

**CNIC-01624**  
**SWIP-0146**

**HL-2A 装置控制系统实施讨论方案**  
**A DISCUSSION ON PRACTICABLE SCHEME**  
**FOR MACHINE CONTROL SYSTEM**  
**OF HL-2A TOKAMAK**  
*(In Chinese)*

**中国核情报中心**  
**China Nuclear Information Centre**

**CNIC-01624**  
**SWIP-0146**

# HL-2A 装置控制系统实施讨论方案

李强 宋显明 蒋超  
(核工业西南物理研究院, 成都, 610041)

## 摘 要

该文是在《HL-2A 装置控制系统网络及硬件初步方案》基础上进一步完善的实施讨论方案。该方案使用现场总线通信, 对装置实施集中化控制。文章对所提方案中的硬件组成、运行原理作了介绍; 对分步实施、扩充性、集中化控制、与各个子系统联系和目前 HL-1M 已有设备的继续利用等问题作了讨论; 详细对比和说明了经费情况。由于 HL-2A 装置工程进展紧迫, 文中提出了该控制系统分步实施的建议。

**关键词:** 实施方案, 集中化控制, 分步实施, HL-2A

# **A Discussion on Practicable Scheme for Machine Control System of HL-2A Tokamak**

*(In Chinese)*

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

## **ABSTRACT**

This is the modified version of *The Preliminary Design on the Hardwires and Nets of HL-2A Tokamak*. In this version, centralized control as well as the field bus communication on HL-2A Tokamak is used. The hardware components and the operational theory are introduced. The questions of practice program, extensibility, centralized control, cooperation with other subsystems and the continuous adaptation of present device are all discussed. The budget of the system is detailed. To keep the step with the overall engineering constructions of HL-2A, suggestions of the time program are presented for the system design, instrument purchases, installation, construction, user program development and the final operation processes for the machine control system of HL-2A Tokamak.

Keywords: Practicable scheme, Discussion, Centralize control, Fractional practicable

## 引 言

聚变研究装置的放电控制系统 (Discharge control system) 对物理参数的实施实时反馈控制, 装置控制系统 (Machine control system) 是放电控制系统以外的放电时序、系统连锁保护、动作时间协调系统。放电控制系统和装置控制系统相互通信完成对装置科研实验的人身、设备和放电物理参数的保护。关于放电控制系统在其他论文中进行专门讨论, 本文仅就 HL-2A 装置控制系统的实施方案进行讨论。

ASDEX-U 装置的控制采用了 Siemens 的 Simatic S5 系列的 PLC, 各个 PLC 组成明确的控制、保护和管理层次, 空间分布各不相同的 PLC 之间采用 Sinec H1 网络 (一种类似工业以太网的网络) 进行通信, 也使用了工业以太网 Ethernet 进行信息的交流。JT-60U 装置上控制使用了大量的 CAMAC 和 VME 计算机, 采用工业以太网进行信息交流, 实时通信采用 Reflective Memory 技术。HT-7 装置也是一个自动化程度比较好的系统, 子系统之间采用局域网进行信息通信, 完成数据存储后可以实现无人参与的自动放电。但是 HT-7 基本没有考虑子系统之间的网络传递信息的连锁保护, 所以在网络的实时通讯能力和控制、保护、管理层次方面还有一定的挖掘潜力。HL-2A 的装置控制是全新设计的自动化系统, 与 HL-1M 的装置控制系统相比较, 应当在科研经费允许的情况下充分考虑系统的先进性并充分利用自动化硬件、软件及其通信的发展优势, 保护后期系统功能扩展时的科研经费投资。

本讨论方案使用了现场总线进行通讯, 由于总线的使用大大节约了空间分散和 I/O 点多的控制系统的整体投资, 而且使得整个控制系统管理和维护容易, 分工明确, 逻辑关系清楚。我们还应当注意到, 要确保 HL-2A 在 2001 年底放电, 装置控制系统的实施已经迫在眉睫, 软件熟悉、仪器采购、硬件集成、系统调试、软件编制、联调等都需要时间, 而且工程项目实施过程中或许还有不可预知的技术和工程问题, 我们要充分意识到这些困难, 所以在本文中我们特别提出了分步实施、提前启动的建议。

