

WCDA动态范围扩展系统 光敏探头性能研究

报告人：杜文艳，刘成，曾宗康

合作单位：山东大学

2018.03.23

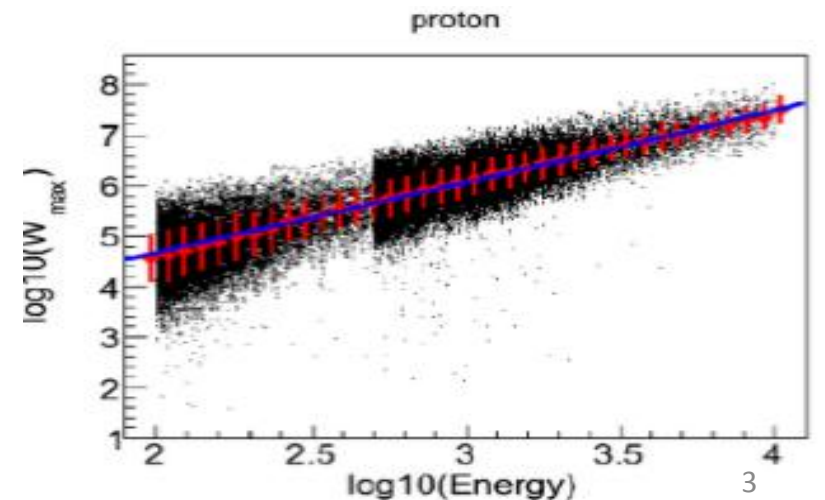
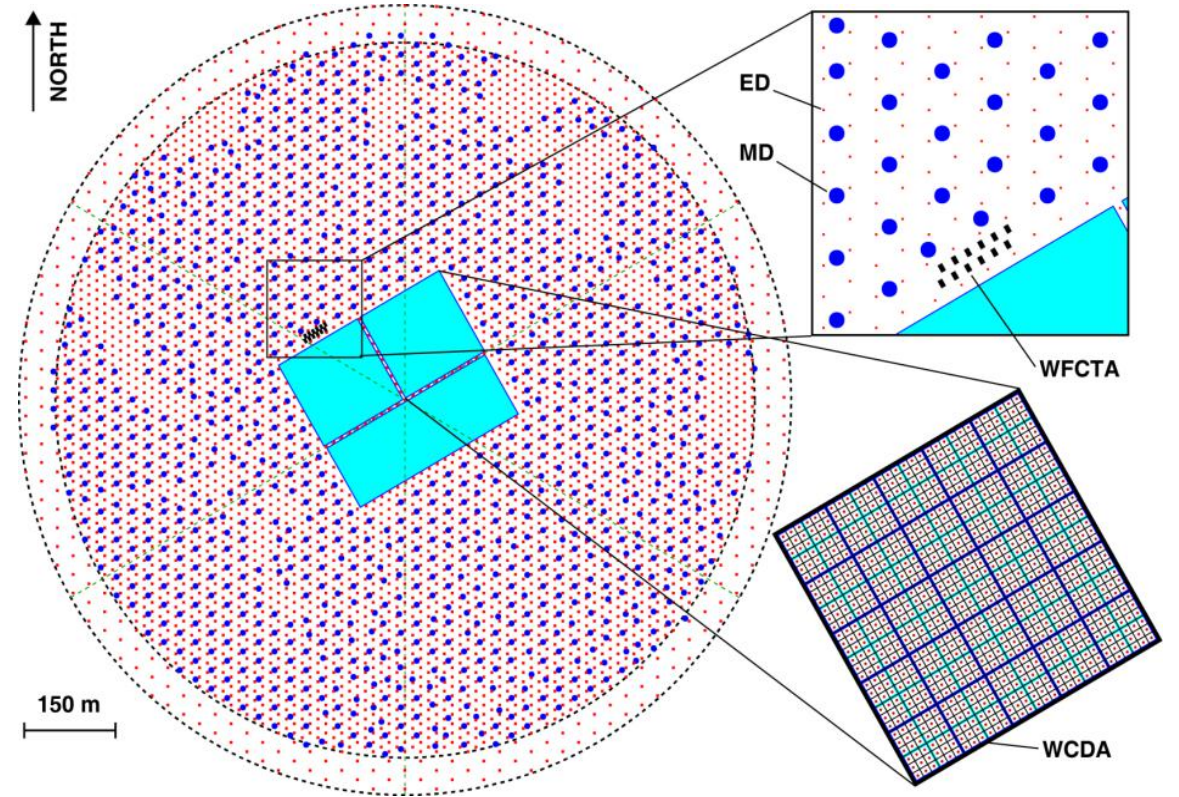
主要内容

- 背景介绍
- PMT设计指标要求
- XP3960分压电路的优化设计
- 小尺寸PMT信号检查测试
- 不同增益下对光敏探头性能的影响
- 总结与讨论

背景介绍

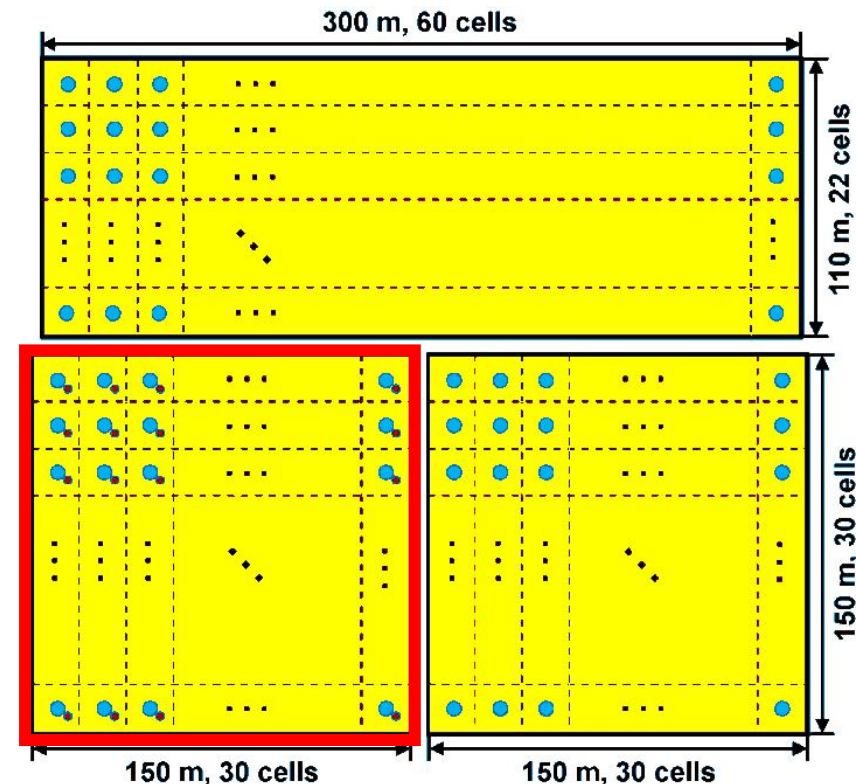
LHAASO组成

- 地面粒子探测器阵列(KM2A)
 - 5195EDs
 - 1171MDs
- 水切伦科夫探测器阵列(WCDA)
 - 3个水池，共3120个
 - 单元覆盖面积：78000m²
- 广角切伦科夫望远镜阵列(WFCTA)
 - 12台望远镜

