



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

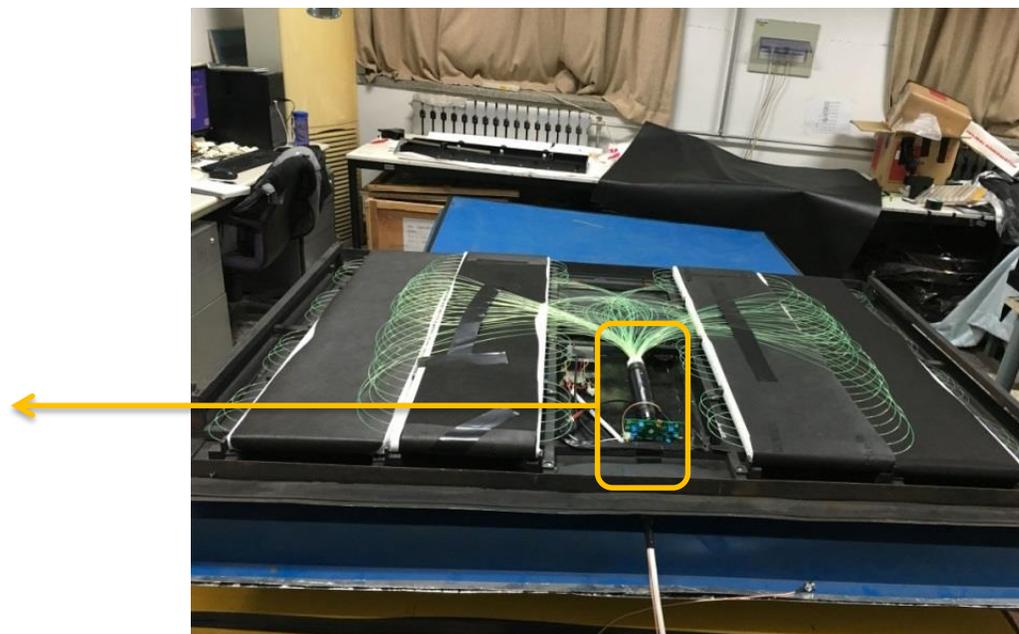
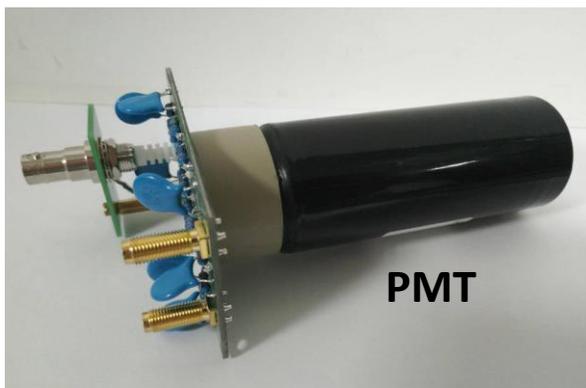
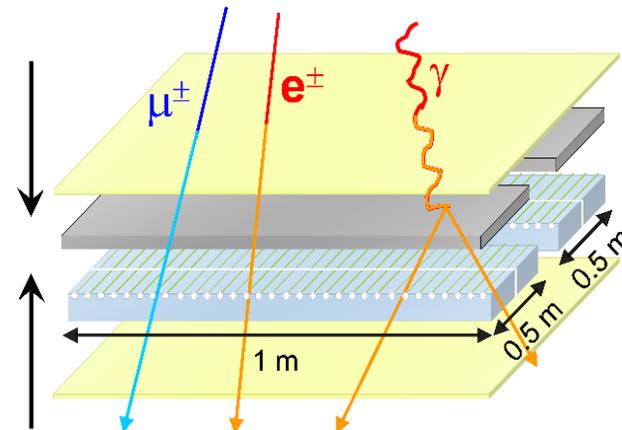


