

HL-2A 的中央逻辑控制 PLC 环网设计

孙江, 夏凡, 王明红

(核工业西南物理研究院, 成都 610041)

摘要: PLC 逻辑控制是 HL-2A 中央控制系统的重要组成部分, 改造前的逻辑控制系统基本使用硬连接, 维护耗时耗力, 结合新一代实时以太网 PROFINET 为 HL-2A 逻辑控制系统的改造设计了环形冗余网络; 采用 8 台西门子交换机 SCALANCE X200 通过光纤依次连接成环, 交换机的电口连接 S7-400 和上位机, 与等离子体放电相关的重要信号仍走硬连接, 其他所有信号都走网络传送; 中控系统作为管理站对其他 7 个子系统进行集中化管理, 中控可以轻松快速地获取每个子系统的状态, 在等离子体放电错误时能很快的预测事故地点和故障分析; 根据放电实验结果表明, 光纤环网非常适用于设备分散的慢控制系统, 整个控制系统逻辑关系清楚, 后期扩展和改造也非常方便; 改造后的逻辑控制系统能满足 HL-2A 和 HL-2M 两套装置的慢控制, 维护简便, 事故定位快准, 提高了放电效率。

关键词: HL-2A; PLC 环网; 逻辑控制

Ring Network for PLC Control System on HL-2A

Sun Jiang, Xia Fan, Wang Minghong

(Southwestern Institute of Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: PLC logical system is an indispensable part of centre control system on HL-2A Tokamak. It is time-consuming to maintain wiring of logic control system before transformation. A PLC Optical Fiber Ring Network has been designed and introduced to PLC logic control system on HL-2A through the application of a new generation real-time Ethernet PROFINET. Eight switch devices named SCALANCE X202-IRT form a closed loop through the optical fiber plug in 2 BFOC ports, each PLC connect with its switch device with a RJ-45 electrical jack. Important signals related to the discharge still using hard-wiring and all the other signals using network transmission. Within the PLC ring network, Central control makes centralized management for other subsystems so that makes the ability of forecast and accident diagnose disposal more powerful and quickly during plasma discharge failure. The results of discharge experiment show that ring network is well suited for slow control system. It greatly makes the whole control system logic relationship clear and protect the latter research investment. The new Logic control system can satisfy the need of slow control of HL-2A and HL-2M. It makes maintenance more convenient and fault location more accurate and faster. It is greatly improve discharge efficiency.

Keywords: HL-2A; PLC ring network; logic control

0 引言

HL-2A 各子系统在一次脉冲放电中, 接收中央控制系统的逻辑指令和运行时序, 从而完成一次等离子体放电^[1]。中央控制系统主要分为时序控制、反馈控制、逻辑控制三部分, 如图 1 所示。在实验放电启动前, 中控逻辑系统需要完成对各子系统的逻辑保护、收发指令、运行条件互锁、综合条件分析判断以及运行监视和事故报告等。在放电过程中为时序控制提供控制回路的各种逻辑条件, 条件满足时继续放电, 条件出错时转入事故处理^[2-3]。在放电结束之后, 监视和控制各设备恢复到下一炮放电的准备状态。

改造前的 HL-2A 中央逻辑控制系统中各个 PLC 子系统是分开搭建的, 系统结构松散, 如图 2 所示^[4]。采用的协议也

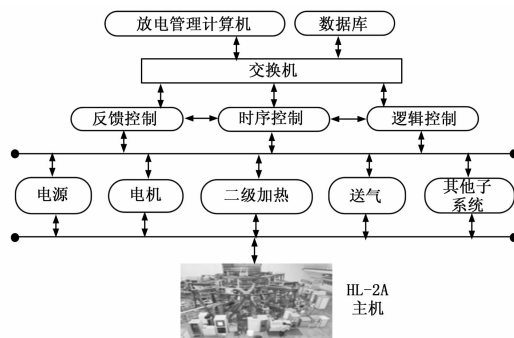


图 1 HL-2A 中央控制系统

各不相同, 有以太网、Profibus-DP、点对点等, 通讯未形成网络化, 这使得中控不能完全掌握各子系统的状态, 不利于 PLC 中控系统对导致实验失败的原因进行分析。所以根据 HL-2A 装置已有的逻辑控制运行经验和 HL-2A 装置的参数和目标, 对 HL-2A 装置的逻辑控制系统进行改进设计。

