

CNIC-01618
SWIP-0140

HL-2A 中央控制系统设计方案
CONCEPT DESIGN FOR THE CENTRAL CONTROL
SYSTEM OF HL-2A
(In Chinese)

中国核情报中心
China Nuclear Information Centre

CNIC-01618
SWIP-0140

HL-2A 中央控制系统设计方案

宋显明 李强 蒋超
(核工业西南物理研究院, 成都, 610041)

摘 要

主要介绍了 HL-2A 中央控制系统的设计原则和基本组成。由于受到人力和资金的限制, HL-2A 中央控制系统不应单一地追求先进性; 同时, 由于 HL-2A 装置的复杂性, 对它实施控制, 进行正常的物理和工程实验相当困难, 如果为了节约资金而采用 HL-1M 的控制模式, 将无法完成控制任务。HL-2A 中央控制系统由软件和硬件两个部分组成。其中, 软件主要由系统监控软件、放电监控软件和网络管理与通讯软件三部分组成; 硬件主要由实施人身安全保护和机器安全保护的 PLC 和实施实时反馈控制的 VME 计算机两部分组成。

关键词: 设计方案, HL-2A, 中央控制系统

Concept Design for the Central Control System of HL-2A (*In Chinese*)

SONG Xianming LI Qiang JIANG Chao
(Southwestern Institute of Physics, Chengdu, 610041)

ABSTRACT

The design principle and basic structure of the central control system for HL-2A Tokamak are introduced. Having been limited by manpower and money, the central control system should not be too expensive and too advanced. On the other hand, because of the complexity of the machine and the difficulty we will encounter when operating the machine, the central control system should be advanced enough. If we use the same technology for HL-1M to control HL-2A, we would fail to fulfill our experiment goal. The central control system consists of software and hardware. The software mainly includes: (a) system monitor and control software; (b) discharge monitor and control software; (c) network and communication software. Hardware includes: (a) PLC for machine control, personnel protection and machine protection; and (b) VME computer, for the feedback control of the discharge.

Keywords: Concept design, HL-2A, Central control system

引言

由于对能源需求（主要是矿物能源）的不断增长，人类面临着严重的能源和环境危机，尤其是环境危机，被极大地低估了，它极可能在能源危机之前发生。受控核聚变是解决这两种危机的理想途径。目前欧美、日本都在花费巨资从事受控核聚变的研究。HL-2A 是我国第一个具有偏滤器的受控聚变实验装置，建成后它能承担聚变工程中有关杂质控制、排灰和排热等重大工程和物理课题的研究。HL-2A 装置的控制模式应在 HL-1M 的基础上有较大的提高。沿用 HL-1M 的控制模式无法保证对 D 形截面等离子体放电的控制。该方案还应最大限度地利用旧设备，节约资金。时间和人力资源的限制也不允许我们将 HL-2A 控制方案设计得太复杂。HL-2A 中央控制系统主要由实施人身安全保护和机器安全保护的 PLC 和实施实时反馈控制的 VME 计算机两部分组成。主要控制对象包括三台发电机和 8 套电源系统，它们分别是纵向场线圈电源系统、欧姆场线圈电源系统、4 套多极场线圈电源系统、径向场线圈电源系统和垂直场线圈电源系统。本报告介绍了 HL-2A 中央控制系统的设计原则和其构成。

1 HL-2A 装置的现状和其控制系统的设计原则

为了说明 HL-2A 的控制系统设计原则，我们将简单地讨论该装置的研制现状，其控制任务的主要内容，ASDEX-U 和 JT60-U 装置的控制模式，以及为了实现其控制任务必须采取的措施。

1.1 HL-2A 装置的现状

HL-2A 主机来自德国 ASDEX 装置，于 1996 年从德国运回，1999 年开始装置土建等前期工作，2000 年 10 月开始进行预装，预计在 2001 年底以前完成系统的工程调试并开始早期的工程实验。目前主机预装正在顺利进行；计划从日本引进的三号电机也进展顺利，我院正在准备拆迁工作；电源设计的初步方案已经进行了讨论；真空和水系统的设计工作也在积极地进行。然而，由于经费的严重紧缺，整个工程面临挑战。按照工程经理部和工程研制部制定的工作目标，在 2001 年底实现初始等离子体，并实现 HL-2A 装置的设计目标，即：最大等离子体电流 500 kA，等离子体电流的维持时间 5 s，环向场 2.8 T，线平均密度 $8 \times 10^{19}/\text{m}^3$ 。

