

网络环境下火电机组 DCS 控制系统自主可控改造与前景分析

王卫 井彦荣

(杭州和利时自动化有限公司 浙江 杭州 310018)

摘要: 火力发电机组的控制系统(DCS)是现代化大电厂的重要组成部分,是生产过程实现自动化控制的关键。DCS 控制系统自主可控改造,在不改变现有 DCS 系统结构、硬件和软件的情况下,将原先由国外引进或国产品牌控制系统改造为具有自主知识产权的产品。为实现火力发电机组 DCS 控制系统的自主可控改造,本文以国内某 600MW 机组 DCS 控制系统为例(以下简称“该系统”),从软件和硬件两个方面详细介绍了 DCS 控制系统自主可控改造过程中所涉及到的主要关键技术、改造方法、实施过程和注意事项,并对网络环境下火力发电机组 DCS 控制系统自主可控改造前景进行了展望。

关键词: 火力发电机组; DCS 系统; 网络环境

1 DCS 系统现状

该机组 DCS 控制系统是由美国 GE 公司于 20 世纪 90 年代后期研制成功的 DCS 系统。该系统采用模块化、开放式、可扩展的结构,分为基础级(I/O 站)、逻辑级(AI 站)和高级控制级(SPS)三个层级。在设计时,DCS 系统采用冗余配置,但在实际运行过程中,由于部分硬件及软件已不能满足现有要求,系统维护及升级难度大。根据上述情况,该机组 DCS 控制系统进行了自主可控改造。具体实施步骤为:首先将基础级和逻辑级的 I/O 站功能进行剥离,将冗余 I/O 站全部更换为国产品牌控制卡;其次对系统软件进行重新设计,同时对硬件进行升级。整个改造过程不涉及到原有的 DCS 系统和原有的外围设备^[1]。

1.1 系统结构

在系统结构设计上,采用“2+4+1”的系统结构,即 2 个控制站(AI 站、SPS 站)、4 个基础级 I/O 站及 1 个通讯接口卡。AI 站主要完成对汽轮机、发电机等辅助设备的控制;SPS 站主要完成对锅炉燃烧系统及热一次风系统等控制;I/O 站主要完成机组各种辅助设备的控制。4 个基础级 I/O 站分别完成对锅炉燃烧系统、汽机控制系统、炉前控制系统、除氧及灰渣系统等控制;1 个通讯接口卡主要完成与现场设备之间的通讯。在通讯接口设计上,采用开放式标准通讯协议。

1.2 系统功能

该机组 DCS 控制系统的功能主要包括基础级(I/O 站)、逻辑级(AI 站)和高级控制级(SPS)三个层级,其中基础级和逻辑级的功能主要包括:热工保护功能,逻辑控制功能,模拟量采集和处理功能,通信接口和网络功能等。高级控制级的功能主要包括:启动、低负荷稳燃、锅炉吹灰、锅炉灭火保护、锅炉吹管等。在改造过程中,系统软件设计了以下新增功能:

- (1) 系统结构采用开放式模块化设计;
- (2) 系统能够根据需要自由增加或减少 I/O 站,改变系统的结构和规模;
- (3) 系统软件具备很强的可移植性和可维护性;
- (4) 系统软件可以实现双机热工保护、启动工况保护、紧急停炉保护、灭火保护、低负荷稳燃及锅炉吹灰等功能,实现了对机组安全稳定运行的有效保障;
- (5) 系统具有完善的安全联锁和冗余控制功能;
- (6) 系统具有较强的抗干扰能力和防雷能力。

2 自主可控改造实施方案

2.1 改造目标与改造原则

DCS 控制系统自主可控改造的目标就是实现 DCS 控制系统的自主可控性,确保其能够按照我国《信息安全等级保护基本要求》和《火力发电厂控制系统信息安全技术要求》的相关规定,为电厂生