## 1 设计目标

我们设计的系统必须完成以下目标:

(1) 2001 年底前完成系统组建, 实现对装置的初步控制, 视编程的熟悉程度实现 I/O 通信或现场总线通信, 确保被控对象 HL-2A 装置在 2001 年底具备初步的放电条件。

(2) 相比分散的、直接采用 I/O 进行通信的系统, 本方案的整体投资会更低或与之接近。

(3) 在确保以上两点的情况下, 实现具备 20 世纪 90 年代控制水平的装置控制系统, 它具有集中化、简洁、灵活、易操作、稳定、全自动、全数字的特点。

(4) 为西南物理研究院培养一批熟悉总线和工业控制网络知识, 掌握现代控制技术的工程技术人员。

## 2 实施方案

本设计方案在中央控制组采用一个 PLC-CPU (型号 Simatic S7 413-2DP, 8192 个 I/O 点的控制能力, 1000 个基本布尔运算的时间为 200  $\mu$ s, 有 Profibus-DP 接口), PLC 系统通过工业以太网通信处理器连接到工业以太网, 在 PLC-CPU 本地扩展 300 个开关量 I/O 以及 30 个模拟量 I/O, 采用专门的 Profibus-DP 总线扩展模块 ET200M 作为 I/O 远地 (也可以是本地) 的扩展途径。Profibus-DP 具有高速、可靠、灵活的特点, 价格便宜, 可以实现 I/O 在地域、数量上的随意扩展, 也允许其他厂家的 I/O 以及专门功能模块的使用, 这使得系统在模块选择上更加灵活。系统本地配置了 300DIO 和 30AIO, 具备了分步实施的先决条件, 也就是说, 当 Profibus-DP 的 I/O 扩展在实施上暂时存在问题时, 我们可以用这些 I/O 与子系统的 I/O 直接连接对装置实施简单控制。

在本方案中使用了工业以太网, 组建了局域网 INet, 它有以下优点:

(1) 工业以太网是技术成熟的通信网络, 可实现任何数据量的高速传输, 支持多种通信协议尤其是目前占主流的 TCP/IP 协议; 有完善的网络软件、硬件技术支持; 能充分使用 DDE, OLE, COM 和 DCOM 等开放的软件技术实施对网络的有力控制和管理。

(2) 局域网的运行速度与信息的大小有关, 也与请求通信的网络节点数有关, 为了使控制信息实时通信, 我们可以适当限制网络节点数, 在网络内使用 SERVER/CLIENT 结构的程序实现网络通讯的模块化和高速化。

(3) 一个工业控制网络要求具有高的可靠性, 所以我们在硬件方面采用了更高的网络安全措施, 使得工业以太网本身和 DiaLAN 都更加稳定可靠。

(4) 工业以太网的建造成本不高。

以上这些考虑是根据装置建设过程中的实际情况, 许多放电过程中需要的逻辑关系、时序、I/O 点及其数目并不可能准确确定, 而且以后的实验过程中这些参数仍然可能随时改变。为了节约有限的科研经费, 不至于造成系统硬件的浪费, 控制系统应当考虑到系统的可扩展性、可维护性和兼容性。在后期的实验中, 随着实验任务的扩充和集中化控制的要求, 采用了简单易行的方法对系统进行扩展。由于选择了适当的 PLC-CPU 的型号, 已经使得系统的运行速度基本可以满足 HL-2A 装置的控制需要, 在 PLC-CPU 的同一个机架上挂上 300DI/O 和 30AIO, 基本可以保证对各个子系统时序、连锁控制信号的控制。换句话说, 采用 300DI/O 和 30AIO 已经可以简单完成系统的基本控制任务, 只是这样增加了人工的参与, 限制了各个子系统与中央控制室之间的通信信号量, 限制了子系统之间的通信信号量。人工参与的程度高, 集中化自动控制的程度就不高, 考虑的安全防护措施就不够完善, 也就不会有太多的实时现场信息显示, 而且总的经费增加了。