西门子 PROFINET 支持多样的网络拓扑结构, 所以具有多级的交换机嵌套也是可以的^[5]。从可靠性、安全性、灵活性、易维护性为出发点考虑, 并搭建实验平台进行可行性分析。初步方案确定为采用西门子产品搭建一个全新的 PLC 控制系统, 通过 SCALANCE X200 系列交换机搭建 PROFINET

收稿日期: 2015-11-23; 修回日期: 2016-01-04。

基金项目: 国家磁约束核聚变能发展研究专项(2014GB107000)

作者简介: 孙江(1988-), 女, 湖南常德人, 工程师, 主要从事托卡马克逻辑控制设计及维护方向的研究。

夏凡(1982-), 男, 湖北黄冈人, 副研究员, 博士, 主要从事托卡马克装置大控制系统方向的研究。

王明红(1960-), 女, 四川乐山人, 高级工程师, 主要从事托卡马克逻辑控制方向的研究。

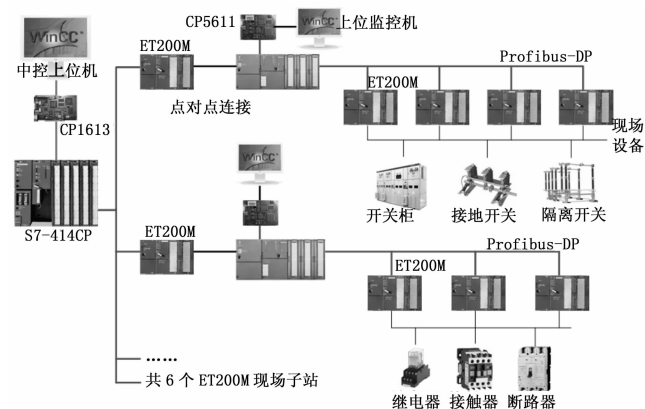


图 2 改造前的 HL-2A 逻辑控制系统结构

光纤环形冗余网络实现 PLC 中控系统与各子系统之间的通讯。

1 新的逻辑控制方案设计

改造后的 HL-2A 逻辑控制系统环网结构如图 3 所示。由 9 个系统组成，分别是中控、电源、高压电源、电机、中性束、电子回旋、低杂波、真空和水系统。所有环网中的硬件设备（PLC、PC 上位机、交换机）都要为其分配一个同一网段的唯一的 IP 地址。

根据 HL-2A 放电监控的需要，将中控（CC）设置为管理站，其它 8 个子系统设置为客户站。所有 PLC 客户站都是由各子系统的工程师负责组态和编程，而且所有客户站都与中控管理站互锁，分为中控和专控两种模式，同时中控能轻松获取整个环网中所有 PLC 变量的消息。

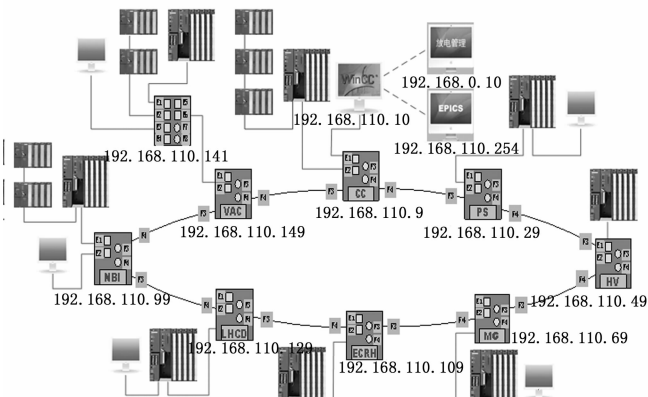


图 3 改造后 HL-2A 环网结构图

西门子 SCALANCE X200 系列交换机支持 MRP（介质冗余）和 HSR（高速冗余）两种协议，即使环网出现故障，也可以快速实现网络重构。每台交换机有 2 个光口和 2 个电口，光纤依次插入 2 个光口，以太网线插入电口可以连接 PLC 和 PC 上位机^[6]。用光纤将各个客户站的交换机连接到各自的光纤盒，然后统一在光纤集中柜进行光纤线路跳转，组成一个冗余环形网络，如图 4 所示，只需 15 对光纤就可以满足所有系统的信息相互传送，轻松实现了中控对多处现场测控数据的管理和传输。