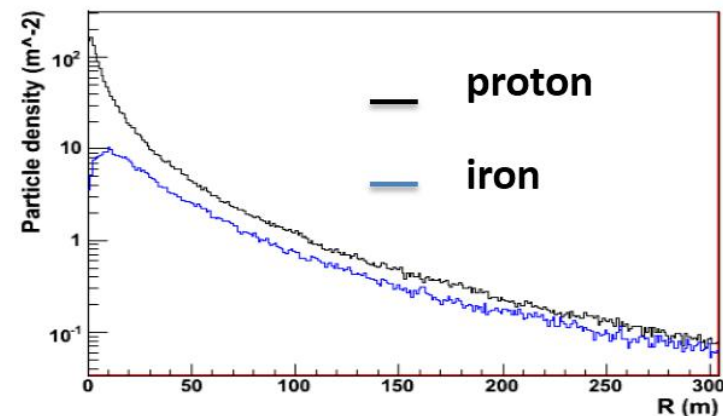
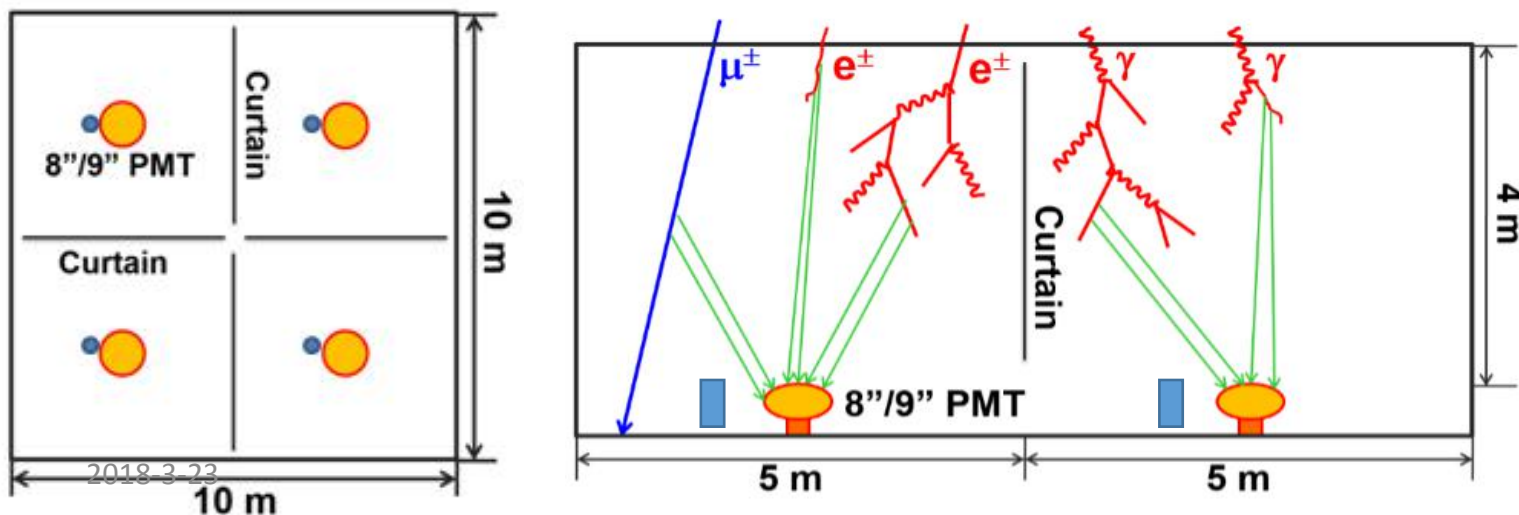


WCDA动态范围扩展系统

- 单元个数：900，每个单元大小为5 m×5 m
- PMT大小：1.5英寸
- 探测范围：100TeV—10PeV
- 物理目标：
测量宇宙线事例的芯位信息；
实现宇宙线能谱不同成分的高精度测量



WCDA探测器布局图



PMT设计指标要求

- 技术指标:
 - 海展创XP3960



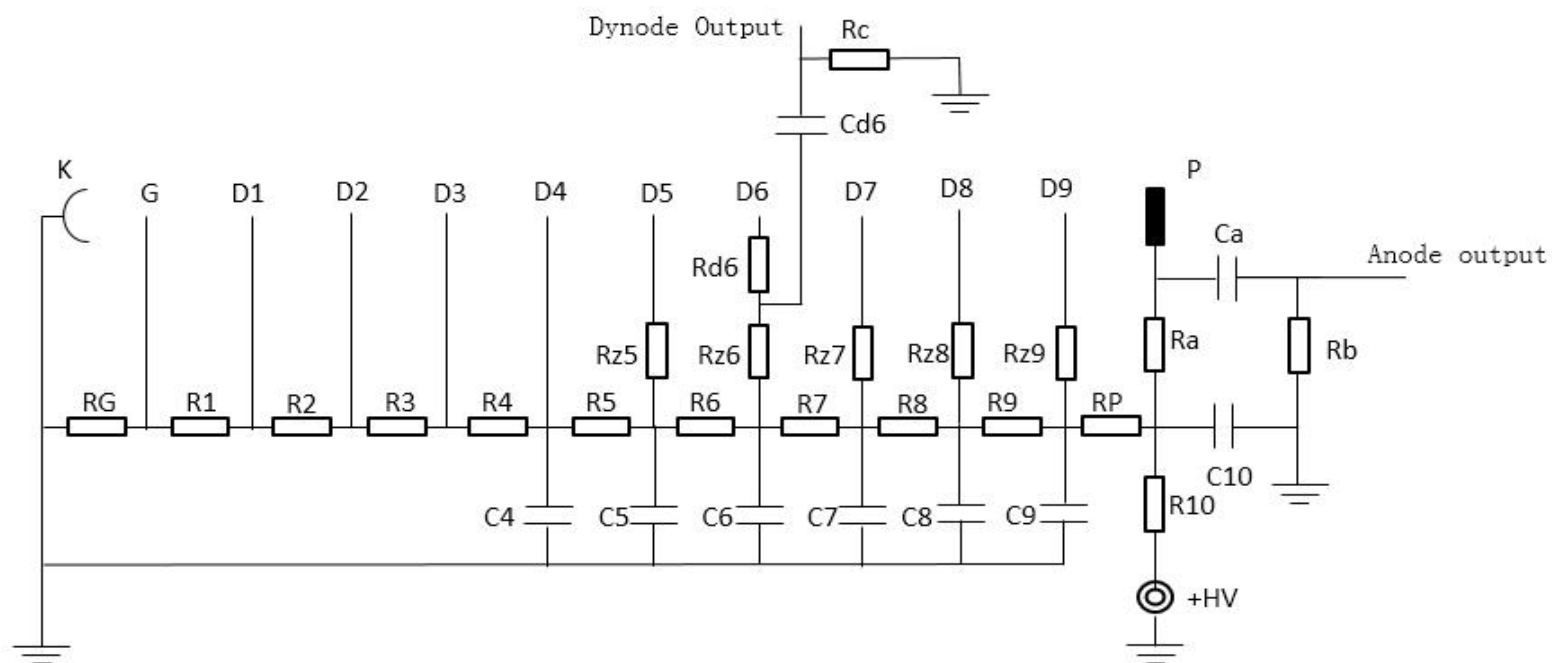
	参数	验收指标
探测器	工作高压	正高压
	单元数目	900个
	PMT几何尺寸	1.5英寸
	工作增益	$\sim 2 \times 10^5$
	动态范围	实现4个量级, 动态范围20-20万 采用阳极+打拿极读出设计
	A/D	90 ~ 150倍
	工作高压变化范围(ΔV)	<200v

测试内容:

全检: SPE, 高压响应 (工作高压), 非线性, 暗噪声;

