

CNIC-01336

SIP-0106

# HL-1M 装置等离子体位移微机自动 反馈控制系统

卜明南 邓红英 刘燕屏 刘玉琴 刘学梅

(核工业西南物理研究院, 成都)

## 摘 要

HL-1M 装置中, 等离子体位移控制起着重要作用。由于其工作性能的优劣, 将直接影响到装置放电质量以及各项实验的最终结果, 因此, 提高和加强控制系统的工作性能及稳定可靠性, 满足装置的工作要求, 就具有重要意义。该文介绍了 HL-1M 装置等离子体位移微机自动反馈控制系统。该控制系统采用了微机和高精度的电子元器件, 对等离子体电流的位移控制有了极大的改善, 提高了装置放电的质量和效率。

# Computer Auto-feedback Control System for Plasma Displacement on HL-1M

*(In Chinese)*

BU Mingnan DENG Hongying LIU Yanping

LIU Yuqin LIU Xuemei

(Southwestern Institute of Physics, Chengdu)

## ABSTRACT

Plasma displacement control plays an important role in the experiments on HL-1M. It is significant to study how to improve the operation condition, stability and reliability of the control system, and to satisfy the operation requirement of HL-1M because the operation condition will directly affect the discharge quality and the final result of different experiment. In this paper, the computer auto-feedback control system for plasma displacement control is presented. By using the computer and the high accurate electronic component the great amelioration has been made on plasma displacement control, discharge quality and efficiency.

## 引言

环流器新一号 (HL-1M) 装置是在 HL-1 装置的基础上改进而成的。其主要特点是去掉原装置上由铜壳制成的外真空室, 改制成只有现在的厚壁真空室, 由此对等离子体位移的控制提出更高、更精的技术要求。

原等离子体位移控制系统, 是由分立元件组成模拟电子学电路构成的, 完成了初期的部分物理实验。但由于结构繁琐、调节不便, 加上易受到高低温、电源波动及强电磁场干扰等因素影响, 常常造成整个设备调试周期长、工作稳定性差, 对等离子体位移平衡难以达到良好重复的工作状态, 给整体实验运行和维护检修都带来了许多不便。并且, 随着实验的深入进展 (如无感驱动、辅助加热、补充送气、电流二次快上升等实验项目的提出), 对等离子体位移控制, 提高系统工作可靠性及效率等方面提出了更高的要求, 加上对原图纸和技术资料的搜集又有较大的困难, 因而必须重新设计、更加完善等离子体位移控制系统。

根据 HL-1M 装置等离子体位移的工作特点并参考有关技术资料, 借鉴了在无铜壳条件下等离子体位移的相关数学模型, 研制完成了以微机为控制核心的等离子体位移微机自动反馈控制系统。

### 1 控制系统的功能和特点

本控制系统以一台微机实现对两套大功率可控硅整流电源 (快垂直场电源、水平场电源) 的反馈调节控制; 在研制过程中注重其工作性能的可靠性和使用的实用性。集信号的采集、分析、处理、控制为一体。

其功能和特点如下:

(1) 改变了垂直位移的控制方式。将原有垂直位移的断续控制方式更改为连续的自动反馈控制方式, 克服了水平场电流的锯齿状波动, 同时消除了等离子体环压上的振荡, 从而为等离子体电流反馈和相应的实验诊断提供了良好的条件, 也为等离子体的位移反馈控制开辟出一个新的调节控制方法。

(2) 结构紧凑、性能稳定、维护检修方便。采用了以微机为控制核心, 大大提高了系统工作的准确度和稳定性, 同时也使大部分工作都以软件编程实现, 只需部分必要的硬件设备, 为系统的维护和检修都提供了方便。

(3) 操作灵活、直观简便。控制系统的使用完全从操作人员的角度出发, 具有人机对话、在线提示、出错报警; 开机时能自动恢复上次结束时各参数的设置; 波形数据做到随时存储、读出、显示、打印; 发光管及时显示中控制信号及系统工作的状态; 还设置有自动、手动和键盘触发功能。

(4) 抗干扰能力强。针对各路信号传送距离远、周围杂散场强的情况, 采取多项切实可行的抗干扰措施: 用双绞线引入各输入信号, 以克服空间电磁场造成的干扰, 加强各信号的带载能力; 有选择地将部分元器件加以屏蔽; 严格区分模拟地、数字地及机壳地, 同时, 将模拟地、数字地制成面积尽量大的各自汇流条, 各地线经各自汇流条最后再汇集到一点, 尽量避免由于地环路电流引起的相互干扰; 系统通过隔离变压器和交流稳压电源对其供电, 进一步提高了抗干扰能力。

## 2 系统的构成和原理

### 2.1 系统构成

从整个控制系统工作要求出发并考虑计算机软、硬件的各自特点,有针对性地整体工作以软、硬结合方法实现;对大部分主要工作(如数据的采集、分析、运算、处理、控制等)以软件的方法完成;而对于软件做不到或不宜软件完成的(信号隔离、功率放大等)以硬件接口方法实现。系统构成框图见图1。