中控管理站是 HL-2A 环网中一个特别重要的组成部分，其硬件配置如图 5 所示。由 3 台上位机、1 个 S7-400 主站、

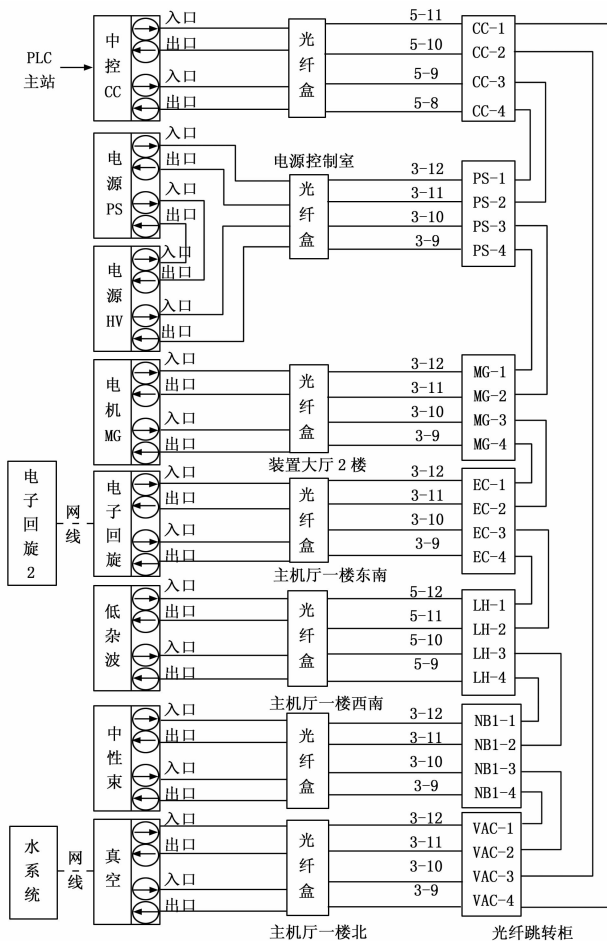


图 4 各子系统的光纤连接图

3 个 ET 200M 子站和 1 个交换机组成。HL-2A 主站的 ET200M 现场子站由原来的 6 个精简为 3 个，分布在电源、电机控制室。

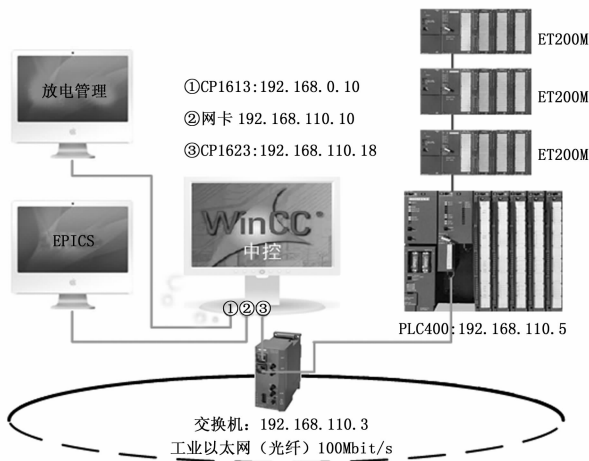


图 5 中央逻辑控制系统硬件配置

中控上位机能获取整个环网所有站点的变量信息，然后通过 NI OPC server 发送给 epics 服务器进行监视。由于 NI OPC server 中的变量和 EPICS IOC 过程变量共享内存接口^[7]，

因此 EPICS 上位机的变量就可以与环网 PLC 中的变量建立起互为映像的关系。

在放电准备阶段, 在放电管理计算机上用 VB 语言读取下一炮放电的 XML 文件, 将新的放电配置信息通过 OPC 传送给中控上位机^[8], 中控便可以根据新设置的放电参数进行下一炮放电。