我们对目前 HL-1M 装置的控制系統作了适当的仪器变更, 为了发挥目前自动化仪器的综合性能并节约整体投资, 我们设计了实施讨论方案 (如图 1 所示)。其演化过程是这样的: 在 HL-1M 装置目前的控制系统上, 首先总控使用总线与子系统进行信号通信, 但这样往往现场获取的信号必须经过子系统的计算、比较得到相关信息, 然后在子系统控制器的协调下通过 I/O 通知总控的分布式 I/O 通信, 总控的分布式 I/O 模块接收到信息

后将该信息通过总线输送到总控控制器；从总控来的信号也采用这样的方法处理，所以该方案的缺点也是突出的：一是浪费了总控控制器强大的管理、计算能力；二是使得信号的响应时间降低，并导致仪器的重复购买。我们将子系统的控制器移去，让中央控制器完成现场所有信号的管理和控制。显然现场众多的信号（比如 10000 个开关量 I/O 点）由一个控制器控制会要求总控控制器强大的计算、管理能力，而且现场众多的信号由一个人、一台计算机进行编程是不可能的，所以我们组建一个工业以太网，在网上挂接多个终端对总控控制器进行编程，并对现场的 I/O 状态、装置的运行状态进行监测。有了用于控制的工业以太网，要求信息传递准确、快速，网络稳定、可靠，就需要添设网络管理、维护设备。图 1 添加了网络管理设备、控制辅助设备和放电控制系统的计算机，它是一个最简单的配置，从系统的稳定、可靠出发，为了子系统的编程、调试更加容易以及释放总控控制器的工作量，方案实施时还会添加 PLC 的 CPU，让单独的 PLC-CPU 对相对独立的子系统进行管理和控制，对整个系统的硬件也有备份。

