

CSNS ^3He 管阵列样机 数据获取系统研制

赵东旭，章红宇

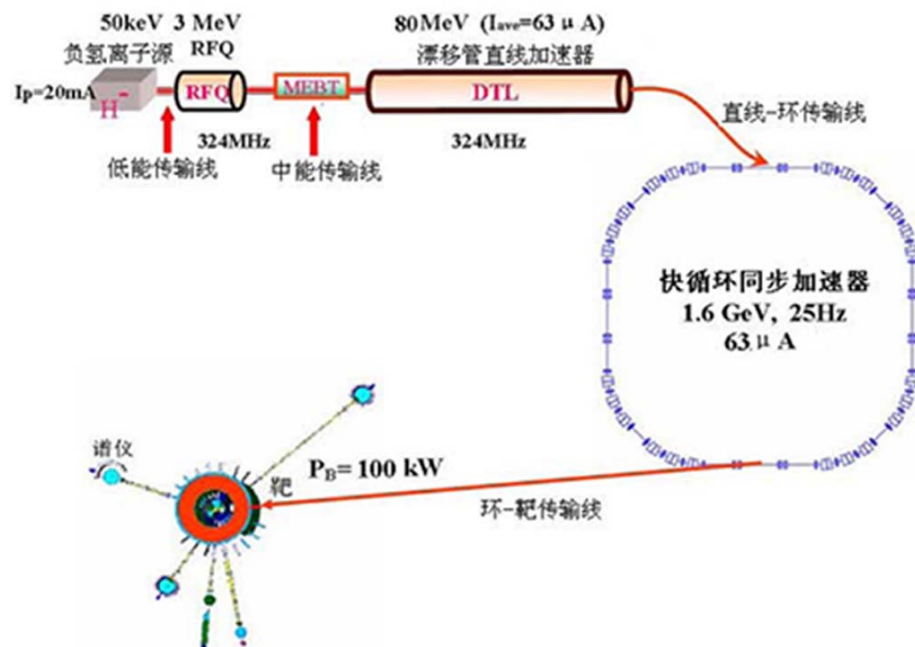
中国科学院高能物理研究所，北京
核探测与核电子学国家重点实验室，北京

概要

- ^3He 管阵列样机研制背景
 - 中国散裂中子源(CSNS)简介
- ^3He 管阵列样机组成
- ^3He 管阵列样机数据获取系统设计
 - 电子学配置流程
 - 电子学检测程序
 - 数据获取程序
 - 数据格式
 - 数据的处理和组装
- 总结



^3He 管阵列样机研制背景

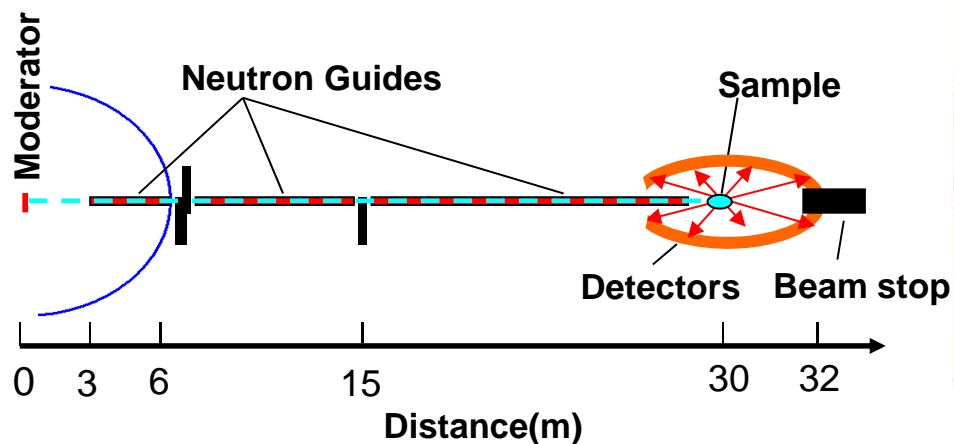


- 中国散裂中子源 (China Spallation Neutron Source, CSNS) 由一台 80MeV 负氢直线加速器、一台 1.6GeV 快循环质子同步加速器、两条束流输运线，一个靶站和3台谱仪及相应的配套设施组成。中国散裂中子源 (CSNS) 的建成，将成为发展中国家拥有的第一台散裂中子源，并进入世界四大散裂中子源行列，为国内外科学家提供世界一流的中子科学综合实验装置，以确保中国在中子科学领域内的先进地位。



