

文章编号：0258-0926(2014)S2-0218-03; doi: 10.13832/j.jnpe.2014.S2.0218

# 数字化反应堆物理启动仪器的研制

洪景彦, 李义国, 张金花, 彭 旦, 吴小波, 郝 倩

中国原子能科学研究院, 北京, 102413

**摘要：**研制了一套数字化的反应堆物理启动仪器，该套仪器主要由探测器、数据采集电路、微型计算机及计算机数据处理软件组成，其中数据采集电路包括脉冲放大电路及计数器电路、多量程微电流放大电路及模数转换电路、数据传输电路。该仪器能够完成次临界外推、超临界内插、中心控制棒效率测量及径向燃料元件效率测量等实验。在微堆低浓化零功率实验中对该仪器的测量功能进行验证，实验结果验证了该仪器测量的准确性。

**关键词：**反应堆物理启动；次临界外推；超临界内插；数据采集；中子计数

**中图分类号：**TL32 **文献标志码：**A

## Development of Computerized Reactor Start-up Instrument

Hong Jingyan, Li Yiguo, Zhang Jinhua, Peng Dan, Wu Xiaobo, Hao Qian

China Institute of Atom Energy, Beijing, 102413, China

**Abstract:** A set of computerized reactor start-up equipment is developed, which consists of the detector, data acquisition circuit, computer and data process software. The data acquisition circuit is made up of plus amplifier and plus counter, multi-range-ultra-low current amplifier, analog to digital conversion circuit and data transfer circuit. This equipment can be used in the experiment of subcritical extrapolation, supercritical interpolation, value of central control rod and value of radial fuel element. A test has performed in the zero power experiment of Miniature Neutron Source Reactor with LEU, and some results have been illustrated.

**Key words:** Reactor start-up, Subcritical extrapolation, Supercritical interpolation, Data acquisition, Neutron counter

### 0 前 言

目前在役的反应堆物理启动仪器大致可分为 3 种类型：以传统的计数器/定标器和功率测量装置为主要仪器，采用人工计数、人工测量 2 倍周期的方式在坐标纸上进行次临界外推和超临界内插，完成反应堆物理启动实验；以传统的计数器/定标器和功率测量装置加数据采集卡及计算机为主要仪器和设备，利用现代的计算机技术对采集卡获得的数据进行处理，继而进行各种实验；

利用现代化的电子技术，把计数器/定标器、功率测量和数据采集卡集成在一块电路板上，与计

算机结合形成一套完整的、专门的反应堆物理启动仪器，具有体积小、便携、使用方便、测量准确快速且结果易于保存等优点。本研究研制的数字化反应堆物理启动仪器（以下简称新仪器）属于第 种类型的反应堆物理启动仪器。

### 1 仪器组成

新仪器主要由探测器（He-3 计数管、 $\gamma$  补偿电离室）、数据采集电路、计算机和计算机数据处理软件组成（图 1）。其中数据采集电路和计算机数据处理软件是新仪器的核心。

收稿日期：2014-10-29；修回日期：2014-11-27

作者简介：洪景彦（1979—），男，助理研究员，现从事反应堆控制与监测、反应堆物理工作

## 2 数据采集电路

数据采集电路主要由脉冲放大及计数器电路、多量程微电流放大电路、模数转换及数据传输电路组成(图2)。

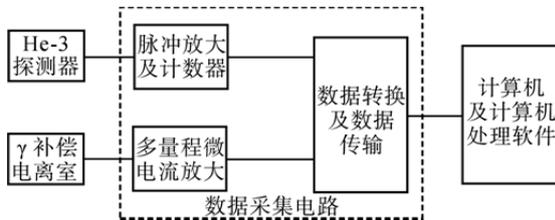
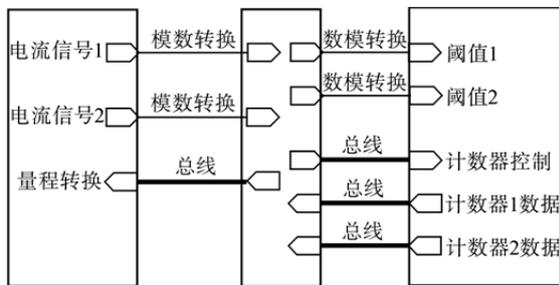


