

集装箱测试系统 PDE 的一种刻度方法

Email: zhaor25@mail2.sysu.edu.cn

School of Physics



Outline

① 背景简介

② 集装箱抽屉的刻度

③ PDE 的计算

④ 总结

现有的 PDE 评估方法

目前测试现场的 PDE 计算方法：

$$PDE = PDE_c \cdot f_{cs} + \text{constant} \quad (1)$$

其中 PDE_c 是集装箱自己的内部 PDE 结果， f_{cs} 是扫描站和集装箱之间的对应系数。¹

f_{cs} 可以通过拟合两套系统都测量过的 PMT 的 PDE 结果得到，并且随着测量 PMT 的增加这个拟合系数会更加精确。²

¹假设扫面站和集装箱的测试结果线性关联

²统计误差减小

集装箱内部结果 PDE_c 的计算方法

对于每一个测试抽屉， PDE_c 的计算公式为：

$$PDE_c = \mu_{test} \cdot \textcolor{red}{drawer}_{\text{factor}} \quad (2)$$

其中 μ_{test} 是 PMT 测到的平均光子数， $drawer_{\text{factor}}$ 是抽屉因子，它将 μ_{test} 转换到 PDE_c 。

因此计算 PDE_c 之前需要对抽屉因子 $drawer_{\text{factor}}$ 进行准确的刻度。

当前测试现场的刻度方法

当前使用的方法³是用 15 只滨松 PMT 在两个系统分别进行测试，再对测试结果进行拟合得到抽屉因子 $drawer_{factor}$ 。

另一种选择是，使用所有某个抽屉测量过的滨松 PMT 以及厂家数据对抽屉因子进行刻度。⁴

这样做好处是：随着测量的 PMT 数量增加可以减少统计误差；潜在的问题是：不同的抽屉用来刻度的 PMT 不相同。

³根据 DocDB 文档

[https://juno.ihep.ac.cn/cgi-bin/Dev_DocDB>ShowDocument?docid=3646]

⁴本文之后的数据都使用这种刻度方法

抽屉刻度方法

滨松厂家提供部分 PMT 的 QE⁵ 值，可以从 PMT 数据库⁶ 查询到。如果某一个抽屉测到的滨松 PMT 恰好有 QE 的厂家值，就选用它进行刻度。

为了保证刻度 PMT 的性能，只选取通过集装箱测试的 PMT 进行刻度。

⁵假定所有的 PMT 的收集效率相同

⁶王俊 [<http://pmtdb.juno.ihep.ac.cn/index.html>]

一个抽屉的刻度结果

随着测试 PMT 数量的增加, 拟合统计误差逐渐减小, $drawer_{factor}$ 的拟合结果趋于稳定 (更多抽屉拟合结果见 back-up 部分)。

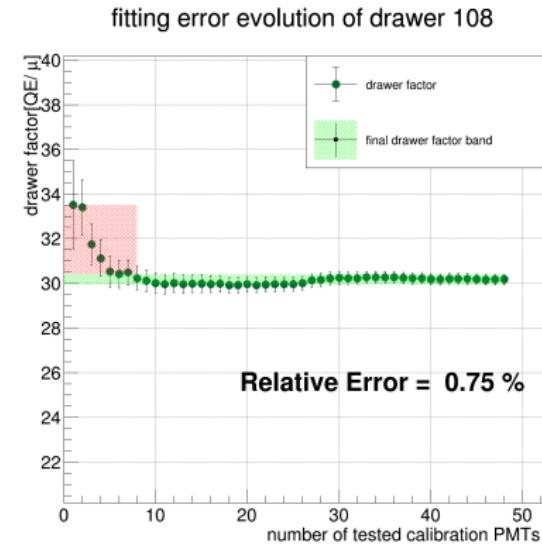
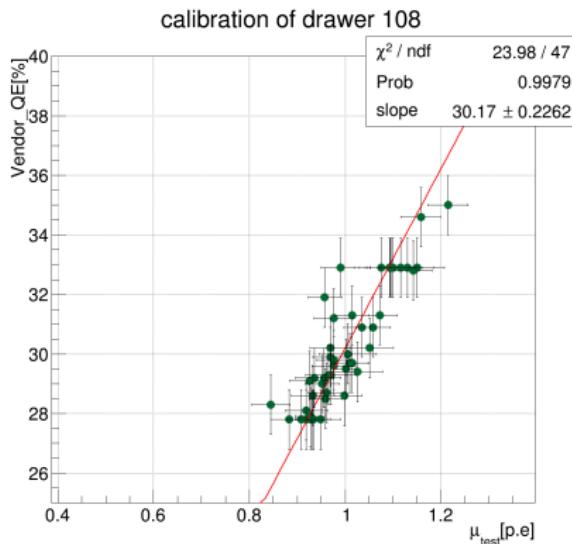
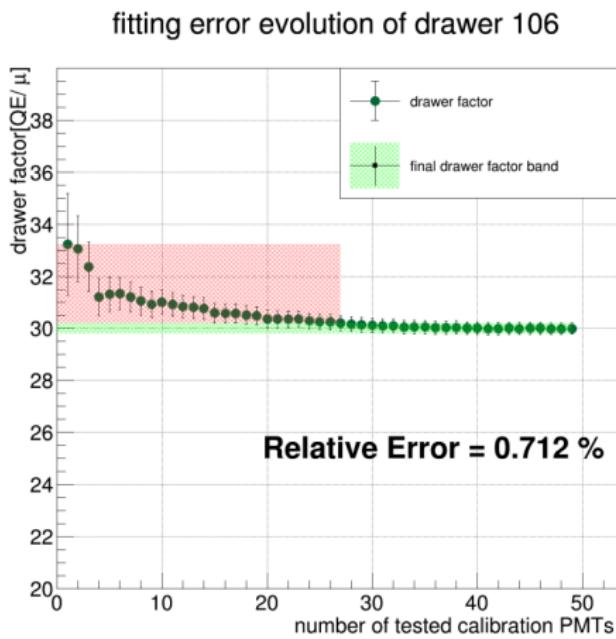