2 环网中的数据传送

改造后的控制系统共有 3 种通讯方式: TCP/IP、S7 连接、Profibus-DP、点对点硬连接。ET200M 和主站的通讯是 Profibus-DP 连接。西门子 PLC 416 的 CPU 带 2 个 PN 口 (IP 地址相同), 支持 TCP/IP 通讯。S7 协议是西门子专有协议, 可以在 PROFINET 环网上运行。

在 HL-2A 放电实验中, 数据要到达目的地, 需要经过网线和交换机, 这些都会造成数据延迟, 所以需要进行环网数据传输测试, 考察数据包的延时和丢包情况, 确定了网络中数据传输的可靠性^[4,9]。环网搭建好之后在 PLC 管理站和各个客户站之间建立 S7 通讯连接, 并下载硬件和网络组态。用户数据的传送通过调用 STEP7 提供的两个系统功能块 BSEND (SFB12) 和 BRCV (SFB13) 来完成, 最大的通讯数据可达 64 kB。

控制系统一般更多是开关量控制程序, 放在 OB1 的响应快速性比放在 OB35 好得多。OB35 按照设定的周期循环调用, 数据发送块 SFB12 在 OB35 中编程, 设置中断时间为 40 ms 发送一次, 数据接收块 SFB13 在 OB1 中编程, 设置为一直接收状态。图 6 和图 7 展示了在环网中, 2 个站点进行数据传输的结构示意图。

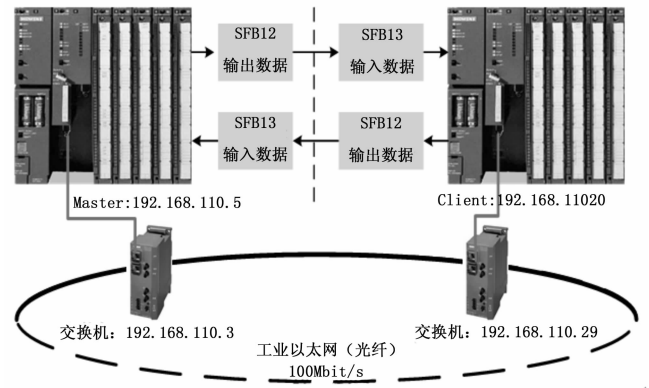


图 6 管理站与客户站之间的数据传送

用示波器测试管理站与客户站之间的数据块传送的成功与否, 设定数据块容量为 8 kB, 传送周期为 100 ms。客户站每次成功接收到数据都会发出一个脉冲, 图 8 显示传送时间 $\Delta t = T_a - T_b$ 为 101.4 ms。从测试结果可以看到, 没有丢包现象, 表明环网中数据块的传送有相当高的可靠性, 延迟时间很短, 满足慢控制的要求。

