

# 快中子临界装置主安全块传动机构研制

韩惠林, 项伟灵, 白忠雄, 叶岑明, 张海斌

(中国工程物理研究院 核物理与化学研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 快中子临界装置主安全块传动机构是实现装置安全启动和解体的关键环节。本文介绍了某快中子临界装置机械传动设计、安全保护措施实施、关键技术指标要求和测试结果、安全验证等。各项实验和测试结果表明, 本设计安全可靠, 满足快中子临界装置安全运行需求。

**关键词:** 电磁铁; 快退时间; 安全保护; 快中子临界装置

中图分类号: TL362.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-6931 (2010) S0-0405-04

## Driving Equipment of Main Block of Fast Neutron Critical Assembly

HAN Hui-lin, XIANG Wei-ling, BAI Zhong-xiong, YE Cen-ming, ZHANG Hai-bin

(*Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China*)

**Abstract:** Driving equipment of main block is the key safe part of fast neutron critical assembly. The design of the driving system, the implement of the safety step, and key parameters were introduced. The test and experiment results show the design satisfies the demands of the critical assembly.

**Key words:** magnet; falling time; safe step; fast neutron critical assembly

临界装置是在低功率下运行的能够维持可控自持链式裂变反应的装置, 一般所指的临界装置包括核系统(活性区或堆芯、反射层、控制棒、反应性调节部件等)、堆体支撑架及传动机构、控制系统、监测系统、保护系统和堆厅及附属设施等。而无慢化和无反射(或少量反射)的快中子临界装置均将活性区的一部分设计成主安全块, 一方面作为正常启动时反应性的粗略连续调节, 另一方面在意外情况下作为紧急停堆装置, 如美国洛斯·阿拉莫斯实验室的 Godiva、Topsy、Planet、Comet 等临界装置<sup>[1]</sup>, 俄罗斯的 FKBN 系列临界装置<sup>[2]</sup>, 国内的 CFBR-II 堆<sup>[3]</sup>等。

主安全块的传动机构应满足传动重复性、速度和快退时间等要求。本工作研制快中子临界装置主安全块的机械传动机构, 并对关键技术指标进行测试。

### 1 基本设计要求

快中子临界装置主安全块传动机构的基本设计要求为: 1) 传动包括正常传动和异常快退两种, 其中正常传动包括快速前进、慢速前进和正常后退 3 种方式; 2) 主安全块传动的不重复性不大于 0.05 mm; 3) 主安全块慢进区的传动速度不大于 0.8 mm/s, 快进区传动速度不大于 4 mm/s, 传动的后退速度应大于前进速度;

4) 因异常保护引起主安全块快退时, 主安全块下降 5 mm 的时间应小于 100 ms。

## 2 系统设计

### 2.1 总体思路

总体设计思路为: 通过控制电磁铁通断电状态, 使电磁铁产生激磁和退磁, 达到其吸合主安全块随光杆和丝杆传动方式完成主安全块的正常前进和后退, 并实现异常情况下快速下降的目的。系统基本结构示于图 1, 主要包括伺服电机、电磁铁(衔铁和轭铁)、光杆、丝杆和液压缓冲器等 5 个组成部分。

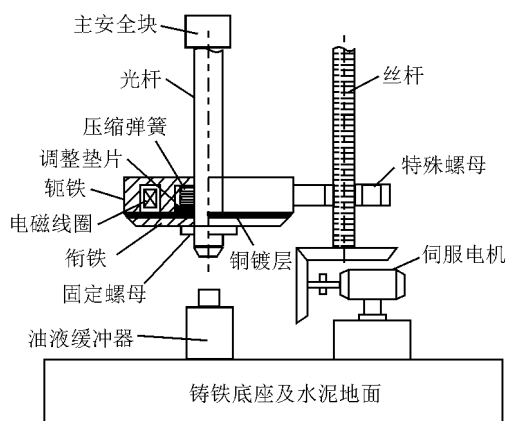


图 1 主安全块传动机构结构简图

Fig. 1 Diagram of driving equipment of main block

主安全块固定于光杆的顶部, 电磁铁通电后轭铁将衔铁和光杆吸成 1 个整体, 通过特殊结构的螺母与丝杆相连, 当丝杆在伺服电机(蜗轮蜗杆传动方式)驱动下旋转时, 螺母带动光杆沿丝杆上下方向直线运动, 实现主安全块的上下传动。