图: 108 抽屉的 $drawer_{factor}$ 拟合结果

抽屉刻度结果分析⁷



在某些通道拟合结果会随着时间缓慢上升或者下降（大约 1%），这说明光源强度出现了系统性的漂移。

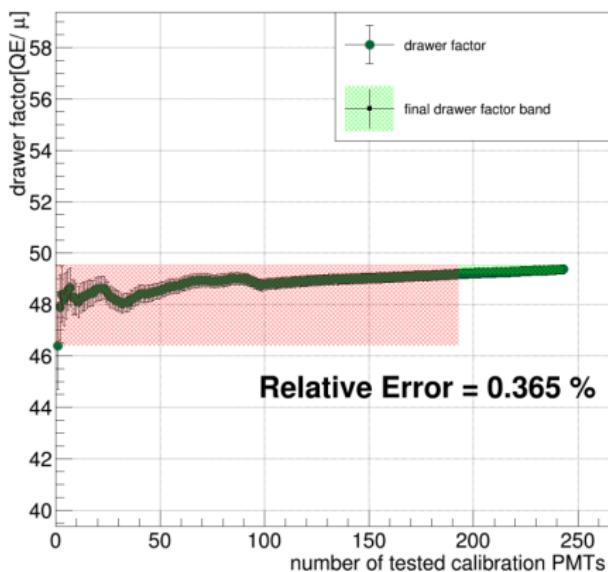
所有抽屉的 $drawer_{factor}$ 拟合误差都小于 1%。

另一方面，这样的刻度方法可以用来监控系统的稳定性。因为如果系统稳定工作，拟合系数应该随机涨落。

⁷拟合出的抽屉因子与现场所使用的抽屉因子的关联见 back-up 部分

抽屉刻度结果分析

fitting error evolution of drawer 101



101 抽屉一直放置参考 PMT EA0419, 抽屉因子 $drawer_{factor}$ 拟合的结果随着时间漂移, 这存在两种可能:

- 光源光强随时间变化 (光强减小)
- PMT 自身的性能 PDE 在减小

PDE 的计算

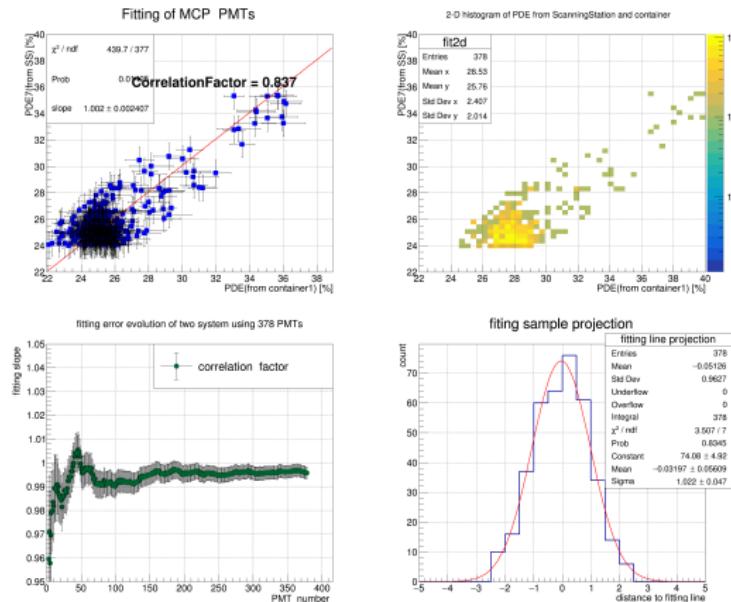
根据公式2, 通过 μ_{test} 以及抽屉因子即可算出集装箱自己的 PDE 结果 PDE_c 。假设集装箱系统和扫描站对同一只 PMT 的测量结果是正比关系⁸, 通过拟合线性参数 f_{cs} 可以算出最终的 PDE。

- 使用相同的系数拟合两种 PMT, $f_{cs}=0.897$
- MCP-PMT 的高量子效率 PMT 和之前的低量子效率 PMT 在两个系统的表现不同, 需要更多的测量数据进行确认。

⁸参考王俊和王耀光的模拟结果

两套装置测量结果的转换

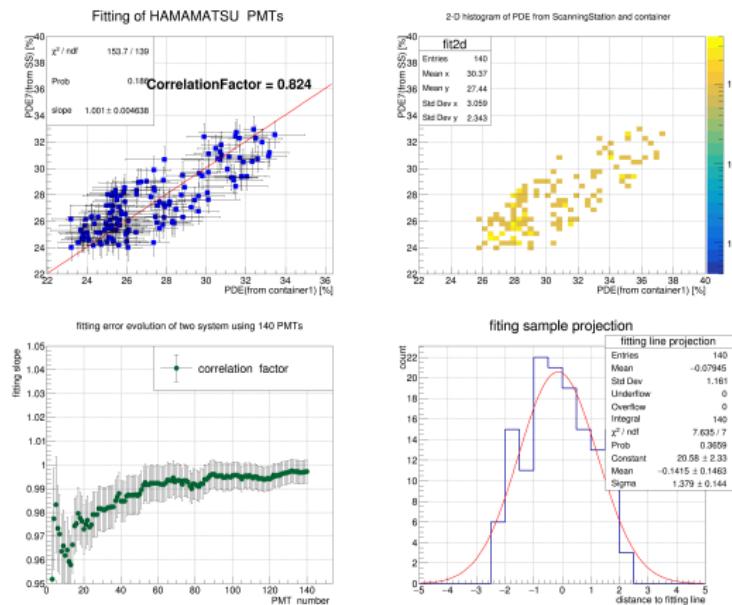
利用 PDE_c 和 PDE_s 对所有 MCP-PMT 拟合 f_{cs} 的结果⁹:



⁹挑选条件: 集装箱测试合格而且 $\Delta PDE < 5$

两套装置测量结果的转换

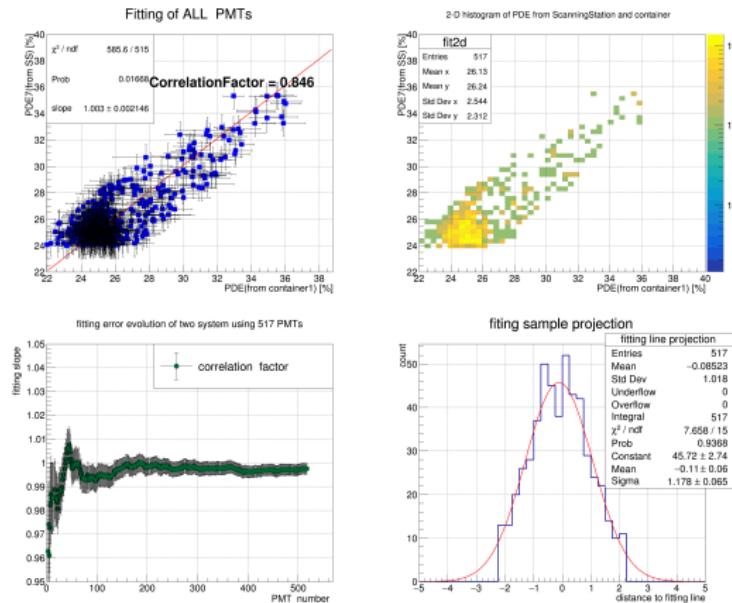
利用 PDE_c 和 PDE_s 对所有 HAMAMATSU-PMT 拟合 f_{cs} 的结果¹⁰:



¹⁰挑选条件: 集装箱测试合格而且 $\Delta PDE < 5$

两套装置测量结果的转换

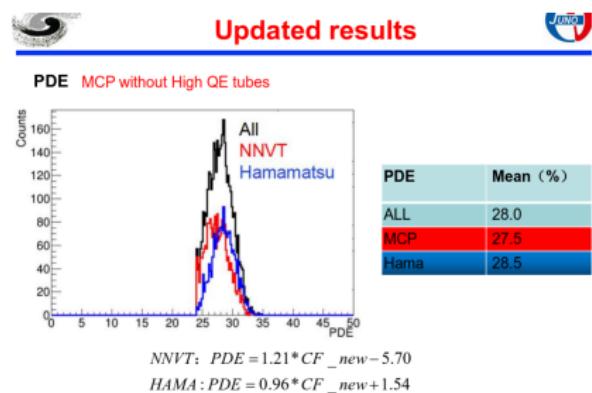
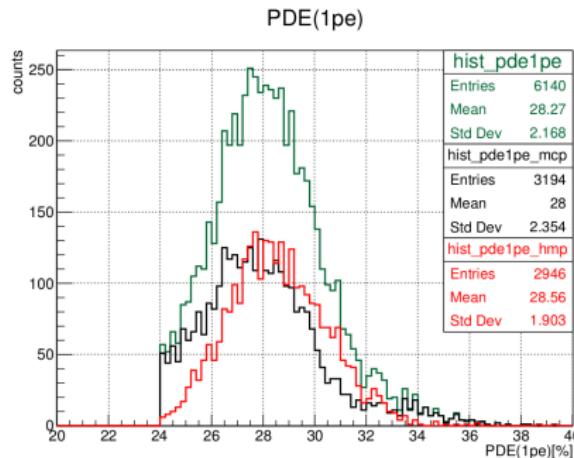
利用 PDE_c 和 PDE_s 对所有 PMT 拟合 f_{cs} 的结果¹¹:



¹¹挑选条件: 集装箱测试合格而且 $\Delta PDE < 5$

PDE 计算结果

根据 μ_{test} ¹² 以及拟合得到的 $drawer_{factor}$ 和 f_{cs} 可以计算集装箱最终的 PDE 测试结果：



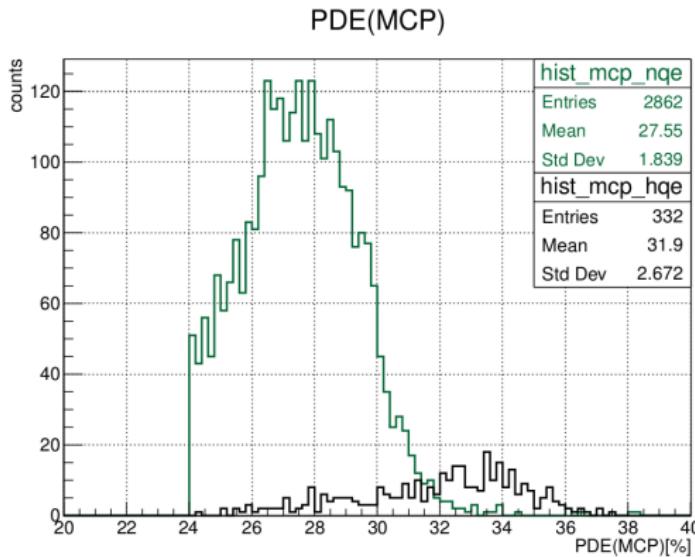
图：左图是抽屉累积拟合的结果，右图是现场所使用刻度方法结果¹³

¹² μ_{test} 和现场结果的对比见 BACK-UP 部分

¹³ https://juno.ihep.ac.cn/cgi-bin/Dev_DocDB>ShowDocument?docid=3646

PDE 计算结果

将 MCP-PMT 的高量子效率分开处理，统计集装箱 1 测量到的 MCP-PMT 的 PDE 结果¹⁴：



MCP 的高量子效率版本
PDE 相对增加了 15.8%

PDE 的统计结果和现场算法
得到的结果一致。
MCP: 27.5 ↔ 27.55
HAMAMATSU: 28.5 ↔ 28.56

¹⁴更新到 2018-10-17 的测试结果

总结和结论

- 使用抽屉自己的测量结果以及滨松厂家数据进行光强刻度，误差小于 1%。
- 这种方法可以监控系统的稳定性，并且可以减小系统误差。
- 基于上面的抽屉刻度结果计算集装箱 PDE 结果，与现场当前使用算法的结果一致（相对偏差小于 1%）。
- MCP 高量子效率版本的 PMT，PDE 相对提高 15.78%，平均值 $PDE=31.9\%^{15}$

¹⁵ 张海琼北京合作组会报告 32.6%

谢谢

B A C K U P

其他重要参数的 check

HAMAMATSU-PMT 的参数对比：

参数 (平均值)	我的结果	测试现场结果
暗计数 (kHz)	17.8	16.6
信号上升时间 (ns)	7.3	6.9
信号下降时间 (ns)	10.36	10.2
峰谷比	3.3	3.9
分辨率	0.28	0.277
高压 (V)	1861	1858
信号半高宽 (ns)	9.08	11.6