3 控制程序流程图

中央逻辑控制系统是协调各子系统完成正常放电的纽带,

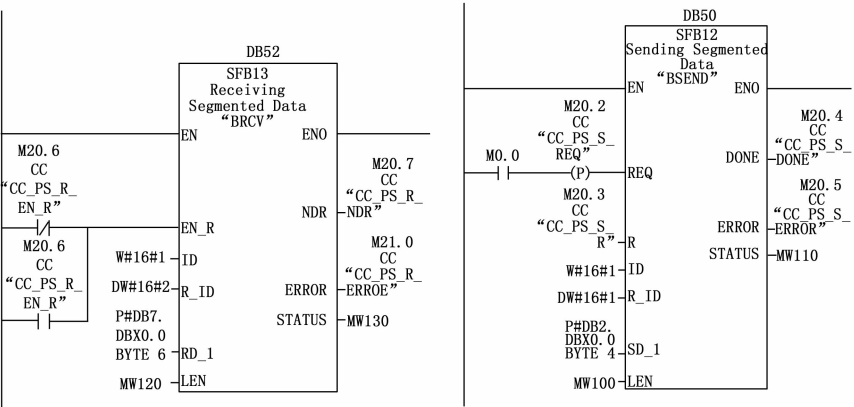


图 7 数据传送程序示例

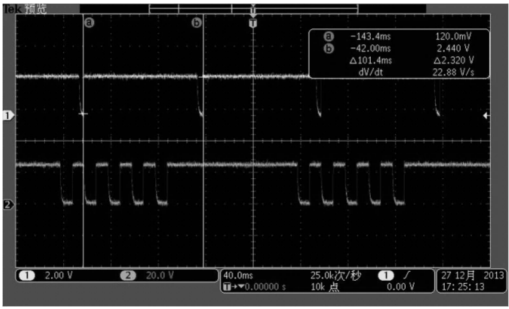


图 8 示波器测试数据传输时间

需要在放电准备阶段和放电中对综合条件 ($\Sigma 0 \sim 5$ 和 $\sigma 0 \sim 8$) 进行判断, 为时序控制系统提供控制回路的各种逻辑条件, 条件满足时继续放电, 条件出错时转入事故处理。放电前的综合条件判断见图 9 所示。

$\Sigma 0$ 判断放电时各系统正常与否; $\Sigma 1$ 判断放电中把关开关的状态; $\Sigma 2$ 判断水系统、弹丸、波加热的状态; $\Sigma 3$ 判断四台电机的投入和电极状态; $\Sigma 4$ 判断极向场使能和纵场电流的状态, 正常则向欧姆发出充磁信号; $\Sigma 5$ 判断诊断测量设备是否准备好。

放电启动时, 若 $\Sigma 0$ 、 $\Sigma 1$ 、 $\Sigma 2$ 、 $\Sigma 3$ 、 $\Sigma 4$ 、 $\Sigma 5$ 有一个不满足条件, 点击“启动放电”按钮无效。放电过程中, 如果在一定的时间区间内, 时序检测到某一个条件没有满足, 则终止放电, 或者某个子系统遇到突发事故, 撤掉回令, 也要终止放电。

4 WinCC 监控界面设计

WinCC 的图形编辑器功能强大, 为用户组态和编辑各种监控画面提供了极大的方便, 可通过 WinCC 自带的 C 脚本语言编写有关事件的动作。PLC 和上位机的通讯采用 SIMATIC 1623 卡, 它支持 TCP/IP 协议。在建立了通讯连接后, 在 WinC 的变量管理器中定义过程变量, 通过改变过程变量的值, 从而改变对应 PLC 的输入输出位的值, WinCC 每隔 250ms 读取过程变量的值, 从而获得相对应 PLC 输入输出位的值, 这样就实现了监控系统与 PLC 之间的通讯。

环网的好坏关系到整个逻辑控制的正确运行, 对环网进行故障诊断最有效的办法是通过直接询问交换机来查看网络的情况。SNMP 监测交换机的控制口是最常用和干扰最少的办法。支持 SNMP 监测交换机有不同的 MIB 库 (管理信息库)。