图1 原理框图

Fig. 1 Theory Diagram



多量程微电流放大器 微控制器(MCU) 脉冲放大器及计数器

图2 数据采集电路示意框图

Fig. 2 Diagram of Data Acquisition

其中脉冲放大及计数器电路用于采集源量程中子计数/计数率等信息,多量程微电流放大电路用来采集中间量程中子电流信息(中子注量率);设计上,这2部分量程有一定的重合,以保证对反应堆状态的不间断监测。

### 2.1 脉冲放大及计数器电路

脉冲放大器由主放大器、次级放大器和反相器组成,主放大器、次级放大器和反相器均选用运算放大器 AD844;甄别器由比较器 LM311 和微控制器(MCU)的数模转换(DAC)电路组成,通过改变 DAC 的输出来改变甄别阈值;脉冲成形电路由与非门完成;计数器由2个8位计数器 74HC590 级联组成一个16位计数器,该计数器的最大计数频率为19 MHz,最大计数范围为0~65535。

### 2.2 多量程微电流放大电路及模数转换电路

$\gamma$ 补偿电离室输出的电流信号经过多量程微电流放大器后,电流信号转换为电压信号,该电压信号输入到MCU的模数转换通道,转换为数字信号,经串口传输至计算机<sup>[1-2]</sup>。此放大器可对

$10^{-12}\sim 10^{-6}$  A范围的电流分6个量程进行放大。多量程微电流放大器由主放大器、量程转换系统和反相器组成。主放大器采用斩波稳零运算放大器 ICL7650。

量程转换系统是通过MCU控制译码器 74HC138 和2个数据选择器 CD4053,选择不同的反馈支路实现。模数转换使用MCU系统内的9通道12位逐次逼近型模数转换器。该模数转换器的各项参数可通过MCU内的特殊功能寄存器进行设置。转换后的数据暂存至MCU的内部储存空间,与计数率信号一同经串行通讯传输至计算机。

## 3 计算机数据处理软件

中子计数信息和电流信息传输至计算机后,需要使用软件对这些信息进行分析处理,以得到反应堆当前的状态<sup>[3-4]</sup>。使用 Labwindows/CVI 完成了数据处理软件的编写和调试。该软件主要由交互式人-机界面模块、数据采集模块、数据处理模块组成,可完成次临界外推实验、超临界内插实验以及反应性测量等任务,并能实时存储实验中的各种曲线和数据结果(图3)。

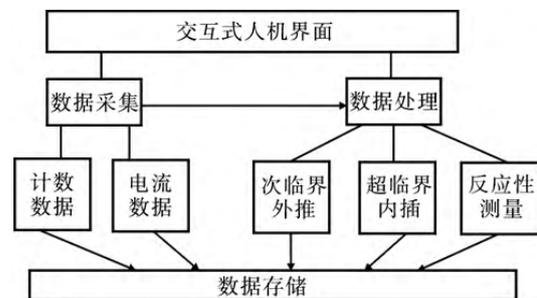


图3 数据处理软件原理框图

Fig. 3 Theory Diagram of Data Process Software

编写软件时用到了周期法测量反应性的倒时方程、实时获得反应性的逆动态方程以及次临界外推和超临界内插算法。

## 4 实验验证

在微堆低浓化零功率实验中对新仪器进行了功能验证。分别对3套相互独立的仪器进行外推和内插、燃料元件效率测量、中心控制棒效率测量实验对比,其中1#、2#启动装置和1#、2#功率测量装置为传统的仪器,3#仪器为新仪器。对比