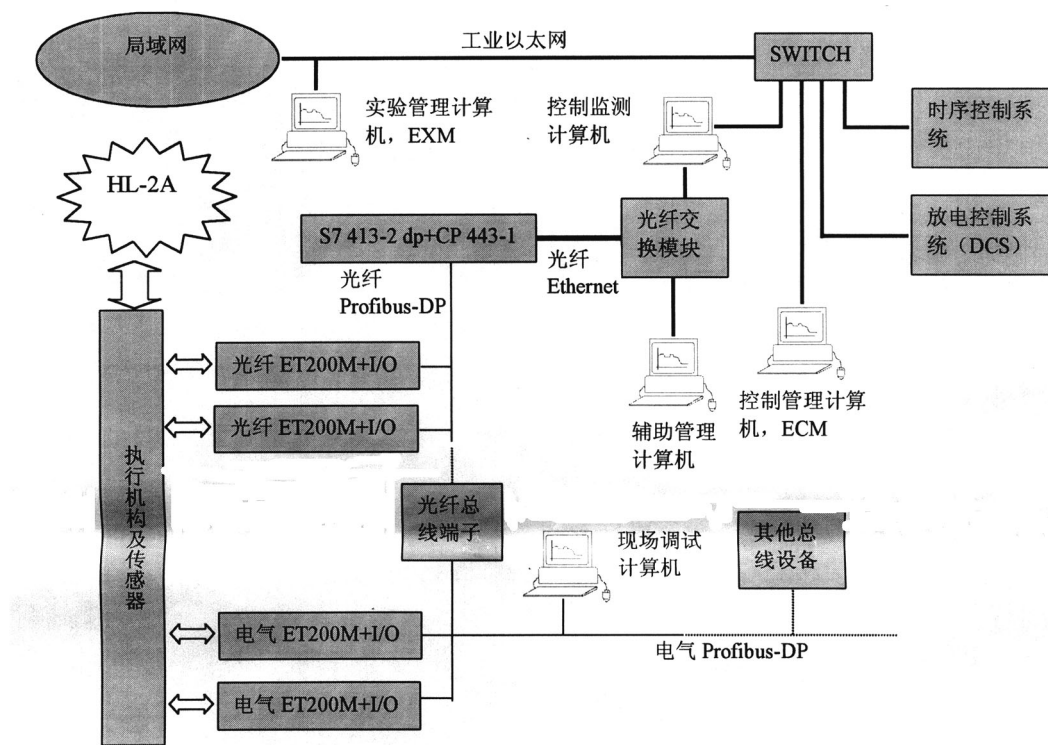


图 1 HL-2A 装置控制系统实施原理图

### 3 控制过程

图 1 所示是一个分布式 I/O 的控制系统，子系统之间的通信采用 Profibus-DP，PLC-CPU 配置通信处理器 (CP) 用以连接系统到工业以太网，放电信息的传递大多数通过工业

以太网。由于 Profibus-DP 分布式 I/O 管理模块 ET200M 采用分布式结构，与中央 PLC 之间通过 Profibus-DP 通信，所以 ET200M 的地域放置灵活，可以尽量摆放在现场附近，有效地抑制了干扰信号。Profibus-DP 是高速信息传递总线，信息传递可靠，而且允许使用光纤等传递媒质，可以有效地实施各个分散系统之间的地电位和干扰信号的有效隔离。系统采用多个操作员站 (OS) 对 PLC-CPU 进行编程，工业以太网服务器 ECM 对网络进行统一管理，可以适当限制 OS 的访问权限，防止对 PLC-CPU 数据和程序的误操作。ECM 同时是工程控制的最高管理者，配以强大的管理软件，对在工业以太网上的 OS，ES，PLC 系统和放电控制工作站进行管理，对放电的参数进行设置和校验。各个 OS 对所属的 PLC 的 I/O 进行编程，程序编译完成后在工程师站 (ES) 进行编译和连接并下载到 PLC 内。ES 在 INet 网络上被赋予了最大的权限，随着程序的调试和逻辑关系的进一步明确，ES，OS 和 PLC 采用标准化的程序只接收由网络上传递的预设的放电数据信息，每次放电前将控制放电的 PLC 的运行程序和预设数据形成数据库文件在数据库服务器进行存储，以便对工程实验数据的分析。ES 同时对所有全局数据进行访问并完成对 PLC 系统的自动检测，维护整个 PLC 系统并检查其 I/O 故障，负责将每次放电的工程参数及时传递给各个 OS 并将工程参数形成数据库文件通过 INet 网络服务器在 DiaLAN 数据库服务器进行存储，ES 对放电过程进行实时监测并显示。考虑到释放 ES 的实时控制能力，可以增加 ES 的数目分别管理实时显示、存储、控制信息管理等工作。

放电时对系统实施控制按下面方式完成：

(1) ECM 通过 INet 和 DiaLAN 检查所有参加实验的设备和系统是否具备放电条件，并由 ES 检查各个系统 I/O 点的状态，实时显示装置的运行状态。

(2) ECM 与 EXM 之间进行放电模式设置，建立放电基本参数的设定值，由 ECM 形成可识别的参数，通过 INet 传达给各个子系统 OS 以及 PLC；将放电的设置文件形成数据库文件在 DiaLAN 上的数据库服务器存储。

(3) 各个子系统的 OS 根据由 ES 发送的从网络上获得的放电信息形成相应子系统的程序运行参数后传到 ES，由 ES 统一下载到 PLC 预备执行。随着实验的进展，子系统的程序一般不用更改，只由 PLC 接收 INet 上传递的放电信息参数即可。