产运行提供可靠的安全保障。改造应遵循以下基本原则：

(1) 安全性与可靠性相结合。确保 DCS 控制系统能够满足《火力发电厂控制系统信息安全技术要求》，并符合其相关规定。

(2) 完整性与可用性相结合。确保 DCS 控制系统在运行过程中具有完整性，如有重要信息泄露时能够及时发现并采取措施，确保不发生信息泄露事件，不出现信息丢失等情况；确保系统可用性，如保证系统可正常运行、故障恢复后能够快速恢复。

(3) 自主可控与开放兼容相结合。在 DCS 控制系统自主可控改造过程中，应坚持自主可控，充分利用现有 DCS 控制系统的技术积累和人才储备，尽可能使用原 DCS 控制系统的软硬件及相关软件，采用国产器件和国产操作系统等。同时，应开放兼容性，对已有 DCS 控制系统进行适当的改造升级后，能够与现有 DCS 控制系统兼容^[2]。

2.2 DCS 控制系统改造实施方案

实施方案应包含硬件部分和软件部分两个部分。硬件部分主要包括：改造 DCS 控制系统硬件平台；改造 DCS 控制系统网络架构；改造 DCS 控制系统数据库及相关软件；改造 DCS 控制系统网络安全设备。软件部分主要包括：在相关制度、规范和标准的基础上，建立完善的 DCS 控制系统信息安全管理体系统；对原有 DCS 控制系统进行升级改造，建立和完善升级改造方案；在原有 DCS 控制系统的基础上，建立和完善网络安全防护体系，加强 DCS 控制系统网络安全防护能力，实现 DCS 控制系统网络安全防护能力的提升；建立健全信息安全风险评估机制，根据评估结果，有针对性地对 DCS 控制系统信息安全风险点进行整改和完善。

2.3 技术特点及实施难点

2.3.1 技术特点

该案例中的 DCS 控制系统改造的技术特点主要体现在以下几个方面：

(1) 改造 DCS 控制系统硬件平台，采用国产器件，包括国产 CPU、国产内存、国产存储和国产光驱等；

(2) 改造 DCS 控制系统网络架构，采用国产 IP 协议栈和国产安全产品，包括国产化网络安全设备、国产化防火墙和国产化 IPS 等；

(3) 改造 DCS 控制系统数据库及相关软件，

采用国产数据库，包括国产化数据库和国产操作系统等。

2.3.2 实施难点

该案例中的 DCS 控制系统改造涉及到以下几个方面的难点：如何保证对原有 DCS 控制系统进行全面升级改造后不影响原有生产过程自动化生产需求；如何保证对原有 DCS 控制系统进行升级改造后不影响原有生产过程自动化生产需求，同时也能满足自主可控要求；如何保证在完成 DCS 控制系统升级改造后，能够实现与原有 DCS 控制系统的互联互通。

2.4 实施过程

(1) 对原有 DCS 控制系统进行升级改造，在对原有 DCS 控制系统进行全面升级改造后，通过增加或更换相应的硬件设备，将原有的控制系统升级为具有自主知识产权的 DCS 控制系统。

(2) 新增硬件设备。根据 DCS 控制系统改造方案要求，对新增硬件设备进行选型。在 DCS 控制系统中使用的处理器、I/O 卡等硬件设备需要具备自主知识产权，可以实现国产自主可控。

(3) 软件部分主要是指具有自主知识产权的 DCS 控制系统软件，该软件在不改变原有 DCS 控制系统结构、硬件和软件的情况下，实现对原有 DCS 控制系统的升级改造，并可以与原有 DCS 控制系统实现互联互通。