实验结果列于表 1、表 2 和图 4、图 5。

从实验结果可以看出，新仪器与传统的仪器的测量结果符合较好，说明新仪器的测量准确。

表 1 次临界外推结果

Table 1 Subcritical Extrapolation Results

元件数/根	1#启动装置		2#启动装置		3#仪器	
	计数 /s <sup>-1</sup>	外推 /根	计数 /s <sup>-1</sup>	外推 /根	计数 /s <sup>-1</sup>	外推 /根
183	24.3	—	25.3	—	9.1	—
273	40.6	457.0	24.5	无效	13.7	452.1
323	78.9	377.0	85.0	383.0	31.8	362.2
343	179.1	361.0	240.8	3540	76.3	357.4
349	278.5	359.9	420.0	357.0	130.1	357.5
353	538.9	357.3	768.8	357.9	239.3	357.7

表 2 超临界内插结果

Table 2 Supercritical Interpolation Results

元件数/根	1#、2#功率测量装置			3#仪器		
	倍周 期/s	反应性 /10 <sup>-3</sup>	内插 值/根	倍周期 /s	反应性 /10 <sup>-3</sup>	内插 值/根
358	50.0	1.09	—	50.7	1.08	—
359	18.7	2.06	356.87	18.4	2.09	356.9

注：倍周期为 1#、2#功率测量装置测量值的平均值

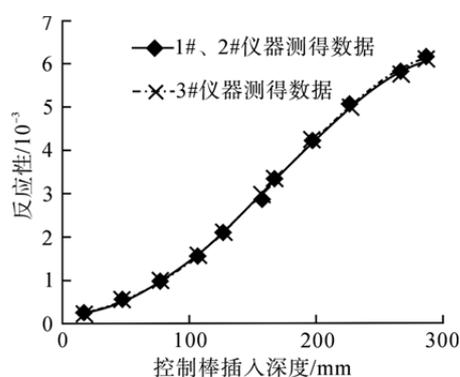


图 4 中心控制棒价值曲线对比图

Fig. 4 Comparison of Values of Central Control Rods

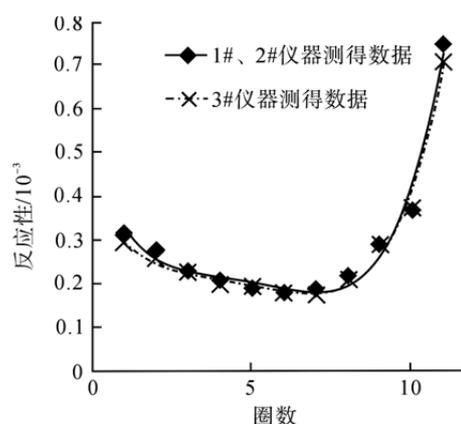


图 5 径向燃料元件价值曲线对比图

Fig. 5 Comparison of Values of Radial Elements

## 5 结束语

根据反应堆物理启动的实际需要，研制了一套微机化的反应堆物理启动仪器。通过实验验证，证明该仪器的测量是准确的，能够满足反应堆物理启动实验的要求。该仪器具有操作方便、测量准确快捷、方便携带、测量结果直观、通用性和扩展性强等优点。

可以通过软件编程对其功能进行扩展，未来可以加入更多的物理实验方法，例如：落棒法、跳源法、Rossi-编程法等。

参考文献：

- [1] 韩世菊, 薛城炳, 毛冬梅. 自动切换量程反应堆数字功率表[J]. 核动力工程, 1982, 3(4): 30-35.
- [2] 周艳明, 谢中. 宽量程微电流测量系统[J]. 物理实验, 2006, 26(11): 18-20.
- [3] 王渭君. 用逆动态方法确定反应堆的反应性[J]. 核动力工程1983, 4(3): 82-90
- [4] 赵柱民, 缪正强, 屠荆, 等. 基于核功率测量系统探测器反应性仪的研制[C]. 桂林: 第三届全国核仪器应用学术会议论文集, 2001.

(责任编辑: 孙 凯)