1.2 HL-2A 控制任务的主要内容

(1) 系统的管理和监视

监视各套电机工作状态，各套电源的工作状态，抽气机组的工作状态，水系统工作状态等。

(2) 放电管理与控制

时序控制：控制各套电机的励磁电源，极向场各套电源，辅助加热设备，诊断设备的投入和启动时间。等离子体放电的反馈控制：等离子体位移和等离子体电流的反馈控制。我们将在以后的工作中实现对等离子体密度的反馈控制，等离子体位形和其它物理参数的控制。

(3) 机器的控制和保护

确保人身安全和设备安全。在不影响子系统工作的前提下，使整个控制系统的软硬件具有更多的兼容性，为故障的应急处理提供方便，同时避免对某个人或某些人的过分依赖。统一制定信号的接地规范，确保信号的准确和仪器的安全。

1.3 ASDEX-U 和 JT60-U 装置的控制模式

ASDEX-U 的自动控制系统大量采用 PLC 和 VME 计算机，充分利用了网络和现场总线技术，使它成为一个开放、可靠、安全、快速、高效、简洁的全数字化、集中化的控制系统，其扩展性、资源的综合利用效率在 ASDEX 的基础上都有了较大提高，控制保护的层次更为明确。JT60-U 大量采用 VME 计算机和 CAMAC 设备，很少采用 PLC 设备。ASDEX-U 和 JT60-U 两者都采用放电设置文件来管理放电控制信息。

1.4 与 HL-1M 相比 HL-2A 控制模式应作的主要改进

为了实现 HL-2A 的控制任务，HL-2A 控制模式应该完成以下三个目标。

(1) 对放电实施集中化控制，采用放电设置文件来统一管理放电控制信息，同时将在以前在多台微机上进行的监控集中在一台计算机上进行。采用局域网 INet 实现子系统与子系统之间，中央控制系统与子系统之间的通讯，完成放电设置文件的下载和工程参数的管理。同时应该采取措施，杜绝分系统在放电前对放电参数的未授权修改。

(2) 充分考虑等离子体位移和等离子体电流的耦合效应，用多输入多输出模型对它们实施解耦反馈控制。

(3) 控制界面更具启发性和更友好，有采用大家熟悉的 Microsoft Excel 开发的可视化波形编辑工具和放电设置文件管理工具。

1.5 HL-2A 控制系统的设计原则

该方案必须充分考虑它的易扩展性，保护投资。我们将在资金允许的情况下进行功能上的扩充和性能上的改进。

该方案应能与其它课题的进度保持一致，力争在 2001 年底完成低参数圆截面放电。有限的人力资源和相对较少的工作时间不允许我们考虑太多的控制内容和采用太复杂的控制方式，否则将影响整个 HL-2A 的工作进度。

该方案的控制模式应在 HL-1M 的基础上有较大的提高。沿用 HL-1M 的控制模式无法保证对非对称 D 形截面等离子体放电的控制。

该方案还应最大限度地利用旧设备，节约资金。

2 HL-2A 中央控制系统的主要构成

HL-2A 中央控制系统由软件和硬件两个部分组成。其中，软件主要由系统监控软件、放电监控软件和网络管理与通讯软件三部分组成；硬件主要由实施人身安全保护和机器安全保护的 PLC 和实施实时反馈控制的 VME 计算机两部分组成。