2.5 注意事项及风险分析

该案例中所涉及的 DCS 控制系统改造过程中需要注意以下几个问题：

(1) 对已有 DCS 控制系统是否需要进行全面拆除；

(2) 针对原有 DCS 控制系统中未被取代的功能模块是否需要更换；

(3) 对原有 DCS 控制系统中未使用的模块进行更换时需要考虑其是否具有可替代性；

(4) 对现有 DCS 控制系统进行改造时，需要考虑如何保证改造后 DCS 控制系统可以满足原有生产过程自动化生产需求；

(5) 在进行自主可控改造时，需要对相关核心技术和知识产权进行保护，以避免出现新技术被其他企业仿制、模仿或垄断等问题；

(6) 在实施自主可控改造后，需要对所使用到的各种软件和硬件进行升级维护；

(7) 在实施自主可控改造过程中需要考虑网络环境对硬件设备和软件带来的影响, 以确保整个改造过程能够安全稳定进行。

3 改造过程中的关键技术

火力发电机组 DCS 控制系统自主可控改造, 是一项涉及软硬件及网络等多方面技术的系统工程, 主要包括软件改造和硬件改造两部分。在软件改造方面, 为实现 DCS 系统的自主可控, 需将原先由国外引进或国产品牌控制系统改造为具有自主知识产权的产品。在此过程中, 需对 DCS 系统的操作系统、组态软件、编程语言及数据库、功能软件等进行相应的改造, 以满足自主可控的要求。在此过程中, 需对原有 DCS 系统的控制模块、通讯模块、网络模块和电源模块等进行相应的升级和优化, 以满足自主可控的要求。

3.1 网络技术

目前, 网络技术已发展为具有开放标准、标准化的网络体系结构。传统的工业控制系统网络一般采用星型或星形网络结构, 其网络结构复杂, 且在设备选型、技术方案选择和运行维护上存在一定的缺陷, 不利于火力发电机组 DCS 控制系统的自主可控。根据火力发电机组 DCS 控制系统的实际情况, 为满足 DCS 系统自主可控的要求, 应采用双网冗余方式。即采用工业以太网作为网络通讯平台, 以太网作为系统数据交换平台。在 DCS 控制系统的网络体系结构中, 需对原有交换机、路由器进行相应的改造, 以实现数据的高速传输及冗余功能。其中, 采用工业以太网作为数据交换平台时, 应重点考虑以下几个方面:

(1) 网络结构上采用双网冗余方式;

(2) 网络通信速率应满足 DCS 控制系统自主可控要求;

(3) 对 DCS 控制系统中的数据交换和监控平台软件进行相应的升级和优化。对

于工业以太网, 需考虑到其带宽和网络传输速率等因素。在实际选择中可根据 DCS 控制系统需求进行具体考虑。

3.2 组态软件

组态软件是实现 DCS 控制系统自主可控的重要组成部分。为实现 DCS 控制系统的自主可控, 需将原有的组态软件进行相应升级, 以满足 DCS 控制系统自主可控的要求。国产自主品牌机组 DCS 控制系统组态软件主要有浙江中控技术股份有限公司生产的 EcoStruxure[®] 工业控制组态软件、北京博智林科技股份有限公司生产的 BSE[®] 工业组态软件、浙江中控技术股份有限公司生产的 SiemensSIS[®] 工业自动化系统集成平台等产品。在 DCS 控制系统自主可控改造过程中, 对原 DCS 控制系统的组态软件进行升级是实现自主可控的关键环节。具体来说, 需对组态软件进行以下几个方面的改造:

(1) 配置高性能 CPU, 并将原有 CPU 升级为支持国产化 CPU;

(2) 配置高带宽双绞线, 以满足国产自主可控 DCS 控制系统对通信带宽的要求;