内容

- 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



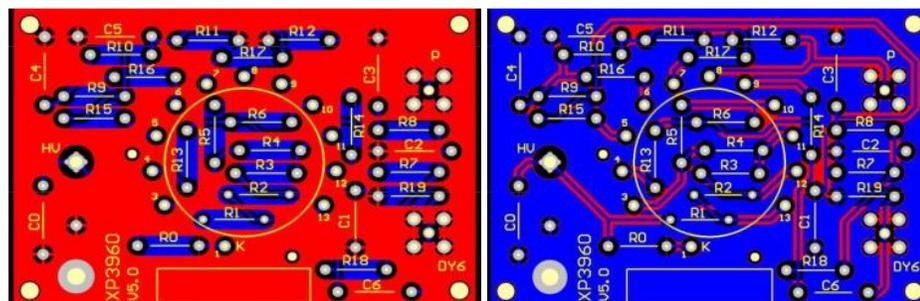
ED小尺寸光敏探头的研制

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： 4×10^5
- 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

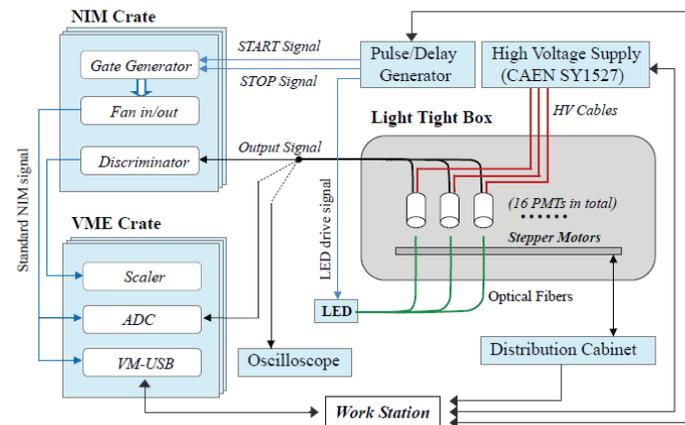


PMT批量测试平台

- 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



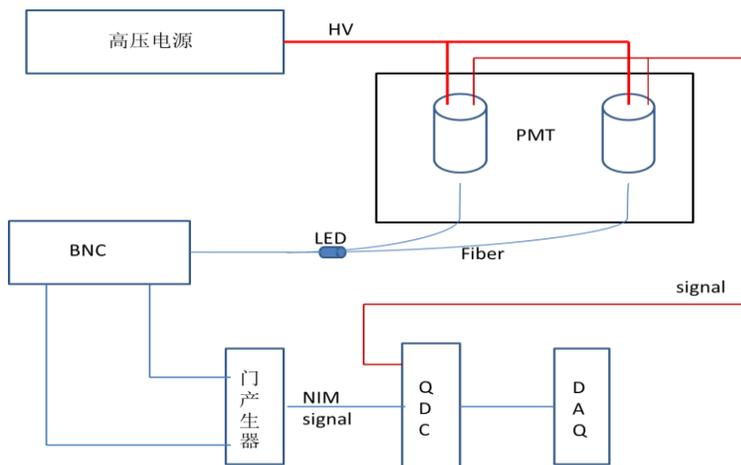
PMT供货情况

- 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

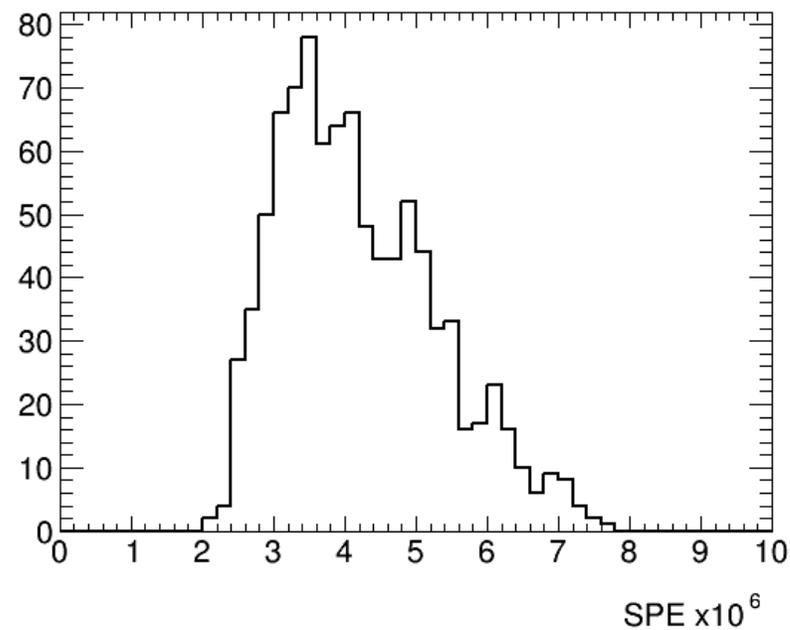
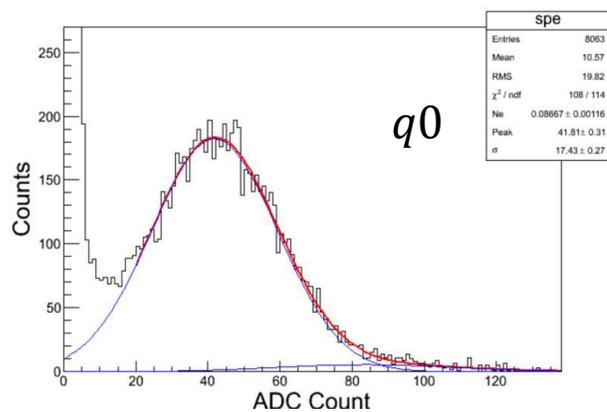