2.1 HL-2A 控制系统软件

控制系统软件主要由系统监控软件、放电监控软件和网络管理与通讯软件等部分组成

(1) 系统监控软件由系统和子系统状态监视软件和系统管理软件（包括人机界面）构成。

(2) 放电监控软件由放电设置文件的编辑和管理软件、时钟和放电时序软件和反馈控制软件构成。

(3) 网络管理与通讯软件实施控制信息的上传和下载。

(4) 各分系统的控制软件由分系统完成。

HL-2A 放电时间一般小于 5 秒，整个放电过程严格地讲并非稳态，根据不同的控制要求，我们将放电过程分为 7 个阶段，这样将有如下的优点：

(1) 在不同的阶段，实时控制计算机将运行不同的实时控制程序，可以减少不必要的程序分支，提高程序的运行速度。

(2) 一旦等离子体参数没有得到预期的目标，或者某些控制仪器出现故障，可以立即终止放电，从而可以避免危险的事件发生。

如图 1 所示，这 7 个阶段是

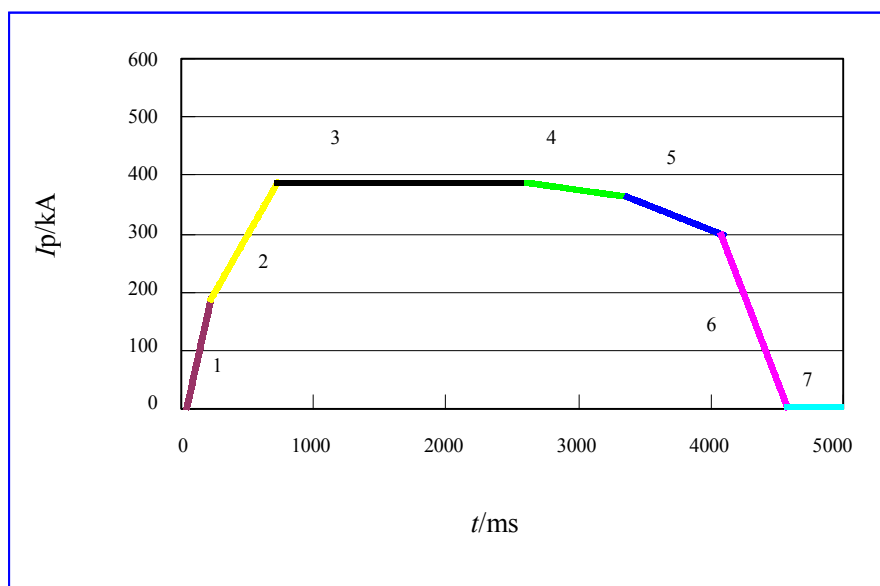


图 1 7 个放电阶段示意图

(1) 等离子体的产生阶段。目标是产生等离子体。

(2) 等离子体欧姆加热阶段。等离子体电流按预设的波形上升，达到可以进行辅助加热的条件。（在后期的工作中，还要包括位形控制，实现多种位形等离子体放电。）

(3) 辅助加热阶段。等离子体在此阶段进行 RF, NBI 加热。

(4) 辅助加热终止阶段。辅助加热结束后，湿度逐步下降，热能和磁能逐渐释放。（在后期的工作中，应包括将变形截面等离子体过渡成圆截面。）

- (5) 等离子体密度下降阶段。减小气体注入量，等离子体密度开始下降。
- (6) 等离子体电流下降阶段。
- (7) 等离子体放电完全终止，开始放电结束后的数据处理。

2.2 HL-2A 中央控制系统硬件

硬件系统如图 2 和图 3 所示，主要由实施人身安全保护和机器安全保护的 PLC 和实施实时反馈控制的 VME 计算机两部分组成。

(1) PLC 系统是放电的直接执行单元，完成系统的放电实施、子系统保护、连锁保护，以及整个装置人员、设备的监测和保护。这些功能是通过该系统内的现场总线网络实现的。在本系统中，各个子系统的信号绝大多数是开关量信号，子系统的管理者由 PLC 担当。目前 PLC-CPU 已经可以在毫秒量级的时间内对上千开关量信号实施准确监测和控制，每个简单逻辑运算的时间仅 0.2 微秒，它也具备了较强的模拟量信号的管理和控制能力，有大量速度不同、精度不同的模拟量输入输出模块。只要 PLC-CPU 选择适当，