(3) 配置多线程技术和多种任务调度算法, 以满足国产自主可控 DCS 控制系统对实时处理能力的要求, 如图 1 所示。

4 前景展望

4.1 现场总布线技术

在现场总布线技术方面, 采用高带宽双绞线、

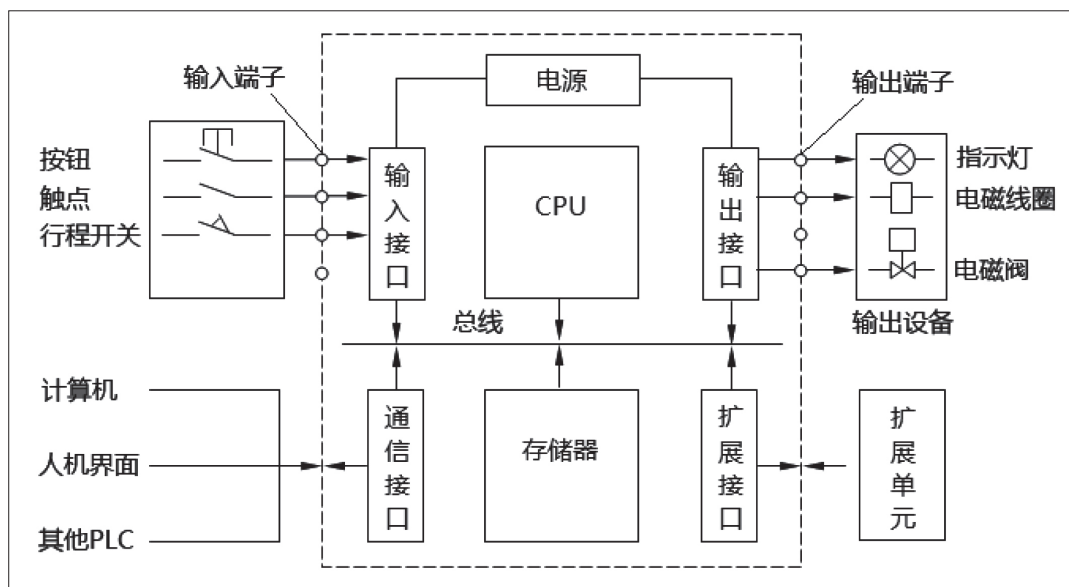


图 1 DCS 控制系统改造

光纤和现场总线（CAN/Fiber）技术，可解决 DCS 控制系统的信息交换问题。现场总线通信网络包括 CAN 总线、以太网以及无线网络等多种通信方式。现场总线通信网络的通信质量直接影响到控制系统的信息交换能力，如当现场设备所传输的数据超过 5Mb/s 时，就会出现数据丢失现象；当现场设备所传输的数据小于 1Mb/s 时，就会出现错误现象。为了解决这些问题，需对现有 DCS 控制系统进行升级，增加 CAN 总线、光纤、以太网通信网络等技术，以满足现场总线通信网络的通信要求。现场总布线技术具有较高的技术壁垒，国内目前还没有完全掌握该技术，但随着国产 DCS 控制系统核心技术的不断突破，该技术的自主可控指日可待。

4.2 高速网络通信技术

为满足 DCS 控制系统自主可控要求，需对 DCS 控制系统现场总线进行升级。现场总线升级采用双绞线作为通讯介质，由于国内国产 DCS 控制系统通常采用总线方式，即一个现场控制器上连接多个现场监控单元（包括 I/O 模块），需要使用多根双绞线来连接各个 I/O 模块。随着自动化技术的发展，目前 DCS 控制系统已逐渐由传统的总线式控制系统向总线式、分布式、智能化、网络化的方向发展。现场总线具有不受地理位置限制、安装维护方便、操作简单等特点，已经在火力发电厂自动化领域得到广泛应用。通过使用现场总线，可实现现场设备间的信息共享和交换，如图 2 所示。