异常保护情况下, 如安全保护系统给出快退信号致使电磁铁断电, 衔铁和轭铁将快速分离, 主安全块将在自身重力和压紧弹簧的作用下以一定的加速度快退到下限位置, 实现装置的快速解体, 使装置处于深度次临界状态, 达到快中子临界装置运行安全目的。为满足装置运行安全, 要求主安全块从密合位置下降 5 mm 的时间小于 100 ms (即快退时间), 一般通过调整电磁铁激磁电流或弹簧垫片使弹簧的弹性力发生改变, 达到满足快退时间的要求。

主安全块快速到达下限位置时有很大的惯性冲击, 液压缓冲器置于主安全块光杆正底部, 当光杆快速下降至缓冲器顶部位置时, 缓冲器实施缓解功能, 缓冲主安全块的下降冲击力, 减小震荡, 起到保护主安全块及其传动机构的作用。

### 2.2 电磁铁

合适的电磁铁吸合力一方面可确保电磁铁在需要吸住主安全块时安全吸住主安全块, 同时在异常情况下能使电磁铁快速退磁, 确保主安全块快退动作实施和快退时间满足要求。一般通过调整合适的电磁铁电流和电磁铁衔铁垫片获得。

电磁铁工作条件的确定包括两个方面, 首先需在实验室模拟相应质量的主安全块作为电磁铁负载, 调整电磁铁激磁电流, 手动给出保护信号使主安全块快退到下限位置, 测试从直流功率测量通道接收到超保护定值信号起, 到主安全块快速下降 5 mm 的响应时间, 得到电磁铁激磁电流与主安全块快退时间的关系曲线, 初步确定电磁铁激磁电流。

在此基础上测试不同情况(一般包括直流功率测量保护通道 I、II, 计数率测量保护通道 I、II 分别输出保护信号及按下紧急停堆按钮等情况)下主安全块的快退时间, 确定其是否满足技术要求, 如不满足, 则根据电磁铁和主安全块的关系曲线, 重新选择电磁铁激磁电流(也可根据情况采取调整电磁铁电流与调整衔铁垫片相结合的方式进行), 重复测试快退时间直到满足要求。电磁铁的激磁电流设计在 100~250 mA 之间连续调整。

### 2.3 快慢进传动方式转换

主安全块的前进过程一般分为快速前进和慢速前进两部分。在设计中, 主安全块距活性区上部分较远(即装置处于较深次临界)时采用快速前进方式, 当主安全块传动到一定距离(靠近浅次临界)时, 采用慢速前进方式。将主安全块的传动行程分为快进区和慢进区, 当主安全块传动从下限位置快速传动到慢进区位置时, 系统的快进功能失效, 这时即可启动慢进程序, 使主安全块慢速传动到指定位置, 满足安全运行需要。

### 3 技术指标

#### 3.1 传动速度

主安全块的传动速度主要通过调整电机驱动电压获得。电机电压调整结果及测试得到的传动速度列于表 1。

表 1 主安全块传动速度测试结果

传动方式	要求速度/ (mm·s <sup>-1</sup> )	电机电压/ V	实测速度/ (mm·s <sup>-1</sup> )
慢进	≤0.8	18	0.8
快进	≤4.0	70	3.45
后退	大于快进速度	80	4.0

#### 3.2 电磁铁激磁电流

选定相应的电磁铁激磁电流测试主安全块响应时间，并绘制二者关系曲线，依据快中子临界装置主安全块快退时间要求（不大于 100 ms），选择适合的电磁铁工作激磁电流。

主要方法如下：在光杆上配重 50 kg 铅块以模拟主安全块真实重量，在不同激磁电流下测量主安全块快退时间，根据快退时间不得大于 100 ms 的技术要求，初步确定主电磁铁激磁电流。

具体步骤为：首先将主安全块传动至密合位置，用外接电流模拟信号给出直流功率测量通道超保护定值信号（档位设定在 3E-6A 档，超保护定值为每档位满刻度的 100%），测试主传动块快退 5 mm 的响应时间。测试流程示于图 2，实际测量过程中选择 140、150、160、170、180 和 190 mA 6 个电磁铁激磁电流（激磁电流 190 mA 以上时主安全块快退时间明显大于 100 ms，而 140 mA 以下激磁电流无法承受 50 kg 的负载），测试结果列于表 2。

