CSNS探测器系统年度运行总结

探测器系统

2019.10.22，东莞

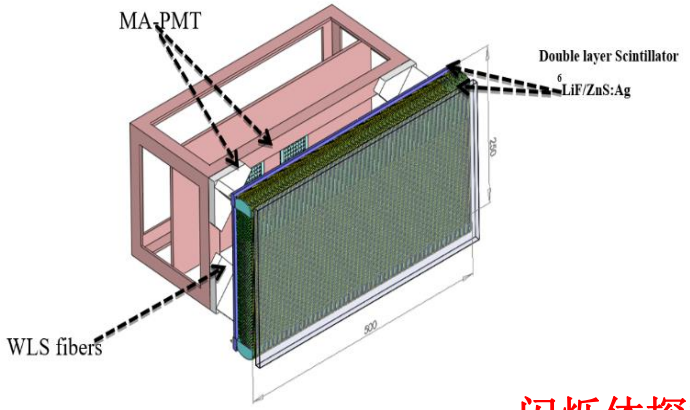
中国散裂中子源年会

CSNS
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

主要内容

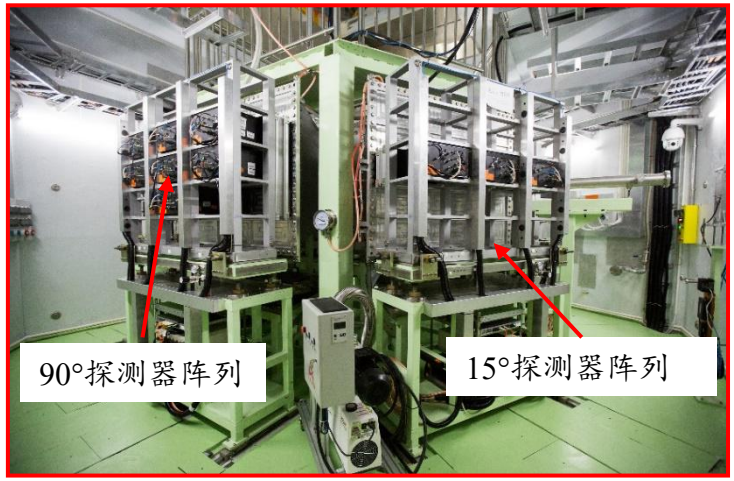
- GPPD 探测器运行情况
- MR 探测器运行情况
- SANS 探测器运行情况
- 总结与下一步工作计划

GPPD 主探测器---闪烁体中子探测器

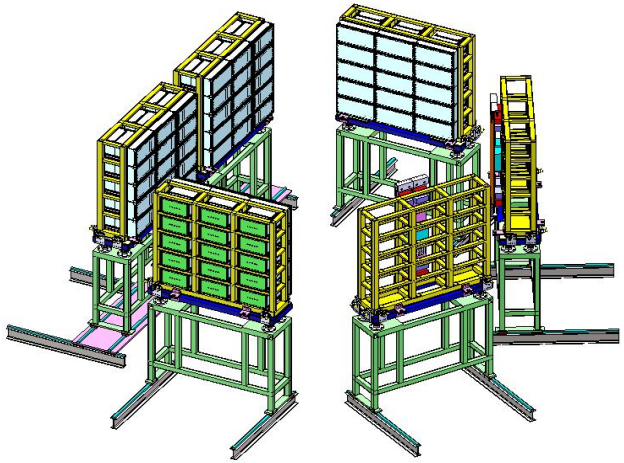


闪烁体探测器单元

- 探测器单元尺寸：250 mm*500mm*500mm
- 一期38个探测器单元，高角6列18个，90度角6列14个，低脚6列6个；



GPPD闪射室内的探测器阵列



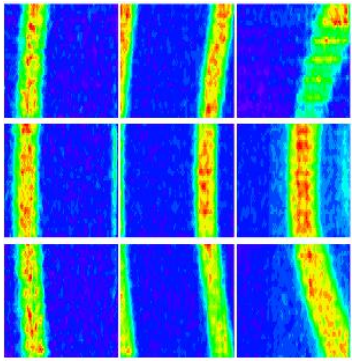
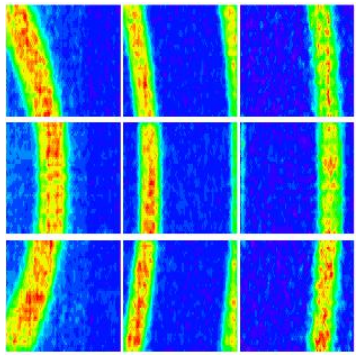
闪烁体探测器阵列在谱仪散射室内的位置

年度运行维护&夏季检修内容

- 参加人员：孙志嘉、唐彬、杨桂安、黄畅、于潜、滕海云、许虹
- 具体内容：
  - ✓ **2019年夏季检修：**
    - 高角移4台探测器单元至低角位置，探测器阵列外围中子屏蔽材料改装；
    - UPS、温度高压监测、冷却气路等系统例行维护；
  - ✓ **2020年夏季检修：**
    - 高角、低角位置新增8台探测器单元, 安装调试；
    - 冷却气路升级改造；
    - 机柜间改造：安装静电架空地板后配套线缆的重新布置；
    - UPS、温度高压监测等系统例行维护；
  - ✓ 机器研究： 热噪声计数率稳定性；升功率前后同样品计数率变化对比；
  - ✓ 日常运行维护： 温度高压等监测报警信息的现场处理
  - ✓ 探测器升级

GPPD主探测器----2019年夏季检修

- 完成4台探测器单元从高角至低角的移位，现场安装调试
- 探测器阵列屏蔽材料的改装；
- UPS、温度高压监测、冷却气路等系统例行维护。

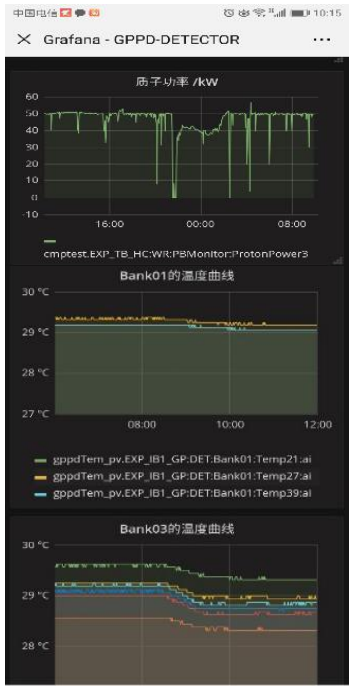



高角探测器阵列上观测到的样品衍射环

探测器外围的中子屏蔽改装

UPS例行维护

探测器单元移位，现场安装调试



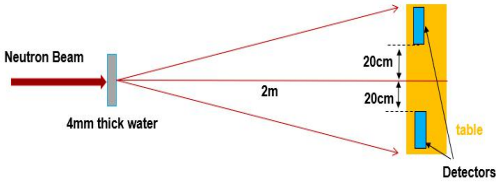
温度高压监测报警界面

GPPD主探测器----2020年夏季检修

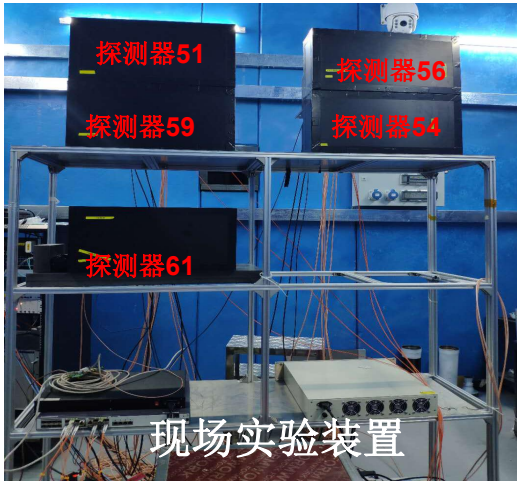
- 高角、低角位置新增8台探测器单元, 安装调试；

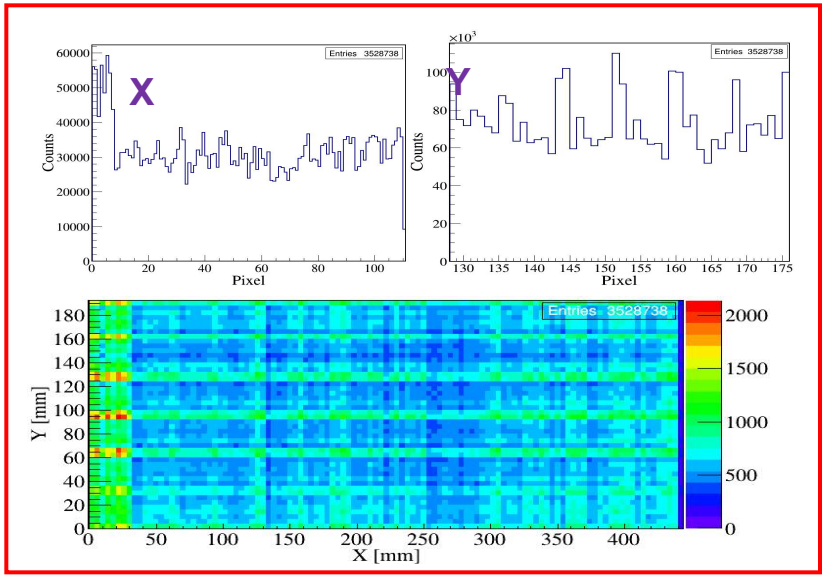
探测器室体制作（创研院联合实验室）

新探测器单元的性能测试与优化@20号束线

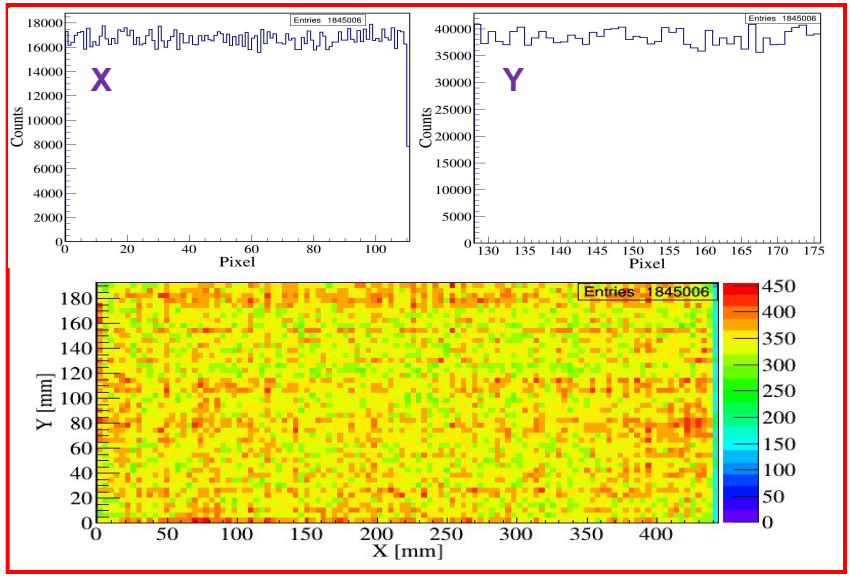


- 利用水将直通束散射开，通过修改探测器PMT高压和电子学通道阈值，来优化探测器探测效率均匀性；





优化后



GPPD主探测器----2020年夏季检修

- 高角、低角位置新增8台探测器单元, 安装调试;

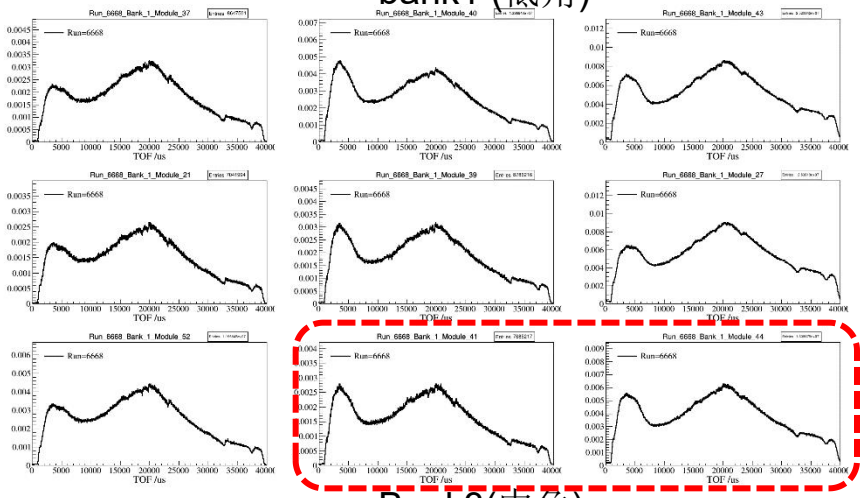
10台探测器单元中挑出8台在现场安装

RUN	module	Detector	Voltage(V)			IP	Config	Remarks
			X1	X2	Y			
first	42	56	1020	1037	990.6	10.1.33.58	RUN1793	备选1
	43	54	987.9	990	958.5	10.1.33.59		OK
	44	51	1055	1055	967.4	10.1.33.62		OK
Second	41	57	1150	1011	970	10.1.33.60	RUN1824	OK
	42	61	1032	1050	1020	10.1.33.63		备选2
	43	58	1043	1045	1017	10.1.33.61		OK
	44	50	1069	1069	1004	10.1.33.64	RUN1822	OK
third	42	59	1083	1080	1100	10.1.33.57	RUN1903	OK
	43	62	1075	1066	1028	10.1.33.51		OK
fourth	41	52	1100	1120	1100	10.1.33.56	RUN1928	OK