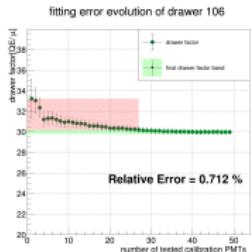
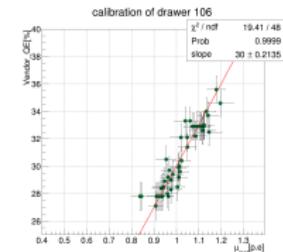
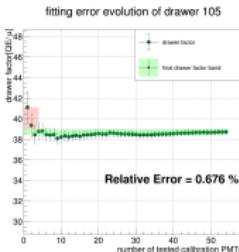
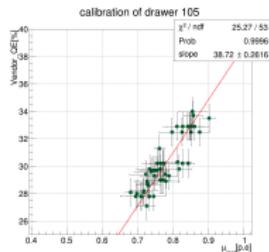
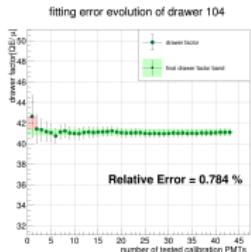
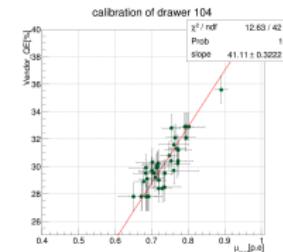
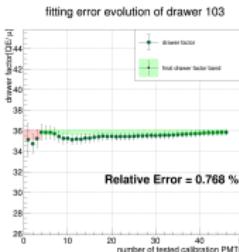
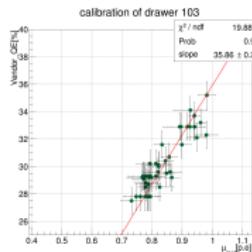
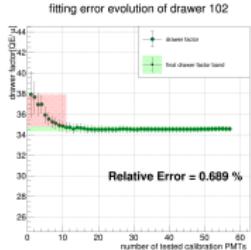
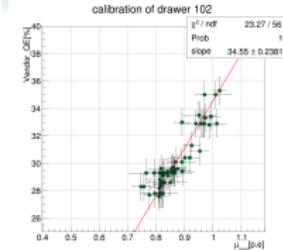
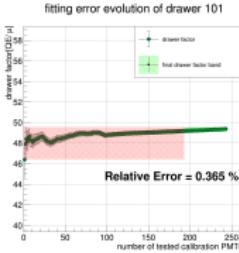
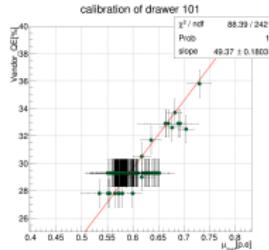
其他重要参数的 check

MCP-PMT 的参数对比：

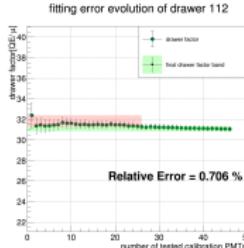
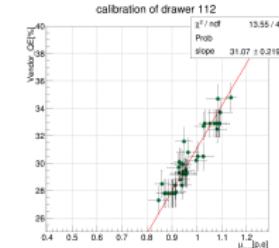
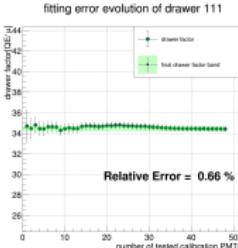
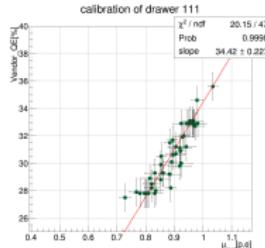
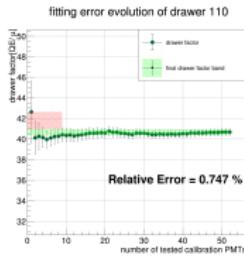
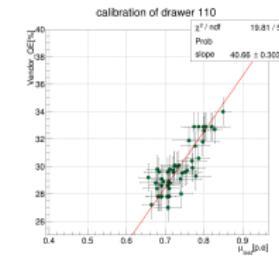
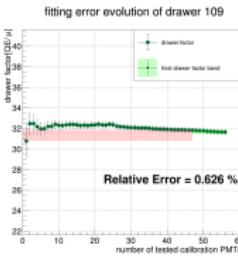
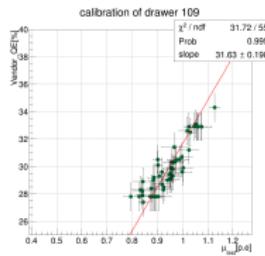
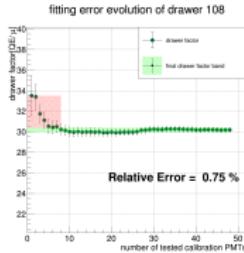
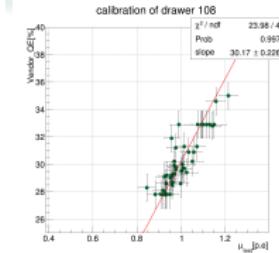
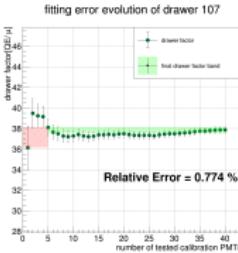
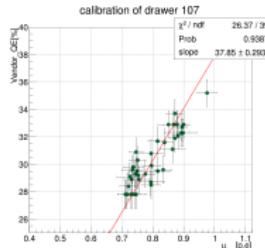
参数 (平均值)	我的结果	测试现场结果
暗计数 (kHz)	41.4	44.3
信号上升时间 (ns)	3.2	4.6
信号下降时间 (ns)	15.9	16.2
峰谷比	3.19	4.4
分辨率	0.35	0.32
高压 (V)	1783	1784
信号半高宽 (ns)	5.8	7.7



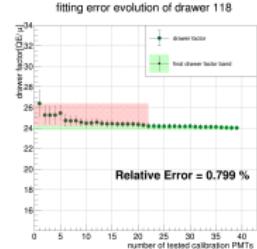
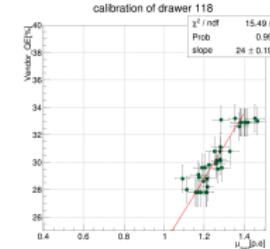
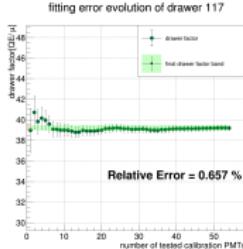
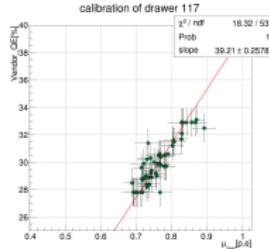
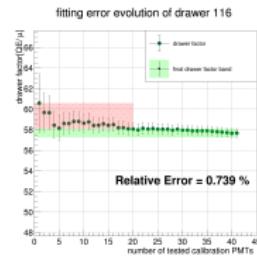
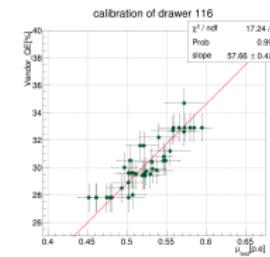
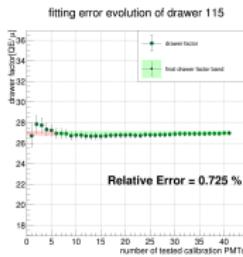
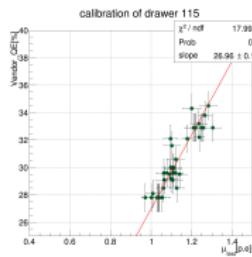
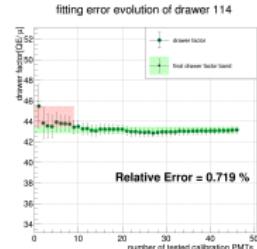
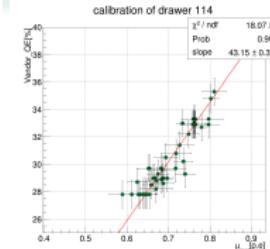
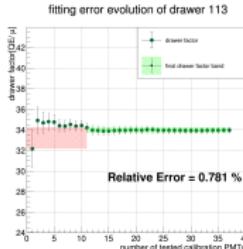
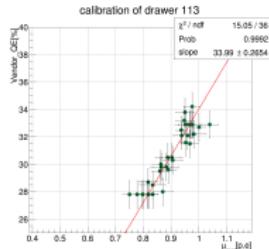
drawer-calibration