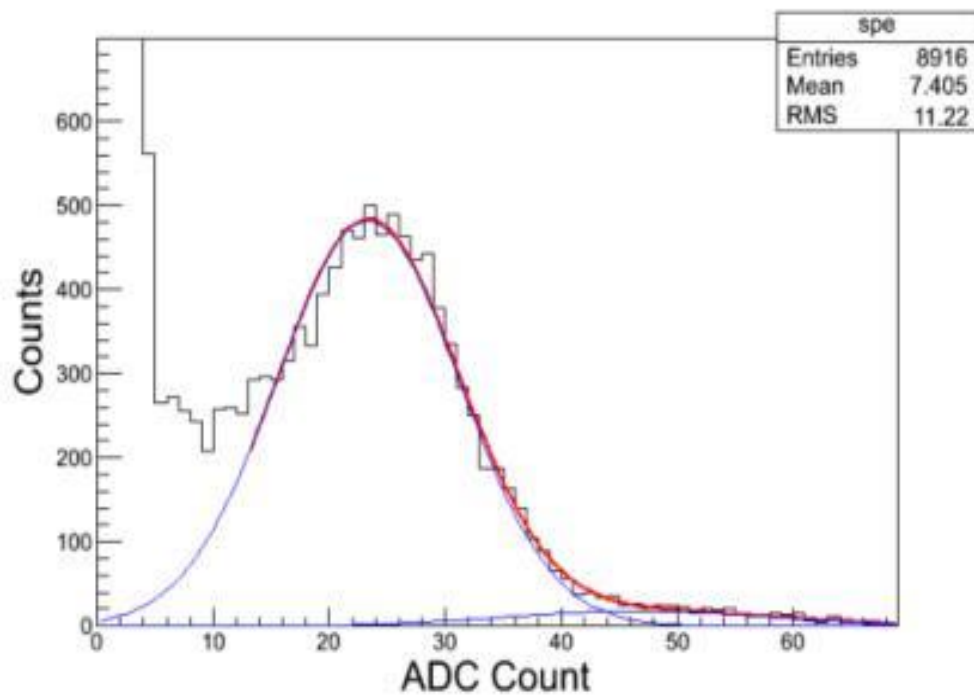
抽检: 均匀性和TTS。

XP3960型PMT——电路优化设计

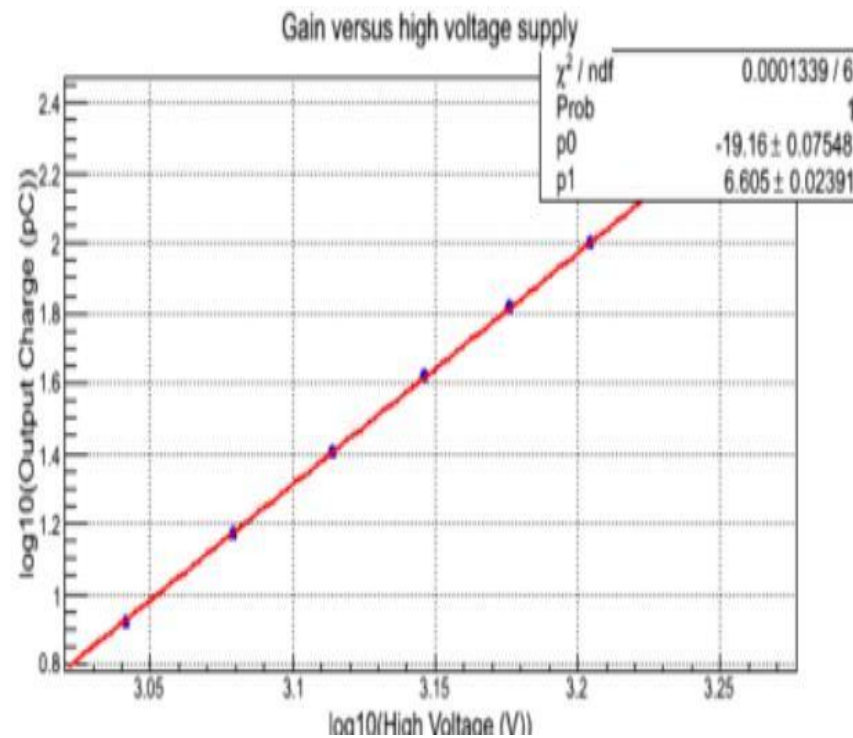


依据线性分压特点对XP3960管型PMT进行分压电路优化设计，
XP3960管型：共9级打拿极输出，采用第6打拿极读出。

XP3960分压电路的优化设计

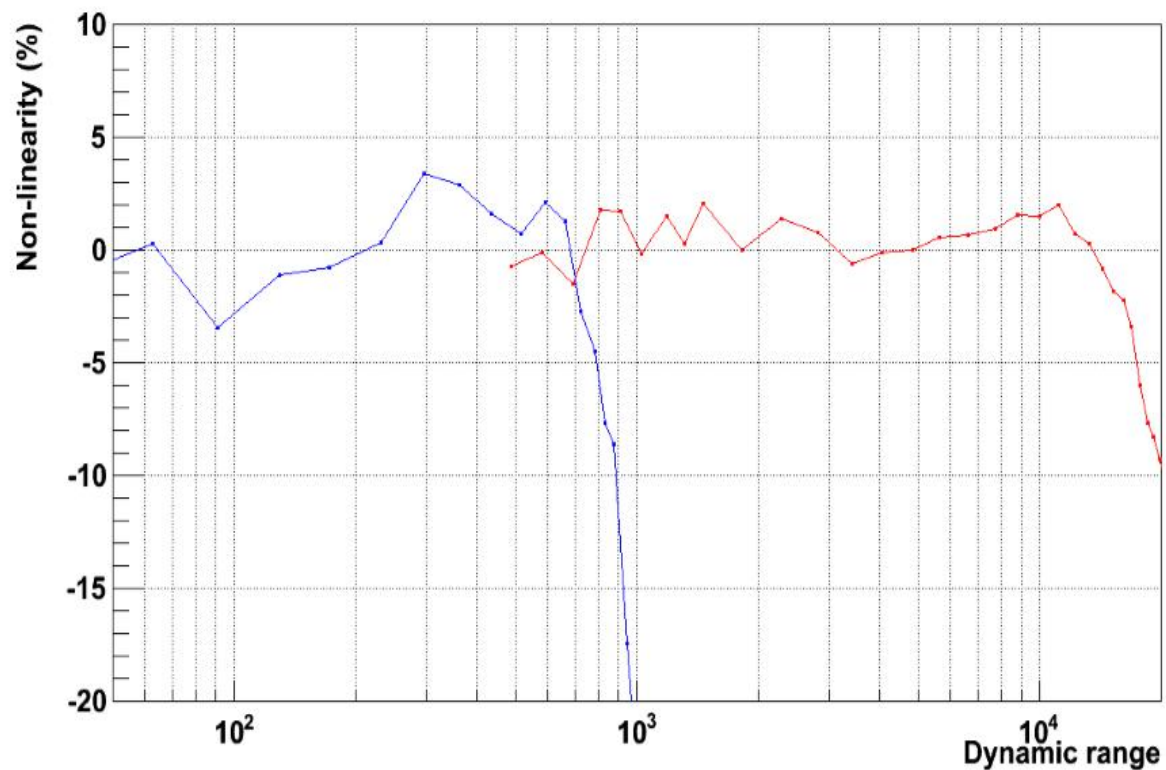


SPE@1700v Gain=7.405x10⁶

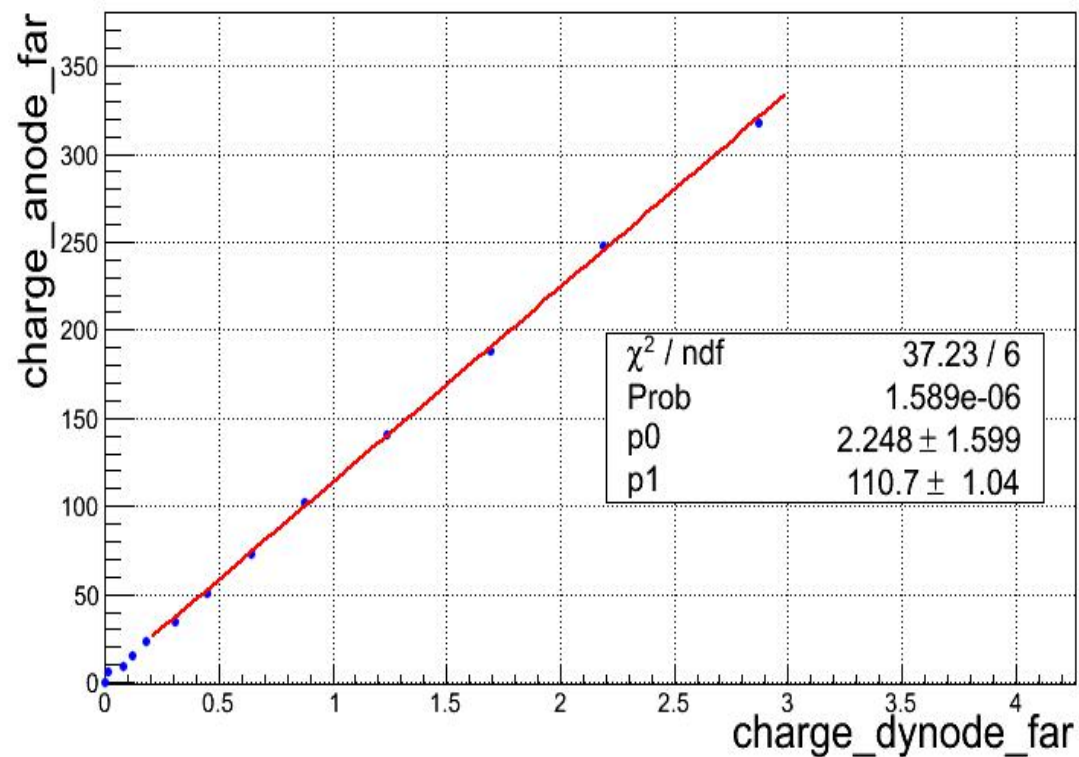


高压响应曲线, $\beta=6.605$

- 非线性测试结果



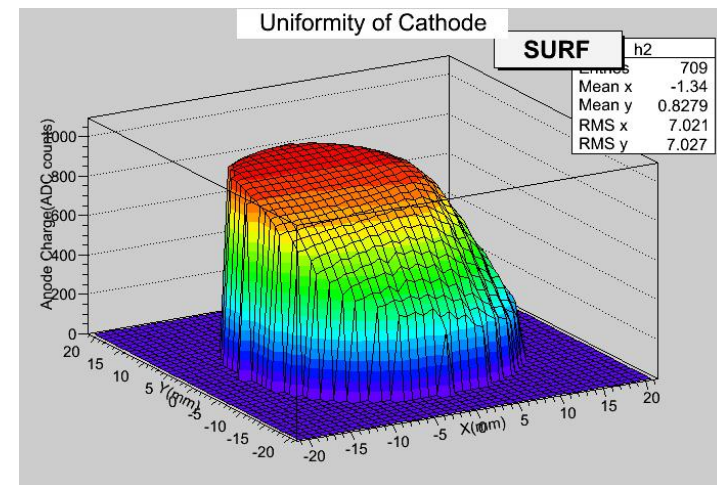
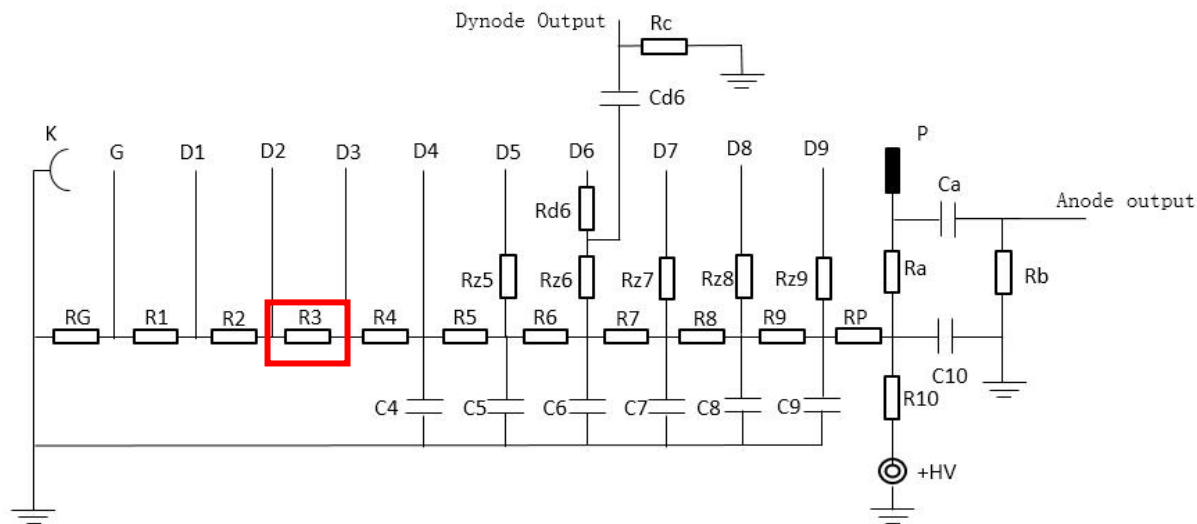
实现了4个量级的动态范围



A/D=110.7

PMT的均匀性对分压优化设计的影响