测试原理图

- 1800V 高压, 弱光

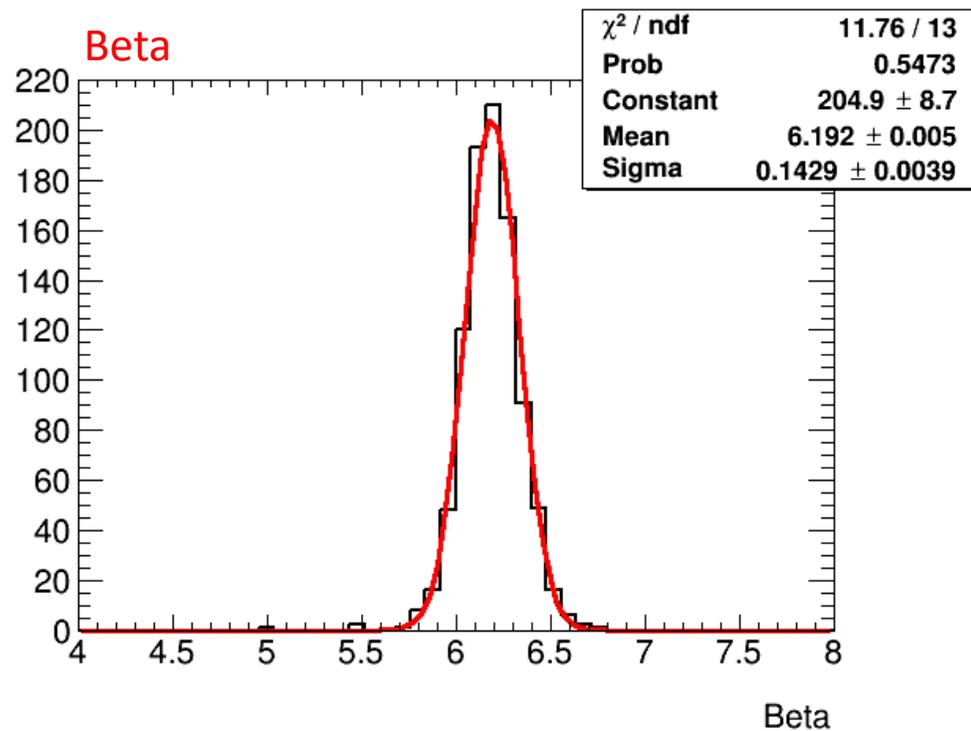
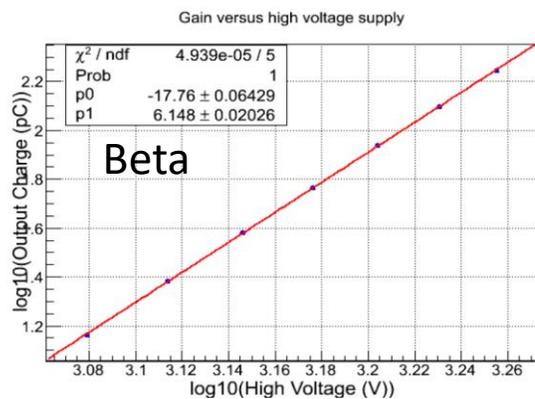
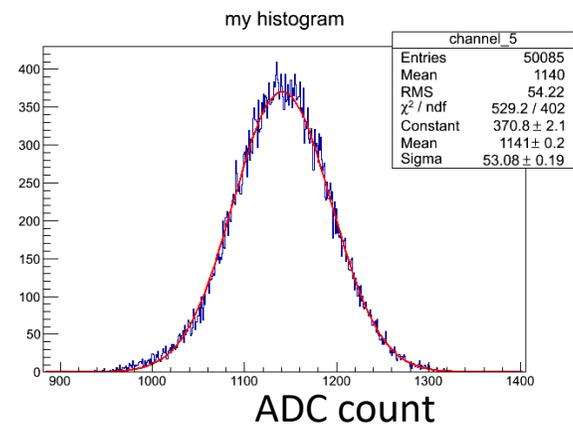
$$G = \frac{q0 * G_{v965}}{e}$$