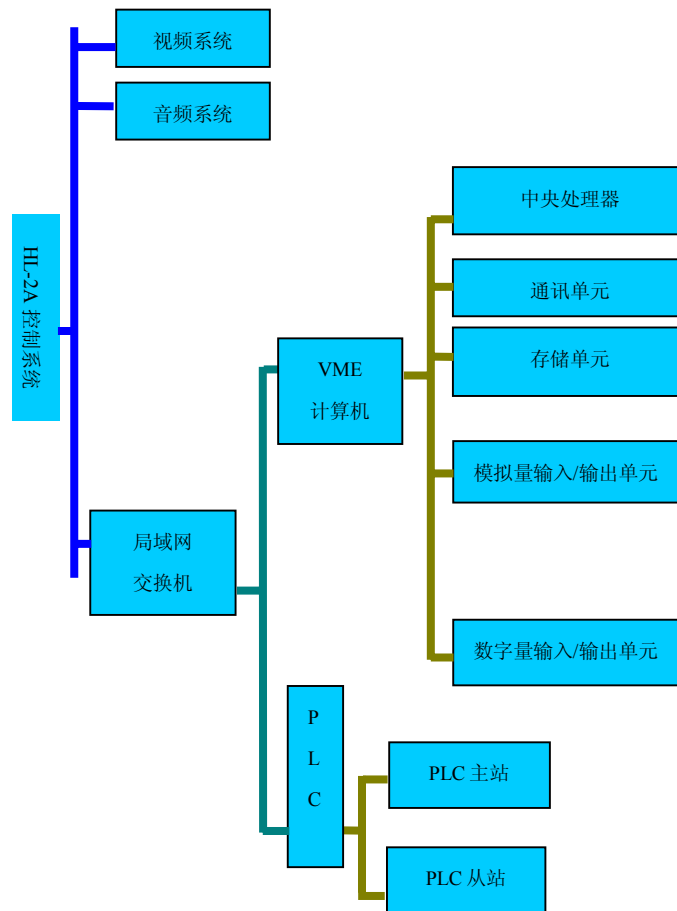


图 2 HL-2A 控制系统硬件构成

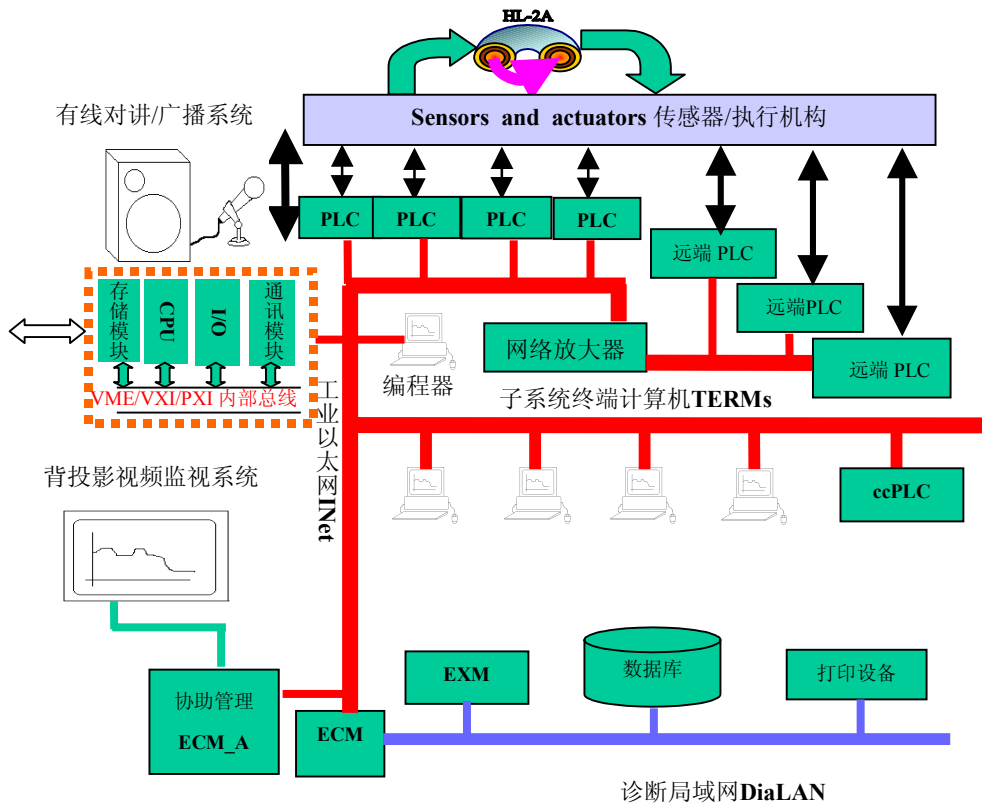


图 3 HL-2A 硬件构成示意图

完全可以满足对任务相对独立的控制系统的灵活可靠控制。各个子系统的 PLC 采用可行的方法进行 I/O 的现场扩展，SIEMENS 的 SIMATIC PLC 的本地 I/O 直接与 PLC-CPU 挂接同一个机槽，适当距离的 I/O 采用接收模块和发送模块进行扩展，较远距离的 I/O 用 Profibus 和分布式 I/O 管理模块 ET200 系列进行扩展。PLC 作为现场控制的最底层管理、计算单元，主要完成现场逻辑关系复杂的数字信号和部分模拟信号的采集、逻辑分析和简单数值计算并通过网络或 I/O 通讯结合本地执行的方法完成现场的控制和保护，包括现场信号之间的连锁和协调。中央控制室的 PLC(ccPLC)作为协调 ECM 实施快速现场保护的装置，它可以直接通过其 I/O 接收重要的连锁保护信息判断现场情况执行连锁保护程序或通知其他子系统 PLC 实施保护。ccPLC 同时对管理上比较模糊的信号实施监测，对整个装置以及控制系统的电源、安全等实施程序保护。ccPLC 还可能对装置状态实时模拟演示装置实施管理。各个子系统对该子系统的 PLC 编程和程序载入一般通过 Inet 实现。在进行局部子系统调试时，可以用一个终端计算机，采用 PLC-CPU 上直接提供的标准 RS232C 端口，在现场对该子系统的 PLC-CPU 进行编程和调试。