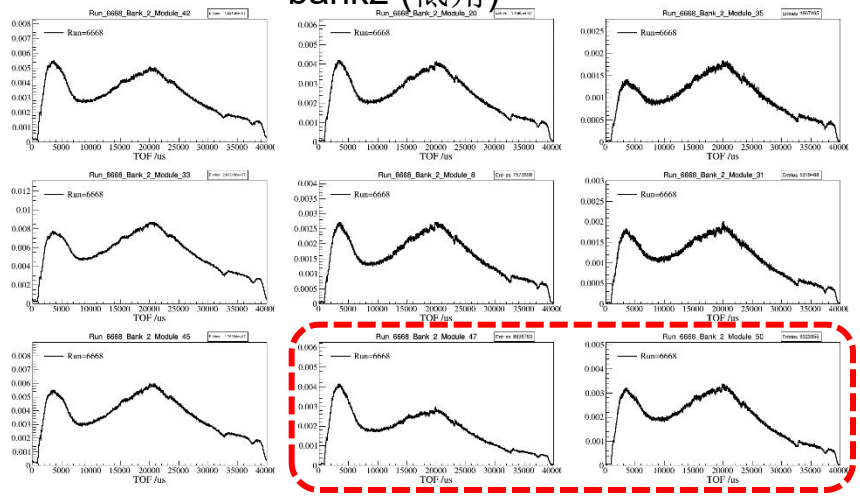
GPPD主探测器----2020年夏季检修

- 新增8台探测器单元在谱仪上的测试：对比新8台探测器单元的TOF谱分布未见较大差异

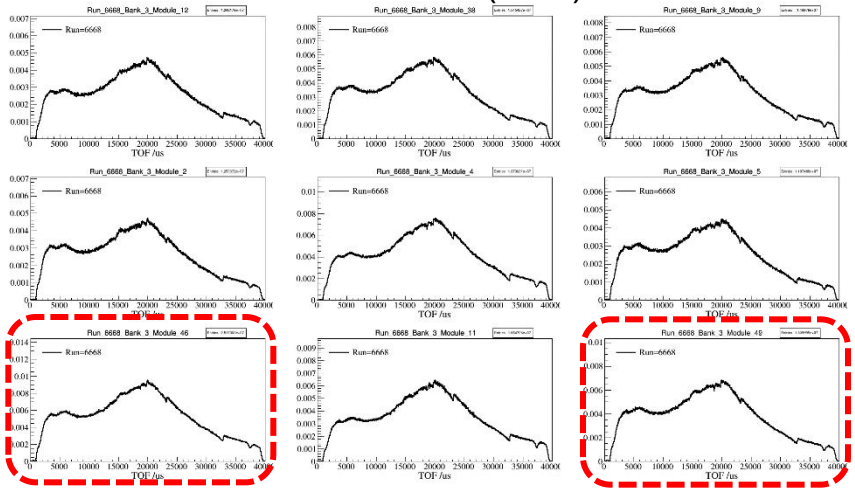
bank1 (低角)



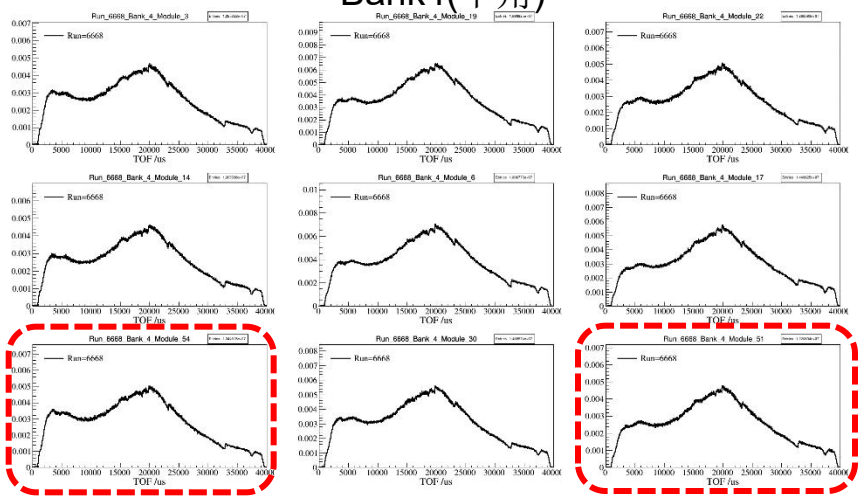
bank2 (低角)



Bank3(中角)



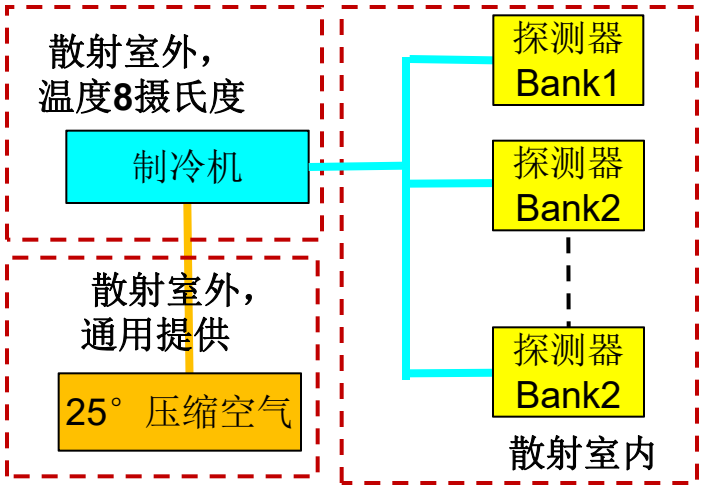
Bank4(中角)



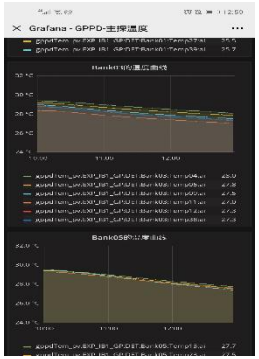
GPPD主探测器----2020年夏季检修

- 冷却气路升级改造；
- 机柜间改造：安装静电架空地板后配套线缆的重新布置；

冷却气路升级



制冷机出口温度10~13度



探测器单元内温度：29度降至23度

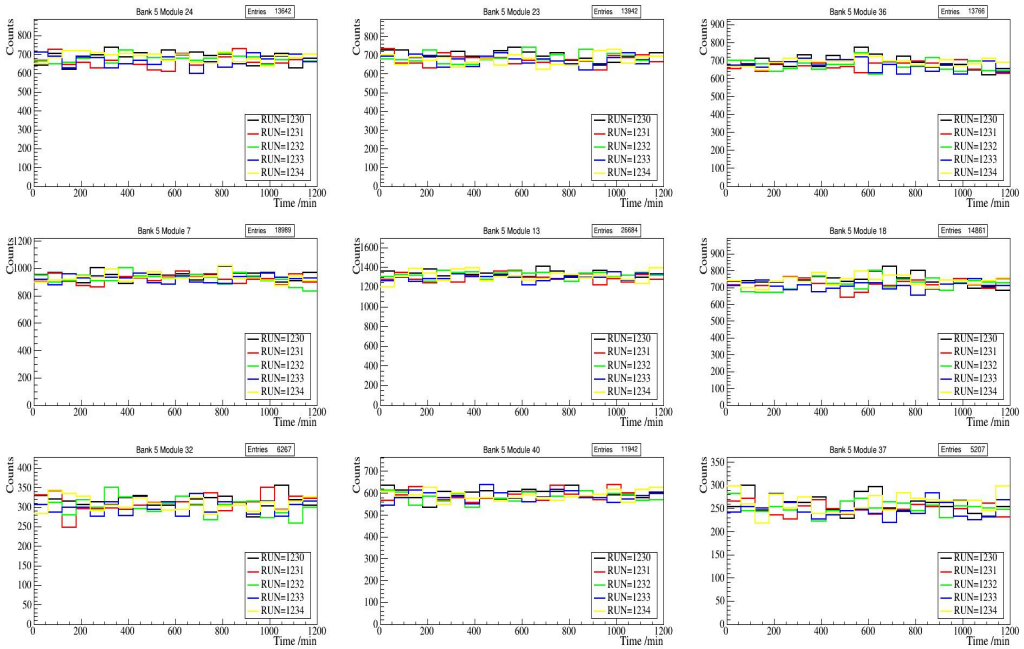
机柜间内线缆重新布置

位置	所属系统	名称	数量	备注
谱仪散射厅——二楼控制室	DAQ	铠装光纤	2根*6bank=12根	每个bank使用1根，备用1根
	电子学	T0双芯LEMO线	2根*6bank=12根	每个bank使用1根，备用1根
	探测器	主探测器高压线	（5根备用+3*15）*6bank=300根	
		Beam monitor高压线	2根*3=6根	每个位置使用1根，备用1根
		测温系统网线	2根*6bank=12根	每个bank使用1根，备用1根
	探测器	测温信号线	串联，1进1出	

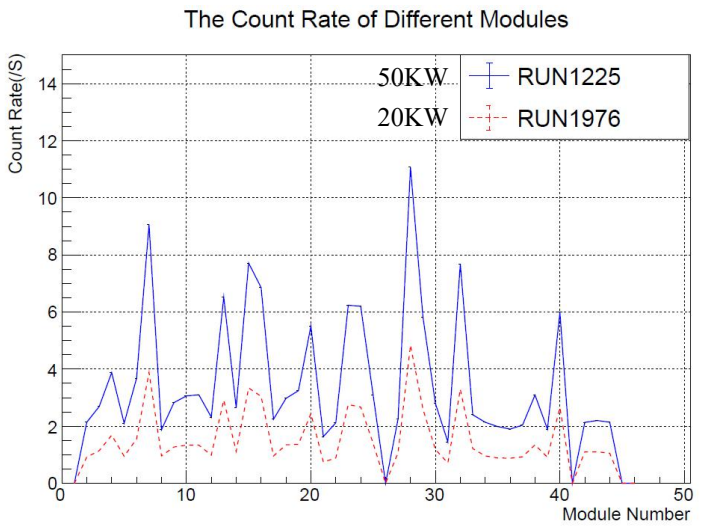
GPPD主探测器----机器研究

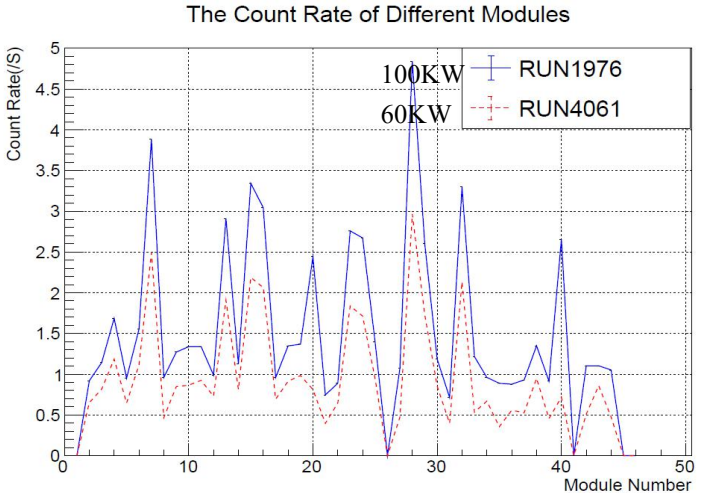
- 噪声计数率稳定性的长期测试；
- 升功率前后探测器计数率变化。

Bank5 噪声计数率变化（2019~2020）



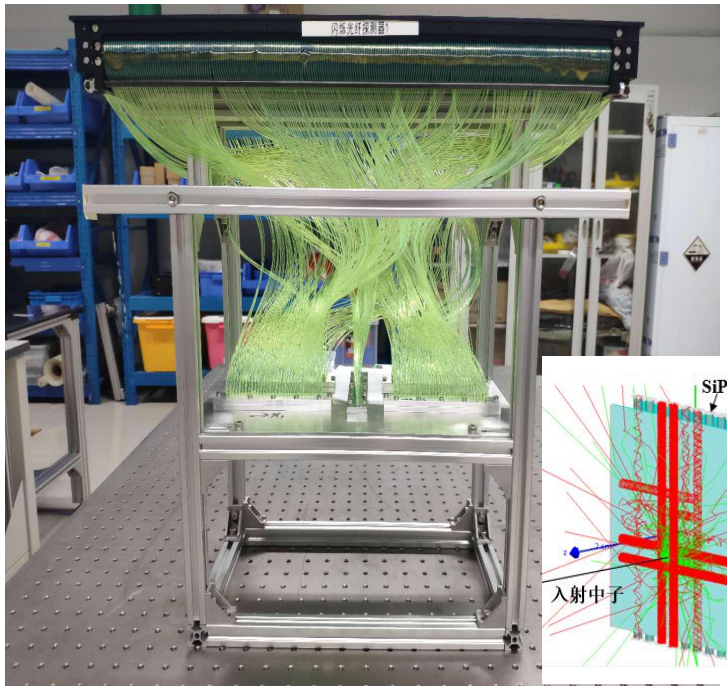
- 关注 检修期间的复杂现场环境，探测器避光部分是否有破损导致漏光；
- 光倍管是否有老化或通道损坏，导致增益变差，热燥声计数发生较大变化。