(4) ES 实时监测、通告并显示放电开始信息，所有设备进入放电状态，PLC 按照已经写入的程序，并按照事件、时间方式实施放电控制，由 PLC 上的程序实时判断现场的各种状态，实施 Profibus-DP 通信和 I/O 直接信息通信的子系统保护和连锁保护；欧姆线圈注入电流时通过 PLC 的 I/O 直接向各个子系统输出同步信息。反馈控制工作站接收等离子体电流  $I_p$  信息， $I_p$  稳定建立后通过反馈控制工作站的 I/O 直接告诉 PLC，PLC 立即向各个系统发出  $I_p$  建立信息；反馈控制工作站在  $I_p$  建立后如果发现  $I_p$  失控或  $I_p$  崩溃，采用同样的方法通知 PLC，PLC 再告诉各个子系统。

(5) 由反馈控制工作站判断  $I_p$  结束的信息通过 I/O 告诉 PLC，PLC 通过 Profibus-DP 通知各个子系统，PLC 处理残余电流、保护等直到所有系统的安全条件具备后汇总到 PLC，再由 PLC 通知各个子系统放电结束。

(6) 相关子系统接收到放电结束的信息后切换 PLC 的工作模式, 维护装置常规的监测和维护, 水系统开始线圈的冷却。ES 收集放电工程参数形成的数据库文件, 通过 ECM 在数据库服务器进行存储。

(7) 所有系统进行实验相关的事务处理直到下次放电开始。

由于各个子系统使用了同一个 CPU, 在各个子系统进行调试时显然不如采用各个课题组使用单独的 PLC 进行调试方便, 各个子系统的现场调试可以采用以下三种方法得以实施: 第一, 在控制组的参与下进行, 由控制组负责网络的维护、PLC 的检测以及程序的下载等; 第二, 只需要使用单独的计算机, 在 PLC 附近采用 PLC-CPU 上的 MPI 端口直接与计算机连接进行编程, 采用仪器代理商提供的通讯软件下载数据并完成调试; 第三, 直接在 Profibus-DP 上挂接 OS 对 PLC-CPU 进行编程。

## 4 讨论

理论上, 上面的控制过程已经具备了总线方式的集中化放电控制, 我们也已经做了广泛的调研, PLC 内部程序的运行、连接是可行的, 存在的技术问题也是可以解决的。但是本系统的实施应当注意以下问题:

(1) 控制实施的速度除了与中央处理器的性能有关外, 也与 I/O 点数以及程序的大小有关, 同样在稳定的总线传递速率下, 信息的传递速度也与 I/O 数目有关。

(2) 各个子系统现场调试时的编程、程序下载、其他组的条件与实际放电时完全不一样, 所以无疑增加了控制组和各个子系统课题组之间的编程和人员安排上的困难。

为解决上述问题, 我们建议使用多个 PLC-CPU, 这样只增加了 PLC-CPU 的数目, 相对投资增加不多, 在行政管理、现场操作以及控制管理的逻辑和层次上更为明确。

### 4.1 分步骤实施

我们已经与仪器代理商、销售商、系统集成商以及院内相关科研人员进行了广泛讨论。我们对系统的实施原理、仪器选择、实施途径、经费、可行性, 尤其对 HL-2A 装置这样的现场环境的可靠灵活控制问题作了特别深入的讨论。我们认为: HL-2A 的装置控制系统仍属常规时序和逻辑控制系统, 只是对时间的要求苛刻、现场干扰严重、被控对象的结构紧凑、物理实验数据和工程数据量大。只要使用适当的 PLC 并充分发挥 PLC 的运行速度、数值运算、管理和系统集成的能力, 是可以确保对 HL-2A 装置实施可靠控制的。所以我们确定了使用 PLC 这种专业的控制仪器, Siemens 现场总线的 PLC 价格是完全可以接受的, 这个问题在本文的后面部分我们还要说明。