^3He 管阵列样机研制背景

- CSNS一期拟建的三台谱仪：
 - 高通粉末衍射仪（HIPD）
 - 多功能反射仪（MR）
 - 小角散射仪（SANS）
- ^3He 管阵列探测器是中国散裂中子源（CSNS）工程-高通粉末衍射仪的主探测器。



高通粉末衍射仪

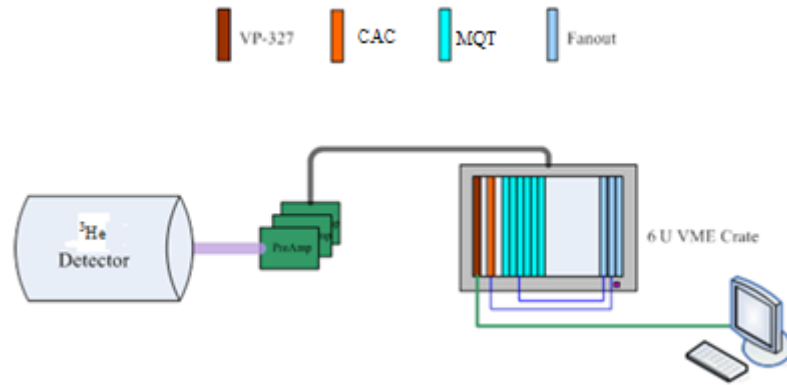


ROC Preamp

^3He 管阵列探测器外观



^3He 管阵列样机组成



^3He 管阵列样机系统

^3He 样机阵列

技术参数	指标
面积	1m × 1m
管数	40根, 8根一组
管尺寸	1m长, 直径1英寸

数据获取系统

- 电子学检测程序
- 数据获取程序

电子学（基于VME64X规范设计）

- 6U VME机箱
- VP-327控制器（X86体系结构）
- 前置放大器（Pre-Amp）
- 校准刻度与控制插件（CAC）
- 时间电荷测量插件（MQT）
- 扇出插件（Fan-out）



^3He 管阵列样机数据获取系统设计

○ 数据获取系统主要任务:

- 配置电子学插件进行相应工作
- 以CBLT（链式块传输）方式读出前端电子学以自触发方式采集到的事例数据
- 进行事例的在线处理
- 将数据记录到本地数据文件中，供离线数据分析使用。

○ 编程语言:

- C++(动态链接库程序)

用于底层对VME总线的CBLT访问，实现对电子学硬件配置和原始数据的获取，以及用于对原始数据进行存储，解析。

- LabVIEW

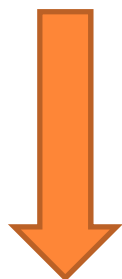
编写上层用户界面，调用动态链接库实现对电子学硬件的控制和数据获取，并对原始数据进行解析处理后得到的数据，进行电子学性能的计算、评估、直方图显示、数据拟合等。



电子学配置流程

配置步骤:

- 配置校准刻度与控制插件。



- 配置时间电荷测量插件。



数据获取软件电子学配置流程图



电子学检测程序

- 功能：

运行在校准刻度工作模式下。电子学检测程序不仅要能够帮助调试电子学硬件的各个功能插件，而且要能精确测试电子学系统的各项性能指标。

- 原理：

利用系统本身可编程产生的校准刻度信号，对系统进行性能测试。

- 程序划分：

- 电荷分辨测试程序
- 时间分辨测试程序
- 电荷积分非线性测试程序



电荷分辨测试程序

- 功能:

用于测量电子学系统的噪声水平。

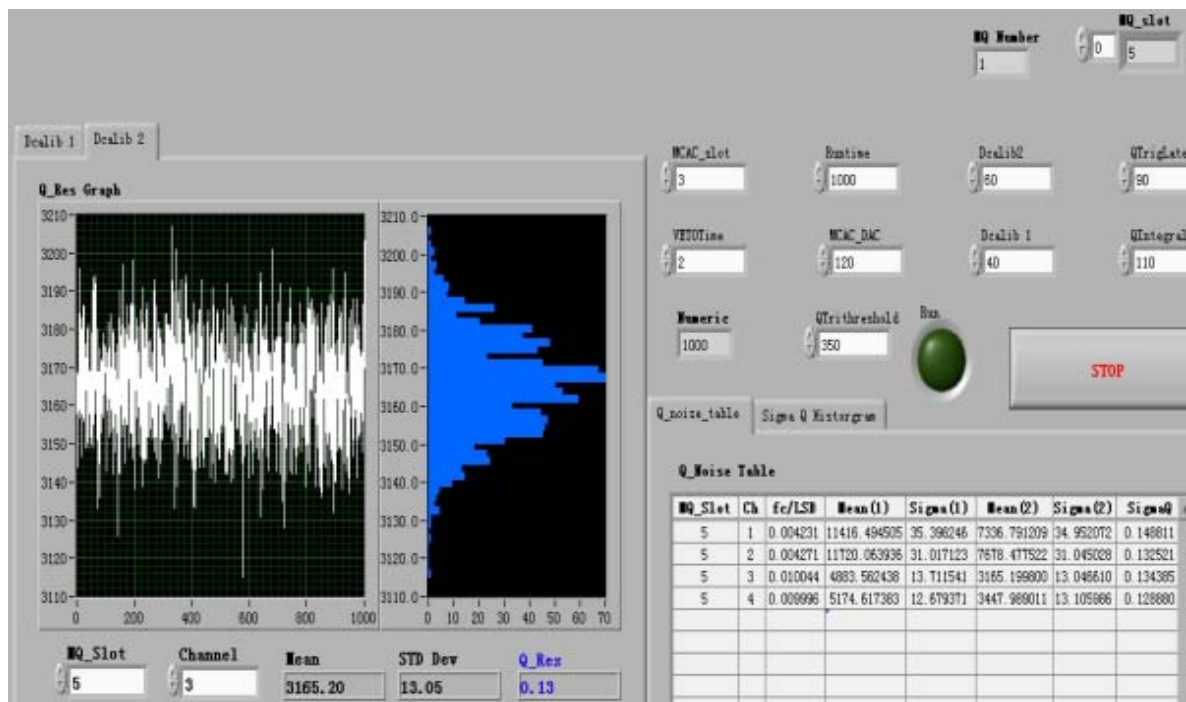
- 测量方法:

取电荷阈值 $D_{calib} = D_1$ (缺省值100); 重复测量 N 次 (缺省值10000), 得到 N 个峰值; 计算给出 N 个峰值的平均值和均方根值 σ_{D1} ; 再取 $D_{calib} = D_2$ (缺省值200); 重复测量 N 次 (缺省值10000), 得到 N 个峰值; 计算给出 N 个峰值的平均值和均方根值 σ_{D2} ; 将测量结果按如下公式计算给出噪声 σ_Q 。

$$\sigma_Q = \frac{0.863 \times (D2 - D1)}{ADC2 - ADC1} \times \frac{\sigma_{D1} + \sigma_{D2}}{2} \quad \text{单位: fc}$$



电荷分辨测试程序



电荷分辨测试结果

电荷分辨典型值为 $\sim 0.16fc$ 。



时间分辨测试程序

- 功能:

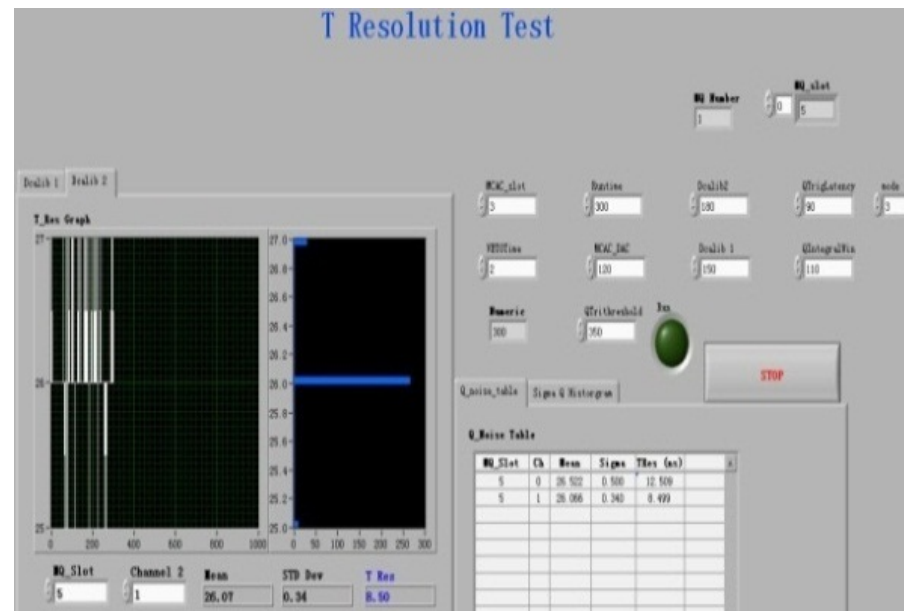
Start 脉冲与质子打靶周期信号T0 有确定的时间关系, 可利用此时序关系来进行电子学系统时间分辨的测量。

- 测量方法:

Start 脉冲送至电荷灵敏前放, 在其上升沿处产生一指数波信号, 该指数波信号经主放、滤波成形及数字化后, 送FPGA 参与自触发逻辑, 产生单管自触发Trigger 信号。在FPGA中开启了一个21bit 的计数器, 当T0 信号到来时, 对计数器进行清零; 当Trigger信号到来时, 读取出当前计数器的值, 此值即为中子击中 ^3He 管的时刻。对此值进行多次测量得到平均值及均方根值, 均方根值即为系统的时间分辨。



时间分辨测试程序



时间分辨测试结果

实验测得，系统的时间分辨~13ns。



积分非线性测试程序

- 功能:

用于检测电荷测量通道的线性指标。

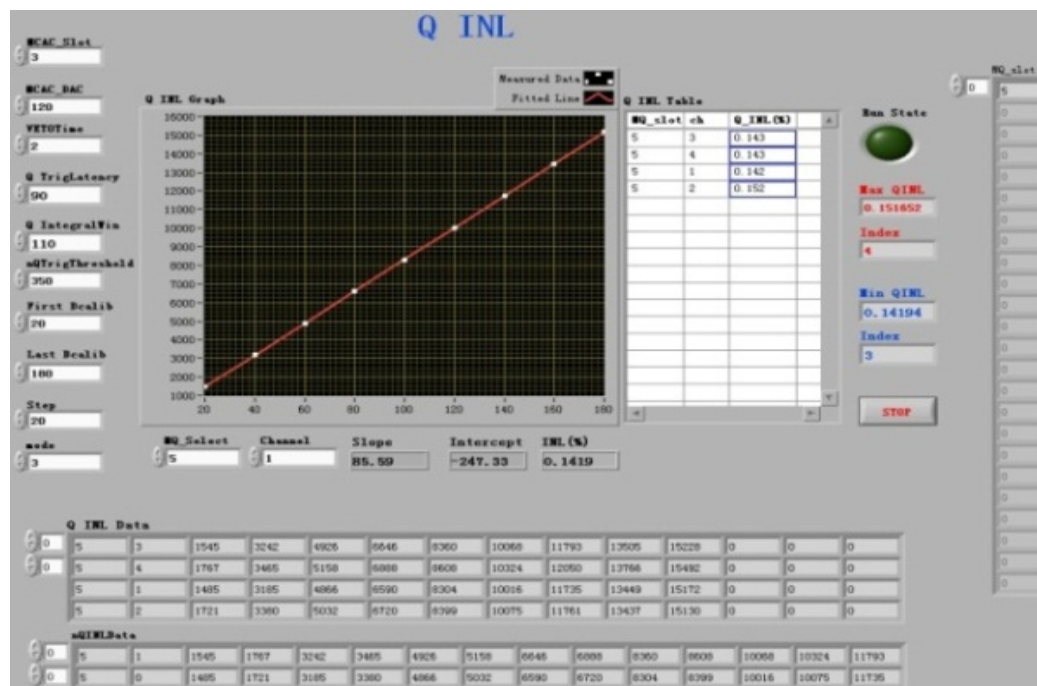
- 测量方法:

在电子学检测工作模式下，按一定步长，在量程范围（20-200fc）内，从低到高向前放输入不同的 Dcalib 值，对每一输入值，重复测量100次，取峰值的平均值作为该点的测量值。对各点平均值作一次项最小二乘法直线拟合，根据下式给出积分非线性。

$$INL = \frac{\text{实验点在Y轴方向偏离拟合直线的最大绝对值}}{\text{满刻度输入对应的Y值} - \text{拟合直线在Y轴上的截距}}$$



积分非线性测试程序



积分非线性测试结果

经测量，整个电子学系统的电荷积分非线性的典型值为~0.15%。



数据获取程序

- 功能:

在线获取通过触发判选（各通道信号自触发）后的前端电子学事例数据，将分布在VME机箱中各电子学插件上的事例数据迅速地汇集到VME机箱控制器上进行处理，并将数据记录到本地数据文件中，供离线数据分析使用。



数据获取程序

- 取数方式:
 - 定时方式(在一定时间内进行取数)
 - 定数方式(取一定数量的事例数据)

正常取数

The screenshot shows a software interface for data acquisition. At the top, the text '正常取数' (Normal Data Acquisition) is displayed in blue. Below this, there are two tabs: '定时' (Timing) and '定数' (Fixed Number). The '定数' tab is selected. The interface contains several input fields for parameters:

Parameter	Value
set_time	0
MCAC_slot	3
MQcathodfirst_slot	11
MQ_num	6
nQIntegraWin	63
Dma_offset	1000000
N	1
pass_time	0
MCAC_DAC	140
MQanode_type	2
nDcalib	200
nQTrigLatency	80
Dma_size	480
N_read	0

数据获取程序界面



数据格式

- 数据获取软件获取的电子学数据包中包含了各种的数据信息：
 - 插件地理地址
 - T_0 数据
 - 管号
 - 时间计数值
 - 管子左端电荷值
 - 管子右端电荷值
 - 数据包总字节数

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
标志位		0	0	0	0	0	0	0	GEO				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T0号																						
标志位		0	0	0	0	0	管号				时间计数值																					
管子左端电荷值										管子右端电荷值																						
标志位		0	0	0	0	0	管号				时间计数值																					
管子左端电荷值										管子右端电荷值																						
..... ^p																																
..... ^p																																
标志位		0	0	状态信息		0	GEO				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
传送字节数																																

³He管读出电子学CBLT数据输出格式



数据的组装和处理

- 为提高事例率， ^3He 管阵列样机读出电子学采用自触发方式来获取探测器数据，没有公共的触发信号。
 - 每个电子学通道独立进行流水线式的FADC数据采集、寻峰，进而组装成CBLT原始数据供数据获取软件读出，整个系统各个 ^3He 管被中子击中后两端产生的电荷信息是根据其相应的时间信息来组装成事例的。
 - 数据获取软件还需要编写程序对原始事例进行解析，以得到数据分析所需的数据，这样才能按照电荷分配法计算出中子在 ^3He 管上的击中位置。



总结

- 经过与探测器和电子学系统的联合调试， ^3He 管阵列样机探测器数据获取系统的数据获取速度和数据传输的可靠性都达到预期目标。
- ^3He 管阵列样机系统已成功应用于中子实验测试中，获得了探测器的性能指标。为今后的工程应用打下了良好的基础。



谢谢!