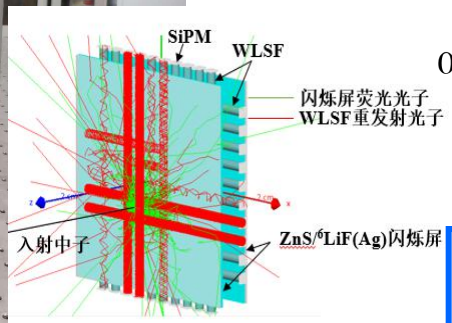


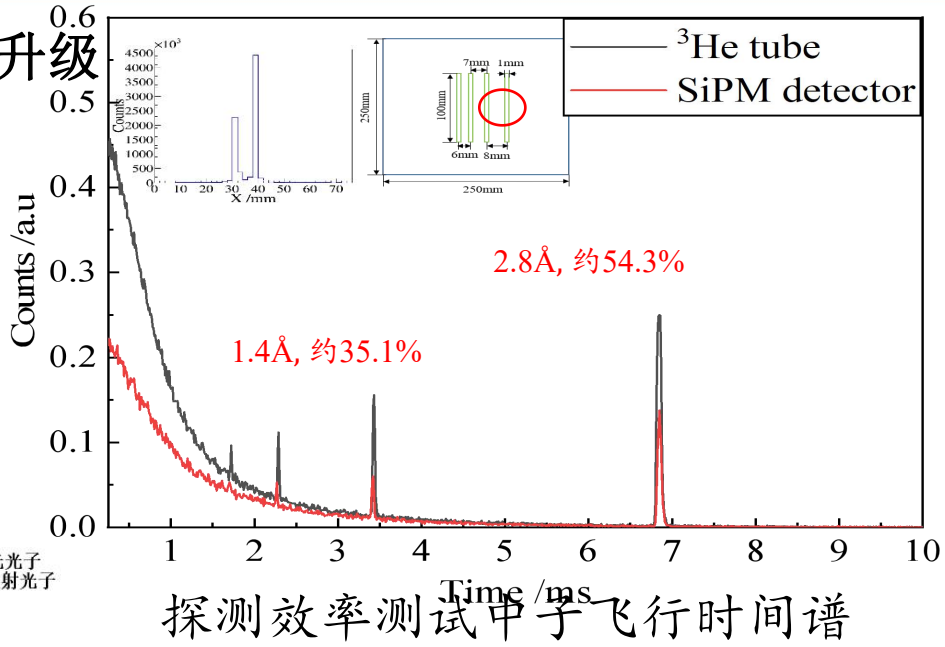


- 同个样品，不同束流功率下，各个探测器单元的中子计数率相应增加。

GPPD主探测器----未来探测器升级







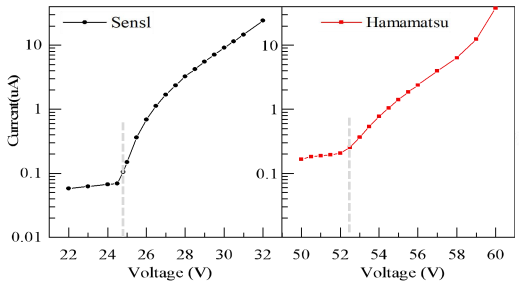
探测效率测试中子飞行时间谱

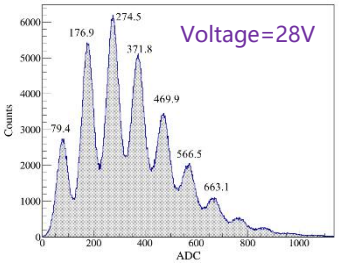
基于SiPM读出的平板型闪烁体中子探测器

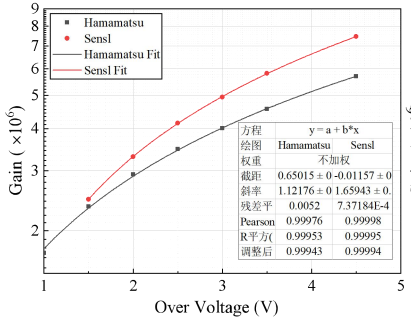
- 量子效率和增益较高，不经过电子学可以在示波器上直接观测到中子信号；
- 增益对温度和电压漂移敏感，需要考虑温度控制或补偿；
- 样机飞行时间谱与标准³He管基本一致，峰位一致性较好；证明样机工作正常，样机对1.4Å和2.8Å中子探测器效率分别为35.1%和54.3%，位置分辨最小可以做到为1mm×1mm；

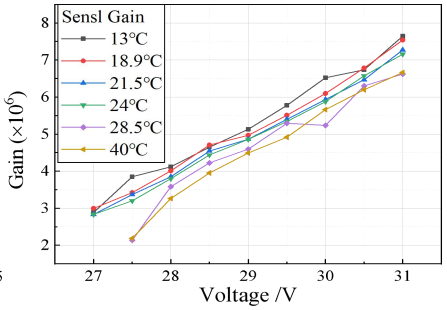
GPPD主探测器----未来探测器的升级

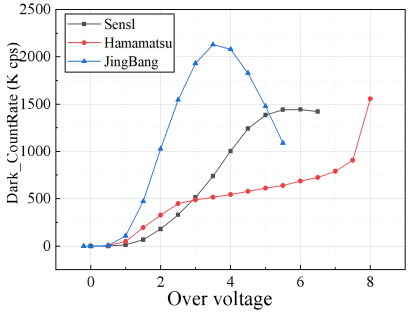
➢ SiPM性能测试





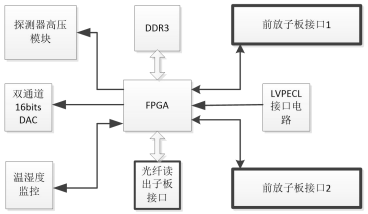






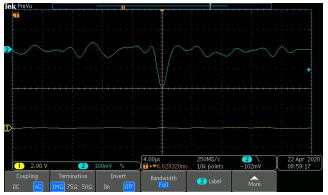
- ✓ 四个器件，Sensl + Hamamatsu +两个国产；
- ✓ 伏安特性曲线，单光电子峰，增益，温漂及暗噪声计数率测试；
- ✓ Sensl最佳，符合预期；
- ✓ 耐辐照性测试中……

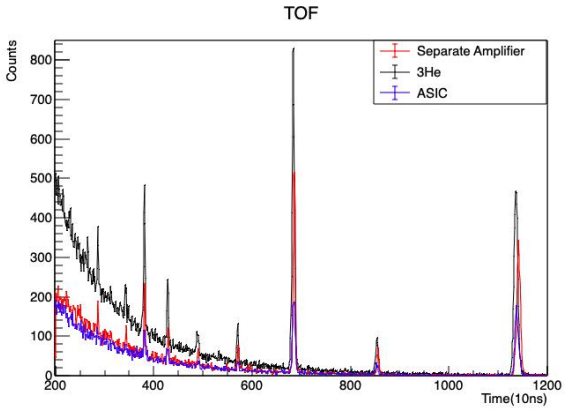
➢ ASIC电子学调试



- ☐ 数据处理母板
- ☐ 光纤子板
- ☐ 高压控制板
- ☐ ASIC前放板

束线测试



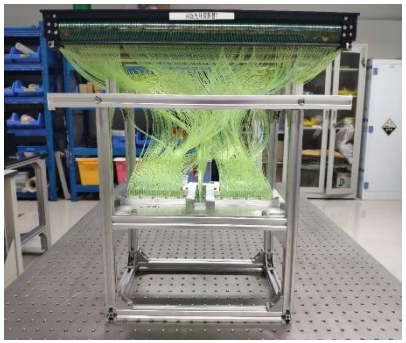


ASIC电子学、分立式电子学分别和探测器连接得到的TOF谱

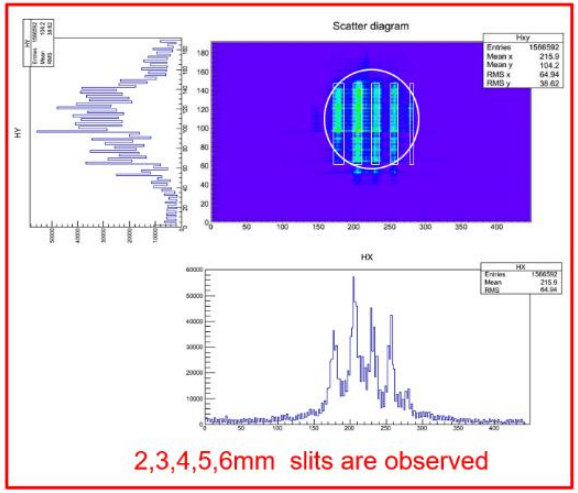
- ✓ ASIC电子学正常工作，测试得到了探测器系统的位置分辨和探测效率；
- ✓ 探测效率低于分立电子学，需优化；

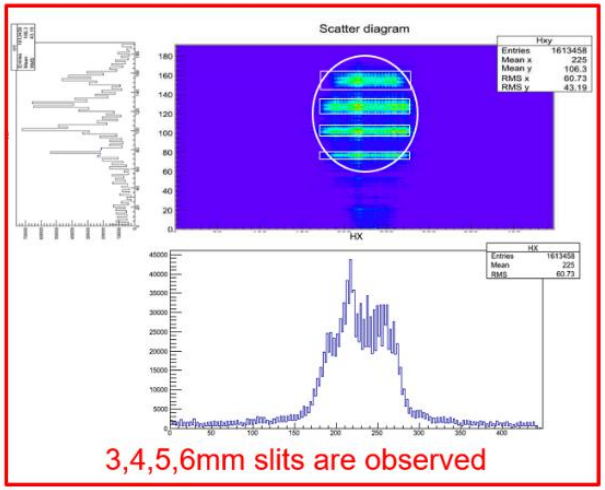
GPPD主探测器运行情况小结

- 运行稳定可靠，无故障机时，顺利配合谱仪开展实验研究；
- 现场问题及时排查：
  - ✓ 运行期间出现一次温度过高报警，升级了冷却气路装置；
  - ✓ 出现一次单台探测器通讯终端问题，更换对应的电子学通讯模块（老化问题）；
  - ✓ 出现一次单台探测器无响应问题，更换对应的电子学板（供电通道故障，烧坏电路板）；
  - ✓ 噪声本底长期测试，确保探测器稳定可靠；
- 顺利完成**GPPD**维改项目：加装8台探测器单元；
- 继续探测器升级改造，实现性能上的提升：高位置分辨、高探测效率，小死区……



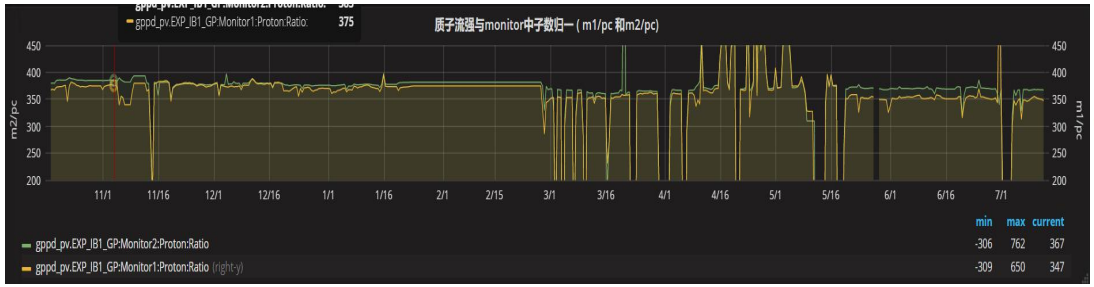
The smallest pixel of the detector change from 4*4mm^2 to 1*1mm^2



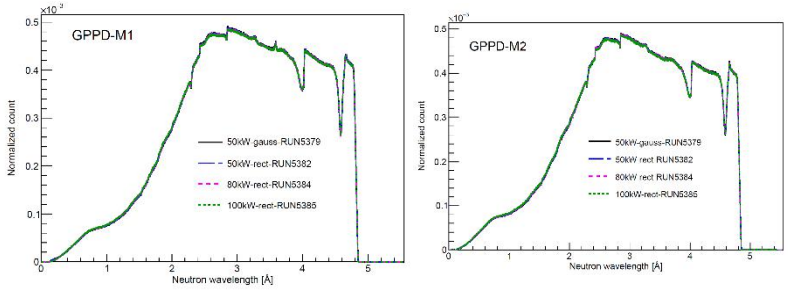


GPPD束流监测器运行情况

- 上一轮实验，3台束流监测器稳定运行。



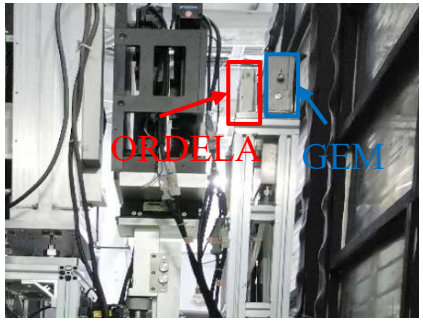
上一轮运行情况



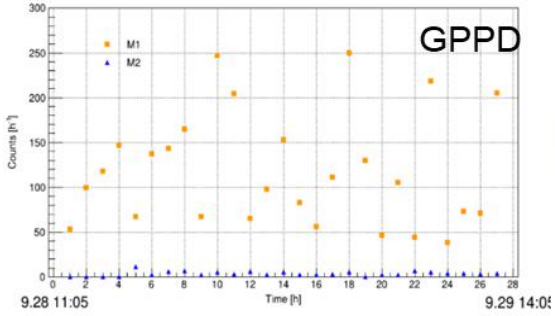
不同功率下M1/M2波长谱对比

加速器50/80/100kW功率下监测器测到能谱基本一致，M2瞬时计数率接近300kHz。

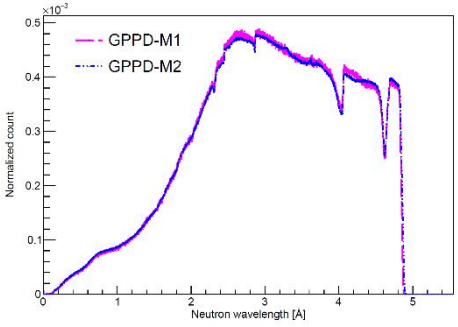
- 夏季检修：M1由GEM->^{3}He监测器（ORDELA），M2/M3均未改动，升级电子学。