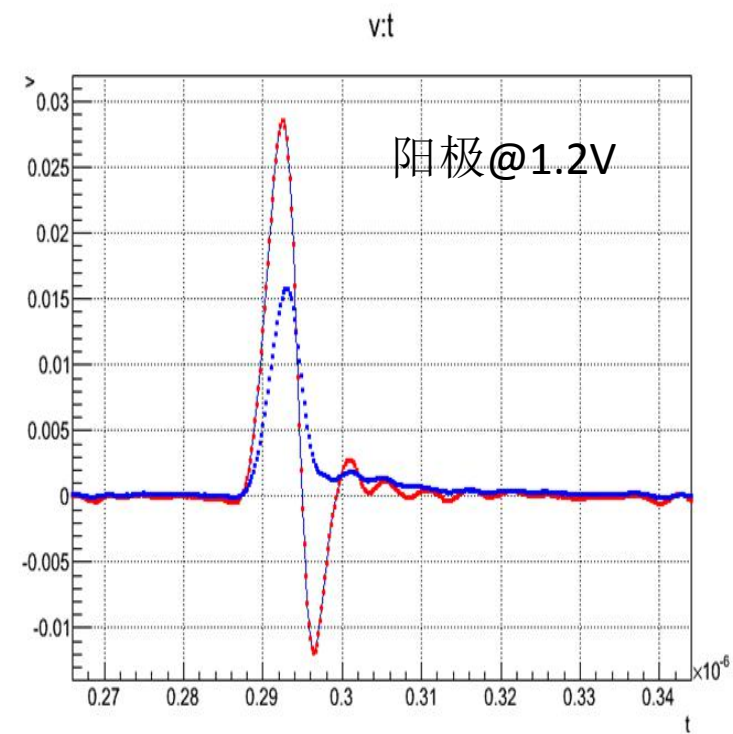
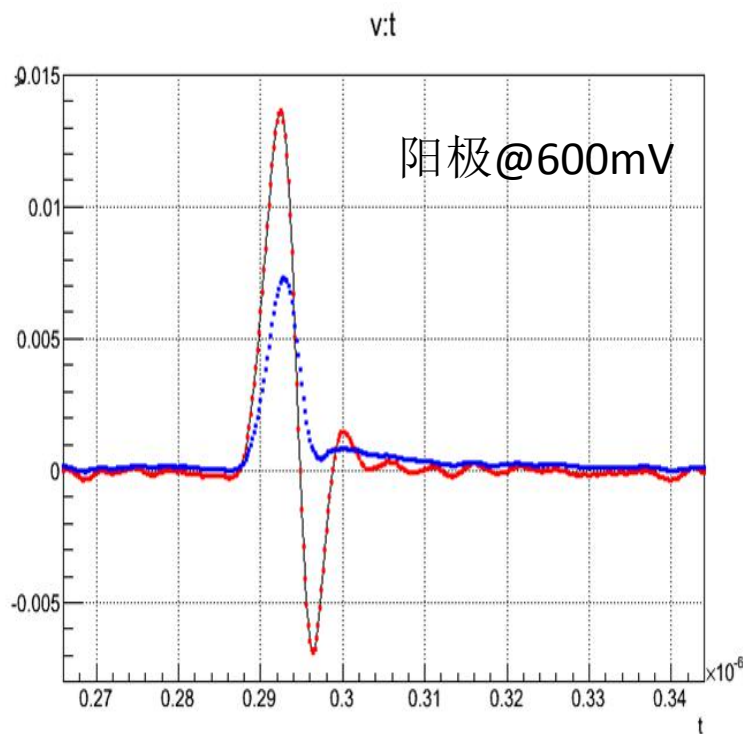
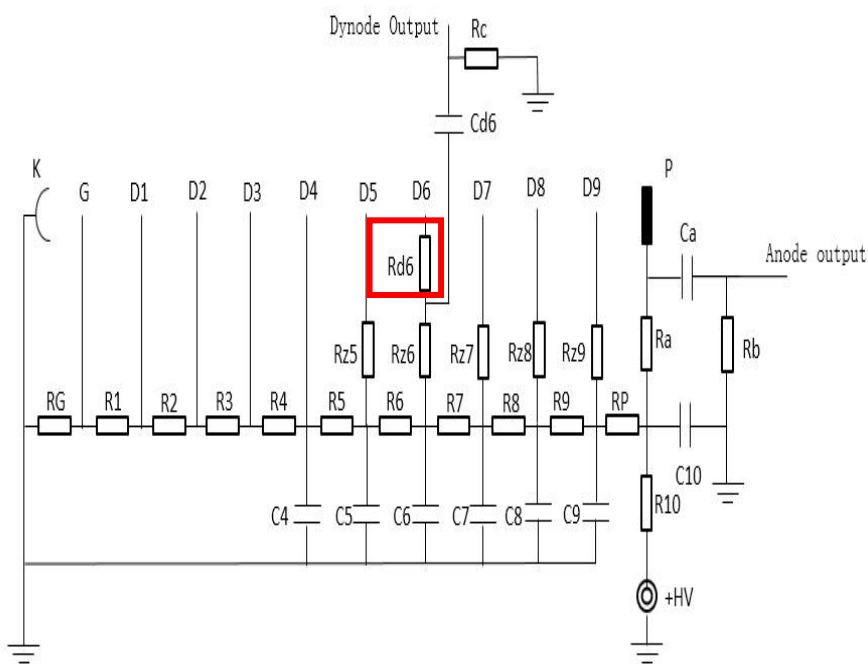
- 根据厂家建议，把电路图中R3的阻值由500k-->750k，可以有效改善光阴极面的均匀性



版本--xp3960	spe-Gain @1600V	β	HV@2E5/v	非线性 (v)		非线性(Q)		A/D(Q)	阳极Npe/万	打拿极Npe/万
				阳极	打拿极	阳极	打拿极			
R3=500K	3.001	6.583	1060	2500	540	100	33	118.3	1.35	53.5
R3=750K	3.939	6.256	993	2000	310	85	17	95.2	1.1	20.5

测试发现，R3=750K时，非线性性能下降，光电子数变化较大，最终确定分压比为：
1.5 : 5.4 : 1 : 1 : 1.2 : 1.5 : 3 : 4 : 2.4 : 2.4 : 2.4