使用 PLC 后, 采取什么样的通信模式, 怎样发挥 PLC 的综合能力是值得仔细讨论和论证的。对 PLC 综合性能的发挥也可以节约有限的科研经费, 增加系统的综合扩展能力, 避免科研仪器产品的重复采购。采用总线的 PLC 自动化控制系统编程相比以前本地、少 I/O 数目的 PLC 编程要复杂, 为此几乎所有的 PLC 生产厂家对其生产的较大型的 PLC 都研制了专门的软件开发平台 (HT-7 的电机控制组使用了三菱 A<sub>2</sub>SH 系列 PLC, 三菱也研制了专门的开发平台。但是由于该组一共只使用了 330 个 DIO, 12 个 AIO, 合计 500 多点, 他们使用了北京亚控研究所研制的软件)。除了 Profibus-DP 通讯编程以外, 本



方案还涉及系统的 Ethernet 通讯、软件连接、编译、硬件设置、自检等技术问题，这些专业知识的熟悉掌握需要时间，仪器订购到交货还需要大约 3 个月的时间。我们建议及早确定实施方案并预先采购一些必须的设备，堆积相关知识，以便以后的工作顺利开展。否则可能导致在以后的工程安装和调试期间花出更多的钱，而让仪器代理商完成程序和现场的大部分调试，也会增加了现场调试的接洽难度，降低工程进展的速度，不利于科研人员的培养，对系统任务的按时完成也没有保证。

出于对可靠性、经费、先进性的综合考虑，我们制定了本实施讨论方案，接下来我们应当在相关部门的协调下，广泛组织技术和经费论证，然后采购仪器，进行仪器集成的前期技术储备。目前我们工作的重点是自动化仪器的采购和学习。PLC 开发平台的熟练使用和系统硬件的熟练集成需要时间，如果我们不利用有限的时间对这些知识进行熟悉和学习，就会给我们的工作带来困难甚至延误工程进度。为确保 HL-2A 的工程进度，我们只能有以下两种选择：

- (1) 继续使用 HL-1M 分散独立的控制模式；
- (2) 将关键技术工作交给系统集成商完成。

这两种方式都会增加系统的投资，浪费宝贵而有限的资金。而且第一种方式还会导致系统集成、维护的困难，在时间上也不一定是最快捷的方式；信号可靠程度降低，不能实现集中化控制；系统一旦集成完成后，不太可能往更科学、更集中的控制模式改进。为此，我们建议在各种方案中都要使用的仪器及早得到保障并组织学习，也留出足够的时间解决系统实施中出现的技术和工程问题。我们建议如下：

- (1) 2001 年 2 月前迅速落实系统实施方案，尽快进行必要论证和前期准备。

(2) 在 2001 年春节前完成第一步仪器采购的标书或合同并找到仪器提供商，确定购买第一批仪器。

(3) 在第一批仪器到货以前组织相应技术培训并向各个课题组讲解控制实施方式，解决现场技术问题。2001 年 5 月第一批仪器到货后立即组织本组人员在仪器提供商的帮助下进行学习和培训；同时组建模拟工业以太网，对网络通讯程序和网关管理程序进行调试。与各个课题组落实最终的数据量和逻辑关系；开始辅助系统（对讲/广播系统、工业电视系统、机架、简单木建土建）的建造。

(4) 2001 年 7 月根据前期落实的系统总 I/O 数目和仪器数量采购第二批仪器，2001 年 10 月到货，在这三个月的时间里对各个子系统的控制人员进行培训；落实系统连接图和工程实施具体细则；完成辅助系统（对讲/广播系统、工业电视系统、机架、简单木建土建）的建造；同步完成装置控制必需的程序如界面、参数修改、参数接收/发送、数据库访问等相关软件研制、调试和试运行。

(5) 2001 年 10~12 月的全部时间进行系统集成，对子系统的控制进行一一调试并实现联调，2001 年底以前具备控制简单放电的条件。

#### 4.2 集中化控制

集中化控制是近年来自动化发展的一种趋势，也是本项目设计的特点和目标之一，将空间上分散的系统集中起来实施统一控制，具有管理效率高、资源利用率高、可靠、稳定的明显特点。集中化控制靠强大的计算和通信能力提供保障。目前自动化仪器的发