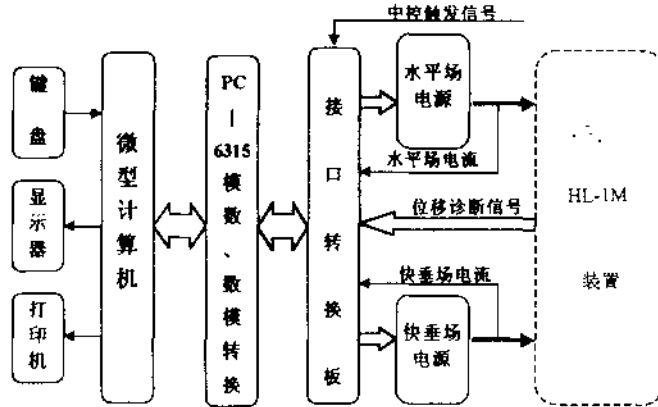


图1 系统构成框图

#### (1) 硬件构成

486/66 微型计算机一台;  
PC-6315 A/D、D/A 转换板一块;  
自行研制的信号转换接口板一块;

#### (2) 软件构成

本控制系统的软件采用 C++ 语言编程。目的是发挥该语言编程灵活方便、可靠性高、功能强且执行速度快的特点,尽量提高系统的工作性能和质量。程序流程框图见图2。

#### (3) PC-6315 模板包括两部分工作:模数转换和数模转换。

**模数转换:** 设置为双端输入、输入范围 $\pm 5\text{ V}$ 。可将接口转换板传来的模拟信号转换为 $0\sim 4095$ 内的数字值送入计算机。这些信号包括主机位移诊断探测信号、平衡场电源电流信号、中控触发信号等各原始信息数据。

**数模转换:** 设置为双极性电压输出方式,输出范围 $\pm 5\text{ V}$ 。将计算机传来数字值转换为 $\pm 5\text{ V}$ 内的电压传给接口转换板,这些转换电压包括水平场电源和快垂直场电源的给定控制值及电源封锁控制信号、接口转换板的控制信号。

#### (4) 接口转换板工作:相关的各路信号隔离、整形、变换和缓冲放大等。

在 PC-6315 板的控制下,对装置传来的等离子体电流位移诊断信号、水平场和垂直场电源电流信号等原始数据进行相应的变换,使输出范围在 $\pm 5\text{ V}$ 内,然后分别引入 PC-6315 板。