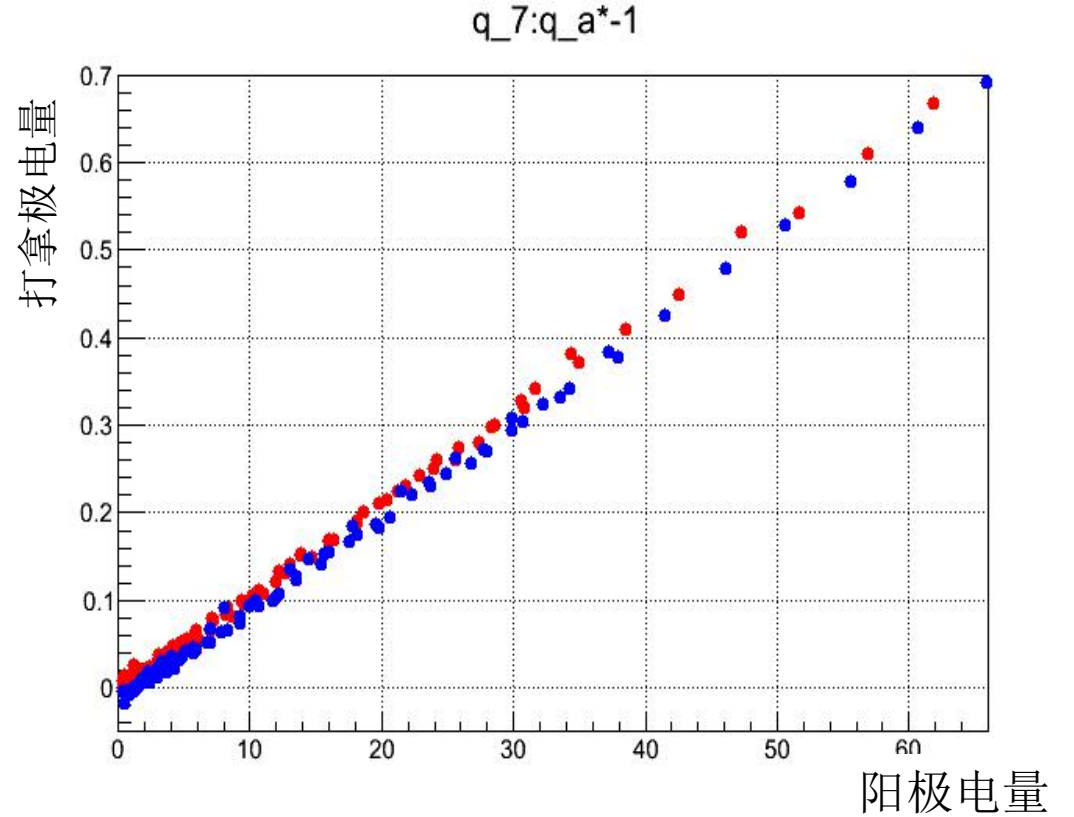
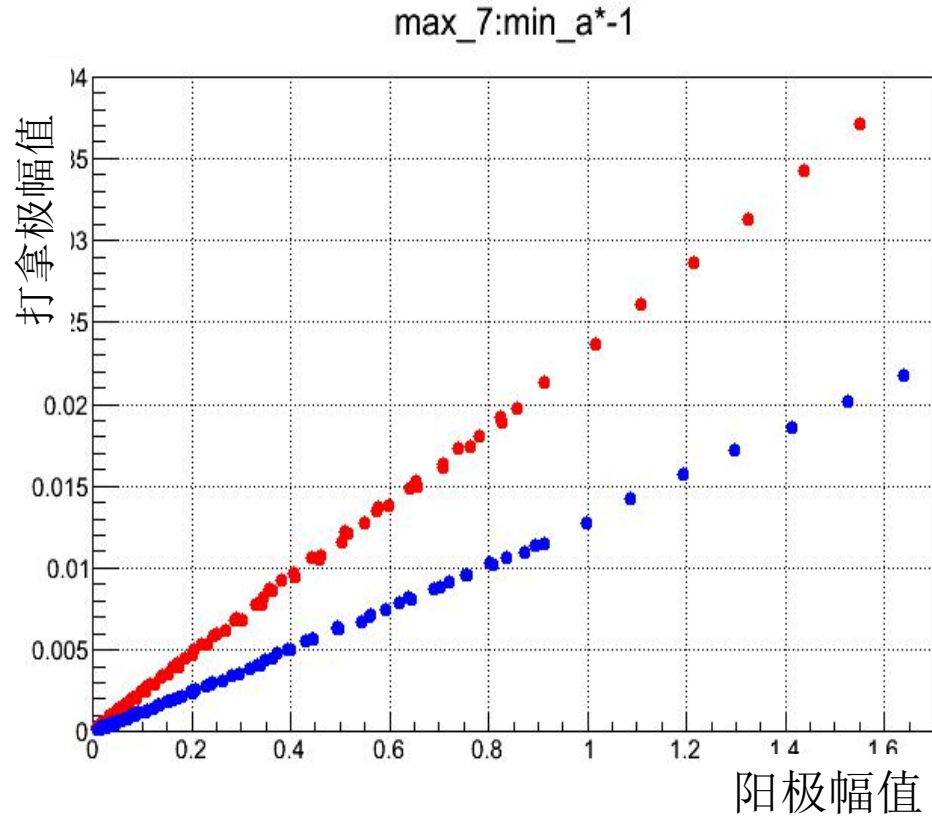
红色：输出电阻50Ω，蓝色：输出电阻330Ω