采用高带宽双绞线作为 DCS 控制系统通信介质，

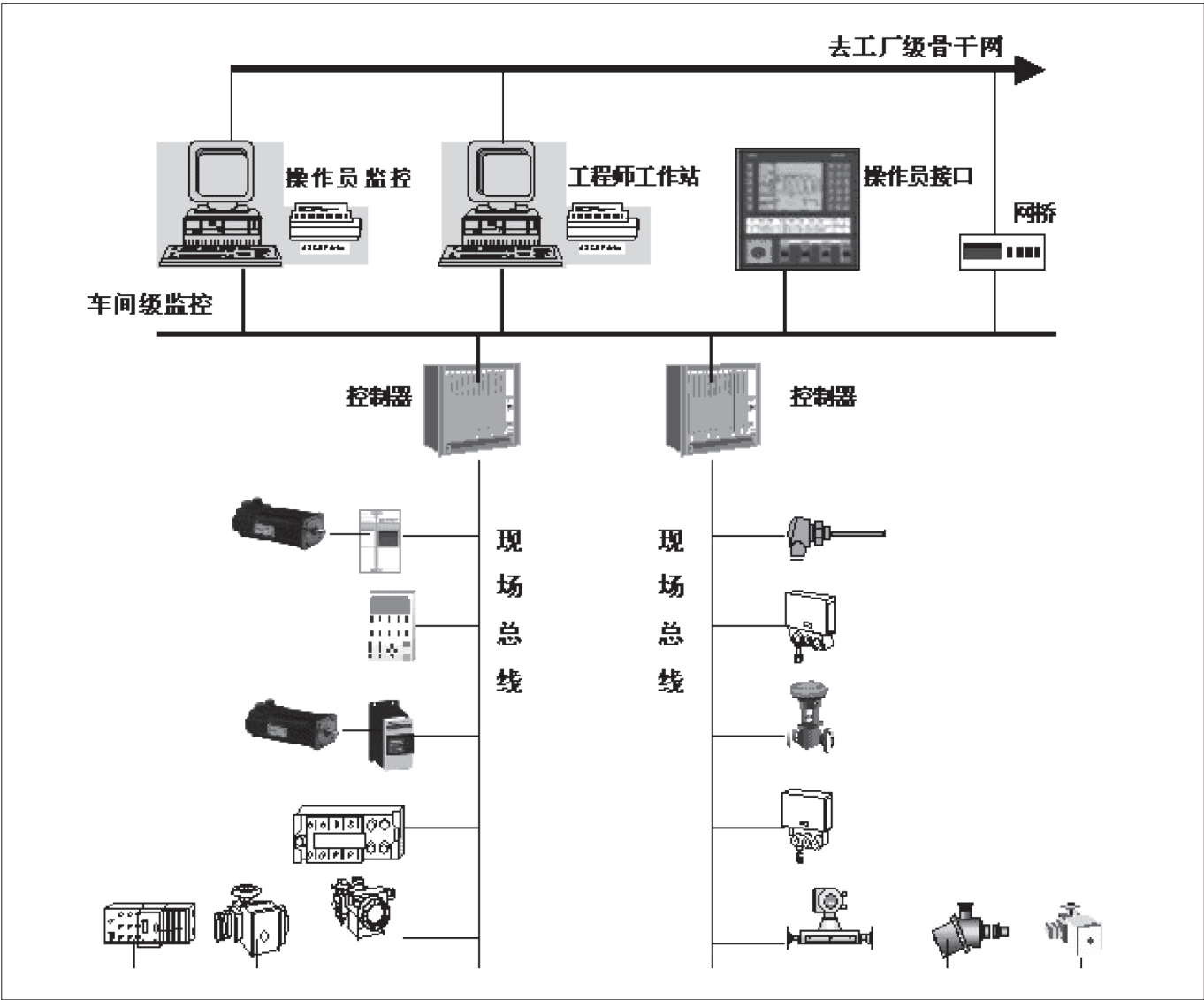


图 2 DCS 控制系统现场总线

在满足 DCS 控制系统对通信带宽要求的前提下,可有效降低电缆成本,提高传输速率和传输距离。目前,DCS 控制系统现场总线主要有 Ethernet(以太网)、工业以太网(CAN)、PROFIBUS 等类型。