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

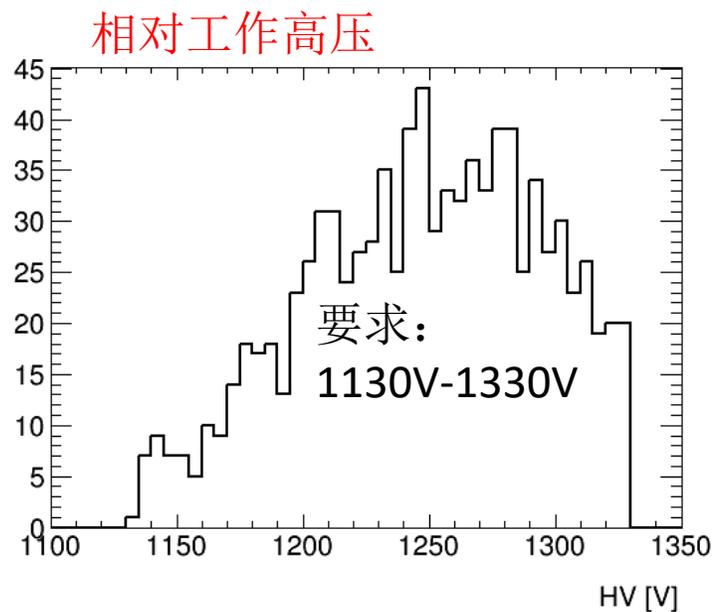
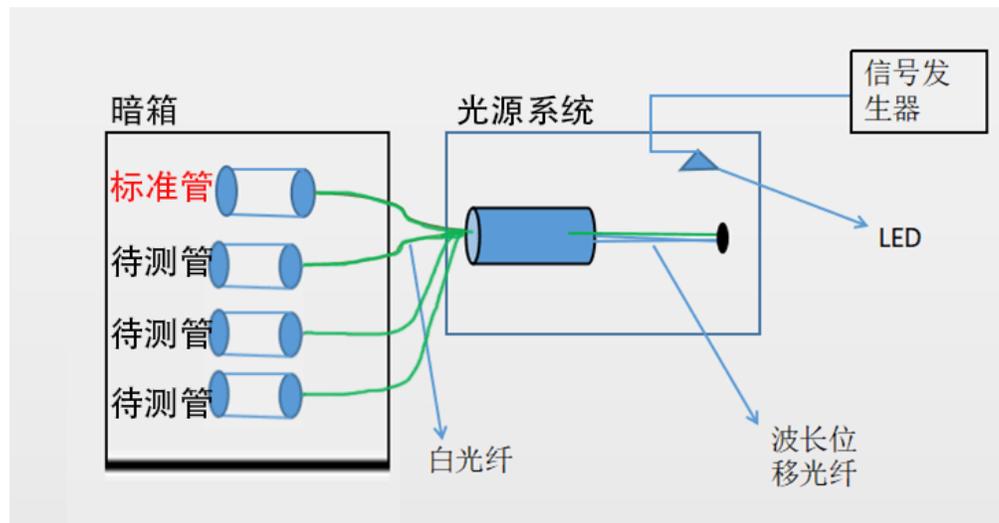


工作高压的相对标定

消除PMT间量子效率及收集效率的影响

测量方法:

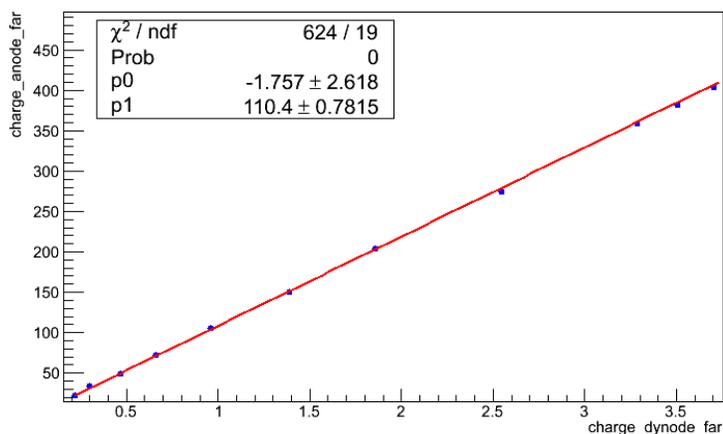
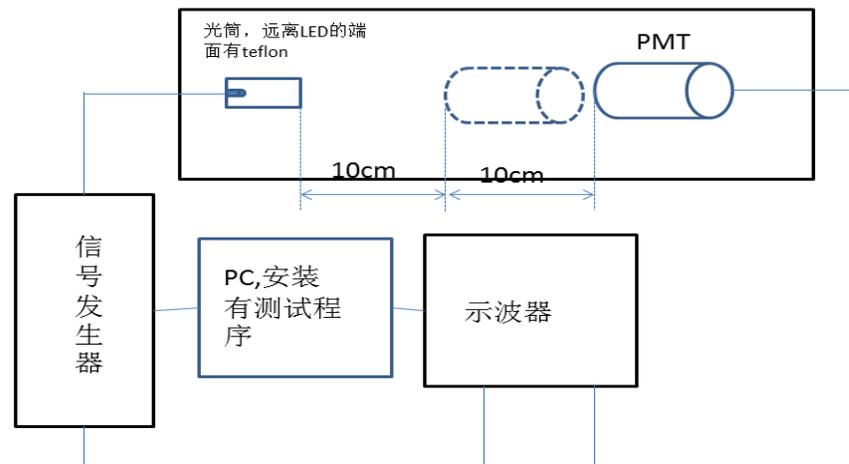
- 使用标准管循环测量各个槽位标准值
- 调节光源强度，使标准管的信号输出为标准管标准值
- 逐支调节待标定PMT的电压，使每个PMT的信号输出为该槽位标准值