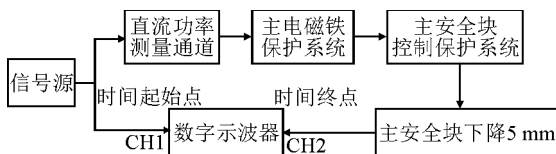


图 2 电磁铁激磁电流与主安全块快退时间测量框图

Fig. 2 Diagram of measurement of suction current of magnet and falling time of main block

表 2 不同激磁电流下快退 5 mm 时间测试结果

Table 2 Falling time under different suction current of main block

激磁电流/mA	快退时间/ms
190	121, 120, 121
180	108, 110, 111
170	105, 101, 102
160	99, 100, 99
150	88, 91, 90, 91
140	82, 92, 80, 81

根据电磁铁激磁电流与响应时间的关系，初步确定 150 mA 为电磁铁激磁电流。在此基础上，需测试各种情况下的主安全块快退时间是否满足不大于 100 ms 的要求，以最终确定电磁铁激磁电流。

#### 3.3 主安全块快退时间

在初步确定了电磁铁激磁电流的情况下，测量各种情况下主安全块快退时间。本工作主要测试了两路脉冲测量通道、两直流功率测量通道输出保护信号和按下紧急停堆按钮时电磁铁快退响应时间，测试结果列于表 3。由表 3 可知，在电磁铁激磁电流为 150 mA 时，主安全块在各种异常情况下的快退时间均满足不大于 100 ms 的要求。可最终将电磁铁激磁电流确定为 150 mA。

表 3 主安全块快退 5 mm 响应时间测试结果

Table 3 Falling time of gear of main block

仪器名称	档位	输入信号	响应时间/ms
直流功率测量通道 I	3E-6A 档	3 μA	91, 94, 93, 92
直流功率测量通道 II	3E-6A 档	3 μA	92, 91, 94, 93
脉冲测量通道 I	30 kHz 档	48 kHz	91, 94, 93, 92
脉冲测量通道 II	30 kHz 档	48 kHz	91, 90, 90, 91
紧急停堆			84, 85, 86, 89

#### 3.4 传动重复性

主安全块传动机构的传动重复性测试结果列于表 4，主安全块的传动不重复性满足不大于 0.05 mm 的技术指标要求。

表4 主安全块传动重复性测试结果

Table 4 Repetition of main block movement

传动行程/mm	测试次数	预置与实测	显示与实测
		行程差/mm	行程差/mm
0.50	14	0.018	0.022
1.00	7	0.025	0.027
2.00	11	0.01	0.05
3.00	5	0.00	0.03
5.00	20	0.02	0.023
10.00	9	0.02	0.02

#### 4 结论

利用电磁铁结合光杆-丝杆传动技术,研制了快中子临界装置主安全块传动机构,该机构实现了主安全块正常的上下传动和异常情况下的快速解体,测试得到的指标为:主安全块快速前进速度为 3.45 mm/s,慢速前进速度为 0.8 mm/s,后退速度为 4 mm/s,满足快中子临界装置主安全块传动速度要求;主安全块快退时间测试结果满足不大于 100 ms 的要求;主安全块的传动不重复小于 0.05 mm。在快中子临界装置的不带核联合调试、带核联合调试和

试运行表明,主安全块传动机构全部顺利实现正常前进和后退功能,并在出现任何异常保护情况下,在规定的时间内使主安全块快速下降到安全位置,确保了实验的正常进行和装置的安全。表明快中子临界装置主安全块传动机构的设计安全合理,可靠性高,相关的功能指标满足了装置安全启动和解体的要求。

#### 参考文献:

- [1] LOAIZA D. End of an era for the Los Alamos Criticality Experiments Facility: History of critical assemblies and experiments (1946-2004)[J]. Annals of Nuclear Energy, 2006, 33: 1 339-1 359.
- [2] McLAUGHLIN T P, FROLOV V V, MONAHAN S P, et al. A review of criticality accidents, LA-13638[R]. USA: LANL, 2000.
- [3] 杨成德, 龚书良, 邓门才. CFBR-II 快中子脉冲堆及其应用[J]. 核物理动态, 1995, 12 (4): 58-60. YANG Chengde, GONG Shuliang, DENG Mencai. Chinese Fast Burst Reactor II (CFBR-II) and its application[J]. Trends in Nuclear Physics, 1995, 12(4): 58-60(in Chinese).