打拿极波形对比

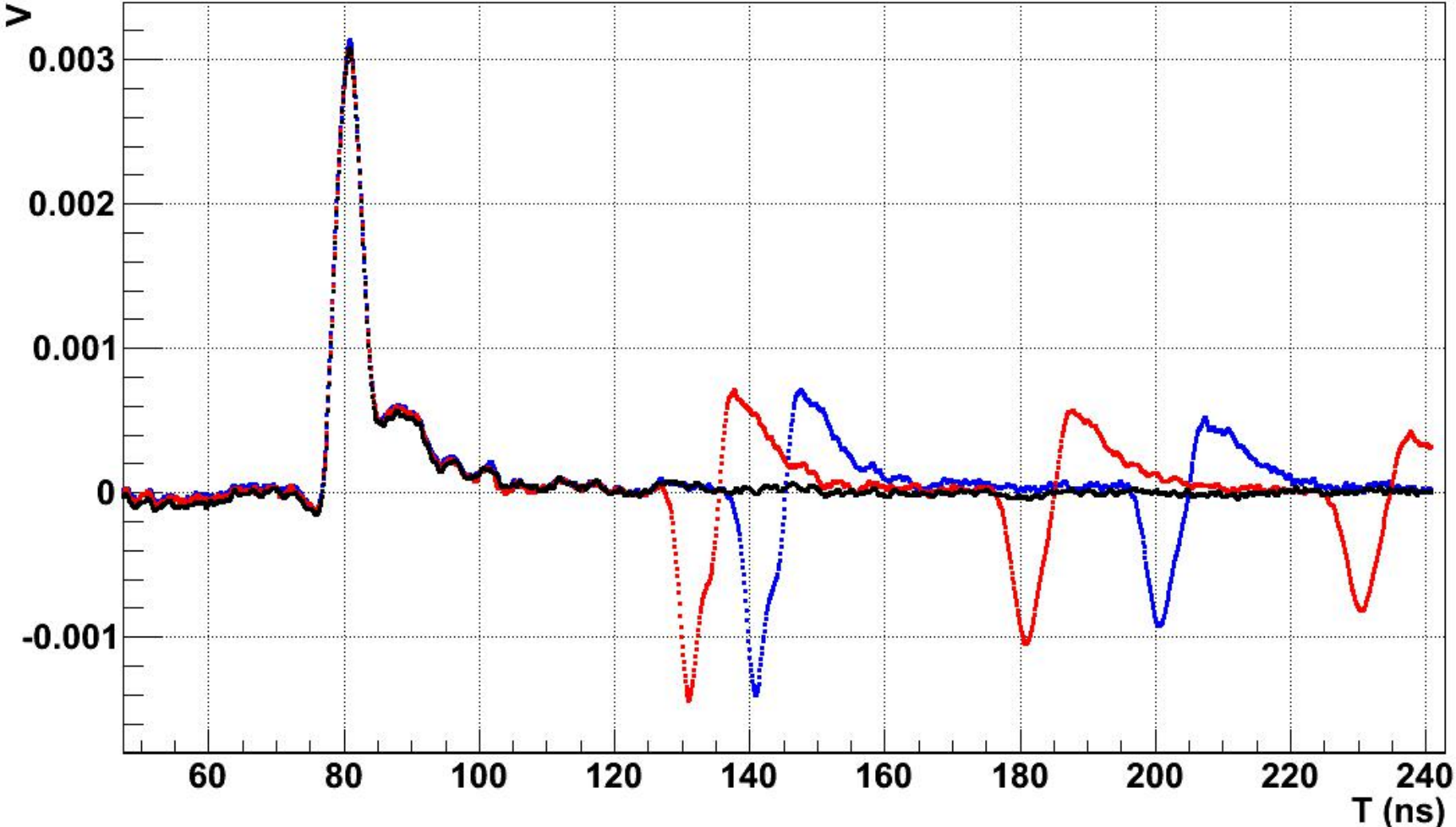
小结： 1) 输出电阻Rd6由50Ω→330Ω，可以有效消除打拿极信号震荡。

红色：输出电阻 50Ω ，蓝色：输出电阻 330Ω

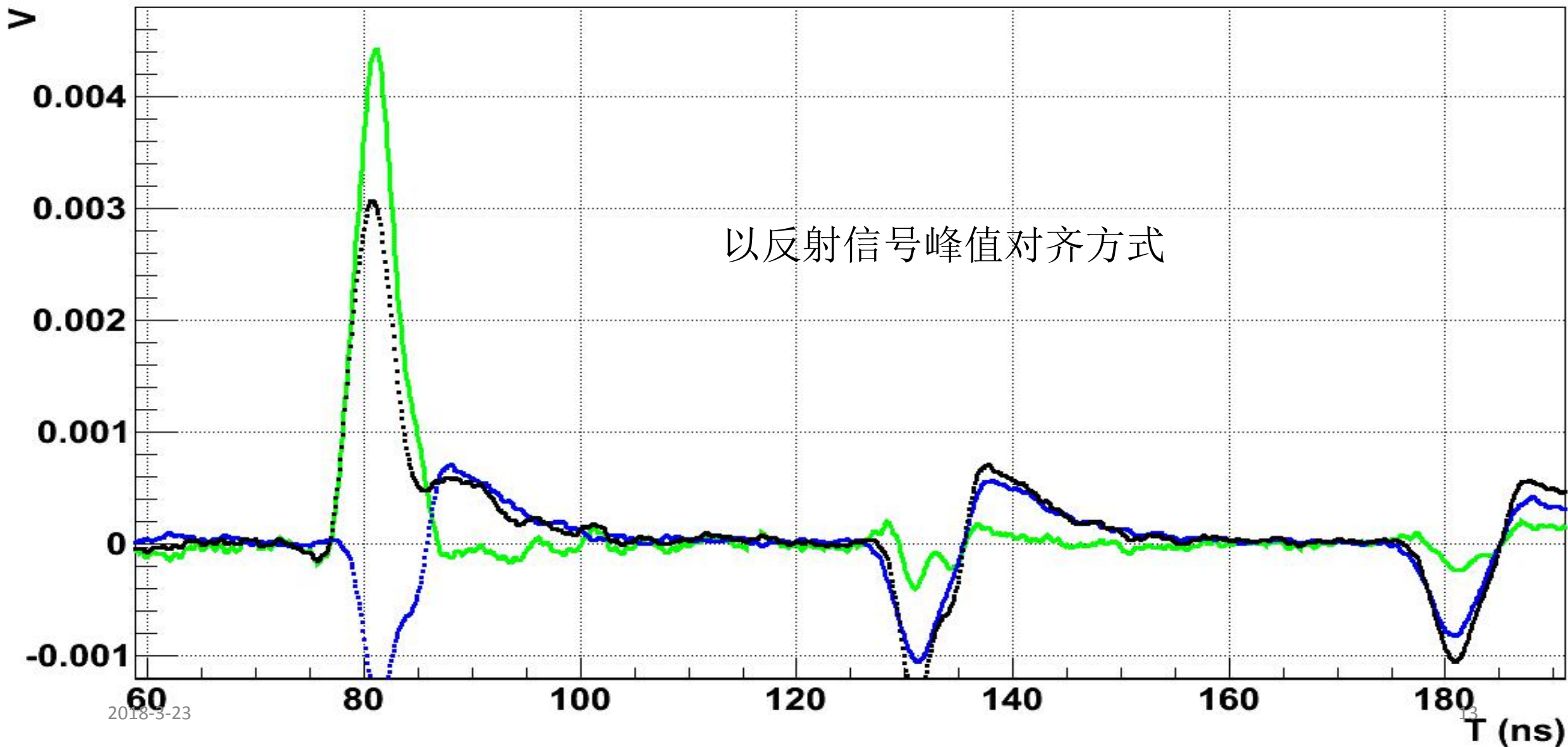


小结：输出电阻是 50Ω , 330Ω 的条件下， $\text{amp}(50\Omega) > \text{amp}(330\Omega)$ ，打拿极与阳极输出电量相当。

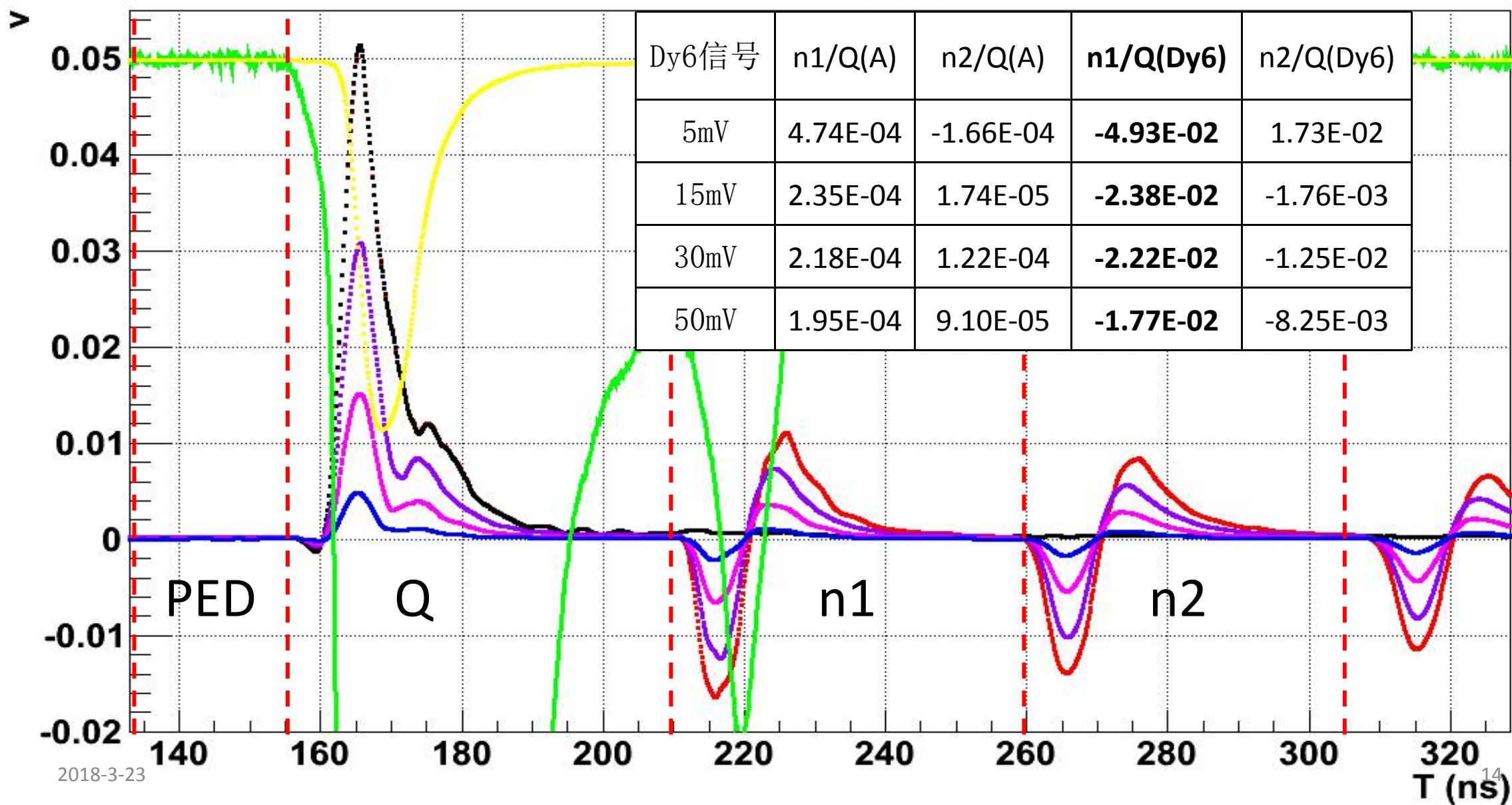
阳极反射信号对打拿极信号的影响



将反射信号（蓝色）与Dy6信号（黑色）叠加（绿色）



不同光强下阳极的反射信号 (Gain=2E5)



