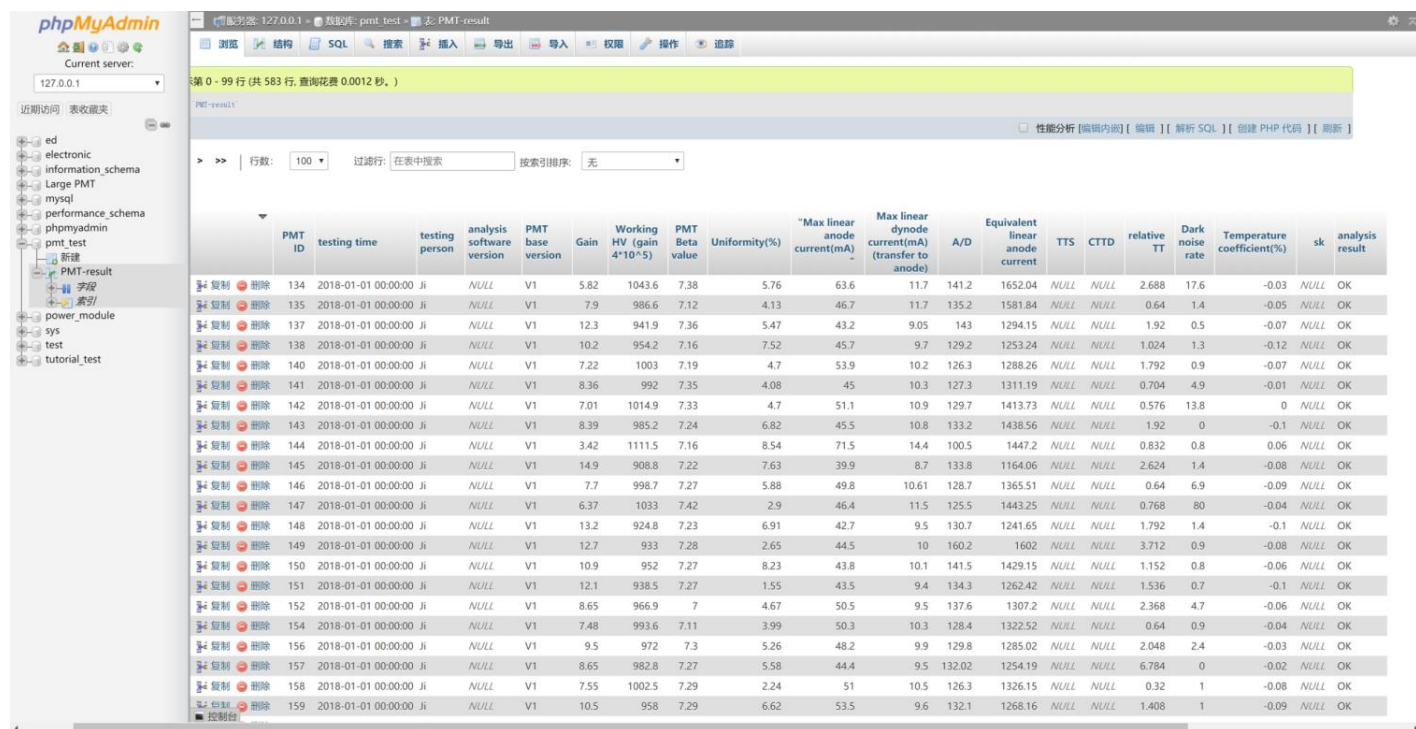


暗噪声计数率结果，记录mean值



# PMT参数数据库及查询

- 使用LHAASO合作组数据库系统进行PMT测试数据管理与网上查询
- 已供货PMT参数全部录入数据库
- 访问网址: <http://lhaasodb.hepg.sdu.edu.cn:8888/phpmyadmin>



The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'pmt\_test'. The table 'PMT-result' is displayed with the following columns and data:

PMT ID	testing time	testing person	analysis software version	PMT base version	Gain	Working HV (gain $4 \cdot 10^5$ )	PMT Beta value	Uniformity(%)	"Max linear anode current(mA)	Max linear dynode current(mA (transfer to anode))	A/D	Equivalent linear anode current	TTS	CTTD	relative TT	Dark noise rate	Temperature coefficient(%)	sk	analysis result
134	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	5.82	1043.6	7.38	5.76	63.6	11.7	141.2	1652.04	NULL	NULL	2.688	17.6	-0.03	NULL	OK
135	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	7.9	986.6	7.12	4.13	46.7	11.7	135.2	1581.84	NULL	NULL	0.64	1.4	-0.05	NULL	OK
137	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	12.3	941.9	7.36	5.47	43.2	9.05	143	1294.15	NULL	NULL	1.92	0.5	-0.07	NULL	OK
138	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	10.2	954.2	7.16	7.52	45.7	9.7	129.2	1253.24	NULL	NULL	1.024	1.3	-0.12	NULL	OK
140	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	7.22	1003	7.19	4.7	53.9	10.2	126.3	1288.26	NULL	NULL	1.792	0.9	-0.07	NULL	OK
141	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	8.36	992	7.35	4.08	45	10.3	127.3	1311.19	NULL	NULL	0.704	4.9	-0.01	NULL	OK
142	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	7.01	1014.9	7.33	4.7	51.1	10.9	129.7	1413.73	NULL	NULL	0.576	13.8	0	NULL	OK
143	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	8.39	985.2	7.24	6.82	45.5	10.8	133.2	1438.56	NULL	NULL	1.92	0	-0.1	NULL	OK
144	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	3.42	1111.5	7.16	8.54	71.5	14.4	100.5	1447.2	NULL	NULL	0.832	0.8	0.06	NULL	OK
145	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	14.9	908.8	7.22	7.63	39.9	8.7	133.8	1164.06	NULL	NULL	2.624	1.4	-0.08	NULL	OK
146	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	7.7	998.7	7.27	5.88	49.8	10.61	128.7	1365.51	NULL	NULL	0.64	6.9	-0.09	NULL	OK
147	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	6.37	1033	7.42	2.9	46.4	11.5	125.5	1443.25	NULL	NULL	0.768	80	-0.04	NULL	OK
148	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	13.2	924.8	7.23	6.91	42.7	9.5	130.7	1241.65	NULL	NULL	1.792	1.4	-0.1	NULL	OK
149	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	12.7	933	7.28	2.65	44.5	10	160.2	1602	NULL	NULL	3.712	0.9	-0.08	NULL	OK
150	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	10.9	952	7.27	8.23	43.8	10.1	141.5	1429.15	NULL	NULL	1.152	0.8	-0.06	NULL	OK
151	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	12.1	938.5	7.27	1.55	43.5	9.4	134.3	1262.42	NULL	NULL	1.536	0.7	-0.1	NULL	OK
152	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	8.65	966.9	7	4.67	50.5	9.5	137.6	1307.2	NULL	NULL	2.368	4.7	-0.06	NULL	OK
154	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	7.48	993.6	7.11	3.99	50.3	10.3	128.4	1322.52	NULL	NULL	0.64	0.9	-0.04	NULL	OK
156	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	9.5	972	7.3	5.26	48.2	9.9	129.8	1285.02	NULL	NULL	2.048	2.4	-0.03	NULL	OK
157	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	8.65	982.8	7.27	5.58	44.4	9.5	132.02	1254.19	NULL	NULL	6.784	0	-0.02	NULL	OK
158	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	7.55	1002.5	7.29	2.24	51	10.5	126.3	1326.15	NULL	NULL	0.32	1	-0.08	NULL	OK
159	2018-01-01 00:00:00	Ji	NULL	V1	10.5	958	7.29	6.62	53.5	9.6	132.1	1268.16	NULL	NULL	1.408	1	-0.09	NULL	OK

# 小结

- 山东大学参与ED PMT的选型和分压器设计
- 搭建了相关的PMT测试平台，批量测试系统可以实现PMT的各项测试任务
- 测量工作一键式操作，测试精度达到要求
- 每月可以为ED建设提供300支合格的PMT
- 已提供970支PMT，各项指标符合建设要求
- 预期2018年11月前为ED提供1200余支PMT，可以按计划为1/4阵列的建设提供足量的PMT