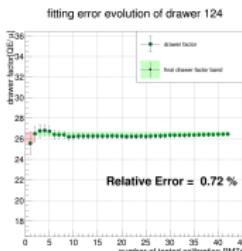
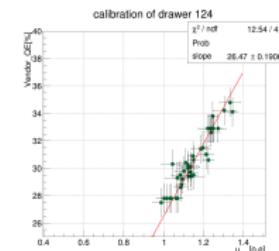
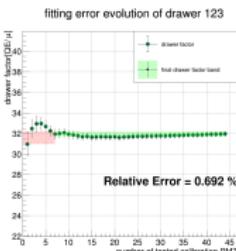
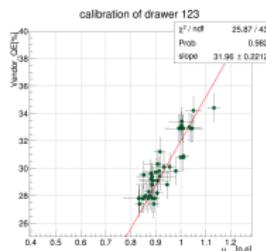
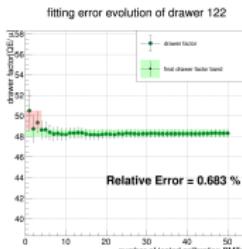
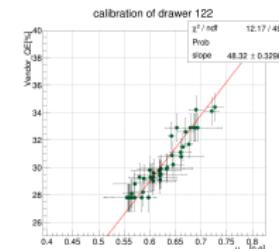
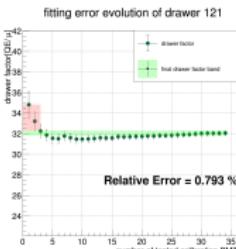
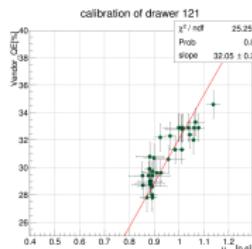
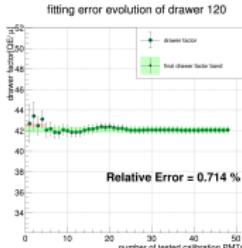
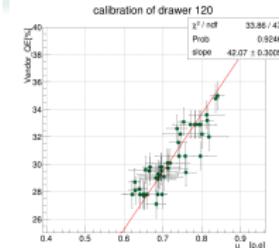
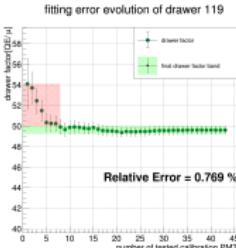
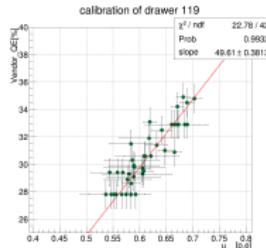
drawer-calibration



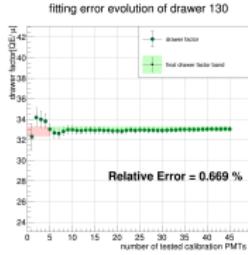
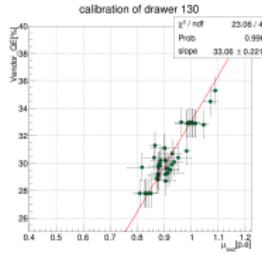
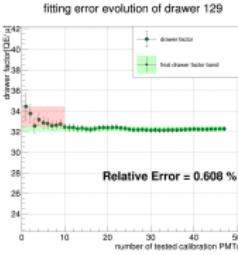
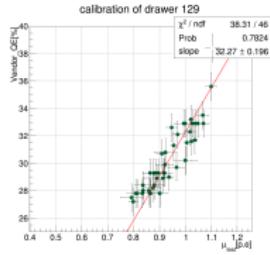
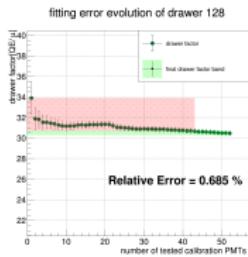
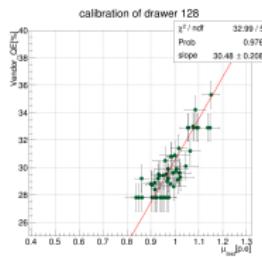
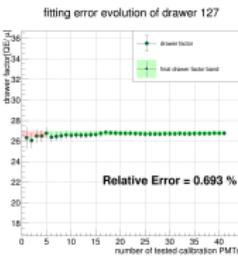
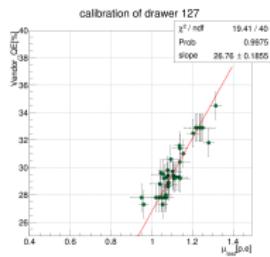
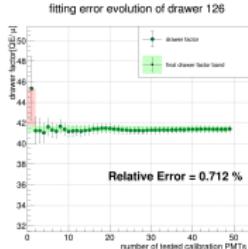
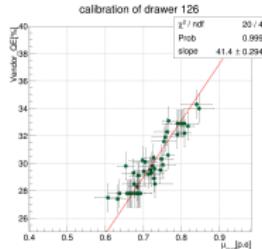
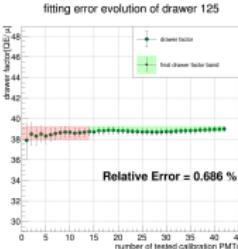
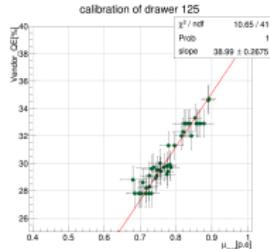
drawer-calibration