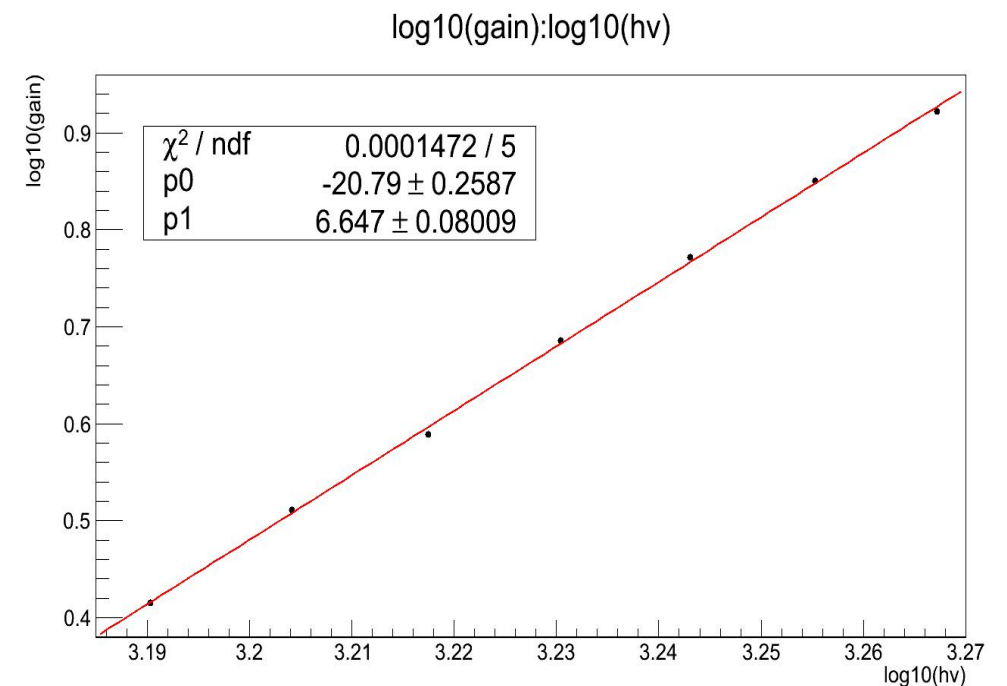
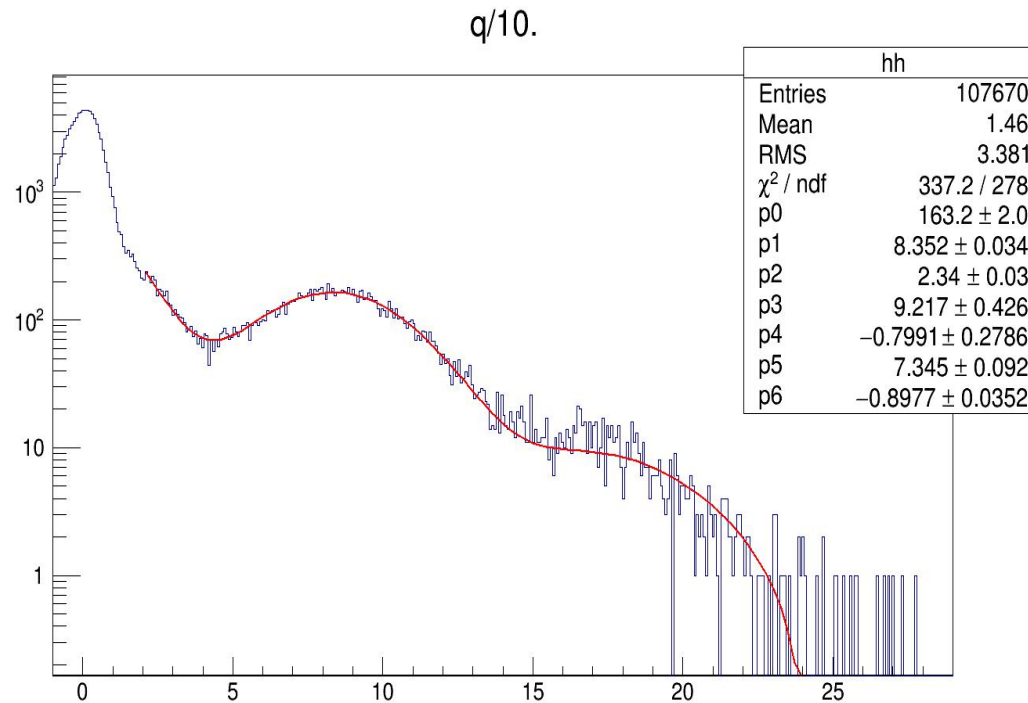
分压器输出波形信号小结

- 330Ω能有效减少干扰信号的震荡；
- 打拿极波形异常是因为阳极串扰过来的干扰信号；
- 干扰信号比阳极信号： $Q(n)/Q(A) < 0.05\%$ ；
- 干扰信号比打拿极信号： $Q(n)/Q(Dy6) < 5\%$ 。

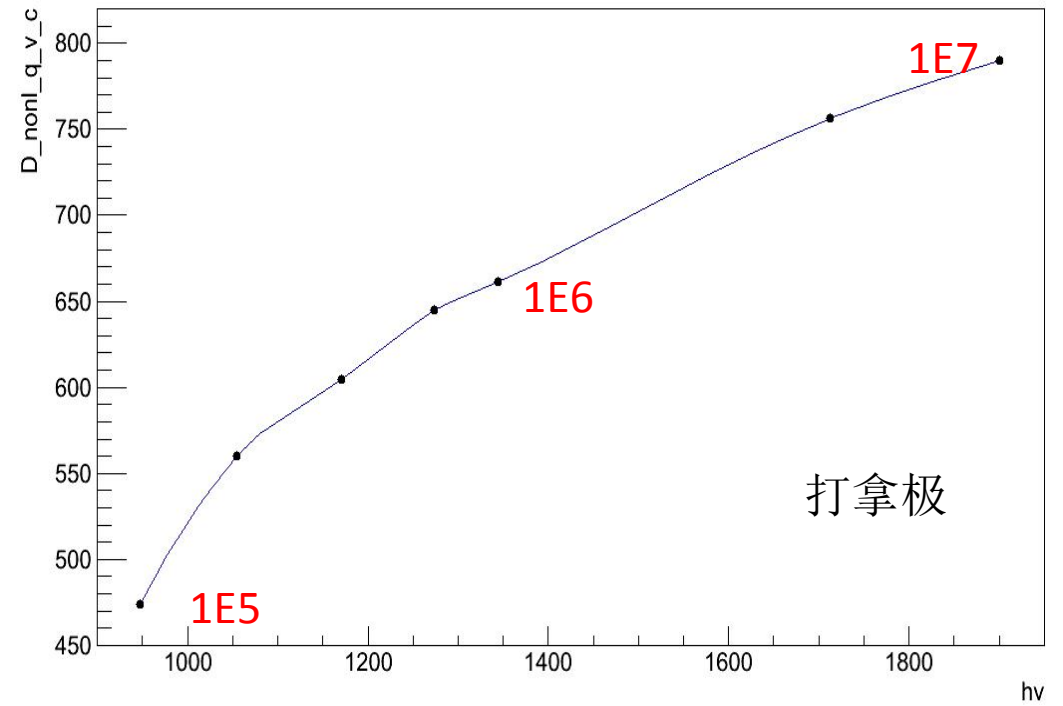
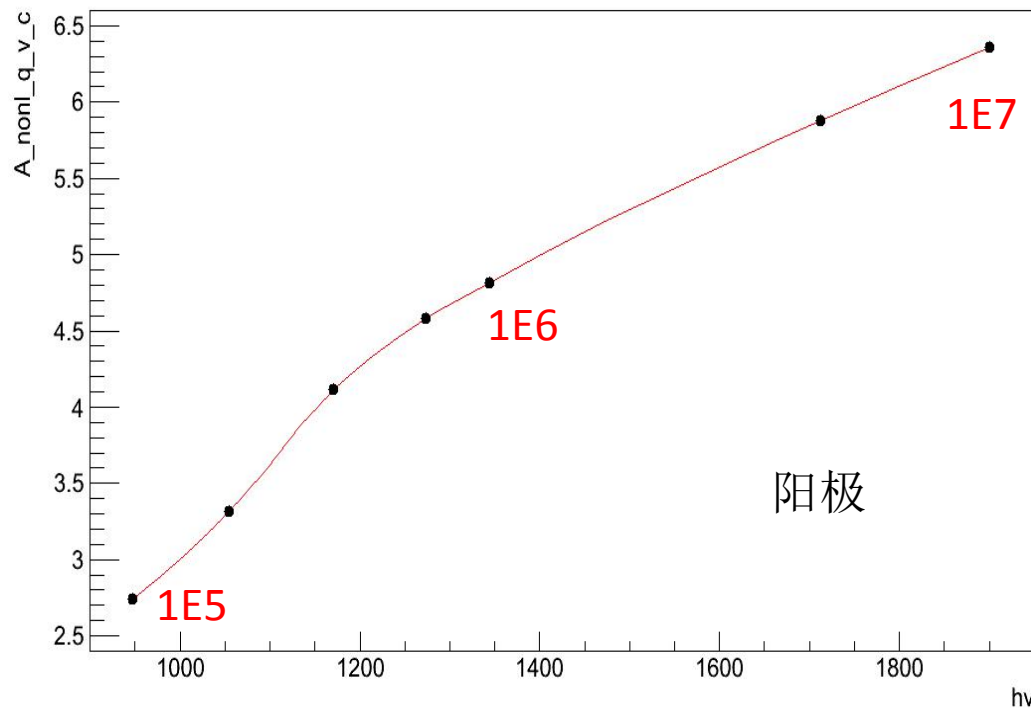
PMT在不同增益下测试非线性的测试