展已经使其具备了强大的数值计算、逻辑分析、管理能力。由于本方案只使用了一个 Siemens 的 S7 413 的 PLC-CPU，而所有系统用一个 PLC-CPU 进行控制肯定对系统的控制速度有影响，影响到什么程度还需要测试才能知道。本系统初步框架搭建完成后，增加一个 PLC-CPU 经费增加不足 5 万元。由于 PLC-CPU 的标准尺寸设计，使其安装上架很容易。

集中化的实施需要具备强大的通信能力。通信靠两种方式实施，一是直接的 I/O 连接进行通信，二是采用现场总线。直接 I/O 连接造成连线、系统集成投资的增加，I/O 点数的利用率底，系统维护困难，信号线长，干扰严重，稳定性差，其优点是信号的输入、输出时间快，仅决定于信号馈线的电气分布参数。而总线通信的优点明显，减少了控制中心到现场的信号连线，既降低了成本，又使得系统简洁、层次清楚、维护容易；总线采用全数字化的信号通信，抗干扰能力强，信号可靠；允许灵活的安装，允许按照需要安置馈线连接器、控制器和 I/O 连线，系统集成容易；此外还使系统的扩展简单、容易，只需要在总线上添加一个新的总线仪器。目前有许多仪器生产商已经开发了大量总线仪器，比如变频器、DCS、电机等，还允许连接其他的总线如 AS-I 等。有资料表明，采用总线通信的自动化系统连线，系统成本降低 40%，系统维护、更换所造成的停工减少 60%。总线通信的缺点是比直接连线的通信模式慢。我们采用的 Profibus-DP 总线速率为 12 Mbps 时，若要对 32 个总线从站的各 512 个开关量 I/O 同时刷新，该信息在总线上的传递时间小于 2 ms，这个时间尺度已经可以满足 HL-2A 装置对工程控制系统的要求。而且系统的控制响应时间是一个综合的因素，除了与信号传递电路的设计合理性有关以外，还与 I/O 单元、传感器/执行机构的响应时间、控制器的运算时间、信号传输线的分布参数等有关。

基于以上综合因素，本方案采用现场总线进行通信，实施 HL-2A 装置的集中化控制。事实上这是适合 HL-2A 和现代控制思想的一种经济有效的控制模式，有利于培养我们自己的控制人员。集中化控制的最终结果是建立了一个功能强大的通信、管理和控制系统，控制组将尽最大努力竭诚为各个课题组服务，协助子系统完成现场调试、编程、集成和系统监测，并使子系统在与其他子系统之间的协同、数据共享、相互通信等方面力争做得更好。我们清楚地意识到由于现场信号成千上万，这些信号之间的时序和逻辑关系相当复杂，让控制组来完成编程是不恰当的，而且在时间、精力上都不允许。本方案的实施让装置及其控制系统后期功能的增加或更改灵活、可靠、节约，也不因为集中化控制的实施影响子系统的调试、运行和实时监测。

### 4.3 经费问题

在不影响整体控制实施的情况下，节约经费也是本设计的出发点之一。所以目前在 HL-1M 上正在可靠使用的 PLC、显示设备、测量设备、开关设备也将在 HL-2 A 的控制系统中继续使用。为了减少控制组和相应子系统的工作量，节约时间和科研经费，我们建议所有不准备进行大改动的课题组，以前能继续使用的控制模式和控制仪器只要不影响整体控制的实施，则所属的系统的控制仪器和控制模式在 HL-2A 装置的建造期间也可以不做更改，只是与控制组的信号通信方式要做适当修改。工程建设完成后，运行期间我们已对新系统的性能更加熟悉、时间相对充裕时，可以对子系统不够稳定的控制系统

进行灵活改造。同时我们建议所有新设立的子系统以及需要重新设计、建造其控制系统的子系统在控制组的协调下完成相应控制系统的设计和建造。我们将和这些子系统一起寻找一条更节约经费、更方便子系统、更利于整体控制实施的途径。