对 PC-6315 板输出的水平场电源和快垂直场电源的给定控制值、电源封锁控制信号

分别进行缓冲放大，以提高各信号的输出功率。

对中控的触发信号进行隔离、整形，以满足微机工作的要求。

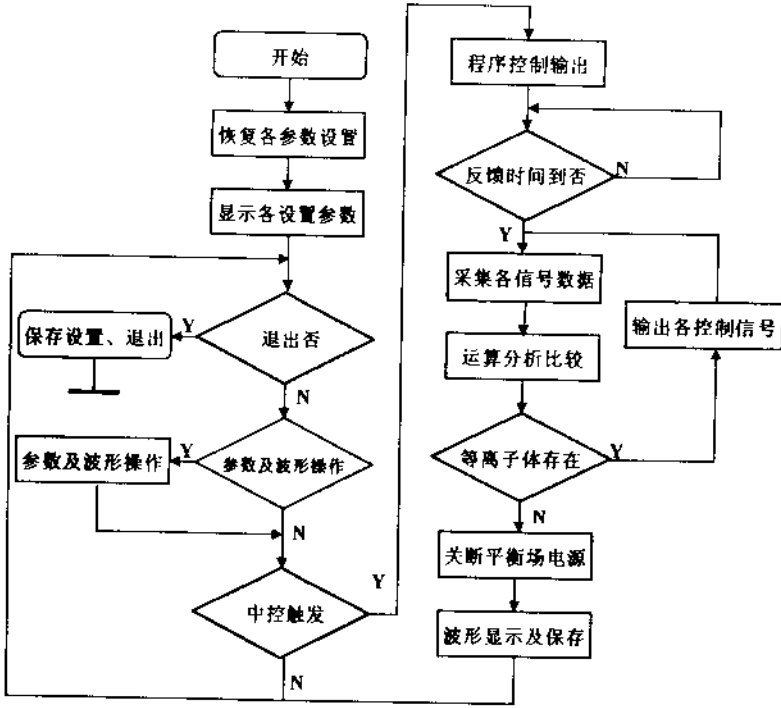


图2 程序流程框图

## 2.2 系统原理

工作原理框图见图3。

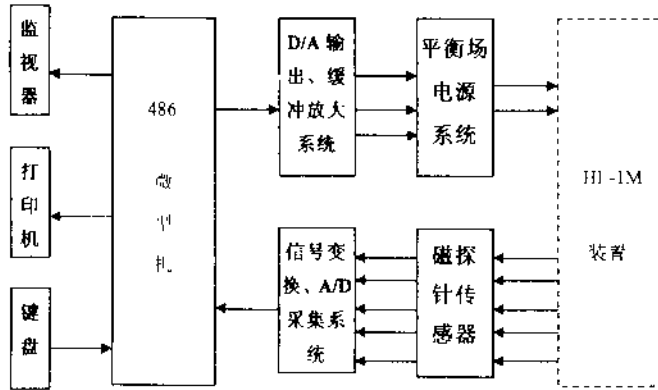


图3 工作原理框图

等离子体位移自动反馈控制是通过调节水平位移、垂直位移完成的。在反馈控制过程中，各原始信号经过接口转换和 PC-6315 模板送入微机，经过变换、分析、运算处理后，根据水平位移和垂直位移情况，输出对应的反馈控制值，通过改变平衡场电源输出大小，达到对等离子体位移调节控制目的。

程序执行过程包括三部分：参数恢复显示、循环检测（键盘输入和中控触发信号）、控

制部分（程序控制、反馈控制、后续处理）。

(1) 参数恢复显示：在系统通电后自动恢复各设定值，同时在屏幕上将各个设定参数显示出来。

(2) 循环检测：循环测试键盘输入和中控触发信号。

键盘输入：

I 电源参数的设置修改。包括对初始工作的给定值、延时时间及反馈工作的中心给定电压、放大系数、反馈系数各参数进行修改操作；

II 反馈时刻用来设定系统的反馈工作和中控触发信号之间的时间值；

III 波形操作对控制结果的数据波形进行存储、读出、显示和打印。

IV 按 Esc 保存设置并退出实验程序。

中控触发信号：微机接收到中控触发信号进入控制部分，否则继续循环检测。

(3) 控制部分

程序控制：微机根据两套电源的延时设定时间分别进行延时后解除电源封锁信号输出对应初始电压给定控制值，然后再按设定的反馈时刻大小，延时后进入反馈控制。

反馈控制：采集等离子体电流位移诊断信号和两套电源输出电流的大小原始数据，经过分析处理后，计算出等离子体位移，与设定值进行相应比较后得出反馈控制值，在判断等离子体存在的情况下，通过改变平衡场电源的输出大小，对等离子体电流的位移加以调节；同时在反馈过程中，每隔 1 ms 记录各原始信号数据，放电结束后对该数据进行存储、处理、显示、打印。当判断到等离子体消失时，退出反馈控制，进入控制后续处理。

后续处理：将各电源的控制值清零并同时恢复电源封锁信号，对等离子体位移、平衡场电流进行显示、观察、保存后，返回到循环检测环节。

### 3 调试运行

等离子体位移微机自动反馈控制系统研制完成后通过了模拟和自检，投入装置后在很短的时间内便完成整体调试。经 1996 年度 A、B 两轮物理实验的使用，该控制系统符合设计要求，不仅完全满足了 HL-1M 装置对等离子体位移控制的工作要求，而且为装置等离子体电流反馈提供了先决条件。采用微机反馈控制等离子体位移，经过近千次的放电实验证明，对等离子体位移调节控制，不论是从准确性还是重复性等各技术方面，都较以往有了重大的突破和改善，极大地提高了装置的放电质量，取得了等离子体存在时间大于 2 s、电流大于 300 kA、平顶时间占 95% 以上的最好成绩，达到了国际同类型、同规模装置的先进水平，为 HL-1M 装置各项物理实验的顺利进行提供了可靠的保障。

### 4 结束语

通过 HL-1M 装置物理实验验证，等离子体位移微机自动反馈控制系统设计合理、运行可靠。它充分发挥了微机计算精确、调节方便的特点，给位移调节带来了极大的灵活性和准确性，能够很好地对等离子体的位移平衡作出快速、可靠、有效控制。由于采用了微机和高精度的电子器件，不仅极大地提高了实验工作效率、缩短了调试周期，同时也使平衡场电源的工作性能有了进一步提高。这些对改善极向场系统对等离子体可控性和放电重复性、提高实验诊断的准确性、减少由于等离子体位移造成的伏秒数损失都具有重要意义。也

为今后 HL-2A 装置的等离子体位移平衡反馈控制提供了一种有价值的参考方法。

### 参考文献

- 1 陆道政等. 自动控制原理及设计. 上海: 上海科学技术出版社, 1978
- 2 秦运文等. 无铜壳 Tokamak 装置等离子体位移分析. 核工业西南物理研究院, (内部报告), 1978
- 3 袁保山等. HL-1M 等离子体位置的反馈控制. 核工业西南物理研究院 (内部报告), 1985