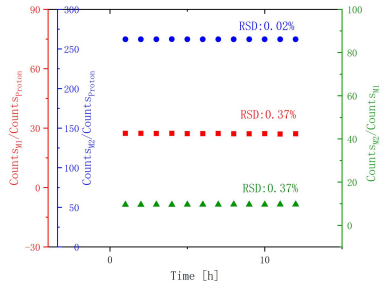
更换M1



M1/M2噪声测试



波长谱



稳定性

目前，完成了3台监测器电子学升级，M1、M2已正常工作，M3已备好，等待谱仪安排。

主要内容

- GPPD 探测器运行情况
- MR 探测器运行情况
- SANS 探测器运行情况
- 总结与下一步工作计划

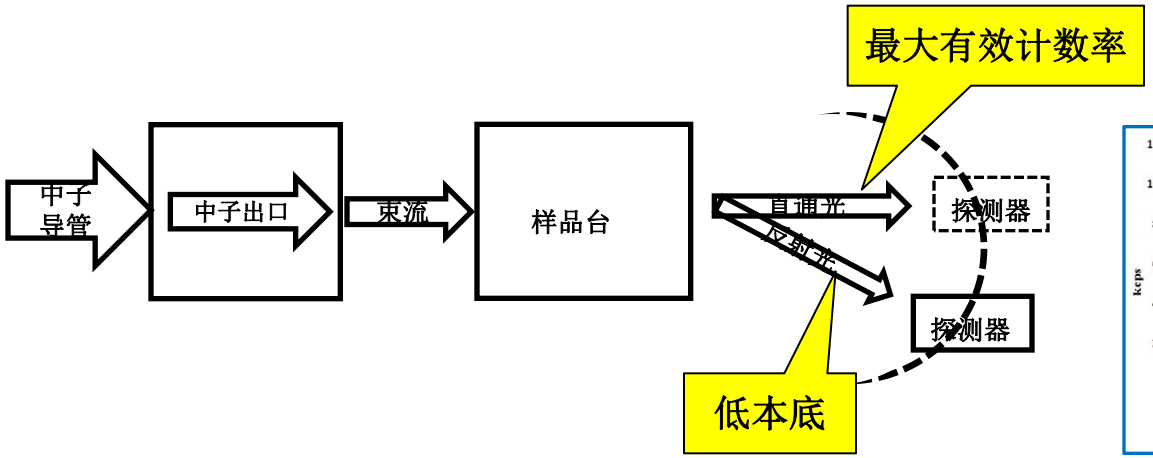
MR主探测器 ---- ^{3}He管 + 高气压MWPC探测器

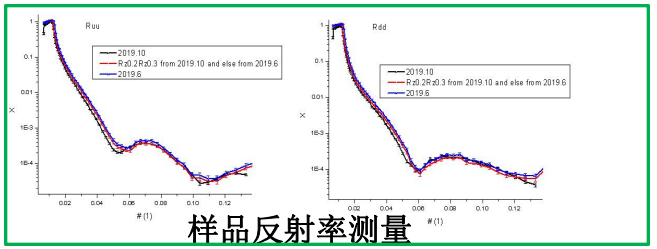
	^{3}He管	MWPC
气体	20atm ^{3}He	6atm ^{3}He + 2.5atm C_3H_8
计数率 （kHz/mm^2）	7.5kHz/mm^2	5kHz/mm^2
计数率 （kHz）	60/270 狭缝0.4×20	40/180 狭缝0.4×20
本底 （Hz）	无束流：~0.002cps	无束流：~0.03cps
直通光/反射光	~10^6	~10^5 --> ~10^6 ？ 待测试
@100kw	√	√
@200kw	？ （~100k）	×
@500kw	×	×

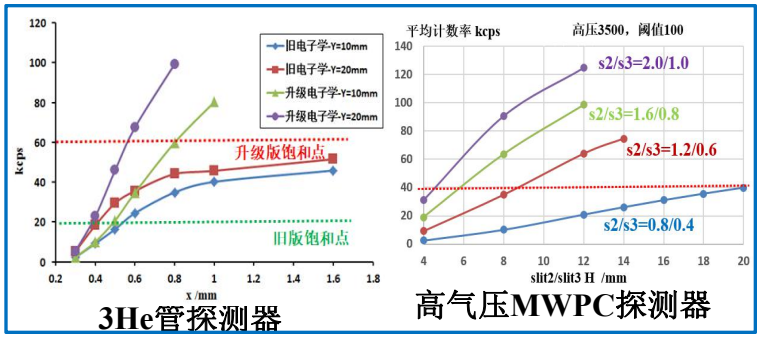
参加调试人员、调试结果

- 现场调试参加人员：孙志嘉、王艳凤、曾莉欣、赵东旭、滕海云
- 现场调试：
  - ✓ MR散射室内噪声性质、噪声来源的判断及处理，2019年10月—12月。
  - ✓ ^{3}He管探测器参数优化、阈值调试，2020年3月。
  - ✓ 高气压MWPC探测器计数率升级优化，2020年4月。
  - ✓ 高气压MWPC探测器本底处理及参数优化，2020年8月—10月。
  - ✓ 配合MR谱仪测试，确保探测器的稳定运行，2019年9月—2020年9月。

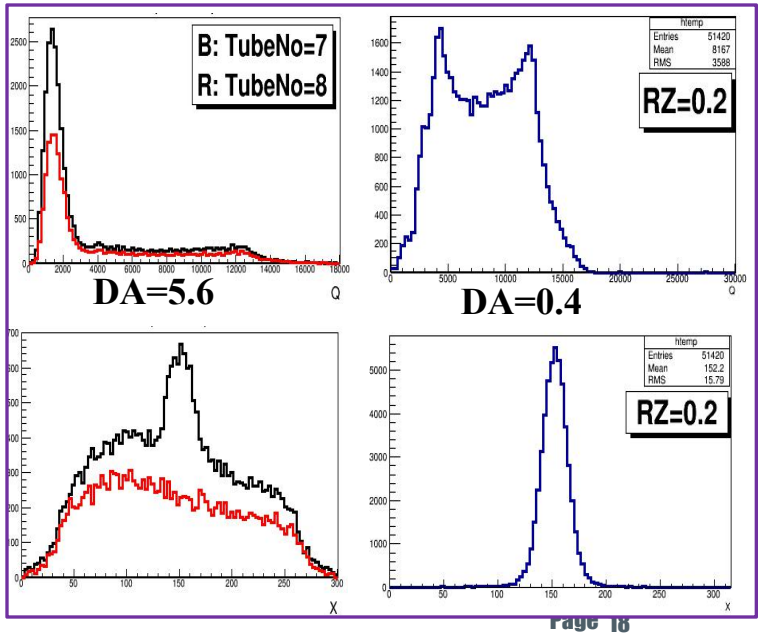
MR谱仪主探测器运行情况







- 最大有效计数率
  - 功率依次增加：20kw→50kw→80kw→100kw
  - 随着功率的增加，探测器计数率需求要相应的提高（最大有效计数率）。
  - 升级后，3He管正常工作~60kcps，高气压MWPC正常工作~40kcps。
- 低本底
  - 本底水平，影响样品最大反射角的测量。
  - 影响样品的反射率，期望能测到10^{-6}。
  - 解决后， 3He管~0.002cps，MWPC~0.03cps。

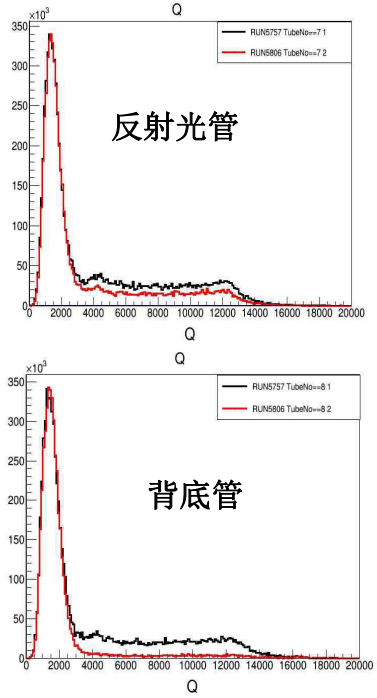


现场噪声来源

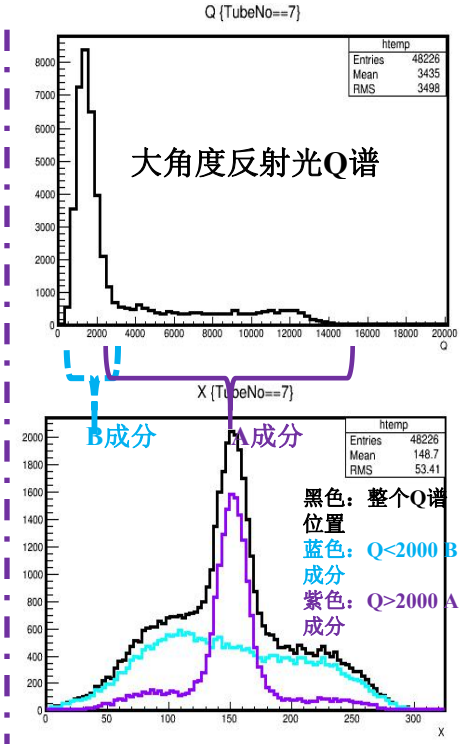
噪声
- 探测器系统噪声
  - ➢ 实验室自测试：噪声<0.03cps。
- 伴随束流来的噪声
  - ➢ MR散射室自测试：噪声~0.05cps。
  - ➢ MR束流测试：噪声~1.2cps。