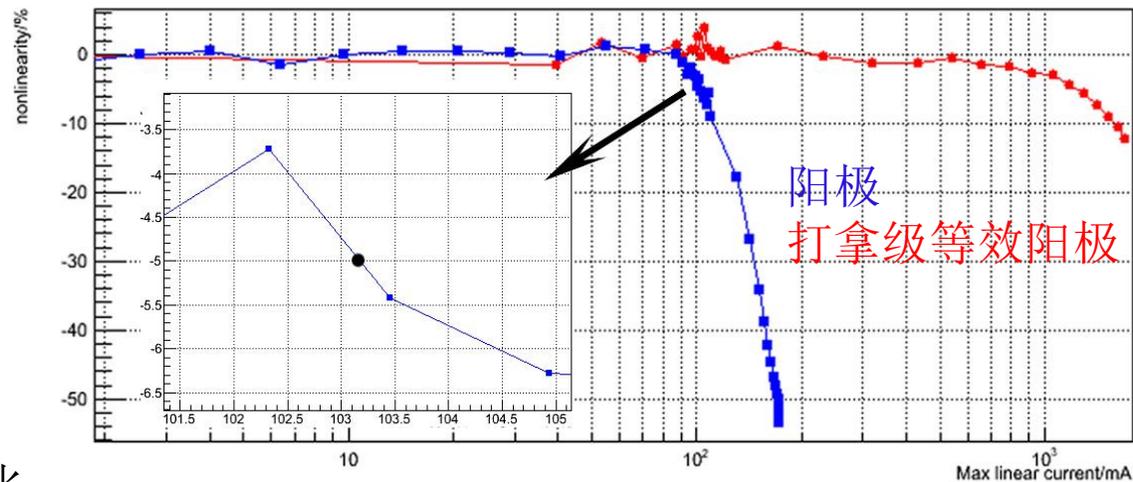
PMT最大线性电流

- 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

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

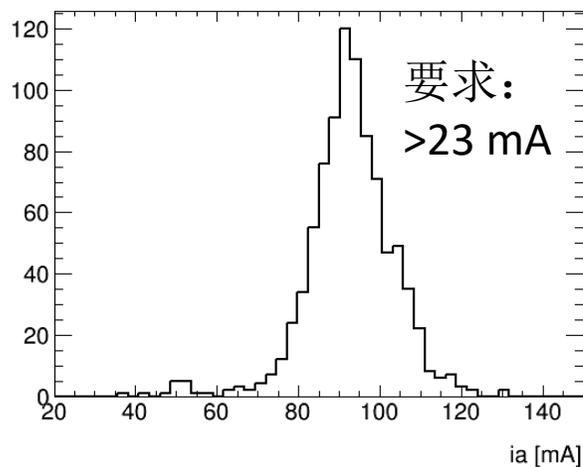


远距离数据, 标定阳极与打拿级增益比

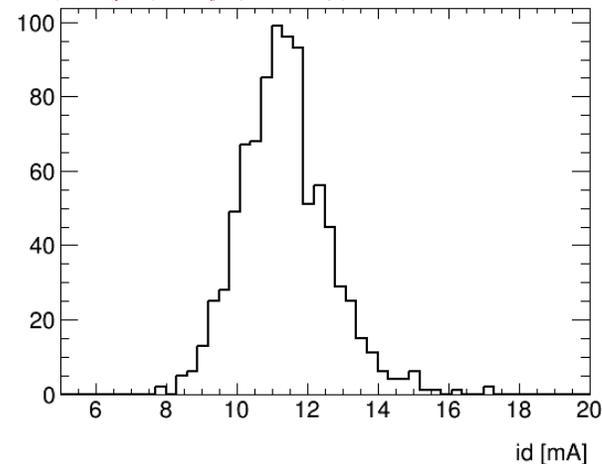