4.3 多线程技术

多线程技术是指通过线程执行系统程序,可以实现较短的时间内完成较多的任务,从而提高系统资源利用率和系统的响应速度。多线程技术在 Windows 操作系统下,支持多线程的编程语言包括 C 语言、汇编语言、动态链接库等。目前,各国产自主可控 DCS 控制系统厂家已提供了多线程编程环境,采用该技术可以提高系统性能和资源利用率。但在使用多线程编程环境进行项目开发时,需注意以下几点:

(1) 多线程环境中任务之间应保持适当的优先级关系;

(2) 应采用适当的操作系统内核管理机制保证多线程执行时的同步;

(3) 应根据实际情况选择合适的多线程环境配置方式,如支持中断服务程序、线程管理、进程调度等。

5 结语

综上所述,火力发电厂 DCS 控制系统国产化是一项长期而艰巨的任务,在实施过程中需针对国内 DCS 控制系统的发展现状,综合考虑设备价格、安装调试难度、系统性能、运维成本等因素,根据 DCS 控制系统实际需求,合理选择国产 DCS 控制系统的技术路线,以达到自主可控的目的。

参考文献:

[1] 周亮亮,王雷,张晨,等.一种超超临界火力发电机组协调控制系统:CN201710700050.4[P].2021-12-14.

[2] 孙兴家.火力发电厂发电机组集控运行技术分析[J].学生电脑,2021(2):0270.

作者简介:王卫(1992.08-),男,汉族,河南信阳人,本科,助理工程师,研究方向:自动化控制、DCS;井彦荣(1992.11-),男,汉族,陕西榆林人,本科,助理工程师,研究方向:自动化控制、DCS。

(上接第 65 页)

工况时的 247.5MPa,新车轮辐板最大 von Mises 应力为工况 6 曲线制动热负荷工况时的 154.6MPa,车轮辐板上各点最大应力不超过材料的弹性极限,车轮静强度满足相关标准的要求。

(3) 按照 UIC 510-5 疲劳评定,磨损车轮辐板上的所有节点的应力最大变化量为 127.7MPa,新车轮辐板上的所有节点的应力最大变化量为 115.1MPa,小于允许应力变化量 $\Delta\sigma$,车轮疲劳强度满足 UIC 510-5 的要求。

(4) 在后续研究中,将考虑探究轮轨接触斑的大小对车轮结构应力的影响,以便更加准确地分析车轮的受力情况。由于轮轨的接触斑区域较小,可能存在局部应力超过弹性极限情况,故不能使用线性材料分析结果来评估非线性行为,需要将车轮材料的非线性考虑进去。

参考文献:

[1] 芮斌,项盼,桂安富,等.基于热-固耦合的调车机车轮

轮强度仿真分析[J].铁道机车与动车,2022(11):23-26.

[2] 王晓鹏,张开林,张雨,等.基于热-结构耦合的机车整体式车轮疲劳强度分析[J].电力机车与城轨车辆,2016,39(3):33-36.

[3] 郑红霞,谢基龙,周素霞,等.基于有限元仿真车轮多轴疲劳强度分析[J].北京交通大学学报,2009,33(4):54-59.

[4] 王悦东,盛杰琼.单轴和多轴疲劳准则下的车轮疲劳强度分析[J].大连交通大学学报,2016,37(2):47-52.

[5] 刘旭,王玉光,张开林,等.车轮辐板疲劳强度分析的工程方法[J].铁道机车车辆,2013,33(S1):78-82.

[6] BS EN 13979-1.Railway application-wheelsets and bogies-mnobloc wheels-technical approval procedure-part1:forged and rolled wheels[S].BSI,2003.

[7] International Union of Railways.UIC 510-5-2007 technical approval of monobloc wheels[S].Paris:UIC,2007.

[8] 国家铁路局.铁道车辆车轮强度评定方法:TB/T 3463-2016[S].北京:中国铁道出版社,2017.