噪声是什么？

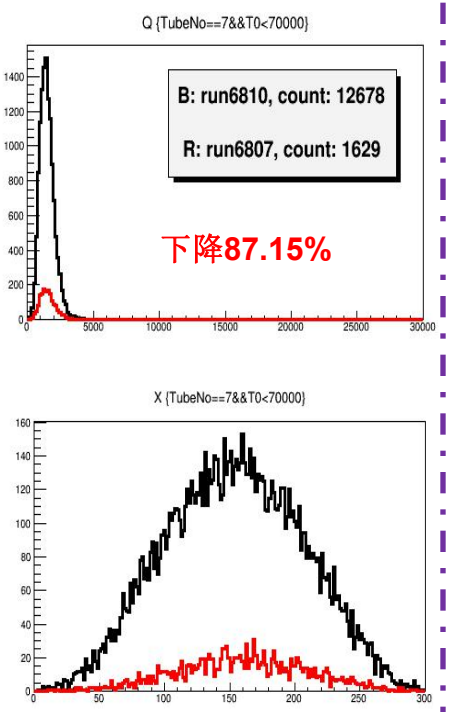
噪声从哪来？



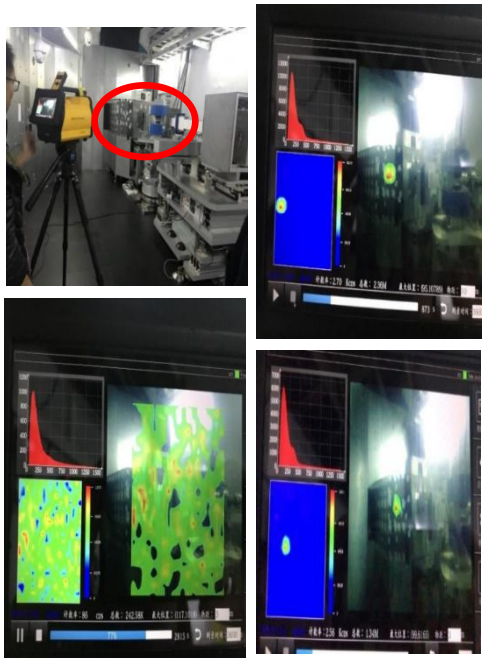
测试一：伴随中子束流而来，不是中子。



测试二：怀疑 B成分是伽马？

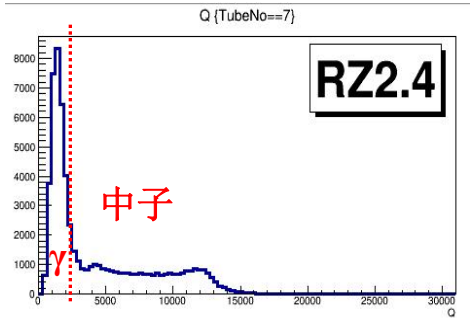


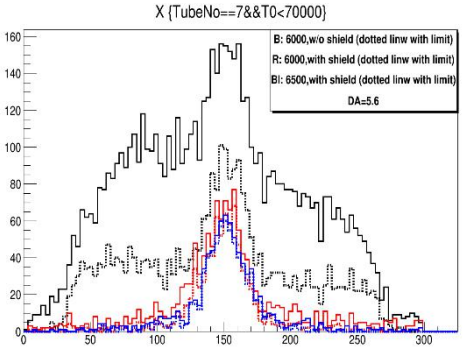
测试三：铅皮屏蔽，降低B成分的计数。

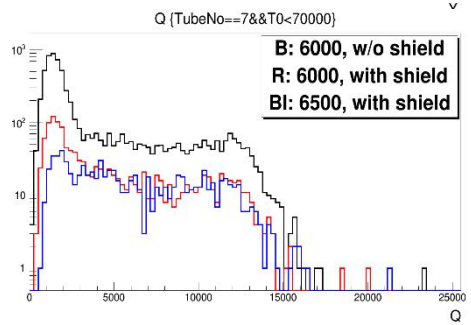


测试四：中子出口屏蔽体内有个较强的γ热点，探测器处有剂量高。

现场噪声处理

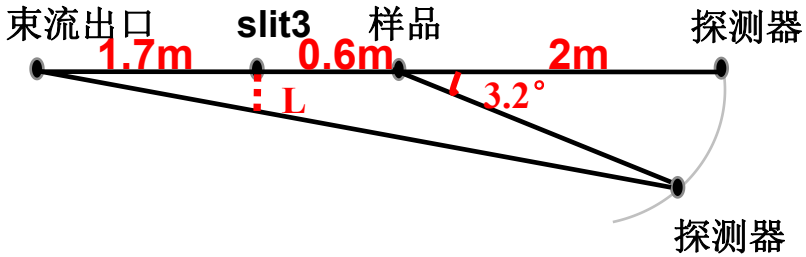


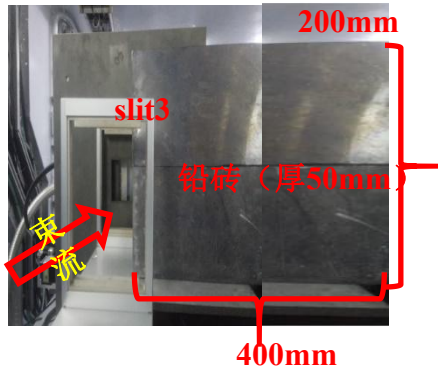




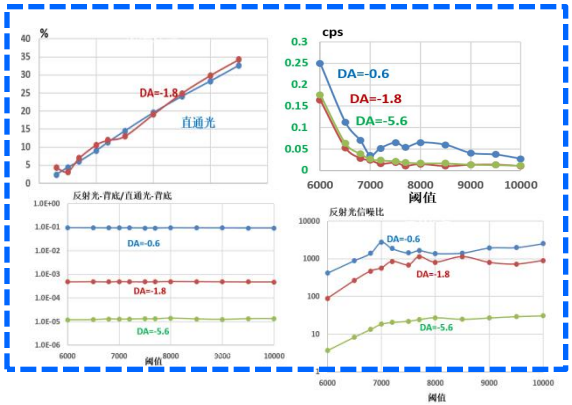
方式一：数据处理+判选条件

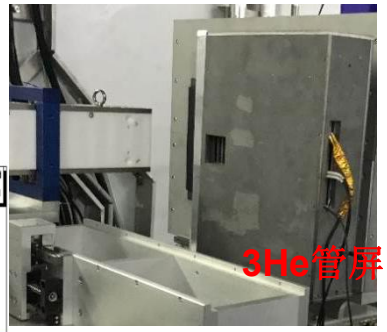
1. γ光路阻挡：

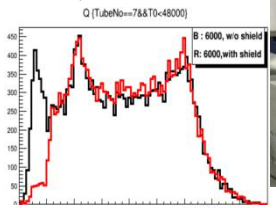


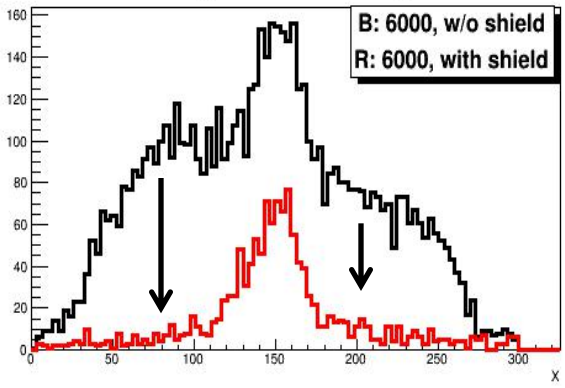


2. 探测器γ屏蔽：碳化硼+铅板







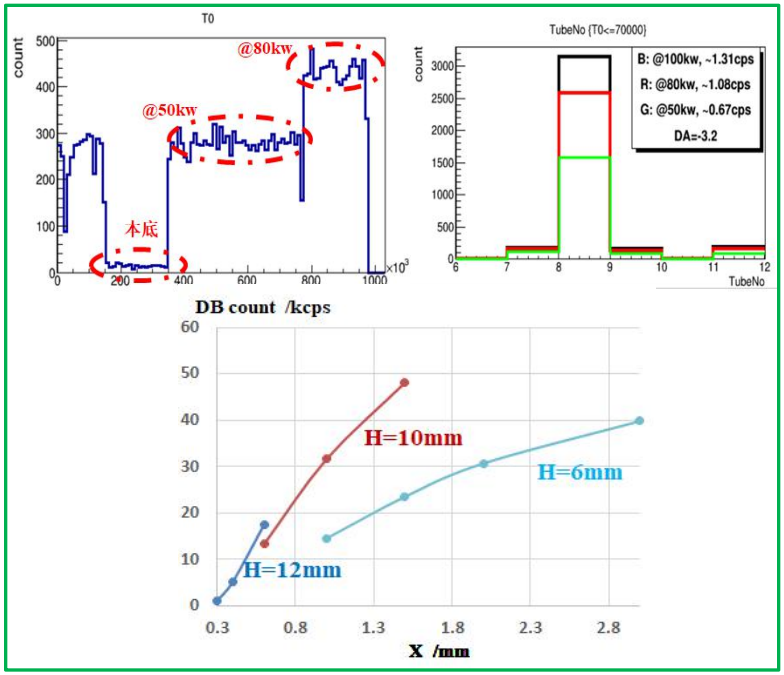


完成 ^3He管噪声处理！

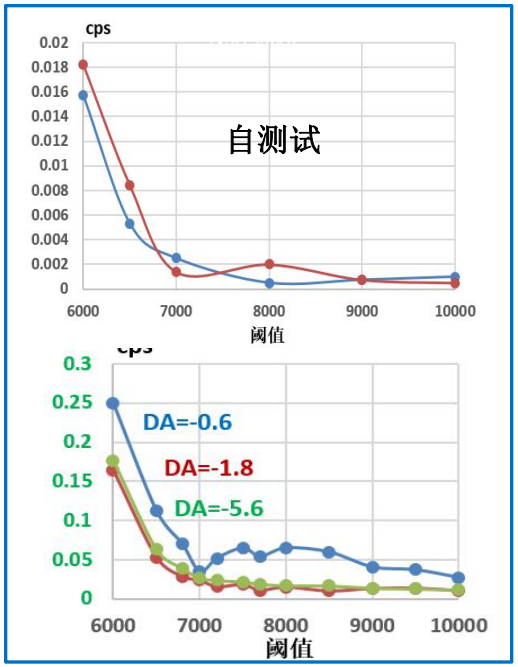
方式二：硬件上降噪，屏蔽γ噪声

^{3}He管阈值优化

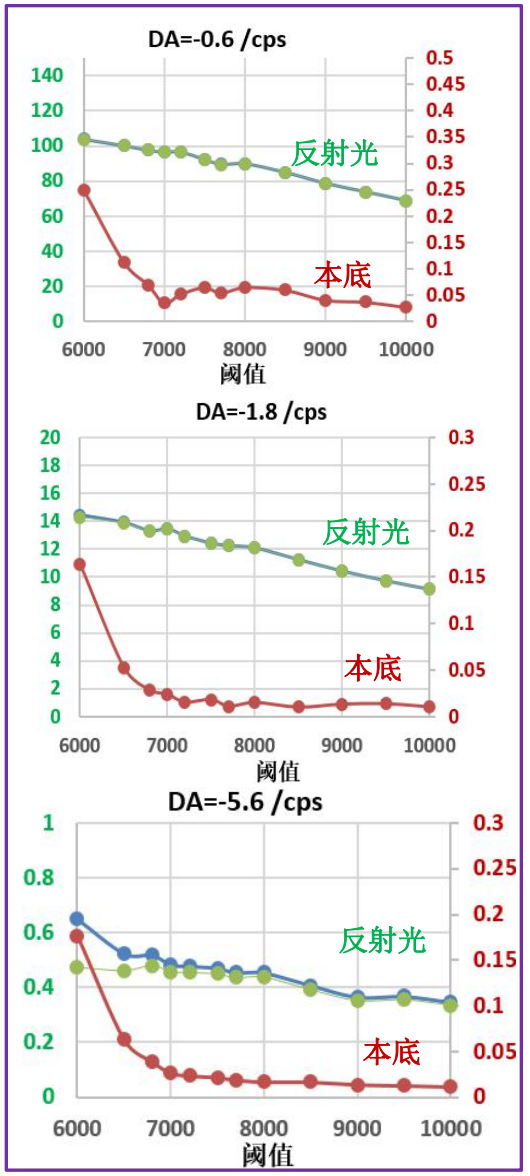
- 本底：
  - 随着阈值的提高，本底趋于稳定。
  - 阈值7200时，自测试本底~0.002cps。
  - 反射光测试时，本底~0.02cps。
- 计数率：
  - 阈值提高至7200，对直通光、反射光计数率的影响在10%以内。



@100kw功率下，3He管工作状态



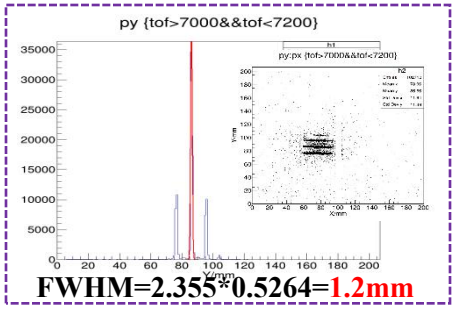
阈值选择对本底的影响

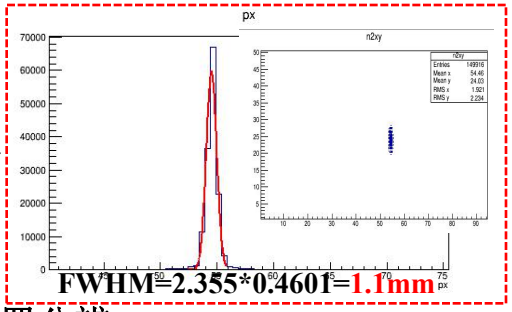


阈值选择对样品反射光的影响

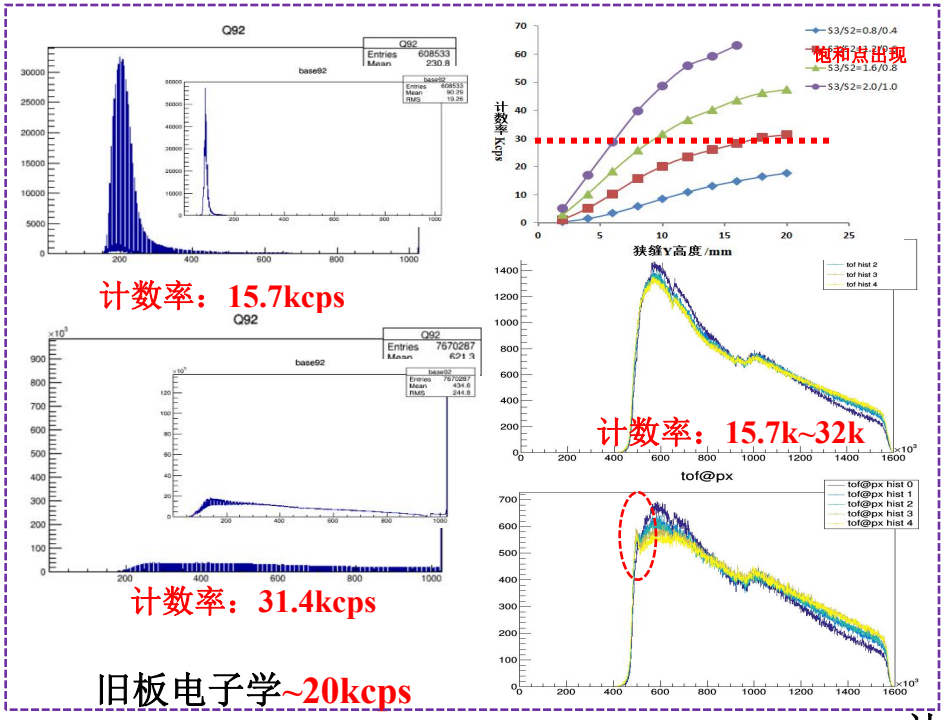
MWPC最大有效计数率升级

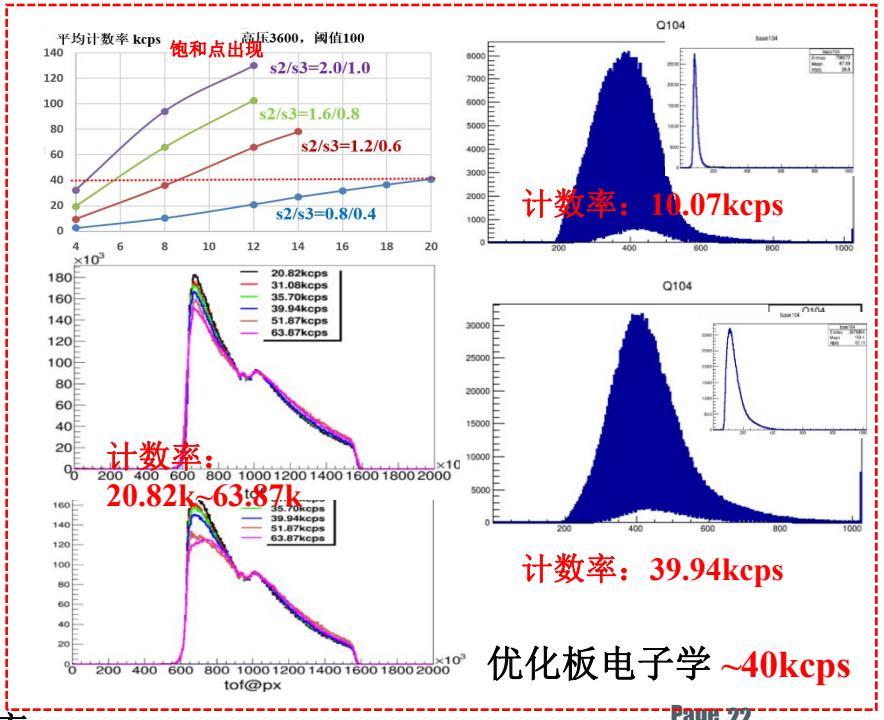
- 最大有效计数率：
  - 20k ✕ → 40k √ @100kW
- 空间位置分辨：
  - ~1.2mm → ~1.1mm。