PMT最大线性电流结果

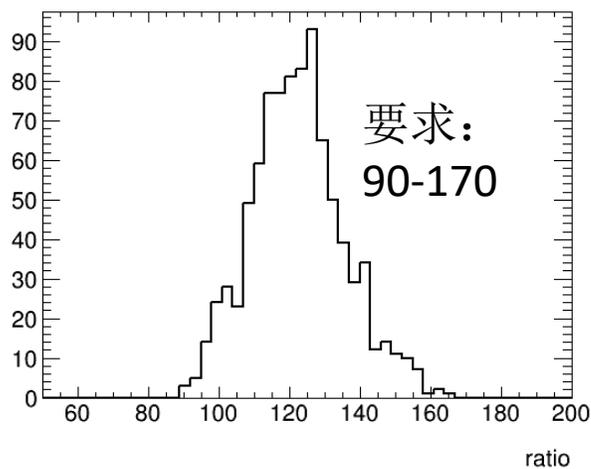
阳极最大线性电流



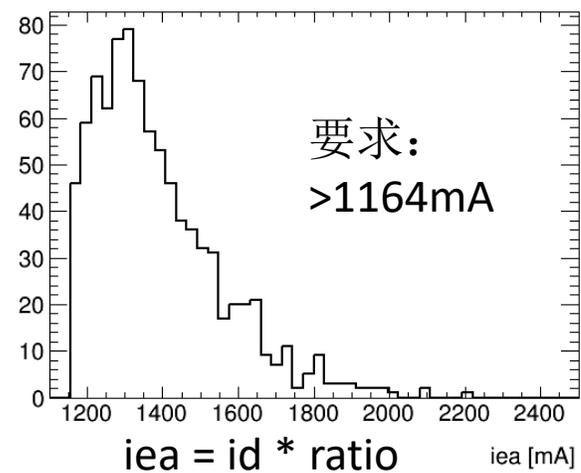
打拿极最大线性电流



阳极与打拿极增益比



打拿极等效阳极电流

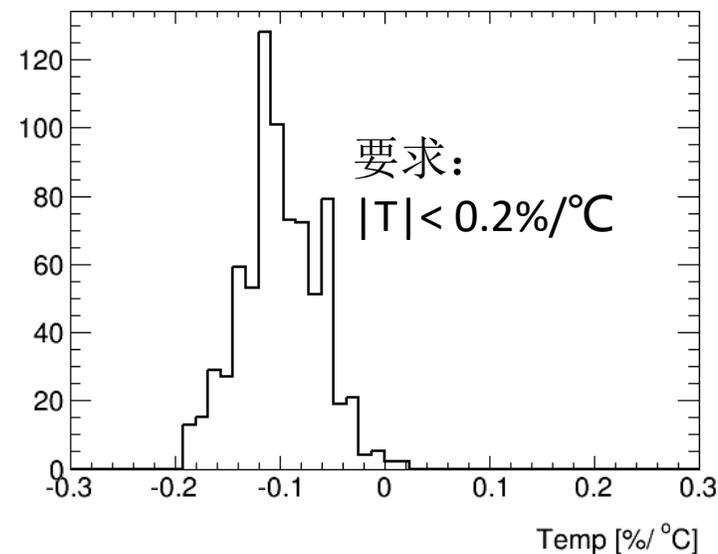
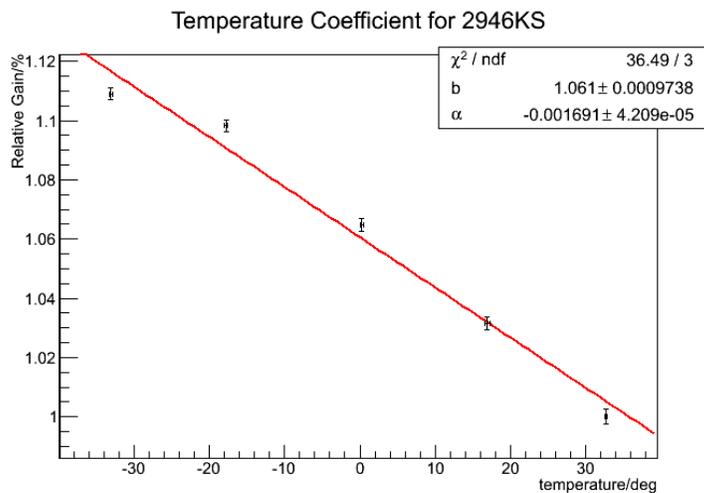