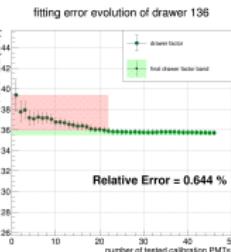
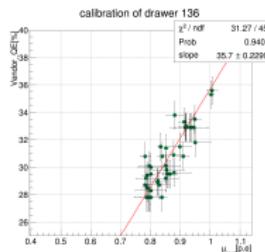
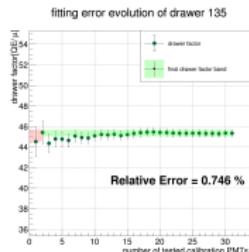
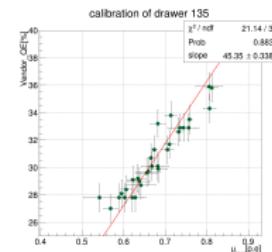
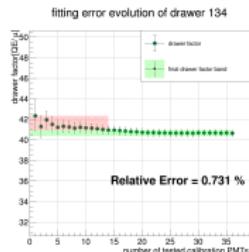
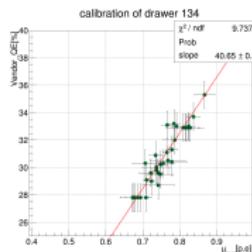
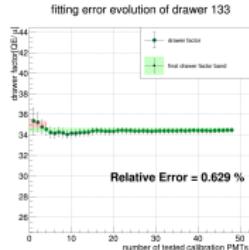
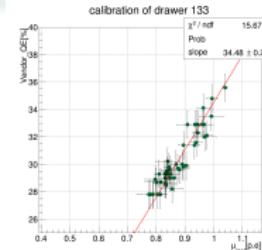
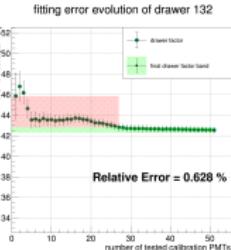
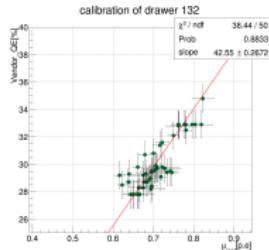
drawer-calibration



drawer-calibration

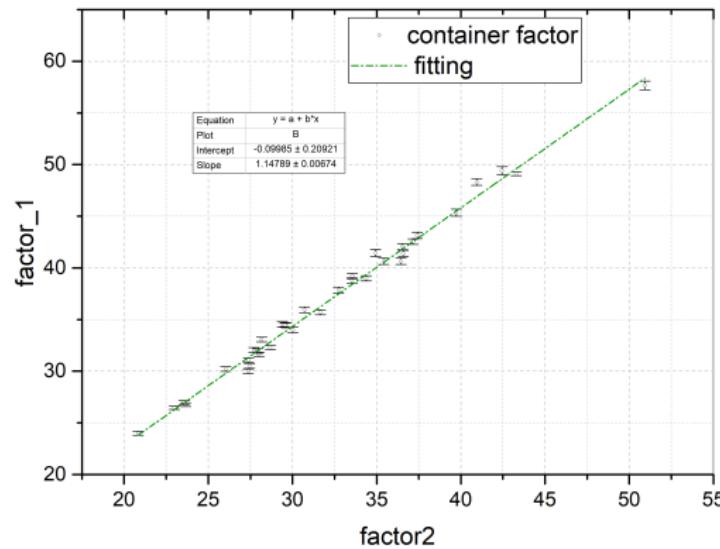


drawer-calibration



抽屉因子的比较

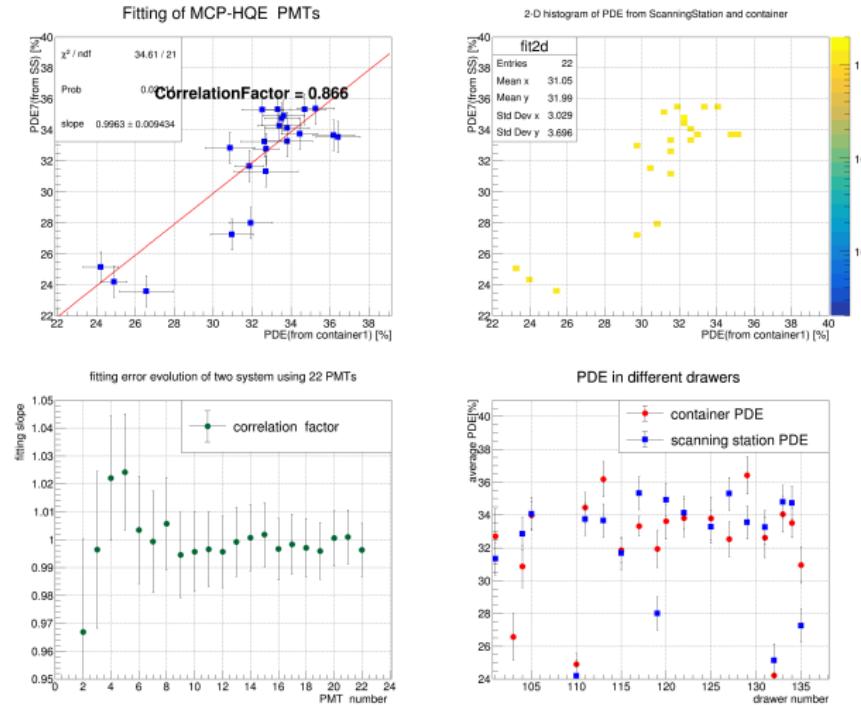
factor_1 是我的结果， factor_2 是张海琼的结果。 $y = 1.148x + 0.998$