空间位置分辨

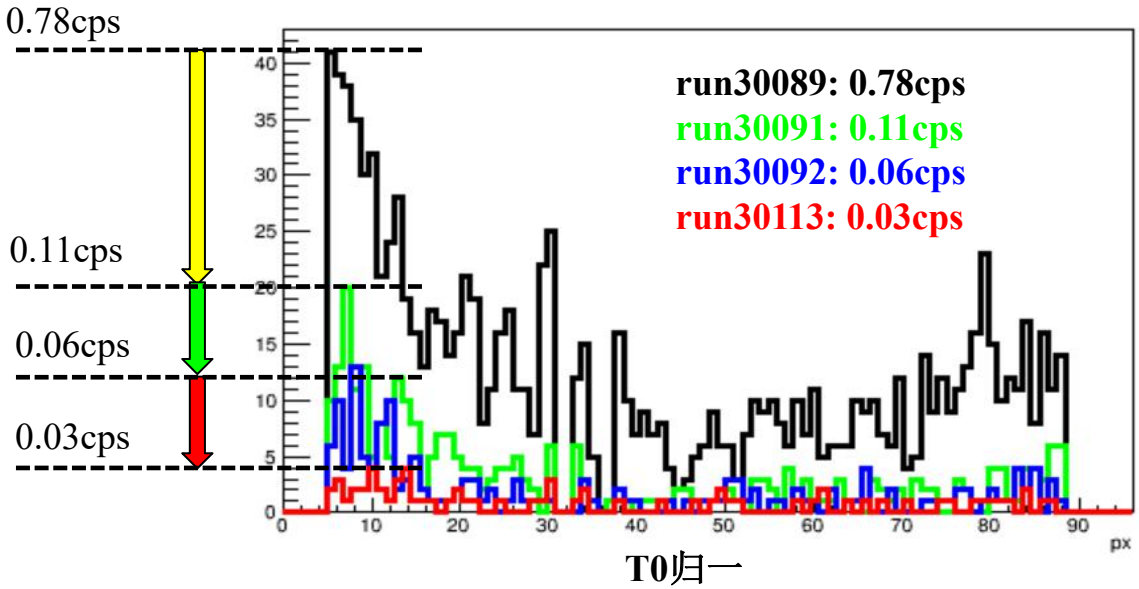




计数率

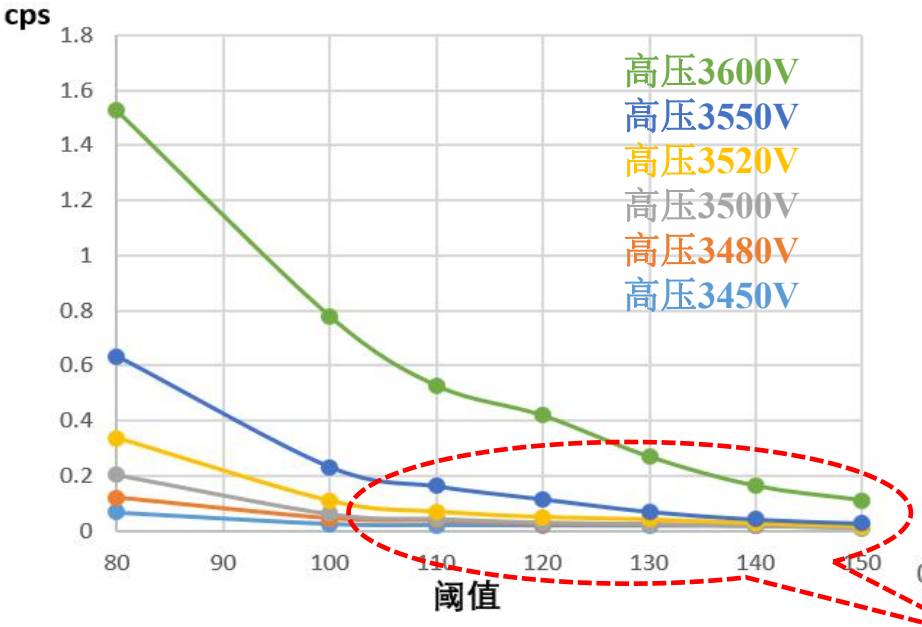
MWPC本底处理

- 开电机，完成现场噪声处理（~0.03cps）；
- 改善噪声分布的不均匀性。

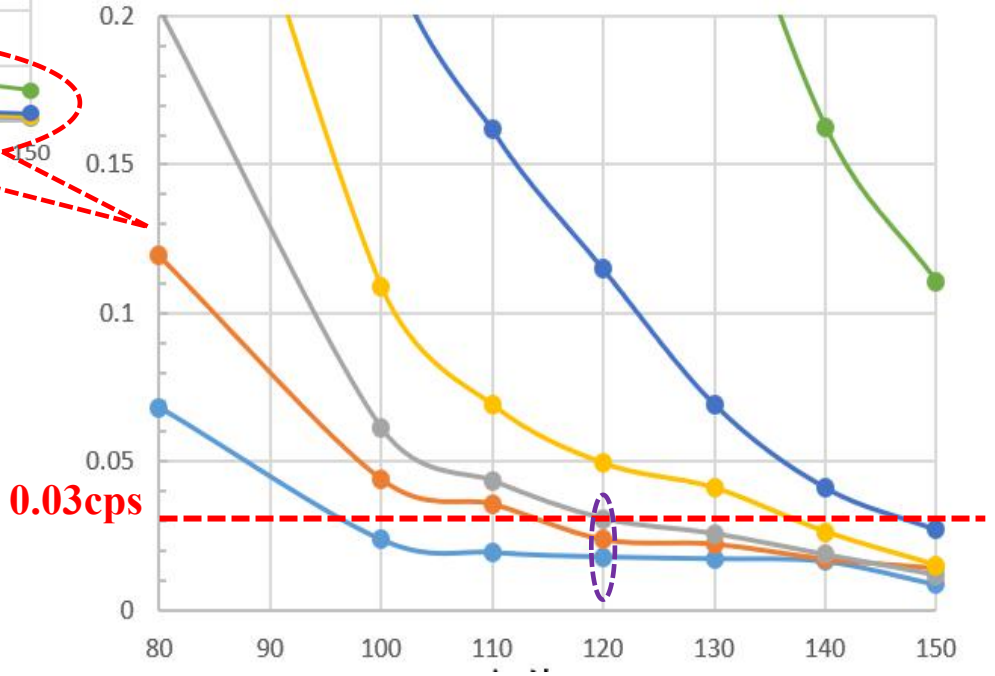


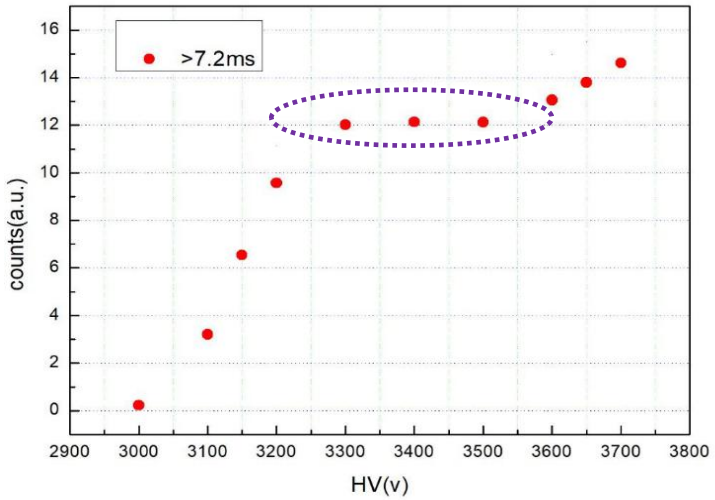
噪声自测试 （阈值100）	检修前	检修后
高压3500V	~282cps	~0.06125cps
高压3600V	~328cps	~0.78cps

MWPC参数优化



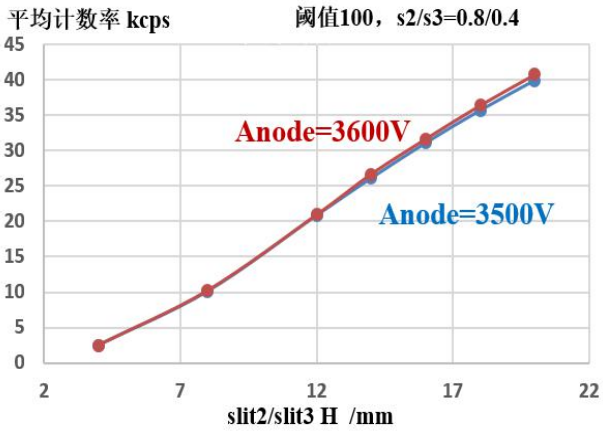
- 坪区范围内优化高压与阈值。
- 高压建议3450~3500。
- 阈值建议100~120。

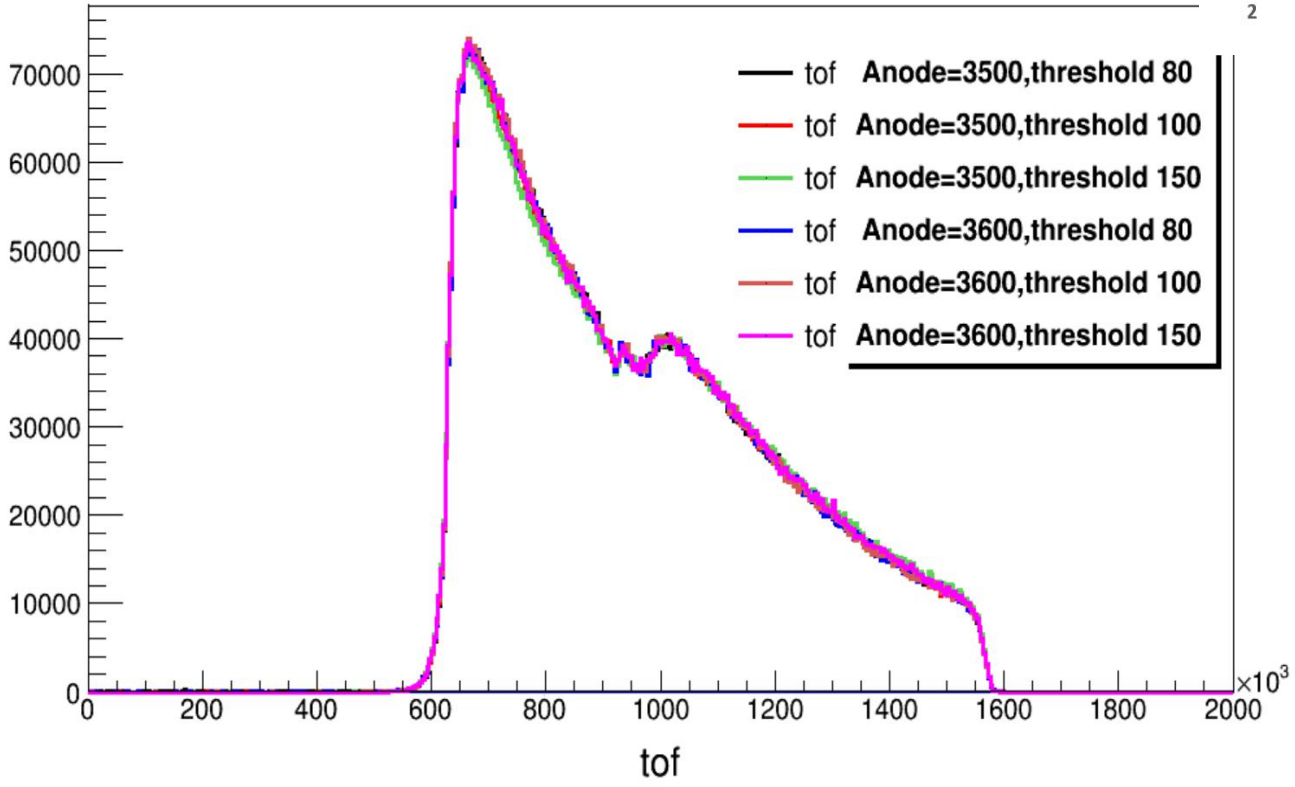




MWPC参数优化

高压、阈值优化后，中子时间谱与优化前保持一致





- 直通光计数率，3500V时，39.9kcps，
- 直通光计数率，3600V时，40.8kcps，
- 同阈值下， 3500V与3600V比较，计数率下降约2%。

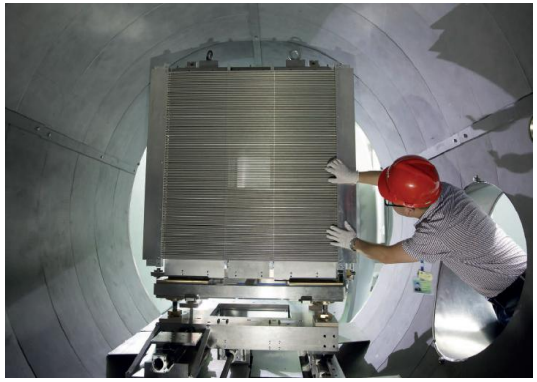
MR主探测器 ---- ^{3}He管 + 高气压MWPC探测器调试小结

- ^{3}He管：
  - 有效计数率 ~60kcps。
  - 优化探测器工作条件后，本底 ~0.002cps。
  - 在束稳定运行。
- 高气压MWPC探测器：
  - 有效计数率 ~ 40kcps。
  - 优化探测器工作条件后，本底 ~0.03cps。
  - 探测器工作条件，建议为：
    S2/S3=0.8/0.4，Y<=20mm
    S3/S2=1.2/0.6，Y<=8mm
    S3/S2=1.6/0.8，Y<=4mm
    S3/S2=2.0/1.0，Y<=4mm
- 下一步计划：
  - 高气压MWPC在束稳定运行。
  - ^{3}He管计数率再次升级优化，至极限~100kcps。