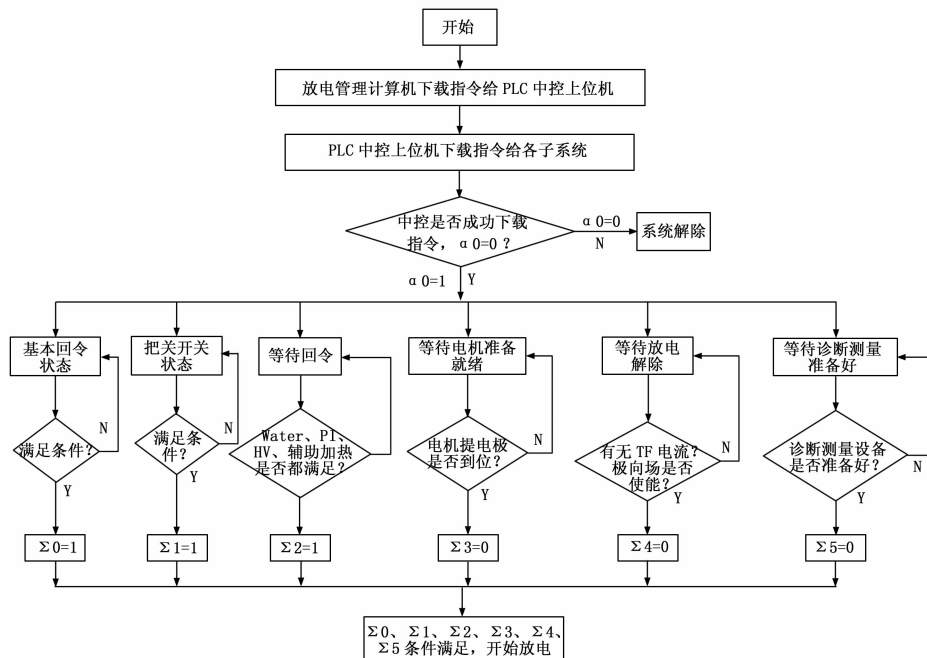


图 9 放电前综合条件判断的程序流程图

在上位机建立 PC Station, 采用 SNMP OPC server 监控交换机和光纤的好坏, 从 9 台交换机的 mib 文件提取有用的变量导入 wincc 来诊断交换机, 变量包括交换机的光纤口的状态、IP 地址等, 这能对硬件故障进行快速监测^[10]。

建立 PC 和 PLC 的通讯连接, TCP/IP 连接, 建立画面元素与 PLC 变量的连接。便可知道放电所在的状态。综合信号画面如图 11 所示, 监控各子系统的关键信号来判断是否工作正常, 比如指令、回令、运行方式、事故预告等。放电实验只需要关注综合信号画面, 根据画面信号颜色的变化, 运行人员可一目了然地了解装置的运行状态。图 10 所示的状态是在放电准备阶段, 2 号电机正在加速。在出现异常的情况下, 切换到其他画面查看具体事故信息。



图 10 WinCC 综合信号监控画面

5 结果与讨论

PLC 光纤环网保证了整个逻辑控制系统的稳定运行, 实现了现场集中管理和分散管理的双重功能, 并已经投入到

2014~2015 年度的 HL-2A 等离子体实验, 共完成 4926 炮的等离子体放电, 实验结果表明 PLC 环网使得整个 HL-2A 逻辑控制系统具有更好的可靠性、冗余性和简便性, 在等离子放电中预测和判断故障地点更加的迅速和准确, 提高了等离子体放电的效率。PLC 光纤环网的搭建和配置对环网在其他项目中的应用有借鉴之处, 即将投入实验的 HL-2M 装置是 HL-2A 的升级, 逻辑控制系统可以充分利用现有的硬件和软件, 只需在环网中加入新的子系统, 下载新的程序, 就可以满足 2A 和 2M 两套装置的逻辑控制的需要。

参考文献:

- [1] 严建成, 刘永, 等. 中国环流器二号 A 装置 (HL-2A) 工程研制 [J]. 核聚变与等离子体物理, 2004, 24 (4): 241-247.
- [2] 夏凡, 等. HL-2M 装置控制系统的概念设计 [J]. 核聚变与等离子体物理, 2009, 29 (4): 341-347.
- [3] 宋显明, 等. HL-2A 控制系统及其放电管理 [J]. 核聚变与等离子体物理, 2004, 24 (1): 73-76.
- [4] 李维斌. HL-2M 供电系统逻辑控制设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (9): 2461-2463.
- [5] 刘喜梅, 李程. PROFINET IO 通信实时性分析 [J]. 网络与通信, 2010 (2): 37-39.
- [6] 工业以太网 SCALANCE X-100 和 SCALANCE X-200 系列产品操作指导 [Z]. 北京, 西门子公司, 2009.
- [7] 石灵丹, 华斌, 等. 基于 OPC 技术的 PC 与西门子 PLC 的实时通讯 [J]. 船电技术, 2011, 31 (1): 9-12.
- [8] 陈欣, 王浩宇, 等. 基于 OPC 技术的上位机与西门子 PLC 的通信 [J]. 自动化与仪器仪表, 2008 (1): 71-73.
- [9] 李鹏, 包政礼, 等. 环形冗余工业以太网技术在矿井中的应用 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34 (7): 66-68.
- [10] 西门子交换机 SCALANCE X SNMP 管理 [Z]. 北京, 西门子公司, 2009.