温度系数

- PMT增益 4×10^5
- 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

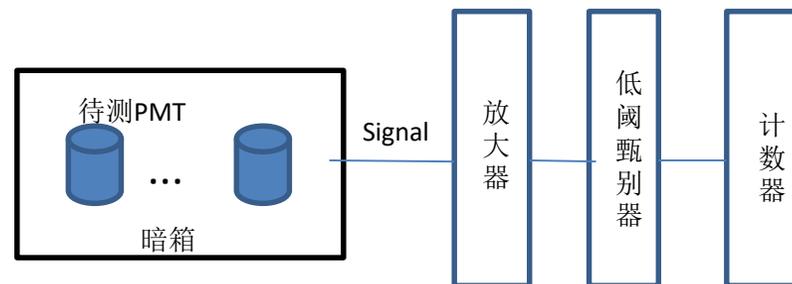


温度系数测试结果



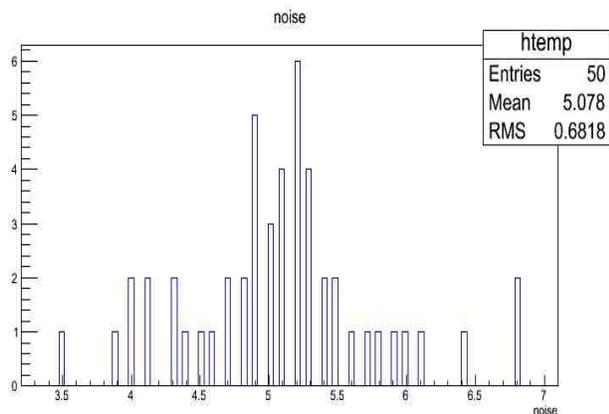
暗噪声计数率测试

- PMT增益 4×10^5
- 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

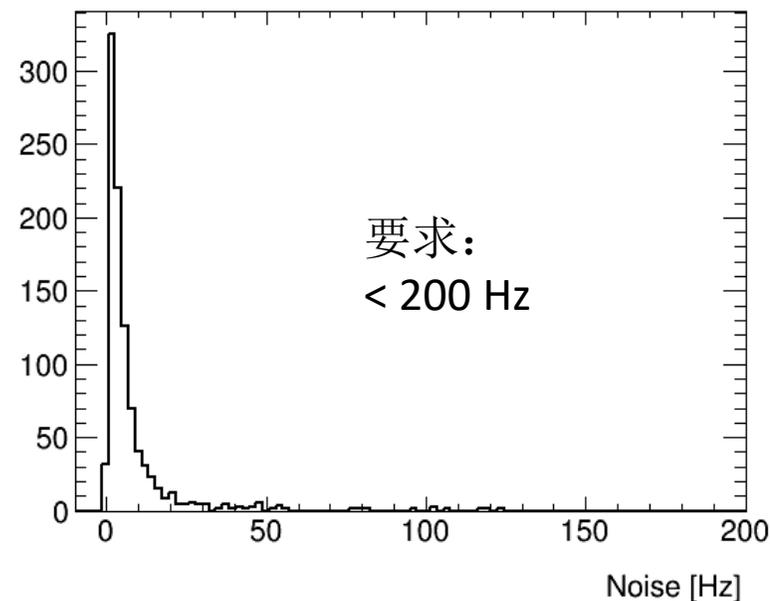


暗噪声计数率测试系统示意图

暗噪声计数率统计

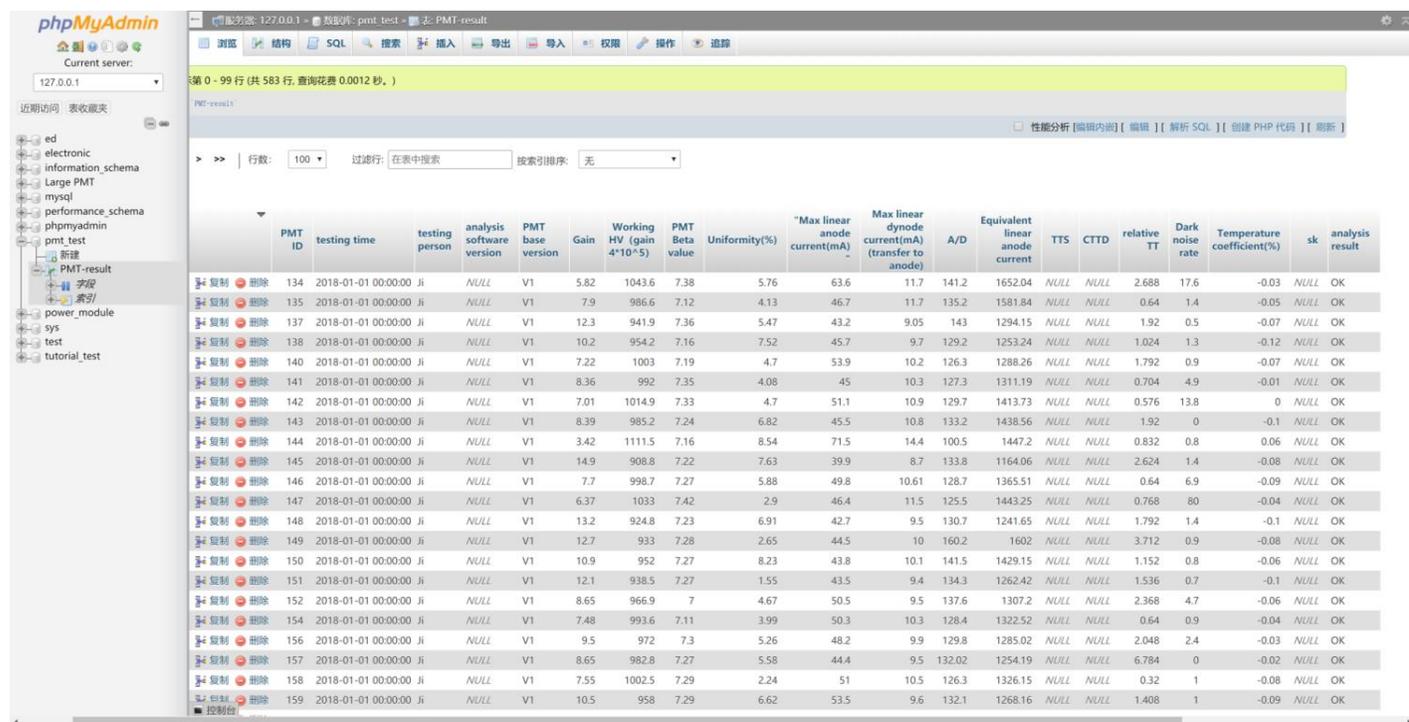


暗噪声计数率结果，记录mean值



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