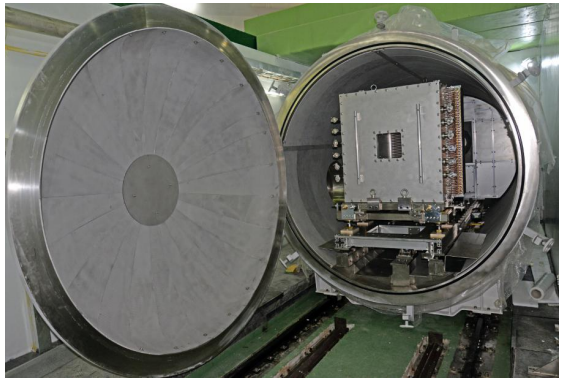
主要内容

- GPPD 探测器运行情况
- MR 探测器运行情况
- SANS 探测器运行情况
- 总结与下一步工作计划

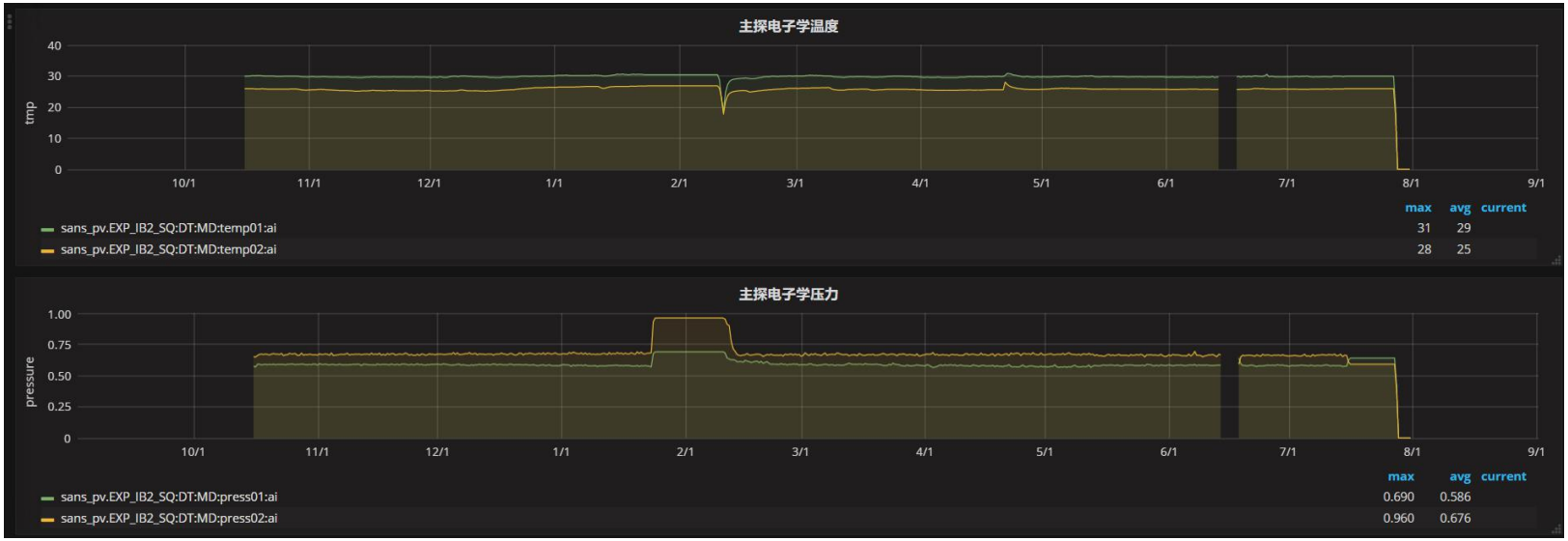
SANS 谱仪探测器



主探测器正面



主探测器背面



上一轮运行状态

SANS 谱仪探测器

SANS探测器调试人员： 孙志嘉，周健荣，许虹，杨桂安，滕海云，周晓娟，蒋兴奋，马毅超，周建晋，朱林等

现场调试：

✓主探测器位置刻度 ---- 2019年10月

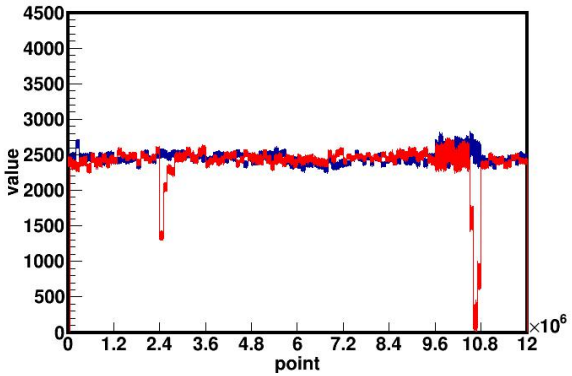
✓探测器相关设备例行维护 ---- 2020年8月-9月

- 制冷机维护：更换冷却液，进行管道维护
- UPS电源维护：设备清洁，线路检查
- 气路管道：例行维护，检查阀门状态

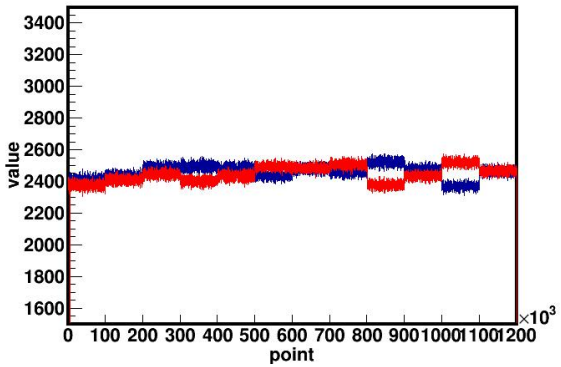
✓监测器电子学升级--- 2020年9月

探测器电子学噪声测试

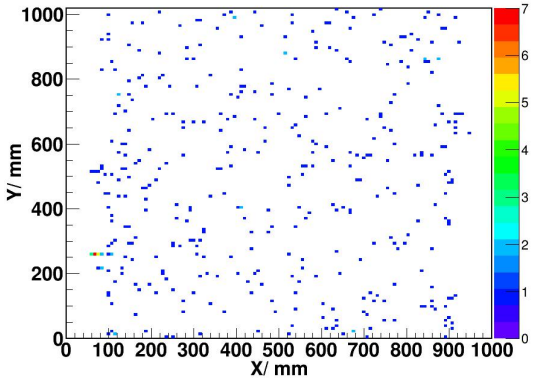
- 噪声测试（联合电子学组）



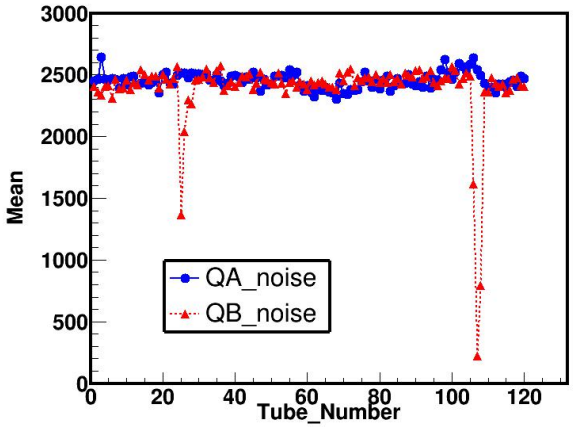
120根管整体噪声



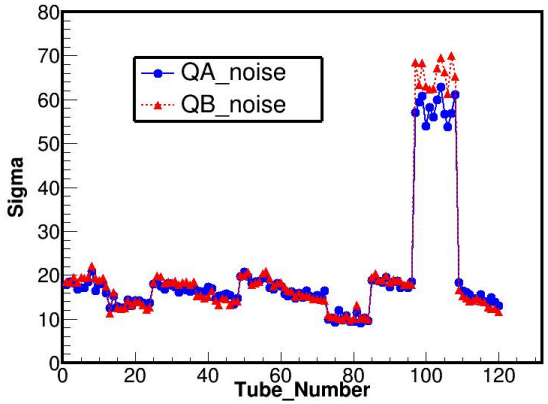
单个模块噪声



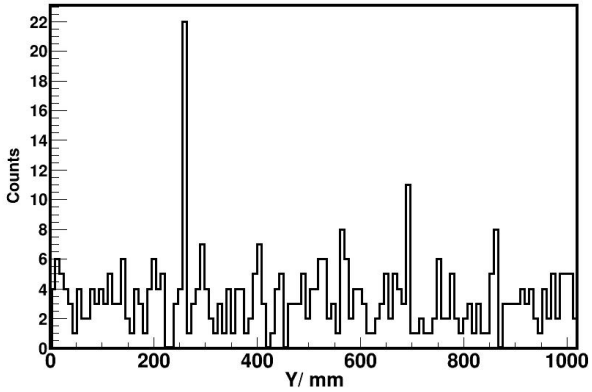
探测器计数二维分布



120根管噪声均值



120根管噪声Sigma

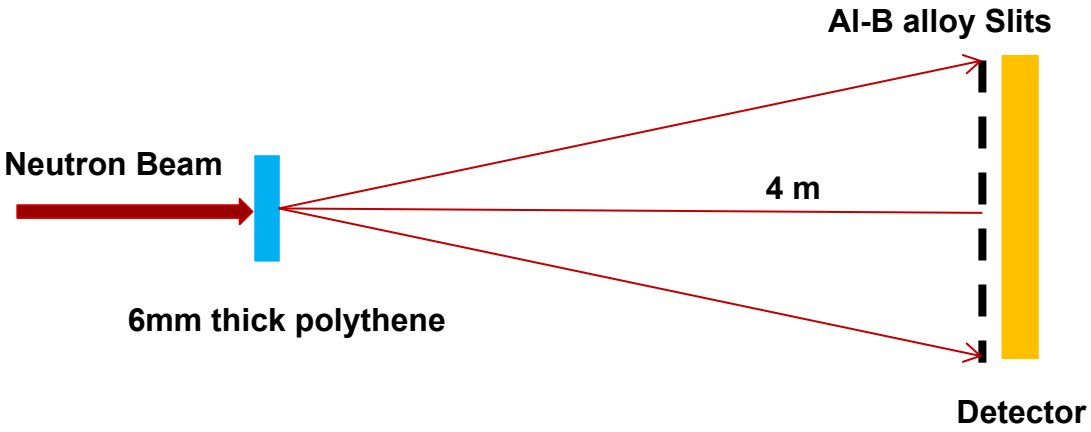


在线瞬时计数率监测

噪声测试结果：Sigma基本在20以下，有一个模块噪声偏大，整体计数率0.7

主探测器位置刻度

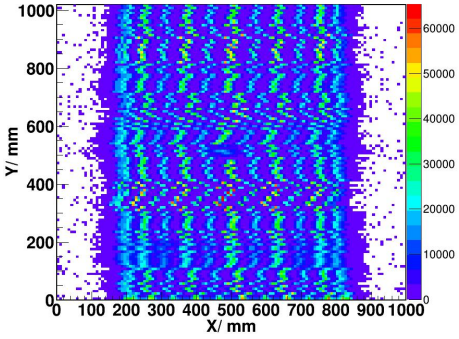
探测器全面积位置刻度：提高位置测量的精确度和一致性



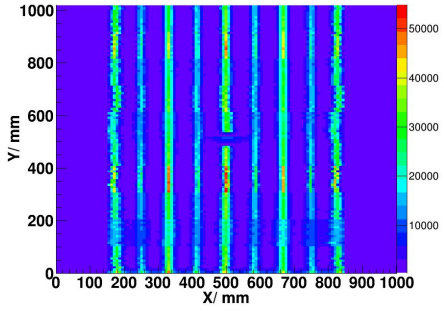
刻度原理示意图

硼铝合金板
（4mm与2mm狭缝相间）

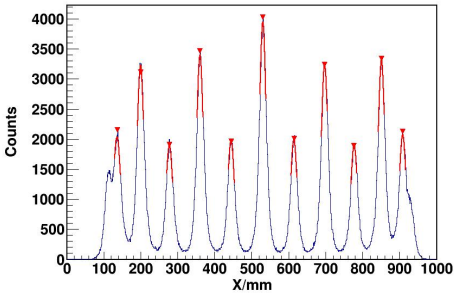
刻度狭缝



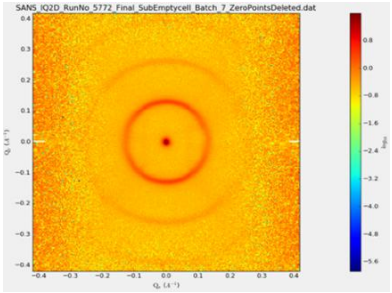
刻度前



刻度后



单管位置谱



谱仪标样衍射环

主探测器制冷机维护

- 更换冷却液和液位计

制冷机

旧冷却液与液位计

新冷却液与液位计

在长时间运行后，制冷机的冷却液会使液位计上沉淀一层黄色物质，使液位无法辨认，暑期检修期间，更换了制冷液的种类，安装了新的液位计。

- 制冷机管道维护

管道维护

对制冷机的冷却管道进行检查和维护，确保制冷系统正常运行。

设备维护

UPS电源维护

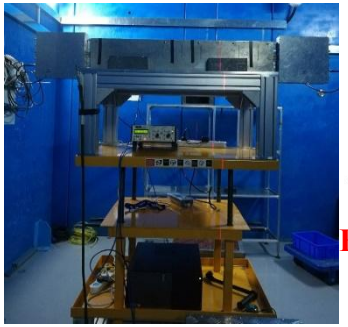
检查UPS电源运行状态，清洁设备并检查线路，保障电源稳定运行。

气路管道维护

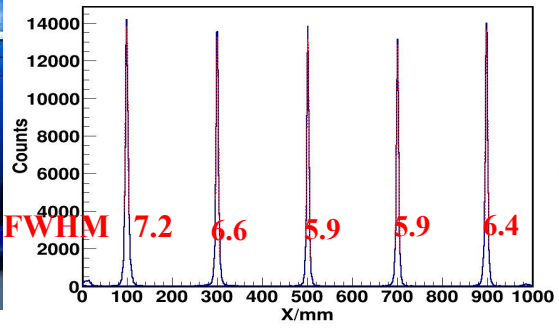
例行检查气路管道、阀门状态

新版电子学研究进展

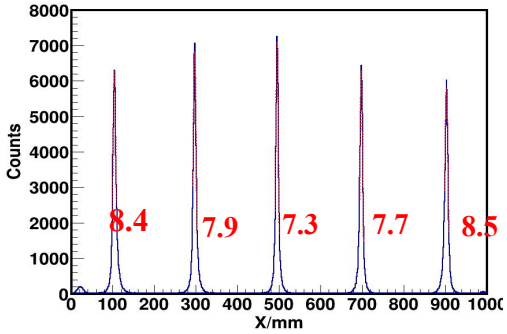
- 新研发的^{3}He管电子学系统，并测试了不同厂家^{3}He管的性能



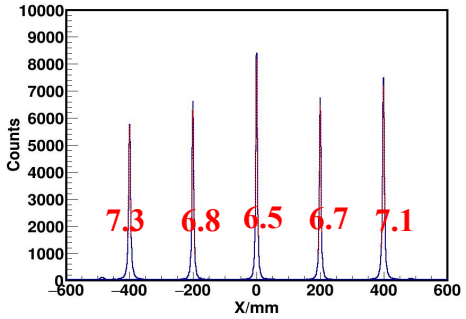
测试现场



佳能-^{3}He管测试结果



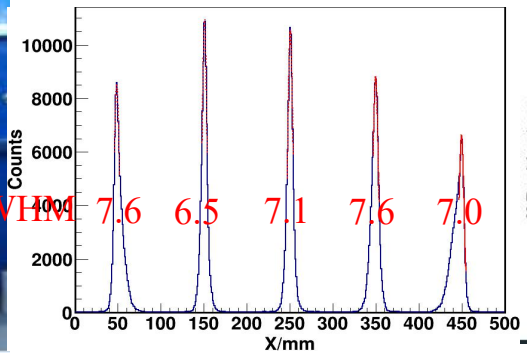
LND-^{3}He管测试结果



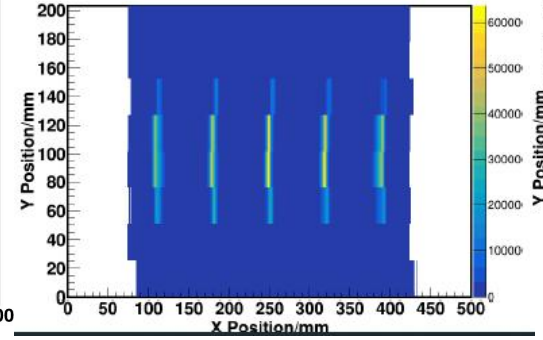
RS-^{3}He管测试结果

- 新版电子学已应用在MPI探测器上，并完成了单模块测试

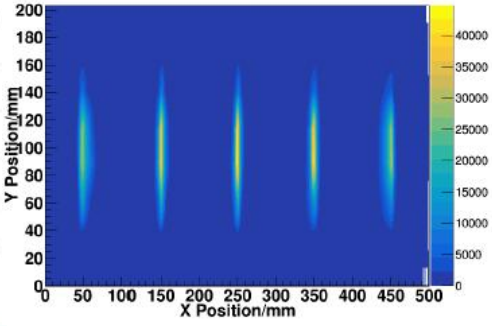
测试现场



位置分辨



刻度前二维图



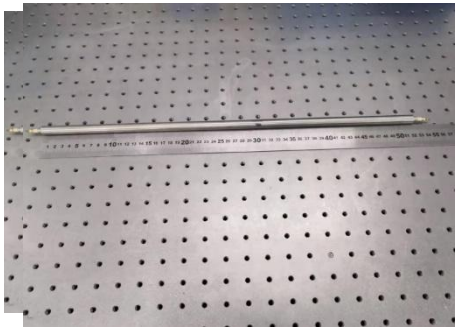
刻度后二维图

测试结果：沿丝方向位置分辨<8mm，可满足小角谱仪的需求

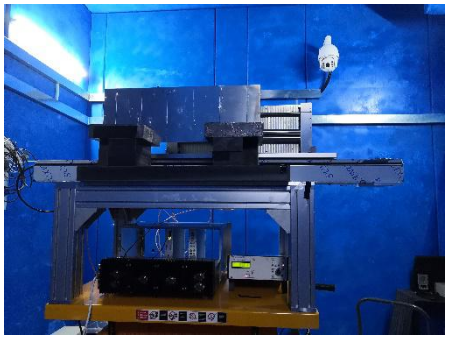