- 测试条件:

- 脉冲发生器: 脉冲发生器频率5KHz, LED点亮脉宽4ns, 示波器时基20ns;
- HV@1850v, Gain=8.35E6, $\beta=6.647$

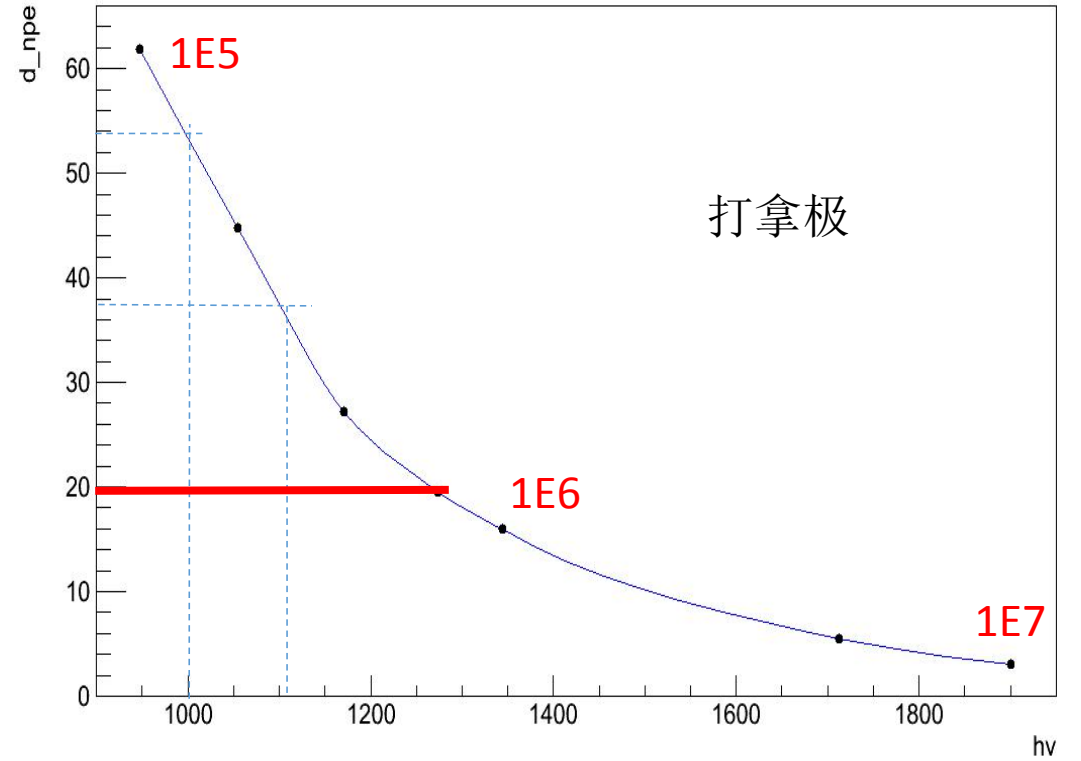
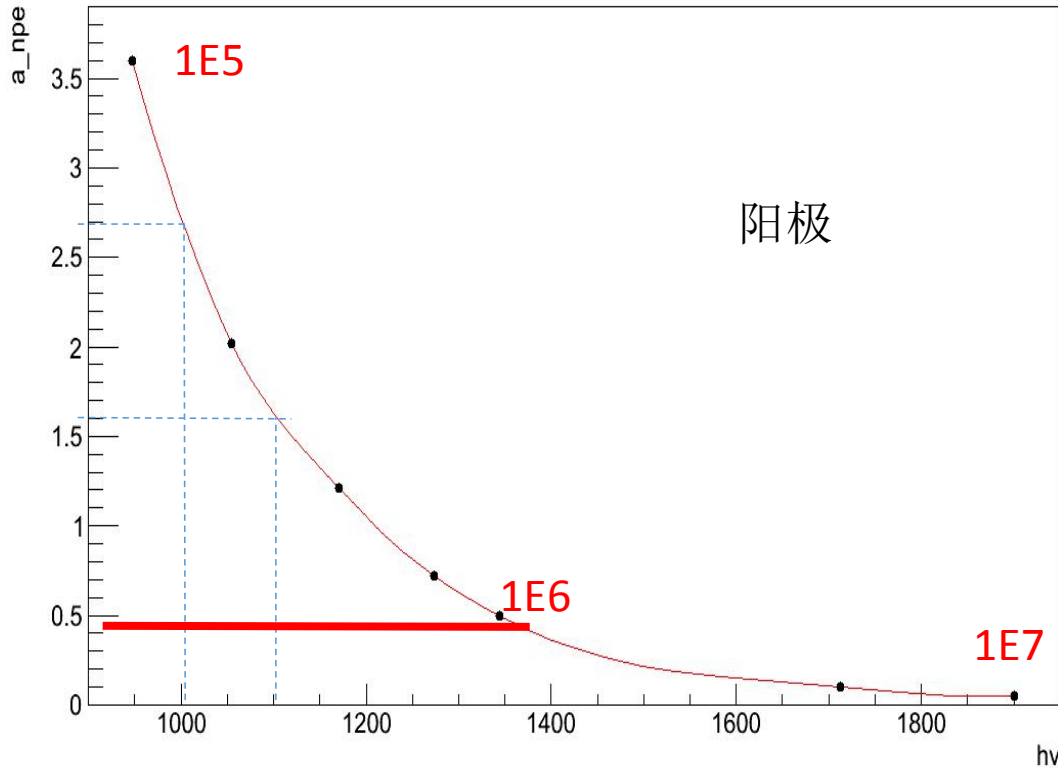


不同增益下，非线性（幅值）与工作电压的关系



小结：阳极，打拿极出现非线性时的幅值随着工作增益的增加而增加。

非线性（光电子数）与工作电压的关系



小结:

- (1) 非线性的光电子数随着工作增益的增加而减少;
- (2) 非线性性能满足分压电路设计指标。

总结与讨论

- 对于打拿极输出信号震荡的问题进行了研究，可以通过调整Rd6电阻由 $50\Omega \rightarrow 330\Omega$ ，来有效消除打拿极输出信号的震荡；
- 完成了小尺寸PMT信号检查的测试；
- 研究了不同增益下对光敏探头性能的影响；
- 测试表明，WCDA动态范围扩展系统的分压器设计达到指标要求。

谢谢

Dy6信号	n1/Q(A)	n2/Q(A)	n1/Q(Dy6)	n2/Q(Dy6)	n2/n1	Q(Dy6) (反射/无)
5mV	4.74E-04	-1.66E-04	-4.93E-02	1.73E-02	-3.51E-01	1.05E+00
15mV	2.35E-04	1.74E-05	-2.38E-02	-1.76E-03	7.40E-02	1.01E+00
30mV	2.18E-04	1.22E-04	-2.22E-02	-1.25E-02	5.60E-01	1.00E+00
50mV	1.95E-04	9.10E-05	-1.77E-02	-8.25E-03	4.67E-01	1.00E+00

- PMT_90216在不同增益下测试非线性的测试结果

增益	测试电压	阳极幅值 (v)	打拿极幅值 (mv)	A_NPE	D_NPE
1.00E+05	947	2.74	473.74	3.6	61.85
2.00E+05	1055	3.316	559.756	2.02	44.76
4.00E+05	1171	4.114	604.4	1.21	27.23
7.00E+05	1274	4.582	644.585	0.72	19.57
1.00E+06	1344	4.816	661.051	0.498	15.92
5.00E+06	1712	5.879	756.22	0.097	5.53
1.00E+07	1901	6.361	790.034	0.0466	3.004

小结：阳极，打拿极出现非线性时的幅值随着工作增益的增加而增加；光电子数随着工作增益的增加而减少。