本方案设计和实施的基础是集中化控制，这无疑增加了控制系统统一规划的投资，相比分散独立的控制模式，这种集中化的控制方式事实上是降低了分散控制系统的投资，从而使得 HL-2A 装置用于工程测量、控制、保护的投资总和得到降低。换句话说，对于大的控制系统，采用更强大的中央处理单元，实施集中化的控制，事实上是节约总投资的一种途径。按照图 1 的方案，我们只用一个西门子的 S7-400 的 PLC-CPU 对装置实施集中化控制，系统的总投资为 131.9 万元人民币。系统共包括 PLC 系统、工业以太网部分、工业控制计算机、声音通信系统、工业电视系统等 5 个部分。使用不同厂家生产的 PLC 组建控制系统的经费情况我们也做过综合对比。预算的资料来自 2000 年 4 月的自动化仪器的基本报价。分布实施的前期采购投资是 12.6 万元。在该预算中，PLC 系统的总价格为 80.8 万元，实施时 I/O 情况会有变化，但对整体投资的改变不会太大。PLC 部分中的光纤及其模块也增加了不小投资。采用光纤的优点是明显的，降低干扰、保证数据传输速率并电气隔离各个子系统。在强电磁场工作环境采用光纤进行通信是行之有效的措施之一。不使用光纤虽然会降低投资，但风险较大，完全可能导致人身、设备的安全事故。上述方案只采用一个 PLC-CPU，除了会产生管理、编程、调试上的困难外，还使系统的运行十分冒险。PLC 再稳定也难免出错，一旦出错，除了可能导致放电事故外，还会因为仪器更换需要时间 (S7-400 系列 PLC 的定货周期长) 而影响整个科研实验。为了使控制更可靠，我们需要牺牲 PLC-CPU 对 I/O 的控制和管理能力以满足对时间的苛刻要求。由预算可见，增加一个 PLC-CPU 只增加 5 万元的投资，而且如果新增加的 PLC-CPU 挂载在 Profibus-DP 上并作为总线从站，则其价格小于 3 万，对总体投资基本没有大的影响。所以建议使用多个 CPU，这样整体投资还有一定增加。

#### 4.4 效率问题

I/O 直接通信的、分离的、分散的控制模式，往往需要在系统组建以前落实各个子系统与中央控制机构之间的信号连线，涉及干扰抑制、连线备份、综合布线、连线标识、整洁操作平台等技术问题，还要落实众多的信号之间的逻辑和时序关系，这个过程的工作量很大。控制实施以后每增加一个通信信号，往往不得不花出很大的精力和时间将综合布线重新演示一遍。采用总线进行通信，使得连线简单，到每个子系统的连线只需要一根总线、可能有 24 V 的电源线、以及几根单信号线即可。这样子系统的编程和逻辑显得灵活，更改容易，需要同其他子系统的通信内容更改灵活，由于连线减少，各个子系统的维护也容易。所以我们将更大的精力和时间都花在对整体系统的可行性、价格的论证上，力争先搭建一个可靠、灵活、经济、实用、先进的框架，在这个框架上添设新的控制仪器和设备，增加新的控制功能就十分容易了，信息的交流也只是软件编程的问题了。当然本方案的实施还要充分考虑到各个子系统在控制实施上的特殊性以及众多信号的复杂的时序和逻辑关系，尽量满足现场对控制系统、控制元件的特殊要求。这些在以后的工程进展中还需要加强。

## 致 谢

本文是 HL-2A 装置控制系统的初步实施方案，是在装置控制系统的原理方案上的实施步骤建议。除了文章的作者以外，樊明杰、王明红、罗萃文、李波和毛淑英等参加了本文的立项论证、方案调研以及文字校对；其他与装置工程控制有关的工程科技人员和 2A 研制部的有关技术总负责人、领导等对方案也给予了大力的关注并提出许多宝贵意见，在此一并表示诚挚的感谢。