国产^{3}He管研制情况

➢ **联合中广核研究院等研制国产^{3}He管，避免未来禁运的风险。**

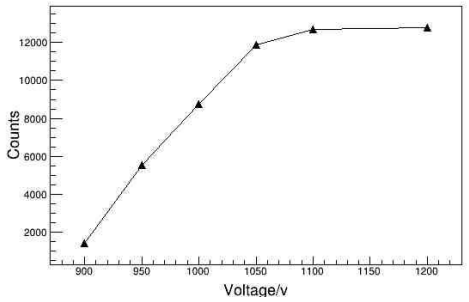
- ½英寸国产^{3}He管测试结果



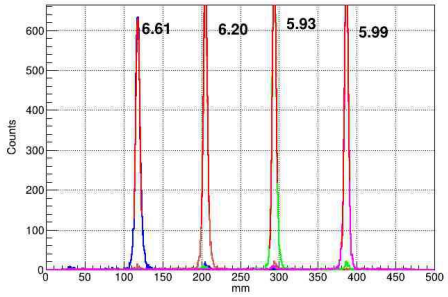
½英寸^{3}He管



测试环境



坪曲线

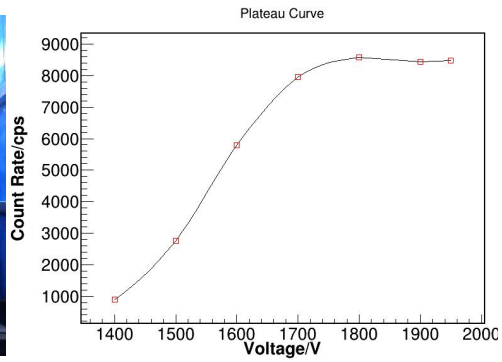


位置分辨

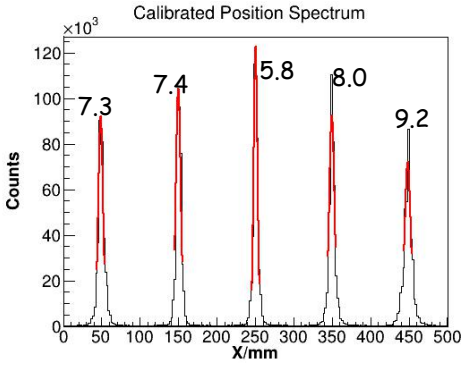
- 1英寸国产^{3}He管测试结果

1英寸^{3}He管

测试环境



坪曲线

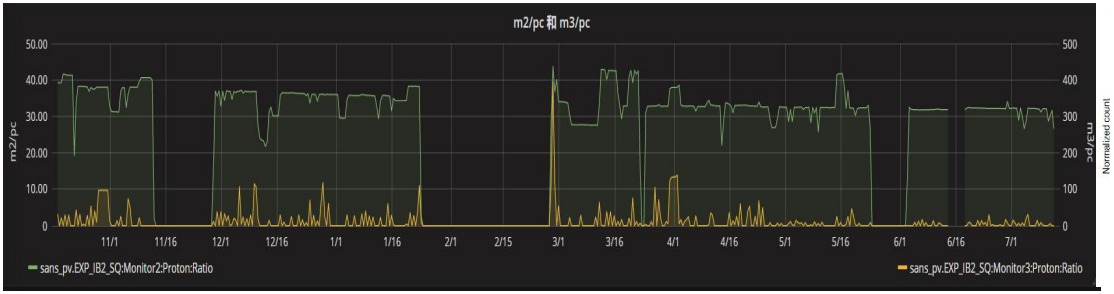


位置分辨

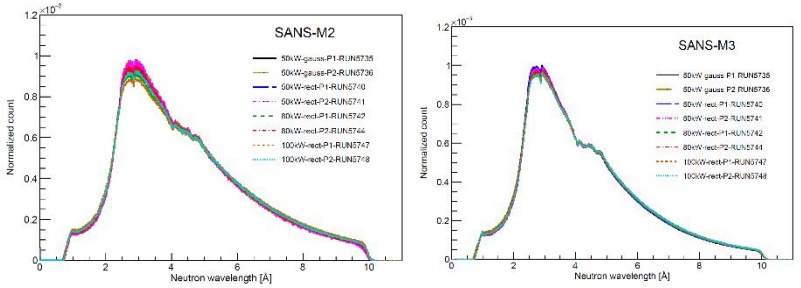
初期测试结果表明国产^{3}He管关键指标基本达到了国外同类型产品水平

SANS束流监测器运行情况

- 上一轮实验，2台束流监测器稳定运行。

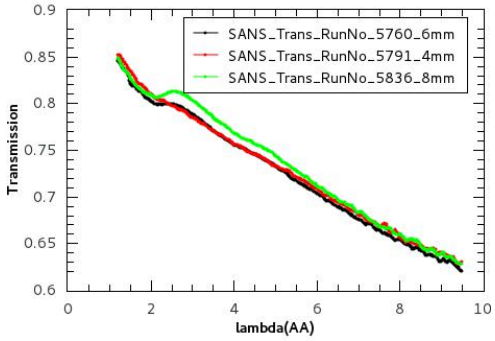


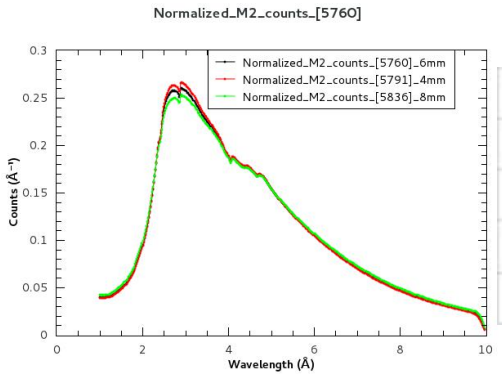
上一轮运行情况



不同功率下M2/M3波长谱对比

- SANS 使用8mm光阑时，M3平均计数率约80kHz，瞬时计数率接近400kHz，达到电子学读出极限。





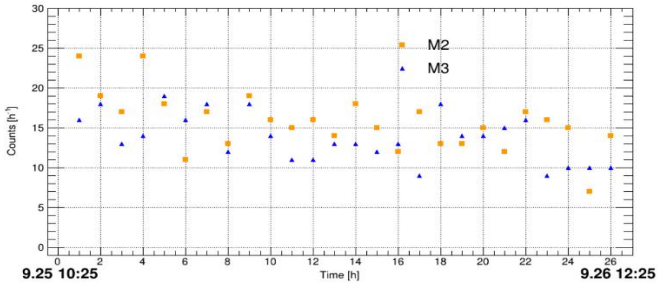
		congting rate			
	透过率空束	m2/pc	m3/pc	M2	M3
4mm	5790	27.74964	53.9469	10897.63	21185.62
6mm	5761	34.08453	136.0394	13362.54	53333.01
8mm	5837	42.92959	215.9045	16851.32	84749.84

不同光阑透过率实验

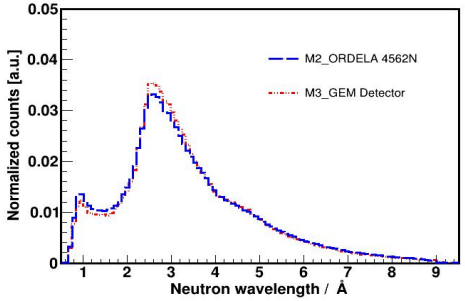
为了满足功率提升以及不同实验条件下的测试需求，监测器需要提高计数率

束流监测器电子学

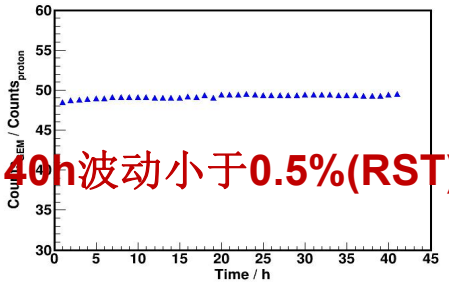
➢ SANS监测器电子学升级



升级电子学后，M2/M3噪声测试



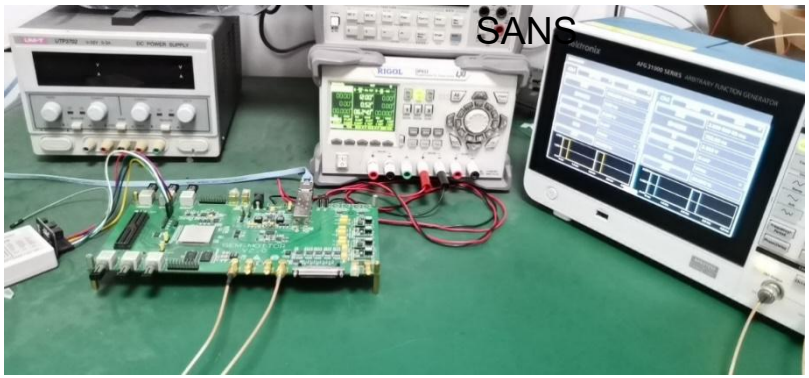
SANS M2和M3能谱测量对比



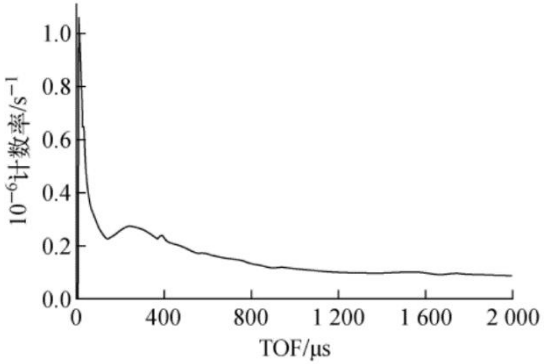
计数率稳定性

➢ 升级后的监测器电子学：

- 读出带宽提高了2倍，计数率大于1MHz，满足更高通量测量需求；
- 扩展了接口，可接受WR时间戳，质子ID，T0触发，兼容pulse ID系统，千兆光/电网口读出。



监测器电子学调试



计数率测试

SANS探测器小结

◆ 总结

- ✓ 配合谱仪完成用户实验
- ✓ 完成了主探测器位置的刻度，提高测量精度和均匀性
- ✓ 完成了探测器相关设备（制冷机、UPS电源、气路管道）的例行检修和维护
- ✓ 完成了监测器电子学的升级
- ➢ 研制新版电子学，提高探测器分辨率，为升级主探测器电子学做好准备
- ➢ 研制国产^{3}He管，避免未来禁运风险

◆ 下一步工作计划

- ➢ 进一步提高探测器分辨率，需更换前端电子学

探测器年度运行总结

- **GPPD闪烁体探测器阵列**
  - 稳定运行，并顺利完成了加装8台探测器单元的安装调试。
  - 工作计划：探测器升级改造，实现性能上的提升。
- **MR探测器（^{3}He管+高气压MWPC）**
  - ^{3}He管探测器：提高计数率至～60kcps/s，本底降至~0.002cps。
  - MWPC：提高计数率至～40kcps/s，本底降至~0.03cps。
  - 工作计划：MWPC稳定运行，^{3}He管探测器升级优化至计数率~100kcps。
- **SANS ^{3}He管阵列探测器**
  - 实现了探测器的稳定运行。
  - 工作计划：进一步提高探测器分辨率，需更换前端电子学。
- **束流监测器**
  - 更换GPPD M1，升级三台谱仪监测器电子学。
  - 工作计划：稳定运行，进一步提高计数率。

谢　　谢

欢迎各位专家提出宝贵意见！