图：抽屉因子和现场使用值的对比

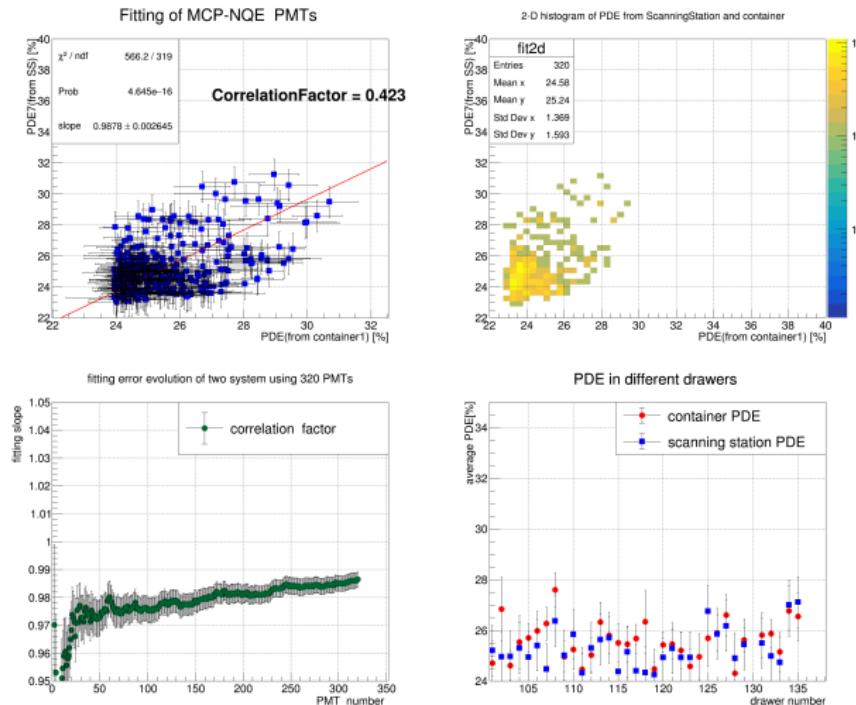
两套装置测量结果的转换

利用 PDE_c 和 PDE_s 对所有高量子效率 MCP-PMT 拟合 f_{cs} 的结果：

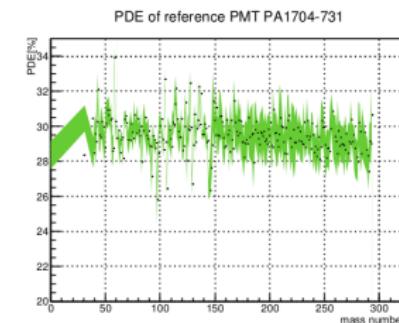
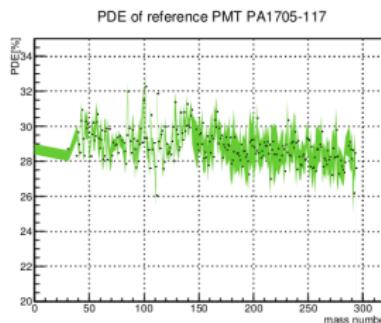
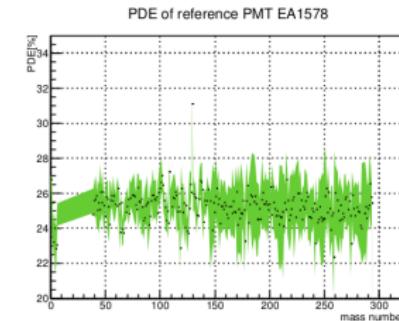
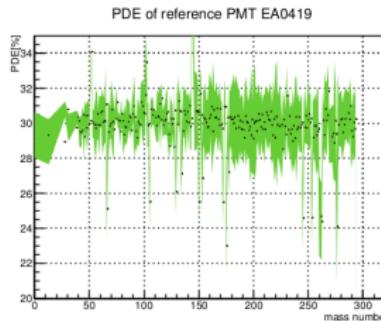


两套装置测量结果的转换

利用 PDE_c 和 PDE_s 对所有低量子效率 MCP-PMT 拟合 f_{cs} 的结果：

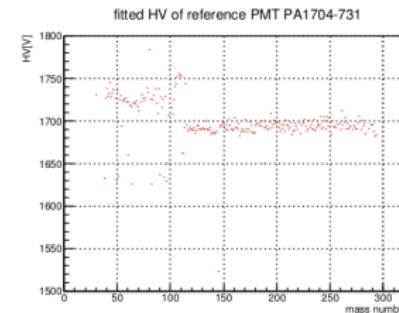
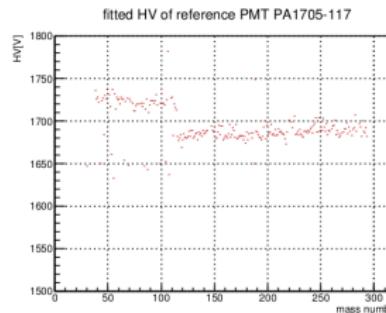
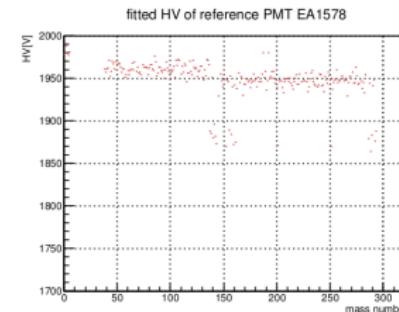
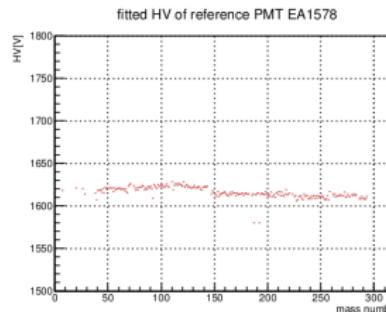


参考管稳定性



参考管电压稳定性

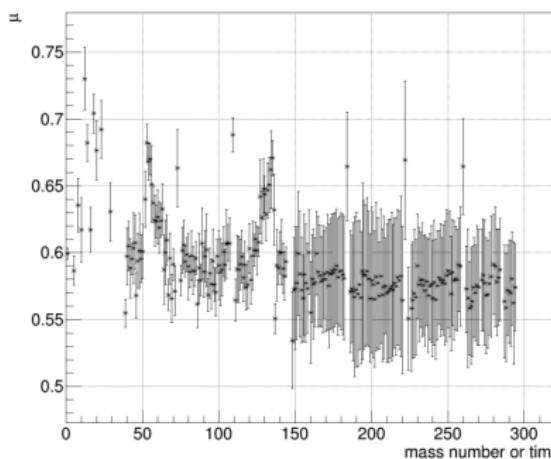
新DAQ对系统的性能产生了影响，高压平均值发生了变化：



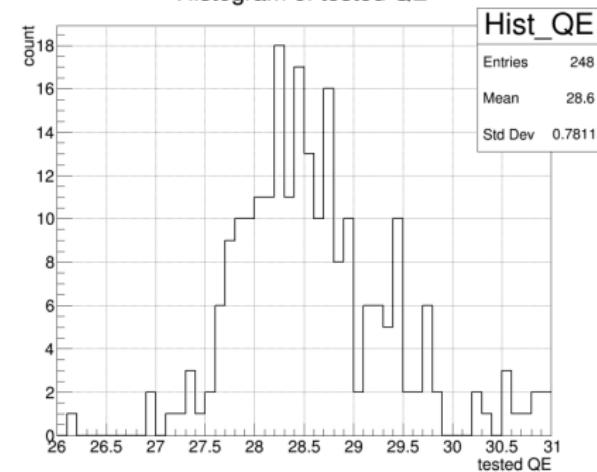
EA0419

参考管 EA0419 一直在 101 抽屉, 它的测量结果反映了集装箱测试系统的性能和稳定性:

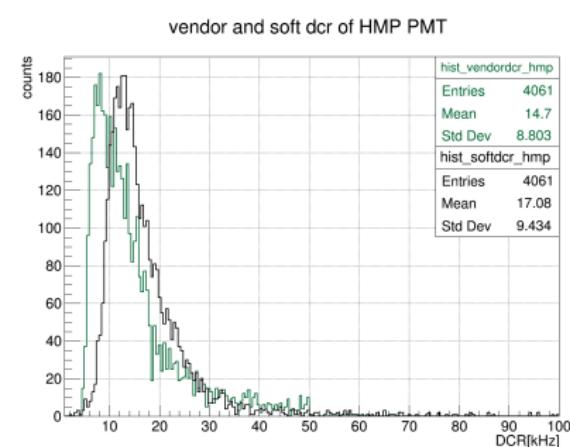
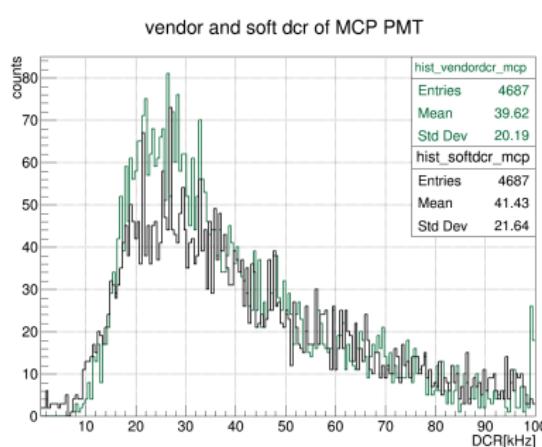
μ of reference tube fixed in drawer 101



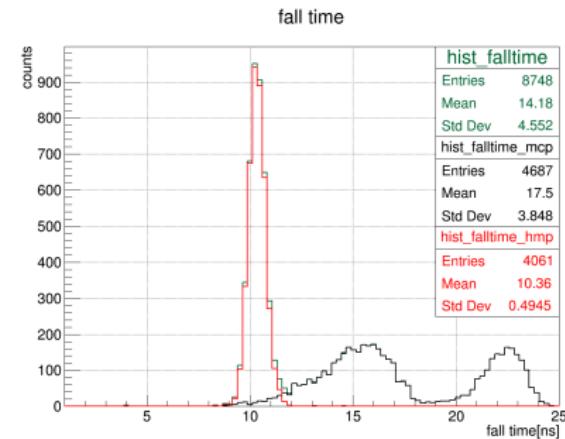
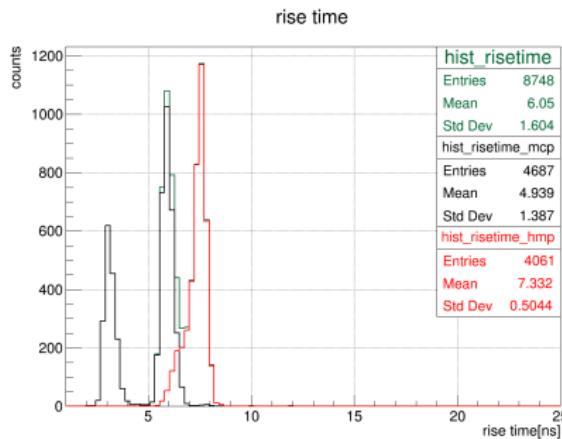
Histogram of tested QE



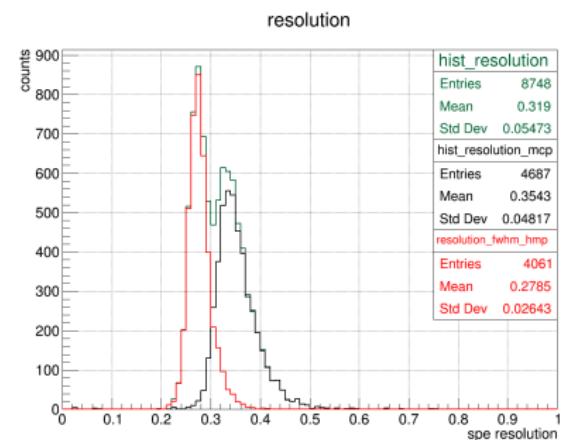
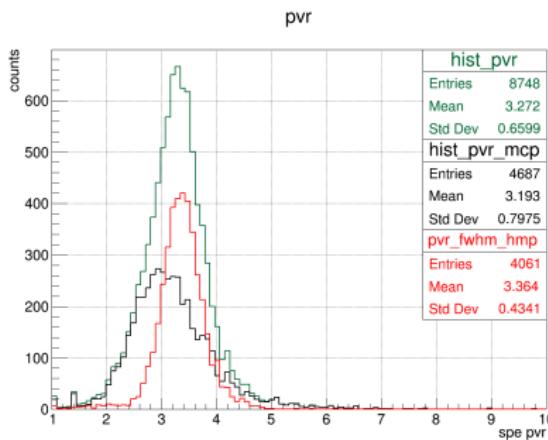
暗计数



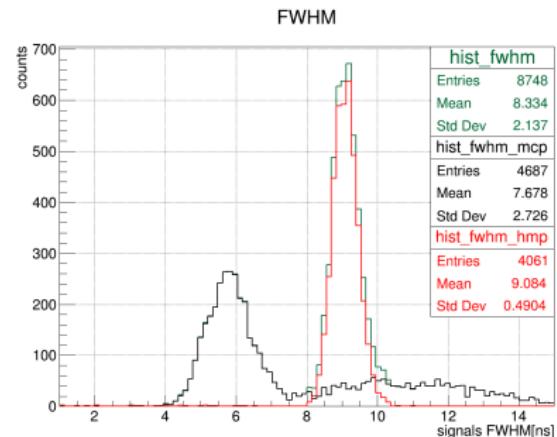
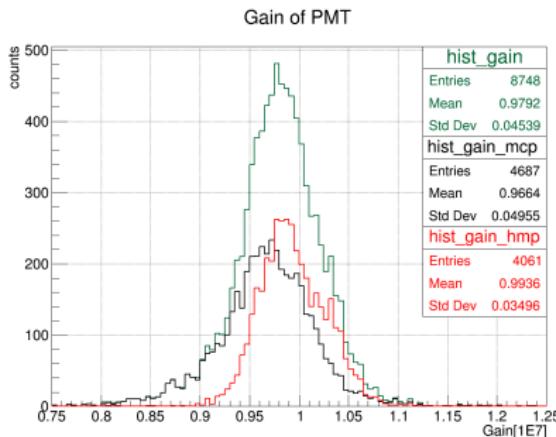
上升时间和下降时间分布



峰谷比和 SPE 分辨率分布



增益和 FWHM 的对比



平均 PDE

每个抽屉的平均 PDE 分布：

average PDE(MCP)