(2) VME 计算机拥有 50 道输入, 10 道输出, 内嵌 DSP CPU, 对等离子体位移和等离子体电流实施解耦反馈控制。该仪器是整个反馈控制的核心设备。反馈工作站(FBC)是 HL-2A 装置控制系统的实时控制单元, 主要对放电中的等离子体参数如电流、位移、截面形状、偏滤器位形、MHD、密度等进行反馈控制, FBC 是物理控制的核心任务, 它同时对物理参数进行监测, 当它对测量信号进行计算发现它所监测的一个物理参数超出正常物理实验的极限时, 根据不同情况输出连锁保护/控制信息。FBC 对时间的要求苛刻, 模拟输入输出量、数值计算量, 数据存储量都较大。为此我们准备使用美国国家仪器公司(NI)或 HP 公司生产的 VME, VXI 或 PXI 产品。它相当于一个特殊的工业计算机, 充分利用 Intel 的 CPU 的性能, 并对仪器的几何特性、电气特性、物理结构、冷却条件、抗干扰能力等均作了严格限定, 使系统的稳定性、扩展性、开放性增加, 数据采集速度、计算速度和 D/A 输出速度更快更精确。FBC 连接到 INet, 由 ECM 直接对它进行编程, FBC 实时采集的数据在放电时进行本地存储, 放电结束后经 INet 传到 ECM, 再由 ECM 进行处理形成数据库记录, 在 DiaLAN 的数据库工作站进行存储。FBC 还可作为一共享的高速数据获取设备, 各个子系统需要采集的信号在这里进行采集并实时存储, 放电完成后数据交付数据库进行处理。FBC 同时担负放电过程中重要物理参数和事件的监视任务, 例如等离子体电流的建立和结束信号, 采集到的信号经过判别后直接通过其输出与 ccPLC 的输入信号进行通讯再由 ccPLC 的 I/O 向所需要的子系统发布, 同时通过 INet 在网络上广播。

2.3 HL-2A 中央控制系统的工作过程

2.3.1 在 EXM 计算机上制作放电设置文件

(1) 物理工作者根据物理实验的目标设定物理参数, 例如, 等离子体电流, 形状, 密度, 平顶时间, 辅助加热的功率和加热宽度, 所有这些构成了放电设置文件的主体骨架。

(2) 将放电设置文件的主体用常量和系数数据库中的数据完善。

(3) 进一步用装置控制器的设置参数(线圈的极性和配置, 气体加料系统的配置等)来完善放电设置文件。

第二和第三步称为关联, 它使放电设置文件成为可执行的完整文件, 也就是可以装入放电控制系统, 控制托卡马克放电的文件。在第一和第二步之间, 应该进行放电参数的合法性检查(例如, 通过托卡马克的模拟代码, 线圈负载的计算代码进行检查)。一旦发现这些参数与系统硬件不相容, 可以通过交互式图形界面进行修改。

2.3.2 将放电设置文件通过网络下载到各系统。

EXM 计算机通过 INet 将放电设置文件下载到 VME 反馈控制工作站, 各个控制子系统和各个 PLC 中。

2.3.3 检测各个设备的状态, 一旦全部就绪, 则实施放电。

2.3.4 放电结束后, 收集和整理工程控制参数和实验参数。同时为下一炮放电作准备。

2.3.5 应该通过预定义事件等策略来减少系统间的通讯量。

致谢

李波、樊明杰、王明红和毛苏英参加了本方案的设计工作；其他与装置工程控制有关的科技人员以及 2A 研制部有关技术负责人、领导对方案也给予了大力的支持并提出许多宝贵意见。在此作者一并表示诚挚的感谢。

参 考 文 献

- 1 Raupp. G, et al. ASDEX-Upgrade Discharge Control and Shot Management, Fusion Technology, 1992. 1072
- 2 Richter. H, et al. Overview of the ASDEX-Upgrade Experiment Management Software. Fusion Technology, 1992. 1077
- 3 Raupp. G, et al. Discharge Supervision Control on ASDEX Upgrade. Fusion Technology, 1997,32: 444
- 4 Streibl. B, et al. ASDEX Upgrade: The First Period of Operation. Fusion Technology, 1992. 751